저온에서도 결구가 잘 형성되는 배가 반수체 배추 ‘원교20051호’ 개발

박수형* · 장석우 · 최승국

국립원예특작과학원 채소과

Developing Double-Haploid Inbred Lines of ‘Wonkyo20051ho’ Kimchi Cabbage (*Brassica rapa*. L) Characterized by Formation of Tight Head at Low Temperatures

Suhyoung Park*, Suk-Woo Jang, and Seung-Kook Choi

Vegetable Research Division, NIHHS, RDA, Wanju 55365, Republic of Korea

Abstract Kimchi cabbage (Chinese cabbage) is a very common Korean traditional vegetable, cultivated across 32,000 ha, which accounts for about 13% of the total vegetable cultivation area in Korea. Since 2010, frequent occurrences of extreme weather conditions caused a shortage of summer, winter, and autumn Kimchi cabbage. Therefore, the National Institute of Horticultural and Herbal Science (NIHHS) selected a haploid breeding method of microspore culture to develop inbred lines that show resistance under extremely low or high temperature for Kimchi cabbage production. ‘Wonkyo20051ho’ is a double-haploid (DH) inbred line developed using the microspore culture method. Eleven heat resistant parental plants were selected through summer cultivation of 37 resources collected in 2014. Microspore culture was efficient in regenerating four resources, from which 13 DH inbred lines were developed. After artificially inoculating ‘Seosan’ clubroot with low concentration inoculum, 7 inbred lines showing moderate resistance were selected. As a result of the autumn cultivation of 83 breeding plants, including 6 selected inbred lines, the ‘18-FH98’ inbred line forming tight heads with yellow inner leaf under low temperature was finally selected during the 2018 autumn field trial. The selected DH inbred line was named ‘Wonkyo20051ho’ and is expected to be a valuable breeding material possessing tolerance to low temperature and clubroot.

Keywords Doubled-haploid, Wonkyo20051ho, Kimchi cabbage, Chinese cabbage, club root, low temperature

Received on October 14, 2019. Revised on October 15, 2019. Accepted on November 8, 2019.

* Corresponding Author (E-mail: psh@korea.kr, Tel: +82-63-238-6622, Fax: +82-63-238-6605)

서 언

배추(*Brassica rapa* L.)는 김치의 형태로 가공되어 겨울철에 부족하기 쉬운 비타민의 공급원으로 한국에서 전통적으로 이용되어온 채소이다. 정확한 도입 시기는 알 수 없으나, 문헌상으로는 고려시대인 1236년에 발간된 ‘향약구급방(鄕藥救急方)’에 최초로 승(菘)이라는 작물로 설명되었으며, 이후 다양한 농업 관련 서적에 나타나게 된다. 이렇게 중국에서 도입된 배추는 현재 대한민국 모든 지역에서 봄, 여름, 가을, 겨울까지 재배되는 주요 채소로 재배되고 있다. 2017년 배추 생산액은 8천 9백억원으로 국내 10대 채소중 하나이며 재배면적은 3만2천ha로 전체 채소의 약13%를 차지하고 있다. 최근 신생활 서구화 등 짜고 매운 음식을 꺼리는 경향으로 재배 면적은 연평균 3%의 감소추세를 보이고 있다(MAFRA 2018).

배추는 서늘한 기후에서 잘 자라는 십자화과 채소 중 하나로

국내에 도입된 이후 줄곧 가을에만 재배하여 김치로 이용하여 왔다. 그런데 배추김치가 주식 다음으로 활용되는 부식으로 자리를 잡게 되며 신선한 김치를 맛보고 싶어하는 국민적 요구가 발생하게 되었다. 따라서 국내 재배 농가에서는 남북으로 긴 지형적 특성과 1960년대부터 보급되기 시작한 시설(하우스)을 활용하여 연중 재배를 시도하게 되었다. 봄철엔 상대적으로 기온이 낮기 때문에 추대가 늦은 품종을 이용하여 남부지역에서 비닐하우스 또는 터널을 이용한 봄재배 작형이 개발되었다. 이후 여름 더위에 잘 견디는 품종을 개발하여 강원도 등 여름이 비교적 서늘한 해발 700 m이상의 고랭지 지역에서 재배를 성공하게 되었으며, 마지막으로 추위에 강한 품종을 이용하여 제주 또는 남해안 지역에서 온난한 겨울을 넘기며 재배하는 겨울 재배까지 가능하게 되었다(2008, 한국채소종자산업발달사).

2010년에는 여름철 배추 주요 생산 지역인 강원도 고랭지 지역의 수확기 집중호우로 수확량의 급속한 감소, 가을철에는

전국을 강타한 늦은 태풍으로 정식시기 지연으로 수량감소가 발생하며 배추의 공급에 차질이 발생하였다. 이후 봄배추 정식시기 일시적 저온과 고온의 반복으로 인한 활착 불량, 겨울 배추 재배 시기에 3월4월의 기상패턴을 벗어난 장기간 저온 지속으로 동해 발생 등 다양한 악기상 조건이 발생하며 배추의 공급을 위협하게 되었다.

최근 기상이 악화되며 작물의 생육은 불량해지고, 병해충의 발생은 유리한환경 조건이 형성되며 특정 병해충의 대량 발생이 종종 문제를 일으킨다. 특히 고랭지 여름 재배의 경우 고온기에 장마나 비가 자주 내리게 되면 뿌리혹병이 잘 발생하게 된다. 뿌리혹병은 토양에 생존하며 배추과 채소의 뿌리에 혹을 형성하는 절대 활물 기생균인 *Plasmodiophora brassicae*에 의해 발생한다(Braselton 1995). 뿌리혹병원균은 연구 초기에 진균(fungi)으로 분류되었으나 이후 염기서열 분석 결과 진균과는 연관이 없는 것으로 밝혀졌으며(Castlebury & Domier 1998), rRNA로 분류한 결과 원생동물(protozoa)로 밝혀졌다(Van de Peer et al. 2000).

뿌리혹병은 현재 율령도를 포함한 국내 모든 배추 재배 지역에서 발생하고 있으며, 생육 초기에 발생할 경우 수확을 포기해야 할 정도로 배추의 공급에 큰 위협을 주고 있다. 뿌리혹병 방제에 작물보호제 또는 길항균을 사용하는 방법이 개발되었다(Datnoff et al. 1987, Cheah et al. 2000, Yeoung et al. 2003). 그러나 작물보호제의 경우 처리 비용이 많이 소모되며 그 효과가 지속적이지 못하여 매 작기마다 처리해야 하는 문제가 있으며, 길항균의 경우 비용도 높지만 처리 효과가 낮은 문제가 있다. 따라서 병 저항성 품종의 개발이 가장 근본적인 대응 방법으로 선정되어 저항성 품종의 개발 관련 연구를 꾸준히 실시하고 있다. 배추는 자연적으로 뿌리혹병 저항성 유전자가 존재하지 않으므로, 현재까지는 순무의 저항성 유전자를 도입하는 육종 방법이 이용되었다. 채소과에서는 병에 저항성인 순무를 선발하여 배추와 교배한 후 그 후대를 소포자 배양하여 신속하게 뿌리혹병 저항성을 보이는 배추 계통을 육성하였다(Park et al. 2011, Jang et al. 2016, Jang et al. 2017).

소포자 배양 기술은 십자화와 채소의 육종에 오래 전부터 이용되어온 방법으로(Lichter 1982) 단기간에 유전적으로 순도가 높은 계통을 개발하기에 효과적이다. 특히 결구배추는 에티오피아 겨자와 함께 1990년 이전에 이미 소포자 배양에 성공하여(Chuong & Beversdorf 1985, Sato et al. 1989), 이후 육종에 활용하기 위한 노력이 지속되었다. 소포자 배양은 배양 하는 품종에 따라 배양의 결과가 크게 달라지며, 배양조건(배지종류, 배양온도, 고온처리 조건, 배양용기 등)과 화뢰의 크기 등 배양하는 식물체의 상태도 배양 결과에 영향을 끼치는 것으로 보고되었

다(Chuong & Beversdorf 1985, Sato et al. 1989, Takahata & Keller 1991, Cao et al. 1994, Takahata et al. 1996).

2010년 이후 악기상 조건이 자주 발생되며 여름철 고랭지 배추의 생산에 차질이 발생하며 공급 부족으로 가격이 급등하는 문제가 자주 발생하였다. 경우에 따라서는 겨울재배와 가을재배에 까지 생산이 어려워지는 경우도 발생하고 있다. 따라서 국립원예특작과학원 채소과에서는 다양한 악기상 조건에 저항성인 품종을 개발하기 위하여 소포자 배양을 이용한 반수체 육종법을 실시하였다.

재료 및 방법

환경저항성 배양 모본 선발을 위한 초여름 재배

최근 배추 재배의 결립돌이 되고 있는 더위에 강한 자원을 선발하기 위하여 2014년도까지 국립원예특작과학원 채소과에서 개발한 육종 소재와 국내에서 판매중인 일대잡종 품종 37점을 2014년 4월16일에 파종하여 한 달 간 육묘관리를 한 이후, 5월 16일에 국립원예특작과학원 채소과 시험포장(경기도 수원시 소재)에 정식한 후 7월 17일 생육조사를 하여 원예적 특성을 조사하였다(Table 1). 노지 재배를 위한 두둑은 약 90 cm의 평 두둑을 성형한 이후 점적관을 2줄 깔고 검은색 필름으로 피복하였다. 재배 방법은 배추 표준재배법에 준하여 재배하였으며, 특성조사는 국립종자원의 배추 특성조사요령(KSVS 2018)과 농촌진흥청 시험 연구 설계서의 조사기준에 준하여 실시하였다. 일부 피사로 조사가 불가능한 개체는 조사를 수행하지 못하였다.

배추 소포자 배양

소포자 배양을 위한 선발 모본은 발아율 확보를 위하여 2014년 8월 하순(26일) 파종하여 본엽이 5매 이상 전개된 이후 9월 25일 저온처리실(5~10℃ 유지)에서 2개월간 처리한 후 plastic house의 지름 20 cm 화분에 옮겨 심은 후 개화하는 개체의 어린 봉오리를 배양용 소재로 이용하였다.

어린 봉오리는 2-3 mm 크기의 것을 선별하여 자원 별로 30개씩 거즈로 싸서 소독하였다. 소독은 차아염소산나트륨(2%) 용액에 15분간 침지 후 꺼냈으며, 이후 세척 과정은 멸균수로 3분간 침지 후 꺼내어 새로운 멸균수에 3분간 침지하는 과정을 3회 실시하였다.

배양을 위한 화뢰의 준비는 1X NLN (Nitsch & Nitsch 1967, Lichter 1982) 배지를 소량 붓고 막자 사발로 갈아 45 µm체로 거른 후 NLN배지를 부어 30 ml로 부피를 맞추어 원심분리하여

Table 1. The plant materials of Kimchi cabbage^z developed or introduced in the National Institute of Horticultural and Herbal Science (NIHHS)

Label	Name	Origin	Seed Production Year	Seed Production No.
14-FS01	Chunkang	Korean commercial cultivar	-	-
14-FS02	Arari	Korean commercial cultivar	-	-
14-FS03	Ssamnolaeng-i	Korean commercial cultivar	-	-
14-FS04	Wonkyo20034ho	NIHHS	2013	528
14-FS05	Wonkyo20035ho	NIHHS	2013	631
14-FS06	Wonkyo20036ho	NIHHS	2013	533
14-FS07	Wonkyo20037ho	NIHHS	2013	538
14-FS08	Wonkyo20038ho	NIHHS	2013	541
14-FS09	Wonkyo20039ho	NIHHS	2013	545
14-FS10	Wonkyo20040ho	NIHHS	2013	549
14-FS11	Wonkyo20041ho	NIHHS	2013	553
14-FS12	Wonkyo20042ho	NIHHS	2013	557
14-FS13	Wonkyo20043ho	NIHHS	2013	715
14-FS14	12-BK09	NIHHS breeding materials developed from Korean cultivar 'Bulam plus'	2012	290
14-FS15	12-BK10	NIHHS breeding materials developed from Chinese cultivar	2012	291
14-FS16	12-BK11	NIHHS breeding materials developed from Korean cultivar 'whimory'	2012	293
14-FS17	12-BK15	NIHHS breeding materials developed from Korean cultivar 'Bulam plus'	2012	299
14-FS18	12-BK7-11	NIHHS breeding materials developed from Korean cultivar 'Geolmat'	2013	455
14-FS19	12-BK7-12	NIHHS breeding materials developed from Korean cultivar 'Geolmat'	2013	456
14-FS20	12-BK9-2	NIHHS breeding materials developed from Korean cultivar 'Bulam plus'	2013	460
14-FS21	12-BK9-3	NIHHS breeding materials developed from Korean cultivar 'Bulam plus'	2013	461
14-FS22	12-BK11-2	NIHHS breeding materials developed from Korean cultivar 'whimory'	2013	466
14-FS23	12-BK11-3	NIHHS breeding materials developed from Korean cultivar 'whimory'	2013	467
14-FS24	12-BK15-1	NIHHS breeding materials developed from Korean cultivar 'Bulam plus'	2013	468
14-FS25	12-BK15-5	NIHHS breeding materials developed from Korean cultivar 'Bulam plus'	2013	472
14-FS26	12-BK7A-2x12-FA10-5	NIHHS breeding materials developed from Korean cultivar	2013	478
14-FS27	12-BK7A-3x12-FA10-1	NIHHS breeding materials developed from Korean cultivar	2013	480
14-FS28	12-BK8A-1	NIHHS breeding materials developed from Korean cultivar 'Ganghan'	2013	485
14-FS29	12-BK8A-1x12-FA10-5	NIHHS breeding materials developed from Korean cultivar	2013	487
14-FS30	12-BK8A-5	NIHHS breeding materials developed from Korean cultivar 'Ganghan'	2013	496
14-FS31	12-BK8A-5x12-FA10-4	NIHHS breeding materials developed from Korean cultivar	2013	498
14-FS32	12-BK10A-3	NIHHS breeding materials developed from Chinese cultivar	2013	505
14-FS33	12-BK10A-3x12-FA10-5	NIHHS breeding materials developed from Korean and Chinese cultivar	2013	507
14-FS34	12-BK10A-4	NIHHS breeding materials developed from Chinese cultivar	2013	508
14-FS35	12-BK10A-4x12-F10-3	NIHHS breeding materials developed from Korean and Chinese cultivar	2013	510
14-FS36	12-BK14A-4	NIHHS breeding materials developed from Korean cultivar 'Handong gi'	2013	522
14-FS37	12-BK14A-4x12-FA10-2	NIHHS breeding materials developed from Korean cultivar	2013	524

^zKimchi cabbage is the name of a subgroup of Chinese cabbage which is used as an ingredient of Korean traditional cuisine, Kimchi (Codex, 2012).

상징액을 버리는 washing 과정을 3회 실시하였다.

치상은 마지막 상징액을 따라낸 이후 실험용 배지를 첨가한

후 지름 6 cm petridish에 2.5 ml씩 분주하여 parafilm과 랩으로

밀봉하였다(Lee & Nam 1995). 이후 배 발생을 유도 위험 암처리

(30°C, 24시간), 암배양(25°C, 14일) 후 명배양(25°C, 75~80rpm 진탕배양)하며 배 발생 여부를 조사하였다. 배지의 조성은 1/2X NLN과 1/2X NLN with Vit.을 섞은 후 AgNO₃ 1 mg/L를 첨가한 이후 Sucrose의 농도를 13%로 맞춘 기본 배지와 NAA 0.05 mg/L와 BAP 0.05 mg/L를 첨가한 호르몬 배지를 이용하였다 (Jang et al. 2016, Jang et al. 2017).

순화는 배상체의 크기가 7 mm 정도로 자랐을 때 3% sucrose가 포함된 1/2MS (Murashige and Skoog, Duchefa)고체배지로 옮겨주었다. 정상적인 식물체로 자랄 때 까지 2~4회의 계대 배양을 수행한 후 멸균된 토양에 정식하여 정상적인 식물체로 자라기까지 순화하였다.

종자 증식

순화가 완료된 식물체는 생육 상황에 따라 저온처리실(5~10°C 유지)에서 3개월 정도 관리하며 튼튼하게 자란 이후 온실로 옮겨 지름 20 cm의 화분에 정식하여 개화를 유도하였다. 추대가 형성된 개체의 첫 추대는 제거하여 측지의 형성을 유도하였으며, 개체 당 3~5개의 추대를 키운 후 뇌수분 하였다. 뇌수분을 위하여 봉지 안에서 개화된 동일한 개체의 화분을 아직 개화하지 않은 약 5 mm 정도의 봉오리 윗부분을 열어 인공수정 하였으며, 이후 일주일간 봉지를 씌워 오염 수분을 방지하였다. 뇌수분 후 50~60 일이 지나 종자가 노랗게 익으면 꼬투리가 벌어지기 전에 채종하였다.

뿌리혹병 접종 및 평가

뿌리혹병의 인공 접종은 일정 농도의 접종액을 관주하여 접종하는 방법으로 50공 플러그 셀 트레이(Plug cell tray, 50)에 시험재료별로 종자를 파종하였다. 약 7일이 경과하여 떡잎이 완전히 전개되었을 때 개체 당 5 mL의 접종액(한국화학연구원 분양 서산균주, 1x10⁶ 농도)을 관주하여 주었다(Kim et al. 2016). 관주 이후에는 물받침을 이용하여 침지하여 관수하며 6주간 관리하였다.

뿌리혹병 저항성의 평가는 식물체를 모두 캐내어 뿌리를 깨끗하게 세척한 이후 병징의 발생 정도에 따라 발병도(Disease index)를 조사하였다. DI 값은 Werner 등(2008)의 방법에 따라 계산하였다. 평가 기준은 병증을 보이지 않는 1부터 주근까지 비정상적으로 변형된 중증을 5구간으로 나누어 평가하였다(Fig. 1). 병증 1=뿌리혹병 발생이 없음, 2=측근에 혹이 착생되어 비대 정도가 적고 서로 독립하여 존재, 3=측근에 혹이 착생되며 비대 정도가 비교적 큼, 4=주근에 혹이 착생되며 서로 접합되고 비대

Fig. 1. The shape of root after inoculation with *P. brassicae* in Kimchi cabbage (Chinese cabbage) (1: no symptom, 2: lump formation in fibrous root, 3: lump formation in fine root, 4: lump formation in main root, 5: combined lump in fine and main root)

정도가 큼, 5=주근에 혹이 착생되며 서로 접합되고 비대 정도가 매우 큼으로 조사하였다(Kuginuki et al. 1999).

원예적 특성 평가

종자가 충분히 증식된 소포자 배양 유래 계통은 원예적 특성 평가를 위해 전북 완주군 이서면 소재의 국립원예특작과학원 채소과 노지 포장에서 가을에 재배하였다. 재배 방법은 배추 표준재배법에 준하여 재배하였으며, 검은색 멀칭 필름으로 피복하고 점적관수를 실시하였다. 파종은 2018년 8월 9일에 완주군 이서면 소재 국립원예특작과학원 육묘장에 실시하였으며, 정식은 2018년 9월 6일 인근 노지 포장에 실시하였다. 특성조사는 국립종자원의 배추 특성조사요령(KSVS 2018)과 농촌진흥청 시험 연구설계서의 조사기준에 준하여 2018년 11월 5일 실시하였다.

결과 및 고찰

배추 ‘원교20051호’는 중부지역 노지 초여름 재배 결과 내서성이 강하여선발된 수집종 중 국내에서 판매중인 일대잡종 품종인 ‘아라리’를 소포자 배양하여 육성된 계통으로, 뿌리혹병도 중간 정도의 저항성을 보이며 가을 철 저온 조건에서도 단단한 결구를 형성하는 환경스트레스에 저항성을 보이는 소형 배추이다.

환경저항성 모본의 선발과 소포자 배양

대한민국은 사계절이 뚜렷하여 더운 여름철과 추운 겨울철에는 배추의 생리장애가 발생하여 공급 차질 문제가 해마다 되풀이되는 경향을 보였다. 이러한 온도 스트레스에 저항성인 품종을 개발하기 위하여, 소포자 배양을 위한 모본을 더운 계절 재배를 통하여 선발코자 하였다. 따라서 중부지역인 수원에 위치한 국립원예특작과학원 시험포장(수원)에 2014년 4월 16일 파종하여

1개월 간 육묘한 이후, 노지 포장에 5월16일 정식하였다. 이는 일반적인 봄 재배법보다 1개월 이상 늦게 정식하는 방법으로 초여름 더운 계절에 수확을 하게 된다. 이후 표준재배지침에 의거하여 재배한 이후 7월17일에 지상부를 잘라서 결구력, 속잎수, 구중 등 주요 원예적 특성을 조사하였다. 국내외 수집 일대잡종 품종과 원예원에서 개발중인 육종 소재 등 37점을 수조사한 결과 고랭지 여름용 주력 품종인 '14-FS1 (춘광, 사카타코리아)'에서 속썩음 증상이 발생할 정도로 재배 환경이 좋지 못하였다 (Fig. 2A). 그런데 정선 지역의 여름 재배용 품종으로 개발한 '14-FS2 (아라리, 농협종묘)'와 채소과 육성 계통인 '14-FS13', 그리고 중국 도입자원의 분리세대인 '14-FS35' 3개의 자원만 1.8 kg이상의 구를 형성하였으며, 대부분 구가 매우 작거나 속이 썩어 조사가 어려웠다. '14-FS2'번은 평지 여름 재배 조건에서도 잘 자라서 2.3 kg의 구를 형성하였으며 속잎색이 노랗고 속썩음 증상도 보이지 않아 배양용 모본으로 선발되었다. 이밖에 잎의

색이 진하고 구는 작으나 생리장애가 발생하지 않은 '14-FS28', 속잎색이 진한 '14-FS15' 등 11 자원을 선발하였다. '14-FS13', '14-FS35'는 비교적 무거운 구를 형성 하였으나, 형태가 불량하며 잎이 뻗뻗한 등 원예적 특성이 불량하여 도태하였다. 이밖에 속썩음 등 생리장애의 발생 여부, 구의 형태 등 품질을 함께 고려하여 소포자 배양용 자원 11점을 선발하였다(Fig. 2, Table 2).

선발된 자원 11점은 2014년부터 2015년까지 소포자 배양을 실시하였다. 소포자 배양은 NLN-13을 기본배지로 사용하여 90~120개의 꽃봉오리를 배양하였으며, 이후에도 작물이 활력이 있어 꽃봉오리가 잘 형성되면 추가로 배양을 실시하였다. 꽃봉오리의 형성이 원활하지 못하였던 '14-FS18 (한국 수집 품종인 '겨울맛' 후대)'을 제외한 10점의 자원은 200화 이상을 배양하였으며, '14-FS02' 등 4자원에서 167점의 반수체 유래 배상체를 획득하였다. 배상체는 1/2 MS 고체 배지를 이용하여 순화하였으며, 뿌리가 정상적으로 형성된 개체는 소독한 토양으로 옮겨

Fig. 2. The half-cut shape of selected plant materials for microspore cultivation after summer cultivation in an experimental field of Suwon at 2014 (A: 14-FS1; 'Chunkang', B: 14-FS2; 'Arari', C: 14-FS14; breeding material developed from 'Bulam plus', D: 14-FS15; breeding material developed from Chinese germplasm)

심어 순화를 실시하였다. 토양에서 잘 순화되어 식물체로 성공적으로 자란 개체는 저온처리(5~10℃ 유지, 약3개월) 이후 지름 20 cm의 화분으로 정식하여 개화를 유도한 이후 뇌수분으로

종자를 획득하였다. 최종적으로 종자를 획득한 배가 반수체는 13점으로 ‘14-FS02’ 유래 2점, ‘14-FS15’ 유래 1점, ‘14-FS21’ 유래 6점 및 ‘14-FS31’ 유래 4점 이었다(Table 3). ‘14-FS02’의

Table 2. Important horticultural traits of early summer cultivation of Kimchi cabbage (Chinese cabbage) in ‘Suwon’

Field Label	Plant weight (g)	Head			Leaf		No.
		Weight (g)	Height (cm)	Width (cm)	Length (cm)	Width (cm)	
14-FS1	2291.0	1147.0	29.5	12.5	45.0	28.0	77.0
14-FS2	2978.5	2324.5	29.0	16.0	42.0	28.5	74.0
14-FS3	2423.5	1459.5	27.5	13.5	52.5	28.5	66.5
14-FS4	2051.5	911.0	33.0	11.5	53.0	30.0	47.5
14-FS5	875.0	436.5	33.0	7.0	41.5	21.5	27.5
14-FS6	2085.5	1061.0	37.0	13.5	49.0	30.5	61.0
14-FS7	1883.0	862.5	27.0	10.5	34.5	25.5	55.0
14-FS8	1615.5	430.5	23.0	9.5	37.5	16.5	43.5
14-FS9	1470.5	733.5	25.0	11.5	38.5	24.5	64.0
14-FS10	1014.0	601.5	35.0	8.0	50.5	23.5	34.5
14-FS11	2576.0	780.5	24.0	12.5	48.5	32.0	69.0
14-FS12	2540.5	989.5	26.0	12.5	42.5	25.5	73.5
14-FS13	2701.0	1809.5	33.0	16.0	47.5	30.0	79.5
14-FS14	2545.5	1587.5	30.0	17.0	51.0	31.0	83.5
14-FS15	1953.0	252.0	18.0	7.0	39.5	25.5	27.0
14-FS16	1766.5	712.0	21.0	11.5	38.5	26.0	59.0
14-FS17	1260.5	573.5	26.0	12.5	38.5	24.0	57.0
14-FS18	1962.0	591.5	26.5	10.5	55.0	28.5	60.5
14-FS19	2298.0	1438.0	36.0	16.0	54.0	33.5	66.0
14-FS20	2513.0	1362.5	28.0	16.5	45.0	26.5	78.5
14-FS21	2460.0	1304.5	25.0	14.5	46.5	26.5	89.5
14-FS22	1065.0	481.0	20.0	11.0	36.0	29.0	54.0
14-FS23	838.5	249.0	18.5	8.5	35.5	25.0	44.5
14-FS24	1885.0	679.5	24.0	12.0	43.5	27.0	65.0
14-FS25	837.0	195.0	24.0	7.0	38.0	28.0	11.0
14-FS26	2579.5	1230	29.5	12.5	49.5	34.5	75.0
14-FS27	2123.0	1035.5	30.0	14.0	45.5	33.5	67.0
14-FS28	1574.5	781.5	31.5	13.0	45.0	26.0	58.5
14-FS29	2204.5	1165.5	30.5	14.0	47.0	30.0	69.5
14-FS30	1660.0	921.0	31.0	14.5	52.5	27.5	62.5
14-FS31	3027.0	1603.5	35.5	13.5	47.5	32.0	67.0
14-FS32	1268.5	244.5	21.5	6.5	41.5	23.5	1.5
14-FS33	3126.0	1438.5	32.0	13.0	46.0	32.5	54.5
14-FS34	1763.0	362.0	22.5	8.5	36.0	19.5	26.0
14-FS35	3433.0	1807.5	35.0	16.0	48.5	34.0	55.5
14-FS36	531.5	110.5	16.5	3.5	33.0	26.5	17.5
14-FS37	2495	1397.5	37.0	13.5	45.5	32.5	63.5

경우 390개의 미숙 화뢰를 배양하여 78개로 가장 많은 숫자의 반수체 유래 배상체가 발생하였으나 성공적으로 뿌리를 형성하고 종자를 맺을 수 있는 식물체로 자란 숫자는 2개로 배가반수체 획득 효율은 2.6%로 낮았다. 그러나 '14-FS15'의 경우 단 한 개의 배상체를 획득하였으나 성공적으로 순화와 채종을 하게되어 배가반수체 획득 효율은 100%로 높았다. 특히 '14-FS02'의 경우 한꺼번에 너무 많은 숫자의 배상체가 발생하여 작은 배양용기 안에서 경쟁적으로 자라며, 이후 정상적인 식물체로의 발달이 어려워진 것으로 판단되었으며, 추후 대량의 배가 발생할 경우 신속하게 배양 용기를 바꾸어 주는 등 배상체의 계대배양 조건 구명 관련 후속 연구가 필요할 것으로 사료되었다.

육성 자원의 뿌리혹병 저항성 검정

정상적으로 종자가 증식된 13점의 배가반수체와 국내 주요 배추 품종인 '불암3호'를 이용하여 뿌리혹병 인공접종 실시 결과 '14-FS02'에서 유래된 계통 등 5점이 낮은 농도(1×10^6)의 서산균주

에 저항성으로 나타났다(Table 4). 대조로 이용된 '불암3호'는 농가에서 재배할 경우 뿌리혹병에 저항성이 강하지는 않았으나, 저농도의 서산균주에 중간 정도의 저항성을 보였다. 육성된 계통 중 대조보다 뿌리혹병에 저항성을 보이는 '14-FS31-C1', '14-FS31-C3', '14-FS21-C2', '14-FS21-C3', '14-FS21-C4', '14-FS21-C6'과 '14-FS02-C1'을 선발하였다. 선발된 자원은 차년도 원예적 특성 검정을 위하여 뇌수분으로 종자를 증식하였다. 서산균주는 병원성이 강하여 국내 품종 중 저항성으로 개발된 일대잡종 품종도 모두 감염되므로 저항성 육종 소재의 선발이 어렵다고 판단되었다. Kim 등(2016)이 사용한 농도(1.0×10^7 spores/ml) 접종액으로 국내 수집품종 10점을 예비 접종 결과 모두 이병성으로 판명되 선발이 불가능하였다(data not presented). 따라서 본 실험에 사용한 서산균주 접종액은 1.0×10^6 spores/ml의 농도로 사용하였으며, 접종 결과 Disease Index가 10이하로 대조인 '불암3호'보다 저항성이 강한 7점의 자원을 선발 할 수 있었다(Table 4).

Table 3. The number of doubled-haploid (DH) plants after microspore culture of Kimchi cabbage (Chinese cabbage)

Label	No. of buds used for the microspore culture	No. of embryos	No. of Doubled haploid plants
14-FS01	210	-	-
14-FS02	390	78	2
14-FS03	240	-	-
14-FS14	200	-	-
14-FS15	350	1	1
14-FS17	210	-	-
14-FS18	90	-	-
14-FS19	300	-	-
14-FS21	270	56	6
14-FS28	210	-	-
14-FS31	330	32	4

Table 4. The disease index of doubled-haploid (DH) inbred lines of Kimchi cabbage (Chinese cabbage)

Label	Disease Index	Label	Disease Index
Bulam-3ho	25.00	14-FS21-C3	0.00
14-FS31-C1	9.62	14-FS21-C4	0.00
14-FS31-C2	23.21	14-FS21-C5	11.54
14-FS31-C3	0.00	14-FS21-C6	0.00
14-FS31-C4	30.77	14-FS15-C1	25.00
14-FS21-C1	25.00	14-FS02-C2	32.50
14-FS21-C2	5.00	14-FS02-C1	0.00

Disease Index: ranged from 0(no symptom) to 125(Severe symptom) calculated according to Werner et.al. (TAG, 2008)

육성 계통의 원예적 특성 검정과 선발

원예적 특성의 검정을 위하여 저항성 선발 자원 7점을 포함한 13점의 뇌수분을 실시하였으며, 그 결과 병저항성 선발자원 ‘14-FS21-C3’, ‘14-FS21-C4’, ‘14-FS21-C6’, ‘14-FS31-C3’, 및 ‘14-FS02-C1’ 5점과 속잎색이 진하여 추가로 선발된 ‘14-FS15-C1’의 6점에서 100립 이상의 종자를 획득하였다. 증식된 배가 반수체 계통 및 채소과 보유 자원 83점은 원예적 특성 조사를 위하여 2018년도에 완주지역 노지 포장에 가을 재배를 실시하였다. 자원 83점의 내역은 시중에서 판매중인 일대잡종 품종 9점(‘18-FH01’~‘18-FH09’)과 채소과에서 육성한 계통 ‘원교20034호’ 등 17점(‘18-FH10’~‘18-FH26’), 뿌리혹병 저항성 배추 선발 자원의 소포자 배양 유래 계통 5점(‘18-FH44’~‘18-FH48’), 채소과에서 보유중인 뿌리혹병 평창 군주 등에 저항성을 보였던 배추과 자원의 교배 후대 41점(‘18-FH49’~‘18-FH89’), 그리고 저농도의 서산군주에 저항성을 보였던 자원의 교배 및 배양 후대 11점(‘18-FH90’~‘18-FH100’)으로 구성되었다. 가을 노지 재배 결과 일대잡종 품종 4점이 구를 형성하지 못할 정도로 기상 여건이 좋지 못하였다. 자원별로 전체 식물체의 무게, 구의 무게와 잎의 숫자를 조사하였다. 품종 선발의 최종 기준은 고품질 수요가 많은 국내 시장에 진입이 가능할 정도로 속잎의 색이 노랗고 구가 잘 형성되며, 운송이 편리하도록 구의 형태가 H형인 것을 선발코자 하였다. 특히 잎의 숫자가 50장 내외로 함께 재배된 자원 및 계통의 평균 잎수인 42장 보다 많으며, 결구의 모양이 H형으로 선포도가 높으며, 결구가 단단하고 속잎색이 노란 ‘18-FH98’의 품질이 우수하게 평가되었다(국립원예특작과학원 포장품평회 2018). 본 실험에서 사용된 자원들은 뇌수분을 3세대 이상 진행하였거나 소포자 배양을 통하여 육성된 순도가 높은

계통으로 잎수의 경우 13장에서 194장 까지 다양하였으며, 평균 은 42장으로 일대잡종의 평균인 71장 보다 작았다. 이는 일대잡종 품종의 잡종강세 현상으로 스트레스 및 병 저항성이 높아서 유전적으로 고정된 계통보다는 수량이 높다는 보고와 일치하였다(Kawamura et al. 2016).

2018년도 전주지역의 가을 기후를 살펴보면 10월 8일부터 14일까지 7일동안 연속으로 일일 평균기온이 과거 20년 평균 기온보다 평균 2.9℃ 낮았으며, 10월 31일부터 11월1일까지 3일간도 평균 3.1℃ 낮았다. 해당 기간은 9월6일 정식 이후 약 한달 이후로 배추의 생육이 매우 왕성한 시기로, 일대잡종 품종의 44%가 저온에 의한 스트레스로 결구를 잘 형성하지 못하였다(Table 5). 그러나 ‘18-FH98’ 자원의 경우 일대잡종도 아닌 계통으로서 잡종강세가 없이도 저온 스트레스에 저항성을 보여 그 탁월함이 인정되었다. 선발된 ‘18-FH98’은 소형의 단단한 구를 형성하며 잎의 특성도 우수하여 삼성종묘(주) 등 4개의 민간 회사에서도 선발되었다.

‘18-FH98’은 2018년 11월 직무육성품종심의회의를 통과하여 ‘원교20051호’로 명명되었으며 현재 식물특허 출원중에 있다. 초자는 중간이며, 결구형은 반포합형으로 속잎색은 대조인 ‘불암 3호’와 유사하게 노랗고, 겉잎색은 대조보다 진한 초록색이었다. 2018년도 재배 결과 식물체 전체 무게는 2,248.3 g으로 대조의 2,340.0 g과 유사하였으며, 구의 무게는 1,255.0 g으로 대조의 1,160.0 g보다 무거웠으며, 잎의 숫자는 50.7개로 대조의 71.7개보다 적었다(Table 5). ‘원교20051호’는 비가 자주 오며 저온이 일찍 찾아온 2018년도 노지 가을 재배 환경에서도 단단하고 큰 구를 형성하여(Fig. 3) 앞으로 환경스트레스에 저항성인 소재로 활용 가치가 높을 것으로 기대된다.

Fig. 3. The shape of small heading doubled-haploid inbred line of ‘Wonkyo20051ho’ in an experimental field of Wanju at 2018(A) (Control cultivar of ‘Bulam-3ho’ (B))

Table 5. Important horticultural traits of Kimchi cabbage (Chinese cabbage) at Wanju in autumn 2018.

Field label	Name of Inbred (Cultivar)	Plant weight(g)	Head weight(g)	Leaf No.
18-FH001	Chukang	2453.3	1320.0	69.3
18-FH002	Hwiparam	no-heading		
18-FH003	Bulam 3ho	2346.7	1160.0	71.7
18-FH004	Norangmini	3050.0	2158.3	74.3
18-FH005	Noranja	no-heading		
18-FH006	Samjin	no-heading		
18-FH007	Chuno	2351.7	1321.7	65.0
18-FH008	Bulamplus	2340.0	1146.7	75.0
18-FH009	Hwangseong	no-heading		
18-FH010	Wonkyo20034ho	1888.3	940.0	38.3
18-FH011	Wonkyo20035ho	1645.0	540.0	35.3
18-FH012	Wonkyo20036ho	1035.0	475.0	33.3
18-FH013	Wonkyo20037ho	1963.3	806.7	61.7
18-FH014	Wonkyo20038ho	2444.0	1023.3	43.7
18-FH015	Wonkyo20039ho	1211.7	545.0	64.0
18-FH016	Wonkyo20040ho	1328.3	406.7	24.7
18-FH017	Wonkyo20041ho	1163.3	450.0	56.3
18-FH018	Wonkyo20042ho	2558.3	1313.3	67.7
18-FH019	Wonkyo20043ho	3166.7	1161.7	58.7
18-FH020	Wonkyo20044ho	1166.7	676.7	43.7
18-FH021	Wonkyo20045ho	2130.0	1305.0	76.0
18-FH022	Wonkyo20046ho	no-heading		
18-FH023	Wonkyo20047ho	no-heading		
18-FH024	Wonkyo20048ho	no-heading		
18-FH025	Wonkyo20049ho	no-heading		
18-FH026	Wonkyo20050ho	1861.7	901.7	43.7
18-FH044	17-RFE36	no-heading		
18-FH045	17-RFE81	3326.7	1385.0	50.0
18-FH046	17-RFE33	1361.7	915.0	39.0
18-FH047	17-RFE108	2300.0	840.0	57.3
18-FH048	17-RFE98	3751.7	1551.7	51.0
18-FH049	17-RGW03	no-heading		
18-FH050	17-RGW04	2036.7	746.7	27.0
18-FH051	17-RGW06	1966.7	498.3	27.0
18-FH052	17-RGW08	2131.7	150.0	12.7
18-FH053	17-RGW19	no-heading		
18-FH054	17-RGW34	2348.3	508.3	25.3
18-FH055	17-RGW35	2021.7	703.3	30.3
18-FH056	17-RGW46	995.0	256.7	26.0
18-FH057	17-RGW47	1846.7	357.7	23.0
18-FH058	17-RGW51	no-heading		
18-FH059	17-RGW60-4	1658.3	328.3	12.7

Table 5. Continued

Field label	Name of Inbred (Cultivar)	Plant weight(g)	Head weight(g)	Leaf No.
18-FH060	17-RGW61-5	2006.7	256.7	23.0
18-FH061	17-RGW63	1093.3	225.0	12.7
18-FH062	17-RGW132	no-heading		
18-FH063	17-RGW133	2078.3	1046.7	49.7
18-FH064	17-RGW137	1598.3	153.3	15.3
18-FH065	17-RGW202	no-heading		
18-FH066	17-RGW203-4	no-heading		
18-FH067	17-RGW205-3	2645.0	410.0	21.7
18-FH068	17-RGW206	3003.3	400.0	26.3
18-FH069	17-RGW208	2463.3	323.3	24.7
18-FH070	17-RGW209	2843.3	416.7	18.7
18-FH071	18-RFN8	1943.3	703.3	32.0
18-FH072	18-RFN52	1628.3	765.0	57.3
18-FH073	18-RFN75	1700.0	351.7	23.0
18-FH074	18-RFN77	1830.0	506.7	27.7
18-FH075	18-RFN78	1865.0	321.7	13.7
18-FH076	18-RFN124	1608.3	400.0	34.7
18-FH077	16-GW01	2161.7	770.0	44.3
18-FH078	16-GW10	3148.3	1411.7	44.3
18-FH079	16-GW16	1280.0	306.7	27.0
18-FH080	16-GW18	1501.7	121.7	22.3
18-FH081	16-GW67	1161.7	376.7	30.0
18-FH082	16-GW36	2395.0	1375.0	194.3
18-FH083	16-GW74	2233.3	1166.7	48.7
18-FH084	16-GW82	2846.7	1451.7	77.0
18-FH085	16-GW85	1566.7	586.7	51.3
18-FH086	16-GW86	1208.3	510.0	46.7
18-FH087	16-GW102	1870.0	741.7	62.3
18-FH088	16-GW107	2351.7	875.0	38.7
18-FH089	16-GW112	3516.0	1366.7	83.7
18-FH090	Wonkyo20042ho	2081.7	830.0	49.7
18-FH091	14-FS21-C3	1261.7	258.3	14.7
18-FH092	14-FS21-C4	2200.0	796.7	44.0
18-FH093	14-FS21-C6	2460.0	873.3	47.0
18-FH094	17-RFC127	3203.3	1408.3	60.7
18-FH095	17-RFC148	2566.7	1380.0	34.7
18-FH096	14-FS15-C1	2556.7	1010.0	42.0
18-FH097	14-FS31-C3	2088.3	898.3	43.0
18-FH098	14-FS02-C1	2248.3	1255.0	50.7
18-FH099	16-RB7	2000.0	430.0	26.7
18-FH100	16-RB8	1845.0	296.7	24.3

적 요

배추(Kimchi cabbage)는 한국의 주요 전통 채소로 재배면적이 3만2천ha로 전체의 약 13%를 차지하고 있다. 2010년 이후 빈번하게 발생하는 악기상 조건으로 여름철 고랭지 배추 공급 부족, 경우에 따라서 겨울 및 가을재배 까지 장애가 발생하고 있다. 따라서 국립원예특작과학원 채소과에서는 다양한 환경 조건에 잘 견디는 품종을 개발하기 위하여 소포자 배양을 활용한 반수체 육종법을 실시하였다.

‘원교20051호’는 소포자 배양으로 개발된 배가반수체(Doubled-haploid)계통으로, 배양용 모본은 2014년에 수집된 37자원을 초여름 재배를 통하여 11점을 선발하였다. 선발된 자원을 소포자 배양 실시 결과 ‘아라리’ 등 4점의 자원에서 13개의 배가반수체 계통을 육성하였다. 육성 계통을 저농도의 서산균주로 접종한 결과 중간 저항성을 보이는 7점을 선발하였다. 증식된 선발계통 6점과 뿌리혹병 저항성 육종 소재 등 83점을 가을 노지재배 결과, 결구력이 강하며 결구의 형태가 우수하고 속잎색이 노란 ‘18-FH98’이 최종적으로 선발되었다. 선발된 계통은 ‘원교20051호’로 명명되었으며, 신품종은 저온 스트레스와 뿌리혹병에 저항성인 DH 계통으로 육종 소재와 유전 연구용 소재로 가치가 있을 것으로 기대된다.

사 사

본 논문은 농촌진흥청 연구사업(과제번호: PJ012643022019)의 지원에 의해 이루어졌습니다.

REFERENCES

- Braselton JP. 1995. Current status of the plasmodiophorids. *Crit Rev Microbiol* 21: 263-275.
- Cao MQ, Li Y, Liu F, Doré C. 1994. Embryogenesis and plant regeneration of pakchoi (*Brassica rapa* L. ssp. chinensis) via in vitro isolated microspore culture. *Plant Cell Rep* 13: 447-450.
- Castlebury LA, Domier LL. 1998. Small subunit ribosomal RNA gene phylogeny of *Plasmodiophora brassicae*. *Mycologia* 90: 102-107.
- Cheah LH, Veerakone S, Kent G. 2000. Biological control of clubroot on cauliflower with *Trichoderma* and *Streptomyces*. *Spp Organics and Biocontrol* 53: 18-21.
- Chuong PV, Beversdorf WD. 1985. High frequency embryogenesis through isolated microspore culture in *Brassica napus* L. and *Brassica Carinata* braun L. *Plant Sci* 39: 219-226.
- Datnoff LE, Kroll TK, Lacy GH. 1987. Efficacy of chlorine for decontaminating water infected with resting spores of *Plasmodiophora brassicae*. *Plant Disease* 71: 734-736.
- Jang HY, Park MY, Jang SW, Yoon MK, Lee JS, Park S. 2017. Development of doubled-haploid inbred of ‘Wonkyo20038ho’ bearing large sized erect head in Kimchi cabbage (Chinese cabbage) (*Brassica rapa* L.) *Korean J Breed Sci* 49: 256-264.
- Jang HY, Seo MW, Park MY, Yoon MK, Lee JS, Park S. 2016. Developing inbred lines of ‘Wonkyo20042ho’ bearing thin leaves and small sized head in Kimchi cabbage (Chinese cabbage) (*Brassica rapa* L.) *Korean J Breed Sci* 48: 184-191.
- Kawamura K, Kawanabe T, Shimizu M, Nagano AJ, Saeki N, Okazaki K, Kaji M, Dennis ES, Osabe K, Fujimoto R. 2016. Genetic distance of inbred lines of Chinese cabbage and its relationship to heterosis. *Plant Gene* 5: 1-7.
- Kim H, Jo EJ, Choi YH, Jang KS, Choi GJ. 2016. Pathotype classification of plasmodiophora brassicae isolates using clubroot-resistant cultivars of Chinese cabbage. *Plant Pathol J* 32: 423-430.
- Korea Seed and Variety Service (KSVS). 2018. Variety registration. <http://www.seed.kr/seed/192/subview.do/2018/11/01>
- Kuginuki Y, Yoshikawa H, Hirai M. 1999. Variation in virulence of *Plasmodiophora brassicae* in Japan tested with clubroot resistant cultivars of Chinese cabbage (*Brassica rapa* L. ssp. pekinensis). *Eur J Plant Pathol* 105: 327-332.
- Lee SS, Nam SC. 1995. Microspore culture of broccoli. *J Kor Soc Hort Sci* 36: 635-640.
- Lichter, R. 1982. Induction of haploid plants from isolated pollen of *Brassica napus*. *Z. Pflanzenphysiol* 105: 427-434.
- Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs (MAFRA). 2018. The statistics of vegetable production..
- Nitsch N, Nitsch JP. 1967. The induction of flowering in vitro in stem segments of *Plumbago indica* L. I. & II. The production of vegetative buds *Planta* 72: 355-384.
- Park SH, Yoon MK, Lim YP. 2011. Development of clubroot race4 resistant inbreds using conventional breeding and microspore culture method in Chinese cabbage. *CNU J Agri Sci* 38: 613-618.
- Sato, T., T. Nishio, and M. Hirai. 1989. Plant regeneration from isolated microspore cultures of Chinese cabbage (*Brassica*

- campestris* ssp. *pekinensis*). Plant Cell Rep 8: 486-488.
19. Takahata Y, Keller WA. 1991. High frequency embryogenesis and plant regeneration in isolated microspore culture of *Brassica oleracea* L. Plant Sci 74: 235-242.
20. Takahata Y, Komatsu H, Kaizuma N. 1996. Microspore culture of radish (*Raphanus sativus* L.): influence of genotype and culture conditions on embryogenesis. Plant Cell Rep 16: 163-166.
21. The recent history of vegetable seed industry in Korea. 2008. SNU press. Seoul, Korea. p. 257.
22. Van de Peer Y, Baldauf SL, Doolittle WF, Meyer A. 2000. An updated and comprehensive rRNA phylogeny (crown) of eukaryotes based on rate-calibrated evolutionary distances. J Mol Evol 51: 565-576.
23. Werner S, Diederichsen E, Frauen M, Schondelmaier J, Jung C. 2008. Genetic mapping of clubroot resistance genes in oilseed rape. Theor Appl Genet 116: 363-372.
24. Yeoung YR, Kim JH, Kim BS, Jeon JY, Yoon CS. 2003. Effects of beneficial antagonists (*Bacillus* sp., *Pseudomonas* sp., and *Trichoderma* sp.) on control of club root of Chinese cabbage. Kor J Hort Sci Technol 21: 194-198.