호남평야지 재배시기별 조생종 벼 품종의 수량과 이삭 관련 형질 특성 분석

박현수^{1*} · 서정필¹ · 백만기¹ · 이창민¹ · 김우재¹ · 이건미¹ · 김석만¹ · 김춘송² · 조영찬¹

¹농촌진흥청 국립식량과학원, ²농촌진흥청 연구정책국

Characterization of Yield and Panicle-related Traits of Early Maturing Rice Varieties by Cultivation Times in the Honam Plain Area of Korea

Hyun-Su Park^{1*}, Jung-Pil Suh¹, Man-Kee Baek¹, Chang-Min Lee¹, Woo-Jae Kim¹, Gun-Mi Lee¹, Suk-Man Kim¹, Choon-Song Kim², and Young-Chan Cho¹

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

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

Abstract The cultivation of early maturing rice in the Honam plain area of Korea is increasing to diversify the cropping systems. The cropping systems of this rice are usually classified as early, ordinary, and late cultivations based on transplanting time. The characteristics of varieties vary depending on the cultivations. To evaluate the performance of varieties and interpret the relationships between genotype and environment, nine yield and 17 panicle-related traits of six early maturing rice varieties (Jopyeong, Odae, Unkwang, Haedamssal, Jinkwang, and Haedeul) were characterized on early, ordinary, and late cultivations. Heading date was longer in order of early, ordinary, and late cultivations. The cumulative mean temperature of growth stage was similar for all cultivations. The variation in the number of spikelets per panicle (NS) was mainly due to the variety and the traits related with secondary rachis-branch were affected more by variety than the traits related to primary rachis-branch. The varieties with the highest yield were Haedamssal on early maturing cultivation and Unkwang on ordinary and late cultivations. Haedamssal displayed a panicle-number type plant architecture with relatively higher number of panicles per hill (PN) and average NS. Unkwang exhibited panicle-weight type with many NS and less PN. Additive main effects and multiplicative interaction analysis revealed that, NS and HD were mostly affected by genotype and environment, respectively. Among yield-related traits, NS contributed the most to enhanced yield of varieties in all cultivations. NS could be the target trait of breeding programs intended to improve the yield potential of early maturing rice adaptable to the Honam plain area. However, proper PN should be considered because PN, which was negatively correlated with NS, also affected the yield.

Keywords Rice, Early maturing, Yield, Panicle, Cultivation time, Honam plain area

Received on February 17, 2020. Revised on February 26, 2020. Accepted on March 16, 2020.

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

서 언

생육기간이 짧은 조생종 벼는 주로 중산간지와 북부평야지에서 재배되어 왔다. 최근 호남평야지에서 추석 전 햅쌀 출하를 위한 조기 재배, 수확시기 다변화를 위한 보통기 재배, 맥류 후작 이모작을 위한 만기 재배 등 다양한 재배시기에서 조생종 벼 재배가 증가하고 있다(Nam et al. 2018). 남부평야지에서 조기 재배는 4월 하순에서 5월 상순에 이양하여 8월 중하순에서 9월 상순 사이에 수확하는 작형으로 주로 추석 전 중만생종 쌀이 출하되기 이전에 햅쌀을 수확하여 판매하는 틈새시장 성격을 가지고 있으며 전체 조생종 재배면적의 46%를 차지할 만큼

그 비중은 커지고 있다(Lee et al. 2012). 보통기 재배는 5월 하순에서 6월 상순에 이양하는 일반적인 작형으로 중만생종에 비해 일찍 수확되는 조생종의 재배는 남부평야지에서 수확시기를 분산하여 중만생종 위주 재배로 인한 노동력, 장비, 시설의 배분 문제, 집중출하에 의한 가격 급변동 등을 해결할 수 있다. 호남지역에서 이모작 작부체계는 보리와 밀 등 맥류를 수확한 후 6월 하순에서 7월 상순 사이의 벼를 만식 이양하는 작형으로 논 활용도 제고와 곡물자급률 향상이 가능하여 그 중요성이 증대되고 있다. 조기 재배는 출수 후 일평균 및 주야간 온도가 높아 고온 등숙조건을 거치게 되어 완전미율이 낮아지고 분상질 비율이 높아지는 등 쌀 외관품질이 떨어지게 된다(Jeung et al.

2016, Lee et al. 2008). 또한 출수기로부터 등숙기까지 평균기온이 최적온도보다 높고, 조기재배의 출수기간 동안 장마로 인한 일조부족으로 등으로 적기재배에 비해 수량이 떨어진다고 하였다(Lee et al. 2008, Seong et al. 2014). 호남평야지 조기 재배의 고온 조건에서도 수량 감소가 적고 외관품위를 유지하는 품종 개발이 요구된다(Nam et al. 2018). 중만생종과 같은 시기에 이양하는 보통기 재배에서 생육기간이 짧은 조생종은 중만생종에 비해 수량성이 낮은 것으로 판단되고 있으며, 중만생종에 비해 등숙기 고온을 경과하기 때문에 품질도 떨어지는 것으로 알려져 있다(Hwang et al. 2019). 따라서 호남평야지에서 중만생종과 같은 시기에 재배하더라도 수량과 품질이 대등한 조생종 벼 품종 개발의 필요성이 증대되고 있다. 소득작물 후작용 작부체계는 만식 재배 조건에서 재배됨으로 생육 초기 고온 및 등숙기 저온을 경과하게 되고 생육기간이 단축되어 수량과 품질이 떨어진다(Lee et al. 2018). 또한 만기 재배 시 잔류 질소질 비료의 과다로 도복이나 품질 저하가 우려되기 때문에 유전적으로 내도복성이 강하고 품질이 우수한 품종 개발이 필요하다(Lee et al. 2018). 이처럼 호남평야지에서 조생종 벼를 재배할 경우 중만생종에 비해 불량 환경을 경과하기 때문에 재배시기별로 수량과 품질이 우수한 적응성이 높은 품종을 선발하고 개발하는 육종적 노력이 필요하다.

벼 육종에 있어서 수량성 향상은 가장 중요한 목표 중 하나이다. 벼의 수량성은 식물체의 광합성에 의해 동화산물이 생성되고 전류되는데 관여하는 능력인 source와 종실에 축적될 수 있는 잠재력인 sink에 의해 결정된다. Source와 sink의 크기와 이들의 균형에 의해 수량성이 결정되는데 sink가 작으면 높은 수량을 기대하기 어렵고, sink의 크기가 크다 해도 source가 이를 뒷받침 해주지 못하면 수량이 향상되지 않는다. Source는 식물체의 광합성 능력, 초형에 의한 수광태세, 엽노화도 등에 의해 영향을 받는다. Sink의 크기는 크게 주당수수와 수당립수에 의한 단위면적당 립수와 소수의 크기에 의해 결정되며 소수가 종실로 되는 임실률과 종실의 등숙률 및 종실중에 의해 수량이 결정된다(Hirota et al. 1990, Li et al. 1998, Venkateswarlu and Visperas 1987). 수량과 직접적으로 관련된 주당수수, 수당립수, 등숙률, 종실중과 함께 출수일수, 간장, 수장, 정현비율, 이삭관련 형질도 수량에 영향을 미친다. 소수와 지경으로 구성된 이삭의 특성은 이삭내 소수의 수인 수당립수를 결정하고, 등숙률과 종실중에 영향을 주는 등 수량성과 밀접한 관련이 있고 품종에 따라 특성이 다르기 때문에 벼 육종가에 중요한 목표 형질이다(Park et al. 2011, Park et al. 2018).

연도, 시기, 장소 등 재배 환경의 변화에 따라 벼 품종의 수량과 이삭 관련 형질의 발현은 다르게 나타난다. 환경변화에 따른 작물 특성의 변화 양상을 유전형(Genotype)과 환경(Environment)의 상호작용($G \times E$ interaction; GEI)이라 하며 AMMI (Additive Main Effects and Multiplicative Interaction)와 GGE (Genotype main effects and genotype $\times$ environment interaction effects) biplot 등 통계적 분석방법을 이용하여 품종의 유전형과 재배 환경과의 상호작용을 해석하고 수량 등 형질의 변이가 안정적인 거나 해당 재배 환경에서 적응성이 높은 품종을 선발 또는 추천할 수 있다(Gauch et al. 2008, Hongyu et al. 2014, Yan et al. 2007).

밥쌀용 쌀 품질 고급화를 통한 쌀 소비 촉진을 위해 농촌진흥청은 품종 개발 단계에서부터 밥맛, 품질, 도정 특성, 병해충 저항성 등 4가지의 엄격한 기준에 따라 2003년부터 ‘최고품질 벼’를 선정하고 있다. 조생종 중에는 현재까지 ‘운광’(2004년 개발), ‘해담쌀’(2014), ‘진광’(2016), ‘해들’(2017) 등 4품종이 개발되었다(Baek et al. 2019). 품종 개발 당시 운광은 중북부 및 남부산간지, 해담쌀은 영남평야지, 진광은 중부평야지 및 동북부해안지, 해들은 중부평야지가 적응지역으로 이들 조생종 최고품질 품종 대상으로 호남평야지에서 재배시기별 적응성 검토는 이루어지지 않았다. 본 연구는 호남평야지에서 조생종 벼 재배가 증가하고 있는 시점에서 지금까지 개발된 조생종 최고품질 품종을 대상으로 재배시기별 이들 품종들의 수량과 이삭 관련 형질 특성과 재배 환경 변화에 따른 형질 변이 양상을 분석하여 품종의 성능을 검토하고, 호남평야지에서 재배시기별 적응성이 높은 조생종 벼 품종 개발의 선발지표로 활용하고자 수행되었다.

재료 및 방법

시험 재료 및 재배 방법

본 시험은 호남평야지에 위치한 농촌진흥청 국립식량과학원 벼 시험포장(35° 50'N, 127° 02', 해발 20 m)에서 2018-2019년 2년간 수행되었다. 시험에는 조생종 고품질 오대, 조평, 최고품질 운광, 해담쌀, 진광, 해들 등 총 6품종을 이용하였다. 재배시기별 수량과 이삭 관련 형질 특성을 분석하기 위하여 조기, 보통기, 만기 등 3시기 시험을 수행하였다. 조기 재배는 4월 10일 파종 5월 10일 이앙, 보통기 재배는 4월 30일 파종 5월 30일 이앙, 만기 재배는 6월 15일 파종 7월 10일 이앙하였으며 완전임의배치법 3반복으로 주당 3본씩 104주를 재식하여 생산력검정시험을 수행하였다. 시비량은 $N-P_2O_5-K_2O$ 를 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.

기상자료

기상자료는 기상청 기상자료 개방포털(<https://data.kma.go.kr>)의 전주지점 정보를 이용하였다. 조기 재배 파종일인 4월 10일부터 만기 재배에서 가장 출수가 늦은 품종의 출수 후 40일까지의 일별 평균 및 최고 온도, 합계 일조시간 정보를 2018, 2019년 수집하여 2년간의 평균 값을 이용하였다. 파종일에서 출수기까지의 기간을 출수일수 및 생장기간으로 구분하였고 출수기에서 출수 후 40일까지의 기간을 등숙기간으로 구분하여 누적 평균온도와 누적 일조시간을 각 품종과 재배시기별로 분석하였다.

수량 관련 형질 조사

생산력검정시험에 공시된 재료의 출수기를 조사하고 성숙기에 평균이 되는 10개체를 이용하여 간장, 수장, 수수를 측정하였다. 성숙기에 3주를 예취하여 등숙률 및 수당립수를 조사하였고 80주를 예취하여 정조중을 측정하였다. 수확한 정조 1 kg을 수량조사현미기(LST, Gwangyang, 한국)로 제형하여 정현비율을 측정하고, 80주 정조수량에 정현비율을 곱하여 현미수량을 구한 다음 10a당 수량으로 환산하였다. 백미수량은 현미수량에 일반적인 현백률인 0.92를 곱하여 산정하였다. 천립중은 등숙이 잘 이루어진 선별된 현미 500립에 대한 무게를 3반복으로 측정하여 평균한 값에 2를 곱하여 이용하였다.

이삭 관련 형질 조사

이삭 관련 형질 조사는 각 시험구에서 평균이 되는 3개체의 주간 이삭을 이용하여 3반복으로 조사하였다. 조사 형질은 이삭 길이, 이삭목두께, 이삭추출도, 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), 1차 및 2차 지경의 임실률, 전체 임실률 등 총 17개 항목이다. 이삭길이는 이삭목에서부터 이삭 선단까지의 길이를 측정하였고, 이삭추출도는 지엽의 잎집과 잎몸의 경계부위인 깃에서 이삭목까

지의 길이를 측정하였다. 이삭목두께는 이삭목에서 식물체의 기부 방향으로 1 cm 가량을 캘리퍼스(Caliper CD-15CP, Mitutoyo Corp., 일본)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 구하였고, 각 지경별 임실립과 불임립을 구분하여 임실률을 측정하였다. 이삭내 소수의 착립밀도는 총립수를 이삭길이를 나누어 구하였다.

통계 분석

통계분석은 R (Version 3.6.1, The R Foundation for Statistical Computing Platform)을 이용하였다. 삼원분산분석을 통해 연차, 재배시기, 품종 등 요인과 요인들의 상호작용이 각 형질 변이에 미치는 영향을 분석하였다. 형질의 평균 등 기술통계, Duncan's Multiple Range Test를 이용한 평균간 비교, 품종 유전형(genotype; G)과 재배시기 환경(environment; E)간 상호작용(G x E interaction)에 대한 AMMI (Additive Main Effects and Multiplicative Interaction) 분석을 agricolae 패키지를 이용하여 수행하였다. 수량에 대한 수량구성요소들의 기여도를 판단하기 위해 lavaan, semPlot, OpenMx, tidyverse, knitr, kableExtra, GGally 패키지를 이용하여 경로계수분석을 수행하였다. 형질들의 상관분석은 corplot 패키지를 이용하였고 주성분분석은 ggfortify 패키지를 이용하였다.

결과 및 고찰

재배시기별 기상환경

호남평야지에서 조생종 벼 품종의 재배시기별 수량과 이삭 관련 형질 특성을 분석하기 위해서 조생 고품질 품종인 조평, 오대와 최고품질 품종인 윤광, 해당쌀, 진광, 해들을 조기, 보통기, 만기 재배 하였다. 재배시기별 기상환경은 Fig. 1과 같다. 공시 품종들은 조기, 보통기, 만기 재배에서 각각 파종 후 96-104일, 86-94일, 72-78일 사이에 출수하였으며, 출수기간 온도는 보통기, 조기, 만기 재배 순으로 높았다(Fig. 1). 파종 후 출수시기까지 걸리는 출수일수는 모든 품종에서 조기 재배가 가장 길었고 보통기, 만기 재배 순으로 짧아졌다(Fig. 2A). 등숙기 누적평균온

Fig. 1. Daily temperature and sunshine hours in early, ordinary, and late cultivations.

Fig. 2. Climate conditions in early, ordinary, and late cultivations. Heading date (A), cumulative mean temperature (CMT) from seeding to heading (B) and from heading to 40 days after heading (C), cumulative sunshine hours (CSH) from seeding to heading (D) and from heading to 40 days after heading (E). DAS: days after seeding. Different letters over the bars indicate significant differences at $p < 0.05$ (ANOVA followed by DMRT).

도(Fig. 2C), 생육기 누적일조시간(Fig. 2D), 등숙기 누적일조시간(Fig. 2E)은 조기, 보통기, 만기 재배 순으로 높았으나, 생육기 누적평균온도(Fig. 2B)는 재배시기별로 비슷한 경향을 나타냈다. 일반적으로 벼의 출수를 조절하는 주요 생태적 요인은 일장과 온도이며, 조생종은 기본영양생장성과 감온성이 크고 중만생종은 감광성이 크다고 알려져 있다(Choi et al. 2006, Vergara & Chang 1985). 재배 시기가 조기, 보통기, 만기 재배로 늦어질수

록 출수 전 생육기간 동안의 일 평균온도가 높기 때문에 기본영양생장성과 감온성에 소요되는 기간이 짧아지고 출수일수가 줄어든 것으로 생각된다. 재배시기별 공시된 벼 품종들의 생육기 누적평균온도가 조기, 보통기, 만기 재배 평균 1985, 2031, 1998°C로 비슷한 수준을 나타내는 것을 볼 때 호남평야지에서 조생종 벼 품종의 출수까지 일정수준의 누적온도가 필요한 것으로 생각된다.

Table 1. F values for effects of year, cultivation time, variety, and their interactions from ANOVA on yield-related traits^z.

Source of variance	df	HD	CL	PL	PN	NS	TGW	RRG	BRR	Yield
Year (Y)	1	219.0 ^{**y}	89.3 ^{**}	20.3 ^{**}	71.5 ^{**}	2.6 ^{ns}	223.7 ^{**}	35.9 ^{**}	180.8 ^{**}	9.5 ^{**}
Cultivation time (T)	2	5994.3 ^{**}	263.0 ^{**}	7.0 ^{**}	97.7 ^{**}	0.3 ^{ns}	359.3 ^{**}	66.9 ^{**}	139.2 ^{**}	91.4 ^{**}
Variety (V)	5	116.9 ^{**}	131.6 ^{**}	9.3 ^{**}	13.2 ^{**}	53.3 ^{**}	434.2 ^{**}	18.3 ^{**}	11.9 ^{**}	22.0 ^{**}
Y × T	2	85.1 ^{**}	1.0 ^{ns}	17.4 ^{**}	80.6 ^{**}	13.6 ^{**}	149.3 ^{**}	7.4 ^{**}	81.6 ^{**}	14.5 ^{**}
Y × V	5	4.4 ^{**}	4.3 ^{**}	4.6 ^{**}	0.3 ^{ns}	1.9 ^{ns}	3.9 ^{**}	6.7 ^{**}	2.6 [*]	2.4 [*]
T × V	10	11.5 ^{**}	4.1 ^{**}	1.7 ^{ns}	0.5 ^{ns}	2.7 ^{**}	6.2 ^{**}	4.5 ^{**}	1.5 ^{ns}	1.0 ^{ns}
Y × T × V	10	3.2 ^{**}	0.8 ^{ns}	0.7 ^{ns}	1.3 ^{ns}	2.2 [*]	6.5 ^{**}	2.8 ^{**}	4.7 ^{**}	2.4 [*]

^zdf: degree of freedom, HD: heading date, CL: culm length, PL: panicle length, PN: number of panicles per hill, NS: number of spikelets per panicle, TGW: 1,000-grain weight, RRG: ratio of ripened grain, BRR: brown/rough rice ratio

^yns, *, and ** mean not significant, significant at $p < 0.05$, and $p < 0.01$ by three-way ANOVA, respectively.

수량 관련 형질 변이

수량 관련 형질인 출수일수, 간장, 수장, 수수, 수당립수, 천립중, 등숙률, 정현비율, 수량 등 9개 형질에 대한 연차, 재배시기, 품종 및 이들의 상호작용에 따른 형질 변이를 분석하였다(Table 1). 출수일수, 간장, 수장, 수수, 천립중, 등숙률, 정현비율, 수량은 연차, 재배시기, 품종 모두 형질 변이에 관여하였으며, 수당립수는 연차, 재배시기에 의한 형질 변이는 통계적으로 유의하지 않았고 품종에 의한 형질 변이만 유의하였다. 변이 요인간 비교에 있어서 출수일수, 간장, 수수, 등숙률, 수량은 재배시기, 수장과 정현비율은 연차, 수당립수와 천립중은 품종의 의한 변이가 가장 컸다. 공시된 조생종 벼 품종들의 수당립수와 천립중은 연차와 재배시기의 환경조건보다는 품종의 유전 배경에 의해서 차이가 큰 것으로 나타났다. 간장을 제외한 형질들은 연차와 재배시간간 상호작용이 있었으며, 수수와 수당립수를 제외한 형질들은 연차와 품종간 상호작용이 있었다. 출수일수, 간장, 수당립수, 천립중, 등숙률은 재배시기와 품종간 상호작용이 있었으며, 출수기, 수당립수, 천립중, 등숙률, 정현비율 및 수량은 연차, 재배시기, 품종간 상호작용이 나타났다. 연차에 의한 재배 환경 변화는 형질 변이에 큰 영향을 미치기 때문에 2년간의 평균 값을 이용하여 재배시기별 품종들의 수량 관련 형질을 비교 분석하였다.

재배시기별 품종간 수량 관련 형질 특성

재배시기별 각 품종의 수량 관련 형질 값은 Table 2와 같다. 조기 재배에서 품종간 변이가 많은 형질은 수당립수(변이계수 12.4%), 수량(9.9%), 수수(9.6%)이고 가장 적은 형질은 정현비율(0.7%)이었다. 출수일수는 조평(파종 후 96일)이 가장 빠르고 해들(104일)이 가장 늦었다. 간장은 조평(66 cm)이 가장 컸고 진광(55 cm)이 가장 작았으며, 수장은 품종간 통계적 차이가

없었다. 수수는 해담쌀(16개)이 가장 많았고 운광(12개)이 가장 적었으며, 수당립수는 운광(109개)이 가장 많았고 오대(79개)가 가장 적었다. 천립중은 오대(24.4 g)가 가장 무거웠고 진광(20.5 g)이 가장 가벼웠다. 등숙률은 조평(92.4%)이 가장 높았고 운광(81.5%)이 가장 낮았으며, 정현비율은 해담쌀(81.6%)이 가장 높았고 오대(80.1%)가 가장 낮았다. 수량은 해담쌀(494 kg/10a), 운광(491 kg/10a), 해들(458 kg/10a), 조평(447 kg/10a), 진광(420 kg/10a), 오대(416 kg/10a) 순으로 해담쌀과 운광이 조기재배에서 수량성이 양호하였다.

보통기 재배에서 품종간 변이가 많은 형질은 수당립수(변이계수 12.1%)이고 가장 적은 형질은 정현비율(1.6%)이었다. 출수일수는 조평(파종 후 86일)이 가장 빠르고 해들(94일)이 가장 늦었다. 간장은 조평(74 cm)이 가장 컸고 진광(59 cm)이 가장 작았으며, 수장은 운광(21 cm)이 가장 길었고 해담쌀과 조평(19 cm)이 짧았다. 수수는 해담쌀(15개)이 가장 많았고 운광(12개)이 가장 적었으며, 수당립수는 운광(107개)이 가장 많았고 오대(74개)가 가장 적었다. 천립중은 오대(24.3 g)가 가장 무거웠고 조평(20.5 g)이 가장 가벼웠다. 등숙률은 해들(92.5%)이 가장 높았고 운광(86.4%)이 가장 낮았으며, 정현비율은 품종간 통계적 차이가 없었다. 수량은 운광(524 kg/10a), 해담쌀(509 kg/10a), 조평(492 kg/10a), 진광(481 kg/10a), 해들(479 kg/10a), 오대(433 kg/10a) 순으로 운광과 해담쌀이 보통기 재배에서 수량성이 양호하였다.

만기 재배에서 품종간 변이가 많은 형질은 수수(변이계수 16.1%)와 수당립수(12.2%)이고 가장 적은 형질은 정현비율(변이계수 0.7%)이었다. 출수일수는 조평(파종 후 72일)이 가장 빠르고 해들(파종 후 77일)이 가장 늦었다. 간장은 조평(79 cm)이 가장 컸고 진광(61 cm)이 가장 작았으며, 수장은 진광(21 cm)이 가장 길었고 해담쌀과 조평(19 cm)이 짧았다. 수수는 해담쌀(19

개)이 가장 많았고 윤광과 오대(16개)이 적었으며, 수당립수는 윤광(105개)이 가장 많았고 오대(78개)가 가장 적었다. 천립중은 오대(25.3 g)이 가장 무거웠고 조평(22.0 g)이 가장 가벼웠다. 등숙률은 해들(89.6%)이 가장 높았고 윤광(78.7%)이 가장 낮았으며, 정현비율은 진광(83.2%)이 가장 높았고 윤광(82.1%)이 가장 낮았다. 수량은 윤광(598 kg/10a), 해담쌀(575 kg/10a), 조평(556 kg/10a), 진광(532 kg/10a), 해들(522 kg/10a), 오대(497 kg/10a) 순으로 윤광과 해담쌀이 만기 재배에서 수량성이 양호하였다.

모든 재배시기에서 최고품질 품종인 윤광과 해담쌀의 수량성

이 높았는데, 윤광은 수당립수가 많고 수수가 적은 수중형 초형, 해담쌀은 수수가 많고 수당립수가 적은 수수형 초형을 나타냈다. 윤광은 2004년에 개발된 중북부 및 남부산간지에 적응하는 최고 품질 벼 품종으로 도복에 안정적이고 다수성이며 밥맛이 좋아서 2008년부터 우리나라 조생종 중 가장 많이 재배되고 있는 우수한 품종이다(Park et al. 2015). 재배면적이 확대되다 보니 적응지역이 아닌 평야지 지역에서의 재배가 증가하고 있는 실정이다. 산간지 적응성 조생종 벼 품종들은 평야지에서 적응성이 검토되지 않았기 때문에 재배 환경 변화에 따른 수량 감소와 품질 저하 문제가 발생할 수 있다. 윤광은 영남 및 남부평야지 조기재

Table 2. Yield-related traits of varieties by cultivation time^z.

Cultivation time	Variety	HD (DAS)	CL (cm)	PL (cm)	PN	NS	TGW (g)	RRG (%)	BRR (%)	Yield (kg/10a)
Early	Jopyeong	96c ^y	66az	19a	14b	84b	20.6cd	92.4a	80.6bc	447ab
	Odae	97bc	64ab	20a	13c	79b	24.4a	90.2a	80.1c	416b
	Unkwang	98b	61b	20a	12c	109a	21.6b	81.5b	80.6bc	491a
	Haedamssal	98b	62ab	19a	16a	86b	21.3bc	91.0a	81.6a	494a
	Jinkwang	100b	55c	19a	14b	83b	20.5d	83.5b	81.2ab	420ab
	Haedeul	104a	65ab	19a	14ab	88b	20.6cd	90.9a	80.7bc	458ab
	Mean	99A ^x	62C	19B	14B	88A	21.5B	88.2A	80.8B	454C
	C.V.(%)	4.1	6.6	4.4	9.6	12.4	6.6	6.0	0.7	9.9
Ordinary	Jopyeong	86d	74a	19c	13b	91b	20.5b	91.0a	81.4a	492bc
	Odae	88cd	71ab	20bc	13b	74e	24.3a	88.4ab	80.5a	433d
	Unkwang	91b	67b	21a	12c	107a	21.7b	86.4b	81.1a	524a
	Haedamssal	90bc	68b	19c	15a	80d	21.6b	92.3a	81.6a	509ab
	Jinkwang	92ab	59c	21ab	14ab	86c	21.4b	91.3a	81.6a	481c
	Haedeul	94a	70ab	20abc	14ab	88bc	21.2b	92.5a	81.3a	479c
	Mean	90B	68B	20A	14B	88A	21.8B	90.3A	81.2B	486B
	C.V.(%)	3.5	7.8	4.3	6.4	12.1	6.5	4.4	1.6	6.4
Late	Jopyeong	72d	79a	19c	17a	94b	22.0c	83.8b	82.7ab	556bc
	Odae	75b	78a	20abc	16a	78c	25.3a	82.4b	82.3ab	497e
	Unkwang	76b	70c	21a	16a	105a	22.9bc	78.7c	82.1b	598a
	Haedamssal	77a	72bc	19c	19a	84bc	23.3b	79.2c	82.7ab	575ab
	Jinkwang	74c	61d	21ab	18a	83c	22.7bc	79.2c	83.2a	532cd
	Haedeul	77a	74b	20bc	18a	80c	22.3bc	89.6a	82.8ab	522de
	Mean	75C	72A	20A	17A	87A	23.1A	82.2B	82.6A	547A
	C.V.(%)	2.9	8.6	3.7	16.1	12.2	5.2	4.9	0.7	6.8
Total		88	68	20	15	88	22.1	86.9	81.6	496
C.V.(%)		11.9	10.3	5.7	19.1	13.5	7.0	7.4	1.6	12.2

^zHD: heading date, DAS: days after seeding, CL: culm length, PL: panicle length, PN: number of panicles per hill, NS: number of spikelets per panicle, TGW: 1,000-grain weight of brown rice, RRG: ratio of ripened grain, BRR: brown/rough rice ratio

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

^xCapital letters indicate statistic different among cultivation time

배에서 결과 공시된 6, 14개 조생종 품종 중 가장 높은 수량을 나타냈고, 본 시험의 호남평야지 조기, 보통기, 만기재배에서 모두 수량이 높은 특성을 나타내 평야지 재배에서도 수량이 높은 것으로 판단되었다(Lee et al. 2008, Seong et al. 2014). 하지만 운광은 영남 및 남부 평야지 조기재배에서 등숙률이 낮은 편에 속했고, 본 시험의 호남평야지 조기, 보통기, 만기 재배에서 모두 낮은 등숙률을 나타내 다른 최고품질 품종에 비해 평야지 재배에서 등숙이 불량한 것으로 판단되었다. 운광의 등숙은 조기와 보통기에 비해 만기 재배에서 상대적으로 양호하고 운광의 강한 내도복성은 맥류 후작의 질소질 비료 과다로 인한 도복 문제를 극복할 수 있기 때문에 운광을 평야지에서 재배하고자 하는 경우에는 맥류 후작에 적용하는 것이 적합할 것으로 생각된다.

해담쌀은 평야지 조기재배에 적응하는 조생종 품종을 육성하고자 2014년에 개발된 최고품질 품종으로 평야지 재배에 필요한 줄무늬임마름병 저항성을 갖추고 있으며 밥맛과 수량성이 우수한 품종이다(Lee et al. 2019). 해담쌀은 품종 개발 과정에서 평야지 조기재배 적응성이 검토되었으며 본 연구의 호남평야지 조기와 보통기 재배에서 수량성과 등숙률이 양호하였다. 하지만 만기 재배에서 등숙률이 상당히 낮아져 호남평야지 만기 재배 적응성은 다소 떨어지는 것으로 판단되어 해담쌀을 호남평야지에서 재배할 경우 조거나 보통기 재배에 적용하는 것이 적합할 것으로 생각된다.

수량 관련 형질에 대한 재배시기와 품종간 상호작용

재배시기 환경 변화에 따른 공시 품종의 수량 관련 형질 변이에 대한 유전형과 환경의 상호작용 효과를 구명하기 위해서 AMMI 모델 분석을 수행하였다(Table 3). 출수일수 변이에 대해서는

재배시기에 따른 환경의 영향이 90.8%로 대부분을 차지하였고, 수당립수와 천립중 변이에 대해서는 품종의 유전형이 각각 62.4%, 59.8%로 가장 많은 영향을 미쳤다. 수수, 등숙률, 정현비율, 수량에 대한 변이는 재배시기에 따른 환경, 품종의 유전형순으로 영향을 컸고, 간장과 수장에 대한 변이는 유전형, 환경순으로 영향을 미쳤다. AMMI 주성분분석을 통해 유전형과 환경에 대한 상호작용의 정도는 주성분 PC1이 54.0%(등숙률)-93.2%(간장)를 설명하였고 주성분 PC2이 6.8%-46.0%를 설명하였다. AMMI biplot을 이용하여 수량 관련 형질 변이에 대한 품종의 유전형과 재배시기 환경과의 상가적 주효과와 유전형과 환경과의 상호작용을 시각적으로 제시하였다(Fig. 3). 각 형질에 대한 biplot의 가로축은 유전형과 환경의 주효과를 나타내는 형질 값이고 세로축은 유전형과 환경의 상호작용을 나타내는 주성분 PC1이 표시되며 중심점은 전체 재배시기에서 전체 품종의 평균 형질 값이다. 중심점에서 가로축 기준으로 변동이 클수록 주효과가 커 유전형과 환경의 형질 값이 평균에 비해 차이가 크며, 중심점에서 세로축을 기준으로 변동이 큰 유전형은 형질 발현에 미치는 환경의 영향이 크고 환경과 방향성이 근접한 유전형은 해당 환경에서 형질 값이 상대적으로 크다는 것을 의미한다(Gauch et al. 2008, Hongyu et al. 2014). 간장은 환경의 주효과에 의해 조기, 보통기, 만기 재배에서 각각 62 cm, 68 cm, 72 cm로 5 cm 가량씩 커졌다(Fig. 3B). 간장은 유전형에 의한 영향이 46.4%로 품종 선택을 통해 환경 변화에 따른 변이를 통제할 수 있는 형질로 맥류 후작으로 잔류 질소질 비료 과다로 인한 도복 문제가 발생하는 만기 재배에서는 조평과 오대와 같이 간장이 크고 해당 환경에서 상대적으로 간장이 더 커질 수 있는 품종보다는 운광과 진광 같은 단간이면서 변이가 적은

Table 3. Additive main effects and multiplicative interaction (AMMI) analysis of variance for yield-related traits of varieties (genotype) by cultivation time (environment)^z.

Source of variation	df	HD		CL		PL		PN		NS		TGW		RRG		BRR		Yield	
		SS	(%)	SS	(%)	SS	(%)	SS	(%)	SS	(%)	SS	(%)	SS	(%)	SS	(%)	SS	(%)
Genotype (G)	5	520 ^{**y}	4.4	2,417 ^{**}	46.4	27 ^{**}	19.8	97 ^{**}	11.2	9,361 ^{**}	62.4	152 ^{**}	59.8	884 ^{**}	20.1	14 ^{ns}	7.1	95,606 ^{**}	24.5
Environment (E)	2	10,657 ^{**}	90.8	1,933 ^{**}	37.1	8 ^{ns}	5.9	288 ^{**}	33.4	24 ^{ns}	0.2	50 ^{**}	19.8	1,292 ^{**}	29.4	65 ^{**}	33.6	158,977 ^{**}	40.7
Rep (E)	6	22 ^{ns}	0.2	106 [*]	2.0	8 ^{ns}	5.9	22 ^{ns}	2.6	362 ^{ns}	2.4	1 ^{ns}	0.4	111 ^{ns}	2.5	2 ^{ns}	1.0	14,766 ^{ns}	3.8
G × E	10	102 [*]	0.9	152 [*]	2.9	10 ^{ns}	7.1	7 ^{ns}	0.8	931 ^{ns}	6.2	4 ^{ns}	1.7	437 [*]	9.9	4 ^{ns}	1.8	8,440 ^{ns}	2.2
Residuals	84	436	3.7	602	11.6	83	61.3	448	52.0	4,334	28.9	46	18.3	1,672	38.0	109	56.4	112,393	28.8
AMMI PC1	6	41	79.3	71	93.2	4	83.6	3	76.5	291	62.5	2	81.3	118	54.0	1	79.4	3,298	78.1
AMMI PC2	4	11	20.7	5	6.8	1	16.4	1	23.5	175	37.5	0	18.7	100	46.0	0	20.6	923	21.9

^zdf: degree of freedom, HD: heading date, DAS: days after seeding, CL: culm length, PL: panicle length, PN: number of panicles per hill, NS: number of spikelets per panicle, TGW: 1,000-grain weight of brown rice, RRG: ratio of ripened grain, BRR: brown/rough rice ratio, SS: sum of squares, PC: principle component

^yns, *, and ** mean not significant, significant at $p < 0.05$, and $p < 0.01$ by ANOVA, respectively.

Fig. 3. Additive main effects and multiplicative interaction (AMMI) biplots of yield-related traits in six early maturing rice varieties across three cultivation times. Heading date (A), culm length (B), panicle length (C), number of panicles per hill (D), number of spikelets per panicle (E), 1,000-grain weight (F), ratio of ripened grain (G), brown/rough rice ratio (H), yield (I). HD: Haedeul, HDS: Haedamsal, JK: Jinkwang, JP: Jopyeong, OD: Odae, UK: Unkwang. E: early cultivation, O: ordinary cultivation, L: late cultivation.

품종이 적응성이 높을 것으로 생각되었다. 수량에 있어서 운광과 만기 재배가 가로축 기준으로 멀리 떨어져 있어 유전형과 환경의 주효과가 가장 커 수량이 높았고, 운광은 유전형과 환경의 상호작용을 나타내는 주성분 PC1의 78.1% 설명범위 내 세로축에서 변동이 적어 재배시기별 수량의 안정성이 높았으며 만기 재배와 같은 방향성을 나타내 조기와 보통기 재배에 비해 만기 재배 적응성이 좋은 것으로 판단되었다(Fig. 3I). 해담쌀은 등숙률, 정현 비율, 수량이 다른 재배 시기보다 조기 재배에서 상대적으로 성능이 좋아 조기 재배에 적합한 것으로 판단되었다(Fig. 3G, H, I).

수량에 대한 형질 기여도

재배시기별 수량 관련 형질인 출수일수, 간장, 수장, 수수, 수당립수, 천립중, 등숙률, 정현비율이 수량에 미치는 기여도를 경로계수분석을 통해 분석하였다(Fig. 4). 조기 재배에서 수량 관련 형질들이 수량을 설명하는 결정계수는 0.75이었고 통계적으로 유의한 수준에서 수당립수(표준화회귀계수 0.39), 간장(0.37), 정현비율(0.29) 순으로 수량이 증가하는 방향으로 기여도가 컸

다. 보통기 재배에서 수량 관련 형질들이 수량을 설명하는 결정계수는 0.60이었고 통계적으로 유의한 수준에서 수당립수(표준화회귀계수 0.67), 정현비율(0.51), 수수(0.50), 수수(0.50) 순으로 수량이 증가하는 방향으로 기여도가 컸다. 만기 재배에서 수량 관련 형질들이 수량을 설명하는 결정계수는 0.65이었고 통계적으로 유의한 수준에서 수당립수(표준화회귀계수 0.50)는 수량이 증가하는 방향으로 기여가 컸으며, 등숙률(-0.56), 천립중(-0.45)은 수량이 감소하는 방향으로 기여도가 컸다. 전체시기에서 수량 관련 형질들이 수량을 설명하는 결정계수는 0.69이었고 통계적으로 유의한 수준에서 수당립수(표준화회귀계수 0.39), 정현비율(0.30), 수수(0.29) 순으로 수량이 증가하는 방향으로 기여도가 컸다.

본 연구의 모든 시기에서 수당립수가 수량 증가에 기여하는 바가 가장 컸으며 AMMI 분석을 통한 수당립수 변이에 대해서 유전형이 관여하는 바가 62.4%로 환경에 의한 변이(0.2%)보다 매우 크기 때문에 육종사업을 통해 호남평야지 적응하는 조생종벼의 수량성 증대를 위해서는 유전적인 수당립수의 확보가 중요

Fig. 4. Path analysis of causal relationship among yield-related traits to explain the variation of yield in early (A), ordinary (B), late (C), and total (D) cultivations. HD: heading date, CL: culm length, PL: panicle length, PN: number of panicles per hill, NS: number of spikelets per panicle, RRG: ration of ripened grain, BRR: brown/rough rice ratio. Continuous single-headed arrows indicate the direct effect on yield.

한 것으로 생각되었다. 수량 증가에 대해서 조기, 보통기, 전체시기에서 두번째로 기여도가 컸던 정현비율은 상품성과 관련된 도정률과 밀접한 관련이 있어 수량성과 상품성을 동시에 높일 수 있는 형질이나 모든 시기에서 수량 관련 형질들 중 변이계수가 가장 적어 품종간 차이가 적은 편이고 AMMI 분석에서 유전형 영향이 7.1%로 환경 영향(33.6%)에 비해 낮아 유전적으로 정현비율이 높은 품종을 개발하기 위해서는 육종적 노력이 필요할 것으로 생각된다. 수수는 보통기, 전체시기에서 세번째로 수량 증가에 대한 기여도가 컸다. 수수는 수당립수와 함께 수량성에 영향을 미치는 주요 형질로 수량성 향상을 위한 다수성 육종사업에서 수수가 수당립수에 비해 수량에 더 많이 관여한다는 보고가 있다(Park et al. 2015, 2018). 또한 일반적으로 수수와 수당립수는 부의 상관관계를 나타내기 때문에 수당립수 증대를 통한 조생종 벼의 수량성 향상을 목표로 할 경우 적정 수수의 확보는 반드시 필요할 것으로 생각된다.

이삭 관련 형질 특성

수당립수를 결정하는 이삭 관련 형질에 대한 특성을 분석하였다. 이삭길이, 이삭목두께, 이삭추출도, 총지경수, 수당립수, 1차 지경 착생립수, 1차 지경 평균립수, 2차 지경 착생립수, 2차 지경 평균립수, 1차 지경당 2차 지경수, 1차 지경 착생립수당 2차 지경 착생립수, 이삭 임실률, 1차 지경 임실률, 2차 지경

임실률 등 총 17개 형질에 대해서 연차, 재배시기, 품종 및 이들의 상호작용에 따른 형질 변이를 분석하였다(Table 4). 이삭길이와 이삭 임실률을 제외한 15개 형질이 연차간 차이가 있었고, 1차 지경수와 1차 지경 임실률을 제외한 15개 형질이 재배시기간 차이가 있었으며, 모든 형질이 품종간 차이가 있었다. 재배시기별 품종의 이삭 관련 형질 값은 Table 5와 같다. 변이가 적은 형질은 1차 지경 임실률(변이계수 2.6%), 2차 지경 평균립수(4.3%), 1차 지경 평균립수(4.4%) 등이 있었고 변이가 큰 형질은 2차 지경 착생립수(26.9), 2차 지경수(25.9), 추출도(24.2) 등이 있었다. 1차 지경 관련 형질인 1차 지경수, 1차 지경 착생립수, 1차 지경 임실률이 2차 지경 관련 형질인 2차 지경수, 2차 지경 착생립수, 2차 지경 임실률에 비해 형질 변이가 적었다. 이러한 결과는 국내 육성 벼 품종, 자포니카 다수성 벼 약배양 계통, 군집소수를 가진 고착립밀도 이삭형 벼에 대한 분석과 우리나라와 필리핀 재배에서의 분석 등 다양한 재료와 환경조건에서 동일하게 나타나는 경향으로 1차 지경에 비해 2차 지경 관련 형질이 유전적으로나 환경적으로 변이가 크다는 결과와 일치하였다(Park et al. 2010, 2011, 2015, 2018).

AMMI 분석을 통한 이삭 관련 형질 변이에 대한 품종의 유전형과 재배시기의 환경과의 상호작용 효과를 분석하였다(Table 6). 2차 지경 임실률을 제외한 16개 이삭 관련 형질들의 변이는 환경보다 유전형에 의해 영향을 많이 받았고, 2차 지경 관련

Table 4. F values for effects of year, cultivation time, variety, and their interactions from ANOVA on panicle traits^z.

Source of variance	df	PL2	TNN	PE	NR	NS2	DP	NPr	NSPr	MNSPr	NSr	NSSr	MNSSr	Sr/Pr	SSr/SPr	SF	SFPr	SFSr
Year (Y)	1	0.4 ^{ns}	96.35 ^{**}	4.3 [*]	13.6 ^{**}	15.4 ^{**}	20.5 ^{**}	8.2 ^{**}	11.2 ^{**}	5.3 [*]	12.5 ^{**}	12.0 ^{**}	4.1 [*]	8.0 ^{**}	5.6 [*]	1.4 ^{ns}	11.7 ^{**}	7.7 ^{**}
Cultivation time (T)	2	11.6 ^{**}	12.45 ^{**}	34.5 ^{**}	14.1 ^{**}	11.9 ^{**}	9.8 ^{**}	2.3 ^{ns}	3.6 [*]	51.2 ^{**}	18.2 ^{**}	12.5 ^{**}	0.6 ^{ns}	26.1 ^{**}	9.0 ^{**}	19.7 ^{**}	0.3 ^{ns}	25.6 ^{**}
Variety (V)	5	7.7 ^{**}	10.25 ^{**}	26.2 ^{**}	29.0 ^{**}	20.2 ^{**}	16.9 ^{**}	9.7 ^{**}	9.9 ^{**}	29.2 ^{**}	32.9 ^{**}	23.6 ^{**}	2.6 [*]	31.6 ^{**}	22.6 ^{**}	11.0 ^{**}	2.8 [*]	10.1 ^{**}
Y × T	2	3.7 [*]	15.95 ^{**}	12.2 ^{**}	4.5 [*]	3.9 [*]	0.7 ^{ns}	3.8 [*]	5.3 ^{**}	7.7 ^{**}	7.1 ^{**}	6.8 ^{**}	2.2 ^{ns}	12.3 ^{**}	10.0 ^{**}	2.8 ^{ns}	2.0 ^{ns}	1.3 ^{ns}
Y × V	5	1.6 ^{ns}	0.4 ^{ns}	1.9 ^{ns}	1.3 ^{ns}	1.0 ^{ns}	0.9 ^{ns}	2.0 ^{ns}	1.4 ^{ns}	0.7 ^{ns}	1.1 ^{ns}	0.7 ^{ns}	1.1 ^{ns}	0.6 ^{ns}	0.3 ^{ns}	1.5 ^{ns}	1.4 ^{ns}	1.2 ^{ns}
T × V	10	1.2 ^{ns}	1.6 ^{ns}	8.6 ^{**}	1.6 ^{ns}	1.4 ^{ns}	1.0 ^{ns}	1.7 ^{ns}	1.4 ^{ns}	1.3 ^{ns}	1.6 ^{ns}	1.3 ^{ns}	0.6 ^{ns}	1.5 ^{ns}	1.1 ^{ns}	2.8 ^{**}	1.4 ^{ns}	2.7 ^{**}
Y × T × V	10	1.8 ^{ns}	0.9 ^{ns}	1.0 ^{ns}	1.6 ^{ns}	1.7 ^{ns}	1.1 ^{ns}	0.7 ^{ns}	0.9 ^{ns}	1.7 ^{ns}	1.9 ^{ns}	1.9 ^{ns}	1.5 ^{ns}	2.0 ^{ns}	1.8 ^{ns}	1.0 ^{ns}	0.6 ^{ns}	2.3 [*]

^zdf: degree of freedom, PL2: panicle length on panicle sample, TNN: thickness of neck node, PE: panicle exertion, NR: number of rachis-branches per panicle, NS2: number of spikelets per panicle on panicle sample, 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, SF: spikelet fertility, SFPr: spikelet fertility on PRBs, SFSr: spikelet fertility on SRBs

^yns, *, and ** mean no significant, significant at $p < 0.05$, and $p < 0.01$ by three-way ANOVA, respectively.

Table 5. Panicle-related traits of varieties by cultivation time^z.

Cultivation time	Variety	PL2 (cm)	TNN (mm)	PE (cm)	NR	NS2	DP (no/cm)	NPr	NSPr	MNSPr	NSr	NSSr	MNSSr	Sr/Pr	SSr/SPr	SF (%)	SFPr (%)	SFSr (%)
Early	Jopyeong	18.7b ^y	1.3bc	4.7ab	30b	107b	5.7ab	9c	49c	5.4c	21ab	58ab	2.9a	2.3a	1.2a	95.7a	96.8a	94.7a
	Odae	19.4ab	1.2c	4.5ab	25bc	99b	4.9b	10ab	56ab	5.5bc	15c	43c	2.8a	1.5d	0.8c	96.0a	96.6a	95.1a
	Unkwang	20.3a	1.4a	4.1b	35a	128a	6.2a	11a	60a	5.7ab	24a	68a	2.8a	2.3a	1.1a	93.5a	96.2a	91.1a
	Haedamssal	18.2b	1.2bc	5.4a	26bc	100b	5.5ab	9bc	53bc	5.7a	17bc	47bc	2.8a	1.8bc	0.9bc	93.9a	95.1a	92.5a
	Jinkwang	18.7b	1.4ab	4.0b	28bc	104b	5.5ab	9c	50bc	5.5bc	19bc	54bc	2.9a	2.0ab	1.1ab	92.7a	95.6a	89.8a
	Haedeul	18.8b	1.2bc	5.1a	24c	94b	4.9b	9c	52bc	5.6ab	15c	42c	2.8a	1.6cd	0.8c	94.3a	95.6a	92.5a
	Mean	19.0B ^x	1.3B	4.6B	28A	105B	5.5B	10A	53B	5.6B	18B	52B	2.8A	1.9B	1.0B	94.3A	96.0A	92.6A
	C.V.(%)	6.3	11.8	19.3	17.9	15.6	13.4	10.4	11.4	3.4	24.4	24.6	3.9	21.5	22.4	3.1	3.0	4.5
Ordinary	Jopyeong	19.1c	1.2b	5.9b	30b	108b	5.7b	10b	52b	5.3c	20b	57b	2.8a	2.1bc	1.1ab	95.8a	96.6a	95.0a
	Odae	19.8bc	1.3b	5.6bc	24c	95b	4.8c	10b	54b	5.4c	14c	41c	2.8a	1.4d	0.8c	94.9a	96.5ab	92.8a
	Unkwang	21.1a	1.6a	5.0cd	41a	146a	6.9a	11a	64a	5.6ab	29a	83a	2.8a	2.6a	1.3a	90.6b	95.1ab	87.1b
	Haedamssal	19.1c	1.2b	7.4a	26bc	101b	5.3bc	10b	55b	5.7a	17bc	46bc	2.8a	1.7cd	0.8c	91.0b	95.1ab	86.3b
	Jinkwang	20.8ab	1.5ab	4.5d	30b	111b	5.3bc	9b	52b	5.5bc	21b	60b	2.9a	2.2b	1.2ab	94.7a	96.5ab	93.1a
	Haedeul	20.3abc	1.3b	5.9b	27bc	104b	5.1bc	9b	53b	5.7a	18bc	51bc	2.9a	1.9bc	1.0bc	93.4a	94.1b	93.0a
	Mean	20.0A	1.4AB	5.7A	30AB	111AB	5.5B	10A	55AB	5.5B	20B	56AB	2.8A	2.0B	1.0AB	93.4A	95.6A	91.2A
	C.V.(%)	6.1	16.2	19.3	21.2	19.1	15.9	10.7	12.1	3.4	28.1	29.7	3.9	22.1	24.5	3.0	2.0	6.0
Late	Jopyeong	19.4a	1.3a	6.1a	35ab	124ab	6.4ab	10a	54a	5.6d	26ab	70ab	2.7ab	2.6ab	1.3ab	94.2a	97.7a	91.6a
	Odae	20.1a	1.4a	6.4a	28c	109b	5.4c	10a	56a	5.6d	18c	52c	2.8ab	1.8c	0.9c	92.1abc	96.9ab	87.0a
	Unkwang	20.6a	1.6a	3.4c	38a	136a	6.6a	10a	58a	5.9bc	28a	79a	2.8ab	2.9a	1.4a	89.2c	95.4abc	84.7a
	Haedamssal	19.6a	1.4a	4.8b	31bc	118b	6.0abc	9a	57a	6.1ab	22bc	60bc	2.7b	2.3b	1.0bc	84.3d	93.2c	75.1b
	Jinkwang	19.5a	1.4a	3.8c	30bc	113b	5.8bc	10a	54a	5.7cd	21bc	59bc	2.8ab	2.2bc	1.1bc	89.8bc	94.6bc	85.2a
	Haedeul	20.2a	1.5a	4.1bc	30c	116b	5.8bc	9a	57a	6.1a	20c	59bc	2.9a	2.2bc	1.0bc	93.7ab	97.8a	89.9a
	Mean	19.9A	1.4A	4.8B	32A	119A	6.0A	10A	56A	5.8A	22A	63A	2.8A	2.3A	1.1A	90.5B	96.0A	85.6B
	C.V.(%)	5.3	19.6	27.7	16.1	13.9	11.7	7.7	7.6	4.3	21.8	23.2	5.4	20.6	22.1	5.0	2.9	8.9
Total		19.6	1.4	5.0	30	112	5.7	10	55	5.6	20	57	2.8	2.1	1.0	92.8	95.9	89.8
C.V.(%)		6.3	16.9	24.2	19.2	16.9	14.1	9.7	10.6	4.4	25.9	26.9	4.3	23.1	24.0	4.1	2.6	7.4

^zPL2: panicle length on panicle sample, TNN: thickness of neck node, PE: panicle exertion, NR: number of rachis-branches per panicle, NS2: number of spikelets per panicle on panicle sample, 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, SF: spikelet fertility, SFPr: spikelet fertility on PRBs, SFSr: spikelet fertility on SRBs

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

^xCapital letters indicate statistic different among cultivation time

Table 6. Additive main effects and multiplicative interaction (AMMI) analysis of variance for panicle-related traits of varieties (genotype) by cultivation time (environment)².

Source of variation	df	TNN		PE		NR		DP		NPr		NSPr		MNSPr		NSr		MNSSr		Sr/Pr		SSr/SPr		SF		SFPr		SFSr			
		SS	%	SS	%	SS	%	SS	%	SS	%	SS	%	SS	%	SS	%	SS	%	SS	%	SS	%	SS	%	SS	%	SS	%		
Genotype (G)	5	0.9 ^{ns}	168	51.3 ^{ns}	32.2	1,69 ^{ns}	47.3	26.1 ^{ns}	37.9	26.4 ^{ns}	27.7	98 ^{ns}	27.3	2.6 ^{ns}	38.9	1,418 ^{ns}	48.4	10,85 ^{ns}	42.9	0.2 ^{ns}	10.8	11.0 ^{ns}	44.8	2.9 ^{ns}	43.5	394 ^{ns}	25.2	75 ^{ns}	109	983 ^{ns}	21.0
Environment (E)	2	0.5 [*]	8.2	27.1 ^{ns}	17.0	322 ^{ns}	9.2	6.0 ^{ns}	8.8	2.5 ^{ns}	2.7	145 ^{ns}	4.0	1.8 ^{ns}	27.3	314 ^{ns}	10.7	2,303 ^{ns}	9.1	0.0 ^{ns}	1.0	3.6 ^{ns}	14.8	0.5 ^{ns}	7.0	281 ^{ns}	18.0	3 ^{ns}	0.4	998 ^{ns}	21.3
Rep (E)	6	0.2 ^{ns}	2.9	3.7 ^{ns}	2.3	62 ^{ns}	1.8	1.3 ^{ns}	1.9	2.0 ^{ns}	2.1	91 ^{ns}	2.5	0.1 ^{ns}	1.5	45 ^{ns}	1.5	401 ^{ns}	1.6	0.1 ^{ns}	4.4	0.3 ^{ns}	1.1	0.1 ^{ns}	1.0	99 ^{ns}	6.4	89 ^{ns}	12.9	225 ^{ns}	4.8
G × E	10	0.3 ^{ns}	5.2	33.9 ^{ns}	21.2	183 ^{ns}	5.2	3.2 ^{ns}	4.6	9.1 ^{ns}	9.6	288 ^{ns}	8.0	0.2 ^{ns}	3.6	140 ^{ns}	4.8	1,186 ^{ns}	4.7	0.1 ^{ns}	5.1	1.0 ^{ns}	4.2	0.3 ^{ns}	4.2	202 ^{ns}	12.9	73 ^{ns}	10.6	536 ^{ns}	11.4
Residuals	84	3.7	66.8	43.5	27.3	1,283	36.6	32.3	46.8	55.1	58.0	2,097	58.2	1.9	28.7	1,013	34.6	10,582	41.8	1.3	78.8	8.6	35.0	2.9	44.3	587	37.5	480	66.3	1,952	41.6
AMMI PC1	6	0.1	80.4	15.1	89.2	81.4	89.1	1.3	84.8	3.8	83.9	114	79.4	0.1	91.6	60.7	86.8	490	82.6	0.0	95.3	0.3	67.3	0.1	67.4	79.2	78.4	34.0	93.3	22.5	84.2
AMMI PC2	4	0.0	19.6	1.8	10.8	10.0	10.9	0.2	15.2	0.7	16.1	30	20.6	0.0	8.4	9.2	13.2	103	17.4	0.0	4.7	0.2	32.7	0.0	32.6	21.8	21.6	2.5	6.7	42	15.8

²df: degree of freedom, TNN: thickness of neck node, PE: panicle exertion, NR: number of rachis-branches per panicle, DP: density of spikelets in panicle, NPr: number of spikelets on PRBs per panicle, MNSPr: mean number of spikelets on a PRB, NSr: number of spikelets on SRBs per panicle, MNSSr: ratio of spikelets on SRBs to PRBs, SF: spikelet fertility, SFPr: spikelet fertility on PRBs, SFSr: spikelet fertility on SRBs, SS: sum of squares, PC: principle component

^{ns}, ^{*}, and ^{**} mean no significant, significant at $p < 0.05$, and $p < 0.01$ by ANOVA, respectively.

형질들이 1차 지경 관련 형질들에 비해 유전형에 의한 영향이 더 컸다. 또한 1차 지경수와 1차 지경 착생립수는 환경에 의한 영향이 통계적으로 유의하지 않은 반면, 2차 지경수와 2차 지경 착생립수는 통계적으로 유의한 수준에서 환경에 의해 설명되는 변이가 각각 10.7%, 9.1%로 환경의 영향을 받았다. 이는 1차 지경에 비해 2차 지경 관련 형질이 유전적으로나 환경적으로 변이가 크다는 삼원분산분석의 결과와 일치하였다(Table 4). 유전형과 환경의 상호작용이 큰 형질로는 이삭 추출도가 21.2%로 가장 컸고 임실률 관련 형질들이 다른 형질들에 비해 큰 편이었다. AMMI biplot을 이용하여 이삭 관련 형질 변이에 대한 품종의 유전형과 재배시기 환경과의 상가적 주효과와 유전형과 환경과의 상호작용을 시각적으로 제시하였다(Fig. 5). 수당립수가 가장 많고 수량이 높았던 운광은 이삭목두께가 두껍고 이삭 추출은 적으며 임실률이 낮은 편이며 재배시기에 따른 이삭목두께와 임실률의 변동이 적었다(Fig. 5A, M, N, O). 운광은 총지경수, 착립밀도, 1차 및 2차 지경수와 착생립수가 가장 많고 재배시기별 변동이 다른 품종에 비해 컸으며 특히 1차 지경수 및 착생립수의 변동이 다른 품종이 비해 컸고, 다른 시기에 비해 보통기 재배에서 해당 형질들의 값이 상대적으로 높았다(Fig. 5C, D, E, F, H, I). 운광은 sink 크기를 결정하는 수당립수에 관여하는 이삭 관련 형질 값이 다른 품종들에 비해 커 잠재수량성이 높았으나, 호남평야지 재배시기 모두에서 임실률이 낮아 안정적 수량성 확보를 위해서는 임실률 개선이 필요한 것으로 생각된다.

재배시기별 수량과 이삭 관련 형질들의 관련성

재배시기별 수량 관련 9형질과 이삭 관련 17형질에 대한 상관분석을 5개의 그룹으로 계층적 군집형으로 수행하였다(Fig. 6). 수량과 같은 그룹으로 분류된 형질들은 조기 재배는 수당립수(상관계수 0.56), 1차 지경 평균립수(0.56), 수장(0.52), 수장2 (0.30) 등 4형질이었고 보통기 재배는 수당립수(0.54), 총지경수(0.46), 2차 지경수(0.46), 착립밀도(0.45), 수당립수2 (0.44), 1차 지경 착생립수(0.42) 등 12형질이었으며, 만기 재배에서는 수당립수(0.51), 2차 지경수(0.48), 1차 지경당 2차 지경수(0.48), 2차 지경 착생립수(0.39) 등 8형질이었고 전체시기에서는 1차 지경 평균립수(0.52), 정현비율(0.46), 수수(0.41) 등 3형질이었다. 높은 수준의 부의 상관관계를 나타낸 형질들은 조기 재배에서 등숙률과 수당립수(상관계수 -0.56), 간장과 1차 지경수(-0.51), 보통기 재배에서 간장과 출수일수(-0.54), 수장과 정현비율(-0.51), 만기 재배에서 수수와 이삭목두께(-0.84), 2차 지경 착생립수(-0.61), 전체시기에서 출수일수와 수량(-0.64), 간장(-0.63)이었다.

Fig. 5. Additive main effects and multiplicative interaction (AMMI) biplots of panicle-related traits in six early maturing rice varieties across three cultivation times. Thickness of neck node (A), panicle exertion (B), number of rachis-branches per panicle (C), density of spikelets in panicle (D), number of primary rachis-branch (PRB)es per panicle (E), number of spikelets on PRBs per panicle (F), mean number of spikelets on a PRB (G), number of secondary rachis-branch (SRB)es per panicle (H), number of spikelets on SRBs per panicle (I), mean number of spikelets on a SRB (J), ratio of SRBs to PRBs (K), ratio of spikelets on SRBs to spikelets on PRBs (L), spikelet fertility (M), spikelet fertility on PRBs (N), spikelet fertility on SRBs (O). HD: Haedeul, HDS: Haedamssal, JK: Jinkwang, JP: Jopyeong, OD: Odae, UK: Unkwang. E: early cultivation, O: ordinary cultivation, L: late cultivation.

주성분분석을 통해 수량과 이삭 관련 형질, 공시 품종들의 구조적 관계를 파악하였다(Fig. 7). 주성분분석을 통해 각 재배시

기별 주성분1은 39.7-49.5% 가량을 설명하였고 주성분2는 17.8-24.0% 가량을 설명하여 이들 2개 주성분으로 61.0-68.0%

Fig. 6. Correlation analysis among traits in early (A), ordinary (B), late (C), and total (D) cultivations. HD: heading date, CL: culm length, PL: panicle length, PN: number of panicles per hill, NS: number of spikelets per panicle, RRG: ratio of ripened grain, BRR: brown/rough rice ratio, PL2: panicle length on panicle sample, TNN: thickness of neck node, PE: panicle exsertion, NR: number of rachis-branches per panicle, NS2: number of spikelets per panicle on panicle sample, DP: density of spikelets in panicle, NPr: number of primary rachis-branch (PRB)es per panicle, NSPr: number of spikelets on PRBs per panicle, MNSSr: 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, SF: spikelet fertility, SFPr: spikelet fertility on PRBs, SFSr: spikelet fertility on SRBs. Blue and red color backgrounds indicate positive and negative correlations, respectively.

를 설명할 수 있어 전체 형질 변이를 설명하는 데는 다소 부족하였는데, 이는 형질 수가 26개로 많은 것에 기인한 것으로 판단되었다. 모든 시기에서 수당립수와 상관관계가 높았던 이삭 관련 형질들은 밀접하게 모여 같은 방향성을 나타내 관련성이 높았으며, 품종 중 운광이 해당 부위에 위치하는 경향이였다. 수량은 모든 시기에서 주성분1을 기준으로 수당립수와 같은 방향성을 나타냈으며, 수수, 천립중 등 다른 수량구성요소에 비해 수당립수와 밀접하게 모여 분포하고 있어 수당립수가 수량성과 관련성이 높은 것으로 판단되었다.

품종의 유전형에 따른 수량 및 이삭 관련 형질 특성과 재배시기에 따른 환경 변화는 형질 변이에 영향을 미친다. 각 품종들이 가지고 있는 형질 특성과 이들의 관련성을 파악하고 환경과의 상호작용을 이해하는 것은 환경에 적합한 벼 품종을 선정하거나 적응성이 높은 우량 품종 개발에 활용될 수 있다. 본 연구는 수량성에 초점을 맞춰서 분석이 이루어졌다. 벼 품종의 성능과 선택에 있어서 수량과 함께 중요한 요인인 품질에 대한 분석이 병행된다면 호남평야지에서 재배시기별로 적합한 조생종 벼 품종을 선정하고 개발하는 데 기여할 것으로 기대된다.

Fig. 7. Principle component analysis among traits in early (A), ordinary (B), late (C), and total (D) cultivations. HD: heading date, CL: culm length, PL: panicle length, PN: number of panicles per hill, NS: number of spikelets per panicle, RRG: ration of ripened grain, BRR: brown/rough rice ratio, PL2: panicle length on panicle sample, TNN: thickness of neck node, PE: panicle exertion, NR: number of rachis-branches per panicle, NS2: number of spikelets per panicle on panicle sample, 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, SF: spikelet fertility, SPr: spikelet fertility on PRBs, SFSr: spikelet fertility on SRBs. HD: Haedeul, HDS: Haedamssal, JK: Jinkwang, JP: Jopyeong, OD: Odae, UK: Unkwang.

적 요

호남평야지에서 작부체계 다양화를 위해 조생종 벼 재배가 증가하고 있다. 호남평야지 조생종 벼 재배의 작부체계는 이앙시기에 따라 크게 조기, 보통기, 만기 재배로 나뉘며 재배시기의 환경 변화에 따라 품종의 유전적 형질 특성이 변하게 된다. 본 연구는 호남평야지에서 조평, 오대, 운광, 해답쌀, 진광, 해들 등 6개 조생종 품종을 대상으로 조기, 보통기, 만기 재배시기별 9개 수량 관련 형질과 17개 이삭 관련 형질 특성을 분석하여 품종의 성능을 평가하고 유전형과 환경과의 관련성을 해석하기 위해서 수행되었다. 출수일수는 조기, 보통기, 만기 재배순으로 길어졌으며, 생육기 누적평균온도는 재배시기별로 비슷한 경향을 나타

냈다. 수당립수는 품종에 의한 변이가 가장 컸으며 2차 지경 관련 형질들이 1차 지경 관련 형질들에 비해 품종의 영향을 더 많이 받았다. 재배시기별 수량이 가장 높은 품종은 조기 재배에서 해답쌀, 보통기와 만기 재배에서 운광이었다. 해답쌀은 평균적 수당립수에 수수가 많은 수수형 초형을 나타냈으며, 운광은 수당립수가 많고 수수가 적은 수중형 초형을 나타냈다. AMMI 분석 결과 형질 변이에 유전형이 가장 많은 영향을 끼친 것은 수당립수였고, 환경이 가장 많은 영향을 미친 것은 출수일수였다. 모든 시기에서 수당립수가 수량 증가에 기여하는 바가 가장 컸다. 수당립수는 호남평야지에 적응하는 조생종 벼 품종의 수량성 향상을 위한 목표 형질로 활용될 수 있다. 하지만 수당립수와 부의 상관관계를 나타내는 수수 또한 수량 증가에 기여하는

바가 크기 때문에 수당립수 증대를 통한 수량성 향상을 목표로 할 경우 적정 수수의 확보는 반드시 필요할 것으로 생각된다.

사 사

본 논문은 농촌진흥청 연구사업(과제번호: PJ01187203)의 지원에 의해 이루어진 것입니다.

REFERENCES

1. Baek MK, Park HS, Nam JK, Cho YC, Kim KY, Kim JJ, Kim WJ, Shin WC, Jeung JU, Kim CS, Jeong JM, Lee KM, Park SG, Lee CM, Suh JP, Lee JH. 2019. High grain quality mid-late maturing rice cultivar 'Yechan' with lodging tolerance and multiple disease resistance. *Korean J Breed Sci* 51: 504-514.
2. Choi KJ, Lee JI, Chung NJ, Yang WH, Shin JC. 2006. Effects of temperature and day-length on heading habit of recently developed Korean rice cultivars. *Korean J Crop Sci* 51: 41-47.
3. Gauch HG, Piepho HS, Annicchiarico P. 2008. Statistical analysis of yield trials by AMMI and GGE: Further considerations. *Crop Sci* 48: 866-889.
4. Hirota O, Oka M, Takeda T. 1990. Sink activity estimation by sink size and dry matter increase during the ripening stage of barley (*Hordeum vulgare*) and rice (*Oryza sativa*). *Ann Bot* 65: 349-353.
5. Hongyu K, García-Peña M, de Araújo LB, dos Santos Dias CT. 2014. Statistical analysis of yield trials by AMMI analysis of genotype $\times$ environment interaction. *Biometrical Lett* 51: 89-102.
6. Hwang UH, Lee CK, Jung JH, Lee HS, Yang SY, Im YH, Choi KJ. 2019. Heading and ripening characters of major early maturing breeding rice lines according to transplanting date and temperature condition. *Korean J Crop Sci* 64: 185-192.
7. 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.
8. 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.
9. Lee JH, Cho JH, Kim SY, Lee JY, Kim CS, Yeo US, Song YC, Sohn YB, Oh MK, Kang HW, Nam MH. 2012. Correlation analysis between head rice ratio and agronomic traits in RILs for developing a promising rice cultivar adaptable to the early-transplanting cultivation. *Korean J Crop Sci* 57: 1-6.
10. 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.
11. 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.
12. Li Z, Pinson SR, Stansel JW, Paterson AH. 1998. Genetic dissection of the source-sink relationship affecting fecundity and yield in rice (*Oryza sativa* L.). *Mol Breed* 4: 419-426.
13. 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.
14. 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.
15. Park HS, Kim KY, Mo YJ, Choi IB, Baek MK, Ha KY, Ha WG, Kang HJ, Shin MS, Ko JK. 2011. Characteristics and variation of panicle traits of Korean rice varieties in wet season of the Philippines. *Korean J Breed Sci* 43: 68-80.
16. 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.
17. 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.
18. Park HS, Baek MK, Kim CS, Lee GM, Park SG, Lee CM, Suh JP, Cho YC. 2018. Development and characterization of rice lines with clustered spikelets and dense panicle. Korean J Breed Sci 50: 415-423.
19. 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.
20. Venkateswarlu B, Visperas RM. 1987. Source-sink relationships in crop plants. IRRI Research Paper Series. International Rice Research Institute, Los Banos, Philippines. pp. 1-19.
21. Vergara BS, Chang TT. 1985. The flowering response of the rice plant to photoperiod. A review of the literature 4th Ed. International Rice Research Institute, Los Banos, Philippines. pp. 61.
22. Yan W, Kang MS, Ma B, Woods S, Cornelius P. 2007. GGE biplot vs. AMMI analysis of genotype-by-environment data. Crop Sci 47: 641-653.