운광벼 유전배경의 복합내병성 조생 벼 ‘아이에스592비비’

박현수^{1*} · 백만기¹ · 김우재² · 이창민¹ · 지현소³ · 서정필¹ · 정오영¹ · 조영찬¹ · 이점호¹

¹농촌진흥청 국립식량과학원, ²농촌진흥청 기술협력국, ³농촌진흥청 농업과학원

Multiple Disease Resistant Early Maturing Rice Cultivar ‘IS592BB’ with the Genetic Background of ‘Unkwang’

Hyun-Su Park^{1*}, Man-Kee Baek¹, Woo-Jae Kim², Chang-Min Lee¹, Hyeonso Ji³, Jung-Pil Suh¹, O-Young Jeong¹, Young-Chan Cho¹, and Jeom-Ho Lee¹

¹National Institute of Crop Science, RDA, Wanju 55365, Republic of Korea

²Technology Cooperation Bureau, RDA, Jeonju 54875, Republic of Korea

³National Institute of Agricultural Science, RDA, Jeonju 54874, Republic of Korea

Abstract The cultivation of early maturing rice in the plain areas in Korea is increasingly diversifying its cropping systems. Early maturing rice cultivars are usually vulnerable to bacterial blight (BB) and rice stripe virus (RSV) compared to mid- and mid-late maturing rice cultivars. To enhance the resistance of early maturing rice against BB and RSV, ‘IS592BB’ was developed by introgression of resistance genes, *Xa3*, *Xa21*, and *Stvb-i* into the genetic background of ‘Unkwang’, an early maturing rice cultivar with excellent agronomic characteristics. ‘IS592BB’ was derived from a backcross between ‘Unkwang’ and the F1 cross between ‘Unkwang’ and ‘SR31206-12’ (‘Unkwang’/‘SR30075’) and selected through the pedigree method, yield trials, and local adaptability tests. Using bioassay and marker-assisted selection to BB and RSV, *Xa3*, *Xa21*, and *Stvb-i* were pyramided in ‘IS592BB’. ‘IS592BB’ exhibited high-level and broad-spectrum resistance against BB, including the K3a race, the most virulent race in Korea, and also showed a resistance reaction to RSV. ‘IS592BB’ was found to be an early maturing rice cultivar with similar agronomic characteristics to ‘Unkwang’ such as early maturing, lodging tolerance with short culm, erect plant architecture, blast resistance, and high-yielding performance. In the genetic background analysis using 771 KASP (Kompetitive Allele-Specific PCR) markers, ‘IS592BB’ was confirmed to be the near-isogenic line (NIL) of ‘Unkwang’ with a 93.6% recovery rate. ‘IS592BB’ was successfully introgressed with the *Xa3+Xa21+Stvb-i* genes into ‘Unkwang’ without linkage drag negatively affecting its agronomic characteristics. ‘IS592BB’ would enhance the adaptability of early maturing rice in the plain area through its multiple disease resistance (Registration No. 7648).

Keywords Rice, ‘IS592BB’, ‘Unkwang’, Bacterial blight, Rice stripe virus

Received on September 22, 2020. Revised on September 23, 2020. Accepted on October 6, 2020.

* Corresponding Author (E-mail: mayoe@korea.kr, Tel: +82-63-238-5214, Fax: +82-63-238-5205)

서 언

‘운광’은 2004년에 개발된 조생종 최초의 최고품질 품종이다 (Park et al. 2020). ‘운광’의 계통명은 운봉30호로 농촌진흥청 국립식량과학원 운봉시험지에서 육성되었다. 운봉시험지는 해발 285 m의 전라북도 남원시 운봉읍에 위치하고 있으며 남부중산간지에 적응하는 벼 품종 개발을 위해 1981년부터 운영되어 왔으나 현재 벼 육종사업은 중단된 상태이다. ‘운광’은 소비재배 적응성이 높은 중생종 품종 ‘소비’와 내병성 조생종 계통 ‘철원54호’를 교배하여 육성되었다. ‘운광’은 직립·단간·내도복의 우수한 초형으로 재배안정성을 갖추고 있으며 높은 수량성에 밝

도 좋아 재배면적이 급속히 증가하였고 2008년부터 조생종 벼 품종 중 우리나라에서 가장 많은 재배면적을 차지하고 있다. 이러한 ‘운광’의 재배면적 확대는 적응지역인 중북부중간지와 남부중산간지 재배와 더불어 남부평야지에서의 급속한 재배 증가에 따른 것으로 판단되고 있다.

생육기간이 짧은 조생종 벼는 주로 중산간지와 북부평야지에서 재배되어 왔으나 추석 전 햅쌀 출하, 이모작 등 작부체계의 다양화, 수확시기 다변화를 통한 노동력 분산을 위해 남부평야지에서 재배면적이 증가하고 있다(Park et al. 2020). 평야지는 중산간지에 비해 벼흰잎마름병과 줄무늬잎마름병 등 병 발생이 많기 때문에 평야지에서 조생종 벼를 재배하기 위해서는 저항성

을 갖춘 품종을 선택하는 것이 피해를 예방하는데 바람직하다. 하지만 조생종 벼는 중생종과 중만생종 벼에 비해 벼흰잎마름병과 줄무늬잎마름병에 대한 저항성이 취약하다. 우리나라 자포니카 벼 품종 중 벼흰잎마름병에 대한 저항성 비율은 조생종, 중생종, 중만생종이 각각 13.5, 56.8, 59.0%이며, 줄무늬잎마름병에 대한 저항성 비율은 20.9, 62.0, 71.8%로 조생종이 중생종과 중만생종에 비해 저항성 품종의 비율이 낮다(Park et al. 2015, Park et al. 2016). 이는 병 발생이 많은 평야지에서 주로 재배되는 중생종과 중만생종의 벼 육종사업에서는 벼흰잎마름병과 줄무늬잎마름병 저항성에 대한 선발압이 조생종에 비해 상대적으로 강하게 적용되었기 때문으로 판단된다. 평야지에서 조생종 벼 재배가 증가함에 따라 2011년부터 벼 지역적응성 검정시험에 조기 재배시험 항목이 추가되었고 내병성 증진 등 평야지에 적응하는 조생종 벼 개발을 위한 본격적인 육종사업이 수행되고 있다(Lee et al. 2019).

분자표지를 이용한 선발법(marker-assisted selection, MAS)은 생물검정에 드는 노력을 경감시킬 수 있고 환경변이 등에 따른 검정 결과의 변이에 영향을 덜 받으며, 초기세대부터 저항성 유전자가 도입된 개체를 선발할 수 있으며 생물검정을 통한 표현형 선발로는 구분하기 어려운 저항성 유전자의 집적 여부도 확인이 가능하게 되어 목표 저항성 유전자의 도입과 집적에 정확성, 신속성 및 효율성을 부여하고 있다(Park et al. 2016). 저항성 유전자를 정밀하게 탐지하고 효율적으로 표지할 수 있는 DNA 분자표지의 개발로 벼 저항성 육종사업에서 MAS의 적용은 가속화되고 있다. 줄무늬잎마름병 저항성 생물검정은 대형 망실에 바이러스 보독충을 방사하여 계대 사육으로 보독충을 연중 유지시켜면서 검정계통을 파종하면 이를 보독충이 이병시켜 저항성 반응을 판정하게 되는데, 보독충 유지와 검정에 많은 노력과 시간이 소요되고 판정에 전문성을 요한다(Kwak et al. 2007). 줄무늬잎마름병 저항성 유전자 *Snb-i*를 탐지하는 분자표지 Indel7이 개발되어 MAS에 적용됨에 따라 대량의 재료를 신속하고 정밀하게 분석할 수 있게 되었다(Kwon et al. 2012). 벼흰잎마름병 저항성 유전자의 집적은 여러 균계에 대한 광범위 저항성을 확보할 수 있으며 병원균 변이에 의한 저항성 붕괴를 지연시킬 수 있으나, 생물검정으로는 집적된 저항성 유전자의 효과 파악을 위해 많은 군주를 접종해야 하고 저항성 유전자 집적 여부를 확인하는데 어려움이 있다(Park et al. 2013, Yoshimura et al. 1995). 하지만 벼흰잎마름병 저항성 유전자를 표지하는 분자표지가 개발되어 활용됨에 따라 네 개의 저항성 유전자 *Xa1*+*Xa3*+*xa5*+*Xa21*를 보유하는 우량계통을 육성하는

등 MAS의 적용은 벼흰잎마름병 저항성 육종사업에 있어 큰 성과를 가져오게 되었다(Park et al. 2016).

근동질계통은 여교배 방법을 이용하여 목표 형질 이외의 다른 유전적 배경은 반복친으로 회복된 계통을 말한다. 근동질계통은 수여친에 존재하는 열악 형질 수반 문제(linkage drag)를 극복할 수 있으면서 반복친의 우수한 농업형질 특성을 유지할 수 있다(Jena et al. 2017). 농촌진흥청 국립식량과학원 벼 육종팀은 평야지에서 내병성이 약한 조생종 벼 재배가 확대되고 있어 벼흰잎마름병과 줄무늬잎마름병 피해가 예상됨에 따라 내병성이 증진된 조생종 우량 품종을 개발하기 위해 여교배, 생물검정 및 MAS를 적용한 저항성 육종사업을 수행하였다. 이를 통해 조생 최고품질 품종으로 우수한 농업형질 특성을 보유하고 있는 ‘운광’의 유전배경에 병원성이 강한 벼흰잎마름병균 K3a와 줄무늬잎마름병에 대한 저항성이 보강된 근동질계통 ‘아이에스592비비’를 개발하였다. 이에 ‘아이에스592비비’에 대한 육성 경위와 주요 특성을 보고하고자 한다.

재료 및 방법

시험재료 및 재배방법

교배모본으로 ‘운광’을 모본으로 하고 ‘운광’과 ‘SR31206-12’를 교배한 F₁을 부분으로 이용하였다. 육종사업을 통해 선발된 고정 계통에 대해서 2014-2015년에 평야지 조기 재배 표준품종 ‘조평’, 반복친 ‘운광’과 함께 생산력 검정시험을 수행하였다. 공시 재료를 국립식량과학원 벼 포장에 4월 10일 파종하여 5월 10일에 재식거리 30×15 cm로 주당 3본씩 구당 180주를 3반복으로 조기 재배 이양하였다. 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. 기타 재배관리는 농촌진흥청 표준 재배법에 준하여 실시하였다. 지역적응성 검정시험은 조기 재배시험을 중부평야지(수원), 호남평야지(전주, 나주), 영남평야지(밀양, 진주) 등 5개소, 보통기 재배시험을 남부중산간지(진안, 안동) 2개소, 만기 재배시험을 중부평야지(수원), 호남평야지(전주), 영남평야지(밀양) 등 3개소에서 2015-2017년 3년 동안 ‘조평’(조기), ‘오대’(보통기), ‘금오’(만기)를 표준품종으로 하여 수행되었다. 재배방법에 따른 시험지별 파종 및 이양시기, 재식밀도와 주당묘수, 시비량 및 질소 분시방법 등과 농업형질 및 수량구성요소, 생리장해 및 병해충 저항성, 도정특성 조사는 농촌진흥청 신품종개발공동 연구사업 과제수행계획서의 조사기준과 농업과학기술 연구조사

분석기준에 준하여 실시하였다(RDA 2012, 2015, 2016, 2017).

주요 농업형질 및 수량 관련 형질 조사

지역적응성 검정시험에 공시된 재료의 출수기를 조사하고, 성숙기에 평균이 되는 20개체에 대해서 간장, 수장, 수수를 측정하였다. 성숙기에 3주를 예취하여 등숙률 및 수당립수를 조사하였고 100주를 3반복 예취하여 정조중을 측정하였다. 수확한 정조 1.5 kg을 수량조사현미기로 제형하여 정현비율을 측정하고, 100주 정조수량에 정현비율을 곱하여 현미수량을 구한 다음 1 ha당 수량으로 환산하였다. 현미수량에 일반적 현백률인 0.92를 곱하여 백미수량을 구하였고, 제현된 현미를 이용하여 친립중을 측정하였다.

생리장해 저항성 검정

내병성 검정은 국립식량과학원 춘천출장소 내병성 검정 시험 포장에서 실시하였다. 이앙 후 20일부터 등숙기까지 수온 17°C, 수심 5 cm로 냉수처리 후 적고, 출수지연일, 임실률 등을 조사하였다. 출수지연일은 냉수를 처리하지 않은 대조구 대비 냉수 처리구 간의 출수지연일수로 구하였고, 임실률은 성숙기에 냉수 처리구의 주간 3이삭을 채취하여 측정하였다. 저온발아율은 100립 3반복으로 13°C 항온기에서 15일간 치상하여 발아율을 조사하여 측정하였다. 내병성 유묘검정은 3엽기부터 수온 13°C로 10일간 처리하여 1: 엽색 농록, 3: 엽 선단부 담록, 5: 1/3 엽색 황변, 7: 2/3 엽색 갈변, 9: 고사 등 1-9의 질적등급으로 구분하였다. 수발아 검정은 출수 후 40일에 주간의 3 이삭을 채취하여 25°C 포화습도에서 7일간 치상 후 발아율을 조사하여 측정하였다. 도복저항성 검정은 출수 후 20일에 평균적인 3개체를 골라 실시하였다. 좌절중은 간기부에서 10 cm 절간 중앙부에 하중을 걸어 부러질 때의 무게로 인장강도 시험기(DTG-5, Digitech Co. Ltd., Osaka, Japan)를 이용하여 측정하였다. 도복의 전체적 정도를 나타내는 도복지수는 [모멘트(g·cm)/좌절중(g)] × 100의 공식을 이용하여 구하였으며, 모멘트는 주간 간장과 수장을 더한 값을 총생체중으로 곱한 값이다.

내병성 저항성 유전자 확인

Genomic DNA 추출은 BioSprint 96 (Qiagen Co., Düren, Germany)을 이용하였다. 샘플을 TissueLyser II (Qiagen Co., Düren, Germany)를 이용하여 마쇄한 후 BioSprint 96 DNA Plant Kit (Qiagen Co., Düren, Germany)를 이용하여 DNA를 추출하였다. 벼흰잎마름병 저항성 유전자 *Xa3*, *Xa21*과 줄무늬잎

마름병 저항성 유전자 *Stvb-i*를 확인하기 위해 대상 유전자와 밀접하게 연관된 DNA 분자표지인 9643.T4, U1/I1 및 Indel7을 이용하였다. PCR 반응 및 전기영동 등 분자표지를 이용한 내병성 저항성 유전자 확인은 기존의 연구결과와 같은 방법을 이용하였다(Park et al. 2015).

벼흰잎마름병 저항성 검정

계통육성 과정 중 병원성인 강한 HB1009(K3a 균계) 균주를 이용하여 저항성 검정을 수행하였고, 생산력 검정시험과 지역적응성 검정시험에서는 우리나라 벼흰잎마름병 대표균계에 대한 저항성 반응을 HB1013(K1 균계), HB1014(K2), HB1015(K3), HB1009(K3a) 균주를 이용하여 검정하였다. 검정 계통에 대해서 최고분얼기에 균주 별로 3주씩 엽선단 3 cm 부위를 가위 절엽접종하였다(Kauffman et al. 1973). 접종 3주 후에 각각의 개체에서 가장 긴 병반을 가진 3개 엽의 병반장을 측정하여 평균 병반장이 3 cm 이하는 저항성(R; resistant), 10 cm 이상은 이병성(S; susceptible)으로 질적저항성을 구분하였다. 벼흰잎마름병에 대한 광범위 저항성 검정을 위해서 우리나라 우점 균주인 HB1014(K2 균계), HB1015(K3), HB1009(K3a)와 *Xa3* 유전자를 침해하는 것으로 알려진 HB2024, HB2038, HB3055, HB3079, HB4024, HB4040, HB4044, HB4079, HB6142, HB6159과 *Xa3* 유전자를 침해하지 못하나 *Xa21* 유전자를 침해하는 HB2010, HB3011, HB4027 균주 등 총 16개 균주를 이용하였다(Park et al. 2015). 플라스틱 상자(78 × 45 × 18 cm)에 아이에스592비비와 반복친인 '운광', 조기 재배 표준품종인 '조평'을 주당 3본씩 16주 이상하여 한 개체 당 한 균주씩 엽선단 약 3 cm 부위를 가위 절엽접종하여 접종 3주 후에 가장 긴 병반을 가진 3개 엽의 병반장을 측정하여 평균한 값을 이용하였다.

도열병, 바이러스병, 멸구류 저항성 검정

잎도열병 저항성 검정은 국립식량과학원, 도농업기술원 등 전국 12개 지역에서 질소다비 조건의 밭못자리 상태에서 6월 하순에서 7월 상순에 늦게 파종하여 잎도열병을 유발시키는 밭못자리 검정법을 이용하여 수행되었다. 검정포 시비량은 성분량으로 N-P₂O₅-K₂O를 240-80-120 kg/ha로 주었고, 밭병을 촉진시키기 위한 이병성 품종(spreader)으로 '호평'을 이용하였다. 파종 후 30일 이후에 밭병 최성기를 중심으로 조사하며 잎도열병 저항성 검정 기준은 0: 무 밭병, 1: 바늘머리 크기의 갈색 병반, 2: 다소 큰 갈색 병반, 3: 직경 1-2 mm의 원형회색병반, 4: 직경 1-2 mm의 전형적 병반으로 엽면적의 2% 이하 밭병, 5:

전형적인 병반이 엽면적의 3-10%, 6: 11-25%, 7: 26-50%, 8: 51-75%, 9: 76% 이상 등 0-9 단계로 발병으로 구분하였다. 도열병 포장저항성 검정은 전주, 밀양, 이천, 진주 포장에서 질소과비조 건에서 이양재배하여 이삭도열병 발병정도를 검정하였다. 검정 포 시비량은 성분량으로 $N-P_2O_5-K_2O$ 를 240-45-57 kg/ha로 주었고, 발병을 촉진하기 위해서 이병성 품종 ‘호평’을 검정 계통 주위에 재식하였다. 출수 후 30-35일 경에 이삭 표본을 채취하여 건전 이삭과 이병 이삭의 비율로 이삭도열병 발병정도를 측정하였다. 줄무늬잎마름병 검정은 망실을 이용한 대량 검정법으로 바이러스 보독충 방사 및 계대 사육으로 보독충이 충분히 유지된 망실에 검정 계통을 파종 후 이병성 품종인 ‘추청’이 병징을 나타낼 때 저항성과 감수성으로 판정하였다(Kwak et al. 2007). 오갈병 및 검은줄오갈병은 실타래검정을 통해서 보독충을 접종하여 바이러스병 저항성 여부를 이병성 품종 ‘추청’을 비교하여 검정하였다. 벼멸구 및 애멸구 저항성 검정은 파종 후 본엽 2-3엽기에 벼멸구와 애멸구를 접종하여 감수성 대비 품종인 ‘일품’과 ‘추청’이 고사한 후에 검정 계통을 저항성과 감수성으로 판정하였다.

품질 및 도정 특성 검정

현미 20립에 대해서 길이, 너비를 캘리퍼스(Caliper CD-15CP, Mitutoyo Corp., Japan)를 이용하여 조사하고 너비에 대한 길이의 비율로 현미 장폭비를 계산하였다. 투명도는 백미 20립을 달관조사하여 1: 쌀이 유리알 같이 맑은 것, 5: 중간, 9: 쌀이 불투명한 것으로 구분하였다. 심복백은 백미 20립에 대해서 달관 조사를 통하여 0: 심백 및 복백 무, 1: 쌀알 면적의 5% 이하, 3: 6-10%, 5: 11-20%, 7: 21-40%, 9: 41% 이상으로 구분하였다. 알칼리불용도는 백미 6립을 3반복으로 15 mL 용량의 사카 플라스크에 넣고 1.4% KOH 용액 10 mL씩 분주한 후 30°C 항온기에서 23시간 정치 후, 퍼짐도(spreading)와 투명도(clearing)에 따라 1: 부풀지 않고 그대로 있음, 2: 모양 변화 없이 약간 부풀어 있음, 3: 금이 나게 부풀어 있고, 극히 미미한 퍼짐도 보임, 4: 부분 쌀 너비 정도의 퍼짐도 보이나 투명화 현상 없음, 5: 심하게 갈라져 꽤 넓은 퍼짐도 보이고 투명화 현상 시작함, 6: 완전히 퍼지고 외곽은 거의 투명화됨, 7: 형태를 알 수 없게 퍼져서 투명화됨 등 7단계로 구분하였다(Cheo and Heu 1975). 단백질 함량은 AOAC (2000) 방법에 의하여 Micro Kjeldahl법으로 자동 단백질 분석기(Kjeltec 2400 AUT, Foss Tecator, Mulgrave, Australia)로 측정하였다. 아밀로스 함량은 Juliano (1985)의 비색정량법에 따라 시료 100 mg에 95% 에탄올과 1 N sodium

hydroxide를 가한 후 호화시킨 전분 호화액에 1 N acetic acid와 2% I_2-KI 용액을 첨가하여 요오드 정색반응 후 분광광도계를 이용하여 620 nm의 파장에서 흡광도를 측정하였다. 밥맛 검정은 전기밥솥에 밥을 취반하여 ‘추청’의 취반미를 기준으로 하여 국립식량과학원 본원, 중부작물부 및 남부작물부 패널이 밥 모양(색깔 및 윤기), 냄새, 찰기, 질감, 밥맛 및 종합평가 등 6항목을 평가하였다. 평가는 기준밥인 ‘추청’과 비교하여 비슷하면 보통(0), 기준보다 나쁜 쪽으로 3단계(-1, -2, -3), 좋은 쪽으로 3단계(+1, +2, +3)의 수준으로 평가하고 밥맛 평균값을 식미치로 이용하였다. 도정특성 검정은 정선된 정조 1 kg을 로울리식 시험용 제현기를 이용하여 현미를 제조한 후 정조에 대한 현미의 중량비로 정현비율을 구하였으며, 현백율은 현미 500 g을 시험용 정미기에 5-6회 반복 도정한 후 얻어진 백미를 1.7 mm 체로 쳐서 쉼미를 분리하고 남은 백미중량을 현미의 중량에 대한 백분율로 나타냈고 도정률은 정현비율에 현백율을 곱함 다음 100으로 나눈 수치로 표시하였다(Lee et al. 2009). 백미 완전미율은 도정 후 얻어진 백미를 50 g씩 3반복으로 취하여 숙련된 사람이 육안으로 완전미를 분리하였고 완전미의 무게를 재어 원료 쌀의 중량에 대한 백분율로 표시하였다. 완전미 도정수율은 도정률에 백미 완전미율을 곱한 다음 100으로 나눈 수치로 표시하였다.

유전배경 분석

‘아이에스592비비’의 유전배경 분석을 위해 우리나라 자포니카 벼 품종들의 SNP (Single Nucleotide Polymorphism)를 탐지하도록 개발된 771개 KASP (Kompetitive Allele-Specific PCR) 마커를 이용하였다(Cheon et al. 2019). KASP 마커 분석은 농업 기술실용화재단 종자산업진흥센터(Gimje, Korea) 분자표지분석 서비스를 통해 ‘아이에스592비비’와 반복친인 ‘운광’, 조기재배 표준품종 ‘조평’, 비교품종 ‘조운’, 보통기 재배 표준품종 ‘오대’를 대상으로 이루어졌다. 분석된 771개 KSAP 마커 중 증폭이 되지 않거나 헤테로 유전자형을 나타내는 마커는 제외하고 유전자형을 비교 분석하였고 유전자지도를 작성하였다. 유전자지도는 KASP 마커의 물리적 위치를 기반으로 MapChart version 2.32 프로그램을 이용하여 작성하였다(Voorrips 2002).

통계 분석

통계분석은 SAS 프로그램(Version 9.2, SAS Institute Inc., Cary, NC, USA)을 이용하였다. 농업형질에 대한 평균을 기술통계법으로 구하였고, PROC *t*-test를 이용하여 표준품종과 형질값을 비교하였으며 벼흰잎마름병에 대한 광범위 저항성 비교를

PROC ANOVA로 분산분석 후 유의성이 있을 경우 5% 유의수준에서 Duncan's Multiple Range Test (DMRT)로 분석하였다.

결과 및 고찰

육성 경위

‘아이에스592비비’는 조생종 벼의 평야지 적응성 향상을 위해 ‘운광’ 유전배경에 벼흰잎마름병과 줄무늬잎마름병 저항성이 보강된 복합내병성 품종을 개발하고자 육성되었다. ‘운광’은 2004년에 개발된 조생종 최초의 최고품질 품종으로 도북에 안정적이고 다수성이면서 밥맛이 좋아 2008년부터 조생종 벼 품종 중 우리나라에서 가장 많은 재배면적을 차지하고 있다. 또한 우리나라에서 육성된 조생종 품종 중 처음으로 벼흰잎마름병 저항성 유전자 *Xa3*을 도입하여 조생종 벼의 내병성 증진에 기여하였다. 하지만 줄무늬잎마름병에 대한 저항성이 없고, 새로운 벼흰잎마름병균 발생에 의해 *Xa3*의 저항성이 붕괴된 상황에서 평야지에 재배될 경우 병 발생에 따른 피해가 발생할 수 있다 (Park et al. 2015). 우수한 농업형질 특성을 가지고 있는 ‘운광’의 내병성을 보완하고자 ‘운광’ 유전배경에 내병성 저항성 유전자를 도입하는 저항성 육종사업이 수행되었다. 저항성 유전자 수여 친으로 세 개의 벼흰잎마름병 저항성 유전자 *Xa4*+*xa5*+*Xa21*가 집적되어 있고 줄무늬잎마름병 저항성 유전자 *Stvb-i*를 가지고 있는 ‘SR30075’ 조합의 계통을 이용하였다(Suh et al. 2013). ‘SR30075’ 조합의 계통은 우리나라 벼흰잎마름병에 대해 광범위 고도 저항성 반응을 나타낸다(Park et al. 2017). ‘운광’을 모본으로 하고 ‘SR30075’ 조합의 계통을 부분으로 하여 인공교

배하였고, 저항성 유전자를 탐지하는 분자표지를 이용하여 *Xa3*는 이형접합체이고 *xa5*, *Xa21*, *Stvb-i*는 동형접합체인 F₃ 계통 ‘SR31206-12’를 선발하였다. 이후 이를 부분으로 이용하여 ‘운광’에 여교배하여 ‘HR28021’ 조합의 F₁ 식물체를 양성하였고, 2008/2009년 동계에 ‘운광’을 모본으로 하고 F₁을 부분으로 다시 여교배하여 ‘HR28420’ 조합을 작성하였다(Fig. 1). BC₂F₁ 양성과 BC₂F₂ 집단 전개를 통해 조생종이면서 농업형질 특성이 우수한 개체를 선발하였고, F₃ 세대 이후부터는 계통육종법을 통하여 초형, 출수기 등 농업형질 특성과 벼흰잎마름병, 잎도열병 등 내병성 검정을 통한 표현형 선발을 수행하였다. 내병성 계통 선발 과정 중 생물검정을 통한 표현형 선발과 함께 벼흰잎마름병과 줄무늬잎마름병 저항성 유전자를 탐지하는 분자표지를 이용한 MAS를 병행하였다. 내병성 저항성 증진을 위한 목표 유전자 조합으로 벼흰잎마름병 저항성 유전자 *Xa3*, *Xa21*과 줄무늬잎마름병 저항성 유전자 *Stvb-i*가 집적된 *Xa3*+*Xa21*+*Stvb-i* 조합을 설정하고 MAS를 수행하였다. 줄무늬잎마름병 저항성 유전자 *Stvb-i*는 우리나라 자포니카 벼의 저항성 육종사업에서 주로 활용되고 있는 유전자로 인디카 Modan에서 유래하여 1975년에 ‘낙동벼’에 도입된 이후 현재까지 지속적으로 활용되고 있으며 저항성 붕괴에 따른 문제점은 보고되고 있지 않다(Park et al. 2014). Park et al. (2013)은 벼흰잎마름병 저항성 유전자 *Xa3*+*Xa21* 조합은 우리나라 대표균계 K1, K2, K3, K3a 균계를 비롯하여 16개 균주에 대해서 모두 강한 광범위 저항성을 나타내 *xa5*+*Xa21*, *Xa3*+*xa5*+*Xa21* 조합과 더불어 우리나라 벼흰잎마름병 저항성 안정화를 위한 새로운 유망 목표 조합이며 벼흰잎마름병 저항성 육종사업에 적극 반영하겠다고 하였다. *Xa3*, *Xa21*, *Stvb-i*

Fig. 1. Genealogical and schematic diagram of breeding for 'IS592BB'.

저항성 유전자는 11번 염색체 장완에 연관되어 위치하고 있어 다른 염색체에 존재하는 경우에 비해 분리세대에서 벼흰잎마름병에 대한 저항성 생물검정을 통해 이들 세개의 저항성 유전자가 집적된 개체를 효율적으로 선별할 수 있어 *Xa3+Xa21+Svb-i* 조합을 목표 유전자 조합으로 설정하고 육종사업을 수행하였다. 표현형과 분자표지 검정을 통해 ‘운광’과 농업형질 특성이 유사하고 저항성 유전자 *Xa3+Xa21+Svb-i*를 보유하고 있어 벼흰잎마름병과 줄무늬잎마름병에 강한 우량계통을 선별하여 2014-2015년 생산력검정시험을 수행하였고 이중 ‘HR28420-34-2-2-1’을 ‘익산592호’로 계통명을 부여하였다. ‘익산592호’는 2015-2017년 3년간 실시된 지역적응성 검정시험 결과 ‘운광’과 같이 직립의 단간 내도복에 다수성 초형을 가진 조생종으로 도열병 저항성과 함께 벼흰잎마름병과 줄무늬잎마름병에 대한 내병성이 보장되었다는 점이 인정되어 농촌진흥청 직무육성 신품종 선정위원회에서 조생종 벼의 내병성 증진을 위한 중간모본으로 선정되었고 ‘아이에스592비비’(‘IS592BB’)로 품종명이 명명되었다.

출수기 및 주요 농업적 특성

‘아이에스592비비’는 중부, 호남 및 영남평야 조기 재배에서 평균 출수기가 7월 16일(97 DAS, days after seeding)로 ‘조평’보다 3일 늦은 조생종이다(Table 1). 잎은 ‘조평’보다 진한 녹색이며 직립성으로 초형이 양호하다. 간장이 63 cm로 통계적으로 유의한 수준에서 ‘조평’보다 6 cm 작은 단간이며 수장이 22 cm로

‘조평’(20 cm)보다 길고 주당수수는 15개로 ‘조평’과 같았다(Figs. 2A, 2B). 수당립수가 106개로 ‘조평’보다 20개 많고 등숙 비율은 80.9%로 ‘조평’(87.6%)보다 낮았다. 현미천립중은 22.0 g로 ‘조평’(21.6 g)보다 무거웠다. 이러한 농업형질 특성은 잎이 진한 녹색으로 단간 내도복에 수장이 길고 수당립수가 많은 ‘운광’의 형태적 특성과 유사하였다.

생리장애 및 도복 저항성

‘아이에스592비비’는 생육 중후기에 위조현상이 없으며, 성숙기 하엽노화가 늦은 편이었다(Table 2). 내냉성 검정 결과 ‘조평’에 비해 유효냉해와 임실률이 높은 편이었으나, 저온발아율이 24.0%로 ‘조평’(58.3%)에 비해 낮았다. 반복친인 ‘운광’과 직접적인 비교는 되지 않았으나 ‘운광’은 품종 육성 시 오대보다 저온발아율이 높아 양호하다고 보고되어 ‘아이에스592비비’는 ‘운광’에 비해 저온발아율이 낮은 것으로 판단되며, ‘운광’ 배경에 내병성 유전자가 도입되는 과정 중에 저온발아율이 낮아졌는지에 대한 검토가 필요할 것으로 생각된다. 도복 저항성과 관련하여 줄기의 기부에 하중을 걸어 부러질 때의 무게를 측정하는 좌절중이 1,183 g으로 ‘조평’(893 g)에 비해 컷고 간장이 작았으며 도복의 전체적 정도를 나타내는 도복지수가 94로 ‘조평’(125)보다 낮아 도복에 강한 특성을 나타냈다. 수발아율은 29.3%로 ‘조평’(29.4%)과 비슷한 수준을 나타냈다.

Fig. 2. Plant type at maturing stage (A, B) and grain shape of rough, brown, and milled rice (C).

Table 1. Major agronomic traits and yield components.

Cultivar	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)
IS592BB	97 ^{**y}	63 ^{**}	22 ^{**}	15 ^{ns}	106 ^{**}	80.9 ^{**}	22.0 ^{**}
Jopyeong	94	69	20	15	86	87.6	21.6

^zDAS: days after seeding

^yns and ^{**} mean no significant and significant at $p < 0.01$ by t -test, respectively

Table 2. Response to physiological and abiotic stresses.

Cultivar	Occurrence of wilting	Leaf senescence at maturing	Cold tolerance ^z				Low tem. germination ^y (%)	Lodging		Viviparous germination ^x (%)
			Seedling stage (1-9)	Heading delay (day)	Grain fertility (%)	Phenotypic acceptability (1-9)		Breaking strength (g)	Index	
IS592BB	Tolerance	Late	3 ^{ns,w}	13 ^{ns}	53 ^{ns}	5 ^{ns}	24.0 [*]	1,183 ^{**}	94 ^{**}	29.3 ^{ns}
Jopyeong	Tolerance	Late	4	13	42	5	58.3	893	125	29.4

^zCold tolerance was evaluated at cold water (17°C) irrigation nursery in Chuncheon substation, NICS

^yGermination rate for 15 days at 13°C

^xGermination rate for 7 days at 25°C

^wns, * and ** mean no significant and significant at $p<0.05$, $p<0.01$ by *t*-test, respectively

Table 3. Resistance reaction to bacterial blight.

Cultivar	Resistance gene	Race				Resistance at field nursery	Reaction against 16 isolates (cm)
		K1	K2	K3	K3a		
IS592BB	<i>Xa3+</i> <i>Xa21</i>	R ^z	R	R	R	R	2.5±0.92 ^b x
Jopyeong	<i>Xa3</i>	R	R	R	S	M	9.0±5.07a
Unkwang	<i>Xa3</i>	R	R	R	S	M	9.9±5.55a

^zR: resistant, M: moderately resistant, S: susceptible

^yAverage lesion length was measured by 3 leaves mostly inoculated.

^xMeans with same letter are not significantly different at $p<0.05$ (ANOVA followed by DMRT)

Fig. 3. PCR analysis to confirm resistance genes using the gene specific DNA marker. *Xa3*, *Xa21*, and *Stvb-i* were confirmed by PCR products amplified with primers, 9643.T4 (*Taq α I*, A), U1/I1 (B), and InDel 7 (C), respectively. M: DNA size marker, 1: Jopyeong, 2: Unkwang, 3: IS592BB.

병해충 저항성

벼흰잎마름병 저항성 유전자를 표지하는 분자마커로 검증한 결과 ‘아이에스592비비’는 저항성 유전자 *Xa3*와 *Xa21* 두 개가 집적되어 있고 ‘조평’과 ‘운광’은 *Xa3*을 가지고 있는 것으로 확인되었다(Figs. 3A, 3B). *Xa3*을 가지고 있는 ‘조평’과 ‘운광’은 우리나라 벼흰잎마름병 대표균계 K1, K2, K3에는 저항성을 보였으나 병원성이 강한 K3a 균계에 대해서는 이병성을 나타냈다(Table 3). 이에 반해 ‘아이에스592비비’는 *Xa3*와 함께 야생벼에서 유래한 저항성 유전자 *Xa21*을 가지고 있어 K3a 균계에 대해서도 저항성을 나타냈다(Fig. 4A). 또한 우리나라 수집 16개 균주에 대해서도 평균 병반장 2.5 cm로 강한 광범위 고도 저항성 반응을 나타냈으며, K3a균계에 대한 대규모 접종 시험에서도 강한 저항성 반응을 나타냈다(Figs. 4B, 4C). 이를 통해 벼흰잎마

Fig. 4. Resistance reaction of ‘IS592BB’ against bacterial blight races K1 (HB1013 isolate), K2 (HB1014), K3 (HB1015), and K3a (HB1009) (A), 16 *Xanthomonas oryzae* pv. *oryzae* isolates (B), at K3a inoculation field test (C), at leaf blast nursery (D).

Table 4. Resistance reaction to blast disease.

Cultivar	Reaction to leaf blast at blast nursery (0-9)				Reaction to panicle blast at field test			
	No. of tested sites (12)				Rate of infected panicles (%)			
	R	M	S	Mean	Jeonju	Milyang	Icheon	Jinju
IS592BB	9	3	0	2.6	1.0	0.0	1.1	0.0
Jopyeong	9	3	0	2.4	0.4	0.0	0.3	6.4

^zR: resistant, M: moderately resistant, S: susceptible**Table 5.** Reaction to virus disease and insect pests.

Cultivar	Virus diseases			Resistance to insects	
	Stripe	Dwarf	Black streaked dwarf	BPH ^z	SBPH
IS592BB	R ^y	S	S	S	S
Jopyeong	R	S	S	S	S

^zBPH: brown planthopper, SBPH: small brown planthopper^yR: resistant, M: moderately resistant, S: susceptible**Table 6.** Characteristics related to grain shape and grain quality.

Cultivar	Brown rice			Trans-lucency (1-9)	White core (0-9)	White belly (0-9)	Alkali digestive value (1-7)	Protein content (%)	Amylose content (%)	Palatability of cooked rice (-3-+3)
	Length (mm)	Width (mm)	L/W ratio							
IS592BB	5.06 ^{ns,z}	2.83 ^{ns}	1.79 ^{ns}	2 ^{**}	0	1 ^{**}	6.0 ^{ns}	6.9 ^{ns}	18.0 ^{ns}	-0.43
Jopyeong	4.79	2.77	1.73	1	0	0	5.2	6.4	18.2	0.13

^yns and ^{**} mean no significant and significant at $p < 0.01$ by *t*-test, respectively

름병 저항성 유전자 조합 *Xa3+Xa21*은 우리나라 벼흰잎마름병균에 대응할 수 있는 유망한 조합인 것으로 판단된다. ‘아이에스592비비’는 잎도열병 발못자리 검정 결과 12개소에서 평균 2.6으로 강한 저항성 반응을 나타냈으며, 목도열병 포장검정에서도 ‘조평’에 비해 낮은 이병률을 나타내 도열병에 강한 것으로 판단된다(Table 4, Fig. 4D). 줄무늬잎마름병 저항성 유전자에 대한 분자표지 검정 결과 ‘운광’은 줄무늬잎마름병 저항성 유전자 *Stvb-i*가 없는 반면 ‘조평’과 ‘아이에스592비비’는 저항성 유전자를 가지고 있었으며, 지역적응성 검정시험의 생물검정에서 저항성 반응을 나타내 ‘아이에스592비비’는 줄무늬잎마름병에 저항성임이 확인되었다(Table 5, Fig. 3C). 다른 바이러스병인 오갈병, 흑조위축병과 해충인 벼멸구, 애멸구에 대한 저항성은 없었다(Table 5). ‘아이에스592비비’는 반복친인 ‘운광’과 비교하여 도열병 저항성은 비슷한 수준으로 강하고 벼흰잎마름병과 줄무늬잎마름병에 대한 저항성이 보장되어 조생종 최초로 병원성이 강한 벼흰잎마름병 K3a균계와 도열병 및 줄무늬잎마름병에 강한 복합 내병성 품종이다.

품질 및 도정특성

‘아이에스592비비’의 입형은 현미장폭비가 1.79인 단원형으로 복백이 있고 투명도가 낮은 등 쌀의 외관품위가 ‘조평’에 비해 좋지 않았고, 아밀로스와 단백질 함량이 ‘조평’과 비슷하고 밥맛은 좋지 않았다(Table 6, Fig. 2C). 또한 제현율, 현백률, 도정률, 백미완전립률 및 완전미 도정수율은 모두 ‘조평’보다 낮아 품질과 도정특성이 좋지 않은 것으로 나타났다(Table 7). 반복친으로 이용된 ‘운광’은 중북부 중간지와 남부중산간지가 적응지역으로 평야지 조기 재배에서는 일반적으로 ‘조평’에 비해 품질 특성이 좋지 않은 것으로 판단되고 있다. 벼흰잎마름병 저항성 유전자 집적이 품질에 미치는 영향을 분석한 결과 *Xa3*와 *Xa21*의 도입이 쌀의 외과 및 품질에 부정적인 영향을 미치지 않는다고 하였고, 줄무늬잎마름병 저항성 유전자 *Stvb-i*는 최고 품질 품종을 비롯하여 품질이 우수한 품종에 광범위하게 이용되고 있는 점을 볼 때 ‘아이에스592비비’의 낮은 품질 특성은 내병성 유전자 도입에 의한 것이 아닌 평야지 재배에서 낮은 품질 특성을 나타내는 반복친 ‘운광’의 유전배경에 의한 것으로

Table 7. Characteristics related to milling quality.

Cultivar	Milling recovery ratio (%)				Head rice milling recovery ratio (%)
	Brown/rough	Milled/brown	Milled/rough	Head rice	
IS592BB	81.5	89.1	72.6	82.5	59.9
Jopyeong	82.3	90.7	74.6	95.5	63.8

Table 8. Yield summary of local adaptability test.

Culture season	Region	No. of tested sites	Milled rice (MT/ha)		Index A/B
			IS592BB (A)	Standard cultivar (B)	
Early planting	Middle, Honam, Yeongnam plain	5	5.80 ^{**z}	5.30	109
Ordinary planting	Southern mountainous area	2	5.06 [*]	4.78	106
Late planting	Middle, Honam, Yeongnam plain	3	5.27 ^{**}	4.69	113

^z* and ** mean no significant at $p < 0.05$ and $p < 0.01$ by *t*-test, respectively

Table 9. Number of homozygous KASP markers between Unkwang and other cultivars.

Cultivar	Chromosome												Total (%)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Unkwang	80	55	37	51	53	51	56	60	58	35	56	47	640(100)
IS592BB	74	54	35	46	52	51	56	59	55	35	36	46	599(93.6)
Jopyeong	25	38	19	35	31	25	32	39	44	28	38	29	384(60.0)
Odae	53	37	29	30	17	33	27	25	44	18	40	32	386(60.3)
Joun	50	37	20	19	22	29	25	22	48	8	32	24	337(52.7)

^zThe numbers in parentheses refer to the rate of homozygous KASP markers between Unkwang and other cultivars.

판단된다.

수량성

‘아이에스592비비’의 백미 수량은 평야지 조기 재배시험에서 평균 쌀수량이 5.80 M/ha T로 ‘조평’보다 9%로 증수되었으며, 남부중산간지 보통기 재배시험에서 평균 쌀수량이 5.06 MT/ha로 ‘오대’보다 6%로 증수되었고 평야지 만기 재배시험 평균 쌀수량이 5.27 MT/ha로 ‘금오’에 비해 13%로 증수되는 등 모든 재배 시기에서 표준품종에 비해 높은 수량을 나타냈다(Table 8). ‘아이에스592비비’의 반복친인 ‘운광’은 영남 및 남부평야지 조기 재배에서 공시된 6, 14개 조생종 품종 중 가장 높은 수량을 나타냈으며, 호남평야지에서 ‘조평’, ‘오대’, ‘운광’, ‘해담쌀’, ‘진광’, ‘해들’ 등 6개 조생종 품종을 대상으로 조기, 보통기, 만기 재배한 결과 모든 시기에서 수량이 높아 조생종 품종 중에서 높은 수량을 나타내는 다수성 품종이다(Lee et al. 2008, Park et al. 2020, Seong et al. 2014). ‘아이에스592비비’는 ‘운광’의 다수성 특성을 보유하고 있는 것으로 판단된다.

유전배경 분석

‘아이에스592비비’는 병 발생이 많은 평야지에서 조생종 벼의 재배 적응성을 확대하기 위하여 농업형질 특성이 우수한 ‘운광’ 유전배경에 벼흰잎마름병과 줄무늬잎마름병 저항성을 보강하기 위하여 개발되었다. ‘운광’을 모본으로 2회 여교배하였고 선발과정 중 ‘운광’의 표현형에 대한 강한 선발압을 가하여 내병성 이외의 다른 유전적 배경은 ‘운광’으로 회복된 근동질계통을 개발하고자 하였다. ‘아이에스592비비’의 ‘운광’으로의 유전적 회복 정도를 파악하고자 KASP 마커를 이용하여 유전배경 분석을 수행하였다. 771개 KASP 마커 중 정밀도가 높은 660개 마커를 대상으로 ‘운광’, ‘아이에스592비비’, ‘조평’, ‘오대’, ‘조운’의 유전자형을 분석하였다(Table 9). ‘운광’을 기준으로 ‘조운’은 52.7%, 조평 60.0%, 오대 60.3%의 동형접합성을 나타낸 반면 ‘아이에스592비비’는 93.6%의 회복률을 나타내 ‘아이에스592비비’는 다른 조생종 품종들에 비해 ‘운광’과 동형접합체 비율이 높았다. ‘아이에스592비비’는 운광과 6, 7, 10번 염색체의 유전자형은 동일하였으며, 2, 5, 8, 12번 염색체 각 1개, 3, 9, 4, 1번

Fig. 5. Graphical genotype of IS592BB based on 771 KASP markers. The horizontal black lines on the left and right of each chromosome indicate to the physical position and marker, respectively. White and red boxes indicate regions homozygote and heterozygote for Unkwang, respectively. Black and empty stars indicate the physical position of *Stvb* (*Os11g0514000*, chr11: 18,391,479..18,399,504) and *Xa21* (*Os11g0559200*, chr11: 20,802,978..20,806,262).

염색체에서 각각 2, 3, 5, 6개가 달랐으며 *Xa3*, *Xa21*, *Stvb-1* 저항성 유전자가 존재하는 11번 염색체에서 20개가 달라 총 41개 마커의 유전자형이 달랐다.

분석에 이용된 KASP 마커는 빠른 시간에 협소한 유전적 배경을 가지고 있는 우리나라 자포니카 벼 품종의 다형성 탐색에 효과적이어서 유전자 지도 작성, 양적형질유전자와 탐색, 분자표지 선발 육종 등에 활용되고 있다(Cheon et al. 2019, Ji et al. 2018). 우리나라 자포니카 벼 품종에 대한 KASP 마커의 높은 다형성 정도를 감안했을 때 ‘아이에스592비비’와 반복친인 ‘운광’ 유전배경에 내병성이 강화된 근동질계통으로 판단된다.

근동질계통의 개발은 수여친에 존재하는 열악 형질 수반 문제를 극복하면서 반복친의 우수한 농업형질 특성을 유지할 수 있는 장점이 있다. 하지만 반복적인 여교배 과정 중 명확한 선발 지표나 방법이 없으면 목표 형질 특성이 소실될 가능성이 크며 개발에 시간이 많이 소요되는 단점이 있다. ‘아이에스592비비’는 내병성 계통 선발 과정 중 생물검정을 통한 표현형 선발과 저항성 유전자를 탐지하는 분자표지를 이용한 MAS를 병행하여 저항성

소실을 방지하면서, 2006년에 최초 교배한 후에 2회의 여교배를 거쳐 계통육성법을 통해 2013년에 고정계통을 선발하기까지 8년이라는 장기간 동안 반복친인 ‘운광’의 농업형질 특성에 초점을 맞춘 강도 높은 선발압을 가함으로써 개발할 수 있었다(Fig. 1). ‘아이에스592비비’는 농업형질 특성이 우수한 ‘운광’ 유전배경에 열악형질 수반 없이 내병성을 보강한 근동질계통으로 조생종 벼의 평야지 적응성 확대에 기여할 것으로 기대된다.

적 요

평야지에서 작부체계 다양화를 위해 조생종 벼 재배가 증가하고 있다. 조생종 벼는 중생종이나 중만생종에 비해 벼흰잎마름병과 줄무늬잎마름병 등 내병성이 취약하여 병 발생이 많은 평야지 재배에서 적응성이 부족하다. ‘아이에스592비비’는 조생종 벼의 평야지 적응성을 향상시키고자 우수한 농업형질 특성을 보유하고 있는 ‘운광’의 유전배경에 벼흰잎마름병과 줄무늬잎마름병 저항성이 보강된 복합내병 조생 벼 품종을 개발하고자 육성되었다. ‘아이에스592비비’는 세 개의 벼흰잎마름병 저항성 유전자와

줄무늬잎마름병 저항성 유전자를 가지고 있는 'SR30075' 조합의 계통을 수여친으로 하고 '운광'을 반복친으로2회 여교배한 조합 '운광*3/SR30075'에서 유래하였으며 계통육성과정, 생산력검정시험과 지역적응성 검정시험을 거쳐 개발되었다. 벼흰잎마름병과 줄무늬잎마름병에 대한 생물검정과 저항성 유전자 *Xa3*, *Xa21*, *Stvb-i*를 탐지하는 분자표지를 이용하여 유전자가 집적된 계통을 선발하고 도입 여부를 확인하였다. '아이에스592비비'는 병원성이 강한 K3a균계를 포함하여 국내 벼흰잎마름병균에 광범위 고도저항성을 발휘하였으며, 줄무늬잎마름병에도 강한 반응을 나타냈다. '아이에스592비비'는 반복친인 '운광'과 같이 조생종으로 단간 내도복의 직립초형으로 도열병에 강하고 높은 수량성을 나타냈다. 771개 KASP 마커를 이용한 유전배경 분석 결과 '아이에스592비비'는 반복친인 '운광'의 유전배경을 93.6% 회복하여 근동질계통으로 판단되었다. '아이에스592비비'는 열악형질 수반 없이 '운광' 유전배경에 내병성 유전자 *Xa3+Xa21+Stvb-i*를 성공적으로 집적한 복합내병성 품종으로 병 발생이 많은 평야지에서 조생종 벼의 적응성 확대에 기여할 것으로 기대된다(품종보호권 등록번호: 제7648호, 2019. 4. 5.).

사 사

본 논문은 농촌진흥청 작물시험연구사업(세부과제명: 벼흰잎마름병 저항성 육종소재 개발, 세부과제번호: PJ01248401)의 지원으로 수행된 결과의 일부입니다. 품종을 육성함에 있어 협력하여 주신 농촌진흥청 국립식량과학원, 연구정책국, 농촌지원국 및 각도 농업기술원 관계관계 깊은 감사를 드립니다.

REFERENCES

1. AOAC. 2000. Official methods for analysis. 17th ed. Association of official analytical chemists, Washington DC. USA.
2. Cheo ZR, Heu MH. 1975. Optimum conditions for alkali digestivity test in rice. Korean J Crop Sci 19: 7.
3. Cheon KS, Jeong YM, Lee YY, Oh J, Kang DY, Oh HJ, Kim SL, Kim NH, Lee EG, Baek JH, Cho IC, Kim KH, Won YJ, Yoon IS, Cho YI, Han JH, Ji HS. 2019. Kompetitive allele-specific PCR marker development and quantitative trait locus mapping for Bakanae disease resistance in Korean *japonica* rice varieties. Plant Breed Biotech 7: 208-219.
4. Jena KK, Hechanova SL, Verdeprado H, Prahalada G, Kim SR. 2017. Development of 25 near-isogenic lines (NILs) with ten BPH resistance genes in rice (*Oryza sativa* L.): production, resistance spectrum, and molecular analysis. Theor Appl Genet 130: 2345-2360.
5. Ji HS, Kim TH, Lee GS, Kang HJ, Lee SB, Suh C, Kim SL, Choi IC. 2018. Mapping of a major quantitative trait locus for bakanae disease resistance in rice by genome sequencing. Mol Genet Genomics 293: 579-586.
6. Juliano BO. 1985. Polysaccharide, proteins, and lipids of rice. In rice chemistry and technology. The American association of cereal chemists. St Paul MN. USA. pp. 59-120.
7. 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.
8. Kwak DY, Yeo US, Lee JH, Oh BG, Shin MS, Ku YC. 2007. Mass screening method for rice virus resistance using screen house. Korean J Crop Sci 52: 129-133.
9. Kwon TM, Lee JH, Park SK, Hwang UH, Cho JH, Kwak DY, Youn YN, Yeo US, Song YC, Nam JS. 2012. Fine mapping and identification of candidate rice genes associated with *qSTV11^{SG}*, a major QTL for rice stripe disease resistance. Theor Appl Genet 125: 1033-1046.
10. Lee CK, Kim JT, Choi YH, Lee JE, Seo JH, Kim MJ, Jeong EG, Kim CK. 2009. Optimum sieve-slit width for effective removal of immature kernels based on virietal characteristics of rice to improve milling efficiency. Korean J Crop Sci 54: 357-365.
11. Lee JH, Park DS, D.Y. K, Yeo US, Song YC, Kim CS, Jeon MG, Oh BG, Shin MS, Kim JK. 2008. Yield and grain quality of early maturing rice cultivars as affected by early transplanting in Yeongnam plain area. Korean J Crop Sci 53: 326-332.
12. Lee JH, Cho JH, Lee JY, Oh SH, Kim CS, Park NB, Hwang UH, Song YC, Park DS, Yeo US. 2019. Development of early maturing rice stripe virus disease-resistant 'Haedamssal' through marker-assisted selection. Korean J Breed Sci 51: 448-453.
13. 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.
14. 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.
15. Park HS, Nam JK, Kim KY, Kim WJ, Jeong JU, Baek MK, Kim JJ, Cho YC, Lee JH, Kim BK, Ahn SN. 2015. Development of early maturing rice lines with genes conferring resistance to bacterial blight and rice stripe virus for enhancing the adaptability in plain area. Korean J Breed Sci 47: 118-127.
16. Park HS, Kim KY, Kim WJ, Jeung JU, Lee JH, Noh TH, Nam JK, Baek MG, Shin WC, Kim JJ, Jeong JM, Cho YC, Kim BK, Ahn SN. 2016. Development of *japonica* rice lines with four bacterial blight resistance genes using phenotypic and marker-assisted selection. Korean J Breed Sci 48: 140-158.
17. Park HS, Baek MK, Kim BK, Kim KY, Shin WC, Ko JK, Nam JK, Kim WJ, Cho YC, Ko JC, Kim JJ, Kim HS. 2017. Bacterial blight resistant mid-late maturing rice 'Manbaek' with high grain quality. Korean J Breed Sci 49: 235-244.
18. Park HS, Suh JP, Baek MK, Lee CM, Kim WJ, Lee GM, Kim SM, Kim CS, Cho YC. 2020. Characterization of yield and panicle-related traits of early maturing rice varieties by cultivation times in the Honam plain area in Korea. Korean J Breed Sci 52: 115-130.
19. RDA. 2012. Standard of analysis and survey for agricultural research. pp. 315-338.
20. RDA. 2015. Project plan for collaborative research program to develop new variety summer crop. pp. 2-47.
21. RDA. 2016. Project plan for collaborative research program to develop new variety summer crop. pp. 1-46.
22. RDA. 2017. Project plan for collaborative research program to develop new variety summer crop. pp. 3-48.
23. Seong DG, Kim YG, Cho YC, Shin HY, Kim MC, Shim SI, Chung JI, Kim SH, Kim CS, Chung JS. 2014. Selection of the proper rice varieties to early transplanting cultivation in southern plain of Korea. J Agr Life Sci 48: 1-9.
24. Suh JP, Jeung JU, Noh TH, Cho YC, Park SH, Park HS, Shin MS, Kim CK, Jena KK. 2013. Development of breeding lines with three pyramided resistance genes that confer broad-spectrum bacterial blight resistance and their molecular analysis in rice. Rice 6: 1-11.
25. Voorrips RE. 2002. MapCart: software for the graphical presentation of linkage maps and QTLs. J Hered 93: 77-78.
26. Yoshimura S, Yoshimura A, Iwata N, McCouch SR, Abenes ML, Baraoidan MR, Mew TW, Nelson RJ. 1995. Tagging and combining bacterial blight resistance genes in rice using RAPD and RFLP markers. Molecular Breeding 1: 375-387.