자포니카 다수성 벼 드래찬과 보람찬 유래 약배양 계통을 이용한 이삭 및 수량 관련 형질 분석 및 다수성 계통 육성

박현수^{1*} · 하기용¹ · 김기영¹ · 김우재¹ · 남정권¹ · 백만기¹ · 김정주¹ ·
정종민¹ · 조영찬¹ · 이점호² · 김보경¹ · 안상낙³

¹농촌진흥청 국립식량과학원, ²농촌진흥청 국립식량과학원 중부작물부, ³충남대학교 농업생명대학

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

Hyun-Su Park^{1*}, Ki-Yong Ha¹, Ki-Young Kim¹, Woo-Jae Kim¹, Jeong-Kwon Nam¹,
Man-Kee Baek¹, Jeong-Ju Kim¹, Jong-Min Jeong¹, Young-Chan Cho¹, Jeom-Ho Lee²,
Bo-Kyeong Kim¹, and Sang-Nag Ahn³

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

²Department of Central Area, NICS, RDA, Suwon 16429, Korea

³Department of Agronomy, Chungnam National University, Daejeon 34134, Korea

Abstract : A doubled haploid (DH) lines derived from the cross between high-yielding *japonica* rice cultivars ‘Deuraechan’ and ‘Boramchan’ was developed to increase diversity of panicle and yield-related traits and select high-yielding lines. Panicle and yield-related traits of DH population consisting of 163 lines and 13 selected high-yielding lines were analyzed using correlation, principal component, and path analysis. Among panicle-related traits, number of spikelets on secondary rachis-branches (SRBs) was more highly correlated with and had more positive effect on number of spikelets (NS) than number of spikelets on primary rachis-branches (PRBs) per panicle. In the DH population, NS had the most positive effect on yield, whereas panicle number per hill (PN) was in the selected lines. PN was significantly positive correlated with ratio of ripened grain (RG) in both case. The enhancement of ripening and increase of total spikelets number by increasing PN had more effect on yield than increase of total spikelets number by increasing NS in the selected lines. Among 13 lines, four lines, AC60, AC152, AC156, and AC161 showed higher yield than Deuraechan (481 kg/10a) and Boramchan (558 kg/10a). Deuraechan exhibited panicle-weight type with low tiller and heavy panicles and Boramchan was slightly panicle-number type with more PN and higher RG. Selected high-yielding lines showed medium characteristics of parents with improved yield potential. These elite lines could be utilized to develop high-yielding *japonica* rice.

Keywords : Rice, Yield, Panicle, Trait, Doubled haploid

서 언

벼 육종에 있어서 수량성 향상은 가장 중요한 목표이다. 벼

의 수량성은 식물체의 광합성에 의해 동화산물이 생성되고
전류되는데 관여하는 능력인 source와 종실에 축적될 수 있는
잠재력인 sink에 의해 결정된다. Source와 sink의 크기와 이
들의 균형에 의해 수량성이 결정되는데 sink가 작으면 높은
수량을 기대하기 어렵고, sink의 크기가 크다 해도 source가
이를 뒷받침해주지 못하면 수량이 향상되지 않는다. Source
는 식물체의 광합성 능력, 초형에 의한 수광태세, 엽노화도 등

*Corresponding author (E-mail: mayoe@korea.kr, Tel: +82-63-238-5202, Fax: +82-63-238-5205)

(Received on October 12, 2015. Revised on November 18, 2015.
Accepted on November 18, 2015.)

에 의해 영향을 받고 sink의 크기는 크게 주당수수와 수당립수에 의한 단위면적당 립수와 종실의 크기에 의해 결정되며 소수가 종실로 되는 임실률과 종실의 등숙률 및 종실중에 의해 수량이 결정된다(Hirota et al. 1990, Li et al. 1998, Park et al. 2011, Venkateswarlu & Visperas 1987).

벼 이삭의 기본구조는 수축에서 분지한 지경에 소수가 착생되어 있는 것으로 지경의 분지 체계, 지경의 종류와 수, 착생립의 수와 밀도, 이삭 내 위치에 따른 착생립의 분포 등에 의해 이삭의 형태가 구성된다(Park et al. 2010). 이삭의 형태적 특성은 생태형 및 품종간 다양한 변이를 나타낸다. Matsuo (1952)는 자포니카형이 열대 자포니카나 인디카에 비해 상대적으로 이삭이 짧고 무거우며 착생밀도가 높은 반면 인디카형이 다른 생태형보다 더 많은 지경을 가지고 있다고 하였고, Manaka & Matsushima (1971)는 대부분의 자포니카 벼 품종의 1차 지경 착생립수는 5개 또는 6개인 반면 인디카 품종은 다양한 변이를 나타낸다 하였다. Taguch-Shiobara et al. (2011)는 136개 인디카와 156개 자포니카 품종의 이삭형질에 대한 주성분 분석에서 인디카가 자포니카에 비해 수축은 짧고 1차 지경이 성기게 발생하는데, 1차 지경의 길이가 더 길고 1차 지경에서 착생된 립과 1차 지경에서 분지한 2차 지경 및 착생립수가 많이 생성되며, 2차 지경에서 더 많은 지경이나 착생립을 생성한다고 하였다. Park et al. (2010)은 178개 우리나라 벼 품종을 대상으로 이삭관련 형질을 분류하였는데 통일형이 자포니카 형보다 이삭 크기가 크며 이는 2차 지경수가 많고 2차 지경 착생립수가 많기 때문이라 하였고 2차 지경 및 착생립수가 1차 지경 및 착생립수에 비해 수당립수에 영향을 많이 미친다고 하였다.

소수와 지경으로 구성된 이삭의 특성은 수당립수를 결정하고, 등숙률과 종실중에 영향을 주는 등 수량성과 밀접한 관련을 가지고 있어 이삭형질은 벼 육종가에게 중요한 목표 형질 중의 하나이다(Park et al. 2011). 우리나라에서의 자포니카와 인디카 교배를 통한 통일형 벼 개발, 일본의 초다수성 벼 육종사업, 국제미작연구소의 NPT (New Plant Type) 초형, 중국의 F1 hybrid 등 육종적 방법으로 이삭의 크기를 늘림으로써 수량성 향상을 위한 다양한 접근이 시도되어 왔으며 여러 품종 및 계통이 육성되었다(Chung & Heu 1980, Kushibuchi 1997, Peng et al. 2008, Yuan 1997). 이삭의 크기와 무게를 증대시키는 것도 중요하지만 sink 크기의 증대는 일반적으로 등숙률 감소에 영향을 미치고 이삭내 소수의 위치와 지경의 구조에 따라 등숙과 성숙 패턴, 광합성 동화산물의 분배와 최

종 중량이 차이가 나게 되며 이는 1차 지경립이 2차 지경립보다, 상위 지경립이 하위 지경립보다 등숙이 잘되기 때문에 이삭지경의 분지 체계에 대한 고려도 중요하다(Kim et al. 2003, Mo et al. 2012, Nagata et al. 2002, Park et al. 2010, Yamagishi et al. 2003).

이삭형질과 관련된 형질 특히 수당립수에 대한 많은 유전자 및 QTL이 보고되었다. 인디카 Habataki 품종에서 유래한 *Gn1a* (*Grain number 1a*)는 1번 염색체 단완에 위치하면서 사이토카닌 산화효소를 부호화하며, *Gn1a*의 발현이 줄어들게 되면 이삭 분열조직에 사이토카닌이 축적되고 수당립수가 증가하게 된다(Ashikari et al. 2005). *DEP1* (*DENSE AND ERECT PANICLE1*)은 9번 염색체에 존재하며 대립유전자의 말단 부위에 절단 변이가 발생하여 phosphatidylethanolamine-binding protein-like domain protein의 기능을 상실하게 되면 수당립수가 증가된 고밀도 직립 이삭형태를 가져오게 된다(Huang et al. 2009). 중국 특히 동북지역의 자포니카형 다수화 품종 중에 많은 수가 *dep1*을 가지고 있는데, 1970년대 이탈리아에서 광범위하게 재배되었던 재래종 Balilla가 1958년에 중국에 도입되었고 이를 이용해 개발된 Shennong 265를 비롯하여 자포니카 직립 또는 반직립 다수화 품종에서 *dep1*이 있는 것으로 확인되었다(Huang et al. 2009). *WFP* (*WHEALTHY FARMER'S PANICLE*)와 *IPAI* (*IDEAL PLANT ARCHITECTURE*)이 각각 보고되었는데 나중에 8번 염색체 장완에 위치하는 같은 QTL로 밝혀졌고 부호화하는 유전자는 전사인자인 *OsSPL14* (*SQUAMOSA PROMOTER BINDING PROTEIN-LIKE 14*)로 *WFP*는 인디카 ST-12 품종에서 *IPAI*는 자포니카 Shaonieijing 계통에서 유래하였다(Jiao et al. 2010, Miura et al. 2010). 초기 생식생장기에 *OsSPL14^{WFP}*의 과발현은 이삭의 지경분화를 촉진시키는데 특히 1차 지경의 수가 증가하여 수당립수가 증가하게 되고, *OsSPL14^{ipai}*은 영양생장기의 이소성 발현을 나타내고 생식생장기의 과발현을 나타내는데 *OsSPL14^{WFP}*와 마찬가지로 1차 지경 증가에 따른 수당립수가 증가하나 수수가 줄어들게 되고 줄기가 강해지게 되는데 이는 아마 영양생장기의 이소성 발현에 기인한 것으로 생각된다 하였다(Miura et al. 2011). *APO1* (*ABERRANT PANICLE ORGANIZATION 1*)은 인디카 Habataki의 6번 염색체 QTL인 *PBN6* (for primary branch number on chromosome 6)에서 동정된 유전자로 1차 지경을 증가시킴으로써 수당립수가 증가되고 수량이 증가하나 수수나 등숙률의 감소가 없다고 하였으며, *APO1*의 발현은 수당립수의 증가 뿐만 아니라 유관속수의 증가를 가져와

동화산물 전류효율을 높여 등숙이 잘되게 한다고 하였다 (Terao et al. 2010). 이에 반해 *Gn1*의 경우 수당립수가 증가하는데 주로 2차 지경의 증가에 의한 것으로 이는 같은 지경 내 종실의 동화산물 전류의 경합을 가져와서 등숙에 악영향을 가져온다 하였다(Nagata et al. 2002).

농촌진흥청 국립식량과학원에서는 자포니카 초다수성 벼 품종으로 준조생종인 남일(2003), 중만생종인 한마음(2004), 드래찬(2008), 보람찬(2009), 희망찬(2011년) 등 5개 품종을 개발하였다(Won & Oh 2014). 이들 품종들의 수량성은 다비밀식 조건에서 육성 당시 662 (남일), 643 (한마음), 652 (드래찬), 733 (보람찬), 618 (희망찬) kg/10a 으로 자포니카형 표준 및 비교 품종에 비해서 높은 수량성을 나타냈다. 남일과 드래찬은 소얼 수중형으로 도복에 강하고 수당립수를 증대시킴으로써 수량성을 향상시키는 방향으로 육성된 품종이고, 한마음은 립형을 크게하고 1차 지경수 및 착생립수를 증가시켜 1차 지경당 2차 지경수 및 착생립수의 비율을 줄임으로써 립중의 증대와 등숙률을 동시에 향상시킴으로써 다수성에 도달한 품종이다(Ha et al. 2009, Kim et al. 2003). 희망찬은 간장을 키워 다소 키가 크고 수당립수가 한마음에 비해 많으나 내도복성을 바탕으로 립중을 증가시킴으로써 수량성을 증대하고자 육성한 품종이다(Ha et al. 2014). 보람찬은 지금까지 육성된 자포니카 품종 중에서 육성 당시 수량성이 가장 높은 품종으로 수수가 상대적으로 다른 품종에 비해 많은 초형으로 등숙률이 높고 내도복성과 내병성도 함께 갖추고 있다(Ha et al. 2012). 하지만 잠재 수량성이 733 kg/10a에 달하는 보람찬이 2013년 농가 생산성이 600 kg 수준으로 82% 수준이었으며 지역별로 수량성 변이도 커 연차 및 지역간 변이와 질소 시비 조건 등에 의해 수량성 변동이 큰 것으로 나타났다(Sang et al. 2014).

본 연구는 자포니카 초다수성 품종으로 다수성에 관여하는 형질 특성이 다른 드래찬을 모본으로 보람찬을 부분으로 이용하여 인공교배와 약배양을 통해 이삭 및 수량 관련 형질 변이를 증대시킨 고정 집단을 육성하고, 보통기 일반재배에서 집단 내에서 이삭 및 수량 관련 형질들의 특성을 분석하여 다수성 우량 계통을 선발하고 선발된 계통의 특성을 분석하여 자포니카 수량성 향상을 위한 벼 육종사업에 반영하고자 수행하였다.

Table 1. The abbreviations for panicle and yield-related traits.

Abbreviations:	
PL	Panicle length
TNN	Thickness of neck node
PRB	Primary rachis-branch
SRB	Secondary rachis-branch
NR	Number of rachis-branches per panicle
NS	Number of spikelets per panicle
NPr	Number of PRBs per panicle
NSPr	Number of spikelets on PRBs per panicle
MNSPr	Mean number of spikelets on a PRB
NSr	Number of SRBs 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
CL	Culm length
FL	Flag leaf length
PN	Panicle number per hill
TGW	1,000 grain weight
RRG	Ratio of ripened grain
BRR	Brown/rough rice ratio
RRY	Rough rice yield
BRY	Brown rice yield
MRY	Milled rice yield
DAS	Day after seedling

재료 및 방법

시험재료 및 재배방법

농촌진흥청 국립식량과학원에서 자포니카형 초다수 벼 품종으로 개발된 드래찬(Ha et al. 2009)과 보람찬(Ha et al. 2012)을 모부본으로 하여 인공교배된 F₁식물체를 이용하여 약배양을 수행하였다(Table 2). 약배양 유래 220개 계통을 2011년 국립식량과학원 익산 벼 시험포장에 재식거리 30 × 15 cm로 계통당 1주 1본으로 30주씩 이양하였고 이 중 출수가 모부본과 비슷하고 농업형질이 양호한 163개 계통을 선발하여 이삭 및 수량 관련 형질에 대해서 조사하였다. 2012년 선발된 163개 계통과 모부본을 3반복으로 재식거리 30 × 15 cm로 1주 1본씩 30주씩 이양하여 이삭 및 수량 관련 형질에 대해서 조사하였다. 2013년 모부본과 선발된 13개 다수성 계통에 대해서 재식거리 30 × 15 cm로 주당 3본씩 구당 180주

Table 2. Anther culture ability and doubled haploid lines derived from the cross of Deuraechan/Boramchan.

Anther cultured (no.)	Cali induced (no. and %)	Plant regeneration (no. and %) ^z	Green plants (no. and %) ^y	Albino (no. and %) ^x	Doubled haploid lines (no.) ^w
10,600	3,528(33.3)	450(12.8)	245(54.4)	215(45.6)	220

^zPercent plant regeneration is the number of plants regenerated over number of cali plated^yPercent green is the number of green plants regenerated over total plants regenerated^xPercent albino is the number of albino plants regenerated over total plants regenerated^wDouble haploid lines are harvested plants having fertile grain

를 3반복으로 이양하여 생산력 검정시험을 수행하였다. 2014년에 모부본과 최종 선발된 4개 우량계통에 대해서 2013년과 동일하게 생산력 검정시험을 수행하여 수량성 및 농업형질에 대해서 확인하였다. 시비량은 N-P₂O₅-K₂O를 90-45-57 kg/ha으로 질소는 기비 : 분얼비 : 수비를 50 : 20 : 30 비율로 분시하였고, 인산은 전량 기비로, 칼륨은 기비 : 수비를 70 : 30 비율로 분시하였다. 기타 재배관리는 농촌진흥청 표준 재배법에 준하여 실시하였다.

농업형질 조사

2011, 2012년에 수행된 시험에 대해서 공시 재료의 출수기를 조사하고 계통 당 평균이 되는 5주에 대해서 간장, 수장, 지엽장 및 수수를 실측하였다. 이삭관련 형질은 황숙기 이후에 각 계통의 3주의 주간에서 이삭을 채취하여 이삭길이, 이삭목두께, 한 이삭에서 분지한 전체 지경의 수(총지경수), 한 이삭에 착생한 전체 종실의 수(총립수; 수당립수), 1차 지경수, 1차 지경에 착생한 전체 종실의 수(1차 지경 착생립수), 1차 지경에 착생한 종실의 평균립수(1차 지경 평균립수), 2차 지경수, 2차 지경에 착생한 전체 종실의 수(2차 지경 착생립수), 2차 지경에 착생한 종실의 평균립수(2차 지경 평균립수), 이삭 내 1차 지경수에 대한 2차 지경수 비율(1차 지경당 2차 지경수), 이삭 내 1차 지경 착생립수에 대한 2차 지경 착생립수의 비율(1차 지경 착생립수당 2차 지경 착생립수)을 조사하였다. 천립중과 등숙률은 3주를 예취하여 간이 천립중과 등숙률을 조사하였고, 수량은 20주를 예취하여 정조 간이수량을 이용하였다. 2013, 2014년에 수행된 생산력 검정시험에서는 출수기를 조사하고 성숙기에 시험구별로 10개체에 대해서 간장, 수장, 수수를 측정하였다. 출수 후 50일에 3주를 예취하여 등숙률 및 수당립수를 측정하고, 수량은 100주를 예취하여 정조수량을 측정한다 다음 이 중 1.5 kg에 대해서 수량조사현미기(LST, Gwangyang, Korea)로 제형하여 정현비율을 측정하

고, 100주 정조수량에 정현비율을 곱하여 현미수량을 구하고 10a당 수량으로 환산하였다. 현미수량에 일반적 현백률인 0.92를 곱하여 백미수량을 구하였고 제현된 현미를 가지고 천립중을 측정하였다. 2013년에 공시된 재료에 대해서 수확기에 3주를 수확하여 모든 이삭에 대해서 2011, 2012년에 조사한 이삭관련 형질을 조사하여 형질 값으로 이용하였다.

통계 분석

통계분석은 SAS 프로그램(Version 9.2, SAS Institute Inc., Cary, NC, USA)을 이용하였다. 농업형질에 대한 평균을 기술 통계법으로 구하였고, 평균간 비교는 PROC ANOVA로 분산 분석 후 유의성이 있을 경우 5% 유의수준에서 Duncan's Multiple Range test (DMRT)로 분석하였다. PROC CORR로 상관분석을 실시하여 형질들의 관련성을 알아보고 이들 형질 및 공시재료의 구조적 관계를 분석하고자 PROC PRINCOMP로 주성분분석을 수행하였다. 이삭 및 수량 관련 형질 값을 이용하여 PROC CLUSTER의 평균연결법으로 군집분석을 수행하여 공시재료를 분류하였다. 수량성에 대한 형질들의 기여도를 알아보기 위해서 PROC TCALIS로 경로계수분석을 수행하였다.

결 과

약배양 유래 집단에서의 이삭 및 수량 관련 형질 분석

2011, 2012년에 드래찬과 보람찬 및 163개 약배양 계통으로 구성된 집단에 대해서 이삭길이(PL; x1), 이삭목두께(TNN; x2), 총지경수(NR; x3), 총립수(NS; x4), 1차 지경수(NPr; x5), 1차 지경 착생립수(NSPr; x6), 1차 지경 평균립수(MNSPr; x7), 2차 지경수(NSr; x8), 2차 지경 착생립수(NSSr; x9), 2차 지경 평균립수(MNSSr; x10), 1차 지경당 2차 지경수(Sr/Pr; x11), 1차 지경 착생립수당 2차 지경 착생립

수(SSr/SPr; x12), 간장(CL; x13), 지엽장(FL; x14), 수수(PN; x15), 천립중(TGW; x16), 등숙률(RRG; x17) 및 수량(Yield; x18)을 측정하였다. 약배양 유래 집단에 대해서 조사된 18개 형질들간의 상관관계를 분석하였다(Table 3). 집단 내에서 이삭길이(x1)는 이삭목두께(x2)와 정의 상관($r=0.547$; 2011, 0.752; 2012년)을 나타냈고 총지경수(x3; 0.472, 0.706)와 총립수(x4; 0.515, 0.659)와 정의 상관을 나타내었으며 1차 지경 관련 형질(x5, x6, x7)이 2차 지경 관련 형질(x8, x9, x10)보다 높은 상관을 나타냈다. 지엽장(x14; 0.556, 0.549)과 현미천립중(x16; 0.381, 0.314)과는 정의 상관을 나타냈고 수수(x15; -0.392, -0.807)와 등숙률(x17; -0.210, -0.329)과는 부의 상관을 나타냈다. 이삭목두께(x2)는 총지경(x3; 0.858, 0.833)과 총립수(x4; 0.884, 0.846)와 높은 수준의 정의 상관을 나타냈으며 2차 지경 관련 형질(x8, x9, x10)이 1차 지경 관련 형질(x5, x6, x7)보다 높은 상관을 나타냈다. 지엽장(x14; 0.513, 0.432)과는 정의 상관을 수수(x15; -0.325, -0.762)와는 부의 상관을 나타냈다. 지경과 착생립수와의 관련성에서 2차 지경 관련 형질(x8, x9, x10)이 1차 지

경 관련 형질(x5, x6, x7)보다 총지경수(x3), 총립수(x4)와 높은 정의 상관을 나타냈으며 1차지경당 2차지경 형질에 대한 비율인 1차 지경당 2차 지경수(x11)와 1차 지경 착생립수당 2차 지경 착생립수(x12)도 총지경수 및 총립수와 상관계수 0.770에서 0.862사이의 높은 정의 상관을 나타냈다. 간장(x13)은 2011년에는 천립중(x16; 0.386)과 정의 상관을 나타냈으나 다른 형질들과는 상관이 적은 편이었으며, 2012년에 천립중(x16; 0.322)과 등숙률(x17; 0.317)과는 정의 상관을 나타냈고 2차 지경 평균립수(x10; -0.424), 1차 지경당 2차지경수(x11; -0.415), 1차 지경 착생립수당 2차 지경 착생립수(x12; -0.376)와는 부의 상관관계를 나타냈다. 지엽장(x14)은 이삭길이(x1; 0.556, 0.549)와 가장 상관이 높았으며 지경과 착생립 관련 형질들과 모두 정의 상관을 나타냈으며 그 중 1차 지경 관련 형질(x5, x6, x7)이 2차 지경 관련 형질(x8, x9, x10)보다 상관이 높았다. 수수(x15)는 통계적으로 유의한 수준에서 2012년 등숙률(x17; 0.378)을 제외한 다른 형질들과 부의 상관을 나타냈으며 1차 지경 관련 형질(x5, x6)이 2차 지경 관련 형질(x8, x9)보다 높은 부의 상관을 나타냈다. 천

Table 3. Correlation coefficient among panicle and yield related traits in 2011 and 2012 (n=163).

Traits ^z	PL ^y (x1)	TNN (x2)	NR (x3)	NS (x4)	NPr (x5)	NSPr (x6)	MNSPr (x7)	NSr (x8)	NSSr (x9)	MNSSr (x10)	Sr/Pr (x11)	SSr/SPr (x12)	CL (x13)	FL (x14)	PN (x15)	TGW (x16)	RRG (x17)	Yield (x18)
x1		0.547**	0.472**	0.515**	0.544**	0.589**	0.354**	0.415**	0.396**	0.229**	0.241**	0.209**	0.209**	0.556**	-0.392**	0.381**	-0.210**	0.198*
x2	0.752**		0.858**	0.884**	0.655**	0.674**	0.294**	0.816**	0.803**	0.549**	0.629**	0.602**	0.005 ^{ns}	0.513**	-0.325**	0.159*	-0.313**	0.376**
x3	0.706**	0.833**		0.987**	0.571**	0.571**	0.188*	0.988**	0.965**	0.587**	0.859**	0.823**	-0.052 ^{ns}	0.412**	-0.302**	0.044 ^{ns}	-0.364**	0.468**
x4	0.659**	0.846**	0.990**		0.609**	0.630**	0.286**	0.967**	0.958**	0.640**	0.820**	0.793**	-0.039 ^{ns}	0.442**	-0.297**	0.059 ^{ns}	-0.378**	0.456**
x5	0.794**	0.765**	0.765**	0.817**		0.966**	0.218**	0.437**	0.367**	0.002 ^{ns}	0.075 ^{ns}	0.031 ^{ns}	0.194*	0.476**	-0.343**	0.395**	-0.156*	0.118 ^{ns}
x6	0.803**	0.745**	0.746**	0.812**	0.979**		0.462**	0.443**	0.380**	0.050 ^{ns}	0.093 ^{ns}	0.033 ^{ns}	0.224**	0.515**	-0.347**	0.388**	-0.170*	0.126 ^{ns}
x7	0.561**	0.424**	0.423**	0.516**	0.579**	0.732**		0.165*	0.169*	0.185*	0.086 ^{ns}	0.009 ^{ns}	0.171*	0.325**	-0.128 ^{ns}	0.118 ^{ns}	-0.098 ^{ns}	0.07 ^{ns}
x8	0.594**	0.799**	0.991**	0.969**	0.674**	0.656**	0.367**		0.988**	0.643**	0.926**	0.896**	-0.094 ^{ns}	0.361**	-0.266**	-0.026 ^{ns}	-0.370**	0.491**
x9	0.580**	0.792**	0.982**	0.966**	0.649**	0.633**	0.360**	0.994**		0.744**	0.942**	0.933**	-0.130 ^{ns}	0.335**	-0.226**	-0.073 ^{ns}	-0.388**	0.497**
x10	0.401**	0.610**	0.739**	0.759**	0.418**	0.417**	0.281**	0.762**	0.821**		0.713**	0.785**	-0.267**	0.180*	0.010 ^{ns}	-0.283**	-0.347**	0.382**
x11	0.298**	0.590**	0.825**	0.770**	0.288**	0.256**	0.058 ^{ns}	0.888**	0.907**	0.806**		0.986**	-0.182*	0.204**	-0.164 ^{ns}	-0.194*	-0.354**	0.495**
x12	0.346**	0.620**	0.862**	0.807**	0.338**	0.324**	0.161*	0.921**	0.927**	0.757**	0.986**		-0.222**	0.166*	-0.119 ^{ns}	-0.234**	-0.369**	0.492**
x13	0.061 ^{ns}	-0.160*	-0.221**	-0.194 ^{ns}	0.060 ^{ns}	0.079 ^{ns}	0.114 ^{ns}	-0.266**	-0.293**	-0.424**	-0.415**	-0.376**		-0.075 ^{ns}	-0.047 ^{ns}	0.386**	0.045 ^{ns}	-0.100 ^{ns}
x14	0.549**	0.432**	0.413**	0.421**	0.420**	0.426**	0.289**	0.388**	0.369**	0.189*	0.237**	0.279**	-0.006 ^{ns}		-0.418**	0.285**	-0.163*	0.241**
x15	-0.807**	-0.762**	-0.733**	-0.750**	-0.726**	-0.713**	-0.417**	-0.693**	-0.678**	-0.498**	-0.478**	-0.515**	0.148 ^{ns}	-0.548**		-0.361**	0.091 ^{ns}	0.142 ^{ns}
x16	0.314**	0.043 ^{ns}	-0.088 ^{ns}	-0.055 ^{ns}	0.200*	0.194*	0.107 ^{ns}	-0.142 ^{ns}	-0.158*	-0.252**	-0.310**	-0.291**	0.322**	0.375**	-0.180*		0.405**	-0.080 ^{ns}
x17	-0.329**	-0.398**	-0.538**	-0.527**	-0.321**	-0.308**	-0.162*	-0.552**	-0.562**	-0.511**	-0.550**	-0.545**	0.317**	-0.164*	0.378**	0.458**		-0.169*
x18	0.196*	0.261**	0.410**	0.413**	0.270**	0.271**	0.187*	0.415**	0.427**	0.427**	0.402**	0.400**	-0.14 ^{ns}	0.254**	-0.202**	0.051 ^{ns}	-0.323**	

^zUpper and lower diagonal indicate the value in 2011 and 2012, respectively

^yAbbreviations are listed in table 1

립중(x16)은 등숙률(x17; 0.405, 0.458), 간장(x13; 0.386, 0.322), 이삭길이(x1; 0.381, 0.314)와 정의 상관을 나타냈으며 1차 지경 관련 형질(x5, x6)과는 낮은 수준의 정의 상관을 나타냈으나 2차 지경 관련 형질(x8, x9)과는 관련성이 없었다. 등숙률(x17)은 지경과 착생립 관련 형질들과 대부분 부의 상관관계를 나타냈는데 특히 2차 지경 관련 형질(x8, x9, x10)이 1차 지경 관련 형질(x5, x6, x7)보다 높은 수준의 부의 상관을 나타냈고 1차 지경당 2차 지경 형질에 대한 비율인 1차 지경당 2차 지경수(x11)와 1차 지경 착생립수당 2차 지경 착생립수(x12)도 부의 상관관계를 나타냈다. 등숙률과 수량(x18; -0.169, -0.323)과는 부의 상관관계를 나타냈는데 그 수준이 낮았으며, 천립중(x17; 0.405, 0.458)과는 정의 상관을 수수(x15)와는 2012년에 정의 상관을 나타냈다. 수량(x18)은 이삭목두께(x2; 0.376, 0.261)와 정의 상관을 나타냈

으며 지경과 착생립 관련 형질들과 정의 상관을 나타냈으며 2차 지경 관련 형질(x8, x9, x1)이 1차 지경 관련 형질(x5, x6, x7)보다 상관이 높았고 1차 지경당 2차 지경 형질에 대한 비율인 1차 지경당 2차 지경수(x11)와 1차 지경 착생립수당 2차 지경 착생립수(x12)도 정의 상관관계를 나타냈다.

주성분 분석을 통해 형질들의 차원을 줄이고 구조적 관계를 분석하였다(Table 4, Fig. 1). 축소된 형질들의 주성분 1은 전체 형질 특성의 46.0(2011)와 55.3% (2012년)을 설명할 수 있으며 주성분 2는 18.9(2011)와 16.6%(2012년)을 설명할 수 있어 이들 2개 주성분으로 전체 형질의 64.8 (2011)와 71.8%(2012년)을 설명할 수 있었다. 주성분 1은 총립수 ($r=0.987$; 2011, 0.987; 2012년), 총지경수(0.975, 0.979), 2차 지경수(0.964, 0.963), 2차 지경 착생립수(0.960, 0.962), 이삭목두께(0.895, 0.870), 1차 지경 착생립수당 2차 지경 착

Table 4. Eigenvectors for the principal components of traits and correlation coefficient between the traits and principal components.

Trait	2011				2012			
	Eigenvector		Correlation coefficient		Eigenvector		Correlation coefficient	
	Prin1 ^z	Prin2	Prin1	Prin2	Prin1 ^z	Prin2	Prin1	Prin2
PL ^y	0.197	0.277	0.567**	0.511**	0.236	0.299	0.743**	0.516**
TNN	0.311	0.102	0.895**	0.189*	0.276	0.092	0.870**	0.159*
NR	0.339	-0.015	0.975**	-0.028 ^{ns}	0.310	-0.036	0.979**	-0.062 ^{ns}
NS	0.343	0.012	0.987**	0.023 ^{ns}	0.313	0.010	0.987**	0.017 ^{ns}
NPr	0.193	0.369	0.554**	0.680**	0.249	0.280	0.786**	0.484**
NSPr	0.202	0.385	0.582**	0.709**	0.248	0.303	0.781**	0.523**
MNSPr	0.102	0.191	0.292**	0.352**	0.158	0.276	0.498**	0.476**
NSr	0.335	-0.086	0.964**	-0.158*	0.305	-0.099	0.963**	-0.171*
NSSr	0.334	-0.128	0.960**	-0.235**	0.305	-0.121	0.962**	-0.209**
MNSSr	0.235	-0.252	0.676**	-0.465**	0.247	-0.212	0.779**	-0.366**
Sr/Pr	0.292	-0.248	0.841**	-0.456**	0.249	-0.316	0.787**	-0.545**
SSr/SPr	0.284	-0.285	0.816**	-0.525**	0.260	-0.275	0.820**	-0.474**
CL	-0.023	0.256	-0.067 ^{ns}	0.472**	-0.079	0.330	-0.249**	0.570**
FL	0.178	0.236	0.511**	0.436**	0.153	0.220	0.484**	0.381**
PN	-0.116	-0.235	-0.333**	-0.434**	-0.254	-0.167	-0.801**	-0.288**
TGW	0.016	0.394	0.045 ^{ns}	0.726**	-0.017	0.416	-0.053 ^{ns}	0.718**
RRG	-0.148	0.110	-0.425**	0.203**	-0.184	0.215	-0.580**	0.370**
Yield	0.176	-0.133	0.507**	-0.245**	0.141	-0.072	0.446**	-0.125 ^{ns}
Eigen value	8.27	3.40			9.95	2.98		
Contribution (%)	46.0	18.9			55.3	16.6		
Cumulative contribution (%)	46.0	64.8			55.3	71.8		

^zPrin1 and Prin2 indicate the first and second component, respectively

^yAbbreviations are listed in table 1

Fig. 1. Relationship among traits in the principal component analysis (PCA) diagram composed of component 1 and 2 in 2011 (A) and 2012 (B). Abbreviations are listed in table 1.

생립수(0.816, 0.820), 1차 지경당 2차 지경수(0.841, 0.787), 2차 지경 평균립수(0.676, 0.779)와 높은 정의 상관관계를 나타냈고 1차 지경 착생립수(0.582, 0.781), 1차 지경수(0.554, 0.786), 이삭길이(0.567, 0.743), 지엽장(0.511, 0.484), 간이수량(0.507, 0.446)와 중간 수준의 정상관을 나타냈다. 등숙률과는 상관관계수 -0.425(2011년)와 -0.580(2012)로 중간 수준의 부의 상관관계를 나타냈고 수수와는 2011년에 상관관계수 -0.333으로 낮은 부의 상관관계를 나타냈는데 2012년에는 -0.801로 높은 부의 상관관계를 나타냈다. 주성분 2는 현미천립중(0.726, 0.718)과 높은 정의 상관관계를 나타냈으며 이삭길이(0.511, 0.516), 간장(0.472, 0.570), 지엽장(0.436, 0.381)과는 중간 수준의 정의 상관관계를 나타냈다. 총지경수와 총립수와는 상관관계가 없었고 1차 지경 관련 형질인 1차 지경수(0.680, 0.484), 1차 지경 착생립수(0.709, 0.523), 1차 지경 평균립수(0.352, 0.476)와는 정의 상관관계를 나타낸 반면 2차 지경 관련 형질인 2차 지경수(-0.158, 0.171), 2차 지경 착생립수(-0.235, -0.209)와는 거의 상관관계가 없었으며 2차 지경 평균립수(-0.465, -0.366)와는 낮은 수준의 부의 상관관계를 나타냈다. 1차 지경당 2차 지경 형질에 대한 비율인 1차 지경당 2차 지경수(-0.456, -0.545)와 1차 지경 착생립수당 2차 지경 착생립수(-0.525, -0.474)와는 중간 수준의 부의 상관관계를 나타냈다. 주성분 분포도를 통해 형질들의 구조적 관계를 보면 주

성분 1을 기준으로 지경 및 착생립수 관련 형질인 총지경수, 총립수, 1·2차 지경수 및 착생립수, 평균립수 및 비율과 이삭목두께, 이삭길이, 지엽장 및 간이수량이 수수와 등숙률과 다른 방향성을 나타내고 있으며, 주성분 2를 기준으로 천립중, 1차 지경 관련 형질(지경수, 착생립수, 평균립수), 이삭길이, 지엽장, 간장, 등숙률이 1차 지경당 2차 지경 형질에 대한 비율(1차 지경당 2차 지경수, 1차 지경 착생립수당 2차 지경 착생립수)과 2차 지경 평균립수 및 수수와 다른 방향성을 나타냈다.

약배양 유래 집단에서의 형질 변이 및 다수성 계통 선발

2012년에 조사된 형질들의 변이를 살펴보면 집단 내 계통들의 형질 값은 대부분 정규분포를 나타냈다(Fig. 2). 모부분인 드래찬과 보람찬의 형질들 중에서 간장은 비슷하였고 드래찬이 이삭길이, 이삭목두께, 총지경수, 총립수, 1차 지경수, 1차 지경 착생립수, 1차 지경 평균립수, 2차 지경수, 2차 지경 착생립수, 2차 지경 평균립수, 지엽장, 천립중의 형질 값이 보람찬보다 컸고 나머지 형질인 1차 지경당 2차 지경수, 1차 지경 착생립수당 2차 지경 착생립수, 수수, 등숙률, 수량의 형질 값은 보람찬이 드래찬보다 컸다(Table 5). 약배양 유래 집단(n=163) 내에서 2차 지경 착생립수(변이계수 23.0%), 2차 지경수(20.0), 1차 지경 착생립수당 2차 지경 착생립수(20.0) 등

Fig. 2. Distribution of panicle and yield-related traits in 2012. PL (A), TNN (B), NR (C), NS (D), NPr (E), NSPr (F), MNSPr (G), NSr (H), NSSr (I), MNSSr (J), Sr/Pr (K), SSr/SPr (L), CL (M), FL (N), PN (O), TGW (P), RRG (Q), Yield (R). Abbreviations are listed in table 1.

Fig. 3. Cluster analysis of DH lines based on panicle and yield-related traits in 2012.

Table 5. Average and range of traits value of the parents and groups divided by cluster analysis in 2012.

Group	n	PL ^z (cm)	TNN (mm)	NR	NS	NPr	NSPr	MNSPr	NSr	NSSr	MNSSr	Sr/Pr	SSr/SPr	CL (cm)	FL (cm)	PN	TGW (g)	RRG (%)	Yield (g)
Deuraechan	3	26.3a ^y	1.74a	42a	166a	14a	86a	6.1a	28a	80a	2.9a	1.9ab	0.9bc	69.1a	32.4a	9c	25.0a	87.3ab	535bc
Boramchan	3	21.0d	1.53bc	35bc	129b	11d	60d	5.7d	24ab	69ab	2.8ab	2.3a	1.1a	67.6a	30.3b	11a	24.3a	91.3a	551b
A	108	24.7ab (20.1~27.1)	1.63ab (1.29~1.88)	40ab (26~51)	156a (107~197)	13b (11~15)	79b (65~93)	6.0ab (5.7~6.3)	27a (15~38)	78a (41~118)	2.9a (2.6~3.1)	2.1ab (1.3~3.1)	1.0abc (0.6~1.6)	68.7a (62.3~74.3)	32.3a (28.3~35.7)	9bc (8~13)	24.2a (21.7~27.2)	84.1b (74.1~93.0)	520c (477~554)
B	42	22.6cd (19.2~26.5)	1.49c (1.32~1.77)	33c (24~44)	127b (97~172)	12c (10~14)	69c (57~85)	5.8c (5.6~6.1)	21b (13~31)	58b (35~90)	2.7b (2.5~3)	1.8b (1.2~2.6)	0.8c (0.5~1.3)	69.5a (63.5~75.0)	31.0ab (26.9~33.5)	11ab (9~12)	24.0a (21.0~27.1)	87.3ab (69.4~94.9)	467d (410~501)
C	13	23.7bc (20.7~26.5)	1.59bc (1.25~1.80)	40ab (27~46)	156a (108~179)	13bc (11~14)	75bc (62~85)	5.9bc (5.7~6.1)	28a (16~33)	81a (42~102)	2.9a (2.7~3.1)	2.2a (1.4~2.7)	1.1ab (0.6~1.4)	68.2a (63.9~72.1)	31.8ab (28.8~35.0)	10abc (8~13)	24.2a (21.9~25.7)	83.9c (75.2~92.4)	581a (555~629)
Total	163	24.1	1.59	38.2	149	13	76	5.9	26	73	2.8	2.0	1.0	68.8	31.9	10	24.1	84.9	512
C.V.(%) ^x	163	8.3	8.2	15.4	15.1	8.7	10.3	3.4	20.0	23.0	3.6	15.0	20.0	3.5	5.0	11.3	4.5	5.3	7.2

^zAbbreviations are listed in table 1^yMeans with same letter are not significantly different at $p < 0.05$ (ANOVA followed by DMRT)^xC.V. = coefficient of variation**Table 6.** Panicle and yield-related traits of parents and selected DH lines at yield trial in 2013.

Var./lines	PL ^z (cm)	TNN	NR	NS	NPr	NSPr	MNSPr	NSr	NSSr	MNSSr	Sr/Pr	SSr/SPr	CL (cm)	FL	PN	TGW (g)	RRG (%)	MRY (kg/10a)
Deuraechan (DR)	26ab ^y	1.76ab	32cde	122bcd	11abcd	67bcd	5.9bcde	20de	55efgh	2.7ef	1.7ef	0.8ghi	73ab	36.0ab	10efg	25.3bc	91.2a	512b
Boramchan (BR)	21e	1.50def	31cde	111de	9h	51h	5.5h	22cde	60def	2.8cde	2.3abc	1.2bc	71bcd	32.1de	13abc	24.0ef	91.4a	567ab
HR28832-AC60-1-1 (AC60)	23cd	1.62bcde	31cde	117bcde	10fgh	56gh	5.8defg	21cde	61def	2.8c	2.2bcd	1.1cd	72bc	34.2abcde	12bcd	23.7fg	91.9a	596a
HR28832-AC105-1-1 (AC105)	24cd	1.69abc	35abc	132abc	11bcde	65cde	5.8cdefg	23bcd	67bcde	2.8c	2.0de	1.0def	68e	33.5bcde	12abcd	24.3e	84.1bcd	559ab
HR28832-AC107-1-1 (AC107)	26ab	1.68abc	39a	149a	12a	73a	6.0ab	27ab	75ab	2.8cd	2.2bcd	1.0de	73ab	37.2a	9h	25.7ab	83.8bcd	516b
HR28832-AC109-1-1 (AC109)	23de	1.34g	26f	101e	10gh	57g	5.9abc	16f	44h	2.7ef	1.6fg	0.7hi	72bc	31.0e	13ab	24.5de	89.4ab	561ab
HR28832-AC112-1-1 (AC112)	23de	1.47efg	31cde	117bcde	11def	60gef	5.7fg	21de	57efg	2.7def	1.9def	0.9efg	71bcd	32.0de	12cde	23.2g	92.2a	549ab
HR28832-AC123-1-1 (AC123)	27a	1.62bcde	34abc	133ab	12abc	71abc	6.0a	23cd	62cdef	2.8cdef	1.9def	0.9fgh	73abc	32.6cde	10gh	25.7ab	85.3bcd	541ab
HR28832-AC130-1-1 (AC130)	25ab	1.66abc	29ef	115cde	12abcd	67bcd	5.8cdef	18ef	47gh	2.7ef	1.5g	0.7i	73ab	34.1abcde	10fgh	25.5abc	87.6abc	516b
HR28832-AC134-1-1 (AC134)	26ab	1.58cdef	37ab	143a	12ab	72ab	6.0a	25abc	71abcd	2.8bc	2.0cd	1.0def	75a	35.8abc	10gh	25.0cd	82.7cd	500b
HR28832-AC149-1-1 (AC149)	23cd	1.62bcde	35abc	132abc	10efg	58gf	5.7g	25abc	74abc	2.9ab	2.4ab	1.2ab	68de	31.3e	11cdef	23.3g	85.0bcd	564ab
HR28832-AC152-1-1 (AC152)	23cd	1.65abcd	38a	148a	11cde	66cde	6.0ab	27ab	82a	3.0a	2.4ab	1.2ab	72bcd	35.9ab	11cdef	24.0ef	89.5ab	595a
HR28832-AC156-1-1 (AC156)	22de	1.46fg	29def	110de	10fgh	56g	5.7efg	20def	54fgh	2.7cdef	2.0de	0.9defg	71bcd	35.5abc	14a	23.7fg	90.9a	590a
HR28832-AC161-1-1 (AC161)	25bc	1.73abc	38a	146a	11de	63def	5.9bcd	28a	83a	3.0a	2.6a	1.3a	69de	35.1abcde	11defg	25.5abc	84.9bcd	605a
HR28832-AC178-1-1 (AC178)	25abc	1.80a	33bcde	122bcd	11cde	63def	5.8cdefg	22cd	58efg	2.7f	2.0de	0.9defg	70cde	33.8bcde	10gh	26.1a	80.7d	507b
Mean	24	1.61	33	125	11	62	5.8	62	22	2.8	2.0	1.0	71	34	11	24.6	87.5	552
C.V.	7.5	8.7	27.3	28.0	18.2	21.0	5.2	36.4	40.3	7.1	30.0	30.0	3.5	6.9	13.5	4.1	5.3	8.2

^zAbbreviations are listed in table 1^yMeans with same letter are not significantly different at $p < 0.05$ (ANOVA followed by DMRT)

이 변이가 컸으며, 1차 지경 평균립수(3.4), 간장(3.5), 2차 지경 평균립수(3.6) 등은 변이가 작았다. 2012년 조사된 형질 값을 이용하여 군집분석을 실시하여 약배양 집단내 계통들을 분류하였다(Fig. 3). 총 3개의 그룹으로 분류가 되었는데 그룹 A, B, C에 각각 108, 42, 13개 계통이 포함되었다. 그룹 C는 수량이 가장 높았고 모부본과 간장은 비슷하였고 등숙률은 낮았으며 2차 지경 관련 형질인 2차 지경수, 2차 지경 착생립수, 2차 지경 평균립수는 드래찬과 비슷하였고 나머지 형질은 드래찬과 보람찬의 중간 값을 나타냈다. 수량성이 높은 그룹 C의 13개 계통을 다수성 계통으로 선발하였다(Table 5).

선발 계통 내의 형질 특성

선발된 13개 계통과 모부본인 드래찬과 보람찬에 대해서 생산력 검정시험을 수행하여 이삭 및 수량 관련 형질을 조사하였다(Table 6). 공시 재료의 형질 변이를 보면 2차 지경 착생립수(변이계수 40.3%), 2차 지경수(36.4), 1차 지경 착생립수당 2차 지경 착생립수(30.0) 등이 변이가 컸으며, 간장(3.5), 현미 천립중(4.1), 1차 지경 평균립수(5.2) 등이 변이가 작았다. 모부본과 선발된 13개 다수성 계통에 대해서 18개 이

삭 및 수량 관련 형질들간의 상관관계를 분석하였다(Table 7). 이삭길이(x1)은 1차 지경 착생립수(x6; $r=0.907$), 1차 지경수(x5; 0.902)와 매우 높은 정의 상관을 천립중(x16; 0.802), 2차 지경 평균립수(x7; 0.728), 이삭목두께(x2; 0.612), 총립수(x4; 0.558)와 높은 정의 상관을 나타냈으며, 수수(x15; -0.918)와는 매우 높은 부의 상관을 나타냈고 수량(x18; -0.647)과 등숙률(x17; -0.531)과는 부의 상관을 나타냈다. 이삭목두께(x2)는 1차 지경수(x5; 0.584), 천립중(x16; 0.571), 총지경수(x3; 0.568), 총립수(x4; 0.564), 1차 지경 착생립수(x6; 0.519) 순으로 정의 상관을 나타냈고 수수(x15; -0.684)와는 높은 부의 상관을 나타냈다. 총지경수(x3)와 총립수(x4)는 1차 지경 관련 형질(x5, x6, x7)보다 2차 지경 관련 형질(x8, x9, x10)과 높은 정의 상관관계를 나타냈으며, 수수(x15)와는 상관계수 -0.570, -0.619로 높은 부의 상관을 나타냈고 수량과는 상관관계가 없었다. 1차 지경수(x5) 및 착생립수(x6)는 천립중(x16; 0.660, 0.663), 지엽장(x14; 0.549, 0.558)과는 정의 상관을 나타냈고 수수(x15; -0.882, -0.847), 수량(x18; -0.650, -0.591), 등숙률(x17; -0.548, -0.539)과는 부의 상관을 나타냈다. 2차 지경수(x8) 및 착생립수(x9)는 총

Table 7. Correlation coefficient among panicle-related traits and agronomic traits in 2013 (n=15).

Traits	PL ^z (x1)	TNN (x2)	NR (x3)	NS (x4)	NPr (x5)	NSPr (x6)	MNSPr (x7)	NSr (x8)	NSSr (x9)	MNSSr (x10)	Sr/Pr (x11)	SSr/SPr (x12)	CL (x13)	FL (x14)	PN (x15)	TGW (x16)	RRG (x17)	MRY (x18)
x1		0.612 [*]	0.464 ^{ns}	0.558 [*]	0.902 ^{**}	0.907 ^{**}	0.728 ^{**}	0.279 ^{ns}	0.218 ^{ns}	-0.008 ^{ns}	-0.265 ^{ns}	-0.213 ^{ns}	0.420 ^{ns}	0.473 ^{ns}	-0.918 ^{**}	0.802 ^{**}	-0.531 [*]	-0.647 ^{**}
x2			0.568 [*]	0.564 [*]	0.584 [*]	0.519 [*]	0.209 ^{ns}	0.483 ^{ns}	0.443 ^{ns}	0.251 ^{ns}	0.197 ^{ns}	0.210 ^{ns}	-0.233 ^{ns}	0.486 ^{ns}	-0.684 ^{**}	0.571 [*]	-0.457 ^{ns}	-0.289 ^{ns}
x3				0.984 ^{**}	0.581 [*]	0.582 [*]	0.423 ^{ns}	0.975 ^{**}	0.952 ^{**}	0.761 ^{**}	0.647 ^{**}	0.692 ^{**}	-0.109 ^{ns}	0.523 [*]	-0.570 [*]	0.232 ^{ns}	-0.518 [*]	0.010 ^{ns}
x4					0.671 ^{**}	0.687 ^{**}	0.560 [*]	0.932 ^{**}	0.914 ^{**}	0.739 ^{**}	0.543 [*]	0.588 [*]	-0.023 ^{ns}	0.554 [*]	-0.619 [*]	0.301 ^{ns}	-0.532 [*]	-0.040 ^{ns}
x5						0.987 ^{**}	0.713 ^{**}	0.384 ^{ns}	0.320 ^{ns}	0.059 ^{ns}	-0.232 ^{ns}	-0.182 ^{ns}	0.341 ^{ns}	0.549 [*]	-0.882 ^{**}	0.660 ^{**}	-0.548 [*]	-0.650 ^{**}
x6							0.815 ^{**}	0.390 ^{ns}	0.334 ^{ns}	0.092 ^{ns}	-0.232 ^{ns}	-0.175 ^{ns}	0.393 ^{ns}	0.558 [*]	-0.847 ^{**}	0.663 ^{**}	-0.539 [*]	-0.591 [*]
x7								0.285 ^{ns}	0.272 ^{ns}	0.164 ^{ns}	-0.212 ^{ns}	-0.143 ^{ns}	0.450 ^{ns}	0.463 ^{ns}	-0.536 [*]	0.541 [*]	-0.375 ^{ns}	-0.247 ^{ns}
x8									0.992 ^{**}	0.847 ^{**}	0.798 ^{**}	0.835 ^{**}	-0.217 ^{ns}	0.442 ^{ns}	-0.404 ^{ns}	0.082 ^{ns}	-0.437 ^{ns}	0.190 ^{ns}
x9										0.907 ^{**}	0.835 ^{**}	0.861 ^{**}	-0.249 ^{ns}	0.407 ^{ns}	-0.330 ^{ns}	0.021 ^{ns}	-0.390 ^{ns}	0.278 ^{ns}
x10											0.871 ^{**}	0.857 ^{**}	-0.301 ^{ns}	0.244 ^{ns}	-0.047 ^{ns}	-0.211 ^{ns}	-0.164 ^{ns}	0.540 [*]
x11												0.992 ^{**}	-0.471 ^{ns}	0.102 ^{ns}	0.108 ^{ns}	-0.318 ^{ns}	-0.103 ^{ns}	0.598 [*]
x12													-0.426 ^{ns}	0.157 ^{ns}	0.060 ^{ns}	-0.269 ^{ns}	-0.148 ^{ns}	0.563 [*]
x13														0.354 ^{ns}	-0.328 ^{ns}	0.249 ^{ns}	0.187 ^{ns}	-0.468 ^{ns}
x14															-0.466 ^{ns}	0.380 ^{ns}	-0.160 ^{ns}	-0.158 ^{ns}
x15																-0.743 ^{**}	0.551 [*]	0.679 ^{**}
x16																	-0.579 [*]	-0.584 [*]
x17																		0.409 ^{ns}

^zAbbreviations are listed in table 1

지경수(x3; 0.975, 0.952)와 총립수(x4; 0.932, 0.914)와 매우 높은 정의 상관을 나타냈으나 수수(x15), 등숙률(x17), 수량(x18)과는 통계적으로 유의한 상관관계가 없었다. 1차 지경 평균립수(x8)은 이삭길이(x1; 0.728)와 천립중(x16; 0.541)과 정의 상관을 나타냈고 수수(x15; -0.536)와는 부의 상관을 수량(x18)과는 무상관을 나타낸 반면 2차 지경 평균립수(x10)는 이삭길이, 천립중, 수수와 무상관을 나타냈고 1차 지경당 2차 지경수(x11; 0.871), 1차 지경 착생립수당 2차 지경 착생립수(x12; 0.857)와는 높은 정의 상관을 수량(0.540)과는 정의 상관을 나타냈다. 간장(x13)은 다른 형질들과 상관관계가 없었고 지엽장(x14)은 총지경수(x3; 0.523), 총립수(x4; 0.554), 1차 지경수(x5; 0.549), 1차 지경 착생립수(x6; 0.558)와 정의 상관을 나타냈다. 수수(x15)는 이삭길이(x1; -0.918), 1차 지경 관련 형질(x5; -0.882, x6; -0.847, x7; -0.536), 천립중(x16; -0.743), 이삭목두께(x2; -0.684), 총지경수(x5; -0.570), 총립수(x6; -0.619)와 부의 상관관계를 나

타냈으나 수량(x18; 0.679) 및 등숙률(x17; 0.551)과는 정의 상관을 나타냈다. 수량(x18)은 수수(x15)와 상관계수 0.679로 가장 높은 정의 상관을 나타냈고 1차 지경당 2차 지경수(x11; 0.598), 1차 지경 착생립수당 2차 지경 착생립수(x12; 0.563), 2차 지경 평균립수(x13; 0.540)순으로 정의 상관을 나타냈으며, 1차 지경수(x5; -0.650), 이삭길이(x1; -0.647), 1차 지경 착생립수(x6; -0.591), 천립중(x16; -0.584)순으로 부의 상관을 나타냈다.

주성분 분석을 통해 형질들의 차원을 줄이고 구조적 관계를 분석하였다(Table 8, Fig. 4A). 축소된 형질들의 주성분 1은 전체 형질 특성의 45.8%를 설명할 수 있었으며 주성분 2는 32.0%를 설명할 수 있어 이들 2개 주성분으로 전체 형질의 77.8%를 설명할 수 있었다. 주성분 1은 총립수($r=0.937$), 총지경수(0.898), 1차 지경 착생립수(0.842), 1차 지경수(0.838), 이삭길이(0.789), 2차 지경수(0.788), 이삭목두께(0.707), 1차 지경 평균립수(0.653), 지엽장(0.635) 순으로 높

Table 8. Eigenvectors for the principal components of traits and correlation coefficient between the traits and principal components.

Trait	Eigenvector			Correlation coefficient		
	Prin1 ^z	Prin2	Prin3	Prin1	Prin2	Prin3
PL	0.275	-0.230	-0.011	0.789**	-0.551*	-0.014 ^{ns}
TNN	0.246	-0.015	-0.375	0.707**	-0.037 ^{ns}	-0.451 ^{ns}
NR	0.313	0.172	0.030	0.898**	0.412 ^{ns}	0.036 ^{ns}
NS	0.326	0.127	0.087	0.937**	0.306 ^{ns}	0.105 ^{ns}
NPr	0.292	-0.198	0.027	0.838**	-0.476 ^{ns}	0.032 ^{ns}
NSPr	0.293	-0.195	0.108	0.842**	-0.468 ^{ns}	0.130 ^{ns}
MNSPr	0.228	-0.150	0.342	0.653**	-0.359 ^{ns}	0.411 ^{ns}
NSr	0.275	0.249	0.027	0.788**	0.598*	0.032 ^{ns}
NSSr	0.260	0.274	0.053	0.745**	0.659**	0.064 ^{ns}
MNSSr	0.176	0.329	0.145	0.506 ^{ns}	0.791**	0.174 ^{ns}
Sr/Pr	0.103	0.389	-0.036	0.297 ^{ns}	0.933**	-0.043 ^{ns}
SSr/SPr	0.123	0.377	-0.014	0.352 ^{ns}	0.906**	-0.016 ^{ns}
CL	0.040	-0.245	0.569	0.114 ^{ns}	-0.589*	0.684**
FL	0.221	-0.034	0.313	0.635*	-0.082 ^{ns}	0.376 ^{ns}
PN	-0.287	0.178	0.112	-0.825**	0.427 ^{ns}	0.134 ^{ns}
TGW	0.203	-0.241	-0.227	0.582*	-0.579*	-0.273 ^{ns}
RRG	-0.225	0.044	0.422	-0.645**	0.105 ^{ns}	0.507 ^{ns}
MRY	-0.109	0.331	0.181	-0.312 ^{ns}	0.795**	0.218 ^{ns}
Eigen value	8.24	5.77	1.45			
Contribution (%)	45.8	32.0	0.08			
Cumulative contribution (%)	45.8	77.8	85.8			

^zPrin1 and Prin2 indicate the first and second component, respectively

Fig. 4. Relationship among traits (A) and lines (B) in the principal component analysis (PCA) diagram composed of component 1 and 2 in 2013. Abbreviations are listed in table 1 and table 6.

은 정의 상관을 나타냈고 천립중과는 중간 수준의 정상관을 나타냈다. 수수와 등숙률과는 상관계수 -0.825와 -0.645로 높은 부의 상관을 나타냈다. 주성분 2는 1차 지경당 2차 지경수(0.933), 1차 지경 착생립수당 2차 지경 착생립수(0.906), 수량(0.795), 2차 지경 평균립수(0.791), 2차 지경 착생립수(0.659), 2차 지경수(0.598)와는 높은 정의 상관을 나타냈으며 간장(-0.589), 천립중(-0.579), 이삭길이(-0.551)과는 부의 상관을 나타냈다. 주성분 분포도를 통해 형질들의 구조적 관계를 보면 주성분 1을 기준으로 수수와 등숙률은 지경 및 착생립수와 다른 방향성을 나타내고 있었고 2차 지경 관련 형질보다 1차 지경 관련 형질이 그 거리가 더 멀게 분포하였으며 이삭길이, 지엽장, 천립중과 다른 방향성을 나타냈다. 주성분 2를 기준으로 1차 지경당 2차 지경 형질에 대한 비율(1차 지경당 2차 지경수, 1차 지경 착생립수당 2차 지경 착생립수), 수량 및 2차 지경 관련 형질(지경수, 착생립수, 평균립수)이 천립중, 이삭길이와 다른 방향성을 나타냈다.

수량에 대한 형질의 기여도 분석

약배양 유래 집단(2012)과 선발된 계통(2013년)에서 수량에 관여하는 형질인 수당립수, 수수, 등숙률, 천립중이 수량에 미치는 기여도를 경로계수 분석을 통해 분석하였다(Fig. 5). 경로계수의 모형에서 모형의 적합도를 결정하는 기준 중 Chi-square

값이 유의하여 기준에 맞지 않으나 이외에 기준인 적합도지수(GFI; Goondess of Fit Index)와 표준적합지수(NFI; Normed Fit Index), 비교적합도 지수(CFI; Comparative Fit Index)가 0.9보다 크고 원소간 평균차이(RMSR; Root Mean Square Residual)이 0에 가깝게 작은 값으로 전반적으로 모형이 적합하였다. 약배양 집단에서 수당립수가 표준화 회귀계수 0.554로 수량성을 증가시키는 방향으로 기여도가 가장 컸으며 이후 수수(0.383), 천립중(0.294) 순이었고, 등숙률(-0.308)은 수량을 감소시키는 방향으로 작용하였다. 2차 지경 착생립수가 1차 지경 착생립수에 비해 수당립수 증가에 기여하는 정도가 컸으며, 간접적 경로를 통해 2차 지경 착생립수가 수량 향상에 미치는 영향이 0.418로 수수에 비해서 컸다. 선발된 계통의 분석에서는 수수가 표준화 계수 0.639로 수량성에 기여도가 가장 컸고 수당립수는 0.329로 집단에서보다 비해 기여도가 줄었으며 천립중과 등숙률은 통계적으로 기여하는 바가 없었다. 2차 지경 착생립수가 1차 지경 착생립수에 비해 수당립수에 기여하는 바가 컸으나 그 정도는 집단에서보다 줄었고 간접적으로 수량성에 기여하는 바도 줄었다.

다수성 우량계통 선발 및 특성 분석

드래찬이 보람찬보다 이삭길이, 이삭목두께, 총지경수, 총립수, 1차 지경수, 1차 지경 착생립수, 1차 지경 평균립수, 간

Fig. 5. Path analysis of causal relationships among traits to explain the variation of yield in 2012 (A) and 2013 (B). Continuous arrows and dotted arrows indicate the significant and no significant effect, respectively. The arrow line thickness means proportion of the effect. ** and * mean significant at 1 and 5% probability level, respectively.

장, 지엽장, 천립중의 형질 값이 컸고, 2차 지경수, 2차 지경 착생립수, 2차 지경 평균립수 1차 지경당 2차 지경수, 1차 지경 착생립수당 2차 지경 착생립수, 수수, 백미 수량의 형질 값은 보람찬이 드래찬보다 컸다(Table 6). 선발된 13개 계통 중에서 HR-28832-AC161-1-1 (이하 AC161), AC60, AC152, AC156 계통이 수량성이 605, 596, 595, 590 kg/10a로 드래찬(512)과 보람찬(567 kg/10a)보다 높았다. AC152과 AC161은 모부본보다 총지경수, 총립수, 2차 지경 관련 형질(지경수, 착생립수, 평균립수) 및 1차 지경당 2차 지경 형질에 대한 비율(1차 지경당 2차 지경수, 1차 지경 착생립수당 2차 지경 착생립수)이 컸고 이삭길이, 이삭목두께, 지엽장, 수수, 천립중은 모부본의 중간 값을 나타냈으며 1차 지경 관련 형질

(지경수, 착생립수, 평균립수)은 드래찬과 비슷하였고 간장이 작은 편으로 등숙률이 낮았다. AC60은 모부본과 등숙률이 비슷하고, 이삭길이, 이삭목두께, 간장, 지엽장, 수수와 총지경수 및 총립수, 1차 지경 관련 형질(지경수, 착생립수, 평균립수), 1차 지경당 2차 지경 형질에 대한 비율(1차 지경당 2차 지경수, 1차 지경 착생립수당 2차 지경 착생립수)은 모부본의 중간 값을 나타냈으며 2차 지경 관련 형질(지경수, 착생립수, 평균립수)과 천립중은 보람찬과 비슷하였다. AC156은 모부본과 등숙률이 비슷한 편으로 수수가 많았고 이삭길이, 1차 지경 관련 형질(지경수, 착생립수, 평균립수), 1차 지경당 2차 지경 형질에 대한 비율(1차 지경당 2차 지경수, 1차 지경 착생립수당 2차 지경 착생립수), 지엽장은 모부본의 중간 값

Table 9. Yield-related traits of parents and selected DH lines at yield trial in 2014.

Var./lines	Heading date (DAS ^z)	CL (cm)	PL (cm)	PN	NS	RRG (%)	TGW (g)	RRY (kg/10a)	BRR (%)	BRY (kg/10a)	MRY (kg/10a)	Index of MRV (%)
Deuraechan (DR)	107a ^y	69a	24a	9c	142a	91.1ab	25.8a	641b	81.6b	523b	481b	100
Boramchan (BR)	108a	69a	20c	12a	108b	94.5a	24.4b	736a	82.5ab	607a	558a	116
HR28832-AC60-1-1 (AC60)	108a	66bc	22b	11b	129ab	91.0ab	24.5b	772a	81.0b	625a	575a	119
HR28832-AC152-1-1 (AC152)	108a	68ab	22b	11b	140a	90.5ab	24.7b	744a	81.6b	607a	558a	116
HR28832-AC156-1-1 (AC156)	108a	64c	20c	12a	108b	94.8a	24.0c	741a	83.2a	617a	567a	118
HR28832-AC161-1-1 (AC161)	106a	65bc	22b	11b	143a	86.3b	25.9a	748a	81.1b	607a	559a	116

^zAbbreviations are listed in table 1^yMeans with same letter are not significantly different at $p < 0.05$ (ANOVA followed by DMRT)

을 나타냈으며, 2차 지경 관련 형질(지경수, 착생립수, 평균립수)는 드래찬과 비슷하였고 천립중은 작았다. 주성분 값을 기준으로 한 공시재료들의 구조적 관계를 보면 AC152와 AC161은 모부본인 드래찬과 보람찬의 중간에 위치하고 있으며 AC156은 보람찬에 근접하였고 AC60은 보람찬에 가깝게 AC152, AC161과 AC156의 중간에 위치하고 있다(Fig. 4B).

수량성이 모부본보다 많았던 AC60, AC152, AC156, AC161에 대해서 2014년에 수량성에 대해서 재검정하였다 (Table 9). 이들 계통들의 출수기는 모부본과 비슷하였고 간장은 AC152가 68 cm로 드래찬(69)과 보람찬(69)가 비슷하였고 나머지 계통은 작았으며, 이삭길이가 AC60, AC152, AC161은 22 cm로 드래찬(24)과 보람찬(20)의 중간 값을 나타냈고 AC156은 20 cm보람찬과 비슷하였다. 수수는 보람찬과 AC156이 12개로 많았고 AC60, AC152, AC161은 11개, 드래찬은 9개였다. 총립수는 AC161 (143), 드래찬(142) AC152 (140개) 많았고 AC60은 129개, 보람찬과 AC156은 108개 순이었다. 등숙률은 AC156 (94.8), 보람찬(94.5%)로 높았고 드래찬(91.1), AC60 (91.0), AC152 (90.5)는 중간이었고 AC161 (86.3%)는 낮았다. 천립중은 AC161 (25.9), 드래찬(25.8 g)이 무거웠으며 AC152 (24.7), AC60 (24.5), 보람찬(24.4), AC156 (24.0 g) 순이었다. 정현비율은 AC156이 83.2%로 가장 높았고 보람찬(82.5)이 중간 값을 나타냈고 AC152 (81.6), 드래찬(81.6), AC160 (81.1) AC60 (81.0%)는 비슷하였다. 수량성은 드래찬(백미 수량, 481 kg/10a)이 낮았고 보람찬(558), AC152 (558), AC161 (559), AC156

(567), AC60 (575 kg/10a) 순으로 높았다.

고 찰

자포니카 초다수 벼 품종으로 다수성에 관여하는 형질 특성이 다른 드래찬과 보람찬을 이용하여 약배양을 통해 이삭 및 수량 관련 형질 변이를 증대시킨 고정 집단을 육성하고, 보통기 일 반재배에서 이삭 및 수량 관련 형질들의 특성을 분석하여 수량이 높은 우량계통을 개발하고자 하였다. 드래찬은 소얼 수중형 초형으로 도복에 강하고 수당립수를 증대시킴으로써 수량성을 향상시키는 방향으로 육성된 품종이다. 드래찬의 계보도를 보면 중국 온대 자포니카 품종으로 *sd-1*을 가지고 있으면서 도복에 매우 강하여 NPT 계통의 도복저항성 강화를 위해 이용된 Shennong 89-336(Khush & Aquino 1994)과 이를 통해 개발된 NPT 계통인 IR66738-118-1-2(Shennong 89-336/Soponjono), IR66158-72-2-1-3(Shennong 89-336/Baliantjer), IR65601-35-6-2-3 (Shennong 89-336/K. Rondo Marong)이 이용되었다(Fig. 6). 이들 자원들은 소얼 수중형으로 수당립수가 많은 특성을 나타낸다(Yamagishi et al. 2003). 보람찬은 현재까지 개발된 우리나라 자포니카 품종 중에서 잠재 수량성이 가장 높은 품종으로 수수가 상대적으로 다른 품종에 비해 많은 초형으로 등숙률이 높고 내도복성도 갖추고 있다(Ha et al. 2012). 2013, 2014년 수행된 생산력 검정시험에서 출수기는 두 품종이 비슷하였고 드래찬이 간장이 크고 수장이 길며 수당립수는 많고 천립중이 무거운 반면 보람찬이 수수가 많고 등숙률과 정현비율이 높았고 수량이

Fig. 6. Pedigree diagram of Deuraechan.

많았고(Table 6, 9) 드래찬은 소얼 수중형, 보람찬은 다소 수수 형에 가까운 초형을 나타냈다.

약배양 집단의 분석에서 지경과 착생립수 관련 형질이 수량과 높은 정의 상관을 나타냈고 2차 지경 형질이 1차 지경 형질보다 수당립수와 수량과 높은 정의 상관을 나타냈으며, 이삭 관련 형질이 수수와 등숙률과는 높은 부의 상관을 나타냈다(Table 3). 수수와 등숙률은 수량성과 상관이 없거나 낮은 부의 상관을 나타냈으며 주성분 분석에서 수량성과 다른 방향성을 나타내(Fig. 1) 집단에서의 다수성은 수당립수와 같은 이삭관련 형질에 의해서 더 많이 영향을 받은 것으로 생각되었다. 다수성 선발 계통에 대한 분석에서는 집단에서와 다르게 수량과 총지경수, 수당립수, 1차 지경 평균립수는 통계적 유의성이 없었고, 1차 지경수와 착생립수는 부의 상관을 나타냈으며 2차 지경수와 착생립수는 정의 상관 정도가 집단에 비해 적었다(Table 7). 수량과 가장 상관이 높은 형질은 수수로 약배양 집단 내에서 무상관(2011년) 및 낮은 부의 상관(2012)을 나타낸 것과 다른 결과로 주성분 분석을 통한 형질들의 구조적 관계에서도 수수, 등숙률과 수량이 같은 방향성을 나타내고 있어(Fig. 4) 수량성이 확보된 계통들에서는 수

수가 수당립수에 비해 수량성과의 관련성이 높은 것으로 나타났다. 수량 구성 요소들이 수량에 기여하는 정도를 보면 집단과 선발 계통 모두 2차 지경 착생립수가 1차 지경 착생립수보다 수당립수에 기여하는 정도가 컸으며, 집단에서는 수당립수가 선발 계통에서는 수수가 수량을 증가시키는 방향으로 기여하는 정도가 가장 컸다(Fig. 5). 집단에서 등숙률이 수량성을 줄이는 방향으로 작용하였는데, 이는 수량성 지표로 이용한 간이수량이 정조 상태로 정현비율에 대한 고려가 이루어지지 않았으며 증가된 수당립수가 등숙률 저하에 의한 수량 감소를 상쇄한 것으로 생각한다. 선발된 계통의 분석에서 수량성이 확보된 계통들은 이미 일정 수준의 수당립수를 확보하고 있어 수수의 증가에 의한 등숙률 향상과 단위면적당 립수의 증가로 인한 수량성 향상이 수당립수의 증가에 의한 향상 효과보다 높은 것으로 생각된다.

수량성이 낮은 AC107, AC123, AC130, AC134, AC178은 드래찬과 초형이 비슷하였으며 이삭이 길고 1차 지경수 및 착생립수 많고 수수는 적고 천립중이 무거운 소얼 수중형으로 드래찬에 비해 등숙률이 떨어지는 특성을 나타냈다(Table 6). NPT 계통을 포함하는 소얼 수중형 초형의 문제점으로 수

수가 줄어들고 소수가 증가함에 따라 식물체의 바이오매스가 감소하게 되며 이삭 내 소수의 착생밀도가 높아지고 제한된 유관속이 동화산물을 제대로 채워주지 못하게 되며 엽노화가 빠르게 진행되어 등숙률이 떨어지는 점을 들었다(Peng et al. 2008, Yamagishi et al. 2003). 드래찬은 등숙률이 양호하는 등 소얼 수중형 초형의 문제점을 다소 해결한 품종이나 보람찬에 비해 엽노화가 빠르고 수량성이 낮으며, 육성된 소얼 수중형의 계통들은 수량과 등숙률이 낮은 등 전형적인 소얼 수중형의 문제점이 발생하였다. 드래찬과 보람찬보다 수량이 높았던 계통은 AC60, AC152, AC156, AC161로 AC152와 AC161은 모부본인 드래찬과 보람찬의 중간형태로 수당립수가 드래찬과 비슷하게 많지만 수수도 많아 단위면적당 립수가 드래찬에 비해 늘어 수량이 증가하였으나 등숙률이 다소 떨어지는 특성을 나타냈다. AC156은 수당립수와 수수가 보람찬과 비슷하고 등숙률과 제현율이 높으며 보람찬과 비슷한 초형을 나타냈다. AC60은 수당립수, 등숙률과 수수 등 농업형질이 AC152, AC161과 AC156의 중간 형태의 특성을 나타내었다. 선발된 4계통 모두 보람찬과 같거나 다소 많은 수량을 나타내 수량성 증대의 소기의 목적은 달성하였으나 원하는 만큼의 수량 향상은 이루지 못하였다.

벼의 수량성은 환경변이에 의해 영향을 많이 받으며 여러 형질이 관여하는 양적 형질로서 광합성에 의해 동화산물이 생성되고 전류되는데 관여하는 능력인 source와 종실에 축적될 수 있는 잠재력인 sink에 의해 결정된다. 수량성 향상을 위해서는 source와 sink의 크기와 균형이 중요하며, sink의 주요 형질들인 수당립수, 수수, 종실크기 및 등숙률도 서로 영향을 주며 관련성을 맺고 있기 때문에 이들의 이상적인 조합이 필요하다. 본 연구에서와 같이 종실 크기가 비슷한 우리나라 자포니카 품종의 수량성 향상을 위한 초다수성 육종사업의 목표를 달성하기 위해서는 sink 측면에서 등숙률이 감소하지 않는 범위에서 수당립수를 증가시키고 적정 수수를 확보하는 방법과 수수를 증가시킴으로써 등숙률을 향상시키는 방향에서 적정 수당립수를 확보하는 방법을 들 수 있겠고, 광합성을 향상시킬 수 있는 엽색, 수광태세에 좋은 지엽형태나 엽노화 지연 등과 같이 source의 능력 증대에 좀 더 관심을 가져야 할 것으로 생각되었다. 육성된 자포니카 초다수성 품종을 이용하여 약배양을 통해 형질 변이의 폭을 넓힘으로써 한 단계 향상된 다수성 계통을 육성하고자 하였으나 한계가 있는 것으로 판단되었고, 이러한 한계 극복을 위해서는 극단적인 형질 변이를 보이는 유전자원의 확보, 중간모본 육성 및 품종화

와 같이 새로운 형질 특성 도입에 대한 단계적인 노력이 더욱 필요할 것으로 생각한다.

적 요

자포니카 초다수성 품종으로 다수성에 관여하는 형질 특성이 다른 드래찬과 보람찬을 이용하여 이삭과 수량 관련 형질의 다양성이 증대된 약배양 유래 집단을 육성하고 다수성 계통을 선발하였다. 163개로 구성된 약배양 유래 집단과 선발된 다수성 13계통의 이삭 및 수량 관련 형질을 상관분석, 주성분분석 및 경로계수 분석을 통해 분석하였다. 이삭 관련 형질 중 2차 지경 착생립수가 1차 지경 착생립수에 비해 수당립수와 높은 정의 상관관계를 나타냈으며 수당립수가 증가하는 쪽으로 기여도가 컸다. 형질들의 수량에 기여하는 정도를 보면 집단에서는 수당립수가 선발 계통에서는 수수가 수량성 증진에 기여도가 가장 컸다. 수수는 집단과 선발 계통에서 모두 등숙률과 정의 상관을 나타냈다. 선발 계통에서 수수 증가에 의한 등숙률의 향상과 단위면적당 립수의 증가로 인한 수량성 향상이 수당립수 증가에 의한 향상 효과보다 컸다. 13개 선발 계통 중 AC60, AC152, AC156, AC161 계통은 모부본인 드래찬(481 kg/10a)과 보람찬(559 kg/10a) 보다 높은 수량성을 나타냈다. 드래찬은 수수가 적고 수당립수가 많은 소얼 수중형을 나타냈으며 보람찬은 수수가 많고 등숙률이 높은 수수형에 가까웠다. 선발된 다수성 계통들은 모부본의 중간 형태의 형질 특성을 나타내며 개선된 잠재 수량성을 가지고 있다. 이들 우량 계통들은 자포니카 다수성 품종 개발을 위해 활용될 수 있을 것이다.

사 사

본 논문은 농촌진흥청 연구사업(과제번호: PJ01020202)의 지원에 의해 이루어진 것임

REFERENCES

1. Ashikari M, Sakakibara H, Lin S, Yamamoto T, Takashi T, Nishimura A, Angeles ER, Qian Q, Kitano H, Matsuoka M. 2005. Cytokinin oxidase regulates rice grain production. *Science* 309: 741-745.
2. Chung GS, Heu MH. 1980. Status of japonica-indica

- hybridization in Korea: Inovative approaches to rice breeding. Int. Rice Res. Inst. Manila. Philippines. pp. 135-152.
3. 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, Deureachan. Korean J. Breed. Sci. 41: 645-648.
4. Ha KY, Ko JK, Nam JK, Ko JC, Kim KY, Kang HJ, Shin MS, Baek MK, Kim BK, Kim WJ, Shin WC, Park HS. 2012. A new medium-late japonica rice cultivar, Boramchan with super high yield. Korean J. Breed. Sci. 44: 346-350.
5. Ha KY, Ko JK, Nam JK, Shin MS, Kim BK, Baek MK, Park HS, Kang HJ, Ko JC, Kim KY, Shin WC, Kim WJ, Baek SH. 2014. A medium-late japonica rice cultivar Huimangchan with super high yield. Korean J. Breed. Sci. 46: 451-455.
6. 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.
7. Huang X, Qian Q, Liu Z, Sun H, He S, Luo D, Xia G, Chu C, Li J, Fu X. 2009. Natural variation at the *DEP1* locus enhances grain yield in rice. Nat. Genet. 41: 494-497.
8. Jiao Y, Wang Y, Xue D, Wang J, Yan M, Liu G, Dong G, Zeng D, Lu Z, Zhu X. 2010. Regulation of *OsSPL14* by *OsmiR156* defines ideal plant architecture in rice. Nat. Genet. 42: 541-544.
9. Khush G, Aquino R. 1994. Breeding tropical japonicas for hybrid rice production. Hybrid rice technology: New developments and future prospects. Int. Rice Res. Inst. Manila. Philippines. pp.33-36.
10. Kim BK, Lee HB, Kim KY, Oh MK, Kim YD, Park HK, Choi DH. 2003. Varietal difference in panicle traits as affected by nitrogen level and planting density in japonica rice. Korean J. Breed. Sci. 35: 72-77.
11. Kushibuchi K. 1997. Historical changes in rice cultivars. Science of the Rice Plant vol 3. Food and Agricultural Policy Research Center. Tokyo. Japan. pp.837-875.
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. Manaka T, Matsushima S. 1971. Analysis of yield-determining process and its application to yield-prediction and culture improvement of lowland rice. Jpn. J. Crop Sci. 40: 101-108.
14. Matsuo T. 1952. Geneocological studies on cultivated rice. Bulletin of Nat. Inst. Agr. Sci. D-3: 1-111.
15. Miura K, Ashikari M, Matsuoka M. 2011. The role of QTLs in the breeding of high-yielding rice. Trends Plant Sci. 16: 319-326.
16. Miura K, Ikeda M, Matsubara A, Song XJ, Ito M, Asano K, Matsuoka M, Kitano H, Ashikari M. 2010. *OsSPL14* promotes panicle branching and higher grain productivity in rice. Nat. Genet. 42: 545-549.
17. Mo YJ, Kim KY, Park HS, Ko JC, Shin WC, Nam JK, Kim BK, Ko JK. 2012. Changes in the panicle-related traits of different rice varieties under high temperature condition. Aust. J. Crop Sci. 6: 436-443.
18. Nagata K, Fukuta Y, Shimizu H, Yagi T, Terao T. 2002. Quantitative trait loci for sink size and ripening traits in rice (*Oryza sativa* L.). Breed. Sci. 52: 259-273.
19. 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.
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. Peng S, Khush GS, Virk P, Tang Q, Zou Y. 2008. Progress in ideotype breeding to increase rice yield potential. Field Crop. Res. 108: 32-38.
22. Sang WG, Kim YD, Kang SG, Ku BI, Lee HS, Lee MH, Park HK, Lee JH. 2014. Nitrogen use efficiency as influenced by variable nitrogen levels in high yield japonica rice Boramchan. J. Agr. Life Sci. 45: 49-54.
23. Taguchi-Shiobara F, Kojima Y, Ebitani T, Yano M, Ebana K. 2011. Variation in domesticated rice inflorescence architecture revealed by principal component analysis and quantitative trait locus analysis. Breed. Sci. 61: 52-60.
24. Terao T, Nagata K, Morino K, Hirose T. 2010. A gene controlling the number of primary rachis branches also controls the vascular bundle formation and hence is responsible to increase the harvest index and grain yield in rice. Theor. Appl. Genet. 120: 875-893.
25. Venkateswarlu B, Visperas RM. 1987. Source-sink

- relationships in crop plants. Int. Rice Res. Inst. Manila. Philippines.
26. Won YJ, Oh SK. 2014. Development of process using technology and rice varieties for aspect-packaged cooked rice. Food Sci. Ind. 47: 71-79.
27. Yamagishi J, Nemoto K, Mu C. 2003. Diversity of the rachis-branching system in a panicle in japonica rice. Plant Prod. Sci. 6: 59-64.
28. Yuan L. 1997. Hybrid rice breeding for super high yield. Hybrid Rice 12: 1-6.