

213008-  
05-5-CG  
900

보안 과제( ), 일반 과제( O ) / 공개( O ), 비공개( ) 발간등록번호( O )  
Golden Seed 프로젝트 사업 2단계 최종보고서

발간등록번호

11-1543000-003965-01

수  
입  
대  
체  
용  
  
고  
기  
능  
성  
  
김  
  
종  
자  
  
개  
발  
과  
  
국  
내  
외  
  
산  
업  
화  
  
최  
종  
보  
고  
서

# 수입대체용 고기능성 김 종자 개발과 국내외 산업화

2022년 3월 25일

프로젝트연구개발기관 / 전남대학교  
세부프로젝트연구개발기관 / 국립수산물연구원

2022

농  
림  
축  
산  
식  
품  
부

해  
양  
수  
산  
부

농  
림  
식  
품  
기  
술  
기  
획  
평  
가  
원

농 립 축 산 식 품 부  
해 양 수 산 부  
(전문기관)농림식품기술기획평가원

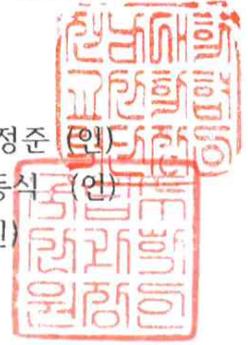
## 제 출 문

농림축산식품부, 해양수산부 장관 귀하

본 보고서를 “수입대체용 고기능성 김 종자 개발과 국내외 산업화”(개발기간 : 2017.01. ~ 2021.12.)과제의 최종보고서로 제출합니다

2022.03.25.

프로젝트연구개발기관명 : 전남대학교산학협력단 (대표자) 민정준 (인)  
세부프로젝트연구개발기관명 : 국립수산물연구원 (대표자) 우동식 (인)  
참여기업명 : (대표자) (인)



프로젝트연구책임자 : 최종일  
세부프로젝트연구책임자 : 허진석  
참여기업책임자 :

국가연구개발혁신법 시행령 제33조에 따라 보고서 열람에 동의합니다.

<보고서 요약서>

보고서 요약서

|                  |                       |                                                        |                               |               |                                              |
|------------------|-----------------------|--------------------------------------------------------|-------------------------------|---------------|----------------------------------------------|
| 과제고유번호           | 213008-05-5-<br>CG900 | 해당단계<br>연구기간                                           | 2017.1.1.~202<br>1.12.31      | 단계구분          | 2(해당단계)/<br>2(총 단계)                          |
| 연구사업명            | 단위사업                  | Golden Seed 프로젝트사업                                     |                               |               |                                              |
|                  | 사업명                   | GSP수산종자사업단                                             |                               |               |                                              |
| 프로젝트명            | 프로젝트명                 | 수입대체용 고기능성 김 종자 개발과 국내외 산업화                            |                               |               |                                              |
|                  | 세부프로젝트명               | 2-1. 기능성 향산화 돌연변이 종자 개발<br>2-2. 기능성 김 계통주 선발 및 시험양식 연구 |                               |               |                                              |
| 프로젝트책임자          | 최종일                   | 해당단계<br>참여연구원<br>수                                     | 총: 109명<br>내부: 109명<br>외부: 0명 | 해당단계<br>연구개발비 | 정부: 2,159,000천원<br>민간: 0천원<br>계: 2,159,000천원 |
|                  |                       | 해당단계<br>참여연구원<br>수                                     | 총: 109명<br>내부: 109명<br>외부: 0명 | 해당단계<br>연구개발비 | 정부: 2,159,000천원<br>민간: 0천원<br>계: 2,159,000천원 |
| 연구기관명 및<br>소속부서명 | 전남대학교산학협력단            |                                                        |                               | 참여기업명         |                                              |
| 국제공동연구           | 상대국명:                 |                                                        |                               | 상대국 연구기관명:    |                                              |
| 위탁연구             | 연구기관명: 성균관대학교         |                                                        |                               | 연구책임자: 우한민    |                                              |

※ 국내외의 기술개발 현황은 연구개발계획서에 기재한 내용으로 같음

|                         |      |
|-------------------------|------|
| 연구개발성과의<br>보안등급 및<br>사유 | 일반과제 |
|-------------------------|------|

9대 성과 등록·기탁번호

| 구분          | 논문               | 특허           | 보고서<br>원문 | 연구시<br>설·장비 | 기술요약<br>정보 | 소프트<br>웨어 | 화합물 | 생명자원     |          | 신품종 |    |
|-------------|------------------|--------------|-----------|-------------|------------|-----------|-----|----------|----------|-----|----|
|             |                  |              |           |             |            |           |     | 생명<br>정보 | 생물<br>자원 | 정보  | 실물 |
| 등록·기탁<br>번호 | SCI 36<br>비SCI 6 | 등록22<br>출원18 |           |             |            |           |     |          |          |     | 5  |

가. 품종개발

| 세부적으로 전부(건별)로 기록하며, 국외인 경우 반드시 국명을 기록합니다 |                        |    |                       |                 |               |                       |                |              |                                                     |
|------------------------------------------|------------------------|----|-----------------------|-----------------|---------------|-----------------------|----------------|--------------|-----------------------------------------------------|
| 구분                                       | 품종 명칭<br>(건별 각각<br>기재) | 국명 | 출원                    |                 |               | 등록                    |                |              | 기타                                                  |
|                                          |                        |    | 출원인                   | 출원일             | 출원번호          | 등록인                   | 등록일            | 등록번호         |                                                     |
| 품종보호권<br>등록                              | 전수1호                   |    | 국립수산과<br>학원,<br>전남대학교 | 2015.<br>3.4.   | 2015-4        | 국립수산과<br>학원,<br>전남대학교 | 2017.<br>7.18. | 품종보호<br>제13호 | (육성자)<br>박은정, 유현일,<br>최종일, 이학중                      |
| 품종보호권<br>출원                              | 전수2호                   |    | 국립수산과<br>학원,<br>전남대학교 | 2017.<br>10.19. | 2017-4        | 국립수산<br>과학원           | 2021.8.3<br>1. | AQ-제24호      | (육성자)<br>박은정, 하동수,<br>허진석, 최종일                      |
| 품종보호권<br>출원                              | 수과원112호                |    | 국립수산과<br>학원           | 2018.<br>5.24.  | 2018-4        |                       |                |              | (육성자)<br>박은정, 하동수,<br>허진석, 이지은                      |
| 품종보호권<br>출원                              | 수과원115호                |    | 국립수산과<br>학원           | 2019.<br>2.28.  | 2019-3        |                       |                |              | (육성자)<br>박은정, 하동수,<br>허진석, 이지은,<br>김찬송              |
| 품종보호권<br>출원                              | 수과원117호                |    | 국립수산과<br>학원           | 2020.<br>8.5.   | 2020-3        |                       |                |              | (육성자)<br>황미숙, 박은정,<br>이지은, 김찬송,<br>허진석, 황일기,<br>하동수 |
| 품종보호권<br>출원                              | 수과원118호                |    | 국립수산과<br>학원           | 2021.<br>7.20.  | AQ-<br>2021-1 |                       |                |              | (육성자)<br>황미숙, 박은정,<br>이지은, 김찬송,<br>허진석, 하동수         |

나. 특허

[1차년도]

2017년 지식재산권[발명특허, 실용신안, 의장, 상표, 규격] 등으로 구분하고, 세부적으로 전부(건별로)기록하며, 국외인 경우 반드시 국명을 기록합니다]

| 구 분  | 지식재산권 등 명칭<br>(건별 각각 기재)                                                           | 국 명  | 출원           |          |                 | 등 록         |           |            | 기 타 |
|------|------------------------------------------------------------------------------------|------|--------------|----------|-----------------|-------------|-----------|------------|-----|
|      |                                                                                    |      | 출원인          | 출원일      | 출원번호            | 등록인         | 등록일       | 등록번호       |     |
| 발명특허 | 플라노코쿠스 유래 신규한 스쿠알렌 합성효소 및 이의 용도                                                    | 대한민국 | 전남대학교 산학협력단  | 2017.1.6 | 10-2017-0002212 |             |           |            |     |
| 발명특허 | 열충격 단백질 70의 발현이 증가된 방사무늬김 Py503G (KCTC 12860BP)                                    | 대한민국 |              |          |                 | 전남대학교 산학협력단 | 2017.2.10 | 10-1707674 |     |
| 발명특허 | 산화적 스트레스에 대한 저항성을 증가시키는 김 유래 돌연변이 아스코베이트 페록시다제 폴리뉴클레오타이드가 도입된 균주 및 이를 이용한 지질 생산 방법 | 대한민국 | 전남대학교 산학협력단  | 2017.3.8 | 10-2017-0029675 |             |           |            |     |
| 발명특허 | 아스코베이트 퍼록시다제 발현량이 증가된 돌연변이 방사무늬 김 Py501G 및 이의 제조방법                                 | 대한민국 |              |          |                 | 전남대학교 산학협력단 | 2017.4.11 | 10-1727478 |     |
| 발명특허 | 목적 유전자 발현 조절을 위한 대장균 및 코리네박테리움 클루타쿰 서틀 박터                                          | 대한민국 | 성균관대학교 산학협력단 | 2017.8.7 | 10-2017-0099545 |             |           |            |     |

지식재산권[발명특허, 실용신안, 의장, 상표, 규격] 등으로 구분하고, 세부적으로 전부(건별로)기록하며, 국외인 경우 반드시 국명을 기록합니다]

| 구 분  | 지식재산권 등 명칭<br>(건별 각각 기재)                     | 국 명  | 출원          |             |                 | 등 록 |     |      | 기 타                 |
|------|----------------------------------------------|------|-------------|-------------|-----------------|-----|-----|------|---------------------|
|      |                                              |      | 출원인         | 출원일         | 출원번호            | 등록인 | 등록일 | 등록번호 |                     |
| 발명특허 | 김 유래 건조, 고온 및 삼투 스트레스 저항성 유전자 및 이를 이용한 형질전환체 | 대한민국 | 전남대학교 산학협력단 | 2017.08.09. | 10-2017-0100991 |     |     |      | (발명자) 최동욱, 임성오, 박은정 |

[2차년도]

2018년 지식재산권[발명특허, 실용신안, 의장, 상표, 규격] 등으로 구분하고, 세부적으로 전부(건별로)기록하며, 국외인 경우 반드시 국명을 기록합니다]

| 구분   | 지식재산권 등 명칭<br>(건별 각각 기재)                                                                                 | 국명   | 출원              |            |                     | 등록             |           |            | 기타 |
|------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|-----------------|------------|---------------------|----------------|-----------|------------|----|
|      |                                                                                                          |      | 출원인             | 출원일        | 출원번호                | 등록인            | 등록일       | 등록번호       |    |
| 발명특허 | 글루타미이트 함량이 증가한 돌연변이 방사무늬균 500GE 이의 제조방법 및 이를 이용한 글루타메이트 제조방법                                             | 대한민국 | 전남대학교<br>산학협력단  | 2018-01-30 | 10-2018-001156<br>7 |                |           |            |    |
| 발명특허 | 필수아미노산함량이 증가한 돌연변이 방사무늬균 500GEAA 이의 제조방법 및 이를 이용한 필수아미노산제조방법                                             | 대한민국 | 전남대학교<br>산학협력단  | 2018-02-20 | 10-2018-001979<br>5 |                |           |            |    |
| 발명특허 | 저온에서 활성을 유지하고 온도에 의해 불활성화가 용이한 리파아제                                                                      | 대한민국 | 전남대학교<br>산학협력단  | 2018-03-30 | 10-2018-003766<br>7 |                |           |            |    |
| 발명특허 | 피코에리트린 함량이 높은 돌연변이 방사무늬균 503PE 및 이의 제조방법                                                                 | 대한민국 | 전남대학교<br>산학협력단  | 2018-05-24 | 10-2018-005894<br>0 |                |           |            |    |
| 발명특허 | Mycosporine like amino acids (MAA) 함량이 높은 돌연변이 방사무늬균 503MAA 및 이의 제조 방법                                   | 대한민국 | 전남대학교<br>산학협력단  | 2018-05-24 | 10-2018-005895<br>4 |                |           |            |    |
| 발명특허 | 폴리하이드록시부티레이트 생산을 대량균, 그 제조 방법 및 폴리하이드록시부티레이트 생산 방법                                                       | 대한민국 | 전남대학교<br>산학협력단  | 2018-08-17 | 10-2018-009631<br>9 |                |           |            |    |
| 발명특허 | 2,3-부탄디올 생산용 미생물, 그 제조 방법 및 2,3-부탄디올 생산 방법                                                               | 대한민국 | 전남대학교<br>산학협력단  | 2018-08-17 | 10-2018-009632<br>0 |                |           |            |    |
| 발명특허 | 극지에서 분리한 바실러스 종 (Bacillus sp.) PAMC23412 유래 PAMC23412_DRH1601 유전자를 이용한 산화적 환경에 대한 내성이 증대된 제조할 대장균        | 대한민국 | 전남대학교<br>산학협력단  | 2018-07-26 | 10-2018-008741<br>8 |                |           |            |    |
| 발명특허 | 극지에서 분리한 바실러스 종 (Bacillus sp.) PAMC22784 유래 PAMC22784_DRH632 유전자를 이용한 산화적 환경에 대한 내성이 증대된 제조할 대장균         | 대한민국 | 전남대학교<br>산학협력단  | 2018-07-26 | 10-2018-008741<br>9 |                |           |            |    |
| 발명특허 | 극지에서 분리한 바실러스 푸밀리우스 (Bacillus pumilus) PAMC23324 유래 PAMC23324_DRH577 유전자를 이용한 산화적 환경에 대한 내성이 증대된 제조할 대장균 | 대한민국 | 전남대학교<br>산학협력단  | 2018-07-26 | 10-2018-008742<br>0 |                |           |            |    |
| 발명특허 | 신뢰적 스트레스에 대한 저항성을 증가시키는 김 유래 돌연변이 마스코베이트 페록시다제 폴리뉴클레오타이드가 도입된 균주 및 이를 이용한 지질 생산 방법                       | 대한민국 | 전남대학교<br>산학협력단  | 2017.3.8   | 10-2017-002967<br>5 | 전남대학교<br>산학협력단 | 2018.5.4  | 10-1857260 |    |
| 발명특허 | C35 카로티노이드 생산능을 갖는 코리네박테리움 글루타미쿰 제조할 균주 및 이를 이용한 C35 카로티노이드 생산 방법                                        | 대한민국 | 전남대학교<br>산학협력단  | 2016.12.14 | 10-2016-017072<br>8 | 전남대학교<br>산학협력단 | 2018.5.16 | 10-1860648 |    |
| 발명특허 | 칸티노박테리움 유래 저온 활성 펩티다아제 및 그 제조방법                                                                          | 대한민국 | 전남대학교<br>산학협력단  | 2016.9.6   | 10-2016-011421<br>1 | 전남대학교<br>산학협력단 | 2018.6.5  | 10-1866810 |    |
| 발명특허 | 신규 프로테아제                                                                                                 | 대한민국 | 전남대학교<br>산학협력단  | 2016.9.6   | 10-2016-011448<br>0 | 전남대학교<br>산학협력단 | 2018.8.17 | 10-1891234 |    |
| 발명특허 | 방사무늬균 유래의 열 충격 단백질 70을 발현하는 제조할 조류 및 이를 이용한 지질 생산방법                                                      | 대한민국 | 전남대학교<br>산학협력단  | 2017.7.31  | 10-2017-009706<br>6 | 전남대학교<br>산학협력단 | 2018.8.27 | 10-1894192 |    |
| 발명특허 | 글루타메이트 축적용 바이오센서 및 그 제조방법 칸티노박테리움 유래 저온 활성 펩티다아제 및 그 제조방법                                                | 대한민국 | 전남대학교<br>산학협력단  | 2016.9.29  | 10-2016-012517<br>7 | 전남대학교<br>산학협력단 | 2018.9.6  | 10-1898178 |    |
| 발명특허 | 스쿠알렌 생산능을 가지는 형질전환된 코리네박테리움 글루타미쿰                                                                        | 대한민국 | 성균관대학교<br>산학협력단 | 2018.01.15 | 10-2018-000519<br>3 |                |           |            |    |
| 발명특허 | 코리네박테리움 글루타미쿰을 이용한 무티레이트 생산                                                                              | 대한민국 | 성균관대학교<br>산학협력단 | 2018.01.31 | 10-2018-001195<br>5 |                |           |            |    |
| 발명특허 | 디젯유전자 발현 조절을 위한 대장균/코리네박테리움 글루타미쿰의 식물백터                                                                  | PCT  | 성균관대학교<br>산학협력단 | 2018.08.07 | PCT/KR2018/008944   |                |           |            |    |

---

[3차년도]

---

2019년

지식재산권[발명특허, 실용신안, 의장, 상표, 규격] 등으로 구분하고, 세부적으로 전부(건별로)기록하며, 국외인 경우 반드시 국명을 기록합니다

| 구 분      | 지식재산권 등 명칭<br>(건별 각각 기재)                                                                 | 국 명  | 출원                     |               |                     | 등 록                 |               |                | 기 타 |
|----------|------------------------------------------------------------------------------------------|------|------------------------|---------------|---------------------|---------------------|---------------|----------------|-----|
|          |                                                                                          |      | 출원인                    | 출원일           | 출원번호                | 등록인                 | 등록일           | 등록번호           |     |
| 발명<br>특허 | 필수아미노산<br>함량이 증가한<br>돌연변이<br>방사무늬김<br>500GEAA, 이의<br>제조방법 및 이를<br>이용한 필<br>수아미노산<br>제조방법 | 대한민국 | 전남대<br>학교<br>산학협<br>력단 | 2018.2.2<br>0 | 10-2018-0<br>019795 | 전남대학<br>교 산학<br>협력단 | 2019.9.<br>20 | 10-202601<br>6 |     |
|          | 글루타메이트<br>함량이 증가한<br>돌연변이<br>방사무늬김 500GE,<br>이의 제조방법 및<br>이를 이용한 글루<br>타메이트 제조방법         | 대한민국 | 전남대<br>학교<br>산학협<br>력단 | 2018.1.3<br>0 | 10-2018-0<br>011567 | 전남대학<br>교 산학<br>협력단 | 2019.9.<br>20 | 10-202601<br>3 |     |
|          | 방사무늬김 유래의<br>망가니즈<br>슈퍼옥사이드<br>디스튜타제를<br>발현하는 재조합<br>조류 및 이를 이용<br>한 지질 생산방법             | 대한민국 | 전남대<br>학교<br>산학협<br>력단 | 2017.7.3<br>1 | 10-2017-0<br>097065 | 전남대학<br>교 산학<br>협력단 | 2019.9.<br>10 | 10-202010<br>9 |     |
|          | GABA 생산성이<br>향상된 대장균,<br>이의 제조방법 및<br>이를 이용한<br>GABA 생<br>산방법                            | 대한민국 | 전남대<br>학교<br>산학협<br>력단 | 2019.9.1<br>1 | 10-2019-0<br>112911 |                     |               |                |     |
|          | 에이코사펜타엔산<br>함량이 증가한<br>돌연변이<br>방사무늬김<br>500EPA 및<br>이의 제조 방법                             | 대한민국 | 전남대<br>학교<br>산학협<br>력단 | 2019.3.2<br>1 | 10-2019-0<br>032069 |                     |               |                |     |
|          | 폴리하이드록시부<br>티레이트 생산용<br>미생물, 이의 제조<br>방법 및 이를<br>이용한<br>폴리하이드록시부<br>티레이트 생산<br>방법        | 대한민국 | 전남대<br>학교<br>산학협<br>력단 | 2019.3.1<br>4 | 10-2019-0<br>029431 |                     |               |                |     |
|          | 젯산 생산용<br>미생물, 이의 제조<br>방법 및 이를<br>이용한 젯산 생산<br>방법                                       | 대한민국 | 전남대<br>학교<br>산학협<br>력단 | 2019.1.0<br>2 | 10-2019-0<br>000357 |                     |               |                |     |

---

[4차년도]

---

2020년

지식재산권[발명특허, 실용신안, 의장, 상표, 규격] 등으로 구분하고, 세부적으로 전부(건별로)기록하며, 국외인 경우 반드시 국명을 기록합니다

| 구 분      | 지식재산권 등 명칭<br>(건별 각각 기재)                                                                               | 국 명  | 출원             |            |                 | 등 록         |            |            | 기 타 |
|----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|----------------|------------|-----------------|-------------|------------|------------|-----|
|          |                                                                                                        |      | 출원인            | 출원일        | 출원번호            | 등록인         | 등록일        | 등록번호       |     |
| 발명<br>특허 | 항산화 활성을 갖는 다당류 함량이 증가된 물연변이 방사부늬김 500PP 및 이의 제조방법                                                      | 대한민국 | 전남대학교<br>산학협력단 | 2020-01-20 | 10-2020-0007236 |             |            |            |     |
|          | dr1558 및 cadA 유전자가 과발현된 카다베린 생산용 미생물 및 이를 이용한 카다베린 생산방법                                                | 대한민국 | 전남대학교<br>산학협력단 | 2020-05-20 | 10-2020-0060426 |             |            |            |     |
|          | ldc 및 dr1558 유전자가 과발현된 카다베린 생산용 미생물 및 이를 이용한 카다베린 생산방법                                                 | 대한민국 | 전남대학교<br>산학협력단 | 2020-05-20 | 10-2020-0060427 |             |            |            |     |
|          | 바실러스 종 PAMC22784 유래 PAMC22784_DRH632 유전자가 도입된 폴리하이드록시부티레이트 생산용 제조할 미생물 및 이를 이용한 폴리하이드록시부티레이트의 생산 방법    | 대한민국 | 전남대학교<br>산학협력단 | 2020-06-08 | 10-2020-0069131 |             |            |            |     |
|          | 바실러스 푸미루스 PAMC23324 유래 PAMC23324_DRH577 유전자가 도입된 폴리하이드록시부티레이트 생산용 제조할 미생물 및 이를 이용한 폴리하이드록시부티레이트의 생산 방법 | 대한민국 | 전남대학교<br>산학협력단 | 2020-06-08 | 10-2020-0069132 |             |            |            |     |
|          | 바실러스 종 PAMC23412 유래 PAMC23412_DRH1601 유전자가 도입된 폴리하이드록시부티레이트 생산용 제조할 미생물 및 이를 이용한 폴리하이드록시부티레이트의 생산 방법   | 대한민국 | 전남대학교<br>산학협력단 | 2020-06-08 | 10-2020-0069133 |             |            |            |     |
|          | 이산화 타이타늄 다공성 비드에 유산균이 함침된 유산균-비드 복합체 및 이의 제조 방법                                                        | 대한민국 | 전남대학교<br>산학협력단 | 2020-07-02 | 10-2020-0081610 |             |            |            |     |
|          | 산화적 스트레스에 대한 저항성 및 내성을 증가시키는 바실러스 종 PAMC23324 유래 펩타이드                                                  | 대한민국 | 전남대학교<br>산학협력단 | 2018-07-26 | 10-2018-0087420 | 전남대학교 산학협력단 | 2020-01-10 | 10-2067341 |     |
|          | 산화적 스트레스에 대한 저항성 및 내성을 증가시키는 바실러스 종 PAMC22784 유래 펩타이드                                                  | 대한민국 | 전남대학교<br>산학협력단 | 2018-07-26 | 10-2018-0087419 | 전남대학교 산학협력단 | 2020-02-10 | 10-2077931 |     |
|          | 산화적 스트레스에 대한 저항성 및 내성을 증가시키는 바실러스 종 PAMC23412 유래 펩타이드                                                  | 대한민국 | 전남대학교<br>산학협력단 | 2018-07-26 | 10-2018-0087418 | 전남대학교 산학협력단 | 2020-02-10 | 10-2077930 |     |
|          | 젖산 생산용 미생물 이의 제조 방법 및 이를 이용한 젖산 생산 방법                                                                  | 대한민국 | 전남대학교<br>산학협력단 | 2019-01-02 | 10-2019-0000357 | 전남대학교 산학협력단 | 2020-05-07 | 10-2110156 |     |
|          | 2,3-부탄디올 생산용 미생물, 그 제조 방법 및 2,3-부탄디올 생산 방법                                                             | 대한민국 | 전남대학교<br>산학협력단 | 2018-08-17 | 10-2018-0096320 | 전남대학교 산학협력단 | 2020-08-05 | 10-2143398 |     |
|          | 폴리하이드록시부티레이트 생산용 미생물, 이의 제조 방법 및 이를 이용한 폴리하이드록시부티레이트 생산 방법                                             | 대한민국 | 전남대학교<br>산학협력단 | 2019-03-14 | 10-2019-0029431 | 전남대학교 산학협력단 | 2020-06-05 | 10-2121746 |     |
|          | 폴리하이드록시부티레이트 생산용 대장균, 그 제조 방법 및 폴리하이드록시부티레이트 생산 방법                                                     | 대한민국 | 전남대학교<br>산학협력단 | 2018-08-17 | 10-2018-0096319 | 전남대학교 산학협력단 | 2020-01-10 | 10-2067342 |     |
|          | 저온 활성 리파아제 및 이의 생산방법                                                                                   | 대한민국 | 전남대학교<br>산학협력단 | 2018-03-30 | 10-2018-0037667 | 전남대학교 산학협력단 | 2020-01-06 | 10-2065239 |     |

[5차년도]

지식재산권[발명특허, 실용신안, 의장, 상표, 규격] 등으로 구분하고, 세부적으로 전부(건별로)기록하며, 국외인 경우 반드시 국명을 기록합니다

| 구 분 | 지식재산권 등 명칭<br>(건별 각각 기재)                                      | 국 명  | 출 원         |             |                 | 등 록         |             |            | 기 타 |
|-----|---------------------------------------------------------------|------|-------------|-------------|-----------------|-------------|-------------|------------|-----|
|     |                                                               |      | 출원인         | 출원일         | 출원번호            | 등록인         | 등록일         | 등록번호       |     |
|     | GABA 생산성이 향상된 대장균, 이의 제조방법 및 이를 이용한 GABA 생산방법                 | 대한민국 | 전남대학교 산학협력단 | 2019.09.11. | 10-2019-0112911 | 전남대학교 산학협력단 | 2021.03.11. | 10-2226445 |     |
|     | dr1558 및 cadA 유전자가 과발현된 카다베린 생산용 미생물 및 이를 이용한 카다베린 생산방법       | 대한민국 | 전남대학교 산학협력단 | 2020.05.20. | 10-2020-0060426 | 전남대학교 산학협력단 | 2021.03.24. | 10-2231332 |     |
|     | 지방산 불포화 효소 유사 유전자가 도입된 지질 생산성이 증진된 미생물의 제조방법 및 이를 이용한 지질 생산방법 | 대한민국 | 전남대학교 산학협력단 | 2021.05.20. | 10-2021-0064915 |             |             |            |     |

다. 논문

[1차년도]

2017년 논문(국내외 전문학술지) 게재

| 번호 | 논문명                                                                                                                                                                      | 학술지명                                          | 주저자명                | 호                   | 국명          | 발행기관                  | SCI여부<br>(SCI/비SCI) |
|----|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|---------------------|---------------------|-------------|-----------------------|---------------------|
| 1  | Cloning and characterization of cold-adapted $\alpha$ -amylase from Antarctic <i>Arthrobacter agilis</i>                                                                 | <i>Applied Biochemistry and Biotechnology</i> | 김수미 외 2인            | 26                  | 미국          | HUMAN A PRESS INC     | SCI<br>(0272-2289)  |
| 2  | Engineered microbial biosensors based on bacterial two component systems as synthetic biotechnology platforms in bioremediation and biorefinery                          | <i>Microbial Cell Factories</i>               | Ravikum ar S. 외 3인  | 16                  | 영국          | BIOMED CENTRAL LTD    | SCI<br>(1475-2859)  |
| 3  | Photosynthetic CO <sub>2</sub> conversion to fatty acid ethyl esters (FAEEs) using engineered cyanobacteria                                                              | <i>J. Agric. Food. Chem.</i>                  | 이현정                 | 65                  | 미국          | AMER CHEMICAL SOC INT | SCI<br>(0021-8561)  |
| 4  | Comparative analysis of whole transcriptomes of <i>Pyropia yezoensis</i>                                                                                                 | <i>Phycologia</i>                             | 박서정 외 2인            | 45                  | 영국          | PHYCOLOGICAL SOC      | SCI<br>(0031-8884)  |
| 5  | Toward direct biodiesel production from CO <sub>2</sub> using engineered cyanobacteria                                                                                   | <i>FEMS Microbiology Letters</i>              | 우한민                 | 364                 | 영국          | OXFORD UNIV PRESS     | SCI<br>(0378-1097)  |
| 6  | Improvement of Squalene Production from CO <sub>2</sub> in <i>Synechococcus elongatus</i> PCC 7942 by Metabolic Engineering and Scalable Production in a Photobioreactor | <i>ACS Synthetic Biology</i>                  | 최선영                 | 6                   | 미국          | AMER CHEMICAL SOC     | SCI<br>(2161-5063)  |
| 7  | Modular pathway engineering of <i>Corynebacterium glutamicum</i> to improve xylose utilization and succinate production                                                  | <i>Journal of Biotechnology</i>               | 조수아                 | 258                 | 네덜란드        | ELSEVIER SCIENCE BV   | SCI<br>(0168-1656)  |
| 8  | Development of SyneBrick vectors as a synthetic biology platform for gene expression in <i>Synechococcus elongatus</i> PCC 7942                                          | <i>Front. Plant Sci.</i>                      | 김옥진                 | 8                   | 스위스         | FRONTIERS MEDIA SA    | SCI<br>(1664-462X)  |
| 9  | Direct conversion of CO <sub>2</sub> to $\alpha$ -farnesene using metabolically engineered <i>Synechococcus elongatus</i> PCC 7942                                       | <i>J. Agric. Food. Chem.</i>                  | Lee, HJ 외 7인        | 65                  | 미국          | AMER CHEMICAL SOC     | SCI<br>(0021-8561)  |
| 10 | <i>Deinococcus radiodurans</i> 유래 DR1558과 PprM에 의한 <i>Corynebacterium glutamicum</i> 의 라이신 생산 향상 연구                                                                      | <i>Microbiol. Biotechnol. Lett</i>            | 김수미 외 4인            | 45                  | 한국          | 한국미생물생명공학회            | 비SCI<br>(2234-730S) |
| 11 | Melanogenesis inhibitory effect of low molecular weight fucoidan from <i>Undaria pinnatifida</i>                                                                         | <i>Journal of Applied Phycology</i>           | Eun-Jeong Park 외 1인 | 29(5) : 2213 - 2217 | Netherlands | Springer Netherlands  | SCI<br>(0921-8971)  |

[2차년도]

2018년 논문(국내외 전문학술지) 게재

| 번호 | 논문명                                                                                                                                                                                  | 학술지명                                              | 주저자명       | 호                | 국명   | 발행기관                        | SCI여부 (SCI/비SCI) |
|----|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|------------|------------------|------|-----------------------------|------------------|
| 1  | Purification, characterization, and cloning of a cold-adapted protease from Antarctic <i>Janthinobacterium lividum</i>                                                               | <i>Journal of Microbiology and Biotechnology</i>  | 김현도        | 28               | 한국   | Kor Soc Microb & Biotechnol | SCI (1017-7825)  |
| 2  | Gene expression profiling of rat livers after continuous whole-body exposure to low-dose-rate gamma-ray                                                                              | <i>International Journal of Radiation Biology</i> | Tran       | 94               | 영국   | Taylor & Francis            | SCI (0955-3002)  |
| 3  | Identification, characterization, and proteomic studies of an aldehyde dehydrogenase (ALDH) from <i>Pyropia yezoensis</i> (Bangiales, Rhodophyta)                                    | <i>Journal of Applied Phycology</i>               | 이학증        | 30               | 네델란드 | Springer                    | SCI (0921-8971)  |
| 4  | Characterization of <i>Porphyra lucasii</i> pigment mutant induced by gamma irradiation                                                                                              | <i>Phycological Research</i>                      | 이학증        | 66               | 일본   | Wiley                       | SCI (1322-0829)  |
| 5  | Study of functional verification to abiotic stress through antioxidant gene transformation of <i>Pyropia yezoensis</i> (Bangiales, Rhodophyta) APX and MnSOD in <i>Chlamydomonas</i> | <i>Journal of Microbiology and Biotechnology</i>  | 이학증        | 28               | 한국   | Kor Soc Microb & Biotechnol | SCI (1017-7825)  |
| 6  | Isolation and characterization of a high-growth-rate strain in <i>Pyropia yezoensis</i> induced by ethyl methane sulfonate                                                           | <i>Journal of Applied Phycology</i>               | 이학증        | 30               | 네델란드 | Springer                    | SCI (0921-8971)  |
| 7  | A chimeric two-component regulatory system-based <i>Escherichia coli</i> biosensor engineered to detect glutamate                                                                    | <i>Applied Biochemistry and Biotechnology</i>     | Ravikum ar | 186              | 미국   | Humana Press                | SCI (0273-2289)  |
| 8  | Expression, purification and characterization of a cold-adapted lipase from <i>Janthinobacterium</i> sp.                                                                             | <i>Microbiology and Biotechnology Letters</i>     | 박성호        | 46               | 한국   | Kor Soc Microb & Biotechnol | 비SCI (2234-730S) |
| 9  | Purification of Cold-adapted Protease from <i>Janthinobacterium</i> sp.                                                                                                              | <i>Microbiology and Biotechnology Letters</i>     | 김현도        | 46               | 한국   | Kor Soc Microb & Biotechnol | 비SCI (2234-730S) |
| 10 | RNA-guided single/double gene repressions in <i>Corynebacterium glutamicum</i> using an efficient CRISPR interference and its application to industrial strain                       | Microb. Cell Fact.                                | 우한민 외 5인   | 17:4             | 영국   | Springer                    | SCI (1475-2859)  |
| 11 | Metabolic pathway rewiring in engineered cyanobacteria for solar-to-chemical and solar-to-fuel production from CO <sub>2</sub>                                                       | Bioengineered                                     | 우한민        | 9(1) 2-5         | 영국   | Taylor & Francis            | SCI (2165-5979)  |
| 12 | Identification of small droplets of squalene in engineered <i>Synechococcus elongatus</i> PCC 7942 using TEM and selective fluorescent Nile red analysis                             | Lett. Appl. Microbiol.                            | 우한민 외 3인   | 66:523-529       | 영국   | Wiley                       | SCI (0266-8254)  |
| 13 | Rapid identification of unknown carboxyl esterase activity in <i>Corynebacterium glutamicum</i> using RNA-guided CRISPR interference                                                 | Enzyme Microb. Technol.                           | 우한민 외 5인   | 114:63-68        | 네델란드 | Elsevier                    | SCI (0141-0229)  |
| 14 | CRISPR interference-mediated metabolic engineering of <i>Corynebacterium glutamicum</i> for homo-butyrate production                                                                 | Biotechnol. Bioeng                                | 우한민 외 1인   | 115(8):2067-2074 | 미국   | Wiley                       | SCI (0006-3592)  |

[3차년도]

2019년 논문(국내외 전문학술지) 게재

| 번호 | 논문명                                                                                                                                                                   | 학술지명                                                      | 주저자명 | 호                    | 국명          | 발행기관                                       | SCI여부<br>(SCI/비SCI) |
|----|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|------|----------------------|-------------|--------------------------------------------|---------------------|
| 1  | Isolation, morphological characteristics and proteomic profile analysis of thermo-tolerant <i>Pyropia yezoensis</i> mutant in response to high-temperature stress     | <i>Ocean Science Journal</i>                              | 최종일  | 54(1):<br>65-78      | 대한민국        | KOREA OCEAN RESEARCH DEVELOPMENT INSTITUTE | 비SCI<br>(1738-5261) |
| 2  | Enhanced production of poly-3-hydroxybutyrate (PHB) by expression of response regulator DR1558 in recombinant <i>Escherichia coli</i>                                 | <i>International Journal of Biological Macromolecules</i> | 최종일  | 131(15):<br>29-35    | NETHERLANDS | ELSEVIER SCIENCE BV                        | SCI<br>(0141-8130)  |
| 3  | Enhancing temperature tolerance of <i>Pyropia tenera</i> (Bangiales) by inducing mutation                                                                             | <i>Phycologia</i>                                         | 최종일  | 58(5):49<br>6-503    | USA         | TAYLOR & FRANCIS LTD                       | SCI<br>(0031-8884)  |
| 4  | Heterologous Production of Squalene from Glucose in Engineered <i>Corynebacterium glutamicum</i> Using Multiplex CRISPR Interference and High-Throughput Fermentation | <i>Journal of Agricultural and Food Chemistry</i>         | 우한민  | 67:<br>308-319       | USA         | AMERICAN CHEMICAL SOCIETY                  | SCI<br>(0021-8561)  |
| 5  | Bio-solar cell factories for photosynthetic isoprenoids production                                                                                                    | <i>Planta</i>                                             | 우한민  | 249(1):<br>181-193   | GERMANY     | SPRINGER                                   | SCI<br>(0032-0935)  |
| 6  | Antitumor bioactivity of porphyran extracted from <i>Pyropia yezoensis</i> Chonsoo2 on human cancer cell lines                                                        | <i>Journal of the Science of Food and Agriculture</i>     | 최종일  | 99(15):<br>6722-6730 | England     | WILEY                                      | SCI<br>(0022-5142)  |

[4차년도]

2020년 논문(국내외 전문학술지) 게재

| 번호 | 논문명                                                                                                                                                                        | 학술지명                                                               | 주저자명 | 호             | 국명          | 발행기관                                  | SCI여부<br>(SCI/비SCI) |
|----|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|------|---------------|-------------|---------------------------------------|---------------------|
| 1  | Different extraction methods bring about distinct physicochemical properties and antioxidant activities of <i>Sargassum fusiforme</i> fucoidans                            | <i>International Journal of Biological Macromolecules</i>          | 최종일  | 155:1385-1392 | Netherlands | Elsevier                              | SCI<br>(0141-8130)  |
| 2  | Effect of DR1558, a <i>Deinococcus radiodurans</i> response regulator, on the production of GABA in the recombinant <i>Escherichia coli</i> under low pH conditions        | <i>Microbial Cell Factories</i>                                    | 최종일  | 19:64         | England     | BMC                                   | SCI<br>(1475-2859)  |
| 3  | Enhanced production of 2,3-butanediol in recombinant <i>Escherichia coli</i> using response regulator DR1558 derived from <i>Deinococcus radiodurans</i>                   | <i>Biotechnology and Bioprocess Engineering</i>                    | 최종일  | 25(1):45-52   | South Korea | KSBB                                  | SCI<br>(1226-8372)  |
| 4  | Improved tolerance of <i>Escherichia coli</i> to oxidative stress by expressing putative response regulator homologs from Antarctic bacteria                               | <i>Journal of Microbiology</i>                                     | 최종일  | 58(2):131-141 | South Korea | MICROBIOLOGICAL SOCIETY KOREA         | SCI<br>(1225-8873)  |
| 5  | Gamma-irradiation degradation of sulfated polysaccharide from a new red alga strain <i>Pyropia yezoensis</i> Sookwawon 104 and their <i>in vitro</i> antitumor bioactivity | <i>Oncology Letters</i>                                            | 최종일  | 20:91         | Greece      | SPANDIDOS PUBL LTD                    | SCI<br>(1792-1074)  |
| 6  | Comparative transcriptome analysis of high-growth and wild-type strains of <i>Pyropia yezoensis</i>                                                                        | <i>Acta Botanica Croatica</i>                                      | 최종일  | 79(2):148-156 | Croatia     | UNIV ZAGREB, FAC SCIENCE, DIV BIOLOGY | SCI<br>(0365-0588)  |
| 7  | <i>De novo</i> transcriptome analysis of high growth rate <i>Pyropia yezoensis</i> (Bangiales, Rhodophyta) mutant with high utilization of nitrogen                        | <i>Acta Botanica Croatica</i>                                      | 최종일  | 79(2):201-211 | Croatia     | UNIV ZAGREB, FAC SCIENCE, DIV BIOLOGY | SCI<br>(0365-0588)  |
| 8  | Optimization of cultivation conditions for production of recombinant urate oxidase with unnatural amino acids                                                              | <i>Korean Society for Biotechnology and Bioengineering Journal</i> | 최종일  | 35(1):51-56   | 대한민국        | 한국생물공학회                               | 비SCI<br>(1225-7117) |
| 9  | Enhanced production of poly(3-hydroxybutyrate) from wood hydrolysate by recombinant <i>Escherichia coli</i> expressing response regulator <i>dr1558</i>                    | <i>Korean Society for Biotechnology and Bioengineering Journal</i> | 최종일  | 35(2):178-182 | 대한민국        | 한국생물공학회                               | 비SCI<br>(1225-7117) |
| 10 | Amino acid composition and antioxidative activities of mutant <i>Pyropia yezoensis</i>                                                                                     | <i>Korean Journal of Fisheries and Aquatic Sciences</i>            | 최종일  | 53(4):524-529 | 대한민국        | 한국수산과학회                               | 비SCI<br>(0374-8111) |

[5차년도]

| 2021년 논문(국내외 전문 학술지) 게재 |                                                                                                                                                |                                                    |      |                |             |       |                  |
|-------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|------|----------------|-------------|-------|------------------|
| 번호                      | 논문명                                                                                                                                            | 학술지명                                               | 주저자명 | 호              | 국명          | 발행기관  | SCI여부 (SCI/비SCI) |
| 1                       | Biocontainment of engineered <i>Synechococcus elongatus</i> PCC 7942 for photosynthetic production of $\alpha$ -farnesene from CO <sub>2</sub> | <i>Journal of Agricultural and Food Chemistry</i>  | 우한민  | 69(2): 698-703 | USA         | ACS   | SCI (0021-8561)  |
| 2                       | Optimization of porphyrin extraction from <i>Pyropia yezoensis</i> by response surface methodology and its lipid-lowering effects              | <i>Marine Drugs</i>                                | 최종일  | 19(2), 53      | SWITZERLAND | MDPI  | SCI (1660-3997)  |
| 3                       | Impregnation of probiotics into porous TiO <sub>2</sub> support for enhanced viability                                                         | <i>Korean Journal of Chemical Engineering</i>      | 최종일  | 38(3): 475-479 | 대한민국        | KIChE | SCI (0256-1115)  |
| 4                       | Hybrid Embden-Meyerhof-Parnas pathway for reducing CO <sub>2</sub> loss and increasing the acetyl-CoA levels during microbial fermentation     | <i>ACS Sustainable Chemistry &amp; Engineering</i> | 우한민  | 9:12394-12405  | USA         | ACS   | SCI (2168-0485)  |

국가과학기술종합정보시스템에 등록된 연구시설·장비 현황

| 구입기관 | 연구시설·장비명 | 규격 (모델명) | 수량 | 구입연월일 | 구입가격 (천원) | 구입처 (전화) | 비고 (설치장소) | NTIS 등록번호 |
|------|----------|----------|----|-------|-----------|----------|-----------|-----------|
|      |          |          |    |       |           |          |           |           |
|      |          |          |    |       |           |          |           |           |

요약(연구개발성과를 중심으로 개조식으로 작성하되, 500자 이내로 작성합니다)

○ 연구개발 목표

- 내수 및 가공수출용 김 종자 개발
- 육종 원천기술 및 신종자 개발
- 김의 돌연변이 육종 기술 개발
- 돌연변이 육종을 통한 고기능성 향산화 종자 개발
- 돌연변이 향산화 김 유래 유용 유전자원 확보
- 향산화 김 종자의 현장 양식 평가와 품종 등록
- 고기능성 김 품종개발용 계통주 확보 및 선발
- 개발 종자의 시험양식 및 산업화 추진
- 개발 종자의 시험양식으로 형질특성조사를 실시하고 품종보호권 출원 및 산업화 추진

○ 연구개발성과

- 김 돌연변이 육종 기술 활용
  - 다양한 김 돌연변이 종자 개발을 위한 돌연변이원 탐색 및 효과 검증
  - 김 성장 단계 및 돌연변이 원에 따른 우수 돌연변이 탐색
- 우수 형질 선별 기술 개발

보고서 면수

- 돌연변이 처리에 따른 우수 형질 돌연변이 종자 탐색
- 세대간 우수 형질의 보존 평가
- 돌연변이 김 종자의 특성 연구
  - 돌연변이 김의 형태학적 특성 연구
  - 단백질 발현 분석을 통한 항산화 기능성 기작 연구
  - 전사체 분석을 통한 돌연변이 종자의 특성 연구 및 바이오마커 개발
  - 돌연변이 김에서 특이발현 된 유전자 규명
- 현장 양식 및 신품종 등록
  - 개발된 김의 현장 양식
  - 개발 종자 시험양식 및 형질특성조사
  - 현장양식을 통해 확인된 우수 종의 신품종 등록
  - 항산화 김의 제품화를 위한 가공특성 연구
  - 고기능성 김 종자의 대량생산 및 산업화
- 개발종자의 대량 생산 및 산업화
  - 개발 종자의 산업화 형질 특성 분석
  - 종자판매를 위한 수산종자위원회 품목 및 가격 상정
  - 종자위원회 구성 후 예정가격 산정의 예정가격 결정
  - 종묘업체에 통상실시권 처분
  - 개발종자 대량 생산 및 상품화

<요약문>

|                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>연구의<br/>목적 및 내용</p> | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 김은 전체 수산양식 및 해조류 양식에서 대단히 커다란 비중을 차지하고 있으나, 일본을 포함한 외국산 종자의 사용이 많아 국산 종자의 개발이 시급히 요구됨.</li> <li>○ 수산식물에 대한 품종보호제도 시행으로 일본, 중국 등 김 주요 생산국으로부터 견제를 받을 가능성이 높음. 따라서, 대부분이 일본품종인 우리나라 김 품종을 우리나라 고유 종자로 대체하여야 함. 이를 위해 우수한 국산 종자를 개발하고 일본품종을 대체할 필요가 있음.</li> <li>○ 김 종자는 육상작물과는 달리 사상체 형태로 유통되어 소량만으로 양식에 필요한 종자를 대량 증식할 수 있어 육상작물의 종자시장과는 다른 관점에서 바라보아야만 할 것이며, 특히 영세한 종자업체의 규모를 본다면 국가적인 차원에서 종자의 개발과 관리를 담당하고 종자업체의 자립도를 키워 기술을 이전하는 형태로 이루어져야만 할 것임.</li> <li>○ 기존의 해조류의 식품 및 원재료로서 효용성을 넓혀서, 해조류 생명공학을 이용하여 고기능, 고부가가치, 생산성 제고용 신종자 개발이 필요함.</li> <li>○ 소비자들의 기호가 변화하여 우수한 품질의 제품을 요구하고 있는바 이에 능동적으로 대처하여 수산어가 및 수산 경제에 활력을 불어 넣을 필요가 있음.</li> <li>○ 고기능성 김 신종자 개발을 통한 김종자의 수입대체 및 수출 산업 확대             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 우리나라의 김 소비패턴도 건강 위주의 소비로 바뀌고 있어 고기능성 항산화 김과 같은 종자는 시장성 확보와 부가가치 창출에 도움이 될 것임</li> <li>- 소비자의 소비패턴이 건강식품, 웰빙을 간조한 식품소비가 늘어나고 있어 고기능성 신종자의 개발은 새로운 시장의 창출할 수 있음</li> </ul> </li> </ul> |
| <p>연구개발성과</p>          | <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> 김의 배양 특성 연구             <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 돌연변이 육종을 위한 김 계통주의 분양</li> <li>○ 김의 실험실 환경에서의 배양 기술 확립</li> <li>○ 김의 성장 단계에 따른 생장 특성 연구</li> <li>○ 김 품종에 따른 항산화능 평가</li> </ul> </li> <li><input type="checkbox"/> 김 돌연변이 육종 기반기술 개발             <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 김 유전자원 확보 및 종자개발 대상 선발</li> <li>○ 김 돌연변이화를 위한 돌연변이원 탐색 및 가능성 검증</li> <li>○ 돌연변이원에 대한 저항성 평가 및 돌연변이화 탐색</li> <li>○ 김의 성장 주기 및 돌연변이 유도 조건에 따른 돌연변이화 탐색</li> </ul> </li> <li><input type="checkbox"/> 우수 형질 선별 기술 개발</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |

|                                                                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |          |                     |               |  |
|----------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|---------------------|---------------|--|
|                                                                | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 돌연변이 처리에 따른 돌연변이 탐색 기술 개발</li> <li>○ 고향산화성 김 종자 선별을 위한 High Throughput Screening 기술 개발</li> <li>○ 세대간 우수 형질의 보존 평가</li> <br/> <li>□ 항산화 김 종자의 특성 연구 <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 돌연변이 김의 형태학적 특성 연구</li> <li>○ 단백질 발현 분석을 통한 항산화 기능성 기작 연구</li> <li>○ 돌연변이주에서 확인된 특이 발현 단백질의 유전체 검색과 신규 유용 유전자원 확보</li> </ul> </li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |          |                     |               |  |
| <p style="text-align: center;">연구개발성과의<br/>활용계획<br/>(기대효과)</p> | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 우수한 형질을 가지는 국산 김 종자를 개발함으로써 식물품종보호제도로부터 김 양식 산업을 보호하고 종자의 수입대체 및 수출 효과를 창출할 수 있음 (연간 100억 원 이상의 경제적 효과) <ul style="list-style-type: none"> <li>- 신종자 개발은, 대부분의 외래 품종을 대체할 수 있으며, 종자 수입 대체 효과 창출</li> </ul> </li> <li>○ 신 종자 개발로 인한 수산분야 수출 정책 개발 및 추진에 우위를 차지</li> <li>○ 어민 소득 증대</li> <li>○ 개발된 종자는 수산과학원내 해조류 바이오센터에서 관리할 수 있도록 분양하고 어민들에게 보급하여 개발 종자가 현장에서 활용될 수 있도록 적극 지원</li> <li>○ 선발된 고온내성 후보군 김의 양식실증을 통한 품종화</li> <li>○ 돌연변이 김 종자 육종 기술 개발</li> <li>○ 항산화 활성 우수 종자 선별 시스템 개발</li> <li>○ 신품종 전수1호, 전수2호, 수과원 112호, 수과원 115호, 수과원 117호, 수과원 118호 출원 및 등록</li> <li>○ 개발된 종자의 특성 조사 자료를 활용하여 신품종 등록에 기여할 수 있으며, 향후 등록된 신품종은 국내 김 산업 발전에 이바지할 수 있음</li> </ul> |          |                     |               |  |
| <p>국문핵심어<br/>(5개 이내)</p>                                       | 김                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 돌연변이 육종  | 기능성                 | 신품종           |  |
| <p>영문핵심어<br/>(5개 이내)</p>                                       | <i>Pyropia</i>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Mutation | Biological activity | New cultivars |  |

※ 국문으로 작성(영문 핵심어 제외)

<본문목차>

< 목 차 >

1. 연구개발과제의 개요 ..... 11  
2. 연구수행 내용 및 결과 ..... 22  
3. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도 ..... 317  
4. 연구결과의 활용 계획 등 ..... 335  
붙임. 참고 문헌 ..... 337

<별첨 1> 연구개발보고서 초록

<별첨 2> 연구성과 활용계획서

# 1. 연구개발과제의 개요

## 1-1. 연구개발 목적

본 과제의 최종연구목표는 수입대체용 고기능성 김 종자의 개발과 산업화 이다.

### 1. 1세부과제: 기능성 향산화 돌연변이 종자 개발

○ 최종목표 : 돌연변이 기술을 이용한 신종자 김의 개발 및 특성 연구

○ 주요내용

- 고기능성 김 신종자 개발을 통한 김종자의 수입대체 및 수출 산업 확대
  - 우리나라의 김 소비패턴도 건강 위주의 소비로 바뀌고 있어 고기능성 향산화 김과 같은 종자는 시장성 확보와 부가가치 창출에 도움이 될 것임
  - 소비자의 소비패턴이 건강식품, 웰빙을 간조한 식품소비가 늘어나고 있어 고기능성 신종자의 개발은 새로운 시장의 창출할 수 있음
- 우수 신종자 개발을 위한 원천 기술 개발
  - 김 돌연변이 종자 개발을 위한 다양한 계통주 분양 확보
  - 김의 돌연변이화를 위한 돌연변이원성 탐색
  - 돌연변이원성에 의한 사멸률 측정
  - 돌연변이원, 김 성장 단계에 따른 돌연변이 유도 조건 탐색
  - 돌연변이 김의 탐색기술 개발 및 성장 특성 연구
  - 고기능성 향산화 김종자 선별 기술 개발
  - 우수 향산화 김의 향산화 기작 규명
  - 우수 김종자의 유용 유전자원 확보
  - 우수 신품종 확인을 위한 단백질 marker의 탐색

### 2. 2세부과제: 기능성 김 계통주 선발 및 시험양식 연구

○ 최종목표 :

- 고기능성 김 종자개발용 계통주 확보 및 선발
  - 김 우량 계통주 확보 및 실내형질특성조사를 통한 종자개발 대상 선발
- 개발 종자의 시험양식 및 산업화 추진
  - 개발 종자의 시험양식으로 형질특성조사를 실시하고 품종보호권 출원 및 산업화 추진

○ 주요내용

- 김 유전자원 확보 및 종자개발 대상 선발
- 개발 종자 시험양식 및 형질특성조사
- 고기능성 김 종자의 대량생산 및 산업화

## 1-2. 연구개발의 필요성

□ 국내외 김 산업의 현황 및 육종 기술 중요성

(1) 우리나라 김 산업의 현황

- 우리나라 해조류 양식 생산량은 2019년 기준으로 약 182만 톤, 생산금액은 8,522억 원으로 전체 수산양식에서 차지하는 비중은 생산량(237만 톤) 대비 76.4%, 생산금액(2조 7805억 원) 대비 30.7% 규모로 대단히 큰 비중을 점유하고 있음.
- 그 중 김의 생산량은 61만 톤, 생산금액은 5,615억 원 규모로 전체 해조류 생산금액의 66%를 차지하고 있음.
- 특히 주목할 만한 것은 몇 년 사이 급증하고 있는 김의 수출실적으로 2009년부터 연평균 41%씩 증가해 2010년 1.2억 달러에서 2012년에는 190% 증가한 2.3억 달러에 이어 2016년에는 3.5억 달러, 2017년에는 5.2억 달러의 실적을 올려 김 산업은 우리나라의 대표적인 ‘수출주도형 식품산업’으로 성장하고 있으며, 이러한 훈풍에 힘입어 김은 농림수산물 중 국내에서 생산, 가공, 수출에 이르는 모든 단계를 거치는 품목 중에서는 수출 1위를 점하고 있음.
- 하지만 2012년부터 해조류 분야도 품종보호제도가 전면 시행됨에 따라 김 종자산업 및 양식산업의 경쟁력 제고를 위한 실용화 종자 개발이 시급함.
- 국내의 김 종자개발 연구는 2000년 초반부터 국가주도형으로 이루어져 왔으며, 2013년부터는 민간주도형 Golden Seed 프로젝트가 추진되어 현재까지 28개 신종자가 개발되어 품종보호권이 출원되었고, 그 중 13개의 품종보호권이 등록되었음.
- 우리나라에서 생산되는 김의 12.6%가 일본품종을 사용하고 있어 국산 신품종 개발 지연 시 로열티 지급 우려가 해소되지 않아 단기적으로는 고생산성 품종 개발을 통한 수입종자 대체가 시급한 실정이며, 장기적으로는 수출시장 확대를 위한 고품질·고기능성 실용화 종자개발이 필요함.
- 우리나라 해조류 양식 생산량은 2017년 기준으로 약 136만 톤, 생산금액은 6,505억 원으로 전체 수산양식에서 차지하는 비중은 생산량(185만 톤) 대비 73.9%, 생산금액(2조3,328억 원) 대비 27.9% 규모로 대단히 큰 비중을 점유하고 있음.
- 그 중 김의 생산량은 40만 톤, 생산금액은 4,472억 원 규모로 전체 해조류 생산금액의 68%를 차지하고 있음.
- 특히 주목할 만한 것은 몇 년 사이 급증하고 있는 김의 수출실적으로 2009년부터 연평균 41%씩 증가해 2010년 1.2억 달러에서 2012년에는 190% 증가한 2.3억 달러에 이어 2016년에는 3.5억 달러, 2017년에는 5.2억 달러의 실적을 올려 김 산업은 우리나라의 대표적인 ‘수출주도형 식품산업’으로 성장하고 있으며, 이러한 훈풍에 힘입어 김은 농림수산물 중 국내에서 생산, 가공, 수출에 이르는 모든 단계를 거치는 품목 중에서는 수출 1위를 점하고 있음.
- 하지만 2012년부터 해조류 분야도 품종보호제도가 전면 시행됨에 따라 김 종자산업 및 양식산업의 경쟁력 제고를 위한 실용화 종자 개발이 시급함.
- 국내의 김 종자개발 연구는 2000년 초반부터 국가주도형으로 이루어져 왔으며, 2013년부터는 민간주도형 Golden Seed 프로젝트가 추진되어 현재까지 21개 신종자가 개발되어 품종보호권이 출원되었고, 그 중 9개의 품종보호권이 등록되었음.
- 우리나라에서 생산되는 김의 12.6%가 일본품종을 사용하고 있어 국산 신품종 개발 지연 시 로열티 지급 우려가 해소되지 않아 단기적으로는 고생산성 품종 개발을 통한 수입종자 대체가 시급한 실정이며, 장기적으로는 수출시장 확대를 위한 고품질·고기능성 실용화 종자개발이 필요함.

□ 2020년 김 종자 생산량, 503만 상자

- 2020년 김 종자 생산량은 작년보다 4.8% 증가한 503만 상자로 추정
- 생산 방법별로는 평면식 종자 생산량은 작년대비 4.8% 늘어난 462만 상자. 수하식은 5.1%

증가한 41만 상자. 전체 생산량에서 평면식은 91.8%, 수하식은 8.2%

- 품종별로는 김 양식어가의 수요가 늘어난 돌김류의 생산이 증가. 잇바디 돌김은 작년 대비 28.2% 많은 127만 상자. 모무늬돌김은 12.6% 증가한 66만 상자
- 일반 방사무늬김의 경우 신품종은 생산이 늘었으나 기존품종은 20% 가까이 줄어 생산량은 작년 대비 3.7% 감소한 310만 상자
- 품종별 생산은 방사무늬김 신품종이 전체의 45.1%, 잇바디돌김 25.3%, 기존품종 16.5%, 모무늬돌김 13.1%

### 〈 품종별 김 종자 생산 〉

(단위 : 만 상자, %)

| 구 분   | 전 체            | 돌 김           |              | 일반김(방사무늬김)   |               |
|-------|----------------|---------------|--------------|--------------|---------------|
|       |                | 잇바디돌김         | 모무늬돌김        | 기존품종         | 신품종*          |
| 2018년 | 490            | 101           | 51           | 98           | 240           |
| 2019년 | 480            | 99            | 59           | 102          | 220           |
| 2020년 | 503<br>(100.0) | 127<br>(25.3) | 66<br>(13.1) | 83<br>(16.5) | 227<br>(45.1) |
| 증 감 률 | 4.8            | 28.2          | 12.6         | -18.6        | 3.1           |

주 : 1) 2020년은 잠정치로 ( )는 비중이며, 1상자는 500g 기준임  
 2) 일반김 중 신품종은 품종보호권 출원 품종(해풍1호, 해풍2호, 수과원104호, 수과원108호 등) 및 생산판매신고 품종 등이며, 돌김류에는 신품종이 포함되어 있음  
 자료 : 당 센터 추정치

< 한국해양수산개발원 김종자 2020년 10월호 자료 >

□ 지역별 생산량은 무안, 그 다음은 해남

- 무안에서 전체의 37.6%에 해당하는 189만 상자가 생산되었으며, 해남은 162만 상자로 32.2%
- 돌김류와 일반김(방사무늬김) 신품종의 생산 점유율은 무안과 해남이 비슷하게 나타났고, 일반김(방사무늬김) 중 기존 품종은 약 절반정도가 무안에서 생산

### 〈 지역별·품종별 김 종자 생산 점유율 〉

(단위 : 만 상자, %)

| 구 분 | 생산량         | 돌 김        |           | 일반김(방사무늬김) |            |
|-----|-------------|------------|-----------|------------|------------|
|     |             | 잇바디돌김      | 모무늬돌김     | 기존품종       | 신품종        |
| 합 계 | 503 (100.0) | 127(100.0) | 66(100.0) | 83(100.0)  | 227(100.0) |
| 무 안 | 189 (37.6)  | 47(37.0)   | 22(33.3)  | 40(48.2)   | 80(35.2)   |
| 해 남 | 162 (32.2)  | 48(37.8)   | 29(43.9)  | 6(7.2)     | 79(34.8)   |
| 신 안 | 84 (16.7)   | 22(17.3)   | 10(15.2)  | 13(15.7)   | 39(17.2)   |
| 기 타 | 68 (13.5)   | 10(7.9)    | 5(7.6)    | 24(28.9)   | 29(12.8)   |

주 : 1) ( )는 전국 대비 지역별·품종별 점유율임  
 2) 기타지역은 고흥·강진·장흥·안도·진도, 서천, 부산 등임  
 자료 : 당 센터 추정치

< 한국해양수산개발원 김종자 2020년 10월호 자료 >

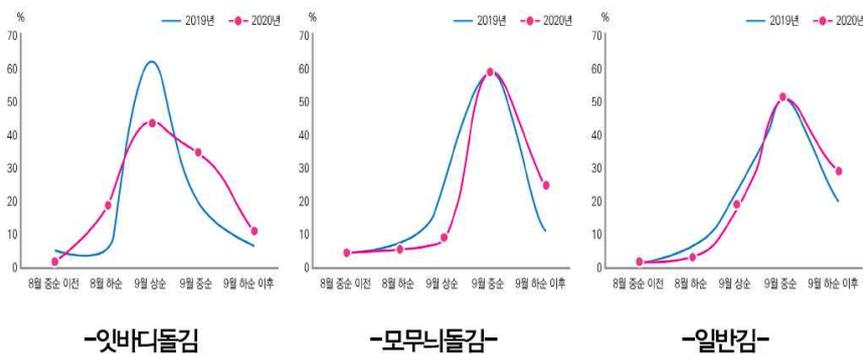
□ 8월 김 종자 양성상태 작년과 비슷

- 표본어가를 대상으로 8월 김 종자 양성상태 조사 결과 작년 및 평년과 비슷
- 그러나 양성기간 동안 잦은 집중호우와 일조량 부족, 염분 비중이 낮아져 김 종자의 성숙이 지연된 경우가 많음

□ 2020년 김 종자 판매

- 2020년 김 종자 판매 시기는 전반적으로 작년보다 늘어질 것으로 예상됨. 가장 일찍부터 채묘가 이루어지는 잇바디돌김의 경우 9월 상순에 판매가 대부분 마무리되었던 작년과 달리, 올해는 9월 중순까지 판매가 이어질 것으로 보임. 이는 올 여름 집중호우의 영향으로 김 종자 성숙이 지연되었기 때문.
- 모무늬돌김과 일반김 또한 판매 집중 시기는 9월 중순으로 작년과 동일하겠으나, 이 시기 이후에도 작년 대비 많은 물량이 늦게까지 판매될 것으로 전망.

〈 김 종자 판매시기 전망 〉



주 : 그래프는 표본어가를 대상으로 판매시기에 대해 조사한 결과이며, 미정은 제외함  
 자료 : 당 센터 설문조사 결과

< 한국해양수산개발원 2020년 김종자 10월호 자료 >

□ 2020년 김 종자 판매가격 소폭 상승 전망

- 2020년 김 종자 판매가격은 모든 품종에서 작년보다 높게 형성될 전망이다
- 돌김류는 작년 3,500원 보다 높은 상자당 평균 3,700원에, 일반김도 소폭 상승한 평균 4,100원에 거래될 것으로 예상

■ 수출입 동향

- 2020년 김 수출은 전년대비 물량은 감소하였으나 금액은 역대 최대 6억불 달성(3.7%↑)
- 김 수출 BIG 5중 미국, 일본을 제외한 중국, 태국, 대만으로의 수출액은 전년대비 모두 감소하였으나, 조미김수출단가 전년대비 20% 이상 상승 및 신흥국인 러시아의 부상에 따라 수출량 감소에도 불구하고 역대 최대 6억불 달성

단위: 천톤, 백만불 등

| 구분  | '16   | '17   | '18   | '19  |       | '20  |       | 증감률   |       |
|-----|-------|-------|-------|------|-------|------|-------|-------|-------|
|     |       |       |       | 불량   | 금액    | 불량   | 금액    | 불량    | 금액    |
| 전체  | 353.0 | 513.2 | 525.6 | 26.9 | 579.2 | 24.9 | 600.4 | △7.4  | -3.7  |
| 미국  | 70.3  | 86.6  | 95.2  | 5.4  | 113.1 | 4.9  | 138.0 | △8.3  | 22.0  |
| 일본  | 78.2  | 114.8 | 117.8 | 5.3  | 131.8 | 5.3  | 132.9 | 1.0   | 0.8   |
| 중국  | 68.2  | 88.9  | 84.0  | 4.9  | 112.2 | 3.8  | 100.8 | △21.4 | △10.1 |
| 태국  | 55.1  | 72.9  | 82.0  | 3.8  | 61.9  | 2.7  | 42.2  | △28.6 | △31.8 |
| 러시아 | 4.3   | 18.2  | 16.2  | 1.1  | 24.3  | 1.5  | 31.2  | 34.4  | 28.2  |
| 대만  | 18.9  | 33.0  | 32.2  | 1.2  | 27.9  | 1.2  | 26.5  | △4.1  | △5.1  |

자료원: KATI(AG코드 기준)

※ 2020년 김 수출실적(전년대비) : 600.4백만불(3.7% ↑)/24.9천톤(7.4% ↓)



자료원: Kati 수출입통계

- (조미김) 팬데믹사태에 따라 가공식품인 조미김의 인기는 지속적으로 상승 중이며, 특히 러시아는 자국 스낵용조미김시장확대에 따른 영향으로 김 수출국 5위로 부상함

※ 조미김수출실적 : ('19) 376백만불 → ('20) 425백만불, 12.7% ↑

- (마른김) 마른김은 '김 가공무역'을 실시하는 태국으로 주로 수출되는데, 최근 태국의 주요 수출국인 중국의 김 가공산업 발전에 따른 마른김수요 감소세이며, 이에 따라 한국산 마른김 수출은 지속 하락세

※ 마른 김 수출실적 : ('19) 201백만불 → ('20) 173백만불, 13.5% ↓

☐ 주요 국가 수출실적 추이

| 구분  | '16-'20년<br>연평균증가율(CAGR) | 추세 | 단위: 백만불 |       |       |       |       |
|-----|--------------------------|----|---------|-------|-------|-------|-------|
|     |                          |    | 2016년   | 2017년 | 2018년 | 2019년 | 2020년 |
| 미국  | 14.4%                    | ↗  | 70.3    | 86.6  | 95.2  | 113.1 | 138.0 |
| 일본  | 11.2%                    | ↗  | 78.2    | 114.8 | 117.8 | 131.8 | 132.9 |
| 중국  | 8.1%                     | ↗  | 68.2    | 88.9  | 84.0  | 112.2 | 100.8 |
| 태국  | -5.2%                    | ↘  | 55.1    | 72.9  | 82.0  | 61.9  | 42.2  |
| 러시아 | 48.6%                    | ↗  | 4.3     | 18.2  | 16.2  | 24.3  | 31.2  |
| 대만  | 7.0%                     | ↗  | 18.9    | 33.0  | 32.2  | 27.9  | 26.5  |

○ 우리나라 김 수입량은 연간 100톤에서 10톤 사이로 전체 수출입 동향에 영향을 주지 않아 산정하지 않음. (수출량의 약 0.1~0.5% 내외)

- 전체 수입량은 2005년 이후로 줄어들어 최근에는 10톤 미만이 수입되고 있음.

○ 수산업 전체 수출액 중 해조류는 약 10%를 차지하고 있음

○ 김의 수출량은 2005년도 7천5백톤에서 2010년 9천5백톤으로 상승 (약 20% 증가) 하였으며, 수출 금액은 2005년 5천4백만달러에서 2010년에는 약 1억달러 (약 100% 증가)로 해마다 증가하는 추세를 보이고 있음

○ 김은 우리나라에서 세계 50여 개국으로 수출하는 품목으로 조사됨.

○ 김의 주요 수출 국가는 미국, 중국, 일본을 비롯한 태국과 대만으로 전체 수출량과 수출

액의 70~75%를 차지하며, 미국 (4,456톤, 3천8백만달러)과 일본 (2,074톤, 5천8백만달러)이 가장 큰 비중을 차지하였음

- 김의 수출량 및 수출액은 꾸준한 증가세를 보였으며 수출액에서도 2011년도는 전년대비 110~200% (미국 164%, 중국 201%, 일본 163%등)의 급격한 증가를 나타내었음
- 특히, 일본 및 중국으로의 수출은 2008년 대비 3배 이상의 증가를 나타내었으며 현재 각국의 비슷한 김 생산기술과 생산수준, 수요를 고려한다면 이는 최근 일본 해역의 방사능 유출로 인한 일본산 김 소비의 회피와 중화권의 수산물 수요 증가 추세에 따라 김, 미역 등 한국산 해조류의 인기가 급증하여 수요가 증가 한 것으로 보이며, 향후 10년간 꾸준한 증가세를 보일 것으로 전망됨 (보도자료, 농림수산식품부 2011. 10. 4)
- 하지만 일본의 방사능 유출 문제가 해결되면 일본 및 아시아 국가로의 수출이 대폭 감소할 것으로 예상되며, 중국 등지에서 진행되고 있는 김 양식지역의 확대와 신종자 개발 연구 등은 우리나라의 김 수출 분야에 있어서 큰 위협이 될 것으로 판단됨
- 또한, 수입쿼터제에 의한 수출량의 제한이 매년 증가하고는 있지만 한국산 김의 일본 수출에는 어느 정도 한계가 있어 보이며 2005년 이후에는 할당량이 중국에 배정되어 중국과 경쟁이 이루어지는 시점임.

#### □ 해외 김 산업의 현황

- 김 주요 생산국은 한국, 중국, 일본, 동북아시아 3개 국가가 주로 생산하며 경쟁구도를 형성하고 있음
- 2010년 기준 163만톤이 생산되었음
- 1980년대 이후 큰 폭으로 증가세를 나타내었으며 세계 김 생산량 증가에 중국이 가장 높은 기여를 함
- 중국이 가장 많은 양을 생산하여 2010년 기준 1백만톤, 전체 생산량의 약 65%를 차지하고 다음으로 우리나라(약 23만톤)와 일본(약 33만톤)이 김 주요 생산국에 해당됨
- 생산량에 있어서 일본은 1980년대 이후 일정한 수준을 유지하고 있는 반면에 중국은 1990년 5만톤 생산에서 2010년 1백만톤 생산으로 20년간 20배의 증가를 나타내 가장 커다란 증가폭을 나타냄.
- 중국의 김 생산량은 1백만톤으로 높지만 이 중 85%는 단김(*P. haitanensis*)이며 우리나라와 일본과 같이 마른김으로 가공하는 방사무늬김(*P. yezoensis*)은 15%를 차지함.
- 현재의 증가추세로 보아 세계적으로 전체 김 생산량은 지속적으로 증가할 것으로 예상됨
  - 일본과 우리나라의 김 생산량은 현재 수준을 유지 할 것으로 예상됨
  - 중국의 경우 연간 10만톤 이상의 증가추세를 나타내 (연평균 11%) 2020년 2백만톤 이상을 생산할 것으로 판단되며 전체 김 생산량의 80%이상을 점유 할 것으로 예상됨
- 생산금액 규모에서는 일본 (9억 달러)이 가장 커다란 비중을 차지하였으며, 다음으로 우리나라(2억 달러)와 중국(6천만 달러) 순이었음
- 이는 중국에서 고품질의 김 개발을 통한 판매전략 보다는 높은 생산량에 기초한 생산전략과 이와 더불어 판매단가가 낮기 때문 혹은 위안화 가치 등의 이유로 판단됨.
- 중국의 김 생산금액은 우리나라와 비교하여 1/4 수준이나 향후 중국이 높은 생산량과 더불어 고품질 전략을 구사할 경우 우리나라에 주는 타격은 대단히 클 것으로 예상됨
- 주요 수출대상국인 일본은 최근 김 수입국가를 다양화 하고 있어 중국의 일본 시장 진

출이 늘고 있음

- 중국은 톤당 가격이 1990년 이후 60달러대로 형성, 유지되고 있어 중국산 김이 가격 경쟁력에서 절대적인 우위를 점하고 있으며 중국의 대표 수출제품이기도 함. 중국의 수출이 확대될 시 우리나라에 가장 큰 영향을 줄 수 있는 국가임.
- 일본은 등락폭은 있으나 톤당 가격이 약 2,500달러대로 형성되어 있어 가격 경쟁력 면에서 동아시아 3국에서 가장 약하나 대부분의 생산된 김이 자국에서 소비되기 때문에 국제적인 가격에 영향을 받지 않는 것으로 파악됨.
- 우리나라는 1990년대 톤당 생산금액이 약 1690달러이었으나 이후 약 800달러 수준을 유지하고 있음.

□ 중국 김 수출입 동향

- 중국의 전체 김 수출량은 증가하는 추세에 있어, 우리나라 수출의 주요 경쟁국으로 부상하였음.
- 중국의 마른김 수출량은 2000년 대비 약 2,000톤 증가하여 2011년 3,881톤을 수출하였음.
- 마른김의 수출량은 우리나라의 약 2배가량 많으며, 조미김은 우리나라가 더 많은 양을 수출하는 것으로 조사되었음. 하지만, 중국의 조미김 수출량이 증가하는 추세에 있어 우리나라 조미김 시장에 위협이 될 수 있음.
- 중국의 생산량이 2005년 이후 급격한 증가를 했음에도 불구하고 수출량은 크게 증가하지 않았으며, 이는 생산되는 대부분의 김이 중국내에서 소비되고 있을 것으로 추정됨.
  - 하지만 전체 마른김과 조미김의 수출량이 약 8,000톤에 해당. 전체 김 생산량에서는 미미하나 우리나라 김 전체 수출량과 유사한 수준을 유지함.
- 중국의 주요 수출대상국은 대만, 미국 등이며, 2005년 이후 중국은 일본으로부터 수입쿼터를 할당받아 일본수출을 늘리고 있음.

□ 일본 김 수출입 동향

- 일본 김 수입은 한국과 중국에 의존하고 있으며 한국산 김이 높은 비중을 차지함
- 일본은 한국으로부터 2004년 214톤을 수입하였으며, 2011년 861톤을 수입하여 일본의 김 수입은 증가하는 추세에 있음
- 2004년까지 비록 수입할당의 한정은 있었으나 한국은 일본에 김을 수출하는 유일한 국가였고 한국 정부의 노력에 의해 수입 할당량은 지속 증가추세였음
  - 그러나 중국 측이 '일본이 한국만을 상대로 김 수입을 허용하는 것은 중국의 김 업계에 대한 무역장애'라고 주장하고 나섬에 따라 2004년 10월 일본 정부는 수입할당제도를 유지하면서 2005년부터는 중국 김의 수입을 허용하였음
  - 동시에 일본 정부는 2005년의 수입할당량을 대폭 올렸으나 국가별 할당량은 정하지 않아 한국으로서는 중국과 경쟁해야 하는 상황임
- 참기름과 소금으로 맛을 낸 돌김이 주된 생산품인 한국산은 일본에서는 주로 스낵이나 술안주용으로 인식되고 있어 일본 김 생산 업체는 한국산 김 보다도 중국산 김의 수입 허용을 더욱 위협적으로 인식하고 있는 실정
- 기존의 해조류의 식품 및 원재료로서 효용성을 넓혀서, 해조류 생명공학을 이용하여 고기능, 고부가가치, 생산성 제고용 신종자 개발이 필요함

- Post-Genome 시대 돌연변이 육종기술의 선진화와 유전체 연구용 돌연변이체 및 genetic stock의 개발은 향후 김 유전체 연구의 활성화 및 유전자 기능 해독에 기여할 수 있음
- 돌연변이 유전자원의 유전체 연구를 통해 우량형질(allele, 유전자군) 대량발굴로 생물학적, 산업적 가치를 부여(지적재산권화, 2015년 \$ 2,000억 예상)하고 비교유전체 분석을 통해 관련 연구발전에 기여가 클 것으로 사료되며, 특히 우수 형질을 보이는 돌연변이 계통들은 향후 세대진척으로 유전적 고정화로 신품종 개발(2002년 기준 미국 \$ 112억, 일본 \$ 8억, 국내 500 억원)에 유용한 소재로 활용성이 높음
- 2000년대 이후에 들어오면서 다양한 대기업들이 김 가공 및 생산에 참여하여 제품의 다양화와 차별화가 이루어지고, 웰빙식품으로서 이미지가 나타나기 시작했음
  - 소비자들은 식품안정성에도 높은 관심을 가지고 있어 기능성 향산화 김 종자의 개발을 통해 김이 웰빙식품임을 강조하고, 특히 우리나라 김의 브랜드화를 꾀할 필요가 있음
  - 수출시장에서 김은 종자보다 가공형태를 고려하여야 하며, 조미김 형태로 형성된 시장에서 산업화 가능성이 가장 높은 향산화 김의 개발이 시급한 실정임
  - 향산화 김은 기능성적인 측면 뿐 만 아니라, 운반이나 보관 과정에서 일어나는 조미김의 산패를 억제할 수 있기 때문에 수출용 김의 원료로서 적절함
  - 미국시장에서 김은 웰빙식품, 스낵푸드로서의 인식이 강하기 때문에 미국시장을 겨냥하기 위해서는 기능성이 강화된 김 품종의 개발이 시급함. 또한 중국에서도 기능성 식품에 대한 이해와 소비자 요구가 늘어남에 따라 품질경쟁력에서 중국 품종을 앞설 수 있는 향산화 종자의 개발이 필요함
- 우리나라 해조류 양식산업에서 김 뿐만 아니라, 미역, 다시마 등도 큰 비중을 차지하고 있음. 따라서 해조류 김의 돌연변이 육종 기술의 개발은 향후 미역, 다시마, 툯 등의 해조류 종자 개발의 원천 기술을 제공할 수 있을 것임
  - 아직까지 전세계적으로 해조류 돌연변이 육종 기술에 선진 지위에 있는 국가가 없기 때문에 본 과제를 통한 돌연변이 원천 기술의 개발을 향후 해조류 및 해양 산업에 큰 부가가치를 창출 할 것으로 예상됨

#### □ 국내외 김 돌연변이 육종 기술 동향

- 육종을 위한 방법으로는 선발 육종, 교잡 육종 이외 돌연변이 육종 및 형질전환을 이용한 해조류 종자 개발이 있음
  - 선발 육종이나 교잡 육종은 신종자 개발에 많은 비용과 기간이 필요하며, 형질전환을 이용한 방법은 LMO 등의 안전성 문제, 환경 영향 평가 등이 수반되어야 함
  - 김의 경우 아직까지 김의 전체 유전자 지도가 완성되어 있지 못하고 안정한 형질전환체 확보가 어렵기 때문에 돌연변이 기법을 이용한 전통적 육종 방법을 통한 종자 개발의 가능성이 높음
- 돌연변이 육종 방법은 벼, 콩 등 식량 작물 개량과 난, 국화 등 화훼작물 신종자 개발에 이미 활발하게 이용되고 있는 기술로서 김의 고기능성 종자 개발에 활용 가능함
  - 육상 식물의 경우 돌연변이 육종 식물 유전자원 개발, 보급 및 상용화가 이루어지고 있으며, 주요작물인 벼의 경우 김제, 천안, 고창 등에 대단위 재배단지가 조성되어 지역 브랜드미가 판매중이며 (전국 재배면적 3,000 ha, 농가 수익 약 300 억원), 돌연변이 나 (동이, 은설 등) 품종의

국내 판매 및 수출이 이루어지고 있음

- 약 59개국 167 식물, 3200 종이 FAO-IAEA MVD 돌연변이 품종으로 등록되어 있으며, 국가별로 중국이 1위, 국내는 20위 수준임
  - 신품종을 개발 할 수 있는 돌연변이원별 육성 비율은 방사선 60%, 화학변이체 처리 8%, 교배모본 활용이 30%를 이루고 있음
- 돌연변이 육종은 이미 20세기 초반부터 미생물이나 식물의 육종에 사용되고 있는 안정성 및 효과성이 입증된 기술임
- 지금까지 김의 품종개발 요구가 없었으며, 선별 등의 방법으로 품종 개발이 이루어졌기 때문에, 돌연변이 육종을 이용한 김 신품종 개발에 관한 연구는 전세계적으로 선행 연구사례가 적음
  - 일본의 Niwa Kyosuke 등은 2011년 이온빔을 이용한 돌연변이 기술을 이용하여 색소변이체 방사무늬 김을 개발하였으나, 사용화를 위한 김 품종연구는 미미한 실정임
  - 최근에는 중국에서 돌연변이 김 개발 연구결과들이 보고되고 있으며, 추후 관련 특허의 수도 증가할 것으로 예상됨

## □ 연구개발의 필요성

- 기존의 해조류의 식품 및 원재료로서 효용성을 넓혀서, 해조류 생명공학을 이용하여 고기능, 고부가가치, 생산성 제고용 신종자 개발이 필요함
- Post-Genome 시대 돌연변이 육종기술의 선진화와 유전체 연구용 돌연변이체 및 genetic stock의 개발은 향후 김 유전체 연구의 활성화 및 유전자 기능 해독에 기여할 수 있음
  - 돌연변이 유전자원의 유전체 연구를 통해 우량형질(allele, 유전자군) 대량발굴로 생물학적, 산업적 가치를 부여(지적재산권화, 2015년 \$ 2,000억 예상)하고 비교유전체 분석을 통해 관련 연구발전에 기여가 클 것으로 사료되며, 특히 우수 형질을 보이는 돌연변이 계통들은 향후 세대진척적으로 유전적 고정화로 신품종 개발(2002년 기준 미국 \$ 112억, 일본 \$ 8억, 국내 500 억원)에 유용한 소재로 활용성이 높음
- 2000년대 이후에 들어오면서 다양한 대기업들이 김 가공 및 생산에 참여하여 제품의 다양화와 차별화가 이루어지고, 웰빙식품으로서 이미지가 나타나기 시작했음
- 소비자들은 식품안정성에도 높은 관심을 가지고 있어 기능성 향산화 김 종자의 개발을 통해 김이 웰빙식품임을 강조하고, 특히 우리나라 김의 브랜드화를 꾀할 필요가 있음
  - 수출시장에서 김은 종자보다 가공형태를 고려하여야 하며, 조미김 형태로 형성된 시장에서 산업화 가능성이 가장 높은 향산화 김의 개발이 시급한 실정임
  - 향산화 김은 기능성적인 측면 뿐 만 아니라, 운반이나 보관 과정에서 일어나는 조미김의 산패를 억제할 수 있기 때문에 수출용 김의 원료로서 적절함
  - 미국시장에서 김은 웰빙식품, 스낵푸드로서의 인식이 강하기 때문에 미국시장을 겨냥하기 위해서는 기능성이 강화된 김 품종의 개발이 시급함. 또한 중국에서도 기능성 식품에 대한 이해와 소비자 요구가 늘어남에 따라 품질경쟁력에서 중국 품종을 앞설 수 있는 향산화 종자의 개발이 필요함
- 우리나라 해조류 양식산업에서 김 뿐만 아니라, 미역, 다시마 등도 큰 비중을 차지하고 있음. 따라서 해조류 김의 돌연변이 육종 기술의 개발은 향후 미역, 다시마, 툇 등의 해조류 종자 개발의 원천 기술을 제공할 수 있을 것임
- 아직까지 전세계적으로 해조류 돌연변이 육종 기술에 선진 지위에 있는 국가가 없기 때문에 본

과제를 통한 돌연변이 원천 기술의 개발을 향 후 해조류 및 해양 산업에 큰 부가가치를 창출 할 것으로 예상됨

### 1-3. 연구개발 범위

- 고기능성 김 신종자 개발을 통한 김종자의 수입대체 및 수출 산업 확대
  - 우리나라의 김 소비패턴도 건강 위주의 소비로 바뀌고 있어 고기능성 항산화 김과 같은 종자는 시장성 확보와 부가가치 창출에 도움이 될 것임
  - 소비자의 소비패턴이 건강식품, 웰빙을 간조한 식품소비가 늘어나고 있어 고기능성 신종자의 개발은 새로운 시장의 창출할 수 있음
  
- 우수 신종자 개발을 위한 원천 기술 개발
  - 김 돌연변이 종자 개발을 위한 다양한 계통주 분양 확보
  - 김의 돌연변이화를 위한 돌연변이원성 탐색
  - 돌연변이원성에 의한 사멸률 측정
  - 돌연변이원, 김 성장 단계에 따른 돌연변이 유도 조건 탐색
  - 돌연변이 김의 탐색기술 개발 및 성장 특성 연구
  - 고기능성 항산화 김종자 선별 기술 개발
  - 우수 항산화 김의 항산화 기작 규명
  - 우수 김종자의 유용 유전자원 확보
  - 우수 신종종 확인을 위한 단백질 marker의 탐색
  - 김 종자의 세대 전환에 따른 돌연변이 특성의 변화탐색
  
- 고기능성 항산화 김종자의 신종종 등록
  - 실험실 배양에서 확인된 돌연변이 김 종자의 현장 양식 평가
  - 돌연변이 특성 유지 확인을 위한 세대간 현장 양식 특성 비교
  - 현장 양식에서의 성장 특성 및 형태학적 특성 연구
  - 수확 기간 및 양식 양식환경에 따른 김의 다양한 항산화 특성 연구
  - 고기능성 항산화 김의 가공특성 연구 및 고향산화 특성을 이용한 신제품 개발 가능성 평가
  
- 해조류 품종개량 및 신종종 개발을 위한 원천 기술 확보
  - 김의 돌연변이화 기술을 바탕으로 한 미역, 다시마, 툇 등의 해조류 품종 개발에 활용
  - 수산식품 품종보호제도 시장에 대비한 신종종 개발 기술 확보
  
- 고기능성 김 계통주 선발 및 산업화 연구
  - 김 유전자원 확보 : 총 25 계통주(5계통주/년)
  - 종자개발 대상 후보군 선발 : 총 8 계통주(2 계통주/년, ~4차년도)
  - 개발 종자의 시험양식 및 형질특성조사 : 1~2종자/연, 2개소
  - 고기능성 김 종자의 대량생산 및 산업화 : 2개 종자의 종자 생산 및 판매
  
- 김 유전자원 확보
  - 김 양식어장 및 자연 서식지의 우량 개체 채집
  - 종 동정, 건조표본 제작, 사상체 및 순계주 유도

- 종자개발 대상 후보군 선발
  - 대상 종 : 일반김(방사무늬김, 찹김)과 돌김(잇바디돌김, 모무늬돌김 등)
  - 온도별(5, 10, 15, 20 및 25℃) 엽체 성장도 조사
    - : 엽체길이, 엽체너비, 엽체길이/엽체너비 비 등
- 개발 종자의 시험양식 및 형질특성조사
  - 개발 종자의 종자생산 : 2개소
  - 개발 종자의 형질특성조사 : 엽장, 엽폭 등 14개 형질 조사
  - 개발 종자의 품종보호권 출원 및 등록
- 고기능성 김 종자의 대량생산 및 산업화
  - 산업화 가능 종자의 실시권 처분 및 종자 대량생산

## 2. 연구수행 내용 및 결과

### 제 1세부과제. 수입대체용 고기능성 김 종자 개발과 국내외 산업화

#### ■ 스트레스에 따른 ALDH 단백질 발현 패턴 분석과 동정

- Aldehyde dehydrogenase (ALDH)는 일반적으로 체내 알코올의 공통적인 최종대사과정에 작용하는 효소로 알코올 대사에서 매우 중요하며 여러 종류의 aldehyde 들을 산화시켜 acid로 만들어 이를 에너지원으로 이용하여 이산화탄소와 물로 분해되거나 지방산이 되어 지방 합성에 쓰이게 됨. 이러한 ALDH 효소는 매우 중요한 알코올 분해효소로 알려지면서 숙취해소제로서 많은 연구개발과 상업화가 진행되고 있음. 한편 식물과 조류에서 많은 ALDH super family가 존재한다고 밝혀졌으며, 온도와 광조건, 건조, 염 또는 중금속과 같은 환경 조건에서 방어기작을 나타낸다는 유용 유전자로 알려져 있음. 해조류인 김에서는 아직 밝혀지지 않았으며 본 연구를 통해 유전자를 탐색하였으며 특성을 규명하고자 하였음.
- 방사무늬김에 고온 스트레스인 20도에서 0, 12 그리고 24시간과 산화 스트레스인 hydrogen peroxide 1mM농도를 처리하여 단백질 발현 패턴을 알아보하고자 비교한 결과 시간별 점차적으로 증가되는 12개의 단백질들이 확인되었음. MALDI TOF MS를 통해 각각의 단백질들을 동정한 결과 Antioxidant 관련 유전자인 manganese superoxide (MnSOD), cytosolic ascorbate peroxidase (APX), 그리고 zinc finger protein이 증가하였으며 광합성과 단백질 합성에 관련된 threonine synthase, fructose-bisphosphate aldolase 유전자들이 증가되었음.

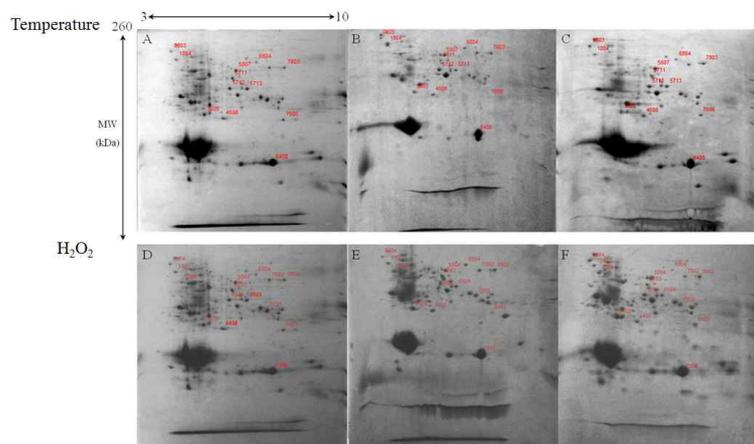


그림. 조건별 스트레스 처리 후 단백질 발현 패턴 분석

- 동정된 하나의 단백질이 아직 밝혀지지 않은 hypothetical protein이 확인되었으며 다양한 스트레스 조건하에서 점차적으로 증가되는 패턴으로 보아 스트레스 저항성 관련 유전자일

것이라고 판단됨.

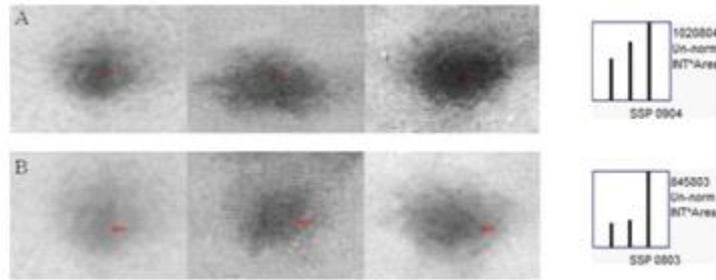


그림. 스트레스 조건하에 hypothetical protein의 발현 패턴

- 동정되지 않은 단백질 spot을 LC MS/MS분석을 이용하여 3개의 partial sequence를 얻을 수 있었으며 기존의 방사무늬 김 EST data와 비교한 결과 contig\_8928과 일치하였음.

```

 Query_10001 1  SDLLFSTLTADKGGFSPTPLMDIGGIVAGVVEYFASRDTKEVWGRRITQLEALRRLTVREEDLCHALQADLQKVFTEISN 80
 Query_10002 -----
 Query_10001 81  MEVEMIRSECAEAALNSLDEWMAPEKVSFVIANKFDKRVFIRKPELGVILIGARHYFLQLTLNGLCSAFAAGNAAVIKPSE 160
 Query_10002 -----
 Query_10001 161  LSPHTAALITHLIVKFFPQIAVAVVNGGRPETKLLLEKMPDHLITGSGVWGRIVGAAAAGKLTPTVLELGGKSPCTVLD 240
 Query_10002 -----
 Query_10001 241  SADTTAANRIANQRFINAGQTCIAFDVVMCSAQKCEQLIPAIESALKXYFTENAGASDDYGRIVNARFARVDTGLIEGQ 320
 Query_10002 -----
 Query_10001 321  KIAIGGKSDADNLYVSPVLERDVPNPKVMQEEIFGPVLPFMTVDSLDAAIAFVWGRKPLALYLFINDKGNSEVLIET 400
 Query_10002 -----
 Query_10001 401  SSGGVSIINDTLMSAAIMTLFPGGVGASGTGAYHGRHGPNLFSRPRGVVWQDLALEGMAIRYFPYSLAGLSWLIWLMVFP 480
 Query_10002 -----
 Query_10001 481  IKGQGLFVWGGIVVGAFLAALFQTGAVVQKLSQSDI*EMK 518
 Query_10002 1  -----KLSQSDI-EMK 9
  
```

그림. MS/MS를 통해 얻어진 아미노산 서열과 EST data base alignment

- 얻어진 contig를 NCBI alignment를 통해 다양한 종별 ALDH sequence 서열을 비교한 결과 aldehyde dehydrogenase (ALDH) 유전자와 일치하였고, 방사무늬 김의 ALDH는 1515 bp의 염기서열과 molecular mass는 56.3 kDa, theoretical isoelectric point는 7.27로 확인하였음.



그림. NCBI data를 이용한 ALDH sequence alignment

- 또한 계통수를 비교한 결과 남조류인 *Microcystis aeruginosa*와 *Anabaena cylindrica*와 유사한 것으로 확인되었으며 녹조 미세조류인 *Chlamydomonas reinhardtii*와 식물인 *Arabidopsis thaliana*, *Oryza sativa*와는 먼 것으로 확인됨.

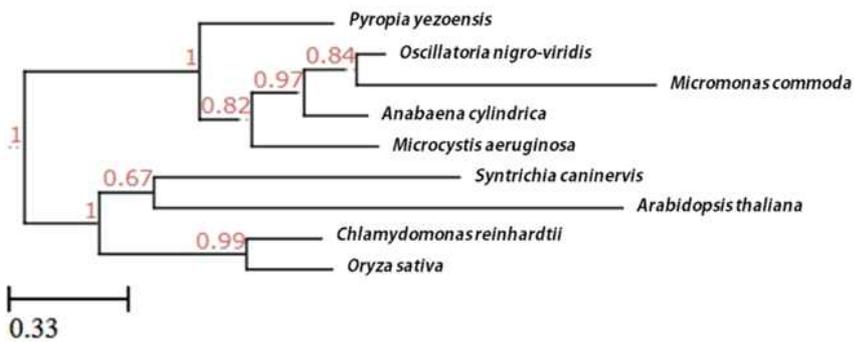


그림. 방사무늬 김 ALDH의 계통수 분석

■ ALDH gene cloning을 통한 특성 규명

- 얻어진 ALDH 서열을 이용하여 단백질 특성을 규명하기 위해 pET28a vector를 이용하였

으며 형질전환 균주로 DH5 $\alpha$ 와 BL21-DE3을 통해 cloning을 진행하였음. ALDH를 형질 전환 후 1mM 농도의 IPTG induction을 통해 단백질 발현을 확인한 결과 56kDa에서 band가 과발현됨을 알 수 있었으며 sonication을 통해 soluble 상등액을 얻어 이를 NTA-column를 이용하여 단백질 정제를 하였음.

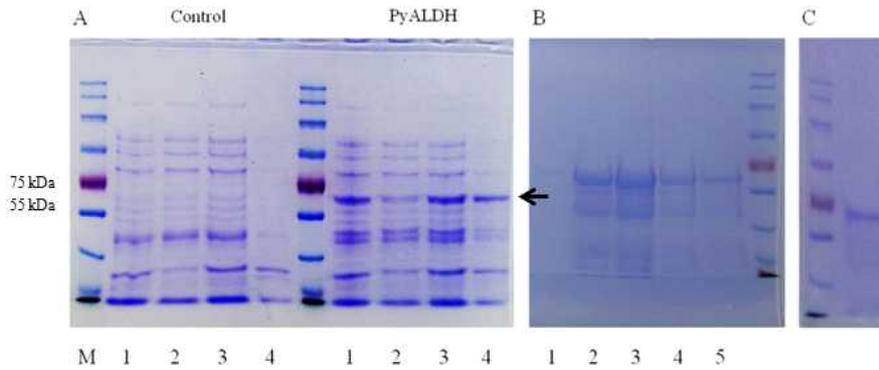


그림. Cloning을 통한 ALDH 단백질 발현 및 정제

- 정제된 ALDH enzyme을 이용하여 온도별, pH별, 그리고 metal ion에 대한 활성을 비교한 결과 온도는 20도에서 35도까지 pH의 경우 7에서 7.5의 농도에서 활성을 나타내었음. Metal ion 처리 시 ZnCl<sub>2</sub>가 약 250%의 활성도를 나타내었으며 CoCl<sub>2</sub>의 경우 활성이 없는 것으로 확인됨.

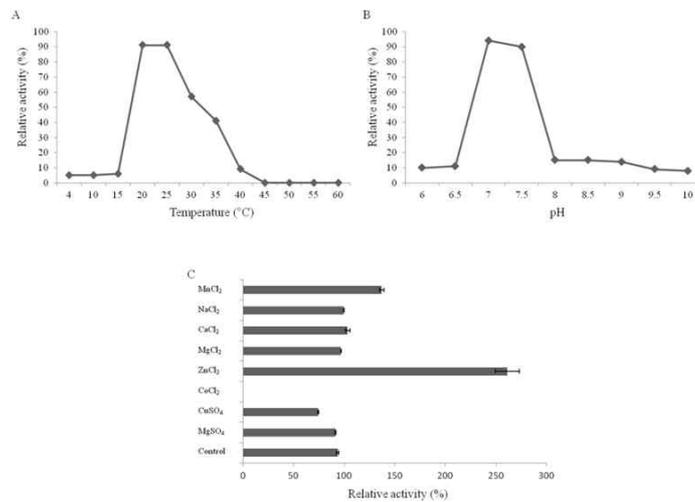


그림. 정제된 ALDH enzyme 활성 측정

- 방사무늬 김의 ALDH 형질전환체가 스트레스에 대한 내성이 있는지 salt stress와 oxidative stress를 통해 생존율을 비교한 결과 750 mmol NaCl 농도에서 control에 비해 생존이 높음을 알 수 있었고 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>의 경우 5 mmol의 농도에서 보다 생존율이 높음을 확인하였음. 이러한 결과는 방사무늬 김의 ALDH 유전자는 다양한 스트레스 조건에 방어기작을 가지고 있다는 것을 입증할 수 있었으며 또한 해조류에서 기능성으로 사용 가능할 것으로 생각됨.

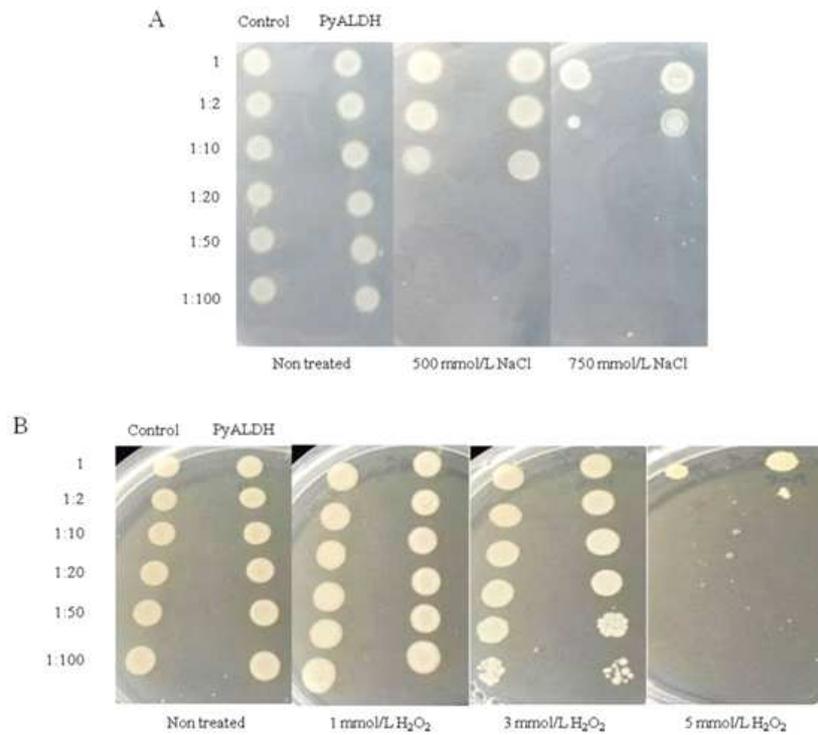


그림. 방사무늬 김 ALDH 형질전환 균주의 스트레스 내성

□ 방사선 처리를 통한 참김 *P. tenera*의 기능성 및 고온 내성 균주 선별

■ *P. tenera* 실내 배양 및 돌연변이 선별

○ 수산과학원에서 분양받은 *P. tenera*를 엽체로 배양하여 기존의 *P. yezoensis*와 비교하기 위해 random primer를 이용하여 genomic DNA로 RAPD 분석한 결과 2, 3, 4, 9, 10번 다형성 밴드를 확인할 수 있었으며 배양된 엽체를 이용하여 기능성 및 고온내성 돌연변이체를 확보하고자 하였음.

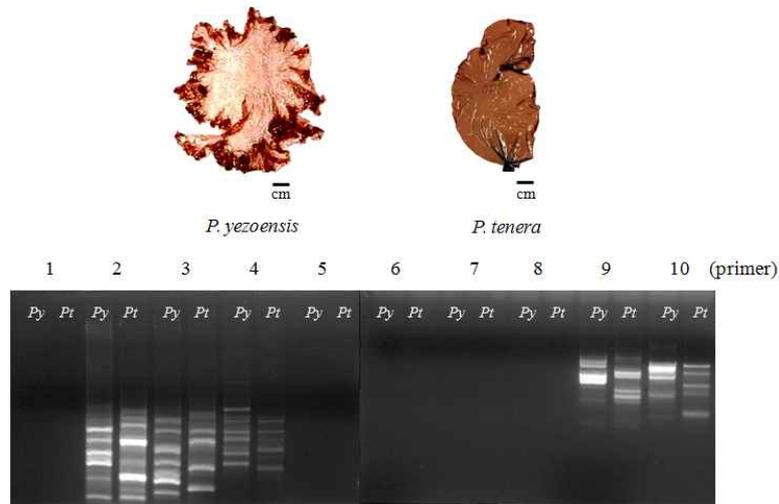
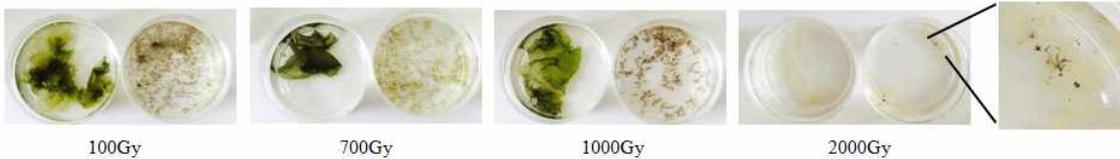


그림. *P. yezoensis*와 *P. tenera*의 RAPD 비교 분석

- 성장된 엽체를 100, 700, 1000, 2000 Gy의 방사선 조사하였고 조사 후 20도의 온도에서 배양하여 선량별 포자들을 얻을 수 있었음. 2 kGy의 경우 대부분 사멸하였으며 방출된 포자 역시 성장하지 못하고 사멸됨.

•Gamma irradiation



- 방사선 조사 후 방출된 포자들 중 0.7 kGy와 1 kGy에서 엽체로 성장이 빠른 것을 선별하여 배양한 결과 0.7 kGy에서 선별된 품종의 경우 7주 배양시 야생종에 비해 엽장의 경우 약 2배 성장이 빠른 것을 확인 할 수 있었지만 엽폭은 보다 얇은 것으로 확인됨. 고온에 대한 저항성을 알아보기 위해 배양한 결과 엽체가 부패되거나 방출되며 정상적으로 성장하지 못함.

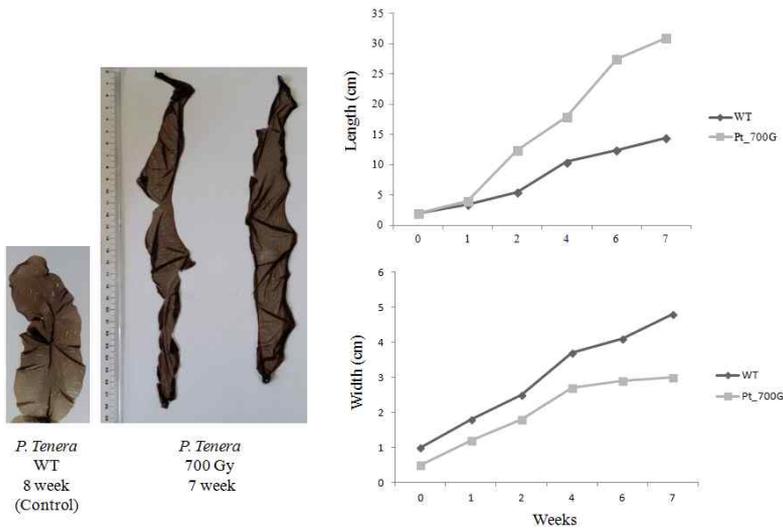


그림. 0.7 kGy 방사선 조사 후 선별된 품종의 생장을

- 1 kGy에서 선별된 품종은 6주 배양시 8주간 배양한 야생종에 비해 성장이 2배, 8주 배양시 엽장이 3배 증가됨을 확인 할 수 있었으며 엽폭의 경우 야생종과 유사한 넓이를 나타내었음. 선별된 고성장 품종을 Pt1k로 명명하였으며 특성에 대해 실험을 진행하였음.

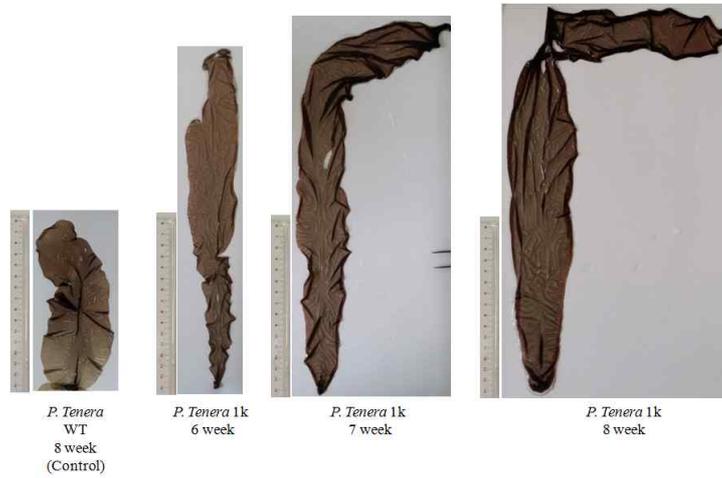


그림. 야생종과 1 kGy에서 선별된 품종 사진

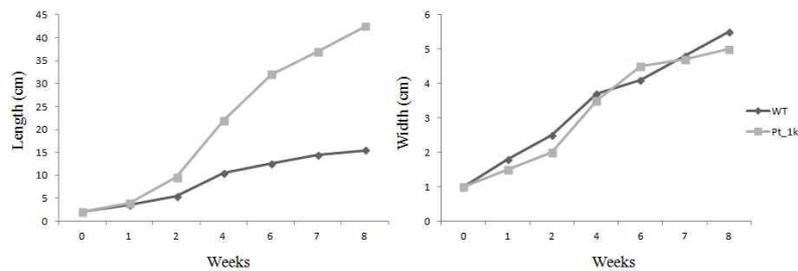


그림. 야생종과 1 kGy 선량에서 선별된 품종의 성장을 측정

- 각 선량별 선별된 품종의 광합성 색소와 카로티노이드의 함량을 분석한 결과 야생종보다 선별된 품종들에서 chlorophyll 함량이 증가하였으며 카로티노이드의 경우 1 kGy에서 선별된 품종이 가장 높음을 알 수 있었음.

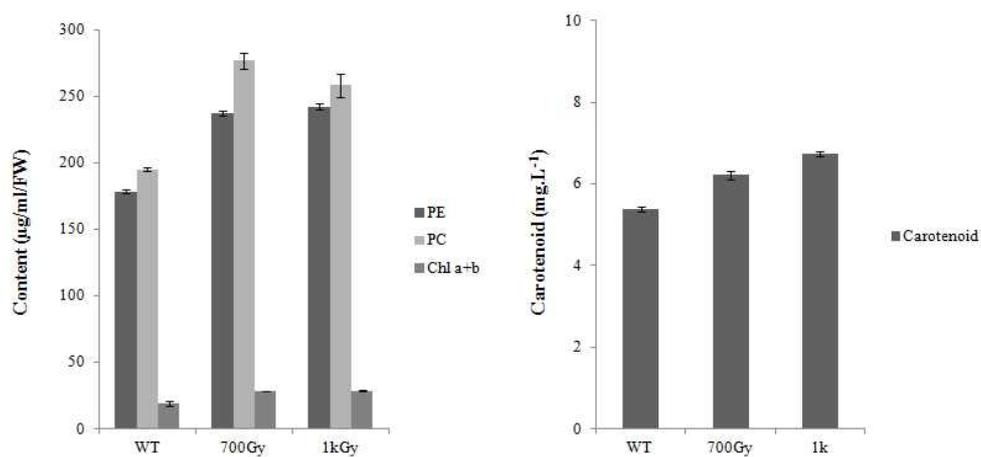


그림. 선량별 선별된 품종의 광합성 색소 및 카로티노이드 함량 분석

- 이전 연구에서 방사선 조사에 의해 유도된 돌연변이체들의 경우 반응성에 높은 자유라디칼의 소거능이 향상된다는 보고가 있음. 또한 기능성이 증가하였는지 알아보기 위해 항산

화능 측정 방법인 DPPH radical scavenging과 FRAP assay를 통하여 활성을 비교한 결과 선별된 품종에서 향상됨을 알 수 있었고 이는 방사선 조사 후 선별된 김의 항산화 메커니즘에 영향을 미쳤을 것으로 사료됨. 총 페놀 함량 역시 돌연변이체에서 더 높게 나타났으며, 이는 방사선 조사를 통해 유도 및 선별된 품종이 야생종에 비해 생리활성이 높아지고 또한 고온 스트레스에 대한 방어기작으로 사용될 것으로 생각됨.

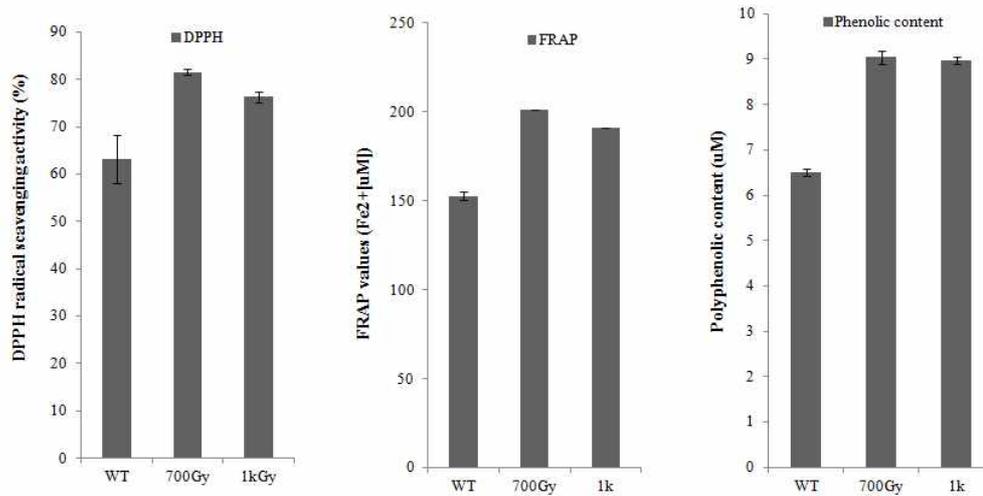


그림. 선별된 품종의 항산화 활성 측정

- 야생종 대비 항산화 활성과 고온에서 성장이 높았던 Pt1k 품종을 고온 조건에서 광합성 효율을 알아보기 위해 광합성 효율은 Diving Pulse-Amplitude Modulated (PAM)을 이용하여 PS II의 값을 의미하는  $F_v/F_m$  값을 측정 한 결과, 장시간 노출 시 야생종은 0.3 값까지 떨어지는 반면, Pt1k의 경우 보다 천천히 감소하며 유지되는 것을 확인함. 이런 결과로 보아 선별된 품종의 경우 같은 조건의 환경적 스트레스로 인해 저해되는 광효율이 야생종보다 낮을 것으로 사료되며 또한 성장이 높을 것으로 사료됨.

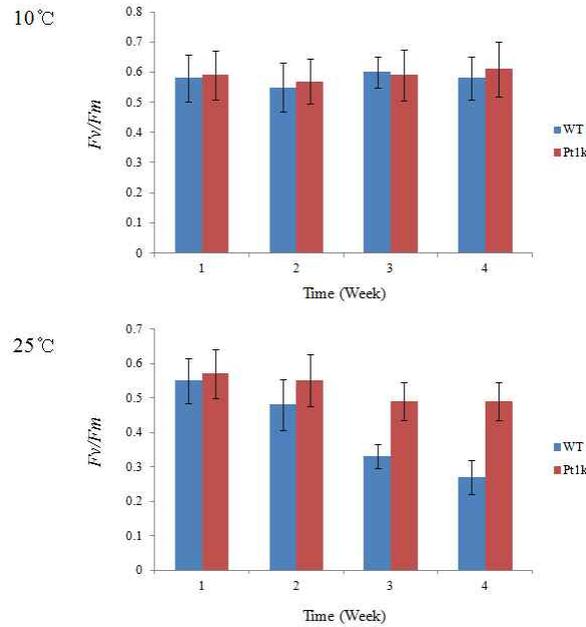


그림. 고온조건에서의 광합성 효율 비교

- 각 온도 조건별 야생종과 방사선 조사를 통해 선별된 Pt1k 품종의 성장을 비교하였음. 실내 성장 온도인 10도에서는 야생종에 비해 약 3배의 성장을 나타내었고 20도의 조건에서는 2.5배 성장이 높음을 확인하였음. 25도의 고온 조건에서는 야생종의 경우 심하게 부패하거나 방출되는 현상이 확인되었으나 Pt1k의 경우 부패나 방출없이 유지됨을 알 수 있었음.

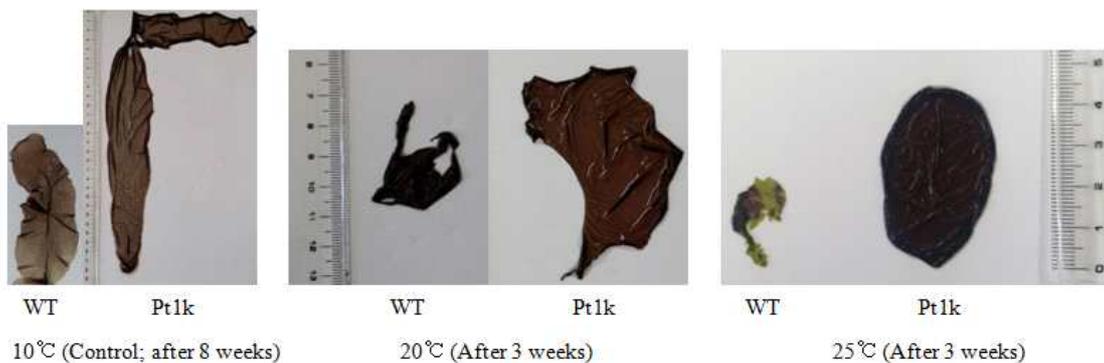


그림. 온도 조건별 배양된 야생종과 Pt1k 품종의 엽체 사진

- 외부 환경에 의한 스트레스에 노출되면 활성산소종인 superoxide anion과 hydroxyl radical 등이 과다 활성화가 되며 이를 제한하기 위해 항산화 효소가 활성화되어 균형을 이루게 됨. 하지만 활성산소에 지속적으로 노출되면 활성산소로부터 산화적 스트레스를 받으며 세포막에서는 lipid peroxidation을 일으켜 생체의 malondialdehyde (MDA) 생산이 과다하여 생체물질의 기능을 방해하게 됨. 이러한 MDA 측정은 생체내의 활성산소에 의한 손상된 정도를 알 수 있는 생체지표로서 많이 이용되고 있음. 고온 조건인 25도에서 야생종과 Pt1k 품종을 배양하였을 때  $H_2O_2$ 와 MDA 함량을 측정한 결과 야생종의 경우 오랜시간

노출 시 과도하게 증가됨을 알 수 있었으며 Pt1k 품종의 경우 보다 낮은 증가를 보임으로써 고온에 대한 지질과산화에 효율적으로 반응하는 것으로 생각됨.

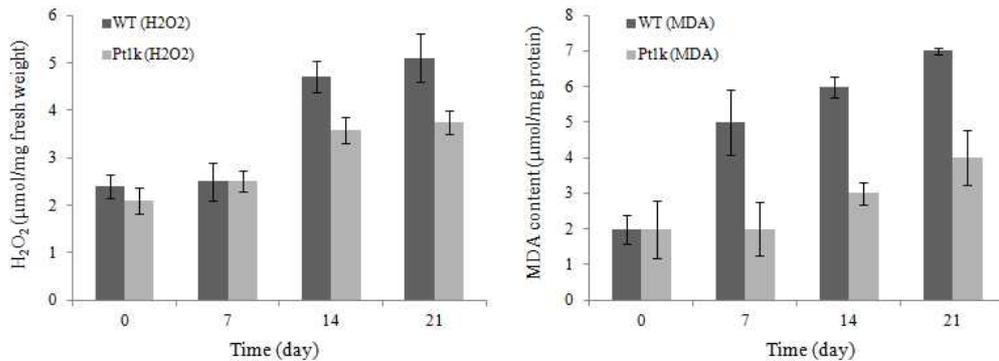


그림. 고온에 따른 과산화수소와 MDA 함량 측정

- 해조류는 스트레스에 노출되면 생화학적인 변화로 효소적인 방어기작을 발달시키게 되며, 이러한 산화 스트레스에 대응하기 위한 전략으로 항산화 효소 활성을 증가시킴. 고온에서 3주간 배양을 통해 항산화 효소인 APX와 SOD 활성의 변화를 비교한 결과 7일까지 두 종 모두 활성이 높음을 확인하였으나 야생종의 경우 14일부터 점차적으로 감소하는 경향을 나타냄. Pt1k 품종의 경우 APX는 점차적으로 감소를 하지만 SOD 활성은 높게 유지되었음. 이러한 결과로 보아 Pt1k 품종의 스트레스에 대한 방어기작을 설명할 수 있다고 사료됨.

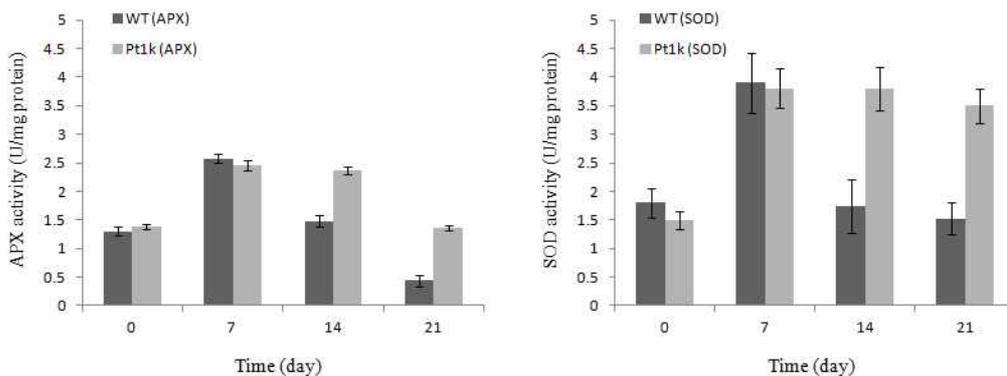


그림. 고온 처리를 통한 항산화 효소 활성 비교

- 또한 고온 처리하였을 때 광합성 색소의 변화를 비교한 결과 야생종은 21일 처리 시 거의 확인되지 않았으며, Pt1k 품종은 서서히 감소하며 유지됨을 알 수 있었음. 이러한 광합성 색소의 유지는 형태적으로 유지하기 위해 필요한 에너지와 광합성 효율이 보다 증가되었을 것이라고 생각되며 이전의 광합성 효율의 결과와 일치함.

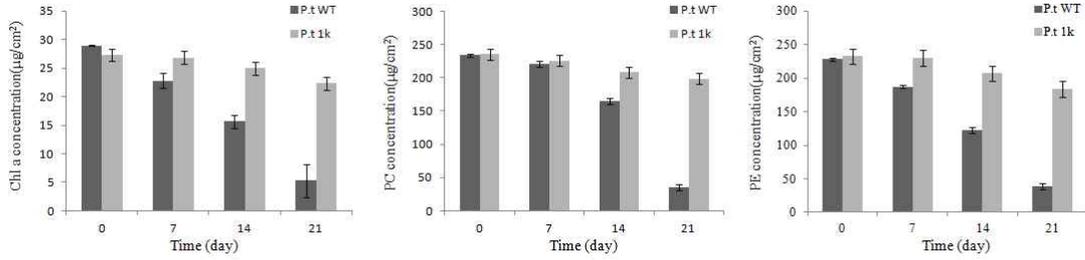


그림. 고온 처리를 통한 광합성 색소 변화 비교

- 스트레스 조건에서 성장하기 위해서는 광합성 관련 유전자들이 매우 밀접한 관련이 있다는 연구들이 있음. 고온 처리하였을 때 이러한 유전자들의 관련성을 알아보기 위해 Photosystem I, II에 밀접하게 관련된 *pet J*와 *pet V*, 유기물 (ADP)를 인산화 (ATP의 합성)시키는 반응에 관련된 NADH dehydrogenase, 그리고 광합성 색소 유전자인 phycoerythrin beta chain의 고온 처리 시간별 유전자 발현을 비교한 결과 Photosystem I 보다 II에 관련된 유전자가 Pt1k 품종에서 증가하였고 NADH탈수소효소의 경우 야생종은 시간이 지나면서 감소하는 경향을 보이거나 Pt1k의 경우 48시간째 다시 과발현되는 것이 확인됨. 또한 광합성 색소 유전자의 경우 역시 48시간 처리 시 Pt1k 품종이 더 발현됨으로 보아 야생종은 스트레스로 인해 광합성 효율이 억제되지만 Pt1k 품종의 경우 Photosystem I에서 II로의 반응이 높아짐에 따라 고온에서 보다 높은 성장을 가질 수 있을 것으로 생각됨.

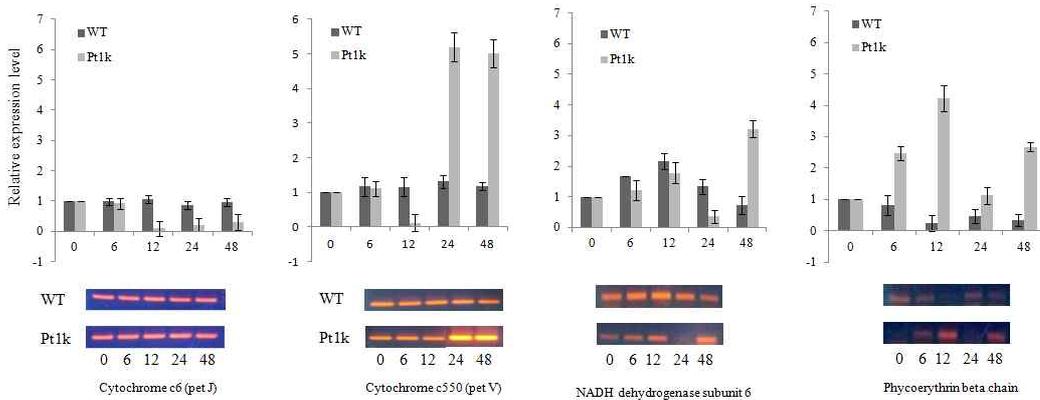


그림. 고온 처리 후 qRT-PCR을 통한 광합성 관련 유전자 발현 패턴 분석

- 야생종과 선별된 Pt1k 품종이 고온 스트레스인 25도에서 0, 24 그리고 48시간배양하였을 때 단백질 발현 패턴을 알아보고자 2DE-analysis를 통해 비교한 결과 시간별 변화되는 단백질이 야생종에서는 55개, Pt1k 품종에서는 41개의 spot이 차이를 나타내었음. 야생종에서 유의성 있게 증가한 단백질은 24개였으며 감소한 단백질은 29개로 확인되었으며 Pt1k 품종의 경우 14개의 단백질이 과발현되었고 25개의 단백질이 점차적으로 감소하였

음.

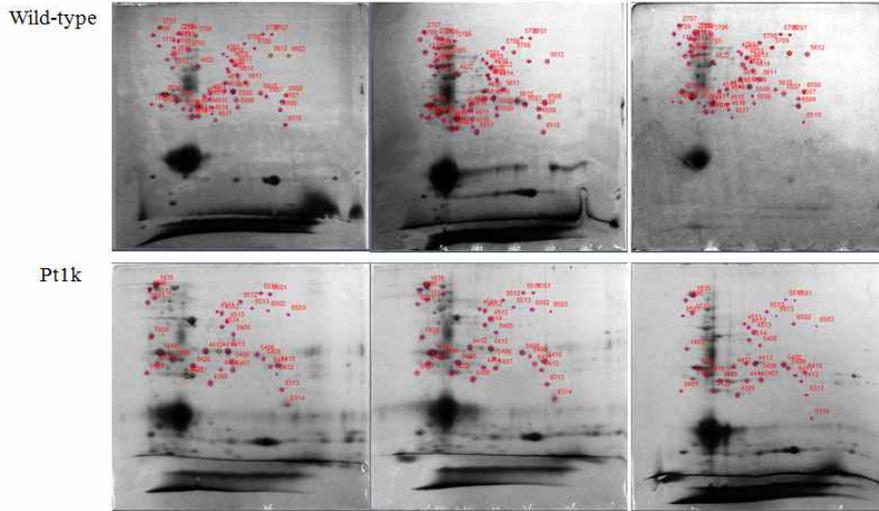


그림. 고온 스트레스 처리 후 2DE-analysis를 통한 야생종과 선별된 Pt1k 품종의 단백질 패턴 분석

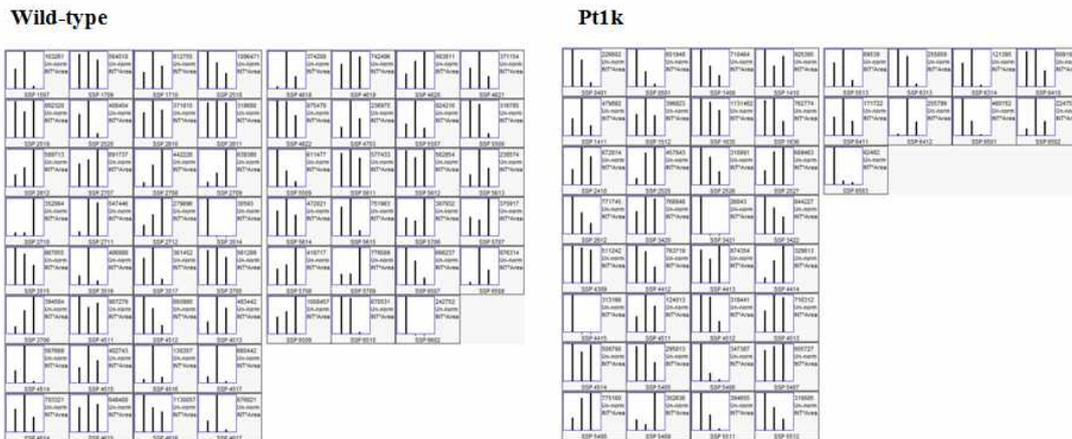


그림. 고온 처리 후 Image-analysis를 통한 고온 스트레스에 반응 단백질 분석

- MALDI TOF MS를 통해 과발현된 단백질들을 동정한 결과 고온을 통한 세포의 유전적 손상을 복구할 수 있는 유전자인 DNA mismatch repair protein과 반응속도를 변화시켜 효소활성을 높게 하는 물질로 알려진 saposin, calvin cycle에 관련되며 탄소고정에 밀접한 관련이 있는 Rubisco protein, 그리고 세포내에서 면역에 관련된 signal peptide protein이 증가됨을 알 수 있었음. 이러한 단백질들의 과발현은 스트레스에 대한 방어기작으로 발현됨을 알 수 있으며 추후 더 많은 단백질들의 분석을 통해 고온 스트레스에 대한 단백질체학적 데이터 베이스를 구축할 예정임.

| NCBI BLAST  | Protein name                                                                                                                                         | Score | Mass   | WT | Pt1k |
|-------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|--------|----|------|
| MIH_PROBO   | Molt-inhibiting hormone (Fragment) OS=Procambarus bouvieri PE=1 SV=2                                                                                 | 30    | 8874   |    |      |
| PRVB3_MACNO | Parvalbumin beta 3 (Fragments) OS=Macrurus novaezelandiae PE=1 SV=1                                                                                  | 30    | 9046   |    |      |
| ELOB_HUMAN  | Transcription elongation factor B polypeptide 2 OS=Homo sapiens GN=TCEB2 PE=1 SV=1                                                                   | 44    | 13246  |    |      |
| ACTB_DICDI  | Calcium-regulated actin-bundling protein OS=Dictyostelium discoideum GN=actB PE=1 SV=1                                                               | 38    | 33642  |    |      |
| SAP_CAVPO   | Sapasin-C OS=Cavia porcellus GN=PSAP PE=1 SV=1                                                                                                       | 28    | 9192   |    |      |
| RBS3B_ARATH | Ribulose biphosphate carboxylase small chain 3B, chloroplastic OS=Arabidopsis thaliana GN=RBCS-3B PE=1 SV=2                                          | 39    | 20565  |    |      |
| MSH2_HUMAN  | DNA mismatch repair protein Msh2 OS=Homo sapiens GN=MSH2 PE=1 SV=1                                                                                   | 32    | 105521 |    |      |
| RS2_LEIAM   | 40S ribosomal protein S2 OS=Leishmania amazonensis PE=3 SV=1                                                                                         | 27    | 28867  |    |      |
| SEC11_TALSN | Signal peptidase complex catalytic subunit sec11 OS=Talaromyces stipitatus (strain ATCC 10500 / CBS 375.48 / QM 6759 / NRRL 1006) GN=sec11 PE=3 SV=1 | 23    | 21110  |    |      |
| ARYL_CHICK  | Arylamine N-acetyltransferase, liver isozyme OS=Gallus gallus PE=1 SV=1                                                                              | 24    | 33147  |    |      |
| RNAS6_PAPHA | Ribonuclease K6 OS=Papio hamadryas GN=RNASE6 PE=3 SV=1                                                                                               | 31    | 17815  |    |      |
| HCD2_RAT    | 3-hydroxyacyl-CoA dehydrogenase type-2 OS=Rattus norvegicus GN=Hsd17b10 PE=1 SV=3                                                                    | 40    | 27367  |    |      |

그림. MALDI-TOF MS를 통한 단백질 동정

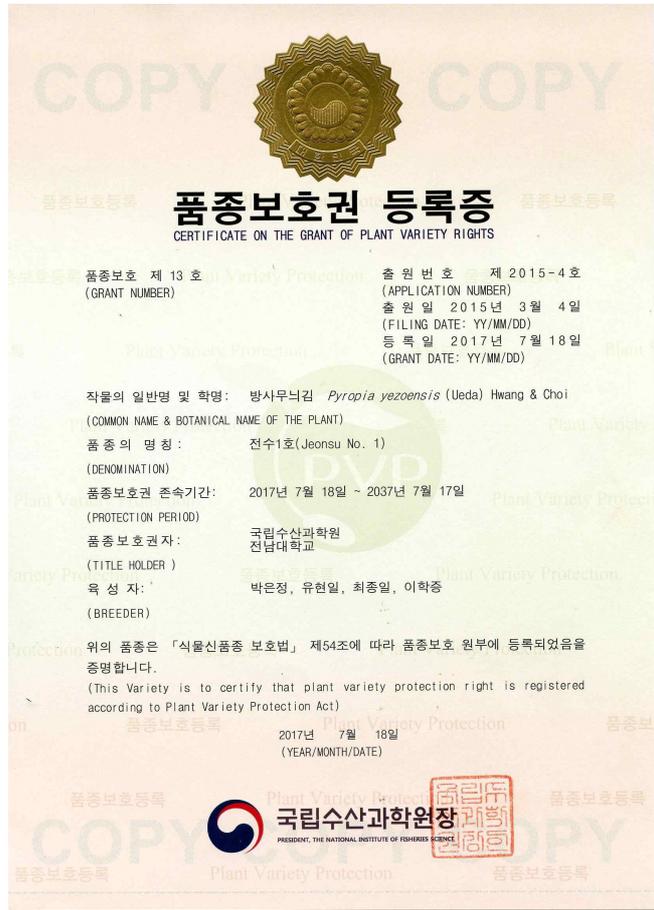
□ 품종보호권 등록(품종보호 제13호, 2017.7.18.)

가) 전수1호의 개발 경과

- 방사무늬김 해남학가리 순계사상체를 대상으로 저준위 방사선 조사 후, 실내형질특성조사 및 성분분석을 통해 향산화 성분을 다량 함유한 돌연변이를 선발하여 기능성 품종으로 개발함(육성기간 : 2010년~2015년).
- 2015년 3월 4일에 품종보호권을 출원하여 2년간의 재배심사를 거쳐 2017년 7월 18일 품종보호권이 등록됨.



<전수1호 품종의 형태>



<전수1호 품종보호권 등록증>

□ 품종보호권 출원(출원2017-4, 2017.10.19.)

가) 품종육성경과

○ 2014년

- 전남 신안군에 위치한 김 양식어장에서 방사무늬김 대형엽체를 선발함.
- 선발엽체의 형질 고정을 위해 순계사상체를 유도함.

○ 2015~2016년

- 야외형질특성 조사를 위해 순계사상체를 증식함.

○ 2015~2016년, 2016~2017년

- 총 2회(2015년 4월~2016년 2월, 2016년 4월~2017년 2월)에 걸쳐 야외형질특성조사를 실시함.

나) 전수2호의 주요 형태적 특성

- 전수2호의 폐각사상체는 흑녹색이고, 유엽의 단포자 형성이 대조품종보다 빠름. 성엽의 엽체 모양은 도란형이고, 엽체 중부는 갈녹색, 하부는 녹색이며, 성엽의 엽체 너비가 대조품종에 비해 넓음. 엽체 연변부에 거치가 없고, 암수한몸-혼합형임.

다) 출원품종이 대조품종과 구별되는 특성

- 유엽의 단포자 형성 시기 또는 형성 유무 : 출원품종 4주, 대조품종 8주
- 엽체 모양 : 출원품종 도란형, 대조품종 선형

- 성엽의 엽체 너비 : 대조품종보다 넓음
- 성엽의 엽체 중·하부 색 : 출원품종 갈녹색 및 녹색, 대조품종 갈녹색



출원품종 : 전수2호

대조품종 : 수과원104호

**<전수2호 품종의 형태>**

## 품종보호출원서

※ 뒤쪽의 작성방법을 읽고 작성하시기 바랍니다.

(앞쪽)

|      |                                                                                     |                                |
|------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|
| 접수번호 | 접수일                                                                                 | 처리기간 10일                       |
| 출원인  | 성명 (한글) 국립수산과학원<br>(영문) National Institute of Fisheries Science                     | 생년월일<br>(외국인은 국적) 618-83-02438 |
|      | 주소 (한글) 부산광역시 기장군 기장읍 해안로 216<br>(영문) 216 Gijanghaeanro Gijang-eup Gijang-gun Busan | 전화번호 051-720-2114              |
|      | 지분 별지참조                                                                             |                                |
| 대리인  | 성명                                                                                  | 생년월일<br>(외국인은 국적)              |
|      | 주소                                                                                  | 전화번호                           |
| 육성자  | 성명 (한글) 별지참조<br>(영문)                                                                | 생년월일<br>(외국인은 국적)별지 참조         |
|      | 주소 (한글) 별지참조<br>(영문)                                                                | 전화번호                           |

품종이 속하는 작물의 학명 및 일반명 : *Pyropia yezoensis* (Ueda) M.S. Hwang & H.G. Choi / 방사무늬김

품종의 명칭 (한글) 전수2호

(영문) Jeonsu No. 2

|                                |         |        |         |
|--------------------------------|---------|--------|---------|
| 「식물신품종 보호법」 제31조제3항에 따른 우선권 주장 | 출원국명    | 출원일    | 출원번호    |
|                                | 증명서류    | [ ] 첨부 | [ ] 미첨부 |
| 품종의 특성 설명                      | (별지 사용) |        |         |
| 품종육성 과정의 설명                    | (별지 사용) |        |         |

「식물신품종 보호법」 제30조제1항 및 같은 법 시행규칙 제40조에 따라 위와 같이 품종보호 출원을 합니다.

2017년 10월 일

출원인(대리인)

국립수산과학원장



국립수산과학원장 귀하

|      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |              |
|------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| 첨부서류 | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 품종의 사진</li> <li>2. 종자시료(종자시료가 묘목, 영양체 또는 수산식물인 경우에는 재배시험 적기 등을 고려하여 산림청장·국립종자원장 또는 국립수산과학원장이 따로 제출을 요청한 시기에 제출을 요청한 장소로 제출하여야 합니다)</li> <li>3. 품종보호 출원 수수료 납부증명서 1부</li> <li>4. 우선권 주장 수수료 납부증명서 1부(우선권을 주장하는 경우만 해당합니다)</li> <li>5. 권리에 관한 지분을 증명하는 서류 1부(지분이 약정되어 있는 경우만 해당합니다)</li> <li>6. 대리권을 증명하는 서류 1부(대리인을 통하여 제출하는 경우만 해당합니다)</li> <li>7. 「유전자변형생물체의 국가간 이동 등에 관한 법률」 제8조제3항에 따른 위해성 심사서 1부(유전자 변형품종인 경우에만 해당한다)</li> <li>8. 출원인의 지분을 증명하는 서류 1부(지분을 정한 경우만 해당합니다)</li> </ol> | 수수료<br>3만8천원 |
|------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|

210mm×297mm[백상지 80g/㎡]

□ differential expression genes (DEGs) 분석을 통한 데이터베이스 구축

■ WT과 돌연변이체 Py500G의 유전자 발현 비교

- GeneFishing™ DEG PCR은 PCR의 선택성을 극대화 시킨 Annealing Control Primer™ (ACP) 기술의 도입으로 확실한 differential expression genes (DEGs)만을 얻을 수 있고, 방사선 동위원소를 사용하는 DDRT-PCR에 비해 안전하며, 비용과 시간을 절감할 수 있는 장점이 있음.
- 본 연구에서는 WT과 돌연변이체 Py500G에서 DEG clusering을 이용하여 미지의 유전자를 예측하고, 그 결과를 유전자의 발현, 기능의 측면에서 종합적으로 분석하고자 하였음. 또한 유전자의 발현과 기능 분석을 통하여 바이오산업에 유용한 유전자 발굴 및 돌연변이체별 library를 구축을 하고자 하였음.
- 결과의 정확도를 높이기 위해 3개군의 WT과 Py500G의 cDNA를 분석하여 진행한 결과 WT에서 총220,797,550이 Py500G에서는 147,965,274의 서열을 얻을 수 있었음.

표. Statistics of Py500G and PyWT assemblies

|                       | Py500G     | PyWT       |
|-----------------------|------------|------------|
| Number of transcripts | 16,558     | 17,501     |
| GC%                   | 67.29      | 67.43      |
| N50                   | 1,858      | 1,863      |
| Min. length           | 297        | 297        |
| Max. length           | 13,853     | 15,053     |
| Median length         | 897        | 893        |
| Average length        | 1,295      | 1,286      |
| Total assembled bases | 21,445,117 | 22,505,193 |

표. Summary of the functional annotation results for Py500G and PyWT transcripts in public databases.

|                                    | Py500G (16,552 transcripts) |                         | PyWT (17,501 transcripts) |                       |
|------------------------------------|-----------------------------|-------------------------|---------------------------|-----------------------|
|                                    | Number of transcripts       | % of Py500G transcripts | Number of transcripts     | % of PyWT transcripts |
| Annotated in Nr                    | 13,253                      | 80.1                    | 13,818                    | 79.0                  |
| Annotated in Swissprot             | 6,475                       | 39.1                    | 6,735                     | 38.5                  |
| Annotated in Pfam                  | 6,712                       | 40.6                    | 7,024                     | 40.1                  |
| Annotated in KEGG                  | 2,803                       | 17.0                    | 2,785                     | 16.0                  |
| Annotated in GO                    | 5,575                       | 33.7                    | 5,832                     | 33.3                  |
| Annotated in KOG                   | 6,094                       | 36.8                    | 7,018                     | 40.1                  |
| Annotated in at least one database | 13,408                      | 81.0                    | 13,988                    | 80.0                  |

표. Statistics of the mapping reference

| Mapping reference     |                             |
|-----------------------|-----------------------------|
| Number of transcripts | 19,441                      |
|                       | 9,416 are of Py500G (48.4%) |
|                       | 10,025 are of PyWT (51.6%)  |

|                       |            |                |                   |
|-----------------------|------------|----------------|-------------------|
| <b>GC%</b>            | 67.54      |                |                   |
| <b>N50</b>            | 1,898      |                |                   |
| <b>Min. length</b>    | 297        |                |                   |
| <b>Max. length</b>    | 13,853     |                |                   |
| <b>Median length</b>  | 888        |                |                   |
| <b>Average length</b> | 1,295      |                |                   |
| <b>Total bases</b>    | 25,183,681 | 13,249,790 are | of Py500G (52.6%) |
|                       |            | 11,933,891 are | of PyWT (47.4%)   |

표. Statistics of SSRs in the mapping reference

| Parameter                       | Value         |
|---------------------------------|---------------|
| Total number of identified SSRs | 5746          |
| Dinucleotide                    | 1215 (21.15%) |
| Trinucleotide                   | 4444 (77.34%) |
| Tetranucleotide                 | 17 (0.30%)    |
| Pentanucleotide                 | 3 (0.05%)     |
| Hexanucleotide                  | 67 (1.17%)    |
| Most abundant                   | CCG/CGG       |

표. DEGs 분석을 통한 raw 서열 분석

| Libraries | Number of raw reads |
|-----------|---------------------|
| <b>M1</b> | 75,618,174          |
| <b>M2</b> | 34,541,032          |
| <b>M3</b> | 37,806,068          |
| <b>C1</b> | 74,178,184          |
| <b>C2</b> | 68,597,896          |
| <b>C3</b> | 78,021,470          |

○ 분석된 DNA 단편을 size별로 group화하여 비교한 결과 52,716개의 200-300 bp 단편들이 가장 많았으며, 다음으로 300-400 bp이 24,681개, 2kb 이상의 group은 5,849개로 확인되었음.

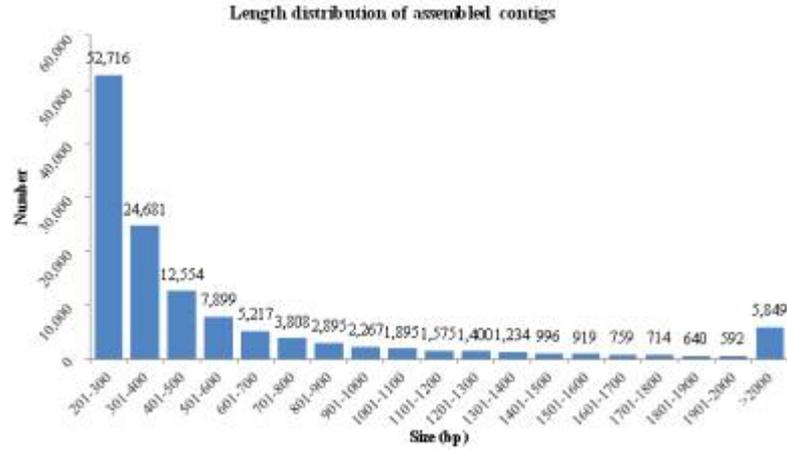


그림. 분석된 DEGs의 DNA size별 contigs

표. DEGs data를 이용한 통계적 서열분석

|                         | Items                    | Data           |
|-------------------------|--------------------------|----------------|
| <b>Cleaned reads</b>    | Number of reads          | 317,015,630    |
|                         | Total nucleotides        | 45,918,123,150 |
| <b>De novo assembly</b> | Number of contigs        | 128,610        |
|                         | Total nucleotides        | 76,978,832     |
|                         | Average contig size (nt) | 599            |
|                         | N50 contig size (nt)     | 795            |
|                         | Largest contig size (nt) | 19,320         |
|                         | Percent GC (%)           | 64.4           |

- DEGs 분석을 통해 얻어진 서열을 NCBI, Uniprot을 이용하여 동정한 결과 홍조류인 *Chondrus crispus*는 15%, *Galdieria sulphuraria* 3% 그리고 *P. yezoensis*에서 3%로 동정되었으며, 녹조류인 *Ectocarpus siliculosus*의 경우 3%, 유글레나류의 *Bodo saltans*의 경우 13%, 부등편모조류인 *Nannochloropsis gaditana*는 2% 그 외에서 총 62%로 확인되었음.

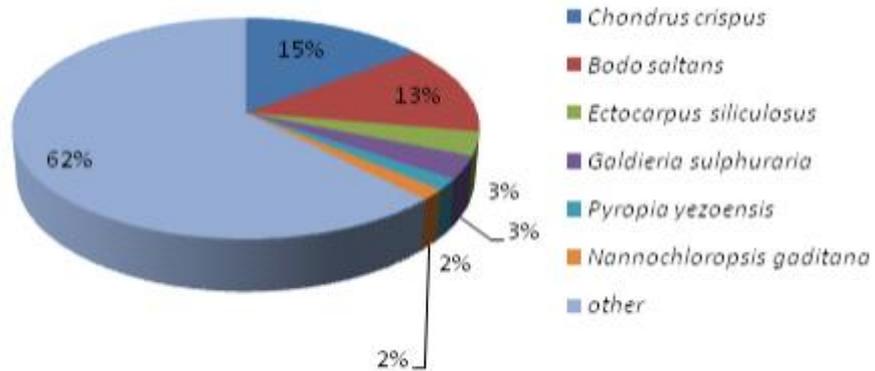
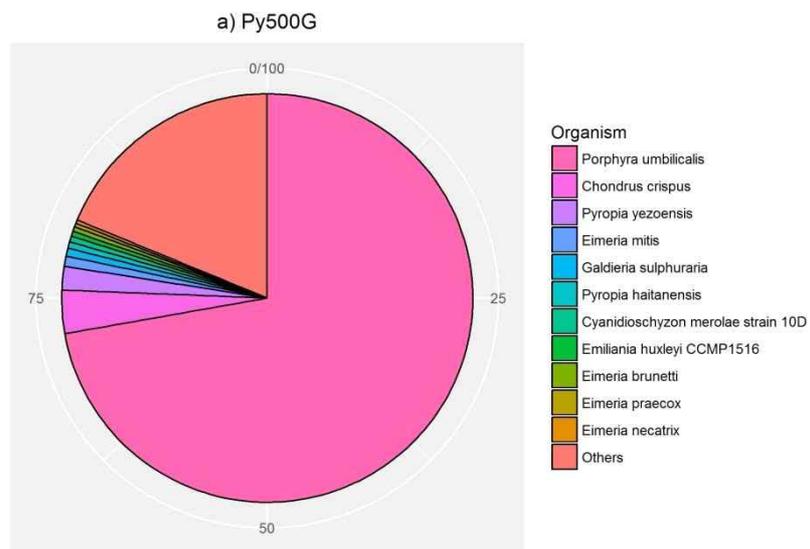


그림. Blast를 통한 종별 염기서열 동정 분포도



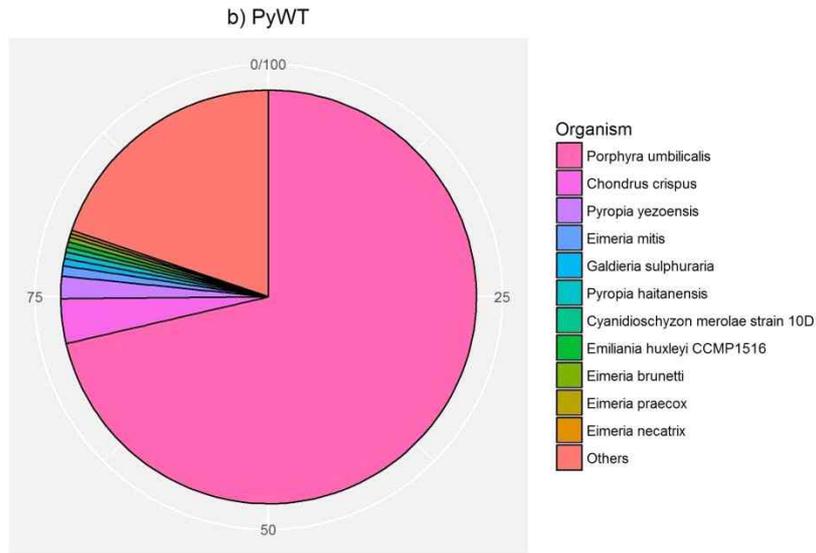


그림. Species distribution of the top BLAST hits in Py500G (a) and PyWT (b) assemblies against the NR database

○ Swissprot data base를 이용하여 총 36,989의 contig를 비교하였으며 총 14,894개의 단백질 전사체를 확인하였음. Uniprot의 gene ontology (GO)를 통해 3개의 그룹 cellular component, molecular function 그리고 biological process로 분류하였으며 총 81개의 pathway로 function별 유전자수와 퍼센트를 비교한 결과 cellular, protein binding, metabolic process 관련 유전자들이 가장 높게 밝혀짐.

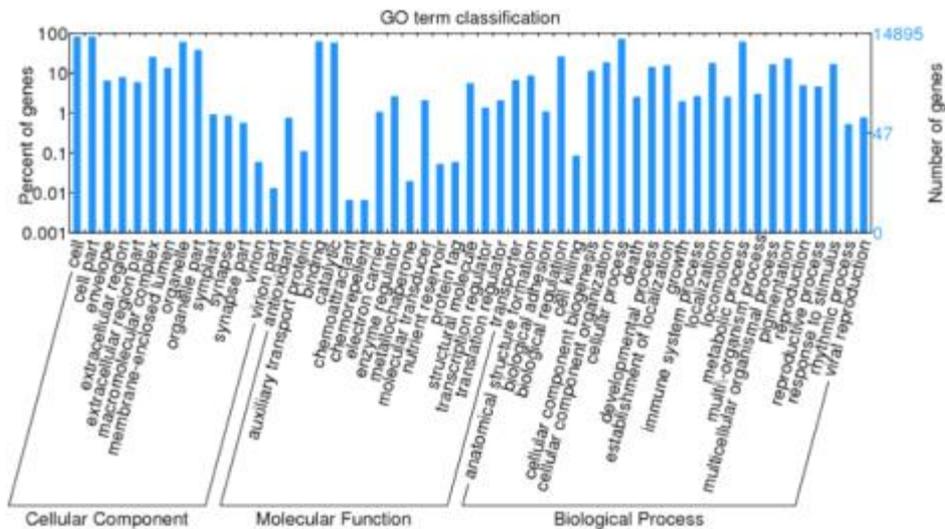


그림. Gene ontology를 이용한 유전자 분석

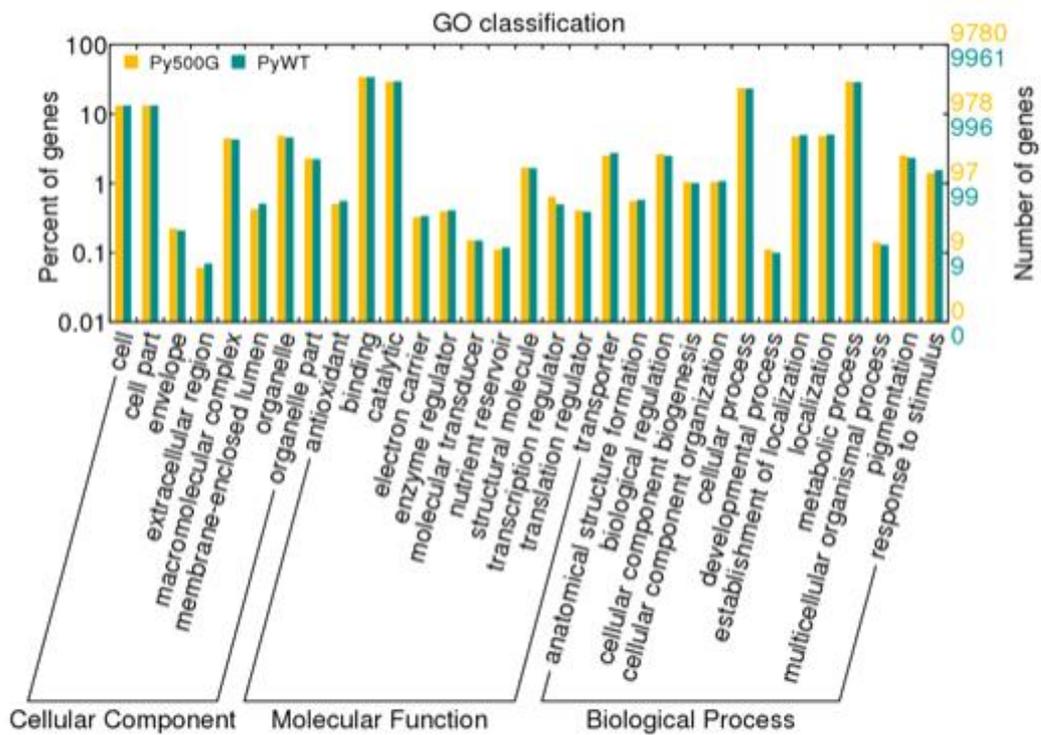


그림. Gene Ontology (GO) classifications of Py500G and PyWT transcripts. Level-2 GO terms of the 3 main categories “Cellular Component”, “Molecular Function”, and “Biological Process” were performed using WEGO.

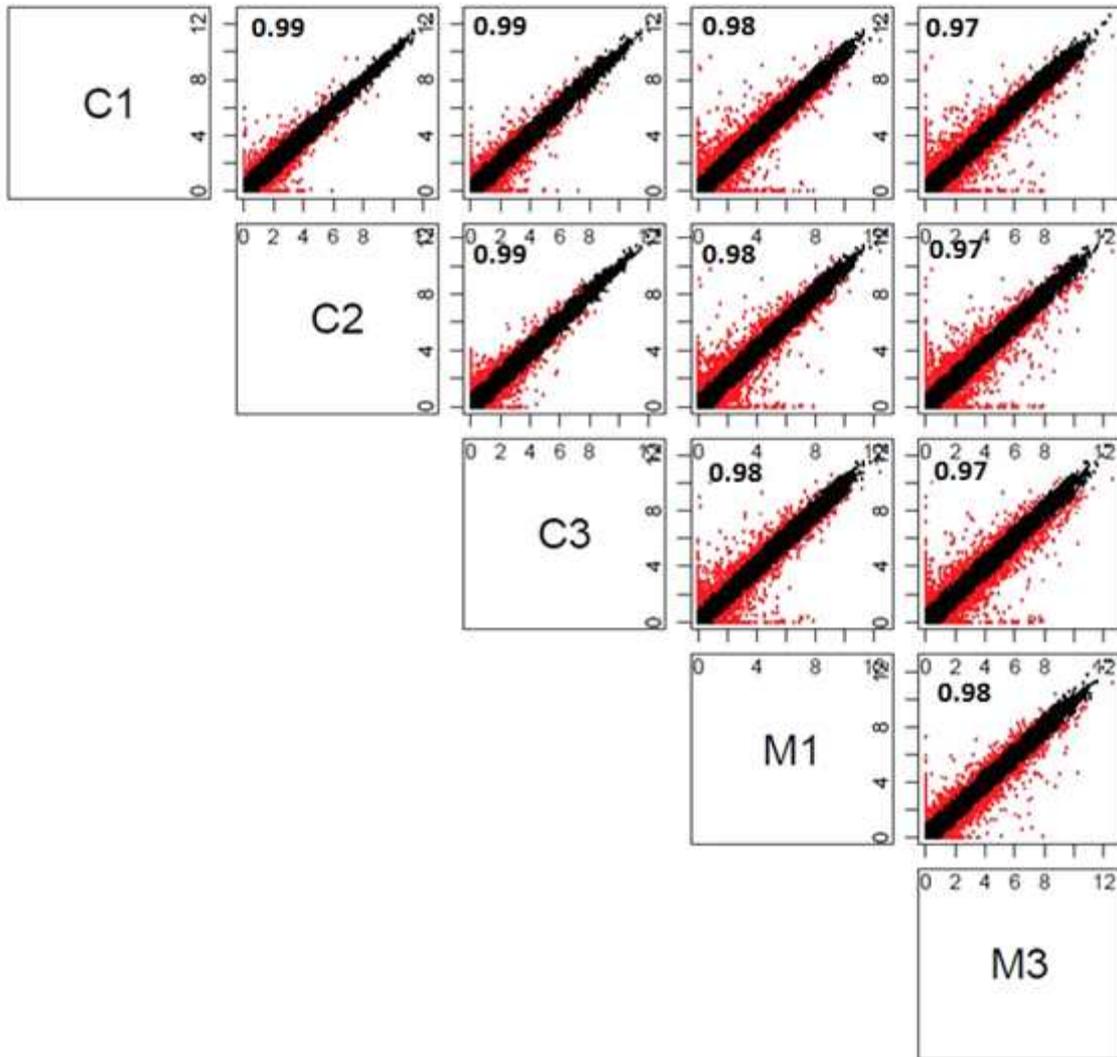


그림. Scatter plot matrix of log<sub>2</sub>-transformed CPM value across all pair-wise comparisons. Pearson's r correlation coefficients are shown in each plot. All samples exhibited high correlation to each other as the coefficients ranged from 0.97 to 0.99.

○ WT과 Py500G의 분석된 data를 이용하여 총 9개의 functional group으로 나뉘어 비교하였을 때, 단백질 변형관련이 가장 높게 확인되었으며 다음으로는 아미노산 생합성, 지질대사와 보조인자합성이 확인되었음.

표. Pathway별 list

| Pathway                  | Counts |
|--------------------------|--------|
| Protein modification     | 405    |
| Amino-acid biosynthesis  | 231    |
| Lipid metabolism         | 224    |
| Cofactor biosynthesis    | 170    |
| Carbohydrate degradation | 150    |
| Amino-acid degradation   | 121    |

|                           |    |
|---------------------------|----|
| Carbohydrate metabolism   | 90 |
| Purine metabolism         | 86 |
| Carbohydrate biosynthesis | 55 |

○ M2의 경우 다른 sample의 결과값과 낮은 연관성을 나타내었기에 제외하고 나머지 sequence data를 이용하여 volcano plot 분석과 heatmap을 이용하여 WT 대비 Py500G에서 증가된 contig를 확인할 수 있었음.

표. 분석된 data 연관성 비교

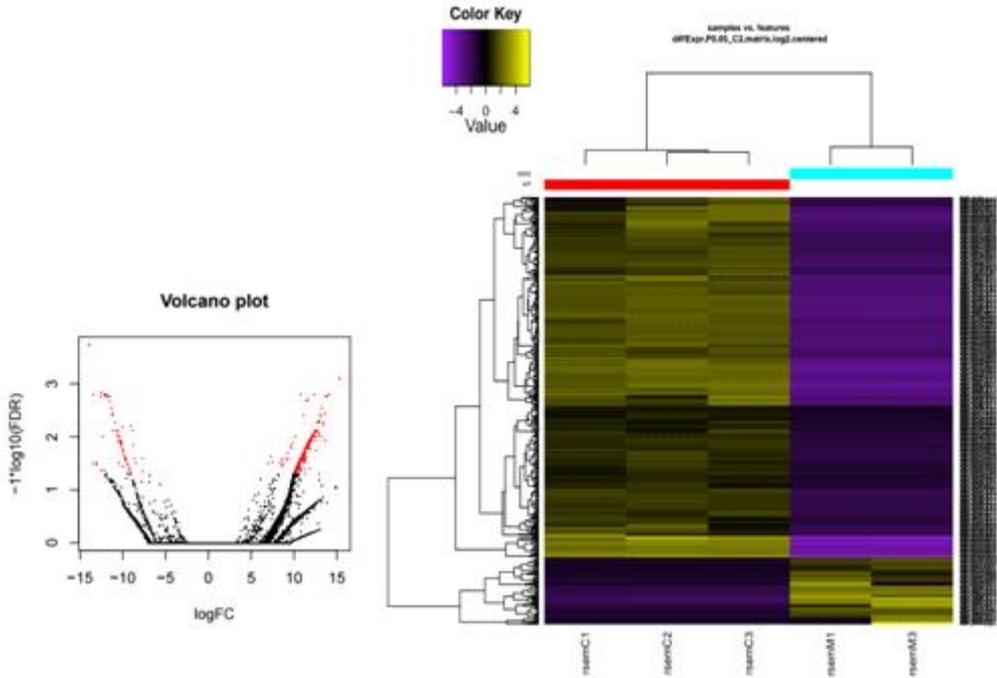


그림. Volcano plot과 heatmap을 이용한 Py500G의 증가된 contig 분석

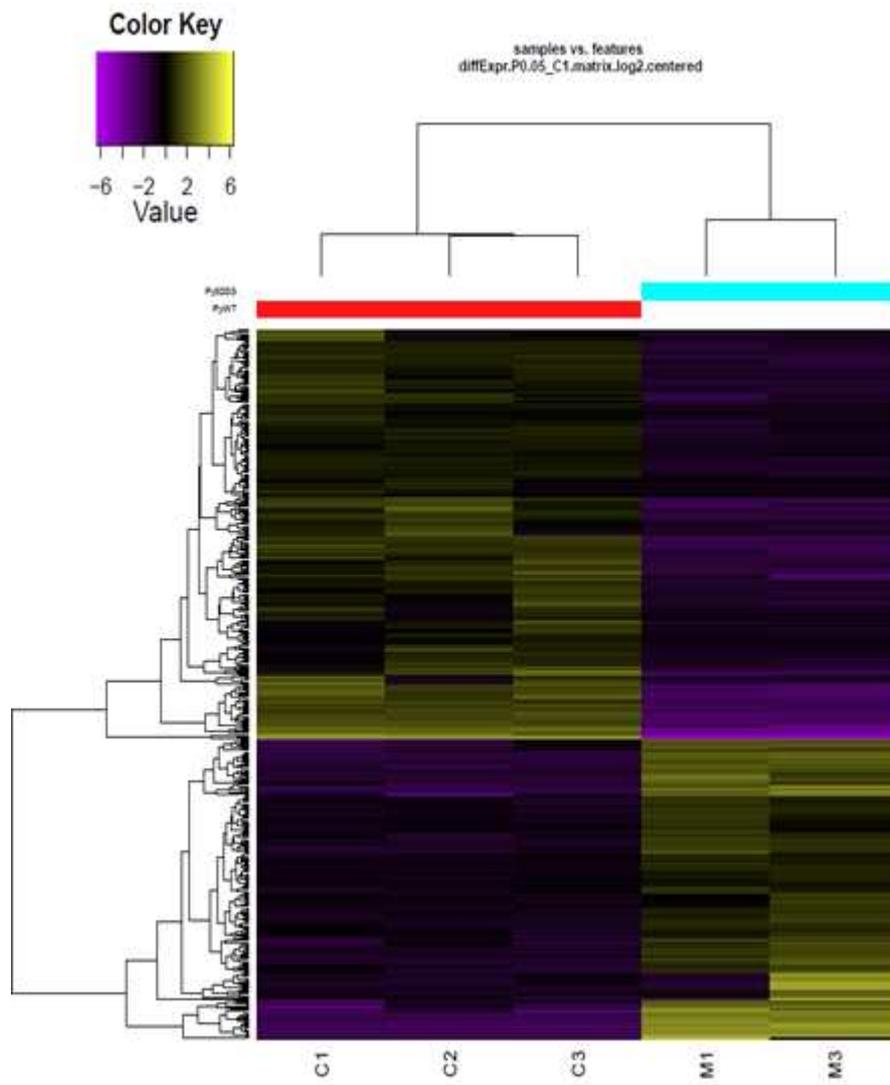


그림. Heatmap of differentially expressed transcripts between Py500G and PyWT

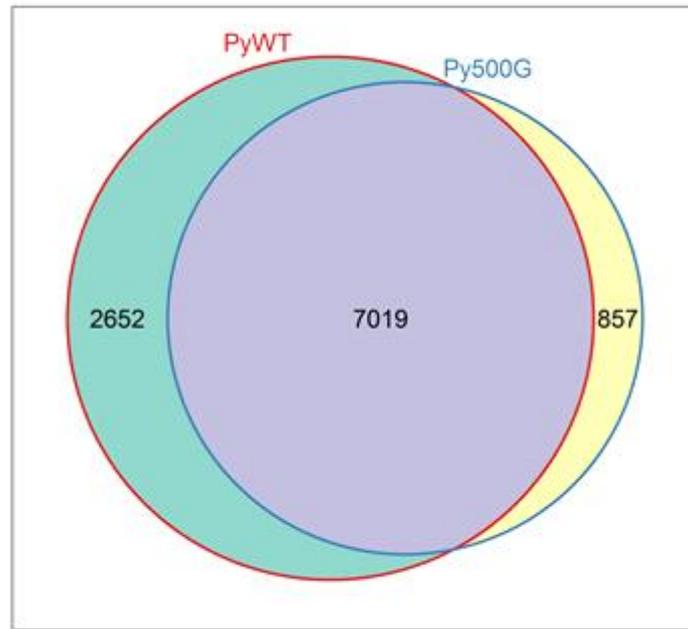


그림. Venn diagram of novel and common variants of Py500G and PyWT

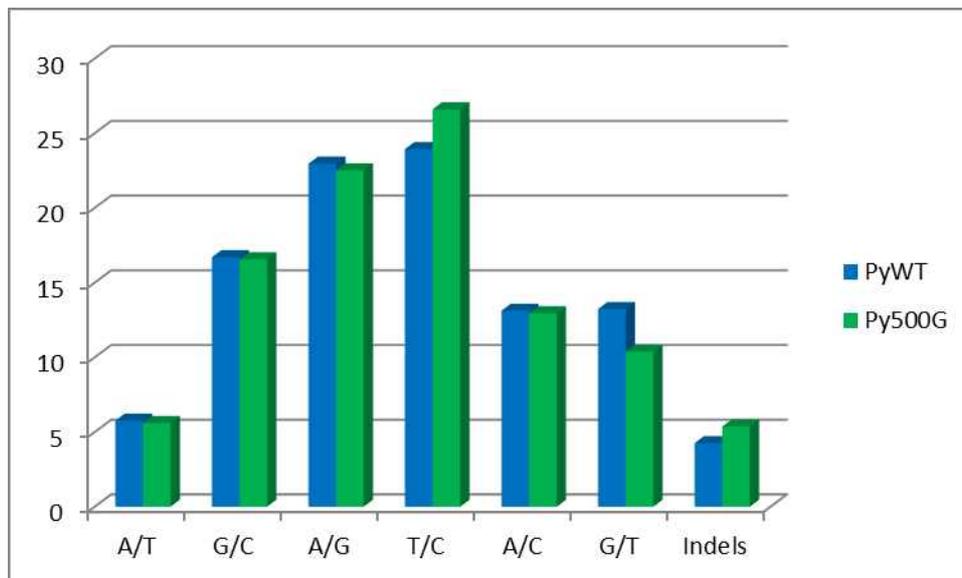


그림. Percentages of SNP substitution types and Indels among novel variants in Py500G and PyWT

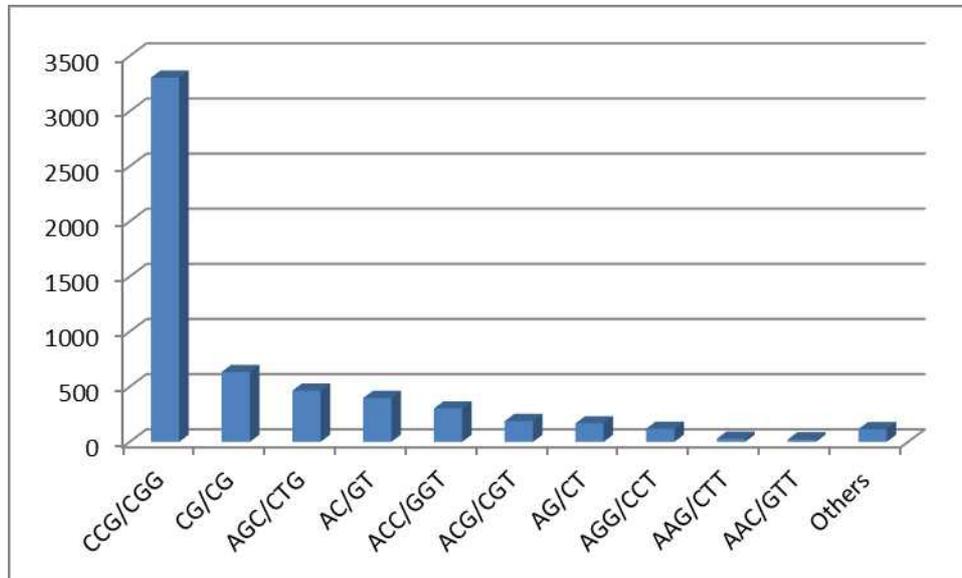
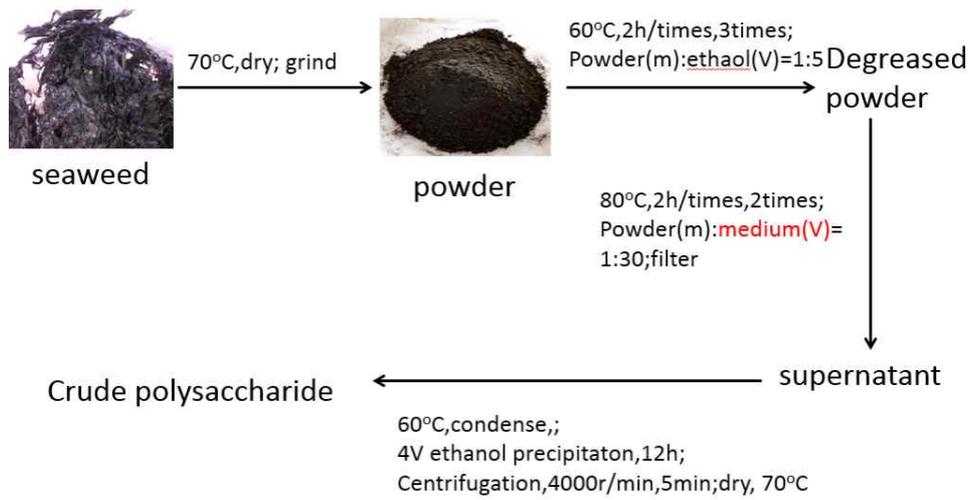


그림. Top most abundant SSRs in mapping reference

- DEGs contig data를 이용하여 WT과 돌연변이체 Py500G의 세포내 발현에 따른 유전자의 차이를 신호 전달계 관련 유전자, 전사 조절인자, 면역 관련 유전자, 단백질 수송관련 유전자, 대사, 산화 및 환원 관련 유전자로 분류하여 분석하였으며 특히 항산화와 관련된 유전자의 변화에 초점을 맞춰 분석하였음.
- WT과 Py500G의 DEGs 수행 결과 특이적 차이를 보이는 유전자의 염기서열을 분석하여 유전자 정보를 확인한 결과 45개의 유의성 있는 유전자 contig를 확인 할 수 있었음.
- 산화환원 조절인자에서는 glutathione peroxidase, CuZnSOD, iron-dependent superoxide dismutase, glutathione S-transferase, ribonucleotide reductase 그리고 vitamin D 합성에 관련된 ergosterol biosynthetic protein이, 면역 반응계에서는 cathepsin B, 그리고 세포 내 신호 전달 인자로 signal recognition particle이 변화를 보임. 또한 대사 및 단백질 합성 관련 유전자로는 G1/S-specific cyclin Pcl5, sulfate adenylyltransferase 등이 차이를 보였으며 이는 이전 단백질체학적 분석과 유사한 패턴을 나타냄.
- *Pyropia* 유래 기능성 다당류 분리 및 특성 분석
  - 기능성 다당류 추출

# Extraction process

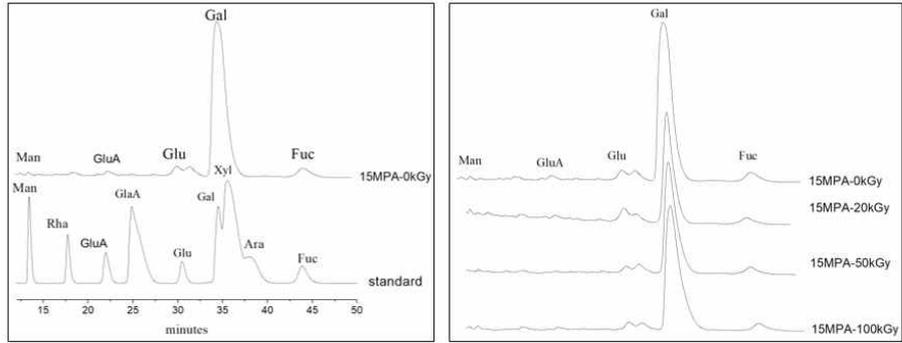


Medium: ddH<sub>2</sub>O or hydrochloric acid

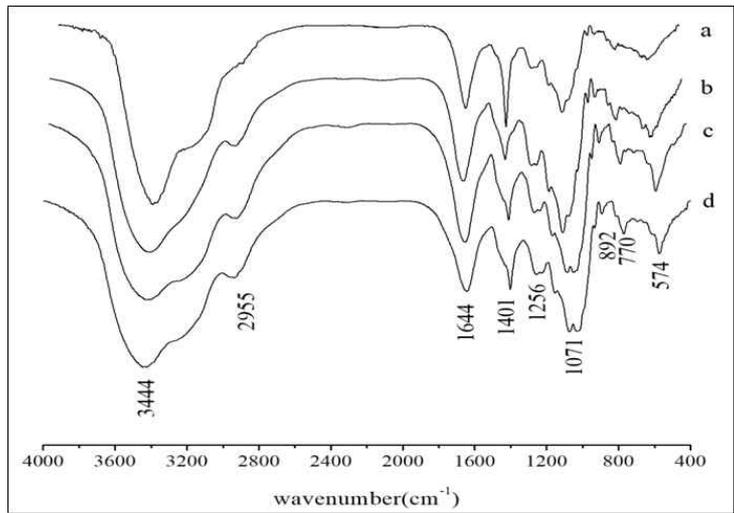
## ○ 기능성 다당류 추출 수율 비교

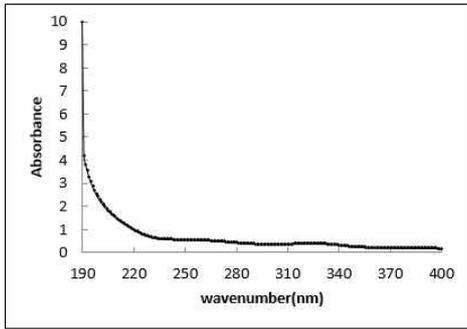
| Name                    | Yield/% | Total sugar/% | Protein/% |
|-------------------------|---------|---------------|-----------|
| Wild type water extract | 10.2    | 63.7          | 0.87      |
| Wild type acid extract  | 10.0    | 73.6          | 0.83      |
| 15MPA water extract     | 8.4     | 72.8          | 1.18      |

○ 기능성 다당류 구조 분석

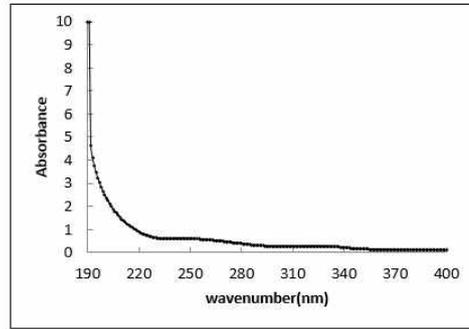


| Name                       | Monosaccharide composition |      |     |      |     |
|----------------------------|----------------------------|------|-----|------|-----|
|                            | Molar rate                 |      |     |      |     |
|                            | Man                        | GluA | Glu | Gal  | Fuc |
| 15MPA water extract-0kGy   | 0.2                        | 0.4  | 0.8 | 14.0 | 1.0 |
| 15MPA water extract-20kGy  | 0.6                        | 0.7  | 1.4 | 8.9  | 1.0 |
| 15MPA water extractn-50kGy | 0.2                        | 0.3  | 0.7 | 9.8  | 1.0 |
| 15MPA water extract-100kGy | 0.2                        | 0.3  | 0.7 | 13.1 | 1.0 |

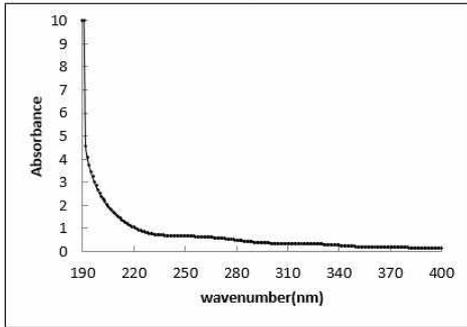




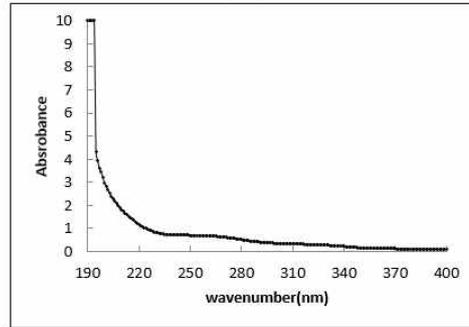
(a)



(b)

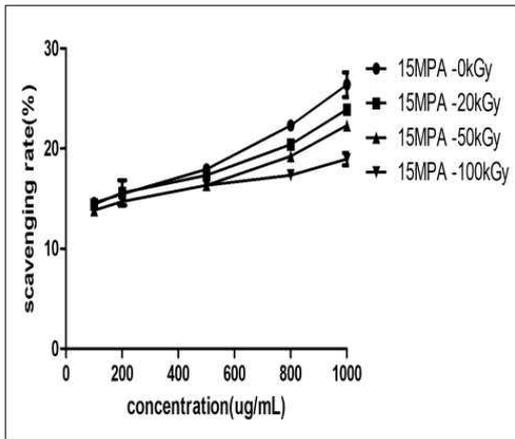


(c)

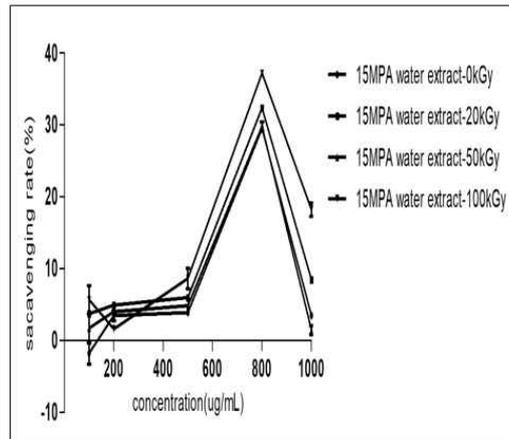


(d)

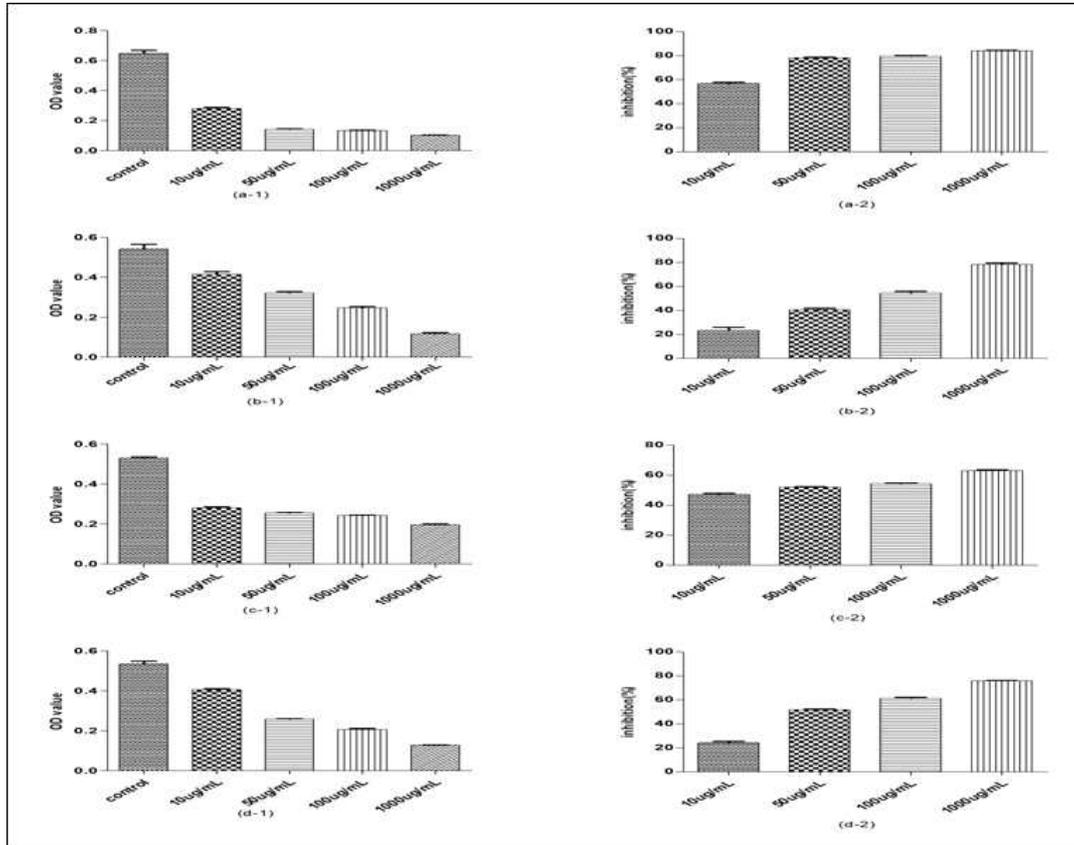
○ 기능성 다당류 항산화 활성 평가



Hydroxy radical scavenging rate



DPPH radical scavenging rate



Negative control: cell and incomplete medium;  
 positive control: 5-FU (10,50,100,1000ug/mL) and incomplete medium;  
 (a-1, a -2)Hep3B ; (b-1,b-2)HepG2 ; (c-1,c-2)HeLa ; (d-1,d-2)MDA-MB231 ,  $p < 0.001$

□ *Pyropia yezoensis* Chonsoo2 균주에서 추출한 porphyran 과 감마선 조사에 의해 분해 시킨 두가지 유도체의 물리 화학적 특성, 구조적 상태 및 항 종양 활성 조사

- Porphyran 은 PYP 로 명명된 1161 kDa, 2.9 kDa 의 분자량을 갖는 수용성, 선형성, sulfated hetero-galctopyranose 이다.
- PYP 는 20 kGy 및 50 kGy 의 감마선 조사에 의해 분해되어 2 개의 유도체인 PYP-20 및 PYP-50 로 얻어졌고, 이들의 분자량은 각각 34.6 kDa, 2.9 kDa 그리고 9.7 kDa, 2.9 kDa 으로 나타났다.
- 이러한 세가지 porphyran 은 galactose (> 80%), xylose (< 10%), arabinose (< 10%), 3,6-anhydro- $\alpha$ -L-galactose (> 20%), sulfated groups (> 12%) 및 미량 단백질로 구성되어 있었다.
- 이 세가지 porphyran 은 정상인의 간 세포 (HL-7702) 에서 대사적 독성이 없었고 HL-7702 세포의 성장을 촉진했지만 인간 간 암종 세포 (Hep3B), 인간 자궁 경부암 세포 (HeLa) 및 인간 유방암 세포 (MDA-MB-231) 에 대한 항 증식 효과를 나타냈다.
- 또한 세가지 porphyran 중에서 PYP 는 HeLa 세포에 대하여 현저하게 항 증식 효과를 나타냈다. 비록 3 개의 porphyran 은 유사한 단당류 조성, 설페이트 그룹 및 3,6-anhydro- $\alpha$ -L-galactose 함량을 가졌지만 분자량 및 항 종양 활성에는 유의한 차이를 나타냈다. 또

한, PYP 처리 후 G2/M 단계에서 HeLa 세포의 세포주기가 차단되어 세포 증식 억제를 초래하였다.

- 따라서, PYP 는 암 요법에서 비 독성 천연 보조제로서 잠재적으로 적용될 수 있다.

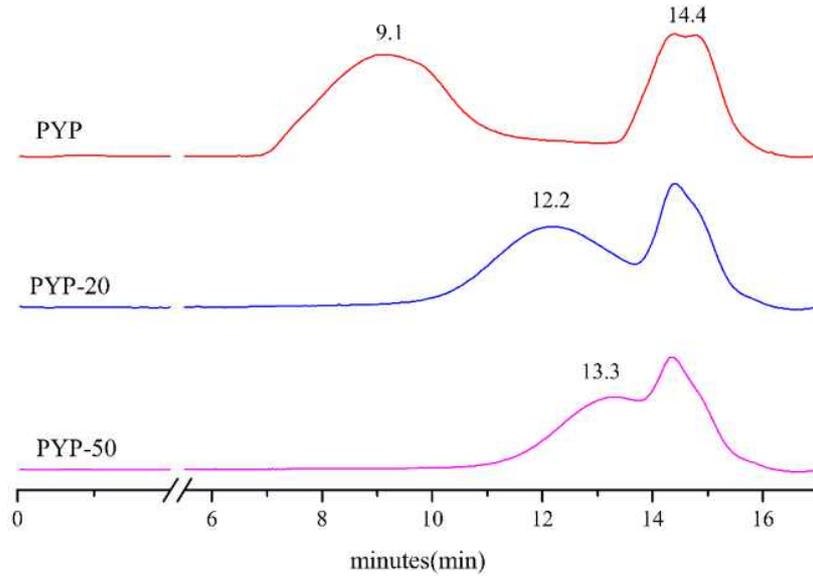
□ porphyran 의 물리 화학적 특성

- *P. yezoensis* 는 다량의 다당류를 함유하고 있는 식용 해조류 이다. 또한, *P. yezoensis* Chonsoo2 에서 열수 추출한 PYP는 에탄올 침전 후 17.6 % 수율을 나타냈다. 3 가지 porphyran 의 물리 화학적 특성은 표 1에 기술되어 있다.

<표 1. porphyran 의 물리 화학적 특성>

| Samples | Sugar (%)       | Protein (%)    | Sulfate (%)     | Molecular (kDa) | 3,6-anhydro- $\alpha$ -L-galactose (%) | Monosaccharide composition (%) |     |     |
|---------|-----------------|----------------|-----------------|-----------------|----------------------------------------|--------------------------------|-----|-----|
|         |                 |                |                 |                 |                                        | Gal                            | Xyl | Ara |
| PYP     | 92.4 $\pm$ 0.42 | 1.1 $\pm$ 0.04 | 12.6 $\pm$ 0.37 | 1161; 2.9       | 20.9 $\pm$ 0.94                        | 85.9                           | 7.3 | 6.8 |
| PYP-20  | 92.0 $\pm$ 0.51 | 0.5 $\pm$ 0.03 | 12.5 $\pm$ 0.46 | 34.6; 2.9       | 20.9 $\pm$ 0.74                        | 84.3                           | 7.5 | 8.2 |
| PYP-50  | 92.8 $\pm$ 0.71 | 0.4 $\pm$ 0.04 | 13.0 $\pm$ 0.66 | 9.7; 2.9        | 20.8 $\pm$ 0.27                        | 83.2                           | 8.3 | 8.5 |

- PYP, PYP-20 및 PYP-50 의 총 당 함량은 각각 92.4, 92, 그리고 92.8 % 였다. PYP 와 비교하여, sulfate 와 단당류 조성 그리고 3,6-anhydro- $\alpha$ -L-galactose 함량은 PYP-20 및 PYP-50 에서 유의한 변화를 나타내지 않았다.
- 모든 황화 porphyran 은 galactose (Gal), xylose (Xyl), 및 arabinose (Ara) 로 구성 되어 있었다. 또한 상기 3 가지 PYP는 이전에 보고된 PYP 와 다른 단당류 조성을 나타내었다. porphyran 의 분자량은 방사선 분해에 의존적인 것으로 나타났다 (그림. 1).

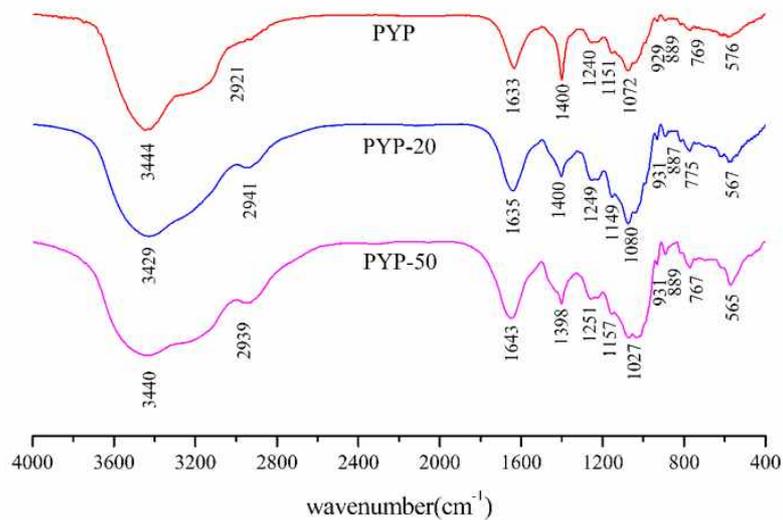


<그림 1. porphyran 의 분자량 분포 변화>

- 1161 kDa 및 2.9 kDa 의 분자량을 갖는 PYP 는 2 개의 대칭적인 넓은 피크를 나타내었으며, 이는 본 PYP 가 이형 다당류 임을 나타낸다. 또한, 긴 지연 시간을 갖는 피크는 낮은 분자량을 나타내며 이는 높은 추출 온도에 의해 분해된 것임을 나타낸다.
- 따라서 본 연구에서 제조된 새로운 PYP 및 2개의 분해된 PYP는 낮은 분자량을 갖는 것을 증명하였다.

□ FT-IR 분석

- 3 가지의 porphyran 특성은 FT-IR 분석에 의해 분석하였다 (그림. 2).

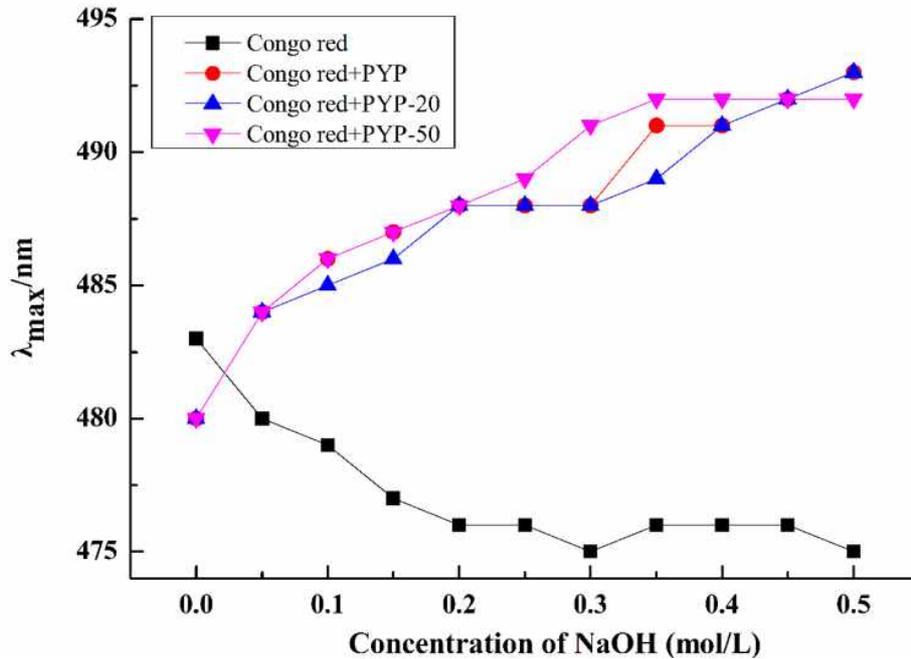


<그림 2. porphyran 의 FT-IR 분석>

- 2900-2950  $\text{cm}^{-1}$  과 3400-3500  $\text{cm}^{-1}$  에서의 강한 피크는 각각 alkyl 그룹과 hydroxyl 그룹의 stretching vibration 이다.
- 1240-1250  $\text{cm}^{-1}$  에서의 피크는 S=O 의 stretching vibration 에 의해 야기되었으며, 이는 황산기의 존재를 나타낸다.
- 1027  $\text{cm}^{-1}$  부근의 피크는 C2에서 Sulfate 그룹의 유사 대칭 신장을 나타냈다. 920-940  $\text{cm}^{-1}$  에서의 피크는 에테르 결합 (-C-O-C-) 의 을 나타내며, 이는 3,6-anhydro- $\alpha$ -L-galactose 를 포함한 모든 porphyrin 에서 나타난다.
- 1600-1650  $\text{cm}^{-1}$  과 1350-1400  $\text{cm}^{-1}$  에서의 stretching vibration 은 각각 carboxyl 과 carbonyl 그룹을 나타낸다.
- 1600-1650 과 1350-1400  $\text{cm}^{-1}$  에서의 PYP 의 피크는 PYP-20 과 PYP-50 에서의 피크와 다른 패턴을 보였으며, 이는 방사선 조사에 의해 porphyrin 의 glycosidic bond 의 결합이 끊어 졌기 때문이다.
- 1000-1200  $\text{cm}^{-1}$  에서의 피크는 porphyrin 이 pyran 형태를 가졌음을 나타내었고 1072  $\text{cm}^{-1}$  에서의 피크는 Gal 의 특성 밴드를 나타냈다.
- 880-890  $\text{cm}^{-1}$  부근의 흡수 피크는  $\beta$ -type glycosidic 결합을 나타낸다. 500-800  $\text{cm}^{-1}$  에서의 피크는 pyranose 구조의 진동에 의한 것이다.
- 750-780  $\text{cm}^{-1}$  부근의 피크는 Ara 의 특징적인 피크이다. 3 가지 porphyrin 의 FT-IR 스펙트럼은 큰 차이를 보이지 않았으며, 일부 변화는 주로 감마선 조사에 의한 glycosidic 결합의 절단으로 인한 것이다.

#### □ Congo red 분석

- 다당류의 삼중 나선 구조 구조를 검출하기 위해 콩고 레드 방법을 사용하였으며 그 결과를 그림. 3에 나타내었다.

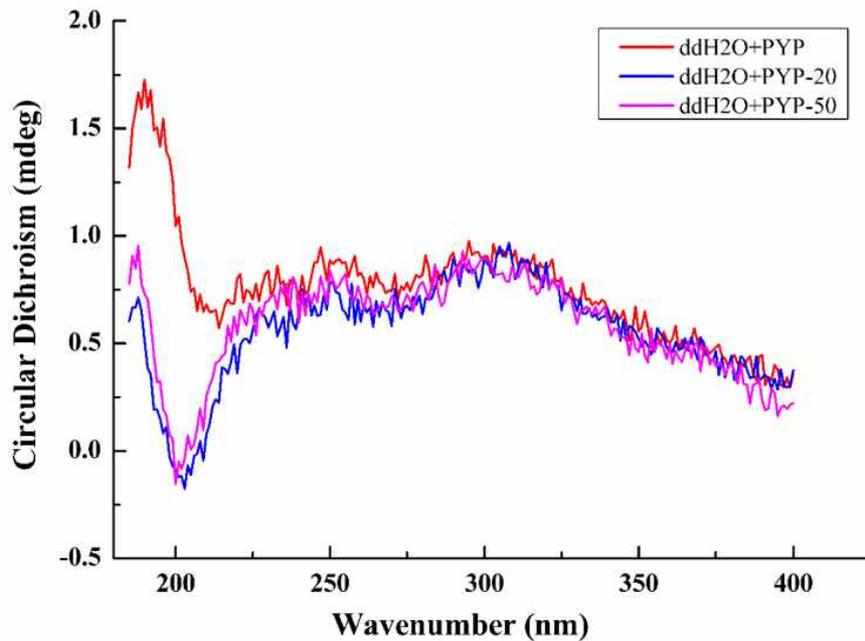


<그림 3. 다양한 NaOH 농도에서의 Congo red-porphyran 흡광값>

- 초기에는 콩고 레드와 porphyran 혼합물의 최대 파장이 감소하여 형태가 랜덤 코일임을 나타냈다. 그러나, 콩고 레드 및 porphyran 혼합물의 최대 파장은 농도 의존적 방식으로 수산화 나트륨이 0.05 에서 0.5 mol / L로 증가함에 따라 증가하였으며, 경향은 3 가지 혼합물과 유사하다.
- 결과는 3 개의 포르 피란이 수산화 나트륨 용액에서 안정적인 3 중 나선 구조를 가짐을 보여 주었다.
- 3 개의 포르 피란의 특징적인 흡수 피크는 1700-500cm<sup>-1</sup> 내에서 카라기난의 흡수 피크와 유사하기 때문에 PYP와 두 유도체의 겔화 메커니즘이 유사 함을 나타냈다. 음전하가 큰 이들 다당류는 pH 및 금속 이온에 의해 크게 영향을 받으므로 랜덤 코일 포르 피란이 슈퍼 코일 구조로 변형되어 최대 흡수 파장이 지속적으로 증가한다. 실험 결과는 3 개의 포르 피란이 랜덤 코일임을 나타냈다. 그러나 용액의 형태는 특정 pH 및 금속 이온 조건에서 안정적인 3 중 나선 구조이다.

□ Circular dichroism spectroscopy

- 분자량이 다른 포르 피란 용액은 용액 형태가 다르다 (그림. 4). 그 중에서도 저 분자량의 PYP-20 및 PYP-50은 200 nm 근처에서 negative cotton effect 효과를 나타내며, 이는 카르복실기의 n → π\* 전이와 관련이 있다.

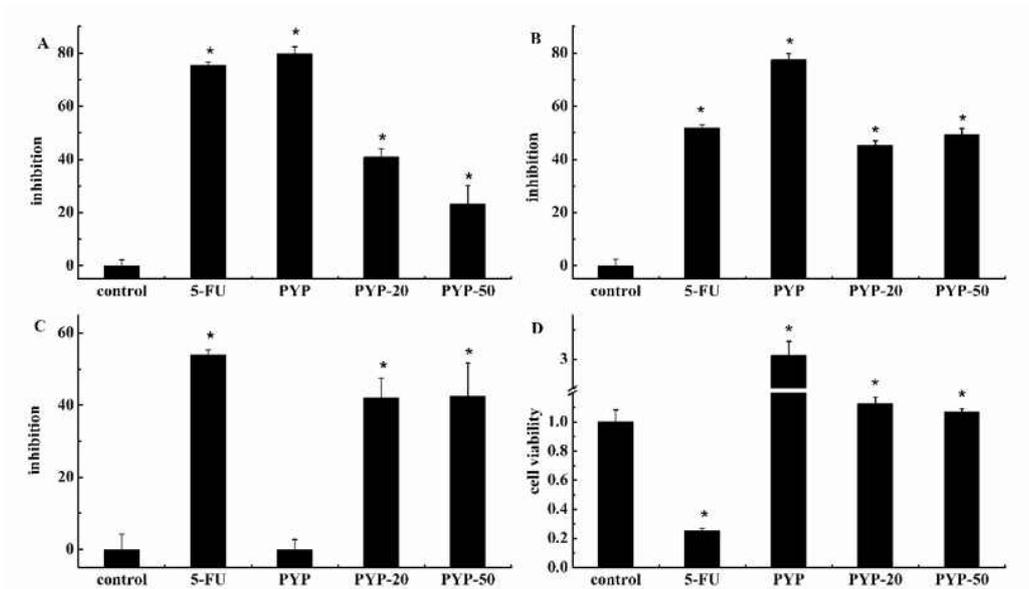


<그림 4. 다양한 porphyran의 CD spectrum>

- PYP-20 및 PYP-50의 흡수와 비교하여, PYP 샘플 적색의 흡수 피크는 200에서 214nm로 이동하여 양의 피크를 나타내었고 피크 신호는 증가했다.
- PYP-20 및 PYP-50의 경우 응답 곡선과 구조적 상태 모두 비슷한 경향을 보였습니다. PYP는 분자량으로 인해 용액 형태가 다릅니다. 거대 분자 물질은 용액에서 거대 분자 군집을 갖는다.
- 결과는 3 개의 porphyran 용액 형태가 분자량과 관련이 있음을 나타냈다. 연구에 따르면 용액 형태는 생물학적 활동과 관련이 있습니다.

□ Porphyran 이 종양 세포 생존력에 미치는 영향

- 5-FU는 광범위한 항암제이지만 환자의 면역 능력을 손상시키는 것으로 알려져 있습니다. Zhou et al. 및 Wang 등은 5-FU가 생체 내에서 종양의 성장을 억제했을 뿐만 아니라 면역 손상을 일으킨다고 보고했다. 그러나, 적색 다당류의 첨가는 5-FU의 항암 효과를 증가시켜 면역 손상을 감소시킨다.
- 우리의 결과는 5-FU가 Hep3B, HeLa 및 MDA-MB-231의 성장에 긍정적인 억제 효과를 보였지만, 정상적인 세포 HL-7702에도 독성이 있음을 보여 주었다. 그러나, porphyran 의 항 종양 효과는 HL-7702 세포의 성장에 촉진 효과를 나타냈다 (그림. 5 (D)).



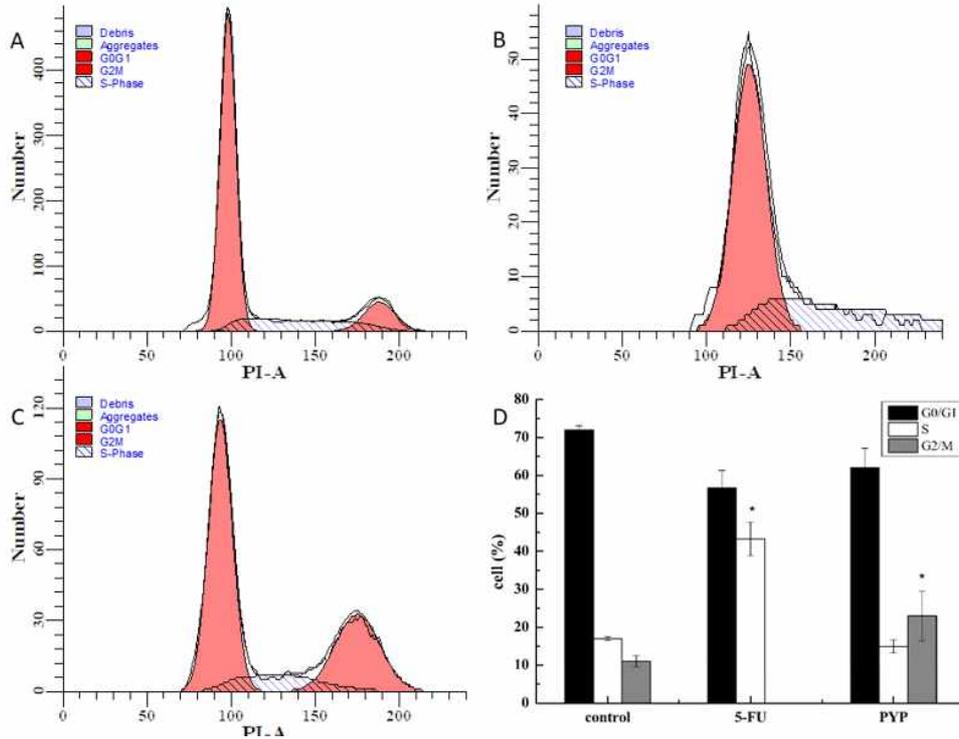
<그림 5. porphyran의 cell viability>

- 일부 연구에 따르면 식물 다당류는 무독성이며 부작용이 없다고 보고되었다. 따라서, 다당류는 기능성 식품 및 치료제에 널리 사용되어왔다. 그림. 5 (A-C)에 나타낸 바와 같이, PYP, PYP-20 및 PYP-50은 각각 Hep3B, HeLa 및 MDA-MB-231 세포에서 서로 다르게 억제되었다. PYP, PYP-20 및 PYP-50은 각각 48 시간에 각각 Hep3B 세포 억제율을 80 %, 41 % 및 23 %로 나타냈다 (그림. 5 (A)).
- 3 개의 포르 피란은 PYP의 억제 효과가 가장 우수한 Hep3B 세포의 성장을 억제하였다. 그러나, 이 억제 능력은 조사량 의존에 따라 감소했다.
- 3 종의 porphyran 이 HeLa 세포 성장을 억제하는 능력은 PYP가 또한 최고의 억제제라는 점에서 Hep3B 세포와 동일한 경향을 보였다.
- PYP, PYP-20 및 PYP-50은 48 시간에 HeLa 세포 억제율이 78 %, 55 % 및 51 %로 나타났다 (그림. 5 (B)).
- 그러나, 3 개의 porphyran 은 PYP-20 및 PYP-50이 세포의 성장을 상당히 억제하는 Hep3B 및 HeLa 세포에 대한 효과와 비교하여 MDA-MB-231 세포에 대해 상이한 억제 효과를 가졌다.
- PYP-20 및 PYP-50은 48 시간에 HeLa 세포 억제율이 43 %로 나타났다 (그림. 5 (C)). 상기 porphyran 항 종양 스크리닝 시험의 결과는 3 개의 porphyran 이 3 종의 종양 세포주에 대해 상이한 억제 효과를 갖는 것으로 나타났는데, 여기서 HeLa 세포 증식에 대한 효과는 특히 PYP에 의해 가장 높았다. 따라서 세 가지 porphyran 은 자궁 경부암 세포 약물로 더 적합하다.
- 또한 세 porphyran 의 물리 화학적 특성, 용액 형태 및 항 종양 활성은 거대 분자 PYP의 항 종양 활성이 이 연구에서 분자량 및 용액 형태와 관련이 있음을 보여 주었다. 연구에

따르면 1000 kDa 이상의 분자량을 가진 *Cordyceps gunnii* 다당류는 더 우수한 항 종양 효과를 가지며 그 활성은 분자량 및 용액 형태와 관련이 있다.

□ Porphyran 의 종양 세포주기에 미치는 영향

- MTT 결과는 PYP가 종양의 증식을 억제한다는 것을 보여 주었고, 유동 세포 계측법에 의한 추가 분석은 PYP가 HeLa의 세포주기를 방해하는 것으로 밝혀졌다 (그림. 6).



<그림 6. HeLa cell에 대한 porphyran의 영향>

- MTT 결과는 PYP와 5-FU가 종양 세포에 동일한 억제 효과를 가졌음을 보여주었지만, 흐름 분석은 PYP와 5-FU가 종양 세포주기에서 다른 정지 기간을 가짐을 보여주었다 (그림. 6 (B, C)).
- 5-FU가 HeLa 세포 S 단계를 차단하여 종양 세포의 세포자살을 유도하는 것으로 보고되었다. 본 연구의 결과 5-FU 또한 S 단계를 차단 하고 세포 자살을 유도하는 DNA 합성에 영향을 미쳐 세포 증식을 억제한다 (그림. 6 (B)). 대조군과 비교하여 5-FU의 G0 / G1 및 G2 / M 세포 백분율은 약 10 % 감소 하였다.
- 세포의 약 20 %가 S 기에서 차단되었다 (도 6 (D)). PYP는 G2 / M 단계를 차단함으로써 종양 세포가 복제 및 증식으로 진행되는 것을 방지한다. PYP로 48 시간 처리 한 후, G0 / G1 및 S의 세포 백분율은 10 % 미만으로 떨어지고, 백분율은 G2 / M에서 대략 10 %로 증가 하였다 (도 6 (D)). 상기 결과는 PYP가 G2 / M 단계를 저지함으로써 항 경부암을 유발할 수 있음을 나타냈다.

- 본 연구는 *Pyropia yezoensis* Sookwawon 104 에서 추출한 황산화 다당류(PYSP)와 저분자량(Mw) 유도체의 항암생물활성(Antitumor bioactivity)
  - PYSP는 주로 갈락토스, 포도당 및 푸코스로 구성된 불균일 황산화 다당류였다. PYSP의 저분자화는 Gamma-irradiation을 통하여 얻었다. 감마선 조사는 20, 100kGy에서 실시하였다. 저분자화 되지 않은 PYSP와 20kGy 및 100kGy의 감마선 조사를 통해 제조한 PYSP-20 및 PYSP-100에서는 분자량 분포(Molecular weight distribution)에 유의한 차이가 있었다.
  - 이들은 3개의 암세포주(Hep3B, MDA-MB-231, Hela)에서 다른 항 종양 활성을 나타냈고 이중 PYSP-20 및 PYSP-100에서 PYSP보다 더 높은 항암 효과를 확인할 수 있었다. 비독성(HL-7702) 정상 간세포에 비독성이었다. 이는 Gamma-irradiation에 의한 PYSP의 분자량의 변화는 항암활성에 영향을 미침을 나타냈다. 종합하면, *Pyropia yezoensis* Sookwawon 104의 낮은 Mw 홍조류 다당류천연의 광범위한 항암제 또는 건강 관리 식품으로서의 잠재력을 가지고 있다.

□ 다당류 특성

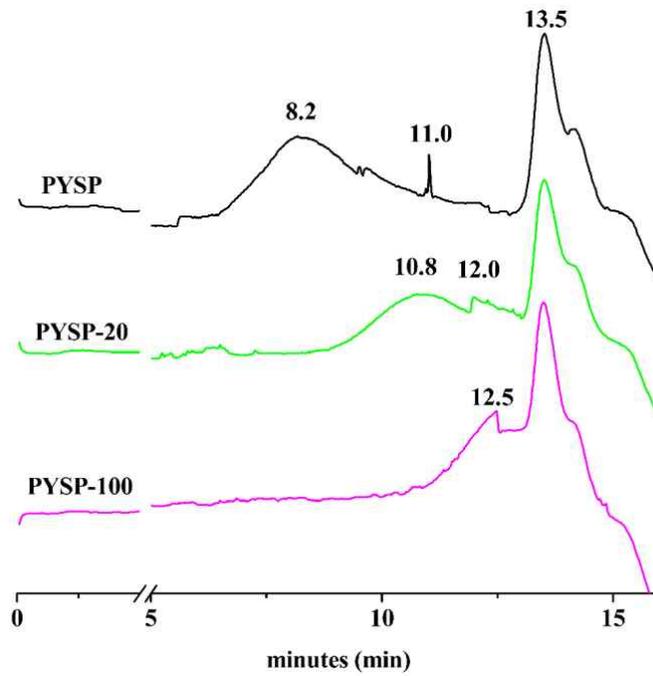
- 5g PYSP의 건조 추출은 *Pyropia yezoensis* Sookwawon 104에서 희석된 염산 추출 및 에탄올 침전 법으로 추출되었다.
- PYSP, PYSP-20 및 PYSP-100의 총 당 함량은 각각  $96.6 \pm 1.73 \%$ ,  $96.1 \pm 1.88 \%$  및  $96.0 \pm 2.00 \%$ 였다. 분자량 및 화학 조성을 표 2.에 나타냈다.

<표 2. 분자량 및 화학적 조성>

| Sample       | Mw<br>(kDa)     | Protein<br>(%) | Sulfate<br>content<br>(%) | Monosaccharide<br>composition (%) |      |     |
|--------------|-----------------|----------------|---------------------------|-----------------------------------|------|-----|
|              |                 |                |                           | Glc                               | Gal  | Fuc |
| PYSP         | 3315; 137;<br>8 | 0.83±0.03      | 12.2±0.07                 | 8.1                               | 87.5 | 4.5 |
| PYSP-<br>20  | 172; 44; 8      | 0.42±0.07      | 12.7±0.15                 | 9.5                               | 86.0 | 4.5 |
| PYSP-<br>100 | 25.8; 8         | 0.38±0.08      | 12.6±0.37                 | 10.7                              | 83.6 | 5.6 |

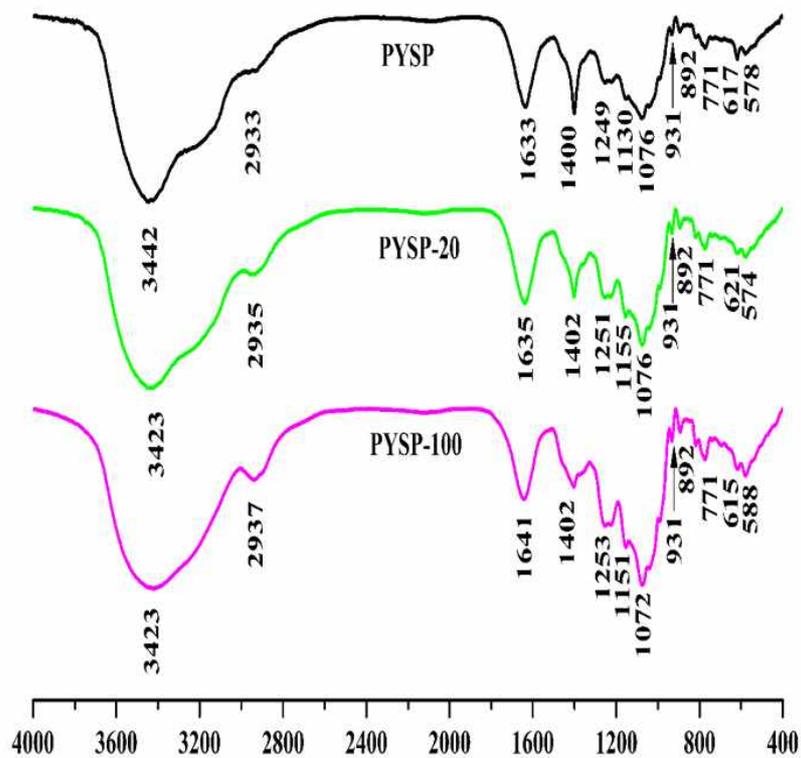
- PYSP, PYSP-20 및 PYSP-100의 성분은 명백한 차이는 없지만 감마선 조사량의 증가에 따라 분자량은 현저히 감소되었다. PYSP, PYSP-20 및 PYSP-100의 분자량 분포는 그림.

7과 같다.



<그림 7. 다당류의 분자량 분포>

- PYSP-100의 분자량 분포는 PYSP 및 PYSP-20의 분자량 분포보다 좁았다.
- PYSP, PYSP-20 및 PYSP-100의 작용기(Functional group)는 FT-IT 분석으로 분석했다 (그림. 8).

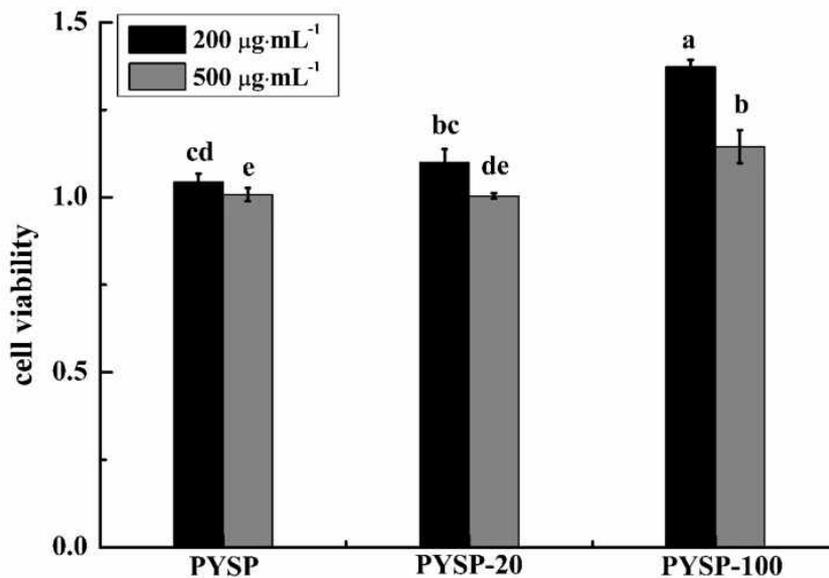


<그림 8. 다당류의 FT-IR spectrum>

- PYSP, PYSP-20 및 PYSP-100의  $2930\text{cm}^{-1}$  및  $3430\text{cm}^{-1}$  부근의 피크는 각각 알킬기 및 O-H의 신장 진동(Stretching vibration)이었다.
- $931\text{cm}^{-1}$  에서의 피크는 존재하는 에테르 결합(-c-o-c-)을 나타내며, 모든 샘플이 3,6-anhydro-alpha-L-galactose를 함유함을 시사한다.
- $1250\text{cm}^{-1}$  및  $890\text{cm}^{-1}$  근처의 신호는 각각 S=O 및 C-O-S 그룹의 신장진동(Stretching vibration)에 의해 야기되었으며, 이는 Sulfate 그룹의 존재를 나타낸다.
- $1635\text{cm}^{-1}$  및  $1400\text{cm}^{-1}$  근처의 피크는 각각 carboxyl 과 carbonyl group의 신장진동(Stretching vibration)이었다. 여기서 3개의 샘플은 FT-IT 스펙트럼에서 미묘한 차이를 나타낸다.

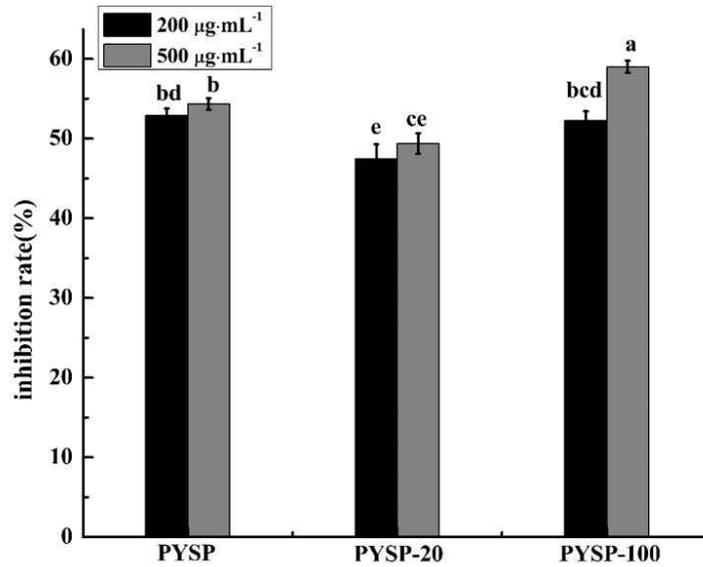
□ Antitumor activity

- 상이한 세포주에 대한 PYSP, PYSP-20 및 PYSP-100의 효과는 정상세포(HL7702) 및 3개의 암세포(Hep3B, HeLa 및 MDA-MB-231)에 대한 MTT 분석에 의해 분석되었다.
- 이 연구는 PYSP, PYSP-20 및 PYSP-100은  $200\mu\text{g}/\text{ml}$  또는  $500\mu\text{g}/\text{ml}$  농도에서 HL-7702 세포의 증식을 억제하지 않았다(그림. 9).



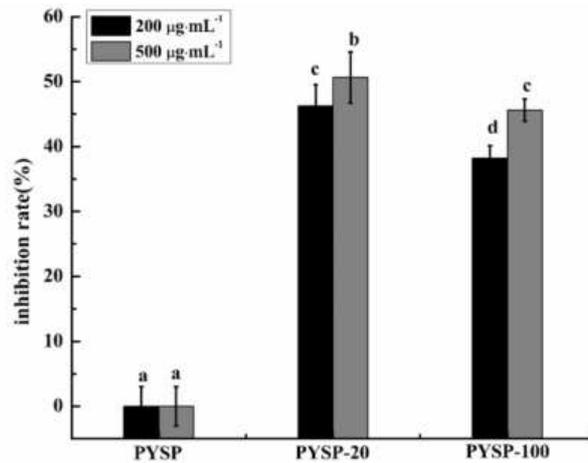
<그림 9. HL-7702 cell에 대한 다당류의 영향>

- 그 중에서도, PYSP-100은 다른 처리 군보다  $200\mu\text{g}/\text{ml}$ 의 농도에서 HL-7702 세포 증식을 유의하게 촉진시킬 수 있었다.
- PYSP, PYSP-20 및 PYSP-100은  $200\mu\text{g}/\text{ml}$  또는  $500\mu\text{g}/\text{ml}$  농도에서 Hep3B 세포에 항 종양 효과를 나타냈다(그림. 10).



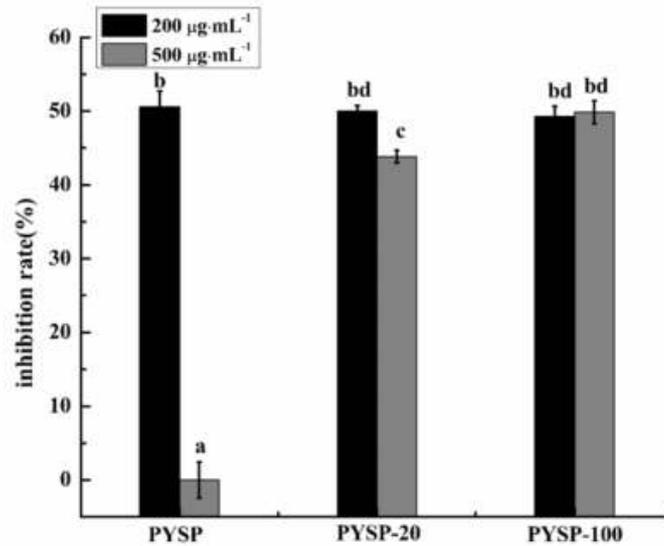
<그림 10. Hep3B cell에 대한 다당류의 영향>

- PYSP 및 PYSP-100은 Hep3B세포의 50% 이상의 억제율을 나타냈다. PYSP-100은 다른 처리 군보다 500ug/ml 농도에서 유의한 억제 효과를 나타냈다.
- MDA-MB-231 세포의 경우, PYSP는 억제 효과가 없었지만, PYSP-20 및 PYSP-100은 높은 억제율(40~50%)을 가졌으며, 특히 PYSP-20의 억제율은 500ug/ml의 농도에서 50%에 달했다.



<그림 11. MDA-MB-231 cell에 대한 다당류의 영향>

- PYSP-20 및 PYSP-100은 200ug/ml 또는 500ug/ml 농도에서 HeLa 세포에 항 종양 효과가 있었지만, PYSP는 200ug/ml 농도에서 HeLA 세포에 대해서만 항 종양 활성을 나타냈다(그림. 11).
- HeLa 세포에 대한 PYSP-20 및 PYSP-100의 억제율은 50%에 도달했다.



<그림 11. HeLa cell에 대한 다당류의 영향>

- 성장률이 높은 돌연변이 체를 조사하기 위해 비교 전사체 분석을 수행
  - 야생형 균주 (PyWT) 및 PyEMS의 De novo assembly 후, 226,293개의 unigenes가 생성되었고, 5,407개의 개별적으로 발현된 유전자가 확인되었으며, PyEMS에서 총 5,172개의 상향 조절된 unigenes 및 235개의 하향 조절된 unigenes가 확인되었다.
  - 전사체분석을 통해 증가된 proteasome 발현 및 억제된 ethylene 생성이 증가된 성장률을 초래 함을 입증하였다. 또한, 항산화제 및 피코빌리솜의 발현은 높은 성장률에 의해 억제되었다.
  - 또한, 얻어진 데이터로부터 1,281개의 SNP 및 12,963개의 cSSR이 확인되었다. cSSR을 함유하는 서열로부터 무작위로 선택된 12 개의 프라이머쌍 중에 한쌍은 PyWT와 PyEMS 사이에 상이한 패턴의 앰플리콘을 생성 하였다.
  
- De novo transcriptome assembly and functional annotation
  - Raw reads는 평균 길이 151 bp에서 총 약 69 Gbp로 생성되었다.
  - RNA-seq로부터의 Raw reads는 PyWT 및 PyEMS의 triplicate 샘플을 포함하는 pair-end 서열 파일을 함유하였다.
  - Trimming 후 PyWT 및 PyEMS에 각각 약 70.03 % 및 66.99 %의 판독값이 확인되었다.
  - RNA-seq 데이터의 전처리 후, clean reads를 Trinity에 의해 de novo assembling 하고, 각 조립체에서 복제된 contig를 CD-HIT-EST에 의해 제거하였다.
  - Assemblies에서 종 분포를 식별하기 위해 DIAMOND aligner로 BLASTp를 수행하였다. 상위 10 개의 추정 contaminant 박테리아 종은 다음과 같이 DIAMOND BLASTp 결과에서 확인되었다.

- Marivita cryptomonadis, Lewinella cohaerens, Maribacter dokdonesis, Haliea salexigens, Sphingomonadales bacterium EhC05, Maribacter, Bacillus, Maribacter sp. MAR\_2009\_60 and Porticoccus hydrocarbonoclasticus, and Marinobacter sp. C18. 상위 10개의 박테리아 게놈 서열을 함유하는 local 데이터베이스를 python과 함께 사용하여 assembling 된 PyWT 및 PyEMS로부터 추정 contaminant 서열을 제거하였다.
- PyWT와 PyEMS 사이의 공유 시퀀스 파일은 CD-HIT-EST-2D에 의해 assembling 되었 으며 추정 contaminant 시퀀스가 제거되었다. assembly 통계는 표 3에 나타내었다.
- PyWT는 N50이 948bp 인 2,823개의 전사체를 나타낸 반면, PyEMS는 N50이 609bp 인 268,773개의 전사체를 나타냈다. PyEMS는 PyWT보다 훨씬 많은 수의 전사체를 나타냈다.
- 그러나 PyWT의 N50은 PyEMS의 N50보다 길었다. 짧은 contig 길이는 PyEMS에서 더 많은 전사체를 만들 수 있다. 그러나 PyEMS는 현저히 높은 전사체수를 보유하고 있다; 이는 PyEMS Raw reads에서 contaminant reads 수가 많기 때문일 수 있다. 이 문제를 극복하 기 위해 PyWT와 PyEMS간에 공유 시퀀스를 식별하여 다운 스트림 분석에 사용하였다. PyWT와 PyEMS 사이의 공유 서열 중에 총 226,293개의 unigenes가 존재하였다 (표 3).

<표 3. Trinity assembled 결과>

|                         | <b>PyWT</b> | <b>PyEMS</b> | <b>Shared seq.</b> |
|-------------------------|-------------|--------------|--------------------|
| Number of trinity genes | 2,483       | 228,532      | 226,293            |
| Number of transcripts   | 2,823       | 268,773      | 267,320            |
| GC (%)                  | 57.21       | 54.47        | 54.48              |
| Contig N10              | 1,929       | 1,335        | 1,347              |
| Contig N50              | 948         | 609          | 615                |
| Median contig length    | 633         | 471          | 474                |
| Average contig          | 789.86      | 577.42       | 580.92             |
| Total assembled bases   | 2,229,765   | 155,193,594  | 155,290,389        |

- PyWT의 GC 함량, 54.48%는 PyEMS와 유사하였다.
- 공유 서열의 경우, N50은 615bp 미만이지만 N10은 1,347 bp였으며, 이는 분석에 충분하였 다. 공유 서열 결과는 표 1에 나타낸 바와 같이 PyWT보다 PyEMS의 결과와 더 유사 하 였다.
- 이는 PyWT contigs에 걸쳐 짧은 길이의 PyEMS contigs의 분포에 기인하며, 많은 PyEMS fragments를 초래한다. PyWT, PyEMS 및 공유 시퀀스의 Unigenes는 NR, Swissprot, Pfam, KEGG 및 GO와 같은 게 된 데이터베이스를 통해 찾을 수 있었다.
- NR은 결과 중에서 가장 많이 annotated 된 unigenes를 보유했다 (표 4). 또한, 공유 서열 에서 unigenes의 83.16%가 PyWT 또는 PyEMS 보다 많은 하나 이상의 데이터베이스에

보고되었다.

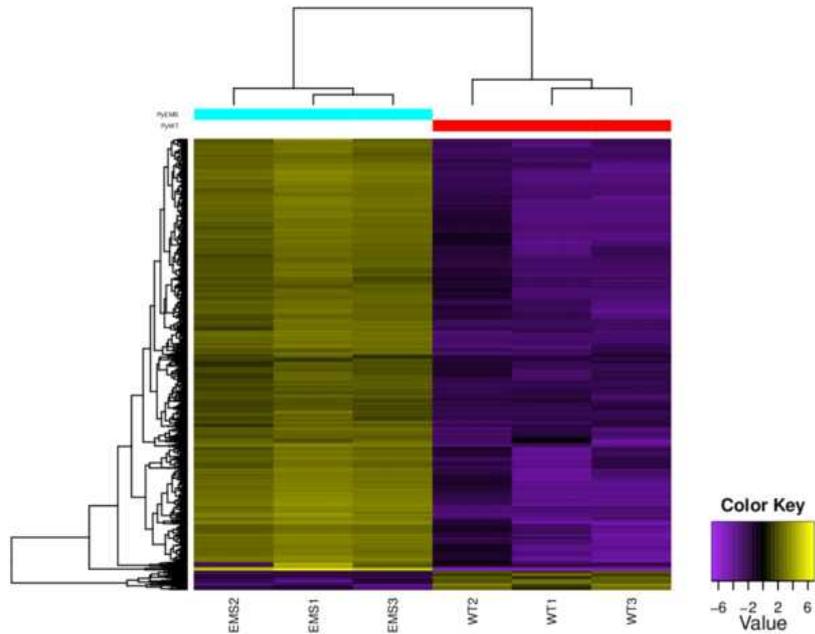
- 공유 시퀀스 구성은 데이터 양을 줄이는 데 도움이 되므로 분석에 더 적합하다는 것이 확인되었다. 8,114 및 47,547 contigs는 보고된 공유서열로부터 각각 pyropia 종 및 non-pyropia 진핵 생물의 보고된 단백질이었다.

<표 4. unigenes 서열>

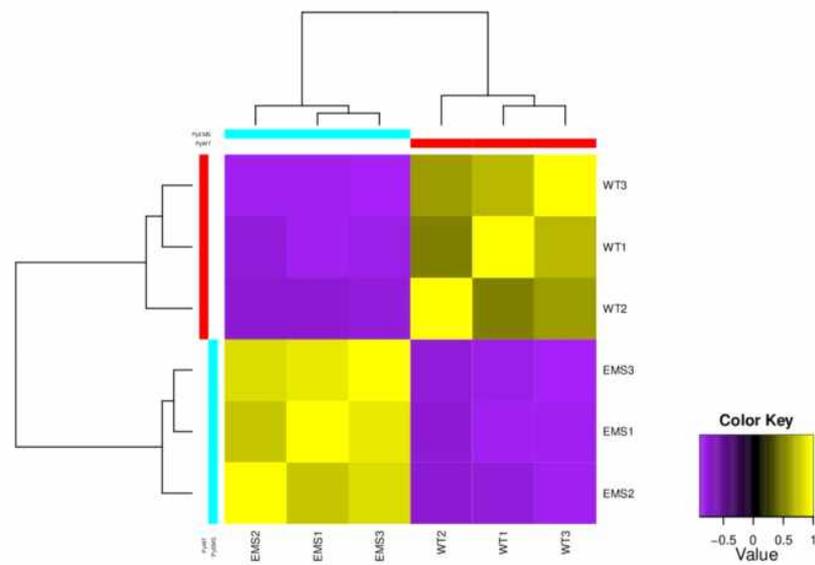
| Unigene              | FC   | Description                                                       |
|----------------------|------|-------------------------------------------------------------------|
| PyEMS_unigene_251545 | 1.72 | Proteasome subunit beta type-7-B                                  |
| PyEMS_unigene_230732 | 1.57 | 26S proteasome regulatory subunit 7                               |
| PyEMS_unigene_254931 | 2.83 | 26S proteasome regulatory subunit 8 homolog B                     |
| PyEMS_unigene_179268 | 2.22 | Putative 26S proteasome non-ATPase regulatory subunit 8 homolog B |
| PyEMS_unigene_32572  | 2.16 | 20S core proteasome subunit beta 6                                |
| PyEMS_unigene_249440 | 1.86 | 26S proteasome regulatory subunit 6B homolog                      |
| PyEMS_unigene_10616  | 1.78 | Probable 26S proteasome regulatory subunit rpn6                   |
| PyEMS_unigene_263145 | 1.78 | 26S proteasome non-ATPase regulatory subunit 8 homolog A          |
| PyEMS_unigene_252040 | 1.77 | 26S proteasome regulatory subunit 8 homolog A                     |
| PyEMS_unigene_20464  | 1.61 | 26S proteasome regulatory subunit 6B homolog                      |
| PyEMS_unigene_236852 | 1.58 | 26S proteasome regulatory subunit                                 |
| PyEMS_unigene_80889  | 1.57 | Proteasome subunit alpha type-2                                   |
| PyEMS_unigene_64315  | 3.99 | 26S proteasome regulatory subunit 7                               |
| PyEMS_unigene_254932 | 4.46 | 26S proteasome regulatory subunit 8 homolog A                     |
| PyEMS_unigene_78613  | 3.28 | Proteasome subunit alpha type-7                                   |
| PyEMS_unigene_17647  | 2.82 | Proteasome subunit beta type-5                                    |
| PyEMS_unigene_14513  | 2.53 | Proteasome subunit, partial                                       |
| PyEMS_unigene_170864 | 1.52 | Proteasome subunit alpha type 5                                   |
| PyEMS_unigene_193947 | 1.56 | 26s proteasome non-atpase regulatory                              |

□ DEG analysis and GO enrichment analysis

- 돌연변이 체의 높은 성장률을 조사하기 위해 추가 분석을 위해 DEG를 검출하였다. 샘플들 사이의 적절한 관계가 확인된 후, 개별적으로 발현된 unigenes는  $FDR \leq 0.05$  및  $\log_2 \text{fold-change} \geq 4$ 로 검출되었다 (그림. 12, 그림 13).



<그림. 12. Hierarchical clustering heatmap for differentially expressed genes (DEGs) >

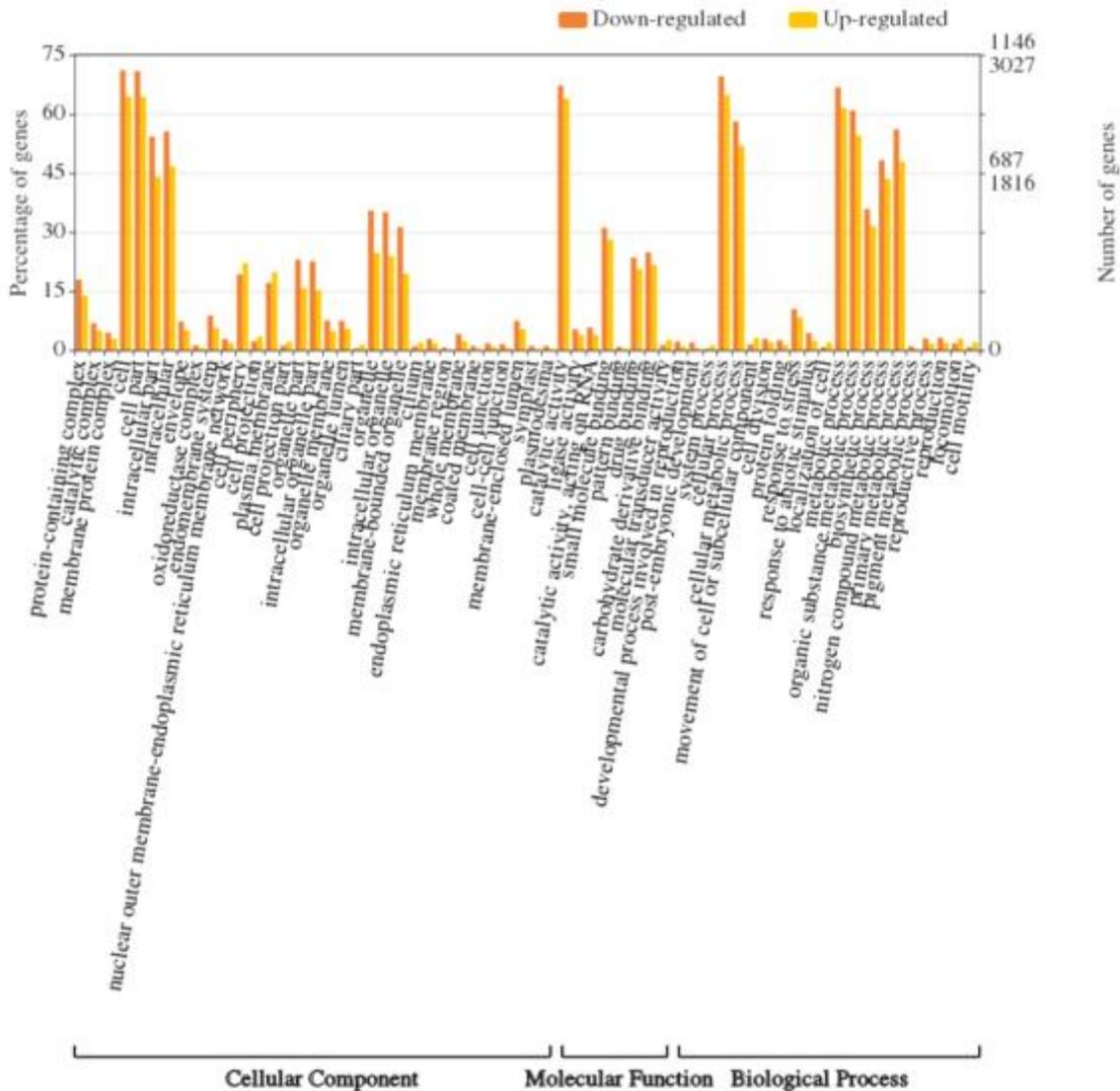


<그림. 13. Hierarchical clustering heatmap based on log<sub>2</sub>-transformed count data for relationship among samples >

- log<sub>2</sub> fold-change가 1 이상으로 설정되었을 때 PyEMS에서 총 6,552개의 unigenes가 상향 조절되고 1,381 개의 unigenes가 하향 조절되었으며, 5172개의 unigenes는 상향 조절되었고 235는 log<sub>2</sub> fold-change  $\geq 4$ 에서 하향 조절되었다.
- 후자의 기준을 사용하여 충분한 DEG가 검출되었기 때문에 log<sub>2</sub> fold-change  $\geq 4$ 로 얻은

결과를 추가 분석에 사용하였다.

- GO term enrichment는 DEG 및 WEGO v 2.0을 사용하여 분석되었다; 결과는 그림 2에 나타내었다.
- 세포 과정 (GO : 0009987), 대사 과정 (GO : 0008152) 및 생물학적 조절 (GO : 0065007)은 상향 및 하향 조절된 unigenes 모두에서 생물학적 공정 범주 중에서 가장 풍부한 GO term이다. 세포 구성 요소 범주의 경우 세포 (GO : 0005623), 세포 부분 (GO : 0044464), 막 (GO : 0016020), 소기관 (GO : 0043226) 및 막 부분 (GO : 0044425)은 상향 및 하향 조절된 unigenes 모두에서 가장 풍부한 GO term 이다.
- 그러나, 소기관 부분 (GO : 0044422)은 하향 조절된 unigenes에서 GO term이 풍부하였다. 촉매 활성 (GO : 0003824) 및 결합 (GO : 0005488)은 상향 및 하향 조절된 unigenes 둘다에서 분자 기능 범주 중에서 가장 풍부한 GO term 이었다.



<그림. 14. Distribution of GO terms in differentially expressed genes (DEGs) in shared sequences >

□ Regulation of gametophyte growth by proteasomes in PyEMS

- 프로테아좀 서브 유닛 α 유형 5의 발현은 단백질 분석에 의해 나타난 바와 같이 PyWT와 비교하여 PyEMS에서 상향 조절되었다.
- 프로테아좀 서브 유닛 α 유형 5는 또한 전사체분석으로부터 상향조절되었다 (표 5). 프로테아좀 서브 유닛 α 타입 5에 더하여, 프로테아좀 서브 유닛으로서 보고된 많은 unigenes는 PyEMS에서 상향 조절되었다.

<표. 5. List of unigenes annotated as genes related to proteasomes>

| Unigene              | FC   | Description                                                       |
|----------------------|------|-------------------------------------------------------------------|
| PyEMS_unigene_251545 | 1.72 | Proteasome subunit beta type-7-B                                  |
| PyEMS_unigene_230732 | 1.57 | 26S proteasome regulatory subunit 7                               |
| PyEMS_unigene_254931 | 2.83 | 26S proteasome regulatory subunit 8 homolog B                     |
| PyEMS_unigene_179268 | 2.22 | Putative 26S proteasome non-ATPase regulatory subunit 8 homolog B |
| PyEMS_unigene_32572  | 2.16 | 20S core proteasome subunit beta 6                                |
| PyEMS_unigene_249440 | 1.86 | 26S proteasome regulatory subunit 6B homolog                      |
| PyEMS_unigene_10616  | 1.78 | Probable 26S proteasome regulatory subunit rpn6                   |
| PyEMS_unigene_263145 | 1.78 | 26S proteasome non-ATPase regulatory subunit 8 homolog A          |
| PyEMS_unigene_252040 | 1.77 | 26S proteasome regulatory subunit 8 homolog A                     |
| PyEMS_unigene_20464  | 1.61 | 26S proteasome regulatory subunit 6B homolog                      |
| PyEMS_unigene_236852 | 1.58 | 26S proteasome regulatory subunit                                 |
| PyEMS_unigene_80889  | 1.57 | Proteasome subunit alpha type-2                                   |
| PyEMS_unigene_64315  | 3.99 | 26S proteasome regulatory subunit 7                               |
| PyEMS_unigene_254932 | 4.46 | 26S proteasome regulatory subunit 8 homolog A                     |
| PyEMS_unigene_78613  | 3.28 | Proteasome subunit alpha type-7                                   |
| PyEMS_unigene_17647  | 2.82 | Proteasome subunit beta type-5                                    |
| PyEMS_unigene_14513  | 2.53 | Proteasome subunit, partial                                       |
| PyEMS_unigene_170864 | 1.52 | Proteasome subunit alpha type 5                                   |
| PyEMS_unigene_193947 | 1.56 | 26s proteasome non-atpase regulatory                              |

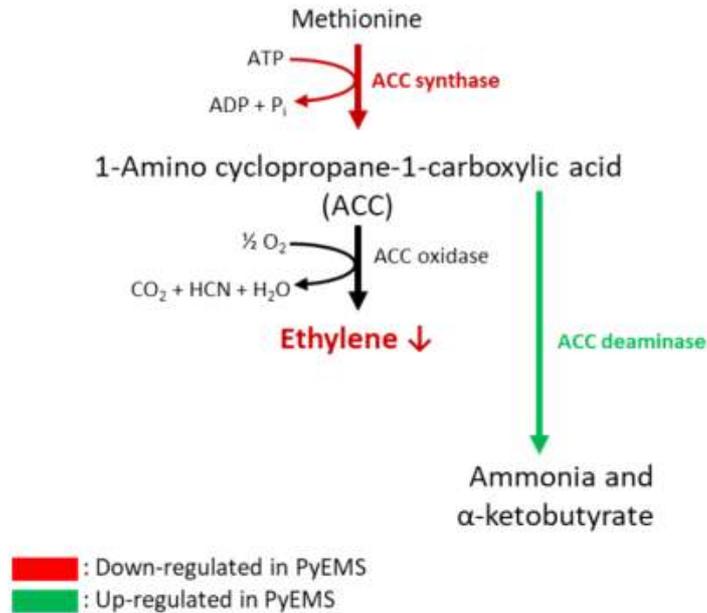
- 프로테아좀은 단백질 분해 활성을 갖는 단백질 복합체이다. 프로테아좀의 표적 단백질은 일반적으로 잘못 접히거나 손상된 단백질이다. 프로테아좀은 수많은 신호 전달 및 대사 경로를 제어 할 뿐만 아니라 세포 증식, 팽창 및 스트레스 반응에 영향을 미친다. 유비퀴틴으로 알려진 몇몇 소분자가 표적 단백질에 부착되고, 유비퀴틴화 신호물질은 표적 단백질이 프로테아좀으로 이동하는 것을 신호한다. 26S 프로테아좀 (26SP)은 원통형 20S 프로테아좀으로 잘 알려져 있고 표적 단백질을 직접 전개하는 20S 코어 입자 (CP)의 양쪽 말단에 부착된 19S 조절입자 (RP)를 함유한다.
- 26SP 분자는 진핵 생물의 세포질 및 핵에 분포되어 있으며 특히 핵에 농축되어있다. 그것

은 핵 단백질이 증가된 프로테아좀 의존적 전환을 필요로 한다는 것을 시사한다. 프로테아좀 서브유닛 유전자는 식물 세포 분열, 예를 들어 meristems 및 비-팽창되지 않은 장기와 같은 핵 외피 및 유사 분열 방추에서 높은 수준으로, 성숙한 조직에서 꾸준히 낮은 수준으로 발현된다.

- *Arabidopsis* 돌연변이 체에서 약하게 발현된 26SP 서브 유닛은 야생형 식물보다 더 긴 식물 인 것으로 나타났다. 그러나, 돌연변이체는 야생형의 것보다 더 적은 세포 및 더 큰 세포 크기를 나타냈다. 따라서, 26SP의 증가는 세포 분열을 유도하고 세포 크기를 감소시킬 수 있다. 일반적으로 식물 세포에는 26SP 외에 20SP가 들어 있다; 그러나, 20SP는 산화성 단백질을 표적으로 하고 분해한다. 26SP : 20SP 비율은 개발과정에서 중요하게 조절 된다. 26SP의 감소는 26SP에 의해 제거되어야 하는 잘못 접힌 단백질의 축적으로 인해 20SP의 생체 생성을 유발하여 노화 및 세포 사멸을 초래한다. *Arabidopsis* 돌연변이체에 대한 연구에 따르면 26SP 활성이 낮으면 20SP 활성이 증가하고 26SP는 시간이 지남에 따라 노화가 감소하는 것으로 나타났다. 돌연변이 노화 가속은 조기 노화를 방지하기 위해 유지 보수에 26SP가 필요하다는 것을 나타냈다. 본 연구의 결과뿐만 아니라 발표된 연구에 따르면, 26SP 유전자의 상향 조절에 의해 PyEMS에서 26SP 활성이 증가하여 세포 분열의 활성화 및 노화 지연을 유발하였다. 노화의 지연은 세포 수명을 향상시키고, 장기간 배우체를 유지하며, 세포 분열을 증가시켜 PyEMS에서 더 긴 배우체를 초래할 수 있다.

#### □ Enhancement of gametophyte growth via decreased ethylene production in PyEMS

- 에틸렌은 식물성 호르몬 및 가스로 뿌리 분화, 열매 숙성, 꽃의 개화, 생물학적 및 비 생물학적 스트레스에 대한 반응을 조절한다. 에틸렌 합성은 일반적으로 1-aminocyclopropane-1-carboxylate (ACC) synthase 및 ACC 산화 효소에 이어 두 단계를 필요로 한다. ACC synthase는 메티오닌으로부터 유래된 S-adenosylmethionine (SAM)을 ACC로 축매 한다 (그림 15). 이어서, ACC 산화 효소는 ACC의 에틸렌으로의 산화를 촉매한다.



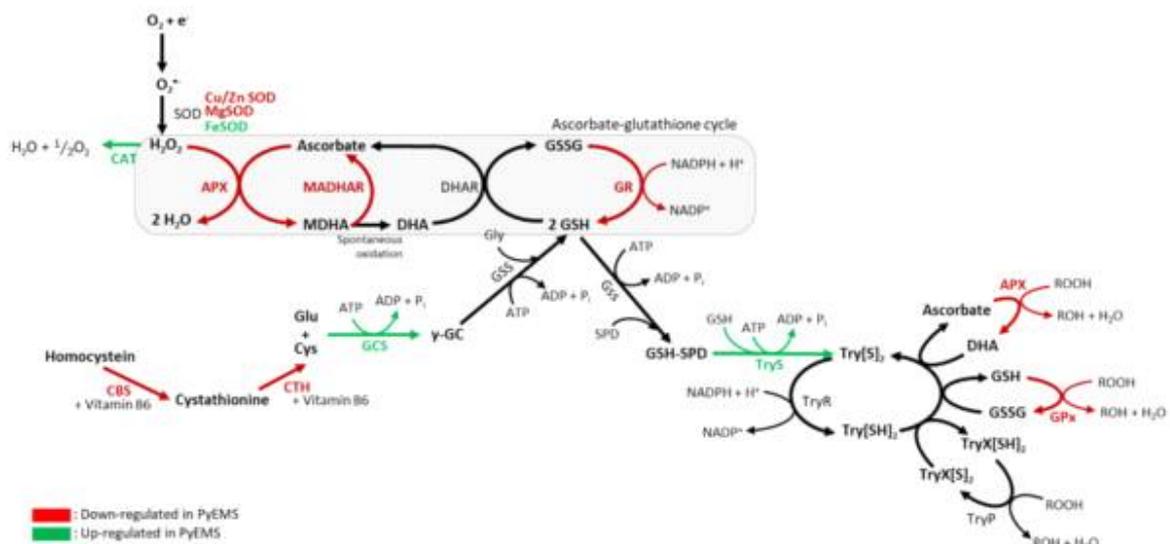
<그림. 15. Description of differentially expressed genes (DEGs) in ethylene biosynthesis pathway >

- PyEMS에서, ACC synthase의 발현은 하향 조절되었지만, ACC deaminase의 발현은 상향 조절되었다 (보충 표 5). 하향조절된 ACC synthase는 PyEMS에서 에틸렌 생산을 감소시켰으며, 상향조절된 ACC deaminase는 암모니아 및 α-ketobutyrate 의 ACC의 분해를 촉진시켰다. 상향조절된 ACC deaminase는 bacterial ACC deaminase와 상동 성인 Arabidopsis ACC deaminase로 보고 되었지만, ACC 분해를 촉매 하지는 않았다. 따라서, *P. yezoensis*로부터 보고된 ACC deaminase의 촉매 활성을 확인하기 위해 추가 실험이 필요하다.
- 에틸렌은 *P. yezoensis*에서 생식, 특히 유성 생식을 가속화시켰다. ACC 처리는 *P. yezoensis*에서 정자형성을 촉진하고 ACC 농도 의존적 방식으로 성장률을 억제했다. 또한, *P. yezoensis*는 식물성 성장과 번식사이의 절충점을 보여주지만 이 절충안이 모든 해초에서 관찰되는 것은 아니다.
- PyEMS에서 생식 관련 유전자로 보고된 Unigenes가 하향 조절되었다. ASPO2608 및 ASPO1527은 *P. yezoensis*에서 유성 및 무성 생식에 중요한 역할을 한다. 또한, aurora kinase 및 cyclin은 특정 세포 분열을 제어함으로써 생식 세포 형성에서 주요 조절 인자로서 역할을하여, 식물에서 다양한 세포 지방을 갖는 딸 세포를 유도 한다.

□ Decrease of transcript expression related to antioxidants in PyEMS

- 반응성 산소 종 (ROS)은 산소 분자 (O<sub>2</sub>) 자체보다 반응성이 높은 임의의 산소 유도체이다. ROS는 대사 반응 및 스트레스 노출에 대한 반응에 의해 생성된다.

- ROS는 성장을 포함하여 세포 신호로서의 역할을 할 수 있다. 그러나 높은 ROS 수준은 독성이 있으며 다양한 구성 요소와의 높은 반응성으로 인해 사멸에 이를 수 있다. 따라서, 세포 내 ROS 수준은 효소 및 비 효소 반응을 수반하는 항산화 시스템에 의해 관리된다.
- Superoxide dismutase (SOD), peroxidase (POD), catalase (CAT) 및 glutathione reductase (GR)는 일반적인 효소 항산화 제이다. 다양한 단일 유전자는 효소 적 항산화 제로서 주석을 달고 DEG로서 검출되었다. Putative thiol-specific antioxidant protein, cytosolic ascorbate peroxidase 및 비타민 B6 생합성 family protein은 더 높은 발현을 나타냈다; 그러나, manganese superoxide dismutase (MnSOD)는 프로테오믹스 연구에서 PyEMS에서 발현에 변화를 보이지 않았다. 이 연구와는 달리, SOD, Cu / ZnSOD, FeSOD 및 MgSOD의 3 가지 유형이 검출되었고, Cu / ZnSOD 및 MgSOD는 돌연변이체에서 하향 조절되었다 (보충 표 6); 그러나 FeSOD는 상향 조절되었다. 또한, cytosol ascorbate peroxidase는 PyEMS에서 하향 조절되었지만, 프로테오믹스 연구에서 더욱 높게 발현되었다; CAT와 GR은 proteomics 연구에서 언급되지 않았지만 본 연구에서는 상향 조절되는 것으로 밝혀졌다.
- 그림. 16는 PyEMS에서 차별적으로 발현된 항산화 유전자를 보여준다. Ascorbate-glutathione 주기는 기질을 재활용하는 ROS 방어 시스템 중 하나이며 이 주기에 관련된 다양한 유전자는 PyEMS에서 하향 조절되었다.

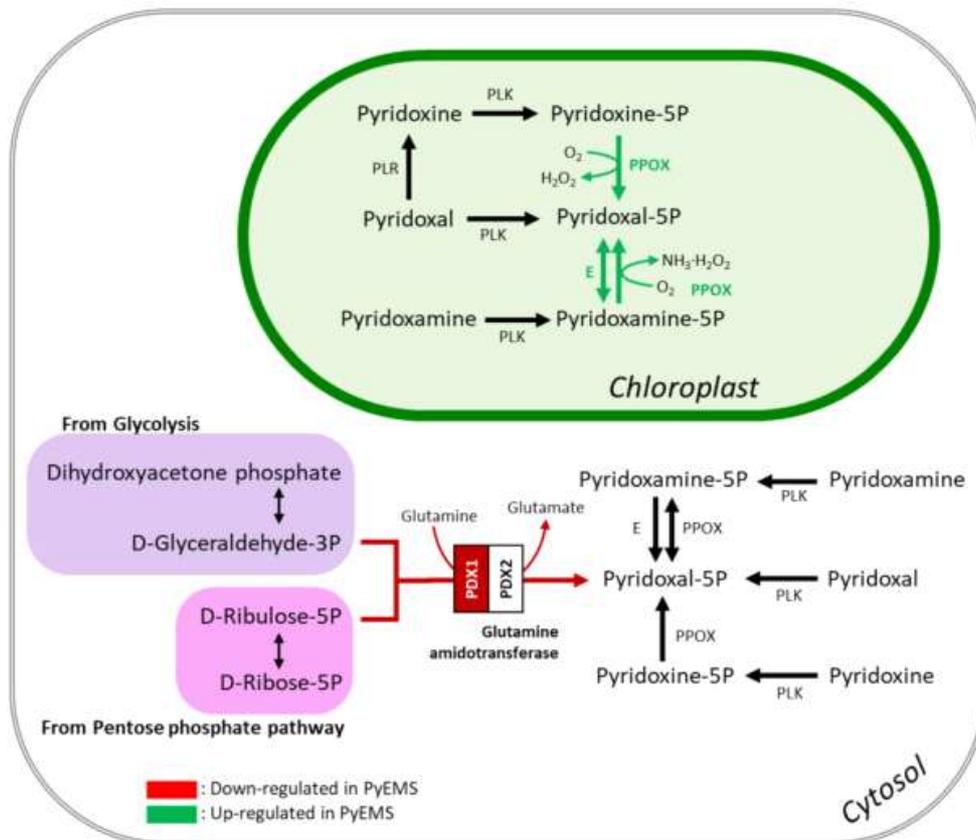


<그림. 16. Description of differentially expressed genes (DEGs) related to reaction oxygen species (ROS) response in PyEMS>

- Glutathione (GSH)은 세포 분열 중 산화 환원 항상성에 가장 중요한 산화 환원 buffer이다. DEG 분석에서는 GSH 합성이 향상되었지만 GSSG (glutathione disulfate)의 GSH 재순환이 억제되었다. 높은 ROS 수준은 세포 분열 중 광합성, 광호흡, 산화적 인산화 및 지

방산 산화와 같은 세포 경로에 의해 생성된다.

- 축적된 ROS는 항산화 유전자의 발현을 유도하고 성장 동안 최적 수준으로 제거된다. 이어서, 최적의 세포 수준의 ROS에 도달한 후 증가된 항산화 발현이 억제되어 ROS 항상성을 유지한다.
- 전사체 분석에 따르면 비타민 B6 생합성과 관련된 일부 유전자는 단백질학 결과와 유사하게 상향 조절되었다.



<그림. 17. Description of differentially expressed genes (DEGs) related to the biosynthesis of vitamin B6 (pyridoxine)>

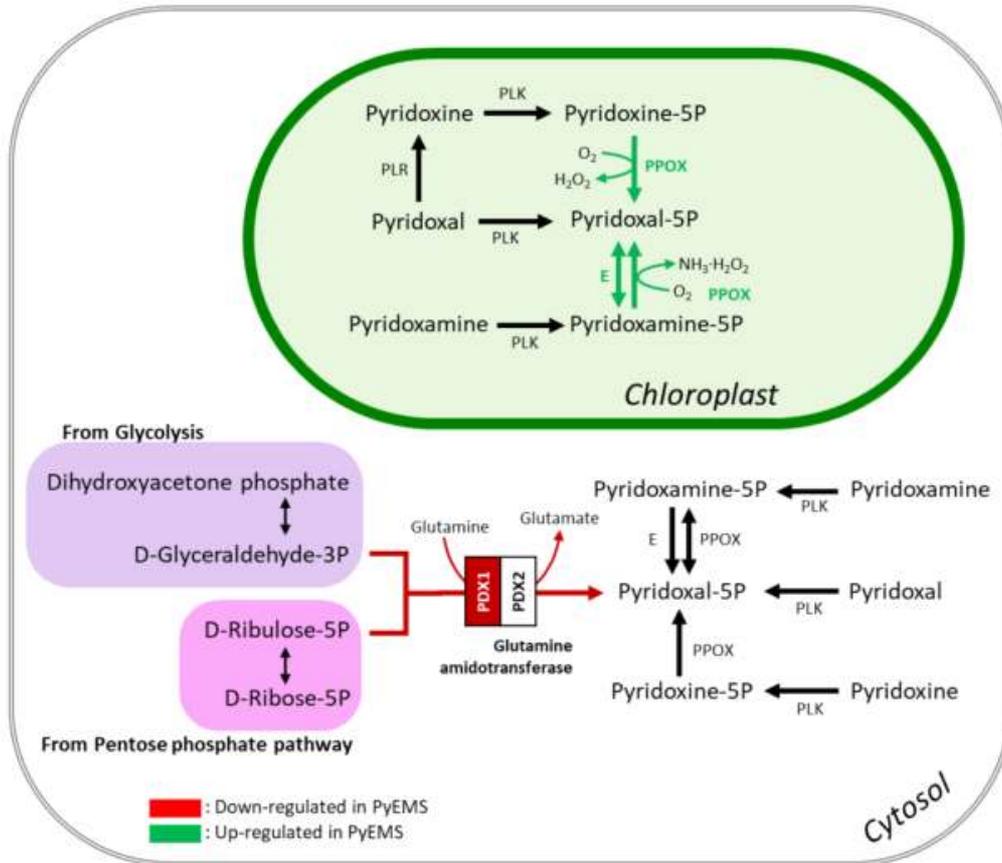
- 비타민 B6는 또한 효과적인 항산화 제이며 유기체의 대사 효소에 필수적인 코엔자임이다. 비타민 B6는 피리독신 (PN), 피리독사민 (PM), 피리독살 (PL), 피리독신 5 인산 (PNP), 피리독사민 5인산 (PMP) 및 피리독살 5 인산 (PLP)의 6 가지 형태가 있다.
- PLP는 많은 대사효소의 보조인자로 작용하는 활성형태의 비타민 B6이다. PLP의 de novo 생합성에 대해 deoxyxylulose 5'-phosphate (DXP)-의존성 경로 및 DXP-비의존성 경로의 두가지 다른 경로가 보고되었다:
- 후자는 식물에서 비타민 B6 생합성에 대한 주요한 de novo 경로이다. PLP는 PLP synthase 및 glycolysis and pentose phosphate 경로로부터의 전구체에 의해 합성된다. PLP synthase는 2 개의 단백질: pyridoxal phosphate synthase protein 1 (PDX1) 및

PDX2를 포함한다. PLP 신타 제 복합체는 glutamine amidotransferase 로서 기능하는 것으로 예측 되었다. pdx1- 결핍 Arabidopsis 돌연변이 체는 짧은 싹 및 뿌리 성장, 잎에서의 높은 chlorotic rate 및 비생물적 스트레스에 대한 높은 민감성을 나타냈다. 그러나, PyEMS 전사체에서 PDX1 발현이 감소되었다.

- PLP는 또한 세포질과 엽록체의 구조 경로를 통해 다른 비타민 B6 형태로부터 합성될 수 있다. 본 실험에서, PDX1이 하향-조절되었지만, 구조 경로가 활성화되었다. Pyridoxine (pyridoxamine) 5'-phosphate oxidase (PPOX)는 PyEMS 전사체에서 상향 조절되었다.
- 감소된 PPOX 활성 돌연변이체는 비타민 B6 및 PLP의 양을 감소시켰다. 뿐만 아니라, 돌연변이체는 억제된 뿌리 성장 및 종자 발아를 나타냈다. 비타민 B6 양은 PDX1과 관련이 있었지만, PPOX 돌연변이 체에서 발현된 PDX1 전사체가 증가하였다. PPOX 발현의 증가는 PyEMS에서 PDX1 억제를 초래하였으며, 이는 이전 결과와 일치하였다.

#### □ Reduced expression of phycobilisome genes in PyEMS

- Phycobilisome은 시아노박테리아와 홍조류의 photosystem II에 지배적인 light-harvesting antennae이다. Phycobilisomes는 색소단백질인 phycobiliproteins로 구성된다. Phycoerythrin (PE), phycocyanin (PC) 및 allophycocyanin (AP)은 phycobiliproteins의 주요 클래스이며 각 phycobiliprotein은 최대 흡수율이 다르다. 따라서, phycobilisomes은 엽록소에 의해 흡수되지 않는 빛의 파장을 흡수하고, photosystem II에서 엽록소에 에너지를 단방향으로 전달한다.



<그림. 18. Description of differentially expressed genes (DEGs) related to phycobilisomes)>

- PyEMS는 PyWT보다 적은 PC 및 유사한 다른 광합성 안료를 함유하였다. 또한, phycobilisome rod-core 링커 폴리펩타이드의 단백질 발현은 단백질학 연구에서 PyEMS에서 하향 조절되었다. phycobiliproteins로 확인된 일부 unigenes는 하향 조절된 발현을 보였다.
- 성장중 영양소 제한으로 인해 Phycobilisome 저하가 발생하여 대사정지 조건에서 세포가 빛을 흡수 할 때 발생하는 광 손상을 방지한다. 따라서, PyEMS에서 고속성장 동안 영양 제한으로 인해 저수준 및 하향 조절된 phycobiliprotein 유전자가 발생하는 것으로 생각된다.

□ Identification of SNPs and cSSRs

- BWA MEM 및 FreeBayes에 의해 공유 서열에서 총 1,281개의 SNP가 확인되었다.
- PyWT 및 PyEMS에서, 179 및 153개의 SNP와 49개의 cocurrent SNP가 각각 검출되었다. 또한 270,518개의 서열을 사용하여 cSSR을 찾고 12,963개의 cSSR을 MISA로 식별하였다.
- cSSR은 모노-, 디-, 트리-, 펜타-및 헥사-뉴클레오티드에 기초한 반복 모티프에 의해 분류되었다 (표 6).

<표. 5. Summary statistics of the number of repeat motifs >

|        | ≤6    | >6, ≤10 | <10   | Total |
|--------|-------|---------|-------|-------|
| mono-  | 0     | 1,603   | 2,441 | 4,044 |
| di-    | 749   | 534     | 28    | 1,311 |
| tri-   | 6,309 | 799     | 38    | 7,146 |
| tetra- | 84    | 3       | 3     | 90    |
| penta- | 13    | 5       | 0     | 18    |
| hexa-  | 58    | 20      | 6     | 84    |

- 모노-뉴클레오티드 모티프는 얻어진 cSSR에서 가장 많았고, 이어서 트리-뉴클레오타이드 모티프가 있었다. 모노 뉴클레오타이드 모티프 중에서, "T"가 가장 흔하고 (1,118 카운트), "G"(1,067 카운트), "C"(1,018 카운트) 및 "A"(841 카운트)가 뒤 따랐다. 또한, "CGA"(727 개 카운트), "GAC"(448 개 카운트) 및 "ACG"(353 개 카운트)가 가장 일반적인 트리-뉴클레오타이드 모티프였다.
- pyropia는 EST에서 유래 한 SSR에서 극도로 높은 비율의 트리-뉴클레오티드 모티프를 보유하고 있다고 보고되었다. 불행하게도, 여기서 관찰 된 빈번한 모티프 서열은 이전 연구의 결과 ("AAC", "GGC" 및 "AGC")와 달랐다.
- 흥미롭게도, 18 개의 펜타-뉴클레오티드 및 84 개의 헥사-뉴클레오티드 모티프를 얻어진 cSSR에서 계수하고, 6 개의 cSSR을 헥사-뉴클레오티드 모티프에서 10 개 이상 반복되었다.
- 프라이머쌍은 BatchPrimer3를 사용하여 확인 된 cSSR로부터 설계되었고, 12 개의 프라이머쌍이 무작위로 선택되어 PCR에 사용되어 PyWT와 PyEMS 사이의 식별이 가능한 바이오마커를 확인하였다. 8 개의 프라이머쌍이 앰플리콘을 생성했지만 1개의 프라이머 쌍만 PyWT와 PyEMS를 구분하는 앰플리콘을 생성했다. 이 프라이머 쌍은 다음 서열을 갖는다: F; 5'-GTGGAAGGAGGAGATGATG-3 '및 R; 5'-GTCAAACCTCGGCCACC-3'.

□ *Pyropia yezoensis* 전사체 분석을 통한 유전자 규명

- 2-Amino-3-carboxymuconate-6-semialdehyde decarboxylase (ACMSD)는 2-amino-3-carboxymuconate-6-semialdehyde (ACMS)의 탈 카르복실화를 촉매하고 2-amino-3-carboxymuconate (ACM)를 생성
- ACMSD는 박테리아에서 2- 니트로 베노 산의 분해 경로와 진핵 생물에서 키누 레닌 경로라고도 알려진 L- 트립토판 이화 경로에 중요한 역할을 한다. 키누 레닌 경로는 아세틸-CoA를 합성하여 캘빈 회로를 통해 에너지를 생성. ACMS는 자연적으로 그러나 천천히 QUIN (퀴 놀리 네이트)으로 전환되는데, 이는 내인성 신경독이며 nicotinamide adenine

dinucleotide (NAD +) de novo 생합성의 핵심 중간체. ACMSD는 키누 레닌 경로에서 제어 지점 역할을하여 NAD + de novo 생합성을 통해 QUIN 생산을 조절. 체액에 포함 된 QUIN의 양은 NAD + 항상성과 관련이 있으므로 불안, 우울증, 간질, 알츠하이머 병, 헌팅턴병 및 인간 면역 결핍 바이러스 관련 신경인지 장애와 같은 다양한 신경 질환과 관련이 있음. 따라서 ACMSD는 최근 신경 치료의 새로운 표적으로 간주.

- *Pyropia yezoensis* (Bangiales, Rhodophyta)는 시판되는 거대 조류로 동아시아 요리의 재료로도 사용. 우리의 이전 transcriptome 연구에 따르면 세포 질소 가용성이 증가하면 감마선을 사용하여 돌연변이 *P. yezoensis*의 성장 속도가 향상. *P. yezoensis* (Pyacmsd)에서 발견되는 추정 acmsd는 돌연변이 체에서 고도로 발현되는 것으로 밝혀졌습니다.
- Pyacmsd가 아미노산에서 질소 공급원을 재활용하여 질소 가용성을 높이는 데 관여하여 돌연변이 *P. yezoensis* (미공개 데이터)의 높은 성장률을 가져온다는 가설이 세웠습니다. 질소는 필수 영양소이며 해양에서 다량 영양소의 조립을위한 빌딩 블록 및 제한 요소로 활용. 마찬가지로 식물 성장은 질소 가용성과 관련이 있습니다. 질소 기아 상태에서 대장균 및 클라 미도 모나스 라인 하르티에 대한 Pyacmsd의 효과를 확인하기 위해 추정 PyACMSD를 포함하는 플라스미드를 대장균 및 *C. reinhardtii* 로 형질 전환시켰다.

#### □ 추정 PyACMSD는 ACMSD의 보존 domain

- 그림은 추정 PyACMSD [Py]와 다른 대표적인 ACMSD의 다중 서열 정렬 분석 결과. 아미노산 서열 중 보존 된 잔기가 남아 있음을 확인. [Pf], [Ce], [Ce\_2], [Hs], [Rn]의 정체는 각각 [Py]와 유사하게 35.89 %, 41.54 %, 41.30 %, 50.00 %, 49.70 %.



그림. K- 평균 클러스터링 방법에 의한 추정 PyACMSD [Py] 및 Clustal Omega를 사용한 ACMSD의 대표적인 시퀀스의 다중 시퀀스 정렬 분석.

□ EPyacmsd 유래 질소 기아에 대한 *E. coli*의 강화된 견고성

- *E. coli* DH5a (pTrcHisB / EPyacmsd)에서 EPyACMSD의 발현은 SDS-PAGE (보조 그림 1)에 의해 확인. 생물 정보학 자원 포털 ExPASy에 따르면 EPyACMSD의 크기는 39.89kDa로 예상됩니다. 이것은 IPTG 유도 후 *E. coli*에서 발현되는 ~ 40 kDa EPyACMSD와 매우 유사.

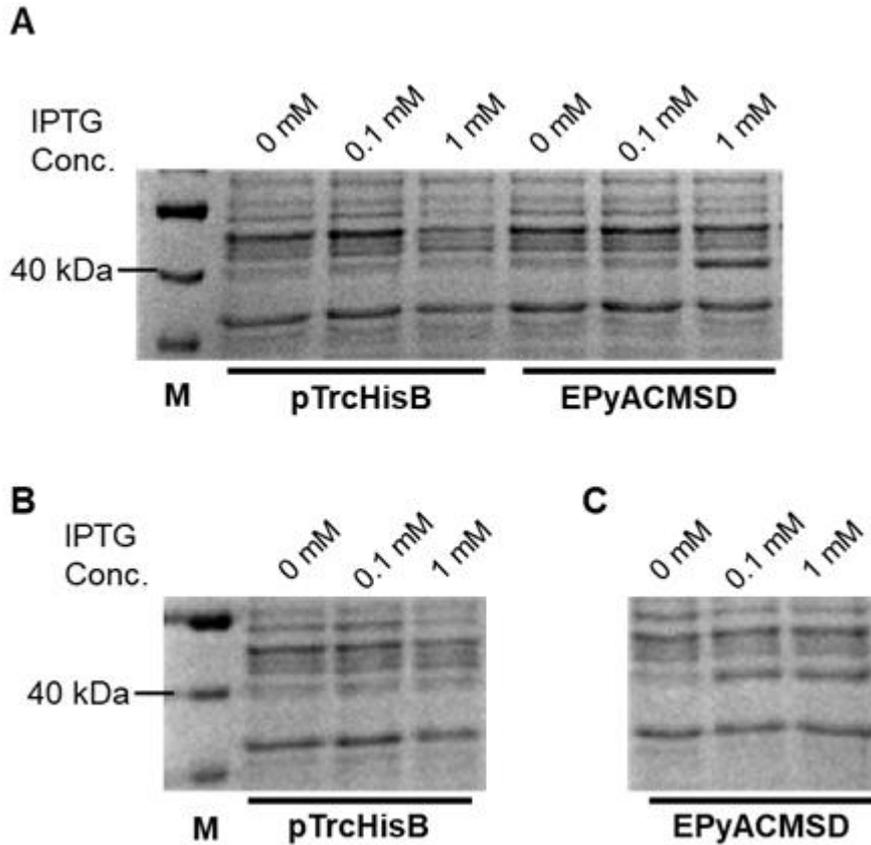
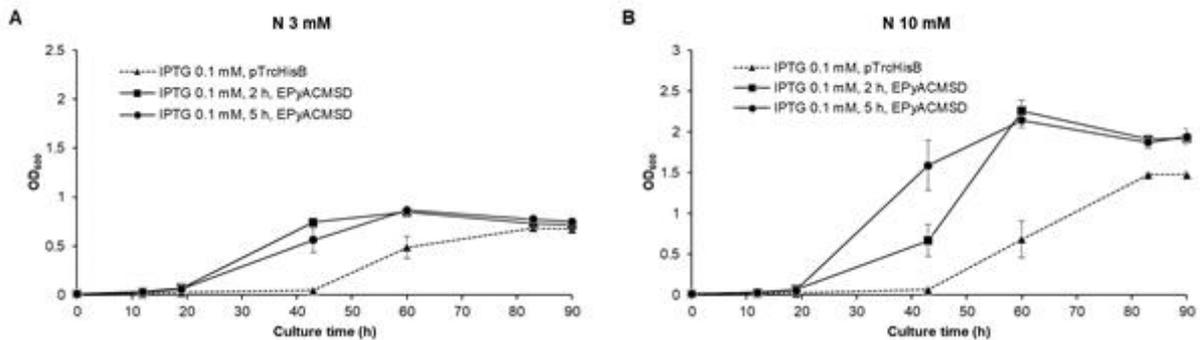
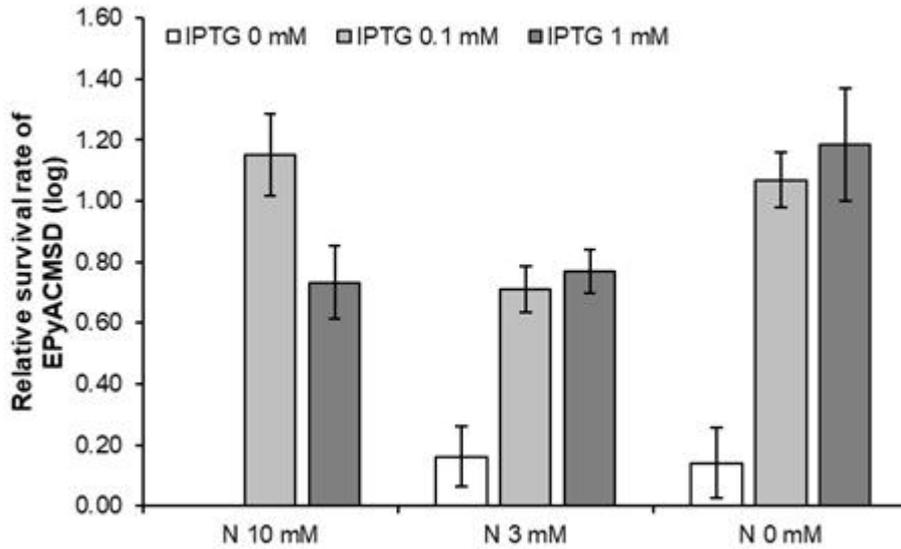


그림. *E. coli* DH5a에서 재조합 EPyACMSD 발현을 확인하기 위해 10 % 분해 젤을 사용한 SDS-PAGE 분석. 대장균. 재조합 EPyACMSD의 발현은 2 시간 (A) 및 5 시간 (B 및 C) 동안 상이한 농도의 IPTG (0, 0.1 및 1mM)를 사용하여 유도되었다. EPyACMSD의 예상 크기는 39.89kDa입니다. M은 마커

- *E. coli* DH5a (pTrcHisB / EPyacmsd) 세포는 0.1mM IPTG를 사용하여 EPyacmsd를 유도 한 후 다양한 농도의 NH<sub>4</sub>Cl (0, 3 및 10mM)을 포함하는 M9 배지에 접종. 재조합 *E. coli* DH5a 세포는 NH<sub>4</sub>Cl이없는 M9 배지에는 없었다 (데이터 표시 안함). 대장균 DH5a (pTrcHisB / EPyacmsd) 세포는 IPTG 유도 시간에 관계없이 3 및 10 mM NH<sub>4</sub>Cl을 함유하는 M9 배지에서 *E. coli* DH5a (pTrcHisB)보다 빠르게 성장 (그림).

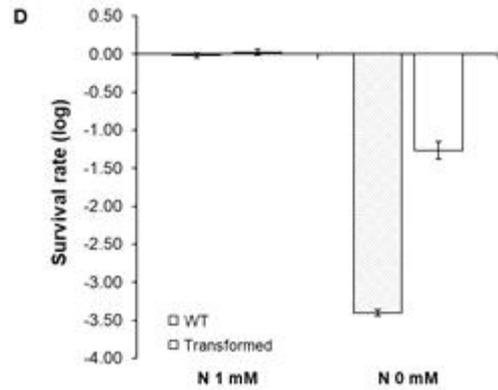
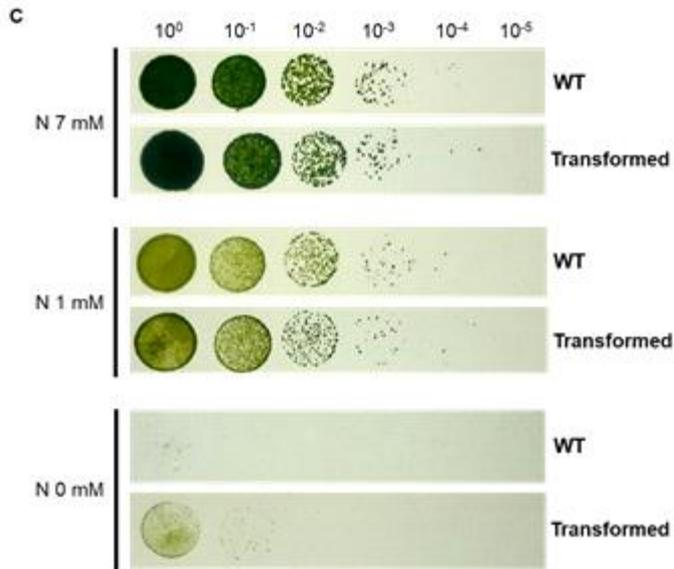
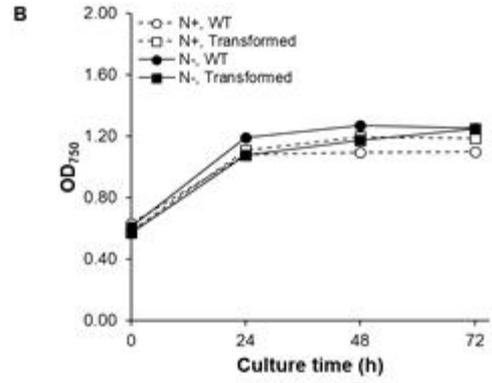
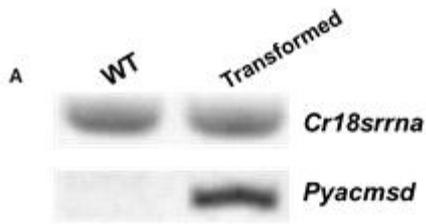


- 재조합 *E. coli* DH5α의 생존율은 NH<sub>4</sub>Cl 농도가 다른 M9 배지를 사용하여 질소 기아 조건에 대해 측정되었습니다 (그림). EPyACMSD는 0, 0.1 및 1 mM의 IPTG를 사용하여 5 시간 동안 유도되었습니다. *E. coli* DH5α (pTrcHisB / EPyacmsd) 세포는 IPTG 유도에 관계없이 모든 NH<sub>4</sub>Cl 농도에서 *E. coli* DH5α (pTrcHisB)보다 더 나은 생존율을 보였으며, EPyACMSD 유도는 생존율의 극적인 증가를 가져 왔습니다.



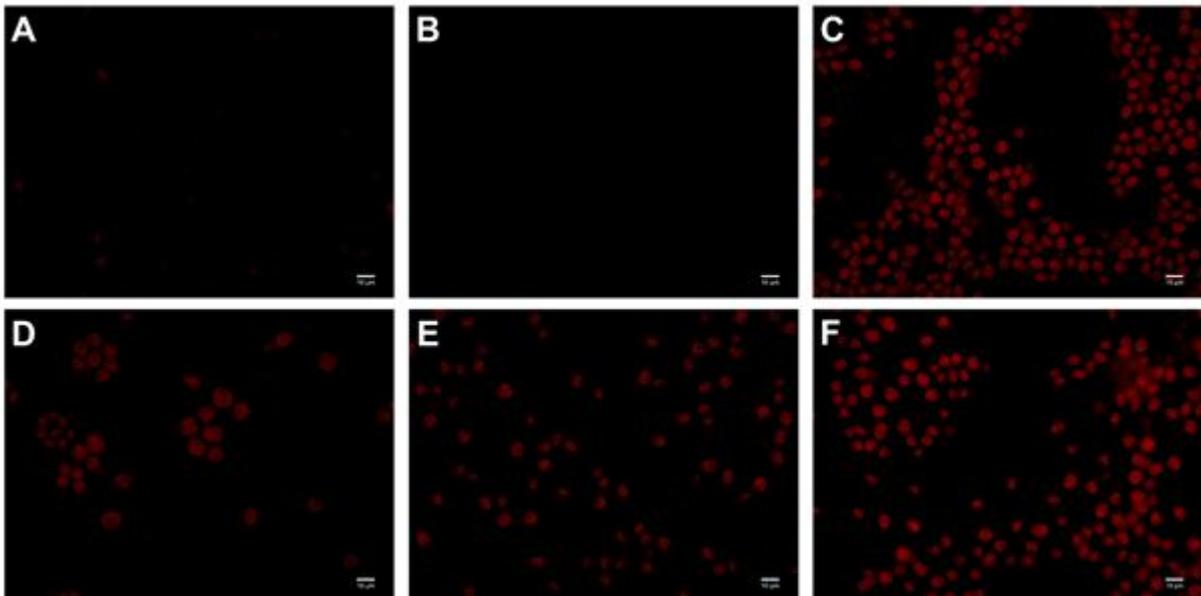
□ 질소 기아 유발 스트레스 하에서 추정 Pyacmsd에 의한 *C. reinhardtii*의 생존율 향상

- *C. reinhardtii* Mut-11의 형질 전환 및 Pyacmsd의 발현은 형질 전환 체로부터 RT-PCR에 의해 확인되었다 (도 A). OD750에서 측정된 야생형 및 형질 전환된 *C. reinhardtii* Mut-11은 NH<sub>4</sub>Cl이 있거나없는 TAP 배지에서 유사한 성장을 나타냈다 (그림 B). 생존 및 성장 분석을 수행하여 질소 결핍 조건 동안 야생형 및 형질 전환된 *C. reinhardtii* Mut-11의 내성을 측정했습니다. 1 및 7 mM NH<sub>4</sub>Cl을 함유하는 두 TAP 한천 플레이트에서 성장이 관찰되었다. (그림 C 및 D). 그러나, 형질 전환된 *C. reinhardtii* Mut-11의 콜로니는 야생형보다 NH<sub>4</sub>Cl이없는 TAP 한천 플레이트에서 관찰되었다. 추가로, 형질 전환된 *C. reinhardtii* Mut-11은 NH<sub>4</sub>Cl이없는 TAP 한천 플레이트에서 야생형의 2 배의 생존율을 가졌다.

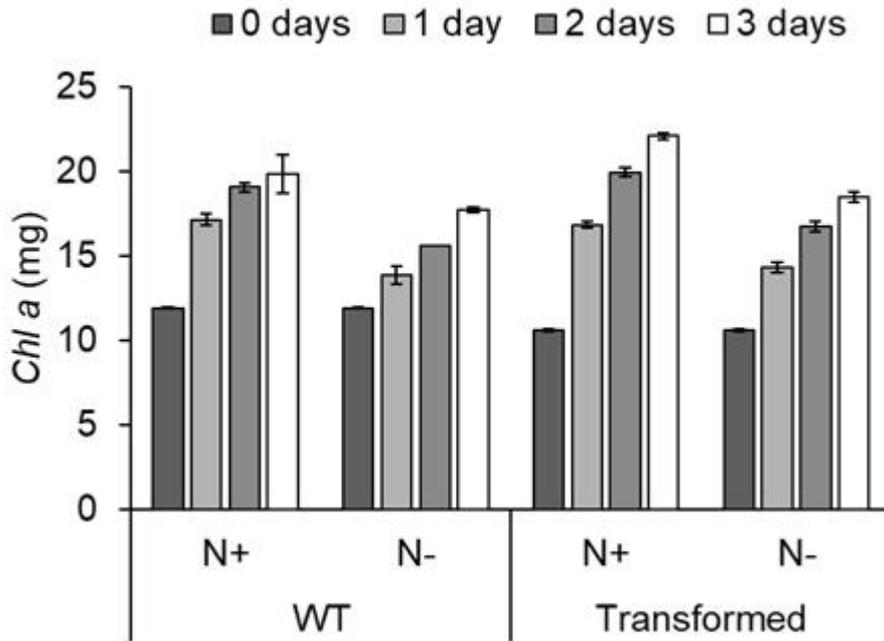


□ 질소 기아에 관계없이 추정 *Pyacmsd*에 의한 지질 축적 개선

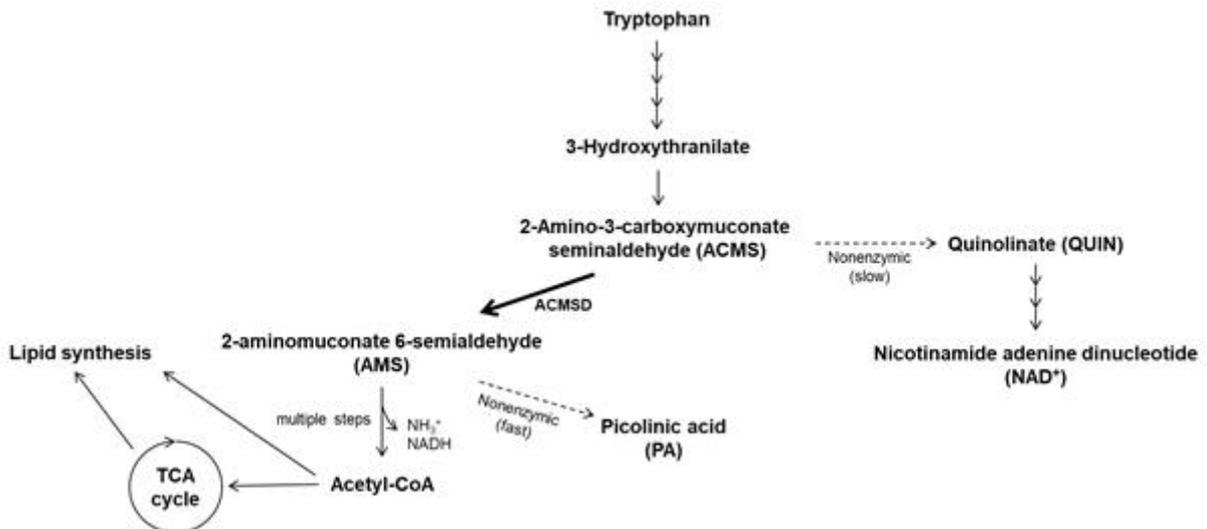
- *C. reinhardtii*는 질소 결핍 상태에서 지질을 축적. 야생형 및 형질 전환 된 *C. reinhardtii* Mut-11 세포를 NH<sub>4</sub>Cl이 있거나 없는 TAP 배지로 배양했을 때, 형질 전환 된 *C. reinhardtii* Mut-11은 질소 기아에 관계없이 세포에서 더 많은 지질 축적을 나타냈다. 세포의 지질 축적은 형광 현미경을 사용하여 관찰 (그림).



- *E. coli* 및 *C. reinhardtii*에 EPyacmsd 및 추정 Pyacmsd를 도입하면 질소 기아 조건 하에서 생존율이 증가했으며 질소 수준에 관계없이 *C. reinhardtii* 세포에 지질이 축적되었습니다. 특히, 형질전환된 *C. reinhardtii* Mut-11은 질소 기아 스트레스 전에 다량의 지질 축적을 보였고 질소가 풍부한 배지로 2 일 동안 배양. 질소 결핍은 전분과 지질의 축적과 *C. reinhardtii*에서 엽록소 분해를 유발. 그러나 추출된 엽록소는 질소 기아 상태에서 분해되지 않았습니다 (그림).



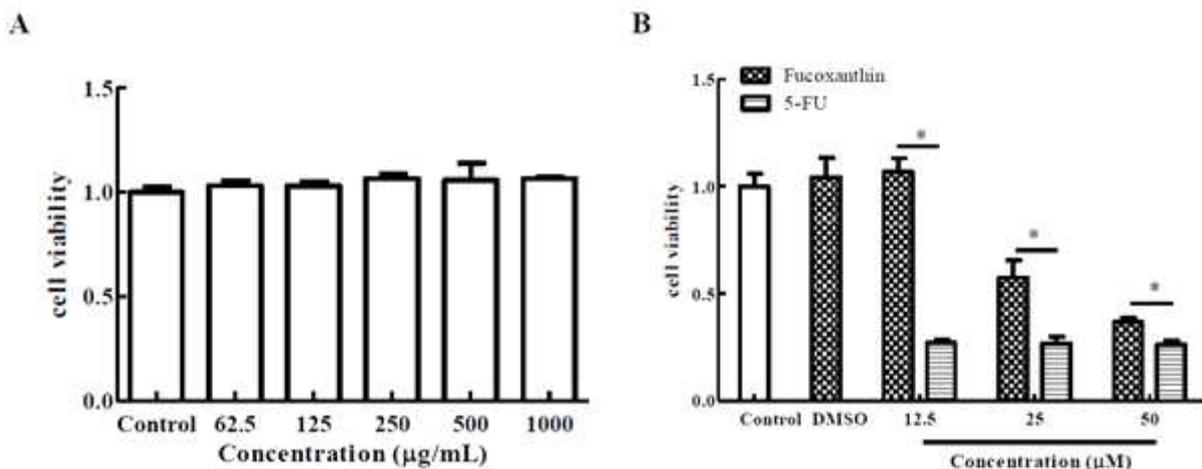
- 그리고 야생형 및 형질전환된 *C. reinhardtii* Mut-11 세포의 전분은 변형 된 방법을 사용하여 정량화. 형질전환된 *C. reinhardtii* Mut-11 형질 전환 균주 세포는 질소 기아 이전에 야생형보다 더 많은 전분을 축적했다. 그러나 질소 결핍 후 야생형 *C. reinhardtii* Mut-11은 형질 전환 된 균주보다 더 많은 전분을 축적.
- ACMS는 ACMSD에 의해 AMS로 촉매되고 AMS는 여러 단계에서 아세틸 -CoA로 전환됩니다 (그림).



- 아세틸-CoA 합성 효소의 과발현으로 인해 증가 된 아세틸 -CoA 수준은 질소 기아 상태에서 지질 축적의 개선을 가져왔다. 추정되는 PyACMSD의 발현은 아세틸 -CoA의 수준을 증가시키고, 이후 지질 축적을 초래했다. 또한 AMS를 아세틸 -CoA로 전환하는 과정에서 NH<sub>3</sub> +가 생성되었습니다. 증가된 세포 내 질소 가용성으로 인해, 형질전환된 *C. reinhardtii* Mut-11 세포는 야생형보다 질소 기아 상태에서 더 높은 생존율을 가질 수 있습니다.
- ACMS는 NAD<sup>+</sup> de novo 생합성 경로에서 사용되는 대사 산물 인 QUIN으로 전환. ACMS에서 QUIN으로의 전환은 비효소적이며 느립니다. 따라서 ACMSD의 활성화는 QUIN 및 de novo 합성 NAD<sup>+</sup>의 수준을 감소시켜 세포에서 NAD<sup>+</sup>의 불균형을 초래합니다. AMS에서 아세틸 -CoA로의 전환은 또한 NAD<sup>+</sup>를 생성하기 위해 지질 합성에 사용될 수 있는 NADH를 생성합니다. 생성된 NAD<sup>+</sup>는 인양 합성 경로와 NAD<sup>+</sup> 및 NADH의 항상성을 유지하는 데 사용할 수 있습니다. 고성능 액체 크로마토 그래피 (HPLC)를 수행하여 변형된 방법으로 야생형 및 형질전환된 *C. reinhardtii* Mut-11 세포에서 아세틸 -CoA 수준의 증가를 확인했습니다; 그러나, 아세틸 -CoA 수준은 검출된 아세틸 -CoA의 무시할 수 있는 양으로 인해 야생형 및 형질전환된 *C. reinhardtii* Mut-11 세포간에 비교할 수 없었습니다.
- ACMSD는 키누 레닌 경로 외에 대장균에서 이전에 발표된 적이 없습니다. 트립토판은 트립토판아제 (tnaA)에 의해 인돌, 피루 베이트 및 NH<sub>3</sub>+로 분해되고 QUIN은 디하이드록시 아세톤 포스페이트와 이미 노아 스파 르 테이트로부터 대장균의 퀴 놀리 네이트 신타제에 의해 생성. 따라서, 이전에 설명한 배경으로 EPyacmsd를 *E. coli*에 도입하여 질소 기아에 대한 개선된 견고성을 해석하기 어렵게 됩니다. 따라서 우리는 (i) 키누 레닌 경로 또는 acmsd가 *E. coli*에서 아직 발견되지 않았으며 (ii) 추정 Pyacmsd가 ACMSD를 탈 탄산시킬뿐만 아니라 다른 효소 반응을 가지고 있다는 두 가지 가설을 제안했습니다.
- ACMSD는 금속 의존적이고 산소에 독립적 인 탈 탄산 효소이며 아미도 하이드 롤라 제 수퍼 패밀리의 일원으로 여러 대사 경로에서 다양한 기능에 관여합니다. ACMSD는 isoorotate decarboxylase (IDCase)와 밀접한 관련이 있습니다. 이것은 또한 amidohydrolase superfamily에 속하며 thymidine 회수 경로의 핵심 효소입니다. ACMSD 및 광범위한 기능에 대한 정보가 부족하기 때문에 추정 PyACMSD의 효소 반응은 예상과 다를 수 있습니다.
- 이 연구는 추정 Pyacmsd의 유도가 *E. coli*와 *C. reinhardtii*에 대한 질소 기아에 대한 견고성을 향상시키는 것을 확인하는 것을 목표로 합니다. 질소 기아에 대한 견고성은 세포에서 질소 가용성 증가로 인해 추정 Pyacmsd를 보유함으로써 *E. coli* 및 *C. reinhardtii*로 향상되었습니다. 더욱이, 개선 된 아세틸 -CoA 합성으로 인해 형질 전환된 *C. reinhardtii* 세포에서 지질 축적이 증가 하였다. 추정 Pyacmsd의 정확한 기능과 특성을 결정하기 위해서는 더 많은 연구가 필요하지만, 이러한 결과는 질소 기아 상태에서 *C. reinhardtii*와 미세 조류를 사용하여 바이오 연료로서 지질 생산을 개선하는 데 적용될 수 있습니다. 또한 ACMSD의 유도는 아세틸 -CoA의 합성을 증가시키고 질소 결핍에 대한 견고성을 증가시키는 새로운 전략으로 다른 생물학적 시스템에도 적용될 수 있습니다.

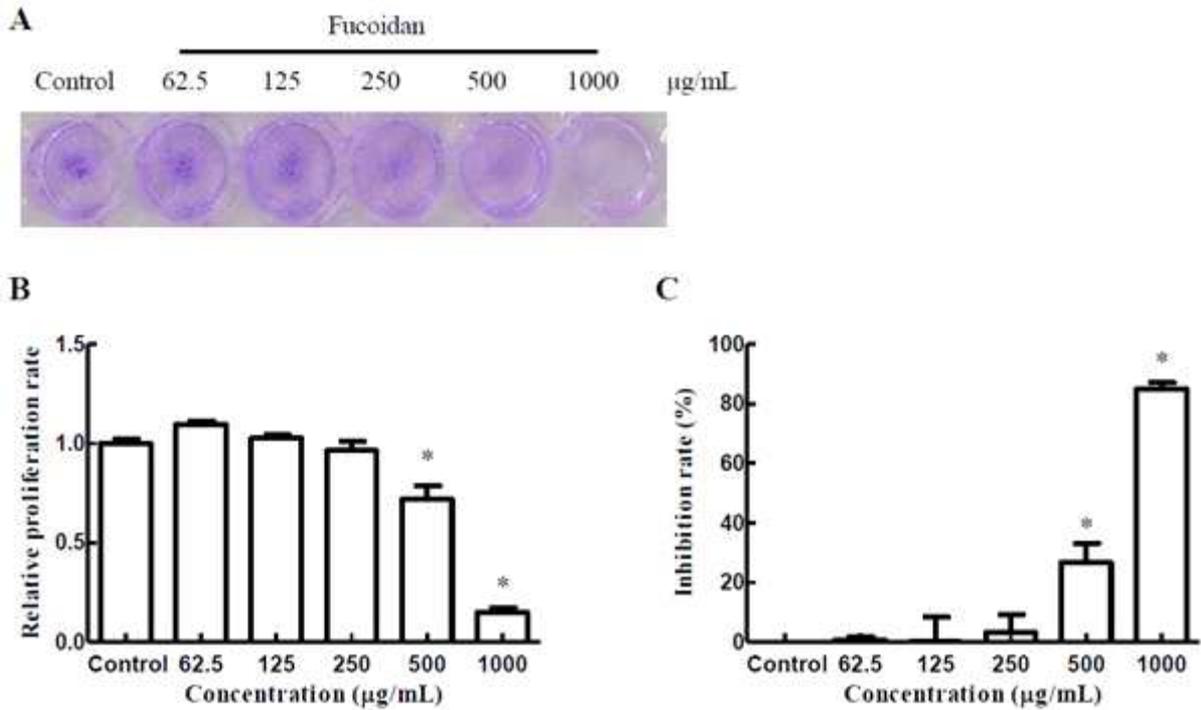
□ 기능성 다당류의 암세포 억제 효능

- 세계 보건기구 (WHO)의 공식 데이터에 따르면 2018 년 간암, 폐암, 대장 암을 포함한 가장 일반적인 유형의 암 관련 사망 인 암 부담은 전 세계적으로 계속 증가하고 있습니다. 암 치료를위한 값 비싼 약품에 전 세계적으로 많은 수의 암 환자들이시기 적절한 치료를받지 못하고 있습니다. 반면에 5- 플루오로 우라실 (5-FU)과 같은 많은 화학 요법 약물이 암 치료를위한 기존 약물로 사용되었지만 임상 적 적용을 통해 부작용이 확인되었습니다.
- 최근에는 다당류, 색소 등 천연 식물에서 유래 한 식물 화학 물질이 많고, 항암 특성이 있는 것으로 나타났습니다. 많은 해양 천연물이 강력한 항암 생물학적 활성을 가지고있는 것으로보고되고 있습니다.
- fucoidan 및 fucoxanthin의 항 종양 능력은 MTT 분석 및 크리스탈 바이올렛 염색 분석을 통해 3 가지 다른 암 세포주 (HT-29, Hep3B, A549)의 세포 독성 및 성장 억제에 미치는 영향을 평가하여 결정되었습니다. 이전 연구에 따르면 HL7702 세포주는 화합물의 간 독성을 평가하는 데 널리 사용됩니다. 예를 들어, Jiang et al.은 폐암 세포의 성장에 대한 키토산 올리고당의 억제 효과를 연구했습니다. Deng et al.은 일부 화합물이 EGFR 과 발현 인간 세포주 HeLa에 대해 상당한 항 종양 활성을 보였다는 것을 발견했습니다. Ma et al.은 Fluopsin C가 인간 유방 선암 세포에 항암 효과가 있다고보고했습니다. 연구자들은 서로 다른 종양 세포주에 대한 화합물의 항 종양 효과를 평가했지만 모두 HL7702 세포를 선택하여 해당 화합물의 독성을 평가했습니다. 따라서 본 연구에서는 fucoidan과 fucoxanthin의 세포 독성 효과를 평가하기 위해 HL7702 세포를 활용 하였다. fucoidan은 모든 시험 농도에서 HL7702 세포에 독성이 없었습니다 (그림 A). fucoxanthin은 항암제 5-FU에 비해 HL7702 세포에 대한 독성이 낮았으며, 이는 HL7702 세포에 대해 높은 독성을 나타내어 약 74 %의 세포 생존력 손실을 유발했습니다 (그림 B).

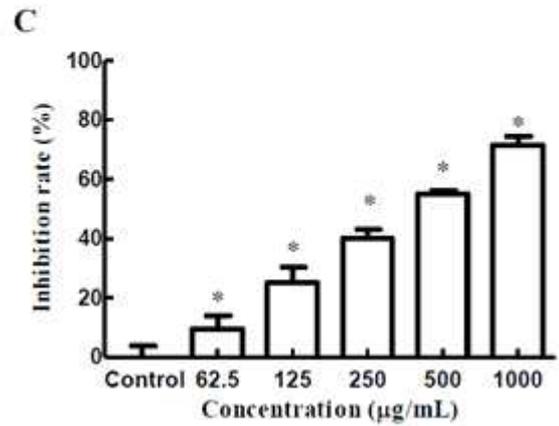
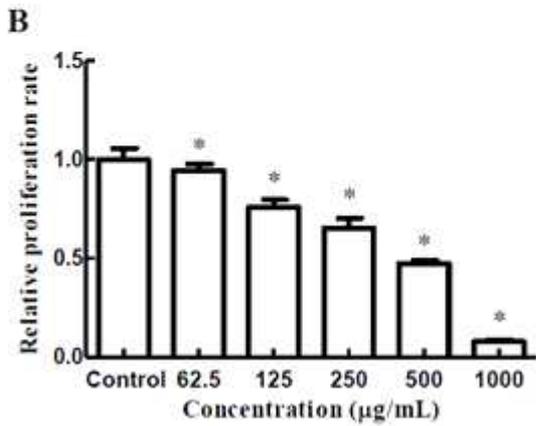
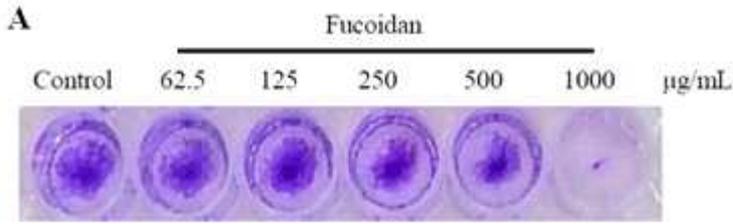


- fucoidan의 경우 암세포 주에 대한 그 효과는 암세포 유형에 의존하지 않고 농도에만 관련이있는 광범위한 스펙트럼이었다 (그림). 그림에 나타난 바와 같이, fucoidan은 HT-29 세포에 대해 현저한 항 증식 효과를 나타냈다. 그 중에서 후코이단은 1000 µg ·

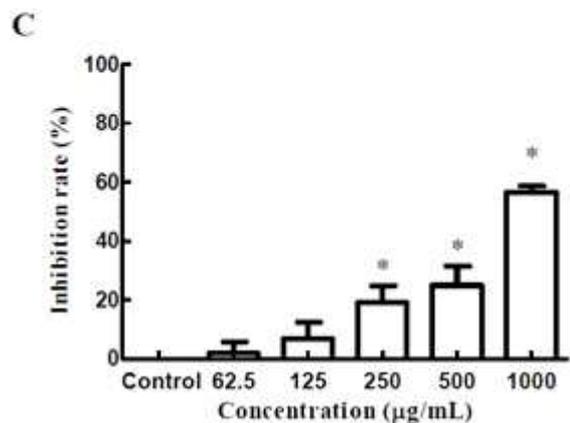
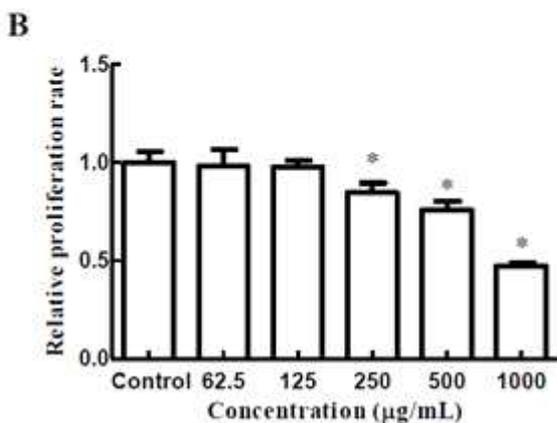
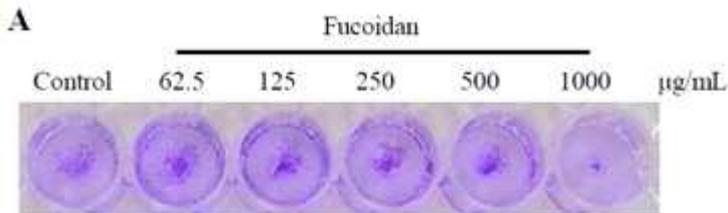
mL<sup>-1</sup>에서 더 높은 억제율을 나타내어 85 %에 이르렀습니다 (그림 C). 또한 crystal violet assay로 분석 한 결과, 1000  $\mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$ 의 살아있는 세포를 가진 후코이단 처리 후 상대 증식률도 같은 경향이 감소하여 15 %에 도달했습니다 (그림 A 및 B).



· Usoltseva et al. 및 Kim et al.는 다른 갈조류 (예 : *Fucus vesiculosus*, *Sargassum duplicatum* 및 *Sargassum feldmannii*)에서 분리 된 후코이단이 시험관 내 HT-29 결장암 세포에서 적합한 화학 예방제 후보가 될 수 있음을 입증했습니다. 따라서 다양한 후코이단은 HT-29 세포에 대한 억제 능력을 가지고 있습니다. 또한 Dai et al.는 산 처리 된 *Hizikia fusiforme*의 후코이단이 Hep3B 세포 증식을 감소시켜 강력한 항암 활성을 나타냈다 고 보고했습니다. 우리의 현재 데이터는 물에서 추출한 후코이단이 Hep3B 세포에 주목할만한 항 종양 효과를 보였으며 억제율도 1000  $\mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$  농도에서 약 72 %에 도달했음을 보여주었습니다 (그림 C). MTT 분석 결과와 일치하여, 후코이단으로 처리 한 Hep3B 세포의 상대적 증식률 (그림 A 및 B)은 그림 C에서 보여준 것과 유사한 억제 경향을 나타냈다.

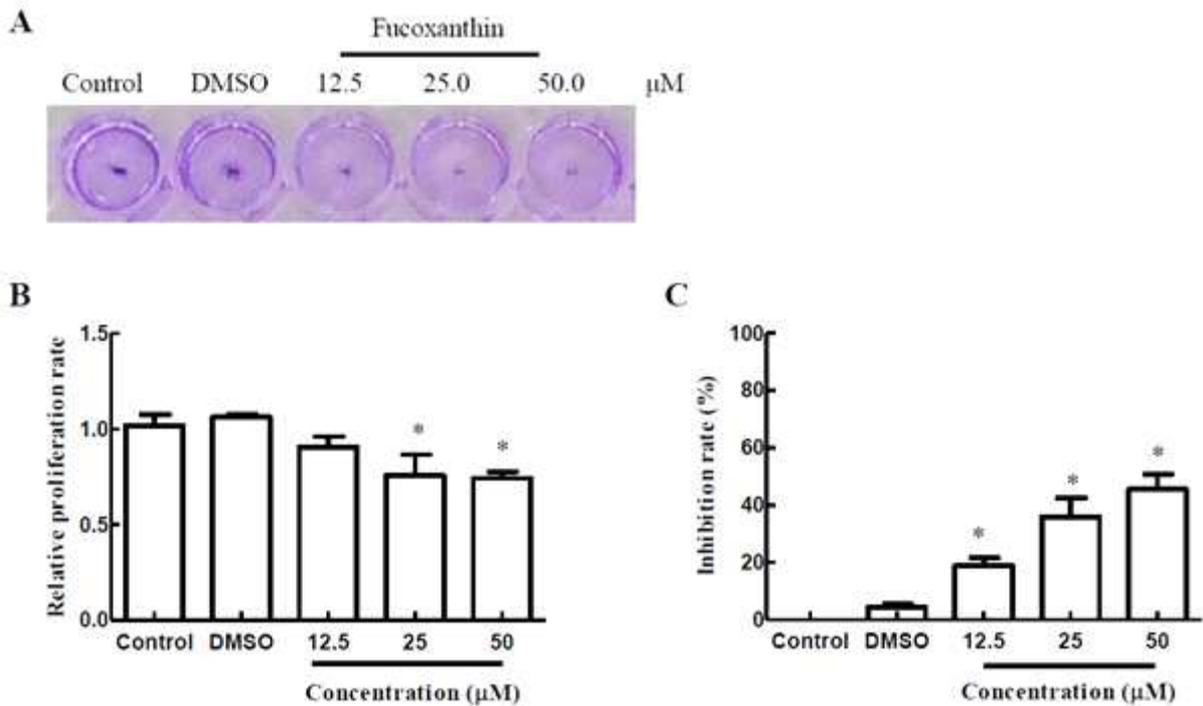


· A549 세포의 경우 후코이단은  $1000 \mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$  농도에서 강력한 항 증식 효과를 보였으며 억제율은 약 57 %에 달했습니다 (그림 C). 또한 후코이단의 상대적 증식률은 대조군에 비해 절반 이상 감소했습니다 (그림 A 및 B). *Turbinaria conoides* 또는 *Undaria pinnatifida*에서 분리 된 후코이단은 시험관 내 A549 인간 폐암 세포에 강력한 항 증식 능력을 나타냈다 고 보고되었습니다. 이러한 결과는 후코이단의 항 종양 능력이 해조류 공급원과 관련이 없음을 발견했습니다.

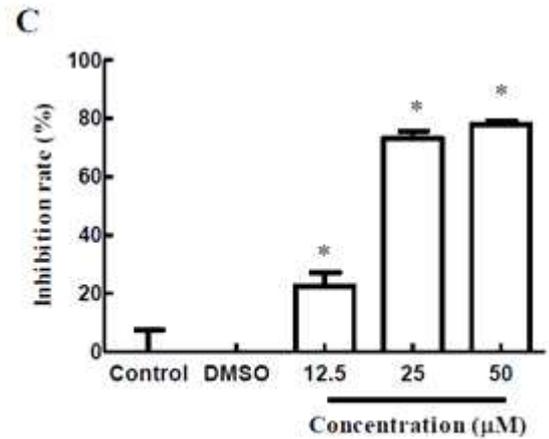
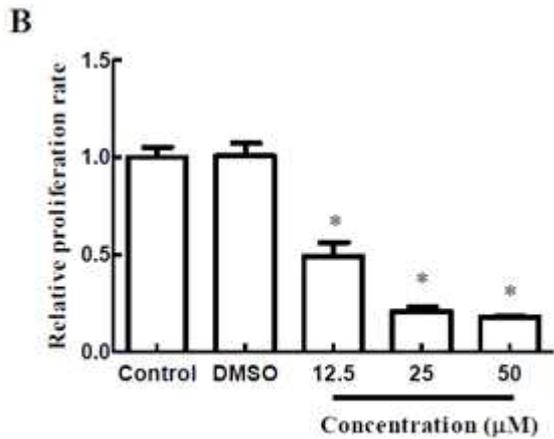
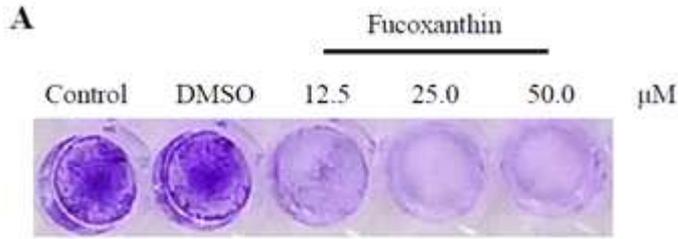


· Zorofchian Moghadamtousi et al.은 fucoidan과 fucoxanthin을 포함한 두 가지 갈조류 대사 산물이 잠재적 항암 화학 예방 제로 취해 졌다고 검토했습니다. 현재 fucoxanthin

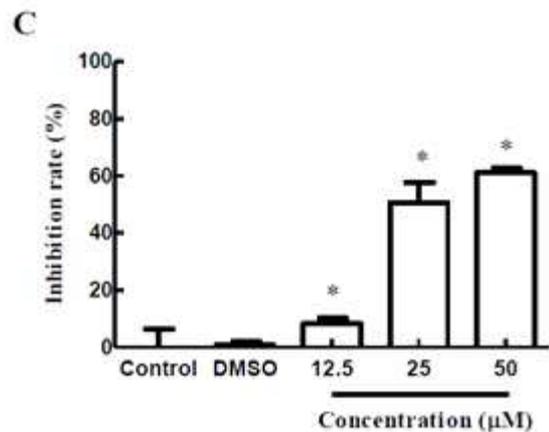
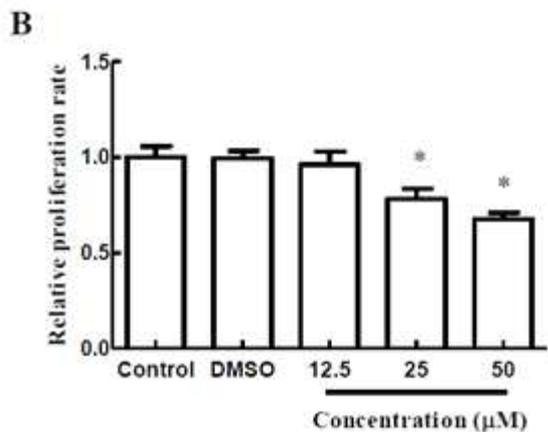
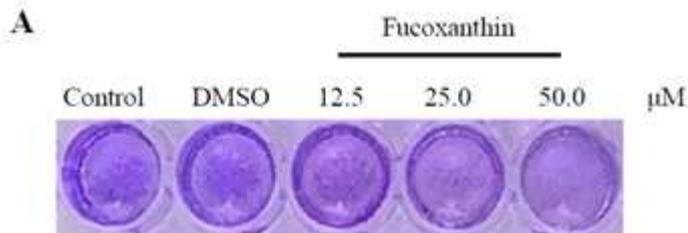
이 Caco-2 세포, SGC-7901 세포, HeLa 세포, MCF-7 및 MDA-MB-231의 인간 전립선 암 세포, A549 세포, HL-60 세포에 대한 항증식 효과가 확인되었다. 그러나 HT-29 및 Hep3B 세포에 대한 fucoxanthin의 항 증식 효과는 아직 명확하지 않습니다. fucoxanthin에게는 HT-29 세포에 대해 현저한 항 증식 효과가 있었다 (그림). 50  $\mu$ M 에서 더 높은 억제율을 나타내어 46 %에 도달했습니다 (그림 C). 크리스탈 바이올렛 분석에 의해 추가로 조사한 결과, 상대 증식률도 fucoxanthin 처리 후 거의 절반으로 감소했습니다 (그림 A 및 B).



· 50 $\mu$ M 농도의 Fucoxanthin은 Hep3B 세포에 대해 현저한 항 증양 효과를 보였으며 억제율도 78 %에 도달했습니다 (그림 C). MTT 분석 결과와 일치하여, fucoxanthin으로 처리 한 Hep3B 세포의 상대적 증식률 (그림 A 및 B)은 그림 C에서 보여준 것과 유사한 억제 경향을 나타냈다.



· A549 세포의 경우, fucoxanthin은 50 $\mu\text{M}$  농도에서 항 증식 효과를 보였으며 억제율은 약 60 %에 달했습니다 (그림 C). 또한, fucoxanthin의 상대적 증식률은 대조군에 비해 절반 이상 감소했습니다 (그림 A 및 B).



· 본 연구에서는 후코이단과 후코 잔틴과 그 항 증양 효과를 *in vitro*에서 분석 하였다. 결과는 후코이단이 HL7702 정상 간세포에 독성 효과를 나타내지 않았지만 증양 세포

에 대해 유의한 억제 효과를 나타내어 fucoidan의 생물학적 활성이 농도에 따라 달라질 수 있음을 시사합니다. 우리의 발견은 또한 fucoxanthin이 5-FU에 비해 HL7702 세포에 대한 독성 효과가 낮다는 것을 발견했습니다. 그러나 Hep3B, A549 및 HT-29 세포에서 더 나은 증식 방지 기능을 가지고 있어 fucoxanthin이 항암 치료에 적용될 수 있는 잠재적인 물질일 수 있음을 시사합니다.

□ 당 섭취가 *D. melanogaster* 유충의 대사에 미치는 영향.

- 생체 내 대사 매개변수에 대한 식이 당의 영향을 조사하기 위해 유충의 트리글리세리드 및 순환 당 함량을 분석했습니다. 초과리 유충을 다양한 농도의 자당으로 처리하고 유충에 대한 설탕의 영향을 관찰했습니다. 이 연구에서 트리글리세리드 및 순환 당 함량과 같은 유충 대사 매개변수는 자당 농도 의존 방식으로 유의하게 증가했습니다(그림 1A 및 B). HS 및 MS 그룹의 순환 당 함량은 대조군보다 분명히 높았지만 대조군과 LS 그룹 모두에서 유의한 차이가 관찰되지 않았습니다(그림 1A). 중성지방 함량은 대조군보다 LS, MS, HS군에서 유의하게 높았으나, HS군이 가장 높은 중성지방 함량을 나타냈다(Fig. 1B). 그중 HS군이 가장 심각한 대사 이상을 보였다. 이러한 결과는식이 자당이 유충의 정상적인 대사에 부정적인 영향을 미친다는 것을 시사합니다.

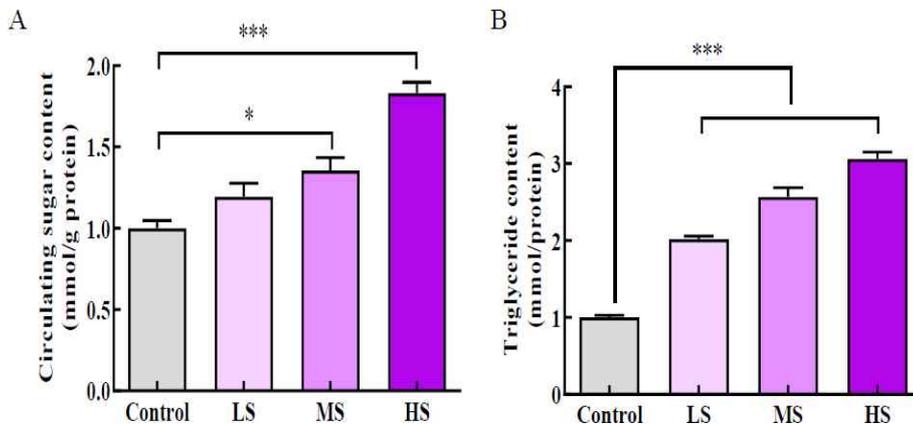


그림 1 *D. melanogaster* 유충의 대사에 대한 설탕의 영향. 정상 식이군(대조군)에 15%, 25%, 35% 자당식을 보충하여 저당군(15% sucrose, LS), 중당군(25% sucrose, MS), 고당류군으로 명명하였다. (35% 자당, HS), 각각. (A) 순환당 및 (B) 중성지방 함량은 120h에서 측정되었습니다. 데이터는 세 가지 독립적인 실험의 평균 ± 표준 편차입니다. \* $p < 0.05$ , \*\*\* $p < 0.001$ .

□ 당 섭취가 *D. melanogaster* 유충 발달에 미치는 영향

- 대사 장애가 유충 발달에 미치는 영향을 조사하기 위해 체중 및 길이와 같은 지표를 사용하여 유충 발달을 평가했습니다. 애벌레 발달 동안, 애벌레에서 번데기로의 변태는 보통 5일(120시간)이 걸린다. 이 연구에서는 대조군에 다른 농도의 자당을 첨가하고 120시간 후에 각 그룹의 유충을 수집했습니다(그림 2A 및 B). 당섭취군의 체격은 대조군에 비해 농

도 의존적으로 감소하였다. 통계적 결과, LS, MS 및 HS 그룹의 유충의 길이와 무게가 대조군의 유충에서 관찰된 것과 비교하여 유의하게 감소되었음을 나타내었다(그림 2C 및 D). 그 중 HS군에서 유충의 발육이 가장 심하게 억제되었다. 이러한 결과는식이 자당이 정상적인 유충 발달에 도움이 되지 않는다는 것을 보여주었습니다. 유충의 비정상적 발육은 비정상 대사와 밀접한 관련이 있음을 시사한다. 따라서 HS는 PYP의 생물학적 활성을 추가로 평가하기 위한 모델 그룹으로 선택되었습니다.

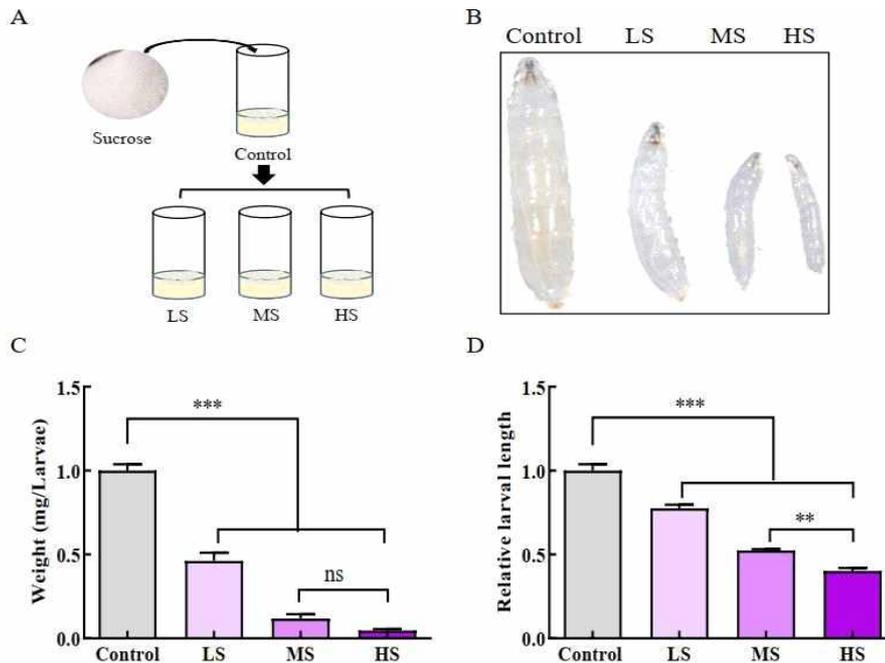


그림 2 *D. melanogaster* 유충의 발달에 대한 설탕의 영향. 정상 식이군(대조군)에 15%, 25%, 35% 자당식이를 보충하여 저당군(15% sucrose, LS), 중당군(25% sucrose, MS), 고당류군으로 명명하였다. (35% 자당, HS), 각각. (A) 자당 다이어트 계획이 표시됩니다. (B) 애벌레의 사진이 표시됩니다. (C) 애벌레 무게 및 (D) 상대 애벌레 길이는 120h에서 측정되었습니다. 데이터는 세 가지 독립적인 실험의 평균 ± 표준 편차입니다. ns: 중요하지 않음, \*\* $p < 0.01$ , \*\*\* $p < 0.001$ .

□ HS-fed *D. melanogaster*의 발달 및 대사에 대한 PYP의 효과

· PYP가 생체 내에서 항대사 장애 활성을 나타내는지 여부를 조사하기 위해 각 그룹의 샘플을 120시간에 수집하여 HS-fed 유충에 대한 PYP 개입의 효과를 분석했습니다. 15 mg/mL의 PYP 농도에서 HS 그룹과 PYP 그룹 간에 트리글리세리드 및 순환 당 함량의 유의한 차이가 감지되지 않았습니다. 또한, 25 mg/mL PYP 처리에서 HS 그룹에서 트리글리세리드 및 순환 당 함량이 유의하게 감소( $p < 0.001$ )되었으며(그림 3A 및 B), 25mg/mL PYP가 항-HS 유발 유충에 대한 대사 장애 효과. 따라서 25 mg/mL PYP는 *Drosophila* 유충의 대사 장애를 개선하는 데 후속적으로 사용되었습니다. 도 4A에 도시된

바와 같이, HS 그룹에 PYP를 투여하고, 알이 유충으로 변할 때까지 모든 그룹을 부화시켰다. PYP 처리 후, 유충 크기는 HS 그룹보다 PYP 그룹에서 유의하게 더 높았다(Fig. 4B). 또한, 유생의 무게와 길이는 HS 그룹에 비해 PYP 그룹에서 유의하게 증가했습니다(그림 4 C 및 D). 또한, 생체 내 대사 및 발달과 관련된 일부 유전자를 qPCR로 분석했습니다. 지방산 합성효소(FAS)는 전사 인자 SREBP에 의해 조절되는 지방 생성 인자입니다. PYP 그룹에서 Fas 및 Srebp의 전사 수준은 HS 그룹보다 각각 0.4배 및 0.5배 낮았고 두 유전자 모두 유의하게 감소했습니다(그림 5A). 이것은 PYP가 *D. melanogaster* 유충에서 HS 유도 지방 생성을 억제할 수 있음을 시사했습니다. 또한, HS 그룹에서 *Acox57D-d*(57D 말단의 아실-코엔자임 A oxidase) 및 *Fabp*(지방산 결합 단백질)의 전사 수준을 분석했습니다. 결과는 이 두 유전자의 전사 수준이 HS 그룹에서 감소했지만 HS 그룹에 비해 PYP 그룹에서 상향 조절되었음을 보여주었습니다. PYP의 활성화는 생체 내 지질 축적 감소 및 지방산  $\beta$ -산화 증가에 의해 주로 나타나는 지질 대사의 조절과 관련이 있다고 제안되었습니다. 곤충의 발달 과정은 신체 성장을 조절하는 표준 경로인 PTTH 신호 전달 경로를 직접적으로 포함합니다[147, 148]. 탈피와 변태를 자극하는 스테로이드 호르몬인 탈피 호르몬은 발달과 밀접한 관련이 있습니다. 무엇보다도 엑디스테론 생합성은 PTTH에 의해 촉발되고 조절되며 할로윈 유전자 팬텀(Phm)에 의해 매개되고 20-하이드록시엑디손(20E) 생합성을 위해 분해(Dib)됩니다. 도 5B에서 보는 바와 같이, 유생체에서의 PTTH, Phm, Dib 유전자 발현은 HS군에서의 발현에 비해 PYP 보충에 의해 상향조절될 수 있으므로, 이는 비정상 성장을 완화시키는 인자이기도 하다. 애벌레 표현형 및 대사 매개변수와 일치하여 비정상적인 성장 및 대사 불균형이 구출되었습니다. 이러한 결과는 PYP가 HS 그룹에서 유충의 발달 이상을 구제할 뿐만 아니라 유충의 대사 장애를 개선함을 나타냅니다.

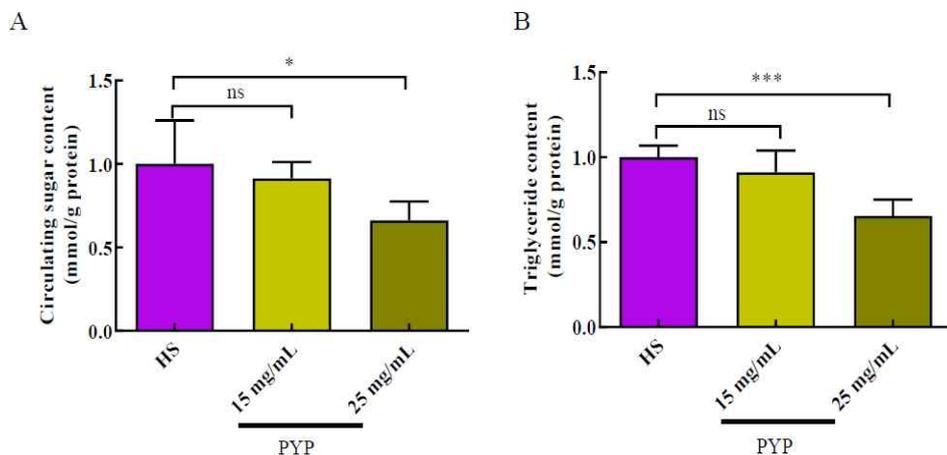


그림 3 HS-fed *D. melanogaster* 유충의 대사에 대한 PYP의 효과. *D. melanogaster* 알을 35% 자당(HS) 또는 PYP(HS + 15 또는 25 mg/mL PYP)와 함께 120시간 동안

배양한 다음 다른 분석을 수행했습니다. (A) 순환 설탕 및 (B) 트리글리세리드 함량은 120시간에 측정되었습니다. 데이터는 세 가지 독립적인 실험의 평균  $\pm$  표준 편차입니다. ns: 중요하지 않음, \* $p < 0.05$ , \*\*\* $p < 0.001$ .

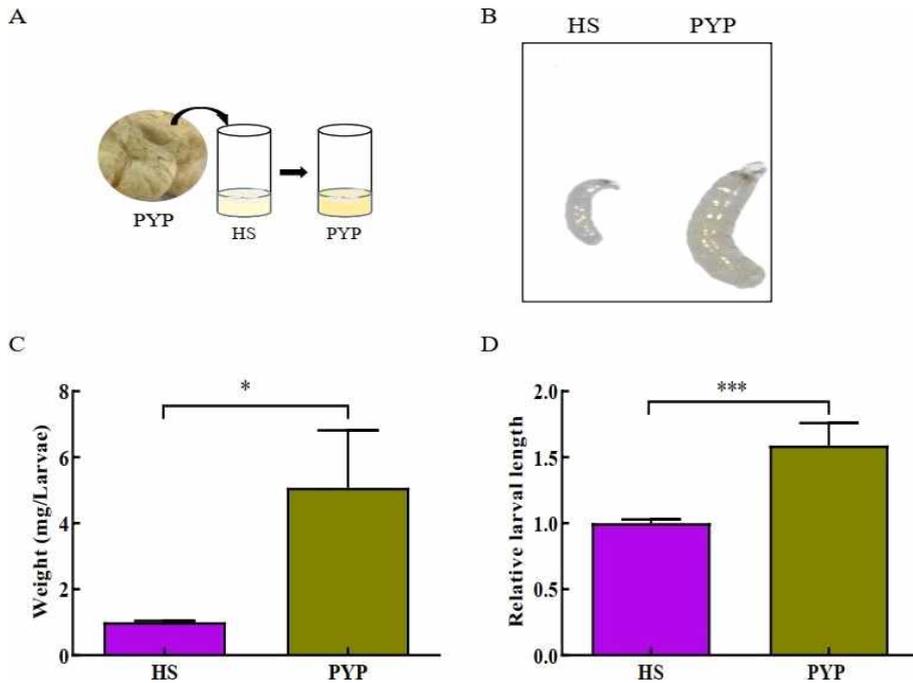


그림 4 HS-fed *D. melanogaster* 유충의 발달에 대한 PYP의 효과. (A) 애벌레의 실험 계획과 그림이 묘사되어 있습니다. PYP(25 mg/mL)를 HS 그룹에 첨가했습니다. (B) 애벌레의 사진은 초파리 알이 120시간에 HS 및 PYP 배지에서 공급되었음을 보여주었습니다. (C) 애벌레 무게 및 (D) 상대 애벌레 길이는 120시간에 결정되었습니다. HS: 35% 수크로스; PYP: HS + 25mg/mL PYP. 데이터는 세 가지 독립적인 실험의 평균  $\pm$  표준 편차입니다. \* $p < 0.05$ , \*\* $p < 0.01$ , \*\*\* $p < 0.001$ .

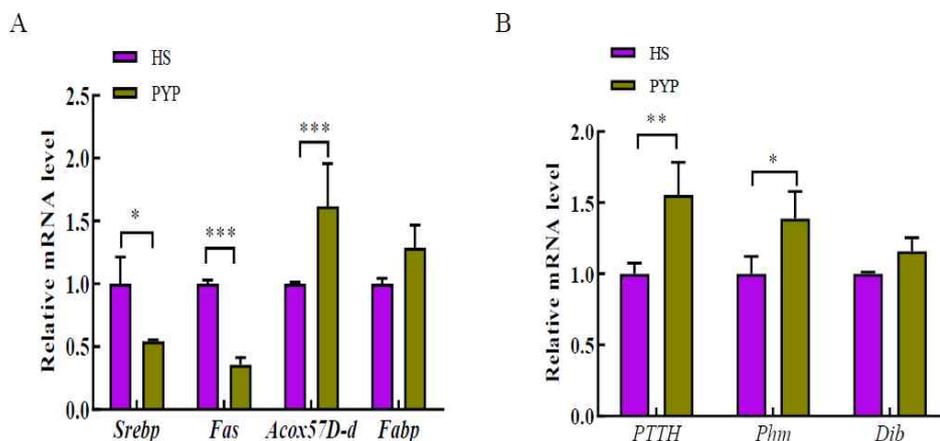


그림 5 HS-fed *D. melanogaster* 유충의 대사 및 발달 경로에 대한 PYP의 효과. (A) 및

(B) HS(35% 자당) 및 PYP(HS + 25 mg/mL PYP) 그룹의 상대 표적 유전자 발현 수준은 qPCR을 사용하여 결정되었습니다. 데이터는 세 가지 독립적인 실험의 평균 ± 표준 편차입니다. \*p < 0.05, \*\*p < 0.01, \*\*\*p < 0.001.

□ 무균 HS를 먹인 *D. melanogaster* 유충의 발달 및 대사에 대한 PYP의 영향.

- 대사 장애 및 발달 지연을 개선하기 위한 PYP의 잠재적인 메커니즘을 추가로 확인하기 위해 항생제 용액을 추가하여 장내 미생물을 제거했습니다(그림 7A). 항생물질을 첨가한 후 PYP군과 HS군 사이에 중성지방과 순환당 수치의 유의한 차이는 관찰되지 않았다(그림 6A 및 B). 또한, HS 그룹과 비교하여 PYP 그룹에서 유충의 무게와 길이에는 유의한 변화가 없었습니다(그림 6B, 그림 7B-D). PYP 보충제는 항생제로 처리된 고당 그룹의 유충에 영향을 미치지 않았습니다. 이것은 PYP가 장내 미생물총을 통한 HS 유발 대사 장애 및 발달 지연을 개선하는 데 중요한 역할을 한다는 것을 시사합니다.

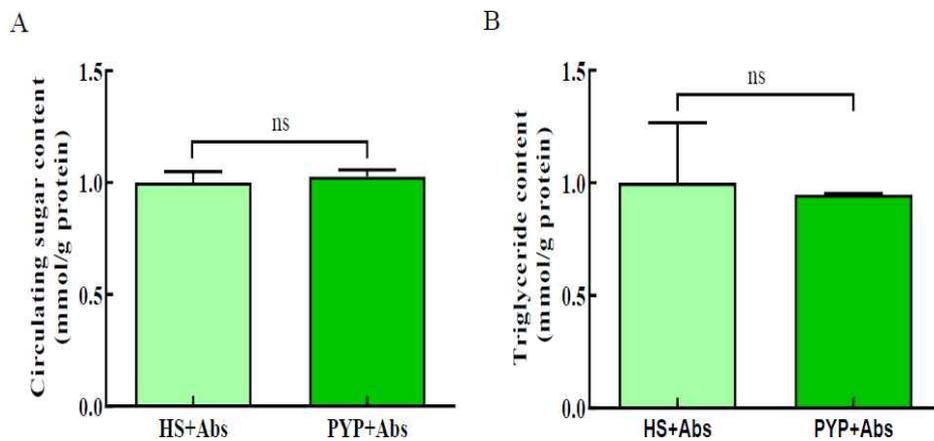


그림 6 무균 HS를 먹인 *D. melanogaster* 유충의 대사에 대한 PYP의 영향. *D. melanogaster* 계란은 HS + Ab(35% 자당 + 항생제 용액) 또는 Ab와 함께 배양되었습니다.

+ PYP(35% 자당 + 항생제 용액 + 25mg/mL PYP)를 120시간 동안 사용한 다음 다른 분석을 받았습니다. (Abs: 항생제 용액, 100µg/mL 암피실린 삼수화물, 100µg/mL 메트로니다졸, 50µg/mL 반코마이신 염산염 및 100µg/mL 네오마이신 설페이트). (A) 순환 설탕 및 (B) 트리글리세리드 함량은 유충 단계에서 결정되었습니다. 데이터는 세 가지 독립적인 실험의 평균 ± 표준 편차입니다. ns: 중요하지 않습니다.

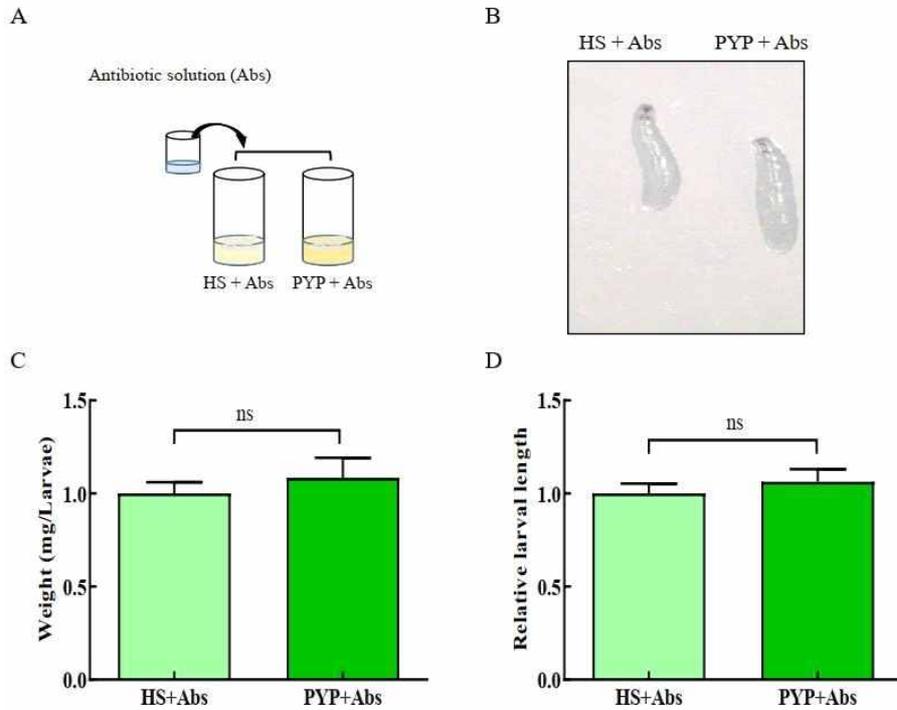


그림 7 PYP가 무균 HS 급여 *D. melanogaster* 유충의 발달에 미치는 영향. (A) 실험 계획이 표시됩니다. 항생제 용액(Abs: 항생제 용액, 100 $\mu$ g/mL 암피실린 삼수화물, 100 $\mu$ g/mL 메트로니다졸, 50 $\mu$ g/mL 반코마이신 염산염 및 100 $\mu$ g/mL 네오마이신 설페이트)을 HS 및 PYP 그룹에 추가했습니다. 초파리 알에 HS + Ab(35% 자당 + 항생제 용액) 또는 PYP + Ab(35% 자당 + 항생제 용액 + 25 mg/mL PYP)를 120시간 동안 먹였습니다. (B) 애벌레의 사진. (C) 애벌레 무게 및 (D) 상대 애벌레 길이는 애벌레 단계에서 결정되었습니다. 데이터는 세 가지 독립적인 실험의 평균  $\pm$  표준 편차입니다. ns: 중요하지 않습니다.

□ *D. melanogaster* 번데기의 발달과 대사에 대한 PYP의 효과.

· *D. melanogaster* 번데기의 발달에 대한 PYP의 활성을 조사하였다. 대조군의 번데기는 HS군보다 큰 반면 대조군과 PYP군의 번데기는 크기가 비슷하였다(Fig. 8A). 번데기의 무게와 부피는 HS 그룹이 대조군보다 낮았지만 PYP 그룹의 두 지표는 대조군과 유사했습니다(그림 8B 및 C). 따라서 PYP는 HS식으로 인한 번데기의 비정상적인 무게와 부피를 구할 수 있습니다. PYP 처리 후, 순환 당 및 트리글리세라이드 함량은 HS 그룹보다 PYP 그룹에서 유의하게 낮았다(그림 9A 및 B). 이러한 결과는 PYP 보충이 HS 그룹의 번데기 단계에서 대사 이상을 감소시키고 초파리의 유충에서 번데기로의 발달 지연을 억제할 수 있음을 보여주었다.

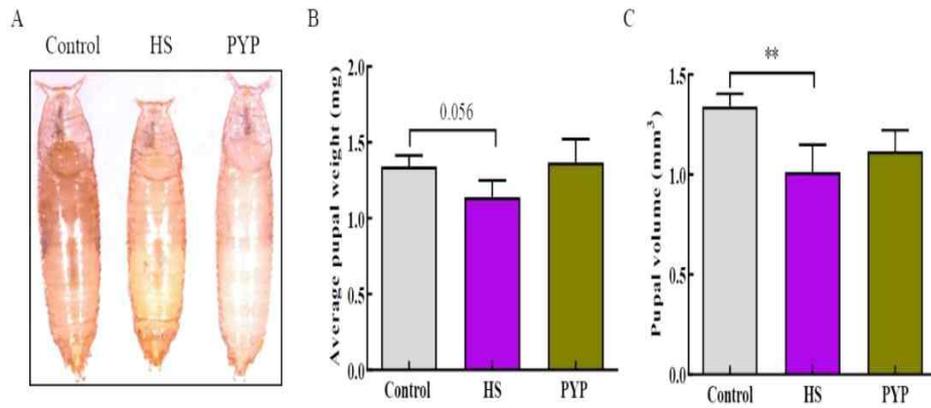


그림 8 HS-fed *D. melanogaster* 유충에서 번데기 발달에 대한 PYP의 효과. (A) 번데기의 사진이 표시됩니다. (B) 평균 번데기 체중; 및 (C) 번데기 부피를 측정했습니다. HS: 35% 수크로스; PYP: HS + 25mg/mL PYP. 데이터는 세 가지 독립적인 실험의 평균 ± 표준 편차입니다. \*\* $p < 0.01$ .

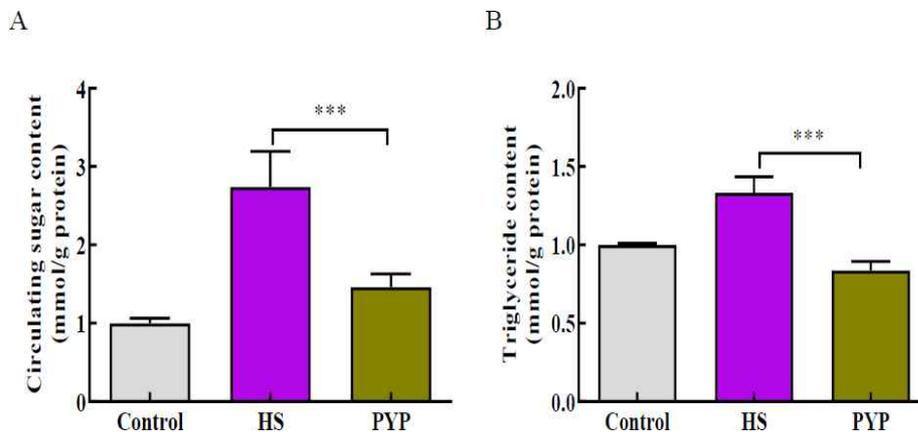


그림 9 HS를 먹인 *D. melanogaster* 유충의 번데기 대사에 대한 PYP의 효과. (A) 순환 설탕 및 (B) 트리글리세리드 함량은 120시간에 측정되었습니다. HS: 35% 수크로스; PYP: HS + 25mg/mL PYP. 데이터는 세 가지 독립적인 실험의 평균 ± 표준 편차입니다. \*\*\* $p < 0.001$ .

□ *D. melanogaster* 성체의 발달 및 대사에 대한 PYP의 효과.

- *D. melanogaster* 성인의 신체 크기와 체중에 대한 PYP의 활성화도 평가되었습니다. 여성과 남성의 경우 HS 그룹과 대조군 사이에 신체 크기와 체중에 유의한 차이가 없었지만 PYP 그룹의 남성과 여성 모두 HS 그룹보다 더 큰 신체 크기와 체중을 가졌습니다 (그림 10, 그림 11A). 또한, HS 군에서 관찰된 것과 비교하여 PYP 군에서 우화율이 극적으로 증가하였다(도 11B). 암컷과 수컷의 날개 D 면적과 길이도 분석하여 성체 발달을 평가하였다. 이 중 전방십자맥에서 두 번째 중맥 끝까지의 L선을 이용하여 날개의

길이를 계산하였고, 날개 교차점의 적색선 면적을 이용하여 날개 D 면적을 산정하였다 (Fig. 12). PYP 그룹의 수컷과 암컷 초파리의 날개 D 면적과 길이는 HS 그룹에 비해 증가하는 경향이 있다(Fig. 13 A, B). 따라서 PYP는 초파리에 대한 고자당의 부정적인 영향을 구했습니다. 날개 D영역의 날개세포수는 암컷과 수컷의 날개세포수가 대조군에 비해 HS군에서 감소하는 경향을 보였다(Fig. 14 A, B). PYP 처리 후, 암컷과 수컷의 날개 세포 수가 증가했습니다. 따라서 PYP는 성인기에서 고자당으로 인한 비정상적인 발달을 구출했습니다. 또한, PYP 그룹의 순환 당 및 트리글리세리드 함량은 HS 그룹보다 유의하게 낮았습니다(그림 15 A 및 B). 이러한 결과는 PYP 보충이 성인 단계에서 HS 그룹의 대사 이상을 억제할 수 있음을 나타냅니다. 또한, PYP는 유생기에서 성충기까지의 비정상적인 성장도 약화시켰다.

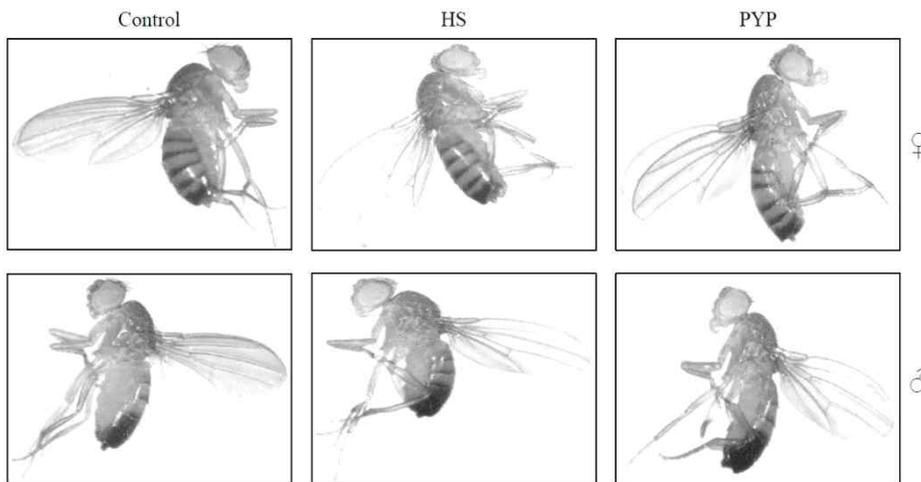


그림 10 *D. melanogaster*의 성체 크기에 대한 PYP의 효과. HS: 35% 수크로스; PYP: HS + 25mg/mL PYP.

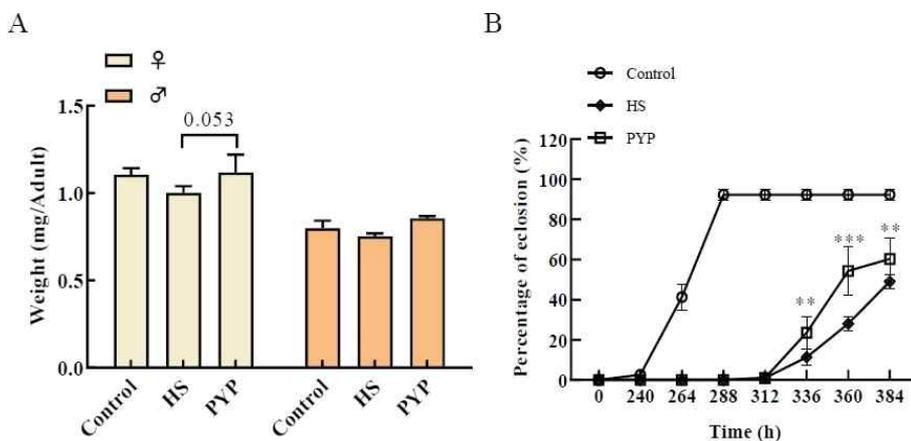


그림 11 *D. melanogaster*의 성체 발달에 대한 PYP의 효과. (A) 체중. (B) 폐쇄율. HS: 35% 수크로스; PYP: HS + 25mg/mL PYP. 데이터는 3개의 독립적인 실험의 평균 ± 표준

편차로 표시됩니다. \*\*p < 0.01, \*\*\*p < 0.001.

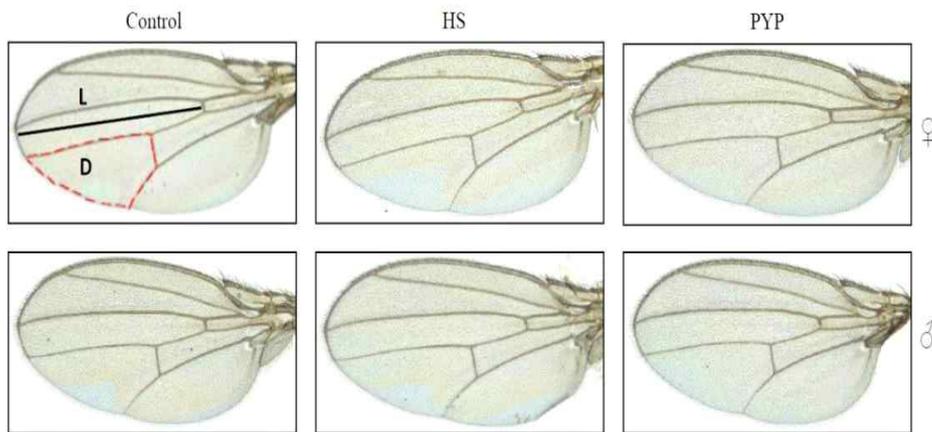


그림 12 *D. melanogaster*의 성충 날개에 대한 PYP의 효과. 날개 길이를 측정하기 위해 전방십자정맥에서 두 번째 세로정맥 끝까지 연장된 L선을 사용하였다. D영역, 날개의 붉은 선 영역을 연결하여 날개의 D영역을 측정합니다. HS: 35% 수크로스; PYP: HS + 25mg/mL PYP.

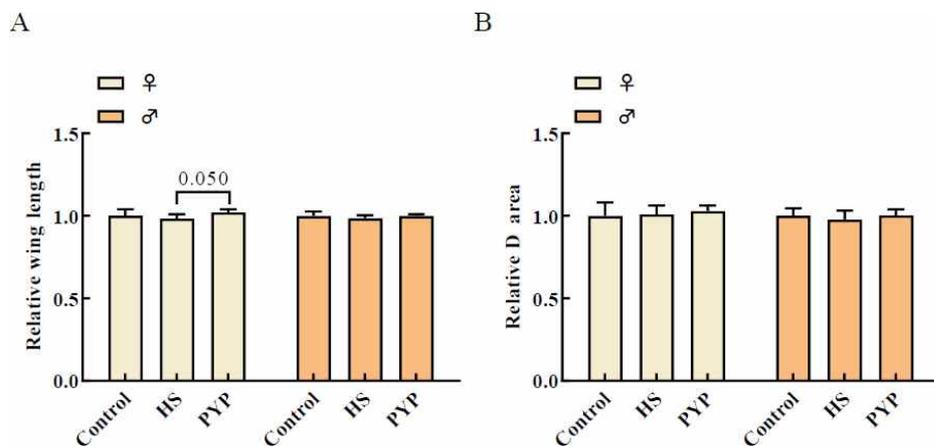


그림 13 *D. melanogaster* 날개의 발달에 대한 PYP의 효과. (A) 그림 12의 선분 L의 길이에서 결정된 상대적 날개 길이. (B) D 영역. 날개 D 면적은 그림 12의 빨간색 점선에서 계산되었습니다. HS: 35% 자당; PYP: HS + 25mg/mL PYP. 데이터는 3개의 독립적인 실험에서 얻은 평균 ± 표준 편차입니다.

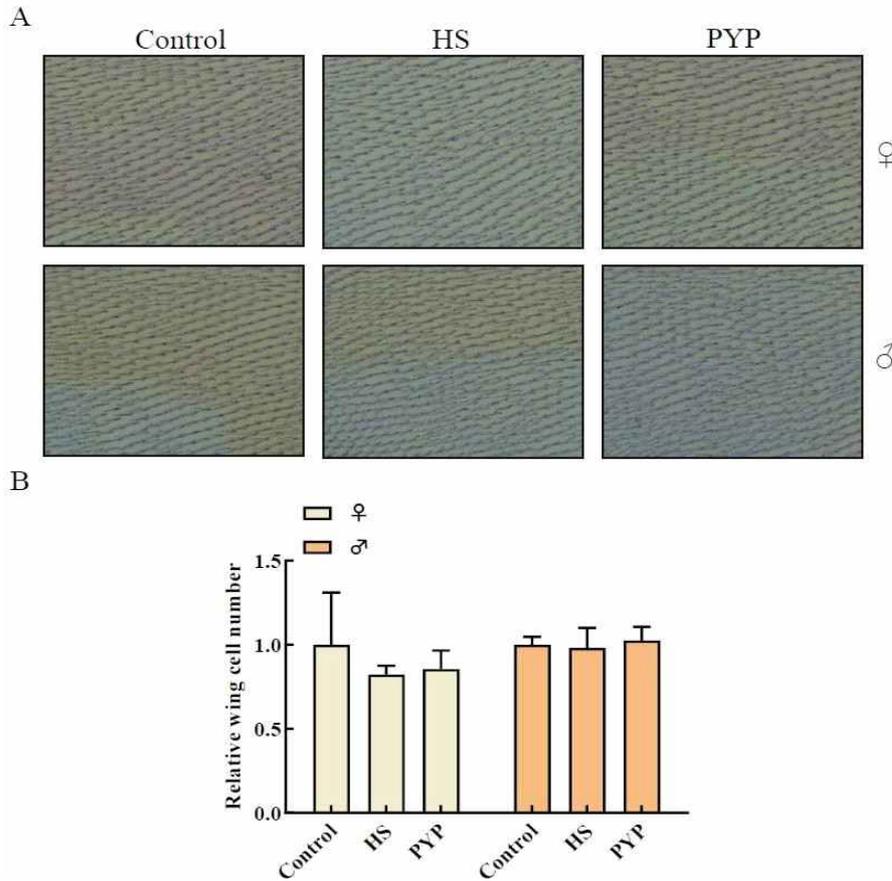


그림 14 PYP가 *D. melanogaster* wing의 세포 수에 미치는 영향. (A) 성인 날개 그림. (B) 상대 날개 세포 번호. HS: 35% 수크로스; PYP: HS + 25mg/mL PYP. 데이터는 세 가지 독립적인 실험의 평균  $\pm$  표준 편차입니다.

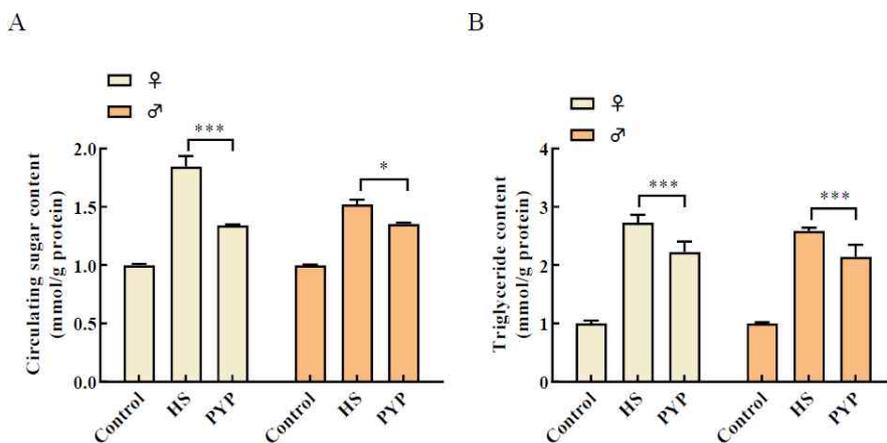


그림 15 *D. melanogaster* 성체의 포도당 및 지질 대사에 대한 PYP의 효과. (A) 순환 당 함량. (B) 트리글리세리드 함량. HS: 35% 수크로스; PYP: HS + 25mg/mL PYP. 데이터는 세 가지 독립적인 실험의 평균  $\pm$  표준 편차입니다. \* $p < 0.05$ , \*\*\* $p < 0.001$ .

- 파이토케미컬 화합물은 서구 식단의 식이 결핍을 보완할 뿐만 아니라 잠재적으로 건강을 향상시킬 수 있는 활용도가 낮은 영역입니다. 적절한 양의 식물성 다당류를 섭취하면 고혈당증과 고중성지방혈증을 개선할 수 있습니다. 따라서, 수성 PYP가 생체 내 대사 장애를 치료하고 PYP의 특정 메커니즘 및 약리학적 기능을 완전히 이해할 수 있는 잠재력을 가질 수 있음이 확인되었습니다.
- 본 연구에서 만성적으로 당분을 섭취한 유충은 농도 의존적 대사장애, 발달 지연, 낮은 생존율을 보였고, 고당분군이 가장 유의한 성능을 보였다. PYP 보충제는 HS로 인한 비정상적인 발달을 개선했을 뿐만 아니라 높은 트리글리세리드 및 순환 당 함량과 같은 비정상적인 대사 매개변수를 감소시켰습니다. 인간과 초파리에서 대사 경로는 고도로 보존되어 있으며 성장 및 발달과 같은 다양한 생리적 과정에 관여합니다. PYP는 *D. melanogaster* 유충에서 HS 유발 높은 트리글리세리드 수준을 감소시켜 생체 내 지질 축적을 감소시키는 것으로 밝혀졌습니다. 지질 함량의 감소는 지방산  $\beta$ -산화의 증가와 관련되었으며, 이는 Acox57D-d 및 Fabp의 증가와 일치했습니다. 이것은 PYP가 고당으로 인한 대사 장애를 개선하는 중요한 메커니즘일 수 있습니다. PYP는 지질 축적을 감소시켜 비만을 예방하고 치료할 수 있다고 가정합니다. 축적된 데이터는 NAFLD, 비만 및 심혈관 질환이 지질 축적과 밀접한 관련이 있음을 시사합니다. 또한 PYP 처리 후 PTTH, Phm 및 Dib를 포함한 HS 급여 유충에서 ecdysone 합성 관련 유전자의 발현이 증가하였다. 애벌레가 발달하는 동안 신경 펩티드인 PTTH는 곤충 뇌의 한 쌍의 큰 측면 뉴런에서 생성되고, 이는 앞가슴샘(PG)에서 엑디손 합성을 자극합니다. PTTH는 탈피와 변태를 자극하는 스테로이드 호르몬인 엑디스테로이드의 생산, 방출 또는 둘 다를 조절하는 데 중요한 역할을 합니다. 엑디스테로이드 생합성은 PTTH에 의해 유발되고 조절됩니다.
- 할로윈 유전자인 Phm과 Dib는 콜레스테롤로부터 20E의 생합성을 매개합니다. PYP의 활동은 비정상적인 발달과 밀접한 관련이 있다고 제안되었습니다. 흥미롭게도, 조류 다당류는 장내 미생물총의 대사 장애를 개선할 수 있습니다. 장내 미생물군을 제거한 후 PYP는 대사 장애 및 발달 이상을 완화하지 못했으며 이는 현재 결과와 일치합니다. 이는 PYP의 활성이 장내 미생물총과 밀접한 관련이 있음을 보여주었다. PYP는 유충 단계에서 고당 식이로 인한 성장 지연을 개선하는 데 명백한 효과가 있으며, 이는 PYP가 번데기 및 성충 단계에서 고당으로 인한 발달 결함을 구제하는 중요한 요소일 수 있습니다. 대사 장애는 발달 지연을 초래할 뿐만 아니라 생존율을 감소시킵니다. 이는 고자당 식이가 우화율을 현저히 감소시키는 것으로 확인되었다. 대사 장애는 PYP에 의해 개선되며, 이는 또한 우화율을 증가시킵니다. PYP의 활성으로 판단할 때 PYP는 소아 및 청소년의 대사성 질환을 예방하거나 치료하는 잠재적 제제로 개발될 수 있습니다.

□ HS-fed *D. melanogaster* 유충의 대사 기능에 대한 PYP의 효과.

· PYP가 대사 이상에 대한 억제 효과가 있는지 여부를 조사하기 위해 대조군, HS 및 PYP 그룹의 3령 유충의 중성지방 및 순환 당 함량을 포함한 대사 매개변수를 측정했습니다(그림 1A). 트레할로오스와 포도당은 *D. melanogaster*의 주요 순환 당이며 이들의 역할은 유기체의 탄수화물 균형을 유지하는 것입니다. 대조군과 비교하여 HS군의 중성지방과 순환당 함량은 각각 3.4배와 2.0배 증가하였다(Fig. 1B, C). 따라서 PYP는 이후 초파리 유충의 대사 장애를 개선하는 데 사용되었습니다. HS-fed 유충에서 이러한 PYP 매개 대사 변화는 qPCR을 사용하여 세 그룹의 유충 모두에서 탄수화물 및 지질 대사에 관여하는 여러 유전자의 전사 수준을 평가하기 위해 추가로 조사되었습니다. 대사 장애는 염증을 동반하며, 이는 인슐린 결핍으로 인한  $\beta$ -세포 기능 장애 및 후속 고혈당증을 촉진할 수 있다. 따라서 초파리 인슐린 유사 펩타이드 2(Dilp2), 초파리 인슐린 유사 펩타이드 3(Dilp3), 초파리 인슐린 유사 펩타이드 5(Dilp5) 및 염증 인자 Upd3(초파리 IL-6 family cytokine), HS-fed *Drosophila*에서도 조사되었습니다. HS 그룹의 Dilp2, Dilp3 및 Dilp5 mRNA 수준은 대조군보다 낮았지만 Upd3 발현은 더 높았으며(그림 1D), 이는 고혈당증과 일치했습니다. 그럼에도 불구하고 PYP는 Dilp2, Dilp3 및 Dilp5의 발현을 증가시켰고 Upd3의 발현을 현저히 감소시켰다( $p < 0.001$ ). 또한, 지질 저장 방울(Lsd2)이 초파리에서 트리글리세리드 축적을 조절하는 역할을 한다는 것이 입증되었습니다. PYP는 HS 그룹에서 Lsd2의 발현을 유의하게 감소시켰다( $p < 0.001$ ). 이러한 결과는 PYP가 HS-fed 유충에서 대사 기능 장애를 개선함을 시사합니다.

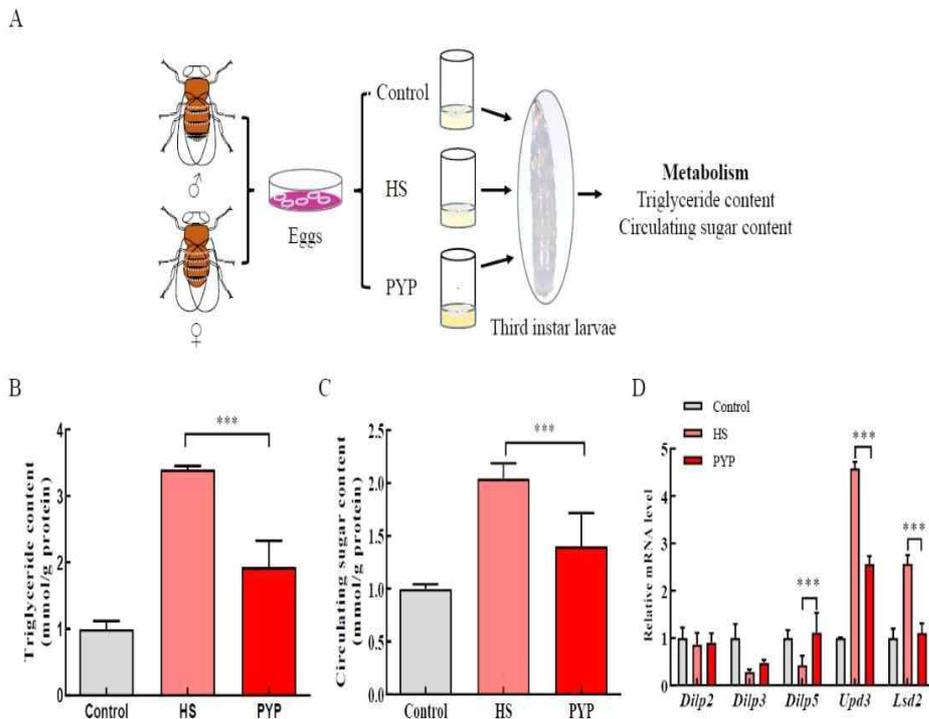


그림 1 HS-fed *D. melanogaster* 유충의 대사에 대한 PYP의 효과. (A) 실험 계획. 암컷과

수컷 초파리의 교미 후 생성된 배아를 대조군, HS 및 PYP 그룹으로 무작위로 나누고 (B) 중성지방 함량 및 (C) 순환 당 함량을 평가하는 데 사용하기 전에 3령 유충으로 양육했습니다. (D) 대조군, HS 및 PYP 그룹의 상대 표적 유전자 발현 수준은 qPCR을 사용하여 결정되었습니다. HS: 35% 수크로스; PYP: HS + 25mg/mL PYP. 데이터는 평균  $\pm$  표준 편차, \*\*\*  $p < 0.001$ 로 표시됩니다.

□ HS-fed *D. melanogaster* 유충에서 장내 미생물의 다양성과 풍부함에 대한 PYP의 효과

- PYP 보충제가 장내 미생물에 영향을 미치는지 여부를 확인하기 위해 대조군, HS 및 PYP 그룹에서 수집한 3령 유충의 장내 미생물 구성을 평가했습니다. 박테리아 16S rDNA 유전자의 V3-V4 증폭에서 총 1,141,045개의 서열 판독이 얻어졌으며 샘플당 평균 63,391개의 판독이 이루어졌습니다. OTU 분석은 97% 유사도 수준으로 이루어졌으며 465 OTU는 세 그룹 모두에 공통적이었습니다. 특정 OUT의 수는 대조군보다 HS군 (207개)에서 더 많았다.
- (110) 및 PYP(100) 그룹(그림 2A). 다음으로 Shannon, Simpson, ACE 및 Chao1 지수는 OUT 값을 사용하여 계산되었으며 각 장내 미생물군집의 다양성과 풍부함을 평가하는 데 사용되었습니다. Shannon과 Simpson은 대조군, HS 및 PYP 그룹에서 변화가 없었으며, 이는 PYP와 HS가 장내 미생물의 다양성에 영향을 미치지 않았음을 나타냅니다. 그러나 ACE와 Chao1은 대조군에 비해 유의하게 증가하였고( $p < 0.05$ ), 이는 특정 장내 미생물의 상대적 존재비가 HS에 의해 증가되었음을 나타냅니다. PYP 보충은 HS 그룹에서 ACE와 Chao1을 감소시켰으며, 이는 PYP가 미생물 과증식을 예방할 수 있음을 시사합니다. 이러한 결과는 초파리 유충의 장내 미생물총의 특정 구성이 PYP 및 HS에 의해 변경되었으며 PYP가 HS 식이와 관련된 미생물 풍부도의 증가를 억제했음을 나타냅니다.

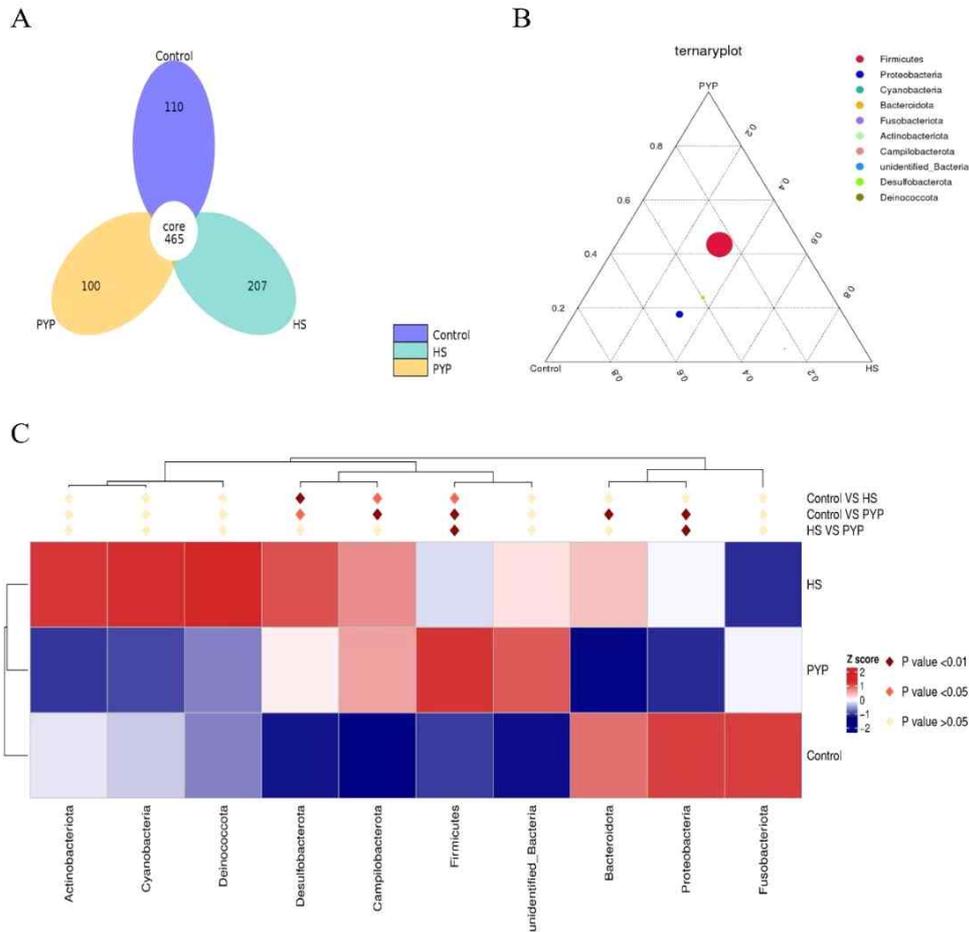


그림 2 HS-fed *D. melanogaster* 유충의 미생물 군집에 대한 PYP의 영향. (A) 대조군, HS 및 PYP(25 mg/mL) 그룹에서 공유 및 고유 OTU의 수를 보여주는 벤 다이어그램. 삼항 플롯(B) 및 히트 맵(C)은 대조군, HS 및 PYP 그룹에 대한 문 수준에서 특정 그룹의 상대적 풍부함을 나타냅니다. HS: 35% 수크로스; PYP: HS + 25mg/mL PYP.

□ HS-fed *D. melanogaster*의 장내 미생물 구성에 대한 PYP의 효과

· PYP가 HS 그룹의 장내 미생물 구성에 영향을 미치는지 여부를 이해하기 위해 대조군, HS 및 PYP 그룹의 미생물 조성을 평가했습니다. 문 수준에서 세 그룹 모두의 장내 미생물총은 Firmicutes, Proteobacteria 및 Bacteroidota에 의해 지배되었습니다(그림 2B). 그래프에서 점의 크기는 미생물의 상대적 수를 반영합니다: Firmicutes > Proteobacteria > Bacteroidota. 또한, HS 그룹은 Firmicutes의 풍부함이 증가하고 Bacteroidota와 Proteobacteria의 풍부함이 감소함을 보여주었습니다(그림 2C, 그림 3). 한편, 이러한 문의 상대적 풍부함은 PYP 보충에 대한 응답으로 수정되었습니다. HS 그룹과 비교하여 PYP는 Firmicutes의 풍부함을 유의하게 증가시켰고 Proteobacteria와 Bacteroidota의 풍부함을 감소시켰습니다(그림 3A-C). 대조군과 비교하여 PYP군에서도 Desulfobacterota( $p < 0.01$ )와 Campilobacterota( $p < 0.01$ )의 증가를 확인하였다. 장내 미생

물 군집과의 유사성도 분석되었습니다. PCoA 플롯은 HS 그룹의 장내 미생물이 대조군에 비해 두 번째 주성분(PC2)의 양의 방향으로 유의하게 이동함을 보여주었습니다(그림 4A). 그림에도 불구하고 PYP는 PC2를 따라 HS 유발 변이를 되돌려 이러한 커뮤니티를 대조군의 커뮤니티와 더 유사하게 만들었습니다. PYP의 NMDS 플롯도 PCoA 플롯과 동일한 경향을 보였다(그림 4B). 이러한 결과는 대조군의 커뮤니티 구성이 PYP 그룹의 커뮤니티 구성과 유사함을 나타냅니다.

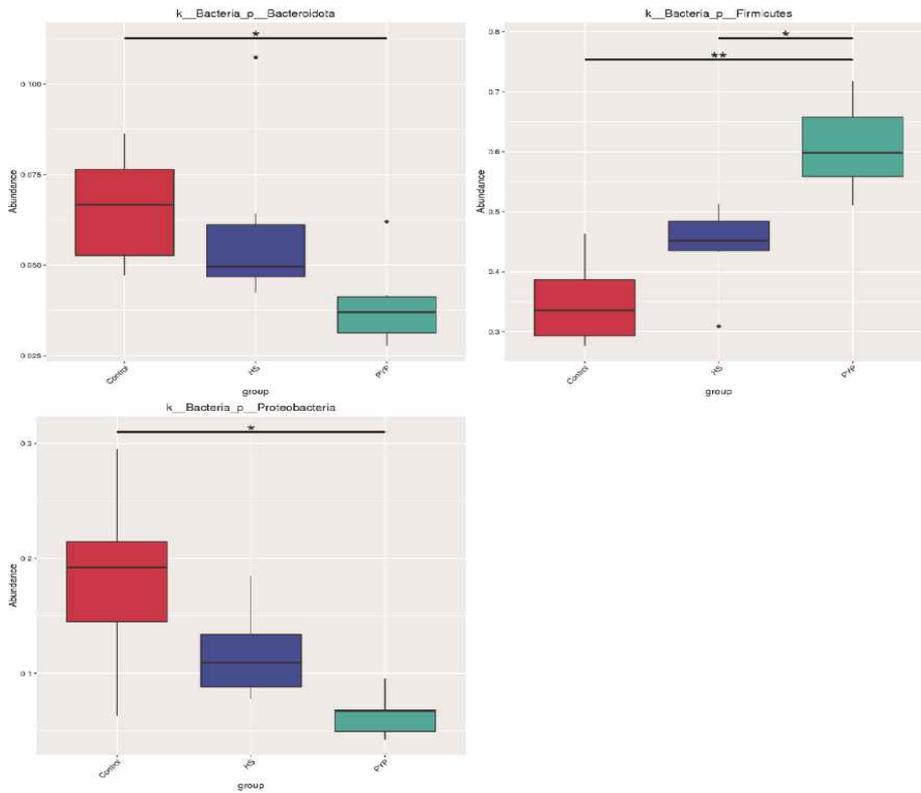


그림 3 MetaStat을 사용하여 평가한 대조군, HS 및 PYP 그룹에서 Firmicutes, Bacteroidetes 및 Proteobacteria의 상대적 존재비. (A) 박테로이데테스; (B) 페르미쿠테스; (C) 프로테오박테리아. HS: 35% 수크로스; PYP: HS + 25mg/mL PYP.

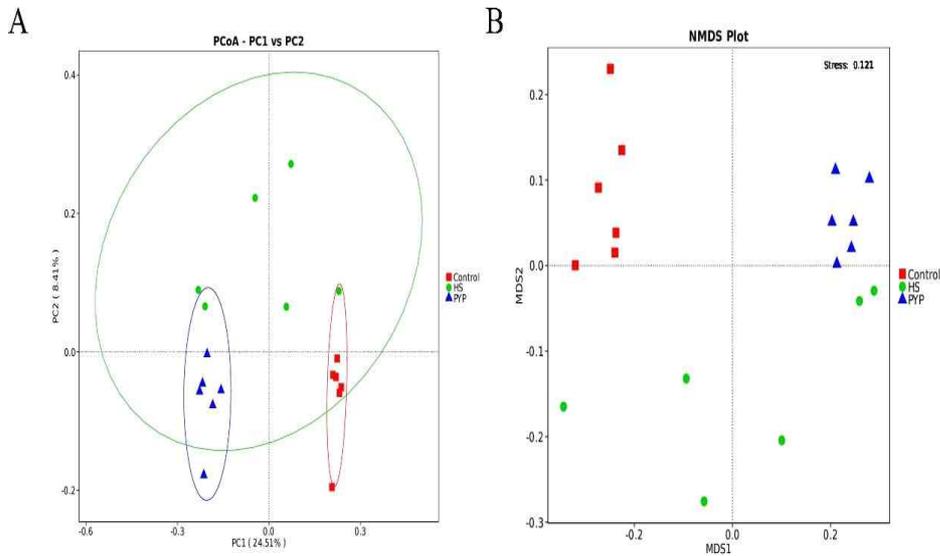


그림 4 HS를 먹인 *D. melanogaster* 유충의 미생물 구성에 대한 PYP의 효과. (A) PCoA 플롯 및 (B) 대조군, HS 및 PYP 그룹에서 세 번째 령 유충의 박테리아 군집에 대한 바이너리 Jaccard의 거리 측정법의 NMDS 플롯. HS: 35% 수크로스; PYP: HS + 25mg/mL PYP.

- 대조군, HS 및 PYP 그룹의 장내 세균의 구체적인 차이를 확인하기 위해 각 그룹의 우세한 세균을 LDA 효과 크기(LEfSe)를 사용하여 분석했습니다. LEfSe 분석은 LDA 점수가 4보다 큰 문에서 종 수준까지 수행되었습니다(그림 5, 그림 6). HS군과 대조군을 비교한 결과 HS군 4개 분류군과 대조군 11개 분류군에서 유의한 차이가 나타났다. 데이터에 따르면 Bacilli(c: class), Bacillales(o: order), Bacillaceae(f: family), Bacillus(g: 속)가 PYP 그룹에서 농축된 반면 Bacillaceae는 가족 수준에서 훨씬 더 풍부했습니다( $p < 0.01$ ) HS 그룹보다 PYP 그룹에서(그림 7). 또한 과 수준에서 Enterobacteriaceae는 HS군에 비해 PYP군에서 훨씬 감소하였다( $p < 0.05$ ).

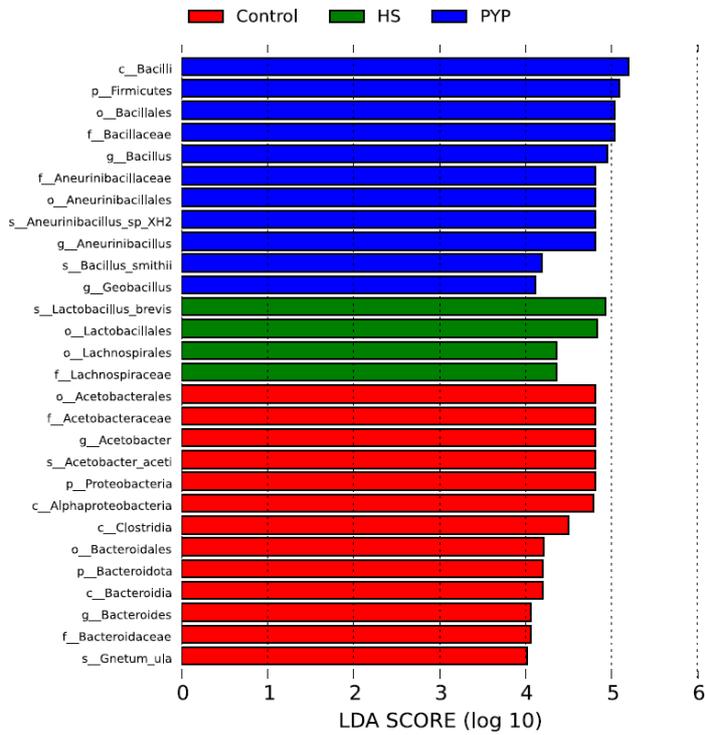


그림 5 HS-fed *D. melanogaster* 유충의 미생물 분류에 대한 PYP의 효과. 대조군, HS 및 PYP 그룹의 다양한 수준에서 특성에서 계산된 LDA 점수의 히스토그램. HS: 35% 수크로스; PYP: HS + 25mg/mL PYP.

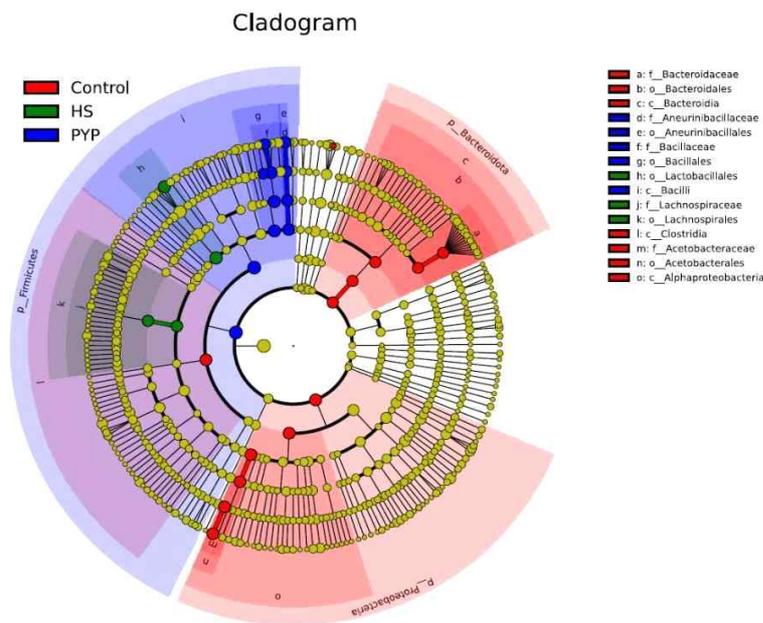


그림 6 *D. melanogaster* 유충 미생물군집의 LEfSe 분석에서 얻은 분류학적 분지도. 대조군, HS 및 PYP 그룹의 장내 미생물총의 차이를 보여주는 분류군 보고 분류군. HS: 35% 수크로스; PYP: HS + 25mg/mL PYP.

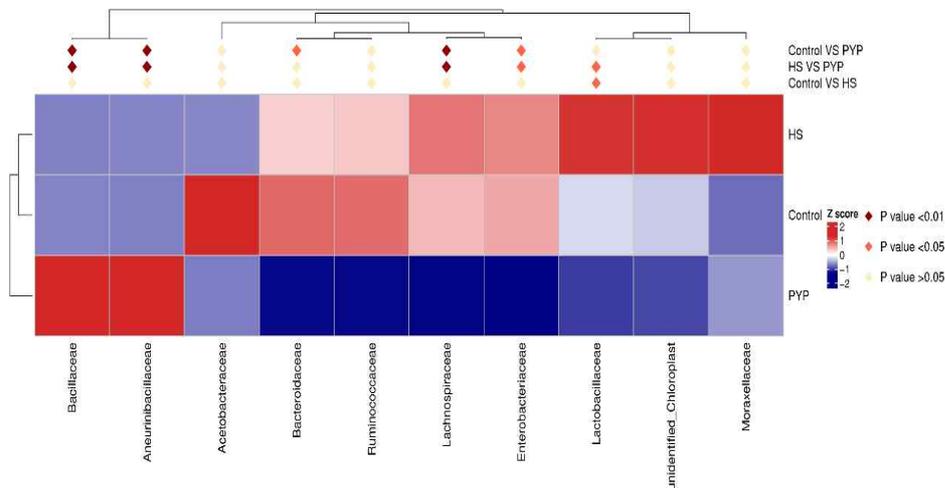


그림 7 열지도는 대조군, HS 및 PYP 그룹에 대한 가족 수준에서 특정 그룹의 상대적 풍부함을 나타냅니다. HS: 35% 수크로스; PYP: HS + 25mg/mL PYP.

- 주성분 분석(PCA)은 이 그룹의 미생물 군집 구성을 조사하기 위해 속 수준의 세 그룹의 데이터에 대해 수행되었습니다. PCA 플롯은 HS 그룹의 장내 미생물총이 대조군과 비교하여 첫 번째 주성분(PC1)의 양의 방향을 따라 상당한 이동을 나타냄을 보여주었습니다. 그러나 PYP 보충은 이러한 경향을 역전시켜 이 모집단을 대조군의 모집단과 더 유사하게 만들었습니다(그림 8). 이는 미생물 군집 구조가 HS 그룹에 비해 대조군 및 PYP 그룹과 완전히 다를 수 있음을 시사한다. 이러한 속 수준의 샘플의 구성은 각 샘플에서 상위 40개 박테리아의 히트 맵을 사용하여 평가되었습니다. 평가 결과 *Lactobacillus*, *Bacillus*, *Aneurinibacillus*, *Geobacillus*, *Blautia*, *Brevibacillus*, *Anoxybacillus*, *Agatobacter*, *Lachnospira*, *Eubacterium hallii* 그룹, *Ruminococcustorques* group, *Roseburia*, *Ruminococcus*, *Parabacteroides*, *Anaerostipes*, *Familias* 등 여러 속에서 유의한 차이가 나타났습니다. , HS 그룹과 비교한 PYP 그룹(그림 9, 그림 10). 마찬가지로 HS 그룹에 비해 PYP 그룹에서 *Bacillus*, *Aneurinibacillus*, *Geobacillus* 및 *Anoxybacillus*의 풍부도가 유의하게 증가했습니다( $p < 0.001$ )(그림 10). 이 박테리아는 *Firmicutes* 문에 속하며, 이는 PYP 그룹에서 *Firmicutes*의 양이 크게 증가한 것과 일치합니다. 미생물 군집 구조에서 종 간의 상호작용을 탐색하기 위해 HS군과 PYP군에서 각각 발견되는 박테리아 속을 이용한 동시발생 네트워크를 구축하였다(Fig. 11; Fig. 12).
- HS 그룹에는 *Escherichia Shigella*(42), *Peptoclostridium*(45), *Romboutsia*(43), *Hydrogenoanaerobacterium*(41), *Anoxybacillus*(46)와 같은 매우 풍부한 박테리아가 있습니다. *Fusobacterium* (112) 및 *Serratia* (129)는 *Geobacillus* (47) 및 *Akkermansia* (124) 를 포함한 일부 유익한 박테리아와 음의 상관 관계를 보였다 (그림 11). 또한 *Lactobacillus*(132), *Bacillus*(123), *Geobacillus*(122), *Corynebacterium*(68),

*Akkermansia*(141), *Aneurinibacillus*(143)의 풍부함 PYP 그룹은 *Escherichia-Shigella*(104), *Fusobacterium*(96), *Catenibacterium*(139), *Acinetobacter*(69)를 포함한 일부 박테리아와 음의 상관관계를 보였습니다. 이러한 결과는 PYP가 락토바실러스(132), 바실러스(123), 지오바실러스(122), 코리네박테리움(68)을 포함한 특정 유익한 박테리아의 풍부함을 조절함으로써 *Escherichia-Shigella*(104), *Fusobacterium*(96), *Catenibacterium*(139)을 억제한다는 것을 나타냅니다.

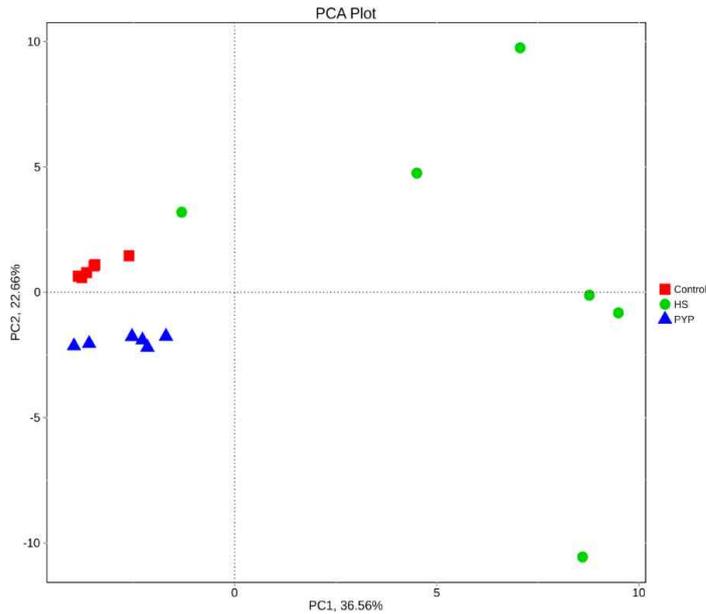


그림 8 주성분 분석(PCA). PCA 그래프를 사용하여 HS-fed *D. melanogaster* 유충의 속 수준에서 미생물 구조에 대한 PYP의 영향을 보여주었습니다. HS: 35% 수크로스; PYP: HS + 25mg/mL PYP.

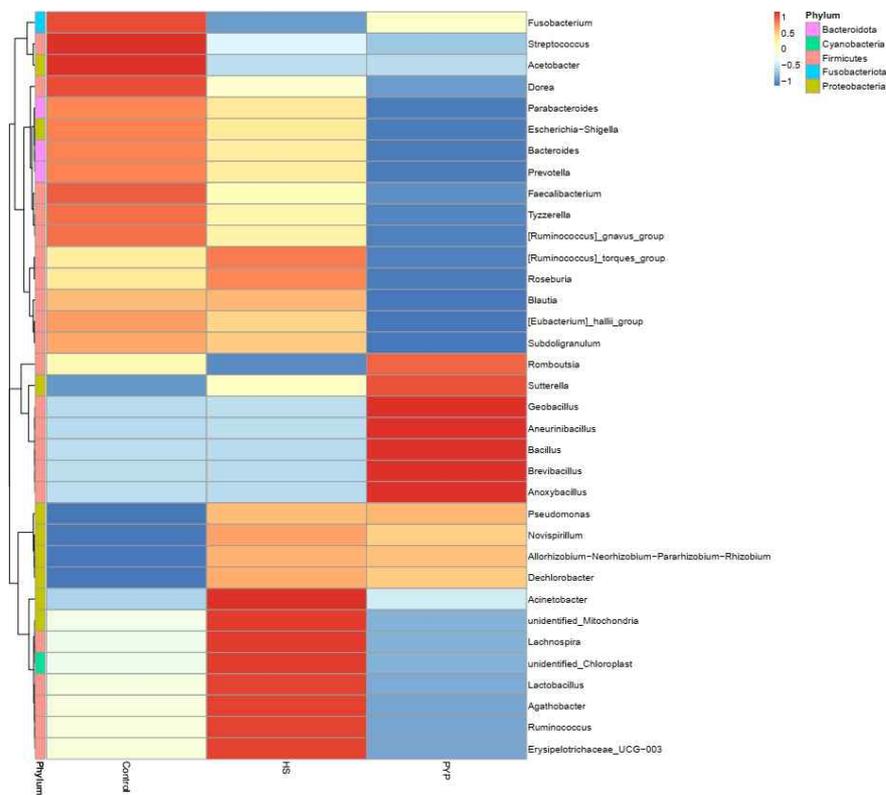


그림 9 HS-fed *D. melanogaster* 유충의 속 수준에서 미생물 구조에 대한 PYP의 영향. 대조군, HS 및 PYP 그룹의 히트 맵이 표시되었습니다. HS: 35% 수크로스; PYP: HS + 25mg/mL PYP.

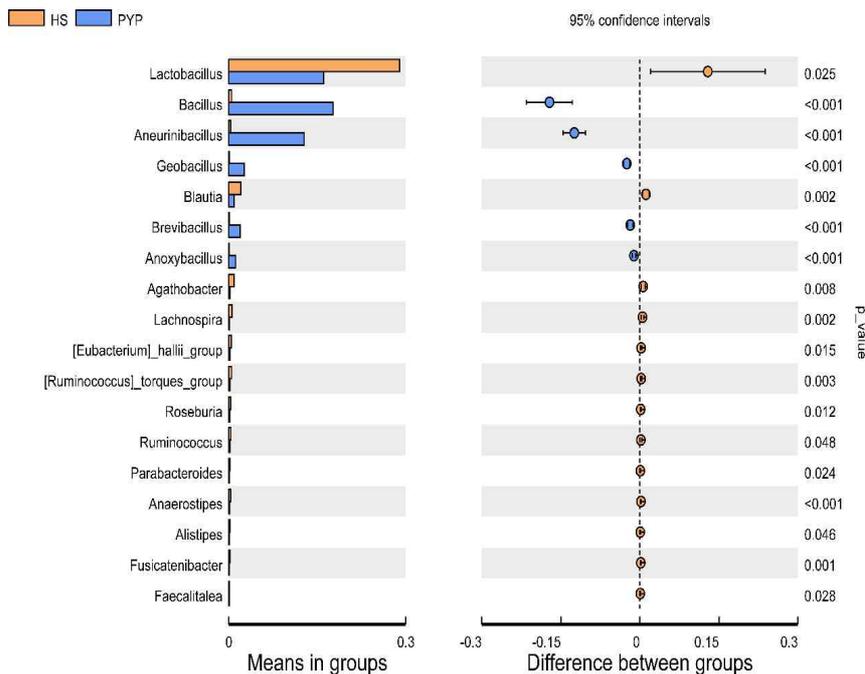


그림 10 T-test를 사용하여 속 수준에서 분석한 HS 및 PYP 그룹의 미생물 조성 차이. 그룹 간의 차이는 95% 신뢰 구간에서 평가되었습니다. HS: 35% 수크로스; PYP: HS +

25mg/mL PYP.

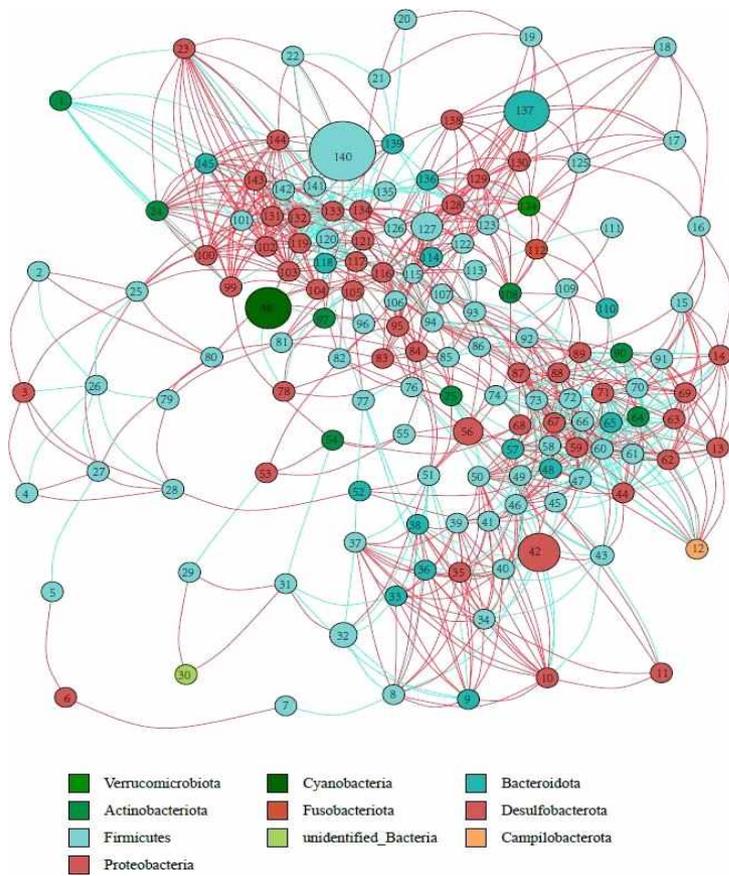


그림 11 HS 그룹의 미생물 동시 발생 네트워크 분석. 다른 노드는 다른 속을 나타냅니다. 노드 크기는 속의 평균 상대 풍부도를 나타냅니다. 같은 phylum의 마디는 같은 색이고 마디 사이의 연결 색은 상관 관계를 나타냅니다. 빨간색은 양수, 파란색은 음수입니다. HS: 35% 자당.

## 제 2세부과제. 기능성 김 계통주 선발 및 시험양식

### 가. 고기능성 김 종자개발용 계통주 확보

김 자연 서식지 및 양식장(전남 신안, 진도, 해남, 고흥, 장흥, 여천, 경기 안산, 대부도, 제주 추자도) 또는 기 확보된 유전자원 대상으로 실내형질특성조사를 통해 다른 업체에 비해 생장이 빠르거나 색택이 우수한 업체를 채집하였다. 채집한 김 업체는 표본을 제작하여 동정 및 형질특성(엽장, 엽폭, 엽장/엽폭 비)을 조사하였다. 또한 업체의 성숙 부위를 잘라 사상체를 확보하여 해조해초류기탁등록보존기관(구 해조류유전자원은행)에 보존하였으며, 향후 육종 소재로 활용하기 위해 순계를 유도하였다(그림 1).

그 결과, 5년간의 과제수행을 통해 방사무늬김 19계통주(신안송공항①, 진도회동③, 매화도⑦, 안산대부도, 신안송공항22, 신안송공항23, 진도회동14, 부산명지5-1, 신안압해10-1, 추자도1, 진도동아2, 여천5, 대부도3, 고흥구암1, 장흥정남진3, 대부도2-50Gy,5°C, 대부도2-5, 여천4-1, 수과원104호50Gy-1), 모무늬돌김 2 계통주(해남예락, 진도금갑1), 잇바디돌김 3 계통주(신안암태잇바디1, 가거도잇바디3, 신안송공항4-1), 참김 1계통주(통영참김-1)의 총 25계통주를 확보하였다(표 1~5).

방사무늬김의 우량 계통주는 형질고정을 위하여 순계를 유도하고 있으며, 향후 형질특성조사 결과에 따라 신품종 출원 및 육종 소재로 활용할 계획이다. 모무늬돌김은 기존품종보다 생장이 빠른 품종 개발에, 참김은 현재 국내에서 양식하고 있지 않지만 높은 품질로 평가되고 있어 신규 양식지 선정 및 산업화를 위하여 향후 새로운 양식품종 개발에 활용할 계획이다.

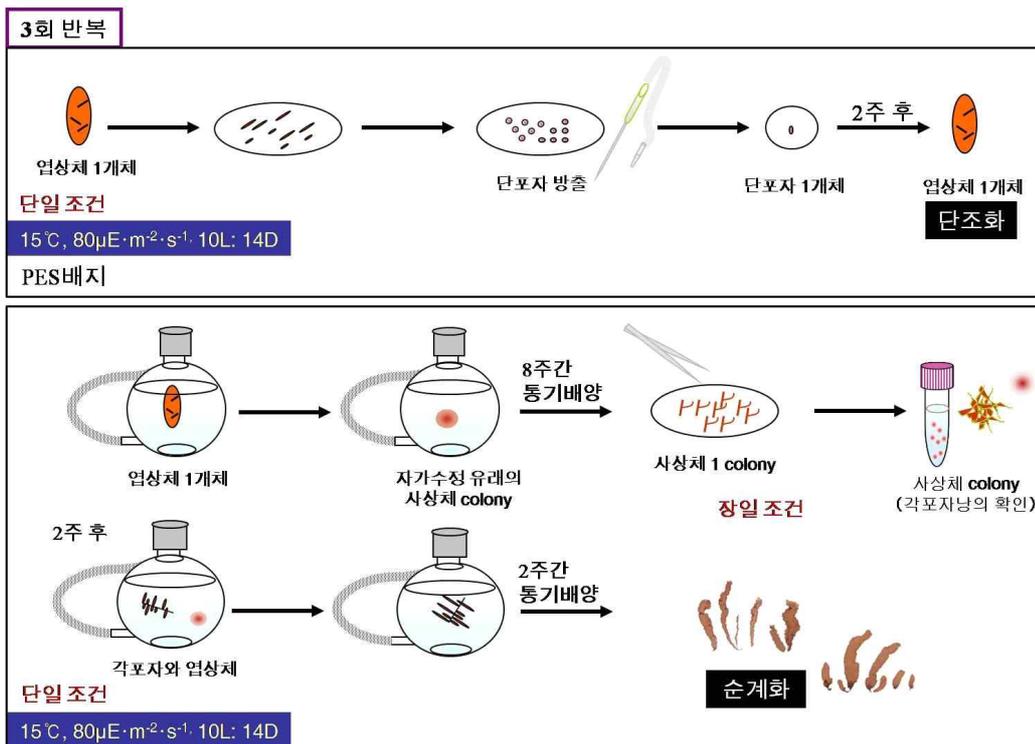


그림 1. 순계 유도 방법.

표 1. 1차년도 김 계통주 확보 목록(단위, cm)

| 방사무늬김                                                                              |                                                                                    |                                                                                    |                                                                                     | 모무늬돌김                                                                                |
|------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| 신안송공항①                                                                             | 진도회동⑬                                                                              | 매화도⑦                                                                               | 안산대부도                                                                               | 해남예락                                                                                 |
|  |  |  |  |  |
| '17.01.25.                                                                         | '17.02.01.                                                                         | '17.04.04.                                                                         | '17.06.20.                                                                          | '17.02.05.                                                                           |
| 자웅동주,<br>중성포자○                                                                     | 자웅동주,<br>중성포자○                                                                     | 자웅동주,<br>중성포자○                                                                     | 자웅동주,<br>중성포자○                                                                      | 자웅동주,<br>중성포자×                                                                       |
| 엽장 59.5,<br>엽폭 4.7<br>장/폭 12.7                                                     | 엽장 53.3,<br>엽폭 7.8<br>장/폭 6.8                                                      | 엽장 164,<br>엽폭 18<br>장/폭 9.1                                                        | 엽장 13.8,<br>엽폭 9.2<br>장/폭 1.5                                                       | 엽장 54,<br>엽폭 46<br>장/폭 1.2                                                           |
| 선형/세장형                                                                             | 선형/세장형                                                                             | 선형/세장형                                                                             | 타원형                                                                                 | 원형                                                                                   |
| 녹갈색                                                                                | 녹갈색                                                                                | 녹갈색                                                                                | 적갈색                                                                                 | 황갈색                                                                                  |
| 생장우수                                                                               | 생장우수                                                                               | 생장우수                                                                               | 고수온내성                                                                               | 생장우수                                                                                 |

표 2. 2차년도 김 계통주 확보 목록(단위, cm)

| 종명           | 방사무늬김                                                                              |                                                                                    |                                                                                    |                                                                                      |                                                                                      |
|--------------|------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| 계통주명         | 신안송공항22                                                                            | 신안송공항23                                                                            | 진도회동14                                                                             | 부산명지5-1                                                                              | 신안압해10-1                                                                             |
| 엽체 사진        |  |  |  |  |  |
| 채집일          | 2017-11-20                                                                         | 2017-11-20                                                                         | 2018-02-26                                                                         | 2018-06-21                                                                           | 2018-09-14                                                                           |
| 채집장소         | 신안 송공항                                                                             | 신안 송공항                                                                             | 진도 회동                                                                              | 18년도<br>감마선조사<br>실내실험                                                                | 18년도<br>감마선조사<br>실내실험                                                                |
| 형질특성<br>(mm) | (엽장) 80<br>(엽폭) 2<br>(엽장/엽폭)<br>40                                                 | (엽장) 20<br>(엽폭) 1.5<br>(엽장/엽폭)<br>13                                               | (엽장) 275<br>(엽폭) 23.5<br>(엽장/엽폭)<br>11.70                                          | (엽장) 146<br>(엽폭) 4.22<br>(엽장/엽폭)<br>34.60                                            | (엽장) 41.08<br>(엽폭) 4.68<br>(엽장/엽폭)<br>8.46                                           |
| 엽체 형태        | 선형/세장형                                                                             | 선형/세장형                                                                             | 선형/세장형                                                                             | 선형/세장형                                                                               | 선형/세장형                                                                               |
| 생식유형         | 자웅동주,<br>중성포자○                                                                     | 자웅동주,<br>중성포자○                                                                     | 자웅동주,<br>중성포자○                                                                     | 자웅동주,<br>중성포자○                                                                       | 자웅동주,<br>중성포자○                                                                       |

표 3. 3차년도 김 계통주 확보 목록(단위, cm)

| 종명               |           | 모무늬돌김                                                                               | 방사무늬김                                                                              |                                                                                     |                                                                                     |                                                                                      |
|------------------|-----------|-------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| 계통주명             |           | 진도금갑1                                                                               | 추자도1                                                                               | 진도동아2                                                                               | 여천5                                                                                 | 대부도3                                                                                 |
| 엽체 사진            |           |  |  |  |  |  |
| 채집일              |           | 2019.05.14.                                                                         | 2019.01.09.                                                                        | 2019.04.04.                                                                         | 2019.03.11.                                                                         | 2019.01.30.                                                                          |
| 채집장소             |           | 진도 금갑                                                                               | 제주 추자도                                                                             | 진도 회동                                                                               | 전남 여천                                                                               | 안산 대부도                                                                               |
| 형질<br>특성<br>(mm) | 엽장        | 286.53                                                                              | 580.9                                                                              | 256.0                                                                               | 1580.0                                                                              | 734.1                                                                                |
|                  | 엽폭        | 258.84                                                                              | 117.0                                                                              | 73.0                                                                                | 220.0                                                                               | 53.3                                                                                 |
|                  | 엽장/<br>엽폭 | 1.107                                                                               | 4.965                                                                              | 3.509                                                                               | 7.182                                                                               | 13.773                                                                               |
| 엽체 형태            |           | 원형                                                                                  | 도란형                                                                                | 도란형                                                                                 | 선형/세장형                                                                              | 선형/세장형                                                                               |
| 생식유형             |           | 자웅동주,<br>중성포자×                                                                      | 자웅동주,<br>중성포자○                                                                     | 자웅동주,<br>중성포자○                                                                      | 자웅동주,<br>중성포자○                                                                      | 자웅동주,<br>중성포자○                                                                       |

표4. 4차년도 김 계통주 확보 목록(단위, cm)

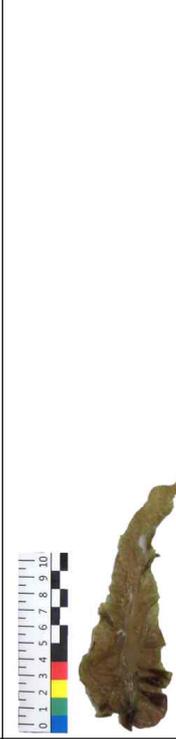
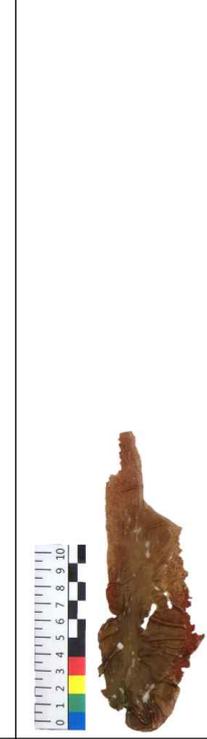
| 종명               |           | 방사무늬김                                                                              |                                                                                    |                                                                                    | 잇바디돌김                                                                               |                                                                                      |
|------------------|-----------|------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| 계통주명             |           | 고흥구암1                                                                              | 장흥정남진3                                                                             | 대부도2-50Gy,5℃                                                                       | 신안암태잇바디1                                                                            | 가거도잇바디3                                                                              |
| 엽체 사진            |           |  |  |  |  |  |
| 채집일              |           | 2020.2.4.                                                                          | 2020.02.14.                                                                        | 2020.7.15.                                                                         | 2020.2.20.                                                                          | 2020.3.9.                                                                            |
| 채집장소             |           | 전남 고흥군                                                                             | 전남 장흥군                                                                             | 실내 선발                                                                              | 전남 신안군                                                                              | 전남 신안군                                                                               |
| 형질<br>특성<br>(mm) | 엽장        | 540                                                                                | 480                                                                                | 130                                                                                | 175                                                                                 | 140                                                                                  |
|                  | 엽폭        | 80                                                                                 | 140                                                                                | 12                                                                                 | 60                                                                                  | 47                                                                                   |
|                  | 엽장/<br>엽폭 | 6.75                                                                               | 3.43                                                                               | 10.83                                                                              | 2.92                                                                                | 2.98                                                                                 |
| 엽체 형태            |           | 선형                                                                                 | 도란형                                                                                | 선형                                                                                 | 썰기형<br>연변부 주름                                                                       | 썰기형<br>연변부 주름                                                                        |
| 생식유형             |           | 자웅동주,<br>중성포자○                                                                     | 자웅동주,<br>중성포자○                                                                     | 자웅동주,<br>중성포자○                                                                     | 자웅이주,<br>중성포자×                                                                      | 자웅이주,<br>중성포자×                                                                       |

표5. 5차년도 김 계통주 확보 목록(단위, cm)

| 종명               |           | 방사무늬김                                                                             |                                                                                   |                                                                                   | 잇바디 돌김                                                                             | 참김                                                                                  |
|------------------|-----------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| 계통주명             |           | 대부도2-5                                                                            | 수과원104호<br>50Gy-1                                                                 | 여천41                                                                              | 신안송공항41                                                                            | 통영참김-1                                                                              |
| 엽체 사진            |           |  |  |  |  |  |
| 채집일              |           | 2020.07.15                                                                        | 2020.11.16                                                                        | 2020.11.03                                                                        | 2020.10.14                                                                         | 2020.10.26                                                                          |
| 채집장소             |           | 실내선발                                                                              | 실내선발                                                                              | 실내선발                                                                              | 실내선발                                                                               | 실내선발                                                                                |
| 형질<br>특성<br>(mm) | 엽장        | 13.00                                                                             | 51.00                                                                             | 22.00                                                                             | 30.00                                                                              | 27.50                                                                               |
|                  | 엽폭        | 1.50                                                                              | 6.50                                                                              | 3.50                                                                              | 2.56                                                                               | 2.00                                                                                |
|                  | 엽장/<br>엽폭 | 8.67                                                                              | 7.85                                                                              | 6.29                                                                              | 11.72                                                                              | 13.75                                                                               |
| 엽체 형태            |           | 선형/세장형                                                                            | 선형/세장형                                                                            | 선형/세장형                                                                            | 썰기형<br>연변부 주름                                                                      | 선형/세장형                                                                              |
| 생식유형             |           | 자웅동주,<br>중성포자○                                                                    | 자웅동주,<br>중성포자○                                                                    | 자웅동주,<br>중성포자○                                                                    | 자웅이주,<br>중성포자×                                                                     | 자웅동주,<br>중성포자○                                                                      |

나. 고기능성 김 종자개량용 계통주 선발

김 육종 소재 개발을 위해 기존의 과제수행을 통해 확보된 방사무늬김 총 8 계통주(신안송공항 ③, 무안마동②, 부산명지5, 신안압해10, 매화도2, 진도회동9, C-4-57, 장흥정남진)를 선발하여, 순계사상체에서 유도한 엽상체를 대상으로 감마선육종방법(처리조건 : 50Gy, 100Gy, 300Gy, 500Gy에서 8시간동안 처리)을 이용하여 실내형질특성 조사를 실시하였다(그림 2). 사상체의 생장을 위해 20°C, 30  $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 의 단일조건(10:14h LD)에서 배양시킨 후, 각포자낭의 형성을 위해 장일조건(14:10h LD)으로 옮겨 통기배양 하였고 각포자낭 형성을 확인한 후 유업을 유도하기 위해 15°C, 80  $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 의 단일조건(10:14h LD)으로 옮겨 배양하였다. 광도 40  $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 와 광주기 10L:14D 조건에서 5°C, 10°C, 15°C, 20°C 및 25°C의 온도별로 총 10주 동안 1주 간격으로 30개 엽체의 길이와 엽체 너비를 조사하였고, 성장 및 엽체 형태를 나타내는 지수인 엽체 길이/엽체 너비 비를 조사하였다.

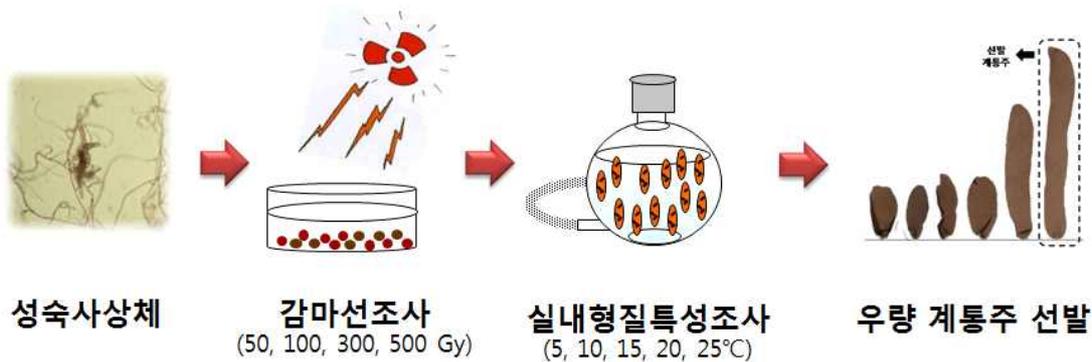


그림 2. 저준위 감마선 조사에 의한 우량 계통주 선발 방법

### (1) 신안송공항③

신안송공항③ 계통주의 실내형질특성을 조사한 결과, 최종 10주차에 평균엽장 기준 생장이 가장 크게 나타낸 구간은 300Gy, 10 °C 조건이며, 평균엽장 105.7mm, 평균엽폭 19.9 mm, 평균엽장/엽폭 4.7로 확인되었다. 평균엽폭 기준으로 생장이 가장 크게 나타낸 구간은 100Gy, 20 °C이며, 평균엽폭 27.3mm, 평균엽장 68.1 mm, 평균엽장/엽폭 2.44로 확인되었다. 측정한 모든 개체 중 최대엽장기준으로 300Gy, 15 °C 구간에서 최대엽장 291.4 mm, 최대엽폭 38.2mm 최대엽장/엽폭 11.1 으로 가장 길게 나타났고, 100Gy, 15 °C 조건에서 최대엽폭 기준 가장 큰 개체가 나타났다(최대엽폭 49.1 mm, 최대엽장 241.1 mm, 최대엽장/엽폭 13.8). 엽체의 생장은 0Gy에서 15 °C > 10 °C > 20 °C > 5 °C > 25 °C 순으로 나타나 20°C가 가장 양호한 성장조건으로 확인되었으며, 500Gy를 제외한 모든 조사구간에서 엽체의 생장은 15 °C > 10 °C > 20 °C > 5 °C > 25 °C 순으로 나타났다. 15°C에서 최적의 성장을 보였던 50Gy, 100Gy, 300Gy, 500Gy의 네 조건을 비교해 보았을 때, 300Gy > 100Gy > 50Gy > 500Gy 순으로 생장이 좋은 것으로 나타났으며, 모든 감마선 조사 구간에서 높은 온도조건인 25 °C에서의 생장이 가장 느린 것으로 확인되었다. 본 계통주는 방사무늬김의 성장적수온인 10~20 °C에서 모든 조건의 생장이 빠른 것으로 나타났으며, 최대엽장은 300Gy, 15 °C, 10주차에서 확인되었고(최대엽장 291.4 mm), 대조구인 0Gy, 15 °C, 10주차(최대엽장 112 mm) 보다 약 2.6배 이상 빠른 성장을 보였다(그림 3~7, 표 6~15).

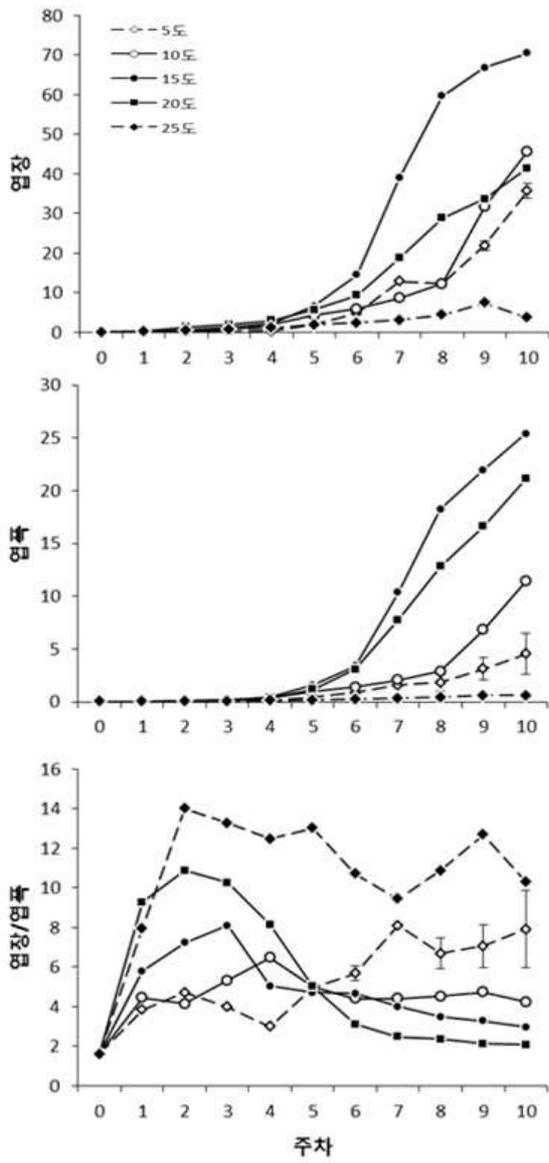


그림 3. 신안송공항3(0 Gy) 계통주의 온도 조건별 성장도.

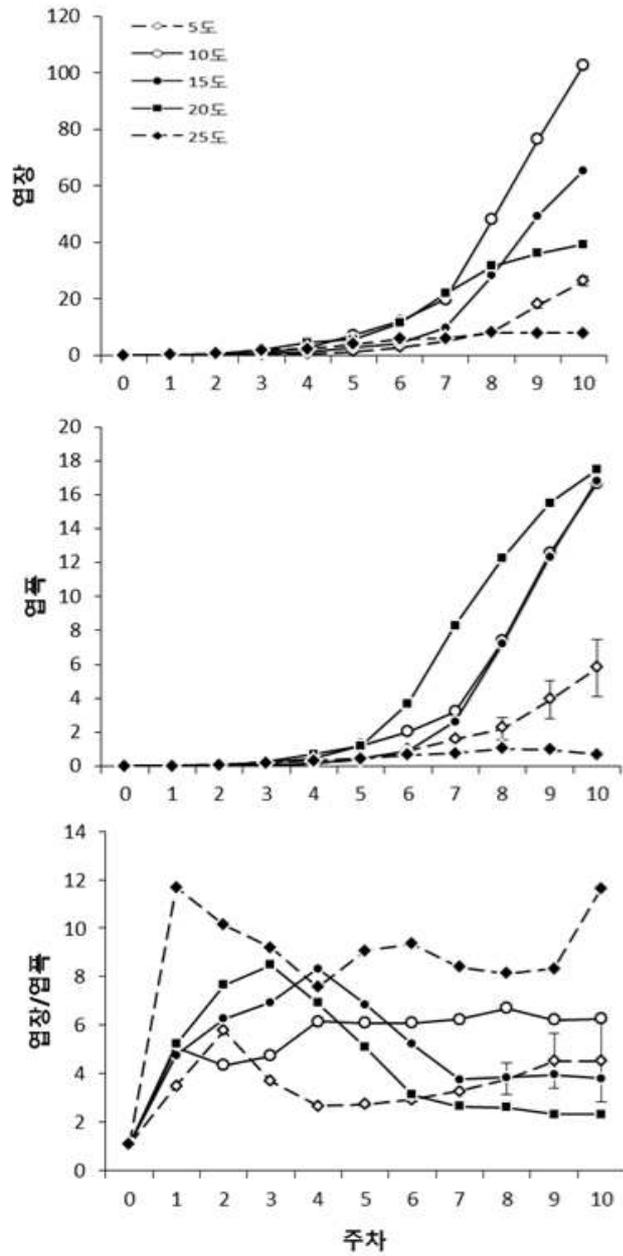


그림 4. 신안송공항3(50 Gy) 계통주의 온도 조건별 성장도.

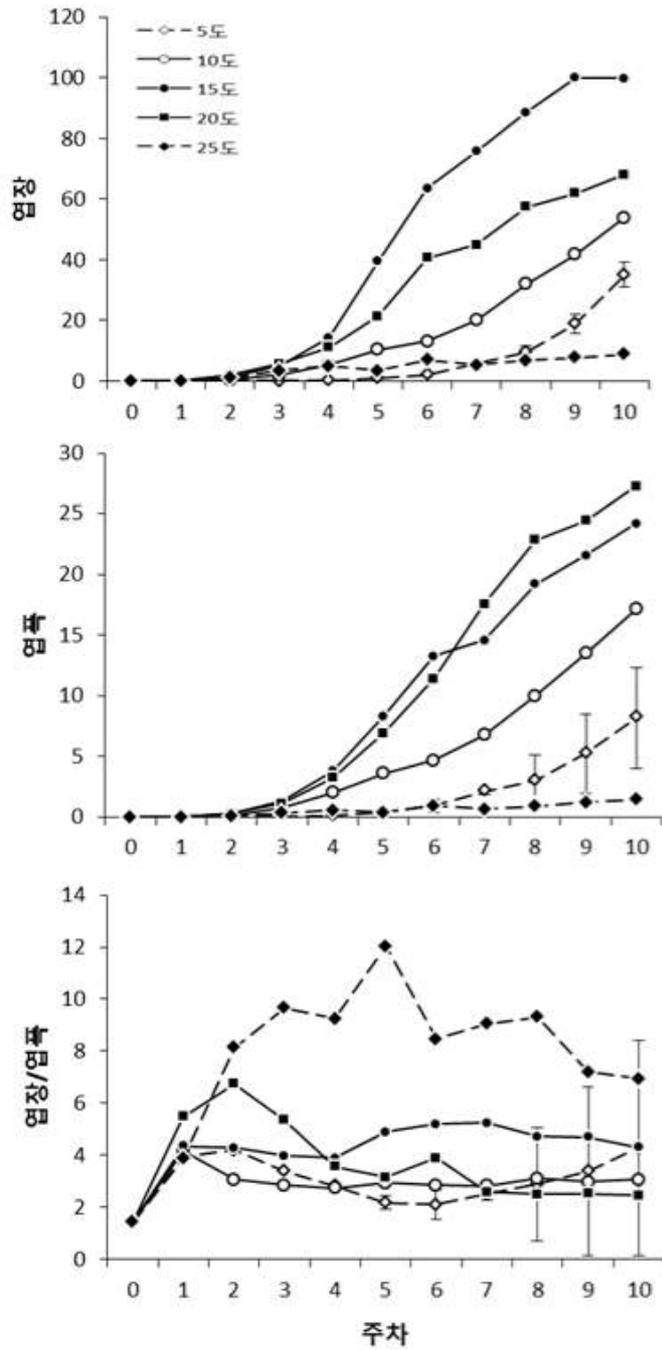


그림 5. 신안송공항3(100 Gy) 계통주의 온도 조건별 성장도.

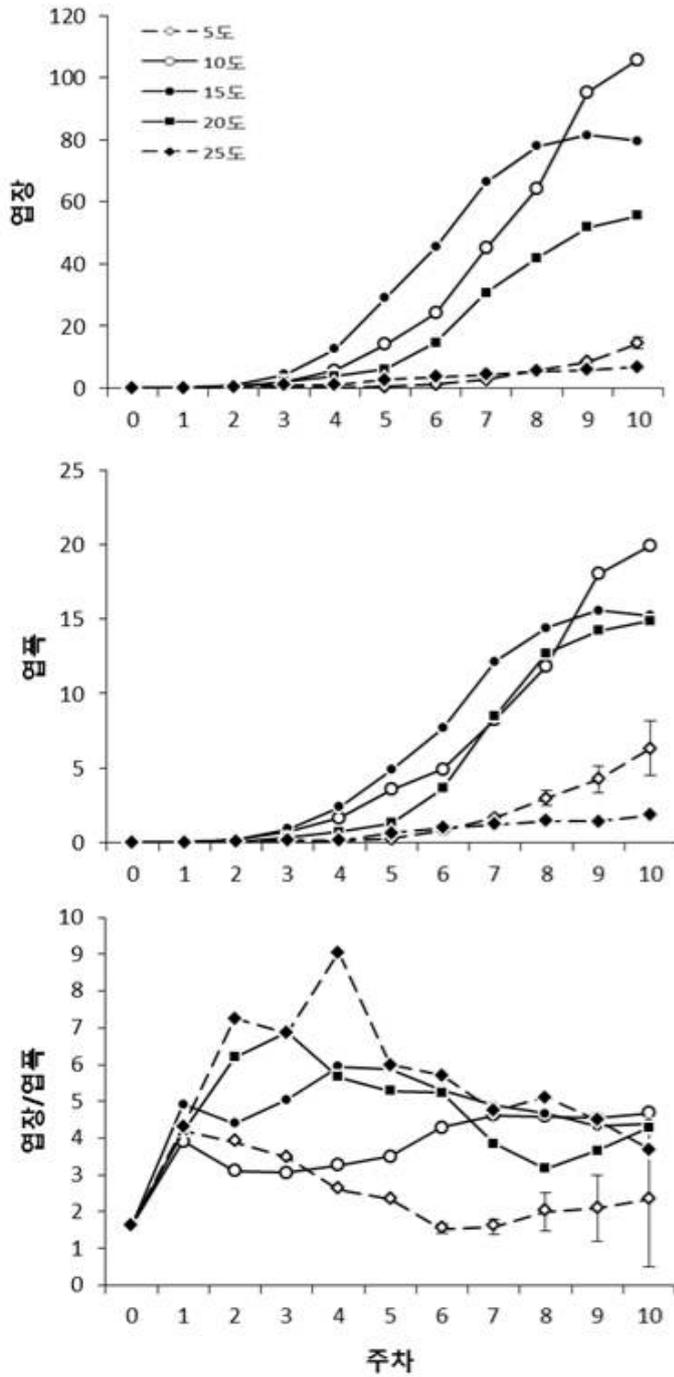


그림 6. 신안송공항3(300 Gy) 계통주의 온도 조건별 성장도.

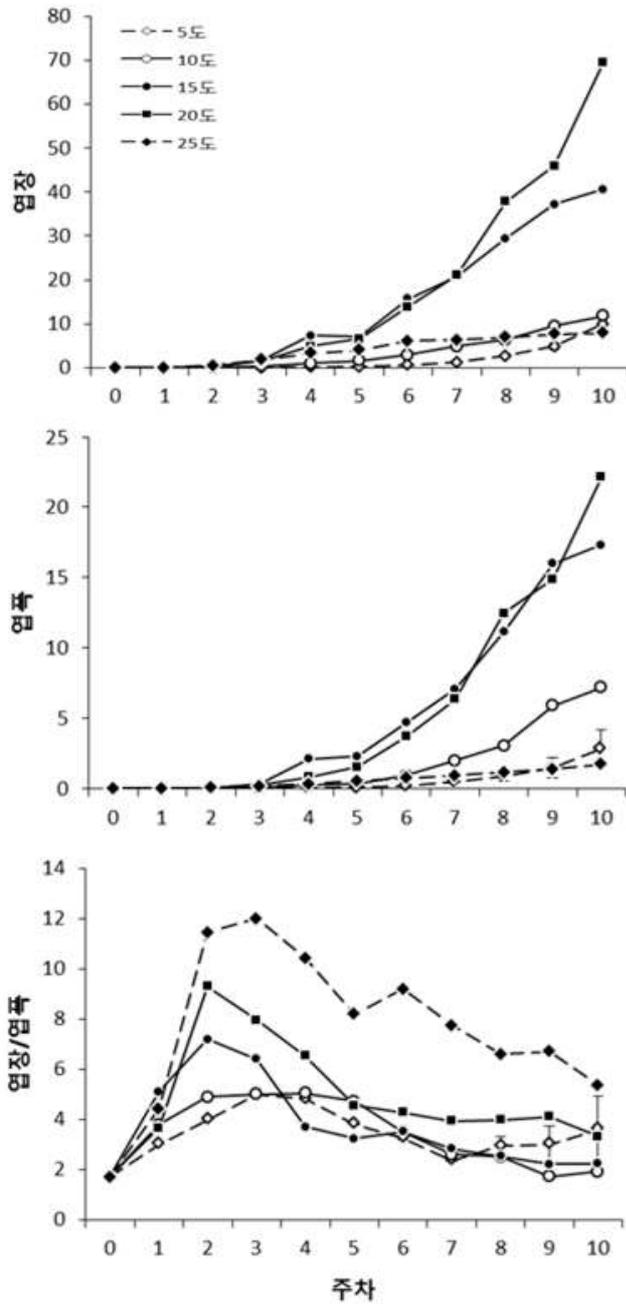


그림 7. 신안송공항3(500 Gy) 계통주의 온도 조건별 성장도.

표 6. 신안송공항3(0 Gy) 계통주의 온도 조건별 엽체 성장(단위 mm) / ( ) : 평균

|     |       | 5°C         | 10°C         | 15°C         | 20°C        | 25°C        |
|-----|-------|-------------|--------------|--------------|-------------|-------------|
| 0주  | 엽장    | 0.02(0.016) | 0.02(0.016)  | 0.02(0.16)   | 0.02(0.016) | 0.02(0.16)  |
|     | 엽폭    | 0.01(0.01)  | 0.01(0.01)   | 0.01(0.01)   | 0.01(0.01)  | 0.01(0.01)  |
|     | 엽장/엽폭 | 2.00(1.60)  | 2.00(1.60)   | 2.00(1.60)   | 2.00(1.60)  | 2.00(1.60)  |
| 1주  | 엽장    | 0.05(0.04)  | 0.08(0.06)   | 0.18(0.14)   | 0.33(0.22)  | 0.25(0.14)  |
|     | 엽폭    | 0.02(0.02)  | 0.11(0.01)   | 0.04(0.02)   | 0.04(0.02)  | 0.02(0.18)  |
|     | 엽장/엽폭 | 5.00(3.83)  | 7.00(4.43)   | 9.00(5.77)   | 16.5(9.25)  | 12.5(7.93)  |
| 2주  | 엽장    | 0.13(0.09)  | 0.42(0.29)   | 0.89(0.51)   | 1.92(1.28)  | 0.73(0.44)  |
|     | 엽폭    | 0.03(0.04)  | 0.11(0.07)   | 0.11(0.07)   | 0.21(0.12)  | 0.07(0.03)  |
|     | 엽장/엽폭 | 8.00(4.70)  | 6.00(4.41)   | 12.2(7.21)   | 19.7(10.8)  | 22.0(13.9)  |
| 3주  | 엽장    | 0.19(0.14)  | 0.71(0.52)   | 1.91(1.27)   | 2.55(1.84)  | 0.97(0.74)  |
|     | 엽폭    | 0.06(0.08)  | 0.17(1.10)   | 0.32(0.17)   | 0.28(0.18)  | 0.12(0.05)  |
|     | 엽장/엽폭 | 7.00(3.96)  | 8.00(5.30)   | 18.0(8.08)   | 15.0(10.2)  | 18.2(13.2)  |
| 4주  | 엽장    | 0.31(0.23)  | 3.11(1.95)   | 2.87(2.14)   | 4.66(2.99)  | 1.82(1.11)  |
|     | 엽폭    | 0.06(0.08)  | 0.76(0.33)   | 0.78(0.44)   | 0.84(0.38)  | 0.14(0.09)  |
|     | 엽장/엽폭 | 4.80(2.98)  | 12.81(6.46)  | 7.02(5.03)   | 15.7(8.13)  | 17.4(12.4)  |
| 5주  | 엽장    | 3.41(1.96)  | 7.85(4.23)   | 13.31(6.57)  | 9.69(5.66)  | 2.49(1.93)  |
|     | 엽폭    | 0.12(0.40)  | 1.79(0.93)   | 2.46(1.55)   | 2.10(1.16)  | 0.23(0.15)  |
|     | 엽장/엽폭 | 6.60(4.94)  | 11.13(4.98)  | 15.7(4.70)   | 7.50(5.01)  | 20.0(13.0)  |
| 6주  | 엽장    | 13.53(4.87) | 17.69(5.93)  | 35.06(14.49) | 15.8(9.23)  | 3.22(2.37)  |
|     | 엽폭    | 0.60(0.85)  | 3.03(1.37)   | 4.96(3.37)   | 4.78(3.06)  | 0.36(0.22)  |
|     | 엽장/엽폭 | 8.56(5.67)  | 5.83(4.39)   | 11.0(4.65)   | 4.87(3.09)  | 14.4(10.7)  |
| 7주  | 엽장    | 28.0(12.77) | 23.8(8.59)   | 109.0(38.94) | 31.1(18.7)  | 4.24(3.01)  |
|     | 엽폭    | 1.63(1.57)  | 5.25(2.04)   | 17.55(10.3)  | 10.82(7.75) | 0.62(0.33)  |
|     | 엽장/엽폭 | 10.36(8.10) | 7.02(4.38)   | 10.4(3.98)   | 4.50(2.46)  | 15.4(9.4)   |
| 8주  | 엽장    | 30.0(12.19) | 34.4(12.25)  | 135.15(59.6) | 45.7(28.8)  | 6.05(4.40)  |
|     | 엽폭    | 2.84(1.84)  | 7.49(2.87)   | 26.71(18.2)  | 22.27(12.8) | 0.63(0.42)  |
|     | 엽장/엽폭 | 11.26(6.68) | 6.40(4.50)   | 6.73(3.47)   | 4.07(2.33)  | 24.0(10.8)  |
| 9주  | 엽장    | 32.8(21.82) | 79.0(31.69)  | 127.56(66.8) | 56.1(33.6)  | 9.59(7.45)  |
|     | 엽폭    | 2.73(3.13)  | 16.68(6.83)  | 33.80(21.9)  | 26.29(16.6) | 0.88(0.60)  |
|     | 엽장/엽폭 | 9.29(7.04)  | 6.63(4.72)   | 5.93(3.24)   | 3.70(2.10)  | 19.0(12.6)  |
| 10주 | 엽장    | 57.5(35.65) | 104.7(45.59) | 111.97(70.4) | 66.1(41.4)  | 11.38(3.64) |
|     | 엽폭    | 4.60(4.55)  | 25.34(11.4)  | 37.38(25.3)  | 39.82(21.1) | 1.65(0.61)  |
|     | 엽장/엽폭 | 11.48(7.91) | 6.40(4.22)   | 5.09(2.94)   | 3.85(2.07)  | 81.1(10.2)  |

표 7. 신안송공항3(50 Gy) 계통주의 온도 조건별 업체 성장(단위 mm) / ( ) : 평균

|     |       | 5°C          | 10°C         | 15°C        | 20°C         | 25°C        |
|-----|-------|--------------|--------------|-------------|--------------|-------------|
| 0주  | 엽장    | 0.02(0.01)   | 0.02(0.01)   | 0.02(0.01)  | 0.02(0.01)   | 0.02(0.01)  |
|     | 엽폭    | 0.01(0.01)   | 0.01(0.01)   | 0.01(0.01)  | 0.01(0.01)   | 0.01(0.01)  |
|     | 엽장/엽폭 | 2.00(1.07)   | 2.00(1.07)   | 2.00(1.07)  | 2.00(1.07)   | 2.00(1.07)  |
| 1주  | 엽장    | 0.02(0.04)   | 0.11(0.07)   | 0.07(0.05)  | 0.08(0.05)   | 0.5(0.29)   |
|     | 엽폭    | 0.01(0.01)   | 0.09(0.14)   | 0.02(0.01)  | 0.02(0.01)   | 0.05(0.25)  |
|     | 엽장/엽폭 | 5.00(3.50)   | 8.0(5.0)     | 7.0(4.7)    | 8.0(5.2)     | 17.5(11.6)  |
| 2주  | 엽장    | 0.15(0.10)   | 0.46(0.29)   | 0.14(0.09)  | 0.64(0.38)   | 1.17(0.74)  |
|     | 엽폭    | 0.03(0.02)   | 0.09(0.68)   | 0.03(0.01)  | 0.07(0.05)   | 0.12(0.07)  |
|     | 엽장/엽폭 | 11.00(5.78)  | 6.4(4.3)     | 11.0(6.2)   | 14.6(7.6)    | 21.6(10.1)  |
| 3주  | 엽장    | 0.23(0.14)   | 1.59(0.95)   | 0.75(0.57)  | 3.15(2.02)   | 2.61(1.89)  |
|     | 엽폭    | 0.07(0.04)   | 0.32(0.20)   | 0.15(0.08)  | 0.45(0.25)   | 0.35(0.21)  |
|     | 엽장/엽폭 | 6.67(3.69)   | 7.4(4.7)     | 12.0(6.9)   | 15.0(8.4)    | 12.8(9.1)   |
| 4주  | 엽장    | 0.67(0.47)   | 3.64(2.79)   | 1.93(1.44)  | 6.44(4.64)   | 3.17(2.40)  |
|     | 엽폭    | 0.25(0.18)   | 0.63(0.46)   | 0.32(0.18)  | 1.10(0.70)   | 0.55(0.33)  |
|     | 엽장/엽폭 | 4.19(2.67)   | 8.7(6.1)     | 13.5(8.3)   | 10.4(6.9)    | 13.0(7.5)   |
| 5주  | 엽장    | 2.31(1.17)   | 11.1(7.25)   | 4.93(2.92)  | 7.78(5.75)   | 6.72(3.97)  |
|     | 엽폭    | 0.72(0.43)   | 2.01(1.22)   | 0.83(0.45)  | 2.00(1.19)   | 0.64(0.45)  |
|     | 엽장/엽폭 | 3.55(2.72)   | 8.4(6.0)     | 14.3(6.8)   | 7.7(5.0)     | 14.9(9.0)   |
| 6주  | 엽장    | 4.94(2.70)   | 17.0(12.1)   | 9.05(4.45)  | 23.17(11.39) | 9.02(5.94)  |
|     | 엽폭    | 1.53(0.93)   | 3.03(2.02)   | 1.55(0.89)  | 5.44(3.69)   | 1.20(0.66)  |
|     | 엽장/엽폭 | 3.95(2.93)   | 8.0(6.0)     | 7.3(5.2)    | 4.8(3.1)     | 15.4(9.3)   |
| 7주  | 엽장    | 10.69(5.13)  | 28.1(19.8)   | 25.16(9.85) | 59.36(21.9)  | 10.16(6.11) |
|     | 엽폭    | 2.61(1.58)   | 4.81(3.21)   | 4.25(2.61)  | 12.33(8.27)  | 1.31(0.77)  |
|     | 엽장/엽폭 | 5.20(3.27)   | 8.0(6.2)     | 5.9(3.7)    | 5.3(2.6)     | 13.3(8.3)   |
| 8주  | 엽장    | 21.96(8.56)  | 67.1(48.0)   | 87.2(28.2)  | 91.16(31.7)  | 14.56(8.15) |
|     | 엽폭    | 4.18(2.23)   | 10.82(7.38)  | 11.3(7.21)  | 19.58(12.26) | 1.69(1.05)  |
|     | 엽장/엽폭 | 6.40(3.79)   | 9.2(6.6)     | 7.6(3.8)    | 6.0(2.6)     | 12.3(8.1)   |
| 9주  | 엽장    | 42.33(17.8)  | 109.6(76.4)  | 145.5(49.4) | 109.0(36.1)  | 9.78(7.88)  |
|     | 엽폭    | 6.77(3.91)   | 18.42(12.5)  | 18.5(12.3)  | 24.61(15.5)  | 1.17(0.96)  |
|     | 엽장/엽폭 | 7.37(4.53)   | 8.6(6.2)     | 8.4(3.9)    | 6.0(2.3)     | 12.4(8.3)   |
| 10주 | 엽장    | 65.21(26.18) | 148.4(102.6) | 202.0(65.4) | 110.7(39.3)  | 10.12(7.88) |
|     | 엽폭    | 9.52(5.76)   | 23.05(16.6)  | 24.3(16.80) | 40.26(17.4)  | 0.96(0.69)  |
|     | 엽장/엽폭 | 7.72(4.52)   | 8.1(6.2)     | 8.3(3.8)    | 4.3(2.3)     | 18.5(11.62) |

표 8. 신안송공항3(100 Gy) 계통주의 온도 조건별 엽체 성장(단위 mm) / ( ) : 평균

|     |       | 5°C          | 10°C         | 15°C         | 20°C          | 25°C         |
|-----|-------|--------------|--------------|--------------|---------------|--------------|
| 0주  | 엽장    | 0.02(0.01)   | 0.02(0.01)   | 0.02(0.01)   | 0.02(0.01)    | 0.02(0.01)   |
|     | 엽폭    | 0.01(0.01)   | 0.01(0.01)   | 0.01(0.01)   | 0.01(0.01)    | 0.01(0.01)   |
|     | 엽장/엽폭 | 2.00(1.43)   | 2.00(1.43)   | 2.00(1.43)   | 2.00(1.43)    | 2.00(1.43)   |
| 1주  | 엽장    | 0.08(0.05)   | 0.08(0.05)   | 0.13(0.06)   | 0.28(0.1)     | 0.07(0.04)   |
|     | 엽폭    | 0.02(0.01)   | 0.31(0.01)   | 0.03(0.02)   | 0.03(0.02)    | 0.02(0.01)   |
|     | 엽장/엽폭 | 6.00(3.93)   | 6.00(4.17)   | 8.00(4.36)   | 9.33(5.48)    | 6.00(3.87)   |
| 2주  | 엽장    | 0.22(0.08)   | 0.99(0.49)   | 2.60(1.30)   | 3.54(1.98)    | 2.53(0.98)   |
|     | 엽폭    | 0.11(0.02)   | 0.31(0.18)   | 0.65(0.31)   | 0.66(0.31)    | 0.28(0.13)   |
|     | 엽장/엽폭 | 7.00(4.19)   | 7.00(3.05)   | 7.36(4.28)   | 9.76(6.73)    | 13.73(8.12)  |
| 3주  | 엽장    | 0.32(0.14)   | 4.82(1.99)   | 8.33(4.89)   | 11.62(5.67)   | 6.36(3.39)   |
|     | 엽폭    | 0.15(0.05)   | 1.60(0.75)   | 2.48(1.31)   | 4.21(1.14)    | 1.15(0.37)   |
|     | 엽장/엽폭 | 8.00(3.39)   | 4.95(2.84)   | 7.08(3.97)   | 8.48(5.35)    | 15.63(9.67)  |
| 4주  | 엽장    | 0.80(0.29)   | 11.9(5.39)   | 26.6(14.31)  | 19.74(11.16)  | 9.79(5.01)   |
|     | 엽폭    | 0.38(0.12)   | 4.19(2.05)   | 7.77(3.81)   | 8.34(3.25)    | 1.13(0.58)   |
|     | 엽장/엽폭 | 7.25(2.82)   | 4.94(2.73)   | 10.25(3.88)  | 5.93(3.56)    | 14.55(9.25)  |
| 5주  | 엽장    | 8.28(0.95)   | 27.9(10.30)  | 105.0(39.42) | 42.78(21.35)  | 7.57(3.46)   |
|     | 엽폭    | 2.44(0.42)   | 8.23(3.60)   | 15.07(8.34)  | 14.71(6.95)   | 1.07(0.38)   |
|     | 엽장/엽폭 | 3.67(2.17)   | 4.47(2.92)   | 18.46(4.90)  | 5.61(3.15)    | 49.50(12.03) |
| 6주  | 엽장    | 18.1(2.17)   | 41.1(13.20)  | 177.3(63.59) | 296.6(40.67)  | 13.39(6.98)  |
|     | 엽폭    | 4.25(0.94)   | 11.95(4.67)  | 48.89(13.26) | 24.43(11.40)  | 2.04(0.96)   |
|     | 엽장/엽폭 | 4.26(2.09)   | 4.98(2.83)   | 21.22(5.19)  | 35.48(3.89)   | 18.72(8.47)  |
| 7주  | 엽장    | 42.3(5.73)   | 70.7(20.08)  | 228.4(75.7)  | 90.59(44.83)  | 14.19(5.29)  |
|     | 엽폭    | 7.06(2.12)   | 17.69(6.79)  | 26.87(14.60) | 30.44(17.58)  | 1.84(0.68)   |
|     | 엽장/엽폭 | 5.99(2.49)   | 6.64(2.82)   | 20.21(5.23)  | 4.91(2.58)    | 15.47(9.06)  |
| 8주  | 엽장    | 69.3(9.55)   | 114.3(32.09) | 256.9(88.6)  | 111.9(57.44)  | 13.28(6.75)  |
|     | 엽폭    | 10.98(3.00)  | 25.43(10.00) | 36.11(19.21) | 37.12(22.84)  | 2.20(0.89)   |
|     | 엽장/엽폭 | 6.31(2.88)   | 7.36(3.10)   | 18.55(4.70)  | 4.70(2.50)    | 17.63(9.31)  |
| 9주  | 엽장    | 104.9(18.95) | 155.3(41.70) | 257.9(100.0) | 127.5(61.97)  | 13.22(7.71)  |
|     | 엽폭    | 16.27(5.25)  | 35.28(13.49) | 40.61(21.61) | 37.84(24.42)  | 2.36(1.21)   |
|     | 엽장/엽폭 | 6.45(3.38)   | 7.64(2.98)   | 16.52(4.69)  | 5.16(2.52)    | 15.73(7.19)  |
| 10주 | 엽장    | 129.6(35.0)  | 198.1(53.9)  | 241.4(99.73) | 139.94(68.09) | 15.22(8.91)  |
|     | 엽폭    | 24.54(8.18)  | 40.77(17.16) | 49.09(24.18) | 38.45(27.28)  | 3.12(1.45)   |
|     | 엽장/엽폭 | 7.52(4.27)   | 7.67(3.06)   | 13.85(4.30)  | 4.30(2.44)    | 14.57(6.95)  |

표 9. 신안송공항3(300 Gy) 계통주의 온도 조건별 업체 성장(단위 mm) / ( ) : 평균

|     |       | 5°C         | 10°C          | 15°C          | 20°C         | 25°C        |
|-----|-------|-------------|---------------|---------------|--------------|-------------|
| 0주  | 엽장    | 0.03(0.01)  | 0.03(0.01)    | 0.03(0.01)    | 0.03(0.1)    | 0.03(0.01)  |
|     | 엽폭    | 0.01(0.01)  | 0.01(0.01)    | 0.01(0.01)    | 0.01(0.16)   | 0.01(0.01)  |
|     | 엽장/엽폭 | 3.0(1.6)    | 3.00(7.0)     | 3.0(1.6)      | 3.0(1.6)     | 3.0(1.6)    |
| 1주  | 엽장    | 0.07(0.04)  | 0.09(0.04)    | 0.14(0.065)   | 0.12(0.06)   | 0.1(0.05)   |
|     | 엽폭    | 0.02(0.01)  | 0.34(0.01)    | 0.04(0.01)    | 0.03(0.04)   | 0.30(0.15)  |
|     | 엽장/엽폭 | 6.0(4.2)    | 7.00(3.9)     | 10.0(4.9)     | 9.0(4.1)     | 8.0(4.3)    |
| 2주  | 엽장    | 0.23(0.09)  | 0.84(0.39)    | 1.72(0.91)    | 1.28(0.29)   | 1.48(0.46)  |
|     | 엽폭    | 0.09(0.03)  | 0.34(0.16)    | 0.44(0.23)    | 0.17(0.32)   | 0.19(0.06)  |
|     | 엽장/엽폭 | 7.5(3.9)    | 12.00(3.11)   | 10.3(4.4)     | 12.0(6.2)    | 21.5(7.2)   |
| 3주  | 엽장    | 0.46(0.19)  | 4.13(2.07)    | 9.07(4.35)    | 4.1(2.11)    | 3.12(1.06)  |
|     | 엽폭    | 0.24(0.07)  | 1.41(0.71)    | 1.78(0.91)    | 0.56(0.70)   | 0.52(0.16)  |
|     | 엽장/엽폭 | 8.0(3.4)    | 6.72(3.05)    | 7.6(5.04)     | 12.3(6.8)    | 20.7(6.8)   |
| 4주  | 엽장    | 0.67(0.31)  | 13.3(5.6)     | 38.07(12.52)  | 8.35(3.87)   | 2.88(1.01)  |
|     | 엽폭    | 0.40(0.15)  | 3.47(1.66)    | 5.34(2.39)    | 1.32(1.31)   | 0.49(0.14)  |
|     | 엽장/엽폭 | 6.0(2.6)    | 5.67(3.26)    | 9.8(5.9)      | 13.35(5.6)   | 23.0(9.0)   |
| 5주  | 엽장    | 1.10(0.46)  | 34.86(14.0)   | 88.25(28.9)   | 12.27(6.11)  | 7.68(2.7)   |
|     | 엽폭    | 0.68(0.26)  | 6.44(3.53)    | 10.7(4.89)    | 2.61(1.31)   | 2.0(0.64)   |
|     | 엽장/엽폭 | 5.5(2.6)    | 6.19(3.50)    | 9.6(5.8)      | 12.57(5.2)   | 13.9(5.9)   |
| 6주  | 엽장    | 2.18(1.19)  | 68(24.22)     | 144.86(45.5)  | 43.39(14.7)  | 8.24(3.55)  |
|     | 엽폭    | 1.53(0.79)  | 10.98(4.92)   | 18.4(7.67)    | 8.99(3.61)   | 3.87(0.99)  |
|     | 엽장/엽폭 | 2.0(1.5)    | 9.89(4.29)    | 10.12(5.3)    | 13.3(5.2)    | 14.6(5.7)   |
| 7주  | 엽장    | 4.82(2.63)  | 126.58(45.0)  | 213.28(66.31) | 116.63(30.7) | 9.21(4.30)  |
|     | 엽폭    | 3.41(1.66)  | 18.56(8.26)   | 27.23(12.15)  | 20.38(8.50)  | 3.30(1.23)  |
|     | 엽장/엽폭 | 2.0(1.6)    | 11.02(4.62)   | 8.3(4.8)      | 7.6(3.8)     | 18.0(4.7)   |
| 8주  | 엽장    | 9.65(5.62)  | 184.11(64.22) | 246.83(77.98) | 161.61(41.9) | 10.53(5.55) |
|     | 엽폭    | 6.08(2.98)  | 26.71(11.8)   | 34.9(14.41)   | 30.11(12.71) | 4.08(4.43)  |
|     | 엽장/엽폭 | 3.1(2.0)    | 9.89(4.58)    | 8.1(4.6)      | 6.7(3.1)     | 12.6(5.1)   |
| 9주  | 엽장    | 15.7(8.52)  | 219.56(95.23) | 264.40(81.46) | 202.2(51.7)  | 18.34(5.87) |
|     | 엽폭    | 9.33(4.25)  | 33.01(18.01)  | 37.2(15.56)   | 35.4(14.22)  | 3.87(1.41)  |
|     | 엽장/엽폭 | 2.7(2.0)    | 9.07(4.5)     | 8.6(4.3)      | 7.8(3.6)     | 9.8(4.4)    |
| 10주 | 엽장    | 30.1(14.41) | 242.84(105.7) | 291.41(79.6)  | 217.0(55.4)  | 22.45(6.89) |
|     | 엽폭    | 13.89(6.31) | 35.82(19.9)   | 38.2(15.23)   | 38.7(14.87)  | 4.28(1.86)  |
|     | 엽장/엽폭 | 3.3(2.3)    | 8.00(4.67)    | 11.08(4.4)    | 8.9(4.2)     | 7.7(3.6)    |

표 10. 신안송공항3(500 Gy) 계통주의 온도 조건별 엽체 성장(단위 mm) / ( ) : 평균

|     |       | 5°C         | 10°C         | 15°C          | 20°C         | 25°C        |
|-----|-------|-------------|--------------|---------------|--------------|-------------|
| 0주  | 엽장    | 0.04(0.01)  | 0.04(0.01)   | 0.04(0.1)     | 0.04(0.01)   | 0.04(0.01)  |
|     | 엽폭    | 0.01(0.01)  | 0.01(0.01)   | 0.01(0.01)    | 0.01(0.01)   | 0.01(0.01)  |
|     | 엽장/엽폭 | 4.0(1.7)    | 4.0(1.7)     | 4.0(1.7)      | 4.0(1.7)     | 4.0(1.7)    |
| 1주  | 엽장    | 0.04(0.03)  | 0.06(0.04)   | 0.1(0.06)     | 0.07(0.04)   | 0.08(0.04)  |
|     | 엽폭    | 0.02(0.01)  | 0.04(0.01)   | 0.02(0.013)   | 0.02(0.01)   | 0.02(0.01)  |
|     | 엽장/엽폭 | 4.0(3.0)    | 5.0(3.7)     | 9.0(5.1)      | 7.0(3.6)     | 8.0(4.4)    |
| 2주  | 엽장    | 0.08(0.05)  | 0.18(0.08)   | 0.43(0.21)    | 0.65(0.24)   | 1.26(0.50)  |
|     | 엽폭    | 0.03(0.01)  | 0.04(0.02)   | 0.09(0.04)    | 0.1(0.03)    | 0.08(0.04)  |
|     | 엽장/엽폭 | 6.0(3.9)    | 13.0(4.8)    | 42.0(7.1)     | 39.0(9.2)    | 31.5(11.43) |
| 3주  | 엽장    | 0.21(0.09)  | 0.9(0.45)    | 2.5(1.79)     | 4.49(1.66)   | 3.79(1.90)  |
|     | 엽폭    | 0.09(0.02)  | 0.22(0.1)    | 0.45(0.29)    | 0.42(0.22)   | 0.43(0.17)  |
|     | 엽장/엽폭 | 21.0(4.9)   | 10.5(4.9)    | 11.0(6.3)     | 27.2(7.9)    | 25.61(11.9) |
| 4주  | 엽장    | 0.77(0.20)  | 1.91(1.06)   | 13.97(7.38)   | 10.19(4.92)  | 6.38(3.31)  |
|     | 엽폭    | 0.27(0.05)  | 0.48(0.22)   | 3.84(2.08)    | 1.77(0.82)   | 0.7(0.33)   |
|     | 엽장/엽폭 | 17.0(4.8)   | 10.5(5.0)    | 6.3(3.7)      | 17.0(6.5)    | 27.38(10.4) |
| 5주  | 엽장    | 0.57(0.28)  | 2.54(1.55)   | 13.82(7.03)   | 12.98(6.6)   | 7.57(4.06)  |
|     | 엽폭    | 0.20(0.08)  | 0.70(0.35)   | 4.56(2.27)    | 2.81(1.53)   | 1.41(0.53)  |
|     | 엽장/엽폭 | 8.3(3.8)    | 8.1(4.7)     | 5.7(3.2)      | 10.6(4.5)    | 16.63(8.1)  |
| 6주  | 엽장    | 1.28(0.59)  | 4.66(2.93)   | 47.56(15.69)  | 32.91(13.8)  | 10.91(6.08) |
|     | 엽폭    | 0.44(0.19)  | 1.87(0.9)    | 10.81(4.68)   | 7.43(3.69)   | 1.54(0.73)  |
|     | 엽장/엽폭 | 6.4(3.2)    | 8.6(3.5)     | 9.4(3.5)      | 8.2(4.2)     | 21.43(9.1)  |
| 7주  | 엽장    | 3.16(1.3)   | 6.72(4.83)   | 71.58(20.65)  | 58.72(21.05) | 12.37(6.3)  |
|     | 엽폭    | 1.02(0.49)  | 3.07(1.99)   | 16.55(7.06)   | 14.54(6.33)  | 2.16(0.93)  |
|     | 엽장/엽폭 | 3.7(2.3)    | 5.2(2.61)    | 6.9(2.8)      | 7.3(3.9)     | 14.7(7.7)   |
| 8주  | 엽장    | 6.52(2.6)   | 10.84(6.37)  | 1123.27(29.4) | 106.96(37.7) | 13.75(6.9)  |
|     | 엽폭    | 1.94(0.88)  | 7.94(3.03)   | 24.78(11.14)  | 28.44(12.47) | 2.94(1.13)  |
|     | 엽장/엽폭 | 4.2(2.9)    | 6.0(2.51)    | 7.1(2.5)      | 10.0(3.9)    | 10.9(6.6)   |
| 9주  | 엽장    | 12.77(4.8)  | 18.81(9.49)  | 162.41(37.15) | 132.96(45.9) | 13.51(7.66) |
|     | 엽폭    | 3.15(1.47)  | 12.48(5.90)  | 32.51(15.98)  | 34.84(14.89) | 4.62(1.39)  |
|     | 엽장/엽폭 | 4.8(3.0)    | 3.9(1.72)    | 7.4(2.2)      | 9.4(4.0)     | 15.1(6.7)   |
| 10주 | 엽장    | 20.49(10.0) | 27.93(11.87) | 176.23(40.58) | 144.72(69.5) | 14.12(7.95) |
|     | 엽폭    | 4.98(2.84)  | 14.72(7.17)  | 35.25(17.30)  | 39.46(22.13) | 4.97(1.71)  |
|     | 엽장/엽폭 | 15.0(3.6)   | 5.6(1.91)    | 6.9(2.2)      | 8.1(3.3)     | 11.2(5.3)   |

표 11. 신안송공항3(0 Gy) 계통주의 온도 조건별 엽체 형태

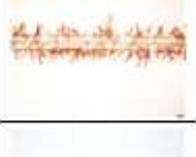
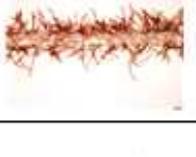
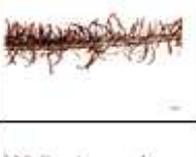
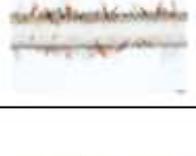
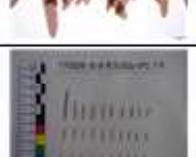
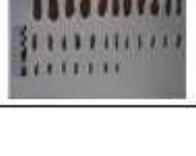
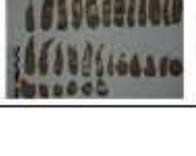
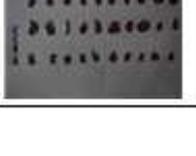
|     | 5℃                                                                                  | 10℃                                                                                 | 15℃                                                                                 | 20℃                                                                                  | 25℃                                                                                   |
|-----|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| 0주  |    |    |    |    |    |
| 1주  |    |    |    |    |    |
| 2주  |    |    |    |    |    |
| 3주  |    |    |    |    |    |
| 4주  |   |   |   |   |   |
| 5주  |  |  |  |  |  |
| 6주  |  |  |  |  |  |
| 7주  |  |  |  |  |  |
| 8주  |  |  |  |  |  |
| 9주  |  |  |  |  |  |
| 10주 |  |  |  |  |  |

표 12. 신안송공항3(50 Gy) 계통주의 온도 조건별 엽체 형태

|     | 5℃ | 10℃ | 15℃ | 20℃ | 25℃ |
|-----|----|-----|-----|-----|-----|
| 0주  |    |     |     |     |     |
| 1주  |    |     |     |     |     |
| 2주  |    |     |     |     |     |
| 3주  |    |     |     |     |     |
| 4주  |    |     |     |     |     |
| 5주  |    |     |     |     |     |
| 6주  |    |     |     |     |     |
| 7주  |    |     |     |     |     |
| 8주  |    |     |     |     |     |
| 9주  |    |     |     |     |     |
| 10주 |    |     |     |     |     |

표 13. 신안송공항3(100 Gy) 계통주의 온도 조건별 엽체 형태

|     | 5℃ | 10℃ | 15℃ | 20℃ | 25℃ |
|-----|----|-----|-----|-----|-----|
| 0주  |    |     |     |     |     |
| 1주  |    |     |     |     |     |
| 2주  |    |     |     |     |     |
| 3주  |    |     |     |     |     |
| 4주  |    |     |     |     |     |
| 5주  |    |     |     |     |     |
| 6주  |    |     |     |     |     |
| 7주  |    |     |     |     |     |
| 8주  |    |     |     |     |     |
| 9주  |    |     |     |     |     |
| 10주 |    |     |     |     |     |

표 14. 신안송공항3(300 Gy) 계통주의 온도 조건별 엽체 형태

|     | 5°C | 10°C | 15°C | 20°C | 25°C |
|-----|-----|------|------|------|------|
| 0주  |     |      |      |      |      |
| 1주  |     |      |      |      |      |
| 2주  |     |      |      |      |      |
| 3주  |     |      |      |      |      |
| 4주  |     |      |      |      |      |
| 5주  |     |      |      |      |      |
| 6주  |     |      |      |      |      |
| 7주  |     |      |      |      |      |
| 8주  |     |      |      |      |      |
| 9주  |     |      |      |      |      |
| 10주 |     |      |      |      |      |

표 15. 신안송공항3(500 Gy) 계통주의 온도 조건별 엽체 형태

|     | 5°C | 10°C | 15°C | 20°C | 25°C |
|-----|-----|------|------|------|------|
| 0주  |     |      |      |      |      |
| 1주  |     |      |      |      |      |
| 2주  |     |      |      |      |      |
| 3주  |     |      |      |      |      |
| 4주  |     |      |      |      |      |
| 5주  |     |      |      |      |      |
| 6주  |     |      |      |      |      |
| 7주  |     |      |      |      |      |
| 8주  |     |      |      |      |      |
| 9주  |     |      |      |      |      |
| 10주 |     |      |      |      |      |

## (2) 무안마동②

무안마동② 계통주의 형질특성을 조사한 결과, 10주차에 평균엽장 기준 생장이 가장 크게 나타낸 구간은 100Gy, 20 °C 조건, 평균엽장 60.3mm, 평균엽폭 29.1 mm, 평균엽장/엽폭 2.1로 나타났다. 평균엽폭 기준으로 생장이 가장 크게 나타낸 구간은 100Gy, 15 °C이며, 평균엽폭 38.5mm, 평균엽장 47.6 mm, 평균엽장/엽폭 1.3로 나타났다. 측정한 모든 개체 중 최대엽장기준으로 300Gy, 10 °C 구간에서 최대엽장 208.8 mm, 최대엽폭 121.3mm 최대엽장/엽폭 1.7으로 가장 길게 나타났고, 500Gy, 20 °C 조건에서 최대엽폭기준 가장 큰 개체가 나타났다(최대엽폭 169.5 mm, 최대엽장 153.71 mm, 최대엽장/엽폭 2.2). 엽체의 생장은 0Gy에서 15 °C > 20 °C > 10 °C > 25 °C > 5 °C 순으로 나타나 15°C가 가장 양호한 성장조건으로 확인되었으며, 50Gy의 경우 엽체의 생장은 15 °C > 10 °C > 20 °C > 5 °C > 25 °C, 100Gy의 경우에는 20 °C > 15 °C > 10 °C > 5 °C > 25 °C, 300Gy의 경우에는 10 °C > 15 °C > 20 °C > 5 °C > 25 °C, 500Gy의 경우에는 10 °C > 20 °C > 15 °C > 25 °C > 2 °C 순으로 나타났다. 본 계통주는 방사무늬김의 성장적수온인 10~20 °C 에서 모든 조건의 생장이 빠른 것으로 나타났으며, 최대엽장은 300Gy, 10 °C, 10주차에서 확인되었고(최대엽장 208.8 mm), 대조구인 0Gy, 15 °C, 10주차(최대엽장 4.3 mm) 보다 약 48.5배 이상 빠른 성장을 보였다(그림 8~12, 표 16~25).

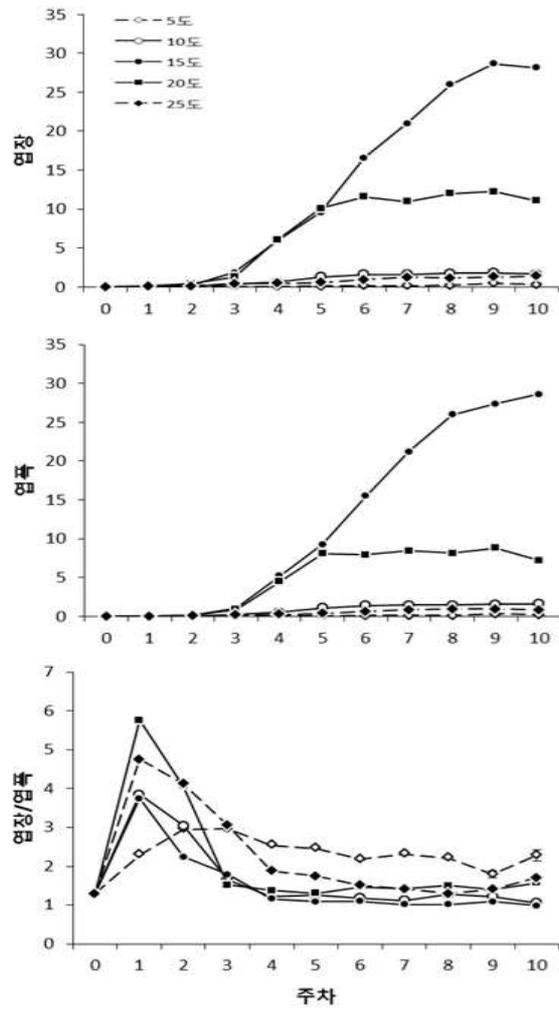


그림 8. 무안마동2(0 Gy) 계통주의 성장도.

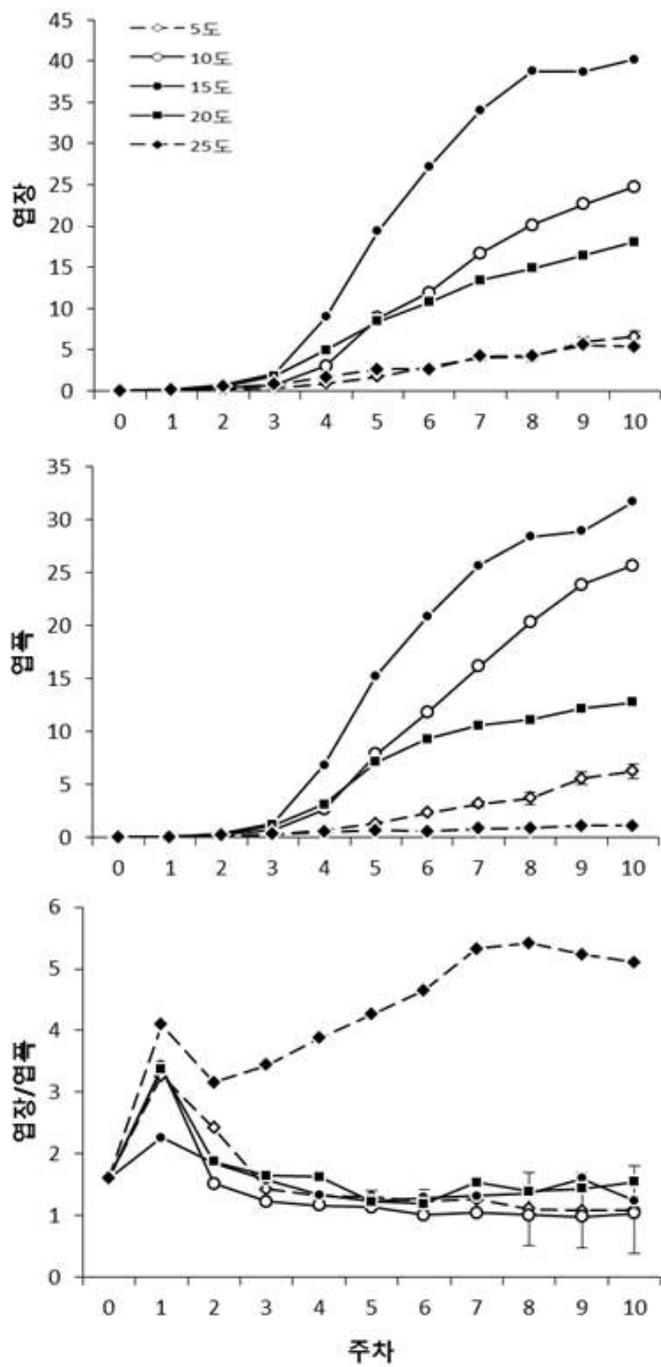


그림 9. 무안마동2(50 Gy) 계통주의 성장도.

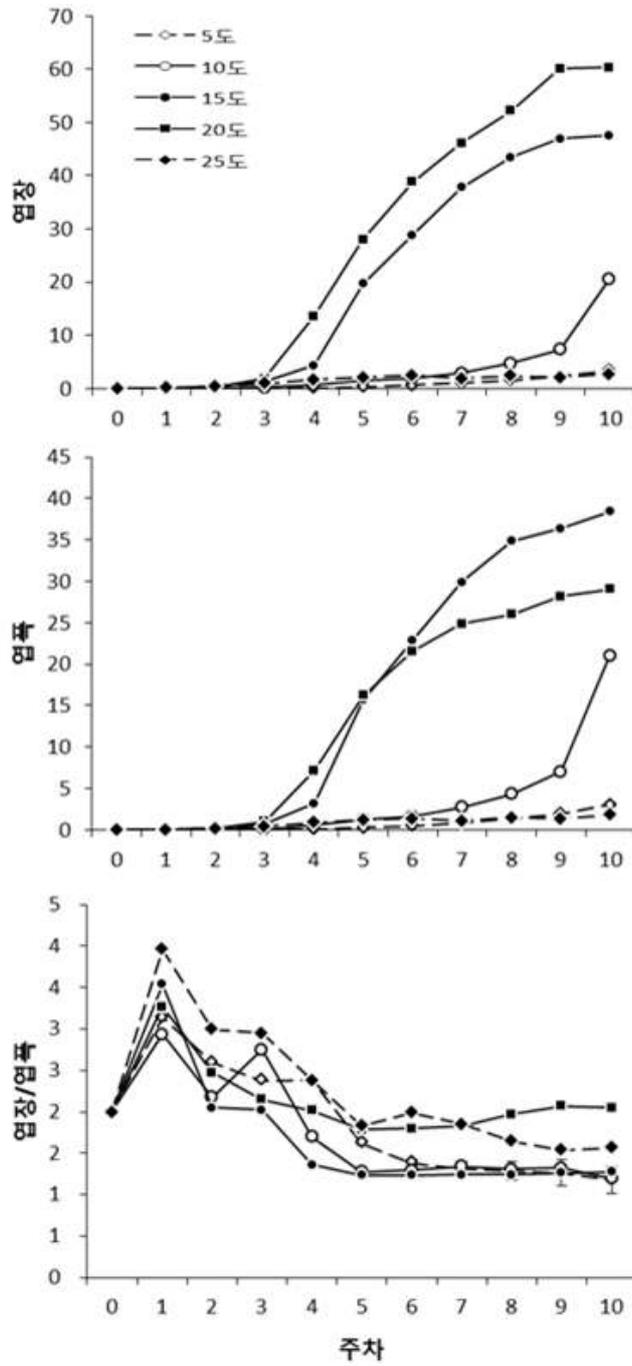


그림 10. 무안마동2(100 Gy) 계통주의 성장도.

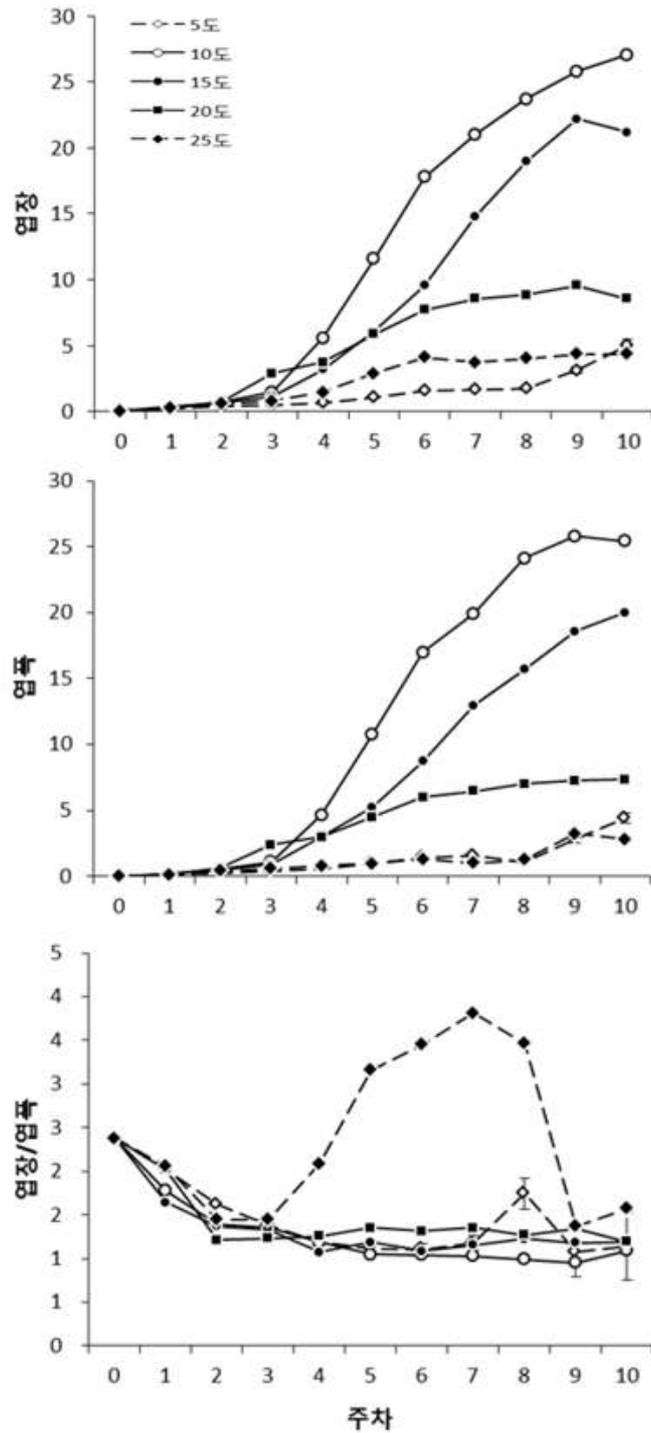


그림 11. 무안마동2(300 Gy) 계통주의 성장도.

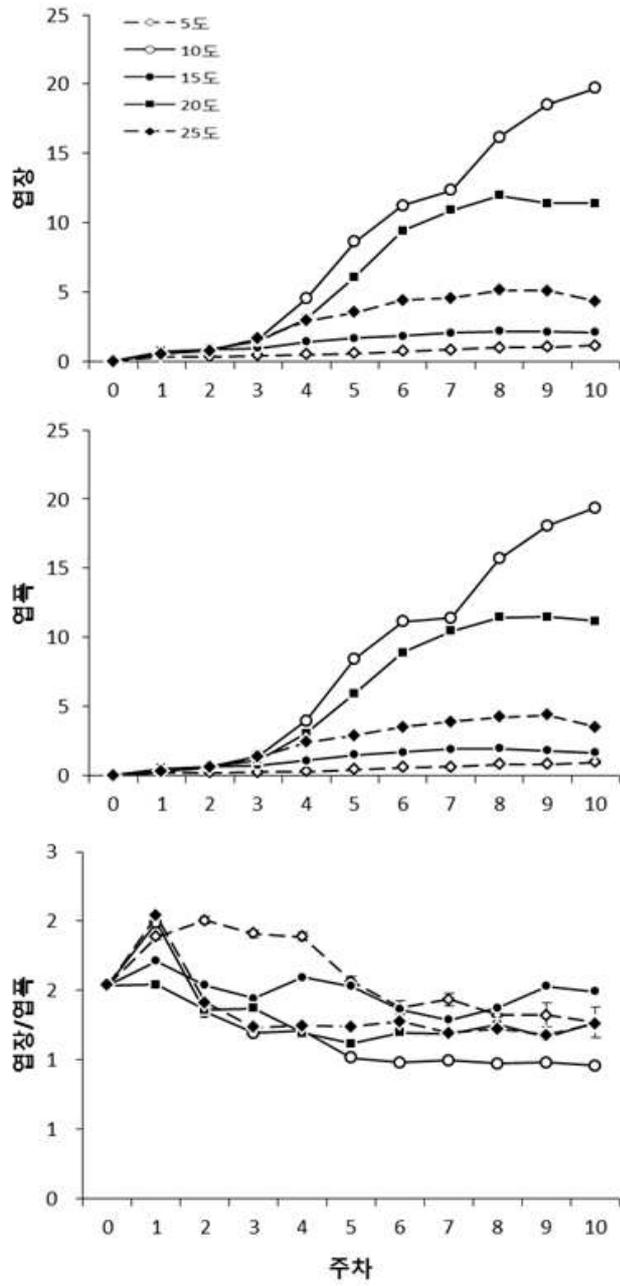


그림 12. 무안마동2(500 Gy) 계통주의 성장도.

표 16. 무안마동2(0 Gy) 계통주의 온도 조건별 엽체 성장(단위 mm) / ( ) : 평균

|     |       | 5℃          | 10℃         | 15℃          | 20℃          | 25℃         |
|-----|-------|-------------|-------------|--------------|--------------|-------------|
| 0주  | 엽장    | 0.02(0.013) | 0.02(0.013) | 0.02(0.013)  | 0.02(0.013)  | 0.02(0.013) |
|     | 엽폭    | 0.01(0.01)  | 0.01(0.01)  | 0.01(0.01)   | 0.01(0.01)   | 0.01(0.01)  |
|     | 엽장/엽폭 | 2.00(1.3)   | 2.00(1.30)  | 2.0(1.3)     | 2.0(1.3)     | 2.0(1.3)    |
| 1주  | 엽장    | 0.03(0.023) | 0.03(0.03)  | 0.07(0.04)   | 0.16(0.11)   | 0.08(0.05)  |
|     | 엽폭    | 0.01(0.01)  | 0.05(0.01)  | 0.03(0.01)   | 0.04(0.02)   | 0.02(0.01)  |
|     | 엽장/엽폭 | 3.00(2.3)   | 6.00(3.85)  | 7.0(3.7)     | 11.0(5.7)    | 8.0(4.75)   |
| 2주  | 엽장    | 0.04(0.03)  | 0.14(0.08)  | 0.33(0.24)   | 0.65(0.41)   | 0.27(0.11)  |
|     | 엽폭    | 0.02(0.01)  | 0.05(0.02)  | 0.17(0.11)   | 0.15(0.10)   | 0.05(0.02)  |
|     | 엽장/엽폭 | 4.00(2.95)  | 4.50(3.0)   | 3.2(2.2)     | 5.9(4.0)     | 8.0(4.1)    |
| 3주  | 엽장    | 0.08(0.04)  | 0.42(0.32)  | 2.63(1.83)   | 1.69(1.26)   | 0.8(0.39)   |
|     | 엽폭    | 0.03(0.014) | 0.28(0.20)  | 1.63(1.03)   | 1.67(0.87)   | 0.25(0.13)  |
|     | 엽장/엽폭 | 5.00(2.96)  | 2.60(1.6)   | 24(1.7)      | 2.3(1.5)     | 7.2(3.0)    |
| 4주  | 엽장    | 0.14(0.07)  | 0.83(0.62)  | 9.18(6.01)   | 10.62(6.05)  | 1.25(0.44)  |
|     | 엽폭    | 0.08(0.03)  | 0.77(0.53)  | 8.29(5.2)    | 7.17(4.48)   | 0.55(0.24)  |
|     | 엽장/엽폭 | 5.00(2.5)   | 2.0(1.2)    | 1.3(1.1)     | 2.5(1.3)     | 2.9(1.8)    |
| 5주  | 엽장    | 0.37(0.12)  | 2.61(1.31)  | 19.8(9.56)   | 19.89(10.10) | 0.88(0.56)  |
|     | 엽폭    | 0.14(0.06)  | 1.93(1.07)  | 20.81(9.2)   | 14.84(8.06)  | 0.74(0.34)  |
|     | 엽장/엽폭 | 5.28(2.4)   | 2.7(1.2)    | 1.8(1.0)     | 2.2(1.3)     | 3.2(1.7)    |
| 6주  | 엽장    | 0.53(0.15)  | 2.34(1.58)  | 44.58(16.58) | 25.24(11.58) | 1.81(0.92)  |
|     | 엽폭    | 0.25(0.08)  | 2.52(1.38)  | 48.44(15.4)  | 11.22(7.94)  | 1.01(0.63)  |
|     | 엽장/엽폭 | 4.83(2.1)   | 1.7(1.1)    | 1.4(1.1)     | 2.2(1.4)     | 2.9(1.5)    |
| 7주  | 엽장    | 0.61(0.18)  | 2.77(1.59)  | 55.89(21.0)  | 20.27(10.9)  | 3.11(1.22)  |
|     | 엽폭    | 0.29(0.10)  | 2.84(1.45)  | 66.46(21.21) | 19.08(8.44)  | 2.23(0.84)  |
|     | 엽장/엽폭 | 4.5(2.3)    | 1.6(1.1)    | 2.1(1.0)     | 2.3(1.4)     | 2.7(1.4)    |
| 8주  | 엽장    | 0.81(0.18)  | 3.34(1.76)  | 7.74(25.67)  | 23.17(11.9)  | 2.46(1.1)   |
|     | 엽폭    | 0.31(0.09)  | 2.63(1.42)  | 81.53(25.9)  | 13.94(8.15)  | 1.96(0.90)  |
|     | 엽장/엽폭 | 4.5(2.2)    | 2.0(1.2)    | 1.5(1.0)     | 2.2(1.5)     | 3.9(1.2)    |
| 9주  | 엽장    | 0.99(0.44)  | 3.3(1.80)   | 77.08(28.67) | 25.81(12.2)  | 2.4(1.2)    |
|     | 엽폭    | 0.60(0.30)  | 3.20(1.55)  | 85.87(27.3)  | 13.42(8.79)  | 1.99(0.94)  |
|     | 엽장/엽폭 | 4.0(1.7)    | 2.2(1.2)    | 1.4(1.0)     | 2.1(1.4)     | 2.6(1.4)    |
| 10주 | 엽장    | 1.42(0.33)  | 4.32(1.66)  | 83.21(28.16) | 14.33(11.04) | 2.51(1.3)   |
|     | 엽폭    | 0.91(0.20)  | 3.31(1.59)  | 86.11(28.5)  | 10.0(7.22)   | 1.63(0.82)  |
|     | 엽장/엽폭 | 4.3(2.2)    | 1.8(1.0)    | 1.2(0.9)     | 2.4(1.5)     | 2.9(1.7)    |

표 17. 무안마동2(50 Gy) 계통주의 온도 조건별 엽체 성장(단위 mm) / ( ) : 평균

|     |       | 5℃          | 10℃          | 15℃          | 20℃          | 25℃         |
|-----|-------|-------------|--------------|--------------|--------------|-------------|
| 0주  | 엽장    | 0.03(0.016) | 0.03(0.016)  | 0.03(0.016)  | 0.03(0.016)  | 0.03(0.016) |
|     | 엽폭    | 0.01(0.01)  | 0.01(0.01)   | 0.01(0.01)   | 0.01(0.01)   | 0.01(0.01)  |
|     | 엽장/엽폭 | 3.0(1.6)    | 3.0(1.6)     | 3.0(1.6)     | 3.0(1.6)     | 3.0(1.6)    |
| 1주  | 엽장    | 0.06(0.04)  | 0.09(0.06)   | 0.26(0.14)   | 0.15(0.08)   | 0.19(0.09)  |
|     | 엽폭    | 0.02(0.01)  | 0.36(0.02)   | 0.11(0.064)  | 0.05(0.02)   | 0.08(0.02)  |
|     | 엽장/엽폭 | 5.0(3.2)    | 7.0(3.3)     | 4.0(2.2)     | 9.0(3.3)     | 6.5(4.0)    |
| 2주  | 엽장    | 0.31(0.13)  | 0.52(0.38)   | 1.12(0.73)   | 0.74(0.49)   | 0.70(0.48)  |
|     | 엽폭    | 0.15(0.06)  | 0.36(0.26)   | 0.70(0.40)   | 0.53(0.28)   | 0.31(0.16)  |
|     | 엽장/엽폭 | 7.0(2.4)    | 2.6(1.5)     | 2.6(1.8)     | 3.1(1.8)     | 5.5(3.1)    |
| 3주  | 엽장    | 0.54(0.34)  | 1.15(0.74)   | 5.70(2.10)   | 3.59(1.78)   | 1.52(0.78)  |
|     | 엽폭    | 0.37(0.24)  | 0.91(0.63)   | 2.68(1.36)   | 2.10(1.15)   | 0.54(0.25)  |
|     | 엽장/엽폭 | 1.8(1.4)    | 2.4(1.2)     | 2.5(1.5)     | 2.7(1.6)     | 5.7(3.4)    |
| 4주  | 엽장    | 1.48(0.89)  | 6.17(3.03)   | 17.42(8.97)  | 11.09(4.95)  | 2.44(1.64)  |
|     | 엽폭    | 1.17(0.69)  | 4.04(2.64)   | 9.55(6.79)   | 5.31(3.12)   | 0.82(0.46)  |
|     | 엽장/엽폭 | 1.5(1.3)    | 1.6(1.1)     | 2.5(1.3)     | 2.6(1.6)     | 8.1(3.8)    |
| 5주  | 엽장    | 3.59(1.7)   | 15.92(8.83)  | 45.70(19.32) | 18.95(8.42)  | 4.69(2.59)  |
|     | 엽폭    | 2.13(1.30)  | 12.96(7.81)  | 24.1(15.2)   | 14.13(7.06)  | 1.42(0.64)  |
|     | 엽장/엽폭 | 1.6(1.3)    | 1.4(1.1)     | 2.0(1.2)     | 2.1(1.2)     | 7.5(4.2)    |
| 6주  | 엽장    | 6.92(2.86)  | 26.2(11.89)  | 64.35(27.11) | 21.60(10.78) | 6.03(2.62)  |
|     | 엽폭    | 4.12(2.30)  | 24.59(11.78) | 35.2(20.7)   | 21.2(9.24)   | 1.01(0.56)  |
|     | 엽장/엽폭 | 1.7(1.2)    | 1.2(1.0)     | 1.9(1.2)     | 1.7(1.1)     | 8.5(4.6)    |
| 7주  | 엽장    | 12.26(3.95) | 46.68(16.6)  | 75.41(34.03) | 25.31(13.44) | 8.62(4.21)  |
|     | 엽폭    | 7.95(3.13)  | 40.28(16.10) | 41.3(25.6)   | 24.7(10.56)  | 1.25(0.81)  |
|     | 엽장/엽폭 | 1.6(1.2)    | 1.3(1.0)     | 2.0(1.3)     | 8.3(1.5)     | 9.4(5.3)    |
| 8주  | 엽장    | 16.97(4.19) | 63.58(20.0)  | 97.33(38.74) | 30.90(14.84) | 7.49(4.24)  |
|     | 엽폭    | 13.15(3.69) | 61.62(20.26) | 46.5(28.3)   | 23.2(11.04)  | 2.45(0.86)  |
|     | 엽장/엽폭 | 1.4(1.1)    | 1.1(1.0)     | 3.0(1.3)     | 1.9(1.3)     | 8.0(5.4)    |
| 9주  | 엽장    | 21.0(5.87)  | 70.38(22.65) | 93.06(38.71) | 38.9(16.42)  | 8.74(5.54)  |
|     | 엽폭    | 17.27(5.55) | 77.64(23.82) | 46.7(28.8)   | 34.01(12.14) | 1.39(1.07)  |
|     | 엽장/엽폭 | 1.5(1.08)   | 1.2(0.97)    | 10.4(1.5)    | 2.2(1.4)     | 7.8(5.2)    |
| 10주 | 엽장    | 25.03(6.56) | 76.88(24.76) | 106.2(40.22) | 49.98(18.08) | 9.03(5.32)  |
|     | 엽폭    | 22.71(6.21) | 82.55(25.64) | 56.2(31.6)   | 45.98(12.69) | 1.55(1.05)  |
|     | 엽장/엽폭 | 1.5(1.09)   | 1.3(1.03)    | 2.1(1.2)     | 2.8(1.5)     | 7.0(5.1)    |

표 18. 무안마동2(100 Gy) 계통주의 온도 조건별 엽체 성장(단위 mm) / ( ) : 평균

|     |       | 5℃         | 10℃          | 15℃          | 20℃           | 25℃        |
|-----|-------|------------|--------------|--------------|---------------|------------|
| 0주  | 엽장    | 0.03(0.02) | 0.03(0.02)   | 0.03(0.02)   | 0.03(0.02)    | 0.03(0.02) |
|     | 엽폭    | 0.01(0.01) | 0.01(0.01)   | 0.01(0.01)   | 0.01(0.01)    | 0.01(0.01) |
|     | 엽장/엽폭 | 3.00(2.00) | 3.00(2.00)   | 3.00(2.00)   | 3.00(2.00)    | 3.00(2.00) |
| 1주  | 엽장    | 0.07(0.04) | 0.10(0.04)   | 0.10(0.07)   | 0.14(0.07)    | 0.12(0.07) |
|     | 엽폭    | 0.02(0.01) | 0.19(0.02)   | 0.04(0.02)   | 0.06(0.02)    | 0.04(0.02) |
|     | 엽장/엽폭 | 5.00(3.13) | 5.00(2.94)   | 7.00(3.54)   | 6.00(3.27)    | 8.00(3.96) |
| 2주  | 엽장    | 0.27(0.08) | 0.53(0.09)   | 0.60(0.39)   | 0.68(0.36)    | 0.51(0.37) |
|     | 엽폭    | 0.14(0.03) | 0.19(0.04)   | 0.41(0.21)   | 0.62(0.18)    | 0.29(0.15) |
|     | 엽장/엽폭 | 4.00(2.59) | 3.53(2.18)   | 3.13(2.05)   | 9.50(2.48)    | 7.14(3.00) |
| 3주  | 엽장    | 0.36(0.14) | 0.84(0.18)   | 1.80(1.33)   | 3.29(1.83)    | 1.78(0.95) |
|     | 엽폭    | 0.36(0.07) | 0.52(0.10)   | 1.29(0.69)   | 1.97(0.97)    | 0.81(0.39) |
|     | 엽장/엽폭 | 5.50(2.38) | 12.50(2.75)  | 3.81(2.03)   | 5.53(2.15)    | 7.74(2.95) |
| 4주  | 엽장    | 0.44(0.15) | 2.18(0.68)   | 8.59(4.30)   | 31.44(13.55)  | 3.02(1.65) |
|     | 엽폭    | 0.60(0.08) | 1.87(0.51)   | 4.99(3.17)   | 11.57(7.18)   | 1.61(0.83) |
|     | 엽장/엽폭 | 5.33(2.39) | 6.83(1.70)   | 1.99(1.36)   | 4.22(2.02)    | 5.45(2.38) |
| 5주  | 엽장    | 0.66(0.34) | 6.75(1.51)   | 33.92(19.67) | 75.62(27.99)  | 3.43(2.01) |
|     | 엽폭    | 0.55(0.24) | 4.15(1.23)   | 20.75(15.66) | 25.00(16.20)  | 1.77(1.19) |
|     | 엽장/엽폭 | 3.00(1.62) | 2.51(1.28)   | 1.76(1.24)   | 3.63(1.79)    | 3.60(1.84) |
| 6주  | 엽장    | 1.12(0.58) | 8.20(1.82)   | 49.88(28.78) | 121.92(38.83) | 4.76(2.47) |
|     | 엽폭    | 1.01(0.46) | 6.36(1.57)   | 31.71(22.91) | 37.75(21.55)  | 2.35(1.30) |
|     | 엽장/엽폭 | 2.40(1.38) | 3.38(1.30)   | 1.70(1.23)   | 3.37(1.80)    | 4.09(1.99) |
| 7주  | 엽장    | 1.93(1.03) | 13.39(2.87)  | 64.76(37.73) | 149.15(46.07) | 3.09(1.82) |
|     | 엽폭    | 1.88(0.85) | 12.66(2.70)  | 43.80(29.90) | 53.71(24.87)  | 2.32(1.05) |
|     | 엽장/엽폭 | 2.45(1.31) | 3.92(1.34)   | 1.71(1.25)   | 3.44(1.83)    | 4.45(1.85) |
| 8주  | 엽장    | 2.97(1.57) | 22.06(4.72)  | 69.71(43.45) | 165.37(52.17) | 4.79(2.35) |
|     | 엽폭    | 2.73(1.35) | 20.80(4.29)  | 48.58(34.89) | 56.44(26.00)  | 2.29(1.46) |
|     | 엽장/엽폭 | 2.32(1.29) | 2.61(1.31)   | 1.94(1.24)   | 3.96(1.97)    | 3.30(1.65) |
| 9주  | 엽장    | 4.85(2.29) | 33.91(7.26)  | 74.23(46.90) | 165.85(60.15) | 5.75(2.07) |
|     | 엽폭    | 3.72(1.90) | 33.16(7.03)  | 44.59(36.41) | 62.09(28.19)  | 2.73(1.31) |
|     | 엽장/엽폭 | 2.54(1.26) | 4.38(1.32)   | 1.66(1.26)   | 3.68(2.07)    | 3.10(1.54) |
| 10주 | 엽장    | 5.65(3.41) | 47.68(20.59) | 72.80(47.56) | 167.10(60.30) | 4.06(2.66) |
|     | 엽폭    | 4.86(3.05) | 48.65(21.03) | 49.32(38.45) | 58.39(29.07)  | 3.20(1.77) |
|     | 엽장/엽폭 | 2.10(1.18) | 1.78(1.19)   | 3.55(1.28)   | 3.54(2.05)    | 2.89(1.56) |

표 19. 무안마동2(300 Gy) 계통주의 온도 조건별 엽체 성장(단위 mm) / ( ) : 평균

|     |       | 5℃          | 10℃           | 15℃           | 20℃         | 25℃        |
|-----|-------|-------------|---------------|---------------|-------------|------------|
| 0주  | 엽장    | 0.07(0.04)  | 0.07(0.04)    | 0.07(0.04)    | 0.07(0.04)  | 0.07(0.04) |
|     | 엽폭    | 0.02(0.02)  | 0.02(0.02)    | 0.02(0.02)    | 0.02(0.02)  | 0.02(0.02) |
|     | 엽장/엽폭 | 5.00(2.38)  | 5.00(2.38)    | 5.00(2.38)    | 5.00(2.38)  | 5.00(2.38) |
| 1주  | 엽장    | 0.42(0.28)  | 0.60(0.33)    | 0.68(0.36)    | 0.42(0.28)  | 0.44(0.25) |
|     | 엽폭    | 0.23(0.14)  | 0.95(0.19)    | 0.34(0.23)    | 0.23(0.14)  | 0.27(0.14) |
|     | 엽장/엽폭 | 3.33(2.02)  | 2.73(1.78)    | 3.31(1.65)    | 3.33(2.02)  | 4.00(2.06) |
| 2주  | 엽장    | 0.57(0.38)  | 1.18(0.73)    | 1.10(0.65)    | 1.24(0.76)  | 0.90(0.57) |
|     | 엽폭    | 0.39(0.24)  | 0.95(0.54)    | 0.74(0.48)    | 1.03(0.64)  | 0.64(0.42) |
|     | 엽장/엽폭 | 2.55(1.62)  | 2.29(1.40)    | 2.03(1.37)    | 2.18(1.21)  | 3.00(1.45) |
| 3주  | 엽장    | 0.80(0.51)  | 3.51(1.49)    | 1.98(1.18)    | 6.08(2.90)  | 1.52(0.80) |
|     | 엽폭    | 0.62(0.40)  | 2.45(1.11)    | 1.54(0.94)    | 4.48(2.40)  | 1.11(0.60) |
|     | 엽장/엽폭 | 2.87(1.38)  | 1.88(1.35)    | 2.49(1.33)    | 1.82(1.23)  | 3.69(1.45) |
| 4주  | 엽장    | 1.39(0.69)  | 13.72(5.58)   | 8.01(3.20)    | 6.44(3.72)  | 2.76(1.45) |
|     | 엽폭    | 0.93(0.58)  | 8.37(4.68)    | 7.15(3.04)    | 4.73(2.97)  | 1.59(0.79) |
|     | 엽장/엽폭 | 1.93(1.20)  | 1.74(1.19)    | 1.79(1.07)    | 1.64(1.26)  | 4.68(2.09) |
| 5주  | 엽장    | 1.61(1.11)  | 41.16(11.58)  | 21.23(6.08)   | 11.94(5.88) | 5.39(2.88) |
|     | 엽폭    | 1.43(1.00)  | 25.83(10.79)  | 13.75(5.23)   | 10.24(4.47) | 1.84(0.95) |
|     | 엽장/엽폭 | 1.61(1.12)  | 1.59(1.05)    | 2.71(1.19)    | 1.78(1.35)  | 5.22(3.16) |
| 6주  | 엽장    | 2.76(1.59)  | 88.23(17.78)  | 59.74(9.56)   | 14.27(7.70) | 5.94(4.12) |
|     | 엽폭    | 2.20(1.44)  | 52.45(16.97)  | 38.76(8.74)   | 10.17(6.00) | 2.17(1.29) |
|     | 엽장/엽폭 | 1.49(1.11)  | 1.68(1.04)    | 1.56(1.09)    | 1.74(1.32)  | 6.36(3.45) |
| 7주  | 엽장    | 2.98(1.67)  | 109.20(21.00) | 100.71(14.82) | 15.60(8.56) | 5.67(3.72) |
|     | 엽폭    | 2.63(1.55)  | 76.19(19.91)  | 70.43(12.98)  | 10.84(6.45) | 1.75(1.01) |
|     | 엽장/엽폭 | 5.32(1.18)  | 1.43(1.03)    | 1.73(1.16)    | 1.85(1.35)  | 6.09(3.81) |
| 8주  | 엽장    | 4.51(1.73)  | 132.41(23.70) | 133.96(18.95) | 16.68(8.85) | 5.98(4.02) |
|     | 엽폭    | 2.45(1.11)  | 94.93(24.11)  | 101.08(15.67) | 11.06(7.02) | 2.93(1.28) |
|     | 엽장/엽폭 | 3.91(1.74)  | 1.39(0.99)    | 1.65(1.23)    | 1.54(1.27)  | 6.96(3.47) |
| 9주  | 엽장    | 9.82(3.13)  | 161.16(25.81) | 168.85(22.20) | 18.93(9.58) | 5.76(4.38) |
|     | 엽폭    | 5.28(2.86)  | 110.65(25.80) | 117.11(18.59) | 15.61(7.25) | 3.76(3.24) |
|     | 엽장/엽폭 | 2.01(1.07)  | 1.46(0.95)    | 1.70(1.18)    | 2.01(1.35)  | 2.04(1.37) |
| 10주 | 엽장    | 15.27(5.06) | 208.77(27.06) | 178.92(21.18) | 26.35(8.55) | 6.72(4.37) |
|     | 엽폭    | 9.11(4.42)  | 121.29(25.40) | 150.57(20.02) | 27.89(7.33) | 3.62(2.81) |
|     | 엽장/엽폭 | 1.90(1.14)  | 1.72(1.09)    | 2.13(1.19)    | 1.78(1.20)  | 2.33(1.57) |

표 20. 무안마동2(500 Gy) 계통주의 온도 조건별 엽체 성장(단위 mm) / ( ) : 평균

|     |       | 5℃          | 10℃         | 15℃         | 20℃          | 25℃         |
|-----|-------|-------------|-------------|-------------|--------------|-------------|
| 0주  | 엽장    | 0.17(0.027) | 0.17(0.027) | 0.17(0.027) | 0.17(0.027)  | 0.17(0.027) |
|     | 엽폭    | 0.06(0.06)  | 0.06(0.016) | 0.06(0.016) | 0.06(0.016)  | 0.06(0.016) |
|     | 엽장/엽폭 | 4.0(1.5)    | 4.0(1.5)    | 4.0(1.5)    | 4.0(1.5)     | 4.0(1.5)    |
| 1주  | 엽장    | 0.67(0.37)  | 1.07(0.56)  | 0.95(0.65)  | 1.84(0.74)   | 0.99(0.55)  |
|     | 엽폭    | 0.3(0.19)   | 1.4(0.29)   | 0.6(0.40)   | 0.83(0.49)   | 0.52(0.28)  |
|     | 엽장/엽폭 | 3.5(1.8)    | 4.5(1.9)    | 3.3(1.7)    | 2.3(1.5)     | 4.6(2.0)    |
| 2주  | 엽장    | 0.75(0.36)  | 1.49(0.80)  | 1.85(0.88)  | 3.28(0.87)   | 1.37(0.77)  |
|     | 엽폭    | 0.31(0.19)  | 1.04(0.60)  | 1.2(0.60)   | 1.91(0.66)   | 1.05(0.58)  |
|     | 엽장/엽폭 | 4.1(2.0)    | 2.2(1.3)    | 2.6(1.5)    | 2.7(1.3)     | 2.4(1.4)    |
| 3주  | 엽장    | 0.83(0.41)  | 2.97(1.60)  | 1.9(0.95)   | 8.81(1.48)   | 2.75(1.64)  |
|     | 엽폭    | 0.4(0.22)   | 2.58(1.4)   | 1.82(0.71)  | 5.73(1.09)   | 2.41(1.34)  |
|     | 엽장/엽폭 | 3.8(1.9)    | 2.1(1.1)    | 2.8(1.4)    | 2.7(1.3)     | 1.8(1.2)    |
| 4주  | 엽장    | 0.89(0.49)  | 10.98(4.54) | 5.97(1.42)  | 25.64(3.0)   | 4.92(2.91)  |
|     | 엽폭    | 0.58(0.27)  | 6.9(3.9)    | 5.68(1.05)  | 23.2(3.04)   | 3.49(2.38)  |
|     | 엽장/엽폭 | 5.5(1.8)    | 2.1(1.2)    | 3.0(1.5)    | 2.1(1.1)     | 2.6(1.2)    |
| 5주  | 엽장    | 1.20(0.59)  | 23.5(8.64)  | 10.0(1.69)  | 52.5(6.0)    | 5.7(3.55)   |
|     | 엽폭    | 0.88(0.41)  | 15.1(8.4)   | 12.05(1.49) | 47.4(5.93)   | 4.83(2.90)  |
|     | 엽장/엽폭 | 3.1(1.5)    | 1.5(1.0)    | 2.7(1.5)    | 1.7(1.1)     | 1.8(1.2)    |
| 6주  | 엽장    | 1.34(0.73)  | 47.5(11.2)  | 12.1(1.81)  | 97.3(9.42)   | 7.02(4.41)  |
|     | 엽폭    | 1.24(0.57)  | 33.1(11.1)  | 14.07(1.66) | 84.1(8.89)   | 4.62(3.49)  |
|     | 엽장/엽폭 | 2.5(1.3)    | 1.4(0.9)    | 2.3(1.3)    | 1.9(1.1)     | 1.9(1.2)    |
| 7주  | 엽장    | 1.34(0.83)  | 72.2(12.3)  | 10.9(2.04)  | 114.3(10.9)  | 6.68(4.58)  |
|     | 엽폭    | 1.24(0.63)  | 50.01(11.3) | 11.4(1.9)   | 111.9(10.4)  | 5.28(3.89)  |
|     | 엽장/엽폭 | 2.5(1.4)    | 2.7(0.99)   | 1.9(1.2)    | 1.8(1.1)     | 1.7(1.1)    |
| 8주  | 엽장    | 2.30(1.01)  | 131.4(16.1) | 13.6(2.17)  | 136.6(11.97) | 7.42(5.13)  |
|     | 엽폭    | 1.54(0.80)  | 93.06(15.6) | 13.46(1.94) | 146.6(11.4)  | 5.45(4.21)  |
|     | 엽장/엽폭 | 2.5(1.3)    | 1.4(0.97)   | 2.3(1.3)    | 2.0(1.2)     | 1.7(1.2)    |
| 9주  | 엽장    | 2.62(1.01)  | 171.9(18.5) | 13.09(2.14) | 154.6(11.38) | 7.5(5.11)   |
|     | 엽폭    | 2.2(0.82)   | 128.6(18.0) | 13.51(1.81) | 162.5(11.4)  | 5.91(4.36)  |
|     | 엽장/엽폭 | 3.3(1.3)    | 1.3(0.97)   | 4.4(1.5)    | 2.4(1.1)     | 1.6(1.1)    |
| 10주 | 엽장    | 3.19(1.14)  | 200.9(19.7) | 13.06(2.10) | 153.7(11.41) | 6.53(4.34)  |
|     | 엽폭    | 2.86(0.96)  | 154.6(19.3) | 11.33(1.65) | 169.5(11.1)  | 4.76(3.49)  |
|     | 엽장/엽폭 | 2.5(1.2)    | 1.2(0.95)   | 2.3(1.4)    | 2.2(1.2)     | 1.7(1.2)    |

표 21. 무안마동2(0 Gy) 계통주의 온도 조건별 엽체 형태

|     | 5°C | 10°C | 15°C | 20°C | 25°C |
|-----|-----|------|------|------|------|
| 0주  |     |      |      |      |      |
| 1주  |     |      |      |      |      |
| 2주  |     |      |      |      |      |
| 3주  |     |      |      |      |      |
| 4주  |     |      |      |      |      |
| 5주  |     |      |      |      |      |
| 6주  |     |      |      |      |      |
| 7주  |     |      |      |      |      |
| 8주  |     |      |      |      |      |
| 9주  |     |      |      |      |      |
| 10주 |     |      |      |      |      |

표 22. 무안마동2(50 Gy) 계통주의 온도 조건별 엽체 형태

|     | 5°C | 10°C | 15°C | 20°C | 25°C |
|-----|-----|------|------|------|------|
| 0주  |     |      |      |      |      |
| 1주  |     |      |      |      |      |
| 2주  |     |      |      |      |      |
| 3주  |     |      |      |      |      |
| 4주  |     |      |      |      |      |
| 5주  |     |      |      |      |      |
| 6주  |     |      |      |      |      |
| 7주  |     |      |      |      |      |
| 8주  |     |      |      |      |      |
| 9주  |     |      |      |      |      |
| 10주 |     |      |      |      |      |

표 23. 무안마동2(100 Gy) 계통주의 온도 조건별 엽체 형태

|     | 5℃ | 10℃ | 15℃ | 20℃ | 25℃ |
|-----|----|-----|-----|-----|-----|
| 0주  |    |     |     |     |     |
| 1주  |    |     |     |     |     |
| 2주  |    |     |     |     |     |
| 3주  |    |     |     |     |     |
| 4주  |    |     |     |     |     |
| 5주  |    |     |     |     |     |
| 6주  |    |     |     |     |     |
| 7주  |    |     |     |     |     |
| 8주  |    |     |     |     |     |
| 9주  |    |     |     |     |     |
| 10주 |    |     |     |     |     |

표 24. 무안마동2(300 Gy) 계통주의 온도 조건별 엽체 형태

|     | 5°C | 10°C | 15°C | 20°C | 25°C |
|-----|-----|------|------|------|------|
| 0주  |     |      |      |      |      |
| 1주  |     |      |      |      |      |
| 2주  |     |      |      |      |      |
| 3주  |     |      |      |      |      |
| 4주  |     |      |      |      |      |
| 5주  |     |      |      |      |      |
| 6주  |     |      |      |      |      |
| 7주  |     |      |      |      |      |
| 8주  |     |      |      |      |      |
| 9주  |     |      |      |      |      |
| 10주 |     |      |      |      |      |

표 25. 무안마동2(500 Gy) 계통주의 온도 조건별 엽체 형태

|     | 5°C | 10°C | 15°C | 20°C | 25°C |
|-----|-----|------|------|------|------|
| 0주  |     |      |      |      |      |
| 1주  |     |      |      |      |      |
| 2주  |     |      |      |      |      |
| 3주  |     |      |      |      |      |
| 4주  |     |      |      |      |      |
| 5주  |     |      |      |      |      |
| 6주  |     |      |      |      |      |
| 7주  |     |      |      |      |      |
| 8주  |     |      |      |      |      |
| 9주  |     |      |      |      |      |
| 10주 |     |      |      |      |      |

### (3) 신안압해①

부산명지5 계통주의 실내형질특성을 조사한 결과, 최종 10주차에 평균엽장 기준 생장이 가장 크게 나타낸 구간은 100Gy, 15 °C 조건이며, 평균엽장 237.49mm, 평균엽폭 12.98 mm, 평균엽장/엽폭 16.27로 나타났음. 가장 생장이 좋은 엽체는 100Gy, 15 °C 조건에서 엽장 1459.53mm, 엽폭 12.98mm, 엽장/엽폭 16.27로 나타났다. 엽체의 생장은 대조구(0Gy)에서 15 °C > 10 °C > 20 °C > 25 °C > 5 °C 순으로 나타나 15°C가 가장 양호한 성장조건으로 확인되었으며, 50Gy에서는 15°C, 100Gy와 500Gy에서는 10°C, 300Gy에서는 20°C에서 생장이 좋은 것으로 확인됨. 모든 감마선 조사 구간에서 낮은 온도조건인 5°C와 높은 온도조건인 25 °C에서의 생장이 느린 것으로 나타났다. 본 계통주는 방사무늬김의 성장적수온인 10~20 °C에서 모든 조건의 생장이 빠른 것으로 나타났으며, 최대엽장은 100Gy, 15 °C, 10주차에서 확인되었고(최대엽장 1459.53 mm), 대조구인 0Gy, 15 °C, 10주차(최대엽장 379.00 mm) 보다 약 3.8배 이상 빠른 성장을 보였다(그림 13~17, 표 26~35).

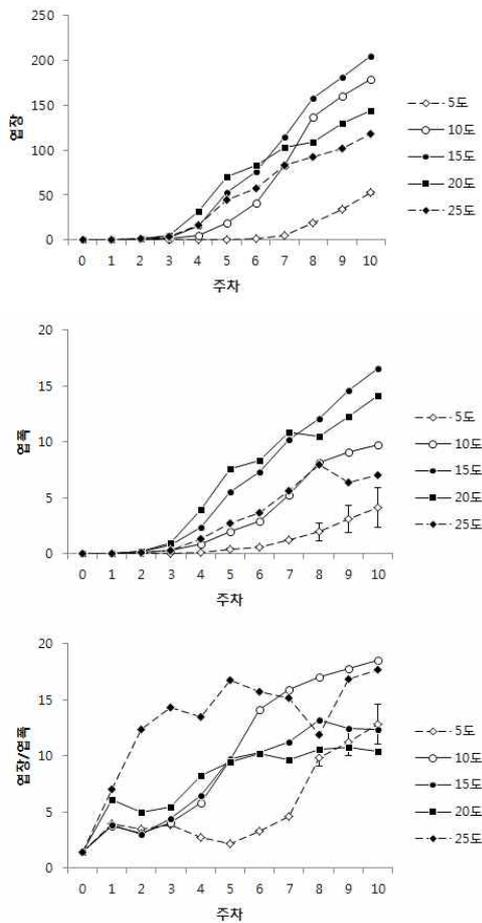


그림 13. 부산명지5(0 Gy) 계통주의 온도 조건별 성장도.

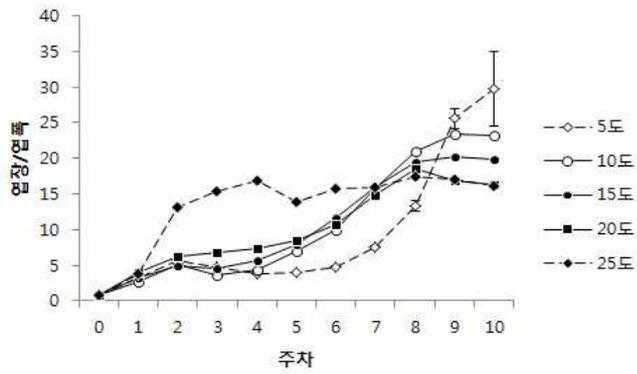
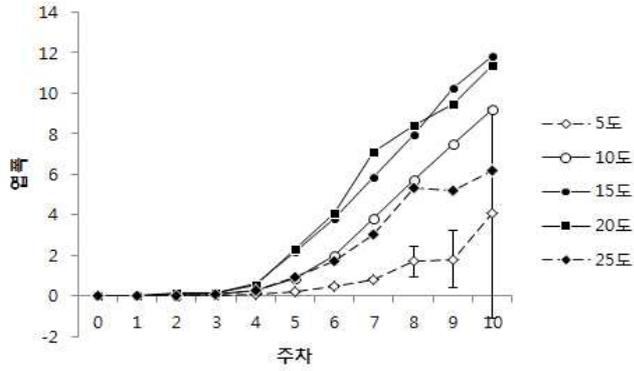
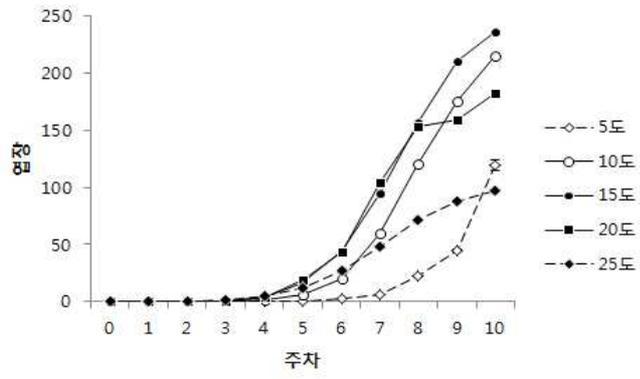


그림 14. 부산명지5(50 Gy) 계통주의 온도 조건별 생장도.

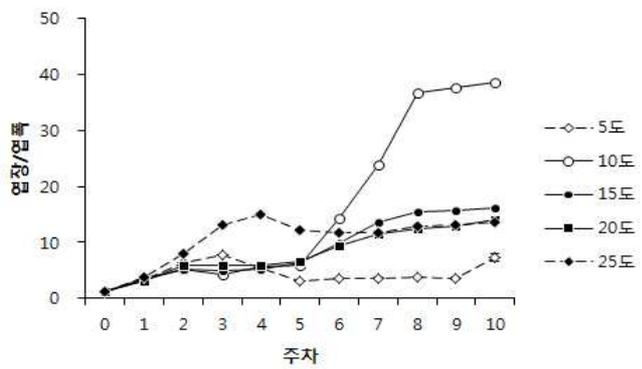
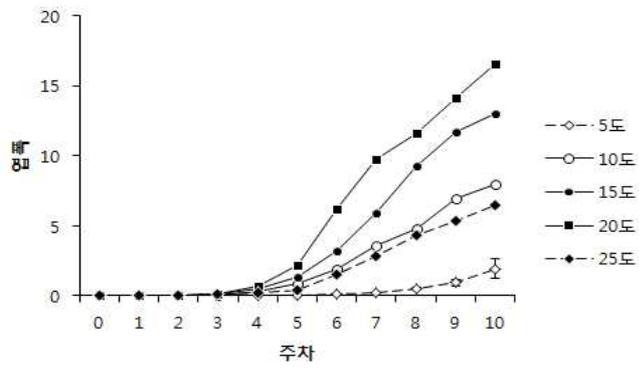
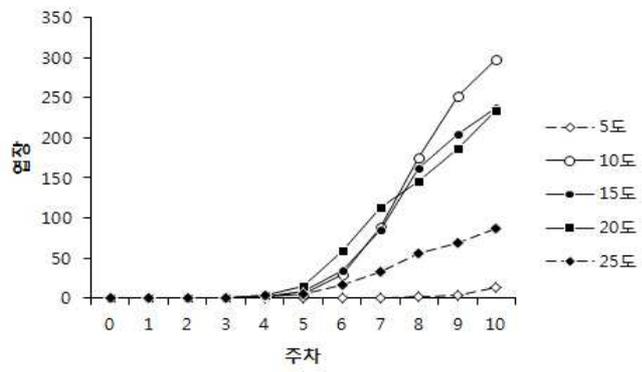


그림 15. 부산명지5(100 Gy) 계통주의 온도 조건별 성장도.

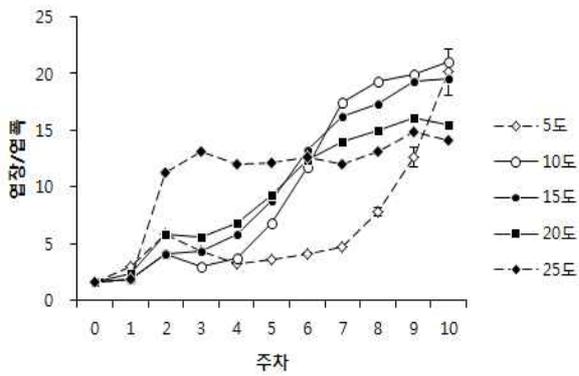
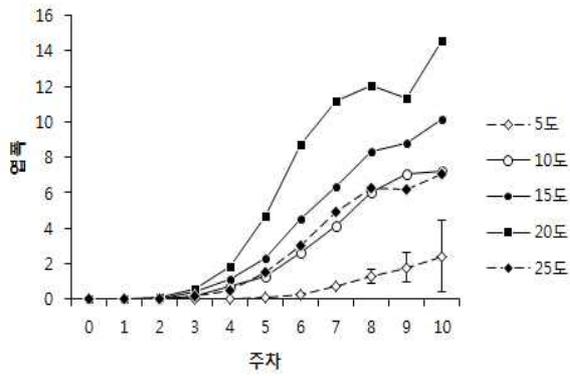
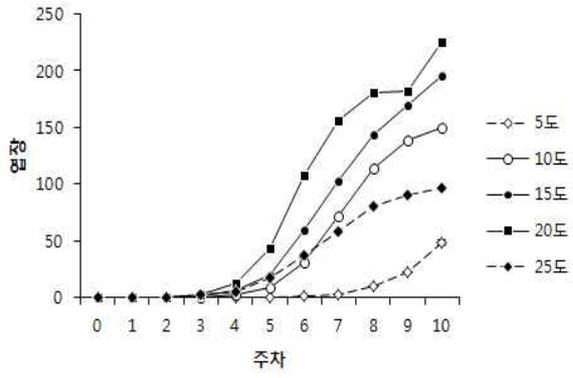


그림 16. 부산명지5(300 Gy) 계통주의 온도 조건별 성장도.

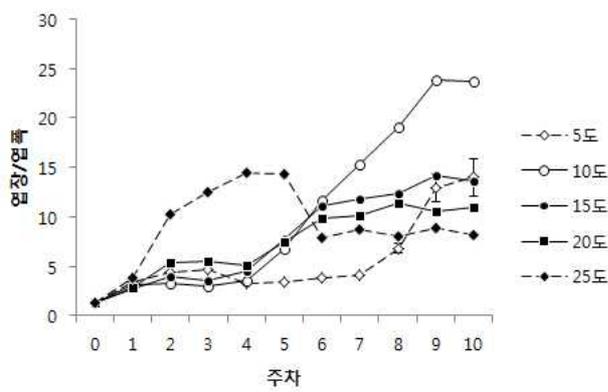
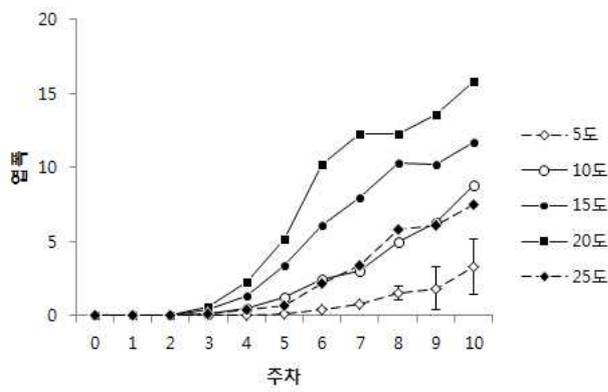
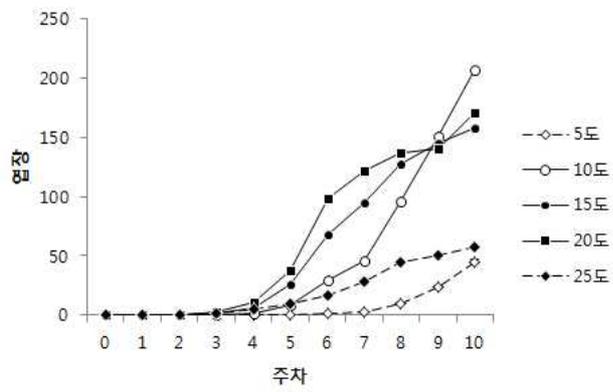


그림 17. 부산명지5(500 Gy) 계통주의 온도 조건별 성장도.

표 26. 부산명지5(0 Gy) 계통주의 온도 조건별 엽체 성장(단위 mm) / ( ) : 평균

|         |       | 5°C          | 10°C           | 15°C           | 20°C           | 25°C           |
|---------|-------|--------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 0<br>주  | 엽장    | 0.03(0.01)   | 0.03(0.01)     | 0.03(0.01)     | 0.03(0.01)     | 0.03(0.01)     |
|         | 엽폭    | 0.01(0.01)   | 0.01(0.01)     | 0.01(0.01)     | 0.01(0.01)     | 0.01(0.01)     |
|         | 엽장/엽폭 | 3.00(1.43)   | 3.00(1.43)     | 3.00(1.43)     | 3.00(1.43)     | 3.00(1.43)     |
| 1<br>주  | 엽장    | 0.07(0.04)   | 0.09(0.06)     | 0.10(0.06)     | 0.25(0.16)     | 0.24(0.14)     |
|         | 엽폭    | 0.02(0.01)   | 0.14(0.02)     | 0.03(0.02)     | 0.04(0.03)     | 0.03(0.02)     |
|         | 엽장/엽폭 | 6.00(3.97)   | 6.00(3.77)     | 8.00(3.84)     | 11.00(6.08)    | 12.00(7.05)    |
| 2<br>주  | 엽장    | 0.12(0.09)   | 0.42(0.32)     | 1.14(0.58)     | 1.66(0.98)     | 2.67(1.52)     |
|         | 엽폭    | 0.04(0.03)   | 0.14(0.11)     | 0.29(0.19)     | 0.38(0.20)     | 0.20(0.13)     |
|         | 엽장/엽폭 | 7.00(3.47)   | 5.00(3.07)     | 4.78(3.01)     | 6.42(4.96)     | 18.15(12.32)   |
| 3<br>주  | 엽장    | 0.20(0.16)   | 1.71(1.21)     | 6.68(3.21)     | 10.21(5.50)    | 7.03(4.36)     |
|         | 엽폭    | 0.06(0.04)   | 0.42(0.31)     | 1.04(0.73)     | 1.57(1.01)     | 0.50(0.31)     |
|         | 엽장/엽폭 | 9.00(3.82)   | 5.58(4.00)     | 6.42(4.37)     | 7.34(5.44)     | 23.95(14.32)   |
| 4<br>주  | 엽장    | 0.33(0.23)   | 7.12(5.08)     | 22.04(15.57)   | 41.79(32.30)   | 25.91(17.26)   |
|         | 엽폭    | 0.11(0.09)   | 1.21(0.88)     | 2.72(2.39)     | 5.29(3.99)     | 1.76(1.30)     |
|         | 엽장/엽폭 | 3.44(2.69)   | 7.74(5.80)     | 8.19(6.51)     | 11.81(8.22)    | 20.51(13.49)   |
| 5<br>주  | 엽장    | 1.25(0.92)   | 31.65(18.81)   | 76.27(53.27)   | 89.82(70.89)   | 72.71(45.19)   |
|         | 엽폭    | 0.67(0.43)   | 2.77(1.97)     | 6.81(5.49)     | 10.09(7.60)    | 3.78(2.75)     |
|         | 엽장/엽폭 | 3.21(2.19)   | 14.39(9.62)    | 12.56(9.72)    | 13.56(9.46)    | 31.89(16.72)   |
| 6<br>주  | 엽장    | 2.75(1.92)   | 68.49(41.45)   | 110.33(75.82)  | 111.18(83.11)  | 84.60(57.02)   |
|         | 엽폭    | 0.83(0.59)   | 3.56(2.95)     | 9.17(7.34)     | 11.01(8.31)    | 5.18(3.70)     |
|         | 엽장/엽폭 | 3.92(3.29)   | 23.57(14.13)   | 13.99(10.34)   | 14.98(10.19)   | 24.04(15.72)   |
| 7<br>주  | 엽장    | 9.60(5.53)   | 141.07(82.85)  | 159.79(115.22) | 134.84(103.07) | 168.84(82.76)  |
|         | 엽폭    | 1.61(1.20)   | 6.57(5.22)     | 11.95(10.25)   | 14.41(10.81)   | 7.57(5.63)     |
|         | 엽장/엽폭 | 6.58(4.61)   | 22.98(15.89)   | 14.07(11.25)   | 13.58(9.67)    | 31.27(15.13)   |
| 8<br>주  | 엽장    | 30.34(19.01) | 209.32(137.16) | 206.24(158.12) | 147.87(109.19) | 145.35(92.48)  |
|         | 엽폭    | 2.45(1.95)   | 10.47(8.13)    | 15.99(12.06)   | 14.46(10.50)   | 11.69(7.92)    |
|         | 엽장/엽폭 | 14.85(9.83)  | 23.91(17.00)   | 18.13(13.22)   | 16.12(10.59)   | 19.25(11.92)   |
| 9<br>주  | 엽장    | 51.59(34.01) | 271.57(160.54) | 241.52(181.48) | 173.72(129.64) | 147.60(101.35) |
|         | 엽폭    | 3.59(3.07)   | 12.07(9.08)    | 17.47(14.59)   | 17.95(12.25)   | 9.65(6.34)     |
|         | 엽장/엽폭 | 18.02(11.25) | 25.43(17.74)   | 17.20(12.48)   | 15.43(10.74)   | 28.33(16.81)   |
| 10<br>주 | 엽장    | 75.87(52.49) | 298.29(179.03) | 379.00(204.60) | 193.42(144.34) | 171.28(118.43) |
|         | 엽폭    | 5.41(4.14)   | 12.36(9.73)    | 19.56(16.56)   | 19.37(14.11)   | 10.64(7.01)    |
|         | 엽장/엽폭 | 18.74(12.81) | 25.34(18.50)   | 19.38(12.34)   | 14.86(10.41)   | 30.46(17.66)   |

표 27. 부산명지5(50 Gy) 계통주의 온도 조건별 업체 성장(단위 mm) / ( ) : 평균

|         |       | 5°C            | 10°C           | 15°C           | 20°C           | 25°C          |
|---------|-------|----------------|----------------|----------------|----------------|---------------|
| 0<br>주  | 엽장    | 0.01(0.01)     | 0.01(0.01)     | 0.01(0.01)     | 0.01(0.01)     | 0.01(0.01)    |
|         | 엽폭    | 0.02(0.01)     | 0.02(0.01)     | 0.02(0.01)     | 0.02(0.01)     | 0.02(0.01)    |
|         | 엽장/엽폭 | 1.00(0.78)     | 1.00(0.78)     | 1.00(0.78)     | 1.00(0.78)     | 1.00(0.78)    |
| 1<br>주  | 엽장    | 0.04(0.03)     | 0.05(0.03)     | 0.05(0.03)     | 0.07(0.04)     | 0.05(0.04)    |
|         | 엽폭    | 0.01(0.01)     | 0.04(0.01)     | 0.01(0.01)     | 0.01(0.01)     | 0.01(0.01)    |
|         | 엽장/엽폭 | 4.00(3.27)     | 5.00(2.67)     | 5.00(3.17)     | 7.00(3.97)     | 5.00(3.73)    |
| 2<br>주  | 엽장    | 0.13(0.08)     | 0.19(0.12)     | 0.38(0.28)     | 1.22(0.78)     | 0.68(0.48)    |
|         | 엽폭    | 0.02(0.02)     | 0.04(0.02)     | 0.09(0.06)     | 0.20(0.13)     | 0.05(0.04)    |
|         | 엽장/엽폭 | 9.00(5.75)     | 6.50(5.04)     | 7.75(4.86)     | 8.67(6.27)     | 20.00(13.16)  |
| 3<br>주  | 엽장    | 0.15(0.13)     | 0.40(0.26)     | 1.15(0.80)     | 1.28(0.86)     | 2.32(1.65)    |
|         | 엽폭    | 0.04(0.03)     | 0.10(0.07)     | 0.21(0.18)     | 0.18(0.13)     | 0.15(0.11)    |
|         | 엽장/엽폭 | 6.50(4.74)     | 4.57(3.60)     | 6.47(4.59)     | 11.64(6.82)    | 25.71(15.30)  |
| 4<br>주  | 엽장    | 0.34(0.25)     | 1.40(1.06)     | 4.91(3.43)     | 5.44(3.77)     | 6.10(4.48)    |
|         | 엽폭    | 0.08(0.07)     | 0.37(0.25)     | 0.72(0.61)     | 0.74(0.52)     | 0.36(0.27)    |
|         | 엽장/엽폭 | 5.50(3.86)     | 6.10(4.36)     | 9.09(5.63)     | 9.54(7.34)     | 27.44(16.83)  |
| 5<br>주  | 엽장    | 1.01(0.73)     | 7.66(6.06)     | 25.87(17.26)   | 27.80(19.12)   | 15.99(12.37)  |
|         | 엽폭    | 0.25(0.19)     | 1.20(0.89)     | 2.94(2.18)     | 2.93(2.29)     | 1.38(0.94)    |
|         | 엽장/엽폭 | 5.83(3.93)     | 8.58(6.89)     | 10.79(7.96)    | 12.25(8.45)    | 27.83(13.85)  |
| 6<br>주  | 엽장    | 3.35(2.22)     | 33.08(19.66)   | 83.94(44.68)   | 60.71(43.92)   | 42.88(27.03)  |
|         | 엽폭    | 0.56(0.46)     | 2.33(1.96)     | 4.55(3.79)     | 4.98(4.11)     | 2.19(1.72)    |
|         | 엽장/엽폭 | 6.32(4.81)     | 14.64(10.03)   | 20.39(11.62)   | 15.53(10.78)   | 23.10(15.80)  |
| 7<br>주  | 엽장    | 10.66(6.23)    | 102.30(59.73)  | 156.52(94.48)  | 164.70(104.76) | 75.03(48.07)  |
|         | 엽폭    | 1.10(0.82)     | 4.80(3.82)     | 7.02(5.89)     | 9.03(7.10)     | 4.02(3.06)    |
|         | 엽장/엽폭 | 11.12(7.60)    | 22.15(15.69)   | 26.71(15.88)   | 23.00(14.79)   | 24.35(15.94)  |
| 8<br>주  | 엽장    | 31.51(22.26)   | 201.60(120.40) | 263.87(156.14) | 248.66(153.41) | 105.89(71.71) |
|         | 엽폭    | 2.20(1.69)     | 7.59(5.74)     | 9.89(7.95)     | 10.70(8.39)    | 5.47(4.14)    |
|         | 엽장/엽폭 | 20.07(13.24)   | 28.07(21.01)   | 33.11(19.40)   | 26.09(18.46)   | 26.21(17.88)  |
| 9<br>주  | 엽장    | 61.66(44.70)   | 306.65(175.64) | 391.49(210.78) | 288.95(158.60) | 133.12(87.52) |
|         | 엽폭    | 2.48(1.81)     | 11.73(7.47)    | 15.78(10.24)   | 12.85(9.48)    | 7.28(5.23)    |
|         | 엽장/엽폭 | 39.83(25.61)   | 29.81(23.42)   | 36.89(20.24)   | 27.40(16.85)   | 24.08(17.07)  |
| 10<br>주 | 엽장    | 182.95(119.34) | 371.61(214.48) | 401.23(235.85) | 302.27(182.72) | 142.39(96.68) |
|         | 엽폭    | 5.39(4.09)     | 14.05(9.22)    | 15.28(11.84)   | 14.39(11.39)   | 9.50(6.16)    |
|         | 엽장/엽폭 | 47.33(29.73)   | 30.29(23.19)   | 36.54(19.85)   | 27.02(16.29)   | 24.27(16.04)  |

표 28. 부산명지5(100 Gy) 계통주의 온도 조건별 업체 성장(단위 mm) / ( ) : 평균

|         |       | 5°C          | 10°C           | 15°C                | 20°C           | 25°C          |
|---------|-------|--------------|----------------|---------------------|----------------|---------------|
| 0<br>주  | 엽장    | 0.02(0.01)   | 0.02(0.01)     | 0.02(0.01)          | 0.02(0.01)     | 0.02(0.01)    |
|         | 엽폭    | 0.01(0.01)   | 0.01(0.01)     | 0.01(0.01)          | 0.01(0.01)     | 0.01(0.01)    |
|         | 엽장/엽폭 | 2.00(1.17)   | 2.00(1.17)     | 2.00(1.17)          | 2.00(1.17)     | 2.00(1.17)    |
| 1<br>주  | 엽장    | 0.05(0.03)   | 0.06(0.04)     | 0.06(0.03)          | 0.06(0.03)     | 0.03(0.07)    |
|         | 엽폭    | 0.01(0.01)   | 0.03(0.01)     | 0.01(0.01)          | 0.01(0.01)     | 0.01(0.01)    |
|         | 엽장/엽폭 | 5.50(3.30)   | 6.00(3.67)     | 6.00(3.37)          | 6.00(3.03)     | 7.00(3.83)    |
| 2<br>주  | 엽장    | 0.10(0.07)   | 0.14(0.09)     | 0.15(0.11)          | 0.17(0.11)     | 0.33(0.21)    |
|         | 엽폭    | 0.02(0.01)   | 0.03(0.02)     | 0.03(0.02)          | 0.03(0.02)     | 0.04(0.03)    |
|         | 엽장/엽폭 | 10.00(6.45)  | 12.00(5.16)    | 12.00(5.27)         | 10.00(5.90)    | 12.50(7.93)   |
| 3<br>주  | 엽장    | 0.11(0.08)   | 0.43(0.31)     | 2.53(0.54)          | 2.34(0.76)     | 3.30(1.09)    |
|         | 엽폭    | 0.02(0.01)   | 0.09(0.07)     | 0.35(0.10)          | 0.50(0.14)     | 0.26(0.09)    |
|         | 엽장/엽폭 | 11.00(7.68)  | 5.71(4.37)     | 8.00(5.07)          | 9.56(5.82)     | 23.75(13.11)  |
| 4<br>주  | 엽장    | 0.15(0.11)   | 6.79(1.69)     | 10.70(2.72)         | 13.57(4.40)    | 5.14(3.56)    |
|         | 엽폭    | 0.03(0.02)   | 0.82(0.30)     | 1.27(0.50)          | 2.16(0.73)     | 0.37(0.24)    |
|         | 엽장/엽폭 | 9.00(5.39)   | 8.59(5.74)     | 8.43(5.27)          | 10.28(5.98)    | 22.63(14.99)  |
| 5<br>주  | 엽장    | 0.23(0.12)   | 28.68(5.60)    | 46.52(9.22)         | 48.42(14.80)   | 9.94(5.44)    |
|         | 엽폭    | 0.08(0.04)   | 2.64(0.88)     | 3.48(1.29)          | 5.76(2.19)     | 0.69(0.45)    |
|         | 엽장/엽폭 | 5.33(3.07)   | 10.86(5.97)    | 13.37(6.41)         | 13.30(6.65)    | 19.03(12.25)  |
| 6<br>주  | 엽장    | 0.97(0.38)   | 141.96(29.11)  | 171.17(35.39)       | 180.01(59.41)  | 21.94(17.31)  |
|         | 엽폭    | 0.20(0.11)   | 4.75(1.91)     | 7.28(3.22)          | 15.71(6.18)    | 1.93(1.52)    |
|         | 엽장/엽폭 | 5.23(3.60)   | 29.89(14.32)   | 23.51(9.93)         | 17.51(9.47)    | 16.81(11.62)  |
| 7<br>주  | 엽장    | 1.49(0.76)   | 326.89(88.40)  | 387.13(85.71)       | 312.77(112.41) | 45.57(32.84)  |
|         | 엽폭    | 0.29(0.21)   | 9.40(3.61)     | 11.12(5.88)         | 22.24(9.73)    | 3.91(2.83)    |
|         | 엽장/엽폭 | 6.20(3.69)   | 34.78(23.82)   | 34.81(13.50)        | 20.50(11.42)   | 16.47(11.81)  |
| 8<br>주  | 엽장    | 2.89(1.95)   | 620.05(175.43) | 880.10(162.08)      | 406.25(146.07) | 76.91(55.37)  |
|         | 엽폭    | 0.66(0.51)   | 14.43(4.74)    | 23.65(9.25)         | 27.38(11.61)   | 6.62(4.37)    |
|         | 엽장/엽폭 | 5.16(3.83)   | 49.28(36.67)   | 37.21(15.46)        | 20.74(12.38)   | 16.60(12.91)  |
| 9<br>주  | 엽장    | 9.46(3.33)   | 632.20(252.04) | 1118.54<br>(205.23) | 590.78(186.02) | 99.12(69.43)  |
|         | 엽폭    | 1.57(0.92)   | 23.44(6.94)    | 31.31(11.74)        | 40.34(14.12)   | 7.65(5.39)    |
|         | 엽장/엽폭 | 6.03(3.55)   | 60.94(37.61)   | 35.73(15.77)        | 19.26(12.93)   | 18.17(13.05)  |
| 10<br>주 | 엽장    | 29.88(13.52) | 878.34(298.28) | 1459.53<br>(237.49) | 167.10(234.11) | 120.98(86.42) |
|         | 엽폭    | 4.01(1.91)   | 32.83(7.99)    | 40.06(12.98)        | 55.85(16.56)   | 8.17(6.45)    |
|         | 엽장/엽폭 | 10.75(7.21)  | 58.85(38.51)   | 36.44(16.27)        | 20.61(14.04)   | 19.98(13.67)  |

표 29. 부산명지5(300 Gy) 계통주의 온도 조건별 엽체 성장(단위 mm) / ( ) : 평균

|         |       | 5°C          | 10°C           | 15°C           | 20°C           | 25°C          |
|---------|-------|--------------|----------------|----------------|----------------|---------------|
| 0<br>주  | 엽장    | 0.03(0.02)   | 0.03(0.02)     | 0.03(0.02)     | 0.03(0.02)     | 0.03(0.02)    |
|         | 엽폭    | 0.01(0.01)   | 0.01(0.01)     | 0.01(0.01)     | 0.01(0.01)     | 0.01(0.01)    |
|         | 엽장/엽폭 | 3.00(1.67)   | 3.00(1.67)     | 3.00(1.67)     | 3.00(1.67)     | 3.00(1.67)    |
| 1<br>주  | 엽장    | 0.05(0.03)   | 0.03(0.02)     | 0.03(0.02)     | 0.03(0.02)     | 0.03(0.02)    |
|         | 엽폭    | 0.02(0.01)   | 0.05(0.01)     | 0.01(0.01)     | 0.01(0.01)     | 0.01(0.01)    |
|         | 엽장/엽폭 | 5.00(303)    | 3.00(1.93)     | 3.00(1.90)     | 3.00(2.40)     | 3.00(1.87)    |
| 2<br>주  | 엽장    | 0.08(0.07)   | 0.19(0.15)     | 0.37(0.25)     | 0.48(0.40)     | 0.47(0.34)    |
|         | 엽폭    | 0.02(0.01)   | 0.05(0.04)     | 0.08(0.06)     | 0.11(0.07)     | 0.05(0.03)    |
|         | 엽장/엽폭 | 8.00(5.88)   | 5.00(4.11)     | 5.00(4.14)     | 8.00(5.81)     | 35.00(11.29)  |
| 3<br>주  | 엽장    | 0.19(0.13)   | 0.84(0.60)     | 2.61(1.97)     | 3.93(3.11)     | 3.25(2.51)    |
|         | 엽폭    | 0.04(0.03)   | 0.24(0.20)     | 0.60(0.45)     | 0.70(0.57)     | 0.25(0.19)    |
|         | 엽장/엽폭 | 6.50(4.38)   | 4.33(3.06)     | 5.43(4.40)     | 7.56(5.57)     | 18.33(13.08)  |
| 4<br>주  | 엽장    | 0.26(0.18)   | 3.57(2.72)     | 9.54(6.81)     | 19.58(12.52)   | 9.83(5.49)    |
|         | 엽폭    | 0.08(0.06)   | 0.88(0.73)     | 1.49(1.17)     | 2.39(1.85)     | 0.66(0.47)    |
|         | 엽장/엽폭 | 5.20(3.27)   | 4.76(3.72)     | 8.06(5.88)     | 9.65(6.80)     | 19.14(12.03)  |
| 5<br>주  | 엽장    | 0.51(0.39)   | 16.73(9.08)    | 27.93(20.51)   | 75.51(43.54)   | 26.87(18.09)  |
|         | 엽폭    | 0.16(0.12)   | 1.77(1.31)     | 2.71(2.32)     | 5.81(4.69)     | 2.32(1.51)    |
|         | 엽장/엽폭 | 7.17(3.59)   | 9.45(6.87)     | 12.30(8.85)    | 15.25(9.34)    | 19.61(12.16)  |
| 6<br>주  | 엽장    | 1.59(1.15)   | 38.86(31.35)   | 91.40(59.39)   | 181.99(107.44) | 58.50(37.56)  |
|         | 엽폭    | 0.35(0.28)   | 2.96(2.65)     | 5.93(4.50)     | 11.10(8.69)    | 4.79(3.02)    |
|         | 엽장/엽폭 | 5.88(4.17)   | 13.96(11.82)   | 18.13(13.22)   | 19.53(12.37)   | 20.82(12.67)  |
| 7<br>주  | 엽장    | 4.97(3.44)   | 86.93(71.46)   | 131.15(102.46) | 257.45(155.95) | 90.51(58.99)  |
|         | 엽폭    | 0.88(0.73)   | 4.74(4.10)     | 8.70(6.36)     | 13.93(11.17)   | 6.76(4.96)    |
|         | 엽장/엽폭 | 6.15(4.74)   | 22.76(17.48)   | 25.79(16.22)   | 22.95(13.99)   | 19.30(12.00)  |
| 8<br>주  | 엽장    | 16.71(9.83)  | 147.94(114.32) | 201.05(143.21) | 304.19(181.20) | 120.78(80.65) |
|         | 엽폭    | 1.57(1.26)   | 7.30(6.03)     | 10.62(8.31)    | 15.63(12.07)   | 8.90(6.28)    |
|         | 엽장/엽폭 | 12.98(7.80)  | 26.91(19.32)   | 27.06(17.31)   | 24.01(15.05)   | 22.88(13.11)  |
| 9<br>주  | 엽장    | 32.18(22.34) | 189.31(139.20) | 246.45(169.36) | 317.21(182.65) | 152.10(90.25) |
|         | 엽폭    | 2.41(1.79)   | 8.03(7.06)     | 11.89(8.83)    | 15.62(11.34)   | 9.16(6.20)    |
|         | 엽장/엽폭 | 21.13(12.68) | 26.75(19.91)   | 32.57(19.28)   | 23.11(16.13)   | 25.18(14.85)  |
| 10<br>주 | 엽장    | 84.69(48.51) | 190.03(150.07) | 282.15(195.45) | 364.14(224.98) | 173.09(96.25) |
|         | 엽폭    | 2.94(2.42)   | 8.34(7.22)     | 15.05(10.13)   | 19.16(14.56)   | 9.81(7.06)    |
|         | 엽장/엽폭 | 30.59(20.12) | 35.63(21.02)   | 28.11(19.56)   | 20.49(15.47)   | 29.16(14.09)  |

표 30. 부산명지5(500 Gy) 계통주의 온도 조건별 엽체 성장(단위 mm) / ( ) : 평균

|         |       | 5°C          | 10°C           | 15°C           | 20°C           | 25°C          |
|---------|-------|--------------|----------------|----------------|----------------|---------------|
| 0<br>주  | 엽장    | 0.03(0.01)   | 0.03(0.01)     | 0.03(0.01)     | 0.03(0.01)     | 0.03(0.01)    |
|         | 엽폭    | 0.01(0.01)   | 0.01(0.01)     | 0.01(0.01)     | 0.01(0.01)     | 0.01(0.01)    |
|         | 엽장/엽폭 | 3.00(1.33)   | 3.00(1.33)     | 3.00(1.33)     | 3.00(1.33)     | 3.00(1.33)    |
| 1<br>주  | 엽장    | 0.07(0.03)   | 0.05(0.03)     | 0.05(0.03)     | 0.04(0.03)     | 0.06(0.04)    |
|         | 엽폭    | 0.01(0.01)   | 0.04(0.01)     | 0.01(0.01)     | 0.01(0.01)     | 0.01(0.01)    |
|         | 엽장/엽폭 | 7.00(3.47)   | 5.00(3.07)     | 5.00(2.67)     | 4.00(2.80)     | 6.00(3.83)    |
| 2<br>주  | 엽장    | 0.08(0.04)   | 0.14(0.09)     | 0.29(0.18)     | 0.58(0.40)     | 0.64(0.41)    |
|         | 엽폭    | 0.02(0.01)   | 0.04(0.03)     | 0.07(0.05)     | 0.11(0.08)     | 0.07(0.04)    |
|         | 엽장/엽폭 | 8.00(4.32)   | 4.33(3.29)     | 5.75(4.01)     | 8.33(5.38)     | 16.00(10.21)  |
| 3<br>주  | 엽장    | 0.19(0.12)   | 0.66(0.47)     | 2.03(1.52)     | 4.92(3.16)     | 2.32(1.75)    |
|         | 엽폭    | 0.04(0.03)   | 0.20(0.16)     | 0.56(0.44)     | 0.76(0.58)     | 0.25(0.14)    |
|         | 엽장/엽폭 | 7.00(4.70)   | 4.21(3.01)     | 5.63(3.51)     | 7.95(5.48)     | 16.54(12.56)  |
| 4<br>주  | 엽장    | 0.31(0.20)   | 3.23(1.81)     | 9.11(5.99)     | 18.41(10.50)   | 6.82(5.01)    |
|         | 엽폭    | 0.08(0.06)   | 0.70(0.51)     | 1.80(1.35)     | 6.80(2.28)     | 0.63(0.36)    |
|         | 엽장/엽폭 | 4.43(3.32)   | 5.71(3.58)     | 6.76(4.47)     | 8.80(5.12)     | 23.14(14.48)  |
| 5<br>주  | 엽장    | 0.80(0.51)   | 16.20(8.70)    | 42.55(26.48)   | 59.39(38.06)   | 16.52(9.57)   |
|         | 엽폭    | 0.22(0.15)   | 1.96(1.29)     | 4.62(3.43)     | 6.66(5.15)     | 1.16(0.69)    |
|         | 엽장/엽폭 | 4.33(3.40)   | 11.65(6.83)    | 10.45(7.69)    | 11.66(7.46)    | 23.82(14.32)  |
| 6<br>주  | 엽장    | 2.32(1.66)   | 53.74(29.23)   | 107.18(67.87)  | 211.87(98.62)  | 28.06(16.69)  |
|         | 엽폭    | 0.56(0.43)   | 3.72(2.49)     | 7.33(6.07)     | 13.47(10.16)   | 3.97(2.21)    |
|         | 엽장/엽폭 | 4.55(3.80)   | 17.46(11.68)   | 15.33(11.16)   | 20.43(9.88)    | 11.47(7.83)   |
| 7<br>주  | 엽장    | 5.38(3.22)   | 83.86(45.90)   | 155.65(94.74)  | 190.07(121.21) | 45.43(28.56)  |
|         | 엽폭    | 0.92(0.80)   | 4.19(2.98)     | 10.31(7.96)    | 15.37(12.29)   | 7.92(3.40)    |
|         | 엽장/엽폭 | 6.04(4.05)   | 21.54(15.34)   | 18.62(11.87)   | 18.74(10.08)   | 12.16(8.75)   |
| 8<br>주  | 엽장    | 17.94(10.28) | 163.34(95.98)  | 201.70(127.44) | 213.74(136.55) | 70.47(44.89)  |
|         | 엽폭    | 2.01(1.51)   | 6.94(5.00)     | 12.25(10.29)   | 15.96(12.21)   | 14.38(5.85)   |
|         | 엽장/엽폭 | 11.57(6.80)  | 25.78(19.14)   | 16.83(12.35)   | 19.98(11.37)   | 11.91(8.09)   |
| 9<br>주  | 엽장    | 39.94(23.40) | 258.65(150.35) | 242.86(144.91) | 232.04(140.73) | 86.26(50.93)  |
|         | 엽폭    | 2.28(1.83)   | 9.04(6.31)     | 13.51(10.25)   | 19.09(13.58)   | 19.04(6.12)   |
|         | 엽장/엽폭 | 21.06(12.88) | 30.48(23.90)   | 20.05(14.13)   | 19.91(10.51)   | 13.64(8.81)   |
| 10<br>주 | 엽장    | 67.36(45.14) | 321.80(207.11) | 264.12(157.77) | 273.55(171.28) | 113.37(57.58) |
|         | 엽폭    | 4.05(3.26)   | 12.18(8.77)    | 14.63(11.67)   | 20.29(15.79)   | 23.53(7.54)   |
|         | 엽장/엽폭 | 22.56(13.98) | 29.80(23.68)   | 22.08(13.56)   | 20.62(11.03)   | 14.92(8.21)   |

표 31. 부산명지5(0 Gy) 계통주의 온도 조건별 엽체 형태

|     | 5°C | 10°C | 15°C | 20°C | 25°C |
|-----|-----|------|------|------|------|
| 0주  |     |      |      |      |      |
| 1주  |     |      |      |      |      |
| 2주  |     |      |      |      |      |
| 3주  |     |      |      |      |      |
| 4주  |     |      |      |      |      |
| 5주  |     |      |      |      |      |
| 6주  |     |      |      |      |      |
| 7주  |     |      |      |      |      |
| 8주  |     |      |      |      |      |
| 9주  |     |      |      |      |      |
| 10주 |     |      |      |      |      |

표 32. 부산명지5(50 Gy) 계통주의 온도 조건별 엽체 형태

|     | 5°C | 10°C | 15°C | 20°C | 25°C |
|-----|-----|------|------|------|------|
| 0주  |     |      |      |      |      |
| 1주  |     |      |      |      |      |
| 2주  |     |      |      |      |      |
| 3주  |     |      |      |      |      |
| 4주  |     |      |      |      |      |
| 5주  |     |      |      |      |      |
| 6주  |     |      |      |      |      |
| 7주  |     |      |      |      |      |
| 8주  |     |      |      |      |      |
| 9주  |     |      |      |      |      |
| 10주 |     |      |      |      |      |

표 33. 부산명지5(100 Gy) 계통주의 온도 조건별 엽체 형태

|     | 5°C | 10°C | 15°C | 20°C | 25°C |
|-----|-----|------|------|------|------|
| 0주  |     |      |      |      |      |
| 1주  |     |      |      |      |      |
| 2주  |     |      |      |      |      |
| 3주  |     |      |      |      |      |
| 4주  |     |      |      |      |      |
| 5주  |     |      |      |      |      |
| 6주  |     |      |      |      |      |
| 7주  |     |      |      |      |      |
| 8주  |     |      |      |      |      |
| 9주  |     |      |      |      |      |
| 10주 |     |      |      |      |      |

표 34. 부산명지5(300 Gy) 계통주의 온도 조건별 엽체 형태

|     | 5°C | 10°C | 15°C | 20°C | 25°C |
|-----|-----|------|------|------|------|
| 0주  |     |      |      |      |      |
| 1주  |     |      |      |      |      |
| 2주  |     |      |      |      |      |
| 3주  |     |      |      |      |      |
| 4주  |     |      |      |      |      |
| 5주  |     |      |      |      |      |
| 6주  |     |      |      |      |      |
| 7주  |     |      |      |      |      |
| 8주  |     |      |      |      |      |
| 9주  |     |      |      |      |      |
| 10주 |     |      |      |      |      |

표 35. 부산명지5(500 Gy) 계통주의 온도 조건별 엽체 형태

|     | 5°C | 10°C | 15°C | 20°C | 25°C |
|-----|-----|------|------|------|------|
| 0주  |     |      |      |      |      |
| 1주  |     |      |      |      |      |
| 2주  |     |      |      |      |      |
| 3주  |     |      |      |      |      |
| 4주  |     |      |      |      |      |
| 5주  |     |      |      |      |      |
| 6주  |     |      |      |      |      |
| 7주  |     |      |      |      |      |
| 8주  |     |      |      |      |      |
| 9주  |     |      |      |      |      |
| 10주 |     |      |      |      |      |

(4) 신안압해10

신안압해10 계통주의 실내형질특성을 조사한 결과, 최종 10주차에 평균엽장 기준 생장이 가장 크게 나타난 구간은 300Gy, 5℃ 조건이며, 평균엽장 149.33mm, 평균엽폭 12.06 mm, 평균엽장/엽폭 13.39로 나타났다. 측정된 모든 개체 중, 가장 생장이 좋은 엽체는 300Gy, 5℃ 조건에서 엽장 410.08mm, 엽폭 46.83mm, 엽장/엽폭 8.75로 나타났고, 해조류유전자원은행에 보존하기 위해 순계사상체를 확보 중에 있다. 엽체의 생장은 대조구(0Gy)에서 15℃ > 20℃ > 10℃ > 25℃ > 5℃ 순으로 나타나 15℃가 가장 양호한 성장조건으로 확인되었으며, 50Gy 및 300Gy에서는 20℃, 100Gy와 500Gy에서는 10℃에서는 생장이 좋은 것으로 확인되었다. 50Gy를 제외한 모든 감마선 조사 구간의 20℃ 또는 25℃에서 성숙이 진행되어 사멸하였음. 부산명지5 감마선조사 실험과 비교하여 볼 때, 성숙이 빠른 품종으로 개발이 가능할 것으로 사료된다. 본 계통주는 방사 무늬김의 성장적수온인 10~20℃에서 모든 조건의 생장이 빠른 것으로 나타났으며, 최대엽장은 300Gy, 5℃, 10주차에서 확인되었고(최대엽장 410.08 mm), 대조구인 0Gy, 5℃, 10주차(최대엽장 75.58mm) 보다 약 5.4배 이상 빠른 성장을 나타냈음(그림 18~22, 표 36~45).

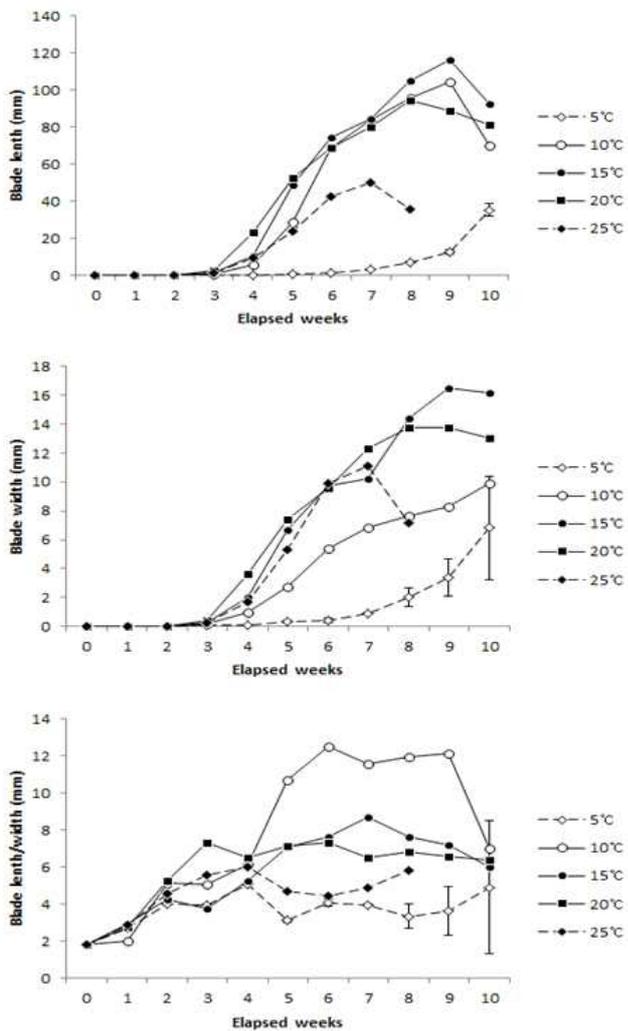


그림 18. 신안압해10(0 Gy) 계통주의 온도 조건별 성장도.

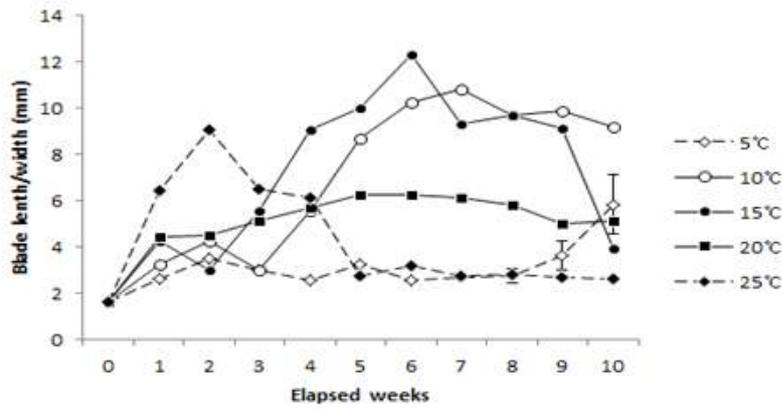
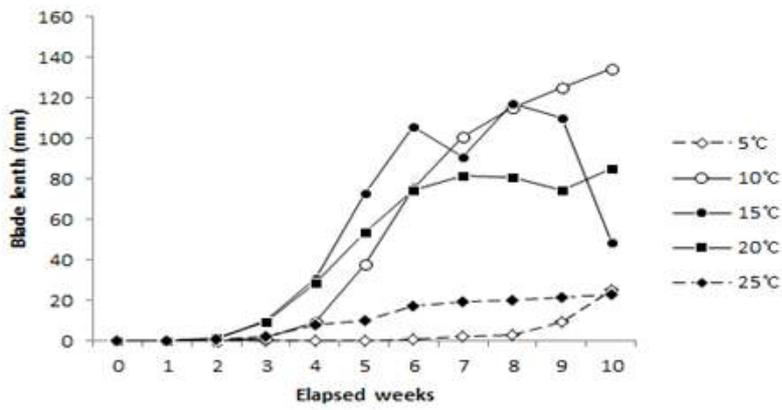
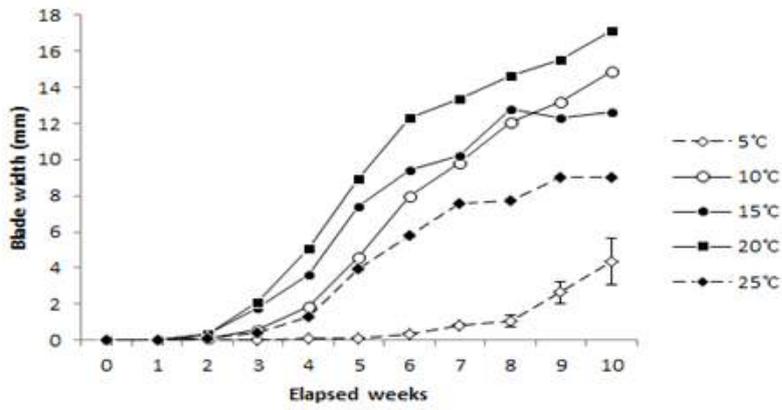


그림 19. 신안압해10(50 Gy) 계통주의 온도 조건별 성장도.

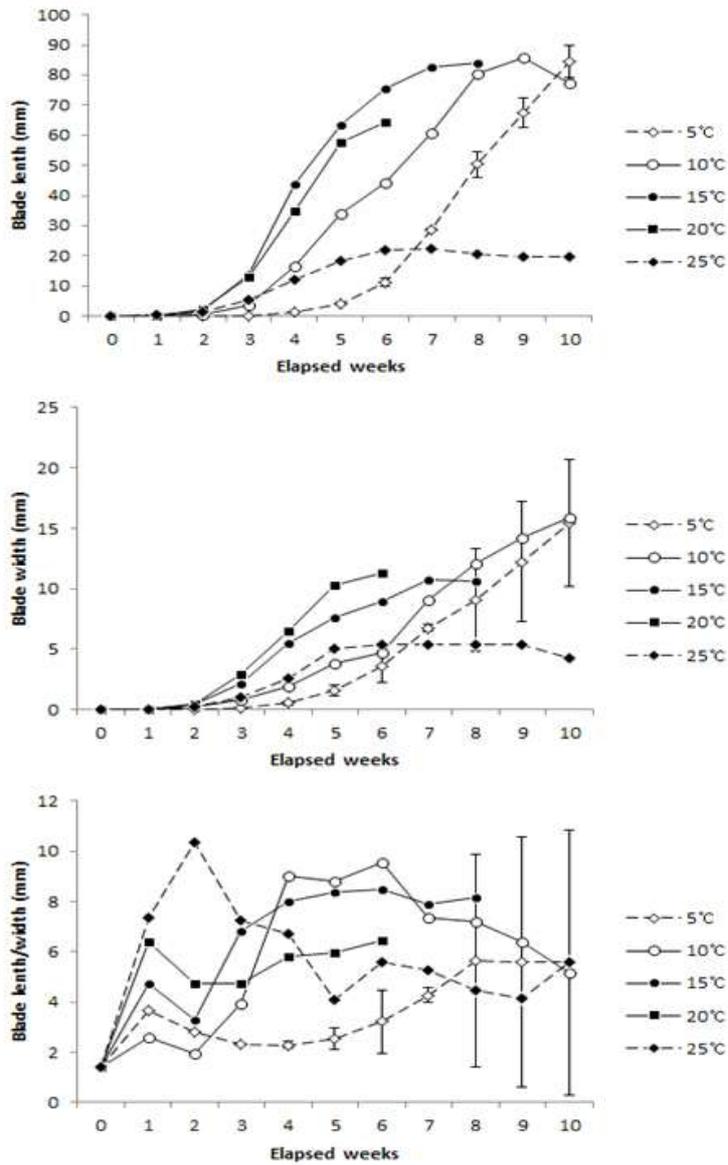


그림 20. 신안압해10(100 Gy) 계통주의 온도 조건별 성장도.

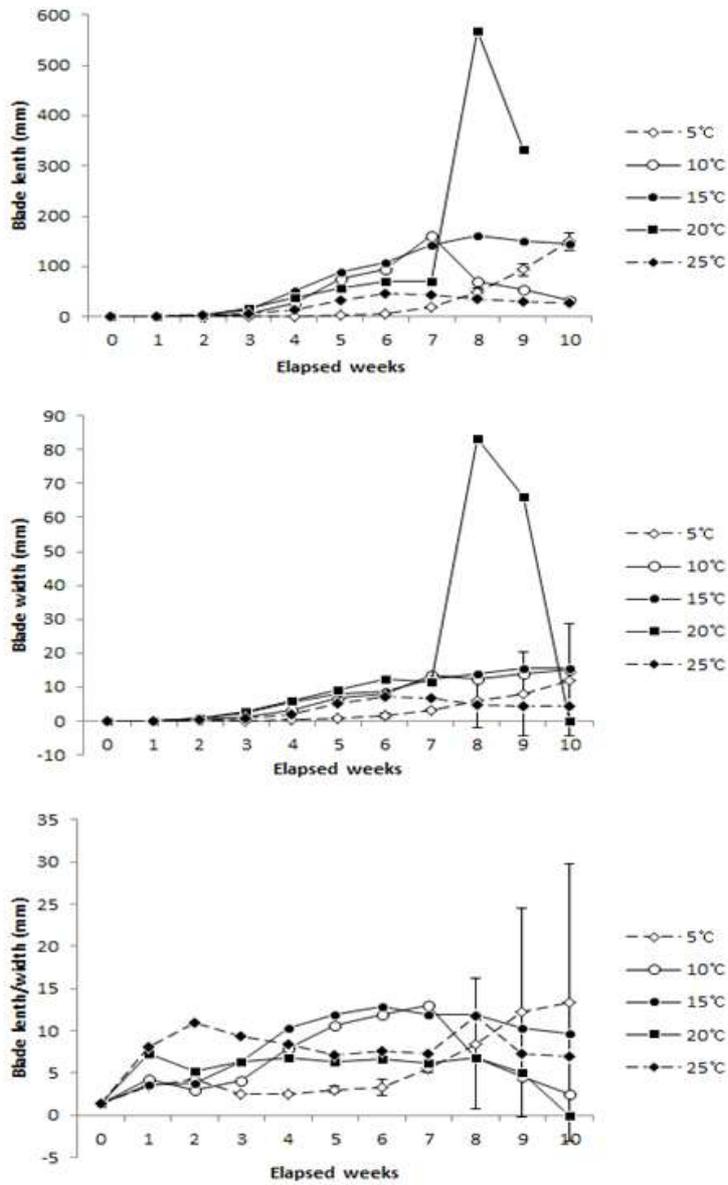


그림 21. 신안압해10(300 Gy) 계통주의 온도 조건별 성장도.

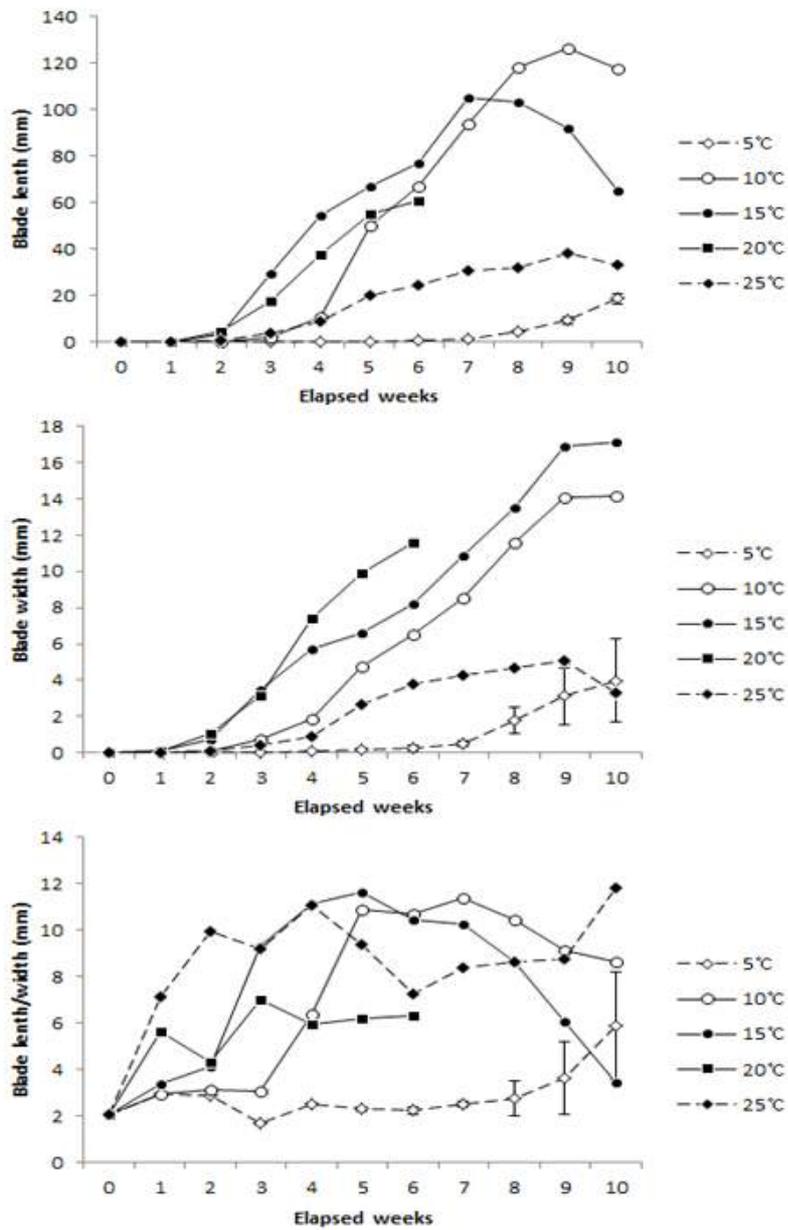


그림 22. 신안압해10(500 Gy) 계통주의 온도 조건별 성장도.

표 36. 신안압해10(0 Gy) 계통주의 온도 조건별 엽체 성장(단위 mm) / ( ): 평균

|      |       | 5°C          | 10°C           | 15°C           | 20°C          | 25°C          |
|------|-------|--------------|----------------|----------------|---------------|---------------|
| 0 주  | 엽장    | 0.05(0.02)   | 0.05(0.02)     | 0.05(0.02)     | 0.05(0.02)    | 0.05(0.02)    |
|      | 엽폭    | 0.02(0.01)   | 0.02(0.01)     | 0.02(0.01)     | 0.02(0.01)    | 0.02(0.01)    |
|      | 엽장/엽폭 | 5.00(1.82)   | 5.00(1.82)     | 5.00(1.82)     | 5.00(1.82)    | 5.00(1.82)    |
| 1 주  | 엽장    | 0.14(0.06)   | 0.16(0.05)     | 0.14(0.06)     | 0.14(0.06)    | 0.18(0.07)    |
|      | 엽폭    | 0.04(0.02)   | 0.09(0.02)     | 0.04(0.02)     | 0.05(0.02)    | 0.05(0.02)    |
|      | 엽장/엽폭 | 6.50(2.73)   | 4.00(2.01)     | 5.00(2.94)     | 5.00(2.78)    | 6.00(2.91)    |
| 2 주  | 엽장    | 0.36(0.18)   | 0.53(0.23)     | 0.49(0.19)     | 0.56(0.18)    | 0.45(0.23)    |
|      | 엽폭    | 0.08(0.04)   | 0.09(0.05)     | 0.07(0.04)     | 0.09(0.04)    | 0.12(0.05)    |
|      | 엽장/엽폭 | 11.50(4.00)  | 14.50(5.17)    | 8.17(4.23)     | 16.33(5.26)   | 7.33(4.59)    |
| 3 주  | 엽장    | 0.33(0.20)   | 1.79(0.79)     | 3.09(1.07)     | 5.23(2.51)    | 2.86(1.48)    |
|      | 엽폭    | 0.11(0.06)   | 0.30(0.16)     | 0.53(0.28)     | 0.85(0.43)    | 0.57(0.28)    |
|      | 엽장/엽폭 | 13.00(3.97)  | 11.00(5.06)    | 5.83(3.79)     | 44.50(7.33)   | 13.62(5.59)   |
| 4 주  | 엽장    | 0.67(0.42)   | 10.04(5.61)    | 38.75(10.44)   | 54.14(23.42)  | 18.72(9.60)   |
|      | 엽폭    | 0.16(0.09)   | 1.43(0.95)     | 4.32(1.99)     | 6.72(3.62)    | 3.45(1.70)    |
|      | 엽장/엽폭 | 10.80(5.07)  | 12.52(6.16)    | 10.85(5.24)    | 10.05(6.49)   | 10.53(5.59)   |
| 5 주  | 엽장    | 1.91(1.01)   | 70.57(28.89)   | 163.20(49.09)  | 125.53(52.48) | 48.74(23.92)  |
|      | 엽폭    | 0.50(0.30)   | 5.25(2.77)     | 11.67(6.71)    | 11.35(7.43)   | 9.25(5.31)    |
|      | 엽장/엽폭 | 4.53(3.12)   | 20.55(10.71)   | 14.41(7.08)    | 14.74(7.17)   | 11.11(4.73)   |
| 6 주  | 엽장    | 5.29(1.46)   | 162.53(68.84)  | 242.41(74.56)  | 167.35(68.88) | 95.22(42.44)  |
|      | 엽폭    | 0.68(0.39)   | 9.64(5.39)     | 18.89(9.74)    | 12.89(9.55)   | 16.45(9.94)   |
|      | 엽장/엽폭 | 16.03(4.09)  | 24.14(12.51)   | 17.18(7.62)    | 13.00(7.32)   | 6.95(4.46)    |
| 7 주  | 엽장    | 6.44(3.30)   | 204.20(83.91)  | 282.46(84.35)  | 197.28(80.35) | 125.74(50.17) |
|      | 엽폭    | 1.57(0.91)   | 11.75(6.81)    | 19.03(10.20)   | 16.33(12.28)  | 19.61(11.11)  |
|      | 엽장/엽폭 | 10.48(3.97)  | 18.30(11.59)   | 20.96(8.71)    | 12.14(6.51)   | 9.83(4.89)    |
| 8 주  | 엽장    | 15.11(6.94)  | 224.77(95.90)  | 246.45(105.06) | 215.56(94.81) | 75.90(35.92)  |
|      | 엽폭    | 3.33(2.01)   | 13.24(7.63)    | 29.69(14.37)   | 20.25(13.78)  | 12.75(7.18)   |
|      | 엽장/엽폭 | 5.09(3.34)   | 22.32(11.95)   | 16.50(7.63)    | 11.85(6.85)   | 18.00(5.80)   |
| 9 주  | 엽장    | 27.51(12.79) | 197.33(104.37) | 277.18(116.68) | 134.50(89.10) | 사멸            |
|      | 엽폭    | 6.32(3.39)   | 12.18(8.26)    | 29.22(16.53)   | 19.51(13.76)  |               |
|      | 엽장/엽폭 | 8.40(3.64)   | 21.77(12.16)   | 13.81(7.20)    | 10.41(6.57)   |               |
| 10 주 | 엽장    | 75.58(35.40) | 118.97(70.19)  | 270.51(92.46)  | 120.06(81.23) | 사멸            |
|      | 엽폭    | 12.88(6.82)  | 14.39(9.90)    | 32.37(16.19)   | 17.83(13.02)  |               |
|      | 엽장/엽폭 | 8.21(4.90)   | 10.80(7.02)    | 15.71(6.01)    | 9.50(6.38)    |               |

표 37. 신안압해10(50 Gy) 계통주의 온도 조건별 엽체 성장(단위 mm) / ( ) : 평균

|         |       | 5°C          | 10°C           | 15°C           | 20°C          | 25°C         |
|---------|-------|--------------|----------------|----------------|---------------|--------------|
| 0<br>주  | 엽장    | 0.18(0.03)   | 0.18(0.03)     | 0.18(0.03)     | 0.18(0.03)    | 0.18(0.03)   |
|         | 엽폭    | 0.06(0.01)   | 0.06(0.01)     | 0.06(0.01)     | 0.06(0.01)    | 0.06(0.01)   |
|         | 엽장/엽폭 | 3.00(1.63)   | 3.00(1.63)     | 3.00(1.63)     | 3.00(1.63)    | 3.00(1.63)   |
| 1<br>주  | 엽장    | 0.21(0.05)   | 0.11(0.06)     | 0.18(0.10)     | 1.95(0.17)    | 0.22(0.15)   |
|         | 엽폭    | 0.07(0.02)   | 0.29(0.02)     | 0.05(0.02)     | 0.18(0.04)    | 0.04(0.02)   |
|         | 엽장/엽폭 | 6.00(2.64)   | 7.00(3.23)     | 7.00(4.28)     | 7.00(4.43)    | 18.00(6.47)  |
| 2<br>주  | 엽장    | 0.41(0.09)   | 0.80(0.30)     | 2.92(0.91)     | 10.21(1.47)   | 1.14(0.55)   |
|         | 엽폭    | 0.12(0.03)   | 0.29(0.09)     | 0.73(0.31)     | 1.16(0.30)    | 0.11(0.06)   |
|         | 엽장/엽폭 | 5.00(3.51)   | 17.50(4.24)    | 4.67(3.00)     | 8.80(4.51)    | 15.20(9.11)  |
| 3<br>주  | 엽장    | 0.45(0.11)   | 4.53(1.61)     | 36.29(10.00)   | 59.09(9.20)   | 4.19(2.56)   |
|         | 엽폭    | 0.15(0.04)   | 1.52(0.54)     | 5.24(1.81)     | 9.45(2.07)    | 0.62(0.40)   |
|         | 엽장/엽폭 | 8.50(2.99)   | 4.35(3.01)     | 8.17(5.55)     | 21.34(5.13)   | 11.20(6.50)  |
| 4<br>주  | 엽장    | 0.48(0.18)   | 24.16(9.63)    | 96.81(30.73)   | 160.88(28.61) | 13.26(7.79)  |
|         | 엽폭    | 0.16(0.07)   | 5.12(1.86)     | 10.66(3.66)    | 24.06(5.09)   | 2.43(1.34)   |
|         | 엽장/엽폭 | 5.00(2.58)   | 9.46(5.58)     | 25.91(9.10)    | 10.44(5.68)   | 11.12(6.12)  |
| 5<br>주  | 엽장    | 0.82(0.35)   | 58.26(38.24)   | 237.77(73.00)  | 251.03(54.01) | 20.71(10.12) |
|         | 엽폭    | 0.18(0.12)   | 8.11(4.61)     | 19.88(7.41)    | 39.14(8.90)   | 8.29(3.91)   |
|         | 엽장/엽폭 | 8.00(3.23)   | 15.35(8.70)    | 15.00(10.02)   | 12.08(6.26)   | 4.86(2.79)   |
| 6<br>주  | 엽장    | 1.24(0.85)   | 113.48(75.21)  | 317.07(105.65) | 295.50(74.79) | 37.77(17.09) |
|         | 엽폭    | 0.55(0.35)   | 18.62(8.01)    | 27.40(9.44)    | 52.79(12.32)  | 10.25(5.80)  |
|         | 엽장/엽폭 | 3.72(2.55)   | 20.98(10.25)   | 27.11(12.34)   | 9.47(6.26)    | 10.53(3.21)  |
| 7<br>주  | 엽장    | 4.33(2.20)   | 151.83(100.55) | 373.30(90.89)  | 244.09(81.34) | 39.48(19.13) |
|         | 엽폭    | 1.21(0.86)   | 18.75(9.81)    | 31.50(10.26)   | 30.86(13.34)  | 14.56(7.56)  |
|         | 엽장/엽폭 | 6.03(2.69)   | 18.99(10.86)   | 19.10(9.30)    | 8.73(6.16)    | 9.12(2.78)   |
| 8<br>주  | 엽장    | 5.30(2.73)   | 177.57(114.95) | 267.74(117.13) | 114.58(81.17) | 43.74(19.85) |
|         | 엽폭    | 2.23(1.07)   | 18.73(12.10)   | 27.31(12.78)   | 28.75(14.63)  | 15.42(7.70)  |
|         | 엽장/엽폭 | 5.50(2.79)   | 16.11(9.68)    | 16.01(9.71)    | 9.58(5.84)    | 5.07(2.82)   |
| 9<br>주  | 엽장    | 16.02(9.45)  | 198.78(125.03) | 285.43(110.44) | 118.79(74.50) | 46.52(21.81) |
|         | 엽폭    | 4.07(2.66)   | 22.91(13.22)   | 26.62(12.33)   | 32.53(15.51)  | 19.01(9.01)  |
|         | 엽장/엽폭 | 6.17(3.63)   | 17.14(9.91)    | 16.32(9.14)    | 7.46(5.03)    | 8.76(2.69)   |
| 10<br>주 | 엽장    | 38.28(24.89) | 213.63(134.23) | 92.16(48.95)   | 145.80(85.06) | 49.05(23.11) |
|         | 엽폭    | 6.58(4.32)   | 24.63(14.89)   | 20.79(12.63)   | 29.64(17.13)  | 14.91(9.04)  |
|         | 엽장/엽폭 | 8.01(5.84)   | 14.33(9.21)    | 5.84(3.93)     | 8.34(5.14)    | 4.20(2.67)   |

표 38. 신안압해10(100 Gy) 계통주의 온도 조건별 엽체 성장(단위 mm) / ( ) : 평균

|      |       | 5°C           | 10°C          | 15°C          | 20°C          | 25°C         |
|------|-------|---------------|---------------|---------------|---------------|--------------|
| 0 주  | 엽장    | 0.02(0.01)    | 0.02(0.01)    | 0.02(0.01)    | 0.02(0.01)    | 0.02(0.01)   |
|      | 엽폭    | 0.01(0.01)    | 0.01(0.01)    | 0.01(0.01)    | 0.01(0.01)    | 0.01(0.01)   |
|      | 엽장/엽폭 | 2.00(1.40)    | 2.00(1.40)    | 2.00(1.40)    | 2.00(1.40)    | 2.00(1.40)   |
| 1 주  | 엽장    | 0.17(0.04)    | 0.14(0.10)    | 0.46(0.11)    | 0.62(0.15)    | 1.66(0.35)   |
|      | 엽폭    | 0.03(0.01)    | 0.35(0.04)    | 0.14(0.03)    | 0.20(0.03)    | 0.53(0.07)   |
|      | 엽장/엽폭 | 6.00(3.66)    | 5.00(2.61)    | 9.00(4.75)    | 12.00(6.40)   | 15.00(7.34)  |
| 2 주  | 엽장    | 0.19(0.08)    | 0.69(0.46)    | 4.86(1.71)    | 7.57(2.25)    | 3.95(1.60)   |
|      | 엽폭    | 0.05(0.03)    | 0.35(0.24)    | 1.24(0.51)    | 1.62(0.50)    | 1.26(0.24)   |
|      | 엽장/엽폭 | 4.00(2.82)    | 3.14(1.96)    | 5.17(3.27)    | 6.23(4.74)    | 18.00(10.37) |
| 3 주  | 엽장    | 1.38(0.26)    | 26.68(3.48)   | 47.58(14.11)  | 36.36(13.14)  | 15.35(5.53)  |
|      | 엽폭    | 0.35(0.11)    | 4.20(0.82)    | 5.65(2.16)    | 9.18(2.91)    | 5.33(1.02)   |
|      | 엽장/엽폭 | 3.94(2.29)    | 6.36(3.93)    | 20.52(6.83)   | 8.16(4.74)    | 11.42(7.25)  |
| 4 주  | 엽장    | 5.12(1.26)    | 99.50(16.55)  | 124.62(43.88) | 98.80(34.77)  | 36.70(12.05) |
|      | 엽폭    | 1.21(0.53)    | 9.00(1.96)    | 12.60(5.49)   | 22.60(6.46)   | 13.02(2.55)  |
|      | 엽장/엽폭 | 4.23(2.27)    | 17.42(9.02)   | 15.87(7.97)   | 10.14(5.77)   | 10.98(6.70)  |
| 5 주  | 엽장    | 16.07(4.18)   | 181.45(34.20) | 165.53(63.47) | 158.48(57.61) | 59.33(18.37) |
|      | 엽폭    | 2.69(1.61)    | 15.57(3.87)   | 14.65(7.58)   | 31.92(10.25)  | 21.25(5.09)  |
|      | 엽장/엽폭 | 5.97(2.52)    | 14.02(8.79)   | 15.46(8.36)   | 12.39(5.94)   | 7.11(4.09)   |
| 6 주  | 엽장    | 44.23(11.31)  | 168.97(44.39) | 186.27(75.45) | 173.95(64.26) | 67.08(21.89) |
|      | 엽폭    | 6.58(3.54)    | 8.37(4.72)    | 15.66(8.95)   | 31.40(11.32)  | 26.31(5.35)  |
|      | 엽장/엽폭 | 6.72(3.20)    | 23.71(9.56)   | 13.68(8.46)   | 17.76(6.45)   | 17.80(5.58)  |
| 7 주  | 엽장    | 101.22(28.77) | 109.71(60.76) | 167.02(82.65) | 사멸            | 75.09(22.28) |
|      | 엽폭    | 11.16(6.75)   | 27.77(9.04)   | 20.13(10.79)  |               | 31.89(5.33)  |
|      | 엽장/엽폭 | 9.07(4.25)    | 12.02(7.35)   | 17.87(7.90)   |               | 11.97(5.26)  |
| 8 주  | 엽장    | 160.55        | 111.99(80.70) | 176.64(84.16) | 사멸            | 75.62(20.54) |
|      | 엽폭    | 14.85(9.10)   | 31.72(12.09)  | 17.48(10.59)  |               | 29.57(5.43)  |
|      | 엽장/엽폭 | 11.50(5.63)   | 11.28(7.21)   | 14.26(8.18)   |               | 12.03(4.44)  |
| 9 주  | 엽장    | 196.87(67.59) | 122.37(85.72) | 사멸            | 사멸            | 83.57(19.76) |
|      | 엽폭    | 22.01(12.23)  | 30.52(14.25)  |               |               | 22.55(5.35)  |
|      | 엽장/엽폭 | 11.18(5.58)   | 8.18(6.38)    |               |               | 8.50(4.15)   |
| 10 주 | 엽장    | 216.95(84.53) | 100.00(77.28) | 사멸            | 사멸            | 60.75(19.64) |
|      | 엽폭    | 23.75(15.44)  | 22.29(15.82)  |               |               | 14.93(4.30)  |
|      | 엽장/엽폭 | 11.23(5.57)   | 7.38(5.13)    |               |               | 13.51(5.58)  |

표 39. 신안압해10(300 Gy) 계통주의 온도 조건별 엽체 생장(단위 mm) / ( ) : 평균

|         |       | 5°C            | 10°C           | 15°C           | 20°C           | 25°C          |
|---------|-------|----------------|----------------|----------------|----------------|---------------|
| 0<br>주  | 엽장    | 0.02(0.01)     | 0.02(0.01)     | 0.02(0.01)     | 0.02(0.01)     | 0.02(0.01)    |
|         | 엽폭    | 0.01(0.01)     | 0.01(0.01)     | 0.01(0.01)     | 0.01(0.01)     | 0.01(0.01)    |
|         | 엽장/엽폭 | 2.00(1.30)     | 2.00(1.30)     | 2.00(1.30)     | 2.00(1.30)     | 2.00(1.30)    |
| 1<br>주  | 엽장    | 0.58(0.10)     | 0.59(0.12)     | 0.30(0.18)     | 1.17(0.29)     | 0.35(0.26)    |
|         | 엽폭    | 0.16(0.03)     | 0.60(0.03)     | 0.08(0.05)     | 0.26(0.05)     | 0.05(0.03)    |
|         | 엽장/엽폭 | 8.00(3.47)     | 6.50(4.19)     | 5.00(3.58)     | 15.00(7.32)    | 15.50(8.15)   |
| 2<br>주  | 엽장    | 0.85(0.12)     | 3.16(0.47)     | 14.40(3.06)    | 19.21(3.01)    | 5.10(1.85)    |
|         | 엽폭    | 0.21(0.03)     | 0.60(0.15)     | 3.42(0.75)     | 5.06(0.63)     | 0.79(0.19)    |
|         | 엽장/엽폭 | 8.00(4.20)     | 5.27(2.89)     | 5.50(3.84)     | 7.36(5.24)     | 17.67(11.03)  |
| 3<br>주  | 엽장    | 0.25(0.17)     | 19.71(5.38)    | 19.09(12.58)   | 128.76(16.44)  | 13.20(6.41)   |
|         | 엽폭    | 0.09(0.07)     | 2.90(1.17)     | 4.20(2.19)     | 21.24(2.77)    | 3.68(0.82)    |
|         | 엽장/엽폭 | 4.20(2.48)     | 12.00(4.04)    | 13.60(6.28)    | 17.48(6.32)    | 16.56(9.31)   |
| 4<br>주  | 엽장    | 2.75(0.67)     | 93.11(27.29)   | 79.22(51.77)   | 270.39(38.38)  | 30.69(15.14)  |
|         | 엽폭    | 0.99(0.27)     | 8.16(3.27)     | 11.16(5.57)    | 38.56(5.92)    | 7.01(2.10)    |
|         | 엽장/엽폭 | 4.53(2.51)     | 15.94(7.96)    | 20.90(10.38)   | 14.37(6.83)    | 21.59(8.32)   |
| 5<br>주  | 엽장    | 8.07(2.29)     | 259.32(75.56)  | 138.17(87.83)  | 360.69(56.72)  | 77.19(33.16)  |
|         | 엽폭    | 2.41(0.75)     | 14.29(6.65)    | 15.11(7.79)    | 54.00(9.27)    | 14.52(5.16)   |
|         | 엽장/엽폭 | 3.86(3.03)     | 21.41(10.56)   | 20.67(11.98)   | 11.04(6.24)    | 14.96(7.08)   |
| 6<br>주  | 엽장    | 20.97(5.12)    | 325.11(93.07)  | 167.35(106.79) | 230.07(71.21)  | 113.36(46.61) |
|         | 엽폭    | 5.81(1.48)     | 25.00(7.91)    | 18.26(8.71)    | 63.19(12.30)   | 19.86(7.23)   |
|         | 엽장/엽폭 | 7.80(3.30)     | 17.87(11.93)   | 20.85(12.94)   | 10.48(6.61)    | 20.35(7.61)   |
| 7<br>주  | 엽장    | 73.58(17.92)   | 241.38(160.02) | 243.50(143.59) | 461.98(69.96)  | 106.81(42.12) |
|         | 엽폭    | 14.32(3.14)    | 27.24(13.70)   | 22.92(12.39)   | 66.74(11.44)   | 17.33(6.62)   |
|         | 엽장/엽폭 | 9.13(5.57)     | 24.80(13.08)   | 20.26(11.95)   | 13.84(6.14)    | 14.00(7.25)   |
| 8<br>주  | 엽장    | 170.88(49.71)  | 91.77(71.33)   | 287.54(161.22) | 568.87(568.87) | 70.53(36.45)  |
|         | 엽폭    | 24.81(5.88)    | 27.08(12.33)   | 28.87(14.08)   | 83.41(83.41)   | 14.47(4.57)   |
|         | 엽장/엽폭 | 16.63(8.44)    | 9.20(6.77)     | 20.42(11.85)   | 6.82(6.82)     | 30.64(11.78)  |
| 9<br>주  | 엽장    | 305.01(93.34)  | 77.99(53.03)   | 321.18(151.03) | 331.65(331.65) | 73.26(28.74)  |
|         | 엽폭    | 28.21(7.87)    | 26.86(13.82)   | 33.93(15.32)   | 66.32(66.32)   | 8.70(4.42)    |
|         | 엽장/엽폭 | 20.87(12.14)   | 6.74(4.51)     | 20.97(10.35)   | 5.00(5.00)     | 19.12(7.20)   |
| 10<br>주 | 엽장    | 410.08(149.33) | 48.95(33.29)   | 317.78(146.39) | 사멸             | 63.61(26.48)  |
|         | 엽폭    | 46.83(12.06)   | 27.51(15.19)   | 31.02(15.63)   |                | 8.16(4.51)    |
|         | 엽장/엽폭 | 27.57(13.39)   | 3.93(2.42)     | 12.77(9.66)    |                | 26.51(6.93)   |

표 40. 신안압해10(500 Gy) 계통주의 온도 조건별 업체 성장(단위 mm) / ( ) : 평균

|      |       | 5°C          | 10°C           | 15°C           | 20°C          | 25°C         |
|------|-------|--------------|----------------|----------------|---------------|--------------|
| 0 주  | 엽장    | 0.06(0.03)   | 0.06(0.03)     | 0.06(0.03)     | 0.06(0.03)    | 0.06(0.03)   |
|      | 엽폭    | 0.02(0.01)   | 0.02(0.01)     | 0.02(0.01)     | 0.02(0.01)    | 0.02(0.01)   |
|      | 엽장/엽폭 | 6.00(2.10)   | 6.00(2.10)     | 6.00(2.10)     | 6.00(2.10)    | 6.00(2.10)   |
| 1 주  | 엽장    | 0.16(0.05)   | 0.12(0.07)     | 1.06(0.29)     | 1.29(0.36)    | 0.39(0.22)   |
|      | 엽폭    | 0.03(0.02)   | 0.20(0.02)     | 0.32(0.09)     | 0.37(0.08)    | 0.06(0.03)   |
|      | 엽장/엽폭 | 8.00(2.94)   | 7.00(2.98)     | 6.63(3.41)     | 11.50(5.64)   | 15.50(7.12)  |
| 2 주  | 엽장    | 0.49(0.08)   | 0.55(0.30)     | 14.40(3.15)    | 12.35(4.18)   | 1.31(0.90)   |
|      | 엽폭    | 0.25(0.03)   | 0.20(0.10)     | 3.42(0.76)     | 3.43(1.05)    | 0.23(0.10)   |
|      | 엽장/엽폭 | 8.00(2.88)   | 6.86(3.15)     | 6.77(4.11)     | 7.84(4.33)    | 26.25(9.93)  |
| 3 주  | 엽장    | 0.52(0.07)   | 3.58(2.22)     | 102.46(29.36)  | 49.50(17.39)  | 8.50(3.87)   |
|      | 엽폭    | 0.20(0.04)   | 1.07(0.74)     | 12.77(3.44)    | 10.22(3.13)   | 0.76(0.44)   |
|      | 엽장/엽폭 | 3.67(1.68)   | 4.38(3.07)     | 23.70(9.33)    | 15.00(7.01)   | 16.67(9.18)  |
| 4 주  | 엽장    | 1.35(.16)    | 18.06(10.71)   | 191.48(54.39)  | 106.48(37.89) | 12.65(8.76)  |
|      | 엽폭    | 0.56(0.06)   | 3.44(1.87)     | 21.80(5.74)    | 22.88(7.40)   | 2.44(0.92)   |
|      | 엽장/엽폭 | 5.16(2.54)   | 15.81(6.37)    | 23.39(11.17)   | 9.68(5.98)    | 23.29(11.11) |
| 5 주  | 엽장    | 3.02(0.32)   | 82.34(49.88)   | 259.46(67.14)  | 153.85(55.11) | 31.60(20.37) |
|      | 엽폭    | 1.17(0.14)   | 7.89(4.74)     | 32.52(6.65)    | 32.83(9.91)   | 5.76(2.65)   |
|      | 엽장/엽폭 | 5.50(2.30)   | 15.10(10.92)   | 23.01(11.62)   | 9.81(6.22)    | 33.59(9.38)  |
| 6 주  | 엽장    | 5.02(0.56)   | 112.25(66.91)  | 236.50(76.73)  | 122.39(60.91) | 40.53(24.58) |
|      | 엽폭    | 2.06(0.25)   | 10.93(6.52)    | 34.20(8.20)    | 34.31(11.57)  | 7.09(3.82)   |
|      | 엽장/엽폭 | 5.50(2.25)   | 17.65(10.70)   | 21.78(10.44)   | 10.82(6.33)   | 15.10(7.27)  |
| 7 주  | 엽장    | 8.46(1.23)   | 151.30(93.85)  | 361.18(105.16) | 사멸            | 54.26(30.81) |
|      | 엽폭    | 4.22(0.50)   | 13.34(8.52)    | 41.88(10.87)   |               | 7.84(4.26)   |
|      | 엽장/엽폭 | 8.23(2.51)   | 19.79(11.41)   | 19.61(10.26)   |               | 20.33(8.41)  |
| 8 주  | 엽장    | 22.38(4.42)  | 196.49(118.20) | 325.61(103.58) | 사멸            | 60.74(31.86) |
|      | 엽폭    | 10.93(1.78)  | 18.08(11.56)   | 43.48(13.51)   |               | 9.00(4.67)   |
|      | 엽장/엽폭 | 3.67(2.74)   | 14.88(10.43)   | 15.60(8.64)    |               | 27.79(8.64)  |
| 9 주  | 엽장    | 48.14(9.43)  | 201.00(126.24) | 351.80(92.28)  | 사멸            | 72.01(38.49) |
|      | 엽폭    | 16.82(3.13)  | 22.64(14.07)   | 51.35(16.87)   |               | 10.23(5.07)  |
|      | 엽장/엽폭 | 6.77(3.66)   | 11.89(9.12)    | 11.31(6.09)    |               | 22.33(8.78)  |
| 10 주 | 엽장    | 81.13(18.66) | 174.68(117.50) | 384.64(65.03)  | 사멸            | 69.63(33.01) |
|      | 엽폭    | 26.89(3.98)  | 28.03(14.19)   | 56.75(17.14)   |               | 6.24(3.27)   |
|      | 엽장/엽폭 | 12.01(5.92)  | 12.12(8.61)    | 8.50(3.46)     |               | 24.79(11.82) |

표 41. 신안압해10(0 Gy) 계통주의 온도 조건별 엽체 형태

|     | 5°C | 10°C | 15°C | 20°C | 25°C |
|-----|-----|------|------|------|------|
| 0주  |     |      |      |      |      |
| 1주  |     |      |      |      |      |
| 2주  |     |      |      |      |      |
| 3주  |     |      |      |      |      |
| 4주  |     |      |      |      |      |
| 5주  |     |      |      |      |      |
| 6주  |     |      |      |      |      |
| 7주  |     |      |      |      |      |
| 8주  |     |      |      |      |      |
| 9주  |     |      |      |      | 사멸   |
| 10주 |     |      |      |      | 사멸   |

표 42. 신안압해10(50 Gy) 계통주의 온도 조건별 엽체 형태

|     | 5°C | 10°C | 15°C | 20°C | 25°C |
|-----|-----|------|------|------|------|
| 0주  |     |      |      |      |      |
| 1주  |     |      |      |      |      |
| 2주  |     |      |      |      |      |
| 3주  |     |      |      |      |      |
| 4주  |     |      |      |      |      |
| 5주  |     |      |      |      |      |
| 6주  |     |      |      |      |      |
| 7주  |     |      |      |      |      |
| 8주  |     |      |      |      |      |
| 9주  |     |      |      |      |      |
| 10주 |     |      |      |      |      |

표 43. 신안압해10(100 Gy) 계통주의 온도 조건별 엽체 형태

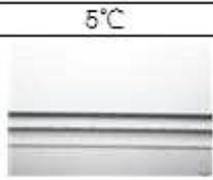
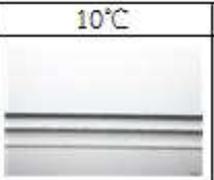
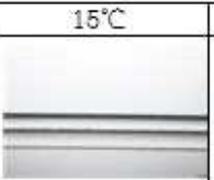
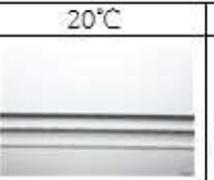
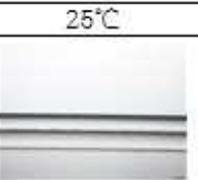
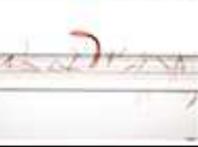
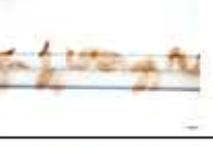
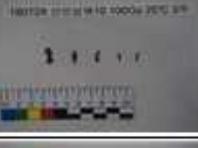
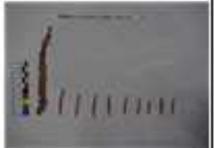
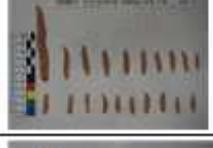
|     | 5°C                                                                                 | 10°C                                                                                | 15°C                                                                                | 20°C                                                                                 | 25°C                                                                                  |
|-----|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| 0주  |    |    |    |    |    |
| 1주  |    |    |    |    |    |
| 2주  |    |    |    |    |    |
| 3주  |    |    |    |    |    |
| 4주  |   |   |   |   |   |
| 5주  |  |  |  |  |  |
| 6주  |  |  |  |  |  |
| 7주  |  |  |  | 사멸                                                                                   |  |
| 8주  |  |  |  | 사멸                                                                                   |  |
| 9주  |  |  | 사멸                                                                                  | 사멸                                                                                   |  |
| 10주 |  |  | 사멸                                                                                  | 사멸                                                                                   |  |

표 44. 신안압해10(300 Gy) 계통주의 온도 조건별 엽체 형태

|     | 5°C | 10°C | 15°C | 20°C | 25°C |
|-----|-----|------|------|------|------|
| 0주  |     |      |      |      |      |
| 1주  |     |      |      |      |      |
| 2주  |     |      |      |      |      |
| 3주  |     |      |      |      |      |
| 4주  |     |      |      |      |      |
| 5주  |     |      |      |      |      |
| 6주  |     |      |      |      |      |
| 7주  |     |      |      |      |      |
| 8주  |     |      |      |      |      |
| 9주  |     |      |      |      |      |
| 10주 |     |      |      | 사멸   |      |

표 45. 신안압해10(500 Gy) 계통주의 온도 조건별 엽체 형태

|     | 5°C | 10°C | 15°C | 20°C | 25°C |
|-----|-----|------|------|------|------|
| 0주  |     |      |      |      |      |
| 1주  |     |      |      |      |      |
| 2주  |     |      |      |      |      |
| 3주  |     |      |      |      |      |
| 4주  |     |      |      |      |      |
| 5주  |     |      |      |      |      |
| 6주  |     |      |      |      |      |
| 7주  |     |      |      | 사멸   |      |
| 8주  |     |      |      | 사멸   |      |
| 9주  |     |      |      | 사멸   |      |
| 10주 |     |      |      | 사멸   |      |

(5) 매화도2

매화도2 계통주를 대상으로 감마선 조사를 실시한 후 5개의 온도구간별 실내형질특성을 조사한 결과, 300Gy의 20℃ 실험구에서 다른 엽체와 비교해서 확연히 생장이 빠른 엽체 2개를 선발하였다. 선발된 엽체는 최종 10주차에 엽장 725.0 mm, 엽폭 85.08 mm 및 654.0 mm, 엽폭 95.0 mm로 나타났으며, 대조구에 대비하여 길이 약 6배, 엽면적 약 23배로 나타났음. 본 엽체는 해조류 유전자원은행 및 기탁등록보존기관에 등록하기 위하여 순계사상체를 확보하고 있으며, 차후 신품종 개발 및 육종 소재로 활용할 예정이다. 본 계통주의 엽체생장은 대조구(0Gy)에서 20℃ > 15℃ > 10℃ > 25℃ > 5℃ 순으로 양호하게 나타났으며 그 외 모든 감마선별 실험구에서도 20℃에서 가장 생장이 양호하였음. 본 계통주는 성장적수온인 10~20℃에서 모든 조건의 생장이 빠른 것으로 나타났다(그림 23~27, 표 45~55).

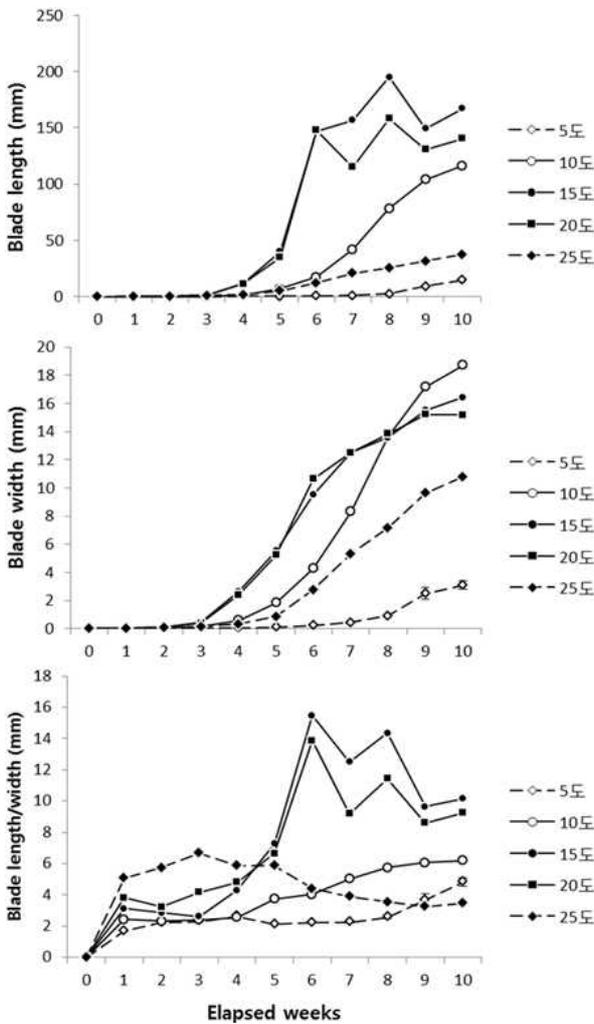


그림 23. 매화도2(0 Gy) 계통주의 온도 조건별 성장도.

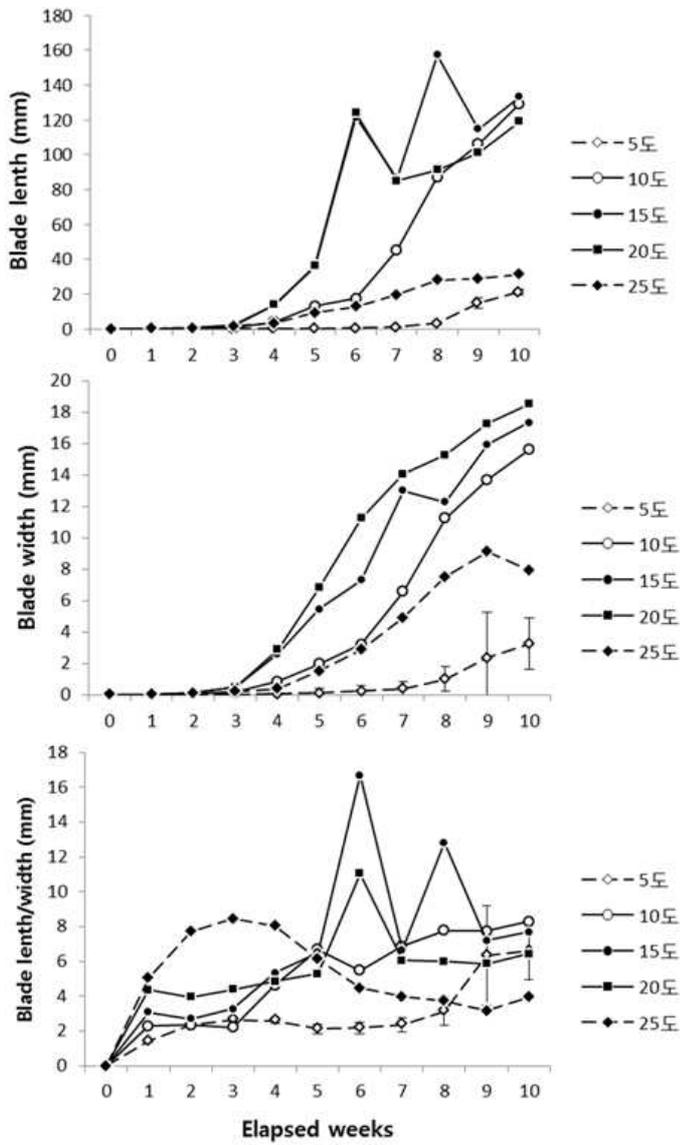


그림 24. 매화도2(50 Gy) 계통주의 온도 조건별 성장도.

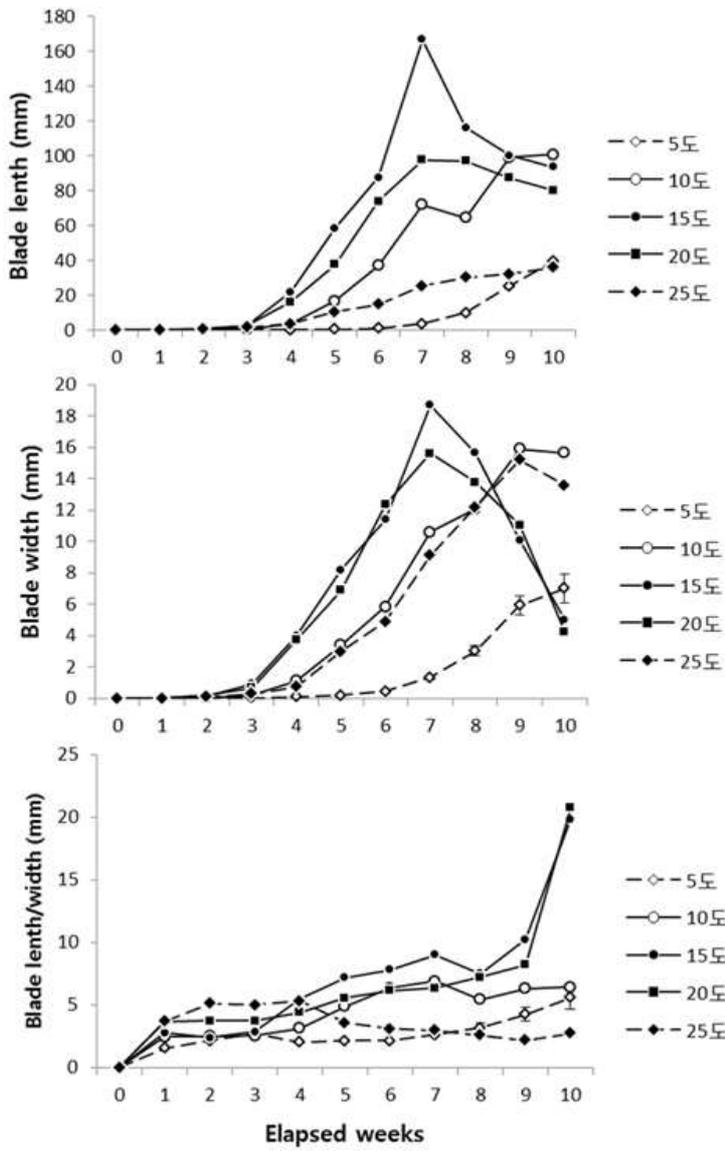


그림 25. 매화도2(100 Gy) 계통주의 온도 조건별 성장도.

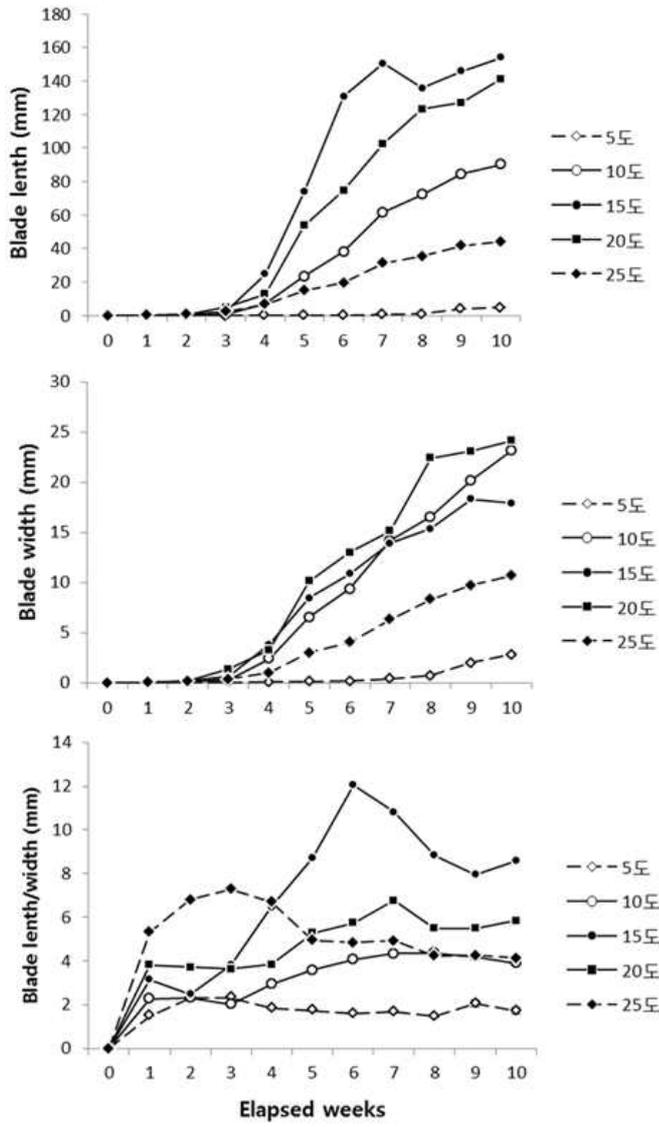


그림 26. 매화도2(300 Gy) 계통주의 온도 조건별 성장도.

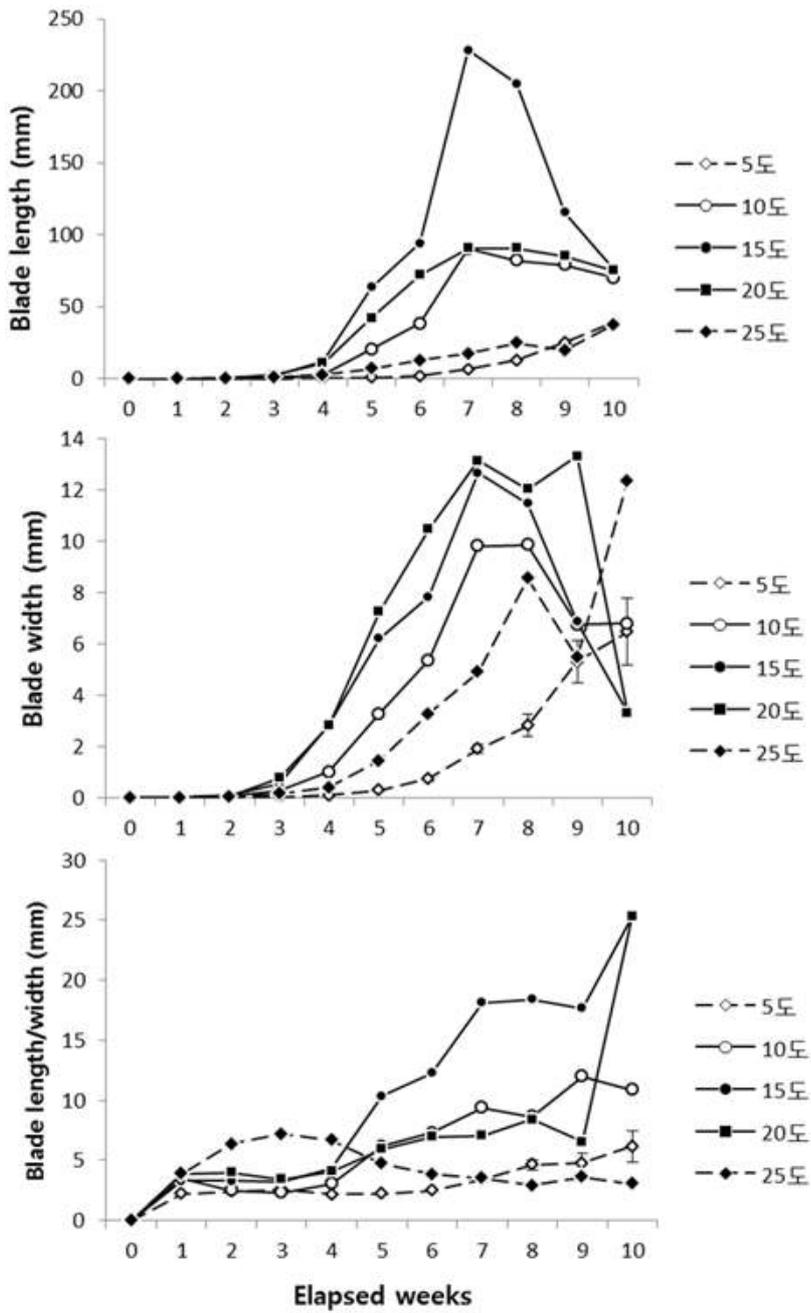


그림 27. 매화도2(500 Gy) 계통주의 온도 조건별 성장도.

표 46. 매화도2(0 Gy) 계통주의 온도 조건별 엽체 성장(단위 mm) / ( ) : 평균

|     |       | 5°C         | 10°C         | 15°C         | 20°C         | 25°C        |
|-----|-------|-------------|--------------|--------------|--------------|-------------|
| 0주  | 엽장    | 0.01(0.00)  | 0.01(0.00)   | 0.01(0.00)   | 0.01(0.00)   | 0.01(0.00)  |
|     | 엽폭    | 0.01(0.00)  | 0.01(0.00)   | 0.01(0.00)   | 0.01(0.00)   | 0.01(0.00)  |
|     | 엽장/엽폭 | 0.00(0.00)  | 0.00(0.00)   | 0.00(0.00)   | 0.00(0.00)   | 0.00(0.00)  |
| 1주  | 엽장    | 0.02(0.00)  | 0.04(0.00)   | 0.08(0.00)   | 0.12(0.00)   | 0.12(0.00)  |
|     | 엽폭    | 0.01(0.00)  | 0.02(0.00)   | 0.03(0.00)   | 0.03(0.00)   | 0.02(0.00)  |
|     | 엽장/엽폭 | 1.68(0.07)  | 2.42(0.10)   | 3.14(0.11)   | 3.81(0.15)   | 5.07(0.23)  |
| 2주  | 엽장    | 0.04(0.00)  | 0.10(0.00)   | 0.27(0.00)   | 0.33(0.01)   | 0.36(0.01)  |
|     | 엽폭    | 0.02(0.00)  | 0.05(0.00)   | 0.09(0.00)   | 0.10(0.00)   | 0.06(0.00)  |
|     | 엽장/엽폭 | 2.23(0.10)  | 2.31(0.07)   | 2.86(0.13)   | 3.22(0.12)   | 5.75(0.22)  |
| 3주  | 엽장    | 0.07(0.00)  | 0.36(0.01)   | 1.26(0.04)   | 1.56(0.06)   | 0.98(0.06)  |
|     | 엽폭    | 0.03(0.00)  | 0.15(0.00)   | 0.48(0.01)   | 0.37(0.03)   | 0.15(0.01)  |
|     | 엽장/엽폭 | 2.28(0.11)  | 2.40(0.10)   | 2.62(0.10)   | 4.17(0.12)   | 6.67(0.59)  |
| 4주  | 엽장    | 0.14(0.01)  | 1.49(0.07)   | 11.28(0.23)  | 11.57(0.26)  | 1.86(0.14)  |
|     | 엽폭    | 0.05(0.00)  | 0.58(0.02)   | 2.63(0.08)   | 2.41(0.07)   | 0.32(0.02)  |
|     | 엽장/엽폭 | 2.61(0.13)  | 2.56(0.07)   | 4.30(0.12)   | 4.80(0.14)   | 5.8(0.35)   |
| 5주  | 엽장    | 0.26(0.01)  | 6.87(0.16)   | 39.98(0.69)  | 34.74(0.68)  | 4.99(0.42)  |
|     | 엽폭    | 0.12(0.00)  | 1.84(0.05)   | 5.51(0.17)   | 5.21(0.11)   | 0.85(0.05)  |
|     | 엽장/엽폭 | 2.12(0.11)  | 3.73(0.14)   | 7.26(0.18)   | 6.67(0.16)   | 5.89(0.40)  |
| 6주  | 엽장    | 0.52(0.02)  | 17.2(0.32)   | 147.09(1.90) | 147.66(2.02) | 12.11(0.75) |
|     | 엽폭    | 0.23(0.01)  | 4.28(0.09)   | 9.50(0.32)   | 10.64(0.23)  | 2.75(0.12)  |
|     | 엽장/엽폭 | 2.21(0.08)  | 4.03(0.08)   | 15.49(0.40)  | 13.88(0.33)  | 4.40(0.26)  |
| 7주  | 엽장    | 1.00(0.04)  | 41.73(0.78)  | 156.53(7.41) | 115.14(2.79) | 20.63(0.90) |
|     | 엽폭    | 0.45(0.02)  | 8.32(0.18)   | 12.52(0.40)  | 12.52(0.39)  | 5.31(0.22)  |
|     | 엽장/엽폭 | 2.23(0.06)  | 5.01(0.11)   | 12.50(0.61)  | 9.20(1.83)   | 3.89(0.17)  |
| 8주  | 엽장    | 2.36(0.09)  | 78.31(1.37)  | 195.06(3.93) | 158.24(8.65) | 25.50(1.61) |
|     | 엽폭    | 0.93(0.03)  | 13.62(0.29)  | 13.59(0.36)  | 13.83(1.01)  | 7.16(1.56)  |
|     | 엽장/엽폭 | 2.56(0.10)  | 5.75(0.37)   | 14.36(0.39)  | 11.44(0.38)  | 3.56(0.63)  |
| 9주  | 엽장    | 9.18(0.41)  | 103.94(2.40) | 149.38(3.26) | 130.64(3.67) | 31.33(2.07) |
|     | 엽폭    | 2.50(0.07)  | 17.17(0.41)  | 15.49(0.42)  | 15.19(2.34)  | 9.62(0.57)  |
|     | 엽장/엽폭 | 3.67(0.12)  | 6.05(0.15)   | 9.64(0.32)   | 8.60(0.31)   | 3.26(0.22)  |
| 10주 | 엽장    | 14.89(0.28) | 116.09(3.58) | 167.11(4.19) | 140.25(6.29) | 37.30(2.45) |
|     | 엽폭    | 3.09(0.05)  | 18.71(0.14)  | 16.44(0.36)  | 15.16(3.24)  | 9.62(0.39)  |
|     | 엽장/엽폭 | 4.82(0.16)  | 6.20(0.20)   | 10.17(0.34)  | 9.25(0.46)   | 3.46(0.21)  |

표 47. 매화도2(50 Gy) 계통주의 온도 조건별 엽체 성장(단위 mm) / ( ) : 평균

|     |       | 5°C         | 10°C         | 15°C         | 20°C         | 25°C        |
|-----|-------|-------------|--------------|--------------|--------------|-------------|
| 0주  | 엽장    | 0.01(0.00)  | 0.01(0.00)   | 0.01(0.00)   | 0.01(0.00)   | 0.01(0.00)  |
|     | 엽폭    | 0.01(0.00)  | 0.01(0.00)   | 0.01(0.00)   | 0.01(0.00)   | 0.01(0.00)  |
|     | 엽장/엽폭 | 0.00(0.00)  | 0.00(0.00)   | 0.00(0.00)   | 0.00(0.00)   | 0.00(0.00)  |
| 1주  | 엽장    | 0.02(0.07)  | 0.05(0.10)   | 0.10(0.14)   | 0.14(0.14)   | 0.13(0.18)  |
|     | 엽폭    | 0.02(0.05)  | 0.02(0.07)   | 0.03(0.09)   | 0.03(0.09)   | 0.03(0.06)  |
|     | 엽장/엽폭 | 1.42(1.49)  | 2.30(1.46)   | 3.08(1.58)   | 4.35(1.57)   | 5.03(2.80)  |
| 2주  | 엽장    | 0.04(0.09)  | 0.14(0.25)   | 0.29(0.23)   | 0.45(0.26)   | 0.58(0.34)  |
|     | 엽폭    | 0.02(0.06)  | 0.06(0.16)   | 0.11(0.15)   | 0.11(0.17)   | 0.08(0.15)  |
|     | 엽장/엽폭 | 2.33(1.53)  | 2.34(1.58)   | 2.69(1.53)   | 3.94(1.51)   | 7.72(2.34)  |
| 3주  | 엽장    | 0.07(0.09)  | 0.46(0.28)   | 1.58(0.47)   | 2.17(0.55)   | 1.66(0.71)  |
|     | 엽폭    | 0.03(0.08)  | 0.21(0.18)   | 0.49(0.31)   | 0.49(0.32)   | 0.20(0.25)  |
|     | 엽장/엽폭 | 2.63(1.12)  | 2.20(1.58)   | 3.26(1.49)   | 4.38(1.70)   | 8.44(2.81)  |
| 4주  | 엽장    | 0.17(0.17)  | 3.96(0.90)   | 13.93(1.50)  | 13.92(1.45)  | 3.21(1.05)  |
|     | 엽폭    | 0.07(0.12)  | 0.86(0.40)   | 2.61(0.59)   | 2.87(0.78)   | 0.40(0.34)  |
|     | 엽장/엽폭 | 2.59(1.47)  | 4.62(2.27)   | 5.34(2.53)   | 4.85(1.85)   | 8.05(3.09)  |
| 5주  | 엽장    | 0.23(0.27)  | 13.17(1.89)  | 35.50(2.51)  | 36.13(2.65)  | 9.24(1.97)  |
|     | 엽폭    | 0.11(0.18)  | 1.96(0.71)   | 5.45(0.95)   | 6.82(1.14)   | 1.51(0.66)  |
|     | 엽장/엽폭 | 2.12(1.52)  | 6.68(2.68)   | 6.52(2.65)   | 5.29(2.32)   | 6.14(2.98)  |
| 6주  | 엽장    | 0.49(0.34)  | 17.51(2.07)  | 121.52(3.18) | 124.16(3.46) | 12.76(1.88) |
|     | 엽폭    | 0.23(0.23)  | 3.19(0.92)   | 7.29(1.13)   | 11.24(1.36)  | 2.86(0.79)  |
|     | 엽장/엽폭 | 2.17(1.51)  | 5.48(2.25)   | 16.68(2.82)  | 11.05(2.54)  | 4.46(2.38)  |
| 7주  | 엽장    | 0.91(0.42)  | 45.11(3.02)  | 86.33(3.74)  | 84.95(3.88)  | 19.53(2.61) |
|     | 엽폭    | 0.39(0.27)  | 6.58(1.37)   | 12.99(3.91)  | 14.05(1.58)  | 4.90(0.12)  |
|     | 엽장/엽폭 | 2.36(1.53)  | 6.86(2.20)   | 6.65(0.96)   | 6.05(2.45)   | 3.99(2.33)  |
| 8주  | 엽장    | 3.16(0.81)  | 87.23(3.84)  | 157.36(4.49) | 91.35(4.24)  | 28.06(3.44) |
|     | 엽폭    | 1.01(0.41)  | 11.25(1.59)  | 12.28(1.51)  | 15.27(1.60)  | 7.50(1.47)  |
|     | 엽장/엽폭 | 3.13(1.95)  | 7.75(2.42)   | 12.81(2.97)  | 12.81(2.65)  | 3.74(2.33)  |
| 9주  | 엽장    | 14.85(2.89) | 105.92(4.44) | 114.71(4.91) | 101.20(4.26) | 28.83(3.58) |
|     | 엽폭    | 2.34(0.66)  | 13.68(1.57)  | 15.93(1.48)  | 17.26(1.54)  | 9.11(1.76)  |
|     | 엽장/엽폭 | 6.33(4.40)  | 7.74(2.83)   | 7.20(3.31)   | 7.20(2.76)   | 3.17(2.03)  |
| 10주 | 엽장    | 21.36(1.64) | 129.11(5.13) | 133.31(5.36) | 119.15(4.82) | 31.28(3.68) |
|     | 엽폭    | 3.24(0.78)  | 15.59(1.34)  | 17.34(1.65)  | 18.52(1.75)  | 7.94(2.03)  |
|     | 엽장/엽폭 | 6.59(2.10)  | 8.28(3.82)   | 7.69(3.25)   | 7.69(2.75)   | 3.94(1.82)  |

표 48. 매화도2(100 Gy) 계통주의 온도 조건별 엽체 성장(단위 mm) / ( ) : 평균

|     |       | 5℃          | 10℃          | 15℃          | 20℃         | 25℃         |
|-----|-------|-------------|--------------|--------------|-------------|-------------|
| 0주  | 엽장    | 0.01(0.00)  | 0.01(0.00)   | 0.01(0.00)   | 0.01(0.00)  | 0.01(0.00)  |
|     | 엽폭    | 0.01(0.00)  | 0.01(0.00)   | 0.01(0.00)   | 0.01(0.00)  | 0.01(0.00)  |
|     | 엽장/엽폭 | 0.00(0.00)  | 0.00(0.00)   | 0.00(0.00)   | 0.00(0.00)  | 0.00(0.00)  |
| 1주  | 엽장    | 0.02(0.00)  | 0.04(0.00)   | 0.06(0.00)   | 0.09(0.00)  | 0.08(0.00)  |
|     | 엽폭    | 0.01(0.00)  | 0.02(0.00)   | 0.02(0.00)   | 0.02(0.00)  | 0.02(0.00)  |
|     | 엽장/엽폭 | 1.55(0.08)  | 2.47(0.13)   | 2.78(0.11)   | 3.66(0.14)  | 3.71(0.16)  |
| 2주  | 엽장    | 0.05(0.00)  | 0.13(0.00)   | 0.40(0.02)   | 0.63(0.03)  | 0.48(0.03)  |
|     | 엽폭    | 0.02(0.00)  | 0.06(0.00)   | 0.17(0.01)   | 0.19(0.01)  | 0.10(0.00)  |
|     | 엽장/엽폭 | 2.17(0.07)  | 2.51(0.17)   | 2.40(0.12)   | 3.74(0.38)  | 5.15(0.34)  |
| 3주  | 엽장    | 0.08(0.00)  | 0.54(0.03)   | 2.67(0.09)   | 2.53(0.07)  | 1.45(0.08)  |
|     | 엽폭    | 0.03(0.00)  | 0.23(0.01)   | 0.94(0.03)   | 0.69(0.02)  | 0.30(0.01)  |
|     | 엽장/엽폭 | 2.70(0.02)  | 2.57(0.18)   | 2.86(0.08)   | 3.75(0.13)  | 5.02(0.26)  |
| 4주  | 엽장    | 0.21(0.01)  | 3.52(0.15)   | 21.80(0.93)  | 16.24(0.35) | 3.70(0.23)  |
|     | 엽폭    | 0.11(0.00)  | 1.14(0.04)   | 3.99(0.14)   | 3.73(0.10)  | 0.73(0.03)  |
|     | 엽장/엽폭 | 2.04(0.08)  | 3.15(0.13)   | 5.48(0.18)   | 4.42(0.13)  | 5.34(0.46)  |
| 5주  | 엽장    | 0.44(0.02)  | 16.69(0.35)  | 58.24(1.86)  | 37.59(0.74) | 10.37(0.38) |
|     | 엽폭    | 0.21(0.01)  | 3.42(0.08)   | 8.20(0.26)   | 6.88(0.19)  | 2.98(0.10)  |
|     | 엽장/엽폭 | 2.17(0.14)  | 4.88(0.10)   | 7.21(0.23)   | 5.55(0.15)  | 3.58(0.17)  |
| 6주  | 엽장    | 0.99(0.04)  | 36.88(0.89)  | 87.47(2.23)  | 73.72(1.44) | 14.70(0.66) |
|     | 엽폭    | 0.47(0.02)  | 5.86(0.12)   | 11.41(0.37)  | 12.35(0.38) | 4.91(0.16)  |
|     | 엽장/엽폭 | 2.18(0.12)  | 6.38(0.18)   | 7.82(0.25)   | 6.16(0.18)  | 3.10(0.20)  |
| 7주  | 엽장    | 3.49(0.12)  | 71.69(1.40)  | 166.43(9.32) | 97.52(1.64) | 25.23(1.16) |
|     | 엽폭    | 1.36(0.05)  | 10.62(0.29)  | 18.69(0.68)  | 15.61(0.43) | 9.13(0.45)  |
|     | 엽장/엽폭 | 2.62(0.09)  | 6.90(0.23)   | 9.04(0.50)   | 6.37(0.18)  | 3.00(0.23)  |
| 8주  | 엽장    | 9.74(0.35)  | 64.21(1.43)  | 115.96(3.89) | 96.97(1.51) | 30.10(1.17) |
|     | 엽폭    | 3.04(0.08)  | 12.05(0.37)  | 15.65(0.53)  | 13.77(0.41) | 12.20(0.48) |
|     | 엽장/엽폭 | 3.20(0.17)  | 5.45(0.18)   | 7.52(0.24)   | 7.22(0.23)  | 2.59(0.16)  |
| 9주  | 엽장    | 25.17(0.58) | 98.77(1.90)  | 100.16(4.13) | 87.28(1.28) | 32.10(1.17) |
|     | 엽폭    | 5.93(0.13)  | 15.91(0.46)  | 10.11(0.40)  | 11.04(0.43) | 15.20(0.48) |
|     | 엽장/엽폭 | 4.27(0.10)  | 6.33(0.19)   | 10.26(0.51)  | 8.22(0.31)  | 2.18(0.12)  |
| 10주 | 엽장    | 39.19(0.93) | 100.47(3.01) | 93.51(3.48)  | 79.99(1.97) | 35.72(1.77) |
|     | 엽폭    | 7.01(0.14)  | 15.65(0.41)  | 5.02(0.27)   | 4.25(0.24)  | 13.60(0.58) |
|     | 엽장/엽폭 | 5.62(0.15)  | 6.46(0.19)   | 19.83(1.12)  | 20.75(1.40) | 2.75(0.18)  |

표 49. 매화도2(300 Gy) 계통주의 온도 조건별 엽체 성장(단위 mm) / ( ) : 평균

|     |       | 5°C        | 10°C        | 15°C         | 20°C          | 25°C        |
|-----|-------|------------|-------------|--------------|---------------|-------------|
| 0주  | 엽장    | 0.01(0.00) | 0.01(0.00)  | 0.01(0.00)   | 0.01(0.00)    | 0.01(0.00)  |
|     | 엽폭    | 0.01(0.00) | 0.01(0.00)  | 0.01(0.00)   | 0.01(0.00)    | 0.01(0.00)  |
|     | 엽장/엽폭 | 0.00(0.00) | 0.00(0.00)  | 0.00(0.00)   | 0.00(0.00)    | 0.00(0.00)  |
| 1주  | 엽장    | 0.02(0.00) | 0.04(0.00)  | 0.08(0.00)   | 0.11(0.00)    | 0.13(0.01)  |
|     | 엽폭    | 0.02(0.00) | 0.02(0.00)  | 0.03(0.00)   | 0.03(0.00)    | 0.03(0.00)  |
|     | 엽장/엽폭 | 1.50(0.08) | 2.29(0.11)  | 3.17(0.13)   | 3.82(0.18)    | 5.33(0.23)  |
| 2주  | 엽장    | 0.05(0.00) | 0.16(0.01)  | 0.41(0.02)   | 0.71(0.05)    | 0.77(0.04)  |
|     | 엽폭    | 0.02(0.00) | 0.07(0.00)  | 0.17(0.01)   | 0.19(0.01)    | 0.11(0.01)  |
|     | 엽장/엽폭 | 2.31(0.10) | 2.33(0.13)  | 2.50(0.20)   | 3.72(0.22)    | 6.81(0.58)  |
| 3주  | 엽장    | 0.08(0.00) | 0.67(0.02)  | 2.48(0.09)   | 4.96(0.19)    | 2.54(0.15)  |
|     | 엽폭    | 0.04(0.00) | 0.33(0.01)  | 0.65(0.02)   | 1.36(0.04)    | 0.35(0.02)  |
|     | 엽장/엽폭 | 2.34(0.12) | 2.04(0.08)  | 3.83(0.11)   | 3.65(0.18)    | 7.29(0.57)  |
| 4주  | 엽장    | 0.17(0.01) | 7.08(0.30)  | 24.72(0.88)  | 12.64(2.19)   | 6.65(0.41)  |
|     | 엽폭    | 0.09(0.00) | 2.39(0.08)  | 3.81(0.15)   | 3.28(0.46)    | 0.99(0.07)  |
|     | 엽장/엽폭 | 1.85(0.07) | 2.96(0.13)  | 6.48(0.25)   | 3.86(0.15)    | 6.71(0.61)  |
| 5주  | 엽장    | 0.24(0.01) | 23.40(0.93) | 73.78(2.45)  | 53.73(10.89)  | 14.85(1.38) |
|     | 엽폭    | 0.14(0.00) | 6.52(0.19)  | 8.44(0.23)   | 10.14(1.18)   | 2.99(0.27)  |
|     | 엽장/엽폭 | 1.75(0.07) | 3.59(0.14)  | 8.74(0.26)   | 5.30(0.26)    | 4.97(0.41)  |
| 6주  | 엽장    | 0.30(0.01) | 38.11(1.61) | 130.74(8.05) | 74.57(14.82)  | 19.56(2.14) |
|     | 엽폭    | 0.19(0.01) | 9.36(0.23)  | 10.84(0.26)  | 12.97(1.57)   | 4.03(0.35)  |
|     | 엽장/엽폭 | 1.59(0.07) | 4.07(0.15)  | 12.06(0.71)  | 5.75(0.24)    | 4.85(0.26)  |
| 7주  | 엽장    | 0.64(0.02) | 61.61(2.69) | 150.55(8.69) | 102.52(24.20) | 31.28(3.46) |
|     | 엽폭    | 0.38(0.02) | 14.18(0.33) | 13.92(0.46)  | 15.14(2.40)   | 6.33(0.61)  |
|     | 엽장/엽폭 | 1.69(0.07) | 4.34(0.15)  | 10.82(0.67)  | 6.77(0.31)    | 4.94(0.34)  |
| 8주  | 엽장    | 1.05(0.03) | 72.32(2.85) | 135.65(4.53) | 123.08(24.71) | 35.40(4.43) |
|     | 엽폭    | 0.72(0.02) | 16.52(0.35) | 15.34(0.50)  | 22.40(2.96)   | 8.32(0.83)  |
|     | 엽장/엽폭 | 1.47(0.07) | 4.34(0.15)  | 8.84(0.37)   | 5.49(0.27)    | 4.26(0.32)  |
| 9주  | 엽장    | 4.13(0.15) | 84.60(3.74) | 145.77(4.57) | 127.01(24.72) | 41.57(5.06) |
|     | 엽폭    | 2.01(0.06) | 20.16(0.48) | 18.31(0.58)  | 23.09(2.63)   | 9.74(0.97)  |
|     | 엽장/엽폭 | 2.05(0.08) | 4.20(0.20)  | 7.96(0.27)   | 5.50(0.37)    | 4.27(0.24)  |
| 10주 | 엽장    | 4.86(0.15) | 90.32(3.89) | 153.71(5.03) | 141.34(28.37) | 44.19(4.71) |
|     | 엽폭    | 2.81(0.06) | 23.14(0.65) | 17.90(0.49)  | 24.11(3.38)   | 10.66(1.23) |
|     | 엽장/엽폭 | 1.73(0.05) | 3.90(0.12)  | 8.60(0.36)   | 5.86(0.38)    | 4.14(0.58)  |

표 50. 매화도2(500 Gy) 계통주의 온도 조건별 엽체 성장(단위 mm) / ( ): 평균

|     |       | 5°C         | 10°C        | 15°C         | 20°C        | 25°C        |
|-----|-------|-------------|-------------|--------------|-------------|-------------|
| 0주  | 엽장    | 0.01(0.00)  | 0.01(0.00)  | 0.01(0.00)   | 0.01(0.00)  | 0.01(0.00)  |
|     | 엽폭    | 0.01(0.00)  | 0.01(0.00)  | 0.01(0.00)   | 0.01(0.00)  | 0.01(0.00)  |
|     | 엽장/엽폭 | 0.00(0.00)  | 0.00(0.00)  | 0.00(0.00)   | 0.00(0.00)  | 0.00(0.00)  |
| 1주  | 엽장    | 0.03(0.00)  | 0.04(0.00)  | 0.05(0.00)   | 0.06(0.00)  | 0.06(0.00)  |
|     | 엽폭    | 0.01(0.00)  | 0.01(0.00)  | 0.02(0.00)   | 0.02(0.00)  | 0.02(0.00)  |
|     | 엽장/엽폭 | 2.22(0.17)  | 3.52(0.16)  | 3.32(0.20)   | 3.85(0.21)  | 3.89(0.24)  |
| 2주  | 엽장    | 0.05(0.00)  | 0.13(0.01)  | 0.31(0.01)   | 0.30(0.01)  | 0.39(0.01)  |
|     | 엽폭    | 0.02(0.00)  | 0.06(0.00)  | 0.10(0.01)   | 0.08(0.00)  | 0.06(0.00)  |
|     | 엽장/엽폭 | 2.40(0.11)  | 2.52(0.11)  | 3.28(0.18)   | 4.01(0.21)  | 6.34(0.26)  |
| 3주  | 엽장    | 0.08(0.00)  | 0.65(0.03)  | 1.74(0.05)   | 2.55(0.08)  | 1.18(0.03)  |
|     | 엽폭    | 0.04(0.00)  | 0.28(0.01)  | 0.55(0.02)   | 0.78(0.04)  | 0.16(0.01)  |
|     | 엽장/엽폭 | 2.62(0.22)  | 2.33(0.07)  | 3.25(0.09)   | 3.46(0.13)  | 7.19(0.45)  |
| 4주  | 엽장    | 0.21(0.01)  | 3.13(0.15)  | 12.06(0.41)  | 10.98(0.31) | 2.75(0.15)  |
|     | 엽폭    | 0.10(0.00)  | 1.02(0.04)  | 2.86(0.11)   | 2.82(0.09)  | 0.41(0.02)  |
|     | 엽장/엽폭 | 2.19(0.12)  | 3.04(0.06)  | 4.32(0.15)   | 4.09(0.29)  | 6.71(0.30)  |
| 5주  | 엽장    | 0.65(0.03)  | 20.54(0.55) | 63.41(1.93)  | 42.23(1.64) | 6.90(0.26)  |
|     | 엽폭    | 0.29(0.01)  | 3.27(0.13)  | 6.20(0.20)   | 7.24(0.32)  | 1.45(0.09)  |
|     | 엽장/엽폭 | 2.21(0.08)  | 6.20(0.26)  | 10.38(0.32)  | 5.96(0.24)  | 4.76(0.29)  |
| 6주  | 엽장    | 1.89(0.08)  | 38.14(1.14) | 94.18(4.21)  | 72.08(3.28) | 12.60(0.46) |
|     | 엽폭    | 0.75(0.03)  | 5.36(0.18)  | 7.83(0.22)   | 10.46(0.44) | 3.27(0.17)  |
|     | 엽장/엽폭 | 2.52(0.07)  | 7.28(0.26)  | 12.26(0.57)  | 6.95(0.30)  | 3.85(0.19)  |
| 7주  | 엽장    | 6.45(0.17)  | 90.21(2.01) | 223.32(5.19) | 90.51(4.93) | 17.25(0.57) |
|     | 엽폭    | 1.91(0.05)  | 9.80(0.26)  | 12.65(0.39)  | 13.13(0.58) | 4.90(0.20)  |
|     | 엽장/엽폭 | 3.40(0.08)  | 9.39(0.31)  | 18.11(0.57)  | 7.09(0.32)  | 3.52(0.20)  |
| 8주  | 엽장    | 12.88(0.42) | 82.18(2.40) | 204.89(3.91) | 90.51(3.88) | 24.88(0.98) |
|     | 엽폭    | 2.83(0.09)  | 9.84(0.42)  | 11.45(0.43)  | 12.02(0.86) | 8.55(0.33)  |
|     | 엽장/엽폭 | 4.64(0.16)  | 8.64(0.33)  | 18.42(0.55)  | 8.42(0.56)  | 2.91(0.18)  |
| 9주  | 엽장    | 25.12(0.82) | 78.92(1.66) | 115.29(3.32) | 85.40(3.84) | 19.91(1.28) |
|     | 엽폭    | 5.31(0.14)  | 6.74(0.22)  | 6.86(0.30)   | 13.30(0.61) | 5.48(0.44)  |
|     | 엽장/엽폭 | 4.78(0.016) | 12.01(0.40) | 17.66(0.89)  | 6.55(0.28)  | 3.64(0.27)  |
| 10주 | 엽장    | 39.06(1.29) | 70.27(1.97) | 75.60(2.99)  | 75.14(3.76) | 37.62(2.11) |
|     | 엽폭    | 6.47(0.20)  | 6.79(0.27)  | 3.32(0.19)   | 3.29(0.23)  | 12.35(0.67) |
|     | 엽장/엽폭 | 6.16(0.23)  | 10.86(0.53) | 25.31(2.05)  | 25.31(1.92) | 3.05(0.18)  |

표 51. 매화도2(0 Gy) 계통주의 온도 조건별 엽체 형태

|     | 5°C | 10°C | 15°C | 20°C | 25°C |
|-----|-----|------|------|------|------|
| 0주  |     |      |      |      |      |
| 1주  |     |      |      |      |      |
| 2주  |     |      |      |      |      |
| 3주  |     |      |      |      |      |
| 4주  |     |      |      |      |      |
| 5주  |     |      |      |      |      |
| 6주  |     |      |      |      |      |
| 7주  |     |      |      |      |      |
| 8주  |     |      |      |      |      |
| 9주  |     |      |      |      |      |
| 10주 |     |      |      |      |      |

표 52. 매화도2(50 Gy) 계통주의 온도 조건별 엽체 형태

|     | 5°C | 10°C | 15°C | 20°C | 25°C |
|-----|-----|------|------|------|------|
| 0주  |     |      |      |      |      |
| 1주  |     |      |      |      |      |
| 2주  |     |      |      |      |      |
| 3주  |     |      |      |      |      |
| 4주  |     |      |      |      |      |
| 5주  |     |      |      |      |      |
| 6주  |     |      |      |      |      |
| 7주  |     |      |      |      |      |
| 8주  |     |      |      |      |      |
| 9주  |     |      |      |      |      |
| 10주 |     |      |      |      |      |

표 53. 매화도2(100 Gy) 계통주의 온도 조건별 엽체 형태

|     | 5°C | 10°C | 15°C | 20°C | 25°C |
|-----|-----|------|------|------|------|
| 0주  |     |      |      |      |      |
| 1주  |     |      |      |      |      |
| 2주  |     |      |      |      |      |
| 3주  |     |      |      |      |      |
| 4주  |     |      |      |      |      |
| 5주  |     |      |      |      |      |
| 6주  |     |      |      |      |      |
| 7주  |     |      |      |      |      |
| 8주  |     |      |      |      |      |
| 9주  |     |      |      |      |      |
| 10주 |     |      |      |      |      |

표 54. 매화도2(300 Gy) 계통주의 온도 조건별 엽체 형태

|     | 5°C | 10°C | 15°C | 20°C | 25°C |
|-----|-----|------|------|------|------|
| 0주  |     |      |      |      |      |
| 1주  |     |      |      |      |      |
| 2주  |     |      |      |      |      |
| 3주  |     |      |      |      |      |
| 4주  |     |      |      |      |      |
| 5주  |     |      |      |      |      |
| 6주  |     |      |      |      |      |
| 7주  |     |      |      |      |      |
| 8주  |     |      |      |      |      |
| 9주  |     |      |      |      |      |
| 10주 |     |      |      |      |      |

표 55. 매화도2(500 Gy) 계통주의 온도 조건별 엽체 형태

|     | 5°C | 10°C | 15°C | 20°C | 25°C |
|-----|-----|------|------|------|------|
| 0주  |     |      |      |      |      |
| 1주  |     |      |      |      |      |
| 2주  |     |      |      |      |      |
| 3주  |     |      |      |      |      |
| 4주  |     |      |      |      |      |
| 5주  |     |      |      |      |      |
| 6주  |     |      |      |      |      |
| 7주  |     |      |      |      |      |
| 8주  |     |      |      |      |      |
| 9주  |     |      |      |      |      |
| 10주 |     |      |      |      |      |

(6) 진도회동9

진도회동9 계통주의 실내형질특성을 조사한 결과, 최종 10주차에 평균엽장 기준 생장이 가장 크게 나타낸 구간은 100Gy, 10 °C 조건이며, 평균엽장 171.59mm, 평균엽폭 22.72 mm, 평균 엽장/엽폭 7.58로 나타났다. 측정된 모든 개체 중, 가장 생장이 좋은 엽체는 100Gy, 10 °C 조건에서 엽장 268.86mm, 엽폭 29.7mm, 엽장/엽폭 11.77로 나타났고, 해조류유전자원은행에 보존하기 위해 순계사상체를 확보하고 있다. 엽체의 생장은 대조구(0Gy)에서 15 °C > 10 °C > 5 °C > 20 °C > 25 °C 순으로 나타나 15°C가 가장 양호한 성장조건으로 확인되었으며, 10~15 °C 사이의 온도구간 별 큰 성장차이는 확인되지 않았다. 500Gy를 제외한 모든 감마선 조사 구간의 25°C에서 길이생장을 하지 못하는 생장 이상이 발생하여 측정이 불가능 하였으며, 1차로 진행한 매화도2의 결과와는 다르게 5~15°C에서 생장이 양호한 것으로 확인되었다(그림 28~32, 표 56~65). 본 계통주는 방사무늬김의 성장적수온인 10~20 °C 중, 15 °C 조건에서 생장이 양호한 것으로 나타나, 양식 초기보다는 수온이 낮게 유지되는 양식 중후반에 생장이 좋을 것으로 예상된다.

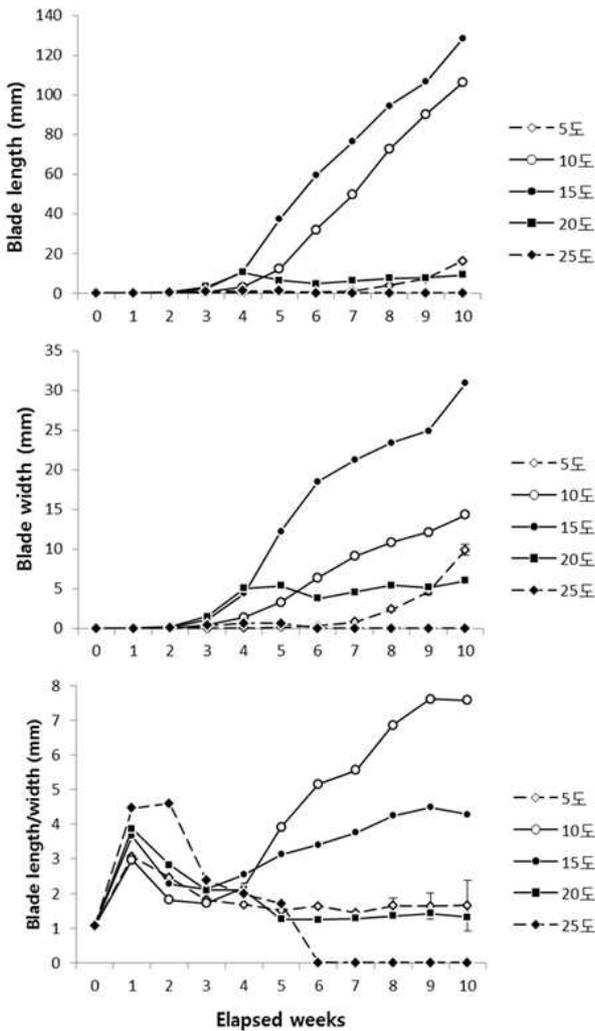


그림 28. 진도회동9(0 Gy) 계통주의 온도 조건별 성장도.

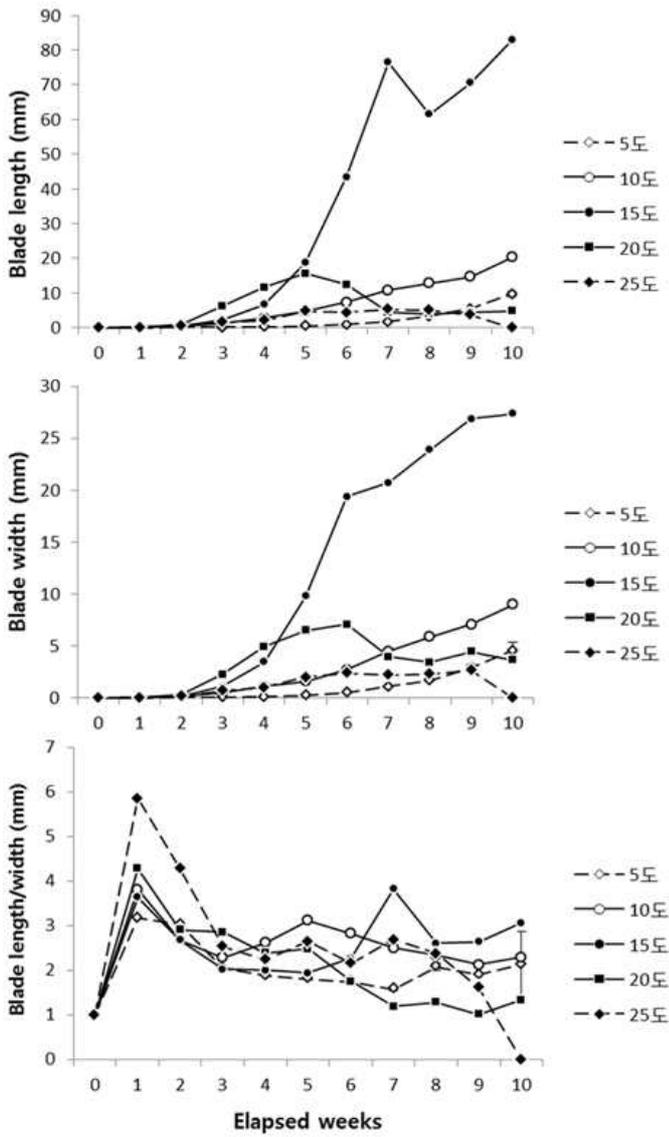


그림 29. 진도회동9(50 Gy) 계통주의 온도 조건별 성장도.

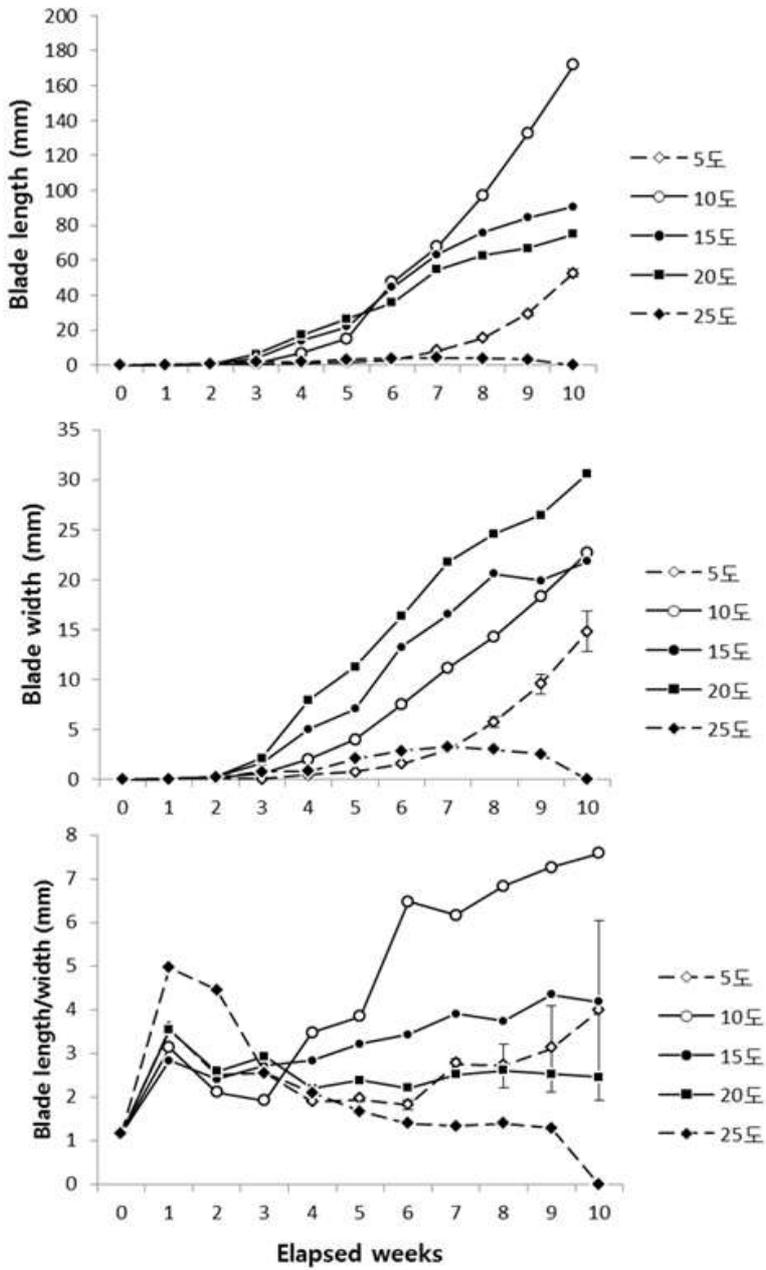


그림 30. 진도회동9(100 Gy) 계통주의 온도 조건별 성장도.

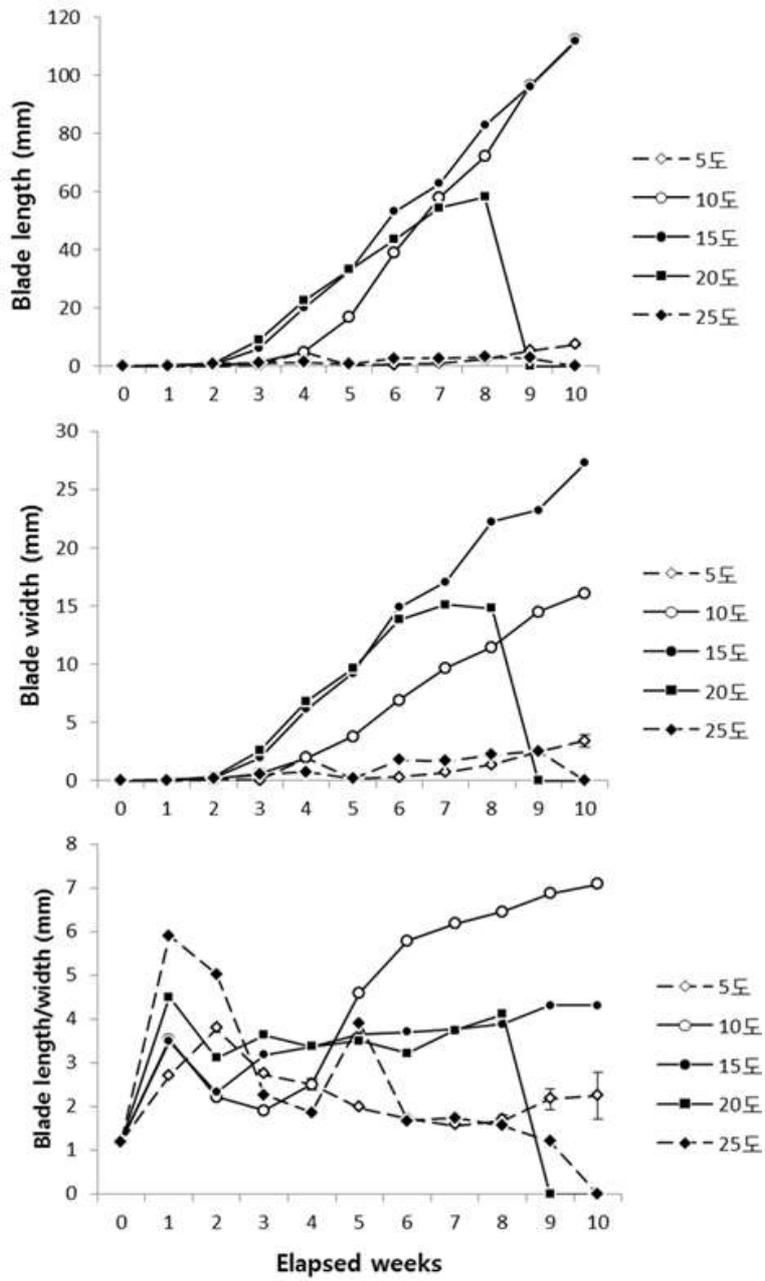


그림 31. 진도회동9(300 Gy) 계통주의 온도 조건별 성장도.

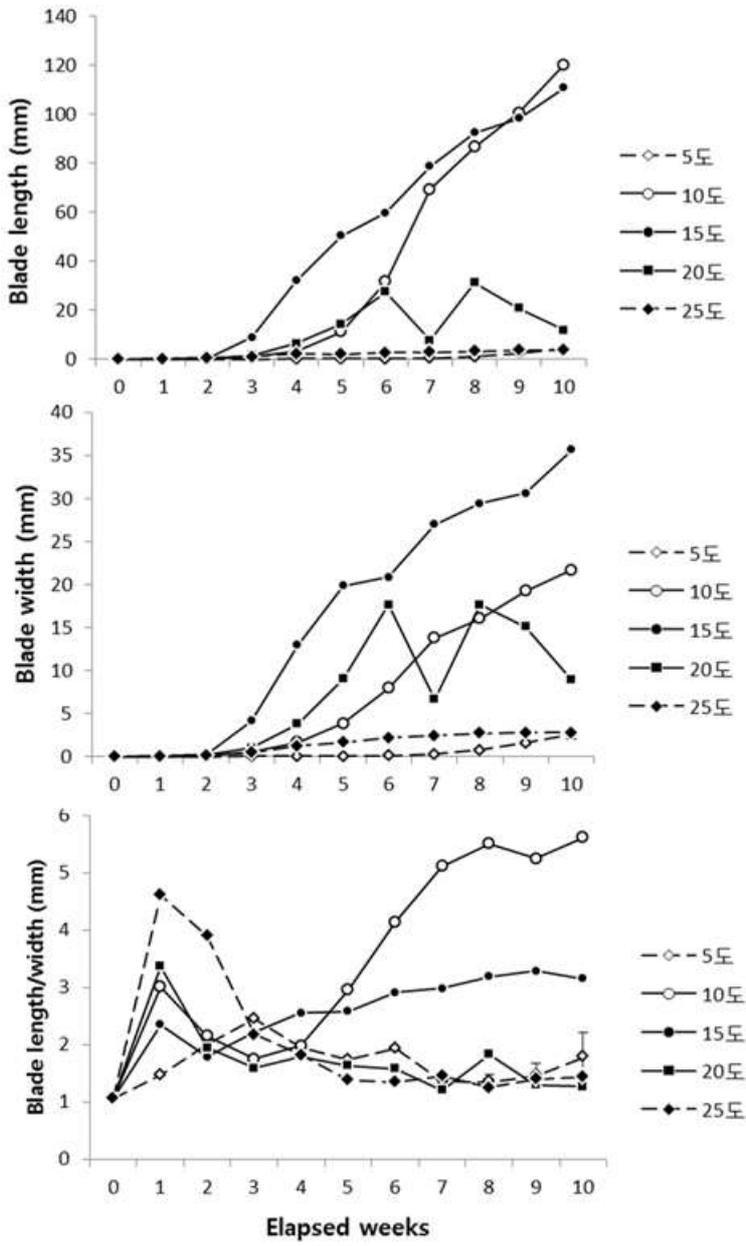


그림 32. 진도회동9(500 Gy) 계통주의 온도 조건별 성장도.

표 56. 진도회동9(0 Gy) 계통주의 온도 조건별 엽체 성장(단위 mm) / ( ) : 평균

|      |       | 5°C          | 10°C           | 15°C           | 20°C         | 25°C       |
|------|-------|--------------|----------------|----------------|--------------|------------|
| 0 주  | 엽장    | 0.02(0.01)   | 0.02(0.01)     | 0.02(0.01)     | 0.02(0.01)   | 0.02(0.01) |
|      | 엽폭    | 0.01(0.01)   | 0.01(0.01)     | 0.01(0.01)     | 0.01(0.01)   | 0.01(0.01) |
|      | 엽장/엽폭 | 2.00(1.07)   | 2.00(1.07)     | 2.00(1.07)     | 2.00(1.07)   | 2.00(1.07) |
| 1 주  | 엽장    | 0.04(0.03)   | 0.06(0.050)    | 0.10(0.07)     | 0.17(0.13)   | 0.13(0.09) |
|      | 엽폭    | 0.01(0.01)   | 0.13(0.02)     | 0.04(0.02)     | 0.05(0.04)   | 0.03(0.02) |
|      | 엽장/엽폭 | 4.00(3.07)   | 6.00(2.97)     | 7.00(3.67)     | 5.00(3.87)   | 6.50(4.47) |
| 2 주  | 엽장    | 0.06(0.04)   | 0.25(0.18)     | 0.58(0.40)     | 1.03(0.77)   | 0.54(0.38) |
|      | 엽폭    | 0.03(0.02)   | 0.13(0.10)     | 0.23(0.18)     | 0.39(0.28)   | 0.16(0.09) |
|      | 엽장/엽폭 | 4.00(2.46)   | 2.86(1.81)     | 4.70(2.28)     | 5.93(2.83)   | 8.20(4.60) |
| 3 주  | 엽장    | 0.10(0.07)   | 1.14(0.83)     | 3.23(2.31)     | 5.73(3.24)   | 1.66(0.97) |
|      | 엽폭    | 0.05(0.04)   | 0.65(0.49)     | 1.55(1.11)     | 2.44(1.54)   | 0.57(0.42) |
|      | 엽장/엽폭 | 4.00(1.82)   | 2.25(1.71)     | 2.93(2.11)     | 2.79(2.10)   | 4.63(2.38) |
| 4 주  | 엽장    | 0.19(0.15)   | 4.86(3.06)     | 24.49(10.93)   | 16.57(10.59) | 1.86(1.21) |
|      | 엽폭    | 0.12(0.09)   | 1.88(1.42)     | 12.70(4.44)    | 8.41(5.09)   | 1.12(0.65) |
|      | 엽장/엽폭 | 2.50(1.68)   | 3.16(2.16)     | 3.31(2.55)     | 3.50(2.11)   | 3.63(1.98) |
| 5 주  | 엽장    | 0.32(0.24)   | 15.86(12.28)   | 71.43(37.26)   | 20.16(6.46)  | 2.86(1.07) |
|      | 엽폭    | 0.21(0.16)   | 5.03(3.31)     | 23.54(12.23)   | 11.34(5.40)  | 1.42(0.69) |
|      | 엽장/엽폭 | 2.25(1.51)   | 6.28(3.91)     | 5.63(3.13)     | 2.50(1.25)   | 3.69(1.70) |
| 6 주  | 엽장    | 0.83(1.15)   | 41.94(31.92)   | 114.43(59.41)  | 36.56(4.84)  | 측정불가       |
|      | 엽폭    | 0.51(0.34)   | 9.21(6.40)     | 40.03(18.54)   | 20.59(3.77)  |            |
|      | 엽장/엽폭 | 2.65(1.63)   | 8.07(5.15)     | 5.73(3.40)     | 2.36(1.25)   |            |
| 7 주  | 엽장    | 1.48(1.15)   | 66.69(49.59)   | 135.74(76.43)  | 60.75(6.21)  | 측정불가       |
|      | 엽폭    | 1.13(0.81)   | 13.00(9.10)    | 39.94(21.22)   | 33.99(4.57)  |            |
|      | 엽장/엽폭 | 2.28(1.44)   | 7.31(5.56)     | 5.27(3.76)     | 2.23(1.28)   |            |
| 8 주  | 엽장    | 9.02(3.87)   | 97.64(72.62)   | 156.46(94.46)  | 78.69(7.55)  | 측정불가       |
|      | 엽폭    | 3.63(2.44)   | 16.56(10.87)   | 47.04(23.40)   | 51.31(5.44)  |            |
|      | 엽장/엽폭 | 2.60(1.65)   | 9.37(6.85)     | 6.79(4.25)     | 2.48(1.36)   |            |
| 9 주  | 엽장    | 16.56(7.42)  | 125.95(90.23)  | 182.08(106.62) | 93.99(7.76)  | 측정불가       |
|      | 엽폭    | 7.87(4.64)   | 16.07(12.16)   | 53.64(24.92)   | 53.41(5.16)  |            |
|      | 엽장/엽폭 | 2.67(1.64)   | 11.78(7.60)    | 6.67(4.49)     | 3.25(1.42)   |            |
| 10 주 | 엽장    | 31.41(16.29) | 150.13(106.18) | 220.10(128.17) | 130.58(9.27) | 측정불가       |
|      | 엽폭    | 14.60(9.93)  | 18.31(14.32)   | 56.66(30.91)   | 66.15(6.04)  |            |
|      | 엽장/엽폭 | 2.27(1.65)   | 10.44(7.57)    | 6.39(4.28)     | 3.21(1.32)   |            |

표 57. 진도회동9(50 Gy) 계통주의 온도 조건별 엽체 성장(단위 mm) / ( ) : 평균

|      |       | 5°C         | 10°C         | 15°C          | 20°C         | 25°C        |
|------|-------|-------------|--------------|---------------|--------------|-------------|
| 0 주  | 엽장    | 0.01(0.01)  | 0.01(0.01)   | 0.01(0.01)    | 0.01(0.01)   | 0.00(0.00)  |
|      | 엽폭    | 0.01(0.010) | 0.01(0.01)   | 0.01(0.01)    | 0.01(0.01)   | 0.01((0.01) |
|      | 엽장/엽폭 | 1.00(1.00)  | 1.00(1.000)  | 1.00(1.00)    | 1.00(1.00)   | 1.00(1.00)  |
| 1 주  | 엽장    | 0.04(0.03)  | 0.11(0.080)  | 0.17(0.13)    | 0.21(0.16)   | 0.3(0.2)    |
|      | 엽폭    | 0.02(0.010) | 0.23(0.02)   | 0.05(0.04)    | 0.06(0.04)   | 0.05(0.03)  |
|      | 엽장/엽폭 | 4.00(3.170) | 7.00(3.81)   | 5.50(3.640)   | 7.50(4.28)   | 8.50(5.85)  |
| 2 주  | 엽장    | 0.08(0.06)  | 0.61(0.46)   | 0.61(0.46)    | 1.22(0.87)   | 1.1(0.7)    |
|      | 엽폭    | 0.03(0.020) | 0.23(0.17)   | 0.23(0.17)    | 0.54(0.31)   | 0.25(0.17)  |
|      | 엽장/엽폭 | 7.00(3.030) | 3.62(2.68)   | 3.62(2.68)    | 4.16(2.91)   | 8.69(4.29)  |
| 3 주  | 엽장    | 0.17(0.14)  | 1.59(1.16)   | 3.09(2.19)    | 8.75(6.19)   | 2.4(1.6)    |
|      | 엽폭    | 0.09(0.07)  | 0.70(0.52)   | 1.69(1.09)    | 3.57(2.28)   | 1.15(0.68)  |
|      | 엽장/엽폭 | 2.50(2.05)  | 3.21(2.29)   | 2.37(2.020)   | 4.79(2.86)   | 4.49(2.53)  |
| 4 주  | 엽장    | 0.37(0.27)  | 3.88(2.84)   | 11.59(6.72)   | 18.80(11.58) | 5.1(2.1)    |
|      | 엽폭    | 0.20(0.15)  | 1.51(1.09)   | 6.53(3.49)    | 8.94(4.96)   | 2.85(1.00)  |
|      | 엽장/엽폭 | 2.31(1.88)  | 3.40(2.62)   | 3.04(2.00)    | 3.81(2.39)   | 3.91(2.24)  |
| 5 주  | 엽장    | 0.61(0.49)  | 8.79(4.67)   | 31.22(18.65)  | 27.82(15.58) | 8.6(4.8)    |
|      | 엽폭    | 0.36(0.27)  | 2.34(1.58)   | 14.71(9.79)   | 11.99(6.49)  | 3.95(2.00)  |
|      | 엽장/엽폭 | 2.78(1.80)  | 6.52(3.12)   | 3.29(1.94)    | 4.36(2.48)   | 5.76(2.65)  |
| 6 주  | 엽장    | 1.20(0.93)  | 18.17(7.33)  | 67.20(43.45)  | 29.85(12.46) | 7.7(4.4)    |
|      | 엽폭    | 0.70(0.54)  | 5.80(2.69)   | 32.93(19.39)  | 11.25(7.07)  | 5.65(2.38)  |
|      | 엽장/엽폭 | 2.41(1.74)  | 4.22(2.83)   | 4.51(2.28)    | 3.45(1.75)   | 5.76(2.16)  |
| 7 주  | 엽장    | 1.97(1.70)  | 25.97(10.81) | 133.22(76.40) | 9.61(4.41)   | 9.8(5.3)    |
|      | 엽폭    | 1.31(1.09)  | 8.10(4.48)   | 37.53(20.72)  | 7.34(3.96)   | 5.02(2.21)  |
|      | 엽장/엽폭 | 1.84(1.58)  | 4.00(2.51)   | 5.71(3.82)    | 2.29(1.19)   | 6.12(2.69)  |
| 8 주  | 엽장    | 4.35(3.34)  | 22.00(12.83) | 111.96(61.45) | 12.13(4.01)  | 8.7(5.0)    |
|      | 엽폭    | 2.55(1.67)  | 10.88(5.88)  | 35.15(23.88)  | 8.24(3.42)   | 4.90(2.33)  |
|      | 엽장/엽폭 | 3.38(2.08)  | 4.20(2.34)   | 5.23(2.61)    | 2.31(1.29)   | 4.43(2.38)  |
| 9 주  | 엽장    | 8.28(5.41)  | 26.79(14.75) | 121.43(70.53) | 9.20(4.41)   | 8.3(3.7)    |
|      | 엽폭    | 5.56(2.92)  | 14.42(7.10)  | 38.26(26.86)  | 7.52(4.44)   | 5.30(2.68)  |
|      | 엽장/엽폭 | 2.62(1.90)  | 2.93(2.13)   | 4.77(2.64)    | 1.66(1.02)   | 3.97(1.62)  |
| 10 주 | 엽장    | 19.50(9.71) | 39.81(20.30) | 155.97(82.90) | 12.54(4.73)  | 측정불가        |
|      | 엽폭    | 8.33(4.59)  | 17.20(8.99)  | 39.95(27.38)  | 8.21(3.67)   |             |
|      | 엽장/엽폭 | 3.11(2.13)  | 3.24(2.29)   | 6.77(3.07)    | 2.52(1.34)   |             |

표 58. 진도회동9(100 Gy) 계통주의 온도 조건별 엽체 성장(단위 mm) / ( ) : 평균

|      |       | 5°C          | 10°C           | 15°C          | 20°C          | 25°C       |
|------|-------|--------------|----------------|---------------|---------------|------------|
| 0 주  | 엽장    | 0.02(0.01)   | 0.02(0.01)     | 0.02(0.01)    | 0.02(0.01)    | 0.02(0.01) |
|      | 엽폭    | 0.01(0.01)   | 0.17(0.01)     | 0.01(0.01)    | 0.01(0.01)    | 0.01(0.01) |
|      | 엽장/엽폭 | 2.00(1.17)   | 2.00(1.17)     | 2.00(1.17)    | 2.00(1.17)    | 2.00(1.17) |
| 1 주  | 엽장    | 0.07(0.05)   | 0.12(0.08)     | 0.20(0.16)    | 0.26(0.18)    | 0.30(0.23) |
|      | 엽폭    | 0.03(0.02)   | 0.17(0.03)     | 0.08(0.06)    | 0.08(0.05)    | 0.07(0.05) |
|      | 엽장/엽폭 | 6.00(3.57)   | 6.00(3.13)     | 4.25(2.84)    | 6.00(3.54)    | 8.33(4.96) |
| 2 주  | 엽장    | 0.13(0.11)   | 0.32(0.25)     | 0.85(0.63)    | 0.88(0.64)    | 1.32(0.83) |
|      | 엽폭    | 0.07(0.05)   | 0.17(0.12)     | 0.38(0.26)    | 0.36(0.26)    | 0.29(0.20) |
|      | 엽장/엽폭 | 3.33(2.50)   | 2.88(2.11)     | 3.04(2.41)    | 4.50(2.59)    | 8.91(4.45) |
| 3 주  | 엽장    | 0.13(0.11)   | 1.54(1.21)     | 5.71(4.07)    | 8.42(6.05)    | 4.57(1.92) |
|      | 엽폭    | 0.07(0.05)   | 0.81(0.63)     | 2.86(1.60)    | 2.95(2.12)    | 1.06(0.77) |
|      | 엽장/엽폭 | 6.00(2.56)   | 2.60(1.93)     | 5.02(2.720)   | 4.42(2.93)    | 5.10(2.56) |
| 4 주  | 엽장    | 1.12(0.81)   | 11.83(6.93)    | 20.63(13.98)  | 25.81(17.13)  | 3.97(1.59) |
|      | 엽폭    | 0.54(0.44)   | 3.04(2.03)     | 7.89(5.04)    | 12.15(7.93)   | 2.34(0.82) |
|      | 엽장/엽폭 | 2.63(1.89)   | 5.14(3.48)     | 4.67(2.84)    | 3.16(2.20)    | 3.48(2.10) |
| 5 주  | 엽장    | 2.01(1.45)   | 28.09(15.02)   | 30.26(22.05)  | 39.99(26.31)  | 5.33(3.23) |
|      | 엽폭    | 1.05(0.76)   | 6.14(3.97)     | 9.79(7.08)    | 18.74(11.29)  | 3.55(2.09) |
|      | 엽장/엽폭 | 3.61(1.95)   | 5.73(3.85)     | 4.92(3.22)    | 3.79(2.39)    | 3.67(1.68) |
| 6 주  | 엽장    | 4.11(2.85)   | 71.21(47.47)   | 64.84(44.58)  | 57.28(35.54)  | 9.18(3.67) |
|      | 엽폭    | 2.09(1.57)   | 10.46(11.15)   | 17.76(13.24)  | 26.30(16.30)  | 5.99(2.83) |
|      | 엽장/엽폭 | 2.24(1.82)   | 10.34(6.47)    | 5.48(3.43)    | 4.01(2.21)    | 3.56(1.40) |
| 7 주  | 엽장    | 12.66(8.13)  | 103.21(67.61)  | 88.22(63.16)  | 91.14(54.49)  | 5.79(4.01) |
|      | 엽폭    | 4.75(3.02)   | 14.56(11.15)   | 21.88(16.51)  | 32.29(21.77)  | 6.47(3.26) |
|      | 엽장/엽폭 | 3.99(2.75)   | 9.52(6.16)     | 6.64(3.90)    | 3.25(2.52)    | 2.10(1.34) |
| 8 주  | 엽장    | 23.64(15.28) | 141.33(96.70)  | 111.81(75.83) | 103.68(62.73) | 6.05(3.77) |
|      | 엽폭    | 8.96(5.75)   | 20.08(14.28)   | 27.25(20.57)  | 35.07(24.58)  | 7.68(3.02) |
|      | 엽장/엽폭 | 3.89(2.72)   | 10.37(6.84)    | 5.24(3.74)    | 5.10(2.61)    | 2.69(1.40) |
| 9 주  | 엽장    | 49.09(29.24) | 213.37(132.54) | 128.94(84.41) | 127.85(66.82) | 7.89(3.09) |
|      | 엽폭    | 12.50(9.57)  | 26.64(18.29)   | 27.87(19.91)  | 37.51(26.46)  | 4.54(2.56) |
|      | 엽장/엽폭 | 4.33(3.11)   | 10.11(7.26)    | 8.14(4.35)    | 3.81(2.53)    | 2.83(2.19) |
| 10 주 | 엽장    | 89.94(52.68) | 268.86(171.59) | 141.93(90.47) | 138.15(74.76) | 측정불가       |
|      | 엽폭    | 19.55(14.84) | 29.70(22.72)   | 28.64(21.86)  | 41.81(30.64)  |            |
|      | 엽장/엽폭 | 4.60(3.98)   | 11.77(7.58)    | 6.42(4.18)    | 4.32(2.45)    |            |

표 59. 진도회동9(300 Gy) 계통주의 온도 조건별 엽체 성장(단위 mm) / ( ) : 평균

|      |       | 5℃          | 10℃            | 15℃            | 20℃          | 25℃         |
|------|-------|-------------|----------------|----------------|--------------|-------------|
| 0 주  | 엽장    | 0.02(0.01)  | 0.02(0.01)     | 0.02(0.01)     | 0.02(0.01)   | 0.02(0.01)  |
|      | 엽폭    | 0.01(0.01)  | 0.01(0.01)     | 0.01(0.01)     | 0.01(0.01)   | 0.01(0.01)  |
|      | 엽장/엽폭 | 2.00(1.20)  | 2.00(1.20)     | 2.00(1.20)     | 2.00(1.20)   | 2.00(1.20)  |
| 1 주  | 엽장    | 0.04(0.03)  | 0.10(0.07)     | 0.17(0.12)     | 0.22(0.16)   | 0.26(0.17)  |
|      | 엽폭    | 0.02(0.01)  | 0.15(0.02)     | 0.07(0.04)     | 0.05(0.04)   | 0.06(0.03)  |
|      | 엽장/엽폭 | 4.00(2.70)  | 7.00(3.53)     | 7.50(3.49)     | 6.50(4.50)   | 11.50(5.90) |
| 2 주  | 엽장    | 0.07(0.05)  | 0.29(0.23)     | 0.56(0.46)     | 1.65(1.08)   | 1.34(0.80)  |
|      | 엽폭    | 0.02(0.02)  | 0.15(0.11)     | 0.29(0.21)     | 0.51(0.35)   | 0.33(0.19)  |
|      | 엽장/엽폭 | 7.00(3.78)  | 3.43(2.22)     | 4.08(2.32)     | 4.13(3.12)   | 11.00(5.02) |
| 3 주  | 엽장    | 0.14(0.10)  | 1.44(1.16)     | 7.88(5.94)     | 11.57(8.81)  | 1.86(1.08)  |
|      | 엽폭    | 0.06(0.04)  | 0.82(0.61)     | 2.78(1.96)     | 3.36(2.56)   | 1.03(0.51)  |
|      | 엽장/엽폭 | 6.50(2.73)  | 2.48(1.91)     | 4.89(3.18)     | 6.76(3.63)   | 4.09(2.27)  |
| 4 주  | 엽장    | 6.29(4.78)  | 6.29(4.78)     | 26.93(19.91)   | 29.19(22.44) | 2.19(1.31)  |
|      | 엽폭    | 2.59(1.93)  | 2.59(1.93)     | 8.04(6.16)     | 9.96(6.82)   | 1.18(0.77)  |
|      | 엽장/엽폭 | 3.62(2.51)  | 3.62(2.51)     | 6.99(3.36)     | 4.67(3.37)   | 4.38(1.87)  |
| 5 주  | 엽장    | 0.42(0.33)  | 21.19(16.76)   | 61.96(32.56)   | 47.68(33.08) | 1.42(0.61)  |
|      | 엽폭    | 0.27(0.18)  | 5.41(3.80)     | 13.33(9.20)    | 14.78(9.63)  | 0.34(0.17)  |
|      | 엽장/엽폭 | 4.33(1.97)  | 6.89(4.60)     | 7.96(3.65)     | 5.32(3.51)   | 6.88(3.91)  |
| 6 주  | 엽장    | 0.63(0.52)  | 48.34(38.95)   | 102.48(53.01)  | 65.57(43.44) | 5.88(2.66)  |
|      | 엽폭    | 0.42(0.31)  | 8.94(6.91)     | 18.46(14.89)   | 22.89(13.81) | 3.66(1.76)  |
|      | 엽장/엽폭 | 2.55(1.73)  | 8.35(5.79)     | 9.34(3.70)     | 4.35(3.22)   | 3.21(1.67)  |
| 7 주  | 엽장    | 1.52(1.11)  | 70.57(57.91)   | 123.09(62.68)  | 79.47(54.33) | 4.90(2.70)  |
|      | 엽폭    | 0.94(0.71)  | 13.04(9.65)    | 22.03(17.07)   | 26.05(15.08) | 2.73(1.71)  |
|      | 엽장/엽폭 | 2.20(1.57)  | 8.99(6.18)     | 9.24(3.77)     | 5.49(3.75)   | 4.53(1.75)  |
| 8 주  | 엽장    | 5.05(2.26)  | 89.10(72.02)   | 151.80(82.73)  | 86.43(58.12) | 6.58(3.16)  |
|      | 엽폭    | 2.37(1.37)  | 15.79(11.43)   | 32.33(22.23)   | 24.69(14.79) | 5.00(2.20)  |
|      | 엽장/엽폭 | 2.70(1.68)  | 9.43(6.45)     | 11.14(3.89)    | 7.24(4.11)   | 2.61(1.56)  |
| 9 주  | 엽장    | 9.67(5.31)  | 128.32(96.32)  | 178.68(96.14)  | 측정불가         | 5.12(2.80)  |
|      | 엽폭    | 3.45(2.49)  | 18.98(14.50)   | 31.56(23.20)   |              | 3.589(2.53) |
|      | 엽장/엽폭 | 3.52(2.17)  | 10.88(6.86)    | 10.30(4.31)    |              | 2.67(1.21)  |
| 10 주 | 엽장    | 14.98(7.53) | 163.36(111.93) | 213.50(111.59) | 측정불가         | 측정불가        |
|      | 엽폭    | 6.01(3.42)  | 20.69(16.07)   | 37.87(27.28)   |              |             |
|      | 엽장/엽폭 | 3.57(2.24)  | 9.66(7.08)     | 11.87(4.31)    |              |             |

표 60. 진도회동9(500 Gy) 계통주의 온도 조건별 업체 성장(단위 mm) / ( ) : 평균

|      |       | 5℃         | 10℃            | 15℃            | 20℃           | 25℃         |
|------|-------|------------|----------------|----------------|---------------|-------------|
| 0 주  | 엽장    | 0.02(0.01) | 0.02(0.01)     | 0.02(0.01)     | 0.02(0.01)    | 0.02(0.01)  |
|      | 엽폭    | 0.01(0.01) | 0.01(0.01)     | 0.01(0.01)     | 0.01(0.01)    | 0.01(0.01)  |
|      | 엽장/엽폭 | 2.00(1.07) | 2.00(1.07)     | 2.00(1.07)     | 2.00(1.07)    | 2.00(1.07)  |
| 1 주  | 엽장    | 0.02(0.02) | 0.08(0.04)     | 0.16(0.11)     | 0.21(0.13)    | 0.25(0.17)  |
|      | 엽폭    | 0.02(0.01) | 0.10(0.02)     | 0.08(0.05)     | 0.07(0.04)    | 0.07(0.04)  |
|      | 엽장/엽폭 | 2.00(1.47) | 7.00(3.01)     | 3.50(2.35)     | 9.00(3.37)    | 10.50(4.62) |
| 2 주  | 엽장    | 0.04(0.03) | 0.19(0.13)     | 0.67(0.41)     | 0.59(0.34)    | 0.90(0.51)  |
|      | 엽폭    | 0.02(0.01) | 0.10(0.06)     | 0.358(0.24)    | 0.28(0.18)    | 0.22(0.14)  |
|      | 엽장/엽폭 | 4.00(2.02) | 3.33(2.16)     | 2.79(1.79)     | 3.73(1.95)    | 6.43(3.91)  |
| 3 주  | 엽장    | 0.10(0.05) | 1.50(0.94)     | 13.57(8.86)    | 2.53(1.57)    | 1.84(1.04)  |
|      | 엽폭    | 0.04(0.02) | 0.83(0.54)     | 7.37(4.15)     | 1.40(0.99)    | 0.63(0.49)  |
|      | 엽장/엽폭 | 6.00(2.45) | 2.27(1.75)     | 3.44(2.22)     | 2.17(1.59)    | 4.00(2.18)  |
| 4 주  | 엽장    | 0.17(0.10) | 5.84(3.25)     | 48.49(32.03)   | 10.82(6.43)   | 4.09(2.16)  |
|      | 엽폭    | 0.09(0.06) | 2.87(1.65)     | 21.56(12.95)   | 8.98(3.79)    | 2.10(1.23)  |
|      | 엽장/엽폭 | 3.50(1.95) | 3.63(1.99)     | 3.63(2.55)     | 2.89(1.80)    | 3.09(1.82)  |
| 5 주  | 엽장    | 0.20(0.13) | 17.95(11.13)   | 69.17(50.34)   | 24.38(14.21)  | 3.73(2.13)  |
|      | 엽폭    | 0.13(0.08) | 5.75(3.85)     | 29.51(19.84)   | 19.72(9.03)   | 2.44(1.68)  |
|      | 엽장/엽폭 | 3.20(1.74) | 4.20(2.96)     | 3.60(2.59)     | 2.26(1.64)    | 3.64(1.39)  |
| 6 주  | 엽장    | 0.42(0.23) | 51.92(31.62)   | 84.31(59.74)   | 47.30(27.33)  | 5.70(2.58)  |
|      | 엽폭    | 0.29(0.14) | 11.54(7.92)    | 33.13(20.84)   | 32.20(17.66)  | 4.41(2.17)  |
|      | 엽장/엽폭 | 8.00(1.93) | 7.73(4.15)     | 3.85(2.91)     | 2.30(1.59)    | 3.00(1.36)  |
| 7 주  | 엽장    | 1.09(0.43) | 111.75(69.31)  | 105.99(78.67)  | 14.95(7.71)   | 4.40(2.89)  |
|      | 엽폭    | 0.73(0.31) | 20.14(13.78)   | 37.68(26.94)   | 13.37(6.63)   | 4.91(2.40)  |
|      | 엽장/엽폭 | 2.13(1.37) | 7.91(5.11)     | 4.32(2.98)     | 1.91(1.21)    | 4.78(1.46)  |
| 8 주  | 엽장    | 2.70(1.09) | 144.86(86.41)  | 122.78(92.27)  | 69.01(31.18)  | 4.92(3.25)  |
|      | 엽폭    | 1.66(0.79) | 24.63(16.06)   | 40.16(29.39)   | 31.44(17.63)  | 4.69(2.72)  |
|      | 엽장/엽폭 | 1.87(1.36) | 8.48(5.50)     | 4.30(3.19)     | 3.04(1.83)    | 2.20(1.26)  |
| 9 주  | 엽장    | 6.32(2.40) | 169.13(100.34) | 130.44(98.21)  | 102.18(20.83) | 6.41(3.60)  |
|      | 엽폭    | 2.79(1.60) | 25.58(19.24)   | 39.53(30.58)   | 34.56(15.07)  | 4.36(2.81)  |
|      | 엽장/엽폭 | 2.27(1.46) | 7.95(5.25)     | 4.83(3.29)     | 2.96(1.30)    | 3.00(1.41)  |
| 10 주 | 엽장    | 9.38(4.49) | 219.84(120.01) | 137.15(110.59) | 80.78(11.72)  | 5.94(3.64)  |
|      | 엽폭    | 5.51(2.52) | 30.28(21.70)   | 44.92(35.63)   | 32.93(8.91)   | 5.65(2.79)  |
|      | 엽장/엽폭 | 2.91(1.78) | 7.99(5.61)     | 4.38(3.16)     | 2.45(1.27)    | 3.14(1.44)  |

표 61. 진도회동9(0 Gy) 계통주의 온도 조건별 엽체 형태

| 0Gy | 5°C | 10°C | 15°C | 20°C | 25°C |
|-----|-----|------|------|------|------|
| 0주  |     |      |      |      |      |
| 1주  |     |      |      |      |      |
| 2주  |     |      |      |      |      |
| 3주  |     |      |      |      |      |
| 4주  |     |      |      |      |      |
| 5주  |     |      |      |      |      |
| 6주  |     |      |      |      |      |
| 7주  |     |      |      |      |      |
| 8주  |     |      |      |      |      |
| 9주  |     |      |      |      |      |
| 10주 |     |      |      |      |      |

표 62. 진도회동9(50 Gy) 계통주의 온도 조건별 엽체 형태

|     | 5°C | 10°C | 15°C | 20°C | 25°C |
|-----|-----|------|------|------|------|
| 0주  |     |      |      |      |      |
| 1주  |     |      |      |      |      |
| 2주  |     |      |      |      |      |
| 3주  |     |      |      |      |      |
| 4주  |     |      |      |      |      |
| 5주  |     |      |      |      |      |
| 6주  |     |      |      |      |      |
| 7주  |     |      |      |      |      |
| 8주  |     |      |      |      |      |
| 9주  |     |      |      |      |      |
| 10주 |     |      |      |      |      |

표 63. 진도회동9(100 Gy) 계통주의 온도 조건별 엽체 형태

|     | 5°C | 10°C | 15°C | 20°C | 25°C |
|-----|-----|------|------|------|------|
| 0주  |     |      |      |      |      |
| 1주  |     |      |      |      |      |
| 2주  |     |      |      |      |      |
| 3주  |     |      |      |      |      |
| 4주  |     |      |      |      |      |
| 5주  |     |      |      |      |      |
| 6주  |     |      |      |      |      |
| 7주  |     |      |      |      |      |
| 8주  |     |      |      |      |      |
| 9주  |     |      |      |      |      |
| 10주 |     |      |      |      |      |

표 64. 진도회동9(300 Gy) 계통주의 온도 조건별 엽체 형태

|     | 5°C | 10°C | 15°C | 20°C | 25°C |
|-----|-----|------|------|------|------|
| 0주  |     |      |      |      |      |
| 1주  |     |      |      |      |      |
| 2주  |     |      |      |      |      |
| 3주  |     |      |      |      |      |
| 4주  |     |      |      |      |      |
| 5주  |     |      |      |      |      |
| 6주  |     |      |      |      |      |
| 7주  |     |      |      |      |      |
| 8주  |     |      |      |      |      |
| 9주  |     |      |      |      |      |
| 10주 |     |      |      |      |      |

표 65. 진도회동9(500 Gy) 계통주의 온도 조건별 엽체 형태

|     | 5°C | 10°C | 15°C | 20°C | 25°C |
|-----|-----|------|------|------|------|
| 0주  |     |      |      |      |      |
| 1주  |     |      |      |      |      |
| 2주  |     |      |      |      |      |
| 3주  |     |      |      |      |      |
| 4주  |     |      |      |      |      |
| 5주  |     |      |      |      |      |
| 6주  |     |      |      |      |      |
| 7주  |     |      |      |      |      |
| 8주  |     |      |      |      |      |
| 9주  |     |      |      |      |      |
| 10주 |     |      |      |      |      |

(7) C-4-57

C-4-57 계통주를 대상으로 감마선 조사를 실시한 후 5개의 온도구간별 실내형질특성을 조사한 결과, 100Gy의 10℃와 15℃, 300Gy의 20℃, 500Gy의 15℃ 실험구에서 다른 엽체와 비교해서 확연히 생장이 빠른 엽체를 선발하였다(그림 33~37, 표 66~75). 100Gy 10℃에서 선발된 엽체는 최종 10주차에 엽장 304.3mm, 엽폭 56.76mm로 다른 엽체에 비해 약 2배, 100Gy 15℃에서는 267.7mm로 약 2배, 300Gy 20℃에서는 139.2mm로 약 2.5배, 500Gy 20℃에서는 381.1mm로 2.3배 이상 생장이 좋은 것으로 확인되었음. 선발된 엽체는 해조류유전자원은행 및 기탁등록보존기관에 등록하기 위하여 순계사상체를 확보하고 있으며, 차후 신품종 개발 및 육종 소재로 활용할 예정이다.

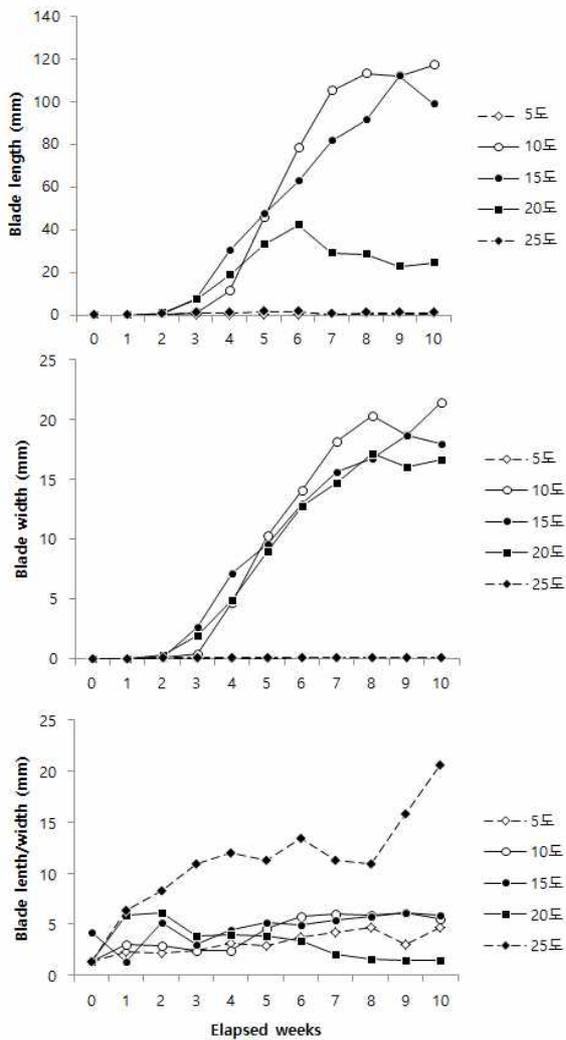


그림 33. C-4-57(0Gy) 계통주의 온도 조건별 성장도

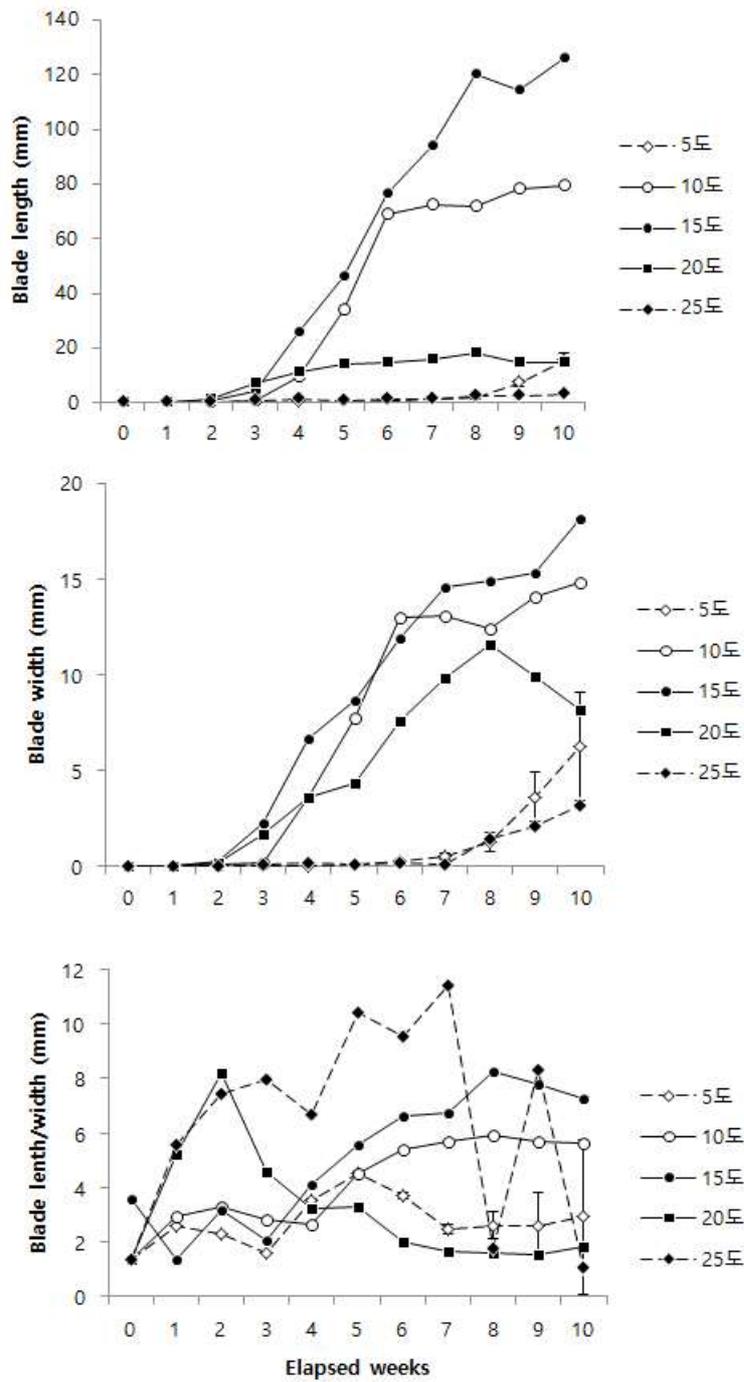


그림 34. C-4-57(50Gy) 계통주의 온도 조건별 성장도

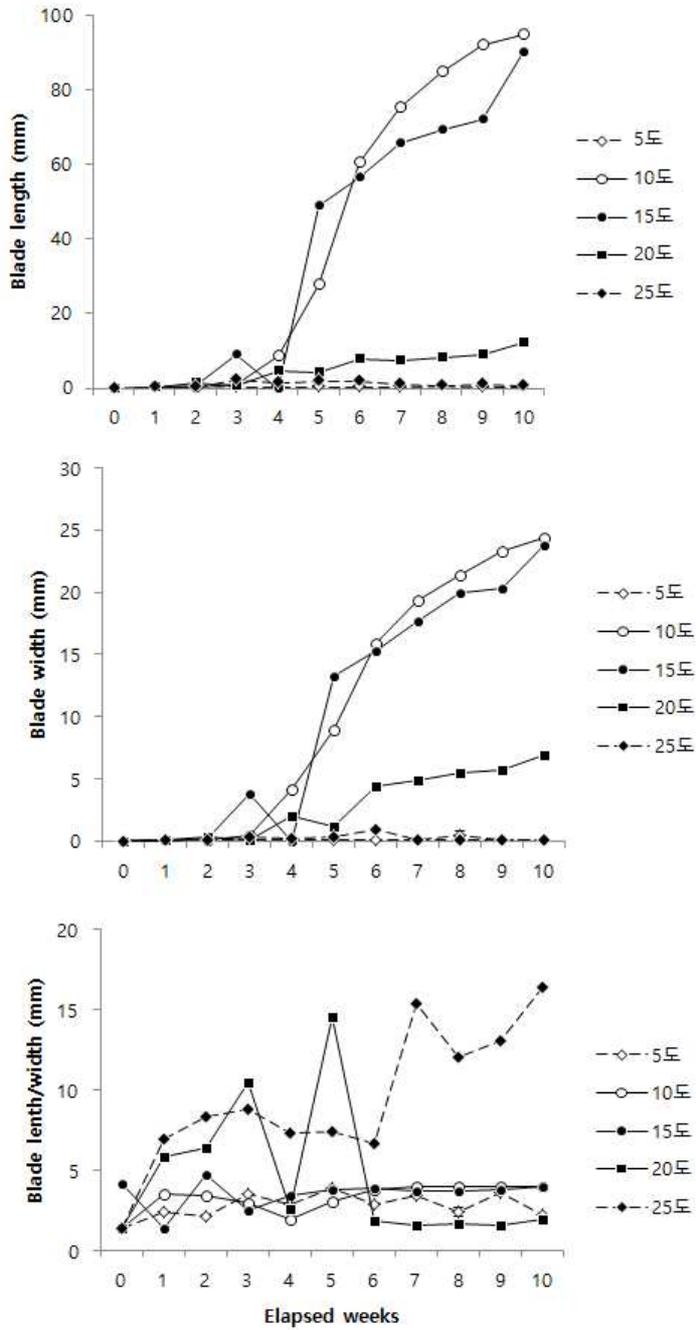


그림 35. C-4-57(100Gy) 계통주의 온도 조건별 성장도

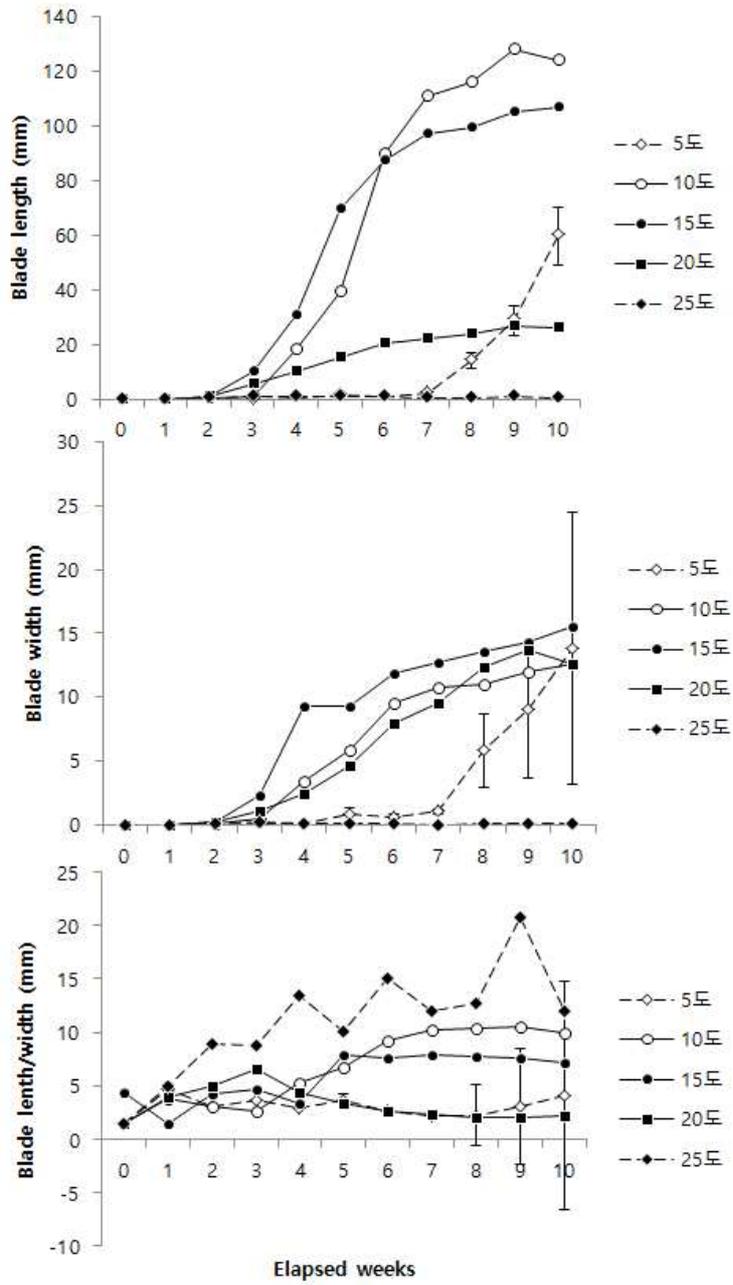


그림 36. C-4-57(300Gy) 계통주의 온도 조건별 성장도

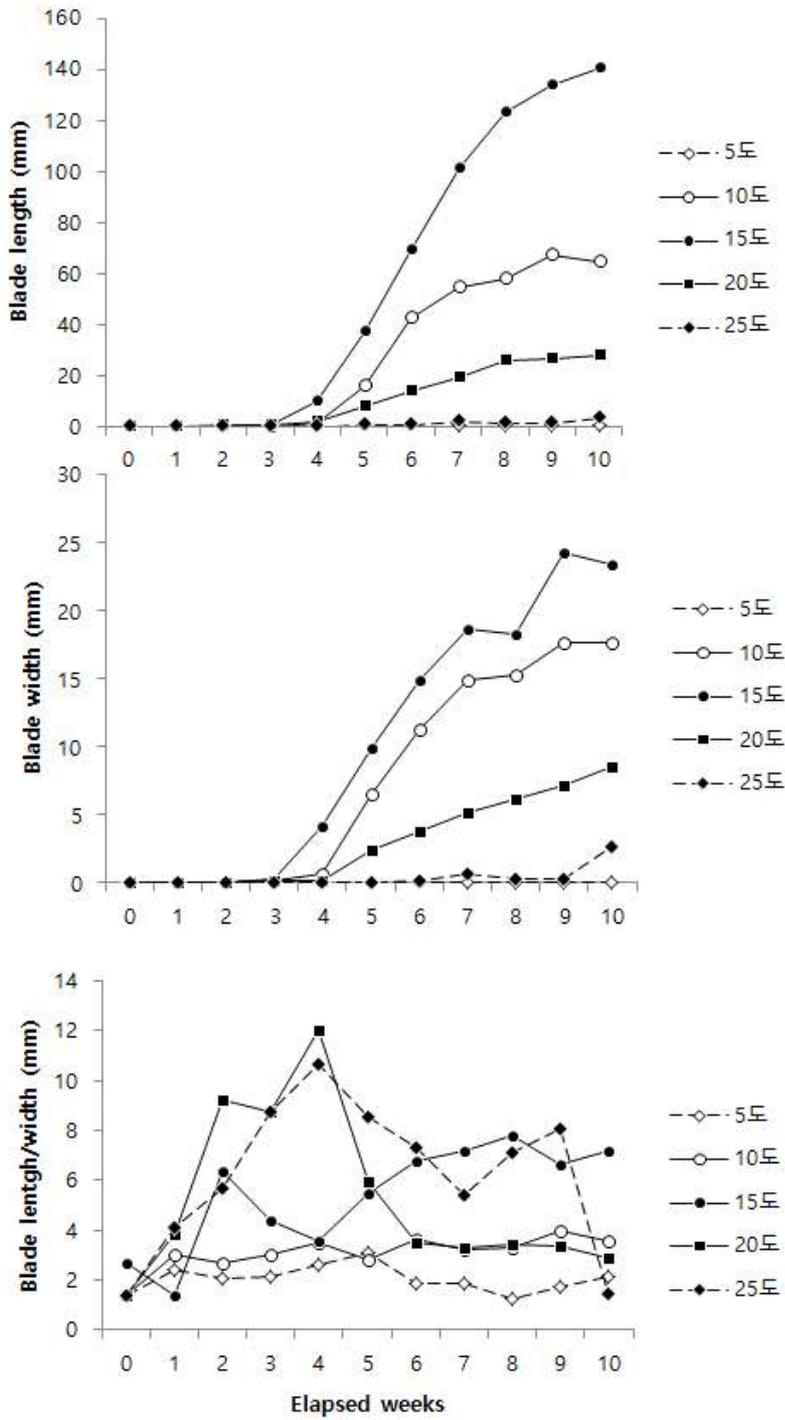


그림 37. C-4-57(500Gy) 계통주의 온도 조건별 성장도

표 66. C-4-57 계통주의 온도 조건별 엽체 성장(단위 mm) / ( 0Gy ) : 평균

|     |       | 5℃         | 10℃         | 15℃          | 20℃         | 25℃         |
|-----|-------|------------|-------------|--------------|-------------|-------------|
| 0주  | 엽장    | 0.01(0.00) | 0.01(0.00)  | 0.01(0.00)   | 0.01(0.00)  | 0.01(0.00)  |
|     | 엽폭    | 0.01(0.00) | 0.01(0.00)  | 0.02(0.00)   | 0.01(0.00)  | 0.01(0.00)  |
|     | 엽장/엽폭 | 1.37(0.11) | 1.37(0.11)  | 4.13(0.38)   | 1.37(0.11)  | 1.37(0.11)  |
| 1주  | 엽장    | 0.03(0.00) | 0.01(0.00)  | 0.08(0.01)   | 0.11(0.01)  | 0.16(0.01)  |
|     | 엽폭    | 0.01(0.00) | 0.02(0.00)  | 0.01(0.00)   | 0.03(0.00)  | 0.02(0.00)  |
|     | 엽장/엽폭 | 2.27(0.17) | 3.04(0.24)  | 1.37(0.11)   | 5.91(0.91)  | 6.38(0.46)  |
| 2주  | 엽장    | 0.03(0.00) | 0.04(0.03)  | 0.35(0.03)   | 1.19(0.10)  | 0.51(0.06)  |
|     | 엽폭    | 0.01(0.00) | 0.09(0.02)  | 0.09(0.01)   | 0.24(0.03)  | 0.07(0.01)  |
|     | 엽장/엽폭 | 2.20(0.20) | 2.90(0.26)  | 5.13(0.37)   | 6.10(0.67)  | 8.24(1.03)  |
| 3주  | 엽장    | 0.03(0.00) | 0.15(0.11)  | 7.90(0.28)   | 7.13(0.27)  | 0.85(0.08)  |
|     | 엽폭    | 0.02(0.00) | 0.38(0.04)  | 2.67(0.10)   | 1.93(0.07)  | 0.09(0.01)  |
|     | 엽장/엽폭 | 2.38(0.22) | 2.47(0.19)  | 3.04(0.12)   | 3.84(0.20)  | 10.90(1.18) |
| 4주  | 엽장    | 0.04(0.00) | 0.61(0.57)  | 30.07(1.20)  | 18.73(0.73) | 1.29(0.07)  |
|     | 엽폭    | 0.02(0.00) | 4.72(0.20)  | 7.09(0.41)   | 4.91(0.20)  | 0.13(0.02)  |
|     | 엽장/엽폭 | 3.11(0.49) | 2.46(0.12)  | 4.50(0.23)   | 3.94(0.18)  | 11.93(0.94) |
| 5주  | 엽장    | 0.07(0.02) | 4.44(1.92)  | 47.58(2.06)  | 33.26(1.38) | 1.33(0.06)  |
|     | 엽폭    | 0.03(0.00) | 10.28(0.49) | 9.61(0.48)   | 8.95(0.36)  | 0.13(0.01)  |
|     | 엽장/엽폭 | 2.90(0.18) | 4.56(0.15)  | 5.18(0.24)   | 3.84(0.17)  | 11.25(0.80) |
| 6주  | 엽장    | 0.09(0.02) | 7.57(3.61)  | 62.67(2.97)  | 42.14(2.97) | 1.41(0.07)  |
|     | 엽폭    | 0.03(0.00) | 14.05(0.80) | 12.95(0.57)  | 12.79(0.75) | 0.12(0.01)  |
|     | 엽장/엽폭 | 3.73(0.83) | 5.79(0.26)  | 4.97(0.21)   | 3.34(0.14)  | 13.37(0.98) |
| 7주  | 엽장    | 0.21(0.06) | 11.42(5.16) | 81.68(4.07)  | 28.81(5.16) | 0.71(0.03)  |
|     | 엽폭    | 0.06(0.01) | 18.13(0.97) | 15.65(0.93)  | 14.70(1.26) | 0.07(0.00)  |
|     | 엽장/엽폭 | 4.28(0.49) | 5.96(0.24)  | 5.46(0.26)   | 2.03(0.21)  | 11.22(0.69) |
| 8주  | 엽장    | 0.34(0.08) | 80.79(5.29) | 91.68(4.07)  | 28.67(5.02) | 0.95(0.06)  |
|     | 엽폭    | 0.11(0.02) | 20.27(1.12) | 16.74(1.04)  | 17.15(1.69) | 0.10(0.01)  |
|     | 엽장/엽폭 | 4.65(1.07) | 5.84(0.29)  | 5.80(0.27)   | 1.60(0.15)  | 10.93(1.21) |
| 9주  | 엽장    | 0.25(0.10) | 15.22(5.91) | 111.93(5.91) | 22.84(2.22) | 0.80(0.04)  |
|     | 엽폭    | 0.11(0.04) | 18.64(0.94) | 18.64(0.94)  | 15.99(0.86) | 0.06(0.01)  |
|     | 엽장/엽폭 | 3.03(0.45) | 6.17(0.30)  | 6.17(0.30)   | 1.42(0.08)  | 15.73(1.44) |
| 10주 | 엽장    | 0.25(0.07) | 21.21(6.26) | 98.69(5.40)  | 24.32(2.01) | 0.85(0.05)  |
|     | 엽폭    | 0.13(0.06) | 21.39(0.98) | 17.93(1.04)  | 16.68(0.89) | 0.05(0.00)  |
|     | 엽장/엽폭 | 4.67(1.06) | 5.58(0.26)  | 5.91(0.39)   | 1.50(0.11)  | 20.59(2.37) |

표 67. C-4-57 계통주의 온도 조건별 업체 성장(단위 mm) / ( 50Gy ) : 평균

|     |       | 5℃          | 10℃         | 15℃          | 20℃         | 25℃         |
|-----|-------|-------------|-------------|--------------|-------------|-------------|
| 0주  | 엽장    | 0.01(0.00)  | 0.01(0.00)  | 0.01(0.00)   | 0.01(0.00)  | 0.01(0.00)  |
|     | 엽폭    | 0.01(0.00)  | 0.01(0.00)  | 0.03(0.00)   | 0.01(0.00)  | 0.01(0.00)  |
|     | 엽장/엽폭 | 1.37(0.11)  | 1.37(0.11)  | 3.61(0.15)   | 1.37(0.11)  | 1.37(0.11)  |
| 1주  | 엽장    | 0.04(0.00)  | 0.04(0.00)  | 0.10(0.01)   | 0.15(0.01)  | 0.18(0.02)  |
|     | 엽폭    | 0.02(0.00)  | 0.02(0.00)  | 0.01(0.00)   | 0.03(0.00)  | 0.03(0.00)  |
|     | 엽장/엽폭 | 2.58(0.19)  | 2.93(0.18)  | 1.37(0.11)   | 5.21(0.36)  | 5.56(0.29)  |
| 2주  | 엽장    | 0.04(0.00)  | 0.22(0.02)  | 0.65(0.05)   | 1.16(0.10)  | 0.36(0.04)  |
|     | 엽폭    | 0.02(0.00)  | 0.09(0.01)  | 0.25(0.02)   | 0.19(0.02)  | 0.05(0.01)  |
|     | 엽장/엽폭 | 2.29(0.20)  | 3.32(0.65)  | 3.16(0.32)   | 8.21(1.07)  | 7.44(0.69)  |
| 3주  | 엽장    | 0.04(0.00)  | 0.56(0.04)  | 4.55(0.17)   | 7.22(0.30)  | 0.82(0.05)  |
|     | 엽폭    | 0.02(0.00)  | 0.23(0.02)  | 2.30(0.08)   | 1.66(0.07)  | 0.13(0.01)  |
|     | 엽장/엽폭 | 1.62(0.09)  | 2.82(0.35)  | 2.06(0.13)   | 4.59(0.32)  | 7.99(0.97)  |
| 4주  | 엽장    | 0.20(0.03)  | 9.32(0.46)  | 26.04(0.79)  | 11.31(0.87) | 1.29(0.08)  |
|     | 엽폭    | 0.06(0.01)  | 3.64(0.15)  | 6.70(0.32)   | 3.63(0.21)  | 0.21(0.01)  |
|     | 엽장/엽폭 | 3.54(0.30)  | 2.63(0.13)  | 4.09(0.19)   | 3.21(0.22)  | 6.67(0.64)  |
| 5주  | 엽장    | 0.25(0.05)  | 34.03(1.36) | 46.44(1.57)  | 13.98(1.06) | 1.08(0.06)  |
|     | 엽폭    | 0.09(0.02)  | 7.74(0.32)  | 8.72(0.43)   | 4.39(0.25)  | 0.12(0.01)  |
|     | 엽장/엽폭 | 4.53(0.95)  | 4.53(0.20)  | 5.56(0.23)   | 3.31(0.26)  | 10.44(0.85) |
| 6주  | 엽장    | 0.70(0.11)  | 68.95(2.42) | 76.44(2.63)  | 14.92(0.98) | 1.38(0.09)  |
|     | 엽폭    | 0.25(0.05)  | 12.97(0.52) | 11.97(0.63)  | 7.64(0.31)  | 0.17(0.03)  |
|     | 엽장/엽폭 | 3.71(0.37)  | 5.42(0.19)  | 6.65(0.25)   | 2.01(0.12)  | 9.57(0.60)  |
| 7주  | 엽장    | 1.18(0.18)  | 72.65(2.58) | 94.26(3.47)  | 16.04(0.64) | 1.54(0.07)  |
|     | 엽폭    | 0.55(0.09)  | 13.08(0.53) | 14.57(0.66)  | 9.84(0.39)  | 0.15(0.01)  |
|     | 엽장/엽폭 | 2.49(0.23)  | 5.71(0.21)  | 6.72(0.28)   | 1.68(0.08)  | 11.39(0.76) |
| 8주  | 엽장    | 2.18(0.50)  | 72.08(2.68) | 120.20(4.65) | 18.14(0.70) | 2.43(0.18)  |
|     | 엽폭    | 1.27(0.29)  | 12.43(0.49) | 14.95(0.65)  | 11.60(0.53) | 1.42(0.10)  |
|     | 엽장/엽폭 | 2.61(0.37)  | 5.95(0.24)  | 8.29(0.33)   | 1.63(0.08)  | 1.80(0.11)  |
| 9주  | 엽장    | 7.37(1.28)  | 78.54(4.06) | 114.29(3.88) | 14.63(0.71) | 2.79(0.25)  |
|     | 엽폭    | 3.64(0.67)  | 14.10(0.51) | 15.33(0.65)  | 9.96(0.57)  | 2.09(0.31)  |
|     | 엽장/엽폭 | 2.57(0.41)  | 5.67(0.29)  | 7.78(0.37)   | 1.56(0.09)  | 8.30(1.98)  |
| 10주 | 엽장    | 15.63(2.84) | 79.39(3.14) | 126.06(4.67) | 14.69(0.64) | 3.38(0.15)  |
|     | 엽폭    | 6.29(1.15)  | 14.87(0.79) | 18.16(0.80)  | 8.22(0.31)  | 3.16(0.13)  |
|     | 엽장/엽폭 | 2.93(0.31)  | 5.66(0.29)  | 7.27(0.36)   | 1.81(0.07)  | 1.09(0.04)  |

표 68. C-4-57 계통주의 온도 조건별 업체 성장(단위 mm) / ( 100Gy ) : 평균

|     |       | 5℃         | 10℃         | 15℃         | 20℃         | 25℃         |
|-----|-------|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 0주  | 엽장    | 0.01(0.00) | 0.01(0.00)  | 0.01(0.00)  | 0.01(0.00)  | 0.01(0.00)  |
|     | 엽폭    | 0.01(0.00) | 0.01(0.00)  | 0.02(0.00)  | 0.01(0.00)  | 0.01(0.00)  |
|     | 엽장/엽폭 | 1.37(0.11) | 1.37(0.11)  | 4.13(0.38)  | 1.37(0.11)  | 1.37(0.11)  |
| 1주  | 엽장    | 0.03(0.00) | 0.06(0.01)  | 0.09(0.01)  | 0.14(0.01)  | 0.18(0.02)  |
|     | 엽폭    | 0.02(0.00) | 0.02(0.00)  | 0.01(0.00)  | 0.03(0.00)  | 0.03(0.00)  |
|     | 엽장/엽폭 | 2.33(0.19) | 3.49(0.74)  | 1.37(0.11)  | 5.77(0.68)  | 6.96(0.78)  |
| 2주  | 엽장    | 0.04(0.00) | 0.23(0.04)  | 0.57(0.09)  | 1.57(0.08)  | 0.38(0.05)  |
|     | 엽폭    | 0.02(0.00) | 0.08(0.01)  | 0.21(0.03)  | 0.27(0.02)  | 0.06(0.01)  |
|     | 엽장/엽폭 | 2.14(0.18) | 3.37(0.28)  | 4.71(1.03)  | 6.33(0.44)  | 8.30(1.27)  |
| 3주  | 엽장    | 0.05(0.00) | 0.97(0.20)  | 9.01(0.70)  | 0.71(0.04)  | 2.24(0.21)  |
|     | 엽폭    | 0.02(0.00) | 0.39(0.06)  | 3.73(0.22)  | 0.09(0.01)  | 0.31(0.04)  |
|     | 엽장/엽폭 | 3.49(0.35) | 2.89(0.28)  | 2.44(0.10)  | 10.44(1.10) | 8.81(0.63)  |
| 4주  | 엽장    | 0.09(0.02) | 8.79(1.55)  | 0.00(2.23)  | 4.79(0.37)  | 1.29(0.07)  |
|     | 엽폭    | 0.04(0.01) | 4.19(0.26)  | 0.00(0.53)  | 1.97(0.12)  | 0.20(0.01)  |
|     | 엽장/엽폭 | 2.88(0.49) | 1.93(0.15)  | 3.40(0.14)  | 2.54(0.19)  | 7.31(0.65)  |
| 5주  | 엽장    | 0.07(0.01) | 27.65(4.02) | 48.87(3.76) | 4.22(0.54)  | 1.84(0.09)  |
|     | 엽폭    | 0.03(0.01) | 8.90(0.61)  | 13.20(0.81) | 1.16(0.30)  | 0.28(0.02)  |
|     | 엽장/엽폭 | 3.84(1.05) | 3.00(0.18)  | 3.79(0.16)  | 14.48(2.16) | 7.36(0.77)  |
| 6주  | 엽장    | 0.10(0.02) | 60.52(7.88) | 56.55(5.10) | 7.96(0.74)  | 1.85(0.24)  |
|     | 엽폭    | 0.03(0.01) | 15.84(1.06) | 15.30(1.27) | 4.36(0.36)  | 0.94(0.13)  |
|     | 엽장/엽폭 | 2.83(0.20) | 3.72(0.21)  | 3.83(0.17)  | 1.83(0.08)  | 6.63(1.55)  |
| 7주  | 엽장    | 0.26(0.06) | 75.26(6.43) | 65.54(6.74) | 7.49(1.02)  | 0.98(0.09)  |
|     | 엽폭    | 0.11(0.04) | 19.35(1.14) | 17.66(1.34) | 4.87(0.49)  | 0.07(0.00)  |
|     | 엽장/엽폭 | 3.38(0.39) | 3.91(0.17)  | 3.72(0.17)  | 1.57(0.10)  | 15.39(1.49) |
| 8주  | 엽장    | 0.60(0.30) | 84.74(6.77) | 69.31(7.42) | 8.08(0.60)  | 0.69(0.04)  |
|     | 엽폭    | 0.47(0.23) | 21.37(1.32) | 19.96(1.69) | 5.41(0.64)  | 0.07(0.01)  |
|     | 엽장/엽폭 | 2.35(0.31) | 3.97(0.14)  | 3.70(0.24)  | 1.65(0.09)  | 11.99(1.14) |
| 9주  | 엽장    | 0.15(0.05) | 92.12(8.99) | 72.06(7.30) | 8.86(0.92)  | 0.88(0.07)  |
|     | 엽폭    | 0.06(0.02) | 23.34(1.18) | 20.31(1.75) | 5.76(0.45)  | 0.08(0.01)  |
|     | 엽장/엽폭 | 3.60(0.60) | 3.90(0.21)  | 3.76(0.23)  | 1.56(0.10)  | 13.06(1.04) |
| 10주 | 엽장    | 0.05(0.00) | 94.97(8.27) | 90.23(9.06) | 12.03(0.79) | 0.63(0.03)  |
|     | 엽폭    | 0.03(0.00) | 24.32(1.48) | 23.77(2.14) | 6.92(0.68)  | 0.05(0.01)  |
|     | 엽장/엽폭 | 2.23(0.16) | 3.93(0.17)  | 3.94(0.20)  | 1.89(0.10)  | 16.38(1.48) |

표 69. C-4-57 계통주의 온도 조건별 엽체 생장(단위 mm) / ( 300Gy ) : 평균

|     |       | 5℃           | 10℃           | 15℃          | 20℃          | 25℃          |
|-----|-------|--------------|---------------|--------------|--------------|--------------|
| 0주  | 엽장    | 0.01(0.00)   | 0.01(0.00)    | 0.01(0.00)   | 0.01 (0.0)   | 0.01 (0.00)  |
|     | 엽폭    | 0.01(0.00)   | 0.01(0.00)    | 0.02(0.00)   | 0.01 (0.0)   | 0.01 (0.00)  |
|     | 엽장/엽폭 | 1.37(0.11)   | 1.37(0.11)    | 4.13(0.38)   | 1.37 (0.11)  | 1.37 (0.11)  |
| 1주  | 엽장    | 0.06(0.00)   | 0.08(0.00)    | 0.11(0.01)   | 0.07 (0.00)  | 0.08 (0.01)  |
|     | 엽폭    | 0.01(0.00)   | 0.02(0.00)    | 0.01 (0.00)  | 0.02 ( 0.00) | 0.02 (0.00)  |
|     | 엽장/엽폭 | 4.60(0.30)   | 3.72(0.21)    | 1.37(0.11)   | 3.89 (0.24)  | 4.95 (0.42)  |
| 2주  | 엽장    | 0.06(0.00)   | 0.26(0.04)    | 0.92(0.07)   | 1.06 (0.05)  | 0.50 (0.05)  |
|     | 엽폭    | 0.02(0.00)   | 0.09(0.01)    | 0.25(0.03)   | 0.23 (0.01)  | 0.06 (0.00)  |
|     | 엽장/엽폭 | 2.99(0.13)   | 3.09(0.28)    | 4.23(0.33)   | 5.02 (0.33)  | 8.84 (1.00)  |
| 3주  | 엽장    | 0.16(0.04)   | 1.10(0.17)    | 10.29(0.57)  | 5.78 (0.28)  | 1.14 (0.09)  |
|     | 엽폭    | 0.05(0.01)   | 0.42(0.04)    | 2.34(0.10)   | 1.04 (0.10)  | 0.16 (0.02)  |
|     | 엽장/엽폭 | 3.63(0.30)   | 2.66(0.29)    | 4.65(0.38)   | 6.57 (0.52)  | 8.79 (0.72)  |
| 4주  | 엽장    | 0.20(0.02)   | 17.92 (1.65)  | 31.00(2.23)  | 10.08 (0.79) | 0.98 (0.04)  |
|     | 엽폭    | 0.07(0.01)   | 3.45(0.15)    | 9.29(0.53)   | 2.48 (0.19)  | 0.11 (0.01)  |
|     | 엽장/엽폭 | 2.92(0.19)   | 5.19(0.41)    | 3.40(0.14)   | 4.29 (0.26)  | 13.48 (2.04) |
| 5주  | 엽장    | 1.62(0.57)   | 39.44(3.72)   | 69.77(3.01)  | 15.08 (1.15) | 1.05 (0.06)  |
|     | 엽폭    | 0.79(0.26)   | 5.86(0.27)    | 9.33(0.48)   | 4.58 (0.29)  | 0.15 (0.03)  |
|     | 엽장/엽폭 | 3.62(0.54)   | 6.66(0.44)    | 7.83(0.35)   | 3.37 (0.19)  | 10.07 (1.01) |
| 6주  | 엽장    | 1.29(0.16)   | 89.52(8.07)   | 87.44(3.55)  | 20.54 (1.91) | 1.23 (0.09)  |
|     | 엽폭    | 0.62(0.08)   | 9.48(0.45)    | 11.89(0.57)  | 7.88 ( 0.59) | 0.09 (0.01)  |
|     | 엽장/엽폭 | 2.64(0.45)   | 9.26(0.49)    | 7.61(0.29)   | 2.55 (0.14)  | 15.11 (1.33) |
| 7주  | 엽장    | 2.05(0.19)   | 110.62(10.29) | 97.40(4.64)  | 22.3 (2.25)  | 2.56 (0.10)  |
|     | 엽폭    | 1.03(0.10)   | 10.74(0.54)   | 12.68(0.55)  | 9.57 (0.9)   | 2.23 (0.11)  |
|     | 엽장/엽폭 | 2.16(0.14)   | 10.27(0.67)   | 7.91(0.35)   | 2.34 (0.17)  | 1.22 (0.07)  |
| 8주  | 엽장    | 14.15(2.86)  | 115.81(12.13) | 99.51(3.98)  | 24.18 (3.16) | 0.55 (0.04)  |
|     | 엽폭    | 5.82(0.73)   | 10.94(0.66)   | 13.59(0.68)  | 12.32 (1.22) | 0.05 (0.00)  |
|     | 엽장/엽폭 | 2.22(0.14)   | 10.31(0.57)   | 7.75(0.41)   | 1.96 (0.16)  | 12.73 (1.04) |
| 9주  | 엽장    | 28.83(5.38)  | 127.94(13.13) | 104.95(3.82) | 26.95 (3.64) | 1.12 (0.08)  |
|     | 엽폭    | 8.98(1.21)   | 12.02(0.74)   | 14.33(0.67)  | 13.73 (1.67) | 0.10 (0.02)  |
|     | 엽장/엽폭 | 3.02(0.16)   | 10.51(0.63)   | 7.65(0.35)   | 2.00 (0.11)  | 20.76 (2.54) |
| 10주 | 엽장    | 59.73(10.65) | 124.10(10.40) | 106.75(3.97) | 26.11 (4.34) | 0.59 (0.04)  |
|     | 엽폭    | 13.80(1.58)  | 12.55(0.79)   | 15.58(0.69)  | 12.54 (1.76) | 0.05 (0.00)  |
|     | 엽장/엽폭 | 4.07(0.23)   | 9.89(0.42)    | 7.11(0.31)   | 2.15 (0.17)  | 12.01 (1.09) |

표 70. C-4-57 계통주의 온도 조건별 열팽창(단위 mm) / ( 500Gy ) : 평균

|     |        | 5℃          | 10℃           | 15℃            | 20℃          | 25℃          |
|-----|--------|-------------|---------------|----------------|--------------|--------------|
| 0주  | 열팽창    | 0.01 (0.00) | 0.01 (0.00)   | 0.01(0.00)     | 0.01 (0.00)  | 0.01 (0.00)  |
|     | 열폭     | 0.01 (0.00) | 0.01 (0.00)   | 0.02(0.00)     | 0.01 (0.00)  | 0.01 (0.00)  |
|     | 열팽창/열폭 | 1.37 (0.11) | 1.37 (0.11)   | 4.13(0.38)     | 1.37 (0.11)  | 1.37 (0.11)  |
| 1주  | 열팽창    | 0.03 (0.00) | 0.05 (0.00)   | 0.05 (0.01)    | 0.09 (0.01)  | 0.07 (0.01)  |
|     | 열폭     | 0.02 (0.00) | 0.02 (0.00)   | 0.01 (0.00)    | 0.02 (0.00)  | 0.03 (0.00)  |
|     | 열팽창/열폭 | 2.42 (0.22) | 3.02 (0.22)   | 1.37 (0.11)    | 3.84 (0.32)  | 4.09 (0.81)  |
| 2주  | 열팽창    | 0.03 (0.00) | 0.24 (0.05)   | 0.28 (0.04)    | 0.65 (0.05)  | 0.18 (0.02)  |
|     | 열폭     | 0.01 (0.00) | 0.10 (0.03)   | 0.08 (0.02)    | 0.10 (0.01)  | 0.03 (0.00)  |
|     | 열팽창/열폭 | 2.10 (0.13) | 2.71 (0.21)   | 6.33 (1.20)    | 9.23 (1.23)  | 5.70 (0.51)  |
| 3주  | 열팽창    | 0.03 (0.00) | 0.39 (0.11)   | 0.87 (0.14)    | 1.21 (0.09)  | 0.44 (0.08)  |
|     | 열폭     | 0.02 (0.00) | 0.19 (0.07)   | 0.27 (0.07)    | 0.15 (0.01)  | 0.05 (0.01)  |
|     | 열팽창/열폭 | 2.17 (0.19) | 3.04 (0.28)   | 4.37 (0.28)    | 8.76 (0.67)  | 8.76 (2.00)  |
| 4주  | 열팽창    | 0.03 (0.00) | 1.47 (0.38)   | 10.42 (0.88)   | 2.38 (0.15)  | 0.48 (0.11)  |
|     | 열폭     | 0.01 (0.00) | 0.66 (0.17)   | 4.19 (0.76)    | 0.22 (0.01)  | 0.07 (0.02)  |
|     | 열팽창/열폭 | 2.62 (0.26) | 3.53 (0.35)   | 3.56 (0.28)    | 12.06 (1.05) | 10.68 (3.30) |
| 5주  | 열팽창    | 0.06 (0.01) | 16.34 (3.87)  | 37.58 (2.79)   | 8.56 (1.58)  | 0.87 (0.05)  |
|     | 열폭     | 0.03 (0.01) | 6.49 (1.40)   | 9.90 (1.69)    | 2.39 (0.57)  | 0.12 (0.01)  |
|     | 열팽창/열폭 | 3.12 (0.32) | 2.84 (0.18)   | 5.46 (0.40)    | 5.97 (0.61)  | 8.52 (0.66)  |
| 6주  | 열팽창    | 0.03 (0.00) | 43.17 (9.84)  | 69.83 (4.94)   | 14.06 (3.89) | 0.95 (0.06)  |
|     | 열폭     | 0.02 (0.00) | 11.26 (2.34)  | 14.93 (2.58)   | 3.79 (0.72)  | 0.14 (0.01)  |
|     | 열팽창/열폭 | 1.89 (0.14) | 3.66 (0.24)   | 6.77 (0.53)    | 3.47 (0.40)  | 7.30 (0.45)  |
| 7주  | 열팽창    | 0.02 (0.00) | 55.07 (11.54) | 101.13 (6.06)  | 19.59 (5.70) | 2.22 (0.10)  |
|     | 열폭     | 0.01 (0.00) | 14.89 (2.69)  | 18.62 (2.61)   | 5.11 (1.04)  | 0.73 (0.13)  |
|     | 열팽창/열폭 | 1.85 (0.19) | 3.22 (0.22)   | 7.16 (0.55)    | 3.27 (0.28)  | 5.40 (0.64)  |
| 8주  | 열팽창    | 0.01 (0.00) | 58.27 (12.75) | 123.09 (1.30)  | 26.46 (8.43) | 1.90 (0.16)  |
|     | 열폭     | 0.01 (0.00) | 15.23 (2.92)  | 18.34 (2.40)   | 6.19 (1.25)  | 0.31 (0.02)  |
|     | 열팽창/열폭 | 1.25 (0.13) | 3.33 (0.21)   | 7.83 (0.45)    | 3.42 (0.36)  | 7.14 (0.88)  |
| 9주  | 열팽창    | 0.03 (0.00) | 67.34 (14.35) | 133.77 (11.02) | 26.73 (7.16) | 1.60 (0.13)  |
|     | 열폭     | 0.02 (0.00) | 17.66 (3.53)  | 24.23 (2.70)   | 7.17 (1.50)  | 0.24 (0.02)  |
|     | 열팽창/열폭 | 1.76 (0.15) | 4.00 (0.40)   | 6.67 (0.56)    | 3.34 (0.40)  | 8.06 (0.71)  |
| 10주 | 열팽창    | 0.05 (0.00) | 64.89 (14.31) | 140.61 (9.16)  | 28.11 (7.12) | 3.54 (0.22)  |
|     | 열폭     | 0.03 (0.00) | 17.60 (3.47)  | 23.39 (2.54)   | 8.60 (1.56)  | 2.62 (0.13)  |
|     | 열팽창/열폭 | 2.17 (0.20) | 3.58 (0.27)   | 7.20 (0.56)    | 2.88 (0.30)  | 1.48 (0.13)  |

표 71. C-4-57(0Gy) 계통주의 온도 조건별 엽체 형태

|     | 5°C | 10°C | 15°C | 20°C | 25°C |
|-----|-----|------|------|------|------|
| 0주  |     |      |      |      |      |
| 1주  |     |      |      |      |      |
| 2주  |     |      |      |      |      |
| 3주  |     |      |      |      |      |
| 4주  |     |      |      |      |      |
| 5주  |     |      |      |      |      |
| 6주  |     |      |      |      |      |
| 7주  |     |      |      |      |      |
| 8주  |     |      |      |      |      |
| 9주  |     |      |      |      |      |
| 10주 |     |      |      |      |      |

표 72. C-4-57(50Gy) 계통주의 온도 조건별 엽체 형태

|     | 5°C | 10°C | 15°C | 20°C | 25°C |
|-----|-----|------|------|------|------|
| 0주  |     |      |      |      |      |
| 1주  |     |      |      |      |      |
| 2주  |     |      |      |      |      |
| 3주  |     |      |      |      |      |
| 4주  |     |      |      |      |      |
| 5주  |     |      |      |      |      |
| 6주  |     |      |      |      |      |
| 7주  |     |      |      |      |      |
| 8주  |     |      |      |      |      |
| 9주  |     |      |      |      |      |
| 10주 |     |      |      |      |      |

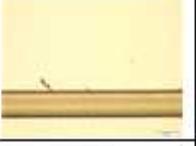
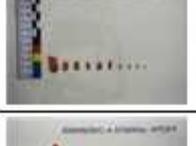
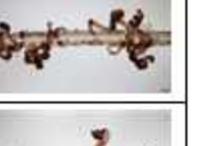
표 73. C-4-57(100Gy) 계통주의 온도 조건별 엽체 형태

|     | 5°C | 10°C | 15°C | 20°C | 25°C |
|-----|-----|------|------|------|------|
| 0주  |     |      |      |      |      |
| 1주  |     |      |      |      |      |
| 2주  |     |      |      |      |      |
| 3주  |     |      |      |      |      |
| 4주  |     |      |      |      |      |
| 5주  |     |      |      |      |      |
| 6주  |     |      |      |      |      |
| 7주  |     |      |      |      |      |
| 8주  |     |      |      |      |      |
| 9주  |     |      |      |      |      |
| 10주 |     |      |      |      |      |

표 74. C-4-57(300Gy) 계통주의 온도 조건별 엽체 형태

|     | 5°C | 10°C | 15°C | 20°C | 25°C |
|-----|-----|------|------|------|------|
| 0주  |     |      |      |      |      |
| 1주  |     |      |      |      |      |
| 2주  |     |      |      |      |      |
| 3주  |     |      |      |      |      |
| 4주  |     |      |      |      |      |
| 5주  |     |      |      |      |      |
| 6주  |     |      |      |      |      |
| 7주  |     |      |      |      |      |
| 8주  |     |      |      |      |      |
| 9주  |     |      |      |      |      |
| 10주 |     |      |      |      |      |

표 75. C-4-57(500Gy) 계통주의 온도 조건별 엽체 형태

|     | 5°C                                                                                 | 10°C                                                                                | 15°C                                                                                | 20°C                                                                                 | 25°C                                                                                  |
|-----|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| 0주  |    |    |    |    |    |
| 1주  |    |    |    |    |    |
| 2주  |    |    |    |    |    |
| 3주  |    |    |    |    |    |
| 4주  |   |   |   |   |   |
| 5주  |  |  |  |  |  |
| 6주  |  |  |  |  |  |
| 7주  |  |  |  |  |  |
| 8주  |  |  |  |  |  |
| 9주  |  |  |  |  |  |
| 10주 |  |  |  |  |  |

(9) 장흥정남진

신품종 개발을 위해 장흥정남진 계통주에 방사선 조사를 실시하고 선량별 실내형질특성을 수행하였다. 최종 10주차 조사된 개체 중, 가장 생장이 좋은 엽체는 100Gy, 5℃ 조건에서 엽장 44.52.86mm, 엽폭 13.54mm, 엽장/엽폭 3.29로 나타났으나, 대조구 0Gy 5℃보다 낮은 값을 보였다. 엽체의 생장은 대조구(0Gy)에서 5℃ > 10℃ > 15℃ > 25℃ > 20℃ 순으로 나타나 5℃가 가장 생장이 양호했으며, 10℃ 이상의 온도에서는 10주차 경과 모두 방출되었다. 10주차 100, 500Gy 선량의 5, 10℃를 제외한 모든 감마선 조사 구간에서 길이생장을 하지 못하는 생장 이상이 발생하여 측정이 불가하였다(그림 38~42, 표 76~85). 본 계통주는 방사무늬김의 성장적수온인 10~20℃ 중, 5, 10℃ 조건에서 생장이 양호한 것으로 나타났으며, 추후 추가 조사를 통해 광온성 신품종을 선별 예정이다.

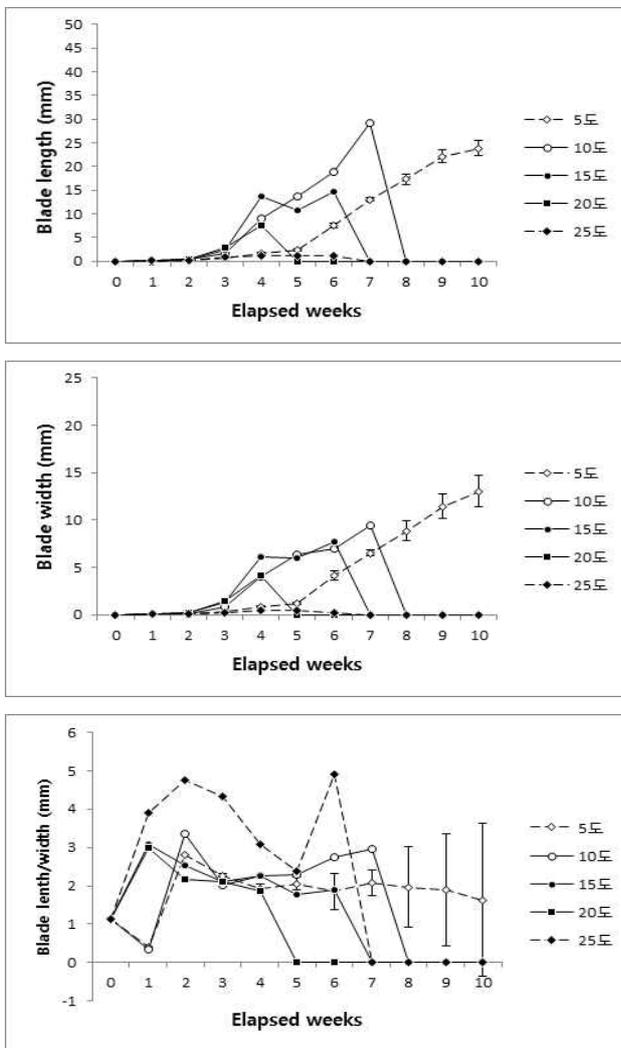


그림 38. 장흥정남진 0Gy 성장 그래프

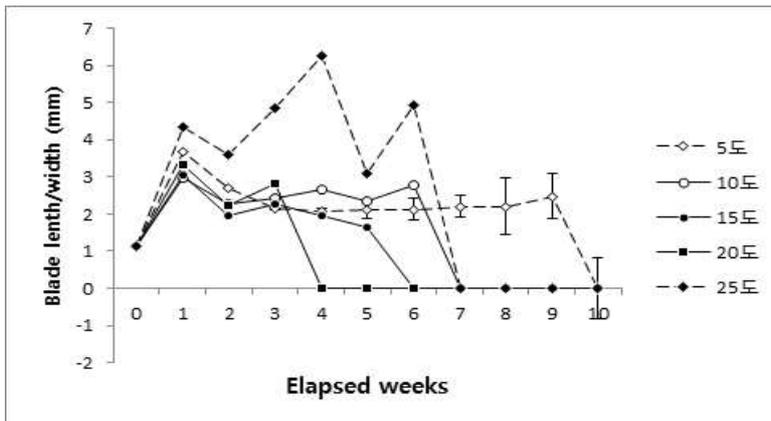
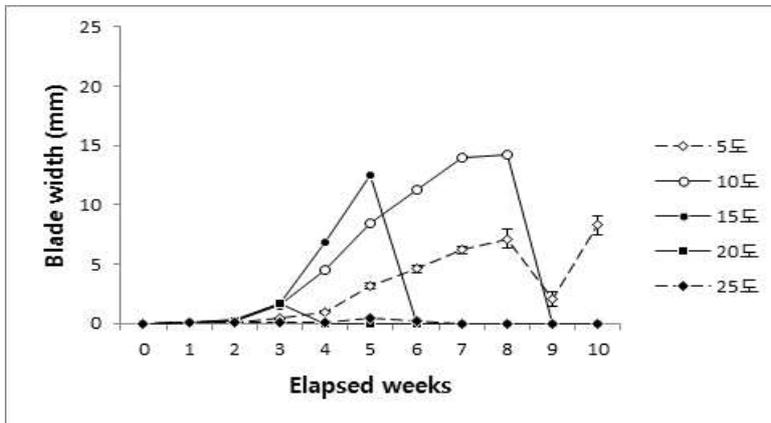
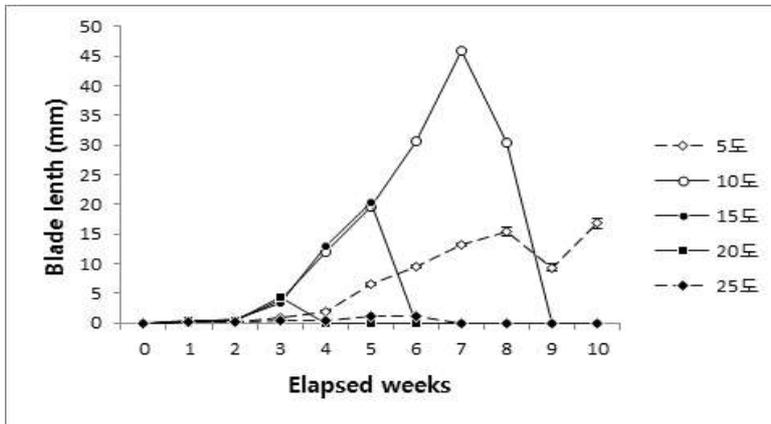


그림 39. 장흥정남진 50Gy 성장 그래프

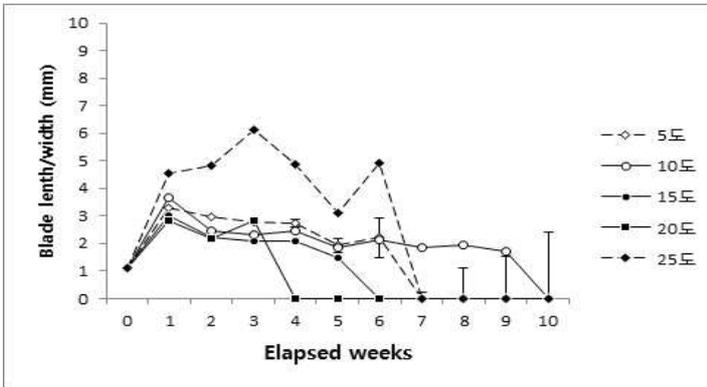
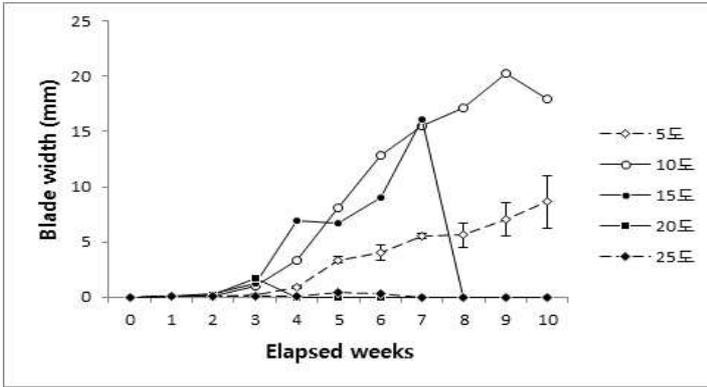
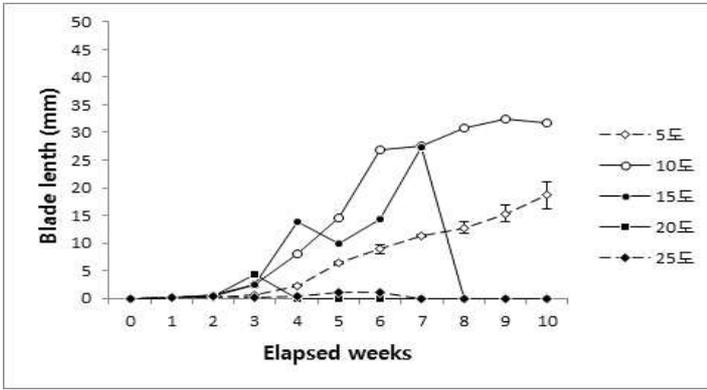


그림 40. 장흥정남진 100Gy 생장 그래프

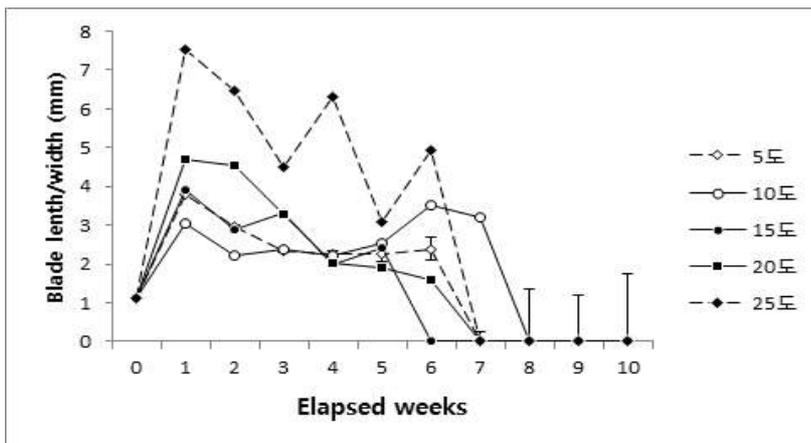
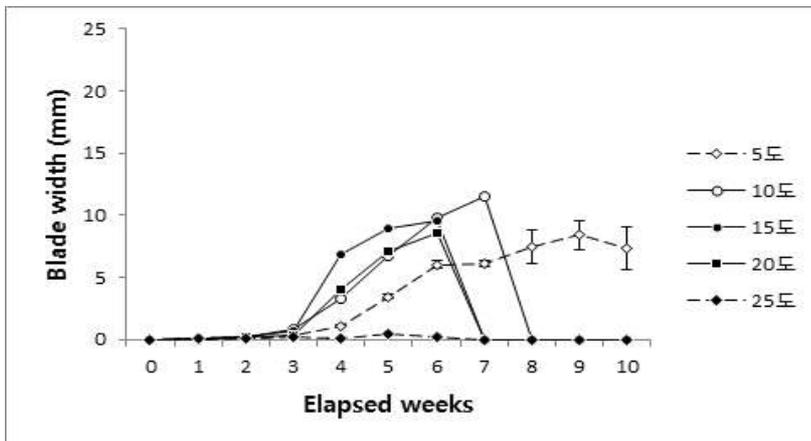
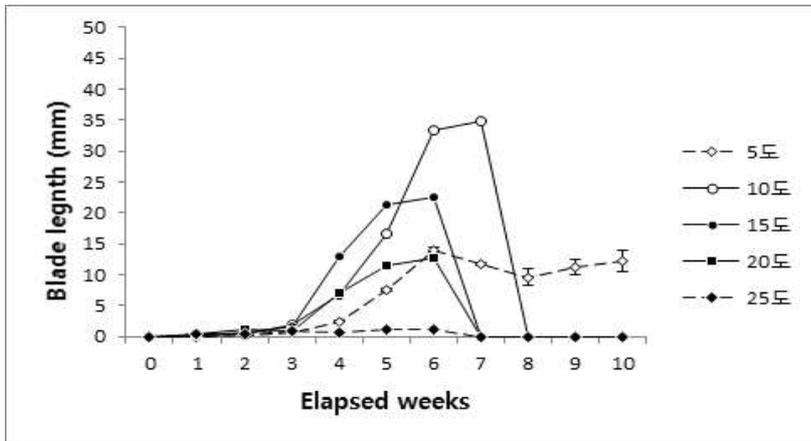


그림 41. 장흥정남진 300Gy 성장 그래프

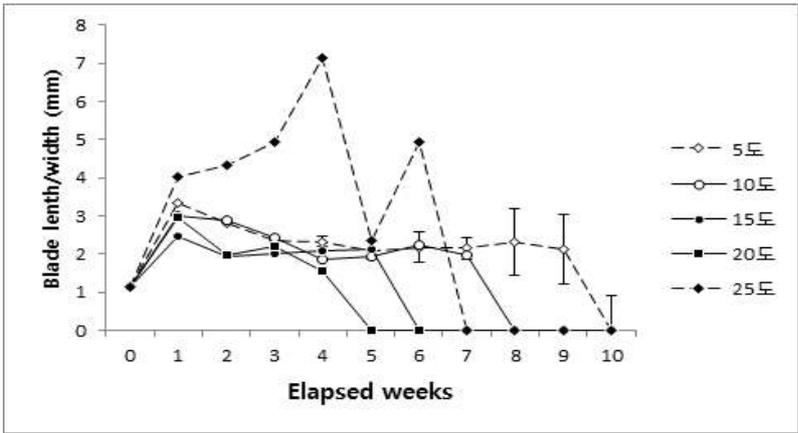
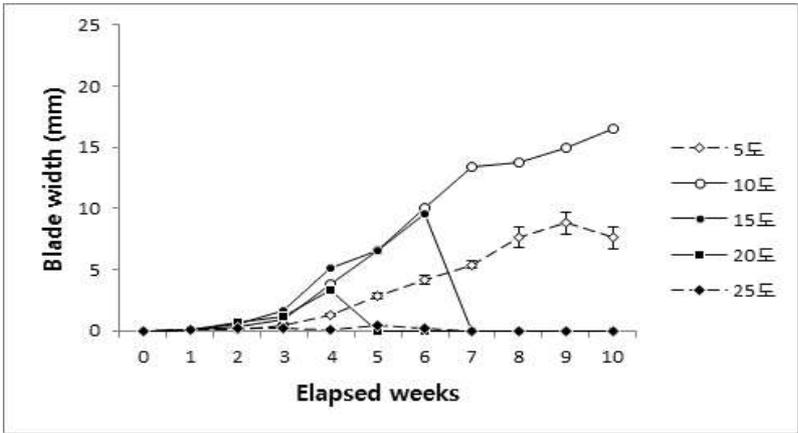
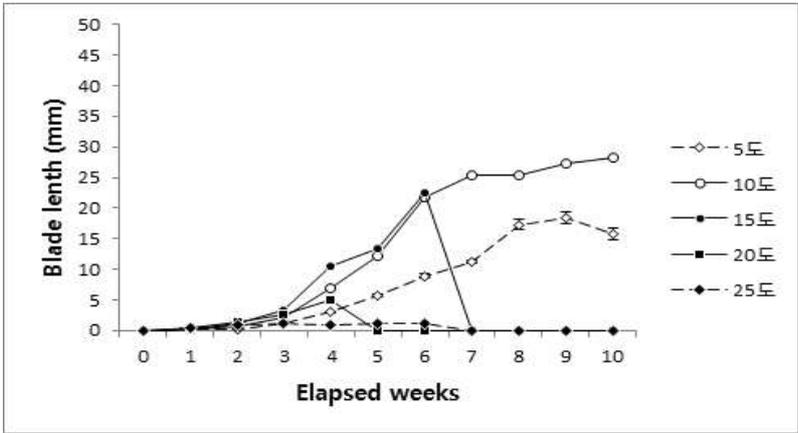


그림 42. 장흥정남진 500Gy 생장 그래프

표 76. 장흥정남진(0Gy) 계통주의 온도 조건별 업체 성장(단위 mm) / ( ) : 평균

|     |       | 5℃            | 10℃          | 15℃          | 20℃        | 25℃         |
|-----|-------|---------------|--------------|--------------|------------|-------------|
| 0주  | 엽장    | 0.02(0.01)    | 0.02(0.01)   | 0.02(0.01)   | 0.02(0.01) | 0.02(0.01)  |
|     | 엽폭    | 0.01(0.01)    | 0.01(0.01)   | 0.01(0.01)   | 0.01(0.01) | 0.01(0.01)  |
|     | 엽장/엽폭 | 2.00(1.13)    | 2.00(1.13)   | 2.00(1.13)   | 2.00(1.13) | 2.00(1.13)  |
| 1주  | 엽장    | 0.04(0.02)    | 0.04(0.02)   | 0.13(0.08)   | 0.06(0.03) | 0.21(0.13)  |
|     | 엽폭    | 0.13(0.06)    | 0.39(0.06)   | 0.05(0.03)   | 5.00(2.98) | 0.08(0.04)  |
|     | 엽장/엽폭 | 1.00(0.40)    | 0.50(0.35)   | 4.33(3.09)   | 2.00(1.13) | 6.50(3.90)  |
| 2주  | 엽장    | 0.36(0.20)    | 0.84(0.36)   | 0.84(0.39)   | 0.34(0.22) | 0.33(0.24)  |
|     | 엽폭    | 1.18(0.67)    | 0.39(0.12)   | 0.39(0.16)   | 3.06(2.17) | 0.14(0.06)  |
|     | 엽장/엽폭 | 4.25(2.81)    | 5.00(3.35)   | 4.00(2.52)   | 5.00(2.98) | 10.00(4.74) |
| 3주  | 엽장    | 1.18(0.67)    | 2.32(1.59)   | 5.59(2.49)   | 2.20(1.37) | 1.89(1.02)  |
|     | 엽폭    | 0.51(0.31)    | 1.22(0.81)   | 2.38(1.26)   | 4.10(2.11) | 0.43(0.25)  |
|     | 엽장/엽폭 | 3.62(2.27)    | 3.04(2.01)   | 4.80(2.10)   | 4.10(2.11) | 7.39(4.34)  |
| 4주  | 엽장    | 3.16(1.69)    | 14.62(8.91)  | 22.04(13.71) | 6.08(4.12) | 2.45(1.13)  |
|     | 엽폭    | 1.46(0.88)    | 6.10(4.01)   | 9.38(6.10)   | 3.22(1.87) | 0.69(0.39)  |
|     | 엽장/엽폭 | 2.53(1.93)    | 4.15(2.27)   | 2.88(2.27)   | 3.22(1.87) | 10.90(3.09) |
| 5주  | 엽장    | 5.40(2.39)    | 24.11(13.60) | 18.78(10.65) | 0.00(0.00) | 2.18(1.03)  |
|     | 엽폭    | 2.30(1.21)    | 10.13(6.38)  | 8.22(6.04)   | 0.00(0.00) | 1.22(0.45)  |
|     | 엽장/엽폭 | 3.27(2.06)    | 5.13(2.28)   | 2.63(1.78)   | 0.00(0.00) | 3.60(2.37)  |
| 6주  | 엽장    | 16.91(7.47)   | 37.58(17.49) | 32.03(14.58) | 0.00(0.00) | 2.29(1.03)  |
|     | 엽폭    | 6.55(4.15)    | 10.75(6.47)  | 11.83(7.66)  | 0.00(0.00) | 0.62(0.26)  |
|     | 엽장/엽폭 | 4.17(1.86)    | 7.41(2.74)   | 3.37(1.88)   | 0.00(0.00) | 9.90(4.92)  |
| 7주  | 엽장    | 25.76(13.06)  | 45.88(27.30) | 0.00(0.00)   | 0.00(0.00) | 0.00(0.00)  |
|     | 엽폭    | 10.80(6.52)   | 13.67(8.81)  | 0.00(0.00)   | 0.00(0.00) | 0.00(0.00)  |
|     | 엽장/엽폭 | 3.37(2.07)    | 5.50(2.97)   | 0.00(0.00)   | 0.00(0.00) | 0.00(0.00)  |
| 8주  | 엽장    | 36.76(17.26)  | 0.00(0.00)   | 0.00(0.00)   | 0.00(0.00) | 0.00(0.00)  |
|     | 엽폭    | 13.83(8.87)   | 0.00(0.00)   | 0.00(0.00)   | 0.00(0.00) | 0.00(0.00)  |
|     | 엽장/엽폭 | 2.86(1.96)    | 0.00(0.00)   | 0.00(0.00)   | 0.00(0.00) | 0.00(0.00)  |
| 9주  | 엽장    | 44.85(21.38)  | 0.00(0.00)   | 0.00(0.00)   | 0.00(0.00) | 0.00(0.00)  |
|     | 엽폭    | 18.94(11.060) | 0.00(0.00)   | 0.00(0.00)   | 0.00(0.00) | 0.00(0.00)  |
|     | 엽장/엽폭 | 3.04(1.89)    | 0.00(0.00)   | 0.00(0.00)   | 0.00(0.00) | 0.00(0.00)  |
| 10주 | 엽장    | 52.76(21.48)  | 0.00(0.00)   | 0.00(0.00)   | 0.00(0.00) | 0.00(0.00)  |
|     | 엽폭    | 20.54(11.75)  | 0.00(0.00)   | 0.00(0.00)   | 0.00(0.00) | 0.00(0.00)  |
|     | 엽장/엽폭 | 2.57(1.63)    | 0.00(0.00)   | 0.00(0.00)   | 0.00(0.00) | 0.00(0.00)  |

표 77. 장흥정남진(50Gy) 계통주의 온도 조건별 엽체 성장(단위 mm) / ( ) : 평균

|     |       | 5℃           | 10℃          | 15℃          | 20℃        | 25℃         |
|-----|-------|--------------|--------------|--------------|------------|-------------|
| 0주  | 엽장    | 0.02(0.01)   | 0.02(0.01)   | 0.02(0.01)   | 0.02(0.01) | 0.02(0.01)  |
|     | 엽폭    | 0.01(0.01)   | 0.01(0.01)   | 0.01(0.01)   | 0.01(0.01) | 0.01(0.01)  |
|     | 엽장/엽폭 | 2.00(1.13)   | 2.00(1.13)   | 2.00(1.13)   | 2.00(1.13) | 2.00(1.13)  |
| 1주  | 엽장    | 0.13(0.09)   | 0.24(0.15)   | 0.25(0.13)   | 0.37(0.29) | 0.35(0.22)  |
|     | 엽폭    | 0.03(0.02)   | 0.27(0.05)   | 0.09(0.04)   | 0.14(0.10) | 0.07(0.05)  |
|     | 엽장/엽폭 | 5.50(3.67)   | 2.00(1.13)   | 4.50(3.03)   | 8.33(3.32) | 7.00(4.33)  |
| 2주  | 엽장    | 0.39(0.28)   | 0.53(0.38)   | 0.76(0.54)   | 0.58(0.04) | 0.55(0.24)  |
|     | 엽폭    | 0.17(0.11)   | 0.27(0.17)   | 0.39(0.28)   | 0.25(0.18) | 0.17(0.08)  |
|     | 엽장/엽폭 | 5.20(2.69)   | 4.00(2.25)   | 3.36(1.97)   | 3.18(2.22) | 7.14(3.58)  |
| 3주  | 엽장    | 1.08(0.83)   | 5.44(3.75)   | 7.12(3.34)   | 6.21(4.24) | 0.86(0.52)  |
|     | 엽폭    | 0.53(0.39)   | 2.52(1.59)   | 3.19(1.67)   | 3.24(1.66) | 0.19(0.11)  |
|     | 엽장/엽폭 | 3.33(2.14)   | 3.96(2.44)   | 4.47(2.27)   | 5.29(2.82) | 6.44(4.83)  |
| 4주  | 엽장    | 2.72(1.96)   | 16.59(11.95) | 20.16(13.01) | 0.00(0.00) | 0.85(0.48)  |
|     | 엽폭    | 1.46(0.99)   | 6.70(4.53)   | 10.04(6.88)  | 0.00(0.00) | 0.23(0.09)  |
|     | 엽장/엽폭 | 4.76(2.06)   | 3.46(2.67)   | 3.45(1.97)   | 0.00(0.00) | 18.33(6.25) |
| 5주  | 엽장    | 9.84(6.44)   | 31.55(19.56) | 34.85(20.35) | 0.00(0.00) | 2.45(1.13)  |
|     | 엽폭    | 5.59(3.12)   | 13.39(8.47)  | 18.84(12.53) | 0.00(0.00) | 0.69(0.39)  |
|     | 엽장/엽폭 | 3.07(2.11)   | 3.64(2.35)   | 2.71(1.65)   | 0.00(0.00) | 10.90(3.09) |
| 6주  | 엽장    | 14.04(9.57)  | 48.45(30.60) | 0.00(0.00)   | 0.00(0.00) | 2.29(1.03)  |
|     | 엽폭    | 6.80(4.59)   | 16.44(11.32) | 0.00(0.00)   | 0.00(0.00) | 0.62(0.26)  |
|     | 엽장/엽폭 | 2.94(2.12)   | 4.73(2.77)   | 0.00(0.00)   | 0.00(0.00) | 9.90(4.92)  |
| 7주  | 엽장    | 21.22(13.14) | 64.59(13.73) | 0.00(0.00)   | 0.00(0.00) | 0.00(0.00)  |
|     | 엽폭    | 10.50(6.17)  | 4.79(1.01)   | 0.00(0.00)   | 0.00(0.00) | 0.00(0.00)  |
|     | 엽장/엽폭 | 4.37(2.21)   | 4.79(1.01)   | 0.00(0.00)   | 0.00(0.00) | 0.00(0.00)  |
| 8주  | 엽장    | 25.00(15.34) | 38.19(4.07)  | 0.00(0.00)   | 0.00(0.00) | 0.00(0.00)  |
|     | 엽폭    | 13.65(7.13)  | 18.73(1.90)  | 0.00(0.00)   | 0.00(0.00) | 0.00(0.00)  |
|     | 엽장/엽폭 | 3.29(2.20)   | 2.32(0.29)   | 0.00(0.00)   | 0.00(0.00) | 0.00(0.00)  |
| 9주  | 엽장    | 26.70(9.32)  | 0.00(0.00)   | 0.00(0.00)   | 0.00(0.00) | 0.00(0.00)  |
|     | 엽폭    | 13.47(2.09)  | 0.00(0.00)   | 0.00(0.00)   | 0.00(0.00) | 0.00(0.00)  |
|     | 엽장/엽폭 | 5.89(2.48)   | 0.00(0.00)   | 0.00(0.00)   | 0.00(0.00) | 0.00(0.00)  |
| 10주 | 엽장    | 24.46(9.53)  | 0.00(0.00)   | 0.00(0.00)   | 0.00(0.00) | 0.00(0.00)  |
|     | 엽폭    | 11.80(4.69)  | 0.00(0.00)   | 0.00(0.00)   | 0.00(0.00) | 0.00(0.00)  |
|     | 엽장/엽폭 | 3.08(1.19)   | 0.00(0.00)   | 0.00(0.00)   | 0.00(0.00) | 0.00(0.00)  |

표 78. 장흥정남진(100Gy) 계통주의 온도 조건별 엽체 성장(단위 mm) / ( ) : 평균

|     |       | 5℃           | 10℃          | 15℃          | 20℃        | 25℃         |
|-----|-------|--------------|--------------|--------------|------------|-------------|
| 0주  | 엽장    | 0.02(0.01)   | 0.02(0.01)   | 0.02(0.01)   | 0.02(0.01) | 0.02(0.01)  |
|     | 엽폭    | 0.01(0.01)   | 0.01(0.01)   | 0.01(0.01)   | 0.01(0.01) | 0.01(0.01)  |
|     | 엽장/엽폭 | 2.00(1.13)   | 2.00(1.13)   | 2.00(1.13)   | 2.00(1.13) | 2.00(1.13)  |
| 1주  | 엽장    | 0.11(0.08)   | 0.17(0.13)   | 0.19(0.15)   | 0.28(0.20) | 0.26(0.20)  |
|     | 엽폭    | 0.04(0.02)   | 0.25(0.04)   | 0.07(0.05)   | 0.12(0.07) | 0.06(0.05)  |
|     | 엽장/엽폭 | 5.00(3.29)   | 7.50(3.66)   | 7.00(3.02)   | 5.00(2.82) | 7.00(4.54)  |
| 2주  | 엽장    | 0.36(0.24)   | 0.61(0.30)   | 1.17(0.65)   | 0.64(0.41) | 0.78(0.43)  |
|     | 엽폭    | 0.14(0.09)   | 0.25(0.13)   | 0.57(0.30)   | 0.27(0.19) | 0.20(0.10)  |
|     | 엽장/엽폭 | 4.60(2.98)   | 3.50(2.46)   | 3.23(2.21)   | 3.70(2.17) | 11.00(4.84) |
| 3주  | 엽장    | 0.97(0.57)   | 3.32(2.44)   | 5.59(2.49)   | 6.21(4.24) | 0.48(0.21)  |
|     | 엽폭    | 0.42(0.23)   | 1.45(1.06)   | 2.38(1.26)   | 3.24(1.66) | 0.07(0.03)  |
|     | 엽장/엽폭 | 7.44(2.78)   | 3.36(2.31)   | 4.80(2.10)   | 5.29(2.82) | 11.00(6.14) |
| 4주  | 엽장    | 3.94(2.31)   | 15.55(7.98)  | 21.21(13.91) | 0.00(0.00) | 0.85(0.50)  |
|     | 엽폭    | 1.67(0.86)   | 5.79(3.39)   | 10.01(6.90)  | 0.00(0.00) | 0.23(0.11)  |
|     | 엽장/엽폭 | 4.27(2.74)   | 4.39(2.47)   | 3.26(2.09)   | 0.00(0.00) | 8.67(4.86)  |
| 5주  | 엽장    | 10.68(6.37)  | 25.10(14.59) | 25.48(9.97)  | 0.00(0.00) | 2.45(1.13)  |
|     | 엽폭    | 4.62(3.36)   | 15.57(8.12)  | 11.20(6.71)  | 0.00(0.00) | 0.69(0.39)  |
|     | 엽장/엽폭 | 3.15(1.93)   | 2.67(1.86)   | 2.69(1.48)   | 0.00(0.00) | 10.90(3.09) |
| 6주  | 엽장    | 21.73(8.86)  | 48.23(26.85) | 39.43(12.82) | 0.00(0.00) | 2.29(1.03)  |
|     | 엽폭    | 7.15(4.03)   | 25.90(12.90) | 16.92(8.07)  | 0.00(0.00) | 0.62(0.26)  |
|     | 엽장/엽폭 | 3.63(2.21)   | 3.27(2.15)   | 3.47(1.41)   | 0.00(0.00) | 9.90(4.92)  |
| 7주  | 엽장    | 30.73(10.92) | 48.97(27.47) | 51.70(8.19)  | 0.00(0.00) | 0.00(0.00)  |
|     | 엽폭    | 10.09(5.34)  | 25.06(15.53) | 22.36(4.84)  | 0.00(0.00) | 0.00(0.00)  |
|     | 엽장/엽폭 | 3.05(1.95)   | 4.74(1.86)   | 3.08(0.51)   | 0.00(0.00) | 0.00(0.00)  |
| 8주  | 엽장    | 35.91(11.92) | 43.23(30.76) | 0.00(0.00)   | 0.00(0.00) | 0.00(0.00)  |
|     | 엽폭    | 11.17(5.26)  | 30.17(17.20) | 0.00(0.00)   | 0.00(0.00) | 0.00(0.00)  |
|     | 엽장/엽폭 | 3.38(2.09)   | 6.05(1.95)   | 0.00(0.00)   | 0.00(0.00) | 0.00(0.00)  |
| 9주  | 엽장    | 44.82(12.73) | 43.49(32.52) | 0.00(0.00)   | 0.00(0.00) | 0.00(0.00)  |
|     | 엽폭    | 12.25(5.89)  | 32.20(20.28) | 0.00(0.00)   | 0.00(0.00) | 0.00(0.00)  |
|     | 엽장/엽폭 | 3.66(1.77)   | 4.57(1.69)   | 0.00(0.00)   | 0.00(0.00) | 0.00(0.00)  |
| 10주 | 엽장    | 44.52(8.71)  | 42.55(20.11) | 0.00(0.00)   | 0.00(0.00) | 0.00(0.00)  |
|     | 엽폭    | 13.54(4.02)  | 24.41(11.37) | 0.00(0.00)   | 0.00(0.00) | 0.00(0.00)  |
|     | 엽장/엽폭 | 3.29(1.00)   | 3.05(1.16)   | 0.00(0.00)   | 0.00(0.00) | 0.00(0.00)  |

표 79. 장흥정남진(300Gy) 계통주의 온도 조건별 엽체 성장(단위 mm) / ( ) : 평균

|     |       | 5℃           | 10℃          | 15℃          | 20℃          | 25℃         |
|-----|-------|--------------|--------------|--------------|--------------|-------------|
| 0주  | 엽장    | 0.02(0.01)   | 0.02(0.01)   | 0.02(0.01)   | 0.02(0.01)   | 0.02(0.01)  |
|     | 엽폭    | 0.01(0.01)   | 0.01(0.01)   | 0.01(0.01)   | 0.01(0.01)   | 0.01(0.01)  |
|     | 엽장/엽폭 | 2.00(1.13)   | 2.00(1.13)   | 2.00(1.13)   | 2.00(1.13)   | 2.00(1.13)  |
| 1주  | 엽장    | 0.06(0.04)   | 0.12(0.09)   | 0.21(0.13)   | 0.49(0.40)   | 0.56(0.40)  |
|     | 엽폭    | 0.02(0.01)   | 0.25(0.03)   | 0.08(0.04)   | 0.10(0.09)   | 0.07(0.052) |
|     | 엽장/엽폭 | 5.00(3.78)   | 4.00(3.06)   | 6.50(3.90)   | 6.86(4.68)   | 10.75(7.53) |
| 2주  | 엽장    | 0.36(0.24)   | 0.58(0.40)   | 0.21(0.13)   | 1.59(1.18)   | 0.71(0.47)  |
|     | 엽폭    | 0.14(0.09)   | 0.25(0.18)   | 0.30(0.25)   | 0.33(0.27)   | 0.24(0.08)  |
|     | 엽장/엽폭 | 4.60(2.98)   | 3.18(2.22)   | 3.50(2.90)   | 8.00(4.55)   | 10.40(6.47) |
| 3주  | 엽장    | 0.91(0.74)   | 2.84(1.92)   | 6.99(1.52)   | 1.95(0.96)   | 1.85(0.88)  |
|     | 엽폭    | 0.44(0.33)   | 1.13(0.83)   | 3.15(0.64)   | 0.82(0.35)   | 0.41(0.23)  |
|     | 엽장/엽폭 | 3.15(2.32)   | 4.50(2.38)   | 5.50(3.31)   | 7.00(3.27)   | 10.60(4.49) |
| 4주  | 엽장    | 3.12(2.45)   | 10.60(6.92)  | 20.16(13.01) | 14.88(7.14)  | 0.92(0.64)  |
|     | 엽폭    | 1.63(1.11)   | 5.04(3.24)   | 10.04(6.88)  | 9.00(4.04)   | 0.19(0.12)  |
|     | 엽장/엽폭 | 3.26(2.24)   | 3.76(2.21)   | 3.45(1.97)   | 4.04(2.02)   | 19.67(6.30) |
| 5주  | 엽장    | 10.15(7.56)  | 26.47(16.57) | 48.18(21.19) | 20.91(11.58) | 2.45(1.13)  |
|     | 엽폭    | 5.57(3.45)   | 10.51(6.73)  | 12.57(8.91)  | 12.67(7.04)  | 0.69(0.39)  |
|     | 엽장/엽폭 | 3.44(2.26)   | 4.20(2.54)   | 4.57(2.42)   | 4.24(1.90)   | 10.90(3.09) |
| 6주  | 엽장    | 18.09(14.02) | 52.43(33.41) | 32.57(12.79) | 25.27(12.79) | 2.29(1.03)  |
|     | 엽폭    | 8.92(6.03)   | 19.48(9.82)  | 14.28(5.39)  | 16.20(8.61)  | 0.62(0.26)  |
|     | 엽장/엽폭 | 4.00(2.39)   | 4.72(3.52)   | 5.69(1.48)   | 2.73(1.57)   | 9.90(4.92)  |
| 7주  | 엽장    | 17.74(6.68)  | 60.82(34.90) | 0.00(0.00)   | 0.00(0.00)   | 0.00(0.00)  |
|     | 엽폭    | 7.55(3.49)   | 17.66(11.47) | 0.00(0.00)   | 0.00(0.00)   | 0.00(0.00)  |
|     | 엽장/엽폭 | 3.01(1.11)   | 6.65(3.18)   | 0.00(0.00)   | 0.00(0.00)   | 0.00(0.00)  |
| 8주  | 엽장    | 21.72(5.10)  | 0.00(0.00)   | 0.00(0.00)   | 0.00(0.00)   | 0.00(0.00)  |
|     | 엽폭    | 9.66(3.96)   | 0.00(0.00)   | 0.00(0.00)   | 0.00(0.00)   | 0.00(0.00)  |
|     | 엽장/엽폭 | 2.84(0.70)   | 0.00(0.00)   | 0.00(0.00)   | 0.00(0.00)   | 0.00(0.00)  |
| 9주  | 엽장    | 23.38(5.62)  | 0.00(0.00)   | 0.00(0.00)   | 0.00(0.00)   | 0.00(0.00)  |
|     | 엽폭    | 10.85(4.20)  | 0.00(0.00)   | 0.00(0.00)   | 0.00(0.00)   | 0.00(0.00)  |
|     | 엽장/엽폭 | 2.60(0.69)   | 0.00(0.00)   | 0.00(0.00)   | 0.00(0.00)   | 0.00(0.00)  |
| 10주 | 엽장    | 22.36(3.65)  | 0.00(0.00)   | 0.00(0.00)   | 0.00(0.00)   | 0.00(0.00)  |
|     | 엽폭    | 10.16(2.20)  | 0.00(0.00)   | 0.00(0.00)   | 0.00(0.00)   | 0.00(0.00)  |
|     | 엽장/엽폭 | 2.50(0.50)   | 0.00(0.00)   | 0.00(0.00)   | 0.00(0.00)   | 0.00(0.00)  |

표 80. 장흥정남진(500Gy) 계통주의 온도 조건별 엽체 성장(단위 mm) / ( ) : 평균

|     |       | 5℃           | 10℃          | 15℃          | 20℃        | 25℃         |
|-----|-------|--------------|--------------|--------------|------------|-------------|
| 0주  | 엽장    | 0.02(0.01)   | 0.02(0.01)   | 0.02(0.01)   | 0.02(0.01) | 0.02(0.01)  |
|     | 엽폭    | 0.01(0.01)   | 0.01(0.01)   | 0.01(0.01)   | 0.01(0.01) | 0.01(0.01)  |
|     | 엽장/엽폭 | 2.00(1.13)   | 2.00(1.13)   | 2.00(1.13)   | 2.00(1.13) | 2.00(1.13)  |
| 1주  | 엽장    | 0.19(0.11)   | 0.35(0.20)   | 0.28(0.21)   | 0.45(0.32) | 0.50(0.34)  |
|     | 엽폭    | 0.07(0.04)   | 0.60(0.07)   | 0.14(0.09)   | 0.17(0.11) | 0.15(0.09)  |
|     | 엽장/엽폭 | 5.50(3.34)   | 4.20(3.00)   | 4.00(2.45)   | 5.00(2.98) | 5.71(4.01)  |
| 2주  | 엽장    | 0.39(0.26)   | 1.61(0.76)   | 1.61(1.13)   | 1.77(1.31) | 1.17(0.78)  |
|     | 엽폭    | 0.15(0.09)   | 0.60(0.28)   | 0.87(0.59)   | 1.34(0.69) | 0.50(0.19)  |
|     | 엽장/엽폭 | 4.20(2.82)   | 5.18(2.89)   | 2.55(1.93)   | 3.29(1.97) | 9.55(4.33)  |
| 3주  | 엽장    | 2.18(1.03)   | 3.41(2.19)   | 5.58(3.20)   | 4.43(2.52) | 2.29(1.03)  |
|     | 엽폭    | 1.22(0.45)   | 2.05(0.95)   | 3.60(1.70)   | 2.13(1.20) | 0.62(0.26)  |
|     | 엽장/엽폭 | 3.60(2.37)   | 3.61(2.44)   | 4.84(2.01)   | 4.74(2.22) | 9.90(4.92)  |
| 4주  | 엽장    | 4.41(3.00)   | 11.53(6.87)  | 14.32(10.53) | 7.19(4.97) | 2.34(0.91)  |
|     | 엽폭    | 1.91(1.32)   | 6.37(3.78)   | 8.61(5.17)   | 5.59(3.36) | 0.30(0.13)  |
|     | 엽장/엽폭 | 4.01(2.34)   | 3.14(1.88)   | 3.16(2.09)   | 3.50(1.57) | 11.43(7.15) |
| 5주  | 엽장    | 9.61(5.65)   | 21.52(12.16) | 20.02(13.27) | 0.00(0.00) | 2.18(1.03)  |
|     | 엽폭    | 4.85(2.84)   | 9.53(6.56)   | 10.49(6.56)  | 0.00(0.00) | 1.22(0.45)  |
|     | 엽장/엽폭 | 3.13(2.11)   | 2.90(1.92)   | 3.79(2.12)   | 0.00(0.00) | 3.60(2.37)  |
| 6주  | 엽장    | 14.71(8.89)  | 33.04(21.69) | 41.76(13.55) | 0.00(0.00) | 2.29(1.03)  |
|     | 엽폭    | 7.33(4.18)   | 14.18(10.00) | 15.84(5.74)  | 0.00(0.00) | 0.62(0.26)  |
|     | 엽장/엽폭 | 3.14(2.17)   | 3.14(1.88)   | 6.14(1.52)   | 0.00(0.00) | 9.90(4.92)  |
| 7주  | 엽장    | 17.93(11.17) | 39.31(25.45) | 0.00(0.00)   | 0.00(0.00) | 0.00(0.00)  |
|     | 엽폭    | 9.17(5.41)   | 22.61(13.37) | 0.00(0.00)   | 0.00(0.00) | 0.00(0.00)  |
|     | 엽장/엽폭 | 3.80(2.16)   | 3.16(1.98)   | 0.00(0.00)   | 0.00(0.00) | 0.00(0.00)  |
| 8주  | 엽장    | 27.24(17.29) | 43.04(23.72) | 0.00(0.00)   | 0.00(0.00) | 0.00(0.00)  |
|     | 엽폭    | 13.08(7.62)  | 18.91(12.83) | 0.00(0.00)   | 0.00(0.00) | 0.00(0.00)  |
|     | 엽장/엽폭 | 3.32(2.32)   | 3.44(1.77)   | 0.00(0.00)   | 0.00(0.00) | 0.00(0.00)  |
| 9주  | 엽장    | 28.34(18.47) | 41.55(22.74) | 0.00(0.00)   | 0.00(0.00) | 0.00(0.00)  |
|     | 엽폭    | 14.85(8.81)  | 32.35(12.51) | 0.00(0.00)   | 0.00(0.00) | 0.00(0.00)  |
|     | 엽장/엽폭 | 3.26(2.12)   | 3.26(1.60)   | 0.00(0.00)   | 0.00(0.00) | 0.00(0.00)  |
| 10주 | 엽장    | 25.05(14.70) | 34.26(9.39)  | 0.00(0.00)   | 0.00(0.00) | 0.00(0.00)  |
|     | 엽폭    | 14.56(7.10)  | 24.11(5.49)  | 0.00(0.00)   | 0.00(0.00) | 0.00(0.00)  |
|     | 엽장/엽폭 | 3.33(1.98)   | 3.10(0.60)   | 0.00(0.00)   | 0.00(0.00) | 0.00(0.00)  |

표 81. 장홍정남진(0 Gy) 계통주의 온도 조건별 엽체 형태

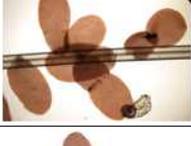
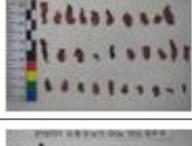
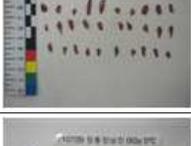
|     | 5°C                                                                                 | 10°C                                                                                | 15°C                                                                                | 20°C                                                                                | 25°C                                                                                  |
|-----|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| 0주  |    |    |    |   |    |
| 1주  |    |    |    |   |    |
| 2주  |    |    |    |   |    |
| 3주  |    |    |    |   |    |
| 4주  |   |   |   |  |   |
| 5주  |  |  |  | 사멸                                                                                  |  |
| 6주  |  |  |  | 사멸                                                                                  |  |
| 7주  |  |  | 사멸                                                                                  | 사멸                                                                                  | 사멸                                                                                    |
| 8주  |  | 사멸                                                                                  | 사멸                                                                                  | 사멸                                                                                  | 사멸                                                                                    |
| 9주  |  | 사멸                                                                                  | 사멸                                                                                  | 사멸                                                                                  | 사멸                                                                                    |
| 10주 |  | 사멸                                                                                  | 사멸                                                                                  | 사멸                                                                                  | 사멸                                                                                    |

표 82. 장홍정남진(50 Gy) 계통주의 온도 조건별 엽체 형태

|     | 5°C | 10°C | 15°C | 20°C | 25°C |
|-----|-----|------|------|------|------|
| 0주  |     |      |      |      |      |
| 1주  |     |      |      |      |      |
| 2주  |     |      |      |      |      |
| 3주  |     |      |      |      |      |
| 4주  |     |      |      | 사멸   |      |
| 5주  |     |      |      | 사멸   |      |
| 6주  |     |      | 사멸   | 사멸   |      |
| 7주  |     |      | 사멸   | 사멸   | 사멸   |
| 8주  |     |      | 사멸   | 사멸   | 사멸   |
| 9주  |     | 사멸   | 사멸   | 사멸   | 사멸   |
| 10주 |     | 사멸   | 사멸   | 사멸   | 사멸   |

표 83. 장홍정남진(100 Gy) 계통주의 온도 조건별 엽체 형태

|     | 5°C | 10°C | 15°C | 20°C | 25°C |
|-----|-----|------|------|------|------|
| 0주  |     |      |      |      |      |
| 1주  |     |      |      |      |      |
| 2주  |     |      |      |      |      |
| 3주  |     |      |      |      |      |
| 4주  |     |      |      | 사멸   |      |
| 5주  |     |      |      | 사멸   |      |
| 6주  |     |      |      | 사멸   |      |
| 7주  |     |      |      | 사멸   | 사멸   |
| 8주  |     |      | 사멸   | 사멸   | 사멸   |
| 9주  |     |      | 사멸   | 사멸   | 사멸   |
| 10주 |     |      | 사멸   | 사멸   | 사멸   |

표 84. 장홍정남진(300 Gy) 계통주의 온도 조건별 엽체 형태

|     | 5°C | 10°C | 15°C | 20°C | 25°C |
|-----|-----|------|------|------|------|
| 0주  |     |      |      |      |      |
| 1주  |     |      |      |      |      |
| 2주  |     |      |      |      |      |
| 3주  |     |      |      |      |      |
| 4주  |     |      |      |      |      |
| 5주  |     |      |      |      |      |
| 6주  |     |      |      |      |      |
| 7주  |     |      | 사멸   | 사멸   | 사멸   |
| 8주  |     | 사멸   | 사멸   | 사멸   | 사멸   |
| 9주  |     | 사멸   | 사멸   | 사멸   | 사멸   |
| 10주 |     | 사멸   | 사멸   | 사멸   | 사멸   |

표 85. 장홍정남진(500 Gy) 계통주의 온도 조건별 엽체 형태

|     | 5°C | 10°C | 15°C | 20°C | 25°C |
|-----|-----|------|------|------|------|
| 0주  |     |      |      |      |      |
| 1주  |     |      |      |      |      |
| 2주  |     |      |      |      |      |
| 3주  |     |      |      |      |      |
| 4주  |     |      |      |      |      |
| 5주  |     |      |      | 사멸   |      |
| 6주  |     |      |      | 사멸   |      |
| 7주  |     |      | 사멸   | 사멸   | 사멸   |
| 8주  |     |      | 사멸   | 사멸   | 사멸   |
| 9주  |     |      | 사멸   | 사멸   | 사멸   |
| 10주 |     |      | 사멸   | 사멸   | 사멸   |



#### 다. 연구시료 제공 및 성과

본 과제를 통해 해조류유전자원은행에 보관중인 김 유전자원 6계통주(참김 1계통주, 방사무늬 김 5계통주)를 김유전체 구조 연구, 고수온 내성 종자 개발 및 종자 특성 표준화 연구의 소재로 제공하였다. 전남대학교(1-3세부과제/김 발현유전체 정복 탐색 및 활용기술 개발)에 8회(표 86)에 걸쳐 사상체를 제공하였다. 전남대학교에 제공한 김 시료를 활용하여 수산종자육종연구소(2-2세부과제) 및 전남대학교(1-3세부과제) 간 특허 “김 유래 건조, 고온 및 삼투 스트레스 저항성 유전자 및 이를 이용한 형질전환체”에 대한 공동출원(출원번호 : 10-2017-0100991 / 2017.08.09.)의 성과를 거두었다.

표 86. 전남대학교 시료제공 목록

| 번호 | 제공 날짜       | 종명     | 계통주          | 제공량 | 비고        |
|----|-------------|--------|--------------|-----|-----------|
| 1  | 2017.02.03  | 참김     | 진도회동 PL-LB   | 3 g |           |
|    |             | 방사무늬 김 | 해남 학가리       | "   |           |
|    |             | 방사무늬 김 | 수과원104       | "   |           |
|    |             | 방사무늬 김 | 14-3 1KGy    | "   |           |
|    |             | 방사무늬 김 | 14-4 1KGy    | "   |           |
| 2  | 2017.02.23  | 참김     | 진도회동 PL-LB   | 3 g |           |
|    |             | 방사무늬 김 | 해남 학가리       | "   |           |
| 3  | 2017.03.23  | 참김     | 진도회동 PL-LB   | 3 g | 유리 사상체 제공 |
|    |             | 방사무늬 김 | 해남 학가리       | "   |           |
|    |             | 방사무늬 김 | 수과원104       | "   |           |
|    |             | 방사무늬 김 | 14-3 1KGy    | "   |           |
|    |             | 방사무늬 김 | 14-4 1KGy    | "   |           |
| 4  | 2017.04.24  | 참김     | 진도회동 PL-LB   | 3 g |           |
|    |             | 방사무늬 김 | 해남 학가리       | "   |           |
|    |             | 방사무늬 김 | 수과원104       | "   |           |
|    |             | 방사무늬 김 | 14-3 1KGy    | "   |           |
| 5  | 2017.05.31  | 참김     | 진도회동 PL-LB   | 3 g |           |
|    |             | 방사무늬 김 | 해남 학가리       | "   |           |
| 6  | 2017.07.21  | 참김     | 진도회동 PL-LB   | "   |           |
|    |             | 방사무늬 김 | 수과원104       | "   |           |
|    |             | 방사무늬 김 | 14-4 1KGy    | "   |           |
| 7  | 2017.09.13  | 방사무늬 김 | 수과원104       | 3 g |           |
|    |             | 방사무늬 김 | 14-3 1KGy    | "   |           |
|    |             | 방사무늬 김 | 14-4 1KGy    | "   |           |
| 8  | 2018.05.29. | 방사무늬 김 | 수과원104       | 3 g |           |
|    |             | 방사무늬 김 | 수과원104 300Gy | "   |           |

라. 개발 종자의 시험양식

[1차년도(2017년)]

개발 종자 15MPa의 산업화 검증을 위해 1월부터 3월까지 유리사상체를 증식시킨 후, 전남 신안군 및 진도군에 위치한 패각배양장에 15MPa 사상체를 패각에 이식시켰다(무안 : '17년 3월 30일, 진도 : '17년 4월 17일, 그림 43).



그림 43. 개발종자의 종묘배양을 위한 패각사상체 이식.

무안에 위치한 패각사상체 실내배양장의 환경조사는 3월 말부터 9월 중순 까지 2주 간격으로 실시되었으며, 수온, 조도, 염분 및 비중을 측정하였음. 또한, 실내배양장 시설 내에 호보센서를 비치하여 패각 수조내의 일간수온과 일간누적조도 데이터를 수집하였다(그림 44).



그림 44. 개발종자의 패각사상체 성장 및 배양환경 조사.

무안지역의 패각사상체 실내배양장에 대하여 사상체를 이식한 2017년 3월 30일부터 2017년 9월 15일까지 21주간 환경조사를 진행하였음. 이식 0주차(3월 30일)에 9.3℃로 최저수온을 기록하였고 조사 14주차(7월 28일)에 최고수온(27.9℃)을 기록하였다. 사상체 잠입 기간인 4월의 평균수온은 13.2℃로 나타났으며, 사상체 초기 영양 성장기인 5월과 6월의 평균수온은 각각 18.0℃와 20.7℃였음. 각포자낭 형성 및 증식기간인 7월과 8월의 평균수온은 각각 25.2℃와 25.8℃로 측정되었고, 각포자낭 성숙기이며 실내배양 종료시점인 9월에는 평균수온이 22.7℃로 측정되었다(표 87, 그림 45). 주차별 평균조도의 범위는 53.15~689.2 lux로 큰 차이를 보였으며, 배양 초기인 4월부터 5월까지 일간 평균누적조도가 점점 상승하다가 6월부터는 낮아지는 경향을 보였다.

표 87. 무안 패각배양장 환경조사 결과

| 무안      |                   |                   |                   |                   |                   |                   |
|---------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| 조사일     | 17.03.30<br>(1주)  | 17.04.05<br>(1주)  | 17.04.11<br>(2주)  | 17.04.27<br>(4주)  | 17.05.11<br>(6주)  | 17.06.01<br>(8주)  |
| 수온(℃)   | 9.3               | 12.2              | 12.1              | 14.3              | 17.1              | 20.3              |
| 조도(lux) | 120               | 20.57             | 163               | 613               | 689.2             | 73.4              |
| 염분(psu) | 29                | 31                | 29                | 30                | 30                | 33                |
| 비중      | 1.022             | 1.021             | 1.020             | 1.024             | 1.023             | 1.025             |
| 날씨      | 맑음                | 비                 | 비                 | 맑음                | 맑음                | 맑음                |
| 조사일     | 17.06.22<br>(10주) | 17.07.12<br>(12주) | 17.07.28<br>(14주) | 17.08.08<br>(16주) | 17.08.25<br>(18주) | 17.09.07<br>(20주) |
| 수온(℃)   | 21.9              | 25.5              | 27.9              | 27.7              | 26.3              | 21.9              |
| 조도(lux) | 248.7             | 303.2             | 132               | 53.15             | 171.5             | 154.7             |
| 염분(psu) | 29                | 30                | 30                | 30                | 31                | 36                |
| 비중      | 1.021             | 1.020             | 1.022             | 1.020             | 1.025             | 1.025             |
| 날씨      | 맑음                | 맑음                | 흐림                | 흐림                | 흐림                | 맑음                |
| 조사일     | 17.09.12<br>(21주) | 17.09.15<br>(21주) |                   |                   |                   |                   |
| 수온(℃)   | 암 처리              |                   |                   |                   |                   |                   |
| 조도(lux) | 암 처리              |                   |                   |                   |                   |                   |
| 염분(psu) | 암 처리              |                   |                   |                   |                   |                   |
| 비중      | 암 처리              |                   |                   |                   |                   |                   |
| 날씨      | 암 처리              |                   |                   |                   |                   |                   |

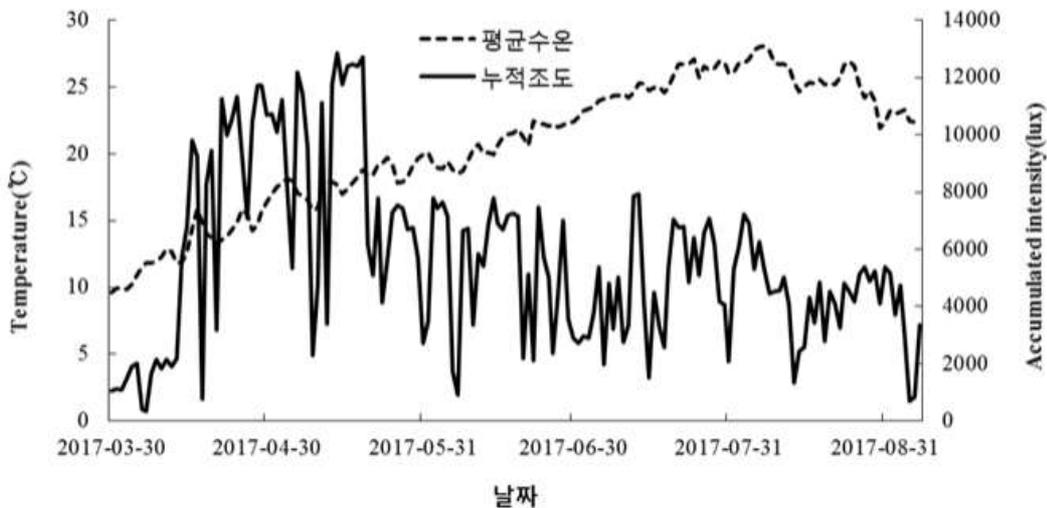


그림 45. 무안지역의 호보센서를 이용한 수온 및 조도 측정 결과.

진도지역의 패각 사상체 실내 배양에 대한 조사 기간은 사상체를 이식한 2017년 4월 17일부터 2017년 9월 6일로 18주간 진행되었다. 주차별 현장조사 결과, 2주차에 최저수온 14.2℃, 14주차인 7월 28일에 최고수온 27.9℃를 기록하였다. 월별 평균수온은 패각사상체 잠입시기인 4월에 14.9℃였으며, 사상체 초기 영양 생장기인 5월과 6월은 각각 17.3℃와 20.0℃였다. 포자낭 형성 및 증식기간인 7월과 8월은 각각 22.5℃와 27.8℃였으며, 각포자낭 성숙기이며 실내 배양 종료시점인 9월은 26.5℃로 측정되었음(표 88, 그림 46). 주차별 평균조도의 범위는 16.5

~602 lux로 큰 차이를 보였으며, 사상체 잠입이 이루어진 4월 이후부터 9월까지 일간 평균누적조도는 점점 낮아지는 경향을 보였다.

표 88. 진도 패각배양장 환경조사 결과

| 진도      |                   |                   |                   |                   |                  |                   |
|---------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|------------------|-------------------|
| 조사일     | 16.04.17<br>(0주)  | 16.04.24<br>(2주)  | 16.05.16<br>(4주)  | 16.05.30<br>(6주)  | 16.06.21<br>(8주) | 16.07.12<br>(10주) |
| 수온(°C)  | 14.8              | 14.2              | 16.2              | 18.5              | 20.7             | 25.6              |
| 조도(lux) | 2295              | 789               | 249.2             | 16.5              | 160.5            | 191.5             |
| 염분(psu) | 33.4              | 33                | 34                | 30                | 32               | 29                |
| 비중      | 1.025             | 1.025             | 1.025             | 1.025             | 1.025            | 1.020             |
| 날씨      | 맑음                | 맑음                | 맑음                | 맑음                | 맑음               | 맑음                |
| 조사일     | 16.07.27<br>(12주) | 16.08.09<br>(14주) | 16.08.24<br>(16주) | 16.09.06<br>(18주) |                  |                   |
| 수온(°C)  | 25.5              | 26.8              | 27.6              | 26.7              |                  |                   |
| 조도(lux) | 428.75            | 1576              | 602               | 314               |                  |                   |
| 염분(psu) | 31                | 27                | 30                | 28                |                  |                   |
| 비중      | 1.025             | 1.020             | 1.020             | 1.020             |                  |                   |
| 날씨      | 맑음                | 맑음                | 맑음                | 흐림                |                  |                   |

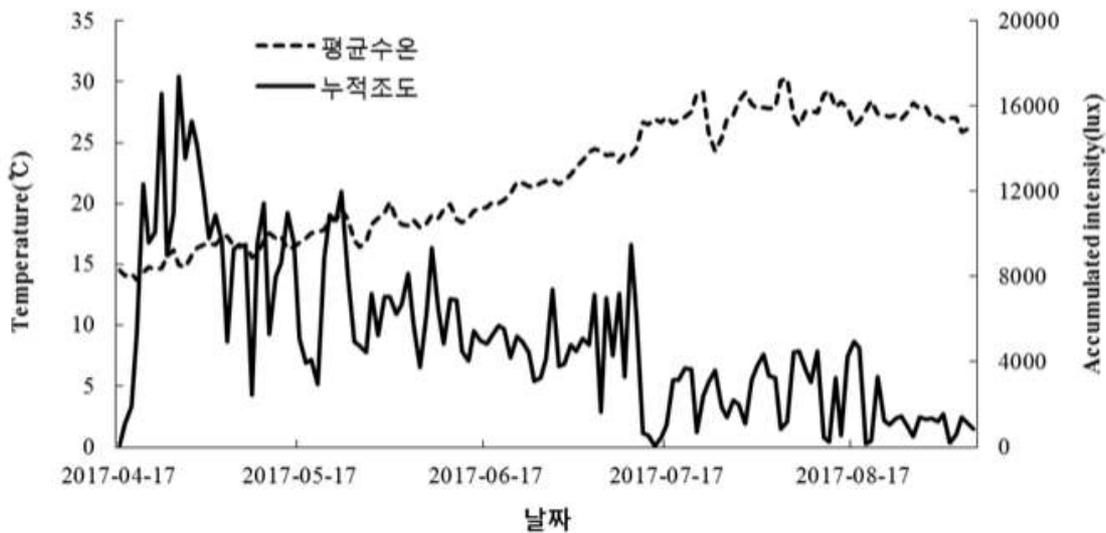


그림 46. 진도지역 호보센서를 이용한 수온 및 조도 측정 결과.

전남 무안과 진도에 위치한 패각사상체 배양장에 15MPA 종자를 이식한 후, 약 4주가 경과한 시기에 패각 사상체의 잠입이 확인되었다. 사상체의 초기 잠입밀도를 확인하기 위하여 패각을 연마하여 현미경으로 사상체 관찰하였다. 패각에 잠입한 사상체는 6월까지 영양생장을 지속한 후, 6월 하순부터 각포자낭이 형성되기 시작하여 성숙단계로 진입하였다(표 89~90).

표 89. 15MPA(무안) 계통주의 패각사상체 성장 및 성숙

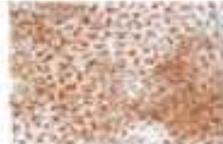
| 2017.04.05                                                                          | 2017.04.11                                                                          | 2017.04.27                                                                          | 2017.05.11                                                                           | 2017.06.01                                                                            |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
|    |    |    |    |    |
|                                                                                     |    |    |    |    |
| 2017.06.22                                                                          | 2017.07.12                                                                          | 2017.07.28                                                                          | 2017.08.08                                                                           | 2017.08.25                                                                            |
|   |   |   |   |   |
|  |  |  |  |  |
| 2017.09.07                                                                          | 2017.09.12                                                                          |                                                                                     |                                                                                      |                                                                                       |
|  |  |                                                                                     |                                                                                      |                                                                                       |
|  |  |                                                                                     |                                                                                      |                                                                                       |

표 90. 15MPA(진도) 계통주의 패각사상체 성장 및 성숙

| 2017.04.25 | 2017.05.02 | 2017.05.16 | 2017.05.30 | 2017.06.21 |
|------------|------------|------------|------------|------------|
|            |            |            |            |            |
|            |            |            |            |            |
| 2017.07.12 | 2017.07.27 | 2017.08.09 | 2017.08.24 | 2017.09.06 |
|            |            |            |            |            |
|            |            |            |            |            |
| 2017.09.13 | 2017.09.22 |            |            |            |
|            |            |            |            |            |
|            |            |            |            |            |

개발 종자의 시험양식을 위해 15MPa의 성숙한 패각사상체를 이용하여 대봉투식 해상채묘 (전남 신안 : '17.09.26) 및 육상채묘(전남 진도 : '17.09.20.) 방식으로 채묘를 실시하였다(그림 47).

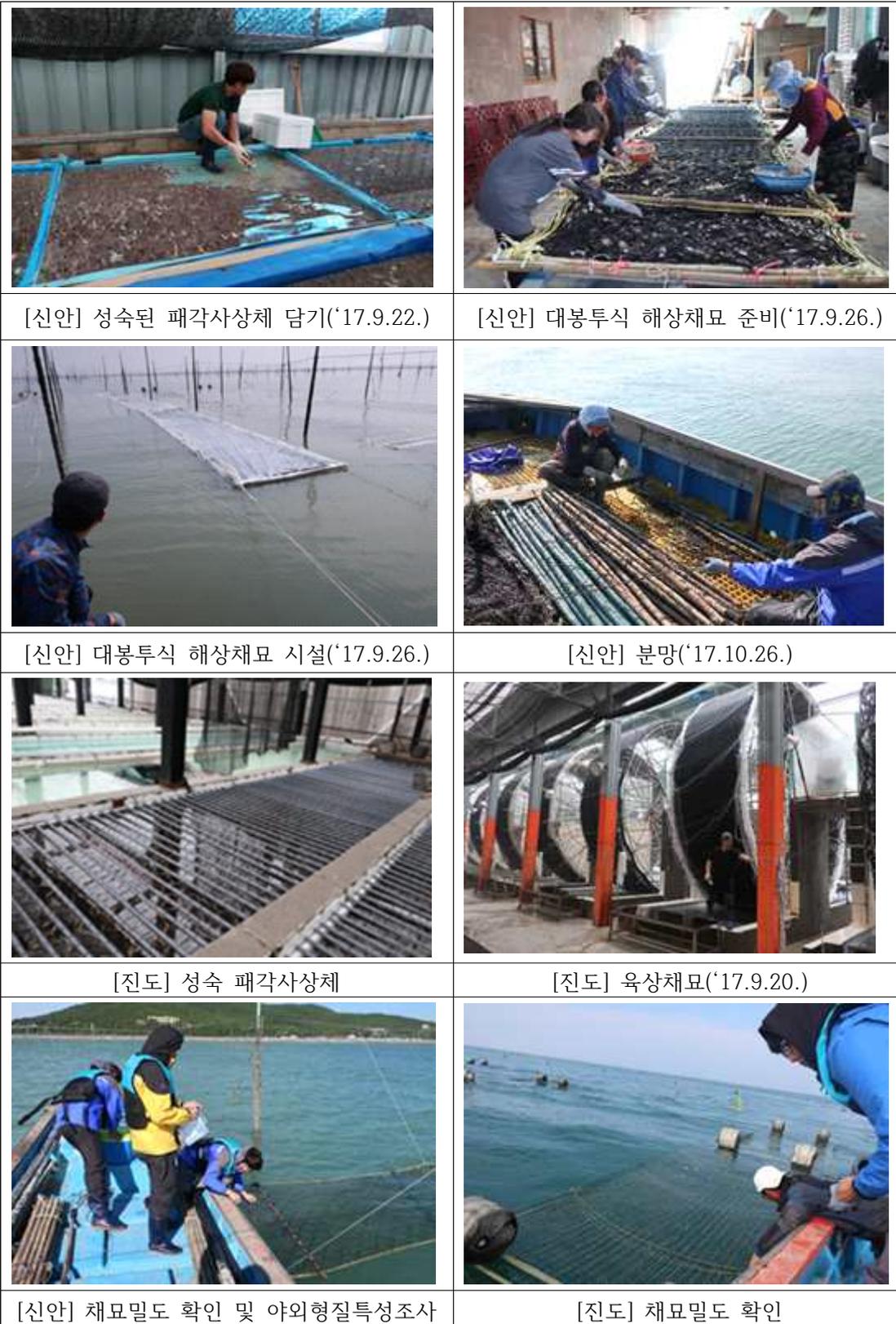


그림 47. 개발종자의 시험양식을 위한 채묘 및 분망 작업.

신안의 경우, 해상채묘 실시 후 약 한 달이 경과한 시점에 겹쳐진 망을 분리하는 분망 작업을 실시하고 채묘망의 밀도를 확인하였다. 진도의 경우, 육상채묘 실시 후 냉동망으로 보관하였으며 양식어장 수온이 적정 수온에 도달하였을 때 채묘망을 시설하였다('17.10.16.). 채묘된 김망을 3cm씩 3반복으로 채묘밀도를 확인한 결과, 신안의 경우 1cm당 평균 9개의 유엽이 확인되었으며, 진도의 경우에는 1cm당 평균 18개의 유엽이 확인되어 시험양식을 위한 채묘는 차질 없이 수행되었음을 확인하였다(그림 48). 신안의 경우, 4주차 형질특성조사를 실시하였으며 평균엽장 6.4mm, 평균엽폭 2.8mm, 평균 엽장엽폭비 2.4로 나타났고, 최대엽장 9.0cm, 최대엽폭 4.3 mm, 최대엽장엽폭비 3.7로 나타나 생장이 양호한 것을 확인하였다.

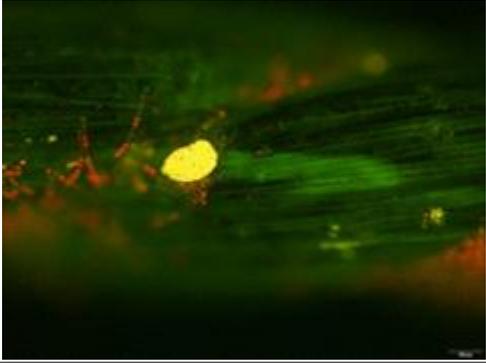
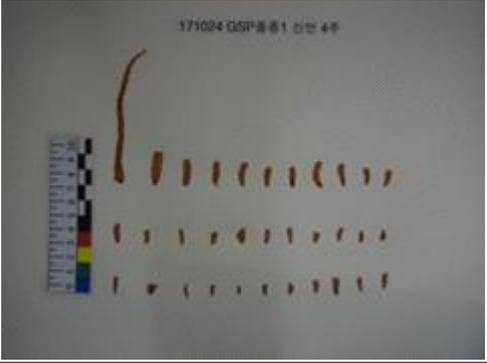
|                                                                                     |                                                                                      |
|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
|    |    |
| <p>[신안] 채묘밀도 확인(2주차 : '17.10.13.)<br/>/ 1cm당 평균 9개 유엽 확인</p>                        | <p>[신안] 야외형질특성조사(4주차 :<br/>'17.10.24.)</p>                                           |
|  |  |
| <p>[진도] 채묘밀도 확인(2주차 : '17.10.27.) / 1cm당 평균 18개 유엽 확인</p>                           |                                                                                      |

그림 48. 15MPA 종자의 시험양식을 위한 채묘망 확인.

개발 종자의 시험양식을 위해 15MPA의 성숙한 패각사상체를 이용하여 대봉투식 해상채묘(전남 신안 : '17.09.26) 및 육상채묘(전남 진도 : '17.09.20) 방식으로 채묘를 실시하였으며, 분망 및 채묘망 시설 이후 형질특성조사요령에 따라 채묘 후 14주까지 2주 간격으로 엽장, 엽폭의 생장 및 엽체 형태를 나타내는 지수인 엽장/엽폭 비를 조사하였다.

시험양식 어장에서 호보(HOBO Temperature DATA Logger)를 이용하여 수온 및 조도를 측정하였으며, 월간조사 시 염분과 pH를 측정하였다(표 91). 신안 해역의 수온은 4주차인 10월 23일에 18.1°C, 14주차인 1월 2일에 8.1°C로 확인되었으며, 12주차인 12월 18일에 7.5°C로 최저 수온을 기록하였다. 진도 해역의 수온은 11월 17일(4주차) 15.4°C에서 14주차(1월 30일)에 7.3°C

까지 꾸준히 낮아지는 경향성을 보였다.

표 91. 시험양식어장의 환경조사 결과

| 신안     |               |               |               |                |                |                |
|--------|---------------|---------------|---------------|----------------|----------------|----------------|
| 조사일    | 17.10.23 (4주) | 17.11.07 (6주) | 17.11.20 (8주) | 17.12.04 (10주) | 17.12.18 (12주) | 18.01.02 (14주) |
| 수온(°C) | 18.1          | 15.8          | 11.3          | 9.8            | 7.5            | 8.1            |
| 염분도    | 30            | 35            | 35            | 34             | 36             | 34             |
| DO     | 8.04          | 7.60          | 7.92          | 8.94           | -              | 10.20          |
| pH     | 7.9           | 8.6           | 8.4           | 8.2            | 8.2            | 8.4            |
| 날씨     | 맑음            | 흐림, 바람        | 흐림            | 바람             | 맑음             | 맑음             |
| 진도     |               |               |               |                |                |                |
| 조사일    | 17.11.17 (4주) | 17.12.01 (6주) | 17.12.13 (8주) | 17.12.27 (10주) | 18.01.15 (12주) | 18.01.30 (14주) |
| 수온(°C) | 15.4          | 11.9          | 10.1          | 11.2           | 7.5            | 7.3            |
| 염분도    | 31.1          | 36            | 36            | 40             | 35             | 40             |
| DO     | 7.38          | 8.49          | -             | -              | -              | -              |
| pH     | -             | 8.6           | 8.4           | 8.4            | 8.3            | 8.7            |
| 날씨     | 맑음            | 맑음            | 파도, 바람        | 파도, 바람         | 맑음             | 맑음             |

김 양식장의 김발에 호보센서를 부착하여 수온과 누적조도를 측정된 결과, 10월 평균수온은 신안 17.63°C, 진도 15.80°C 였으며 11월은 13°C로 측정되었다. 두 해역 모두 2월에 가장 낮은 수온을 나타냈으며 신안 3.43°C, 진도 5.09°C로 확인되었다. 12월부터 2월까지 평균수온은 신안 3~7°C, 진도 5~9°C로 약 2°C 가량 차이를 보였다. 일간 평균 누적조도량을 확인한 결과, 신안해역은 2,058~7,271lux, 진도해역은 4,319~9,145lux 사이값이 측정되어 진도 해역의 누적조도량이 신안해역에 비해 약 2배정도 높은 것으로 나타났다(표 92, 그림 49~50).

표 92. 시험양식어장의 수온 및 누적조도 측정 결과

|    |                    | 10월   | 11월   | 12월   | 1월    | 2월    | 3월    |
|----|--------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 신안 | 수온(°C)             | 17.63 | 13.84 | 7.84  | 5.11  | 3.43  | 7.78  |
|    | 일간 평균<br>누적조도(lux) | 6,259 | 7,271 | 5,037 | 2,058 | 5,233 | 3,235 |
| 진도 | 수온(°C)             | 15.80 | 13.82 | 9.40  | 6.73  | 5.09  | 7.56  |
|    | 일간 평균<br>누적조도(lux) | -     | 8,932 | 6,379 | 4,319 | 5,458 | 9,145 |

### 신안

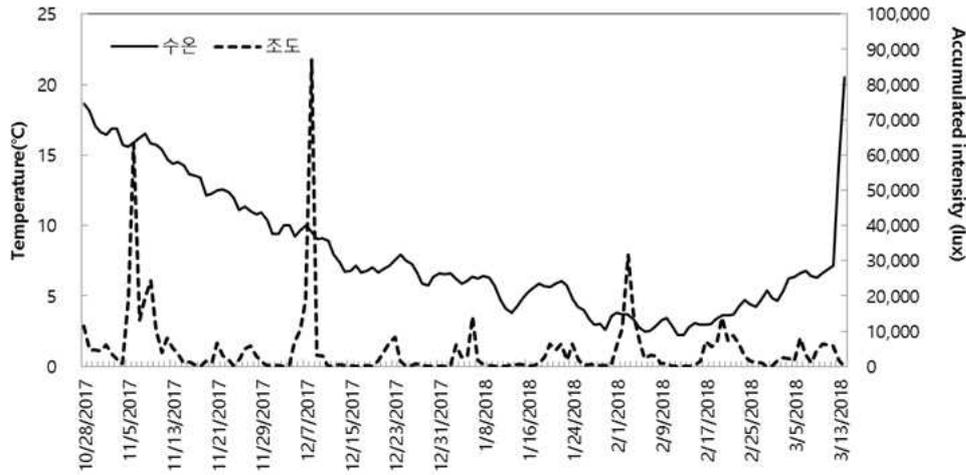


그림 49. 신안해역 김 양식장의 수온 및 누적조도량 변동.

### 진도

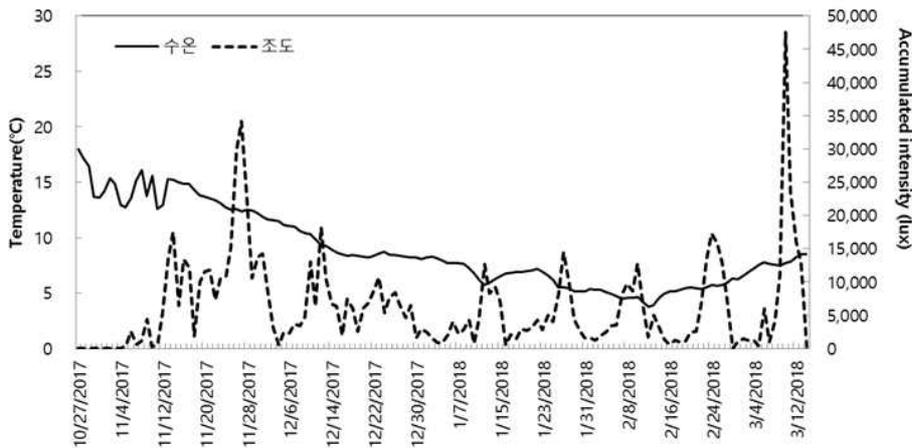


그림 50. 진도해역 김 양식장의 수온 및 누적조도량 변동.

개발 종자 15MPA의 초기생장(유엽의 길이)은 신안에서 평균 11.36mm, 진도에서 평균 94.09mm로 확인되었으며 성엽은 신안에서 평균 140.91mm, 진도에서 평균 224.63mm로 확인되었다. 신안과 진도의 시험어장에 입식한 시기가 약 3주정도 차이가 있어 주차별 생장은 차이가 큰 것으로 보이나, 채집시기로 볼 때에는 비슷한 생장을 보였다(표 93~95).

표 93. 개발종자(15MPA)의 주차별 엽장(단위:mm)

| 엽장 | 15MPA             |                    |                    |                    |                    |                    |
|----|-------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
|    | 4주                | 6주                 | 8주                 | 10주                | 12주                | 14주                |
| 신안 | 19.23<br>(11.36)  | 175.96<br>(125.82) | 197.11<br>(140.91) | 243.46<br>(156.72) | 328.04<br>(156.29) | 200.00<br>(139.49) |
| 진도 | 159.46<br>(94.09) | 210.22<br>(134.92) | 303.08<br>(224.63) | 167.64<br>(96.74)  | 105.90<br>(46.41)  | 195.63<br>(125.90) |

표 94. 개발종자(15MPA)의 주차별 엽폭(단위:mm)

| 엽폭 | 15MPA            |                  |                  |                   |                   |                  |
|----|------------------|------------------|------------------|-------------------|-------------------|------------------|
|    | 4주               | 6주               | 8주               | 10주               | 12주               | 14주              |
| 신안 | 5.74<br>(3.88)   | 68.62<br>(33.58) | 89.82<br>(44.89) | 118.24<br>(57.43) | 84.79<br>(41.65)  | 59.67<br>(31.92) |
| 진도 | 45.36<br>(24.87) | 80.25<br>(45.50) | 98.62<br>(61.20) | 143.25<br>(54.19) | 116.71<br>(49.67) | 87.82<br>(32.06) |

표 95. 개발종자(15MPA)의 주차별 엽장/엽폭 비

| 엽장/엽폭 비 | 15MPA |      |        |      |      |      |
|---------|-------|------|--------|------|------|------|
|         | 4주    | 6주   | 8주     | 10주  | 12주  | 14주  |
| 신안      | 2.99  | 3.97 | 3.40   | 4.28 | 4.28 | 4.54 |
| 진도      | 3.85  | 3.20 | 100.85 | 1.99 | 1.05 | 4.75 |

개발종자(15MPA)의 패각사상체 및 엽체의 형질은 해역별로 차이가 없이 잘 발현되었다. 패각사상체의 색은 흑녹색이며, 엽체의 모양은 도란형으로 나타났다. 엽체 연변부의 거치가 없는 방사무늬김의 특징을 잘 나타내며, 엽체의 하부와 중앙부는 갈녹색으로 확인되었다(그림 51~53, 표 96). 입식한 6주 이후부터 채집에 가능한 크기로 성장하였으며, 채취 후 21~25일 사이에 생장이 급격히 증가하여 약 4주에 1회 채취가 가능하였다. 시험양식 1줄(약 100m) 당 1망(120kg) 수확이 가능하였으며, 약 158,000원~173,000원 가격대로 판매되었다.

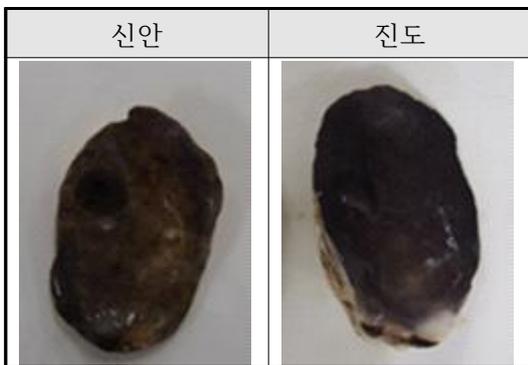


그림 51. 개발종자(15MPA)의 패각사상체.

표 96. 수산식물 김 특성조사요령에 따른 개발종자(15MPA)의 형질특성

| 형질                           | 15MPA      |            |
|------------------------------|------------|------------|
|                              | 신안         | 진도         |
| 형질 1 (패각사상체: 색)              | 흑녹색        | 흑녹색        |
| 형질 2 (유엽: 엽체 길이/mm)          | 11.36      | 94.09      |
| 형질 3 (유엽: 엽체의 단포자 형성 유무)     | 유          | 유          |
| 형질 4 (유엽: 단포자 방출정도, %)       | 93.9       | 69.7       |
| 형질 5 (엽체 모양)                 | 도란형        | 도란형        |
| 형질 6 (성엽: 엽체 길이/mm)          | 140.91     | 224.63     |
| 형질 7 (엽체 너비/mm)              | 44.89      | 61.20      |
| 형질 8 (엽체 두께/ $\mu\text{m}$ ) | 25.63      | 30.76      |
| 형질 9 (성엽: 엽체 연변부의 거치유무)      | 무          | 무          |
| 형질 10 (성엽: 엽체 중앙부의 색)        | 갈녹색        | 갈녹색        |
| 형질 11 (성엽: 엽체 하부의 색)         | 갈녹색        | 갈녹색        |
| 형질 12 (성엽: 엽체의 성숙기)          | 10주        | 10주        |
| 형질 13 (성엽: 엽체의 생식유형)         | 암수한몸 - 혼합형 | 암수한몸 - 혼합형 |

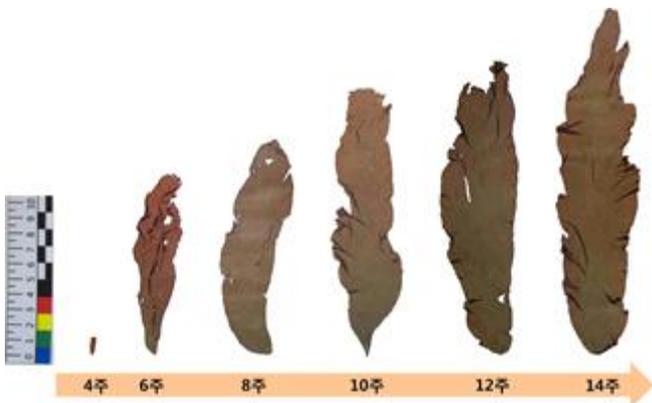


그림 52. 신안해역에서 개발종자(15MPA)의 주차별 성장.

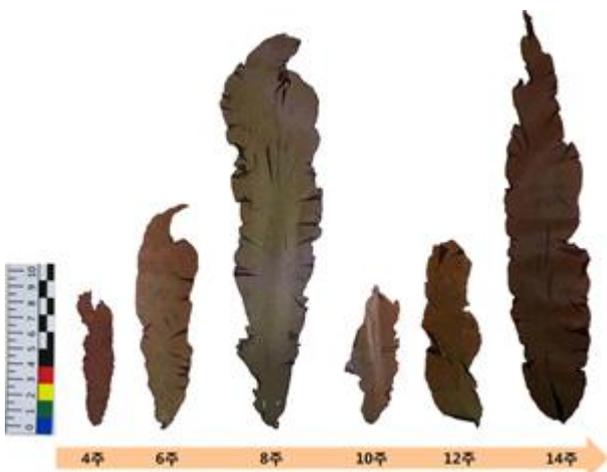


그림 53. 진도해역에서 개발종자(15MPA)의 주차별 성장.

[2차년도(2018년)]

방사무늬김 신품종 개발 종자 2품종(신안압해10, 매화도1)의 산업화 검증을 위해 1월부터 3월까지 유리사상체를 증식시킨 후, 전남 신안군 및 진도군에 위치한 패각배양장에서 사상체를 패각에 이식시켰다(무안 : '18.03.29, 진도 : '18.04.06, 그림 54).

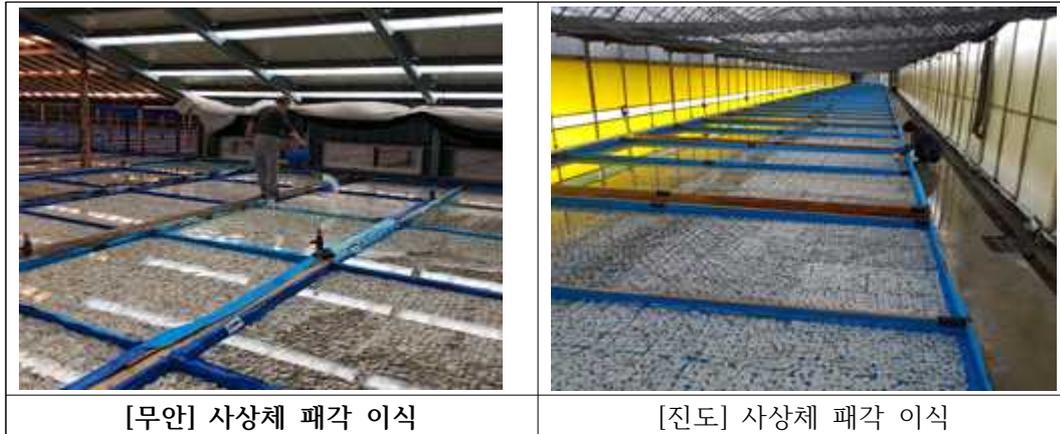


그림 54. 개발종자의 종묘배양을 위한 패각사상체 이식.

무안 및 진도에 위치한 패각사상체 실내배양장의 환경조사는 4월부터 9월 중순 까지 2주 간격으로 실시되었으며, 수온, 조도, 염분 및 비중을 측정하였음. 또한, 패각사상체 실내배양장 시설 내에 호보센서를 비치하여 패각 수조내의 일간수온과 일간누적조도 데이터를 수집하였음 (그림 55).

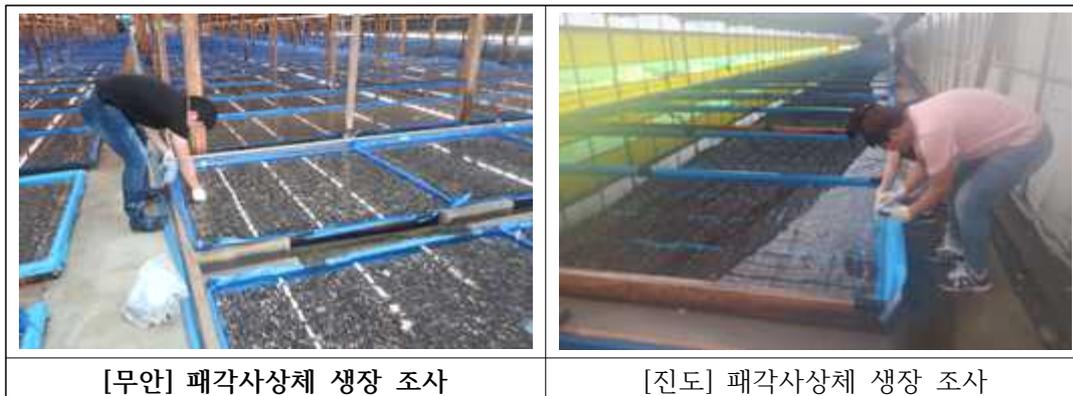


그림 55. 개발종자의 패각사상체 성장 및 배양환경 조사.

[무안] 무안에 위치한 패각사상체 실내배양장의 환경조사는 3월 말부터 9월 중순 까지 2주 간격으로 실시되었으며, 수온, 조도, 염분 및 비중을 측정하였다. 또한, 실내배양장 시설 내에 호보센서를 비치하여 패각 수조내의 일간수온과 일간누적조도 데이터를 수집하였다(표 97, 그림 56). 수온은 패각 이식시기인 3월 29일에 14.7℃로 가장 낮았으며, 17주차(7월 25일)에 29.6℃로 최고 수온을 달성한 후, 성숙시기에는 21.9℃까지 점차 낮아졌다. 조도 및 누적조도는 2,000lux 이하로 진도에 비해 낮게 유지되었다.

표 97. 무안 패각배양장 환경조사 결과

| 무안      |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |
|---------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 조사일     | 03.29.<br>(0주)  | 04.04.<br>(1주)  | 04.11.<br>(2주)  | 04.25.<br>(4주)  | 05.16.<br>(7주)  | 06.07.<br>(10주) | 06.27.<br>(13주) |
| 수온(°C)  | 14.7            | 15.00           | 15.35           | 16.10           | 19.80           | 22.45           | 23.55           |
| 조도(lux) | -               | 148.5           | 494.0           | 439.0           | 86.6            | 274.8           | 134.0           |
| 염분(psu) | 33              | 35.0            | 35.0            | 35.0            | 35.0            | 35.0            | 35.0            |
| 비중      | 1.023           | 1.025           | 1.025           | 1.025           | 1.020           | 1.025           | 1.025           |
| pH      | -               | 8.20            | 8.20            | 8.30            | 8.50            | 8.50            | 8.28            |
| 날씨      | 맑음              | 흐림/비            | 맑음              | 맑음              | 흐림              | 맑음              | 흐림              |
| 조사일     | 07.11.<br>(15주) | 07.25.<br>(17주) | 08.08.<br>(19주) | 08.22.<br>(21주) | 09.06.<br>(23주) | 09.12.<br>(24주) | 09.18.<br>(25주) |
| 수온(°C)  | 24.45           | 29.60           | 28.55           | 28.40           | 23.00           | 22.05           | 21.90           |
| 조도(lux) | 132.9           | 163.8           | 183.9           | 94.1            | 45.1            | 238.5           | 70.1            |
| 염분(psu) | 35.0            | 35.0            | 35.0            | 35.0            | 40.0            | 36.0            | 40.0            |
| 비중      | 1.025           | 1.025           | 1.025           | 1.025           | 1.030           | 1.030           | 1.030           |
| pH      | 8.20            | 8.30            | 8.38            | 8.40            | 8.50            | 8.40            | 8.6             |
| 날씨      | 맑음              | 맑음              | 맑음              | 흐림              | 흐림              | 맑음              | 맑음              |



그림 56. 무안 패각배양장의 호보센서를 이용한 수온 및 조도 측정 결과.

[진도] 진도에 위치한 패각사상체 실내배양장의 환경조사는 4월부터 9월 중순 까지 2주 간격으로 실시되었으며, 수온, 조도, 염분 및 비중을 측정하였음. 또한, 실내배양장 시설 내에 호보센서를 비치하여 패각 수조내의 일간수온과 일간누적조도 데이터를 수집하였다(표 98, 그림 57). 진도에서 사상체 이식은 13.2°C에 진행되었으며, 무안에 비해 수온은 약 2도가량 낮게 유지되었다. 8월 이후 평면식에서 수하식으로 이동하여 사상체 성숙을 위해 23~26°C 사이로 유지되었다.

표 98. 진도 패각배양장 환경조사 결과

| 진도      |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |
|---------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 조사일     | 04.06.<br>(0주)  | 04.12.<br>(1주)  | 04.19.<br>(2주)  | 05.03.<br>(4주)  | 05.25.<br>(7주)  | 06.14.<br>(10주) | 06.28.<br>(12주) |
| 수온(°C)  | -               | 13.20           | 13.70           | 16.35           | 20.00           | 21.85           | 23.30           |
| 조도(lux) | -               | 673.5           | 724.5           | 413.5           | 91.0            | 305.5           | 902.5           |
| 염분(psu) | -               | 36.0            | 36.5            | 33.5            | 34.0            | 32.1            | 33.0            |
| 비중      | -               | 1.026           | 1.026           | 1.024           | 1.026           | 1.025           | 1.025           |
| pH      | -               | 8.20            | 8.20            | 8.25            | 8.55            | 8.50            | 8.35            |
| 날씨      | 맑음              | 맑음              | 맑음              | 맑음              | 맑음              | 맑음              | 비, 흐림           |
| 조사일     | 07.19.<br>(15주) | 08.02.<br>(17주) | 08.16.<br>(19주) | 08.29.<br>(21주) | 09.06.<br>(22주) | 09.12.<br>(23주) | 09.18.<br>(24주) |
| 수온(°C)  | 27.20           | 28.30           | 28.45           | 28.10           | 26.25           | 24.25           | 23.55           |
| 조도(lux) | 638.5           | 570.5           | 344.0           | 1446.0          | 162.1           | 243.0           | 443.0           |
| 염분(psu) | 30.0            | 35.0            | 36.2            | 31.7            | 35.0            | 31.9            | 35.0            |
| 비중      | 1.025           | 1.025           | 1.027           | 1.024           | 1.025           | 1.025           | 1.025           |
| pH      | 8.50            | 8.60            | 8.45            | 8.35            | 8.65            | 8.30            | 8.15            |
| 날씨      | 맑음              | 맑음              | 비, 흐림           | 맑음              | 흐림              | 맑음              | 맑음              |



그림 57. 진도 패각배양장의 호보센서를 이용한 수온 및 조도 측정 결과.

전남 무안과 진도에 위치한 패각사상체 배양장에 각각 신안압해10과 매화도1의 종자를 이식한 후, 약 4주가 경과한 시기에 패각사상체의 잠입이 확인되었다. 사상체의 초기 잠입밀도를 확인하기 위하여 패각을 연마하여 현미경으로 사상체를 관찰하였다. 패각에 잠입한 사상체는 6월까지 영양생장을 지속한 후, 6월 하순부터 각포자낭이 형성되기 시작하여 성숙단계로 진입하였음(표 99~102).

표 99. 신안압해10 계통주의 패각사상체 성장 및 성숙(무안)

| 2018.04.04 | 2018.04.11 | 2018.04.25 | 2018.05.16 | 2018.06.07 |
|------------|------------|------------|------------|------------|
|            |            |            |            |            |
|            |            |            |            |            |
| 2018.06.27 | 2018.07.11 | 2018.07.25 | 2018.08.08 | 2018.08.22 |
|            |            |            |            |            |
|            |            |            |            |            |
| 2018.09.06 | 2018.09.12 | 2018.09.18 |            |            |
|            |            |            |            |            |
|            |            |            |            |            |

표 100. 매화도1 계통주의 패각사상체 성장 및 성숙(무안)

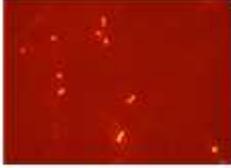
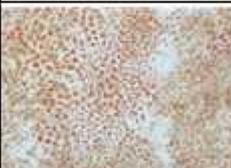
| 2018.04.04                                                                          | 2018.04.11                                                                          | 2018.04.25                                                                          | 2018.05.16                                                                           | 2018.06.07                                                                            |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
|    |    |    |    |    |
|    |    |    |    |    |
| 2018.06.27                                                                          | 2018.07.11                                                                          | 2018.07.25                                                                          | 2018.08.08                                                                           | 2018.08.22                                                                            |
|   |   |   |   |   |
|  |  |  |  |  |
| 2018.09.06                                                                          | 2018.09.12                                                                          | 2018.09.18                                                                          |                                                                                      |                                                                                       |
|  |  |  |                                                                                      |                                                                                       |
|  |  |  |                                                                                      |                                                                                       |

표 101. 신안압해10 계통주의 패각사상체 성장 및 성숙(진도)

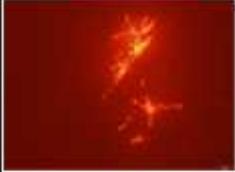
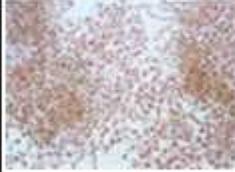
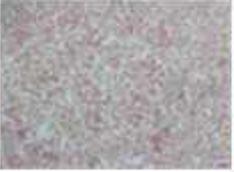
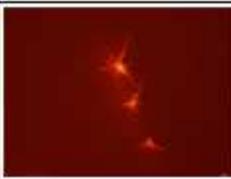
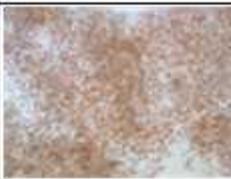
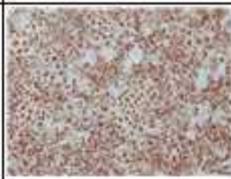
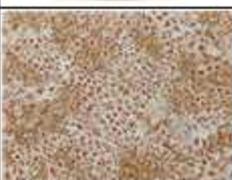
| 2018.04.12                                                                          | 2018.04.19                                                                          | 2018.05.03                                                                          | 2018.05.25                                                                           | 2018.06.14                                                                            |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
|    |    |    |    |    |
|    |    |    |    |    |
| 2018.06.28                                                                          | 2018.07.19                                                                          | 2018.08.02                                                                          | 2018.08.16                                                                           | 2018.08.29                                                                            |
|   |   |   |   |   |
|  |  |  |  |  |
| 2018.09.06                                                                          | 2018.09.12                                                                          | 2018.09.18                                                                          |                                                                                      |                                                                                       |
|  |  |  |                                                                                      |                                                                                       |
|  |  |  |                                                                                      |                                                                                       |

표 102. 매화도1 계통주의 패각사상체 성장 및 성숙(진도)

| 2018.04.12                                                                          | 2018.04.19                                                                          | 2018.05.03                                                                          | 2018.05.25                                                                           | 2018.06.14                                                                            |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
|    |    |    |    |    |
|    |    |    |    |    |
| 2018.06.28                                                                          | 2018.07.19                                                                          | 2018.08.02                                                                          | 2018.08.16                                                                           | 2018.08.29                                                                            |
|   |   |   |   |   |
|  |  |  |  |  |
| 2018.09.06                                                                          | 2018.09.12                                                                          | 2018.09.18                                                                          |                                                                                      |                                                                                       |
|  |  |  |                                                                                      |                                                                                       |
|  |  |  |                                                                                      |                                                                                       |

개발 종자의 시험양식을 위해 신안압해10 및 매화도1의 성숙한 패각사상체를 이용하여 대봉투식 해상채묘(전남 신안 : '18.10.01) 및 육상채묘(전남 진도 : '18.09.20)방식으로 채묘를 실시하였다(그림 58). 신안의 경우, 해상채묘 실시 후 1주 뒤('18.10.08) 채묘된 김 망을 3cm씩 채취하여 밀도를 확인 한 결과, 신안압해10은 29개체/cm, 매화도1은 3개체/cm로 확인되었다. 진도의 경우, 육상채묘 실시 후 냉동망으로 보관하였으며 10월 24일 채묘망을 시설하였다. 이후 형질특성조사요령에 따라 채묘 후 14주까지 2주 간격으로 엽장, 엽폭의 성장 및 엽체 면적을 조사하였으며, 시험양식장의 수온, 염분, DO 및 pH를 측정함. 또한 각 해역별 누적조도와 일간수온 변동을 확인하기 위하여 호보(HOBO) 센서를 부착하였다.

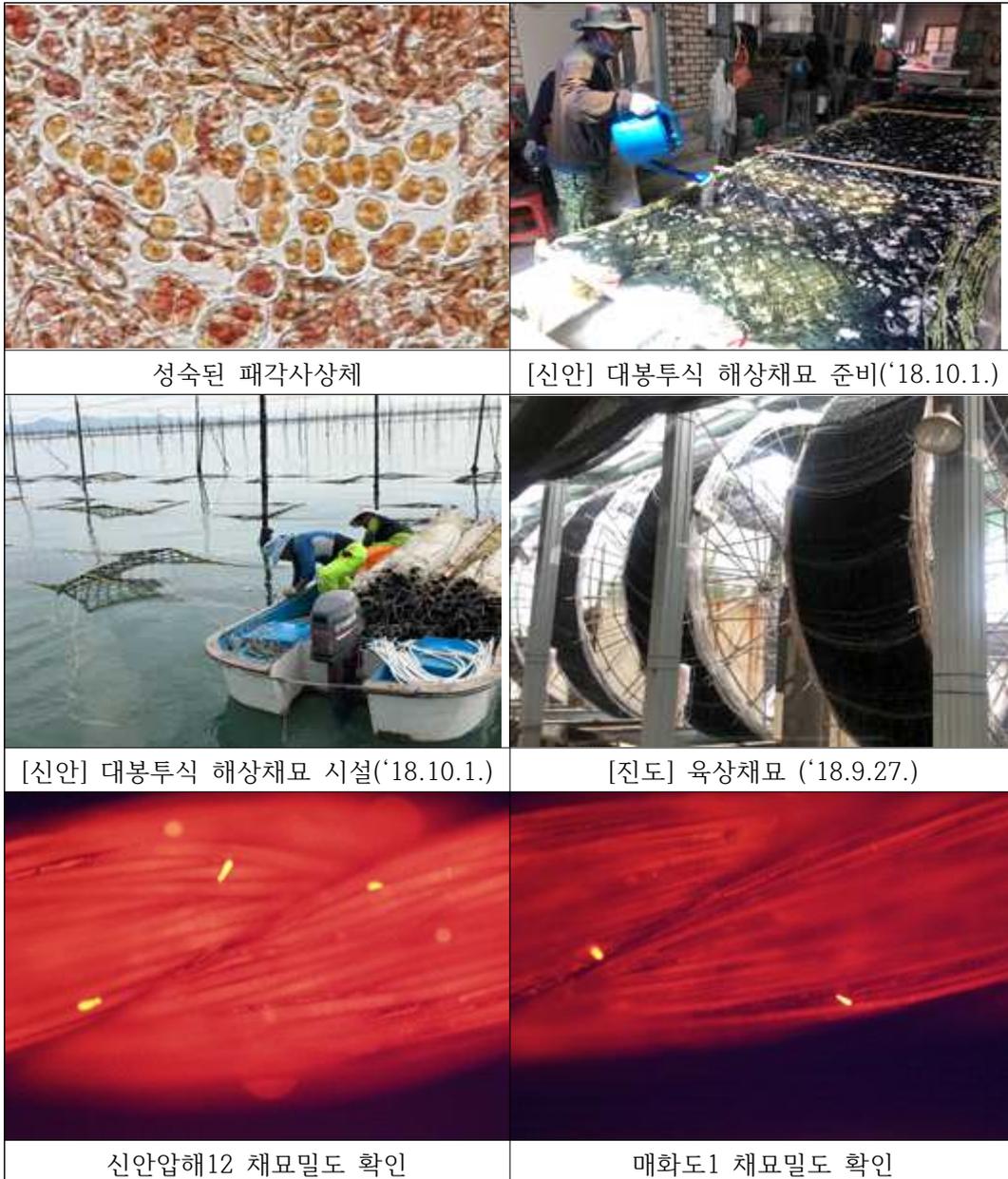


그림 58. 개발종자의 채묘 및 채묘밀도 확인

신안 해역의 수온은 분망 후 1주차인 10월 8일에 20.5℃를 기록한 후 10주차인 12월 11일에

6.1°C까지 꾸준히 하강하였으며, 14주차인 1월 8일에 4.8°C로 최저 수온을 기록하였다. 염분은 26.63~32.99psu 사이값을 나타냈으며, 1주차에는 태풍 콩레이로 인한 담수유입의 영향을 받은 것으로 사료됨. pH는 8.14~8.52 사이값으로 측정되었음(표 103).

표 103. 신안해역 시험양식장의 환경조사 결과

| 신안     |             |             |             |             |             |            |
|--------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|------------|
| 조사일    | 10.08.(1주)  | 10.16.(2주)  | 10.24.(3주)  | 10.30.(4주)  | 11.12.(6주)  | 11.27.(8주) |
| 수온(°C) | 20.5        | 18.7        | 18.6        | 16.1        | 15.1        | 13.2       |
| 염분도    | 26.63       | 30.69       | 31.27       | 31.54       | 31.48       | 32.13      |
| DO     | 7.46        | 7.64        | 7.75        | 7.96        | 8.51        | 8.63       |
| pH     | 8.22        | 8.14        | 8.17        | 8.29        | 8.33        | 8.4        |
| 날씨     | 맑음          | 약간흐림        | 맑음          | 맑음          | 맑음          | 맑음         |
| 조사일    | 12.11.(10주) | 12.26.(12주) | 01.08.(14주) | 01.22.(16주) | 02.12.(19주) |            |
| 수온(°C) | 6.1         | 7.1         | 4.8         | 6.5         | 4.3         |            |
| 염분도    | 32.26       | 32.53       | 32.82       | 32.77       | 32.99       |            |
| DO     | 9.57        | 9.87        | 10.3        | 9.39        | 9.84        |            |
| pH     | 8.33        | 8.27        | 8.51        | 8.52        | 8.5         |            |
| 날씨     | 흐림          | 바람/흐림       | 맑음          | 맑음          | 맑음          |            |

- 진도 해역의 수온은 10월 24일(1주차) 17.9°C에서 11주차(1월 3일)에 7.0°C까지 낮아진 후, 약 1달간 7.0°C 전후로 낮은 수온이 유지되었다. 염분은 32.12~33.53 psu 사이값을 나타냈으며, pH는 8.19~8.85 사이값으로 확인되었다(표 104). 신안해역은 진도해역에 비해 11월까지 1도가량 높았으나 12월 이후에는 더 낮은 수온을 보여, 양식어기동안 수온편차가 큰 것으로 나타났다.

표 104. 진도해역 시험양식장의 환경조사 결과

| 진도     |             |             |             |            |            |            |
|--------|-------------|-------------|-------------|------------|------------|------------|
| 조사일    | 10.24.(1주)  | 10.30.(2주)  | 11.06.(3주)  | 11.15.(4주) | 11.29.(6주) | 12.12.(8주) |
| 수온(°C) | 17.90       | 16.70       | 16.00       | 14.80      | 12.10      | 9.30       |
| 염분도    | 32.74       | 32.94       | 32.12       | 33.27      | 33.21      | 33.41      |
| DO     | 7.65        | 7.72        | 9.51        | 8.13       | 8.64       | 9.05       |
| pH     | 8.30        | 8.85        | 8.25        | 8.19       | 8.27       | 8.28       |
| 날씨     | 맑음          | 맑음          | 맑음          | 맑음         | 맑음         | 맑음         |
| 조사일    | 01.03.(11주) | 01.10.(12주) | 01.25.(14주) |            |            |            |
| 수온(°C) | 7.00        | 7.40        | 7.20        |            |            |            |
| 염분도    | 33.51       | 33.41       | 33.53       |            |            |            |
| DO     | 9.34        | 9.57        | 9.55        |            |            |            |
| pH     | 8.39        | 8.38        | 8.44        |            |            |            |
| 날씨     | 맑음          | 맑음          | 맑음          |            |            |            |

개발 종자 대상인 신안압해10과 매화도1에 대해 각 해역별로 주차별 생장을 확인하였다(표 105~106). 신안압해10의 초기생장(유업 4주)은 진도(평균 15.38mm)에서 신안(9.11mm)보다 더

좋았으나, 6주 이후 성엽은 신안에서 진도보다 더 생장이 우수하였다. 매화도1의 초기생장은 초기생장(유엽 4주)은 진도(평균 30.65mm)에서 신안(2.87mm)보다 더 좋았으나, 6주 이후 성엽은 신안에서 진도보다 더 생장이 우수하였다.

표 105. 신안압해12의 주차별 엽장, 엽폭(단위:mm, mm<sup>2</sup>)

|    |    | 신안압해10            |                      |                           |                           |                           |                           |
|----|----|-------------------|----------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
|    |    | 4주                | 6주                   | 8주                        | 10주                       | 12주                       | 14주                       |
| 엽장 | 신안 | 9.11<br>(25.97)   | 177.05<br>(311.83)   | 207.09<br>(340.33)        | 143.34<br>(376.94)        | 224.39<br>(349.99)        | 186.40<br>(314.81)        |
|    | 진도 | 15.38<br>(30.49)  | 111.90<br>(187.69)   | 130.37<br>(200.99)        | 141.55<br>(284.30)        | 75.98<br>(151.42)         | 115.91<br>(229.10)        |
| 엽폭 | 신안 | 2.02<br>(3.86)    | 15.37<br>(33.94)     | 37.70<br>(70.54)          | 36.20<br>(86.12)          | 56.92<br>(86.98)          | 55.07<br>(116.85)         |
|    | 진도 | 5.01<br>(9.55)    | 37.87<br>(68.74)     | 62.20<br>(134.97)         | 61.42<br>(108.38)         | 37.85<br>(70.26)          | 42.63<br>(102.30)         |
| 면적 | 신안 | 17.26<br>(62.02)  | 2007.75<br>(4916.52) | 5574.19<br>(11769.3<br>3) | 4265.60<br>(14166.2<br>2) | 9067.35<br>(23155.7<br>0) | 7780.32<br>(28063.9<br>1) |
|    | 진도 | 65.87<br>(201.76) | 3185.12<br>(7486.81) | 5834.06<br>(17037.0<br>1) | 6842.95<br>(20199.4<br>5) | 2517.55<br>(6522.25)      | 3949.40<br>(12993.8<br>3) |

표 106. 매화도1의 주차별 엽장, 엽폭(단위:mm, mm<sup>2</sup>)

|    |    | 매화도1               |                      |                           |                           |                           |                           |
|----|----|--------------------|----------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
|    |    | 4주                 | 6주                   | 8주                        | 10주                       | 12주                       | 14주                       |
| 엽장 | 신안 | 2.87<br>(6.72)     | 141.36<br>(267.44)   | 156.59<br>(260.11)        | 137.80<br>(247.46)        | 203.56<br>(500.30)        | 185.95<br>(363.76)        |
|    | 진도 | 30.65<br>(53.82)   | 107.38<br>(217.00)   | 142.25<br>(231.67)        | 137.53<br>(308.98)        | 82.49<br>(200.98)         | 94.79<br>(180.40)         |
| 엽폭 | 신안 | 0.85<br>(2.20)     | 21.80<br>(34.62)     | 28.70<br>(54.11)          | 36.14<br>(61.77)          | 48.97<br>(82.76)          | 59.15<br>(134.52)         |
|    | 진도 | 9.84<br>(16.26)    | 37.63<br>(70.75)     | 69.12<br>(141.41)         | 68.26<br>(140.86)         | 32.64<br>(92.64)          | 46.29<br>(96.14)          |
| 면적 | 신안 | 3.36<br>(13.88)    | 2604.38<br>(7382.94) | 3181.85<br>(7763.96)      | 3878.30<br>(8158.90)      | 7621.10<br>(23056.6<br>3) | 9373.16<br>(22822.8<br>3) |
|    | 진도 | 269.59<br>(651.53) | 3104.37<br>(7021.27) | 7062.16<br>(18850.0<br>8) | 7642.36<br>(27739.2<br>2) | 2740.73<br>(16950.9<br>4) | 3691.76<br>(10339.7<br>3) |

개발종자(신안압해10)의 패각사상체 및 형질은 해역별로 차이가 없이 잘 발현되었다. 신안압해 10의 패각사상체의 색은 흑적색이며, 엽체의 모양은 선형으로 확인되었다. 엽체 연변부의 거치가 없는 방사무늬김의 특징을 잘 나타내며, 엽체의 하부와 중앙부는 갈녹색으로 확인되었다(표 107). 신안압해10의 신안에서 9.11mm, 진도에서 15.38mm로 입식 시기가 늦은 진도에서 유엽의 생장이 더 좋았으나, 성엽의 길이는 10주차에 신안에서 143.34mm, 진도에서 141.55mm로 확인되어 해역별로 큰 차이를 나타내지 않았다(그림 59~61). 분망 후 6주 이후부터 채집에 가능한 크기로 성장하였으며, 채취 후 21~25일 사이에 생장이 급격히 증가하여 약 4주에 1회 채취가 가능하였음.



그림 59. 개발종자(신안압해10)의 패각사상체.

표 107. 수산식물 김 특성조사요령에 따른 개발종자(신안압해10)의 형질특성

| 형질               | 신안압해10   |          |
|------------------|----------|----------|
|                  | 신안       | 진도       |
| 패각사상체: 색         | 흑적색      | 흑적색      |
| 유엽: 엽체 길이/mm     | 9.11     | 15.38    |
| 엽체 모양            | 선형       | 선형       |
| 성엽: 엽체 길이/mm     | 143.34   | 141.55   |
| 성엽: 엽체 너비/mm     | 36.20    | 61.42    |
| 성엽: 엽체 연변부의 거치유무 | 없음       | 없음       |
| 성엽: 엽체 중앙부의 색    | 갈녹색      | 갈녹색      |
| 성엽: 엽체 하부의 색     | 갈녹색      | 갈녹색      |
| 성엽: 엽체의 생식유형     | 암수한몸-혼합형 | 암수한몸-혼합형 |

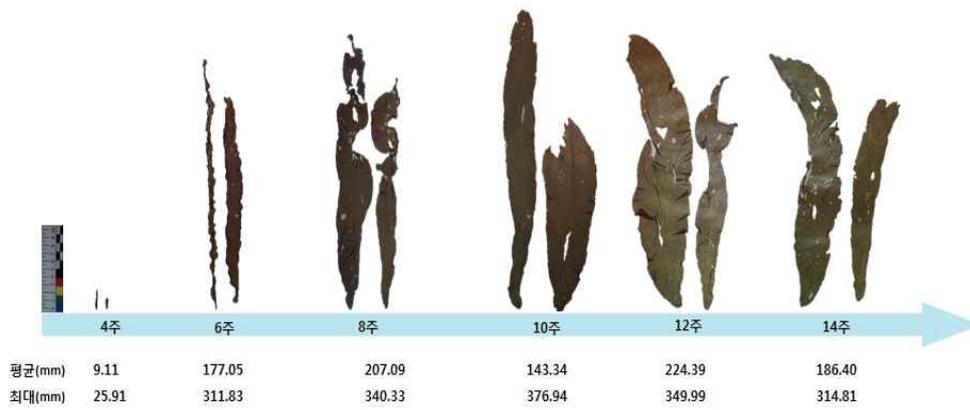


그림 60. 신안해역에서 개발종자(신안압해10)의 주차별 생장.

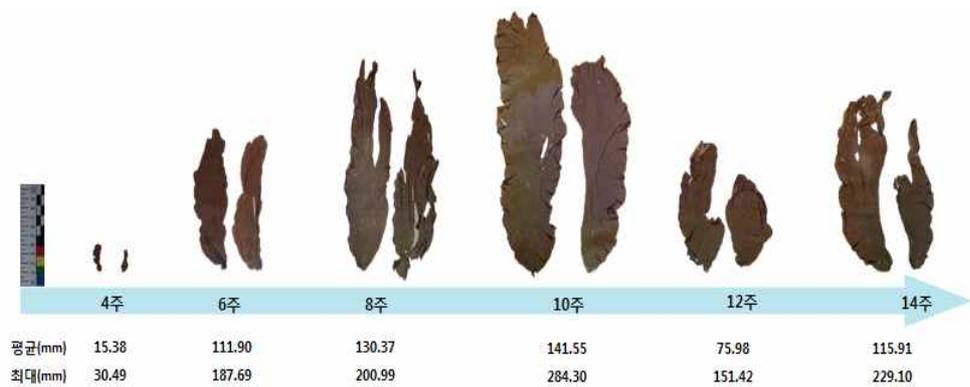


그림 61. 진도해역에서 개발종자(신안압해10)의 주차별 생장.

개발종자(매화도1)의 패각사상체 및 형질은 해역별로 차이가 없이 잘 발현되었다. 매화도1의 패각사상체의 색은 흑적색이며, 엽체의 모양은 도란형으로 확인되었다. 엽체 연변부의 거치가 없는 방사무늬김의 특징을 잘 나타내며, 엽체의 하부와 중앙부는 갈녹색으로 확인되었다(표 108). 매화도1의 신안에서 2.87mm, 진도에서 30.65mm로 입식 시기가 늦은 진도에서 유엽의 생장이 더 좋았으나, 성엽의 길이는 10주차에 신안에서 137.80mm, 진도에서 137.53mm로 확인되어 해역별로 큰 차이를 나타나지 않음(그림 62~64). 분망 후 6주 이후부터 채집에 가능한 크기로 생장하였으며, 채취 후 21~25일 사이에 생장이 급격히 증가하여 약 4주에 1회 채취가 가능하였음.



그림 62. 개발종자(매화도1)의 패각사상체.

표 108. 수산식물 김 특성조사요령에 따른 개발종자(매화도1)의 형질특성

| 형질               | 매화도1     |          |
|------------------|----------|----------|
|                  | 신안       | 진도       |
| 패각사상체: 색         | 흑적색      | 흑적색      |
| 유엽: 엽체 길이/mm     | 2.87     | 30.65    |
| 엽체 모양            | 도란형      | 도란형      |
| 성엽: 엽체 길이/mm     | 137.80   | 137.53   |
| 성엽: 엽체 너비/mm     | 49.00    | 32.64    |
| 성엽: 엽체 연변부의 거치유무 | 없음       | 없음       |
| 성엽: 엽체 중앙부의 색    | 갈녹색      | 갈녹색      |
| 성엽: 엽체 하부의 색     | 갈녹색      | 갈녹색      |
| 성엽: 엽체의 생식유형     | 암수한몸-혼합형 | 암수한몸-혼합형 |

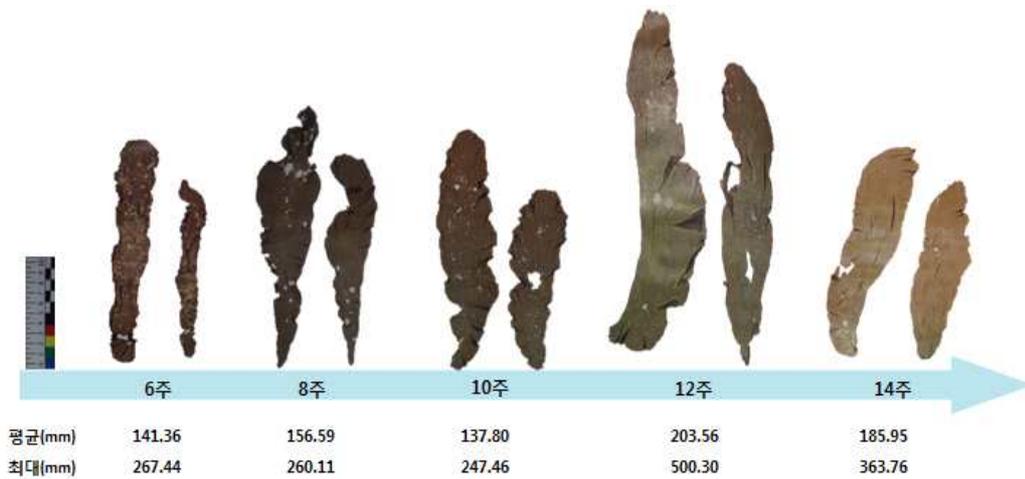


그림 63. 신안해역에서 개발종자(매화도1)의 주차별 성장.

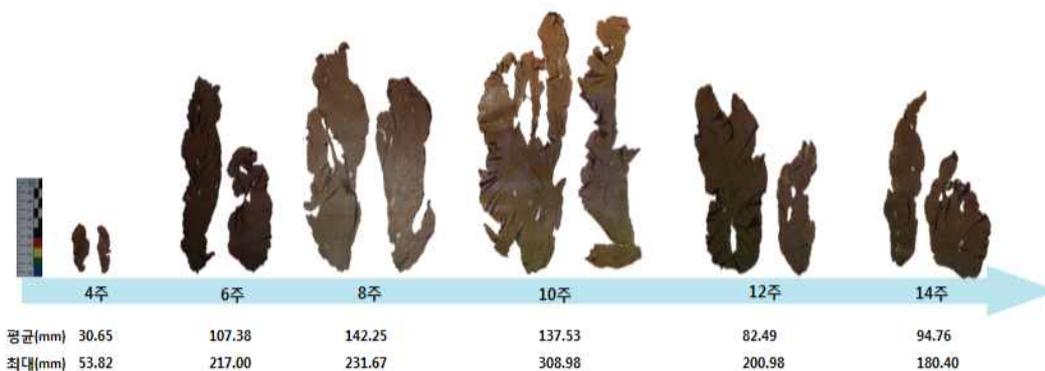


그림 64. 진도해역에서 개발종자(매화도1)의 주차별 성장.

[3차년도(2019년)]

방사무늬김 신품종 개발 종자 2품종(매화도1, 진도회동9)의 산업화 검증을 위해 1월부터 3월까지 유리사상체를 증식시킨 후, 전남 무안군 및 진도군에 위치한 패각배양장에서 사상체를 패각에 이식시켰다(무안 : '19.04.18, 진도 : '19.04.04, 그림 65).



그림 65. 개발종자의 종묘배양을 위한 패각사상체 이식.

- 무안 및 진도에 위치한 패각사상체 실내배양장의 환경조사는 4월부터 채묘 전까지 2주 간격으로 실시되었으며, 수온, 조도, 염분 및 비중을 측정하였음. 또한, 패각사상체 실내배양장 시설 내에 호보센서를 비치하여 패각 수조내의 일간수온과 일간누적조도 데이터를 수집하였다(그림 66).



그림 66. 개발종자의 패각사상체 성장 및 배양환경 조사.

[무안] 무안에 위치한 패각사상체 실내배양장의 환경조사는 유리사상체를 이식한 시기부터 채묘 준비 전까지 2주 간격으로 실시되었으며, 수온, 조도, 염분 및 비중을 측정하였음. 또한, 실내배양장 시설 내에 호보센서를 비치하여 패각 수조내의 일간수온과 일간누적조도 데이터를 수집하였다(표 109, 그림 67). 수온은 패각 이식시기인 4월 18일에는 12.9℃로 였으며, 8월 7일에 27.4℃로 최고 수온을 달성한 후, 성숙시기에는 23℃까지 점차 낮아졌다. 조도 및 누적조도는 사상체의 생육단계에 맞추어 초기에는 높게 유지하였으며, 성숙시기에는 600lux 이하로 낮게 유지되었다.

표 109. 무안 패각배양장 환경조사 결과

| 무안      |          |          |          |          |          |          |          |
|---------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 조사일     | 19.04.18 | 19.04.24 | 19.05.02 | 19.05.15 | 19.05.31 | 19.06.12 | 19.06.26 |
| 수온(°C)  | 12.9     | 15.7     | 14       | 17.6     | 19.3     | 19.7     | 21       |
| 조도(lux) | 756      | 235      | 682      | 676      | 743      | 1031     | 53       |
| 염분(psu) | 35       | 38       | 39       | 35       | 39       | 33       | 40       |
| 비중      | 1.025    | 1.028    | 1.029    | 1.025    | 1.029    | 1.025    | 1.030    |
| pH      | 8.2      | 8.4      | 8.3      | 8.2      | 8.5      | 8.4      | 8.3      |
| 날씨      | 맑음       | 흐림       | 맑음       | 맑음       | 맑음       | 맑음       | 흐림/비     |
| 조사일     | 19.07.10 | 19.07.23 | 19.08.07 | 19.08.21 | 19.08.28 | 19.09.04 | 19.09.09 |
| 수온(°C)  | 22       | 25.2     | 27.4     | 26.2     | 24.3     | 23.1     | 23.7     |
| 조도(lux) | 26       | 258      | 1062     | 271      | 88       | 513      | 26       |
| 염분(psu) | 31       | 30       | 29       | 32       | 32       | 34       | 34       |
| 비중      | 1.024    | 1.022    | 1.021    | 1.023    | 1.023    | 1.025    | 1.025    |
| pH      | 8.1      | 8.4      | 8.4      | 7.7      | 8.2      | 8.0      | 8.1      |
| 날씨      | 흐림/비     | 맑음       | 맑음       | 흐림       | 흐림       | 맑음       | 흐림/비     |

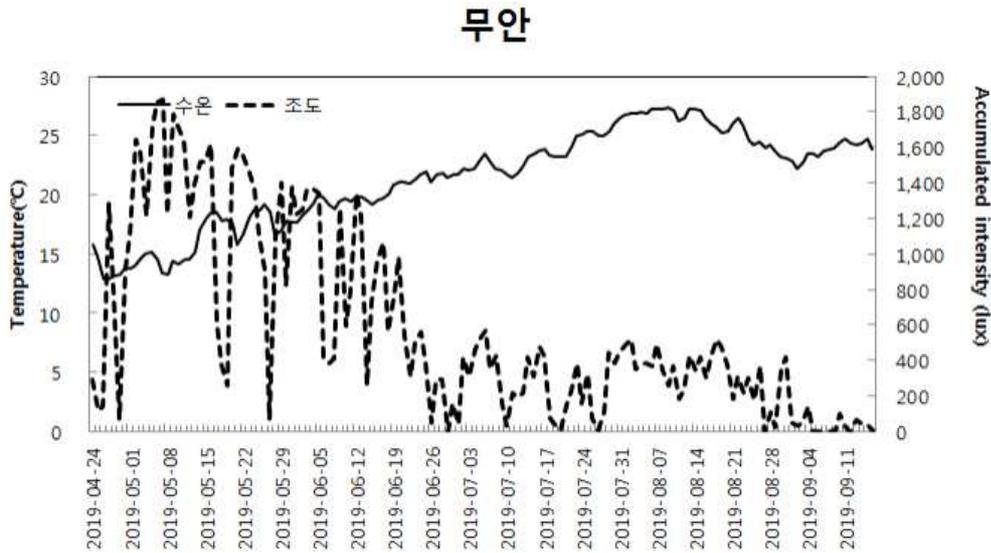


그림 67. 무안 패각배양장의 호보센서를 이용한 수온 및 조도 측정 결과.

[진도] 진도에 위치한 패각사상체 실내배양장의 환경조사는 4월부터 9월까지 2주 간격으로 실시되었으며, 수온, 조도, 염분 및 비중을 측정하였다(표 110). 실내배양장 시설 내에 호보센서를 비치하여 실시간 수온 변동 및 일간 누적조도량을 측정하였다(그림 68). 진도에서 사상체 이식은 수온 11.7°C에 진행되었으며, 무안에 비해 수온은 약 1도가량 높게 유지되었다. 8월 이후 평면식에서 수하식으로 이동하여 사상체 성숙을 위해 23~26°C 사이로 유지하였다.

표 110. 진도 패각배양장 환경조사 결과

| 진도      |         |         |         |         |         |         |         |         |
|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 조사일     | 19.04.0 | 19.04.1 | 19.04.1 | 19.05.0 | 19.05.1 | 19.05.3 | 19.06.1 | 19.06.2 |
|         | 4       | 1       | 7       | 2       | 6       | 1       | 3       | 7       |
| 수온(°C)  | 11.7    | 12.7    | 14.3    | 15.5    | 17.9    | 19.4    | 19.2    | 23.2    |
| 조도(lux) | 262     | 485     | 336     | 739     | 821     | 654     | 1019    | 245     |
| 염분(psu) | 31.3    | 32.3    | 32.6    | 33.6    | 32.4    | 33.8    | 31      | 30.5    |
| 비중      | 1.025   | 1.025   | 1.025   | 1.025   | 1.025   | 1.025   | 1.024   | 1.024   |
| pH      | 8.2     | 8.1     | 8.2     | 8.2     | 8.3     | 8.5     | 8.6     | 8.3     |
| 날씨      | 맑음      | 흐림      |
| 조사일     | 19.07.1 | 19.07.2 | 19.08.0 | 19.08.2 | 19.08.2 | 19.09.0 |         |         |
|         | 0       | 5       | 8       | 2       | 9       | 5       |         |         |
| 수온(°C)  | 22.3    | 24.9    | 26.9    | 26.2    | 25      | 26.1    |         |         |
| 조도(lux) | 1586    | 411     | 347     | 281     | 382     | 271     |         |         |
| 염분(psu) | 32.4    | 29      | 31      | 31      | 32      | 32      |         |         |
| 비중      | 1.025   | 1.022   | 1.023   | 1.023   | 1.024   | 1.023   |         |         |
| pH      | 8.8     | 8.7     | 8.5     | 8.0     | 8.0     | 7.9     |         |         |
| 날씨      | 흐림/비    | 흐림      | 맑음      | 흐림      | 흐림      | 흐림      |         |         |



그림 68. 진도 패각배양장의 호보센서를 이용한 수온 및 조도 측정 결과.

전남 무안과 진도에 위치한 패각사상체 배양장에 각각 매화도1과 진도회동9의 종자를 이식한 후, 패각사상체의 초기 잠입밀도 및 생장을 확인하기 위하여 패각을 연마하여 현미경으로 사상체를 관찰하였다. 패각사상체는 이식한 후 약 2주가 경과한 시기에 잠입이 확인되었으며, 6월까지 영양생장을 지속한 후 6월 하순부터 각포자낭이 형성되기 시작하여 성숙단계로 진입하였음(표 111~114).

표 111. 매화도1 계통주의 패각사상체 성장 및 성숙(무안)

| 2019.04.24 | 2019.05.02 | 2019.05.15 | 2019.05.31 | 2019.06.12 |
|------------|------------|------------|------------|------------|
|            |            |            |            |            |
|            |            |            |            |            |
| 2019.06.26 | 2019.07.10 | 2019.07.23 | 2019.08.07 | 2019.08.21 |
|            |            |            |            |            |
|            |            |            |            |            |
| 2019.08.28 | 2019.09.04 | 2019.09.09 |            |            |
|            |            |            |            |            |
|            |            |            |            |            |

표 112. 진도회동9 계통주의 패각사상체 성장 및 성숙(무안)

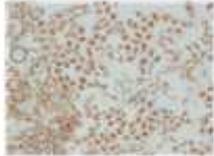
| 2019.04.24                                                                          | 2019.05.02                                                                          | 2019.05.15                                                                          | 2019.05.31                                                                           | 2019.06.12                                                                            |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
|    |    |    |    |    |
|    |    |    |    |    |
| 2019.06.26                                                                          | 2019.07.10                                                                          | 2019.07.23                                                                          | 2019.08.07                                                                           | 2019.08.21                                                                            |
|   |   |   |   |   |
|  |  |  |  |  |
| 2019.08.28                                                                          | 2019.09.04                                                                          | 2019.09.09                                                                          |                                                                                      |                                                                                       |
|  |  |  |                                                                                      |                                                                                       |
|  |  |  |                                                                                      |                                                                                       |

표 113. 매화도1 계통주의 패각사상체 성장 및 성숙(진도)

| 2019.04.11                                                                          | 2019.04.17                                                                          | 2019.05.02                                                                          | 2019.05.16                                                                          | 2019.05.31                                                                           | 2019.06.13                                                                            |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
|    |    |    |    |    |    |
|    |    |    |    |    |    |
| 2019.06.27                                                                          | 2019.07.10                                                                          | 2019.07.25                                                                          | 2019.08.09                                                                          | 2019.08.22                                                                           | 2019.08.29                                                                            |
|   |   |   |   |   |   |
|  |  |  |  |  |  |
| 2019.09.05                                                                          | 2019.09.19                                                                          | 2019.09.25                                                                          | 2019.09.30                                                                          |                                                                                      |                                                                                       |
|  |  |  |  |                                                                                      |                                                                                       |
|  |  |  |  |                                                                                      |                                                                                       |

표 114. 진도회동9 계통주의 패각사상체 성장 및 성숙(진도)

| 2019.04.11 | 2019.04.17 | 2019.05.02 | 2019.05.16 | 2019.05.31 | 2019.06.13 |
|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
|            |            |            |            |            |            |
|            |            |            |            |            |            |
| 2019.06.27 | 2019.07.10 | 2019.07.25 | 2019.08.09 | 2019.08.22 | 2019.08.29 |
|            |            |            |            |            |            |
|            |            |            |            |            |            |
| 2019.09.05 | 2019.09.19 | 2019.09.25 | 2019.09.30 |            |            |
|            |            |            |            |            |            |
|            |            |            |            |            |            |

개발 종자의 시험양식을 위해 매화도1 및 진도회동9의 성숙한 패각사상체를 이용하여 대봉투식 해상채묘(전남 신안 : '19.09.19) 및 육상채묘(전남 진도 : '19.10.07)방식으로 채묘를 실시하였다(그림 69). 신안의 경우, 해상채묘 실시 후 1주 뒤('19.09.26) 채묘된 김 망을 3cm씩 채취하여 밀도를 확인 한 결과, 매화도1과 진도회동9 모두 3cm당 100개체 이상으로 확인되었다. 진도의 경우, 육상채묘 실시 후 냉동망으로 보관하였으며 10월 17일 채묘망을 시설하였다. 이후 형질특성조사요령에 따라 2주 간격으로 엽장, 엽폭의 성장을 조사하였으며, 시험양식장의 수온, 염분, DO 및 pH를 측정하였음.

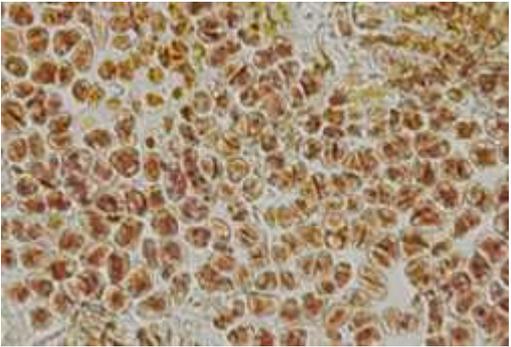
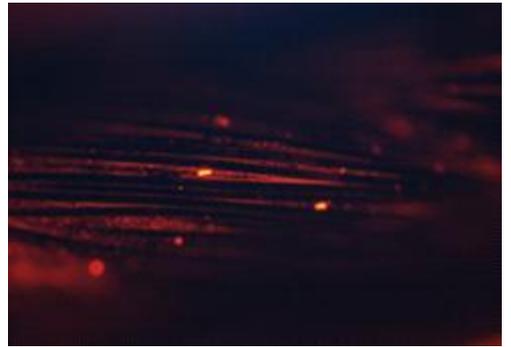
|                                                                                     |                                                                                      |
|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
|    |    |
| <p>성숙된 패각사상체</p>                                                                    | <p>[무안] 패각사상체 성숙관리</p>                                                               |
|    |    |
| <p>[신안] 대붕투식 해상채묘 ('19.09.19.)</p>                                                  | <p>[진도] 육상채묘 ('19.10.07.)</p>                                                        |
|  |  |
| <p>매화도1 채묘밀도 확인</p>                                                                 | <p>진도회동9 채묘밀도 확인</p>                                                                 |

그림 69. 개발종자의 채묘 및 채묘밀도 확인

신안 해역의 수온은 분망 후 1주차인 10월 8일에 22.2°C를 기록한 후 20년 1월까지 꾸준히 하강하였으며, 염분은 26.94~32.08psu 사이값을 나타냈다(표 115). 2020년도에는 코로나19 발생으로 인하여 1월 이후 현장조사를 진행하지 못하였다.

표 115. 신안해역 시험양식장의 환경조사 결과

| 신안     |                  |                  |                  |                  |                   |                   |                  |
|--------|------------------|------------------|------------------|------------------|-------------------|-------------------|------------------|
| 조사일    | 19.09.26<br>(1주) | 19.10.15<br>(4주) | 19.10.29<br>(6주) | 19.11.11<br>(8주) | 19.11.27<br>(10주) | 19.12.12<br>(12주) | 20.1.16<br>(17주) |
| 수온(°C) | 22.2             | 19.4             | 18.2             | 16.0             | 12.2              | 9.1               | 7.2              |
| 염분     | 26.94            | 28.64            | 30.57            | 31.35            | 31.3              | 32.08             | 31.48            |
| DO     | 7.22             | 7.61             | 8.03             | 8.19             | 8.63              | 9.2               | 9.8              |
| pH     | 8.83             | 8.58             | 8.64             | 9.1              | 9.12              | 8.94              | 9.02             |
| 날씨     | 맑음               | 맑음               | 맑음               | 맑음               | 약간흐림              | 맑음                | 맑음               |

진도 해역의 수온은 10월 23일(1주차) 19.8°C에서 20년 1월 15일 15주차의 8.9°C까지 꾸준히 하강하였음. 염분은 31.76~33.54 psu 사이값을 나타내어 안정적인 염분이 지속됨을 확인하였음. pH는 8.8~9.48 사이값으로 확인하였다(표 116). 신안해역은 진도해역에 비해 채묘시기에는 2~3도 가량 높았으며 11월까지의 1도가량 높았으나 12월 이후에는 더 낮은 수온을 보여, 양식어기 동안 수온편차가 큰 것으로 나타났다.

표 116. 진도해역 시험양식장의 환경조사 결과

| 진도     |                  |                   |                  |                  |                  |
|--------|------------------|-------------------|------------------|------------------|------------------|
| 조사일    | 19.10.23<br>(1주) | 19.10.30<br>(2주)  | 19.11.06<br>(3주) | 19.11.14<br>(4주) | 19.11.29<br>(6주) |
| 수온(°C) | 19.8             | 19.3              | 18.5             | 16.4             | 13.1             |
| 염분도    | 31.76            | 32.49             | 32.54            | 33.25            | 32.86            |
| DO     | 7.7              | 7.46              | 7.8              | 7.99             | 8.36             |
| pH     | 9.07             | 9.04              | 9.21             | 9.04             | 8.88             |
| 날씨     | 맑음               | 맑음                | 맑음               | 흐림/파도            | 맑음               |
| 조사일    | 19.12.11<br>(8주) | 19.12.23<br>(10주) | 20.1.15<br>(15주) |                  |                  |
| 수온(°C) | 12.4             | 10.2              | 8.9              |                  |                  |
| 염분도    | 33.3             | 32.95             | 32.7             |                  |                  |
| DO     | 8.57             | 9.18              | 9.48             |                  |                  |
| pH     | 8.8              | 8.93              | 9.17             |                  |                  |
| 날씨     | 맑음               | 맑음                | 맑음               |                  |                  |

개발 종자 대상인 매화도1과 진도회동9에 대해 각 해역별로 주차별 성장을 확인하였다(표 117~118). 매화도1의 초기성장(유엽 4주) 및 6주 이후의 성엽은 진도에서 신안보다 더 생장이 우수하였다. 진도회동9의 초기성장(유엽 4주) 및 성엽 또한 진도에서 신안보다 더 생장이 우수하였다. 2019년도에는 신안 해역의 수온이 평년대비 1~2도 높게 측정되었기에 초기 유엽의 생장이 부진하였으며, 성엽의 성장에까지 영향을 미친 것으로 사료된다.

표 117. 매화도1의 주차별 엽장, 엽폭(단위:mm)

|    |    | 매화도1           |                  |                   |                   |                   |
|----|----|----------------|------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
|    |    | 4주             | 6주               | 8주                | 10주               | 12주               |
| 엽장 | 신안 | 3.08<br>(0.55) | 54.71<br>(10.23) | 53.95<br>(16.91)  | 95.45<br>(35.84)  | 174.17<br>(91.88) |
|    | 진도 | 7.48<br>(1.99) | 81.42<br>(34.02) | 149.57<br>(37.59) | 119.79<br>(48.58) | 150.51<br>(49.30) |
| 엽폭 | 신안 | 2.36<br>(0.58) | 14.75<br>(3.80)  | 29.68<br>(11.49)  | 35.27<br>(17.18)  | 47.68<br>(23.37)  |
|    | 진도 | 1.68<br>(0.38) | 20.71<br>(5.53)  | 39.02<br>(12.02)  | 35.12<br>(14.00)  | 51.28<br>(18.99)  |

표 118. 진도회동9의 주차별 엽장, 엽폭, 면적(단위:mm)

|    |    | 진도회동9          |                  |                   |                   |                   |
|----|----|----------------|------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
|    |    | 4주             | 6주               | 8주                | 10주               | 12주               |
| 엽장 | 신안 | 3.43<br>(0.96) | 49.57<br>(16.44) | 69.34<br>(19.44)  | 115.22<br>(40.20) | 125.83<br>(67.19) |
|    | 진도 | 6.31<br>(1.54) | 81.23<br>(18.81) | 133.71<br>(33.64) | 93.49<br>(23.98)  | 180.15<br>(38.96) |
| 엽폭 | 신안 | 1.83<br>(0.64) | 14.02<br>(3.72)  | 32.06<br>(10.11)  | 36.04<br>(16.95)  | 41.85<br>(28.26)  |
|    | 진도 | 1.69<br>(0.47) | 20.96<br>(4.31)  | 39.40<br>(8.13)   | 33.34<br>(8.25)   | 54.07<br>(22.16)  |

매화도1의 패각사상체의 색은 흑적색이며(그림 70), 엽체의 모양은 도란형으로 확인됨. 엽체 연변부의 거치가 없는 방사무늬김의 특징을 잘 나타내며, 엽체의 하부와 중앙부는 갈녹색으로 확인되었다(표 119). 신안과 진도에서 유엽의 길이는 3.08mm, 2.36mm로 비슷하였으나 8주차의 성엽은 진도에서 생장이 더 높았다(그림 71~72).



그림 70. 개발종자(매화도1)의 패각사상체.

표 119. 수산식물 김 특성조사요령에 따른 개발종자(매화도1)의 형질특성

| 형질                           | 매화도1     |          |
|------------------------------|----------|----------|
|                              | 신안       | 진도       |
| 형질 1 (패각사상체: 색)              | 흑적색      | 흑적색      |
| 형질 2 (유엽: 엽체 길이/mm)          | 3.08     | 7.48     |
| 형질 3 (유엽: 엽체의 단포자 형성 유무)     | 유        | 유        |
| 형질 4 (유엽: 단포자 방출정도, %)       | 90%      | 63%      |
| 형질 5 (엽체 모양)                 | 도란형, 타원형 | 도란형      |
| 형질 6 (성엽: 엽체 길이/mm)          | 53.95    | 149.57   |
| 형질 7 (엽체 너비/mm)              | 29.68    | 39.02    |
| 형질 8 (엽체 두께/ $\mu\text{m}$ ) | 24.36    | 26.61    |
| 형질 9 (성엽: 엽체 연변부의 거치유무)      | 무        | 무        |
| 형질 10 (성엽: 엽체 중앙부의 색)        | 갈자색      | 갈자색      |
| 형질 11 (성엽: 엽체 하부의 색)         | 갈자색      | 갈녹색      |
| 형질 12 (성엽: 엽체의 성숙기)          | 8주       | 11주 이후   |
| 형질 13 (성엽: 엽체의 생식유형)         | 암수한몸-혼합형 | 암수한몸-혼합형 |

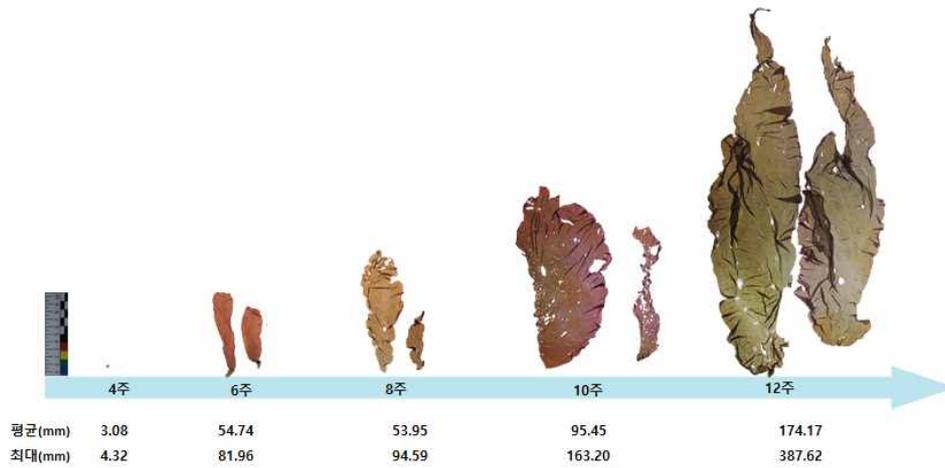


그림 71. 신안해역에서 개발종자(매화도1)의 주차별 성장.

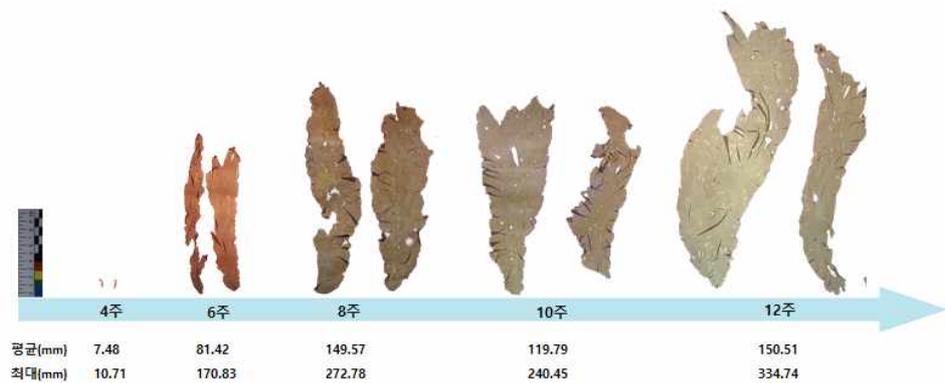


그림 72. 진도해역에서 개발종자(매화도1)의 주차별 성장.

진도회동9의 패각사상체의 색은 흑적색이며(그림 73), 엽체의 모양은 선형, 엽체 연변부의 거치가 없는 방사무늬김의 특징을 잘 나타내며, 엽체의 하부와 중앙부는 갈녹색으로 확인됨(표 120).

- 매화도1의 신안에서 3.42mm, 진도에서 6.31mm로 입식 시기가 늦은 진도에서 유엽의 생장이 더 좋았으며, 8주차의 성엽의 길이는 신안에서 69.34mm, 진도에서 133.71mm로 확인되어 진도에서 생장이 더 좋았음(그림 74~75).



그림 73. 개발종자(진도회동9)의 패각사상체.

표 120. 수산식물 김 특성조사요령에 따른 개발종자(진도회동9)의 형질특성

| 형질                       | 진도회동9    |          |
|--------------------------|----------|----------|
|                          | 신안       | 진도       |
| 형질 1 (패각사상체: 색)          | 흑적색      | 흑녹색      |
| 형질 2 (유엽: 엽체 길이/mm)      | 3.43     | 6.31     |
| 형질 3 (유엽: 엽체의 단포자 형성 유무) | 유        | 유        |
| 형질 4 (유엽: 단포자 방출정도, %)   | 70%      | 60%      |
| 형질 5 (엽체 모양)             | 도란형, 타원형 | 도란형      |
| 형질 6 (성엽: 엽체 길이/mm)      | 69.34    | 133.71   |
| 형질 7 (엽체 너비/mm)          | 32.06    | 39.40    |
| 형질 8 (엽체 두께/ $\mu$ m)    | 23.76    | 26.48    |
| 형질 9 (성엽: 엽체 연변부의 거치유무)  | 무        | 무        |
| 형질 10 (성엽: 엽체 중앙부의 색)    | 갈자색      | 갈자색      |
| 형질 11 (성엽: 엽체 하부의 색)     | 갈자색      | 갈녹색      |
| 형질 12 (성엽: 엽체의 성숙기)      | 12주 이후   | 11주 이후   |
| 형질 13 (성엽: 엽체의 생식유형)     | 암수한몸-혼합형 | 암수한몸-혼합형 |

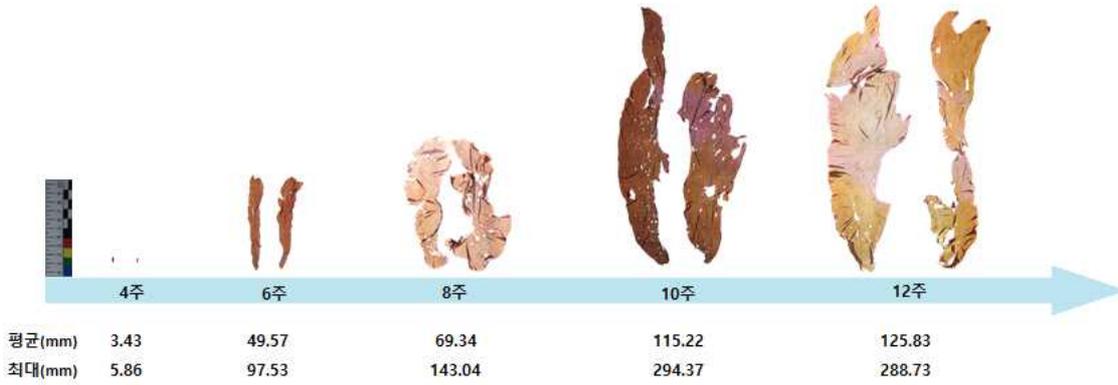


그림 74. 신안해역에서 개발종자(진도회동9)의 주차별 성장.

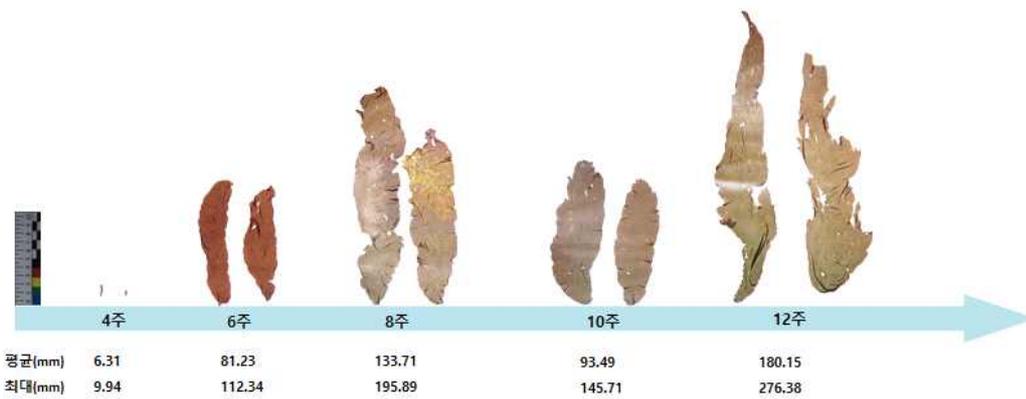


그림 75. 진도해역에서 개발종자(진도회동9)의 주차별 성장.

[4차년도(2020년)]

방사무늬김 신품종 개발 종자 1품종(진도회동9)의 산업화 검증을 위해 1월부터 3월까지 유리사상체를 증식시킨 후, 전남 무안군 및 진도군에 위치한 패각배양장에서 사상체를 패각에 이식시켰다(무안 : '20.04.10, 진도 : '20.04.06 그림 76).



그림 76. 개발종자의 종묘배양을 위한 패각사상체 이식.

무안 및 진도에 위치한 패각사상체 실내배양장에서 채묘 전까지 2주 간격으로 패각사상체의 성장 및 수온, 조도, 염분 및 비중을 측정하였다(그림 77).



그림 77. 개발종자의 패각사상체 성장 및 배양환경 조사.

[무안] 수온은 패각 이식시기인 4월 10일에는 15.6℃이었으며, 8월 13일에 27.6℃로 최고 수온을 달성한 후, 성숙시기에는 22.9℃까지 점차 낮아짐(표 121, 그림 78). 4월 경 저온의 이상기후가 나타나 수온이 꾸준히 증가하지 못하였ek.

표 121. 무안 패각배양장 환경조사 결과

| 무안      |                    |                    |                    |                    |                    |                    |                    |
|---------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| 조사일     | 20.04.10.<br>(이식)  | 20.04.16.<br>(1주)  | 20.04.24.<br>(2주)  | 20.05.06.<br>(4주)  | 20.05.25.<br>(7주)  | 20.06.04.<br>(8주)  | 20.06.18.<br>(10주) |
| 수온(℃)   | 15.6               | 16.0               | 10.3               | 17.7               | 16.0               | 21.5               | 19.1               |
| 조도(lux) | 206                | 87                 | 866                | 652                | 272                | 520                | 50.9               |
| 염분(psu) | 32.2               | 33.0               | 33.4               | 34.6               | 29.0               | 31.0               | 28.0               |
| 비중      | 1.025              | -                  | 1.025              | 1.025              | 1.022              | 1.022              | 1.021              |
| pH      | 8.1                | 8.1                | 8.0                | 7.9                | 7.9                | -                  | 8.0                |
| 조사일     | 20.07.03.<br>(12주) | 20.07.15.<br>(14주) | 20.07.30.<br>(16주) | 20.08.13.<br>(18주) | 20.09.02.<br>(21주) | 20.09.10.<br>(22주) | 20.09.16.<br>(23주) |
| 수온(℃)   | 20.4               | 22.5               | 22.5               | 27.6               | 24.5               | 21.9               | 22.9               |
| 조도(lux) | 109.8              | 404                | 85                 | 144                | 13                 | 128                | 44.6               |
| 염분(psu) | 24.0               | 36.0               | 29.0               | 29.0               | 25.0               | 24.0               | 26.0               |
| 비중      | 1.024              | 1.027              | 1.021              | 1.022              | 1.019              | 1.018              | 1.019              |
| pH      | 8.9                | 8.6                | 8.3                | 8.3                | 8.4                | 8.4                | 8.3                |

- [진도] 수온은 패각 이식시기인 4월 6일에는 13.1℃이었으며, 8월 25일에 28.0℃로 최고 수온을 달성한 후, 성숙시기에는 24.3℃까지 점차 낮아졌다(표 122, 그림 78).

표 122. 진도 패각배양장 환경조사 결과

| 진도      |                       |                       |                       |                       |                       |                       |                       |                       |
|---------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| 조사일     | 20.04.0<br>6<br>(이식)  | 20.04.2<br>1<br>(2주)  | 20.04.2<br>8<br>(3주)  | 20.05.1<br>4<br>(5주)  | 20.05.2<br>0<br>(6주)  | 20.06.0<br>2<br>(8주)  | 20.06.1<br>7<br>(10주) | 20.06.3<br>0<br>(12주) |
| 수온(°C)  | 13.1                  | 11.4                  | 13.3                  | 17.9                  | 15.6                  | 20.7                  | 22.0                  | 21.1                  |
| 조도(lux) | 542                   | 580                   | 632                   | 180                   | 551                   | 75                    | 215                   | 154                   |
| 염분(psu) | 28.7                  | 32.2                  | 33.2                  | 26.0                  | 26.0                  | 31.2                  | 30.2                  | 31.4                  |
| 비중      | 1.020                 | 1.020                 | 1.024                 | 1.018                 | 1.019                 | 1.021                 | 1.020                 | 1.019                 |
| pH      | 8.0                   | 8.2                   | 8.2                   | 8.3                   | 7.8                   | 8.3                   | 8.5                   | 8.6                   |
| 조사일     | 20.07.1<br>4<br>(14주) | 20.07.2<br>9<br>(16주) | 20.08.1<br>2<br>(18주) | 20.08.2<br>5<br>(20주) | 20.09.0<br>3<br>(21주) | 20.09.0<br>9<br>(22주) | 20.09.1<br>7<br>(23주) | 20.09.2<br>3<br>(24주) |
| 수온(°C)  | 20.9                  | 23.4                  | 28.7                  | 28.0                  | 24.4                  | 25.5                  | 25.3                  | 24.3                  |
| 조도(lux) | 570                   | 90                    | 54                    | 55                    | 75                    | 174                   | 135                   | 414                   |
| 염분(psu) | 28.8                  | 29.7                  | 30.0                  | 32.0                  | 35.0                  | 30.0                  | 30.0                  | 20.0                  |
| 비중      | 1.020                 | 1.020                 | 1.022                 | 1.025                 | 1.026                 | 1.022                 | 1.023                 | 1.015                 |
| pH      | 8.6                   | 8.7                   | 8.6                   | 8.5                   | 8.6                   | 8.6                   | 8.3                   | 8.4                   |

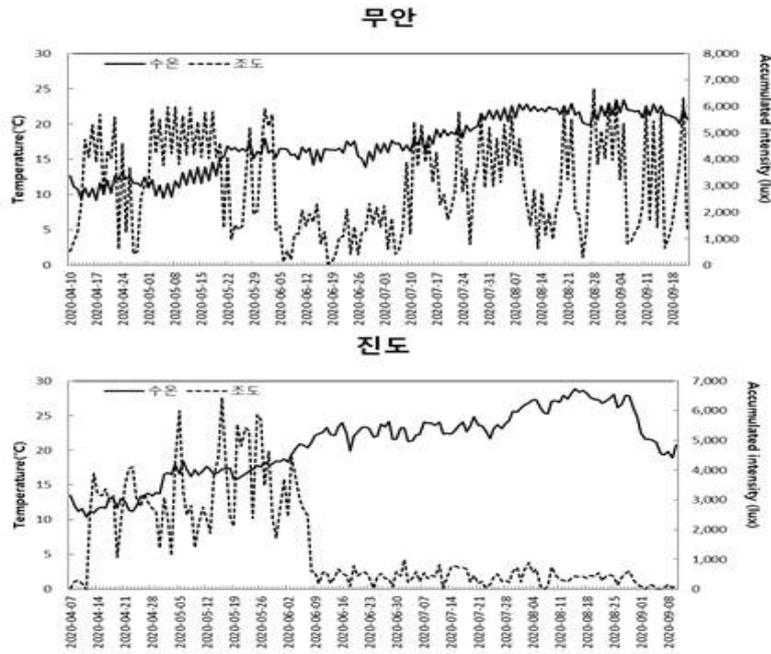


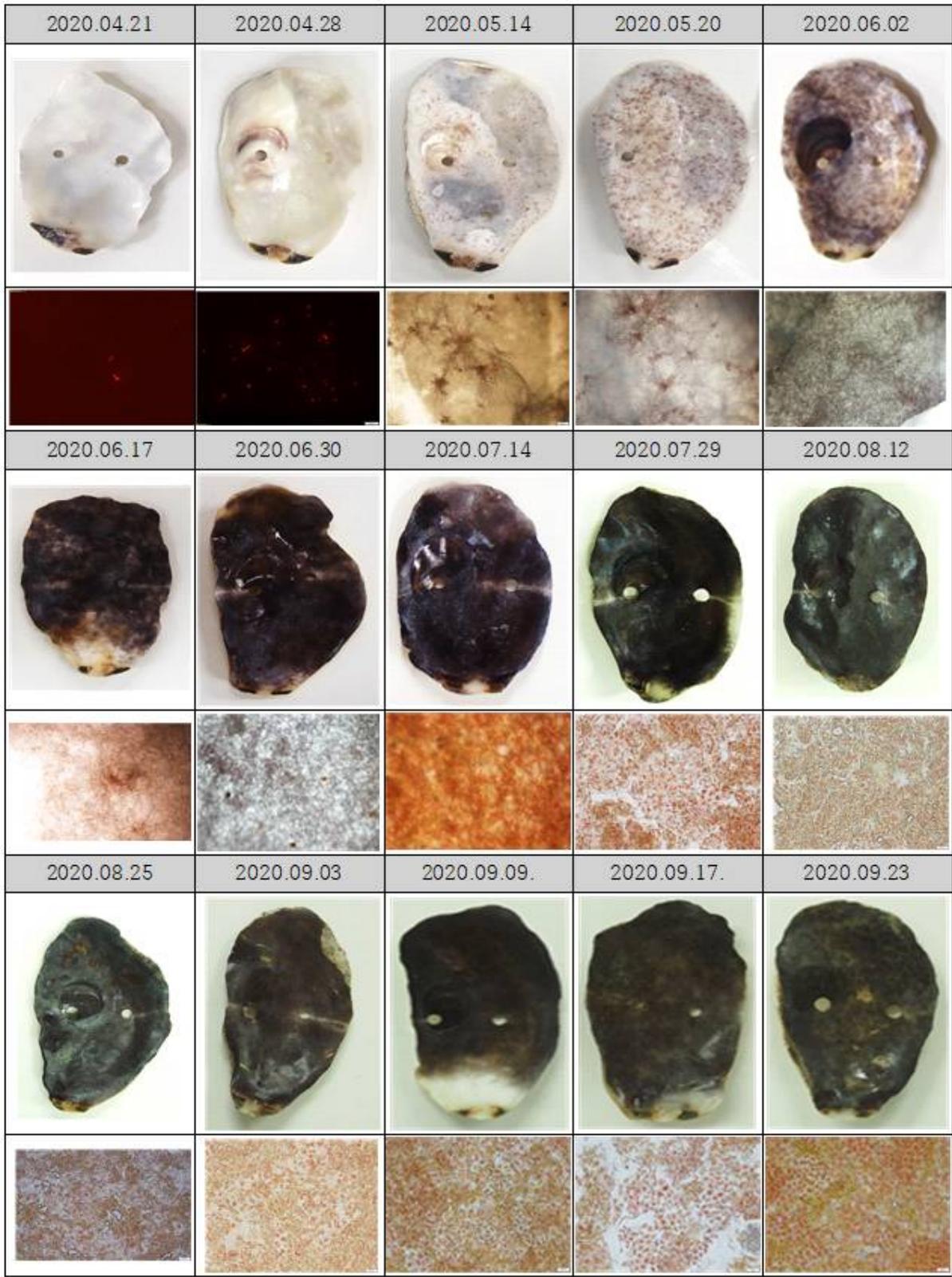
그림 78. 무안 및 진도 패각배양장의 호보센서를 이용한 수온 및 조도 측정 결과.

전남 무안과 진도에 위치한 패각사상체 배양장에 진도회동9의 종자를 이식한 후, 패각사상체의 초기 잠입밀도 및 생장을 확인하기 위하여 패각을 연마하여 현미경으로 사상체를 관찰하였다. 패각사상체는 이식한 후 약 2주가 경과한 시기에 잠입이 확인되었으며, 6월까지 영양생장을 지속한 후 6월 하순부터 각포자낭이 형성되기 시작하여 성숙단계로 진입하였다(표 123~124).

표 123. 진도회동9 계통주의 패각사상체 성장 및 성숙(무안)

|            |            |             |            |            |
|------------|------------|-------------|------------|------------|
| 2020.04.16 | 2020.04.24 | 2020.05.06  | 2020.05.25 | 2020.06.05 |
|            |            |             |            |            |
|            |            |             |            |            |
| 2020.06.18 | 2020.07.03 | 2020.07.15  | 2020.07.30 | 2020.08.13 |
|            |            |             |            |            |
|            |            |             |            |            |
| 2020.08.27 | 2020.09.02 | 2020.09.10. | 2020.09.16 |            |
|            |            |             |            |            |
|            |            |             |            |            |

표 124. 진도회동9 계통주의 패각사상체 성장 및 성숙(진도)



개발 종자의 시험양식을 위해 진도회동9의 성숙한 패각사상체를 이용하여 대봉투식 해상채

묘(전남 신안 : '21.09.27) 및 육상채묘(전남 진도 : '21.10.18)방식으로 채묘를 실시하였다(그림 79). 신안의 경우, 해상채묘 실시 후 약 1주 뒤 채묘된 김 망을 3cm씩 채취하여 밀도를 확인한 결과, 진도회동9 모두 3cm당 100개체 이상으로 확인되었다. 진도의 경우, 육상채묘 실시 후 냉동망으로 보관하고 있다. 이후 형질특성조사요령에 따라 2주 간격으로 엽장, 엽폭의 성장 및 엽체 면적을 조사할 예정이며, 시험양식장의 수온, 염분, DO 및 pH를 측정할 계획이다.

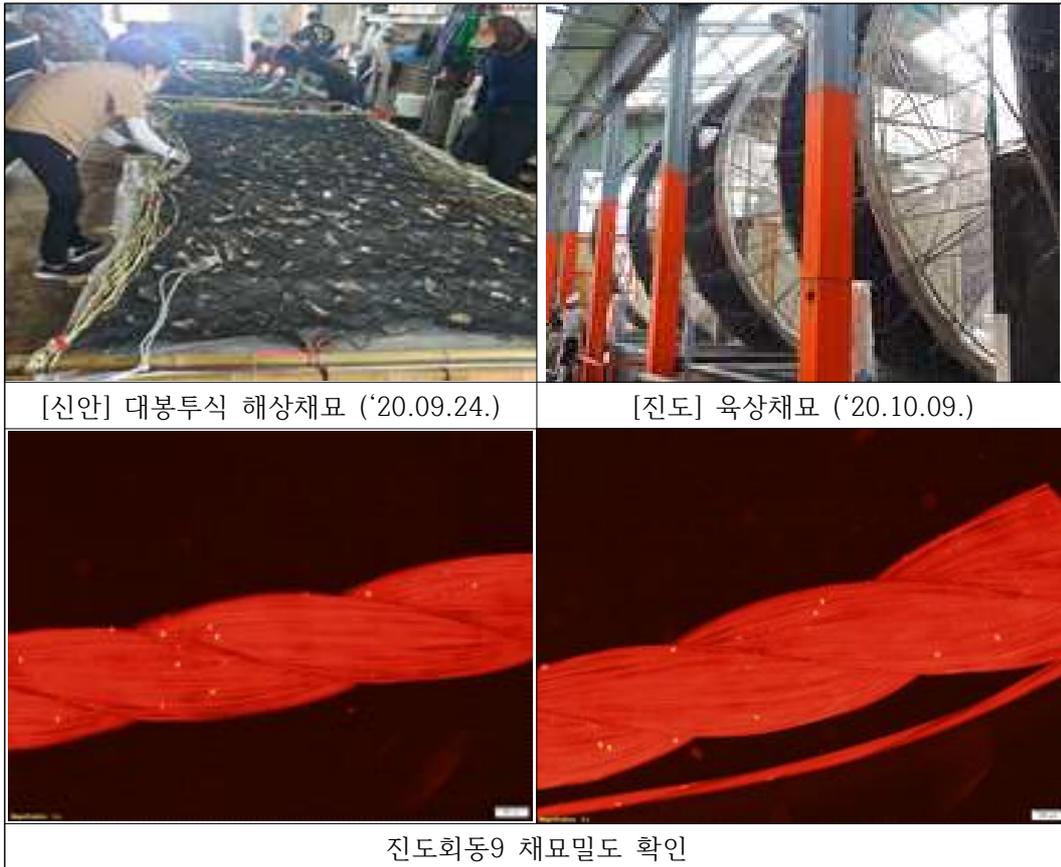


그림 79. 개발종자의 채묘 및 채묘밀도 확인

신안 해역의 수온은 분망 후 3주차인 10월 14일에 19.4°C를 기록한 후 21년 2월까지 꾸준히 하강하였으며, 염분은 30.00~32.26psu 사이값을 나타냈음. pH는 8.2~8.5 사이값으로 측정하였

다(표 125).

표 125. 신안해역 시험양식장의 환경조사 결과

| 신안     |                   |                   |                   |                   |                  |                  |                   |
|--------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|------------------|------------------|-------------------|
| 조사일    | 20.10.14<br>(3주 ) | 20.10.21<br>(4주)  | 20.11.06<br>(6주)  | 20.11.13<br>(7주)  | 20.11.18<br>(8주) | 20.11.27<br>(9주) | 20.12.04<br>(10주) |
| 수온(°C) | 19.4              | 18.7              | 15.7              | 14.8              | 16.0             | 10.8             | 10.0              |
| 염분     | 31.19             | 31.44             | 31.66             | 31.72             | 30.00            | 31.90            | 32.06             |
| DO     | 7.45              | 7.19              | 8.34              | 8.34              | -                | 8.84             | 8.8               |
| pH     | 8.2               | 8.2               | 8.4               | 8.4               | 8.3              | 8.4              | 8.4               |
| 날씨     | 맑음                | 맑음                | 맑음                | 맑음                | 흐림               | 맑음               | 맑음                |
| 조사일    | 20.12.16<br>(12주) | 20.12.21<br>(13주) | 21.01.14<br>(16주) | 21.02.04<br>(19주) |                  |                  |                   |
| 수온(°C) | 7.1               | 7.4               | 6.2               | 5.7               |                  |                  |                   |
| 염분     | 32.01             | 32.26             | 32.25             | 31.51             |                  |                  |                   |
| DO     | 9.96              | 10.5              | 9.6               | 9.58              |                  |                  |                   |
| pH     | 8.5               | 8.3               | 8.4               | 8.3               |                  |                  |                   |
| 날씨     | 맑음                | 맑음                | 맑음                | 맑음                |                  |                  |                   |

진도 해역의 수온은 10월 27일(1주차) 17.9°C에서 21년 2월 3일 15주차의 6.3°C까지 꾸준히 하강하였음. 염분은 31.20~32.95 psu 사이값을 나타내어 안정적인 염분이 지속됨을 확인하였음. pH는 8.0~8.4 사이값으로 확인되었다(표 126).

표 126. 진도해역 시험양식장의 환경조사 결과

| 진도     |                   |                  |                   |                   |                  |                  |                  |
|--------|-------------------|------------------|-------------------|-------------------|------------------|------------------|------------------|
| 조사일    | 20.10.27<br>(1주 ) | 20.11.05<br>(2주) | 20.11.11<br>(3주)  | 20.11.17<br>(4주)  | 20.11.24<br>(5주) | 20.12.02<br>(6주) | 20.12.08<br>(7주) |
| 수온(°C) | 17.9              | 15.8             | 14.9              | 15.6              | 13.9             | 12               | 11.2             |
| 염분     | 32.11             | 31.2             | 32.56             | 32.69             | 32.63            | 31.60            | 32.91            |
| DO     | 7.49              | -                | 8.40              | 7.71              | 8.11             | -                | 8.72             |
| pH     | 8.2               | 8.0              | 8.2               | 8.2               | 8.3              | 8.1              | 8.3              |
| 날씨     | 맑음                | 맑음               | 맑음                | 맑음                | 맑음               | 맑음               | 맑음               |
| 조사일    | 20.12.16<br>(8주)  | 20.12.22<br>(9주) | 21.01.12<br>(12주) | 21.02.03<br>(15주) |                  |                  |                  |
| 수온(°C) | 10                | 9.9              | 6.2               | 6.3               |                  |                  |                  |
| 염분     | 32.89             | 32.81            | 32.95             | 32.85             |                  |                  |                  |
| DO     | 9.2               | 9.03             | 9.4               | 9.78              |                  |                  |                  |
| pH     | 8.1               | 8.2              | 8.4               | 8.1               |                  |                  |                  |
| 날씨     | 맑음                | 맑음               | 맑음                | 맑음                |                  |                  |                  |

개발 종자 대상인 진도회동9에 대해 각 해역별로 주차별 생장을 확인하였음(표 127). 진도회동9의 초기생장(유엽 4주) 및 성엽 또한 신안에서 진도보다 더 생장이 우수하였다. 2020년도에는 신안 해역의 수온이 평년대비 1~2도 높게 측정되었기에 초기 유엽의 생장이 부진하였으며, 성엽의 생장에까지 영향을 미친 것으로 사료된다.

표 127. 진도회동9의 주차별 엽장, 엽폭, 면적(단위:mm)

|    |    | 진도회동9          |                    |                   |                   |                    |
|----|----|----------------|--------------------|-------------------|-------------------|--------------------|
|    |    | 4주             | 6주                 | 8주                | 10주               | 12주                |
| 엽장 | 신안 | 7.99<br>(4.97) | 180.68<br>(123.36) | 179.88<br>(97.73) | 146.90<br>(70.54) | 205.35<br>(120.10) |
|    | 진도 | 0.26<br>(0.09) | 47.19<br>(29.76)   | 160.88<br>(83.12) | 150.93<br>(95.38) | 224.33<br>(135.51) |
| 엽폭 | 신안 | 2.30<br>(1.33) | 58.08<br>(32.55)   | 115.58<br>(36.66) | 48.45<br>(24.80)  | 83.72<br>(37.37)   |
|    | 진도 | 0.08<br>(0.03) | 18.13<br>(11.27)   | 75.38<br>(42.99)  | 97.62<br>(51.16)  | 89.27<br>(49.78)   |

신안지역에서 진도회동9의 패각사상체의 색은 흑적색이며(그림 80), 엽체의 모양은 선형, 엽체 연변부의 거치가 없는 방사무늬김의 특징을 잘 나타내며, 엽체의 하부는 갈녹색 중앙부는 갈자색으로 확인되었다(표 128). 진도지역에서 진도회동9의 패각사상체의 색은 흑적색이며(그림 68), 엽체의 모양은 도란형, 엽체 연변부의 거치가 없는 방사무늬김의 특징을 잘 나타내며, 엽체의 하부는 갈녹색 중앙부는 갈자색으로 확인되었다(표 128). 진도회동9의 신안에서 4.97mm, 진도에서 0.09mm로 신안에서 유엽의 생장이 더 좋았으며, 8주차의 성엽의 길이는 신안에서 97.73mm, 진도에서 83.12mm로 확인되어 신안에서 생장이 더 좋았다(그림 81~82).



그림 80. 개발종자(진도회동9)의 패각사상체.

표 128. 수산식물 김 특성조사요령에 따른 개발종자(진도회동9)의 형질특성

| 형질                           | 진도회동9    |          |
|------------------------------|----------|----------|
|                              | 신안       | 진도       |
| 형질 1 (패각사상체: 색)              | 흑적색      | 흑적색      |
| 형질 2 (유엽: 엽체 길이/mm)          | 4.97     | 0.09     |
| 형질 3 (유엽: 엽체의 단포자 형성 유무)     | 유        | 유        |
| 형질 4 (유엽: 단포자 방출정도, %)       | 70%      | 53%      |
| 형질 5 (엽체 모양)                 | 선형       | 도란형      |
| 형질 6 (성엽: 엽체 길이/mm)          | 97.73    | 83.12    |
| 형질 7 (엽체 너비/mm)              | 36.66    | 42.99    |
| 형질 8 (엽체 두께/ $\mu\text{m}$ ) | 24.80    | 25.20    |
| 형질 9 (성엽: 엽체 연변부의 거치유무)      | 무        | 무        |
| 형질 10 (성엽: 엽체 중앙부의 색)        | 갈자색      | 갈자색      |
| 형질 11 (성엽: 엽체 하부의 색)         | 갈녹색      | 갈녹색      |
| 형질 12 (성엽: 엽체의 성숙기)          | 13주 이후   | 8주       |
| 형질 13 (성엽: 엽체의 생식유형)         | 암수한몸-혼합형 | 암수한몸-혼합형 |

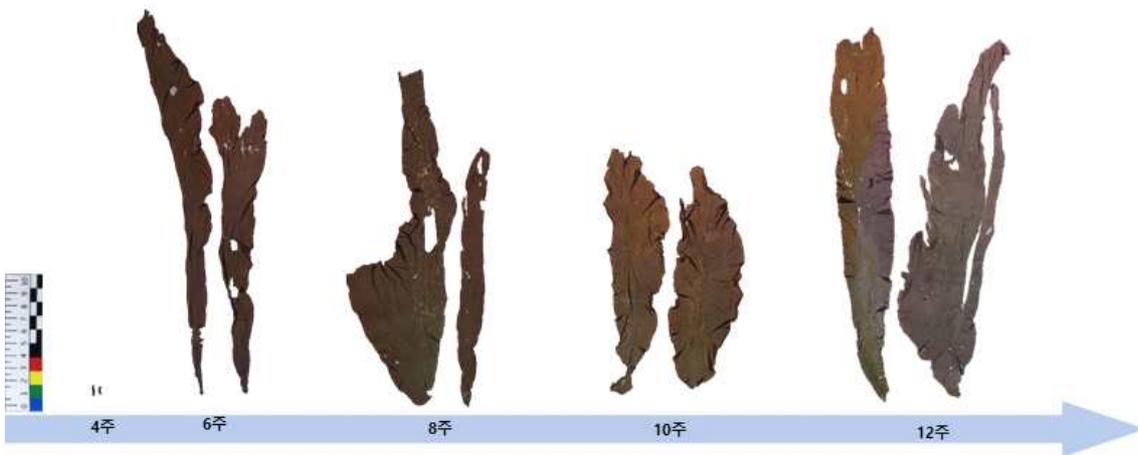


그림 81. 신안해역에서 개발종자(진도회동9)의 주차별 생장.

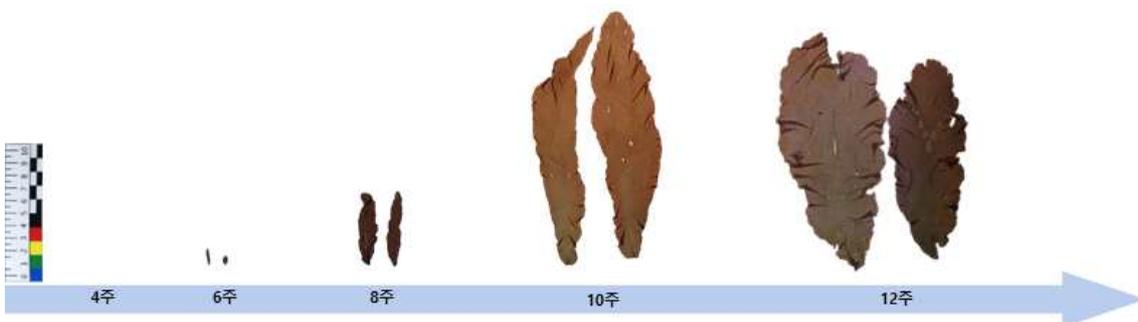


그림 82. 진도해역에서 개발종자(진도회동9)의 주차별 생장.

[5차년도(2021년)]

방사무늬김 신품종 개발 종자 1품종(진도회동11)의 산업화 검증을 위해 1월부터 3월까지 유리사상체를 증식시킨 후, 전남 무안군 및 진도군에 위치한 패각배양장에서 사상체를 패각에 이식시켰다(무안 : '21.04.06, 진도 : '21.04.08 그림 83).



그림 83. 개발종자의 종묘배양을 위한 패각사상체 이식.

무안 및 진도에 위치한 패각사상체 실내배양장에서 채묘 전까지 2주 간격으로 패각사상체의 성장 및 수온, 조도, 염분 및 비중을 측정하였다(그림 84).



그림 84. 개발종자의 패각사상체 성장 및 배양환경 조사.

[무안] 수온은 패각 이식후 1주차 4월 13일에는 13.5℃이었으며, 8월 10일에 27.8℃로 최고 수온을 달성한 후, 성숙시기에는 23.3℃까지 점차 낮아짐(표 129, 그림 85).

표 129. 무안 패각배양장 환경조사 결과

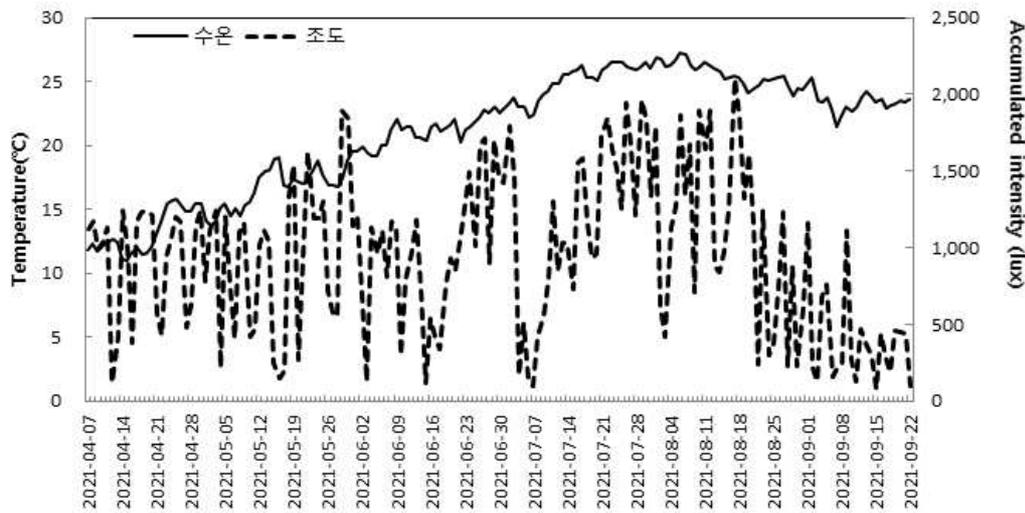
| 무안 GSP  |          |          |          |          |          |          |          |          |
|---------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 조사일     | 21.04.06 | 21.04.13 | 21.04.21 | 21.04.27 | 21.05.04 | 21.05.18 | 21.06.01 | 21.06.15 |
| 수온(°C)  | -        | 13.5     | 13.6     | 14.9     | 15.9     | 17.4     | 20.9     | 20.6     |
| 조도(lux) | -        | 319      | 297      | 237      | 104      | 739      | 238      | 16       |
| 염분(psu) | -        | 31.0     | 35.0     | 35.0     | 33.0     | 34.0     | 34.0     | 33.0     |
| 비중      | -        | 1.025    | 1.025    | 1.025    | 1.025    | 1.024    | 1.024    | 1.025    |
| pH      | -        | 8.1      | 8.2      | 8.2      | 8.1      | 7.9      | 8.5      | 7.7      |
| 날씨      | -        | 맑음       | 맑음       | 흐림       | 비        | 맑음       | 맑음       | 비        |
| 조사일     | 21.06.29 | 21.07.13 | 21.07.27 | 21.08.10 | 21.08.24 | 21.08.31 | 21.09.14 | 21.09.28 |
| 수온(°C)  | 23.1     | 25.6     | 26.5     | 27.8     | 25.3     | 27.1     | 23.6     | 23.3     |
| 조도(lux) | 240      | 125      | 310      | 58       | 19       | 42       | 12       | 36       |
| 염분(psu) | 29.0     | 30.0     | 29.0     | 32.0     | 22.0     | 36.0     | 37.0     | 38.0     |
| 비중      | 1.021    | 1.021    | 1.021    | 1.023    | 1.024    | 1.026    | 1.027    | 1.028    |
| pH      | 7.8      | 8.0      | 7.8      | 8.5      | 7.3      | 7.4      | 7.4      | 7.3      |
| 날씨      | 맑음       | 맑음       | 맑음       | 맑음       | 흐림/비     | 맑음       | 흐림       | 흐림/비     |

[진도] 수온은 패각 이식시기인 4월 8일에는 17.9°C이었으며, 8월 12일에 29.4°C로 최고 수온을 달성한 후, 성숙시기에는 25.5°C까지 점차 낮아졌다(표 129, 그림 85).

표 130. 진도 패각배양장 환경조사 결과

| 진도 GSP  |         |         |         |         |         |         |         |         |
|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 조사일     | 21.04.0 | 21.04.1 | 21.04.2 | 21.04.2 | 21.05.0 | 21.05.2 | 21.06.0 | 21.06.1 |
|         | 8       | 5       | 2       | 9       | 6       | 0       | 3       | 7       |
| 수온(°C)  | 17.9    | 11.4    | 15.3    | 16.2    | 17.1    | 16.9    | 18.9    | 22.9    |
| 조도(lux) | 14      | 27      | 83      | 29      | 76      | 111     | 62      | 234     |
| 염분(psu) | 30.0    | 25.0    | 28.0    | 30.0    | 30.0    | 29.4    | 32.0    | 33.0    |
| 비중      | 1.018   | 1.020   | 1.021   | 1.020   | 1.022   | 1.024   | 1.023   | 1.025   |
| pH      | 8.9     | 9.0     | 8.1     | 8.1     | 7.9     | 7.8     | 8.3     | 7.9     |
| 날씨      | 맑음      | 맑음      | 흐림      | 맑음      | 맑음      | 비       | 비       | 흐림      |
| 조사일     | 21.07.0 | 21.07.1 | 21.07.2 | 21.08.1 | 21.08.2 | 21.09.0 | 21.09.0 |         |
|         | 1       | 5       | 9       | 2       | 6       | 2       | 9       |         |
| 수온(°C)  | 25.1    | 27.4    | 27.5    | 29.4    | 27.4    | 25.8    | 25.5    |         |
| 조도(lux) | 260     | 93      | 145     | 162     | 56      | 143     | 181     |         |
| 염분(psu) | 30.0    | 29.0    | 25.0    | 30.0    | 26.0    | 30.0    | 32.0    |         |
| 비중      | 1.022   | 1.018   | 1.019   | 1.017   | 1.020   | 1.022   | 1.023   |         |
| pH      | 8.1     | 8.0     | 7.3     | 7.3     | 7.5     | 7.4     | 7.4     |         |
| 날씨      | 맑음      | 맑음      | 맑음      | 흐림      | 맑음      | 흐림/비    | 맑음      |         |

### 무안 GSP



## 진도 GSP

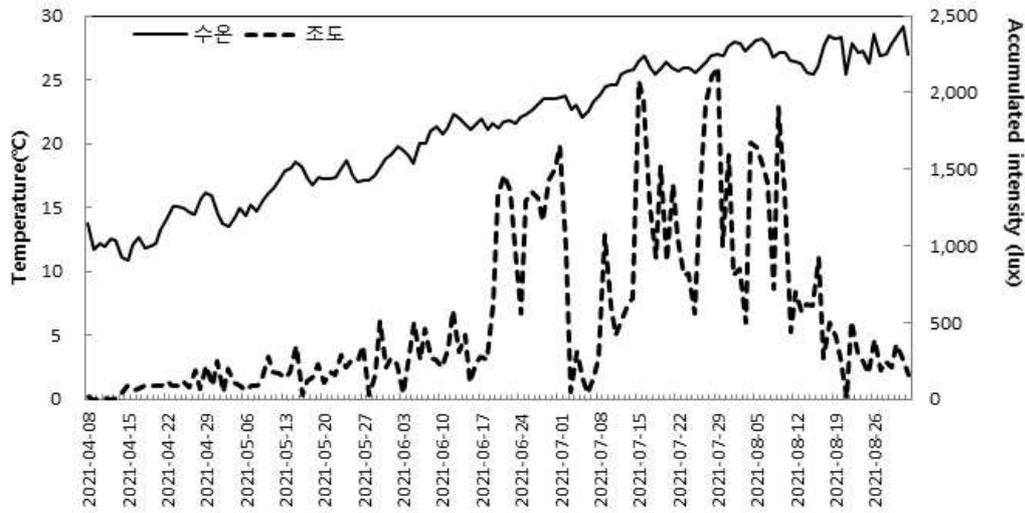


그림 85. 무안 및 진도 패각배양장의 호보센서를 이용한 수온 및 조도 측정 결과.

전남 무안과 진도에 위치한 패각사상체 배양장에 진도회동11의 종자를 이식한 후, 패각사상체의 초기 잠입밀도 및 생장을 확인하기 위하여 패각을 연마하여 현미경으로 사상체를 관찰하였다. 패각사상체는 이식한 후 약 2주가 경과한 시기에 잠입이 확인되었으며, 6월까지 영양생장을 지속한 후 6월 하순부터 각포자낭이 형성되기 시작하여 성숙단계로 진입하였다(표 131~132).

표 131. 진도회동11 계통주의 패각사상체 성장 및 성숙(무안)

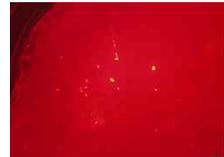
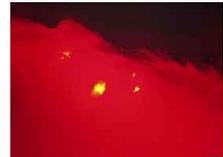
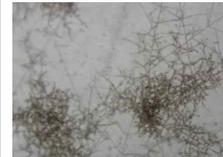
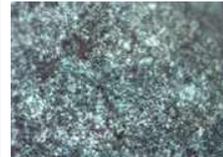
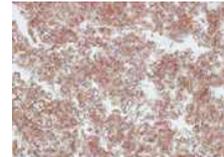
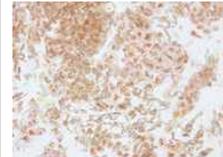
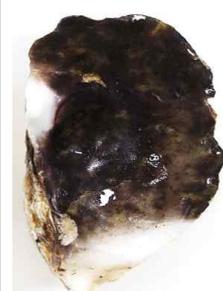
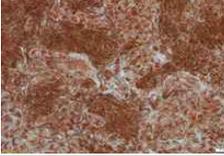
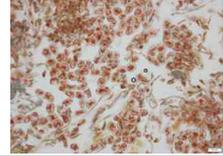
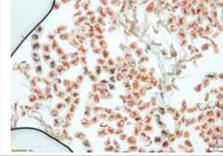
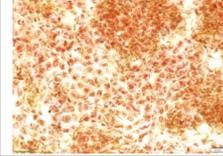
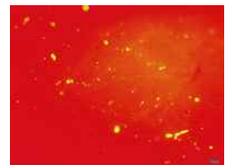
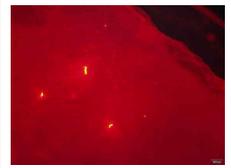
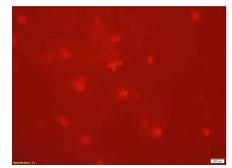
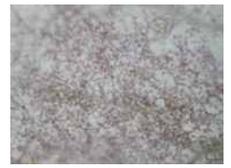
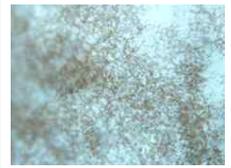
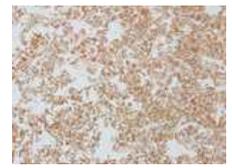
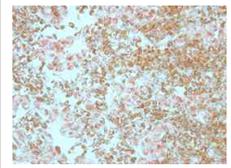
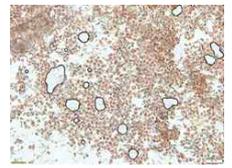
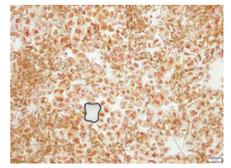
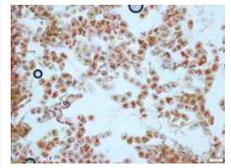
| 2021.04.13                                                                          | 2021.04.21                                                                          | 2021.04.27                                                                          | 2021.05.04                                                                           | 2021.05.18                                                                            |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
|    |    |    |    |    |
|    |    |    |    |    |
| 2021.06.01                                                                          | 2021.06.15                                                                          | 2021.06.29                                                                          | 2021.07.13                                                                           | 2021.07.27                                                                            |
|   |   |   |   |   |
|  |  |  |  |  |
| 2021.08.10                                                                          | 2021.08.24                                                                          | 2021.08.31                                                                          | 2021.09.07                                                                           | 2021.09.14                                                                            |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |

표 132. 진도회동11 계통주의 패각사상체 성장 및 성숙(진도)

| 2021.04.15                                                                          | 2021.04.22                                                                          | 2021.04.29                                                                          | 2021.05.06                                                                           | 2021.05.20                                                                            |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
|    |    |    |    |    |
|    |    |    |    |    |
| 2021.06.03                                                                          | 2021.06.17                                                                          | 2021.07.01                                                                          | 2021.07.15                                                                           | 2021.07.29                                                                            |
|   |   |   |   |   |
|  |  |  |  |  |
| 2021.08.13                                                                          | 2021.08.26                                                                          | 2021.09.02                                                                          | 2021.09.09                                                                           |                                                                                       |
|  |  |  |  |                                                                                       |
|  |  |  |  |                                                                                       |

개발 종자의 시험양식을 위해 진도회동9의 성숙한 패각사상체를 이용하여 대봉투식 해상채묘(전남 신안 : '21.09.27) 및 육상채묘(전남 진도 : '20.10.15)방식으로 채묘를 실시하였음(그림 86).



그림 86. 개발종자의 채묘 사진

신안은 해상채묘 실시 후 약 1주 뒤 채묘된 김 망을 3cm씩 채취하여 밀도를 확인 한 결과, 진도회동9 모두 3cm당 10개체 내외로 밀도가 낮음을 확인하였으며, 2주차 채취 후 확인 결과 3cm당 성장한 엽체수는 1주차와 유사한 것으로 확인되었다(그림 87).

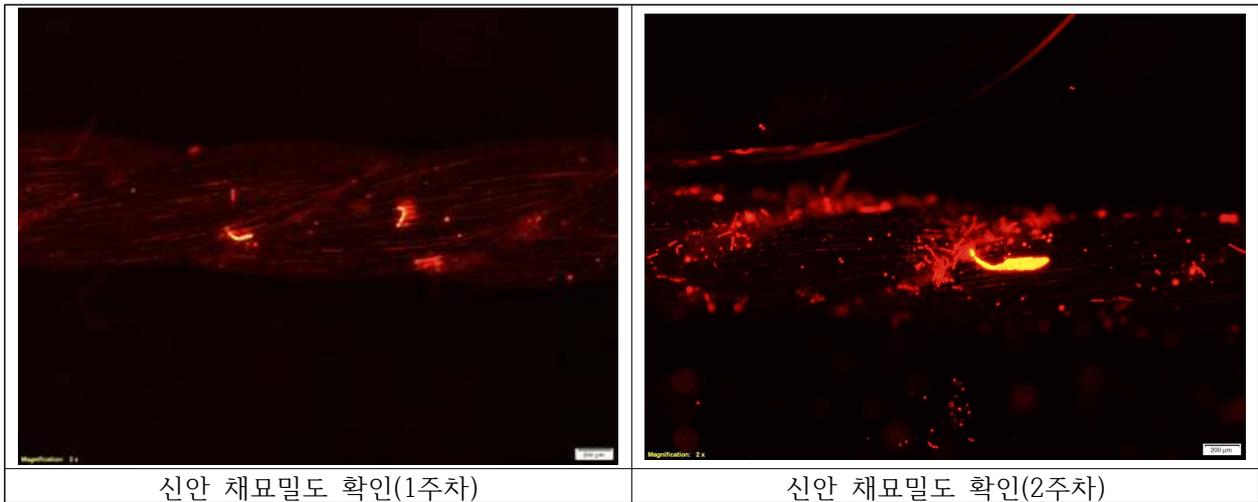


그림 87. 신안지역 개발종자의 채묘밀도 조사

신안 채묘(9.27) 시 평균바다수온이 24℃로 높았으며 평년수온(22.7℃)대비 1.3℃ 높았다(그림 88). 적정채묘온도인 22℃로 떨어진 날씨는 10.17이후였으며, 채묘 후 높은 수온으로 인해 엽체 성장에 영향을 미쳤을 것으로 확인되었다.



그림 88. 신안 평균 수온

진도의 경우, 육상채묘 실시 후 3일 동안 보관하였으며 '21.10.18에 양식장으로 옮겨 주었다. 약 1주 뒤 김 망을 채취하여 확인한 결과 3cm당 50개체 이상으로 밀도가 높음을 확인하였고 2주차 망 채취 후 확인 결과 포자가 발아되어 엽체로 성장되고 있음을 확인함(그림 89). 진도 10.18 평균바다수온은 20.7°C로 신안보다 낮았으며(그림 90), 이러한 환경조건으로 인해 신안 대비 엽체 성장률도 높은 것으로 확인되었다.

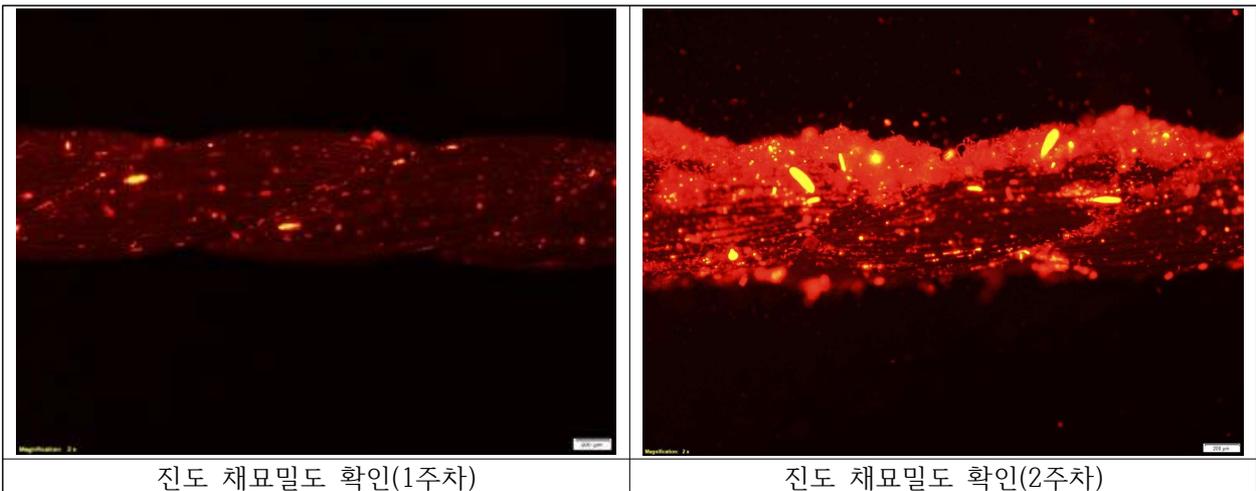


그림 89. 진도지역 개발종자의 채묘밀도 조사



그림 90. 신안 평균 수온

이후 형질특성조사요령에 따라 주차별 업장, 업쪽의 성장 및 업체 면적과, 시험양식장의 수온, 염분, DO 및 pH를 조사하였다.

신안 해역의 수온은 조사 2주차인 10월 12일에 22.7°C를 기록한 후 하강하였으며, 염분은 30.74~31.51psu 사이값을 나타냈음. pH는 7.98~8.2 사이값으로 측정되었다(표 133).

표 133. 신안해역 시험양식장의 환경조사 결과

| 신안     |                  |                  |                  |                  |                  |                  |       |
|--------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|-------|
| 조사일    | 21.10.05<br>(1주) | 21.10.12<br>(2주) | 21.10.20<br>(3주) | 21.10.29<br>(4주) | 21.11.15<br>(6주) | 21.11.23<br>(8주) | (10주) |
| 수온(°C) | 19.4             | 22.7             | 19.7             | 17.8             | 14.5             | 12.6             |       |
| 염분     | 31.19            | 30.74            | 31.15            | 31.51            | 31.26            | 31.61            |       |
| DO     | 7.45             | 6.76             | 7.01             | 7.82             | 7.97             | 8.13             |       |
| pH     | 8.2              | 7.98             | 7.99             | 8.13             | 7.99             | 7.94             |       |
| 날씨     | 맑음               | 맑음               | 맑음               | 맑음               | 맑음               | 흐림               |       |
| 조사일    | (12주)            | (14주)            | (16주)            |                  |                  |                  |       |
| 수온(°C) |                  |                  |                  |                  |                  |                  |       |
| 염분     |                  |                  |                  |                  |                  |                  |       |
| DO     |                  |                  |                  |                  |                  |                  |       |
| pH     |                  |                  |                  |                  |                  |                  |       |
| 날씨     |                  |                  |                  |                  |                  |                  |       |

표 134. 진도해역 시험양식장의 환경조사 결과

| 진도     |                  |                  |                  |                  |                  |      |       |
|--------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------|-------|
| 조사일    | 21.10.28<br>(1주) | 21.11.03<br>(2주) | 21.11.12<br>(3주) | 21.11.24<br>(4주) | 21.12.02<br>(6주) | (8주) | (10주) |
| 수온(°C) | 18.3             | 16               | 15.7             | 13.5             | 13               |      |       |
| 염분     | 32.92            | 32.68            | 32.88            | 32.75            | 32.50            |      |       |
| DO     | 7.72             | 7.77             | 7.61             | 7.95             | 7.98             |      |       |
| pH     | 8.2              | 8.13             | 8.13             | 7.98             | 8.3              |      |       |
| 날씨     | 맑음               | 흐림               | 맑음               | 흐림               | 맑음               |      |       |
| 조사일    | (12주)            | (14주)            | (16주)            |                  |                  |      |       |
| 수온(°C) |                  |                  |                  |                  |                  |      |       |
| 염분     |                  |                  |                  |                  |                  |      |       |
| DO     |                  |                  |                  |                  |                  |      |       |
| pH     |                  |                  |                  |                  |                  |      |       |
| 날씨     |                  |                  |                  |                  |                  |      |       |

진도의 경우 신안보다 채묘가 늦어 1주차(10월 28일) 수온은 18.3°C였으며 11월 24일 4주차 13.5°C로 업체 성장에 안정적인 수온을 나타냈다. 평균염분은 32.85 psu 로 안정적이었으며, pH는 7.98~8.2로 확인되었다(표 134).

개발 종자 대상인 진도회동11에 대해 각 해역별로 주차별 성장을 확인하였다(표 135). 진도 진도회동11의 초기성장(유엽 4주)은 신안보다 더 생장이 우수하였다. 진도의 경우 10월 18일 수온 20.7°C에 채묘 되어 안정적인 성장을 나타냈지만, 신안은 9월 27일 24°C로 진도 대비 3.3°C 높은 수온에서 채묘 되어 초기 유엽의 생장이 부진한 것으로 확인되며, 성엽의 성장에까지 영향을 미친 것으로 사료되었다.

표 135. 진도회동11의 주차별 엽장, 엽폭, 면적(단위:mm)

|    |    | 진도회동11           |                  |                  |     |     |
|----|----|------------------|------------------|------------------|-----|-----|
|    |    | 4주               | 6주               | 8주               | 10주 | 12주 |
| 엽장 | 신안 | 0.1<br>(0.06)    | 28.79<br>(14.46) | 64.94<br>(37.23) |     |     |
|    | 진도 | 51.05<br>(38.03) |                  |                  |     |     |
| 엽폭 | 신안 | 0.04<br>(0.02)   | 27.44<br>(10.78) | 73.65<br>(16.70) |     |     |
|    | 진도 | 21.47<br>(12.94) |                  |                  |     |     |

신안, 진도지역에서 진도회동11의 패각사상체의 색은 흑적색이며(그림 91), 신안 엽체의 모양은 타원형, 엽체 연변부의 거치가 없는 방사무늬김의 특징을 잘 나타내며, 엽체의 하부는 갈녹색 중앙부는 갈자색으로 확인되었다(표 136). 진도지역에서 진도회동11의 엽체의 모양은 도란형, 엽체 연변부의 거치가 없는 방사무늬김의 특징을 잘 나타내며, 엽체의 하부는 신안과 유사하였다(표 136). 신안지역 진도회동11 4주차 유엽의 길이는 0.1mm, 진도지역 2주차 유엽 길이는 0.04mm로 채묘 후 신안 대비 진도가 생장이 좋았으며, 신안지역 6주차의 성엽의 길이는 28.79mm로 진도 4주차 성엽 길이인 21.47mm와 유사하였음. 이는 고수온 시기 채묘로 인해 신안지역 유엽 생장이 늦은 것으로 판단됨(그림 92~93).



그림 91. 개발종자(진도회동11)의 패각사상체.

표 136. 수산식물 김 특성조사요령에 따른 개발종자(진도회동11)의 형질특성

| 형질                       | 진도회동9    |          |
|--------------------------|----------|----------|
|                          | 신안       | 진도       |
| 형질 1 (패각사상체: 색)          | 흑적색      | 흑적색      |
| 형질 2 (유엽: 엽체 길이/mm)      | 0.1      | 0.04     |
| 형질 3 (유엽: 엽체의 단포자 형성 유무) | 유        | 유        |
| 형질 4 (유엽: 단포자 방출정도, %)   | 96%      | 0%       |
| 형질 5 (엽체 모양)             | 타원형      | 도란형      |
| 형질 6 (성엽: 엽체 길이/mm)      | 97.73    | 83.12    |
| 형질 7 (엽체 너비/mm)          | 36.66    | 42.99    |
| 형질 8 (엽체 두께/ $\mu$ m)    | 24.80    | 25.20    |
| 형질 9 (성엽: 엽체 연변부의 거치유무)  | 무        | 무        |
| 형질 10 (성엽: 엽체 중앙부의 색)    | 갈자색      | 갈자색      |
| 형질 11 (성엽: 엽체 하부의 색)     | 갈녹색      | 갈녹색      |
| 형질 12 (성엽: 엽체의 성숙기)      | 13주 이후   | 8주       |
| 형질 13 (성엽: 엽체의 생식유형)     | 암수한몸-혼합형 | 암수한몸-혼합형 |



그림 92. 신안해역에서 개발종자(진도회동11)의 주차별 생장.



그림 93. 진도해역에서 개발종자(진도회동11)의 주차별 생장.

마. 고기능성 김 종자의 산업화(품종보호권 출원 및 등록)

[1차년도(2017년)]

< ‘전수1호’ 품종보호권 등록(품종보호 제13호, 2017.7.18.) >

전수1호의 개발 경과는 방사무늬김 해남학가리 순계사상체를 대상으로 저준위 방사선 조사 후, 실내형질특성조사 및 성분분석을 통해 향산화 성분을 다량 함유한 돌연변이를 선발하여 기능성 품종으로 개발하였다(육성기간 : 2010년~2015년). 2015년 3월 4일에 품종보호권을 출원하여 2년간의 재배심사를 거쳐 2017년 7월 18일 품종보호권이 등록되었다(그림 94, 95).



그림 94. 전수1호 품종의 형태



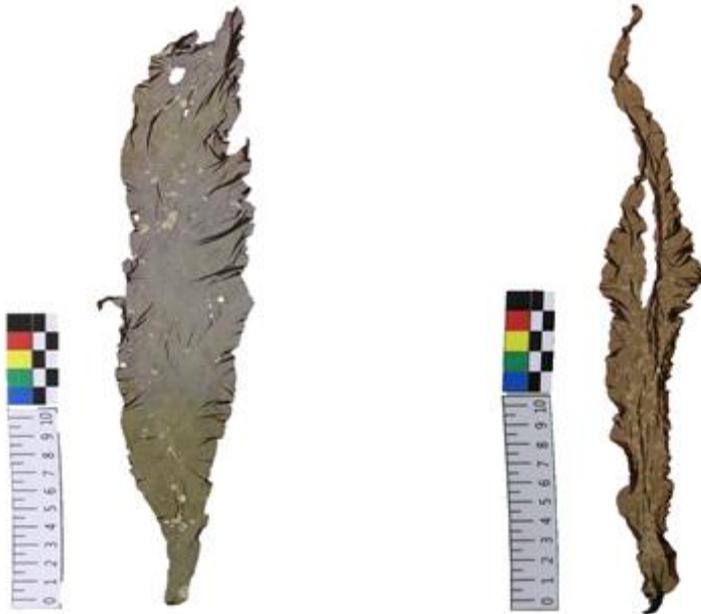
그림 95. 전수1호 품종보호권 등록증

< ‘전수2호’ 품종보호권 출원(출원2017-4, 2017.10.19.)(그림 97)>

전수2호는 2014년 전남 신안군에 위치한 김 양식어장에서 방사무늬김 대형엽체를 선발하였으며, 선발엽체의 형질 고정을 위해 순계사상체를 유도하였다. 2015~2016년에 야외형질특성 조사를 위해 순계사상체를 증식하였다. 총 2회(2015년 4월~2016년 2월, 2016년 4월~2017년 2월)에 걸쳐 야외형질특성조사를 실시하였다.

전수2호의 주요 형태적 특성은 전수2호의 패각사상체는 흑녹색이고, 유엽의 단포자 형성이 대조품종보다 빠름. 성엽의 엽체 모양은 도란형이고, 엽체 중부는 갈녹색, 하부는 녹색이며, 성엽의 엽체 너비가 대조품종에 비해 넓음. 엽체 연변부에 거치가 없고, 암수한몸-혼합형임.

출원품종이 대조품종과 구별되는 특성(그림 96)은 ① 유엽의 단포자 형성 시기 또는 형성 유무 : 출원품종 4주, 대조품종 8주, ② 엽체 모양 : 출원품종 도란형, 대조품종 선형, ③ 성엽의 엽체 너비 : 대조품종보다 넓음, ④ 성엽의 엽체 중·하부 색 : 출원품종 갈녹색 및 녹색, 대조품종 갈녹색이다.



출원품종 : 전수2호

대조품종 : 수과원104호

그림 96. 전수2호 품종의 형태

## 품종보호 출원서

※ 뒤쪽의 작성방법을 읽고 작성하시기 바랍니다.

(앞쪽)

|      |                                                                                     |                             |
|------|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|
| 접수번호 | 접수일                                                                                 | 처리기간 10일                    |
| 출원인  | 성명 (한글) 국립수산물과학원<br>(영문) National Institute of Fisheries Science                    | 생년월일 (외국인은 국적) 618-83-02438 |
|      | 주소 (한글) 부산광역시 기장군 기장을 해안로 216<br>(영문) 216 Gijanghaeanro Gijang-eup Gijang-gun Busan | 전화번호 051-720-2114           |
|      | 지분 별지참조                                                                             |                             |
| 대리인  | 성명                                                                                  | 생년월일 (외국인은 국적)              |
|      | 주소                                                                                  | 전화번호                        |
| 육성자  | 성명 (한글) 별지참조<br>(영문)                                                                | 생년월일 (외국인은 국적)별지 참조         |
|      | 주소 (한글) 별지참조<br>(영문)                                                                | 전화번호                        |

품종이 속하는 작물의 학명 및 일반명 : *Pyropia yezoensis* (Ueda) M.S. Hwang & H.G. Choi / 방사무늬김

품종의 명칭 (한글) 진수2호  
(영문) Jeonsu No. 2

|                                |         |        |         |
|--------------------------------|---------|--------|---------|
| 「식물신물질 보호법」 제31조제3항에 따른 우선권 주장 | 출원국명    | 출원일    | 출원번호    |
|                                | 증명서류    | [ ] 첨부 | [ ] 미첨부 |
| 품종의 특성 설명                      | (별지 사용) |        |         |
| 품종육성 과정의 설명                    | (별지 사용) |        |         |

「식물신물질 보호법」 제30조제1항 및 같은 법 시행규칙 제40조에 따라 위와 같이 품종보호 출원을 합니다.

2017년 10월 일

출원인(대리인)

국립수산물과학원장



국립수산물과학원장 귀하

|      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |              |
|------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| 첨부서류 | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 품종의 사진</li> <li>2. 종자시료(종자시료가 요록, 영양체 또는 수산식물인 경우에는 재배시험 적기 등을 고려하여 산림청장·국립종자원장 또는 국립수산물과학원장이 따로 제출을 요청한 시기에 제출을 요청한 장소로 제출하여야 합니다)</li> <li>3. 품종보호 출원 수수료 납부증명서 1부</li> <li>4. 우선권 주장 수수료 납부증명서 1부(우선권을 주장하는 경우만 해당함-부)</li> <li>5. 권리에 관한 지문을 증명하는 서류 1부(지문이 약정되어 있는 경우만 해당합니다)</li> <li>6. 대리권을 증명하는 서류 1부(대리인을 통하여 제출하는 경우만 해당합니다)</li> <li>7. 「유전자변형생물체의 국가간 이동 등에 관한 법률」 제8조제3항에 따른 위해성 심사서 1부(유전자 변형품종인 경우에만 해당함)</li> <li>8. 출원인의 지문을 증명하는 서류 1부(지문을 정한 경우만 해당합니다)</li> </ol> | 수수료<br>3만8천원 |
|------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|

210mm×297mm[백상지 80g/㎡]

그림 97. 진수2호의 품종보호 출원서

[2차년도(2018년)]

<품종보호권 출원(출원 2018-3, 2018.5.24.)(그림 99)>

수과원112호는 2014년 전남 신안군 압해읍에 위치한 김 양식어장에서 방사무늬김 대형엽체를 선발하였고, 선발엽체의 형질 고정을 위해 순계사상체를 유도하였다. 2015~2016년에 야외형질특성 조사를 위해 순계사상체를 증식하였다. 총 2회(2016년 4월~2017년 2월, 2017년 4월~2018년 2월)에 걸쳐 야외형질특성조사를 실시하였다.

수과원112호의 주요 형태적 특성은 패각사상체는 흑적색이고, 유엽의 단포자 형성이 대조품종보다 느림. 성엽의 엽체 모양은 선형이고, 엽체 중부와 하부의 색은 갈녹색이며, 대조품종에 비해 성엽의 엽체가 두껍다.

출원품종이 대조품종과 구별되는 특성(그림 98)은 ① 유엽의 단포자 방출정도 : 출원품종 8주, 대조품종 4주, ② 엽체 모양 : 선형, ③ 엽체 너비 : 대조품종에 비하여 엽체 너비가 좁음, ④ 성엽의 엽체 색 : 중부, 하부 색 모두 갈녹색이다.



출원품종 : 수과원112호

대조품종 : 수과원109호

그림 98. 수과원112호 품종의 형태



[3차년도(2019년)]

<품종보호권 출원(출원 2019-3, 2019.2.28.)(그림 101)>

수과원115호는 2013~2014년 국립수산과학원에서 개발한 수과원104호를 대상으로 감마선을 조사하여 돌연변이 유도 후, 실내형질특성조사를 통해 15℃ 조건에서 생장이 우수한 김 엽체(엽장 181cm, 엽폭 7.8cm)를 선발하였다. 선발엽체의 형질 고정을 위해 순계사상체를 유도하였다. 야외형질특성 조사를 위한 순계사상체를 증식하였다. 3회(2014년 4월~2015년 2월, 2015년 4월~2016년 2월, 2016년 4월~2017년 2월)에 걸쳐 야외형질특성조사를 실시하였다.

2017~2019년 총 2회(2017년 10월~2018년 2월, 2018년 10월~2019년 2월)에 걸쳐 전남 진도 외해어장에서 현장적용시험을 실시하였다.

수과원115호의 주요 형태적 특성(그림 100)은 패각사상체는 흑갈색이고, 유엽의 단포자 방출 정도가 대조품종보다 적음. 성엽의 엽체 모양은 선형이고, 엽체 중부와 하부의 색은 갈녹색이며 대조품종에 비해 성엽의 생장이 빠르다.



출원품종 : 수과원115호

대조품종 : 수과원104호

그림 100. 수과원115호 품종의 형태

## 품종보호 출원서

※ 뒤쪽의 작성방법을 읽고 작성하시기 바랍니다. (양쪽)

| 접수번호    | 접수일                                                                                                           | 처리기간 10일                       |
|---------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|
| 출원인     | 성명 (한글) 국립수산물과학원<br>(영문) National Institute of Fisheries Science                                              | 생년월일<br>(외국인은 국적) 618-83-02438 |
|         | 주소 (한글) 46083 부산광역시 기장군 기장읍 기장해안로 216<br>(영문) 216 Gijanghaean-ro, Gijang-eup, Busan, 46083, Republic of Korea | 전화번호 051-720-2114              |
| 지분 별지참조 |                                                                                                               |                                |
| 대리인     | 성명                                                                                                            | 생년월일<br>(외국인은 국적)              |
|         | 주소                                                                                                            | 전화번호                           |
| 육성자     | 성명 (한글) 별지참조<br>(영문)                                                                                          | 생년월일<br>(외국인은 국적)별지 참조         |
|         | 주소 (한글) 별지참조<br>(영문)                                                                                          | 전화번호                           |

품종이 속하는 작물의 학명 및 일반명 : *Pyropia yezoensis* (Ueda) M.S. Hwang & H.G. Choi / 방사무늬김

품종의 명칭 (한글) 수과원115호  
(영문) Sugawon No. 115

| 「식물신물질 보호법」 제31조제3항에 따른 우선권 주장 | 출원국명    | 출원일    | 출원번호    |
|--------------------------------|---------|--------|---------|
|                                | 중영서류    | [ ] 청부 | [ ] 미청부 |
| 품종의 특성 설명                      | (별지 사용) |        |         |
| 품종특성 과정의 설명                    | (별지 사용) |        |         |

「식물신물질 보호법」 제30조제1항 및 같은 법 시행규칙 제40조에 따라 위와 같이 품종보호 출원을 합니다.

2019년 2월 일

출원인(대리인)

국립수산물과학원장



국립수산물과학원장 귀하

|      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |               |
|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|
| 첨부서류 | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 품종의 사진</li> <li>2. 종자시표(종자시표가 유복, 영양채 또는 수산식물인 경우에는 제해시할 작기 등을 고려하여 산림청장·국립종자원장 또는 국립수산물과학원장이 따로 제출을 요청한 시기에 제출을 요청한 장소로 제출하여야 합니다)</li> <li>3. 품종보호 출원 수수료 납부증명서 1부</li> <li>4. 우선권 주장 수수료 납부증명서 1부(우선권을 주장하는 경우만 해당함-소)</li> <li>5. 권리에 관한 지분을 증명하는 서류 1부(지분이 인정되어 있는 경우만 해당함-소)</li> <li>6. 내리권을 증명하는 서류 1부(내리권을 통하여 제출하는 경우만 해당함-소)</li> <li>7. 「유전자변형생물체의 국가간 이동 등에 관한 법률」 제85제3항에 따른 위해성 심사서 1부(유전자 변형품종인 경우에만 해당함-소)</li> <li>8. 출원인의 지분을 증명하는 서류 1부(지분을 정한 경우만 해당함-소)</li> </ol> | 수수료<br>3918천원 |
|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|

210mm×297mm[혁신지 80g/㎡]

그림 101. 수과원115호의 품종보호 출원서

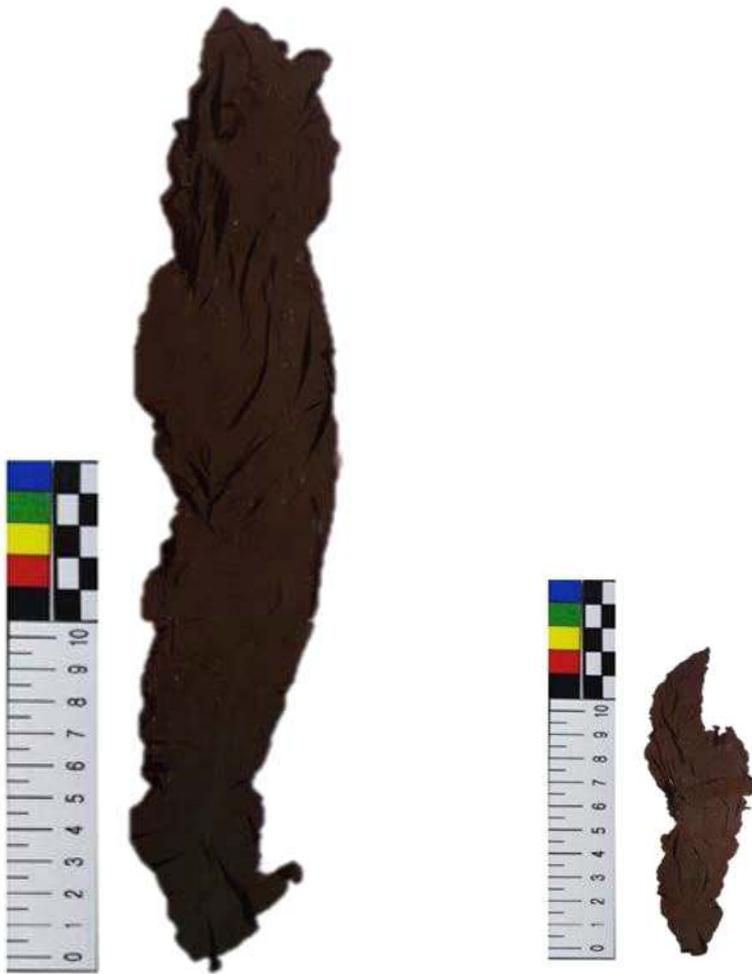
[4차년도(2020년)]

<품종보호권 출원(출원 2020-3, 2020.8.5.)>

수과원117호는 2017년~2018년에 전라남도 신안군 압해면 매화도에 위치한 김 양식장에서 방사무늬김 대형 엽체를 선발하였다(4월). 선발엽체의 형질 고정을 위해 순계사상체를 유도하였다. 야외형질특성 조사를 위해 순계사상체를 증식하였다.

2018~2020년 총 2회(2018년 4월~2019년 2월, 2019년 4월~2020년 2월)에 걸쳐 야외형질특성 조사를 실시하였다.

수과원117호의 주요 형태적 특성()은 패각사상체의 색은 흑적색임. 엽체 모양은 도란형이고, 대조품종에 비해 유엽 및 성엽의 생장이 빠름. 엽체 중부와 하부의 색은 갈녹색이며 엽체 연변부의 거치는 없음. 엽체의 생식유형은 암수한몸-혼합형이다.



출원품종 : 수과원117호

대조품종 : 진도 선발 방사무늬김

그림 102. 수과원117호 품종의 형태

## 품종보호 출원서

※ 뒤쪽의 작성방법을 읽고 작성하시기 바랍니다.

(앞쪽)

| 접수번호 | 접수일                                                                                                           | 처리기간 10일                    |
|------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|
| 출원인  | 성명 (한글) 국립수산과학원<br>(영문) National Institute of Fisheries Science                                               | 생년월일 (외국인은 국적) 618-83-02438 |
|      | 주소 (한글) 46083 부산광역시 기장군 기장읍 기장해안로 216<br>(영문) 216 Gijanghaean-ro, Gijang-eup, Busan, 46083, Republic of Korea | 전화번호 051-720-2114           |
|      | 지분 별지참조                                                                                                       |                             |
| 대리인  | 성명                                                                                                            | 생년월일 (외국인은 국적)              |
|      | 주소                                                                                                            | 전화번호                        |
| 육성자  | 성명 (한글) 별지참조<br>(영문)                                                                                          | 생년월일 (외국인은 국적) 별지 참조        |
|      | 주소 (한글) 별지참조<br>(영문)                                                                                          | 전화번호                        |

품종이 속하는 작물의 학명 및 일반명 : *Pyropia yezoensis* (Ueda) M.S. Hwang & H.G. Choi / 방사무늬김

품종의 명칭 (한글) 수과원117호

(영문) Sugwawon No. 117

| 「식물신품종 보호법」 제31조제3항에 따른 우선권 주장 | 출원국명    | 출원일    | 출원번호    |
|--------------------------------|---------|--------|---------|
|                                | 증명서류    | [ ] 첨부 | [ ] 미첨부 |
| 품종의 특성 설명                      | (별지 사용) |        |         |
| 품종육성 과정의 설명                    | (별지 사용) |        |         |

「식물신품종 보호법」 제30조 제1항 및 같은 법 시행규칙 제40조에 따라 위와 같이 품종보호 출원을 합니다.

출원인(대리인)

국립수산과학원장 (인)



국립수산과학원장 귀하

|      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |              |
|------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| 첨부서류 | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 품종의 사진</li> <li>2. 종자서류(종자서류가 목록, 영양체 또는 수산식물인 경우에는 재배시험 적기 등을 고려하여 산림청장·국립종자원장 또는 국립수산과학원장이 따로 제출을 요청한 시기에 제출을 요청한 장소로 제출하여야 합니다)</li> <li>3. 품종보호 출원 수수료 납부증명서 1부</li> <li>4. 우선권 주장 수수료 납부증명서 1부(우선권을 주장하는 경우만 해당합니다)</li> <li>5. 권리에 관한 지분을 증명하는 서류 1부(지분이 약정되어 있는 경우만 해당합니다)</li> <li>6. 대리권을 증명하는 서류 1부(대리인을 통하여 제출하는 경우만 해당합니다)</li> <li>7. 「유전자변형생물체의 국가간 이동 등에 관한 법률」 제8조제3항에 따른 위해성 심사서 1부(유전자 변형품종인 경우에만 해당한다)</li> <li>8. 출원인의 지분을 증명하는 서류 1부(지분을 정한 경우만 해당합니다)</li> </ol> | 수수료<br>3만8천원 |
|------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|

210mm×297mm[백상지 80g/㎡]

그림 103. 수과원117호의 품종보호 출원서

[5차년도(2021년)]

< ‘전수2호’ 품종보호권 등록(품종보호 AQ-제24호, 2021.8.31.) >

전수2호의 개발 경과는 전남 신안군에 위치한 김 양식어장에서 확보한 개체를 대상으로 선발 육종을 위한 실내형질특성조사를 실시하여 속성장 품종으로 개발하였다(육성기간 : 2014년~2017년). 2017년 10월 19일에 품종보호권을 출원하여 3년간의 재배심사를 거쳐 2021년 8월 31일 품종보호권이 등록되었다(그림 104, 105).



그림 104. 전수2호 품종의 형태

그림 105. 전수2호 품종보호권 등록증

<품종보호권 출원(출원 AQ-2021-1호)그림 106>

수과원118호는 2016년~2019년에 전라남도 진도군 김 양식장에서 방사무늬김 광엽/선형 엽체를 선발하였다(4월). 선발엽체의 형질 고정을 위해 순계사상체를 유도하였다. 야외형질특성 조사를 위해 순계사상체를 증식하였다.

2019~2021년에 총 2회(2019년 4월~2020년 3월, 2020년 4월~2021년 3월)에 걸쳐 야외형질특성조사를 실시하였다.

수과원118호의 주요 형태적 특성은 패각사상체의 색은 흑적색임. 엽체 모양은 광엽형이고, 대조품종에 비해 양식초기~후기 생장이 빠름. 엽체 중부와 하부의 색은 갈녹색이며 엽체의 생식유형은 암수한몸-혼합형임.

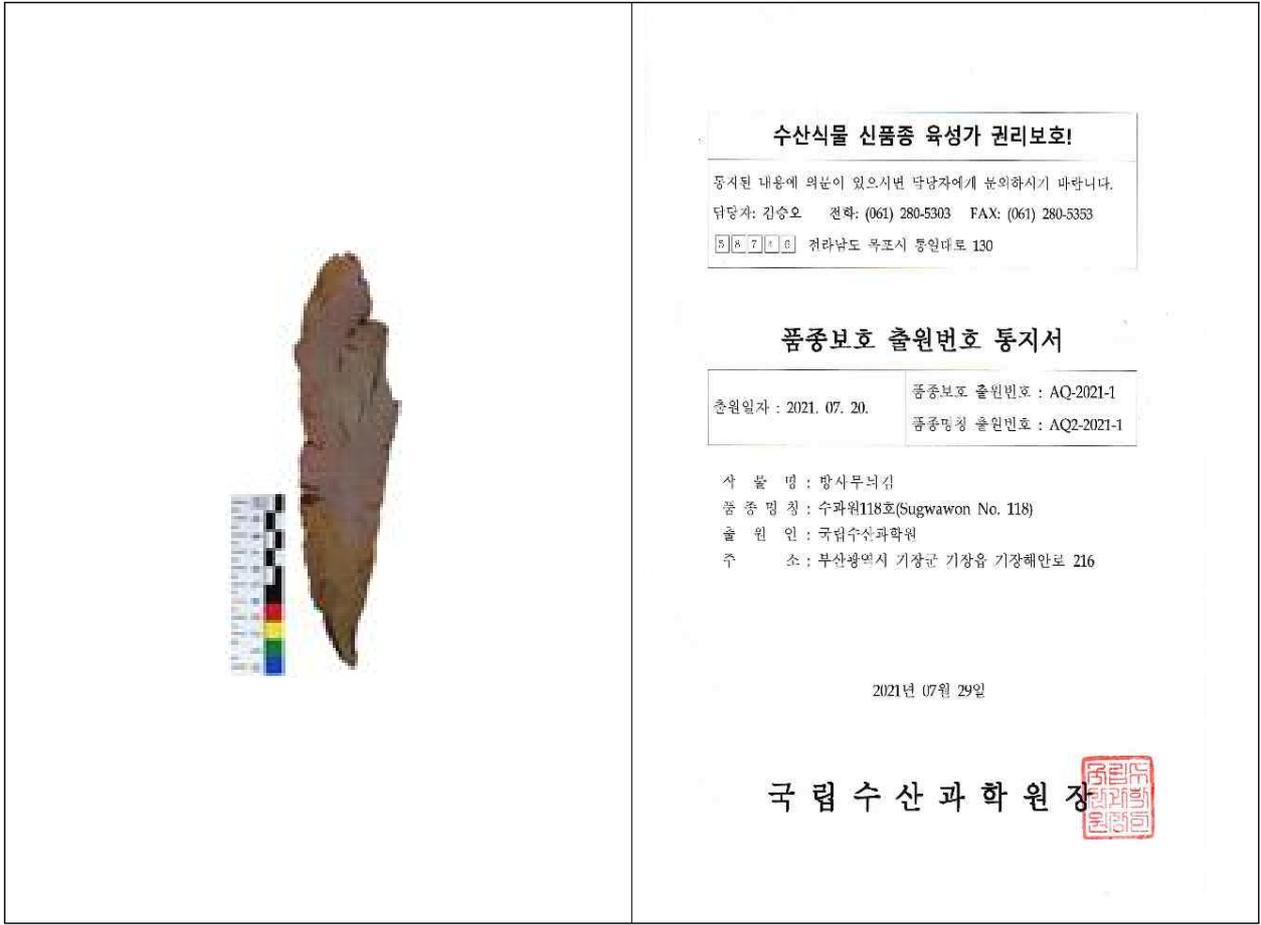


그림 106. 수과원118호 사진 및 품종보호 출원서

바. 고기능성 김 종자의 산업화(산업화)

Golden Seed 프로젝트를 통해 출원된 김 국유품종의 통상실시권을 처분하여 김 생산업체에게 유리사상체를 분양하였다. 2차년도에서는 2017년에 출원하였던 ‘전수2호’의 통상실시권을 처분하여, 총 11개 업체에 540g(패각사상체 54,000상자 생산 물량)을 처분하여 실시료 3,510,000원을 달성하였다(표 137).

표 137. 국유품종 ‘전수2호’의 통상실시권 처분 결과

| 연번 | 업체명      | 무게(g) | 금액(원)     |
|----|----------|-------|-----------|
| 1  | 동해수산     | 100   | 650,000   |
| 2  | 일영수산     | 30    | 195,000   |
| 3  | 임해수산     | 20    | 130,000   |
| 4  | 땅끝아라     | 40    | 260,000   |
| 5  | 나라수산     | 150   | 975,000   |
| 6  | 해공수산     | 10    | 65,000    |
| 7  | 제일수산     | 30    | 195,000   |
| 8  | 대일영어법인   | 100   | 650,000   |
| 9  | 송공수산     | 30    | 195,000   |
| 10 | 삼양수산     | 20    | 130,000   |
| 11 | 해성영어조합법인 | 10    | 65,000    |
| 총합 | 합계       | 540   | 3,510,000 |

3차년도에서는 ‘전수2호’와 2018년에 출원하였던 ‘수과원112호’의 통상실시권을 처분한 결과, 총 24건의 계약을 통해 1,003g(패각사상체 100,300상자 생산물량)을 처분하여 실시료 9,936,000원을 달성하였다(표 138).

표 138. 국유품종 ‘전수2호’ 및 ‘수과원112호’의 통상실시권 처분 결과

| 연번 | 기술실시계약명          | 기술실시 대상    | 금액(원)      |
|----|------------------|------------|------------|
| 1  | 전수2호 통상실시권 처분    | 장산종묘       | 60,000원    |
| 2  | ”                | 삼복수산       | 60,000원    |
| 3  | ”                | 흥일수산       | 600,000원   |
| 4  | ”                | 임해수산       | 600,000원   |
| 5  | ”                | 해림수산       | 720,000원   |
| 6  | ”                | 달리수산A      | 600,000원   |
| 7  | ”                | 달리수산B      | 600,000원   |
| 8  | ”                | 천유수산       | 60,000원    |
| 9  | ”                | 삼양수산       | 696,000원   |
| 10 | ”                | 나라수산       | 840,000원   |
| 11 | ”                | 땅끝아라       | 120,000원   |
| 12 | ”                | 제일수산       | 300,000원   |
| 13 | ”                | 신암수산       | 480,000원   |
| 14 | 수과원112호 통상실시권 처분 | 땅끝바다영어조합법인 | 200,000원   |
| 15 | ”                | 삼복수산       | 40,000원    |
| 16 | ”                | 임해수산       | 400,000원   |
| 17 | ”                | 해궁수산       | 800,000원   |
| 18 | ”                | 송원호        | 400,000원   |
| 19 | ”                | 대일영어조합법인   | 800,000원   |
| 20 | ”                | 남촌수산       | 160,000원   |
| 21 | ”                | 광명수산       | 160,000원   |
| 22 | ”                | 남동수산       | 400,000원   |
| 23 | ”                | 송공수산       | 240,000원   |
| 24 | ”                | 제일수산       | 600,000원   |
| 총합 | 합계               |            | 9,936,000원 |

4차년도에서는 ‘전수2호’, ‘수과원112호’ 및 2019년에 출원하였던 ‘수과원115호’의 통상실시권을 처분한 결과, 총 64건의 계약을 통해 5,617g(패각사상체 730,210상자 생산물량)을 처분하여 실시료63,356,800원을 달성하였다(표 139).

표 139. 국유품종 ‘전수2호’, ‘수과원112호’ 및 ‘수과원115호’의 통상실시권 처분 결과

| 연번 | 기술실시계약명          | 기술실시 대상 | 금액(원)     |
|----|------------------|---------|-----------|
| 1  | 전수2호 통상실시권 처분    | 송형식     | 728,000   |
| 2  | "                | 김명자     | 416,000   |
| 3  | "                | 김윤군     | 260,000   |
| 4  | "                | 박제춘     | 260,000   |
| 5  | "                | 이동삼     | 832,000   |
| 6  | "                | 반정은     | 208,000   |
| 7  | "                | 김찬호     | 426,400   |
| 8  | "                | 이재영     | 6,240,000 |
| 9  | "                | 장석래     | 2,080,000 |
| 10 | "                | 문병심     | 728,000   |
| 11 | "                | 양갑동     | 312,000   |
| 12 | "                | 이성호     | 6,032,000 |
| 13 | "                | 정승기     | 728,000   |
| 14 | "                | 김상조     | 1,040,000 |
| 15 | "                | 정혜숙     | 208,000   |
| 16 | "                | 김동수     | 1,040,000 |
| 17 | "                | 박유순     | 520,000   |
| 18 | "                | 송원호     | 208,000   |
| 19 | "                | 최명갑     | 208,000   |
| 20 | "                | 윤정주     | 1,040,000 |
| 21 | "                | 김상옥     | 520,000   |
| 22 | "                | 김제승     | 728,000   |
| 23 | "                | 천성육     | 52,000    |
| 24 | "                | 김제휘     | 520,000   |
| 25 | "                | 김권우     | 41,600    |
| 26 | "                | 김용순     | 364,000   |
| 27 | "                | 정형운     | 312,000   |
| 28 | "                | 박성현     | 1,872,000 |
| 29 | "                | 김정덕     | 208,000   |
| 30 | "                | 박제춘     | 520,000   |
| 31 | "                | 박수열     | 780,000   |
| 32 | "                | 김경남     | 208,000   |
| 33 | 수과원112호 통상실시권 처분 | 이재영     | 4,680,000 |
| 34 | "                | 최남규     | 265,200   |
| 35 | "                | 한상근     | 624,000   |

|    |                  |     |            |
|----|------------------|-----|------------|
| 36 | ”                | 송형식 | 3,120,000  |
| 37 | ”                | 송원호 | 780,000    |
| 38 | ”                | 최명갑 | 312,000    |
| 39 | ”                | 이양심 | 78,000     |
| 40 | ”                | 박명문 | 3,120,000  |
| 41 | ”                | 김제승 | 468,000    |
| 42 | ”                | 임규성 | 46,800     |
| 43 | ”                | 김제휘 | 780,000    |
| 44 | ”                | 송정섭 | 546,000    |
| 45 | 수과원115호 통상실시권 처분 | 김명자 | 312,000    |
| 46 | ”                | 김윤곤 | 260,000    |
| 47 | ”                | 이동삼 | 208,000    |
| 48 | ”                | 황보대 | 416,000    |
| 49 | ”                | 황보철 | 208,000    |
| 50 | ”                | 이재영 | 6,240,000  |
| 51 | ”                | 홍행자 | 3,328,000  |
| 52 | ”                | 최남규 | 176,800    |
| 53 | ”                | 한상근 | 416,000    |
| 54 | ”                | 송형식 | 1,040,000  |
| 55 | ”                | 송원호 | 208,000    |
| 56 | ”                | 이양심 | 52,000     |
| 57 | ”                | 주영길 | 312,000    |
| 58 | ”                | 윤정주 | 2,080,000  |
| 59 | ”                | 김춘미 | 1,040,000  |
| 60 | ”                | 김권우 | 156,000    |
| 61 | ”                | 김용순 | 312,000    |
| 62 | ”                | 박제춘 | 520,000    |
| 63 | ”                | 김명자 | 728,000    |
| 64 | ”                | 송정섭 | 884,000    |
| 총합 | 합계               |     | 63,356,800 |

5차년도에서는 ‘전수2호’, ‘수과원112호’ 및 ‘수과원115호’와 2021년에 출원한 ‘수과원117호’의 통상실시권을 처분한 결과, 총 24건의 계약을 통해 2,954g(폐각사상체 516,950상자 생산물량)을 처분하여 실시료44,037,800원을 달성하였다(표 140).

표 140. 국유품종 ‘전수2호’, ‘수과원112호’, 수과원115호’ 및 수과원117호’의 통상실시권 처분 결과

| 연번 | 기술실시계약명          | 기술실시 대상 | 금액(원)     |
|----|------------------|---------|-----------|
| 1  | 전수2호 통상실시권 처분    | 권충현     | 616,000   |
| 2  | "                | 김동수     | 462,000   |
| 3  | "                | 김명자     | 560,000   |
| 4  | "                | 김상조     | 1,694,000 |
| 5  | "                | 김순란     | 154,000   |
| 6  | "                | 김제승     | 616,000   |
| 7  | "                | 김제휘     | 1,694,000 |
| 8  | "                | 김찬호     | 539,000   |
| 9  | "                | 문근만     | 1,540,000 |
| 10 | "                | 박수열     | 415,800   |
| 11 | "                | 박제춘     | 3,080,000 |
| 12 | "                | 반정은     | 462,000   |
| 13 | "                | 변영훈     | 308,000   |
| 14 | "                | 송원호     | 1,078,000 |
| 15 | "                | 신경오     | 616,000   |
| 16 | "                | 양갑동     | 154,000   |
| 17 | "                | 이상민     | 924,000   |
| 18 | "                | 이재영     | 3,080,000 |
| 19 | "                | 임규성     | 231,000   |
| 20 | "                | 정형운     | 462,000   |
| 21 | 수과원112호 통상실시권 처분 | 송원호     | 420,000   |
| 22 | "                | 송형식     | 1,400,000 |
| 23 | "                | 윤정주     | 280,000   |
| 24 | "                | 이재영     | 4,200,000 |
| 25 | "                | 최남규     | 350,000   |
| 26 | 수과원115호 통상실시권 처분 | 김명자     | 490,000   |
| 27 | "                | 김순란     | 154,000   |
| 28 | "                | 김제휘     | 1,078,000 |
| 29 | "                | 김찬호     | 385,000   |
| 30 | "                | 박제춘     | 2,310,000 |
| 31 | "                | 반정은     | 462,000   |
| 32 | "                | 송원호     | 462,000   |
| 33 | "                | 송형식     | 1,540,000 |
| 34 | "                | 신경오     | 432,000   |

|    |                  |     |            |
|----|------------------|-----|------------|
| 35 | ”                | 윤정주 | 1,694,000  |
| 36 | ”                | 이재영 | 3,080,000  |
| 37 | ”                | 임규성 | 154,000    |
| 38 | ”                | 최남규 | 385,000    |
| 39 | ”                | 황보대 | 616,000    |
| 40 | 수과원117호 통상실시권 처분 | 김제승 | 420,000    |
| 41 | ”                | 김제휘 | 1,400,000  |
| 42 | ”                | 이상민 | 840,000    |
| 43 | ”                | 이재영 | 1,400,000  |
| 44 | ”                | 송형식 | 1,400,000  |
| 총합 | 합계               |     | 44,452,800 |

### 3. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도

#### 3-1. 목표

##### 가. 연구개발 성과목표 대비 실적

(단위 : 건수)

| 구분   | 품종개발   |        | 특허     |        | 논문  |      | 분<br>자<br>마<br>커 | 유전자원   |        | 국내<br>매출액<br>(만원) | 수입<br>대체율<br>(%) | 종자<br>수출액  | 기술<br>이전 | 인력<br>양성 |
|------|--------|--------|--------|--------|-----|------|------------------|--------|--------|-------------------|------------------|------------|----------|----------|
|      | 출<br>원 | 등<br>록 | 출<br>원 | 등<br>록 | SCI | 비SCI |                  | 수<br>집 | 등<br>록 |                   |                  |            |          |          |
| 최종목표 | 4      | 4      | 5      | 6      | 17  | 7    |                  |        |        |                   | 13.4             | 150만<br>달러 | 6        | 3        |
| 1차년도 | 목표     | 1      | 1      | 2      | 1   | 4    | 1                |        |        |                   |                  |            |          | 1        |
|      | 실적     | 1      | 1      | 3      | 2   | 10   | 1                |        |        |                   |                  |            |          | 3        |
| 2차년도 | 목표     | 1      |        | 1      |     | 4    | 2                |        |        |                   |                  |            | 0        | 1        |
|      | 실적     | 1      |        | 3      | 7   | 9    | 2                |        |        | 351               | 1.2              |            | 11       | 2        |
| 3차년도 | 목표     | 1      |        | 1      | 2   | 3    | 1                |        |        |                   | 1                | 1만<br>달러   | 2        | 1        |
|      | 실적     | 1      |        | 4      | 3   | 6    | 0                |        |        | 993               | 2.3              | -          | 2        | 1        |
| 4차년도 | 목표     | 1      | 1      |        | 1   | 3    | 2                |        |        |                   | 5                | 10만<br>달러  | 2        | 0        |
|      | 실적     | 1      | 0      | 7      | 8   | 7    | 3                |        |        | 6,336             | 15.1             | -          | 2        | 3        |
| 5차년도 | 목표     |        | 2      | 1      | 2   | 3    | 1                |        |        |                   | 7.4              | 139만<br>달러 |          |          |
|      | 실적     | 1      | 1      | 1      | 2   | 4    | 0                |        |        |                   | 10               |            |          |          |
| 소 계  | 목표     | 4      | 4      | 5      | 6   | 17   | 7                |        |        |                   |                  |            |          | 3        |
|      | 실적     | 5      | 2      | 18     | 22  | 36   | 6                |        |        | 7,680             | 28.6             |            |          | 9        |

나. 품종개발

| 세부적으로 전부(건별로)기록하며, 국외인 경우 반드시 국명을 기록합니다 |                     |     |                           |                 |               |                           |                |              |                                                     |
|-----------------------------------------|---------------------|-----|---------------------------|-----------------|---------------|---------------------------|----------------|--------------|-----------------------------------------------------|
| 구 분                                     | 품종 명칭<br>(건별 각각 기재) | 국 명 | 출 원                       |                 |               | 등 록                       |                |              | 기 타                                                 |
|                                         |                     |     | 출원인                       | 출원일             | 출원번호          | 등록인                       | 등록일            | 등록번호         |                                                     |
| 품종보호권<br>등록                             | 전수1호                |     | 국립수산<br>과학원,<br>전남대학<br>교 | 2015.<br>3.4.   | 2015-4        | 국립수산<br>과학원,<br>전남대학<br>교 | 2017.<br>7.18. | 품종보호<br>제13호 | (육성자)<br>박은정, 유현일,<br>최종일, 이학중                      |
| 품종보호권<br>출원                             | 전수2호                |     | 국립수산<br>과학원,<br>전남대학<br>교 | 2017.<br>10.19. | 2017-4        | 국립수산<br>과학원               | 2021.8.<br>31. | AQ-제24<br>호  | (육성자)<br>박은정, 하동수,<br>허진석, 최종일                      |
| 품종보호권<br>출원                             | 수과원112호             |     | 국립수산<br>과학원               | 2018.<br>5.24.  | 2018-4        |                           |                |              | (육성자)<br>박은정, 하동수,<br>허진석, 이지은                      |
| 품종보호권<br>출원                             | 수과원115호             |     | 국립수산<br>과학원               | 2019.<br>2.28.  | 2019-3        |                           |                |              | (육성자)<br>박은정, 하동수,<br>허진석, 이지은,<br>김찬송              |
| 품종보호권<br>출원                             | 수과원117호             |     | 국립수산<br>과학원               | 2020.<br>8.5.   | 2020-3        |                           |                |              | (육성자)<br>황미숙, 박은정,<br>이지은, 김찬송,<br>허진석, 황일기,<br>하동수 |
| 품종보호권<br>출원                             | 수과원118호             |     | 국립수산<br>과학원               | 2021.<br>7.20.  | AQ-<br>2021-1 |                           |                |              | (육성자)<br>황미숙, 박은정,<br>이지은, 김찬송,<br>허진석, 하동수         |

다. 특허

[1차년도]

2017년 지식재산권[발명특허, 실용신안, 의장, 상표, 규격] 등으로 구분하고, 세부적으로 전부(건별로)기록하며, 국외인 경우 반드시 국명을 기록합니다]

| 구 분  | 지식재산권 등 명칭<br>(건별 각각 기재)                                                           | 국 명  | 출원           |          |                 | 등 록         |           |            | 기 타 |
|------|------------------------------------------------------------------------------------|------|--------------|----------|-----------------|-------------|-----------|------------|-----|
|      |                                                                                    |      | 출원인          | 출원일      | 출원번호            | 등록인         | 등록일       | 등록번호       |     |
| 발명특허 | 플라노코쿠스 유래 신규한 스쿠알렌 합성효소 및 이의 용도                                                    | 대한민국 | 전남대학교 산학협력단  | 2017.1.6 | 10-2017-0002212 |             |           |            |     |
| 발명특허 | 열충격 단백질 70의 발현이 증가된 방사무늬김 Py503G (KCTC 12860BP)                                    | 대한민국 |              |          |                 | 전남대학교 산학협력단 | 2017.2.10 | 10-1707674 |     |
| 발명특허 | 산화적 스트레스에 대한 저항성을 증가시키는 김 유래 돌연변이 아스코베이트 페록시다제 폴리뉴클레오타이드가 도입된 균주 및 이를 이용한 지질 생산 방법 | 대한민국 | 전남대학교 산학협력단  | 2017.3.8 | 10-2017-0029675 |             |           |            |     |
| 발명특허 | 아스코베이트 퍼록시다제 발현량이 증가된 돌연변이 방사무늬 김 Py501G 및 이의 제조 방법                                | 대한민국 |              |          |                 | 전남대학교 산학협력단 | 2017.4.11 | 10-1727478 |     |
| 발명특허 | 목적 유전자 발현 조절을 위한 대장균 및 코리네박테리움 글루타쿰 서틀 벡터                                          | 대한민국 | 성균관대학교 산학협력단 | 2017.8.7 | 10-2017-0099545 |             |           |            |     |

지식재산권[발명특허, 실용신안, 의장, 상표, 규격] 등으로 구분하고, 세부적으로 전부(건별로)기록하며, 국외인 경우 반드시 국명을 기록합니다]

| 구 분  | 지식재산권 등 명칭<br>(건별 각각 기재)                      | 국 명  | 출원          |             |                 | 등 록 |     |      | 기 타                 |
|------|-----------------------------------------------|------|-------------|-------------|-----------------|-----|-----|------|---------------------|
|      |                                               |      | 출원인         | 출원일         | 출원번호            | 등록인 | 등록일 | 등록번호 |                     |
| 발명특허 | 김 유래 건조, 고온 및 삼투 스트레스 저항성 유전자 및 이를 이용한 형질 전환체 | 대한민국 | 전남대학교 산학협력단 | 2017.08.09. | 10-2017-0100991 |     |     |      | (발명자) 최동욱, 임성오, 박은정 |

[2차년도]

2018년 지식재산권[발명특허, 실용신안, 의장, 상표, 규격] 등으로 구분하고, 세부적으로 전부(건별)로 기록하며, 국외인 경우 반드시 국명을 기록합니다

| 구분   | 지식재산권 등 명칭<br>(건별 각각 기재)                                                                                 | 국명   | 출원           |            |                   | 등록          |           |            | 기타 |
|------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|--------------|------------|-------------------|-------------|-----------|------------|----|
|      |                                                                                                          |      | 출원인          | 출원일        | 출원번호              | 등록인         | 등록일       | 등록번호       |    |
| 발명특허 | 글루타메이트 함량이 증가한 돌연변이 방사부녀김 500GE, 이의 제조방법 및 이를 이용한 글루타메이트 제조방법                                            | 대한민국 | 전남대학교 산학협력단  | 2018-01-30 | 10-2018-0011567   |             |           |            |    |
| 발명특허 | 필수아미노산함량이 증가한 돌연변이방사부녀김500GEAA, 이의 제조방법및이를이용한필수아미노산제조방법                                                  | 대한민국 | 전남대학교 산학협력단  | 2018-02-20 | 10-2018-0019795   |             |           |            |    |
| 발명특허 | 저온에서 활성을 유지하고 온도에 의해 불활성화가 용이한 리파아제                                                                      | 대한민국 | 전남대학교 산학협력단  | 2018-03-30 | 10-2018-0037667   |             |           |            |    |
| 발명특허 | 피코에리트린 함량이 높은 돌연변이 방사부녀김 503PE 및 이의 제조방법                                                                 | 대한민국 | 전남대학교 산학협력단  | 2018-05-24 | 10-2018-0058940   |             |           |            |    |
| 발명특허 | Mycospore like amino acids (MAA) 함량이 높은 돌연변이 방사부녀김 503MAA 및 이의 제조 방법                                     | 대한민국 | 전남대학교 산학협력단  | 2018-05-24 | 10-2018-0058954   |             |           |            |    |
| 발명특허 | 폴리하이드록시부티레이트 생산용 대장균, 그 제조 방법 및 폴리하이드록시부티레이트 생산 방법                                                       | 대한민국 | 전남대학교 산학협력단  | 2018-08-17 | 10-2018-0096319   |             |           |            |    |
| 발명특허 | 2,3-부탄디올 생산용 미생물, 그 제조 방법 및 2,3-부탄디올 생산 방법                                                               | 대한민국 | 전남대학교 산학협력단  | 2018-08-17 | 10-2018-0096320   |             |           |            |    |
| 발명특허 | 극지에서 분리한 바실리스 종 (Bacillus sp.) PAMC23412 유래 PAMC23412_DRH1601 유전자를 이용한 산화적 환경에 대한 내성이 증대된 제조할 대장균        | 대한민국 | 전남대학교 산학협력단  | 2018-07-26 | 10-2018-0087418   |             |           |            |    |
| 발명특허 | 극지에서 분리한 바실리스 종 (Bacillus sp.) PAMC22784 유래 PAMC22784_DRH32 유전자를 이용한 산화적 환경에 대한 내성이 증대된 제조할 대장균          | 대한민국 | 전남대학교 산학협력단  | 2018-07-26 | 10-2018-0087419   |             |           |            |    |
| 발명특허 | 극지에서 분리한 바실리스 푸밀리우스 (Bacillus pumilus) PAMC23324 유래 PAMC23324_DRH577 유전자를 이용한 산화적 환경에 대한 내성이 증대된 제조할 대장균 | 대한민국 | 전남대학교 산학협력단  | 2018-07-26 | 10-2018-0087420   |             |           |            |    |
| 발명특허 | 산화적 스트레스에 대한 저항성을 증가시키는 김 유래 돌연변이 아스코베이트 페독시다제 폴리뉴클레오타이드가 도입된 균주 및 이를 이용한 지질 생산 방법                       | 대한민국 | 전남대학교 산학협력단  | 2017.3.8   | 10-2017-0029675   | 전남대학교 산학협력단 | 2018.5.4  | 10-1857260 |    |
| 발명특허 | C35 카로티노이드 생산능을 갖는 코리넨바테리움 글루타미김 제조할 균주 및 이를 이용한 C35 카로티노이드 생산 방법                                        | 대한민국 | 전남대학교 산학협력단  | 2016.12.14 | 10-2016-0170728   | 전남대학교 산학협력단 | 2018.5.16 | 10-1860648 |    |
| 발명특허 | 전티노박테리움 유래 저온 활성 켈리타아제 및 그 제조방법                                                                          | 대한민국 | 전남대학교 산학협력단  | 2016.9.6   | 10-2016-0114211   | 전남대학교 산학협력단 | 2018.6.5  | 10-1866810 |    |
| 발명특허 | 신규 프로테아제                                                                                                 | 대한민국 | 전남대학교 산학협력단  | 2016.9.6   | 10-2016-0114480   | 전남대학교 산학협력단 | 2018.8.17 | 10-1891234 |    |
| 발명특허 | 방사부녀김 유래의 열 충격 단백질 70을 발현하는 제조할 조류 및 이를 이용한 지질 생산방법                                                      | 대한민국 | 전남대학교 산학협력단  | 2017.7.31  | 10-2017-0097066   | 전남대학교 산학협력단 | 2018.8.27 | 10-1894192 |    |
| 발명특허 | 글루타메이트 축적을 바이오센서 및 그 제조방법전티노박테리움 유래 저온 활성 켈리타아제 및 그 제조방법                                                 | 대한민국 | 전남대학교 산학협력단  | 2016.9.29  | 10-2016-0125177   | 전남대학교 산학협력단 | 2018.9.6  | 10-1898178 |    |
| 발명특허 | 스쿠알렌 생성능을 가지는 형질전환된 코리넨바테리움 글루타미김                                                                        | 대한민국 | 성균관대학교 산학협력단 | 2018.01.15 | 10-2018-0005193   |             |           |            |    |
| 발명특허 | 코리넨바테리움 글루타미김을 이용한 부티레이트 생산                                                                              | 대한민국 | 성균관대학교 산학협력단 | 2018.01.31 | 10-2018-0011955   |             |           |            |    |
| 발명특허 | 타겟유전자 발현 조절을 위한 대장균/코리넨바테리움 글루타미김의 시퀀스                                                                   | PCT  | 성균관대학교 산학협력단 | 2018.08.07 | PCT/KR2018/008944 |             |           |            |    |

[3차년도]

| 2019년                                                                           |                                                                                          |      |                         |           |                     |                     |               |            |     |
|---------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|------|-------------------------|-----------|---------------------|---------------------|---------------|------------|-----|
| 지식재산권[발명특허, 실용신안, 의장, 상표, 규격] 등으로 구분하고, 세부적으로 전부(건별로)기록하며, 국외인 경우 반드시 국명을 기록합니다 |                                                                                          |      |                         |           |                     |                     |               |            |     |
| 구 분                                                                             | 지식재산권 등 명칭<br>(건별 각각 기재)                                                                 | 국 명  | 출원                      |           |                     | 등 록                 |               |            | 기 타 |
|                                                                                 |                                                                                          |      | 출원인                     | 출원일       | 출원번호                | 등록인                 | 등록일           | 등록번호       |     |
| 발명<br>특허                                                                        | 필수아미노산<br>함량이 증가한<br>돌연변이<br>방사무늬김<br>500GEAA, 이의<br>제조방법 및 이를<br>이용한 필<br>수아미노산<br>제조방법 | 대한민국 | 전남대<br>학교 산<br>학협력<br>단 | 2018.2.20 | 10-2018-00<br>19795 | 전남대학<br>교 산학협<br>력단 | 2019.9.2<br>0 | 10-2026016 |     |
|                                                                                 | 글루타메이트<br>함량이 증가한<br>돌연변이<br>방사무늬김 500GE,<br>이의 제조방법 및<br>이를 이용한 글루<br>타메이트 제조방법         | 대한민국 | 전남대<br>학교 산<br>학협력<br>단 | 2018.1.30 | 10-2018-00<br>11567 | 전남대학<br>교 산학협<br>력단 | 2019.9.2<br>0 | 10-2026013 |     |
|                                                                                 | 방사무늬김 유래의<br>망가니즈<br>슈퍼옥사이드<br>디스뮤타제를<br>발현하는 제조합<br>조류 및 이를 이용<br>한 지질 생산방법             | 대한민국 | 전남대<br>학교 산<br>학협력<br>단 | 2017.7.31 | 10-2017-00<br>97065 | 전남대학<br>교 산학협<br>력단 | 2019.9.1<br>0 | 10-2020109 |     |
|                                                                                 | GABA 생산성이<br>향상된 대장균,<br>이의 제조방법 및<br>이를 이용한<br>GABA 생<br>산방법                            | 대한민국 | 전남대<br>학교 산<br>학협력<br>단 | 2019.9.11 | 10-2019-01<br>12911 |                     |               |            |     |
|                                                                                 | 에이코사펜타엔산<br>함량이 증가한<br>돌연변이<br>방사무늬김<br>500EPA 및<br>이의 제조 방법                             | 대한민국 | 전남대<br>학교 산<br>학협력<br>단 | 2019.3.21 | 10-2019-00<br>32069 |                     |               |            |     |
|                                                                                 | 폴리하이드록시부티<br>레이트 생산용<br>미생물, 이의 제조<br>방법 및 이를<br>이용한<br>폴리하이드록시부티<br>레이트 생산 방법           | 대한민국 | 전남대<br>학교 산<br>학협력<br>단 | 2019.3.14 | 10-2019-00<br>29431 |                     |               |            |     |
|                                                                                 | 젖산 생산용<br>미생물, 이의 제조<br>방법 및 이를<br>이용한 젖산 생산<br>방법                                       | 대한민국 | 전남대<br>학교 산<br>학협력<br>단 | 2019.1.02 | 10-2019-00<br>00357 |                     |               |            |     |

[4차년도]

| 2020년<br>지식재산권[발명특허, 실용신안, 의장, 상표, 규격] 등으로 구분하고, 세부적으로 전부(건별로)기록하며, 국외인 경우 반드시 국명을 기록합니다 |                                                                                                        |      |             |            |                 |             |            |            |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|-------------|------------|-----------------|-------------|------------|------------|-----|
| 구 분                                                                                      | 지식재산권 등 명칭<br>(건별 각각 기재)                                                                               | 국 명  | 출원          |            |                 | 등 록         |            |            | 기 타 |
|                                                                                          |                                                                                                        |      | 출원인         | 출원일        | 출원번호            | 등록인         | 등록일        | 등록번호       |     |
| 발명<br>특허                                                                                 | 항산화 활성을 갖는 다당류 함량이 증가된 돌연변이 방사부녀김 500PP 및 이의 제조방법                                                      | 대한민국 | 전남대학교 산학협력단 | 2020-01-20 | 10-2020-0007236 |             |            |            |     |
|                                                                                          | dr1558 및 cadA 유전자가 과발현된 카다베린 생산용 미생물 및 이를 이용한 카다베린 생산 방법                                               | 대한민국 | 전남대학교 산학협력단 | 2020-05-20 | 10-2020-0060426 |             |            |            |     |
|                                                                                          | ldc 및 dr1558 유전자가 과발현된 카다베린 생산용 미생물 및 이를 이용한 카다베린 생산방법                                                 | 대한민국 | 전남대학교 산학협력단 | 2020-05-20 | 10-2020-0060427 |             |            |            |     |
|                                                                                          | 바실러스 종 PAMC22784 유래 PAMC22784_DRH632 유전자가 도입된 폴리하이드록시부티레이트 생산용 제조합 미생물 및 이를 이용한 폴리하이드록시부티레이트의 생산 방법    | 대한민국 | 전남대학교 산학협력단 | 2020-06-08 | 10-2020-0069131 |             |            |            |     |
|                                                                                          | 바실러스 푸미루스 PAMC23324 유래 PAMC23324_DRH577 유전자가 도입된 폴리하이드록시부티레이트 생산용 제조합 미생물 및 이를 이용한 폴리하이드록시부티레이트의 생산 방법 | 대한민국 | 전남대학교 산학협력단 | 2020-06-08 | 10-2020-0069132 |             |            |            |     |
|                                                                                          | 바실러스 종 PAMC23412 유래 PAMC23412_DRH1601 유전자가 도입된 폴리하이드록시부티레이트 생산용 제조합 미생물 및 이를 이용한 폴리하이드록시부티레이트의 생산 방법   | 대한민국 | 전남대학교 산학협력단 | 2020-06-08 | 10-2020-0069133 |             |            |            |     |
|                                                                                          | 이산화 타이타늄 다공성 비드에 유산균이 함유된 유산균-비드 복합체 및 이의 제조 방법                                                        | 대한민국 | 전남대학교 산학협력단 | 2020-07-02 | 10-2020-0081610 |             |            |            |     |
|                                                                                          | 산화적 스트레스에 대한 저항성 및 내성을 증가시키는 바실러스 종 PAMC23324 유래 캡타이드                                                  | 대한민국 | 전남대학교 산학협력단 | 2018-07-26 | 10-2018-0087420 | 전남대학교 산학협력단 | 2020-01-10 | 10-2067341 |     |
|                                                                                          | 산화적 스트레스에 대한 저항성 및 내성을 증가시키는 바실러스 종 PAMC22784 유래 캡타이드                                                  | 대한민국 | 전남대학교 산학협력단 | 2018-07-26 | 10-2018-0087419 | 전남대학교 산학협력단 | 2020-02-10 | 10-2077931 |     |
|                                                                                          | 산화적 스트레스에 대한 저항성 및 내성을 증가시키는 바실러스 종 PAMC23412 유래 캡타이드                                                  | 대한민국 | 전남대학교 산학협력단 | 2018-07-26 | 10-2018-0087418 | 전남대학교 산학협력단 | 2020-02-10 | 10-2077930 |     |
|                                                                                          | 젓산 생산용 미생물, 이의 제조 방법 및 이를 이용한 젓산 생산 방법                                                                 | 대한민국 | 전남대학교 산학협력단 | 2019-01-02 | 10-2019-0000357 | 전남대학교 산학협력단 | 2020-05-07 | 10-2110156 |     |
|                                                                                          | 2,3-부탄디올 생산용 미생물, 그 제조 방법 및 2,3-부탄디올 생산 방법                                                             | 대한민국 | 전남대학교 산학협력단 | 2018-08-17 | 10-2018-0096320 | 전남대학교 산학협력단 | 2020-08-05 | 10-2143398 |     |
|                                                                                          | 폴리하이드록시부티레이트 생산용 미생물, 이의 제조 방법 및 이를 이용한 폴리하이드록시부티레이트 생산 방법                                             | 대한민국 | 전남대학교 산학협력단 | 2019-03-14 | 10-2019-0029431 | 전남대학교 산학협력단 | 2020-06-05 | 10-2121746 |     |
|                                                                                          | 폴리하이드록시부티레이트 생산용 대장균, 그 제조 방법 및 폴리하이드록시부티레이트 생산 방법                                                     | 대한민국 | 전남대학교 산학협력단 | 2018-08-17 | 10-2018-0096319 | 전남대학교 산학협력단 | 2020-01-10 | 10-2067342 |     |
|                                                                                          | 저온 활성 리파아제 및 이의 생산방법                                                                                   | 대한민국 | 전남대학교 산학협력단 | 2018-03-30 | 10-2018-0037667 | 전남대학교 산학협력단 | 2020-01-06 | 10-2065239 |     |

[5차년도]

지식재산권[발명특허, 실용신안, 의장, 상표, 규격] 등으로 구분하고, 세부적으로 전부(건별로)기록하며, 국외인 경우 반드시 국명을 기록합니다

| 구 분 | 지식재산권 등 명칭<br>(건별 각각 기재)                                      | 국 명  | 출 원         |             |                 | 등 록         |             |            | 기 타 |
|-----|---------------------------------------------------------------|------|-------------|-------------|-----------------|-------------|-------------|------------|-----|
|     |                                                               |      | 출원인         | 출원일         | 출원번호            | 등록인         | 등록일         | 등록번호       |     |
|     | GABA 생산성이 향상된 대장균, 이의 제조방법 및 이를 이용한 GABA 생산방법                 | 대한민국 | 전남대학교 산학협력단 | 2019.09.11. | 10-2019-0112911 | 전남대학교 산학협력단 | 2021.03.11. | 10-2226445 |     |
|     | dr1558 및 cadA 유전자가 과발현된 카다베린 생산용 미생물 및 이를 이용한 카다베린 생산방법       | 대한민국 | 전남대학교 산학협력단 | 2020.05.20. | 10-2020-0060426 | 전남대학교 산학협력단 | 2021.03.24. | 10-2231332 |     |
|     | 지방산 불포화 효소 유사 유전자가 도입된 지질 생산성이 증진된 미생물의 제조방법 및 이를 이용한 지질 생산방법 | 대한민국 | 전남대학교 산학협력단 | 2021.05.20. | 10-2021-0064915 |             |             |            |     |

라. 논문

[1차년도]

| 2017년 논문(국내외 전문학술지) 게재 |                                                                                                                                                                          |                                               |                     |                     |             |                      |                  |
|------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|---------------------|---------------------|-------------|----------------------|------------------|
| 번호                     | 논문명                                                                                                                                                                      | 학술지명                                          | 주저자명                | 호                   | 국명          | 발행기관                 | SCI여부 (SCI/비SCI) |
| 1                      | Cloning and characterization of cold-adapted $\alpha$ -amylase from Antarctic <i>Arthrobacter agilis</i>                                                                 | <i>Applied Biochemistry and Biotechnology</i> | 김수미 외 2인            | 26                  | 미국          | HUMAN A PRESS INC    | SCI (0272-2289)  |
| 2                      | Engineered microbial biosensors based on bacterial two component systems as synthetic biotechnology platforms in bioremediation and biorefinery                          | <i>Microbial Cell Factories</i>               | Ravikumar S. 외 3인   | 16                  | 영국          | BIOMED CENTRAL LTD   | SCI (1475-2859)  |
| 3                      | Photosynthetic CO <sub>2</sub> conversion to fatty acid ethyl esters (FAEEs) using engineered cyanobacteria                                                              | <i>J. Agric. Food. Chem.</i>                  | 이현정                 | 65                  | 미국          | AMER CHEMICAL SOC    | SCI (0021-8561)  |
| 4                      | Comparative analysis of whole transcriptomes of <i>Pyropia yezoensis</i>                                                                                                 | <i>Phycologia</i>                             | 박서정 외 2인            | 45                  | 영국          | INT PHYCOLOGICAL SOC | SCI (0031-8884)  |
| 5                      | Toward direct biodiesel production from CO <sub>2</sub> using engineered cyanobacteria                                                                                   | <i>FEMS Microbiology Letters</i>              | 우한민                 | 364                 | 영국          | OXFORD UNIV PRESS    | SCI (0378-1097)  |
| 6                      | Improvement of Squalene Production from CO <sub>2</sub> in <i>Synechococcus elongatus</i> PCC 7942 by Metabolic Engineering and Scalable Production in a Photobioreactor | <i>ACS Synthetic Biology</i>                  | 최선영                 | 6                   | 미국          | AMER CHEMICAL SOC    | SCI (2161-5063)  |
| 7                      | Modular pathway engineering of <i>Corynebacterium glutamicum</i> to improve xylose utilization and succinate production                                                  | <i>Journal of Biotechnology</i>               | 조수아                 | 258                 | 네덜란드        | ELSEVIER SCIENCE BV  | SCI (0168-1656)  |
| 8                      | Development of SyneBrick vectors as a synthetic biology platform for gene expression in <i>Synechococcus elongatus</i> PCC 7942                                          | <i>Front. Plant Sci.</i>                      | 김옥진                 | 8                   | 스위스         | FRONTIERS MEDIA SA   | SCI (1664-462X)  |
| 9                      | Direct conversion of CO <sub>2</sub> to $\alpha$ -farnesene using metabolically engineered <i>Synechococcus elongatus</i> PCC 7942                                       | <i>J. Agric. Food. Chem.</i>                  | Lee, HJ 외 7인        | 65                  | 미국          | AMER CHEMICAL SOC    | SCI (0021-8561)  |
| 10                     | <i>Deinococcus radiodurans</i> 유래 DR1558과 PprM에 의한 <i>Corynebacterium glutamicum</i> 의 라이신 생산 향상 연구                                                                      | <i>Microbiol. Biotechnol. Lett</i>            | 김수미 외 4인            | 45                  | 한국          | 한국미생물생명공학회           | 비SCI (2234-730S) |
| 11                     | Melanogenesis inhibitory effect of low molecular weight fucoidan from <i>Undaria pinnatifida</i>                                                                         | <i>Journal of Applied Phycology</i>           | Eun-Jeong Park 외 1인 | 29(5) : 2213 - 2217 | Netherlands | Springer Netherlands | SCI (0921-8971)  |

[2차년도]

| 2018년 논문(국내외 전문학술지) 게재 |                                                                                                                                                                                      |                                                   |            |                  |      |                             |                  |
|------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|------------|------------------|------|-----------------------------|------------------|
| 번호                     | 논문명                                                                                                                                                                                  | 학술지명                                              | 주저자명       | 호                | 국명   | 발행기관                        | SCI여부 (SCI/비SCI) |
| 1                      | Purification, characterization, and cloning of a cold-adapted protease from Antarctic <i>Janthinobacterium lividum</i>                                                               | <i>Journal of Microbiology and Biotechnology</i>  | 김현도        | 28               | 한국   | Kor Soc Microb & Biotechnol | SCI (1017-7825)  |
| 2                      | Gene expression profiling of rat livers after continuous whole-body exposure to low-dose-rate gamma-ray                                                                              | <i>International Journal of Radiation Biology</i> | Tran       | 94               | 영국   | Taylor & Francis            | SCI (0955-3002)  |
| 3                      | Identification, characterization, and proteomic studies of an aldehyde dehydrogenase (ALDH) from <i>Pyropia yezoensis</i> (Bangiales, Rhodophyta)                                    | <i>Journal of Applied Phycology</i>               | 이학중        | 30               | 네델란드 | Springer                    | SCI (0921-8971)  |
| 4                      | Characterization of <i>Porphyra lucasii</i> pigment mutant induced by gamma irradiation                                                                                              | <i>Phycological Research</i>                      | 이학중        | 66               | 일본   | Wiley                       | SCI (1322-0829)  |
| 5                      | Study of functional verification to abiotic stress through antioxidant gene transformation of <i>Pyropia yezoensis</i> (Bangiales, Rhodophyta) APX and MnSOD in <i>Chlamydomonas</i> | <i>Journal of Microbiology and Biotechnology</i>  | 이학중        | 28               | 한국   | Kor Soc Microb & Biotechnol | SCI (1017-7825)  |
| 6                      | Isolation and characterization of a high-growth-rate strain in <i>Pyropia yezoensis</i> induced by ethyl methane sulfonate                                                           | <i>Journal of Applied Phycology</i>               | 이학중        | 30               | 네델란드 | Springer                    | SCI (0921-8971)  |
| 7                      | A chimeric two-component regulatory system-based <i>Escherichia coli</i> biosensor engineered to detect glutamate                                                                    | <i>Applied Biochemistry and Biotechnology</i>     | Ravikum ar | 186              | 미국   | Humana Press                | SCI (0273-2289)  |
| 8                      | Expression, purification and characterization of a cold-adapted lipase from <i>Janthinobacterium</i> sp.                                                                             | <i>Microbiology and Biotechnology Letters</i>     | 박성호        | 46               | 한국   | Kor Soc Microb & Biotechnol | 비SCI (2234-730S) |
| 9                      | Purification of Cold-adapted Protease from <i>Janthinobacterium</i> sp.                                                                                                              | <i>Microbiology and Biotechnology Letters</i>     | 김현도        | 46               | 한국   | Kor Soc Microb & Biotechnol | 비SCI (2234-730S) |
| 10                     | RNA-guided single/double gene repressions in <i>Corynebacterium glutamicum</i> using an efficient CRISPR interference and its application to industrial strain                       | Microb. Cell Fact.                                | 우한민 외 5인   | 17:4             | 영국   | Springer                    | SCI (1475-2859)  |
| 11                     | Metabolic pathway rewiring in engineered cyanobacteria for solar-to-chemical and solar-to-fuel production from CO <sub>2</sub>                                                       | Bioengineered                                     | 우한민        | 9(1) 2-5         | 영국   | Taylor & Francis            | SCI (2165-5979)  |
| 12                     | Identification of small droplets of squalene in engineered <i>Synechococcus elongatus</i> PCC 7942 using TEM and selective fluorescent Nile red analysis                             | Lett. Appl. Microbiol.                            | 우한민 외 3인   | 66:523-529       | 영국   | Wiley                       | SCI (0266-8254)  |
| 13                     | Rapid identification of unknown carboxyl esterase activity in <i>Corynebacterium glutamicum</i> using RNA-guided CRISPR interference                                                 | Enzyme Microb. Technol.                           | 우한민 외 5인   | 114:63-68        | 네델란드 | Elsevier                    | SCI (0141-0229)  |
| 14                     | CRISPR interference-mediated metabolic engineering of <i>Corynebacterium glutamicum</i> for homo-butyrate production                                                                 | Biotechnol. Bioeng                                | 우한민 외 1인   | 115(8):2067-2074 | 미국   | Wiley                       | SCI (0006-3592)  |

[3차년도]

| 2019년 논문(국내외 전문학술지) 게재 |                                                                                                                                                                       |                                                           |      |                          |                     |                                                            |                     |
|------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|------|--------------------------|---------------------|------------------------------------------------------------|---------------------|
| 번호                     | 논문명                                                                                                                                                                   | 학술지명                                                      | 주저자명 | 호                        | 국명                  | 발행기관                                                       | SCI여부<br>(SCI/비SCI) |
| 1                      | Isolation, morphological characteristics and proteomic profile analysis of thermo-tolerant <i>Pyropia yezoensis</i> mutant in response to high-temperature stress     | <i>Ocean Science Journal</i>                              | 최종일  | 54(1):<br>65-78          | 대한민국                | KOREA<br>OCEAN<br>RESEA<br>RCH<br>DEVEL<br>OPMEN<br>T INST | 비SCI<br>(1738-5261) |
| 2                      | Enhanced production of poly-3-hydroxybutyrate (PHB) by expression of response regulator DR1558 in recombinant <i>Escherichia coli</i>                                 | <i>International Journal of Biological Macromolecules</i> | 최종일  | 131(15):<br>29-35        | NETHE<br>RLAND<br>S | ELSEVI<br>ER<br>SCIENC<br>E BV                             | SCI<br>0141-8130)   |
| 3                      | Enhancing temperature tolerance of <i>Pyropia tenera</i> (Bangiales) by inducing mutation                                                                             | <i>Phycologia</i>                                         | 최종일  | 58(5):49<br>6-503        | USA                 | TAYLO<br>R &<br>FRANCI<br>S LTD                            | SCI<br>(0031-8884)  |
| 4                      | Heterologous Production of Squalene from Glucose in Engineered <i>Corynebacterium glutamicum</i> Using Multiplex CRISPR Interference and High-Throughput Fermentation | <i>Journal of Agricultural and Food Chemistry</i>         | 우한민  | 67:<br>308-31<br>9       | USA                 | AMER<br>CHEMIC<br>AL SOC                                   | SCI<br>(0021-8561)  |
| 5                      | Bio-solar cell factories for photosynthetic isoprenoids production                                                                                                    | <i>Planta</i>                                             | 우한민  | 249(1):<br>181-193       | GERMA<br>NY         | SPRING<br>ER                                               | SCI<br>(0032-0935)  |
| 6                      | Antitumor bioactivity of porphyran extracted from <i>Pyropia yezoensis</i> Chonsoo2 on human cancer cell lines                                                        | <i>Journal of the Science of Food and Agriculture</i>     | 최종일  | 99(15):<br>6722-6<br>730 | England             | WILEY                                                      | SCI<br>(0022-5142)  |

[4차년도]

| 2020년 논문(국내외 전문학술지) 게재 |                                                                                                                                                                            |                                                                    |      |               |             |                                        |                     |
|------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|------|---------------|-------------|----------------------------------------|---------------------|
| 번호                     | 논문명                                                                                                                                                                        | 학술지명                                                               | 주저자명 | 호             | 국명          | 발행기관                                   | SCI여부<br>(SCI/비SCI) |
| 1                      | Different extraction methods bring about distinct physicochemical properties and antioxidant activities of <i>Sargassum fusiforme</i> fucoidans                            | <i>International Journal of Biological Macromolecules</i>          | 최종일  | 155:1385-1392 | Netherlands | Elsevier                               | SCI<br>(0141-8130)  |
| 2                      | Effect of DR1558, a <i>Deinococcus radiodurans</i> response regulator, on the production of GABA in the recombinant <i>Escherichia coli</i> under low pH conditions        | <i>Microbial Cell Factories</i>                                    | 최종일  | 19:64         | England     | BMC                                    | SCI<br>(1475-2859)  |
| 3                      | Enhanced production of 2,3-butanediol in recombinant <i>Escherichia coli</i> using response regulator DR1558 derived from <i>Deinococcus radiodurans</i>                   | <i>Biotechnology and Bioprocess Engineering</i>                    | 최종일  | 25(1):45-52   | South Korea | KSBB                                   | SCI<br>(1226-8372)  |
| 4                      | Improved tolerance of <i>Escherichia coli</i> to oxidative stress by expressing putative response regulator homologs from Antarctic bacteria                               | <i>Journal of Microbiology</i>                                     | 최종일  | 58(2):131-141 | South Korea | MICROBIOLOGICAL SOCIETY KOREA          | SCI<br>(1225-8873)  |
| 5                      | Gamma-irradiation degradation of sulfated polysaccharide from a new red alga strain <i>Pyropia yezoensis</i> Sookwawon 104 and their <i>in vitro</i> antitumor bioactivity | <i>Oncology Letters</i>                                            | 최종일  | 20:91         | Greece      | SPANDIDOS PUBL LTD                     | SCI<br>(1792-1074)  |
| 6                      | Comparative transcriptome analysis of high-growth and wild-type strains of <i>Pyropia yezoensis</i>                                                                        | <i>Acta Botanica Croatica</i>                                      | 최종일  | 79(2):148-156 | Croatia     | UNIV ZAGREB, FAC SCIENC E, DIV BIOLOGY | SCI<br>(0365-0588)  |
| 7                      | <i>De novo</i> transcriptome analysis of high growth rate <i>Pyropia yezoensis</i> (Bangiales, Rhodophyta) mutant with high utilization of nitrogen                        | <i>Acta Botanica Croatica</i>                                      | 최종일  | 79(2):201-211 | Croatia     | UNIV ZAGREB, FAC SCIENC E, DIV BIOLOGY | SCI<br>(0365-0588)  |
| 8                      | Optimization of cultivation conditions for production of recombinant urate oxidase with unnatural amino acids                                                              | <i>Korean Society for Biotechnology and Bioengineering Journal</i> | 최종일  | 35(1):51-56   | 대한민국        | 한국생물공학회                                | 비SCI<br>(1225-7117) |
| 9                      | Enhanced production of poly(3-hydroxybutyrate) from wood hydrolysate by recombinant <i>Escherichia coli</i> expressing response regulator <i>dr1558</i>                    | <i>Korean Society for Biotechnology and Bioengineering Journal</i> | 최종일  | 35(2):178-182 | 대한민국        | 한국생물공학회                                | 비SCI<br>(1225-7117) |
| 10                     | Amino acid composition and antioxidative activities of mutant <i>Pyropia yezoensis</i>                                                                                     | <i>Korean Journal of Fisheries and Aquatic Sciences</i>            | 최종일  | 53(4):524-529 | 대한민국        | 한국수산과학회                                | 비SCI<br>(0374-8111) |

[5차년도]

| 2021년 논문(국내외 전문학술지) 게재 |                                                                                                                                                |                                                    |      |                |             |       |                  |
|------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|------|----------------|-------------|-------|------------------|
| 번호                     | 논문명                                                                                                                                            | 학술지명                                               | 주저자명 | 호              | 국명          | 발행기관  | SCI여부 (SCI/비SCI) |
| 1                      | Biocontainment of engineered <i>Synechococcus elongatus</i> PCC 7942 for photosynthetic production of $\alpha$ -farnesene from CO <sub>2</sub> | <i>Journal of Agricultural and Food Chemistry</i>  | 우한민  | 69(2): 698-703 | USA         | ACS   | SCI (0021-8561)  |
| 2                      | Optimization of porphyrin extraction from <i>Pyropia yezoensis</i> by response surface methodology and its lipid-lowering effects              | <i>Marine Drugs</i>                                | 최종일  | 19(2), 53      | SWITZERLAND | MDPI  | SCI (1660-3997)  |
| 3                      | Impregnation of probiotics into porous TiO <sub>2</sub> support for enhanced viability                                                         | <i>Korean Journal of Chemical Engineering</i>      | 최종일  | 38(3): 475-479 | 대한민국        | KIChE | SCI (0256-1115)  |
| 4                      | Hybrid Embden-Meyerhof-Parnas pathway for reducing CO <sub>2</sub> loss and increasing the acetyl-CoA levels during microbial fermentation     | <i>ACS Sustainable Chemistry &amp; Engineering</i> | 우한민  | 9:12394-12405  | USA         | ACS   | SCI (2168-0485)  |

마. 분자마커

| 분자마커 개발 |    |      |      |      |
|---------|----|------|------|------|
| 번호      | 특성 | 보유건수 | 주요내용 | 활용년도 |
|         |    |      |      |      |

바. 유전자원

| 세부적으로 전부(건별로)기록 |        |          |          |             |               |     |
|-----------------|--------|----------|----------|-------------|---------------|-----|
| 번호              | 특성(종명) | 수집(계통주명) | 등록       |             |               | 기 타 |
|                 |        |          | 등록인      | 등록일         | 등록번호          |     |
| 1               | 방사무늬김  | 신안송공항①   | 국립수산물과학원 | 2017.11.06. | MARB-2017-001 |     |
| 2               | 방사무늬김  | 진도회동⑬    |          |             | MARB-2017-002 |     |
| 3               | 방사무늬김  | 매화도⑦     |          |             | MARB-2017-003 |     |
| 4               | 방사무늬김  | 안산대부도    |          |             | MARB-2017-004 |     |
| 5               | 모무늬돌김  | 해남예락     |          |             | MARB-2017-005 |     |
| 6               | 방사무늬김  | 신안송공항22  |          | 2018.10.22. | MARB-2018-001 |     |
| 7               | 방사무늬김  | 신안송공항23  |          |             | MARB-2018-002 |     |
| 8               | 방사무늬김  | 진도회동14   |          |             | MARB-2018-003 |     |
| 9               | 방사무늬김  | 부산명지5-1  |          |             | MARB-2018-004 |     |

|    |       |               |   |             |               |  |
|----|-------|---------------|---|-------------|---------------|--|
| 10 | 방사무늬김 | 신안압해10-1      | " | "           | MARB-2018-005 |  |
| 11 | 방사무늬김 | 추자도1          | " | 2019.10.21. | MARB-2019-001 |  |
| 12 | 모무늬돌김 | 진도금갑1         | " | "           | MARB-2019-002 |  |
| 13 | 방사무늬김 | 진도동아2         | " | "           | MARB-2019-003 |  |
| 14 | 방사무늬김 | 여천5           | " | "           | MARB-2019-004 |  |
| 15 | 방사무늬김 | 대부도3          | " | "           | MARB-2019-005 |  |
| 16 | 방사무늬김 | 고흥구암1         | " | 2020.10.12. | MARB-2020-001 |  |
| 17 | 방사무늬김 | 장흥정남진3        | " | "           | MARB-2020-002 |  |
| 18 | 방사무늬김 | 대부도2-50Gy,5℃  | " | "           | MARB-2020-003 |  |
| 19 | 잇바디돌김 | 신안압태잇바디1      | " | "           | MARB-2020-004 |  |
| 20 | 잇바디돌김 | 가거도잇바디3       | " | "           | MARB-2020-005 |  |
| 21 | 방사무늬김 | 대부도2-5        | " | 2021.06.07. | MARB-2021-007 |  |
| 22 | 참김    | 통영참김-1        | " |             | MARB-2021-008 |  |
| 23 | 방사무늬김 | 여천4-1         | " |             | MARB-2021-009 |  |
| 24 | 잇바디돌김 | 신안송공항4-1      | " |             | MARB-2021-010 |  |
| 25 | 방사무늬김 | 수과원104호50Gy-1 | " |             | MARB-2021-011 |  |

사. 국내매출액

| 국내 종자 판매 실적 |            |            |            |
|-------------|------------|------------|------------|
| 번호          | 일자         | 판매처        | 매출액        |
| 1           | 2018.2.28. | 동해수산       | 650,000원   |
| 2           | "          | 일영수산       | 195,000원   |
| 3           | "          | 임해수산       | 130,000원   |
| 4           | "          | 땅끝아라       | 260,000원   |
| 5           | "          | 나라수산       | 975,000원   |
| 6           | "          | 해공수산       | 65,000원    |
| 7           | 2018.3.27. | 제일수산       | 195,000원   |
| 8           | 2018.2.28. | 대일영어법인     | 650,000원   |
| 9           | "          | 송공수산       | 195,000원   |
| 10          | "          | 삼양수산       | 130,000원   |
| 11          | "          | 해성영어조합법인   | 65,000원    |
| 12          | 2019.2.14. | 장산종묘       | 60,000원    |
| 13          | "          | 땅끝바다영어조합법인 | 200,000원   |
| 14          | "          | 삼복수산       | 100,000원   |
| 15          | "          | 홍일수산       | 600,000원   |
| 16          | "          | 임해수산       | 1,000,000원 |
| 17          | "          | 해공수산       | 800,000원   |
| 18          | "          | 송원호        | 400,000원   |
| 19          | "          | 대일영어조합법인   | 800,000원   |
| 20          | "          | 해림수산       | 720,000원   |
| 21          | "          | 남촌수산       | 160,000원   |
| 22          | "          | 달리수산A      | 600,000원   |
| 23          | "          | 달리수산B      | 600,000원   |
| 24          | "          | 처유수산       | 60,000원    |
| 25          | "          | 광명수산       | 160,000원   |
| 26          | "          | 남동수산       | 400,000원   |
| 27          | "          | 삼양수산       | 696,000원   |
| 28          | 2019.03.13 | 송공수산       | 240,000원   |
| 29          | "          | 나라수산       | 840,000원   |
| 30          | "          | 땅끝아라       | 120,000원   |
| 31          | "          | 제일수산       | 900,000원   |
| 32          | 2019.03.19 | 신암수산       | 480,000원   |
| 33          | 2020.02.25 | 송형식        | 728,000원   |
| 34          | "          | 전진호        | 728,000원   |

|    |   |     |             |
|----|---|-----|-------------|
| 35 | " | 김윤곤 | 520,000원    |
| 36 | " | 박제춘 | 260,000원    |
| 37 | " | 이동삼 | 1,040,000원  |
| 38 | " | 반정은 | 208,000원    |
| 39 | " | 황보대 | 416,000원    |
| 40 | " | 황보철 | 208,000원    |
| 41 | " | 이재영 | 17,160,000원 |
| 42 | " | 장석래 | 2,080,000원  |
| 43 | " | 양갑동 | 312,000원    |
| 44 | " | 이성호 | 6,032,000원  |
| 45 | " | 정승기 | 728,000원    |
| 46 | " | 김상조 | 1,040,000원  |
| 47 | " | 홍행자 | 3,328,000원  |
| 48 | " | 장혜숙 | 208,000원    |
| 49 | " | 최남규 | 442,000원    |
| 50 | " | 김동수 | 1,040,000원  |
| 51 | " | 한상근 | 1,040,000원  |
| 52 | " | 송형식 | 4,160,000원  |
| 53 | " | 박유순 | 520,000원    |
| 54 | " | 송원호 | 1,196,000원  |
| 55 | " | 최명갑 | 520,000원    |
| 56 | " | 이양심 | 130,000원    |
| 57 | " | 주영길 | 312,000원    |
| 58 | " | 박명문 | 3,120,000원  |
| 59 | " | 윤정주 | 3,432,000원  |
| 60 | " | 김상옥 | 520,000원    |
| 61 | " | 김제승 | 1,196,000원  |
| 62 | " | 김춘미 | 1,040,000원  |
| 63 | " | 임규성 | 46,800원     |
| 64 | " | 천성욱 | 52,000원     |
| 65 | " | 김제휘 | 1,300,000원  |
| 66 | " | 김권우 | 197,600원    |
| 67 | " | 정형운 | 312,000원    |
| 68 | " | 박성현 | 1,872,000원  |
| 69 | " | 김정덕 | 208,000원    |
| 70 | " | 박제춘 | 1,040,000원  |
| 71 | " | 박수열 | 780,000원    |

|     |            |     |             |
|-----|------------|-----|-------------|
| 72  | "          | 김명자 | 1,144,000원  |
| 73  | "          | 송정섭 | 1,430,000원  |
| 74  | "          | 김경남 | 208,000원    |
| 75  | 2020.03.09 | 문병심 | 728,000원    |
| 76  | 2020.03.16 | 김용순 | 676,000원    |
| 77  | 2020.03.18 | 김찬호 | 426,400원    |
| 78  | 2021.03.02 | 권충현 | 616,000원    |
| 79  | "          | 김찬호 | 924,000원    |
| 80  | "          | 김동수 | 462,000원    |
| 81  | "          | 김명자 | 1,050,000원  |
| 82  | "          | 김상조 | 1,694,000원  |
| 83  | "          | 김순란 | 308,000원    |
| 84  | "          | 김제승 | 1,036,000원  |
| 85  | "          | 김제휘 | 4,172,000원  |
| 86  | "          | 김찬호 | 924,000원    |
| 87  | "          | 문근만 | 1,540,000원  |
| 88  | "          | 박수열 | 415,800원    |
| 89  | "          | 박제춘 | 5,390,000원  |
| 90  | "          | 반정은 | 924,000원    |
| 91  | "          | 변영훈 | 308,000원    |
| 92  | "          | 송원호 | 1,960,000원  |
| 93  | "          | 송형식 | 4,340,000원  |
| 94  | "          | 신경오 | 1,048,000원  |
| 95  | "          | 양갑동 | 154,000원    |
| 96  | "          | 윤정주 | 1,974,000원  |
| 97  | "          | 이상민 | 1,764,000원  |
| 98  | "          | 이재영 | 11,760,000원 |
| 99  | "          | 임규성 | 385,000원    |
| 100 | "          | 정형운 | 462,000원    |
| 101 | "          | 최남규 | 735,000원    |
| 102 | "          | 황보대 | 616,000원    |

아. 종자수출액/수입대체 효과

| 종자수출액(USD) |      |     |     |      |
|------------|------|-----|-----|------|
| 번호         | 수출품목 | 수출액 |     |      |
|            |      | 수출일 | 수출국 | 수출금액 |
|            |      |     |     |      |

자. 기술이전

| 기술이전 |            |                      |                  |            |                |
|------|------------|----------------------|------------------|------------|----------------|
| 번호   | 기술이전 유형    | 기술실시계약명              | 기술실시 대상기관        | 기술실시 발생일자  | 기술료 (당해연도 발생액) |
| 1    | 국유품종보호권 처분 | 전수2호 통상실시권 처분        | 동해수산             | 2018.2.28. | 650,000원       |
| 2    | "          | "                    | 일영수산             | "          | 195,000원       |
| 3    | "          | "                    | 임해수산             | "          | 130,000원       |
| 4    | "          | "                    | 땅끝아라             | "          | 260,000원       |
| 5    | "          | "                    | 나라수산             | "          | 975,000원       |
| 6    | "          | "                    | 해공수산             | "          | 65,000원        |
| 7    | "          | "                    | 제일수산             | 2018.3.27. | 195,000원       |
| 8    | "          | "                    | 대일영어법인           | 2018.2.28. | 650,000원       |
| 9    | "          | "                    | 송공수산             | "          | 195,000원       |
| 10   | "          | "                    | 삼양수산             | "          | 130,000원       |
| 11   | "          | "                    | 해성영어조합법인         | "          | 65,000원        |
| 12   | 통상실시권      | GSP 개발 김 종자의 생장 및 성숙 | 수암종묘             | 2019.3.1.  | 840,000원       |
| 13   | "          | "                    | 동해수산             | "          | 1,200,000원     |
| 14   | 통상실시권      | GSP 개발 김 종자의 생장 및 성숙 | 수암종묘             | 2020.3.1.  | 416,000원       |
| 15   | "          | "                    | 어업회사법인 한국수산 주식회사 | "          | 312,000원       |
| 16   | "          | "                    | 수암종묘             | 2021       | 280,000원       |
| 17   | "          | "                    | 초록수산             | 2021       | 385,000원       |

차. 마케팅 전략수립 보고서

| 기타 활용 및 홍보실적(단행본 발간, CD 제작 등) |    |      |      |
|-------------------------------|----|------|------|
| 번호                            | 일자 | 활용명칭 | 활용내역 |
|                               |    |      |      |

카. 인력양성

| 연구인력 활용/양성 성과 |                   |                |         |    |    |    |    |   |     |     |     |     |    |
|---------------|-------------------|----------------|---------|----|----|----|----|---|-----|-----|-----|-----|----|
| 번호            | 분류                | 기준년도           | 인력양성 현황 |    |    |    |    |   |     |     |     |     |    |
|               |                   |                | 학위별     |    |    |    | 성별 |   | 지역별 |     |     |     |    |
|               |                   |                | 박사      | 석사 | 학사 | 기타 | 남  | 여 | 수도권 | 충청권 | 영남권 | 호남권 | 기타 |
| 1             | 석사인턴연구원<br>/연구보조원 | 2017<br>(1차년도) |         | 2  | 1  |    | 1  | 2 |     |     |     | 3   |    |
| 2             | 석사인턴연구원<br>/연구보조원 | 2018<br>(2차년도) | 박사      | 석사 | 학사 | 기타 | 남  | 여 | 수도권 | 충청권 | 영남권 | 호남권 | 기타 |
|               |                   |                |         | 2  | 1  |    | 1  | 2 |     |     |     | 3   |    |
| 3             | 석사인턴연구원<br>/연구보조원 | 2019<br>(3차년도) | 박사      | 석사 | 학사 | 기타 | 남  | 여 | 수도권 | 충청권 | 영남권 | 호남권 | 기타 |
|               |                   |                |         | 1  | 3  |    | 3  | 1 |     |     |     | 4   |    |
| 4             | 석사인턴연구원<br>/연구보조원 | 2020<br>(4차년도) | 박사      | 석사 | 학사 | 기타 | 남  | 여 | 수도권 | 충청권 | 영남권 | 호남권 | 기타 |
|               |                   |                |         | 4  | 2  |    | 3  | 0 |     |     |     | 6   |    |
| 5             | 석사인턴연구원<br>/연구보조원 | 2021<br>(5차년도) | 박사      | 석사 | 학사 | 기타 | 남  | 여 | 수도권 | 충청권 | 영남권 | 호남권 | 기타 |
|               |                   |                |         | 1  | 2  |    | 3  | 0 |     |     |     | 3   |    |

3-2. 목표 달성여부

- 품종개발 출원 목표 4건 달성
- 품종개발 등록 목표 4건 중 2건 달성
- 특허 및 논문 목표는 초과달성
- 수입대체율 목표 13.4% 초과 달성 (28.6%)
- 종자 수출액 139만 달러 미달성
- 기술 이전 및 인력양성 초과달성

3-3. 목표 미달성 시 원인(사유) 및 차후대책(후속연구의 필요성 등)

- 품종개발 등록 목표는 현재 4건의 품종 출원건이 양식 시험을 진행 중에 있음. 최근 양식 시험환경의 악조건으로 2건의 시험양식 기간이 연장되어서 목표를 미달성하였으나, 2022년과 2023에 시험양식 중인 품종의 등록이 이루어지면 목표를 달성 할 수 있음.
- 종자 수출액 목표는 개발된 종자들이 국유품종으로 양식어가에 통상실시권 처분이되어 수출액 산정을 위한 자료를 확보하기 어려움. 이에 전체 수출액 중에서 개발된 품종의 비율로 인정을 받을 수 있도록 제도 개선을 요청하였음. 1프로젝트와 연계하여 김 품목의 수출 목표를 달성하고자 함.

#### 4. 연구결과의 활용 계획 등

- 우수한 형질을 가지는 국산 김 종자를 개발함으로써 식물품종보호제도로부터 김 양식산업을 보호하고 종자의 수입대체 및 수출 효과를 창출 할 수 있음 (연간 100억 원 이상의 경제적 효과)
- 생명공학기술을 융합한 해조류 돌연변이 육종 기반기술 개발과 이를 이용한 산업적 및 환경적 변화 흐름에 부합한 차세대 미래 생물 유전자원 대량 창출 및 유전체 해독으로 국민 삶의 질 향상 및 관련 산업의 선진화 달성
- 고기능성 항산화 특성을 지닌 신종자를 개발하고 이들의 생산성을 증대 시키는 방안을 모색하여 산업화함으로써 어가의 소득을 안정화 시키고 나아가 늘어 가는 수출량에 기대하는 생산성을 갖출 것을 예상됨
- 신종자 개발로 인한 수산분야 수출 정책 개발 및 추진에 우위를 차지할 수 있는 능력 보유
- 현재 김 양식 및 생산 기술에 우위를 보이는 일본에 체계적인 수출 정책 개발 가능
- 해조류 양식에 드는 로열티 지불이 아닌 해조류 상품 경쟁력 확보의 해결책으로 대두 가능
  - 해조류 종자 산업의 규모 보다는 이를 이용한 가공품 및 관련 산업까지 포함한다면 그 효과는 1,000 억 이상으로 예상됨
- 해조류 대량양식은 대기 중 온실가스양을 줄이는 효과가 있음
- 에너지 고갈에 대비하여 바이오에너지가 큰 관심이 되고 있기 때문에 대량양식 기술을 확보하여 에너지원으로 사용되는 생물량을 극대화 할 수 있음
- 다양한 특성을 지닌 돌연변이의 확보를 통해서 해조류 유전체 해독 시스템 구축 및 경쟁력 확보
- 김 생물 다양성 보전 및 육종원천 소재 확보
- 유용 유전자원 확보·보존·관리·활용으로 육종원천기술 및 신종자 개발 지원
- 고부가가치 신종자 개발 및 생명산업에 활용
- 김의 돌연변이 육종을 이용한 신종자개발의 생명공학 원천기술이 확보됨
- 개발된 원천기술은 미역, 다시마 등의 거대조류 생명공학 기술 개발에 활용 가능함

- 조류로부터 얻은 기술적/과학적 진보는 다른 생물계의 연구 및 기술개발에 활용 가능함
- Post-Genome 시대 돌연변이 육종기술의 선진화와 유전체 연구용 돌연변이체 및 Genetic stock 대량 창성에 의한 유전체 연구 활성화 및 돌연변이 생물 유전자원은행 기반 구축
  - 돌연변이 유전자원을 활용 최신 생명공학 기술인 High throughput system을 이용한 DNA chip microarray, RT-PCR, Northern, In-situ hybridization 등의 분자생물학적 기술과 Bioinformatics 기술, 형질전환 기술 등의 최신 기술을 융합한 연구 테마로서 우량 형질의 TILLING 집단을 구축하고 우량 대립인자를 확보하여 이들 상호간에 유전자 발현 네트워크 연구 및 비교 유전체 연구를 통해 이들의 활용성을 극대화하여 post-genome 시대의 유전체 연구 활성화 및 국제경쟁력 향상에 기여
- 돌연변이화 기술을 이용한 해조류(김) 돌연변이 유전자원 개발은 세계적인 농수산물 시장 개방 및 유전자원의 로열티 강화 추세에 대응하여 국내 수산양식산업 경쟁력 및 지적재산권 제고에 기여할 뿐만 아니라 생명공학 기술에 관한 대국민 인식을 향상시킬 것임
- 돌연변이원이 해조류(김)에 폭 넓게 미치는 유전적 영향으로 창출된 돌연변이 유전자원의 유전체 연구를 통해 우량형질(allele, 유전자군) 대량발굴로 생물학적, 산업적 가치를 부여 (지적재산권화, 2015년 \$ 2,000억 예상)하고 비교유전체 분석을 통해 관련 연구발전에 기여가 클 것으로 사료됨
- 돌연변이 육종을 통하여 얻어진 항산화 김종자는 환경오염에 따른 산화적 스트레스에 대한 높은 저항성으로 생태계 변화를 최소화 하는 대량양식이 가능하기 때문에 환경적인 문제를 야기하지 않음
- 돌연변이 육종을 통하여 얻어진 고향산화 해조류를 이용한 연안 유기물 오염의 친환경 처리 기술로 활용가능
- 김의 다양한 생리활성 평가는 현재 단순히 먹거리 식품으로서 이용되는 것에서 벗어나 고부가가치 산업인 천연 소재 기능성 식품, 천연 향생제 및 화장품 산업에 크게 이바지 할 것으로 기대됨

## 붙임. 참고문헌

- Vargas-Garcia, E.J., et al., Interventions to reduce consumption of sugar-sweetened beverages or increase water intake: Evidence from a systematic review and meta-analysis. *Obes Rev*, 2017. 18(11): p. 1350-1363.
- Newens, K.J. and Walton, J., A review of sugar consumption from nationally representative dietary surveys across the world. *J Hum Nutr Diet*, 2016. 29(2): p. 225- 240.
- Prinz, P., The role of dietary sugars in health: Molecular composition or just calories?. *Eur J Clin Nutr*. 2019. 73(9): p. 1216-1223.
- Zheng, Y., Ley, S.H., and Hu, F.B., Global aetiology and epidemiology of type 2 diabetes mellitus and its complications. *Nat Rev Endocrinol*, 2018. 14(2): p. 88-98.
- Paglia, L., The sweet danger of added sugars. *Eur J Paediatr Dent*, 2019. 20(2): p. 89.
- Reichelt, A.C., Adolescent maturational transitions in the prefrontal cortex and dopamine signaling as a risk Factor for the development of obesity and high fat/high sugar diet induced cognitive deficits. *Front Behav Neurosci*, 2016. 10: p. 189.
- Reichelt, A.C. and Rank, M.M., The impact of junk foods on the adolescent brain. *Birth Defects Res*, 2017. 109(20): p. 1649-1658.
- Proctor, C., et al., Diet, gut microbiota and cognition. *Metab Brain Dis*, 2017. 32(1): p. 1-17.
- Kearns, C.E., Apollonio, D., and Glantz, S.A., Sugar industry sponsorship of germ-free rodent studies linking sucrose to hyperlipidemia and cancer: An historical analysis of internal documents. *PLoS Biol*, 2017. 15(11): p. 2003460.
- Popa-Wagner, A., et al., Dietary habits, lifestyle factors and neurodegenerative diseases. *Neural Regen Res*, 2020. 15(3): p. 394-400.
- Tilinca, M.C., et al., A 2021 update on the use of liraglutide in the modern treatment of 'Diabesity': A narrative review. *Medicina*, 2021. 57(7): p. 669.
- Stefan, N., Metabolically healthy and unhealthy normal weight and obesity. *Endocrinol Metab*, 2020. 35(3): p. 487-493.
- Perakakis, N., Stefanakis, K., and Mantzoros, C.S., The role of omics in the pathophysiology, diagnosis and treatment of non-alcoholic fatty liver disease. *Metabolism*, 2020. 111: p. 154320.
- Dave, A.M. and Peeples, E.S., Cholesterol metabolism and brain injury in neonatal encephalopathy. *Pediatr Res*, 2021. 90(1): p. 37-44.
- Koszewicz, M., et al., Dysbiosis is one of the risk factor for stroke and cognitive impairment and potential target for treatment. *Pharmacol Res*, 2021. 164: p. 105277.
- Jarmakiewicz-Czaja, S., Sokal, A., and Filip. R., What was first, obesity or inflammatory bowel disease? What does the gut microbiota have to do with it?. *Nutrients*, 2020. 12(10): p. 3073.
- Mendez, R., et al., Lung inflammation and disease: A perspective on microbial homeostasis

- and metabolism. *IUBMB Life*, 2019. 71(2): p. 152-165.
- Hipólito, A., Mendes, C., and Serpa, J., The metabolic remodelling in lung cancer and its putative consequence in therapy response. *Adv Exp Med Biol*, 2020. 1219: p. 311-333.
- Lv, J.C. and Zhang, L.X., Prevalence and disease burden of chronic kidney disease. *Adv Exp Med Biol*, 2019. 1165: p. 3-15.
- Opazo-Ríos L, et al., Lipotoxicity and diabetic nephropathy: Novel mechanistic insights and therapeutic opportunities. *Int J Mol Sci*, 2020. 21(7): p. 2632.
- Voelkl, J., et al., Inflammation: A putative link between phosphate metabolism and cardiovascular disease. *Clin Sci*, 2021. 135(1): p. 201-227.
- Rodrigues, K.F., et al., IL-6, TNF- $\alpha$ , and IL-10 levels/polymorphisms and their association with type 2 diabetes mellitus and obesity in Brazilian individuals. *Arch Endocrinol Metab*, 2017. 61(5): p. 438-446.
- Akbari, M. and Hassan-Zadeh, V., IL-6 signalling pathways and the development of type 2 diabetes. *Inflammopharmacology*, 2018. 26(3): p. 685-698.
- Geurtsen, M.L., et al., Associations between intake of sugar-containing beverages in infancy with liver fat accumulation at school age. *Hepatology*, 2021. 73(2): p. 560-570.
- Musselman, L.P., et al., A high-sugar diet produces obesity and insulin resistance in wild-type *Drosophila*. *Dis Model Mech*, 2011. 4(6): p. 842-849.
- Oliveira, D.T., et al., High-sugar diet leads to obesity and metabolic diseases in ad libitum-fed rats irrespective of caloric intake. *Arch Endocrinol Metab*, 2020. 64(1): p. 71-81.
- Barazzoni, R., et al., Carbohydrates and insulin resistance in clinical nutrition: Recommendations from the ESPEN expert group. *Clin Nutr*, 2017. 36(2): p. 355-363.
- Satokari, R., High intake of sugar and the balance between pro- and anti-inflammatory gut bacteria. *Nutrients*, 2020. 12(5): p. 1348.
- Scheithauer, T.P.M., et al., Gut microbiota as a trigger for metabolic inflammation in obesity and type 2 diabetes. *Front Immunol*, 2020. 11: p. 571731.
- Khan, I., et al., Alteration of Gut Microbiota in inflammatory bowel disease (IBD): Cause or consequence? IBD treatment targeting the gut microbiome. *Pathogens*, 2019. 8(3): p. 126.
- Zhao, S., et al., *Akkermansia muciniphila* improves metabolic profiles by reducing inflammation in chow diet-fed mice. *J Mol Endocrinol*, 2017. 58(1): p. 1-14.
- He, K., et al., Prevalence, risk factors and microorganisms of urinary tract infections in patients with type 2 diabetes mellitus: A retrospective study in China. *Ther Clin Risk Manag*, 2018. 14: p. 403-408.
- Tagi, V.M., Samvelyan, S., and Chiarelli, F., Treatment of Metabolic Syndrome in Children. *Horm Res Paediatr*, 2020. 93(4): p. 215-225.
- Ampuero, J., et al., New therapeutic perspectives in non-alcoholic steatohepatitis. *Gastroenterol Hepatol*, 2018. 41(2): p. 128-142.
- Dewidar, B., et al., Metabolic liver disease in diabetes - From mechanisms to clinical trials.

- Metabolism, 2020. 111: p. 154299.
- Pouwels, S., et al., Obesity surgery and anesthesiology risks: A review of key concepts and related physiology. *Obes Surg*, 2019. 29(8): p. 2670–2677.
- Morley, L.C., et al., Insulin-sensitising drugs (metformin, rosiglitazone, pioglitazone, D-chiro-inositol) for women with polycystic ovary syndrome, oligo amenorrhoea and subfertility. *Cochrane Database Syst Rev*, 2017. 11(11): p. 003053.
- Thethi, T.K., Pratley, R., and Meier, J.J., Efficacy, safety and cardiovascular outcomes of once-daily oral semaglutide in patients with type 2 diabetes: The PIONEER programme. *Diabetes Obes Metab*, 2020. 22(8): p. 1263–1277.
- Scheen, A.J., Dulaglutide for the treatment of type 2 diabetes. *Expert Opin Biol Ther*, 2017. 17(4): p. 485–496.
- DeFronzo, R.A., et al., Pioglitazone: The forgotten, cost-effective cardioprotective drug for type 2 diabetes. *Diab Vasc Dis Res*, 2019. 16(2): p. 133–143.
- Christou, G.A., et al., Semaglutide as a promising antiobesity drug. *Obes Rev*, 2019. 20(6): p. 805–815.
- Tung, Y.T., et al., Edible mushrooms: Novel medicinal agents to combat metabolic syndrome and associated diseases. *Curr Pharm Des*, 2020. 26(39): p. 4970–4981.
- Yao, Y., et al., Cyclocarya paliurus polysaccharides alleviate type 2 diabetic symptoms by modulating gut microbiota and short-chain fatty acids. *Phytomedicine*. 2020. 77: p. 153268.
- Jia, R.B., et al., Physicochemical characterization of *Hizikia fusiforme* polysaccharide and its hypoglycemic activity via mediating insulin-stimulated blood glucose utilization of skeletal muscle in type 2 diabetic rats. *Chem Biodivers*, 2020. 17(10): p. 2000367.
- Kuang, M.T., et al., Structural characterization and hypoglycemic effect via stimulating glucagon-like peptide-1 secretion of two polysaccharides from *Dendrobium officinale*. *Carbohydr Polym*, 2020. 241: p. 116326.
- Liu, M.Y., et al., The fermentation characteristics of *Sparassis crispa* polysaccharides and their effects on the intestinal microbes in mice. *Chem Biol Technol Agric*, 2021. 8(1): p.27.
- Li, T.T., et al., *Spirulina platensis* polysaccharides attenuate lipid and carbohydrate metabolism disorder in high-sucrose and high-fat diet-fed rats in association with intestinal microbiota. *Food Res Int*, 2021. 147: 110530.
- Guo, W., et al., Microalgae polysaccharides ameliorates obesity in association with modulation of lipid metabolism and gut microbiota in high-fat-diet fed C57BL/6 mice. *Int J Biol Macromol*, 2021. 182: p. 1371–1383.
- Liu, Z.Q., et al., Gut microbiota response to sulfated sea cucumber polysaccharides in a differential manner using an in vitro fermentation model. *Food Res Int*, 2021. 148: p. 110562.
- Yuan, Y., et al., *Holothuria Leucospilota* polysaccharides ameliorate hyperlipidemia in high-fat diet-induced rats via short-chain fatty acids production and lipid metabolism

- regulation. *Int J Mol Sci*, 2019. 20(19): p. 4738.
- du Preez, R., et al., Carrageenans from the red seaweed *Sarconema filiforme* attenuate symptoms of diet-induced metabolic syndrome in rats. *Mar Drugs*, 2020. 18(2): p. 97.
- Zhong, Q.W., et al., Characterization and hypoglycemic effects of sulfated polysaccharides derived from brown seaweed *Undaria pinnatifida*. *Food Chem*, 2021. 341(Pt 1): p. 128148.
- Jiang, P., et al., Sulfated polysaccharides from *Undaria pinnatifida* improved high fat diet-induced metabolic syndrome, gut microbiota dysbiosis and inflammation in BALB/c mice. *Int J Biol Macromol*, 2021. 167: p. 1587-1597.
- Fitzgerald, C., et al., Heart health peptides from macroalgae and their potential use in functional foods. *J Agric Food Chem*, 2011. 59(13): p. 6829-6836.
- Cao, J., et al., *Porphyra* Species: A mini-review of its pharmacological and nutritional properties. *J Med Food*, 2016. 19(2): p. 111-119.
- Isaka, S., et al., Antioxidant and anti-inflammatory activities of porphyran isolated from discolored nori (*Porphyra yezoensis*). *Int J Biol Macromol*, 2015. 74: p. 68-75.

[별첨 1]

## 연구개발보고서 초록

|                         |                                                                                           |             |                            |                           |     |
|-------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|----------------------------|---------------------------|-----|
| 프로젝트명                   | (국문) 수입대체용 고기능성 김 종자 개발과 국내외 산업화                                                          |             |                            |                           |     |
|                         | (영문) Development of <i>Porphyra</i> strain with biological activity for commercialization |             |                            |                           |     |
| 프로젝트 연구기관               | 전남대학교산학협력단                                                                                |             | 프로젝트연구 책임자                 | (소속) 전남대학교                |     |
| 참여기업                    |                                                                                           |             |                            | (성명) 최종일                  |     |
| 총연구개발비<br>(2,159,000천원) | 계                                                                                         | 2,159,000천원 | 총 연구 기간                    | 2017.1.1.~2021.12.31.(5년) |     |
|                         | 정부출연<br>연구개발비                                                                             | 2,159,000천원 | 총<br>참<br>여<br>수<br>원<br>수 | 총 인원                      | 109 |
|                         | 기업부담금                                                                                     |             |                            | 내부인원                      | 109 |
|                         | 연구기관부담금                                                                                   |             |                            | 외부인원                      |     |
|                         |                                                                                           |             |                            |                           |     |

- 연구개발 목표 및 성과
- 내수 및 가공수출용 김 종자 개발
  - 육종 원천기술 및 신종자 개발
  - 김의 돌연변이 육종 기술 개발
  - 돌연변이 육종을 통한 고기능성 항산화 종자 개발
  - 돌연변이 항산화 김 유래 유용 유전자원 확보
  - 항산화 김 종자의 현장 양식 평가와 품종 등록
  - 고기능성 김 품종개발용 계통주 확보 및 선발
  - 개발 종자의 시험양식 및 산업화 추진
  - 개발 종자의 시험양식으로 형질특성조사를 실시하고 품종보호권 출원 및 산업화 추진
- 연구내용 및 결과
- 김 돌연변이 육종 기술 활용
    - 다양한 김 돌연변이 종자 개발을 위한 돌연변이원 탐색 및 효과 검증
    - 김 성장 단계 및 돌연변이 원에 따른 우수 돌연변이 탐색
  - 우수 형질 선별 기술 개발
    - 돌연변이 처리에 따른 우수 형질 돌연변이 종자 탐색
    - 세대간 우수 형질의 보존 평가
  - 돌연변이 김 종자의 특성 연구
    - 돌연변이 김의 형태학적 특성 연구
    - 단백질 발현 분석을 통한 항산화 기능성 기작 연구
    - 전사체 분석을 통한 돌연변이 종자의 특성 연구 및 바이오마커 개발
    - 돌연변이 김에서 특이발현 된 유전자 규명
  - 현장 양식 및 신품종 등록
    - 개발된 김의 현장 양식

- 개발 종자 시험양식 및 형질특성조사
- 현장양식을 통해 확인된 우수 종의 신품종 등록
- 향산화 김의 제품화를 위한 가공특성 연구
- 고기능성 김 종자의 대량생산 및 산업화
- 개발종자의 대량 생산 및 산업화
  - 개발 종자의 산업화 형질 특성 분석
  - 종자판매를 위한 수산종자위원회 품목 및 가격 상정
  - 종자위원회 구성 후 예정가격 산정의 예정가격 결정
  - 종묘업체에 통상실시권 처분
  - 개발종자 대량 생산 및 상품화

○ 연구성과 활용실적 및 계획

- 본 세부프로젝트의 연구성과를 활용한 실적으로는 GSP 개발품종이 양식 현장에 보급되면서 김 종자·양식·가공·수출산업 전반을 활성화 시킬 수 있는 기폭제로 작용하였으며, 국내 김 산업 진출에 따른 물김의 품질 및 생산성 향상에 기여하였다. 또한, 최초 2018년 ‘전수2호’ 산업화를 시작으로 최근 4개 품종(전수2호, 수과원112호,-115호,-117호)까지 확대하였으며, 최대 2020년(3품종)에 최대 5,677g(18.92%)이라는 판매실적을 달성하여, 종자(패각사상체)에서 52만상자, 40억원, 물김에서 10만톤, 962억원의 경제적 파급효과에 이르는 것으로 분석된다(2021년 4품종, 2,954g 판매실적). 향후, GSP 종료 이후에도 개발된 품종의 산업화를 통해 김산업의 안정적인 생산 체계 구축, 어업인 소득증대, 개발품종을 활용한 새로운 품종개발 활성화 촉진, 김 수출 산업 성장 등 지속적으로 기여할 것으로 기대된다.

## 자체평가보고서

|          |                             |                              |                   |                         |     |
|----------|-----------------------------|------------------------------|-------------------|-------------------------|-----|
| 사업단명     | GSP 수산종자 사업단                | 과제번호                         | 213008-05-5-CG900 |                         |     |
| 프로젝트명    | 수입대체용 고기능성 김 종자 개발과 국내외 산업화 |                              |                   |                         |     |
| 프로젝트연구기관 | 전남대학교                       |                              |                   |                         |     |
| 연구담당자    | 프로젝트 연구책임자                  | 최종일                          |                   |                         |     |
|          | 세부프로젝트 연구책임자                | 기관(부서)                       | 전남대학교             | 성명                      | 최종일 |
|          |                             | 기관(부서)                       | 국립수산과학원 수산종자육종연구소 | 성명                      | 허진석 |
|          |                             | 기관(부서)                       |                   | 성명                      |     |
| 기관(부서)   |                             | 성명                           |                   |                         |     |
| 연구기간     | 총 기간                        | 2017.1.1. ~ 2021.12.31. (5년) | 당해 연도 기간          | 2021.1.1. ~ 2021.12.31. |     |
| 연구비(천원)  | 총 규모                        | 2,159,000                    | 당해 연도 규모          |                         |     |

1. 연구는 당초계획대로 진행되었는가?

당초계획 이상으로 진행       계획대로 진행       계획대로 진행되지 못함

○ 계획대로 수행되지 않은 원인은?

- 품목 출원 건수는 5건으로 목표를 초과달성하였으며, 등록건수는 4건 목표에서 2건을 품종 등록하였음. 시험양식장의 상황 악화로 등록기간이 연장되어 22년에 등록 예정임.

- 수출액은 개발된 종자들이 국유품종으로 양식어가에 통상실시권 처분이되어 수출액 산정을 위한 자료를 확보하기 어려움. 이에 전체 수출액 중에서 개발된 품종의 비율로 인정을 받을 수 있도록 제도 개선을 요청하였음.

2. 당초 예상했던 성과는 얻었는가?

예상의 성과 얻음       어느 정도 얻음       얻지 못함

| 구분    | 품종개발 |    | 특허 |    | 논문  |      | 분자 마커 | 유전자원 |    | 국내 매출액 | 수입대체율 (%) | 기술 이전 | 종자 수출액  | 인력 양성 |
|-------|------|----|----|----|-----|------|-------|------|----|--------|-----------|-------|---------|-------|
|       | 출원   | 등록 | 출원 | 등록 | SCI | 비SCI |       | 수집   | 등록 |        |           |       |         |       |
| 최종목표  | 4    | 4  | 5  | 6  | 17  | 7    |       | 25   | 25 |        | 13.4      | 17    | 150만 달러 | 3     |
| 연구기간내 | 5    | 2  | 18 | 22 | 36  | 6    |       | 25   | 25 | 7,680  | 28.6      | 17    |         | 9     |

|        |     |    |     |     |     |      |  |     |     |    |     |     |  |     |
|--------|-----|----|-----|-----|-----|------|--|-----|-----|----|-----|-----|--|-----|
| 달성실적   |     |    |     |     |     |      |  |     |     | 만원 |     |     |  |     |
| 달성율(%) | 125 | 50 | 360 | 366 | 211 | 85.7 |  | 100 | 100 |    | 213 | 100 |  | 300 |

### 3. 연구개발 성과 세부 내용

#### 3-1 기술적 성과

- 김의 신종자개발의 생명공학 원천기술이 확보
- 우수 돌연변이 김의 선별 시스템 구축
- 미역, 다시마 등의 해조류 신종자 개발 원천 기술 구축
- 고기능성 김 종자 개발로 종자주권 확보 및 종자경쟁 우위 선점
- 김 생물 다양성 보전 및 육종원천 소재(유전자원) 확보
- 유용 유전자원 확보·보존·관리·활용으로 종자개발 원천기술 확립

#### 3-2 과학적 성과

- 김 생물 다양성 보전 및 육종원천 소재 확보
- 돌연변이 육종기술의 선진화를 통한 돌연변이 생물 유전자원은행 기반 구축
- 선발 및 돌연변이 육종법을 적용한 고기능성(고품질·고생산성) 김 우량종자 개발
  - 개발된 신품종은 품종보호권 통상실시를 통해 생산성 및 품질 검증
    - \* 전수2호 : 선발육종을 통해 개발된 품종으로 광엽형이며 생장이 우수하여, 선호도가 높음
    - \*\* 수과원112호 : 선발육종을 통해 개발된 품종으로 세엽형이며 초기 생장이 빠름
    - \*\*\* 수과원115호 : 돌연변이육종을 통해 개발된 품종으로 선형이며 초기 생장이 빠름
    - \*\*\*\* 수과원117호 : 선발육종을 통해 개발된 품종으로 광엽형이며 초기 생장이 빠름
    - \*\*\*\*\* 수과원118호 : 선발육종을 통해 개발된 품종으로 광엽형이며 초기 생장이 빠름

#### 3-3 경제적 성과

- 우량 국산 종자 개발 지원으로 로열티 절감 및 수입 기대
- 고품질의 김 제품 개발 기반 구축으로 내수 및 수출 증대
- 고부가가치 신종자 개발 및 산업화로 김 산업 활성화
- GSP 개발품종의 통상실시권 처분을 통해 국내 산업화 추진

#### 3-4 사회적 성과

- 김 종묘 산업 및 김 양식 산업 활성화
- 해조류 돌연변이 육종 기반기술 개발과 돌연변이 유래 유용 유전자원 확보를 통하여 국민 삶의 질 향상 및 관련 산업의 선진화 달성
- 신종자 개발로 인한 수산분야 수출 정책 개발 및 추진에 우위를 차지
- 김 종자생산업체(패각사상체) 대상 보급 실시
  - 2018년 : 1품종(전수2호) 545g, 3,542,500원, 종자소요량의 1.82% 추정
  - 2019년 : 2품종(전수2호, 수과원112호) 1,133g, 10,976,000원, 종자소요량의 3.78% 추정
  - 2020년 : 3품종(전수2호, 수과원112호, -115호) 5,677g, 64,084,800원, 종자소요량의 18.92% 추정
  - 2021년 : 4품종(전수2호, 수과원112호, -115호, -117호) 2,954g, 44,452,800원, 종자소요량의 9.85% 추정

#### 3-5 인프라 성과





나. 연구 성과가 기업의 시장성 및 경제성에 도움이 되었는가?

- 충분                       보통                       불충분

3. 연구개발 계속참여여부 및 향후 추진계획은?

가. 연구수행과정은 기업의 요청을 충분히 반영하였는가?

- 충분                       보통                       불충분

나. 향후 계속 참여 의사는? (※중간·단계평가에 한함)

- 충분                       고려 중                       중단

다. 계속 참여 혹은 고려중인 경우 연구개발비의 투자규모(전년도 대비)는? (※중간·단계평가에 한함)

- 확대                       동일                       축소

4. 연구개발결과의 상품화(기업화) 여부는?

- 즉시 기업화 가능     수년 내 기업화 가능     기업화 불가능

5. 기업화가 불가능한 경우 그 이유는?

| 구 분      | 소 속 기 관 | 직 위 | 성 명     |
|----------|---------|-----|---------|
| 프로젝트 책임자 | 전남대학교   | 교수  | 최종일 (인) |



| 당초목표                     | 당초연구목표 대비 연구결과                                                                                                                                                                                                                   |
|--------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ① 우수 돌연변이 김의 항산화 활성 평가   | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 선발된 우수돌연변이 김의 항산화 활성 평가</li> <li>▪ 우수돌연변이 김의 항산화 기작 연구</li> <li>▪ 실험실 환경에서 신규 항산화능 향상 김 선발</li> </ul>                                                                                   |
| ② 우수 돌연변이 김의 유전학적 특성 연구  | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 선발된 우수돌연변이 김의 현장 평가</li> <li>▪ 돌연변이 김의 형태적 유전학적 특성 연구</li> <li>▪ 김 유래 기능성 다당류의 생리학적 활성 연구</li> </ul>                                                                                    |
| ③ 다당류 기능성 평가             | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 추출된 다당류의 항산화, 항암 활성 평가</li> </ul>                                                                                                                                                       |
| ④ 김 계통주 확보 : 총 25계통주     | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 김 계통주 확보 : 총 25 계통주</li> <li>- 방사무늬김 19, 모무늬돌김 2, 잇바디돌김 3, 참김 1</li> </ul>                                                                                                              |
| ⑤ 종자개발 대상 후보군 선발 : 8 계통주 | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 종자 개발 대상 후보군 선발 : 방사무늬김 8 계통주</li> <li>- 선발 업체 형질 특성 : 고온내성, 고생산성, 광온내성, 저온내성 등</li> </ul>                                                                                              |
| ⑥ 품종보호권 출원 및 등록          | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 품종보호권 출원 5건</li> <li>• 품종보호권 등록 1건</li> </ul>                                                                                                                                           |
| ⑦ 개발 품종의 산업화             | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 2018년 국내 판매 1품종 540g, 3,510,000원</li> <li>• 2019년 국내 판매 2품종 1,003g, 9,936,000원</li> <li>• 2020년 국내 판매 3품종 5,617g, 63,356,800원</li> <li>• 2021년 국내 판매 4품종 2,954g, 44,452,800원</li> </ul> |

\* 결과에 대한 의견 첨부 가능

### 3. 연구비 집행실적 (2017~2021)

2017년

| 구분 | 금액                            |  | 계획금액       | 사용액        | 잔액 | 비고 |
|----|-------------------------------|--|------------|------------|----|----|
|    | 세부프로젝트명                       |  |            |            |    |    |
| 김  | 김 1(세부프로젝트명)                  |  | 340,000천 원 | 340,000천 원 | 0  |    |
|    | 김2 2( 기능성 김 계통주 선발 및 시험양식 연구) |  | 200,000천 원 | 200,000천 원 | 0  |    |
|    | :                             |  |            |            |    |    |
| 총계 |                               |  | 540,000천 원 | 540,000천 원 |    |    |

2018년

| 구분 | 세부프로젝트명                       | 금액 | 계획금액       | 사용액        | 잔액 | 비고 |
|----|-------------------------------|----|------------|------------|----|----|
| 김  | 김 1(세부프로젝트명)                  |    | 340,000천 원 | 340,000천 원 | 0  |    |
|    | 김2 2( 기능성 김 계통주 선발 및 시험양식 연구) |    | 200,000천 원 | 200,000천 원 | 0  |    |
|    | :                             |    |            |            |    |    |
| 총계 |                               |    | 540,000천 원 | 540,000천 원 |    |    |

2019년

| 구분 | 세부프로젝트명                       | 금액 | 계획금액       | 사용액        | 잔액 | 비고 |
|----|-------------------------------|----|------------|------------|----|----|
| 김  | 김 1(세부프로젝트명)                  |    | 289,000천 원 | 289,000천 원 | 0  |    |
|    | 김2 2( 기능성 김 계통주 선발 및 시험양식 연구) |    | 170,000천 원 | 170,000천 원 | 0  |    |
|    | :                             |    |            |            |    |    |
| 총계 |                               |    | 459,000천 원 | 459,000천 원 |    |    |

2020년

| 구분 | 세부프로젝트명                       | 금액 | 계획금액       | 사용액        | 잔액 | 비고 |
|----|-------------------------------|----|------------|------------|----|----|
| 김  | 김 1(세부프로젝트명)                  |    | 160,000천 원 | 160,000천 원 | 0  |    |
|    | 김2 2( 기능성 김 계통주 선발 및 시험양식 연구) |    | 150,000천 원 | 150,000천 원 | 0  |    |
|    | :                             |    |            |            |    |    |
| 총계 |                               |    | 310,000천 원 | 310,000천 원 |    |    |

2021년

| 구분 | 세부프로젝트명                       | 금액 | 계획금액       | 사용액        | 잔액 | 비고 |
|----|-------------------------------|----|------------|------------|----|----|
| 김  | 김 1(세부프로젝트명)                  |    | 160,000천 원 | 160,000천 원 | 0  |    |
|    | 김2 2( 기능성 김 계통주 선발 및 시험양식 연구) |    | 150,000천 원 | 150,000천 원 | 0  |    |
|    | :                             |    |            |            |    |    |
| 총계 |                               |    | 310,000천 원 | 310,000천 원 |    |    |

#### 4. 연구목표 대비 성과

| 구분       | 품종개발   |        | 특허     |        | 논문  |      | 분<br>자<br>마<br>커 | 유전자원   |        | 국내<br>매출액   | 종자<br>수출액  | 기술<br>이전 | 수입대<br>채율<br>(%) | 인력<br>양성 |
|----------|--------|--------|--------|--------|-----|------|------------------|--------|--------|-------------|------------|----------|------------------|----------|
|          | 출<br>원 | 등<br>록 | 출<br>원 | 등<br>록 | SCI | 비SCI |                  | 수<br>집 | 등<br>록 |             |            |          |                  |          |
| 최종목표     | 4      | 4      | 5      | 6      | 17  | 7    |                  | 25     | 25     |             | 150만<br>달러 | 17       | 13.4             | 3        |
| 최종실적     | 5      | 2      | 18     | 22     | 36  | 6    |                  | 25     | 25     | 7,680<br>만원 | 0          | 17       | 28.6             | 9        |
| 달성율(%)   | 125    | 50     | 360    | 366    | 211 | 85.7 |                  | 100    | 100    |             | 0          | 100      | 213              | 300      |
| 1차<br>년도 | 목표     | 1      | 1      | 2      | 1   | 4    | 1                |        |        |             |            |          |                  | 1        |
|          | 실적     | 1      | 1      | 3      | 2   | 10   | 1                |        |        |             |            |          |                  | 3        |
|          | 달성률    | 100    | 100    | 150    | 200 | 250  | 100              |        |        |             |            |          |                  | 100      |
| 2차<br>년도 | 목표     | 1      |        | 1      |     | 4    | 2                |        |        |             |            | 0        |                  | 1        |
|          | 실적     | 1      |        | 3      | 7   | 9    | 2                |        |        | 351         |            | 11       | 1.2              | 2        |
|          | 달성률    | 100    |        | 300    |     | 225  | 100              |        |        |             |            | 1100     |                  | 200      |
| 3차<br>년도 | 목표     | 1      |        | 1      | 2   | 3    | 1                |        |        |             | 1만<br>달러   | 2        | 1                | 1        |
|          | 실적     | 1      |        | 4      | 3   | 6    | 0                |        |        | 993         | 0          | 2        | 2.3              | 1        |
|          | 달성률    | 100    |        | 400    | 150 | 200  | 100              |        |        |             | 0          | 100      | 230              | 100      |
| 4차<br>년도 | 목표     | 1      | 1      |        | 1   | 3    | 2                |        |        |             | 10만<br>달러  | 2        | 5                | 0        |
|          | 실적     | 1      | 0      | 7      | 8   | 7    | 3                |        |        | 6,336       | 0          | 2        | 15.1             | 3        |
|          | 달성률    | 100    | 0      | 700    | 800 | 233  | 150              |        |        |             | 0          | 100      | 302              | 300      |
| 5차<br>년도 | 목표     |        | 2      | 1      | 2   | 3    | 1                |        |        |             | 139만<br>달러 |          | 7.4              |          |
|          | 실적     | 1      | 1      | 1      | 2   | 4    | 0                |        |        |             | 0          |          | 10               |          |
|          | 달성률    | 100    | 50     | 100    | 100 | 133  | 0                |        |        |             | 0          |          | 135              |          |

#### 5. 핵심기술

| 구분 | 핵심기술 명                                  |
|----|-----------------------------------------|
| ①  | 김 종자의 돌연변이 육종 기술                        |
| ②  | 항산화능 우수 종자 선별 기술                        |
| ③  | 김 유래 기능성 성분 평가                          |
| ④  | 육종기술을 활용하여 우량계통주 선발 및 우량품종 개발(순계사상체 유도) |
| ⑤  | 개발 품종의 안정적인 산업화를 위한 종자 생산               |

6. 연구결과별 기술적 수준

| 구분    | 핵심기술 수준 |       |         |            |            | 기술의 활용유형(복수표기 가능) |             |         |       |    |
|-------|---------|-------|---------|------------|------------|-------------------|-------------|---------|-------|----|
|       | 세계 최초   | 국내 최초 | 외국기술 복제 | 외국기술 소화·흡수 | 외국기술 개선·개량 | 특허 출원             | 산업체이전 (상품화) | 현장애로 해결 | 정책 자료 | 기타 |
| ①의 기술 |         | √     |         |            |            | √                 |             |         |       |    |
| ②의 기술 |         | √     |         |            |            | √                 |             | √       |       |    |
| ③의 기술 |         | √     |         |            |            | √                 |             |         |       |    |
| ④의 기술 |         |       |         |            | √          |                   |             | √       |       |    |
| ⑤의 기술 |         |       |         |            | √          |                   |             | √       |       |    |

\* 각 해당란에 v 표시

7. 각 연구결과별 구체적 활용계획

| 핵심기술 명 | 핵심기술별 연구결과활용계획 및 기대효과                                                                                                                                                                                                               |
|--------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ①의 기술  | -국내 최초로 돌연변이 방법을 이용하여 다양한 종자를 개발함.이를 통해 다양한 김 종자의 개발이 가능하게되어 김 양식어가 및 국내 김 시장에도 경제적으로 큰 이익이 될 것으로 사료됨.                                                                                                                              |
| ②의 기술  | -고부가가치를 가질 수 있는 향상화능이 우수한 김 종자를 개발하여 김 양식어가 뿐만 아니라 가공 김 생산에 높은 경제적 가치를 부가할 것으로 사료됨                                                                                                                                                  |
| ③의 기술  | -개발된 기능성 김 종자로부터 추출한 성분들의 유용성과 기능성을 평가하여 개발 종자의 보급 및 고부가가치화에 기여할 것으로 기대됨                                                                                                                                                            |
| ④의 기술  | -야외의 유용계통주를 선발하여 육종기술(선발, 교잡, 돌연변이 등)을 활용하여 원하는 형질을 가진 우량계통주를 선발하여, 품종개발을 위한 순계(Pure-line)유도를 통해 형질이 안정적으로 나타나도록 고정하여 우량품종을 개발함으로써, 현장에 적용하였을 때 안정적인 생산으로 어업인 소득증대 및 김 산업 발전에 기여 가능함. 또한, 개발된 품종을 대상으로 육종소재로서 지속적인 활용이 가능할 것으로 판단됨. |
| ⑤의 기술  | -2018년 처음 '전수2호'의 산업화를 시작으로 4년간 종자 분양을 추진하고 있으며, 안정적인 종자의 생산 및 분양 시 애로사항 등을 해결하기 위한 기초연구를 통해 안정적인 산업화가 가능하며, 향후 어업인 교육 자료 등으로 활용이 가능할 것으로 판단됨.                                                                                      |

8. 연구종류 후 성과창출 계획

| 구분 | 품종개발 |    | 특허 |    | 논문  |      | 분자마 | 유전자원 |    | 국내 매출액 | 종자 수출액 | 기술 이전 | 마케팅 전략 수립 보고서 | 인력 양성 |
|----|------|----|----|----|-----|------|-----|------|----|--------|--------|-------|---------------|-------|
|    | 출원   | 등록 | 출원 | 등록 | SCI | 비SCI |     | 수집   | 등록 |        |        |       |               |       |
|    |      |    |    |    |     |      |     |      |    |        |        |       |               |       |



## 주 의

1. 이 보고서는 농림축산식품부, 해양수산부에서 시행한 Golden Seed 프로젝트 사업 연구개발과제 최종보고서이다.
2. 이 연구개발내용을 대외적으로 발표할 때에는 반드시 농림축산식품부, 해양수산부(농림식품기술기획평가원)에서 시행한 Golden Seed 프로젝트 사업의 결과임을 밝혀야 한다.
3. 국가과학기술 기밀 유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안 된다.