국내산 밀 전분 및 종실 경도 특성이 생면 품질에 미치는 영향

박진희¹ · 박철수² · 강천식¹ · 양진우¹ · 정한용¹ · 김경민¹ · 최창현¹ · 손재한¹ · 손지영¹ · 박태일¹ · 김경훈^{1*}

¹국립식량과학원, ²전북대학교 작물생명과학과

Effect of Starch and Hardness Characteristics of Korean Wheat Cultivars on Noodle Quality

Jin Hee Park¹, Chul Soo Park², Chon-Sik Kang¹, Jinwoo Yang¹, Han-Yong Jung¹, Kyeong-Min Kim¹, Chang-Hyun Choi¹, Jae-Han Son¹, Jiyoung Son¹, Tae-Il Park¹, and Kyeong-Hoon Kim^{1*}

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

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

Abstract This study was conducted to investigate the effect of starch properties on the texture of cooked noodles from Korean wheat. The genetic composition of GBSS I (granule bound starch synthase I, called waxy protein) and puroindoline, which affect the amylose content and kernel hardness, was also evaluated. Waxy wheats carrying *Wx-1* null alleles showed clearly different starch properties, high swelling power, pasting viscosity, breakdown and paste clarity, unsuitable texture of cooked noodles, and low hardness and springiness. Two partial waxy soft wheats carrying single or double null alleles at the *Wx-1* locus gene, and *Pina-D1a* and *Pinb-D1a* alleles exhibited a softer and higher elasticity texture of the cooked noodles than Korean wheats carrying wild-type *Wx-1* null alleles. There were no significant differences in the starch properties and texture of cooked noodles according to the puroindoline composition. A principal component analysis showed a strong negative relationship between the amylose content and starch swelling power, and these traits also improved the springiness and cohesiveness of the cooked noodles prepared from non-waxy Korean wheat. Joongmo2012, a double null partial waxy wheat, showed higher starch swelling power and springiness of the cooked noodles than other non-waxy Korean wheats.

Keywords Korean wheat, starch, GBSS I, puroindoline, texture of cooked noodles

Received on February 15, 2021. Revised on February 16, 2021. Accepted on March 3, 2021.

* Corresponding Author (E-mail: k2h0331@korea.kr, Tel: +82-63-238-5457, Fax: +82-63-238-5463)

서 언

국수는 밀가루에 물과 염을 혼합하여 반죽하여 제조되는 식품으로 우리나라와 일본, 중국 등 아시아에서 주로 소비되며, 첨가 성분과 가공 방법에 따라 종류가 다양하다(Fu 2008, Baik 2010, Siah & Quail 2018). 일반적으로 국수는 소금을 첨가하는 white salted noodles (WSN)와 알칼리염(Na_2CO_3 와 K_2CO_3)을 첨가하는 yellow alkaline noodles (YAN)으로 분류된다. WSN에는 대표적으로 밝은 색도와 부드러운 식감을 지니는 국수와 우동이 포함되며, 국내에서는 소면이 가장 많이 소비되고 있다. YAN으로는 WSN보다 경도와 탄성이 강한 중화면과 기름에 튀기는 라면을 포함한 instant noodle이 대표적이다. 국수 제조는 다른 가공 식품과 비교하여 첨가제가 많이 사용되지 않기 때문에 밀가루 특성에 따라 국수 품질이 많은 영향을 받는다. 국내 소비

자의 선호도가 높은 부드러운 국수 제조에는 단백질 특성뿐만 아니라 전분 특성 또한 매우 중요하다(Graybosch 1998, Hung et al. 2006, Fu 2008, Baik 2010). 전분은 밀가루의 70% 정도를 차지하며, 전분의 아밀로스 결정 구조, 전분과 지방의 결합, 팽윤, 호화 및 노화 특성은 국수를 포함한 가공 식품의 식미에 영향을 미친다(Graybosch 1998, Hung et al. 2006).

밀가루 전분의 아밀로스 함량은 찰성 단백질(waxy protein)로도 알려진 GBSS I (granule bound starch synthase I, EC 2.4.1.21)에 의해 합성되며, 6배체인 밀은 3개의 GBSS I 유전자좌에서 발현되는 *Wx-A1*, *Wx-B1*와 *Wx-D1* 단백질에 의해 아밀로스 함량이 결정된다(Graybosch 1998). 메성 밀(non-waxy wheat)은 3개의 유전자좌에서 단백질 발현이 정상적으로 일어나지만, 찰밀(waxy wheat)은 3개의 유전자좌에서 유전자 발현이 되지 못하여 아밀로스 함량이 매우 낮고 특이한 전분 및 가공식품 특성을

지닌다(Graybosch 1998, Hung et al. 2006). GBSS I 유전자좌가 한 개 또는 두개가 부분적으로 결핍이 일어난 부분찰밀(partial waxy wheat)은 메성 밀에 비해 아밀로스 함량이 낮고, 높은 팽윤 및 호화 특성을 지녀 부드러운 국수 식미 뿐만 아니라 빵을 포함한 다른 가공제품에서도 이용성이 높다. 이러한 이유로 최근 들어 세계 여러 나라의 밀 육종프로그램의 육종 목표에 부분찰밀 육성도 포함하고 있다(Graybosch 1998, Hung et al. 2006, Fu 2008, Baik 2010).

종실경도(kernel hardness)는 전분 입자(starch granule)와 단백질 매트릭스(protein matrix)의 접착 정도에 따라 결정되며, 연질밀(soft wheat)은 경질밀(hard wheat)에 비해 밀가루 입자가 곱고 손상 전분 함량이 적어 색택이 밝고 부드러운 식감을 가진 국수 제조에 적합하다(Morris & Bhav 2008, Pasha et al. 2010). 이러한 종실경도에 관여하는 puroindoline 유전자는 Hardness (Ha) 유전자와 밀접하게 연관이 있어 경·연질 특성 판별에 많이 이용되고 있고, 국내 자원·육성 계통 선발에서도 지표로 활용되고 있다(Park et al. 2010, Kang et al. 2012). 최근 들어 국내에서도 찰밀과 부분찰밀이 육성되어 이들 전분 특성이 가공 제품에 미치는 영향에 대한 평가가 이루어졌으며(Kang et al. 2010a, 2010b, Kim et al. 2017, Cho et al. 2019a, b), 종실경도가 가공 적성에 미치는 영향도 평가 되었지만(Park et al. 2010, Kang et al. 2012), 전분 특성과 종실경도 관련 특성에 대해서 종합적인 분석은 이루어지지 않았다. 따라서 본 연구는 최근 육성된 품종을 포함한 국내 밀 33개 품종의 전분 특성과 GBSS I 및 puroindoline 유전 조성이 국수 식미에 미치는 영향을 평가하여 국수 식미 개선을 위한 국내 밀 육종 프로그램의 계통 선발 효율성 증진에 도움을 주고자 수행하였다.

재료 및 방법

공시 재료

본 연구에 사용한 국내 밀 33개 품종은 2017년 농촌진흥청 국립식량과학원 실험포장에서 전작 조건(0.25 m × 6 m)으로 농촌진흥청 표준 재배법(RDA 2012)에 준하여 재배하였다. 콤바인으로 수확하고 정선하여 수분 함량이 14%가 되도록 상온에서 건조한 다음, 10℃ 저온실에 보관하였다.

Genomic DNA 추출 및 PCR 분석

국내 밀 33개 품종을 온실에 파종하여 3주 간 생육하여 어린 식물체의 잎을 채취하여 액체 질소로 급속 냉동 시킨 후 유발로

미세 분말로 분쇄한 뒤 -70℃에 보관하였다. Genomic DNA는 잎 분말(100 mg)로부터 식물용 genomic DNA 분리 시약(Solgent, 한국)을 이용하여 추출하였다. Granule bound starch synthase I (GBSS I)과 puroindoline 유전자 검정은 각각 Nakamura et al. (2002)과 Gautier et al. (1994)에 준하여 실시하였다.

밀가루 특성 분석

밀가루는 Bühler mill (MLU-202, Swiss)을 이용하여 AACCI Approved Method 26-31.01 (2010) 방법에 따라 수분함량 15% 이하로 건조시킨 종자로 제분하였으며, 제분기의 롤 간격은 break롤은 8과 5로, reduction롤은 4와 2로 하였으며, 제분 속도는 100 g/min로 하였다. 밀가루의 수분, 회분, 단백질 함량은 각각 AACCI Approved Methods 44-15.02, 08-01.01와 46-30.01에 따라 측정하였다(AACCI 2010). 아밀로스 함량과 손상 전분 함량은 각각 Gibson et al. (1997)과 Gibson et al. (1992)의 방법에 따라 enzymatic assay kits (Megazyme, Bray, Ireland)를 이용하여 측정하였다.

전분 특성 분석

전분 추출은 Czuchajowska & Pomeranz (1993) 방법에 따라 추출하였고, 상온에서 3일간 건조시킨 전분은 0.25 mm체가 장착된 cyclone sample mill (Udy Co., Fort Collins, USA)을 이용하여 분쇄하였다. 전분 입자의 크기는 레이저 입도 분석기 (LS 13320, Beckman Coulter, Fullerton, USA)를 이용하여 분석하였다. 전분의 수분 보유력(water retention capacity)은 Sollars (1973)의 방법에 따라 전분 5 g과 증류수 25 ml을 50 ml 튜브에 넣어 5분 간격으로 20분간 세계 혼든 후, 1,000 × g에서 15분간 원심분리하여 상등액을 제거하고, 침전된 무게를 측정하여 전분 무게로 나눈 비율로 표기하였다. 전분의 팽윤 부피(swelling volume)는 Yamamori et al. (2006)의 방법에 따라 전분 20 mg와 8 M urea 용액 1.0 ml을 혼합하여 항온 수조 HB-205SWL (Vision Lab Sciences, Incheon, Korea)에서 25℃로 24시간 방치한 후, 8,000 × g로 10 분간 원심분리 하여 호화 된 전분의 부피를 측정하여 전분 무게로 나눈 비율로 표기하였다(mL/g). 팽윤력(swelling power)은 Sasaki & Matsuki (1998)의 방법에 따라 전분 160 mg과 0.1% AgNO₃ 용액 5 mL을 혼합하여 항온 수조에서 30분간 교반 후, 냉수에 5분간 냉각한 다음 3,000 × g에서 15분간 원심분리하여 상등액을 제거한 침전물의 중량을 건조된 전분의 중량으로 나눈 비율로 표기하였다.

전분 호화(pasting) 특성은 신속점도측정계(RVU-4, Newport

Scientific, Warriewood, Australia)를 이용하여 측정하였다. 전분 3 g을 취한 후, 0.1% AgNO₃ 용액 25 mL으로 현탁시킨 후 측정하였다. 50°C에서 1분간 유지한 후, 7.5분간 95°C까지 증가시켰으며 95°C에서 2.5분간 유지시킨 다음 7.5분간 50°C로 냉각시켜 측정하였다. 최고점도(peak viscosity), 최저점도(holding strength), 최종점도(final viscosity), breakdown (최고점도에서 최저점도를 뺀 값)과 setback (최종점도에서 최저점도를 뺀 값)을 분석하였다.

전분의 반죽 투명도(paste clarity)는 Craig et al. (1989)의 방법에 따라, 전분 50 mg을 증류수 5 mL으로 현탁시킨 후, 95°C 항온수조에서 30분간 반응시킨 다음 10분 간격으로 흔들어 주고, 상온에서 1시간 방냉 한 후, 분광 광도계(Ultaspec 4300 pro, Amersham Biosciences Co., USA)를 이용하여 650 nm에서 투과율(transmittance, %)을 측정하였다.

국수 제조 및 식미 평가

국수는 Park & Baik (2002)에 따라 생면을 제조하여 평가하였다. 국수 면대 제조 시 가수량은 시중 중력분의 면대를 비교 평가하여 설정하였으며, 신미찰과 신미찰1호는 37%가 적합하였고, 나머지 국내 밀 품종은 34%로 평가하였다. 밀가루 100 g에 6.25% 소금물 37 mL 또는 34 mL을 넣어 pin mixer (National Mfg. Co., 미국)에서 4분간 혼합하여 반죽을 형성하였다. 형성된 반죽은 3 mm 간격의 noodle machine (Ohtake Noodle Machine Mfg. Co., Japan)의 롤러를 65 rpm의 속도로 통과시켜 면대를 제조하였다. 면대는 상온에서 1시간 숙성시켜 제면 롤러 간격을 순차적으로 2.4, 1.85와 1.3 mm로 줄여 면대를 만들고, 25번 절단 롤러를 이용하여 국수 면발을 제조하였다. 삶은 국수의 식미 평가는 Baik et al. (2003)의 방법에 준하여 평가하였는데, 제조한 생면 (20 g)을 500 mL의 끓는 물에 18분 동안 삶은 후, 찬물에 행구고 TA-XT2 texture analyzer (Stable Micro Systems, Haslemere, UK)을 이용하여 국수 물성을 분석하였다. 삶은 국수의 물성 분석은 5가닥의 면발을 이용하여 삶은 후 5분 이내에 최소 3반복을 실시하였다. 국수 물성 분석은 3.175 mm 금속날을 이용하여 1.0 mm/sec의 속도로 원형 면발 높이의 70%를 압축하여 경도(hardness), 탄성(springiness) 및 응집성(cohesiveness)을 측정하였다.

통계 분석

모든 시험은 최소 3회 이상 분석하였으며, 통계 분석은 SAS computer software package (SAS Institute, USA)를 이용하여

분석하였다. 분산 분석은 PROC GLM을 이용하였고, 상관 관계는 Pearson's correlation coefficients를 이용하여 $p < 0.05$ 수준에서 검정하였다. 주성분 분석(Principal Component Analysis, PCA)은 Proc Princomp procedure를 이용하였다.

결과 및 고찰

국산밀 품종의 유전적 조성

국내 밀 33개 품종의 아밀로스 함량을 결정하는 Granule Bound Starch Synthase I (GBSS I)과 종실 경도를 결정하는 puroindoline의 유전적 조성은 Table 1에서 보는 바와 같다. 국내 밀 29개 품종은 GBSS I의 조성이 *Wx-A1a*, *Wx-B1a*와 *Wx-D1a*인 메성이었고, 신미찰과 신미찰 1호는 찰밀(waxy wheat)의 조성을 지녔으며, 호중과 중모2012는 각 계통에서 GBSS I이 부분적으로 발현되지 않는 부분찰밀(partial waxy)로, 호중은 *Wx-A1b* 조성을 지녔고, 중모2012는 *Wx-A1b*와 *Wx-D1b*를 지닌 것으로 나타났는데 이러한 결과는 이전 보고와 일치하였다(Park et al. 2009, Cho et al. 2019a).

종실경도는 puroindoline의 유전적인 조성에 따라 경·연질로 구별되며, 다양한 돌연변이들이 보고되었지만, 일반적으로 연질밀은 *Pina-D1a*와 *Pinb-D1a* 유전자를 지니고 경질밀은 *Pina-D1b*나 *Pinb-D1b* 유전자를 지닌다(Morris & Bhawe 2008). 국내밀 14개 품종은 *Pina-D1a*와 *Pinb-D1a*으로 연질밀 조성으로 나타났으며, 경질밀 조성을 지닌 19개 품종 중, 백중, 적중, 조은, 신미찰1, 연백밀은 *Pina-D1b*와 *Pinb-D1a*로 나타났으며, 나머지 14개 품종은 *Pina-D1a*와 *Pinb-D1b*로 나타났다. 연질밀은 경질밀과 비교해서 체분율은 낮지만 밀가루 입자가 곱고 손상 전분 함량이 적고 단백질 함량이 국수 제조에 적합하여 국산밀 품종은 연질밀 특성을 지닌 품종이 많을 것으로 예상하지만, 본 연구 결과나 이전 국내 품종의 puroindoline 조성을 평가한 논문에서도 국내 밀 품종은 경질밀의 유전 조성을 가지는 비율이 높게 나타난다(Park et al. 2009, 2010, Kang et al. 2012). 경질밀 조성을 지닌 품종 중 *Pina-D1b*을 지닌 품종이 *Pinb-D1a*보다 종실 경도, 체분율, 단백질 함량, 손상전분 함량과 반죽 가수량이 높고 회분 함량이 낮고 국수 면대 선택이 좋은 것으로 알려져 있다(Chen et al. 2007, Choi et al. 2020) 국내 품종에서도 *Pina-D1b*을 지닌 품종의 손상전분 함량과 반죽 가수량이 높은 것으로 나타났다(Park et al. 2009).

Table 1. Allelic variations of granule-bound starch I (GBSS1) and puroindolines of 33 Korean wheat cultivars.

Cultivar	<i>Wx-I</i> ²			<i>Pin-D1</i> ³	
	<i>Wx-A1</i>	<i>Wx-B1</i>	<i>Wx-D1</i>	<i>Pina-D1</i>	<i>Pinb-D1</i>
Alchan	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>b</i>
Anbaek	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>b</i>
Baekjoong	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>a</i>
Chunggye	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>
Dahong	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>
Dajoong	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>b</i>
Eunpa	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>b</i>
Geuru	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>b</i>
Gobun	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>b</i>
Goso	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>
Hanbaek	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>b</i>
Hojoong	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>
Jeokjoong	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>a</i>
Jinpoom	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>b</i>
Joa	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>
Joeun	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>a</i>
Jokyung	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>b</i>
Jonong	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>
Joongmo2012	<i>b</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>a</i>	<i>a</i>
Jopoom	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>b</i>
Keumkang	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>b</i>
Milsung	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>
Namhae	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>
Ol	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>
Olgeuru	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>
Saeol	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>
Shinmichal	<i>b</i>	<i>b</i>	<i>b</i>	<i>a</i>	<i>a</i>
Shinmichal1	<i>b</i>	<i>b</i>	<i>b</i>	<i>b</i>	<i>a</i>
Suan	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>b</i>
Sudun	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>b</i>
Tapdong	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>b</i>
Uri	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>
Younbaek	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>a</i>

²*Wx* allele designations are *a*=wild type and *b*=null allele.

³*Pina-D1* allele designations are *a*=wild type and *b*=null allele. *Pinb-D1* allele designations are *a*=wild type and *b*=mutant of the glycine to serine in *Pinb-D1*.

Table 2. Flour characteristics of 33 Korean wheat cultivars.

Cultivar	Ash (%)	Protein (%)	Amylose (%)	Damaged starch (%)
Alchan	0.46	9.3	28.8	2.5
Anbaek	0.41	10.0	28.9	3.2
Baekjoong	0.47	10.7	28.8	2.7
Chunggye	0.42	8.4	27.7	1.7
Dahong	0.42	9.7	30.1	1.3
Dajoong	0.49	8.4	28.4	1.8
Eunpa	0.48	9.4	29.5	2.5
Geuru	0.50	12.6	28.7	2.2
Gobun	0.48	10.4	29.1	2.3
Goso	0.45	10.6	28.3	1.9
Hanbaek	0.51	10.6	28.9	2.8
Hojoong	0.48	11.5	24.4	1.8
Jeokjoong	0.46	9.8	27.9	3.0
Jinpoom	0.46	11.6	28.8	2.8
Joa	0.47	10.6	28.8	1.2
Joeun	0.48	12.6	29.8	1.5
Jokyung	0.52	10.9	29.5	2.7
Jonong	0.54	12.7	28.5	1.1
Joongmo2012	0.50	11.0	20.6	1.6
Jopoom	0.48	11.8	28.9	2.1
Keumkang	0.47	11.3	29.9	2.4
Milsung	0.50	10.0	28.7	1.6
Namhae	0.44	7.9	29.4	1.4
Ol	0.45	9.6	28.4	1.7
Olgeuru	0.50	9.3	29.3	1.6
Saeol	0.50	10.8	29.1	2.2
Shinmichal	0.45	11.5	6.1	3.9
Shinmichal1	0.45	12.3	4.8	3.8
Suan	0.43	9.6	27.1	2.1
Sudun	0.45	11.5	28.6	3.0
Tapdong	0.48	9.1	29.0	2.5
Uri	0.44	8.0	28.8	3.3
Younbaek	0.44	11.0	26.8	2.3
LSD ²	0.02	0.1	1.0	0.3

²Least significant difference ($p<0.05$). Difference between two means exceeding this value are significant.

국산밀 품종의 전분 특성

국산밀 품종의 회분, 단백질, 아밀로스와 손상 전분 함량은 Table 2에서 보는 바와 같다. 국산밀 품종의 회분, 단백질, 아밀로

스와 손상 전분 함량의 범위는 각각 0.41-0.54%와 7.9-12.7%로 4.8-30.1%와 1.1-3.9%로 나타났다. 회분, 단백질과 손상전분 함량은 이전의 보고와 비슷한 경향을 보였지만(Kang et al. 2010a, Kim et al. 2017a, Cho et al. 2019a), 아밀로스 함량은

측정 방법의 차이로 인해 이전에 분석한 국내 품종 분석 결과 (Kang et al. 2010a) 보다 4-5% 정도 높았다. 아밀로스 함량 측정을 위해 전분 분해 시 NaOH나 HCl를 이용할 때 보다 DMSO (dimethyl sulphoxide)를 이용했을 때 아밀로스 함량이 높게 측정되는데(Mahmood et al. 2007), Megazyme kit를 이용한 결과에서는 본 연구와 유사하였다(Kim et al. 2017a, Cho et al. 2019a). 손상전분 함량은 아밀로스 함량과 종실경도에 영향을 받으며, 산업체에서 밀가루 특성을 평가하는 지표로 많이 이용하고 있어 NIR (Near-infrared spectroscopy)을 이용한 손상전분 함량 평가 방법이 제시되었으며(Morgan & Williams 1995), 국내 육종프로그램에서도 이와 관련된 연구가 필요하다. 찰밀의 회분 함량은 0.45%로 다른 밀 품종과 차이가 없었지만, 국내 반수체 집단에서는 찰밀이 다른 계통에 비해서 회분 함량이 높게 나타났다(Kang et al. 2012). 이러한 불일치는 이전 연구에서도 보고되었는데, 일본의 반수체 집단에서는 찰밀이 회분 함량이 높았지만 일본 근동질 계통과 춘과경질밀 집단에서는 차이가 없었다(Chakraborty et al. 2004, Takata et al. 2007). 신미찰과 신미찰1호의 아밀로스 함량은 각각 6.1%와 4.8%로 가장 낮았으며, 부분찰밀인 호중과 중모2012는 각각 24.4%, 20.6%이었다. 부분찰밀의 아밀로스 함량은 한 개의 계통에서 돌연변이가 발생한 경우에는 아밀로스 함량이 메성과 1-2% 차이로 크지 않으며, 2개의 계통에서 돌연변이가 발생을 한 경우야 7-8% 정도 차이가 나는 것으로 알려져 있다(Graybosch 1998, Guzmán & Alvarez 2016). 아밀로스 함량은 국내의 반수체 계통 연구에서도 같은 결과를 보였으며(Kang et al. 2012), 본 연구 결과와도 일치하였다. 손상전분 함량은 종실경도, 단백질 함량 등 다양한 요소들이 영향을 미치며, 신미찰과 신미찰1호는 각각 3.9와 3.8%로 높았다. 찰밀은 전분 입자내 결합력이 약해 물리적인 힘에 의해 손상전분 함량이 높은 것으로 알려져 있으며(Bettge et al. 2000, Kim et al. 2003), 이전 보고와 일치하였다(Chakraborty et al. 2004, Takata et al. 2007, Kim et al. 2017a). 그러나 호중과 중모2012의 손상전분 함량은 각각 1.8%와 1.6%로 낮았는데 이들 부분찰밀은 찰밀과 다른 특성을 나타내기 때문에 손상전분 함량이 높지 않았다(Graybosch 1998, Guzmán & Alvarez 2016). *Pina-D1a*와 *Pinb-D1a*를 지닌 연질밀에서 신미찰을 제외한 13개 품종의 평균 손상전분 함량은 1.7%로 경질밀보다 낮았으며, *Pina-D1b*와 *Pinb-D1a*를 지닌 신미찰1을 제외한 경질밀에서는 *Pina-D1a*와 *Pinb-D1b* (2.5%)와 *Pina-D1b*와 *Pinb-D1a* (2.4%)로 차이가 없었다. 경질밀은 연질밀에 비해 기계적 저항을 많이 받기 때문에 물리적 힘에 대한 저항이 높아

밀가루 입자가 거칠고 손상 전분 함량이 높은 특성을 나타내며, 국내 밀 품종의 결과와도 일치하였다(Guo et al. 2003, Park et al. 2010, Kang et al. 2012).

국내 밀 품종의 전분 특성은 Table 3에서 보는 바와 같다. 찰밀인 신미찰과 신미찰1호의 전분입자 크기는 각각 17.5 μm 과 24.6 μm 이었으며, 부분찰밀인 호중과 중모2012는 각각 19.3 μm 과 17.2 μm 이었고, 메성 품종의 전분 입자의 크기는 15.3 (올)-24.7 μm (적중)의 범위였으며, 평균은 17.8 μm 로 나타났다. 밀의 전분 입자는 디스크 형으로 크면서(>10 μm) 개수가 적은 A-type과 작은 구형이면서(1-10 μm) 개수가 많은 B-type으로 구성되어 있고, 찰밀과 메성간 전분 입자의 크기는 차이가 없다(Peng et al. 1999). 이전 국내 밀 품종 간의 전분 입자 분석에서도 금강과 신미찰1호의 전분 입자 간에는 차이가 없었다(Jung et al. 2015). 적중(24.7 μm)과 신미찰1호(24.6 μm)는 다른 품종과 비교해서 전분 입자 크기가 컸는데, 이러한 영향으로 *Pina-D1b*와 *Pinb-D1a* 품종의 평균 전분 입자 크기는 20.9 μm 으로 연질밀의 평균 전분 입자 크기(17.1 μm)나 *Pina-D1a*와 *Pinb-D1b*을 지닌 경질밀 품종의 전분 입자 크기(18.0 μm)보다 큰 것으로 나타났다. 경질밀은 연질밀과 비교하여 전분 입자와 밀가루 입자 크기가 크며, 연질밀은 A-type의 비율이 경질밀보다 적고, B-type의 비율이 많은데, 이러한 전분 구조 및 비율 차이는 팽윤 및 호화 특성에 영향을 주기 때문에 국산밀의 전분 구조에 대한 연구도 필요하다(Peng et al. 1999, Park et al. 2009, Yin et al. 2012).

전분의 수분 보유력(water retention capacity)은 찰밀이 82.2% 이상으로 다른 밀 품종보다 월등히 높은 것으로 나타났으며, 이러한 경향은 이전 보고와도 일치하였다(Jung et al. 2015). 호중과 중모2012는 각각 66.4%와 67.6%로 메성(60.4-74.1%)과 차이가 없었으며, 백중, 조품과 한백은 메성임에도 70%이상의 수분 보유력을 보였다. 이들 품종들은 호중과 중모2012보다 아밀로스 함량뿐만 아니라 손상전분 함량도 높았다. 국내 품종 평가에서 밀가루의 수분 보유력은 손상전분 함량과 고도의 정의 상관을 나타내었는데(Cho et al. 2019b), 이들 품종이 부분찰밀보다 전분의 수분 보유력이 높은 이유도 손상전분 함량의 영향으로 보인다. *Pina-D1b*와 *Pinb-D1a* 품종의 평균 전분의 수분 보유력 (70.5%)로 *Pina-D1a*와 *Pinb-D1b* 품종(66.9%)나 연질밀(65.6%)보다 높았으나, 찰밀을 제외하면 경질밀에서는 각각 66.5%와 66.9%로 차이가 없었으며, 연질밀(64.3%) 보다 약간 높았다. 밀가루의 수분 보유력은 아밀로스 함량은 물론, 손상전분, 단백질, 글루텐 함량, 글루테닌 조성, 종실 경도, 반죽 가수량 및 반죽시간과도 상관이 있었지만(Ali et al. 2014, Hammed et

Table 3. Starch properties of 33 Korean wheat cultivars.

Cultivar	Average of starch granule size (μm)	Water retention capacity (%)	Swelling properties	
			Volume (ml/g)	Power (%)
Alchan	18.8	65.9	24.2	12.0
Anbaek	19.1	68.2	27.5	13.7
Baekjoong	18.2	70.0	26.7	11.1
Chunggye	16.8	64.0	25.0	12.6
Dahong	16.9	60.4	25.0	11.8
Dajoong	17.6	64.7	24.2	12.7
Eunpa	18.6	61.3	24.2	13.6
Geuru	16.0	66.3	24.2	12.1
Gobun	17.8	65.7	23.3	13.4
Goso	16.8	66.7	26.7	12.6
Hanbaek	16.9	74.1	30.0	10.4
Hoyoong	19.3	66.4	29.2	13.9
Jeokjoong	24.7	69.1	23.3	12.8
Jinpoom	21.8	69.7	22.5	13.7
Joa	16.5	62.2	22.5	13.5
Joeun	17.8	60.7	24.2	13.8
Jokyung	18.7	69.9	27.5	13.5
Jonong	16.8	64.8	25.8	14.4
Joongmo2012	17.2	67.6	31.7	17.5
Jopoom	17.5	71.0	31.7	13.8
Keumkang	17.3	67.1	23.3	14.0
Milsung	17.3	61.4	23.3	13.5
Namhae	16.8	61.6	25.8	11.0
Ol	15.3	61.1	25.0	13.1
Olgeuru	16.2	63.0	25.0	12.4
Saeol	17.5	69.4	25.8	12.3
Shinmichal	17.5	82.2	46.7	27.9
Shinmichal1	24.6	86.5	46.7	29.1
Suan	17.7	65.4	25.0	12.1
Sudun	17.4	65.6	25.0	15.0
Tapdong	16.5	61.6	25.8	11.9
Uri	19.0	67.4	25.0	12.3
Younbaek	19.1	66.2	28.3	13.3
LSD ^z	0.4	1.0	2.0	0.6

^zLeast significant difference ($p < 0.05$). Difference between two means exceeding this value are significant.

al. 2015, Cho et al. 2019b), 전분의 수분 보유력은 손상전분 함량과 찰밀 및 부분찰밀($r=0.97^*$, $n=4$)과 메성($r=0.64^{***}$, $n=31$)에서 모두 정의 상관을 보였으며, 전분 입자 크기는 메성에

서만($r=0.41^*$, $n=31$) 정의 상관을 보였다.

찰밀의 전분 팽윤 부피(46.7 ml/g)와 팽윤력(>27.9%)은 부분 찰밀(29.2-31.7 ml/g과 13.9-17.5%)이나 메성(22.5-31.7 ml/g과 10.4-15.0%)보다 월등히 높았으며, 찰밀은 이전 결과에서도 전분 팽윤 부피와 팽윤력이 높고 메성에 비해서 낮은 온도에서 호화가 시작되었다(Jung et al. 2015). 전체 품종의 팽윤특성은 아밀로스 함량과 고도의 상관을 보였는데, 이러한 결과는 이전 결과와 일치하지만(Kim et al. 2017a), 메성에서는 상관이 없는 것으로 나타났다. 이러한 경향은 손상전분 함량과 전분의 팽윤 특성에서도 나타났으며, 전분의 수분 보유력은 부분찰밀을 포함한 찰밀과 전체 품종에서 팽윤 특성과 고도의 정의 상관을 보였으며, 팽윤 부피는 메성 품종에서만 정의 상관을 보였다($r=0.50^{**}$, $n=31$). 백중, 조품과 한백은 메성 품종 중에서도 전분 팽윤 특성이 높았는데, 백중과 조품은 이전 결과에서도 전분 팽윤 특성이 높았지만 밀가루 팽윤 특성은 다른 메성 특성과 차이가 없는 것으로 나타났다(Kim et al. 2017a). 고소와 우리는 반대로 전분 팽윤 특성은 메성의 다른 품종과 차이가 없었지만 밀가루 팽윤 특성은 높게 나타났다. 실용적인 측면에서 팽윤 특성에 대한 육종프로그램 선별에서는 전분 보다는 밀가루를 이용하는 것이 효율적이며, 호주의 NIR을 활용한 높은 팽윤 특성을 지닌 계통 조기 선별 시스템을 도입할 필요성이 있다(Crosbie et al. 2007, Kim et al. 2017a). 전분과 밀가루의 팽윤 특성 차이가 많은 품종은 밀가루의 팽윤 특성에 영향하는 요인을 구명하는 유전 재료로 이용이 가능할 것이다. 종실 경도 유전 조성에 따른 메성 밀의 팽윤 부피와 팽윤력 비교 결과, *Pina-D1a*와 *Pinb-D1a* (25.0 ml/g과 12.7%), *Pina-D1a*와 *Pinb-D1b* (25.6 ml/g과 13.0%)과 *Pina-D1b*와 *Pinb-D1a* (25.6 ml/g과 12.8%)로 종실 경도는 전분의 팽윤 특성과는 상관이 없는 것으로 나타났다.

밀가루와 전분의 호화 특성은 국수 식미와 상관이 높아 중요하게 평가되는 지표로 식품 업체에서 Visco-Amylo-Graph (Brabender, Duisburg, Germany)를 많이 이용하고 있으며, 분석 시간이 짧고 시료 양을 10 g으로 적게 넣는 Micro Visco-Amylo-Graph (Brabender, Duisburg, Germany)로 대체 되고 있는 추세이다. 육종분야에서는 더 적은 양의 시료로 빠른 시간에 분석할 수 있는 호주에서 개발된 장비인 신속점도측정계(Rapid Visco Analyzer, Newport Scientific, Warriewood, Australia)을 이용하고 있다(Balet et al. 2019). 국산밀 33개 품종의 전분 호화 특성 결과는 Table 4에서 보는 바와 같다. 찰밀은 다른 품종과 비교해서 높은 최고점도(>4,004 RVU)와 낮은 최저점도(<1,289 RVU), breakdown(>2,885 RVU), 최종점도(<1,762 RVU)와 setback (<473 RVU)

Table 4. Pasting properties and paste clarity of starch purified from 33 Korean wheat cultivars.

Cultivar	Rapid-Visco-Analyzer					Paste clarity of starch (Transmittance, %)
	Peak Viscosity (RVU)	Holding Strength (RVU)	Breakdown (RVU)	Final Viscosity (RVU)	Setback (RVU)	
Alchan	3,247	2,600	647	3,871	1,271	22.2
Anbaek	3,237	2,404	834	3,812	1,409	22.4
Baekjoong	3,650	3,084	566	4,259	1,175	21.6
Chunggye	3,217	2,402	815	3,608	1,206	22.4
Dahong	3,496	2,858	638	4,042	1,185	20.7
Dajoong	3,353	2,726	627	3,665	939	21.3
Eunpa	3,369	2,712	657	4,042	1,331	19.7
Geuru	3,158	2,570	588	3,872	1,303	18.6
Gobun	3,283	2,676	607	3,750	1,074	23.6
Goso	3,338	2,662	677	3,664	1,003	21.4
Hanbaek	3,278	2,695	583	3,968	1,273	24.7
Hojoong	2,956	2,166	790	3,368	1,203	23.3
Jeokjoong	3,222	2,744	478	3,699	956	23.9
Jinpoom	3,180	2,675	505	3,861	1,186	21.2
Joa	3,466	2,865	602	3,998	1,133	23.6
Joeun	3,492	2,915	577	4,050	1,135	21.9
Jokyung	3,287	2,855	432	3,969	1,114	21.7
Jonong	3,520	2,940	580	4,029	1,090	19.3
Joongmo2012	2,900	2,149	751	3,535	1,386	23.7
Jopoom	3,636	2,969	668	4,196	1,227	23.1
Keumkang	3,034	2,442	592	3,584	1,142	22.6
Milsung	3,133	2,653	481	3,752	1,099	21.1
Namhae	3,126	2,619	508	3,603	985	21.7
Ol	3,167	2,473	694	3,755	1,282	19.5
Olgeuru	3,122	2,570	552	3,889	1,319	19.3
Saeol	3,557	2,695	862	3,886	1,192	21.1
Shinmichal	4,371	1,289	3,082	1,762	473	36.6
Shinmichal1	4,004	1,150	2,855	1,461	312	37.1
Suan	2,915	2,343	572	3,318	975	24.8
Sudun	3,060	2,562	498	3,582	1,020	23.5
Tapdong	3,434	2,850	585	4,024	1,174	22.3
Uri	3,104	2,568	536	3,623	1,055	24.2
Younbaek	2,905	2,256	650	3,422	1,166	18.5
LSD ^z	57	74	53	102	60	0.76

^zLeast significant difference ($p < 0.05$). Difference between two means exceeding this value are significant.

를 보였는데, 이러한 경향은 이전 결과와 일치하였다(Park et al. 2001). 메성 품종의 호화 특성 범위를 살펴보면, 최고점도(2,905-3,650 RVU), 최저점도(2,256-3,086 RVU), breakdown(3,318-4,259 RVU), 최종점도(432-862 RVU), setback(939-1,409

RVU)로 나타났는데, 국내 밀 품종의 밀가루의 신속점도측정계 결과와 직접 비교는 어렵지만 메성 품종에서 호화 특성의 변이는 다양하게 나타났다(Park et al. 2002). 부분찰밀의 평균값은, 최고 점도(2,928 RVU), 최저점도(2,158 RVU), breakdown(3,452

RVU), 최종점도(771 RVU)와 setback (1,295 RVU)으로 메성 호화 특성 범위에 속하는데, 이러한 결과는 Visco-amylograph를 이용한 이전 결과와 차이가 있었다(Baik et al. 2003, Kang et al. 2012). 이러한 차이는 본 연구에 이용된 부분찰밀이 2개이고, 신속점도측정계의 장비 분석 시간과 호화 조건 등이 영향을 미친 것으로 보인다. 호중의 경우 반죽 특성과 전분 호화 특성을 동시에 분석이 가능한 Mixolab (Chopin, France) 분석에서도 메성 품종과 차이가 없는 것으로 나타났다(Kim et al. 2017b). 다양한 특성을 지닌 부분찰밀의 육성이 이루어지고 간이분석법에 대한 체계적이고 종합적인 후속 연구가 수행된다면 부분찰밀에 대한 특성 분석 정확성도 향상될 것으로 예상된다.

전분 호화 특성은 품종 전체에서 전분입자 크기를 제외한 특성과 상관이 있는 것으로 나타났지만, 메성 품종에서는 아밀로스 함량만이 최고점도($r=0.42^*$), 최저점도($r=0.48^{**}$) 및 최종점도($r=0.57^{**}$)와 상관을 보였는데, 신속점도측정계를 이용한 국내 밀 품종의 이전 결과에서는 최고점도와 breakdown이 손상전분 함량과 부의 상관을 보였다(Park et al. 2002). Visco-amylograph를 이용한 결과에서는 아밀로스 함량과 최고 점도 뿐만 아니라 breakdown과도 상관이 있었으며, 전분의 호화특성간에도 상관이 있었다(Kang et al. 2010a, Kim et al. 2017a). 메성 품종의 최저점도는 전분의 수분보유력과 부의 상관을 나타내었는데(Cho et al. 2019b), 본 연구에서는 전체 품종에서는 호화 특성과 상관이 있었지만, 메성 품종들에서는 전혀 상관이 없었으며, puroindoline 조성에 따른 호화 특성 차이 또한 나타나지 않았다. 통밀의 신속점도측정 분석 결과가 전분 특성이나 밀가루 이화학적 특성 및 가공 적성과 상관 분석이 가능하다면, Visco-amylograph보다 육종 초기 선발에 이용 가능성이 높기 때문에 국내 육종 프로그램에 활용 가능한 신속점도측정계 분석 체계를 확립하는 것이 필요하다.

호화 전분의 투과도는 전분 호화 시 팽윤된 전분 입자 사이 빛이 투과하는 비율을 측정하는 것으로 아밀로스 함량이 영향을 미치는데, 호화가 진행되면서 팽윤된 전분은 빛의 투과를 증가시킨다(Craig et al. 1989, Bello-Pérez & Paredes-López 1996). 노화가 진행되면 수분이 빠져나가면서 전분 입자들이 재결합하여 투과도가 떨어지게 되며, 노화 전분의 투과도는 전분의 아밀로스 함량이나 호화 정도와 상관이 높다(Wischmann et al. 2005). 본 연구에서 평가된 전분 특성과 국수 식미 평가가 노화와 특별한 관계가 없기 때문에 전분 호화 1시간 후의 투과도만을 측정하였다(Table 4). 찰밀의 호화 전분의 투과도는 36.6% 이상으로 다른 품종에 비해서 월등히 높았으며, 이전 결과와 일치하였다

(Jung et al. 2015). 호중(23.3%)과 중모2012(23.7%)의 전분 투과도는 메성 품종의 범위(18.5-24.8%)로 이들 간에는 차이가 없었다. 찰밀의 높은 전분 투과도로 인해서 전체 품종의 전분 특성과 호화 전분의 투과도는 상관이 있는 것으로 나타났지만, 메성 품종들에서는 손상전분 함량($r=0.39^*$)과 전분 호화 특성 중에 setback ($r=-0.37^*$)이 상관이 있었다. 그러나, 종실 경도 유전자 조성에 따른 호화 전분의 평균 투과도는, *Pina-D1a*와 *Pinb-D1a* (21.0%), *Pina-D1a*와 *Pinb-D1b* (22.3%)과 *Pina-D1b*와 *Pinb-D1a* (22.0%)로 차이가 없었다.

국수 가공 적성 평가

국산밀 33개 품종의 삶은 국수의 식미 결과는 Table 5에서 보는 바와 같다. 찰밀로 만든 국수는 낮은 경도(<1.8 N) 및 탄성(<0.83) 및 높은 응집성(>0.69)을 나타내었는데, 이러한 특성으로 부드럽지만 탄성이 낮고, 높은 응집성으로 면발이 끈적거리 다른 품종과 식감이 차이가 있었으며, 이러한 결과는 이전 보고 결과와 같았다(Guo et al. 2003, Kang et al. 2012). 부분찰밀의 경도, 탄성과 응집성은 각각 2.80-3.0 N, 0.87-0.95과 0.67-0.68이었고, 메성으로 만든 국수의 경도, 탄성과 응집성 범위는 각각 3.2-4.0 N, 0.93-0.95과 0.63-0.68이었다. 낮은 아밀로스 함량은 전분의 팽윤과 호화 점도를 높이고, 이러한 특성은 삶은 국수의 탄성과 응집성에 영향을 주어 부분찰밀로 만든 국수가 메성에 비해서 부드러운 특성을 나타내었다(Baik et al. 2010, Kang et al. 2012). 찰밀로는 국수 제조가 불가능하지만, 메성과 비교하여 상대적으로 낮은 아밀로스 함량을 지닌 부분찰밀로 제조한 국수는 부드럽고 쫄깃한 특성을 나타내어 부분찰밀을 활용한 국수 식미 개선에 대한 관심이 높아지고 있다(Graybosch 1998, Baik 2010). 국내 육종프로그램에서도 *Wx-1* 표지인자를 활용한 선발이 이루어지고 있지만, 아직까지는 많은 품종 육성이 이루어지고 있지 않기 때문에 국내 부분찰밀 육성에 많은 관심과 노력이 필요하다.

찰밀을 제외한 종실 경도 유전자 조성에 따른 국수 식미 결과, 경질밀의 삶은 국수 경도, 탄성과 응집성의 평균값은 각각 3.6 N, 0.94과 0.66으로 연질밀의 경도(3.4 N), 탄성(0.94)과 응집성(0.66) 평균값과는 유의한 차이는 없었다. 일반적으로 경질밀은 연질밀에 비하여 단백질 함량과 질적 특성이 차이가 나기 때문에 연질밀에 비해서 딱딱한 식감을 보이는 것으로 알려져 있지만(Ma et al. 2009, Baik 2010), 본 연구에서는 공시 재료의 단백질 함량 차이가 크지 않아서 종실경도에 따른 삶은 국수의 경도 차이가 크게 나타나지 않았다. 이에 대하여 추가적으로 연차

Table 5. Textural properties of cooked noodles prepared from 33 Korean wheat cultivars.

Cultivar	Texture profile analysis parameter		
	Hardness (N)	Springiness (Ratio)	Cohesiveness (Ratio)
Alchan	3.4	0.94	0.68
Anbaek	3.4	0.93	0.65
Baekjoong	3.6	0.93	0.65
Chunggye	3.3	0.94	0.66
Dahong	3.3	0.94	0.66
Dajoong	3.8	0.93	0.65
Eunpa	3.7	0.94	0.68
Geuru	3.4	0.94	0.63
Gobun	3.5	0.94	0.68
Goso	3.6	0.94	0.66
Hanbaek	3.7	0.93	0.63
Hojoong	3.0	0.95	0.67
Jeokjoong	3.3	0.94	0.64
Jinpoom	3.6	0.93	0.68
Joa	3.6	0.94	0.66
Joeun	3.7	0.93	0.66
Jokyung	3.5	0.94	0.65
Jonong	4.0	0.94	0.64
Joongmo2012	2.8	0.87	0.68
Jopoom	3.9	0.93	0.67
Keumkang	3.5	0.94	0.67
Milsung	3.2	0.94	0.66
Namhae	3.4	0.94	0.65
OI	3.5	0.93	0.65
Olgeuru	3.4	0.95	0.65
Saeol	3.6	0.94	0.68
Shinmichal	1.8	0.83	0.69
Shinmichal1	1.7	0.81	0.71
Suan	3.8	0.93	0.64
Sudun	3.7	0.94	0.67
Tapdong	3.5	0.94	0.67
Uri	3.4	0.95	0.67
Younbaek	3.8	0.93	0.65
LSD ²	0.1	0.01	0.01

²Least significant difference ($p<0.05$). Difference between two means exceeding this value are significant.

간 변이와 환경적인 특성 평가를 통한 검정이 필요하며, 국내 재배 환경에서 puroindoline 유전자 조성 및 발현 양, 종실 경도 분석과 이에 따른 밀가루의 이화학적 특성 및 가공 적성에 대한

지속적인 연구가 필요하다.

아밀로스 함량과 전분의 팽윤 및 호화 특성은 높은 상관관계를 보였고 삶은 국수 식미와도 상관이 있었다(Table 6). 국내 밀 33개 품종의 아밀로스 함량은 수분 흡수력($r=-0.79***$)과 팽윤 부피($r=-0.93***$), 팽윤력($r=-0.91***$)과 높은 부의 상관을 보였고, 호화 특성에서는 setback ($r=0.77***$)과 정의 상관을 보였으며, 최고 점도($r=-0.59***$)와 breakdown($r=-0.96***$)과 부의 상관을 보였다. 찰밀을 제외한 상관 분석에서 아밀로스 함량은 팽윤부피($r=-0.53**$), 팽윤력($r=-0.56***$)과 부의 상관을 보였고, 최고점도($r=0.53**$)와 정의 상관관계를 보였으며, breakdown ($r=-0.36*$)과 부의 상관을 보였다. 찰밀은 부분찰밀이나 메성밀과 구별되는 전분 팽윤 및 호화 특성을 나타내기 때문에 국내 품종의 상관관계에 영향을 미쳤으며, 찰밀을 제외한 품종의 아밀로스 함량과 전분 특성간의 상관 관계는 이전 연구 결과(Kang et al. 2012, Kim et al. 2017a, b)에서는 아밀로스 함량이 낮아지면 팽윤부피와 팽윤력이 높아지고, 높은 최고점도와 breakdown을 보이는 것으로 나타났지만, 본 연구에서는 최고점도는 정의 상관을 나타내었고, breakdown은 낮은 부의 상관을 나타내었다. 호화특성과 상관관계에서 이러한 차이는 신속점도 측정계를 이용한 측정이 기존 호화특성 분석에 비해서 시료 양과 분석 시간 절약에 대한 장점이 있지만(Balet et al. 2019), 호중과 중모2012의 최고점도는 메성인 다른 품종에 비해서 낮았는데 이러한 결과가 상관관계에 영향을 미친 것으로 보인다. 부분찰밀의 상이한 신속점도 측정계 분석 결과에 대해서는 이들 품종의 특성에서 기인한 것인지 새로운 신속점도측정계 분석 프로파일 이 필요한지에 대해서는 추가적인 연구가 필요하다.

국수 식미와 상관관계 역시 찰밀의 특이적으로 낮은 경도와 탄성 때문에 찰밀을 포함했을 경우와 그렇지 않은 경우의 상관관계가 차이가 있었으며, 찰밀을 제외한 국수 식미에서는 경도는 아밀로스 함량($r=0.53**$) 및 최저점도($r=0.49**$)와 정의 상관관계를 보였다. 국수의 탄성은 아밀로스 함량($r=0.69***$)과 정의 상관을 보이고, 팽윤부피($r=-0.48**$)와 팽윤력($r=-0.54**$)은 부의 상관을 나타내었으며, 국수의 응집성은 전분 특성과 상관이 없는 것으로 나타났다. 찰밀을 제외한 밀 품종에서는 국수 경도와 탄성은 주로 단백질 함량과 질적 특성에 영향을 받지만 아밀로스 함량이 낮을수록 높아지는 경향이 있기 때문에 전분의 팽윤 특성 및 호화 특성 중에서 최고점도와 breakdown과는 부의 상관을 나타내었다. 국수의 응집성도 단백질과 전분 특성이 동시에 영향을 미치지만 찰밀 이외에는 전분 특성에 따른 차이는 크게 나타나지 않는다(Graybosch 1998, Hung et al. 2006, Baik 2010).

Table 6. Correlation coefficients among flour characteristics, starch pasting properties and texture of cooked noodles of Korean wheats.

Parameter	Type ^z	Texture profile of cooked noodles		
		Hardness	Springiness	Cohesiveness
Amylose	I	0.91*** ^y	0.95***	-0.54**
	II	0.53**	0.69***	0.06
Damaged starch	I	-0.47**	-0.48**	0.41*
	II	0.07	0.10	0.13
Starch granule size	I	-0.37*	-0.35*	0.35*
	II	-0.10	0.04	0.12
Water retention capacity	I	-0.67***	-0.77***	0.48**
	II	0.10	-0.19	-0.12
Swelling volume	I	-0.81***	-0.90***	0.42**
	II	-0.11	-0.48**	-0.17
Swelling power	I	-0.86***	-0.93***	0.62***
	II	-0.22	-0.54**	0.28
Peak viscosity	I	-0.49**	-0.60**	0.46**
	II	0.44*	0.19	0.11
Holding viscosity	I	0.86***	0.82***	-0.49**
	II	0.49**	0.28	0.00
Final viscosity	I	0.86***	0.85***	-0.52**
	II	0.32*	0.10	0.04
Breakdown	I	-0.87***	-0.90***	0.59***
	II	-0.21	-0.23	0.23
setback	I	0.65***	0.69***	-0.46**
	II	-0.31*	-0.32*	0.08

^zType I, 33 of Korean wheats cultivars including the waxy varieties; II, 31 of Korean wheat cultivars without the waxy varieties.

^y*, ** and *** are significant at $p<0.05$, $p<0.01$ and $p<0.001$, respectively

이러한 특성 외에도 국수 면대 제조 특성도 중요한 요인인데, 가수량, 반죽 발효 및 면대 생성 조건 등이 영향을 미친다(Fu 2008, Baik 2010). 그러므로 본 연구의 고정 가수량을 포함한 국수 면대 제조 특성이 영향을 미쳤을 것으로 보이며, 이러한 특성과 국내의 다양한 국수 제조 방법을 고려한 한국형 평가 시스템 구축에 대한 연구도 지속적으로 필요하다.

전분 특성과 국수 식미에 영향을 미치는 요인에 대한 분석은 Fig. 1에서 보는 바와 같다. 전체 품종(Fig. 1-A)과 찰밀을 제외한 품종(Fig. 1-B)의 주요인 분석 결과, 전체 품종의 전분 및 국수 식미 특성은 주요인 1 (68.8%)과 2 (9.8%)로 78.6% 설명이 가능하였고, 찰밀 제외한 품종에서는 주요인 1 (33.9%)과 2 (17.3%)로 51.2% 설명 가능하였다. 국수 경도와 탄성은 찰밀 포함 여부와 상관없이 아밀로스 함량과 최종점도와 상관이 높았으며, 국수 탄성과 팽윤력과는 부의 상관을 나타내었다. 전체 품종에서는 최고점도와 팽윤특성이 강한 상관을 보였지만, 찰밀을 제외한

경우에는 호화특성은 아밀로스와 상관이 있는 것으로 나타났다. 전분 입자 크기, 손상전분 함량 및 수분 흡수력 간에는 높은 상관을 보였고, 전체 품종에서는 국수의 응집성과 상관이 있었고, 찰밀을 제외한 품종에서는 팽윤부피와 상관이 있지만 전분 특성 및 국수 식미와 구별되는 특성을 보였다. 전체 품종에서 찰밀은 다른 품종과 구별되는 특성을 보이는 것으로 나타났고, 중모2012는 찰밀을 제외한 다른 품종보다 높은 팽윤력과 국수 응집성을 보이는 것으로 나타났다. 이러한 주요인 분석 결과를 통하여 아밀로스 함량이 전분의 팽윤 및 호화 특성과 상관이 높으며, 국수 식미에도 영향을 미치는 것으로 나타났고 이러한 결과는 이전 결과와 일치한다(Cho et al. 2019a). 종실경도와 상관이 있는 손상전분 함량과 수분흡수력은 전분 및 국수 식미와 상관이 없는 것으로 나타났으며, 이러한 결과는 puroindoline의 유전적 조성이 이들 특성에는 큰 영향이 없었다. 중모2012는 좋은 팽윤 특성과 국수 응집성을 보였기 때문에 부분찰밀 육성은 호중보다

Fig. 1. Scattered diagram of measured traits and values of principal component 1(PC1) and 2 (PC2) based on parameters to starch properties of Korean wheat cultivars (A) and Korean wheat excluding waxy wheat (B). Abbreviations are defined as Amy, amylose; DS, damaged starch; WRC, water retention capacity; SGS, starch granule size; SV, swelling volume; SP, swelling power; PV, peak viscosity; HV, holding viscosity; FV, final viscosity; NH, hardness of cooked noodles; NS, springiness of cooked noodles; NC, cohesiveness of cooked noodles; 1, Alchan; 2, Anbaek; 3, Baekjoong; 4, Chungye; 5, Dahong; 6, Dajoong; 7, Eunpa; 8, Geuru; 9, Gobun; 10, Goso; 11, Hanbaek; 12, Hojoong; 13, Jeokjoong; 14, Jinpoom; 15, Joa; 16, Joeun; 17, Jokyoung; 18, Jonong; 19, Joongmo2012; 20, Jopoom; 21, Keumkang; 22, Milsung; 23, Namhae; 24, Ol; 25, Olgeuru; 26, Saeol; 27, Shinmichal; 28, Shinmichal1; 29, Suan; 30, Sudun; 31, Tapdong; 32, Uri; 33, Younbaek.

는 중모2012와 같은 *Wx-1*의 유전자좌에서 2개의 단백질이 결여된 부분찰밀(double-null partial waxy wheat) 계통 선발이 유용할 것으로 판단되며, *Wx-1* 표지인자를 통한 마커검정을 국내 밀 육종 분야 선발과 품종 개발에 적극적인 활용이 필요하다.

적 요

본 연구는 국수 식미 개선을 위해서 국수 식미에 영향을 주는 전분 특성과 전분 생합성에 관여하는 *Wx-1* 유전자와 종실경도 및 관련 특성에 영향을 미치는 *puroindoline*의 유전적 조성을 평가하였다. 국내 밀 33개 품종의 *Wx-1*과 *puroindoline* 유전조성과 전분 팽윤 및 호화 특성을 평가하였고, 국수를 제조하여 물성을 분석하였다. *Wx-1* 유전자좌에서 단백질 발현이 없는 찰밀은 다른 밀 품종과 구별되는 높은 팽윤력과 높은 호화점도 및 *breakdown*과 전분 투과도를 보였으며, 이러한 특이적인 전분 특성의 영향으로 삶은 국수 가공 적성이 부적합하였다. 연질밀 특성을 지닌 2개의 부분찰밀은 메성 품종의 전분 특성과 유사한 특성을 보였지만 부드러운 국수 식미를 나타내었다. 종실 경·연질 특성과 상관이 있는 *puroindoline*의 유전적 조성은 전분 특성 및 국수 식미에 영향이 없었다. 주성분 분석 결과, 찰밀을 제외한 국내 밀 품종에서는 아밀로스 함량이 낮을수록 전분의 팽윤력이 높아졌고, 삶은 국수의 탄성과 응집성은 아밀로스 함량 및 전분의

팽윤 특성에 영향을 받는 것으로 나타났으며, 중모2012는 높은 팽윤력과 국수 응집성을 보였다. 중모2012와 같은 부분찰밀이 나타내는 이러한 결과는 향후 국산밀 국수 식미 개선을 위해 활용가치가 높다.

사 사

본 연구는 본 연구는 농촌진흥청 연구사업(세부과제명: 대사 질환 개선 관련 다양한 가공 가능 고아밀로스 육종소재 창출: PJ01514901)에 의해 이루어진 것임.

REFERENCES

1. Ali R, Khan MS, Sayeed SA, Ahmed R, Saeed SMG, Mobin L. 2014. Relationship of damaged starch with some physicochemical parameters in assessment of wheat flour quality. *Pak J Bot* 46: 2217-2225.
2. American Association of Cereal Chemists International. 2010. Approved Methods of Analysis, 11th Ed. Methods 08-01.01, 26-31.01, 44-15.02. 46-30.01 Available online only. AACCI: St. Paul, MN, USA.
3. Baik BK, Park CS, Paszczynska B, Konzak CF. 2003. Characteristics of noodles and bread prepared from double

- null partial waxy wheat. *Cereal Chem* 80: 627-633.
4. Baik BK. 2010. Effects of flour protein and starch on noodle quality. pp. 261-284. In Hou GG (Ed), *Asian noodles science, technology, and processing*. John Wiley & Sons, Hoboken, NJ, USA.
5. Balet S, Guelpa A, Fox G, Manley M. 2019. Rapid Visco Analyser (RVA) as a tool for measuring starch-related physicochemical properties in cereals: A review. *Food Anal Methods* 12: 2344-2360.
6. Bello-Pérez LA, Paredes-López O. 1996. Starch and amylopectin-effects of solutes on clarity of pastes. *Starch* 48: 205-207.
7. Bettge AD, Giroux MJ, Morris CF. 2000. Susceptibility of waxy starch granules to mechanical damage. *Cereal Chem* 77: 750-753.
8. Chakraborty M, Matkovic K, Grier DG, Jarabek EL, Berzonsky WA, McMullen MS, Doeblert DC. 2004. Physicochemical and functional properties of tetraploid and hexaploid waxy wheat starch. *Starch* 56: 339-347.
9. Chen F, He Z, Chen D, Zhang C, Zhang Y, Xia X. 2007. Influence of puroindoline alleles on milling performance and qualities of Chinese noodles, steamed bread and pan bread in spring wheats. *J Cereal Sci* 45: 59-66.
10. Cho E, Kim JE, Baik BK, Chun JB, Ko H, Park CS, Cho SW. 2019b. Influence of physicochemical characteristics of flour on pancake quality attributes. *J Food Sci Technol* 56: 1349-1359.
11. Cho SW, Ko HS, Kim C, Kang C, Park CS. 2019a. Effect of flour color and starch pasting properties on color of noodle dough sheet and texture of cooked noodles in Korean wheat cultivars. *Intl J Agric Biol* 21: 271-281.
12. Choi CH, Park JH, Mo YJ, Kim KM, Kim KH, Kang CS, Park TI, Cho SW, Park CS. 2020. Effect of heterozygous genotypes at the *Pinb-D1* loci on physicochemical properties of flour and end-use quality. *Korean J Breed Sci* 52: 131-139.
13. Craig SAS, Maningat CC, Seib PA, Hosney RC. 1989. Starch paste clarity. *Cereal Chem* 66: 173-182.
14. Crosbie GB, Osborne BG, Wesley IJ, Adriansz TD. 2007. Screening of wheat for flour swelling volume by near-infrared spectroscopy. *Cereal Chem* 84: 379-383.
15. Czuchajowska Z, Pomeranz Y. 1993. Protein concentrates and prime starch from wheat flours. *Cereal Chem* 70: 701-706.
16. Fu BX. 2008. Asian noodles: History, classification, raw materials, and processing. *Food Res Intl* 41: 888-902.
17. Gautier MF, Aleman ME, Guirano A, Marion D, Joudrier P. 1994. *Triticum aestivum* puroindolines, two basic cysteine-rich seed proteins: cDNA sequence analysis and developmental gene expression. *Plant Mol Biol* 25: 43-57.
18. Gibson TS, Al Qalla H, McCleary BV. 1992. An improved enzymic method for the measurement of starch damage in wheat flour. *J Cereal Sci* 15: 15-27.
19. 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.
20. Graybosch RA. 1998. Waxy wheats: Origin, properties, and prospects. *Trends Food Sci Technol* 9: 135-142.
21. Guo G, Jackson DS, Graybosch PA, Parkhurst AM. 2003. Asian salted noodle quality: Impact of amylose content adjustments using waxy wheat flour. *Cereal Chem* 80: 437-445.
22. Guzmán C, Alvarez J. 2016. Wheat waxy proteins: polymorphism, molecular characterization and effects on starch properties. *Theor Appl Genet* 129: 1-16.
23. Hamed AM, Ozsisi B, Ohm JB, Simsek S. 2015. Relationship between solvent retention capacity and protein molecular weight distribution, quality characteristics, and breadmaking functionality of hard red spring wheat flour. *Cereal Chem* 92: 466-474.
24. Hung PV, Maeda T, Morita N. 2006. Waxy and high-amylose wheat starches and flours-characteristics, functionality and application. *Trends Food Sci Tech* 17: 448-456.
25. Jung TH, Kim JY, Baik BK, Park CS. 2015. Physicochemical and thermal characteristics of starch isolated from a waxy wheat genotype exhibiting partial expression of *Wx* proteins. *Cereal Chem* 92: 14-21.
26. Kang CS, Jeung JU, Baik BK, Park CS. 2012. Effects of allelic variations in *Wx-1*, *Glu-D1*, *Glu-B3*, and *Pinb-D1* loci on flour characteristics and white salted noodle-making quality of wheat flour. *Cereal Chem* 89: 296-306.
27. Kang CS, Park CS, Park JC, Kim HS, Cheong YG, Kim KH, Kim KJ, Park KH, Kim JG. 2010a. Flour characteristics and end-use quality of Korean wheat cultivars I. Flour characteristics. *Korean J Breed Sci* 42: 61-74.
28. Kang CS, Park CS, Park JC, Kim HS, Cheong YG, Kim KH, Kim KJ, Park KH, Kim JG. 2010b. Flour characteristics and end-use quality of Korean wheat cultivars II. End-use properties. *Korean J Breed Sci* 42: 75-86.
29. Kim JE, Cho SW, Kim HS, Kang CS, Choi YS, Choi YH, Park CS. 2017a. Evaluation of starch properties of Korean wheat cultivars. *Korean J Breed Sci* 49: 1-9.

30. Kim JE, Cho SW, Kim HS, Kang CS, Choi YS, Choi YH, Park CS. 2017b. Utilization of Mixolab for quality evaluation in Korean wheat breeding programs. *Korean J Breed Sci* 49: 10-22.
31. Kim W, Johnson JW, Graybosch RA, Gaines CS. 2003. Physicochemical properties and end-use quality of wheat starch as a function of waxy protein alleles. *J Cereal Sci* 37: 195-204.
32. Ma D, Zhang Y, Xia XC, Morris CF, He ZH. 2009. Milling and Chinese raw white noodle qualities of common wheat near-isogenic lines differing in puroindoline b allele. *J Cereal Sci* 50: 126-130.
33. Mahmood T, Turner MA, Stoddard FL. 2007. Comparison of methods for colorimetric amylose determination in cereal grains. *Starch* 59: 357-365.
34. Morgan JE, Williams PC. 1995. Starch damage in wheat flours: A comparison of enzymatic, iodometric, and near-infrared reflectance techniques. *Cereal Chem* 72: 209-212.
35. Morris CF, Bhavé M. 2008. Reconciliation of D-genome puroindoline allele designations with current DNA sequence data. *J Cereal Sci* 48: 277-287.
36. Nakamura T, Vrinten P, Saito M, Konda M. 2002. Rapid classification of partial waxy wheats using PCR-based markers. *Genome* 45: 1150-1156.
37. Park CS, Baik BK. 2002. Flour characteristics related to optimum water absorption of noodle dough for making white salted noodles. *Cereal Chem* 79: 867-873.
38. Park CS, Hong BH, Baik BK. 2003. Protein quality of wheat desirable for making fresh white salted noodles and its influences on processing and texture of noodles. *Cereal Chem* 80: 297-303.
39. Park CS, Kang CS, Cheong YK, Jung WS, Woo SH. 2010. Influence of puroindoline genotypes on grain characteristics, physicochemical properties of flour and end-use quality of Korean wheats. *Breeding Sci* 60: 233-242.
40. Park CS, Peña RJ, Baik BK, Kang CS, Heo HY, Cheong YK, Woo SH. 2009. Allelic variation of glutenin, granule-bound starch synthase I and puroindolines in Korean wheat cultivar. *Korean J Crop Sci* 54: 181-191.
41. Park CS, Baik BK, Hong BH. 2003. Genotypic and environmental effects on flour properties in Korean winter wheat. 2002. *Kor J Crop Sci* 47: 1-12.
42. Pasha I, Anjum FM, Morris CF. 2010. Grain hardness: A major determinant of wheat quality. *Food Sci Tech Intl* 16: 511-122.
43. Peng M, Gao M, Abdel-Aal ESM, Hucl P, Chibbar RR. 1999. Separation and characterization of A- and B-type starch granules in wheat endosperm. *Cereal Chem* 76: 375-379.
44. RDA. 2012. Standard of research and analysis for agricultural technology. pp. 339-365.
45. Sasaki T, Matsuki J. 1998. Effects of wheat starch structure on swelling power. *Cereal Chem* 75: 525-529.
46. Siah S, Quail KJ. 2018. Factors affecting Asian wheat noodle color and time-dependent discoloration-A review. *Cereal Chem* 95: 189-205.
47. Sollars WF. 1973. Fractionation and reconstitution techniques for studying water-retention properties of wheat flours. *Cereal Chem* 50: 708-716.
48. Takata K, Yanaka M, Fujita Y, Ishikawa N. 2007. Evaluation of the grain and flour quality in near-isogenic wheat lines with waxy and double-null *Wx* proteins. *Breeding Sci* 57: 79-83.
49. Wischmann B, Blennow A, Madsen F, Jørgensen K, Poulsen P, Bandsholm O. 2005. Functional characterisation of potato starch modified by specific in planta alteration of the amylopectin branching and phosphate substitution. *Food Hydrocoll* 19: 1016-1024.
50. 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 Agric Res* 57: 531-535.
51. Yin YA, Qi JC, Li WH, Cao LP, Wang ZB. 2012. Formation and developmental characteristics of A-and B-type starch granules in wheat endosperm. *J Integr Agric* 11: 73-81.