국내 밀 품종의 전분 관련 특성 평가

김지은¹ · 조성우¹ · 김학신² · 강천식² · 최용석³ · 최용현³ · 박철수^{1*}

¹전북대학교 농업생명과학대학 작물생명과학과, ²국립식량과학원, ³사조 동아원(주) 중앙연구소

Evaluation of Starch Properties of Korean Wheat Cultivars

Ji-Eun Kim¹, Seong-Woo Cho¹, Hak Sin Kim², Chon-Sik Kang²,

Yong-Suk Choi³, Yong-Hyun Choi³, Chul Soo Park^{1*}

¹Department of Crop Science and Biotechnology, Chonbuk National University, Jeonju 54896, Korea

²National Institute of Crop Science, RDA, Wanju, 55365, Korea

³R&D Center, Sajo DongaOne Co., Ltd, Dangjin, 31703, Korea

Abstract : This study was executed to establish a basis of evaluation of starch properties of Korean wheat cultivars *e.g.* damaged starch, swelling, and pasting properties for Korean wheat breeding program. Damaged starch is critical evaluation factor for flour milling related industry because it influences water absorption and color of dough for processing quality and preference of end-use products. The present results revealed that there was significantly high positive correlation between the results of damaged starch analysis by amperometric (SD-matic) and enzymatic (Megazyme assay) methods. Evaluation of damaged starch must be considered as one factor to evaluate properties of starch due to its accuracy and a stable efficiency for the wheat breeding program. Properties of swelling and pasting of dough were important for cooking time and texture. Nevertheless, it was impossible to evaluate starch extracted from flour in the wheat breeding program *i.e.* small amount of flour or small number of spikes. Comparison of results of evaluation of properties of swelling and pasting with starch or flour, the evaluation using flour positively correlated with the other evaluation using starch. In addition, swelling evaluation must be considered to apply for the wheat breeding program because the result of evaluation of swelling property, which possible to evaluate with low efficiency, and the quantity of a sample is highly under positive correlation with paste peak viscosity. In the future, studies using NIR (Near Infrared) analysis must be necessary to evaluate starch properties with grains in early generation lines for improvement of wheat breeding program.

Keywords : Flour, Starch, Damaged Starch, Swelling, Pasting.

서 언

국내 밀 소비량은 쌀 다음으로 많지만 자급률은 1% 미만으로 연간 약 210만톤을 수입하고 있다(농업통계연감 2015). 최근 들어 식량자급률 제고와 안전먹거리에 대한 관심이 높아짐에 따라 국산밀에 대한 관심은 높아지고 있지만, 수입밀에 비하여 국산밀의 가격과 품질의 한계를 극복하는 것이 중요하다. 특히, 품질의 향상과 균일성 확보는 국산밀 소비 활성화를 위해 반드시 고려해야 할 사항이다. 주요 밀 수출국의 경우, 육종 프로그램을 통한 용도에 맞는 초기 계통을 선발과 혼합(Blending)을 통해서

균일성이 좋고 품질이 우수한 가공제품을 생산하는 산업 시스템을 갖추고 있다. 그러므로 국산밀 품질 향상을 통한 소비 확대가 중요하며 이를 위해서는 육종 선발 효율성 증진을 육종 프로그램과 산업체간의 연계가 필요하다.

수입 밀가루는 원맥을 수입하여 국내 제분회사에서 제분하며, 밀 육종 프로그램에서 수행되는 제분 과정과 원리는 같지만 제분 규모와 세부 과정은 다른 점이 많다. 밀 육종 프로그램에서는 단일 품종이나 계통의 제분율(Flour Yield) 위주 평가가 이루어지지만, 산업체에서는 유사한 용도를 지닌 여러 품종군(Class) 별로 수많은 분획에 대한 선택 및 회분과 입도 분석을 통하여 혼합 비율을 결정하는 복잡한 과정을 포함하고 있다(Bass 1988).

제분율은 종실경도(Kernel Hardness)에 의해서 결정되기 때문에 일반적으로 경질밀(Hard Wheat)이 연질밀(Soft Wheat)에

*Corresponding Author (E-mail: pcs89@jbnu.ac.kr, Tel: +82-63-270-2533, Fax: +82-63-270-2640)

(Received on February 4, 2017. Accepted on February 8, 2017.)

비해 제분율이 높으며 밀가루 입자가 거칠다(Bass 1988). 손상전분(Damaged Starch)은 제분 과정에서 원맥과 제분기 롤러의 물리적인 힘에 대한 저항성으로 발생을 하는데, 일반적으로 경질 밀 일수록 종실경도가 높아져 그로 인해 기계적 저항이 높아 손상 전분량이 많은 경향이 있으며, 손상된 전분은 발효과정에서 전분이 쉽게 당으로 전환되어 이스트의 발효에 도움을 주기 때문에 빵용 밀의 경우 일정량의 손상전분이 필요하다. 그럼에도 손상전분량이 많은 경우 밀가루의 수분 흡수량이 증가하고 선택이 어두워지는 단점 등이 있다(Mailhot & Patton 1988). 이러한 이유로, 산업체에서는 밀가루의 손상전분 함량이 가공적성이나 제품의 선호도에 영향을 미치는 요인이기 때문에 중요하게 평가를 하는 반면, 육종 프로그램에서 수행되는 실험실 수준의 손상전분 함량 측정은 번거로운 측면이 있어서 평가 항목에서 제외되는 경우가 많다. 제분회사에서는 분획별로 밀가루별로 기계를 이용하여 기본 항목으로 손상전분 함량에 대한 지속적인 평가가 이루어지고 있지만, 국내 밀 육종 프로그램에서는 전분 특성 평가를 실시하는 경우에 한하여 효소법을 이용하여 평가한다.

전분은 밀 저장 물질의 대부분을 차지하고 있기 때문에 밀의 가공적성에서 단백질 특성만큼 중요하다. 물과 결합한 전분이 가열에 의해서 부피가 커지는 팽윤(Swelling)현상을 통하여 점성을 얻게 되고, 이러한 전분의 특성은 가공제품의 식미에 영향을 주게 된다(Sandstedt & Mattern 1960, Lineback & Rasper 1988). 전분의 이러한 특성은 주로 아밀로스 함량에 의해서 결정되는데, 일반적으로 아밀로스 함량이 낮아질수록 팽윤 부피가 커지고, 호화(Pasting)시 최고점도(Peak Viscosity)가 높아진다. 국수는 삶는 시간이 줄어들고, 삶은 국수의 경도(Hardness)가 낮아지고 점도(Cohesiveness)가 높아지며, 빵은 속질(Crumb)의 경도(Firmness)가 낮아지고 노화(Staling)가 지연되는 것으로 알려져 있다(Crosbie et al. 1992, Graybosch 1998, Hou 2001, Baik & Lee, 2003, Baik et al. 2003, Guo et al. 2003, Park & Baik 2004). 정확한 전분 특성 평가를 위해서 밀가루에서 전분을 추출하여 평가해야 하지만 육종 프로그램에서는 노력 및 시간 절감을 위하여 밀가루를 이용한 평가가 이루어지고 있다. 국내 밀 품종이나 계통에 대해서는 이에 대한 정확한 정보가 없는 실정이다. 그러므로 본 연구에서는 손상전분에 대한 산업체의 평가 방법과 육종 프로그램에서 수행하는 실험실 수준의 평가 방법을 비교 분석하고, 전분의 팽윤 및 호화 특성을 비교 분석하여 국내 밀 육종 프로그램에서 효과적으로 이용이 가능한지를 평가하고자 수행하였다.

재료 및 방법

공시재료

본 연구에 사용된 재료는 농촌진흥청 국립식량과학원 증식 포장에서 전작조건으로 2014년과 2015년에 재배한 종실을 이용하였다. 원맥은 Buhler mill (MLU-202, 스위스)을 이용하여 AACC International Approved Method 26-31.01. (2010)에 준하여 제분하였고, 제분된 밀가루는 10℃ 저온실에 보관하여 실험에 사용하였다.

밀가루 특성 분석

밀가루의 수분, 단백질과 회분 함량은 각각 AACCI Approved Methods 44-15.02, 46-30.01과 08-01.01 (2010)에 준하여 측정하였다. 밀가루의 입자 크기는 multi-wavelength laser particle size analyzer LS13320 (Beckman Coulter Inc., 미국)을 이용하여 측정하였으며, 밀가루의 밝기는 Minolta JS-555 (Minolta Camera Co., Ltd, 일본)을 이용하여 측정하였다. 손상전분 함량은 2가지 방법으로 측정하였는데, 첫 번째는 Gibson 등 (1997)의 방법에 준하여 enzymatic assay kits (MegaZyme Pty. Ltd., 호주)를 사용하여 측정하였고, 두 번째는 SD matic (Chopin Co., 프랑스)를 이용하여 측정하였다. 전분함량은 McCleary 등(1997)의 방법에 따라 MegaZyme Kit(MegaZyme Pty. Ltd., 호주)를 이용하여 측정하였고, 아밀로스 함량은 Williams 등 (1970)의 방법에 따라 측정하였다.

전분 특성 분석

전분은 Czuchajowska & Pomeranz(1993)의 방법에 준하여 추출하였으며, 밀가루와 전분의 팽윤 (Swelling) 특성은 부피(volume)와 무게(power)로 평가하였는데, 측정 방법은 Crosbie (1991)과 Crosbie & Lambe (1993) 방법을 따랐으며, 찰밀 측정은 증류수 대신 0.1% AgNO₃를 이용하였다. 밀가루와 전분의 호화특성은 Micro Visco-Amylo-Graph (Brabender GmbH, Co., 독일)를 사용하여 측정하였다. 밀가루 (7g, 14% 수분함량 기준)와 전분 (5g, 14% 수분함량 기준)을 Amylograph 용기에 넣고 증류수 100 ml를 첨가한 다음 현탁액을 만들어 Micro Visco-Amylo-Graph에 넣은 뒤 110 rpm으로 교반되는 현탁액 용기를 30℃에서 95℃까지 1분에 7.5℃씩 온도를 올려 주고, 5분간 유지한 후 1분에 7.5℃씩 50℃까지 온도를 내려준 후 2분간 유지하면서 온도에 따른 전분 현탁액의 최고점도(peak viscosity), 최고점도에서 최저점도를 뺀 값(breakdown), 최종

Table 1. Effects of year, genotype and their interactions on flour characteristics, and swelling and pasting properties of flour and starch of 15 Korean wheat cultivars.

Source of variation	DF	<i>F-value</i> ^a							
		Flour Yield	Ash	Particle Size	Damaged Starch		Lightness	Total Starch	Amylose
					Megazyme	SD-matic			
Genotype (G)	1	68.0***	78.6***	132.0***	492.0***	13.6**	171.7***	343.7***	56.7***
Year (Y)	14	87.3***	81.1***	1594.0***	594.9***	746.7***	59.8***	109.1***	510.4***
G × Y	14	16.5***	24.5***	119.3***	71.0***	161.0***	23.3***	54.5***	4.4***

Source of variation	DF	<i>F-value</i>						
		Amylogram of Flour					Flour	
		Peak Viscosity	Holding Strength	Final Viscosity	Breakdown	Setback	Swelling Volume	Swelling Power
Genotype (G)	1	172.7***	0.9	1.4	416.4***	0.7	249.1***	47.0***
Year (Y)	14	3664.1***	582.2***	175.1***	3019.9***	158.9***	987.5***	244.8***
G × Y	14	18.7***	4.9***	12.3***	29.0***	9.9***	40.5***	7.1***

Source of variation	DF	<i>F-value</i>					Starch	
		Amylogram of Starch					Swelling Volume	Swelling Power
		Peak Viscosity	Holding Strength	Final Viscosity	Breakdown	Setback	Swelling Volume	Swelling Power
Genotype (G)	1	1.3	477.5***	27.9***	91.0***	6.8*	8.9**	297.6***
Year (Y)	14	3929.7***	1045.4***	373.7***	2320.5***	264.4***	447.9***	784.2***
G × Y	14	19.6***	34.8***	43.6***	7.8***	46.0***	7.6***	17.7***

^a*, ** and *** are significant at $P = 0.05$, $P = 0.01$ and $P = 0.001$, respectively.

점도에서 최저점도를 뺀 값(setback)을 측정하였다. 찰밀은 증류수 대신 0.1% AgNO₃를 이용하였다.

통계분석

모든 분석은 최소한 3회 이상 분석하였으며, 통계 분석은 SAS computer software package (SAS Institute, 미국)을 이용하여 분석하였다. 분산분석은 PROC GLM을 이용하였고, 연차간 요인 분석은 오차항을 이용하였다. 상관 관계는 Pearson's correlation coefficients를 이용하여 $P < 0.05$ 수준에서 검정하였다.

결과 및 고찰

손상전분 분석 방법 비교

2007년과 2008년에 평가한 손상 전분과 관련된 특성에 대한 분산 분석 결과를 살펴보면(Table 1), 밀가루 입자 크기와 아밀로스 함량은 품종 변이가 85%이상을 나타내고 있으며, 밀가루 색 밝기와 전분 함량은 연차간 변이가 품종간 변이보다 높게 나타났다. 제분율과 회분 함량은 연차간 변이와 품종간 변이가 비슷한 비율로 나타났으며, 회분과 전분 함량은 연차와 품종간 상호작용에 대한 변이가 10%이상으로 다른 형질 보다 높게

나타났다. 두 해 동안 수행된 국내 밀 26 품종에 대한 제분율, 효소 반응을 통한 손상전분 함량, 밀가루 입자 크기와 회분 함량 역시 연차간 및 품종간 상호작용 보다는 연차간 변이와 품종간 변이가 큰 것으로 나타났다(Shin et al. 2012).

손상 전분 함량은 산업체에서 기기 (SD-matic) 평가하는 방법은 품종간 변이가 81%로 높았지만, 실험실에서 수행되는 효소 반응 방법은 연차간 변이와 품종간 변이가 비슷한 수준으로 나타났다. 하지만 이전 결과에서는 효소 반응을 이용한 손상전분 함량의 변이도 주로 품종간 변이에 영향을 받는 것으로 나타났다(Shin et al. 2012). 이러한 결과로 손상전분 함량은 재배환경 보다는 품종의 특성에 영향을 받는 특성으로 생각할 수 있으며, 본 연구에서 평가한 산업체에서 이용하는 방법은 효소 반응으로 측정하는 방법보다 연차간 변이가 적기 때문에 국내 밀 육종프로그램에서 이용이 가능할 것으로 생각한다. 밀가루의 이화학적 특성에 대한 유전 및 환경적 변이에 대한 연구는 외국의 경우 많은 연구가 이루어졌으며(Schuler et al. 1995, Gaines et al. 1996, Triboi et al. 2000, Souza et al. 2004, Malika et al. 2013), 국내 품종에서도 비슷한 경향을 나타내는 특성도 있고 반대의 경우를 나타내는 경우도 있는데, 국내 육종 프로그램 재배 환경에서 유전력이 높은 선발 형질 평가를 위해서는 이들 형질에 대한 지속적인 평가가 필요하다.

Table 2. Flour characteristics of 15 Korean wheat cultivars.

Cultivar	Flour Yield (%)	Ash (%)	Particle Size (μm)	Damaged Starch (%)		Lightness	Total Starch (%)	Amylose (%)
				Megazyme	SD-matic			
2014	69.24a	0.44a	64.80b	4.70a	5.01a	93.63a	69.57b	23.69b
2015	67.76b	0.42b	66.95a	3.83b	4.92b	93.12b	71.98a	25.01a
Baekchal	67.28	0.47	74.88	5.71	4.90	93.01	70.09	6.46
Baekjoong	71.02	0.45	79.08	6.10	6.12	92.67	70.42	28.20
Goso	67.14	0.39	50.78	2.35	4.18	94.43	69.21	29.25
Hojoong	66.74	0.39	52.84	2.73	3.91	93.78	70.38	22.50
Joa	63.96	0.38	42.55	2.51	3.75	94.14	71.33	28.16
Jojoong	67.42	0.41	74.37	7.64	6.42	92.82	67.49	27.78
Jokyung	72.81	0.45	75.79	5.24	5.35	93.35	73.67	28.98
Joongmo2008	70.94	0.47	70.68	4.00	4.87	92.70	64.19	27.79
Joongmo2012	67.69	0.42	50.04	2.38	3.62	94.06	73.07	20.50
Jopoom	67.89	0.44	67.72	2.46	4.12	92.78	73.81	28.16
Keumkang	73.64	0.44	75.94	3.71	4.33	93.08	70.72	26.62
Shinmichall	66.15	0.45	85.44	6.56	7.96	93.15	68.96	6.29
Suan	69.83	0.45	66.48	4.68	5.26	93.30	73.53	27.11
Uri	62.35	0.40	41.36	2.12	3.99	94.18	72.09	29.14
Younbaek	72.59	0.46	80.22	5.80	5.70	93.18	72.64	28.30
LSD [†]	0.99	0.01	1.03	0.21	0.12	0.22	0.71	0.96

[†]Least significant difference ($P < 0.05$).

Table 3. Coefficient of correlation among flour characteristics and damaged starch content.

Parameters	Flour Yield	Ash	Particle Size	Lightness	Total Starch	Amylose
Mega ^a	0.367	0.543 ^{*b}	0.825***	-0.672**	-0.273	-0.317
SD-Matic	0.218	0.478	0.782***	-0.559*	-0.284	-0.378

^aMega and SD-Matic indicate damaged starch was determined by Gibson et al (1992) and SD-meter (Chopin, France), respectively.

^b*, ** and *** are significant at $P = 0.05$, $P = 0.01$ and $P = 0.001$, respectively.

제분율, 회분함량, 밀가루색 밝기는 2014년에 평가한 품종의 값이 높았으며, 밀가루 입자 크기, 전분 함량과 아밀로스 함량은 2015년 수확 품종의 값이 높았다(Table 2). 제분율은 평균 68.50%였으며, 경질밀 특성을 나타내는 품종은 70%이상으로 연질밀 특성을 나타내는 품종에 비하여 높았다. 찰밀의 경우 모두 경질밀 특성을 나타내지만 67% 수준으로 보통 경질밀에 비하여 제분율이 낮았는데 이러한 결과는 이전 결과와 같은 경향이였다(Kang et al. 2012). 회분과 전분 함량은 각각 0.38-0.47%와 64.19-73.81% 범위였으며, 찰밀은 높은 회분 함량과 낮은 전분 함량을 나타내었는데 이러한 결과는 이전 보고와 일치하였다(Kang et al. 2012). 밀가루 입자의 크기는 경질밀이 연질밀보다 높게 나타났으며, 이러한 특성은 종실경도와 높은 상관성이 있는 것으로 알려져 있다. 아밀로스 함량은 보통 밀의 평균값은 28.14%였지만 부분 찰성 밀인 호중밀과 중모 2012는 각각 22.50%와 20.50%로 낮았으며, 백찰밀과 신미찰 1호는 각각 6.46%와 6.29%로 낮았는데 이러한 경향은 아밀로스

생합성에 관여하는 GBSSI(Granule Bound Starch Synthase I)의 결핍에 의한 것이다(Graybosch 1998).

손상전분 함량은 측정 방법에 상관 없이 2014년 수확 품종이 2015년 수확분에 비하여 높게 나타났으며, 효소 반응으로 평가한 방법의 평균값은 4.27%였으며, 기계로 측정한 경우는 4.96%로 약간 높게 나타났다. 연질밀의 경우 조중밀을 제외하고는 효소반응에서는 2% 수준으로 나타났고, 기계로 측정하였을 때는 4% 수준으로 나타났다. 경질밀의 경우는 5% 이상으로 높게 나타났으며, 이러한 특성은 아밀로스 함량에 영향을 받지 않기 때문에 찰밀이나 부분 찰성 밀도 종실경도에 따른 값을 나타내었으며, 이전 보고와 일치하였다(Kang et al. 2012). 손상 전분 측정 방법간에는 고도의 정의 상관을 나타내었으며($r = 0.886^{***}$), 밀가루 입자와 정의 상관을 나타내었고, 밀가루 밝기와는 부의 상관을 나타내었다(Table 3). 실험실에서 주로 이용하는 효소 반응 방법은 fungal amylase를 이용해서 손상 전분입자 (Damaged Starch Granule)에서 당(Sugar)을 제거하는 방식으

Table 4. Swelling and pasting properties of flour from 15 Korean wheat cultivars.

Cultivar	Swelling		Amylogram				
	Volume (ml)	Power (g)	Peak Viscosity (BU)	Holding Strength (BU)	Final Viscosity (BU)	Breakdown (BU)	Setback (BU)
2014	19.97a	12.98b	390.02a	248.38a	533.42a	141.69a	285.11a
2015	18.88b	13.42a	365.49b	250.04a	536.98a	115.47b	286.98a
Baekchal	29.12	17.67	867.25	416.50	619.50	450.75	203.00
Baekjoong	16.83	12.19	281.50	202.00	472.00	79.50	270.00
Goso	18.08	12.27	278.00	220.00	543.00	58.00	323.00
Hojoong	21.89	14.00	399.75	267.00	655.00	132.75	388.00
Joa	14.54	11.82	270.42	222.50	553.08	47.92	330.58
Jojoong	17.46	12.61	276.33	214.17	488.42	62.17	274.25
Jokyung	16.63	12.54	247.00	190.00	419.50	57.00	229.50
Joongmo2008	17.29	12.26	277.25	223.00	499.00	54.25	276.00
Joongmo2012	22.24	14.13	419.50	268.50	643.75	151.00	375.25
Jopoom	17.88	12.10	269.25	199.00	476.00	70.25	277.00
Keumkang	18.19	12.32	294.50	208.25	475.00	86.25	266.75
Shinmichal1	27.96	17.72	937.75	473.50	662.75	464.25	189.25
Suan	16.25	11.94	300.50	213.25	508.75	87.25	295.50
Uri	18.46	11.75	270.00	220.50	532.00	49.50	311.50
Younbaek	18.50	12.62	276.00	199.25	478.75	76.75	279.50
LSD [†]	0.38	0.35	10.23	9.77	16.36	7.04	12.43

[†]Least significant difference ($P < 0.05$).

로 평가하고, 산업체에서 이용하는 기계식은 손상된 전분이 iodine을 흡수하는 방식으로 측정하기 때문에 손상전분이 흡수한 iodine 양의 잔류 전류를 측정하는 방식으로 평가한다. 이러한 평가의 차이로 인하여 효소 방법은 밀가루 전분의 특성에 영향을 받지 않지만, 기계식은 전분의 특성, 즉 아밀로스 함량이나 전분 함량에 영향을 받을 수 있는 단점이 있다. 그러나, 효소 분해 방식의 경우 번거롭고 분석에 기술이 필요하고 분석에 비용 지출이 크기 때문에 실제 육종프로그램에서 사용이 되질 않고 있는 실정이다. 그러므로 이러한 단점을 극복하기 위해서 육종 프로그램에서 NIR을 이용한 손상전분 함량 평가 방법이 제시되었는데(Morgan & Williams 1995), 국내에서도 이에 대한 검토가 필요할 것으로 생각한다.

밀가루 및 전분의 팽윤 및 호화 특성 비교

밀가루와 전분을 이용하여 측정된 팽윤 부피(Swelling Volume)와 무게(Swelling Power)에서 전분의 팽윤 무게가 27% 정도 연간변이에 영향을 받는 것으로 나타났지만(Table 1), 밀가루의 품종간 변이가 70%이상으로 높게 나타나서 이들 형질은 주로 품종 변이에 영향을 받는 것으로 생각된다. 밀가루와 전분을 이용하여 측정한 호화 특성 역시 주로 품종 변이에 영향을 받는 것으로 나타났다. 2014년 수확분에서는 밀가루의 팽윤 부피와 전분의 팽윤 무게가 2015년 산에 비하여 높게 나타났다.

팽윤 특성의 경우 호화 특성 평가에 비하여 단순하고 간편하게 평가가 가능하며, 평가 결과가 국수 식미와 높은 정의 상관을 나타내기 때문에 미국과 호주의 국수용 밀 계통 선발에 이용되고 있다(Crosbie 1991, Konik et al. 1993). 반면에 아밀로그래를 이용해서 호화 되는 전과정을 평가하는 호화 특성(Pasting properties)은 팽윤 특성에 비해서 전분 특성에 관련된 다양한 특성을 보여주는 장점이 있다(Ghiasi et al. 1982). 팽윤 및 호화 특성은 아밀로스 함량 및 국수 식미와 직접 상관이 있는 특성으로 유전적 변이에 주로 영향을 받지만 환경적 영향을 받는 것으로 알려져 있다(Konik et al. 1993, Morris et al. 1997, Souza et al. 2004). 본 연구에서는 품종의 영향이 높게 나타났는데, 이러한 이유는 이전의 실험에서는 찰밀이 포함되지 않았고, 일부 부분 찰성 밀만 포함되어 전분의 아밀로스 함량의 변이 폭이 적었지만, 본 연구에서는 2개의 찰밀과 2개의 부분 찰성 밀이 포함되어 아밀로스 함량에 관련된 변이 폭이 크게 나타났기 때문인 것으로 생각된다.

밀가루를 이용한 팽윤 부피(Flour Swelling Volume; FSV)와 팽윤 무게(Flour Swelling Power; FSP)의 평균은 각각 19.42ml과 13.20g으로 나타났으며, 보통밀의 경우 FSV는 14.54-18.50ml이었으며, FSP는 11.75-12.62g으로 나타났으며, 부분 찰성 밀인 호중밀과 중모2012의 FSV와 FSP는 각각 21.89ml과 22.24ml, 14.00g과 14.13g이었으며, 백찰밀과 신미찰1호는 각각 29.12ml

Table 5. Swelling and pasting properties of starch from 15 Korean wheat cultivars.

Cultivar	Swelling		Amylogram				
	Volume (ml)	Power (g)	Peak Viscosity (BU)	Holding Strength (BU)	Final Viscosity (BU)	Breakdown (BU)	Setback (BU)
2014	28.91b	14.59a	177.40a	88.47b	247.71b	89.96a	158.69a
2015	29.43a	13.24b	179.02a	118.53a	258.80a	76.24b	155.22b
Baekchal	46.26	23.98	651.00	392.50	448.00	333.75	135.75
Baekjoong	28.17	11.62	91.75	68.25	195.25	19.75	126.25
Goso	26.67	11.48	76.00	48.00	177.50	32.50	138.75
Hojoong	30.55	13.74	164.50	118.75	313.25	65.75	216.50
Joa	22.50	11.87	101.25	75.00	218.75	26.00	147.50
Jojoong	25.72	11.90	115.50	88.50	227.50	21.75	137.75
Jokyung	28.33	12.38	95.25	71.00	215.25	28.00	134.50
Joongmo2008	22.07	11.74	119.25	62.75	240.75	46.50	176.25
Joongmo2012	30.15	13.63	206.75	151.25	398.00	66.75	258.50
Jopoom	27.25	12.41	106.00	73.25	265.25	31.50	177.00
Keumkang	25.00	12.87	92.00	54.25	222.75	35.25	153.50
Shinmichall	45.00	24.51	551.25	145.58	202.67	432.83	80.25
Suan	25.00	12.53	82.75	50.50	189.50	27.00	142.00
Uri	27.08	12.22	124.75	89.75	283.00	41.75	185.75
Younbaek	27.79	11.83	94.00	62.00	200.50	28.50	143.25
LSD [†]	0.95	0.43	7.95	7.54	11.50	7.31	7.28

[†]Least significant difference ($P < 0.05$).

Table 6. Coefficient of correlation among swelling and pasting properties of flour and starch.

Parameters	Amylose	Starch						
		Swelling Volume	Swelling Power	Peak Viscosity	Holding Strength	Final Viscosity	Breakdown	Setback
Amylose	-	-0.948*** ^a	-0.976***	-0.976***	-0.821***	-0.544*	-0.958***	0.213
Flour Swelling Volume	-0.958***	0.949***	0.926***	0.939***	0.827***	0.621*	0.905***	-0.087
Flour Swelling Power	-0.989***	0.962***	0.965***	0.967***	0.816***	0.528*	0.950***	-0.231
Flour Peak Viscosity	-0.990***	0.956***	0.991***	-0.979***	-0.782***	0.450	0.987***	-0.324
Flour Holding Strength	-0.979***	0.926***	0.975***	0.961***	0.741**	0.428	0.984***	-0.297
Flour Final Viscosity	-0.756*	0.623*	0.638*	0.657**	0.569*	0.560*	0.644**	0.248
Flour Breakdown	-0.988***	0.966***	0.993***	0.981***	0.780***	0.460	0.980***	-0.338
Flour Setback	0.430	-0.531	-0.585*	-0.538*	-0.329	0.130	-0.591*	0.790***

^a*, ** and *** are significant at $P = 0.05$, $P = 0.01$ and $P = 0.001$, respectively.

과 27.96ml, 17.67g과 17.72g으로 나타났다 (Table 4). 아밀로스 함량은 FSV($r = -0.958***$)나 FSP($r = -0.989***$)와 높은 상관을 나타내었는데(Table 6), 이러한 경향은 이전의 보고와 일치하였다(Crosbie 1991, Crosbie et al. 1992, Crosbie & Lambe 1993). 전분을 이용한 팽윤 부피(Starch Swelling Volume; SSV)와 팽윤 무게(Starch Swelling Power; SSP)는 각각 22.07-46.26ml과 11.48-24.51g의 범위를 나타내었고 (Table 5), 밀가루 평가 결과와 마찬가지로 SSV($r = -0.948***$)와 SSP($r = -0.976***$)는 아밀로스 함량과 고도의 부의 상관을 나타내었다. 또한, 팽윤 부피 간, 팽윤 무게간 및 팽윤 부피와 무게 사이에도 높은 정의 상관을 나타내었다 (Table 6). 이러한 결과로 밀가루를

이용한 팽윤 특성으로 전분의 팽윤 특성을 대신할 수 있을 것으로 예상되며, 팽윤 부피가 팽윤 무게 보다 품종간의 변이 폭이 크게 나타내기 때문에 평가방법으로 유리할 것으로 생각한다. 그러므로 국내 밀 육종 프로그램에서 전분의 팽윤 특성은 FSV 만으로도 충분할 것으로 보인다. 그러나, FSV도 제분과정을 통하여 밀가루를 만드는 과정이 필요하기 때문에 육종 프로그램에서는 통밀 (Wholemeal)을 이용한 팽윤 부피 측정이 효과적인 것으로 제시되었다(Crosbie & Lambe 1993). 그러나 실제 국내 밀 계통을 이용한 평가에 있어서는 아밀로스 함량과도 상관을 나타내질 못했는데(Park et al. 2005), 이러한 이유는 원맥 분쇄의 거친 입자나 원맥에 있는 식이성섬유소 및 단백질 함량 등 전분 특성

이의 형질이 팽윤에 미치는 영향이 밀가루를 이용한 평가 보다 크기 때문인 것으로 생각된다. 이러한 단점을 해결하기 위해서는 NIR (near-infrared spectroscopy) 검정과 연계한 평가가 호주 밀 육종프로그램에서 제시되었다(Crosbie et al. 2007). 국내에서도 검토할 필요성이 있으며, 검정식 작성에 있어서 찰밀과 부분 찰성밀을 포함한 여부를 고려해야 할 것이다.

밀가루와 전분의 호화특성을 Micro-visco-amylograph를 이용하여 분석한 결과 (Table 4, 5), 밀가루에서는 2014년도 수확분이 최고점도와 breakdown 값이 높았으며, 다른 관측치에서는 차이가 없었다. 그러나, 전분의 호화 특성에서는 최고점도는 연차간 차이가 없었지만, 최저점도와 최종점도는 2015년 수확 밀가루에서 추출한 전분의 값이 높았으며, breakdown과 setback은 2014년 값이 높았다. 보통밀의 밀가루의 최고점도는 평균 276.48BU 였고, 247.00-300.50BU의 범위를 나타내었으며, 부분 찰성 밀인 호중밀과 중모2012는 각각 399.75와 149.50BU를 나타내었고, 찰밀은 867.25BU이상으로 가장 높은 값을 나타내었다. 전분의 최고 점도 값도 비슷한 경향을 나타내었다.

이러한 결과는 전분의 아밀로스 함량이 감소하고 상대적으로 아밀로펙틴 함량이 높아지면 전분입자의 팽윤이 증가하여 자유롭게 행동할 수 있는 물 분자가 감소하게 되어 최고점도 값이 높아진다(Crosbie 1991). 부분 찰성밀이나 찰밀에서 최고점도가 높았다는 기존의 보고와 일치하였으며(Graybosch 1998, Kang et al. 2012). 아밀로스 함량은 최고점도와 높은 부의 상관을 나타내었다(Table 6). 최고점도 만큼 중요한 호화 특성이 breakdown인데, breakdown 역시 찰밀이 가장 높은 값을 나타내었고, 부분 찰성 밀이 다음으로 높은 값을 나타내었으며, 보통밀은 밀가루에서는 65.21BU를 전분에서는 30.77BU를 나타내었다. 아밀로스 함량이 적은 품종은 높은 최고점도와 최저점도를 가지게 되므로 breakdown이 크게 되기 때문에 일반적으로 breakdown은 최고점도 및 아밀로스 함량과 높은 상관을 보이는데(Kang et al. 2010), 본 연구에서도 같은 결과를 나타내었다. 밀가루의 호화 특성과 전분의 호화 특성간에는 높은 정의 상관관계를 나타내었기 때문에 국내 밀 육종 프로그램에서도 시간과 노력을 줄이기 위해서 밀가루를 이용하여 호화 특성 평가를 하여도 전분 특성이 우수한 계통 선발이 가능할 것으로 예상된다. 그러나 호화특성 평가는 팽윤 특성에 비해서 많은 시료가 필요하기 때문에 소량의 시료를 이용 가능한 육종 초기세대에서는 팽윤 특성으로 점성이 우수한 계통을 선발하고, 생산력 예비검정 이후에는 호화 특성을 평가하는 시스템이 가능할 것으로 생각한다.

적 요

본 연구의 목적은 밀 육종프로그램의 향상을 위해 국내 밀 품종들을 이용하여 손상전분 및 팽윤과 화화와 같은 전분 특성 평가의 기초를 확립하는데 있다. 손상전분은 가공적성이나 제품 선호도에 영향을 미치기 때문에 제분과 관련된 산업에서 매우 중요한 평가 요소이다. 전류 측정 방법인 SD-matic과 효소처리 방법인 Megazyme assay를 이용한 손상전분 측정 결과는 높은 정의 상관을 나타냄으로써 차이가 없음을 확인하였다. 정확성과 안정된 효율성을 가지고 있는 손상전분 측정은 밀 육종프로그램에서 전분 특성을 평가하기 위한 항목으로 고려되어야 한다. 팽윤과 호화 특성은 조리시간과 식미에 중요한 항목이지만, 육종 프로그램에서 전분을 추출하여 평가하는 것은 매우 어려운 일이다. 팽윤과 호화 특성을 전분과 밀가루를 이용하여 평가한 결과, 밀가루를 이용한 평가 결과가 전분을 이용한 평가 결과와 높은 정의 상관을 보였다. 또한, 적은 노력과 시료량으로 가능한 팽윤 특성 평가 결과는 호화 최고 점도와 높은 정의 상관을 보였기 때문에 밀가루를 이용한 팽윤 특성 평가를 밀 육종 프로그램에 적용을 고려해야 한다. 앞으로 밀 육종 프로그램 향상을 위해 초기 세대 계통에 대한 전분 특성 평가를 위해서는 원맥을 이용한 근적외분광 (NIR; Near Infrared) 분석을 통한 연구도 필요하다.

사 사

본 연구는 농촌진흥청 연구사업 (세부과제명: 용도별 기준 재설정을 위한 밀 품종의 품질 구명 및 규격화, 세부과제번호: PJ011009012016)에 의해 이루어진 것임.

REFERENCES

1. AACC International. 2010. Approved Methods of Analysis, 11th Ed. Method 08-01.01. Ash-Basic method. Approved April 13, 1961. Method 26-31.01. Experimental milling-Bühler method for soft wheat straight grade flour. Approved October 12, 1988. Method 44-15.02. Moisture-Air-oven methods. Approved October 30, 1975; reapproved November 3, 1999. Method 46-30.01. Particle size of wheat flour by laser instrument. Approved November 1, 1989. Available online only. AACCI: St. Paul, MN.
2. Baik B-K, Lee, M-R. 2003. Effects of starch amylose

- content of wheat on textural properties of white salted noodles. *Cereal Chem.* 80: 304-309.
3. Baik B-K, 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. Bass EJ. 1988. Wheat flour milling. Pages 1-68 in: *Wheat Chemistry and Technology*, Vol. II, 3rd ed. Y. Pomeranz, ed. Am. Assoc. Cereal Chem.: St. Paul, MN.
 5. Crosbie GB. 1991. The relationship between starch swelling properties, paste viscosity and boiled noodle quality in wheat flours. *J. Cereal Sci.* 13: 145-150.
 6. Crosbie GB, Lambe WJ. 1993. The application of the flour swelling volume test for potential noodle quality to wheat breeding lines. *J. Cereal Sci.* 18: 367-276.
 7. Crosbie GB, Lambe WJ, Tsutsui H, Gilmour RF. 1992. Further evaluation of the flour swelling volume test for identifying wheats potentially suitable for Japanese noodles. *J. Cereal Sci.* 15: 271-280.
 8. 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.
 9. Czuchajowska Z, Pomeranz Y. 1993. Protein concentrates and prime starch from wheat flours. *Cereal Chem.* 70: 701-706.
 10. Gaines CS, Finney PL, Rubenthaler G. 1996. Milling and baking qualities of some wheats developed for eastern or northeastern regions of the United States and grown at the both locations. *Cereal Chem.* 73: 521-525.
 11. Ghiasi K, Varriano-Marston E, Hoseney RC. 1982. Gelatinization of wheat starch. IV. Amylograph viscosity. *Cereal Chem.* 59: 262-265.
 12. 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.
 13. Graybosch RA. 1998. Waxy wheats: Origin, properties, and prospects. *Trends Food Sci. Technol.* 9: 135-142.
 14. Guo G, Jackson DS, Graybosch RA, Parkhurst AM. 2003. Asian salted noodle quality: Impact of amylose content adjustments using waxy wheat flour. *Cereal Chem.* 80: 437-445.
 15. Hou G. 2001. Oriental noodles. *Adv. Food Nutr. Res.* 43:141-193.
 16. Kang C-S, Jeung J-U, Baik B-K, 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.
 17. Konik CM, Miskelly DM, Gras PW. 1993. Starch swelling power, grain hardness and protein: Relationship to sensory properties of Japanese noodles. *Starch/Strake* 45: 139-144.
 18. Konik CM, Miskelsen LM, Moss LM, Gore PJ. 1994. Relationships between physical starch properties and yellow alkaline noodle quality. *Starch/Strake* 46: 292-299.
 19. Lineback DR, Rasper VF. 1988. Wheat carbohydrates. Pages 277-372 in: *Wheat Chemistry and Technology*, Vol. I, 3rd ed. Y. Pomeranz, ed. Am. Assoc. Cereal Chem.: St. Paul, MN.
 20. MAFRA. 2015. Key statistics of agriculture, forestry and livestock food. Seoul. pp. 275-276.
 21. Mailhot WC, Patton JC. 1988. Criteria of flour quality. Pages 69-90 in: *Wheat Chemistry and Technology*, Vol. II, 3rd ed. Y. Pomeranz, ed. Am. Assoc. Cereal Chem.: St. Paul, MN.
 22. Malik AH, Kuktaite R, Johansson E. 2013. Combined effect of genetic and environmental factors on the accumulation of proteins in the wheat grain and their relationship to bread-making quality. *J. Cereal Sci.* 57: 170-174.
 23. McCleary BV, Gibson TS, Mugford DC. 1997. Measurement of total starch in cereal products by amyloglucosidase α -amylase method: collaborative study. *Journal of AOAC International.* 80: 571-579.
 24. 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.
 25. Morris CF, Shackeley BJ, King GE, Kidwell KK. 1997. Genotypic and environmental variation for flour swelling volume in wheat. *Cereal Chem.* 74: 16-21.
 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. Park CS, Kim Y-K, Han O-K, Lee MJ, Park J-C, Seo J-H, Hwang J-J, Kim J-G, Kim TW. 2005. Characteristic of biochemical markers and whole-wheat flours using small-scale sampling methods in Korean wheats. *Kor. J. Crop Sci.* 50: 346-355.
 28. Sandstedt RM, Mattern PJ. 1960. Damaged starch

- quantitative determination in flour. *Cereal Chem.* 37: 379-390.
29. Schuler SF, Bacon RK, Finney PL, Gbur EE. 1995. Relationship of test weight and kernel properties to milling and baking quality in soft red winter wheat. *Crop Sci.* 35: 949-953.
30. Shin S, Kang CS, Jeung J-U, Baik B-K, Woo S-H, Park CS. 2012. Influence of allelic variations of glutenin and puroindoline on flour composition, dough rheology and quality of white salted noodles from Korean wheat cultivars. *Kor. J. Breed. Sci.* 44: 406-420.
31. Souza EJ, Martin JM, Guttieri MJ, Habernicht DK, Lanning SP, McLean R, Carlson GR, Talbert LE. 2004. Influence of genotype, environment, and nitrogen management on spring wheat quality. *Crop Sci.* 44: 425-432.
32. Triboï E, Abad A, Michelena A, Lloveras J, Ollier JL, Daniel C. 2000. Environmental effects on the quality of two wheat genotypes: 1. quantitative and qualitative variation of storage proteins. *Euro. J. Agron.* 13: 47-64.
33. Williams PC, Kuzina FD, Hlynka I. 1970. A rapid colorimetric method for estimating the amylose content of starches and flours. *Cereal Chem.* 47: 411-421.