조생 중산간지 적응 복합내병성 고품질 벼 ‘성산’

김우재* · 신운철 · 김정주 · 박현수 · 남정권 · 백만기 · 조영찬 · 김보경

농촌진흥청 국립식량과학원

‘Seongsan’, an Early Maturing Multi-Resistant Rice with Good Grain Quality and High Yield

Woo-Jae Kim*, Woon-Cheol Shin, Jeong-Ju Kim, Hyeon-Su Park, Jeong-Kwon Nam, Man-Kee Baek, Young-Chan Cho, and Bo-Kyeong Kim

National Institute of Crop Science, R.D.A., Wanju, Jeonbuk, 55365, Republic of Korea

Abstract ‘Seongsan’, an early multi-resistant japonica rice cultivar developed from a cross between ‘Jopyeong’ and ‘Jungmo 1012’, was developed by the rice breeding team of the National Institute of Crop Science, Rural Development Administration. The average heading date at the ordinary planting was July 25th in seven test spots. In response to physiological stresses, premature heading rate was very low and viviparous germination rate was relatively low (15.7%). In response to biotic stresses, ‘Seongsan’ showed resistance to bacterial blight pathogen K1 to K3, rice stripe virus, and blight leaf. The milled rice of ‘Seongsan’ was translucent with relatively clear non-glutinous endosperm and medium short grain. The cooked rice had good palatability compared with that of ‘Chucheong’. The milled rice yield of this variety was approximately 5.52 MT/ha in a three-year local adaptability test. ‘Seongsan’ was an early maturing multi-resistant rice with good grain quality, and it was expected to be used as a representative for maturity diversification of rice cultivation area (Registration No. 7277).

Keywords Seongsan, Rice, Early heading, Multi-Resistant

Received on August 1, 2019. Revised on August 1, 2019. Accepted on August 21, 2019.

* Corresponding Author (E-mail: suwonman@korea.kr, Tel: +82-63-238-5234, Fax: +82-63-238-5205)

서 언

우리나라의 쌀 역사를 보면 석기시대부터 취식 한 것으로 추정하고 있다. 이후 중국에서 벼 농사기술이 전해지면서 한반도 전역에 벼가 재배되기 시작됐고 지금까지 주식으로 자리잡고 있다. 우리 민족의 주요 에너지원으로 자리잡은 쌀의 1인당 연간 소비량은 1981년 이후 지속적으로 감소하여 30년전(’88년 133.4 kg)에 비해 2018년 현재 69.5 kg으로 절반수준 이다(KOSIS 2019a). 벼 재배면적도 계속 감소하여 1990년대 초반까지 120만 ha 수준을 유지하던 것이 2004년 100만 ha 밑으로 줄었고 2018년 75만 ha 아래로 낮아졌다(KOSIS 2019b). 연간 쌀 생산량 추이를 보면 2017년에 냉해가 심했던 1980년 이후 37년 만에 처음으로 400만톤 이하를 기록하였다. 원인으로 재배면적 감소와 기상여건의 악화를 꼽을 수 있는데 2015년까지 재배면적 감소에도 생산량이 증가한 것으로 보아 기상여건의 악화가 주요 원인으로 추정된다(KOSIS 2019c). 환경 영향이 크게 작용하는 상황에서

재배기간이 다른 생태형의 활용은 중요한 의미를 가질 수 있다. 우리나라 과거 15년간 벼 생태형에 따른 재배면적은 평균적으로 조생종 10%, 중생종 6%, 중만생종 83%의 비율로 고착화 되고 있다. 조생종은 2006년 까지 9%대 였으나 수량성이 높은 ‘운광’이 등장하면서 이후 10% 이상으로 상승하였고 중생종은 2002년 15%대 까지 높았었던 비율이 ‘화성’과 ‘화영’ 품종 면적이 줄면서 2018년 약 4%까지 떨어진 상태이다. 중만생종은 2004년 이후 80%대를 넘어섰고 2018년에는 약 87%까지 높아졌다(RDA 2000~2018). 이러한 중만생종의 편중 현상은 안정적인 쌀 생산 측면에 많은 문제점을 나타낸다. 벼 생산량에 가장 큰 영향을 주는 기상재해로 태풍을 들 수 있는데 평균적으로 8월에 가장 많이 우리나라를 지나가고 9월, 7월 순이다(KMA 2019). 2012년의 경우 8월 하순 발생한 불라벤과 덴빈은 116천 ha (전체의 13.6%)의 벼수 피해를 입혔다(RDA 2012a). 미질에도 악영향을 준다. 수확시기가 10월에 몰리다 보니 일부 미국종합처리장의 건조저장시설 용량의 한계로 건조하지 않은 상태의 벼를

장기간 야적하게 되어 미질이 나빠지는 악순환이 반복된다(Sung 2006). 이처럼 중만생종의 편중은 대면적의 피해를 주기 때문에 품종 숙기별 재배면적의 고착화는 언제든지 큰 피해를 입힐 가능성으로 이어질 수 있다. 따라서 숙기별 품종의 분산을 위한 재배안정성과 미질이 강화된 품종의 개발은 조생종 재배면적 확대의 해결책 중 하나가 될 수 있다. 내병성 측면에서 과거에 개발된 조생종 품종은 주로 도열병만 강하고 흰잎마름병과 줄무늬잎마름병에 약해 확대에 걸림돌로 작용하였다. '09년 까지 개발된 자포니카 조생종 64개 중 흰잎마름병과 줄무늬잎마름병 저항성 품종은 각각 4개, 7개이며 둘다 강한 것은 ‘금오벼3호’와 ‘주남조생’ 2개에 불과하다(Kang et al. 2009, Lee et al. 2009). 하지만 '10년 이후 내병성 육종이 강화되면서 육성된 43개 품종 중 흰잎마름병과 줄무늬잎마름병 저항성 품종은 각각 17개, 16개이며 둘다 강한 것은 11개에 이른다. 또한 생리 장애 측면에서 수발아와 불시출수는 조생종의 재배안정성에 있어 중요한 문제이다. 수발아는 등숙기 중 황숙기와 완숙기 사이 강우와 도복에 의해 심하게 발생한다(Park & Park 1984). 앞서 밝혔듯이 우리나라는 8월에 가장 많은 태풍이 발생하며 이 시기는 조생종의 등숙기에 해당한다(Park & Kim 2009). 수발아성은 종자의 휴면성과 관련이 높기 때문에 생태형 및 품종별로 차이가 많이난다. 일반적으로 인디카와 통일형 보다 자포니카 조생종에서 수발아가 잘된다(Lee et al. 2018, Lee et al. 2006). 수발아 발생은 수량과 품질 뿐만 아니라 발아에 의해 종자로서의 가치가 현저히 떨어지는 문제점을 가진다(Baek & Chung 2014). 2000년에서 2010년까지 고품질 조생종 품종의 평균 수발아율은 약 28.5%인 반면 2011년 이후는 약 15.5%로 매우 감소하였다. ‘운미(78%, 육성년도 '07)’, ‘조운(2.5%, '09)’, ‘화왕(2.5%, '12)’, ‘진한(33.2%, '15)’은 품종간 큰 차이를 보이지만 최근 8년간의 육종 방향은 조생종의 수발아율을 낮추는 쪽으로 맞추어져 있다(Nam et al. 2008, Won et al. 2010, Lee et al. 2018). 논의 활용성 측면에서 벼와 함께 타 작물을 재배하는 이모작은 효율성이 좋아 면적이 늘어가는 추세이다(Kim et al. 2010). 작부체계상 물 등의 공급환경에 따라 벼를 늦게 심을 경우 고온조건에서 육묘가 이루어져 노화가 빨라지고 본답 이앙 시 불시출수에 의한 수량감소가 일어날 수 있다(Zhe et al. 2015). 만파만식은 생육기간이 짧은 조생종에 유리하지만 기후변화 등으로 파종기간동안 고온일 경우가 많아지고 있고 묘대감응도가 민감한 품종의 경우 불시출수를 하기 때문에 둔감한 조생종의 육성은 매우 중요하다. 미질개선도 많은 진전을 이루었는데 일반적으로 조생종은 고온기간인 7·8월 온도가 높은기간에 등숙을 하여 미질에

불리한 점이 많았지만 고온등숙에 적응하는 품종을 육성함으로써 단점을 점차 개선하였다(RDA 2019a, 2019b).

육종에서 시대를 대표하는 우수 품종이 나오기까지 많은 노력과 시간이 필요하다. 하지만 대표 우수 품종의 활용은 초월육종까지는 쉽지 않지만 후대 품종의 재배안정성의 상향평준화를 빠르게 이룰 수 있게 하는 파급효과를 가지고 있다. 본 연구에서는 생리장애와 병해에 강하고 품질이 좋으며 수량이 많은 조생종 벼 ‘성산’을 개발하였고 이에 그 육성경위와 주요특성을 보고하고자 한다.

재료 및 방법

시험재료 및 재배방법

‘성산’은 중산간지에 적응하면서 병에 강한 고품질 조생 벼 품종 육성을 위하여 숙기가 빠르며 다수확 품종인 ‘조평(운봉42호)’에 속색이 양호하며 밥맛이 우수한 ‘중모1012호(상주40호)’를 교배하여 F₁ 개체군을 양성하였다. F₂ 세대에서는 집단선발을 하였고 F₃ 세대부터는 계통육종법으로 도열병과 흰잎마름병 특성검정과 미질검정 함께 수행하여 저항성을 가지면서 미질이 우수한 계통을 선발을 하였다. F₆에서는 흰잎마름병과 줄무늬잎마름병 분자표지 검정을 하였다. 선발된 계통의 주요 농업형질을 조사하기 위해 ‘오대’를 비교품종으로 2013~14년 2년간 생산력 검정시험을 수행하였다. 재배방법은 재식거리 30×12 cm, 주당 5본씩 이앙 하였고 시비량은 N-P₂O₅-K₂O를 100-64-78 kg/ha 시용하였으며 질소는 기비·분얼비·수비를 각각 50%·25%·25% 비율로 분시하였다. 생산력검정시험 이후 2014~2016년 3년간 보통기보비재배로 6개지역에서 ‘오대’를 비교품종으로 지역적응시험을 실시하였으며 재배방법·시비량·농업형질·수량구성요소·수량성·생리장애·도정특성·미질특성은 농촌진흥청 신품종개발공동연구사업 과제수행계획서 조사기준에 준하여 수행하였다(RDA 2012b, 2014, 2015, 2016).

생리장애 저항성 검정

1. 수발아성 검정

보통기보비재배법으로 재식한 시험구에서 출수 후 30일째에 3반복으로 5개 이삭을 표본 채취하였다. 플라스틱용기에 흡습지를 깔고 그 위에 차례로 재료를 나열한 다음 다시 흡습지로 덮고 충분히 물이 스며들게 하였다. 25℃, 포화습도(100%)인 항온항습기에 7일간 둔 후 꺼내어 2014~16 3년간 발아율을 조사하였다.

2. 불시출수 검정

파종량을 상자당 30 g으로 하여 50일간 표준재배법으로 묘를 키운 후 본답에 30 x 12 cm 밀도로 주당 5~6묘씩 7월 1일 이앙을 하였다. 조사주수는 100주를 하였으며 2014~16 3년간 이앙 30일 후에 불시출수율을 조사하였다.

주요 병해충 검정

있도열병 발못자리 검정

시비량은 N-P₂O₅-K₂O를 240-80-120 kg/ha 기준으로 사용하였으며 용과린과 염화가리는 전량 기비로 주었으며 질소는 기비로 60%, 추비로 40%를 주었다. 발못자리는 가로 1.5 m, 세로 50 m의 두둑을 조성하고 특수제작한 롤러를 이용하여 파종골을 만들었다. 파종은 발병환경이 좋은 7월 초에 하였으며 검정 계통 주변으로는 있도열병에 매우 약한 ‘호평’을 파종하여 병 발생을 조장하였다. F₃에서 F₅까지는 검정계통 20개마다, 생산력검정시험과 지역적응성시험에서는 2개 마다 ‘호평’을 배치하여 검정하였다. 발못자리 위에 차광막을 설치하고 늦은 오후 미스트를 분사하여 발병을 촉진시켰다. 총 12개 지역에서 3년간 수행하였으며 이병정도 조사는 발병 초기, 중기, 후기에 농업과학기술 연구조사 분석기준(RDA 2012b)에 따라 수행하였다.

1. 이삭도열병 포장저항성 검정

표준파종량보다 많은 양을 파종(200 g/상자)하여 육묘상태에서부터 도열병 발생을 유도하였다. 도열병 발생 환경이 좋은 7월 초에 검정계통 당 2줄씩 2반복으로 주당묘수 5개 이상에 재식거리 30 x 12 cm로 밀식 이앙 하였다. 검정계통 주변을 ‘호평’으로 재식하여 병 발생을 촉진시켰다. 시비량은 N-P₂O₅-K₂O를 210-170-170 kg/ha 기준으로 사용하였으며 용과린과 염화가리는 전량 기비로 주었으며 질소는 기비로 60%, 추비로 40%를 주었다. 총 5개 지역에서 3년간 수행하였으며 이병정도 조사는 출수 후 30~35일경에 전체 이삭수와 병든 이삭수를 조사하여 이병수율을 산출하였다.

2. 벼 흰잎마름병 저항성 검정

국립식량과학원 작물기초기반과로부터 흰잎마름병균 K1 (HB103), K2 (HB1014), K3 (HB1015), K3a (HB1009) 균계를 분양받아 액체배지(NB)에 약 2~3일간 진탕배양하였다. 배양균 농도는 10⁸~10⁹ cells/ml로 균일하게 조정하였다. 접종시기와 방법은 최고분얼기에서 수잉기 때 가위에 배양액을 묻히고 지엽 선단부로부터 5~10 cm 되는 곳을 절단한 후 문지르는 방법으로 하였다.

접종 4~5주 후 접종한 지엽 중 가장 병반이 긴 것을 기준으로 3 cm 이내는 ‘강(R)’, 3~5 cm 사이는 중강(MR), 5 cm 이상은 ‘약(S)’으로 판정하였다. 최종성적은 3년간 평균성적이다.

3. 벼 줄무늬잎마름병 저항성 검정

벼 바이러스 이병주를 매개충이 흡즙하게 하여 보독충을 사육하고 충분히 확보 하였다. 검정계통과 이병성품종을 파종한 상자를 1~2엽기에 실내검정시설 베드에 치상하고 보독충을 묘당 5~6마리의 밀도로 2일간 유묘에 접종시켰다. 이병성 품종이 이병증상을 보이는 시기에 망실하우스에 이앙하고 접종 후 30일 경 농업과학기술 연구조사 분석기준(RDA 2012b)에 따라 조사하였다.

병 저항성 유전자 분자표지 검정

검정계통의 DNA는 파종 후 2~3엽기의 유묘를 잘라 마쇄한 후 Biosprint 96 (Qiagen) DNA plant kit로 추출하였다. DNA 농도는 Nanodrop (Nanodrop Co.)으로 10 ng/ul로 맞추어 사용하였다. 병 저항성 유전자를 탐침하기 위해 흰잎마름병 저항성 유전자 *Xa3*는 9643.T4, 줄무늬잎마름병 저항성 유전자 *Snb-i*는 Indel7 분자표지를 사용하였다(Kwon et al. 2012, Kim et al. 2018). PCR 조건은 pre-denaturation 95°C 5분간 1회, denaturation 94°C 40초, annealing 57°C 40초, extension 72°C 1분을 35회, final-extension 72°C 5분으로 하였다. 9643.T4로 증폭한 산물은 제한효소 Taq I (65°C, 2시간)으로 처리하였고 Indel7 증폭 산물은 처리하지 않고 6% acrylamide gel에서 100V 120분간 전기영동 한 후 유전자형을 판정하였다.

수량성 관련 조사

등숙률과 수당립수는 시험구별로 3주를 예취하여 측정하였다. 수량조사는 계통 당 100주를 예취하고 탈곡, 건조, 탈망, 정선 과정을 거쳐 수분을 측정한 후 무게를 조사하였다. 정현비율은 정조 1.5 kg을 현미기(LST, Gwangyang, Korea)에 투입하여 왕겨를 제거하고 구하였다. 10a 당 정조수량은 수분 15% 기준으로 하였으며 현미수량은 정조수량에 정현비율을 곱하였고 백미수량은 10분도 기준으로 구하였다.

미질 및 관능 조사

미질관련 형질을 조사하기 위해 현미를 시험용 도정기(VP-32T, Yamamoto Co., Ltd., Yamagata Japan)로 도정하고 외관품위를 RN300 (Kett Co., Ltd., Tokyo, Japan)으로 조사하였다. 밥의 관능평가는 ‘추정’을 비교품종으로 하여 평가하였다. 평가항목은

냄새·모양(윤기 및 색깔)·찰기·질감·밥맛·총평이었으며 기준은 매우좋음(3)·좋음(2)·약간좋음(1)·보통(0)·약간나쁨(-1)·나쁨(-2)·매우나쁨(-3)으로 하였다. 육성 모지인 상주에서 재배된 시료를 도정 후 전주·수원·밀양 3곳의 연구기관에서 훈련된 밥맛검정 패널요원이 블라인드로 테스트 하였다.

통계분석

본 실험에서 측정된 실험값은 SAS 프로그램(Ver. 9.2)으로 평균·표준편차·t-test·분산분석(ANOVA)·DMRT (Duncan's multiple range test)를 실행하였으며 $p<0.05$ 수준에서 유의성을 검증하였다.

결 과

육성 경위

‘성산’은 중산간지에 적응하며 내병성을 갖춘 고품질 조생 벼 품종을 육성하기 위해 2008~09년 동계에 조생종인 ‘조평’을

‘중모1008호’와 교배하여 2009년 20개의 F₁ 개체군을 양성하였다. 2010년 F₁에서 개체군당 60개체씩 선발하여 F₂로 총 1,200 개체를 이양하였다. 1,200 개체 중 숙기가 빠르며 초형과 수형이 우수한 100개체를 선발한 후 쌀외관미질을 조사하여 품질이 인종은 개체는 도태시키고 73개체를 F₃에 공시하였다. F₃ 이후 도열병 발못자리검정, 벼흰잎마름병 K1 균계 검정 등 특성검정을 수행하여 병해에 저항성이며 초형과 수형이 좋은 계통을 세대진전하여 2013년 우수계통‘HR28493-55-B-1’을 선발하였다. 2013~14년 2년간 생산력검정시험을 수행한 결과 ‘HR28493-55-B-1’은 초형과 수형이 우수하며 내병성과 함께 기본적인 수량성과 미질을 갖추 ‘상주51호’로 지역적응성 시험번호를 부여하였다. ‘상주51호’는 2014~16년 수행된 3년간 지역적응시험 결과 우수성이 인정되어 2016년 12월 농촌진흥청 농작물직무육성 신품종선정 위원회에서 신품종으로 선정되었고 ‘성산’이라 명명하였다 (Figs. 1, 2, 3).

Fig. 1. Genealogical diagram of ‘Seongsan’

Fig. 3. Field landscape (A) and seeds (B) of ‘Seongsan’

Year	'08/09	'09	'10	'10/11	'11	'12	'13	'14	'15	'16
Generation	Cross	F ₁	F ₂	F ₃	F ₄	F ₅	F ₆	F ₇	F ₈	F ₉
	Unbong 42 × Sangju 40	HR28493	1 → 1,200	1 → 73	1 → 100	① → 5	HR28493-55-B-1	↓	Seongsan	
No. of lines (Plants)		(20)	(1,200)	73	(100)	5				
Remarks		Plants		Pedigree			Yield trial			Local adaptability test

Fig. 2. Pedigree diagram of ‘Seongsan’

출수기 및 주요 농업적 특성

‘성산’은 품질이 우수하며 주요 병 저항성을 갖춘 조생종 벼 품종개발을 목표로 하였다. 따라서 출수기는 2014~16년 남부중산간지, 북부평야 및 중산간지, 남부고냉지, 동북부해안지 7개소 시험지역 보통기 재배에서 평균 7월 27일로 대비품종인 ‘오대’보다 3일 늦은 조생종이다. 세부적으로 ‘진안’에서 7월 25일로 가장 빠른 출수기를 보였고 ‘강릉’과 ‘정선’에서는 8월 1일로 늦은 출수기를 나타냈다. 간장은 71 cm로 ‘오대’보다 1 cm 크고 수장은 20 cm로 ‘오대’와 같았다. 주당수수는 16개로 ‘오대’보다 1개 많았으며 수당립수는 97개로 ‘오대’보다 17개 많았다. 등숙비율은 88.2%로 ‘오대’의 84.8%보다 높았다. 정조천립중과 현미천립중은 각각 23.0 g, 20.2 g으로 중대립인 ‘오대’보다 가벼웠다. 주당수수를 제외하고 수당립수 · 등숙비율 · 정조천립중 · 현미천립중은 통계적으로 ‘오대’와 비교할 때 통계적으로 유의성이 있는것으로 나타났다(Table 1).

생리장애 저항성

‘성산’은 ‘오대’와 마찬가지로 위조현상은 없고 성숙기 하엽노화가 늦은 편이다. 불시출수는 1.3%로 ‘오대’와의 차이가 60% 이상이며 매우 낮은 값을 보였고 통계적으로도 유의성을 나타냈다. 내냉성 검정 결과 ‘오대’와 비교시 출수지연일수는 1일 길고 임실률은 48%로 ‘오대’보다 6% 낮았다. 출수지연일수, 임실률, 수발아율은 통계적으로 유의성은 없었다. 저온발아성은 84%로 ‘오대’의 50%와 비교하여 매우 높았으나 수발아율은 ‘성산’ 15.3%, ‘오대’ 15.9%로 비슷한 결과값을 보였다. 통계적으로 저온발아성은 통계적 유의성이 있었으나 수발아율은 없었다. 도복 특성에서 벼키(간장+수장)는 90 cm로 ‘오대’와 같았으며 3절간장이 11.6 cm로 ‘오대’보다 0.7 cm 작았다. 좌절중은 1,154 g로 ‘오대’보다 낮았으며 도복지수는 92로 ‘오대’보다 높았다. 포장도복은 ‘성산’과 ‘오대’ 둘다 비슷한 편이었다(Table 2). ‘성산’은 수발아율과 불시출수율이 낮아 정밀한 분석을 위해 3년간 각각의 성적을 비교품종인 ‘오대’와 모본인 ‘조평’과 함께 비교하였다. ‘오대’와 ‘조평’은 수발아율이 매년 증가하는 양상

을 보인 반면 ‘성산’은 상대적으로 낮은 결과값을 보였다. 통계분석에서도 ‘성산’은 2015년, 2016년 각각 ‘조평’보다 통계적으로 유의한 차이를 보였다. 불시출수율도 ‘성산’은 ‘조평’, ‘오대’보다 매우 낮은 수치를 보였으며 통계적으로 ‘조평’보다 유의한 차이를 나타냈다(Fig. 4).

병해충 저항성

2014~16년 3년동안 검정한 잎도열병 발못자리검정 결과 12개 지역 중 9개 지역에서 강한 저항성을, 2개 지역에서 중도 저항성을, 1개 지역에서 약한 저항성을 보여 평균적으로 ‘오대’보다는 강한 저항성 반응을 보였다. 이삭도열병 포장검정에서 전주

Fig. 4. Viviparous germination (A) and premature heading (B) test of Seongsan, Jopyeong and Odae by year. T-test results between Seongsan and Jopyeong by year. **, *, and ns means significantly different at $p=0.05$, $p=0.01$, and not significant by t-test, respectively

Table 1. Major agronomic traits and yield components.

Cultivar	Heading date (mm.dd)	Culm length (cm)	Panicle length (cm)	Panicle number per hill (ea)	Number of grains per panicle (ea)	Percent ripened grain (%)	1000-grain weight of brown rice (g)
Seongsan	7.27	71 ^{ns}	20 ^{ns}	16 ^{ns}	97 ^{**}	88.2 ^{**}	20.2 ^{**}
Odae	7.24 ^{*z}	70	20	15	80	84.8	25.3

^zns, *, and ** indicate not significant, significant at $p<0.05$, and $p<0.01$, respectively.

0.1%, 진주 2.1%의 경미한 발병을 보여 이삭도열병에도 저항성을 갖춘 것으로 판단되었다. 도열병 내구저항성 검정에서는 1회차부터 5회차까지 병반면적률이 20~30%로 20~40%의 ‘오대’보다는 내구저항성이 높은 것으로 나타났으나 40개의 접종균주 중 친화성균주는 5개로 ‘오대’와 같았다(Table 3). 흰잎마름병 저항성 검정에서는 K1·K2·K3 균계에 강하였으나 K3a 균계에는 약한 반응을 보였다. 또한, 줄무늬잎마름병에도 강한 저항성 반응을 보였는데 모본과 부분의 저항성을 이어받은 것으로 판단된다. 기타 바이러스병인 오갈병과 검은줄오갈병은 감수성 반응을 나타냈으며 벼멸구과 애멸구에도 약한 반응을 보였다(Table 4). 년차간 도열병과 줄무늬잎마름병의 발병률을 보았을 때 도열병 발생은 ‘조평’과 비슷한 저항성을 보였으며 통계적으로도 유의한 차이는 없었다. 하지만 줄무늬잎마름병은 저항성을 가진 ‘조평’과 비교시 2016년을 제외하고 2014년, 2015년에 통계적으로 유의성을 가지며 보다 높은 줄무늬잎마름병 저항성을 나타냈다(Figs. 5, 6).

Fig. 5. Leaf blast (A) and rice stripe virus (B) resistance test of Seongsan, Jopyeong and Odae by year. T-test results between Seongsan and Jopyeong by year. Index value 1~3, 4~6, and 7~9 means resistant, moderately resistant, and susceptible, respectively. Disease incidence 0~30, 31~60, and 61~90 means resistant, moderately resistant, and susceptible, respectively. **, *, and ns means significantly different at $p=0.05$, $p=0.01$, and not significant by t-test, respectively

병 저항성 유전자 확인

‘성산’의 흰잎마름병과 줄무늬잎마름병 저항성 유전자를 확인하기 위해 저항성 유전자 분자표지 검정을 한 결과 흰잎마름병 저항성 유전자 *Xa3*와 줄무늬잎마름병 저항성 유전자 *Stvb-i*를 모두 가지고 있는 것으로 확인됐다(Fig. 7).

미질 및 도정특성

‘성산’의 입형은 현미장폭비가 1.77로 ‘오대’의 1.82와 비슷한 단원형이며 현미길이와 두께는 각각 4.78 mm, 2.03 mm 이었다. 미질은 복백이 약간 발생하였다 알카리붕괴도는 ‘오대’보다 약

Fig. 6. Confirmation of reaction to bacterial leaf (A), bacterial blight (B), rice stripe virus (C) and viviparous germination (D) in ‘Seongsan’. R: Resistance, S: Susceptible

Fig. 7. Confirmation of bacterial blight resistance gene (A) and rice stripe virus resistance gene (B) in ‘Seongsan’. R: Resistance, S: Susceptible

Table 2. Response to environmental stress, physiological stress and lodging tolerance traits.

Cultivar	Premature Heading (%)	Low Temperature Germination (13°C, 15d, %)	Appearance of Wilting / Adult Leaf Senescence	Viviparous Germination ^z (%)	Cold tolerance ^l			Plant height ^w (cm)	Length of 3 rd internode (cm)	Breaking weight of 3 rd internode (g)	Lodging index	Field lodging (1-9)
					Heading Delay (days)	Grain Fertility (%)	PA ^x					
Seongsan	1.3 ^v	84 [*]	Resistant / Slow	15.3 [*]	12 ^{ns} v	48 ^{ns}	5	90 ^{ns}	11.6	1,154	92	3
Odae	61.4	50	Resistant / Slow	15.9	11	54	5	90	12.3	1,420	84	3

^zGermination rate at 7 days after incubation (25°C, 100% RH)

^yCold tolerance was evaluated at a cold-water (17°C) irrigated nursery in Chuncheon substation, NICS

^xPhenotypic acceptability

^wCulm length + Panicle length

^{v*} and ^{ns} indicate significant and not significant at P<0.05, respectively.

Table 3. Reaction to leaf blast, panicle blast and durable resistance to blast.

Cultivar	Reaction to leaf blast at blast nursery (0-9)			Reaction to neck blast			Percentage of diseased leaf area based on sequential seeding (%)					Durable resistance index (0-5)	No. of virulence isolate (No. of inoculated isolate: 30)	
	No. of tested sites (12)			Rate of infected panicles (%)			1 st	2 nd	3 rd	4 th	5 th			
	R ^z	M	S	Mean	Rate of infected panicles (%)									
					Jeonju	Milyang								Jinju
Seongsan	9	2	1	2.7	0.1	0.0	2.1	75	50	25	15	25	0	8
Odae	5	5	2	3.8	0.2	0.0	1.0	85	75	75	45	55	4	19

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

간 낮고 단백질함량과 아밀로스함량은 비슷하였다. 도정특성 중 제현율과 도정률은 ‘오대’와 비슷하였으나 백미완전립률과 완전미도정수율은 각각 92.0%, 68.3%로 ‘오대’보다 각각 13.2%, 10.3%로 높았으며 통계적으로 유의성을 나타냈다. 수원지역 ‘추청’과 비교한 밥맛 관능검정에서 ‘성산’은 0.28로 ‘추청’의 0.15보다 높게 평가되어 우수한 밥맛을 지닌 것으로 판정되었다 (Tables 5, 6).

수량성

2014~16년 3년간 7개 지역에서 실시한 보통기보비재배 지역 적응시험 결과 평균 쌀수량은 5.52 MT/ha으로 ‘오대’보다 5% 증수하였으며 남부중산간지에서는 9% 증수하였다. 지역별로는 ‘강릉’에서 6.03 MT/ha로 가장 높았고 ‘진안’에서는 5.31 MT/ha로 가장 낮은 수량을 보였다. 연차 간 수량차이는 ‘제천’에서 151 kg/10a로 가장 컸다(Table 7).

적응지역 및 재배상 유의점

‘성산’은 조생종으로 남부중산간지, 북부평야지 및 중산간지, 남부고냉지, 동해안 북부해안지에 적합한 품종이다. 질소질 비료 과용시 미질 및 등숙저하, 속색불량, 병해충 발생이 우려되므로 적정 균형시비 하여야 한다. 도열병·흰잎마름병(K1·K2·K3)·줄무늬잎마름병에는 저항성을 갖고 있으나 흰잎마름병 K3a 균계, 멸구류, 기타 바이러스병(오갈병·검은줄오갈병), 키다리병에는 약하므로 종자소독 및 적기 방제를 실시하여야 한다. 수발아율이 다소 높아 등숙기에 비가 지속 될 시 수발아가 우려되므로 적기수확 하여야 한다.

고 찰

조생종 벼의 면적 확대는 서론에서도 밝혔듯이 우리나라 중만생종 벼의 쌀립현상으로 인한 문제점을 해결하기 위해 필요성이 있다. '18년 현재 ‘운광’의 재배면적이 조생종 재배면적 중 약

Table 4. Reaction to major disease and insect pest.

Cultivar	Bacterial blight				Virus disease (%)			Planthopper	
	K1	K2	K3	K3a	RSV ^z	RDV	RBSDV	BPH ^y	SBPH
Seongsan	R ^x	R	R	S	R (13.9)	S (89.4)	S (83.3)	S	S
Odae	S	S	S	S	S (85.2)	S (93.3)	S (77.8)	S	S

^zRSV: Rice stripe virus, RDV: rice dwarf virus, RBSDV: Rice black-streaked dwarf virus

^yBPH: Brown planthopper, SBPH: Small brown planthopper

^xR: Resistant, M: Moderately resistant, S: Susceptible

Table 5. Grain quality and palatability properties.

Cultivar	Translucency (1-9)	White core/belly (0-9)	Amylose content (%)	Protein content (%)	Palatability of cooked rice (-3~+3)
Seongsan	1	0/1	18.7 ^{ns} ^z	5.9 ^{ns}	0.28
Odae	1	1/1	18.7	5.8	0.15 ^y

^zns, *, and ** indicate not significant, significant at $p<0.05$, and $p<0.01$, respectively.

^y‘Chucheong’ was used as a check variety of palatability of cooked rice.

Table 6. Milling properties and grain shape.

Cultivar	Milling recovery ratio (%)				HRMRR (%)	Brown rice			
	BR ^z	MB	MR	HR		Length (mm)	Width (mm)	Thickness (mm)	L/W ratio
Seongsan	81.6	90.9	74.2	92.0 ^{**y}	68.3 [*]	4.78 ^{**}	2.69 ^{ns}	2.03 [*]	1.77
Odae	82.1	89.6	73.6	78.8	58.0	5.27	2.90	2.12	1.82

^zBR: Brown/rough, MB: Milled/brown, MR: Milled/rough, HR: Head rice, HRMRR: Head rice milling recovery ratio

^yns, *, and ** indicate not significant, significant at $p<0.05$, and $p<0.01$, respectively.

Table 7. Yield summary during 3 years local adaptability trials (2014~2016).

Culture season	Region	Trial sites	White Rice Yield (MT/ha)								Index (A/B) × 100			
			Seongsan (A)				Odae (B)							
			2014	2015	2016	Mean	2014	2015	2016	Mean	2014	2015	2016	Mean
Ordinary Planting	Southern Mid mountainous area	Jinan	5.21	5.39	5.32	5.31 ^{a z}	4.82	4.90	4.93	4.88	108	110	108	109
		Mean	5.21	5.39	5.32	5.31	4.82	4.90	4.93	4.88	108	110	108	109
		Unbong	5.40	5.32	5.56	5.43 ^a	5.52	5.24	5.29	5.35	98	102	105	101
	Northern plain, mid-mountainous and southern alpine, east-northern coast	Sangju	5.98	5.86	5.76	5.87 ^{ab}	5.97	5.58	5.52	5.69	100	105	104	103
		Cheolwon	5.94	6.16	5.13	5.74 ^{ab}	5.80	5.73	5.59	5.71	102	108	92	101
		Gangneung	5.96	5.50	6.62	6.03 ^b	5.4	5.47	6.17	5.69	110	101	107	106
		Jeongseon	5.11	5.74	6.57	5.81 ^{ab}	5.29	5.56	6.93	5.93	97	103	95	98
		Jecheon	4.75	5.43	6.26	5.48 ^a	4.96	5.31	6.07	5.45	96	102	103	100
		Mean	5.52	5.67	5.98	5.73	5.50	5.48	5.93	5.64	100	103	101	102
		Grand Mean	5.37	5.53	5.65	5.52	5.16	5.19	5.43	5.26	104	107	105	105

^zThe same letters are not significantly different at 5% probability level by Duncan Multiple Range Test

35%(24,133 ha)를 차지하고 있는 현실에서, 수량성이 다소 미흡하지만 ‘오대’와 같이 우수한 밥맛으로 아직까지 꾸준한 재배면적(‘18, 17,274 ha, 조생종 중 약 25%)을 유지하는 품종이 있다는 사실은, 기본적인 수량성과 내병성을 갖추며 식미가 우수한 품종이 조생종 벼 재배면적 확대에 기여도가 클 수 있다는 것을 시사한다. 그 동안 조생종 벼 재배의 부분적 걸림돌로 작용한 미질과 내병성 문제는 우수한 유전자원과의 교배를 통한 형질개량으로 일정 수준 이상으로 올라와 있다고 생각된다. 또한 조생종의 이른 숙기로 인한 추석전 조기 재배 햅쌀은 높은 가격으로 판매 할 수 있어 평야지에서도 재배면적이 늘어나는 추세이다. 이처럼 소비자 선호도가 높은 햅쌀을 얻기위한 조생종 벼 재배는 틈새시장으로서의 장점을 가지고 있다. 일반적으로 조생종 벼는 등숙이 고온인 시기에 집중되다 보니 식미가 안좋을 가능성이 크다고 알려져 있다(Lee et al. 2008, Lee et al. 2012). 벼 육종팀은 이러한 점을 유념하여 식미검정을 크게 강화시켜 식미가 불량한 계통은 도태시키는 방향으로 조생종 벼 육종을 전개해 나가고 있다.

본 품종 개발을 위한 교배친 설정은 다음과 같다. 대부분의 특징을 살펴보면 모본 ‘조평’은 출수기가 지역적응시험결과 7월 28일인 조생종으로 ‘오대’보다 심복백이 적고 도열병, 흰잎마름병(K1~K3), 줄무늬잎마름병의 내병성이 우수하며 보통기보비재배에서 수량성이 ‘오대’보다 8%, 소득후작재배에서는 ‘금오’보다 25% 증수한 품종이다. ‘조평’의 부분 ‘HR18129-B-16’의 교배조합을 보면 ‘신동진’과 ‘소비’가 들어있는데 이들 품종은 현미천립중이 25 g 이상의 중대립종에 속한다. ’00년 이후 고품

질 조생종의 평균 현미천립중이 21.9 g 인 것을 볼때 ‘조평’의 현미천립중 22.6 g은 대부분의 부분적인 영향을 받은것으로 판단된다. 다른 농업적 특성은 ‘오대’와 비슷한 형질을 가지고 있다. 단점으로는 불시출수율과 수발아율이 각각 37%, 23%로 높은편이며 식미관능검정 결과 다소 밥맛이 미흡한 것으로 나타났다(Nam et al. 2013). 부분 ‘중모1012호’는 지역적응시험에서 출수기가 7월 31일인 조생종 품종이며 도열병에 매우 강한 특성과 낮은 수발아율을 가지고 있다. 수량성은 보통기보비재배에서 ‘오대’보다 3%, 소득후작재배에서 ‘금오’보다 13% 증수하였다. ‘중모1012호’는 밥맛이 우수한 ‘삼백’을 모본으로 교배한 품종이며 밥맛관능검정결과 경기도산 ‘추청’과 비슷한 수준을 갖춘것으로 평가 되었다. 단점으로는 흰잎마름병과 줄무늬잎마름병에 약하며 불시출수율이 32.7%로 높은 편이다(Kim et al. 2012). 따라서 ‘성산’은 조생종으로 ‘조평’의 수량성과 흰잎마름병·줄무늬잎마름병 저항성을 갖추며 ‘중모1012호’의 우수한 밥맛과 수발아율이 낮은 품종을 육성하기 위해 인공교배 되었다. ‘성산’ 개발을 위한 육종법으로 인공교배 후 F₁ 세대 23개체를 포장에 전개하고 자가수정이 의심되는 3개체를 제거 후 20개체를 F₂ 세대에 전개하였다. F₂ 세대는 집단육종법을 활용하였는데 집단육종법은 여러 유전자형들이 분리하르로 개체들 간의 경쟁을 높일 수 있으며 유용 유전자 상실 할 염려를 줄일 수 있다. 또한 육안으로 감별이 가능한 간장·수장·수당립수 등은 F₂ 세대 개체선발이 효과적이다. 그러기 위해서는 최대한 많은 개체를 전개해야하나 한정된 포장면적 관계로 총 1,200 개체를 전개시켰고 F₁ 세대 한 개체를 한줄씩 심어 F₁ 세대에서도 마찬가지로

자가수정이 의심되는 줄은 선발에서 제외하였다. 포장에서의 선발은 전적으로 표현형에 의지해 선발할 수 밖에 없기 때문에 선발목표를 자세히 세우는 것이 중요하다. F₂ 세대 개체의 선발목표로 출수기가 7월 30일 이내이며 모부분의 초형을 가지며 ‘조평’과 ‘중모1012호’의 중간크기의 간장과 수당립수가 많은 계통이 바람직하다고 판단하고 선발하였다. 미질 부분도 최대한 증점을 두었는데 최근 소비자의 쌀 구매포인트는 가격과 밥맛이 크게 좌우 된다. 가격적인 부분은 해당분야의 업체쪽에서 요구가 크다면 밥맛은 일반 소비자들이 중요하게 판단하는 부분이다. 그러한 점에서 심복백은 큰 의미를 가진다. 심복백은 식미에 영향을 주는데 고온재배에서 증가가 두드러져 외관과 식미를 떨어트리므로 고온기간에 등숙이 이루어 지는 조생종에서 매우 불리할 수 있다(Lee et al. 2012). 따라서 쌀의 외관은 심복백으로 나타나며 소비자가 바로 눈으로 검토할 수 있는 부분이기 때문에 품종이 맑고 깨끗한 외관을 가지고 있는 것은 매우 중요한 부분이다. 벼 육종선발에 있어 초기세대에서부터 강한 선발압은 후대에 고정 된 계통에서 원하는 특성이 발현 된 우수 계통이 선발될 가능성을 크게 만든다. 모부분의 심복백 특성은 ‘조평’이 거의 없고 ‘중모1012호’는 있는 편이라 초기세대인 F₂ 세대에서 최대한 ‘조평’의 형질을 이어받은 심복백인 없는 개체를 선발하였다. F₃ 세대이후에는 계통육종법을 이용하여 선발하였다. F₂에서 원하는 형질을 가진 선발 된 개체는 F₃ 세대부터는 이형접합성의 감소로 상가적 유전분산이 커지는 만큼 한 계통이 한 줄에 30개체씩 재식되기 때문에 계통들의 상호비교를 손쉽게 할 수 있어 선발효과가 높았다.

F₃ 세대까지 흰잎마름병, 잎도열병 발모자리 생물검정을 통해 내병성을 갖춘 계통을 계속해서 선발하였다. 최근 분자표지 선발법(MAS, marker-assisted selection)의 활용률이 높아지고 있는데 본 육종에서는 F₄ 세대까지 수행하지 않고 F₃ 세대에서 생산력 검정으로 올라갈 계통에 한해 흰잎마름병과 줄무늬잎마름병의 저항성 유전자 *Xa3*와 *Stvb-i*를 가지고 있는지 확인하였다(Fig. 5). 저세대에서 MAS를 활용 할 수 있지만 흰잎마름병 생물검정은 MAS보다 간편하며 비용이 적게들고 정확도가 뛰어나기 때문에 저세대에서는 생물검정만을 수행하였다. *Xa3* 유전자는 ‘Wase Aikoku 3’로 부터 유래하였으며 ‘91년 ‘화영’이 본 유전자를 가진 ‘Jukei830’과 교배하여 개발 된 후 교배모본으로 사용되어 우리나라 흰잎마름병 저항성 품종의 90% 이상은 가지고 있을만큼 광범위하게 확대되었다. 반면 줄무늬잎마름병 생물검정은 과정이 까다롭기 때문에 지역적응성시험에서만 수행하였고 F₅ 세대에서 분자표지로만 확인하였다. 우리나라 벼가 가지고

있는 줄무늬잎마름병 저항성 유전자 *Stvb-i*는 인디카 벼 Modan에서 유래하여 ‘낙동’에 안정적으로 삽입되어 지금까지 유용하게 사용되고 있다(Chung et al. 1975, Kwon et al. 2012). 지역적응 시험 3년간 수행한 ‘성산’의 병 저항 내구성을 알아보기 위해 년도별로 분석하였다. 흰잎마름병 저항성은 강·약으로 판정하기 때문에 계량화가 어려워 제외하였다. 도열병은 모부분인 ‘조평’과 ‘중모1012호’ 모두 저항성이나 ‘중모1012호’는 지역적응 시험결과 잎도열병 평균값이 1.9로 ‘조평’의 2.5보다 높은 값을 가지고 있다. ‘성산’ 역시 잎도열병 발모자리 검정 결과 저항성 반응을 보였는데 평균 2.7의 값을 가지며 년차간 ‘조평’과의 비교에서 통계적으로도 유의성이 없는 것으로 보아 잎도열병은 ‘조평’의 저항성을 이어받은것으로 판단된다. 줄무늬잎마름병은 육종목표로 제시했던 ‘조평’의 저항성을 획득하였다. 줄무늬잎마름병 검정기준에 따라 평균 30% 미만의 발병률인 경우 저항성으로 판정하지만 3년간 년차별 성적을 보면 ‘조평’보다 발병률이 낮은걸 알 수 있었다. 통계적으로는 2016년에는 차이가 없었지만 2014·2015 2년간은 유의성있는 발병률의 차이를 보였다. 또한 평균 발병률이 ‘조평’은 27.1%, ‘성산’은 13.9% 인 것으로 보아 ‘성산’은 ‘조평’보다 줄무늬잎마름병 내구성이 우수한것으로 판단되었다.

재배안정성이 좋은 품종의 육성은 모든 육종가의 바람일 것이다. 질적저항성이 주를 이루는 내병성 육종은 MAS 등을 활용하여 소수의 주동 저항성 유전자를 탐침하면 되기 때문에 널리 이용되고 있다. 반면 미동 유전자들과 환경과의 복합적인 상호작용에 의해 이루어지는 양적저항성은 1~2개의 유전자를 집적한다고 발현되지 않는다. 생리장해인 불시출수는 묘대일수감응도의 반응에 따라 품종마다 발생률이 다르다. 기본 영양 생장성이 짧고 감온성이 예민한 조생종일수록 불시출수가 심하것으로 알려져 있다. 이모작을 위한 만식재배에 조생종을 사용할 경우 만파만식이 이루어져야 하는데 전작의 수확일수와 기상환경에 따라 육묘일수가 길어질 경우 불시출수는 수량과 미질에 큰 영향을 미치게 된다. 2000년 이후 육성된 고품질 조생종 벼의 불시출수율을 보면 평균 약 29%이며 ‘보석’이 62.3%로 가장 높고 ‘화왕’이 0.3%로 가장 낮아 무려 60% 차이가 난다. 조생종에서 불시출수율이 10% 미만인 품종은 ‘화왕(0.3%)’, ‘조명1호(3.8)’, ‘성산(1.3)’, ‘해들(9.6)’ 4개에 불과하다. ‘성산’의 모부분 ‘조평’과 ‘중모1012호’는 둘다 30% 이상의 불시출수율을 가졌기에 불시출수 저항성은 육종목표로 볼 수 없었다. 하지만 지역적응성시험 결과 ‘성산’은 매우 낮은 불시출수율을 보였다. 년차별 비교에서 2015년에는 불시출수가 발생하지 않았고 ‘조평’보다

매우 큰 차이를 보였으며 통계적으로도 매우 유의함을 나타냈다. ‘성산’의 육종목표 중에 수발아 저항성은 불시출수와 마찬가지로 수량과 밀도에 영향을 주는 주요 요인이다. 일반적으로 저온발아성과 수발아율에는 상관관계가 있다고 알려져 있지만 부분인 ‘중모1012호’의 경우 94%의 저온발아성에도 불구하고 수발아율은 2%에 불과하다. ‘조평’은 평균 25%로 다소 높은편인데 ‘성산’과 년차별 수발아율을 비교하면 ‘조평’은 해마다 계속 증가하여 2016년에는 40.5%까지 치솟은 반면 ‘성산’은 평균 15.3% 수준에서 8.7%로 오히려 큰 폭으로 낮아졌다. 통계적으로도 ‘조평’과의 비교에서 ’15년에는 유의성을 보였고 2016년에는 매우 큰 유의성을 나타냈다(Fig. 3). 초기에 세웠던 육종목표인 ‘중모1012호’ 수준의 수발아율을 기대하였지만 대부분의 중간 수준의 수발아율을 나타냄으로서 ‘성산’은 수발아에 있어 중간 목표를 달성했다고 생각한다. 병해충저항성과 더불어 생리장해 저항성은 벼 품종의 재배안정성의 주요 특성이 된다는 사실은 변함이 없다. 병해충 저항성의 육종활용이 계속 확대되고 있는 상황에서 생리장해저항성은 불시출수율과 수발아율이 낮은 품종끼리 교배 한다고 해도 후대 계통이 그 특성을 반드시 따라가지 않으며 대량 특성검정이 까다롭기 때문에 육종 활용성이 매우 낮다는 것을 알고있다. 이와 관련한 양적형질유전자 등의 보다 많은 이해 만이 기후변화 등에 대응한 생리장해저항성의 진전을 이룰 수 있다.

‘성산’은 도열병·흰잎마름병·줄무늬잎마름병 저항성과 더불어 매우 낮은 불시출수율, 비교적 낮은 수발아율, 수량성, ‘추청’ 수준의 식감을 갖춘 조생종 고품질 벼품종으로 이모작, 숙기별 재배면적 평준화, 평야지재배, 고품질 밥쌀용 등 다양한 기준으로 재배가 가능할 것으로 판단된다. 또한 교배모본으로 사용되어 앞으로 육성 될 품종의 기본 사양을 한단계 올려 줄 수 있을 것으로 기대해 본다.

적 요

‘성산’은 농촌진흥청 국립식량과학원에서 고품질이며 병해에 강한 다수성 조생종 벼를 육성하기 위해 ‘조평’과 ‘중모1008호’를 교배하여 육성한 품종이다. ‘성산’의 출수기는 7개지역 보통기보비재배에서 평균 7월 25일로 조생종이다. 생리장해저항성은 불시출수율이 매우 낮으며 수발아율은 15.7%로 비교적 낮은 수준이다. 병해충 저항성은 도열병, 흰잎마름병 K1·K2·K3 균계, 줄무늬잎마름병에 강하지만 기타 바이러스병 및 해충에는 약하다. 쌀알은 맑고 투명하며 종자형태는 중단립종이다. 밥맛

관능검정결과 비교 품종인 ‘추청’보다 높은 결과값을 보였다. 쌀수량은 5.52 MT/ha로 ‘오대’보다 5% 이상 증수 하였다. ‘성산’은 고품질 복합내병성 다수성 조생종 벼 품종으로 숙기 다양화를 위한 유용한 대표품종으로 사용될 수 있을 것으로 기대된다.

사 사

본 연구는 농촌진흥청 연구사업(세부과제명: 중산간지 적응 조숙 고품질 벼 품종개발, 세부과제번호: PJ01187204)의 지원에 의해 이루어진 것이며 ‘성산’이 육성되기까지 힘써주신 국립식량과학원 벼 육종팀과 모든 벼 관련 관계관님께 깊은 감사를 드립니다.

REFERENCES

1. 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 59: 406-412.
2. Chung KY, Park RK, Chung KS, Lee SK, Jeon BT, Jin YD. 1975. A new high yielding rice variety resistant to rice stripe virus ‘Milyang 15 (Nagdong)’. Res Rept NYAES 17: 17-24.
3. Kang JR, Lee JH, Kwack DY, Lee JS, Park NB, Ha WG, Park DS, Yeo US, Lim SJ, Oh BG. 2009. A new short growth-duration rice cultivar, “Keumo 3”. Korean J Breed Sci 41: 292-298.
4. Kim WJ, Joung JJ, Kang JR, Park HS, Nam MH, Kwak DY, Kim DS, Kim YD, Kim JJ, Song YC, Yeo US, Shin MS, Lee JH, Park NB, Cho JH, Kang HJ, Kim BK, Ha KY, Nam JK, Baek MK, Kim KY, Ko JC, Shin WC, Mo YJ, Park ST, Kang HW, Ko JK. 2011. A new early-maturing rice intermediate parent with high-quality, good taste, and viviparous germination resistance, ‘Jungmo 1012’. Korean J Breed Sci 43: 549-553.
5. Kim WJ, Shin WC, Park HS, Nam JK, Kim HS, Baek MK, Kim BK, Kim KY, Kim JJ, Cho YC, Ko JK, Ko JC, Back SH. 2018. Brown planthopper and bacterial blight resistant mid-late high grain quality rice ‘Jungmo1045’. Korean J Breed Sci 50: 72-79.
6. Kim YD, Kang SG, Ku BI, Choi MK, Park HK, Park TS, Back NH, Kim SJ, JK Ko. 2010. Selection of suitable rice cultivars for silage barley-rice double cropping in Honam

- plain area. *Korean J Intl Agri* 22: 337-340.
7. Korea Meteorological Administration. 2019. Available from: http://typ.kma.go.kr/TYPHOON/statistics/statistics_02_1.js p. Accessed June 17, 2019.
 8. KOREAN Statistical Information Service. 2019a. Available from: http://kosis.kr/statisticsList/statisticsListIndex.do?menuId=M_01_01&vwcd=MT_ZTITLE&parmTabId=M_01_01#SelectStatsBoxDiv. Accessed May 18, 2019.
 9. KOREAN Statistical Information Service. 2019b. Available from: http://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?orgId=101&tblId=DT_1ET0033. Accessed June 14, 2019.
 10. KOREAN Statistical Information Service. 2019c. Available from: http://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?orgId=101&tblId=DT_1ET0221&vw_cd=MT_ZTITLE&list_id=F1H&seqNo=&lang_mode=ko&language=kor&obj_var_id=&itm_id=&conn_path=MT_ZTITLE. Accessed June 14, 2019.
 11. Kwon TM, Lee JH, Lee SB, Park SK, Kim SY, Hwang UH, Shin DJ, Cho JH, Song YC, Nam MH, Park DS. 2012. Screening of rice stripe resistance germplasm to develop new resistance allele in rice. *Korean J Breed Sci* 44: 282-289.
 12. Lee GA, Jeon YA, Lee DY, Hyun JR, Lee MC, Lee SY, Lee K, Ma H, Koh HJ. 2018. Variation in pre-harvest sprouting resistance, seed germination and changes in abscisic acid levels during grain development in diverse rice genetic resources. *Plant Genetic Resources: Characterization and Utilization* 16: 18-27.
 13. Lee AS, Cho YS, Kim IJ, Ham JK, Jang JS. 2012. The quality and yield of early maturing rice varieties affected by cultural practices in Gangwon plain region. *Korean J Crop Sci* 57: 233-237.
 14. 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.
 15. Lee JH, Park DS, Kwak DY, 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.
 16. Lee JH, Yeo US, Lee JS, Kang JR, Kwak DY, Park DS, Cho JH, Song YC, Park NB, Kim CS, Yi GH, Lim SJ, Oh BG, Shin MS. 2009. A new early maturing rice cultivar "Junamjosaeng" with multiple disease resistance and high grain quality traits. *Korean J Breed Sci* 41: 149-153.
 17. Lee SY, Ahn JH, Kim HJ, Eun MY. 2006. Relationship among viviparous germination, dry-heat tolerance and seed longevity in Milyang 23/Gihobyeo RILs. *J Bio-environ Control* 15: 421-427.
 18. Nam JK, Ko JK, Kim KY, Kim BK, Kim WJ, Ha KY, Shin MS, Ko JC, Kang HJ, Park HS, Baeg MK, Shin WC, Mo YJ, Choi IB, Kim YD, Yang HS, Kim JG. 2013. A new early-maturing rice with blast, bacterial blight, rice stripe virus resistant and high grain quality, 'Jopyeong'. *Korean J Breed Sci* 45: 177-182.
 19. Nam JK, Kim KY, Ko JC, Ha KY, Jeong JI, Kim BK, Baeg MK, Shin MS, Kim YD, Kang HJ, No GI, Kim WJ, Park HS, Baeg SH, Shin WC, Kim KH, Ko JK, Shin SH, Kim JG. 2008. A new early maturity, good quality and cold tolerance rice cultivar, "Unmi". *Korean J Breed Sci* 40: 352-355.
 20. Park JS, Kim HD. 2009. Viviparous germination characteristics of rice varieties adaptable to central region of Korea. *Korean J Crop Sci* 54: 241-248.
 21. Park KB, Park RK. 1984. Studies on the viviparous germination of indica x japonica type varieties in paddy rice. *Korean J Crop Sci* 29: 15-18.
 22. RDA. 2000~2018. Report of cultivated area by rice varieties in 2000~2018. Food Crop Industry Technical Team.
 23. RDA. 2012a. Report of typhoon (Bolaben & Tembin) damage of rice variety. Disaster Management Division.
 24. RDA. 2012b. Manual for standard evaluation method in agricultural experiment and research.
 25. RDA. 2014. 2014 Project plan for collaborative research program to develop new variety summer crop.
 26. RDA. 2015. 2015 Project plan for collaborative research program to develop new variety summer crop.
 27. RDA. 2016. 2016 Project plan for collaborative research program to develop new variety summer crop.
 28. RDA. 2019a. Explanatory book of rice cultivar in 2006~2011. National Institute of Crop Science.
 29. RDA. 2019b. Explanatory book of rice cultivar in 2012~2018. National Institute of Crop Science.
 30. Sung JK. 2006. Desirable direction of renovating rice processing complex (RPC) Management in Korea. *Korea Agricultural Economics Association* 47: 27-49.
 31. Won YJ, Yu HY, Shin YS, Hong HC, Kim YK, Kim MK, Jeong GH, Jeon YH, Cho YC, Ahn EK, Yun KS. 2010. An Extremely early-maturing, plain area adaptable, blast

- resistant and high grain quality rice cultivar 'Joun'. Korean J Breed Sci 42: 313-317.
32. Zhe H, Huang YL, Peng SP, Nie L, Cui K, Huang J, Wang F. 2015. Premature heading and yield losses caused by prolonged seedling age in double cropping rice. Field Crops Research 183: 147-155.