장수형 밀 계통의 특성 분석 II. 밀가루 및 관련 유전자 특성

강천식¹ · 손재한¹ · 정영근¹ · 김경훈¹ · 고윤희¹ · 박종철¹ · 오영진¹ · 김경호¹ · 김보경¹ · 박철수^{2*}

¹국립식량과학원, ²전북대학교 농업생명과학대학 작물생명과학과

Characterization of Korean Wheat Line with Long Spike. II. Flour Characteristics and Genetic Variations

Chon-Sik Kang¹, Jae-Han Son¹, Young-Keun Cheong¹, Kyeong-Hoon Kim¹, Yun-Hee Ko¹, Jong-Chul Park¹,
Young-Jin Oh¹, Kyoung-Ho Kim¹, Bo-Kyoung Kim¹, and Chul Soo Park^{2*}

¹National Institute of Crop Science, RDA, Wanju 565-851, Korea

²Department of Crop Science and Biotechnology, Chonbuk National University, Jeonju 561-756, Korea

Abstract : Molecular markers related to flour qualities of long spike wheat lines were evaluated. Ash, wet gluten and protein content of long spike wheat lines were higher than Keumkang(Korean wheat cv.) but SDS-sedimentation volume(SDSF) was lower. Particle size and lightness of flour of long spike wheat lines showed similar to Keumkang. The high positively correlation was presented between protein content and SDSF, wet gluten and particle size, respectively. However, negatively correlation was between protein content and lightness. Through the analysis of molecular markers, we identified the genotypes of four genes, *Glu-A3c*, *Wx-A1a*, *Wx-B1a* and *Wx-D1a*. These genes had same genotypes with Keumkang. Six genes, *Glu-A1c*, *Glu-B1c*, *Glu-D1a*, *Glu-B3g*, *Pina-D1a* and *Pinb-D1b*, were presented in most of the lines. Two genes, *Glu-A1* and *Glu-B1b*, were related to higher protein contents and wet gluten. The lines containing three genotypes, *Glu-D1d*, *Glu-B3h* and *Pinb-D1b*, had higher ash, protein contents, SDSF and wet gluten, and lightness was darker. Through the results, we expect that long spike type wheat lines are necessary to breed wheat having high yield productivity.

Keywords : Allelic variation, Flour quality, Long spike, Wheat

서 언

국내 1인당 밀 연간 소모량은 약 32.3 kg 정도로 벼(67.2 kg) 다음으로 많은 작물이지만, 사료용을 제외한 식량자급도는 1.1%로 약 200만톤 가량을 수입에 의존하고 있는 실정이다(MAFRA 2014). 최근 정부 정책 및 소비자의 의식변화로 국산 밀 재배면적과 생산량은 점차 증가하고 있지만 수입밀에 비하여 가격이 두 배 이상 높아 가격경쟁력이 낮고, 일반 소비자가 국산밀 원맥으로 만든 제품을 구매하기에는 경제적 부담이 있어 소비에는 한계가 있다. 이에 농촌진흥청에서는 국산밀의 경쟁력을 향상시키기 위하여 기존 품종과는 차별화

된 새로운 다수성 밀 계통을 육성하여 보고하였다(Kang et al. 2013, Son et al. 2014). 즉, 수량성 높은 밀 품종 개발을 위하여 국내 품종인 금강밀과 숙기가 늦지만 이삭이 길고 일수립수가 많은 중국 밀 유전자원 Xian83과의 인공교배를 실시한 후 계통을 전개하여 세대를 진전시켰다. 우량 계통으로 선발된 장수형 계통은 부분인 금강밀보다 이삭 길이가 길고, 1수립수가 많아 수량이 향상 되었다(Son et al. 2015).

밀 품질은 종실 내 함유되어 있는 단백질의 양과 질적 특성에 의해 크게 좌우되는데(Lim et al. 2007), 동일 품종일 경우 제빵적성은 단백질의 양과 비례하지만 동일수준의 단백질 함량에서는 글루텐의 질적 특성에 의해 결정된다(Carson & Edwards 2009, Khatkar et al. 1995). 글루텐은 전체 단백질 중 약 80%를 차지하는 밀 저장단백질로서 gliadin과 glutenin으로 구성되어 있다. 이 두 단백질은 밀가루 반죽의 신장성과 탄력성에 영향을 미치는데 일반적으로 glutenin은 탄성과 관

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

(Received on July 27, 2015. Revised on September 7, 2015.

Accepted on September 7, 2015.)

런이 높고, gliadin은 점성과 신축성과 관련이 깊다. 높은 신장성과 적절한 탄력성을 지닌 밀가루는 보통 빵을 만드는데 적합하고, 고도의 신장성을 지닌 밀가루는 과자용으로 적합하다(Zhao et al. 1999). Glutenin은 고분자 글루텐닌(HMW-GS)과 저분자 글루텐닌(LMW-GS) 두 그룹으로 나뉜다. HMW-GS는 빵을 만드는 과정에서 밀가루의 반죽의 탄력성을 높이고, 효모에 의해 만들어진 이산화탄소를 유지하여 빵이 부풀게 하는 역할을 한다(Cornish et al. 2006). HMW-GS는 각 1번 염색체 장완(long arm)에 위치하고 있는 *Glu-A1*, *Glu-B1* 그리고 *Glu-D1*에 의해 암호화되며(Payne et al. 1980) 총 6개의 HMW-GS 유전자가 존재한다. HMW-GS의 유전자 발현은 SDS-PAGE법이 사용되고 있는데, 분석 시간이 오래 걸리고, 숙련된 기술이 필요하여 유전자 발현을 보다 빠르고 편리하게 분석할 수 있는 분자마커가 개발되어 사용되고 있다(Lei et al. 2006, Liu et al. 2008, Ma et al. 2003).

종자의 경도는 제분 공정과 밀가루 품질에 영향을 끼치고, 최종적으로 제품의 가공적성에 영향을 주기 때문에 용도를 구분할 때 중요한 특성 중 하나로 작용한다. 경질밀은 연질밀보다 밀가루 입자가 크고 손상전분의 함량이 많아 보통 경질밀로 빵을 만들고, 연질밀은 파이, 케이크와 쿠키 등을 제조하는데 사용된다(Morris 2002, Pasha et al. 2010). 종실의 경도는 5D 염색체의 단완(short arm)에 위치한 경도 유전자좌(*Ha*)에 의해 조절된다(Park et al. 2009, Symes 1965). 전분 입자 표면에서 발견된 Friabilin은 수용성 단백질로서 종실경도와 매우 밀접하게 관련되어 있으며 연질밀에서는 양이 많고, 듀럼밀에서는 매우 드물었다(Jolly et al. 1993). Friabilin은 폴리펩티드 puroindoline a (*Pina*)와 b (*Pinb*)로 구성되어 있다(Gautier et al. 1994). 연질밀은 야생 유전자형인 *Pina-D1a*와 *Pinb-D1a* 두 대립유전자를 포함하고 있고, 경질밀은 *Pina-D1b*를 가지고 있거나 단일염기 변이가 일어난 *Pinb-D1b-g*의 유전자형을 나타낸다(Chen et al. 2007, Morris et al. 2001). *Pina-D1b* 유전자형을 가진 밀은 *Pinb-D1b* 유전자형 밀보다 종자가 더 단단하고, 제분율이 높고, 회분함량이 많으며 밀가루 색이 더 어둡게 나타난다(Cane et al. 2004, Nagamine et al. 2003). 최근 국내에서도 제분율 향상을 위해 품종과 고세대 계통에서 puroindoline a와 b에 대한 평가가 이루어지고 있다(Park et al. 2009).

국수용 밀가루의 품질은 구성 성분들이 나타내는 물리화학적 성질에 따라 달라 지는데, 특히 주성분인 단백질과 전분은 반죽의 점탄성이나 수분 흡수력, 점도 등의 변화와 밀접한 관

련성을 지닌다. 즉, 국수의 외관이나 표면 성질, 조직감 등의 특성에 직접적으로 영향을 미친다(Nagao 1992). 전분 성분 중에서 아밀로스 합성에 관여하는 Granule-bound starch synthase I (GBSS I, *waxy*, *Wx* protein) 유전자 *Wx-A1*, *Wx-B1*과 *Wx-D1*은 각각 7AS, 4AL과 7DS에 위치해 있다(Murai et al. 1999). Zhao et al. (1998)은 *Wx-B1b* 유전자를 가진 품종은 전분 구조의 미묘한 변화와 높은 밀가루 팽창 부피를 지니는 높은 전분의 점도를 지니게 되고, 특히 우동과 빵을 만들 때 가공적성을 향상시킨다고 하였다. 최근 Shariflou et al. (2001)은 중국 유전자원에서 *Wx-D1* 유전자의 변형된 DNA 마커를 개발하여 보고하였다. Nakamura et al. (2002)는 각 *Wx-1* 대립유전자의 분석을 위한 프라이머 세트를 보고하였다. 국내에서도 *Wx-1*에 대한 평가가 이루어지고 있으며, 국내 품종 중에서도 *Wx-B1b*인 호중밀이 개발되었다(Kang et al. 2012, RDA 2012).

최근 국산밀의 경쟁력을 향상시키기 위하여 기존의 초형과 다른 장수형 계통이 육성되었고, 농업형질과 이와 관련된 표지인자에 대한 연구가 최근 보고되었다(Kang et al. 2013, Shin et al. 2015, Son et al. 2015). 하지만, 밀은 최종적으로 밀가루의 품질에 따라 용도가 결정되는데 장수형 계통에 대한 품질과 이와 관련된 분자표지에 대한 연구는 아직 진행되지 않았다. 따라서 본 연구는 국내에서 육성된 장수형 계통에 대한 품질특성과 이와 관련된 유전자 특성을 함께 분석하여 용도별 다수성 밀 품종육성을 위한 기초 자료를 제공하고자 수행하였다.

재료 및 방법

공시재료

본 연구에 사용된 재료는 농촌진흥청 국립식량과학원 전작 포장(전북 김제시)에서 재배하여 2012년과 2013년에 수확된 장수형 제 8세대(F_8) 164계통(Son et al. 2015)과 특성을 비교분석하기 위해 부분으로 사용된 금강밀(Nam et al. 1998) 품종을 실험에 사용하였다.

밀가루 특성 평가

제분은 Bühler mill (MLU-202, Swiss)을 이용하여 AACCI Approved Methods 26-31.01 (AACCI 2010) 방법에 따라 제분수율 60% 수준으로 제분하였고, 제분된 밀가루는 10°C 저온실에 보관하여 실험에 사용하였다. 밀가루의 수분, 단백

질과 회분 함량은 각각 AACCI Approved Methods 44-15.02, 46-30.01과 08-01.01 (2010)에 준하여 측정하였다. 밀가루 색 밝기는 Minolta JS-555 (Minolta Camera Co., Ltd, Japan)을 이용하여 측정하였으며, 밀가루 입자 크기는 multi-wavelength laser particle size analyzer LS13320 (Beckman Coulter, Inc., USA)을 이용하여 측정하였다. 침전가는 AACCI Approved Method 56-70.01 (2010)을 변형하여 측정하였다. 즉, 밀가루 3 g(14% 수분함량 기준)을 100 ml 실린더에 넣고, 50 ml의 0.0004% bromophenol blue 용액을 넣은 후 2분 간격으로 2회, 15초 동안 잘 흔들어 준 후, 12.5% lactic acid를 포함한 2% SDS (sodium dodecyl sulfate) 용액 50 ml를 첨가한 후 2분, 4분과 6분 후에 15초간 잘 흔들고 20분간 방치한 후 침전물의 눈금을 측정하였다. 습부율은 AACCI Approved Method 38-12.02 (AACCI, 2010) 방법을 변형하여 Glutomatic 2020 (Perten Instruments AB, Sweden)을 이용하여 측정하였다.

Genomic DNA 추출

금강밀과 장수형 계통을 온실에 파종하여 3주간 생육시켰다. 유식물체의 엽을 채취하여 액체질소로 급속냉동시킨 후 유발을 이용하여 미세분말로 분쇄한 뒤 -70°C 에 보관하였다. Genomic DNA는 잎 분말(100 mg)로부터 식물용 genomic DNA 분리시약(Solgent, Korea)을 이용하여 추출하였다.

PCR 분석

Glu-1 유전자 특성 분석을 위한 PCR은 Lafiandra et al. (1997)의 방법으로 수행되었고, *Glu-A1* 유전자 분석은 Liu et al. (2008)의 방법, *Glu-B1* 유전자는 Ma et al. (2003)과 Lei et al. (2006)의 방법, *Glu-D1* 유전자 분석은 Liu et al. (2008)과 De Bustos et al. (2001)의 방법을 이용하여

수행되었다. *Glu-A3*와 *Glu-B3* 유전자 분석은 Wang et al. (2010)과 Wang et al. (2009)의 방법에 준하였고, 종실경도와 관련된 puroindolines 유전자 특성 분석은 Gautier et al. (1994)에 준하여 실시되었다. 아밀로스 합성에 관여하는 *Wx-1*의 대립유전자 다양성은 Nakamura et al. (2002)의 방법에 의해 분석되었다.

통계 분석

모든 시험은 최소 3회 이상의 반복을 두어 실시하였으며, 시험성적은 SAS 프로그램(SAS Institute, Cary, NC)을 이용하여 분산분석을 실시하고 LSD로 유의성을 검정하였으며, 품종과 연차간 변이의 상호작용은 ANOVA (Analysis of variance) 분석은 GLM 을 이용하였으며, 품종과 연차 변이의 상호작용 성분은 오차항을 이용하였다. 상관관계는 피어슨의 상관 계수를 이용하였으며, 통계적 유의 수준은 $P < 0.05$ 으로 하였다.

결과 및 고찰

밀가루 품질 특성

장수형 164계통과 금강밀의 품질 특성은 Table 1과 같다. 장수형 계통집단의 회분 함량은 평균 0.53% 이었으며, 최저 0.31%에서 최고 0.70%의 범위를 나타냈고, 부분인 금강밀은 0.44%를 나타냈다. Kang et al. (2010)은 금강밀의 회분함량이 0.47% 이었고, 품종에 따라 차이를 나타냈다고 보고한 결과와 유사하였다. 회분함량은 밀가루의 품질에 중요한 인자로 작용하며 최근 밀가루나 가공제품의 선택을 어렵게 하여 소비자의 선호도를 떨어뜨린다는 보고가 있다(Kang et al. 2008). 장수형 계통의 밀가루 입자크기는 평균 $71.97\ \mu\text{m}$ 로 최저 $43.47\ \mu\text{m}$ 에서 최고 $88.80\ \mu\text{m}$ 의 크기였고, 금강밀은

Table 1. Flour characteristics in Korean wheat line with long spike and Keumkang.

Characteristics	Korean wheat population with long spike length ^z (n = 164)	Keumkang
Ash (%)	0.53 ± 0.09 (0.31 - 0.70)	0.44
Lightness	91.13 ± 0.93 (88.86 - 93.61)	91.43
Particle size (μm)	71.97 ± 13.42 (43.47 - 88.80)	71.72
Protein (%)	12.96 ± 1.36 (8.33 - 15.62)	11.82
SDS-sedimentation volume (ml)	32.74 ± 9.78 (12.50 - 59.00)	51.50
Wet gluten (%)	27.47 ± 4.21 (13.20 - 36.40)	22.80

^zValue indicates average and standard deviation of Korean wheat line with long spike and parenthesis includes ranges of Korean wheat with long spike.

71.72 μm 를 나타내 Kang et al. (2010)의 보고와 유사하였다. 밀가루 입자크기는 품종 특성에 따라 차이를 나타내는데 경질밀은 밀가루 입자가 크고, 연질밀은 작은 특성을 나타낸다. 밀가루 입도는 밀가루의 수분 흡수속도와 밀접한 관계가 있는데, 입도가 작을수록 밀가루의 수화도가 빨라지게 되어 제빵용 밀가루는 국수 또는 과자용의 밀가루보다 입자가 큰 밀가루를 사용하는 것으로 알려져 있다(Lorenz 1986). 밀가루의 밝기(L*)는 평균 91.13(최저 88.86~최고 93.61)으로 금강밀(91.43)과 비슷하였고, 계통에 따라 차이를 나타냈다. 장수형 164계통 중 회분과 단백질 함량이 많을수록 어두운 경향을 나타냈으며 이와 같은 결과는 Shin et al. (2002)와 Kang et al. (2010)의 보고와 유사하였다. 단백질함량은 평균 12.96%로 최저 8.33%에서 최고 15.62%의 범위를 나타냈고, 금강밀은 11.82%이었다. 금강밀의 단백질 함량은 Kang et al. (2010)의 결과보다 낮았지만, Park et al. (2011)의 보고와는 유사하였다. 이와 같은 결과는 종자의 단백질함량은 품종적인 특성과 생육기간 중 환경에 따라 차이가 있다는 보고

(Baik et al. 1994, Kim et al. 2014)와 유사하였다. 단백질 질적 특성을 나타내는 침전가는 평균 32.74 ml(최저 12.50 ml~최고 59.00 ml)로 금강밀(51.50 ml)보다는 낮았다. 침전가는 경질밀이고 강력분일수록 높고, 유전적인 요인과 환경에 따라 차이를 보인다는 Park et al. (2001)의 보고와 유사한 경향을 보였다. 금강밀의 습부율(wet gluten)은 22.80%를 나타냈으나, 장수형 계통은 평균 27.47%로 최저 13.20에서 최고 36.40의 범위를 나타내 계통 간 차이가 크게 나타났다. 이와 같은 결과는 단백질함량과 유사한 경향을 나타냈다. 이와 같은 결과는 글루텐은 단백질 함량과 정의 상관을 나타내며, 유전적인 특성과 환경적인 차이가 있다는 보고(Park et al. 2011)와 유사하였다.

장수형 계통의 품질적 특성은 Table 2와 같다. 밀가루 밝기는 회분함량이 많고($r = -0.675^{***}$), 입자크기가 크고($r = -0.666^{***}$), 단백질 함량이 많고($r = -0.336^{***}$), 습부율이 높을수록($r = -0.405^{***}$) 어두워지는 경향을 나타내 Kang et al. (2008)과 Kang et al. (2010)의 결과와 유사하다. 밀가루

Table 2. Correlation coefficients among agronomic traits of Korean wheat line with long spike.

Parameters	Ash	Lightness	Particle size	Protein	SDSS
Lightness	-0.675***				
Particle size	0.872***	-0.666***			
Protein	0.542***	-0.336***	0.400***		
SDSS ^z	0.390***	-0.093	0.301***	0.568***	
Wet gluten	0.674***	-0.405***	0.549***	0.751***	0.682***

^zSDSS = SDS-sedimentation volume

*** indicates significance at 0.001 level

Table 3. Difference in flour characteristics of Korean wheat line with long spike carrying different glutenine and puroindoline genotypes using pair-wise t-test.

Flour Characteristic	Glutenin										Puroindoline	
	<i>Glu-A1</i>		<i>Glu-B1</i>		<i>Glu-D1</i>			<i>Glu-B3</i>			<i>Pinb-D1</i>	
	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>a</i>	<i>d</i>	<i>f</i>	<i>f</i>	<i>g</i>	<i>h</i>	<i>a</i>	<i>b</i>
No. Line	37	127	41	123	109	28	27	6	93	65	60	104
Ash (%)	0.53a	0.53a	0.54a	0.52a	0.55a	0.56a	0.39b	0.43b	0.53a	0.54a	0.43b	0.58a
Lightness	90.77b	91.23a	90.82a	91.23a	91.05b	90.68b	91.92a	92.18a	91.10b	91.08b	91.85a	90.71b
Particle size (μm)	69.61a	72.66a	70.42a	72.49a	76.05a	75.38a	51.98b	58.26b	78.82a	70.59a	55.18b	81.66a
Protein (%)	13.53a	12.80b	13.91a	12.65b	13.15b	13.85a	11.27c	11.77b	12.59b	13.60a	12.43b	13.27a
SDSS (ml)	32.65a	32.77a	34.71a	32.09a	35.92a	33.02a	19.63b	18.08c	29.51b	38.72a	29.56b	34.58a
Wet gluten (%)	28.24a	27.25a	29.05a	26.94b	28.57a	29.00a	21.43b	22.26b	26.81a	28.90a	24.70b	29.07a

^aSDSS = SDS-sedimentation volume

^bValues followed by same letters within same characteristics at the same locus are not significantly different at $P < 0.05$

입자크기는 단백질 함량($r = 0.400^{***}$), 침전가($r = 0.301^{***}$)와 습부율(0.549^{***})과 고도의 정의상관을 나타냈다. 즉, 단백질 함량이 많고, 침전가는 높고, 습부율이 높을수록 밀가루 입자 크기는 큰 경향을 나타냈다. 단백질 함량은 침전가와 습부율과 고도의 정의상관을 보였다. 즉 단백질함량이 증가할수록 침전가($r = 0.568^{***}$)와 습부율도 증가하는 경향을 보였다 ($r = 0.682^{***}$). 이와 같은 결과는 단백질 함량은 질적 특성인 침전가와 연관이 깊고, 가수량이 증가한다는 보고(Kang et al. 2010, Park et al. 2001)와 유사하였다. 이와 같은 결과를 보면, 장수형 164계통은 수량성 향상을 위해 개발되었지만 밀가루 품질 특성이 다양하게 나타나 용도별 다수확 품종을 육성할 때 품질특성도 고려해야 할 것으로 판단된다.

밀가루 품질 특성과 관련된 유전자 분석

장수형 164계통의 글루텐(*Glu-A1*, *Glu-B1*, *Glu-D1*, *Glu-A3*, *Glu-B3*), 종실경도(*Pina-D1*, *Pinb-D1*)와 아밀로스 합성 관련 유전자(*GBSS*, *Wx*)의 다양성 분석결과는 Fig. 1과 같다. PCR을 통해 *Glu-A1* 유전자는 920 bp와 362 bp의 크기로 증폭되어 Liu et al. (2008)의 결과와 일치하였다. 장수형 계통은 *Glu-A1b* (362 bp)와 *Glu-A1c* (920 bp + 362 bp) 두 유전자형으로 분리되었고, 금강밀(*Glu-A1b*)과 같은 유전자형은 37계통, *Glu-A1c*형은 127계통으로 *Glu-A1c*형이 많았다. *Glu-B1*은 707 bp (*Glu-B1b*)와 662 bp (*Glu-B1c*)의 크기로 증폭되었고, 금강밀과 같은 *Glu-B1b* 유전자형을 지닌 계통은 41계통, *Glu-B1c*는 123계통에서 확인되어 *Glu-B1c* 유전자

Fig. 1. Agarose gel electrophoresis of PCR amplified *Glu-1* (A), *Glu-3* (B), *Pin-1* (C) and *Wx-1* (D). M, molecular size marker; 1-12, Korean wheat line with long spike.

형이 많은 것은 확인하였다. *Glu-D1*은 361 bp, 343 bp와 320 bp의 크기로 증폭되어 Liu et al. (2008)의 결과와 유사하였다. 금강밀과 같은 *Glu-D1d* 유전자형을 지닌 계통은 28 계통, *Glu-D1a* 유전자형은 109계통, *Glu-D1f* 유전자형은 27 계통으로 *Glu-D1a* 유전자형을 지닌 계통이 많은 것을 확인하였다. *Glu-A3*는 금강밀을 포함하여 모두 *Glu-A3c* (573 bp)로 발현되어 동일 조성인 것을 알 수 있었다. *Glu-B3*는 1,022 bp (*Glu-B3h*), 853 bp (*Glu-B3g*)와 812 bp (*Glu-B3f*)의 크기로 증폭되어 Wang et al. (2009)의 결과와 유사하였다. 금강밀과 같은 *Glu-B3h*는 65계통이었고, *Glu-B3f*는 6계통으로 가장 적었으며 *Glu-B3g*는 93계통으로 가장 많았다. 종실경도 관련 유전자인 *Pina-D1*과 *Pinb-D1*의 PCR 검정 결과, *Pina-D1*은 447 bp (*Pina-D1a*)의 발현과 미발현(*Pina-D1b*)으로 나뉘었고, *Pina-D1a* 유전자형은 금강밀을 포함한 161계통으로 많았으나 *Pina-D1b* 유전자형은 3계통이었다. *Pinb-D1*은 200 bp (*Pinb-D1a*)와 320 bp (*Pinb-D1b*)의 크기로 증폭되어 Gautier et al. (1994)와 Kang et al. (2012)의 보고와 유사하였다. 아밀로스 합성관련 유전자 GBSS의 PCR 결과 금강밀을 포함한 장수형 계통은 모두 *Wx-D1a*, *Wx-B1a*와 *Wx-A1a*를 발현하여 동일한 특성을 나타냈다.

164계통의 품질과 유전자 발현 특성을 비교한 결과 글루텐 발현과 관련된 *Glu-1*에서 *Glu-A1b* 유전자형을 지닌 계통들은 *Glu-A1c*형 계통보다 단백질 함량(13.53%)이 높고, 밀가루 밝기(90.77)가 낮은 것으로 확인되었다. *Glu-B1b* 유전자형을 지닌 계통들의 단백질 함량과 습부율은 각각 13.91%와 29.05%로 *Glu-B1c*형 계통보다 높게 나타났다. *Glu-D1d* 유전자형을 지닌 계통들의 회분, 밀가루 밝기(L*), 입자크기, 단백질 함량, 침전가와 습부율은 각각 0.56%, 90.68, 75.38 μ m, 13.85%, 33.02 ml, 29.00%로 *Glu-D1a* 유전자형과는 비슷하였으나, *Glu-D1f*형 계통보다 회분, 단백질, 침전가와 습부율은 높으며 입자크기가 크고, 밀가루 밝기는 어두웠다. 이와 같은 결과는 *Glu-D1d*형은 빵용 밀을 선발할 때, *Glu-D1f*형은 과자용이나 국수용을 선발할 때 지표로 사용될 수 있을 것으로 판단된다. *Glu-B3h* 유전자형을 지닌 계통들은 *Glu-B3g*과 *Glu-B3f*형보다 회분과 단백질 함량이 많고, 밀가루 입자크기가 크며 습부율이 높고, 밀가루 색이 어두운 것으로 나타났다. *Glu-B3f*는 다른 유전자형보다 회분과 단백질 함량이 적고, 밀가루 입자크기가 작고, 습부율이 낮고, 밀가루 색이 밝은 것으로 나타났다. Gupta et al. (1991)은 *Glu-B3*의 유전자

형은 총 9가지로 발현되며 최대 반죽강도와 저항성의 정도 평가를 $i>b>a>e=f=g=h>$ 순위라고 보고하였다. Ahn et al. (2014)은 *d*형은 *h*형보다 제분율이 높으며 밀가루입자가 크고, 손상전분과 단백질 함량이 많고, 침전가도 높을 뿐만 아니라 반죽 시간이 길고 반죽 안정도가 높아 최종적으로 빵 볼륨이 높은 것으로 보고하였다. 이와 같은 결과는 *Glu-B3h*형은 빵용 밀을 선발할 때, *Glu-B3f*형은 과자용이나 국수용을 선발할 때 지표로 사용될 수 있을 것으로 판단된다. 종실경도와 관련된 *Pinb-D1*에서 *Pinb-D1b*는 *Pinb-D1a*보다 밀가루 입자가 클 뿐만 아니라 회분과 단백질함량이 많고, 침전가와 습부율이 높으며 밀가루 색이 어두웠다. 이와 같은 결과는 *Glu-D1d*와 *Glu-B3h*와 같은 경향을 보였다. 이와 같은 결과는 *Pinb-D1b* 유전자형을 갖는 품종과 계통은 제분율이 높은 경질밀이며, 빵을 만드는데 *Pinb-D1a* 유전자형 보다 유리하다는 Nakamura et al. (2002)와 Ahn et al. (2014)의 보고와 유사하였다.

적 요

국내 밀 수량성 향상을 위해 이삭 길이가 길고 1수립수가 많은 장수형 계통의 품질과 이들 특성과 관련된 표지인자에 대한 평가를 수행하였다. 장수형 164계통의 회분, 단백질, 침전가, 습부율, 밀가루 입자 크기와 밀가루 선택 밝기의 평균은 금강밀보다 회분과 단백질함량이 높으며 습부율은 높고, 밀가루 밝기와 입자 크기는 비슷하였으나 침전가는 낮게 나타났다. 단백질의 질적 특성에서 단백질함량은 침전가, 습부율, 밀가루 입자 크기와 고도의 정의 상관을 보였고, 밀가루의 밝기와는 부의 상관을 나타냈다. 품질특성 관련 표지인자를 평가한 결과, 장수형 164계통은 모두 *Glu-A3c*, *Wx-A1a*, *Wx-B1a*, *Wx-D1a*의 유전자형을 나타내 금강밀과 동일하였다. 장수형 계통은 주로 *Glu-A1c*, *Glu-B1c*, *Glu-D1a*, *Glu-B3g*, *Pina-D1b*와 *Pinb-D1b*의 유전자형이 많았다. *Glu-A1b*과 *Glu-B1b* 유전자형은 단백질함량이 많고, 습부율이 높은 특성을 나타냈다. *Glu-D1d*, *Glu-B3h*와 *Pinb-D1b* 유전자형은 다른 유전자형에 비해 회분과 단백질함량이 많으며, 침전가와 습부율이 높고, 밀가루 입자가 크고, 밀가루의 색이 어두운 특성을 보였다. 이러한 결과를 통해서 장수형 계통은 수량성 증대를 위해 필요하고, 향후 용도별 품질 우수 자원의 특성을 집적하여 용도별 다수성 밀 품종개발을 위한 자원으로 활용하고자 한다.

사 사

본 논문은 농촌진흥청 국립식량과학원 농업과학기술 연구개발사업(과제명: 밀 수량성 향상을 위한 자이언트 헤드형 밀 계통의 이삭길이, 과제번호: PJ009220012015)의 지원에 의해 이루어진 것임.

REFERENCES

1. AACC International. 2010. Approved Methods of Analysis, 11th Ed. Methods 26-31.01, 44-15.02, 46-30.14, 08-0.1.01, 56-70.01, 56-70.01, 38-12.02.
2. Ahn JH, Kang CS, Jeung JU, Baik BK, Pena RJ, Park CS. 2014. Effect of allelic variations at the *Glu-D1*, *Glu-A3*, *Glu-B3* and *Pinb-D1* loci on flour characteristics and bread loaf volume. *Int. Food Res. J.* 21: 1177-1185.
3. Baik BK, Czuchajowska Z, Pomeranz Y. 1994. Role and contribution of starch and protein contents and quality to texture profile analysis of oriental noodles. *Cereal Chem.* 71: 315-320.
4. Cane K, Spackman M, Eagle HA. 2004. Puroindoline gene and their effects on grains quality traits in southern Australian wheat cultivars. *Aust. J. Agric. Res.* 55: 89-95.
5. Carson GR, Edwards NM. 2009. Criteria of wheat and flour quality. In: Khan, K. and P.R. Shewry.(eds.) *Wheat chemistry and technology* 4th ed., AACC International Inc., MN, USA, pp.97-118.
6. 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: 59-65.
7. Cornish GB, Bekes F, Eagles HA, Payne PI. 2006. Prediction of dough properties for bread wheat. In: Wrigley C, Bekes F, Bushuk W, (eds). *Gliadin and glutenin the unique balance b of wheat quality*. StPaul, Minn.: American Association of Cereal Chemistry.
8. De Bustos A, Rubio P, Soler C, García P, Jouve N. 2001. Marker assisted selection to improve HMW-glutenins in wheat. *Euphytica* 119: 69-73.
9. Gautier MF, Aleman ME, Guirano A, Maron 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.
10. Gupta RB, Bekes F, Wrigley CW. 1991. Prediction of physical dough properties from glutenin subunit composition in bread wheats. *Cereal Chem.* 68: 328-333.
11. Jolly CJ, Rahman S, Kortt AA, Higgins TJV. 1993. Characterization of the wheat *Mr* 15000 grain-softness protein and analysis of the relationships between its accumulation in the whole seed and grain softness. *Theor. Appl. Genet.* 86: 589-597.
12. Kang CS, Cheong YK, Kim SL, Kim DK, Kim JG, Park CS. 2008. Effect of polyphenol oxidase activity on discoloration of noodle dough sheet prepared from Korean wheats. *Korean J. Crop Sci.* 53: 187-195.
13. Kang CS, Jeung JU, Baik BK, Park CS. 2012. Effects of allelic variation 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.
14. Kang CS, Park CS, Park JC, Kim HS, Cheong YK, Kim KH, Kim KJ, Park KH, Kim JG. 2010. Flour characteristics and end-use quality of Korean wheat cultivars. I. Flour characteristics. *Korean J. Breed. Sci.* 42: 61-74.
15. Kang CS, Seo SJ, Kim KH, Jung YG, Kim HS, Park JC, Choi ID, Kim KH, Hyun JN, Kim KJ, Park KH, Lee CK, Park GK, Park CS. 2013. A new plant type wheat "Iksan370" with long spikes, high yield and hard wheat and breeding method. Korean Patent No. 10-2013-0120136.
16. Khatkar BS, Bell AE, Shofield JD. 1995. The dynamic rheological properties of gluteins and gluten sub-fractions from wheats of good and poor bread making quality. *J. Cereal Sci.* 22: 29-44.
17. Kim KH, Kang CS, Seo YW, Woo SH, Heo MR, Choo BK, Lee CK, Park KG, Park CS. 2013. Current regional cultural situation and evaluation of grain characteristics of Korean wheat. II. Grain characteristics collected in domestic wheat grown in Korea. *Korean J. Crop Sci.* 58: 239-252.
18. Lafiandra D, Tucci GF, Pavoni A, Turchetta T, Margiotta B. 1997. PCR analysis of x-and y-type genes present at the complex *Glu-A1* locus in durum and bread wheat. *Theor. Appl. Genet.* 94: 235-240.
19. Lei ZS, Gale KR, He ZH, Gianibelli C, Larroque O, Xia XC, Butow BJ, Ma W. 2006. Y-type gene specific markers for enhanced discrimination of high-molecular weight glutenin alleles at the *Glu-B1* locus in hexaploid wheat. *J. Cereal Sci.* 43: 94-101.
20. Lim EY, Chang HK, Park YS. 2007. Physicochemical properties and the product potentiality of soft wheats. *Korean J. Food Sci. Technol.* 39: 412-418.

21. Liu SX, Chao SM, Anderson JA. 2008. New DNA markers for high molecular weight glutenin subunits in wheat. *Theor. Appl. Genet.* 118: 177-183.
22. Lorenz K. 1986. The importance of flour particle size in the mechanical dough development bread process. *New Zealand J. Technol.* 2: 27-31.
23. Ma D, Yan J, He Z, Wu L, Xia X. 2012. Characterization of a cell wall invertase gene *TaCwi-A1* on common wheat chromosome 2A and development of functional markers. *Mol. Breeding* 29: 43-52.
24. MAFRA. 2014. Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs Statistical Yearbook pp.250-293.
25. Ma W, Zhang W, Gale KR. 2003. Multiplex-PCR typing of high molecular weight glutenin alleles in wheat. *Euphytica* 134: 51-60.
26. Morris CF. 2002. Puroindolines: the molecular genetic basis of wheat grain hardness. *Plant Mol. Biol.* 48: 633-647.
27. Morris CF, Lillemo M, Simeone MC, Giroux MJ, Babb SL, Kidwell KK. 2001. Prevalence of puroindoline grain hardness genotypes among historically significant North American spring and winter wheats. *Crop Sci.* 41: 218-228.
28. Murai J, Taira T, Oht D. 1999. Isolation and characterization of the three Waxy genes encoding the granule-bound starch synthase in hexaploid wheat. *Gene* 234: 71-79.
29. Nagamine T, Ikeda TM, Yanagisawa T, Yanaka M, Ishikawa N. 2003. The effects of hardness allele Pinb-D1b on the flour quality of wheat for Japanese white salty noodles. *J. Cereal Sci.* 37: 337-342.
30. Nagao S. 1992. Recent advances in traditional nonwestern cereal foods. P.143-150. In: *Cereal Chemistry and Technology: A long past and a bright future*. 9th International Cereal and Bread Congress; Paris, France.
31. Nakamura T, Virnten P, Saito M, Konda M. 2002. Rapid classification of partial waxy wheats using PCR-based markers. *Genome* 45: 1150-1156.
32. Nam JH, Song HS, Park HH, Hou 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 maturing, semi-dwarf and white grain wheat variety "Keumkangmil" with good bread quality. *RDA. Crop. Sci.* 40: 81-87.
33. Park CS, Baik BK, Ha YW, Hong BH. 2001. Flour quality characteristics of Korean waxy wheat lines. *Korean J. Crop Sci.* 46: 360-366.
34. Park CS, Kang CS, Jeung JU, Woo SH. 2011. Influence of allelic variations in glutenin on the quality of pan bread and white salted noodles made from Korean wheat cultivars. *Euphytica* 180: 235-250.
35. Park CS, Kang CS, Park JC, Jung YJ, Cheong YK, Woo SH. 2009. Association of puroindolines genotypes and grain properties, milling performances and physical properties of flour in Korean wheats. *Korean J. Crop Sci.* 54: 249-259.
36. Pasha I, Anjum FM, Morris CF. 2010. Grain hardness: A major determinant of wheat quality. *Food Sci. Technol. Int.* 16: 511-522.
37. Payne PI, Holt LM, Jackson EA, Law CN. 1984. Wheat storage proteins: their genetics and their potential for manipulation by plant breeding. *Philos Trans R. Soc. Lond B.* 304: 359-371.
38. RDA. 2012. 2012 Project plan for collaborative research program to develop new variety of winter crop. pp.106-112.
39. Shariflou MR, Hassani ME, Sharp PJ. 2001. A PCR-based DNA marker for detection of mutant and normal alleles of the *Wx-D1* gene of wheat. *Plant Breed.* 120: 121-124.
40. Shin DH, Choi MG, Kang CS, Park CS, Choi SB, Park YI. 2015. Preferential expression of cell elongation-related genes in leaves of the new elite wheat line Iksan370 with large spikes. *Plant Biotechnol. Rep.* 9: 97-105.
41. Shin MS, Woo KS, Seib PA. 2002. Supplementations of resistance starches to Asian noodles. *Food Sci. Biotechnol.* 11: 365-370.
42. Simmonds DH, Barlow KK, Rigley CW. 1973. The biochemical basis of kernel hardness in wheat. *Cereal Chem.* 50: 553-562.
43. Son JH, Cheong YK, Kim KH, Kim HS, Choi ID, Park JC, Shin S, Lee CK, Park KG, Kang CS. 2014. Agricultural and physiological characteristics of new elite wheat line "Iksan370" with long spike. *J. Agri. Life Sci.* 43: 92-96.
44. Son JH, Kang CS, Cheong YK, Kim KH, Kim HS, Park JC, Kim KH, Kim BK, Park CS. 2015. Characterization of Korean wheat line with long spike. I. Agronomic traits and genetic variations. *Korean J. Breed. Sci.* Accepted.
45. Symes KJ. 1965. The inheritance of grain hardness in wheat as measured by the particle size index. *Aust. J. Agric. Res.* 16: 113-123.
46. Wang LH, Zhao XL, He ZH, Ma W, Appels R, Pena RJ, Xia XC. 2009. Characterization of low-molecular-weight

- glutenin subunit *Glu-B3* genes and development of STS markers in common wheat (*Triticum aestivum* L.) Theor. Appl. Genet. 118: 525-539.
47. Wang L, Li G, Pena RJ, Xia X, He Z. 2010. Development of STS markers and establishment of multiplex PCR for Glu-A3 alleles in common wheat (*Triticum aestivum* L.). J. Cereal Sci. 51: 305-312.
48. Zhao FJ, Salmon SE, Withers PJA, Monaghan JM, Evans EJ, Shewry PR, McGrath SP. 1999. Variation in the bread making quality and rheological properties of wheat in relation to sulphur nutritional under field conditions. J. Cereal Sci. 30: 19-31.
49. Zhao XC, Batey IL, Sharp PJ, Crosbie G, Barclay I, Wilson R, Morel MK, Appels R. 1998. A single genetic locus associated with starch granule properties and noodle quality in wheat. J. Cereal Sci. 27: 7-13.