

발간등록번호

11-1541000-000871-01

보안과제(), 일반과제(○) 과제번호 :506017-5

배무채 융성불임성(CMS) 계통 개발 및 이를
이용한 복합내병성 1대잡종 육성

(Breeding of cytoplasmic male sterile lines and
F1 hybrids resistant to multi-diseases using
the CMS system in *xBrassicoraphanus*)

(주)바이오브리딩연구소

농림수산식품자료실



0002129

농림수산식품부

제 출 문

농림수산식품부 장관 귀하

이 보고서를 세부과제 “배무채 응성불임성(CMS) 계통 개발 및 이를 이용한 복합내병성 1대잡종 육성” 과제의 보고서로 제출합니다.

2011년 4월 23일

주관연구기관명 : (주)바이오브리딩연구소

주관연구책임자 : 이 수성

세부연구책임자 : 이수성

연 구 원 : 양정민

연 구 원 : 김정희

연 구 원 : 신종숙

연 구 원 : 이동순

연 구 원 : 함태호

연 구 원 : 설은아

연 구 원 : 최석환

연 구 원 : 황복수

연 구 원 : 유명순

요 약 문

I. 제목

배무채 응성불임성(CMS) 계통 개발 및 이를 이용한 복합내병성 1대잡종 육성

II. 연구개발의 목적 및 필요성

배추와 무의 속간교잡으로 '배무채'라는 신종(new species)의 채소 작물을 중앙대학교 (벤처회사 설립자)와 원예연구소가 공동으로 개발하고 특허를 획득한바 있다. 이 식물은 배추의 염색체 20개와 무의 염색체 18개를 완전하게 가진 이질4배체(allotetraploid)인데 특이한 매운 맛과 시원한 맛을 가질 뿐 아니라 조직이 질기지 않고 연하여 썰러드, 쌈채소, 김치 및 국거리로 아주 적합한 채소이다. 그리고 항암과 항균 작용이 탁월한 설포라펜(sulforaphene)을 다량으로 함유하고 있어 기능성 채소로 널리 보급될 수 있는 식물이다.

그러나 아직 안정되지 않아 종자생산성이 낮고 지속적으로 형질이 분리하는 문제점이 있으며 한 식물체에서 분화되었기 때문에 변이의 폭이 적어 1대잡종의 장점을 가질 수 없는 한계를 내포하고 있었다. 따라서 다양한 배추와 무를 이용하여 새로운 배무채 계통을 육성하는 한편 기존 계통에 돌연변이를 유도하여 형질이 다른 계통을 육성코자하였다. 그리고 세포질 응성불임성 계통을 육성하여 종자가 생기지 않는 1대잡종을 육성함으로써 신품종의 복제를 불가능하게 하고자 하였다.

III. 연구개발 내용 및 범위

본 과제는 배무채의 세포질 응성불임성(CMS) 계통 육성, 다양한 신 계통 육성 및 기타 기술 개발의 3분야로 나누어 수행되었다. 세포질 응성불임성 계통 육성은 갖의 세포질 응성불임성 도입 및 배추의 세포질 응성불임성 도입 등으로 나누어 연구되었다. 다양한 신 계통 육성은 기존 배무채의 양친과는 다른 배추와 무를 이용하여 새로운 배무채를 육성하는 것, 기존 배무채에 돌연변이를 유도하여 형질이 다른 계통을 육성하는 것, 갖의 특이 형질을 도입하여 새로운 형태의 계통을 육성하는 것 등 3개 분야로 나누어져 있다. 기타 연구는 주로 소포자 배양 기술을 개선하기 위한 것이었고 배무채의 기능성분 설포라펜의 함량 분석도 의뢰하여 수행되었다.

세포질 응성불임성 계통 육성은 전통육종방법으로 여교잡을 실시하면서 여교잡 세대를 줄이기 위하여 AFLP로 반복친 유사 개체 선발을 병행하였다. 새로운 배추와 무 간의 잡종 육성은 복합내병성 재료를 이용한 교잡, 기능성분의 함량이 높은 재료간의 교잡, 잎에 모용이 없는 재료간의 교잡 등이 실시되었으며 교잡 후 10일 경에 미숙 배추를 절취하여 배양 하는 방법을 이용하였다. 기존 배무채의 돌연변이 유도는 소포자 배양 과정 중에 돌연변이체를 처리하여 변이 유발과 유발된 변이체의 당대 고정이라는 효과를 얻도록 하였다. 갖 중에는 잎 색이 자색인 적갓이 있고 뿌리가 큰 뿌리 갓(밑갓이라고도 함)이

있는데 이들과 배무채를 교잡하여 적색의 배무채 및 뿌리 큰 배무채를 육성하고자 하였다. 배무채는 소포자를 배양하여 식물을 얻을 수 있는 방법이 보고되어 있지만 그 효율이 낮아 육종 수단으로 이용하기가 어려웠다. 따라서 보다 많은 소포자 배 출현과 배로부터 정상식물로의 분화율을 높이는 방향으로 연구를 수행하였다.

IV. 연구개발 결과

1. 배무채 세포질웅성불임성 계통(CMS) 육성

-갯(*B. juncea*) 유래 Ogura CMS에 배무채 핵치환

본 과제가 시작되기 2년 전부터 Ogura CMS로 전해지는 갯의 CMS를 배무채에 도입코자 교잡하고 이 F₁에 배무채를 여교잡 하였다. 그러나 여교잡 세대가 진행됨에 따라 가임개체가 많이 발생하였으며 BC₃F₁ 이후에는 가임주가 80% 이상 출현하여 이용할 수가 없었다. 혹시 무에서 온 Ogura CMS의 회복인자 때문에 이러한 가임개체가 출현하는지를 알고자하였는데 이 CMS는 Ogura 형이 아니었으며 배무채 내에는 Ogura CMS를 회복시키는 회복인자가 없는 것으로 밝혀졌다. 그런데 BC₃F₁의 가임성 개체 중에 꽃가루가 아주 조금밖에 생산되지 않는 반가임(반불임)개체가 많고 이들은 자식에서 반가임개체만 생산하였으며 이를 유지친으로 불임개체에 교잡하면 그 후대는 대부분이 불임이거나 반가임성이었다. 배무채 모계와 배추 부계는 배무채의 자식보다 더 많은 종자가 생길 정도로 화합성임으로 이러한 반가임성 계통을 모계로 하여 배추와의 1대잡종을 육성코자 집중인 연구를 수행하고 그 육성체계를 확립하였다. 그런데 F₁ 종자를 다량으로 생산코자 13a의 넓은 면적에 재배한 결과 배무채의 불임계 원종에서 종자를 생산하지 못하는 기형개체가 26%이상 나타났으며 채종 량도 불과 35Kg정도에 지나지 않았다. 그리고 전년도에 망실에서 생산한 1대잡종을 재배한 결과 배무채의 자식개체가 20% 이상 많이 나타났다. 소규모의 종자 생산과 F₁의 생산력 검정에서는 충분히 가능성이 있다고 생각되었는데 대면적으로 시험을 확대한 결과 이 CMS는 보급용으로 종자를 생산하기도 어렵고 생산하여도 모계의 자식주가 많아 재배에 이용할 수 없는 것으로 판단되었다. 결국 7년 동안 심혈을 기울여 배무채에 도입코자한 갯의 CMS는 배무채에서 불안정성을 나타내어 이용할 수 없음을 알게 되었다.

-배추 CMS에 배무채 핵치환

일본에서 육성된 배추의 1대잡종 중에 CMS 품종이 있음을 알고 2008년에 도입하여 GCMS로 명명하였다. 배추와 배무채의 교잡에서 배추를 모본으로 할 경우 종자가 잘 생기지 않으므로 CMS 배추 4주와 배무채 BB12호 4주를 격리된 망실에 넣고 꿀벌을 방사하여 자연교잡을 유도하였다. 다행히 비교적 많은 F₁종자를 수확할 수 있었다. 이 종자를 과종하여 얻은 개체와 중국의 자라란이라는 팍초이 유래의 배추 CMS(RCMS)계통을 각각 1주씩 동일망실에 배무채와 함께 넣고 꿀벌을 방사 하여 GCMS에서는 37립의 BC₁ 종자와 RCMS에서는 29립의 F₁종자가 생산되었다.

GCMS의 BC₁ 개체 17주와 RCMS의 F₁ 개체 12주를 재배한 결과 RCMS의 F₁인

10BRMS-605-6번의 한 개체를 제외한 두 계통의 모든 개체(28개체)가 형태적으로 배무채를 닮은 데가 없고 완전한 배추처럼 보였으며 꽃도 완전한 황색의 배추꽃이었고 응성불임이었다. 그리고 AFLP 결과 10BRMS-605-6번 개체(유백색 꽃의 MS)를 제외한 모든 개체가 유사계수 0.97 이내로 개체간의 차이를 거의 나타내지 않았고 반복친인 배무채의 BB#12와는 0.83 이하로 거리가 멀게 나타났다. 따라서 10BRMS-605-6번 개체를 포함한 2개체씩을 계통별로 선정하여 현재 교배 중인데 배추형인 3개체(10BRMS-603-7과 10BRMS-603-11 및 10BRMS-605-2)는 모두 배추와 유사한 꼬투리가 자라며 그 속에 종자는 없는 것 같이 보이고 있다. 반면에 10BRMS-603-6번 개체는 배무채와 유사한 꼬투리에 1-2개 정도의 배추가 자라고 있는 것 같이 보인다. 현재까지 나타난 여러 특징을 종합하면 BC₁과 F₁의 배추형 개체는 아마도 위수정(apomixis)에서 유래된 것으로 생각되며 따라서 2년도 더 늦게 이제야 진정한 배추 CMS와의 F₁(10BRMS-603-6)개체가 얻어진 것으로 생각된다. 배무채가 배추의 위수정을 유도하는가에 대하여는 앞으로 좀 더 연구할 필요가 있을 것 같다.

2. 신 배무채 계통 육성

-소포자 돌연변이 유래 계통의 안정화 검증

배무채의 계통 간 변이를 확대하고 원연 간 잡종이 나타내는 불안정성, 즉 종자 생산성의 저위와 지속적 형질의 분리현상을 개선코자 소포자 돌연변이를 유도하였다. 돌연변이 유래의 전체 12계통 중 4계통이 Mi₂세대에서 높은 종자 생산성을 나타내었고 그 후대(Mi₃)가 높은 균일성을 나타내었다. 이러한 현상이 Mi₈세대가 지난 지금까지 유지되고 있음으로 이들은 기존의 일반 식물과 같은 유전적 안정성을 획득한 것으로 믿어진다. 그 중 한 계통이 신 작물로서 품종등록을 마치고 현재 보급 중이다. 이로서 종속 간, 즉 서로 다른 두 계통을 합친 신종식물이 세계 최초로 육성된 것이며 앞으로 계속하여 신종식물을 육성할 수 있는 신종합성의 길이 열린 것이다.

-우량계통의 돌연변이 유도

유전적 안정성을 가진 비비12호와 50호의 변이계통을 육성하여 배무채의 유전적 다양성을 얻고자 앞에서 획득한 성과에 따라 여러 계통으로 소포자 돌연변이 시험을 계속 수행하였다. 초좌, 엽형, 엽색 등이 기존 계통들과 구분되는 4계통이 1차로 선발되었다. 그 중 두 계통은 종자 생산성이 낮아 안정성이 없을 것으로 판단되어 제외되었으며 비비50호 유래의 변이 계통은 좀 더 특성조사가 필요하다고 생각되었다. 결국 비비12호의 변이 계통이 엽색이 황녹색으로 기존 비비12호(야생형)와 잘 구분되며 매운 맛이 강하여 김치용으로 적합하다고 판단되어 선발하였다. 이 계통은 신품종으로 등록코자 종자를 증식중이다.

-신 속간잡종 육성

· 복합내병성 계통 육성(비비50의 내력)

기존 배무채보다 내병성이 복합적으로 강한 계통을 육성코자 배추의 바이러스병, 뿌리혹병, 무름병에 복합내병성인 계통 VCS 3M-291을 모본으로 하고 무의 복합내병성으로 알려진 원고 108호의 27번계 등 4계통을 부계로 교잡하여 배주배양으로 13개체(OV₁ 세)를 획득하였었다. 그들의 후대 중 한 계통이 다른 계통들과 구분될 정도로 높은 종자 생산성을 나타내었다. 다른 계통은 모두 무시하고 이 계통을 중심으로 세대를 진전시키면서 다양한 특성을 조사하였다. 그 결과 이 계통은 형태적으로 기존 배무채와 거의 동일하고 배추에서 유래되었을 바이러스병과 뿌리혹병의 내병성 인자가 배추에서 개발된 마커 검정에서 없는 것으로 나타났다. 앞에서 이미 기술한 돌연변이 유래의 개체들과 배주배양 유래의 개체들이 같은 장소에서 자랐는데 그 때 돌연변이 유래의 한 개체가 미숙 자방배양 유래 개체로 라벨에 잘못 표기되어 나타난 결과로 추측되었다. 결국 복합내병성 계통은 육성되지 못하였으며 유전적으로 안정된 돌연변이의 한 계통(비비50호)이 추가된 것이다.

· 고기능성 신 계통 육성

항암성분 glucosinolate의 구성성분인 disulfide계 성분을 다량으로 함유하고 있는 좀배추(야생 배추)와 갯무(야생 무)를 교잡하여 13개체(OV₁ : 배주배양 제1세대)를 얻었는데 자식종자는 어느 개체에서도 얻어지지 않았으며 극히 일부 개체가 기존 배무채 계통과의 교잡에서 약간의 잡종종자(OV₁F₁ : 배주배양 제1세대와 기존 배무채 계통과의 잡종1세대)를 생산하였다. 그들을 파종하여 후대를 생산하는 한편 소포자 돌연변이를 유도하였다. 교배의 경우 일부 개체가 소수의 자식 종자(OV₁F₂)를 생산하였고 기존 계통(비비12호 또는 비비50호)과의 교잡에서 상당량의 종자(OV₁F₁F₁)를 얻을 수 있었다. 그리고 소포자 돌연변이 유도에서 한 계통이 많은 배와 식물체(OV₁F₁Mn₁)를 분화하였다. 이 소포자 돌연변이 유래 개체의 자식 및 기존계통과의 교잡에서 한 개체(OV₁F₁Mn₁)가 의외로 많은 종 OV₁F₁Mn₂, OV₁F₁Mn₁F₁)를 생산하였다. 이 종자를 재배한 결과 작황이 좋지 않아 충분한 계통 검정은 불가능하였지만 염색이 농녹색으로 기존 계통과는 뚜렷하게 구분되었고 높은 균일성을 보였다. 이 계통의 후대 종자 생산성과 포장에서의 균일성이 다시 봄재배에서 검정 중인데 비비12호 등과 같은 유전적 안정성이 밝혀지면 소포자 돌연변이 기술이 원년간 잡종의 안정화에 핵심요인으로 재확인될 것이다.

· 갯과 배무채의 교잡에 의한 신 계통 육성

갯(*Brassica juncea*, genome=aabb. 2n=36)과 배무채(x*Brassicoraphanus*, genome=aarr. 2n=38) 간에는 상당한 교잡친화성이 있고 갯 중에는 잎이 자색인 적갯, 뿌리가 큰 뿌리갯 등 특이 형질의 계통이 있다. 이러한 형질을 배무채에 도입코자 갯을 모계로 제웅 후 너수분으로 잡종종자를 얻었다. 이 F₁을 개화시켜 꽃가루가 없는 개체는 망실에 꿀벌을 방사하여 배무채로 여교잡하고 꽃가루가 있는 개체는 자가수분으로 후대를 채종하는 한편 소포자 배양에 공시하였다. 여교잡의 경우 대체로 많은 종자가 생겼으며 자가수분의

경우도 많은 종자가 생겼고 소포자 배양에서도 많은 개체를 얻었다. 이렇게 얻어진 후대의 채종이 현재 진행 중인데 꽃가루가 없었던 개체는 융성불임성이었을 가능성이 있으며 갓등과 자연교잡으로 다양한 새로운 속간잡종이 자연에서 탄생 될 가능성이 있다. 그리고 소포자 배양 유래의 다양한 고정 계통이 새로운 속간잡종에서 얻어질 것이다.

3. 기타 연구

-소포자 배양기술 개선

배무채의 소포자 배양 기술을 개선코자 돌연변이로 안정화된 BB12호를 대비 겸 형질 개선용으로 소포자 배양에 공시하였다. 그 결과 배양 접시 당 평균 18개, 많은 경우 56개의 배가 출현하여 과거의 평균 8개미만보다 높은 배 발생 율을 얻었다. 한편 gum arabic과 Larcoll의 소포자 배 발달에 미치는 효과를 시험한 결과 gum arabic은 단독처리에서 배 발생량을 많게 하였으며 Larcoll과 공동으로 처리하였을 때는 더욱 그 효과가 커졌다.

소포자 배양에서 발생한 배를 효율적으로 식물로 분화시키기 위하여 B5배지를 개량한 B5M2-II 배지를 이용한 결과 이식한 배의 약 84%가 곧바로 순화상으로 옮길 수 있는 정상 식물로 분화하였다. 이로서 돌연변이 유도용으로 소포자 배양기술을 쉽게 이용할 수 있게 되었다.

-배무채의 기능성분 분석

배무채는 항암과 항균작용이 강한 기능성의 설폴라펜(sulforaphene)을 다량으로 함유하고 있으며 지하부 뿌리가 지상부 잎보다 많이 함유하고 있다. 지상부 잎은 외엽이 가장 적고 속잎으로 갈수록 함량이 많아진다(가을재배). 발아와 동시에 많은 양이 검출되며 발아 후 3-4일경까지는 높은 함량이 유지되다가 그 후 급격히 감소하지만 파종 후 20일경부터 성숙기까지 그 함량이 일정한 수준을 유지한다(봄재배).

V. 연구 성과 및 성과 활용 계획

1. 배추와 무 간 속간잡종 배무채의 안정화 기술(소포자 돌연변이) 개발

-세계 최초로 원연간 신종(new species) 합성의 길을 열다-

· 논문발표: Developing stable progenies of *xBrassicoraphanus*, an intergeneric allopolyploid between *Brassica rapa* and *Raphanus sativus*, through induced mutation using microspore culture. Theoretical and Applied Genetics(TAG) 122(2010) : 885-892

· 배추와 무간 속간잡종의 지속적 개발

배추와 무의 복합내병성 계통을 이용한 복합내병성 신품종 개발

배추와 무의 무모용 계통을 이용한 무모용 셀러드용 품종 개발 등

2. 배추와 무 간 속간의 안정된 배무채 계통 비비1호 육성

-세계 최초의 원연 간 신종(new species) 채소 개발-

- 논문제출 예정: 배무채 핵형 분석 : 2011. 국제SCI
배무채의 특성과 배추과 작물과의 교잡친화성 2011. 국제SCI
- 품종보호등록: 안정화된 비비12호를 비비1호로 개명하여 품종보호등록
등록번호 : 제2887호
- 국내특허 출원: 종자생산성이 향상된 배무채 신품종 식물
출원번호: 10-2009-55969. 특허권자: (주)바이오브리딩연구소
- PCT출원 : 종자생산성이 향상된 배무채 신품종 식물
출원번호: PCT/KR2010/001568. 특허권자: (주)바이오브리딩연구소
- 국제특허 출원: 종자생산성이 향상된 배무채 신품종 식물(미국, 일본, 중국, EU)
특허권자: (주)바이오브리딩연구소
- 사업화 : 안정화된 비비12호를 비비1호로 개명하여 현재 종자 보급 중

3. 배무채 소포자 배양 기술 확립

- 논문제출 예정: 배무채 소포자 돌연변이 유도 기술(국제SCI) 2012

4. 배무채 소포자 돌연변이 유래 녹황색 계통 육성

- 품종 보호 등록: 2011 하반기 신청
- 논문 제출 예정: 배무채 소포자 돌연변이에 의한 신 계통 육성(국내 SCIE) 2011
- 사업화: 2012 종자 판매 시작

5. 좀배추x갯무 유래 농녹색 신종 계통 육성

- 품종 보호 등록 : 2012 전반기 신청
- 논문 제출 예정: 좀배추x갯무 속간잡종의 안정화된 후대 육성(국제SCI) 2012
- 사업화: 2012 하반기 종자 판매 시작

6. 배무채와 갯과의 교잡에 의한 신종식물 육성

- 논문 제출 예정: 뿌리갯과 배무채의 교잡에 의한 신종 근채 개발(국제SCI) 2013
적갯과 배무채의 교잡에 의한 신종 자엽채 개발(국제SCI) 2013
- 품종보호 등록: 2013 하반기 신청
- 사업화: 2013 하반기 종자 판매 시작

7. 배무채의 기능성분 셀포라펜 함량 확인

- 국내 특허 출원: 배무채로부터 셀포라펜을 분리하는 방법 및 이의 용도
출원번호: 10-2008-0062828(2008. 6. 30)
특허권자: 중앙대학교, (주)바이오브리딩연구소
- 배무채 종자봉투의 앞면에 기재 : “맛있는 기능성(항암, 항균성) 배무채 비비1호”

SUMMARY

Subject : Breeding of cytoplasmic male sterile lines and F₁ hybrids resistant to multi-diseases using the CMS system in *xBrassicoraphanus*.

An inbred named Baemoochae had been reported to be bred as a new vegetable crop in *xBrassicoraphanus*, an inter-generic hybrid between heading Chinese cabbage, *Brassica rapa* ssp. *pekinensis* and big-rooted radish, *Raphanus sativus*. However it still required some improvement of the seed bearing ability and the uniformity which mean genetic stabilization as a plant, even though no problem was noticed in practical use. A cytoplasmic male sterile system and the diversification of the germplasm were also necessary for the F₁ hybrid breeding to protect the variety right. This project composed of development of a cytoplasmic male sterility system, genetical stabilization of progenies and diversification of accessions with the mutation breeding, creation of new *xBrassicoraphanus* lines with hybridization between different materials in *B. rapa* and *R. sativus*, and the technical improvement of microspore culture for induced mutation.

To introduce the cytoplasmic male sterility to Baemoochae, a line, BB#6 were crossed to a CMS line of *Brassica juncea* which was known as Ogura CMS. More than 10 F₁ hybrid plants showed complete male sterility. However, about 15% of the plants in the first backcross generation(BC₁F₁) presented pollen and around 80% of the plants in the BC₂F₁ produced pollen. It was doubted If the fertility was induced by the restore gene of Ogura CMS originated from radish. However it was validated that it was not the Ogura system in a test with orf-138 gene which is responsible for it and its restore gene was not in Baemoochae in a test with molecular marker for it. Some semi male sterile plants which produce few pollen were observed at the BC₂F₁ and it was maintained with self pollination. When male sterile plants were crossed with semi sterile pollen, more than 70% of the progeny plants were male sterile and the others were semi sterile. This male sterile and semi sterile population(MSS line) multiplied with the semi male sterile line was used as female parent for F₁ seed production with Chinese cabbage as the male parent, since Baemoochae is highly fertile in this combination. The MSS line was multiplied with the semi-sterile line successfully and F₁ hybrid seeds between this MSS line and Chinese cabbage were produced effectively in the small size net houses with the honey bee pollinator and the F₁ hybrid was very uniform in the field test. However, unexpectedly seed yield of the F₁ hybrid was very low in a large scale

open field and the uniformity of the F₁ hybrid was not good. The low seed yield was probably resulted from the malformed female sterile plants which were neglected in the small size population but about 26% in the field. The low uniformity was caused by the different pollen amount(content) of each semi male sterile plant in the MSS population. In the result, the CMS of *B. juncea* could not be used for *xBrassicoraphanus* and the reason what is the cause of the unstable male sterility is not yet clear. Now another Ogura CMS of *B. rapa* is employed to be introduced to Baemoochae.

Several dozens of the plants originated from microspore culture with/without the treatment of the mutagen, n-nitroso n-methyl urethane were acclimatized and self pollinated with the ordinary practice to the pollen production plants. Not many plants produced pollen and seeds obtained from them were also not many in the Mi₁ generation regardless the mutagen treatment. One to 3 plants of the progeny lines were self pollinated again in the next generation(Mi₂) to increase seeds for the field test. Remarkably, more than 6 seeds per pollinated flower were harvested from the best flower stalk of four lines out of 11 which were originated from the NMU treatment. It was quite distinguished ability compared to 3 seeds in the maximum pod in the wild line. This ability and the uniformity were tested on the open field with multiplied seeds at Mi₂ generation. Every ovules of 9–11 in the pod were matured to the seed in the 4 mutant lines and only 1–3 seeds were progressed to the seed and the others were aborted during the maturing in the wild lines. The Amplified Fragment Length Polymorphism(AFLP) profile exhibited the same polymorphism rate as an F1 cultivar and a doubled haploid line in Chinese cabbage used for the standard. A mutant line was registered as BB#1 for variety protection and applied patent for domestic and Japan, China, EU, and USA. It is now released to farmers as a new vegetable crop. These genetic stabilization using induced mutation of inter-generic allopolyploid is probably the first achievement in the world and removed the barrier to prohibit synthesise the new species by the wide hybridization.

Some hybrids between different *B. rapa* and *R. sativus* accessions, which were resistant to multi-diseases, contented high disulfide chemicals or no hair on the leaf, were developed with the immatured ovule culture technique reported previously to diversify Baemoochae lines. Not many hybrids were established in every combinations and no self seeds were generally obtained from them, although they produced much pollen. Inevitably some plants were crossed with above mentioned mutant lines to keep their genetical properties. The hybrids were still very low in seed yield. Therefore they were donated to the induced mutation using

the microspore culture as same as the earlier method. One of 37 plants derived from the induced mutation showed very high seed bearing ability in self pollination and in crosses with various Baemoochae lines. The progeny lines selfed or crossed were very uniform in morphology and very unique in appearance in the field test, even though their growing were not enough to observe every character because of the irregularly heavy rain fall during growing season this year, 2010. Their genetic stability of the seed production and morphological characters is now confirming again. If it is proved, it would be a broadcasting announcement that the induced mutation using microspore culture is a new technique for genetic stabilization of the allopolyploids in *Brassicaceae*.

It has been reported previously that the Baemoochae plant produces a few embryo in the microspore culture. However the embryo yield was so low as less than 8 per Petri-dish and so fluctuated culture to culture that induced mutation using microspore culture couldn't be applied. The line code BB#12 which is stabilized genetically by the induced mutation was selected as the high embryo yield accession from the genotypic specificity trial. Its embryo yield was 18 in the mean and 56 in the maximum per Petri-dish. Single and co-treatment of gum arabic with Larcoll was effective in embryo development. A medium named B5M2-II which was modified the B5 medium by reducing nitrogen content and increasing calcium and potassium was devised for enhancing the number of normal plants which could be transplanted directly to the acclimation bed from the transplanted embryos. This result implies that induced mutation using microspore culture could be applied effectively in *xBrassicaoraphanus*.

CONTENTS

I. Project title

II. Purpose and necessity

III. Content and extent

IV. Results

1. Development of cytoplasmic male sterility of *xBrassicoraphanus*

-Introduction of *B. juncea* CMS known Ogura CMS

-Introduction of *B. rapa* CMS known Ogura CMS

2. Development of various germplasms using induced mutation

-Confirmation of Genetic stability of induced mutants

-Induced mutation for diversify the germplasm of genetically stabilized lines

3. Development of new allopolyploid between different materials

-Resistant inbreds to multi-diseases(History of BB#50)

-High functional inbreds

-New inbreds descended from F1 hybrid between *xBrassicoraphanus* and *Brassica juncea*

4. Other studies

-Improvement of microspore culture technique

-Sulforaphene analysis

V. Achievement and utilization of results

1. Establishment of technique for genetic stabilization of allopolyploid

2. Development of tasty and high functional new vegetable crop

3. Improvement of microspore culture technique

4. Bred new yellowish green line by induced mutation using microspore culture

5. Bred new dark green line by hybridization between land races of Chinese cabbage and radish

6. Bred new species crop by hybridization between *xBrassicoraphanus* and *B. juncea*

7. Confirming high content of sulforaphene in *xBrassicoraphanus*

목 차

- 제 1 장 연구개발과제의 개요
- 제 2 장 국내외 기술 개발 현황
- 제 3 장 연구개발 수행 내용 및 결과
 - 제 1 절 배무채 세포질용성불임성 계통(CMS) 육성
 - 제 2 절 신 배무채 계통 육성
 - 제 3 절 기타 연구
- 제 4 장 목표 달성도 및 관련분야에의 기여도
- 제 5 장 연구개발 성과 및 성과활용 계획
- 제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학 기술 정보
- 제 7 장 참고문헌

제 1 장 연구 개발과제의 개요

배추와 무의 속간교잡으로 '배무채'라는 신종(new species)의 채소 작물을 중앙대학교 (벤처회사 설립자)와 원예연구소가 공동으로 개발하고(Lee 등, 2002) 특허를 획득한바 있다 (제0492518호). 이 식물은 배추의 염색체 20개와 무의 염색체 18개를 완전하게 가진 이질4배체(allotetraploid) 식물로서(Lim, 2001) 세계 최초로 육성된 채소이다.

이 식물은 외형이 배추와 무의 중간형이며 특이한 매운 맛과 시원한 맛이 가질 뿐 아니라 조직이 질기지 않고 연하여 썰러드, 쌈채소, 김치 및 국거리로 아주 적합한 채소이다. 그리고 항암과 항균 작용이 탁월한 설폴라판(sulforaphane)을 다량으로 함유하고 있어 기능성 채소로 높이 평가될 수 있는 신종(new species)인 것이다. 그러므로 앞으로 상당히 널리 보급될 가능성 있는 식물인데 아직 몇 가지 개선하여야 할 단점과 좀 더 확실하게 알아야 할 식물학적 및 원예적 특성 구명이 남아 있었다.

예로서 이 식물이 현재로서는 비교적 순도가 고르기 때문에 채종과정에 이형 주를 잘 도태하면 큰 문제없이 재배가 가능한 종자를 생산할 수 있다. 그리고 채종 능력이 어느 정도 경제성이 있을 것으로 생각하고 있다. 그러나 좀 더 안정적인 순도 유지와 채종 능력 향상이 이루어져야 기업적으로 종자의 보급 가격을 낮추는 등 여러 가지 이점을 갖게 될 것으로 생각된다.

따라서 2003년부터 3년간 ARPC로부터 연구과제 "신 채소 작물 배무채의 주요 형질 개선 및 쌈 채소로 연중 생산 연구"(2006년 7월 종결)를 수행하면서 기존의 배무채에 대한 형질 개선 및 여러 가지 연구를 수행하였다. 그러나 처음으로 만들어진 배무채의 여러 가지 결점과 형질을 한 번에 모두 보완하기에는 다소 시간이 부족하였다. 이번 연구에서는 융성 불임성을 이용한 1대잡종 육성으로 기존 배무채의 단점을 획기적으로 보완하고자 하였다. 그리고 다양한 배추와 무를 이용하여 여러 가지 계통의 배무채를 육성하고 돌연변이육종법으로 형질이 크게 다른 계통을 육성코자 하였다.

첫째, 배무채는 양친인 배추와 무와는 다르게 자가불화합성이 발현되지 않고 자식을 원칙으로 한다. 그러므로 1대잡종이 육성되지 못하고 잡종강세 현상의 이용도 불가능하며 비록 특허는 획득하였지만 품종 보호에도 어려움이 있다. 이러한 문제점을 해결코자 갖의 세포질 융성불임성 계통에 배무채를 교잡한 (BC1F1세대) 재료와 배추의 CMS 계통을 이용하여 CMS 배무채 계통을 육성하고 그 CMS 계통을 이용한 1대잡종 채종 체계를 확립코자 하였다.

둘째, 복합내병성 배추와 기능성 성분이 많은 배추를 무와 교잡하여 다양한 배무채 계통을 육성코자 하였다. 기존 배무채의 경우 맛과 기능성(항암물질)에 대해 상당한 장점을 가지고 있지만 위에서 언급한 단점을 가지고 있었다. 예로서 생각지도 못했던 배추의 뿌리혹병과 바이러스병에 이병성으로 나타나 연구수행에 상당한 어려움이 있었던 예가 있다. 따라서 배추의 복합내병성 계통과 무의 복합내병성 계통 간 및 다양한 기능과 형태의 계통을 이용하여 새로운 배무채 계통을 육성코자 하였다.

셋째, 보존 중인 배무채는 한 잡종(배추x무) 개체(OV115C-4)에서 자연분리에 의해 얻어

진 계통들임으로 그들 간에 형질의 다양성이 부족하고 따라서 주요 형질을 개선하는데 재료 상의 많은 어려움이 있었다. 그리고 속간잡종의 문제점인 적은 채종량을 개선하는데도 어느 정도는 가능하였지만 획기적인 결과를 얻는 데는 상당한 어려움을 가졌다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 이용 가능한 방법이 돌연변이 육종법이다. 즉 기존 재료의 돌연변이 유도로 새로운 형질의 품종이 육성될 수 있다. 그러나 종자 또는 식물체에 돌연변이를 유도하는 방법은 변이체의 고정에 많은 시간이 필요한 단점이 있다. 이미 전번의 연구에서 시도되었던 소포자 돌연변이법(Swanson et al. 1989; Jeong and Lee, 1997)을 계속 이용코자 하는데 소포자의 배 발생율이 낮은 문제점이 남아있다. 이번 연구에서 이 소포자 배양 기술을 좀 더 개선코자 하였다.

제 2 장 국내외 기술 개발 현황

배추과(*Brassicaceae*) 식물 중에는 서로 다른屬과種이 다수 분화되어 있으며 이들은 채소, 식용유, 겨자, 사료, 간작 등 여러 가지 용도로 재배되고 있다(Gomez-Campo, 1999). 따라서 많은 사람들이 오래 전부터 배추과 작물을 식물학적 또는 농학적 연구 대상으로 이용하여왔다.

외국의 경우 특히 유럽과 일본을 중심으로 생물의 진화와 새로운 유전자원의 개발을 위한 종속간 교잡 연구가 많이 수행되었다. Oost(1984)에 의하면 Sageret가 1826년에 최초로 배추屬(*Brassica*)의 배추種(*campestris*)에 무屬(*Raphanus*)의 무種(*sativus*)을 교잡하여 속간잡종 식물을 얻었으며 이 잡종식물을 *Brassicoraphanus*라고 하였다. 약 100년 후에 Karpechenko(1927)는 무속에 배추속의 양배추種(*oleracea*)을 교잡하여 잡종식물을 얻고 그 후대에 대하여 연구하였으며 이 잡종식물을 무가 모계라는 이유로 *Raphanobrassica*라고 명명하였다. 그러나 모두 재배 가능한 신 작물로는 발전시키지 못하였다.

그런데 세계적으로 널리 재배되고 있는 유채(*Brassica napus*)가 배추(*B. campestris*)와 양배추(*B. oleracea*)간의 중간 복2배체(amphidiploid)임이 U(1935, 우장춘 박사의 학위논문)에 의하여 밝혀진 후 기존의 유채에는 없는 새로운 형질의 유채 품종이 이들 간의 중간교잡으로 1960년대부터 유럽과 일본에서 육성 보급되었다. (Olsson과 Ellerstrom, 1980 ; Namai 등 1980). 특히 Nishi(1980)는 1950년대부터 배추와 양배추처럼 결구가 되는 결구성 유채를 만들고자 노력하였다. 그 결과 배가 퇴화하기 전의 어린 배를 배양하여 신 식물을 육성하였는데 이를 새로운 채소로서 'Hakuran'(白藍)이라 명명하였다. 이 Hakuran은 高田 등(1987)에 의하여 세계 최초의 F1 품종으로까지 발전하였다. 즉 그들은 지속적인 선발로 자가불화합성이 강한 계통을 육성할 수 있었으며 갖과의 교잡에서 채종능력이 기존 계통에 비해 약 5배 가까이 향상된 위수정 유래 계통을 획득한 바 있다.

재배 가능한 속간잡종, 즉 배추屬(*Brassica*)과 무屬(*Raphanus*)간의 잡종인 신屬 식물은 McNaughton(1979)이 무와 양배추를 교잡하여 새로운 복2배체 사료작물 *Raphanobrassica*를 육성한 것이 처음인 것 같다. 그는 이 신물의 일반 명을 radicole이라고 명명하였다. 그리고 곧이어 Dolstra(1982)가 배추와 무 간의 속간교잡으로 복2배체의 내충성 윤작작물을 육성하고 이를 *raparadish*라고 명명한 바 있다(Lange et al. 1989). 그러나 이들 모두 임성이 낮아 지속적인 개량이 필요하다고 하였다.

우리 연구실에서는 원예연구소와 공동으로 1980년대 중반부터 꾸준히 연구하여(이 등, 1989) '배무채'의 약배양(이와 윤, 1987), 소포자배양(홍과 이, 1992)에 성공한 바 있다. 그 결과로서 순도가 비교적 균일하고 채종능력이 안정적인 '배무채'가 육성될 수 있었다. 이 신 식물의 속명을 우리말로 배무채 속(*Xbrassicoraphanus*)이라 하고 작물명은 배무채(*raparadish*)라 하여 이를 학회에 보고하였으며(이 등, 2002) 특허를 획득하였다(2005.제 0492518호).

그리고 2003년부터 ARPC의 과제로 이 배무채의 채종능력향상, 결점보완, 쌈채소로서의 생산성 연구 등 과제가 수행되어 2006년 7월에 종결되었다.

제 3 장 연구개발 수행 내용 및 결과

본 과제는 배무채의 세포질 응성불임성(CMS) 계통 육성, 다양한 신 계통 육성, 그리고 기타 기술 개발의 3분야로 나누어 수행되었다.

제 1 절 배무채 세포질응성불임성 계통(CMS) 육성

배무채의 세포질 응성불임성 계통을 육성코자 갖의 세포질 응성불임성 도입, 배추의 세포질 응성불임성 도입 등이 연구되었다.

1. 갖(*B. juncea*) 유래 Ogura CMS에 배무채 핵치환

순천대학교 노일섭 교수로부터 분양받은 갖 CMS에 배무채를 두 번 교잡한 BC₁F₁계통(CMS-OA20-20p-11-1×OA20-20p-11-8)을 이용하였다. 먼저 이 BC₁F₁계통의 임성을 조사한 결과 전체 50개체 중 불임성과 가임성이 각각 25:25로 1:1의 분리를 보였다. 세포질 응성불임성 계통인데 어떻게 가임주가 나타나는지 이해가 안 되었지만 BC₂F₁으로 세대를 진전시켜보기로 하였다. 많은 불임주(BC₁F₁)에 반복친 OA20-20p-11-8을 교잡하여 BC₂F₁ 종자를 생산하였는데 그 중 종자생산량이 많은 불임주 5개체의 BC₂F₁과 가임주 1계통의 후대를 반복친과 함께 가을에 검정하였다. 특성조사 결과(표 1) CMS 계통 중 2계통은 순도가 불량하고 2계통은 중간정도이며 1계통만이 비교적 균일하였다. 한편 1년 2세대를 위하여, 즉 세대를 촉진코자 CMS 계통 2계통(파종번호 : 06BRMS-750=722와 동일, 06BRMS-751=724와 동일)을 노지재배와 같이 파종하면서 조기개화를 유도코자 30일간의 저온처리를 하였다. 그리고 비가림 하우스 및 온실에서 재배하였는데 포장재배와 마찬가지로 순도가 균일하지 못하고 개체 간 개화시기가 크게 다르며 꽃가루가 나오는 가임주와 꽃가루가 없는 불임개체가 39:6으로 분리되었다(표 2).

이상과 같은 갖 유래의 세포질 응성불임성에 배무채를 교잡하였을 때 응성불임성의 일부개체가 가임성으로 회복되는 원인을 알고자 하였다. 재료를 분양한 순천대 노일섭 교수께 문의한 결과 Ogura CMS를 분양받아 갖에 도입한 것으로서 무의 Ogura CMS와 동일할 것이라 하였다(노일섭 교수는 이 CMS를 이용하여 여수 돌산 갖의 1대잡종 품종을 육성하였음). 그렇다면 배무채가 배추와 무의 genome을 완전하게 다 가지고 있는 잡종 식물임으로 한쪽 친으로 이용되었던 무가 회복인자 RF를 가지고 있었고 이것이 배무채에 그대로 옮겨져서 작용하고 있는가 하는 의심이 생겼다.

다행히 원예연구소에서 동부한농 종묘와 함께 무의 Ogura CMS를 회복시켜주는 RF 유전자의 분자표지인자를 개발하고 있었다(당시에는 아직 발표되지 않았음). 따라서 원예연구소에 의뢰하여 핵내 회복인자 RF의 존재여부를 확인하였다. 그 결과 표 3에서 보는 바와 같이 가임개체 및 불임개체 모두 응성불임성의 회복인자가 열성으로 밝혀졌다. 즉 응성불임성 회복인자인 우성인자가 없는 것으로 밝혀졌다. 그렇다면 왜? 어떻게 해서 일

부 개체의 응성불임성이 회복되는지 이해가 안 된다.

표 1. 배무채 Ogura CMS 계통(BC₂F₁)의 특성조사

과종 번호	계통명	순도	과종량	발아수	뿌리모양	비고
06BRMS-722	CMS-BB6호-8-1	불량	60	14	열근 극심	과종 직후 폭우로 발아율 저조
-723	-27-1	"	59	12	-	
-724	-36-10	중	59	14	-	
-725	-41-10	양	60	15	열근 심	
-726	-42-1	중	62	11	열근 극심	
-727	-7 [⊗] ²⁾	불량	60	15	불균일	무모용주 1주 발견

²⁾ BC₁F₁에서 발견된 가임주의 자식 계통

표 2. 갓 유래 Ogura CMS 배무채의 BC₂F₁ 세대에서 불임주의 분리 양상

공시계통	조사 개체 수	응성불임주	응성가임주
06BRMS-722+750	19	5(1)	13
-723	4	0	4
-724+751	11	1	10
-725	4	0	4
-726	4	0	4
-727	4	0	4
계	46	6(1)	39

다음해에는 우선 이러한 현상이 혹시 교배 등이 잘못되어 나타나게 된 것인지 확인할 필요가 있다고 생각되어 보존하고 있던 CMS의 F₁과 BC₁F₁을 다시 과종하여 검정하였다. 그 결과가 표 4이다. BB1호와 6호의 두 조합 모두 F₁에서는 가임개체가 없고 모두 불임개체로 나타났다. 그런데 한 세대가 더 진행된 BC₁F₁에서는 두 조합 모두 가임성 개체가 출현하였고 평균 16% 이상의 개체가 가임성이었다. 지난해의 50%보다는 적지만 가임개체가 BC₁F₁에서 발생하는 것이 사실로 확인된 것이다.

이러한 가임주가 다음 세대(BC₂F₁)에는 더 많이 출현하였다(표 2). 즉 전체 46개체 중 약 85%인 39개체가 가임이고 6개체만이 불임이었다. 따라서 배무채 BB6호의 CMS는 더 이상 CMS 계통으로써의 이용가치가 없을 것으로 판단되었으며 결국 CMS를 회복시켜주는 인자가 없는 계통을 찾아서 반복친으로 하지 않으면 안 된다고 생각되었다. 그렇지만 근본적으로 한 개체에서 유래되었기 때문에 변이라는 것이 크게 있을 수 없는 배무채의 계통들 중에 이러한 회복인자가 없는 계통이 있을 수 있겠는가 하는 의문이 생긴다. 그런

표 3. 갓 유래 CMS 계통의 세포질 및 핵내 인자형

과종번호	MS or MF	개체수	세포질 MS형	핵내 회복인자	비고
06BRMS-727	MF	15	정상	열성호모	CMS에서 분리된 가임주의 후대
-729	"	1	?	"	BB1호
-730	"	1	ogura	"	BB2호
-731	"	1	"	"	BB4호
-732	"	1	?	"	BB6호
-750	MS	8	정상	"	BB6호의 CMS 후대 중 불임개체
"	MF	6	정상	"	" " 가임개체
-751	MS	4	정상	"	" " 불임개체
"	MF	2	정상	"	" " 가임개체
-752	MF	3	정상	"	727과 동일
-753	"	2	?	"	BB6호(반복친)중 1번개체의 후대
-754	"	2	?	"	" (")중 10번 "

표 4. 갓의 Ogura CMS × 배무채의 F₁과 BC₁F₁에서의 MS 발현 율

모계(갓 CMS)	부계		과종 량	발아 수	MS	MF
04-50-5-1 {(J ₂₇ ×J ₁)-1}	BB1호	F ₁	9	4	4	0
		BC ₁ F ₁	25	6	5	1
	BB6호	F ₁	25	23	23	0
		BC ₁ F ₁	61	37	31	6

데 돌연변이로 종자생산성이 획기적으로 높아진 BB11호, 12호, 13호 등이 있으므로 이들을 교잡하여 그 후대를 볼 필요는 있다고 생각되었다. 그리하여 우선 몇몇 계통과 교잡하여 채종한 내역이 표 5이다. 즉 BB6호에서 유래된 몇몇 변이주와 돌연변이 유래 3계통 그리고 새롭게 속간교잡으로 육성한 신 조합계통 등 8개 반복친을 이용하여 충분한 량의 종자를 채종하였다.

그 다음해(3년차)에는 ㉠ 이렇게 불임성이 가임성으로 회복되는 것이 세대가 진행될수록 과연 더 많아지는지를 조사코자 하였으며, ㉡ 가임화되는 원인이 무에 있는 Ogura CMS의 회복유전자가 배무채를 만들 때 이미 도입되어 있었기 때문인지를 재확인하고자 하였다. ㉢ 그리고 가임개체를 자세히 관찰한 결과 완전한 가임이 아니고 수술이 비정상적으로 작으면서 1~4개정도로 그 수가 적으며 꽃가루가 있기는 하지만 아주 적게 생산되는 반가임(sF: semi fertile) 또는 반불임(sMS: semi sterile)인 것이 상당히 많았다. 이 반

불임성의 유전양식을 구명하면서 이 체계를 이용한 F₁채종이 가능한지를 검토하고자 하였다. ㉔ 또한 옹성불임성의 유지 증식 때 기존 CMS 계통보다 많은 종자가 생산될 수 있고 균일성이 높은 옹성불임성 계통을 육성코자 균일성과 종자생산성이 개량된 BB11호, 12호, 13호, 50호를 CMS BB6호에 두 번 교잡한 BC₁F₁의 이용가능성을 구명토록 하였다.

표 5. 갓 유래 OguraCMS 배무채에 대한 반복친별 종자 생산량(총 종자 수)

반복친 우(MS)	06BRMS -752-3	753-1	754-1	754-2 (YF)	755- 2,3	756- 1,4	758-1	762-1
06BRMS-750-1	57	38	22	62	32	32	5	17
-2	12	12	60	3	62	46	11	52
-5	-	5	-	8	11	24	-	14
-9	43	50	81	52	83	89	-	102
-10	-	22	23	11	-	-	-	-
-12	4	16	3	3	11	24	7	9
계	111	143	189	139	199	215	23	194

752 : BB 6호의 CMS 계통(BC₁F₁)에서 나타난 가임주 계통

753 : 기존의 BB 6호

754-1 : BB 6호에서 꽃 색이 황색으로 나타난 변이개체의 후대(백색 꽃)

754-2 : " " " (황색 꽃)

755 : 신 속간교잡으로 육성된 계통(신 ov)

756 : BB11호, 758 : BB12호, 762 : BB13호

가. 세대별 가임주 출현 확인

배무채 CMS계통의 BC₃F₁과 BC₄F₁의 가임주 출현율을 조사하고 이미 보고된 BC₂F₁까지의 결과를 합하여 만든 것이 표 6이다. BC₂까지는 계속 가임주가 많아졌었는데 이후에는 그 수가 변화하지 않는 것 같다. 즉 약 70-85% 정도의 가임개체가 지속적으로 나타나고 있는 것 같다. 그리고 BC₂F₁부터는 반가임주가 나타나고 있다(후술).

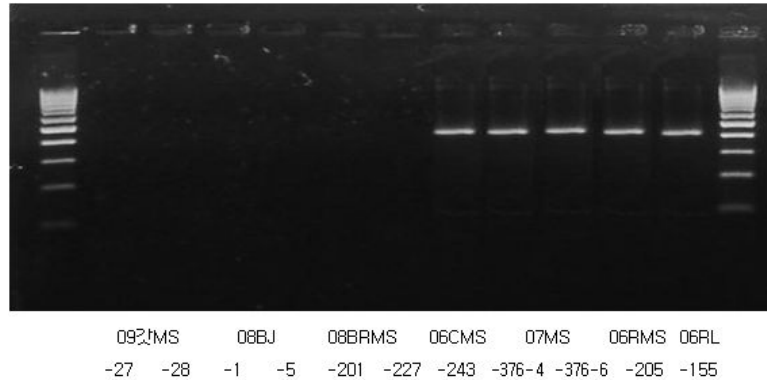
나. Ogura CMS의 확인

처음 갓의 CMS 계통을 도입할 때 이것이 Ogura CMS라고 하였었다(노일섭 교수). 따라서 먼저 Ogura CMS를 지배하는 orf-138유전자의 DNA 증폭용 primer로 PCR을 수행하였다. orf-138 primer는 BioGreen21의 '재래종 무(갓무 포함) 특성조사' 과제에서 작성하여 보존하고 있던 것을 이용하였다. 그 결과 이미 알고 있는 무와 배추의 Ogura CMS 계통은 그 고유의 band를 나타내었는데 배무채의 CMS 계통에서는 이러한 band가 나타나지 않았다(그림 1). 즉 갓에서 유래된 CMS가 Ogura CMS가 아닌 것으로 나타났다.

표 6. 배무채 JoCMS의 여교잡 세대별 음성불임 개체 분리 현황(CMS BB6호)

계통명 (과중번호)	조사 개체 수				
	전체	가임	불임	반불임	가임 개체(율)
F1	4	0	4	-	0
BC1F1	43	7	36	?	16
BC2F1	46	39	5(2)	2	85(89)
BC3F1	30	18	10	2	60(67)
BC4F1	50	22	8	20	44(84)

() : 반불임 개체 포함



09갯MS-27, -28 : 갯의 Polima CMS로 알려진 계통에 배무채를 한번 교잡한 잡종

08Bj-1, -5 : 갯의 Polima CMS로 알려진 계통

08BRMS-201 : 갯의 Ogura CMS에 배무채 BB6호를 5회 교잡한 계통(BC4F1)

08BRMS-227 : 갯의 Polima CMS에 배무채 BB12호를 2회 교잡한 계통(BC1F1)

08CMS-243 : 배추 소송채 CMS에 배추를 4회 교잡한 계통(BC3F1)

07MS-376 : 중국에서 도입된 팍초이(자라란) CMS

06RMS-205 : 새롬무(Ogura CMS 이용 F1 품종)

06FL-155 : 남제주 수집 갯무의 한 MS 계통

그림 1. 배무채 CMS 계통의 orf138 유전자 유무 검정

따라서 배무채의 CMS가 여교잡 세대의 진행에 따라 가임화 되어가는 것이 Ogura CMS의 회복유전자 때문이 아닐지도 모른다고 생각하게 되었다. 한편 좀 더 확실하게 음성회복유전자를 확인코자 원예연구소에서 BioGreen21과제로 무 Ogura CMS의 회복유전자에 대한 선발용 마커를 개발한바 있다. 이를 분양받아 보존 중인 5개 배무채 계통에 PCR을 수행하였다. 그 결과 Ogura CMS를 회복시킬 수 있는 어떤 유전자도 전과 같이 배무채에는 없는 것으로 나타났다(표 7).

표 7. 배무채 JoCMS 계통의 무 Ogura CMS 회복유전자 유무

과종번호	계통명	Hind III	비고
07BRMS-1-2	JoCMS-BB#6-1x BB#6	r	
07BRMS-5-2	JoCMS-BB#6-2x BB#50	"	
07BRMS-6-5	JoCMS-BB#6-9x BB#11	"	
07BRMS-8-3	JoCMS-BB#6-2x BB#13	"	
07BRMS-9-3	JoCMS-BB#6-1x BB#12	"	
07BRMS-15-2	BB#11	"	
07BRMS-16-2	BB#12	"	
07BRMS-17-1	BB#13	"	
07BRMS-18-8	BB#6	"	
07OV-124	좁배추x갯무	"	
07OV-133	좁배추x27번계	"	

※ Hind III : R 우성으로 임성 회복시킴. r : 열성으로 회복인자가 아님

이상의 결과에서 BC₂F₁까지 진행된 배무채의 CMS 계통은 Ogura CMS가 아니고 근원이 다른 CMS라고 생각되며 따라서 임성이 회복되어가는 원인도 현재로서는 알 수 없는 상황이다. BC₂F₁까지는 세대가 진행됨에 따라 임성회복개체가 늘어나다가 BC₃ 이후에는 그 수가 약간씩 차이를 보이는 것으로 보아 단순히 한, 두 개의 질적 유전자에 의해 임성이 회복되는 것은 아닌 것 같다. 배추와 무의 속간잡종에서 나타나는 미지의 어떤 기작이 작용하여 임성이 회복되고 있는 것으로 짐작할 수밖에 없다. 따라서 이 CMS계통을 지금까지 표기해 온 Ogura CMS 대신 갯에서 온 웅성불임성이라는 뜻에서 단순히 JoCMS로 표기토록 하였다.

다. JoCMS의 반불임성 이용 연구

1) 반불임성과 반복친의 유지증식 방법 확립

1년 2세대씩 세대를 축진하여 온 BC₃F₁에서 꽃가루가 발생하지만 그 양이 아주 적어 자칫 웅성불임성으로 오인하기 쉬운 반불임 개체가 있었다(그림 2). 초기에는 꽃가루 유무만을 조사하였으므로 이러한 개체를 모두 가임개체로 분류하였는데 혹시나 하는 생각에서 이 반불임 개체를 자가수정 시키는 한편 완전한 불임개체에 화분친으로 교잡하였었다. 그 결과로 생산된 후대 BC₃F₁S₁(F₁에 여교잡 3회 후 형매교잡(sibbing) 1회)을 다른 정상인 반복친(가임주)으로 교잡한 BC₄F₁과 함께 개화기에 불임성 여부를 조사하였다. 그 결과 표 35-8과 같이 정상인 가임개체로 교잡된 후대는 모두 가임개체와 불임개체가 약 1:1로 분리하는데 반불임 개체로 교잡된 후대는 16개 중 15개체가 불임성이고 1주가 반불임이었다. 아쉽게도 화분을 제공한 반불임 개체의 자식후대가 과중되지 않아 확인하기는

이르지만, 반불임 개체를 반복친으로 이용하면 웅성불임개체를 유지 증식할 수 있지 않을까 하고 생각하게 되었다.



그림 2. 배무채 반불임성 CMS의 꽃 모양(좌: 가임. 중: 반불임. 우: 불임)

표 8. 배무채 웅성불임계통의 화분친별 후대의 불임개체 분리 현황(08봄 성적)

과종번호	교배조합	MF	MS	sF	계
7BRMS-1	CMS BB#6-1S×7-3sF	-	15	1	16
07BRMS-2	CMSBB#6-1S×1-1F	2	1	-	3
3	-2S×10-1F	3	6	2	11
4	-1S×10-2F	15	6	1	22
5	-2S×BB#50F	4	6	-	10
6	-9S×BB#11F	9	9	-	18
7	-1S×BB#12F	-	-	-	
8	-2S×BB#13F	3	5		8
소계		36	33	3	72

S : 불임개체 sF : 반가임(반불임)개체 F : 정상 가임개체

따라서 표 9와 같이 웅성불임주(07BRMS 1-2S)에 반불임주(07BRMS 1-6SF)를 교잡하는 한편 반불임주를 자가수분으로 증식하였다. 비록 인공교배의 결과이지만 웅성불임주의 종자생산성이 교배화당 약 1립 정도였고 반불임주의 자가수분 종자가 교배화 당 약 0.35립 정도였다. 종자생산성이 높은 것은 아니지만 망실에서 벌을 이용하여 원종과 반복친을 증식할 경우 인공교배보다 종자 생산량이 많아질 것으로 생각되며 따라서 충분히 경제성이 있는 생산량이 될 것으로 기대되었다.

2) 배추와의 1대잡종 종자 생산

반불임주로 증식된 웅성불임주에 배추 2계통을 화분친으로 교잡하였는데 화분친 별로 교배화 당 6.4립과 5.9립의 종자를 생산하였다(표 10). 이는 지금까지 연구된 어떤 배무채 계통의 자식보다 많은 종자가 생산된 것이며 과거의 여러 가지 시험에서 배무채(♀)×배

추(♂)의 경우 친화성이 아주 높았던 것과 잘 일치하는 결과이다.

표 9. 배무채 반불임계통 이용 종자생산 현황(08채종성적)

교배조합		교배화수	종자수
07BRMS 1-2S×-6sF		19	23
		28	29
		24	13
계	3화지	71	65
07BRMS 1-6sF⊗		20	1
		19	6
		20	11
		17	9
		15	4
		24	9
		24	6
		21	5
		21	6
		9	10
계	10화지	190	67

표 10. 배무채 응성불임개체와 배추와의 F₁ 종자 생산현황(08채종성적)

교배조합	화지 수	교배화수	종자수
07BRMS 1-2S×배추 13M-65		42	259
		38	250
계	2화지	80	509
07BRMS 1-2S× " 태2M-11		37	231
		38	209
계	2화지	75	440

3) 배무채 CMS 계통과 배추와의 1대잡종 성능 검정

위에서 BC₄F₁까지 진행된 CMS 계통은 BB6호이다. 처음 CMS 계통 육성 시험이 시작될 때에는 BB1~6호까지 계통이 분화되어 있었으므로 그 중 BB6호를 우선 CMS로 만들고자 하였다. 따라서 배추와의 1대잡종 채종은 BB6호의 CMS BC₃F₁으로 하였다. 그런데 이 과제가 시작되기 2년 전에 소포자 돌연변이로 유도된 계통 중 후대 검정에서 종자생산성이 획기적으로 개선된 계통이 있었다. 이 계통들은 대부분 순도(균일성)도 획기적으로 개선되어 BB1호에서 6호까지의 어느 계통보다 균일하였다. 따라서 이들을 BB11호, 12호, 13호로 명명하고 모두 CMS 계통으로 유도코자 BB6호의 CMS 계통에 교잡하고 BC₁F₁세대까지 진행되었다. 그 중 BB13호의 CMS 계통(BC₁)과 BB6호의 CMS 계통(BC₃)에 배추의 2계통을 각각 교잡하고 기존의 4계통을 대비로 가을에 재배하였다(표 11). 우선 유묘기 정식 전에 개체간의 성장량 차이를 조사한 결과 대비 종으로 공시한 BB1호와 6호는 모두 순도가 불량한데 반해 돌연변이로 개량된 BB12호와 13호는 아주 균일하였다. 그리고 BB6호의 CMS 계통(BC₃)에 배추가 교잡된 두 F₁조합은 중간정도였으며 BB13호의 CMS 계통(BC₁)에 교잡된 F₁조합은 중상정도로 재배 상 큰 지장이 없을 것으로 판단되었다. 이 어린모의 성장량을 보면 F₁조합은 앞이 대비계통보다 상당히 작은데 앞 수는 다소 많은 경향을 나타내었다. 이들을 구당 40주씩 2반복으로 포장에 정식하여 재배하였다. 그 결과 무엇보다 중요한 순도 면에서 균일성을 보였다. 초기 생장은 개체 간에 다소 차이가 있었지만 정식 후에는 비교적 고르게 자랐으며 이형주가 없었다.

어떻게 초기 성장 때는 개체 간 성장정도가 상당히 다른데 후기로 갈수록 그 차이가 적어지는지 쉽게 이해가 안 될 수 있다. 그러나 이러한 현상은 배무채를 지금까지 10년 이상 재배하면서 재배할 때마다 보아왔던 것이다. 아마도 외관상 나타나는 형질, 특히 배무채 잎 모양이 균일하기 때문에 개체 간 크기의 차이가 어느 정도 있더라도 쉽게 눈에 보이지 않는 것으로 이해된다.

표 11. 배무채 CMS×배추 조합의 특성 조사

과종번호	조합명	유묘기 ^{Y)}			성숙기 순도
		순도	엽장(cm)	잎수	
08BRF ₁ -237	07BRMS1-2S(BC ₃)×태2M-11(배추) (BB6호)	중	9	5.8	양
-238	" ×13M-65(")	"	8	5.3	양
-239	07BRMS 8-2S(BC ₁)×태2M-1(") (BB13호)	중상	-	-	양
-240	" ×13M-65(")	"	-	-	양
08BR 재-259	BB1호	불량	10	4.2	중
-261	BB6호	"	12	4.7	중
-263	BB12호	양	15	5.2	양
-265	BB13호	양	14	5.0	양

Y: 8월 1일 파종, 8월 21일 조사

이상의 결과를 종합하면 근원이 불분명하지만(기존에 알고 있었던 Ogura CMS가 아닌 것으로 판명) 배무채 핵을 치환해가는 CMS의 반불임성을 이용하여 CMS개체를 유지 증식할 수 있다. 그리고 이렇게 유지된 CMS 계통에 배추를 화분친으로 1대잡종을 육성할 수 있다. 이러한 사실, 즉 반불임성을 이용하여 속간의 F1 품종을 육성할 수 있다는 것은 전혀 예상치 못한 새로운 개념의 품종육성 체계라고 할 수 있을 것이다.

여기서 왜 배무채 CMS에 배무채를 교잡한 F₁은 안되고 배추를 교잡한 F₁만 가능한가 하는 것이다. 이미 BC₄까지 진행되어온 과정에 기존의 배무채 CMS 계통과 가임계통 간 잡종은 모두 불임개체와 가임개체가 섞여 나타난다. 비록 이 F₁이 순도는 균일하더라도 가임개체 때문에 품종보호가 안 된다. 만일 형질이 크게 다른 배무채 계통이 화분친으로 교잡되면 비록 F₁에서 가임개체가 나오더라도 그 후대에서 형질이 분리함으로 배무채라는 식물의 보호는 안 되더라도 품종은 보호될 수 있을 것이다. 그러나 배무채 자체가 보호되어야 할 중요한 재료이므로 품종보호 이전의 보호 조치가 강구되지 않으면 안 된다. 또한 아직 배무채 중에는 계통간 교잡 후대 F₂에서 형질이 크게 분리할 정도로 특성이 다른 계통이 없다. 그런데 배추와의 F₁은 비록 일방적이기는 하지만 교잡 친화성이 높아 F₁의 종자생산성이 높고 F₁식물은 소위 새로운 속간식물이므로 모두 꽃가루가 안 나오는 불임성이다. 즉 F₁ 품종뿐 아니라 배무채 자체의 보호도 가능한 것이다.

그런데 MS계통을 반불임(sF)계통으로 증식하면 적지만(1/16=6%) 반불임 개체가 출현하고 반불임 개체는 자가수정에 의해 증식되는 것을 보았다. 따라서 배추와의 F₁채종 때 반불임 개체가 자식 된 종자가 섞이게 되어 균일성이 낮아지는 문제점이 지적될 수 있다. 그런데 배무채는 자식보다 배추와의 교잡 때에 훨씬 높은 임성을 나타내므로 반불임개체의 혼입은 F₁종자 생산에 큰 문제가 없을 것으로 생각된다.

4) 반불임성 이용 1대잡종 육성체계도

완전한 불임성은 아니지만 꽃가루가 아주 적게 생기는 반불임성을 이용하여 불임 계통을 유지 증식할 수 있고 반복친인 반불임 계통의 유지 증식 체계가 거의 확립되었다. 그리고 이러한 불임 계통과 배추를 교잡한 신 속간잡종을 육성하여 이용할 수 있음을 보았다. 이를 도표화한 것이 그림 3이다.

이미 육성되어 있는 배무채의 웅성불임성 계통에 새롭게 웅성불임성 계통으로 육성할 계통(반복친)을 교잡하여 F₁식물을 얻는다. 이 F₁ 집단은 가임, 반불임, 불임개체가 섞여있게 된다. 그 중 불임개체를 선택하여 반복친과 교잡하여 BC₁F₁ 집단을 얻는다. 이 집단은 웅성불임성 뿐만 아니라 모든 형질이 분리하므로 가능한 한 많은 개체를(최소 100개체 이상) 공시하여 AFLP로 반복친과의 근연지수를 산출한다. 개화기에 웅성불임주를 감별하고 그 중 근연지수가 가장 큰 불임주를 선발한다. 그리고 반복친으로 교잡하여 BC₂F₁을 양성하고 BC₁F₁의 경우와 동일하게 AFLP로 근연지수를 산출한다. 여기서 BC₁이나 BC₂ 집단의 개체수가 많으면 많을수록 반복친과의 근연지수가 큰, 즉 반복친과 유사성이 높은 개체를 선발할 수 있으며 BC₂F₁에서 거의 반복친과 동일할 정도로 고정된 계통도 얻을 수 있다.

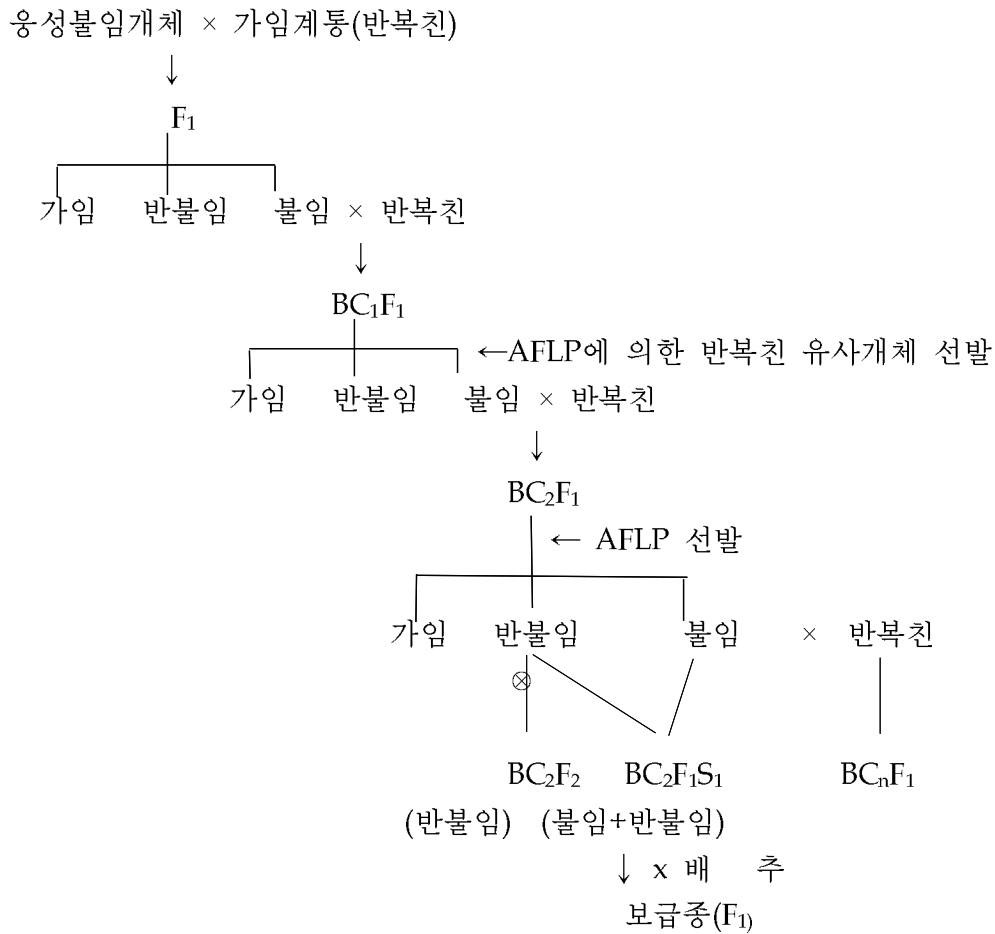


그림 3. 배무채 세포질 웅성불임성 계통과 반불임성 유지친의 조기 육성 및 배추와의 F₁품종 육성체계

따라서 만일 BC₂F₁에서 형질이 거의 고정되었다고 생각되면 그 중 불임개체와 반불임개체를 선발하고 반불임개체는 자가수분으로 증식하는 한편 불임개체와 교잡하여 불임계통을 증식한다. 그리고 불임개체는 목적인 배추계통을 교잡친으로 하여 교잡하고 F₁종자를 얻도록 한다. 이들은 그 다음해에 순도와 성능을 포장에 재배하여 검정하고 우수성이 밝혀지면 신품종으로 등록할 수 있다.

만일 BC₂에서 고정이 덜 되었다고 생각되면 동일한 방법으로 BC₃F₁집단을 양성토록 한다. 배추에서 얻은 경험으로 보면 여교잡 세대마다 100개체 정도 재배하여 AFLP로 선발하면 BC₃에서 충분히 F₁을 생산할 수 있을 정도의 고정계통을 얻을 수 있다.

5) JoCMS의 불임계통 및 반가임 계통의 실용화 연구

지금까지 연구하여 육성한 JoCMS의 실용화를 위하여 우선 웅성불임(MS)계통의 반가임(sF) 계통을 이용한 증식 가능성을 재확인코자 하였다. 전년도에 교배된 종자를 파종하여 웅성불임성의 분리현상을 먼저 조사한 결과(표 12) 한 계통 내에서 분리한 웅성불임(MS) 개체에 반가임(sF) 개체를 교잡한 후대(07BRMS-1-2Sx-6sF) 18주 중에는 가임개체가

하나도 없고 불임개체와 반가임개체가 8:9로 분리하여 전년도와 비슷한 현상을 나타내었다. 그리고 반가임(sF)개체의 자식후대(07BRMS-1-6sF^(x))는 15주가 모두 반가임(sF)이었다. 가임주(F)의 후대는 당연한 결과로서 모두 가임(F)으로 나타났고 불임주(MS)에 가임주(F)를 교잡한 후대(07BRMS-13-5Sx-1F) 6주 중에는 불임(MS)주 1에 가임(F)주 5로 나타났다. 즉 전년도와 동일하게 불임(MS)계통은 반가임(sF)계통으로 증식할 수 있음을 다시 확인할 수 있었다.

표 12. 배무채 BB#6의 JoCMS에 있어서 반가임성 이용을 위한 불임성 분리 현황

계통명	계통번호	계	MS	sF	F
08BRMS-201	07BRMS-1-2Sx-6sF	18	8	9	0
08BRMS-202	07BRMS-1-6sF ^(x)	15	0	15	0
08BRMS-203	07BRMS-10-1F ^(x)	4	0	0	4
08BRMS-208	07BRMS-13-5Sx-1F	6	1	0	5

S: 불임성, sF: 반가임성, F: 가임성

다음은 불임(MS)계통과 반가임(sF)계통의 증식에 관하여 재확인코자 하였다. 우선 표 13의 08BRMS-201 계통 중 불임(MS)주 3주를 반가임(sF)주 2주로 인공교잡한 결과 평균 교배화 당 종자수가 0.8립 정도였다. 이 역시 지난해의 성적과 비슷한 결과이다.

표 13. 배무채 JoCMS에 있어서 불임개체와 반가임개체 간 교잡 결과(인공자가수분)

교배조합(파종번호)	교배화지 수	교배화수	종자수(립)	비고
08BRMS-201-2Sx201-4sF	5	88	140	
08BRMS-201-2Sx201-11sF	4	83	31	
08BRMS-201-7Sx201-4sF	5	117	89	
08BRMS-201-7Sx201-11sF	1	25	6	
08BRMS-201-13Sx201-11sF	3	62	15	
계	18	350	281	

S: 불임성, sF: 반가임성, F: 가임성

반가임주(sF)를 자식하여 증식한 계통으로 표 13의 불임주 3주에 교잡한 결과(표 14) 평균 교배화당 종자수가 0.25립 정도였다. 이 역시 지난해의 결과와 비슷한 성적이며 비

록 종자 수는 적지만 JoCMS를 반가임(sF)계통으로 증식할 수 있음을 알 수 있다.

표 14. 배무채 JoCMS에 있어서 반가임계통과의 교잡으로 증식된 불임개체와 반가임개체와의 교잡 결과(인공자가수분)

교배조합(과종번호)	교배화 지 수	교배화수	종자수(립)	비고
08BRMS-201-2Sx202-1sF	1	26	1	
08BRMS-201-2Sx202-2sF	2	47	7	
08BRMS-201-2Sx202-3sF	2	43	20	
08BRMS-201-7Sx202-2sF	3	52	9	
08BRMS-201-13Sx202-3sF	5	104	32	
계	13	272	69	

S: 불임성, sF: 반가임성, F: 가임성

반가임주를 자식할 경우 후대는 완전한 가임주가 거의 없고 대부분이 반가임주로 나타나는 현상을 지난해에 보았다. 따라서 반가임주를 자식하여 종자를 증식코자 하였다. 그 결과 인공교배에서는 평균 교배화당 0.2립 정도로 적은 수의 종자가 생산되었다(표 15). 이 역시 지난해의 결과와 비슷한 것이다. 그런데 망실에 재배하면서 개화기에 약 20일 동안 꿀벌을 방사하여 종자 생산성을 조사한 결과(표 16) 10주에서 1.355립의 종자가 생산 되었다. 충분한 증식체계임을 알 수 있다.

한편 불임계통과 반가임계통을 동일 망실에 넣고 꿀벌을 역시 20여 일 동안 방사하여 불임계통과 반가임계통의 동시 증식시험을 수행하였다. 그 결과 표 17에서 보는 바와 같이 불임계통은 7주에서 약 4.500mL, 반가임계통은 9주에서 238mL의 상당히 많은 종자가 증식되었다.

표 15. 배무채 BB#6의 JoCMS에 있어서 반가임계통의 자식후대 반가임계통의 종자 생산(인공자가수분)

계통명	교배화지수	교배화수	종자수(립)	비고
08BRMS-201-4sF⊗	3	56	15	
08BRMS-202-3sF⊗	2	55	8	
계	5	111	23	

표 16. 배무채 BB#6의 JoCMS에 있어서 반가임계통의 자식후대 반가임계통의 종자 생산(망실 꿀벌 방사 채종)

계통명	공시주수	종자량(립)	비고
08BRMS-202-1~10sF	10	1.355	

표 17. 배무채 BB#6의 JoCMS에 있어서 반가임계통을 이용한 불임계통의 증식 (망실 꿀벌 방사 채종)

계통명	공시주수	종자량(mL)	비고
08BRMS-317(201과 동일 계통). MS	7	4501	
08BRMS-318(202와 동일 계통). sF	9	238	
계			

이상의 결과로서 JoCMS의 불임성 계통을 반가임성 계통으로 증식하여 이용할 수 있음을 확실하게 이해하게 되었다.

6) JoCMS BB#6 의 불임(MS) 및 반가임(sF) 계통과 배추와의 1대잡종 생산

과거에 배추와 강화순무의 자식계통을 교잡하여 1대잡종을 만들고 이 F1을 소포자 배양에 공시하여 많은 순계를 육성하였는데 그 중에는 자색이 아주 강하게 나타나는 계통(doubled haploid)이 여러 개 있다. 그 중 한 계통을 이용하여 자색 배무채 F1 품종을 육성코자 불임계 배무채와 인공교배를 하는 한편 망실에 두 계통을 공시하여 꿀벌방사에 의한 다량채종을 시도하였다. 그 결과(표 18) 망실에서는 모계의 포기당 약 10mL의 종자가 생산되었다.

표 18. 배무채 BB#6의 JoCMS를 이용한 배추와의 1대잡종 생산(망실 꿀벌 방사 채종)

계통명		모계 개체수	채종량(mL)	비고
모계	부계			
08BRMS-201-3 등	자색 배추(G-20)	10	92	4-2 망실
08BRMS-317-10 등	자색 배추(G-20)	12	134	3-2망실
계		22	226	

이 F1을 품종등록이 완료된 BB#1과 함께 비가림으로 재배하여 중채(배무채의 주 생산

양식으로서 파종 후 40일 전후에 수확하여 김치, 샐러드, 쌈 등 다양하게 이용)로 생산하였다. 그 결과 그림 4와 표 19에서 보는 바와 같이 잎 색이 자색이 아니고 녹색이었으며 BB#1보다 다소 크게 자랐다. 그리고 균일성에서 자색배추를 닮은 것은 한포기도 없고 모두가 배무채의 잎 형태를 나타내어 F1품종으로서의 손색이 전혀 없었다. 신품종으로 보급가능하다고 판단되었다. 그런데 현재로서 이해되지 않는 것이 있다. 과거에 순무의 자색계통과 교잡하였을 때는 F1이 자색으로서 자색이 우성으로 나타났었다. 그런데 이번에 공시한 자색계통과의 잡종은 자색이 열성으로서 녹색이었다. 어떻게 잎 색의 유전양식이 자색의 계통에 따라 다르게 나타나게 되는지 현재로서는 이해가 안 되는 것이다. 앞으로 좀 더 많은 연구가 필요할 것 같다.



그림 4. 배무채 BB1호(좌)와 BB1호 및 배추와의 F1(우)의 수확된 중채 모습

표 19. 배무채 JoCMS와 자색배추와의 1대잡종의 중채 특성

공시 계통	계통명	균일성	주중(g)	초장(cm)	엽폭(cm)	엽수	비고
BB#1	464	양	72	30.2	16.0	7.8	3회 재배
F1	463	양	82	37.6	14.6	8.6	

그런데 자색배추와의 잡종이 자색이 아니고 녹색의 배무채로 나타난 것은 전화위복의 행운이라고 생각된다. 자색 배무채는 조리시에 자색이 우려나기 때문에 극히 소량의 첨가물로 밖에 이용할 수 없을 것이다. 그러므로 주로 샐러드 등 생으로 이용하는 데에 국한될 수밖에 없다. 즉 다량소비가 안 되는 문제점이 있다. 녹색 배무채는 생으로 이용하는 용도뿐 아니라 기존의 김치와 차별화되는 맛좋은 물김치, 열무김치 등 다양한 김치 재료로 이용할 수 있는 장점이 있는 것이다.

이상의 결과를 토대로 5년차에는 망실의 벌을 이용한 불임계통의 반가임계통을 이용한 증식과 반가임계통의 증식을 도모하는 한편 전년도에 증식된 융성불임계통을 이용한 배추와의 1대잡종을 품종등록을 목표로 포장 수준에서 다량 채종코자 하였다.

먼저 망실에 전년도에 증식된 융성불임계통 6주와 반가임성 계통 4주를 함께 재식하

고 꿀벌을 방지하였다. 망실의 공간이 충분하고 과거의 시험에서 무와 배무채 간에는 쌍방 간에 전혀 교잡이 안 됨으로 무의 HCMS 계통 2주와 그 반복친 2주를 같이 재배하였다. 그리고 브로콜리도 배무채와 전혀 교잡이 안 될 뿐 아니라 무와도 전혀 교잡이 안 됨으로 브로콜리의 한 개체를 증식코자 같이 재식하였다. 그 결과 표 20에서 보는 바와 같이 무와 브로콜리는 충분한 종자가 생산되었는데 반해 배무채는 종자 생산성이 아주 저조하였다.

표 20. 망실의 꿀벌방사에 의한 응성불임성 배무채 종자 증식

작물명	구분	파종 명	공시주수	종자량	비고
배무채	모계(응성불임계)	09BR특-380	6	209립	09년도(137mL/7주)
	부계(반가임계)	09BR특-381	4	661립	09년도(133mL/9주)
무	모계(응성불임계)	09무F1-593	2	83.3mL	
	부계(가임계)	09무F1-565	2	65.3mL	
브로콜리	가임주	5159M-4-2-1	1	28.2mL	

지난해에는 표 20의 비고에서 보는 바와 같이 주당 19.6mL와 14.8mL가 생산되어 충분한 가능성을 확인하였는데 금년('10년도)에는 너무 적게 생산되어 경제성이 의심될 정도이다. 전체적으로 4월의 기온이 너무 낮아 온실에서 인공교배한 결과가 예년에 비해 아주 저조하였는데 이러한 4월의 기온과 관계가 깊은 것으로 이해할 수 있을지 모르겠다. 그러나 같은 망실에 넣은 무와 브로콜리는 충분한 종자가 생산된 것으로 보아 단순한 4월의 저온 때문만은 아닌 것 같은데 정확한 원인을 짐작하기가 현재로서는 어렵다.

한편 이 배무채의 CMS 계통과 배추와의 1대잡종을 생산코자 제2망실에는 각각 5주씩, 그리고 제3-1망실에는 배무채 MS계통 2주에 배추1주를 재식하고 꿀벌을 방사하였다. 그 결과 표 21에서 보는 바와 같이 제2망실의 배무채 CMS계통은 주당 평균 100립 정도의 종자밖에 생산되지 못하였고 제3-1망실에는 7.5립밖에 생산되지 못하였다.

표 21. 배무채 응성불임성을 이용한 배추와의 1대잡종 종자 생산(망실내 꿀벌방사)

망실	작물명	계통명	개체수	생산종자량
제2망실	배무채	09BR특-380	5	526립
	배추	10모-26(추3M-11)	5	8.3mL
제3-1망실	배무채	09BR특-376	2	15립
	배추	10모-23(경5M-71)	1	3.5mL

그리고 지난해에 망실에서 배무채 CMS 계통과 배추의 자색계간 F1 종자가 잘 생산되

었으므로 5차년도인 금년에는 포장규모의 대량생산을 시도하였다. 모계인 배무채와 부계인 자색계 배추를 2:1로, 즉 배무채 두 줄에 배추 한 줄로 하여 약 13a(1,300㎡=400평)에 재식하였다(그림 5 상단). 2010년도 4월은 기온이 낮았지만 5월의 고온하에서 비교적 양호한 생육상태를 나타내었을 뿐 아니라 양친 중 부계가 2-3일 정도 일찍 개화하여 F1 종자 생산에 유리한 것으로 판단되었다. 그러나 CMS 계통 중에 생장이 아주 불량하여 잎이 몇 장밖에 자라지 않은 상태에서 추대하고(그림 5 중간) 추대한 화지의 꽃은 10개 이상의 비정상적이 화사를 생산하면서(그림 5 하단) 종자를 생산하지 못하는 개체가 많이 나타났다. 재식된 27이랑 중 임의로 선택한 5이랑을 조사한 결과 그 비율이 26% 이상이었다(표 22). 그리고 정상적으로 자란 개체도 종자착생이 극히 불량하여 전체 채종량이 14kg 정도밖에 되지 않았다. 지금까지 2년간 망실에서 채종할 때와 비교하여 전혀 예상 밖의, 즉 배무채 반불임성을 이용한 불임계통의 증식과 이 불임계통을 이용한 배추와의 1대잡종 종자 생산체계가 이용 불가능한 것처럼 나타난 결과에 대하여 그 원인을 현재로서는 알 수가 없다.



그림 5. 배무채 CMS 계통과 자색계 배추와의 1대잡종 생산 광경

표 22. 배무채 CMS계통의 이상증상 개체 비율

공시개체 수	이상개체 수	비율	비고
450	118	26.2%	27이랑 중 5이랑 조사

한편 지난해에 망실에서 채종된 F1종자를 몇몇 종자 관련 업자에게 시험재배토록 하는 한편 우리 포장에 재식하여 성능을 조사코자 하였다. 그 결과 이 역시 예상과는 다르게 배무채의 자식주가 10% 이상으로 균일성이 없고 F1은 잎에 약간의 자색을 나타내어 더욱 균일성이 없을 뿐 아니라 배무채가 아닌 것처럼 보여 상품가치가 없었다.

라. 종자 다량생산 계통의 JoCMS화 및 이용

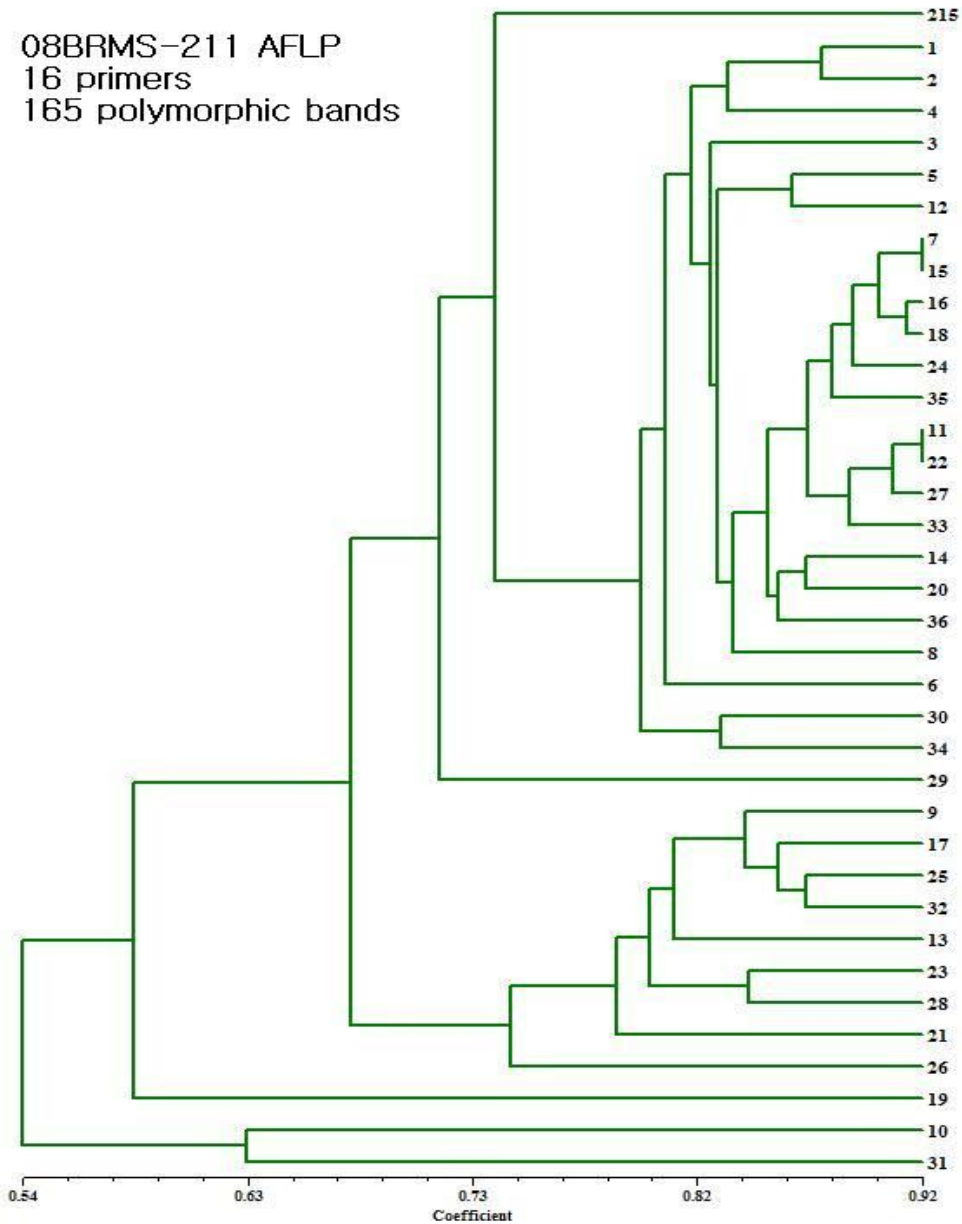
본 과제의 연구 과정에 얻은 획기적인 업적 중 하나는 아직까지 전 세계적으로 해결되지 못한 원연간 잡종의 저임성과 비 균일성의 문제가 한 번에 해결된 것이다(후술). 즉 임성이 높고 균일성이 뛰어난 속간잡종이 육성된 것이다. 이렇게 고 임성의 종자생산성이 향상된 계통은 많은 유전자의 변이에 의해 생긴 것으로 이해할 수 있다. 따라서 JoCMS로 만들면 가임성을 유발하는 어떤 유전자에도 변이가 일어나서 불임개체만 나타날 수 있지 않을까 하는 생각으로 JoCMS의 BB#6에 4개의 고임성 계통을 교잡하였다. 그리고 그 BC1세대에서의 MS 분리현상을 조사하였다(표 23). 그 결과 계통에 따라 차이는 있지만 4계통 모두 가임성 개체가 많이 나타나고 있어서 역시 JoCMS는 계통에 관계없이 완전 불임성 계통으로 유지할 수 없음을 알 수 있었다.

표 23. 배무채 개량 계통의 CMS BC₁F₁의 응성불임 개체 분리 현황

계통	개체수	응성가임	응성불임	반불임	미개화
CMS BB11호	25	4	-	7	14
CMS BB12호					
CMS BB13호	17	3	-	13	1
CMS BB 50호	42	10	6(3)	10	16
계					

이들 중 특히 JoCMS BB#50은 BC1에서 AFLP로 검정하여(테드로그래프 1) 반복친에 가장 가까우면서 응성불임성을 나타내는 3개체(08BRMS-9S, 27S, 32S)를 선발하여 모본으로 이용하였다(표 24). 그리고 반가임인 한 개체(08BRMS-1sF)를 자가수정 하였고 기타 계통과 개체는 모두 폐기하였다. 선발된 JoCMS BB#50의 3 개체 중 두 개체는 계속 불임성을 나타내어 안정적이었지만 한 개체(08BRMS-9S)는 생육 중간에 반가임성을 나타내어 응성불임성이 환경에 따라 반가임성으로 변하는 불안정성을 나타내었다. 그러나 이 3 개

체 모두에 반복친인 BB#50을 교잡하여 종자를 얻었는데 종자 생산성이 교배 화 당 평균 0.89립으로 JoCMS BB#6 보다 역시 많은 경향을 나타내었다(표 25).



덴드로그램 1. CMSBB6호에 교잡된 BB50호의 CMS BC1F1 계통에 대한 유연관계

그 중 융성불임성이 안정적인 한 계통과 불안정하였던 한 계통의 후대를 가을에 포장에 재배하였다. 그 결과 두 계통 모두 균일성이 반복친인 BB#50과 동일할 정도로 우수하였다. 즉 BC1에서 AFLP로 반복친에 유사한 개체를 선발함으로써 BC2에서는 이미 고정된 융성불임성 계통을 얻을 수 있음을 알 수 있었다.

표 24. 응성불입성 유도 세대의 BC1F1에서 나타난 반복친과의 유사도(BB50호)

개체번호	근연지수	불입성 관계
08BRMS-211-31	0.3515	-
19	0.4848	-
28	0.5212	S
26	0.5273	-
10	0.5394	F
13	0.5818	SF
23	0.5818	SF
25	0.5879	SF
21	0.5939	-
29	0.6000	S
9	0.6061	S(선발)
32	0.6121	S(선발)
12	0.6545	F
17	0.6606	S
3	0.6909	F
6	0.6909	-
33	0.6970	-
34	0.6970	F
1	0.7212	SF
5	0.7212	SF
30	0.7212	-
8	0.7273	SF
27	0.7273	S(선발)
11	0.7333	SF
22	0.7333	-
20	0.7455	F
7	0.7515	-
4	0.7576	-
14	0.7576	F
24	0.7576	-
36	0.7576	SF
2	0.7636	SF
35	0.7697	F
15	0.7758	SF
18	0.7758	F
16	0.7818	F

표 25. JoCMS BB#50의 BC2F1 체종 현황

계통명	교배 화지 수	교배 화 수	종자수(립)	교배화당 종자 수
08BRMS-211-9sFx215-2(BB#50)	8	213	239	1.12
08BRMS-211-27Sx215-2(BB#50)	11	292	289	0.99
08BRMS-211-32Sx215-2(BB#50)	12	273	151	0.55
08BRMS-211-9sF⊗	6	190	51	0.27

※JoCMS BB#50계통(08BRMS-211-9sF, 27S, 32S)은 BC1에서 AFLP 검정으로 반복친 유사 개체로 선발된 것임

그러나 응성불임성이 불안정한 계통은 폐기하고 안정된 계통만 이용하고자 성숙모본을 15주 선발하였다. 개화기에 조사한 결과 완전한 MS주는 한포기도 없었으며 반불임개체와 가임개체가 7:8이었다. 반불임중에도 꽃가루가 나오는 양이 서로 다르기 때문에 가장 적게 나오는 것을 sF₁, 중간정도를 sF₂, 거의 가임성과 비슷할 정도인 것을 sF₃로 나누어 조사하였는데 sF₁은 13번과 14번의 두 개체뿐이었다. 이 두 개체를 망실에 넣고(4-2 망실) 꿀벌을 방사하여 증식코자 하였으나 13번 개체와 14번개체가 각각 9립과 7립의 종자밖에 생산하지 못하였다. 즉 종자 다량생산 계통(BB50호)의 JoCMS화 및 이용연구는 더 이상 진행할 필요가 없을 정도로 조건이 좋지 않았다.

이상으로 본 과제가 시작되기 2년 전부터 7년 동안 심혈을 기울여 배무채에 도입코자 한 것의 JoCMS는 배무채에서 불안정성을 나타내어 이용할 수 없음을 알게 되었다. 그리고 이러한 불안정성의 원인이 무엇인지 아직도 구명되지 못하고 있다는 것이다.

2. 배추 CMS에 배무채 핵치환

가. 소송채 유래 CMS 이용

배추류의 소송채(*Brassica campestris* ssp. *rapifera* var. *komasuna*) 유래 CMS 계통을 보존하고 있는데 여기에 배무채를 교잡하여 배무채의 새로운 CMS 계통을 육성코자 하였다. 그런데 저온하에서 어린잎이 황화현상을 나타내면서 생장이 억제되어 혹시 배추의 Ogura CMS가 아닌가 하는 의심이 생겼다. Ogura CMS의 유전자 orf-138로 확인한 결과 전형적인 Ogura CMS였다. 따라서 더 이상 이용할 수 없다고 판단하여 폐기하였다.

나. 도입 배추의 CMS 이용

배무채의 세포질 응성불임성을 육성코자 가능한 모든 재료를 동원하고 있는데 우연히 일본에서 육성된 배추의 CMS 계통이 2008년에 입수되었다. 이를 GCMS로 임시로 명명하고 여기에 배무채를 교잡하였다. 배추와 배무채의 교잡에서 배추를 모본으로 할 경우는 종자가 잘 생기지 않는다. 따라서 CMS 배추 4주와 배무채 BB12호 4주를 격리된 망실에 넣고 꿀벌을 방사하여 자연교잡을 유도하였다. 다행히 배추의 개체에 따라 13~53립씩의

종자가 얻어져서 총계 141립의 F1종자를 수확할 수 있었다(표 26).

표 26. 배추 CMS 계통과 배무체 간 F1종자 생산 현황

배추 개체번호	종자량(립)	비고
07MS-925-3	13	
-4	30	
-5	53	
-6	45	
계	141	

이 F1을 20주 재배한 결과(08BRMS-301) 높은 균일성을 나타내어 3주를 선정하고 BC1 세대 종자를 얻고자 하였다. 그 중 한 개체(08BRMS-301-1S)는 인공교배로, 다른 두 개체는 반복친인 BB#12의 원종생산 망실에 넣고 꿀벌을 방사하였다. 그 결과(표 27) 인공교배에서는 전혀 종자가 생기지 않았고 망실에서는 2주에서 3립이 생산되었다.

표 27. 배추 CMS 의 핵치환을 위한 BC1 생산 결과

계통명	교잡	교배화수	종자수	비고
08BRMS-301-1Sx221-3(BB#12)	인공교배	11	0	
08BRMS-301-1Sx300-89(BB#12)	인공교배	44	0	
08BRMS-301-2.3S x BB#12	망실 꿀벌방사	-	3	2주

이 3립의 BC1 종자를 파종하여 모두 받아하였다. 따라서 BC2 종자를 얻도록 망실 꿀벌방사 및 인공교배를 실시하였다. 즉 3주 중 1번과 2번 개체는 6-1망실에 반복친인 BB12호와 함께 넣어 꿀벌을 방사하였고 남은 3번 개체는 반복친으로 인공교배를 실시하였다. 그 결과 표 28과 같이 BC2 종자가 망실에서도 1립, 인공교배에서도 1립밖에 생산되지 않았다. 한편 3차년도에 생산된 F1종자를 다시 3립 파종하여 2주는 인공교배에 공시하고 남은 1주를 위의 동일 망실(6-1망실)에 넣었다. 그리고 중국의 자라란이라는 팍초이 유래의 CMS(RCMS)에 중국계 태원2청이라는 배추 계통을 3회 교잡한 BC2 계통의 1주도 함께 동일 망실에 넣고 꿀벌을 방사 하였다. 그 결과(표 28) GCMS에서는 인공교배의 경우 전혀 종자가 생산되지 않았는데 망실에서는 37립의 BC1 종자가 생산되었다. 그리고 배추의 RCMS에서도 29립의 F1종자가 생산되었다.

이 2립의 BC2 종자(GCMS), GCMS의 BC1 종자 17립, 그리고 RCMS의 F1 종자 15립을 파종하였는데 BC2의 2립은 받아하지 않았고 BC1과 F1 종자는 각각 17립과 12립이 받아하였다. 곧바로 저온처리하고 개화를 유도하면서 반복친에 보다 더 유사한 개체를 선발

코자 AFLP를 수행하였다. 그런데 RCMS의 F1인 10BRMS-605-6번의 한 개체를 제외한 두 계통의 모든 개체(28개체)가 형태적으로 배무채를 닮은 데가 없고 완전한 배추처럼 보였다. 그리고 AFLP 결과(Dendrogram 2) GCMS계통은 17개체의 유사계수가 0.97 이내로 개체간의 차이를 거의 나타내지 않았다. 그리고 반복친인 배무채의 BB#12와는 0.83 이하로 거리가 멀게 나타났다. RCMS의 경우도 12개체 중 11개체가 아주 유사하고 오직 한 개체 10BRMS-605-6만 이들 11개체와 상당히 먼 거리를 나타내었고 반복친과의 사이에도 이 10BRMS-605-6번 개체는 다소 가깝게, 그리고 배추형의 11개체는 아주 멀게 나타났다. 그리고 모든 개체가 개화하여 화분유무를 조사한 결과 모두가 MS였으며 꽃 색이 10BRMS-605-6번 개체는 유백인데 다른 28개체는 모두 배추와 동일한 황색으로 나타났다 (표 29). 따라서 10BRMS-605-6번 개체를 포함한 2개체씩을 계통별로 선정하여 현재 교배 중인데 배추형인 3개체(10BRMS-603-7과 10BRMS-603-11 및 10BRMS-605-2)는 모두 배추와 유사한 꼬투리가 자라며 그 속에 종자는 없는 것 같이 보이고 있다. 반면에 10BRMS-603-6번 개체는 배무채와 유사한 꼬투리에 1-2개 정도의 배추가 자라고 있는 것 같이 보인다. 즉 F1 개체가 BC1 종자를 맺는 것 같이 나타나고 있어 앞으로의 결과가 주목된다.

표 28. 배추 CMS를 이용한 후대 채종

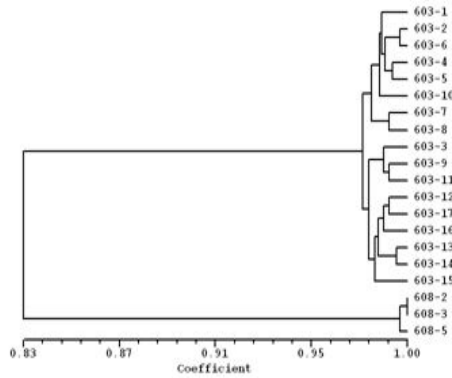
과종번호	계통명	교배			채종량 (립)	비고
		형태	화지수	화수		
09BRMS-429	08BRMS-301/1-2S (GCMS)	인공교배	11	148	1립	BC2
		망실 꿀벌이용	-	-	1립	
09BRMS-422	07-33-125-3 (GCMS)	인공교배	5	101	0	BC1
		망실 꿀벌이용	-	-	37	
10MS-56	태2M-21/1-3/1 (RCMS)	망실 꿀벌이용	-	-	29	F1

표 29. 배추 CMS의 BC1과 F1의 MS 발현

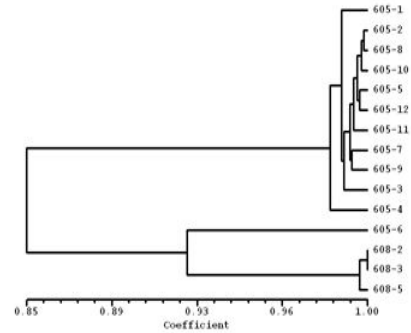
과종번호	계통명	세대	과종 립수	발아 수	MS 개체수	외형	화색	비고
10BRMS-603	GCMS-BB#12/BB#12	BC1	17	17	17 (100%)	배추	황색	
10BRMS-605	RCMS-BB#12	F1	15	12	12 (100%)	배추	황색	1주예외
-609	GCMS-BB#12/BB#12 /BB#12	BC2	2	0	-		-	

1주 예외 : 12주 중 1주(6번)만 외형이 배무채형이고 화색이 유백색임

603, 608



605, 608



덴드로그램 2. 배추 유래 배무채 CMS 계통의 AFLP에 의한 반복친 유사성

어떻게 이런 현상이, 즉 배추의 CMS에 배무채를 교잡하여 얻은 BC₁ 또는 F₁ 개체의 대부분이 배추를 닮고 배무채를 닮은 개체는 오직 한 개체뿐이라는 사실이 어떻게 해서 나타나게 된 것인지 이해가 잘 안 된다. 배무채라는 식물이 처음으로 만들어진 신종임으로 배추와의 잡종은 잘 얻어지지 않는다는 사실만 상호 교잡으로 알았을 뿐 그 후대에 대하여는 큰 관심 없이 지나쳤다. 그리고 처음으로 잡종을 보았을 때 그것이 배추를 닮았더라도 별 다른 의심 없이 당연히 잡종이겠지 하는 생각으로 후대를 얻고자 교배를 하였다. 그런데 표 29와 덴드로그램 2의 결과를 보면서 진정한 잡종은 10BRMS-603-6번 개체 하나뿐이고 다른 개체들은 모두 배추라는 생각을 하게 되었다. 그리고 이 배추는 아마도 위수정(Apomixis)에 의해 생산된 것 같다는 것이다. 따라서 GCMS의 BC₁도 사실은 F₁이 위수정으로 생긴 배추였고 여기에 다시 배무채를 교잡하였을 때도 역시 위수정으로 배추가 생산된 것으로 이해하는 것이 옳다는 생각이다. 이러한 추측에 대하여 앞으로 면밀한 검토가 있어야 할 것으로 생각되며 만일 위수정이 확실하면 배무채는 배추의 위수정 유도용 신 자원으로써 그 가치를 인정받게 될 것이며 이는 뜻밖의 큰 성과가 될 수도 있을 것이다.

3. 갓 Polima CMS를 이용한 배무채 CMS 계통 육성

앞에서 본 JoCMS의 경우 BC₂F₁에서 많은 가임개체가 나타났었다. 당시에는 이것이 혹시 무에서 유래된 CMS의 회복유전자 때문일까라는 생각을 하였다. 사실 회복유전자 때문이라면 F₁에서 전 개체가 가임성으로 회복되어야 하는데 반대로 모두 불임성이었다. 그리고 BC₁에서 일부 개체가 불임성으로 나타났는데 이러한 현상을 무의 회복유전자 때문이라고 하기에는 유전 이론상 다소 무리라고 생각된다. 그러나 혹시나 하는 생각을 하

지 않을 수 없었다. 따라서 역시 갖에 도입된 Polima CMS 계통을 다시 순천대 노일선 교수로부터 분양받았다. 그리고 배무채 BB 1호, 6호, 및 12호를 교잡하여 F₁ 종자를 생산하였는데 많은 교배에도 불구하고 종자량이 극히 적었다. 이들을 파종한 결과 BB12호의 7립은 전혀 받아하지 않았고 BB1호는 3립 중 1립이 받아하였다. BB6호는 30립 중 19립이 받아하였는데 개화하였을 때 조사한 결과 모두 MS로 나타났다(표 30).

표 30. 갖 Polima CMS(JpCMS) 계통에 대한 배무채 계통별 F₁ 종자 및 식물체 확보 내역

구분	부계(반복 친)		
	BB 1호	BB 6호	BB 12호
채종량	3	101	7
파종량	3	30	7
확보 개체 수	1(MS)	19(MS)	0

이렇게 확보된 두 계통의 F₁에서 BC₁F₁종자를 얻고자 각각의 계통에 반복친을 교잡하는 한편 새롭게 BB11호, 12호, 13호를 교잡하였다. 그런데 JoCMS 때와는 다르게 BC₁ 채종과 다른 계통과의 F₁조합 채종 모두 거의 종자가 생기지 않았다. 많은 수의 교잡을 실시하여 얻은 결과가 표 31이다. 이 CMS 계통은 본래 꽃잎이 서로서로 흩어지는 등 JoCMS와는 다르게 비정상이었었는데 BC 종자가 적게 생긴 것이다. 지속적인 여교잡으로 종자생산성이 반복친과 비슷하게 될 것으로 기대하여 종자생산성이 높은 계통의 F₁을 주로 이용하였다.

표 31. Polima CMS 계통의 채종 성적

파종번호	계통명	BB11	BB12	BB13	BB50	BB6	BB1
07BRMS-24	(JpCMS×BB#6)-2	3/176 (F1)	2/46 (F1)	-	2/125 (F1)	-	-
	-4	-	5/83 (F1)	-		-	-
	-5	-	-	3/121 (F1)	-	-	-
	-6	-	-	-	-	4/223 (BC1)	-
07BRMS-25	(" ×BB#1)-1	-	-	-	-	-	7/193 (BC1)

X/Y : 종자수/수분화수

이들을 모본으로 파종하고 개화기에 꽃가루 유무를 조사한 결과 대부분이 가임성을 나타내었고 BB#12와 교잡된 BC1 한 개체가 반가임성이었다(표 32). 세대를 진전시켜 BC2 및 고임성 계통과의 BC1 종자를 얻고자하였는데 계획대로 될 것 같지 않았다. 그러나 반가임인 개체에 BB#12를 교잡하여 BC2를 생산하는 한편 다시 BB#50을 교잡하여 F1 종자를 얻었다. 그 결과가 표 33이다. BB#12를 여교잡하여 BC2를 생산하려는 교잡에서는 교배화당 종자 수가 0.28로 상당히 낮았다. 그러나 BB#12의 BC1에 처음으로 교잡한 BB#50의 경우는 많은 경우 교배화 당 종자수가 1.19로 상당히 많았다.

표 32. Polima CMS BC1 계통의 임성 조사

계통명	개체수	임성
JpCMS BB#50	2	가임
JpCMS BB#12	1	반가임
JpCMS BB#11	2	가임
JpCMS BB#13	2	가임
JpCMS BB#6	2	가임

표 33. Polima CMS BC1 계통의 반가임 개체를 이용한 교잡의 종자 생산 현황

계통명	세대	교배화지수	교배화수	종자수	교배화당 종자수
08BRMS-227-1sFx300-89(BB#12)	BC2	5	162	46	0.28
08BRMS-227-1sFx215-2(BB#50)	F1	4	139	165	1.19
08BRMS-227-1sFx215-3(BB#50)	F1	1	35	10	0.29

한편 이 계통의 종자 생산성이 F1에서부터 아주 낮았기 때문에 다시 고임성 계통으로 새로운 교잡을 시도하여 후대를 생산코자하였다. 그 결과(표 34) 종자 생산성이 역시 낮게 나타났다. 즉 BB#13의 BC1 세대 및 BB#50의 F1 모두 교배화 당 종자 수가 0.24 이하로 아주 낮았다.

이렇게 낮은 종자 생산이 혹시 인공교배의 불충분한 수분 또는 수분의 불확실성 때문일지도 모른다고 생각되어 망실에 넣고 꿀벌을 방사하여 채종하였다. JpCMS BB#12의 F1을 망실에 그 반복친 BB#12와 함께 넣고 꿀벌을 방사하여 약 20일간 수분하였다. 그 결과가 표 35인데 역시 종자 생산량이 많지 않았다.

두 계통 중 우선 계통번호08BRF1-250(JpCMS BB#12)x263(BB#12)의 후대를 파종하고 MS 발현관계를 조사한 결과 6주 중 불임개체는 1주뿐이었으며 5주가 모두 가임이었다(표 36). 이상의 결과로 JpCMS도 JoCMS와 동일하게 세대가 진행될수록 가임주가 많이

발생하여 1대잡종 생산을 위한 MS계통으로 이용할 수 없음을 알 수 있다.

표 34. Polima CMS계통의 세대 진전

계통 명	세대	교배화지 수	교배화 수	채종량 (립)	교배화당 종자수
08BRF1-248-1Sx216-5(BB#13)	BC1	7	183	19	0.10
08BRF1-248-2Sx216-5(BB#13)	BC1	7	196	14	0.07
08BRF1-248-1Sx215-2(BB#50)	F1	9	230	14	0.06
08BRF1-248-2Sx215-2(BB#50)	F1	5	137	33	0.24
계	-	28	746	80	0.11

표 35. Polima CMS BB#12의 망실이용 세대 진전(BC1F1 생산)

계통 명	공시주수 (모계+ 부계)	채종량(립)	비고
08BRF1-250(JpCMS BB#12)x263(BB#12)	2+ 10	134	
08BRF1-295(JpCMS BB#12)x263(BB#12)	2+ 10	22	
계	4+ 10	156	

표 36. Polima CMS BB#12의 망실채종(BC1F1) 계통(BB#12)의 CMS 발현

과종번호	계통명	공시주수	불임주(개체번호)	가임주
09BRMS-427	08BRF1-250x263	6	1(4번 개체)	5

지금까지 연구한 결과를 종합하면 갓에서 유래된 2종의 CMS는 근원이 불명확하며 갓에서는 정상적으로 잘 발현되고 있지만 배무채에 도입될 때는 반불임 개체가 많고 결국 70% 이상의 가임주를 생산하여 이용할 수 없는 것으로 나타났다. 이러한 가임주의 출현이 배무채의 핵 내에 이들 불임성의 발현에 영향을 미치는 어떤 양적 유전자가 작용하기 때문이라고 생각되지만 그 이상의 어떤 원인도 현재로서는 추측하기 어렵다. 배무채를 CMS로 만드는 연구는 현시점에서 실패한 것으로 간주할 수밖에 없는데 앞으로는 진정한 Ogura CMS로 밝혀진 배추의 CMS를 도입하는데 중점을 둘 계획이다.

제 2 절 신 배무채 계통 육성

1. 소포자 돌연변이 유래 계통의 안정화 검증

배무채가 처음 육성되었을 때 비록 속간잡종이지만 종자 생산성이 어느 정도 높아서 작물로써의 경제성이 있고 포장에 재배하였을 때 실용상 지장이 없을 정도의 순도를 가지고 있다고 판단하였다(이 등, 2002). 그러나 대부분의 원연간 잡종과 같이 여전히 종자 생산성이 기존 식물보다 낮으며 순도 역시 생육 초기에는 상당히 낮게 보인다. 이러한 속간잡종의 특성을 어떻게 하면 개선할 수 있을까하고 고심하였으나 돌연변이 육종 밖에 어떤 가능한 수단이 없다고 생각되었다. 그런데 돌연변이 육종 역시 과거의 일반적인 종자나 식물체에 변이체를 처리하는 방법은 그 후대를 고정하는 시간이 너무 길고 선발의 어려움 때문에 쉽게 응용할 수가 없었다.

다행히 소포자 배양이 잘 되는 식물에서 소포자 배양 중에 돌연변이체를 처리하여 당대에 고정된 변이 계통을 다량으로 얻을 수 있는 기술이 보고되었고(Swanson et al, 1989) 우리 연구실에서도 배추, 양배추에서 확립되어 있다(Jeong and Lee 1997). 따라서 배무채에 이 기술을 적용하여 변이계통을 얻고자 하였다.

배무채의 소포자 배양은 어느 정도 가능하여(Hong and Lee, 1995) 가장 많은 배가 출현할 때는 배양 접시당 약 8개까지 배를 얻을 수 있다. 그러나 평균적으로 2~5개 정도의 배가 얻어진다. 이 수준으로는 LD₅₀을 기준으로 한 변이체 처리시험을 수행하기 어렵다. 따라서 보다 많은 배가 얻어질 수 있는 배양기술을 확립코자 노력하였으며(후술하는 소포자 배양 기술 개선연구 참조) 그 과정에 돌연변이체 처리시험도 병행하였다. 그 결과 일부 돌연변이체 처리 시험에서 얻어진 배를 식물로 발달시킬 수 있었으며 돌연변이체 처리 후 발생한 배로부터 분화된 식물(Mi₁)의 후대(Mi₂) 중에 종자 생산성이 획기적으로 향상된 계통이 있었다. 이들(Mi₃)을 가을에 포장에 재배한 결과 아주 높은 균일성을 나타내었다(표 37).

이처럼 종자 생산이 획기적으로 개선된 계통을 우선 BB 11호, 12호, 13호, 14호로 명명하고 포장의 자연조건에서 종자생산성을 확인코자 시험하였다. 배추와 무를 교잡하여 최초로 얻었던 계통 OV115C(과중번호 07BRop-816)를 종자 수가 적지만 본 시험에 같이 포함하였다. 그리고 대비 종으로써 기존의 BB 1호와 4호를 공시하였다. 난괴법 2반복으로 시험하였는데 OV115C 계통은 4주가 모두 너무 연약하여 도저히 비교가 안 될 정도였었다.

종자의 성숙기에 꼬투리를 따서 본 결과 대비종인 BB1호와 4호는 2~3개 정도의 종자만 성숙하고 있으며 나머지는 중간에 퇴화되었다. 그런데 돌연변이 유래의 4계통은 대부분의 종자가 성숙하고 있었으며 중간에 퇴화하는 것이 거의 없었다(그림 6). 종자가 성숙되어 수확기가 되었을 때 임의로 각 계통별 반복별로 꼬투리 100개씩을 따서 종자수를 헤아려 보았다(표 38). 기본종인 OV115C는 전체 꼬투리수가 25개밖에 안되었으며 여기서 얻은 종자는 모두 19립이었다. 대비종인 BB1호와 4호는 각각 232립과 163립으로서 꼬투

리당 평균 2.4립과 1.6립 정도였다. 이는 지난 몇 년간의 포장채종시험 결과에서 경험할 수 있었던 것과 아주 비슷한 수준이었다. 그런데 돌연변이 유래 계통은 적게는 756립에서 많게는 884립으로 협당 평균 7.6에서 8.9립이었다. 한 꼬투리의 배주 수가 10~12개인 것을 감안하면 대부분의 배주가 수정되고 수정된 후 그림 6에서본 바와 같이 퇴화 없이 성숙하였음을 알 수 있다.

표 37. 소포자 돌연변이 계통(Mi₂)의 인공교배 종자 생산성과 Mi₃의 균일성

과중번호 (Mi ₂)	돌연변이제 처리유무 ^Y	채종 개체수	자식 종자량	교배화당 최대 종자수		후대(Mi ₃) 의 순도	비고
				개체번호	종자수(립)		
06BR-603⊗	처리	5	464	5	7.5	중	맛 양
604⊗	처리	2	122	1	3.8	“	
605⊗	처리	5	389	1	3.5	“	맛 양
606⊗	처리	3	1.101	1	6.8	극양	신미무, 세력극강
607⊗	무처리	1	6	-	-	-	
608⊗	처리	1	50	-	-	중	맛 양
609⊗	처리	2	66	-	-	“	
610⊗	처리	5	566	1	6.2	극양	맛 맵고 달다
634⊗	처리	1	56	-	-	양	
635⊗	무처리	1	2	-	-	-	
649⊗	처리	1	10	-	-	중	
658⊗	무처리	2	210	1	6.6	극양	

^Y : 돌연변이제 n-nitroso n-methyl urethan을 소포자 배양 용액에 0.02 μ m로 혼합

배무채는 초세가 무성하기 때문에 10a당 2000주 기준으로 이랑 너비 1.2m에 포기 사이 0.4m로 정식하였다. 따라서 각 계통별 생산량을 2000주로 환산하여 10a당 수량을 추정하였다. 대비종 BB1호와 4호는 60L내외인데 반해 돌연변이 계통은 107L 내지 164L정도였다. 배주 1대잡종의 경우 10a당 60L정도의 종자 생산성이면 충분히 경제성이 있는 것으로 알려져 있다. 따라서 BB1호를 신 채소 작물 배무채로서 종자를 보급할 수 있다고 생각하였던 것인데 예상 외로 돌연변이 신 계통 중 최고 164L까지 생산되는 계통이 얻어지게 된 것이다.

표 38. 배무채 주요 계통 및 신 계통의 포장재배에서의 종자 생산량

파종번호	Mi ₂ 의 번호	계통 번호	공시 주수	채종 량			
				100협당 (립)	전체 (mL)	개채당 (mL)	10a당 (L)
07BRop-810	06BR-603	BB 11호	30	765	1.790	60	119
-811	606	BB 12호	40	884	3.280	82	164
-812	610	BB 13호	40	756	2.810	70	140
-813	658	BB 14호	40	798	2.140	54	107
-814	-	BB 1호	39	232	1.140	29	59
-815	-	BB 4호	21	163	630	30	60
-816	-	OV115C	4	19	-	-	-
계, 평균		8계통	240	600	11.790	54	108



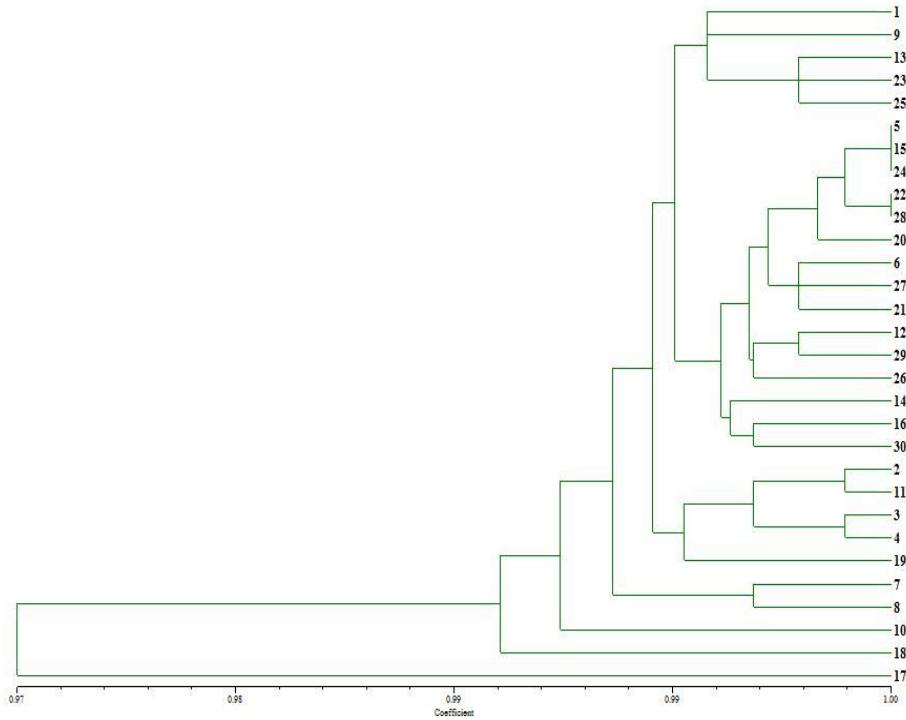
그림 6. 배무채 주요 계통의 꼬투리 내 성숙 및 퇴화 종자

녹색 종자 : 성숙. 갈색 종자 : 퇴화

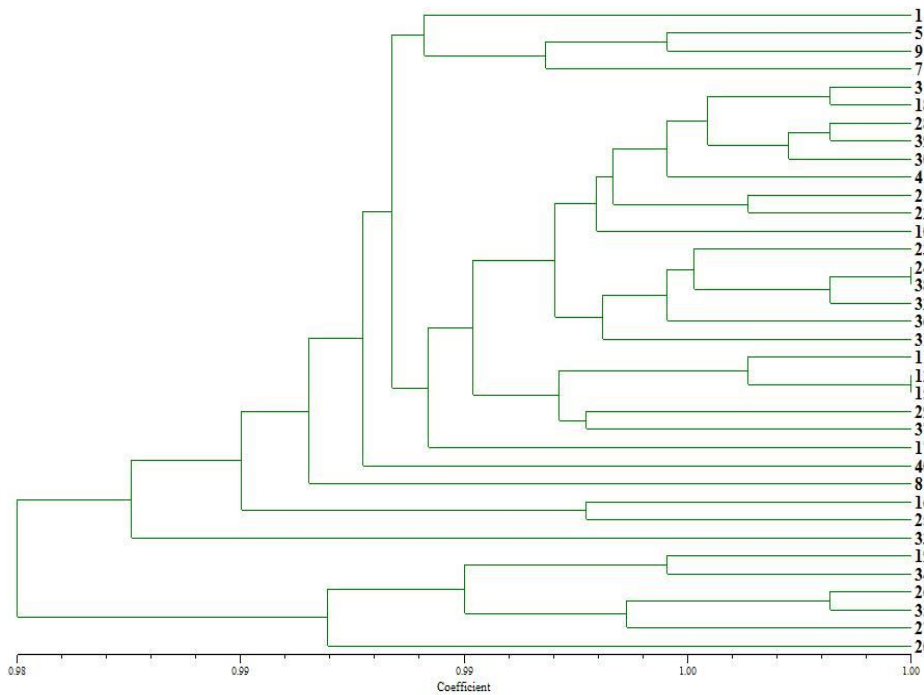
이 양은 배추나 무의 일반 고정종 생산량과 비슷한 것으로서 배무채가 완전한 신 식물로, 즉 식물로서의 진화가 끝난 신종 식물로 정착할 수 있게 된 것이다. 종간 또는 속간의 인위적인 원연간 잡종이 일반 자연속의 식물과 동일하게 되지 못하는 이유가 크게 두 가지인데 그 첫째가 종자 생산성이 낮다는 것이다. 즉 잡종식물에서는 수정된 배주의 대부분이 성숙한 종자로 자라지 못하고 중간에 퇴화한다는 것이다(Howard, 1938; Tokumas & Kato, 1988; Prakash et al. 2009). 그런데 여기서 육성된 배무채가 이러한 원연간 잡종의 가장 중요한 문제점을 완전히 해결하게 된 것이다.

그 두 번째 문제점은 잡종의 형질이 고정되지 못하고 지속적으로 분리한다는 것이다. 즉 균일성이 낮다는 것이다. 따라서 우리의 종자 생산성이 개선된 계통의 균일성을 알아보고자 하였다. 배추에서 쌓은 경험으로 AFLP를 각 계통별로 수행하였다. AFLP primer

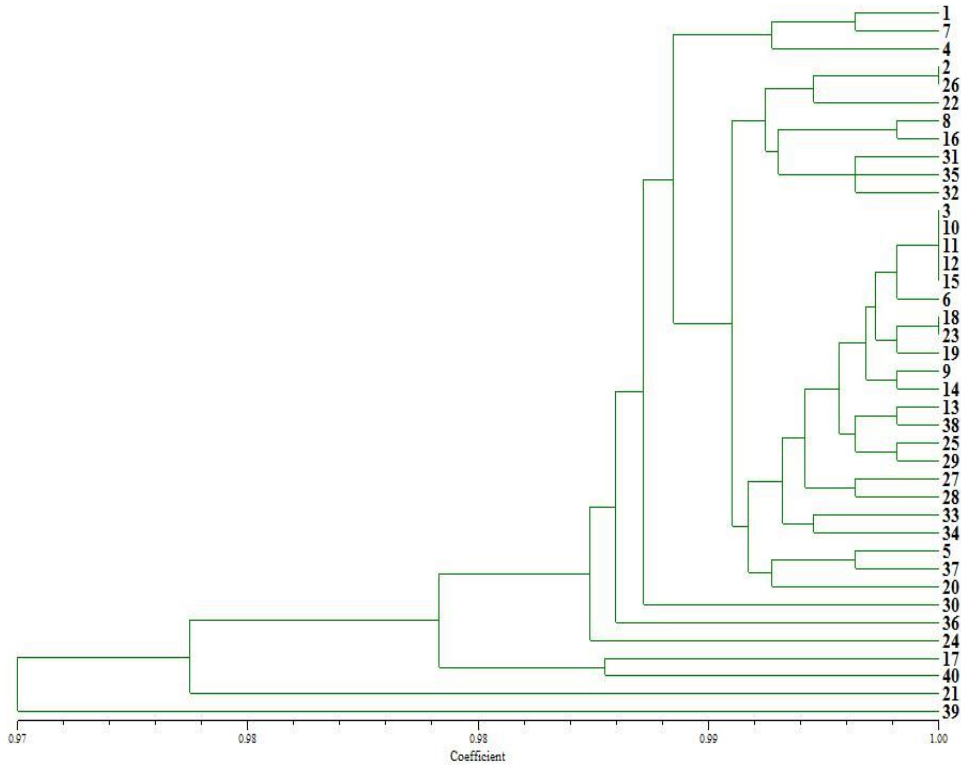
는 E-ACC/M-CAA~CGG의 9조합을 이용하여 계통별로 수행하고 그 결과를 토대로 덴드로그래를 그리는 한편 개체 간에 나타나는 polymorphism 밴드 수로써 그 비율을 산출하였다(덴드로그래 3, 표 39).



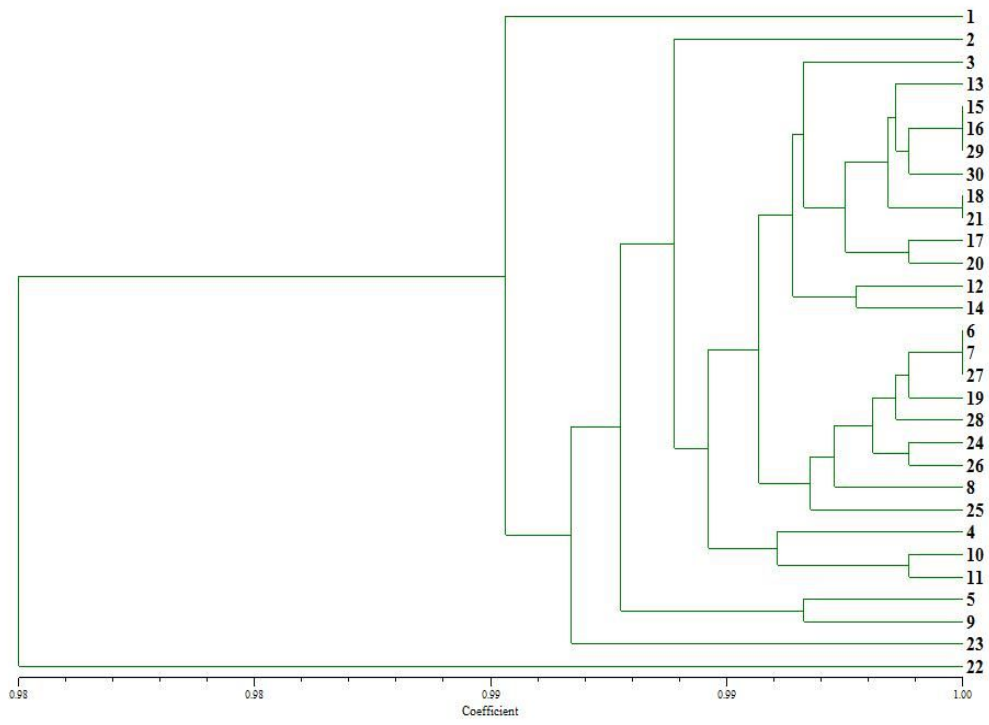
덴드로그래 3-1. 06BRop-810(BB11호)



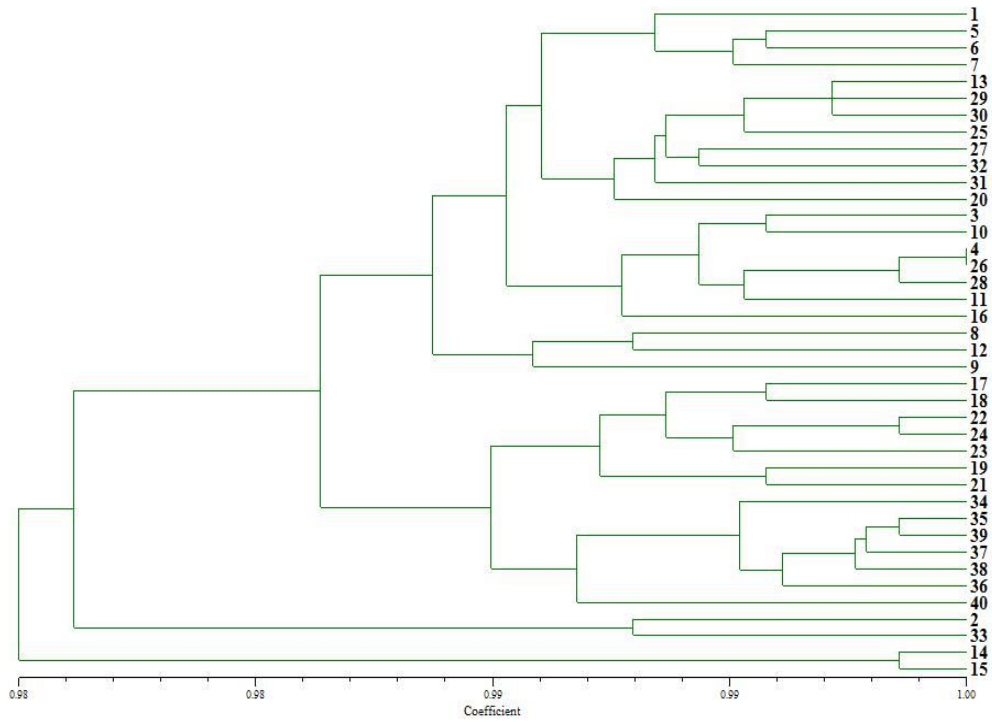
덴드로그래 3-2. 06BRop-811(BB 12호)



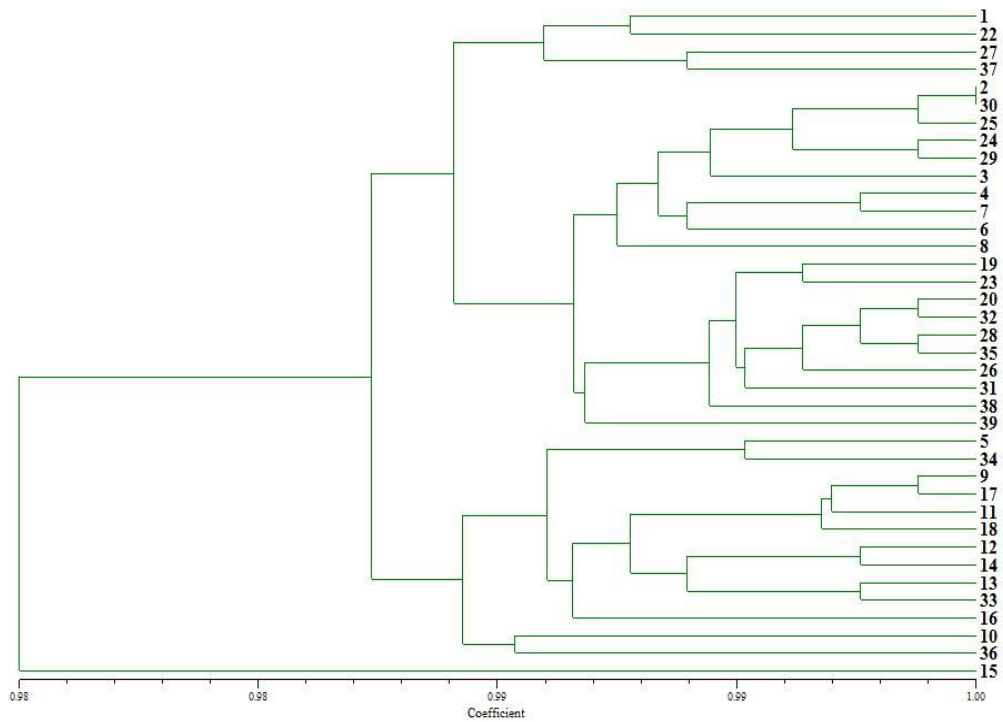
덴드로그램 3-3. 06BRop-812(BB 13호)



덴드로그램 3-4. 06BRop-813(BB 14호)



덴드로그램 3-5. 06BRop-814(BB 1호)



덴드로그램 3-6. 06BRop-815(BB 4호)

덴드로그램 3. 배무체 주요 계통의 AFLP에 의한 유연관계

표 39. 배무채 주요 계통별 AFLP 결과 나타난 다형성 밴드 수와 비율

과종 번호	계통명	검정 개체수	AFLP band 수		다형성 밴드율(%)
			전체	다형성	
07BRop-810	BB 11호	30	731	31	4.2
811	12	36	673	25	3.7
812	13	40	717	47	4.3
813	14	30	729	29	4.0
814	1	40	672	30	4.5
815	4	38	919	50	5.4

대비종인 BB 1호와 BB 4호는 우선 덴드로그램에서 개체 간 분포가 넓은 것을 볼 수 있다. 그리고 다형성 밴드율이 각각 4.5와 5.4로 나타나서 다소 높다는 인상을 주고 있다. 돌연변이 유래 계통은 모두 4.3 이하로 순도가 높은 것을 볼 수 있다. 이로서 BB 11, 12, 13, 14호는 균일성면에서도 대비종 보다 많이 개선된 것을 알 수 있다.

다음에는 이 계통들의 특성을 조사하여 기존 계통과의 차이점을 밝히고자 하였다. 우선 봄재배의 특성을 조사한 것이 그림 7와 표 40이다. 계통별 균일성 면에서 기존 계통과 개량된 계통 간에 상당한 차이를 보였다. 즉 기존 계통 중에는 BB1호가 비교적 균일한 반면 다른 BB2호, BB4호, BB6호는 모두 중정도의 균일성을 보였다. 개량된 계통 BB11호, BB12호, BB13호는 후술하는 BB50호와 함께 모두 아주 균일하였다(그림 7). 기타 외형상의 특성은 눈으로 보아 서로 구분하기가 어려울 정도로 비슷하였는데 실제로 주요형질에 대하여 조사한 결과도 계통 간 차이를 발견하기가 어렵다. 특별히 BB1호, 2호, 4호의 잎이 개량계통보다 길고 BB1호와 2호의 근중이 다소 큰 것 같이 보이지만 이 계통들은 모두 균일성이 낮기 때문에 조사주의 선택 상 잘못에 기인하는 것이라고 생각된다.

이상의 결과는 배추와 무 간의 속간잡종이 돌연변이 유도에 의해 일반 식물처럼 유전적으로 안정화된 세계 최초의 사례이며 본 과제를 통해 이룩한 뜻밖의 큰 성과인 것이다 (Theoretical and Applied Genetics 122:885-892).



그림 7. 배무채 재배 광경(좌: 봄, 중앙 라벨: BB 50호. 우: 가을, BB12호 와 50호)

표 40. 배무채 주요 계통의 봄 재배 때 특성

과종번호	계통명	주중 (kg)	엽중 (kg)	근중 (kg)	엽장 (cm)	엽수 (장)	순도	화경장 (cm)
08BR특 167	BB#1	1.5	1.4	0.13	47	17	중상	9
168	2	2.0	1.9	0.13	46	18	중	18
169	4	1.4	1.3	0.10	47	15	중	23
170	6	1.2	1.1	0.10	40	16	중	10
171	11	1.5	1.4	0.10	40	18	상	13
172	12	1.3	1.1	0.10	40	14	상	17
173	13	1.6	1.5	0.10	40	19	상	14
174	50	1.5	1.4	0.10	41	18	상	12

08. 04. 12 과종. 08, 06, 11 조사

2. 우량계통의 돌연변이 유도 선발

이상 개량 계통들의 외관상 특성이 기존 계통과 흡사하여 F₂에서 다양하게 형질이 분리하여야 하는 F₁조합의 친으로는 부적합하였다. 따라서 계속적으로 기존계통의 소포자 배양 및 소포자 돌연변이를 유도하여 형질이 크게 다른 계통을 얻고자 하였다. 지금까지 얻은 많은 소포자 돌연변이 계통 중 형질이 고정되고 기존 계통과 크게 다른 것이 4계통 선발 되었다(표 41). BB#50을 소포자 배양하여 얻은 계통 중 한 계통(09BR특-399), BB#4를 소포자 배양하여 얻은 계통 중 한 계통(09BR특-402), BB#12의 소포자 배양 때 돌연변이제 처리 후 얻은 계통 중 한 계통(09BR특-448), 그리고 OV115C-4xOA20-2-7(F1)의 소포자 배양 때 돌연변이제 처리 후 얻은 계통 중 한 계통(09BR특-450)이 현재까지의 계통들과는 확연히 구분되는 특성을 나타내어 선발할 수 있었다(그림 8).

그런데 돌연변이 초기에 형질이 크게 다르더라도 유전적으로 안정화되지 않으면 변이된 형질이 유지되지 못하고 세대가 거듭됨에 따라 나쁜 방향으로 분리하여 결국에는 선발된 계통으로서의 가치를 잃게 된다(종속 간 잡종의 본질). 따라서 안정화를 가늠하는 한 기준으로 종자 생산성을 조사하였다(표 42). 이미 안정화된 비비12호와 50호 유래의 두 계통은 종자 생산성이 여전히 높아 안정된 상태에서 변이가 생겼음을 알 수 있다. 그러나 그 외 다른 2계통은 종자 생산성이 여전히 낮게 나타나 아직 안정화되지 못한 상태에서 외관상 나타나는 형질에만 변이가 생긴 것으로 판단되었다.

이러한 특이형질 계통의 특성을 다시 봄재배에서 조사코자하였다. 전체 15계통을 100주씩 4월 20일에 50공 트레이에 과종하여 육묘한 후 2반복으로 정식하였다. 육묘는 1중 PE 하우스내에서 초기 10일간은 야간에 PE 터널로 재배하였다. 그리고 25일간 육묘한 후 5월 15일에 정식하고 흑색 PE필름으로 멀칭하였다. 생육 중기에 관찰하였을 때 비비12호의 변이계통은 역시 엽색이 특이하게 황녹색이었다(그림 9).

표 41. 배무채 소포자 돌연변이에 의한 신 계통의 주요 특성

과종번호	BB번호	계통명	주요 특성
09BR특-399	50	BB#50-7M-10-1⊗	키가 크고 결구성이 강함
09BR특-402	4	OA20-2Bop-2-3M-2-1⊗	유묘의 생장이 늦고 지상부가 땅에 붙어서 자람
09BR특-448	12	BB#12-2Mn2-7⊗	잎색이 연한 황색을 나타냄
09BR특-450	-	(OV115CxOAm4)-2M-18-1	잎이 크고 엽연 결각이 심함

※Bop : bulk로 방임수분. Mn2 : 소포자 배양 때 NMU 0.02 μ M 처리



그림 8. 배무채의 선발 특이 형질 계통(좌로부터 09BRMS-399, 495, 498, 503)

표 42. 소포자 돌연변이에 의한 신계통의 체중 현황

계통번호	BB번호	계통명	주수	교배화지수	교배화수	종자수	교배화당종자수
08BR특-267⊗	2	OABJ-1M-18-1,2⊗	2	12	425	113	0.27
08BR특-270⊗	50	BB#50-7M-10⊗	1	5	183	499	2.73
08BR특-284⊗	4	OA-20-2Bop-3M-2-1⊗	1	15	484	209	0.43
07BRMC-119-7⊗	12	BB#12-2Mn2-7⊗	1	7	168	467	2.78

그 후 아직 영양생장이 불충분한 상태에서, 즉 과종 후 62일째인 6월 22일에 대부분의 계통이 추대 또는 개화성기로(표 43) 수량 조사가 불가능하였다. 가을재배에서 선발된 특이 계통의 봄재배 특성 중 추대성 외에는 파악할 수가 없었다. 현재 보급 중인 BB12호, 그와 유사한 계통 BB50호 및 BB50호의 변이계통 등 3계통이 추대를 시작하고 있는 단계로 다른 계통 보다 추대가 늦은 것으로 나타났으며 비비12호의 변이계는 개화 성기로 다른 계통보다 오히려 추대가 빠른 것으로 나타났다. 추대가 늦은 3계통에 대하여 주중, 잎수 및 측지수를 조사했는데 주중이 1.7Kg정도로 역시 충분히 자라지 못한 상태에서 추대

를 시작하고 있었으며 측지가 많이 발생하고 있었다(표 44).



그림 9. 배무채 봄재배의 광경

표 43. '10 봄 배무채 생검 결과(특이 계통 중심)

과종 번호	품종명	계통명	균일성	추대성	비고
10BR봄 -511	CMSBB#6	(JoMSBB#6-2S-11s(3-1 망op)	균일	추대중	수량조사 불가
512	RP	JoMSBB#6-6sF	불균일	추대중	"
513	BB#4	OA20-2-7oP-2B	불균일	추대중	"
514	BB#4	OA20-2-7oP-5B	균일	개화시	"
515	F1	(JoMSBB#6xGH21M-249-B)	불균일	개화	" ,배추와 F1
516	BB#12	BB#12-1-3-20B	균일	추대시	수량조사
517	BB#50	BB#50-12-3op(5-2 망)	균일	추대시	"
518	BB#6	BB#6B-2(YF) ² -B1	균일	추대중	수량조사 불가
519	CMSBB#50	27SxBB#50-12-2	균일	만개	"
520	BB#50변이체	BB#50-7M-10-1⊗	균일	추대시	수량조사.
521	변이체	OA20-2Bop-2-3M-21⊗	균일	만개	수량조사 불가
522	BB#12변이체	BB#12-2Mn2-7⊗	균일	만개	수량조사 불가
523	BB#4변이체	BB#4-2-1⊗	중	개화시	수량조사 불가
524		BB3M-18-1-1⊗	균일	개화시	수량조사 불가
527	BB#13변이체	BB#13-B15-1⊗	중	개화시	수량조사 불가
528	열무	시판 중	불균일	개화기	개화기 불균일

44. '10 봄 배무채 생김 중 만추대 계통의 수량 조사

과종 번호	품종명	계통명	주중 (Kg)	외엽수 (매)	측지 수	비고
10BR봄 -516	BB#12	BB#12-1-3-20B	1.7	17	7	BB#50보다 더 맵다 김치용으로 적합
522	BB#12 변이체	BB#12-2Mn2-7(⊗)	-	-	-	개화 성기
517	BB#50	BB#50-12-3op(5-2망)	1.7	15	9	맵지 않고 맛 좋다 샐러드 용 적합
520	BB#50 변이체	BB#50-7M-10-1(⊗)	1.6	14	10	

이로서 보급 종을 비롯한 3계통은 다른 계통에 비해 다소 추대가 늦은 만추대 계통으로 선발되었다고 할 수 있으며 잎 색이 특이한 비비12호의 변이체는 오히려 추대가 빨라 봄재배 용으로는 부적합한 것으로 나타났다.

한편 배무채는 성채보다 중채로 재배하여 보급하는 것이 이용 상 유리하다고 판단됨으로 반불임계통을 이용한 배추와의 F₁ 6점과 현재 보급중인 BB12호 및 비비12호의 변이계통을 중채 생산에 공시하였다. 노지의 150cm 이랑에 5줄로 포기사이 10cm로 하여 4월 14일에 직파하고 6월 3일, 즉 파종 후 51일째에 조사하였는데 균일성을 판단하기가 어려웠으며 외관상 식물체가 역세게 보였다. 대부분이 아직 추대하지는 않았는데 다만 BB12호의 변종이 추대를 시작하는 단계로서 다소 문제될 수 있을지 모르지만 이용 상으로는 관계가 없을 것으로 판단되었다. 이 계통은 잎 색이 황녹색으로 아주 특이한 계통인데 봄 생김에서는 만개상태였고 이 시험에서는 다른 계통보다 좀 빠르게 추대를 시작하고 있어 봄재배용으로는 부적합할 것으로 판단되었다(표 45). 그러나 맛이 다른 계통보다 더 맵워 김치용으로 적합할 것으로 판단되었다.

가을에는 배추와의 F₁ 5점, BB50호 유래 계통 5점, BB12호 유래(소포자 배양 유래) 10점, 기타 계통 6점, 그리고 새롭게 종 또는 속간 교잡으로 육성되는 8점 등 28점을 8월18일 50공 트레이에 파종하여 육묘하고 9월 12일에 정식하였다. 2010년도의 가을은 예년과 다르게 여름부터 계속 비가 와서 정식할 포장준비가 거의 불가능하였다. 다행히 긴 장마가 시작되기 직전인 7월 초에 포장을 준비하여 흑색 PE필름으로 멀칭 해 두었으므로 포장이 과습으로 질더라도 다소 무리하게 정식을 할 수 있었다. 그러나 역시 정식한 모의 활착이 좋지 못하고 계속되는 강우로 과습 상태가 지속되어 식물의 생육상태가 극도로 불량하였다. 결국 정상적인 생육이 안 되어 시험결과를 얻지 못하였다. 그러나 입색이 황녹색인 비비12호의 변이체는 여전히 황녹색의 특징을 나타내면서 균일성이 우수하였다. 이 계통은 새로운 품종으로 등록코자 망실을 이용한 다량 채종 시험에 공시중이다.

표 45. 봄재배 중채의 특성 조사

과종 번호	품종명	계통명	엽색	주중 (g)	엽장	엽수	특징
10BR 재-530	CMSBB#6x 자배추	JoCMSBB#6-35x 08G-20(4-2 땅)	녹	95	33	20	
531	CMSBB#6x 배추	CMSBB#6x3M-291	담녹	100	35	19	
532	BB#6x 다아사이	OA20-2op-11...x 375-1...3	농녹	63	35	20	
533	CMSBB#6x 배추	CMSBB#6x13M-65	담녹	70	32	22	
534	CMSBB#6x 배추	CMSBB#6x 태2M-11	녹	56	29	16	
535	"	CMSBB#6-3-15x 13M-71	녹	61	34	18	
536	BB#12	BB#12-1-3-2op	녹	74	30	15	즐기연합
537	BB#12 변종	BB#12-2Mn2-7ⓧ	담녹 황	50	32	15	매운맛 강

4월14일 과종, 6월3일(51일째) 조사

3. 신 속간잡종 육성

가. 복합 내병성 계통 육성(비비50호의 유래)

배추의 바이러스병, 뿌리혹병, 무름병에 복합내병성인 계통 VCS 3M-291을 모본으로 하고 무 중 진주대병 등 4계통을 부계로 교잡한 후 배추배양으로 13개체(표 46)를 획득하고 colchicine을 처리하여 후대 채종을 시도하였었다. 그러나 대부분의 식물이 화분을 생산하지 않아 자가수분 종자를 얻기가 어려웠다. 혹시 융성불임성일지도 모른다는 생각으로 주변의 기존 배무채 계통을 부계로 교잡하였다. 그 결과 7개체에서 1~2립씩의 종자(신 배무채와 구배무채간 F₁)를 얻을 수 있었을 뿐이다.

다음 해에 이 F₁종자를 과종하고 다시 그 후대를 채종코자 하였다. 그러나 불행히도 7계통 중 4계통에서만 후대(F₂) 종자를 얻을 수 있었는데 그들이 모두 동일 교배조합(VCS-3M-291x25번계) 유래였다. 따라서 그 중 종자가 다량으로 생산된 1 계통만을 재배하였다. 이 계통(개체번호 05BR-539유래)은 부계가 25번계였으며 배무채의 OAm 1-2Aop 계통이 교잡된 F₁이었는데 재배한 결과 순도가 균일하지는 않았으며 외형상으로는 기존의 배무채 계통과 비슷하였다. 전체 9개체가 모두 융성가임이며 불임개체는 나타나지 않았다. 그런데 순도를 향상시키고 배추의 복합내병성 인자를 모두 가진 계통을 분리하는 한편 종자생산성이 높은 계통을 육성코자 소포자를 배양하였는데 과거 기존의 어떤 계통보다 배발생이 높게 나타났다. 따라서 소포자 배양이 잘되는 새로운 배무채 계통이 육성

된 것으로 기대되었다.

표 46. 신 배무채 계통 육성을 위한 속간 교잡식물의 후대 진행
(속간 잡종의 모본 : 배추=VCS-3M-291)

개체번호	부계 (무계통)	화분 유무	F1의 후대 종자		F2		F3 식물	비고
			자식	교잡 ^Y	식물수	종자(립)		
05BR-527	진주대평	유	0	0	-	-	-	
-528	남원	유	0	2	1	0	-	
-529	25번계통	유	0	2	1	1	-	
-531	“	무	0	0	-	-	-	
-532	“	“	0	0	-	-	-	
-533	“	“	0	2	1	15	-	
-534	27번계통	“	0	0	-	-	-	
-535	진주대평	“	0	0	-	-	-	
-536	25번계통	“	0	2	1	0	-	
-537	27번계통	“	0	0	-	-	-	
-538	25번계통	“	0	1	1	0	-	
-539	“	“	0	2	1	64	순도 불량	소포자배양 됨
-540	“	“	0	1	1	3	-	
계			0	12	7	83		

교잡^Y: 배무채 계통으로 교잡

이듬해에는 소포자 배양에서 유래된 배를 식물로 성장시켜 후대를 채종하는 한편 9개체 각각의 자식 후대도 인공수분으로 채종하였다. 그리고 남은 종자로 포장에서 자연교잡에 의한 종자 생산 능력을 시험하였다.

우선 9개체의 후대 채종에서 뜻밖에도 다량의 종자가 생산되었다(표 47). 지난 수년간의 경험을 보면 망실에서 인위적으로 수분할 경우 대부분의 개체가 교배 화 당 평균 0.5립 이하의 종자를 생산하였었다. 그런데 이 9개체는 평균 1.9립이라는 아주 높은 종자 생산 능력을 나타내낸 것이다. 이것은 돌연변이 유래의 신 계통 BB11호, 12호, 13호, 14호 등의 인공수분 채종량과 거의 비슷한 수준이었다.

한편 15주밖에 안 되지만 다행히 돌연변이 유래 계통들과 함께 노지 포장의 자연조건에서 종자 생산 능력을 시험할 수 있었다. 그 결과(표 48) 돌연변이 유래의 BB11호, 12호, 13호, 14호 등과 비슷한 아주 높은 종자생산 능력을 나타내었다. 의외의 큰 수확이라 생각되었다.

표 47. 신조합 유래 배무채 계통의 종자 생산 능력(인공개화 수분)

개체번호	수분 화 수	종자량(립)		비고
		전체	수분화 당	
06BRMS-755-1	220	833	3.8	05BR-539의 후대
-2	331	766	2.3	
-3	338	880	2.6	
-4	330	745	2.3	
-5	351	649	1.9	
-6	290	444	1.5	
-7	258	262	1.0	
-8	268	581	2.2	
-9	291	341	1.2	
계	2,879	5,499	1.9	

표 48. 신 조합 유래 배무채 계통의 종자 생산 능력(포장 자연 교잡)

개체 수	생산 종자 량				비고
	전체(ml)	개체 당(ml)	10a당(L)	100꼬투리(립)	
15	1,050	70	140	919	

이 계통을 임시로 BB50호로 명명하고 돌연변이 유래의 신 계통 BB11호, 12호, 13호, 14호 등과 함께 특성조사에 공시하였다. 식물이 어릴 때에는 그들 중 BB12호가 특별히 떡잎이 크고 다른 계통들과 구분되지만(표 49) 식물이 60일 이상 성체로 자랐을 때는 모든 계통이 반결구보다 좀 더 느슨한 결구형태를 나타내는데 그 중에서도 BB50호가 중앙 부위에 다른 계통보다 더 많은 노란색을 띤다(그림 9). 따라서 BB12호는 싹채소와 애기채 소용으로 적합하며 BB50호는 다 자란 후의 썰러드 및 소형배추형(알백이라고도 함)의 용도로 적합할 것으로 생각되었다.

그런데 이 BB50호가 배추의 바이러스병과 뿌리혹병의 복합내병성 계통(VCS3M-291)에 원교108호의 편친 25번계 무를 교잡하여 얻은 계통과 기존의 배무채 BB1호와 유사계통(원교206에 태백무를 교잡하여 얻은 것)을 교잡하여 생긴 것이다. 따라서 여러 가지 형질이 분리할 것으로 생각하였고 당연히 이러한 내병성 인자를 보유하고 있을 것으로 믿고 있었다. 그런데 먼저 종자생산성이 갑자기 높아졌을 뿐 아니라 순도가 의외로 돌연변이 유래의 계통들 보다 더 균일한 경향을 보였다. 따라서 이 계통의 바이러스병과 뿌리혹병의 내병성 인자 유무를 확인코자 하였다.

농촌진흥청 BioGreen21의 배추 제넨팀에서 개발한 SSR primer로 배추의 바이러스병 내병성과 연관된 표지를 선별하여 특허를 신청하였는데 이 표지를 이용하여 BB50호의 내

병성 유전자 유무를 알아보고자 하였다. 그리고 충남대학에서 배추 뿌리혹병의 평창군주에 내병성인자와 연관된 표지 crb를 발표한바 있으므로 이를 이용하여 역시 내병성인자의 유무를 확인코자 하였다. 그 결과(그림 10) BB50호의 모계인 배추 VCS3M-291는 이 두 병의 내병성 인자를 모두 가지고 있는데 BB50호와 이 계통의 소포자 배양으로 얻은 한 계통은 두 가지 내병성 인자가 하나도 없는 것으로 나타났다. 즉 BB50호는 복합내병성 계통이 아닌 것으로 판명되었다.

표 49. 배무채 CMS×배추 조합의 특성 조사

과종번호	조합명	유묘기 ^{Y1}			성숙기 순도
		순도	엽장(cm)	잎수	
08BRF ₁ -237	07BRMS1-2S(BC ₃)(BB6호)×태2M-11(배추)	중	9	5.8	양
-238	" ×13M-65(")	"	8	5.3	양
-239	07BRMS 8-2S(BC ₁)(BB13호)×태2M-1(")	중상	-	-	양
-240	" ×13M-65(")	"	-	-	양
08BR재-259	BB1호	불량	10	4.2	중
-261	BB6호	"	12	4.7	중
-263	BB12호	양	15	5.2	양
-265	BB13호	양	14	5.0	양

유묘기: 8월 1일 파종, 8월 21일 조사

성숙기: 11월 5일 조사



그림 9. 배무채 특성 조사용 재배 광경

(좌: 봄, 중앙 라벨 : BB 50호. 우: 가을, BB12호(좌) 와 50호(우))

앞에서 설명한바와 같이 종자생산성과 균일성이 갑자기 획기적으로 개선된 점과 당연

히 보존하고 있어야 할 두 병에 대한 내병성인자가 없는 것으로 보아 아마도 배주 배양 이후 F₂까지 몇 세대를 지나는 과정에 소포자 돌연변이유도의 한 계통이 배주 배양 유래 계통으로 잘못 취급되었던 것이 아닌가 한다.

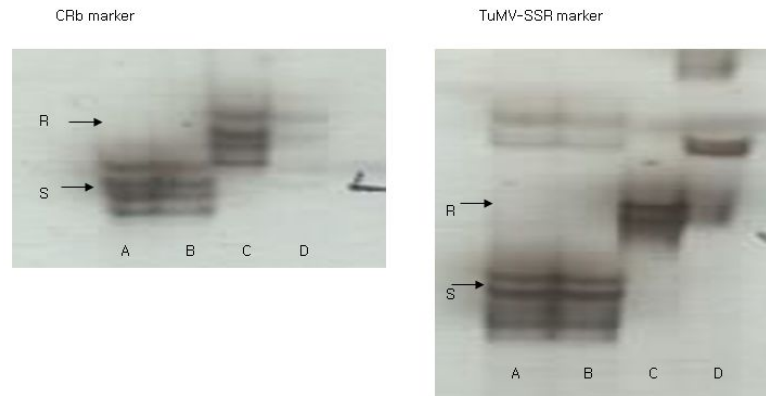


그림 9. 배무채 복합내병성 육성 신계통의 내병성 검정

A: 08BRMS-215(신 계통), B: 08BR특-270(신계통의 소포자유래 계통)
C: 08MS-125(배주 복합내병성 계통(08BRMS-215의 편친 모계), D: 08무특-545(08BRMS-215의 편친 부계)

그림 10. 배무채 BB50호의 분자마커에 의한 내병성 검정

나. 고기능성 신 계통 육성

배추 류 중에 야생인지 또는 재래종이 퇴화한 것인지 불분명하지만 재배되고 있는 배추와는 그 형태가 전혀 다른, 즉 잎과 중륵이 무를 많이 닳은 쯤배추라는 것이 있다. 추대가 늦고 비교적 왕성하게 성장하는 경향이다. 그런데 이 쯤배추가 항암성분 glucosinolate의 구성성분인 disulfide계 성분을 다량으로 함유하고 있다는 비공식적 보고가 있다. 그리고 야생무 갯무가 제주도 및 동남부 해안지대에 널리 분포하고 있는데 그 중 한 수집종이 쯤배추와 마찬가지로 disulfide계 물질을 다량으로 함유하고 있다는 역시 비공식적 보고가 있다. 또한 원예연구소가 육성한 평지 여름재배용 무 원고 108호가 있는데 그 한 편친이 여름재배에서 발생하는 대부분의 병해에 내병성을 보였다.

따라서 쯤배추를 모계로 하고 갯무의 한 계통과 원고 108호의 한 편친을 부계로 이용하여 새로운 내병성 및 기능성 배무채 계통을 육성코자 하였다. 이미 확립되어 있는 방법에 따라 교잡 후 10일 경에 어린 배추를 따내어 배양하고 여기서 자라난 식물을 배수성으로 만들기 위하여 콜히친을 처리하였다. 그리고 각각의 개체마다 화분발생 여부를 조사하고 화분이 있는 개체는 자가수분으로 자식종자를 얻는 한편 소포자를 배양코자 하였다. 화분이 없는 개체는 혹시 응성불임성일지도 모르므로 주변의 BB12호와 BB13호 등으로 교잡하였다. 그 결과가 표 50인데 성장 중에 3개체는 죽었고 남은 10개체 중 4개체는 화분이 없었으며 6개체가 화분이 있었지만 극히 소량이었고 그 중에도 2개체가 약간 많은 화분을 생산하였다. 가능한 한 많은 종자를 얻고자 지속적으로 교배를 하였으나 대부분의 교배 조합에서 종자가 생산되지 않았으며 극히 일부분의 교배, 특히 기존 배무채와의 교잡에서 소량의 종자를 얻을 수 있었다(그림 11).

표 50. 기능성 배무채 개발용 새 속간잡종식물 육성 현황

계통 또는 개체 번호	OV조합	화분 유무	교배조합	종자량 (립)	파종량 (발아수)	소포자 배양(주수)	비고
07OV-124	즙배추x갯무	무	xBB12호	1			
125	"	유	자식	1			
126	"	무	xBB13호	1			
127	"	유	xBB12호	2		배발생(1)	
"	"		xBB13호	4	3(1)		
128	"	"	xBB12호	1			
129	"	"	xBB13호	3			
135	"	"	xBB12호	2			
136	"	"	xBB12호	0			
130	즙배추x27번계	고사	-	-			
131	"	"	-	-			
132	"	"	-	-			
133	"	무	xBB12호	0			
134	"	"	xBB12호	0			
BB6호(MS)	-	-	x128	2	2(0)		
BB12호	-	-	x128	4	2(2)		
"	-	-	x136	1	1(1)		
"	-	-	x129	1	1(0)		
BB13호	-	-	x128	2	2(1)		
계					11(5)	1	



그림 11. 기능성 배무채 육성용 즙배추(좌)와 갯무(중) 및 잡종 식물 (우의 우: 소포자 유래 계통, 우의 중앙: 기존의 BB12호, 우의 좌: 신OV개체xBB12호)

종자가 얻어진 12조합 중 JoCMS BB#6, BB#12 또는 BB#13을 모계로 한 5조합의 종자 8립과 BB#13을 부계로 한 한 조합의 종자 3립을 파종하고 후대를 얻고자 하였다. 한

편 속간교잡 후 배주배양으로 획득된 개체 중 07OV-127을 소포자 배양에 공시한바 있는데 여기서 2개체를 얻을 수 있었다. 이 식물은 순수하게 좀배추와 갯무간의 속간잡종으로서 외형적으로 기존의 배추와 크게 다른 형태를 보이고 있다(그림 11). 이들의 과종과 발아에 관한 성적을 표 51에서 볼 수 있다. 전체 4계통에서 5립이 발아하였고 2 계통은 발아하지 않았으며 소포자 배양으로 확보된 2주를 포함하여 7주를 교배 모본으로 이용할 수 있었다.

표 51. 배무채 신 조합 계통의 과종 및 발아 내역

과종 번호	배주배양 번호	계통 명	과종량 (립)	발아수 (립)	비고
08BR신-231	07OV-128	BB#12x(조x갯)-1	2	2	소포자 배양
232	07OV-136	BB#12x(조x갯)-6	1	1	
233	07OV-129	BB#12x(조x갯)-2	1	0	
234	07OV-128	BB#13x(조x갯)-1	2	1	소포자 배양
235	07OV-128	JoCMSBB#6x(조x갯)-1	2	0	
236	07OV-127	(조x갯)-4xBB#13	3	1	소포자 배양
311	07OV-127	(조x갯)-4M	2	2	소포자 유래
계			13	7	

이 7주에 대하여 종자를 최대한 많이 확보코자 많은 교배를 하였다. 그러나 08BR신-236을 제외한 6주에서 꽃가루는 많이 생산되는데도 자식종자는 거의 생기지 않았다. 그 이유를 현재로서는 이해하기 어렵다. 부득이 주변의 다른 계통들과 교잡하였는데 조합에 따라 차이는 있으나 상당한 종자를 얻을 수 있었다(표 52). 그런데 모든 계통이 개화자가수분(FS)에서는 종자가 전혀 생기지 않거나 생기더라도 그 수가 극소수였는데 화퇴자가수분(BS)에서는 대부분의 계통에서 종자가 적지만 생산되었다.

배무채는 이질4배체로서 복2배체인데 대부분의 복2배체는 자가불화합성이 없거나 극히 약한 것으로 알려져 있다. 배무채도 예외가 아니어서 기존 계통은 모두 자가불화합성이 없는 것으로 이해되어 왔고 따라서 특별한 목적이 아니면 화퇴수분을 생략하고 개화수분을 원칙으로 하고 있다. 그런데 이 새롭게 얻어진 계통들은 대부분이 강한 자가불화합성을 가진 것처럼 개화수분에서는 종자가 안생기거나 생겨도 그 수가 매우 제한적인 것으로 나타났고 화퇴수분에서는 적으나마 약간씩의 종자가 생산되었다. 그리고 형매가 아닌 타 계통, 즉 과거에 육성된 기존 계통과의 교잡에서는 상당히 많은 종자가 생산되기도 하였다. 만일 이러한 현상이 자가불화합성 때문이라면 앞으로 기존계통과의 1대잡종 품종육성에 유용하게 이 계통들이 이용될 수 있을 것이다.

표 52. 줌배추x갯무의 신배무채 계통의 채종현황

계통번호	계통명	수분 구분	수분화 수	종자량
08BR신-231-1 ^(x)	{BB#12x(줌2x갯1)-1} -1 ^(x)	FS	113	0
		BS	69	1
08BR 산-231-1X221-1	{BB#12x(줌2x갯1)-1} -1xBB#12	FC	15	12
08BR신-231-2 ^(x)	{BB#12x(줌2x갯1)-1} -2 ^(x)	FS	104	0
		BS	41	2
08BR 산-231-2x300-87	{BB#12x(줌2x갯1)-1} -2xBB#12	FC	63	17
08BR신-232-1 ^(x)	{BB#12x(줌2x갯1)-6} -1x ^(x)	FS	183	3
08BR 산-232-1x300-87	{BB#12x(줌2x갯1)-6} -1xBB#12	FC	53	14
08BR 산-232-1x311-1	{BB#12x(줌2x갯1)-6} -1x(줌2x 갯1)-4M-1	FC	86	0
08BR신-234-1 ^(x)	{BB#13x(줌2x갯1)-1} -1 ^(x)	FS	234	27
08BR 산-234-1x311-1	{BB#13x(줌2x갯1)-1} -1x(줌2x 갯1)-4M-1	BS	24	2
08BR 산-234-2x311-1	{BB#13x(줌2x갯1)-1} -2x(줌2x 갯1)-4M-1	FC	154	12
08BR 산-236-1x311-1	{(줌2x갯1)-1xBB#13} -1x(줌2x 갯1)-4M-1	FC	47	0
		BC	147	6
08BR 산-311-1x215-2	(줌2x갯1)-4M-1xBB#50	FC	105	6
08BR 산-311-2x300-87	(줌2x갯1)-4M-2xBB#12	FC	127	5
08BR 산-311-2x215-2	(줌2x갯1)-4M-2xBB#50	FC	148	4
08BR신-311-2x 08G-6-1	(줌2x갯1)-4M-1xGH21M-77	FC	183	83
08BR신-311-1 ^(x)	(줌2x갯1)-4M-1 ^(x)	FS	240	0
		BS	107	0
08BR신-311-2 ^(x)	(줌2x갯1)-4M-2 ^(x)	FS	339	0
		BS	237	0
08BR 산-321-1x215-2		FC	160	0
08BR 산-321-1x300-87		FC	168	0
계		-	3.147	194

※ 줌 : 줌배추, 갯 : 갯무, M : 소포자 배양



그림 12. 08BR신311-1 개체의 개화수분 및 화뢰수분된 화지의 착협 상태

그런데 애석하게도 잡종 제1세대에서도 자가수분종자가 얻어지지 않아 좀배추와 갯무간의 순수한 잡종의 유지가 어렵다고 생각되었는데 소포자 배양으로 명맥을 유지해온 두 개체, 08BR신-311-1과 08BR신-311-2가 개화 및 화뢰자가수분 모두에서 한 알의 종자도 생산하지 못하였다. 처음에는 자가불화합성이 없을 것으로 생각하여 개화자가수분만 하였는데 전혀 종자 꼬투리가 생기지 않아 혹시 자가불화합성이 있는 것인가 하여 화뢰수분과 개화수분을 같이 하였다. 그 결과 그림 12에서 보는 바와 같이 개화수분된 꽃은 꼬투리가 없고 화뢰수분된 꽃은 꼬투리가 영글고 있어 완전한 자가불화합성으로 생각하였다. 그러나 수확해 본 결과 영근 꼬투리 속에도 종자는 하나도 없었다. 역시 좀배추와 갯무간의 순수한 잡종은 유지되지 못하는 것 같이 생각되었었다.

다) 고기능성 신계통의 NMU 처리 후 소포자 배양에 의한 안정화 연구

앞의 표 51의 7주에 대하여 NMU를 처리한 소포자 배양을 실시하였다. 이미 NMU라는 돌연변이체를 처리하여 배양한 소포자에서 고임성의 획기적인 계통이 얻어진 바 있으므로 이 임성이 극도로 낮은 새로운 계통의 임성을 높일 수 있는지 확인할 겸 우량계통을 육성코자 소포자 배양에 공시한 것이다.

그 결과 표 53에서 보는 바와 같이 전체 39회에 걸쳐 배양하였는데 2개체, 08BR신 311-2와 08BR신321-1에서는 전혀 배를 얻지 못하였고 다른 5개체에서는 차이는 있지만 배를 얻었으며 특히 08BR신-231 계통의 NMU처리에 의한 배를 다수 얻었다. 이 배를 식물로 분화시킨 후 후대를 채종하였는데 그 결과가 표 54이다. 먼저 전체 소포자 배양 유래의 개체가 무처리 38주와 NMU 처리 27주였는데 화분생산 개체가 각각 28주와 21주로 약 75% 정도였다. 약 25%의 개체는 반수체로서 화분이 없는 개체인데 이러한 성적은 과거의 다른 소포자 배양에서 얻어진 결과와 아주 유사한 결과이다.

그런데 화분이 충분히 발생하는 개체 중 1립이라도 종자를 생산한 가임성 개체가 각각 26%와 33%인 8개체와 7개체로서 극히 낮았다. 그리고 종자가 생산된 개체도 교배화당 종자 수가 0.1립 이상인 개체가 각각 2개체와 1개체뿐이며 다른 6개체씩은 1-5립의 종

자밖에 생산하지 못하였다(표 55, 56). 이처럼 종자 생산성이 낮은 원인이 금년 4월의 저온 때문일 수도 있겠지만 소포자 유래 개체의 임성이 전반적으로 낮기 때문일 수도 있다고 생각된다.

표 53. '08-'09의 배무채 소포자 배양 결과

모본번호	계통 명	배양일	배양 회수	NMU 처리유무	발생 배수	순화 식물 수
08BR 신-231	BB#12x(좁x 갯)-1	09.02.24~03.06	2	무	49	43
	"	09.0.30~04.09	2	0.01 μ M	138	45
234	BB#12x(좁x 갯)-6	09.01.16~03.27	3	무	108	39
236	(좁x 갯)-4xBB#13	08.11.26~9.03.16	9	무	13	2
08BR 신311-1	(좁x 갯)-4M-1	08.12.26~9.03.11	5	무	9	3
	"	09.03.11~03.31	4	0.01 μ M	0	-
08BR 신311-2	(좁x 갯)-4M-2	09.04.09~04.29	4	0.01 μ M	0	-
08BR 신321-1	07OV-129	09.04.20~04.29	4	0.01 μ M	0	0
08BR 재-263	BB#12	09.05.14~05.22	5	0.01 μ M	220	66
계			39		585	198

※ 좁 : 좁배추, 갯 : 갯무, M : 소포자 배양

표 54. 08BR신-231-1M 유래 개체의 임성

구분	개체수(%)			
	전체	화분생산	가임개체	불임개체
231-1M계	38	28(74)	8(29)	20
231-1Mn계	27	21(78)	7(33)	14
계	65	49(75)	15(31)	34

M; 소포자 배양. Mn : 소포자 배양 중 돌연변이제 NMU 처리

종자가 다른 개체에 비하여 많이 생산된 3개체는 최대 임성이, 즉 한번 교배한 화지의 교배 화수에 대한 종자 수가 무처리의 7번과 35번 개체에서 1.2립과 3.0립, 그리고 NMU 처리의 2번 개체에서 2.5립으로 아주 높게 나타났다. NMU가 처리되지 않은 소포자 유래의 개체가 최대 임성 3.0립을 나타낸 것은 과거의 기존 배무채 계통에서도 아주 가끔 있

었던 예가 있다. 따라서 다음 세대의 결과에 유념할 필요가 있을 것 같다. 그리고 NMU가 처리된 소포자 유래의 2번개체가 2.5립의 높은 임성을 보였는데 이 개체는 전체 교배화지 16개 중 14개가 종자를 생산하여 교배시기의 환경에 대한 영향을 적게 받는 것으로 나타났다. 자가수분 중에 착협상태가 다른 개체들에 비하여 현저하게 우수한 것으로 나타나 다른 계통들과의 교잡성을 보고자 임성이 개량된 두 계통을 교잡하였다. 그 결과 표 57에서 보는 바와 같이 평균 교배화 당 종자 수가 4.2로 아주 획기적인 종자생산성을 나타내었다. 이러한 결과로 미루어 이 개체는 BB12호 및 BB50호 등과 같이 소포자 돌연변이에 의해 안정화된 계통일 가능성이 높는데 다음 세대의 종자 생산성이 관심의 대상이다.

표 55. 08BR신-231-1M(소포자 배양) 유래 가임개체의 임성 조사

구분	개체번호	교배화지	가임화지수	교배화수	종자수 (교배화당 종자수)	최대임성 (종자수/교배화수)
231-1M	7	32	19	608	97(0.16)	11/9=1.2
	13	14	1	145	1	
	14	6	2	119	5	
	15	23	5	422	5	
	23	16	2	221	4	
	31	3	1	46	1	
	35	13	6	164	86(0.52)	12/4=3.0
	42	11	1	136	1	
	계	118	37	1.861	200	

표 56. 08BR신-231-1Mn(NMU 처리 소포자 배양) 유래 가임개체의 임성 조사

구분	개체번호	교배화지	가임화지수	교배화수	종자수 (교배화당 종자수)	최대임성 (종자수/교배화수)
231-1Mn	2	16	14	366	361(0.99)	48/19=2.5
	3	10	1	177	1	
	8	22	1	370	1	
	12	14	1	225	1	
	20	21	1	371	1	
	28	4	1	62	1	
	30	5	1	58	1	
	계	92	20	1.629	367	

표 57. 08BR신-231-1Mn-2의 교잡 결과

교배조합	교배 화지수	교배화수	종자수	교배화당 종자수
08BR신-231-1Mn-2x377-14(BB#50)	2	32	120	3.75
08BR신-231-1Mn-2x385-12(BB#12)	3	58	255	4.40
계 2 조합	5	90	375	4.2

이 계통 및 이 계통과 교잡된 F1조합을 가을에 재배하여 특성을 조사코자하였으나 앞에서 본 바와 같이 포장 사정 때문에 정상적인 생육을 못하였다. 다만 잎 색과 균일성은 관찰할 수 있었는데 잎 색이 특이하게 농녹색이었으며 균일성이 다른 안정된 계통과 동일한 정도로 균일하였다. 즉 안정화된 것으로 판단되었다. 따라서 종자생산성이 다시 확인되면 잎 색이 농녹색인 특이 계통이 육성되는 것이며 이 과제에서 세계 처음으로 성공한 속간잡종의 안정화 기술이 다시 한 번 증명되는 것이다.

앞의 표 53에서 08BR신-234의 소포자 배양 유래 39개체는 231번 계통과 비슷하게 일부인 5개체만이 종자를 생산하였는데 기존 배무채처럼 모두 종자 생산성이 극히 낮았다 (표 58). 이 중 종자 수가 다소 많은 계통은 후대 채종을 위한 교배모본으로 재배중이다.

표 58. 08BR신-234-1M 유래 가임개체 및 기타 계통의 임성 조사

파종 개체번호	계통명	교배화지수		교배화수	종자수	최대임성
		전체	가임			
08BR신-234-1M-1	{BB#13-1x(좁-1x갯-2)-1} -1M-1	16	2	359	6	
-4	-4	13	1	226	1	
-7	-7	4	4	109	24	
-13	-13	1	1	22	11	11/22=0.5
-14	-14	9	2	139	5	황화
	계	43	10	855	47	

앞의 표 52에서 08BR신-231-1과 -2의 자식 또는 소포자 배양 유래 외 다른 개체의 자식 또는 조합에 대한 후대 채종 현황을 표 59에서 볼 수 있다. 파종번호 09BR신-407-7(08BR신-231-2x300-87)의 1.6립 외에는 최대임성이 모두 아주 낮은 것을 볼 수 있다. 특기할 것은 화색이 황색이면서 화분이 많이 생산되어 상당량의 자식종자를 얻을 수 있었다는 것이다(09BR신-410-1). 아직 안정화되지는 못하였지만 황화계통으로 안정된 계통 육성이 가능할지도 모른다. 그리고 동일한 배추 계통으로 취급하여야 할지 모르지만 세포

질이 좀배추인 계통도 유지되고 있어(과종번호 09BR신-412-3, -4) 앞으로의 특성 발현과 연관된 연구의재료로 이용될 가능성이 있다.

이상의 개체 및 계통의 후대들은 대부분 다음세대의 진행을 위하여 모본이 과종되어 자라고 있으며 계획에 따른 교배 또는 소포자 돌연변이가 수행되고 있다(표 60).

표 59. 08BR신-234-1M 유래 가임개체 및 기타 계통의 임성 조사

과종 개체번호	전세대과 종번호	계통명	교배화지수		교배 화수	종자수	최대임성 (비고)
			전체	가임			
09BR신 407-5	231-2x 300-87	[{BB#12x(좀x갯)-2 xBB#12-87] -5 ^(x)	10	1	128	5	
407-7	"	-7 ^(x)	7	4	85	28	14/9=1.6
408-1	232-2x 300-87	[{BB#12x(좀x갯)-6 xBB#12-87] -1 ^(x)	19	6	313	23	11/13=0.9
409-4	234-1 ^(x)	{BB#13x(좀x갯)-1 -1-4 ^(x)	16	1	243	2	
410-1	234-1x 311-1	{BB#13x(좀 갯)-4M-1 } -1 ^(x)	11	6	230	32	황화다화분
410-5	"	-5 ^(x)	19	2	362	4	
412-3	311-1x 215-2	{(좀x 갯)-4M-1xBB#50 } -3 ^(x)	5	1	57	2	좀배추세포질
412-4	"	-4 ^(x)	12	4	246	11	"
계5계통 8개체			99	25	1,664	102	-

※유사 8계통은 전혀 임성이 없음

표 24. BR신 유래의 '10-'11 모본 현황

과종 번호	모본번호	계통명	조제 번호	과종 량	과종일	비고
10BR 산61 5	231-1M-6x-1Mn-2	{BB#12x(좁1x갯2)-1}-1M-6x1Mn-2	10BR 산7 63	5	101223	
617	10BR 산231-1M	{BB#12x(좁1x갯2)-1}-1M-14㉔	570	4	"	
618	"	15㉔	728	2	"	
620	"	31㉔	619	1	"	
621	"	35㉔	184	2	"	
622	10BR 산231-1Mn	{BB#12x(좁1x갯2)-1}-1Mn-2㉔	650	2	100819 저온.전조	
623	10BR 산231-1Mn	{BB#12x(좁1x갯2)-1}-1Mn-2㉔	650	15	101223	
624	-1Mn-2x377	2xBB#50	634	2	"	
625	x385	2xBB#12	632	2	"	
626	x506	2x (혹오백채 자색묘)1	759	10	"	
627	10BR 산231-1Mn-3	{BB#12x(좁1x갯2)-1}-1Mn-3㉔	356	1	"	
628	-8	8㉔	319	1	"	
10BR 산 629	-12	{BB#12x(좁1x갯2)-1}-1Mn-12㉔	10BR 산7 55	1	101223	
630	-28	28㉔	654	1	"	
631	-30	30㉔	675	1	"	
632	234-1M-1	{BB#13x(좁1x갯2)-1}-1M-1㉔	36	2	"	
633	-4	4㉔	781	1	"	
634	-7	7㉔	52	2	"	
635	-13	13㉔	2	2	"	
637	407	[(BB#12x(좁x갯-1)-2xBB#12]-5㉔	190	2	"	
638	"	7㉔	566	2	"	
639	408	[(BB#12x(좁x갯-6)-2xBB#12]-5㉔	27	2	"	
640	409	{BB#13x(좁x갯-1)-1-4㉔	602	2	"	
641	410	[(BB#13x(좁x갯-1)-1x(좁x갯)-4M-1-1㉔	35	2	"	
642	412	{(좁1x갯2)-4M-1xBB#50-3㉔	607	2	"	
643	"	4㉔	1	2	"	

라) 갓과 배무채의 교잡에 의한 신 계통 육성

갓(*Brassica juncea*, genome=aabb, 2n=36)과 배무채(xBrassicoraphanus, genome=aarr, 2n=38) 간에는 상당한 교잡친화성이 있다. 그런데 갓 중에는 자색이 진하게 나타나는 적갓, 뿌리가 큰 뿌리갓 등 특이 형질의 계통이 있다. 따라서 이러한 형질을 배무채에 도입코자 갓을 모계로 하고 개화 전에 수술을 모두 따낸 후 또는 수술을 그대로 둔 상태에서 배무채의 꽃가루로 뇌수분하여 잡종중자를 얻었다. 이 F1을 개화시킨 결과 꽃 색과 임성이 분리하여 나타났다. 즉 갓처럼 황색 꽃을 가진 것과 배무채처럼 백색 꽃을 가진 개체로 분리하여 나타났으며 꽃가루가 있는 것과 없는 것이 대체로 1:1로 분리하여 나타났다(표 61). 꽃가루가 없는 개체에 대하여는 배무채로 여교잡하는 한편 꽃가루가 있는 개체는 자가수분으로 후대를 채종하였다.

표 61. 갓x배무채(F1)의 화색 및 임성분리 현황

과종번호	계통명	교배 구분	교배방법	임성별 개체 수		
				가임	불임	계
08BRN-253	J13-1xBB#12	적갓x배무채	제웅	2(황화)	3(백화)	5
08BRN-254	J13-1xBB#12	적갓x배무채	비제웅	1(백화)	1(백화)	2
08BRN-257	J33-1xBB#12	뿌리갓x배무채	제웅	2(백화)	1(백화)	3

그 결과(표 62) 불임개체를 배무채가 들어있는 망실에 넣고 꿀벌을 방사하여 자연방임수분한 경우 대체로 많은 종자가 생겼다. 그리고 꽃가루가 있는 개체는 꽃가지를 유산지 봉투로 씌워서 가끔 가지를 흔들어주는 정도에서도 많은 종자가 생겼다. 이러한 결과는 갓과 배무채 간의 잡종(F1)이 높은 임성을 가지며 꽃가루가 없었던 개체는 웅성불임성이었음을 시사하는 것이다. 따라서 배무채가 일반적인 채소로 널리 재배될 경우 갓등과 자연교잡으로 다양한 새로운 속간잡종이 탄생 될 가능성이 있다. 그리고 새로운 웅성불임성이 생길 가능성도 배제할 수 없을 것 같다. 한편 가임성인 잡종의 소포자를 배양하여 고정된 계통을 얻고자 노력중이다(표 63). 만일 소포자 배양으로 식물체가 얻어지면 그들은 고정된 계통임으로 F1 개체가 분리하는 것과 같은 다양한 고정 계통이 새로운 속간잡종에서 얻어질 것이다.

표 62. 갓x매무채(F1)의 후대 채종 현황

계통 명	계통 번호	채종량	비고
08BRN-253-6Sx263B	(J13-1xBB#12)-6WSxBB#12	4.5mL	망실벌 방사
08BRN-253-7Sx221B	(J13-1xBB#12)-7WSxBB#12	10립	인공교배
08BRN-253-8Sx263B	(J13-1xBB#12)-8WSxBB#12	325립	망실벌 방사
08BRN-254-6Sx216	(J13-1xBB#12)-6WSxBB#13	8립	인공교배
08BRN-254-6Sx254-9	(J13-1xBB#12)-6WSx(BB#13)-9	26	인공교배
08BRN-254-9⊗	(J13-1xBB#12)-9WF⊗	1078	FS
		603	BS
08BRN-254-9x216-2	(J13-1xBB#12)-9WFxBB#13-2	43	제옹후 인공교배
08BRN-257-1WF⊗	(J33-5xBB#12)-1WF⊗	3.7mL	피봉
08BRN-257-1x300-89	(J33-5xBB#12)-1WFxBB#12-89	53립	FC
		91립	BC
08BRN-257-1x215	(J33-5xBB#12)-1WFxBB#50	77	FC
		98	BC
08BRN-257-2⊗	(J33-5xBB#12)-2WF⊗	1.2mL	피봉
08BRN-257-2x300-89	(J33-5xBB#12)-1WFxBB#12-87	56	인공교배
08BRN-257-2x215-5	(J33-5xBB#12)-1WFxBB#50-5	2	FC
		227	BC
08BRN-257-5Sx300-87	(J33-5xBB#12)-5WSxBB#12-87	3	BC
08BRN-257-5Sx300-89	(J33-5xBB#12)-5WSxBB#12-89	3	FC
08BRN-257-5Sx221-	(J33-5xBB#12)-5WSxBB#12-	18	FC

표 63. 배무채 적색 및 뿌리용 계통 육성 모본 대장

과종 번호	모본번호	품종명	계통명	모본수	과종일
10BRN 500-1Mn	08BRN-257	뿌리갓xBR	J33-5xBB#12-B5-1Mn	55	MC유래
10BR신 -504	257-5Sx221-3	뿌리갓xBB#12	{(J33-5xBB#12-5B-1)-5Sx BB#12-1}-8	15+3 (BC1)	100219 101223
-646	257-M-1X 231-1Mn-2	뿌리용	(J33-5xBB#12)-1M-1x 신231-1Mn-2	2	"
10BR특 -647	10BRN-499-1X2	적색종	(J13-1xBB#12)-1x-2	2	"
-648	499-2 [ⓧ]	"	(J13-1xBB#12)-2 [ⓧ]	10	"

제 3 절 기타 연구

1. 소포자 배양기술 개선

배무채의 소포자 배양 기술을 개선코자 돌연변이로 안정화된 BB12호를 대비 겸 형질 개선을 위하여 소포자 배양에 공시하였다. 그 결과 표 64와 같이 배양 접시 당 평균 18 개, 많은 경우 56개의 배가 출현하였다. 이 정도의 배 발생이면 돌연변이 유도시험에도 충분히 이용할 수 있는 수준이다.

표 64. 배무채 주요 계통별 소포자 배양에서의 배 발생량

계통	배양회 수	배양접시당 배 수		비고
		평균	최대	
OV115CxBB#1	7	-	9.2	
BB#6	5	-	5.1	
BB#1	5	-	1.6	
OAm18-2	3	-	0.0	
신조합계통	4	11.6	15.2	
BB#12	6	18.1	56.0	BB#1의 돌연변이 계통

한편 밀의 소포자 배양에서 효과가 알려진 gum arabic과 Larcoll의 배무채 소포자의 배 발달에 미치는 효과를 시험하였다. 그 결과 Larcoll 단독처리는 배 발생에 나쁜 영향을 미치는 것으로 나타났다. 그러나 gum arabic은 단독처리에서 배 발생량을 많이 하였

으며 Larcoll과 공동으로 처리하였을 때는 더욱 그 효과가 커졌다(그림 13)

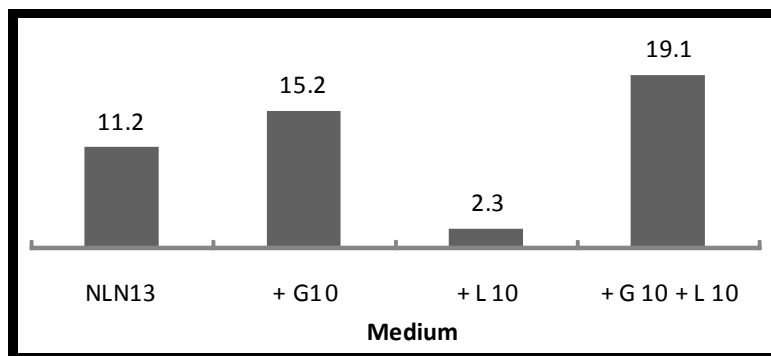


그림 13. 배무채 소포자 배 발생에 미치는 gum arabic과 Larcoll의 영향

이상의 결과를 종합하여 보면 배무채는 BB12호로 소포자를 배양하고 배 발생율을 특별히 높이고자 할 경우는 gum arabic과 Larcoll을 공동으로 처리하는 것이 좋다는 것을 알 수 있다. 그리고 이 정도의 배 발생량이면 어떠한 육종 목적에도 충분히 소포자 배양 기술을 응용할 수 있다고 판단된다.

그런데 소포자 배양에서 발생한 배를 식물로 분화시키기 위하여 배주에서 주로 이용하고 있는 배지, 즉 MS 기본 배지에 sucrose를 2%만 첨가하는 MS2 배지를 이용하였다(Keller & Armstrong, 1977). 그리고 여기서 정상적인 지상부와 지하부가 발달하지 못하는, 즉 기형으로 자라는 것은 그 조직을 떼어내어 MSK라는 MS기본배지에 성장조절제 BA와 NAA가 첨가된 배지에 계대배양 하였다. 여기서도 비정상적인 개체는 반복해서 MSK배지에 계대배양 하였다.

그런데 1차 MS2배지에서 정상식물로 분화하는 율은 대부분의 경우 30% 미만으로서 계대배양이 거의 필수적이였다. 이러한 계대배양은 계대배양 과정에 오염 등의 이유로 전체 식물 분화 율을 낮추고 식물을 얻는 시기를 예측하기 어렵게 하여 육종연한을 앞당기기 어렵고 적기에 식물을 얻지 못하여 후대를 얻기 위한 교배시기가 맞지 않는 등 시간과 인력의 낭비가 무시할 수 없을 정도로 크다. 따라서 1차 배양에서 최소한 70% 이상의 정상적인 식물을 얻을 수 있는 배지를 개발코자 실험하였다. 그 결과 그림 14에서 보는 바와 같이 B5배지를 개량한 B5M2-II라는 배지가 개발되였다. 이 배지에서는 이식한 배의 약 84%가 곧바로 순화상으로 옮길 수 있는 뿌리와 지상부가 정상적인 식물로 분화하였다. 물론 배축과 줄기가 정상식물보다 굵게 자라는 현상은 있지만(그림 15) 그들을 순화상에 옮겼을 때 별 지장 없이 완전한 식물로 자라서(그림 16) 개화할 수 있었다.

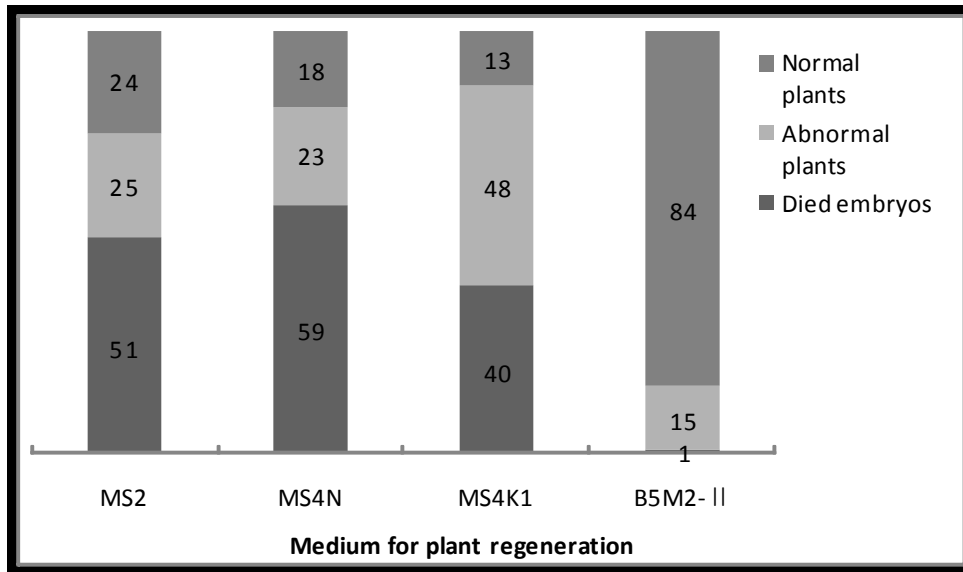


그림 14. 배무채 소포자 유래 배의 식물로의 분화에 미치는 배지의 효과



그림 15. 배무채 소포자 유래 배의 식물분화 모습



그림 16. 배무채 소포자 유래 식물의 순화상태

2. 배무채의 기능성분 분석

배무채는 주요 항암성분인 sulforaphane을 다량으로 함유하고 있는 것으로 추정되었다(Rhee et al. 2007). 따라서 그 함량을 중앙대학교 김종기 교수께 의뢰하여 분석하였다. 그 결과 녹색꽃양배추가 다량으로 함유하고 있는 sulforaphane은 극소량이 검출되었고 sulforaphane과는 화학구조가 약간 다르지만 역시 강력한 항암기능을 가진 것으로 알려진 sulforaphene을 잎과 뿌리에 다량으로 함유하고 있었다(Lim et al. 2009). 양친 식물인 배추의 잎에는 아주 소량이 함유되어 있고 무의 잎에는 상당량이 함유되어 있는 반면 뿌리에는 극소량이 검출되었는데 배무채에는 잎과 뿌리 모두 다량으로 함유되어있는 것이 확인되었다(표 65). 잎의 경우 먹어보면 곁잎 보다 속잎이 더 맵고 달며 맛이 진하다. 따라서 잎의 순서별로 중륵과 엽신으로 나누어 분석한 결과(표 66) 속잎으로 갈수록 그 함량이 높았으며 중간 잎까지는 엽신과 중륵간의 함량차이가 거의 없는데 속잎에서는 중륵보다 엽신 쪽에 많은 량이 함유되어 있었다.

표 65. 배무채의 sulforaphene 함량 분석^Z

작물	배무채		배추	무	
	잎	뿌리	잎	잎	뿌리
Sulforaphene($\mu\text{g/g}$ FW)	77	294	3	65	6

^Z : Mean of 3 replications. Plants of BB#4 grown 80days in fall season.

표 66. 배무채 잎의 부위별 sulforaphene 함량^Z ($\mu\text{g mg}^{-1}$ FW)

부위	외엽		중간잎		속잎		뿌리
	중륵	엽신	중륵	엽신	중륵	엽신	
함량($\mu\text{g/g}$ FW)	30.8	36.0	191.4	150.3	137.3	268.2	294.3

^Z : Mean of 3 replications. Plants of BB#4 grown 80days in fall season.

한편 배무채 고유의 맛이라고 생각되는 달고 매운(고추냉이같은 매운맛) 맛이 파종 후 여름에는 약 30일, 겨울에는 약 42일 정도일 때 느낄 수 있다. 이러한 맛이 셀포라펜의 함량과 관계가 있을지도 모른다는 생각으로 2개의 개량 계통과 2개의 기존 계통을 봄에 파종하여 성장기간별로 조사하였다(표 67).

먼저 어느 계통이나 생육단계에 따른 함량차이가 나타나지 않았다. 따라서 배무채의 생식 때 느끼는 맛과 이러한 맛이 항암성분인 sulforaphene의 함량과는 관계가 없는 것으로 이해하게 되었다. 다음 기존 계통인 BB4호와 BB6호는 평균 79-84 $\mu\text{g}/100\text{g}$ (F.W)의 함량을 보였는데 개량 계통인 BB12호는 58 $\mu\text{g}/100\text{g}$ (F.W)으로 다소 적게 나타났다. 종자 생산성이 높아지고 균일성이 향상되는 반면 특이 성분의 함량이 낮아진 것으로 나타났는데

이는 앞으로 이 기능성 물질의 다량 함유계통 육성에 참고하여야할 중요 요인이 아닐까 한다.

표 67. 배무채 주요 계통의 봄재배의 생육기간별 sulforaphene 함량($\mu\text{g}/100\text{g F.W}$)

생육일수(일)	BB4호	BB6호	BB12호	BB50호
20	76.9	88.3	52.6	49.3
35	73.3	86.0	59.2	45.8
50	76.6	88.0	57.9	55.1
60	89.4	74.8	59.9	52.1

배무채의 뿌리에는 설폴라펜의 함량이 높는데 무 뿌리에는 그 함량이 아주 낮다. 혹시 배추 뿌리에(보통의 결구배추는 식용 가능한 뿌리가 없음) 설폴라펜이 함유되어 있지 않을까 생각되지만 농촌진흥청의 바이오그린과제 중 배추의 기능성분 분석에 관한 과제가 있었는데 분석결과 배추 뿌리와 배추와 종이 동일한 순무에도 설폴라펜과 유사한 설폴라판이 검정되지 않았다고 한다. 따라서 배추 뿌리에는 설폴라펜이 없는 것으로 간주하여 분석하지 않았는데 앞으로 배무채를 분석하는 기회가 있을 때 배추뿌리를 포함하여 함량 유무를 확인토록 하겠다.

제 4 장 목표 달성도 및 관련분야에의 기여도

본 과제는 배무채의 다양한 신 계통 육성, 세포질 응성불임성(CMS) 계통 육성, 그리고 기타 기술 개발의 3분야로 나누어 수행되었다.

1. 세포질 응성불임성 계통 육성

배무채의 세포질 응성불임성(CMS) 계통을 개발하고 이를 이용한 1대잡종을 육성코자 하였다. 먼저 갖의 세포질 응성불임성(CMS)을 도입코자 면밀한 년차별 계획을 세우고 차질 없이 5차 년도까지 연구를 수행하였다. 그러나 CMS 갖에 배무채를 교잡하고 세대를 진전시키는 중에 BC₁부터 가임개체가 발생하였다. 그 원인을 밝히고자 여러 가지 방법을 시험하였고 BC₃세대에서 나타난 반불임성의 발생과 유전양식을 구명하였다. 그리고 이 배무채 CMS의 반불임성계통과 배추와의 1대잡종을 육성코자하였다. 그러나 최종적으로 1대잡종의 다량재배와 다량 채종(13a)에서 1대잡종의 균일성이 10%이상의 자식주 때문에 불균일하고 반불임계를 이용하여 증식된 불임계통의 개체 중에 종자를 생산할 수 없는 비정상개체가 26%이상이면서 13a에서 14kg밖에 생산되지 않았다. 결국 갖의 CMS를 배무채에 도입하는 연구는 좋은 결과를 얻지 못하였다.

갖의 CMS 도입연구에서 가임개체가 나타나는 현상을 보는 순간 배추에서 정상적으로 유전되는 Ogura CMS를 배무채에 도입코자 하였다. 그러나 뜻밖에 위수정(Apomixis)이라는 현상이 나타나났었는데 이를 인식하지 못하고 간과함으로서 2년을 허비하였다. 현재 BC₁세대의 종자를 채종 증인데 후대에서 가임개체 나타나지 않기를 기대하고 있는 정도이다.

배무채의 세포질 응성불임성 계통 육성은 년차별로 100%씩 진행되었지만 최종적 목표달성에는 실패하였다. 다만 갖 등 배추과의 복2배체 식물에서 정상적으로 발현되는 세포질 응성불임성이 신종 식물인 배무채에서는 이상발현으로 가임개체가 많고 반불임개체가 많다는 정보를 앞으로의 연구에 참조할 수 있을 것 같다.

2. 배무채의 다양한 신 계통 육성

가. 속간잡종의 안정화 기술 확립(신종합성의 길을 열다)

소포자 돌연변이라는 기술을 이용하여 기존 배무채의 다양한 계통을 육성코자 년차별 계획을 세우고 충실하게 시험을 수행하였다. 그 과정에 이제까지 세계의 많은 학자들이 시도하였으나 성공하지 못한 **원연 간 잡종(종속간 잡종)의 안정화**라는 뜻밖의 결과를 세계 최초로 얻게 되었다. 원연 간 잡종은 동조염색체(同祖染色體, Homoeologous chromosome)에 의한 이상 감수분열 때문에 종자 생산성이 낮고 세대마다 형질이 분리하여 결국에는 멸종하게 되는 문제점을 가지고 있다(Prakash 등 2009). 이러한 문제점이 소포자의 돌연변이에 의해 제거된 것이다. 즉 원연간의 교잡에 의한 신종(New species)합성의 길이 세계최초로 열린 것이다. 목표 달성도를 가늠하기 어려운 획기적 업적으로 생각된다.

실제로 이 기술을 이용하여 비비12호등 원연간의 안정화된 계통이 육성되었다. 그 중 한 계통을 1)비비1호로 개명하여 신 작물로 종자를 시중에 보급하고 있다. 그리고 이 안정화된 계통에 이 기술을 응용하여 당대에 고정된 돌연변이의 2)녹황색 계통이 육성되었고 기존 배무채의 양친과는 다른 배추와 무를 이용한 3)농녹색의 신 계통이 육성되어 실용화 단계에 있다.

앞으로 이 기술은 전 세계에서 널리 이용될 것이다. 우선 배추과 식물에서 1)기존 유채와는 전혀 다른 내한성, 다수성, 양질유 등 우수 형질의 유채를 이에 알맞은 배추와 양배추를 교잡하여 육성하고 2)형질이 전혀 다른 배추와 무를 교잡하여 기능성 강화 등 배무채의 다양한 계통을 지속적으로 육성하며 3)무와 양배추류(녹색꽃양배추 등)를 교잡하여 뜻밖의 신종 식물이 육성될 것이다.

이러한 배추과 식물 외의 다른 다양한 식물에서도 종간 또는 속간의 교잡에 의한 신종식물을 이 기술을 이용하여 육성코자할 것이다.

나. 안정화된 신종 식물 배무채 육성

식물로서 안정된 속간잡종 배무채의 비비1호가 육성되었다. 이 역시 세계 최초의 신종 식물(new species, xBrassicoraphnus)로서 목표달성도를 가늠하기 어려운 획기적 연구 결과이다. 소포자 돌연변이로 육성한 비비1호는 조직이 연하고 단맛과 고추냉이 같은 매운 맛이 어우러져 누구나 맛있다고 한다. 많은 시식과 시연회 결과 이 식물은 엽채류의 모든 용도, 즉 생채로 이용하는 썰러드와 쌈, 발효 식품의 김치, 익혀먹는 국거리와 샤브샤브, 중국식 볶음, 일본식 저림(쓰께모노) 등에 우수한 맛을 나타낸다. 따라서 이 육성 품종을 사업화하고 있다.

배무채는 항암력과 항균력이 뛰어난 설폴라펜(sulforaphene)을 다량으로 함유하고 있다. 위암의 원인 균인 헬리코박터를 사멸시키고 수퍼박테리아로 알려진 황색포도상 구균의 증식을 억제하는 기능이 밝혀지고 있다. 따라서 2차산업적 용도, 즉 다양한 기능성 건강보조식품이 개발될 수 있고 다양한 식품의 건강보조 첨가제로서 이용될 수 있다.

또한 배무채는 유채와 갓과의 교잡이 용이하다. 따라서 유채와 갓의 품종개량에 중요한 유전자원으로 활용될 수 있을 것이다.

3. 소포자 배양 기술 확립

신종 식물인 배무채의 소포자 배양 기술이 확립된 것은 100% 이상의 목표가 달성된 큰 업적으로 평가할 수 있다. 앞으로 다양한 신종식물을 육성코자 노력할 것으로 기대되는데 그 때 이 기술을 적용하여 쉽게 신종식물을 육성할 수 있게 될 것이다.

4. 배무채의 기능성분 설폴라펜(sulforaphene) 분석

배무채의 설폴라펜 분석은 본래 연구 목표에 없었던 연구인데 다량으로 함유되어 있음이 밝혀졌다. 현재 중앙대학교의 경기도 지정연구 센터(GRRC)에서 배무채를 주제로 한 신기능성 물질 개발과 이용 연구가 진행 중이다.

제 5 장 연구개발 성과 및 성과활용 계획

1. 실용화 · 산업화 계획

- 품종의 산업화

- 비비1호(비비12호의 개명, 품종등록번호 : 제2887호)

종자판매의 통상실시권 협약: 다농종묘 및 자체 종자 판매 시작: 2010 하반기

-산업화 계획

- 녹황색 계통: 2011 하반기 품종등록신청 후 종자 판매계획
- 농녹색 신종 계통: 2012전반기 품종등록신청 후 종자 판매계획
- 뿌리용 배무채 계통: 2013 하반기 품종 등록 신청 후 종자판매 시작
- 적자색 신종 계통: 2013 하반기 품종 등록 신청 후 종자 판매 시작

2. 특허, 논문 등 지적재산권 확보 계획

-특허

- 국내특허 출원: 종자생산성이 향상된 배무채 신품종 식물

출원번호: 10-2009-55969. 특허권자: (주)바이오브리딩연구소

: 배무채의 응성불임성 계통을 이용한 종내 및 종속간 1대잡종 육성

출원번호: 10-2009-55968. 특허권자: (주)바이오브리딩연구소

: 배무채로부터 셸포라펜을 분리하는 방법 및 이의 용도

출원번호: 10-2008-0062828. 특허권자: 중앙대, (주)바이오브리딩연구소

- PCT출원 : 종자생산성이 향상된 배무채 신품종 식물

출원번호: PCT/KR2010/001568. 특허권자: (주)바이오브리딩연구소

- 국제특허 출원: 종자생산성이 향상된 배무채 신품종 식물

미국, 일본, 중국, EU 등 4개국

특허권자: (주)바이오브리딩연구소

-논문 발표

- 이수성, 2009. 배추와 무의 속간 복2배체 품종 육성. 우장춘박사 서거 50주기 기념 국제심포지움, p. 85-105. (편집) 조용섭, 권준국. 농촌진흥청, 국립원예특작과학원 시설원예시험장
- Soo-Seong Lee, Sun-Ae Lee, Jungmin Yang, Jongkee Kim. 2010. Developing stable progenies of *xBrassicoraphanus*, an intergeneric allopolyploid between *Brassica rapa* and *Raphanus sativus*, through induced mutation using microspore culture. *Theoretical and Applied Genetics* 122(2010) : 885-892
- Lim, S, Lee J, Kim J-K (2009) Analysis of isothiocyanates in newly generated vegetables, *Baemuchae(xBrassicoraphanus)* as affected by growth. *International Journal of Food Science and Technology* 44:1401-1407

-논문발표 예정

- 배무채 핵형 분석 : 2011. 국제SCI
- 배무채의 특성과 배추과 작물과의 교잡친화성 2011. 국제SCI
- 배무채 소포자 돌연변이에 의한 신 계통 육성(국내 SCIE) 2012
- 줄배추x갯무 속간잡종의 안정화된 후대 육성(국제SCI) 2012
- 배무채 소포자 돌연변이 유도 기술(국제SCI) 2012
- 뿌리갯과 배무채의 교잡에 의한 신종 근채 개발(국제SCI) 2013
- 적갯과 배무채의 교잡에 의한 신종 자엽채 개발(국제SCI) 2013

-세미나 발표

제목 : 배무채 개발과 의의(장소에 따라 약간씩 제목을 다르게 표현)

- 국립원예특작과학원 채소과: 2010. 10 (수원시 이목동 국립원예특작과학원)
- 배추과 연구회 및 배추 마커사업단: 2010. 11. (충남대학교)
- 중앙대학교 및 한경대학교 합동 세미나: 2011. 3. 10 (안성시 중앙대학교 본관)
- 한농종묘: 2011. 3. 24(안성시 한농종묘 육종연구소)
- 육종지원센터: 2011. 3. 30(서울대, 충남대, 전남대, 경북대의 채소육종전공 교수 및 대학원생 대상 영상 강의)

3. 추가연구

-배추와 무간 속간잡종의 지속적 개발

- 배추와 무의 복합내병성 계통을 이용한 복합내병성 신품종 개발
- 배추와 무의 무모용 계통을 이용한 무모용 샐러드용 품종 개발 등

4. 타 연구에 활용 계획

5. 교육·지도·홍보 등 기술 확산 계획

가. 조선일보 2006년 12월 30일

-배추·무 합친 '배무채' 내년 시판/ 자체 증식되는 새로운 채소

나. 농림기술평가원 우수과제 선정(2007년도)

다. 2007년도 정부 연구비 연구의 우수 연구 100선에 선정 배무채 소개

- 1) 연구개발의 핵심은 바로 이것!
- 2) 세계의 수준은 어디까지 와 있나요?
- 3) 파급효과는 어느 정도인가요?
- 4) 앞으로 이렇게 달라집니다.
- 5) 희로애락/연구후일담

라. 2008년 우리품종 전시회 참석

마. 농민신문 2009년 6월 24일

배추·무 합친 맛에/ 무궁무진 요리법/ 채소 신인왕 도전

바. 디지털농업 2009년 12월호

개인 육종가를 찾아서 : 이수성 편

-배추와 무를 교잡한 '배무채' / 품종을 넘어 새로운 작목을 만든다

사. 한국경제 2010년 7월 8일

혁신현장을 찾아서 / 경기도 지역협력 연구센터 / 중앙대 농식품신소재개발센터

- '배무채' 관련 기술 개발에 주력하고 있다

- 배무채 광고 게재: C6의 하단 1/3면에 맛과 기능성의 배무채(배추+ 무) 광고

아. 노컷뉴스 20xx년 x 월 23일(파일6).

광고테크노벨리서 가진 GRRC 신개발품 전시회 및 우수사례 발표회에서 중앙대

GRRC의 센터 장 김종기 교수가 '배무채'를 김문수 지사에게 설명하는 사진게재

자. 배무채 시연회 개최

- 중앙대학교 GRRC 주관으로 배무채를 이용한 여러 가지 요리를 준비하여

안성시의 주요 기관장들에게 소개함(약 50명 시식)

- 모든 음식이 다 맛이 있지만 겨자소-스의 샐러드와 물백김치가 최고라고 칭찬

차. 중앙일보 2010년 10월 22일

카. 배무채의 기능성분 셀포라펜 함량 확인

- 배무채 종자 보급용 홍보에 이용: 종자봉투의 앞면에 기재

“맛있는 기능성(항암. 항균성) 배무채 비비1호”

6. 연구기획 사업

- 중앙대학교 김종기 교소와 함께 기획연구과제 구상

· 배무채의 지속적 품종 개발, 무와 녹색꽃양배추간 신종식물 육성, 원연간 잡종의 안정화 원인 구명, 셀포라펜의 배무채를 이용한 건강보조 식품 개발, 셀포라펜의 약리 및 의약적 효과 구명, 셀포라펜의 식물체내 대사생리 연구 등을 같이 연구하고 구명할 수 있는 기획과제 구상 중

제6장 연구개발 과정에서 수집한 해외 과학 기술 정보

-배추과의 야생 식물 중 *Moricandia arvensis*(*Orychophragmus violaceus* 라고도 함)라는 식물이 있는데 이를 기존 배추과 식물과 교잡하여 새로운 형질의 신종을 육성하거나 융성불임성을 유기하고 있다

1. 최근까지 배추과 식물의 종속간 교잡에 의한 신종 식물 육성은 주로 일본, 유럽의 화란과 영국 및 스웨덴에서 연구되어 왔다. 그런데 최근에는 중국에서 유채의 획기적 품종 개발을 목표로 배추과의 야생식물을 이용한 원연간 교잡 연구가 활발하게 이루어지고 있다. *Moricandia*라는 관상용 배추과 식물이 광합성에 있어서 C3와 C4의 두 형을 동시에 가지고 있음에 착안하여 이 성질을 유채에 도입하는 연구를 수행하고 좋은 결과를 얻었다고 한다(Ma, N. & Z-Y. Li, 2007 ; Zao, Z. G., N. Ma, Z. Y. Li, 2007). 뿐만 아니라 무와 겨자 양배추(*B. alboglabra*)를 교잡하여 10세대까지 집단선발함으로써 종자생산성이 획기적으로 개선된 계통을 육성하였다 한다(Chen et al. 2008).

2. 일본의 우쓰노미야 대학에서는 수십 년 동안 꾸준히 배추과의 원연간 교잡에 의한 신식물을 육성코자 연구하고 있다. 최근에는 야생식물의 *Moricandia*와 무 등을 교잡하여 염색체 첨가형 무를 개발하고 있으며 그 과정에 세포질융성불임성(CMS)을 발견하고 이를 배추에 도입하는 연구를 하고 있다. 현재 F1품종 육성에 이용할 수 있을 정도로 발전시켰으며 이를 특허출원하고 있다고 하였다(Bang et al. 2002, 특허 관련은 세미나에서 구두로 발표).

제 7 장 참고 문헌

- Bang, S. W., T. Kaneko, Y. Matsuzawa, K. S. Bang(2002) Breeding of *Moricandia arvensis* monosomic chromosome addition lines ($2n=19$) of alloplasmic (*M. arvensis*) *Raphanus sativus*. *Breed Sci* 52:193-199
- Chen, H. G., J. S. Wu(2008) Characterization of fertile amphidiploid between *Raphanus sativus* and *Brassica alboglabra* and the crossability with *Brassica* species. *Genet Res Crop Evol* 55:143-150
- Dolstra, O.(1982) Synthesis and fertility of *xBrassicoraphanus* and ways of transferring *Raphanus* characters to *Brassica*. *Agric Res Rep* 917: 1-90
- Gómez-Campo, C., S. Prakash(1999) Origin and domestication. In: Gómez-Campo C(ed) *Biology of Brassica coenospecies*. Elsevier, pp 33-58
- Hong, S-Y., S-S. Lee(1995) Microspore culture of *xBrassicoraphanus*. *J Kor Soc Hort Sci* 36:453-459
- Jeong, H. W., S. S. Lee(1997) Influence of mutagen, n-nitroso n-methyl urethane on embryo induction and plant development in microspore culture of broccoli. *J Kor Soc Hort Sci* 38:379-383
- Karpechenko, G. D.(1927) Polyploid hybrid of *Raphanus sativus* L. x *Brassica oleracea* L. *Bul Appl Bot Genet Plant Breed* 7:305-410
- Keller, W.A., K. C. Armstrong(1977) Embryogenesis and plant regeneration in *Brassica napus* anther culture. *Can J Bot* 55:1383-1388
- Lange, W., H. Toxopeus, J. H. Lubberts, O. Dolstra, J. L. Harrewijn(1989) The development raparadish (*xBrassicoraphanus*, $2n=38$), a new crop in agriculture. *Euphytica* 40:1-14
- Lee, S-S., Choi W-J, Woo J-G (2002) Development of a new vegetable crop in *xBrassicoraphanus* by hybridization of *Brassica campestris* and *Raphanus sativus*. *J Kor Soc Hort Sci* 43:693-698
- Lee SS, Woo JG, Shin HH (1989) Obtaining intergeneric hybrid plant between *Brassica campestris* and *Raphanus sativus* through young ovule culture. *Korean J Breed* 21:52-57
- Lee, S. S., Y. J. Yoon. 1987. Anther culture of * *Brassico-raphanus*. *Cruciferae Newsl.* 12:68-69

Lim S, Lee J, Kim J-K (2009) Analysis of isothiocyanates in newly generated vegetables, *Baemuchae*(*xBrassicoraphanus*) as affected by growth. *International Journal of Food Science and Technology* 44:1401-1407

Lim SJ (2001) Confirmation of chromosomal constitution by means of karyotype analysis and genomic in situ hybridization of *xBrassicoraphanus*, the intergeneric hybrid between *Brassica campestris* ssp. *pekinensis* and *Raphanus sativus*. MS Thesis Chung-Ang University pp 1-52

Ma N, Li Z-Y (2007) Development of novel *Brassica napus* lines with canola quality and higher levels of oleic and linoleic acids derived from intergeneric hybrids between *B. napus* and *Orychophragmus violaceus*. *Euphytica* 157:231-238

McNaughton IH (1979) The current position and problems in the breeding of *Raphanobrassica*(radicole) as a forage crop. *Proc 4th Eucarpia-confer Breed Cruciferous crops* 22-28

Namai H, Sarashima M, Hosoda T (1980) Interspecific and intergeneric hybridization breeding in Japan. In: Tsunoda S Hinata K Gomez-campo C (eds) *Brassica Crops and Wild Allies*. Japan Sci Soc Press, Tokyo pp 167-190

Nishi, S. 1980. Differentiation of Brassica crops in Asia and the breeding of "HAKURAN", a newly synthesized leafy vegetable. In Tsunoda, S. Hinata, K. and Gomez-campo, C.(eds). *Brassica crop and wild allies*, Japanese Sci. soc. press, Tokyo, 1980. p133-150

Olsson G, Ellerström S (1980) Polyploidy breeding in Europe. In: Tsunoda S, Hinata K and Gomez-campo C (eds) *Brassica Crops and Wild Allies*. Japan Sci Soc Press, Tokyo p 167-190

Oost, Emiel H. 1984. *xBrassicoraphanus* Sageret or *xRaphanobrassica* Kapechenko? *Cruciferae Newsl.* 9: 11-12

Prakash S, Bhat SR, Quiros CF, Kirti PB, Chopra VL (2009) *Brassica* and its close allies: cytogenetics and evolution. In: Jules Janick (ed) *Plant Breed Rev*, John Wiley & Sons, Inc 31:21-187

Rhee Y-H, Ahn K-S, Lee S-S, Park Y-D, Ryu S-Y, Kim S-H (2007) Isolation of chemical compounds from *xBrassicoraphanus*. *Kor J pharmacogn* 38:403-408

Swanson EB, Herrgesell MJ, Arnaldo M, Sippell DW, Wong RSC (1989) Microspore mutagenesis and selection of canola plant with field tolerance to the imidazolinones. *Theor Appl Genet* 78:252-230

高田宗男, 丸山晴志, 國枝春己, 日比野義昭, 宇治原青尙, 矢井治夫, 越川兼行, 土井壽生, 津田 薫. 1987, 人為 復2倍体の 結球性野菜ハクランの 1代 雜種育成と 栽培技術確立の研究. 岐阜農業総合研究 研究報告. 1号. pp 1-185

U, N(1935) Genome analysis in *Brassica* with special reference to the experimental formation of *B. napus* and peculiar mode of fertilization. Jpn J Bot 7:389-452

Zao, Z. G., N. Ma and Z. Y. Li. 2007. Alteration of chromosome behavior and synchronization of parental chromosomes after successive generations in *Brassica napus* x *Orychophragmus violaceus* hybrids. Genome 50:226-233.

주 의

1. 이 보고서는 농림수산식품부에서 시행한 농림산업기술개발사업(신품종육성)의 연구보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표할 때에는 반드시 농림수산식품부에서 시행한 농림산업기술개발사업(신품종육성)의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 아니 됩니다.