중생 내냉성 벼 중간모본 품종 ‘화원3호’

강주원¹ · 김동민¹ · 이현숙¹ · 이상복² · 안상낙^{1*}

¹충남대학교 농업생명과학대학, ²국립식량과학원 답작과

A New Cold Tolerant Rice Variety Developed from an Interspecific Cross, ‘Hwaweon3’

Ju-Won Kang¹, Dong-Min Kim¹, Hyun-Sook Lee¹, Sang-Bok Lee², and Sang-Nag Ahn^{1*}

¹Department of Agronomy, College of Agriculture & Life Sciences, Chungnam National University, Daejeon 305-764, South Korea

²National Institute of Crop Science, RDA, Suwon 441-857, South Korea

Abstract : ‘Hwaweon3’ was developed from an interspecific cross between Hwayeongbyeon and a wild species, *Oryza rufipogon* L. (W1944) based on marker-aided selection and backcrossing. The recurrent parent ‘Hwayeongbyeon’ is a high grain quality cultivar with medium-maturity. ‘Hwaweon3’ is nearly isogenic to Hwayeongbyeon except a small *O. rufipogon* introgression on chromosomes 1, 8 and 12 harboring the QTL gene for cold tolerance. The preliminary and replicated yield trial was conducted at Chungnam National University in 2006 and 2007. The local adaptability test was carried out by the National Seed Management Office (NSMO) in 2008 and 2009. This cultivar was registered to NSMO with a cultivar designated as ‘Hwaweon3’. This cultivar averaged 78 cm in culm length and has a medium growth duration. This variety is resistant to stripe virus as the recurrent parent, and moderately resistant to leaf blast disease with durable resistance. Milled rice of ‘Hwaweon3’ is translucent and the grain quality traits are comparable to those of the recurrent parent. It has low protein content. The yield potential of ‘Hwaweon3’ in grain is about 7.23 MT/ha at the ordinary fertilizer level comparable to that of Hwayeongbyeon. ‘Hwaweon3’ performed better than Hwayeongbyeon in cold tolerance-related trait in the cold water-irrigated plot in the Chuncheon sub-station. This is mainly due to the introgressed segment from *O. rufipogon* on chromosome 1 harboring *pe1.2* for panicle exertion. ‘Hwaweon3’ could be used as a bridging line to enhance cold tolerance of *japonica* breeding lines.

Keywords : Rice, ‘Hwaweon3’, Interspecific cross, Cold tolerance, *Oryza rufipogon*

서 언

벼 야생종은 다양한 유전변이를 보유하고 있을 뿐 아니라, 내병충성, 내재해성 등 중요한 농업적 형질을 보유하고 있다 (Brar & Khush 1997). 국내에서는 야생종으로부터 병해충 저항성유전자를 도입하기 위해 이용하여 왔으며 그 결과로 수원 487호, 수원497호 그리고 수원 506호 등이 육성되었다 (Jeung et al. 2011a, 2011b). 그러나 양적형질 개선을 위해 야생벼를 이용한 보고는 찾아보기 어려운 실정이다. 이는 소

수의 우수한 유전자들이 야생벼에서 열악한 유전자들에 의해 피복되어 제대로 발현되지 않기 때문이며, 야생벼가 재배적인 측면에서 형질을 개선시키는 대립유전자보다는 열악한 대립 유전자를 상대적으로 많이 보유하고 있기 때문이다 (McCouch et al. 2007).

본 연구진은 화영벼를 반복친, 야생벼인 *O. rufipogon*을 수여친으로 이용하여 수량구성요소, 출수기 등 양적형질에서 재배벼의 유전적 다양성을 증진시키고, 이들 형질에 관여하는 양적형질 유전자를 탐색하고자 화영벼와 근동질인 일련의 계통을 육성하는 연구를 수행하고 있다 (Lee et al. 2005, Ji et al. 2011). 육성 초기세대부터 분자표지와 여교배를 이용하여 육성된 근동질계통들이 가지는 장점은 근동질계통과 반복친 간에 관찰되는 DNA 다형성과 특정 형질의 관련성에 대한 정

*Corresponding author (E-mail: ahnsn@cnu.ac.kr, Tel: +82-10-9461-7980, Fax: +82-42-822-2631)

(Received on June 6, 2014. Revised on June 25, 2014.

Accepted on July 9, 2014.)

보의 제공이 가능하다는 점이다.

후대 검정 결과 내냉성 검정포에서 관찰되는 추출도 등 내냉성 등에서 반복친인 화영벼와 차이를 보이는 ‘화원3호’를 육성하였기에 그 특성을 보고하고자 한다. ‘화원3호’는 국내에서 육성된 다른 품종들과는 달리 초기 세대부터 DNA 마커와 여교배를 이용한 MAS를 통해 육성되었다. 그리고 염색체의 어느 부분에서 ‘화원3호’와 반복친인 화영벼가 DNA의 다형성을 보이는지 그리고 이러한 다형성이 어떤 형질의 차이로 이어지는가에 대한 과정을 제시하고자 한다.

재료 및 방법

본 시험은 ‘화원 3호’와 화영벼를 공시하여 2006, 2007년 2년간 충남대학교 포장에서 실시하였다. 재배방법은 4월 30일 파종하여 30일간 육묘한 후 5월 30일에 30×15 cm의 재식거리로 주당 1-3본씩 이앙하고, 시비량은 $N-P_2O_5-K_2O = 9-4.5-5.7$ kg/10a로 재배하였다. 시험구 배치는 완전임의배치법 3반복으로 하였다. 내냉성 형질에 대한 추가 자료를 얻기 위해 2010~2012년간 춘천 내냉성검정포에서 ‘화원3호’와 화영벼를 공시하여 냉수 입수구와 배수구에서의 출수기, 간장, 수수 그리고 이삭추출도를 조사하였다. 조사개체는 입수구와 배수구에 위치한 4-5개체를 조사하였고, 이삭추출도는 개체별 가장 긴 이삭 2개를 선정하여 조사하였다. 그 밖의 재배 관리와 주요 농업적 특성, 수량 특성, 병해충 저항성, 도정

특성 조사는 농촌진흥청 신품종개발 공동연구사업 조사 기준에 준하여 실시하였다.

결과 및 고찰

육성경위

‘화원 3호’의 육성 과정을 Fig. 1에 제시하였다. 야생벼인 오리자 루피포건(*Oryza rufipogon*, W1944)을 화분친(pollen parent)으로 국내 우량품종인 화영벼와 교잡한 다음, 화영벼를 반복친(recurrent parent, RP)으로 하여 여교잡을 1회 실시하여 확보한 120개의 BC_1F_1 식물체를 1수1열법에 의해 세대진전시켜 120개의 BC_1F_7 계통을 확보하였다(Lee et al. 2005). 이들 120개 계통의 유전자형과 표현형을 조사하고 형질별 QTL 분석을 실시하였다(Lee et al. 2005). 춘천 내냉성검정포에서 적고, 이삭추출도 등 내냉성형질을 평가하였다. 분석 결과, 이삭추출도(panicle exsertion)에 관여하는 유전자 *pe1.2*가 1번 염색체에 위치한 RM472와 연관을 보였다(Lee et al. 2005).

상기에서 얻은 BC_1F_7 집단 중 한 계통인 F112를 기본 계통으로 선발하였다. F112는 *pe1.2* 유전자좌에서 이삭추출도를 증진시키는 *O. rufipogon*의 대립유전자를 가지는 계통으로 F112를 모본, 화영벼를 부본으로 2회 여교배를 실시하였으며, 세대별 교잡 여부를 SSR (simple sequence repeat) 마커로 확인하였다. 2003년 교잡된 BC_3F_1 개체를 자식시켜

Year	'97	'98	'99 - '01		'02	'02 - '03	'04	'05	'06	'08	'09 - '12
Gen.	F ₁	BC ₁	BC ₁ F ₇		BC ₁ F ₇	BC ₂ F ₁ BC ₃ F ₁	BC ₃ F ₂	BC ₃ F ₃	BC ₃ F ₅	BC ₃ F ₆	BC ₃ F ₇
Hwayeong <i>/O. rufipogon</i>	→		Phenotyping and genotyping 120 lines	Select 1 line (F112) for crossing based on MAS	F112/2* Hwayeong	MAS and phenotyp -ing	MAS and phenotyp -ing	CR1112-5- 2	CR1112-5- 2-1	CR1112-5- 2-1	
	120	120									
No. lines (No. plants)	120	120	120	1	1	2	2	1	1	1	
Remarks ^z	GL	GL	SSD	GL, FD	GL	GL, FD	GL, FD	PYT	RYT	RYT	cold nursery test

^zGL: glasshouse, SSD: single seed descent, FD: field, PYT: Preliminary yield trial, RYT: Replicated yield trial

Fig. 1. Pedigree diagram of ‘Hwaweon 3’.

2004년 BC₃F₂ 계통을 확보하였고, BC₃F₃ 계통을 포장에 전개하여 출수기 등 작물학적 특성을 평가하였다. 2006년 BC₃F₃ 계통 중에서 화영벼와 작물학적 특성이 유사한 계통 CR1112-5-2-1을 선발하였다. 선발된 계통을 2006년과 2007년에 충남대학교 포장에서 생산력 검정을 실시한 결과 품종보호원 출원 조건에 부합하여 ‘화원 3호’로 명명하였다.

SSR 마커를 이용하여 ‘화원 3호’에 이입된 *O. rufipogon*의 염색체단편을 검정한 결과, 3개의 염색체단편이 탐지되었는데, 이들은 각각 1번, 9번 및 12번 염색체의 SSR 마커 RM265, RM205 그리고 RM254 부근에 위치한 지역이었다 (Fig. 2).

‘화원3호’는 화영벼와 근동질계통으로 출수기, 간장, 수장, 영색, 까락의 유무 등 육안으로 쉽게 관찰되는 특성에서는 차이를 보이지 않으나 추출도, 적고 등 몇몇 형질에서 화영벼와 차이를 보였다. 화영벼와 ‘화원3호’가 이삭 추출도에서 보이는 차이는 일반벼와 통일형 품종들이 저온 조건에서 보이는 정도로 크지는 않았다.

출수기 및 주요 농업적 특성

‘화원 3호’의 출수기는 보통기 보비재배에서 평균 8월 14일로 화영벼와 동일한 중생종이며, 간장은 78 cm로 화영벼와 유사하였다. ‘화원 3호’의 이삭 길이는 21 cm로 화영벼 수준

Fig. 2. Graphical genotype of ‘Hwaeon 3’ using SSR markers. Gray region indicates the *O. rufipogon* introgressions on chromosomes 1, 9, and 11. The *O. rufipogon* allele at *pel.2* increased panicle exsertion in the cold-water irrigation plot in the Hwayeong background.

Table 1. Major agronomic traits and yield components.

(RYT : '06~'07)

Variety	Heading date	Culm length (cm)	Panicle length (cm)	Panicles per hill	Spikelets per panicle	Ratio of ripened grain (%)	1,000 grain weight (g)
Hwaeon 3	Aug.14	74	21	11	136	94.5	22.1
Hwayeong	Aug.12	78	20	11	145	92.3	21.1
Difference ^z	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

^zns: not significant at the 5% level

이며, 주당수수, 수당립수도 유사한 값을 보였으나, 천립중은 화영벼보다 1 gr 정도 무거웠다(Table 1).

병해충저항성

‘화원 3호’는 도열병, 흰잎마름병(K1, K2, K3)에 중강, 줄무늬잎마름병에는 강하였으나 오갈병과 검은줄오갈병에는 약하였고, 벼멸구 등 충해에도 약하였다(Table 2).

도정 및 미질특성

‘화원 3호’의 도정특성은 화영벼와 비슷한 수준이며 쌀의 심복백도 화영벼처럼 거의 없는 편이다(Table 3). 아밀로스 함량과 알칼리 붕괴도도 화영벼와 유사한 값을 보였다.

생리장해 내성

2010~2012년간 춘천 내냉성검정포에서 ‘화원3호’와 화

영벼를 공시하여 출수기, 간장, 수수 그리고 이삭추출도 등을 조사하였다(Table 4). 15℃에서 10일간 처리후 조사한 발아성 검정에서 ‘화원 3호’는 94%의 발아율을 보여 화영벼보다 높았으나 통계적인 유의차는 관찰되지 않았다. ‘화원 3호’는 출수지연일수, 간장단축율에서는 화영벼와 유사하였으나, ‘화원 3호’는 화영벼에 비해 적고와 이삭추출도가 양호하였다. 특히 입수구에서 ‘화원 3호’의 추출도는 6 cm로 화영벼의 3.8 cm보다 추출도가 높았으며 이 차이는 통계적으로 유의하였다. 배수구에서 두 품종간 이삭추출도는 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았다. 이는 염색체 1번에 이입된 *O. rufipogon* 염색체단편에 위치하는 유전자 *pel.2*에 의한 효과로 판단되며 추후 자세한 검토가 요구된다.

수량성

‘화원 3호’의 정조 수량성은 ‘06~’07년 2개년간 실시한

Table 2. Reaction to major diseases and insects pest.

(NICS : '06)

Variety	Bacterial leaf blight ^z			Virus disease ^z		BPH ^y
	K ₁	K ₂	K ₃	Stripe	Dwarf	
Hwaweon 3	R	R	R	R	S	S
Hwayeong	R	R	R	R	S	S

^zR: Resistant, :Susceptible

^yBPH: Brown planthopper

Table 3. Milling properties and grain quality of ‘Hwaweon 3’.

(NICS : '06)

Variety	Milling recovery (%)		Brown rice ^z		
	Brown/Rough	Head rice ratio (%)	WC/WB (0-9)	Amylose content	Protein content
Hwaweon 3	82.0	83.2	1/1	20.3	6.7
Hwayeong	80.7	83.6	1/1	20.3	6.2

^zWC: white center WB: white belly

Table 4. Comparison of the cold tolerance traits between Hwaweon 3 and Hwayeong.

Variety	Low temp. Germinability ^z	Cold tolerance				
		discoloration (0 - 9)	Heading delay (days)	Culm length reduction (%)	Panicle exsertion (cm)	
					Inlet	Outlet
Hwaweon 3	94.0	1	10	12.3	6.0	6.2
Hwayeong	88.0	3	9	13.0	3.8	5.7
Difference ^y	ns	-	ns	ns	*	ns

^zGermination ratio 10 days after treatment at 15OC

^yns: not significant

*significant at the 5% level.

Table 5. Summarized results of Replicated Yield Trials.

('06~'07)

Culture season	Region	No. of tested sites	Grain yield of Hwayeong (MT/ha) (B)	Grain yield of Hwaweon 3 (MT/ha)			
				'06	'07	Mean (A)	Index (A/B)
Ordinary planting	Daejeon	1	7.22	7.29	7.17	7.23	100

생산력검정 시험 결과 7.23 MT/ha로 화영벼와 비슷한 수준이었다(Table 5).

적 요

‘화원 3호’는 중간교잡을 통해 화영벼의 근동질계통을 육성하고자 '97년 화영벼와 *O. rufipogon*을 교배하고, 계속적인 여교배와 MAS를 병행 실시하여 CR1112-5-2-1 계통을 선발하였다. 생산력검정 시험 결과 조사 형질 중 이삭추출도, 적고를 제외한 기타 형질에서는 화영벼와 유사한 근동질계통이었으며, 품종보호원 출원 조건에 부합하여 ‘화원 3호’로 명명하고 품종보호원을 출원하였다. 출수기는 보통기재배에서 8월 14일로 화영벼와 동일한 중생종 품종이다. 천립중은 22.1 gr으로 화영벼보다 1 gr 정도 무겁다. 흰잎마름병과 줄무늬잎마름병에는 저항성이나 충해에는 약하다. 도정 특성, 아미로스 함량은 화영벼와 비슷한 수준이었다. ‘화원 3호’의 정조수량은 '06~'07년 2개년간 실시한 생산력검정 시험에서 평균 7.23 MT/ha로 화영벼와 유사하였다. ‘화원 3호’는 화영벼와 근동질계통으로 자포니카 계통의 내냉성을 증진시키는 중간모본 그리고 내냉성 유전자의 특성 분석을 위한 육종재료로 이용될 수 있을 것이다.

사 사

본 논문은 농촌진흥청 연구사업 (과제명: 야생벼 유전자원의 수량안정성 유전자 탐색 이용, 세부과제번호: PJ008136)의 지원에 의해 이루어진 것임.

REFERENCES

1. Brar DS, Khush G. 1997. Alien introgression in rice. *Plant Mol. Biol.* 35: 35-47.
2. Jeung JU, Roh TW, Kang KH, Jeong JM, Kim MK, Kim YG. 2011a. Genetic analysis on the bacterial blight resistance of Suweon 497, a rice breeding line developed through wide hybridization. *Korean J. Breed. Sci.* 43: 81-91.
3. Jeung JU, Roh TW, Kang KH, Shin YS, Kim YG. 2011b. Genetic analysis on the bacterial blight resistance from a wild relative, *Oryza minuta*. *Korean J. Crop Sci.* 56: 124-133.
4. Ji SD, Yuan PR, Luo X, Lee HS, Ahn SN. 2011. Characterization of quantitative trait loci for number of primary branches in near-isogenic lines from a cross between the *Oryza sativa* cultivar ‘Hwayeongbyeon’ and the wild relative *Oryza rufipogon*. *Plant Breed.* 131: 48-53.
5. Lee SJ, Oh CS, Suh JP, McCouch SR, Ahn SN. 2005. Identification of QTLs for domestication-related and agronomic traits in an *Oryza sativa* × *O. rufipogon* BC₁F₇ population. *Plant Breed.* 124: 209-219.
6. McCouch SR, Sweeney M, Li J, Jiang H, Thomson M, Septiningsih E, Edwards J, Moncada P, Xiao J, Garriss A, Tai T, Martinez C, Tohme J, Sugiono M, McClung A, Yuan L, Ahn SN. 2007. Through the genetic bottleneck: *O. rufipogon* as a source of trait-enhancing alleles for *O. sativa*. *Euphytica* 154: 317-339.