벼흰잎마름병 저항성 유전자 *Xa2*, *Xa3*, *xa5*, *Xa21* 보유 자포니카 조생 찰벼 계통 육성

박현수¹ · 김기영^{1*} · 김우재¹ · 고종철² · 남정권¹ · 정지웅³ · 김보경³ · 이점호¹

¹농촌진흥청 국립식량과학원 벼맥류부, ²농촌진흥청 연구정책국, ³농촌진흥청 국립식량과학원

Development of Breeding Lines for Early Maturing Glutinous Japonica Rice Carrying Bacterial Blight Resistance Genes, *Xa2*, *Xa3*, *xa5*, and *Xa21*

Hyun-Su Park¹, Ki-Young Kim^{1*}, Woo-Jae Kim¹, Jong-Cheol Ko², Jeong-Kwon Nam¹, Ji-Ung Jeung³,
Bo-Kyeong Kim³, and Jeom-Ho Lee¹

¹Department of Rice and Winter Cereal Crop, NICS, RDA, Iksan 570-080, Korea

²Research Policy Bureau, RDA, Suweon 441-707, Korea

³National Institute of Crop Science, RDA, Suweon 441-857, Korea

Abstract : This study was conducted to develop breeding lines carrying bacterial blight resistance genes, *Xa2*, *Xa3*, *xa5*, and *Xa21* for enhancing the resistance of early maturing glutinous japonica rice. Resistant lines were developed by backcrossing into early maturing glutinous elite cultivar, Sangjuchalbyeon and phenotypic selection for bacterial blight resistance and agronomic traits. Selected lines were confirmed the incorporation of the resistance genes using DNA markers and evaluated the resistance reaction against four Korean and eleven Philippine bacterial blight races. HR24465 line carrying *Xa2* was resistant to Korean races K1, K2, and Philippine race 9a. HR24666 line carrying *Xa3* was moderately resistant or resistant to races except for Korean race K3a and Philippine race 6. Resistant lines carrying *xa5* were resistant to all races except for Philippine race 6. HR24669 line carrying *Xa21* was moderately resistant or resistant to races except for Korean race K1 and Philippine race 10. Yield-related traits of breeding lines exhibited similar characteristics to Sangjuchalbyeon. These resistant lines could be useful breeding materials for improving the resistance of early maturing glutinous japonica rice against *Xanthomonas oryzae* pv. *oryzae*.

Keywords : Rice, Bacterial blight, Resistance gene, Glutinous, Early maturing

서 언

벼흰잎마름병은 *Xanthomonas oryzae* pv. *oryzae*에 의한 세균성 병으로 벼를 재배하는 대부분의 국가에서 발생하여 많은 피해를 주는 병 중 하나이다(Mew 1987). 벼흰잎마름병 방제용으로 몇 가지 화학약제가 개발되어 사용되고 있으나 방제효과가 낮아 저항성 품종 재배가 가장 경제적이고 효율적인 방제 수단으로 알려져 있다(Mew 1987, Shin et al. 2011).

찰벼는 차진 밥을 좋아하는 우리 민족의 밥의 질감개선을

위해 사용하여 왔고, 술, 떡, 한과, 약식 등 찰쌀로 다양한 가공품을 만들어 이용하여 왔다(RDA 2010). 2013년까지 농촌진흥청에서 *du* 유전자에 의한 중간찰벼를 제외한 *wx*에 의한 찰벼 품종은 한강찰, 백운찰, 한강찰1호 등 통일형 3품종과 신선찰벼, 화선찰벼, 백옥찰 등 자포니카형 20품종이 개발되었다. 자포니카형 찰벼는 벼흰잎마름병에 대한 저항성이 일반 자포니카형 밥쌀용 벼 품종에 비해 취약하다. 20개 품종 중 우리나라 벼흰잎마름병 K1 균계에 강한 품종인 화선찰벼(1992년 개발), 설향찰(1999), 보석찰(2004) 3품종과, K1, K2, K3에 강한 품종인 눈보라(2006), 백설찰(2007), 백옥찰(2008) 3품종 등 6품종만이 벼흰잎마름병에 저항성 품종이다(Park et al. 2011). 자포니카 조생종 찰벼는 1990년에 진부찰벼가 개발되어 상주찰벼(1997), 조생흑찰(2004), 적진주찰과

*Corresponding author (E-mail: gold5501@korea.kr, Tel: +82-63-840-2150, Fax: +82-63-840-2119)

(Received on March 18, 2014. Revised on June 13, 2014.

Accepted on June 23, 2014.)

청백찰(2010), 진미찰과 눈큰흑찰(2012) 등 6 품종이 개발되었으나 모두 벼흰잎마름병에 대한 저항성이 없다.

벼흰잎마름병에 대한 다양한 저항성 유전자를 가지는 근동질 유전자 계통의 개발은 저항성 육종사업에서의 저항성 수여친으로의 활용뿐만 아니라 병원균과 기주의 상호작용과 저항성 기작의 분자 유전학적 연구에 이용되는 등 다양한 연구의 재료로 활용될 수 있다(Shin et al. 2000). 인디카형 IR24, 인디카/자포니카 교잡인 통일형 밀양 23호와 자포니카형 도요니시키 배경에 *Xa1*, *Xa2*, *Xa3*, *Xa4*, *xa5*, *Xa7*, *xa8*, *Xa10*, *Xa11*이 도입된 단일 저항성 유전자 근동질 계통이 개발(Ogawa et al. 1991)되었고, IR24에 야생벼 *O. longistaminata*에서 유래한 *Xa21*이 도입된 근동질 계통이 개발되었다(Ronald et al. 1992). 우리나라에서는 통일형인 밀양 23호와 자포니카형인 수원 345호, 이리 390호, 밀양 95호 배경에 *Xa1*, *Xa2*, *Xa3*가 도입된 근동질 계통이 개발(Shin et al. 1994, Shin et al. 1998)되었고, HP744-2-1, 장성벼, 칼로스, DV85의 저항성 유전자를 수원 345호에 도입한 근동질 계통이 개발되었다(Shin et al. 2000). 또한 병원성이 강한 새로운 벼흰잎마름병 균계인 K3a에 저항성을 나타내는 *Xa4*, *xa5*, *Xa21*을 수원 345호 배경에 도입한 근동질 계통도 개발되었다(Kim et al. 2011).

가공용 쌀로서 가장 많이 소비되고 있는 찰쌀은 현재 수준의 쌀 생산 기반을 유지하면서 과잉 공급 문제를 해소하기 위한 새로운 수요 창출을 위해 그 중요성이 대두되고 있다(Song et al. 2013). 최근 평야지에서 수확철 노력 분산, 추석 전 햅쌀 출하, 이모작 등 작부체계의 다양화 등으로 조생종 재배면적이 크게 증가하고 있는 추세이다(Park et al. 2012). 벼흰잎마름병 저항성이 부족한 찰벼와 조생종 품종이 발병습지에서 재배됨에 따라 피해가 우려되고 있다.

본 연구는 자포니카형 내도복 다수성 조생 찰벼인 상주찰벼 배경에 벼흰잎마름병 저항성 유전자 *Xa2*, *Xa3*, *xa5*, *Xa21*을 도입한 저항성 계통을 육성하고 우리나라와 필리핀 벼흰잎마름병 균계에 대한 저항성 반응을 조사하여 조생종 찰벼의 벼흰잎마름병 저항성 증진을 위한 육종소재로 활용하기 위해 수행하였다.

재료 및 방법

시험재료 및 재배방법

벼흰잎마름병에 저항성인 자포니카형 조생 찰벼 계통을 육

성하고자 내도복 다수성이면서 자포니카형 조생 찰벼 품종인 상주찰벼를 반복친으로 이용하였다. 벼흰잎마름병 저항성 유전자의 수여친으로 *Xa2*는 HR13722계통, *Xa3*는 HR13723계통(Shin et al. 1998)을 이용하였고, *xa5*는 DV85로부터 저항성을 도입한 HR15204계통(Shin et al. 2000)을 이용하였다. 또 다른 *xa5*와 *Xa21*의 수여친으로는 인디카 IRBB5와 IRBB21로부터 자포니카 수원 345호 배경에 저항성유전자가 도입된 계통을 이용하였다(Kim et al. 2011). 육성된 벼흰잎마름병 저항성 고정계통에 대해서 저항성 유전자를 표지할 수 있는 DNA 분자표지를 이용하여 저항성 유전자 도입 여부를 확인하였고 선발된 계통들을 상주찰벼를 비교품종으로 하여 2008, 2009년에 재식거리 30 × 15 cm로 주당 3본식, 구당 120 주 가량을 2반복으로 이양하여 생산력 검정시험을 수행하였다. 시비량은 N-P₂O₅-K₂O를 90-45-57 kg/ha으로 질소는 기비 : 분얼비 : 수비를 50 : 20 : 30 비율로 분시하였고, 인산은 전량 기비로, 칼륨은 기비 : 수비를 70 : 30 비율로 분시하였다. 그 밖의 재배 방법은 농촌진흥청 표준 재배법을 따랐다.

벼흰잎마름병균 접종 및 조사

Xa2, *Xa3*, *xa5*, *Xa21*이 도입된 자포니카 조생 찰벼 계통에 대해서 반복친인 상주찰벼와 인디카 벼흰잎마름병 판별품종인 IR24, IRBB2, IRBB3, IRBB5, IRBB21를 이용하여 우리나라와 필리핀 벼흰잎마름병 균계에 대해서 저항성 반응을 조사하였다. 우리나라 벼흰잎마름병 대표 균계로 K1 (HB1013 균주), K2 (HB1013), K3 (HB1015), K3a 균계 (HB1009)를 이용하였고, 필리핀 균계로 race 1 (PXO61), race 2 (PXO86), race 3B (PXO79), race 3C (PXO340), race 4 (PXO71), race 5 (PXO112), race 6 (PXO99), race 7 (PXO145), race 8 (PXO280), race 9a (PXO339), race 10 (PXO341)를 이용하였다. 벼흰잎마름병 저항성 검정은 국립식량과학원 벼맥류부 저항성 검정 포장과 필리핀 국제미작연구소 검정 온실에서 수행하였다. 균계 별로 엽선단 약 3 cm 부위를 가위 절엽접종(Kauffman et al. 1973)하여 접종 후 2 주 후에 가장 긴 병반을 가진 3개 엽의 병반장을 측정하여 평균 값을 이용하였으며, 질적 저항성은 평균 병반장이 5 cm 이하는 저항성(R; resistant), 5~10 cm는 중도저항성(MR; moderately resistant), 10 cm이상은 이병성(S; susceptible)으로 구분하였다(Shin et al. 2011).

농업 및 수량 관련 형질 조사

생산력 검정시험에 공시된 재료의 출수기를 조사하고 성숙기에 시험구별 10개체에 대해서 간장, 수장, 수수를 측정하였다. 출수 후 45일에 시험구별로 3주를 예취하여 등숙률 및 수당립수를 측정하고, 수량 조사는 80주를 예취하여 정조수량을 측정한 다음 이 중 1.5 kg에 대해 정현기로 제형하여 정현비율을 측정하고, 80주 정조수량에 정현비율을 곱하여 현미수량을 구하였다. 현미수량에 현백률 0.92를 곱하여 10a당 백미수량으로 환산하였다. 정현된 현미를 가지고 현미천립중을 측정하였고 도정된 백미를 보고 찰벼 여부를 확인하였다.

저항성 유전자 확인

Genomic DNA 추출은 공시 재료에 대해서 CTAB 방법 (Murray & Thompson 1980)을 일부 수정하여 수행하였다. 벼흰잎마름병 저항성 유전자 *Xa2*, *Xa3*, *xa5*, *Xa21*를 확인하기 위해 대상 유전자와 밀접하게 연관된 DNA 분자 마커인 16PFXa1 (Shin et al. 2006), 9643.T4, 10603.T10Dw (Park et al. 2013), U1/I1 (Wang et al. 1996)을 이용하였다(Table 1). PCR은 10 ng의 DNA와 AccuPower® PCR PreMix (Bioneer Co., Korea)를 이용하여 My-Genie 96 Thermal block (Bioneer Co., Korea)에서 수행되었다. PCR 반응은 16PFXa1은 94℃에서 5분간 초기변성 후 94℃ 30초, 60℃ 30초, 72℃ 1분간 총 35회 반복하였고, 9643.T4은 94℃에서 5분간 초기변성 후 94℃ 40초, 63℃ 40초, 72℃ 1분간 총 40회 반복하고, 72℃에서 5분간 반응하였다. 10603.T10Dw과 U1/I1은 95℃에서 4분간 초기변성 후 95℃ 30초, 65℃ 또는 56℃ (U1/I1) 30초, 72℃ 1분간 총 35회 반복하고, 72℃에서 10분간 반응하였다. 증폭된 PCR 산물 4 µl를 16PFXa1은 3U EcoR V와 37℃에서 2시간, 9643.T4는 2U Taqα I와

65℃에서 3시간, 10603.T10Dw는 *Rsa* I와 37℃에서 3시간 제한효소 처리하였다. U1/I1에 의한 증폭 산물은 제한효소 처리 없이 전기영동에 이용하였다. EtBr이 포함된 2% agarose gel에서 전기영동 후 UV transilluminator를 이용하여 유전자형을 판정하였다.

통계 분석

통계 분석은 SAS 프로그램(Version 9.2, SAS Institute Inc, Cary, North Carolina)을 이용하였다. 농업형질에 대한 평균을 기술 통계법으로 구하였고, 평균간 비교는 PROC ANOVA로 분산분석 후 유의성이 있을 경우 5% 유의수준에서 Duncan's Multiple Range test (DMRT)로 분석하였으며, PROC t-test를 이용하여 상주찰벼와 육성 계통들간의 농업형질 차이를 비교하였다.

결과 및 고찰

벼흰잎마름병 저항성 계통 육성

자포니카 조생 찰벼의 취약한 벼흰잎마름병 저항성을 증진하고자 내도복 다수성 조생 찰벼인 상주찰벼를 모본으로 하여 저항성 유전자 *Xa2*, *Xa3*, *xa5*, *Xa21*이 도입된 저항성 계통을 개발하였다. 저항성 유전자 수여친과 상주찰벼를 1회 여교배한 BC₁F₁ 종자를 생산하였고 우성 유전자인 *Xa2*, *Xa3*은 BC₁F₁ 식물체부터 벼흰잎마름병 K1 균계를 접종하여 저항성 개체와 계통을 선발해 나갔으며 *Xa21*은 K3a 균계를 접종하여 선발하였다. 열성 유전자인 *xa5*는 후대검정을 실시하여 BC₁F₁을 자식하여 생성된 BC₁F₂ 집단에서부터 K1 균계를 접종하여 저항성 개체와 계통을 선발하여 계통육종법에 준하여 세대를 진전하였다. 저항성 계통 육성 과정 중에 상주찰벼

Table 1. Gene-specific PCR primers used for the identification of bacterial blight resistance genes.

R-gene	Chr. No.	Marker name	Primer sequences used for gene identification	Expected size (bp)	Reference
			Forward(5'-3'), Reverse(5'-3')		
<i>Xa1</i>	4	16PFXa1	ACGGTTCTGAAGGTCGTCAT TGCAAGAGCTCCGGTTTAAG	201, 155	Shin et al. 2006
<i>Xa3</i>	11	9643.T4	AGCCGAGCAATGATACCGACA ACAACTGGGATCGAACCGACA	290	Park et al. 2013
<i>xa5</i>	5	10603.T.10Dw	GCACTGCAACCATCAATGAATC CCTAGGAGAACTAGCCGTCCA	280	Park et al. 2013
<i>Xa21</i>	11	U1/I1	ATAGCAACTGATTGCTTGG CGATCGGTATAACAGCAAAAC	1,400	Wang et al. 1996

와 출수기와 농업형질이 비슷하고 찰벼인 계통을 선발하였으며, 선발된 BC₁F₅세대 계통들에 대해서 해당 저항성 유전자를 표지할 수 있는 DNA 분자표지를 이용하여 저항성 유전자 도입 여부를 확인하였고 최종적으로 저항성 유전자 *Xa2*, *Xa3*, *xa5*, *Xa21*이 도입된 BC₁F₆ 계통을 선발하였다(Table 2, Fig. 1). *Xa2*는 4번 염색체 장완에 *Xa1*과 밀접하게 연관되어 있기(Yoshimura et al. 1994) 때문에 *Xa1*을 표지하는 마커로 개발된 16PFXa1을 이용하여 확인하였고, *Xa3*, *xa5*, *Xa21*은 해당 유전자를 표지하는 DNA마커를 이용하여 확인하였다.

벼흰잎마름병 저항성 반응

선발된 저항성 고정 계통의 우리나라와 필리핀 벼흰잎마름

병 균계에 대한 저항성 반응은 Table 3과 같다. 상주찰벼는 필리핀 race 9a를 제외하고 모두 이병성을 나타냈고 *Xa2*가 도입된 HR24465 계통은 우리나라 K1, K2 균계와 필리핀 race 9a에 저항성을 나타냈으며 *Xa3*가 도입된 HR24666 계통은 우리나라 K3a와 필리핀 race 6을 제외하고 저항성 및 중도 저항성을 나타냈다. DV85와 IRBB5로부터 *xa5*가 도입된 HR24668과 HR24673은 필리핀 race 6을 제외하고 모두 저항성 반응을 나타냈으며 *Xa21*이 도입된 HR24669는 우리나라 K1 균계와 필리핀 race 10을 제외하고 저항성 및 중도 저항성을 나타냈다. 인디카 IR24, IRBB2 (*Xa2*), IRBB3 (*Xa3*)는 필리핀 race 9a에 이병성을 나타낸 반면 저항성 유전자가 밝혀지지 않은 자포니카형 상주찰벼, HR24665 (*Xa2*), HR24666 (*Xa3*)은 저항성을 나타내 이 균계에 대해서 생태

Fig. 1. PCR analysis of breeding lines to confirm resistance genes using the DNA markers. *Xa2*, *Xa3*, *xa5*, and *Xa21* was confirmed by PCR product amplified with primer, 16PFXa1 (cleaved by *EcoR* V, A), 9643.T4 (*Taq* I, B), 10603.T10Dw (cleaved by *Rsa* I, C), and U1/I1 (D), respectively. HR23966 and HR24670 were near-isogenic lines carrying *xa5* and *Xa21* in Suweon 345 genetic background, respectively.

Table 2. Pedigree of breeding lines and donors carrying bacterial blight resistance genes.

Var./line	Cross	R-gene	Generation	Donor	Cross
Sangjuchalbyeo	YR4117-99-1-1-2-4/YR4200-2-3-2-2	<i>unknown</i>	-	-	-
HR24665-122-4-1-1	Sangjuchal*2/HR13722	<i>Xa2</i>	BC ₁ F ₆	HR13722	Iri390*6/Rantai Emas
HR24666-22-1-1-1	Sangjuchal*2/HR13723	<i>Xa3</i>	BC ₁ F ₆	HR13723	Iri390*6/Chugoku69
HR24668-54-3-5-5	Sangjuchal*2/HR15204-42-3-2	<i>xa5</i>	BC ₁ F ₆	HR15204	Suweon345*5/DV85
HR24673-128-2-3-5	Sangjuchal*2//Suwon345*4/IRBB5	<i>xa5</i>	BC ₁ F ₆	IRBB5	IR24*5/IR1545-339
HR24669-56-4-1-1	Sangjuchal*2//Suwon345*4/IRBB21	<i>Xa21</i>	BC ₁ F ₆	IRBB21	IR24*8/ <i>O. longistaminata</i>

형간 균계 특이적 반응을 나타냈다. 저항성 유전자가 확인되지 않은 자포니카형 수원 345호도 이 균계에 저항성 반응을 나타내(Kim et al. 2011) 이들 자포니카형 자원에 다른 저항성 유전자가 존재하는 지에 대한 확인이 필요하리라 생각된다. *xa5*는 여러 나라에서 벼흰잎마름병에 광범위한 저항성 반응을 나타내어 주요 저항성 유전자로 이용되고 있으며 우리나라에서도 실용적인 재배품종에 도입되어 활용(Park et al. 2013)되고 있는데 DV85와 IRBB5로부터 *xa5*가 도입된 HR24668과 HR24673은 필리핀 race 6을 제외하고 모두 저항성 반응을 나타내 자포니카 조생종 찰벼의 벼흰잎마름병 저항성 증진을 위한 저항성원으로 활용 가치가 높다고 생각한다. *Xa21*이 도입된 HR24669는 우리나라 K1 균계와 필리핀 race 10을 제외하고 저항성 및 중도 저항성을 나타내어 현재 문제시 되는 K3a에 대응할 저항성원으로 이용이 가능하나, 우리나라 전역에 *Xa21*을 침해하는 벼흰잎마름병 균주가

광범위하게 존재(Lee et al. 1999)하고 우점 균계인 K1에 이 병성을 나타내 이를 보완할 수 있는 다른 유전자와의 집적이 필요하다(Kim et al. 2009, Park et al. 2012) 하여 다른 유전자 특히 *xa5*와의 결합을 통한 이용이 바람직하리라 생각한다.

농업형질 특성 비교

육성된 저항성 계통들을 생산력 검정시험을 통해 반복친인 상주찰벼와 농업 및 수량 관련 형질 특성을 비교하였다(Table 4). 모든 계통이 찰벼이며 출수기와 수장, 수수, 정현비율 및 백미수량이 상주찰벼와 차이가 나지 않았다. HR24673 (*xa5*)는 모든 형질에서 상주찰벼와 차이가 나지 않았으며, HR24669 (*Xa21*)은 수당립수만 상주찰벼에 비해 많았다. HR24665 (*Xa2*), HR24666 (*Xa3*), HR24668 (*xa5*)은 상주찰벼에 비해 간장이 작았고, HR24665 (*Xa2*)와 HR24666 (*Xa3*)은 수당립수가 적었으며, HR24666 (*Xa3*)와 HR24668 (*xa5*)은 등

Table 3. Resistance reaction of breeding lines with the genetic background of Sangjuchalbyeo and indica near isogenic lines against Korean and Philippine bacterial blight races.

Var./line	Cross	R-gene	Korean race ^z					Philippine race ^y									
			K1	K2	K3	K3a	Race1	Race2	Race3B	Race3C	Race4	Race5	Race6	Race7	Race8	Race9a	Race10
Sangjuchalbyeo	Recurrent parent	<i>unknown</i>	S ^x	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	R	S
HR24665	Sangjuchal*2/ HR13722	<i>Xa2</i>	R	R	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	R	S
HR24666	Sangjuchal*2/ HR13723	<i>Xa3</i>	R	R	R	S	MR	MR	R	MR	MR	MR	S	MR	MR	R	MR
HR24668	Sangjuchal*2/ HR15204-42-3-2	<i>xa5</i>	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	S	R	R	R	R
HR24673	Sangjuchal*2/ Suwon345*4/ IRBB5	<i>xa5</i>	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	S	R	R	R	R
HR24669	Sangjuchal*2/ Suwon345*4/ IRBB21	<i>Xa21</i>	S	R	R	R	R	R	R	MR	R	R	MR	MR	MR	R	S
IR24	Recurrent parent for <i>indica</i> NILs	<i>Xa18</i>	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S
IRBB2	IR24*5/Tetep	<i>Xa2</i>	R	R	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S
IRBB3	IR24*5/ Chugoku45	<i>Xa3</i>	R	R	R	S	MR	R	R	MR	MR	MR	S	MR	MR	S	R
IRBB5	IR24*5/ IR1545-339	<i>xa5</i>	R	R	R	R	R	R	R	R	S	R	S	R	R	R	R
IRBB21	IR24*8/ <i>O. longistaminata</i>	<i>Xa21</i>	S	R	R	R	R	R	R	MR	R	R	MR	MR	MR	MR	S

^zK1: HB1013, K2: HB1014, K3: HB1015, K3a: HB1009 isolate

^yRace 1: PXO61, race2: PXO86, race3B: PXO79, race3C: PXO340, race4: PXO71, race5: PXO112, race6: PXO99, race7: PXO145, race8: PXO280, race9a: PXO339, race10: PXO341 isolate

^xR: Resistant (1~5 cm), MR: Moderately resistant (5~10 cm), S: Susceptible (> 10 cm)

숙률이 높았으며, HR24665 (*Xa2*)와 HR24668 (*xa5*)는 현미 천립중이 낮은 등 일부 형질에서 차이를 보였다. 벼흰잎마름병 저항성 유전자 *Xa2*는 인디카 품종 Tetep, *xa5*는 방글라데시 Aus 품종인 DV85, *Xa21*는 야생벼 *O. longistaminata*에서 저항성이 유래하였다. 자포니카 유전자원은 협소한 유전적 배경으로 생물적 스트레스에 저항성인 유전자를 확보하는데 제한적으로 다른 생태형에서 저항성 유전자를 도입할 경우에 높은 불임, 불량한 초형 및 열악형질 수반(linkage drag) 등으로 어려움이 따른다(Jeung et al. 2005, Park et al. 2014, Ronald et al. 1992). 본 논문에서 이용된 저항성 유전자 수여친인 HR13722 (*Xa2*)와 HR13723 (*Xa3*)는 인디카 Rantai Emas와 자포니카 Chukoku69의 저항성원을 이리 390호에 5회 여교배하여 육성한 계통(Shin et al. 1998)이고 HR15204 (*xa5*)는 방글라데시 Aus 품종인 DV85를 수여친으로 하고 수원 345호를 반복친으로 하여 4회 여교배된 계통(Shin et al. 2000)이며, 또 다른 *xa5*와 *Xa21*의 수여친은 인디카 IRBB5와 IRBB21을 수원 345호에 3회 여교배한 계통(Kim et al. 2011)들로 여교배와 육성과정을 통해 농업형질 특성을 자포니카형으로 회복시켜 불임, 불량한 초형 등 열악형질을 개선한 계통들이다. 이를 이용하여 개발된 조생 찰벼 저항성 계통들은 1회 여교배만 수행하여 근동질 유전자 계통으로써는 부족한 점이 있으나 선발과정 중에 모본인 상주찰벼의 농업형질 특성을 기준으로 선발압을 가하여 육성되었기 때문에 상주찰벼에 준하는 농업형질 특성을 지니고 있다.

찰벼와 조생종 벼 품종은 벼흰잎마름병 저항성에 대한 중

요성이 일반 밥쌀용이나 중만생종에 비해 비교적 적게 인식되어 왔고 이에 대한 저항성 육종사업이 부족하였다. 쌀 소비 촉진을 위한 가공용 쌀로서 가장 많이 이용되고 있고 그 중요성이 대두되고 있는 찰벼와 평야지에서 수확철 노력 분산, 추석전 햅쌀 출하, 이모작 등 작부체계 다양화 등으로 재배면적이 크게 증가하고 있는 조생종 품종이 벼흰잎마름병 발병 상습지에서 재배됨에 따라 피해가 우려되고 있는 상황에서 이번에 상주찰벼 배경에 *Xa2*, *Xa3*, *xa5*, *Xa21*이 도입된 저항성 계통은 벼흰잎마름병 저항성이 부족한 자포니카형 조생 찰벼의 저항성 강화를 위하여 유용한 육종소재로 활용될 것이다. 또한 찰벼와 조생종 품종 육종사업 시에 벼흰잎마름병에 대한 중요성을 재인식하고 교배모본 선정과 육성 과정에서 저항성을 도입할 수 있도록 노력을 기울여야 할 것으로 생각한다.

적 요

자포니카형 조생 찰벼의 벼흰잎마름병 저항성 증진을 위하여 내도복 다수성 조생 찰벼인 상주찰벼 배경에 벼흰잎마름병 저항성 유전자 *Xa2*, *Xa3*, *xa5*, *Xa21*을 도입한 저항성 계통을 여교배와 벼흰잎마름병 생물검정을 통해 육성하였고, 해당 저항성 유전자를 표지하는 DNA 분자 마커를 이용하여 저항성 유전자 도입 여부를 확인하였으며 우리나라 벼흰잎마름병 균계 네 개와 필리핀 11개 균계를 대상으로 저항성 반응을 조사하였다. *Xa2*가 도입된 HR24465 계통은 우리나라 K1, K2 균계와 필리핀 race 9a에 저항성을 나타냈으며 *Xa3*가 도

Table 4. Yield-related traits of breeding lines and Sangjuchalbyeo at yield trial.

Var./Line	R-gene	Heading date (DAS) ^z	Culm length (cm)	Panicle length (cm)	No. of panicles per hill	No. of spikelets per panicle	Ratio of ripened grain (%)	1,000 grain weight of brown rice (g)	Brown/rough rice ratio (%)	Milled rice yield (kg/10a)	Remark
Sangjuchalbyeo	unknown	93a ^y	74a	19a	12a	104ab	82.1a	21.9a	79.1a	458a	glutinous
HR24665	<i>Xa2</i>	94a ^{nsx}	70a [*]	19a ^{ns}	14a ^{ns}	84b ^{**}	81.6a ^{ns}	20.7b ^{**}	78.8a ^{ns}	441a ^{ns}	glutinous
HR24666	<i>Xa3</i>	93a ^{ns}	69a ^{**}	19a ^{ns}	13a ^{ns}	86b [*]	89.9a [*]	21.6a ^{ns}	77.7a ^{ns}	435a ^{ns}	glutinous
HR24668	<i>xa5</i>	95a ^{ns}	69a [*]	19a ^{ns}	13a ^{ns}	102ab ^{ns}	89.6a ^{ns}	20.7b [*]	78.6a ^{ns}	475a ^{ns}	glutinous
HR24673	<i>xa5</i>	93a ^{ns}	71a ^{ns}	19a ^{ns}	12a ^{ns}	90b ^{ns}	83.8a ^{ns}	21.8a ^{ns}	78.8a ^{ns}	434a ^{ns}	glutinous
HR24669	<i>Xa21</i>	92a ^{ns}	73a ^{ns}	19a ^{ns}	12a ^{ns}	114a [*]	86.5a ^{ns}	21.9a ^{ns}	79.0a ^{ns}	463a ^{ns}	glutinous

^zDay after seedling

^yMeans with the same letter are not significantly different at $P < 0.05$ (ANOVA followed by DMRT)

^xns, *, and ** indicate no significant, significant at $P < 0.05$, and $P < 0.01$, respectively (t-test)

입된 HR24666 계통은 우리나라 K3a와 필리핀 race 6을 제외하고 저항성 및 중도 저항성을 나타냈다. *xa5*가 도입된 HR24668과 HR24673은 필리핀 race 6을 제외하고 모두 저항성 반응을 나타냈으며 *Xa21*이 도입된 HR24669는 우리나라 K1 균계와 필리핀 race 10을 제외하고 저항성 및 중도 저항성을 나타냈다. 육성된 계통들은 상주찰벼와 같이 조생이면서 찰벼였고 출수기와 수장, 수수, 정현비율 및 백미수량이 상주찰벼와 차이가 나지 않았다. 상주찰벼 배경에 *Xa2*, *Xa3*, *xa5*, *Xa21*이 도입된 저항성 계통은 벼흰잎마름병 저항성이 부족한 자포니카형 조생 찰벼의 저항성 강화를 위하여 유용한 육종소재로 활용될 것이다.

사 사

본 논문은 농촌진흥청 연구사업(과제번호: PJ008710)의 지원에 의해 이루어진 것임

REFERENCES

- Jeung JU, Hwang HG, Moon HP, Jena KK. 2005. Fingerprinting temperate japonica and tropical indica rice genotypes by comparative analysis of DNA markers. *Euphytica* 146: 239-251.
- Kauffman HE, Reddy APK, Hsieh SPY, Merca SD. 1973. An improved technique for evaluating resistance of rice varieties to *Xanthomonas oryzae*. *Plant Dis. Rep.* 57: 537-541.
- Kim KY, Shin MS, Kim WJ, Mo YJ, Nam JK, Noh TH, Ko JK. 2009. Effective combination of resistance genes against rice bacterial blight pathogen. *Korean J. Breed. Sci.* 41: 244-251.
- Kim KY, Shin MS, Kim WJ, H.S. P, Ko JC, Nam JK, Shin WC, Y.J. M, Jeung JU, Kim BK, Ko JK. 2011. Development of near-isogenic lines (NILs) conferring *Xa4*, *xa5* and *Xa21* genes resistant to bacterial blight (*Xanthomonas oryzae* pv. *oryzae*) in japonica rice genetic background. *Korean J. Breed. Sci.* 43: 383-390.
- Lee SW, Choi SH, Han SS, Lee DG, Lee BY. 1999. Distribution of *Xanthomonas oryzae* pv. *oryzae* strains virulent to *Xa21* in Korea. *Phytopathol.* 89: 928-933.
- Mew T. 1987. Current status and future prospects of research on bacterial blight of rice. *Annu. Rev. Phytopathol.* 25: 359-382.
- Murray M, Thompson WF. 1980. Rapid isolation of high molecular weight plant DNA. *Nucl. Acid. Res.* 8: 4321-4326.
- Ogawa T, Yamamoto T, Khush GS, Mew T-W. 1991. Breeding of near-isogenic lines of rice with single genes for resistance to bacterial blight pathogen (*Xanthomonas campestris* pv. *oryzae*). *Japan. J. Breed.* 41: 523-529.
- Park HS, Kim KY, Shin MS, Noh TH, Ha KY, Baek MG, Baek SH, Kang HJ, Ko JK. 2011. Breeding for japonica rice variety with resistance to bacterial blight in Korea. *Korean J. Breed. Sci.* 43: 44.
- Park HS, Kim KY, Shin MS, Noh TH, Jeung JU, Kim YG, Suh JP, Ha KY, Baek MG, Baek SH, Kang HJ, Ko JC, Kim BK. 2012. Variation of yield and grain quality by the inoculation of K1 and K3a races of bacterial blight in early maturing japonica rice varieties. *Korean J. Breed. Sci.* 44: 516-525.
- Park HS, Shin MS, Kim KY, Noh TH, Baek SH, Lee JH, Ha KY, Baek MK, Kim WJ, Park JH, Yoo JS, Cho YC, Kim BK. 2013. Reaction of single resistance genes and their pyramiding effects in indica and japonica rice against *Xanthomonas oryzae* pv. *oryzae* in Korea. *Korean J. Breed. Sci.* 45: 119-129.
- Park HS, Baek SH, Kim WJ, Jeung JU, Lee JH, Ha KY, Park JH, Nam JK, Baek MG, Yoo JS, Baek CH, Noh TH, Kim KY, Cho YC, Kim BK, Lee JH. 2014. Development of multi-resistant lines to brown planthopper, bacterial blight, and rice stripe virus using anther culture in rice. *Korean J. Breed. Sci.* 46: 78-89.
- Ronald PC, Albano B, Tabien R, Abenes L, Wu K-s, McCouch S, Tanksley SD. 1992. Genetic and physical analysis of the rice bacterial blight disease resistance locus, *Xa21*. *Mol. Gen. Genet.* 236: 113-120.
- Shin HT, Shin MS, Cho SH. 1998. Breeding of near-isogenic lines for resistance to bacterial blight in rice. *Korean J. Breed. Sci.* 30: 185-191.
- 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. *Korean J. Breed. Sci.* 26: 238-242.
- Shin MS, Noh TH, Lee JK, Shin HT, Lee YM. 2000. Breeding of japonica near-isogenic lines for resistance to bacterial blight in rice. *Korean J. Breed. Sci.* 32: 291-295.
- Shin MS, Kim KY, H.S. P, Ko JK. 2011. Breeding for resistance to bacterial blight in rice. *Korean J. Breed. Sci.* 43: 251-261.

18. Shin WC, Baek SH, Seo CS, Kang HJ, Kim CK, Shin MS, Lee GS, Hahn JH, Kim HS. 2006. Improvement of selection efficiency for bacterial blight resistance using SNP marker in rice. *J. Plant Biotech.* 33: 309-313.
19. Song YC, Cho JH, Lee JH, Kwak DY, Park NB, Yeo US, Kim CS, Jeon MG, Lee JY, Lee GH, Ha WG, Lee JS, Jung KH, Cho YH, Kang HW. 2013. A glutinous rice variety with multiple disease resistance 'Baegokchal'. *Korean J. Breed. Sci.* 45: 31-37.
20. Wang G-L, Song W-Y, Ruan D-L, Sideris S, Ronald PC. 1996. The cloned gene, *Xa21*, confers resistance to multiple *Xanthomonas oryzae* pv. *oryzae* isolates in transgenic plants. *Mol. Plant-Microbe Interact.* 9: 850-855.
21. Yoshimura S, Kurata N, Sasaki T, Yoshimura A. 1994. Genetic analysis of bacterial blight resistance genes in rice by using molecular markers. *Recent Adv. Breed.* 36: 33-36.
22. Rural Development Administration. 2010. The manual of glutinous rice cultivation.