소포자 배양으로 육성된 구가 크고 곧은 배추 계통 ‘원교20038호’

장하영¹ · 박민영¹ · 장석우¹ · 윤무경¹ · 이정수² · 박수형^{1*}

¹국립원예특작과학원 채소과, ²국립원예특작과학원 저장유통연구팀

Development of doubled-haploid inbred of ‘Wonkyo20038ho’ bearing large sized erect head in Kimchi cabbage (Chinese cabbage) (*Brassica rapa* L.)

Ha-Young Jang¹, Min Young Park¹, Suck-Woo Jang¹, Moo-Kyoung Yoon¹,
Jung-Soo Lee², and Suhyoung Park^{1*}

¹Vegetable Research Division, National Institute of Horticultural & Herbal Science, Wanju 55365, Korea

²Postharvest Research Division, National Institute of Horticultural & Herbal Science, Wanju 55365, Korea

Abstract : Kimchi cabbage (known as Chinese cabbage) is major vegetable in Korea. An inbred line of ‘Wonkyo20038ho’, was developed by the National Institute of Horticultural & Herbal Science, RDA in Republic of Korea. The microspore culture was carried out using ‘Chunhuigohangwang’ which was introduced from China in 2002. Among 3 DH inbred lines, ‘Wonkyo20038ho’ inbred line was finally selected after field exhibition in 2009. The horticultural traits of ‘Wonkyo20038ho’ inbred line; half-open head, white inner leaf colour, and dark green outer leaf colour. The average (for four years) head weight was 2025.3g, and head width and height were 15.8cm and 32.4cm, respectively. Head shape was narrow elliptic and degree of overlapping leaf was medium. Numbers of outer and internal leaves were 14.1 and 49.8, respectively. Harvest maturity was mid-late maturing type and average of seed yield for five years was 926 seeds. In addition, ‘Wonkyo20038ho’ inbred line is suitable for salad in that it possessed few trichome and narrow elliptic head shape.

Keywords : Wonkyo20038ho, Kimchi cabbage, Inbred line, Microspore culture

서 언

배추(*Brassica rapa* L.)는 김치의 주 재료로 생산량기준 국민 다소비 식품 순위 20위에 유일하게 속하는 채소류 중 하나로 최근 김치의 우수성이 국제적으로 입증되며 국내뿐 아니라 식습관이 유사한 중국, 일본은 물론 미주와 유럽 국가에 까지 소비가 증가하고 있다. 국내 배추 재배면적은 연간 차이는 있지만 2014년도 기준 45,699ha이고, 생산액은 8061억원, 생산량은 5,095,389톤으로 우리나라 주요 5대 채소에 포함된다(MAFRA 2015). 또한 한국 배추 품종은 우수성을 인정받아 중국, 일본, 동남아 등에 2014년도에 2.8백만 US\$를 수출하여 채소 종자 수출액의 7%를 차지하였다(KSA 2014). 10년 전에 비하여 종자 수출 금액은 1.3백만 US\$ 증가하였으나 전체 채소종자 수출액에

서 차지하는 비중은 오히려 1% 감소하였으며, 5년 전에 비해서는 금액은 0.8백만 US\$ 증가했고 비중은 2% 감소하였다. 이러한 현상은 우리나라 배추의 주요 수출국인 중국의 품종 개발 노력으로 가격 경쟁이 발생하였기 때문으로 사료된다. 따라서 한국 배추 품종의 부가가치를 향상시킬 수 있도록 순도가 높고 뿌리혹병에 저항성이며 다양한 원예적 특성을 보이는 계통의 육성이 필요하게 되었다.

국립원예특작과학원에서 2000년대부터 배추과 채소의 소포자 배양 기술을 개발하여 왔는데, 꽃가루로 성숙하기 이전인 단계인 소포자를 배양하여 반수체를 획득하였으며, 획득된 반수체는 조직배양 과정에서 자연적으로 염색체가 배가되어 유전적으로 고정된 개체를 획득할 수 있다. 배추과 채소는 최초로 유체에서 소포자 배양이 성공한 후(Lichter 1982) 약배양 보다 배양 노력이 적게 필요한 장점으로 인하여 다양한 배추과 채소에서 배양이 시도되었다. 이후 배추(Sato et al. 1989), 청경채(Cao et al. 1994) 등 다양한 배추과 채소의 소포자 배양이 보고되었다.

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

(Received on May 15, 2017. Accepted on July 5, 2017.)

국내에서도 배추와 무의 속간교잡종인 배무채(*×Brassicoraphanus*)의 소포자 배양(Hong & Lee 1995)을 시작으로 배추 무름병 저항성 순계 육성(Lee et al. 2001)과 배추의 계통 육성(Hong et al. 2005)에서 식물체를 유도함에 성공하였다는 보고가 있다.

배추의 뿌리혹병은 뿌리가 이상비대되어 뿌리에 작거나 큰 부정형의 혹이 여러 개 형성되는 병으로 토양습도 80% 이상의 과습하거나 토양산도가 pH 6.0 이하의 산성토양 환경에서 발병이 심하다(Kim et al. 2003). 절대 활물 기생균인 *Plasmodiophora brassicae*에 의해 발생하는 토양전염성 병으로(Braselton 1995), 처음엔 진균(fungi)으로 분류되었으나 DNA 염기서열 분석 결과 진균과는 연관이 없는 것으로 밝혀졌다(Castlebury & Domier 1998). 그 후 2000년에 Van de Peer 등에 의해 ribosomal RNA의 발생학적 분류 결과 원생동물(protozoa)로 분류되었다. 우리나라 배추 재배지의 토양산도는 pH 4.5~6.5의 범위로 뿌리혹병이 발병하기 쉬운 환경으로 모든 재배 작형에 전국적으로 발병하고 있으며, 발병 시 수량의 30~70% 정도를 감소시킴으로 배추 재배에 큰 위협을 주고 있다(Kim et al. 2003). 따라서 뿌리혹병 방제를 위해 화학 약품, 농약 및 길항균을 이용하는 방법이 개발되었으나(Datnoff et al. 1987, Cheah et al. 2000, Yeoung et al. 2003), 약제비 및 노동비가 많이 소모되는 문제가 있었다. 또한 방제 효과도 약제 방제를 실시한 연도에는 효과가 있으나 이듬해 다시 배추를 재배할 경우 휴면포자 상태로 생존한 병원균의 밀도가 높아지면서 이듬해 재발생하는 문제가 있다.

국립원예특작과학원 채소과에서는 저항성 품종 개발을 위하여 뿌리혹병 저항성 자원인 순무를 이용해 배추와 교배하여 소포자 배양을 활용해 비교적 빠른 시간 내에 뿌리혹병 저항성 배추 계통을 육성하기도 하였다(Park et al. 2011). 나아가 뿌리혹병에 저항성을 갖는 다양한 배추 계통 육성을 위해 국내외 여러 품종을 수집하여 소포자 배양을 통해 내병성이며 원예적 특성이 우수한 육종 재료를 신속하게 개발하고 있으며, 배양을 통하여 획득된 반수체 배가 식물체의 종자를 증식하여 계통을 육성하고 그 특성을 평가하여 국내 품종 육성에 활용코자 품종등록을 진행하고 있다. 또한 육성된 계통의 민간 활용도를 높이기 위해 포장 공개 전시회 과정을 거쳐 다양한 민간 육종가의 의견을 수렴하여 공동으로 선발하였다.

재료 및 방법

‘원교20038호’는 2002년에 중국에서 수집된 자원인 ‘춘희고향왕’을 2003년에 노지 포장에 정식하여 원예적 특성이 양호한

개체를 선발하였다. 선발 개체는 2004년에 소포자 배양을 실시하였으며, 2005년에 1차로 종자를 소량 증식하고 2008년도에 2차로 대량의 종자를 생산하여 2009년도에 원예적 특성이 우수하여 선발된 계통으로 순도가 높으며 대형의 구를 형성한다.

소포자 배양법

도입된 다양한 품종들은 소포자 배양을 위해 파종 후 본엽이 2~3매 전개되었을 때 춘화처리(5℃, 10주)를 실시한 이후 온실로 옮기어 지름 20cm의 화분에 정식하여 개화를 유도하였다. 정식 후 약 5주 후부터 개화하기 시작하면 어린 꽃 봉오리(약 2~3mm) 30개를 수집하여 거즈로 싼 후, 차아염소산나트륨(2%)에 15분 소독 후 멸균수로 3분간 3회 세척하였다. 이후 1/2NLN 배지(Nitsch & Nitsch 1967, Lichter 1982)에서 막자사발로 갈아 45μm체로 거른 후 원심분리 하였다. 원심분리는 35.7mL의 1/2NLN배지를 넣고 1000rpm에서, 3분간 실시하였으며, 원심분리가 끝나면 윗부분의 맑은 상정액을 크린벤치에서 버리고 다시 새로운 NLN배지를 첨가하였다. 이 과정을 3회 실시하였다. 최종 단계에서는 소포자 배양용 배지 75mL를 넣은 후 아랫부분에 모여있는 소포자가 잘 섞이도록 멸균된 피펫으로 섞어주었다. 배양을 위해 지름 6cm petridish에 2.5 mL씩 분주한 후 parafilm으로 막아주고 랩으로 밀봉하였다. 평균적으로 1개의 봉오리를 1개의 petridish에 분주하도록 농도와 부피를 맞추었다. 치상 이후 열처리 30℃에서 24시간 또는 48시간 처리한 후 25℃ 암상태에서 약 2주간 정치하여 배양한 후, 25℃ 명실에서 75~80rpm으로 진탕하며 배양하였다. 일반적으로 명처리 후 1주일 사이에 배상체가 눈에 보일 정도로 자라며, 이들 배상체를 약 7mm정도로 키운 후 1/2MS 고체 배지로 옮겨 식물체로 키웠다. 뿌리가 정상적으로 형성된 식물체는 멸균된 상토에 옮겨 심은 후 상대습도를 높은 수준으로 조절 가능하도록 랩을 이용하여 밀봉하였다. 밀봉 후 3일 경과 시부터 구멍을 뚫어주며 순화하여 20~30일 경과 후에는 하우스에서 생육이 가능한 정상적 식물체로 순화를 완료하였다.

뇌수분에 의한 종자 증식

순화가 종료된 식물체는 종자를 생산하기 위해 춘화처리(5℃, 10주간)한 후 온실로 옮겨 지름 20cm의 화분에 정식하여 개화를 유도하였다. 이식 후 추대가 발생하면 처음 추대는 제거하여 여러 개의 추대를 유도한 후 지지대를 세워 추대가 꺾이지 않도록 관리하면서 교배를 실시하였다. 뇌수분은 꽃 봉오리의 길이가 5mm정도로 아직 개화하지 않은 봉오리의 윗부분을 제거

Year	2002	2003	2004	2005-2006	2007-2008	2009
	Chunhuigohangwang		MC-1	MC-1	MC-1	Wonkyo20038ho (MC-2)
			MC-2	MC-2	MC-2	
			MC-3	MC-3	MC-3	
	Introduction of seed	Field trial in autumn	Microspore culture	Seed production ^z (1 st)	Seed production ^y (2 nd)	Field trial & Selection

^zSeed production(1st); small amount

^ySeed production(2nd); large amount

Fig. 1. Pedigree diagram of 'Wonkyo20038ho'.

하고 봉지 안에서 개화된 동일한 개체의 화분을 이용하여 수분한 후 다시 일주일간 봉지를 씌워 오염 수분을 방지하였다. 뇌수분 후 50~60일이 지나 종자가 노랗게 익으면 꼬투리가 벌어지기 전에 채종하였다.

뿌리혹병 인공 접종법

시험에 사용되는 자원의 종자 30립을 9cm petridish에 여과지 2장을 깔고 파종한 후 물이 마르지 않도록 관리하며 발아를 시켰다. 파종 온도에 따라 떡잎 전개 시기가 다르지만 대체로 7~9일이 되어 떡잎이 완전하게 펼쳐지면 실험에 사용하였다. 국립원예특작과학원에서 보유중인 해남군(HN2)의 뿌리혹 시료를 deep freezer에 보관하여 접종하기 직전에 꺼내어 증류수로 수 차례 세척하여 이물질을 깨끗이 제거한 후 멸균수를 첨가하여 Waring blender로 마쇄하였다. 포자 농도에 따른 뿌리혹병 발생 실험은 포자현탁액의 최종 농도를 ml 당 2.5×10^8 개가 되도록 멸균수로 희석하여 접종원으로 사용하였다(Kim et al. 2016). 접종은 파종 후 떡잎이 완전히 전개되었을 때 petridish의 여과지 상에 흐르는 물을 제거한 후 접종액을 10mL 관주하였다. 접종 후 24시간이 지난 시점에 상토를 채운 50공 트레이에 정식하였다. 정식 후 6주 경과 후 뿌리를 깨끗하게 씻은 후 병증을 조사하였다.

뿌리혹병 저항성 평가법

뿌리혹병 저항성 판별은 뿌리를 깨끗하게 씻은 후 흑의 발생 정도에 따라 발병도를 조사하였다. 조사 기준은 무증상의 1부터 중증의 5로 단계를 나눠 1=뿌리혹병 발생이 없음, 2=측근에 흑이 착생되어 비대 정도가 적고 서로 독립하여 존재, 3=측근에 흑이 착생되며 비대 정도가 비교적 큼, 4=주근에 흑이 착생되며 서로 접합되고 비대 정도가 큼, 5=주근에 흑이 착생되며 서로 접합되고 비대 정도가 매우 큼 등의 5단계로 하였다(Fig. S1). 뿌리혹병 증상의 각 단계 별로 병증을 보이지 않는 개체수부터 병증이 가장 심한 개체수까지 조사하여 아래의 공식에 대입하여 DI 값을 산출했다(Werner et al. 2008).

$$\text{Disease Index (DI)} = \{(1n_1 + 2n_2 + 3n_3 + 4n_4 + 5n_5) \times 100\} / (4 \times N_T)$$

원예적 특성 평가

종자가 성공적으로 증식된 육성된 계통의 원예적 특성을 평가하기 위해 수원시 장안구 이목동 소재 국립원예특작과학원 채소과 노지 포장에서 가을에 재배하였다. 재배 방법은 배추 표준재배법에 준하여 재배하였으며, 검은색 멸칭 필름으로 피복하고 점적관수를 실시하였다. 파종은 8월 첫째 주, 정식은 9월 첫째 주에 실시하였으며 재배방법은 표준영농교본 배추 재배법에 준하여 재배하였다. 특성조사는 국립종자원의 배추 특성조사요령(UPOV 2003)과 농촌진흥청 시험 연구 설계서의 조사기준에 준하여 11월 둘째 주에 실시하였다.

결과 및 고찰

육성경위

배추 '원교20038호'는 소포자 배양을 통하여 육성된 고순도 반수체 배가 계통이다. 2002년 중국과 한국에서 판매중인 배추 품종을 수집하였으며(Table 1), 이들을 소포자 배양 실시한 결과, 총 76개의 품종 중에서 10개의 품종에서 소포자가 배양되었다. 배추 소포자 배양은 NLN 0.387g, NLN Vitamin 1.039g, Sucrose 260g, CaNO₃ 1g로 소포자 배양을 시행하였으며, 국내 품종의 경우 소포자의 획득이 어려웠다. 중국에서 수집된 '춘희고향왕' 품종 중 원예적 특성이 양호한 개체를 선발하여(2003년) 소포자 배양과 순화처리 후 자가수정을 통하여 소량의 종자를 1차 생산하였다(2005년). 2008년에 소형 망실을 이용한 자가수정을 통하여 MC-1~MC-3까지 3계통의 종자를 충분하게 생산하였으며, 이를 이용하여 순도 검정, 특성 검정, 생산력 검정을 실시하였다(Fig. 1). 2009년 노지 봄 재배를 통하여 육성된 계통의 원예적 특성을 1차로 조사하였으며, 뿌리혹병 race4를 접종하여 저항성을 보이는 계통을 선발하였다. 노지 재배를 통한 원예적

Table 1. The result of microspore cultivation using collected commercial cultivars of Kimchi cabbage^z from China, Japan, and Korea.

No.	Name	Origin	Microspore culture result	No.	Name	Origin	Microspore culture result
1	Chunchuwang daebaekchae	CHN	Fail	39	Ilbonhajanggun BC-4	CHN	Fail
2	Taewon 2 cheong	CHN	Fail	40	Heungjeon 14	CHN	Fail
3	Geoyongyeolhangwang	CHN	Fail	41	Hangbyeongwang AB	CHN	Fail
4	Sinchu 8	CHN	Fail	42	Gaeryangcheongjap 3	CHN	Fail
5	Sinchu 6	CHN	Fail	43	Posimgalchae	CHN	Success
6	Chunmiin	CHN	Fail	44	Heugyeopjosibaekchae	CHN	Fail
7	F ₁ Josuk 5	CHN	Fail	45	Cheongdo 83-1	CHN	Success
8	Chunhanoksochae 716	CHN	Fail	46	Churok 75	CHN	Fail
9	Deokgohwangsim 58	CHN	Fail	47	Geumgangtap 1	CHN	Fail
10	Jeonuchunhangwang	CHN	Fail	48	Geumgangtap 2(Geumhwangbaek)	CHN	Fail
11	Yeolhangwang	CHN	Fail	49	Geumgangtap 3(Teukhangwang)	CHN	Fail
12	Jinheung 156	CHN	Fail	50	Heungjeon 12	CHN	Fail
13	Chunhuigohangwang-3	CHN	Success	51	Migapungsin 8	CHN	Fail
14	Chunhuiilbonhajanggun BC-1	CHN	Fail	52	Teukgeuphangbyeongwang	CHN	Fail
15	Chunhuigohangwang-1	CHN	Success	53	Sinilbonchunchu 65	CHN	Fail
16	Chunhuigohangwang-4	CHN	Success	54	Hangyeolsinseonbonghayangbaekchae 50 cheon	CHN	Fail
17	Chunhuigohangwang-2	CHN	Success	55	Chunseol	CHN	Success
18	Gangchun 2	CHN	Fail	56	Nokgwancheongchae	CHN	Fail
19	Geummaengchunwang 2	CHN	Fail	57	Hajiseon 50	CHN	Fail
20	Geummaengchunwang 3	CHN	Fail	58	ALT Johwangbo	CHN	Fail
21	Taegukkwaechae	CHN	Fail	59	91-1	CHN	Fail
22	Hangseo 1	CHN	Fail	60	Jeongwanchunchuwang	CHN	Fail
23	Jinneung 80	CHN	Fail	61	Jeongwanteukhangwang	CHN	Fail
24	Hwangsimjo 48	CHN	Success	62	Josuk 5	CHN	Fail
25	Hacheomnokju 60 cheonsochae	CHN	Fail	63	Jungbaek 78	CHN	Fail
26	Chogeupgeumnyeopcheomgyeolgu 50 cheon	CHN	Fail	64	Jeongyangchunchu	CHN	Fail
27	Josukhangyeol 45 cheon cheommogjusochae	CHN	Fail	65	Bukjin 5	CHN	Fail
28	Jeongingnonghayangbaekchaejo 50	CHN	Fail	66	Bukjin 6	CHN	Fail
29	Chucheomnokju 80 cheonsochae	CHN	Fail	67	Borangchuncheonbo	CHN	Fail
30	Hangyeolgeolgeuhayangposimba 50 cheon	CHN	Fail	68	83-1 Daebaekchae	CHN	Fail
31	Singyeongjeon 4	CHN	Fail	69	Boksanmoju	CHN	Fail
32	Nokcheong 60	CHN	Fail	70	Geumdosobaekchae	CHN	Fail
33	Deokgohwangsim 68	CHN	Fail	71	Geumdo 5 sobaekchae	CHN	Fail
34	Hangyeorwang	CHN	Fail	72	Metaka	JPN	Success
35	Deogyang 01	CHN	Fail	73	Ssammak	KOR	Fail
36	Deokgohwangsim 70	CHN	Fail	74	Ssamnoraengi	KOR	Fail
37	Ujo 4	CHN	Fail	75	Asia mini	KOR	Fail
38	Hawaedaebaekchae	CHN	Success	76	Asia Norangmini	KOR	Fail

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

Fig. 2. Outer and inner shape of 'Wonkyo20038ho' inbred line planting at 2011 and 2012.

Table 2. Inherent morphological and dormancy characteristics of 'Wonkyo20038ho'.

Cultivar	Head				Leaf		Time of harvest maturity
	Type	Degree of overlapping leaf	Outer color ^z	Internal color ^y	Shape	No. of hairiness (trichome)	
Wonkyo20042ho	Half-open	Medium	3	1	Narrow elliptic	Few	Medium
Buram3	Half-open	Medium	3	1	Ovate	Medium	Medium

^zColor chart: 0; DIC 2087, 1; DIC 2088, 2; DIC 2089, 3; DIC 2540, 4; DIC 167, 5; DIC 166, 6; DIC 86, 7; DIC 85, 8; DIC 84

^yColor chart: 0; DIC 361, 1; DIC 362, 2; DIC 246, 3; DIC 369, 4; DIC 2324, 5; DIC 2336, 6; DIC 2325, 7; DIC 2356, 8; DIC 2355

Outer leaf Head internal

특성 조사 결과 모용이 적고 장타원형의 특성을 갖는 MC-2가 중간모본으로 우수한 것으로 평가되어 이를 최종 선정하여 '원교 20038호'로 명명하였다. 2013년에 품종보호를 출원(출원-2013-497)하고 2016년에는 품종보호 등록(6275)이 완료되었다. 본래 중국 수출용으로 개발된 품종이었으나 중국인들의 품종 선호도가 한국 품종과 유사하게 바뀌며 중국 수출용으로는 활용되지 못하였다.

생육 및 수량 특성

'원교20038호'의 초장은 중간이고 결구형은 반포함이며 겉잎 색 및 속잎색은 각각 3과 1로 대조로 사용된 국내 우점품종인 '불암3호'와 비슷한 특성을 보였다(Fig. 2). 엽형은 '원교20038호'가 장타원형, '불암3호'는 계란형이었고 모용과 숙기는 중간

으로 '원교20038호' 고유 형태적 특성은 기존의 시판 품종인 '불암3호'와 비슷하였다(Table 2). 2012년도에는 '원교20038호'의 가변특성은 주중, 구중, 구폭 및 구고는 각각 3071.5g, 1943.0g, 17.0cm, 28.0cm이고 엽장, 엽폭 및 겉잎수는 각각 40.0cm, 30.5cm, 11.5개로 '불암3호'와 비슷한 특성을 보였다. 반면에 속잎수는 50.5개로 '불암3호'보다 적었다. 2013년도에는 '원교20038호'의 주중, 구중 및 구폭은 각각 3402.0g, 2025.7g, 16.7cm로 '불암3호'와 비슷한 특성을 보였으나, 구고는 32.3cm로 '불암3호'보다 컸고, 엽장, 엽폭은 각각 45.3cm, 27.7cm로 '불암3호'보다 적었다. 속잎수는 16.0개로 '불암3호'와 비슷하였으나, 겉잎수는 52.0개로 '불암3호'와 차이를 보였다. 2014년도와 2015년도에는 '원교20038호'는 균일성을 유지하여 대체적으로 생육 조사 값이 비슷하나 대조구인 '불암3호'는

Table 3. Growth traits of ‘Wonkyo20038ho’.

Cultivar	Survey period	Plant weight(g)	Head			Leaf			
			Weight (g)	Width (cm)	Height (cm)	Outer length (cm)	Outer width (cm)	No. outer	No. inner
Wonkyo20038ho	2012	3071.5	1943.0	17.0	28.0	40.0	30.5	11.5	50.5
		±926.5	±632.0	±3.0	±3.0	±1.0	±0.5	±1.5	±4.5
	2013	3402.0	2025.7	16.7	32.3	45.3	27.7	16.0	52.0
		±507.1	±290.8	±1.3	±1.8	±1.5	±1.5	±3.1	±2.0
	2014	3538.5	2281.0	16.5	34.0	50.0	33.5	10.0	55.5
		±117.5	±89.0	±1.5	±0.0	±2.0	±2.5	±1.0	±10.5
	2015	3691.3	1851.3	12.8	35.1	48.8	30.5	18.7	41.3
		±268.1	±127.7	±0.4	±0.8	±1.7	±0.1	±1.5	±0.9
	Average		3425.8	2025.3	15.8	32.4	46.0	30.6	14.1
									49.8
Buram3	2012	3311.0	2089.5	19.5	25.0	45.0	30.5	14.5	72.5
		±41.0	±96.5	±0.5	±0.0	±2.0	±0.5	±1.5	±0.5
	2013	3383.0	2178.0	19.7	26.0	51.0	33.0	13.0	75.3
		±618.5	±439.2	±1.9	±1.2	±0.0	±1.2	±1.5	±2.6
	2014	6335.0	4741.5	24.5	31.5	53.0	41.0	13.5	77.5
		±185.0	±183.5	±0.5	±0.5	±1.0	±0.0	±1.5	±5.5
	2015	2969.0	1782.3	14.0	26.1	41.3	25.8	19.7	60.7
		±152.9	±95.9	±0.3	±0.2	±1.2	±1.3	±0.7	±1.9
	Average		3999.5	2697.8	19.4	27.2	47.6	32.6	15.2
									71.5

Table 4. Seed production of ‘Wonkyo20038ho’ using small net house or bud pollination in 5 years (‘11, ‘12, ‘13, ‘14, and ‘15).

Cultivar	Location	Year	Seeds per plant (No.)	Methods of seeds harvesting
Wonkyo20038ho	Suwon	2011	206.6±73.1	using small net house by bumblebees
		2012	2264.6±615.4	using small net house by bumblebees
		2013	1339.2±218.9	Bud pollination
		2014	122.8±408.5	using small net house by bumblebees
			609.3±114.0	Bud pollination
	Wanju	2015	606.5±81.5	using small net house by bumblebees
			301.1±64.3	Bud pollination

^aValues are the mean ±SE (n=7, 8, 6, 23, 10) for each year.

균일성이 떨어져 값에 큰 차이를 보였다(Table 3). 뇌수분과 별망을 이용한 ‘원교20038호’의 5년 평균 주당 채종량은 926개였다(Table 4).

뿌리혹병 저항성

원교 품종의 DI(Disease index) 조사 결과, ‘원교20038호’는 50.0으로 뿌리혹병 저항성을 나타냈고, 기존에 육성된 ‘원교20034호’에 비하여 뿌리혹병 DI값이 절반으로 줄어들어 뿌리혹병 저항성이 개량된 특성을 보였다(Table 5). 조사된 DI값에

따르면 ‘원교20035호’는 국내 가을 재배 배추의 주요 품종인 ‘불암3호’에 비하여 뿌리혹병에 저항성인 경향을 나타내는 것으로 분류됐으나, 나머지 품종들은 뿌리혹병에 이병성으로 판단되었다. 2016년 Kim et al.의 논문에서 나온 뿌리혹병 군주별 그룹 분류를 토대로 뿌리혹병 판별 마커를 사용하여 스크리닝한 결과, ‘원교20034호’, ‘원교20035호’, ‘원교20038호’는 뿌리혹병의 4가지 타입의 그룹 중 모든 그룹에 이병성을 나타내었다. 그러나 ‘원교20036호’와 ‘원교20037호’는 각각 WT, MT1그룹에 WT, MT2그룹에 저항성을 나타내었다.

Table 5. Disease index(DI)^z and marker screening^y of ‘Wonkyo series’ in 2014.

Cultivar	DI ^z	Marker screening ^y
Wonkyo20034ho	100.0	Disease susceptibility to all groups
Wonkyo20035ho	20.2	Disease susceptibility to all groups
Wonkyo20036ho	28.8	Resistance to WT, MT1 groups
Wonkyo20037ho	46.9	Resistance to WT, MT2 groups
Wonkyo20038ho	50.0	Disease susceptibility to all groups
Buram 3	26.3	

^zDisease Index(DI) = $\{(1n_1 + 2n_2 + 3n_3 + 4n_4 + 5n_5) \times 100\} / (4 \times N_T)$ (Werner et al. 2008)

n₁: Resistance plant, n₂₋₃: Medium sensitive plant, n₄₋₅: Sensitive plant, N_T: Total plant

^yMarker screening: WT group; GN1, JS1, GS1, and HS1, MT1 group; DJ1 and KS, MT2 group; YC and PC, MT3 group; SS1 and HN2

재배상 유의점

‘원교20038호’는 석회에 민감하므로 기비에 반드시 석회를 사용하고 고온, 가뭄이 올 경우 석회를 엽면시비하여 관리한다. 야간온도가 영하 4℃ 이하가 되지 않도록 하여 동해 피해를 방지해야 한다.

적 요

배추(Kimchi cabbage)는 한국의 주요 채소 중 하나이다. ‘원교20038호’는 농촌진흥청 국립원예특작과학원에서 2002년 중국 시판품종인 ‘춘희고향왕’을 수집하여, 이후 소포자 배양과 종자 증식을 거쳐 계통으로 육성되었다. 소포자 배양으로 개발한 3개의 DH 순계 중에서, 2009년에 포장 품평회를 거쳐 MC-2가 중간모본으로 우수한 것으로 평가되어 최종 선발되었다. ‘원교20038호’의 원예적 특성으로는 결구형은 반포함형으로 속잎색은 하얗고 겉잎색은 초록색이다. 또한 4년 평균 구중은 2025.3g으로 구의 폭과 높이는 각각 15.8cm, 32.4cm로 형태는 장타원형이며 잎의 겹침 정도는 중간이다. 4년 평균 겉잎과 속잎의 수는 각각 14.1개, 49.8개이며, 숙기는 중간으로 5년 평균 채종량이 926개이다. 더욱이 ‘원교20038호’는 모용이 적고, 장타원형으로 날씬하여 자르기 편하므로 양배추 대신 샐러드용으로 적합한 특성을 갖는다.

사 사

본 논문은 농촌진흥청 연구사업(과제번호: PJ010275012017, PJ012643022017)와 농림수산물식품부 GSP 채소종자 사업단의 연구과제(과제번호: 213006-05-1-SBH10)의 지원에 의해 이루어졌습니다. 또한 본 연구는 2017년도 농촌진흥청 국립원예특작

과학원 전문연구원 과정 지원사업에 의해 이루어졌습니다.

REFERENCES

1. Braselton JP. 1995. Current status of the plasmodiophorids. Crit. Rev. Microbiol. 21: 263-275.
2. Cao MQ, Li Y, Liu F, Dore 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.
3. Castlebury LA, Domier LL. 1998. Small subunit ribosomal RNA gene phylogeny of *Plasmodiophora brassicae*. Mycologia. 90: 102-107.
4. Cheah LH, Veerakone S, Kent G. 2000. Biological control of clubroot on cauliflower with *Trichoderma* and *Streptomyces*. Spp. Organics and Biocontrol 53: 18-21.
5. 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.
6. Hong SY, Lee SS. 1995. Microspore culture of *×Brassicoraphanus*. J. Kor. Soc. Hort. Sci 36(4):453-459.
7. Hong SY, Cho KS, Moon JY, Ryu SY, Lee HC, Yoon HK. 2005. Microspore Culture and its Progeny Test for Resistant Line to Clubroot (*Plasmodiophora brassicae*) in Chinese Cabbage. Kor. J. Hort. Sci. Technol 23: 45.
8. Kim CH, Cho WD, Lee SB. 2003. Review of researches on clubroot disease of Chinese cabbage in Korea and future tasks for its management. Res. Plant Dis. 9(2): 57-63.
9. 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(5): 423-430.
10. Korea Seed Association (KSA). 2014. www.kosaseed.or.kr, Seed production of vegetable.
11. Lee SS, Kim JK, Jun W, Choi WJ. 2001. Development of dihaploid lines resistant to *Erwinia carotovora* in Chinese cabbage. J. Kor. Soc. Hort. Sci 42: 682-684.
12. Lichter R. 1982. Induction of haploid plants from isolated pollen of *Brassica napus*. Z. Pflanzenphysiol. 105: 427-434.
13. Ministry for Agriculture, Food and Rural Affairs (MAFRA). 2015. The statistics of vegetable production.
14. 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.
15. 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.
16. Sato T, Nishio T, Hirai M. 1989. Plant regeneration from isolated microspore cultures of Chinese cabbage (*Brassica campestris* ssp. *pekinensis*). Plant Cell Rep. 8: 486-488.
17. The International Union for the Protection of New Varieties of Plants (UPOV). 2003. www. upov.int, Guidelines for the conduct of tests for distinctness, uniformity and stability (Chinese Cabbage).
18. 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.
19. 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.

〈Appendix〉

Fig. S1. Kimchi cabbage roots after infection with *P. brassicae*. The roots are arranged from left to right according to the degree of distorted root growth. The clubroot disease rating scale ranges between 1 (left, resistant) and 5 (right, fully sensitive).