보리호위축병 저항성 내도복 다수성 쌀보리 ‘호강’

김양길 · 윤영미 · 이미자 · 김경호 · 강천식 · 정영근 · 박태일 · 김보경 · 오세관 · 박종호*

국립식량과학원

Development of Naked Barley (*Hordeum vulgare* L.) Cultivar ‘Hogang’ with High Yield and Resistance to BaYMV

Yang-Kil Kim, Young-Mi Yoon, Mi-Ja Lee, Kyong-Ho Kim, Chon-Sik Kang, Young-Keun Cheong, Tae-il Park, Bo-Kyeong Kim, Sea-kwan Oh, and Jong-Ho Park*

National Institute of Crop Science (NICS), RDA, Wanju, 55365, Republic of Korea

Abstract As a result of the efforts to breed a high yield naked barley cultivar with disease and stress tolerance in response to climate change and proper double cropping of barley and rice in a paddy field. A new naked barley cultivar named ‘Hogang’ was developed from the cross between ‘Suyoung’ and ‘Geukjosuk 55’ at the National Institute of Crop Science, RDA, Korea, in 2016. ‘Hogang’ is a naked barley cultivar used for powdering and mixing with rice. It has good cooking quality, high whiteness, water absorption rate, and expansion rate. Among other quality characteristics, β -glucan content (5.5%) was higher than that of ‘Saessalbori’ cultivar, while the amylose content (21.7%) was lower than that of ‘Saessalbori’. ‘Hogang’ has a short culm length of 69 cm and it is resistant to BaYMV as well as lodging-resistant. As in ‘Saessalbori’, the maturity date of ‘Hogang’ is May 26th. It has large seed size and grain weight of 34.6 g per 1,000 grains. The yield potential of ‘Hogang’ was 4.56 MT/ha, which was 7% higher than that of ‘Saessalbori’. ‘Hogang’ is expected to spread in BaYMV-prone areas since it is a stable and resistant cultivar. (Registration No. 7375)

Keywords Barley, Breeding, Cultivar, Hogang

Received on July 23, 2019. Revised on August 11, 2019. Accepted on August 15, 2019.

* Corresponding Author (E-mail: ark0104@korea.kr, Tel: +82-63-238-5226, Fax: +82-63-238-5205)

서 언

보리는 서늘하고 건조한 기후대에서 잘 자라기 때문에 주로 10월에서 11월경 씨를 뿌리고 초여름인 5월 말에서 6월 초에 수확하는 겨울 작물이다. 우리나라에서 보리는 굼주림을 덜어준 제2의 주식이었으나, 현재에는 1인당 1.3 kg 정도 소비가 이루어지고 있으며, 주로 건강 식품으로 인기를 끌고 있다(Cheigh et al. 1976). 특히 보리에 들어있는 식유섬유인 베타글루칸과 폴리페놀 등에 관심이 많아지고 있으며, 혼반용 보리쌀, 보릿가루, 새싹, 면 등 및 맥주용 보리 등 다양한 용도의 차별화된 품종 개발이 요구되고 있다. 보리 품종 중 아밀로스 함량이 높은 메성 보리에 비해 아밀로스 함량이 낮은 찰성 보리는 흡수성과 퍼짐성이 좋아 취반용으로 이용성이 높은 찰성 보리 품종 위주로 개발되었다. 2000년대 이후 개발된 쌀보리 27품종 중 찰성보리 ‘누리찰’, ‘영백찰’ 등과 유색보리 ‘흑누리’, ‘강호청’ 등(Lee et al. 2016,

Lee et al. 2018a, Lee et al. 2018b)을 제외한 메성 쌀보리 품종은 30%정도로, 가공적성이 다양한 메성 쌀보리 품종 개발이 미흡하다. 현재 1983에 개발된 ‘새쌀보리’ 품종이 보급 되어 재배되고 있으나, 이 품종은 도복 및 바이러스병에 약하고, 특히 한해(추위)에 약해 재배한계지역이 협소하여 1월 최저평균기온이 -6℃ 이상인 지역으로 한정 재배되고 있다. 현재에 보급되고 있는 품종 중 메성 쌀보리로는 ‘새쌀보리’와 ‘다풍’, ‘다한’ 등(Bea et al. 1984)이며 이 품종들은 대부분 보릿가루 및 보리쌀 등으로 전남, 전북 지역에서 재배되고 있다. 그러나, 재배 안정성 및 병해저항성이 떨어지는 단점이 있어 기후변화에 안정적이면서 병해에 강한 메성 쌀보리 품종 개발을 요구하고 있는 실정이다. 보리호위축병(Barley yellow mosaic virus, BaYMV)은 국내 보리 재배지에 가장 우점하여 피해를 주며(Park et al. 2004), 품종의 저항성과 기상조건에 따라 40~100%의 수량이 감소되는 것으로 보고 되어 있다(Park et al. 2006). 또한 보리호위축병은 종자

전염은 되지 않으며 토양에 의해 전염되고 약제 방제가 어려워 저항성 유전자의 탐색과 저항성 품종개발이 이루어져 오고 있다 (Park et al. 2006). 국내에서도 저항성 유전자(*rym1*, *rym3*, *rym4*, *rym5*, *rym9* 등)를 보유하고 있는 외국 자원을 교배자원으로 이용하여 보리호위축병 저항성 보리 품종을 육성하고 있다. 따라서 본 연구에서는 도복에 강하며 수량성과 재배 안정성이 높은 뿐만 보리호위축병 저항성 유전자 *rym1*과 *rym9*을 보유한 메성 쌀보리 품종 ‘호강’을 개발하여 그 육성 경위와 주요 특성을 보고하고자 한다.

재료 및 방법

농업형질 및 수량성 조사

‘호강’의 농업적 특성에 대한 연구는 2014년부터 2016년까지 3개년간 지역적응시험지역인 전북 익산(전주), 전남 나주, 경남 진주와 경북 대구 등 4개 지역에서 메성 표준품종인 새쌀보리 품종을 대비하여 검토하였으며(RDA 2014, 2015, 2016) 각 지역별 보리 표준재배법으로 수행하였다. 각각의 품종 생육특성, 내재해성, 내병성, 수량구성요소 및 수량 등은 지역적응시험지역에서 3개년간 시험한 결과를 조사분석 하였다. 수량구성요소 중 천립중은 1.8 mm 종목체를 통과한 종실, 즉 설립을 제거한 종실에서 1,000립을 측정하였으며, 조곡수량은 수확 탈곡 건조 후 수분 14%로 보정하여 설립을 제거한 종실을 ha 당으로 환산하였다. 기타 조사는 농업과학기술 연구조사 분석기준(RDA 2012)에 준하였다. 병해검정 중 흰가루병의 유묘검정은 온실에서 본엽 1~2엽기에 *Blumeria graminis* f.sp. *hordei* 병원균 이병 개체로부터 접촉 접종하여 접종 1~2주 후 발병 조사하였다. 보리호위축병 (Barley yellow mosaic virus, BaYMV) 검정은 지역별 상습발병 포장인 나주(strain I 형), 익산(strain III 형), 진주(strain IV 형) 지역에서 자연 발생을 유도하였고 표준 품종을 비교품종으로 하여 이병정도를 무 발생(0), 10% 미만(1), 11~30%(3), 31~50%(5), 51~70%(7), 71% 이상(9) 등으로 3월 상순에서 3월 하순 사이에 조사하였다(Park et al. 2009). 내한성 검정은 경기 연천 시험지에서 10월 상순에 파종하여 월동 후 고사주율(%)을 조사하였다. 파성 검정은 4℃, 3주 저온 처리와 무처리 두 처리 조건으로 파성별 대조품종과 함께 온실에 파종(이식)하여 수행되었다. 생육온도는 주간 20℃, 야간 15℃로 24시간 광처리하여 보리 생육을 시키면서 주경의 엽수와 지엽 전개 일수를 조사하여 파성 정도를 I~V 범위로 판정하였다.

보리호위축병 저항성 유전자 확인

‘새쌀보리’와 ‘호강’의 보리호위축병 저항성 유전자 확인은 *rym1* (Okada et al. 2003), *rym5*, *rym11* (Sedlacek et al. 2016), *rym9* (Werner et al. 2000)에 대해 수행되었다. 보리호위축병 저항성 유전자 *rym1*은 MWG2134 (F-5'-GCAACTCAACGCCATTC CAT-3', R-5'-CCAGCGTCTTTTCATGGGTA-3'), *rym9*은 STS-C04H910(F-5'-CCGCATCTACATCGATTA TA-3', R-5'-CCG CATCTACAAATTAGTC3') 연관마커를 활용하여 수행되었고, *rym5*, *rym11*은 복합 PCR (*rym5*AS: F-5'-TAACAAGTTGA GTGGTATTTTCAG-3', R-5'-CCTTTGCCACAACCTGACGC-3, *rym11*: F-5'-TCAAGAGTATCGAACCCAATGCA-3, R-5'-TC GGAAAAGTTGATTGCGGTGC-3)에 의해 이루어졌다. 보리 저항성유전자 확인 품종은 Mokusekko3 (*rym1*+*rym5*), Misao golden(*rym4*), Bulgarian347 (*rym9*), Russia57 (*rym11*)이 이용되었다.

품질 분석

품질분석은 도정하지 않은 조곡에서 단백질과 회분을 분석하였으며, 정곡에서 아밀로스, 베타글루칸, 백도 등을 분석하였다. 시료는 Satake 시험도정기로 정맥수율 77%로 정맥하였다. 조곡과 정곡을 0.5 mm체가 장착된 Retsch centrifugal mill (Model Dm/Zm 100)로 분쇄한 분말시료를 사용하였다. 단백질분석은 Elementar Analyzer System (US/Vario)를 이용하여 분석한 총 질소함량에 켈달장치를 이용하여 분석한 값과 비교하여 얻어진 conversion factor 5.17 를 곱하여서 구하였다. 베타글루칸 분석은 McCleary 방법(McCleary & Glennie-Holmes 1985)을 이용한 Megazyme kit를 이용하여 510nm에서 흡광도로 분석하였다. 취반에 따른 정맥의 수분흡수율, 퍼짐성은 Shinjiro et al. (1965)의 방법을 사용하여 분석하였다. 보리쌀 5 g을 20 mL D.W (distilled water)가 들어있는 메스실린더에 넣은 후 부피 (a)를 읽고, 이 시료를 평량한 알루미늄망(자체제작)에 넣어서 증류수를 제거한 후 이 망을 100 mL 비이커에 넣고 충분히 끓는 물 80 mL를 부어 알루미늄 호일로 덮어 150℃ 건조기에서 40분간 취반하였다. 취반된 시료를 꺼내어 10회 정도 물기를 털어준 다음 비이커에 60° 정도 기울여 놓고, 10분 후 무게(b)를 측정하고 이 시료를 20 mL D.W가 들어 있는 메스실린더에 옮기고 부피(c)를 측정하였다. 100 mL 비이커에 남아 있는 고형물을 건조기에 넣고 75℃-80℃에서 16시간 정도 건조시킨 후 꺼내어 데시케이터에 넣고 30분 후 무게를 재고 다음 식으로 흡수율과 퍼짐성 및 용출고형물을 계산하였다. 흡수율(%)=흡수 후 무게

(b)-(시료+망무게)÷시료무게 × 100, 퍼짐성(%)=취반 후 부피 (c)÷취반 전 시료부피(a) × 100로 측정하였다. 보리쌀 백도는 Kett (Kett Electric Laboratory C-300-3)으로 3회 측정하였다.

통계분석은 R을 이용하였으며, 처리간의 차이는 *t*-test로 유의 수준 5%($p < 0.05$)에서 검정하였다.

결과 및 고찰

육성경위

‘호강’품종은 쌀보리 조숙 내도복 다수성 품종을 육성하기 위해 2004년에 보리호위축병 저항성이면서 중단간 내도복 다수성 특성을 가진 품종인 ‘수영보리’를 모본으로, 조숙 특성을 가진 ‘극조숙55 (IT296616)’계통을 부분으로 하여 인공교배 하였다. 2005년에 F₁을 양성한 후 2006~2007년에 집단으로 F₂~F₃를 전개하였다. 2008~2010년에는 F₄~F₆ 계통에서 출수가 다소 빠르고 내병, 내재해, 다수성 특성을 보이는 계통을 선발하였다. 선발된 우량계통을 2011년에는 OYT (Observational yield trial)로 시험 후 우량시 되는 HB16809-B-B-49-1-1계통을 선발하였다. 선발된 이 계통을 2년간 생산력검정시험(2012~2013)후 출수가 빠르고 바이러스저항성 내도복 다수성인 쌀보리 계통으로 우수성이 인정되어 ‘익산122호’로 계통명을 부여 받아, 2014~2016년까지 3년간 답리작재배 익산(전주), 나주, 진주, 대구 등 4개 지역에서 지역적응시험을 수행하였다(RDA 2014, 2015, 2016). 그

결과, 보리호위축병 저항성 내도복 다수성인 우수계통으로 입증되어 2016년 농작물 직무육성 신품종선정심의회에서 ‘호강’으로 명명되었다. 그 후 국립종자원의 재배심사를 거쳐 2018년 식물신품종보호법 제54조에 따라 품종보호등록원부에 등록(품종보호 제7375호) 되었다. 육성 경위를 도식화하면 Fig. 1과 같다.

고유특성

‘호강’은 Table 1과 Fig. 2에서 보는 바와 같이 이삭의 밀도가 중간형으로 ‘새쌀보리’보다 약간 더 느슨하며, 까락이 긴 6조 보리로서 파성이 II인 준파형 병성으로 와성인 ‘새쌀보리’(III)와 차이를 보였다. 보리는 대부분 가을파종을 하나 파종시기에 비등에 의해 파종을 못 할시 부득이하게 봄에 파종하는데 준파형 보리는 저온 처리를 하지 않고 봄에 파종해도 출수가 가능하다 (Hwang et al. 1986, Qualset & Peterson 1978). 호강의 줄기 굵기는 중정도이고, 엽색은 녹색, 폭은 중간형이다.

농업적 형질 및 재해 저항성

출수기와 성숙기는 Table 2에서 보는 바와 같이 출수기는 4월 18일로 표준품종인 새쌀보리보다 1일 빨랐으나 성숙기는 5월 26일로 같았다. 간장은 69 cm로 ‘새쌀보리’(74 cm)보다 5 cm 짧은 중간형으로 표준품종인 ‘새쌀보리’보다 도복에 대한 저항성을 보였다. 수장은 6.2 cm로 ‘새쌀보리’(1 cm)보다 크고,

²OYT : Observational yield trial, ³PYT : Preliminary yield trial, ⁴AYT : Advanced yield trial.

Fig. 1. Pedigree diagram of barley variety, ‘Hogang’.

Table 1. Vernalization and morphological characteristics of ‘Hogang’.

Cultivar	Vernalization	Grain husk	Leaf		Culm		Spike		Awn Length
			Color	Width size	Length	Diameter	Type	Density	
Hogang	II	Naked	Green	Medium	Medium	Medium	6-rowed	Medium	Long
Saessal	III	Naked	Green	Medium	Long	Medium	6-rowed	Medium	Short

m²당 수수는 441개정도였으며, 1수립수는 65립으로 다립성 품종이다. 천립중은 34.6 g으로 ‘새쌀보리’(30.5 g)에 비해 4.1 g 큰 대립종이며, 1 l 중은 795 g으로 다소 가벼웠다.

내한성은 Table 3에서 보는 바와 같이 경기도 연천 시험포장에서 한해(추위) 검정한 결과(RDA 2014, 2015, 2016) 고사주율은

Fig. 2. Comparison of some traits in ‘Hogang’ (Left) and ‘Saessal’ (Right). A: Maturing stage, B: Grain

저후 재배인 표준 재배에서 68.4%, 고후 재배에서 80.6%로 ‘새쌀보리’(78.1%, 75.6%)와 비슷하였다. 도복 정도는 시험재배포장에서 1로 ‘새쌀보리’(3) 보다 강하였다. 흰가루병(Woo & Kim 1983)은 ‘새쌀보리’ 품종과 같은 감수성이었다. 토양전염성이 강한 바이러스병으로 So et al. (1991)은 보리호위축병(BaYMV)은 보리 연작재배지에서 피해가 큰 병으로, 지역별로 다른 바이러스 strain인 것으로 보고된(Park et al. 2007), 보리 주재배지역인 나주(strain I 형)와 익산(strain III 형) 그리고 진주(strain IV 형) 모든 지역에서 ‘새쌀보리’보다 보리호위축병에 대한 저항성을 보였다. 그러나 DNA마커를 이용한 저항성 유전자 확인 결과 ‘새쌀보리’와 ‘호강’ 모두 *rym1*, *rym9*을 보유하고 있었고(Table 4, Fig. 3), *rym5*, *rym11*은 확인되지 않아 차별성을 보이지 않았다. 포장평가에서 ‘호강’의 호위축병저항성이 새쌀보리보다 높게 나타난 것은 지금까지 분석된 저항성유전자외의 *rym3*, *rym4* 등의 유전자가 관여했을 것으로 생각되며, 앞으로 DNA 마커를 활용한 이의 확인이 필요할 것이다.

품질특성

‘호강’의 품질은 Table 5에서 보는 바와 같이 단백질 함량은 조곡(원맥)에서 10.1%로 ‘새쌀보리’(10.5%)와 비슷하였으며, 베타글루칸 함량은 5.5%로 ‘새쌀보리’보다 높았다. 아밀로스 함량은 21.7%로 ‘새쌀보리’(22.0%)보다 낮은 메성 보리로 취반 특성은 흡수율 215%, 퍼짐성 382%로 ‘새쌀보리’(178%, 334%)

Table 2. Agronomic characteristics of cultivar ‘Hogang’ cultivated in Iksan (Jeonju), Naju, Jinju and Daegu regions from 2014 to 2016.

Cultivar	Heading date (Mon. Day)	Maturity date (Mon. Day)	Culm length (cm)	Spike length (cm)	No. of spike per m ²	No. of grains per spike	Test weight (g)	1,000 grain weight (g)
Hogang	Apr.18	May 26	69b ^z	6.2a	441a	65a	795b	34.6a
Saessal	Apr.19	May 26	74a	5.2b	549a	58b	806a	30.5b

^zDifferent letters within a column indicate significant difference between cultivars (*t*-test, *p*<0.05)

Table 3. Winter hardiness, lodging resistance and BaYMV resistance of cultivar ‘Hogang’ tested in Iksan (Jeonju), Naju, Jinju and Daegu regions from 2014 to 2016.

Cultivar	Winter withering rate ^z (%)		Lodging (0-9)	Powdery mildew ^y Infection type	BaYMV ^x (0-9)		
	Normal	High ridge			Naju (I)	Iksan (III)	Jinju (IV)
Hogang	68.4	80.6	1	Susceptible	0	1	0
Saessal	78.1	75.6	3	Susceptible	0	5	0

^zData tested at Yeoncheon.

^yDisease incidence induced natural infection at plastic house at Iksan (Jeonju) for three years.

^xInvestigation at viral infested field for three years (0: Resistance, 9: Susceptible). BaYMV means viral disease by Barley Yellow Mosaic Virus.

보다 높았다. 또한 보리를 도정 후 보리쌀 백도를 측정한 결과 37.6으로 '새쌀보리'보다 흰 보리쌀 특성을 보였다. 시판되고 있는 보리쌀 제품의 백도는 29.0~44.4 범위였다는 보고(Lee et al. 2009)의 평균 이상의 백도를 보였다.

수량성

'호강'의 지역별 수량성은 2014년부터 2016년까지 3개년간 실시한 지역적응시험(RDA 2014, 2015, 2016) 결과, 답리작에서 재배한 익산(전주), 나주, 진주, 대구지역 모든지역에서 3~14%

Fig. 3. PCR products of barley varieties for identification of BaYMV resistance genes. M: marker, 1a: Mokusekko3 (*rym1*+*rym5*), 1b: Bulagrian347 (*rym9*), 1c: Misato golden (*rym5*), 1d: Russia57 (*rym11*), 2: Saessal, 3: Hogang (A: The *rym1* resistance gene shows band at 125bp, B: The *rym9* resistance gene shows band at 900bp. C: The *rym5* resistance gene shows band at 200bp and 160bp, and the *rym11* resistance gene shows band 190bp).

Table 4. Results of PCR analysis about BaYMV resistance genes

Cultivar	Resistance gene			
	<i>Rym1</i>	<i>Rym5</i>	<i>Rym9</i>	<i>Rym11</i>
Hogang	+	-	+	-
Saessal	+	-	+	-

+: resistance gene identified, -: resistance gene dose not identified.

Table 5. Grain qualities of 'Hogang'.

Cultivar	Protein content (%)	β -glucan content (%)	Amylose content (%)	Whiteness	Cooking quality	
					Water absorption rate (%)	Expansion rate (%)
Hogang	10.1a ^z	5.5a	21.7b	37.6a	215a	382a
Saessal	10.5a	4.7b	22.0a	36.2b	178a	334a

^zDifferent letters within a column indicate significant difference between cultivars (*t*-test, $p < 0.05$).

Table 6. Yield potential of 'Hogang' in the regional yield trials (RYT) tested in Iksan (Jeonju), Naju, Jinju and Daegu regions from 2014 to 2016.

Regions	Hogang (MT/ha)				Saessal (MT/ha)				Index (a/b $\times$ 100)
	2014	2015	2016	Mean (a)	2014	2015	2016	Mean (b)	
Iksan (Jeonju)	5.56	3.36	3.10	4.01	5.30	2.56	3.18	3.68	109
Naju	5.13	4.52	4.01	4.56	5.09	4.16	4.01	4.42	103
Jinju	6.09	4.79	4.65	5.18	5.44	5.32	4.36	5.04	103
Daegu	4.26	5.08	4.05	4.47	3.42	4.38	3.96	3.92	114
Mean	5.26	4.44	3.96	4.56a ^z	4.82	4.10	3.88	4.26b	107

^zDifferent letters within a row indicate significant difference between cultivars (*t*-test, $p < 0.05$).

높은 수량성을 보였으며, 이중 재배 안정성 높았던 진주지역에서 5.18 MT/ha으로 가장 높은 수량성을 보였다. 전체 평균의 수량성은 ha 당 4.56 MT으로 ‘새쌀보리’(4.26 MT)보다 7% 증수하였다 (Table 6).

적 요

‘호강’은 보리호위축병 및 도복에 강하면서 다수성인 메성 쌀보리로 육성된 품종으로 이삭은 6조이며 파성이 II 인 병성 쌀보리로 이삭의 형태는 중간형이고, 까락이 길며 탈부성이 좋다. 출수기는 4월 18일로 새쌀보리에 비해 1일 빨랐으나 성숙기는 5월 26일로 같았다. 간장은 69 cm로 새쌀보리보다 5 cm 정도 짧은 중간형으로 내도복성이며, 수장(6.2 cm)은 길고 1수립수(65 개)가 많다. 천립중은 34.6 g으로 무거웠다. 보리호위축병은 저항성이며, 내한성은 새쌀보리와 비슷하였다. ‘호강’은 단백질(10.1%), 아밀로스(21.7%) 함량이 비슷하나 베타글루칸(5.5%), 백도(37.6)가 높고, 흡수율, 퍼짐성이 좋다. 조곡 수량성은 4.56 MT/ha으로 7% 증수하였다. ‘호강’ 품종개발 보급으로 보리호위축병 발생지에 안정적인 생산 품종으로 보급이 기대된다.

사 사

본 연구는 농촌진흥청 국립식량과학원 농업과학기술 연구개발사업(과제명: 용도별 고품질 내재해 다수성 쌀보리 신품종 개발, 과제번호: PJ011169022019)의 지원에 의해 이루어진 것임.

REFERENCES

1. Bae SH, Hur HS, Oh YH, Oh YS, Choi IL, Ko JK, Park SL, Shin YH, Lee KS. 1984. A new high yielding naked barley variety “Saesssalbori”. Res Rept ORD 26: 93-96.
2. Cheigh HS, Lee NS, Kwon TW. 1976. Some nutritional composition of barley flours. Korean J Food Sci Technol 8: 260-262.
3. Hwang JJ, Youn KB, Lee HS. 1986. Classification of growth habit (vernalization requirement) of rye, oats and triticale. Korean J Breed Sci 18: 154-161.
4. Lee MJ, Kim YK, Seo JW, Kim JG, Kim HS. 2009. Cooking and pasting characteristics of non-waxy and waxy pearled barley products from Korea. Korean J Food Preserv 16: 661-668.
5. Lee MJ, Kim YK, Kim KH, Seo WD, Kang HJ, Park JC, Hyun JN, Park KH. 2016. Quality characteristics and development of naked waxy barley (*Hordeum vulgare* L) cultivar “Yeongbaekchal” without discoloration of cooked barley. Korean J Breed. Sci 48: 529-534.
6. Lee MJ, Kim YK, Kim KH, Park HH, Kim SM. 2018a. Development of naked non-waxy black barley (*Hordeum vulgare* L) cultivar ‘Huknuri’ with high anthocyanin content. Korean J Breed Sci 50: 274-279.
7. Lee MJ, Kim YK, Choi JK, Choi ID, Kang HJ. 2018b. Quality characteristics and development of the naked waxy barley (*Hordeum vulgare* L) cultivar ‘Nulichal’ with high yield and good quality. Korean J Breed Sci 50: 516-521.
8. McCleary BV, Glennie-Holmes M. 1985. Enzymic quantification of (1-3) (1-4)-β-D-glucan in barley and malt. J of the institute of brewing 91: 285-295.
9. Okada Y, Kanatani R, Arai S, Ito K. 2003. A CAPS marker that distinguishes the barley yellow mosaic disease resistance locus *rym1* derived from Chinese landrace ‘Mokusekko 3’. J Inst Brew 109: 103-105.
10. Park JC, Seo JH, Choi MK, Lee KJ, Kim HM. 2004. The incidence and distribution of viral diseases in barley fields in Korea. Research in Plant Disease 10: 188-193.
11. Park JC, Lee MJ, Che IB, Kim MJ, Park CS, Kim JG. 2006. Growth and yield comparisons among barley varieties with different resistance to barley mosaic virus. Kor J Crop Sci 51: 477-482.
12. Park JC, Rho TW, Kim JG, Kim HM, So IY, Lee KJ. 2007. Strain distinction and their distribution of *barley yellow mosaic virus* base on RAPD analysis in Korea. Kor J Plant Res 20: 511-517.
13. Park JC, Noh TH, Park CS, Kang CS, Kang MH, Lee ES, Lee JH, Lee JJ, Kim TS. 2009. Responses of resistant genes to *barley yellow mosaic virus* (BaYMV) strains in Korea. Res Plant Dis 15: 72-76.
14. Qualset CO, Peterson. ML. 1978. Polymorphism for vernalization requirement in a winter oats cultivar. Crop Sci 18: 311-315.
15. Rural Development Administration (RDA). 2012. Agriculture experiment investigation standard.
16. Rural Development Administration (RDA). 2014, 2015, 2016. Report of development new variety of winter crops.
17. Sedlacek T, Marik P, Chrpova J. 2016. Identification of genes conferring resistance to viral diseases of barley using Multiplex PCR. Czech J Genet Plant Breed 52: 30-33.
18. Shinjiro C, Endo I, Tani T. 1965. Qualities of rices by

- early seasonal cultivation or early sowing depend upon rice varieties and growing regions. II. Cooking qualities of rice grains. Report of the Food Research Institute, Tokyo, Japan, 20: 13.
19. So IY, Cheong SS, Lee KJ, Oho YH. 1991. Vector of barley yellow mosaic virus (BaYMV) and consideration on its control. Res Rept RDA (Agri. Institutional Cooperation). 34: 75-83.
 20. Werner K, Pellio B, Ordon F, Friedt W. 2000. Development of an STS marker and SSRs suitable for marker-assisted selection for the BaMMV resistance gene rym9 in barley. Plant Breed 119: 517-519.
 21. Woo HD, Kim KC. 1983. Physiologic races of *Erysiphe graminis* f. sp. *Hordei* in Korea. Korean J Plant Prot 22: 283-286.