흰잎마름병 K_{3a}균계 저항성 신품종 ‘신백’

이종희^{1*} · 신문식³ · 이지윤¹ · 정국현¹ · 김상열¹ · 박노봉² · 여운상² · 김춘송² · 오성환¹ · 조준현¹ ·
송유천¹ · 김상민¹ · 이기환¹ · 곽도연¹ · 강항원² · 남민희¹

¹국립식량과학원 기능성작물부, ²국립식량과학원, ³국립식량과학원 벼맥류부

A New Rice Cultivar ‘Shinbaek’ Resistant to K_{3a} Race of Bacterial Blight

Jong-Hee Lee^{1*}, Mun-Sik Shin³, Ji-Yoon Lee¹, Kuk-Hyun Jung¹, Sang-Yeol Kim¹, No-Bong Park²,
Un-Sang Yeo², Choon-Song Kim², Sung-Hwan Oh¹, Jun-Hyeon Cho¹, You-Chun Song¹, Sang-Min Kim¹,
Gi-Hwan Yi¹, Do-Yeon Kwak¹, Hang-Won Kang¹, and Nam Min Hee¹

¹Department of Functional Crop, NICS, RDA, 627-803, Milyang, Korea

²National Institute of Crop Science, RDA, Suwon 441-100, Korea

³Department of Rice and Winter Cereal Crop, NICS, RDA, Iksan 570-080, Korea

Abstract : Bacterial blight (BB) disease is one of the most serious rice diseases in Korea. *xa5* showing a wider spectrum resistance to Korean BB isolates is one of the most important bacterial blight resistance genes in rice breeding in Korea. A new rice cultivar ‘Shinbaek’ carrying *xa5* gene was developed at the rice breeding team of the Department of Functional Crop, NICS, RDA in 2010. ‘Shinbaek’ was derived from the cross between ‘Iksan469 and ‘HR23966-22-1-2’ carrying *xa5* gene which was originated from indica rice ‘IRBB5’. ‘Shinbaek’ is resistance to a major Korean BB isolate such as K₁, K₂, K₃ and K_{3a}, and it is also resistance to rice stripe virus disease (RSV). Heading date of ‘Shinbaek’ is August 11 as mid maturing ecotype. The major agronomic characteristics of ‘Shinbaek’ is good plant type with short culm length, longer panicle length, higher number of spikelet per panicle as compared to those of ‘Nampyeongbyeol’. However, the number of tiller and grain filling ratio were lower compared to that of ‘Nampyeongbyeol’. The grain appearance, amylose content, and protein content were similar with those of ‘Nampyeongbyeol’. However the palatability of cooked rice and milling recovery were still lower than those of ‘Nampyeongbyeol’. The milled rice yield of ‘Shinbaek’ is 5.75 MT per ha, 5.49 MT per ha and 4.68 MT per ha at the ordinary transplanting, double-crop system, and late transplanting of the local adaptability test, respectively. Thus, ‘Shinbaek’ would be a suitable cultivar to the mid and southern plain area, especially in BB disease prone area and it is a useful source to enhance the BB resistant breeding program.

Keywords : Rice, Shinbaek, Mid maturing, Bacterial blight resistance, *xa5*

서 언

Xanthomonas oryzae pv. *Oryzae* (Xoo)에 의해 유발되는 벼흰잎마름병은 세계적으로 가장 많은 피해를 주는 병해의 하나이다. 우리나라에서는 남서해안, 남부평야지, 중부평야지에서 발생하여 수량감소 및 미질저하에 영향을 미친다(Noh et al. 2008, Shin et al. 1992). 이 병은 국내에서 7월 하순

~ 8월 초순 사이에 병원균의 증식과 감염이 시작되며 8월 중순부터 포장에서 육안상 발병이 관찰되고 있으나, 최근 지구 온난화 현상으로 7월에도 심한 병징을 보인다(Oh et al. 2010). 우리나라의 벼흰잎마름병균은 1999-2002년에 K₁균계와 K₃균계가 우점하였으며(Oh et al. 2010). 2003년 이후 K_{3a}균계가 출현하였다(Noh et al. 2003).

벼흰잎마름병균은 기주식물의 도관에서만 증식이 가능하다. 대부분의 도관부 세균병과 같이 벼흰잎마름병도 약제방제 효율이 매우 낮아 저항성 품종의 이용이 가장 중요한 방법으로 알려져 있다. 1970년대 이후 육성된 우리나라 벼 품종들에 대하여 벼흰잎마름병 레이스 K_{3a}에 대한 반응을 검토한 결과

*Corresponding author (E-mail: ccrljh@korea.kr, Tel: +82-53-350-1156, Fax: +82-55-352-3059)

(Received on May 17, 2013. Revised on March 20, 2013.

Accepted on March 21, 2013.)

통일형에서는 ‘아름벼’ 등 14품종이 저항성이며, 자포니카 품종은 ‘익산478호’가 저항성이고 나머지 157품종은 이병성이었다(Shin et al. 2005). 근동질 유전자 계통을 이용하여 벼흰잎마름병 K_{3a} 레이스에 대한 저항성 반응을 검정한 결과 저항성 유전자 *Xa1*, *Xa2*, *Xa3*, *xa8*, *Xa10*, *Xa11* 및 *xa13*을 보유한 계통을 이병성이었으며, *xa5*를 가진 근동질 계통은 저항성으로 반응을 나타내었다(Kim et al. 2007). 벼흰잎마름병 저항성육종은 새로운 병원균 분화에 대비하여 근동질 유전자 계통 육성 등 지속적인 기초연구를 수행하여 왔으며(Shin et al. 2000), 최근 벼흰잎마름병 K_{3a} 레이스에 대한 저항성 유전자 *xa5*를 가진 중만생종 신품종 ‘강백’과 ‘진백’이 개발되었다(Kim et al. 2008, Kim et al. 2009). 반면, 이들 새로운 레이스에 효율적으로 대처하기 위해 출수생태형의 다양화 및 주요 농업적 형질에 대한 지속적인 개량이 필요한 실정이다. 국립식량과학원에서는 중생종 흰잎마름병 저항성 유전자 *xa5*를 가진 저항성 품종 ‘신백’을 개발한 바 이에 대한 육성경위와 주요 특성을 보고하고자 한다.

재료 및 방법

본 연구는 영남평야지 및 동남부해안지 등 9개 지역의 벼 지역적응시험포장에서 표준품종인 ‘남평벼’를 공시하여 2008년부터 2010년까지 3년간 수행하였다(RDA, 2009, 2010a, 2011) 각 시험지별 재배방법은 4월 30일 파종하여 30일간 육묘한 후 5월 30일에 30 × 15 cm의 재식거리로 주당 3본씩 이앙하고, 시비량은 N-P₂O₅-K₂O = 9-4.5-5.7 kg/10a로 재배하였다. 이모작 적응성은 6월 1일 파종하여 6월 25일에 재식거리 30×12 cm로 주당 5본으로 이앙하였다. 출수 후 45일에 시험구별로 3주를 채취하여 등숙률 및 수당립수를 측정하고, 수량조사는 100주를 예취하여 정조수량, 정현비율, 현미수량 및 10a당 쌀수량으로 환산하였다. 도열병 저항성 검정은 전국 14개소 발못자리 검정포장에서 수행되었으며, 이병정도에 따라 저항성(0-3), 중도저항성(4-6), 이병성(7-9)로 구분하였다. 목도열병 포장저항성검정은 밀양 등 5개 지역에서 자연 발생율을 분석하였다. 흰잎마름병 저항성 검정을 위해 각 계통에 대해 K₁ (HB01013), K₂ (HB01014), K₃ (HB01015), K_{3a} (HB01009) 균주를 이용하여 균계 별로 3주씩 엽선단 약 3 cm 부위를 가위 절엽접종하였다(Kauffman et al. 1973). 접종 3주후에 병반정도에 따라 저항성(R)과 이병성(S)으로 구분하였다. 바이러스 저항성검정은 파종 후 7일경에 보독충을 접종하였으며,

접종 후 14일경에 이병주율을 조사하여 저항성과 감수성으로 구분하였다. 벼줄무늬잎마름병, 벼검은줄오갈병의 매개충은 애멸구를 사용하였고, 벼오갈병 매개충은 끝동매미충을 사용하였다. 그 밖의 재배관리와 품종육성을 위한 특성조사는 농촌진흥청 신품종개발 공동연구사업 과제 수행계획서(RDA 2010b) 조사기준에 준하여 실시하였다.

결과 및 고찰

육성경위

‘신백’은 남부지역이 발병이 심한 벼흰잎마름병 K_{3a}균계에 대한 저항성 품종을 육성하고자, ’05/’06 동계에 고품질 복합내병성인 ‘익산469호’를 모본으로 사용하고, 벼흰잎마름병 K_{3a}에 저항성인 HR23966-22-1-2를 부분으로 인공교배하여 육성하였다. HR23966-22-1-2는 벼흰잎마름병 저항성 유전자 *xa5*를 가진 자포니카 근동질 유전자 계통이며, *xa5*유전자 근동질계통 IRBB5(인디카 품종)를 공여친 사용하고, ‘수원345호’를 반복적으로 3회 여교배하여 육성된 계통이다. 계통육성은 초기에 고정된 계통을 얻고자 집단육종법과 계통육종법을 병행하여 실시하였으며, 초형 및 주요 농업적 형질이 우수한 계통 YR25832-12-B-3-1을 선발하여 밀양237호의 계통명을 부여하였다(Fig. 1, Fig. 2). 2007년부터 2008년까지 2년의 생산력검정 시험과 2008년부터 2010년까지 3년간 지역적응시험 결과 우수성이 인정되어 농작물 직무육성 신품종 선정위원회에서 국가목록 등재 품종으로 선정되었다. ‘신백’은 영남평야 1, 2모작지에 적응성이 높은 중생종 고품질 벼 품종이다.

출수기 및 주요 농업적 특성

‘신백’의 출수기는 서남부 및 남부해안지, 호남 및 영남평야지 보통기 보비재배에서 8월 11일로 ‘남평벼’보다 5일 빠른 중생종이다. 간장은 76 cm로 단간이며, 이삭 길이는 21 cm로 ‘남평벼’보다 길며, 주당수수는 11개로 남평벼보다 적고, 수당립수는 133개로 남평벼보다 많은 수수형이다. 등숙비율은 84.1%로 ‘남평벼’보다 낮으며, 현미 천립중은 ‘남평벼’보다 약간 무거운 특성을 가지고 있다(Table 1).

생리장해 저항성

‘신백’은 50일 못자리 육묘후 만식재배에서 불시출수는 발생되지 않았으며, 수발아율은 ‘남평벼’보다 낮은 편이다. 도복

Year	'05/'06 1st	'05/'06 2nd	'06	'06/'07 1st	'06/'07 2nd	'07	'07/'08	'08	'09	'10
Generation	Cross	F ₁	F ₂	F ₃	F ₄	F ₅	F ₆	F ₇	F ₈	F ₉
<p>The pedigree diagram illustrates the selection process for the variety 'Shinbaek'. It begins with a cross between Iksan469 and HR23966-2 2-1-2 in the '05/'06 1st generation (Cross). This leads to F₁ (YR25832) in the '05/'06 2nd generation. From F₁, 25 lines are selected for F₂ (1100 bulk) in '06. In F₂, 1 line is selected for F₃ (30 bulk) in '06/'07 1st. From F₃, 12 lines are selected for F₄ (Bulk) in '06/'07 2nd. From F₄, 3 lines are selected for F₅ (3 bulk) in '07. From F₅, 1 line is selected for F₆ (3 bulk) in '07/'08. From F₆, 1 line is selected for F₇ (YR25832-12-B-3-1) in '08. Finally, F₇ leads to F₈ (Shinbaek) in '09, which is then selected for F₉ in '10.</p>										
No. of breeding lines (individual) 37grains		(25)	Bulk (1,100)	30		3	3			
Pemarks			Bulk	Line	Bulk	Line	RYT		LAT	

Fig. 1. Pedigree diagram of 'Shinbaek'.

Fig. 2. Genealogical diagram of 'Shinbaek'.

Table 1. Major agronomic traits and yield components of 'Shinbaek'.

(LAT: '08~'10)

Variety	Heading date	Culm length (cm)	Panicle length (cm)	No. of panicle per hill	No. of Spikelets per panicles	Ratio of ripened grain (%)	Brown rice 1000 grains weight (g)
Shinbaek	Aug. 11	76	21	11	133	84.1	22.0
Nampyeongbyeon	Aug. 16	77	19	13	128	88.7	20.9

지수는 318로 ‘남평벼’ 268보 높으나 간장이 작아서 포장 및 직파재배에서는 도복이 발생되지 않았다. 반면, ‘신백’은 간장은 작으나 수당립수가 많고 이삭이 크고 무거운 수중형 초형으로 비료 과다시용에 의한 도복이 우려되며 질소질비료는 반드시 표준량 준수하여야 한다. 냉생성검정 결과 유묘기 냉생성은 강한 편이며 임실을 및 등숙기 냉생성은 ‘남평벼’보다 강한 편이다. 반면 냉수구 출수지연일수가 4일정도 길어 냉수 용출답에 재배는 삼가야 한다(Table 2).

병충해저항성

전국 14개소에서 3년간 실시한 잎도열병 발못자리 검정에서 평균 저항성 정도가 6.8로 중정도 저항성이며 ‘남평벼’보다는 약간 약한 편이다. 목도열병 포장검정에서 병발병율은 0.1 ~ 2.4%로 경미하였다(Table 3). 흰잎마름병 검정에서

K₁, K₂, K₃ 및 K_{3a}에 강하였고, 바이러스병 검정에서는 줄무늬잎마름병에 강하고, 오갈병과 검은줄오갈병에는 약하였다(Table 5).

벼흰잎마름병 저항성 유전자는 지금까지 약 34개의 유전자가 밝혀졌으며 그 중에서 우성유전자가 23개, 열성유전자가 11개이다(Shin et al. 2011). 우리나라 자포니카 품종의 벼흰잎마름병 저항성 유전자는 K1에 저항성인 품종들은 대부분 ‘Zensho26’과 ‘Asominori’로 부터 *Xa1*을, K₁, K₂, K₃에 저항성인 품종들은 ‘Wase Aikoku3’으로부터 *Xa3* 저항성 유전자가 도입된 것으로 추정되며, K_{3a}까지 저항성 품종인 강백, 진백은 ‘DV85’ 또는 ‘DZ192’로 부터 열성유전자인 *xa5*를 도입하였고 이 중 ‘진백’은 *Xa3* 유전자도 함께 가지고 있는 것으로 추정된다(Kim et al. 2009, Shin et al. 2005, Shin et al. 2011).

Table 2. Abiotic stress response of ‘Shinbaek’.

(LAT: '08~'10)

Variety	Premature ^z heading ratio (%)	Viviparous germination (%)	Lodging tolerance			Cold tolerance		
			Lodging index	transplanting field	Direct seeding field	Seedling stage (0-9)	Heading delay (days)	Grain fertility (%)
Shinbaek	0.0	0.8	318	1	1	3	18	55.7
Nampyeongbyeon	0.0	4.2	268	1	3	4	14	38.7

Table 3. Reaction to leaf and neck blast disease of ‘Shinbaek’.

(LAT: '08~'10)

Variety	Leaf blast nursery (N : 24kg/10a)			Ave. BL resistance ^y	Neck blast field nursery (N:22 kg/10a)			
	No. of tested site (14)				Diseased panicle (%)			
	R ^z	M	S					
	(0~3)	(4~6)	(7~9)		Icheon	Jecheon	Yesan	Milyang
Shinbaek	0	8	6	6.8	2.4	1.2	0.0	0.1
Nampyeongbyeon	1	11	2	5.2	0.7	0.7	4.2	0.0

^zR : Resistant, M : Moderate, S : Susceptible

^yAve. BL resistance : average score of resistance to leaf blast disease tested in 14 site

Table 4. Reaction to bacterial blight, virus diseases and insect pests of ‘Shinbaek’.

(LAT: '08~'10)

Variety	Bacterial blight				Virus disease ^y			Insect pests ^x	
	K ₁	K ₂	K ₃	K _{3a}	RSV	RDV	RBSDV	BPH	SBPH
Shinbaek	R ^z	R	R	R	R	S	S	S	S
Nampyeongbyeon	S	S	S	S	R	MR	S	S	S

^zR: Resistant, M: Moderate, S: Susceptible

^yRSV: rice stripe virus, RDV: rice dwarf virus, RBSDV: rice black stripe dwarf virus

^xBPH: brown planthopper, SBPH: small brown planthopper

미질 및 도정특성

적 요

‘신백’의 미질 및 도정특성을 분석한 결과를 Table 5에 나타내었다. 쌀의 외관특성인 투명도와 심복백은 ‘남평벼’와 비슷한 편이다. ‘신백’의 이화학적 특성인 아밀로스함량은 17.8%, 단백질 함량은 7.1% 및 알칼리붕괴도는 6.7로 ‘남평벼’와 비슷한 편이다. 식미관능검정 총평은 ‘남평벼’보다 미흡한 편이다. 도정특성은 현백율이 85.2%이며 완전미율 79.2%으로 ‘남평벼’보다 낮은 편이다(Table 5).

수량성

‘신백’의 수량성은 2008년부터 2010년까지 3년간 실시한 지역적응시험 보통기 보비재배 9개소에서 쌀수량이 5.75 MT/ha으로 ‘남평벼’ 대비 2% 높았으며, 이모작 재배에서 5.49 MT/ha으로 10% 증수되었고, 만식재배에서는 5.18 MT/ha로 2% 감소되었다(Table 6). 이모작지에 적응성이 높지만 6월 25일 이후의 만식재배는 수량 감소가 우려되므로 재배를 피해야 한다.

벼흰잎마름병은 국내에서 가장 주요 병해 중 하나이다. 벼 흰잎마름병 저항성유전자 *xa5*는 국내 흰잎마름병 레이스에 광범위 저항성을 보인다. 2010년 국립식량과학원 기능성작물 부에서는 벼흰잎마름병 저항성 유전자 *xa5*를 가진 벼 신품종 ‘신백’ 육성하였다. ‘신백’은 고품질 복합내병성인 ‘익산469호’를 모본으로 사용하고, 흰잎마름병 저항성유전자 *xa5*를 가진 계통 HR23966-22-1-2를 부분으로 사용하였다. ‘신백’의 출수기는 보통기 보비재배에서 8월 11일로 ‘남평벼’보다 5일 빠른 중생종이다. 간장은 76 cm로 단간이며 수수가 적고 수당립수가 많으며, 등숙율은 남평벼보다 낮은 편이다. ‘신백’은 흰잎마름병 검정에서 K₁, K₂, K₃ 및 K_{3a}에 강하였고, 바이러스병인 줄무늬잎마름병에 강하다. 잎도열병은 중정도 저항성이며, 목도열병은 이병율이 낮은 편이다. ‘신백’은 쌀의 심복백이 없으며, 아밀로스함량과 단백질 함량은 ‘남평벼’와 비슷한

Table 5. Physiochemical and milling properties of ‘Shinbaek’.

(LAT: '08~'10)

Variety	TR ^z (1 - 9)	WC/WB (0 - 9)	AC (%)	PC (%)	ADV (1 - 7)	PCR (-3 - +3)	MR/BR (%)	HR (%)
Shinbaek	1	0/0	17.8	7.1	6.7	-0.16	85.2	79.2
Nampyeongbyeon	1	0/0	19.6	6.8	6.5	0.09	88.7	91.3

^zTC: Translucency, WC/WB: White center/White belly, AC: Amylose content, PC: Protein content, ADV: Alkali digestion value, PCR: Palatability of cooked rice, MR/BR: milled rice/brown rice ratio, HR head rice ratio

Table 6. Summary of yield at local adaptability test from 2008 to 2010.

Culture season	Region	No. of tested sites	Milled rice of Nampyeong (MT/ha) (A)	Milled rice of Shinbaek (MT/ha)					
				'08	'09	'10	Mean (B)	Index (B/A)	Range
Ordinary planting	Yeongnam plain area	4	5.74	5.94	5.81	5.35	5.70	101	5.10~6.23
	South coastal area	1	5.45	5.18	6.77	4.97	5.64	100	4.97~6.77
	Honam plain area	3	5.64	6.23	6.32	4.65	5.73	101	4.33~6.73
	South western coastal area	1	5.65	6.37	6.20	5.68	6.08	107	5.68~6.37
	Average	9	5.66	6.00	6.13	5.11	5.75	102	
Double cropping	Yeongnam plain area	1	5.03	-	5.69	5.29	5.49	110	5.29~5.69
Late planting	Honam plain area	1	4.78	-	5.24	4.12	4.68	98	4.12~5.24

편이고, 도정특성 및 완전미율은 남평벼보다 약간 낮은 편이다. ‘신백’의 쌀수량은 보통기 보비재배에서 5.75 MT/ha, 이모작 재배에서 5.49 MT/ha, 만식재배에서는 5.18 MT/ha이었다.

사 사

본 논문은 농촌진흥청 아젠다 과제 PJ0069712013 의 지원에 의해 이루어진 연구결과의 일부임.

인 용 문 헌

1. Kauffman HE, Reddy APK, Hsieh SPY, Merca SD. 1973. An improved technique for evaluating resistance of rice varieties to *Xanthomonas oryzae*. Plant Disease Reporter. 57: 537-541.
2. Kim BR, Yang CW, Jin XJ, Han JS, Lee EJ, Choi JE. 2007. Reaction of near-isogenic lines with resistance to bacterial blight to Korean and Japanese isolates of *Xanthomonas oryzae* pv. *oryzae*. Kor. J of Crop Sci. 52: 89-99.
3. Kim KY, Shin MS, Kim WJ, Ko JC, Baek MG, Ha KY, Kim BG, Ko JK, Nam JK, Noh GI, Park HS, Roh TH. 2008. A new medium-maturing, ‘Gangbaek’ with resistance to bacterial blight. Kor. J. Breed. Sci. 40: 443-446.
4. Kim KY, Shin MS, Kim BK, Ko JK, Noh TH, Ha KY, Ko JC, Kim WJ, Nam JK, Baek MG, Noh GI, Park HS, Baek SH, Shin WC, Mo YJ, Choung JI, Kim YD, Kang HJ, Kim CK, Hwang HG, Kim JK. 2009. A mid-late maturing rice cultivar with high-quality and bacterial blight resistance ‘Jinbaek’. Kor. J. Breed. Sci. 41: 314-318.
5. Noh TH, Kim KY, Lee DK, Shim HK, Kang MH, Park JC. 2008. Disease incidence, yield and quality comparisons among rice varieties with different resistance to bacterial leaf blight. Res. Plant Dis. 18: 143-293.
6. Oh CS, Roh EJ, Lee SD, La DS, Heu SG. 2010. Genetic diversity and pathotypes of *Xanthomonas oryzae* pv. *oryzae* isolated in Korea. Res. Plant Dis. 16: 224-231.
7. RDA. 2009. 2008 Project report for collaborative research program to develop new variety of summer crop. pp.11-167.
8. RDA. 2010a. 2010 Project plan for collaborative research program to develop new variety of summer crop. pp.27-70.
9. RDA. 2010b. 2009 Project report for collaborative research program to develop new variety of summer crop. pp.9-161.
10. RDA. 2011. 2010 Project report for collaborative research program to develop new variety of summer crop. pp.9-167.
11. Shin MS, Noh TH, Kim KY, Shin SH, Ko JK, Lee JK. 2005. Reaction of Korean rice varieties to new bacterial blight race, K_{3a}. Kor. J. of Crop Sci. 50: 151-155.
12. Shin MS, Park SZ, Shin HT, Lee SY. 1994. Breeding of near-isogenic lines for resistance to bacterial blight, *Xanthomonas oryzae* pv. *oryzae*, in rice. Kor. J. Breed. Sci. 26(3): 238-242.
13. Shin MS, Kim KY, Park HS, Ko JK. 2011. Breeding for resistance to bacterial blight in rice. Kor. J. Breed. Sci. 43(4): 251-261.