생육기간이 짧고 수당립수가 많은 자포니카 조생 사료용 벼 ‘조농’

박현수^{1*} · 백만기¹ · 김우재² · 김정주¹ · 정종민¹ · 조영찬¹ · 고종철¹ · 정지웅¹ · 정오영¹ · 이창민¹ · 김석만¹ · 김기영¹ · 이점호¹

¹농촌진흥청 국립식량과학원, ²농촌진흥청 기술협력국

Early Maturing Whole Crop Silage *Japonica* Rice Cultivar ‘Jonong’ with Short Growth Duration and Numerous Spikelets

Hyun-Su Park^{1*}, Man-Kee Baek¹, Woo-Jae Kim², Jeong-Ju Kim¹, Jong-Min Jeong¹, Young-Chan Cho¹, Jong-Cheol Ko¹, Ji-Ung Jeung¹, O-Young Jeong¹, Chang-Min Lee¹, Suk-Man Kim¹, Ki-Young Kim¹, and Jeom-Ho Lee¹

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

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

Abstract ‘Jonong’ is an early maturing whole crop silage (WCS) *japonica* rice cultivar characterized by a short growth duration and numerous spikelets. It was developed to enhance the adaptability of WCS rice to double-cropping systems. ‘Jonong’ is derived from a cross between ‘Binhae Col.#1’ and ‘Deuraechan’; ‘Binhae Col.#1’ is a semi-early maturing China rice germplasm with numerous spikelets on dense panicles, whereas ‘Deuraechan’ is a high-yielding *japonica* rice cultivar with numerous spikelets on long panicles. To diversify the genetic variation and shorten the breeding period, an anther culture method was applied to the F₁ plants. ‘Jonong’ was selected through the pedigree method, yield trials, and local adaptability tests, with a high selection pressure for short growth duration and high biomass. The average heading date of ‘Jonong’ was August 1st, which is 11 days earlier than that of ‘Nokyang’, the standard cultivar for WCS rice. Moreover, the growth duration of ‘Jonong’ is the shortest among all Korean WCS rice cultivars. The culm length of ‘Jonong’ is 88 cm, which 4 cm longer than that of ‘Nokyang’ and the highest among all Korean early maturing rice cultivars. ‘Jonong’ has 149 spikelets per panicle, which is 30 more than that of ‘Nokyang’, and is the highest among all Korean early maturing rice cultivars. ‘Jonong’ exhibits stable premature heading and is tolerant to lodging. It is moderately resistant to leaf blast and resistant to the rice stripe virus. The feed value of ‘Jonong’ in terms of total digestible nutrients is good and comparable to that of ‘Nokyang’. Furthermore, compared with ‘Nokyang’, ‘Jonong’ shows a similar level of dry matter yield and a higher rough rice yield. Therefore, ‘Jonong’, an early maturing WCS *japonica* rice with short growth duration and numerous spikelets, would be suitable for cultivating in winter forage crop-rice double cropping systems (Registration No. 7274).

Keywords early maturing, ‘Jonong’, rice, spikelet, whole crop silage

Received on July 14, 2021. Revised on July 14, 2021. Accepted on July 20, 2021.

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

서 언

우리나라 논벼 재배면적은 통계관측이 시작된 1975년 이후 가장 넓은 면적을 차지한 1987년 1,262,324 ha에서 2000년 1,072,363 ha, 2010년 892,074 ha, 2020년 726,432 ha로 지속적으로 감소하였다(KOSISA 2021). 벼 재배면적이 줄어들어도 불구하고 재배안정성이 높은 고품질 밥쌀용 벼 품종의 개발과 보급으로 생산성 감소 문제를 완화해 왔다. 쌀 소비 측면에서는 소득증대, 먹거리 다양화, 인구구조 변화 등으로 쌀 소비가 육류, 과일류 등으로 대체되면서 우리나라의 1인당 연간 쌀 소비량은

1979년 135.6 kg을 정점으로 1990년 119.6 kg, 2000년 96.3 kg, 2010년 72.58 kg, 2020년 57.7 kg으로 급격히 줄어들고 있다(KOSISb 2021). 쌀 생산량 감소에 비해 소비량 감소가 더 큰 폭으로 진행되어 쌀 과잉생산에 따른 쌀값 하락과 재고 증가에 따른 문제를 해결하기 위한 방안 등이 논의되어 왔다(Kim et al. 2019).

농업은 국민에게 안정적으로 쌀을 공급하는 식량안보 뿐만 아니라 환경보전, 생태계보전, 대기정화, 농촌문화보존 등 많은 공익적 기능을 제공한다(Kong et al. 2013). 한번 변경된 논을 다시 원상태로 복귀하기 위해서는 많은 시간과 노력을 필요로

하기 때문에 식량안보와 농업의 공익적 가치를 유지하기 위해서는 적정수준의 논 경지면적은 확보되어야 한다. 하지만 쌀과잉생산에 따른 문제점이 발생하는 상황에서 밥쌀용 쌀 생산을 위한 논을 유지하는 경제적 측면에서 바람직하지 않으므로 국내 소비 쌀에 영향을 주지 않으면서 논을 유지할 수 있는 완충적 역할을 할 수 있는 기능의 벼 재배가 필요하다.

사료용 벼는 인간이 식용으로 이용하기 위한 밥쌀용 벼와 달리 가축의 사료로 사용하는 벼이다(Ahn et al. 2020). 사료용 벼는 논을 형성하고 기능을 유지하면서 쌀 생산조정제를 통한 쌀 수급조절에 이용될 수 있고 유사시 식량공급기지로 논을 환원할 수 있을 뿐만 아니라 홍수조절, 수질 정화 등 논을 다원적이고 공익적인 기능을 유지할 수 있다(Ahn et al. 2017, Sakai et al. 2003, Sung et al. 2004). 현재 농촌진흥청에서 개발된 사료용 벼는 2006년 최초의 품종인 ‘녹양’이 개발된 이후에 ‘목우’(2009년 개발), ‘목양’(2010년), ‘중모1029’(2012년), ‘영우’(2015년), ‘고우’(2019년) 등 12개 품종이 개발되었다(Ahn et al. 2021). 일반적으로 사료용 벼는 알곡이 다 여물기 전에 경엽과 이삭 전체를 수확하여 조사료로 사용한다. 이에 사료용 벼 육종사업에서는 바이오매스를 증대시키기 위해 영양생장기간이 긴 중만생종 또는 만생종 위주의 품종 개발이 이루어져 왔다(Ahn et al. 2021). 밥쌀용 벼에 비해 가격경쟁력이 부족한 사료용 벼의 실용적 재배를 위해서 적극적인 이모작 적용이 강조되어 왔으나 사료용 벼의 긴 생육기간이 제한요인으로 작용하고 있다.

벼의 수당립수는 수수 및 소수의 크기와 함께 잠재적 수량성에 해당하는 sink를 결정하는 요인으로 수량성 향상을 위한 육종사업에서 중요 목표형질이다. 수당립수를 증대함으로써 잠재수량성을 향상시키고자 하는 많은 육종적 노력이 이루어져 왔다. 국내 육성 벼 품종에 대한 수당립수 관련 형질이 조사되었고 자포니카 초다수 품종인 ‘드래찬’과 ‘보람찬’을 교배한 약배양 집단을 이용하여 수량성 향상을 위한 이삭형질 특성이 분석되었다(Park et al. 2010, Park et al. 2015). 또한 수당립수가 극대화된 새로운 이삭형태인 군집소수를 가진 고착립밀도 이삭형의 벼를 개발하고 특성을 분석하는 등 수당립수를 증대시킴으로써 수량성을 향상시키고 하였다(Park et al. 2018).

농촌진흥청 국립식량과학원 벼 육종팀은 논 이용 다양화를 위한 사료용 벼의 이모작 적용성 향상을 위해 생육기간이 짧으면서도 수량성이 높은 조생 사료용 벼 품종을 개발하고자 육종사업을 수행하였다. 생육기간 단축과 수량성 향상을 위해 준조생종이며 수당립수가 많은 고착립밀도 직립이삭형을 가진 중국 유전자

원 ‘빈해수집 1’과 이삭이 길고 수당립수가 많은 자포니카 초다수 품종 ‘드래찬’을 교배모본으로 활용하였다. 다양한 변이 창출과 육종기간 단축을 위해 약배양 육종법을 적용하여 생육기간이 짧고 수당립수가 많은 자포니카 조생 사료용 벼 ‘조농’을 개발하였다. 이에 ‘조농’의 육성경위와 주요특성을 보고하고자 한다.

재료 및 방법

시험재료 및 재배방법

교배모본으로 농업유전자원센터에서 보유 중인 중국 유전자원 ‘빈해수집 1(IT251527)’을 모본으로 하고 자포니카 초다수 품종인 ‘드래찬(IT291479)’을 부본으로 이용하였다. 육종사업을 통해 선발된 고정 계통에 대해서 2013-2014년에 사료용 벼 표준품종인 ‘녹양’과 함께 생산력 검정시험을 수행하였다. 시험재료를 국립식량과학원 벼 포장에 4월 30일 파종하여 5월 30일에 재식거리 30 × 15 cm로 주당 3본씩 3반복으로 보통기 재배하였다. 시비량 등 기타 재배관리는 농촌진흥청 표준 재배법에 준하여 실시하였다. 지역적응성 검정시험은 사료용 벼 재배시험을 중부 평야지(수원), 호남평야지(전주, 나주), 영남평야지(밀양) 등 4개소에서 2014-2016년 3년 동안 ‘녹양’을 표준품종으로 하여 수행되었다. 사료용 벼 재배시험은 다비재배 시험으로 표준재배에 비해 시비량이 2배인 18-9-11 kg/10a (N-P₂O₅-K₂O)이며 재식거리 30 × 12 cm에 주당 5본씩 밀식하여 3반복으로 배치하여 수행되었다. 시험지별 파종 및 이앙시기, 재배 및 관리 방법 등과 농업형질 및 수량구성요소, 생리장해 및 병해충 저항성, 품질 및 사료용 벼 특성 등에 대한 조사는 농촌진흥청 신품종개발공동연구사업 과제수행계획서와 농업과학기술 연구조사분석기준에 준하여 실시하였다(RDA 2012, 2014, 2015, 2016).

주요 농업형질 및 수량 관련 형질 조사

지역적응성 검정시험에 공시된 재료의 출수기를 조사하고, 성숙기에 평균이 되는 20개체에 대해서 간장, 수장, 수수를 측정하였다. 사료용 벼 특성 조사를 위해 출수 후 30일에 100주와 3주에 대해서 지상 5 cm 부위에서 이삭 등 식물체 전체를 포함하여 3반복 예취 후 즉시 칭량하여 10a당 kg으로 환산표기하여 생체중을 측정하였다. 3주 시료는 80℃에서 72시간 완전건조 후 건물중을 측정하여 생체중 대비 건물중 비율을 구한 다음 100주 생체중에 비율(건물중/생체중, %)을 적용하여 10a당 kg으로 건물중을 산출하였다. 수량구성요소를 조사하기 위해 성숙기에 3주를 예취하여 등숙률 및 수당립수를 조사하였고 100주를

3반복 예취하여 정조중을 측정한 후 10a당 수량으로 환산하였다. 정조를 제현한 후 현미 천립중을 측정하였다.

이삭 관련 형질 조사

육성품종의 이삭 관련 형질 특성을 정밀하게 분석하기 위하여 시험구에서 평균이 되는 3개체의 주간 이삭을 이용하여 3반복으로 육성품종과 모부분의 이삭 형질을 조사하였다. 조사 형질은 이삭길이, 이삭목두께, 한 이삭에서 분지한 전체 지경의 수(총지경수), 한 이삭에 착생한 전체 소수의 수(총립수, 수당립수), 이삭내 소수의 착립밀도, 1차 지경수, 1차 지경에 착생한 소수의 수(1차 지경 착생립수), 1차 지경에 착생한 소수의 평균립수(1차 지경 평균립수), 2차 지경수, 2차 지경에 착생한 전체 소수의 수(2차 지경 착생립수), 2차 지경에 착생한 소수의 평균립수(2차 지경 평균립수), 이삭 내 1차 지경수에 대한 2차 지경수 비율(1차 지경당 2차 지경수), 이삭 내 1차 지경 착생립에 대한 2차 지경 착생립의 비율(1차 지경 착생립수당 2차 지경 착생립수) 등 총 13개 항목이다(Park et al. 2018). 이삭길이는 이삭목에서부터 이삭 선단까지의 길이를 측정하였고, 이삭목두께는 이삭목에서 식물체의 기부 방향으로 1 cm 가량을 캘리퍼스(Caliper CD-15CP, Mitutoyo Corp., Japan)를 이용하여 조사하였다. 지경의 구분은 이삭의 수축에서 처음으로 분지한 지경을 1차 지경, 1차 지경의 마디에서 분지한 지경을 2차 지경이라 구분하였고 일부 2차 지경에서 분지한 3차 지경은 2차 지경에 포함하였다. 각 지경과 지경에 착생된 소수를 육안으로 조사하여 지경수 및 착생립수를 구하였고 각 1차 및 2차 지경의 착생립수를 지경수로 나누어 지경별 평균립수를 구하였다. 2차 지경수 및 착생립수를 1차 지경수 및 착생립수로 나누어 비율을 구하였다. 이삭내 소수의 착립밀도는 총립수를 이삭길이로 나누어 구하였다.

생리장해 저항성 검정

불시출수는 파종 후 50일 묘를 본답에 30 × 12 cm 밀도로 주당 5-6주씩, 시험구 면적 4-5 m²로 이양한 후 전체 조사개체수에서 비정상적으로 출수한 개체의 비율로 구하였다(Choi 2006). 위조와 성숙기 하엽노화는 완전낙수 이후 한발해나 하엽노화가 이루어지는 지를 달관조사하여 평가하였다. 내냉성 검정은 국립식량과학원 춘천출장소 내냉성 검정 시험포장에서 실시하였다. 이양 후 20일부터 등숙기까지 수온 17°C, 수심 5 cm로 냉수처리 후 적고, 출수지연일, 임실률 등을 조사하였다(Kim et al. 2020). 출수지연일은 냉수를 처리하지 않은 대조구 대비 냉수 처리구 간의 출수지연일수로 구하였고, 임실률은 성숙기에 냉수 처리구

의 주간 3이삭을 채취하여 측정하였다. 저온발아율은 100립 3반복으로 13°C 항온기에서 15일간 치상하여 발아율을 조사하여 측정하였다. 내냉성 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(RDA 2012). 수발아 검정은 출수 후 40일에 주간 3 이삭을 채취하여 25°C 포화습도에서 7일간 치상 후 발아율을 조사하여 측정하였다(RDA 2012). 도복저항성 검정은 국립식량과학원 벼 포장에서 5월 상순에 이양재배한 재료를 출수 후 20일에 평균적인 3개체를 골라 실시하였다. 초장은 간장과 수장을 더한 값이고, 모멘트는 초장에 생체중을 곱하여 구하였다. 줄기의 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 구하였다. 포장에서의 도복 저항성은 직파재배한 포장에서 수확기에 달관조사하여 1: 이삭줄기 경사 15% 이하(무도복), 3: 16-30%, 5: 31-45%, 7: 이삭의 일부가 지면에 닿음, 9: 완전히 땅에 깔린 상태 등 1-9의 질적등급으로 구분하였다(RDA 2012).

병해충 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(spreeder)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 밭병으로 구분하였다(Baek et al. 2019). 우리나라 벼흰잎마름병 대표균계에 대한 저항성 반응을 HB1013 (K1), HB1014 (K2), HB1015 (K3) 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 개체에 가장 긴 병반을 조사하여 5 cm 이하는 저항성(R; resistant), 5-10 cm는 중도저항성(MR; moderately resistant), 10 cm 이상은 이병성(S; susceptible)으로 질적저항성을

구분하였다(Park et al. 2019). 바이러스병인 줄무늬잎마름병과 오갈병에 대한 저항성 검정은 망실을 이용한 대량 검정법을 이용하였다(Kwak et al. 2007). 바이러스 보독충 방사 및 계대 사육으로 보독충이 충분히 유지된 망실에 검정 계통을 파종 후 본엽 2-3엽기에 보독충을 3-4일간 접종하고 접종 후 30일에 이병성 품종인 ‘추청’과 비교하여 저항성 유무를 판단하였다(RDA 2014, 2015, 2016). 벼멸구 및 애멸구 저항성 검정은 파종 후 본엽 2-3엽기에 벼멸구와 애멸구를 개체당 4-5마리 가량을 접종하고 감수성 대비 품종인 ‘일품’과 ‘추청’이 고사한 후에 검정 계통을 저항성과 감수성으로 판정하였다(RDA 2014, 2015, 2016).

품질 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(RDA 2012). 심복백은 백미 20립에 대해서 달관조사를 통하여 0: 심백 및 복백 무, 1: 쌀알 면적의 5% 이하, 3: 6-10%, 5: 11-20%, 7: 21-40%, 9: 41% 이상으로 구분하였다(RDA 2012). 알칼리불포도는 백미 6립을 3반복으로 15 mL 용량의 사각 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 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(Cheo & Heu 1975). 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% I₂-KI 용액을 첨가하여 요오드 정색반응 후 분광광도계를 이용하여 620 nm의 파장에서 흡광도를 측정하였다.

사료가치 분석

출수 후 30일에 수확되어 건조된 3주 식물체의 잎, 줄기, 이삭을 혼합 분쇄하여 사료가치를 성분 분석을 위한 시료로 사용하였다. 사료가치 평가를 위해 조단백질, 조지방, 조회분, 산성세제불용섬유소(ADF, acid detergent fiber), 중성세제불용섬유소

(NDF, neutral detergent fiber)를 농업기술실용화재단 종합분석검정센터(Suwon, Korea)에 의뢰하여 분석하였다. ADF와 NDF 등 조섬유 함량은 Van Soest 세제법으로 분석하였으며, 가소화양분총량(TDN, total digestible nutrient)은 $88.9 - (0.79\% \times \text{ADF})$ 계산식을 이용하여 산출하였다(Lee et al. 2005, Van soest et al. 1991)

통계 분석

통계분석은 R (Version 4.0.2, The R Foundation for Statistical Computing Platform)을 이용하였다. 각 형질의 평균 등 기술통계, *t*-test를 이용한 육성품종과 표준품종간의 비교, Duncan's Multiple Range Test (DMRT)를 이용한 공시품종들간의 평균간 비교 분석을 agricolae 패키지를 이용하여 수행하였다. 약배양 집단에 대한 히스토그램, 국내 육성 벼 품종들의 수당립수 비교에 대한 boxplot을 ggplot2, 자포니카 벼 품종들의 수당립수 분포에 대한 3차원 산점도를 scatterplot3d 패키지를 이용하여 분석하였다. 수당립수, 간장 및 수장 등 국내 육성 벼 품종들과의 농업형질 특성 비교는 육성 당시의 형질 값을 이용하였다.

결과 및 고찰

육성 경위

‘조농’은 논 이용 다양화를 위한 사료용 벼의 이모작 적응성 향상을 위해 생육기간이 짧으면서도 수량성이 높은 조생 사료용 벼 품종을 개발하고자 육성되었다. 2010/2011년 동계에 바이오매스가 크고 고착립밀도 직립이삭형에 내도복성이 강한 준조생 중국 유전자원인 ‘빈해수집 1’을 모본으로 하고 장수형에 수당립수가 많고 내도복성이 강한 자포니카 초다수 중만생 품종인 ‘드래찬’을 부분으로 하여 단교잡하였다(Fig. 1). 다양한 변이를 창출하고 초기에 고정계통을 확보하고자 2011년 하계에 F₁ 식물체에서 이삭을 채취하여 약배양을 수행하였다. 최종적으로 확보된 210개 약배양 계통을 2012년 포장에 전개하여 출수기, 바이오매스, 내도복성 등에 초점을 두고 선발압을 가하여 조생종이면서 바이오매스가 큰 계통을 선발하여 2013-2014년 생산력검정시험을 수행하였다. 생산력검정시험 결과 초기생육성이 좋고 출수가 빨라 생육기간이 짧으면서도 바이오매스가 큰 내도복성 계통 ‘HR29675-AC10’을 선발하여 ‘익산581호’라 계통명을 부여하였다. ‘익산581호’는 2014-2016년 3년간 실시된 지역적응성 검정 사료용 벼 시험 결과 자포니카형 조생종으로 생육기간이 짧음에도 총체 및 정조 수량성이 우수하고 사료가치가 양호한

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

Table 1. Major agronomic traits and yield components.

Cultivar	Heading date (DAT ²)	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)
Jonong	63 ^{**y}	88 [*]	25 ^{**}	8 ^{**}	149 ^{**}	75.4 ^{ns}	24.7 ^{**}
Nokyang	74	84	27	11	116	75.8	26.4

²DAT: days after transplanting

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

것으로 검토되었다. '익산581호'는 사료용 벼로서 논 이용 다양화에 기여할 것으로 판단되어 농촌진흥청 직부육성 신품종 선정위원회에서 신품종으로 선정되었고, 조사료와 농후사료에 겸용으로 활용될 수 있다는 의미로 '조농'으로 품종명이 명명되었다.

출수기 및 주요 농업적 특성

'조농'은 중부, 호남 및 남부평야 보통기 다비재배에서 평균 출수기가 8월 1일(63 DAT, days after transplanting)로 '녹양'보다 11일 빠른 조생종이다(Table 1). '조농'이 선발된 210개 약배양 집단의 출수기 분포를 보면 모본인 '빈해수집 1'은 이앙 후 출수기까지 걸리는 기간이 68 DAT로 준조생종에 속하며 부분인 '드래찬'은 76 DAT로 중만생종에 속하였으며 집단의 범위는 61-89 DAT이었다(Fig. 2A). '조농'의 계통명인 'HR29675-AC10'의 생육기간은 62 DAT로 약배양 집단 중 3번째로 출수가 빠른 계통이며, '조농'은 국내 최초의 자포니카 생태형의 조생종 사료

용 벼 품종이다. 국내에서 지금까지 개발된 사료용 벼는 '녹양'(2006년 개발), '목우'(2009), '목양'(2010), '중모1029'(2012), '중모1038'(2013), '녹우'(2014), '영우'(2015), '조농'·'청우'(2016), '미우'(2017), '조우'(2018), '고우'(2019) 등 12품종으로 '조농'은 사료용 벼 품종 중에서 생육기간이 가장 짧다(Fig. 2B). 사료용 벼는 '조농'과 '조우'를 제외하고는 모두 중만생종과 만생종에 속하며, 생육기간을 길게 하여 바이오매스를 증대시키기 위하여 일반적인 중만생 품종들에 비해서도 출수가 늦은 품종들이 많이 개발되었다(Ahn et al. 2021). 하지만 사료용 벼의 늦은 출수기는 동계 사료작물 후작 등 이모작을 통한 작부체계 다양화나 간척지 등 불량환경 재배에서의 스트레스 회피에 있어 제한요인으로 작용할 수 있다. 이를 개선하기 위하여 생육기간이 짧으면서도 바이오매스가 큰 '조농'을 개발하게 되었다. '조농'은 보통기 재배 뿐만 아니라 이모작 재배에서도 초기생육이 빠르고 출수기가 8월 19일(54 DAT)로 이모작 표준품종인

Fig. 2. Early heading rice cultivar ‘Jonong’. Distribution of heading date of 210 doubled haploid lines derived from the cross between ‘Binhae Col.#1’ and ‘Deuraechan’ (A). Comparison of heading date of whole crop silage rice cultivars bred at National Institute of Crop Science (B). DAT: days after transplanting.

Fig. 3. Photos of heading and ripening stages of ‘Jonong’ according to cultivation times. Heading stages of ‘Jonong’ on the ordinary (A) and double cropping (B) cultivation times. Ripening stages of ‘Jonong’ on the ordinary (C) and double cropping (D) cultivation times. Photos of A and B were taken August 1st and August 19th, respectively. Photos of C and D were taken on the same date of September 6th.

‘남평’(61 DAT)에 비해 빠르고 등숙도 양호하여 수확시기를 앞당길 수 있었다(Fig. 3). ‘조농’은 조생종임에도 불구하고 간장이 88 cm로 중만생 사료용 벼 표준품종인 ‘녹양’에 비해서 4 cm가 크며, 간장과 수장을 합한 초장도 113 cm로 ‘녹양’(111 cm)보다 크다(Table 1). 이러한 ‘조농’의 초장은 지금까지 개발된 조생종 벼 121개 품종(범위 73-113 cm) 중에서 가장 큰 수치이다. ‘조농’

의 수수는 8개로 ‘녹양’(11개)에 비해 적었고 수당립수는 149개로 ‘녹양’보다 30개 이상 많은 특성을 나타냈는데 이는 대부분 모두 수수는 적으면서 수당립수가 많고 도복에 강한 소일 수중형 초형을 가지고 있는 점에 기인한 것으로 생각된다. ‘조농’의 등숙비율은 75.4%로 ‘녹양’(75.8%)과 비슷하였고 현미천립중은 24.7 g으로 ‘녹양’(26.4 g)에 비해 다소 가벼웠다.

이삭 관련 형질 특성

수당립수가 많은 ‘조농’의 이삭 관련 특성을 정밀하게 분석하기 위하여 모본의 이삭 관련 형질과 비교 분석하였다(Table 2). ‘조농’의 수당립수는 141개로 ‘빈해수집 1’(144개)과 ‘드래찬’(138개)과 비슷하였고, 이삭목두께 및 지경수도 육성품종과 모본이 비슷하였다. 수장은 ‘조농’과 ‘드래찬’은 25 cm로 장수형이었으나 ‘빈해수집 1’은 18 cm로 짧은 형태를 나타내 착립밀도에 있어서 ‘빈해수집 1’(8.0개/cm)의 소수가 ‘조농’(5.6개/cm)과 ‘드래찬’(5.5개/cm)에 비해 조밀하게 착생되어 있었다. 이삭 길이가 길고 수당립수가 많은 ‘조농’의 이삭 관련 형질 특성은 모본인 ‘빈해수집 1’에 비해 부분인 ‘드래찬’과 거의 비슷한 특성을 나타냈다. 모본인 ‘빈해수집 1’은 수장은 짧으면서 이삭 내 착생립수가 많아 착립밀도가 크며 반직립형으로 *DEPI/DNI*이 도입된 고착립도 직립 이삭과 유사한 이삭형태를 가지고 있는 유전자원으로 국내 육성 벼 품종과는 확연하게 다른 특성을

나타낸다(Park et al. 2018). 부분인 ‘드래찬’의 계보를 살펴보면 국제미작연구소에서 수당립수를 늘림으로써 수량성을 향상시키고자 개발하였던 NPT (New Plant Type) 계통인 IR66738-118-1-2 (Shennong 89-366/Soponjono), IR70511 F₂ 계통과 NPT 초형의 도복저항성 강화를 위해 이용된 유전자원 Shennong 89-366이 포함되어 있다(Park et al. 2015). 이들 자원들은 소일 수증형으로 수당립수가 많은 특성을 가지고 있고, 이들의 영향으로 ‘드래찬’과 ‘조농’도 수장이 길고 수당립수가 많은 이삭 형태를 가지게 된 것으로 생각된다. 이러한 ‘조농’의 육성 당시 수당립수는 국내 육성 자포니카 벼 372개 품종 중 중만생 사료용 벼 ‘중모 1029’(163개)와 부분으로 사용된 ‘드래찬’(157개) 다음으로 세 번째로 많은 수치이며, 121개 조생종 품종 중에서는 수당립수가 가장 많은 것으로 조생종임에도 높은 잠재수량성을 가지고 있는 것으로 판단된다(Fig. 4).

Table 2. Characteristics of panicle-related traits.

Cultivar	PL ^z	TNN	NR	NS	DP (no./cm)	NPr	NSPr	MNSPr	NSr	NSSr	MNSSr	Sr/Pr	SSr/SPr
Jonong	25a ^y	1.72a	38a	141a	5.6b	12a	72a	6.0a	25a	69b	2.7b	2.1b	1.0b
Binhae Col.#1	18b	1.68a	39a	144a	8.0a	12a	66b	5.5b	27a	78a	2.9a	2.3a	1.2a
Deuraechan	25a	1.65a	36a	138a	5.5b	12a	70a	5.8a	24a	68b	2.7b	2.1b	1.0b

^zPL: panicle length, TNN: thickness of neck node, NR: number of rachis-branches per panicle, NS: number of spikelets per panicle, DP: density of spikelets in panicle, NPr: number of primary rachis-branch (PRB)es per panicle, NSPr: number of spikelets on PRBs per panicle, MNSPr: mean number of spikelets on a PRB, NSr: number of secondary rachis-branch (SRB)es per panicle, NSSr: number of spikelets on SRBs per panicle, MNSSr: mean number of spikelets on a SRB, Sr/Pr: ratio of SRBs to PRBs, SSr/SPr: ratio of spikelets on SRBs to spikelets on PRBs

^yMeans with same letters in a column are not significant at $p<0.05$ (ANOVA followed by DMRT)

Fig. 4. Characteristics of number of spikelets per panicle (NS) of ‘Jonong’. Boxplot of NS according to ecotypes (A). *J* and *T* mean *japonica* and *Tongil*-type rice cultivars bred at National Institutes of Crop Science, respectively. Blue squares indicate the means of NS. Different letters above the bars indicate significant difference between ecotypes. 3D-scatter plot using NS, culm length, and panicle length of *japonica* rice cultivars (n=372, B). Red circles, green up-pointing triangles, and blue squares are indicated the early (n=121), medium (n=100), and mid-late (n=151) maturing *japonica* rice cultivars, respectively.

생리장해 및 도복 저항성

불시출수는 파종 후 50일묘를 이앙하였을 때 묘대감응에 따른 비정상적인 출수와 관련된 만식적응성에 대한 지표로서 많은 국내 육성 조생종 품종들이 불시출수에 취약한 특성을 나타낸다 (Lee et al. 2019). ‘조농’은 조생종임에도 중만생종인 ‘녹양’과 같이 불시출수율이 0%로 다양한 작부체계 적용 시 비정상적 출수에 안정적인 것으로 판단되었다(Table 3). ‘조농’은 생육 중후기에 위조현상은 없었으나 성숙기 하엽노화가 다소 빠른 편이었다. 내냉성 검정 결과 ‘녹양’에 비해 유효냉해에 강하고 출수지연일수가 짧았으며 임실률이 높았고 저온발아율이 높은 편이었다. 수발아율은 25.3%로 ‘녹양’(28.2%)과 비슷한 수준이었다. 도복 저항성 검정 시험에서 ‘조농’은 조생종 표준품종인 ‘조평’과 함께 출수가 빨랐음에도 초장은 사료용 벼 표준품종인 ‘녹양’과 같이 컸으며, 초장에 생체중을 곱하여 구하는 모멘트 값이 가장 커 바이오매스가 큰 것을 확인할 수 있었다(Table 4). 또한 줄기의 기부에 하중을 걸어 부러질 때의 무게를 측정하는 좌절중이 1,814 g으로 같은 조생종인 ‘조평’(1,056 g)에 비해 매우 크며, 중만생 표준품종으로 내도복성인 ‘남평’(1,688 g)과 사료용 벼 표준품종 ‘녹양’(1,777 g)에 비해서도 커 도복에 강한 특성을 가지고 있는 것으로 판단되었다. 도복의 전체적인 지수를

나타내는 도복지수는 모멘트 값을 좌절중으로 나누어서 구하게 되는데 ‘조농’과 ‘녹양’의 도복지수가 상대적으로 높은 것은 바이오매스가 큰 사료용 벼의 모멘트 값이 밥쌀용 품종에 비해 큰 것에 기인하였으며, 포장 도복 검정에서 ‘조농’은 바이오매스가 큼에도 포장도복 1로서 도복에 강한 특성을 나타냈다.

병해충 저항성

‘조농’은 지역적응성 검정시험 3년 동안 전국 12개소에서 실시한 잎도열병 발못자리 검정에서 평균 4.8의 저항성 반응을 나타내 잎도열병에 중도저항성 반응을 나타냈다(Table 5). ‘조농’은 우리나라 벼흰잎마름병 대표균계 K1, K2, K3에 이병성 반응을 나타냈는데, 부분인 ‘드래찬’이 저항성 유전자 *Xa3*를 가지고 있어 K1, K2, K3 균계에 저항성인 점을 감안할 때 ‘조농’은 모본인 ‘빈해수집 1’에서 이병성 특성이 도입된 것으로 판단된다(Ha et al. 2009). 사료용 벼 표준품종인 ‘녹양’이 줄무늬잎마름병에 이병성인 반면, ‘조농’은 저항성 반응을 나타냈다. ‘조농’과 ‘녹양’ 모두 오갈병과 해충인 벼멸구와 애멸구에 대해서는 약한 반응을 나타냈다. 사료용 벼 개발에 있어서 복합내병충성 품종의 개발은 화학농약 사용을 줄일 수 있어 농업경영비 절감 효과 뿐만 아니라, 벼짚 조사료 등에 잔류되는 농약에 의한 안전성

Table 3. Response to physiological and abiotic stresses.

Cultivar	Premature heading (%)	Occurrence of wilting	Leaf senescence at maturing	Cold tolerance ^z				Low tem. germination ^y (%)	Viviparous germination ^x (%)
				Seedling stage (1-9)	Heading delay (day)	Grain fertility (%)	Phenotypic acceptability (1-9)		
Jonong	0	Tolerance	Moderate	4	8 ^{*w}	30 ^{ns}	7	62 ^{ns}	25.3 ^{ns}
Nokyang	0	Tolerance	Late	5	14	18	8	58	28.2

^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 $p < 0.05$ by *t*-test, respectively

Table 4. Characteristics related to lodging tolerance.

Cultivar	Heading date (DAT ^z)	Plant height (cm)	Moment (g · cm)	Breaking strength (g)	Lodging index	Lodging in the field (1-9)
Jonong	63	104a ^y	2,206a	1,814a	122a	1
Nokyang	79	107a	2,101a	1,777a	118a	1
Jopyeong	59	91c	1,101c	1,056c	106b	3
Nampyeong	79	94b	1,558b	1,688b	93c	1

^zDAT: days after transplanting

^yMeans with same letters in a column are not significant at $p < 0.05$ (ANOVA followed by DMRT)

Table 5. Resistance reaction to rice disease and insect pests.

Cultivar	Leaf blast	Bacterial blight	Virus disease		Resistance to insects	
		K1, K2, K3 race	Stripe	Dwarf	BPH	SBPH
Jonong	M ^z	S	R	S	S	S
Nokyang	M	R	S	S	S	S

^zR: 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)	Amylose content (%)
	Length (mm)	Width (mm)	Thickness (mm)	L/W ratio					
Jonong	5.16 ^{ns*}	2.87 ^{ns}	2.18 ^{ns}	1.80 [*]	2 ^{ns}	1 ^{ns}	2 ^{ns}	6.0 ^{**}	20.8 ^{ns}
Nokyang	5.69	2.80	2.08	2.03	2	1	2	6.7	19.6

^zns, *, and ** mean no significant and significant at $p<0.05$, $p<0.01$ by *t*-test, respectively**Table 7.** Characteristics related to nutritive value on 30 days after heading for silage use.

Cultivar	Chemical properties (%)					
	Crude protein	Crude fat	Crude ash	ADF ^z	NDF	TDN
Jonong	7.1 ^{ns y}	1.8 [*]	8.4 ^{ns}	23.7 ^{ns}	38.7 ^{ns}	70.2 ^{ns}
Nokyang	7.4	2.2	8.2	23.7	39.6	70.2

^zADF: acid detergent fiber, NDF: neutral detergent fiber, TDN: total digestible nutrients^yns and * mean no significant and significant at $p<0.05$ by *t*-test, respectively

문제를 완화할 수 있어 친환경 안전 조사료 생산에 유리하다(Ahn et al. 2018). ‘조농’은 잎도열병에 중도저항성이고 줄무늬잎마름병에 저항성이나 흰잎마름병과 벼멸구 등에 약해 내병충성에 대한 저항성 강화가 필요할 것으로 생각된다.

품질 특성

사료용 벼 육종에 있어서 미질을 불량하게 만드는 것과 밥쌀용 벼와 확연히 구분되게 하는 것이 중요하다 하였다(Kato 2008). ‘영우’ 등 기존에 개발된 인디카형 사료용 벼 품종은 입형이 길쭉하여 육안으로 자포니카 밥쌀용 벼 품종과 구분이 가능하였다(Ahn et al. 2018). ‘조농’의 입형은 현미길이 5.16 mm의 중단립종에 현미장폭비가 1.80의 단원형으로 자포니카 밥쌀용 벼 품종의 전형적인 입형 특성을 나타냈다(Table 6). ‘조농’은 자포니카 밥쌀용 벼 품종과 유사한 입형 특성을 가지고 있어 사료로 활용되지 않고 밥쌀용으로 용도 전환이 이루어질 수 있는 문제가 발생할 수 있다. 하지만 ‘조농’은 ‘녹양’과 같이 쌀의 투명도가 2로 낮고 심백과 복백이 있어 밥쌀용으로 활용하기에는 외관품

위가 좋지 않고 알칼리불포도가 낮고 아밀로스 함량이 높은 등 품질 특성이 좋지 않아 이러한 문제를 회피할 수 있을 것으로 생각된다.

사료가치 특성

‘조농’은 출수 후 30일에 지상부 전체를 건조 후 혼합 분쇄하여 사료가치를 조사한 결과 조단백질과 조지방이 각각 7.1%와 1.8%로 ‘녹양’(7.4%, 2.2%)보다 낮았고 조회분은 8.4%로 ‘녹양’(8.2%)보다 높았다(Table 7). 사료가치에 큰 영향을 미치는 성분 중 산성세제불용섬유소(ADF)와 중성세제불용섬유소(NDF)는 오래전부터 조사료의 품질평가에 이용되어 왔다(Rohweder et al. 1978). 조사료의 소화율에 관여하는 ADF와 섬유량에 관계하는 NDF는 그 값이 낮을수록 조사료 가치가 높은 것으로 알려져 있는데 ‘조농’은 ADF와 NDF가 각각 23.7%, 38.7%로 ‘녹양’(23.7%, 39.6%)과 같거나 낮았다. 또한 가소화양분총량(TDN)이 70.2%로 ‘녹양’과 같아 사료가치가 양호한 것으로 판단되었다.

Table 8. Yield summary of local adaptability test.

Region	No. of tested sites	Dry matter yield (kg/10a)			Rough rice yield (kg/10a)		
		Jonong	Nokyang	Index	Jonong	Nokyang	Index
Central	1	1,388	1,373	101	860	741	116
Honam	2	1,504	1,489	101	774	715	108
Yeongnam	1	1,603	1,693	95	845	739	116
Average		1,476 ^{ns,z}	1,495	99	807 ^{**}	722	112

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

수량성

‘조농’의 건물수량성은 2014년부터 2016년까지 3년간 4개소에서 실시된 사료용 벼 지역적응성 검정시험에서 평균 1,476 kg/10a로 사료용 벼 표준품종인 ‘녹양’(1,495 kg/10a)과 비슷한 수준(99%)을 나타냈다(Table 8). ‘조농’의 정조 곡실수량은 807 kg/10a로 ‘녹양’(722 kg/10a)에 비해 12%가 높은 수량성을 나타냈다. ‘조농’이 생육기간이 짧은 조생종임에도 중만생종 ‘녹양’과 비슷한 건물수량을 나타냈을 뿐만 아니라 곡실수량은 ‘녹양’보다 높은 점을 볼 때 ‘조농’은 사료용 벼로서 양호한 수량성을 보유하고 있는 것으로 판단되었다.

적 요

‘조농’은 농촌진흥청 국립식량과학원에서 사료용 벼의 이모작 적응성 향상을 위해 생육기간이 짧으면서도 수량성이 높은 조생 사료용 벼 품종을 개발하고자 육성되었다. 준조생이면서 수당립수가 많은 고착립밀도 직립이삭형의 중국 유전자원인 ‘빈해수집1’을 모본으로 하고 중만생종으로 장수형에 수당립수가 많은 자포니카 초다수 벼 품종 ‘드래찬’을 부분으로 하여 단교잡 인공교배하여 육성되었다. 다양한 변이 창출과 육종기간 단축을 위해 F_1 식물체를 약배양하여 계통육성과정 중 생육기간이 짧으면서 바이오매스가 큰 계통을 선발하여 생산력 검정시험과 지역적응성 검정시험을 거쳐 육성되었다. ‘조농’은 보통기 다비재배에서 평균 출수기 8월 1일로 ‘녹양’보다 11일 빠른 조생종으로 지금까지 개발된 사료용 벼 품종 중에서 생육기간이 가장 짧다. ‘조농’은 간장이 88 cm로 ‘녹양’보다 4 cm 크며, 국내 육성 조생종 벼 중에서 초장이 가장 크다. ‘조농’의 수당립수는 149개로 ‘녹양’보다 30개 이상 많았으며, 국내 육성 조생종 벼 품종 중에서 수당립수가 가장 많은 특성을 나타낸다. ‘조농’은 조생종임에도 불시출수에 안정적이었으며 줄기가 강해 도복에 강한 특성을 나타냈다. ‘조농’은 잎도열병에 중도저항성을 나타

냈으며 줄무늬잎마름병에 강하였다. ‘조농’은 가소화양분총량(TDN)이 70.2%로 ‘녹양’과 같아 사료가치가 양호한 것으로 판단되었다. 건물수량성은 1,476 kg/10a로 ‘녹양’의 99% 수준으로 비슷하였으며, 곡실수량은 807 kg/10a로 녹양 대비 12% 증수하였다. ‘조농’은 생육기간이 짧은 조생종임에도 수당립수가 많고 수량성이 높은 사료용 벼로 동계사료작물과의 이모작 작부체계 적용 등 논 이용 다양화에 활용될 것으로 기대된다.

사 사

본 논문은 농촌진흥청 작물시험연구사업(세부과제명: 자포니카 입형 다양화 벼 품종 개발, 세부과제번호: PJ01428001)의 지원으로 수행된 결과의 일부입니다. 품종을 육성함에 있어 협력하여 주신 농촌진흥청 국립식량과학원, 연구정책국, 농촌지원국 및 각도 농업기술원 관계관계 깊은 감사를 드립니다.

REFERENCES

- Ahn EK, Jeong EG, Lee SB, Choi YH, Yang CI, Lee JH, Won YJ, Lee GS, Jeong OY, Mo YJ, Kim JJ, Cho YC, Chang JK, Kim MK, Suh JP, Lee JH, Jung KH, Jeong JM, Jeung JU, Park HM, Hyun UJ, Hong HC. 2017. Mid-late flowering, high biomass yielding whole crop silage rice cultivar ‘Nokwoo’ improved an early growth and germination at low temperature. Korean J Breed Sci 49: 265-272.
- Ahn EK, Lee SB, Won YJ, Lee JH, Chang JK, Jeong EG, Jung KH, Lee JH, Cho YC, Jeong JM, Suh JP, Kim JJ, Jeong OY, Jeon YH, Hong HC, Lee GS, Kim BK. 2018. Mid-late maturing, multiple disease and insect resistant, high biomass yielding whole crop silage rice cultivar ‘Yeongwoo’. Korean J Breed Sci 50: 331-339.

3. Ahn EK, Kang KH, Won YJ, Jung KH, Hyun UJ, Jeong EG, Park HM, Lee JH, Chang JK, Lee JH, Jeong JM, Suh JP. 2020. 'Cheongwoo', late maturing, multiple disease and insect resistant, high biomass yielding rice cultivar for whole crop silage use. Korean J Breed Sci 52: 190-199.
4. Ahn EK, Won YJ, Lee JH, Jeong EG, Park HM, Hong HC, Chang JK, Hyun UJ, Jung KH, Lee JH. 2021. 'Jowoo', early maturing, multiple disease and insect resistant high biomass yielding rice cultivar for winter forage crop-whole crop silage rice double cropping. Korean J Breed Sci 53: 154-162.
5. Baek MK, Cho YC, Park HS, Jeong JM, Kim WJ, Nam JK, Kim CS, Kwon SW, Kim BK. 2019. Molecular mapping of the blast resistance loci in the durable resistance Japonica rice cultivar, Palgong. Korean J Breed Sci 51: 395-403
6. Cheo ZR, Heu MH. 1975. Optimum conditions for alkali digestivity test in rice. Korean J Crop Sci 19: 7.
7. Choi HC. 2006. A guide to rice breeding. National Institute of Crop Science. Suwon, Korea. pp. 267-268.
8. Ha KY, Kim BK, Ko JK, Shin MS, Kim KY, Ko JC, Baek MK, Kang HJ, Nam JK, Kim WJ. 2009. A medium-late, high yielding and good quality rice variety, 'Deuraechan'. Korean J Breed Sci 41: 645-648.
9. 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.
10. Kato H. 2008. Development of rice varieties for whole crop silage (WCS) in Japan. Japan Agri Res Q 42: 231-236.
11. 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.
12. Kim JJ, Jeong EG, Jeong JM, Lee JH, Cho YC, Jeong OY, Seo DH. 2020 Development of cold tolerance genetic resource 'Jungmo1022' through shuttle breeding in rice. Korean J Breed Sci 52: 206-211.
13. Kim JJ, Kim JJ, Yoon JY, Jo NM, Park DG. 2019. A study on improving staple grain ploidy in response to consumption changes. Korea Rural Economic Institute. Naju, Korea. pp. 1-169.
14. Kong KS, Lee CY, Lee MH. 2013. Evaluation multifunctionality of rice-farming as regards climate change. Korean J Agric Manag Policy 40: 352-380.
15. KOSISa. 2021. https://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?orgId=101&tblId=DT_1ET0012&conn_path=I3
16. KOSISb. 2021. https://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?orgId=101&tblId=DT_1ED0001&conn_path=I3
17. 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.
18. Lee JH, Jeong OY, Pack JS, Hong HC, Yang SJ, Lee YT, Kim JG, Sung KI, Kim BW. 2005. Analysis of dry matter yield and feed value for selecting of whole crop rice. J Anim Sic Technol 47: 355-362.
19. 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.
20. Park HS, Kim KY, Mo YJ, Choung JI, Kang HJ, Kim BK, Shin MS, Ko JK, Kim SH, Lee BY. 2010. Characterization of panicle traits for 178 rice varieties bred in Korea. Korean J Breed Sci 42: 169-180.
21. Park HS, Ha KY, Kim KY, Kim WJ, Nam JK, Baek MK, Kim JJ, Jeong JM, Cho YC, Lee JH, Kim BK, Ahn SN. 2015. Development of high-yielding rice lines and analysis of panicle and yield-related traits using doubled haploid lines derived from the cross between 'Deuraechan' and Boramchan, high-yielding japonica rice cultivars in Korea. Korean J Breed Sci 47: 384-402.
22. Park HS, Baek MK, Kim CS, Lee GM, Park SG, Lee CM, Suh JP, Cho YC. 2018. Development and characterization of rice line with clustered spikelets and dense panicle. Korean J Breed Sci 50: 415-423.
23. Park HS, Kim KY, Baek MK, Cho YC, Kim BK, Nam JK, Shin WC, Kim WJ, Ko JC, Kim JJ, Jeong JM, Jeung JU, Lee KM, Park SG, Lee CM, Kim CS, Suh JP, Lee JH. 2019. Bacterial blight resistance genes pyramided in mid-late maturing rice cultivar 'Sinjinbaek' with high grain quality. Korean J Breed Sci 51: 263-276.
24. RDA. 2012. Standard of analysis and survey for agricultural research. pp. 315-338.
25. RDA. 2014. Project plan for collaborative research program to develop new variety summer crop. pp. 3-48.
26. RDA. 2015. Project plan for collaborative research program to develop new variety summer crop. pp. 2-47.
27. RDA. 2016. Project plan for collaborative research program to develop new variety summer crop. pp. 1-46.
28. Rohweder DA, Barnes RF, Jorgensen N. 1978. Proposed hay grading standards based on laboratory analyses for evaluating quality. J Anim Sic 47: 747-759.

29. Sakai M, Iida S, Maeda H, Sunohara Y, Nemoto T, Imbe T. 2003. New rice varieties for whole crop silage use in Japan. *Breeding Sci* 53: 271-275.
30. Sung NI, Hong SM, Kim BW. 2004. Plant height, dry matter yield and forage quality at different maturity of whole crop rice. *J Korean Grassl Forage Sci* 24: 53-60.
31. Van soest PJ, Poertson JB, Lewis BA. 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *J Dairy Sci* 74: 3583-3597.