국내 밀 품종 및 재배 환경이 Arabinoxylan 함량 변이에 미치는 영향

강천식¹ · 김경훈¹ · 신상현¹ · 손재한¹ · 현종내¹ · 김경호¹ · 박철수^{2*}

¹국립식량과학원, ²전북대학교 농업생명과학대학 작물생명과학과

Influences of Cultivar and Environment on Arabinoxylan Content in Korean Wheat

Chon-Sik Kang¹, Kyunghoon Kim¹, Sanghyun Shin¹, Jae-Han Son¹, Jongnae Hyun¹,

KyongHo Kim¹, and Chul Soo Park^{2*}

¹National Institute of Crop Science, RDA, Iksan 570-080, Korea

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

Abstract : Arabinoxylans (AX) are hydrophilic nonstarch polysaccharides found in wheat grain that affects end-use qualities, including bread-making quality. The objectives of this study were to (1) investigate the effects of wheat cultivar, growing conditions and locations on AX content; (2) evaluate AX content on the comparison of the ten Korean and CIMMYT wheat cultivars; and (3) determine the correlations between AX content and bread-baking quality to improve nutrition of baking quality. Water-extractable arabinoxylan (WE-AX) contents, total arabinoxylan (TO-AX) contents, and the percentage of WE-AX contents over TO-AX contents (WE-AX/TO-AX) were analyzed. Twenty-six Korean winter wheat cultivars were cultivated in two locations for three consecutive years. The results indicated that WE-AX, TO-AX, and WE-AX/TO-AX were significantly influenced by genotypes, year and the interactions between year and genotype. Keumkang showed lower WE-AX content (3.25 mg/g) than other Korean wheat cultivars. Eunpa, Jinpoom, Seodun, and Shinmichal 1 exhibited the higher TO-AX content (>18.65 mg/g) than other cultivars and Jokyoung and Keumkang (<12.71 mg/g) showed the lower TO-AX content. WE-AX/TO-AX of wheat flour ranged from 25.48% (Keumkang) to 51.20% (Anbaek). Wheat cultivars grown in upland field showed lower WE-AX and TO-AX contents than those of paddy field. Wheat cultivars grown in Iksan had the lower WE-AX and TO-AX content, and WE-AX/TO-AX than Jinju. Korean wheat cultivars had similar levels of WE-AX contents in comparison with CIMMYT wheat lines whereas higher levels of TO-AX content. WE-AX, TO-AX and WE-AX/TO-AX of wheat flour were a positively correlated with those of wholemeal of 41 Korean wheat cultivars and advanced lines. AX content, protein content, rheological properties of wheat flour, and bread-baking qualities of Korean wheat cultivars were analyzed. AX content was negatively correlated with protein content, bread volume, and dough maximum height.

Keywords : Wheat, Environment, Arabinoxylan, Bread-baking

서 언

아라비노자일란(Arabinoxylan)은 밀 종실 비전분 물질의 약 65 - 70%를 차지하는 세포벽 물질로, 아라비노스(Arabinose)와 자일로스(Xylose)로 구성되어 있기 때문에 펜토산(Pentosan)으로도 알려져 있다(Mares & Stone 1973). 아라비노자일란

은 hydroxyl-cinnamate 결합을 통하여 세포벽의 지지 역할을 하며, 자일로스가 $\beta(1\rightarrow4)$ -결합된 골격에 α -D-아라비노스가 2-3번 위치에 결합하고 있는 기본적인 구조를 가지고 있으며, 5번 위치에 아세틸기(Acetyl group)와 페룰로일기(Feruloyl group)등이 결합된 구조로 이루어져 있다(Saulnier et al. 2007). 아라비노자일란 함량은 품종에 따라 매우 다양하게 나타나며 종실 전체의 4 - 8% 함유하고 있으며, 호분층에 20 - 27%가 분포하고, 밀기울에 23 - 32% 존재하며, 배유에는 2 - 4% 존재한다(Saulnier et al. 1995, Dervilly-Pinel et al. 2001, Antoine et al. 2003, 2004, Ordaz-Ortiz & Saulnier 2005, Finnie et

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

(Received on September 5, 2012. Revised on March 25, 2013.

Accepted on April 1, 2013.)

al. 2006, Gebruers et al. 2008, Li et al. 2009). 아라비노자일란은 수용성과 비수용성으로 나뉘며, 수용성 여부는 주로 자일로스 골격에 붙은 아라비노스의 비율에 의해 결정되는데, 수용성 아라비노자일란은 세포벽의 바깥부분에 약하게 결합되어 있는 반면에 비수용성 아라비노자일란은 세포벽 안쪽에 강한 공유결합으로 이루어져있다(Mares & Stone 1973, Iyama et al. 1994, Courtin & Delcour 2002). 밀가루의 아라비노자일란 함량은 2% 정도이고 이중에 비수용성 아라비노자일란이 75%를 차지하고 수용성 아라비노자일란은 25%를 차지한다(Courtin & Delcour 2002, Barron et al. 2006, Philippe et al. 2006).

아라비노자일란은 친수성이므로 반죽시 아라비노자일란의 잔기인 페룰릭산(Ferulic acid)은 아라비노자일란간 공유결합을 형성해서 중합체인 젤을 형성하게 되어 수분 함유력은 수용성 아라비노자일란과 비수용성 아라비노자일란에 의해서 각각 3.5 - 6.3배, 6.7 - 9.9배 증가하고, 아라비노자일란 1 g은 최대 물 100 g까지 함유할 수 있다(Jelaca & Hlynka 1971, Geissmann & Neukom 1973, Kim & D'Appolpnia 1977, Izydorczyk et al. 1990, Izydorczyk & Biliaderis 1995, Figueroa-Espinoza & Rouau 1998). 이러한 특성으로 아라비노자일란은 다른 다당류에 비하여 용액의 점성이 매우 높게 된다. 또한, 아라비노자일란은 반죽 특성에도 영향을 미치는데, 반죽의 점성을 증가시키고 반죽 형성시간이 길어지게 한다(Jelaca & Hlynka 1971, Michiniewicz et al. 1991, Biliaderis et al. 1995). 아라비노자일란 함량이 높을수록 물과 결합하거나 물을 보유하는 능력이 증가하여 수분함량이 증가하고 이로 인해서 전분 분자의 이동력을 증가시켜서 전분의 노화를 증가시키는 역할을 하는 것으로 알려져 있다(Michiniewicz et al. 1992). 그러나, 제빵 후 저장기간 동안에는 아라비노자일란의 수분 보유력으로 인해서 빵 정도의 증가가 지연되는 것으로 나타났다(Biliaderis et al. 1995). 아라비노자일란은 글루텐닌과 글리아딘이 결합하여 글루텐을 형성하는 것을 저해하기 때문에 글루텐 수율을 감소시킨다(Wang et al. 2003). 제빵 품질에 있어서 수용성 아라비노자일란은 빵 품질 향상에 관여하지만 비수용성 아라비노자일란은 빵의 품질을 떨어뜨리며, 파스타에 아라비노자일란을 첨가할 경우 삶은 면의 점성을 줄여주는 효과가 있으며, 과자 직경에도 영향을 주는 것으로 알려져 있다(Courtine et al. 1999, Bettege & Morris 2000, Turner et al. 2008). 아라비노자일란은 식이

성 섬유소로서의 기능을 지니고 있으며, 또한 항암, 항바이러스 및 항당뇨 효과를 포함하여 면역 증강 활성화에 효과가 있는 것으로 보고되고 있다(Lu et al. 2000, Hughes et al. 2007, Monobe et al. 2008, Vardakou et al. 2008, Neyrinck & Delzenne 2010, Neyrinck et al. 2011).

아라비노자일란 함량은 추출 방법에 따라 변이가 있지만 현재까지 보고된 총 아라비노자일란 함량 범위는 3.2 - 9.0% 이고, 수용성 아라비노자일란 함량은 0.22 - 1.5% 이었으며, 총 아라비노자일란에서 수용성 아라비노자일란이 차지하는 비중은 25% 수준이다(Henry 1985, 1987, Hasimoto et al. 1987, Hong et al. 1989, Saulnier et al. 1995, Martinant et al. 1998, 1999, Ordaz-Ortiz et al. 2005, Zhang et al. 2005, Wang et al. 2006, Finnie et al. 2006, Barron et al. 2007, Jiang et al. 2007, Dornez et al. 2008). 아라비노자일란 함량은 일반적으로 유전적인 영향을 많이 받는 것으로 알려져 있지만 재배 환경에도 영향을 받는데, Hong et al. (1989)은 품종과 환경의 분산 비율은 총 아라비노자일란 함량은 2.4였고, 수용성 아라비노자일란 함량은 1.6이었으며, Martinant et al. (1999)은 프랑스에서 재배한 밀 조합의 경우 수용성 아라비노자일란 함량의 유전력이 0.75로 높게 나타났다고 하였다. 중국에서 재배한 밀의 경우 Zhang et al. (2005)은 수용성 아라비노자일란의 경우 유전적인 영향을 크게 받으며, 아라비노자일란 함량은 품종과 재배환경에 영향을 받지만 유전과 환경의 상호 영향은 없다고 하였고, Jiang et al. (2007)은 품종이 아라비노자일란 함량에 주 영향을 미치지만 환경과 유전과 환경의 상호작용도 영향을 미친다고 하였다. 미국산 연질밀의 경우 춘파밀과 추파밀 사이에 아라비노자일란 함량 차이가 없었으며, 아라비노자일란 함량은 품종과 환경에 영향을 받지만 품종과 환경의 상호 영향은 미미하였고(Finnie et al. 2006), 경질밀의 경우 춘파밀이 추파밀에 비하여 아라비노자일란 함량이 높게 나타났으며 환경의 영향을 많이 받는 것으로 나타났다(Li et al. 2009).

최근 들어 아라비노자일란이 가공적성에 미치는 영향뿐만 아니라 영양학적인 중요성이 대두되면서 많은 연구가 수행되고 있지만, 국내 밀 품종에 대한 아라비노자일란 연구는 미비한 실정이다. 본 연구는 다양한 환경에서 재배된 국내 밀 품종의 아라비노자일란 함량 변이를 측정하여 환경이 아라비노자일란 함량에 미치는 영향을 평가하여 국내산 밀을 이용한 가공적성 향상 및 가공제품의 영양성 강화를 위한 기초자료

로 활용하고자 수행하였다. 이를 위하여 국내 밀 품종에서 밀가루의 아라비노자일란 함량에 년차간 변이와 재배 조건이 미치는 영향을 평가하였고, 국내 밀 품종 및 계통의 종실과 밀가루의 아라비노자일란 함량 비교하였으며, 국내 품종과 외국 품종간 아라비노자일란 함량을 비교하였고 아라비노자일란 함량이 반죽 및 제빵 특성에 미치는 영향을 평가하였다.

재료 및 방법

공시재료

본 연구에 사용된 재료는 농촌진흥청 국립식량과학원 벼 맥류부 증식 포장에서 전작조건과 답리작 조건으로 2006, 2007, 2008년과 2010년에 재배한 원맥을 이용하였다. 밀가루의 아라비노자일란 분석을 위해서 금강밀 등 26 품종을 전작 조건에서 2007, 2008년과 2010년에 재배하였으며, 종실과 밀가루 아라비노자일란 분석은 금강밀 등 29 품종과 지역 적응 검정 12계통을 2010년에 전작 조건에서 재배하였다. 금강밀 등 10 품종을 전작과 답리작 조건으로 2006년과 2007년에 익산과 진주에서 재배하였으며, 국내외 품종간 비교를 위하여 금강밀 등 10 품종과 CIMMYT에서 분양 받은 10계통을 전작 조건에서 재배하였다. 종실은 cyclone sample mill (Udy, Fort Collins, USA)을 이용하여 분쇄하였으며, 밀가루는 Buhler mill (MLU-202, Switzerland)을 이용하여 제분수율 60% 수준으로 제분하였고, 제분된 밀가루는 10℃ 저온실에 보관하여 실험에 사용하였다.

아라비노자일란 분석

아라비노자일란 분석은 Douglas (1981) 방법에 따라 수행하였다. 50 mL 튜브에 시료를 125 mg 담고, 증류수 25 mL 첨가하고 1분간 교반시킨 후 1 mL을 취하여 튜브에 옮겼다. 현탁액 1 mL은 샘플 5 mg에 해당되며, 시료 1점당 튜브 2개를 만들어 분석에 사용하였으며, 이 시료는 총 아라비노자일란 함량을 측정하는데 이용하였다. 50 mL tube에 남아 있는 시료는 30분간 교반시킨 후, 3000 rpm에서 10분간 원심 분리하여 상정액 1 mL을 취하여 튜브에 옮겼다. 이 시료 역시 시료 1점당 2개의 튜브를 만들어 수용성 아라비노자일란 함량 측정에 이용하였다. 각 튜브에 1mL의 증류수를 첨가하고 10 mL의 반응 용액(Glacial Acetic acid (110 mL) Hydrochloric acid (2 mL), 20% Phloroglucino in absolute Et-OH (5

mL), 1.75% Glucose (1 mL))을 넣고 피펫으로 잘 섞어준다. 25분 동안 끓는 물에 담가 두면서 10분 간격으로 한번씩 흔들어 주었다. 반응을 종결하기 위하여 차가운 물에 담근 후 spectrophotometer (Ultraspec4300pro, Amersham Biosciences Co., USA)를 이용하여 552 nm와 510 nm에서 흡광도를 측정하였다. 552 nm의 흡광도에서 510 nm의 흡광도를 빼고 자일로스 표준곡선과 비교하여 아라비노자일란 함량을 산정하였다. 자일로스 표준곡선을 위하여 10 mg D (+) xylose를 100 mL 증류수에 녹인 후 튜브에 0, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 mL을 분주한 후에 각 튜브에 D.W를 첨가하여 최종 2.0 mL을 맞추었다. 반응용액을 10 mL씩 첨가하고, 끓는 물에 25분간 담근 후 552 nm와 510 nm에서 흡광도를 측정하여 표준 곡선을 작성하였다. 결과 및 고찰에서는 수용성 아라비노자일란 함량은 WE-AX로, 총 아라비노자일란 함량은 TO-AX로 표기하였으며, 수용성 아라비노자일란 함량의 총 아라비노자일란 함량에 대한 비율은 WE-AX/TO-AX로 표기하였다.

밀가루 및 제빵 평가

밀가루의 수분, 단백질 함량은 각각 AACC 방법(2000) 44-15A과 46-30에 준하여 측정하였다. 밀가루 반죽 특성은 믹소그래프를 이용하였으며, AACC 방법 54-40A (2000)에 준하여 10 g mixograph (National Mfg. Co., USA)를 이용하였다. 믹소그래프의 가수량은 강력분 밀가루의 믹소그램을 참고하여 최적 가수량을 구하였으며, 믹소그램이 최고 높이에 도달한 시간을 반죽시간으로 정하였다. 빵을 만들기 전 반죽의 발달 정도는 Czuchajowska과 Pomeranz (1993)의 방법에 준하였으며, 측정은 Rheofermentometer (Chopin Co., France)를 이용하였다. 제빵 평가를 위한 식빵 제조는 Finney (1984) 방법에 따라 100 g 밀가루(14% 수분함량 기준)를 이용하여 straight-dough methods에 준하여 제조하였다. 빵 부피는 오븐에서 구워낸 직후 Loaf volumeter (National Mfg. Co., USA)를 이용하여 측정하였다. 빵 속질(crumb)의 경도(Firmness)를 측정하기 위하여 빵을 2시간 동안 상온에서 식힌 후 빵의 중심부에서 2.0 cm 두께로 잘라 Minolta CM-2002를 이용하여 crumb의 색깔을 측정한 후에 compression test를 실시하였다. Crumb의 경도는 Texture Analyser를 이용하여, 2.5 cm 직경의 플라스틱 plunger로 빵 두께의 25% strain, 1.0 mm/sec 속도로 측정하였다.

통계분석

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

결과 및 고찰

재배 환경이 아라비노자일란 함량에 미치는 영향

국내산 밀 26 품종의 년차간 재배 환경이 아라비노자일란 함량에 미치는 영향을 평가하기 위하여, 익산에서 3년간 재배한 밀 품종의 WE-AX, TO-AX와 WE-AX/TO-AX 함량을 조사한 결과(Table 1), 아라비노자일란 함량은 품종에 대한 영향 뿐만 아니라 년차간 변이에도 영향을 받으며, 품종과 년차간 변이의 상호 영향도 있는 것으로 나타났다. WE-AX와 TO-AX는 2007년에 각각 5.85 mg/g과 18.32 mg/g으로 2008년과 2010년에 비해 높게 나타났으며, WE-AX/TO-AX는 2007년이 31.89%로 낮게 나타났다(Table 2). 지역 및 재배조건이 아라비노자일란 함량에 미치는 영향을 평가하기 위하여, 국내

밀 10품종을 2년 동안 익산과 진주 지역에서 답리작과 전작 조건에서 재배하여 분석한 결과(Table 3), WE-AX, TO-AX와 WE-AX/TO-AX는 품종에 대한 변이뿐만 아니라 재배 조건, 재배 지역 및 연차간에도 영향을 받으며, 이들 상호 작용에도 영향을 받는 것으로 나타났다. 그러나 연차간 변이와 재배조건의 상호작용은 WE-AX, TO-AX와 WE-AX/TO-AX에 영향이 없는 것으로 나타났으며, 재배 지역과 년차간 변이의 상호작용은 WE-AX/TO-AX에 영향이 없는 것으로 나타났다. 국내 밀 재배 환경에서 아라비노자일란 함량이 년차간 변이뿐만 아니라 재배 조건 및 지역에도 영향을 받는다는 것을 의미하는데 이러한 결과는 Jiang et al. (2007)의 결과와 같은 경향이었지만 유전과 환경의 상호 영향이 적거나 없다는 Zhang et al. (2005)과 Finnie et al. (2006)의 결과와는 차이를 보였다. 전작 조건에서 WE-AX와 TO-AX는 각각 6.14 mg/g과 20.41 mg/g으로 답리작 조건의 5.90 mg/g과 19.07 mg/g으로 에 비하여 높았고, 진주에서 재배한 품종의 WE-AX와 TO-AX는 각각 6.08 mg/g과 20.825 mg/g으로 익산의 5.97 mg/g과 18.65 mg/g 보다 높았다. 그러나 WE-AX/TO-AX는 답리작 과 익산에서 재배한 품종의 값이 높았다. 2006년에 재배된 밀 품종의 WE-AX, TO-AX와 WE-AX/TO-AX는 2007년 재배된 품종보다 높았다.

Table 1. Analysis of variance for water-extractable (WE-AX), total arabinoxylan (TO-AX) and WE-AX as a percentage of TO-AX (WE-AX/TO-AX) of wheat flour from 26 Korean wheat cultivars grown in three years.

Source of Variation	df	Sum of Square ^z		
		WE-AX	TO-AX	WE-AX/TO-AX
Year (Y)	2	7.44***	638.10***	1489.33***
Genotypes (G)	25	164.17***	716.51***	4688.30***
Rep	2	0.01 ^{ns}	0.18 ^{ns}	0.31 ^{ns}
Y × G	50	98.84***	737.30***	2452.53***
Error	154	5.30	17.09	383.42
Total	233	275.76	2109.18	9013.89

^z*, ** and *** are significant at $P = 0.05$, $P = 0.01$ and $P = 0.001$, respectively; ns, non-significant

Table 2. Mean values, averaged over years for water-extractable (WE-AX), total arabinoxylan (TO-AX) and WE-AX as a percentage of TO-AX (WE-AX/TO-AX) of 26 Korean wheat cultivars grown in three years.

Year	WE-AX (mg/g)	TO-AX (mg/g)	WE-AX/TO-AX (%)
2007	5.85a ^z	18.32a	31.89b
2008	5.50b	14.99b	37.21a
2010	5.44c	14.66c	37.27a

^zValues followed by same letters are not significantly different at $P < 0.05$

Table 3. Analysis of variance for water-extractable (WE-AX), total arabinoxylan (TO-AX) and WE-AX as a percentage of TO-AX (WE-AX/TO-AX) of wheat flour from 10 Korean wheat cultivars grown in two field conditions, two years and two locations.

Source of Variation	df	Sum of Square ^z		
		WE-AX	TO-AX	WE/TO
Field (F)	1	3.35***	107.80***	64.13***
Year (Y)	1	0.67***	281.04***	412.91***
Location (L)	1	78.60***	113.70***	790.11***
Genotypes (G)	9	119.66***	617.95***	1906.45***
Rep	2	0.01 ^{ns}	0.16 ^{ns}	3.43 ^{ns}
L × F	1	0.02 ^{ns}	0.11 ^{ns}	0.01 ^{ns}
Y × F	1	3.89***	0.79**	66.87***
G × F	9	6.17***	56.50***	28.00***
L × Y	1	13.71***	201.17***	2.32 ^{ns}
G × Y	9	11.07***	57.17***	460.77***
G × L	9	10.77***	22.47***	251.28***
L × Y × F	1	0.05 ^{ns}	3.56***	5.25*
G × Y × F	9	5.87***	15.43***	96.56***
G × L × F	9	5.67***	35.97***	82.61***
G × L × Y × F	18	18.56***	54.33***	499.52***
Error	158	2.90	14.09	144.68
Total	239	280.99	1582.25	4814.88

^z*, ** and *** are significant at $P = 0.05$, $P = 0.01$ and $P = 0.001$, respectively; ns, non-significant

Table 4. Mean values, averaged over field conditions, years and locations for Water-extractable (WE-AX), total arabinoxylan (TO-AX) and WE-AX as a percentage of TO-AX (WE-AX/TO-AX) of wheat flour from 10 Korean wheat cultivars grown in two field conditions, two years and two locations.

	WE-AX (mg/g)	TO-AX (mg/g)	WE-AX/TO-AX (%)
<i>Field</i>			
Upland	6.14a ^z	20.41a	30.07b
Paddy	5.90b	19.07b	31.10a
<i>Year</i>			
2006	6.59a	20.42a	32.40a
2007	5.45b	19.05b	28.77b
<i>Location</i>			
Iksan	5.97b	18.65b	31.90a
Jinju	6.08a	20.82a	29.28b

^zValues followed by same letters are not significantly different at $P < 0.05$

국내외 밀 품종 및 계통의 아라비노자일란 함량 비교

전작 조건에서 3년 동안 재배한 국내산 밀 26 품종의 밀가루의 아라비노자일란 함량을 분석한 결과(Table 5), 국내 밀 품종의 아라비노자일란 함량의 범위는 이전의 보고와 유사한 범위를 나타내었다(Hong et al. 1989, Saulnier et al. 1995,

Martinant et al. 1998, Wang et al. 2006, Finnie et al. 2006, Dornez et al. 2008, Li et al. 2009). WE-AX/TO-AX는 25.48 - 51.20% 범위였고 평균값은 35.46%로 나타났다. 이전 보고에서는 WE-AX/TO-AX는 25% 수준으로 나타났지만 국내 밀 품종의 경우 약간 높은 경향을 나타내었다. 국내 밀 품종

Table 5. Mean values of water-extractable (WE-AX), total arabinoxylan (TO-AX) and WE-AX as a percentage of TO-AX (WE-AX/TO-AX) of wheat flour from 26 Korean wheat cultivars grown in three years.

Cultivar	WE-AX (mg/g)	TO-AX (mg/g)	WE-AX/TO-AX (%)
Alchan	5.47	16.32	33.77
Anbaek	7.11	14.18	51.20
Baekjoong	5.14	14.13	36.92
Cheongkye	4.88	15.93	31.00
Dahong	5.69	15.80	36.62
Eunpa	6.00	18.65	32.82
Geuru	6.14	16.31	38.69
Gobun	5.37	17.12	31.54
Jeokjoong	5.38	14.54	37.05
Jinpoom	7.28	18.67	39.10
Joeun	5.75	16.77	35.19
Jokyung	4.98	12.73	40.55
Jonong	4.82	14.33	34.15
Jopoom	4.22	14.58	29.16
Keumkang	3.25	12.71	25.48
Milsung	5.29	14.99	35.29
Namhae	5.37	16.11	33.77
Ol	5.63	17.07	33.37
Olgeuru	5.79	15.73	36.78
Saeol	6.28	18.09	34.78
Seodun	6.63	19.22	34.52
Shinmichal	5.95	15.35	39.00
Shinmichal 1	6.55	18.65	35.59
Tapdoug	6.15	17.00	36.77
Uri	5.36	16.34	32.89
Yunbaek	5.07	14.41	35.84
LSD ^z	0.17	0.31	1.47

^zLeast significant difference ($P < 0.05$)

중에서 안백밀과 진품밀은 WE-AX가 7.11 mg/g 이상으로 다른 품종에 비해 높게 나타났고, 금강밀은 3.25 mg/g으로 다른 품종에 비해 낮았다. TO-AX는 은파밀, 진품밀, 서둔밀과 신미찰 1호(Heo et al. 2007)가 18.65 mg/g으로 높게 나타났으며, 국내 밀 품종에서 제빵 품질이 우수한 조경밀(Kang et al. 2006)과 금강밀은 12.73 mg/g이하로 낮게 나타났는데 이러한 결과는 미국 밀 품종에서 경질밀의 TO-AX가 연질밀에 비하여 낮게 나타나는 경향과 비슷하였다(Finine et al. 2006, Li et al. 2009). 안백밀은 WE-AX는 높고 TO-AX는 낮아 WE-AX/TO-AX가 51.20%로 다른 품종에 비하여 월등히 높

게 나타났으며, 금강밀은 25.48%로 국내 품종 중에 가장 낮은 값을 나타내었다.

국내 밀 품종과 외국 품종의 아라비노자일란 함량 비교를 위하여, 2년간 3개 지역의 전작 조건에서 국산 밀 10 품종과 CIMMYT 10계통의 밀가루 아라비노자일란 함량 분석 결과(Table 6), WE-AX는 국내 밀 품종과 CIMMYT계통이 각각 6.20 mg/g과 6.14 mg/g으로 비슷하였지만, TO-AX는 국내 밀 품종이 20.94 mg/g으로 CIMMYT 계통의 18.20 mg/g보다 높은 값을 나타내었다. 이로 인하여 CIMMYT 계통이 국내 밀 품종에 비하여 WE-AX/TO-AX가 높았다. 금강밀은

Table 6. Mean values of water-extractable (WE-AX), total arabinoxylan (TO-AX) and WE-AX as a percentage of TO-AX (WE-AX/TO-AX) of wheat flour from 10 Korean wheat cultivars and 10 CIMMYT wheat lines grown in two years and three locations.

Cultivar & Line	WE-AX (mg/g)	TO-AX (mg/g)	WE-AX/TO-AX (%)
<i>Korean Cultivar</i>			
Alchan	7.41b ^z	22.08b	33.73d
Eunpa	6.54d	22.01b	29.80gh
Gobun	6.28ef	22.44a	28.40j
Joeun	6.80c	22.26ab	30.68f
Jopoom	5.33k	20.98d	25.77k
Keumkang	4.74l	16.93j	27.95j
Olgeuru	6.89c	19.28f	35.84c
Seodun	6.18f	22.23ab	27.84j
Tapdong	5.96h	19.88e	30.00gh
Uri	5.89i	21.31c	27.77j
<i>CIMMYT Line</i>			
14SAWYT-MXI-01	5.61j	17.93h	31.33ef
14SAWYT-MXI-02	6.06gh	17.14j	35.68c
14SAWYT-MXI-03	5.28k	17.26i	30.56fg
14SAWYT-MXI-04	5.34k	16.55k	32.24e
14SAWYT-MXI-05	8.32a	22.20ab	37.36b
14SAWYT-MXI-06	7.45b	17.74h	42.02a
14SAWYT-MXI-07	6.00h	17.85h	33.70d
14SAWYT-MXI-08	6.34e	17.88h	35.79c
14SAWYT-MXI-09	5.55j	18.89g	29.62gh
14SAWYT-MXI-10	5.40k	18.60g	29.35hi

^zLeast significant difference ($P < 0.05$) **Fig. 1.** Relationship between total arabinoxylan (TO-AX) of wheat flour (A) percentage of water extractable arabinoxylan (WE-AX) to TO-AX of wheat flour (B) and WE-AX of wheat flour of 10 Korean wheat cultivars and 10 CIMMYT advanced lines. ●; 10 Korean wheat cultivar, ○; 10 CIMMYT advanced lines.

WE-AX와 TO-AX가 공시 품종 및 계통에서 가장 낮은 값을 나타내었으며, 14SAWYT-MXI-05는 WE-AX가 8.32 mg/g

으로 가장 높았으며, 알찬밀, 은파밀, 고분밀, 조은밀과 서둔 밀은 WE-AX와 TO-AX가 높았으며, CIMMYT 계통에서는

14SAWYT-MXI-01과 05이 이들 품종과 비슷한 수준이었다. 14SAWYT-MXI-06은 WE-AX이 높고 TO-AX이 낮아 WE-AX/TO-AX가 42.02%로 가장 높았다. 국내 밀 품종과 CIMMYT 계통의 밀가루의 WE-AX와 TO-AX 및 WE-AX와 WE-AX/TO-AX는 각각 $r = 0.507^*$ 과 $r = 0.700^{***}$ 으로 정의 상관을 나타내었지만(Fig. 1-A & B), TO-AX는 WE-AX/TO-AX간에는 상관이 없는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 국내 밀 품종의 결과와 같았다.

밀가루와 종실의 아라비노자일란 함량

밀가루와 종실의 아라비노자일란 함량을 비교하고자 2010년에 익산 지역에서 전작 조건으로 재배한 국산 밀 29 품종과 지역적용 12계통을 비교 분석한 결과(Table 7), 밀가루의 WE-AX, TO-AX와 WE-AX/TO-AX의 범위는 각각 3.74-8.40 mg/g, 11.92-18.79 mg/g과 27.71-53.16%였으며, 평균값은 각각 5.73 mg/g, 15.11 mg/g과 37.89%로 나타났다. 2010년에 조사한 이러한 결과는 26개 품종을 3년간 조사 한 결과와 비슷한 범위를 나타내었다. 종실의 WE-AX, TO-AX와 WE-

Table 7. Mean values of water-extractable (WE-AX), total arabinoxylan (TO-AX) and WE-AX as a percentage of TO-AX (WE-AX/TO-AX) of wheat flour from 29 Korean wheat cultivars and 12 advanced wheat lines grown in 2010.

Cultivar/ Line	Wheat flour			Wholemeal		
	WE-AX (mg/g)	TO-AX (mg/g)	WE-AX/TO-AX (%)	WE-AX (mg/g)	TO-AX (mg/g)	WE-AX/TO-AX (%)
Alchan	6.36	15.33	41.49	7.03	38.77	18.14
Anbaek	7.57	14.25	53.16	8.08	43.17	18.73
Baekjoong	4.96	13.13	37.74	5.75	36.12	15.93
Cheongkye	5.05	14.79	34.16	6.26	43.14	14.53
Dahong	5.50	12.78	43.04	6.42	40.75	15.78
Eunpa	6.10	15.72	38.85	6.84	45.38	15.07
Geuru	5.72	12.55	45.58	5.21	38.42	13.57
Gobun	5.24	17.47	30.05	5.82	36.18	16.08
Hanbeak	5.88	16.74	35.14	5.37	33.21	16.18
Jeokjoong	4.96	13.22	37.47	4.19	33.79	12.41
Jinpoom	6.42	16.23	39.60	7.19	45.28	15.88
Joeun	5.69	16.83	33.80	6.39	41.93	15.25
Jokyung	4.57	11.92	38.51	3.93	34.97	11.32
Jonong	4.86	14.15	34.34	4.00	31.42	12.73
Jopoom	4.51	15.56	28.98	3.90	30.63	12.75
Keumkang	3.74	13.51	27.71	4.09	32.38	12.64
Milsung	4.44	12.65	35.14	6.26	38.54	16.25
Namhae	4.86	14.66	33.15	5.95	42.82	13.88
Ol	5.50	14.28	38.52	5.47	39.69	13.77
Olgeuru	6.39	15.87	40.24	6.93	37.52	18.50
Saeol	5.50	15.68	35.10	5.85	35.13	16.64
Seodun	5.75	16.19	35.56	5.95	35.06	16.97
Shinmichal	6.10	15.94	38.30	4.99	31.68	15.74
Shinmichal 1	6.07	16.35	37.19	7.22	40.30	17.94
Suan	4.51	15.20	29.69	3.87	30.79	12.57
Sukang	4.89	13.19	37.08	4.35	33.12	13.14
Tapdong	6.10	14.21	42.95	7.25	39.89	18.23

Table 7. Continued

Cultivar/ Line	Wheat flour			Wholemeal		
	WE-AX (mg/g)	TO-AX (mg/g)	WE-AX/TO-AX (%)	WE-AX (mg/g)	TO-AX (mg/g)	WE-AX/TO-AX (%)
Uri	4.76	14.44	32.99	5.91	38.45	15.38
Yunbaek	4.80	13.51	35.48	6.14	39.31	15.61
Iksan321	4.82	14.33	33.65	3.45	30.37	11.37
Iksan323	7.30	18.74	38.94	4.89	35.70	13.70
Iksan325	8.40	16.63	50.55	5.53	37.20	14.87
Iksan334	4.45	12.58	35.36	3.10	35.06	8.87
Iksan339	4.59	14.10	32.52	2.50	34.16	7.31
Iksan340	6.65	16.53	40.24	3.19	36.98	8.63
Iksan341	6.65	14.42	46.14	2.62	31.83	8.25
Iksan342	5.87	15.71	37.40	2.43	27.88	8.73
Iksan343	7.48	17.68	42.31	6.07	34.23	17.74
Iksan344	7.34	18.79	39.09	5.85	36.76	15.91
Iksan345	6.98	17.45	39.97	5.08	35.73	14.27
Iksan346	6.88	15.66	43.96	5.85	35.63	16.55
LSD ^z	0.29	1.65	1.03	0.39	0.50	2.33

^zLeast significant difference ($P < 0.05$)

AX/TO-AX의 범위는 각각 2.43-8.08 mg/g, 27.88-45.38 mg/g과 7.31-18.73%였으며, 평균값은 각각 5.31 mg/g, 36.59 mg/g과 14.36%로 나타났다. 종실의 이러한 결과는 미국 밀 품종의 WE-AX 및 TO-AX와 비교하였을 때(Hong et al. 1989, Saulnier et al. 1995, Finnie et al. 2006) 국내 품종 및 계통의 분포 범위는 약간 넓은 분포를 하는 것으로 나타났다. 밀가루의 WE-AX와 TO-AX 및 WE-AX/TO-AX는 각각 $r = 0.638^{***}$ 과 0.779^{**} 로 정의 상관을 보였다(Fig. 2-A & B). 최근 육성 계통의 경우 국내 밀 품종에 비하여 아라비노자일란 함량 분포가 넓게 나타나는 것으로 나타났는데, 익산325호는 WE-AX 8.40 mg/g으로 가장 높았으며, 익산323호와 익산344호는 TO-AX가 각각 18.74와 18.79 mg/g으로 높았다.

미국 연질밀 품종의 경우 종실의 WE-AX와 TO-AX 범위가 각각 4.32-5.50 mg/g과 38.21-45.38 mg/g으로 나타났는데(Finnie et al. 2006), 국내 육성 품종은 각각 3.87-8.08 mg/g과 30.63-45.38 mg/g의 범위로 미국 품종과 비슷한 범위를 나타내었지만 육성된 지역적응 계통의 경우 2.43-6.07 mg/g과 27.88-37.20 mg/g 범위로 낮은 값을 나타내었다. 밀가루의 아라비노자일란 함량과 마찬가지로 종실의 아라비노자일란 함량에서도 WE-AX와 TO-AX 및 WE-AX/TO-AX는 각

각 $r = 0.771^{***}$ 과 $r = 0.925^{**}$ 로 정의 상관을 보였다(Fig. 2-C & D). 국내 밀 품종에 비하여 육성 계통의 경우 종실의 아라비노자일란 함량이 낮고 이로 인하여 WE-AX/TO-AX이 낮은 분포를 나타내었다. 특히, 익산339호, 익산341호와 익산342호는 2.62 mg/g으로 낮게 나타났는데 이러한 수치는 외국 밀 품종과 비교해서도 낮은 수치이다. 이러한 결과는 2010년에 한정된 실험 결과로, 아라비노자일란 함량이 환경적 영향을 많이 받는 것으로 나타났기 때문에 최근 육성된 계통의 아라비노자일란 함량의 분포가 국내 육성 밀 품종과 다른 분포인지 여부에 대해서는 년차간 지역간 변이에 대한 지속적인 분석을 통한 국내 육성 품종 및 계통의 아라비노자일란 함량의 추이도 분석이 필요할 것으로 판단된다. 밀가루와 종실의 아라비노자일란 함량의 상관 분석에서 TO-AX간에는 관계가 없는 것으로 나타났지만, WE-AX간에는 $r = 0.329^{*}$ 로 정의 상관을 보였고(Fig. 2-E), 밀가루 WE-AX와 종실의 WE-AX/TO-AX도 $r = 0.320^{*}$ 로 정의 상관을 나타내었다(Fig. 2-F). 이러한 결과는 국내 밀 육성 프로그램에서 아라비노자일란 함량에 대한 선발에 있어 WE-AX 분석을 통한 선발이 가능할 것으로 생각할 수 있다.

Fig. 2. Relationship between arabinoxylan content of wheat flour and wholemeal of 41 Korean wheat cultivars and advanced lines. A, waterextractable arabinoxylan (WE-AX) and total arabinoxylan (TO-AX) of wheat flour; B, WE-AX and percentage of WE-AX/TO-AX of wheat flour; C, TO-AX and WE-AX of wholemeal; D, WE-AX and percentage of WE-AX/TO-AX of wholemeal; E, WE-AX of wheat flour and WE-AX of wholemeal; F, WE-AX of wheat flour and percentage of WE-AX/TO-AX of wholemeal. ●; 29 Korean wheat cultivar, ○; 12 Korean advanced line.

아라비노자일란 함량이 밀가루 반죽 특성 및 제빵 특성에 미치는 영향

아라비노자일란 함량이 가공적성에 미치는 영향을 평가하기 위하여 2007년과 2008년에 재배된 국내 밀 24품종에 대한 단백질 함량과 반죽 특성 및 제빵 특성을 걸쳐 평가한 결

과(Table 8), 단백질 함량은 평균 10.90%였으며, 8.74(우리밀)-14.43%(조품밀)의 범위를 보였다. 믹소그래프를 이용하여 측정된 반죽 가수량과 반죽 시간의 평균은 각각 58.63%와 3.58분이었으며, 측정된 범위는 반죽 가수량은 53.00(밀성밀)-63.38(조품밀)%이었으며, 반죽시간은 2.18(다홍밀)-6.20(남해밀)이

Table 8. Arabinoxylan and protein content, rheological properties of wheat flour and bread-baking qualities of 24 Korean wheat cultivars grown in two years.

Cultivar	Arabinoxylan ^z			Protein (%)	Mixograph		Rheofermentometer	Bread	
	WE-AX (mg/g)	TO-AX (mg/g)	WE-AX/TO-AX (%)		Mixing Absorption (%)	Mixing Time (min)	Maximum Dough Height (mm)	Loaf Volume (cc)	Firmness (N)
Alchan	5.02	16.81	29.90	10.20	57.50	5.25	41.75	855.00	1.47
Anbaek	6.89	14.15	50.22	11.42	58.63	2.33	30.68	766.25	1.66
Baekjoong	5.23	14.63	36.51	9.30	59.75	3.48	36.83	780.00	1.44
Cheongkye	4.79	16.50	29.42	12.49	59.25	2.30	24.75	713.75	1.78
Dahong	5.78	17.32	33.41	10.16	55.00	2.18	26.35	727.50	1.85
Eunpa	5.94	20.12	29.81	11.50	62.25	3.50	33.53	790.00	1.62
Geuru	6.36	18.19	35.25	11.01	57.25	3.05	24.18	733.75	1.59
Gobun	5.44	16.95	32.29	12.19	57.75	6.15	33.00	760.00	1.73
Jeokjoong	5.60	15.20	36.85	10.26	60.25	3.40	35.93	742.50	1.47
Jinpoom	7.71	19.89	38.85	9.51	57.88	4.13	30.13	718.75	1.55
Joeun	5.78	16.74	35.89	13.39	62.00	3.03	26.78	733.75	1.91
Jokyung	5.19	13.13	41.58	10.93	60.00	4.13	49.48	843.75	1.18
Jonong	4.79	14.42	34.05	11.59	60.25	4.08	37.05	808.75	1.55
Jopoom	4.08	14.10	29.25	14.43	63.38	3.35	35.65	775.00	1.16
Keumkang	3.00	12.31	24.36	13.17	60.25	4.03	46.70	863.75	1.04
Milsung	5.71	16.17	35.36	9.31	53.00	2.45	27.98	643.75	2.80
Namhae	5.62	16.83	34.07	11.38	60.25	6.20	48.48	852.50	1.15
Ol	5.69	18.47	30.79	10.44	58.38	2.38	23.03	795.00	1.75
Olgeuru	5.48	15.66	35.05	9.56	57.50	3.38	25.88	793.75	1.71
Saeol	6.68	19.29	34.62	9.63	56.50	3.03	23.65	657.50	2.19
Seodun	7.07	20.74	34.01	10.32	56.75	3.25	26.78	681.25	1.53
Tapdoug	6.17	18.40	33.68	10.38	59.25	3.43	34.13	793.75	1.59
Uri	5.67	17.30	32.85	8.74	56.50	4.03	36.33	755.00	2.21
Yunbaek	5.21	14.86	36.02	10.22	57.50	3.30	36.88	766.25	1.43
LSD ^y	0.40	0.23	1.96	0.08	0.44	0.09	1.75	20.55	0.12

^zWE-AX = water-extractable arabinoxylan content, TO-AX = total arabinoxylan content, WE-AX/TO-AX = percentage of WE-AX to TO-AX^yLeast significant difference ($P < 0.05$)

었다. 빵 가공시 발효가 일어나는 동안 반죽의 부푸는 정도를 측정하는 Rheofermentometer을 이용하여 반죽 최고 높이를 측정한 결과 평균은 33.16 mm이었으며, 23.03(올밀)-49.48 mm(조경밀)의 범위를 나타냈다. 빵 특성으로 측정된 빵 부피와 속질의 경도의 평균은 각각 764.64 cc와 1.64 N였으며, 범위는 각각 643.75(밀성밀) - 863.75 cc(금강밀)와 1.04(금강밀) - 2.80 N(밀성밀)로 조사되었다.

아라비노자일란 함량과 단백질 함량과 반죽 특성 및 제빵 특성간 상관 관계를 분석한 결과(Fig. 3), 밀가루의 WE-AX

는 단백질 함량과 $r = -0.513^*$ 으로 부의 상관을 나타내었지만 (Fig. 3-A), TO-AX는 단백질 함량과 상관성이 없는 것으로 나타났다. Rheofermentometer의 반죽 최고 높이는 밀가루의 WE-AX와 TO-AX와 부의 상관을 나타내었지만(Fig. 3-B), 믹소그래프를 이용하여 측정된 반죽의 가수량과 반죽 시간은 상관성이 없는 것으로 나타났다. 빵 부피도 WE-AX와 TO-AX와 부의 상관을 나타내었지만(Fig. 3-C), 빵 속질의 경도는 상관성이 없는 것으로 나타났다. Ramseyer et al. (2011)는 아라비노자일란 함량은 단백질 함량과 정의 상관을 나타내는 것으

Fig. 3. Relationship between protein content (A), maximum dough height (B), bread loaf volume (C) and rain fall and waterextractable arabinoxylan (WE-AX, ●) and total arabinoxylan (TO-AX, ○) of 24 Korean wheat flour.

로 보고하였지만, Li et al. (2009)는 미국 북서부 지역에서 재배되는 경질밀을 이용하여 상관 관계를 분석한 결과 단백질 함량은 TO-AX와는 부의 상관관계를, WE-AX/TO-AX와는 정의 상관관계를 나타내었지만 WE-AX와는 상관관계가 없는 것으로 나타났다. WE-AX가 빵 부피가 증가하고 속질의 경도도 부드러워지는 역할을 한다는 보고도 있지만(Cawley 1964, Biliaderis 1995), 영향이 없거나 미미하다는 보고도 있다(Kim & D'Appolonia 1977). WE-AX가 반죽 및 제빵에 미치는 영향에 대해서는 반죽 시간을 늘리고 가수량을 증가시키고 오븐에서 잘 부풀게 하는 역할을 하는 것으로 보고(Jelaca & Hlynca, 1971, Biliaderis et al. 1995, Gan et al. 1995) 되었지만, 그렇지 않다는 연구 보고도 있다(Kulp 1968, Jelaca & Hlynca, 1972). 빵 품질에 있어서 아라비노자일란 함량이 미치는 역할에 대한 연구는 현재도 활발히 진행되고 있지만, 국내 환경의 경우 주요 밀 재배국과 비교하여 상대적으로 짧은 등숙 기간과 고온의 등숙 환경으로 인하여 아라비노자일란 함량

변이가 다른 양상으로 나타날 가능성도 있다. 또한, 본 연구에서 조사된 국내 밀 품종의 경우 글루텐인 조성이 양호하여 빵 부피가 큰 품종의 경우 상대적으로 WE-AX나 TO-AX가 낮게 나타난 특징이 국내 밀 품종에서 반죽 및 빵 품질과 아라비노자일란 함량이 부의 상관관계로 나타난 것으로 보여진다.

적 요

밀의 대표적인 식이성 섬유소인 아라비노자일란에 대한 국내 재배 환경에서 국내 밀 품종의 아라비노자일란 함량 변이를 조사한 결과 품종에 따른 함량 변이도 있지만 년차간, 재배조건 및 재배지역에도 영향을 받는 것으로 나타났다. 전작 조건에서 재배된 밀 품종의 아라비노자일란 함량이 답리작 조건에서 재배된 품종 보다 높았으며, 익산 지역에서 재배된 품종이 진주에서 재배된 밀 품종 보다 아라비노자일란 함량이 낮았다. 외국 계통인 CIMMYT 계통과 비교한 결과 국내

밀 품종은 아라비노자일란 함량이 높은 것으로 나타났다. 종실의 아라비노자일란 함량은 밀가루의 아라비노자일란 함량과 정의 상관을 나타내어 아라비노자일란 함량에 따른 계통 선발에 있어서 종실 함량으로 평가가 가능할 것이다. 제빵적 성이 양호한 국내 밀 품종인 금강밀과 조정밀은 다른 품종에 비하여 아라비노자일란 함량이 낮았으며, 은파밀, 진품밀, 서둔밀과 신미찰 1호는 다른 품종에 비하여 아라비노자일란 함량이 높았다. 아라비노자일란 함량은 제빵 적성에 적합한 단백질 함량, 반죽 최고 높이 및 빵 부피와는 부의 상관을 나타내어 국내에서 빵용 밀 육성을 위해서는 아라비노자일란 함량이 낮은 계통으로 육성을 해야 하는데, 이러한 결과는 국내 밀 품종의 등숙 과정과 품종의 글루텐닌 조성 등의 영향으로 보여진다. 최근 들어 밀의 영양성 증진을 위하여 통밀을 이용한 가공제품 개발에 대한 연구가 미국과 유럽을 중심으로 활발하게 진행되고 있으며, 아라비노자일란 함량 관련 표지인자 개발에 대한 연구도 이루어지고 있다. 국내 밀 품종 역시 아라비노자일란 함량이 환경이나 재배 조건에 영향을 받지만 유전적인 특성에 영향을 받기 때문에 제빵 적성이 양호하면서 식이성 섬유소인 아라비노자일란 함량이 높은 품종 개발을 위해서는 지속적인 연구가 필요할 것으로 생각한다.

사 사

본 논문은 농촌진흥청 농업과학기술개발과제 PJ0087562012의 지원에 의해 이루어진 연구 결과의 일부임.

인 용 문 헌

1. AACC. 2000. Approved methods of the American Association of Cereal Chemists In : St. Paul (ed) 9th edn. AACC.
2. Antoine C, Peyron S, Mabilie F, Lullien-Pellerin V, Abecassis J, Rouau X. 2004. Wheat bran tissue fractionation using biochemical markers. J Cereal Sci 39: 387-393.
3. Antoine C, Peyron S, Mabilie F, Lapierre C, Bouchet B, Abecassis J, Rouau X. 2003. Individual contribution of grain outer layers and their cell wall structure to the mechanical properties of wheat bran. J Agric Food Chem. 51: 2026-2033.
4. Barron C, Robert P, Guillon F, Saulnier L, Rouau X. 2006. Structural heterogeneity of wheat arabinoxylans revealed by Raman spectroscopy. Carbohydrate Research 341: 1186-1191.
5. Barron C, Surget A, Rouau X. 2007. Relative amounts of tissue in mature wheat (*Triticum aestivum* L.) grain and their carbohydrate and phenolic acid composition. J Cereal Sci. 45: 88-96.
6. Bettege AD, Morris CF. 2000. Relationships among grain hardness, pentosan fractions, and end-use quality of wheat. Cereal Chem. 77: 241-247.
7. Biliaderis CG, Izydorczyk MS, Rattan O. 1995. Effect of arabinoxylans on bread-making quality of wheat flours. Food Chem. 53: 165-171.
8. Cawley RW. 1964. The role of wheat flour pentosans in baking. II Effect of added flour pentosans and other gums on gluten-starch loaves. J Sci Food Agric. 15: 834-838.
9. Courtin CM, Delcour JA. 2002. Arabinoxylans and endoxylanases in wheat flour bread-making. J. Cereal Sci. 35: 225-243.
10. Courtin CM, Roelants A, Delcour JA. 1999. Fractionation-reconstitution experiments provide insight into the role of endoxylanases in bread-making. J Agric Food Chem 47: 1870-1877.
11. Czuchajowska Z, Pomeranz Y. 1993. Gas formation and gas retention. I. The system and methodology. Cereal Foods World. 38: 499-503.
12. Dervilly-Pinel G, Rimsten L, Saulnier L, Anderson R, Amman P. 2001. Water-extractable arabinoxylan from pearled flours of wheat, barley, rye and triticale. Evidence for the presence of ferulic acid dimers and their involvement in gel formation. J Cereal Sci. 34: 207-214.
13. Dornez E, Gebruers K, Joye IJ, De Ketelaere B, Lenartz J, Massaux C, Bodson B, Delcour JA, Courtin CM. 2008. Effects of genotype, harvest year and genotype-by-harvest year interactions on arabinoxylan, endoxylanase activity and endoxylanase inhibitor levels in wheat kernels. J Cereal Sci. 47: 180-189.
14. Douglas SG. 1981. A rapid method for the determination of arabinoxylans in wheat flour. Food Chem. 7. 139-145.
15. Figueroa-Espinoza MC, Rouau X. 1998. Oxidative cross-linking of pentosans by a fungal laccase and horseradish peroxidase: Mechanism of linkage between feruloylated arabinoxylan. Cereal Chem. 75: 259-265.
16. Finney KF. 1984. An optimized, straight-dough, bread-making method after 44 years. Cereal Chem. 25: 20-27.
17. Finnie SM, Bettege AD, Morris CF. 2006. Influence of cultivar and environment on water-soluble and water-

- insoluble arabinoxylan in soft wheat. *Cereal Chem.* 83: 617-623.
18. Gan Z, Ellis PR, Schofield JD. 1995. Mini review: Gas cell stabilisation and gas retention in wheat bread dough. *J Cereal Sci.* 21: 215-230.
 19. Gebruers K, Dornez E, Boros D, Fras A, Dynkowska W, Bedo Z, Rakszegi M, Declour JA, Courtin CM. 2008. Variation in content of dietary fiber and components thereof in wheat in the healthgrain diversity screen. *J Agric Food Chem.* 56: 9740-9749.
 20. Geissmann T, Neukom H. 1973. On the composition of the water soluble wheat flour pentosans and their oxidative gelation. *Lebens Wiss Technol.* 6: 59-62.
 21. Hashimoto S, Shogren MD, Pomeranz Y. 1987. Cereal pentosans: Their estimation and significance. I. Pentosans in wheat and milled wheat products. *Cereal Chem.* 64: 30-34.
 22. Henry RJ. 1985. A comparison of the non-starch carbohydrates in cereal grains. *J Sci Food Agric.* 36: 1243-1253.
 23. Henry RJ. 1987. Pentosan and (1→3), (1→4)-β-glucan concentrations in endosperm and wholegrain of wheat, barley, oats and rye. *J Cereal Sci.* 6: 253-258.
 24. Heo HY, Park CS, Kang MS, Park HH, Lee CK, Kim HS, Goo BC, Park JC, Park KG, Cheong YK, Kim JG. 2007. A new waxy wheat cultivar "Shinmichal 1" with stress tolerance. *Korean J. Breed. Sci.* 39: 1-2.
 25. Hong BH, Rubenthaler GL, Allan RE. 1989. Wheat pentosans. I. Cultivar variation and relationship to kernel hardness. *Cereal Chem.* 66: 369-373.
 26. Hughes SA, Shewry PR, Li L, Gibson GR, Sanz ML, Rastall RA. 2007. In vitro fermentation by human fecal microflora of wheat arabinoxylans. *J Agric Food Chem* 55: 4589-4595.
 27. Iyama K, Lam TB, Stone BA. 1994. Covalent cross-links in cell wall. *Plant Physiol.* 104: 315-320.
 28. Izydorczyk MS, Biliaderis CG, Bushuk W. 1990. Oxidative gelation studies of water-soluble pentosans from wheat. *J Cereal Sci.* 11: 153-169.
 29. Izydorczyk MS, Biliaderis CG. 1995. Cereal arabinoxylans: Advances in structure and physicochemical properties. *Carbohydrate ate Polymer* 28: 33-48.
 30. Jelaca SL, Hlynka I. 1972. Effect of wheat-flour pentosans in dough, gluten and bread. *Cereal Chem.* 49: 489-495.
 31. Jelaca SL, Hlynka I. 1971. Effect of roll temperature on wheat flour crude pentosans and their relation to mixing characteristics of dough. *Cereal Chem.* 48: 211-222.
 32. Jiang L-N, Shao M, Liu L, Li C-X. 2007. Effects of genotypes and environments on pentosan content and viscosity in wheat grains. *J Henan Agric Sci* 1: 17-19.
 33. 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.
 34. Kim SK, D'Appolonia BL. 1977. Bread staling studies. III. Effect of pentosans on dough, bread, and bread staling rate. *Cereal Chem.* 54: 225-229.
 35. Kulp K. 1968. Pentosans of wheat endosperm. *Cereal Sci Today* 13: 414-426.
 36. Li S, Morris CF, Bettege AD. 2009. Genotype and environment variation for arabinoxylans in hard winter and spring wheats of the U.S. Pacific Northwest. *Cereal Chem.* 56: 88-95.
 37. Lu ZX, Walker KZ, Muir JG, Mascara T, O'Dea K. 2000. Arabinoxylan fiber, a byproduct of wheat flour processing, reduces the postprandial glucose response in normoglycemic subjects. *Am J Clin Nutr* 71: 1123-1128.
 38. Mares DJ, Stone BA. 1973. Studies on wheat endosperm. I. Chemical compositions and ultrastructure of the cell walls. *Aust. J. Biol. Sci.* 26: 793-812.
 39. Martinant J-P, Billot A, Bouguennec A, Charmet G, Saulnier L, Branlard G. 1999. Genetic and environmental variations in waterextractable arabinoxylans content and flour extract viscosity. *J Cereal Sci* 30: 45-48.
 40. Martinant J-P, Cadalen T, Billot A, Chartier S, Leroy P, Bernard M, Saulnier L, Branlard G. 1998. Genetic analysis of waterextractable arabinoxylans in bread wheat endosperm. *Theor Appl Genet.* 97: 1069-1075.
 41. Michniewicz J, Bilideris CG, Bushuk W. 1991. Effect of added pentosans on some physical and technological characteristics of dough and gluten. *Cereal Chem.* 68: 252-258.
 42. Michniewicz J, Bilideris CG, Bushuk W. 1992. Effect of added pentosans on some properties of wheat bread. *Food Chem.* 43: 251-257.
 43. Monobe M, Maeda-Yamamoto M, Matsuoka Y, Kaneko A, Hiramoto S. 2008. Immunostimulating activity and molecular weight dependence of an arabinoxylan derived from wheat bran. *J Jpn Soc Food Sci Tech.* 55: 245-249.
 44. Neyrinck AM, Delzenne NM. 2010. Potential interest of

- gut microbial changes induced by non-digestible carbohydrates of wheat in the management of obesity and related disorders. *Curr Opin Clin Nutr Metab Care* 13: 722-728.
45. Neyrinck AN, Possemiers S, Druart C, Van de Wiele T, De Backer F, Cani PD, Larondelle Y, Delzenne NM. 2011. Prebiotic effects of wheat arabinoxylan related to the increase in bifidobacteria, roseburia and bacteroides/prevotella in diet-induced obese mice. *PLoS one* e20944.
 46. Ordaz-Ortiz JJ, Devaux MF, Saulnier L. 2005. Classification of wheat varieties based on structural features of arabinoxylans as revealed by endoxylanase treatment of flour and grain. *J Agric Food Chem*. 53: 8349-8356.
 47. Ordaz-Ortiz JJ, Saulnier L. 2005. Structural variability of arabinoxylans from wheat flour. Comparison of water-extractable and xylanase extractable arabinoxylans. *J Cereal Sci*. 42: 119-125.
 48. Philippe S, Saulnier L, Guillon F. 2006. Arabinoxylan and (1->3),(1->4)-beta - glucan deposition in cell walls during wheat endosperm development. *Planta* 224: 449-461.
 49. Ramseyer DD, Bettge AD, Morris CF. 2011. Distribution of total, water-unextractable, and water-extractable arabinoxylans in wheat flour mill streams. *Cereal Chem*. 88: 209-216.
 50. Saulnier L, Peneau N, Thibault JF. 1995. Variability in grain extract viscosity and water-soluble arabinoxylan content in wheat. *J Cereal Sci*. 22: 259-264.
 51. Saulnier L, Sado P-E, Branlard G, Charmet G, Guillon F. 2007. Wheat arabinoxylans: Exploiting variation in amount and compositions to develop enhanced varieties. *J, Cereal Sci*. 46: 261-281.
 52. Turner MA, Soh CHN, Ganguli NK, Sissons MJ. 2008. A survey of waterextractable arabinopolymers in bread and durum wheat and the effect of waterextractable arabinoxylan on durum dough rheology and spaghetti cooking quality. *J Sci Food Agric* 88: 2551-2555.
 53. Vardakou M, Palop CN, Christakopoulos P, Faulds CB, Gasson MA, Narbard A. 2008. Evaluation of the prebiotic properties of wheat arabinoxylan fractions and induction of hydrolase activity in gut microflora. *Int J Food Microbiol* 123: 166-170.
 54. Wang M, Hamer RJ, Vliet TV, Gruppen H, Marseille H, Weegles PL. 2003. Effect of water unextractable solid on gluten formation and properties: Mechanistic considerations. *J Cereal Sci*. 37: 55-64.
 55. Wang M, Sapirstein HD, Machet A-S, Dexter JE. 2006. Composition and distribution of pentosans in millstreams of different hard spring wheats. *Cereal Chem*. 83: 161-168.
 56. Zhang Q-J, Qian S-H, Zang Y, He Z-H, Yao D-N. 2005. Variation of pentosans in Chinese soft wheat cultivars and correlations with cookie quality. *Sci Agric Sin*. 38: 1734-1738.