벼흰잎마름병 저항성 고품질 중생 벼 ‘해품’

남정권¹ · 박현수^{1*} · 백만기¹ · 조영찬¹ · 김우재¹ · 김정주¹ · 김보경¹ · 김기영² · 신운철¹ · 고종철¹ · 이건미¹ · 박슬기¹ · 이창민¹ · 김춘송¹ · 서정필¹ · 이점호¹

¹농촌진흥청 국립식량과학원, ²농촌진흥청 연구정책국

Bacterial Blight-Resistant Medium Maturing Rice Cultivar ‘Haepum’ with High Grain Quality

Jeong-Kwon Nam¹, Hyun-Su Park^{1*}, Man-Kee Baek¹, Young-Chan Cho¹, Woo-Jae Kim¹, Jeong-Ju Kim¹, Bo-Kyeong Kim¹, Ki-Young Kim², Woon-Chul Shin¹, Jong-Cheol Ko¹, Gun-Mi Lee¹, Seul-Gi Park¹, Chang-Min Lee¹, Choon-Song Kim¹, Jung-Pil Suh¹, and Jeom-Ho Lee¹

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

²Research Policy Bureau, RDA, Jeonju 54875, Republic of Korea

Abstract ‘Haepum’ is a bacterial blight-resistant, medium maturing rice cultivar with high grain quality. It was derived from a cross between ‘Iksan493’ (cultivar name ‘Jinbaek’) and the F₁ cross between ‘Iksan495’ (‘Dacheong’) and ‘Iksan496’ (‘Jungmo1005’). Of these three cultivars, ‘Jinbaek’ is a bacterial blight-resistant mid-late maturing rice cultivar with high grain quality, ‘Dacheong’ is a mid-late maturing rice cultivar with multiple resistance to disease and insects, and ‘Jungmo1005’ is a mid-late maturing rice cultivar with lodging tolerance. To develop fixed lines, the anther culture method was applied to F₁ plants. The cultivar ‘Haepum’ was selected using the pedigree method, yield trials, and local adaptability tests. The heading date of ‘Haepum’ was August 11th, three days earlier than that of ‘Nampyeong’ cultivar. ‘Haepum’ is a cultivar tolerant to lodging and it has short culms. Due to its low rate of viviparous germination, ‘Haepum’ could be useful for preventing pre-harvest sprouting in cultivation of medium maturing rice in the southern plain area of Korea. ‘Haepum’ carries two bacterial blight resistance genes (*Xa3* and *xa5*), and in our study, it exhibited high-level and broad-spectrum resistance against bacterial blight, including K3a, the most virulent race in Korea. ‘Haepum’ is also resistant to the rice stripe virus and moderately resistant to rice blast. The yield of ‘Haepum’ was similar to that of ‘Nampyeong’. ‘Haepum’ showed excellent grain appearance and good taste of cooked rice, and therefore it could contribute to the development of bacterial blight-resistant rice cultivars of improved quality. ‘Haepum’ would be suitable for cultivation in the southern plain area of Korea as well as in bacterial blight-prone areas. (Registration No. 6068)

Keywords Haepum, Rice, Medium maturing, Bacterial blight, High grain quality, Pre-harvest Sprouting, Lodging Tolerance

Received on June 3, 2019. Revised on June 29, 2019. Accepted on July 15, 2019.

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

서 언

우리나라에서 벼는 출수생태에 따라 조생종, 중생종, 만생종으로 구분하며, 생육기간은 조생종 약 140일, 중생종 160일, 만생종 180일 정도이다(Kim 2010). 벼 숙기별 재배면적 조사 결과 2006년부터 2015년까지 10년간 평균 재배면적 비율이 조생종 10.9%, 중생종 5.1%, 만생종 84.0%로 우리나라는 만생종 품종에 편중된 벼농사가 이루어지고 있다. 만생종에 편중된 재배는 수확기 노동력의 과중 문제, 집중 출하에 따른

건조·저장 등 수확 후 관리에 어려움을 가져오며 급격한 쌀값 변동에 영향을 줄 수 있다. 또한 최근 논의 활용도와 곡물자급률을 높이기 위해 맥류와 소득작물 후작 등 이모작 작부체계가 증가하는 추세이나, 생육기간이 긴 만생종의 경우 이앙기가 맥류와 소득작물의 수확기와 겹치기 때문에 이모작 재배에 제한적이다(Kang et al. 2015). 이러한 문제를 극복하기 위해 조생종과 중생종의 재배면적 확대에 대한 중요성이 증대되고 있다(Ko et al. 2014, Lee et al. 2008).

2015년까지 농촌진흥청 국립식량과학원에서 개발된 밥쌀용

벼 품종 187개의 숙기별 수는 조생종 73개(39.0%), 중생종 86개(46.0%) 중만생종 92개(49.2%)로 재배면적 비율에 비해 개발 품종 비율은 편중되어 있지 않다. 중생종은 조생종에 비해 개발 품종 수가 많고 중만생종과는 비슷한 수의 품종이 개발되었으나, 재배면적 비율은 조생종의 절반 정도이고 중만생종에 비해서는 1/10에도 못 미치는 실정이다. 이는 중생종 품종이 조생종에 비해 작부체계 적용이 유연하지 못하고, 중만생종에 비해 품질, 수량, 재배안정성이 낮다는 인식에서 비롯된 것으로 생각된다. 전후작 작물의 생육기간이 겹칠 수 있는 이모작 작부체계에는 중만생종과 중생종보다 숙기가 짧은 조생종 위주의 재배가 검토되었다. 소득작물 후작은 이앙기가 만식재배 조건으로 내도복성과 품질이 우수한 특성을 가지고 있으며 생육기간이 짧은 조생종 품종이 적합하다 하였다(Lee et al. 2018). 중생종의 재배면적 확대를 위해서는 생육기간이 비슷하고 재배면적이 월등히 높은 중만생종과의 경합이 필연적이다. 특히 중만생종이 주로 재배되고 있는 남부평야지에서의 품질, 수량, 재배안정성면에서 경쟁력을 확보해야 한다. 중생종 품종 개발에 대한 육종적 노력을 경주하여 밥맛이 우수한 최고품질 품종 고품, 하이아미, 대보 등이 개발되었다(Hong et al. 2011, Kim et al. 2014). 하지만 이들 중생종 품종들에서 발견된 단점은 재배면적 확대에 제한 요소로 작용하였는데, 고품의 성숙기 수발아 피해, 하이아미의 낮은 수량성과 내병성, 대보의 외관품질 저하 등을 들 수 있다(Park & Kim 2009, Shin et al. 2017). 조생종과 중생종은 중만생종에 비해 생육시기가 짧아 수량성이 낮은 것으로 알려져 있으며, 등숙기 온도가 높기 때문에 성숙기 강우 조우에 의한 수발아 피해와 고온 등숙에 의한 외관 품질 저하가 더 많이 일어날 수 있다(Jeung et al. 2016, Nam et al. 2018). 이러한 문제를 극복하기 위해 중생종이면서 단작과 이모작에서 적정 수량성을 확보하고 내수발아성을 갖춘 고품질 품종 개발이 필요한 실정이다. 또한 남부평야지에서 병원성이 강한 벼흰잎마름병균 K3a 균계의 발생이 증가하고 있어 병 피해에 따른 수량감소와 품질저하 문제가 확대되고 있으므로(Kang et al. 2015), 이에 대한 안정성을 확보하기 위해서는 K3a 균계에 저항성인 중생종 품종 개발이 요구된다.

농촌진흥청 국립식량과학원 벼 육종팀은 우리나라 중만생종에 편중된 벼 농사의 문제점을 완화하여 수확기 노동력 분산, 수확 후 관리의 유연성 확보, 이모작 재배의 확대를 위해 품질, 수량, 재배안정성이 향상된 중생종 벼 품종 개발을 위한 육종사업을 수행하였다. 이를 통해 중생종이면서 품질이 우수하고 적정 수량성을 갖추고 있으며 내수발아성의 단간 내도복으로 벼흰

잎마름균 K3a에 저항성인 품종 ‘해품’을 개발하였다. 이에 ‘해품’의 육성경위와 주요특성을 보고하고자 한다.

재료 및 방법

시험재료 및 재배방법

교배모본으로 ‘익산493호’를 모본으로 하고 ‘익산495호’와 ‘익산496호’를 교배한 F₁을 부분으로 이용하였다. 육종사업을 통해 선발된 고정 계통에 대해서 2010-2011년에 남부평야지 중만생종 표준품종 ‘남평’(Shin et al. 1998)과 함께 생산력 검정 시험을 수행하였다. 공시 재료를 국립식량과학원 벼 포장에 4월 30일 파종하여 5월 30일에 재식거리 30 x 15 cm로 주당 3본씩 구당 180주를 3반복으로 보통기 재배 이앙하였다. 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 검정 시험은 보통기 보비 재배시험을 서남부해안지(계화, 영암, 고성), 호남평야지(식량원 익산, 전북도원 익산, 예산, 논산, 나주), 영남평야지(밀양, 대구, 진주) 등 총 11개소에서 2011-2013년 3년 동안 수행하였고, 이모작 재배시험을 호남(식량원 익산)과 영남평야지(밀양) 등 2개소에서 2012-2013년 2년 동안 수행하였다. 보통기 보비재배 및 이모작 재배시험의 표준품종으로 ‘남평’을 이용하였다. 재배방법에 따른 시험지별 파종 및 이앙시기, 재식 밀도와 주당묘수, 시비량 및 질소 분시방법 등과 농업형질 및 수량구성요소, 생리장해 및 병해충 저항성, 도정특성 조사는 농촌진흥청 신품종개발공동연구사업 과제수행계획서의 조사기준과 농업과학기술 연구조사분석기준에 준하여 실시하였다(RDA 2011, 2012a, 2012b, 2013)

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 일반적인 현백률인 0.92를 곱하여 백미수량을 구하였고, 제현된 현미를 이용하여 천립중을 측정하였다.

생리장애 저항성 검정

내냉성 검정은 국립식량과학원 춘천출장소 내냉성 검정 시험 포장에서 실시하였다. 이양 후 20일부터 등숙기까지 수온 17℃, 수심 5 cm로 냉수처리 후 적고, 출수지연일, 임실률, 저온발아율을 등을 조사하였다. 유묘검정은 3엽기부터 수온 13℃로 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. 출수지연일은 냉수를 처리하지 않은 대조구 대비 냉수 처리구 간의 출수지연일수로 구하였고, 임실률은 성숙기에 냉수 처리구의 주간 3이삭을 채취하여 측정하였다. 저온발아율은 100립 3반복으로 13℃ 항온기에서 15일간 치상하여 발아율을 조사하여 측정하였다. 수발아 검정은 출수 후 40일에 주간 이삭 3 이삭을 채취하여 25℃ 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($g \cdot cm$)/좌절중(g) $\times$ 100]의 공식을 이용하여 구하였으며, 모멘트는 주간 간장과 수장을 더한 값을 총 생체중으로 곱한 값이다. 포장 도복은 출수 후 30일에 달관조사 하였는데 그 기준은 1: 이삭줄기 경사 15% 이하(무도복), 3: 16-30%, 5: 31-45%, 7: 이삭의 일부가 지면에 닿음, 9: 완전히 땅에 깔린 상태로 구분하였다.

벼흰잎마름병 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*, *xa5*를 확인하기 위해 대상 유전자와 밀접하게 연관된 DNA 분자 표지인 9643.T4, 10603.T10Dw를 이용하였다(Park et al. 2013). PCR은 10 ng의 DNA와 AccuPower® PCR PreMix (Bioneer Co., Daejeon, Korea)를 이용하여 My-Genie 96 Thermal block (Bioneer Co., Daejeon, Korea)에서 수행하였다. PCR 반응은 9643.T4는 94℃에서 5분간 초기변성 후 94℃ 40초, 63℃ 40초, 72℃ 1분간 총 40회 반복하고, 72℃에서 5분간 반응하였다. 10603.T10Dw는 95℃에서 4분간 초기변성 후 95℃ 30초, 65℃ 30초, 72℃ 1분간 총 35회 반복하고, 72℃에서 10분간 반응하였다. 증폭된 PCR 산물 4 μ l를 9643.T4는 *Taq α* 1와 65℃에서 3시간,

10603.T10Dw는 *Rsa* 1와 37℃에서 3시간 제한효소 처리하였다. 2% agarose gel에서 전기영동을 실시하여 EtBr로 염색한 후 UV transilluminator (MiniBIS Pro, DNR Bio-Imaging Systems Ltd., Jerusalem, Israel)를 이용하여 유전자형을 판정하였다.

벼흰잎마름병 저항성 검정

계통육성 과정 중 병원성인 강한 HB1009 (K3a균계) 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 후 3주 후에 각각의 개체에서 가장 긴 병반을 가진 3개 엽의 병반장을 측정하여 평균 병반장 길이가 5 cm 이하는 저항성(R; resistant), 5-10 cm는 중도저항성(MR; moderately resistant), 10 cm 이상은 이병성(S; susceptible)으로 질적저항성을 구분하였다. 벼흰잎마름병에 대한 광범위 저항성 검정을 위해서 국내 수집 벼흰잎마름병 균주 중 *Xa3* 유전자를 침해하는 것으로 알려진 HB2024, HB2038, HB3034, HB3055, HB3079, HB4024, HB4030, HB4040, HB4044, HB4079, HB6142, HB6151, HB6159와 *Xa3* 유전자를 침해하지 못하나 *Xa21* 유전자를 침해하는 HB2010, HB3011, HB4027 균주 등 총 16개 균주를 이용하여 저항성 반응을 조사하였다(Park et al. 2013). 플라스틱 상자(78 $\times$ 45 $\times$ 18 cm)에 ‘익산 537호’, 표준품종인 ‘남평’과 모본인 벼흰잎마름병 저항성 품종 ‘진백’(Kim et al. 2009)을 주당 3본씩 16주 이상하여 한 개체당 한 균주씩 엽선단 약 3 cm 부위를 가위 절엽접종하여 접종 3주 후에 가장 긴 병반을 가진 3개 엽의 병반장을 측정하여 평균한 값을 이용하였다.

벼흰잎마름병 발병상습지 현장실증시험

벼흰잎마름병 발병상습지에서의 저항성 성능을 평가하기 위해서 전라북도 부안군 상서면에 위치한 발병상습지 농가포장에서 현장실증시험을 2012-2013년 2년간 수행하였다. ‘익산537호’와 ‘남평’을 보통기 보비재배 기계이양하였다. 재배관리는 농촌진흥청 표준 재배법에 준하여 실시하였고, 벼흰잎마름병 자연발병에 의한 수량 및 품질 저하 정도를 분석하였다. 농업형질 조사는 농업과학기술 연구조사분석기준에 준하여 실시하였다(RDA 2012b).

도열병, 바이러스병, 멸구류 저항성 검정

잎도열병 저항성 검정은 식량원, 도농업기술원 등 전국 14개 지역에서 질소다비 조건의 밭모자리 상태에서 6월 하순에서 7월 상순에 늦게 파종하여 잎도열병을 유발시키는 밭모자리 검정법을 이용하여 수행되었다. 검정포 시비량은 성분량으로 $N-P_2O_5-K_2O$ 를 240-80-120 kg/ha로 주었고, 발병을 촉진시키기 위한 이병성 품종(spreader)으로 '호평'을 이용하였다. 파종 후 30일 이후에 발병 최성기를 중심으로 조사하며 잎도열병 저항성 검정 기준은 0: 무 발병, 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 발병, 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 식량원 익산, 밀양, 이천, 제천 포장에서 질소과비조건에서 이양재배하여 이삭도열병 발병정도를 검정하였다. 검정포 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. 벼줄무늬잎마름병 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 실내유묘검정을 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. 심백백은 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. 알칼리불포도는 백미 6립을 3반복으로 15 mL 용량의 사카 플라스크에 넣고 1.4% KOH 용액 10 mL씩 분주한 후 30°C 항온기에서 23시간 정치 후(Cheo & Heu 1975), 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: 부풀 쌀 너비 정도의 퍼짐도 보이거나 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. 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 비색량법에 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 패널리 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 로울러식 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 쉐미를 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.

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 비교하였다. 벼흰잎마름병에 대한 광범위 저항성 검정에서 공시재료들의 평균간 비교는 16개 군주에 대한 병반장 값을 이용하여 PROC ANOVA로 분산분석 후 유의성이 있을 경우 5% 유의수준에서 Duncan's Multiple Range test (DMRT)로 분석하였다.

결과 및 고찰

육성경위

‘해품’은 품질, 수량, 재배안정성이 향상된 중생종 벼 품종을 육성할 목적으로 2007년 하계에 쌀 품질이 좋고 벼흰잎마름병 저항성 유전자 *Xa3*, *xa5*를 보유한 ‘익산493호(품종명 진백)’(Kim et al. 2009)를 모본으로 하고 복합내병충성 ‘익산495호(다청)’(Kim et al. 2010)와 단간 내도복 직파적응성 ‘익산496호(중모1005)’를 교배한 F₁을 부분으로 삼원교배하였다(Fig. 1). 조기에 고정계통을 확보하고자 2008년 하계에 F₁ 식물체의 이삭을 채취하여 약배양을 수행하였다. 확보된 150개 약배양 계통을

2009년 포장에 전개하여 벼흰잎마름병 K3a 균계에 대한 생물검정, 초형, 수량성, 미질 등 농업형질에 대한 특성검정을 거쳐 우량 고정계통을 선발하였다. 2010-2011년에 생산력 검정시험을 실시하여 ‘남평’보다 출수가 빠른 중생종이며 벼흰잎마름병 K3a에 대한 저항성을 갖추고 있는 내도복 직립초형으로 쌀의 외관품위와 밥맛이 양호한 계통 HR27657-AC45를 선발하여 ‘익산537호’로 계통명을 부여하였다(Fig. 2). ‘익산537호’는 2011-2013년 3년간의 지역적응성 검정시험을 통해 중생종이며 단간 내도복 초형의 내수발아성으로 벼흰잎마름병에 광범위 고도 저항성을 나타내고 줄무늬잎마름병과 도열병에 강한 복합 내병성으로 단작과 이모작 재배에서 적정수량성을 확보하고

Fig. 1. Genealogical diagram of ‘Haepum’

Year	'07	'08	'08/'09	'09	'10	'11	'12	'13
Generation	Cross	F ₁	AC	AC ₁	AC ₂	AC ₃	AC ₄	AC ₅
Iksan493 × Iksan495/Iksan496	HR27657	<div>┌ 1 └ 30</div>	Anther culture	<div>┌ 1 └ (45) └ 150</div>	HR27657-AC45	Haepum (Iksan537)		
No. of lines (plants)		(30)	(200)	150	30			
Remarks			Anther culture	Pedigree	Yield trial	Local adaptability test		

Fig. 2. Pedigree diagram of ‘Haepum’.

있으며 쌀의 외관품질과 밥맛이 우수한 특성이 인정되어 농촌진흥청 직무육성 신품종 선정심의위원회에서 신품종으로 선정되어 ‘해품’으로 품종명이 명명되었다.

출수기 및 주요 농업적 특성

‘해품’은 서남부해안지, 호남 및 영남평야지 보통기 보비재배에서 출수기(heading date)가 평균 8월 11일로 표준품종인 ‘남평’보다 3일 정도 빠른 중생종이다(Table 1). 교배모본인 ‘진백’의 출수기가 육성 당시 8월 18일(남평 8월 17일), ‘다청’이 8월 19일(남평 8월 17일), ‘중모1005’가 8월 14일(남평 8월 16일)인 점을 감안할 때 ‘해품’의 중생종 출수 특성은 ‘중모1005’에서 유래한 것으로 생각된다. ‘해품’은 간장(culm length)이 73 cm로 통계적으로 유의한 수준에서 ‘남평’보다 8 cm 작은 단간 품종으로 수장(panicle length)은 20 cm로 ‘남평’보다 1 cm 짧고 주당수수(no. of panicles per hill)는 14개로 ‘남평’보다 1개 많으며 수당립수(no. of spikelets per panicle)는 98개로 ‘남평’과 비슷하다(Table 1, Fig. 3A). 등숙비율(ratio of ripened grain)은 87.6%로 ‘남평’(87.2%)보다 약간 높았으나 통계적 유의성은 없었고, 현미천립중(1,000-grain weight of brown rice)은 22.3 g로 ‘남평’(21.4 g)보다 무거웠다.

생리장해 및 도복 저항성

‘해품’은 생육 중후기에 위조현상(occurrence of wilting)이 없으며, 성숙기 하엽노화(leaf senescence at maturing)가 늦은 편이었다(Table 2). 내냉성 검정 결과 ‘남평’에 비해 출수지연일수(heading delay)가 2일 길고 임실률(grain fertility)은 38%로 ‘남평’(25%)보다 높았으나 통계적 유의성은 없었고, 저온발아율(low temperature germination)이 55%로 ‘남평’(33%)에 비해 유의한 수준으로 높았다. 도복 저항성과 관련하여 줄기의 기부 하중을 걸어 부러질 때의 무게를 측정하는 좌절중(breaking strength)이 876 g으로 남평(1,143 g)보다 낮았으나, 단간으로 모멘트 값이 상대적으로 작아 도복의 전체적 정도를 나타내는 도복지수(index of lodging)가 164로 남평(174)보다 낮아 도복에 안정적인 특성을 나타내는 것으로 판단되었다. 수발아율(viviparous germination)은 7.7%로 ‘남평’(3.4%)과 비슷하였다. 벼 수발아는 수확 전 종실이 모식물체에 붙어 있는 상태에서 발아하는 것으로 발생시 수량이 감소할 뿐만 아니라 품질이 크게 떨어지므로 농가의 경제적 손실이 크며(Kim et al. 2008, Park & Kim 2009), 한번 수발아된 종자는 발아율 및 입모율이 크게 떨어지므로 종자로 사용하기 어려워진다(Baek & Chung 2014, Shon et al. 2014). 최근 우리나라의 기후변화에 따른 등숙기간 중

Fig. 3. Plant type at maturing stage (A) and grain shape of rough, brown, and milled rice (B).

Table 1. Major agronomic traits and yield components.

Cultivar	Heading date (mm.dd)	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)
Haepum	8.11 ^{*,z}	73 ^{**}	20 ^{ns}	14 ^{ns}	98 ^{**}	87.6 ^{ns}	22.3 [*]
Nampyeong	8.14	81	21	13	100	87.2	21.6

^zns, *, and ** mean no significant, significant at $p < 0.05$, and 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	
Haepum	Tolerance	Late	1	11	38 ^{ns,w}	7	55 ^{**}	876	164	7.7 ^{ns}
Nampyeong	Tolerance	Late	1	9	25	7	33	1,143	174	3.4

^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 $p < 0.01$ by *t*-test, respectively

강우 일수의 증가와 연속 강우, 높은 온도 조건은 수발아 발생을 조장하고 있다(Kang et al. 2018, Kim et al. 2012). 출수가 빠른 조생종과 중생종의 경우 중만생종에 비해 등숙기 고온과 강우에 노출될 가능성이 높아져 수발아에 의한 피해가 문제시된다(Nam et al. 2018). 수발아성은 종자의 휴면정도와 관련이 높기 때문에 생태형 및 품종간 차이가 크다(Lee et al. 2006, Park 2010). ‘남평’은 자포니카 밥쌀용 품종의 대표적인 내수발아성 품종으로(Kang et al. 2018), ‘남평’과 비슷한 수발아율을 나타낸 ‘해품’도 내수발아성을 가지고 있는 것으로 판단된다. 내수발아성 품종 ‘해품’의 재배는 중생종 품종의 남부평야지 재배 시 등숙기 고온 및 강우 조우에 따른 수발아 피해를 경감시키는데 도움을 줄 것으로 생각된다.

벼흰잎마름병 저항성

‘해품’은 벼흰잎마름병(bacterial blight) 저항성 유전자를 표지하는 분자마커로 검정한 결과 모본인 ‘진백’과 같이 저항성 유전자 *Xa3*와 *xa5* 두 개가 집적되어 있는 것으로 확인되었다(Fig. 4). *Xa3*+*xa5* 저항성 유전자 조합은 병원성이 강한 K3a 균계에 대응하기 위해 우리나라 벼흰잎마름병 저항성 육종사업에서 가장 활발하게 이용되고 있는 목표 유전자 조합이다(Park et al. 2013). 농촌진흥청 국립식량과학원에서 1975년부터 2015년까지 개발한 자포니카 벼 품종은 330품종으로 이들 중 대표균계인 K1, K2, K3, K3a에 모두 이병성인 품종은 178품종(53.9%)이고 K1에만 저항성은 35품종(10.6%), K1과 K2에 저항성은 1품종(0.3%), K1, K2, K3에 저항성은 109품종(33.0%), K1, K2, K3, K3a 모두에 저항성인 품종은 7품종(2.1%)으로, 대표균계에 모두 저항성인 7품종은 최초의 저항성 품종인 ‘강백’(*xa5* 단독 보유)을 제외하고는 모두 *Xa3*+*xa5* 조합을 보유하고 있다(Park et al. 2016). ‘해품’은 우리나라 벼흰잎마름병 대표균계에 모두 강한 저항성 반응을 나타냈으며, 국내 수집 16개 균주에 대해서도

Fig. 4. PCR analysis to confirm the resistance genes using the gene specific DNA markers. *Xa3* and *xa5* were confirmed by PCR products amplified with primer, 9643.T4 (cleaved by *Taq* I, A) and 10603.T10Dw (*Rsa* I, B). M: DNA size marker, 1: ‘Nampyeong’, 2: ‘Jinbaek’ (Iksan493), 3: ‘Dacheong’ (Iksan495), 4: ‘Jungmo1005’ (Iksan496), 5: Haepum.

평균 병반장이 4.1 cm (남평 16.0 cm)로 광범위한 저항성 반응을 나타냈다(Table 3, Fig. 5). 또한 벼흰잎마름병 발병상습지 검정에서 감수성인 ‘남평’에 비해 벼흰잎마름병 이병이 적었고 등숙률이 높았으며 높은 수량성에 품질 특성이 우수하여 남부평야지 벼흰잎마름병 발병상습지 지배에 적합한 품종으로 판단되었다(Table 4).

도열병, 바이러스 병 및 해충 저항성

‘해품’은 도열병 검정결과 잎도열병(leaf blast) 발모자리 검정에서 저항성 정도가 평균 5.0으로 중정도의 저항성 반응을 보였고, 도열병 포장저항성 검정에서 이삭도열병(panicle blast) 발병률이 0.0-0.4%로 경미하여 도열병에 중도 저항성을 나타냈다(Table 5, Fig. 6). 또한 ‘해품’은 바이러스병인 줄무늬잎마름병(rice stripe virus)에 저항성 반응을 나타내(Table 6), 도열병과 줄무늬잎마름병에 이병성인 모본 ‘진백’의 내병성을 보완하였다

Table 3. Resistance reaction to bacterial blight.

Cultivar	Resistance gene	Race				Resistance at field nursery	Reaction against 16 isolates (cm)
		K1	K2	K3	K3a		
Haepum	<i>Xa3+xa5</i>	R ^z	R	R	R	R	4.1±1.64 ^y b ^x
Nampyeong	<i>unknown</i>	S	S	S	S	S	16.0±2.65a
Jinbaek	<i>Xa3+xa5</i>	R	R	R	R	R	2.8±1.59b

^zR: 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)**Table 4.** Agronomic performance at bacterial blight prone area.

Cultivar	Heading date (mm.dd)	Disease infected leaf area (%)	Ratio of ripened grain (%)	Ratio of white core/belly grain (%)	Milling recovery ratio (%)	Ratio of head rice (%)	Milled rice yield (MT/ha)	Index
Haepum	8.12 ^{*,z}	4.7 ^{**}	87.8 ^{**}	6.9 ^{**}	74.1 ^{**}	94.8 ^{**}	548 ^{**}	125 ^{**}
Nampyeong	8.16	91.6	74.8	54.7	67.8	74.5	437	100

^z means significant at $p<0.01$ by *t*-test **Fig. 5.** Resistance reaction of ‘Haepum’, ‘Nampyeong’, and ‘Jinbaek’ against bacterial blight races K1 (HB1013 isolate), K2 (HB1014), K3 (HB1015), and K3a (HB1009) (A) and other 16 Korean *Xanthomonas oryzae* pv. *oryzae* isolates (B). The White bar indicates 10 cm.

(Kim et al. 2009). 기타 바이러스병 및 해충에 대한 저항성은 없었다(Table 6).

품질 및 도정 특성

‘해품’의 입형 특성은 현미 길이와 너비가 4.99 mm, 2.77 mm로 남평(4.94, 2.80 mm)과 비슷하고 장폭비가 1.80인 단원형이다(Table 7). 쌀이 맑고 투명하며 심복백(white core and belly)이 거의 없어 외관 품위가 좋았다(Table 7, Fig. 3B). 아밀로스 함량은 20.0%로 ‘남평’(18.9%)보다 높았고 단백질 함량이 6.2%

로 ‘남평’(7.2%)보다 낮았으며 식미관능검정에서 식미치가 0.32 (남평 0.02)로 밥맛이 우수하였다(Table 7). ‘해품’의 심복백과 식미치인 0/0, 0.32 (남평 0/0, 0.02)는 지금까지 개발된 K3a 균계 저항성 품종들의 육성 당시 성적인 ‘강백’(심복백 0/0, 식미치 -0.03; 남평 0/0, 0.03), ‘진백’(0/0, 0.10; 남평 0/0, -0.06), ‘신백’(0/0, -0.16; 남평 0/0, 0.09), ‘새신’(0/0, 0.04; 남평 0/0, -0.10), ‘안백’(0/0, 0.02; 남평 0/0, -0.05), ‘만백’(0/0, 0.22; 남평 0/0, -0.05)에 비해 상대적으로 높아 벼흰잎마름병 K3a균계 저항성 품종의 품질 향상에 기여한 것으로 판단된다(Park et al. 2017).

Table 5. 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 (14)				Rate of infected panicles (%)			
	R	M	S	Mean	Iksan	Milyang	Icheon	Jecheon
Haepum	3	6	5	5.0	0.4	0.0	0.0	0.2
Nampyeong	6	8	0	3.6	0.7	0.0	0.0	0.0

^zR: Resistant, M: moderately resistant, S: Susceptible

Table 6. Resistance reaction to virus disease and insect pests.

Cultivar	Virus diseases (%)			Resistance to insects	
	Stripe	Dwarf	Black streaked dwarf	BPH ^z	SBPH
Haepum	R ^y (4.8)	S (56.1)	S (86.1)	S	S
Nampyeong	R (3.0)	R (0.0)	S (88.4)	S	S

^zBPH: brown planthopper, SBPH: small brown planthopper

^yR: Resistant, S: Susceptible

Table 7. Characteristics related to grain shape and grain quality.

Cultivar	Brown rice			Trans-lucency (1-9)	White core/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						
Haepum	4.99 ^{ns,z}	2.77 ^{ns}	1.80 ^{ns}	1	0/0	6.5	6.2 ^{**}	20.0 [*]	0.32
Nampyeong	4.94	2.80	1.76	1	0/0	6.0	7.2	18.9	0.02

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

Fig. 6. Resistance reaction of 'Haepum' and 'Hopyeong' against rice leaf blast.

‘해품’의 도정특성은 제현율(brown/rough rice ratio)이 81.6%로 ‘남평’(80.4%)보다 높았고 현백률(milled/brown rice ratio)이 90.2%, 도정률(milled/rough rice ratio)이 73.6%로 ‘남평’(90.5,

72.5%)보다 높았으나, 백미완전미율(ratio of head rice)이 92.7%로 ‘남평’(97.2%)보다 낮아 완전미 도정수율(head rice milling recovery ratio)은 68.3%로 ‘남평’(70.7%)과 비슷하였다(Table 8). ‘해품’은 중만생종에 비해 등숙기 고온경과가 긴 중생종임에도 외관품위와 도정률이 높은 것으로 알려진 중만생 ‘남평’과 비슷한 외관품위와 도정특성을 나타냈으며 밥맛은 더 좋은 특성을 나타내, 중생종 품종의 남부평야지 재배 시 품질 향상에 기여할 것으로 판단된다. ‘해품’은 농촌진흥청 직무육성 신품종 선정 심의위원회에서 그 품질의 우수성이 인정되어 최고품질 품종에 선정되었다.

수량성

‘해품’의 백미 수량은 2011-2013년 3년간 실시한 지역적응성 검정시험 보통기 보비 재배시험에서 평균 쌀수량이 5.26 MT/ha로 ‘남평’(5.40 MT/ha)보다 3% 적었으나 통계적으로는 유의하지 않았으며, 2012-2013년 2년간 실시한 이모작 재배시험에서 평균 쌀수량이 5.15 MT/ha로 ‘남평’(5.43 MT/ha)보다 5%로 적었다(Table 9). 지대별로는 보통기 재배시험의 서남부해안지

Table 8. Characteristics related to milling quality.

Cultivar	Milling recovery ratio (%)				Head rice milling recovery ratio (%)
	Brown/rough	Milled/brown	Milled/rough	Head rice	
Haepum	81.6	90.2	73.6	92.7	68.3
Nampyeong	80.4	90.5	72.7	97.2	70.7

Table 9. Yield summary of local adaptability test.

Culture season	Region	No. of tested sites	Milled rice (MT/ha)		Index
			Haepum (A)	Nampyeong (B)	A/B
Ordinary planting	West-southern coast	3	5.09	5.08	100
	Honam plain	5	5.21	5.42	96
	Yeongnam plain	3	5.51	5.69	97
	Mean	11	5.26 ^{ns,z}	5.40	97 ^{ns}
Double cropping	Honam plain	1	5.05	5.50	92
	Yeongnam plain	1	5.25	5.35	98
	Mean	2	5.15 [*]	5.43	95 [*]

^zns and ^{*} mean no significant, significant at $p<0.05$ by t -test, respectively

는 ‘남평’과 같았고 호남평야지에서 96%, 영남평야지에서 97%의 수량성을 나타냈고, 이모작 재배시험의 호남평야지에서 ‘남평’ 대비 92%, 영남평야지에서 98%의 수량성을 보였다. ‘해품’은 중만생종에 비해 수확기가 빠른 중생종임에도 남부평야지 및 서남부해안지 보통기 재배시험에서 중만생 표준품종인 ‘남평’과 비슷한 수량성을 나타내 적정 수량성을 갖추고 있으며, 이모작 재배시험에서 이모작 적응성이 높은 표준품종 ‘남평’에 비해서 다소 낮은 수량성을 나타냈으나 재배기간 단축을 고려한다면 이모작 작부체계에 적용이 가능할 것으로 판단된다.

적응지역 및 재배상 유의점

‘해품’의 적응지역은 우리나라 충남 이남 평야지와 서남부해안지이다. 파종 전 주의사항으로 키다리병 예방을 위하여 철저한 종자소독을 하여야 한다. 재배기간 중 질소질 비료를 과용할 경우 미질 및 등숙 저하, 숙색 불량과 병해충 발생이 우려되므로 적정 균형시비 하여야 한다. 병해충 관리에 있어서 ‘해품’은 벼흰잎마름병(K1-K3a균계)과 줄무늬잎마름병에 저항성이고 도열병에 중도저항성이나 기타 바이러스병 및 멸구류에 저항성이 없기 때문에 적기에 기본방제를 실시하여야 한다. 등숙후기 물을 일찍 떼면 이삭의 지경이 빨리 말라 쌀 품위가 떨어지므로 적정시기에 완전물떼기를 하여야 한다. ‘해품’은 냉해에 약한 편이므로 늦은 이앙 재배, 온도가 낮은 산간지 재배 및 냉수용출답 재배는 지양하여야 한다.

적 요

‘해품’은 농촌진흥청 국립식량과학원에서 우리나라 중만생종에 편중된 벼 농사의 문제점을 완화하여 수확기 노동력 분산, 수확 후 관리의 유연성 확보, 이모작 재배의 확대를 위해 품질, 수량, 재배안정성이 향상된 중생종 벼 품종을 개발하고자 육성되었다. 벼흰잎마름병 저항성 고품질 ‘익산493호’(품종명 ‘진백’)를 모본으로 하고 복합내병층성 ‘익산495호’(‘다청’)와 단간 내도복 직과적응성 ‘익산496호’(‘중모1005’)를 교배한 F₁을 부분으로 삼원교배한 F₁을 약배양하여 계통육성과정, 생산력 검정시험 및 지역적응성 검정시험을 거쳐 육성되었다. ‘해품’은 보통기 보비재배에서 평균 출수기 8월 11일로 ‘남평’에 비해 3일 정도 빠른 중생종이다. ‘해품’은 간장이 73 cm로 ‘남평’보다 8 cm 작은 단간 품종으로 도복에 안정적인 특성을 나타내며, ‘남평’과 비슷한 내수발아성을 갖추고 있어 중생종 품종의 남부평야지 재배 시 수발아 피해를 경감시키는데 도움을 줄 것으로 생각된다. ‘해품’은 벼흰잎마름병 저항성 유전자 *Xa3*과 *xa5* 두 개가 집적되어 있어 병원성이 강한 벼흰잎마름병균 K3a균계까지 저항성이며 줄무늬잎마름병에 강하고 도열병에 중도저항성을 나타내는 복합내병성 품종이다. ‘해품’은 중만생종에 비해 수확기가 빠른 중생종임에도 보통기 보비재배에서 ‘남평’과 비슷한 수량성을 나타냈으며, 이모작 재배시험에 적용 가능한 수량성을 나타냈다. ‘해품’은 쌀의 외관품위가 좋고 밥맛이 우수하여 최고품질 품종에 선정

되는 등 중생종 품종 및 벼흰잎마름병 저항성 품종의 품질 향상에 기여하였다. ‘해품’은 최고품질에 적정수량성을 확보하고 있으며 내수발아성, 벼흰잎마름병 저항성 등 재배안정성이 향상된 중생종 품종으로 남부평야지 및 벼흰잎마름병 발병상습지 재배에 적합하다(품종보호권 등록번호: 제6068호, 2016. 5. 3.).

사 사

본 논문은 농촌진흥청 작물시험연구사업(세부과제명: 남부평야지 적응 중만생 고품질 벼 품종개발, 세부과제번호: PJ011872012019)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. Baek JS, Chung NJ. 2014. Influence of rainfall during the ripening stage on pre-harvest sprouting, seed quality, and longevity of rice (*Oryza sativa* L.). Korean J Crop Sci 56: 406-412.
3. Cheo ZR, Heu MH. 1975. Optimum conditions for alkali digestivity test in rice. Korean J Crop Sci 19: 7.
4. Hong HC, Kim YG, Yang CI, Hwang HG, Lee JH, Lee SB, Choi YH, Kim HY, Lee KS, Yang SJ, Kim MK, Jeong OY, Cho YC, Jeon YH, Choi IS, Jeong EG, Oh SK, Yea JD, Shin YS, Kim JJ. 2011. A high essential amino acid properties rice cultivar ‘Haiami’. Korean J Breed Sci 43: 543-548.
5. Jeung JU, Kang KH, Choi IS, Chang JK, Kim MK, Lee JH, Park HM, Yang CI, Jeon YH, Suh JP, Choi IB, Jeong JM, Sung NS, Lee JH, Yoon MR, Kim CK. 2016. Blast resistant early maturing rice ‘Jungmo1024’ with high temperature tolerance during grain filling stage. Korean J Breed Sci 48: 72-84.
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. Kang MH, Noh TH, Lee BC, Kim SM, Kim HM. 2015. Race distribution of rice bacterial leaf blight from 2012 to 2014 and disease severity by rice bacterial leaf blight strains and combinations to IRBB series for resistant analysis. J Agri & Life Sci 46: 1-8.
8. Kang SG, Kim YD, Ku BI, Sang WG, Lee MH, Park HK, Shon JY, Yang WH, Lee JH. 2015. Study on the optimum planting density of pot seedling for mid-late maturing rice variety in wheat-rice double cropping system in Honam plain area. Korean J Crop Sci 60: 257-265.
9. Kang SG, Shon JY, Kim HS, Kim SJ, Choi JS, Park JH, Yoon YH, Sim JM, Yang WH. 2018. Analysis of genetic variation in pre-harvest sprouting at different cumulative temperatures after heading of rice. Korean J Crop Sci 63: 8-17.
10. 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.
11. Kim JI, Park NB, Lee JY, Kwon OD, Park DS, Chang JK, Yeo US, Kang JH, Lee JH, Cho JH, Song YC, Jang KC, Choi KJ, Oh SH, Hwang UH, Kim WJ, Park ST, Kang HW, Lee JK. 2014. A high quality rice variety with lodging tolerance, ‘Daebo’. Korean J Breed Sci 46: 96-102.
12. 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 JG, Hwang HG, Kim JK. 2009. A mid-late maturing rice cultivar with high-quality and bacterial blight resistance ‘Jinbaek’. Korean J Breed Sci 41: 314-318.
13. Kim KY, Shin WC, Shin MS, Ko JK, Kim BK, Nam JK, Ha KY, Baek MG, Ko JC, Park HS, Kang HJ, Kim WJ, Mo YJ. 2012. A new mid-late maturing, lodging tolerant and good-quality rice variety ‘Mipum’. Korean J Breed Sci 44: 363-368.
14. Kim SJ, Won JG, Ahn DJ, Park SD, Choi CD. 2008. Influence of viviparous germination on quality and yield in rice. Korean J Crop Sci 53: 15-18.
15. Kim WJ, Ko JK, Ko JC, Nam JK, Ha KY, Shin MS, Kim YD, Kim BK, Kang HJ, Kim KY, Baek MG, Park HS, Baek SH, Shin WC, Kim KH, Choung JI, Hwang HG, Kim JG. 2010. A new mid-late maturing rice cultivar with high-grain quality and multiple resistance to disease and insects, ‘Dacheong’. Korean J Breed Sci 42: 649-653.
16. Kim YG. 2010. Current status and future prospects of development of rice varieties. Food Preserv Proc Indus 9: 75-85.
17. Ko JK, Park HK, Kang SG, Kato H, Ishii T, Nemoto H, Sakai M, Satou K, Ando I, Kim BK. 2014. Comparison

- of rice grain yield and quality of different maturity groups by cultivation in Korea and Japan. J Korean Soc Int Agric 24: 353-359.
18. 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.
 19. 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.
 20. Lee JH, Park DS, Kwak DY, Yeo US, 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.
 21. Lee JH, Lee JY, Yeo US, Song YC, Park DS, Hwang UH, Park SG, Park NB, Kim SY, Oh SH, Han SI, Nam MH, Lee JG, Cho JH. 2018. ‘Hwawang’: a good quality and early-maturing rice variety adaptable for rice-cash crop rotation system. Korean J Breed Sci 50: 534-539.
 22. Lee SY, Ahn JH, Kim HJ, Eun MY. 2006. Relationship among viviparous germination, dry-heat tolerance and seed longevity in Milyang23/Gihobyee RILs. J Bio Envir Contr 15: 421-427.
 23. Nam JK, Park HS, Kim KY, Kim BK, Cho YC, Ko JK, Baek MK, Kim JJ, Kim WJ, Shin WC, Ko JC, Lee JH, Jeong JM, Jeung JU, Kang KH. 2018. Multiple disease resistant early maturing rice cultivar ‘Joil’ with high grain quality adaptable to early transplanting cultivation in the southern plain area. Korean J Breed Sci 50: 280-288.
 24. Park HS. 2010. Studies on panicle traits and preharvest sprouting in rice (*Oryza sativa* L.). MS Thesis, Univ of Seoul. Seoul. Korea. pp. 21-24.
 25. 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.
 26. 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.
 27. 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.
 28. Park JS, Kim HD. 2009. Viviparous germination characteristics of rice varieties adaptable to central region of Korea. Korean J Crop Sci 54: 241-248.
 29. Rural Development Administration (RDA). 2011. Project plan for collaborative research program to devleop new variety summer crop. pp. 3-50.
 30. Rural Development Administration (RDA). 2012a. Project plan for collaborative research program to devleop new variety summer crop. pp. 2-47.
 31. Rural Development Administration (RDA). 2012b. Standard of analysis and survey for agricultural research. pp. 315-338.
 32. Rural Development Administration (RDA). 2013. Project plan for collaborative research program to devleop new variety summer crop. pp. 3-48.
 33. Shin JH, Kim SK, Kim SJ. 2017. Comparision of yield and grain quality of ten high quality rice cultivars grown in three different agricultural regions of Gyeonsangbuk-do province. Korean J Crop Sci 62: 275-284.
 34. Shin MS, Ko JK, Kim BK, Lee KS, Lee JK, Ha KY, Yang BK, Shin HT, Lee SY, Cho SY, Noh TH, Kim YD, Joung JI, Oh YH. 1998. A new high yielding and good quality rice cultivar adaptable to double cropping and late planing, “Nampyeongbyeon”. Korean J Breed Sci 30: 384.
 35. Shon JY, Kim JH, Jung HY, Kim BK, Choi KJ, Yang WH. 2014. Effect of pre-harvest sprouting on seed viability, germination and seedling emergence rate of rice. Korean J Crop Sci 59: 427-434.