

# Investigation into Whether Agronomic Traits Are Fixed for the Breeding of Drought Tolerance and BPH-resistant Crosses

So Young Lee<sup>†</sup>, Eun-Gyeong Kim<sup>†</sup>, Jae-Ryoung Park and Kyung-Min Kim<sup>\*</sup>

School of Applied Biosciences, College of Agriculture and Life Science, Kyungpook National University, Daegu 41566, Korea

Received June 26, 2020 / Revised July 19, 2020 / Accepted July 23, 2020

Late in the 1960s, South Korea established cultivation technology and began breeding new "Tongil" type rice cultivars by crossing *indica* and *japonica*. To date, this cultivation technique has been used to produce a wide variety of cultivars to meet consumer preferences and adapt to extreme weather conditions. Once major genetic traits are no longer segregated through advanced generations, varieties obtained from a cross between different crops may become a new variety. In this study, we confirmed the agronomic traits of F<sub>4</sub>, F<sub>5</sub>, and F<sub>6</sub> by advanced generation a population in which drought tolerance and brown planthopper (BPH) resistance were crossed. HV23, Ilmi/HV23, and Drimi2ho/HV23 were used. HV23 was drought-tolerant, and Drimi2ho was resistant to BPH. As a result, it was possible to consider that the agronomic traits were fixed because none of them showed a significant difference from the others. While it takes more than 10 years for the pedigree method of breeding, this study confirmed that the agronomic traits were fixed in 4-6 years. In the future, we will investigate the homology of the *CaMsrb2* gene and the *Bph1* gene, to confirm that both genes are closely related to each other, and analyze the stable inheritance of the introduced gene for multiple successive generations.

**Key words** : Agronomic traits, *Bph1*, *CaMsrb2*, generation, rice

## 서 론

벼는 인간이 섭취하는 열량의 약 21% 를 차지하며 다양한 나라에서 재배되는 매우 중요한 농작물이다[20]. 한국에서는 벼를 오래전부터 재배해오면서 가장 중요한 식량작물로 정착되면서 주식이 되었는데 이것은 벼가 한반도의 기후와 풍토에 잘 적응하여 재배하기 용이하며 단위면적 당 생산량 또한 높아 인구부양능력이 큰 이유 때문이다[10]. 우리나라에서 벼가 가장 기본적인 식량자원으로 자리 잡기에 공헌한 기술로 1960년대 후반 *인디카* 품종과 *자포니카* 품종의 교잡에 의해 새로운 통일형 벼 품종의 육성과 재배기술을 확립했다[10, 24]. 이와 같은 재배기술을 바탕으로 소비자들의 기호를 충족시키거나 우량한 유전자형을 가지면서 외부 환경 스트레스에 저항성을 갖는 등 다양한 품종들이 만들어졌다. 예를 들어 벼해충에 의한 성장 감소 및 가뭄 등 극한환경에서도 안정적인 수량을 얻을 수 있도록 저항성을 갖는 품종들을 개량해왔다[4, 14]. 비록 새롭게 개발된 계통의 품질이 우수할 지라도 하나의 품종으로 개발하기 위해서는 많은 노동력과 시간이 소요된다

[15]. 예를 들어, 이러한 육종방법은 품종개량에 10년 이상의 시간을 필요로 하는데, 인공교배를 하여 잡종 F<sub>1</sub>을 만들고 F<sub>2</sub>세대부터 매 세대 개체선발과 계통재배 및 계통선발을 되풀이하며 우량한 유전자형[29]의 동형접합체를 선발해야 하기 때문이다[19]. 본 연구에서는 이미 가뭄저항성을 가지는 형질전환체 HV23 [7]을 모품종인 일미와 교배한 집단 그리고 HV23을 벼멸구에 내성을 갖는 Drimi2ho와 교배한 집단을 보유하고 있다. 이들을 품종 개량 하기 위해 세대진전을 했으며, 교배를 시킨 외부 유전자의 형질이 고정되었는지 알아볼 필요가 있다. 또한 1980-90년대 이후에 쌀의 자급생산이 가능해지고 국민소득의 향상으로 인하여 소비자들은 양질미에 대한 소비 요구가 늘어나고 있다[6]. 양질미의 수요가 점증되면서 *자포니카* 다수성 품종의 미질 개선에 주목을 하게 되었고 식미 향상을 위한 육종연구에 박차를 가하게 되었다[3]. 소비자들의 기호나 건강에 유익하도록 쌀의 화학적 구성성분이나 물리적 특성을 개량하는 것은 쌀의 다양화와 고급화를 통한 소비촉진에 매우 중요한 선결과제가 되고 있다[5, 28]. 쌀 품질을 결정하는 요인에는 품종, 재배환경, 농업형질, 식미 등이 있는데[27], 특히, 소비자가 쌀을 구입할 때 고려하는 품질은 농업형질(외관)과 식미에 의해 결정된다[2]. 주요 농업형질에는 출수기, 수수, 수장, 간장, 천립중 등이 있으며[8, 21-23, 30] 미질관련 특성들도 쌀의 품질에 큰 영향을 끼치는 것으로 알려져 있다[16, 18]. 쌀의 미질이라 함은 크게 외관, 영양가 및 식미로 나누어 생각할 수 있는데 영양가나 미질에 관련하여서는 아밀로오스(72~75%), 단백질(7~10%), 지방(2% 내외) 함량 등의 화학적 성분도 미질 요소에 중요한 인자[9, 11, 26]가 될

<sup>†</sup>Authors contributed equally.

<sup>\*</sup>Corresponding author

Tel : +82-53-950-5711, Fax : +82-53-958-6880

E-mail : kkm@knu.ac.kr

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

수 있으며 그의 조성도 영향을 미친다[12, 13, 23]. 따라서 고품질의 벼를 확인하기 위해서는 세대진전에 따른 형질의 고정 여부를 확인할 필요성이 대두되고 있다[25]. 본 연구의 목표는 가뭄에 저항성을 갖는 HV23 계통을 모품종인 Ilmi와 교배한 집단과 벼멸구에 내성을 갖는 Drimi2ho와 교배한 집단의 F<sub>1</sub> 세대를 계속 진전시켜서 얻은 F<sub>4</sub>, F<sub>5</sub>, F<sub>6</sub> 세대의 집단 별 농업적 형질을 조사하여 세대진전에 따른 변이 정도를 비교하여 농업형질의 고정 여부를 확인하는 것이다.

### 재료 및 방법

#### 실험재료

본 연구의 식물 재료로 가뭄저항성을 갖는 형질전환체 HV23 집단을 세대진전 시킨 F<sub>5</sub>와 F<sub>6</sub>를 사용했고, 모품종인 Ilmi와 HV23을 서로 교배하여 얻은 집단의 F<sub>4</sub>와 F<sub>5</sub>를 사용했으며 벼멸구 저항성을 갖는 Drimi2ho와 HV23을 서로 교배하여 얻은 집단의 F<sub>5</sub>와 F<sub>6</sub>를 사용하여 세대진전에 있어서 농업형질변이 정도를 조사하였다. HV23은 벼 Ilmi 품종에 내건성 유전자 *CaMsrB2*를 삽입하여 형질전환 시킨 유전자원이다[7]. *CaMsrB2* 유전자가 벼 염색체 8번에 삽입된 유전자원을 HV23으로 명명하였으며 HV23은 현재 개발되어 있는 GM벼(*CaMsrB2*)로 가뭄 저항성을 가졌다. Drimi2ho [17]는 삼강과 낙동을 교배하여 얻은 F<sub>1</sub>을 약배양 하여 만든 계통 중 포장특성이 양호하고 벼멸구에 저항성을 가진 'SNDH-39'를 양질성 품종인 '주남과 3회 여교배 하여 동계온실에서 F<sub>1</sub> 세대를 양성한 것으로 벼멸구 저항성 유전자 *Bph1*과 연관된 DNA marker (RM28493)를 이용한 marker assisted selection (MAS)과 생물검정을 병행하여 육성한 계통 중에서 벼멸구에 저항성을 나타내면서 주요작물학적 특성이 우수한 'SNJB8-16-3-B'를 선발한 것이다.

#### 재배방법

연구에 사용된 집단들은 2018년 4월 26일 그리고 2019년 4월 24일에 경북대학교 LMO 군위실습장에서 파종을 실시하였고, 약 1달 후 각 집단은 계통 당 1열씩, 주당 1본, 재식밀도는 30×15 cm으로 하여 논에 이앙하였다. 그리고 시비량은 N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O = 9.0-4.5-5.7 kg/10a, 인산, 가리질 비료는 전량

기비로 사용하였고, 질소질 비료는 기비 70%와 분얼비 30%로 분시하였다. 제초제 및 살충제 살포 그리고 포장관리는 농촌진흥청 벼 표준재배법에 준하여 실시하였다.

#### 형질 특성 측정 및 변이 비교 방법

HV23, Ilmi/HV23, Drimi2ho/HV23의 유전적 농업형질 변이 파악을 위하여 다음과 같은 생육 조사 방법을 이용하였다. 벼의 주요 농업적 형질에는 출수기, 수수, 수장 길이, 간장 길이, 천립중 등이 있다. 출수기의 측정 방법은 집단의 F<sub>4</sub>, F<sub>5</sub>, F<sub>6</sub>을 파종일로부터 출수기까지의 일수를 계산하였다. 수수는 집단의 주당 분얼수를 10반복으로 측정하였다. 수장 길이와 간장 길이 또한 집단의 주당 수장과 간장의 길이 측정을 10반복하였다. 마지막으로 천립중의 측정은 각 집단의 벼를 수확하여 정조의 천립중을 측정하였다. 그리고 각 집단의 F<sub>4</sub>, F<sub>5</sub>, F<sub>6</sub>의 농업적 형질 측정값의 평균을 내어 세대진전에 따른 농업형질 변이 정도를 비교하였다. 또한 HV23과 Drimi2ho/ HV23 집단의 F<sub>5</sub>에서 F<sub>6</sub>까지의 세대진전에 있어서의 농업형질 변이 조사에는 미질관련 형질의 변이도 추가로 조사하였는데 이는 아밀로오스와 단백질함량의 조사를 의미한다. 미질관련 형질의 측정은 F<sub>5</sub>, F<sub>6</sub>의 단백질과 아밀로오스의 함량 측정을 근적외광분석기(NIRs)를 이용하여 현미시료에서 손상립, 녹미, 적미, 파쇄립을 제거하고 실험기구 FOSS 6500을 이용하여 3반복하여 실시하였고, 비교방법은 미질관련 형질의 측정값의 평균을 내어 세대진전에 따른 농업형질 변이 정도를 비교하였다.

### 결과 및 고찰

#### HV23 집단의 F<sub>5</sub>, F<sub>6</sub> 세대간 농업형질 변이 비교

HV23 집단의 F<sub>5</sub>와 F<sub>6</sub>에서 각각 Ilmi와 농업형질 비교 정도를 나타냈다(Table 1). Ilmi의 출수기는 103.2±2.3일, 수수는 7.8±2.3개이다. 수장은 17.6±2.8 cm, 간장은 54.5±3.4 cm이며 천립중은 22.3±2.5 g, 아밀로오스 및 단백질 함량은 각각 18.5±0.3%, 7.3±0.5%이다. HV23 집단에서의 F<sub>5</sub>, F<sub>6</sub>의 농업형질 변이 비교를 평균값으로 알아보면 먼저 출수기의 비교에서는 F<sub>5</sub>에서는 평균 103.5일 이었고 표준편차 0.7이며 t value는 2.120으

Table 1. Comparison of agronomic traits between F<sub>5</sub> and F<sub>6</sub> in HV23

	Ilmi	F <sub>5</sub>	t value	F <sub>6</sub>	t value
Heading date (days)	103.2±2.3	103.5±0.7	2.120 <sup>ns</sup>	100.0±0.5	2.137 <sup>ns</sup>
No. of tiller per plant	7.8±2.3	7.8±3.0	2.167 <sup>ns</sup>	11.4±2.7	2.150 <sup>ns</sup>
Panicle length (cm)	17.6±2.8	16.5±2.0	2.134 <sup>ns</sup>	19.1±2.8	2.129 <sup>ns</sup>
Culm length (cm)	54.5±3.4	56.1±2.9	2.156 <sup>ns</sup>	67.1±4.6	2.236 <sup>ns</sup>
1,000 grain weight (g)	22.3±2.5	24.8±1.5	2.158 <sup>ns</sup>	22.4±1.3	2.153 <sup>ns</sup>
Amylose content (%)	18.5±0.3	18.4±0.7	2.356 <sup>ns</sup>	18.6±0.1	2.347 <sup>ns</sup>
Protein content (%)	7.3±0.5	7.5±0.2	2.441 <sup>ns</sup>	7.2±0.2	2.445 <sup>ns</sup>

\*Mean ± SD, Significant at the p<0.05 level of t-test, <sup>ns</sup>Not significant at the p<0.05 level of t-test

로 유의미한 차이는 없었다. F<sub>6</sub>에서는 평균 100일, 표준편차는 0.5로 나타났고 *t* value는 2.137으로 유의미한 차이는 없었다. 수수는 F<sub>5</sub>에서는 7.8±3.0 cm이었고 *t* value는 2.167로 유의미한 차이는 없었다. F<sub>6</sub>에서는 11.4±2.7 cm로 나타났고 *t* value는 2.150으로 유의미한 차이는 없었다. 수장, 간장의 비교에서 먼저 수장은 F<sub>5</sub>에서는 16.5±2.0 cm이었고 *t* value는 2.134로 유의미한 차이는 없었다. F<sub>6</sub>에서는 19.1±2.8 cm로 나타났고 *t* value는 2.129로 유의미한 차이는 없었다. 간장은 F<sub>5</sub>에서 56.1±2.9 cm였고 *t* value는 2.156으로 유의미한 차이는 없었다. F<sub>6</sub>에서는 67.1±4.6 cm로 나타났고 *t* value는 2.236으로 유의미한 차이는 없었다. 천립중은 F<sub>5</sub>에서 24.8±1.5 g이었고 *t* value는 2.158로 유의미한 차이는 없었다. F<sub>6</sub>에서는 22.4±1.3 g로 나타났고 *t* value는 2.153으로 유의미한 차이는 없었다. 가뭄 저항성 형질 전환체 HV23 집단의 F<sub>5</sub>에서 F<sub>6</sub>까지의 세대 진전에 있어서 일미와 농업적 형질 변이 조사를 하였을 때 유의미한 차이는 발생하지 않았다. 따라서 형질 전환체 HV23 집단의 농업 형질이 F<sub>5</sub>에서 고정되었다(Table 1). 그리고 HV23 집단의 F<sub>5</sub>에서 F<sub>6</sub>로의 세대진전에 있어서의 미질관련 형질의 변이 정도를 추가로 조사하였다. 미질 관련 형질에 해당하는 아밀로오스 및 단백질 함량[20]의 변이를 비교하였는데, HV23 집단에서의 F<sub>5</sub>, F<sub>6</sub>의 미질 관련 형질 변이 비교를 평균값으로 알아보면 먼저 아밀로오스 함량의 비교에서는 F<sub>5</sub>에서는 18.4±0.7%였고 *t* value는 2.356으로 유의미한 차이는 없었으며 F<sub>6</sub>에서는 18.6±0.1%로 나타났고 *t* value는 2.347으로 유의미한 차이는 없었다. 단백질함량은 F<sub>5</sub>에서 7.5±0.2%였고 *t* value는 2.441로 유의미한 차이는 없었다. F<sub>6</sub>에서는 7.2±0.2로 나타났고 *t* value는 2.445로 유의미한 차이가 없었다. HV23 집단에서 F<sub>5</sub>에서 F<sub>6</sub>까지의 세대 진전에 있어서 일미와 농업적 형질 변이 조사를 하였을 때 아밀로오스와 단백질 함량의 형질변이 정도는 세대 간에 유의미한 차이는 발생하지 않았다. 따라서 미질관련 형질이 F<sub>5</sub>에서 고정되었다(Table 1).

**Ilmi/HV23 집단의 F<sub>4</sub>, F<sub>5</sub> 세대간 농업형질 변이 비교**

Ilmi/HV23 집단의 F<sub>4</sub>에서 F<sub>5</sub>로의 세대진전에 있어서의 농업형질 비교 정도를 나타냈다(Table 2). Ilmi의 출수기는 103.2±2.3일, 수수는 7.8±2.3개이다. 수장은 17.6±2.8 cm, 간장은 54.5±3.4 cm이고, 천립중은 22.3±2.5 g이었다. Ilmi/HV23 집단에서의 F<sub>4</sub> 그리고 F<sub>5</sub>의 농업 형질 변이 비교를 평균값으로

알아보면 먼저 출수기는 F<sub>4</sub>에서 평균 101.9일 이었고 표준편차는 2.7이며 *t* value는 1.986으로 유의미한 차이는 없었다. F<sub>5</sub>에서는 평균 104.5일 이었고 표준편차 0.5이었으며 *t* value는 1.993으로 유의미한 차이는 없었다. 수수는 F<sub>4</sub>에서 7.4±2.6개였고 *t* value는 1.978로 유의미한 차이는 없었다. F<sub>5</sub>에서는 8.6±2.6개로 나타났고 *t* value는 1.988으로 유의미한 차이는 없었다. 수장은 F<sub>4</sub>에서는 17.9±3.2 cm였고 *t* value는 1.983으로 유의미한 차이는 없었다. F<sub>5</sub>에서는 17.9±6.5 cm로 나타났고 *t* value는 1.985로 유의미한 차이는 없었다. 간장은 F<sub>4</sub>에서는 54.7±4.6 cm였으며 *t* value는 1.987으로 유의미한 차이는 없었다. F<sub>5</sub>에서는 54.9±6.5 cm로 나타났고 *t* value는 1.989로 나타났다. 마지막으로 천립중은 F<sub>4</sub>에서 22.9±2.9 g이었으며 *t* value는 2.264로 유의미한 차이는 없었다. F<sub>5</sub>에서는 23.9±2.6로 나타났고 *t* value는 2.271로 유의미한 차이는 없었다. Ilmi/HV23 집단에서는 F<sub>4</sub>에서 F<sub>5</sub>까지의 세대 진전에 있어서 Ilmi와 농업적 형질 변이 조사를 했을 때 유의미한 차이가 없었고, 따라서 농업 형질이 F<sub>4</sub>에서 고정되었다고 판단할 수 있었다(Table 2).

**Drimi2ho/HV23 집단의 F<sub>5</sub>, F<sub>6</sub> 세대간 농업형질 변이 비교**

Drimi2ho/HV23 집단의 F<sub>5</sub>에서 F<sub>6</sub>로의 세대진전에 있어서의 농업형질 비교 정도를 나타냈다(Table 3). Drimi2ho의 출수기는 103.3±2.1일, 수수는 8.7±1.9개이다. 수장은 18.1±2.2 cm, 간장은 57.6±1.8 이고, 천립중은 21.5±2.1 g, 아밀로오스 및 단백질 함량은 각각 18.1±2.1%, 7.0±0.5%이었다. Drimi2ho/HV23 집단에서의 F<sub>5</sub>, F<sub>6</sub>의 농업형질 변이 비교를 평균값으로 알아보면 먼저 출수기는 F<sub>5</sub>에서 평균 103.1일이었고 표준편차는 1.8이었으며 *t* value는 2.773으로 유의미한 차이는 없었다. F<sub>6</sub>에서는 평균 105.9일 이었고 표준편차는 3.6이었다. 그리고 *t* value는 2.783으로 유의미한 차이는 없었다. 그리고 수수는 F<sub>5</sub>에서 9.5±2.7이었고 *t* value는 2.040으로 유의미한 차이는 없었다. F<sub>6</sub>에서는 7.2±2.2로 나타났고 *t* value는 2.035로 유의미한 차이는 없었다. 수장은 F<sub>5</sub>에서 13.5±8.3 cm였고 *t* value는 2.045로 유의미한 차이는 없었다. F<sub>6</sub>에서는 18.3±3.8로 나타났고 *t* value는 2.031로 유의미한 차이는 없었다. 간장은 F<sub>5</sub>에서는 59.2±8.3 cm였고 *t* value는 2.030으로 유의미한 차이는 없었고 F<sub>6</sub>에서는 53.9±6.4로 나타났으며 *t* value는 2.027로 유의미한 차이는 없었다. 천립중의 비교는 F<sub>5</sub>에서는 21.8±2.6 g이었고 *t* value는 2.040으로 유의미한 차이는 없었다. F<sub>6</sub>에서는 22.3

Table 2. Comparison of agronomic traits between F<sub>4</sub> and F<sub>5</sub> in Ilmi/HV23

	Ilmi	F <sub>4</sub>	<i>t</i> value	F <sub>5</sub>	<i>t</i> value
Heading date (days)	103.2±2.3	101.9±2.7	1.986 <sup>ns</sup>	104.5±0.5	1.993 <sup>ns</sup>
No. of tiller per plant	7.8±2.3	7.4±2.6	1.978 <sup>ns</sup>	8.6±2.6	1.988 <sup>ns</sup>
Panicle length (cm)	17.6±2.8	17.9±3.2	1.983 <sup>ns</sup>	17.9±6.5	1.985 <sup>ns</sup>
Culm length (cm)	54.5±3.4	54.7±4.6	1.987 <sup>ns</sup>	54.9±6.5	1.989 <sup>ns</sup>
Thousand grain weight (g)	22.3±2.5	22.9±2.9	2.264 <sup>ns</sup>	23.9±2.6	2.271 <sup>ns</sup>

\*Mean ± SD, Significant at the *p*<0.05 level of t-test, <sup>ns</sup>Not significant at the *p*<0.05 level of t-test

Table 3. Comparison of agronomic traits between F<sub>5</sub> and F<sub>6</sub> in Drimi2ho/HV23

	Drimi2ho	F <sub>5</sub>	t value	F <sub>6</sub>	t value
Heading date (days)	103.3±2.1	103.1±1.8	2.773 <sup>ns</sup>	105.9±3.6	2.783 <sup>ns</sup>
No. of tiller per plant	8.7±1.9	9.5±2.7	2.040 <sup>ns</sup>	7.2±2.2	2.035 <sup>ns</sup>
Panicle length (cm)	18.1±2.2	13.5±8.3	2.045 <sup>ns</sup>	18.3±3.8	2.031 <sup>ns</sup>
Culm length (cm)	57.6±1.8	59.2±8.3	2.030 <sup>ns</sup>	53.9±6.4	2.027 <sup>ns</sup>
1,000 grain weight (g)	21.5±2.1	21.8±2.6	2.040 <sup>ns</sup>	22.3±2.2	2.053 <sup>ns</sup>
Amylose content (%)	18.1±2.1	18.3±0.3	1.988 <sup>ns</sup>	16.3±6.6	1.981 <sup>ns</sup>
Protein content (%)	7.0±0.5	7.5±0.4	1.989 <sup>ns</sup>	7.3±3.0	1.982 <sup>ns</sup>

\*Mean ± SD, Significant at the  $p < 0.05$  level of t-test, <sup>ns</sup>Not significant at the  $p < 0.05$  level of t-test

±2.2 g로 나타났고 t value는 2.053으로 유의미한 차이는 없었다. Drimi2ho/HV23 집단에서 F<sub>5</sub>에서 F<sub>6</sub>까지 세대진전을 시켰을 때 Drimi2ho와 농업적 형질 변이 비교 조사에서 세대 간에 유의미한 차이는 없었다. 따라서 F<sub>5</sub>에서 농업 형질이 고정되었다(Table 3). 그리고 Drimi2ho/HV23 집단에서는 F<sub>5</sub>에서 F<sub>6</sub>로의 세대 진전에 있어서 미질 관련 형질의 변이 정도를 추가로 조사하였다. 미질 관련 형질에 해당하는 아밀로오스 및 단백질 함량[27]의 변이 비교 값을 나타냈다(Table 3). Drimi2ho/HV23 집단에서의 F<sub>5</sub>, F<sub>6</sub>의 미질 관련 형질 변이 비교를 평균값으로 알아보면 먼저 아밀로오스 함량은 F<sub>5</sub>에서 18.3±0.3%였고 t value는 1.988으로 유의미한 차이는 없었다. F<sub>6</sub>에서는 16.3±6.6로 나타났고 t value는 1.981로 유의미한 차이는 없었다. 단백질함량의 비교에서 F<sub>5</sub>에서는 7.5±0.4%이었고 t value는 1.989로 유의미한 차이는 없었다. F<sub>6</sub>에서는 7.3±3.0%로 나타났고 t value는 1.982로 유의미한 차이는 없었다. Drimi2ho/HV23 집단에서 F<sub>5</sub>에서 F<sub>6</sub>까지 세대진전을 시켰을 때 Drimi2ho의 미질관련 형질 변이 비교 조사에서 세대 간에 유의미한 차이는 없었다. 따라서 Drimi2ho/HV23의 미질관련 형질은 F<sub>5</sub>에서 고정되었다(Table 3).

본 연구에서는 Ilmi에 *CaMsrB2* 유전자를 도입한 형질전환 벼를 연속하는 복수 세대간 안정적인 유전 현상을 확인하였다 [1]. 그리고 쌀 품질을 결정하는 주요 농업 형질들의 적격성 검증을 통한 고정 여부를 판단하여 글로벌 시장 진출용 육종 소재를 육성 및 고품질의 벼를 생산하기 위한 과정을 알아보았다. HV23 와 Drimi2ho/HV23 계통은 F<sub>5</sub>에서 조사한 농업 형질 측정값이 F<sub>6</sub>에서도 유의미한 차이가 없이 유지됨을 확인하였고, Ilmi/HV23 계통은 F<sub>4</sub>에서 조사한 농업 형질 측정값이 F<sub>5</sub>에서도 유의미한 차이가 없이 유지됨을 확인하였다. 따라서 교배한 집단에서 형질이 더 이상 분리되지 않고, Drimi2ho/HV23는 F<sub>5</sub>에서, Ilmi/HV23은 F<sub>4</sub>세대에서 고정되었다. 보통 전통교잡육종법은 품종개량까지 시간이 오래 걸린다[15, 29]. 하지만 본 연구에서는 F<sub>4</sub> - F<sub>5</sub>에서 비교적 일찍 형질이 고정되었음을 알 수 있다. 이는 교잡육종법이 처음 행해지던 시기에는 현재와는 달리 기능이 밝혀져 있는 유전자의 수가 현저히 적었을 것이라는 가정하에 도입하려는 외래유전자를 가진 작물과 모본이 될 작물 사이에는 유전적 거리가 멀었을 것이며,

따라서 종, 속간 교잡장벽이 높아 이를 극복하여 형질이 고정되기까지 오랜 시간이 걸렸을 것이라고 추측한다. 본 연구에서는 Ilmi와 Drimi2ho 모두 *자포니카*로 아종이 동일하기 때문에 유전적으로 근연 관계로 볼 수 있으며, 따라서 보다 앞당겨진 시기에 형질이 안정적으로 고정되었을 것이라 추측한다. 더 나아가 각 계통을 신품종으로 등록하기 위하여 도입된 유전자의 연속하는 복수세대간 안정적 유전현상도 분석할 것이다.

이처럼 국민소득 향상에 따른 소비자들의 쌀 품질 고급화 요구의 증대함[5, 28]에 부합하고 최적 품종후보 육성 등 미래 대비 국내외용 육종소재화를 위한 품질 결정 요인들의 고정 여부 파악은 앞으로도 중요한 과제가 될 것으로 생각된다.

## Acknowledgement

This work was supported by a grant from the Next-Generation Bio-Green 21 Program (No. PJ013647032020), Rural Development Administration, Republic of Korea.

## The Conflict of Interest Statement

The authors declare that they have no conflicts of interest with the contents of this article.

## References

- Ahn, H., Lee, J., Qin, Y., Woo, H., Shin, K., Kweon, S. and Lim, M. 2014. Transgene structure analysis of genetically modified OsCK1 rice: whole genome shotgun sequencing as a tool for structure analysis of multi-inserted T-DNAs. *Kor. J. Breed. Sci.* **46**, 183-194.
- Cho, Y. H., Ra, Y. H., Park, Y. J., Kim, Y. C. and Kwon, S. Y. 2013. Breeding on flavor rice varieties of excellence. *Kor. J. Breed. Sci.* **59**.
- Choi, H. C. 2002. Current status and perspectives in varietal improvement of rice cultivars for high-quality and value-added products. *Kor. J. Crop Sci.* **47**, 15-32.
- Choi, I. 2010. Physicochemical properties of rice cultivars with different amylose contents. *J. Kor. Soc. Food Sci. Nutr.* **39**, 1313-1319.

5. Choi, O. J., Kim, Y. D., Shim, J. H., Noh, M. H. and Shim, K. H. 2012. Physicochemical properties of diverserice species. *Kor. J. Food Preserv.* **19**, 532-538.
6. Chung, N. J., Park, J. H., Kim, K. J. and Kim, J. K. 2005. Effect of head rice ratio on rice palatability. *Kor. J. Crop Sci.* **50**, 29-32.
7. Dhungana, S. K., Kim, B. R., Son, J. H., Kim, H. R. and Shin, D. H. 2015. Comparative study of *CaMsrB2* gene containing drought tolerant transgenic rice (*Oryza sativa* L.) and non transgenic counterpart. *J. Agron. Crop. Sci.* **201**, 10-16.
8. Hairmansis, A., Kustianto, B. and Suwarno, S. 2013. Correlation analysis of agronomic characters and grain yield of rice for tidal swamp areas. *Indones. J. Agric. Sci.* **11**, 11-15.
9. Hu, Z. L., Li, P., Zhou, M. Q., Zhang, Z. H., Wang, L. X., Zhu, L. H. and Zhu, Y. G. 2004. Mapping of quantitative trait loci (QTLs) for rice protein and fat content using doubled haploid lines. *Euphytica* **135**, 47-54.
10. Huh, C. K. 2011. Quality Characteristics of yakju by rice cultivates and various starter culture. *Department of Agronomy, Graduate School, Suncheon National University. PhD thesis.*
11. Ise, K., Akama, Y., Horisue, N., Nakane, A., Yokoo, M., Ando, I. and Furutachi, H. 2001. Milky Queen, a new high-quality rice cultivar with low amylose content in endosperm. *National Inst. of Crop Science.*
12. Juliano, B. O. 1985. Criteria and tests for rice grain qualities. In rice: Chemistry and Technology. *Cereal Chem.* 443-524.
13. Juliano, B. O. 2003. Rice chemistry and quality, Nutritive value of rice and rice diets. *PHILRICE.* 165-175.
14. Kang H. J., Seo, H. S. and Hwang, I. K. 2004. Comparison of gelatinization and retrogradation characteristics among endosperm mutant rices derived from Ilpumbyeo. *Kor. J. Food Sci. Technol.* **36**, 879-884.
15. Kim, H. I., Hong, C. P., Im, S., Choi, S. R. and Lim, Y. P. 2014. Development of molecular markers and application for breeding in Chinese cabbage. *Kor. J. Hortic. Sci. Technol.* **32**, 745-752.
16. Kim, K. H., Chae, J. C., Lim, M. S., Cho, S. Y. and Park, R. K. 1988. Research status and prospects in rice quality. *Kor. J. Crop Sci.* **33**, 1-17.
17. Kim, T. H., Lee, H. S., Park, H. Y., Kim, N. H., Yu, M. H. and Sohn, J. K. 2012. Breeding of new varieties of japonica rice, resistant to brown planthopper, 'Drimi2ho'. *Kor. J. Breed. Sci.* 159-159.
18. Koo, H. G., Kim, D. M., Kang, J. Y., Kim, M. K., Kim, Y. G. and Ahn, S. N. 2008. Analysis of QTL related to traits of agricultural traits using the imported rice Ilpumbyeo/moroverechan. *Kor. J. Breed. Sci.* **40**, 414-421.
19. Lee, H. Y., Lee, K. J., Jeon, E. H., Shin, S. H., Lee, J. H., Kim, D. H., Chung, Y. M., Cho, Y. C., Kim, J. K. and Chung, Y. S. 2006. Optimization of genetic transformation Conditions for Korean Gerbera Lines. *Plant Biotechnol. J.* **33**, 49.
20. Lou, J., Chen, L., Yue, G., Lou, Q., Mei, H., Xiong, L. and Lou, L. 2009. QTL mapping of grain quality traits in rice. *J. Cereal Sci.* **50**, 154-151.
21. Lu, C. F., Shen, L. S., Tan, Z., Xu, Y., He, P., Chen, Y. and Zhu, L. 1996. Comparative mapping of QTLs for agronomic traits of rice across environments using a doubled haploid population. *Theor. Appl. Genet.* **93**, 1211-1217.
22. Luzikihupi, A. 1998. Interrelationship between yield and some selected agronomic characters in rice. *Afr. Crop Sci. J.* **6**, 323-328.
23. Ogi, Y., Kato, H., Maruyama, K. and Kikuchi, F. 1993. The effects on the culm length and other agronomic characters caused by semidwarfing genes at the sd-1 locus in rice. *Jpn. J. Breed.* **43**, 267-275.
24. Park, J. Y., Choi, W. Y., Song, D. S. and Jin, I. D. 1991. Relationship between grain shattering and pedicel strength in Tongil type rice. *Kor. J. Crop Sci.* **36**, 174-153.
25. Park, S. H., Yoon, M. K. and Lim, Y. P. 2011. Development of clubroot race4 resistant inbreds using conventional breeding and microspore culture method in Chinese cabbage. *Kor. J. Agric. Sci.* **38**, 613-618.
26. Samonte, S. O. P., Wilson, L. T., Medley, J. C., Pinson, S. R., McClung, A. M. and Lales, J. S. 2006. Nitrogen utilization efficiency: relationships with grain yield, grain protein, and yield related traits in rice. *J. Agron.* **98**, 168-176.
27. Shin, J., Kim, S. and Kim, S. 2017. Comparison of yield and grain quality of ten high quality rice cultivars grown in three different agricultural regions of Gyeongsangbuk-do Province. *Kor. J. Crop Sci.* **62**, 275-284.
28. Son J. R., Kim, J. H., Lee, J. I., Youn, Y. H., Kim, J. K., Hwang, H. G. and Moon, H. P. 2002. Trend and further research of rice quality evaluation. *Kor. J. Crop Sci.* **47**, 33-54.
29. Xiao, J., Li, J., Yuan, L. and Tanksley, S. D. 1995. Dominance is the major genetic basis of heterosis in rice as revealed by QTL analysis using molecular markers. *Genetics* **140**, 745-754.
30. Yan, J. Q., Zhu, J., He, C. X., Benmoussa, M. and Wu, P. 1998. Quantitative trait loci analysis for the developmental behavior of tiller number in rice (*Oryza sativa* L.). *Theor. Appl. Genet.* **97**, 267-274.

**초록 : 내건성 및 BPH 내성 계통의 육성을 위한 농업형질 고정여부 조사**이소영<sup>†</sup> · 김은경<sup>†</sup> · 박재령 · 김경민<sup>\*</sup>

(경북대학교 농업생명과학대학 응용생명과학부)

1960년대 후반 인디카 품종과 자포니카 품종의 교잡에 의하여 새로운 통일형 벼 품종을 육성했고 그 재배기술을 확립했으며, 현재까지 이 재배기술을 이용하여 소비자들의 기호에 맞게 그리고 극한환경에 대응할 수 있는 다양한 품종들이 만들어졌다. 서로 다른 작물끼리 교배하여 얻은 F<sub>1</sub>을 가지고 반복적인 세대 진전을 통하여 도입을 원하는 우량한 유전자원의 형질이 더 이상 분리되지 않을 때 교배시킨 형질이 고정되었다고 볼 수 있으며 비로소 신품종이 될 수 있다. 본 연구에서는 가뭄에 저항성을 띠는 HV23 계통을 모품종인 Ilmi와 교배한 집단과 벼멸구에 내성을 갖는 Drimi2ho와 교배한 집단의 F<sub>4</sub>, F<sub>5</sub>, 그리고 F<sub>6</sub>의 농업형질을 조사하여 고정 여부를 확인했다. HV23와 Drimi2ho/HV23 계통의 F<sub>5</sub>, F<sub>6</sub>를 비교하였을 때 그리고 Ilmi/HV23 계통의 F<sub>4</sub>, F<sub>5</sub>를 비교하였을 때 모두 유의하지 않은 정도의 형질 변이가 나타났기 때문에 농업형질이 고정되었다고 판단할 수 있었다. 일반적인 계통 육종법은 품종개량에 10년 이상의 시간이 드는 반면 본 연구에서는 4-5년 만에 형질이 고정되었음을 확인하였다.