국산 빵용 밀 품종의 사워도우빵 특성 평가

박진희 · 강천식 · 김경민 · 양진우 · 손재한 · 최창현 · 정한용 · 손지영 · 박태일 · 김경훈*

국립식량과학원 밀 연구팀

Characteristics of Sourdough Breads Baked Using Korean Bread Wheats

Jin Hee Park, Chon-Sik Kang, Kyeong-Min Kim, Jinwoo Yang, Jae-Han Son, Chang-Hyen Choi, Han-Yong Jung, Ji-Young Son, Tae-Il Park, and Kyeong-Hoon Kim*

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

Abstract This study was performed to evaluate the characteristics of wheat flour and sourdough bread quality of five Korean bread wheat cultivars, hard red winter wheat (HRW), and T55 (a French commercial wheat flour). Among the cultivars assessed, the protein and gluten contents and SDS-sedimentation values of Joongmo2008 were the highest, Keumkang were similar to those of HRW, and those of the Baekkang, Jokyung, and Hwanggeum were similar to those of T55. Joongmo 2008 and Keumkang had glutenin contents similar to those of HRW and T55, whereas Baekkang and Hwanggeum had higher HMW-GS (high molecular weight-glutenin subunit) and lower LMW-GS (low molecular weight-glutenin subunit) contents than HRW and T55. The $\alpha + \beta$ gliadin contents of Joongmo2008 and Keumkang were higher than those of other varieties and similar to those of HRW, whereas the γ - and ω -gliadin contents of Baekkang and Hwanggeum were similar to those of T55. Mixolab analysis revealed that Joongmo2008 and Keumkang had water absorption and kneading characteristics similar to those of HRW, and that Baekkang, Hwanggeum, and Jokyung showed characteristics similar to those of T55. Campagne and baguettes prepared using Korean wheat flour were similar in appearance to those prepared using T55 or HRW, the bread volume of campagne bread was smaller than that of T55, and the volume of baguettes were similar to that of T55. Joongmo2008 showed a higher bread volume than other Korean wheat cultivars, which was similar to that of HRW. The quality of sourdough bread prepared from Korean wheat flour was similar to that made with commercial flour, although the bread prepared using Joongmo2008 was found to be superior to that prepared using the flour of other Korean wheat cultivars.

Keywords sourdough, bread, Korean wheat, quality

Received on October 9, 2020. Revised on October 12, 2020. Accepted on October 29, 2020.

* Corresponding Author (E-mail: k2h0331@korea.kr, Tel: +82-63-237-5457, Fax: +82-63-237-5463)

서 언

천연 발효 반죽으로 알려진 sourdough는 밀이나 호밀 가루를 물과 혼합하여 발효시킨 신맛의 반죽으로, 기원전 2000년경 이집트에서 유래되었으며, 중세시대 유럽으로 전해졌다(Cappelle et al. 2013). 자연의 효모와 균이 활성화되어 곡물 재료에 함유되어 있던 탄수화물을 발효시키면서 젖산, 초산, 알코올, 이산화탄소 등을 형성하는 신 맛의 반죽인 sourdough로 만든 빵을 sourdough bread 라고 한다. Sourdough는 발효과정에서 생성된 유기산이 빵의 풍미를 향상시킬 뿐만 아니라 반죽 물성 개량 및 곰팡이 생육 저해와 높은 수분 보유력으로 노화를 지연시켜 저장성을 향상시키고 미네랄 흡수 증진 및 혈당지수(Glycemic index) 감소 효과 등이 보고되었다(Siepmann et al.

2018, Sakandar et al. 2019).

과거에는 빵을 부풀리기 위하여 sourdough를 사용했지만, 제빵용 산업적 효모가 개발 및 보급되면서 발효 시간 단축과 생산 공정 개선으로 빵의 대량 생산이 가능해졌다(Brandt et al. 2007). Sourdough는 오랜 시간 미생물을 발효시켜 제빵의 밑반죽으로 이용하므로 발효과정에서 품질 유지에 많은 노력과 기술이 요구되지만, 최근 건강에 대한 관심이 높아지고 sourdough의 장점들이 보고되면서 이에 대한 소비가 증가하고 있다. 국내에서도 식습관 변화와 건강에 대한 관심이 높아지면서, 다양한 원료를 이용한 천연발효종 선발과 첨가 비율 설정 및 반죽법 개선 등 sourdough bread에 대한 소비와 연구가 활발하다(Lee et al. 2007, Chae et al. 2011, Kim & Lee. 2015, Kim 2018, Sim et al. 2019). Sourdough bread는 식빵과 달리 설탕이나

버터와 같은 부재료가 사용되지 않기 때문에 밀가루의 품질이 중요한 요인으로 작용하지만, 이와 관련된 밀가루의 이화학적 특성과 관련된 국내 연구는 미흡한 실정이다.

국산 밀 품종의 제빵 적성은 직접법(straight method)으로 제조한 식빵으로 평가가 이루어지고 있으며, 빵용 수입원맥이나 시중 강력분 밀가루와 비교하였을 때 빵 부피가 작고 딱딱한 식감을 나타낸다(Kang et al. 2010b). 최근에 표지 인자를 활용하여 육성된 빵용 품종은 글루텐의 질적 특성 향상으로 식빵 적성이 개선되었지만 소비자가 만족할 수준의 품질에 도달하기 위해서는 지속적인 연구가 필요하다. Sourdough bread는 식빵 수준의 단백질 함량과 글루텐 강도가 필요치 않아 본 연구에서 국내에서 개발된 빵용 밀 품종에 대한 sourdough 가공 적성을 평가하였으며, 이 결과를 통해 국산밀을 이용한 다양한 천연 발효 빵 제품 개발의 기초 자료를 제공하고자 한다.

재료 및 방법

공시 재료

본 연구에서는 농촌진흥청 국립식량과학원 실험포장 전작조 건(0.25 m × 6 m)에서 2018년과 2019년 생산된 금강, 백강, 조경, 중모2008 그리고 황금을 사용하였다. 국내 5품종 밀은 10월 25일에 파종하였고, 6월 20일에 수확하였으며, 시비 및 재배 관리는 농촌진흥청 표준재배법에 따라 수행하였다(RDA 2012). 수확한 원맥은 정선하여 수분 함량이 14%가 되도록 상온에서 건조한 다음, 10℃ 저온실에 보관하였다. 국내 품종과 비교를 위해서 빵용 원맥인 미국산 경질 적립계 추파밀(Hard Red Winter Wheat, HRW)과 프랑스 밀가루(Rarine Francaise French Wheat Flour, T55)를 사용하였다.

밀가루 이화학적 특성 분석

제분은 Bühler mill (MLU-202, 스위스)을 이용하여 AACCI Approved Methods 26-31.01 (2010) 방법에 따라 제분 수율 60% 수준으로 제분하였고, 밀가루는 10℃ 저온실에 보관하여 1개월 간 숙성한 후 실험에 사용하였다. 밀가루의 수분, 회분, 단백질 함량과 침전가는 AACCI Approved Methods 44-15.02, 08-01.01, 46-30.01, 56-61.02 (2010)에 준하여 측정하였다. 밀가루의 입도 크기, 글루텐 함량과 손상 전분 함량은 각각 입도분석기(LS13320, Beckman Coulter Inc., 미국), Glutomatic system (Glumatic 2200, Sprigfield, 미국)과 SD matic analyzer (Chopin, 프랑스)를 이용하여 측정하였다. 밀가루의 색깔은 11-mm 조리

개를 가지고 있는 Minolta JS-555 (Minolta Camera Co., 일본)를 이용하여 측정하였고, Nguimbou et al. (2012)의 방법에 따라 밀가루의 백도를 계산하였다.

글루테닌과 글리아딘의 함량 및 비율은 Yan et al. (2014)과 Zhou et al. (2013)의 방법에 따라 추출하였으며, 역상 고성능 액체 크로마토그래피(Reversed-Phase Ultra-Performance Liquid Chromatography, RP-UPLC)로 분석하였다(Son et al. 2019). 밀가루의 반죽 특성 평가는 Mixolab (Chopin, 프랑스)를 이용하여 AACCI Approved Methods 54-60.01 (2010) 방법과 믹소랩 사용자 매뉴얼에 따라 수행하였다(Dubat 2010). 밀가루 50 g(수분함량 14%)과 증류수를 포함한 무게를 75 g으로 맞추고 반죽 발달(dough development)하는 동안 최고 토크(peak torque)가 1.1±0.05 Nm이 되도록 유지했으며, 반죽 속도는 80 rpm로 하여, 반죽과 전분의 특성을 나타내는 믹소랩의 지표(Mixolab software version 3.14, Chopin, 프랑스)를 이용하여 분석하였다. 온도변화에 따라 변화하는 토크 지표가 의미하는 바를 쉽고 명확하게 볼 수 있도록 6가지 항목(수분 흡수율, 반죽 강도, 글루텐 강도, 점성, 아밀라아제 활성, 노화도)에 대하여 0에서 8의 지표로 나타내었다.

Sourdough bread 제조 및 평가

Sourdough bread 평가를 위하여 캄파뉴(campagne)와 바게트(Baguette)를 제조했으며, 캄파뉴의 sourdough는 starter, 밀가루와 물을 1:1:1 비율로 혼합하여 저온에서 12시간 발효시켰으며, starter의 균주는 전주에 위치한 과일렛츠 베이커리로부터 분주 받아 실험에 이용하였다. Sourdough에 밀가루(47%), 호밀(9%), 몰트(0.5%)와 물(42.5%)을 혼합하여 30분 동안 실온에 둔 후, 소금(1%)을 넣고 버티컬 믹서기(영송기계공업사, YSM 50, 한국)를 이용하여 중속으로 3~4분간 반죽하였다. 가스 빼기 후 1차 발효(5℃, 14시간)를 하고, 두번째 가스 빼기를 한 다음 반죽을 분할(300 g)하여 2시간 동안 휴지시켰다. 반죽을 성형하여 2차 발효(25℃, 3시간) 시킨 후, 윗불 230℃, 아랫불 210℃로 오븐(Kolb Huizhou Ltd. 중국)에서 35분간 구운 후 2시간 방냉하였다.

바게트 sourdough도 캄파뉴와 같은 조건으로 만들었고, sourdough에 밀가루(39%), 호밀(20%)과 물(41%)을 혼합한 후, 밀가루 특성에 따라 3.0~5.8분 버티컬 믹서기로 반죽하였다. 가스 빼기 후 1차 발효(5℃, 14시간)를 하고, 두번째 가스 빼기를 한 다음 반죽을 분할(250 g)하여 2시간 동안 휴지시켰다. 반죽을 성형하여 2차 발효(25℃, 3시간) 시킨 후, 윗불 230℃, 아랫불

210℃로 오븐(Kolb Huizhou Ltd. 중국)에서 30분간 구운 후 2시간 방냉 하였다.

감과뉴와 바게트의 빵 부피와 비용적은 Volsan Profiler (VSP600, Stable Micro Systems, 영국)를 이용하여 측정하였고, 빵의 중심부에서 2.0 cm 두께로 잘라 TA-XT2 texture analyzer (Stable Micro Systems, Haslemere, 영국)을 이용하여 compression test를 실시하였다. 속질(crumb)의 경도(firmness) 측정은 2.5 cm 직경의 플라스틱 plunger로 빵 두께의 40% strain, 1.0 mm/sec 속도로 측정하였다.

통계분석

모든 시험은 최소 3회 이상 반복을 두어 실시하였으며, 시험 성적은 SAS 프로그램(SAS Institute, Cary, NC)을 이용하여 분산분석을 실시하고 LSD로 유의성을 검정하였으며, 품종과 연차 간 변이의 상호작용은 ANOVA (Analysis of variance) 분석은 GLM을 이용하였으며, 품종과 연차 변이의 상호작용 성분은 오차항을 이용하였다.

결과 및 고찰

밀가루 이화학적 특성

본 연구에 이용된 품종은 금강, 백강, 조경, 중모2008과 황금으로 빵용 품종이 반드시 지녀야 하는 *Glu-D1 d*을 나타내고 있으며, 종실경도에서는 *Pinb-D1b* 대립유전자를 지닌 경질밀 품종이다 (Table 1, Fig. 1). 밀가루의 이화학적 특성은 Table 2에서 보는 바와 같다. 국내 밀 품종의 회분 함량은 연차 간 차이는 없었고 0.44-0.47%의 범위로 HRW (0.46%)와 비슷하였지만 T55 (0.54%)보다는 낮았다. 밀가루 백색도도 국내 품종의 연차 간 차이는 없었으며, 85.1-86.9 범위였으며, T55 (85.9)나 HRW (86.0)은 백강(86.4)이나 금강(86.5)과 비슷하였다. 밀가루 입자

크기는 2018년 수확 품종(81.8 μ m)이 2019년 품종(79.0 μ m)보다 높았으며, T55 (92.9 μ m)는 국내 품종(76.0-84.3 μ m)과 HRW (82.4 μ m) 보다 거친 밀가루 입자를 지닌 것으로 나타났다. 손상 전분 함량도 2018년 수확 품종이 높았으며, HRW (7.2%)는 국내 품종(4.7 -6.3%)과 T55 (6.3%) 보다 손상 전분 함량이 높았다. 단백질 함량, 침전가와 글루텐 함량은 연차 간에 차이가 없었으며, 중모2008의 단백질 함량과 침전가 및 글루텐 함량(16.7%, 71.0 mL과 14.3%)은 가장 높았으며, 금강은 HRW와 비슷한 단백질 함량(13.6%와 12.8%)과 침전가(63.3 mL과 62.0 mL)를 보였으며, 백강, 조경과 황금은 T55와 비슷한 단백질 특성을 나타내었다. 중모2008의 높은 단백질 함량과 침전가는 품종 육성 당시 특성이 반영된 결과로 보이며, 이전 보고에서도 금강밀은 HRW와 비슷한 단백질 특성을 보였지만, 백강, 조경과 황금은 품종 육성 당시의 단백질 함량이나 침전가에 비하여

Fig. 1. SDS-PAGE analysis of glutenin of five Korean wheats and imported wheats. 1, T55; 2, HRW; 3, Keumkang; 4, Jokyung; 5, Joongmo2008; 6, Baekgang; 7, Hwanggeum.

Table 1. Allelic composition of glutenin and puroindolines of five Korean wheat cultivars.

Cultivar	Glutenin					Puroindolines	
	<i>Glu-1</i>			<i>Glu-3</i>		<i>Pin-D1</i>	
	<i>Glu-A1</i>	<i>Glu-B1</i>	<i>Glu-D1</i>	<i>Glu-A3</i>	<i>Glu-B3</i>	<i>Pina-D1</i>	<i>Pinb-D1</i>
Baekgang	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>d</i>	<i>c</i>	<i>h</i>	<i>a</i>	<i>b</i>
Hwanggeum	<i>c</i>	<i>i</i>	<i>d</i>	<i>c</i>	<i>h</i>	<i>a</i>	<i>b</i>
Jokyung	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>d</i>	<i>c</i>	<i>h</i>	<i>a</i>	<i>b</i>
Joongmo2008	<i>c</i>	<i>i</i>	<i>d</i>	<i>c</i>	<i>d</i>	<i>a</i>	<i>b</i>
Keumkang	<i>b</i>	<i>b</i>	<i>d</i>	<i>c</i>	<i>h</i>	<i>a</i>	<i>b</i>

약간 낮은 수치를 나타내었는데, 이러한 결과는 재배 환경이 영향을 미친 것으로 보인다(Nam et al. 1998, Kang et al. 2006, Kang et al. 2010a, Yoon et al. 2017, Cho et al. 2018)

밀가루의 글루텐 조성은 RP-UPLC를 이용하여 분석하였으

며, 글루테닌과 글리아딘의 함량의 비율과 각 분획별 비율은 Table 3에서 보는 바와 같다. 글루테닌과 글리아딘의 함량의 비율과 분획별 비율은 연차간에 차이가 없었다. 국내 밀 품종의 고분자 글루테닌(HMW-GS, high molecular weight-glutenin

Table 2. Physicochemical properties from five Korean wheats and imported wheats^z.

Flour	Ash (%)	WI	PSI (μm)	DS (%)	Protein (%)	SDSS (mL)	DG (%)
<i>Year</i>							
2018	0.46a ^x	86.1a	81.8a	5.9a	12.3a	56.1a	9.9a
2019	0.45a	86.5a	79.0b	5.5b	11.3a	50.5a	8.0a
<i>Korean wheat cultivar</i>							
Baekkang	0.45bc	86.4ab	81.7bc	6.3b	9.9c	46.8bc	6.4d
Hwanggeum	0.44c	85.1d	76.0d	6.0b	9.1c	36.5d	6.1d
Jokyoung	0.46bc	86.9a	80.3c	6.2b	9.9c	49.0b	6.6d
Joongmo2008	0.46bc	86.7a	79.9c	4.7d	16.7a	71.0a	14.3a
Keumkang	0.47b	86.5ab	84.3b	5.2c	13.6b	63.3a	11.5b
<i>Imported wheat flour^y</i>							
T55	0.54a	85.9c	92.9a	6.3b	10.2c	39.5cd	7.6cd
HRW	0.46bc	86.0bc	82.4bc	7.2a	12.8b	62.0a	9.0c

^zWI = whiteness index of flour; PSI = average particle size of flour; DS = damaged starch; SDSS = SDS-sedimentation volume; DG = Dry gluten.

^yT55 = French wheat flour obtained from Sunin Co.; HRW= hard red winter wheat obtained from Sajo-Dongaone Co.

^xValues followed by same letters within same characteristic are not significantly different at $p < 0.05$.

Table 3. Gluten properties of Korean wheat cultivars, imported wheat and commercial imported wheat flours.

Flour	Proportion (%)							Ratio				
	Glutenin ^z				Gliadin			HMW-GS/ LMW-GS	X-type/ Y-type	α + β / γ	α + β / ω	γ / ω
	HMW-GS			LMW-GS	α + β	γ	ω					
	Total	X-type	Y-type									
<i>Year</i>												
2018	50.9a ^x	72.1a	27.6a	49.1a	48.6a	35.5cd	15.9a	1.1a	2.8a	1.5a	3.4a	2.7a
2019	49.2a	71.7a	28.4a	50.8a	51.4a	35.9cd	12.8a	1.0a	2.7a	1.9a	4.7a	3.3a
<i>Korean wheat cultivar</i>												
Baekkang	53.3a	72.6c	26.6d	46.7c	54.7a	31.7cde	13.6ab	1.1a	2.7c	2.6a	5.3ab	2.6cd
Hwanggeum	48.5b	79.3a	20.7f	51.5b	41.3c	49.9a	8.8b	1.0a	3.8a	0.8ab	4.7ab	5.7a
Jokyoung	55.8a	73.0c	27.0d	44.2c	44.6bc	39.5bc	15.9a	1.3a	2.7c	1.2ab	3.3b	3.1bcd
Joongmo2008	44.2c	64.0f	36.1a	55.8a	56.7a	27.0e	16.3a	0.8cd	1.8f	2.1ab	3.5b	1.7d
Keumkang	48.4b	70.5d	29.4c	51.6b	52.7ab	30.4de	17.0a	0.9bc	2.4d	1.8ab	3.4b	2.0d
<i>Imported wheat flour^y</i>												
T55	41.3c	67.6e	32.4b	58.7a	42.1c	46.4ab	11.6ab	0.7d	2.1e	0.9b	3.6b	4.0bc
HRW	48.1b	76.0b	24.0e	51.9b	54.0a	37.3cd	8.7b	0.9bc	3.2b	1.5ab	6.2a	4.3ab

^zHMW-GS = amount of high molecular weight glutenin subunits; X-type = amount of x-type in HMW-GS; Y-Type = amount of y-type in HMW-GS; LMW-GS = low molecular weight glutenin subunits.

^yT55 = French wheat flour obtained from Sunin Co.; HRW= hard red winter wheat obtained from Sajo-Dongaone Co.

^xValues followed by same letters within same characteristic are not significantly different at $p < 0.05$.

subunit)의 함량 비율은 44.2-55.8%이었으며, T55(41.3%)은 중모2008(44.2%)과 비슷하였고, HRW (48.1%)는 금강(48.4%)이나 황금(48.5%)과 비슷하였다. HMW-GS중에서 분자량이 큰 x-type과 분자량이 작은 y-type의 함량 비율은 각각 64.0-79.3%과 21.0-36.1%이었으며, x-type과 y-type의 비율은 1.8-3.8로 나타났다. T55의 x-type과 y-type의 함량 비율은 각각 67.6%와 32.4%로 중모2008(64.0%와 36.1%)과 금강(70.5%와 29.4%) 사이의 값을 나타내었으며, HRW (76.0%와 24.0%)는 백강(72.6%와 26.6%)과 황금(79.3%와 20.7%)의 중간 값이었다. HRW의 x-type과 y-type의 비율은 3.2로 황금(3.8)과 조경(2.7) 사이였으며, T55는 2.1로 중모2008(1.8)을 제외한 국내 품종보다 낮았다. 국내 품종의 저분자 글루테닌(LMW-GS, low molecular weight-glutenin subunit)의 함량 비율은 전체 글루테닌에서 HMW-GS를 제외한 함량 비율이기 때문에 중모2008(55.8%)이 높았고, 백강(46.7%)과 조경(44.2%)은 낮았다. T55의 LMW-GS 함량 비율은 58.7%로 중모2008과 비슷하게 높았고, HRW (51.9%)는 황금(51.5%)이나 금강(51.6%)과 비슷하였다. HMW-GS와 LMW-GS의 비율은 백강, 황금과 조경이 1.0이상으로 높았으며, T55 (0.7)와 HRW (0.9)는 중모2008(0.8)과 금강(0.9)과 비슷하였다. 국내 밀 13 품종의 HMW-GS과 LMW-GS비율은 모두 1.0 이하로 본 연구와 비교하여 낮게 측정되었지만, HMW-GS 중 x-type과 y-type의 비율은 유사한 경향을 나타냈으며, 중모2008은 본 결과와 유사하게 국내 품종 중 가장 낮은 HMW-GS/LMW-GS 비율을 나타내었다(Cho et al. 2018b). 국내 용도별 밀 품종의 HMW-GS와LMW-GS의 비율은 품종 간 차이를 보이지 않았으며, 본 연구에서도 사용한 빵용 밀 품종인 금강, 조경, 중모2008의 HMW-GS와LMW-GS의 비율은 빵용으로 사용되는 수입 원맥인 DNS (Dark Northern Spring wheat)와 AH (Australian Hard wheat)보다 낮았으며, HRW와 HMW-GS와 LMW-GS비율이 비슷하였다(Cho et al. 2018b). 국내 밀 품종의HMW-GS 함량은 질소 시비에 따라 증가하거나 변화를 보이지 않았고, 등숙기 고온에 따라 유의한 변화는 없었지만 외국의 사례에서는 유전형질과 재배 환경이 영향을 미쳤다(Cho et al. 2018a, Son et al. 2019). HMW-GS 함량은 제빵 특성에 영향을 미치는 중요한 요인이지만 국내 빵용 품종의 경우 천연발효빵에 사용되는 수입 밀가루와 원맥의 HMW-GS과LMW-GS의 비율이 낮고, HMW-GS의 x-type과 y-type의 비율에서 차이가 나는데 이를 보완하기 위해 향후 유전자 조성 분석을 통한 천연발효빵에 적합한 국내 빵용 품종 육성이 필요하다.

국내 밀 품종의 글리아딘 함량의 비율을 보면 $\alpha+\beta$ -글리아딘

함량 비율이 41.3-56.7%로 가장 높았으며, γ -글리아딘의 함량 비율이 27.0-49.9%였고, ω -글리아딘 함량은 8.8-17.0%로 적었다. T55의 $\alpha+\beta$ -글리아딘 함량 비율은 42.1%로 국내 품종에서 낮은 값을 나타낸 황금(41.3%)과 비슷하였으며, γ -글리아딘의 함량 비율도 46.4%로 황금(49.9%)과 비슷하게 높았으며, ω -글리아딘 함량은 11.6%로 백강(13.6%)과 비슷하였다. HRW의 $\alpha+\beta$, γ -와 ω -글리아딘 함량은 각각 54.0%, 37.3%과 8.7%로 $\alpha+\beta$ -글리아딘 함량 비율은 국내 품종에서 높은 값을 나타낸 백강(54.7%)과 중모2008(56.7%)과 비슷하였으며, γ -글리아딘의 함량 비율은 백강(31.7%), 조경(39.5%)과 금강(30.4%)와 비슷하였고, ω -글리아딘 함량은 국내 품종 중에서 낮은 황금(8.8%)과 비슷하였다. 국내 밀 품종의 $\alpha+\beta$ 와 γ -글리아딘의 비율은 0.8-2.6으로 품종 간에 차이가 없었으며, T55 (0.9)와 HRW (1.5)와도 차이가 없었다. 국내 품종의 $\alpha+\beta$ 와 ω - 글리아딘의 비율도 3.3-5.3으로 품종 간에 차이가 없었으며, HRW은 6.2로 T55 (3.6)이나 조경(3.3), 중모2008(3.5)과 금강(3.4)보다 높았다. 국내 품종의 γ -와 ω -글리아딘의 비율은 1.7-5.7이었으며, T55 (4.0)와 HRW (4.3)는 중모2008(1.7)과 금강(2.0)보다 높았고 나머지 품종과 비슷하였다. 수입 원맥과 밀가루, 국산밀의 글리아딘 조성 및 함량 비교 결과, T55는 γ -글리아딘의 함량이 많고, $\alpha+\beta$ 글리아딘 함량이 비교적 적어 전체적으로 황금과 비슷한 특성을 보였다. HRW는 $\alpha+\beta$ 글리아딘 함량이 비교적 많아 백강, 중모2008과 유사하고, γ -글리아딘 함량이 조경, 백강과 유사하여, 종합적으로 백강과 비슷한 특성을 나타내었다. 국내 밀 13 품종의 $\alpha+\beta$ 글리아딘 함량은 한 품종을 제외한 12품종 모두 수입 원맥보다 높은 함량을 지니, 글리아딘 조성 간의 비율 또한 수입 원맥과 비교하여 높게 나타났으며, 본 연구 결과에서도 황금을 제외한 나머지 국내 품종의 $\alpha+\beta$ 글리아딘 함량이 수입 밀가루와 원맥보다 높은 특성을 보였고, DNS와 비슷하였다(Cho et al. 2018b). 질소 시비에 의해서 단백질이 증가함에 따라 국내 밀 품종의 글리아딘 함량이 증가하며, 특히 $\alpha+\beta$ 글리아딘의 함량이 증가하여 γ -와 ω - 글리아딘 함량은 상대적으로 감소하였고, 등숙기 고온에 의해 국내 밀 품종의 유의한 글리아딘 변화는 나타나지 않았다(Cho et al. 2018a, Son et al. 2019). 하지만 프랑스와 독일에서 γ -와 ω -글리아딘 함량이 증가하는 등 글리아딘도 글루테닌과 마찬가지로 재배 환경과 유전 조성에 따라 변이가 나타났다(Daniel & Triboni, 2000, Johansson et al. 2001). 천연발효빵 빵 뿐만 아니라 다양한 빵 종류의 가공 제품 생산을 위해서는 국내 밀 품종의 글루테닌의 함량 및 비율의 다양성 확보가 이루어져야 하는데, 이를 위해서는

국내 밀 육종프로그램에서 인공 교배 및 계통 육성 과정에서 좀 더 다양한 자원 도입 및 선발 효율성 증진에 관련된 연구가 진행되어야 한다.

밀가루 반죽 및 호화 특성

믹소랩 측정 결과는 Table 4에서 보는 바와 같다. 믹소랩은 반죽 물성과 전분 호화 특성을 동시에 평가가 가능하기 때문에 제빵 및 제과 특성 평가에 많이 이용되고 있어 국내 밀 육종 프로그램에 이용 가능성도 매우 높다(Dubat 2010, Simsek et al. 2016, Kim et al. 2017). 믹소랩의 측정치는 1차와 2차 측정치로 나뉘는데, 1차 측정치 중에서 반죽 가수량, 반죽 발달 시간과 안정도와 단백질 연화(protein weakening) 과정에서 떨어지는 토크 값을 측정하여 단백질 강도를 예측할 수 있는 C2가 반죽의 특성을 나타내고, 2차 측정치 중에서는 α 가 열에 의한 단백질 연화 속도를 나타낸다(Dubat 2010). 반죽 발달 시간과 안정도는 2019년이 2018년 보다 높게 나타났는데, 이러한 차이는 2018년 수확 밀가루와 2019년 수확 밀가루 간의 반죽 특성 차이가 영향을 미친 것으로 보이며, 믹소랩 profiler value로 나타내고 있는 Fig. 2를 통해 확인할 수 있다. 국내 밀 품종의 가수량 범위는 53.5-58.9%이었으며, 반죽 도달 시간은 1.1-4.4 분, 반죽 안정도

는 6.7-9.4 분이였다. 중모2008(58.9%)과 금강(58.5%)의 반죽 가수량이 다른 품종에 비해 높았고 HRW (58.6%)과 비슷하였으며, 나머지 품종은 T55 (53.9%)와 비슷하였다. 백강과 황금의 반죽 발달 시간은 1.1분으로 다른 품종에 비해 짧고 T55 (1.4

Fig. 2. Mixolab profiler value of imported wheat and commercial flours (A), and Korean bread wheat cultivars (B).

Table 4. Mixolab parameters of Korean wheat cultivars, imported wheat and commercial imported wheat flours.

Flour	Mixolab parameters ^z										
	Primary parameters							Secondary parameters (Nm/min)			
	WA (%)	DDT (min)	STB (min)	C2 (Nm)	C3 (Nm)	C4 (Nm)	C5 (Nm)	α	β	γ	δ
<i>Years</i>											
2018	56.8a ^x	3.9a	8.9a	0.48a	1.87a	1.47a	2.83b	-0.09a	0.30a	-0.12a	1.36a
2019	55.1a	1.8b	6.7c	0.48a	1.98a	1.71a	3.10a	-0.09a	0.38a	-0.10a	1.39a
<i>Korean wheat cultivar</i>											
Baekgang	54.7b	1.1c	6.7c	0.48b	2.02abc	1.64ab	3.12ab	-0.09b	0.33b	-0.10b	1.49a
Hwanggeum	53.5b	1.1c	7.3bc	0.42c	1.90bcd	1.67ab	2.94bc	-0.10b	0.43a	-0.08b	1.27bc
Jokyung	54.1b	3.9ab	7.3bc	0.49b	2.14a	1.77a	3.29a	-0.10b	0.33b	-0.12c	1.51a
Joongmo2008	58.9a	3.8ab	9.4abc	0.53a	1.78d	1.49bc	2.87c	-0.06a	0.46a	-0.02a	1.38ab
Keumkang	58.5a	4.4a	8.4abc	0.49b	1.80d	1.37c	2.60d	-0.10b	0.16c	-0.25c	1.24cd
<i>Imported wheat flour^y</i>											
T55	53.9b	1.4bc	9.9ab	0.54a	1.86cd	1.65ab	3.16ab	-0.09b	0.43a	-0.07b	1.51a
HRW	58.6a	6.2a	10.6a	0.49b	2.04ab	1.45bc	2.58d	-0.09b	0.28b	-0.09b	1.13d

^zWA = water absorption, the amount of water required in dough development; DDT = dough development time; STB = stability, time of dough stability at constant temperature; C2 = protein strength; C3 = starch gelatinization; C4 = starch gel stability; C5 = starch retrogradation in the cooling phase; α = protein network weakening rate; β = starch gelatinization rate; γ = cooking stability rate; δ = cooling setback range.

^yT55 = French wheat flour obtained from Sunin Co; HRW = hard red winter wheat obtained from Sajo-Dongaone Co.

^xValues followed by same letters within same characteristic are not significantly different at $p < 0.05$

분)와 비슷하였으며, HRW (6.2분)은 다른 밀가루에 비해서 길었다. 백강은 반죽 안정 시간이 6.7분으로 가장 짧았으며, T55 (9.9분)과 HRW (10.6분)은 백강을 제외한 국내 품종과 비슷한 반죽 안정도를 나타내었다. 국내 품종의 C2 값은 0.42-0.53 Nm이었으며, 중모2008(0.53)이 T55 (0.54)와 비슷하였고 다른 품종이나 HRW (0.49) 보다 높았으며 황금(0.42)은 제일 낮은 값을 나타내었다. 국내 품종의 반죽 연화 속도(α)도 중모2008(-0.06)으로 가장 높았으며 다른 밀가루는 차이가 없었다. 본 연구의 국내 품종의 믹소랩의 단백질 관련 특성은 이전 연구에서 수행된 2014년 수확 햅용 밀 품종의 결과와 비슷한 범위를 나타내었지만, HRW는 이전 연구에 사용된 원맥에 비해서 반죽 가수량과 안정도가 차이가 나타났으며, 두 연구에서 공동으로 평가된 금강과 조경도 가수량과 반죽 발달 시간과 안정도에서 차이가 나타났는데 이러한 차이는 재배 환경이나 단백질 함량이 영향을 미친 것으로 보인다(Kim et al. 2017). 믹소랩의 단백질 관련 특성은 국내 밀 품종뿐만 아니라 미국 품종에서도 정의 상관을 나타내었는데(Caffe-Treml et al. 2010, Dhaka et al. 2012, Kim et al. 2017), 식사 대용 발효 빵에 적합한 국내 밀 품종 선별을 위해서는 다양한 품종에 대한 정확한 제빵 평가와 재배 환경이 미치는 영향에 대한 연구와 더불어 믹소랩 지표의 육종 프로그램에서 활용성 증진을 위한 추가적인 연구가 필요하다.

믹소랩에서 반죽 발달에 대한 평가가 완료되면 전분의 호화 특성을 평가하게 되는데, 전분 특성의 1차 측정치인 호화 정도, 호화 안정도와 노화 정도는 각각 C3, C4와 C5로 표기되며 토크 값(Nm)으로 나타난다(Dubat 2010). 2차 측정치 중 α , β , γ 는 1차 측정치 간의 기울기로 표기되며, δ 는 토크 차이로 표기하였다. C2와 C3사이의 기울기인 β 는 호화 속도(starch gelatinization rate), C3와 C4 사이의 기울기인 γ 는 조리 안정도(cooking stability rate)를 의미하고, C4와 C5 사이의 토크 차이인 δ 는 냉각 감속 정도(cooling setback range)를 의미한다(Dubat 2010). 국내 품종의 연차 간 차이는 C5에서만 2019년 수확 밀가루 (3.10 Nm)이 2018년 수확 밀가루(2.83 Nm)보다 높았지만, 다른 지표에서는 차이가 없었다. 국내 품종의 C3와 C4는 각각 1.78-2.02 Nm와 1.37-1.77 Nm로 T55 (2.04와 1.65 Nm)와 HRW (1.86과 1.45 Nm)와 차이가 없었으며, C5의 국내 품종 범위는 2.60-3.29 Nm이고 금강(2.60 Nm)은 품종 중에 제일 낮은 값이었으며 HRW (2.58 Nm)과 비슷하였고, T55 (3.16 Nm)은 백강 (3.12 Nm)이나 조경(3.29 Nm)과 비슷하였다. 국내 품종의 β , γ 와 δ 의 범위는 각각 0.16-0.46 Nm/min, -0.25--0.02 Nm/min과 1.24-1.51 Nm이었다. 금강은 β (0.16 Nm/min)와 γ (-0.25

Nm/min)값이 제일 낮았으며, 황금(0.43 Nm/min)과 중모 2008(0.46 Nm/min)의 β 값은 T55 (0.43 Nm/min)와 비슷하였으며 다른 품종 보다 높았다. 중모2008(-0.02 Nm/min)은 다른 품종보다 γ 값이 높았으며, T55 (-0.07 Nm/min)과 HRW (-0.09 Nm/min)은 백강(-0.10 Nm/min)과 황금(-0.08 Nm/min)과 비슷하였다. 백강(1.49 Nm/min)과 조경(1.51 Nm/min)은 다른 품종 보다 δ 의 값이 높았으며 T55 (1.51 Nm/min)과 비슷하였고, HRW (1.13 Nm/min)은 금강(1.24 Nm/min)과 비슷하게 낮았다. 믹소랩을 이용한 2014년 수확 국내 밀 품종의 전분 관련 특성 결과와 본 연구에 이용된 품종의 값은 비슷한 범위를 나타내었으며, 부분 찰성밀인 호중은 2014년 밀가루에서는 다른 품종에 비해서 비교적 높은 C3, C4와 C5값을 나타내었다(Kim et al. 2017). 국내 밀 품종에서 아밀로스 함량은 C3, C4와 C5와 높은 상관을 나타내었으며, 아밀로그래프의 최고점도 및 breakdown과도 높은 상관을 나타내었으며, 세르비아 밀 품종에서도 비슷한 결과가 보고되었다(Dapčević et al. 2009, Xhabiri et al. 2016, Kim et al. 2017). 본 연구에서는 아밀로스 함량 및 아밀로그래프를 이용한 호화 특성 평가가 이루어지지 않았지만 낮은 아밀로스 함량과 높은 호화 점도는 빵과 국수의 식미 개선과 노화도의 지표로 이용되기 때문에 전분 특성 관련 추가적인 연구가 수행될 필요가 있다.

믹소랩 profiler value를 보면 중모2008은 연차 간 아밀라아제 활성의 차이가 나는 것으로 보아 연차 간 호화 안정도 차이로 보이며, 나머지 품종은 전분 특성에서 연차 간 차이가 크지 않았다(Fig. 2). 백강과 황금의 믹소랩 profiler value는 T55와 비슷한 형태를 보였으며, 중모 2008은 HRW와 비슷하였다. 이러한 믹소랩 profiler value는 품종의 단백질과 전분 특성을 쉽게 파악할 수 있기 때문에 가공 적성을 예측하는데 많은 도움이 된다(Dubat 2010). 이러한 믹소랩의 편리성으로 가공 적성 분석 및 기준 설정 연구 및 사업체의 활용이 증가하고 있으며(Posner et al. 2014, Mironeasa & Codina 2017, Sharma et al. 2017), 국내 밀 품종의 연차간 지역간 변이 양상과 가공적성에 적합한 품종을 혼합하는데 활용이 가능하기 때문에 이와 관련된 후속 연구가 필요하다.

Sourdough bread 특성 평가

프랑스 빵은 밀가루와 물 효모, 소금을 넣어 만든 빵이며, 재료 특성 및 발효 방법이나 모양에 따라 캄파뉴(campagnu), 바게트(baguette), 볼(boule) 등 다양한 이름으로 불린다(Tweed 1983). 캄파뉴란 ‘시골의 빵’을 뜻하는 프랑스어로 바게트가 대중적으로 보급되기 이전에 주식으로 이용되었으며, sourdough

와 물, 소금, 밀 또는 호밀 반죽을 오랜 시간 숙성시켜 시큼한 산미가 나는 것이 특징이다. 바게트는 긴 막대기 모양의 빵으로 3-4 mm 두께의 껍질이 있으며, 빵의 내부는 기공이 많고 부드러우며 맛이 담백하고 풍미를 가지고 있어 이탈리아나 프랑스에서 주식으로 먹는다(Tweed 1983, Hayakawa et al. 2010). 국내 밀 품종과 수입 원맥 및 밀가루를 이용하여 캄파뉴, 바게트를 제조한 제빵 결과는 Table 5에서 보는 바와 같다. 국내 밀 품종으로 만든 캄파뉴는 2018년 수확 밀가루의 빵 부피가 569 mL로 2019년 수확 밀가루(548 mL)보다 컸으며, 빵 무게가 연차 간 차이가 없었기 때문에 빵의 비용적도 2018년이 높았고, 빵 속질(crumb)의 경도(Firmness)는 빵 용적이 클수록 적어지기 때문에 2018년 수확 밀가루가 4.8 N으로 2019년(6.3 N) 보다 낮았다. 바게트에서도 2018년에 수확한 밀가루가 2019년 수확 밀가루보다 빵 용적이 크고 속질의 경도가 낮았다. 프랑스 빵의 부피나 속질의 경도는 식빵과 마찬가지로 단백질 함량과 질에 영향을 받는 것으로 알려져 있으며(Magnus et al. 1997, Zehentbauer & Grosch 1998, Baardseth et al. 2000), 단백질 특성은 재배 환경에 영향을 받기 때문에 본 연구에서도 연차 간 차이가 나는 것으로 보인다.

빵 부피를 보면 중모2008의 캄파뉴 빵 부피(602 mL)만이 T55 (597 mL)와 HRW (601 mL)와 비슷하였고, 바게트 빵 부피(393 mL)는 HRW와 비슷하였고 T55 (354 mL) 보다는

높았다. 그러나 나머지 품종의 캄파뉴 빵 부피는 T55로 제조한 빵 부피와 비교하여 약 50 mL 정도 낮게 나타났으며, 바게트 빵의 부피는 약 20 mL정도 높았다. 캄파뉴와 바게트의 빵 부피 빵 제조에 이용된 가수량과 분할 무게의 차이로 인한 수분 보유력이나 발효 과정에서 오는 차이로 생각된다. 이로 인해서 단백질의 질적 특성이나 함량이 높은 HRW가 다른 밀가루에 비하여 높은 빵 무게를 보였으며, T55는 국내 품종과 비슷하였고, 중모2008을 제외한 국내 품종 간에는 차이가 없었다. 빵의 비용적은 부피를 무게로 나눈 값이기 때문에 빵 부피와 비슷한 경향을 보였고, 빵 부피가 큰 중모2008의 캄파뉴 속질 경도(4.0 N)는 다른 품종에 비하여 낮았고 T55 (4.5 N)나 HRW (4.7 N)와 비슷하였고, 바게트의 빵의 속질 경도(8.9 N)는 HRW (7.4 N)과 비슷하였다. 다른 국내 품종의 바게트 빵의 속질 경도는 11.8-15.4 N으로 T55 (13.8 N)와 비슷하였다. 국내 품종으로 만든 캄파뉴와 바게트는 Figs. 3A, 3B에서 보는 것과 같이 빵의 외관은 비슷하고 중모2008이 T55와 HRW와 비슷한 빵 부피를 나타내었지만, 국내 품종은 속질의 기공이 너무 크게 형성이 되어서 식감을 떨어뜨리거나 수분 보유력이 떨어져 노화가 빨리 진행될 가능성이 높아 보였다(Fig. 3A). 바게트는 겉표면이 바삭하고 두꺼운 특성을 지니고 있으며, 속질도 성긴 구조가 선호되는데(Tweed 1983), 국내 품종은 T55나 HRW와 비슷하게 얇은 껍질을 보였고, 중모2008은 HRW와 비슷하게 성긴 속질 구조를 보였고, 조경과

Table 5. Characteristics of sourdough breads, campagne and baguette, baked from Korean bread wheats, imported and commercial imported wheat flours.

Flour	Campagne				Baguette			
	Loaf volume (mL)	Weight (g)	Specific volume (mL/g)	Crumb firmness (N)	Loaf volume (mL)	Weight (g)	Specific volume (mL/g)	Crumb firmness (N)
<i>Year</i>								
2018	569a ^y	244a	2.3a	4.8b	388a	186a	2.1a	9.9b
2019	548b	244a	2.2b	6.3a	363b	183a	2.0a	13.9a
<i>Korean wheat cultivar</i>								
Baekkang	550b	245b	2.3b	6.5a	369ab	184bc	2.0ab	12.1abc
Hwanggeum	552b	242b	2.3b	5.8a	366b	182c	2.0ab	15.4a
Jokyung	546b	243b	2.3b	6.1a	387ab	184bc	2.1a	11.3bc
Joongmo2008	602a	243b	2.5a	4.0c	393a	185b	2.1a	8.9cd
Keumkang	543b	245ab	2.2b	5.6ab	364b	182bc	2.0ab	11.8bc
<i>Imported wheat flour^z</i>								
T55	597a	244b	2.5a	4.5c	354c	185b	1.9b	13.8ab
HRW	601a	248a	2.4a	4.7bc	393a	195a	2.0ab	7.4d

^zT55 = farine française French wheat flour obtained from Sunin Co; HRW= hard red winter wheat obtained from Sajo-Dongaone.

^yValues followed by same letters within same characteristic are not significantly different at $p < 0.05$

Fig. 3. Comparison of surface and crumb structure of campanule (A) and baguette (B) baked from five Korean wheats and imported wheats. T55 = Rarine francaise French wheat flour obtained from Sunin Co., HRW= hard red winter wheat obtained from Sajo-Dongaone Co. Crumb structure (top) and top surface (bottom).

백강은 보다 치밀한 속질 기공을 보였으며 T55로 제조한 바게트와 유사한 특성을 보였다(Fig. 3B). 밀가루 반죽이나 제빵 과정에서 화학 개량제와 비슷한 역할을 하는 트랜스글루타미나제(TG, protein-glutamine γ -glutamyl transferase, EC 2.3.2.13)를 0.2%를 첨가한 파베이크(par-baked) 바게트의 국내 밀 품종의 품질 평가에서도 빵용 품종인 금강, 조경과 알찬은 적합한 것으로 나타났으며, 밀가루의 단백질 함량, 침전가와 반죽 시간이 이들 빵 적성과 상관이 있었다(Kang et al. 2013). 식사 대용이 가능한 천연발효종 빵에 대한 소비가 늘어남에 따라 국내 밀 품종의 적성 평가와 육종프로그램에서 활용 가능한 지표를 선별하고 활용하기 위한 체계적인 연구가 필요하다. 본 연구의 사위도우빵 가공 적성 평가 결과, T55와 HRW가 단일 품종으로 만든 국내산 빵 제품에 비하여 속질 구조나 식감이 우수하였다. 수입산 원맥과 밀가루는 용도에 맞는 균일한 우수 품질의 밀가루를 생산하기 위하여 단일 품종의 단점을 보완해주는 블렌딩 기술을 적용하여 혼합 밀가루를 생산하기 때문이다. 이러한 결과를 바탕으로, 국내산 빵용 밀 품종인 중모2008, 백강과 황금 등 다양한 품종을 혼합하는 후속 연구를 통하여 국내 밀 품종을 활용한 천연발효빵 품질 향상이 가능할 것이다.

적 요

본 연구는 국내 빵용 밀 품종의 밀가루 이화학적 특성이 사위도우빵 품질에 미치는 영향을 평가하였다. 중모2008의 단백질 함량과 침전가 및 글루텐 함량은 가장 높았으며, 금강은 HRW와 비슷한 단백질 함량과 침전가를 보였으며, 백강, 조경과 황금은 T55와 비슷한 단백질 특성을 나타내었다. 중모2008과 금강은 HRW와 T55와 비슷한 글루테닌 함량을 나타내었고, 백강, 황금

과 조경은 HRW와 T55보다 높은 고분자량 글루테닌 함량과 낮은 저분자량 글루테닌 함량을 나타내었다. 중모2008과 금강의 $\alpha + \beta$ 글리아딘 함량은 다른 품종에 비하여 높았고 HRW와 비슷하였으며, 백강과 황금의 γ -와 ω -글리아딘 함량은 T55와 비슷하였다. 믹소랩을 이용한 밀가루 반죽 및 호화 특성을 평가한 결과, 중모2008과 금강의 반죽 가수량은 HRW와 비슷하였으며, 나머지 품종은 T55와 비슷하였고, 백강과 황금의 반죽 발달 시간은 T55와 비슷하였으며, 백강을 제외한 품종의 반죽 안정도는 T55와 HRW와 비슷하였다. 그러나 전분의 호화 특성에서는 국내 품종과 T55 및 HRW와 큰 차이는 없었다. 국내 품종으로 만든 캄파뉴와 바게트는 외관상으로는 T55나 HRW와 비슷하였고, 중모2008이 다른 품종에 비하여 높은 빵 부피를 나타내었으며 T55나 HRW와 비슷한 빵 부피와 속질 경도를 나타내었다. 다른 품종의 캄파뉴 빵 부피는 T55보다는 낮았고, 바게트 빵의 부피는 약간 높았으며, 다른 국내 품종의 캄파뉴 빵 속질 경도는 T55보다 높았지만 바게트 빵의 속질 경도는 T55와 비슷하였다.

사 사

본 연구는 농촌진흥청 연구사업(세부과제명: 색소 고품유 유색밀 및 저아밀로스 찰밀 계통 육성, 세부과제번호: PJ01252901)에 의해 이루어졌으며, 천연발효빵 제조에 도움을 주신 파일러츠 베이커리 전영선님과 조희님에게 고마움을 전함.

REFERENCES

1. American Association of Cereal Chemists International. 2010. Approved Methods of Analysis, 11th Ed. Methods 08-01.01, 26-31.01, 44-15.02, 54-40.02, 54-60.01, 55-40.01,

- 56-70.01 Available online only. AACCI: St. Paul, MN, USA.
2. Baardseth P, Kvaa K, Lea P, Ellekjær MR, Færgestad EM. 2000. The effects of bread making process and wheat quality on French baguettes. *J Cereal Sci* 32: 73-87.
3. Caffè-Trembl M, Glover KD, Krishnan PG, Hareland GA. 2010. Variability and relationships among mixolab, mixograph, and baking parameters based on multienvironment spring wheat trials. *Cereal Chem* 87: 574-580.
4. Chae DJ, Lee KS, Jang KH. 2011. Sourdough and bread properties utilizing different ratios of probiotics and yeast as starters. *Korean J Food Sci Technol* 43: 45-50.
5. Capelle S, Guylaine L, Ganzle M, Gobbetti M. 2013. History and social aspects of sourdough, pp. 1-17. Gobbetti M, Ganzle M (Eds.) *Handbook of Sourdough Biotechnology*. Springer, Heidelberg.
6. Cho SW, Kang CS, Ko HS, Baik BK, Cho KM, Park CS. 2018a. Influence of protein characteristics and the proportion of gluten on end-use quality in Korean wheat cultivars. *J Integr Agric* 17: 1706-1719.
7. Cho SW, Kang TG, Park CS, Son JH, Choi CH, Cheong YK, Yoon YM, Kim KH, Kang CS. 2018b. Influence of different nitrogen fertilizer application levels and timing during grain filling on gluten fraction and bread loaf volume. *Korean J Crop Sci* 63: 229-238.
8. Daniel C, Triboni E. 2000. Effects of temperature and nitrogen nutrition on the grain composition of winter wheat: effects on gliadin content and composition. *J Cereal Sci* 32: 45-56.
9. Dapčević T, Handnadev M, Pojić M. 2009. Evaluation of the possibility to replace conventional rheological wheat flour quality control instruments with the new measurement tool - Mixolab. *Agric Conspec Sci*. 74: 169-174.
10. Dhaka V, Gulia N, Khatkar BS. 2012. Application of Mixolab to assess the bread making quality of wheat varieties. *Sci Rep* 1: 183.
11. Dubat A. 2010. A new AACCI International approved method to measure rheological properties of a dough sample. *Cereal Foods World* 55: 150-153.
12. 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.
13. Gupta RB, Khan K, Macritchie F. 1993. Biochemical basis of flour properties in bread wheat. I. Effects of variation in the quantity and size distribution of polymeric protein. *J Cereal Sci* 18: 23-41.
14. Hayakawa F, Ukai N, Nishida J, Kazami Y, Kohyama K. 2010. Lexicon for the sensory description of French bread in Japan. *J Sens Stud* 25: 76-93.
15. 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.
16. 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.
17. Kang CS, Shin SH, Son JH, Kim KH, Choi ID, Park CS. 2013. Evaluation of quality of par-baked French bread treated with transglutaminase in Korean wheat. *J Agric Life Sci* 44: 30-36.
18. Kang MS, Lee CK, Park DS, Ku BC, Park KG, Ko JM, Hyun JN, Kim JC, Nam JH, Suh DY, Kim SJ, Yun YS, Hwang JJ, Kim JG. 2006. A new white wheat cultivar, "Jokyoung" for bread making. *Korean J Breed Sci* 38: 139-140.
19. Kim JE, Cho SW, Kim HS, Kang CS, Choi YS, Choi YH, Park CS. 2017. Utilization of Mixolab for quality evaluation in Korean wheat breeding programs. *Korean J Breed Sci* 49: 10-22.
20. Kim WM, Lee GH. 2015. Comparison of imported wheat flour bread making properties and Korean wheat flour bread making properties made by various bread making methods. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 44: 434-441.
21. Kim YM. 2018. Quality characteristics of sourdough bread with apple whole wheat flour sour starter. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 47: 468-475.
22. Lee JH, Kwak EJ, Kim JS, Lee KS, Lee YS. 2007. A study on quality characteristics of sourdough breads with addition of red yeast rice. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 36: 785-793.
23. Mironeasa S & Codină GG. 2017. The mixolab rheological properties and dough microstructure of defatted mustard seed-wheat composite flours. *J Food Proc Preserv* 41: e13130.
24. Magnus EM, Bråthen E, Sahlström S, Færgestad EM, Ellekjær MR. 1997. Effects of wheat variety and processing conditions in experimental bread baking studied by univariate and multivariate analyses. *J Cereal Sci* 25: 289-301.
25. Nam JH, Song HS, Park HH, Heo HY, Park MW, Park KH, Rho CW, Nam SY, Ju JI, Park CB, Lee YS, Park SG, Kim DH. 1998. A new high milling, early maturity, semi-dwarf and white grain wheat variety "Keumkangmil" with good bread quality. *J Crop Sci* 40: 81-87.
26. Nguimbou RM, Njintang NY, Himeda M, Gaiani C, Scher

- J, Mbofung CMF. 2012. Effect of cross-section differences and drying temperature on the physicochemical, functional and antioxidant properties of giant taro flour. *Food Bio Tech* 6: 1809-1819.
27. Posner ES, Chew-Guevara AA, Mitre-Dieste M, Perez-Carrillo E, Heredia-Olea E, Wilson JD, Serna-Saldivar SO. 2014. Generation of a Mixolab profile after the evaluation of the functionality of different commercial wheat flours for hot-press tortilla production. *Cereal Chem* 91: 139-145.
28. RDA. 2012. Standard of research and analysis for agricultural technology. pp. 339-365.
29. Sakandar HA, Hussain R, Kubow S, Sadiq FA, Huang W, Imran, M. 2019. Sourdough bread: A contemporary cereal fermented product. *J Food Proc Preserv* 43: e13883.
30. Siepmann FB, Ripari V, Waszczynskyj N, Spier MR. 2018. Overview of sourdough technology: From production to marketing. *J Food Bioproc Tech* 11: 242-270.
31. Sim S, Park YJ, Lee JH, Jeoung SY, Lim JJ, Yu GH, Kim EG, Suh HJ. 2019. Quality characteristics and antioxidant activities of morning bread-containing aronia sourdough starter. *J Food Hyg Saf* 34: 463-472.
32. Simsek S, Ohm J-B, Cariou V, Mergoum M. 2016. Effect of flour polymeric proteins on dough thermal properties and breadmaking characteristics for hard red spring wheat genotypes. *J Cereal Sci* 68: 164-171.
33. Son JH, Kang CS, Yoon YM, Choi CH, Kim KH, Kim KM, Park TI, Kang TG, Kang SW, Park CS, Cho SW. 2019. Effect of high temperature during grain maturation on flour properties and end-use quality in Korean wheat cultivars. *Korean J Breed Sci* 51: 20-33.
34. Triboui E, Abad A, Michelena A, Lloveras J, Ollier J L, Daniel C. 2000. Environmental effects on the quality of two wheat genotypes: 1. Quantitative and qualitative variation of storage proteins. *Eur J Agron* 13: 47-64.
35. Tweed AR. 1983. A look at French "French bread". *Cereal Foods World* 45: 504-512.
36. Xhabiri GQ, Durmishi N, Idrizi X, Ferati I, Hoxha I. 2016. Rheological qualities of dough from mixture of flour and wheat bran and possible correlation between brabender and Mixolab chopin equipments. *MOJ Food Process Technol* 2: 00042.
37. Yan X, Liu W, Yu ZT, Han CX, Zeller FJ, Hsam SLK, Yan YM. 2014. Rapid separation and identification of wheat HMW glutenin subunits by UPLC and comparative analysis with HPLC. *Aust J Crop Sci* 8: 140-147.
38. Yoon YM, Kim JE, Cho SW, Kang CS, Kim HS, Jung YG, Park CS. 2017. Characteristics of yellow alkaline noodles from Korean wheat cultivars with commercially used machines in Korean market. *Korean J Breed Sci* 49: 157-169.
39. Zhou JW, Han CX, Cao H, Zhen SM, Yu ZT, Li XH, Ma WJ, Yan YM. 2013. Fast identification of wheat 1BL.1RS translocation by reversed-phase ultra-performance liquid chromatography (RP-UPLC). *Crop Pasture Sci* 64: 865-873.
40. Zehentbauer G, Grosch W. 1998. Crust aroma of baguettes I. Key odorants of baguettes prepared in two different ways. *J Cereal Sci* 28: 81-92.