국내 보리 품종의 전분 관련 특성 평가

윤영미¹ · 김경훈¹ · 강택규² · 강성욱² · 강혜정¹ · 강천식¹ · 김양길¹ · 박철수² · 조성우^{3*}

¹국립식량과학원, ²전북대학교 농업생명과학대학 작물생명과학과, ³경남과학기술대학교 농학한약자원학부

Evaluation of Starch Properties of Korean Barley (*Hordeum vulgare* L.) Cultivars

Young-Mi Yoon¹, Kyung-Hoon Kim¹, Taek-Gyu Kang², Seong-Wook Kang², Hye-Jung Kang¹, Chon-Sik Kang¹, Yang-Kil Kim¹, Chul Soo Park², and Seong-Woo Cho^{3*}

¹National Institute of Crop Science, Rural Development Administration, Wanju, 55365, Republic of Korea

²Department of Crop Science and Biotechnology, Chonbuk National University, Jeonju, 54896, Republic of Korea

³Department of Agronomy and Medicinal Plant Resources, Gyeongnam National University of Science and Technology, Jinju, 52725, Republic of Korea

Abstract Starch properties of 32 Korean barley cultivars (*Hordeum vulgare* L.) were evaluated to improve the Korean barley breeding program. The average amylose content of non-waxy barley cultivars was approximately 3.5 times higher than that of waxy barley cultivars. Furthermore, non-waxy barley cultivars showed lower damaged starch content, water retention capacity, swelling volume, swelling power, and peak viscosity than waxy barley cultivars, while they showed bigger average starch granule size and higher final viscosity. Among Korean barley cultivars, the amylose content showed a positive correlation with damaged starch content, water retention capacity, swelling volume and power, and peak viscosity, while showing a negative correlation with pasting temperature and final viscosity. Among non-waxy barley cultivars, the amylose content showed a positive correlation with damaged starch content, but correlation with swelling power, peak viscosity, pasting temperature, and final viscosity was negative. Among waxy barley cultivars, the amylose content showed negative correlation with peak viscosity. There were positive correlations between swelling volume and peak viscosity among Korean barley and waxy barley cultivars. Also, there were positive correlations between swelling power and peak viscosity among Korean barley and non-waxy barley cultivars. Principal Components Analysis revealed that amylose content and peak viscosity are the main factors affecting starch properties of Korean non-waxy barley cultivars, and Korean non-waxy barley cultivars can be classified into two groups with these two factors. Water retention capacity and peak viscosity are the main factors affecting starch properties of waxy barley cultivars and classify them into two groups. The starch properties of Korean barley cultivars demonstrated in this study are useful to improve end-use quality for processed foods using barley. In addition, the continuous qualitative evaluation of barley is very important for the Korean barley breeding program.

Keywords Barley, Starch, Amylose, Pasting properties, Korea

Received on February 19, 2019. Revised on February 25, 2019. Accepted on May 18, 2019.

* Corresponding Author (E-mail: tottoriu2009@naver.com, Tel: +82-10-9425-6213, Fax: +82-55-751-3229)

서 언

보리는 맥아제조, 식품 및 사료 등 다양하게 이용되고 있으며, 이는 보리의 종류에 따라 다르다. 보리의 종류는 형태에 따라 2조와 6조로 나뉘며, 껍질의 유무에 따라 겉보리(hulled barley)와 쌀보리(hulless barley)로 구분된다. 겉보리는 주로 맥아형태로 식혜나 맥주 등에 이용되며, 겉보리와는 다르게 껍질이 쉽게 분리되는 특성으로 가공 시 보리가루 생산이 용이한 쌀보리는 가공식품용으로 이용된다(Lee et al. 2013, Jeong et al. 2013). 또한, 보리의 종류는 정맥특성으로도 구분하는데 찰성에 따라

찰보리(waxy barley)와 메보리(non-waxy barley)로 구분하며, 찰보리는 퍼짐성과 수분흡수율이 메보리보다 좋아 취반용으로 많이 이용되며, 그 중 쌀보리인 찰쌀보리가 국내에서 선호되는 품종이다(Jeong et al. 2013). 이처럼 보리의 특성에 따라 가공적성이 다른 것은 전분의 질적 특성에 영향을 받기 때문이다.

보리 전분은 종실의 70%를 차지하며, 맥아제조 및 식품가공뿐만 아니라 사료 품질에도 영양을 주는 중요한 종실 특성 중 하나이다(Asare et al. 2011). 보리 전분은 주로 아밀로스와 아밀로펙틴으로 구성되어 있으며, 아밀로스 함량에 따라 메보리와 찰보리로 구분된다(Delcour & Hosney 2010). 아밀로스 함량은

amylose (*amyl*)과 waxy (*wax*)유전자에 의해 조절되며, 일반적으로 메보리의 아밀로스 함량은 27% 정도이며, 찰보리의 아밀로스 함량은 0~13% 정도로 알려져 있다(Hang et al. 2007). 이처럼 아밀로스 함량의 차이는 보릿가루의 특성에 영향을 준다. 아밀로스 함량이 낮은 찰보리가 상대적으로 아밀로스 함량이 높은 메보리 보다 많은 가수량을 나타내며, 물 결합력 및 팽윤력도 메보리보다 찰보리가 높다(Kim et al. 1999, Lee et al. 2013). 이러한 특성으로 인하여 찰보릿가루를 첨가한 국수 두께는 메보릿가루를 첨가한 국수 두께보다 두꺼운 반면, 빵 부피는 메보리로 만든 빵 부피가 밀 빵 부피와 유사하며, 찰보리로 만든 빵 부피는 밀 빵 부피보다 작다(Klamczynski & Czuchajowska 1999, Lee et al. 2013). 이처럼 아밀로스 함량은 전분의 질적 특성에 영향을 주는 주요 요인이다(Zhu et al. 2017).

최근 국내 보리 육종 프로그램은 보리의 β -글루칸, 안토시아닌 함량이 높은 유색보리 등과 같은 기능성 및 스트레스 저항성에 대한 품종들을 육성하고 있다(Kim et al. 2013, Kim et al. 2018). 하지만 보릿가루를 이용하여 영양학적 가치의 향상과 더불어 가공적성 향상을 높이기 위한 연구들이 꾸준히 이루어지고 있는 외국과는 다르게 국내에서는 보리의 품질 및 가공적성에 대한 연구는 매우 미흡한 실정이다(Fikiru et al. 2017, Narwal et al. 2017, Yaqoob et al. 2018). 따라서, 이 연구에서는 국내 보리 품종의 전분 특성을 평가하고 각 특성에 대한 상호관계를 확인함으로써 각 품종의 전분 특성에 대한 기초 자료를 제공하고자 한다.

재료 및 방법

공시재료

이 연구에서 전분특성 분석을 위하여 사용된 국내 보리 32 품종은 Table 1에서 보는 바와 같으며, 공시재료는 완전 임의 배치법으로 시험 포장에서 3반복으로 0.4 m × 3 m × 3열 조건에서 재배하였다. 공시재료는 전작조건으로 국립식량과학원 전작 포장에서 농촌진흥청 표준재배법(RDA 2012)에 준하여 재배하였고, 10월 25일에 파종하여 다음 해 6월 10일에 수확하였다. 수확한 종자는 충분히 건조한 후에 시험 도정기 TM-05 (Satake Co., Hiroshima, Japan)를 이용하여 정맥 수율 67%로 정맥하였으며, 정맥 된 시료는 0.25 mm체가 장착된 cyclone sample mill (Udy Co., Fort Collins, USA)을 이용하여 분쇄하였다.

전분 추출

분쇄한 보릿가루의 수분함량은 AACCI 방법(Approved Methods

44-15.02, AACCI 2010)을 이용하였으며, 아밀로스 함량과 손상 전분 함량은 효소 정량 키트(Megazyme, Chicago, USA)를 이용하여 Gibson et al. (1997)과 Gibson et al. (1992) 방법으로 측정하였다. 전분 추출은 Park & Baik (2010) 방법에 따라 다음과 같이 수행하였다. 보릿가루(50 g, dry basis)를 블랜더 BL813DKR (Tefal, Haute-Savoie, France)에 넣고 증류수 500 ml을 첨가한 후에 최고속도로 5분간 혼합하였다. 혼합 시료를 20분간 1,500 × g에서 20분간 원심분리 후, 상정액은 버리고 침전물은 블랜더에 250 ml 증류수를 첨가하여 최고속도로 5분간 다시 혼합하였다. 혼합액을 53 μ m 금속체를 통과시켜 남은 물질은 버리고, 통과한 혼합액은 20분간 원심 분리하였다. 침전물에 60°C 증류수를 250 ml 추가한 후, 5분간 블랜딩한 후에 원심 분리하였다. 원심분리 후, 상정액은 버리고 전분인 침전물의 흰색 부분은 따로 보관하였고, 전분 윗부분의 갈색 부분을 긁어내어 60°C 증류수를 250 ml 추가한 후 5분간 다시 블랜딩 한 다음 원심 분리하였다. 상정액을 버린 후, 침전물의 흰색부분은 따로 보관하였고, 침전물의 갈색 부분은 53 μ m 금속체를 통과시켜 남은 물질은 버리고, 통과한 혼합액은 20분간 원심 분리하였다. 상정액은 버리고, 침전물의 갈색 부분을 걷어내고, 흰 부분만을 따로 보관된 전분과 합쳐서 상온에서 3일간 건조시켰다. 건조된 전분은 0.25 mm체가 장착된 cyclone sample mill (Udy Co., Fort Collins, USA)을 이용하여 분쇄하였다.

전분 특성 분석

전분 입자 크기는 전분을 99.5% 2-propanol에 현탁 한 다음 레이저 입도분석기 LS 13 320 (Beckman Coulter, Fullerton, USA)를 이용하여 분석하였으며 35 μ m 이하 전분입자의 평균 사이즈를 측정하였다(Lindeboom et al. 2004). 전분의 수분 보유력은 Sollars (1973)의 방법에 따라 측정하였다. 전분(5 g, dry basis)을 50 ml 시험관에 넣고 증류수(25 mL)를 첨가한 후에 20분 동안 5분 간격으로 힘차게 흔든 후에 1,000 × g의 조건으로 15분간 원심 분리하였다. 상정액은 버리고 시험관을 10분간 45° 각도로 방치한 후에 침전물의 무게를 측정하여 전분의 무게로 나누어 표기하였다(g/g).

전분 팽윤 특성은 무게(swelling power)와 부피(swelling volume)를 각각 Sasaki & Matsuki (1998)과 Yamamori et al. (2006) 방법으로 증류수 대신에 0.1% AgNO₃ 액을 이용하여 측정하였다. 팽윤 무게는 전분(160 mg, db)을 10 ml 시험관에 넣은 다음 0.1% AgNO₃ 용액(5 mL)을 추가한 후, 교반 항온 수조 HB-205SWL (Vision Lab Sciences, Incheon, Korea)에서 90°C로 30 분간

Table 1. Polymorphism in the waxy gene of 32 Korean barley cultivars.

No	Cultivar	Released year	Hull type	Row type	Wax/wax ^z	Type of allele ^y
1	Sachun6	1979	Hulled	2	Wax	800 bp
2	Doosan8	1981	Hulled	2	Wax	800 bp
3	Chalbori	1984	Hulled	6	wax	600 bp
4	Doosan29	1988	Hulled	2	Wax	800 bp
5	Jinkwang	1989	Hulled	2	Wax	800 bp
6	Jeju	1992	Hulled	2	Wax	800 bp
7	Samdo	1993	Hulled	2	Wax	800 bp
8	Jinyang	1993	Hulled	2	Wax	800 bp
9	Hinchalssal	1993	Hulless	6	wax	600 bp
10	Saechalssal	1994	Hulless	6	wax	600 bp
11	Namhyang	1995	Hulled	2	Wax	800 bp
12	Seodunchal	1996	Hulled	6	wax	600 bp
13	Danwon	1998	Hulled	2	Wax	800 bp
14	Iljin	1999	Hulled	2	Wax	800 bp
15	Sinho	1999	Hulled	2	Wax	800 bp
16	Daeyeoung	2000	Hulled	2	Wax	800 bp
17	Daea	2001	Hulled	2	Wax	800 bp
18	Pungsanchalssal	2001	Hulless	2	wax	600 bp
19	Hopum	2003	Hulled	2	Wax	800 bp
20	Dajin	2005	Hulled	2	Wax	800 bp
21	Samkwangchal	2005	Hulled	6	wax	600 bp
22	Oreum	2006	Hulled	2	Wax	800 bp
23	Jasoojeongchal	2006	Hulless	6	wax	600 bp
24	Hwanggeumchal	2006	Hulled	6	wax	600 bp
25	Daho	2007	Hulled	2	Wax	1,000 bp
26	Baegho	2008	Hulled	2	Wax	800 bp
27	Boseokchalssal	2008	Hulless	6	wax	600 bp
28	Maeghyang	2009	Hulled	2	Wax	800 bp
29	Joachalssal	2009	Hulless	2	wax	600 bp
30	Boanchal	2009	Hulled	6	wax	600 bp
31	Nulichalssal	2010	Hulless	6	wax	600 bp
32	Kwangmaeg	2011	Hulled	2	Wax	800 bp

^zWax/wax: endosperm phenotype for wax locus^yType of allele: approximate fragment size of PCR products was shown in base pairs

100 rpm으로 교반하였다. 교반 후 5분간 찬물에 담근 다음 3,000 × g로 15 분간 원심 분리하였다. 원심분리 후 상정액을 버리고 무게를 측정하여, 전분 무게로 나눈 값을 비율로 표기하였다 (g/g). 팽윤 부피는 전분(20 mg, db)을 1.5 mL microcentrifuge tube에 넣은 후, 8 M urea 용액(1.0 mL)을 첨가하여 교반하였다. 교반 후 튜브를 향한 수조 HB-205SWL (Vision Lab Sciences, Incheon, Korea)에서 25°C로 24시간 방치한 다음 8,000 × g로

10 분간 원심 분리하였다. 원심분리 후 전분이 호화된 높이를 측정하여 전분 무게로 나눈 값을 비율로 표기하였다(mL/g).

전분 호화 특성은 신속점도측정계 RVA-4 (Newport Scientific, Warriewood, Australia)를 이용하여 측정하였다. 전분(3 g, db)를 0.1% AgNO₃ 용액(25 mL)으로 분산시켜 RVA cup에 넣고 50°C에서 1분간 유지한 후 7.5분간 95°C까지 증가시켰으며 95°C에서 2.5분간 유지시킨 다음 다시 7.5분간 50°C로 냉각시켜 측정하였

다. 호화온도(pasting temperature), 최고점도(peak viscosity, P), 최저점도(holding strength, H), 최종점도(final viscosity, F)와 breakdown (P-H), setback (F-H) 점도를 계산하였다.

전분 죽(starch paste)의 선명도는 Craig et al. (1989)의 방법에 따라 측정하였다. 전분(50 mg, db)을 뚜껑이 있는 10 ml 시험관에 넣고 증류수(5 ml)로 현탁시킨 후, 95°C 항온 수조 HB-205SWL (Vision Lab Sciences, Incheon, Korea)에서 30분간 반응시키며, 10분 간격으로 한 번씩 강하게 흔들어서 주었다. 상온에서 1시간 방냉 한 후, 분광광도계 Ultrospec 4300 pro (Amersham Biosciences Co., New Jersey, USA)를 이용하여 650nm에서 증류수를 대조 구로 하여 과장값을 측정하여 투과율(transmittance, %)을 측정하였다. 전분 죽(starch paste)의 선명도는 4°C 저장한 후 각각 1일, 3일과 7일 후에도 측정하였다.

전분 입자 염색은 Yanagisawa et al. (2006)에 따라, 요오드화 칼륨 용액(0.2% KI, 0.04% I₂ w/v)을 이용하여 광학 현미경 Nikon eclipse 100 (Nikon Co., Tokyo, Japan)을 이용하여 접안 렌즈(10X)와 대물렌즈(40X)의 비율로 400배로 확대하여 관찰하였다.

PCR 분석

Genomic DNA는 어린 보리 잎 분말(100 mg)로부터 genomic DNA 추출시약(Solgent, Daejeon, Korea)을 이용하여 추출하였다. *Wax/wax* 대립유전자 판별이 가능한 핵산표지인자(Forward: 5'-CAAACAGACGACAAGCGGAGAA-3' & Reverse: 5'-TAGAAAAAGAAAACATCAAGCA-3')를 사용하여 PCR을 통해 찰성에 대한 유전형질을 확인하였다(Domon et al. 2002). PCR은 Maxime PCR PreMix (Intron Biotechnology, Gyeonggi, Korea)을 이용하여 실시하였으며, PCR 조건은 94°C에서 4분, 52°C에서 2분, 72°C에서 2분간 변성반응을 거친 후, 증폭단계에서 94°C에서 1분, 52°C에서 2분, 72°C에서 2분간을 34회 반복하여 진행한 후 최종 신장반응은 72°C에서 2분간 수행하였다. PCR 산물은 EtBr (0.5 µg/ml)이 포함된 1.0% agarose gel에서 100 V로 1시간 동안 전기영동을 수행한 후 UV transilluminator에서 확인하였다.

통계 분석

모든 분석은 최소한 3회 이상 분석하였으며, 통계 분석은 SAS computer software package (SAS Institute, Cary, NC, 미국)을 이용하여 분석하였다. 분산분석은 PROC GLM을 이용하였고, 상관 관계는 Pearson's correlation coefficients를 이용하여

$p < 0.05$ 수준에서 검정하였다. 전분 특성에 관련된 주성분 분석과 군집분석은 R 통계프로그램의 함수인 "prcomp"으로 분석을 수행하였으며, 이미지화는 "autoplot" 함수를 사용하였다(The R Project for Statistical Computing, R version 3.4.4 from <https://www.r-project.org>).

결과 및 고찰

아밀로스 함량

국내 보리 32 품종에 대한 껍질의 유무, 곡립 열수 및 찰성에 따른 분류를 요약하였다(Table 1). 국내 보리 품종 중, 겉보리가 25 품종, 쌀보리가 7 품종이었다. 곡립 열수에 따라 22 보리 품종이 2조보리였으며, 10 보리 품종이 6조보리였다. 겉보리 25 품종 중, 20 품종이 2조보리였으며, 나머지 5 품종이 6조보리였다. 쌀보리 7 품종 중에는 5 품종이 6조보리였으며, 나머지 2 품종이 2조보리였다.

국내 보리 품종의 아밀로스 함량을 보면(Table 2), 아밀로스 함량 범위는 6.1에서 28.8%이며, 평균 아밀로스 함량은 20.0%였다. 메보리의 평균 아밀로스 함량은 27.4%이며, 찰보리의 평균 아밀로스 함량은 7.8%였다. 메보리 중, 백호의 아밀로스 함량이 24.6%로 가장 낮았으며, 삼도가 28.8%로 가장 높았다. 찰보리 중에서는 새찰쌀이 6.1%로 가장 낮은 아밀로스 함량을 보였으며, 풍산찰쌀이 9.5%로 가장 높았다. 중국 보리품종의 아밀로스 함량의 범위는 4.5에서 21.7%정도이며, 캐나다 보리 품종의 아밀로스 함량의 범위는 4.2에서 24.3% 정도이다(You & Izydorczyk 2002, Ping et al. 2013). 일본에서 아밀로스 함량이 0.4%인 찰보리가 보고되었으며, 반면에 아밀로스 함량이 43.4%인 쌀보리도 보고되었다(Banks et al. 1970, Song & Jane 2000). 국내 찰보리의 요오드 반응을 보면(Fig. 1), 아밀로스 함량이 가장 높은 풍산찰쌀에서 가장 낮은 새찰쌀까지 아밀로스 함량에 따라 짙은 보라색을 띤 전분입자들이 점점 적어지는 경향을 보이며, 반면 적갈색을 띤 전분입자들의 비율이 상대적으로 증가하는 것을 확인하였다. 찰성에 대한 유전분석 결과(Fig. 2), 찰보리는 모두 600 bp에 상응하는 대립형질을 가진 것으로 확인되었다. 1000 bp에 상응하는 대립형질을 가진 다호를 제외한 나머지 메보리는 800 bp에 상응하는 대립형질을 가진 것으로 확인되었다.

전분의 팽윤 및 호화 특성

국내 보리 품종의 손상전분 함량, 수분보유력, 전분입자 크기 및 팽윤특성을 평가하였다(Table 2). 국내 보리 품종의 손상전분

Table 2. Amylose content and starch swelling properties of 32 Korean barely cultivars.

Cultivar	Amylose (%)	Damaged starch (%)	Water retention capacity (%)	Avg. starch granule size (um)	Swelling volume (ml/g)	Swelling power (g)
Sachun6	28.5	1.2	66.1	17.6	27.5	11.9
Doosan8	27.4	1.2	63.5	17.9	24.2	14.0
Chalbori	6.5	1.6	81.8	17.9	37.5	23.0
Doosan29	28.3	1.3	63.7	17.9	25.8	12.5
Jinkwang	27.8	1.3	68.0	17.0	25.0	13.2
Jeju	28.5	1.6	65.7	17.3	27.5	12.2
Samdo	28.8	1.4	70.1	17.3	22.5	12.9
Jinyang	27.3	1.0	61.6	17.5	23.3	12.8
Hinchalssal	7.5	2.0	84.1	15.6	37.5	18.5
Saechalssal	6.1	1.6	77.9	13.8	32.5	22.1
Namhyang	26.0	1.0	67.1	17.4	25.0	13.3
Seodunchal	9.1	1.8	74.6	15.6	32.5	21.5
Danwon	27.6	1.2	63.8	17.4	25.0	12.5
Iljin	28.2	1.5	68.1	16.9	26.7	12.1
Sinho	26.7	1.3	71.1	18.3	29.2	12.7
Daeyeoung	26.5	1.2	63.0	17.3	22.5	12.8
Daea	26.9	1.3	68.8	17.2	25.0	12.6
Pungsanchalssal	9.5	1.8	86.2	16.7	28.3	17.7
Hopum	27.2	1.0	68.5	18.0	28.3	12.9
Dajin	28.6	1.2	67.1	17.2	27.5	13.1
Samkwangchal	7.6	2.2	79.2	15.7	32.5	21.7
Oreum	27.2	1.4	67.9	17.8	23.3	12.4
Jasoojeongchal	7.2	2.3	81.0	15.6	32.5	22.6
Hwanggeumchal	7.9	2.2	80.1	15.6	38.3	25.2
Daho	27.6	1.0	65.3	18.3	26.7	13.2
Baegho	24.9	0.9	62.4	17.3	22.5	14.1
Boseokchalssal	7.0	1.9	84.8	15.4	34.2	18.2
Maeghyang	26.1	0.9	63.4	17.1	25.0	13.9
Joachalssal	9.2	1.5	74.2	15.8	31.7	19.1
Boanchal	7.9	2.6	80.7	15.8	31.7	17.6
Nulichalssal	8.1	1.5	76.7	15.8	38.3	19.3
Kwangmaeg	26.9	1.0	67.3	18.5	26.7	13.4
LSD ^z	0.8	0.1	0.7	0.1	1.8	0.5

^zLeast significant difference (LSD), Any two means is significant different if their difference is the greater than LSD value at the 0.05 level.

함량의 범위는 0.9에서 2.6%이며, 평균 손상전분 함량은 1.5%였다. 메보리의 평균 손상전분 함량은 1.2%이며, 찰보리는 1.9%였다. 메보리 중, 손상전분 함량이 가장 낮은 품종은 백호(0.9%)와 맥향(0.9%)이며, 가장 높은 품종은 제주(1.6%)였다. 찰보리에서는 조아찰쌀과 누리찰쌀의 손상전분 함량이 1.5%로 가장 낮았으

며, 보안찰의 손상전분 함량이 2.6%로 가장 높았다. 국내 보리 품종의 손상전분 함량은 5.1에서 8.7%인 인도 쌀보리와 2.2에서 3.6%의 손상전분 함량을 보인 에티오피아 보리 품종에 비하여 낮았다(Abraha et al. 2013, Moza & Gujral 2017).

국내 보리 품종의 수분 보유력의 범위는 61.6에서 86.2%이며,

Fig. 1. Photographs of starch-iodine stain of Korean waxy barely cultivars. 1, Poongsanchal (9.5%); 2, Joachal (9.2%); 3, Sudunchal (9.1%); 4, Nulichalssal (8.1%); 5, Boanchal (7.9%); 6, Hwanggeumchal (7.9%); 7, Samkwangchal (7.6%); 8, Hinchalssal (7.5%); 9, Jasoojeongchal (7.2%); 10. Boseokchal (7.0%); 11, Chalbori (6.5%); 12, Saechalssal (6.1%). Parenthesis includes amylose content of waxy barley.

Fig. 2. Agarose gel electrophoresis of PCR amplified *wax* genotypes among Korean barley cultivars. The *wax* genotypes showed 600 bp fragments (lanes 1-4), whereas the *Wax* genotypes showed 800 and 1,000 bp fragments (lanes 5-10), respectively. M, molecular size marker; 1, Hinchalssal; 2, Jasoojeongchal; 3, Pungsanchalssal; 4, Nulichalssal; 5, Daho; 6, Samdo; 7, Doosan29, Baegho; 9, Kwangmaeg; 10, Hopum.

평균 수분 보유력은 71.4%였다. 메보리의 평균 수분 보유력은 66.1%이며, 찰보리는 80.1%였다. 메보리 중, 진양이 가장 낮은 수분보유력(61.6%)을 보였으며, 신호가 가장 높은 수분보유력(71.1%)을 보였다. 찰보리에서는 조아찰쌀(74.2%)이 가장 낮았으며, 풍산찰쌀(86.2%)이 가장 높았다. 메보리의 수분 흡수력과 보수율(water holding capacity)은 찰보리의 수분 흡수력과 보수력보다 낮다(Shand 2000). 또한, 수분 결합력(water biding capacity)도 메보리가 찰보리보다 낮다(Jeong et al. 2013). 이러한 특성으로 인하여, 메보리의 평균 수분보유력이 찰보리의 수분보유력보다 낮은 것으로 생각된다.

국내 보리 품종의 전분입자 크기의 범위는 13.8에서 18.5 μm 이

며, 평균 전분입자 크기는 16.9 μm 였다. 메보리의 평균 전분입자 크기는 17.6 μm 이며, 찰보리는 15.8 μm 였다. 일진의 전분입자 크기는 16.9 μm 로 메보리 중 가장 작은 전분입자 크기를 보였으며, 광맥의 전분입자 크기는 18.5 μm 로 가장 큰 전분입자 크기를 보였다. 찰보리에서는 새찰쌀의 전분입자 크기는 13.8 μm 로 가장 작았으며, 찰보리의 전분입자 크기는 17.9 μm 로 가장 컸다. 캐나다 보리자원의 전분입자의 크기 정도는 큰 입자인 A-타입의 범위는 16.51에서 22.23 μm 로 평균 19.3 μm 와 작은 입자인 B-타입의 범위는 4.72에서 6.20 μm 로 평균 5.43 μm 로 보고되었다(Jaiswal et al. 2014). 미국 보리품종의 전분입자 크기는 작은 입자의 범위는 1.76에서 2.5 μm 이고, 큰 입자의 범위는 25.0에서 47.5 μm 로 보고되

Table 3. Pasting properties of starch purified from 32 Korean barely cultivars.

Cultivar	Rapid-Visco-Analyzer (RVU)					
	Peak viscosity	Pasting temperature (°C)	Holding strength	Breakdown	Final viscosity	setback
Sachun6	3,783	58.3	3,197	586	4,442	1,245
Doosan8	3,552	80.0	2,859	693	4,352	1,494
Chalbori	6,105	66.0	2,299	3,807	2,908	609
Doosan29	3,591	80.3	2,981	610	4,294	1,313
Jinkwang	3,647	80.3	3,014	633	4,405	1,391
Jeju	3,627	82.0	3,094	533	4,346	1,253
Samdo	3,899	76.7	3,312	587	4,723	1,411
Jinyang	3,794	76.3	3,131	663	4,648	1,518
Hinchalssal	6,377	67.0	2,338	4,039	3,116	778
Saechalssal	6,303	66.7	2,397	3,906	2,840	444
Namhyang	4,092	74.0	3,386	706	5,159	1,774
Seodunchal	5,317	66.7	2,237	3,080	3,082	845
Danwon	3,828	79.3	3,326	503	4,531	1,205
Iljin	3,566	83.0	3,057	509	4,263	1,206
Sinho	4,062	79.7	3,411	651	4,959	1,549
Daeyeoung	3,858	74.3	3,287	571	4,601	1,314
Daea	3,808	82.0	3,192	617	4,609	1,417
Pungsanchalssal	5,602	67.0	2,483	3,119	2,715	233
Hopum	4,113	77.0	3,495	618	4,936	1,441
Dajin	3,956	69.3	3,264	693	4,886	1,622
Samkwangchal	5,611	67.0	2,464	3,147	2,870	406
Oreum	3,875	80.0	3,326	549	4,500	1,174
Jasoojeongchal	5,987	66.3	2,138	3,849	2,554	416
Hwanggeumchal	6,058	67.0	2,168	3,891	2,745	577
Daho	4,164	68.7	3,404	760	5,075	1,671
Baegho	4,239	76.0	3,598	641	5,457	1,859
Boseokchalssal	6,192	67.7	2,113	4,079	2,495	383
Maeghyang	4,259	75.7	3,556	703	5,394	1,838
Joachalssal	5,510	66.7	2,487	3,023	3,053	567
Boanchal	5,398	66.0	2,212	3,187	2,948	736
Nulichalssal	6,475	67.0	2,490	3,986	2,836	346
Kwangmaeg	4,292	77.7	3,701	591	5,386	1,685
LSD ²	70	2.3	78	67	104	123

²Least significant difference (LSD), Any two means is significant different if their difference is the greater than LSD value at the 0.05 level.

었다(Goering et al. 1973). Kang et al. (1985)의 보고에 따르면, 일본 보리 품종의 전분입자 중 작은 입자의 크기는 6.0에서 6.7 μm 이고 큰 입자의 크기는 14.0에서 30.0 μm 로 측정되었다.

국내 보리 품종의 팽윤 부피의 범위는 22.5에서 38.3 ml/g이며, 평균 팽윤 부피는 28.6 ml/g였다. 메보리의 평균 팽윤 부피는

25.5 ml/g이며, 찰보리는 34.0 ml/g였다. 대영(22.5 ml/g)이 메보리 중 가장 낮은 팽윤 부피를 보였으며, 반면 신희(29.2 ml/g)가 가장 높은 팽윤 부피를 보였다. 찰보리에서는 풍산찰쌀(28.3 ml/g)이 가장 낮은 팽윤 부피를 보였으며, 황금찰(38.3 ml/g)이 가장 높은 팽윤 부피를 보였다. 팽윤 무게의 범위는 11.9에서 25.2 g이며,

평균 팽윤 무게는 15.8 g이었다. 메보리 평균 팽윤 무게는 12.9 g이며, 찰보리는 20.5 g으로 찰보리의 팽윤 무게가 높다. 이러한 결과는 Jeong et al. (2013)에 의하여 보고된 국내 메보리의 팽윤력(swelling power)는 찰보리보다 낮다는 결과와 일치한다. 메보리 중, 사천6호(11.9 g)가 가장 낮은 팽윤 무게를 보였으며, 백호(14.1 g)가 가장 높은 팽윤 무게를 보였다. 찰보리에서는 보안찰(17.6 g)이 가장 낮은 팽윤 무게를 보였으며, 황금찰(25.2 g)이 가장 높은 팽윤 무게를 보였다. 중국 쌀보리의 팽윤 무게는 지역에 따라 다소 차이는 있지만 10.45에서 21.30 g이며, 찰쌀보리는 20.01에서 21.03 g으로 보고되었다(Kong et al. 2016, Zhai et al. 2017). 국내 보리 품종의 팽윤 무게는 중국 보리 품종의 팽윤 무게보다 다소 무거운 경향을 보였다.

국내 보리 품종의 전분 호화 특성을 평가하였다(Table 3). 국내 보리 품종의 최고점도 범위는 3,553에서 6,475 RVU이며, 평균 최고점도는 4,654.4 RVU였다. 메보리의 평균 최고점도는 3,900.3 RVU이며, 찰보리는 5,911.3 RVU로 측정되었다. 이러한 결과는 국내 메보리의 최고점도가 찰보리의 최고점도보다 낮다는 Jeong et al. (2013)의 보고와 일치한다. 메보리 중, 최고점도가 가장 높은 품종은 맥향(4,259 RVU)이었으며, 가장 낮은 품종은 두산8호(3,552 RVU)이었다. 찰보리에서는 누리찰찰(6,475 RVU)이었으며, 가장 낮은 품종은 서둔찰(5,317 RVU)이었다. 호화온도의 범위는 58.3에서 83.0°C이며, 평균 호화온도는 72.9°C로 측정되었다. 메보리의 평균 호화온도는 76.5°C이며, 찰보리는 66.8°C로 측정되었다. 최저점도의 범위는 2,113에서 3,701 RVU이며, 평균 최저점도는 2,919.3 RVU로 측정되었다. 메보리의 평균 최저점도는 3,279.6 RVU이며, 찰보리는 2,318.8 RVU로 측정되었다. Breakdown의 범위는 503에서 4,709 RVU이며, 평균 breakdown은 1,735.3 RVU로 측정되었다. 메보리의 평균 breakdown은 620.9 RVU이며, 찰보리는 3,592.8 RVU로 측정되었다. 최종점도의 범위는 2,495에서 5,457 RVU이며, 평균 최종점도는 4,035.3 RVU로 측정되었다. 메보리의 평균 최종점도는 4,743.8 RVU이며, 찰보리는 2,846.8 RVU로 측정되었다. 최종점도는 최고점도와는 반대의 경향으로 메보리의 최종점도가 찰보리의 최종점도보다 높으며, 이러한 결과는 Jeong et al. (2013)의 국내 보리의 최종점도 특성과 일치한다. 메보리 중, 최종점도가 가장 낮은 품종은 일진(4,263 RVU)이며, 가장 높은 품종은 백호(5,467 RVU)였다. 찰보리에서는 보석찰찰(2,495 RVU)이 가장 낮은 최종점도를 보였으며, 흰찰찰(3,116 RVU)이 가장 높은 최종점도를 보였다. Setback의 범위는 233에서 1,859 RVU이며, 평균 setback은 1,116.3 RVU로 측정되었다.

메보리의 평균 setback은 1,469.0 RVU이며, 찰보리는 528.3 RVU로 측정되었다. 결과적으로, 최종점도를 제외한 호화특성은 메보리가 찰보리보다 낮으며, 이러한 결과는 아밀로스 함량과 호화특성은 서로 상반되는 경향을 보인다고 보고한 Kong et al. (2016)의 보고와 일치한다.

국내 보리 품종의 전분 즉 선명도를 평가하였다(Table 4). 전분 즉 선명도를 시간에 따라 측정한 결과를 보면, 방냉 1시간(1hr)에 전분 즉 선명도의 범위는 19.3에서 41.6%이며, 평균 즉 선명도는 23.8%로 측정되었다. 메보리의 평균 전분 즉 선명도는 21.6%이며, 찰보리는 27.5%로 측정되었다. 방냉 1일(1Day)에 전분 즉 선명도의 범위는 13.2에서 42.5%이며, 평균은 21.5%로 측정되었다. 메보리의 평균 전분 즉 선명도는 17.1%이며, 찰보리는 28.9%로 측정되었다. 방냉 3일(3Day)에 전분 즉 선명도의 범위는 8.8에서 59.8%이며, 평균은 22.4%로 측정되었다. 메보리의 평균 전분 즉 선명도는 12.2%이며, 찰보리는 39.3%로 측정되었다. 방냉 7일(7Day)에 전분 즉 선명도의 범위는 6.5에서 76.6%이며, 평균은 25.3%로 측정되었다. 메보리의 평균 전분 즉 선명도는 9.1%이며, 찰보리는 52.3%로 측정되었다. 방냉 1시간에서 메보리 중, 가장 낮은 즉 선명도를 보인 품종은 사천6호(19.3%)이며, 가장 높은 품종은 남향(26%)였다. 찰보리에서는 보안찰(19.9%)이 가장 낮은 즉 선명도를 보였으며, 풍산찰찰(41.6%)이 가장 높은 즉 선명도를 보였다. 방냉 7일에 메보리 중, 두산8호(6.5%)가 가장 낮은 즉 선명도를 보였으며, 제주(12.1%)가 가장 높은 즉 선명도를 보였다. 찰보리에서는 새찰찰(25.6%)이 가장 낮은 즉 선명도를 보였으며, 보석찰찰(76.6%)이 가장 높은 즉 선명도를 보였다. 전분 즉 선명도는 방냉 시간에 따라 메보리와 찰보리는 상반되는 양상을 보였다. 메보리는 방냉 시간이 지남에 따라 전분 즉 선명도가 감소하였으며, 찰보리는 증가하였다.

상관 및 요인 분석

국내 보리 품종의 아밀로스 함량과 다른 특성 간의 상관관계를 보면, 국내 보리 품종에서 아밀로스 함량은 손상전분과 부의상관을 보였으나($r=-0.79^{***}$), 메보리에서는 정의상관을 보였다($r=0.65^{**}$). 수분보유량과 아밀로스 함량 간에는 부의상관을 나타냈으며($r=-0.90^{***}$), 메보리와 찰보리에서는 상관관계가 유의미하지 않았다. 이러한 팽윤 부피에서도 동일하게 나타났다($r=-0.86^{***}$). 팽윤 무게는 아밀로스 함량과 부의상관을 나타냈으며($r=-0.93^{***}$), 메보리에서도 팽윤 무게와 아밀로스 함량은 부의상관을 나타내었다($r=-0.61^{**}$). 전분입자 크기는 아밀로스 함량

Table 4. Paste clarity of starch purified from 32 Korean barely cultivars.

Cultivar	Paste clarity of starch (Transmittance, %)			
	1hr	1 Day	3 Day	7 Day
Sachun6	19.3	15.4	12.6	10.2
Doosan8	21.5	13.2	8.9	6.5
Chalbori	20.7	22.6	35.1	52.9
Doosan29	21.8	17.9	10.8	7.8
Jinkwang	21.7	17.5	15.2	9.6
Jeju	20.9	17.7	14.8	12.1
Samdo	21.0	15.0	11.8	7.8
Jinyang	22.8	15.3	9.1	7.2
Hinchalssal	28.5	29.4	35.0	43.8
Saechalssal	22.2	22.2	25.5	25.6
Namhyang	26.0	14.4	10.2	8.3
Seodunchal	27.1	31.0	38.6	54.1
Danwon	19.8	17.0	13.0	8.9
Iljin	21.3	20.5	12.3	8.3
Sinho	22.7	19.3	11.8	8.7
Daeyeoung	20.5	18.8	10.8	7.7
Daea	23.4	15.3	8.8	7.6
Pungsanchalssal	41.6	42.5	50.8	68.8
Hopum	19.4	18.1	10.4	7.8
Dajin	20.7	20.6	15.3	10.7
Samkwangchal	24.7	22.4	22.6	30.8
Oreum	19.8	15.6	14.4	11.8
Jasoojeongchal	27.1	29.1	40.1	59.6
Hwanggeumchal	26.0	29.1	45.5	61.7
Daho	22.8	16.0	10.2	8.5
Baegho	21.6	17.9	12.2	10.5
Boseokchalssal	35.3	39.0	59.8	76.6
Maeghyang	20.2	18.5	14.8	8.6
Joachalssal	30.1	30.4	47.2	48.5
Boanchal	19.9	20.9	37.0	47.2
Nulichalssal	26.8	27.7	34.6	58.5
Kwangmaeg	24.1	18.9	17.5	12.4
LSD ²	0.9	1.3	2.4	1.7

²Least significant difference (LSD), Any two means is significant different if their difference is the greater than LSD value at the 0.05 level.

과 정의상관을 나타냈으며($r=0.80***$), 메보리와 찰보리에서는 상관관계가 유의미하지 않았다. 국내 보리 품종에서 최고점도는 아밀로스 함량과 부의상관을 나타냈으며($r=-0.97***$), 메보리($r=-0.61**$)와 찰보리($r=-0.64*$)에서도 부의상관을 나타내었다(Fig. 3A). 이러한 결과는 최고점도가 아밀로스 함량과 부의상관을 이룬다는 기존의 보고와 일치한다(Kong et al. 2016). 호화온도는

아밀로스 함량과 정의상관을 나타내며($r=0.91***$), 이러한 결과는 기존의 보고와 일치한다(Kong et al. 2016). 반면, 메보리에서는 부의상관을 나타내었다($r=-0.57**$). 최종점도는 아밀로스 함량과 정의상관을 나타내었으며($r=0.89***$), 반면 메보리에서는 부의상관을 나타내었다($r=-0.63**$). 죽 선명도는 아밀로스 함량과 1시간($r=-0.58***$), 1일($r=-0.78***$), 그리고 3일($r=-0.88***$)

Fig. 3. Relationships between amylose content (A), swelling volume of starch (B), swelling power of starch (C) and peak viscosity of starch. Non-waxy barely cultivar (○) and waxy barley cultivar (●).

에서 부의상관을 나타내었다. 하지만 방냉 7일에서는 정의상관을 나타내었다($r=0.91^{***}$). 메보리와 찰보리에서의 죽 선명도와 아밀로스 함량은 모든 방냉 시간에서 상관관계가 유의미하지 않았다. 국내 보리 품종에서 팽윤과 호화특성 간의 상관관계를 보면, 팽윤 부피와 최고점도는 서로 정의상관을 나타냈으며($r=0.89^{***}$), 찰보리에서도 두 요인간에는 정의상관이 나타났다($r=0.70^*$ in Fig. 3B). 하지만 메보리에서는 상관관계가 유의미하지 않았다. 팽윤 무게와 최고점도 역시 서로 정의상관을 나타내었다($r=0.91^{***}$). 팽윤 무게는 팽윤 부피와는 다르게 메보리에서 두 요인간에 정의상관을 나타냈으며($r=0.51^*$ in Fig. 3C), 찰보리에서는 상관관계가 유의미하지 않았다. 팽윤 무게와 최고점도 간의 정의상관은 기존의 결과와 일치하였다(Kong et al. 2016).

국내 보리의 아밀로스 함량과 팽윤 및 호화특성을 평가한 결과를 바탕으로 국내 보리 전분 특성에 미치는 요인을 분석하기 위하여 주성분분석(principal component analysis, PCA)을 수행하였다. PCA분석 결과, 메보리에서 주성분1은 36.91%를 설명하고, 주성분2는 18.94%를 설명하며, 국내 메보리 품종은 크게 두 그룹을 나눈 것을 알 수 있다(Fig. 4A). 주성분1은 아밀로스 함량과 최고점도, 두 벡터의 방향이 상반되는 특성으로 인하여 국내 보리 품종이 두 그룹으로 나뉘는 주요 요인이 아밀로스 함량과 최고점도인 것을 보여준다. 국내 메보리에서 두 벡터의 상반되는 특징은 Cozzolino et al. (2013)의 보고에서도 아밀로스 함량과 최고점도, 두 요소의 방향은 서로 상반되며, 이로 인하여 부의상관을 나타내는 결과와 일치한다. 아밀로스 함량과 연관성을 보이는 손상전분 함량도 국내 메보리의 전분 특성에 영향을 주는 주요 요인인 것을 확인하였다. 전분입자와 호화온도는 전분 특성에 영향을 주지만, 그 영향력은 매우 작다. 아밀로스 및 손상전분 함량에서 제주와 일진, 두 보리 품종이 다른 품종에 비하여 좋으며, 백호와 맥향은 반대의 특성을 지니고 있다. 찰보리의 주성분분석 결과를 보면(Fig. 4B), 주성분1은 31.07%를 설명하고, 주성분2는 23.17%를 설명한다. 주성분1은 찰보리 역시 메보리처럼 두 그룹으로 나뉘는 것을 보여주었으며, 그 요인이 수분보유량과 최고점도인 것을 보여준다. 또한, 주성분1은 풍산찰쌀과 보석찰쌀이 다른 찰보리 품종과 수분보유량과 최고점도에 의해 구분되는 것을 보여준다. 주성분2는 수분보유량과 최고점도 그리고 아밀로스 함량과 팽윤 부피가 상반되는 경향을 보여주며, 이로 인하여 풍산찰쌀과 보석찰쌀을 제외한 나머지 찰보리 품종을 두 그룹으로 나뉘는 것을 보여주었다. 수분보유력과 연관성이 있는 호화온도 그리고 팽윤 부피와 연관성이 있는 팽윤 무게도 찰보리 품종의 전분 특성에 영향을 미친다.

Fig. 4. Scattered diagram of measured traits and values of principal component 1 (PC1) and 2 (PC2) based on parameters to starch properties of Korean non-waxy barley cultivars (A) and waxy barley (B). Each number is identical as in Table 4. Abbreviations are defined as Amy, amylose; DS, damaged starch; WRC, water retention capacity; SGS, average of starch granule size; SV, starch swelling volume; SP, starch swelling power; PV, peak viscosity of starch; PT, pasting temperature of starch; HS, holding strength of starch.

반면, 메보리와는 다르게 손상전분 함량은 찰보리 품종의 전분 특성에 거의 영향을 미치지 않는다. 주성분2는 서둔찰, 조아찰쌀, 및 보안찰이 수분보유량과 최고점도 그리고 아밀로스 함량과 팽윤 부피가 상반되는 특성에 의해 다른 찰보리 품종과 구분되는 것을 보여준다.

적 요

보리 육종프로그램의 향상을 위해 국내 보리 32 품종의 전분 특성을 평가하였다. 국내 메보리 품종의 아밀로스 함량은 찰보리 품종에 비하여 평균 약 3.5배 높았으며, 메보리 품종은 찰보리 품종보다 낮은 손상전분 함량, 수분보유량, 팽윤 부피 및 무게, 그리고 최고점도를 보였고, 큰 전분입자와 높은 최종점도를 보였다. 국내 보리 품종에서 아밀로스 함량은 손상전분 함량, 수분보유량, 팽윤 부피 및 무게, 그리고 최고점도와 부의상관을 나타냈으며, 호화온도 및 최종점도와는 정의상관을 나타내었다. 메보리 품종에서 아밀로스 함량은 손상전분 함량과는 정의상관을, 팽윤 무게, 최고점도, 호화온도 및 최종점도와는 부의상관을 보였으며, 찰보리 품종에서는 최고점도와 부의상관을 보였다. 팽윤 부피와 최고 점도는 보리 품종에서 정의상관을 보였으며, 찰보리 품종에서도 정의상관을 보였다. 팽윤 무게와 최고 점도는 보리 품종에서 정의상관을 보였으며, 메보리 품종에서도 정의상관을 보였다. PCA분석 결과, 아밀로스 함량과 최고점도는 국내 메보

리의 전분 특성에 영향을 미치는 주요 요인이었으며, 이 두 요인으로 인하여 메보리 품종은 두 그룹으로 나뉘었다. 또한 찰보리의 전분 특성에 영향을 주는 주요 요인은 수분보유량과 최고점도로, 이 두 요소에 의해 두 그룹으로 나뉘며, 또 다른 요인인 아밀로스 함량과 팽윤 부피로 다시 두 그룹으로 나뉘었다. 이 연구에서 제시한 국내 보리 전분 특성은 보리를 이용한 가공식품의 가공적성 향상에 유용할 것으로 생각하며, 국내 보리 육종 프로그램의 향상을 위하여 꾸준한 질적 평가가 이루어져야 한다고 생각한다.

사 사

본 연구는 농촌진흥청 연구사업(세부과제명: 용도별 고품질 내재해 다수성 쌀보리 신품종 개발, 세부과제번호: PJ01116902)에 의해 이루어진 것임.

REFERENCES

1. AACC International. 2010. Approved Methods of Analysis, 11th Ed. Methods 44-15.02 Available online only. AACCI: St. Paul, MN, USA.
2. Abraha A, Uhlen AK, Abay F, Sahlström S, Bjørnstad Å. 2013. Roasted barley foods: Processing and varietal differences affecting *Kolo* and *Tihni*, traditional grain products in

- Northern Ethiopia. Cereal Foods World 58: 71-79.
3. Asare EK, Båga M, Rossmagel BG, Chibbar RN. 2011. Polymorphism in the barley granule bound starch synthase 1 (*Gbss1*) gene associated with grain starch variant amylose concentration. J Agric Food Chem 60: 10082-10092.
4. Banks W, Greenwood CT, Walker JT. 1970. Studies on the starches of barley genotypes: The waxy starch. Starch 22: 149-152.
5. Cozzolino D, Roumeliotis S, Eglinton J. 2013. Relationships between starch pasting properties, free fatty acids and amylose content in barley. Food Res Inter 51: 444-449.
6. Craig SAS, Maningat CC, Seib PA, Hosney RC. 1989. Starch paste clarity. Cereal Chem 66: 173-182.
7. Delcoul JA, Hosney RC. 2010. Principles of cereal science and technology 3rd edition, AACC International Inc., St. Paul, Minnesota, USA. ISBN: 978-1-891127-63-2. p 25-30, 35-42.
8. Domon E, Fujita M, Ishikawa N. 2002. The insertion/deletion polymorphisms in the waxy gene of barley genetic resources from East Asia. Theor Appl Genet 104: 132-138.
9. Fikiru O, Bultosa G, Forsido SF, Temesgen M. 2017. Nutritional quality and sensory acceptability of complementary food blended from maize (*Zea mays*), roasted pea (*Pisum sativum*), and malted barley (*Hordeum vulgare*). Food Sci Nutr 5: 173-181.
10. Gibson TS, Qalla HA, McCleary BV. 1992. An improved method enzymic method. J Cereal Sci 15: 15-27.
11. Gibson TS, Solah VA, McCleary BV. 1997. A procedure to measure amylose in cereal starches and flours with concanavalin A. J Cereal Sci 25: 111-119.
12. Goering KJ, Fritts DH, Eslick RF. 1973. A study of starch granule size and distribution in 29 barley varieties. Starch 25: 297-302.
13. Hang A, Obert D, Gironella AIN, Burton CS. 2007. Barley amylose and β -glucan: Their relationships to protein, agronomic traits, and environmental factors. Crop Sci 47: 1754-1760.
14. Jaiswal S, Båga M, Ahuja G, Rossmagel BG, Chibbar RN. 2014. Development of barley (*Hordeum vulgare* L.) lines with altered starch granule size distribution. J Agric Food Chem 62: 2289-2296.
15. Jeong YS, Kim JW, Lee ES, Han YY. 2013. Studies on physicochemical characterization of starch extracted from domestic barley cultivars. Food Eng Prog 17: 203-211.
16. Kang MY, Sugimoto Y, Kato I, Sakamoto S, Fuwa H. 1985. Some properties of large and small starch granules of barley (*Hordeum vulgare* L.) endosperm. Agric Biol Chem 49: 1291-1297.
17. Kim YK, Baek SB, Lee MJ, Kim MJ, Kim HS, Hyun JN, Hwang JJ, Suh SJ, Kim SJ, Kim JC, Jeung JH. 2013. A new six-rowed and covered barley (*Hordeum Vulgare* L.) cultivar, 'Dahye' with lodging tolerance and BaYMV resistance. Korean J Breed Sci 45: 399-404.
18. Kim YK, Lee MJ, Kim KH, Kang CS, Park JH, Cheong YK, Park TI, Yoon YM, Son JH. 2018. Covered barley (*Hordeum vulgare* L.) variety, 'Cheongmyeong' with high anthocyanin content and green aleurone layer. Korean J Breed Sci 50: 139-144.
19. Kim YS, Lee YT, Seong HM. 1999. Physicochemical properties of starches from waxy and non-waxy hull-less barleys. J Korean Soc Agric Chem Biotechnol 42: 240-245.
20. Klamczynski AP, Czuchajowska Z. 1999. Quality of flours from waxy and nonwaxy barley for production of baked products. Cereal Chem 76: 530-535.
21. Kong X, Kasapis S, Zhu P, Sui Z, Bao J, Corke H. 2016. Physicochemical and structural characteristics of starches from Chinese hull-less barley cultivars. Inter J Food Sci Technol 51: 509-518.
22. Lee MJ, Kim KS, Kim YK, Choi JS, Park KG, Kim HS. 2013. Quality characteristics and antioxidant activity of noodle containing whole flour of Korean hull-less barley cultivars. Korean J Crop Sci 58: 459-467.
23. Lindeboom N, Chang PR, Tyler RT. 2004. Analytical, Biochemical and Physicochemical Aspects of Starch Granule Size, with Emphasis on Small Granule Starches: A Review. Starch 56: 89-99.
24. Moza J, Gujral HS. 2017. Influence of non-starchy polysaccharides on barley milling behavior and evaluating bioactive composition of milled fractions. Food Chem 218: 137-143.
25. Narwal S, Kumar D, Sheoran S, Verma RPS, Gupta RK. 2017. Hullless barley as a promising source to improve the nutritional quality of wheat products. J Food Sci Technol 54: 2638-2644.
26. Park CS, Baik B-K. 2004. Cooking time of white salted noodles and its relationship with protein and amylose contents of wheat. Cereal Chem. 81: 165-171.
27. Ping H, Wang J, Ren G. 2013. Prediction of the total starch and amylose content in varley using near-infrared reflectance spectroscopy. Intell Autom Soft Co 19: 231-237.

28. RDA. 2012. Standard of research and analysis for agricultural technology.
29. Sasaki T, Matsuki J. 1998. Effects of wheat starch structure on swelling power. *Cereal Chem* 75: 525-529.
30. Shand PJ. 2000. Textural, water holding, and sensory properties of low-fat pork bologna with normal or waxy starch hull-less barley. *Food Chem Toxicol* 65: 101-107.
31. Song Y, Jane J. 2000. Characterization of barley starches of waxy, normal, and high amylose varieties. *Carbohydr Polym* 41: 365-377.
32. Yanagisawa T, Domon E, Fujita M, Kiribuchi-Otobe C, Takayama T. 2006. Starch pasting properties and amylose content from 17 waxy barley lines. *Cereal Chem* 83: 354-357.
33. Yamamori M, Kato M, Yui M, Kawasaki M. 2006. Resistant starch and starch pasting properties of a starch synthase IIa-deficient wheat with apparent high amylose. *Aust J Agri Res* 57: 531-535.
34. Yaqoob S, Baba WN, Masoodi FA, Shafi M, Bazaz R. Effect of sprouting on cake quality from wheat-barley flour blends. *J Food Meas Charact* 12: 1253-1265.
35. You SG, Izydorczyk MS. 2002. Molecular characteristics of barley starches with variable amylose content. *Carbohydr Polym* 49: 33-42.
36. Zhai H, Tang S, Pan Z, Li Q, Deng Z, Tang Y, Zhang Y, Zeng Z, Nima Z, Yu M. 2017. Effect of main grain components on the starch swelling power of Tibetan hull-less barley (*Hordeum vulgare* var. *nudum*). *Chin J Appl Environ Biol* 23: 0193-0199.
37. Zhu F. 2017. Barley starch: composition, structure, properties, and modifications. *Compr Rev Food Sci Food Saf* 16: 558-579.