

213007
-05-5
-CGH00

품종보호 · 수입대체용
표고
신품종
개발
및
국산
품종
보급

2022

농림축산식품부 · 산림청

농림식품기술기획평가원

보안 과제(), 일반 과제(O) / 공개(O), 비공개() 발간등록번호(O)

Golden Seed 프로젝트사업 2단계 최종보고서

발간등록번호

11-1543000-003946-01

품종보호·수입대체용 표고 신품종 개발 및 국산 품종 보급

2022. 3. 25.

프로젝트연구개발기관 / 국립산림과학원
세부프로젝트연구개발기관 / 국립산림과학원
세부프로젝트연구개발기관 / 충북대학교
세부프로젝트연구개발기관 / 산림버섯연구소
(전 산림버섯연구센터)

농림축산식품부 · 산림청
(전문기관) 농림식품기술기획평가원

제 출 문

농림축산식품부 장관, 산림청장 귀하

본 보고서를 “품종보호·수입대체용 표고 신품종 개발 및 국산 품종 보급”
(개발기간 : 2017. 01. ~ 2021. 12.)과제의 최종보고서로 제출합니다.

2022. 3. 25.

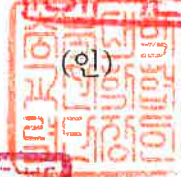
프로젝트연구개발기관명 : 국립산림과학원장



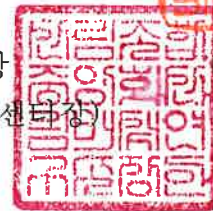
세부프로젝트연구개발기관명 : 국립산림과학원장



세부프로젝트연구개발기관명 : 충북대학교 산학협력단장



세부프로젝트연구개발기관명 : 산림버섯연구소장
(전 산림버섯연구센터장)



참여기업명 : 청흥버섯영농조합법인 대표



프로젝트연구책임자 : 가강현

세부프로젝트연구책임자 : 가강현

세부프로젝트연구책임자 : 류호진

세부프로젝트연구책임자 : 최선규

참여기업책임자 : 정의용

국가연구개발혁신법 시행령 제33조에 따라 보고서 열람에 동의합니다.

보고서 요약서

과제고유번호	213007-05-5 -CGH00	해당단계 연구기간	2017~2021	단계구분	2/2
연구사업명	단위사업	Golden Seed 프로젝트사업			
	사업명	GSP원예종자사업단			
프로젝트명	프로젝트명	품종보호·수입대체용 표고 신품종 개발 및 국산 품종 보급			
	세부프로젝트명	품종보호·수입대체용 표고 신품종 개발과 시험포 운영			
		품종보호·수입대체용 표고 신품종 개발을 위한 분자마커			
		품종보호·수입대체용 품종의 현장 적응성 시험 및 국산 품종 보급			
프로젝트책임자	가강현	해당단계 참여연구원 수	총: 256명 내부: 256명 외부: 0명	해당단계 연구개발비	정부: 4,800,000천원 민간: 500,000천원 계: 5,300,000천원
		총 연구기간 참여연구원 수	총: 415명 내부: 411명 외부: 4명	총 연구개발비	정부: 7,795,000천원 민간: 1,249,750천원 계: 9,044,750천원
연구기관명 및 소속부서명	국립산림과학원 산림생명자원연구부 산림미생물연구과 충북대학교 자연과학대학 산림버섯연구소(전 산림버섯연구센터)			참여기업명 청홍버섯영농조합법인	
국제공동연구	상대국명:			상대국 연구기관명:	
위탁연구	연구기관명: 경상대학교 자연과학대학 장홍군버섯산업연구원 단국대학교 과학기술대학			연구책임자: 노현수 반승언 김성환	
※ 국내외의 기술개발 현황은 연구개발계획서에 기재한 내용으로 같음					
연구개발성과의 보안등급 및 사유	보안등급: 일반				

9대 성과 등록·기탁번호

구분	논문	특허	보고서 원문	연구시 설·장비	기술요 약 정보	소프트 웨어	화합물	생명자원		신품종	
								생명 정보	생물 자원	정보	실물
등록·기탁 번호		출원번호 10-2016-0125770 10-2016-0125769 10-2016-0125771 10-2016-0125768 10-2017-0024230 10-2017-0024231 10-2018-0032257 10-2019-0026213 10-2020-0066501 10-2020-0187199 10-2021-039724 10-021-0047781 10-2021-0107819 등록번호 10-1790770 10-1790769 10-1790771 10-1905980 10-1834565 10-190637 10-1997679 10-2121145 10-2299594						NIFoS 3982 3983 3984 3985 3986 3987 3988 3989 3990 3991 3992 4300 4367 4368 4369 4370 4371 4961 4962 4963 4964 4965 4966 5241 5242 5243 5244 5245 5246 5247 5248 5249 5250 6063 6067 6083 6091 6092		등록 제189호 제199호 제225호 제254호 출원 2017-45 2018-43 2019-31 2019-36 2020-34 제3319 2021-48	

국가과학기술종합정보시스템에 등록된 연구시설·장비 현황

구입기관	연구시설·장 비명	규격 (모델명)	수량	구입연월일	구입가격 (천원)	구입처 (전화)	비고 (설치장소)	NTIS 등록번호

<p>요약(연구개발성과를 중심으로 개조식으로 작성하되, 500자 이내로 작성합니다)</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 표고 유전자원 수집 및 우수형질 조사 <ul style="list-style-type: none"> - 국내 유전자원 38개 균주 등록 - 야생표고 및 출원품종에서 바이러스 감염조사 및 제거 2. 표고 신품종 개발용 우수균주 육성 <ul style="list-style-type: none"> - 모균주 산백향 등 67개 균주로부터 단포자 균주 분리 1375개 - 톱밥재배용 교배균주 592개 육성 및 재배유형별(상면·전면개봉) 특성조사 - 원목재배용 교배균주 658개 육성 및 원목(2,479개) 재배특성 조사 3. 표고의 기능성 분석 <ul style="list-style-type: none"> - 항산화 활성, 에르고티오네인 함량 분석 및 우수균주 선발 4. 품종보호·수입대체용 표고 신품종 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 밤빛향, 산장향, 산산향, 만추향, 태향고, 산호향 등 6품종 국내출원 - 산조710호 일본출원 5. 표고 품종 구분 및 형질 관련 분자마커 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 표고 품종 구분 CAPS 분자마커 (5건) 및 HRM 분자마커 (1건) 개발 - 표고 군사 미갈변 형질 (ABL) 구분 분자 마커 개발 (1건) - 고온/저온형 구분 CAPS 분자 마커 개발 (1건) - 미토콘드리아형 구분 분자마커 개발 6. 현장적응성 시험 <ul style="list-style-type: none"> - 원목재배 18개 임가, 톱밥재배 41개 임가 실증시험 7. 연구성과 학술발표 <ul style="list-style-type: none"> - 논문39건(SCI 14건, 비SCI 25건), 학술대회 49건(국제21건, 국내28건) 8. 민간기업으로 기술이전(통상실시) 계약 : 65건 	<p>보고서 면수 220</p>
--	-----------------------

<요약문>

<p align="center">연구의 목적 및 내용</p>	<p>본 과제에서는 표고 중간산업의 국제적인 경쟁력을 강화하기 위해 품종보호·수입대체용 표고 신품종 개발, 육종기간 단축을 위한 분자마커 개발, 국산 품종의 현장 적응성 시험을 통한 보급을 목표로 연구를 추진하였다.</p>																																																																																																																																																																																																																																											
<p align="center">연구개발성과</p>	<p>본 과제는 표고버섯의 신품종 출원 7건, 특허출원 9건, 논문 39건(SCI 14, 비SCI 25), 유전자원 등록 38건, 기술이전 65건, 국내매출액 651백만원, 홍보 177건, 인력양성 14명 등의 성과를 얻었다.</p> <p align="center"><표> 골든시드 프로젝트 2단계의 연구목표와 연구성과</p> <table border="1" data-bbox="459 712 1426 1406"> <thead> <tr> <th rowspan="2">성과목표</th> <th colspan="2">품종개발</th> <th colspan="2">특허</th> <th colspan="2">논문</th> <th rowspan="2">유전자원수집</th> <th rowspan="2">유전자원등록</th> <th rowspan="2">기술이전</th> <th rowspan="2">국내매출액(백만원)</th> <th rowspan="2">인문매체홍보</th> <th rowspan="2">품평회</th> <th rowspan="2">인력양성</th> <th rowspan="2">시험포</th> </tr> <tr> <th>출원</th> <th>등록</th> <th>출원</th> <th>등록</th> <th>SCI</th> <th>비SCI</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">1차년도</td> <td>목표</td> <td>1</td> <td></td> <td>1</td> <td></td> <td>2</td> <td>1</td> <td>5</td> <td>5</td> <td>1</td> <td>74</td> <td></td> <td>2</td> <td></td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>실적</td> <td>1</td> <td></td> <td>2</td> <td>3</td> <td>2</td> <td>4</td> <td>11</td> <td>11</td> <td>13</td> <td>117</td> <td>54</td> <td>6</td> <td>2</td> <td>12</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">2차년도</td> <td>목표</td> <td>1</td> <td>1</td> <td></td> <td>1</td> <td>3</td> <td>3</td> <td>5</td> <td>5</td> <td>1</td> <td>76</td> <td></td> <td>2</td> <td></td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>실적</td> <td>1</td> <td>0</td> <td>1</td> <td>3</td> <td>3</td> <td>7</td> <td>6</td> <td>6</td> <td>32</td> <td>129</td> <td>22</td> <td>9</td> <td>2</td> <td>12</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">3차년도</td> <td>목표</td> <td>2</td> <td>1</td> <td>1</td> <td></td> <td>3</td> <td>3</td> <td>5</td> <td>5</td> <td>2</td> <td>78</td> <td></td> <td>2</td> <td></td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>실적</td> <td>2</td> <td>2</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>3</td> <td>2</td> <td>6</td> <td>6</td> <td>5</td> <td>130</td> <td>46</td> <td>3</td> <td>4</td> <td>8</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">4차년도</td> <td>목표</td> <td>1</td> <td>2</td> <td></td> <td>1</td> <td>3</td> <td>3</td> <td>5</td> <td>5</td> <td>2</td> <td>80</td> <td></td> <td>2</td> <td></td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>실적</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>4</td> <td>4</td> <td>10</td> <td>10</td> <td>9</td> <td>135</td> <td>21</td> <td>5</td> <td>3</td> <td>8</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">5차년도</td> <td>목표</td> <td>1</td> <td>2</td> <td>1</td> <td></td> <td>3</td> <td>3</td> <td>5</td> <td>5</td> <td>2</td> <td>82</td> <td></td> <td>2</td> <td></td> <td>14</td> </tr> <tr> <td>실적</td> <td>2</td> <td>1</td> <td>4</td> <td>1</td> <td>2</td> <td>8</td> <td>5</td> <td>5</td> <td>6</td> <td>140</td> <td>34</td> <td>11</td> <td>3</td> <td>19</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">계</td> <td>목표</td> <td>6</td> <td>6</td> <td>3</td> <td>2</td> <td>14</td> <td>13</td> <td>25</td> <td>25</td> <td>8</td> <td>390</td> <td></td> <td>10</td> <td></td> <td>22</td> </tr> <tr> <td>실적</td> <td>7</td> <td>4</td> <td>9</td> <td>9</td> <td>14</td> <td>25</td> <td>38</td> <td>38</td> <td>65</td> <td>651</td> <td>177</td> <td>34</td> <td>14</td> <td>59</td> </tr> <tr> <td>달성율(%)</td> <td>117</td> <td>67</td> <td>300</td> <td>450</td> <td>100</td> <td>192</td> <td>152</td> <td>152</td> <td>813</td> <td>380</td> <td></td> <td>340</td> <td></td> <td>268</td> </tr> </tbody> </table>														성과목표	품종개발		특허		논문		유전자원수집	유전자원등록	기술이전	국내매출액(백만원)	인문매체홍보	품평회	인력양성	시험포	출원	등록	출원	등록	SCI	비SCI	1차년도	목표	1		1		2	1	5	5	1	74		2		2	실적	1		2	3	2	4	11	11	13	117	54	6	2	12	2차년도	목표	1	1		1	3	3	5	5	1	76		2		2	실적	1	0	1	3	3	7	6	6	32	129	22	9	2	12	3차년도	목표	2	1	1		3	3	5	5	2	78		2		2	실적	2	2	1	1	3	2	6	6	5	130	46	3	4	8	4차년도	목표	1	2		1	3	3	5	5	2	80		2		2	실적	1	1	1	1	4	4	10	10	9	135	21	5	3	8	5차년도	목표	1	2	1		3	3	5	5	2	82		2		14	실적	2	1	4	1	2	8	5	5	6	140	34	11	3	19	계	목표	6	6	3	2	14	13	25	25	8	390		10		22	실적	7	4	9	9	14	25	38	38	65	651	177	34	14	59	달성율(%)	117	67	300	450	100	192	152	152	813	380		340		268
성과목표	품종개발		특허		논문		유전자원수집	유전자원등록	기술이전	국내매출액(백만원)	인문매체홍보	품평회	인력양성	시험포																																																																																																																																																																																																																														
	출원	등록	출원	등록	SCI	비SCI																																																																																																																																																																																																																																						
1차년도	목표	1		1		2	1	5	5	1	74		2		2																																																																																																																																																																																																																													
	실적	1		2	3	2	4	11	11	13	117	54	6	2	12																																																																																																																																																																																																																													
2차년도	목표	1	1		1	3	3	5	5	1	76		2		2																																																																																																																																																																																																																													
	실적	1	0	1	3	3	7	6	6	32	129	22	9	2	12																																																																																																																																																																																																																													
3차년도	목표	2	1	1		3	3	5	5	2	78		2		2																																																																																																																																																																																																																													
	실적	2	2	1	1	3	2	6	6	5	130	46	3	4	8																																																																																																																																																																																																																													
4차년도	목표	1	2		1	3	3	5	5	2	80		2		2																																																																																																																																																																																																																													
	실적	1	1	1	1	4	4	10	10	9	135	21	5	3	8																																																																																																																																																																																																																													
5차년도	목표	1	2	1		3	3	5	5	2	82		2		14																																																																																																																																																																																																																													
	실적	2	1	4	1	2	8	5	5	6	140	34	11	3	19																																																																																																																																																																																																																													
계	목표	6	6	3	2	14	13	25	25	8	390		10		22																																																																																																																																																																																																																													
	실적	7	4	9	9	14	25	38	38	65	651	177	34	14	59																																																																																																																																																																																																																													
	달성율(%)	117	67	300	450	100	192	152	152	813	380		340		268																																																																																																																																																																																																																													
<p align="center">연구개발성과의 활용계획 (기대효과)</p>	<ul style="list-style-type: none"> - 표고 우수균주의 안정적인 장기보존을 통해 육종자원으로 활용 - 우수균주의 재배시험을 통해 신품종 출원 및 통상실시 - 국내 개발 표고 품종의 종자 주권 확보를 위한 과학적 근거 제시 - 개발된 분자마커 적용을 통한 표고 품종 육종기간 단축 - 출원품종 대량생산체제 구축 및 설명회를 통한 국산 품종 보급 확대 																																																																																																																																																																																																																																											
<p>국문핵심어 (5개 이내)</p>	표고	신품종	시험포	분자마커	자금률																																																																																																																																																																																																																																							
<p>영문핵심어 (5개 이내)</p>	<i>Lentinula edodes</i>	New cultivar	Test bed	Molecular marker	Self-sufficiency																																																																																																																																																																																																																																							

〈 목 차 〉

1. 연구개발과제의 개요	7
1-1. 연구개발의 목적	7
1-2. 연구개발의 필요성	7
1-3. 연구개발의 범위	13
2. 연구수행 내용 및 결과	21
2-1. 품종보호 수입대체용 표고 신품종 개발과 시험포 운영	21
2-2. 품종보호 수입대체용 표고 신품종 개발을 위한 분자마커	112
2-3. 품종보호 수입대체용 품종의 현장 적응성 시험 및 국산 품종 보급	147
3. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도	195
3-1. 연구개발의 목표	195
3-2. 목표 달성여부	195
4. 연구결과의 활용 계획 등	198
4-1. 실용화 산업화 계획	198
4-2. 교육·지도·홍보 등 기술확산 계획 등	198
4-3. 특허, 품종, 논문 등 지식재산권 확보계획 등	199
4-4. 추가연구, 타 연구에 활용 계획 등	199
붙임. 참고 문헌	200

<별첨 1> 연구개발보고서 초록

<별첨 2> 자체평가의견서

<별첨 3> 연구성과 활용계획서

제1장 연구개발과제의 개요

제1절 연구개발의 목적

본 과제에서는 표고 중간산업의 국제적인 경쟁력을 강화하기 위해 품종보호·수입대체용 표고버섯 신품종 출원 6건, 등록 6건, 특허 출원 3건, 등록 2건, SCI논문 14건, 비SCI논문 13건, 분자마커 개발 5건, 유전자원 수집, 등록 각각 25건, 국내 매출액 390백만원을 목표하였으며, 최종적으로 중간 자급률 70% 달성을 목표로 추진하였다.

제2절 연구개발의 필요성

1. 국내 표고버섯의 재배현황

표고버섯은 본초강목, 동의보감에 기록되어 약용적 가치를 오래전부터 인정받아왔고, 우리의 식생활과도 밀접한 관계를 맺어왔다. 또한, 조선시대에는 남해안 지역 중심으로 지역특산물로서 나라에 진상하는 공물로 여길 만큼 귀한 임산물이었다. 1960년대 이후 대표적인 임업인 소득 품목으로서 표고버섯의 생산지역은 국내 전 지역으로 확대되었다. 표고버섯의 소비량이 증가함에 따라 원목재배를 통한 생산에서 연중대량 생산이 가능한 톱밥재배를 통한 재배량도 점차 늘어났다. 2020년 농림어업총조사에서 표고버섯 재배농가는 2015년 3.7천명에서 2020년 3.3천명으로 -0.4% 감소하였다. 그러나 2020년 조사에서는 표 1-1과 같이 세부적인 조사 내용이 없어 2015년 자료를 그대로 사용하였다.

표 1-1. 전국 표고버섯 재배(임가) 현황

	원목재배				톱밥재배	
	노지재배		시설재배		시설재배	
	임가(가구)	본수(본)	임가(가구)	본수(본)	임가(가구)	본수(본)
지역	1,867	16,814,678	1,897	22,340,023	748	21,057,644
서울	8	62,280	5	17,150	4	17,325
부산	13	46,335	4	12,550	5	171,732
대구	18	23,822	12	127,654	9	96,705
인천	18	39,394	7	43,923	3	32,643
광주	8	10,225	7	31,570	4	34,280
대전	16	40,805	23	88,192	13	141,515
울산	20	19,514	5	7,760	-	-
세종	9	35,274	11	56,544	1	25,000
경기	114	624,772	140	2,205,052	105	2,405,417
강원	146	370,704	71	516,926	51	843,851
충북	117	1,087,350	131	1,621,972	122	4,813,911
충남	283	2,721,951	583	7,556,860	115	4,512,388
전북	170	1,091,268	157	1,543,696	106	2,612,319
전남	410	6,662,485	248	2,946,517	69	1,533,976
경북	248	2,316,515	351	4,501,986	71	1,715,634
경남	243	1,308,338	131	928,871	56	1,562,028
제주	26	353,646	11	132,800	14	538,920

(2015년 12월 기준, 농림어업총조사, 통계청)

2. 국내 표고버섯의 생산현황

표고버섯 생산 주산지는 1960년대 제주도 및 남부지역이었다가 1990년대 장흥 지역 일대로 2000년대에는 위의 지역을 포함하여 부여 지역일대로 확대되었다. 그 후 2010년대에 건표고 주산지는 장흥, 청양, 거제, 함안, 문경, 천안 등 이었고, 생표고 주산지는 부여, 청양, 천안, 청원, 공주, 서천 등이었다. 시대에 따라 기후변화에 따라 주산지가 변천되어 가는 것을 알 수 있다.

표 1-2. 국내 지역별 표고버섯 주요 생산 현황

	건표고		생표고	
	생산량(kg)	생산액(천원)	생산량(kg)	생산액(천원)
2019년	965,074	33,373,593	19,241,897	168,458,639
2020년	920,920	32,568,406	17,547,110	162,198,596
부산	487	10,659	14,832	139,221
대구	150	5,676	39,398	225,157
인천	755	45,153	36,659	442,354
광주	150	3,750	21,722	233,369
대전	478	8,265	88,343	754,237
울산	2,512	167,465	6,569	65,690
세종	3,596	120,405	68,244	580,517
경기	49,071	1,655,321	2,416,880	23,093,955
강원	4,803	164,479	346,973	2,112,000
충북	47,191	1,211,463	2,194,593	19,995,213
충남	158,576	5,478,526	5,326,306	47,128,421
전북	59,440	2,121,462	1,051,848	10,858,428
전남	329,782	10,961,008	1,845,004	20,276,599
경북	163,793	5,718,795	2,935,779	24,534,766
경남	94,451	4,695,122	1,058,531	11,019,551
제주	5,685	200,857	95,429	739,120

(2021년 임업통계연보, 산림청)

최근 건표고는 원목재배를 통해서 생산되고 있으며 장흥 지역 일대에서 생산되는 건표고 생산량은 전국 24% 정도로 큰 비율을 차지하고 있다. 또한 생표고의 주산지는 부여 지역 일대로 전국 9% 정도의 비율로 생산되고 있다.

표 1-3. 국내 건표고 주산지(단위 : kg, 백만원)

2019년				2020년			
시도	시군구	생산량	생산액	시도	시군구	생산량	생산액
합계		965,074	33,374	합계		920,920	32,568
전라남도	장흥군	250,760	8,008	전라남도	장흥군	238,912	7,949
경상남도	거제시	43,985	2,699	경상남도	거제시	35,915	2,306
전라남도	영암군	53,500	1,816	충청남도	천안시	28,754	1,714
기 타		616,829	20,851	기 타		617,339	20,599

(2020년 농림어업총조사, 통계청)

표 1-4. 국내 생표고 주산지(단위 : kg, 백만원)

2019년				2020년			
시도	시군구	생산량	생산액	시도	시군구	생산량	생산액
합계		19,241,897	168,459	합계		17,547,110	162,199
충청남도	부여군	1,707,287	15,323	충청남도	부여군	1,599,892	15,056
경기도	여주시	540,535	6,665	경기도	여주시	507,817	6,325
충청북도	영동군	799,006	6,566	충청남도	공주시	690,018	6,101
기 타		16,195,069	136,905	기 타		14,749,383	134,716

(2020년 농림어업총조사, 통계청)

표고버섯의 생산량은 건표고를 생표고로 무게를 환산하여 추정하면 약 29,000톤이며, 수입량은 18,000톤이나 수출량은 608톤으로 상대적으로 적다. 따라서 국내에서 표고버섯은 약 47,000톤이 유통되며, 이중 수입산이 40%를 점유하고 있어 향후 그 대응책이 필요한 실정이다.

표 1-5. 국내 표고버섯 수입·수출량 및 유통량

	2013년	2014년	2015년	2016년	2017년	2018년	2019년	평균
생산량(톤)	26,868	25,058	30,534	29,688	30,360	28,104	29,296	28,558
수입량(톤)	17,870	21,462	20,278	17,529	17,191	18,641	17,331	18,615
수출량(톤)	893	324	583	796	523	661	476	608
유통량(톤)	43,845	46,196	50,229	46,421	47,028	46,084	46,151	46,634

* 건표고는 생표고로 환산(건표고 무게×7.31=생표고 무게), 조제품은 제외
(관세청 무역통계 2013-2017, 산림청 임업통계연보 2014-2020)

아울러 중국에서 수입되는 종균접종배지로 인해 국내 표고버섯산업이 위협받고 있다. 본격적인 톱밥배지를 이용한 표고버섯 대량생산 방식이 도입됨에 따라 2014년 종균접종배지는 25,043톤이 수입되었고, 수입배지에서 생산된 생버섯을 추정하면 6,761톤에 해당되어 국내 표고버섯 총 유통량의 약 15%를 점유하였다. 그 후 2016년 수입은 본격적으로 이뤄져 43,323톤이 국내에 유입되었고 생표고로 환산하면 11,697톤으로 국내 표고버섯 총 유통량의 약 25%를 점유하였다. 이로 인해 국내에서 유통되고 있는 표고버섯 중에 접종국이 중국인 버섯이 60% 이상이 될 것으로 예상됨에 따라 국내 자급률 회복에 대한 대응책이 필요하다.

수입되고 있는 종균접종배지는 99%이상이 중국산이며 중국산 표고버섯 종균접종배지의 수입 단가는 꾸준히 증가추세에 있다. 그러나 아직까지 중국산이 국내산에 비해 가격 경쟁력을 유지하고 있어 수입량이 증가하는 것으로 판단된다. 또한 중국의 버섯재배시설의 현대화로 인해 대

량생산된 저가의 접종배지와 저가의 버섯의 대규모 수출이 이뤄지고 있다. 이는 국내 영세재배자들을 더욱더 어렵게 하면서 결국 대형 재배자들만 생존할 수 있는 독과점식 산업구조로 변모시킬 수 있는 부정적인 요인이 된다.

앞으로 중국산 표고버섯 종균접종배지를 수입하여 재배하는 재배자들이 국산 배지를 선호할 수 있도록 배지 단가, 재배기술, 사용 품종 등에서 생산성을 높이는 방안이 산업계-연구기관-학계가 합동하여 마련해야 한다.

표 1-6. 국내에서 유통되는 수입 종균접종배지

년도	건수(건)	중량(kg)	생표고 환산
2011년	246	7,340,233.80	1,981,863
2012년	419	11,726,026.49	3,166,027
2013년	517	13,616,123.65	3,676,353
2014년	946	25,043,705.40	6,761,800
2015년	1,396	35,166,296.55	9,494,900
2016년	1,676	43,323,022.93	11,697,216
2017년	1,539	40,980,718.30	11,064,794
2018년	1,678	41,787,970.30	11,282,752
2019년	1,759	42,878,265.20	11,577,132
2020년	1,844	43,809,013.78	11,828,434

* 종균접종배지로부터 생표고 환산(접종배지무게 × 0.27 = 생표고무게)
(국립산림품종관리센터, 산림용 종자요건 확인신고 통계)

국내 표고버섯 재배 임가수는 2015년 기준으로 4,512호로 원목재배 임가는 약 60%의 비율로 차지하고 있다. 그러나 표고버섯 재배방법이 전통 재배방식인 원목재배에서 현대화된 톱밥재배 방식으로 전환되는 외부환경에 대한 대응이 시급한 실정이다. 표고버섯 재배에서 필수적으로 사용되는 원목과 톱밥배재의 사용량을 비교해 보면 원목재배는 표고재배용 원목의 별채 생산량 감소로 생산의 어려움 큼을 알 수 있다. 이를 극복하기 위해 원목재배 표고버섯은 고가의 한국형 임산물로 유통될 수 있는 품목으로 저가의 수입산 톱밥재배 표고버섯과 차별화된 소비시장의 유통방안이 필요하다.

표 1-7. 원목재배용 표고의 접종목 이용 변화 추이

2010년	2011년	2012년	2013년	2014년	2015년	2016년	2017년	2018년	2019년
229,299	184,178	160,180	121,747	81,139	78,247	63,456	53,917	67,210	118,144

* 단위 : m³ (표고 원목 분수 100분 = 1 m³), (산림청, 2019년 목재이용실태조사)

아울러 톱밥배지 재배는 참나무류 톱밥을 활용하여 배지원료 공급이 용이하고, 집약적 재배가 가능하여 생산량은 계속 증가하는 추세이다.

표 1-8. 용도별 국산목재 이용 변화 추이

연도	이용 용도	제재목	펄프	보드용	에너지용	표고 톱밥용	갱목 한옥용	기타
2010	수량	44.64만	89.28만	159.96만	18.6만	3.72만	7.44만	48.36만
	비율	12%	24%	43%	5%	1%	2%	13%
2012	수량	49.6만	103.7만	157.9만	40.6만	31.6만	9만	58.6만
	비율	11%	23%	35%	9%	7%	2%	13%

* 단위 : m³, (한국농촌경제연구원, 2013 임산물 수급 모형 구축 및 전망)

3. 국내 표고버섯 산업의 변화

산림청은 국내 표고산업의 경쟁력 강화를 위해 우량종균 개발, 시설지원 및 기술지원 등의 사업을 추진하고 있다. 표고버섯 원목재배자들을 위해 원목가격의 지속적인 상승과 원목의 구입이 어려운 상황을 해소하고자 여러 가지 정책지원을 하고 있다. 표고버섯 종균접종을 위한 원목의 지원기준은 본당 약 5,000원을 지원하여 재배자들의 생산비 절감에 노력하고 있다. 아울러 참나무류의 벌채기준도 완화하여 과거에 비해 벌채를 원활하게 이루어질 수 있도록 하였다. 톱밥재배자들을 위해 연중 접종배지를 공급할 수 있도록 권역별로 톱밥배지센터 조성하였다. 경기권(여주)과 호남권(함평)에는 연간 최대 200만봉을 생산할 수 있는 시설이며 영남권(문경)에는 연간 최대 60만봉을 생산할 수 있는 톱밥배지센터가 2019년부터 운영되고 있다. 또한 산림청은 표고버섯의 우량 신품종을 개발하여 국내 자급률 확대와 종균 수출을 목표로 2013년부터 10년간 100억원의 정부 연구비가 투입되어 연구가 진행되고 있다.

이러한 산림청의 다양한 노력에도 불구하고 국산 종균의 자급률은 2017년 40%를 달성한 후 회복되지 못하고 있다. 이를 위해 신품종 개발(노동력 및 생산비 절감형) 연구와 국산품종 시험포 운영을 지속적으로 진행했으나, 국내 버섯재배 산업의 외부 환경요인으로 인해 2020년도에는 약 27%에 그쳤다.

2014년 수입산 종균접종배지가 대량 유입되고 국내 표고버섯 종균시장의 구조도 변화가 시작되었다. 국내 종균시장의 규모는 2017년 1,080톤, 2018년 1,175톤으로 약 10%가 증가하였고 고무적이었다. 그러나 표고버섯 재배방법이 전통 재래재배 방식인 원목재배에서 현대화된 톱밥재배 방식으로 전환되는 외부환경 변화로 인해 종균 유형별로 수요도 변화되면서 늘어가는 수입산 종균접종배지와 외산품종에 대한 선호도의 증가로 인해 국산 종균의 자급률은 감소되었다. 한편, 2021년의 종균량은 2020년보다 약간 증가하였지만, 국내 자급률은 작년과 동일하였다.

표 1-9. 국내 종균시장 규모 및 국산종균의 국산품종 사용량

구 분		2017년도	2018년도	2019년도	2020년도	2021년도
자급률	성과	40%	41%	24.4%	27.1%	27.1%
	종균시장 규모(톤)	1079.99	1175.33	1004.72	933.11	1092.7
종균시장 규모	국산품종 종균량(톤)	431.78	479.82	245.25	253.1	295.8
	외산품종 종균량(톤)	648.21	695.51	759.47	680.01	796.9

원목재배용 종균의 시장점유율은 2017년 59%이었으나 2018년 38%로 감소하면서 전년대비 30%가 급감하였다. 이에 반해 톱밥재배용 종균은 2017년 41% 점유했으나 이듬해 62%의 비율로 전년대비 64% 증가하였다. 현대화된 표고버섯 재배기술의 변화에 따라 2018년도 국내 종균 시장의 환경도 변화하여 원목재배용 종균공급량 대비 톱밥재배용 종균공급량의 시장점유율이 2017년도 대비 21% 높아졌다. 톱밥재배용 종균이 증가 추세에 있고, 이 경향은 앞으로 지속될 것으로 기대된다.

표 1-10. 재배방법별 국산종균 유통량

구 분		2017년도	2018년도	2019년도	2020년도	2021년도
원목재배용 국산종균	시장점유율(%)	59%	38%	57%	55%	44%
	종균량(톤)	634	441	577.67	514.4	479.8
톱밥재배용 국산종균	시장점유율(%)	41%	62%	43%	45%	56%
	종균량(톤)	446	734	427.05	418.71	612.9

국내 표고버섯 시장은 재배방법 변화의 과도기와 가격 경쟁력의 저하 등으로 인해 지속적인 어려움을 겪는 가운데 2020년도는 코로나19 사태로 대용량 판로(학교급식, 예식장 등 단체음식 판매처)가 감소하여 국내 표고버섯 시장이 위축되면서 자급률이 감소되었다. 지속적인 대량 판매처였던 지역별 학교 단체급식, 예식장 및 돌잔치 등의 고급식재료 소비가 급격히 줄면서 표고버섯 시장의 규모와 더불어 종균시장의 규모도 2019년 1004.72톤에서 2020년 933.11톤으로 전년대비 약 7% 감소하였다. 특히 2020년도 종균접종 배지를 이용한 톱밥배지의 생표고 재배 임가의 출하처 중 대량수요처는 2019년도 대비 71.4% 감소하였고 지역 농협은 47.1% 감소하였다. 이러한 예상치 못한 외부환경 변화에 따른 재배자들의 생산규모 축소가 국산 종균 수요 감소의 원인으로 작용하여 국산종균의 자급률의 극복은 더욱더 어려울 전망이다.

표 1-11. 코로나19시대 표고버섯 소비시장 변화

구 분	2019년도	2020년도	감소률
대량 수요처	4.9%	1.4%	▼71.4%
지역 농협	35.9%	19.0%	▼47.1%

(한국농촌경제연구원, 2020년 목재이용실태조사)

4. 자급률 향상을 위한 국외 사례(일본)

일본도 2011년 후쿠시마 원전사고 이후 점점 접종배지의 수입량이 증가하여 2017년에는 15,649톤이 유입되었고, 일본 내 표고버섯 생산량 중 수입배지로 생산된 버섯량이 약 6%(추정)을 점유하였다. 이제 따라 일본 임야청에서는 국내 산업보호에 대한 대응책이 강구되었다. 정부 보조사업으로 '특용임산 시설체제정비 부흥사업'을 진행하였는데, 원전사고 피해지의 부

홍을 목표로 특용임산시설정비 지원, 특용임산물 생산의 경영기반 구축사업을 실시하였다. 지자체(시군) 산림조합, 영농조합, 임업인단체와의 협업을 통해 원전사고 피해지의 버섯 생산력 증가를 위한 정부 특별대책으로 버섯 생산 및 가공 유통지원과 표고버섯 재배용 원목 구입 및 생산, 유통 지원, 방사능 오염도 측정기계 지원 등을 수행하였다. 또한 식품표시기준법을 개정하여 버섯을 이용한 가공품 및 신선버섯의 물세척, 단순 동결, 단순 절단 등 포함하여 식품표시기준 대상으로 하여 국산 표고버섯에 대한 안전성에 대한 신뢰도를 회복하여, 국산 표고버섯에 대한 소비를 촉진하였다.

5. 자급률 향상 대응

종군산업은 종자산업과 같이 종자주권 및 식량안보 확보와 직결된 미래성장 동력산업이다. 이에 따라 국제적인 경쟁력을 강화하기 위해 국가차원의 육성전략이 필요하다. 인구증가와 더불어 기후변화로 인해 안정적인 생산이 가능한 종균, 종자의 수요가 늘어나면서 종균시장, 종자시장이 국제적으로 확대되는 추세이다. 지금까지 지속적으로 진행해왔던 신품종 개발 또한 세계시장을 겨냥한 종균개발 사업으로 확대되어야 함이 요구되고 있다. 이와 같은 배경으로 국내 표고버섯 산업은 국내시장 보호에 대한 정책 뿐만아니라 국제시장에서도 경쟁력있는 기능성 품종 개발과 재배기술도 확보되어야 한다. 아울러 K-mush와 같이 한국형 표고버섯 브랜드화를 실현할 수 있도록 현장의 목소리가 담긴 산림청의 정책과 국가연구기관의 신품종 육성 연구가 지속적으로 이뤄져야 한다.

제3절 연구개발의 범위

제1세부 과제는 “품종보호·수입대체용 표고버섯 신품종 개발과 시험포 운영” 1) 육종자원의 수집 및 생리적 특성 조사, 2) 교배균주 육성, 우수 계통 선발 및 품종 육성, 3) 출원후보균주의 시험포 운영, 4) 종균 생산 및 보급 내용 실태 파악, 제2세부 과제는 “품종보호·수입대체용 표고 신품종 개발을 위한 분자마커” 1) NGS를 이용한 골든시드 대상품종의 유전체, 전사체 분석, 2) 분자마커 개발 목표형질 유전자원 확보 및 형질 검증 3) 표고 형질 관련 분자마커 개발, 제3세부 과제는 “품종보호·수입대체용 품종의 현장 적응성 시험 및 국산 품종 보급” 1) 개발품종/출원품종의 지역 적합품종 선발, 2) 품종시험포 운영, 3) GSP 품종 보급촉진 및 유통망 확대, 4) 시험포 안전평가 및 위해요소분석 내용으로 구성하여 연구를 하였다.

[제1세부]

구분 (연도)	세부프로젝트명	세부연구목표	연구개발 수행내용
1차년도 (2017)	품종보호· 수입대체용 표고 신품종 개발과 시험포 운영	육종자원의 수집 및 분석	○ 10점 수집 및 단포자 분리 각 10개 ○ 100개에 대한 기초특성평가
		신품종 육성	○ 온도형 교배균주 육성 및 재배실험 ○ 에리타데닌 성분 분석 ○ 표고 신품종 출원 1건 ○ 목표 품종을 만들기에 적합한 품종육성 방법 유무
		출원 후보균주의 시험포 운영	○ 3개 재배사, 3개 배지 유형에서 재배시험 ○ 3균주의 설명서 작성 ○ 시험포에서 현장 교육

구분 (연도)	세부프로젝트명	세부연구목표	연구개발 수행내용
2차년도 (2018)	품종보호· 수입대체용 표고 신품종 개발과 시험포 운영	육종자원의 수집 및 생리적 특성 조사	○ 국내·외 유전자원 수집을 통한 육종소재 발굴 ○ 단포자 분리 100개, 기초특성 조사 100개 실시
		교배균주 육성 우수 계통 선발 및 품종 육성	○ 전통육종법 및 분자육종법을 활용한 교배균주 제조 ○ 버섯 수확이 용이한 품종개발용 교배균주 육성 ○ 기능성 물질(에리타데닌, 에르고티오네인 등) 함량이 높은 모균주 선발 및 교배균주 제조 및 육성 ○ 다양한 온도범위에서 버섯이 발생하는 균주 제조 (저온성 균주 우선 선발, 온도별 재배 특성조사) ○ 균주별 특이특성 관련 우수 계통 선발 및 육성 ○ 품종보호 출원 1건, 기술이전 1건
		출원후보 균주의 시험포 운영	○ 3개 유형 재배사 및 3개 유형의 배지형태 실험 ○ 출원후보 균주의 특성 설명서 작성
		종균 생산 및 보급 내용 실태 파악	○ 국산품종의 표고종균 보급 실태 파악 ○ 국산 품종의 자급률 현황 조사
3차년도 (2019)	품종보호· 수입대체용 표고 신품종 개발과 시험포 운영	육종자원의 수집 및 생리적 특성 조사	○ 국내·외 유전자원 수집을 통한 육종소재 발굴 ○ 단포자 분리 100개, 기초특성 조사 100개 실시
		교배균주 육성 우수 계통 선발 및 품종 육성	○ 전통육종법 및 분자육종법을 활용한 교배균주 제조 ○ 버섯 수확이 용이한 품종개발용 교배균주 육성 ○ 기능성 물질(에리타데닌, 에르고티오네인 등) 함량이 높은 모균주 선발 및 교배균주 제조 및 육성 ○ 다양한 온도범위에서 버섯이 발생하는 균주 제조 (저온성 균주 우선 선발, 온도별 재배 특성조사) ○ 균주별 특이특성 관련 우수 계통 선발 및 육성 ○ 품종보호 출원 2건
		출원후보 균주의 시험포 운영	○ 3개 유형 재배사 및 3개 유형의 배지형태 실험 ○ 출원후보 균주의 특성 설명서 작성
		종균 생산 및 보급 내용 실태 파악	○ 국산품종의 표고종균 보급 실태 파악 ○ 국산 품종의 자급률 현황 조사
4차년도 (2020)	품종보호· 수입대체용 표고 신품종 개발과 시험포 운영	육종자원의 수집 및 생리적 특성 조사	○ 국내·외 유전자원 수집을 통한 육종소재 발굴 ○ 단포자 분리 100개, 기초특성 조사 100개 실시
		교배균주 육성 우수 계통 선발 및 품종 육성	○ 전통육종법 및 분자육종법을 활용한 교배균주 제조 ○ 버섯 수확이 용이한 품종개발용 교배균주 육성 ○ 기능성 물질(에리타데닌, 에르고티오네인 등) 함량이 높은 모균주 선발 및 교배균주 제조 및 육성 ○ 다양한 온도범위에서 버섯이 발생하는 균주 제조 (저온성 균주 우선 선발, 온도별 재배 특성조사) ○ 균주별 특이특성 관련 우수 계통 선발 및 육성 ○ 품종보호 출원 1건, 기술이전 2건
		출원후보 균주의 시험포 운영	○ 3개 유형 재배사 및 3개 유형의 배지형태 실험 ○ 출원후보 균주의 특성 설명서 작성
		종균 생산 및 보급 내용 실태 파악	○ 국산품종의 표고종균 보급 실태 파악 ○ 국산 품종의 자급률 현황 조사

구분 (연도)	세부프로젝트명	세부연구내용	연구범위
5차년도 (2021)	품종보호· 수입대체용 표고 신품종 개발과 시험포 운영	육종자원의 수집 및 생리적 특성 조사	- 국내·외 유전자원 수집을 통한 육종소재 발굴 · 표고 유전자원 수집 5건 - 국내 출원품종 및 유통 품종 10개를 이용 - 성장속도, 형태적 특징, 현미경관찰 등의 특성조사 - 단포자 분리 100개, 기초특성 조사 100개 실시
		교배균주 육성 우수 계통 선발 및 품종 육성	- 전통육종법 및 분자육종법을 활용한 교배균주 제조 - 버섯 수확이 용이한 품종개발용 교배균주 육성 및 재배 특성 조사, 시험 후보균주 선발 및 제조 · 갓이 크고 단단한 균주선발 및 재배 특성조사 - 기능성 물질(에리타데닌, 에르고티오네인 등) 함량이 높은 교배균주 육성 및 재배 특성 조사 - 다양한 온도범위에서 버섯이 발생하는 균주 제조 (저온성 균주 우선 선발, 온도별 재배 특성조사) - 균주별 특이특성 관련 우수 계통 선발 및 육성 - 품종보호 출원 1건, 등록 2건, 기술이전 2건 - 분자마커를 적용한 신품종 육종의 효율성 평가
		출원후보 균주의 시험포 운영	- 표고버섯 현장재배 시험포 10개 및 전시포 2개소 운영 · 품종설명회 및 품평회 7회 - 출원후보 균주의 특성 설명서 작성
		중균 생산 및 보급 내용 실태 파악	- 국산품종의 표고중균 보급 실태 파악 - 국산 품종의 자급률 현황 조사

[제2세부]

구분 (연도)	세부프로젝트명	세부연구목표	연구개발 수행내용
1차년도 (2017)	품종보호· 수입대체용 표고 신품종 개발을 위한 분자마커	NGS를 이용한 골든시드 대상품종의 유전체 분석	- NGS를 이용하여 분석한 표고 균주들의 전장유전체 정보들을 비교하여 산마루1호와 천장3호를 구분할 수 있는 CAPS 마커 개발
		고온, 저온발이 표고 품종의 단포자 확보 및 교배조합 작성	- 고온 발이 품종인 산마루 1호와 산조 502호의 단포자를 확보하여 표고의 교배구분형 마커를 이용하여 교배조합 완성
		포자형성이 일어나지 않는 단포자 확보 및 resequencing	- 교잡시 기형을 일으키는 단포자 A2, A9, B16, D11, E12와 기형 품종인 산백향 resequencing
		분자마커 개발 목표형질 유전자원 확보 및 형질검증	- 국립산림과학원, 산림버섯연구센터 등에서 분양받은 균주들을 재배하여 발이온도, 군사생장, 자실체 특성 등의 형질을 검증
		표고버섯 우량단핵균주 구분 마커 개발	- 표고버섯 우량단핵균주와 불량 단핵균주의 세포의 발현효소 유전자 발현 조사를 통하여 주발현 효소 유전자 결정 - 각 단핵균주를 대표하는 laccase 유전자 SNP 조사 - SNP 정보를 바탕으로 유전자 발현을 핵 선택성 조사

구분 (연도)	세부프로젝트명	세부연구목표	연구개발 수행내용
2차년도 (2018)	품종보호· 수입대체용 표고 신품종 개발을 위한 분자마커	NGS를 이용한 골든시드 대상품종의 유전체 분석	- NGS를 이용하여 분석한 표고 균주들의 전장유전체 정보들을 비교하여 산마루 2호를 구분할 수 있는 CAPS 마커 개발
		고온, 저온발이 표고 품종의 Inbred line의 버섯 발생 온도 표현형 조사	- 고온 발이 품종인 산마루 1호와 산조 502호의 단포자를 이용하여 구축된 교배조합을 바탕으로 고온과 저온의 우열과 고온 발이 특성을 지닌 단포자 확보
		균사 생장에 관여하는 조건에서의 RNA-Seq 분석	- 빛에 의하여 균사 생장의 이상이 발생하여 갈변 이상 현상을 보이는 품종인 참아람의 균사층에 RNA-seq
		포자형성에 관여하는 유전자좌 확보	- 단핵균주인 3165와 기형 표고 균주인 이슬표고, 그리고 2828의 di-mon교잡에 의하여 기형을 회복한 균주 재배
		균주별 미토콘드리아 유전자 분석	- 재배종 표고버섯 균주의 미토콘드리아 유전체 분석 (20개) - 균주 특이적 미토콘드리아 서열 확보 (20개) - 미토콘드리아 형 구분 마커 제작 (4개)
		동일핵형 이형 미토콘드리아 타입의 이핵균주 제작	- 참아람 x 산조701, 산조701 x 산조707, 산조 707 x KFRI619 등 3종의 교배 및 이형 미토콘드리아 타입 균주 6종 제작
3차년도 (2019)	품종보호· 수입대체용 표고 신품종 개발을 위한 분자마커	NGS를 이용한 골든시드 대상품종의 유전체 분석	- NGS를 이용하여 분석한 표고 균주들의 전장유전체 정보들을 비교하여 산백향을 구분할 수 있는 CAPS 마커 개발
		온도발이 관련 집단 분리와 연관분석 및 온도형 분자마커 개발	- 고온과 저온 발이 특성에 따른 집단 분리 및 이들의 특성을 가진 단핵균주 분리 - 고온과 저온 발이 특성을 가진 균주들의 전장유전체를 분석하여 원기 발이 온도에 관련된 변이 확인
		표고 포자체 발생 단계별 RNA-seq 분석	- 표고 재배단계별 RNA sequencing을 하여 포자체가 발생할 때, 감수분열에 관련된 유전자 발현 확인
		갓의 색깔, 크기, 대 길이, 버섯 발생, 균사생장 형질 관련 집단 분리	- 표고의 균사생장에 관련된 집단을 분리 - 표고 톱밥재배에서 갈변의 형질 관련 균주와 관련 집단 확보
		균주 특이적 미토콘드리아 서열을 통한 분자 마커 개발	- 미토콘드리아 유전체 서열정보비교 - 미토콘드리아별 구분 마커 개발 및 검증
		미토콘드리아 마커와 교배형마커를 이용한 균주별 구분법 연구	- 재배종 및 야생종 표고버섯의 미토콘드리아 형 구분마커 및 교배형 마커 적용시험 및 검증

구분 (연도)	세부 프로젝트명	세부연구목표	연구개발 수행내용
4차년도 (2020)	품종보호· 수입대체용 표고 신품종 개발을 위한 분자마커	NGS를 이용한 골든시드 대상품종의 유전체 분석	- 산조 701호와 참아람의 전장유전체 정보를 바탕으로 HRM 마커 개발
		갓의 색깔, 크기, 대 길이, 표고발생, 군사 생장 형질 관련 비교유전체 수행	- 표고의 군사체 생장에 관련하여 군사체 갈변이 일어나지 않는 품종과 정상적인 갈변이 일어나는 품종 비교 - 유전체간의 비교를 통하여 온도에 따른 원기의 발이에 관련된 유전체 구조를 추정 - 참아람 및 산조708에서 나타나는 군사미갈변 원인 유전자 ABL동정 및 기능분석
		표고 포자형성 관련 유전자 기능검증 및 마커개발	- 무포자 연관 유전자 MSH4를 동정하고, 유전자 분석 - 무포자 형성 품종들을 활용하여 분자마커 개발
		미토콘드리아 분자마커 최적화	- 표고버섯 미토콘드리아형별 유전자 구조 분석: 미토콘드리아형별 유전자 변이비교를 통하여 미토콘드리아 분자마커의 형질정보와 상관성 연구 - 미토콘드리아 구분 최적 분자마커 선정: 미토콘드리아형을 대표하는 최적 분자마커를 선정하고, 최적 분석조건을 확립
		표고 표현형에 미치는 미토콘드리아의 영향조사	- 미토콘드리아형만 다른 이핵균주의 제작법 및 분석법 확립: 단핵균주간 교배, 단핵-이핵균주간 교배를 통하여 생성된 이핵균주의 핵 유전체, 미토콘드리아유전체 동정법 확립 - 재배실험을 통한 미토콘드리아의 영향 조사: 미토콘드리아형이 표고버섯 표현형에 미치는 영향 조사
5차년도 (2021)	품종보호· 수입대체용 표고 신품종 개발을 위한 분자마커	NGS를 이용한 골든시드 대상품종의 유전체 분석	- 골든시드 대상품종에 대한 resequencing 및 변이분석 및 대상품종별 존재하는 유전자 변이 탐색을 통한 유전자 특성 구분마커 개발
		표고 형질관련 (온도형) 분자 마커 개발	- Hub 유전자 동정을 통한 갓 색깔, 갓 직경, 대길이, 버섯 발생, 군사 생장 등 관련 유전자 기반 분자마커 개발 - 교배 형질 분리 집단에서 각 형질별 특성과 마커의 효율성 검정
		표고 미토콘드리아 마커 분석을 통한 표현형에 미치는 미토콘드리아의 영향조사	- 미토콘드리아 분자마커의 형질정보와 상관성 연구 진행 - 재배결과 해석을 통한 미토콘드리아의 영향 조사 - 이핵균들의 전사체 분석을 통한 미토콘드리아 및 핵유전자 발현 비교분석

[제3세부]

구분 (연도)	세부프로젝트명	세부연구목표	연구개발 수행내용
1차년도 (2017)	품종보호· 수입대체용 품종의 현장 적응성 시험 및 국산 품종 보급	개발품종/출원 품종의 지역 적합품종 선발	<ul style="list-style-type: none"> - 원목 및 톱밥배지 임가 실증지 선발 - 1~3년차 버섯 생산성 조사, 특성 검정 - 재배 매뉴얼 수정, 보완 - 2~4년차 버섯 생산성 조사, 특성 검정 - 지역 적합형 원목/톱밥 우수품종 선발 - 원목품종 시험포 (5개소) 톱밥품종 시험포 (7개소) 운영
		품종시험포 운영	<ul style="list-style-type: none"> - 품종설명회: 2회/년, 품종품평회: 1회/년 - 1.3kg 원통형, 2.7kg 사각배지 3.7kg 균상재배, 지면재배 - 중균 접종, 배양관리 및 점검 - 재배방법별, 지역별, 계절별 환경 조사 - 버섯 발생 및 자실체 특성 조사 - 생산 협회 및 중균업체 품종설명회 - 품종 설문지 작성 통한 육종방식 제시
		GSP 품종, 보급촉진, 유통망 확대	<ul style="list-style-type: none"> - 국산품종 소비확대, 홍보를 위한 시험품종 기능성 성분 분석 - 시험품종 보급을 위한 통상실시권 확대 - 중균업체 유통망 구축 및 생산협회 홍보 - 해외시험포운영 및 중균수출 기반조성
		실증시험지역 병해충, 오염균 조사분석	<ul style="list-style-type: none"> - 각 실증지 병해충 발생상황, 위생조사 - 조사 동정된 해균/오염균 특성파악 등 주요 해균 Trichoderma 신속 동정마커 개발
2차년도 (2018)	품종보호· 수입대체용 품종의 현장 적응성 시험 및 국산 품종 보급	개발품종/출원 품종의 지역 적합품종 선발	<ul style="list-style-type: none"> - 버섯 생산성 조사, 특성 검정(원목 1단계 2~4년차) - 재배 매뉴얼 수정, 보완 - 지역 적합형 원목/톱밥 우수품종 선발 - 원목품종 (5개소), 톱밥품종 (7개소) 지역별 검정 실증지
		품종 시험포/전시포 운영	<ul style="list-style-type: none"> - 선도임가 및 실증지 발굴 - 연구센터 상설 전시포 운영 - 실증지 시험포 개설 및 운영 - 품종설명회 : 2회/년, 품종품평회 : 1회/년 - 기동형 1.3kg 원통형 3.3kg 사각배지 2.5kg 균상재배, 지면재배 - 중균 접종, 배양관리 및 점검 - 재배방법별, 지역별, 계절별 환경 조사 - 버섯 발생 및 자실체 특성 조사 - 보급체계 구축을 위한 품종설명회 진행 - 국산품종재배 임가 사후 기술지도 및 모니터링 - 남부지역 시험포/전시포 운영
		GSP 품종 보급촉진 및 유통망 확대	<ul style="list-style-type: none"> - 국산품종 보급률 향상 선도임가 중균 확대공급 - 품종 보급을 위한 영농조합과 통상실시권 확대 - 전문중균업체와 통상실시 추진 - 국산품종 보급확대의 통상실시 설명회 개최 - 재배매뉴얼 제작 및 배포 - 국산품종 중균 매출 증대 - 국산품종 재배교육 및 지도 강화
		시험포 안전평가 및 위해요소분석	<ul style="list-style-type: none"> - 각 시험포 버섯파리/트리코더마 발생상황, 위생조사 - 조사 해균/오염균 특성조사 : 표고 침해력, 약제저항성, 생리생화학 특성, 보고 된 특성 등 - 표고 신종 갈반병 발병 기작 연구

구분 (연도)	세부 프로젝트명	세부연구목표	연구개발 수행내용
3차년도 (2019)	품종보호· 수입대체용 품종의 현장 적응성 시험 및 국산 품종 보급	개발품종/출원 품종의 지역 적합품종 선발	- 버섯 생산성 조사, 특성 검정(원목 1단계 2~4년차) - 재배 매뉴얼 수정, 보완 - 지역 적합형 원목/툽밥 우수품종 선발 - 원목품종 (5개소), 툽밥품종 (7개소) 지역별 검정 실증지
		품종 시험포/전시포 운영	- 선도임가 및 실증지 발굴 - 연구센터 상설 전시포 및 실증지 시험포 개설 및 운영 - 품종설명회 : 2회/년, 품종품평회 : 1회/년 - 기동형 1.3kg 원통형 3.3kg 사각매지 2.5kg 균상재배, 지면재배 - 종균 접종, 배양관리 및 점검 - 재배방법별, 지역별, 계절별 환경 조사 - 버섯 발생 및 자실체 특성 조사 - 보급체계 구축을 위한 품종설명회 진행 - 국산품종 재배임가 사후 기술지도 및 모니터링 - 남부지역 시험포/전시포 운영
		GSP 품종 보급촉진 및 유통망 확대	- 국산품종 보급률 향상 선도임가 종균 확대공급 - 품종 보급을 위한 영농조합과 통상실시권 확대 - 전문종균업체와 통상실시 추진 - 국산품종 보급확대의 통상실시 설명회 개최 - 재배매뉴얼 제작 및 배포 - 국산품종 종균 매출 증대 - 국산품종 재배교육 및 지도 강화
		시험포 안전평가 및 위해요소분석	- 각 시험포 버섯과리/트리코더마 발생상황, 위생조사 - 조사 해균/오염균 특성조사 - 표고재배사 환경지표 조사 - 표고 갈반병 유전자 분석
4차년도 (2020)	품종보호· 수입대체용 품종의 현장 적응성 시험 및 국산 품종 보급	개발품종/출원 품종의 지역 적합품종 선발	- 버섯 생산성 조사, 특성 검정(원목 1단계 2~4년차) - 재배 매뉴얼 수정, 보완 - 지역 적합형 원목/툽밥 우수품종 선발 - 원목품종 (5개소), 툽밥품종 (7개소) 지역별 검정 실증지
		품종 시험포/전시포 운영	- 선도임가 및 실증지 발굴 - 연구센터 상설 전시포 및 실증지 시험포 개설 및 운영 - 품종설명회 : 2회/년, 품종품평회 : 1회/년 - 기동형 1.3kg 원통형 3.3kg 사각매지 2.5kg 균상재배, 지면재배 - 종균 접종, 배양관리 및 점검 - 재배방법별, 지역별, 계절별 환경 조사 - 버섯 발생 및 자실체 특성 조사 - 보급체계 구축을 위한 품종설명회 진행 - 국산품종 재배임가 사후 기술지도 및 모니터링 - 남부지역 시험포/전시포 운영
		GSP 품종 보급촉진 및 유통망 확대	- 국산품종 보급률 향상 선도임가 종균 확대공급 - 품종 보급을 위한 영농조합과 통상실시권 확대 - 전문종균업체와 통상실시 추진 - 국산품종 보급확대의 통상실시 설명회 개최 - 재배매뉴얼 제작 및 배포 - 국산품종 종균 매출 증대 - 국산품종 재배교육 및 지도 강화
		시험포 안전평가 및 위해요소분석	- 각 시험포 버섯과리/트리코더마 발생상황, 위생조사 - 조사 해균/오염균 특성조사 - 표고재배사 환경지표 조사 - 표고재배사 부유미생물 조사

구분 (연도)	세부프로젝트명	세부연구내용	연구범위
5차년도 (2021)	품종보호· 수입대체용 품종의 현장 적응성 시험 및 국산 품종 보급	개발품종/출원 품종의 지역 적합품종 선발	- 버섯 생산성 조사, 특성 검정 - 지역 적합형 원목/톱밥 우수품종 선발 - 재배매뉴얼 제작
		품종시험포 운영	- 품종설명회 및 품평회 : 3회/년 - 지역 적합형 원목/톱밥 우수품종 선발 - 전시포 및 시험포 운영 : 6개소
		GSP 품종 보급촉진 및 유통망 확대	- 국산품종 보급률 및 종균 공급량 - 시험품종 보급을 위한 통상실시권 확대 - 종균업체 유통망 구축 및 생산협회 홍보
		시험포 안전평가 및 위해요소분석	- 시험포 병해충 발생상황, 위생조사 - 병해충 예방법 개발 및 매뉴얼 제작

제2장 연구수행 내용 및 결과

제1절 품종보호 수입대체용 표고 신품종 개발과 시험포 운영

1. 표고 자원 수집

가. 야생 표고의 수집지역

야생 표고의 지리적 분포는 동아시아(한국, 중국, 일본) 인근의 태국, 말레이시아, 인도네시아, 네팔 등으로 온대기후의 고산지대로 알려져 있다. 그러나 유통되고 있는 표고버섯의 기원이 될 수 있는 원산지는 현재까지 명확히 밝혀지지 않았다. 세종실록지리지(1454년)와 신증동국여지승람(1530년)의 기록에 따르면 우리나라에서는 경상도와 전라도의 남부 해안지역과 제주도에서 야생 표고가 생산되었다고 기록되었다. 표고는 또한 참나무류(신갈나무, 상수리나무, 굴참나무 등)뿐만 아니라 서어나무, 밤나무 등 넓은 범위의 참나무과(Fagaceae)에 속하는 수종에서 서식한다고 알려졌다. 이에 따라 울창한 상록 활엽수림 식생을 형성하는 지역에서 발생한 야생 표고의 포자가 태풍이나 계절풍에 따라 수직 아열대 지역까지 확산되어 야생 표고의 분포도 확대된 것으로 예측되었다. 따라서 남부지역 해안가와 중부지역의 고산지역을 중심으로 야생 표고의 수집 조사하였다. 향후 야생 표고 유전자원의 다양성을 증대시키기 위하여 우리나라 전 지역의 고산지대의 적절한 기후조건이 형성된 산림지역을 조사하였다.

나. 야생 표고의 수집을 위한 환경 조건

현재 우리나라에서 자생하고 있는 표고는 전국에서 발견되고 있으며, 원목이나 톱밥 재배할 때 주로 사용되는 참나무류인 상수리나무, 신갈나무, 굴참나무, 떡갈나무 등에서 서식하고 있다. 따라서 표고는 목재를 분해하여 나오는 영양분을 이용하여 자라는 특성을 고려하여 일정 크기 이상의 죽은 고목 중심으로 조사하였다. 또한, 표고는 재배를 통한 대량생산으로 1년 내내 시장에서 생산되지만, 자연 상태에서는 일정한 온도 조건이 형성되어야 발생한다. 일반적인 표고 균사체의 생장 온도는 5 - 32℃이며, 32℃ 이상에서는 표고버섯 균사체의 생장이 정지된다. 표고 자실체를 발생하기 위해서는 온도뿐만 아니라 수분, 빛, 일정한 충격에너지가 필요하다. 버섯인 자실체를 만들 정도로 충분히 완숙된 표고 균사체는 8-10℃ 온도 차이에 의하여 버섯이 발생한다. 따라서 이러한 표고의 특징을 기반으로 유전자원을 수집하였다.

다. 야생 표고의 수집 방법

야생 표고는 나무의 겉껍질을 뚫고 발생한다. 버섯의 자실체는 주름살이 있는 갓과 대(자루)로 구분되는 데 수집할 때는 나무 겉면과 최대한 가까운 대의 중심 부분을 잡아 버섯을 채취하여 본래의 형태를 유지하여 수집하였다. 채집한 버섯을 오염시킬 수 있는 버섯의 겉에 붙어 있는 이물질은 가능한 제거하여 표본 제작하고 순수한 균주 분리의 성공률을 높였다. 야생 표고를 산림지역에서 수집하기 위하여 안전한 등산용 복장을 착용하고, 채집 당시 현장의 위치를 확인하고 기록할 수 있는 위치추적장치(GPS)와 숲에서 발견된 버섯 모습 그대로를 기록에 남기 위해 카메라를 필수장비로 선택하였다. 수집한 표고는 시간이 지날수록 부패하기 때문에 채집한 날 당일 바로 균주 분리를 시도하여 육종에 필요한 균주들을 냉장(4℃)하여 보존하였고, 열풍 건조(45℃)로 표본을 제작하였다.



그림 2-1-1. 야생 표고 발생 환경

라. 수집된 야생 표고의 유전자원 균 분리 및 균주 제작

버섯의 균사체는 영양번식으로 번식한다. 균사체 세포의 분열에 따라 발생한 딸세포는 모세포와 유전적 구조는 같으나 유전자 돌연변이에 의해 변이가 나오기도 한다. 신품종 개발을 위한 육종 소재를 수집하기 위해서 야생 표고의 서식환경이 다양한 지역에서 자생한 버섯으로 버섯균의 조직을 분리하여 유전자원을 제작하였다. 버섯균의 분리는 야생 표고가 자라고 있는 나무 조직 또는 야생 표고 자실체의 세포조직에서 분리하거나 버섯의 포자를 받아서 균사체를 배양하였다. 자실체가 매우 작거나 버섯에서 직접 조직을 분리하기 어려운 상태의 버섯이 발견된 경우에는 나무 조직으로부터 균을 분리하였다. 대부분 버섯 조직을 순수하게 분리할 수 있을 정도로 크기가 큰 버섯은 자실체 조직에서 직접 균을 분리하였다. 버섯의 담자포자에서 균 분리하는 방법은 조직 분리가 어려운 경우 시도하였다.

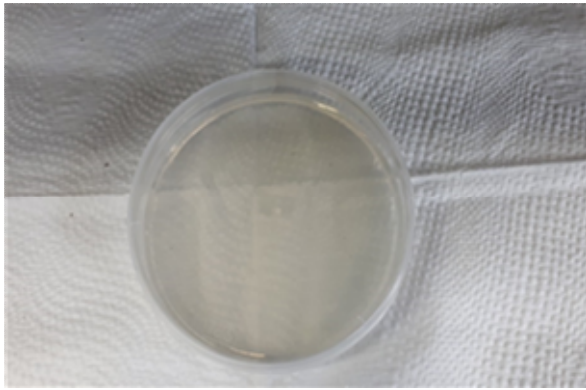
버섯균은 일반적으로 상온인 25℃에서 잘 자라기 때문에 균 분리를 배지를 이용하여 25℃의 균 배양기에서 배양하였다. 수집 현장에서 1차로 균 분리가 이뤄진 균사체는 오염균이 발생하면 즉시 새로운 배지로 분리한 균을 옮겨 균 분리의 성공률을 높였다. 버섯 조직에서 균을 분리할 때는 버섯의 내부 조직을 3-5 mm 크기로 절단하여 PDA 배지에 올려놓고 파라필름(parafilm)으로 밀봉하여 아래의 그림과 같이 균 분리를 시도하였다. 자실체의 조직 내부는 잡균의 오염이 적기 때문에 야생 표고의 유전자원 수집을 위한 균 분리에 적합하였다. 야생 표고의 조직의 순수 분리를 위해서 갓과 대가 만나는 부분의 조직을 일정한 크기로 절단하였다. 수집된 야생 표고 자실체의 순수 조직 분리는 유전적 형질(2n)로 동일한 원균을 만들기 위해 수집된 버섯 조직으로부터 직접 분리하였다. 조직 분리를 위한 버섯은 가능한 노화가 덜 된 어리고 신선하면서 병해충의 피해가 없는 자실체를 선택하여 분리하였다. 멸균한 메스를 이용하여 버섯의 갓과 대가 연결된 자실체의 중앙 부위를 5 mm × 5 mm × 5 mm의 사각육면체 모양으로 절단하였다. 버섯 조직 절편은 접종기구인 메스 또는 백금이 등으로 감자한천 배지인 PDA(potato dextrose agar) 배지가 분주된 실험용 페트리디쉬(petri dish) 정 가운데에 접종한 후 파라필름으로 밀봉하였다. 접종된 배지를 25℃ 항온기에 배양시켜 하얀 균사체가 2-3 cm 정도로 자라면 새로운 PDA 배지에 2-3회 계대 배양하여 완성된 육종 소재로서 유전자원을 등록하였다.



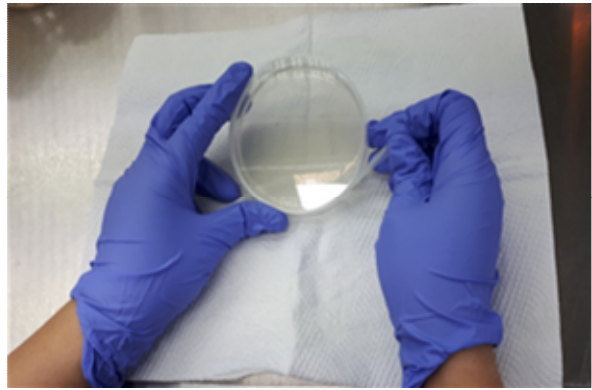
1) 자실체 조직 절단



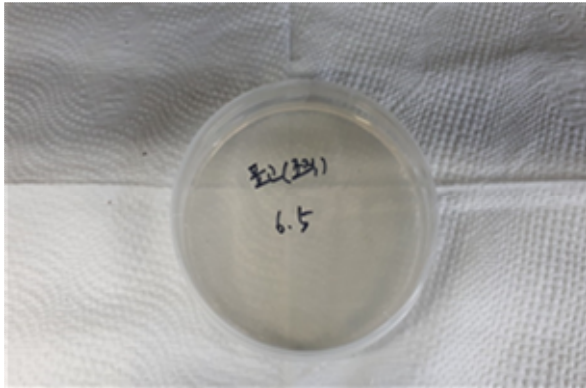
2) 조직 메스로 분리



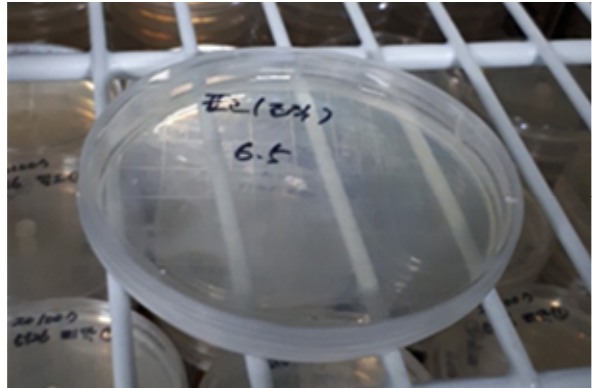
3) 분리한 조직 균 배지로 접종



4) 파라필름으로 배지 밀봉



5) 배지에 수집균의 정보 기록



6) 항온기에 균 배양

그림 2-1-2. 수집된 야생 표고버섯의 균 분리

마. 야생 표고의 유전자원 등록

등록한 야생 표고는 총 38개로 수집지역, GPS 위치정보, 수집날짜와 함께 유전자원 정보의 DB(data base)를 매해마다 구축하였다(표 2-1-1, 그림 2-1-3). 등록된 유전자원은 화악산을 포함한 경기도 가평군 16개, 가리왕산 5개, 미시령 4개, 한라산을 포함한 제주도 3개, 점봉산 3개, 지리산 2개와 나머지 오대산, 중왕산, 대암산, 덕유산 및 경북 봉화군은 각각 1개씩으로 여러 지역에서 수집하여 유전자원의 지리적 다양성을 높였다.

표 2-1-1. 등록된 야생 표고버섯의 유전자원 정보

유전자원 등록번호	수집날짜	수집지역
NIFoS 3982	2017.10.5.	경기도 가평군 북면 화악산
NIFoS 3983	2017.10.5.	경기도 가평군 북면 화악산
NIFoS 3984	2017.10.5.	경기도 가평군 북면 화악산
NIFoS 3985	2017.10.5.	경기도 가평군 북면 화악산
NIFoS 3986	2017.10.5.	경기도 가평군 북면 화악산
NIFoS 3987	2017.10.5.	경기도 가평군 북면 화악산
NIFoS 3988	2017.10.5.	경기도 가평군 북면 화악산
NIFoS 3989	2017.10.5.	경기도 가평군 북면 화악산
NIFoS 3990	2017.10.5.	경기도 가평군 북면 화악산
NIFoS 3991	2017.10.5.	경기도 가평군 북면 화악산
NIFoS 3992	2017.10.5.	경기도 가평군 북면 화악산
NIFoS 4300	2018.5.31.	제주특별자치도 서귀포시 남원읍
NIFoS 4367	2018.5.3.	경기도 가평군 북면 화악산
NIFoS 4368	2018.5.3.	경기도 가평군 북면 화악산
NIFoS 4369	2018.5.3.	경기도 가평군 북면 화악산
NIFoS 4370	2018.5.3.	경기도 가평군 북면 화악산
NIFoS 4371	2018.8.30.	제주특별자치도 서귀포시 한남시협림
NIFoS 4961	2019.7.31.	강원도 평창군 진부면 오대산
NIFoS 4962	2019.8.30.	경남 함양군 지리산
NIFoS 4963	2019.9.1.	강원도 고성군 토성면 미시령
NIFoS 4964	2019.9.1.	강원도 고성군 토성면 미시령
NIFoS 4965	2019.9.1.	강원도 고성군 토성면 미시령
NIFoS 4966	2019.9.1.	강원도 고성군 토성면 미시령
NIFoS 5241	2020.5.14.	제주특별자치도 서귀포시 한라산
NIFoS 5242	2020.5.27.	강원도 평창군 진부면 가리왕산
NIFoS 5243	2020.5.27.	강원도 평창군 진부면 가리왕산
NIFoS 5244	2020.5.27.	강원도 평창군 진부면 가리왕산
NIFoS 5245	2020.5.27.	강원도 평창군 진부면 중왕산
NIFoS 5246	2020.5.27.	강원도 인제군 북면 대암산
NIFoS 5247	2020.6.3.	강원도 인제군 기린면 점봉산
NIFoS 5248	2020.6.3.	강원도 인제군 기린면 점봉산
NIFoS 5249	2020.6.3.	강원도 인제군 기린면 점봉산
NIFoS 5250	2020.6.4.	경기도 가평군 북면 화악산
NIFoS 6063	2021.4.28.	경북 봉화군 제산면
NIFoS 6067	2021.5.12.	전북 무주군 설천면 덕유산
NIFoS 6083	2021.7.28.	전북 남원시 운봉읍 지리산
NIFoS 6091	2021.9.16.	강원도 평창군 진부면 가리왕산
NIFoS 6092	2021.9.16.	강원도 평창군 진부면 가리왕산



가리왕산



제주도 서귀포시



화악산



중왕산



대암산



점봉산

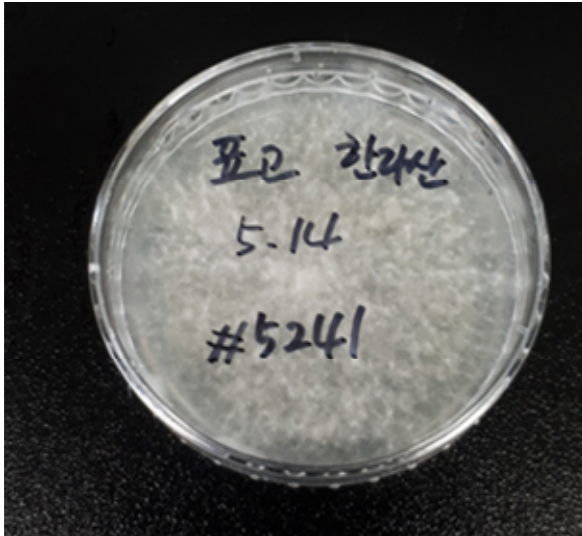


점봉산

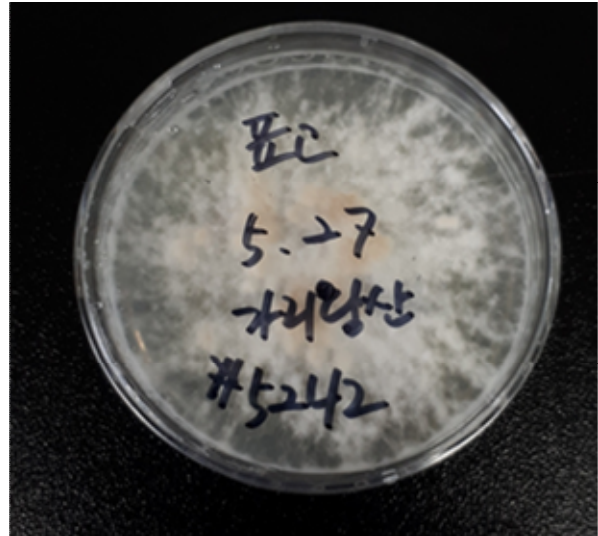


경기도 가평군

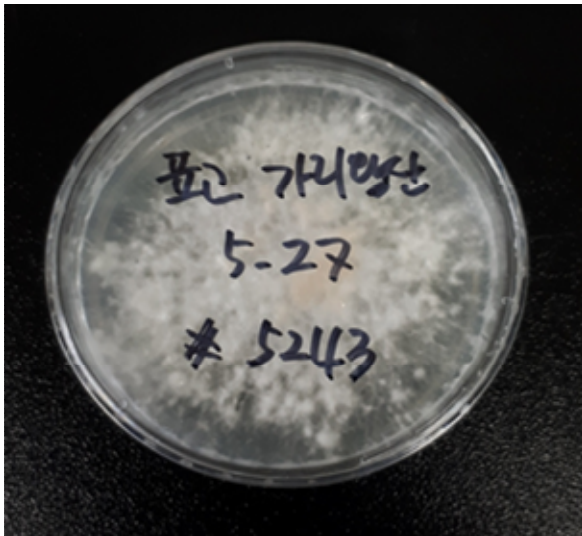
그림 2-1-3. 다양한 지역에서 수집한 야생 표고 모습



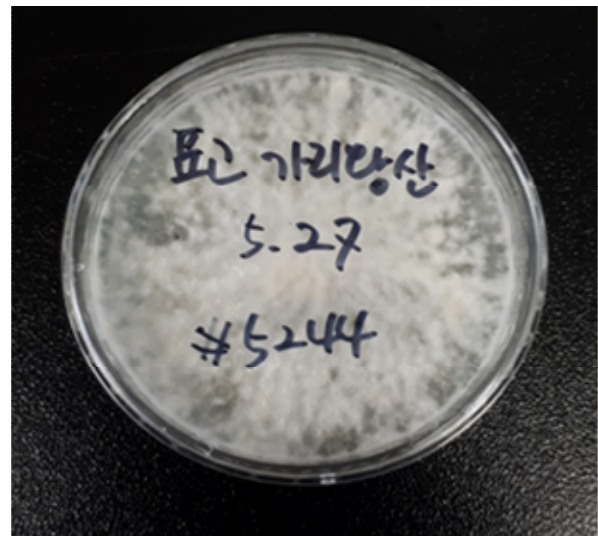
등록번호 : NIFoS 5241



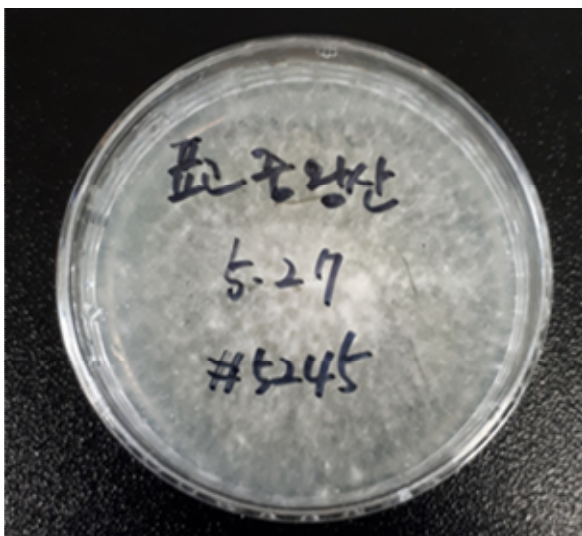
등록번호 : NIFoS 5242



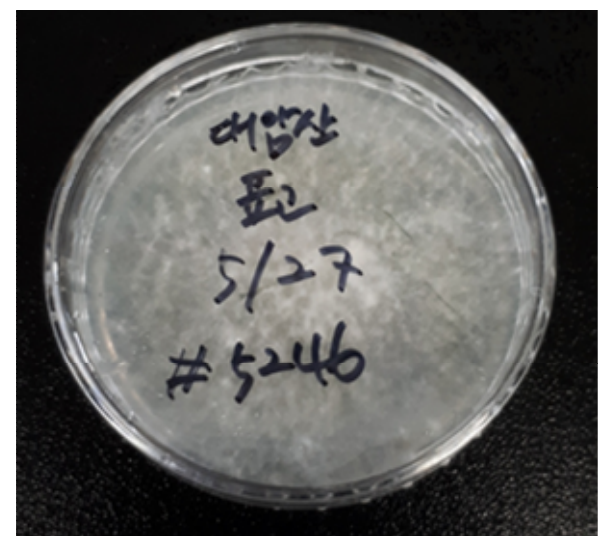
등록번호 : NIFoS 5243



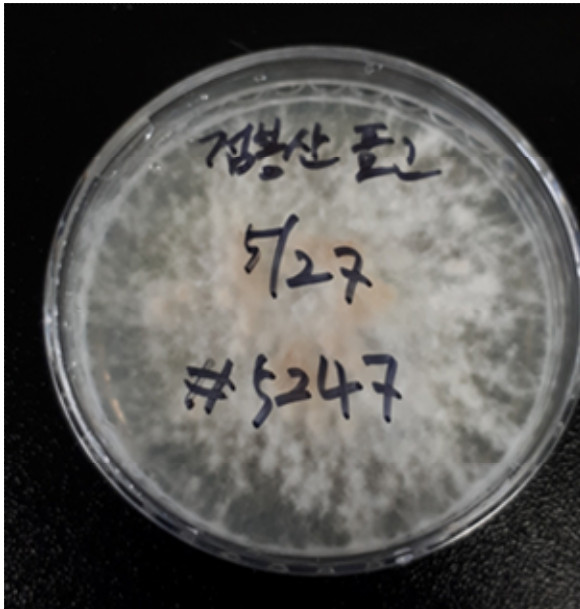
등록번호 : NIFoS 5244



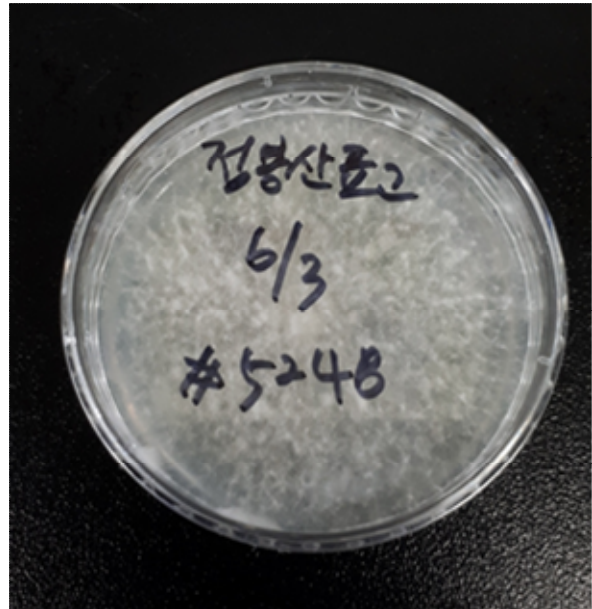
등록번호 : NIFoS 5245



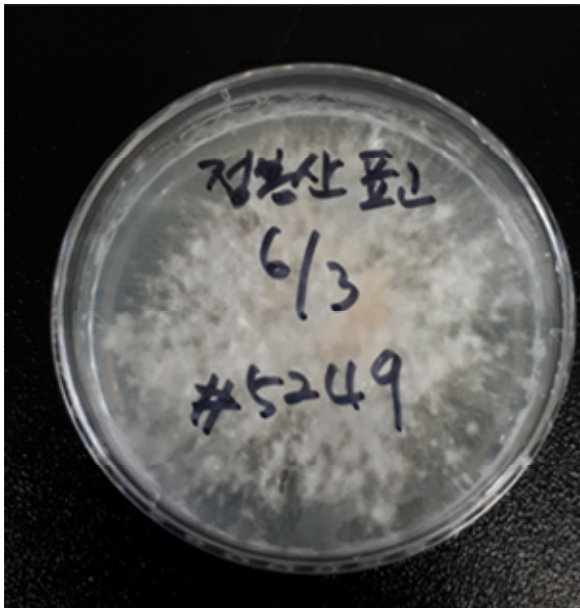
등록번호 : NIFoS 5246



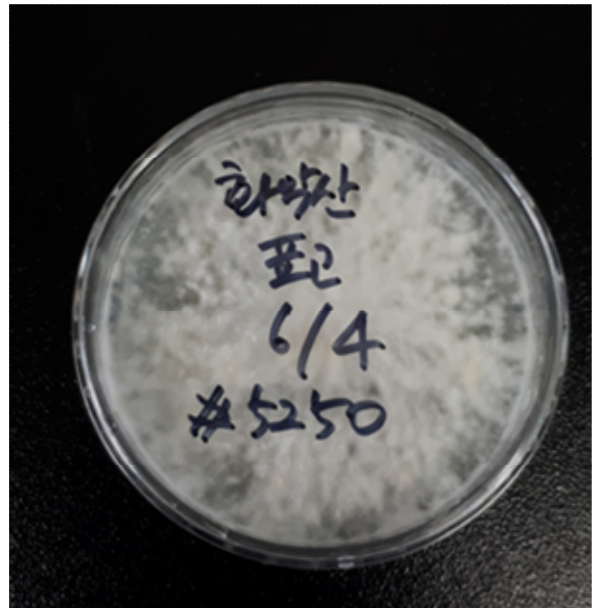
등록번호 : NIFoS 5247



등록번호 : NIFoS 5248



등록번호 : NIFoS 5249



등록번호 : NIFoS 5250

그림 2-1-4. 등록된 유전자원의 야생 표고의 균사체 모습

바. 등록된 야생 표고의 유전자원 보존

등록된 유전자원은 PDA 배지가 분주된 80 mm 원형 실험용 페트리디쉬(petri dish)에 접종하여 4℃ 항온으로 배양을 하여 보관하였다. 보관된 자원의 균사체가 2/3 길이로 자라면 2-3개월마다 동일한 방법으로 새로운 배지에 옮겨 계대배양을 하였다. 그러나 이 방법은 유전자원의 단기간 보존에 유용한 방법으로 배양을 오래 지속하면 균의 활력이 떨어지는 단점이 있었다. 이에 따라 직경 18-21 mm 시험관을 이용하여 PDA 배지로 유전자원 보존을 시도하였다. 시험관을 이용하면 페트리디쉬를 이용할 때 보다는 분주된 PDA 배지의 건조가 느려 보존기간이 좀더 길었고, 상대적으로 오염률도 낮았다. 보존하고자 하는 표고 유전자원 균이 들어있는 페트리디쉬의 겉면을 70% 에탄올(ethanol)로 소독하고, 멸균된 메스로 표고의 균사체가 자라고 있는 PDA배지를 약 5 mm × 5 mm × 5 mm 로 절단하고 접종용 니들(needle)을 이용하여

PDA 배지가 분주된 시험관에 옮겨 계대배양을 하였다. 새롭게 접종이 완료된 시험관은 25℃ 항온기에 넣어 배양하고 균사체가 배지의 2/3 정도까지 증식하면 4℃ 항온기에 옮겨 보관하고 2-3개월 마다 동일한 방법으로 계대배양 하였다. 그러나 이 방법도 배양을 오래 지속하면 균의 활력이 떨어져 이 방법을 응용하여 톱밥배지를 넣은 시험관에 표고 균을 접종하여 중장기 보존을 시도하였다. 또한 중장기 보존을 위하여 10% 글리세롤(glycerol)을 이용하여 야생 표고 유전자원을 보존하였다. 보존용기는 초저온에도 내구성이 높은 1.5-2 ml 용량의 cryo vial을 이용하였다. 페트리 디쉬를 이용한 PDA 배지에서 배양되고 있는 야생 표고의 균사체의 가장자리를 코르크 보어러(cork borer)를 이용하여 직경 5 mm 이하의 원형으로 절단하고 절편 조각을 cryo vial 1개당 5개씩 넣었다. 멸균 주사기를 이용하여 각각의 cryo vial 에 10% 글리세롤을 용량만큼 분주하였다. 30분 이상 상온에 상치하였다가 -80℃ 온도의 냉동고에 4시간 이상 보존한 후에 -196℃의 액체질소 보존탱크로 옮겨 보존하였다.

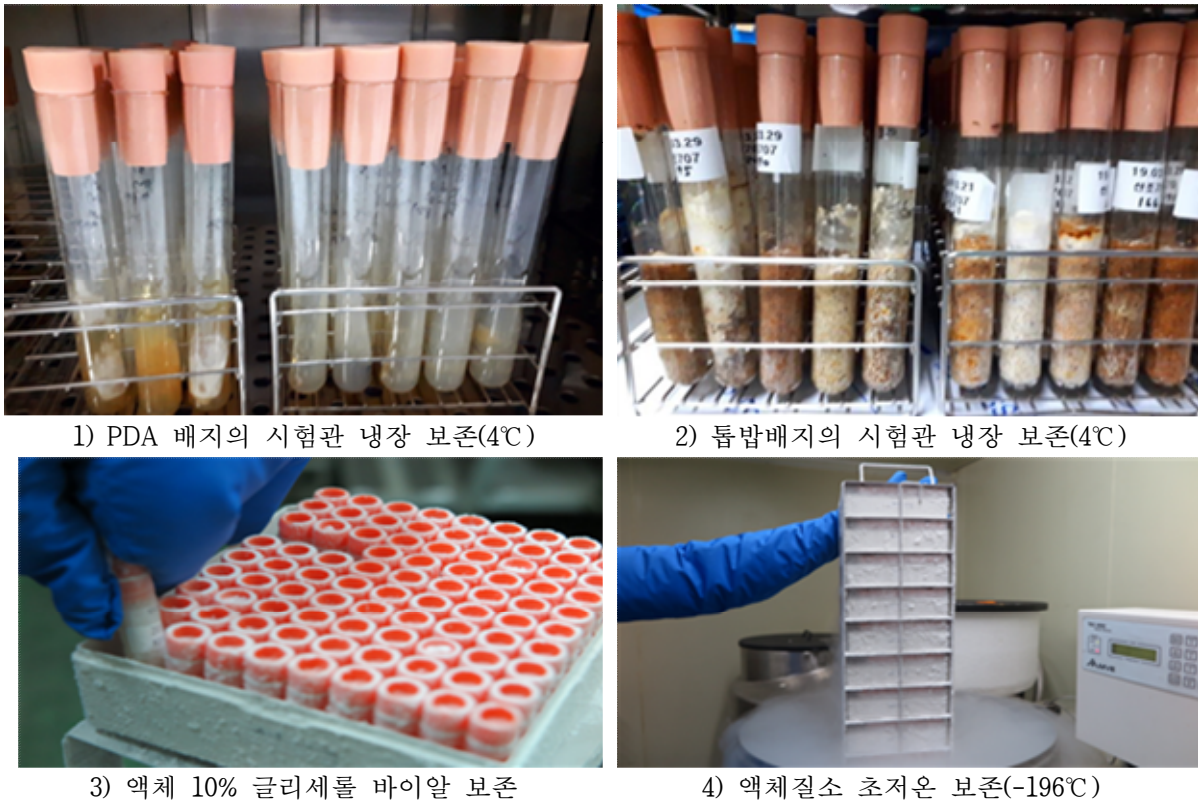


그림 2-1-5. 등록된 야생 표고의 유전자원 보존

2. 표고 바이러스 분석

가. 연구목적

버섯 바이러스는 세포 밖에서는 활성이 없고 균사 간의 접촉을 통해 세포내용물이 이동되는 과정에서 전이되는 수평감염을 통해 건전한 균사체가 바이러스에 감염된다. 그리고 버섯의 포자는 바람에 의해 쉽게 이동하게 되는데 재배사 내에 있는 바이러스에 감염된 포자를 통해 다음 세대로 이어지는 수직감염과 버섯을 섭취하는 곤충에 의해 전달되는 것으로 보고되어 있다.

버섯의 바이러스 감염이 모든 버섯에서 바이러스 병징이 나타나거나 유해하지는 않다. 느타리의 경우 실제로 바이러스 감염이 확인된 균주일지라도 재배 환경에 따라 바이러스 병징이

나타나지 않고 정상적인 자실체를 생산하는 경우도 있기 때문이다. 그러나 균사체에 바이러스 입자가 존재하는 경우 배양조건에 따라 바이러스병의 발생과 진행이 결정될 가능성이 있기 때문에 버섯의 품종에 따라 최적의 재배 환경을 조성해야 한다. 그리고 바이러스에 감염되지 않은 건전한 종균을 재배에 이용한다면 버섯재배에 성공률을 높일 수 있다. 그래서 무바이러스 종균과 품종개발이 매우 중요하다.

나. 연구수행 내용 및 결과

(1) 야생표고에서 바이러스의 분석

(가) 표고 바이러스의 유전체 분리

야생에서 채집하여 톱밥 시험관 배지에 보관되어 있는 표고 야생균주를 PDA 배지에 재접종하여 25℃에서 2주일간 배양하였다. 배양이 끝난 균사를 액체질소에 담그고 막자사발로 갈아 가루형태로 만들었다. 가루형태가 된 균사에서 RNeasy Mini Kit(Qiagen) 를 이용해 total RNA를 추출하고 먼저 표고의 β -Tubulin 유전자에 특이적인 primer를 이용하여 Reverse transcription polymerase chain reaction (RT-PCR)을 수행하였다. 그리고 지금까지 표고에서 발견된 바이러스는 LeSV, LePV1, LeV-HKB, LeNSRV1, LeNSRV2가 있는데 이 바이러스의 유전자에 특이적인 primer를 이용해 PCR을 하고 PCR 결과물로 DNA 염기서열을 확인하였다.

표 2-1-2. 표고에서 발견된 바이러스와 유전체의 종류

바이러스 종류	바이러스의 유전체 종류
<i>L. edodes</i> Spherical Virus (LeSV)	ssRNA
<i>L. edodes</i> partitivirus 1 (LePV1)	dsRNA
<i>L. edodes</i> mycovirus HKB (LeV-HKB)	dsRNA
<i>L. edodes</i> negative-strand RNA Virus 1 (LeNSRV1)	ssRNA
<i>L. edodes</i> negative-strand RNA Virus 2 (LeNSRV2)	ssRNA

표 2-1-3. 바이러스 분석을 위한 유전자 마커

Primer set	Forward primer (5' -3')	Reverse primer (5' -3')
β -Tubulin	GACCGTATGATGTGCACGTAC	CACAAGATGGTTGAGGTCACC
LeSV	GCGATGATGACATACAGTAGGC	CGACGTCGGATAACATTGCGTC
LePV1	AGCCTTTGACGATGTATCCGACTAC	GGTTATGATTGCGAGAGGCATT
LeV-HKB	TGTTGTATAAGACAGGCGGTGTGGG	GGGTATATCTCAGCAAGCCTATGC
LeNSRV1	CGAGACATCCTCGCGGCTGTAGAGG	CCGAGGTTACCAGCTCCGATTGTC
LeNSRV2	AAGTATGGGGTAGTGATGATAGTGG	GAGGCTCCACCTTCCAATGTCTGAG

(나) 바이러스 분석 결과

표고 야생균주를 대상으로 바이러스의 유전체 검출을 수행한 결과 전체 112개 균주 중에서 LeSV는 57개 균주에서 386 bp의 DNA가 증폭되었고 LePV1은 48개 균주에서 389 bp, LeV-HKB

는 57개 균주에서 394 bp, LeNSRV1은 51개 균주에서 377 bp, LeNSRV2는 23개 균주에서 328 bp의 DNA가 증폭되는 것을 확인 할 수 있었다. 5종류의 바이러스들 중에서 LeNSRV2의 감염 비율이 가장 낮은 것으로 나타났고 한 균주내에서 2종류에서 5종류까지 여러 가지 바이러스가 복합적으로 감염되는 다중감염의 비율도 높게 나타나는 것을 볼 수 있었다.

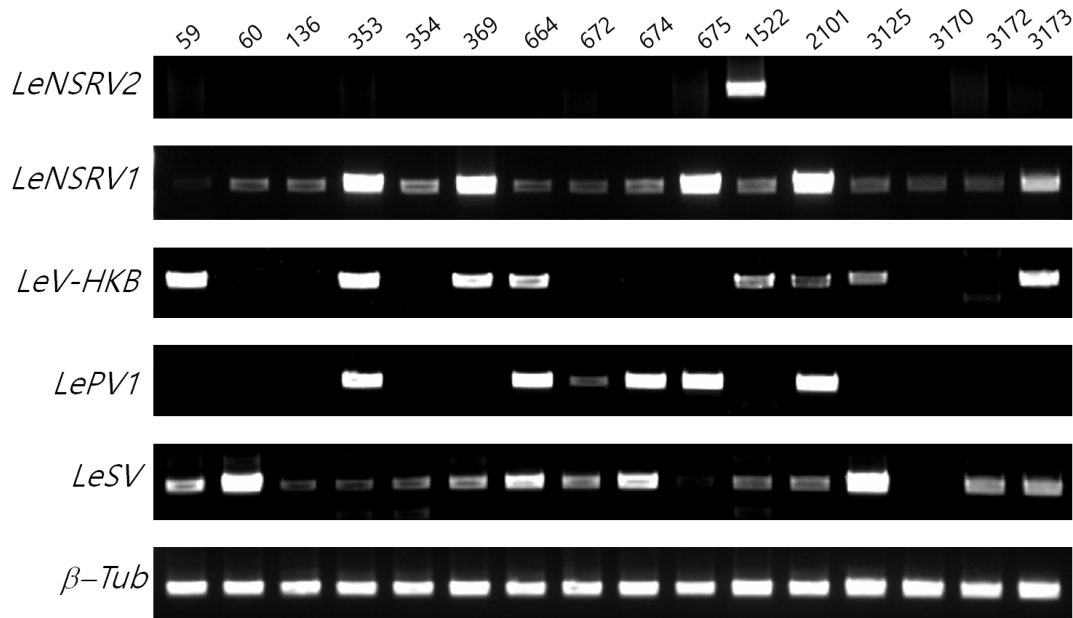


그림 2-1-6. 바이러스의 유전체 확인 예시

표 2-1-4. 표고 야생균주의 바이러스 분석 결과

No.	LeSV	LePV1	LeV-HKB	LeNSRV1	LeNSRV2	다중감염	채집지역
36	+		+			2	경남 하동군 지리산
37		+				1	경남 하동군 지리산
38				+		1	경남 하동군 지리산
39						0	경남 하동군 지리산
40						0	경남 하동군 지리산
41			+			1	강원 홍천군 계방산
42		+	+	+		3	제주 서귀포시 한라산
43						0	제주 남제주군
45		+		+		2	강원 홍천군 오대산
46		+	+			2	강원 홍천군 오대산
47		+	+			2	강원 홍천군 오대산
48				+		1	강원 홍천군 계방산
49		+	+			2	강원 홍천군 계방산
50	+	+	+			3	강원 홍천군 계방산
51	+	+	+	+	+	5	강원 홍천군 계방산
52	+		+	+		3	강원 홍천군 계방산
53		+	+			2	강원 홍천군 계방산
55	+	+	+			3	경남 하동군 지리산

No.	LeSV	LePV1	LeV-HKB	LeNSRV1	LeNSRV2	다중감염	채집지역
56		+				1	경남 하동군 지리산
57		+				1	경남 하동군 지리산
58	+	+	+			3	경남 하동군 지리산
59	+		+			2	경남 하동군 지리산
60	+			+		2	경남 하동군 지리산
62		+	+	+		3	강원 홍천군 오대산
63	+	+	+	+	+	5	강원 홍천군 오대산
64			+	+		2	강원 홍천군 오대산
65	+		+			2	강원 홍천군 계방산
66	+	+	+			3	강원 홍천군 계방산
67	+	+	+	+		4	강원 홍천군 계방산
68				+		1	강원 홍천군 계방산
128	+	+	+			3	전북 무주군 덕유산
129	+		+			2	충북 보은군 속리산
130	+		+			2	충북 보은군 속리산
135		+				1	경남 하동군 지리산
136	+			+		2	경남 하동군 지리산
177					+	1	제주 서귀포시 한라산
188						0	강원 홍천군 오대산
221						0	강원 홍천군 오대산
299			+			1	강원 평창군 대관령
351				+		1	강원 홍천군 오대산
352	+		+	+		3	강원 홍천군 오대산
353	+	+	+	+		4	강원 홍천군 오대산
354	+			+		2	강원 홍천군 오대산
369	+		+	+		3	강원 홍천군 오대산
370	+		+			2	강원 평창군 대관령
411		+		+		2	강원 고성군 향로봉
663				+		1	강원 홍천군 개방산
664	+	+	+	+		4	강원 홍천군 개방산
665	+		+			2	강원 홍천군 개방산
666	+		+			2	강원 홍천군 개방산
667			+			1	강원 홍천군 개방산
668	+	+	+	+		4	강원 홍천군 개방산
669					+	1	강원 홍천군 개방산
670	+	+			+	3	강원 홍천군 소개방산
672	+	+		+		3	강원 홍천군 소개방산
673	+	+	+			3	강원 홍천군 소개방산
674	+	+		+		3	강원 홍천군 소개방산
675		+		+		2	강원 홍천군 소개방산
676	+	+	+			3	강원 홍천군 소개방산

No.	LeSV	LePV1	LeV-HKB	LeNSRV1	LeNSRV2	다중감염	채집지역
1520	+	+		+	+	4	강원도 평창군
1522	+		+	+	+	4	강원도 평창군
1651	+	+	+			3	전남 구례군 화엄사
1652	+		+			2	전남 구례군 화엄사
2063	+	+			+	3	강원 춘천시 집다리골
2064	+					1	강원 춘천시 집다리골
2101	+	+	+	+		4	강원 홍천군 오대산
2290		+			+	2	강원 평창군 가리왕산
2497	+					1	강원 평창군
2498	+					1	강원 평창군
2521	+		+			2	강원 고성군
2783	+		+			2	강원 평창군
3010	+		+	+	+	4	강원 춘천시
3125	+		+	+		3	강원 춘천시 대아산
3166	+		+			2	강원 양양군
3168			+			1	강원 홍천군
3169	+	+				2	강원 평창군
3170				+		1	강원 양양군
3172	+			+		2	강원 인제군
3173	+		+	+		3	제주도 서귀포시
3175		+	+			2	강원 평창군
3177	+			+		2	강원 정선군
3198	+	+		+		3	강원 평창군
3199			+	+		2	강원 평창군
3201	+	+	+	+		4	강원 평창군
3202		+	+	+		3	강원 양양군
3203	+	+		+		3	강원 양양군
3983					+	1	경기 가평군
3984						0	경기 가평군
3986					+	1	경기 가평군
3987						0	경기 가평군
3989						0	경기 가평군
3990						0	경기 가평군
3991						0	경기 가평군
4367					+	1	경기 가평군
4368					+	1	경기 가평군
4617					+	1	경기 가평군
4618					+	1	경기 가평군
4619						0	경기 가평군
4961						0	강원 평창군 오대산
4962	+					1	경남 함양군 백소령

No.	LeSV	LePV1	LeV-HKB	LeNSRV1	LeNSRV2	다중감염	채집지역
5241		+	+	+	+	4	제주도 서귀포시
5242	+			+	+	3	강원 평창군 가리왕산
5243		+	+	+		3	강원 평창군 가리왕산
5244				+	+	2	강원 평창군 가리왕산
5245		+		+	+	3	강원 평창군 중왕산
5246		+	+	+		3	강원 인제군 대암산
5252	+		+	+		3	강원 홍천군 오대산
5253	+	+		+		3	강원 홍천군 오대산
5254	+	+	+	+	+	5	강원 홍천군 오대산
5255		+	+	+		3	강원 홍천군 오대산
5256		+	+	+	+	4	강원 홍천군 오대산
5257	+		+	+	+	4	강원 홍천군 오대산

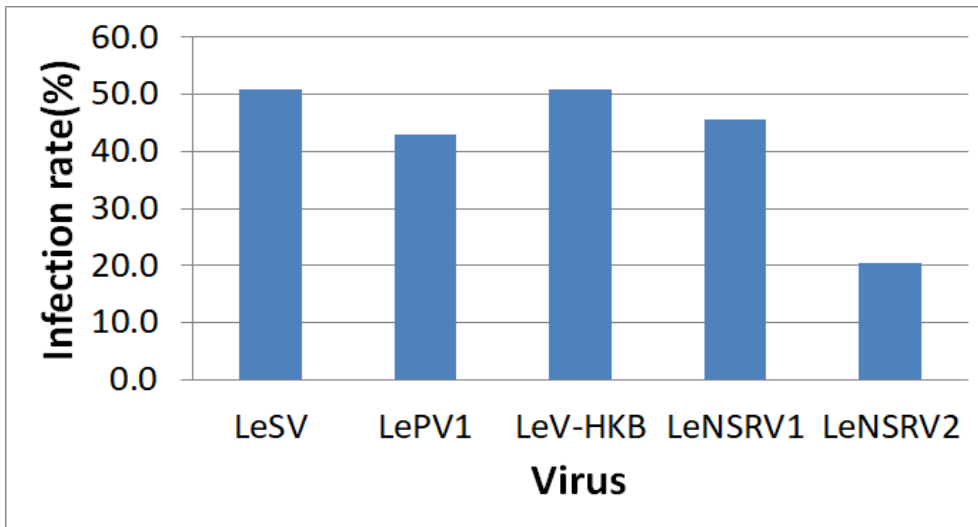


그림 2-1-7. 바이러스별 감염 비율

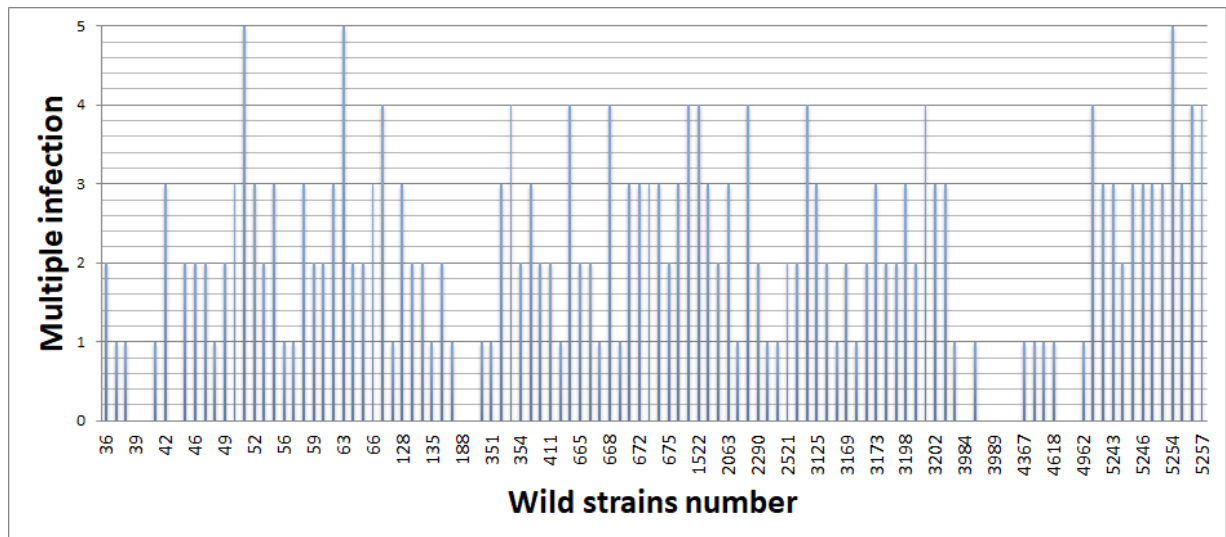


그림 2-1-8. 균주별 바이러스의 다중감염

(2) 국내 출원 품종의 바이러스 감염조사

국내에 등록되어 있는 품종들을 대상으로 5종류 바이러스의 감염에 대한 분석을 수행하였고 조사한 품종들에서 단일감염과 다중감염을 포함하여 50% 정도의 바이러스 감염률을 나타내었다. 이는 국내에 유통되고 있는 표고 균주가 바이러스에 많은 양이 감염되어 있음을 알 수 있었다. 바이러스 유무에 따라 버섯의 생산량에 어떤 차이가 있는가를 앞으로 더 조사가 필요한 상태이다. 아울러 바이러스와 검역과의 관계를 고려한 접근법도 필요할 것으로 판단되었다.

표 2-1-5. 국내 출원 품종의 바이러스 분석 결과

균주명	LeSV	LePV1	LeV-HKB	LeNSRV1	LeNSRV2
L808(3361)			+		
L808(3363)			+		+
L808(4598)			+		+
L808(5770)			+		
L808(5771)			+		
XR-1(4600)					
가을향	+		+		
다산향					
밤빛향					
백화향	+		+		
산림10호					
산마루1호					
산마루2호					
산백향			+	+	
산산향	+		+		
산장향	+		+		
산조101호					
산조102호			+		
산조103호					
산조108호					
산조109호					
산조110호					
산조111호					
산조301호			+		
산조302호					
산조303호					
산조304호					
산조305호	+				
산조501호			+		
산조502호	+				
산조503호					
산조701호	+		+		
산조702호					

균주명	LeSV	LePV1	LeV-HKB	LeNSRV1	LeNSRV2
산조704호			+		
산조705호			+		
산조706호	+		+		
산조707호	+		+	+	
산조708호					
산조709호	+		+		
산조710호					
산조711호					
산조712호			+		
산조713호					
산조715호					
산조716호					
산조717호					
산호향			+		
설백향					
수향고	+		+		
여름향					
이슬표고(3875)					
이슬표고(5239)					
장안1호(3179)	+		+		
중국9015(4599)			+	+	+
참아람					
천백고					
천장1호				+	+
천장2호					
천장3호					
청흥1호(5648)					
추재2호(2694)					
추재2호(4602)					
태향고			+	+	
풍년고				+	+
향고808(2695)			+		
향고808(3178)			+		+

(3) 바이러스 제거를 통한 무바이러스 균주 개발

(가) cAMP 배지에서의 계대배양

표고 바이러스의 제거를 목적으로 LeV-HKB와 LeNSRV1에 감염되어 있는 산백향과 태향고 균주를 대상으로 cAMP와 rifamycin 배지에 계대배양하였다. 계대의 횟수가 증가함에 따라 균사의 성장속도가 느려지고 바이러스의 유전체도 점점 줄어들어 가는 것을 볼 수 있었다.

표 2-1-6. 바이러스를 제거하기 위한 cAMP배지의 조성

성분	농도
글루코우즈	1%
아가	2%
무수 L-아스파라긴	2%
cAMP	1mM
리파마이신	75 μ g/ml

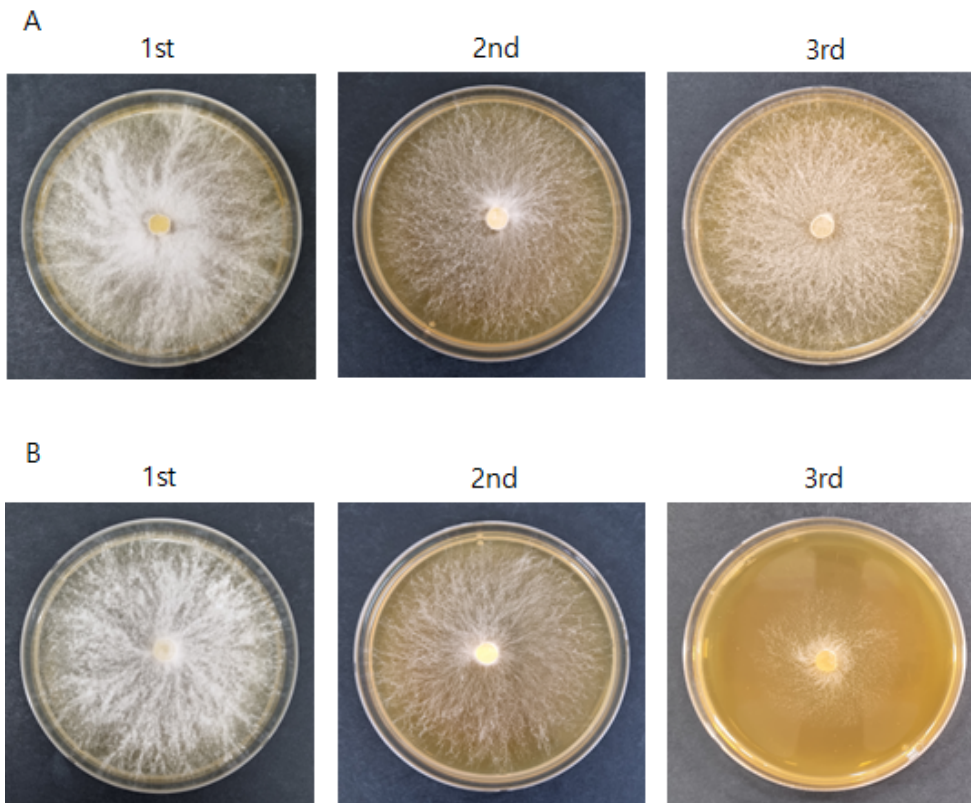


그림 2-1-9. 바이러스 감염균사의 cAMP 배지에서의 계대배양 (A : 산백향, B : 태향고)

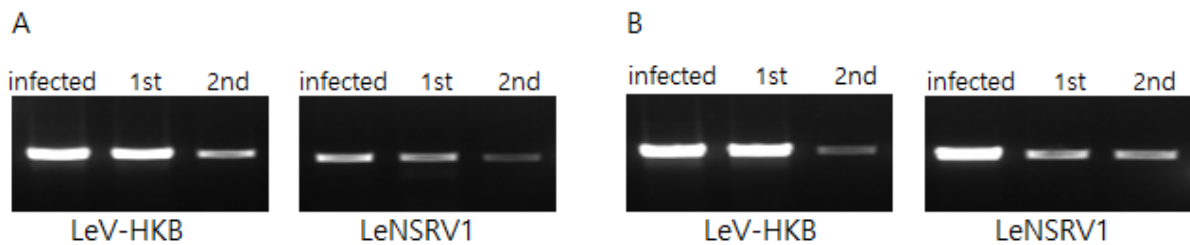


그림 2-1-10. cAMP 배지에서의 계대배양된 바이러스 감염균사의 RT-PCR 결과 (A : 산백향, B : 태향고)

(나) 균사체 단편화 방법으로 무바이러스 균주 개발

표고 야생균주 (NIFoS 51)가 여러 종류의 바이러스 (LeSV, LePV1, LeV-HKB, LeNSRV1, LeNSRV2)에 감염된 것으로 확인하였고 균사체 단편화 방법으로 바이러스 제거를 시도하였다. 바이러스의 확인은 RNA 고평이 바이러스에 특이적인 RdRp 유전자를 이용한 RT-PCR 기법을 이용하여 수행하였다. 또한 5종류 바이러스 중에서 LeSV와 LeV-HKB 바이러스가 제거된 균주를 확보하였고 이들 균주의 균사 성장을 조사하였다. 2종류 바이러스가 제거된 균주는 5종류 바이러스에 감염된 균주와 비교했을 때 더 높은 균사 성장 속도를 보였다. 이러한 결과는 바이러스의 감염이 표고 균주의 균사체 성장에 영향이 있음을 나타낸다.

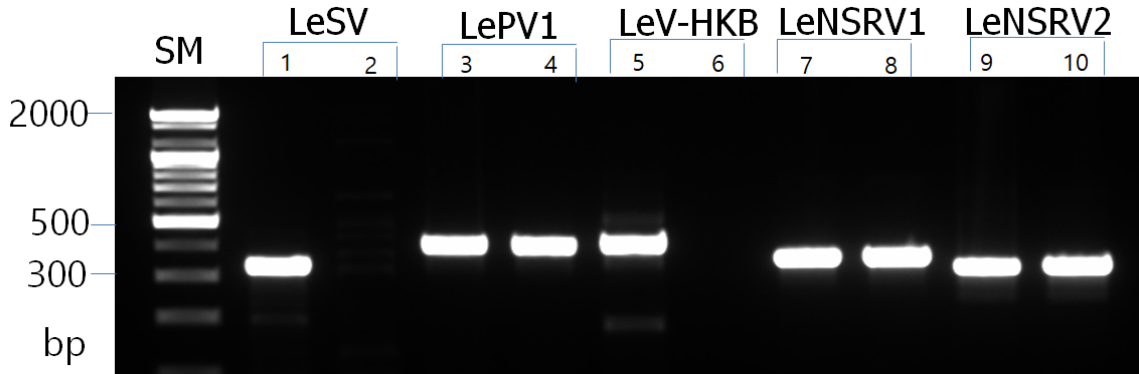


그림 2-1-11. 표고바이러스의 확인을 위한 RT-PCR확인 (lane 1,3,5,7,9 : virus-infected strain, lane 2,4,6,8,10 : virus-cured strain, SM : 100bp size mark)

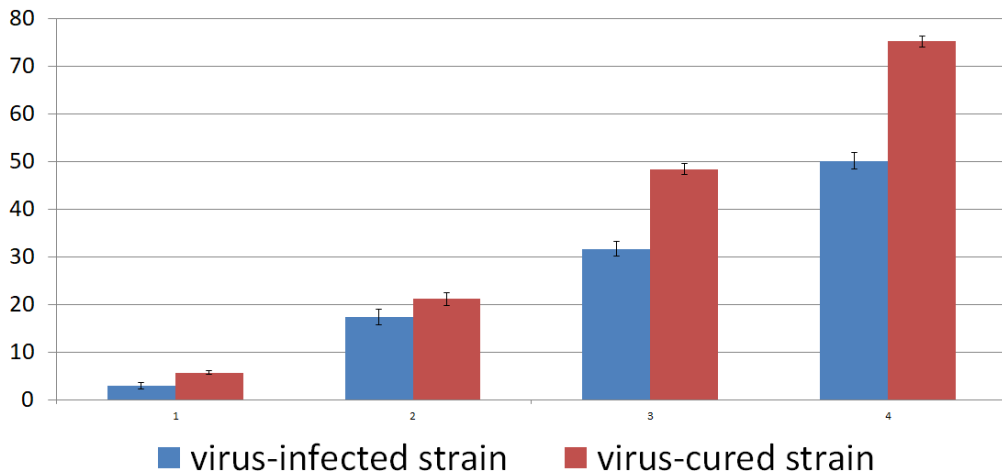


그림 2-1-12. 바이러스 감염 균주와 바이러스 제거 균주의 균사 성장 조사

(다) 표고 바이러스의 수직감염 조사

본 연구에서 교배균주 육성을 위해 사용 중인 단핵균주에서 표고 바이러스의 유전체 마커를 이용해 바이러스 감염에 대한 조사를 하였다. LeV-HKB와 LeNSRV1에 감염되어 있는 태향고 균주의 80개 단핵균주에서 LeV-HKB는 80개(100%)의 균주에서 존재하였고 LeNSRV1은 9개 (11%)의 균주에서 확인되었다. 버섯 바이러스는 수평 및 수직감염이 동시에 이루어지기 때문에 바이러스에 감염된 균사를 판별하여 재배 및 육종에서 제외함으로써 버섯의 바이러스병에 대한 피해를 방지할 수 있을 것으로 생각된다.

표 2-1-7. 태향고 단포자에서 바이러스 분석 결과

단포자	LeHKB	LeNSRV1	단포자	LeHKB	LeNSRV1
n1	+		n41	+	
n2	+		n42	+	
n3	+		n43	+	+
n4	+		n44	+	
n5	+		n45	+	
n6	+		n46	+	
n7	+		n47	+	+
n8	+		n48	+	
n9	+		n49	+	
n10	+		n50	+	+
n11	+		n51	+	
n12	+	+	n52	+	
n13	+		n53	+	
n14	+	+	n54	+	
n15	+		n55	+	
n16	+		n56	+	
n17	+		n57	+	
n18	+		n58	+	
n19	+		n59	+	
n20	+		n60	+	
n21	+		n61	+	
n22	+		n62	+	
n23	+	+	n63	+	
n24	+		n64	+	
n25	+		n65	+	
n26	+	+	n66	+	
n27	+		n67	+	
n28	+		n68	+	
n29	+	+	n69	+	
n30	+		n70	+	
n31	+		n71	+	
n32	+		n72	+	
n33	+	+	n73	+	
n34	+		n74	+	
n35	+		n75	+	
n36	+		n76	+	
n37	+		n77	+	
n38	+		n78	+	
n39	+		n79	+	
n40	+		n80	+	

3. 교잡균주 육성 및 버섯발생 조사

가. 단핵균주 만들기

단핵균주는 표고의 품종육성과정에 필수적 요소로, 유통 품종, 교잡과정에서 얻어진 균주 및 야생 표고 균주로부터 만들었다. 단포자 분리과정은 1) 80% 정도 개산된 버섯 선정, 2) 대를 자른 갓은 조직배양 샬레(100 x 40 mm)에 놓고 2-3시간 기다림, 3) 떨어진 포자는 멸균수 50 μ l 현탁액을 만들어 멸균수 1ml 넣고, 순차 희석 5회, 4) 희석한 곳에서 50 μ l를 PDA 배지에 도말, 5) 25 $^{\circ}$ C 항온기에서 5-7일 배양하면서 발아된 포자를 PDA 배지에 옮김, 6) 25 $^{\circ}$ C 항온기에 20일 배양, 7) 생장한 단포자 균주는 현미경 관찰(1,000배)을 통해 꺾쇠연결(clamp connection) 유무 확인한 다음 꺾쇠연결이 없는 것을 선택, 8) 보관균주 만들고 PDA 배지에서 군사생장 조사한다. 군사생장은 PDA 배지 25 $^{\circ}$ C 에서 14일간 배양한 후 균총 크기와 균총밀도를 조사하였다. 군사 밀도 조사는 「신품종 심사를 위한 표고버섯 재배 및 특성조사 매뉴얼」 책자를 참고하여 작성하였다. 단포자 균주는 육종재료로 활용하고, 향후 필요한 연구자에게 분양할 계획이다. 단포자 균주는 산백향 등 67개 균주를 확보하였다.

표 2-1-8. 단포자 균주 분리

균주번호	단포자 갓수	구분	교배형 분석
169	10	산림10호/툽밥재배	
174	20	수향고/원목재배	분석완료
401	20	산림1호/원목재배	
405	20	산림5호/원목재배	
485	20	중국품종/툽밥재배	
619	10	천장3호/원목재배	분석완료
623	50	백화향/원목재배	분석완료
732	10	일본품종/툽밥재배	
765	10	일본품종/원목재배	
803	20	일본품종/원목재배	
805	20	일본품종/원목재배	분석완료
921	10	대만품종/툽밥재배	
971	10	교잡균주/원목재배	
1038	10	대만품종/툽밥재배	분석완료
1046	20	일본품종/원목재배	
1056	10	일본품종/원목재배	분석완료
1066	10	일본품종/원목재배	분석완료
2458	20	산조303호/원목재배	분석완료
2461	20	산조502호/원목재배	분석완료
2462	20	산조701호/툽밥재배	분석완료
2464	20	참아람/툽밥재배	
2468	20	산조707호/툽밥재배	분석완료
2469	20	산조708호/툽밥재배	분석완료
2470	20	산조709호/툽밥재배	분석완료
2471	20	산조710호/툽밥재배	분석완료
2694	10	중국품종/툽밥재배	
2778	20	산백향/툽밥재배	분석완료
2924	20	산마루1호/툽밥재배	분석완료

균주번호	단포자 갯수	구분	교배형 분석
2925	20	산마루2호/툽밥재배	분석완료
3126	20	일본품종/툽밥재배	
3148	10	중국품종/툽밥재배	분석완료
3150	10	중국품종/툽밥재배	분석완료
3179	20	장안1호/툽밥재배	
3181	20	일본품종/원목재배	
3362	20	일본품종/툽밥재배	
3404	10	밤빛향/툽밥재배	분석완료
3420	20	산산향/툽밥재배	분석완료
3583	10	교잡균주/툽밥재배	분석완료
3879	20	산조711호/툽밥재배	분석완료
3880	10	산조712호/툽밥재배	분석완료
3881	20	산조713호/툽밥재배	분석완료
3909	10	교잡균주/툽밥재배	
3987	5	야생균주/원목재배	
3989	5	야생균주/원목재배	
3991	5	야생균주/원목재배	
4220	10	일본품종/툽밥재배	
4241	10	교잡균주/툽밥재배	
4242	10	교잡균주/툽밥재배	
4243	10	교잡균주/툽밥재배	
4244	10	교잡균주/툽밥재배	
4245	10	교잡균주/툽밥재배	
4265	10	교잡균주/툽밥재배	분석완료
4317	10	태향고/툽밥재배	분석완료
4323	10	교잡균주/툽밥재배	분석완료
4324	10	교잡균주/툽밥재배	분석완료
4329	10	만추향/툽밥재배	분석완료
4473	10	교잡균주/툽밥재배	분석완료
4549	10	교잡균주/툽밥재배	분석완료
4598	10	중국품종/툽밥재배	분석완료
4601	10	중국품종/툽밥재배	분석완료
4782	10	교잡균주/툽밥재배	분석완료
4865	10	산조715호/툽밥재배	분석완료
4866	10	산조718호/툽밥재배	분석완료
4867	10	일본품종/원목재배	분석완료
4943	10	교잡균주/툽밥재배	분석완료
5186	10	교잡균주/툽밥재배	분석완료
5221	10	교잡균주/툽밥재배	
5244	10	야생균주/원목재배	
5247	10	야생균주/원목재배	
5251	10	야생균주/원목재배	
5925	80	4종 교배형 각각 20개	분석완료
산백향	80	4종 교배형 각각 20개	분석완료
산조701호	80	4종 교배형 각각 20개	분석완료
산마루2호	80	4종 교배형 각각 20개	분석완료
태향고	80	4종 교배형 각각 20개	분석완료

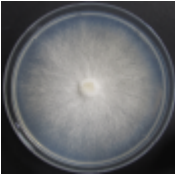
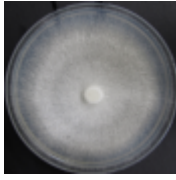
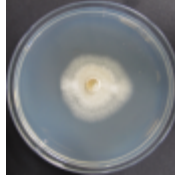
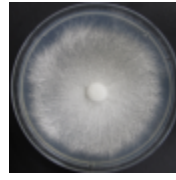
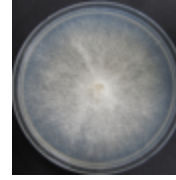
균주이름	2778 n-1	2778 n-2	2778 n-3	2778 n-4	2778 n-5
단포자 균사사진					
균사생장 (mm)	51.3 ± 0.1	59.8 ± 1.7	18.6 ± 1.4	67.0 ± 1.7	50.1 ± 0.5
균사 밀도	성김	보통	조밀	보통	보통

그림 2-1-13. 2778 단포자의 균사 생장

나. 단핵균사의 교배형 분석

표고는 사극성 교배계(tetrapolar mating system)를 따르는 담자균으로 서로 독립인 A와 B라 일컬어지는 두 유전자좌(gene loci)에 의해 두 균주 간의 교잡 화합성이 결정된다. GSP 1단계 사업 및 후속 연구로 표고의 A와 B 교배형 결정 유전자좌들의 구조와 서열이 알려졌다으며 (J Microbiol (2018) 56: 416-425, Scientia Hortic (2019) 243: 55-63), 이에 따라 다양한 표고 균주들의 교배형 분석이 가능하게 되었다. 교배형 정보는 신품종 육성 시 교잡 확률을 높이고 교잡에 필요한 노동력과 시간을 절약하는 데 기여할 수 있으므로, 단핵균사 풀의 교배형을 분석하였다.

(1) 교배형 분석 방법

균주별로 생육이 건정한 자실체로부터 분리된 단포자로부터 발아하여 성장한 단핵균사의 genomic DNA를 정제한 뒤, 1단계 사업을 통해 개발된 마커를 활용하여 PCR을 수행함으로써 교배형을 분석하였다.

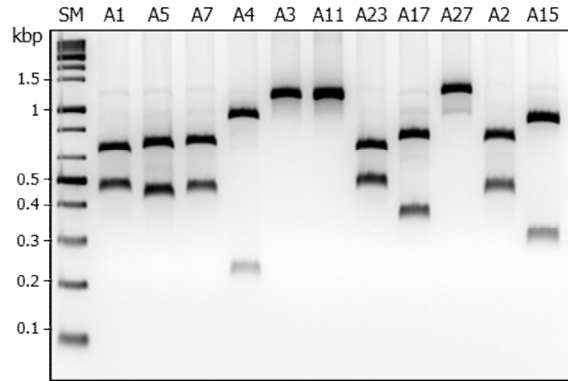
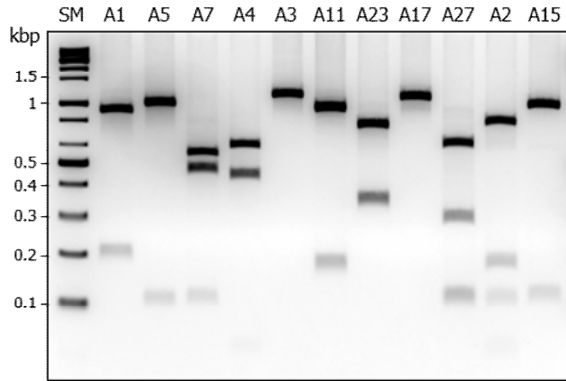
(가) A 교배형 분석 방법

① A 교배형 유전자좌의 염기서열 분석

1단계 사업에서 A 교배형 유전자좌에서 서로 다른 6개의 A 교배형 간에 상동성이 높은 지역을 이용하여 교배형 별로 차이가 심한 지역을 증폭할 수 있는 프라이머를 개발하였다. 이를 활용해 표고 균주별로 A 교배형 유전자좌의 일부 지역을 PCR로 증폭한 뒤, 해당 부분의 염기서열을 분석하고, 이를 알려진 A 교배형 서열과 비교함으로써 해당 균주의 A 교배형을 결정하였다.

② A 교배형에 대한 CAPS 마커를 통한 분석

국내외의 재배종 및 야생종을 통틀어 총 127종에서 63가지의 A 교배형이 관찰되었다. 특히, 조사한 96종의 재배종 가운데 11가지 A 교배형이 전체의 약 90%를 차지하여 특정 교배형이 빈번하게 관찰됨을 확인하였다. 염기서열 분석 없이 이들을 보다 손쉽게 구분하기 위한 CAPS(cleaved amplified polymorphic sequence) 마커를 개발하였다. 1단계 사업에서 개발한 마커와 두 가지 제한효소를 적용하면 아래와 같이 11가지의 A 교배형을 서로 구분할 수 있다. CAPS 마커는 공우성 마커의 특성이 있기 때문에 이핵균사와 같이 서로 다른 대립 유전자가 섞여있는 경우에도 적용이 가능하다는 장점이 있다.



HaellIII 제한효소 처리 후 전기영동 결과

EcoRI 제한효소 처리 후 전기영동 결과

그림 2-1-14. CAPS 마커를 활용한 A 교배형 구분

(나) B 교배형 분석 방법

1단계 사업의 후속 연구 결과, 국내외의 재배종 및 야생종을 통틀어 총 111종에서 15가지의 B 교배형이 관찰되었다. 또한 페로몬 수용체 유전자 8가지에 대한 프라이머로 PCR을 수행함으로써 15가지 B 교배형을 모두 구분할 수 있음이 보고되었다. 해당 방법으로 단핵균사들의 B 교배형을 분석하였다. A와 B 교배형 분석에 활용한 프라이머의 서열은 아래의 표와 같다.

표 2-1-9. 교배형 분석에 사용한 프라이머

Primer set	Forward primer (5' - 3')	Reverse primer (5' - 3')
A-mat	GTGCTTCGTATGCTGGG	AGGAGCCAGGTGTAGGA
rcb1-1	GACTGCCTATCTTGGTGGTTC	GGACAGCAGTGTAATTTGACG
rcb1-2	GGA CTTCCTGTACTGGTATTG	ACGCTGGTAGGGTCACTTC
rcb1-3	CCTGCTAGTACTGGTGCTG	ATCTGAAGGCCAGCGGTG
rcb1-4	GGCTTACCAGTTCTAGTACTC	CTGAATGGCAGCGTTATC
rcb1-5	CCGGGCTTCCTCTACTTGTC	GAGCTGAATCGCGACAACG
rcb2-1	CTTCGATTACCTACGCAGAG	AGTGGGTCAGCGTCGTAGAG
rcb2-2	ACTAACGCTGCTCCGCAGAG	CAGATGTTGTGTGGAACCCG
rcb2-3	CGAAATGCTTCAATAACTCGCGC	ACTTGAATGCCGAGTGCC

(다) 효율적인 교배형 분석을 위한 direct PCR법

교배형 분석을 위해서는 분석하고자 하는 균주의 genomic DNA를 정제하여 특정 영역에 특이적인 프라이머를 활용하여 PCR을 수행해야한다. genomic DNA를 정제하는 방법에는 계면활성제를 사용하거나 페놀과 같은 유기용매를 이용하여 정제하는 방법 또는 실리카 컬럼을 활용한 상업적인 DNA 정제 키트를 사용하는 방법이 많이 쓰인다. 그러나 두 방법 모두 비용과 시간 등의 측면에서 대량의 시료를 다루는 데에 한계가 있다. 이에 보다 신속하고 효율적으로 많은 균주에 대한 교배형 분석을 수행하기 위해 DNA 정제 없이 PCR을 수행할 수 있는 direct PCR법을 개발하여 적용하였다. 해당 방법은 TE(10 mM Tris, 1mM EDTA, pH 8.0) 완충용액과 200 mM KOH, 100 mM (NH₄)₂SO₄, BSA(bovine serum albumin)을 사용하여 DNA 정제 없이 성공적인 PCR을 수행할 수 있다.

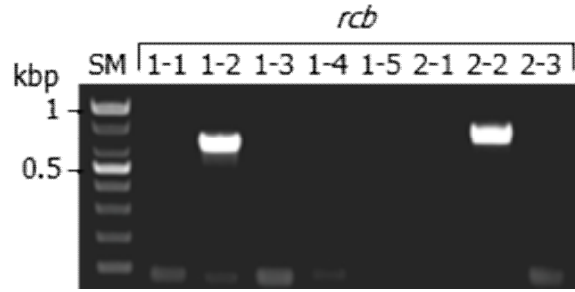


그림 2-1-15. direct PCR을 통한 B 교배형(B5) 분석의 예

(2) 군주별 단핵군사 교배형 분석 결과

상기한 분석 방법을 통해 총 48군주, 480개의 담자포자 유래 군사들에 대한 교배형 분석을 수행하였다. PCR을 통한 교배형 분석 결과, 480개의 군사 중 444개가 단핵군사로 나타나, 단핵군사 분리 성공률이 92.5%로 높게 나타났다. 단핵군사가 아닌 것으로 나타난 군사는 다른 균의 오염이나 단핵군사의 혼합 생장이 원인으로 나타났다. 또한 하나의 군주로부터 얻을 수 있는 단핵군사의 교배형이 네 가지인데 반해, 대체로 특정 교배형이 빈번하게 나타남을 확인하였다. 가장 극단적인 분포를 보인 예로는, NIFoS 4782가 있다. 해당 군주의 경우 10개의 군사 중 9개는 A5 B12, 1개는 A1 B12로 확인되었으며 이론적으로 가능한 나머지 두 교배형을 가진 군사는 관찰되지 않았다.

표 2-1-10. 표고 군주별 단핵군사의 교배형

NIFoS 품종명	n1	n2	n3	n4	n5	n6	n7	n8	n9	n10
3583	A7	A5	A5	A7	A7	A5	A5	A5	A5	A5
	B12	B4	B12	B12	B12	B12	B12	B12	B4	B12
4317 대향고	A2	A7	A7	A7	A7	A7	A7	A7	A2	A7
	B12	B2	B12	B2	B2	B12	B2	B2	B12	B2
4323	A7	A5	A7	A5	A7	A7	A7	A7	A5	A7
	B2	B12	B12	B12	B2	B2	B2	B2	B2	B12
4324	A7	A7	A7	A1	A1	A1	A1	A1	A1	A1
	B2	B2	B2	A7	B2	B2	B2	B2	B2	B2
				B2						
4598 L808	A22	A22	A1	A22	A22		A1	A22	A1	A22
	B12	B4	B12	B12	B12		B12	B12	B12	B12
4601 참아람	A5	A5	A1	A1	A1	A1	A1	A5	A5	A5
	B12	B12	B12	B11	B11	B12	B12	B12	B12	B12
4782	A5	A5	A5	A5	A5	A5	A5	A5	A5	A1
	B12	B12	B12	B12	B12	B12	B12	B12	B12	B12
4865 산조715호	A1	A1	A5	A5	A1	A5	A1	A1	A1	A1
	B4	B4	B12	B12	B4	B12	B4	B4	B4	B4
4866 산조718호	A5	A1	A5		A5	A5	A1	A5		
	B2	B2	B2		B2	B2	B2	B2		

NIFoS 품종명	n1	n2	n3	n4	n5	n6	n7	n8	n9	n10
619 천장3호	A3 A7 B4	A3 B4	A7 B4	A3 B4	A7 B4	A7 B4	A7 B4	A7 B12	A7 B4	A3 B4
623 백화향	A7 B12	A7 B12	A7 B12	A7 B8	A4 B8	A4 B12			A4 B12	A7 B12
1038	A5 B2	A5 B2	A5 B2	A5 B2	A5 B2	A5 B2	A5 B2	A5 B2	A5 B2	A5 B2
1056 균홍692	Anew B4	A5 B4	Anew B4	Anew B4	Anew B4	Anew B4	A5 Anew B2 B4		Anew B2	
1066 호켄63	A4 B8	A10 B12	A4 B12	A4 B12	A10 B8	A10 B8	A4 B8	A10 B12	A4 B8	
2458 산조303호	A5 B12	A5 B12	A5 B12	A1 B11	A1 B11	A5 B12	A5 B12	A1 B12	A1 B12	A1 B12
2461 산조502호	A5 B8	A5 B8	A1 B8 B11	A1 B11	A5 B11	A1 B8	A5 B11	A1 B11	A5 B8	A1 B8 B11
2462 산조701호	A5 B12	A5 B12	A5 B4 B12	A5 B4	A5 B4	A1 B4	A5 B12	A5 B4 B12	A5 B12	A5 B4
2469 산조708호	A5 B11	A5 B11 B12	A5 B11				A5 B11 B12	A5 B11	A5 B11	A5 B11
2470 산조709호		A1 B8	A5 B4	A1 B4	A1 B8	A1 B8	A1 B8	A1 B4	A1 B4	A1 B8
2471 산조710호	A5 B12	A5 B12	A5 B12	A5 B12	A1 B12	A1 B12	A1 B12	A5 B12	A5 B12	A5 B12
2924 산마루1호	A11 B12	A11 B5	A11 B5	A11 B12	A1 B5	A11 B5	A11 B12	A11 B12	A11 B5	A11 B5
2925 산마루2호	A1 B5	A11 B5	A11 B5	A11 B12	A11 B12	A11 B5	A11 B5	A11 B12	A11 B5	A11 B5
3148 JMI10088	A5 B2	A5 B2	A5 B4	A5 B2	A5 B4	A5 B2	A5 B2	A5 B4	A5 B2	A5 B2
3150 JMI10090	A5 B4	A5 B4	A5 B4	A5 B2 B4	A5 B4	A5 B4	A5 B2	A1 B2	A5 B4	A5 B4
3404 밤빛향	A7 B2	A5 B4	A7 B4	A7 B4	A7 B4	A7 B4	A7 B2	A5 A7 B2	A7 B2	A7 B2
3420 산산향	A1 B2 B4	A1 B4	A7 B2 B4	A1 B2 B4	A7 B2 B4	A1 A7 B2	A7 B2	A1 B4	A7 B2 B4	A7 B4

NIFoS 품종명	n1	n2	n3	n4	n5	n6	n7	n8	n9	n10
4265	A7 B4	A7 B4	A7 B4	A7 B4	A7 B4	A1 B12	A1 B12	A7 B4	A7 B12	
4329 만추향	A1 B2	A7 B2	A7 B2	A1 B2	A1 B2	A1 B2	A7 B2	A1 B2	A7 B2	A7 B2
4473	A7 B2	A7 B2	A7 B12	A7 B2	A7 B2	A7 B12	A7 B12	A1 B12	A1 B2	A1 B2
4549	A22 B12	A22 B12	A5 B12	A22 B12	A5 B12	A5 B12	A5 B12	A5 B12	A5 B12	A5 B12
4867 모리357	A1 B13	A1 B13	A7 B13	A1 B12	A1 B12	A1 B13	A1 B12	A1 B12	A1 B13	A1 B12
4943	A5 B4	A1 B4	A5 B12	A5 B12	A5 B12	A5 B12	A5 B4	A1 B12	A5 B12	A5 B12
5186	A4 B4	A4 B12	A4 B4	A4 B12	A4 B12	A4 B4	A4 B12	A5 B12	A4 B4	A4 B12
3361 L808	A1 B12	A1 B12	A1 B12	A22 B12	A22 B4	A22 B12	A22 B4	A22 B12	A22 B12	A22 B4
5115	A5 B2	A5 B12	A5 B2	A5 B12	A5 B3	A5 B12		A7 B12	A5 B12	A7 B2
5119	A7 B12	A7 B12	A5 B12	A5 B12	A5 B2	A5 B12	A5 B12	A5 B12	A5 B12	A7 B12
5121	A7 B12		A5 B12	A5 B12	A7 B12	A5 B12	A7 B12	A5 B12	A5 B12	A5 B12
5152	A5 B12	A1 B4		A1 B12	A5 B4	A5 B4	A1 B12	A5 B4	A5 B4	A5 B12
5816	A8 B4	A8 B2	A8 B4	A8 B4	A8 B2	A8 B2	A8 B4	A8 B2	A8 B2	A8 B4
5832	A8 B4	A1 B2	A1 B4	A1 B4	A1 B4	A8 B2	A8 B4	A8 B4	A1 B4	A1 B2
5940	A1 B2	A1 B2	A1 B4	A1 B4	A1 B4	A1 B2	A5 B4	A5 B2	A5 B4	A1 B2
5657 산조110호	A7 B8	A7 B9	A7 B9	A1 B9	A7 B9	A1 B8	A1 B9	A7 B9	A1 B8	A7 B9
5659 산조303호	A1 B12	A5 B11	A5 B12	A5 B12	A5 B11	A1 B11	A5 B12	A1 B11	A5 B11	A5 B11
5660 산조304호	A5 B12	A5 B12	A5 B11	A5 B11	A5 B12	A5 B12	A5 B11	A5 B12	A5 B12	A5 B11
5664 산조712호	A7 B12	A5 B12	A5 B12	A5 B2		A5 B2	A7 B12	A7 B2	A7 B12	A7 B12
5665 산조713호	A5 B12	A5 B12	A5 B11	A5 B12	A5 B12	A1 B12	A1 B11		A5 B12	A1 B12
5668 산조717호	A7 B4	A1 B11	A1 B4	A1 B11	A7 B11	A7 B11	A1 B11	A1 B4	A7 B4	A7 B11
6062	A1 B4	A5 B2	A1 B2	A5 B4	A5 B2	A1 B4	A1 B4	A5 B4	A1 B2	A5 B2

(3) 단핵균사 집단의 교배형 분포 및 성장 특성

균주별로 단핵균사의 교배형을 분석한 결과, 특정 교배형의 쏠림 현상이 관찰되었다. 이것이 단핵균사 선발 과정에서 성장속도가 빠른 것을 우선 선발한 결과인지 알아보기 위하여, 5개의 균주에 대하여 균주별로 약 100개의 담자포자 유래 단핵균사를 임의로 선택한 뒤 각각의 교배형을 결정하였다.

표 2-1-11. 단포자 집단의 교배형 분포

NIFoS 품종명	Ax Bx	Ax By	Ay Bx	Ay By	χ^2
2462	A1 B4	A1 B12	A5 B4	A5 B12	11.58
산조701호	19	10	31	26	
2778	A1 B2	A1 B12	A5 B2	A5 B12	2.53
산백향	19	19	24	28	
2925	A1 B5	A1 B12	A11 B5	A11 B12	12.71
산마루2호	9	21	30	29	
4317	A2 B2	A2 B12	A7 B2	A7 B12	0.54
태향고	24	28	29	28	
5925	A5 B9	A5 B12	Anew B9	Anew B12	1.00
	25	30	23	26	

$\chi^2_{(0.05,3)}=7.815$, $\chi^2_{(0.01,3)}=11.345$

단포자 집단에 대한 교배형 분석 결과, 산백향, 태향고, NIFoS 5925에서는 네 가지 교배형이 이론적 분리비인 1:1:1:1로 나타났으며, 산조701호와 산마루2호에서는 1:1:1:1의 분리비를 벗어난 편향된 분리비가 확인되었다. 이와 같이 균주에 따라 교배형의 분리비가 달리 나타나는 현상은 과거에 교배형의 분자생물학적 분석 방법이 정립되지 않았을 때 표고와 느타리에서 교배 실험 및 꺾쇠연결 확인을 통해 연구에서 관찰된 바와 일치한다(Appl Environ Microbiol (2001) 67: 3385-3390, Bulletin of FFPRI (2005) 4: 217-223, Prog Nat Sci (2005) 15: 684-688, Agr Sci China (2008) 7: 415-422).

교배형의 편향된 분리비는 단핵균사-단핵균사 혹은 단핵균사-이핵균사 간의 교잡을 통해 신 품종을 육성하는 표고에서 매우 중요한 문제이다. 왜냐하면 특정 교배형의 단핵균사만 얻게 되면, 균사 조합에 제한이 되기 때문이다. 따라서 신품종 육성 시 교배 조합의 교배형 정보를 파악하는 것이 더욱 중요하다고 할 수 있다. 나아가 향후 편향된 분리비가 나타나는 분자생물학적 기작을 밝히고, 해당 현상을 완화할 수 있는 방법을 찾는다면 보다 다양한 균사 조합이 가능하게 될 것이다.

다음으로는 교배형이 균사 성장 속도와 연관이 있어서 교배형의 편향된 분리가 나타나는지 알아보기 위하여 일부 균주들의 교배형별 균사 성장 속도를 비교하였다. 그 결과 산마루2호와 태향고에서 A 교배형과 균사 성장 속도가 상관관계가 있음이 관찰되었다. 이는 A 교배형 유전자좌에 암호화된 HD 전사인자들이 균사 성장 속도 조절에 관여하거나, A 교배형과 연관된 특정 유전자가 균사 성장 속도 조절에 관여하기 때문일 수 있다. 이러한 연구 결과는 A 교배형 유전자좌 근처에서 단핵균사 성장 속도와 관련된 양적 형질 위치(quantitative trait locus, QTL)가 보고된 것과 일치한다(Fungal Biol (2014) 118: 295-308). 또한 이러한 연구 결과는 다양한

표고 균주의 A 교배형 분석 결과, 재배종에서 특정 A 교배형이 빈번하게 나타난 것과 관련되었을 가능성도 있다. A 교배형과 균사 성장 속도 등의 형질이 연관되어, 해당 형질이 육종 과정에서 반복되어 선택되면서 이에 연관된 A 교배형이 다양한 품종에서 나타나게 되었을 수 있기 때문이다. 후속 연구를 통해, 보다 체계적인 육종이 가능할 것으로 기대된다.

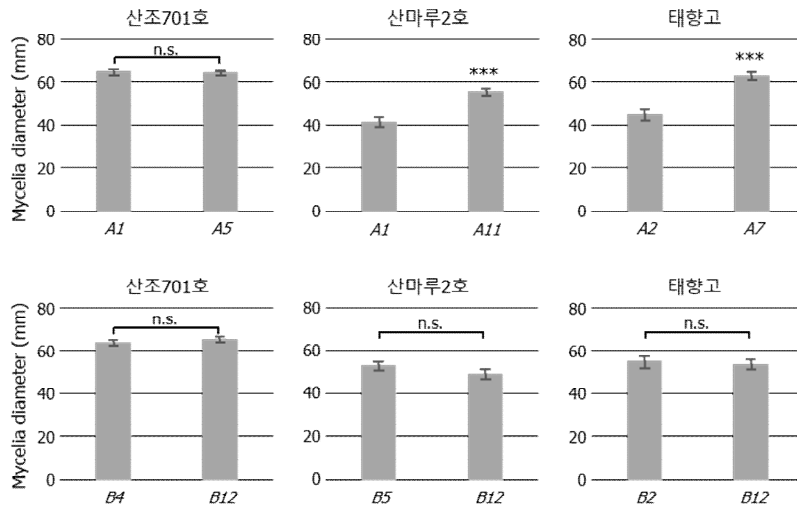


그림 2-1-16. A, B 교배형에 따른 균사 성장 속도 비교

끝으로 본 연구에서는 표고 육종을 위해서는 유전자원에 대한 바이러스 검정과 교배 유전자원의 교배형 결정이 필요하다. 그래서 누구나 쉽게 바이러스 검정과 교배형 결정을 위한 실험 매뉴얼을 제작하였다. 이 자료들은 국립산림과학원 홈페이지(<https://know.nifos.go.kr/book/index.ac>)에서 누구나 쉽게 이용할 수 있다.



그림 2-1-17. 표고의 바이러스와 교배형 결정 매뉴얼

다. 교잡균주 육성 및 버섯 발생 조사

표고 품종은 일반적으로 온도형 품종(고온성, 중온성, 저온성)이 있지만, 국내 하우스 재배에 적합한 품종은 광온성 품종이고, 판넬 재배사에 적합한 품종은 일반적으로 중온성 품종이다. 이 모든 조건을 만족시키고자 할 때는 다양한 품종 개발이 필요하다. 한편, 우리나라 소비자는 버섯의 모양(유통과정에서 유도하는 경향 있음)을 보고 버섯을 선택하는 경향이 매우 높다. 따라서 표고 품종개발의 목표는 1차적으로 버섯 모양이 좋고 생산량이 뒷받침되고 숙아주기를 덜 해도 되는 것에 주안점을 두었다.

교잡균주는 주로 단포자-단포자 교잡에 의해 만들어졌다. 교잡하고자 하는 2개의 모균주는 단포자 각 10개를 선택하여 100개의 교잡조합을 만드는 것을 기본으로 하였다. 단포자 균주 간 교잡은 1) 단포자 균주 배양 20일, 2) PDA 배지 위에 서로 맞닿게 배치, 3) 10-20일 사이에 교잡 확인(1차 균총 모양으로 확인, 2차 현미경 관찰로 확인), 4) 버섯 발생 조사를 하였다(60일 암배양, 40일 명배양, 발생처리). 2017년은 사각배양통을 이용하였다. 배지는 200g(신갈나무 톱밥 90 : 밀기울 10, W/W, 수분 65%) 썩 넣고 PDA 배지에서 자란 균을 접종하였다. 배양은 22°C에서 60일 암배양, 30일 명배양을 실시한 후 17-18°C 버섯 발생실에 옮겨 버섯발생 유무를 확인하였다. 2018년 이후부터는 종균병을 이용 700g 배지를 이용하여 60일 암배양, 40일 명배양 한 후 발생처리 하였다.

표고 스크린 균주는 버섯모양이 좋고(갓이 반구형-편반구형, 갓 두께 1.5cm 이상, 갓이 잘 퍼지지 않는 것, 대가 짧은 것), 버섯이 크고 숙아주기를 덜 해주어도 되는 것 위주로 선발하였다. 교잡균주에서 버섯발생 조사는 일차적으로 버섯이 발생하는 가를 파악하는 것이 중요하다. 발생한 버섯은 간단한 특성(무게, 모양, 갓 크기, 갓 두께, 대 길이 등)을 조사한다. 버섯의 모양이 좋고, 무게 30g 이상, 갓 두께 1.5cm 이상인 것을 우수한 것으로 선발하였다. 또한 위의 형질보다 좋지 않지만 향후 육종에 중요한 형질로 사용될 수 있을 것으로 판단된 것도 선발한다. 선발된 버섯은 모두 조직분리를 하여 보관균주를 만들었다.

표 2-1-12. 표고 교잡균주의 스크린

연도	교잡	교잡균주	버섯발생	선발	비고
2017	4400	2695	601	131	200g 톱밥배지
2018	3550	1825	574	132	700g 톱밥배지
2019	3880	2375	387	137	700g 톱밥배지
2020	5370	3080	1331	245	700g 톱밥배지
2021 [†]	6600	4975	1544	258	700g 톱밥배지
총계	23,800	14,950	4,437	903	700g 톱밥배지

[†]교잡균주 929개가 스크린 진행 중이라 버섯발생과 선발은 추가 예정

교잡균주 성공률은 62.8%로 나타났다. 교배형을 결정한 후 교잡을 하였다면 100%의 성공률을 나타낼 수 있었으나, 교배형이 결정되지 않은 상태에서 교잡이 이루어지다보니 위와 같은 결과가 얻었다. 교잡하는 것은 매우 단순한 일이지만, 교배형을 결정하는 것은 전문적인 지식과 기술이 필요하다.

표 2-1-13. 2021년 표고의 교잡균주 육성과 스크린 결과

교잡균주	교잡균주	교잡 조합	비고
4782 n1-n10(균주)	5186 n1-n10(균주)	100	2020. 7. 23.접종 2020. 11월발생 교잡성공 352개 버섯발생 252개 선발 40개
4865 n1-n10(품종)	4943 n1-n10(균주)	100	
4865 n1-n10(품종)	5186 n1-n10(균주)	100	
4782 n1-n10(균주)	4943 n1-n10(균주)	100	
4865 n1-n10(품종)	5221 n1-n10(균주)	100	
4782 n1-n10(균주)		100	
5244 n1-n10(야생)	2462 n1-n10(품종)	100	2020. 8. 28.접종 2021. 12월발생 교잡성공 520개 버섯발생 337개 선발 21개
5247 n1-n10(야생)		100	
5251 n1-n10(야생)		100	
5251 n1-n10(야생)	5221 n1-n10(균주)	100	
5244 n1-n10(야생)		100	
5247 n1-n10(야생)		100	
4865 n1-n10(품종)	392 n1-n10(품종)	100	2020. 10. 14.접종 2021. 3월발생 교잡성공 612개 버섯발생 182개 선발 38개
	732 n1-n10(품종)	100	
	765 n1-n10(품종)	100	
	1057 n1-n10(품종)	100	
	1063 n1-n10(품종)	100	
	4220 n1-n10(품종)	100	
	5244 n1-n10(야생)	100	
	5247 n1-n10(야생)	100	
	5251 n1-n10(야생)	100	
3361 n1-n10(품종)	5115 n1-n10(교잡)	100	2020. 12. 22.접종 2021. 4월발생 교잡성공 253개 버섯발생 75개 선발 21개
	5119 n1-n10(교잡)	100	
	5121 n1-n10(교잡)	100	
	5152 n1-n10(교잡)	100	
	5443 n1-n10(교잡)	100	
4317 n1-n10(품종)	5121 n1-n10(교잡)	100	2020. 12. 22.접종 2021. 4월발생 교잡성공 247개 버섯발생 58개 선발 18개
	2469 n1-n10(품종)	100	
3361 n1-n10(품종)	4317 n1-n10(품종)	100	
	2469 n1-n10(품종)	100	
5940 n1-n10(교잡)	4317 n1-n80(품종)	800	
5816 n1-n10(교잡)	4317 n1-n80(품종)	800	2021. 6. 30.접종 2021. 10월발생 교잡성공 696개 버섯발생 126개 선발 25개

교잡균주	교잡균주	교잡 조합	비고
5832 n1-n10(교잡)	4317 n1-n80(품종)	800	2021. 6. 10.접종 2021. 10월발생 교잡성공 677개 버섯발생 296개 선발 52개
2778 n1-n30(품종)	5665 n1-n10(품종)	300	2021. 8. 20.접종 2021. 11월발생 교잡성공 129개 버섯발생 개 선발 개
5665 n1-n10(품종)	4317 n1-n80(품종)	800	2021. 8. 17.접종 2021. 11월발생 교잡성공 800개 버섯발생 개 선발 개
		1,900 (2020년 3,100개, 2021년 3,500개)	4975교잡, 1544버섯, 258선발

(1) 버섯발생 균주 선발

교잡균주로부터 버섯발생 조사는 2017년에 사각통배지(200g)을 주로 이용하였고, 선발균주 일부가 2kg 사각블럭배지를 이용하여 재검토가 이루어졌다. 2018-2021년에는 700g 종균병 배지를 이용하였다. 군사생장은 60일 암배양과 40일 명배양 조건에서 이루어졌고, 종균병의 플라스틱을 제거한 갈변 배지는 버섯발생실로 옮겼다. 버섯발생은 발생처리한 후 1달간 발생한 것을 기준으로 자료를 정리하였다.

사각배양통은 군사생장은 빠르나, 버섯이 발생하여 정상 성장하는데 어려움이 있었다. 특히, 측면에서 발생한 버섯은 생장에 좋지 않았다. 종균병 배지는 갈변 후 종균병을 칼로 제거하여 버섯발생을 시켜 버섯특성 발현을 좋게 하였다. 일부는 사각블럭배지를 이용하여 버섯의 특성을 조사하였다.



그림 2-1-18. 표고의 버섯발생 조사를 위한 배지 종류

본 자료에서는 종균병 배지를 이용한 결과 위주로 기술하고자 한다. 교잡균주에서 버섯이 발생한 것은 34% 이었다. 발생한 버섯중 그나마 쓸만하다고 판단된 것은 20% 이었다. 교잡균주 중 버섯재배에 선택될 수 있는 것은 7% 수준이었다. 그리고 버섯이 발생한 것 중 품종으로 출원된 것은 0.1% 정도이다. 결국 새로운 품종을 개발하기 위해서는 지속적인 노력이 필요한 것을 알 수 있다.

표 2-1-14. 2018년부터 2021년 표고 교잡균주의 버섯조사

연도	교잡조합	교잡균주	버섯발생	선발	비고
2018	3550	1825	574	132	700g 톱밥배지
2019	3880	2375	387	137	700g 톱밥배지
2020	5370	3080	1331	245	700g 톱밥배지
2021	5500	4046	1544	258	700g 톱밥배지
총계	18,300	11,326	3,836	772	700g 톱밥배지

버섯이 발생한 것은 버섯 무게, 갓 직경, 갓 두께, 대 길이, 간혹 대가 두꺼운 것은 대 직경 측정, 대 모양, 주름살 유무 등을 조사하였다. 특히, 버섯이 30g, 이상, 모양 중 이상, 모양 특이(주름살 없음) 등의 균주들은 선발균주로 선택하였다. 4년간 총 772개가 선발되었고, 버섯발생한 것 중 20%를 차지하였다. 한편, 이 중에서 모양이 상 이상이고 무게가 30g 이상의 것만 정리하면 아래와 같다. 또한 최근 대가 굵은 품종 개발을 해달라는 문의가 있어 대가 굵은 것도 몇가지 선발하였다.

표 2-1-15. 2018년부터 2021년까지 선발된 표고 447개 균주

균주 번호	교잡균주	교잡균주	버섯 무게(g)	갓직경 (cm)	갓두께 (cm)	대길이 (cm)	대모양	주름	경도
4208	2778 n-3	3404 n-5	33	6.2	1.8	2.5	기둥형	주름	중간
4241	3404 n-1	1512 n-5	61.2	11	2.3	4	잘록형	주름	약함
4243	1512 n-8	4132 n-10	44.8	8.5	1.8	4	기둥형	주름	약함
4244	3363 n-6	2778 n-10	59.6	8.5	1.8	5	잘록형	주름	약함
4245	2778 n-7	733 n-13	135.8	13	2.3	5.5	기둥형	주름	약함
4247	2778 n-2	733 n-1	61.8	9.5	3	4	잘록형	주름	약함
4256	2778 n-10	3363 n-14	116.1	14.5	2	3.5	기둥형	주름	약함
4257	3404 n-6	3363 n-10	68.1	8.5	2.2	5.5	깔때기	주름	약함
4269	3404 n-3	2694 n-4	36.2	7.4	1.6	3	깔때기	주름	중간
4272	3404 n-5	2694 n-4	69.5	10	1.8	5	잘록형	주름	약함
4279	2778 n-3	3404 n-9	48.3	7	1.8	6	잘록형	주름	중간
4286	2462 n-2	3420 n-18	72.3	10	2.4	5	깔때기	주름	중간
4289	2694 n-3	2468 n-5	56.6	8.7	2.7	2	깔때기	주름	약함
4294	3404 n-5	3909 n-6	37.3	6.5	2	3	깔때기	주름	약함

균주 번호	교잡균주	교잡균주	버섯 무게(g)	갓직경 (cm)	갓두께 (cm)	대길이 (cm)	대모양	주름	경도
4306	3420 n-5	2694 n-4	44.8	9	2	4.5	기둥형	주름	약함
4307	3447 n-7	3420 n-4	59.2	9.7	2.2	5	기둥형	주름	약함
4308	3447 n-5	3420 n-5	89.4	10.5	2.5	4.5	기둥형	주름	약함
4312	3420 n-3	3909 n-4	55.8	8	1.7	4.5	기둥형	주름	약함
4314	3404 n-9	3909 n-5	53.1	7.5	1.7	5	기둥형	주름	약함
4317	3420 n-5	3909 n-1	36.3	5	1.6	5	잘록형	주름	중간
4318	3404 n-2	3909 n-4	79.5	8	1.7	4.5	기둥형	주름	약함
4319	3420 n-3	2462 n-2	187.7	15	2.7	4.5	기둥형	주름	약함
4320	3447 n-10	3420 n-8	34.9	5.2	1.5	4	기둥형	주름	중간
4322	3420 n-13	2694 n-2	31.1	5.5	1.8	4	기둥형	주름	중간
4324	3420 n-17	2694 n-1	41.1	6.2	3.3	3	기둥형	주름	약함
4336	2462 n-2	3420 n-9	41.3	5	3	2.5	깔때기	주름 없음	중간
4343	2462 n-2	3420 n-13	71.9	9.5	2	6	기둥형	주름	약함
4348	3420 n-5	2462 n-5	47.4	6.2	2.2	6	깔때기	주름 없음	중간
4391	2462 n-2	2778 n-5	71.2	8	2.5	3.5	기둥형	주름	약함
4450	2462 n-10	4241 n-6	31.9	5.5	1.6	3	깔때기	주름	중간
4460	2462 n-2	4242 n-6	49.6	6	2.2	4	기둥형	주름	약함
4470	3420 n-3	3461 n-10	40.3	5.5	1.5	3.5	기둥형	주름	중간
4473	3420 n-3	4242 n-5	53.2	6.5	2.2	3.5	기둥형	주름	중간
4477	4241 n-7	4243 n-5	30.9	5.5	1.7	3	기둥형	주름	중간
4490	2462 n-2	4242 n-1	37	8.3	2.5	3.5	기둥형	주름	약함
4491	3420 n-6	4243 n-7	77.7	7.5	2.7	5.5	기둥형	주름	약함
4496	2462 n-1	4241 n-7	35.6	5.8	2.2	4	깔때기	주름	약함
4498	3420 n-3	4242 n-7	48.5	6	1.8	4.5	잘록형	주름	약함
4502	4241 n-5	2778 n-6	36.1	5.3	2.3	3	기둥형	주름	중간
4503	3420 n-10	3447 n-9	43.7	5.7	2.2	3.5	기둥형	주름	약함
4509	3420 n-3	4243 n-3	36.4	5.8	1.5	4	기둥형	주름	중간
4511	4241 n-6	4243 n-5	50.5	6.2	1.5	4.5	깔때기	주름	중간
4512	2462 n-10	4242 n-2	40.6	5.5	1.8	4.5	기둥형	주름	중간
4522	2462 n-6	3461 n-6	35.3	5.8	2	2.5	기둥형	주름	중간

균주 번호	교잡균주	교잡균주	버섯 무게(g)	갓직경 (cm)	갓두께 (cm)	대길이 (cm)	대모양	주름	경도
4529	3420 n-2	3447 n-10	39.9	6.2	2.5	3	기둥형	주름	약함
4531	2462 n-2	4241 n-7	46.7	6.8	1.8	3.7	깔때기	주름	중간
4535	4241 n-1	2778 n-2	44.2	7.3	1.7	3.8	기둥형	주름	중간
4536	2462 n-10	4241 n-3	30.7	6	1.6	3.5	기둥형	주름	중간
4537	2462 n-1	4242 n-5	73.3	9.2	2.5	5	기둥형	주름	중간
4542	4241 n-6	2778 n-2	41.3	5.8	1.7	4.5	기둥형	주름	중간
4544	3420 n-4	4241 n-4	33.6	5.7	1.7	4	기둥형	주름	약함
4547	3420 n-4	3447 n-9	40.3	5.5	2	3	기둥형	주름	중간
4549	2462 n-1	4242 n-10	97.8	10.5	3	4	기둥형	주름	약함
4551	2778 n-4	2470 n-1	48.9	8.2	2	5	기둥형	주름	약함
4552	2778 n-5	2472 n-10	58.9	7.5	2	3.5	깔때기	주름	중간
4626	2464 n-8	2694 n-4	51.8	6.2	1.7	4	기둥형	주름	약함
4630	2464 n-16	2778 n-3	40.8	8	1.9	4	기둥형	주름	약함
4632	2464 n-10	3164	49.3	7.8	2	3.5	기둥형	주름	약함
4633	2464 n-15	3164	45.5	6.8	1.6	4.5	기둥형	주름	약함
4634	2464 n-20	3164	34.4	6.8	1.7	3.5	기둥형	주름	약함
4639	2464 n-10	2778 n-8	48	9.5	1.5	2.5	깔때기	주름	중간
4641	2464 n-10	2778 n-9	63.2	8	2	3	잘록형	주름	약함
4642	3165	4307 n-5	77.3	8.2	1.8	6	잘록형	주름	약함
4647	2694 n-4	4308 n-5	52.9	6.7	1.7	3.5	기둥형	주름	약함
4648	3165	4307 n-8	61.6	8.8	2.7	4	깔때기	주름	약함
4649	2694 n-4	4307 n-8	62.8	8	2.2	4.5	기둥형	주름	약함
4651	3165	4324 n-1	40.6	6.8	1.5	3	기둥형	주름	약함
4653	2778 n-6	4324 n-10	38.5	6	1.6	4	기둥형	주름	약함
4654	3164	4324 n-9	55.2	7.5	2	3.5	기둥형	주름	약함
4657	3164	4324 n-8	66.5	8	1.6	4	기둥형	주름	약함
4663	3165	4307 n-4	55.1	7.2	2	5	잘록형	주름	약함
4664	3164	4308 n-1	85.5	9.5	2.2	4.5	기둥형	주름	약함
4666	2778 n-6	4308 n-1	75.9	9.4	2	6	깔때기	주름	약함
4668	3165	4307 n-6	77.4	7.7	1.8	7	잘록형	주름	약함
4672	2778 n-6	4311 n-10	32.7	6.7	1.7	3.5	기둥형	주름	약함

균주 번호	교잡균주	교잡균주	버섯 무게(g)	갓직경 (cm)	갓두께 (cm)	대길이 (cm)	대모양	주름	경도
4674	2778 n-3	4311 n-4	46.9	7.6	2	3.5	기둥형	주름	약함
4675	2694 n-4	4311 n-1	40.1	6.2	1.7	4.5	기둥형	주름	약함
4680	2694 n-4	4311 n-2	95.4	11	1.5	5	기둥형	주름	약함
4681	3165	4311 n-1	59.5	8.3	2	4	기둥형	주름	약함
4682	3164	4311 n-1	38.6	6.1	2	3	잘록형	주름	약함
4684	2778 n-6	4311 n-1	41.7	6.5	2	3.5	기둥형	주름	약함
4691	3165	4317 n-8	40.3	6.7	2	2	기둥형	주름	약함
4693	2468 n-5	4317 n-8	34.7	6.2	2	2	깔때기	주름	약함
4694	2694 n-4	4317 n-8	44.7	7.5	2	3	기둥형	주름	약함
4696	2778 n-5	2464 n-6	42.9	8.4	2	4	잘록형	주름	약함
4698	2778 n-3	2464 n-5	48.2	7	2	4	기둥형	주름	약함
4702	2778 n-3	2464 n-7	34	6	1.8	4	잘록형	주름	약함
4704	2464 n-9	4318 n-1	31.5	4.7	1.5	4	깔때기	주름 없음	약함
4705	2464 n-7	4318 n-2	33	5.8	2.5	3.5	잘록형	주름	약함
4709	2464 n-3	4318 n-7	49.6	7	1.7	5	기둥형	주름	약함
4716	2464 n-1	4314 n-4	40.7	6.7	1.8	2.5	기둥형	주름	약함
4717	2464 n-10	4314 n-3	58.6	8	1.6	4.5	기둥형	주름	약함
4718	2464 n-10	4314 n-4	33.2	5.5	1.7	3	기둥형	주름	약함
4722	2464 n-2	4314 n-4	34.8	5.8	1.8	4	기둥형	주름	약함
4724	2464 n-8	4314 n-9	30.1	5.8	1.8	3	기둥형	주름	약함
4725	2464 n-5	4314 n-9	41.1	6.4	1.7	4	기둥형	주름	약함
4731	2464 n-10	4314 n-10	54.1	6.8	1.7	4.5	잘록형	주름	약함
4732	2464 n-8	4314 n-10	33.6	5.3	2.7	2.6	기둥형	주름 없음	약함
4735	4323 n-4	4311 n-5	30.4	5.8	1.6	3	기둥형	주름	약함
4736	4323 n-3	4311 n-5	36.8	6.8	1.5	4	기둥형	주름	약함
4741	4323 n-1	2464 n-1	65.1	6.5	1.8	4.5	깔때기	주름	약함
4746	4323 n-5	2464 n-10	41.5	5.8	3	2	깔때기	주름	중간
4747	4323 n-2	2464 n-10	38.6	6.3	1.6	3.5	깔때기	주름	약함
4748	4323 n-1	2464 n-10	96.6	11	2.2	3	깔때기	주름	중간
4760	4473 n-7	2464 n-1	45.7	8.8	2.8	6	잘록형	rimple	약함
4762	4473 n-9	2464 n-1	78.9	7.6	1.8	4.5	기둥형	rimple	약함
4765	4473 n-2	2464 n-6	121.1	10	2.2	5	기둥형	rimple	약함

균주 번호	교잡균주	교잡균주	버섯 무게(g)	갓직경 (cm)	갓두께 (cm)	대길이 (cm)	대모양	주름	경도
4767	4473 n-9	2464 n-7	64.7	11.5	2.5	3	기둥형	주름	약함
4768	4473 n-2	2464 n-8	37.5	6.5	2	3	기둥형	rimple	중간
4770	4547 n-2	2464 n-1	40.9	7.8	1.5	3.5	기둥형	주름	약함
4772	4547 n-7	2464 n-1	110	9.5	2	4.5	기둥형	rimple	약함
4775	4547 n-6	2464 n-4	47.6	6.5	1.6	4	기둥형	주름	약함
4777	4547 n-2	2464 n-6	89.4	11.7	2.6	3.5	기둥형	rimple	약함
4778	4547 n-1	2464 n-10	53.5	8.5	2	2.5	기둥형	rimple	약함
4780	4547 n-1	2464 n-9	47.3	7.5	1.5	3.5	갈매기	rimple	중간
4782	4547 n-3	2464 n-10	91.7	11.2	2.8	2.5	갈매기	주름	단단함
4784	4547 n-9	2464 n-10	52.8	8	1.8	3	기둥형	주름	단단함
4790	4547 n-2	4323 n-8	45.7	4.6	3.5	1	기둥형	주름 없음	약함
4795	2464 n-10	4324 n-2	56.9	8	1.8	3.5	기둥형	주름	약함
4796	2464 n-3	4324 n-3	155.7	13.5	2.2	3.5	기둥형	주름	약함
4798	2464 n-10	4324 n-4	47.3	7.1	2.1	2.5	기둥형	주름	중간
4802	2464 n-2	4324 n-6	30.9	5	2.1	4.2	기둥형	주름 없음	약함
4804	2464 n-6	4324 n-7	31.7	5	2	4.5	갈매기	주름 없음	약함
4808	2464 n-10	4324 n-9	60.4	9.5	2.3	5.5	기둥형	주름	약함
4809	2464 n-2	4324 n-10	33.3	5.6	1.8	5	잘록형	rimple	약함
4816	2464 n-6	4311 n-2	127.5	14	1.6	4.5	갈매기	주름	약함
4819	2464 n-2	4311 n-4	30.1	7	2	3.5	기둥형	주름	약함
4822	2464 n-1	4311 n-5	53.6	9.5	1.6	5	기둥형	주름	약함
4823	2464 n-10	4311 n-6	63.6	8.3	2	3	기둥형	주름	중간
4825	2464 n-10	4311 n-8	136.8	14.5	2.1	4	기둥형	rimple	약함
4829	4311 n-2	4547 n-3	87.3	8	2	5	기둥형	주름	약함
4830	4311 n-1	4547 n-7	60.1	7.2	1.8	3	기둥형	rimple	약함
4831	4311 n-6	4547 n-7	63.2	9	2	4	기둥형	주름	약함
4832	4311 n-7	4547 n-7	178.4	16	2	3	기둥형	주름	약함
4833	4311 n-3	4547 n-10	88.5	7	2	3.5	기둥형	주름	약함
4838	4555 n-10	2464 n-8	43.1	6	2	3.5	기둥형	주름	약함
4841	4555 n-9	2464 n-9	52.4	8	1.9	3.5	갈매기	rimple	약함
4846	4555 n-8	3164	48.1	7	1.8	4	갈매기	주름	약함
4848	4555 n-1	4311 n-5	50.3	7.5	2.2	4	기둥형	주름	약함

균주 번호	교잡균주	교잡균주	버섯 무게(g)	갓직경 (cm)	갓두께 (cm)	대길이 (cm)	대모양	주름	경도
4849	4555 n-6	4311 n-7	76.8	9.7	1.6	3.5	기둥형	주름	중간
4850	4555 n-12	4323 n-2	97.9	9	2	4	기둥형	주름	중간
4851	4555 n-18	4323 n-2	53.5	6.7	1.5	4	기둥형	주름	중간
4854	4555 n-4	4323 n-10	70.2	8.8	1.6	4	깔때기	주름	약함
4857	4555 n-11	2464 n-10	58.5	8	1.5	4	기둥형	주름	중간
4858	4555 n-17	2464 n-10	51.4	6.1	1.6	3	기둥형	주름	단단함
4860	4555 n-6	4319 n-7	75	8	1.6	4.5	기둥형	주름	약함
4861	4598 n-2	4323 n-2	70.8	7.8	2	3	깔때기	주름	약함
4862	4598 n-6	4323 n-10	36.8	6.5	1.6	3	기둥형	주름	약함
4863	4598 n-7	4323 n-10	151.9	15	2.1	4	기둥형	주름	약함
4864	4598 n-3	4549 n-6	70.7	4.7	2	4	깔때기	주름	약함
4899	4600 n-6	4323 n-2	48.3	6.3	1.5	4.2	기둥형	주름	중간
4901	4600 n-6	4323 n-3	32.4	5	1.5	3.5	깔때기	주름	약함
4902	4600 n-3	4323 n-12	41.6	6.2	1.7	3	깔때기	주름	약함
4904	4600 n-6	4601 n-3	42.9	7	1.8	4	깔때기	주름	약함
4905	4600 n-1	4601 n-3	50.4	7.6	1.6	5	깔때기	주름	약함
4909	4600 n-9	4601 n-7	32.1	6	1.5	3.5	기둥형	주름	약함
4911	4600 n-8	4601 n-8	72.6	8.5	1.5	5.5	기둥형	주름	약함
4915	4600 n-8	619 n-4	36.2	5.7	1.6	4	깔때기	주름	약함
4917	4600 n-9	619 n-6	33.8	6.5	1.5	4	기둥형	주름	약함
4920	4600 n-1	619 n-8	41.4	7	1.5	4	깔때기	주름	약함
4921	4600 n-2	4598 n-2	51	8	1.7	4.5	깔때기	주름	약함
4922	4600 n-1	4598 n-3	36.4	6.8	1.6	4.5	기둥형	주름	약함
4925	4600 n-3	4598 n-7	79.6	11.5	2	4	기둥형	주름	약함
4926	4600 n-7	4598 n-7	47.4	9.8	1.8	5	기둥형	주름	약함
4933	2469 n-2	4600 n-4	47	4.3	2.5	5	깔때기	주름 없음	중간
4936	2469 n-8	4600 n-4	58.9	7.5	1.7	4.5	깔때기	주름	약함
4938	2469 n-10	4600 n-4	66.8	8	1.9	5.5	깔때기	주름	약함
4942	3583 n-8	2469 n-10	48.3	7.4	1.7	4	기둥형	주름	약함
4943	3583 n-10	3447 n-1	33.9	6.4	1.7	3.5	기둥형	rimple	약함
4946	3583 n-1	3447 n-5	33.7	6.3	2	3.7	기둥형	rimple	약함
4949	3583 n-9	3447 n-6	32.7	5.5	2.5	4	기둥형	rimple	약함
4950	3583 n-10	3447 n-6	41.1	6.2	1.7	5	기둥형	rimple	약함

균주 번호	교잡균주	교잡균주	버섯 무게(g)	갓직경 (cm)	갓두께 (cm)	대길이 (cm)	대모양	주름	경도
4952	3583 n-10	3420 n-2	47.3	7	1.7	4	기둥형	rimple	중간
4953	3583 n-2	2694 n-4	45.8	7.7	1.8	4	기둥형	주름	약함
4954	3583 n-3	2694 n-4	31.1	6	1.5	3.5	기둥형	rimple	약함
4955	3583 n-4	2694 n-4	120.4	14	2	6.5	깔때기	주름	약함
4958	3583 n-2	3909 n-4	30.7	7.3	1.5	4	기둥형	주름	약함
4959	3583 n-7	3909 n-4	34.2	6	2	4	기둥형	주름	약함
4960	3583 n-10	3909 n-4	60.9	9.5	1.8	3	기둥형	주름	약함
5082	4317 n-1	2469 n-4	62.2	8.5	1.8	5	기둥형	주름	약함
5083	4317 n-4	2694 n-4	77.1	9	2	5.5	기둥형	주름	약함
5086	3404 n-4	3420 n-10	36.2	6.3	1.6	4.5	기둥형	주름	약함
5088	4317 n-6	2461 n-3	32.1	6.2	1.7	5	기둥형	주름	약함
5089	4317 n-2	2778 n-5	32.5	6	1.5	3.7	깔때기	주름	약함
5090	4317 n-8	2464 n-10	47.1	6.5	1.6	3	기둥형	주름	중간
5091	4317 n-1	3583 n-1	32.5	7	1.7	4	기둥형	주름	약함
5092	4317 n-1	3583 n-3	41.8	6.6	1.5	3.5	기둥형	rimple	약함
5094	4317 n-5	3583 n-10	36.3	5.6	1.7	4.6	기둥형	주름	약함
5095	4317 n-10	3583 n-10	65.2	9	1.6	4	깔때기	주름	약함
5096	4317 n-7	3404 n-4	38.8	7.5	1.6	3.8	기둥형	주름	약함
5097	4317 n-1	3404 n-5	39.4	5.5	1.7	5	기둥형	주름	약함
5104	3404 n-5	3420 n-4	54.2	6.8	1.9	4	기둥형	주름	약함
5112	4782 n-1	4317 n-2	74.9	6.7	2.3	5	곤봉형	주름	약함
5114	4782 n-2	4317 n-3	54.9	7	1.8	5	곤봉형	주름	약함
5118	4782 n-8	4317 n-4	65.6	7	2.2	4	곤봉형	주름	중간
5120	4782 n-6	4317 n-5	40.1	5	2	4.5	곤봉형	주름	약함
5121	4782 n-6	4317 n-6	62.5	7.4	1.6	4.5	곤봉형	주름	약함
5122	4782 n-1	4317 n-8	53	5.4	2	4.5	곤봉형	rimple	중간
5124	4782 n-9	4317 n-8	73.8	7.3	2.2	5	곤봉형	주름	중간
5125	4782 n-9	3420 n-1	74	7.8	2	4	깔때기	주름	중간
5126	4782 n-7	3420 n-2	45.5	6.2	2	3	기둥형	주름	중간
5127	4782 n-9	3420 n-4	39.7	5.7	1.5	3.5	곤봉형	주름	약함
5129	4782 n-8	3420 n-5	34.9	4.5	1.8	4.5	곤봉형	주름	중간
5132	4782 n-8	3404 n-5	40.8	6.8	1.7	4	기둥형	주름	약함
5133	4782 n-6	2778 n-5	61.1	6	1.5	5.5	곤봉형	rimple	중간

균주 번호	교잡균주	교잡균주	버섯 무게(g)	갓직경 (cm)	갓두께 (cm)	대길이 (cm)	대모양	주름	경도
5134	4317 n-4	4865 n-2	52.7	6.4	2.4	5.5	곤봉형	주름	약함
5136	4317 n-4	4865 n-8	50.6	5.6	1.7	6	곤봉형	주름	약함
5137	4317 n-5	4866 n-2	59.2	7	2	4.5	기둥형	주름	약함
5138	4782 n-8	3420 n-3	46.3	6	1.8	4	기둥형	주름	중간
5139	4317 n-3	4866 n-4	89.6	9.5	1.8	4.5	칼때기	주름	약함
5140	4317 n-1	4866 n-6	97	11	1.8	5	기둥형	주름	약함
5143	4317 n-2	4866 n-7	41.1	6	1.6	5.5	곤봉형	주름	약함
5144	4317 n-4	4866 n-7	57.7	6.7	2.1	5.5	기둥형	주름	약함
5148	4865 n-5	4782 n-1	46.7	5.8	1.9	4.5	기둥형	주름	중간
5150	4865 n-2	4782 n-2	79.7	11	1.7	5	기둥형	주름	약함
5152	4865 n-1	4782 n-4	40.4	6.2	1.7	3	기둥형	주름	약함
5154	4865 n-7	4782 n-5	52.9	6.8	1.7	4	기둥형	주름	약함
5159	4865 n-10	4782 n-8	71.7	9.3	1.5	4	칼때기	주름	중간
5161	4865 n-7	4782 n-9	46.8	7	1.6	4	곤봉형	주름	약함
5162	4865 n-8	4782 n-9	62.6	7.2	1.7	4.7	기둥형	주름	강함
5164	4866 n-10	4782 n-1	47	6.5	1.6	4	곤봉형	주름	중간
5165	4866 n-2	4782 n-2	38.5	6.2	2	3	칼때기	rimple	중간
5168	4866 n-7	4782 n-4	73.4	8.2	2.1	3.6	곤봉형	주름	중간
5169	4866 n-2	4782 n-7	30.6	6	1.7	2.5	칼때기	주름	약함
5174	4317 n-4	4867 n-2	49.4	6.3	3.5	6	기둥형	주름	약함
5176	4317 n-3	4867 n-6	37.6	6.2	1.7	4	기둥형	주름	약함
5177	4317 n-2	4867 n-7	52.5	6.5	1.5	4.5	곤봉형	주름	약함
5178	4317 n-8	4867 n-8	55	9.2	1.6	4.5	곤봉형	주름	약함
5179	4317 n-10	4867 n-8	49.8	7	2.1	4	기둥형	주름	약함
5185	4866 n-8	1066 n-1	42.8	7.2	2	4.5	곤봉형	주름	약함
5187	4866 n-1	1066 n-4	45.3	6.8	1.8	4.5	곤봉형	주름	약함
5189	4866 n-2	1066 n-6	36.6	5.6	1.5	3.5	기둥형	주름	약함
5190	4866 n-2	1066 n-7	34.1	6.3	1.6	3	기둥형	주름	약함
5192	4866 n-5	1066 n-8	44.8	7.5	1.8	3.5	기둥형	주름	약함
5193	4866 n-6	1066 n-8	65.4	8	1.7	3.5	칼때기	주름	약함
5196	4866 n-10	1066 n-9	40.3	6.8	1.5	3.5	기둥형	주름	약함
5198	4866 n-2	1066 n-10	39.5	6.2	2.2	3.5	기둥형	주름	약함
5202	4866 n-3	1056 n-1	56.9	8	1.5	4.5	칼때기	주름	약함
5203	4866 n-4	1056 n-1	34.2	5.7	1.6	3.7	칼때기	주름	약함

균주 번호	교잡균주	교잡균주	버섯 무게(g)	갓직경 (cm)	갓두께 (cm)	대길이 (cm)	대모양	주름	경도
5204	4866 n-10	1056 n-1	42.1	6.2	1.5	3.5	깔때기	주름	약함
5205	4866 n-1	1056 n-2	36.5	6	1.9	4.6	기둥형	주름	약함
5206	4866 n-3	1056 n-2	35.8	5.7	1.5	3.5	기둥형	주름	약함
5209	4866 n-10	1056 n-2	48.5	6.8	1.8	4	깔때기	주름	약함
5210	4866 n-2	1056 n-4	45.6	7.5	1.5	3	깔때기	주름	약함
5211	4866 n-2	1056 n-5	40.1	6.7	1.6	3	깔때기	주름	약함
5214	4866 n-1	3148 n-1	46.8	6.3	1.8	3.7	깔때기	주름	약함
5215	4866 n-10	3148 n-1	35.2	5.7	1.5	3.5	깔때기	주름	약함
5218	4866 n-1	1066 n-7	59.9	7.8	1.8	4.5	깔때기	주름	약함
5219	4866 n-3	1066 n-7	67.7	8.3	1.8	4.7	기둥형	주름	약함
5221	4866 n-7	1056 n-4	93.3	8.2	1.8	5	곤봉형	주름	약함
5236	4866 n-8	1066 n-8	74.7	8.8	2.5	6	기둥형	주름	약함
5237	4866 n-5	1056 n-4	66.3	7.8	1.6	4.5	곤봉형	주름	약함
5238	4866 n-9	1056 n-9	65.9	7.1	1.6	5	곤봉형	주름	약함
5271	4866 n-10	3148 n-2	45.8	7.2	1.8	3.5	깔때기	rimple	중간
5273	4866 n-10	3150 n-7	53.9	9.6	1.8	3	기둥형	주름	약함
5274	4866 n-10	3148 n-7	38.5	6	1.7	3	깔때기	주름	약함
5275	4866 n-4	3404 n-9	57.7	6.8	2.3	4.5	곤봉형	rimple	약함
5276	4866 n-9	3404 n-9	30.4	5.4	2	3.5	곤봉형	rimple	약함
5278	4866 n-1	3404 n-4	30.8	4.2	2	4	곤봉형	rimple	중간
5280	4866 n-3	3404 n-4	66.5	7.2	2.2	4	기둥형	주름	약함
5281	4866 n-9	3404 n-10	71.4	7.3	1.7	6	기둥형	rimple	약함
5284	4865 n-7	2778 n-6	100.2	10	2	6	기둥형	주름	중간
5285	4865 n-5	2778 n-6	45	7.3	2	4.7	기둥형	주름	약함
5286	4865 n-10	2778 n-6	41.5	5.7	1.5	4	기둥형	rimple	중간
5287	4865 n-2	2778 n-10	71.1	10.7	2	4	기둥형	주름	약함
5289	4865 n-5	3404 n-7	49.7	7.2	1.6	4.5	기둥형	주름	약함
5297	4865 n-9	3404 n-10	51.2	6.5	1.6	4.5	기둥형	주름	약함
5304	4865 n-8	2778 n-7	70.1	8.8	1.9	4	깔때기	주름	중간
5314	3404 n-10	3150 n-10	49.5	7	1.9	5.2	기둥형	주름	약함
5316	3404 n-9	1056 n-8	35.5	5.2	1.5	4.5	기둥형	주름	약함
5320	3404 n-9	1066 n-3	43	7	2.1	4	기둥형	주름	약함
5321	3404 n-9	1066 n-5	38.9	6.2	2.1	4	기둥형	rimple	약함

균주 번호	교잡균주	교잡균주	버섯 무게(g)	갓직경 (cm)	갓두께 (cm)	대길이 (cm)	대모양	주름	경도
5322	3404 n-9	1066 n-8	44	6.5	2	5	기둥형	주름	약함
5323	3404 n-10	1066 n-2	36.9	6.8	1.6	6	기둥형	주름	약함
5325	3404 n-9	4782 n-3	34.9	5	1.5	3.5	곤봉형	주름	중간
5327	3404 n-9	4782 n-6	41.8	5.7	1.6	4	기둥형	주름	약함
5329	3404 n-9	4782 n-8	49.6	5.9	1.6	3.8	곤봉형	rimple	중간
5330	3404 n-9	4782 n-9	35.3	5.6	1.7	4.2	기둥형	rimple	약함
5331	3404 n-10	4782 n-1	43.8	5.2	1.6	6.5	곤봉형	주름	약함
5333	3404 n-10	4782 n-3	33.8	4.5	1.5	3.5	곤봉형	주름	중간
5337	3404 n-7	4782 n-5	49.7	5	1.7	6.5	곤봉형	주름	약함
5340	3404 n-7	1066 n-1	30.6	5.5	2	5.2	기둥형	주름	약함
5344	3404 n-7	1056 n-6	54.5	7	2	5.2	기둥형	주름	약함
5347	3404 n-7	3150 n-3	31.9	5.2	1.6	3.5	기둥형	주름	중간
5348	3404 n-7	3150 n-10	41.9	6.6	1.8	4	기둥형	주름	약함
5352	3404 n-4	1066 n-10	91.6	8	2.5	4.5	곤봉형	주름	약함
5364	3404 n-2	1066 n-10	76.2	7.7	2.5	5	곤봉형	주름	약함
5369	3404 n-5	1038 n-3	38.5	5.3	2	6.2	기둥형	주름 없음	약함
5374	3404 n-8	4782 n-1	41.6	5	1.7	4.5	곤봉형	주름	약함
5375	3404 n-8	4782 n-3	45.2	5.5	2	3.5	곤봉형	주름	약함
5488	4782 n-3	5186n-1	47.2	7.7	1.7	3.5	기둥형	주름	약함
5494	4782 n-4	5186n-3	37.6	6.1	1.9	2.5	갈매기	주름	약함
5495	4782 n-5	5186n-1	40.3	6.1	1.5	3.8	기둥형	주름	약함
5496	4782 n-5	5186n-3	37.8	5.7	2	3.5	기둥형	주름	약함
5499	4782 n-6	5186n-1	55	6.5	2	3	갈매기	주름	약함
5502	4782 n-7	5186n-3	35.8	6.3	1.6	4	기둥형	주름	약함
5515	4865 n-9	4943n-9	33.2	5.4	1.5	3.5	기둥형	주름	약함
5519	4865 n-1	5186n-5	47.1	7.2	1.7	4.5	기둥형	주름	약함
5520	4865n-1	5186n-8	62.2	7.5	2	4.3	갈매기	주름	약함
5521	4865n-2	5186n-2	36.1	8.2	1.6	3	갈매기	주름	약함
5528	4865n-5	5186n-2	57.2	8.3	1.6	4	갈매기	주름	약함
5533	4865n-8	5186n-8	40.4	6.2	1.5	3.5	기둥형	주름	약함
5536	4865n-9	5186n-4	89.7	11	2	3.5	갈매기	주름	약함
5537	4865n-9	5186n-5	45	6.8	2	3.5	기둥형	주름	약함

균주 번호	교잡균주	교잡균주	버섯 무게(g)	갓직경 (cm)	갓두께 (cm)	대길이 (cm)	대모양	주름	경도
5543	4782n-7	4943n-2	36.9	6.4	1.5	3	기둥형	주름	약함
5548	4865n-1	5221n-2	54.5	7.8	1.6	5	기둥형	주름	약함
5551	4865n-3	5221n-7	49.9	8.2	1.6	3.8	갈때기	주름	약함
5552	4865n-3	5221n-3	41.6	7	1.6	4	기둥형	주름	약함
5564	4782n-2	5221n-10	53.3	7.5	1.8	4	기둥형	주름	약함
5566	4782n-4	5221n-1	53.4	7	1.6	3.5	갈때기	주름	약함
5568	4782n-4	5221n-4	43.1	6.5	1.7	4.2	기둥형	주름	약함
5574	4782n-5	5221n-3	65.2	7	1.8	4.3	기둥형	주름	약함
5578	4782n-5	5221n-9	44.8	6	1.8	3.7	갈때기	주름	약함
5581	4782n-8	5221n-2	34.4	5.5	1.7	3	기둥형	주름	약함
5585	4782n-9	5221n-7	53.3	7	2	3.5	갈때기	주름	약함
5680	2462 n-7	765 n-8	52.1	7.8	1.7	3.6	갈때기	주름	약함
5683	2462 n-2	765 n-2	34.2	5.3	1.5	4.8	갈때기	주름	약함
5693	4220 n-5	2778 n-8	63.7	8.7	2.5	3.8	갈때기	주름	약함
5710	4220 n-4	2778 n-4	30.2	5	1.8	3.3	기둥형	주름	약함
5711	4220 n-4	2778 n-5	47.4	6.6	2.1	3.7	기둥형	주름	약함
5731	5251 n-7	2461 n-10	51.7	8.5	1.5	5	갈때기	주름	약함
5732	5251 n-6	2461 n-8	39.3	6	1.9	3.8	갈때기	주름	약함
5744	765 n-6	2778 n-5	52.7	6.4	1.6	4	갈때기	주름	약함
5750	765 n-10	2778 n-2	31.8	5.3	1.5	3.2	갈때기	주름	약함
5754	765 n-2	2778 n-8	79.4	10.5	2.2	3.6	갈때기	주름	약함
5756	765 n-1	2778 n-6	51	7.1	1.9	4.3	갈때기	주름	약함
5759	765 n-3	2778 n-1	38.7	5.5	1.6	3.3	갈때기	주름	약함
5762	765 n-3	2778 n-8	56.3	7.3	2.3	5.3	곤봉형	주름	약함
5764	765 n-9	732 n-4	39.4	5.7	1.7	4.5	갈때기	주름	약함
5765	765 n-8	732 n-4	38.2	6.2	1.5	3.8	갈때기	주름	약함
5768	4220 n-5	2778 n-5	44.3	6.5	1.6	4	갈때기	주름	약함
5769	2778 n-5	732 n-3	43.3	6	1.5	4	기둥형	주름	약함
5813	4865 n-8	765 n-3	43.5	6.5	2.1	4.7	갈때기	주름	중간
5816	4865 n-9	765 n-3	54.5	6.6	2	3.5	갈때기	주름	중간
5818	4865 n-9	765 n-6	34.1	5.8	1.6	3.7	기둥형	주름	약함
5823	4865 n-10	765 n-1	43.1	6.5	1.6	3.7	갈때기	주름	약함
5824	4865 n-10	765 n-2	48.3	7.4	2	3.2	갈때기	주름	약함
5825	4865 n-10	765 n-5	46.6	6.4	1.8	3.2	갈때기	주름	약함

균주 번호	교잡균주	교잡균주	버섯 무게(g)	갓직경 (cm)	갓두께 (cm)	대길이 (cm)	대모양	주름	경도
5828	4865 n-10	765 n-10	53.1	7	2	3.2	깔때기	주름	약함
5829	4865 n-5	765 n-1	39.3	6.2	2	3.6	기둥형	주름	약함
5830	4865 n-5	765 n-3	40.2	5.9	1.8	3.8	기둥형	주름	약함
5831	4865 n-5	765 n-5	149.1	14.7	2.5	4	깔때기	주름	약함
5832	4865 n-2	765 n-6	102.7	12.5	2	5	깔때기	주름	약함
5836	4865 n-9	4220 n-8	44.3	5.8	1.6	3.1	깔때기	주름	약함
5837	4865 n-10	4220 n-1	31.9	6.1	1.5	2.2	깔때기	주름	약함
5839	4865 n-10	4220 n-4	49.8	6.8	1.6	3.8	깔때기	주름	약함
5841	4865 n-10	4220 n-6	40.3	6.2	1.6	3.5	깔때기	주름	약함
5842	4865 n-10	4220 n-8	35.3	6	1.5	3.5	깔때기	주름	약함
5849	4865 n-1	4220 n-10	33.8	5.5	1.6	3.5	깔때기	주름 없음	약함
5858	4865 n-8	4220 n-3	39.9	6.1	1.5	3.6	깔때기	주름	약함
5880	4865 n-2	732 n-6	118.7	11.5	2.3	4.1	깔때기	주름	중간
5883	4865 n-9	732 n-4	42.3	6.6	1.5	3.7	깔때기	주름	약함
5904	4865 n-10	1063 n-10	56.7	7.3	1.6	4.9	깔때기	주름	약함
5908	4865 n-6	1063 n-7	101.3	8.7	1.8	5	곤봉형	주름	약함
5909	4865 n-5	1063 n-5	72.9	8.3	1.5	4.8	깔때기	주름	약함
5917	4865 n-5	5247 n-3	67.4	8	1.5	7.1	기둥형	주름	약함
5926	4865 n-5	4220 n-2	42.8	7.2	1.5	2.8	기둥형	주름	약함
5940	4865 n-2	5271 n-3	44.2	7.2	1.7	3.3	깔때기	주름	중간
5942	4865 n-1	5271 n-1	60.3	7.1	2	3.4	깔때기	주름	약함
5947	4865 n-1	5247 n-6	48.8	7.2	1.5	7	곤봉형	주름	약함
5976	4865 n-7	1057 n-3	74.4	10.3	2.2	3.5	깔때기	주름	약함
5980	4865 n-2	4220 n-8	156.6	10.8	2.2	5.2	깔때기	주름	중간
5983	4865 n-6	1063 n-4	56.3	5.5	2.2	3.7	깔때기	주름 없음	중간
5989	4865 n-5	1063 n-8	95.3	13	1.9	4.5	깔때기	주름	약함
5997	3361 n-10	5119 n-5	55.3	6.3	2.3	4.2	기둥형	rimple	중간
5999	3361 n-5	5119 n-9	37.3	5.2	2	4.3	곤봉형	주름	약함
6018	3361 n-9	5115 n-1	51.9	5.1	1.5	3.6	곤봉형	주름	중간
6031	4317 n-4	2469 n-2	99.2	9.5	1.7	5.2	곤봉형	주름	약함
6032	4317 n-4	2469 n-5	83.1	10.3	1.7	5.2	곤봉형	주름	약함
6033	4317 n-7	2469n-2	59.6	7	1.9	5.2	기둥형	주름	약함

균주 번호	교잡균주	교잡균주	버섯 무게(g)	갓직경 (cm)	갓두께 (cm)	대길이 (cm)	대모양	주름	경도
6041	3361 n-8	4317 n-4	38.9	6.1	1.9	3.6	기둥형	주름	중간
6046	3361 n-5	2469 n-2	43.2	7	1.5	4.7	곤봉형	주름	약함
6052	3361 n-10	2469 n-2	75.2	8.7	2	4.8	곤봉형	주름	약함
6057	3361 n-6	5152 n-2	64.8	7.8	2	4.3	곤봉형	주름	중간
6058	4865 n-8	765 n-4	35.9	6.3	1.8	2.9	기둥형	주름	중간
6059	4865 n-10	765 n-6	45.1	8.7	1.7	3.3	깔때기	주름	약함
6061	4865 n-5	1063 n-10	121.1	12.7	2.1	3.6	깔때기	주름	중간
6062	4865 n-10	5271 n-1	48.6	7.1	2	3.3	기둥형	주름	중간
6111	5940 n-2	4317 n-36	62.5	7.1	1.5	4.6	곤봉형	주름	중간
6115	5940 n-2	4317 n-44	57.1	8	1.8	3.3	깔때기	주름	약함
6116	5940 n-2	4317 n-46	39.7	6	1.8	3.7	기둥형	주름	약함
6129	5940 n-2	4317 n-74	36.8	6	1.6	4	기둥형	주름	중간
6130	5940 n-2	4317 n-77	54.7	6.5	2	4.3	기둥형	주름	약함
6133	5940 n-3	4317 n-11	56.8	7.2	2	4.5	기둥형	주름	약함
6134	5940 n-3	4317 n-19	70.1	8.5	1.6	5.7	기둥형	주름	약함
6135	5940 n-3	4317 n-26	31.7	5.4	1.6	4	곤봉형	주름	약함
6138	5940 n-3	4317 n-58	40.2	6	1.5	3.4	기둥형	주름	약함
6141	5940 n-3	4317 n-61	48.9	7	2	4.1	깔때기	주름	약함
6142	5940 n-3	4317 n-62	35.1	5.5	1.7	3.7	기둥형	주름	중간
6143	5940 n-3	4317 n-63	43.7	6.2	2	3.6	깔때기	주름	약함
6144	5940 n-3	4317 n-64	44.6	6.2	1.6	4.5	깔때기	주름	약함
6146	5940 n-3	4317 n-74	43.6	6.7	1.6	4.1	기둥형	주름	약함
6148	5940 n-3	4317 n-79	55.5	6.4	2.2	6	곤봉형	주름	약함
6154	5940 n-8	4317 n-3	56.7	7.3	1.9	4.8	기둥형	주름	약함
6156	5940 n-8	4317 n-7	46.9	6.5	1.5	4.4	곤봉형	주름	약함
6157	5940 n-8	4317 n-9	42	6.5	2	3.8	깔때기	주름	약함
6159	5940 n-8	4317 n-29	46.8	6.3	1.6	3.6	기둥형	주름	약함
6167	5940 n-8	4317 n-46	84.6	8.7	2	6	기둥형	주름	약함
6170	5940 n-8	4317 n-50	50.4	7.2	1.9	5	곤봉형	주름	약함
6174	5940 n-8	4317 n-55	44.1	6.6	1.6	3.8	기둥형	주름	약함
6176	5940 n-8	4317 n-59	33.4	6	1.6	3.5	깔때기	주름	약함
6182	5940 n-8	4317 n-67	57.9	6.5	1.5	5.6	곤봉형	주름	약함
6183	5940 n-8	4317 n-71	37.5	6.1	2.1	4.6	깔때기	주름	약함

균주 번호	교잡균주	교잡균주	버섯 무게(g)	갓직경 (cm)	갓두께 (cm)	대길이 (cm)	대모양	주름	경도
6186	5940 n-8	4317 n-75	51.3	7	1.5	5.5	기둥형	주름	약함
6189	5940 n-8	4317 n-79	65.1	6.7	1.7	6.7	깔때기	주름	약함
6194	5940 n-9	4317 n-73	50.7	7.3	1.5	4.4	기둥형	주름	약함
6227	5832 n-3	4317 n-8	52.8	6.3	1.7	4.7	곤봉형	주름	약함
6233	5832 n-3	4317 n-18	43.9	6.6	1.7	4.4	곤봉형	주름	약함
6249	5832 n-3	4317 n-69	52	6.7	2	2.8	기둥형	rimple	약함
6252	5832 n-3	4317 n-76	41.9	6.2	1.8	5.6	기둥형	주름	약함
6253	5832 n-3	4317 n-78	37.2	6	1.7	2.5	기둥형	rimple	중간
6259	5832 n-4	4317 n-22	45	5.9	1.5	5	곤봉형	주름	약함
6261	5832 n-4	4317 n-28	44.7	5.8	1.6	4.2	곤봉형	주름	약함
6267	5832 n-4	4317 n-49	56.6	8.7	2	3.6	곤봉형	주름	약함
6268	5832 n-4	4317 n-55	40.1	5.7	1.6	4.2	기둥형	주름	약함
6272	5832 n-4	4317 n-67	36.7	5.9	1.8	4.8	곤봉형	주름	약함
6291	5832 n-7	4317 n-46	60.3	7.5	2.2	4.3	기둥형	주름	약함
6295	5832 n-8	4317 n-30	50.9	6.9	1.7	4.8	곤봉형	주름	약함
6311	5832 n-9	4317 n-46	46.4	7.2	2.4	5	곤봉형	주름	약함
6315	5832 n-9	4317 n-51	53	6.6	1.7	4.5	곤봉형	주름	약함
6316	5832 n-9	4317 n-52	42.8	6	2	4.3	곤봉형	주름	약함
6325	5832 n-9	4317 n-64	60.6	6.1	1.8	5	곤봉형	주름	약함
6327	5832 n-9	4317 n-69	41.6	6.1	2	3.1	기둥형	rimple	중간
6337	5832 n-10	4317 n-27	59.8	7.3	1.8	4.3	곤봉형	주름	약함
6338	5832 n-10	4317 n-31	36.1	4.7	1.8	3.7	곤봉형	주름	중간
6343	5832 n-10	4317 n-49	38.6	5.5	1.6	4.6	기둥형	주름	약함
6344	5832 n-10	4317 n-53	40.8	6	1.6	3.5	곤봉형	주름	약함
6347	5832 n-10	4317 n-61	49.7	6.2	2.1	5	곤봉형	주름	약함
6350	5832 n-10	4317 n-76	52.5	7	2.1	5	기둥형	주름	약함
6375	5816 n-2	4317 n-3	30.3	5	2.7	2.9	곤봉형	주름	약함
6380	5816 n-2	4317 n-36	41.9	5.6	1.8	5.2	곤봉형	주름	약함
6382	5816 n-2	4317 n-45	30.9	5.7	2	4.2	곤봉형	rimple	약함
6385	5816 n-2	4317 n-56	30.9	5.7	1.8	5.3	깔때기	주름	약함
6386	5816 n-2	4317 n-59	60.8	7.5	2.5	3.8	기둥형	주름	약함
6389	5816 n-3	4317 n-9	37.6	7	2.1	4.2	기둥형	주름	약함
6390	5816 n-3	4317 n-29	44.2	6.5	1.8	4.3	곤봉형	주름	중간
6391	5816 n-3	4317 n-76	41.7	6.3	2.6	3.9	깔때기	rimple	약함

균주 번호	교잡균주	교잡균주	버섯 무게(g)	갓직경 (cm)	갓두께 (cm)	대길이 (cm)	대모양	주름	경도
6394	5816 n-4	4317 n-30	40.2	6.4	1.6	4	곤봉형	주름	중간
6399	5816 n-5	4317 n-35	68.1	7.5	2.2	5.9	곤봉형	주름	중간
6408	5816 n-6	4317 n-76	33.5	5.7	1.8	4.7	칼때기	rimple	약함
6409	5816 n-6	4317 n-79	61.4	7.3	2	6.5	기둥형	rimple	약함
6411	5816 n-7	4317 n-37	32.2	5.7	1.7	5.2	기둥형	주름	약함
6418	5816 n-9	4317 n-66	59.5	7.3	2.1	3.8	기둥형	주름	약함
6419	5816 n-10	4317 n-41	35.5	6.4	1.5	3.2	기둥형	주름	약함
6420	5816 n-10	4317 n-48	58.5	7.2	2.7	4.8	기둥형	주름	약함
6421	5816 n-4	4317 n-46	33.4	5.5	1.8	3	기둥형	rimple	약함
6422	5816 n-6	4317 n-59	39.8	6.2	2.4	4.2	칼때기	주름	약함

447개 선발된 균주에서 갓 직경을 검토한 결과, 1.5-2.0cm는 360개(80.5%), 2.1-2.5cm는 69개(15.4%), 2.6-3.0cm는 15개(3.6%), 3.1-3.5cm는 3개(0.7%) 였다.

우량균주로 선발된 것은 2022년 국립산림과학원에서 사각블럭배지에서 버섯발생 시험을 진행할 계획이며, 선발된 것에 대해서는 2023년(국립산림과학원 자체 신규과제) 농가실증시험을 통해 신제품 출원을 위한 준비를 할 계획이다.

표 2-1-16. 갓 두께가 3cm 이상인 균주 목록

균주 번호	교배 균주	교배 균주	무게 (g)	갓 직경 (cm)	갓 두께 (cm)	대 길이 (cm)	대 모양	주름 유무	조직경도	비고
4247	2778 n-2	733n-1	61.8	9.5	3	4	잘록형	주름	약함	탈립성 좋고, 갓이 두꺼움
4324	3420 n-17	2694n-1	41.1	6.2	3.3	3	기둥형	주름	약함	모양좋음, 색택 밝음
4336	2462 n-2	3420n-9	41.3	5	3	2.5	칼때기	주름 없음	중간	버섯기형, 참송이 닮음
4549	2462 n-1	4242n-10	97.8	10.5	3	4	기둥형	주름	약함	모양좋음, 갓 위가 뽀족
4746	4323 n-5	2464n-10	41.5	5.8	3	2	칼때기	주름	중간	모양좋음, 대가 짧고 갓 두꺼움
4790	4547 n-2	4323 n-8	45.7	4.6	3.5	1	기둥형	주름 없음	약함	공모양, 기형
5174	4317 n-4	4867 n-2	49.4	6.3	3.5	6	기둥형	주름	약함	갓 뽀족, 대 인편강함

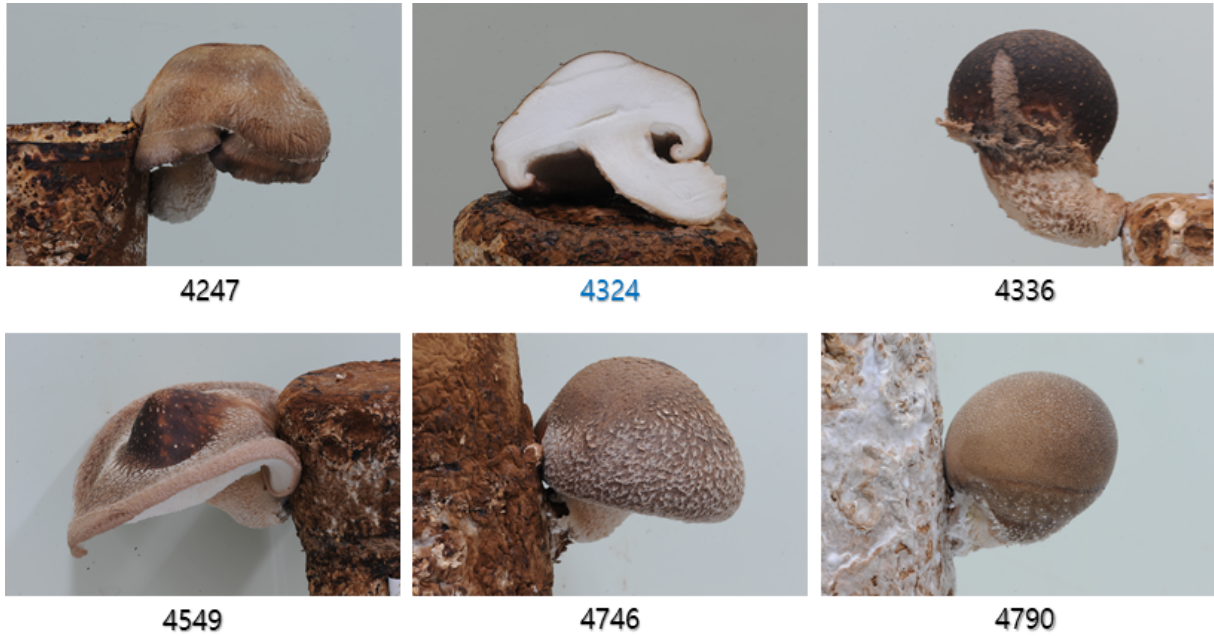


그림 2-1-19. 스크린 과정에서 갓 두께가 3cm 이상인 버섯 모습

농가재배에서 이 균주들은 생산량이 낮거나, 배지불량, 발이수가 적어 재배용 품종으로는 부적합 하였다. 스크린과정과 농가재배에 큰 차이가 있음을 알 수 있었다. 단지 NIFoS 4324 균주가 3회 발생 시 22%의 생산량이 나오고 버섯이 정형성도 높았으나, 버섯의 무게가 평균 13g으로 작게 나왔다. 또한 배지당 발이수가 18-54개로 매우 높았다. 숙아주기를 적절하게 진행된다면, 재배품종으로 충분히 개발 가능성은 있었다.

447개 균주 중 4317 균주가 2020년 ‘태향고’로 품종출원 하였다. 그리고 여기에 포함되지 않은 4329 균주가 ‘만추향’으로 품종출원 하였다. 이 균주는 2018년 농가실증 시험과정에서 다른 것들에 비해 생산량과 균일성이 높아서 선택되었다. 태향고는 발이수가 1-8개, 대부분 정형, 갓 강도가 중상, 평균 중량 59g 이었다. 만추향은 발이수가 16-34개, 80% 이상의 정형, 갓 강도가 중, 평균 중량 28g 이었다. 종균병에서 버섯이 발생하는 것과 농가의 사각블럭배지에서 버섯이 발생하는 모습이 많이 달랐다. 따라서 선발된 균주는 반드시 농가 실증 시험을 통해 버섯의 고유 형질을 파악하고 생산량을 검증할 필요가 있었다.



4317 태향고(스크린)



4329 만추향(스크린)



4317 태향고(농가)



4329 만추향(농가)

그림 2-1-20. 태향고와 만추향의 스크린과 농가실증시험 당시 버섯 모습

(2) 선발균주의 균사생장 조사

보관균주로 만들어진 것은 균주번호를 부여하고 국립산림과학원 균주보존실에 영구 보존하였다. 이때 만들어진 균주는 PDA 배지에서 균사생장을 조사하였다. 조사방법은 PDA 배지에 6mm 디스크 크기로 접종한 것을 25℃ 10일간 배양한 다음 균총의 크기와 균사밀도를 3반복 조사하였다.

균사생장을 측정한 것은 5년간 1917개 균주였고, 4cm 이하 117개(6.1%), 4-5cm 5.8%), 5-6cm 270개(14.1%), 6-7cm 481개(25.1%), 7-8cm 679개(35.4%), 8cm 초과 258개(13.5%)로 분포하였다. 8cm 이상 해당하는 교잡균주의 모균주는 2778, 3361, 4220, 4865의 단포자 균주가 많았다. 균사밀도는 성김 1026개(53.5%), 보통 838개(43.7%), 조밀 51개(2.7%)로 나타났다. 균사밀도의 분포는 성김이 매우 높게 나타난 것을 알 수 있었고, 조밀은 매우 낮았다. 균사밀도가 조밀하고 균총 크기가 7cm 이상인 균주는 단지 8개(15.7%)였다.

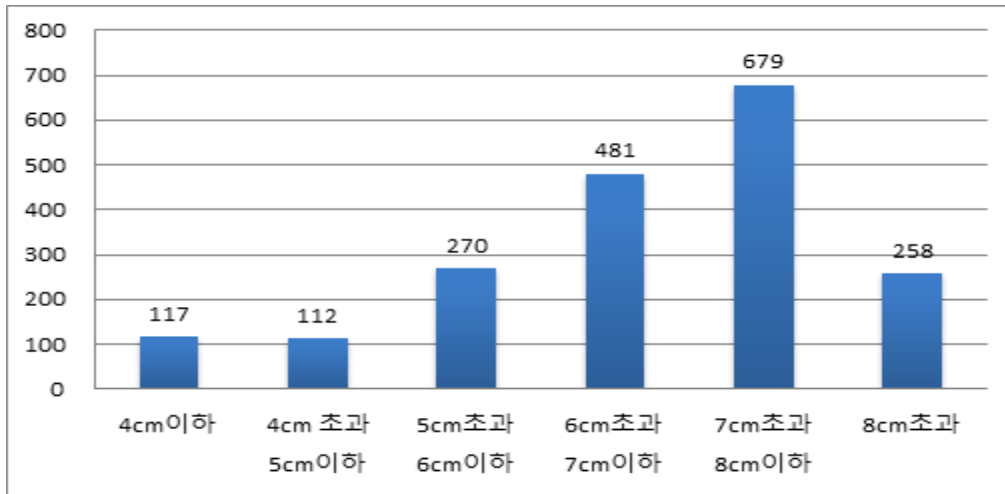


그림 2-1-21. 선발된 교잡균주의 PDA 배지에서 균사생장 구간별 빈도(1917개 균주)

표 2-1-17. 균총 밀도가 조밀하고 균총 크기가 7cm 이상인 균주 목록

균주 번호	교잡 단포자	교잡 단포자	측정1	측정2	측정3	평균	편차	균총 밀도
3553	2778n-15	2468n-4	77.2	77.7	76.8	77.2	0.4	조밀
3559	2778n-12	2925n-2	77.3	69.6	76.3	74.4	4.2	조밀
3690	3165	803n-12	70.0	70.4	70.4	70.3	0.2	조밀
4130	2778n-7	2470n-9	77.6	77.7	78.1	77.8	0.2	조밀
4134	2778n-1	2470n-8	77.1	76.0	76.6	76.5	0.5	조밀
4135	2778n-4	2470n-8	76.4	76.3	75.3	76.0	0.6	조밀
4146	2778n-7	805n-3	75.0	76.1	75.6	75.6	0.5	조밀
4186	2778n-2	2468n-5	73.1	72.0	73.0	72.7	0.6	조밀

라. 선발균주의 농가 실증 시험

농가 실증 시험은 2017년 경기도 양평의 곡수표고와 종균배양협회 2곳에서 실시하였다. 2018년-2021년은 곡수표고에서 사각블럭배지, 2020-2021년은 충주 리을농산에서 기둥형 배지를 이용하였다. 본 자료는 곡수표고에서 이루어진 것을 중심으로 기술하였다.

표 2-1-18. 양평 곡수표고에서 표고 농가 실증 시험

연도	시험균주	재배시험	비고
2017	10		2016년 선발균주
2018	155	산백향, 밤빛향, 산조701호	2차 12개 추가시험
2019	145	산백향, 밤빛향, 산조701호, 산조707호	2차 10개 추가시험
2020	145	산백향, 밤빛향, 산산향, 만추향, 산장향, 출원후보(태향고)	
2021	137	산백향, 밤빛향, 산산향, 산장향, 만추향, 태향고, 산마루1호, 산마루2호, 산조708호	2차 8개 추가시험

(1) 버섯발생 조사

사각배지는 2kg 크기로 제작 및 균을 접종하고 100일간 배양하였다. 배양된 것은 하우스에서 버섯발생을 실시하였다. 각 균주는 16개씩 만들었다. 1차 선발은 버섯의 모양, 고르게 발생 유무, 생산량 등을 고려하여 10개 내외의 우량균주를 선발하였다. 2021년도는 시험균주 137개, 재배심사용 품종 산백향, 밤빛향, 산산향, 산장향, 태향고, 만추향, 산마루1호, 산마루2호, 산조708호 등 9개 었다. 재배심사용 품종은 배지 100kg 이상 조건에서 실험하였다.



그림 2-1-22. 사각배지 제작, 균접종

표 2-1-19. 2021년 선발 균주의 농가시험을 통한 1차 버섯발생 결과(3회 발생, n=16)

균주 번호	교잡균주	교잡균주	1~3차		배지당 평균 수확			폐기된 배지	비고
			무게(g)	개수	무게(g)	개수	버섯개당무게		
5082	4317 n-1	4866 n-4	3171	132	198	8	24	3	
5083	4317 n-4	2694 n-4	5064	697	317	44	7	16	
5084	4317 n-1	3583 n-2	4988	313	312	20	16	2	
5085	4317 n-8	3583 n-2	2649	108	166	7	25	16	
5086	3404 n-4	3420 n-10	3778	166	236	10	23	10	
5090	4317 n-8	2464 n-10	4599	160	287	10	29	15	
5091	4317 n-1	3583 n-1	6288	1014	393	63	6	1	
5093	4317 n-2	3583 n-8	2007	29	125	2	69	2	
5095	4317 n-10	3583 n-10	5285	247	330	15	21	7	
5102	3404 n-9	3420 n-2	5546	610	347	38	9	16	
5104	3404 n-5	3420 n-4	4941	337	309	21	15	16	
5107	4317 n-4	3583 n-5	4104	158	257	10	26	3	
5109	3404 n-10	3420 n-9	3168	112	198	7	28	15	
5114	4782 n-2	4317 n-3	1542	30	96	2	51		
5116	4782 n-3	4317 n-4	4362	212	273	13	21	13	
5117	4782 n-7	4317 n-4	7279	762	455	48	10	16	
5118	4782 n-8	4317 n-4	6297	388	394	24	16	13	
5124	4782 n-9	4317 n-8	3497	90	219	6	39	12	
5128	4782 n-5	3420 n-5	6080	330	380	21	18	16	
5129	4782 n-8	3420 n-5	5249	170	328	11	31	16	
5132	4782 n-8	3404 n-5	5368	297	336	19	18	16	
5134	4317 n-4	4865 n-2	5020	340	314	21	15	14	
5135	4317 n-10	4865 n-2	1744	56	109	4	31	1	
5136	4317 n-4	4865 n-8	6089	268	381	17	23	13	
5137	4317 n-5	4866 n-2	4865	260	304	16	19	14	
5140	4317 n-1	4866 n-6	5219	282	326	18	19	9	

군주 번호	교잡군주	교잡군주	1~3차		배지당 평균 수확			폐기 된 배지	비고
			무게(g)	개수	무게(g)	개수	버섯개 당무게		
5142	4317 n-6	4866 n-6	7356	569	460	36	13	4	
5143	4317 n-2	4866 n-7	5865	271	367	17	22	12	
5146	4317 n-8	4866 n-10	3231	95	202	6	34	7	
5148	4865 n-5	4782 n-1	2526	113	158	7	22	16	
5151	4865 n-8	4782 n-3	5356	507	335	32	11	16	
5153	4865 n-9	4782 n-4	4828	219	302	14	22	11	
5155	4865 n-10	4782 n-5	4055	278	253	17	15	10	
5162	4865 n-8	4782 n-9	4508	276	282	17	16	14	
5164	4866 n-10	4782 n-1	5063	367	316	23	14	14	
5166	4866 n-7	4782 n-3	5894	308	368	19	19	11	
5168	4866 n-7	4782 n-4	6095	438	381	27	14	6	
5169	4866 n-2	4782 n-7	5138	343	321	21	15	14	
5172	4866 n-7	4782 n-8	4689	381	293	24	12	13	
5173	4866 n-4	4782 n-10	7227	358	452	22	20	5	
5174	4317 n-4	4867 n-2	383	7	24	0	55	14	
5179	4317 n-10	4867 n-8	127	3	8	0	42	15	
5183	4866 n-2	1066 n-1	6115	659	382	41	9	4	
5184	4866 n-3	1066 n-1	7291	771	456	48	9		
5186	4866 n-4	1066 n-3	4817	218	301	14	22		
5189	4866 n-2	1066 n-6	2537	101	159	6	25		
5193	4866 n-6	1066 n-8	7167	361	448	23	20	4	
5194	4866 n-4	1066 n-9	6733	616	421	39	11	1	
5197	4866 n-1	1066 n-10	4900	158	306	10	31		
5198	4866 n-2	1066 n-10	4863	230	304	14	21	2	
5203	4866 n-4	1056 n-1	1422	40	89	3	36	1	
5205	4866 n-1	1056 n-2	4136	105	259	7	39	2	
5209	4866 n-10	1056 n-2	3756	87	235	5	43	4	
5212	4866 n-4	3150 n-4	2663	92	166	6	29	16	
5214	4866 n-1	3148 n-1	6496	389	406	24	17	15	
5221	4866 n-7	1056 n-4	9131	582	571	36	16	12	
5236	4866 n-8	1066 n-8	1511	53	94	3	29		
5237	4866 n-5	1056 n-4	879	21	55	1	42	8	
5238	4866 n-9	1056 n-9	8570	356	536	22	24	8	
5271	4866 n-10	3148 n-2	4440	280	278	18	16	12	
5273	4866 n-10	3150 n-7	2859	127	179	8	23	10	
5274	4866 n-10	3148 n-7	2143	62	134	4	35	8	
5275	4866 n-4	3404 n-9	6315	407	395	25	16	6	
5276	4866 n-9	3404 n-9	6764	494	423	31	14	14	
5277	4866 n-4	3404 n-7	2053	40	128	3	51	1	
5278	4866 n-1	3404 n-4	1558	34	97	2	46	4	
5280	4866 n-3	3404 n-4	1709	33	107	2	52		
5281	4866 n-9	3404 n-10	898	19	56	1	47	14	
5284	4865 n-7	2778 n-6	1308	30	82	2	44	4	
5285	4865 n-5	2778 n-6	6423	412	401	26	16	12	
5286	4865 n-10	2778 n-6	6486	319	405	20	20	5	
5287	4865 n-2	2778 n-10	2305	238	144	15	10	13	
5289	4865 n-5	3404 n-7	5831	230	364	14	25	12	

군주 번호	교잡군주	교잡군주	1~3차		배지당 평균 수확			폐기 된 배지	비고
			무게(g)	개수	무게(g)	개수	버섯개 당무게		
5297	4865 n-9	3404 n-10	1925	40	120	3	48	12	
5304	4865 n-8	2778 n-7	2701	76	169	5	36		
5312	3404 n-9	3150 n-3	7403	532	463	33	14	8	
5313	3404 n-9	3150 n-6	1148	175	72	11	7	16	
5314	3404 n-10	3150 n-10	1012	19	63	1	53	10	
5316	3404 n-9	1056 n-8	6089	267	381	17	23	2	
5318	3404 n-10	1056 n-4	5180	137	324	9	38	3	
5319	3404 n-10	1056 n-8	7034	262	440	16	27	5	선발
5320	3404 n-9	1066 n-3	687	25	43	2	27	11	
5321	3404 n-9	1066 n-5	6154	372	385	23	17		
5322	3404 n-9	1066 n-8	5888	278	368	17	21	3	
5323	3404 n-10	1066 n-2	3147	84	197	5	37		
5325	3404 n-9	4782 n-3	3463	181	216	11	19	9	
5326	3404 n-9	4782 n-5	2771	102	173	6	27		
5327	3404 n-9	4782 n-6	4836	203	302	13	24	12	
5329	3404 n-9	4782 n-8	3304	94	207	6	35	14	
5330	3404 n-9	4782 n-9	3859	151	241	9	26	15	
5331	3404 n-10	4782 n-1	4511	200	282	13	23	16	
5333	3404 n-10	4782 n-3	733	15	46	1	49	12	
5336	3404 n-7	4782 n-3	2027	85	127	5	24	4	
5337	3404 n-7	4782 n-5	2790	146	174	9	19	6	
5338	3404 n-7	4782 n-8	3929	158	246	10	25	7	
5340	3404 n-7	1066 n-1	1147	25	72	2	46	7	
5344	3404 n-7	1056 n-6	5668	245	354	15	23		
5346	3404 n-8	1056 n-2	4691	299	293	19	16	13	
5347	3404 n-7	3150 n-3	2231	65	139	4	34	2	
5348	3404 n-7	3150 n-10	1600	46	100	3	35	5	
5349	3404 n-4	1038 n-8	1311	30	82	2	44	8	
5352	3404 n-4	1066 n-10	1841	43	115	3	43	12	
5356	3404 n-6	4782 n-2	2000	55	125	3	36	2	
5359	3404 n-1	1066 n-5	753	13	47	1	58	16	
5364	3404 n-2	1066 n-10	2280	60	143	4	38	12	
5366	3404 n-1	1056 n-6	785	13	49	1	60	16	
5369	3404 n-5	1038 n-3	2998	414	187	26	7	16	
5370	3404 n-5	1038 n-6	201	7	13	0	29	16	
5374	3404 n-8	4782 n-1	3759	154	235	10	24	15	
5375	3404 n-8	4782 n-3	0	0	0	0	0	16	
5376	3404 n-1	1056 n-8	2619	51	164	3	51	8	
5382	4866 n-8	4943 n-8	1644	51	103	3	32	10	
5383	4866 n-5	4943 n-8	5727	294	358	18	19	8	
5390	4866 n-3	4943 n-8	3888	172	243	11	23	8	
5394	4866 n-1	4943 n-8	6903	264	431	17	26	1	선발
5404	4866 n-5	5186 n-4	1564	38	98	2	41	1	
5405	4866 n-5	5186 n-5	2051	80	128	5	26	12	
5406	4866 n-5	5186 n-6	4739	137	296	9	35	3	
5409	4866 n-5	5186 n-10	3813	237	238	15	16	12	
5413	4866 n-9	5186 n-7	6724	278	420	17	24		

군주 번호	교잡군주	교잡군주	1~3차		배지당 평균 수확			폐기 된 배지	비고
			무게(g)	개수	무게(g)	개수	버섯개 당무게		
5415	4866 n-10	5186 n-10	1308	31	82	2	42	5	
5416	4866 n-7	5186 n-9	7911	1116	494	70	7	14	
5420	4866 n-3	5221 n-4	2595	194	162	12	13	16	
5426	4866 n-5	5221 n-6	6295	321	393	20	20	11	
5431	2469 n-1	5186 n-10	10357	1166	647	73	9	14	
5433	2469 n-8	5186 n-3	4009	118	251	7	34	4	
5434	2469 n-8	5186 n-7	553	16	35	1	35	16	
5438	2469 n-1	4943 n-2	5161	149	323	9	35	13	
5115	4782 n-1	4317 n-4	17291	572	346	11	30	45	
5119	4782 n-3	4317 n-5	6839	162	137	3	42	34	
5121	4782 n-6	4317 n-6	15071	506	301	10	30	37	
5125	4782 n-9	3420 n-1	11029	285	221	6	39	29	
5126	4782 n-7	3420 n-2	19583	981	392	20	20	41	
5133	4782 n-6	2778 n-5	14296	641	286	13	22	5	
5152	4865 n-1	4782 n-4	15700	688	314	14	23	46	
5165	4866 n-2	4782 n-2	14315	517	286	10	28	13	
4329		2019년선발	2964	147	59	3	20	10	
4953		2020년선발	22469	753	449	15	30		

마. 출원품종 현장실증 시험포 운영

우수군주 선발용 시험포 2군데 이외에 출원품종 현장실증 시험포를 운영하였다. 시험포는 기동형 배지 실증시험포 4개소와 전시포 1개소, 원통형 배지 실증시험포 4개소와 전시포 1개소 등 총 10개소를 운영하였다. 실증 시험포에서는 산백향과 태향고에 대한 재배시험을 실시하였으며, 전시포에서는 산백향, 밤빛향, 산산향, 만추향, 태향고 등 5개 품종에 대한 재배시험을 실시하였다. 대조품종으로는 참아람을 이용하였고, 원통형 배지의 경우 엘808을 이용하였다. 시험규모는 아래 표와 같다.

표 2-1-20. 출원품종 현장실증 시험포

구분	재배유형	시험품종 및 규모 (5,000봉/하우스)	권역	지역
품종 실증 시험포 (8개소)	기동형 배지	산백향 : 4,000봉 태향고 : 500봉 참아람(대조군) : 500봉	충청권	괴산
			충청권	청주
			충청권	서천
			경상권	영천
	원통형 배지	산백향 : 4,000봉 태향고 : 500봉 엘808호(대조군) : 500봉	경기권	여주
			경기권	연천
			경기권	화성
			전라권	영암
전시포 (2개소)	기동형 배지	산백향, 밤빛향, 산산향, 만추향, 태향고 : 각 900봉 참아람(대조군) : 500봉	강원권	춘천
	원통형 배지	산백향, 밤빛향, 산산향, 만추향, 태향고: 각 900봉 엘808(대조군) : 500봉	충청권	천안

기동형 배지는 종균배양소에서 배지를 제작하여 종균을 접종하고 균이 활착된 다음 각 지역의 재배사로 옮겨 배양과정부터 재배시험을 실시하였다. 품종별 특성을 조사한 결과 산백향은 대체적으로 입상 후 1차 발생부터 버섯 생산이 잘 되고, 향이 좋고, 갓의 색택이 밝은 장점이 있으나 버섯의 대가 길고 배지가 해균에 약하다는 의견이 많았다. 그러나 배지가 온전히 갈변 될 때까지 오염관리를 하면 그 뒤로는 해균 문제에서 벗어날 수 있고 생산 차수가 올라가면서 대 길이도 짧은 버섯을 생산할 수 있어 상업적으로 재배하기에 문제가 없었다. 태향고, 밤빛향, 산산향, 만추향 등 다른 품종은 보급을 위해서 더 많은 재배시험을 통해 최적 재배 조건을 찾는 것이 필요하다.

표 2-1-21. 품종별 기동형 배지 재배의견

지역	재배의견
괴산	<ul style="list-style-type: none"> - 산백향은 색택이 밝고, 대가 긴 편이며, 향고버섯이 주로 생산됨 - 태향고는 발이가 늦고, 버섯 생장이 느리며, 색택도 진함 - 참아람은 수확시기가 상대적으로 빠르나 고온에 약함
청주	<ul style="list-style-type: none"> - 산백향은 입상(8월하순) 후 초기부터 버섯 발이가 잘 되는 편이고 발이 양도 적당하였음. 입상 후 초기에는 참아람에 비해 갓 색이 어둡고 대가 길었음 - 태향고는 입상 후 초기에는 버섯이 거의 생산되지 않았음. 현재는 태향고의 버섯이 생산되고 있으나 발생작업 후 버섯 발이가 늦고 발이 양도 적어서 전체적인 재배기간이 길어진다는 의견이 있었음 - 산백향은 현재 참아람에 비해 갓 색이 밝고 대 길이도 입상 초기에 비해 짧아짐. 발이된 버섯이 천천히 성장하여 대굵기도 초기에 비해 굵었음
서천	<ul style="list-style-type: none"> - 산백향 배양기간은 참아람보다 짧은 것으로 보이나 버섯 발생은 참아람보다 발이량이 적었음. 슈아주기를 덜 해도 되어 인건비는 절약됨. 참아람을 기준으로 발생작업을 하였으나 참아람보다 살수를 더 해야 할 것으로 생각됨 - 산백향은 대가 긴편이나 버섯 발이 온도가 18℃보다 높아서인 것으로 생각됨. 참아람에 비해 색택이 밝음 - 태향고는 동일조건에서 버섯이 이제 한두개 발이되고 있었음 - 국산 품종 보급을 위해서는 서천에서와 같은 시험재배소를 전국적으로 대규모로 확대 할 필요가 있다는 의견이 있었음
영천	<ul style="list-style-type: none"> - 기동형 배지에서 재배시험 결과 태향고, 산백향 두 품종이 푸른곰팡이에 약해 주의가 필요함. 배지 관리 중 오염 방지 및 오염 제거 노력이 필요함. - 산백향, 태향고 품종의 버섯 품질이 우수함. 산백향의 경우 대조 품종인 참아람보다 다회 발생 시 버섯의 품질이 우수하여 6주기 때에도 중품질 이상의 버섯을 수확하였음
춘천	<ul style="list-style-type: none"> - 배양 초기 배지 오염문제가 있어 배지를 추가로 만들어 배양함 - 참아람과 산백향은 대가 다른 품종들에 비해 길었으며, 산백향은 참아람에 비해 색택이 밝았음. 밤빛향은 상대적으로 색택이 진했음 - 산백향은 다른 품종에 비해 버섯 발이 수가 많았음 - 버섯은 만추향의 무게가 가장 가벼웠으며 버섯 크기도 가장 작았음. 밤빛향과 산백향이 대조품종인 참아람보다는 버섯이 더 크고 무게가 더 무거웠음

원통형 배지는 톱밥 80% 밀기울 20%와 탄산칼슘소량을 혼합하여 수분 함량 $60\pm 2\%$ 이내로 하여 3.0kg으로 입봉하였다. 배양온도는 $20\pm 1^\circ\text{C}$, CO_2 는 4,000ppm이하 조건에서 배양하였다.

표 2-1-22. 품종별 배양특성

품종	배양특성
산백향	- 배지에 균사 만연기간이 30~37일로 균사 배양 속도가 빠른 편이었으며, 갈변도 80일 이내에 완료되었음 - 배양 110일 이후부터는 봉지 내에 버섯 발이가 확인되었으며, 이러한 배지는 발이 된 부분에 곰팡이 오염이 발생하였음
산산향	- 배지에 균사 만연기간이 품종들 중 가장 늦어 60일까지 소요되었음 - 갈변도 느리게 진행되었으나 갈변 배양 완료 후 배지 오염은 없었음
밤빛향	- 배지에 균사 만연기간은 45일 정도 소요됨 - 대조군 엘808과 비슷한 배양특성을 보임
만추향	- 배지에 균사 만연기간은 45일 정도 소요됨 - 대조군 엘808과 비슷한 배양특성을 보임
태향고	- 배지에 균사 만연기간은 45일 정도 소요됨 - 갈변은 다른 품종에 비해 색이 조금 더 진하고 갈변수가 많이 발생하여 곰팡이 오염이 많았음. 배지 단단한 정도가 다른 품종 대비 상대적으로 낮음

배양이 완료된 배지는 각 재배사로 옮겨 재배시험을 실시하였다. 각 지역에서 재배시험을 실시한 결과 각 품종들은 기둥형 배지에서 재배한 것과 유사한 버섯특성을 나타내었다. 그럼에도 산백향, 태향고는 재배관리에 따라 우수한 특성을 지니는 버섯을 생산할 수 있었다. 밤빛향, 산산향, 만추향 등 다른 품종은 보급을 위해서 더 많은 재배시험을 통해 최적 재배 조건을 찾는 것이 필요하다.

표 2-1-23. 원통형 배지 지역별 재배의견

지역	재배의견
여주	- 산백향은 갓이 크며 얇고 대가 길면서 가늘어 전체적으로 버섯의 균형이 맞지 않음 - 태향고는 갓이 크고 형태가 우수하나 갓이 벌어질 때 대가 곤봉형이 됨 - 엘808은 대가 가늘고 길며 버섯 무게가 너무 가벼움
연천	- 산백향은 생산량이 많고 자실체 크기도 좋으나 대가 긴 단점이 있음 - 태향고는 식감이 좋으나 향이 많이 나지 않는다는 의견이 있었음. 오염에 약함 - 버섯 판매 시 색택이 밝고, 갓 표면이 갈라진 버섯을 선호함
화성	- 산백향은 엘808과 비교 시 생산량이 좀 더 많으나 개당 무게는 엘808이 더 무거움 - 산백향과 태향고 모두 적정 조건을 맞춰주면 대가 짧은 버섯을 생산할 수 있으며, 온도가 15°C 보다 낮아야 한다는 의견이 있었음 - 태향고와 엘808은 생산량이 적었는데 배양기간을 좀 더 길게 하는 것이 생산량을 높이는 데 도움이 된다는 의견이 있었음
영암	- 입상 후 초기 버섯 다발이, 오염문제 발생함 - 산백향은 생산량은 많으나 대가 길고 갓이 빨리 벌어짐

지역	재배의견
천안	<ul style="list-style-type: none"> - 산백향, 만추향은 배양기간이 짧고 버섯 발이가 잘 되어 기존 재배 품종과 비교해도 경쟁력이 있다는 의견이 있었음. 다만 대가 길다는 점은 단점으로 지적됨 - 밤빛향은 버섯이 무른 경향이 있어 관리가 어려웠으며, 산산향은 버섯상태는 좋으나 생산량이 적다는 의견이 있었음 - 산백향은 해균에 강하며 향이 우수한 반면 태향고는 해균에 약하다는 의견이 있었음

다른 품종에 비해 산백향은 우수한 특성(생산량, 정형률, 선택 밝음, 갓이 늦게 개산)이 관찰되었다. 표고의 톱밥재배는 3가지 톱밥유형(기둥형, 봉형, 사각블럭형)이 국내에서 이용되기에 산백향을 대상으로 각 유형별 재배 매뉴얼을 제작하였다. 이 자료들은 국립산림과학원 산림미생물연구과 또는 홈페이지 도서관(<https://know.nifos.go.kr/book/index.ac>) 에서 PDF 파일로 다운로드 받아 볼 수 있다.



그림 2-1-23. 표고 톱밥재배 매뉴얼(기둥형배지, 봉형배지, 사각블럭배지)

4. 표고의 기능성 분석 및 품종 개발

가. 항산화 활성

표고는 항종양, 콜레스테롤 저하, 항균 및 항산화 활성 등 다양한 효과가 있는 것으로 알려져 있다. 이러한 표고의 기능성을 더욱 높인 품종을 개발하고자 하는데 이를 위해 기본적으로 현재 재배되고 있는 품종들이 어떠한 특성을 갖고 있는지 알아보려고 하였다. 여기에서는 먼저 기존 재배품종들의 항산화 특성을 조사하였다.

(1) 실험방법

(가) 표고 재료 수집

국립산림과학원에서 품종보호 출원한 9개 품종을 동 기관의 원목재배 시험지에서 재배하여 버섯을 수집하였다. 버섯재배에는 직경 15-20cm, 길이 1.2m의 상수리나무를 이용하였다. 실험에는 2014년-2016년에 접종을 실시하고 관리한 원목에서 2017년 4-6월에 생산된 표고를 이용하였다.

(나) 시료의 추출

생표고는 50°C에서 72시간 동안 건조하여 분쇄 후 100 μ m mesh의 체로 걸러 고운 분말을 사용하였다. 버섯 분말 4g에 증류수 40mL를 첨가한 후 WiseCube shaking incubator (WIS-20R, Daihan Scientific Co. Ltd.)에서 150rpm, 24시간 동안 교반하여 추출하였다. 버섯 추출물은 3500 rpm에서 15분간 원심 분리한 후 상등액을 0.45 μ m syringe filter로 여과한 여과액을 -4°C에서 보관하면서 실험에 사용하였다.

(다) 총 폴리페놀 함량 측정

총 폴리페놀 함량은 Folin-ciocalteu's phenol reagent를 이용한 Folin-Denis방법을 이용하여 측정하였다. 버섯 추출물 1.0 mL는 0.2N Folin Ciocalteu's phenol reagent (Sigma-Aldrich, St. Louis, MO, USA) 5.0 mL를 첨가하여 5분 동안 반응시킨 용액에 7.5% Na₂CO₃ 4mL를 첨가하여 혼합하였다. 혼합시킨 반응액은 암소에서 1시간 동안 반응시킨 후에 Epoch Microplate Spectrophotometer (BioTek Instruments, USA)를 사용하여 765 nm에서 흡광도를 측정하였다. 이 때 함량은 gallic acid (Sigma-Aldrich)를 사용하여 시료와 동일한 방법으로 측정한 후 표준곡선으로부터 총 폴리페놀 함량을 계산하였고 mg gallic acid equivalent (GAE)/g로 나타내었다.

(라) 총 플라보노이드 함량 측정

총 플라보노이드 함량은 Xu와 Chang의 방법을 이용하여 측정하였다. 버섯 추출물 0.25mL에 증류수 1.25mL와 5% sodium nitrite 75 μ L를 첨가한 후 혼합하였다. 혼합시킨 반응액은 실온에서 6분 동안 반응시킨 용액에 10% aluminium nitrate 150 μ L를 넣고 혼합시킨 후에 5분 동안 반응시켰다. 반응액은 1M NaOH 0.5 mL와 증류수 2.5mL를 넣고 혼합하여 상온에서 10분간 반응시킨 후에 Epoch Microplate Spectrophotometer를 사용하여 510 nm에서 흡광도를 측정하였다. 이 때 함량은 quercetin (Sigma-Aldrich)를 사용하여 시료와 동일한 방법으로 측정한 후 표준곡선으로부터 총 플라보노이드 함량을 계산하였고 mg quercetin equivalent (QE)/g로 나타내었다.

(마) DPPH 라디칼 소거활성 측정

DPPH 라디칼 소거 활성은 DPPH의 환원성을 이용한 전자 공여능을 측정한 원리로 Blois의 방법을 이용하여 측정하였다. 버섯 추출물 1.0mL는 0.2mM DPPH methanol 용액 1.0mL를 넣고 혼합한 후 어두운 곳에서 30분간 반응시킨 후 Epoch Microplate Spectrophotometer를 사용하여 517 nm에서 흡광도를 측정하였다. DPPH 라디칼 소거 활성은 시료 용액의 대조구와 시료 첨가구의 흡광도 차이를 백분율로 산출하였다.

$$\text{DPPH 라디칼 소거 활성 (\%)} = (\text{대조구 흡광도} - \text{시료 첨가구 흡광도}) / \text{대조구 흡광도} \times 100$$

(바) FRAP 측정

FRAP 측정은 Benzie와 Strain의 방법을 참고하여 측정하였다. FRAP reagent는 300mM acetate buffer (pH 3.6), 40mM HCl에 용해한 10mM 2,4,6-tripyridyl-S-triazine (TPTZ) 용액 및

20mM FeCl₃•6H₂O를 각각 10:1:1 (v/v/v)의 비율로 혼합한 다음 37°C 항온수조에서 15분간 반응시킨 후 사용하였다. 버섯 추출물 200mL에 제조된 FRAP reagent 3.0mL를 혼합한 후 37°C 항온수조에서 30분간 반응시킨 후 Epoch Microplate Spectrophotometer를 사용하여 593 nm에서 흡광도를 측정하였다.

(사) 통계분석

모든 실험은 3회 이상의 반복 실시한 결과값을 이용하여 평균 및 표준편차를 구하였으며, 실험 결과에 대한 상관관계를 알아보기 위해 SPSS 프로그램 (PASW Statistics 18, SPSS Inc., Chicago, USA)을 이용하여 ANOVA로 분석 후 Duncan's multiple range test에 의한 통계적인 유의성은 p<0.05 수준에서 실시하였다.

(2) 실험결과

(가) 총 폴리페놀 및 총 플라보노이드 함량

원목재배를 통해 수확한 표고 추출물의 총 폴리페놀과 총 플라보노이드 함량은 표 2-1-24와 같다. 총 폴리페놀 함량은 천백고(10.88 mg GAE/g), 천장2호(8.30 mg GAE/g), 산림5호(8.07 mg GAE/g), 백화향(8.04 mg GAE/g), 모리436(7.65 mg GAE/g) 등의 순으로 나타났다. 총 플라보노이드 함량은 천백고(5.78 mg QE/g), 백화향(4.12 mg QE/g), 천장1호(3.67 mg QE/g), 산림5호(3.51 mg QE/g), 다산향(3.39 mg QE/g) 등의 순으로 나타났다. 본 실험에서 원목재배 표고 품종간 차이를 알아본 결과 총 폴리페놀과 플라보노이드 함량은 천백고가 다른 품종들에 비해서 가장 높게 나타났다.

표 2-1-24. 총 폴리페놀 및 총 플라보노이드 함량

시료	다산향	천백고	풍년고	수향고	백화향	천장1호	천장2호	유지로	모리290	모리436	산림5호	산림7호
총 폴리페놀 함량 (mg GAE/g)	7.32 ± 0.21 ^e	10.88 ± 0.08 ^a	6.21 ± 0.05 ^h	5.23 ± 0.11 ⁱ	8.04 ± 0.07 ^c	6.77 ± 0.07 ^f	8.30 ± 0.07 ^b	7.39 ± 0.14 ^e	6.47 ± 0.11 ^g	7.65 ± 0.07 ^d	8.07 ± 0.12 ^c	5.10 ± 0.06 ⁱ
총 플라보노이드 함량 (mg QE/g)	3.39 ± 0.42 ^c	5.78 ± 0.29 ^a	2.54 ± 0.46 ^d	1.42 ± 0.17 ^f	4.12 ± 0.17 ^b	3.67 ± 0.08 ^{bc}	2.78 ± 0.10 ^d	2.20 ± 1.10 ^{de}	2.20 ± 0.54 ^{de}	1.67 ± 0.51 ^{ef}	3.51 ± 0.58 ^{bc}	0.76 ± 0.29 ^g

GAE, Gallic acid equivalent; QE, Quercetin equivalent.

(나) DPPH 라디칼 소거 활성

원목재배를 통해 수확한 표고 추출물의 DPPH 라디칼 소거활성은 그림 2-1-22와 같다. DPPH 라디칼 소거 활성은 추출 농도에 따라 유의적인 차이를 보였으며 0.2-2.0 mg/mL의 농도 범위에서 농도의존적으로 증가하는 경향을 나타냈다. 2.0 mg/mL의 농도에서 백화향(90.41%), 천백고(90.11%), 풍년고(90.07%), 모리436(88.89%), 천장1호(88.48%) 등의 순으로 나타났다. 그 중에서 천백고는 0.2-2.0 mg/mL 농도 범위에서 38.19-90.11%로 다른 품종들에 비해서 가장 높게 나타났다.

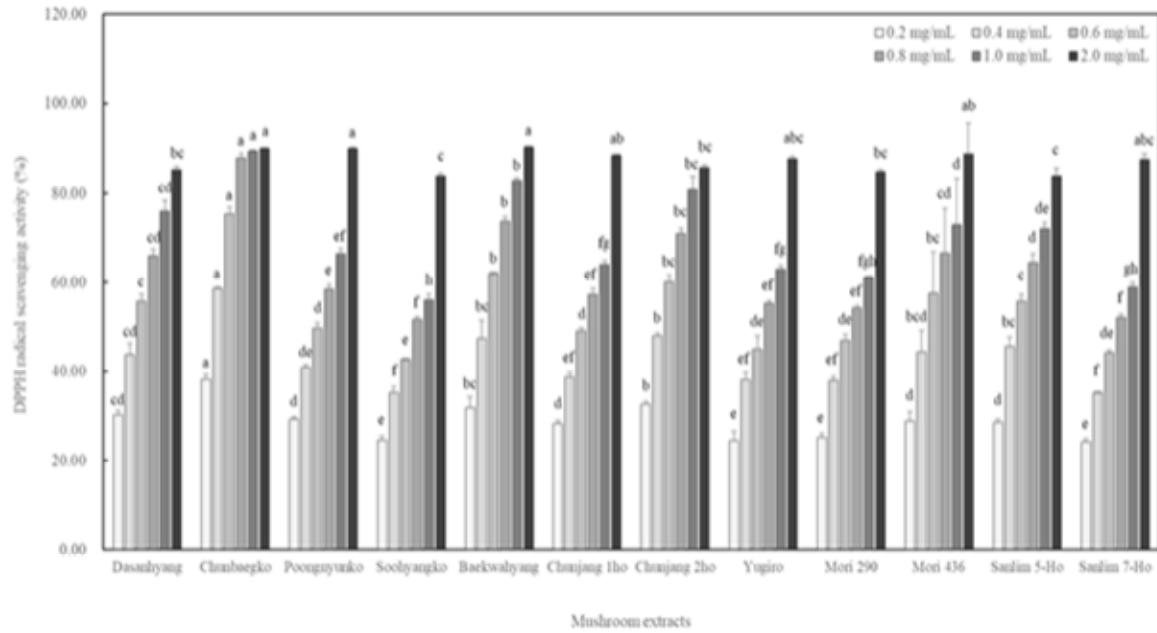


그림 2-1-24. DPPH 라디칼 소거 활성

(다) FRAP

원목재배를 통해 수확한 표고 추출물의 FRAP의 결과는 그림 2-1-23과 같다. FRAP의 결과는 추출 농도에 따라 유의적인 차이를 보였으며 0.2-2.0 mg/mL의 농도 범위에서 농도의존적으로 증가하는 경향을 나타냈다. 2.0 mg/mL의 농도에서 천백고(0.231), 천장2호(0.214), 산림5호(0.209), 모리290(0.181), 백화향(0.173) 등의 순으로 나타났다. 그 중에서 천백고는 0.2-2.0 mg/mL 농도 범위에서 0.075-0.231로 다른 품종들에 비해서 가장 높게 나타났다.

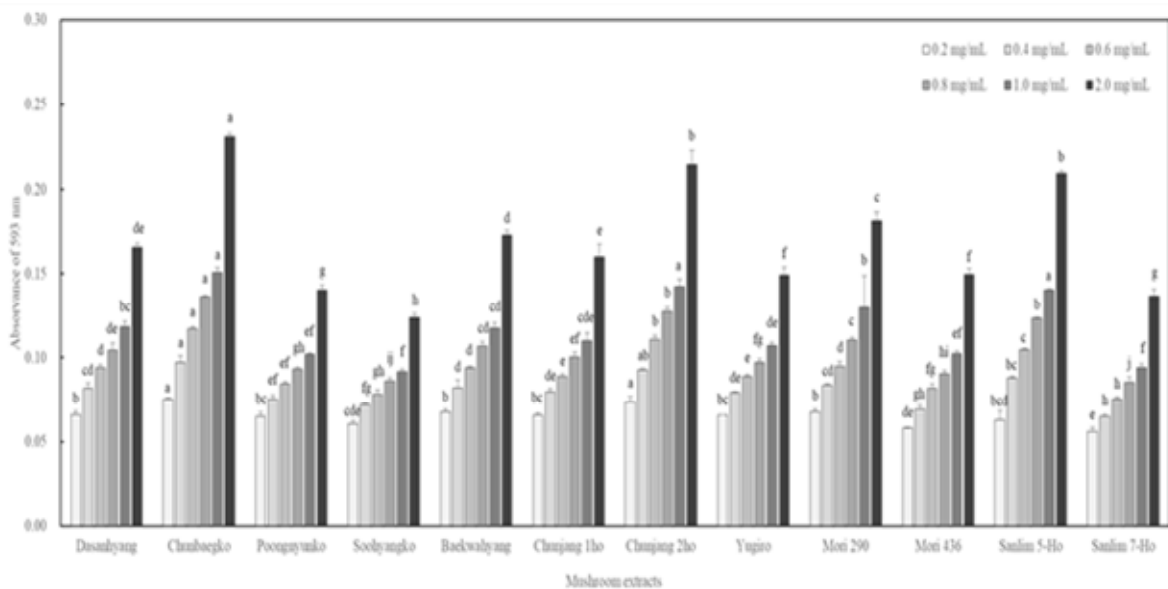


그림 2-1-25. 원목재배한 표고의 FRAP

나. 에르고티오네인 분석

버섯에 생합성되어 생산되는 에르고티오네인(ergothioneine)은 인체나 동물의 뇌, 간, 신장, 혈액 신경계 등에서 발견되는 천연 아미노산으로 인간과 동물은 생합성하지 못하고 외부로 공급받아야 흡수할 수 있는 물질이다. 에르고티오네인은 활성산소 등에 의한 세포 산화 반응을 억제하는 항산화 작용을 하고 세포의 정상적 대사기능에도 중요한 역할을 하며 또한 신경재생을 도와 알츠하이머병과 같은 뇌질환 관련 병들의 진행을 억제한다고 보고되고 있다. 본 실험에서는 에르고티오네인 함량이 높은 우량 버섯 균주들을 선발하여 표고 품종 개발에 활용하기 위해 23개의 야생균주와 17품종 등 40개 균주의 버섯을 이용하여 항산화물질인 에르고티오네인 함량을 분석하였다.

(1) 에르고티오네인 함량 분석 방법

본 실험샘플은 건조오븐에 충분히 마른 표고를 사용하였으며 품종별로 무작위 3개의 샘플을 임의로 선발하여 갈아서 분말로 만든 후 1g을 추출완충액 20mL에 침지하여 1시간을 초음파로 추출한 후 1시간을 잘 흔들어 섞는다. 10%의 SDS(sodium dodecyl sulfate)용매를 4ml 첨가하여 2000rpm으로 원심분리를 한 후 상층액 5ml을 취하여 Speedvac을 이용하여 에탄올층을 제거한 후 물로 재용출하여 0.2um 필터에 거른 고성능액체크로마토그래피(Ultimate3000 HPLC, Thermo Dionex, USA)로 분석하였다. 분석 조건은 10uL의 샘플을 30oC 오븐에 분당 1ml씩 흘려주었고 컬럼은 Inno C-18 column (Youngjinbiochrom, Korea, 4.6*250,5um)을 사용하였다. 이동상용매는 0.5M Phosphate in 30% Acetonitrile과 1mL/1L Triethylamine을 사용하였고 용매의 pH는 7.3 조건으로 분석하였다.

(2) 균주별 에르고티오네인 함량

분석결과 균주별 표고버섯의 에르고티오네인 함량은 표 2-1-25와 그림 2-1-26에 나타내었다.

표 2-1-25. 균주별 표고의 에르고티오네인 함량

균주명	51	52	54	57	58
(mg/kg)	471.81±110.68	537.32±118.22	723.33±67.71	368.33±60.77	608.79±99.45
균주명	68	128	136	411	663
(mg/kg)	865.19±57.43	440.38±42.93	890.78±220.90	418.21±97.78	928.48±32.79
균주명	667	670	952	954	1561
(mg/kg)	344.39±106.54	517.85±114.57	358.72±67.42	600.13±65.75	666.29±14.89
균주명	1651	2063	2064	2497	2499
(mg/kg)	743.73±137.37	484.97±41.72	845.10±32.27	734.47±24.55	349.82±53.24
균주명	2500	2521	2783	가을향	다산향
(mg/kg)	618.85±31.85	733.57±78.22	411.99±57.56	440.74±6.39	446.71±98.43

균주명	백화향	산림4호	산림5호	산림7호	수향고
(mg/kg)	302.57±87.56	572.87±29.44	1080.88±216.79	601.79±129.08	578.13±62.47

균주명	여름향	천백고	천장1호	천장2호	천장3호
(mg/kg)	671.16±74.35	612.41±142.12	742.71±116.58	894.73±141.13	810.59±32.94

균주명	풍년고	산마루1호	산마루2호	산백향	밤빛향
(mg/kg)	1140.69±83.93	463.00±31.25	54.24±8.01	824.25±211.31	1336.84±110.43

야생버섯의 23개의 경우 에르고티오네인 함량이 800mg/kg 이상인 것은 68, 136, 663, 2064 등 4균주에서 나타났다. 이들 균주들과 야생버섯은 버섯발생의 스크린 과정을 통해 버섯 모양이 우수하고 에르고티오네인의 함량도 높은 것을 선발하여 2020년도에 교잡육성 및 스크린 과정을 통해 기능성 표고품종을 선발해보고자 한다. 기존 국내 품종과 외국품종의 원목재배에서 발생한 버섯의 에르고티오네인 함량은 매우 다양하게 나타났다. 에르고티오네인 함량이 800mg/kg 이상인 것은 산림5호, 천장2호, 천장3호, 풍년고 이었다. 전반적으로 에르고티오네인 함량은 일본품종이 높게 나타났다. 특히 1,000mg/kg 이상인 산림5호, 풍년고, 산조701호, 산조707호, 밤빛향, 3420, 3583, 4139 이었다. 4139 균주는 산백향과 산조709호의 교잡균주인데 매우 높게 나타난 점이다. 특히 산조709호는 5mg/kg으로 가장 낮게 에르고티오네인이 검출되었다.

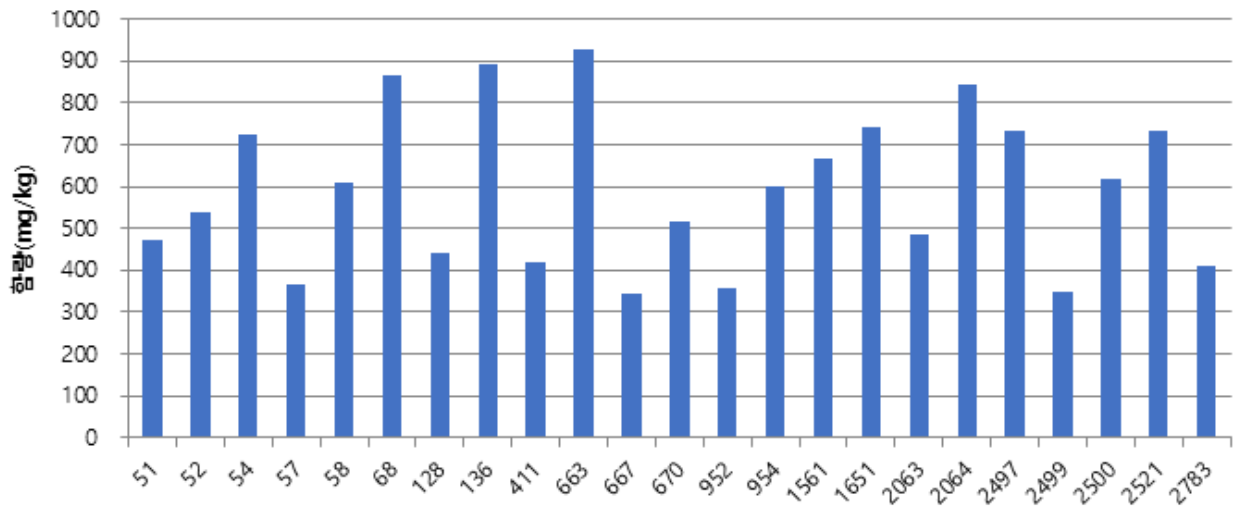


그림 2-1-26. 야생 표고 균주의 원목재배 자실체에서 에르고티오네인 함량 비교

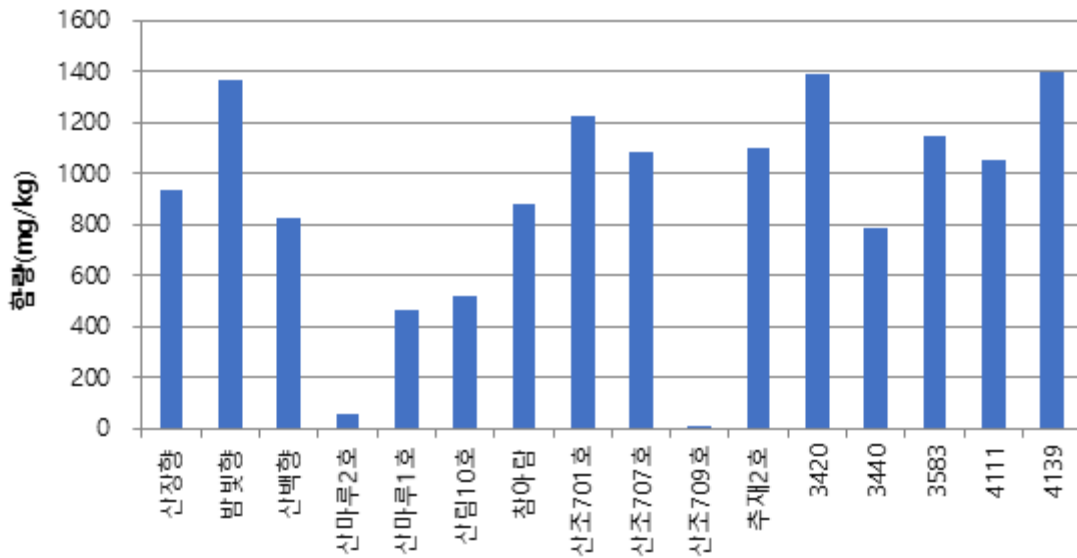


그림 2-1-27. 톱밥재배용 품종과 그 교잡균주에서 만들어진 자실체에서 에르고티오네인 함량 비교

다. 단핵균주 간 교잡에 의한 에르고티오네인 함량이 높은 기능성 표고 균주 선발

표고는 많은 아시아 국가와 최근 유럽 국가에서도 재배되고 있는 식용 버섯이다. 표고는 다양한 2차 대사산물인 페놀 화합물을 함유하고 있어 우수한 항산화제 역할을 한다. 이와 같은 화합물 중 에르고티오네인은 생리학적 pH에서 산화되지 않는 안정한 항산화 물질로 스트레스에 의한 미토콘드리아 DNA손상과 단백질 산화 및 지질 과산화를 방지하는 기능이 있다. 에르고티오네인은 식물이나 동물에서는 합성되지 않고, 오직 박테리아와 곰팡이에 의해서만 생합성되는 특징을 가지고 있다.

다양한 버섯에서 교배법을 통해 기능성과 품질을 향상시키는 연구가 수행되고 있다. 단포자 교배법을 이용한 연구의 경우 영지버섯 단핵균주 간 교잡을 통해 다당류와 트리테르펜 함량이 높은 자실체를 교잡균주에서 확인하였고 표고는 형태적 특성이 우수한 계통과 산발 발생으로 노동력이 절감되고 버섯의 육질이 단단한 품종 등이 개발됐다.

본 연구는 단포자 교배법을 이용하여 에르고티오네인 함량이 높은 기능성 표고를 개발하기 위하여 시도되었다. 에르고티오네인 함량이 높은 두 가지 품종을 선발하고 단핵균주 간 교잡을 통해 교잡균주를 얻었고 이들 균주에서 자실체를 발생시켜 형태적 특성과 에르고티오네인 함량을 분석하였다.

(1) 재료 및 방법

표고 기능성 품종 개발을 위해 사용한 표고 품종은 밤빛향(NIFoS 3404)과 산산향(NIFoS 3420)으로 모두 국립산림과학원 보관 균주를 사용하였다. 단포자 균주를 10개씩 선택하고 균사체에서 꺾쇠 연결체(clamp connection) 유무를 현미경 검경(1,000배)을 통해 확인하고 100쌍의 교잡균주를 제작하였다. 모균주(NIFoS 3404, 3420)와 위에서 단핵균주 간 교잡을 통해 자실체가 만들어진 표고 균주 (NIFoS 5086, 5099, 5101, 5102, 5103, 5104, 5105, 5106, 5108, 5109, 5110)를 사용하였다.

신갈나무(*Quercus mongolica*) 톱밥과 밀기울을 4:1(w/w) 비율로 혼합였고 수분 함량은 $65 \pm 5\%$ 로 조절하고 2kg의 사각배지(20cm × 15cm × 10cm) 모양으로 제작하였다. 만들어진 사각배지에 균사체 조각을 4궤(10mm × 10mm)씩 접종하고 25° C에서 60일 동안 암배양 후 40일 동안 명배양하였다. 총100일 배양 후 발생실(온도 $18 \pm 1^\circ$ C, 상대습도 $85 \pm 5\%$)에서 발생 작업을 실시하여 버섯을 수확하였다.

수확 후 자실체 특성조사를 진행하였고 특성조사가 완료된 버섯을 고운 가루로 만들었다. 버섯 가루 1g을 20 ml의 차가운 추출 용액 [10 mM dithiotreitol (DTT), 100 μ M betaine in ethanol, 100 μ M 2-Mercapto-1-methyl-imidazole (MMI) in 70% ethanol]에 첨가했고 90초 동안 강하게 와류하였다. 4 mL의 sodium dodecyl sulfate (SDS)을 첨가한 후 25°C, 3,000g 에서 10분 동안 원심분리 한 뒤에 상층액을 40° C에서 5ml로 증발시키고 0.45 μ m CA 필터에 여과했다. 에르고티오네인 함량 분석은 C18 컬럼(4.6 × 250 mm, 5 μ m; Youngjinbiochrom, Korea)이 장착된 Ultimate3000 HPLC (Thermo Dionex, USA)을 사용하여 분석하였다. 0.5M 의 인산염이 포함된 30% 아세토니트릴 30ml/L와 트리에틸아민 1 mL/L가 용리제로 사용되었고, 이동상의 유속은 1 mL/min, 주입 부피는 10 μ L로 수행하였다. 에르고티오네인은 254 nm의 파장에서 모니터링 되었고 Authentic L-ergothioneine (Sigma, USA)을 사용하여 표준 곡선을 계산하고 에르고티오네인 함량을 정량화했다.

(2) 결과

(가) 품종별 균사체 단계의 에르고티오네인 유전자 발현양 분석

산림과학원 6개 표고 품종 균사체(14일 배양)에서 RNA를 추출하고 *LeEGT1* 유전자의 발현양을 분석하였다. 3404(밤빛향)의 유전자 발현양이 가장 높게 나타났으며 이 결과는 표고 품종별 에르고티오네인 함량 결과와 비슷한 결과를 보였다.

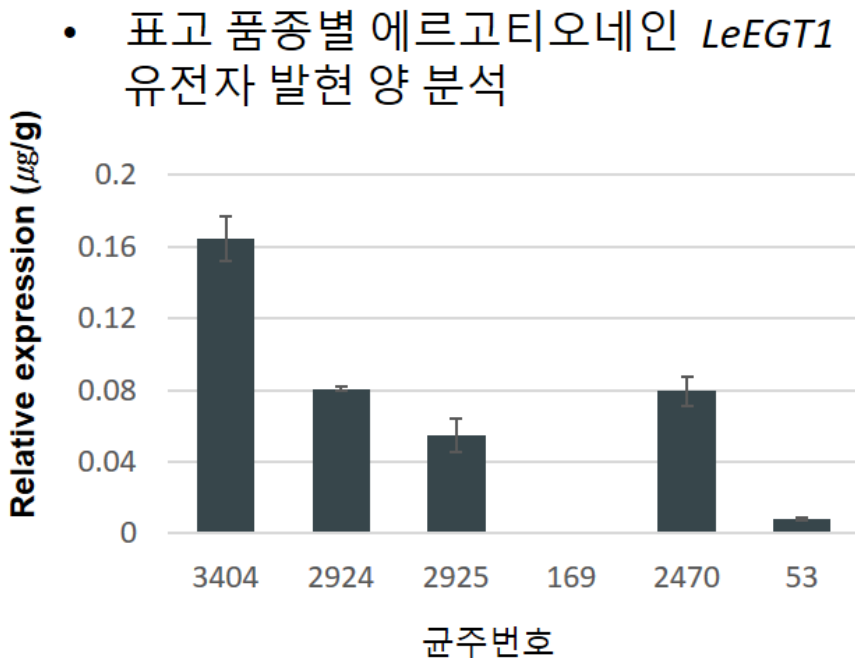


그림 2-1-28. 표고의 에르고티오네인 유전자 발현량

나) 모균주와 교잡균주 표고 자실체의 형태 및 에르고티오네인 함량

모균주와 교잡균주 자실체의 에르고티오네인 함량은 모균주 밤빛향과 산산향이 kg당 498 mg과 582 mg으로 대부분의 교잡균주 자실체의 에르고티오네인 함량이 낮았지만 NIFoS 5101 균주의 자실체는 kg당 535 mg으로 밤빛향보다 높았으며 NIFoS 5108 균주 자실체의 에르고티오네인 함량은 kg당 700mg으로 산산향의 kg당 582 mg 보다 약 20% 높은 것을 확인할 수 있었다.

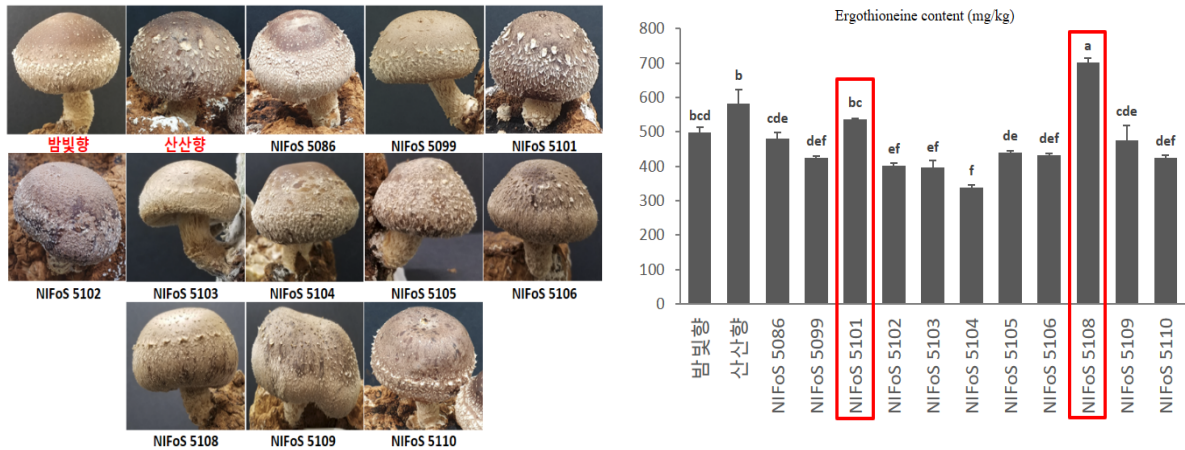


그림 2-1-29. 교잡균주의 자실체 모습

그림 2-1-30. 교잡균주의 에르고티오네인 함량

다) 모균주와 교잡균주 표고 자실체의 특성

대부분의 교잡균주 자실체는 모균주와 비교하여 비슷한 크기와 형태를 가졌지만 NIFoS 5099, NIFoS 5103 그리고 NIFoS 5109 자실체는 상당한 차이를 보였다. NIFoS 5099와 NIFoS 5103 균주의 자실체는 모균주 자실체에 비해 크기가 작았으며 생중량의 평균은 약 7배 이상 차이를 보였다. 반대로 NIFoS 5109 균주 자실체는 크기가 크고 생중량은 2배가량 무거웠다. 갓 색깔은 모균주인 밤빛향은 밝은 갈색이고 산산향은 다갈색이었다. 대부분의 교잡균주 자실체는 모균주와 큰 차이를 보이지 않았지만 NIFoS 5086균주의 자실체는 밤빛향 자실체 보다 밝은 색을 띠었고 NIFoS 5106균주 자실체는 산산향 자실체보다 조금 짙은 색깔을 띠었다. 갓 모양은 대부분 반구형이었지만 NIFoS 5109의 갓 모양은 일정하지 않고 기형인 형태를 보였다. 갓의 직경은 NIFoS 5109 균주의 자실체가 가장 크고 NIFoS 5103 자실체가 가장 작았으며, 두께는 NIFoS 5102 균주 자실체가 가장 두꺼웠고 NIFoS 5103 균주 자실체가 가장 얇았다. 대 길이와 두께는 NIFoS 5086과 NIFoS 5109 균주 자실체가 가장 길고 두꺼웠다. 자실체는 1차 발생한 것으로 생산량은 위의 표와 같다. NIFoS 5108 균주의 생산량은 2kg 톱밥배지당 약 23.8g으로 모균주 밤빛향과 산산향 생산량 평균보다 약 20% 높았고 NIFoS 5099 균주의 경우 2kg 톱밥배지당 4.7g으로 가장 낮은 생산량을 보였다.

표 2-1-26. 톱밥재배에 의한 교잡균주의 자실체 특성

균주	무게 (g)	갓 직경 (mm)	갓 두께 (mm)	대 길이 (mm)	대 두께 (mm)	건중량 (g)
NIFoS 3404 (모균주)	49.3±20.1 ^b	66.0±10.2 ^{ab}	17.2±5.1 ^{ab}	50.3±11.8 ^{abc}	15.7±4.3 ^{bcd}	4.5±1.7 ^{bc}
NIFoS 3420 (모균주)	35.0±19.6 ^{bc}	57.7±12.1 ^{bc}	16.8±6.2 ^{ab}	33.6±7.4 ^{bcd}	12.9±4.4 ^{bcde}	3.6±2.2 ^{bc}
NIFoS 5086	59.7±6.3 ^{ab}	73.5±9.0 ^{ab}	17.6±3.8 ^{ab}	60.9±2.2 ^a	17.0±0.1 ^b	5.9±1.2 ^{ab}
NIFoS 5099	6.8±5.7 ^c	29.3±8.7 ^d	10.5±3.2 ^b	25.6±11.4 ^d	6.9±2.1 ^e	0.9±0.6 ^c
NIFoS 5101	40.1±16.2 ^b	61.8±10.6 ^{ab}	15.6±3.4 ^{ab}	41.5±10.0 ^{abcd}	12.8±2.0 ^{bcde}	4.4±1.8 ^{bc}
NIFoS 5102	24.9±7.7 ^{bc}	51.0±7.6 ^{bcd}	20.4±2.4 ^a	24.6±4.2 ^d	8.8±1.4 ^{de}	2.4±0.7 ^{bc}
NIFoS 5103	4.2±2.6 ^c	32.4±12.9 ^{cd}	10.3±3.9 ^b	28.1±12.0 ^d	9.3±6.9 ^{de}	0.9±0.9 ^c
NIFoS 5104	23.7±7.8 ^b	51.6±6.8 ^{bcd}	15.3±2.7 ^{ab}	29.8±5.2 ^{cd}	11.6±2.3 ^{bcde}	2.0±0.7 ^{bc}
NIFoS 5105	23.3±10.2 ^{bc}	55.4±12.7 ^{bcd}	15.5±3.3 ^{ab}	31.8±9.7 ^{bcd}	10.4±2.0 ^{cde}	2.4±1.1 ^{bc}
NIFoS 5106	45.5±5.0 ^b	63.6±11.8 ^{ab}	14.4±2.0 ^{ab}	39.4±10.7 ^{bcd}	16.3±0.7 ^{bc}	4.0±1.5 ^{bc}
NIFoS 5108	47.8±41.8 ^b	58.4±19.5 ^{abc}	17.6±4.7 ^{ab}	38.2±9.9 ^{bcd}	14.3±3.2 ^{bcd}	4.9±4.5 ^{bc}
NIFoS 5109	92.5±44.8 ^a	84.7±24.7 ^a	15.5±2.3 ^{ab}	52.0±9.0 ^{ab}	27.3±4.1 ^a	9.4±5.2 ^a
NIFoS 5110	28.6±9.7 ^{bc}	53.0±9.4 ^{bcd}	13.3±2.3 ^{ab}	37.9±8.0 ^{bcd}	9.7±1.8 ^{cde}	2.9±0.9 ^{bc}

위의 내용을 종합하면 단포자 교배를 통해 교잡균주를 만들고 자실체를 발생시켜 형태적 특성과 에르고티오네인 함량을 조사하였다. 자실체의 형태적 특성과 생산량을 함께 고려한다면 교잡균주 중 NIFoS 5101균주의 자실체가 준수하게 확인되었다. 자실체 에르고티오네인 함량 조사 결과 모균주 평균이 540 mg/kg이었고 교잡균주 자실체 평균은 459 mg/kg으로 확인되었다. 대부분의 교잡균주 자실체는 모균주보다 낮은 에르고티오네인 함량을 보였지만 NIFoS 5101 균주의 자실체는 모균주 밤빛향보다 높게 측정되었으며 NIFoS 5108 자실체는 두 가지 모균주 밤빛향과 산산향보다 20%가량 높은 것을 확인할 수 있었다. 자실체의 형태적 특성과 에르고티오네인 함량 분석 결과를 종합하면 NIFoS 5101 균주가 교잡균주 중 가장 준수한 결과를 나타냈다.

5. 표고 품종 출원

2021년 품종출원은 NIFoS 3435 균주를 하였다. 이 균주는 산백향보다 대가 짧고, 발이 수가 4-27개로 슈아주기 강도가 낮다. 버섯 발생량이 1차 발생에서 다른 품종들에 비해 매우 높았다. 발이온도는 중온성, 편반구형, 100일 배양에서 정상 버섯발생이 가능하다.

각 균주의 단포자를 10개씩 선택하여 mono-mono 교잡을 통해 얻어진 교잡균주 중 톱밥재배 시험을 통해 버섯 발생이 안정적인 것을 선발하였다. 이 균주는 정형률이 80% 이상, 대가 산백향보다 짧고, 단단한 정도 중간, 갓 두께가 산백향보다 크고, 발이 수가 적당해서 슈아주기 없이 재배 가능한 균주였다. 경기 양평군 소재의 표고농가(곡수표고)에서 '20년 1~6월, '21년 7~11월, 산림과학원에서 2020년, 2021년 총 4차례에 걸친 실증재배(버섯배지 : 2kg 사각블럭배지, 냉·난방 공조 설비 구비)를 수행한 결과, 대조품종에 비해 갓이 편반구형이고, 대가 짧고, 갓에 인편이 적은 것으로 확인되었다. 대조품종인 '산백향'과 비교하였을 때 갓의 모양이 뚜렷한 반구형을 나타내며, 갓의 크기, 대의 형태와 길이, 갓 표면 색깔과 인편 등에서 구별됨을 확인하여 품종보호 출원하였다.

세부적인 비교 특성은 다음과 같다. 출원품종의 균사피막 형성은 없으나(1) 대조품종은 있다(9). 출원품종의 균사밀도는 성김이나(3) 대조품종은 조밀하다(7). 출원품종의 갓 모양은 평반구형이나(3) 대조품종은 평편형이다(2). 출원품종의 갓 직경은 평균 69±9 mm 이나(6) 대조품종은 평균 75±15 mm 이다(7). 출원품종의 인피 부착 부위는 가장자리이나(2) 대조품종은 전체표면이다(1). 출원품종의 주름살 부착 모양은 완전붙은형이나(2) 대조품종은 끝붙은형이다(1). 출원품종의 대 모양은 기둥형 또는 깔때기형이나(1, 2) 대조품종은 기둥형 또는 곤봉형이다(1, 3). 출원품종의 대 길이는 40 mm로 짧으나(3) 대조품종은 54 mm로 긴 편이다(7). 출원품종의 1차 발생 생산량 비율은 98.6%이나(68) 대조품종은 63.6%이다(6).

표 2-1-27. 출원품종과 대조품종의 버섯 특성 비교 (n=100)

품종	무게(g)	갓직경(mm)	갓두께(mm)	대길이(mm)	대두께(mm)	대길이/갓직경	대직경/갓직경	생산량(/2kg배지)
산백향(대조)	46±16	75±15	13±3	54±13	14±3	0.7±0.1	0.2±0.1	473g
산호향(출원)	37±11	69±9	15±2	40±7	14±3	0.6±0.1	0.2±0	333g

골든시드 프로젝트 통해 표고 품종은 1단계에서 산마루2호(고온), 산백향(중온), 설백향(중고온), 2단계에서 밤빛향(중온), 산장향(중온), 산산향(중온), 만추향(중온), 태향고(중저온), 산호향(중온)이 출원하였다. 농가실증재배를 통해, 1단계의 산백향과 2단계의 만추향이 좋은 것으로 나타났고, 작년과 올해 출원한 태향고와 산호향은 더 검토가 필요한 상태이다. 태향고는 올해 농가 실증 시험을 했는데, 버섯발이가 잘 안되는 특성이 발견되었다. 태향고는 중저온성 품종이라 일반농가에서 재배의 최적환경을 맞추기 어려운 면이 있었던 것으로 판단된다. 추재2호를 생산하는 농가는 이 품종을 다시 한번 재배하겠다는 의사표현이 있어, 중저온 조건을 맞춘다면 기대하는 생산량을 얻을 수 있을 것이다. 특히 태향고는 국내 보급 품종중에서 버섯이 단단하고 가장 크기가 큰 버섯이다. 단점은 선택이 어렵고 생산량이 적은 것이다. 이와 같은 것은 재배조건을 개선하면서 조금씩 개선될 것으로 여겨진다.

기둥형 배지에서 자란 몇 가지 품종을 비교해 보면, 태향고는 버섯 갓 직경이 산백향과 참아람에 비해 작았지만, 버섯이 무게가 높아 버섯이 단단함을 유추할 수 있다. 그리고 다른 품종들에 비해 대의 길이가 길었다.







형질	출원품종(산호향)	대조품종(산백향)
자실체 (윗면)		
자실체 (밑면)		
자실체 (단면)		

그림 2-1-31. 2021년 출원품종과 대조품종 모습



그림 2-1-32. 기둥형 배지에서 발생한 버섯

표 2-1-28. 기둥형 배지에서 발생한 버섯의 특성 조사

품종	중량(g)	갓직경(mm)	갓두께(mm)	대길이(mm)	대두께(mm)
산백향	36.9	72.5	12.9	53.4	14.2
태향고	44.4	64.8	13.2	59.2	18.7
참아랍	34.1	67.3	17.1	50.5	16.6

6. 원목재배

가. 원목재배 준비

(1) 원목 재배용 균주

2017년부터 원목재배용 시험 균주로는 mono-mono 교배법을 이용하여 교배한 균주들을 품종 개발을 위한 시험균주들로 사용하였으며, 2017년 113균주, 2018년 141균주, 2019년 123균주, 2020년 145균주, 2021년 136균주를 접종하였다. 출원된 품종의 특성을 파악하기 위해 기 출원된 품종도 함께 접종을 실시하였으며, 2차년도 연구기간 동안 재배한 교잡균주들을 품종출원 후보균주로 개발하기 위한 재배시험도 실시하였다.

표 2-1-29. 2017년부터 2021년까지 원목재배 시험균주 목록

연도	균주	수량(본)	수종	비고
2017	113균주	각 1본	신갈나무	교잡균주
	백화향	70	신갈나무	재배심사
	천장3호	70		
2018	141균주	각 2본	신갈나무	교잡균주
	NIFoS 3404	12		
	NIFoS 3420	12		
	수향고	70	신갈나무	재배심사
	천장2호	70		
2019	123균주	각 2본	상수리나무 및 굴참나무	교잡균주
	NIFoS 2932	10		
	NIFoS 2943	10		
	NIFoS 2946	10		
	NIFoS 2920	10		
	NIFoS 2959	10		
	NIFoS 3515	10		
	NIFoS 3473	10		
	수향고	70	상수리나무	재배심사
천장2호	70			
2020	145균주	각 2본	상수리나무	교잡균주
	NIFoS 4197	20		
	NIFoS 4150	20		
	NIFoS 4110	20		
	NIFoS 1475	20		
	NIFoS 3450	20		
	NIFoS 4594	20		
	NIFoS 4133	20		

연도	균주	수량(본)	수종	비고	
2020	NIFoS 1046	20	상수리나무	대조균	
	NIFoS 1042	20			
	NIFoS 3404	20			
	2020	수향고	40	상수리나무	재배심사
		천장2호	40		
		천장3호	40		
		백화향	40		
		천백고	40		
2021	136균주	각 2본	상수리나무 및 굴참나무	교잡균주	
	NIFoS 3404	30		품종출원 후보균주 선별작업	
	NIFoS 4113	30			
	NIFoS 4196	30			
	NIFoS 4162	30			
	NIFoS 4137	30			
	NIFoS 4184	30			
	NIFoS 4180	30			
	NIFoS 4150	30			
	NIFoS 4132	30			
	NIFoS 4581	30			
	NIFoS 4953	10			
	NIFoS 4317	10			
	NIFoS 4329	10			
	NIFoS 4211	10			
	NIFoS 3448	10			

(2) 종균 제조 및 접종

원목재배 종균은 톱밥과 미강을 8 : 2의 비율로 함수율 60%로 배지를 제조하였으며 1100cc의 종균병에 약 650g씩 배지를 충전하여 121℃, 90분 살균하였다. 약 10일 정도 자란 원균을 살균된 종균용 톱밥배지에 접종하여 약 40일 정도 배양하였다. 접종 이전해 11월 말에서 12월 초에 절단하여 그늘에서 건조시킨 함수량 40% 내외의 원목 길이 1.2m, 직경 10~13cm 정도 되는 참나무(주로 상수리나무) 원목을 미리 준비하여 3월 및 4월에 접종하였다.

(3) 버섯나무 관리

접종된 원목은 노지에서 장작쌓기 형태로 배양하였으며, 장작쌓기로 배양중인 원목에는 기온과 강수량을 고려하여 약 1주일 간격으로 살수를 실시하였다. 2017~2019년에는 배양지의 기온이 높고, 습기가 오래 머물기 때문에 배양 초기에 보온을 위한 차광막이나 비닐덮개를 사용하지 않았으나, 2020년부터 재배하는 재배지는 4월 초까지 오전 및 밤중의 기온이 낮기 때문에, 두꺼운 차광막을 이용하여 보온을 실시하였다. 배양 약 2~3개월 후 균사의 활착을 확인한 후 원목을 뒤집어주었으며, 배양상태를 계속적으로 확인하였다. 이후에도 기온과 강수량을 고려하여 주기적으로 살수를 실시하였으며, 변재부의 균사만연도와 재내침투정도를 매시기별로 파악하여 배양단계에 맞는 관리방법을 적절히 실시하였다. 2017~2019년 접종 원목은 이듬해 1월에 버섯 발생에 적당한 형태로 세우기를 실시하였으며, 2020년~2021년 접종원목은 접종한 해 12월에 세우기를 실시하였다.

(4) 발생작업 및 수확량 조사

2차년도에는 2016년 접종원목부터 2020년 접종원목까지의 버섯 생산량 및 자실체의 특성을 조사하였다. 버섯나무를 쓰러뜨린 후 살수를 3~4일간 실시하는 방식으로 진행하였으며, 버섯발이 확인되면 버섯나무를 세우고 생산되는 버섯을 수확하였다. 발생작업을 하는 시기에 강수량이 많을 경우 따로 살수작업을 실시하지는 않았다. 발생작업은 매년 한여름과 겨울을 제외한 기간에 4회에서 최대 6회까지 실시하였으며 버섯 생산량과 버섯 특성을 조사하였다.



그림 2-1-33. 표고 원목재배

나. 재배시험 균주 생산량 및 특성조사

(1) 2016년 접종 균주

(가) 교잡균주 선발시험

2016년 접종한 교잡균주들은 접종 이듬해부터 연차가 지날수록 생산량이 감소하였다. 접종 이듬해부터 2020년 까지 누적생산량은 G1620(97.6 kg/m³), G1631(93.2 kg/m³), G1634(79.8 kg/m³), G1616(69.1 kg/m³), G1645(66.6 kg/m³), G1639(61.7 kg/m³), G1626(59.5 kg/m³)이 높은 생산량을 보여주었다. 2016년에 접종한 아래의 균주들은 버섯이 발이 되는 온도범위가 고온성이 아닌 저온성인 시기(계절상으로 봄, 가을)에 생산량이 집중되어 있어, 저온성 표고 품종개발용으로 나아가는 것이 적합하다고 판단된다. 본 실험에서는 균주당 5분씩 접종하여 재배실험을 하였고, 이들 중 5개의 균주는 2019년에 10분씩 접종하여 버섯 자실체의 특성조사를 실시하고 있다.

표 2-1-30. 2016년 교잡균주 접종원목 누적 생산량(2016년 ~ 2020년, kg/m³)

균주명	G1616	G1620	G1622	G1623	G1624	G1626	G1627
생산량	69.12	97.58	46.27	55.58	30.61	58.68	44.70
균주명	G1628	G1629	G1630	G1631	G1633	G1634	G1635
생산량	42.15	48.61	37.93	93.16	48.76	79.77	52.95
균주명	G1637	G1638	G1639	G1640	G1641	G1642	G1643
생산량	46.51	33.22	61.69	45.74	39.27	51.42	43.83
균주명	G1644	G1645	G1647	G1649			
생산량	57.31	66.63	38.91	59.52			

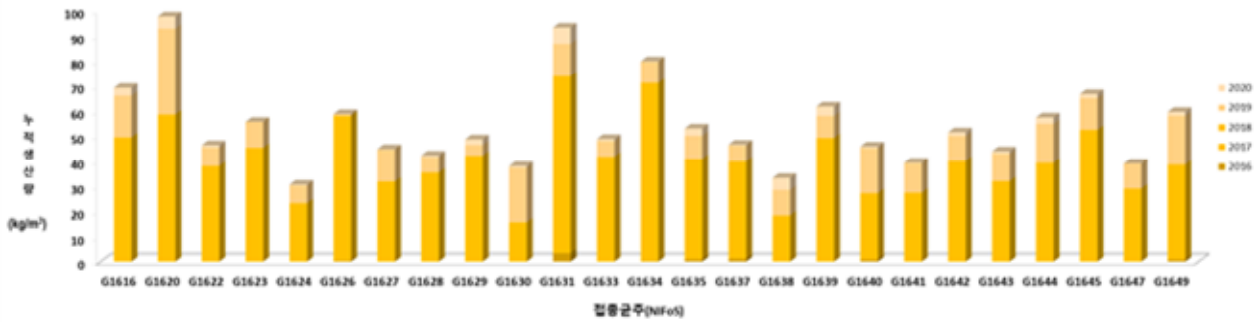


그림 2-1-34. 2016년 교잡균주 접종원목 버섯 생산량

생산된 버섯 자실체의 외형적 특성을 아래에 나타내었다. 2016년에 접종한 교잡균주들 중 평균값이 가장 높게 나온 G1628균주는 버섯의 형태가 일정하지 않고 편차가 크게 나타났다. 버섯 갓 크기의 편차가 작은 균주인 G1622, G1631, G1638, G1639 균주들은 다른 균주들에 비해 버섯의 외형적 크기는 일정한 편이지만 크기가 작은 버섯들이 생산되었다. 2016년부터 누적된 생산량을 보았을 때 G1631, G1634, G1620, G1645 등과 같은 균주들의 생산량이 다른 균주들보다 우수하지만, 이 버섯들의 경우 버섯의 크기가 크지 않기 때문에 대형버섯으로의 품종개발보다는 생산량이 많은 중소형 표고버섯을 이용할 수 있는 방향으로 진행하는 것이 좋다고 판단된다. 그리고 버섯 크기의 균일성은 낮지만 큰 버섯이 생산될 가능성이 있는 균주(G1641)와 생산량이 높은 균주들을 교잡하여 균주개발을 해보는 것도 좋은 방향이라고 생각된다.

표 2-1-31. 2016년 교잡균주 자실체 특성조사(n=5 이상)

균주명	버섯무게(g)	갓직경(mm)	갓두께(mm)	주름폭(mm)	대길이(mm)	대두께(mm)
G1616	21.8 ± 11.3	48.7 ± 6.2	11.1 ± 1.4	2.5 ± 0.8	34.5 ± 11.5	16.0 ± 1.6
G1620	20.4 ± 6.1	53.7 ± 6.0	11.6 ± 1.6	3.0 ± 0.8	48.7 ± 12.5	14.0 ± 2.7
G1622	21.0 ± 3.4	46.5 ± 5.1	10.3 ± 2.4	2.1 ± 0.5	35.5 ± 3.0	15.7 ± 3.7
G1623	23.4 ± 8.3	51.0 ± 10.3	11.8 ± 2.5	2.3 ± 0.8	39.8 ± 7.4	13.9 ± 2.7
G1624	23.0 ± 6.7	51.7 ± 6.1	13.4 ± 2.9	2.9 ± 0.8	39.6 ± 8.5	13.9 ± 2.6
G1627	26.6 ± 5.3	55.8 ± 10.1	12.3 ± 2.3	3.2 ± 1.1	40.5 ± 8.3	15.1 ± 2.2
G1628	33.0 ± 15.4	58.6 ± 11.4	15.2 ± 4.3	3.3 ± 0.9	42.9 ± 9.4	16.6 ± 4.2
G1631	20.9 ± 5.4	50.8 ± 4.8	11.8 ± 2.2	3.1 ± 0.9	38.0 ± 7.8	13.3 ± 2.4
G1634	24.9 ± 9.8	54.5 ± 8.3	12.3 ± 1.8	3.3 ± 0.9	41.2 ± 7.7	15.0 ± 3.5
G1635	20.9 ± 8.1	53.0 ± 9.5	12.0 ± 2.1	3.0 ± 0.6	36.5 ± 4.3	14.4 ± 2.7
G1637	25.1 ± 5.0	52.5 ± 7.5	12.6 ± 2.4	3.2 ± 0.8	38.0 ± 6.4	15.1 ± 2.5
G1638	14.5 ± 5.7	45.6 ± 5.8	10.9 ± 2.1	3.1 ± 0.9	37.0 ± 5.4	12.0 ± 3.2
G1639	16.0 ± 3.9	45.4 ± 5.5	10.7 ± 2.0	2.6 ± 0.7	36.4 ± 7.3	10.4 ± 2.6
G1640	23.3 ± 7.4	49.1 ± 8.1	11.2 ± 3.3	3.2 ± 1.1	38.4 ± 6.3	14.8 ± 3.6
G1641	22.2 ± 11.3	52.3 ± 11.2	11.2 ± 0.8	3.5 ± 1.0	36.6 ± 7.2	12.6 ± 2.5
G1643	19.8 ± 6.2	47.9 ± 8.3	11.3 ± 2.6	2.7 ± 1.3	33.9 ± 6.8	14.1 ± 4.0
G1644	20.6 ± 8.5	53.9 ± 10.7	10.6 ± 2.5	2.8 ± 1.0	40.7 ± 10.6	12.6 ± 3.0

균주명	버섯무게(g)	갓직경(mm)	갓두께(mm)	주름폭(mm)	대길이(mm)	대두께(mm)
G1645	18.7 ± 6.7	53.8 ± 10.1	9.8 ± 1.0	3.5 ± 1.4	35.9 ± 5.5	13.9 ± 3.1
G1647	24.3 ± 3.9	55.2 ± 6.4	13.3 ± 2.2	2.6 ± 0.8	39.4 ± 10.0	15.7 ± 2.6
G1649	29.0 ± 8.8	53.5 ± 6.6	13.1 ± 2.7	2.7 ± 1.3	42.6 ± 7.2	19.8 ± 3.2

(나) 출원품종 재배시험

2016년에 이미 출원한 품종들인 균주들을 접종하여 재배시험을 실시하였다. 2020년에 재배시험을 마치고 폐기하였으며, 시험 중간에도 오염되는 원목들은 수시로 제거해주었다. 시험 품종들 중 가을향 균주가 165.7 kg/m³으로 가장 높은 누적생산량을 보였다. 그 다음으로 여름향(103.0kg/m³), 풍년고(71.2kg/m³)의 순서로 누적생산량이 높았다. 가을향 및 여름향은 버섯의 생산량은 높으나 자실체의 형태가 불규칙하고, 자연적으로 발생하는 자극(강우 및 계절변화에 의한 온도차)에 의해 버섯이 발생하는 경우가 다른 품종에 비해 많이 나타났다. 풍년고도 누적생산량이 높은 품종이지만, 생산량의 절반 이상이 접종 이듬해에 집중되는 모습을 보여주었다. 갓이 화고와 비슷하게 갈라지는 모습이 가장 많이 나타난 백화향은 저온성 품종으로써 접종 2년 차 가을부터 버섯이 생산되었다. 여름향이나 가을향, 풍년고보다 버섯이 단단하지만, 버섯의 크기가 작고, 첫 수확시기가 다른 품종들보다 늦다는 단점이 나타났다.

표 2-1-32. 2016년 출원품종 접종원목 누적 생산량(2016년 ~ 2020년, kg/m³)

품종명	백화향	다산향	가을향	산림4호	산림5호	산림7호	수향고
생산량	55.6	40.4	165.7	65.9	28.6	31.8	36.0

품종명	여름향	천백고	풍년고	천장1호	천장2호
생산량	103.0	58.4	71.2	63.4	20.8

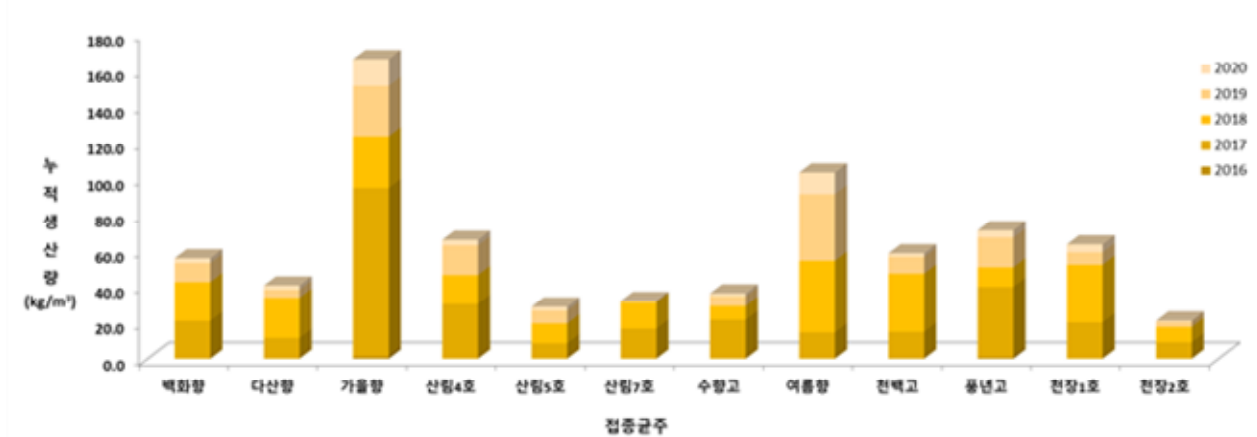


그림 2-1-35. 2016년 출원품종 접종원목 버섯 생산량

생산된 버섯 자실체의 외형적 특성을 아래에 나타내었다. 누적생산량이 높은 가을향, 여름향은 다산향, 산림 4호, 수향고 등에 비해 버섯의 크기가 작았다. 하지만 버섯의 크기가 큰 다산향, 산림4호의 경우 버섯의 크기가 일정하지 않아 편차가 큰 것으로 나타났다. 천장 1호는 갓의 외형적 크기의 이상치의 값이 다른 품종들보다 잦은 빈도로 나타났기에, 다른 생산성 높은

버섯들과 품종개발을 이용한 모균주로 이용하여 크기가 큰 표고 품종을 개발하는데 이용하는 것이 적합하다고 본다. 수향고, 산림4호는 버섯의 크기 평균값이 큰 버섯이므로, 생산성이 좋은 가을향 및 여름향과 교잡을 통해 균주를 개발하는 것도 좋다고 보이며, 중대형 표고버섯을 균일하게 생산하기 위한 모균주로 이용하는 데에 적합하다고 본다. 반면, 생산성이 높지만 크기가 작은 가을향, 여름향은 중소형 표고버섯의 대량생산에 적합한 균주라고 여겨진다.

표 2-1-33. 2016년 출원품종 자실체 특성조사

균주명	버섯무게(g)	갓직경(mm)	갓두께(mm)	주름폭(mm)	대길이(mm)	대두께(mm)
백화향	22.5 ± 8.1	52.4 ± 8.4	11.6 ± 2.0	3.1 ± 1.1	43.7 ± 8.4	14.1 ± 2.9
천백고	21.1 ± 5.6	55.5 ± 8.4	10.6 ± 1.9	4.5 ± 1.3	44.7 ± 8.1	14.0 ± 2.8
천장1호	21.2 ± 6.1	54.4 ± 9.3	11.3 ± 3.9	4.8 ± 2.6	38.3 ± 7.2	13.2 ± 2.6
천장2호	20.8 ± 6.8	54.0 ± 9.5	12.2 ± 2.3	4.2 ± 1.5	50.9 ± 10.3	12.3 ± 2.3
다산향	28.9 ± 10.5	56.6 ± 9.6	11.4 ± 2.5	4.4 ± 1.4	40.8 ± 7.8	15.4 ± 3.1
가을향	21.3 ± 6.2	53.0 ± 14.8	12.0 ± 3.0	4.1 ± 3.0	44.4 ± 7.1	15.3 ± 3.0
풍년고	22.5 ± 8.9	57.0 ± 10.0	11.3 ± 2.0	4.2 ± 0.9	49.2 ± 8.9	13.8 ± 2.8
수향고	25.0 ± 12.6	64.2 ± 12.3	11.8 ± 2.0	3.6 ± 0.8	52.3 ± 10.7	15.1 ± 2.7
산림4호	29.6 ± 12.6	64.0 ± 12.3	11.8 ± 2.0	3.6 ± 0.8	52.3 ± 10.7	15.1 ± 2.7
산림5호	24.1 ± 10.9	53.7 ± 10.4	12.9 ± 3.0	4.1 ± 1.5	48.8 ± 8.3	13.1 ± 3.4
산림7호	23.0 ± 7.1	53.7 ± 9.2	10.8 ± 2.2	4.4 ± 1.9	42.2 ± 6.7	14.6 ± 2.1
여름향	21.6 ± 8.9	55.7 ± 12.6	8.5 ± 2.4	3.3 ± 0.8	46.9 ± 8.9	13.2 ± 2.8

(2) 2017년 집중원목 버섯 생산량

(가) 교잡균주 선발시험

2017년 집중한 교잡균주들의 버섯 생산량은 2021년 까지 조사하였다. 2021년에는 이들 원목에서의 버섯이 거의 생산되지 않았다. 2017년에 집중목을 사용한 신갈나무 원목은 수피가 얇아서 원목에 손상이 많이 가해지는 모습을 나타내었다. 2020년까지의 누적생산량은 NIFoS 3473(106.18 kg/m³), NIFoS 3410(72.23 kg/m³), NIFoS 3422(64.05 kg/m³), 3407(52.90 kg/m³), 3521(50.10 kg/m³)의 순으로 높은 생산량을 나타내었다. 생산량은 낮지만 자실체의 형태가 양호한 NIFoS 3337, 3794, 3515, 3473균주들은 2019년에 각 10본씩 집중하여 재배시험을 진행하였다. 이 균주들은 자실체에서 단포자를 확보하여 균주개발에 활용하거나 이후 재배시험을 확대하여 시행하는데 사용할 예정이다.

표 2-1-34. 2017년 교잡균주 집중원목 누적 생산량(2017년 ~ 2021년, kg/m³)

균주번호	3337	3338	3340	3342	3376	3377	3380
생산량	3.42	42.8	11.83	3.72	1.36	9.24	17.42
균주번호	3390	3391	3397	3409	3410	3422	3424
생산량	5.32	3.87	33.88	1.97	72.23	64.05	9.98
균주번호	3425	3426	3446	3448	3458	3467	3450
생산량	11.42	2.49	38.2	6.99	2.06	16.88	28.87

균주번호	3451	3452	3457	3469	3473	3514	3515
생산량	30.23	17.17	52.9	5.52	106.18	32.27	41.51

균주번호	3516	3519	3521	3522	3523	3525	3526
생산량	21.94	33.20	50.1	39.48	4.49	18.22	6.03

균주번호	3529	3564	3565	3585	3600	3605	3624
생산량	25.28	1.59	4.07	47.73	18.94	18.63	13.39

균주번호	3627	3628	3629	3637	3640	3652	3656
생산량	6.78	10.39	16.27	4.57	4.48	20.19	2.57

균주번호	3657	3658	3680	3682	3683	3685	3701
생산량	13.78	13.23	31.45	15.11	28.47	4.46	12.80

균주번호	3702	3703	3704	3733	3738	3765	3766
생산량	4.96	36.66	4.20	10.68	8.69	26.00	1.98

균주번호	3767	3768	3771	3772	3773	3774	3783
생산량	45.64	27.87	15.67	33.68	24.07	7.07	34.37

균주번호	3785	3786	3787	3789	3790	3791	3793
생산량	22.29	13.16	8.62	8.19	8.99	14.84	14.71

균주번호	3794	3795	3796
생산량	18.12	19.12	41.24

2017년에 접종한 교잡균주들의 자실체의 외형적 특성을 조사하였다. NIFoS 3337 균주의 자실체 크기가 가장 크고 무거웠다. 대체적으로 2016년에 접종한 교잡균주들보다 버섯의 무게가 더 무거웠으며, 버섯의 크기가 더 큰 것으로 나타났다. 갓 직경은 NIFoS 3337, NIFoS 3515, NIFoS 3703, NIFoS 3446 순으로 큰 것으로 나타났다. 갓 두께는 NIFoS 3519, NIFoS 3703, NIFoS 3701 순으로 두꺼웠다. 대는 NIFoS 3337, NIFoS 3515가 다른 버섯들에 비해 길었으며, NIFoS 3337은 대의 두께도 가장 두꺼웠다. 접종한 원목의 본 수가 적기 때문에 특성조사를 실시한 자실체의 표본수가 부족하였으나, 버섯이 크고 무게가 무거운 NIFoS 3337, NIFoS 3446, NIFoS 3680, NIFoS 3703은 이후 품종개발에서 이용할 수 있는 균주로 생각이 된다.

표 2-1-35. 2017년 집중한 교잡균주 자실체 특성조사(n=3 이상)

균주 번호	버섯무게(g)	갓직경(mm)	갓두께(mm)	주름폭(mm)	대길이(mm)	대두께(mm)
3336	26.6 ± 12.6	46.1 ± 3.2	11.5 ± 5.0	1.9 ± 1.3	33.3 ± 11.3	16.3 ± 2.9
3337	63.9 ± 37.4	79.2 ± 20.0	13.8 ± 1.8	6.5 ± 3.2	56.2 ± 16.4	22.0 ± 3.8
3338	30.0 ± 6.3	58.0 ± 5.0	11.4 ± 2.3	4.0 ± 1.4	45.9 ± 7.6	17.1 ± 3.2
3380	23.0 ± 5.4	52.8 ± 6.5	10.9 ± 2.6	3.6 ± 0.8	40.1 ± 6.0	14.6 ± 3.1
3397	25.2 ± 4.8	55.0 ± 7.2	11.5 ± 1.5	5.1 ± 0.8	36.5 ± 6.8	11.9 ± 2.8
3446	38.7 ± 18.9	63.8 ± 8.0	11.9 ± 2.1	4.4 ± 1.6	45.4 ± 5.0	18.9 ± 2.4
3450	29.4 ± 8.4	55.0 ± 9.2	14.2 ± 5.2	4.0 ± 1.1	38.0 ± 5.1	17.6 ± 5.8
3457	30.3 ± 9.0	56.9 ± 16.4	11.8 ± 3.5	3.9 ± 2.0	36.7 ± 4.0	18.4 ± 2.3
3515	30.9 ± 7.4	69.4 ± 9.5	11.9 ± 1.3	4.7 ± 1.0	55.8 ± 10.0	15.6 ± 3.2
3519	25.6 ± 4.0	55.7 ± 6.5	16.8 ± 2.0	5.0 ± 1.4	39.8 ± 8.6	13.8 ± 3.7
3605	31.4 ± 7.0	60.4 ± 9.3	13.0 ± 1.9	4.0 ± 0.9	37.0 ± 4.8	15.5 ± 2.2
3680	37.8 ± 11.0	61.1 ± 9.0	13.9 ± 4.1	4.7 ± 1.7	36.0 ± 5.5	17.3 ± 1.8
3701	25.0 ± 2.0	58.5 ± 7.4	16.1 ± 0.4	3.0 ± 0.4	47.0 ± 12.7	16.5 ± 3.8
3703	34.3 ± 11.9	69.0 ± 16.1	16.5 ± 2.2	4.7 ± 1.1	42.9 ± 9.8	15.4 ± 2.6
3768	33.4 ± 5.5	55.6 ± 5.8	11.9 ± 2.9	3.9 ± 0.4	47.2 ± 20.7	16.9 ± 2.6
3778	32.7 ± 13.9	60.5 ± 10.2	14.9 ± 3.1	4.1 ± 1.2	37.7 ± 1.7	15.9 ± 5.5
3795	37.3 ± 12.0	62.9 ± 8.8	14.1 ± 2.4	4.6 ± 1.2	42.4 ± 5.5	18.5 ± 3.7

(3) 2018년 집중원목 버섯 생산량

(가) 교잡균주 선발시험

2018년 집중한 교잡균주들의 2021년까지의 누적생산량은 아래와 같다. 2021년에 버섯이 발생하지 않은 균주들(354, NIFoS 3396, NIFoS 3418, NIFoS 3583, NIFoS 4106, NIFoS 4110, NIFoS 4115, NIFoS 4117, NIFoS 4123, NIFoS 4126, NIFoS 4128, NIFoS 4133, NIFoS 4135, NIFoS 4144, NIFoS 4152, NIFoS 4153, NIFoS 4165, NIFoS 4178, NIFoS 4195, NIFoS 4198, NIFoS 4202, NIFoS 4203, NIFoS 4558, NIFoS 4562, NIFoS 4563, NIFoS 4570, NIFoS 4527, NIFoS 4581, NIFoS 4583, NIFoS 4585, NIFoS 4588, NIFoS 4591, NIFoS 4592, NIFoS 4594)은 재배장 이동 시 손상이 많아 오염되어 폐기된 균주들이 대부분이었다. 기존 톱밥배지 재배용 균주인 NIFoS 3404(94.28 kg/m³), NIFoS 3420(81.61 kg/m³), 산백향(74.12 kg/m³)은 누적생산량이 높은 것으로 나타났다. 이 외의 교잡균주들 중에서는 NIFoS 4124(61.05 kg/m³), NIFoS 4130(67.64 kg/m³), NIFoS 4151(69.25 kg/m³), NIFoS 4176(71.61 kg/m³), NIFoS 4197(86.79 kg/m³), NIFoS 4201(76.84 kg/m³)의 누적생산량이 다른 균주들보다 높게 나타났다. 각 균주의 원목 수량이 적기 때문에 위에서 생산량이 높게 나온 균주들 중 일부는 2020년 부터 집중 본수를 늘려 추가 재배시험을 진행 중이다. 톱밥재배용 품종으로 개발한 균주인 NIFoS 3404, NIFoS 3420, 산백향(NIFoS 2778)균주의 생산량이 원목재배에서도 높게 나타나는 것을 통해, 톱밥재배용 품종을 개발하기 위해 교배한 균주들을 원목재배용 품종개발에 이용하는 것도 신품종 개발을 위해 이용할 수 있는 방법이라고 여겨졌다.

표 2-1-36. 2018년 교잡균주 접종원목 누적 생산량(2018년 ~ 2021년, kg/m³)

균주번호	354	3396	3418	3447	3583	4106	4107
생산량	13.90	0.67	2.38	22.02	11.63	0.96	7.98

균주번호	4108	4109	4110	4111	4112	4113	4114
생산량	68.23	11.22	30.57	17.69	40.96	30.14	5.36

균주번호	4115	4116	4117	4119	4120	4121	4122
생산량	12.16	0.90	13.21	17.07	12.06	13.87	19.56

균주번호	4123	4124	4125	4126	4127	4128	4129
생산량	39.97	61.05	30.13	1.57	33.31	4.77	40.77

균주번호	4130	4131	4132	4133	4135	4136	4137
생산량	67.64	28.91	37.99	33.28	19.35	33.98	27.66

균주번호	4138	4139	4140	4141	4142	4143	4144
생산량	31.58	6.47	34.71	37.98	18.65	38.18	0.72

균주번호	4145	4146	4148	4149	4150	4151	4152
생산량	28.31	57.25	3.53	26.66	58.08	69.25	13.22

균주번호	4153	4154	4155	4158	4159	4161	4162
생산량	0.65	28.13	53.33	18.62	21.18	12.77	23.63

균주번호	4164	4165	4172	4173	4174	4175	4176
생산량	26.88	9.42	29.96	6.39	27.86	5.28	71.61

균주번호	4177	4178	4179	4180	4181	4182	4184
생산량	14.92	0.75	26.57	48.92	8.96	20.17	22.98

균주번호	4189	4186	4187	4195	4196	4197	4198
생산량	58.20	16.47	46.77	13.55	37.96	86.79	10.94

균주번호	4199	4200	4201	4202	4203	4205	4234
생산량	47.92	14.67	76.84	13.51	5.87	28.73	15.86

균주번호	4558	4562	4563	4564	4567	4570	4572
생산량	10.55	0.89	1.36	14.17	20.92	17.20	6.14

균주번호	4573	4575	4577	4578	4580	4581	4583
생산량	32.47	14.48	5.00	15.76	24.35	9.26	6.39

균주번호	4585	4586	4588	4590	4591	4592	4593
생산량	4.82	17.30	20.65	40.16	8.06	8.47	11.85

균주번호	4594	4595	4597	3404	3420	산백향
생산량	64.29	47.70	42.69	94.28	81.61	74.12

2018년에 집중한 교잡균주들의 자실체 특성조사를 실시하여 아래에 나타내었다. NIFoS 4573, NIFoS 4184 두 균주의 자실체가 다른 균주들보다 무거웠다. NIFoS 4186, NIFoS 4501, NIFoS 4138, NIFoS 4112, NIFoS 4108, NIFoS 4573균주는 자실체의 갓이 큰 것으로 나타났으며, NIFoS 4573, NIFoS 4123, NIFoS 4112, NIFoS 4138, NIFoS 4594, NIFoS 4172, NIFoS 4182 균주의 대가 다른 균주들보다 길거나 두꺼운 것으로 나타났다. 이러한 균주들은 외형적으로 우수한 품종을 개발하기 위한 모균주로 사용하기에 적합하다고 생각되며, 추가적인 재배실험을 통해 많은 양의 원목을 재배하는데 적합한 품종을 선별하는 재배시험에 이용할 수 있다고 판단된다.

표 2-1-37. 2018년 집중한 교잡균주 자실체 특성조사(n=3 이상)

균주명	벼섯무게(g)	갓직경(mm)	갓두께(mm)	주름폭(mm)	대길이(mm)	대두께(mm)
3447	27.3 ± 7.2	62.7 ± 6.6	13.3 ± 2.2	4.8 ± 1.3	39.6 ± 6.5	13.3 ± 1.7
3491	37.9 ± 10.3	57.7 ± 7.8	12.8 ± 3.8	3.0 ± 0.7	31.9 ± 3.8	17.2 ± 2.5
3908	35.1 ± 10.9	61.9 ± 5.3	11.6 ± 1.7	4.8 ± 1.0	36.6 ± 7.5	14.1 ± 1.6
4107	31.1 ± 22.4	45.8 ± 20.3	15.1 ± 1.8	2.9 ± 2.3	35.3 ± 4.9	11.1 ± 2.4
4108	40.6 ± 11.0	70.3 ± 11.9	15.4 ± 1.7	6.2 ± 1.5	40.1 ± 6.3	13.9 ± 1.7
4112	50.3 ± 28.6	73.3 ± 20.4	17.3 ± 4.1	3.8 ± 2.4	43.6 ± 11.4	19.1 ± 5.5
4115	35.1 ± 13.6	64.3 ± 13.0	11.9 ± 0.7	4.6 ± 1.7	50.6 ± 4.7	14.8 ± 7.4
4119	36.0 ± 12.6	64.7 ± 6.6	15.4 ± 1.2	2.0 ± 0.8	42.0 ± 9.2	15.3 ± 3.2
4123	29.2 ± 11.3	52.2 ± 8.3	11.6 ± 2.0	3.3 ± 1.9	46.8 ± 10.8	16.9 ± 3.3
4124	35.3 ± 19.8	65.6 ± 11.5	15.5 ± 3.0	4.5 ± 0.9	37.3 ± 10.4	13.2 ± 5.7
4133	28.8 ± 10.1	64.9 ± 11.3	13.5 ± 2.9	3.9 ± 1.2	42.1 ± 5.0	11.7 ± 3.6
4137	27.2 ± 5.4	57.7 ± 11.4	11.3 ± 2.7	3.6 ± 1.0	44.3 ± 4.6	11.3 ± 2.1
4138	30.8 ± 13.7	67.2 ± 14.1	13.8 ± 3.2	3.3 ± 2.0	56.0 ± 7.4	13.8 ± 2.5
4139	25.5 ± 5.6	62.5 ± 10.0	10.8 ± 2.3	4.9 ± 1.4	35.3 ± 2.3	15.1 ± 2.0
4140	24.6 ± 4.0	58.9 ± 7.0	15.3 ± 3.3	3.7 ± 1.0	38.2 ± 11.3	14.8 ± 2.1
4141	21.7 ± 4.8	57.3 ± 8.7	12.8 ± 1.5	3.3 ± 0.6	34.7 ± 6.3	10.7 ± 3.0
4149	31.1 ± 9.5	61.1 ± 10.1	13.7 ± 1.5	3.0 ± 1.4	44.4 ± 6.4	16.7 ± 2.1
4151	31.9 ± 7.7	60.5 ± 6.5	12.8 ± 2.7	3.6 ± 0.5	43.2 ± 8.8	20.2 ± 3.7
4155	32.6 ± 12.4	58.9 ± 9.1	15.1 ± 3.8	3.5 ± 1.2	33.4 ± 5.0	17.0 ± 6.3
4158	30.9 ± 8.5	58.9 ± 8.3	13.8 ± 3.7	4.6 ± 1.7	29.1 ± 6.9	15.1 ± 2.1
4159	26.3 ± 5.0	57.0 ± 6.0	16.8 ± 4.6	5.1 ± 0.9	27.5 ± 5.5	14.2 ± 3.0

군주명	버섯무게(g)	갓직경(mm)	갓두께(mm)	주름폭(mm)	대길이(mm)	대두께(mm)
4162	38.2 ± 17.2	61.8 ± 10.1	14.5 ± 2.2	4.8 ± 1.0	37.2 ± 9.6	16.4 ± 3.0
4172	43.4 ± 12.9	63.1 ± 5.6	18.3 ± 2.1	3.8 ± 0.4	46.9 ± 3.0	20.5 ± 3.9
4174	33.8 ± 7.9	62.1 ± 8.4	15.4 ± 0.7	5.3 ± 0.9	34.1 ± 0.8	14.7 ± 1.5
4176	40.2 ± 18.1	59.9 ± 10.1	15.7 ± 3.4	4.3 ± 1.2	37.2 ± 6.0	17.2 ± 4.4
4177	27.9 ± 6.7	53.4 ± 2.6	15.9 ± 4.8	3.6 ± 0.5	32.9 ± 8.7	15.2 ± 1.0
4179	25.7 ± 9.7	45.6 ± 9.8	11.9 ± 1.4	3.1 ± 1.4	31.8 ± 4.3	14.7 ± 3.1
4182	38.8 ± 12.4	65.9 ± 5.1	15.2 ± 3.1	4.2 ± 0.8	30.9 ± 10.0	20.0 ± 10.0
4183	38.9 ± 14.8	54.3 ± 5.3	12.9 ± 2.8	3.0 ± 1.7	36.2 ± 9.2	15.8 ± 1.3
4184	61.1 ± 14.7	64.1 ± 5.8	17.8 ± 3.4	4.9 ± 0.6	33.5 ± 4.7	18.7 ± 3.5
4186	56.1 ± 22.9	76.8 ± 20.6	19.3 ± 4.7	3.7 ± 1.0	33.9 ± 12.8	16.1 ± 6.4
4187	46.6 ± 12.8	69.5 ± 8.6	14.7 ± 2.4	3.7 ± 1.3	46.0 ± 7.4	19.4 ± 3.2
4196	32.7 ± 13.7	61.9 ± 13.2	14.9 ± 4.4	4.2 ± 0.7	45.6 ± 8.2	14.3 ± 2.1
4197	32.4 ± 10.5	60.4 ± 12.8	13.0 ± 2.9	4.8 ± 1.1	39.5 ± 12.6	13.1 ± 2.2
4205	39.7 ± 3.7	74.1 ± 3.8	13.2 ± 1.5	5.8 ± 1.3	35.3 ± 0.4	15.8 ± 2.7
4501	30.5 ± 9.9	71.1 ± 12.7	13.1 ± 2.3	4.5 ± 1.8	48.9 ± 12.6	11.8 ± 2.2
4564	35.0 ± 9.6	59.7 ± 2.1	9.9 ± 2.1	3.3 ± 0.3	44.5 ± 6.7	19.4 ± 3.4
4573	63.7 ± 12.6	78.3 ± 3.1	19.3 ± 0.9	5.0 ± 0.6	52.6 ± 4.6	23.9 ± 1.6
4580	29.9 ± 5.5	55.9 ± 5.2	11.7 ± 2.6	4.2 ± 1.1	39.1 ± 5.2	14.3 ± 2.6
4590	28.9 ± 7.4	63.9 ± 6.8	14.3 ± 2.7	3.5 ± 0.4	36.3 ± 3.3	16.6 ± 3.6
4594	41.6 ± 17.7	66.6 ± 26.6	12.1 ± 1.1	4.3 ± 0.5	63.7 ± 12.0	12.8 ± 2.0
4597	22.7 ± 7.6	59.0 ± 10.4	14.6 ± 3.1	4.8 ± 1.6	31.7 ± 10.3	13.2 ± 4.0

(4) 2019년 접종원목 버섯 생산량

(가) 교잡균주 선발시험

2019년 접종한 교잡균주들의 2021년까지의 버섯 생산량은 아래와 같다. 접종2년차인 2020년부터 버섯을 수확하였으며, 2021년까지의 누적생산량은 NIFoS 4207(39.90 kg/m³), NIFoS 4267(41.67 kg/m³), NIFoS 4273(44.20 kg/m³), NIFoS 4293(43.75 kg/m³), NIFoS 4315(35.16 kg/m³), NIFoS 4327(53.39 kg/m³)의 생산량이 다른 균주들보다 높았다. 2020년부터 재배 환경이 변경되면서 좀 더 기온이 낮아지고 풍량이 많아졌기 때문에 변화된 환경에 맞게 원목관리 및 재배를 진행하였다. 살수작업을 한 원목이 빨리 건조되기 때문에 발생작업 시 살수기간을 늘려주었으며, 지반이 약한 바닥은 제초매트를 이용해 보완해주었다. 백합나무가 조림되어 있어서 5월에서 가을 낙엽이 지는 시기까지는 백합나무에 의해 한여름 직사광선이 많이 차단되었으나, 침엽수가 없기 때문에 한겨울 및 이른 봄에는 직사광선에 원목이 노출되는 단점이 있다. 이를 보완하기 위해 세우기를 한 나무를 따라 차광막 지붕을 설치하였다. 현재의 재배지는 저온성 및 중온성 균주를 재배하는데 적합한 곳으로 여겨지며, 접종 이듬해 봄에 원목재배 버섯의 생산량을 높이기 위하여 원목재배에서의 배양속도를 높이는 방법도 필요하다고 본다.

표 2-1-38. 2019년 교잡균주 집중원목 누적 생산량(2019년 ~ 2021년, kg/m³)

균주번호	3337	3351	3352	3383	3404	3431	3447
생산량	4.23	27.35	18.86	35.62	5.62	16.10	15.87
균주번호	4135	4167	4205	4206	4207	4208	4211
생산량	14.74	10.18	14.46	21.11	39.90	12.63	4.35
균주번호	4212	4232	4233	4234	4235	4236	4237
생산량	12.32	12.05	23.09	5.17	10.02	21.69	10.31
균주번호	4238	4239	4240	4243	4249	4256	4264
생산량	12.68	26.14	32.01	9.54	12.51	2.12	6.99
균주번호	4266	4267	4270	4273	4278	4279	4280
생산량	5.36	41.67	8.58	44.20	10.72	7.92	1.17
균주번호	4282	4284	4286	4288	4289	4292	4293
생산량	5.61	2.17	24.47	31.70	10.59	17.04	43.75
균주번호	4294	4306	4307	4308	4309	4310	4311
생산량	11.55	28.09	10.73	12.58	22.01	13.72	10.53
균주번호	4312	4313	4314	4315	4322	4324	4327
생산량	5.14	18.40	9.75	35.16	16.80	4.83	53.39
균주번호	4329	4330	4331	4332	4334	4337	4338
생산량	2.47	18.85	1.95	5.88	4.58	14.75	23.28
균주번호	4339	4340	4343	4346	4349	4391	4393
생산량	12.12	20.59	21.18	9.15	18.60	30.59	16.52
균주번호	4470	4473	4491	4498	4508	4511	4518
생산량	12.59	18.96	10.53	4.75	4.17	7.48	10.39
균주번호	4530	4544	4551	4552	4317		
생산량	2.58	2.84	16.74	12.28	5.59		

수확한 2019년 교잡균주들의 자실체 특성을 조사하여 아래에 나타내었다. NIFoS 4205, NIFoS 4231, NIFoS 4278, NIFoS 4337 균주가 다른 균주들보다 자실체의 무게가 더 무거웠으며, 갓의 크기는 NIFoS 3883, NIFoS 4231, NIFoS 4273, NIFoS 4312, NIFoS 4315, NIFoS 4338 균주가 다른 균주들보다 큰 것으로 나타났다. 대의 크기는 NIFoS 3883, NIFoS 4293, NIFoS 4317 균주가 큰 것으로 나타났다. NIFoS 3883 균주는 버섯의 크기에 비해 무게가 적었으며, NIFoS 4231, NIFoS 4315, NIFoS 4337 균주는 버섯의 크기도 크고 무게도 다른 균주들보다 무거운 것으로 나타났다. 교잡균주들 대부분은 톱밥재배용 균주를 모균주로 사용하여 교배한 균주들이며, 이 균주들을 원목재배에 적용하는 것과 함께 우수한 육종 자원을 선별하기 위해 재배시험을 진행하고 있다. 버섯의 외형적 크기가 다른 균주들보다 우수한 위 균주들은 향후 외형적으로 우수한 품종을 개발에 사용하기 적합하다고 생각되며, 추가적인 재배실험을 통해 버섯의 특성을 파악하는 것이 좋다고 여겨진다.

표 2-1-39. 2019년 집중한 교잡균주 자실체 특성조사(n=3 이상)

균주명	버섯무게(g)	갓직경(mm)	갓두께(mm)	주름폭(mm)	대길이(mm)	대두께(mm)
3352	42.6 ± 23.1	64.5 ± 7.4	17.3 ± 2.7	3.7 ± 1.1	39.4 ± 5.8	14.8 ± 2.9
3551	35.0 ± 10.1	58.0 ± 9.8	12.7 ± 3.1	4.0 ± 1.3	39.4 ± 6.8	17.8 ± 4.3
3883	36.5 ± 2.8	76.0 ± 4.7	12.2 ± 0.8	3.3 ± 0.8	50.7 ± 2.5	12.8 ± 1.0
3884	29.6 ± 6.2	59.9 ± 6.9	17.7 ± 2.1	4.0 ± 1.1	42.3 ± 1.9	15.3 ± 2.6
4135	35.6 ± 14.3	63.6 ± 16.5	11.9 ± 4.7	4.0 ± 0.6	43.8 ± 6.9	12.8 ± 3.7
4205	51.7 ± 18.6	59.7 ± 8.4	13.3 ± 1.3	2.8 ± 0.6	42.7 ± 8.8	13.0 ± 1.5
4206	32.2 ± 5.2	63.8 ± 7.6	12.7 ± 3.9	4.5 ± 0.6	45.1 ± 10.1	14.7 ± 1.5
4211	31.3 ± 9.0	64.2 ± 7.8	17.2 ± 4.8	4.2 ± 1.4	34.9 ± 3.5	15.0 ± 1.3
4231	46.4 ± 20.7	74.5 ± 6.4	17.6 ± 2.9	3.6 ± 1.4	38.4 ± 11.2	14.9 ± 4.6
4232	27.1 ± 10.9	55.2 ± 5.9	13.0 ± 2.4	3.7 ± 0.6	30.9 ± 7.1	12.7 ± 3.5
4233	37.4 ± 16.2	56.7 ± 9.0	11.1 ± 1.4	4.1 ± 0.9	45.2 ± 8.9	10.7 ± 1.2
4239	33.6 ± 4.6	57.2 ± 3.0	12.2 ± 2.2	4.4 ± 1.0	38.5 ± 2.5	16.3 ± 1.0
4240	29.3 ± 6.3	64.2 ± 5.5	14.8 ± 1.2	5.5 ± 0.7	33.5 ± 1.6	14.4 ± 2.9
4267	34.7 ± 20.7	63.2 ± 16.4	10.9 ± 2.5	4.3 ± 2.0	40.8 ± 7.7	13.9 ± 2.9
4270	30.4 ± 8.6	58.6 ± 15.9	12.7 ± 2.1	3.6 ± 1.5	37.6 ± 10.0	13.1 ± 2.5
4273	31.0 ± 9.3	71.0 ± 11.4	7.2 ± 2.8	6.3 ± 0.7	41.8 ± 8.2	9.7 ± 2.2
4278	45.1 ± 23.3	62.2 ± 27.0	13.8 ± 0.7	2.8 ± 2.6	43.7 ± 13.3	14.8 ± 3.6
4284	30.4 ± 3.5	58.1 ± 1.7	11.1 ± 1.1	2.3 ± 1.0	33.9 ± 8.4	14.4 ± 2.1
4286	29.0 ± 0.9	61.8 ± 10.4	14.0 ± 2.3	3.1 ± 0.8	35.3 ± 8.7	12.5 ± 4.7
4288	28.5 ± 8.5	58.3 ± 4.8	10.1 ± 1.7	3.9 ± 0.7	36.7 ± 7.6	12.9 ± 2.9
4289	29.5 ± 10.5	61.6 ± 12.3	11.4 ± 2.2	4.4 ± 1.3	35.5 ± 7.7	11.8 ± 3.7
4292	37.1 ± 17.5	63.3 ± 13.6	14.4 ± 5.9	3.6 ± 1.6	40.2 ± 6.1	14.4 ± 2.7
4293	43.1 ± 18.5	64.0 ± 7.7	15.1 ± 1.7	1.2 ± 1.5	51.7 ± 12.8	16.3 ± 3.9
4308	30.7 ± 5.9	61.2 ± 4.1	13.9 ± 1.9	2.4 ± 1.3	37.6 ± 10.9	16.0 ± 3.5
4313	39.0 ± 13.1	73.0 ± 18.6	11.2 ± 3.5	3.7 ± 1.5	46.5 ± 7.2	13.3 ± 3.9
4315	39.2 ± 7.4	71.4 ± 1.6	13.5 ± 1.0	5.7 ± 0.7	39.4 ± 7.1	13.5 ± 2.5
4317	32.4 ± 9.7	48.3 ± 4.8	12.5 ± 2.9	2.6 ± 1.2	44.6 ± 4.3	19.8 ± 4.9
4322	32.0 ± 10.6	70.7 ± 12.5	8.1 ± 1.9	5.3 ± 1.1	53.2 ± 7.4	11.5 ± 0.9
4323	36.4 ± 14.8	56.5 ± 9.0	15.9 ± 2.4	3.3 ± 2.2	31.4 ± 8.0	15.3 ± 4.5
4324	27.3 ± 9.1	62.9 ± 8.5	12.4 ± 2.0	3.6 ± 1.1	30.7 ± 5.4	15.3 ± 3.6
4327	27.8 ± 12.4	63.9 ± 13.0	11.4 ± 3.3	3.6 ± 0.5	36.8 ± 9.8	16.1 ± 2.7
4330	39.3 ± 9.7	64.3 ± 9.0	15.7 ± 4.3	4.0 ± 2.0	42.1 ± 9.5	17.0 ± 1.6
4332	29.9 ± 6.6	54.1 ± 5.3	15.6 ± 3.5	3.7 ± 0.7	33.6 ± 3.6	14.6 ± 3.8
4337	50.3 ± 15.2	68.7 ± 15.6	18.5 ± 5.4	2.2 ± 1.3	44.4 ± 9.6	14.3 ± 0.2
4338	34.2 ± 9.7	71.3 ± 11.5	9.7 ± 0.8	3.8 ± 1.0	38.1 ± 3.0	17.1 ± 1.9
4340	27.7 ± 10.1	59.3 ± 8.1	13.2 ± 3.7	3.0 ± 0.8	35.3 ± 8.7	13.2 ± 1.7
4343	32.5 ± 10.3	67.4 ± 8.6	11.3 ± 1.8	5.8 ± 2.5	43.1 ± 9.5	12.7 ± 1.4
4391	24.8 ± 8.9	52.8 ± 8.5	13.7 ± 2.0	2.9 ± 0.7	34.6 ± 4.8	14.4 ± 1.8
4491	29.0 ± 9.5	55.7 ± 9.6	15.6 ± 3.8	2.8 ± 0.7	39.2 ± 7.8	15.9 ± 1.8
4518	31.4 ± 14.4	58.7 ± 5.1	13.7 ± 4.0	3.6 ± 1.0	33.2 ± 2.8	15.7 ± 3.4
4551	36.5 ± 12.8	61.4 ± 6.2	15.4 ± 4.0	3.8 ± 1.2	37.5 ± 1.3	15.4 ± 3.3

(5) 2020년 집중원목 버섯 생산량

(가) 교잡균주 선발시험

2020년 집중한 교잡균주들의 2021년까지의 버섯 생산량은 아래와 같다. 이전에 집중한 교잡균주들보다 집중 2년차의 버섯 생산량이 높은 균주들이 많이 확인되었다. NIFoS 3372(73.05 kg/m³), NIFoS 4077(70.51 kg/m³), NIFoS 4503(71.31 kg/m³), NIFoS 4633(102.69 kg/m³), NIFoS 4649(91.12 kg/m³), NIFoS 4626(78.77 kg/m³), NIFoS 4793(72.81 kg/m³), NIFoS 4831(78.26 kg/m³), NIFoS 4953(98.72 kg/m³) 균주들은 특별히 높은 생산량을 보여주었다. 균주 당 집중한 원목의 숫자가 적기 때문에, 원목 수량을 늘려서 재배시험을 진행하는 것이 좋다고 여겨진다. 이와는 반대로 NIFoS 4490(1.4 kg/m³), NIFoS 4542(1.89 kg/m³), NIFoS 4693(0.89 kg/m³), NIFoS 4924(1.57 kg/m³) 균주들은 생산량이 많이 낮은 것으로 나타났다.

표 2-1-40. 2020년 집중한 교잡균주의 2021년 생산량(kg/m³)

균주번호	3372	3435	3666	4077	4081	4086	4100
생산량	73.05	47.68	30.29	70.51	14.45	35.98	12.82
균주번호	4102	4104	4460	4490	4498	4502	4503
생산량	40.76	37.63	8.51	1.40	23.01	20.13	71.31
균주번호	4504	4508	4522	4529	4530	4535	4536
생산량	38.40	11.98	14.63	39.92	10.17	14.87	15.76
균주번호	4542	4549	4551	4626	4629	4630	4632
생산량	1.89	8.47	18.72	78.77	53.07	59.07	31.76
균주번호	4633	4634	4641	4642	4644	4647	4649
생산량	102.69	65.62	21.33	40.35	66.96	42.41	91.12
균주번호	4650	4653	4654	4663	4664	4671	4672
생산량	30.29	8.78	41.22	6.80	52.43	41.50	11.11
균주번호	4675	4681	4682	4684	4693	4694	4696
생산량	30.41	28.18	45.03	24.55	0.89	12.52	26.49
균주번호	4701	4702	4705	4717	4718	4722	4724
생산량	43.25	11.05	36.09	33.74	58.00	66.78	16.37
균주번호	4731	4732	4735	4741	4746	4747	4748
생산량	22.45	46.70	41.49	37.84	20.81	35.38	6.14
균주번호	4750	4751	4760	4762	4768	4772	4775
생산량	16.50	51.83	47.49	56.37	10.66	68.86	53.59
균주번호	4777	4779	4781	4782	4784	4786	4790
생산량	29.01	52.92	48.24	16.16	22.22	40.51	34.08
균주번호	4795	4796	4800	4801	4802	4804	4808
생산량	42.90	72.81	26.42	22.91	33.79	49.77	46.62

균주번호	4809	4816	4819	4823	4825	4829	4830
생산량	58.09	40.69	26.20	53.11	49.24	44.16	35.97

균주번호	4831	4832	4833	4846	4848	4849	4850
생산량	78.26	39.79	17.07	24.90	19.94	44.51	22.02

균주번호	4854	4858	4860	4861	4863	4864	4904
생산량	25.11	24.17	16.22	64.27	10.05	40.20	38.32

균주번호	4905	4915	4922	4924	4936	4938	4942
생산량	58.16	44.92	25.10	1.57	23.52	29.10	17.69

균주번호	4943	4946	4949	4950	4952	4953	4957
생산량	45.23	35.93	31.95	28.28	57.32	98.72	75.62

균주번호	4959	4960	4767
생산량	58.83	44.60	22.60

수확한 2020년 교잡균주들의 자실체 특성을 조사하여 아래에 나타내었다. NIFoS 4630, NIFoS 4654, NIFoS 4751, NIFoS 4777, NIFoS 4790, NIFoS 4800, NIFoS 4804 균주들은 다른 균주들보다 버섯의 무게가 무거웠다. 자실체 갓의 크기는 NIFoS 3372, NIFoS 4330, NIFoS 4629, NIFoS 4630, NIFoS 4633, NIFoS 4751, NIFoS 4808, NIFoS 4957 균주가 다른 균주들보다 큰 것으로 나타났다으며, 자실체의 대는 NIFoS 3435, NIFoS 4498, NIFoS 4551, NIFoS 4629, NIFoS 4630, NIFoS 4649, NIFoS 4654, NIFoS 4644, NIFoS 4649, NIFoS 4654, NIFoS 4664, NIFoS 4800, NIFoS 4804, NIFoS 4808 균주들이 큰 것으로 나타났다. 갓이나 대의 크기가 큰 균주들 중 NIFoS 4630, NIFoS 4654, NIFoS 4751, NIFoS 4804 균주는 자실체의 무게도 다른 균주들보다 무겁기 때문에, 균주 개발을 위한 육종 소재로 사용하기 적합하다고 여겨지며, 향후 추가 재배실험을 하는 것도 좋다고 여겨진다.

표 2-1-41. 2020년 집중한 교잡균주 자실체 특성조사(n=3 이상)

균주명	버섯무게(g)	갓직경(mm)	갓두께(mm)	주름폭(mm)	대길이(mm)	대두께(mm)
3372	38.8 ± 14.0	68.1 ± 9.6	12.9 ± 4.0	2.8 ± 1.9	44.3 ± 5.6	13.9 ± 2.9
3435	35.4 ± 4.8	60.9 ± 6.0	14.3 ± 2.0	2.0 ± 1.8	49.8 ± 3.3	20.6 ± 2.6
4077	26.9 ± 7.2	58.2 ± 5.1	12.2 ± 2.0	2.0 ± 1.3	38.2 ± 5.4	13.4 ± 2.0
4086	31.2 ± 8.2	62.3 ± 3.2	17.2 ± 2.3	3.9 ± 1.6	38.0 ± 3.7	13.3 ± 1.4
4102	29.2 ± 8.6	62.5 ± 9.5	11.9 ± 3.1	2.8 ± 2.0	43.1 ± 6.9	12.4 ± 1.7
4104	20.6 ± 4.3	56.3 ± 6.8	9.4 ± 3.3	2.2 ± 1.2	38.7 ± 4.2	10.8 ± 2.5
4267	22.7 ± 7.5	60.2 ± 12.4	6.5 ± 1.6	3.3 ± 0.4	47.4 ± 5.6	13.2 ± 1.3
4329	26.4 ± 8.0	55.7 ± 6.4	12.1 ± 0.9	3.8 ± 5.8	43.9 ± 8.2	15.6 ± 2.6
4330	40.7 ± 9.5	76.3 ± 8.8	12.5 ± 2.4	5.5 ± 1.1	42.0 ± 3.7	16.2 ± 1.2
4498	25.8 ± 5.8	52.7 ± 4.4	10.2 ± 1.1	2.0 ± 1.2	57.0 ± 5.9	14.8 ± 1.6
4502	34.3 ± 7.8	60.2 ± 4.5	15.0 ± 1.2	0.2 ± 0.2	45.0 ± 4.3	14.6 ± 2.0
4503	23.8 ± 5.1	54.3 ± 5.8	10.4 ± 1.9	1.7 ± 1.1	40.9 ± 3.3	13.5 ± 1.3

군주명	버섯무게(g)	갓직경(mm)	갓두께(mm)	주름폭(mm)	대길이(mm)	대두께(mm)
4504	31.1 ± 6.4	64.6 ± 7.1	11.2 ± 1.9	3.2 ± 0.6	40.1 ± 6.6	15.7 ± 2.7
4529	38.2 ± 11.9	53.2 ± 8.2	12.2 ± 1.6	1.7 ± 2.3	32.3 ± 4.8	10.9 ± 1.5
4536	37.2 ± 19.2	62.5 ± 5.6	8.3 ± 4.4	1.7 ± 0.4	39.5 ± 5.2	12.7 ± 1.2
4551	32.5 ± 4.5	67.0 ± 7.5	9.8 ± 2.5	2.4 ± 0.6	49.9 ± 5.0	14.5 ± 1.8
4626	31.2 ± 12.2	66.2 ± 10.5	14.0 ± 2.8	5.0 ± 1.1	35.8 ± 4.3	15.3 ± 5.4
4629	43.2 ± 22.2	68.8 ± 9.1	17.6 ± 2.3	2.2 ± 1.6	50.6 ± 4.4	14.8 ± 1.6
4630	46.3 ± 21.2	71.3 ± 15.4	14.5 ± 2.8	4.5 ± 1.3	52.4 ± 1.3	17.7 ± 3.4
4632	26.2 ± 10.7	59.8 ± 9.8	11.9 ± 0.5	2.2 ± 1.3	35.1 ± 6.4	14.5 ± 3.3
4633	38.6 ± 13.2	69.6 ± 13.4	12.9 ± 2.8	4.0 ± 1.1	51.1 ± 7.6	16.1 ± 3.1
4634	27.6 ± 10.2	60.8 ± 7.8	9.9 ± 2.0	4.2 ± 0.7	41.5 ± 3.6	13.8 ± 3.1
4642	33.4 ± 13.0	64.0 ± 10.6	12.1 ± 2.3	2.4 ± 0.8	48.0 ± 10.1	13.7 ± 1.9
4644	33.0 ± 8.8	66.9 ± 12.4	11.6 ± 2.9	3.5 ± 1.3	47.5 ± 9.5	16.5 ± 4.6
4647	28.2 ± 6.3	63.9 ± 9.3	12.0 ± 1.0	4.2 ± 0.9	34.0 ± 4.4	15.5 ± 2.9
4649	33.3 ± 10.1	66.8 ± 10.3	10.5 ± 2.6	4.0 ± 1.4	52.9 ± 11.1	14.1 ± 2.5
4650	29.6 ± 4.7	60.1 ± 3.4	13.5 ± 3.1	2.2 ± 1.5	44.3 ± 4.6	15.6 ± 3.9
4654	50.7 ± 18.4	67.1 ± 10.3	17.1 ± 3.2	1.2 ± 0.5	51.1 ± 6.9	16.8 ± 2.3
4664	32.5 ± 8.5	66.1 ± 9.8	11.2 ± 2.0	1.5 ± 1.3	55.4 ± 10.1	15.5 ± 2.8
4671	31.4 ± 14.0	63.3 ± 13.5	11.1 ± 3.8	2.6 ± 1.5	46.4 ± 11.2	13.3 ± 3.6
4682	33.1 ± 15.0	66.3 ± 13.0	15.5 ± 3.4	2.4 ± 1.6	43.4 ± 7.0	11.4 ± 2.8
4702	43.0 ± 14.4	69.7 ± 8.0	13.4 ± 2.2	4.3 ± 0.7	48.2 ± 3.0	17.1 ± 4.0
4705	36.2 ± 8.6	64.9 ± 5.7	15.8 ± 3.3	3.3 ± 1.5	45.8 ± 6.9	14.2 ± 1.1
4722	34.9 ± 11.9	67.2 ± 10.0	15.9 ± 4.8	4.0 ± 0.5	36.0 ± 4.5	16.1 ± 4.9
4735	22.6 ± 9.4	58.1 ± 9.2	10.8 ± 1.5	3.5 ± 0.9	33.8 ± 6.6	14.0 ± 1.4
4741	25.4 ± 9.0	56.1 ± 3.5	14.3 ± 2.9	1.7 ± 1.6	40.4 ± 5.6	12.5 ± 1.3
4747	20.9 ± 5.7	52.2 ± 8.9	13.6 ± 2.1	2.7 ± 1.1	29.7 ± 5.3	12.7 ± 3.0
4751	56.6 ± 35.3	69.3 ± 5.4	15.6 ± 2.6	0.1 ± 0.0	47.4 ± 2.6	20.9 ± 6.1
4760	31.2 ± 12.4	63.5 ± 11.0	10.4 ± 2.0	3.0 ± 0.6	47.0 ± 8.9	15.0 ± 2.9
4762	32.2 ± 11.0	67.6 ± 10.8	10.5 ± 1.9	3.0 ± 0.9	46.0 ± 7.7	13.9 ± 2.0
4767	21.8 ± 8.6	53.3 ± 5.5	11.0 ± 1.6	2.9 ± 1.2	34.7 ± 5.1	12.7 ± 2.1
4772	28.1 ± 5.9	56.5 ± 7.8	12.6 ± 2.0	3.8 ± 0.8	41.0 ± 4.8	16.1 ± 1.8
4775	28.6 ± 4.1	59.7 ± 4.9	10.8 ± 1.1	3.7 ± 0.4	44.7 ± 4.1	17.9 ± 1.8
4777	76.7 ± 27.8	66.9 ± 8.6	18.7 ± 3.2	1.5 ± 0.4	48.4 ± 9.7	25.7 ± 5.2
4779	23.8 ± 2.1	64.1 ± 8.6	11.5 ± 1.4	2.9 ± 0.3	36.2 ± 7.0	15.3 ± 2.6
4781	41.5 ± 20.2	61.3 ± 8.8	17.8 ± 2.2	0.6 ± 0.6	46.7 ± 5.6	16.7 ± 1.8
4786	37.1 ± 7.6	52.7 ± 3.9	12.8 ± 2.3	1.3 ± 1.1	40.4 ± 4.5	13.8 ± 0.7
4790	55.7 ± 13.5	67.7 ± 6.9	13.2 ± 2.2	2.1 ± 0.5	43.4 ± 4.7	17.0 ± 1.9
4796	27.5 ± 5.0	61.8 ± 6.6	11.2 ± 1.9	3.8 ± 0.9	42.4 ± 5.0	12.7 ± 1.6
4800	47.0 ± 18.7	56.5 ± 5.8	16.8 ± 1.8		61.2 ± 7.2	16.6 ± 2.3
4804	66.4 ± 10.0	62.5 ± 6.9	19.7 ± 3.7		79.6 ± 3.9	19.6 ± 2.9

균주명	버섯무게(g)	갓직경(mm)	갓두께(mm)	주름폭(mm)	대길이(mm)	대두께(mm)
4806	22.0 ± 5.0	58.5 ± 6.4	13.4 ± 2.4	3.9 ± 0.7	36.3 ± 4.4	10.8 ± 1.4
4808	30.7 ± 6.3	72.0 ± 5.8	10.2 ± 1.7	3.6 ± 0.9	62.7 ± 6.7	10.5 ± 1.2
4819	30.5 ± 7.5	58.4 ± 8.0	14.8 ± 1.4	4.2 ± 0.8	41.5 ± 9.5	14.0 ± 4.0
4823	30.3 ± 9.2	60.3 ± 9.0	10.1 ± 1.9	3.6 ± 0.9	40.5 ± 4.6	14.0 ± 3.1
4829	45.9 ± 8.6	59.5 ± 9.7	15.8 ± 2.6	2.7 ± 0.9	48.3 ± 8.8	14.1 ± 2.0
4831	29.0 ± 13.7	63.5 ± 15.3	10.7 ± 3.5	2.1 ± 1.3	44.0 ± 6.5	12.3 ± 2.3
4832	30.5 ± 7.0	62.7 ± 12.9	12.5 ± 1.2	4.5 ± 1.3	38.4 ± 5.2	15.2 ± 3.5
4846	26.0 ± 7.5	59.8 ± 9.4	9.7 ± 1.7	3.9 ± 1.1	38.4 ± 2.6	15.7 ± 1.8
4849	34.7 ± 12.3	57.3 ± 8.3	11.0 ± 1.7	2.7 ± 1.3	44.4 ± 4.1	13.5 ± 2.5
4864	32.1 ± 6.6	57.7 ± 5.8	12.3 ± 1.6	3.9 ± 0.7	41.1 ± 3.6	18.0 ± 2.6
4881	37.6 ± 7.3	55.4 ± 4.8	13.4 ± 3.8	3.5 ± 2.3	42.2 ± 8.0	17.3 ± 1.4
4903	25.7 ± 12.3	61.9 ± 12.8	9.3 ± 2.1	4.2 ± 1.2	41.8 ± 5.3	11.5 ± 1.5
4905	32.7 ± 12.3	66.0 ± 11.7	10.1 ± 1.1	4.6 ± 0.9	43.4 ± 7.4	13.9 ± 3.1
4936	30.1 ± 3.0	62.2 ± 4.8	12.4 ± 1.9	5.8 ± 1.0	38.9 ± 2.9	15.9 ± 1.2
4938	23.2 ± 7.2	54.5 ± 5.4	11.0 ± 3.8	3.9 ± 0.5	38.0 ± 3.0	14.4 ± 2.6
4946	34.1 ± 10.4	57.3 ± 8.0	14.0 ± 4.1	2.0 ± 1.2	42.2 ± 7.5	1.4 ± 2.1
4949	45.0 ± 16.2	59.0 ± 4.6	18.3 ± 3.8	1.3 ± 0.4	41.8 ± 9.1	14.6 ± 6.5
4952	25.9 ± 8.2	55.8 ± 7.4	11.9 ± 2.6	2.1 ± 0.8	34.5 ± 5.3	13.1 ± 1.7
4953	32.0 ± 16.6	68.0 ± 10.0	10.9 ± 3.7	3.69 ± 1.1	47.0 ± 6.4	12.3 ± 4.0
4957	30.8 ± 6.2	71.8 ± 11.0	14.0 ± 1.4	3.8 ± 0.6	39.6 ± 3.4	15.6 ± 2.5
4959	25.7 ± 8.6	65.8 ± 9.6	10.8 ± 1.9	3.9 ± 0.7	41.4 ± 6.4	12.3 ± 2.2
4960	30.6 ± 15.6	59.7 ± 13.7	13.1 ± 2.9	3.2 ± 0.3	39.9 ± 4.5	15.4 ± 2.6

(나) 품종출원 후보균주 재배시험

교잡균주 선발시험을 통해 선택한 7개 균주들을 품종출원을 위한 후보균주로 선정하여 재배시험을 실시하였다. 대조균으로는 일본품종인 모리유지로와 무리 290균주, 그리고 톱밥재배용 출원 품종이지만 원목재배에서도 버섯 발생이 우수한 밤빛향을 대조균으로 사용하였다. 후보균주인 7개의 균주들은 모리유지로 및 모리290 보다 생산량은 우수한 것으로 나타났다. 특히 NIFoS 4150(80.6 kg/m³)은 생산량이 대조균들과 가장 큰 차이를 보여주었다.

표 2-1-42. 2020년 접종한 품종출원 후보균주의 2021년 생산량(kg/m³)

균주명	모리유지로	모리290	밤빛향	NIFoS 1475	NIFoS 3450
생산량	22.8	25.7	42.0	52.5	29.8

균주명	NIFoS 4110	NIFoS 4133	NIFoS 4150	NIFoS 4197	NIFoS 4594
생산량	36.9	59.8	80.6	48.5	34.2

수확한 자실체에 대한 특성조사를 실시하였다. 대조균인 모리 290 및 모리유지로가 다른 균주들보다 무거운 것으로 나타났으며, 모리유지로는 버섯의 크기도 큰 것으로 나타났다. NIFoS 4110은 대조품종들보다 갓이 더 두꺼운 것으로 나왔으며, NIFoS 4150은 자실체의 외형적 특성이 대조품종들과 차이가 가장 적은 균주로 확인되었다. 생산량이 우수하고 자실체의 특성이 외

국품종과 큰 차이가 나지 않는 NIFoS 4150 균주는 2~3년 동안 일관성이 있다면 품종출원을 해도 좋다고 판단이 된다.

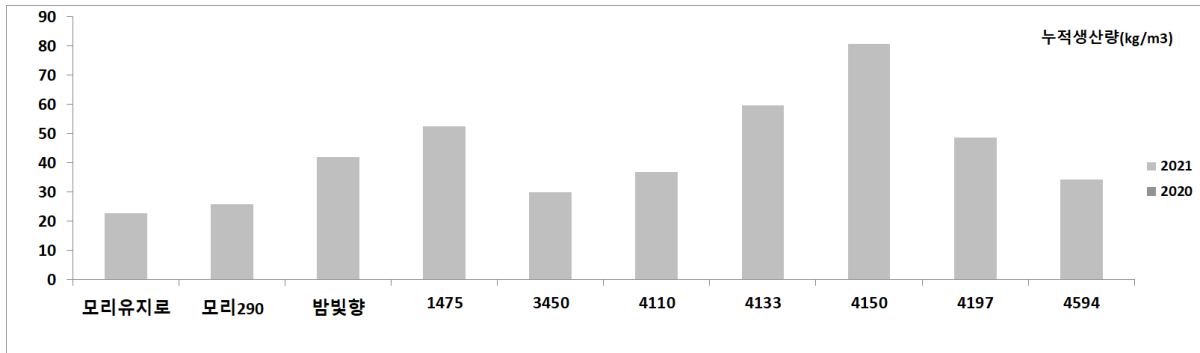


그림 2-1-36. 2020년 품종출원 후보균주의 버섯 생산량

표 2-1-43. 2020년 접종한 품종출원 후보균주의 자실체 특성조사

균주명	버섯무게 (g)	갓직경 (mm)	갓두께 (mm)	주름폭 (mm)	대길이 (mm)	대두께 (mm)
모리유지로	42.0 ± 18.6	67.0 ± 10.6	11.7 ± 2.5	4.4 ± 1.1	43.2 ± 5.7	15.8 ± 3.2
모리290	41.9 ± 17.6	62.3 ± 11.1	12.5 ± 9.0	5.6 ± 1.1	46.8 ± 6.7	14.9 ± 3.5
밤빛향	33.5 ± 8.6	65.1 ± 8.9	12.8 ± 3.6	3.0 ± 1.3	45.4 ± 6.8	14.2 ± 8.2
1475	27.1 ± 9.5	63.8 ± 10.7	10.6 ± 2.5	4.1 ± 1.1	44.2 ± 5.9	12.9 ± 2.6
3450	22.9 ± 5.0	55.8 ± 6.1	10.9 ± 1.6	3.1 ± 0.9	45.2 ± 5.5	15.1 ± 2.4
4110	32.9 ± 11.6	66.1 ± 10.1	14.6 ± 3.6	3.1 ± 1.2	42.8 ± 6.4	12.5 ± 2.4
4113	29.5 ± 9.3	64.5 ± 10.2	10.1 ± 2.5	3.0 ± 1.4	43.4 ± 8.2	12.0 ± 2.3
4150	35.5 ± 12.4	68.4 ± 11.5	12.3 ± 3.6	2.9 ± 1.2	50.5 ± 23.6	15.7 ± 6.4
4197	27.7 ± 7.7	67.1 ± 9.6	10.5 ± 1.8	4.9 ± 1.4	47.3 ± 9.3	14.5 ± 2.0
4594	23.2 ± 6.1	58.3 ± 7.3	11.2 ± 2.3	3.7 ± 0.8	46.4 ± 10.8	12.7 ± 2.1

7. 표고 종균 보급 현황 조사

가. 조사방법

국내 표고버섯 종균 보급 현황조사는 매년 실시하였다. 측정대상 기준품종은 국립산림품종관리센터에 출원된 국산 품종을 대상으로 생산·판매 신고 절차를 수행한 품종으로 하였다. 수입 대체효과의 산출식은 (국산품종 종균공급량/국내생산 종균의 총공급량) × 100 이며, 측정표본은 국내 표고버섯 종균 유통 관련 대규모 종균배양소를 운영하는 산림조합중앙회와 전국 단위로 종균을 유통하는 종균배양소의 협회인 (사)한국종균생산협회의 연간 종균 보급으로 산출하였다. 국내 유통되고 있는 표고버섯 종균 중에 외국품종 보급량의 감소효과와 국산 품종 보급량 증가 효과를 측정하기 위해 마련되었다. 이는 GSP 사업을 통해 국산 품종의 경쟁력을 높이고 국산 품종에 대한 긍정적 인식을 확대하여 수입대체 효과를 향상하고자 실시하였다.



그림 2-1-37. 외국 경쟁품종 및 국산 표고버섯 품종

나. 국산 종균 수입대체효과

5차년도에는 국내 표고버섯 출원품종들의 보급을 확산시키고자 국산품종의 시험포 운영, 국산품종 설명회 개최, 안내책자 배포 등을 추가로 실시하였으며, 2021년 종균 자급률은 2020년과 동일하게 27.1%로 나타났다.

종균자급률은 '21년 70%를 목표로 세웠으나, 그에 훨씬 못미쳤다. 국내 종균 자급률은 종균 회사의 중국산 종균 사용 전환과 중국산 종균접종배지 수입량 증가와 코로나-19로 인한 소비 시장 위축 등으로 회복 기미가 보이지 않고 있다. 이 부분에 대해서는 종균배양소를 통해 우리 품종을 알리고 재배매뉴얼을 제공하여 재배자들에게 지속적인 관심을 가질 수 있도록 노력하겠다. 아울러 산림정책을 통해 국산품종을 사용하도록 제도적 보완을 지속적으로 추진하겠다.

표 2-1-44. 국산 표고버섯 품종의 종균 보급량

구 분		2017년도	2018년도	2019년도	2020년도	2021년도
수입대체효과 (자급률)	성과달성률(%)	40%	41%	24.4%	27.1%	27.1%
	종균시장 규모	1079.99	1175.33	1004.72	933.11	1092.7
종균시장 규모	국산품종의 종균량(톤)	431.78	479.82	245.25	253.1	295.8
	외산품종의 종균량(톤)	648.21	695.51	759.47	680.01	796.9

표 2-1-45. 재배방법에 따른 국산품종 사용률

구 분		2017년도	2018년도	2019년도	2020년도	2021년도
원목재배용 종균	시장점유율(%)	59%	38%	57%	55%	44%
	종균량(톤)	634	441	577.67	514.4	479.8
툽밥재배용 종균	시장점유율(%)	41%	62%	43%	45%	56%
	종균량(톤)	446	734	427.05	418.71	612.9

8. 출원품종의 통상실시

가. 출원품종 통상실시 공고

표고버섯의 수입 품종을 대체하기 위해 개발된 국유 품종은 산림청을 통해 신품종보호권 처분에 관하여 매년 상반기와 하반기에 공식적으로 공고하였다. 이를 통해 민간 종균 배양소와 통상실시 계약하였고, 그 수량은 다음과 같다.

표 2-1-46. 국유품종보호권 통상실시 내역

연도	계약기관	수량
2017	진주종균배양소	산백향(3,000kg), 산마루2호(3,000kg)
	치악버섯종균	산백향(3,000kg), 산마루2호(3,000kg)
	부여중앙버섯	백화향(3,000kg)
	국제미생물연구소	산백향(2,000kg), 백화향(2,000kg)
	버섯재배연구소	천장3호(2,000kg), 산마루2호(2,000kg), 산백향(2,000kg), 백화향(2,000kg)
	한국버섯원균	산백향(2,000kg), 백화향(2,000kg)
	삼광농산	산백향(3,000kg), 천장3호(3,000kg)
	한국미생물	백화향(3,000kg)
	중부미생물연구소	산마루2호(2,000kg), 산백향(2,000kg), 백화향(2,000kg)
	논공농산	산백향(5,000kg)
	삼구농원	천장3호(2,000kg), 산마루2호(2,000kg), 산백향(2,000kg), 백화향(2,000kg)
	경기버섯연구소	백화향(3,000kg)
장수군농업기술센터	산마루2호(5,000kg), 산백향(2,500kg)	
2018	장흥친환경표고 영농조합	산백향(1,500kg)
	한국미생물	산백향(3,000kg)
	동인농원영농조합	산백향(4,800kg)
	산림조합중앙회	산백향(2,000kg)
2020	덕산	산백향(1,000kg), 밤빛향(1,000kg), 산장향(1,000kg)
	장흥친환경표고	밤빛향(1,500kg), 산장향(1,500kg)
	한국버섯원균	백화향(1,500kg), 산백향(2,000kg), 밤빛향(2,000kg), 산장향(2,000kg)
2021	리을농산	백화향(1,000kg), 산백향(700kg), 밤빛향(500kg)
	삼광버섯 영농조합법인	백화향(555kg)



원목재배용 품종 : 백화향(2013-32)



톱밥재배용 품종 : 산백향(2016-10)



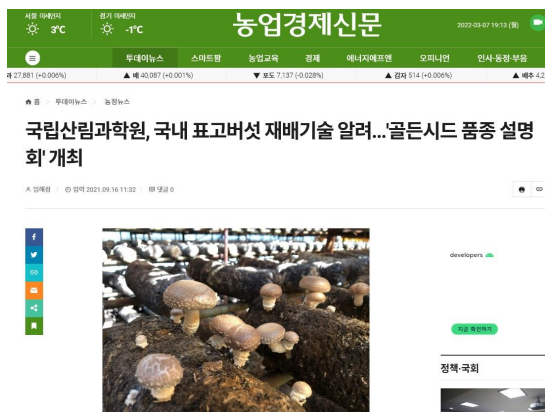
톱밥재배용 품종 : 밤빛향(2017-45)



톱밥재배용 품종 : 산장향(2018-43)

그림 2-1-38. 통상실시한 표고품종

산백향 품종은 영천 보림농원, 장흥 장흥진환경표고, 청도 동인농원 등에서 재배하면서 버섯을 판매하고 있다. 본 품종은 수량성과 품질면에서 뛰어난 면을 갖고 있어 농가 실증시험을 통해 재배자들의 선호도를 높이고 있다. 산림청의 국산품종 보급을 위한 지원사업에 포함시켜서 향후 재배면적을 확대할 계획이다.



품종 설명회



영천 보림농원에서 산백향 재배 모습

그림 2-1-39. 통상실시한 표고품종

한편, 표고 출원품종은 출원이 결정된 이후 그 다음해부터 국립산림품종관리센터에서 재배심사를 진행한다. 재배심사는 2년간 수행되고, 그 결과는 다음해 정리되어 품종등록의 확정 유무를 결정하게 된다. 결국, 품종 출원 후 그 다음해부터 3년간의 재배심사와 품종결정이 이루어지기 전에 품종등록이 늦어지게 된다. 2019년 출원한 품종은 2022년부터 품종등록이 이루어지게 되기에 등록 건수를 맞추지 못했고, 이 부분은 품종등록이 될 수 있도록 노력하겠다.

9. 표고버섯 품종특징 선호도 조사

표고버섯 신품종의 주요 고객층인 종균배양소 및 버섯재배자를 대상으로 신품종 선호도에 대한 설문조사를 실시하였다.

표고버섯 품종특징 선호도 조사 (재배자용)	표고버섯 품종특징 선호도 조사 (종균배양소용)
<p>표고버섯 품종특징 선호도 조사 (재배자용)</p> <p>표고버섯의 무균화 및 포장 기술은 중요합니다. 국립산림과학원 산림재배연구소에서는 표고버섯의 품종 특성을 위한 성격 및 연구 자료로써 특정한 목적으로 표고버섯 품종특성 선호도 조사를 실시 해볼 계획입니다. 작업이나 연구 또는 판매 등의 개인정보는 공개성에 지극히 엄격히 보호될 수 있도록이나 성실의 응답하여 주실 것을 부탁드립니다. <국립산림과학원 산림재배연구소></p> <p>1. 현재까지 표고버섯 재배 경력은 몇 년인가요? () 년)</p> <p>2. 현재 표고버섯 재배 규모는 어느 정도인가요? <input type="radio"/> 반도재배 () 분 <input type="radio"/> 풀밭재배 () 분)</p> <p>3. 현재 재배하고 있는 표고버섯 품종은 무엇인가요? () <input type="radio"/> 모리290 <input type="radio"/> 유저보 <input type="radio"/> 산호302호 <input type="radio"/> 산호 502호 <input type="radio"/> 백화산 <input type="radio"/> L303 <input type="radio"/> 산-NH <input type="radio"/> 산호701호 <input type="radio"/> 산호707호 <input type="radio"/> 산백담 <input type="radio"/> 기타 ()</p> <p>4. 재배하는 표고버섯 품종의 선택의 기준은 무엇인가요? () 중적 응답 가능 <input type="radio"/> 재배하기 쉬운 품종(배양 기간이 짧은 품종) <input type="radio"/> 맛이 있는 품종(표고 특유의 감칠맛이 좋은 품종) <input type="radio"/> 식감이 좋은 품종(조식이 단단한 품종) <input type="radio"/> 향이 강한 품종 <input type="radio"/> 버섯 갓의 크기가 큰 품종 <input type="radio"/> 버섯 갓의 크기가 작은 품종 <input type="radio"/> 버섯 대의 길이가 긴 품종 <input type="radio"/> 버섯 대의 길이가 짧은 품종 <input type="radio"/> 버섯 갓의 색깔이 어두운 품종 <input type="radio"/> 버섯 갓의 색깔이 밝은 품종 <input type="radio"/> 기타 ()</p> <p>5. 앞으로 개발되길 바라는 표고버섯 품종의 특성은 무엇인가요? () 중적 응답 가능 <input type="radio"/> 재배하기 쉬운 품종(배양 기간이 짧은 품종) <input type="radio"/> 맛이 있는 품종(표고 특유의 감칠맛이 좋은 품종) <input type="radio"/> 식감이 좋은 품종(조식이 단단한 품종) <input type="radio"/> 향이 강한 품종 <input type="radio"/> 버섯 갓의 크기가 큰 품종 <input type="radio"/> 버섯 갓의 크기가 작은 품종 <input type="radio"/> 버섯 대의 길이가 긴 품종 <input type="radio"/> 버섯 대의 길이가 짧은 품종 <input type="radio"/> 버섯 갓의 색깔이 어두운 품종 <input type="radio"/> 버섯 갓의 색깔이 밝은 품종 <input type="radio"/> 기타 ()</p> <p>6. 재배하는 표고버섯 품종을 선택하게 된 경로는 무엇인가요? () <input type="radio"/> 소비요청 강의내용에 의해 <input type="radio"/> 동료 재배자의 추천에 따라 <input type="radio"/> 인터넷 정보에 의해 <input type="radio"/> 종균배양소의 안내에 따라 <input type="radio"/> 기타 ()</p> <p>7. 앞으로 국립산림과학원이 국내육종 중인 품종 중에 어떤 품종보다 우수한 품종을 개발하길 바라나요? (중복응답 :)</p>	<p>표고버섯 품종특징 선호도 조사 (종균배양소용)</p> <p>표고버섯의 무균화 및 포장 기술은 중요합니다. 국립산림과학원 산림재배연구소에서는 표고버섯의 품종 특성을 위한 성격 및 연구 자료로써 특정한 목적으로 표고버섯 품종특성 선호도 조사를 실시 해볼 계획입니다. 작업이나 연구 또는 판매 등의 개인정보는 공개성에 지극히 엄격히 보호될 수 있도록이나 성실의 응답하여 주실 것을 부탁드립니다. <국립산림과학원 산림재배연구소></p> <p>1. 현재 표고버섯 종균배양 규모는 어느 정도인가요? <input type="radio"/> 반도재배용 () 명 <input type="radio"/> 풀밭재배용 () 명)</p> <p>2. 현재 판매하고 있는 표고버섯 품종은 무엇인가요? () <input type="radio"/> 모리290 <input type="radio"/> 유저보 <input type="radio"/> 산호302호 <input type="radio"/> 산호 502호 <input type="radio"/> 백화산 <input type="radio"/> L303 <input type="radio"/> 산-NH <input type="radio"/> 산호701호 <input type="radio"/> 산호707호 <input type="radio"/> 산백담 <input type="radio"/> 기타 ()</p> <p>3. 재배자들이 선호하는 품종은 무엇이라고 판단하시나요? () 중적 응답 가능 <input type="radio"/> 재배하기 쉬운 품종(배양 기간이 짧은 품종) <input type="radio"/> 맛이 있는 품종(표고 특유의 감칠맛이 좋은 품종) <input type="radio"/> 식감이 좋은 품종(조식이 단단한 품종) <input type="radio"/> 향이 강한 품종 <input type="radio"/> 버섯 갓의 크기가 큰 품종 <input type="radio"/> 버섯 갓의 크기가 작은 품종 <input type="radio"/> 버섯 대의 길이가 긴 품종 <input type="radio"/> 버섯 대의 길이가 짧은 품종 <input type="radio"/> 버섯 갓의 색깔이 어두운 품종 <input type="radio"/> 버섯 갓의 색깔이 밝은 품종 <input type="radio"/> 기타 ()</p> <p>4. 앞으로 개발되길 바라는 표고버섯 품종의 특성은 무엇인가요? () 중적 응답 가능 <input type="radio"/> 재배하기 쉬운 품종(배양 기간이 짧은 품종) <input type="radio"/> 맛이 있는 품종(표고 특유의 감칠맛이 좋은 품종) <input type="radio"/> 식감이 좋은 품종(조식이 단단한 품종) <input type="radio"/> 향이 강한 품종 <input type="radio"/> 버섯 갓의 크기가 큰 품종 <input type="radio"/> 버섯 갓의 크기가 작은 품종 <input type="radio"/> 버섯 대의 길이가 긴 품종 <input type="radio"/> 버섯 대의 길이가 짧은 품종 <input type="radio"/> 버섯 갓의 색깔이 어두운 품종 <input type="radio"/> 버섯 갓의 색깔이 밝은 품종 <input type="radio"/> 기타 ()</p> <p>5. 판매하는 표고버섯 품종을 선택하게 된 경로는 무엇인가요? () <input type="radio"/> 소비요청 강의내용에 의해 <input type="radio"/> 동료 배양소의 추천에 따라 <input type="radio"/> 인터넷 정보에 의해 <input type="radio"/> 소비자의 요청에 의해 <input type="radio"/> 기타 ()</p> <p>6. 앞으로 국립산림과학원이 국내육종 중인 품종 중에 어떤 품종보다 우수한 품종을 개발하길 바라나요? (중복응답 :)</p>

그림 2-1-40. 2019년도 연차평가 종합의견 및 표고버섯 품종 특징 선호도 설문지(재배자용, 종균배양소용)

종균배양소를 대상으로 실시한 설문조사 결과, 현재 선호품종으로는 응답자의 40%가 배양기간이 짧아 재배하기 쉬운 품종을 가장 선호하였고, 뒤를 이어 36%의 대상자가 식감이 좋은 품종으로 조식이 단단한 품종을 원하였다. 더불어 14%의 응답자가 표고 특유의 감칠맛이 좋은 맛이 있는 품종을 선호하였으며, 10%가 버섯 갓의 색깔이 밝은 품종을 원했다. 한편, 향후 개발되길 바라는 품종의 특성으로 재배하기 쉬운 품종으로써 배양기간이 짧은 품종을 응답자의 47%가 선호하였다. 조식이 단단한 품종으로 식감이 좋은 품종 및 표고 특유의 감칠맛이 좋은 품종으로 맛이 있는 품종을 각각 28%, 22%의 응답자가 선호하였다. 주요 소비자인 종균구매자 즉, 표고버섯 재배자들의 선호 품종에 따라 종균을 판매하는 비율이 약 70%로 상당한 영향력을 미쳤으며, 32%의 응답자는 주변의 종균배양소의 추천에 따라 판매 품종을 선택한다고 하였다.

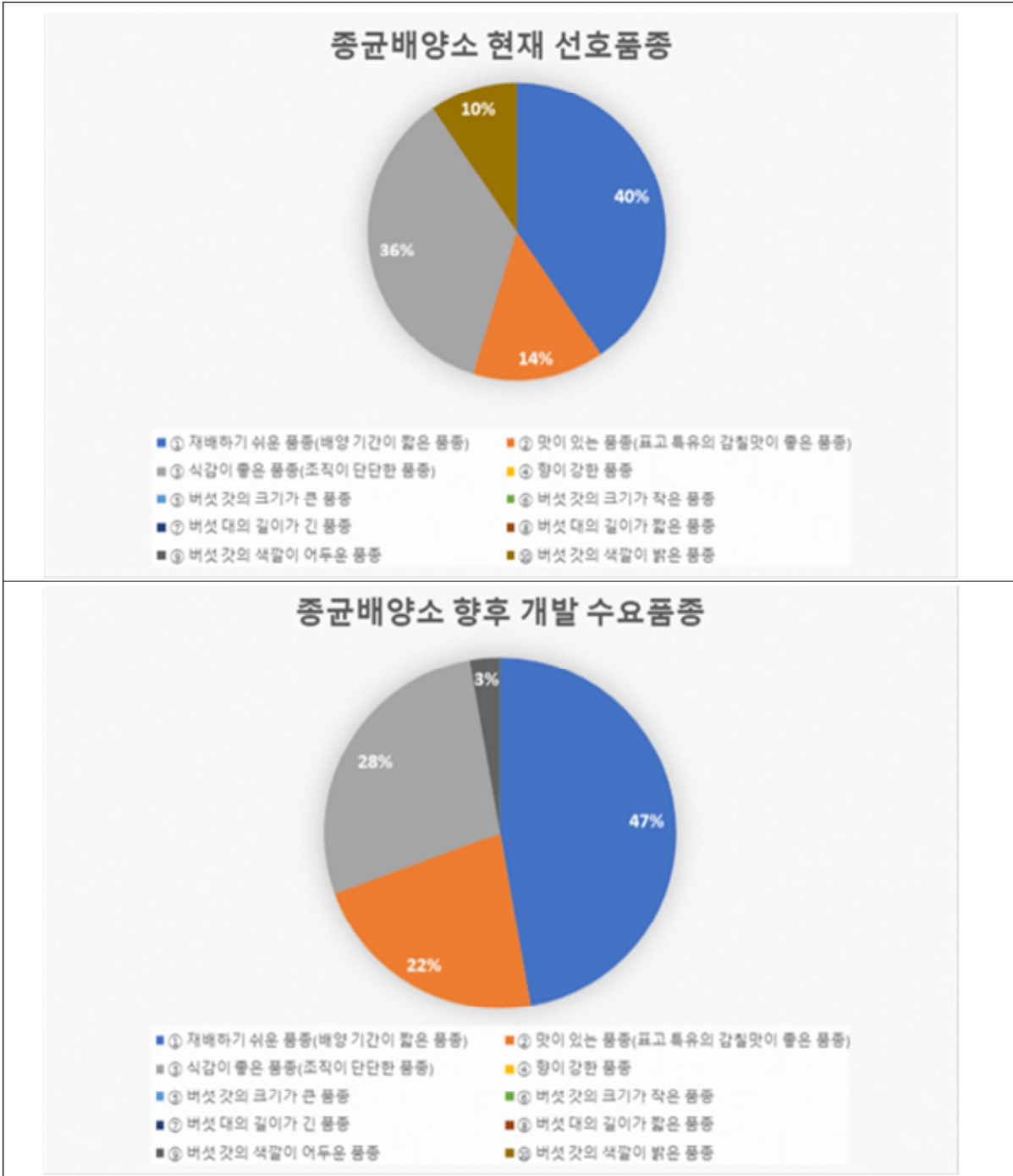


그림 2-1-41. 중균배양소 현재 선호 품종 및 향후 개발 수요품종

재배자들을 대상으로 실시한 설문조사 결과, 원목재배자가 현재 선호품종으로는 응답자의 24%가 배양기간이 짧아 재배하기 쉬운 품종을 가장 선호하였고, 뒤를 이어 20%의 대상자가 식감이 좋은 품종으로 조직이 단단한 품종을 원하였다. 또한 17%, 18%의 응답자가 표고 향이 강한 품종, 표고 특유의 감칠맛이 좋은 맛이 있는 품종을 선호하였다. 한편 톱밥재배자는 약 8%의 응답자가 버섯 갖의 크기가 큰 품종을 원하였고, 약 6%가 조직이 단단한 식감이 좋은 품종을 선호하였다. 그 외에 향이 강하거나 버섯 갖의 색깔이 밝은 품종, 대의 길이가 짧거나 긴 품종을 선호하는 등 재배유형별로 다양한 품종의 특징을 선호하는 것으로 조사 결과 나타났다.

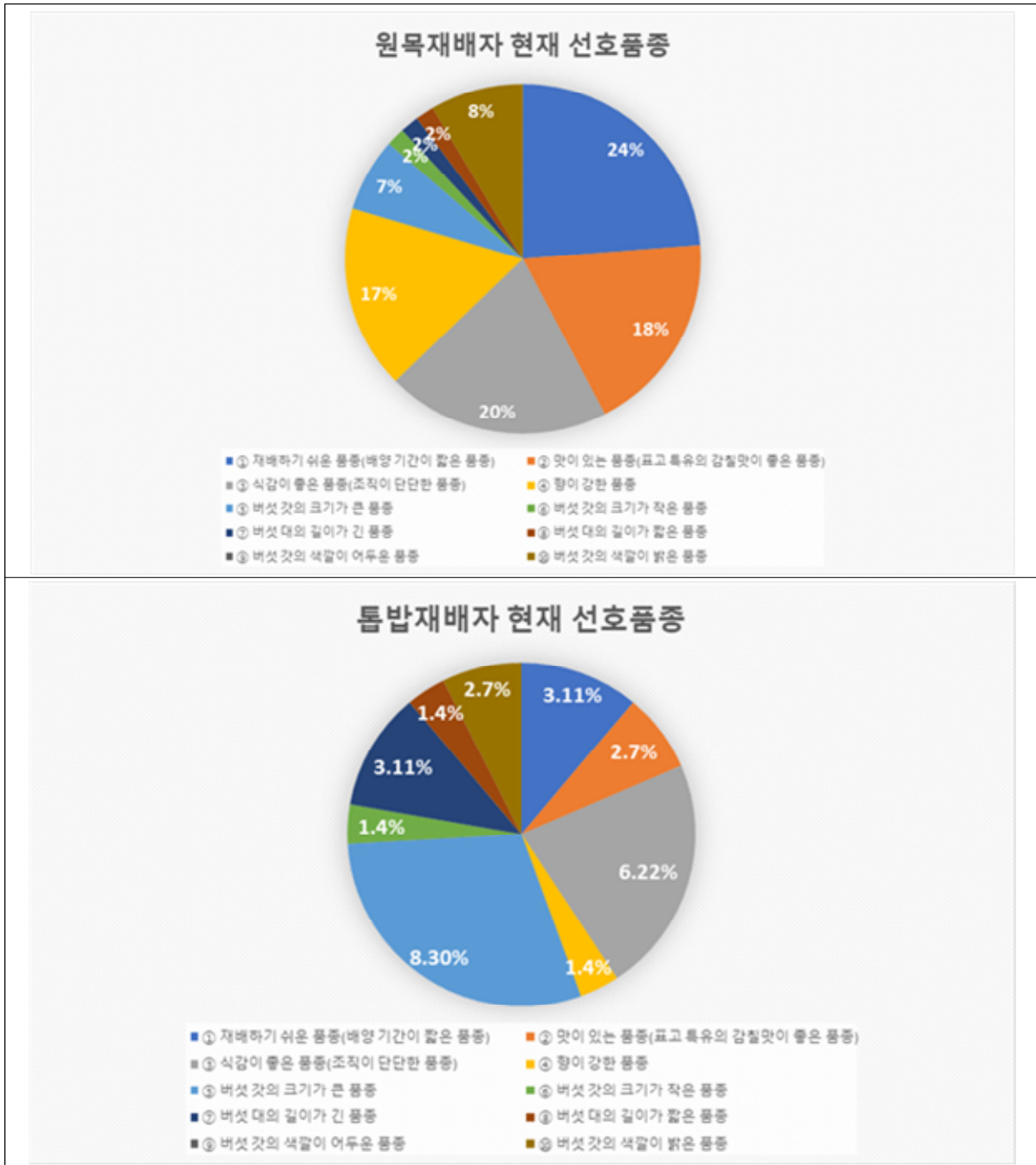


그림 2-1-42. 버섯 재배자의 현재 선호 품종

원목재배자가 앞으로 개발되길 원하는 품종의 특성으로는 표고 특유의 감칠맛이 좋은 맛이 있는 품종을 26%의 응답자가 선호하였고, 동시에 배양기간이 짧아 재배하기 쉬운 품종도 같은 비율의 응답자가 선호하였다. 뒤를 이어 17%의 응답자가 식감이 좋은 품종으로 조각이 단단한 품종을 원하였다. 또한 9%, 8%의 응답자가 버섯의 갓 크기가 큰 품종, 버섯 갓의 색깔이 밝은 품종을 각각 선호하였다.

톱밥재배자가 앞으로 개발되길 원하는 품종의 특성으로는 31%의 응답자가 조각이 단단하여 식감이 좋은 품종을 선호하였고, 버섯의 갓 크기가 큰 품종을 22%의 응답자가 선호하였다. 18%의 응답자가 배양기간이 짧아 재배하기 쉬운 품종 선호 하였고, 뒤를 이어 버섯의 대의 길이가 길거나, 감칠맛이 좋은 맛있는 품종, 버섯 갓의 색깔이 밝은 품종 등을 선호하였다.

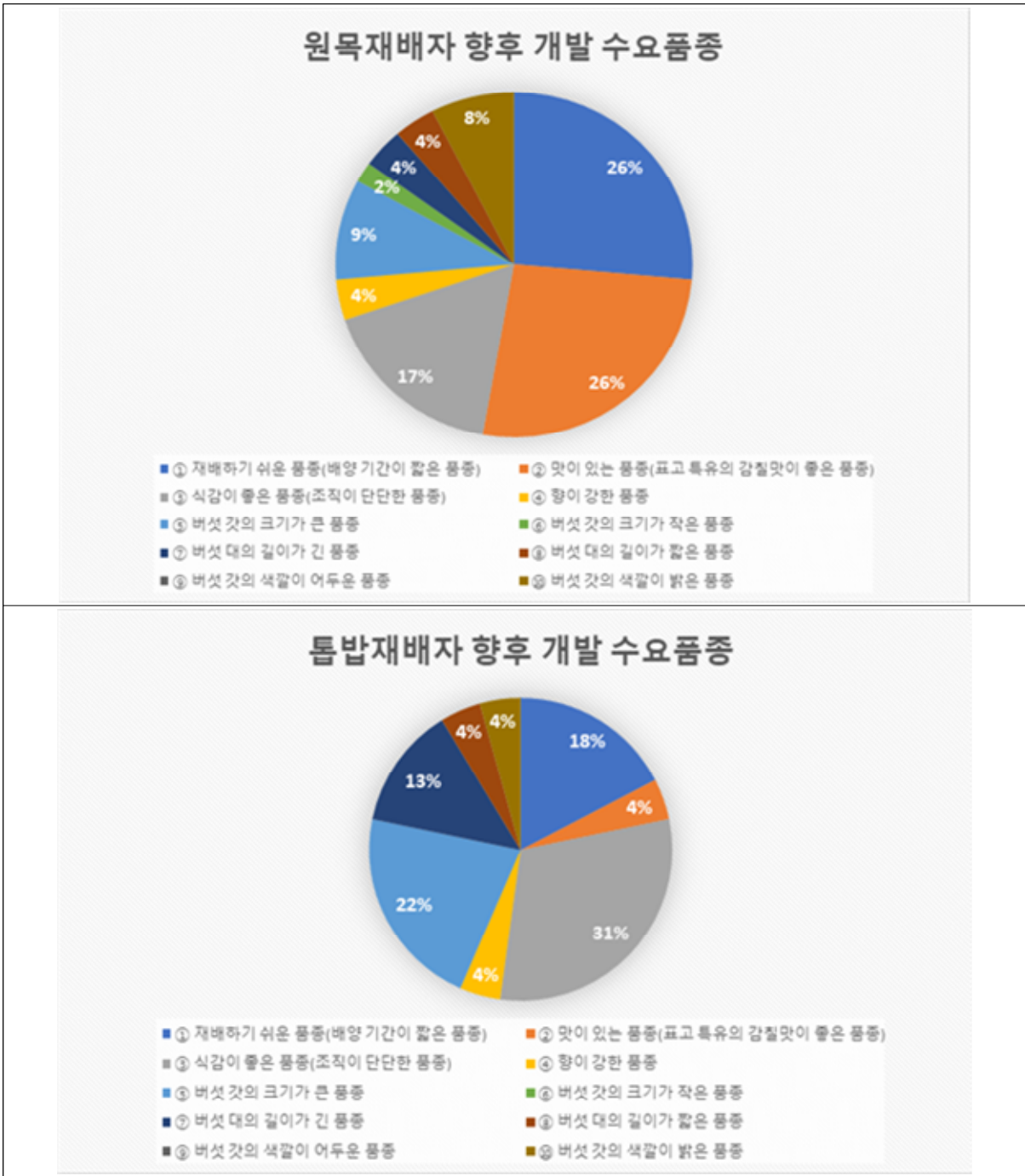


그림 2-1-43. 버섯 재배자의 향후 개발 수요품종

10. 밤빛향, 산산향, 만추향, 태향고, 산호향 품종 구분 CAPS 분자 마커 개발 계획

제2세부과제에서 품종마커를 개발하였으나, 연구과제 진행과정에서 개발 못한 것은 국립산림과학원이 2023년도 신규과제(BT 활용 버섯육종 기술개발 및 균근성 버섯의 안정적 생산기술 개발)에서 CAPS 마커를 개발할 계획이다. 2023년도 신규과제는 유전체 기반 표고 품종육성을 위한 방향으로 접근할 것이며, 골든시드 프로젝트를 수행하면서 좀더 발전시킬 필요가 있는 분자유종 기술을 개발하고자 한다.

제2절 품종보호 수입대체용 표고 신품종 개발을 위한 분자마커

1. 표고분자마커 개발을 위한 GSP 골든시드 프로젝트 주요 연구 수행결과 요약

제2세부 연구팀은 2016년 7월 GSP 골든시드 프로젝트 1단계에 합류하여 표고버섯 분자마커 개발을 위한 연구에 착수하였다. 1단계 연구기간 동안 분자마커 개발을 위한 표고버섯의 표준 유전체 정보를 세계최초로 확보하고, 연구결과를 genome browser 개발과 JGI (https://mycocosm.jgi.doe.gov/Lened_B_1_1/Lened_B_1_1.home.html)를 통해 국내 연구진과 세계 연구진들과 정보를 공유하였다 (그림 2-2-1). 1단계 연구를 통해 확보한 표고의 표준유전체 정보를 활용하여 2 단계 사업에서는 1. 품종보호/수입대체용 표고 신품종 개발을 위한 분자마커 2. 품종보호/수입대체용 국산표고의 유전체를 기반한 분자마커 개발, 3. 골든시드 대상품종의 적정 온도형 구분 분자마커 1종 개발, 4. 골든시드 대상품종의 외부형질 관련 유전자 탐색 및 분자마커 2종 개발, 5. 품종보호/수입대체용 신품종의 유전자 특성 구분 분자마커 3종 개발이라는 목표하에 분자마커 개발을 진행하였다. 본 연구팀은 최종적으로 14편의 논문 발표 (SCI급 11편/ 비SCI급 3편), 9건의 특허 등록, 8건의 특허 출원, 골든시드 프로젝트 개발 품종 구분 CAPS 분자 마커 5건 (산마루1호, 산마루 2호, 천장 3호, 산백향, 설백향), 표고 군사 미갈변 형질 (ABL) 구분 분자 마커 1건, 국내 주요 재배품종 참아람, 산조701 품종구분 HRM 분자마커 1건, 고온/저온형 구분 CAPS 분자 마커 7건 등 총 14개의 분자마커를 개발하여 특허 출원 및 등록 완료하였다.

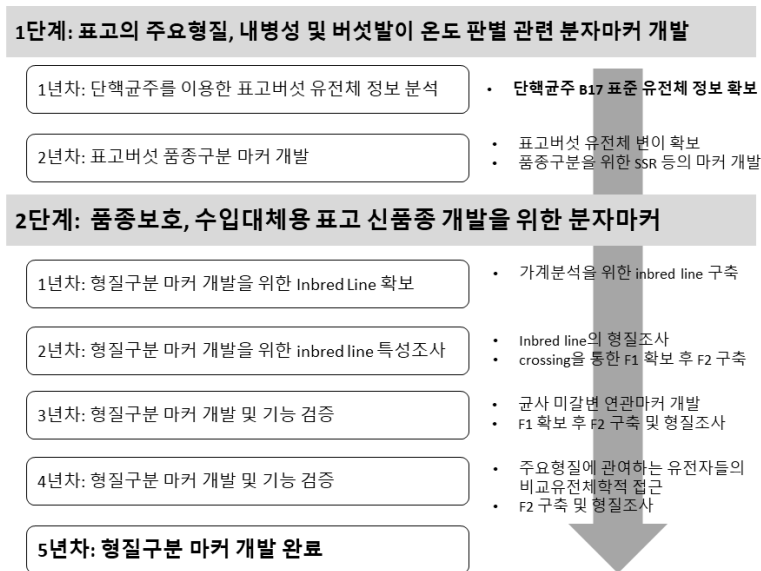


그림 2-2-1 표고분자마커 개발을 위한 GSP 골든시드 프로젝트 단계별 주요 연구 수행결과 요약

2. 산마루1호, 산마루 2호, 천장 3호, 산백향, 설백향 품종 구분 CAPS 분자 마커 개발

산마루1호, 산마루 2호, 천장 3호, 산백향, 설백향 유전체에 특이적으로 존재하는 SNP와 Indel을 동정하기 위해 1단계에서 확보한 44개 표고 표준 균주에서 추출한 genomic DNA의 resequencing data를 본 연구팀이 발표한 단핵균주인 B17을 이용하여 분석한 표고 전장유전체 정보와 alignment하여 이들 품종에 특이적으로 존재하는 SNP와 Indel을 선별하였다. 표고 균주의 resequencing은 Healey 등 (Parida et al., 2012)의 방법을 응용하여 Hiseq 2500 platform을 이용하여 수행하였다. 선별한 SNP와 Indel을 중심으로 flanking sequence를 추출하여 matrix를

만들었다. Primer3Plus (<http://biotools.umassmed.edu/cgi-bin/primer3plus/primer3plus.cgi>)를 이용해 변이를 포함하는 마커 서열을 증폭할 수 있는 프라이머를 디자인하였다. 각 품종이 지니는 정보와 프라이머 정보는 아래 표 2-2-1, 2에 명시 하였다.

표 2-2-1. 주요 표고 품종 구분을 위해 동정한 특이적 유전체 변이 정보

Cultivar name [↗]	#Chr [↗]	POS [↗]	REF [↗]	ALT [↗]	Zygoty [↗]	Effect [↗]	GENE [↗]	Desc [↗]	Restriction enzyme [↗]
Sanmaru1 [↗]	Scaffold9 [↗]	1630048 [↗]	G [↗]	T [↗]	Homozygous [↗]	upstream gene variant [↗]	YOL075C [↗]	Uncharacterized ABC transporter [↗] ATP-binding protein/permease [↗]	TspRI (-) [↗]
Sanmaru2 [↗]	Scaffold2 [↗]	1803483 [↗]	C [↗]	T [↗]	Heterozygous [↗]	upstream gene variant [↗]	TOP2 [↗]	DNA topoisomerase 2 [↗]	HhaI (-) [↗]
Chunjang3 [↗]	Scaffold13 [↗]	920681 [↗]	G [↗]	A [↗]	Homozygous [↗]	missense [↗]	GENE01177 [↗]	hypothetical protein Moror_8447 [↗]	XhoI (-) [↗]
Sanbaekhyang [↗]	Scaffold19 [↗]	214449 [↗]	GT [↗]	G [↗]	Homozygous [↗]	frameshift [↗]	GENE00709 [↗]	short-chain dehydrogenase/reductase [↗]	HhaI (+) [↗]
Sulbaekhyang [↗]	Scaffold7 [↗]	215801 [↗]	G [↗]	A [↗]	Heterozygous [↗]	synonymous [↗]	GENE07011 [↗]	hypothetical protein Moror_9778 [↗]	HpyCH4IV (-) [↗]

Restriction enzyme recognition site abolished (-) or created (+) due to mutations in the marker sequence was represented.[↗]

표 2-2-2. 산백향 구분을 위한 마커 특징

Cultivar [↗]	Primer name [↗]	Sequence (5'-3') [↗]	Product size [↗] (bp) [↗]
Sanmaru1 [↗]	RL-LE-116 F [↗]	CTGGAAAAGGGCCTCATTCT [↗]	242 [↗]
	RL-LE-116 R [↗]	GACATGCCCATTCGAAGACT [↗]	
Sanmaru2 [↗]	RL-LE-129 F [↗]	TGGGATTGCAGCATAACAAG [↗]	238 [↗]
	RL-LE-129 R [↗]	ATAATCGGCGTGACGAAGCTC [↗]	
Chunjang3 [↗]	RL-LE-134 F [↗]	ACCTTTGCGGTGTGTCTTCT [↗]	183 [↗]
	RL-LE-134 R [↗]	AGGTCCTTCCATTTCGCCTT [↗]	
Sanbaekhyang [↗]	RL-LE-133 F [↗]	GGAGACATGAGCAGCATTGA [↗]	222 [↗]
	RL-LE-133 R [↗]	GCTAAAGCAGGTGCTTCCAA [↗]	
Sulbaekhyang [↗]	RL-LE-145 F [↗]	TTATGCTGGGCGATATGGCG [↗]	407 [↗]
	RL-LE-145 R [↗]	GGGGTCTGATGGGAGAGAGT [↗]	

프라이머 디자인 후 추출한 genomic DNA 20ng을 주형으로 마커 서열을 증폭하였다. PCR 반응은 95°C 에서 3분, 다시 95°C 에서 30초, 58°C 에서 30초, 72°C 에서 20초로 35사이클을 증폭한 후, 추가로 72°C 에서 5분간 반응시킴으로써 수행되었다. B17과 산백향, 설백향의 증폭된 마커 서열을 Sanger sequencing (Cosmogenetech, Seoul, Republic of Korea)을 통해 변이를 확인 하였다. 변이가 확인된 서열을 dCAPS Finder 2.0 (<http://helix.wustl.edu/dcaps/dcaps.html>)을 이용해 마커 서열에 특이적인 제한효소를 동정하였다. 실험에 사용된 44개 균주에서 PCR을 통해 증폭한 마커 서열에 제한효소를 처리하고 2.5% agarose gel에 전기영동하여 fragment들을 비교 하였다.

Coding region에 존재하는 homozygotic mutation을 우선적으로 선별한 결과, 산백향에는 2개의 synonymous SNP와 2개의 missense SNP, 그리고 frameshift를 야기하는 하나의 deletion이 존재했다. Coding region의 변이들은 단백질의 기능에 영향을 주기도 하는데, synonymous SNP의 경우에는 상응하는 단백질 서열에 변화를 주지 않지만 missense SNP는 아미노산의 조성에 변화를 유발하거나 early stop을 야기해 단백질의 truncation을 유발한다. Indel의 경우에는 발생한 indel이 in-frame이나 frame-shifting이냐에 따라 단백질에 다양한 영향을 끼친다. 또한

SNP와 indel은 splicing site를 방해해 mRNA isoform을 바꾸기도 한다(Hou and Zhao, 2013). 변이가 끼치는 영향이 유익하든 해롭든, missense mutation은 극적인 표현형 변화를 야기할 수 있다(Ng and Henikoff, 2006; Pham et al., 2011). 이중 해로운 변이들은 negative selection에 의해 집단으로부터 대부분 제거되지만, 유익한 변이들은 생물적, 비생물적 스트레스에 대한 품종들의 적절한 반응을 이끌어내며 집단에 고정될 수 있다(Parida et al., 2012).

표고 품종의 전장유전체에 존재하는 변이들을 Sanger sequencing을 통해 재확인하였고, dCAPS Finder 2.0을 이용하여 마커 서열에 발생한 변이로 인해 recognition site가 생성되거나 소실되는 restriction enzyme들을 이용 가능성 및 비용에 기초하여 동정하였다. 각 마커 서열과 제한효소를 이용한 품종들의 판별을 확인하기 위해, resequencing에 사용한 44개 균주에서 각 마커 서열을 증폭한 후 각 제한효소를 처리하였다. 5개 품종에서 특이적인 밴드가 확인되었고, 산백향, 설백향 품종을 구분하는 CAPS 마커의 실예는 그림 2-2-2, 3에 표시하였다.

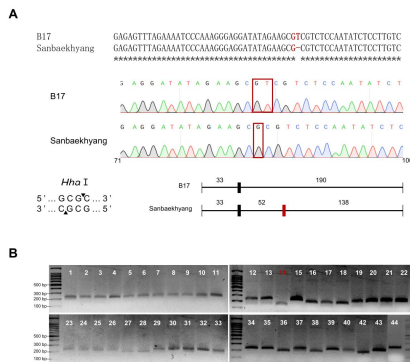


그림 2-2-2. 산백향 구분 CAPS 마커 실예

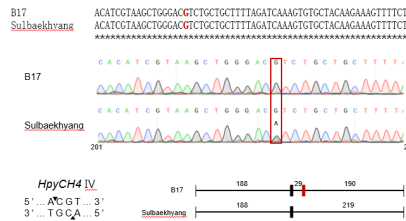


그림 2-2-3. 설백향 구분 CAPS 마커 실예

3. 참아람, 산조701 품종 구분을 위한 HRM 분자마커 개발

산조701과 참아람에 특이적으로 존재하는 SNP는 총 44개 표고 표준품종의 유전체 정보를 비교하여 동정하였다. 균주에서 추출한 genomic DNA의 resequencing data를 표준유전체 B17을 이용하여 분석한 표고 전장유전체정보와 alignment하여 산백향에 특이적으로 존재하는 SNP를 선별하였다. 선별한 SNP는 다음의 표 2-2-3, 4와 같았다.

표 2-2-3. 산조701에 특이적으로 존재하는 SNP

#Chr	POS	REF	ALT	Codon	GENE	Desc
Scaffold24	187022	C	T	c.-1G>A	SEC65	Signal recognition particle subunit SEC65 [Source:UniProtKB/Swiss-Prot P29478]
Scaffold15	668068	A	G	c.1166A>G	rbm8a	RNA-binding protein 8A [Source:UniProtKB/Swiss-Prot B5DGI7]
Scaffold2	817310	C	T	c.283G>A	GENE10946	-
Scaffold7	4123084	G	A	c.700G>A	GENE07542	hypothetical protein Moror_8994 [Moniliophthora roreri MCA 2997] [Source:NCBI_NR ESK92921.1]

표 2-2-4. 참아람에 특이적으로 존재하는 SNP

#Chr	POS	REF	ALT	Codon	GENE	Desc
Scaffold20	243980	C	G	c.-1G>C	URE1	Urease [Source:UniProtKB/Swiss-Prot P0CS22]
Scaffold14	823041	A	C	c.659A>C	INT6	Eukaryotic translation initiation factor 3 subunit E {ECO:0000255;HAMAP-Rule:MF_03004} [Source:UniProtKB/Swiss-Prot Q4PHN4]
Scaffold7	1072836	T	G	c.*3510T>G	NST1	Stress response protein NST1 [Source:UniProtKB/Swiss-Prot A4R2R1]

선별한 SNP를 sanger sequencing을 통해 검증 후, 해당 SNP를 중심으로 flanking sequence를 추출하여 primer express software (Thermo Fisher Scientific)를 이용해 변이를 포함하는 마커 서열 증폭이 가능한 프라이머를 디자인하였다. 디자인한 마커의 특징은 다음의 표2-2-5와 같다.

표 2-2-5. 산조701과 참아람 구분을 위한 마커 특징

Primer name	Primer Sequence (5' -3')	Tm (°C)	Amplicon size (bp)
RL-LE-202-F	GCTTGATCAATTCGTTGGAA	54.9	174
RL-LE-202-R	GCAATGGAAAGTTGGACATC	54.2	
RL-LE-203-F	ACTCGTTCGTGAAGCCATAG	54.2	178
RL-LE-203-R	TCGGGAATGAAGCTGACTTA	54.7	

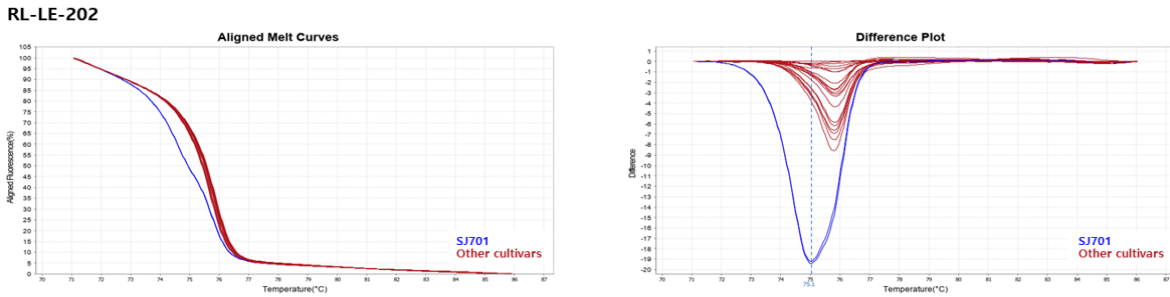
Tm, annealing temperature; Amplicon size, size of the fragment amplified with CAPS primers.

프라이머 디자인 후 추출한 genomic DNA 20ng을 주형으로 이용하여 HRM 분석을 수행하였다. 증폭반응은 95°C에서 10분, 다시 95°C에서 15초, 54°C에서 30초, 72°C에서 30초로 40사이클을 시행했다. HRM은 60°C에서 95°C에 걸친 온도에서 시행하였고 매 초에 0.025°C씩 상승시키며 진행하였다. 수집된 data를 소프트웨어를 이용하여 분석하였다. 형광 강도 값은 각 sample의 melting transition 전과 후의 직선 기준선(baseline)으로 결정되는 0%와 100% 사이로 규격화하였다. 분석결과는 다음의 그림 2-2-4와 같다.

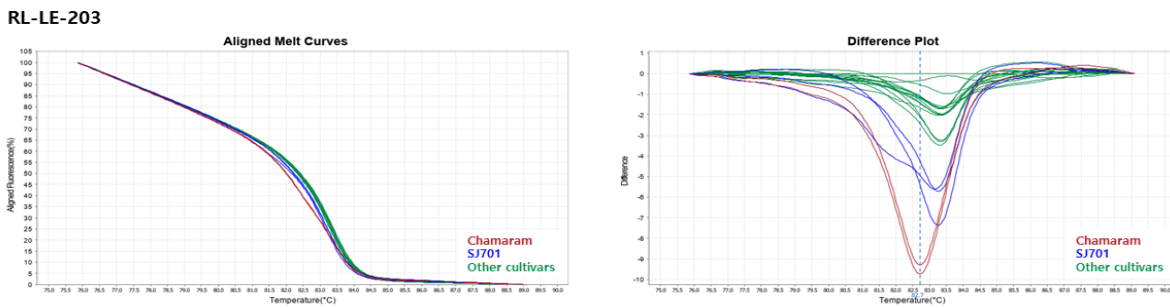
비교 품종 8개 균주에 대해 HRM 분석을 시행하여 온도에 따른 규격화된 형광 백분율로 표시되는 HRM 곡선을 얻을 수 있었다. 선들의 각 색은 서로 다른 cluster임을 나타낸다. 그림에서 확인할 수 있듯이 마커서열 내에 SNP의 존재 여부에 따라 곡선이 명확하게 구분되었다. RL-LE-202 마커를 이용한 분석결과 산조701이 다른 균주들보다 낮은 온도에서 용해곡선이 관찰되었다. 그리고 RL-LE-203 마커를 이용한 분석결과에서는 참아람이 가장 낮은 온도의 용해곡선을 보였고, 산조 701은 참아람과 다른 균주들의 용해 온도 중간에서 용해곡선을 보였다. 이는 산조701에서 증폭된 마커서열 내에 참아람 특이적인 SNP 외에 다른 SNP를 포함하고 있기 때문일 것으로 추정된다.

HRM 분석은 증폭 산물에 존재하는 homozygous, 혹은 heterozygous한 SNP뿐만 아니라 Indel, SSR, 그리고 여러 개의 SNP 동정이 가능하고 (Simko, 2016), 분석에 드는 비용이 낮으며 기존 유전자형 검사에 비해 간단하고 빠른 분석이 가능하고 PCR 산물의 오염방지 및 명확한 결과

판독이 가능하다는 장점을 지니고 있다(Lim et, al. 2013). 본 연구에서 개발한 마커는 산조701과 참아람을 빠른 시간에 적은 비용으로 구분할 수 있어 향후 표고 품종의 개발 및 육종을 효율적으로 개선하는 데에 기여할 수 있을 것이다.



Test strains : Chamaram, Sanjo701, Sanjo704, Sanjo705, Sanjo706, Sanjo708, Sanjo709, Sanjo710



Test strains : Chamaram, Sanjo701, Sanjo704, Sanjo705, Sanjo706, Sanjo708, Sanjo709, Sanjo710

그림 2-2-4. 산조701과 참아람의 HRM 분석 결과

4. 표고 무포자 형성 연관 유전자 MSH4 동정

가. RNA-seq 분석을 통한 표고 포자 발생 단계별 유전자 발현 패턴 분석

표고의 포자 형성에 관여하는 유전자를 동정하기 위해 2핵균사, 표고 톱밥배지의 갈변상태, 포자가 발생하는 표고 자실체 단계의 각 특이적 클러스터를 확인하기 위하여 3가지 표현형의 DEGs를 비교하여 중첩되는 DEGs를 확인하고 각 클러스터의 기능적 범주를 분석하였다 (그림 2-2-5). 분석된 DEGs 중 표고 톱밥배지에서 2핵균사체, 톱밥배지의 갈변상태, 자실체 상태의 모든 단계에서 catalytic activity, hydrolase activity, oxidoreductase activity에 관련된 유전자들이 up 그리고 down regulated 되는 것이 확인되었다.

분석된 7개의 클러스터 중 C5에서는 톱밥배지의 갈변 단계를 제외한 단계에서, C6에서는 자실체 단계를 제외한 단계에서 DEGs가 클러스터링 되지 않았다. 따라서 이 두 개의 클러스터에서는 각 단계별 특이적 DEGs의 구분이 어렵다고 판단되었다. C2는 2핵 균사체 단계 특이적 클러스터로 판단되었으며, 이 클러스터의 2핵균사체 단계에서 carbon-carbon lyase activity, polygalacturonase activity, aromatic compound biosynthetic process, lignin biosynthetic process, lignin metabolic process, monocarboxylic acid metabolic process, sulfur compound biosynthetic process, transmembrane transport에 관련된 유전자들이 up-regulated 되었다. C3는 배지 갈변 단계의 특이적 클러스터로 배지 갈변 단계에서는 kinase activity, macromolecular complex, organelle organization에 관련된 유전자들이 up-regulated, carboxylic acid transmembrane transporter activity, dioxygenase activity, organic acid transmembrane transporter

activity, peptidase activity, phosphotransferase activity, protein tyrosine kinase activity, thiolester hydrolase activity, transmembrane receptor activity에 관련된 유전자들이 down regulated 되었다.

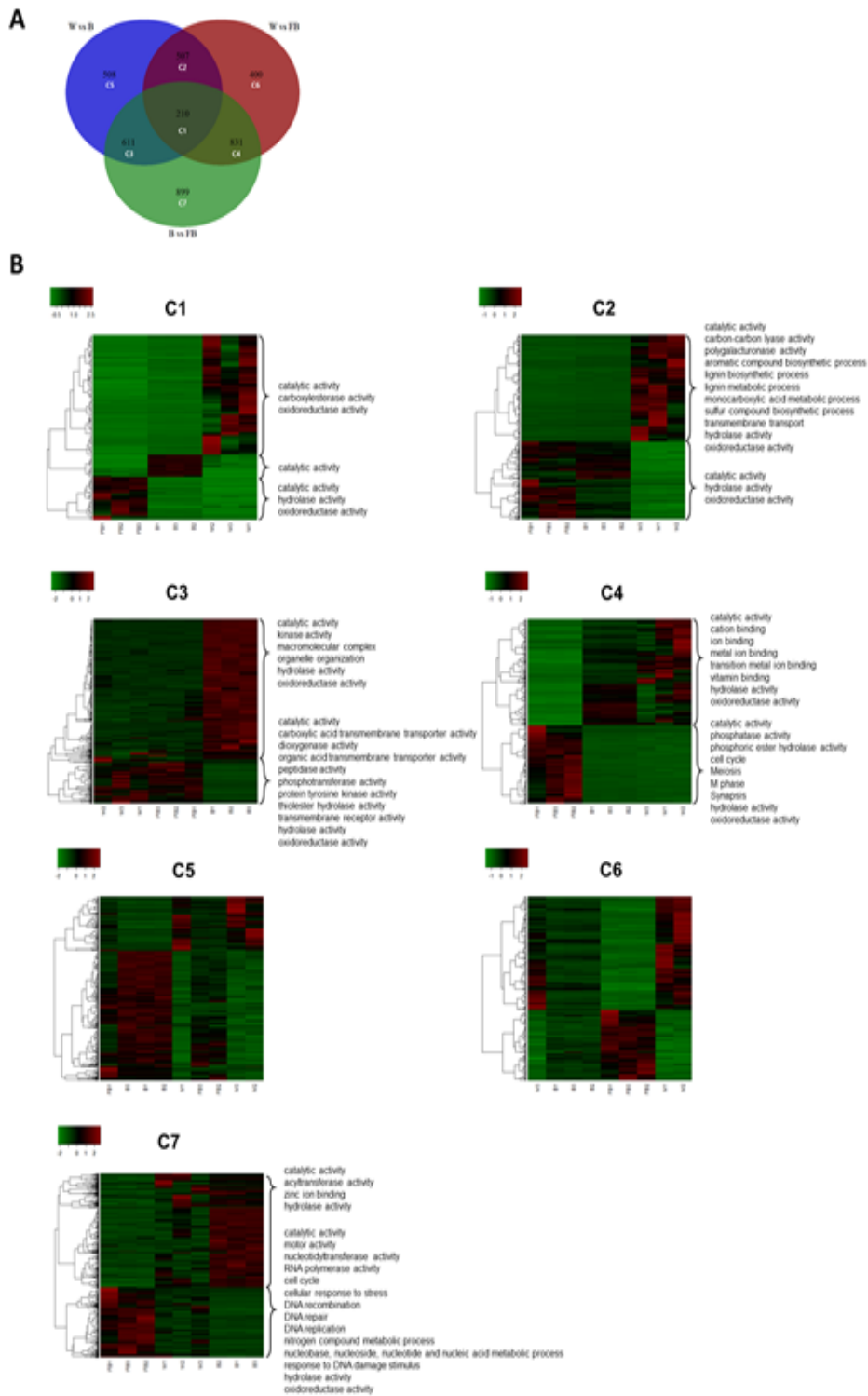


그림 2-2-5. 표고 2핵균사, 톱밥배지의 갈변, 자실체 단계의 표현형 특이적 클러스터.

A: 2핵균사, 톱밥배지의 갈변, 자실체의 DEGs간의 중첩관계, B: 각 클러스터간의 Hierarchical clustering heatmap과 GO term

C4는 자실체 단계에 특이적인 클러스터로 판단되었으며, 자실체 발생단계에서 phosphatase activity, phosphoric ester hydrolase activity, cell cycle, Meiosis, M phase, Synapsis에 관련된 유전자들이 up-regulated, cation binding, ion binding, metal ion binding, transition metal ion binding, vitamin binding에 관련된 유전자들이 down-regulated 되었다. 클러스터 C7의 유전자들은 2핵균사체 단계에서는 거의 down-regulated되었고, 배지 갈변 단계와 자실체 단계에서 차이를 나타내는 클러스터였다. 이 클러스터에서 acyltransferase activity, zinc ion binding에 관련된 유전자들은 배지 갈변 단계에서 up-regulated되었으며, motor activity, nucleotidyltransferase activity, RNA polymerase activity, cell cycle, cellular response to stress, DNA recombination, DNA repair, DNA replication, nitrogen compound metabolic process, nucleobase, nucleoside, nucleotide and nucleic acid metabolic process, response to DNA damage stimulus에 관련된 유전자들이 up-regulated 되었다.

표고 톱밥재배는 2핵균사를 이용하여 만들어진 참나무 톱밥 종균을 참나무 톱밥과 미강을 이용한 톱밥배지에 접종, 배양, 배지갈변 후 자실체를 수확하는 과정으로 이루어진다. 본 연구에서는 이 과정을 이용하여 표고의 포자체 발생단계와 관련된 유전자를 추정하고자 하였다. 표고의 자실체에서는 다른 단계와 비교하여 생식성장 단계에서만 확인할 수 있는 Meiosis, Synapsis와 같은 감수분열에 관련된 유전자들이 up-regulated 되었다. 따라서 무포자 또는 주름살이 생기지 않는 균주에 대한 분석은 포자체 발생의 가장 큰 특징인 생식생장에 관련된 감수분열과 관련된 유전자들의 분석이 추가되어야 할 것으로 생각된다.

나. 포자형성에 관여하는 유전자좌 확보

본 연구팀은 1년차에 경상대로부터 교잡 시 포자가 형성되지 않는 기형을 일으키는 단핵균주 B16과 D11을 분양받아 전장유전체를 분석하였고, 이에 각 2.06 Gb, 2.18 Gb의 데이터를 확보하였다. 그리고 이 분석된 데이터와 shim 등 (2016)이 분석한 유전체 정보를 비교하여 표 2-2-6과 같은 변이정보를 확보하였다.

표 2-2-6. Count of InDel and SNP positions showing alternative genotype

No. of InDels	B16	D11
Homo ^a	82719	84117
Hetero ^b	3463	3561
Total ^c	86182	87678
No. of SNPs	B16	D11
Homo	173814	261246
Hetero	98466	122459
Total	272280	383705

a. The number of variants homogeneous to alternative genotype both alleles are same to alternative genotype

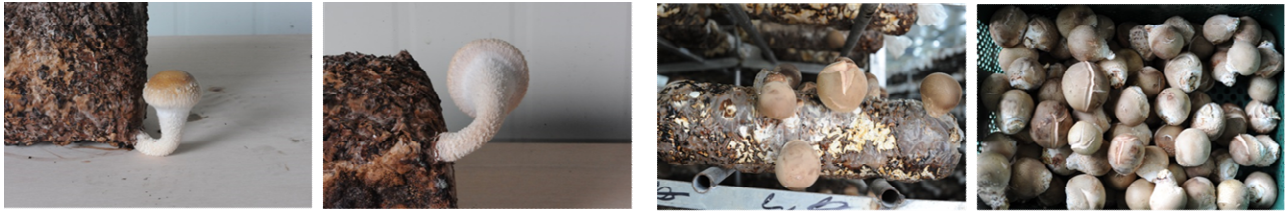
b. The number of variants heterogeneous genotype one allele is same to reference, and another to alternative genotype

c. The variation has more than one alternative genotype

d. Total sum of homogenous and heterogeneous variants; not counting multi-allelic variants

국립산림과학원에서 주름살이 열리지 않아 포자의 형성이 불가능한 기형표고 균주 2868 그리고 이슬표고를 단핵균주인 3165와 di-mon교배하였을 때, 정상적인 표현형을 보이는 정보를 받아, 현재 2868×3165, 그리고 이슬표고×3165의 교잡균주를 재배하고 있다. 현재 이슬표고

×3165의 포자 유래의 단핵균주는 산림과학원에서 분양받았으며, 2868×3165 균주에서 추가로 포자를 받아 inbred line를 구축하여 기형을 일으키는 그리고 일으키지 않는 단핵균주를 선발한 후 이를 대상으로 전장유전체를 분석하여 기형을 일으키는 유전자를 동정하고자 하였다.



2868

이슬표고



2868(2n)x3165(n)

이슬표고(2n)x3165(n)

산림과학원 제공

그림 2-2-6. 기형의 형질을 가지고 있는 균주 2868과 이슬표고를 단핵균주 3165와 di-mon교배시 정상적인 표현형이 나타남

다. 무포자 형성 관련 유전자 MSH4 동정

일본 도토리대학 Matsumoto박사 연구팀은 2013년 느타리버섯에서 포자를 만드는데 중요한 유전자 MSH4/STPP1을 동정하여 발표하였다. 연구결과에 의하면 MSH4 유전자의 잠성 대립유전자에 의해 포자의 형성에 문제가 발생하고 있음을 보고하였다. 본 연구팀은 표고의 유전체 정보에서 blast 분석을 통해 느타리의 MSH4의 ortholog를 동정하였다. 표고의 MSH4는 총 951개의 염기로 구성되어 있으며, 이들의 서열정보는 아래와 같다. 표고에서 무포자 연관 분자마커로 활용이 가능할 것으로 기대된다.

```

ATGGCGGCTCGTCTCCTTCGTGTCAATATCCTAGCACCTATCACAGGTATGTATTAGTACCCGTTCC
CGTGCGTCAATTGATAATACGCCTCTCAGTGCAAACATCCATCGACGCGCGCCTAGATGTTGTTGA
GGAACCTCGTGCAAGACGAAGATTTGTTCAACGAAGTCCGTAGCGCTCTCAAAACCTTGAATAGCAT
GGACTTTGACAAGTTGATTGCTACGGTGAGGGCTTTCCGCATTCAAGTCTCCTCGCATCAACTAT
TTCCCCAGCTTGCTGCGTCTGAAACCATACTTACAAACAGCGCCAAAGCTGCTTCAAACAGAGTCA
CTCAGATGCTGAATCTTCGCAATGCCGTCCGGAATCTTCCGCTCCTTCAAAAATCACTAGAAAATAC
CAAGTCCCAGCTTTTAAGGATCATACACGATGTATTTGTGCTTTCATTGAATATCATGCCATTCAA
ACCCCTTTTTTTCAGATGTTGTTGGACGAACGACTTGAAGAGATTGACTCACTGATTTCGTGCTAGCCTC
AACGAAGACACAGCACCCACAAAGGTAATACCCTCCAGGTGTATGCTCAACCAAGGCTGACAGTCG
GTATTATCAGCACGGGATTGCAGCAGTAAATGCCGTGTATATGCAGTCAAGGTCCGTGCATATAT
CGGTATAGCCATTTTTCTCCAGCACAACTTGACATATCCTATCCTAAGGCGAATCACAATCGCCTTC
TAGACGTTGCTCGCGAAACGTACAAAGAGAATGTTGGGGACATTTACAGTCTCTGCAATGCTCTTA
CTCAGACCCATGAGATTCCAATTACGTTGGTTTACCAAGAAAGCGGTTTTGTTTTTTCAATGAAGAA
GACTGACCTCGAAGGCGAGCTCCCAAAAGGTTTTATCAATGTTACCCTGAAGAAAGGAAAGTGGA
GTTTCAGCAGCATGGAGCTGA
    
```


5. 표고 균사 미갈변 연관 유전자 ABL동정 및 분자마커 개발

가. 표고버섯 톱밥재배에서 빛의 소개에 따른 균사 발달의 변화

표고 톱밥재배는 균사 활착, 균사 성장, 빛에 의한 갈변층 형성, 원기 및 자실체 발달의 4가지 단계를 통하여 재배된다. 일반적으로 종균 접종 후 균사 활착 후 약 40일 간의 암배양 조건에서 균사를 배양하며, 그 후 60일간 명배양을 하여 배지 표면의 갈변 층의 형성을 유도한다. 톱밥배지가 이런 과정을 거쳐 원기가 발생하며, 적절한 온습도가 유지되면 발생한 원기는 약 5~6일 만에 수확이 가능하도록 성장한다. 우리나라에서 많이 재배되고 있는 표고버섯 품종 참아람은 재배과정 중 균사 활착 및 성장 단계에서 빛이 소개되면 배지표면에 비정상적인 갈변층을 형성하는 특징을 나타내고 있다. 참아람에서 갈변층에 이상이 생겼을 때, 그 표면에서는 푸른곰팡이에 의하여 오염에 취약하였으며, 자실체도 발생하지 않았다. 빛의 소개에 의한 표고버섯 톱밥배지 표면의 갈변층 형성을 좀 더 자세히 알아보기 위하여, 100일간의 암배양을 통한 백색균사층 (W), 40일 암배양 후 60일 명배양을 통한 정상적인 갈변층 (B), 그리고 100일간 명배양을 통한 갈변 이상층 (BP)을 유도하였고, 이를 전계방출형 주사전자현미경으로 검경하였다. B의 표면에서는 매끄럽고 탄력있는 균사들이 조밀하게 배열되어 있었고, BP는 가느다란 균사들 사이에 아주 작은 톱밥 알갱이가 관찰되었다. 따라서 표고버섯 톱밥재배에서 배지의 갈변층의 형성은 균사 발달의 과정임을 알 수 있다.

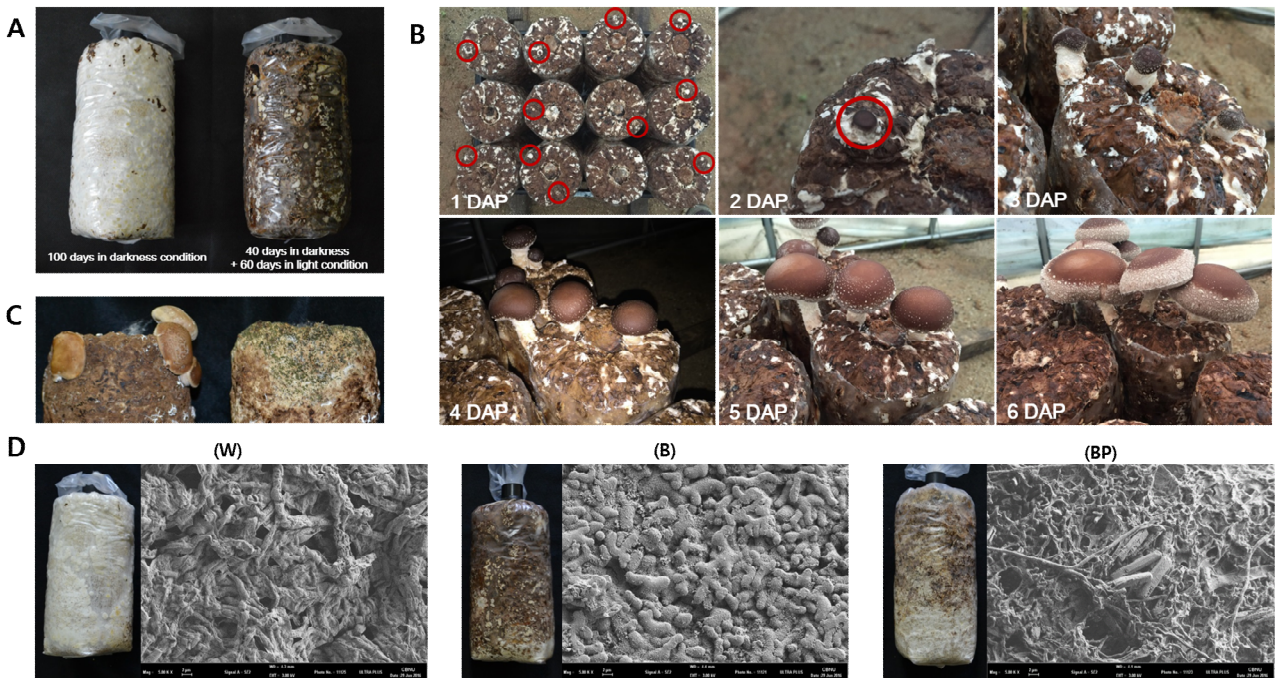


그림 2-2-7. 표고버섯 톱밥재배에서 갈변층의 형성. A: 빛의 소개에 의한 갈변층 형성, B: 표고버섯 자실체의 발달, C: 정상갈변층에서 자실체의 발달과 갈변이상층의 푸른곰팡이에 의한 오염, D: W, B 그리고 BP 표현형에서의 미세구조

나. 갈변층 형성 기간 중 DEGs (differentially expressed genes) 분석을 통한 주요 유전자군 동정

갈변층 형성 관련 발달과정의 전사체 네트워크를 이해하기 위해, 형태학적으로 다른 W, B 및 BP 균사체로 RNA-seq 분석을 수행하였다. 샘플 당 평균 read는 20,797,944이었다. 필터링 후 9 개 라이브러리에서 18.9GB 이상의 데이터를 얻었으며 99% 이상의 고품질 read가 확인되었다. 약 84 %의 read가 표고버섯 draft genome 서열에 mapping 되었다. 또한, FPKM 값 (fragments per kilobase of exon per million fragments mapped)을 이용하여 유전자 발현을 표준화하였으며, W, BP 및 B 균사 라이브러리 모두에서 16,581개의 알려진 유전자가 발현되었다. 결과적으로, 이들 표현형 간의 피어슨 상관 계수를 계산할 때 유의미한 차별적 표현이 관찰되었다(그림 2-2-8a).

유의한 DEG를 확인하기 위해 W, BP 및 B간 FPKM 값을 통계적으로 비교 하였다. W와 비교하여 B에서 1,490개(up-regulated 1,018개, down-regulated 472개), BP에서 2,983개(up-regulated 1,945개, down-regulated 1,038개)가 확인되었다. 또한 B와 비교했을 때 BP에서 2,055개(up-regulated 1,258개, down-regulated 797개)가 확인되었다(그림 2-2-8b). 균사체 갈변과 관련된 DEG의 기능을 더 이해하기 위하여 Gene set enrichment analysis (GSEA)를 수행하였다. 분석 결과 cell wall (GO: 0005618), oxidation-reduction process (GO: 0055114), polygalacturonase activity (GO: 0004650) 및 hydrolase activity (GO: 0016787)와 관련된 기능이 BP에서보다 B에서 dawn-regulated 되었다. 그리고 carbohydrate metabolic process (GO: 0005975), DNA replication (GO: 0006260) 및 cellulose binding (GO: 0030248) 같은 GO term들이 W 및 B 표현형 모두에서 up-regulated되었다(그림 2-2-8c). 이러한 결과는 표고버섯의 균사 발달과 생장에 빛이 중요한 역할을 하는 것을 의미한다.

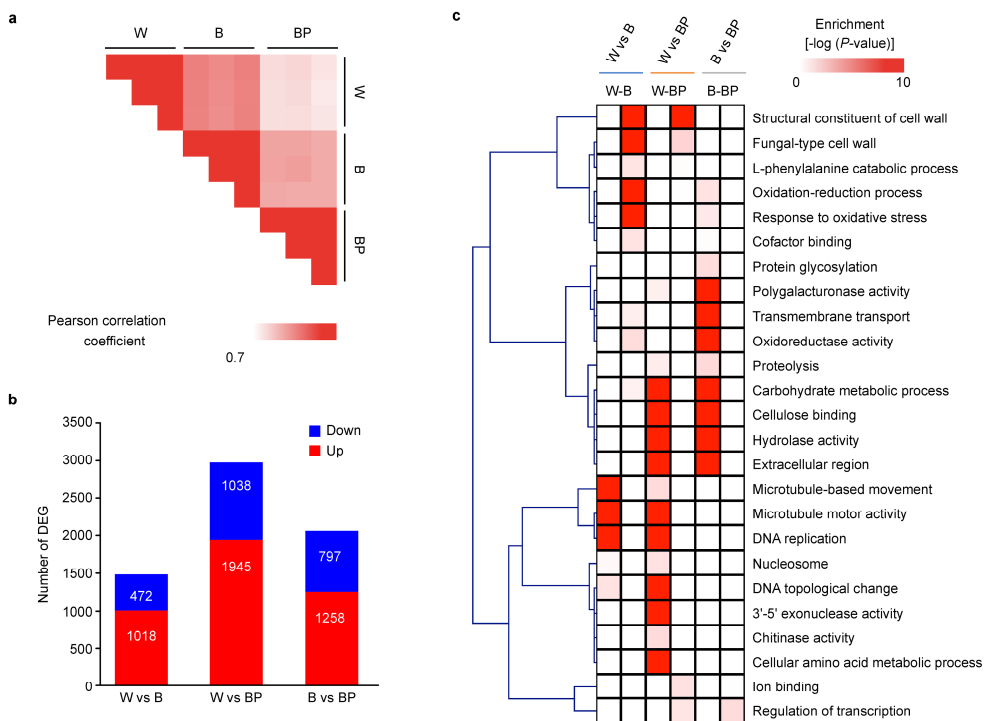


그림 2-2-8. W, B, BP에서 DEGs 분석. a: W, B, BP의 전사체 데이터간 Pearson correlation coefficients, b: up-, down-regulated 유전자의 수 c: DEGs의 Gene set enrichment analysis

다. 광 소개에 의한 표현형 특이적 클러스터 동정

W, B, BP에서 각 표현형 특이적 클러스터를 확인하기 위해, 3가지 표현형의 DEGs를 비교하여 중첩 되는 DEGs를 확인하고 각 클러스터의 기능적 범주를 GSEA를 사용하여 분석하였다(그림 2-2-9a). CL1은 각 표현형에 대하여 특이적이었다. B와 BP에서는 세포벽과 빛 감지 관련 유전자가 많았으며, W에서 단백질 분해 및 가수 분해 효소 활성화와 관련된 유전자가 많았다(그림 2-2-9b). CL2는 빛의 소개에 의한 갈변 특이적이었다. 세포벽, 빛 감지 및 산화 환원과 관련된 유전자가 B와 BP에서 증가되었으나, CL1과 마찬가지로 단백질 분해 관련 유전자는 down-regulated 되었다. CL3과 CL4에서는 정상 및 비정상 갈변층의 독특한 기능을 나타냈다. BP에서 산화 스트레스 및 과산화 효소 활성화에 대한 반응과 관련된 유전자는 up-regulated 되어 갈변 이상 특이적 발현이 나타났으나, 탄수화물 대사 과정과 관련된 유전자는 down-regulated 되었다. 이러한 결과는 빛의 소개에 의한 갈변층 형성의 유전자와 관련된 기능을 나타내며, 특히 표고버섯 톱밥재배 과정 중 갈변층의 형성은 세포벽, 빛 감지, 산화 환원 및 탄수화물 대사 과정과 같은 기능에 관여하는 것으로 판단된다.

라. 표고버섯 톱밥배지의 갈변층 형성에 관련된 유전자 동정

표고버섯 톱밥재배에서 균사의 영양생식단계에서 빛(청색 빛)은 균사체의 갈변 형성을 유도한다. 빛에 의한 갈변층 형성 중 특이적으로 발현이 증가하는 유전자를 확인하기 위해 우리는 W, B 및 BP 표현형을 비교하였다. BP에서는 FMN- 및 FAD- binding 유전자와 같은 광수용체, G protein-coupled receptors (GPCRs)과 이에 연관된 G protein과 같은 신호전달수용체, 그리고 kinase가 up-regulated 되었고, 이것이 갈변층의 형성과 관련이 있다고 판단된다(그림 2-2-10). G 단백질 (GPA1: GENE07094, GPA4: GENE11436)과 kinase encoding 유전자 (PKN5: GENE03744, BCK1: GENE04627, SMU1: GENE11672)가 그리고 MAP kinase 신호 전달 계통인 MKP2 (GENE11713) 및 FUZ7 (GENE10485)같은 전사인자가 up-regulated 되었다. 이 결과 이들 유전자가 영양 균사체에서 색소의 침착을 유도 할 수 있음을 나타낸다.

단순한 균사의 생장보다 균사체의 복잡한 발달은 많은 에너지를 필요로 한다. 그래서 영양의 균사체는 영양분을 축적하며, 이로 인해 차후 생식단계에서 자발적으로 자실체를 생산할 수 있다. 따라서 1차대사는 이것에 적합하여야 한다. 따라서 백색의 영양 균사 생장 기간인 W와 자실체 발달 단계의 중간 발달 과정인 B와 BP에서는 매우 복잡한 빛의 주기에 glucanases, chitinases, and laccases encoding 유전자를 활성화시킬 수 있어야 한다. 이 연구에서 W, B 및 BP 표현형에서 이들 유전자의 표현형 특이적 발현이 나타났다. exo- 그리고 endoglucanases (NEG1: GENE03583, CEL2: GENE02657)와 같은 세포 벽 분해 효소는 B에서 up-regulated 되었다. 마찬가지로, extracellular chitinolytic 유전자 (CDA: GENE14423, CHS3: GENE13399, CHR4: GENE12379, CHS1: GENE09891)도 B에서 up-regulated 되었다. 이러한 결과는 glucanase와 chitinase가 생식생장 과정에서 표고버섯 세포벽 분해에 중요한 역할을 한다는 것을 보여 주었다(그림 2-2-8, 2-2-9). Laccases는 페놀 기질의 산화를 촉매하는 일부 진균에 의해 생성되는 리그닌 분해 효소이다. B와 BP 표현형 모두에서 lignin degradation 및 detoxification genes (LAC1: GENE08974, LCC2: GENE06349 및 LCC3: GENE08975)이 up-regulated 되었는데 이는 균사체 갈변 중 laccases의 중요성을 암시한다. 마지막으로 자실체 단백질 인 PRIB (GENE04248)와 SC3 (GENE00574)는 BP에서, SC1 (GENE00595)은 W와 B에서 up-regulated 되었다 (그림 2-2-10).

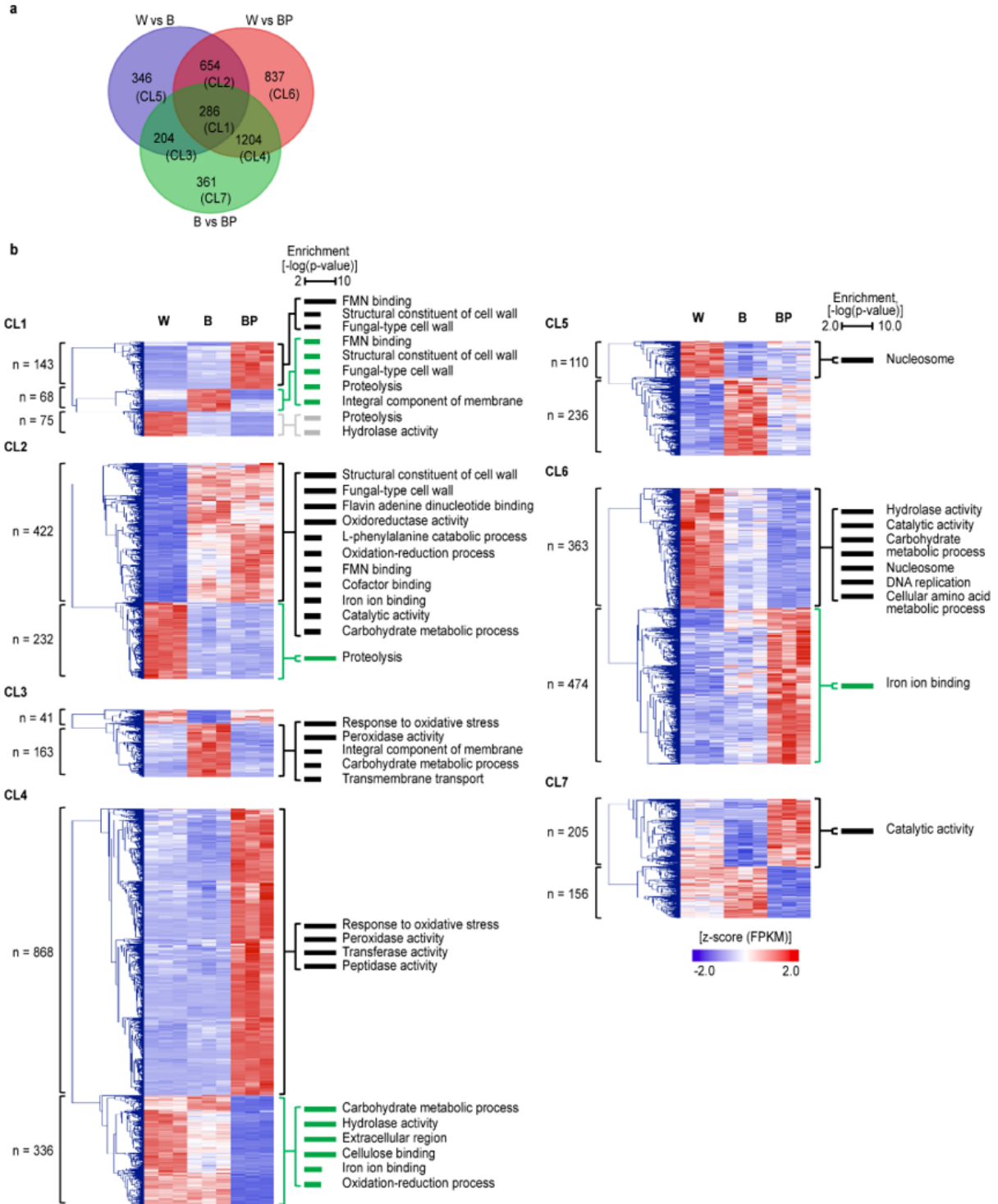


그림 2-2-9. 표고버섯 톱밥배양중 빛에 의한 표현형 특이적 클러스터. a: W, B, BP의 DEGs간의 중첩관계, b: 각 클러스터간의 Hierarchical clustering heatmap과 GO term

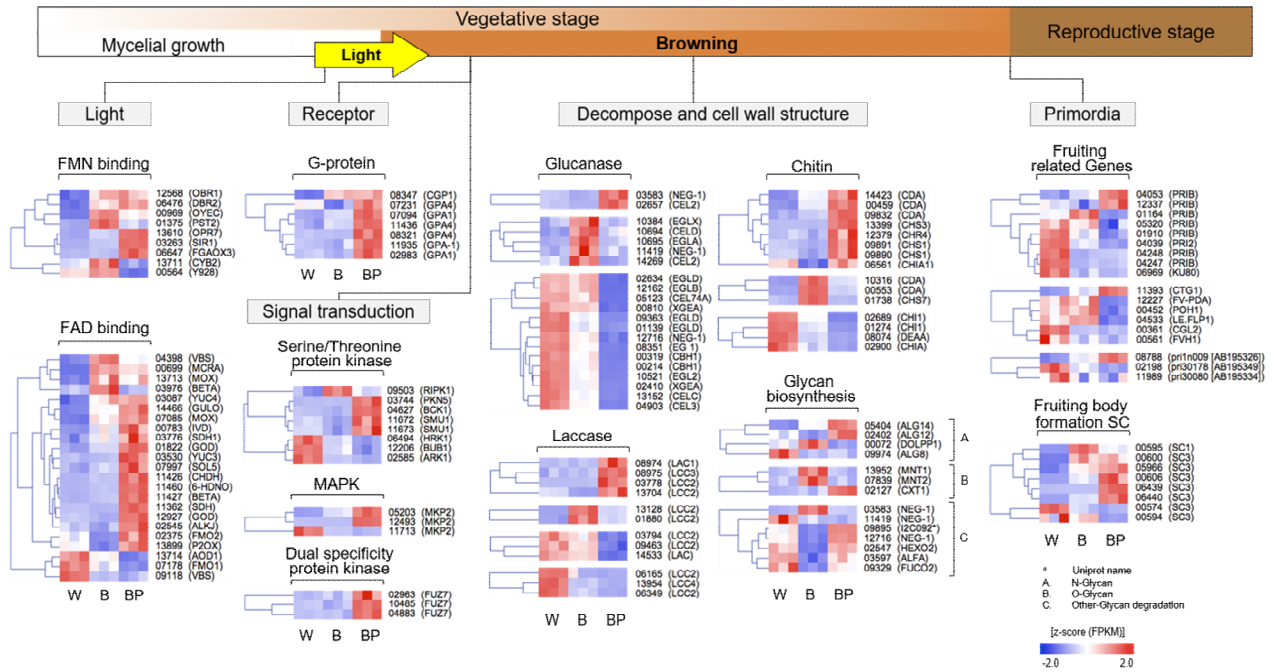


그림 2-2-10. 표고버섯 톱밥재배과정 중 갈변층 형성에 관여하는 유전자

마. 빛의 의한 갈변층에서 탄수화물 활성 효소의 분포

이 연구에서 CAZy (Yin et al., 2017)를 사용하여 glycosidic bond를 분해, 변형 또는 생성하는 효소의 구조적으로 관련된 catalytic and carbohydrate-binding modules 대해서 분석하였다. BP를 기준으로 glycoside hydrolase (GH)가 가장 높은 DEGs의 분포를 보였다, 이에 이어 auxiliary activity (AA), carbohydrate-binding module (CBM), carbohydrate esterase (CE), glycosyl transferase (GT) 그리고 polysaccharide lyase (PL)가 세포벽 다당 분해와 관련된 기능적 변화를 나타내는 것으로 보인다(그림 2-2-8). 이 연구에서 결과는 곰팡이 세포의 벽 분해와 관련된 유전자의 다양한 표현을 보여 주었다(그림 2-2-8). 특히, B와 BP간에 유사한 발현 양상을 보이는 유전자는 적었다. DEG를 KEGG 경로를 CAZyme 관련하여 매핑하면 enzyme-encoding 유전자가 cellulose와 glucan을 분해하는 것으로 나타났다. 이 유전자들은 W와 비교하여 B에서 up-regulated 되었지만 BP에서는 down-regulated 되었다. 또한, trehalose, maltose, glucose의 합성과 관련된 유전자는 BP에서 down-regulated 되었지만 B에서는 변화가 없었다.

starch와 sucrose 분해에 관여하는 효소를 코딩하는 유전자를 확인하기 위해, 이 대사에 관여하는 유전자의 발현을 조사하였다. starch metabolism의 경우, 4 가지 GH family들이 잠재적인 β -glucosidases (GH1 GH3, GH5 및 GH9)를 함유하고 있고, BP에서 down-regulated 되었고 전분 대사에 관여하는 α -glucosidases는 확인할 수 없었다(그림 2-2-11). 반면, α -glucosidase (GH31)와 α -amilase (GH13)를 코딩하는 유전자는 up-regulated 되었으나, α -glucoamylase (GH15)와 N-terminal starch-binding module (CBM20)은 BP의 sucrose metabolism에서 down-regulated 되었다.

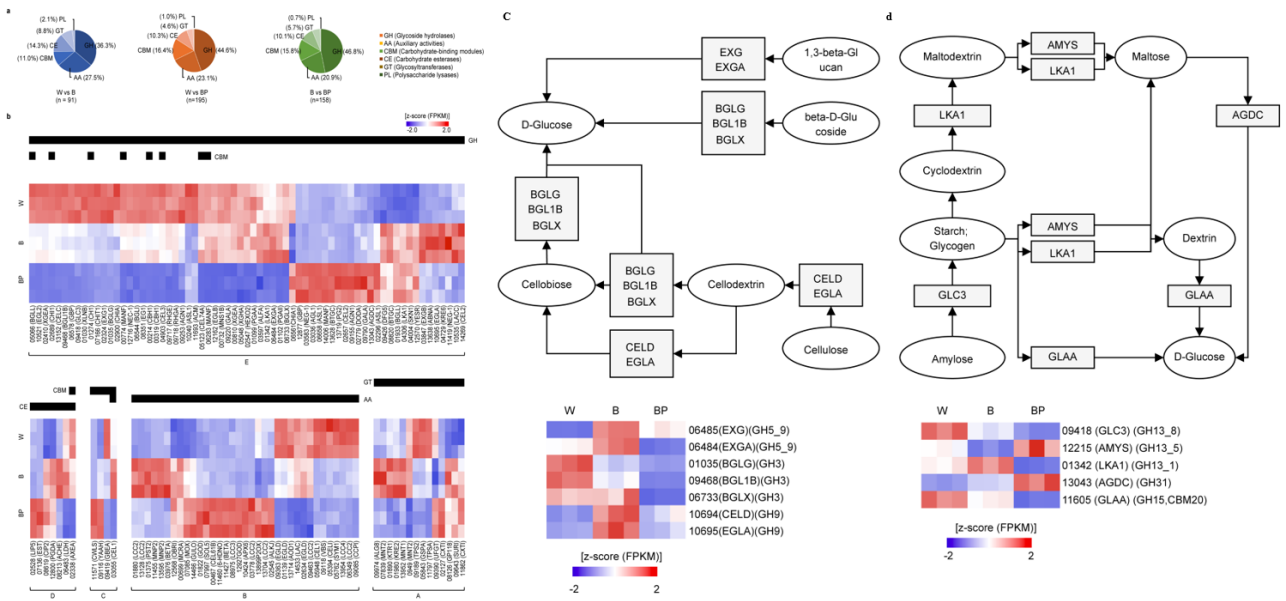


그림 2-2-11. DEGs로부터 확인된 carbohydrate-active enzyme-encoding genes의 분포(a)와 이 유전자들의 heatmap(b). starch (c)와 sucrose (d) metabolism에서 유전자 발현의 변화

바. 표고 (참아람, 산조708 품종)의 군사 미갈변 원인 유전자 ABL 기능분석 완료

표고의 원형질체 형질전환 기법의 개발을 완성하였고, 이 기술을 활용하여 표고의 형질전환 및 원형질체 재분화를 통해 기능유전체학적 분석을 진행하였다. 본 연구팀이 기 확보한 참아람, 산조708에 존재하는 *abl-D* 현성 대립유전자의 기능을 확인하였다. 표고의 강력한 프로모터인 GAPDH를 활용하여 *abl-D*의 과발현을 유도하게 되면, 그림 2-2-12에서 볼 수 있듯이 *abl-D-GFP*의 과발현은 참아람과 동일하게 군사미갈변 및 군사의 발달저해가 나타남을 확인하였다. 이러한 결과는 현재 J. of fungi에 발표하였으며, 국내특허 등록이 완료되어 표고의 육종 과정에서 효율적으로 미갈변이 일어날 수 있는 유전적 인자를 제거할 수 있는 마커로의 활용이 가능할 것으로 판단된다.

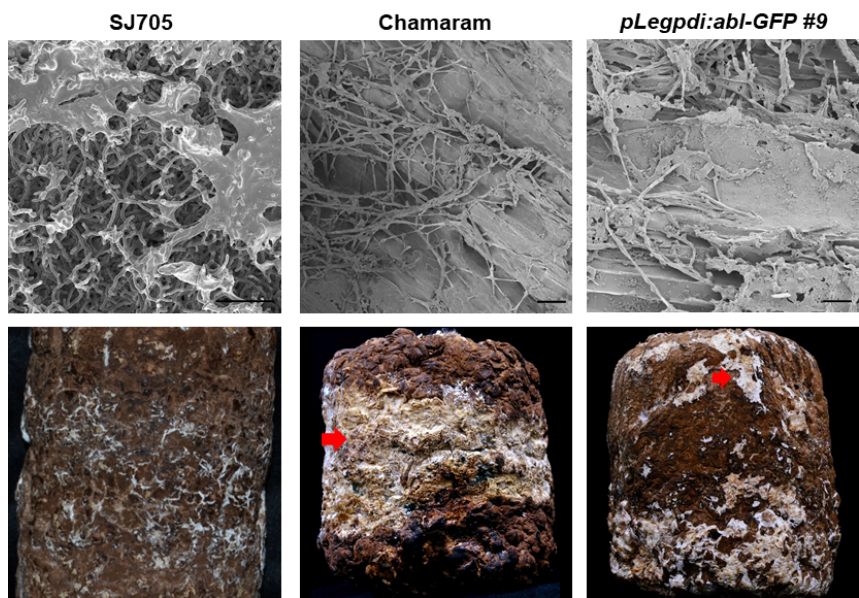


그림 2-2-12. *abl-D-GFP* 과발현 표고 군사의 미갈변 유도

6. 표고 고온형, 저온형 단포자의 유전체 분석 및 온도형 구분 분자마커 개발

고온성 품종인 산마루 1호에서 수집된 포자는 총 60개였으며, 이 포자들을 이용하여 단핵균주를 육성하였다. 육성된 단핵균주의 A mating type은 A1과 A11로 구분되어 이를 이용하여 inbred line을 구축하였다. 산마루 1호에서는 29개의 자간교배균주가 형성되었으며, 이중 21개의 균주를 재배하였다. 21개의 재배균주 중 12개의 균주에서 모균주와 같이 고온에서 원기가 발이 되었으며, 9개 균주에서는 원기가 발이 되지 않았다. 저온성 품종인 산조 502호에서는 총 102개의 포자 유래의 단핵균주가 육성되었고, 이 단핵균주의 A mating type이 A1과 A5로 구분되는 것이 확인되어, 이를 이용하여 inbred line을 구축하였을 때, 총 42개의 자간교배균주가 형성되었으며, 26개의 균주를 재배하였을 때, 모든 균주에서 원기가 발이 하지 않았다. 산마루 1호와 산조 502호로부터 육성된 단핵균주들을 교배하여 교배계를 구축하여 22개의 교배 균주를 재배하였을 때, 하나의 균주에서는 원기의 발이가 이루어지지 않았고, 나머지 21개 균주에서 산마루 1호와 같이 고온에서 원기가 발이 되었다. 따라서, 고온성과 저온성 균주에서 단핵균주를 육성하고 교잡하였을 때, 모든 균주에서 고온성의 형질이 나타났기 때문에 표고의 발이 형질은 고온성이 우성으로 판단되며, 산마루 1호는 고온발이, 산조 502호는 저온발이 형질이 동형접합상태인 것으로 판단되었다.

산마루 1호와 산조 502호에서 육성된 단핵균주를 교배한 균주 중 자실체가 우량하였던 산마루 1호-33과 산조 502호-23을 교배한 균주(M1)를 재배하여 포자를 받아 단핵균주들을 육성하였다. 이 육성된 단핵균주들을 이용하여 inbred line을 구축하였고, 이 inbred line의 50개의 균주들을 재배하였을 때, 저온 조건에서 11개의 균주에서 원기가 발이 되었고, 이중 4개의 균주는 고온에서 원기가 발이 되지 않았다. 이 교배조합을 분석하여 고온을 나타내는 2개의 단핵균주(m1-6, m1-21)와 저온을 나타내는 2개의 단핵균주(m1-15, m1-20)를 선발하였다.

가계분석을 통하여 고온과 저온 발이의 특징을 가지고 있는 선발된 단핵균주들, 그리고 고온 발이 특징의 모균주인 산마루 1호와 고온성 품종인 산마루 2호, 그리고 저온성 품종인 산조 501호, 菌興135의 전장유전체를 Shim 등 (2016)이 분석한 표고표준유전체와 비교하여 분석하였다. 고온과 저온의 발이 특성을 가진 균주들의 간의 변이는 Scaffold17번의 position 95,127 ~ 188,726과 Scaffold8번의 position 297,628 ~ 373,563에 온도형에 따라 변이 패턴이 일치되어 있었다. coding region의 변이는 Scaffold 17번의 5개 유전자, Scaffold8번의 11개 유전자에서 관찰되었다. 이들 유전자 중 Scaffold8번의 *plc1*(1-phosphatidylinositol 4,5-bisphosphate phosphodiesterase 1), *GENE03326*(rho guanine nucleotide exchange factor *scd1*), *SPBC19F8.03c*(ENTH domain-containing protein C19F8.03c)는 온도 감수성 유전자로 알려져 있다 (Yoko-o et al., 1995; Manning et al., 1997; Wendland et al., 1999). 이 유전자를 중심으로 표고의 원기 발이 온도를 확인할 수 있는 마커를 개발하고자 하였다.

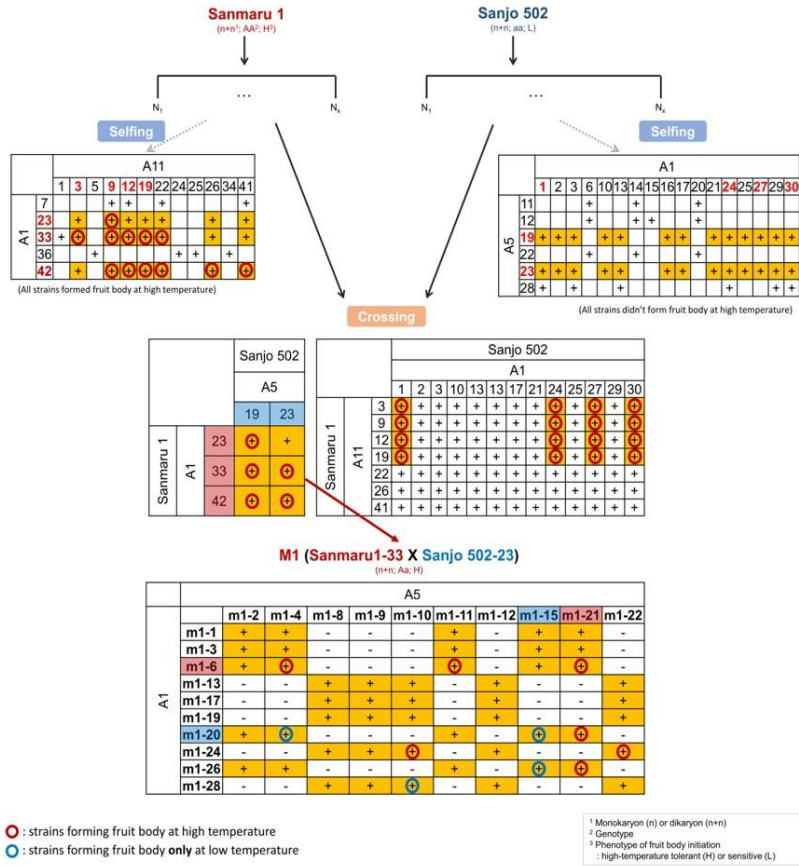


그림 2-2-13. 표고 원기 발이 온도 관련 집단 분리를 위한 가계분석(황색박스: 재배균주, +: 화합, -: 불화합)

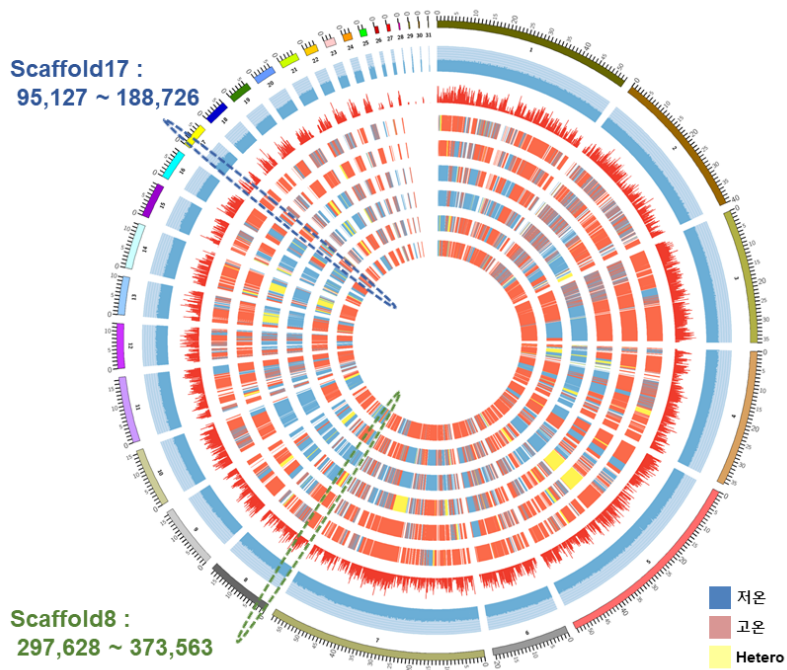


그림 2-2-14. 고온과 저온 발이 균주의 전장유전체를 이용한 circos plot. Scaffold17과 Scaffold8에 온도형에 따른 변이 패턴이 나타남

표 2-2-7. 고온과 저온 발이 균주의 전장유전체에서 온도형에 따라 변이패턴이 나타난 유전자

#Scaffold	Gene	Description
Scaffold17	GENE00354	proteophosphoglycan 5
Scaffold17	ZRT2	Zinc-regulated transporter 2
Scaffold17	Gfer	FAD-linked sulfhydryl oxidase ALR
Scaffold17	Man1b1	Endoplasmic reticulum mannosyl-oligosaccharide 1,2-alpha-mannosidase
Scaffold17	GENE00389	hypothetical protein
Scaffold8	GENE03306	ataxin-10-like protein
Scaffold8	LEG00520	hypothetical protein
Scaffold8	GENE03314	hypothetical protein
Scaffold8	slc16a10	Monocarboxylate transporter 10
Scaffold8	GENE03321	hypothetical protein
Scaffold8	plc1	1-phosphatidylinositol 4,5-bisphosphate phosphodiesterase 1
Scaffold8	GENE03324	-
Scaffold8	GENE03326	rho guanine nucleotide exchange factor scd1
Scaffold8	SPBC19F8.03c	ENTH domain-containing protein C19F8.03c
Scaffold8	MNS3	Mannosyl-oligosaccharide 1,2-alpha-mannosidase MNS3
Scaffold8	GENE03343	hypothetical protein

표현형 분석을 통해 확보된 고온형 단포자 #1과 저온형 단포자 #3의 유전체 정보를 재서열화 및 재조립을 진행하였다. 결과 고온형은 총 23개의 scaffold, N50 5.3 Mbp, 저온형은 19개의 scaffold, N50 4.6Mbp의 수준으로 재조립을 완성하였다. 자세한 결과는 다음의 표와 같다.

표 2-2-8. Whole genome assembly result

#Sample Name	Type	Scaffolds	No.of Bases	Longest	Shortest	N50	N90
1	Nucleotide	23	47,533,798	6,804,373	72,040	5,369,569	2,477,139
	Mitochondria	1	121,857				
3	Nucleotide	19	47,886,522	6,478,101	53,890	4,630,509	2,627,387
	Mitochondria	1	121,489				

재조립된 유전체의 비교분석을 통해 고온형과 저온형 특이적인 영역이 존재하는지 여부를 비교유전체학적 방법을 통해 확인해 보았다. 2019년도 수행한 8개 고온형 저온형 단포자들의 resequencing 결과를 circosplot 방법을 통해 표시하였다. 결과 scaffold 8번 영역에서 고온형과 저온형을 대변하는 변이영역이 115,362-319,242 bp 위치에 block으로 존재하고 있음을 확인하였다 (그림 2-2-14).

이후 고온형 저온형 단포자의 재조립된 유전체에서 8번 scaffold 영역만에 대한 co-linearity 분석을 진행하여 고온형과 저온형을 대표하는 recombination block을 동정하고자 하였다. 분석 결과 고온형에서 2개의 insertion 영역과 저온형에서 3개의 insertion 영역을 동정할 수 있었다 (그림 2-2-15). 이러한 결과를 바탕으로 고온형과 저온형을 동정할 수 있는 분자마커의 개발을 진행하였다. 이들 영역에 존재하는 snp를 동정해본 결과 총 8개의 고온, 저온 단포자에 존재하는 특이적 변이를 발견할 수 있었다 (그림 2-2-16). 총 8개의 프라이머 정보 (표 2-2-9)는 고온

형 (산마루1호, 산마루2호), 저온형 (산조501호, 산조502호, 균홍135호)를 정확하게 구분할 수 있는 분자마커로 활용이 가능함을 확인하였다. 이러한 결과는 분자마커를 통해 단포자에서 또는 교배조합에서 표고의 온도형을 구분하는 방법으로 활용이 가능할 것으로 기대된다.

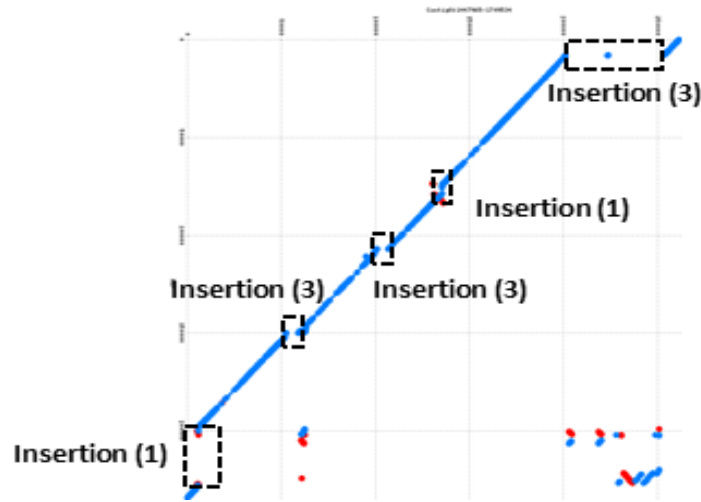


그림 2-2-15. 고온형 저온형 유전체의 co-linearity 분석

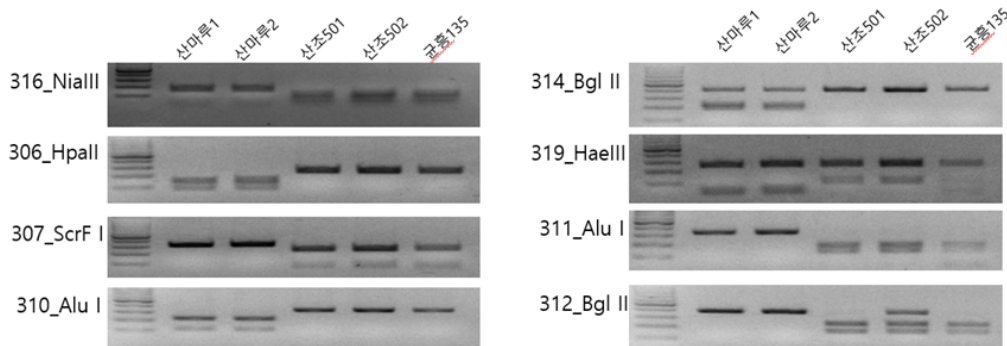


그림 2-2-16. 고온형, 저온형을 구분할 수 있는 CAPS 분자마커

7. 재배종 표고버섯 균주의 미토콘드리아 유전체 분석

주관기관에 의하여 유전체 서열분석이 완료된 40개 표고버섯 품종 중 선행연구 (1단계)를 통하여 야생형에 가까운 교배형을 가진 것으로 판별된 20종을 선정하여 미토콘드리아 유전체의 assembly 작업을 수행하였다. Assembly가 완료된 20개의 유전체는 모두 121 Kbp 정도의 크기를 가지고 있었다 (표 2-2-10). 이는 느타리버섯(73 Kbp) 이나 팽이버섯(88 Kbp) 보다 크고, 양송이버섯 (135 Kbp) 보다는 작은 크기이며, 같은 과에 속하는 *Moniliophthora roreri* (93.7 Kbp) 보다도 큰 크기였다. 표고버섯 미토콘드리아 유전체는 품종에 따라 크기가 조금씩 차이가 있었는데 이들 중 참아람 품종이 가장 큰 유전체 (121,671 bp)를 가지고 있었으며, 산림10호 (119,219 bp)가 가장 작은 크기를 가지고 있었다. 이들 간의 크기 차이는 2,452 bp 였다. 산림 10호와 유사하게 송고, 유지로 품종이 각각 119,500 bp, 119,233 bp 로서 참아람에 비하여 각각 2,438 bp, 2,171 bp가 작은 미토콘드리아 유전체를 가지고 있음이 밝혀졌다. 나머지 유전체들은 대체로 수백 bp 이내의 크기 차이를 보였다.

표 2-2-9. 표고버섯 고온, 저온형 구분을 위한 증폭을 위한 프라이머 서열 및 CAPS 마커 정보

Primer name	Sequence (5'-3')	Product size (bp)	Restriction enzyme	Digested fragment size	
				High-temperature sensitive	High-temperature tolerant
RL-LE-306 F	GGTAACAGTCGTCAGGTGAAAG	239	HpaII (+)	5/234	5/89/145
RL-LE-306 R	CTCCGGGATCAAAGTTACTAC				
RL-LE-307 F	GAACCTAGCTAGACTGACGCAT	304	SbfI (-)	74/230	304
RL-LE-307 R	GATAGATAGTCATACGGCCCTC				
RL-LE-310 F	ATTCGACTCTCTCTTCTCC	326	AluI (+)	326	112/214
RL-LE-310 R	CTTCTTGTCCACTCTGAGTTCC				
RL-LE-311 F	GACTAGCAACAGGTACTCTCC	330	AluI (-)	141/189	330
RL-LE-311 R	CCTATACCACGAGAGAAGAGTAGG				
RL-LE-312 F	GACAGCCTACATGGTGATGAG	329	BglII (-)	132/197	329
RL-LE-312 R	CTAGTGTCAAGAATGCACTCCC				
RL-LE-314 F	GGGATACTACTTCTCTCCAACG	395	BglII (+)	395	179/216
RL-LE-314 R	CTACCGGACGACTGAACCTCT				
RL-LE-316 F	CTACACGCCTAGCTCAGAAGTT	192	NlaIII (-)	36/61/95	36/156
RL-LE-316 R	CTAACAGCTCTAGGATAGGCAGAC				
RL-LE-319 F	CTAAAACCTTACCCTGTCCC	359	HaeIII (+)	107/252	53/54/252
RL-LE-319 R	GAGACGGTGATAAGATACCTCG				

표 2-2-10. 표고버섯 품종의 교배형 및 미토콘드리아 유전체 크기

	번호	A mating type		B mating type				mt DNA 크기 (bp)
산림7호	1	A1	A15	B2	B12	B3	B11	121,487
산림9호	2	A27	A29	B2				121,481
산림10호	3	A1	A31	B2	B12	B3	B11	119,219
여름향	4	A21	A25	B1				121,491
가을향	5	A11	A28	B6				121,440
백화향	6	A4	A7	B8	B12			121,491
다산향	7	A1	A5	B12				121,506
수향고	8	A1	A7	B2	B12			121,489
천백고	9	A5	A7	B8	B12			121,641
풍년고	10	A1	A7	B2	B12			121,508
천장1호	11	A1	A5	B12				121,504
산마루1호	13	A1	A11	B5	B12			121,299
송고	16	A1	A2	B1	B10			119,500
유지로	18	A1	A5	B6	B8			119,233
향고808	19	A1	A22	B4	B12			121,440
산조102호	22	A18	A30	B14				121,671
산조701호	30	A1	A5	B4	B12			121,489
산조707호	35	A5	A7	B4	B12			121,487
참아랍	39	A1	A5	B11	B12			121,617
산조301	42	A1	A15	B1	B12	B3	B10	121,486
산조302	45	A1	A7	B12	B13			121,486
AB697988	<i>Lentinula edodes</i> akiyamaA567_pro_pm_17 (Japan)							121,394
KY217797	<i>Lentinula edodes</i> (China)							116,897
HQ259115	<i>Moniliophthora roreri</i>							93,722
NC_009905	<i>Pleurotus ostreatus</i>							73,242
JF799107	<i>Flammulina velutipes</i>							88,395
JX271275	<i>Agaricus bisporus</i> var. <i>bisporus</i> H97							135,005
NC_021750	<i>Ganoderma lucidum</i>							60,635

20개 표고버섯 미토콘드리아 유전체 정보를 분석한 결과, 유전체내에서 미토콘드리아 기능에 필요한 20개의 유전자를 발견하였으며, 이들은 NADH dehydrogenase, ATPas, cytochrome C oxidase, tRNA, rRNA 등의 유전자들로서 모든 유전체에서 공히 발견되었다. 이들 유전자의 배열은 표고버섯과 같은 과에 속하는 *Moniliophthora roreri* 미토콘드리아 유전자의 배열과 상당한 차이를 보였다 (그림 2-2-17). 특히 tRNA 유전자들의 위치와 순서에서 큰 차이를 발견하였다. 이러한 결과는 표고버섯 미토콘드리아의 진화과정을 설명하는 근거가 될 것으로 생각되지만 추가적인 분석이 필요하리라 생각된다.

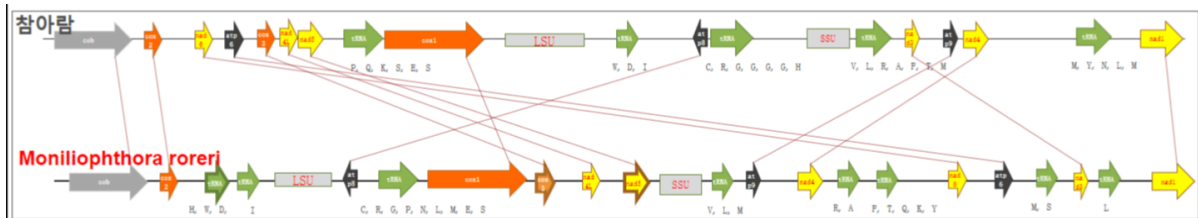


그림 2-2-17. 표고버섯 미토콘드리아 유전체내 유전자의 배열

표고버섯 미토콘드리아의 다양성을 조사하기 위하여 assemble 된 20개 유전체의 계통수를 제작하였다. 그 결과, 천백고, 천장1호를 비롯하여 산조701, 산조707등의 품종이 일본 균주인 akiyamaA567 균주와 거의 유사한 미토콘드리아 유전체를 가지고 있었다 (그림 2-2-18). 또한 이들은 기존 재배종에서 주로 관찰되는 A 교배형인 A1, A5, A7을 가지고 있어서 대부분 유사한 모균주를 통하여 육성되었음을 알 수 있었다. 특히 참아람 품종의 경우 미토콘드리아가 중국 품종인 808 균주와 유사하였다. 산림9호, 산림 10호, 산조 102, 여름향 등의 품종은 야생종에 가까운 교배형을 가지고 있었는데, 미토콘드리아 유전체 또한 기존 재배종과 크게 차이가 나서, 이들이 대부분 야생종에서 유래한 모균주를 기원으로 육성되었음을 시사하였다. 한편, 대표적인 원목품종인 일본의 유지로 품종, 국내 육성품종인 산조102, 산마루1, 산림9호, 산림10호와 풍년고, 중국 L54 품종은 매우 상기한 품종들과는 다르며, 서로 간의 다양성이 매우 높아서 각각 한중일 3국의 독립적인 유전자원에서 유래한 것으로 판단되었다.

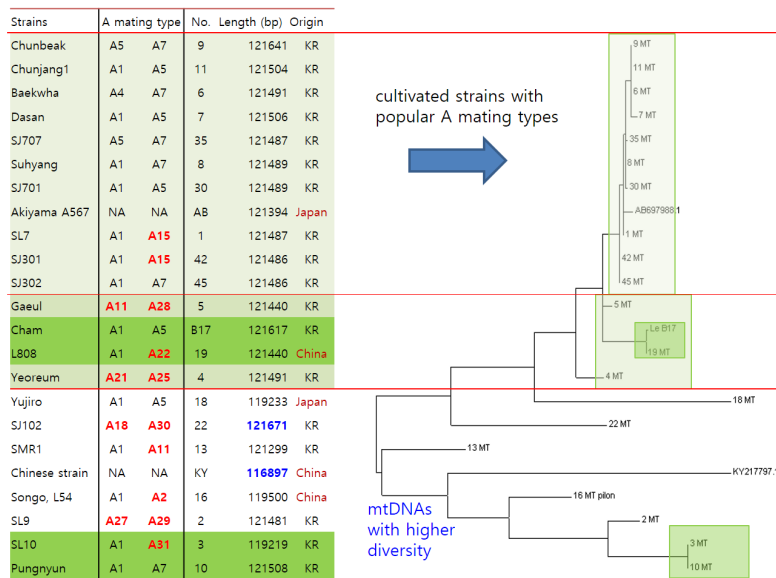


그림 2-2-18. 대표적인 동아시아 재배 품종의 미토콘드리아형 및 핵형 비교

8. 미토콘드리아 서열 비교분석

표고버섯 미토콘드리아 특이적 마커 개발을 위하여 20개 미토콘드리아 유전체 서열을 multiple sequence alignment를 통하여 비교하여 서열이 상이한 20개 이상의 지역을 발견하였다. 그림 2-2-19는 그 결과 중 하나를 보여주는 것으로 미토콘드리아의 종류에 따라 특정한 영역에서 다양한 크기의 변이가 나타났다.

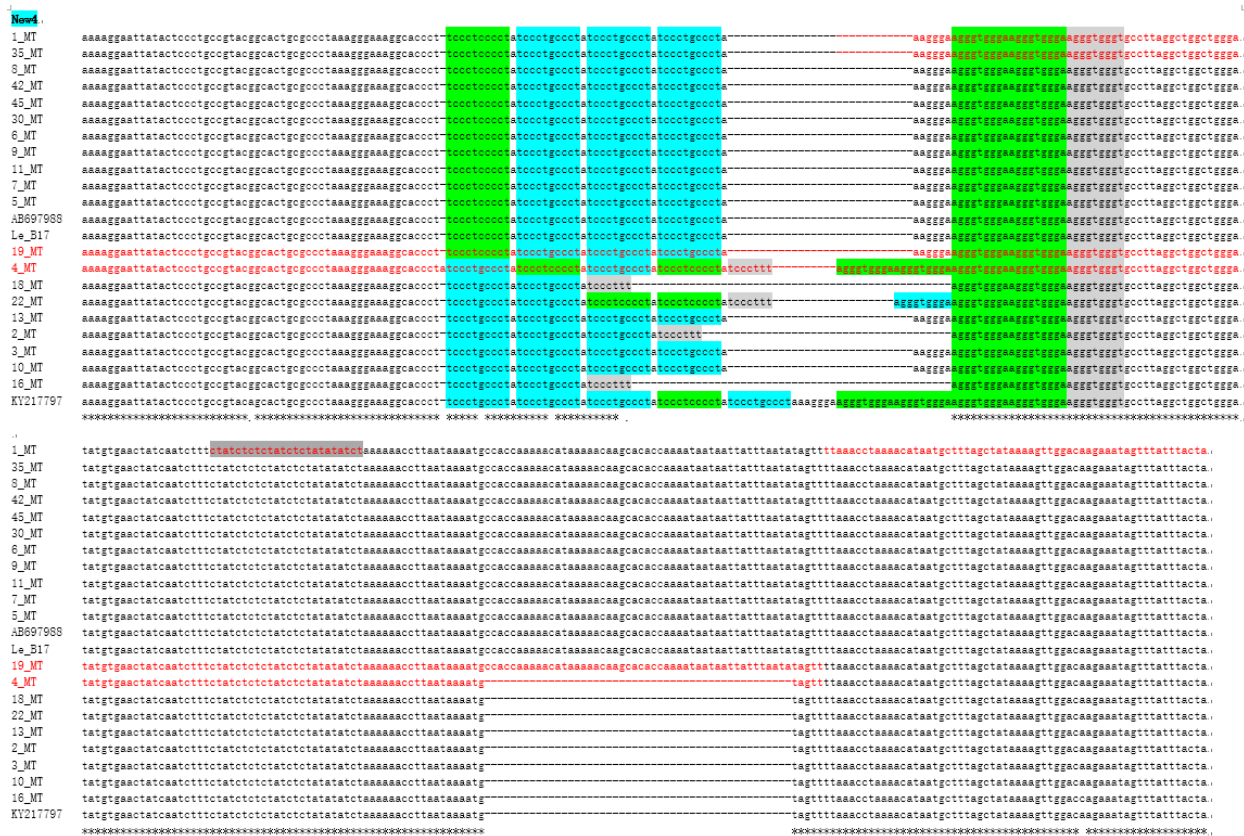


그림 2-2-19. 미토콘드리아 유전체의 크기변이영역 (NM4) 예시

미토콘드리아 유전체내 repeat sequence 를 Dfam DB (<http://dfam.org/>)를 통하여 분석한 결과 TCCCACCC, GCTCCGC, GTTAGTTCCC, AGGGTGGGA 등의 repeat sequence를 다수 발견하였으며, 이들은 대부분 미토콘드리아 유전체 내 크기변이영역에서 발견되었다. 이러한 단수 반복서열은 tandem repeat finder (<https://tandem.bu.edu/trf/trf.html>) 프로그램을 통하여 좀 더 자세히 분석하였다.

표 2-2-11. 표고버섯 미토콘드리아 유전체(B17) 내의 반복염기서열 분석

위치	크기	반복수	반복서열	위치	크기	반복수	반복서열
1--32	9	3.6	TTCCCACCC	40432--40504	11	7	TCCTACCCCTA
35--110	11	6.9	TAGGGGAGGGA	40417--40450	15	2.2	CCCTCCCCCTAACCT
3319--3361	22	2	TTGTTGTTTTTGTCAATTTTG	40438--40496	20	3	CCCTATCCCTCCCCTATCCA
3777--3817	21	1.9	AATTATATTAATAAATAAGTA	40438--40497	10	5.9	CCCTATCCCA
3814--3853	19	2	AATAATACATTAGCTTTATT	40507--40543	9	4.1	GGGAAGGGT
4708--4772	32	2	ACATATAAAAAATAATTCTAATAAATCAAGCTT	41091--41125	14	2.5	GCTCCACGCTCAGC
6538--6591	24	2.3	AAAATTTATTAATTTACTTTT	45271--45326	5	11.2	TTATA
8198--8258	6	10.2	TATAGA	47355--47398	6	7.3	TTTATT
9749--9783	10	3.5	GTTAGTTCCC	54346--54380	19	1.9	CCCACCTTCCAGCCTG

위치	크기	반복수	반복서열	위치	크기	반복수	반복서열
9871--9912	7	6	GCAAGCA	56634--56677	17	2.6	TAAAAATAAATAAATAA
10121--10188	5	13.4	AATAA	56845--56891	11	4.3	CCTCCCTATC
10124--10194	12	6.2	AAAAATAAATA	56894--56935	9	4.7	AGGGTGGGA
11366--11408	7	6.1	CGCTCCG	57216--57242	5	5.4	ATTAA
12134--12174	11	3.7	CTATCCCTCCC	57276--57317	14	2.9	ATAAAAAATATAAAA
12177--12217	9	4.6	AGGGTGGGA	57266--57313	22	2.2	AAATAAAAAATATAAAAGATAA
15061--15098	11	3.5	CCCTATCCCTG	57383--57412	9	3.3	CCTTCCCAC
15171--15218	22	2.2	TCCCTTTAGGGTTGAGTGCCTA	59094--59154	5	11.6	TTAAA
16284--16337	9	6	ACCTTCCC	59096--59151	6	10.3	AAATTA
16340--16408	11	6.3	TAGGGCAGGGA	59095--59152	15	4.1	TAAATTAATAAATAA
17294--17346	26	2	TTACTTCCATTACTACCGTTACTACC	59102--59154	10	5.6	AAATTAATAAAT
17291--17345	9	6.2	CGTTACTA	59094--59151	21	2.8	TTAAATTAATAAATAAATAA
17901--17933	11	3	TCCCTGCCCTA	59094--59151	11	5.5	TTAAAAATAA
17949--17985	17	2.3	AGGGTAGGAAGGGTGC	59095--59152	26	2.2	TAAATAAAAAATAAATAAATTA
17940--17987	25	1.9	AGGGTGGGAAGGGTAGCAAGGGTGC	59569--59610	6	7.2	ATATAC
18953--18989	7	5.3	AGTACGG	59569--59610	17	2.4	ATATACATATACATATAC
19599--19633	7	5	GCTCCGC	69104--69156	6	8.8	TATAAG
20368--20407	15	2.6	CCCTATCCCACCCCTC	69105--69162	18	3.2	ATAAGTATAAGTATAA
20399--20425	11	2.5	CCCTATCCCTG	71781--71811	7	4.4	ATTTTAT
20428--20471	18	2.4	GGGAAGGCTGGGAAGGGT	72006--72077	6	12	ATATTT
20428--20466	9	4.3	GGGAAGGGT	80486--80512	5	5.4	AATAT
20441--20476	18	2	AGGGTGGGAAGGCAGGGT	80510--80554	5	9.4	TAAAT
21203--21251	11	4.5	CCCTATCCCTC	80587--80611	9	2.8	TACCTGGCG
21254--21292	9	4.3	GGGAAGGGT	80702--80732	11	2.8	CCTATCCCTCC
21718--21750	6	5.5	GGATTA	80812--80848	17	2.1	ATAAAATTAATAAAAAAGAC
21718--21753	18	2	GGATTAGGATTAGGAGTA	83043--83071	14	2.1	ATATAAAAAATAA
22264--22320	9	6.3	CCCACCTT	83057--83110	21	2.6	ATATAAAAAATAAACAATAT
22323--22386	11	5.8	TAGGGGAGGGA	83080--83120	16	2.7	ATTATATTAATAAATAA
22649--22674	6	4.3	AACAAA	83721--83760	16	2.6	TTGGTTTATAACTA
23351--23398	9	5.3	GGGAAGGGT	83942--83992	21	2.4	TTTTTTAATTGAAATATTTAA
24608--24637	15	2	ATGATTAATATGAAT	86288--86328	21	1.9	TTAATACTACTAATAATTTTGT
24732--24761	11	2.7	AGGGATAGGGC	90847--90894	11	4.5	CCCTATCCCTG
29591--29631	21	2	AATCCTAACGGGAACCTAATGT	90897--90926	9	3.3	GGGAAGGGT
29582--29655	31	2.3	TCCTAACGGGAACCTAACGGGAACTAACGGAA	91689--91730	22	2	TCCTCCCCCTGCCTAGCCAC
29767--29817	9	5.7	CACCCCTCC	92594--92621	7	4	GCGTAGC
29820--29846	11	2.5	AGGGATAGGGG	92854--92923	11	6.4	CCCTGCCTAT
31290--31333	9	4.9	CCCACCTT	92926--92969	9	4.9	AGGGTGGGA
31336--31400	11	5.9	AGGGATAGGGC	93029--93072	8	5.6	CGCAGCTA
35974--36041	21	3.2	CTAATCACTACAAGATGCTT	93705--93797	7	13.3	AGTGCCT
37037--37099	33	1.9	CCGTTAGAGACCCGTTAGGCCCCCGTTAGGATT	94020--94055	10	3.6	GATAGGCTGG
37036--37111	33	2.3	CCGTTAGGACCCGTTAGGCCCCCGTTAGGAG	94533--94671	15	8.9	ATATAAATAATATAA
37035--37111	11	7	TCCCGTTAGGG	94544--94587	12	3.4	ATAAATAATAAAG
37433--37467	8	4.4	GCTTCTAC	94535--94641	21	4.9	ATAAATAATATAGAATATAAAG
38243--38291	9	5.3	TAACGGTAG	94533--94587	27	2	ATATAAAGAAGATAAATAAAGATAA
38243--38301	27	2.1	TAACGGTACCTAAAGGTAGTAACGGAAG	94600--94634	18	1.9	AAATACAATAGAATATAA
39627--39677	10	5.1	AAATAAAGGG	95079--95151	7	10.6	CTACGTA
40045--40119	24	3.2	AAAACATTAATAAATAAACAAC	95079--95151	14	5.3	CTACGTAATACATA
40211--40260	6	8.3	GTAAGA	95318--95389	37	2	AGTGCCACCCCTATCCCTTTAGGGTGGGAAGGCTGC
40285--40337	21	2.5	CCCTAACGGGAACCTAACGGAA	96719--96829	21	5.7	AAAAATAAATAAATAAATTA
40285--40337	10	5	CCCTAACGGGA				

단순반복서열 분석의 결과 총 117개의 서열을 발굴하였다 (표 2-2-11). 이들 중에서 short sequence repeat (SSR)에 해당하는 6 base 이하의 SSR과 AT로만 이루어진 반복서열들을 제외하면, 표고버섯 미토콘드리아 유전체에서는 7 base-10 base 내외의 뉴클레오타이드로 이루어진 variable length tandem repeat (VNTR)들이 주로 발견되었다. 이들 VNTR을 염기서열이 알려진 3개의 mtDNA 상에서 비교한 결과, 27개의 VNTR이 mtDNA의 종류에 따라 다른 반복횟수로 존재함을 알게 되었다 (그림 2-2-20).

(a)

VNTR3 (ACCCCTTCCC---TAGGGCAGGGA)
 LE-B17 ACCCTTCCC-ACCCCTTCCC-ACCCCTTCCC-TT-TAGGGCAGGGA-TAGGGCAGGGA-TAGGGGAGGGA
 AB697988 ACCCTTCCC-AGCCCTTCCC-ACCCCT-----AA-AGGGA-TAGGGCAGGGA-TAGGGGAGGGA
 KY217797 ACCCTTCCC-AGCCCTTCCC-TT-----TAGGGCAGGGA-TAGGGGAGGGA

VNTR7 (TC/GCCTG/CCCCTA---GGGAAGGGT)
 LE-B17 3 (TCCTTCCCCTA)-TCCTTCCCCTA-----AA-GGGAAGGGT-3 (GGGAAGGGT)
 AB697988 3 (TCCTTCCCCTA)-TCCTTCCCCTA-TCCTT-TT-AGGGT-GGGAAGGGT-3 (GGGAAGGGT)
 KY217797 2 (TCCTTCCCCTA)-----AA-2 (GGGAAGGGT)

VNTR20 (ACCCCTTCCC---TAGGGGAGGGA)
 LE-B17 6 (ACCCCTTCCC)-ACCCCT-----AA-AGGGA-7 (TAGGGGAGGGA)
 AB697988 6 (ACCCCTTCCC)-TT-----7 (TAGGGGAGGGA)
 KY217797 6 (ACCCCTTCCC)-ACCCCTTCCC-TT-TAGGGGAGGGA-7 (TAGGGGAGGGA)

VNTR23 (TCCTC/GCCCTA---GGGAAGGGT)
 LE-B17 3 (TCCTTCCCCTA)-TCCTTCCCCTA-----AA-GGGAAGGGT-4 (GGGAAGGGT)
 AB697988 3 (TCCTTCCCCTA)-TCCTT-TT-----AGGGT-4 (GGGAAGGGT)
 KY217797 3 (TCCTTCCCCTA)-TCCTTCCCCTA-TCCTTCCCCTA-AA-GGGAAGGGT-GGGAAGGGT-4 (GGGAAGGGT)

(b)

VNTR18 (TACTAATCCTCCTCCCT)
 LE-B17 TCCTCCCTCCCTCCTCCCT-3 (TACTAATCCTCCTCCCT)-----
 AB697988 TCCTCCCTCCCTCCTCCCT-3 (TACTAATCCTCCTCCCT)-TACTAATCCTCCTCCCT-TACTAATCCTCCTCCCT
 KY217797 TCCTCCCTCCCTCCTCCCT-3 (TACTAATCCTCCTCCCT)-TACTAATCCTCCTCCCT-TACTAATCCTCCTCCCT

VNTR13 (GCGTAGC)
 LE-B17 GCGTAGC-GCGTAGC-GCGTAGC-GCGTAGC-----
 AB697988 GCGTAGC-GCGTAGC-----
 KY217797 GCGTAGC-GCGTAGC-GCGTAGC-GCGTAGC-GCGTAGC-GCGTAGC

VNTR22 (GCTCCGC)
 LE-B17 GCTCCGC-GCTCCGC-GCTCCGC-GCTCCGC-GCTCCGC-GCTCCGC-----
 AB697988 GCTCCGC-GCTCCGC-GCTCCGC-GCTCCGC-GCTCCGC-GCTCCGC-----
 KY217797 GCTCCGC-GCTCCGC-GCTCCGC-GCTCCGC-GCTCCGC-GCTCCGC-GCTCCGC-GCTCCGC-GCTCCGC

VNTR25 (GCTCCGC)
 LE-B17 GCTCCGC-GCTCCGC-GCTCCGC-GCTCCGC-GCTCCGC-GCTCCGC-GCTCCGC-----
 AB697988 GCTCCGC-GCTCCGC-GCTCCGC-GCTCCGC-GCTCCGC-----
 KY217797 GCTCCGC-GCTCCGC-GCTCCGC-GCTCCGC-GCTCCGC-GCTCCGC-GCTCCGC-GCTCCGC-GCTCCGC

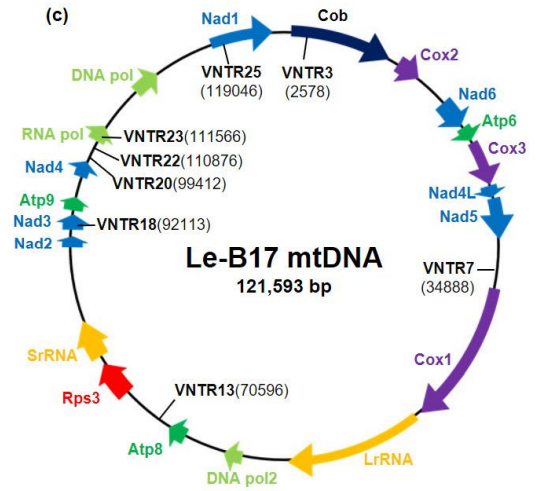


그림 2-2-22. 미토콘드리아 유전체에서 발견되는 대표적 VNTR의 종류. a) Type I VNTR. b) Type II VNTR. c) 참아람 미토콘드리아의 구조 및 VNTR의 위치

표 2-2-12. VNTR 증폭을 위한 프라이머

	Forward	Reverse
VNTR3	GAGACTACACATGGAGCTAGATTTAATC	CACCCTCAGCCTAGCCACTATC
VNTR7	CTCCTGCAGTTGCCCTCCCCTAT	AATGGAGGCGAGTCGAACACC
VNTR13	CCTCGCCTTTGTAAAAGTA	GAACAGCCGCAGGTTTTTGC
VNTR18	GCGTCTCCTACGCGTCTCCTAC	CACCCTCAGCCTAGCCACTATC
VNTR20	GGAAAGGCACTGCACCCTAGC	CCTGACTTTCCTTTTTCCAAGTG
VNTR22	GGTAATAACCTGCAACCTTCC	CTTAAACCACTCAGCCATAGAAC
VNTR23	GGAGGCTAGGTATCACTTCCCCGTG	ACTGCACTTAGTTTTGGCGAGCTG
VNTR25	GAGGTAAGGTTCGTTCTTC	CAAATAGGCCTAAAGGAG

상기 프라이머를 이용한 PCR 분석결과, 표고버섯 mtDNA는 표고버섯 품종에 따라 다양한 VNTR 길이 (반복횟수)를 보였다 (그림 2-2-23). 이러한 VNTR 길이 다형성 (VNTR length polymorphism)은 표고버섯 미토콘드리아 마커로 활용될 수 있다. 예를 들어, IUM4841, KFRI956, IUM3182 균주는 VNTR3, VNTR7번으로는 구분 불가능하지만, VNTR18, VNTR25번으로 확연하게 구분가능하다. 때문에 VNTR 길이 다형성은 표고버섯 품종내 미토콘드리아의 기원을 밝혀낼 수 있을 뿐 아니라, 실질적으로 특정한 미토콘드리아를 특정한 품종에 삽입하여 새로운 미토콘드리아를 가진 품종을 육성하는 데에도 적용될 수 있다.

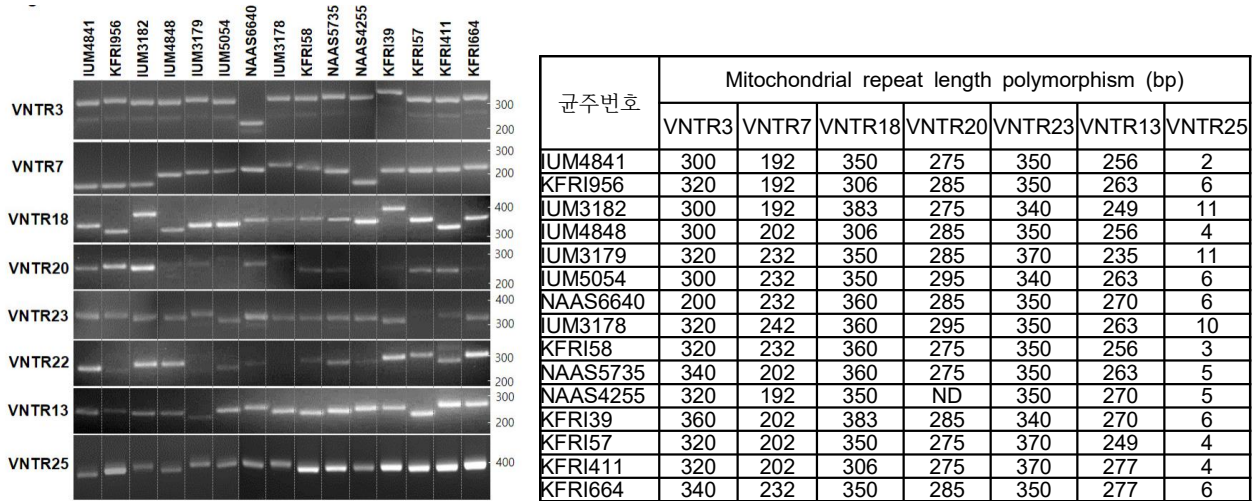


그림 2-2-23. 표고버섯 품종에 대한 VNTR 분석 (표의 VNTR25는 반복횟수)

10. 동일핵형 이형 미토콘드리아타입의 이핵균주 제작

버섯은 대부분 이핵균주만이 자실체를 만들 수 있으므로, 품종의 육성은 주로 단핵균주간 교배를 통하여 이루어진다. 단핵균주간의 교배는 한 단핵균주의 균사가 상대편 단핵균주의 균사와 만나는 지점(junction)에서 시작되며, 일단 junction에서 이핵세포가 만들어지면, 이핵세포내 핵분열과 이핵세포와 단핵세포를 연결하는 clamp connection이 만들어진다. 이핵세포에서 복제된 핵은 서로 다른 방향으로 clamp connection을 통하여 이동하고, 새로 만들어진 이핵세포에서는 동일한 핵분열, 핵이동 과정이 반복되어 전체 단핵균사가 이핵화 된다. 이때, 새로 만들어지는 이핵세포는 동일한 쌍의 핵을 가지고 있지만 두 가지 다른 미토콘드리아형을 가진 이핵균이 된다 (그림 2-2-24). 본 연구에서는 핵형은 같으나, 미토콘드리아형이 다른 이핵균주를 육성하여 이핵균주의 표현형에 미치는 미토콘드리아의 영향을 조사하고자 하였다.

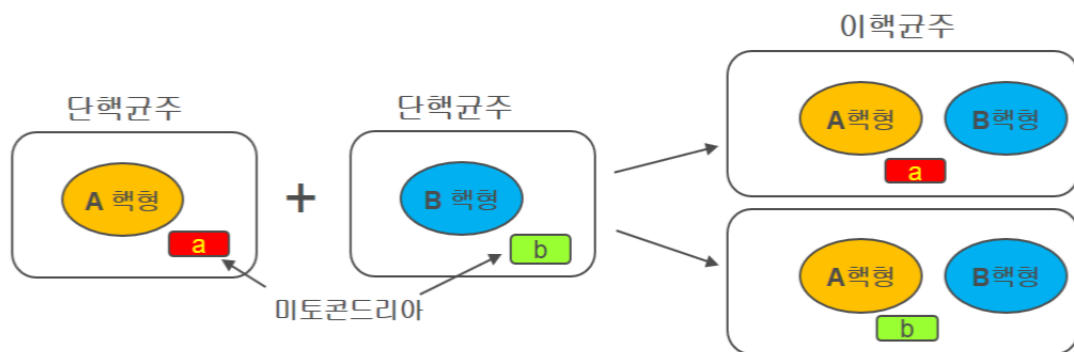


그림 2-2-24. 표고버섯 이핵균주의 육성

이를 위하여 참아람 단핵균 B2, B5, 산조 701 단핵균 E13, E8, 산조 707 단핵균 H3, 및 KFRI619 단핵균 K3등을 선택적으로 교배하여 교배종 B2 x E13 (B2 mitochondria), B2 x E13 (E13 mitochondria), B5 x E13 (B5 mitochondria), B5 x E13 (E13 mitochondria), E3 x H3 (E3 mitochondria), E3 x H3 (H3 mitochondria), K3 x H3 (K3 mitochondria), K3 x H3 (H3 mitochondria)등 8종을 육성하였다. 육성된 교배종의 핵형은 각 핵에 있는 교배형마커 (1단계 연구결과)를 이용하여 확인하였다 (그림 2-2-25).

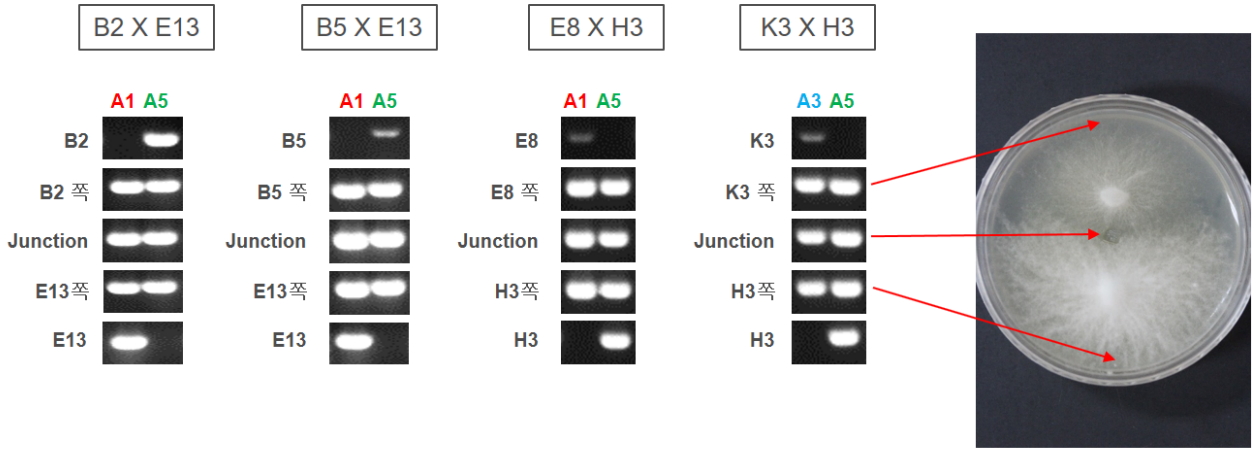


그림 2-2-25. 표고벼섯 이핵균주의 육성과 각 위치에서의 핵형 분석

또한 상기 미토콘드리아유전체 연구를 통하여 얻어진 미토콘드리아형 구분 마커를 이용하여 각 균주내 미토콘드리아형을 확인하였다. 그 결과, 각 이핵균주들은 핵형은 동일하나 미토콘드리아형이 다른 균임을 확인하였다 (그림 2-2-26).

11. 핵형마커 및 미토콘드리아형 마커를 이용한 Di-Mon 교배육종 분석

1단계 연구를 통하여 개발된 핵형 마커 (교배형마커)와 본 연구를 통하여 개발된 미토콘드리아형 마커를 Di-Mon 육종과정의 분석에 활용하였다. 벼섯의 Di-Mon 육종은 이핵균주와 단핵균주의 균사간 교배를 통한 신품종 육종법으로, 교배시 만들어지는 새로운 이핵균주에 어떤 핵들이 조합을 이루는지, 핵선택성은 존재하는지, 어떤 원형질체를 가지게 되는지 등이 주요 의문사항이었다. 본 연구에서는 23개의 이핵균주들과 산조701 단핵균주인 E13 균주 (핵형: A1) 간의 Di-Mon교배에서 우선 A 교배형 마커를 이용하여 원균주들과 새롭게 육성된 균주들간의 핵형을 비교분석하였다. 그 결과, 새롭게 형성되는 이핵균주는 항상 교배대상 이핵균주가 가지는 두 핵중 한 핵과, 단핵균주 E13의 핵 등 두 개의 핵을 가짐을 알 수 있었다 (그림 2-2-27a). 예를 들면, KFRI956균주는 A41과 A65 등으로 표지되는 두 개의 핵을 가지는 균주이나, Di-Mon교배를 통하여 만들어진 균주는 KFRI956의 A65 핵과 E13 단핵균주의 A1을 가지는 이핵균주임을 알 수 있었다. 이러한 이핵세포내 두 핵중 한 핵의 이동은 이핵균 IUM4848과 단핵균 E13간의 10-point sampling 분석에서도 동일하게 관찰되었다. 특히 모든 위치에서 IUM4848의 두 핵중 A17 형 핵의 이동이 관찰됨에 따라, Di-Mon교배에서 이핵세포의 두핵중 한가지 핵이 선택적으로 단핵균의 핵과 pairing 됨을 확인하였다 (그림 2-2-27b,c).

다음으로 상기 Di-Mon 균주의 원형질체형을 분석하였다. Di-Mon 교배에서 원형질체의 분석은 중요한데, 이유는 새로운 교배종의 생성에서 단핵균의 핵이 이핵세포로 들어가서 이핵균의 한 핵을 밀어내는지, 이핵균의 한 핵이 단핵균의 원형질체로 들어가서 이핵균을 만드는지를 알 수 있기 때문이다. 세포의 원형질체형은 미토콘드리아형을 통하여 분석 가능하므로, 본 연구에서는 VNTR 마커를 이용하여 각 균주들의 미토콘드리아형을 분석하였다. 그 결과, 새로 육성된 이핵균주의 모든 VNTR 마커들이 단핵균주 유래의 미토콘드리아형임을 가리키고 있었다 (그림 2-2-28). 이는 이핵균내의 한 핵이 단핵균의 원형질체로 선택적으로 들어가서 새로운 이핵균을 만들음을 알려주는 것이다.

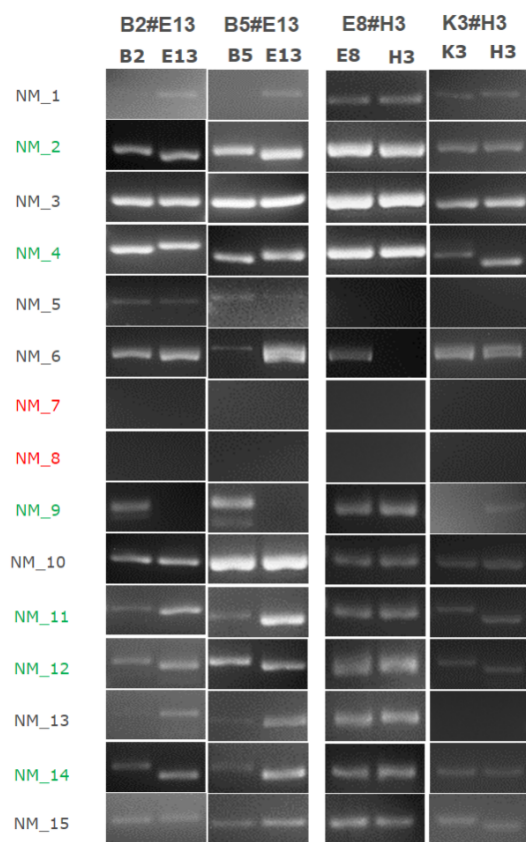
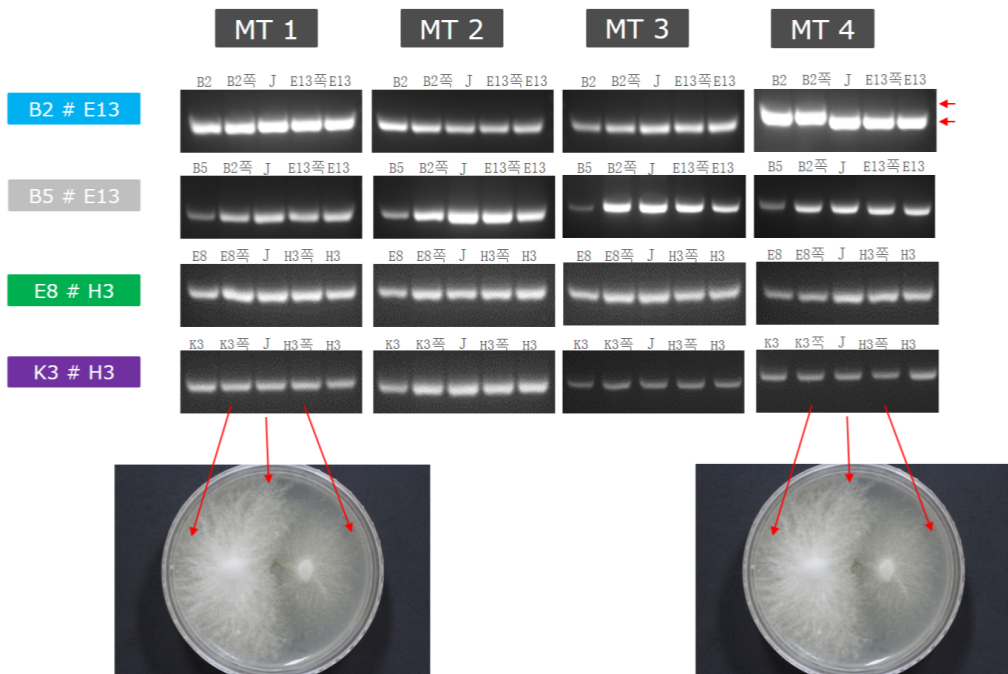


그림 2-2-26. 미토콘드리아마커를 이용한 표고버섯 이핵균주내 미토콘드리아 형의 구분

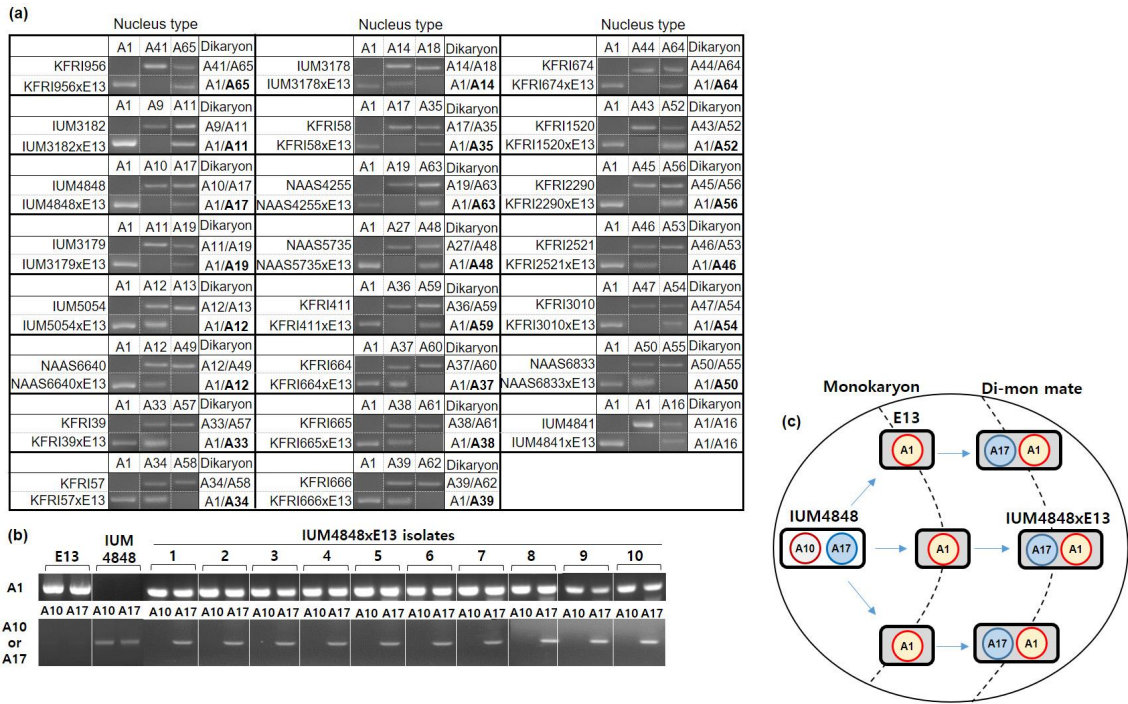


그림 2-2-27. Di-Mon 교배에서 핵의 선택적 이동. a) 교배형마커를 이용한 핵형 분석. b)와 c) 10-point sampling 을 통한 Di-Mon 교배 균주의 핵형 분석

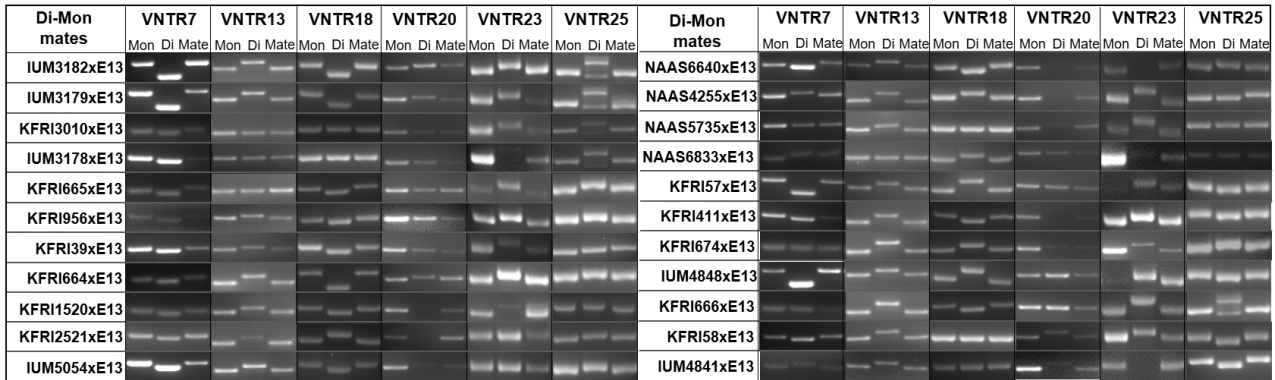


그림 2-2-28. Di-Mon 교배에서 미토콘드리아형 VNTR 마커를 이용한 원형질체형 분석.

이러한 결과들을 토대로 본 연구자는 버섯교배육종에서 일반적으로 사용되는 Di-Mon 육종의 구체적인 유전정보의 흐름에 대한 모델을 그림 2-2-29 와 같이 제시 하고자 한다.

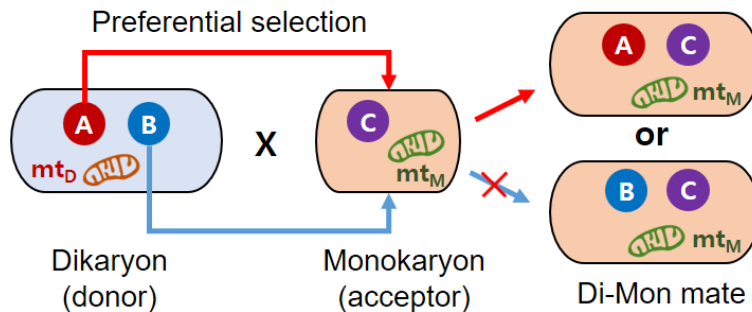


그림 2-2-29. 버섯의 Di-Mon 교배의 일반적인 유전정보의 흐름 모델

12. 미토콘드리아 유전자 변이비교 및 분자마커의 형질정보와 상관성 연구

선행한 20개의 표고버섯 미토콘드리아 유전체정보 분석을 통하여 표고버섯 미토콘드리아 유전체는 대체로 상동성이 높음을 볼 수 있었다. 2020년 연구에서는 표고버섯 미토콘드리아 유전체의 구조 분석을 통하여 유전체내에 존재하는 변이와 변이의 원인을 분석하는 데 주안점을 두고 연구하였다. 20개의 유전체 중, 첫 번째 미토콘드리아형은 11개의 표고버섯 균주에서 발견된 형으로, 산조701, 산조707, 수향고, 다산향, 천백고 등에 들어있는 미토콘드리아로서 일본의 Akiyama A567 균주의 미토콘드리아와 거의 동일하였다. 참아람 품종의 경우 중국의 L808 품종과 동일한 미토콘드리아형을 가지고 있었다. 한편 대표적인 원목품종인 ‘유지로’와 산조102, 송고, 풍년고, 등은 상기한 품종들과는 다르게 매우 변이가 높은 미토콘드리아형을 가지고 있었다. 이상의 정보를 바탕으로 대표적인 미토콘드리아 유전체를 선정하여 유전체를 구성하는 유전자의 구조정보를 분석하였다. 그 결과, 표고버섯 미토콘드리아는 품종에 관계없이 기본적으로 cytochrome B (COB), cytochrome oxidase (COX1, COX2, COX3), NADH dehydrogenase (NAD1-6), ATP synthase (APT6, ATP8, ATP9), tRNAs, ribosomal RNAs (rnl, rns), rps3 유전자로 구성되어 있었다 (그림 2-2-30).

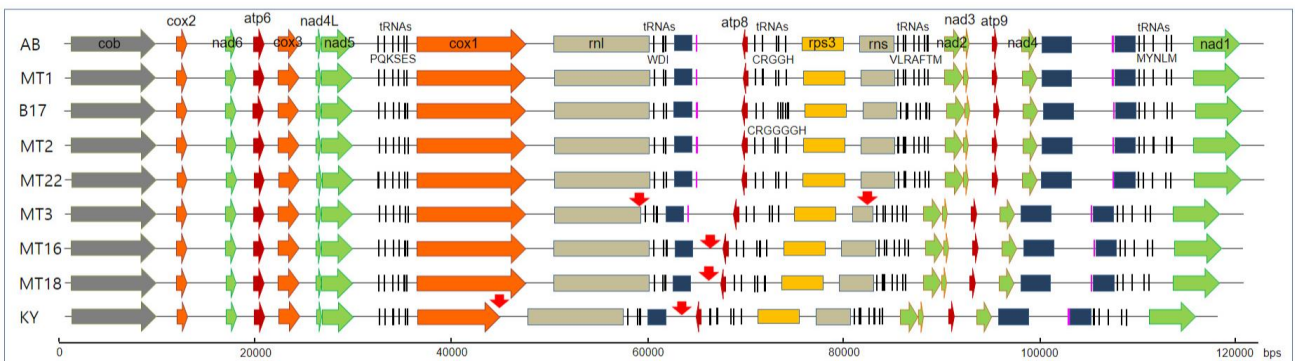


그림 2-2-30. 표고버섯 미토콘드리아 유전체 구조

이렇게 표고버섯 미토콘드리아들은 유전자의 구성 측면에서는 차이가 없었으나, 미토콘드리아 유전체의 길이 측면에서 미토콘드리아형에 따라 상당한 차이를 보였다. 산림10호 (MT3) 품종의 경우 전체길이가 119219 bp로서, 재배종 품종들 가운데 가장 짧은 길이를 보였으며, 송고 품종 (MT16)과 유지로품종 (MT18)도 다른 품종들에 비하여 짧은 유전체 길이를 가지고 있었다. 이러한 유전체길이의 차이를 상기한 20개 유전체 정보와 기존 NCBI에 보고된 표고 미토콘드리아 유전체 서열인 KY217797 서열 (KY)과 비교분석하였다. 그 결과, 길이의 차이는 인트론 서열의 유무에 의하여 주로 결정됨을 확인하였다. 예를 들면, 재배종품종들의 경우, KY 미토콘드리아 COX1 유전자의 두 번째 exon에 두 개의 intron이 추가되어 exon2, exon3, exon4로 나뉘어 있음을 알 수 있었다 (그림 2-2-31). 또한, 산림10호의 MT3 미토콘드리아의 경우, 다른 품종들과 다르게 ribosomal RNA large subunit (LSU)의 exon1과 exon2 사이의 intron의 일부와 small subunit (SSU)의 exon1과 exon2 사이의 intron 전부가 사라져 있음을 확인하였다. 한편, intergenic sequence 영역에서도 염기서열의 일부가 삭제된 경우도 발견되었는데, 송고 (MT16), 유지로 (MT18), KY 서열에서 DNAP와 ATP8 유전자 사이의 영역에서 일부 서열이 삭제되어 있었다. 결론적으로 표고버섯 미토콘드리아 유전체의 길이의 다형성(length polymorphism)은 주로

intron의 삽입에 의한 것으로 생각된다.

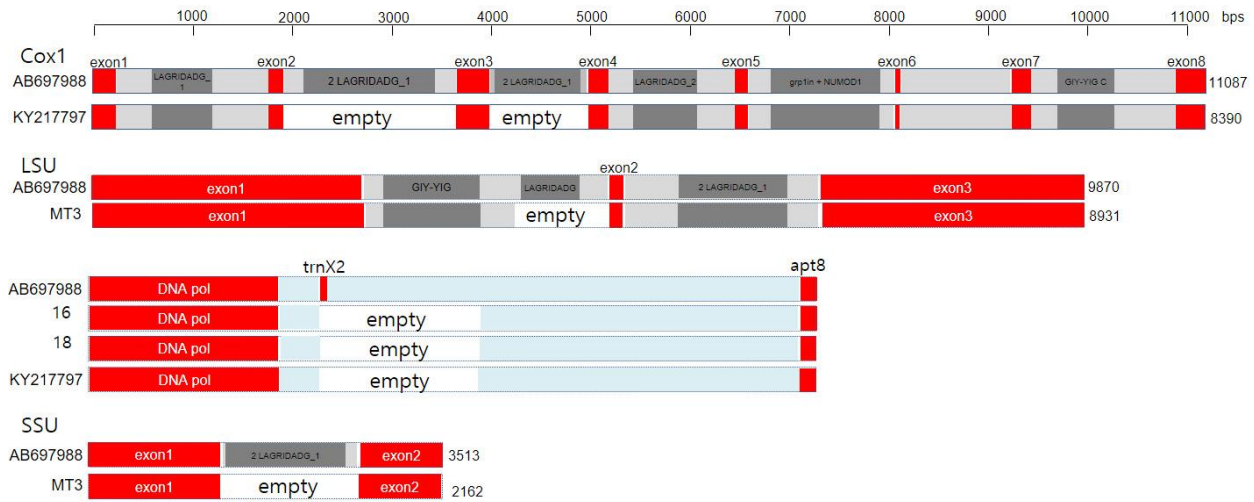


그림 2-2-31. 미토콘드리아 유전체중 인트론 영역의 분석

또한, intron의 삽입은 미토콘드리아의 진화과정에서 발생하는 것으로 추정하면, 표고 미토콘드리아의 진화과정은 KY->MT16, MT18, MT3-> 나머지 재배종의 방향으로 진행되었음을 추정할 수 있었다. 미토콘드리아 다양성의 원인으로 선행연구에 밝힌 tandem repeat의 다양성, 상기한 intron의 획득과 더불어 transposon의 영향을 통하여 분석하였다. 그림 2-2-32는 20개의 미토콘드리아 유전체내에 존재하는 transposon (DNA transposon, LTR retrotransposon, Non-LTR retrotransposon)의 함량 측면에서 분석한 결과를 나타낸다. 이 분석에 의하면, 비교적 야생종에 가까운 품종들의 미토콘드리아는 DNA transposon과 LTR retrotransposon의 함량이 크게 감소해 있음을 알 수 있으며 (그림 2-2-32의 하단부), 산조701, 참아람 품종이 포함된 두 번째 그룹 (그림 2-2-32의 중간부)에서는 활발한 transposon 활동이 있었음을 알 수 있었다. 한편, 천백향 (MT9), 천장1호 (MT11), 백화향 (MT6), 다산향 (MT7)으로 구성된 그룹에서는 LTR retrotransposon의 함량이 두 번째 그룹에 비하여 낮음을 알 수 있었다 (그림 2-2-32의 상단부). 이러한 결과로 볼 때, transposon의 활성이 표고버섯 미토콘드리아의 다양성에 중요한 역할을 하였음을 알 수 있다.

13. 미토콘드리아형을 대표하는 최적분자마커 선정 및 분석

본 연구실은 표고버섯 선행연구를 통하여 표고버섯 핵형과 미토콘드리아형을 판별하는 분자마커를 개발한 바 있다. 본 연구에서는 기 개발된 미토콘드리아형 마커의 최적화를 위하여, 분자마커를 활용하여 단핵균(표 2-2-13)간의 교배과정에서 핵과 미토콘드리아의 이동과정을 추적하였다. 각 단핵균주들은 참아람, 산조701, 산조707, K619 품종의 포자에서 분리한 균주들이다.

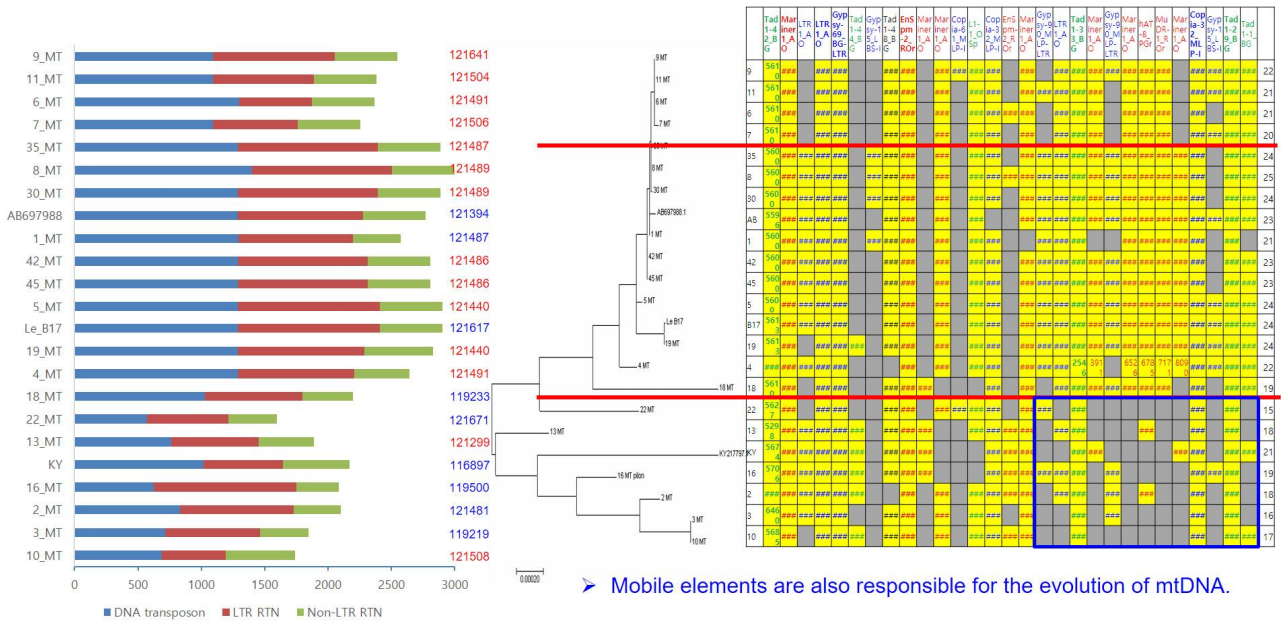


그림 2-2-32. 미토콘드리아 유전체중 transposon 함량 분석

표 2-2-13. 교배과정에서 이용한 단핵균주 정보

Monokaryon	A mating type	B mating type	Dikaryon
B2	A5	B12	참아람
B5	A5	B11	참아람
B17	A5	B12	참아람
E3	A1	B4	산조701
E8	A1	B4	산조701
E13	A1	B4	산조701
H3	A7	B12	산조707
K3	A3	B4	KFRI619

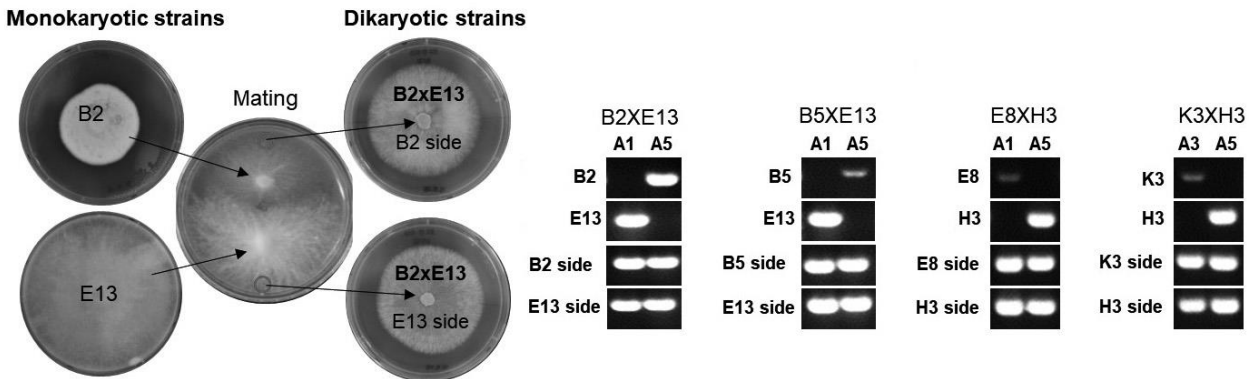
교배과정 중 핵의 분포는 핵형을 대표하는 마커로서 A 교배형 마커를 활용하여 추적할 수 있었다. 예를 들어, 단핵균 B2와 E13간의 교배에서 이핵균의 형성은 B2의 A1핵형과 E13의 A5 핵형의 존재를 검출함으로써 확인할 수 있었다 (그림 2-2-33A). 이핵균내 미토콘드리아형의 경우 선행연구의 다양한 VNTR 마커를 활용하였다. 표고버섯 단핵균간 교배는 교배균의 획득 위치에 따라 핵형은 동일하나 미토콘드리아형이 다른 이핵균을 얻을 수 있다. 예를 들어 B2x E13 이핵균의 경우, 단핵균 B2의 배후 가장자리에서 분리한 이핵균과, 단핵균 E13의 배후에서 분리한 이핵균의 미토콘드리아형을 VNTR23 마커를 활용하여 분석하면, 각 이핵균은 핵형은 동일 하지만 미토콘드리아형은 분리된 위치의 단핵균과 동일한 두 개의 이핵균을 생성할 수 있음을 알 수 있다 (그림 2-2-33B). 이러한 이핵균의 미토콘드리아형은 VNTR3, 7, 18, 20, 22의 분석을 통해서도 확인할 수 있었다. 따라서 교배과정의 균주 판별은 핵형을 대표하는 A교배형마커와, 미토콘드리아형을 대표하는 VNTR 마커의 분석으로 충분히 가능함을 알 수 있었다.

14. 표고버섯 표현형에 미치는 미토콘드리아의 영향조사

단핵균주의 핵형과 미토콘드리아형 분자마커를 바탕으로 단핵균주간 교배, 단핵-이핵균주간

교배를 통하여 생성된 이핵균주의 핵 유전체, 미토콘드리아유전체 동정법이 확립되었고, 본 연구에서는 미토콘드리아형이 버섯의 표현형에 미치는 영향을 조사하였다.

A)



B)

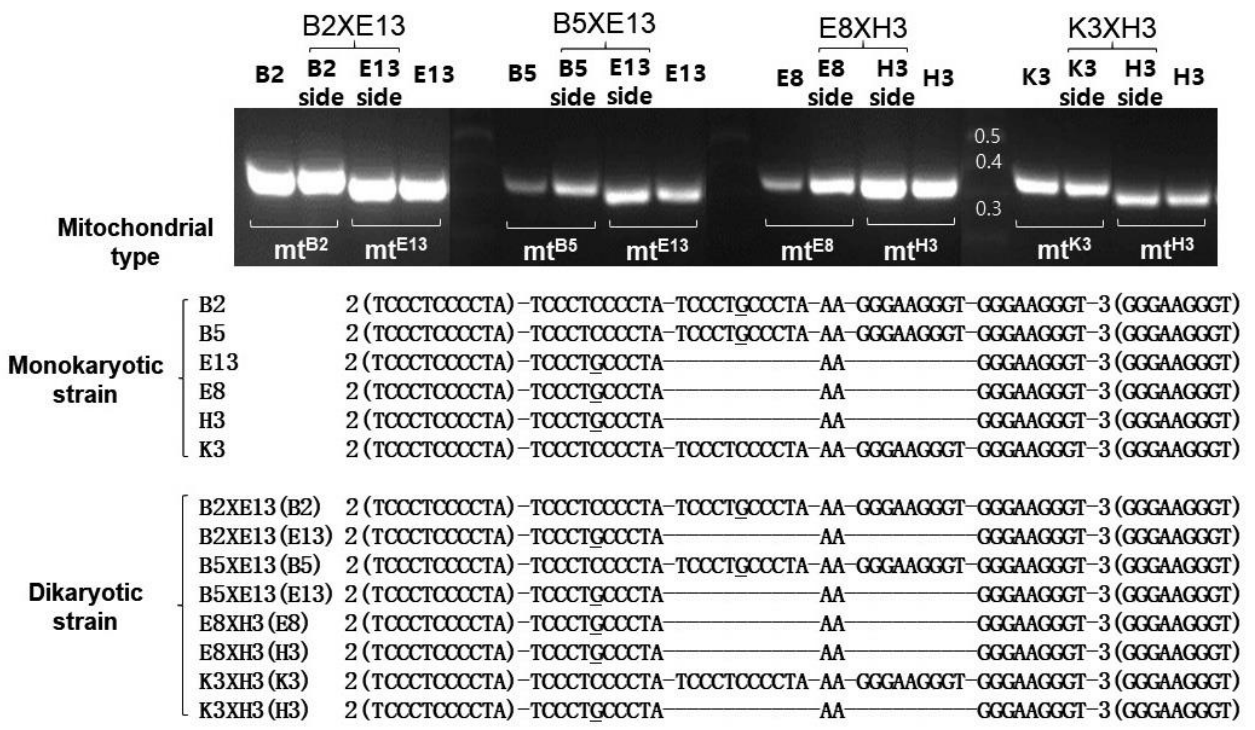


그림 2-2-33. 표고버섯 교배과정에서 미토콘드리아형 마커의 적용

가. 버섯성장에 미치는 미토콘드리아형의 영향

단핵균주간 교배를 통하여 핵형이 같으나 미토콘드리아형이 다른 두 가지 이핵균간의 성장의 차이를 PDA배지상 radial growth의 비교를 통하여 분석하였다. B2xE13 이핵균의 경우 E13 side에서 분리한 이핵균이 성장이 빨랐으며, B5xE13의 경우 성장속도는 비슷하였으나, B5 side에서 분리된 이핵균의 균사밀도가 더 높았다. E8xH3의 경우 E8 side의 이핵균이 H3 side의 이핵균에 비하여 약간 빠르게 성장함을 보였다 (그림 2-2-34). 이러한 결과는 핵이 같더라도 미토콘드리아가 곰팡이 균사의 성장에 영향을 미치고 있음을 나타내는 결과로서, 버섯 교배에서 이핵균의 획득위치가 중요함을 보여주는 결과이다.

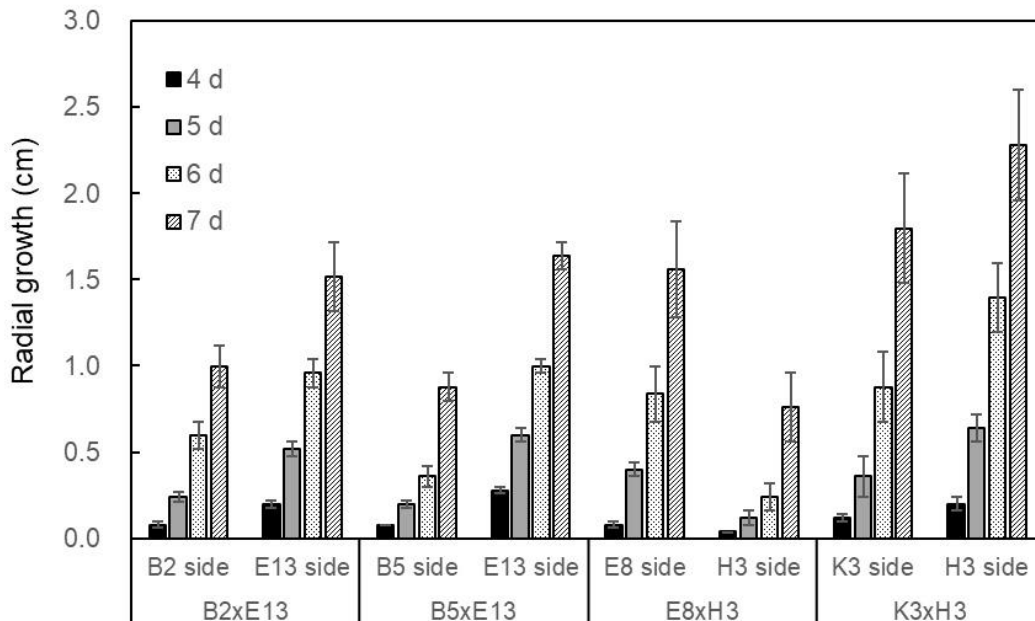
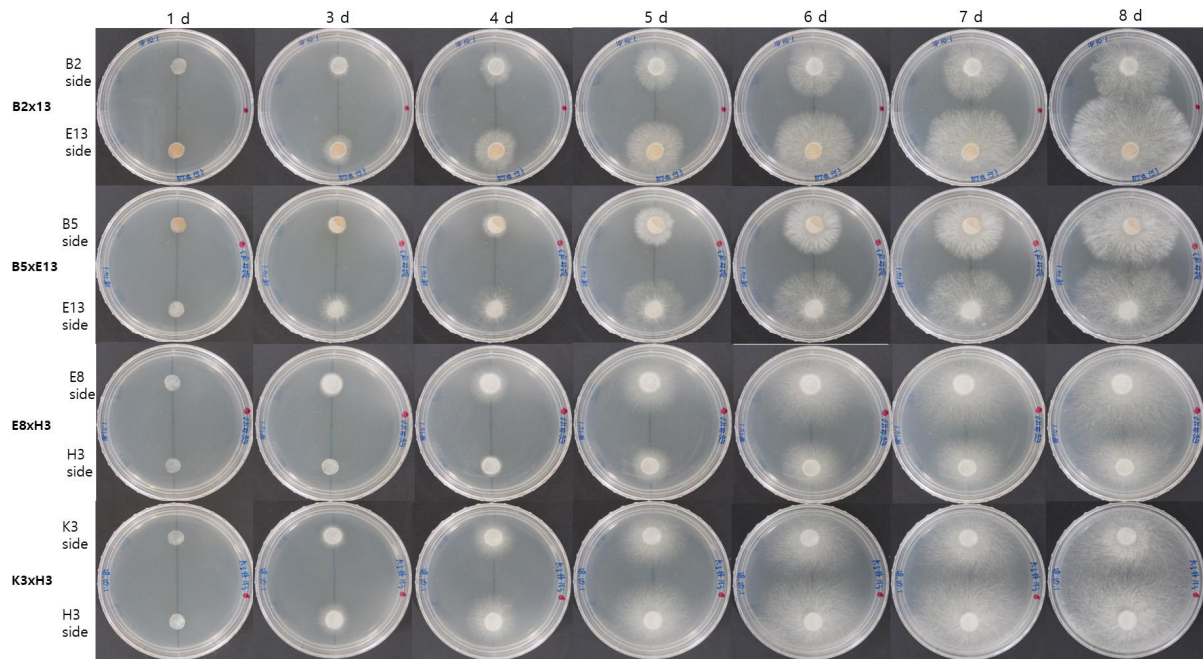


그림 2-2-34. 미토콘드리아형이 표고버섯의 성장에 미치는 영향

나. 재배실험을 통한 미토콘드리아의 영향 조사

동종핵, 다른 미토콘드리아를 가진 이핵균의 재배 생리학적 특성을 조사하였다. 먼저 톱밥배지에서 갈변을 조사하였는데, 갈변의 정도는 미토콘드리아형에 거의 무관한 반면, 자실체 형성 특성은 크게 차이가 났다. 이핵균들 중 B2나 B5 side의 이핵균들이 자실체 형성에서 발이 정도가 낮았으며, 자실체의 성장속도도 느렸다 (그림 2-2-35). 이는 균사체에서의 성장속도와 비슷한 양상이었다. 이러한 자실체 형성특성에 미치는 미토콘드리아의 영향으로 볼 때, 미토콘드리아유전자의 발현이 발이과정과 자실체 성숙과정에 관여하는 것으로 생각되며, 향후 추가적인 핵 유전체 발현, 미토콘드리아 유전체 발현 연구를 통하여 상관관계의 규명이 필요하다.

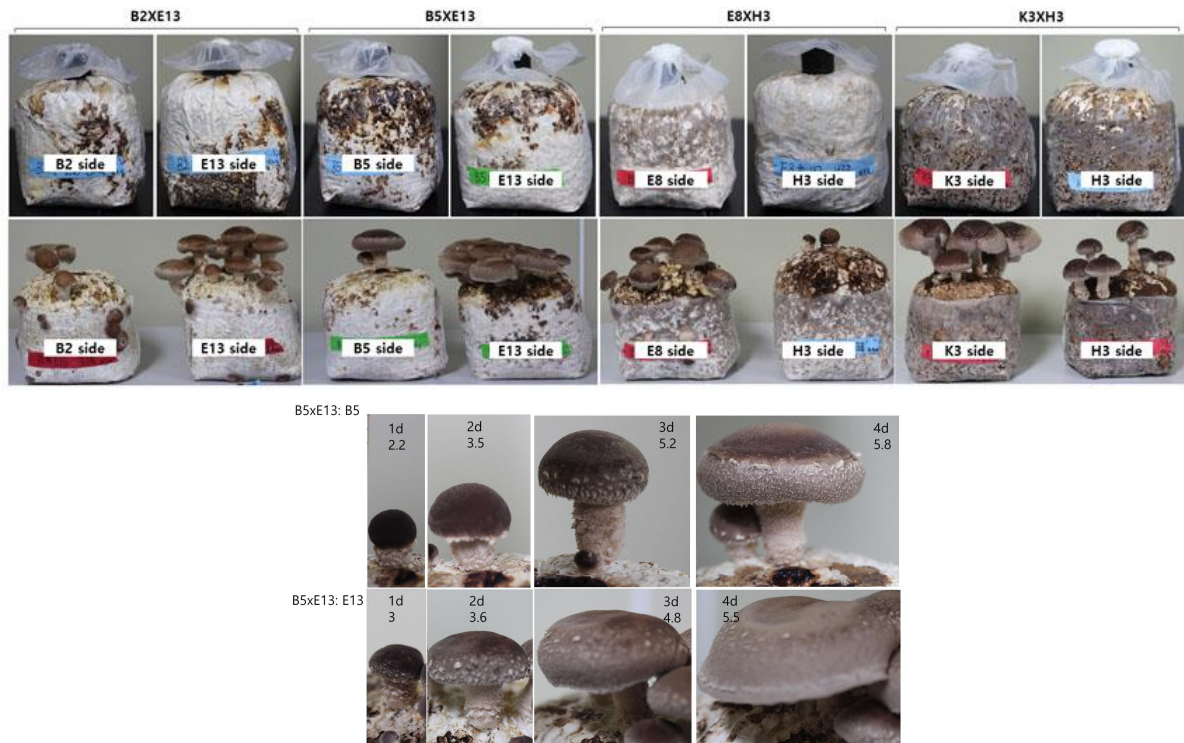
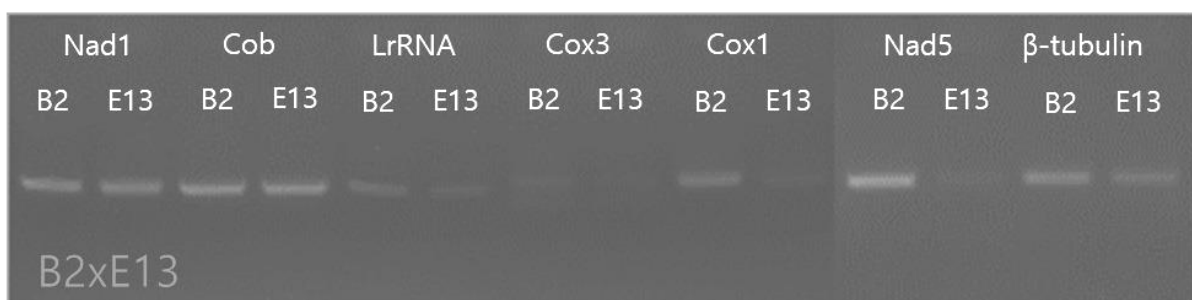


그림 2-2-35. 미토콘드리아형이 표고버섯 자실체 형성에 미치는 영향

다. 표고버섯 미토콘드리아 유전자의 발현조사

이핵균 B2xE13 내에 존재하는 미토콘드리아 유전자의 발현을 RT-PCR을 통하여 확인하였다. 이핵균의 미토콘드리아에 따라 미토콘드리아 유전자의 발현에 차이를 보였는데, E13 side의 미토콘드리아의 경우, Nad1, Cob 유전자의 발현이 높았으며, B2 side의 경우 Cox1, Nad5이 발현이 높은 것으로 판단되었다 (그림 2-2-36). 그러나, RT-PCR의 정확성이 떨어져서, 향후 발현유전체분석 및 realtime RT-PCR을 통한 정밀한 핵유전자 발현 및 미토콘드리아 유전자 발현분석이 필요하다.



	Forward						Reverse							
Nad1	CCG	GAA	ACG	CCC	TAA	AGC	GAC	TTT	CGC	CGC	CCA	TTA	G	
Cob	GGC	TGC	TTT	AGT	GGT	GGC	CAG	GTA	CAA	TTG	AAG	CAG	GTG	
Nad5	GCG	GCA	ATC	TTA	GCC	TTT	AC	GGG	GCC	TCC	ATA	CTT	CC	
Cox3	CCT	TCA	GTA	GAA	ATA	GGT	GG	CCA	TCA	CCT	AGT	AAA	GAA	CC
Cox1	ATG	CCT	AGA	AGA	ATT	CCT	G	TTG	AGT	TAG	ATG	AAG	GCA	C
LrRNA	GTA	AGC	CCA	ATA	GTG	ACC	TCC	TAC	TTT	CAT	AAG	GCA	AG	
Beta-tubulin	TCA	GGT	GCC	GGT	ATG	GGT	GAT	GGT	TGA	GGT	CAC	CG		

그림 2-2-36. 미토콘드리아유전자의 발현분석

제3절 품종보호·수입대체용 품종의 현장 적응성 시험 및 국산 품종 보급

1. 튼튼재배 품종 선발

최근 표고튼튼재배는 점차 연중재배로 발전되고 있으며 우리보다 앞선 중국은 다양한 형태로 재배하고 있다. 특히 우리나라로 들어오는 중국식 봉형배지에 적합한 품종의 선발과 재배매뉴얼 정립이 가장 시급하다. 따라서 본 연구에서는 이러한 변화에 발맞추어 국내 보호출원된 품종 중 봉형배지 및 사각배지에 적합한 품종의 선발과 재배방법 정립을 우선 수행하였다.

원통형배지의 첫 버섯발생은 배양이 완료된 배지를 시험포 별로 차광 및 살수 시설이 구비된 비닐재배사로 이동한 후 3일 이내에 상면을 개봉하고 수분관리하여 이동과정에서 받은 물리적 충격과 온도편차에 의해 자실체가 발생될 수 있도록 하였다. 배지의 개봉은 상면으로부터 약 1cm 내외를 절단하여 상면 비닐을 제거하였으며, 개봉 후 수분관리는 배지의 표면이 건조되지 않도록 1일 3~5회씩 동력 분무기 또는 스프링클러로 배지 표면에 살수를 실시하였다. 낮 시간에는 차광망을 이용하여 재배사내부로 직사광선이 들어오는 것을 막아 재배사 내부의 온도가 과도하게 높아지지 않도록 조절하였다. 버섯발생 2주기 이후부터는 발생작업 약 3일 전부터 점차 살수량을 늘려준 후 스프링클러를 이용하여 12시간 살수 후 배지의 상면이 재배사 바닥에 닿도록 뒤집은 후 다시 12시간 살수를 실시한 후 반일간 두었다가 원위치 하는 방법으로 발생작업을 하였으며, 휴면기간 없이 계속 버섯을 발생시켜 수확하였다.

봉형배지의 첫 버섯발생은 배양이 완료된 배지를 차광 및 살수 시설이 구비된 비닐재배사로 이동한 후 첫 버섯은 버섯발생부위만 일부 컷팅하여 버섯을 생산하였으며 이 후 비닐을 전면 개봉하여 개봉버섯 수확하였다. 이 후 갈변촉진작업을 진행하였으며 침봉을 통하여 발생을 진행하였다. 현재 농가별로 4에서 6주기 버섯을 생산, 조사하였다.

사각형배지의 첫 버섯발생은 배양이 완료된 배지를 판넬형태의 재배사에서 전면을 개봉하고 수분관리하여 이동중의 물리적 충격과 온도편차에 의해 자실체가 발생될 수 있도록 하였다. 개봉 후 수분관리는 배지가 건조되지 않도록 1일 5회씩 동력분무기를 이용하여 살수를 실시하였다. 갈변 촉진작업을 통하여 배지의 갈변이 잘 이루어지는 시기에 2주기 버섯 발생을 진행하였으며 발생을 침봉을 통하여 원배지 무게만큼의 수분을 공급하여 버섯을 발생시켜 수확방식으로 3주기 버섯을 생산하였다.

표 2-3-1. 배지형태별 재배방법

배지형태	갈변 촉진작업	발생방법	비고
1.3kg 원통형배지	3분씩 4회/1일, 25℃	3-6시간 살수 ⇒ 뒤집기 ⇒ 2-10시간 살수 ⇒ 원위치	
2.7kg 사각배지	5분씩 4회/1일, 25℃	침봉(1분) ⇒ 5시간 살수 원배지 무게만큼의 수분공급	
3.7kg 봉형배지	5분씩 4회/1일, 25℃	24시간 살수 ⇒ 침봉(15~20초) 원배지 무게만큼의 수분공급	

가. 산마루2호

산마루2호는 봉형배지에서 배양일수는 100일 정도에서도 정상적으로 발이가 잘 이루어지고 생산성은 우수하나 대가 많이 길고 자실체가 작은 편이다. 작은 충격에도 발생이 잘 되며 소립으로 품질이 떨어지는 경향이 있다. 사각배지에서도 다른 품종에 비하여 생산성이 우수하였으나 대체적으로 갓의 크기가 중형이며 갓의 두께는 얇고 버섯의 육질은 비교적 충실하였다.

원통형배지에서 재배적 특성조사 결과 갓의 크기는 중형이며, 갓의 두께는 양호하여 버섯 육질이 비교적 충실하였다. 대길이 비율 결과에서 대가 긴 특성이 조사되었으며, 대의 굵기는 보통이었다. 개체중이 다소 낮게 조사되어 버섯 수확시 중형 크기로 조사되었으며, 버섯수확량은 양호한 품종으로 평가되었다. 갓색은 밝은 갈색이며 단단함은 보통으로 조사되었다. 중고온성 품종이나 중온성의 온도범위에서도 버섯발생 및 생육이 원활하여 11월까지 버섯수확을 지속할 수 있으며 가을이후 화고형의 버섯이 발생되었다. 버섯발생 최성기는 8중순부터 9월까지이며 오히려 온도가 높은 여름철 일별 최저온도가 20℃ 이상에서는 버섯발생량이 감소되는 특성을 보였다.

표 2-3-2. 산마루2호 품종 특성


발생형	고온성(25~30℃)	
육성방법	교배육성	
버섯생산 효율(%)	35%	
재배특성	<ul style="list-style-type: none"> - 기동형 톱밥재배용 품종임 - 배양기간이 100일 정도로 짧음 - 버섯 색깔이 밝은 갈색임 - 주발생시기는 여름임 	

표 2-3-3. 산마루2호의 자실체 특성(3.7kg 봉형)

갓모양(측면)	갓직경(mm)	갓두께(mm)	인피부착부위	갓주름 밀도
평반구형	74.3±8.3	19.1±2.8	갓둘레	보통
대길이(mm)	갓/대 길이비율	대굵기(mm)	개체중(g)	수확량(g/봉)
53.6±8.4	1.4±0.4	14.9±2.4	35.7±8.1	1,270

나. 산백향

산백향은 봉형배지에서 발이가 적당하여 숙기작업이 거의 필요하지 않으며 생산성이 우수하였다. 자실체가 크고 평반구형이며 온도가 높을 시 대길이가 길어지는 것이 특징이며 배지당 6주기까지 1kg 생산이 가능하다. 배지배양 시 갈변은 밝은 갈색으로 진행이 되며 110일 정도로 배양일수가 짧아 봄부터 가을까지 재배에 적합한 중고온성이 특징이며 색택이 밝다.

표 2-3-4. 산백향 품종 특성


발생형	저온성(15~20℃)	
육성방법	교배육성	
버섯생산 효율(%)	30%	
재배특성	- 톱밥재배용 품종임 - 배양기간이 100일 정도로 짧음 - 재배환경에 따라 대의 굵기가 일정하지 않음	

표 2-3-5. 산백향의 자실체 특성(3.7kg 봉형)

대길이(mm)	갓/대 길이비율	대굵기(mm)	개체중(g)	수확량(g/봉)
49.1±8.1	1.3±0.4	18.2±2.1	28.7±4.1	1,100
갓모양(측면)	갓직경(mm)	갓두께(mm)	인피부착부위	갓주름 밀도
평반구형	67.4±5.8	18.4±2.8	갓둘레	보통

다. 참아람

참아람은 봉형배지에서 발이수가 많은 편에 속하며 자실체 색택이 짙은갈색이다. 고온기에도 적은 충격으로도 발이가 잘 되며 고온기에는 버섯이 무르나 생산량이 많고 쉽게 버섯이 발생한다는 것이 장점이고 거의 비슷한 시기에 버섯발이가 되므로 초기 품질이 관리만 잘하며 저온기에는 고품질의 버섯 생산이 가능하다.

사각배지에서도 발이수가 많은 편이며 색택이 대조균주인 XR-1 보다 어두운 특성을 보이거나 저온기에 좋은 품질이 형성되고 있음. 원통형배지에서의 재배적 특성 결과 갓의 크기는 중대형이며, 갓의 두께는 우수하여 버섯 육질이 충실하였다. 대길이 비율 결과에서 갓의 넓이보다 대가 짧아 형태적으로 이상적으로 조사되었으며, 대의 굵기도 보통이었다. 개체중과 버섯수확량은 양호한 품종으로 평가되었다.

참아람은 갓색이 갈색이며 화고형성이 잘되는 특성을 나타냈다. 재배사 내부 평균온도를 15℃ (야간최저 12℃, 낮최고 22℃) 내외로 유지하면 자실체 생산성이 안정적이면서 양호한 특성을 보여 동절기 재배에 충분히 적합한 품종으로 조사되었다. 특히 품질 측면에서도 저온발생시 매우 우수한 것으로 조사되었다. 참아람은 톱밥배지 접종 직후부터 배양초기에 빛에 노출되었을 시 미갈변 현상을 초래 하므로 주의해야 하며 배양 초기에 반드시 광이 전무한 환경에서 암배양 해야 하며 권장 암배양 기간은 40일 이상이 바람직하였다.

표 2-3-6. 참아람 품종 특성


발 생 형	중온성(8~18℃)	
육성방법	교배육성	
버섯생산 효율(%)	27.3%	
재배특성	<ul style="list-style-type: none"> - 저온기(11~3월) 재배 유리 - 가온시설 이용시 동절기 재배가능 - 저온에서 버섯품질 우수 - 배양기간이 짧고 병해에 강함 - 버섯발생 및 생육이 빠름 평균 20℃ 이상에서 생육시 품질저조	

표 2-3-7. 참아람의 자실체 특성(3.7kg 봉형)

갓모양(측면)	갓직경(mm)	갓두께(mm)	인피부착부위	갓주름 밀도
평반구형	74.1±10.2	21.3±3.1	갓둘레	보통
대길이(mm)	갓/대 길이비율	대굽기(mm)	개체중(g)	수확량(g/봉)
44.4±11.1	1.6±0.2	16.3±2.1	37.2±8.1	1,250

라. 산조 707호

산조707호는 봉형배지에서 배양온도가 22℃ 이상일 때 갈변되는 도중에 배지표면 부위에 푸른곰팡이가 발생하기 쉬우며 발생 작업 시 배지관리에 어려움이 많고 수확량에도 영향을 미치므로 명배양시 20℃ 이하에서 관리하면 갈변이 잘 이루어질 수 있다.

배지는 고온기에도 강한 편이고 자실체는 크고 밝은 색택이며 단단하며 화고가 되기 쉬운 품종이다. 10월부터 이듬해 5월까지 재배하며 자실체도 모양이 예쁘나 온도가 높으면 갓이 삼각형으로 각진 모양으로 상품성이 떨어지고 습한 경우 저장력이 떨어지나 건조하게 저온에서 생육하며 품질이 우수하게 나타났다.

사각배지에서는 봉형이나 원통형보다 생산성이 다른 품종보다 높게 나왔으며 추후 사각배지 국산품종으로 XR-1을 대체할 수 있을 것으로 판단된다.

원통형배지에서의 특성은 갓의 크기는 중대형이며, 갓의 두께는 우수하여 버섯 육질이 비교적 충실한 것으로 조사되었다. 대길이 비율 결과에서 시험품종 중에서 대길이가 가장 짧은 품종으로 나타나 버섯의 외형이 우수하였으며, 대의 굽기도 가장 우수하였다. 개체중이 아주 높게 조사되었으며, 버섯수확량은 양호한 품종으로 평가되었다.

갓색은 밝은 갈색이며 단단함은 보통으로 조사되었다. 가을이후 화고형의 버섯이 발생량이 증가되었다. 버섯발생 최성기는 9월에서 10월이며, 11월 이후에는 재배사 내부 온도를 야간 발생 온도 8~10℃ 유지하면 자실체 생산성이 안정적이면서 양호한 특성을 보여 동절기 재배에 충분히 적합한 품종으로 조사되었다.

표 2-3-8. 산조707호 품종 특성


발생형	중온성(8~18℃)	
육성방법	교배육성	
버섯생산 효율(%)	27.3%	
재배특성	<ul style="list-style-type: none"> - 저온기(11~3월) 재배 유리 - 가온시설 이용시 동절기 재배가능 - 저온에서 버섯품질 우수 - 배양기간이 짧고 병해에 강함 - 버섯발생 및 생육이 빠름 - 평균 20℃ 이상에서 생육시 품질저조 	

표 2-3-9. 산조707호의 자실체 특성(3.7kg 봉형)

갓모양(측면)	갓직경(mm)	갓두께(mm)	인피부착부위	갓주름 밀도
반구형	77.7±8.1	29.7±2.8	갓둘레	보통
대길이(mm)	갓/대 길이비율	대굽기(mm)	개체중(g)	수확량(g/봉)
40.1±8.8	1.9±0.4	20.4±2.3	56.6±9.3	850

마. 산조 708호

산조708호는 봉형배지에서 배양일수가 150일 이상인 품종으로 추재2호와 같은 자실체 형태이며 저온에서 버섯이 단단하고 대가 통통한 형태이며 단백한 맛을 가지는 특징이 있다. 온도가 높을 시 버섯이 무르고 갓이 빨리 피는 것이 단점이나 겨울재배에 적합한 품종으로, 생산량이 높을 시 추재2호의 대체 품종으로 고려해 볼 수 있다고 여겨진다.

사각배지에서는 발생량이 적으로 품질은 우수하게 나타났으며 계속적이 재배를 통하여 사각배지에 적합한 재배매뉴얼을 정립하여야 함. 원통형재배 특성결과 결과 갓의 크기는 중형 또는 중대형이며, 갓의 두께는 양호하여 버섯 육질이 충실하였다. 대길이 비율 결과에서 비교적 대가 길게 자라는 특성을 보였으며, 대의 굽기는 보통이었다. 개체중이 양호하였으며, 버섯수확량은 매우 우수한 품종으로 평가되었다. 유사한 온도형을 가진 참아람 품종에 비해 저온에서 갓색이 밝고 습에 강한 것으로 조사되었으나 화고발생 비율은 낮은 특성을 보였다.

자실체의 크기는 동일한 환경에서 참아람 품종에 비해 다소 작은 것으로 조사되었으나 균일성이 높았다. 10월 말 이후 재배사 내부 평균온도를 15℃(야간최저 12℃, 낮최고 22℃) 내외로 유지하면 자실체 생산성이 참아람과 동일하게 안정적이면서 양호한 특성을 보여 동절기 재배에 충분히 적합한 품종으로 조사되었고 동절기 발생작업 시 2~4일간의 간헐적인 살수만으로도 발생이 원활한 장점을 가지고 있는 것으로 조사되었다.

표 2-3-10. 산조708호 품종 특성


발생형	중온성(9~19℃)	
육성방법	교배육성	
버섯생산 효율(%)	25%	
재배특성	<ul style="list-style-type: none"> - 저온(평균10-15℃) 발생 유리 - 갓형태가 반구형, 쉽게 꺾이지 않음 - 상대적으로 대가 굵고 균일성 높음 - 배지수명이 길고 수확이 쉬움 (탈립성 우수) - 중엽형, 개체중 우수(평균 33g) - 주발생시기는 가을, 겨울, 봄 	

표 2-3-11. 산조708호의 자실체 특성(3.7kg 봉형)

갓모양(측면)	갓직경(mm)	갓두께(mm)	인피부착부위	갓주름 밀도
반구형	77.8±9.3	20.7±2.1	갓둘레	보통
대길이(mm)	갓/대 길이비율	대굵기(mm)	개체중(g)	수확량(g/봉)
76.6±10.8	1.1±0.2	24.2±2.6	63.5±10.1	450


바. 산조 715호

배양기간은 110-120일 내외이며, 배양온도가 25℃ 이상일 경우 배지가 물러지는 특성이 있으므로 22℃ 내외로 배양온도 유지가 중요하다. 명배양 전환 후 배지의 용기진행 과정에서는 배양온도를 2~3℃ 하온시켜 18~20℃ 온도 범위로 배양을 진행하는 것이 좋으며, 환기를 충분히 시켜 용기와 갈변을 균일하게 유도하는 것이 중요하다.

산조715호는 중온성으로 봄, 가을철 고품질 버섯생산에 적합하고, 배양과 후숙(개봉이후) 기간이 180~200일로 비교적 긴 품종이다. 주로 5~6월에 개봉하여, 8월~11월에 고품질로 수확하는 재배법이 일반적이며, 개봉이후 후숙관리 기간 온도는 22℃ 내외, 습도는 70~80%로 유지해 준다. 살수관리는 배지상면이 건조하지 않도록 일일 2~3회 살수한다. 개봉이후 살수시간은 비교적 짧게 진행하여 배지함수율을 50~60% 범위로 유지하는 것이 좋으며, 살수를 많이 하여 배지함수율이 70% 이상일 경우 버섯발생이 늦어지며 발생량도 미흡하다.

버섯발생 형태는 산발생형이며 버섯발생량이 많아 생산성이 우수하나 일부 숙기작업이 필요하다. 버섯발생 온도는 13~16℃이며, 생육온도는 20℃ 내외가 적정하다. 발생주기는 3~4주 간격으로 진행하며, 휴양온도는 22℃ 내외가 적정하다.


표 2-3-12. 산조715호 품종 특성

발생형	중온성(10~23℃)	
육성방법	교배육성	
버섯생산 효율(%)	23%	
재배특성	<ul style="list-style-type: none"> - 대조품종 보다 갓직경이 큼 - 가을철 발생이 잘되며 중온성임 - 갓이 두텁고 단단하여 저장성이 우수함 - 대길이가 짧고, 버섯발생은 산발형으로 생산관리에 유리함 	

사. 산조 718호


산조718호는 중고온성 품종으로 봄부터 가을까지 재배가 가능한 품종이며 5~6월과 8~10월에 버섯발생이 양호하다. 개봉이후 버섯발생이 매우 빠르며 속성 재배가 가능한 품종이며, 갓은 중대엽형이고 육질이 우수하다. 갓색이 밝고 화고성이 있으며, 균일성이 높고 기형버섯 발생율이 낮다. 배양기간은 100-120일 내외이고, 개봉 및 버섯수확 후 후숙기간(본발생 까지 소요기간)이 30~40일 소요된다. 개봉이후 버섯발생이 빠른 속성재배용 품종으로서, 4~10월까지 버섯 발생 및 품질이 우수하며 버섯발생시 16℃ 이하로 온도를 낮추면 버섯발생이 양호하며, 버섯발생 주기는 17~18일이 소요된다.

표 2-3-13. 산조718호 품종 특성

발생형	중고온성(13~22℃)	
육성방법	교배육성	
버섯생산 효율(%)	21%	
재배특성	<ul style="list-style-type: none"> - 버섯발생이 매우 빠른 품종 - 고온에서 발생이 잘되며 품질 우수 - 갓두께가 두터우며 대길이가 짧음 - 갓강도가 단단하며 화고성 우수 	


아. 산조 713호

표 2-3-14. 산조713호 품종 특성

발생형	중온성(8~21℃)	
육성방법	교배육성	
버섯생산 효율(%)	24.7%	
재배특성	<ul style="list-style-type: none"> - 대조품종 보다 갓직경이 큼 - 중온성임 - 주기에 관계없이 발생량이 양호 - 대조품종의 단점인 명배양에서도 미갈변 현상이 발생하지 않음 	

자. 산조 719호

표 2-3-15. 산조719호 품종 특성

발생형	중온성(13~22℃)	
육성방법	교배육성	
버섯생산 효율(%)	26%	
재배특성	<ul style="list-style-type: none"> - 갓형태가 반구형이며, 갓두께가 두꺼움 - 대가 매우 짧고, 갓/대길이 비율이 우수 - 버섯발생이 대조품종 보다 빠르고 생산성이 높음 - 갓강도가 단단하며 화고성 우수 	

차. 산조 720호

표 2-3-16. 산조720호 품종 특성

발생형	중온성(13~24℃)
육성방법	교배육성
재배특성	<ul style="list-style-type: none"> - 봄~가을 발생이 양호한 품종 - 균사생장 속도가 대조품종 보다 빠름 - 대가 매우 굵고, 갓/대길이 비율이 우수 - 갓은 평반구형으로 두텁고 색택이 밝음 - 갓강도가 단단하고 화고성 우수

2. 시험품종 실증지 선정 및 시험포 구축

선발 품종의 현장적응성 검토를 위한 실증재배지는 여주 산림버섯연구센터를 포함한 7개 지역에서 수행하였으며 전시포 및 시험포를 운영하였다.

표 2-3-17. 시험품종 실증지 목록(2017년 ~ 2021년)

연도	지역	시험품종	재배형태	비고
1년차 (2017)	전남 장흥	산백향, 산마루2호, 참아람, 산조707호, 산조708호	봉형	
	전남 장흥	산백향, 산마루2호, 참아람, 산조707호, 산조708호	봉형	
	충북 청주	산조707호, 산조708호	봉형	
	경기 여주	산백향, 산마루2호, 참아람, 산조707호, 산조708호	봉형	
	경북 청도	산백향, 산마루2호, 참아람, 산조707호, 산조708호	사각	
	충남 청양	참아람	원통형	
	경기 여주	산조708호	원통형	
2년차 (2018)	전남 장흥	산백향, 산마루2호, 참아람, 산조707호, 산조708호	봉형	
	전남 장흥	산백향, 산마루2호, 참아람, 산조707호, 산조708호	봉형	
	충북 청주	산조707호, 산조708호	봉형	

연도	지역	시험품종	재배형태	비고
2년차 (2018)	경기 여주	산백향, 산마루2호, 참아람, 산조707호, 산조708호	봉형	
	경북 청도	산백향, 산마루2호, 참아람, 산조707호, 산조708호	사각형	
	충남 청양	참아람	원통형	
	경기 여주	산조708호	원통형	
3년차 (2019)	전남 장흥	산백향, 밤빛향 참아람, 산조707호, 산조715호, 산조718호	봉형	
	전남 장흥	산백향, 밤빛향, 참아람, 산조707호, 산조715호	봉형	
	충북 청주	산백향, 밤빛향, 참아람, 산조707호, 산조715호	봉형	
	경기 여주	설백향, 산백향, 산마루2호, 참아람, 산조707호, 산조715호	봉형 원통형	
	경북 청도	산백향, 밤빛향, 참아람, 산조707호, 산조715호	사각형	
	충남 청양	산조715호	원통형	
4년차 (2020)	경기 여주	산조708호	원통형	
	전남 장흥	만추향, 산산향, 산조701호, 참아람, 산조713호, 산조715호, 산조719호	봉형	
	충북 청주	만추향, 산산향, 산조701호, 참아람, 산조713호, 산조715호, 산조719호	봉형	
	충남 청양	산조719호	원통형	
	경기 여주	산백향, 만추향, 산산향, 산조701호, 참아람, 산조713호, 산조715호, 산조719호	봉형 원통형	
5년차 (2021)	경북 청도	만추향, 산산향, 산조701호, 참아람, 산조713호, 산조715호, 산조719호	사각형	
	전남 장흥	산백향, 태향고, 참아람, 산조713호, 산조719호, 산조720호	봉형	
	충북 청주	산백향, 태향고, 참아람, 산조713호, 산조719호, 산조720호	봉형	
	경기 용인	산백향, 태향고, 참아람, 산조713호, 산조719호, 산조720호	봉형	
	충남 청양	산조20호	원통형	
	경기 여주	산백향, 태향고, 참아람, 산조713호, 산조719호, 산조720호	봉형	
경북 청도	산백향, 태향고, 참아람, 산조713호, 산조719호, 산조720호	사각형		

가. 시험품종 재배시험

(1) 2017년

참아람은 발이가 잘되며 품질 및 생산성이 우수하고 온도가 내려갈수록 고품질의 버섯이 생산되었다. 산백향은 발이가 적당하여 숙기작업이 거의 필요 없고 생산성이 우수하였다. 산마루 2호는 생산성은 우수하나 대가 길고 자실체가 작으며 산조708호는 저온성 특성을 가지며 추재 2호 대체 품종으로 고려해 볼 만 하다. 산조707호는 품질이 우수하나 생산성이 떨어지는 경향이 있으나 추후 향고808(중국품종) 대체품종으로 활용해볼 만한 품종이다.

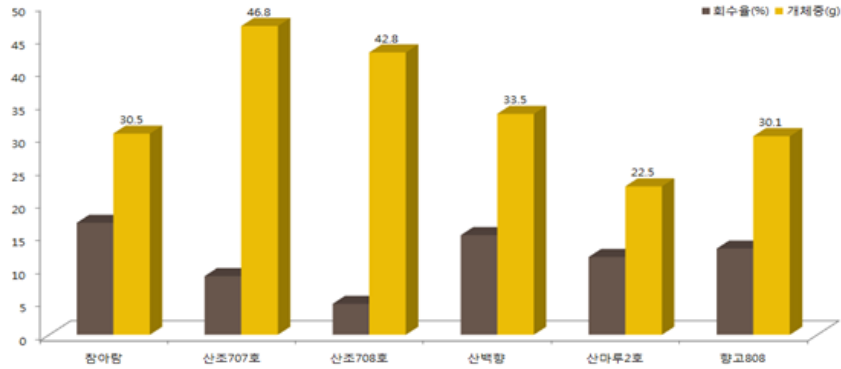


그림 2-3-1. 봉형배지 생산성(산림버섯연구센터)

원통형 재배에서 생산성은 참아람이 가장 우수하게 나타났으며 온도에 따라서 생산성의 차이가 보이는 것을 확인 할 수 있었다. 또한 품질에서는 산조715호와 밤빛향에서 좋았으나 생산성이 좋지 못하였다. 밤빛향은 배양에 큰 특성이 없었으나 산백향은 갈변수가 많이 발생하여 오염이 되는 경향을 보였음. 봉형재배에서는 원통형 배지와 비슷한 특성을 보였으며 참아람과 산백향에서 우수한 생산성을 보이는 것으로 확인 되었으며 추후 품종별 매뉴얼을 대입한다면 국산품종 보급 확대가 이루어 질것으로 보임.

(2) 2018년

(가) 산림버섯연구센터(원통형배지)

산조713호에서 생산성 및 품질이 좋게 나타나는 것을 확인할 수 있었다. 다른 품종들은 산조713호에 비하여 생산성이 낮게 나타났으며 산조715호는 품질이 좋게 나타나는 것을 확인할 있었다.

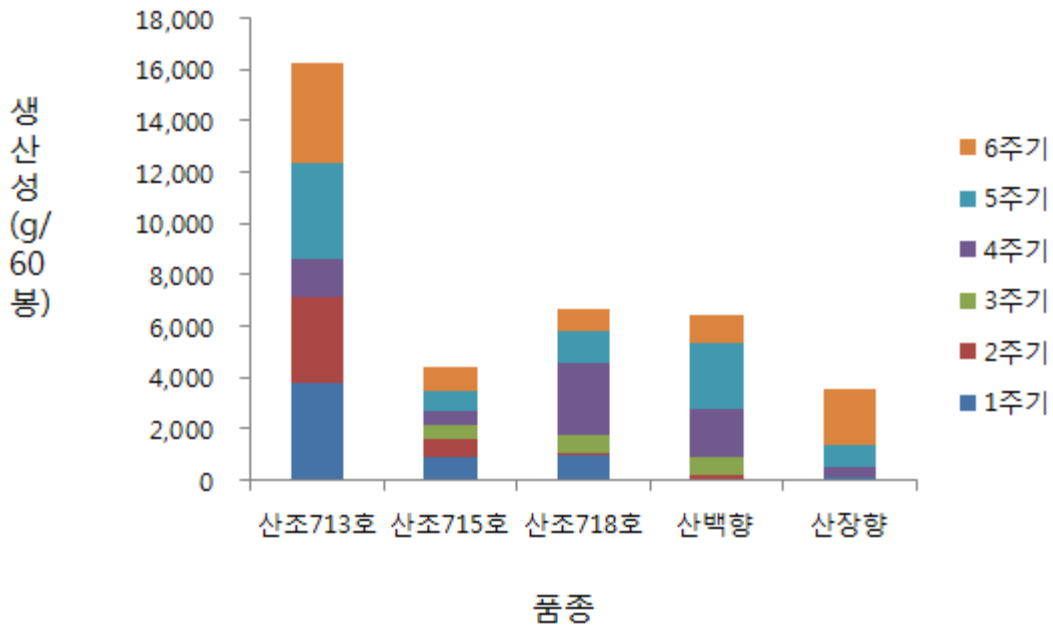


그림 2-3-2. 품종별 생산성 조사(원통형)

(나) 장흥(봉형배지)

5가지 품종 중 산조715호와 산백향에서 생산성이 가장 우수하게 나타나는 것을 확인할 수 있었다. 대부분 품종에서 개봉버섯이 생산성이 가장 좋았으며 주기가 진행 될 수 생산성이 떨어지는 것을 확인할 수 있었다. 산조713호는 버섯크기는 중소형이며 화고가 잘 되며 참아람과 유사한 특성을 가지는 것을 확인할 수 있었다. 산조715호는 버섯육질이 단단하고 색택이 밝아 품질이 우수하나 갈변수가 많이 발생하는 단점을 가지고 있다. 산조718호는 생산성 및 품질이 봉형재배에서는 적합하지 않게 나타났다. 산장향은 산백향과 비슷한 특징을 가지고 있으나 생산성이 좋지 못하다. 산백향은 쉽게 발이가 잘되며 생산성도 좋으나 대체적으로 대의 긴 길이가 단점이다. 추후 품종별 매뉴얼을 대입한다면 국산품종 보급확대가 이루어 질것으로 보인다.

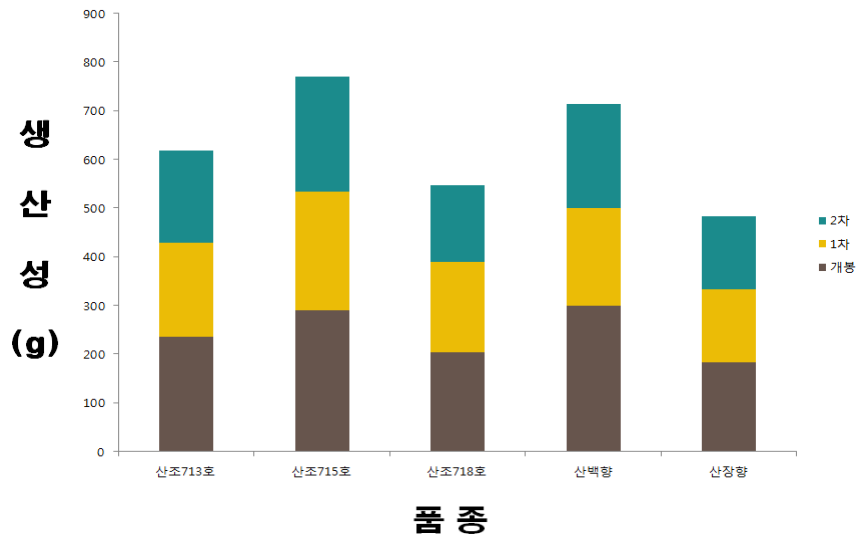


그림 2-3-3. 품종별 생산성 조사(장흥)

(다) 청도(사각배지)

5개의 품종 중 산조713호는 다발이 많이 이루어져 숙기 작업이 너무 어렵고 버섯의 품질이 많이 떨어졌으며 산조715호는 생산성 및 품질이 우수하나 갈변수의 문제를 극복해야하는 문제가 있었다. 산조718호는 개체수가 XR-1과 비슷하며 생산성이 좋은 특징을 가지고 있었다. 산백향은 생산성 및 품질이 우수하나 대가 조금 긴 단점을 가지고 있으며 산장향은 버섯의 품질은 좋으나 생산량이 적은 특징을 보였다.

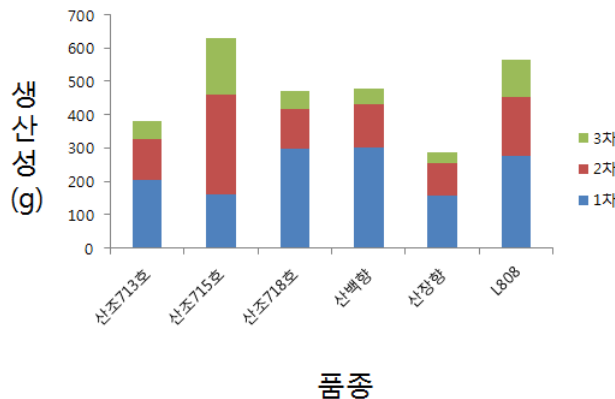


그림 2-3-4. 품종별 생산성 조사(사각)

(라) 청주(봉형배지)

산조713품종이 생산성이 가장 좋았으며 발이율이 일정하고 배양 중 오염이 없는 장점을 가지고 있다. 또한 GSP 시험품종 중 가장 좋은 품질이 가지는 것을 확인할 수 있었다.

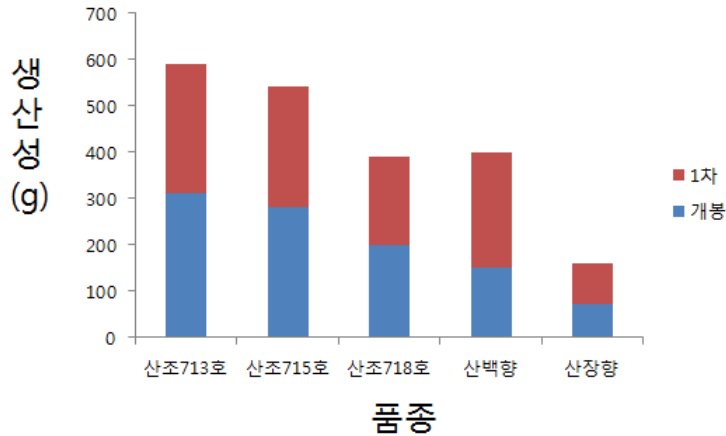


그림 2-3-5. 품종별 생산성 조사(청주)

(3) 2019년

(가) 장흥지역(봉형배지)

참아람은 품질이 생산성이 우수하나 다발성 및 색택이 어두운 특징이 있었다. 품질 및 생산성이 좋아 L808 대체 품종으로 사용할 여지가 있다. 산조707호는 자실체가 크고 색택이 밝으며, 고온에 저장성이 약하다. 산조715호는 가을철에 발생이 잘 되며 중온성이다. 갓이 두텁고 단단하여 저장성이 우수하며, 대 길이가 짧고 버섯발생은 산발형으로 관리가 유용하다. 향고808 대체 품종으로 가능하리라 판단된다. 밤빛향은 배양일수 100-110일이 적당하여 자실체의 크기는 중엽이다. 색택은 삼갈색, 버섯 대의 길이는 보통이며 발이수가 적어 숙기 작업이 양호하다. 버섯 모양은 산조707호와 거의 유사하나 버섯의 단단함은 보통이다. 생산성은 보통이며 중온성이나 중고온성이다. 설백향은 배양일수 110-120일이며 갈변시 갈변 진행이 느리고 희끗한 부분이 많으며 작은 충격에도 민감하며 작은 버섯들이 비닐 내부에서 너무 많이 발생하는 것이 특징이다. 갈변 시 율기가 두텁게 되도록 하는게 좋을 것 같음. 배양 시 배지는 단단하였으나 재배 시 배지가 약해 1주기 버섯 수확이후에는 썩는 배지가 다량으로 발생한다. 산백향은 배지가 충분히 배양 된 후라도 고온기 때 개봉 시 공기 접촉이 없어 갈변이 이루어지지 않은 부분에 유독 갈변수가 많이 발생하고 생육 시 자실체에 떨어져 썩게 하는 증상이 과다 발생한다. 또한 배지 표면에 푸른곰팡이가 발병하여 배지 수명을 단축시킨다 다습한 환경 재배 시 배양을 충분히 시키지 않고 강제 갈변 작업 후 후숙을 시키고 발생하는 것이 효과적이다.

(나) 청도지역(사각배지)

산조715호는 120일 배양에 1주기 수확량이 300g이상 15일 휴양 후 2주기 200g이상으로 생산성이 아주 우수하다. 개봉 후 곰팡이가 빨리 나타나는 현상이 있으나 배지가 튼튼한 편이다. 버섯의 모양이 모자를 쓴 듯 특이하다. 2주기부터는 모양이 단단하고 무게가 많이 나가는 버섯들이 발생한다. 참아람은 배양 120일 후 개봉하는 것이 가장 좋으며 1주기 숙아내기 작업을

많이해야 한다. 벼섯이 가볍고 온도가 18℃ 이상에서는 빨리 피는 현상이 있다. 산조707호는 배양기간이 길지만 벼섯의 형태가 우수하고, 동절기 재배에 유리하다. 산백향은 110일 배양으로 가장 짧으나 배지의 오염이 심하고 2, 3주기 발생이 힘들다. 벼섯의 대가 가늘고 긴 것이 특징이며 벼섯은 기형이 없이 원형을 띤다. 밤빛향은 배양일수는 적지만 생산량이 우수하지 못하다.

(다) 청주지역(봉형배지)

참아람은 벼섯 생산성 및 품질이 우수하며 단단하고 무겁다. 1, 2, 3 주기 벼섯 생산량이 꾸준하나 배양기간이 길다. 산조707호는 배양기간이 길지만 벼섯형태가 우수하다. 추재2호 대체 품종으로 가능하다고 본다. 산조715호는 1주기 생산량이 많으며 다발하여도 벼섯이 크고 대가 두껍다. 배양이 빠른 편이나 참아람에 비해 벼섯이 무르다. 산백향은 생산성이 좋으나 갈변수에 의해 배지가 많이 오염이 된다. 대가 가늘고 벼섯이 작을 때 개열이 된다. 설백향은 발이량이 적으며 갓이 잘 갈라진다.

(4) 2020년

(가) 산림벼섯연구센터(원통형배지)

7가지 품종 중 산조713호와 산조719호에서 생산성이 가장 우수하게 나타나는 것을 확인할 수 있었다. 산조701호는 우리나라에서 가장 많이 생산하고 있는 품종의 하나로 전형적인 표고의 형태를 보이고 있으며 초심자들이 재배하기에 가장 좋은 품종이다.

참아람은 생산성은 좋았으나 선택이 진하여 품질이 우수하지 못하는 것으로 나타났으며 산조715호는 생산성은 많지 않았으나 품질은 우수하게 나타나는 것을 확인할 수 있었다. 산조719호는 2019년에 출원한 품종으로 봉형과 원통형에서 생산성 및 품질이 우수하였으며 재배기술이 정립된다면 추후 많은 재배자들이 사용할거라 사료된다. 산산향은 벼섯 발이가 잘 이루어지지 않았으며 만추향은 생산성은 우수하나 배지가 해균에 약한 특징을 보였다.

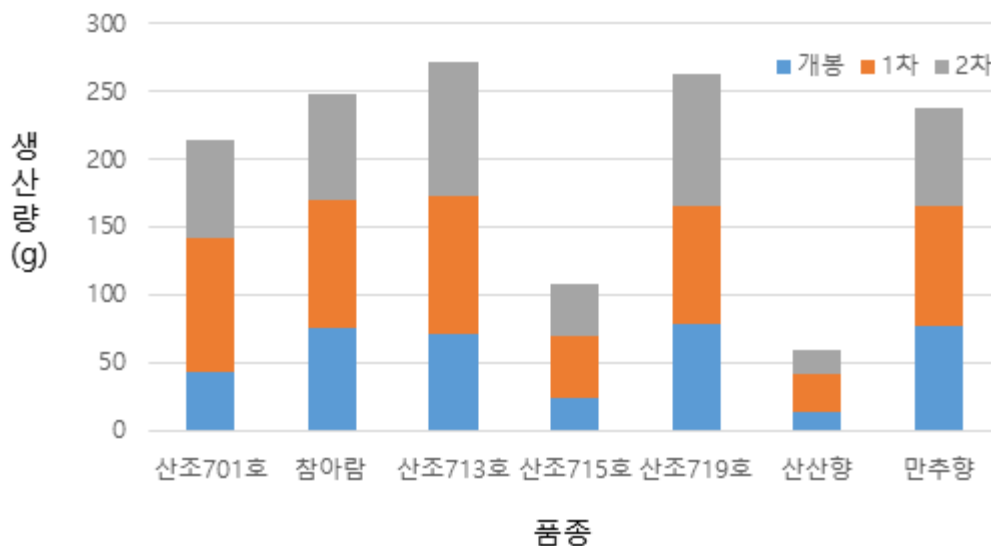


그림 2-3-6. 품종별 생산성 조사(여주_원통형)

(나) 산림버섯연구센터(봉형배지)

9가지 품종 중 산조701호와 참아람, 산백향에서 생산성이 가장 우수하게 나타나는 것을 확인할 수 있었다. 대부분 품종에서 개봉버섯이 생산성이 가장 좋았으며 주기가 진행 될 수 생산성이 떨어지는 것을 확인할 수 있었다. 산조713호는 참아람을 자간교배한 품종으로 참아람의 특성을 보이며 생산성 및 품질이 좋게 나타나는 것을 확인할 수 있었다. 산조715호는 버섯육질이 단단하고 색택이 밝아 품질이 우수하나 갈변수가 많이 발생하는 단점을 가지고 있다. 산조719호는 생산성 및 품질이 타 품종에 비하여 좋게 나타났으며 추 후 발생작업을 통하여 봉형재배에 맞는 품종으로 검증해야 할 것으로 사료됨. 산산향은 만추향은 배양과정 중에 타 품종에 비하여 해균에 약한 것으로 오염이 많이 되었으며 개봉 후에도 갈변촉진이 잘 이루어지지 않으며 버섯의 생산성이 많이 떨어지는 것으로 확인되었다.

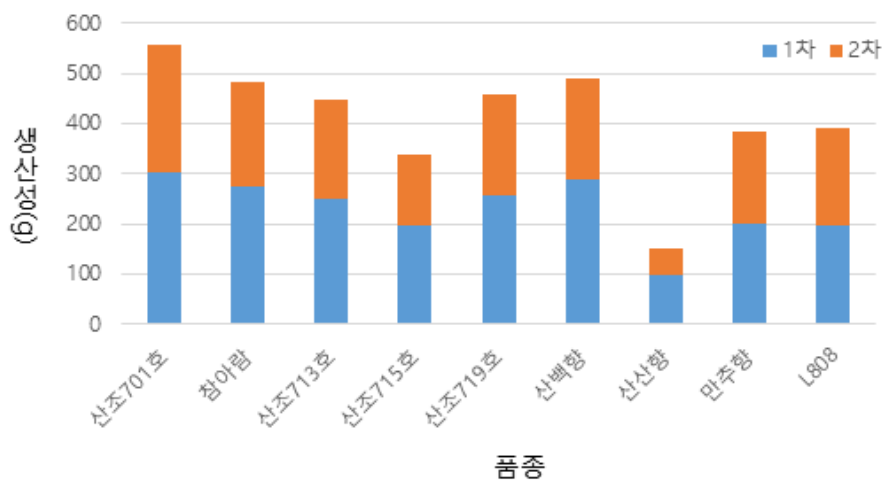


그림 2-3-7. 품종별 생산성 조사(여주_봉형)

(다) 장흥(봉형배지)

참아람은 배양 시 균활력이 좋고 해균에 강하며 고온에 한달이상 노출이 되어도 사멸하지 않을 정도로 강하며 중온성의 특징을 보임. 생산성을 높으나 색택이 짙은 단점을 가지고 있다. 산조701호는 배양시 균 활력이 좋고 해균에 강하나 야간 온도가 15℃ 이하로 떨어지면 발이가 잘 안되는 특징을 가지고 있다. 자실체 색택은 밝은 갈색, 중대엽, 단단한 편이고 고온기에 가장 적합한 품종으로 사료된다.

산조715호는 갈변과정에서 해균에 약해지기 쉬우며 갈변수가 정체가 되지 않도록 관리를 해줄 필요가 있다. 품질은 양호하나 타 품종에 비해 생산성을 보통이다. 산조713호는 암배양시 빛에 민감하며 품질 및 생산성이 양호한 편이다. 자실체 색택은 밝은 갈색이고 중대엽, 단단하고 화고가 되기 쉬운 편이며 중저온성에 가깝다.

산조719호는 군사세력이 강하나 배지표면에 분해수 정체로 인한 푸른 곰팡이 발생시 발이가 잘 되지 않는다. 발생 작업 시 발이수가 골고루 잘 되며 원기형성이 L808 대체 품종으로 적합하다고 사료된다. 산산향은 발생 작업시 발이가 잘 안되며 발생수가 적다. 자실체 색택은 밝은 갈색이고 단단하며 생산성이 낮다. 만추향은 발생작업 후 발이가 잘 안되며 발생수가 적다. 자실체 색택은 밝은 갈색이며 단단하고 생산성이 낮은 특성을 가지고 있다.

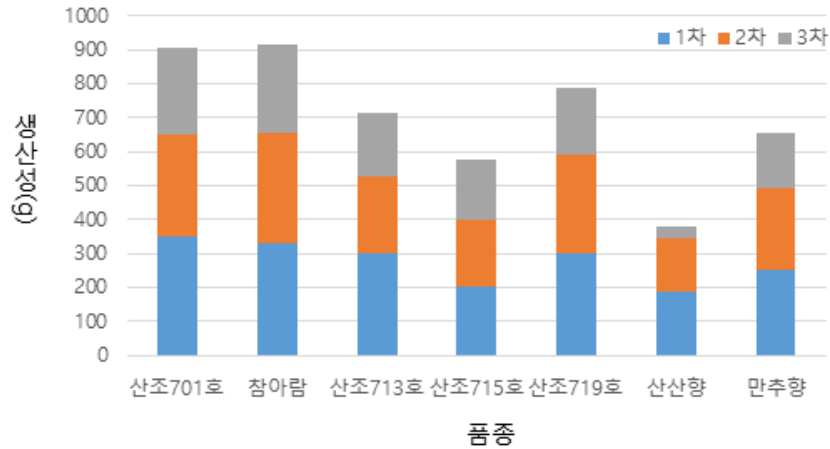


그림 2-3-8. 품종별 생산성 조사(장흥)

(라) 청주(봉형배지)

산조701호는 대가 굵고 맛이 좋으나 갓이 얇은 것이 특징이었으며 산조715호와 산조719호는 곰팡이에 강하고 산조719호는 단단한 것이 전형적인 표고의 모습을 보였다. 산조713호는 생산성이나 품질이 다른 품종에 비해 우수하게 나타나는 것을 확인할 수 있었으며 실험에 사용한 균주 중 가장 좋은 품종으로 사료된다. 참아람은 품질과 생산성이 좋으나 다른 품종에 비해 균사배양이 조금 더 필요하다고 여겨진다. 만추향과 산장향은 균사배양 시 잡균의 오염이 심하고 개봉 후 초반 핀발이는 좋으나 품질이 떨어지는 경향을 보였다.

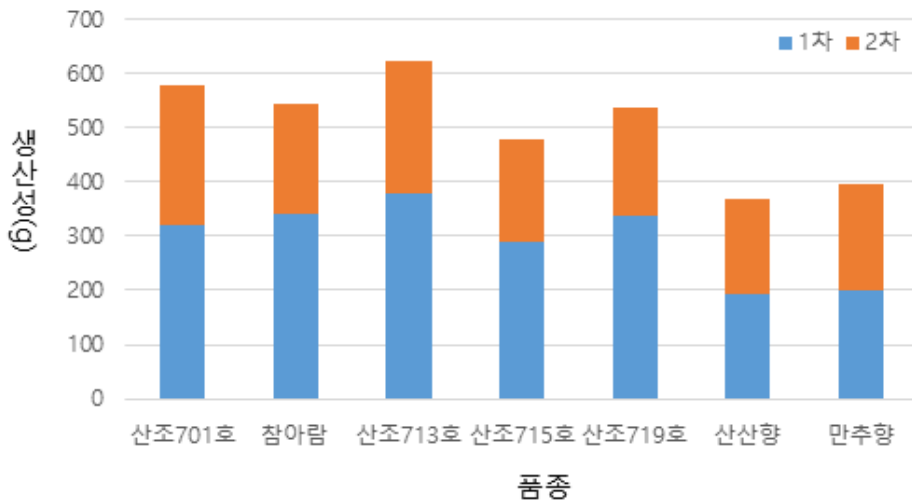


그림 2-3-9. 품종별 생산성 조사(청주)

(다) 사각형배지(청도)

산조715호는 120일 배양에 1주기 수확량이 300g이상 15일 휴양 후 2주기 200g이상으로 생산성이 아주 우수하였다. 개봉 후 곰팡이가 빨리 생겨나는 현상이 있으나 배지가 튼튼한 편. 단 버섯의 모양이 모자를 쓴 듯 특이함. 2주기부터는 모양이 좋은 버섯이 단단하고 무게가 많이 나갔다. 참아람은 배양 120일 후 개봉하는 것이 가장 좋으며 1주기 다발하여 숙아내기 작업을

많이 해야한다. 버섯이 가볍고 온도가 18℃ 이상에서는 빨리 피는 현상이 있다. 산조707호는 배양기간이 길지만 버섯의 형태가 우수함. 동절기 재배에 유리하며 산백향은 110일 배양으로 가장 짧으나 배지의 오염이 심하고 2, 3주기 발생이 힘들다. 버섯의 대가 가늘고 긴 것이 특징이며 버섯은 기형이 없었다.

(5) 2021년

(가) 봉형배지

6가지 품종 중 참아람, 산백향, 산조713호에서 생산성이 가장 우수하게 나타나는 것을 확인할 수 있었다. 대부분 품종에서 개봉버섯이 생산성이 가장 좋았으며 주기가 진행될수록 생산성이 떨어지는 것을 확인할 수 있었다.

산백향은 배양기간이 105일에서 110일이 가장 좋았으며 배양 시 병해충에 강하고 과다배양이 되지 않도록 유의하여야 한다. 평반구형의 버섯 모양을 가지고 있으며 버섯대가 긴 편에 속함. 초발이가 빠르고 쉽게 잘 되며 슈기작업이 거의 없음. 자실체는 밝은 갈색이며 중대엽이다. 자실체는 약간 무른 편이나 3kg배지 당 800g 이상으로 생산성이 높은 편이다.

태향고는 배양기간 120일 이상이며 배양 시 특이사항 없으며 배지가 단단하고 버섯대가 긴 편에 속하며 평반구형이고, 초발이가 느리고 슈기작업이 거의 없었다. 슈기작업 후 자실체는 크고 통통하며 성장속도가 많이 느리고 중저온성이다. 자실체는 심갈색이며 대엽이고 아주 단단한 편이고 갓이 피는 속도가 아주 느리다. 1주기, 2주기에 집중적으로 생산성이 높으며 다른 품종에 비해 배지의 분해속도가 빠른 듯 보이며 배지의 수축이 현저히 느껴진다.

참아람은 배양기간 110일, 암배양시 빛에 민감하므로 유의해야하며 배양 시 병해충에 강하며 반구형 임. 초발이가 빠르고 쉽게 잘 되며 산백향과 산조713호와 거의 비슷하거나 약간 느리다. 다발성 발이, 발생 온도 범위가 넓고 저온기에는 발생 작업 시 최저 온도는 10℃ 이상으로 유지해야 한다. 슈기작업이후에는 저온 저습에서 화고가 잘 발생한다. 자실체는 심갈색이며 중대엽이고 자실체는 약간 무른 편이나 화고 만들기가 쉽다. 산조713호, 산백향과 같이 자실체무게가 가벼운 편에 속하며 3kg 배지 기준 900g 이상으로 생산성이 높다.

산조713호는 배양기간 105일에서 110일 사이이며 배양 시 특이사항 없으며 배양기간이 많이 짧다. 배양 시 병해충에 강하며, 배양 과다 시 다발이가 될 수 있으므로 배양시 유의해야 한다. 초발이가 빠르고 쉽게 잘 되며, 첫발이가 빠르다. 중온성이며 반구형이고, 자실체는 밝은 갈색이며 중엽에 약간 무른 편이나 화고를 만들기가 쉽다. 버섯대가 산백향, 참아람과 같이 긴 편에 속한다. 3kg 배지 기준 800g 이상으로 생산성이 높다.

산조719호는 배양기간 120~130일 소요되며 다른 품종에 비해 배지가 단단하다. 배양이 다소 짧은 경우 첫주기때 종모양의 자실체모양이며 2주기 때부터는 반구형 형태, 발이가제일 느리고 성장 속도로 보면 중저온성으로 보여진다. 자실체는 심갈색이며 중대엽이고, 배양일수가 조금 부족할 땐 발이수가 많아 자실체크기가 작다. 자실체크기는 중대형으로 단단하며 개체중량이 높다. 버섯대의 길이가 짧고, 화고를 만들기 위해서는 슈기작업 때부터 습도를 낮추는 작업이 빠르시기에 필요하다. 3kg 배지 기준 800g 이상으로 생산성이 높고 저장성이 좋으며, 갓이 잘 피지 않는다.

산조720호는 배양기간 110에서 115일 이며 배양 시 특이사항 없으며 배양기간이 다소 짧고 자실체모양은 반구형 형태를 떠나 약간의 평반구형태이다. 적은 온도 편차의 충격에도 발이가 잘 되며 자실체는 밝은 갈색(약간 노란 느낌)이고 중대엽이며 적당한 발이수로 슈기작업이 거

의 필요 없다. 버섯대의 길이는 짧은 편에 속하며 자실체는 산조719호에 비해 다소 무른 느낌이나 산조713호, 산백향, 참아람에 비해 다소 단단하며 3kg 배지 기준 800g 이상으로 생산성이 높고 농가들이 재배하기 무난하다. 연중 재배가 가능하다면 L808를 대체할 수 있는 품종으로 생각된다.

(나) 사각배지

참아람, 산백향, 산조720호에서 생산성이 가장 우수하게 나타나는 것을 확인 할 수 있었다. 참아람은 배양 시 균활력이 좋고 해규에 강하며 고온에 한 달 이상 노출이 되어도 사멸하지 않을 정도로 강하며 중온성의 특징을 보인다. 생산성은 높으나 선택이 짙한 단점을 가지고 있다. 산조713호는 암배양시 빛에 민감하며 품질 및 생산성이 양호한 편이다. 자실체 선택은 밝은 갈색이고 중대엽, 단단하고 화고가 되기 쉬운 편이며 중저온성에 가깝다. 산조720호는 균사 세력이 강하고 버섯의 생산성 및 품질이 우수하여 해외품종(XR-1, L808)을 대체할 수 있는 품종으로 사료된다. 산백향은 생산성이 높으나 대가 긴 편이고 태향고는 생산성 및 품질이 우수하다.

3. 원목재배 임가 시범재배 및 보급체계구축

가. 임가실증지 선정

2017년 임가실증을 시작한 지역은 접종 및 배양이 완료된 지역으로 2018년 버섯생산을 시작하였으며 생산량 및 자실체 특성 평가를 하였다. 2018년 임가실증을 시작한 지역은 접종 및 배양이 완료된 지역으로 2019년 버섯생산을 시작하였으며 생산량 및 자실체 특성 평가를 하였다. 2020년과 2021년은 추가로 충남 아산 및 경기 여주에 소재한 농가에 추가로 실증을 진행하였다.

표 2-3-18. 실증지 내역

연 도	지 역	시 험 품 종	비 고(실증단계)
1년차(2017년)	경기 여주	산조303호, 백화향, 대조군	버섯발생
	경기 여주	산조303호, 백화향, 대조군	버섯발생
	경기 포천	산조303호, 백화향, 대조군	버섯발생
	경남 거제	산조303호, 백화향, 대조군	버섯발생
	전남 장흥	산조303호, 백화향, 대조군	버섯발생
2년차(2018년)	경남 거제	산조303호, 백화향, 대조군	버섯발생
	전남 장흥	산조303호, 백화향, 대조군	버섯발생
3년차(2019년)	충남 아산	산조303호, 백화향, 대조군	버섯발생
	경기 여주	산조303호, 백화향, 대조군	버섯발생
4년차(2020년)	충남 아산	산조303호, 백화향, 대조군	버섯발생
	경기 여주	산조303호, 백화향, 대조군	버섯발생
5년차(2021년)	충남 아산	산조303호, 백화향, 대조군	접종·배양
	경기 여주	산조303호, 백화향, 대조군	접종·배양

나. 임가실증지 특성 조사

실증지의 연평균 실증지 온도는 14.8℃~15.5℃였으며, 7월 여주의 경우 34.6℃이며 재배하우스 내부온도가 40℃가 넘어가는 현상이 관찰되었다. 또한 태풍의 영향으로 피해를 받은 것으로 조사되었다.

다. 임가 실증지 관리

(1) 시험군주 군사 만연도 조사 : 임가 실증지에서 시험군주 배양목을 수집하여 수피를 제거 후 시험군주 군사 만연도를 측정하였다. 시험포별로 표면의 시험군주 군사 만연도를 조사한 결과 군사 만연율이 80~92%로 전반적으로 양호하였고, 내부 군사 만연율은 72%로 표면에 비해 약간 낮았으며, 시험군주별 군사 만연도의 확연한 차이는 보이지 않았다.



그림 2-3-10. 시험군주 접종목 발생현황 조사

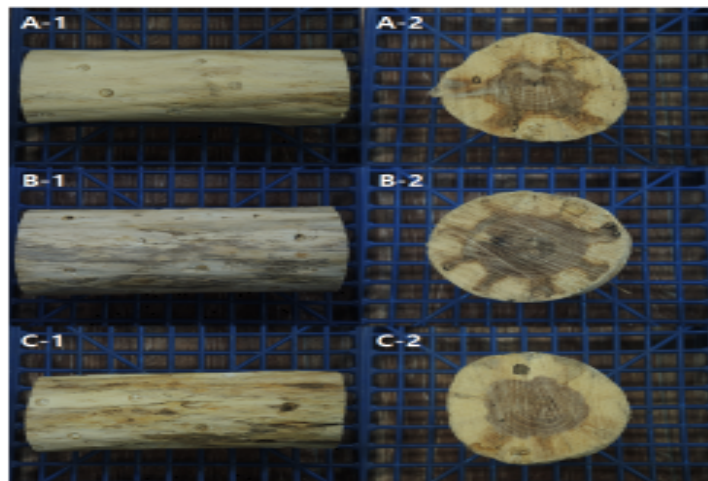


그림 2-3-11. 시험군주 군사 만연도를 측정하기 위하여 수피를 제거한 배양목 사진.

A : 백화향 접종 처리구, B : 산조303호 접종 처리구, C : 대조군 접종 처리

(2) 생산량 조사 : 백화향(210g/본), 산조303호(230g/본), 대조구(260g/본)의 버섯 생산량을 나타내었다.

표 2-3-19. 지역별 실증균주 발생량

지 역	생산량(g/본)			비 고
	백화향	산조303호	대조구	
경기 여주	230	250	250	
경기 포천	210	210	280	
경남 거제	200	220	240	
전남 장흥	210	210	280	

라. 실증지 의견 및 평가

재배자의 실증평가는 백화향 품종은 발생버섯의 색택이 밝으며 화고형 버섯 발생이 용의하다고 하였으며 갓이 조기에 개화가 되 품질이 떨어지는 현상을 보였다. 2-3년차의 생산량이 적어서 기존 대조 품종보다는 생산량이 많이 떨어지는 것으로 확인되었다. 산조303호는 육질이 단단하고 대조품종인 유지로와 발생시기가 유사한 경향을 보인다고 하였으며 발생버섯 크기가 작고 재배자가 선호하는 품종의 모습이라는 의견이 있었다.

4. 남부특화 표고품종 현장시험 및 재배매뉴얼 개발

가. 농가시험포 선정 및 관리

농가시험포의 선정 기준은 장흥지역에 거주해야하며 표고재배 경력 3년 이상인 전업농가, 표고자목 3,000본/년 이상 지속 접종이 가능한 농가, 현장적응성 시험이 가능한 농가, 재배일지 작성에 충실한 농가, 적절한 재배시설을 구비한 농가, 재배시험에 적극 협조가 가능한 농가 등이며, 1단계 1~2차년도까지는 장흥지역만 북·중·남부권 3개 권역으로 나눠 선정하였고, 1단계 3차년도에는 전라남도 해남군, 전라북도 순창군, 제주특별자치도 제주시로 시험대상지를 확대하여 선정하였다. 원목품종 실증재배시험에 선정된 농가시험포는 매년 봄철 접종기(3~4월)에 시험품종의 종균과 자목을 지원하여 접종하였다. 재배시험에 사용한 기록지는 산림버섯연구센터의 표준양식을 사용하였으며, 재배시험이 시작되면 농가시험포별로 월 2회를 현장 방문하여 운영 상태를 종합점검하고 종균의 활착상태, 자실체의 품질 및 생산성 등을 조사하였다.

표 2-3-20. 연차별 농가시험포 구축 현황 및 시험 규모

구분	연도	연번	지역	시험기간		시험량	
				시작	종료	원목/배지	품종수
원목	1년차	1	전남 장흥	2017.04	2020.12	1,000본	1
		2	전남 장흥	2017.04	2020.12	1,000본	1
	2년차	3	전남 장흥	2018.04	2021.12	1,000본	1
		4	전남 장흥	2018.04	2021.12	1,000본	1
		5	전남 보성	2018.04	2021.12	1,000본	1
	3년차	6	전남 장흥	2019.09	2021.12	1,000본	2
	4년차	7	전남 장흥	2020.04	2021.12	300본	2
	5년차	8	전남 장흥	2021.04	2021.12	310본	2
소계					14,810본		

구분	연도	연번	지역	시험기간		시험량	
				시작	종료	원목/배지	품종수
튱뱁	1년차	1	전남 장흥	2017.11	2018.06	1,500봉	5
	2년차	2	전남 보성	2018.04	2019.04	1,500봉	5
	3년차	3	전남 장흥	2019.08	2020.04	1,000봉	5
	4년차	4	전남 장흥	2021.05	2021.12	1,800봉	5
소계						12,600봉	

나. 시험품종 선정 및 종균·배지 배양

(1) 시험품종 선정

당해 연도 시험품종은 원목 2개 품종, 튱뱁 5개 품종으로 원목품종은 백화향, 산조303호이며, 튱뱁품종은 산장향, 산백향, 산조713호, 산조715호, 산조718호를 선정하였다. 원목품종은 시험결과 우수한 생산량을 보이면서 남부지역 기후변화에 대응 및 농가 재배자 선호도가 높은 적합 2개 품종을 선발하여 2단계부터는 확대재배시험을 진행하였다. 그리고 선발 기간 동안 사용한 총 시험 품종수는 20개 품종으로 원목 6품종, 튱뱁 14품종이다. 시험품종 중 원목품종은 국립산림과학원에서 육성한 천백고, 수향고, 백화향, 풍년고, 가을향과 산림버섯연구센터에서 육성한 산조303호를 사용하였고, 튱뱁품종은 국립산림과학원에서 육성한 산림10호, 산마루 1호, 산마루 2호, 산백향, 산장향, 설백향과 산림버섯연구센터에서 육성한 산조707호, 산조708호, 산조710호, 산조711호, 참아람, 산조713호, 산조715호, 산조718호를 사용하였다. 시험품종의 선정은 연차별로 국립산림과학원과 산림버섯연구센터가 협의하여 선정하였으며, 연차별로 매년 2~3월에 산림버섯연구센터로부터 원균을 분양받았다. 원균은 분양받은 즉시 PDA(Potato Dextrose Agar) 배지에 접종한 후 25℃에서 10일간 계대배양하여 튱뱁접종원의 원균으로 사용하였다. 또한 시험품종의 장기보존을 위해 2 mL tube에 균사체를 넣어 20% glycerol를 처리한 후 동결보존(액체질소 -196℃)하였다. 또한 대조품종으로는 남부지역을 물론 전국적으로 점유율이 높은 일본산 품종인 모리290과 모리유지로와 튱뱁품종은 중국품종 L808을 사용하였다.

표 2-3-21. 연차별 원목재배 시험품종

연도	품종수 (종)	육성기관	품종명
1년차	2	국립산림과학원	백화향
		산림버섯연구센터	산조303호
2년차	2	국립산림과학원	백화향
		산림버섯연구센터	산조303호
3년차	2	국립산림과학원	백화향
		산림버섯연구센터	산조303호
4년차	2	국립산림과학원	백화향
		산림버섯연구센터	산조303호
5년차	2	국립산림과학원	백화향
		산림버섯연구센터	산조303호

표 2-3-22. 연차별 톱밥재배 시험품종

시험연차	품종수 (종)	육성기관	품종명
1년차	5	국립산림과학원	산백향*, 설백향*
		산림버섯연구센터	참아람, 산조707호, 산조708호
2년차	5	국립산림과학원	산백향, 설백향
		산림버섯연구센터	참아람, 산조707호, 산조708호
3년차	5	국립산림과학원	산장향, 산백향
		산림버섯연구센터	산조713호*, 산조715호*, 산조718호*
4년차		미 실시	
5년차	2	국립산림과학원	산백향
		산림버섯연구센터	산조715호

* 연차별 신규 시험품종

(2) 시험품종 접종원 제조

원목재배 성형종균 및 톱밥배지에 접종할 접종원을 먼저 제조하였다. 갈참나무 톱밥(1~2 mm) 85%와 미강 15%를 부피비로 혼합한 후 수분함량이 65%가 될 때까지 조절한 뒤 1,100 mL의 PP 종균병에 850 mL을 충전하였다. 면전된 플라스틱 뚜껑을 덮고 90분간 고압멸균(12 1°C, 1.2 kg/cm³)하였으며, 15°C의 냉장실에서 1일간 냉장하였다. 톱밥종균에 접종할 원균은 PDA 배지에서 10일간 배양하였으며, 무균대에서 cork borer를 이용하여 균사선단을 10개씩 떼어내어 톱밥종균의 상단에 접종하였다. 배양실 온도 25°C에서 30일간 암배양하면서 잡균오염과 균사확장 정도를 수시로 육안검정 하였다. 배양이 완료된 톱밥종균은 성능 이상과 퇴화가 발생하지 않도록 4°C에서 냉장 보관하여 톱밥배지의 종균으로 사용하였다.

(3) 성형종균 및 톱밥배지 제조

원목재배 성형종균도 톱밥종균 제조와 같은 방법은 부피비로 혼합한 재료를 1,100 mL의 PP 종균병에 850 mL을 충전하여 고압멸균, 냉장, 접종, 배양하였다. 배양이 완료된 톱밥종균은 무균실에서 탈병기를 이용하여 탈병한 후 607구 성형종균판에 종균 한 개의 크기를 12.7 × 24 mm로 성형하여 7~10일간 후기 배양하였다. 또한 톱밥배지를 제조는 갈참나무 톱밥(2~5 mm) 84.5%에 미강 15%, 탄산칼슘(CaCO₃) 0.5%를 부피비로 혼합한 후 수분함량이 53%가 될 때까지 조절한 뒤 내열성 PP 봉지에 1.5 kg을 입봉하여 원통형 톱밥배지를 만들었다. 버섯류와 같이 호기성균의 생육에 필요한 신선한 공기의 유통을 위해 내열성 PP 봉지 입구에 플라스틱 링(직경 24 mm)과 탈지면을 이용하여 통기구를 설치하였다. 이후 90분간 고압멸균한 후 15°C의 냉장실에서 1일간 냉각한 다음 무균대 내에서 기 배양된 톱밥종균을 톱밥배지의 상단 4군데를 뚫어 2.5 g씩을 접종하였다. 또한 오염균의 침입을 방지하기 위해 접종구멍을 테이프를 이용하여 밀봉하였다. 접종이 완료된 톱밥배지의 배양관리를 위해 온도와 환기가 조절되는 배양실로 옮겨 최초 5일간은 18°C의 비교적 저온에서 배양하여 초기오염을 방지하였고, 배양 6일차부터는 배양온도를 23±1°C로 조절하여 40일간 암배양하였다. 배양기간 중 원활한 공기유통을 위해 톱밥배지 봉지표면을 바늘을 이용하여 미세한 구멍을 뚫어주었으며, 배양 40일차부터 배지

표면에 갈색 피막이 형성되어 용기하기 시작하면서 광 조건을 암배양에서 명배양(200 Lux)으로 바꾸어서 원활한 갈변을 유도하였다. 배양기간 동안 균일한 균사배양을 위해 상단과 하단의 배지위치를 주기적으로 바꾸어 주었고, 배양 160일차에 톱밥배지 생산성 조사를 위해 재배사(비닐·부직포·차광막 2중 구조)로 이송하였다.

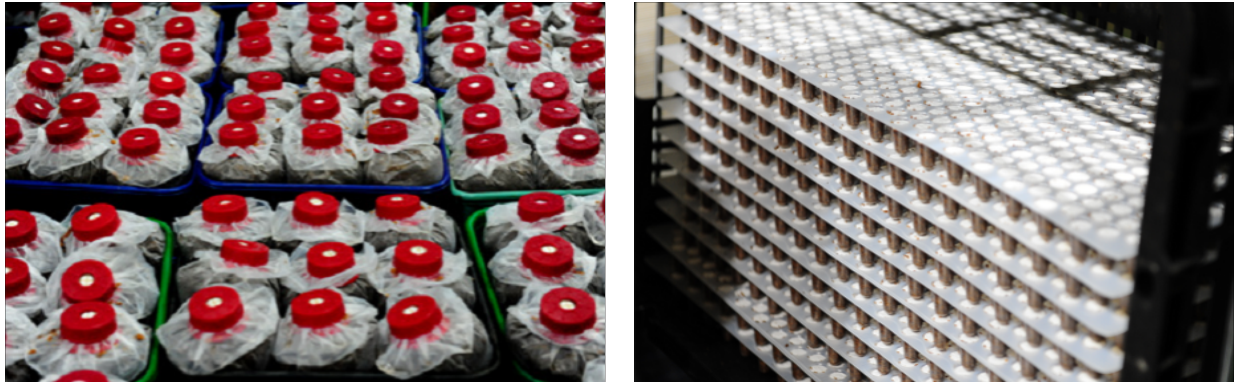


그림 2-3-12. 성형종균 및 톱밥배지 배양

다. 원목품종 현장시험

(1) 시험품종별 종균 활착률

당해 연도 시험품종(원목)인 백화향과 산조303호, 대조품종인 모리290에 대해 농가시험포별로 종균접종 후 자목 내 활착률을 조사하였다. 종균접종은 직경 12~14cm 정도의 원목에 매년 4월부터 5월초까지 이루어졌으며, 접종 당해 연도 6월까지의 임시눅히기를 하였고 6월부터 10월까지의 본눅히기를 하였다. 접종 후 7일 후부터 2주 간격으로 3~4시간 살수하여 수분관리를 하였으며, 활착률 조사는 접종 후 180일이 경과된 10월 중순에 농가시험포를 현장 방문하여 시험 품종 당 3개의 자목을 무작위로 선발한 다음 자목의 양쪽 가장자리 두 군데와 가운데의 횡단면을 절단하였다. 절단된 골목의 단면에 심재부를 제외한 변재부의 종균 활착면적을 측정하였다.

시험품종의 종균 활착률은 백화향 71.7%, 산조303호 69.3%로 나타났으며, 1단계의 조사결과보다 올해에 더 우수한 활착률을 보였다. 또한 대조품종인 모리290 62.7%, 모리유지로 50.3%로 나타나 1단계와 비슷한 경향을 보였다. 재배유형별로는 비닐과 차광막이 설치된 재배하우스에서 차광막만 설치된 재배하우스보다 활착률이 더 우수하게 나타났다.



그림 2-3-13. 시험품종 접종

표 2-3-23. 원목 시험품종의 활착률

구분		시 험		대 조	
		백화향	산조303호	모리290	모리유지로
시설	A(비닐+차광막)	75.6	71.2	62.8	65.4
	B(차광막)	67.8	67.5	47.5	34.4
평 균		71.7	69.3	62.7	50.3



그림 2-3-14. 원목 시험품종별 생산량 조사

(2) 시험품종별 품질 특성 및 생산량

2단계 시험품종(백화향, 산조303호)에 대해 봄철 발생기에는 2019년도 3월부터 5월까지, 가을철 발생기에는 10월부터 11월까지 자실체 특성 및 생산량을 조사하였다.

3년간 시험자목의 시험자목 100본당 생산량은 백화향 14.7kg, 산조303호 37.1kg, 천백고 17.7kg으로 나타났으며, 대조품종의 생산량은 모리290 27.3kg, 모리유지로 30.1kg으로 나타났다. 전반적으로 시험품종이 대조품종에 비해 발생량이 저조하였으나 산조303호는 같은 저온성인 계열인 대조품종보다 생산량이 우수하게 나타났다. 그리고 생산량과 활착률의 상관관계를 살펴보면 활착률은 산조303호, 백화향 순으로 나타나 활착력이 우수한 품종이 자실체 생산량도 우수할 것이라는 예상과 유의한 결과를 보였으며, 이러한 결과는 리그닌 분해 능력과 연관이 있음을 시사한다. 활착률은 원목의 리그닌을 분해하는 능력이 우수할수록 활착이 잘 될 것으로 예상된다. 산조303호가 리그닌 분해능이 높은 것으로 이전의 연구에서 보였으며, 활착률 조사 결과 역시 산조303호가 우수한 것으로 나타난 것을 확인하였다. 활착률과 생산량의 관계는 앞으로 재배기간 동안 체계적인 비교실험을 통해 더욱더 규명이 필요할 것으로 생각되어 진다.

백화향은 갓이 반구형으로 형태가 우수하였으며, 갓의 색이 진하고 크기가 비교적 컸으나 발생량이 적은 단점이 보였다. 마지막으로 산조303호는 생산성과 품질이 우수하였고 갓의 색

이 진하고 습기에 강하였으며, 대조품종인 모리290과 발생시기, 발생량이 유사한 형태를 나타냈다. 품질특성 조사를 위해 각 품종 당 무작위로 10개를 선별하여 조사를 실시하였다. 생중량, 건중량, 잣 직경, 잣 두께, 주름살 폭, 밀도 개수, 대 길이, 대 굵기를 각각 개체별로 조사하였다. 조사 자료를 비교한 결과 품종마다의 특징을 구분하기 어려움이 있었다. 이는 무작위로 선별하는 과정에서 편차가 크게 나타났기 때문으로 보인다. 따라서 동일한 선별자를 지정하거나 또는 일정수준의 기준을 정해서 샘플을 선별하여 조사를 해야 할 것으로 판단된다.

표 2-3-24. 원목 시험품종의 생산량(kg/100본)

구분	시험품종		대조품종	
	백화향	산 조 303호	모리 290	모 리 유지로
A	13.6	34.5	31.8	35.1
B	15.9	30.5	23.0	25.2
버섯연구원	14.7	46.3	28.2	-
평균	14.7	37.1	27.3	30.1

표 2-3-25. 백화향 자실체 특성 조사

구 분	생중량 (g)	건중량 (g)	잣		주름살		대	
			직경(mm)	두께	폭(mm)	밀도(개)	길이(mm)	굵기(mm)
1	32.8	9.1	66.3	18.4	4.7	10	32.1	14
2	39	5.3	44.5	16.5	3.5	18	27.9	12.8
3	35.2	6.7	60.6	10.6	4.9	14	35.5	13.3
4	27.5	8.4	78.2	12	5.3	16	22.8	24
5	39.7	7.2	56.8	17.4	5.5	17	32.8	14.5
6	27.4	7.3	44.5	18.7	5.4	16	42	21.6
7	38.6	9	58.4	11.8	5	20	29.2	26.1
8	29	9	56.9	17.1	3.4	9	20.5	13.3
9	40.2	7.2	69.7	18.3	4.8	21	30.4	29.8
10	37.1	5.4	68.9	13.8	5.7	15	33.9	16
평균	34.65	7.46	60.48	15.46	4.82	15.60	30.71	18.54

표 2-3-26. 산조303호 자실체 특성 조사

구 분	생중량 (g)	진중량 (g)	갓		주름살		대	
			직경(mm)	두께	폭(mm)	밀도(개)	길이(mm)	굵기(mm)
1	36.3	6	77.1	14.4	5.1	12	35.5	18.5
2	26.9	5	65.1	18.8	4.6	17	40.3	12.4
3	40.4	6.8	46.6	19.9	4.6	20	22.5	19.9
4	34.9	5.3	50.8	14.4	3.6	14	25.6	13
5	32.1	5.4	63.2	17.1	4.1	7	25	21.9
6	33.6	6	42.8	16	3.5	9	35.3	28.9
7	31.2	4.1	52.6	10.2	3.1	20	28.2	26.7
8	39.8	7	47.8	18.4	4.3	18	30	27.7
9	26.1	6.8	51.8	13.1	5.4	16	23.1	11.9
10	37.2	6.1	78.4	11.9	4.8	14	23	19.7
평균	33.85	5.85	57.62	15.42	4.31	14.70	28.85	20.06

표 2-3-27. 원목 시험품종의 자실체 품질특성

구분	자 실 체 발생형태	발생시기	품종 특성
수향고	평반구형, 집중발생형	18 ~ 28°C (고온성)	- 버섯은 평반구형, 갓의 직경은 56 mm, 갓의 두께는 17 mm - 대의 모양은 기둥형이고, 주름살 밀도는 보통 - 발이온도는 평균 18 ~ 28°C로서 고온성, 주발생시기는 봄·여름
백화향	평반구형, 산발발생형	12 ~ 23°C (중저온성)	- 버섯은 평반구형, 갓의 직경은 60 mm, 갓의 두께는 19 mm - 대의 모양은 기둥형이고, 주름살 밀도는 보통 - 발이온도는 평균 12 ~ 23°C로서 중저온성 - 열은 갈색이며, 골이 넓어 화고의 가능성이 높음
천백고	평반구형	14 ~ 22°C (중온성)	- 버섯은 평반구형, 갓의 직경은 52 mm, 갓의 두께는 13 mm - 대의 모양은 기둥형이고, 주름살 밀도는 보통 - 발이온도는 평균 14 ~ 22°C로서 중온성, 주발생시기는 가을·봄
산조303호	반구형	10 ~ 21°C (저온성)	- 육질이 단단하고 색이 진하며 유지로와 발생 시기 및 발생 패턴이 유사하나, 발생 온도 범위는 더 넓고 수량 많으며 다발성 - 충격에 민감하여 적은 충격으로도 발생이 됨 - 반구형, 중온성, 단단함 - 갓의 무늬가 일정하지 않음 - 유지로와 발생 시기, 발생량이 비슷함 - 경제성이 충분히 있다고 평가됨

라. 톱밥품종 현장시험

원통형배지의 첫 버섯발생은 배양이 완료된 배지를 시험포 별로 차광 및 살수 시설이 구비된 비닐재배사로 이동한 후 3일 이내에 상면을 개봉하고 수분관리 하여 이동과정에서 받은 물리적 충격과 온도편차에 의해 자실체가 발생될 수 있도록 하였다. 배지의 개봉은 상면으로부터 약 1cm 내외를 절단하여 상면 비닐을 제거하였으며, 개봉 후 수분관리는 배지의 표면이 건조되지 않도록 1일 3~5회씩 동력 분무기 또는 스프링클러로 배지 표면에 살수를 실시하였다. 낮 시간에는 차광망을 이용하여 재배사내부로 직사광선이 들어오는 것을 막아 재배사 내부의 온도가 과도하게 높아지지 않도록 조절하였다. 버섯발생 2주기 이후부터는 발생작업 약 3일 전부터 점차 살수량을 늘려준 후 스프링클러를 이용하여 12시간 살수 후 배지의 상면이 재배사 바닥에 닿도록 뒤집은 후 다시 12시간 살수를 실시한 후 반 일간 두었다가 원위치 하는 방법으로 발생작업을 하였으며, 휴면기간 없이 계속 버섯을 발생시켜 수확하였다. 사각형 배지의 첫 버섯발생은 배양이 완료된 배지를 판넬 형태의 재배사에서 전면을 개봉하고 수분 관리하여 이동 중의 물리적 충격과 온도편차에 의해 자실체가 발생될 수 있도록 하였다. 개봉 후 수분관리는 배지가 건조되지 않도록 1일 5회씩 동력 분무기를 이용하여 살수를 실시하였다. 갈변 촉진작업을 통하여 배지의 갈변이 잘 이루어지는 시기에 2주기 버섯 발생을 진행하였으며 발생을 침봉을 통하여 원배지 무게만큼의 수분을 공급하여 버섯을 발생시켜 수확 방식으로 3주기 버섯을 생산하였다.

봉형 배지의 첫 버섯발생은 배양이 완료된 배지를 차광 및 살수 시설이 구비된 비닐재배사로 이동한 후 첫 버섯은 버섯발생부위만 일부 컷팅하여 버섯을 생산하였으며 이 후 비닐을 전면 개봉하여 개봉버섯 수확하였다. 이 후 갈변촉진작업을 진행하였으며 침봉을 통하여 발생을 진행하였다.



그림 2-3-15. 톱밥품종 접종 및 갈변작업

표 2-3-28. 톱밥 시험품종의 생산량

2018년 (단위 : g)

농가시험포	시험품종					대조품종
	산백향	참아람	산조707호	산조708호	설백향	L808
	1,100(8%)	1,250(10%)	850(11%)	450(9%)	560(9%)	580(12%)

2019년 (단위 : g)

농가시험포	시험품종					대조품종
	산백향	산장향	산조713호	산조715호	산조718호	L808
	450(9%)	미발생	550(11%)	600(9%)	400(10%)	500(12%)

2021년 (단위 : g)

농가시험포	시험품종		대조품종
	산백향	산조715호	L808
	450(9%)	600(9%)	500(12%)

(1) 산백향의 자실체 특성

산백향은 잣의 형태가 평반구형이며 대의 길이는 길고 잣의 색은 황갈색이다. 산백향은 봉형 배지에서 발이가 적당하여 숙기작업이 거의 필요하지 않으며 배지가 크면 클수록 자실체가 크다. 자실체가 크고 평반구형이며 온도가 높을 시 대길이가 길어지는 것이 특징이며 배지당 6주기까지 1kg 생산이 가능하며 주기에 따라 버섯발생이 일정하게 발생한다. 배지배양 시 갈변은 밝은 갈색으로 진행이 되며 110일 정도로 배양일수가 짧아 봄부터 가을까지 재배에 적합한 중고온성이 특징이며 색택이 밝다. 재배과정 중 고온기가 되면 봉지 개봉 시 갈변수가 많이 생기는 현상이 있다.

표 2-3-29. 산백향 자실체 특성 조사

잣모양(측면)	잣직경(mm)	잣두께(mm)	인피부착부위	잣주름 밀도
평반구형	62.0±3.5	15.2±6.6	잣둘레	보통
평반구형	67.4±5.8	18.4±2.8	잣둘레	보통
대길이(mm)	잣/대 길이비율	대굵기(mm)	개체중(g)	수확량(g/봉)
42.6±7.2	1.0±0.3	14.4±2.2	25.6±4.1	1,050
49.1±8.1	1.3±0.4	18.2±2.1	28.7±4.1	1,100

(2) 참아람의 자실체 특성

참아람은 잣의 형태가 반구형이며 대의 길이는 중간이고 잣의 색이 진한갈색이다. 참아람은 봉형 배지에서 발이수가 많은 편에 속하며 고온기에도 적은 충격으로도 발이가 잘 되며 고온기(여름)때는 버섯이 무르나 생산량이 많고 쉽게 버섯이 발생하다는 것이 장점이고 거의 비슷한

시기에 버섯발이가 되므로 초기 품질이 관리만 잘하며 저온기(봄, 가을)때는 고품질의 버섯 생산이 가능하다. 온도와 습도에 따라 품질의 관리가 가능하며, 배양시에는 과도한 빛을 주는 경우 갈변이 잘 되지 않는 특징이 있다. 배양기간이 100~110일로 짧고 버섯이 쉽게 발생하는 장점을 가지고 있다.

표 2-3-30. 참아람 자실체 특성 조사

갓모양(측면)	갓직경(mm)	갓두께(mm)	인피부착부위	갓주름 밀도
평반구형	59.3±6.1	19.7±2.8	갓둘레	보통
평반구형	74.1±10.2	21.3±3.1	갓둘레	보통
대길이(mm)	갓/대 길이비율	대굵기(mm)	개체중(g)	수확량(g/봉)
38.9±6.4	1.8±0.6	19.7±1.4	40.2±3.8	1,400
44.4±11.1	1.6±0.2	16.3±2.1	37.2±8.1	1,250

(3) 산조707호의 자실체 특성

산조707호의 갓의 형태는 반구형이며 대의 길이가 짧고 갓의 색이 황갈색을 띠고 있다. 산조707호는 봉형배지에서 배양온도가 22℃ 이상일 때 갈변되는 도중에 배지표면 부위에 푸른곰팡이가 발생하기 쉬우며 발생 작업 시 배지관리에 어려움이 많고 수확량에도 영향을 미치므로 명배양시 20℃ 이하에서 관리하면 갈변이 잘 이루어질 수 있다. 명배양시 뒤집기 작업을 1주일에 한 번씩 하여 갈변수가 배지표면에 고이는 것을 방지하고 용기가 적게 일어나게 갈변작업을 진행하여야 한다. 갈변 시 푸른곰팡이 감염에 주의해야한다. 배지는 고온기에도 강한 편이고 자실체는 크고 밝은 색택이며 단단하며 화고가 되기 쉬운 품종이다. 10월부터 이듬해 5월까지 재배하며 자실체도 모양이 예쁘나 온도가 높으면 갓이 삼각형으로 각진 모양으로 상품성이 떨어지고 습한 경우 저장력이 떨어지나 건조하게 저온에서 생육하며 품질이 우수하게 나타났다. 또한 사각배지에서는 봉형이나 원통형보다 생산성이 타 품종보다 높게 나왔으며 추후 사각배지 국산품종으로 XR-1을 대체할 수 있을 것으로 보여 진다. 원통형배지에서의 특성은 갓의 크기는 중대형이며, 갓의 두께는 우수하여 버섯 육질이 비교적 충실한 것으로 조사되었다. 대길이 비율 결과에서 시험품종 중에서 대길이가 가장 짧은 품종으로 나타나 버섯의 외형이 우수하였으며, 대의 굵기도 가장 우수하였다. 배양일이 120~130일로 긴 편이며 화고가 만들어지기 쉬운 품종으로 품질도 우수한 편이다.

표 2-3-31. 산조707호 자실체 특성 조사

갓모양(측면)	갓직경(mm)	갓두께(mm)	인피부착부위	갓주름 밀도
반구형	58.3±3.9	16.8±3.8	갓둘레	보통
반구형	77.7±8.1	29.7±2.8	갓둘레	보통
대길이(mm)	갓/대 길이비율	대굵기(mm)	개체중(g)	수확량(g/봉)
35.9±11.9	1.6±0.5	18.2±4.8	30.9±5.2	900
40.1±8.8	1.9±0.4	20.4±2.3	56.6±9.3	850

(4) 산조708호의 자실체 특성

산조708호의 잣의 형태는 반구형이며 대의 길이가 길고 잣의 색이 황갈색을 띠고 있다. 산조 708호는 봉형 배지에서 배양일수가 150일 이상인 품종으로 추재2호와 같은 자실체 형태이며 저온에서 버섯이 단단하고 대가 통통한 형태이며 담백한 맛을 가지는 특징이 있다. 온도가 높을 시 버섯이 무르고 잣이 빨리 피는 것이 단점이나 겨울재배에 적합한 품종으로 생산량이 높을 시 추재2호 대체 품종으로 고려해 볼만하다. 사각배지에서는 발생량이 적으나 품질은 우수하게 나타났으며 지속적인 재배를 통하여 사각배지에 적합한 재배매뉴얼을 정립하여야 한다. 원통형 재배 특성결과 결과 잣의 크기는 중형 또는 중대형이며, 잣의 두께는 양호하여 버섯 육질이 충실하였고 저온기에 버섯이 많이 발생하는 특징을 가지고 있다.

표 2-3-32. 산조708호 자실체 특성 조사

잣모양(측면)	잣직경(mm)	잣두께(mm)	인피부착부위	잣주름 밀도
반구형	62.4±7.1	21.1±3.8	잣둘레	보통
반구형	77.8±9.3	20.7±2.1	잣둘레	보통
대길이(mm)	잣/대 길이비율	대굵기(mm)	개체중(g)	수확량(g/봉)
58.1±7.6	1.4±0.3	22.5±3.1	54.1±6.2	1,400
76.6±10.8	1.1±0.2	24.2±2.6	63.5±10.1	450

(5) 설백향의 자실체 특성

설백향의 재배적 특성조사 결과 잣의 형태는 반구형이며, 잣의 두께는 우수하여 버섯 육질이 충실하였다. 대길이 비율 결과에서 잣의 넓이보다 대가 긴 것으로 조사되었으며, 대의 굵기도 보통이었다. 개체중과 버섯수확량은 양호한 품종으로 평가되었다. 설백향은 잣의 색이 갈색이며, 재배사 내부 평균온도를 15℃(야간최저 12℃, 낮 최고 22℃) 내외로 유지하면 자실체 생산성이 안정적이면서 양호한 특성을 보여 동절기 재배에 충분히 적합한 품종으로 조사되었다. 특히 품질 측면에서도 중온발생시 상품성이 있는 것으로 조사되었다.

표 2-3-33. 설백향 자실체 특성 조사

잣모양(측면)	잣직경(mm)	잣두께(mm)	인피부착부위	잣주름 밀도
반구형	71.8±5.5	20.2±2.7	잣둘레	보통
대길이(mm)	잣/대 길이비율	대굵기(mm)	개체중(g)	수확량(g/봉)
47.4±10.2	1.6±0.3	15.9±2.6	33.3±5.9	700

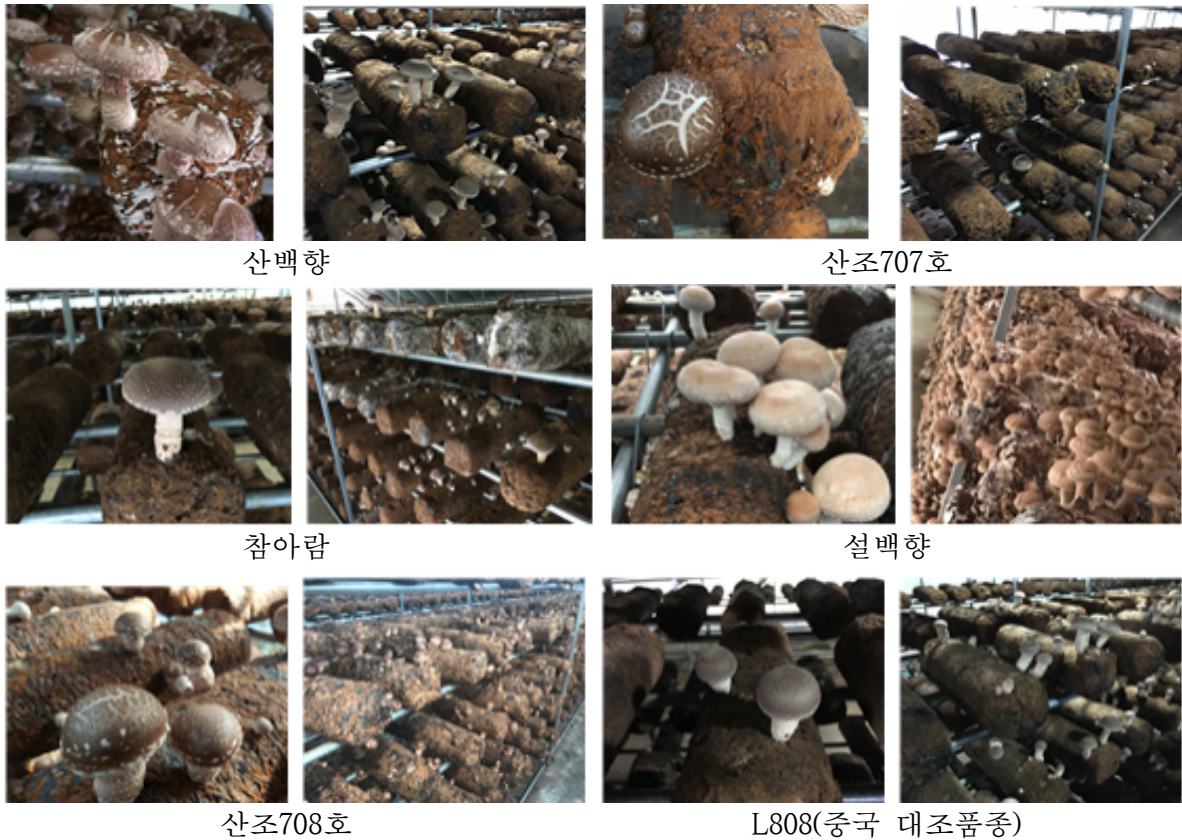


그림 2-3-16. 톱밥 시험품종의 자실체 발생

(6) 산조710호의 일본 품종 출원

산조710호는 2011년 산조701호와 FMRI1132 일핵균주간 교잡 및 교배균주 특성검정을 실시하였다. 2012년 육성 교배균주 자실체 특성 검정 및 우수균주로 선발되었다. 2013년 확대검정시험 및 입가실증시험 결과 우수하다고 판단되어 품종보호출원을 하였다(2013-38).

산조710호의 재배적 특성조사 결과 갓의 크기는 중형 또는 중대형이며, 갓의 두께는 보통이며 갓색은 밝은 갈색이며 버섯의 단단함은 보통으로 조사되었다. 대길이 비율 결과에서 대길이가 비교적 짧은 형태로 나타나 버섯의 외형이 양호하였으며, 대의 굵기는 비교적 우수하게 조사되었다. 개체중은 양호하였으며 버섯수확량이 우수한 품종으로 평가되었다. 배지배양 과정에서 갈변진행이 느린 특성을 보이지만 버섯발생은 배양 100일 이후 정상적 발생이 되어 속성재배용으로 평가되었다. 버섯발생이 균일하고 집중발생형의 특성을 나타내어 다수확성 품종으로 조사되었으며(생산량 배지무게 30%), 버섯발생 최성기는 6월에서 9월까지로 온도가 낮아지는 10월 이후에는 발생량이 감소되는 중고온성(12-25℃)으로 평가되었다.

표 2-3-34. 산조710호의 자실체 특성 조사

갓모양(측면)	갓직경(mm)	갓두께(mm)	인피부착부위	갓주름 밀도
평반구형	67.7±10.4	15.2±2.8	주변	보통
대길이(mm)	갓/대 길이비율	대굵기(mm)	개체중(g)	수확량(g/봉)
43.3±6.4	1.6±0.3	18.9±3.4	32.2±10.1	360



그림 2-3-17. 산조710호 툽밥재배의 자실체 발생

산조710호의 일본내 품종등록을 출원하기 위해 우선 키노쿠스와 양해각서를 체결하였다. 그 추진과정은 다음과 같다.

- 2015년 12월 14일 : 일본내 품종등록 출원을 위한 상호업무협력체결
 - 대상품종 : 산조707호, 참아람, 산조710호(대조 : 산조701호, KX-S055)
 - 주요 조사내용 : 툽밥재배를 통한 버섯생산성 및 특성조사(120일 배양)
 - KX-S055와 산조710호를 제외한 모든 품종에서 버섯이 과다 발생으로 소형으로 갓이 빨리 벌어지며, 기형이 많아 대조품종에 비해 품질이 저조한 것으로 판단됨.

품종명	규격외	S규격	M규격	L규격
산조701호	3%	20%	60%	17%
산조707호	9%	11%	70%	10%
산조710호	0%	5%	47%	48%
참아람	25%	58%	18%	0%

- 2016년 4월 27일 : 우수 종자 수출을 위한 일본 키노쿠스와업무협약(3년)
 - 표고 품종 (참아람, 산조707호, 710호)일본내 품종출원 가능성 평가
 - 키노쿠스(일본 미야기현의 종균회사, 표고 등 9개 품목 종균 판매)
- 2021년 1월 28일 : 키노쿠스에서 산조710호 품종보호출원 요청
- 2021년 3월 25일 : 산조710호 일본 품종보호출원(제35319호)
- 2021년 10월 현재 : 일본 재배임가산조710호 시험공급 및 성능검토

5. 표고버섯 봉형배지 재배 매뉴얼

표고 봉형배지 재배의 특징은 원통형배지보다 발생량이 많으며 사각이나 원통형배지에 비해 측면발이에 대한 걱정이 없다. 또한 배지의 형태를 다양하게 생산할 수 있으며 배지 생산과 배양에는 원통형보다 많은 어려움이 있지만 재배자의 입장에서 생육은 다른 방법보다 수월하여 많이 재배를 하고 있는 방법이다.

가. 봉형배지 재배 방법

○ 혼합 → 입봉 → 살균 → 냉각 → 접종 → 배양 → 개봉 → 후기갈변 → 발생

나. 봉형배지 생산

- (1) 재료 : 참나무툽밥, 영양원(참나무, 소맥피 등), 첨가제(탄산칼슘, 석고 등)

(가) 참나무톱밥

① 수종 : 표고재배용 톱밥은 대부분 활엽수종을 사용할 수 있으나 참나무류가 가장 좋으며 소나무, 나왕 등 침엽수종은 좋지 않다.

② 크기 : 2~3mm의 가는 톱밥과 5~8mm의 굵은 톱밥을 1:1의 비율로 혼합하여 사용한다.

(나) 영양원 : 미강, 소맥피, 밀기울 등을 사용하며 영양원의 혼합비율은 부피비 기준으로 10~20% 범위로 첨가한다.

(다) 첨가제

① 탄산칼슘, 석고 등을 사용한다.

② 첨가량은 0.5~2.0%내외로 첨가한다.

③ 칼슘 및 무기질을 공급하고 pH를 조절한다.

(라) 함수율

① 배지의 함수율은 53~58%로 재배사의 환경 조건등을 고려하여 조절한다.

② 배지의 함수율은 수분측정기를 사용하면 정확한 수분을 측정할 수 있다. 하지만 수분 측정기가 없는 경우 혼합된 배지를 손으로 꼭 쥐어서 손가락 사이로 수분이 맺힐 때 적당한 수분이 혼합되어 있다고 생각하는 것이 일반적인 방법이다.

(마) 무게: 배지의 무게는 2.0~4.0kg정도로 재배사의 환경조건, 작업환경등을 고려하여 생산한다.

다. 살균

생산된 배지는 유해한 미생물이 혼입되어 있으므로 표고균을 순수하게 배양하기 위해서는 살균을 진행한다. 살균방법은 상압살균법과 고압살균법이 있다.

(1) 상압살균

(가) 100℃에서 5~6시간 살균을 진행하는 방법이다.

(나) 살균시간이 오래 걸리지만 살균온도가 낮아 배지의 변형률이 작고 배지의 물리적 연화 정도가 양호하다.

(2) 고압살균

(가) 121℃에서 90~100분간 살균을 진행하는 방법이다.

(나) 짧은 시간에 살균할 수 있다는 장점이 있다.

라. 예냉

살균이 끝난 배지는 살균기에서 70~80℃가 되었을 때 꺼내는 것이 좋으며, 예냉실에서 천천히 온도를 낮춘 뒤 15~20℃ 정도가 되었을 때 접종을 진행한다.

마. 접종

일반적인 방법은 막대기 같은 것을 사용하여 약 3개 정도의 구멍을 배지에 뚫어 접종을 진행한다. 구멍 뚫는 막대기는 철이나 나무로 만드는데 반들반들하게 만들고, 막대기를 배지에서 뽑을 때에는 시계방향으로 돌리면서 뽑아야하지 그렇지 않으면 배지와 비닐사이가 이탈되면서 공기가 들어가 해균에 오염될 우려가 있으며, 구멍을 뚫는 즉시 접종을 한다. 보통 종균을 배지의 측면에 3개 또는 4개씩 2열로 접종하며 접종방법은 배지의 측면을 절개하여 종균을 넣고 막거나 골목종균 접종, 성형종균 접종 등의 방법을 사용한다.

바. 배양

배양시설은 외부환경 변화에 관계없이 내부의 온도가 일정하게 유지되는 것이 가장 중요하다. 배양 온도는 20℃내외이며, 환기는 CO₂ 농도를 3000ppm 이하로 관리한다. 배양에서 가장 중요한 4가지는 온도, 환기, 환류 그리고 빛 조절이다.

(1) 초기배양

(가) 암배양

(나) 접종 후 3~4일은 20℃를 유지하고, 그 후에는 22℃로 온도를 약간 높여 활착을 돕는다. 약 20일 정도 소요되며, 이 기간 동안 표고균사는 배지의 50%까지 성장한다.

(다) 숨구멍 : 바늘 4개짜리를 이용하여 4군데 정도 구멍을 뚫어줘야 한다.

(2) 중기배양

(가) 암배양

(나) 접종 후 40~50일(흰색 표고균사가 70~85% 성장)까지는 배지의 성장속도가 급격하게 빨라지는 때이다. 배지 발열량이 많으므로 배양실의 온도를 18~20℃ 정도로 맞추어 배지내부의 온도가 올라가지 않도록 관리해야한다.

(다) 숨구멍 : 바늘 4개짜리를 이용하여 5군데 더 뚫어줘야 한다.

(3) 후기배양

(가) 명배양 - 100lux

(나) 흰색 표고균사가 80%정도 성장하게 되면 빛에 노출시켜 배지의 용기와 갈변을 유도한다. 배양실의 온도는 18~22℃ 범위로 유지해야하며, 이때 배양온도가 23℃ 이상으로 높으면 배지표면이 물러지게 되어 배양상태가 나빠지게 된다.

(다) 배양기간은 품종에 따라 다르지만 접종 후 약 100~120일 정도 소요된다.

사. 개봉작업 및 개봉버섯

(1) 일반적으로 버섯이 발생하기 알맞은 온도는 평균 15~23℃내외이며, 습도는 80~90%가 적당하다.

(2) 봄부터 가을까지 재배하는 경우 배양이 완료된 배지는 3~4월에 개봉하는 것이 좋으며, 개봉을 위해 재배사로 배지를 이동할 경우 최대한 충격을 피하도록 한다.

(3) 배지의 개봉은 비닐의 한쪽 면을 길게 절단 한 뒤 뒤집으면서 벗겨내는 것이 좋다. 이때 가장 중요한 것은 칼로 비닐을 절단할 때 배지가 상처입지 않게 하는 것이며, 작업도중 충격을 최소화 하는 것도 명심해야한다.

(4) 개봉버섯

(가) 배지 개봉 후 별도의 버섯발생작업 없이 살수관리를 진행하면 3~7일 후 첫 버섯 발생이 이루어진다. 첫 버섯 발생은 배지의 배양 숙성과 배지이동 시 충격, 이동 후 주야간 온도편차에 따라 발생된다.

(나) 첫 버섯 발생 시에는 아직 배지가 무르기 때문에 버섯 수확 시 주의한다. 버섯이 2~3cm 정도 생육되면 살수를 중지하거나 줄여 버섯품질을 높여가면서 생육 및 수확을 진행한다.

아. 갈변촉진작업

- (1) 갈변촉진작업은 배지의 미갈변 부위에 빠른 갈변막을 형성하도록 돕는 작업으로 불필요한 버섯 발생을 막고 잡균오염의 감소 및 안정된 버섯생산을 위하여 시행한다.
- (2) 1차, 2차 작업 시에는 배지에 피해가 가지 않을 정도의 강한 수압을 이용하여 배지표면에 남아있는 갈변수를 씻어주며 꼼꼼하게 작업하는 게 중요하다. 그 후에는 약한 수압으로 배지표면의 수분을 유지하는 작업을 해야한다.
- (3) 배지갈변의 적정온도는 18~22℃이다.
- (4) 배지갈변촉진작업 후 푸른곰팡이가 발생하는 경우가 있다. 푸른곰팡이가 주로 발생하는 환경은 배지의 과건조 및 과습 환경조건이며, 이 때 물로 배지 표면을 닦아내고 재배사의 환기를 주기적으로 해 주면 자연적으로 푸른곰팡이의 해를 억제할 수 있다.

자. 버섯발생작업

- (1) 버섯발생은 재배하는 품종에 적합한 환경조건이 필요하며 일반적으로 발생온도는 평균 15~23℃ 내외, 습도는 80~90%정도가 적합하다.
- (2) 버섯을 효과적으로 발생시키기 위해서는 배지에 온도편차와 물리적인 충격자극을 주어야 한다. 온도편차 발생법은 일별 최저온도와 최고온도를 8~10℃ 정도 발생되게 하여 버섯을 발생시키는 방법이다. 물리적 충격은 발생작업 시 발생하는 충격으로 자극을 주는 방법이다.

(가) 침봉작업

- ① 침봉작업은 침봉기를 이용하여 배지내부에 수분을 보충해주는 방법이다.
- ② 침봉기를 배지중앙에 수평으로 꽂아 넣고 침봉기의 구멍에서 나오는 물로 배지의 수분 보충과 함께 물리적 자극을 준다.
- ③ 현재 배지의 무게가 원래 무게의 70~90%가 될 때까지 급수해야하며, 90%를 넘게 되면 배지가 내부에서 썩을 수 있으므로 주의해야한다.
- ④ 침봉작업이 끝난 후에는 밤 12℃, 낮 20℃로 8~10℃의 온도 충격을 주는 것이 중요하다.
- ⑤ 수확이 끝난 후 10~12일 정도 휴양관리를 한 뒤 다음 발생작업을 실시한다.

차. 휴양 및 환경관리

- (1) 버섯을 발생시키고 영양분을 소모하였기에 다시 버섯을 발생시키기 위해서는 휴식기가 필요하다.
- (2) 휴양관리 시기에는 재배사 내부에 빛의 투과량을 적게 하여 배지 건조를 방지한다.
- (3) 휴양관리 시에는
 봄, 가을 : 하루에 2번 수분관리를 해줘야 한다. 환기는 아침, 저녁으로 2번 실시한다.
 여름 : 하루에 2번 수분관리를 해줘야 한다. 환기는 아침, 점심, 저녁으로 3번 실시한다.

6. 국산품종 보급 확대를 위한 자료 구축

- 가. 조사목적 - 국산품종 보급 확대를 위한 재배 희망자 현황 및 요구사항 파악
- 나. 조사방법 - 설문조사
- 다. 조사대상 - 표고 재배자 및 재배 희망자
- 라. 조사항목 - 조사응시자연령, 종사직업, 재배형태, 귀농계획과 형태, 계획 투자금액
- 마. 조사결과

표 2-3-35. 조사연령

연도(년)	조사응시자(명)	연령(%)				
		20대	30대	40대	50대	60대
2018	300	5	10	17	54	14
2019	120	6	8	16	42	28
2020	319	3	5	16	39	37
2021	171	1	5	17	42	35

표 2-3-36. 종사직업

연도(년)	종사직업(%)					
	자영업	회사	농업	임업	축산업	기타
2018	26	21	12	12	5	24
2019	23	25	23	9	3	17
2020	26	22	22	12	2	16
2021	25	26	20	11	0	18

표 2-3-37. 재배형태

연도(년)	현재 재배형태(%)		
	원목	툽밥	원목, 툽밥
2018	38(1,000본 미만)	62(20,000봉 미만)	-
2019	65(5,000본 미만)	35(45,000봉 미만)	-
2020	-	-	-
2021	61(1,000본 미만)	32(20,000봉 미만)	6(1,000본 미만, 20,000봉 미만)

표 2-3-38. 귀농 계획과 희망 표고재배 형태

연도(년)	귀농계획(%)			귀농시 희망 표고재배 형태(%)			응답없음
	계획자	종사자	없음	원목	툽밥	원목, 툽밥	
2018	69	31		29	66	5	
2019	81	10	9	27	42	4	27
2020	-	-	-	33	45	2	20
2021	76	19	5	35	41	0	24

표 2-3-39. 계획 투자금액

연도(년)	토지를 제외한 귀농시 표고재배 투자금액(%)				
	5천 이하	5천~1억	1~2억	2~3억	3억 이상
2018	51	23	18	8	0
2019	34	34	20	5	7
2020	34	36	17	8	5
2021	51	23	18	8	0

7. 국산품종 소비확대, 홍보를 위한 기능성 성분 분석

표고버섯은 오래 전부터 식용으로 이용되어 왔으며, 항산화, 항암, 혈중지질수치의 조절, 혈중 포도당농도의 저하 등 다양한 생리활성을 보여준다. 특히 표고버섯으로부터 분리한 베타글루칸의 생리학적 기능은 항암, 항염증 그리고 면역증강으로 잘 알려져 있다. 본 연구에서는 이러한 기능물질 함량을 분석하여 국산품종 소비확대 홍보를 위한 자료로 활용하고자 한다.

가. 연구재료

표고버섯 기능성 성분인 베타글루칸을 분석하기 위해 사용한 품종은 국내에서 대표적으로 사용하는 산조701호와 GSP품종 보급확대를 위해 현장적응성 시험중인 참아람, 산조707호를 대상으로 분석을 진행하였다. 분석법은 건강기능식품공전의 베타글루칸 시험법에 준하여 분석하였으며, 표고버섯의 자실체를 이용하여 분석을 진행하였다.

나. 베타글루칸 함량측정

분석시료를 물 100ml로 정용한 후 아밀라아제를 40~200mg 넣고 0.1N NaOH로 pH 6.9로 조절한 다음 20°C에서 2시간 진탕하였다. 0.1N HCl로 pH 5.0으로 조절한 후 셀룰라아제 첨가하여 37°C에서 2시간 처리한 후 프로테아제 20~100mg 첨가하여 0.1N NaOH로 pH 7.5로 조절하여 37°C에서 2시간 진탕하였다. 아밀로글루코시다제 20~200ml를 넣고 0.1N HCl로 pH 4.8로 조절한 후 60°C에서 2시간 처리 후 효소분해물에 95% 에탄올 400ml를 가하여 4°C에서 12시간 침전 후 원심분리(10,000rpm, 10분)하여 취한 후 다시 80% 에탄올 500ml를 가하여 4°C에서 1시간 침전 후 원심분리 하였다. 침전물에 물 20ml를 가한 후 호모게나이저를 이용하여 균질화 하고 물 100ml 되도록 정용하여 시험용액으로 사용하였다. 시험용액은 0.1ml와 증류수를 0.9ml 혼합한 후 황산 5ml 가하여 20분동안 실온반응 시켜 470nm에서 측정하였다.

다. 측정결과

국산 표고품종에 대한 베타글루칸 함량분석을 진행한 결과 국내 대표적인 톱밥재배용 품종 산조701호는 164.6mg/g, GSP 현장적응성 시험품종 참아람 162.9mg/g, 산조707호 155.9mg/g로 분석되어 약 15~16% 함량을 나타내었다. 대표적인 약용버섯인 영지버섯의 경우 약 14~17%로 보고된 연구결과와 비교해 볼 때 표고버섯의 경우 식용버섯이지만 약용적 가치가 매우 높게 조사되었다.

8. 표고 재배사 위해요소 분석

표고 재배사 내의 위해요소를 분석하기 위하여, 톱밥배지와 원목을 이용하는 다양한 지역의 표고 재배사에 대하여 재배사 내의 병해충, 병해충에 존재하는 미생물 뿐만 아니라 재배사 내 실내공기 속 부유미생물의 농도와 종류, 표고 재배 배지 내 오염균, 표고 자실체 갈변을 일으키는 오염균에 대해 분석하였다. 그 결과, 대표적인 표고 재배사 내 발생 곤충인 버섯파리 뿐 아니라 작은뿌리파리, 줄무늬초파리 등을 확인하였으며 이들에게서 인체 병원성 미생물과 표고 재배사에서 일어나는 오염 중 가장 많은 비율을 차지하는 푸른곰팡이병을 유발하는 미생물들이 동정되었다. 뿐만 아니라 환경부 다중이용시설 실내 공기질 오염물질 기준치인 800CFU/m³을 초과하는 세균농도를 보이는 재배사가 다수 확인되었고, 모든 재배사에서 세계보건기구(World health organization: WHO) 기준인 500 CFU/m³을 넘기는 진균농도가 확인되었다. 게다가 단순

히 부유미생물의 농도가 높을 뿐 아니라, 부유미생물 중 인체 병원성 미생물도 관찰되어 향후 안전한 재배 환경을 위해 실내 공기질 관리가 매우 중요함을 알 수 있었다. 끝으로 표고 갈변을 일으키는 효모인 *Cryptococcus pseudolongus*를 동정하고, 실제로 이를 접종시 갈변이 일어남을 확인하였으며, 향후 방제기작 연구를 위한 유전체 분석을 수행하였다.

표 2-3-40. 병해충 위해요소 조사 재배사

조사년도	조사 재배사(지역)	
2017	툽밥	산림버섯연구센터(여주), 민간 재배사(장흥), 민간 재배사(청도), 민간 재배사(양평)
	원목	산림버섯연구센터(여주), 민간 재배사(장흥), 민간 재배사(포천), 민간 재배사(문경)
2018	툽밥	산림버섯연구센터(여주), 토리영농조합(장흥), 동인농원(청도), 청흥영농조합(청양), 천일농원(청주), 장흥친환경영농조합(장흥)
	원목	버섯산업연구원(장흥), 유기농영농조합(거제)
2019	툽밥	토리영농조합(장흥), 장흥친환경영농조합(장흥)
	원목	산림버섯연구센터(여주), 버섯산업연구원(장흥)
2020	툽밥	산림조합중앙회(여주), 동인농원(청도), 장흥친환경영농조합(장흥), 천일농원(청주), 청흥영농조합(청양)
	원목	산림조합중앙회(여주), 산북농원(여주), 동원표고버섯(아산)
2021	툽밥	동인농원(청도), 장흥친환경영농조합(장흥), 청흥영농조합(청양)
	원목	산북농원(여주), 동원표고버섯(아산)

가. 재배사 내 병해충 채집 및 동정

재배사 내 발생하는 병해충은 표고가 자라는 툽밥배지나 원목을 불량하게 함으로써 표고 생육을 저해할 뿐 아니라 표고 자체를 직접적으로 가해하거나 병원성 미생물을 전달하여 품질과 생산량에 영향을 줄 수 있다. 이에 버섯파리를 비롯한 다양한 병해충들을 채집하고, COI 유전자 서열을 증폭할 수 있는 Primer set(HCO2198; TAACTTCAGGGTGACCAAAAAATCA, LCO1490; GGTCACAATCATAAAGATATTGG)를 이용하여 각 병해충을 동정하였다.

표 2-3-41. 재배사 내 병해충 조사 결과

수집년도	발생 병해충	발생 재배사
2017	버섯파리	산림버섯연구센터(여주), 민간 재배사(장흥), 민간 재배사(청도)
2018	버섯파리	산림버섯연구센터(여주), 토리영농조합(장흥)
2020	<i>Bradysia impatiens</i> (작은뿌리파리), <i>Diptera</i> sp., <i>Scatopsinae</i> sp.	장흥친환경영농조합(장흥), 천일농원(청주), 산북농원(여주)
2021	<i>Bradysia impatiens</i> (작은뿌리파리), <i>Bradysia subaprica</i> , <i>Diptera</i> sp., <i>Drasophila busckii</i> (줄무늬초파리), <i>Scatopsinae</i> sp.	동인농원(청도), 장흥친환경영농조합(장흥), 청흥영농조합(청양), 동원표고버섯(아산)



그림 2-3-18. 재배사에서 채집한 버섯파리. A: 2017년 여주 산림버섯연구센터, B: 2017년 장흥 민간재배사, C: 2017년 청도 민간재배사. Scale bar, 1 mm.

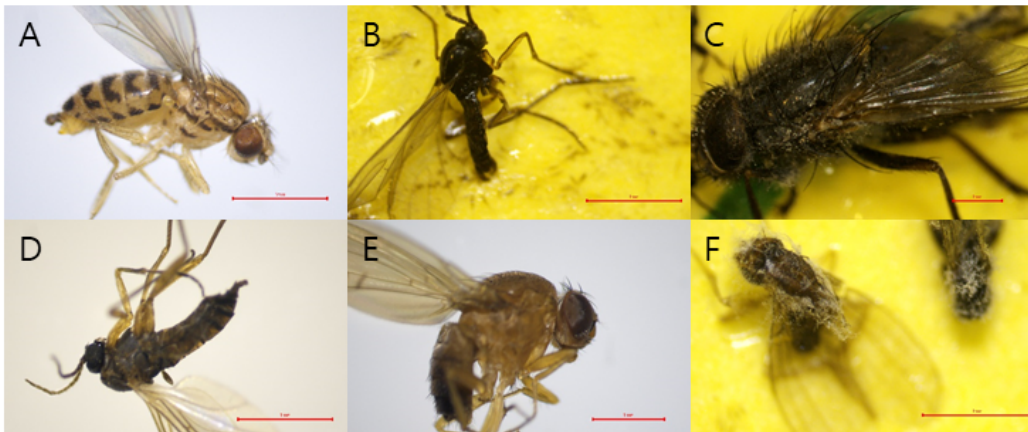


그림 2-3-19. 재배사에서 채집한 다양한 병해충. A, E: *Drosophila busckii*, B: *Scatopsinae* sp., C: *Diptera* sp., D: *Bradysia impatiens*, F: *Bradysia subaprica*.

나. 재배사 내 병해충에 존재하는 미생물 조사

병해충은 표고가 자라는 튼밥배지나 원목 혹은 표고에 병원성 미생물을 전달하는 매개체로 작용할 수 있다. 이에 재배사 내에서 채집된 병해충으로부터 미생물을 분리 및 동정하고자 하였다. 주요 결과 및 분리 및 동정한 세균과 진균의 목록은 아래와 같다.

표 2-3-42. 재배사 내 병해충에 존재하는 미생물 조사 결과

조사년도	주요 조사 결과	
2017	세균	- 총 9균주가 분리되었으며, 4속 5종으로 동정 - 인체 병원성으로 보고가 되어있는 <i>Delftia acidovorans</i> 와 <i>Strenotrophomonas maltophilia</i> 가 재배사 내 버섯파리로부터 동정이 되었기에 좀 더 철저한 실내 공기질 관리가 필요한 것으로 사료됨
	진균	- 총 16균주가 분리되었으며, 5속 5종으로 동정 - 표고 해균으로 알려진 <i>Trichoderma</i> 속이 청도와 장흥 재배사 내 버섯파리에서 분리
2018	세균	- 버섯파리로부터 총 46 균주가 분리
	진균	- 푸른곰팡이병을 유발할 수 있는 <i>Trichoderma</i> 속과 <i>Penicillium brevicompactum</i> 의 존재 확인

조사년도	주요 조사 결과	
2018	진균	- 인체 병원성, 식물 병원성 진균과 표고 재배에 오염을 유발시킬 수 있는 진균이 버섯파리의 몸체로부터 분리되었기에 버섯파리로 인해 버섯 병해의 정도가 더 심해질 가능성이 존재할 것으로 사료됨 - <i>Alternaria</i> 속, <i>Cladosporium</i> 속, <i>Irpex lacteus</i> 등 다양한 진균이 확인되어 재배사 실내 공기질 위생관리가 필요한 것으로 사료됨
2019	세균	- 버섯에서 세균성 얼룩의 원인이 되는 그람음성 토양 세균인 <i>Pseudomonas tolaasii</i> , 식중독을 유발할 수 있는 <i>Bacillus cereus</i> 의 존재 확인
	진균	- 푸른곰팡이병을 유발할 수 있는 <i>Trichoderma</i> 속과 <i>Penicillium brevicompactum</i> 의 존재 확인 - 피부, 발톱, 부비동, 폐에 드물게 감염을 일으킬 수 있는 것으로 알려진 <i>Cladosporium</i> 속의 진균 확인
2020	세균	- 8개의 종 분리
	진균	- 재배사 내의 병해충으로부터 분리되지 않음
2021	세균 및 진균	- 총 7속 10종의 세균과 8속 11종의 진균 확인 - 수막염 환자에게서 분리된 세균인 <i>Acinetobacter johnsonii</i> 을 비롯해 푸른곰팡이병을 유발할 수 있는 <i>Penicillium</i> 속과 <i>Trichoderma</i> 속의 진균이 다수 확인

표 2-3-43. 재배사 내 병해충으로부터 분리 및 동정된 세균

조사년도	세균명	특징
2017	<i>Bacillus thuringiensis</i>	Biological pesticide
	<i>Delftia acidovorans</i>	A rare pathogen in immunocompetent and immunocompromised patients
	<i>Pseudomonas putida</i>	
	<i>Pseudomonas yamanorum</i>	Psychrotolerant bacterium
	<i>Stenotrophomonas maltophilia</i>	An emerging multidrug-resistant global opportunistic pathogen
2019	<i>Bacillus cereus</i>	Cause food poisoning
	<i>Bacillus thuringiensis</i>	Used as an insecticide
	<i>Ewingella americana</i>	Human pathogen (rarely)
	<i>Pseudomonas tolaasii</i>	Causal agent of bacterial blotch on cultivated mushroom
	<i>Kluyvera intermedia</i>	Cause opportunistic infections in immunocompromised patients
2020	<i>Brevundimonas vesicularis</i>	Biosorption of Lead by Immobilized Biomass
	<i>Curtobacterium pusillum</i>	Isolated from oil brine
	<i>Microbacterium foliorum</i>	from phyllosphere of grasses
	<i>Micrococcus luteus</i>	considering a contaminant in sick patients
	<i>Paenibacillus prosopidis</i>	from the nodules of <i>Prosopis farcta</i>
	<i>Pantoea vagans</i>	plant epiphyte
	<i>Pseudomonas moorei</i>	Diclofenac Degradation
	<i>Pseudomonas qingdaonensis</i>	Aflatoxin degrading bacterium

조사년도	세균명	특징
2021	<i>Acinetobacter johnsonii</i>	has been implicated in cases of meningitis
	<i>Bacillus altitudinis</i>	Known to be capable of plant growth-promote
	<i>Bacillus aryabhatai</i>	Biotransformation of phenolic compounds
	<i>Bacillus mobilis</i>	Not well known
	<i>Chryseobacterium aquaticum</i>	Gram-negative, non-spore-forming and non-motile bacteria
	<i>Microbacterium aureliae</i>	Not well known
	<i>Microbacterium phyllosphaerae</i>	Not well known
	<i>Pseudomonas frederiksbergensis</i>	catalyse the asymmetric oxidation of sulfides to give exclusively the R enantiomer
	<i>Rhodococcus cercidiphylli</i>	endophytic actinobacterium isolated from a <i>Cercidiphyllum japonicum</i> leaf
	<i>Staphylococcus equorum</i>	isolated from the skin of healthy horses

표 2-3-44. 재배사 내 병해충으로부터 분리 및 동정된 진균

조사년도	진균명	특징
2017	<i>Trichoderma</i> sp.	Cause green mold disease (mushroom)
	<i>Lecanicillium</i> sp.	
	<i>Cladosporium</i> sp.	Cause infection of the skin, toenails, sinuses and lungs to human (rarely)
	<i>Lecanicillium</i> sp.	
	<i>Penicillium</i> sp.	Cause green mold disease (mushroom)
	<i>Scytalidium</i> sp.	
2018	<i>Mucor</i> sp.	No infection to humans and animals
	<i>Mucor</i> sp.	No infection to humans and animals
	<i>Trichoderma</i> sp.	Cause green mold disease (mushroom)
	<i>Trichoderma</i> sp.	Cause green mold disease (mushroom)
	<i>Irpex lacteus</i>	White-rot fungi
	<i>Penicillium brevicompactum</i>	Cause green mold disease (mushroom)
	<i>Cladosporium</i> sp.	Cause infection of the skin, toenails, sinuses and lungs to human (rarely)
	<i>Alternaria</i> sp.	Human pathogen (upper respiratory tract infections and asthma), plant pathogen (leaf spot)
2019	<i>Mucor</i> sp.	No infection to humans and animals
	<i>Mucor</i> sp.	No infection to humans and animals
	<i>Trichoderma</i> sp.	Cause green mold disease (mushroom)
	<i>Trichoderma</i> sp.	Cause green mold disease (mushroom)
	<i>Penicillium brevicompactum</i>	Cause green mold disease (mushroom)
	<i>Cladosporium</i> sp.	Cause infection of the skin, toenails, sinuses and lungs to human (rarely)
2021	<i>Altanaria altanata</i>	has been recorded causing leaf spot and other diseases on over 380 host species of plant
	<i>Clonostachy rosea</i>	colonizes living plants as an endophyte, digests material in soil as a saprophyte and is also known as a parasite of other fungi and of nematodes.

조사년도	진균명	특징
2021	<i>Fusarium oxysporum</i>	pathogenic to plants, especially in agricultural settings
	<i>Gibellulopsis nigrescens</i>	It has the potential to cause disease in soybeans.
	<i>Mortierella alpina</i>	used for commercial production of arachidonic acid
	<i>Mucor racemosus</i>	It also been associated with allergy and inflammations of facial sinuses
	<i>Penicillium brevicompactum</i>	Potential biocontrol agent for ochratoxin-producing fungus in grapes
	<i>Penicillium citrinum</i>	often found on moldy citrus fruits and ccasionally it occurs in tropical spices and cereals
	<i>Penicillium thomii</i>	isolated from spoiled faba beans in Australia
	<i>Purpureocillium lilacinum</i>	use as a biocontrol agent to control the growth of destructive root-knot nematodes
	<i>Trichoderma harzianum</i>	Cause green mold disease on mushroom

다. 재배사 내 실내공기 속 부유미생물 조사

(1) 계절별 재배사 내 실내공기 속 부유미생물의 농도

2017년에는 먼저 계절별로 재배사 내 실내공기 속 부유미생물 농도의 변화를 세균과 진균으로 나누어서 살펴보았다. 그 결과, 재배사 내 실내공기의 질이 열악한 것으로 확인되었다. 예컨대, 세균 농도의 경우 다중이용시설의 실내공기질 관리법 기준인 800 CFU/m³을 넘은 재배사가 다섯 지역(봄철: 장흥 톱밥배지 재배사, 여름철 여주 톱밥배지 재배사, 여름철 청도 톱밥배지 재배사, 가을철 여주 원목 재배사, 가을철 여주 톱밥배지 재배사)에서 관찰되었으며, 진균 농도의 경우 모든 재배사에서 계절에 상관없이 세계보건기구(World health organization: WHO) 기준인 500 CFU/m³을 넘기는 것으로 확인되었다.

표 2-3-45. 재배사 실내공기에 존재하는 세균과 진균의 농도

계절	재배유형	재배사	세균 농도 (CFU/m ³)	진균 농도 (CFU/m ³)
봄	톱밥	산림버섯연구센터(여주)	2.51×10^2	1.27×10^3
		민간 재배사(장흥)	1.09×10^3	3.19×10^3
	원목	산림버섯연구센터(여주)	2.47×10^2	8.22×10^2
		민간 재배사(장흥)	1.27×10^2	2.15×10^3
여름	톱밥	산림버섯연구센터(여주)	1.15×10^3	2.90×10^3
		민간 재배사(장흥)	4.95×10^2	2.20×10^3
		민간 재배사(청도)	$1.65 \times 10^{3**}$	1.40×10^4
		민간 재배사(양평)	7.54×10^2	$1.48 \times 10^{4**}$
	원목	산림버섯연구센터(여주)	3.89×10^2	3.36×10^3
		민간 재배사(장흥)	1.88×10^2	1.44×10^4
		민간 재배사(포천)	4.71×10^2	4.22×10^3
		민간 재배사(문경)	3.94×10^2	1.00×10^3
가을	톱밥	산림버섯연구센터(여주)	1.46×10^3	1.43×10^3
		민간 재배사(장흥)	$7.10 \times 10^*$	1.04×10^3
	원목	산림버섯연구센터(여주)	1.20×10^3	2.16×10^3
		민간 재배사(장흥)	1.30×10^2	$7.18 \times 10^{2*}$

*실내공기에 존재하는 부유미생물의 최고농도, ** 실내공기에 존재하는 부유미생물의 최저농도

(2) 재배사 별 실내공기 속 부유미생물의 농도

2017년의 조사에서 재배사의 부유미생물 농도가 대체로 높게 나타나는 것으로 파악되어, 2018년부터는 보다 다양한 재배사에 대해 확대 조사하였다.

표 2-3-46. 재배사 별 실내공기에 존재하는 세균과 진균의 농도

재배사	재배유형	세균 농도 (CFU/m ³)	진균 농도 (CFU/m ³)	조사년도
산림버섯연구센터(여주)	툽밥	1.27 × 10 ²	7.18 × 10 ²	2018
		1.39 × 10 ²	2.12 × 10 ²	2019
		1.03 × 10 ³	7.87 × 10 ²	2020
산북농원(여주)	원목	3.70 × 10 ²	5.64 × 10 ³	2020
		8.10 × 10 ¹	7.87 × 10 ²	2021
버섯산업연구원(장흥)	원목	4.60 × 10 ¹	3.94 × 10 ³	2018
		1.27 × 10 ²	2.21 × 10 ³	2019
토리영농조합(장흥)	툽밥	8.10 × 10 ³	1.43 × 10 ⁴	2018
		3.58 × 10 ²	6.01 × 10 ²	2019
동인농원(청도)	툽밥	4.60 × 10 ¹	3.94 × 10 ²	2018
		2.45 × 10 ³	1.24 × 10 ⁴	2020
		1.31 × 10 ³	4.87 × 10 ²	2021
유기농영농조합(거제)	원목	9.30 × 10 ¹	2.20 × 10 ²	2018
청흥영농조합(청양)	툽밥	1.16 × 10 ²	1.27 × 10 ²	2018
		2.14 × 10 ³	8.91 × 10 ²	2020
		1.84 × 10 ³	5.59 × 10 ³	2021
천일농원(청주)	툽밥	9.30 × 10 ¹	3.36 × 10 ²	2018
		1.12 × 10 ³	1.45 × 10 ³	2020
장흥친환경영농조합(장흥)	툽밥	1.18 × 10 ³	4.22 × 10 ³	2018
		9.02 × 10 ²	3.54 × 10 ³	2019
		3.93 × 10 ²	1.39 × 10 ⁴	2020
		1.39 × 10 ²	9.72 × 10 ²	2021
동원표고버섯(아산)	원목	2.24 × 10 ³	7.43 × 10 ³	2020
		8.10 × 10 ¹	1.04 × 10 ³	2021

연도별 주요 특징은 아래와 같다.

(가) 2018년

세균 농도는 장흥군 토리영농조합 툽밥배지 재배사에서 가장 높게 나왔고, 장흥군 버섯산업연구원 원목 재배사에서 가장 낮게 측정되었다. 진균 농도는 장흥군 토리영농조합 툽밥배지 재배사에서 가장 높게 나왔고, 청양군 청흥영농조합 툽밥배지 재배사에서 가장 낮게 측정되었다. 세균 농도의 경우 환경부 다중이용시설 실내공기질 오염물질 기준치인 800CFU/m³를 초과하는 곳은 장흥 토리영농조합 툽밥배지 재배사와 장흥 친환경영농조합 툽밥배지 재배사였고, 각각 기준치를 약 10배, 1.5배 초과한 값이었다. 진균 농도의 경우 세계보건기구 권고기준농도이며 환경부 실내공기질 권고기준인 500CFU/m³를 초과하는 재배사는 여주 산림버섯연구센터 툽밥배지 재배사, 장흥 버섯산업연구원 원목 재배사, 장흥 토리영농조합 툽밥배지 재배사, 장흥 친환경영농조합 툽밥배지 재배사로, 각각 1.4배, 7.8배, 28.6배, 8.4배 초과하였다. 대기환경 위생에 대해 좀 더 신경을 써야함을 알 수 있었다.

(나) 2019년

세균 농도는 장흥군 친환경영농조합에서 9.02×10^2 으로 가장 높게 나왔으며, 1.27×10^2 으로 장흥버섯산업연구원이 가장 낮은 농도를 나타냈다. 진균 농도는 장흥군 친환경영농조합에서 3.541×10^3 으로 가장 높게 측정되었고, 장흥군 토리영농 조합에서 6.01×10^2 으로 가장 낮은 농도를 나타냈다. 세균 농도의 경우 환경부 다중이용시설 실내 공기질 오염물질 기준치인 $800 \text{CFU}/\text{m}^3$ 을 초과하는 곳은 장흥 친환경영농조합 톱밥배지 재배사였고, 기준치를 약 1.1배 초과한 농도를 나타냈다. 진균 농도의 경우 환경부 실내공기질 권고기준인 $500 \text{CFU}/\text{m}^3$ 를 초과하는 재배사는 장흥친환경영농조합 톱밥 재배사와 장흥버섯산업연구원 원목 재배사였으며, 각각 4.2배, 7배 초과하였다. 실내공기 관리가 필요함을 보여준다.

(다) 2020년

세균 농도는 청도 동인농원에서 2.45×10^3 으로 가장 높게 나왔으며, 3.70×10^2 으로 여주 산북농원이 가장 낮은 농도를 나타냈다. 진균 농도는 장흥군 친환경영농조합에서 1.39×10^4 으로 가장 높게 측정되었고, 7.87×10^2 으로 여주 산림조합중앙회 버섯연구소가 가장 낮은 농도를 나타냈다. 세균 농도의 경우 환경부 다중이용시설 실내 공기질 오염물질 기준치인 $800 \text{CFU}/\text{m}^3$ 을 초과하는 곳은 여주 산림조합중앙회 버섯연구소, 아산 동원표고버섯, 청도 동인농원, 청주 천일농원 그리고 청양 청홍영농조합이었고, 기준치를 최소 약 1.19배, 최대 약 3.06배 초과한 농도로 나타났다. 진균 농도의 경우 환경부 실내공기질 권고기준인 $500 \text{CFU}/\text{m}^3$ 를 모든 재배사가 초과하였으며, 최대 약 27.8배 초과하는 것으로 나타났다. 이는 공기 중에 표고의 생장 및 자실체 형성을 방해하는 등의 다양한 해를 입힐 수 있는 해균들의 농도가 굉장히 높다는 것으로 표고 재배사 내의 실내 공기 관리가 절실히 필요함을 보여준다.

(라) 2021년

세균 농도는 청양 청홍영농조합 재배사에서 1.842×10^3 으로 가장 높게 나왔으며, 8.1×10^2 으로 여주 산북농원 재배사와 아산 동원 재배사가 가장 낮은 농도를 나타냈다. 진균 농도는 청양 청홍영농조합 재배사에서 5.591×10^3 으로 가장 높게 측정되었고, 7.87×10^2 으로 여주 산북농원 재배사가 가장 낮은 농도를 나타냈다. 세균 농도의 경우 환경부 다중이용시설 실내 공기질 오염물질 기준치인 $800 \text{CFU}/\text{m}^3$ 을 초과하는 곳은 청도 동인 재배사와 청양 청홍영농조합 재배사였으며, 기준치를 청도 동인 재배사의 경우 약 1.63배, 청양 청홍영농조합 재배사의 경우 약 2.3배 초과한 농도로 나타났다. 진균 농도의 경우 환경부 실내공기질 권고기준인 $500 \text{CFU}/\text{m}^3$ 를 모든 재배사가 초과하였으며, 최대 약 11.18배 초과하는 것으로 나타났다. 이는 공기 중에 표고의 생장 및 자실체 형성을 방해하는 등의 다양한 해를 입힐 수 있는 해균들의 농도가 굉장히 높다는 것으로 표고 재배사 내의 실내 공기 관리가 절실히 필요함을 보여준다.

라. 재배사 내 실내공기 속 부유미생물 분리 및 동정

표고 재배에 위험요소가 될 수 있는 미생물을 관리하는 데 도움이 될 수 있도록, 재배사 내 실내공기 속 부유미생물을 분리 및 동정하였다. 이를 위하여, 먼저 콜로니의 색과 모양 및 크기와 같은 형태학적 특징을 바탕으로 그룹을 나누고, 각 그룹의 대표 균주에 대해 16S rRNA 서열분석을 통해 동정을 수행하였다. 특히, 다수의 병원성 미생물의 존재가 확인되어서, 단순히 재배사 내 실내공기 속 부유미생물의 농도만 높은 것이 아니라 재배자의 안전을 위한 실내

공기 관리의 필요성을 확인할 수 있었다. 연도별 주요 조사 결과는 아래와 같다.

(1) 2018년

총 75균주가 분리되었다. 의료기기를 오염시키는 경우가 있어 인체에 해가 될 가능성이 있는 *Stenotrophomonas maltophilia*이 존재하는 것을 확인하였다.

(2) 2019년

(가) 세균: 총 46균주가 분리되었다. 균주에 따라 맹독성인 신경독소 tetrodotoxin을 가질 수도 있는 *Lysinibacillus xylanilyticus*, 환자에게 pathogen으로 작용할 수 있는 *Micrococcus luteus*가 존재하는 것을 확인하였다. 식물의 뿌리나 잎에서 발견될 수 있는 *Pseudomonas fluorescens*, *Stenotrophomonas rhizophila* 또한 존재가 확인되었다. 항생제를 생산하거나 항균력 있는 종들도 검출되었다.

(나) 진균: 총 87균주가 분리되었다. 피부, 발톱 등과 폐에 드물게 감염을 일으킬 수 있는 *Cladosporium* 속의 진균이 존재함을 확인하였다. 사람의 폐에 감염을 일으킬 수 있는 *Aspergillus* 속의 진균이 확인되었다. 사람에게 기회 감염을 일으킬 수 있는 *Fusarium*, *Trichosporon* 속의 진균이 존재함을 확인하였다. 식물 병원성일 뿐만 아니라 상기도 감염 및 천식을 유발할 수 있는 것으로 알려진 *Alternaria* 속의 진균이 존재함을 확인하였다. 인간에게 기회 감염을 일으킬 수 있으며, 굉장히 빠른 속도로 성장하여 배지 내에서 표고와 경합할 수 있는 *Mucor nidicola* 또한 확인되었다. 표고의 푸른곰팡이병을 유발하는 것으로 보고된 *Penicillium* 속과 *Trichoderma* 속의 진균이 존재함을 확인하였다. 매우 강력한 포자를 가지고 있으며, 배지 내에서 굉장히 빠르게 성장할 수 있어서 표고 재배시 표고와 경합하여 표고의 생산성을 떨어뜨릴 수 있는 *Neurospora crassa*(붉은 빵 곰팡이)도 확인되었다.

(3) 2020년

(가) 세균: 총 26균주가 분리되었다. 환자에게 pathogen으로 작용할 수 있는 *Micrococcus luteus*가 분리되었다. 고분자 물질을 분해할 수 있는 *Paenibacillus xylanivorans* 그리고 곰팡이 독소로써 발암성이 있는 독성물질인 aflatoxin을 분해할 수 있는 *Pseudomonas qingdaonensis* 등이 존재하는 것을 확인하였다. 식물의 뿌리나 잎에서 발견될 수 있는 *Pseudomonas fluorescens*, *Stenotrophomonas rhizophila* 또한 존재가 확인되었다. 식물의 내생균으로 알려져 있는 *Pantoea vagans* 또한 동정되었다.

(나) 진균: 피부, 발톱 등과 폐에 드물게 감염을 일으킬 수 있거나 allergens를 형성하여 천식에 악영향을 미치는 *Cladosporium* 속의 진균이 존재함을 확인하였다. 사람에게 기회감염균으로 작용하여 aspergillosis를 일으킬 수 있는 *Aspergillus flavus*가 존재하였다. 식물 병원성일 뿐만 아니라 상기도 감염 및 천식을 유발할 수 있는 것으로 알려진 *Alternaria* 속의 진균이 존재함을 확인하였다. 표고에 푸른곰팡이병을 유발하는 것으로 보고된 *Penicillium* 속과 *Trichoderma* 속의 진균이 존재함을 확인하였다.

(4) 2021년

(가) 세균: 총 14속 19종의 33균주가 분리되었다. 분리된 세균 중에는 열에 강한 아포를 형성하고 식품에 높은 농도로 존재하게 될 경우 식중독을 일으킬 수 있는 *Bacillus cereus*가

분리되었다. 폐렴, 패혈증, 수막염 등을 일으킬 수 있는 것으로 알려져 있는 *Klebsiella pneumoniae* 가 존재함을 확인하였다. 사람에게 몰타열 또는 지중해열로도 알려져 있는 인수 공통 감염증인 브루셀라증을 유발할 수 있는 *Brucella haematophila* 가 존재함을 확인하였다. 사람에게 기회주의적 인간 병원체로 작용하여 패혈증, 복막염 등을 유발할 수 있는 *Pseudarthrobacter scleromae* 가 존재함을 확인하였다. 사람의 눈, 귀, 코와 목에 감염을 유발할 수 있는 *Staphylococcus epidermis* 가 존재함을 확인하였다. 국내 표고 재배사의 실내 공기에 이렇게 다양한 인체병원 세균이 존재한다는 것은 표고 재배 농가의 실내 공기질 관리가 매우 중요하다는 증거로 사용될 수 있다.

(나) 진균: 총 7속 11종의 34균주가 분리되었다. 음식에 주로 오염되는 진균독소인 ochratoxin A를 형성하여 식중독을 유발할 수 있는 *Aspergillus westerdijkiae* 과 *Aspergillus niger* 가 존재함을 확인하였다. 표고 재배사에서 일어나는 오염 중 가장 많은 비율을 차지하는 푸른곰팡이병을 유발할 수 있는 *Penicillium brevicompactum*과 *Trichoderma harzianum*이 존재함을 확인하였다. 분리된 34개의 균주 중 다수를 차지하는 속은 푸른곰팡이병을 유발할 수 있는 *Penicillium*과 *Trichoderma* 속이었으므로 이들의 포자가 표고 재배사 내의 공기 중에 굉장히 많이 존재해 표고의 성장을 방해하거나 배지 오염을 일으킬 가능성이 높다고 볼 수 있다. 따라서 이러한 결과는 국내 표고 재배사들의 공기질 관리가 중요함을 나타내고 있다.

마. 재배사 내 환경지표 조사

재배사 내 위험인자 발생에 영향을 주는 비생물학적 환경 요인에 대해 알아보기 위하여 재배사 별로 온도와 습도 조건에 대해 조사하였다. 재배사 간에 온도와 습도에 차이가 있었지만, 그 범위가 온도는 16℃ ~ 35℃, 습도는 36% ~ 91%의 사이로 모든 재배사가 미생물 생존에 적합하게 나타났다. 이는 위의 조사에서 확인한 것과 같이 재배사에서 다양한 미생물이 관찰된 사실과 일치한다고 볼 수 있다. 표고 재배를 위해 조절할 수 있는 비생물학적 환경 조건에는 한계가 있으므로, 병해충 발생을 억제하기 위한 지속적인 관리의 필요성이 매우 중요함을 알 수 있다.

표 2-3-47. 재배사 내 온도와 습도

재배사	재배유형	온도 (°C)	습도 (%)	조사년도
산림버섯연구센터(여주)	툽밥	23.8 ± 1.3	45.1 ± 0.4	2018
		18.3 ± 0.6	72.8 ± 2.1	2019
		29.3 ± 0.5	28.8 ± 1.3	2020
산북농원(여주)	원목	21.2 ± 0.5	86.1 ± 0.9	2020
		20.6 ± 0.3	51.6 ± 0.7	2021
동원표고버섯(아산)	원목	22.2 ± 0.7	82.3 ± 1.0	2020
		23.4 ± 0.5	49.3 ± 0.5	2021
버섯산업연구원(장흥)	원목	31.5 ± 0.6	36.4 ± 0.4	2018
		29.4 ± 0.5	60.9 ± 1.1	2019
토리영농조합(장흥)	툽밥	24.4 ± 1.0	78.1 ± 4.0	2018
		21.2 ± 0.3	58.8 ± 1.2	2019
동인농원(청도)	툽밥	16.4 ± 0.5	67.8 ± 3.2	2018
		20.7 ± 0.5	72.8 ± 0.5	2020
		22.2 ± 0.7	82.3 ± 1.0	2021

재배사	재배유형	온도 (°C)	습도 (%)	조사년도
유기농영농조합(거제)	원목	35.1 ± 0.8	56.2 ± 0.9	2018
청홍영농조합(청양)	툽밥	23.8 ± 0.7	74.8 ± 6.6	2018
		25.8 ± 0.3	69.2 ± 1.7	2020
		21.3 ± 0.3	77.8 ± 0.5	2021
천일농원(청주)	툽밥	32.2 ± 0.5	48.9 ± 2.3	2018
		16.0 ± 0.1	87.3 ± 0.4	2020
장흥친환경영농조합(장흥)	툽밥	24.5 ± 0.3	91.5 ± 1.9	2018
		26.1 ± 0.1	63.8 ± 1.5	2019
		21.2 ± 0.3	58.8 ± 1.2	2020
		27.2 ± 0.5	71.5 ± 0.7	2021

바. 버섯배지의 오염원 조사

실내공기 뿐 아니라 버섯 재배 배지에 존재하는 위험인자도 분석하기 위하여 오염된 버섯배지에서 미생물을 분리 및 동정하였다. 이를 위해, 충북 진천의 한 재배사에서 산조 701호 재배 중에 발생한 오염 배지를 조사하였다. 그 결과, 표고 재배사에서 일어나는 오염 중 가장 많은 비율을 차지하는 푸른곰팡이병을 일으키는 것으로 알려진 *Penicillium* 속과 *Trichoderma* 속이 동정되었다. 또한, 민주름버섯목에 속하는 *Emmia lacerata*도 동정된 것으로 보아 배지에 대해 표고와 경합을 할 가능성이 존재하는 것으로 보인다.

사. 표고 갈변 증상 조사

표고 재배사 내에 발생할 수 있는 또다른 위험인자로, 표고 자체에 병을 일으키는 미생물이 있을 수 있다. 이에 따라 본 연구팀은 대표적인 표고 병징의 하나인 갈변에 대해 조사하고자 하였다. 이를 위해 갈변을 보이는 표고로부터 미생물을 분리 및 동정하고, 이 가운데 효모인 *Cryptococcus pseudolongus*에 의해 표고 갈변이 나타남을 증명하였다. 또한 향후 *Cryptococcus pseudolongus*에 대한 방제법에 대한 단서를 얻고자 해당 미생물에 대한 전장 유전체 분석도 수행하였다.

(1) 갈변된 표고에서 미생물 분리 및 동정

충북 진천의 한 재배사에서 산조701호 자실체 갈변 증상이 발생하였다. 이로부터 총 27개의 진균, 6개의 세균, 2개의 효모를 분리하였다. 동정된 세균으로 *Ewingella americana*, *Bacillus albus*, *Paenibacillus taichungensis*가 있었다. 이 중 *Ewingella americana*는 드물게 인체감염균으로 작용할 수 있음이 알려져 있다. 동정된 결과 중, 민주름버섯목에 속하는 것으로 알려진 *Emmia lacerata*는 목재부후균으로서 표고랑 경합할 가능성도 존재하는 것으로 보이며, 해당 균은 오염된 표고 배지에서도 분리된 바 있다. 한편, 분리된 효모는 모두 *Candida palmioleophila*로 확인되었다.



그림 2-3-20. 갈변 증상이 나타난 산조701호

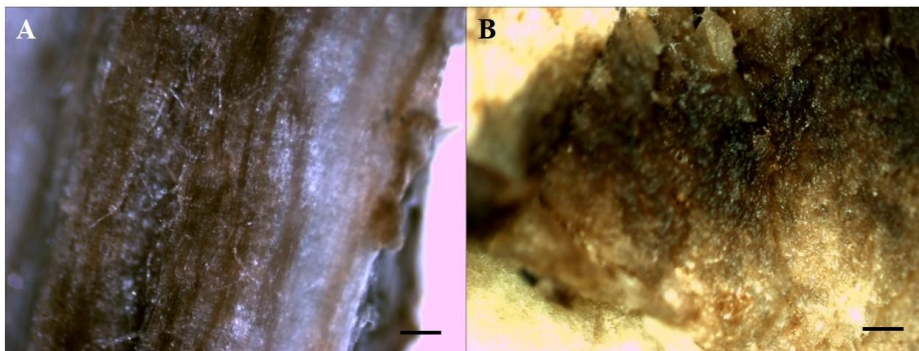


그림 2-3-21. 갈변 증상이 나타난 산조701호의 실제 현미경 확대 관찰 모습.

A: 대 부분; B: 갓 부분. Scale bar, 0.5mm.

(2) 표고의 갈변 원인 조사

표고의 갈변이 일어나는 원인이 무엇인지 알아보기 위하여, Type 균주와 분리균주를 배양한 배양액과 그 배양액을 filtering한 상등액을 50 μ l씩 3cm 직경으로 성장한 표고 균주(산조701호)와 일정 거리(24 mm, 16 mm, 8 mm)를 두고 함께 배양하여 그 반응 여부를 확인하였다. filtering한 상등액을 함께 배양한 배지에서는 표고 균주의 연령과는 관계 없이 표고 균주의 변색이 일어나지 않았다. 배양액을 표고 균주와 24 mm 떨어진 곳에 배양한 배지에서는 표고 균주가 배양액 주변을 피해서 성장하는 증상을 확인하였고, 모든 배지에서 갈변 증상을 확인되었다. 위 결과를 볼 때, 표고와 *Cryptococcus pseudolongus*가 직접적으로 마주해야만 갈변반응이 일어나는 것을 알 수 있었다.

(3) 표고 신종 갈반병 발병 기작 연구

(가) 표고와 병원균 간 상호작용 중 갈반 증상 관련 유전자 분석

Cryptococcus pseudolongus DUCC4014에 대하여 전장 유전체 분석을 진행한 결과, 평균적인 subread 길이는 7,320bp로 확인되었고, whole genome de novo assembly는 FALCON method로 수행되었는데 17개의 contig로 분석되었다. N50 contig의 길이는 4,264,973bp로 정도였다. 전장 유전체의 길이는 25,555,698bp(25 Mbp), GC contents는 61.68%였으며, annotation 결과, 유전자의 개수는 10,257개로 추정되었다. 대표적인 균주들과 비교하였을 때 작은 genome size를 가짐에도 불구하고, 유전자의 개수가 매우 많은 것을 알 수 있다. 10,257개의 유전자를

생물 정보학적으로 탐색한 결과, 표고의 세포벽에 영향을 줄 것으로 추정되는 chitinase, chitin deacetylase, glucanase 등을 코딩하는 유전자 부류와 lipase, peptidase, lyase와 같은 hydrolase를 코딩하는 유전자 부류도 존재하는 것으로 추정되었다. 그리고 산화환원 반응의 일종인 갈변 현상에 영향을 줄 것으로 예측되는 oxidase, peroxidase, phenol hydroxylase, reductase를 코딩하는 유전자 등의 존재도 추정되었다.

(나) *Cryptococcus pseudolongus*의 표고 병원성 테스트

표고에 갈반병을 유발한다고 알려져 있는 *Cryptococcus pseudolongus*의 병원성을 보고자 상처가 나지 않은 표고, 인위적으로 상처를 낸 표고의 갓, 주름살 부위에 각각 5×10^6 농도의 *Cryptococcus pseudolongus*를 접종하였다. 그 결과 아래 그림과 같이 대조군 대비 *Cryptococcus pseudolongus*를 접종하였을 때 표고가 전체적으로 빠르게 갈변되었으며, 특히 접종한 부위 주변이 굉장히 빠르게 검은색에 가까운 짙은 갈색으로 변하는 것을 확인하였다.



그림 2-3-22. *Cryptococcus pseudolongus*를 접종 시 표고의 갈변

제3장 목표 달성도 및 관련 분야 기여도

제1절 연구개발의 목표

- 품종보호·수입대체용 표고버섯 신품종 출원 6건, 등록 6건
- 특허 출원 3건, 등록 2건,
- SCI논문 14건, 비SCI논문 13건
- 분자마커 개발 5건
- 유전자원 수집, 등록 각각 25건
- 국내 매출액 390백만원
- 기술이전 8건
- 최종적으로 종균 자급률 70% 달성

제2절 목표 달성여부

[제1세부]

구분	연도	연구개발의 목표	평가의 착안점	가중치 (%)	달성도 (%)
1차 년도	2017	육종자원의 수집 및 분석	○ 육종자원 수집 및 기초특성평가 여부	30	100
		신품종 육성	○ 교배균주 육성 및 신품종 출원 여부	40	100
		출원 후보균주의 시험포 운영	○ 출원 후보균주의 배지 유형별 재배시험 및 특성 평가 여부	30	100
2차 년도	2018	육종자원의 수집 및 생리적 특성 조사	○ 육종자원 수집 및 기초특성평가 여부	25	100
		교배균주 육성 우수 계통 선발 및 품종 육성	○ 교배균주 육성 및 신품종 출원 여부	25	100
		출원후보 균주의 시험포 운영	○ 출원 후보균주의 배지 유형별 재배시험 및 특성 평가 여부	25	100
		종균 생산 및 보급 내용 실태 파악	○ 국산품종의 자급률 현황 조사 여부	25	100
3차 년도	2019	육종자원의 수집 및 생리적 특성 조사	○ 육종자원 수집 및 기초특성평가 여부	25	100
		교배균주 육성 우수 계통 선발 및 품종 육성	○ 교배균주 육성 및 신품종 출원 여부	25	100
		출원후보 균주의 시험포 운영	○ 출원 후보균주의 배지 유형별 재배시험 및 특성 평가 여부	25	100
		종균 생산 및 보급 내용 실태 파악	○ 국산품종의 자급률 현황 조사 여부	25	100
4차 년도	2020	육종자원의 수집 및 생리적 특성 조사	○ 육종자원 수집 및 기초특성평가 여부	25	100
		교배균주 육성 우수 계통 선발 및 품종 육성	○ 교배균주 육성 및 신품종 출원 여부	25	100
		출원후보 균주의 시험포 운영	○ 출원 후보균주의 배지 유형별 재배시험 및 특성 평가 여부	25	100
		종균 생산 및 보급 내용 실태 파악	○ 국산품종의 자급률 현황 조사 여부	25	100
5차 년도	2021	육종자원의 수집 및 생리적 특성 조사	○ 육종자원 수집 및 기초특성평가 여부	25	100
		교배균주 육성 우수 계통 선발 및 품종 육성	○ 교배균주 육성 및 신품종 출원 여부	25	100
		출원후보 균주의 시험포 운영	○ 출원 후보균주의 배지 유형별 재배시험 및 특성 평가 여부	25	100
		종균 생산 및 보급 내용 실태 파악	○ 국산품종의 자급률 현황 조사 여부	25	100

[제2세부]

구분	연도	연구개발의 목표	평가의 착안점	가중치 (%)	달성도 (%)
1차 년도	2017	NGS를 이용한 골든시드 대상품종의 유전체 분석	○ 전장유전체 정보를 이용한 골든시드 대상품종 구분 분자마커 개발	25	100
		고온, 저온발이 표고 품종의 단포자 확보 및 교배조합 작성	○ 교배조합 확보 여부	25	100
		포자형성이 일어나지 않는 단포자 확보 및 resequencing 수행	○ 대상 품종에 대한 resequencing 및 분석 완료	25	100
		분자마커 개발 목표형질 유전자원 확보 및 형질검증	○ 대상 균주들 외부 등의 형질 분석 완료	25	100
2차 년도	2018	NGS를 이용한 골든시드 대상품종의 유전체 분석	○ 전장유전체 정보를 이용한 골든시드 대상품종 구분 분자마커 개발	25	100
		고온, 저온발이 표고 품종의 Inbred line의 버섯 발생 온도 표현형 조사완료	○ 고온과 저온의 유전적 특성분석 및 단포자를 확보	25	100
		표고의 균사 생장에 관여하는 조건에서의 RNA-Seq 분석 수행	○ 해당 재료에 대한 RNA-seq수행	25	100
		포자형성에 관여하는 유전자좌 확보	○ 포자형성 관여 대상 유전자 확보 여부	25	100
		표고버섯 균주별의 미토콘드리아 유전자 분석	○ 미토콘드리아 유전자분석 ○ 미토콘드리아 서열 확보 (23종)	30 70	100
3차 년도	2019	NGS를 이용한 골든시드 대상품종의 유전체 분석	○ 전장유전체 정보를 이용한 골든시드 대상품종 구분 분자마커 개발	25	100
		표고의 온도발이 관련 집단 분리와 연관분석 완료 및 온도형 분자마커 개발	○ 고온/ 저온을 구분할 수 있는 유전자 영역 동정 완료	25	100
		표고 포자체 발생 단계별 RNA-seq 분석	○ 표고 재배단계별 RNA sequencing 및 분석 완료	25	100
		표고 갖의 색깔, 크기, 대 길이, 표고 발생, 균사생장등 형질 관련 집단 분리	○ 대상 형질을 대변하는 균주와 관련 집단 확보	25	100
		표고버섯 균주별 미토콘드리아형 분석 마커 개발	○ 미토콘드리아 서열분석을 통한 분자 마커 개발 여부 (개발완료) ○ 미토콘드리아 마커와 교배형마커를 이용한 균주별 구분법 연구 (확립)	50 50	100
4차 년도	2020	NGS를 이용한 골든시드 대상품종의 유전체 분석	○ 전장유전체 정보를 이용한 골든시드 대상품종 구분 분자마커 개발	25	100
		표고 갖의 색깔, 크기, 대 길이, 표고 발생, 균사 생장 형질 관련 비교 유전체 수행	○ 비교 유전체를 통한 해당 연관 유전자 분석	50	100
		표고 포자형성 관련 유전자 기능검증 완료 및 마커개발	○ 무포자 연관 유전자 동정 및 기능분석	25	100
		교배형은 같으나 미토콘드리아형이 다른 이핵균주 제작	○ Mono-Mono, Di-Mono 교배를 통한 이핵균주 제작 (8종제작) ○ 제작된 이핵균주의 미토콘드리아형 분석	70 30	100
5차 년도	2021	NGS를 이용한 골든시드 대상품종의 유전체 분석 (4, 5 차년도 대상 품종)	○ 전장유전체 정보를 이용한 골든시드 대상품종 구분 분자마커 개발	30	100
		표고 형질관련 (온도형) 분자 마커 개발	○ 고온형 저온형 구분 마커 개발	70	100
		이핵균주의 재배실험을 통한 미토콘드리아형에 따른 자실체 발생특성 규명	○ 미토콘드리아형이 다른 이핵균주의 재배실험 진행 (6종 진행) ○ 표고버섯 형질에 영향을 미치는 미토콘드리아 유전자 규명 ○ 표고버섯 형질-미토콘드리아형의 상관관계 확립	30 30 40	100

[제3세부]

구분	연도	연구개발의 목표	평가의 착안점	가중치 (%)	달성도 (%)
1차 년도	2017	개발품종/출원품종의 지역 적합품종 선발	○ 지역별 원목 및 톱밥재배 우수품종 선발	25	100
		품종시험포 운영	○ 지역별 원목 및 톱밥재배 시험포 운영 및 재배특성 조사 여부 ○ 품종설명회 실시	25	100
		GSP 품종, 보급촉진, 유통망 확대	○ 품종 보급을 위한 유통망 구축, 홍보 및 통상실시 여부	25	100
		실증시험지역 병해충, 오염균 조사분석	○ 시험지 병해충 조사 및 분석	25	100
2차 년도	2018	개발품종/출원품종의 지역 적합품종 선발	○ 지역별 원목 및 톱밥재배 우수품종 선발	25	100
		품종시험포 운영	○ 지역별 원목 및 톱밥재배 시험포 운영 및 재배특성 조사 여부 ○ 품종설명회 실시	25	100
		GSP 품종, 보급촉진, 유통망 확대	○ 품종 보급을 위한 유통망 구축, 홍보 및 통상실시 여부	25	100
		실증시험지역 병해충, 오염균 조사분석	○ 시험지 병해충 조사 및 분석 ○ 표고 신종 갈반병 발병 기작 연구	25	100
3차 년도	2019	개발품종/출원품종의 지역 적합품종 선발	○ 지역별 원목 및 톱밥재배 우수품종 선발	25	100
		품종시험포 운영	○ 지역별 원목 및 톱밥재배 시험포 운영 및 재배특성 조사 여부 ○ 품종설명회 실시	25	100
		GSP 품종, 보급촉진, 유통망 확대	○ 품종 보급을 위한 유통망 구축, 홍보 및 통상실시 여부	25	100
		실증시험지역 병해충, 오염균 조사분석	○ 시험지 병해충 조사 및 분석 ○ 표고 갈반병 유전자 분석	25	100
4차 년도	2020	개발품종/출원품종의 지역 적합품종 선발	○ 지역별 원목 및 톱밥재배 우수품종 선발	25	100
		품종시험포 운영	○ 지역별 원목 및 톱밥재배 시험포 운영 및 재배특성 조사 여부 ○ 품종설명회 실시	25	100
		GSP 품종, 보급촉진, 유통망 확대	○ 품종 보급을 위한 유통망 구축, 홍보 및 통상실시 여부	25	100
		실증시험지역 병해충, 오염균 조사분석	○ 시험지 병해충 조사 및 분석 ○ 시험지 부유미생물 조사 및 분석	25	100
5차 년도	2021	개발품종/출원품종의 지역 적합품종 선발	○ 지역별 원목 및 톱밥재배 우수품종 선발	25	100
		품종시험포 운영	○ 지역별 원목 및 톱밥재배 시험포 운영 및 재배특성 조사 여부 ○ 품종설명회 실시	25	100
		GSP 품종, 보급촉진, 유통망 확대	○ 품종 보급을 위한 유통망 구축, 홍보 및 통상실시 여부	25	100
		실증시험지역 병해충, 오염균 조사분석	○ 시험지 병해충 조사 및 분석 ○ 시험지 부유미생물 조사 및 분석 ○ 병해충 예방관리법 제작	25	100

제4장 연구결과의 활용 계획 등

제1절 실용화 산업화 계획

1. 표고버섯의 유전자원 수집 및 분자마커

표고버섯의 등록균주는 38개로 야생균주는 국내 재배자, 연구자들에게 균주분양에 활용할 예정이다. 야생균주는 특성분석을 통해 분자마커 개발에 활용할 것이며, 교잡균주는 순차적으로 생산성을 파악하고, 우수균주는 재배시험을 통해 신품종으로 개발하여 품종보호 출원을 실시하고, 통상실시를 통해 다수의 국내 표고 재배자들이 활용될 수 있도록 할 것이다. 이와 더불어 우수균주의 안정적인 장기보존을 통해 품종 육성기관 뿐만 아니라 국내 개인 육종가들에게 분양을 통해 활용할 수 있는 귀중한 육종자원으로 활용할 계획이다.

골든시드프로젝트를 통해 개발된 품종들에 대한 품종 구분마커를 개발함으로써 종자 주권확보를 위한 과학적 근거를 마련하였으며, 미토콘드리아 구분 마커, 고온/저온형 구분 마커 등 새롭게 개발된 분자마커는 육종시간의 단축과 더 많은 신품종을 개발하는데 활용될 것이다.

2. 표고버섯의 품종 출원

표고버섯의 품종출원은 밤빛향, 산장향, 산산향, 만추향, 태향고, 산호향 등 6개를 출원하였으며 또한 산조710호는 일본에 출원하였다. 또한 연구기간 동안 65건의 표고버섯 기술이전을 실시하였다. 아울러 골든시드 프로젝트로 만들어진 품종은 홍보 강화를 통해 더 많은 보급이 이루어질 수 있도록 할 것이다.

3. 표고버섯의 현장적응성 시험

현장 적응성 시험은 기존 품종과 골든시드 프로젝트를 통해 만들어진 품종을 대상으로 지역 적합한 품종 선발과 재배법을 보완하는 것이다. 2단계 과제를 통해 원목재배용은 백화향, 산조303호, 톱밥재배용은 산마루2호, 산백향, 설백향, 산장향, 밤빛향, 산산향, 만추향, 태향고, 참아람, 산조707호, 산조708호, 산조713호, 산조715호, 산조718호, 산조719호, 산조720호를 재배하였다. 본 과제를 통해 만들어진 재배 매뉴얼은 표고버섯 재배자들에게 보급하여 성공적인 재배가 이루어질 수 있도록 할 계획이다. 또한 품종 설명회, 표고버섯 재배 교육을 통해 재배자들에게 보급할 예정이다.

4. 표고버섯의 병해충 방제

표고버섯의 병해충을 방제하기 위해 시험포의 주요 병해충인 버섯파리, 트리코더마 등 주요 병해충 실태를 조사, 분석하였으며, 버섯파리에 존재하는 미생물, 공기 중에 존재하는 미생물의 농도와 분리된 균주 동정을 실시하였다. 이러한 결과는 재배사 위생관리 지침 제작 및 교육에 활용할 예정이다.

제2절 교육·지도·홍보 등 기술확산 계획 등

우리의 표고버섯 품종을 알리고자 표고버섯의 연찬회, 품종 품종회, 전시회 등 다양한 활동들이 이루어졌고, 신문 방송 등 177건의 홍보도 이루어졌다. 2단계에서 만들어진 품종들은 품종별 소개책자를 만들어 배포하고, 표고버섯의 교육 및 홍보하는데 활용하고자 한다. 아울러

현장 적응성 시험을 통해 얻어진 각 품종별 재배 매뉴얼은 책자발간을 통해 재배자들에게 배부할 계획이다. 또한 각 품종별 재배 매뉴얼을 통상실시한 종균배양소에서 종균을 보급할 때 재배자들에게 배부하여 우리 품종이 빠르게 보급될 수 있도록 할 것이다.

제3절 특허, 품종, 논문 등 지식재산권 확보계획 등

형태적으로 다른 특성을 가진 유전자원은 육종형질 분자마커 개발에 활용되어 추후 육종형질에 대한 분자마커의 특허출원에 활용하고자 한다. 또한 다수확성을 가지는 유전자원은 향후 육종재료로 활용할 것이다.

밤빛향, 산장향, 산산향, 만추향, 대향고, 산호향 등 개발품종은 재배지침 작성을 통해 신품종의 특성을 소개하는 자료로 활용할 것이며, 또한 일부 자료는 논문화를 시도할 것이다.

제4절 추가연구, 타 연구에 활용 계획 등

표고버섯의 교배형 분자마커는 육종집단을 만드는데 활용할 것이다. 본 연구에서 산마루1호, 산마루2호, 산조502호를 바탕으로 고온/저온 형질을 부여하는 유전자좌를 동정하였으나 연구결과에서 설명하였듯이 약 15개 정도로 구성된 유전자들이 복합적으로 온도형을 결정하는 것으로 판단된다. 이에 좀더 체계적이고 정확한 분석을 추가적으로 진행할 계획이다. 표고 미토콘드리아의 경우에도 본 연구를 통하여 단순반복서열의 삽입, 미토콘드리아 유전체내 intron의 삽입, mobile element의 활성화등으로 진화하고 있음을 확인하였으며, 이러한 결과가 표고 특성에 어떻게 반영되는지 추가적으로 연구할 계획이다. 표고버섯의 품종개발은 2단계에서 수집된 유전자원과 개발된 분자육종 기술을 접목하여 육종시간을 단축시키고 더 많은 신품종을 개발할 것이다.

원목재배와 톱밥재배용 시험포 운영, 지역 적합품종 선발과 최적 재배조건 구명을 통해 국산 품종의 재배매뉴얼을 작성하고, 재배기술 지도, 품종설명회 등을 통해 국산품종이 보급될 수 있도록 할 것이다.

붙임. 참고문헌

1. 경기도농업기술원. “2018년도 시험연구보고서”, 2019.
2. 경상북도, “경상북도 버섯산업 발전 대책”, 2015.
3. 농림축산식품부, “농림축산식품통계연보”, 2020.
4. 민경택, “표고버섯 산업의 동향과 발전 방향”, 한국농촌경제연구원, 2020.
5. 버섯 수출연구사업단, “해외 신선버섯 및 가공품 시장 조사 동향보고서”, 2020.
6. 산림청, “임업통계연보”, 2021.
7. 통계청, “농림어업총조사”, 2021.
8. Chen SY, Ho KJ, Hsieh YJ, Wang LT, Mau JL. Contents of lovastatin, γ -aminobutyric acid and ergothioneine in mushroom fruiting bodies and mycelia. *LWT* 2012;47:274-8.
9. Cheng S, Lin F, Xu X, Li A, Lin F. Genetic analysis of segregation distortion of mating-type factors in *Lentinula edodes*. *Prog Nat Sci* 2005;15:684-8.
10. Cheng S, Lin F. Genetic analysis of distorted segregation ratio of mating types among basidiospores in *Lentinula edodes*. *Agr Sci China* 2008;7:415-22.
11. Cummins, Enda, and Thomas P. Curran. “Biosystems and Food Engineering Research Review 25.” (2020).
12. Gong WB, Liu W, Lu YY, Bian YB, Zhou Y, Kwan HS, Cheung MK, Xiao Y. Constructing a new integrated genetic linkage map and mapping quantitative trait loci for vegetative mycelium growth rate in *Lentinula edodes*. *Fungal Biol* 2014;118:295-308.
13. Guo M, Bian Y, Wang J, Wang G, Ma X, Xu Z. Biological and molecular characteristics of a novel partitivirus infecting the edible fungus *Lentinula edodes*. *Plant Dis* 2017;101:726-33.
14. Ha B, Kim S, Kim M, Moon YJ, Song Y, Ryu JS, Ryu H, Ro HS. Diversity of A mating type in *Lentinula edodes* and mating type preference in the cultivated strains. *J Microbiol* 2018;56:416-25.
15. Ha B, Moon YJ, Song Y, Kim S, Kim M, Yoon C W, Ro HS. Molecular analysis of B mating type diversity in *Lentinula edodes*. *Scientia Horti* 2019;243:55-63.
16. Hartman PE. Ergothioneine as antioxidant. *Methods in enzymology* 1990;186:310-8.
17. Ka KH, Ryoo R, Jang Y, Park Y, Jeong YS, Kang JJ, Heo G, Jeon SM. Characteristics of fruiting bodies formed upon monohybrid cross of *Lentinula edodes* strains. *The Korean Journal of Mycology* 2019;47:173-9.
18. Kim JH, Kang YJ, Baek IS, Shin BE, Choi JI, Lee YS, Lee Y, Jeoung YK, Lee YS, Chi JH. Characteristics of Newly Bred *Lentinula edodes* Cultivar ‘Hwadam’ for Sawdust Cultivation. *The Korean Journal of Mycology* 2020;48:125-33.
19. Kim JM, Jung JE, Park JA, Park SM, Cha BJ, Kim DH. Biological function of a novel chrysovirus, CnV1-BS122, in the Korean *Cryphonectria nitschkei* BS122 strain. *Jbiosc J* 2013.115,1-3
20. Kwon YC, Jeong DW, Kim SI, Ro HS, Lee HS. Curing viruses in *Pleurotus ostreatus* by growth on a limited nutrient medium containing cAMP and rifamycin. *Viromet J*

2012.185,156-159

21. Larraya L M, Pérez G, Iribarren I, Blanco J A, Alfonso M, Pisabarro A G, Ramírez L. Relationship between monokaryotic growth rate and mating type in the edible basidiomycete *Pleurotus ostreatus*. *Appl Environ Microbiol* 2001;67:3385-90.
22. Lin YH, Fujita M, Chiba S, Hyodo K, Andika IB, Suzuki N, Kondo H. Two novel fungal negative-strand RNA viruses related to mymonaviruses and phenuiviruses in the shiitake mushroom (*Lentinula edodes*). *Virology* 2019;533:125-36.
23. Liu SR, Ke BR, Zhang WR, Liu XR, Wu XP. Breeding of new *Ganoderma lucidum* strains simultaneously rich in polysaccharides and triterpenes by mating basidiospore-derived monokaryons of two commercial cultivars. *Scientia Horticulturae* 2017;216:58-65.
24. Miyazaki K, Neda H, Shiraishi S. Tetrad analyses of mating types in shiitake (*Lentinula edodes*). *Bulletin of FFPRI* 2005;4:217-23.
25. Magae Y. Characterization of a novel mycovirus in the cultivated mushroom, *Lentinula edodes*. *Virology* 2012;9:1-6.
26. Mau JL, Lin HC, Song SF. Antioxidant properties of several specialty mushrooms. *Food Research International* 2002;35:519-26.
27. Melville DB, Eich S, Ludwig ML. The biosynthesis of ergothioneine. *Journal of Biological Chemistry* 1957;224:871-7.
28. Melville DB, Eich S. The occurrence of ergothioneine in plant material. *Journal of Biological Chemistry* 1956;218:647-51.
29. Park Y, Jang Y, Ryoo R, Lee B, Ka KH. Breeding and cultural characteristics of newly bred *Lentinula edodes* strain 'Sanjanghyang'. *The Korean Journal of Mycology* 2019;47:143-52.
30. Paul B, Snyder S. The unusual amino acid L-ergothioneine is a physiologic cytoprotectant. *Cell Death & Differentiation* 2010;17:1134-40.
31. Royse, Daniel J., Johan Baars, and Qi Tan. "Current overview of mushroom production in the world." *Edible and medicinal mushrooms: technology and applications* (2017): 5-13.
32. Won HK, Park SJ, Kim DK, Shin MJ, Kim N, Lee SH, Kwon YC, Ko HK, Ro HS, Lee HS. Isolation and characterization of mycovirus in *Lentinula edodes*. *Micro J* 2013;51:118-22.

[별첨 1]

연구개발보고서 초록

프로젝트명	(국문) 품종보호·수입대체용 표고 신품종 개발 및 국산 품종 보급 (영문) Development of new shiitake varieties for cultivar protection and to be used as substitutes for imported ones and dissemination of domestic cultivar				
프로젝트 연구기관	국립산림과학원	프로젝트연구 책임자	(소속) 국립산림과학원		
참여기업	청흥버섯영농조합법인		(성명) 가강현		
총연구개발비 (5,300,000천원)	계	5,300,000천원	총 연구 기간	2017. 1. 1. ~ 2021. 12. 31.(5년 월)	
	정부출연 연구개발비	4,800,000천원	총 연 구 원 수	총 인원	256명
	기업부담금	500,000천원		내부인원	256명
	연구기관부담금			외부인원	

○ 연구개발 목표 및 성과

본 과제는 표고버섯의 신품종 출원 7건, 특허출원 9건, 논문 39건(SCI 14, 비SCI 25), 유전자원 등록 38건, 기술이전 65건, 국내매출액 651백만원, 홍보 177건, 인력양성 14명 등의 성과를 얻었다.

<표> 골든시드 프로젝트 2단계의 연구목표와 연구성과

성과목표	품종개발		특허		논문		유전자원 수집	유전자원 등록	기술 이전	국내 매출액 (백만원)	언론 매체 홍보	품평 회	인력 양성	시험포	
	출원	등록	출원	등록	SCI	비 SCI									
1차년도	목표	1		1		2	1	5	5	1	74		2		2
	실적	1		2	3	2	4	11	11	13	117	54	6	2	12
2차년도	목표	1	1		1	3	3	5	5	1	76		2		2
	실적	1	0	1	3	3	7	6	6	32	129	22	9	2	12
3차년도	목표	2	1	1		3	3	5	5	2	78		2		2
	실적	2	2	1	1	3	2	6	6	5	130	46	3	4	8
4차년도	목표	1	2		1	3	3	5	5	2	80		2		2
	실적	1	1	1	1	4	4	10	10	9	135	21	5	3	8
5차년도	목표	1	2	1		3	3	5	5	2	82		2		14
	실적	2	1	4	1	2	8	5	5	6	140	34	11	3	19
계	목표	6	6	3	2	14	13	25	25	8	390		10		22
	실적	7	4	9	9	14	25	38	38	65	651	177	34	14	59
	달성율 (%)	117	67	300	450	100	192	152	152	813	380		340		268

○ 연구내용 및 결과

1. 표고 유전자원 수집 및 특성 분석

- 1) 국산 표고 유전자원 38개 균주 수집 및 등록
- 2) 야생표고 및 출원품종에서 바이러스 감염조사 및 바이러스 제거

2. 표고 신품종 개발용 우수균주 육성

- 1) 모균주 산백향 등 67개 균주로부터 단포자 균주 분리 1,375개
- 2) 표고 균주의 교배형 분석
 - A교배형 63가지, B교배형 15가지
 - 단핵균사 집단의 교배형 분포 및 성장특성 조사
- 3) 교잡균주 육성 및 버섯발생 조사
 - 총 23,800번 교잡 시도하여 903개 균주 선발
- 4) 톱밥재배용 교배균주 592개 육성 및 재배유형별(배지 상면·전면개봉) 특성조사
- 5) 원목재배용 교배균주 658개 육성 및 원목(2,479개) 재배특성 조사

3. 개발 품종의 적정재배기술 확립

- 출원후보균주의 확대검정시험 및 출원품종의 시험포 운영

4. 품종보호·수입대체용 표고 신품종 개발

- 1) 1차년도 신품종 ‘밤빛향’ 출원 : (장점) 단기 배양일(20일 단축), 갯두께가 두꺼움
- 2) 2차년도 신품종 ‘산장향’ 출원 : (장점) 봄가을에 버섯이 고르게 발생
- 3) 3차년도 신품종 ‘산산향’ 출원 : (장점) 버섯이 단단하며, 속아주기가 용이함
- 4) 3차년도 신품종 ‘만추향’ 출원 : (장점) 버섯이 작은 편이고, 발이가 잘 됨
- 5) 4차년도 신품종 ‘태향고’ 출원 : (장점) 버섯 무게가 가장 많이 나가며, 버섯이 단단함
- 6) 5차년도 신품종 ‘산호향’ 출원 : (장점) 갯은 평반구형이며, 대가 짧음
- 6) 5차년도 산조710호 일본 출원 : (장점) 갯은 평반구형이며, 습도에 강함

5. 표고 품종 구분 분자 마커 개발

- 1) 산마루1호, 산마루 2호, 천장 3호, 산백향, 설백향 품종 구분 CAPS 분자 마커 개발
- 2) 참아람, 산조701 품종 구분을 위한 HRM 분자마커 개발

6. 표고 형질연관 분자 마커 개발

- 1) 표고 무포자 형성 연관 유전자 MSH4 동정
- 2) 표고 균사 미갈변 연관 유전자 ABL동정 및 분자마커 개발
- 3) 표고 고온형, 저온형 단포자의 유전체 분석 및 온도형 구분 분자마커 개발

7. 표고 미토콘드리아형 구분 분자 마커 개발

- 1) 표고 미토콘드리아형 구분 분자 마커 개발
- 2) 표고버섯 표현형에 미치는 미토콘드리아의 영향조사

8. 현장적응성 시험

- 1) 품종 시험포/전시포 운영
 - 원목재배 18개 임가, 톱밥재배 41개 임가 실증시험
- 2) 시험포 안전평가 및 위해요소 분석
 - 재배사 내 병해충 발생조사 및 실내 공기 중의 부유 미생물 농도 조사

○ 연구성과 활용실적 및 계획

GSP 개발 품종의 보급률 증대를 위한 사업화 실적

- 1) 민간기업으로 기술이전(국유품종보호실시권 통상실시) 계약 : 65건, 13.7백만원
- 2) 시장홍보 확대실시 : 177건
 - (1차년도) 54건, (2차년도) 22건, (3차년도) 46건, (4차년도) 21건, (5차년도) 34건
- 3) 연구성과 학술발표 : 논문39건(SCI 14건, 비SCI 25건), 학술대회 49건(국제21건, 국내28건)
- 4) 연구성과 확산을 위한 품종설명회 및 연찬회 : 34건

[별첨 2] (프로젝트) 프로젝트별 현장실태조사보고서 및 자체평가보고서

프로젝트별 현장실태조사표 (2021)

2021. 12. .

1. 과제개요

과제번호	213007-05-5-CGH00	연구기간	2017년 1월 ~ 2021년 12월(총 5년)		
사업단명	GSP원예종자사업단				
프로젝트명	품종보호·수입대체용 표고 신품종 개발 및 국산 품종 보급				
세부프로젝트 연구기관	세부프로젝트명	연구기관	세부프로젝트 책임자	해당 연구개발비(천원)	
	품종보호·수입대체용 표고 신품종 개발과 시험포 운영	국립산림과학원	가강현	2,050,000	
	품종보호·수입대체용 표고 신품종 개발을 위한 분자마커	충북대학교	류호진	750,000	
	품종보호·수입대체용 품종의 현장 적응성 시험 및 국산 품종 보급	산림시험연구센터	최선규	2,500,000	
연구개발비총괄 (단위 : 백만원)	정부출연금	참여기업 부담금			합 계
		현금	현물	소계	
1차년도	900	10	90	100	1,000
2차년도	900	10	90	100	1,000
3차년도	900	10	90	100	1,000
4차년도	900	10	90	100	1,000
5차년도	1,200	10	90	100	1,300
합계	4,800	50	450	500	5,300

2. 연구추진실적(현재까지 추진실적)

가. 연구개발내용

연구기관	주요연구내용	연구개발비 (천원)	가중치 (%)
국립산림과학원	○ 품종보호·수입대체용 신품종 개발 ○ 분자 마커 개발 ○ 현장 적응성 시험 및 국산 품종의 보급	1,300,000	100
국립산림과학원	○ 품종보호·수입대체용 신품종 개발 - 유전자원 수집 및 등록 - 교배균주 제조 및 우수균주 선발 - 신품종 출원 ○ 현장재배 시험포 및 전시포 운영 - 품종시험포 및 전시포 선정	650,000	50

	- 톱밥재배용 품종 종균 및 배지 배양 - 버섯 생산성, 재배특성, 버섯품질 조사		
충북대학교	○ 분자 마커 개발 - 설백향 구분 CAPS 분자 마커 개발 - 고온/저온 온도형 구분 마커 개발 - 표고 미토콘드리아형 구분마커 개발	150,000	11.5
산림버섯연구센터	○ 현장 적응성 시험 및 국산 품종의 보급 - 개발품종/출원품종의 지역 적합품종 선발 - 품종 시험포/전시포 운영 - GSP 품종 보급촉진 및 유통망 확대 - 시험포 안전평가 및 위해요소분석	500,000	38.5

나. 연구계획대비 진도표

개발내용	구분	연구 개발 기간(월)												진도 (%)
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
○ 품종보호·수입대체용 신품종 개발		→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	100
- 유전자원 수집					→	→	→	→						100
- 교배균주 제조		→	→	→	→				→	→	→	→	→	100
- 우수균주 선발		→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	100
- 신품종 출원		→	→	→							→	→	→	100
○ 품종시험포 운영		→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	100
- 품종시험포, 전시포 선정		→	→	→	→									100
- 시험종균 생산 및 배양		→	→	→	→	→	→	→						100
- 버섯생산성 및 특성 조사									→	→	→	→	→	100
○ 분자 마커 개발		→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	100
- NGS를 이용한 골든시드 대상품종의 유전체 분석		→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	100
- 표고 형질관련 (온도형) 분자 마커 개발		→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	100
○ 현장 적응성 시험 및 국산 품종 보급		→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	100
- 개발품종/출원품종의 지역 적합품종 선발		→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	100
- 품종 시험포/전시포 운영		→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	100

- GSP 품종 보급촉진 및 유통망 확대	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	100
- 시험포 안전평가 및 위해 요소분석	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	100
총 진도율													100
* → 로 진도표기													

3. 연구개발비 집행실적(연구개발비 기준)

(현재까지, 단위 : 천원)

<총괄>

비목	세목		금액	계획금액	사용액	잔액	비고	
직접비	내부인건비	미지급		(378,425)	(378,425)			
		지급	현금	164,831	164,831	0		
			현물					
	외부인건비	미지급						
		지급	현금	81,600	74,800	6,800		
			현물					
	연구 지원인력인건비							
	학생인건비							
	인건비 소계				246,431	239,631	6,800	
	연구시설장비비	현금	일반					
			통합관리					
		현물		40,000	40,000	0		
	연구활동비				322,692	318,633	4,059	
	연구재료비	현금		420,979	409,611	11,368	작년이월금 포함사용	
		현물		50,000	50,000	0		
연구수당				17,000	17,000	0		
위탁연구개발비				135,000	135,000	0		
직접비 소계				1,232,102	1,209,875	15,426		
간접비	간접비			70,817	70,817	0		
연구개발비 총액				1,302,919	1,280,692	22,227	작년이월금 포함사용	

<1세부>

비목	세목		금액	계 획 금 액	사 용 액	잔 액	비 고	
			미지급					
직접비	내부인건비	미지급		(190,025)	(190,025)			
		지급	현금	125,231	125,231	0		
			현물					
	외부인건비	미지급						
		지급	현금					
			현물					
	연구 지원인력인건비							
	학생인건비							
	인건비 소계				125,231	125,231	0	
	연구시설장비비	현금	일반					
			통합관리					
		현물						
	연구활동비				309,452	309,397	55	
	연구재료비				206,236	206,236	0	작년이월금 포함사용
	연구수당				12,000	12,000	0	
위탁연구개발비								
직접비 소계				652,919	652,864	55		
간접비	간접비							
연구개발비 총액				652,919	652,864	55	작년이월금 포함사용	

<2세부>

비목	세목		금액	계 획 금 액	사 용 액	잔 액	비 고	
직접비	내부인건비	미지급		(13,200)	(13,200)			
		지급	현금	39,600	39,600	0		
			현물					
	외부인건비	미지급						
		지급	현금					
			현물					
	연구 지원인력인건비							
	학생인건비							
	인건비 소계				39,600	39,600	0	
	연구시설장비비	현금	일반					
			통합관리					
		현물						
	연구활동비				5,000	4,832	168	
	연구재료비				39,583	39,583	0	
	연구수당				5,000	5,000	0	
위탁연구개발비				35,000	35,000	0		
직접비 소계				124,183	124,015	168		
간접비	간접비			25,817	25,817	0		
연구개발비 총액				150,000	149,832	168		

<3세부>

비목	세목		금액	계획금액	사용액	잔액	비고
직접비	내부인건비	미지급		(175,200)	(175,200)		
		지급	현금				
			현물				
	외부인건비	미지급					
		지급	현금	81,600	74,800	6,800	
			현물				
	연구 지원인력인건비						
	학생인건비						
	인건비 소계			81,600	74,800	6,800	
	연구시설장비비	현금	일반				
			통합관리				
		현물		40,000	40,000	0	
	연구활동비			8,240	4,404	3,836	
	연구재료비	현금		175,160	163,792	11,368	
		현물		50,000	50,000	0	
연구수당			0	0	0		
위탁연구개발비			100,000	100,000	0		
직접비 소계			455,000	432,996	22,003		
간접비	간접비		45,000	45,000	0		
연구개발비 총액			500,000	477,996	22,004		

4. 참여기업 재무현황(현재기준)

사업자등록번호	307-81-08106	대표자	정의용
설립년도	1995.11.01	주요생산품	표고버섯
실무책임자	정의용	연락처	
주소	충남 청양군 청남면 금강변로 457		
자본금	10.5천만원		
연간 매출액	100천만원	수출액	0천만원
연구개발투자비용	9천만원	매출액대비 비율	9%
총 종업원수	10명	연구가용인력	4명
재무상황			
프로젝트 책임자의 종합의견	사업자등록증 확인 및 기업회계자료 검토, 기업소속 참여연구원 재직 현황 확인을 하였으며 건설한 재무구조와 참여기업으로서 최선을 다해 성과거양에 노력하는 영농조합임		

5. 기타의견

가. 연구관리 규정 및 제도개선이 필요한 사항

- 품종의 통상실시 내역을 농기평에 별도 서식으로 보고하지 않아도 통상실시 결과가 자동으로 보고되는 체계가 마련되었으면 함

나. 연구수행 중 애로사항 및 건의사항

- 해당 사항 없음

다. 성과에 대한 홍보 요청사항

- 해당 사항 없음

6. 프로젝트 책임자의 종합의견

- 본 프로젝트 기간동안 6건의 품종출원, 교배형 분석기술 확립, 품종구분 마커, 표고 육종 형질 마커 개발(온도형), 현장 적응성 시험을 통한 국내 개발품종에 대한 재배자 인식 전환 등 상당한 결과를 얻었다고 자평함. 아울러 표고버섯에 대한 후속 연구들이 본 연구결과를 바탕으로 활발하게 이루어 질 수 있도록 노력하겠음

자체평가보고서

사업단명	GSP원예중자사업단	과제번호	213007-05-5-CGH00		
프로젝트명	품종보호·수입대체용 표고 신품종 개발 및 국산 품종 보급				
프로젝트연구기관	국립산림과학원				
연구담당자	프로젝트 연구책임자	가강현			
	세부프로젝트 연구책임자	기관(부서)	국립산림과학원 (산림미생물연구과)	성명	가강현
		기관(부서)	충북대학교 (자연과학대학)	성명	류호진
		기관(부서)	산림버섯연구센터	성명	최선규
연구기간	총 기간	2017. 1. - 2021. 12.	당해 연도 기간	2021	
연구비(천원)	총 규모	5,300,000천원	당해 연도 규모	1,300,000천원	

1. 연구는 당초계획대로 진행되었는가?

- 당초계획 이상으로 진행
 계획대로 진행
 계획대로 진행되지 못함

○ 계획대로 수행되지 않은 원인은?

- 해당사항 없음

2. 당초 예상했던 성과는 얻었는가?

- 예상외 성과 얻음
 어느 정도 얻음
 얻지 못함

구분	품종개발		특허		논문		분 자 마 커	유전자원		국내 매출액	종자 수출액	기술 이전	마케팅 전략 추진 보고서	인력 양성
	출 원	등 록	출 원	등 록	SCI	비SCI		수 집	등 록					
최종목표	6	6	3	2	14	13	5	25	25	390		8		
연구기간 내 달성실적	7	4	9	9	14	25	32	38	38	651		65		14
달성율(%)	117	67	300	450	100	192	640	152	152	167		813		부가

3. 연구개발 성과 세부 내용

3-1 기술적 성과

○ 표고 분자 마커 개발

- 1) 품종 구분 CAPS 분자 마커 5건(산마루1호, 산마루2호, 천장3호, 산백향, 설백향) 개발
- 2) 표고 균사 미갈변 형질(ABL) 구분 분자마커 1건 개발
- 3) 국내 주요 재배품종 참아람, 산조701호 구분 HRM 분자마커 1건 개발
- 4) 고온/저온형 구분 CAPS 분자 마커 7건 개발
- 5) 미토콘드리아형 구분 분자 마커 개발

3-2 과학적 성과

○ 표고 유전자원 수집 및 특성 분석

- 1) 국산 표고 유전자원 38개 균주 수집 및 등록
- 2) 야생표고 및 출원품종에서 바이러스 감염조사 및 바이러스 제거

○ 표고 신품종 개발용 우수균주 육성

- 1) 모균주 산백향 등 67개 균주로부터 단포자 균주 분리 1,375개
- 2) 표고 균주의 교배형 분석
 - A교배형 63가지, B교배형 15가지
 - 단핵균사 집단의 교배형 분포 및 성장특성 조사
- 3) 교잡균주 육성 및 버섯발생 조사
 - 총 23,800번 교잡 시도하여 903개 균주 선발
- 4) 톱밥재배용 교배균주 592개 육성 및 재배유형별(배지 상면· 전면개봉) 특성조사
- 5) 원목재배용 교배균주 658개 육성 및 원목(2,479개) 재배특성 조사

○ 표고의 기능성 분석

- 항산화 활성 및 에르고티오네인 함량 분석 및 우수균주 선발

○ 표고 품종 출원

- 밤빛향, 산장향, 산산향, 만추향, 태향고, 산호향 등 6품종 국내출원
- 산조710호 일본출원

○ 품종 시험포/전시포 운영

- 품종별 실증시험포 운영 및 재배특성 조사

○ 시험포 안전평가 및 위해요소 분석

- 재배사 내 병해충 발생조사 및 실내 공기 중의 부유 미생물 농도 조사

○ 연구성과 학술발표

- 논문39건(SCI 14건, 비SCI 25건), 학술대회 49건(국제21건, 국내28건)

3-3 경제적 성과

- 민간기업으로 기술이전(통상실시) 계약 : 65건
 - (1차년도) 13건, (2차년도) 32건, (3차년도) 5건, (4차년도) 9건, (5차년도) 6건

3-4 사회적 성과

- 국산품중 인식 확대를 위한 개발품종의 재배기술 연찬회 및 현장설명회 등 : 34건 개최

3-5 인프라 성과

- 시장홍보 확대실시 : 177건
 - (1차년도) 54건, (2차년도) 22건, (3차년도) 46건, (4차년도) 21건, (5차년도) 34건

4. 연구과정 및 성과가 농림어업기술의 발전·진보에 공헌했다고 보는가?

- 공헌했음 현재로서 불투명함 그렇지 않음

5. 경제적인 측면에서 종자산업의 수출증대와 수입대체에 공헌했다고 보는가?

- 공헌했음 현재로서 불투명함 그렇지 않음

6. 얻어진 성과와 발표상황

6-1 경제적 효과

- 기술료 등 수익 수 익 : 13,674,666원
- 기업 등에의 기술이전 기업명 : 삼광버섯영농조합법인, 장흥친환경표고, 리을농산, 치악버섯종균영농조합 등
- 기술지도 등 기업명 : 장수군 농업기술센터, 부여군 농업기술센터, 청양농협조합, 한국산림경영인협회 등

6-2 산업·지식재산권 등

- 국내출원/등록 품종 출원 6건, 등록 4건, 특허출원 9건, 등록 9건
- 해외출원/등록 품종 출원 1건

6-3 논문게재·발표 등

- 국내 학술지 게재(비SCI) 25건
- 해외 학술지 게재(SCI) 14건
- 국내외 학·협회 발표 49건
- 국내 세미나 발표 건
- 기 타 (현장설명회, 재배기술 연찬회) 34건

6-4 인력양성효과

- 석 사 9명
- 박 사 5명
- 기 타 명

6-5 수상 등

- 있다 상 명칭 및 일시 : 농림축산식품부장관상 우수연구상, 2017년 9월 19일, 고한규
- 없다

6-6 매스컴 등의 PR

- 있다 177건
- 없다

7. 연구개발 착수 이후 국내 다른 기관에서 유사한 기술이 개발되거나 또는 기술 도입함으로 연구의 필요성을 감소시킨 경우가 있습니까?

- 없다
- 약간 감소되었다
- 크게 감소되었다

○ 감소되었을 경우 구체적인 원인을 기술하여 주십시오.

- 해당사항 없음

8. 관련된 기술의 발전속도나 추세를 감안할 때 연구계획을 조정할 필요가 있다고 생각하십니까?

- 없다
- 약간 조정필요
- 전반적인 조정필요

9. 연구과정에서의 애로 및 건의사항은?

- 해당사항 없음

(※ 아래사항은 기업참여시 기업대표가 기록하십시오)

1. 연구개발 목표의 달성도는?

만족 보통 미흡

(근거 : 품종보호 및 수입대체용 품종 현장 적응성시험 및 국산품종 보급화를 충실히 수행함.)

2. 참여기업 입장에서 본 본과제의 기술성, 시장성, 경제성에 대한 의견

가. 연구 성과가 참여기업의 기술력 향상에 도움이 되었는가?

충분 보통 불충분

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?

국산 품종의 지속적 육성 및 우수성 홍보를 위한 적극적 지원이 필요함

구 분	소 속 기 관	직 위	성 명
프로젝트 책임자	국립산림과학원	임업연구관	가 강 현 

연구성과 활용계획서 (2017~2021)

1. 연구과제 개요

사업추진형태	<input type="checkbox"/> 자유응모과제 <input checked="" type="checkbox"/> 지정공모과제	분 야	원예작물 유전/육종	
프로젝트명	품종보호·수입대체용 표고 신품종 개발 및 시험포 운영			
프로젝트 연구기관	국립산림과학원	프로젝트연구책임자	가강현	
연구개발비	정부출연 연구개발비	기업부담금	연구기관부담금	총연구개발비
	4,800,000천원	500,000천원	-	5,300,000천원
연구개발기간	2017. 1. 1. ~ 2021. 12. 31.			
주요활용유형	<input checked="" type="checkbox"/> 산업체이전 <input checked="" type="checkbox"/> 교육 및 지도 <input checked="" type="checkbox"/> 정책자료 <input type="checkbox"/> 기타() <input type="checkbox"/> 미활용 (사유:)			

2. 연구목표 대비 결과

당초목표	당초연구목표 대비 연구결과
① 유전자원 및 등록 25건	국내 육종용 유전자원 수집 및 등록(38건)
② 품종보호·수입대체용 신품종 개발 출원 6건	밤빛향, 산장향, 산산향, 만추향, 태향고, 산호향 국내출원 및 산조710호 일본출원
③ 현장적응성 시험포 운영 22개소	총 59개소 운영, 원목재배 18개소, 톱밥재배 41개소
④ GSP 품종의 국내 매출 390백만원	시험포 및 재배기술 교육 효과로 651백만원 달성
⑤ 신품종 개발, 재배기술, 마커 관련 논문 27편	총 39편, SCI 14편, 비SCI 25편 논문 발표
⑥ GSP 품종의 기술이전	품종보호권 통상실시 계약 65건 체결
⑦ 품종 구분, 형질 관련 분자마커 개발 5건	품종 구분 CAPS마커, 형질 구분 마커 등 32건 개발, 특허출원 8건
⑧ 표고 분자마커, 재배기술 관련 인력양성 (목표 외 성과)	14명 (석사 9명, 박사 5명)
⑨ GSP 품종의 보급 활성화를 위한 언론홍보(목표 외 성과)	총 177건, 50-10만부 신문, 전문지 등
⑩ 종자교역회, 품종설명회 개최 및 참여 17건	총 34건, 품종설명회 등 개최 7건, 참여 27건

3. 연구비 집행실적 (2017~2021) (단위 : 천원)

구분	금액		계획금액	사용액	잔액	비고
	세부프로젝트명					
표고	품종보호·수입대체용 표고 신품종 개발과 시험포 운영	2,050,000	2,050,000	2,049,945	55	
	품종보호·수입대체용 표고 신품종 개발을 위한 분자마커	750,000		749,832	168	
	품종보호·수입대체용 품종의 현장 적응성 시험 및 국산 품종 보급	2,500,000		2,477,996	22,004	
총계			5,300,000	5,277,773	22,227	

4. 연구목표 대비 성과

성과지표구분		단위	최종			1차년도			2차년도			3차년도			4차년도			5차년도				
			실적	목표	달성률	실적	목표	달성률	실적	목표	달성률	실적	목표	달성률	실적	목표	달성률	실적	목표	달성률		
제품경쟁력	논문 SCI	건	14	14	100	2	2	100	3	3	100	3	3	100	4	3	133	2	3	67		
	논문 비SCI		25	13	192	4	1	400	7	3	233	2	3	67	4	3	133	8	3	267		
	품종 지역 적용성 검증																					
	유전자원 수집		38	25	152	5	5	100	6	5	120	6	5	120	10	5	200	5	5	100		
	유전자원 등록		38	25	152	5	5	100	6	5	120	6	5	120	10	5	200	5	5	100		
	계통선발																					
	저장성 검증																					
	분자마커 개발		32	5	640	2	1	200	1	1	100	28	1	2800	1	1	100	0	1	0		
	분자마커 서비스		2			1						1										
	RT-PCR 바이러스 검증																					
	학술대회 발표		49			8			10			12			13			6				
권리 확보	품종출원	건	7	6	117	1	1	100	1	1	100	2	2	100	1	1	100	2	1	200		
	품종등록		4	6	67				0	1	0	2	1	200	1	2	50	1	2	50		
	특허출원		9	3	300	2	1	200	1			1	1	100	1			4	1	400		
	특허등록		9	2	450	3			3	1	300	1			1	1	100	1		100		
생산 역량 강화	종자생산 수량	kg																				
	국내외 생산기 구축	개소																				
	인력양성	건	14			2			2			4			3			3				
	중간모본 육성																					
	종자 발아력 검증																					
	기술이전		65	8	813	13	1	1300	32	1	3200	5	2	250	9	2	450	6	2	300		
	생산량 검증																					
종구보급	만																					

	무병묘 품종수 (원원종)	구																		
유통 경쟁력 강화	품종 생산 판매 신고	건																		
	유통 채널 구축		8	5	160	1	1	100	1	1	100	2	1	200	2	1	200	2	1	200
	MOU 체결		1			1														
홍보 역량 강화	국내외 전시포/시범포 개설	개소																		
	국내외 전시포/시범포 운영		59	22	268	12	2	400	12	2	400	8	2	400	8	2	400	19	14	136
	홍보	건	177			54			22			46			21			34		
	홍보물 제작 및 배포		11	5	220	2	1	200	1	1	100	1	1	100	1	1	100	6	1	600
	종자교역회(품평회) 참여		27	10	270	6	2	300	9	2	450	3	2	150	5	2	250	4	2	200
	품종평가회/설명회 개최		7	7	100													7	7	100
목표 고객	판매국가	건																		
	판매국가 (누적)																			
	해외판매																			
	국내판매 업체																			
	국내판매 업체 (누적)		5	5	100	1	1	100	1	1	200		1		1	1	100	2	1	200
	판매업체																			
	판매업체 (누적)																			
	품종 인지도	점수																		
	무병묘 보급율	%																		
매출 및 수출	국내 매출액	백만원	651	380	171	117	74	158	129	76	169	130	78	166	135	80	168	140	82	170
	중자 수출액	만불																		

5. 핵심기술

구분	핵심기술 명
①	품종보호·수입대체용 신품종 개발 (밤빛향, 산장향, 산산향, 만추향, 태향고, 산호향 국내출원 및 산조710호 일본출원)
②	표고 품종 구분 CAPS 분자마커 (5건) 및 HRM 분자마커 (1건) 개발
③	표고 균사 미갈변 형질 (ABL) 구분 분자 마커 개발 (1건)
④	고온/저온형 구분 CAPS 분자 마커 개발 (1건)
⑤	국내표고 재배 선도임가의 현장연구원 구축

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	v					v	v	v		
②의 기술	v					v				
③의 기술	v					v				
④의 기술	v					v				
⑤의 기술		v						v		

7. 각 연구결과별 구체적 활용계획

핵심기술 명	핵심기술별 연구결과활용계획 및 기대효과
①의 기술	품종보호·수입대체용 신품종 보급으로 자급률 향상
②의 기술	국내 개발 표고 품종의 종자 주권 확보를 위한 과학적 근거 제시
③의 기술	표고 균사 미갈변 형질을 조기 구분하여 육종 효율성 증대 기대
④의 기술	표고 고온/저온형 단포자 분리 및 육종 효율성 증대 기대
⑤의 기술	국내 표고 재배 선도임가의 현장연구원 구축으로 신품종 보급 촉진

8. 연구종류 후 성과창출 계획

구분	품종개발		특허		논문		분자 마커	유전자원		국내 매출액	종자 수출액	기술 이전	마케팅 전략 수립 보고서	인력 양성
	출원	등록	출원	등록	SCI	비SCI		수집	등록					
최종목표	6	6	3	2	14	13	5	25	25	390		8		
연구기간 내 달성실적	7	4	9	9	14	25	32	38	38	651		65		14
연구종료 후 성과창출 계획		2												

주 의

1. 이 보고서는 농림축산식품부·산림청에서 시행한 Golden Seed 프로젝트 사업 품종보호, 수입대체용 표고 신품종 개발 및 국산 품종 보급과제 최종보고서이다.
2. 이 연구개발내용을 대외적으로 발표할 때에는 반드시 농림축산식품부·산림청(농림식품 기술기획평가원)에서 시행한 Golden Seed 프로젝트사업의 결과임을 밝혀야 한다.
3. 국가과학기술 기밀 유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안 된다.