

겉귀리 및 쌀귀리 분말의 입자크기별 영양성분 및 이화학적 특성

이유진¹ · 김진숙² · 김경미² · 최송이² · 김기창²

¹한국과학기술연구원 강릉분원 천연물연구소

²국립농업과학원 농식품자원부 가공이용과

Nutritional Components and Physicochemical Properties of Hulled and Naked Oat Flours according to Particle Sizes

Yu-Jin Lee¹, Jin-Sook Kim², Kyung-Mi Kim², Song-Yi Choi², and Gi-Chang Kim²

¹KIST Gangneung Institute of Natural Products

²Agro-Food Resources, National Academy of Agricultural Science, Rural Development Administration

ABSTRACT Hulled oat (Chohan) and naked oat (Choyang) flours were analyzed according to particle size to investigate nutritional components and physicochemical properties. Particle size of naked oat flours was larger than that of hulled oat flours. As the mesh of the crushed ones decreased, particle sizes increased in value. The content of total β -glucan was highest in hulled oat flour (4.23%) with 60 mesh and in naked oat flour (4.26%) with 100 mesh. Most total β -glucan was soluble β -glucan in both flours (over 76%). Total starch of hulled oat flours (63.64~69.82%) was higher than that of naked oat flours (52.45~63.71%). Whereas amylose contents showed a negative correlation with total starch contents. Contents of free amino acids increased according to particle size, and each component was dependent on each type of amino acid. Moreover, while fatty acid composition was not significant, the content of most naked oats was higher than that of hulled oats. Besides, the ratio of unsaturated fatty acids (oleic acid and linoleate) in both types of oat flours was relatively higher than that of other grains. The pasting properties of peak viscosity, trough, and breakdown showed the highest value in both oats with 100 mesh. Further, the values of final viscosity and the setback were higher with relatively larger particle size. In addition, peak time exhibited a lower value with larger particle size, whereas it showed the opposite value for pasting temperature. Starch digestibility did not show any specific trend according to particle size, whereas expected glycemic index of hulled oats was lower than that of naked oats. Moreover, lower values were investigated at larger particle sizes. The results of this study provide basic useful information for processing of oat products to improve consumption of oats grown in Korea.

Key words: oat flour, particle size, β -glucan, nutritional component, physicochemical properties

서론

귀리(*Avena sativa* L.)는 벼과에 속하는 곡류로 예로부터 단백질, 섬유질, 비타민 및 무기질이 풍부하여 건강식품으로 인식되어 왔다(1,2). 독성과 부작용이 없는 귀리의 배유 및 호분층 세포벽에는 고분자인 베타글루칸 및 단백질당체가 다량 함유되어 있으며, 심혈관질환 개선 및 항고혈압 등의 생리적 효능이 있는 것으로 알려져 있다(3-6). 그뿐만 아니라 귀리에는 tocol류를 비롯한 페놀화합물이 다양하게 존재하고 있으며, 페놀을 포함하는 알칼로이드계 물질인 avenanthramides는 귀리의 항산화 물질로 크게 주목받고 있다(7,8).

귀리는 예로부터 생산량의 대부분을 사료로 이용하였으나, 최근 건강에 대한 관심 증대와 더불어 미국 타입지 선정한 세계 10대 건강식품으로 영양적 가치를 인정받아 소비량이 빠르게 증가하고 있다. 귀리는 곡알 그대로 쌀과 혼합하거나 오트밀 또는 쿠키 형태로 단순히 식용재료로 이용되고 있으며 귀리를 이용한 가공제품을 개발하기 위해서는 반드시 제분공정이 필요하다(9).

한편 귀리 종실은 일반적으로 내영과 외영이라는 껍질의 유무에 따라 껍질이 제거되지 않은 겉귀리와 껍질의 제거가 용이한 쌀귀리로 나누어진다(10). 그러므로 귀리를 식용으로 이용하고자 할 경우 겉귀리보다는 쌀귀리가 다소 유리하며 영양적인 측면에서도 쌀귀리가 우수한 것으로 평가받고 있다(11). 한편 우리나라에서는 귀리 주요 생산국인 캐나다, 호주, 러시아 등에서 수입된 원가가 낮은 수입산 귀리를 대부분 이용하고 있으며, 그 소비량은 매년 증가하고 있는 추세이다(12). 따라서 국내에서는 태한, 다한, 삼한, 조한과 같은 가을에 파종하여 5월 중순에 수확이 가능한 추파형 겉귀

Received 23 May 2016; Accepted 27 June 2016

Corresponding author: Jin-Sook Kim, Agro-Food Resources, National Academy of Agricultural Science, Rural Development Administration, Wanju, Jeonbuk 55365, Korea
E-mail: preetyjs@korea.kr, Phone: +82-63-238-3555

리와 내한성은 다소 약하나 남부지역에서 추파가 가능한 식용 및 사료 겸용 쌀귀리인 조양, 수양 등을 개발하여 국내 자급률 향상을 위해 노력하고 있다(13-15).

귀리에 대한 연구는 주로 귀리 종실과 관련하여 재배 및 사료작물로서의 품질 평가(16,17)와 귀리의 기능성 성분인 베타글루칸의 추출, 정제 및 함량 변화, 생리활성에 대해 연구되어 왔다(18-21). 또한, 귀리의 활용도를 높이기 위한 연구로는 발효귀리를 첨가한 전통된장의 제조, 귀리 추출물을 이용한 젓산음료 개발 및 귀리 분말을 첨가한 빵, 쿠키, 떡, 케이크, 죽 등이 있다(22-25). Oh(26)는 쌀귀리 분말을 이용한 다양한 가공제품을 개발하고 이들의 품질과 관능적 특성 분석을 통해 귀리의 우수성을 검증하였으나, 귀리 분말의 입도 및 품종에 따른 기능성 물질과 이화학적 특성에 대한 연구는 수행하지 않았다. 아울러 귀리 베타글루칸 성분의 가공처리에 의한 용해성과 함량의 변화(5), 입도 분획별 베타글루칸의 함량(21)에 관한 연구는 있으나 쌀귀리에 관한 연구는 없는 실정이다. 한편 귀리에는 다른 곡류에 비해 다량의 식이섬유가 포함되어 있으며 이는 위장통과시간을 늦추고 전분소화를 지연시켜 혈당지수(glycemic index, GI)를 변화시키는 요인으로서 작용한다(27). 또한, 전분의 소화 흡수 속도는 당뇨병과 같은 질환을 예방하기 위한 중요한 인자이므로 새로운 형태의 전분질 식품이나 신가공기술을 활용하여 전분의 소화율을 낮출 필요성이 있다(28). 따라서 귀리를 이용한 다양한 제품을 개발하기 위해서는 전분 소화율과 상관성에 대한 체계적인 연구가 선행되어야 한다. 귀리의 식이섬유를 이용하여 밀가루를 대체하였을 경우 전분소화 지연 효과가 있음이 확인되었으나(29), 귀리의 입도별 전분의 소화특성과 소화율에 따른 GI에 대한 연구는 전무한 실정이다. 아울러 지금까지 귀리에 대한 연구는 대부분 걸귀리에 국한된 것으로 귀리를 이용한 가공제품 제조에 적합한 국내산 귀리 분말의 이화학적 특성과 영양성분에 대한 연구는 거의 없는 실정이다. 따라서 본 연구에서는 국내산 귀리의 소비를 증진하고, 귀리를 이용한 다양한 형태의 가공제품 개발을 위한 기초자료를 제공하고자 걸귀리(조한)와 쌀귀리(조양)를 각각 선정하여 입자크기에 따른 영양성분(탄수화물, 아미노산 및 지방산 조성) 및 이화학적 특성(입도, 소화 특성, *in vitro* 소화율, expected GI)을 비교 분석하였다.

재료 및 방법

실험재료

본 연구에 사용한 귀리는 2014년도 전북 정읍 귀리명품화사업단에서 생산한 걸귀리(조한)와 쌀귀리(조양)를 국립농업과학원 농업공학부에서 2013년 개발한 분쇄기(pin mill)를 이용하여 40 mesh(425 μ m), 60 mesh(250 μ m), 80 mesh(180 μ m), 100 mesh(150 μ m)로 분쇄하였으며 얻어진 입도별 귀리 분말은 냉장 보관하면서 실험에 사용하였다.

입도분석

분쇄한 귀리 분말의 입도분석은 입도분석기(HELOS, Berlin, Germany)를 이용하여 귀리 분말 2 g을 취하여 분산시킨 후 3회 반복하여 입자의 크기를 측정하였다.

탄수화물 분석(베타글루칸, 총전분, 아밀로오스)

귀리 분말의 총베타글루칸 함량은 Megazyme β -glucan assay kit(Megazyme International Ltd., Wicklow, Ireland)을 사용하여 분석하였다. 불용성 베타글루칸의 함량은 귀리 분말에 증류수를 가하여 40°C에서 2시간 동안 초음파 추출기로 추출한 후 5,000 rpm에서 10분간 원심분리 하여 상층액을 제거하여 얻어진 침전물로 측정하였다. 수용성 베타글루칸 함량은 총베타글루칸 함량에서 불용성 베타글루칸의 함량을 뺀 값으로 나타내었다. 총전분 및 아밀로오스의 함량은 Megazyme total starch assay kit 및 Megazyme amylose assay kit을 이용하여 분석하였다.

유리아미노산 함량 분석

입도별 귀리 분말의 유리아미노산의 함량 분석은 귀리 분말 1 g에 초순수 20 mL를 첨가하여 초음파 처리(50°C, 2시간)한 후 원심분리(5,000 rpm, 10분, 4°C) 하여 상등액을 분리하였다. 얻어진 상등액은 감압 농축하여 초순수 5 mL에 용해한 후 0.45 μ m PVDF 필터(Millipore, Darmstadt, Germany)로 여과하여 시료로 사용하였다. 제조된 시료 10 μ L에 70 μ L의 AccQ-fluor borate buffer와 20 μ L의 AccQ-fluor reagent를 혼합하여 55°C에서 10분간 반응시킨 후 ACQUITY™ UPLC(Waters, Milford, MA, USA)로 분석하였다. 이때 시료온도와 칼럼온도는 각각 20°C, 55°C였으며, 칼럼은 AccQTag™ Ultra column 2.1 \times 100 mm, 용매는 용매 A(1:10 Dilution of AccQ·Tag Ultra Eluent A, Waters)와 용매 B(AccQ·Tag Ultra Eluent B, Waters)(linear gradient elution from A to B for 9.5 min)를 유속 0.7 mL/min으로 하여 시료 1.0 μ L를 주입하여 260 nm에서 측정하였다.

지방산 추출 및 분석

지방산 조성은 AOAC 방법(30)에 따라 지질을 methyl ester화한 후 측정하였다. 먼저 귀리 분말을 soxhlet 추출법으로 약 2시간 동안 에테르로 추출하여 지방산 시료를 제조하였다. 추출한 지방산 시료에 0.5 M NaOH/메탄올을 첨가하여 85°C에서 10분 동안 가수분해한 후 14% BF₃ 메탄올을 첨가하여 methyl ester화하였다. 여기에 포화 NaCl과 hex산을 순차적으로 넣은 후 상등액인 hex산 층에 소량의 무수 Na₂SO₄를 첨가하여 수분을 제거한 다음 분석시료로 사용하였다. 지방산 표준용액은 지방산 표준품 37종(CRM47885, Supelco 37 Component FAME Mix, Supelco, Bellefonte, PA, USA)을 클로로포름에 용해하여 사용하였으며 flame ionization detector(FID)가 장착된 GC(Agilent 7890A series, Agilent, Palo Alto, CA, USA)로 분석하였다. 칼럼은

Agilent J&W HP-88(100 m×0.25 mm i.d.×0.2 μm)을, 오븐 온도는 100°C에서 분당 4°C씩 240°C까지 올린 후 35 분간 유지하였다. 이때 시료 1 μL를 split ratio 10:1로 주입 하였으며 이동상 가스인 N₂의 유량을 1 mL/min, 시료주입 기와 검출기 온도는 각각 250°C, 260°C로 설정하여 분석하였다.

호화특성 분석

귀리 분말의 호화특성은 신속점도측정기(Rapid Visco Analyser(RVA), Newport Scientific Pty, Ltd., Warriewood, Australia)를 사용하여 시료 3 g을 증류수 25 mL에 분산시킨 후 측정하였다. 호화조건은 초기온도를 50°C에서 1분간 유지한 후 분당 12°C씩 95°C까지 가열하여 2분 30초간 유지한 다음, 1분당 12°C씩 50°C까지 냉각시켜 2분간 유지하면서 측정하였다. RVA viscogram으로부터 최고점도(peak), 최저점도(trough), 최종점도(final), 강하점도(breakdown), 치반점도(setback), peak time 및 호화온도로 산출하였으며 점도 단위는 rapid viscosity unit(RVU)으로 표시하였다.

In vitro 소화율

귀리 분말의 *in vitro* 소화율은 Englyst 등(31)의 방법을 수정하여 측정하였다. 0.45 g의 porcine pancreatin(P-7545, Sigma-Aldrich Co., St. Louis, MO, USA)을 증류수 4 mL에 분산시키고 원심분리 한 후 2.7 mL의 상층액을 분리하였다. 0.32 mL amyloglucosidase(A-7095, Sigma-Aldrich Co.)는 증류수 0.4 mL와 혼합한 후 0.4 mL의 희석된 amyloglucosidase를 취하여 앞서 제조한 2.7 mL의 porcine pancreatin 상층액을 혼합하여 전분 분해효소를 제조하였다. 전분 시료 100 mg에 2 mL의 0.05 M HCl과 0.01 g pepsin, 10개의 유리구슬(4 mm 지름)을 넣고 교반한 후 2 mL의 0.5 M sodium acetate buffer(pH 5.2)와 미리 제조한 전분 분해효소 1 mL를 넣은 다음 37°C에서 반응시켰다. 시간(0~180분)마다 시료(0.1 mL)를 취하여 80% 에탄올 용액과 혼합한 후 glucose oxidase and peroxidase assay kit(GAGO-20, Sigma-Aldrich Co.)을 이용하여 glucose 함량으로 측정하였다. 측정된 glucose와 총전분의 함량을 이용하여 20분 이내에 분해가 되는 빨리 소화되는 전분(rapidly digestible starch, RDS), 20분과 120분 사이에 분해가 되는 천천히 소화되는 전분(slowly digestible starch, SDS), 120분 동안 분해되지 않는 저항성 전분(resistant

starch, RS)으로 나타내었다. *In vitro* 혈당지수(expected glycemic index, eGI)는 Goni 등(32)의 방법을 이용하여 측정하였으며 귀리 시료와 표준물질(식빵)의 소화율 곡선의 면적 비율로 hydrolysis index(HI)를 계산한 후 Goni 등(32)의 계산식(eGI=39.71+ 0.549HI)으로부터 eGI 값을 구하였다.

통계분석

본 연구 결과는 SPSS version 12.0K(SPSS Inc., Chicago, IL, USA)를 이용하여 3회 반복하여 실험한 데이터를 평균과 표준편차로 나타내었으며, 데이터는 분산분석(one-way ANOVA)을 시행하고 유의성 검정은 Duncan's multiple range test를 실시하여 P<0.05 수준에서 검정하였다.

결과 및 고찰

입도분석

겉귀리와 쌀귀리를 이용한 입도별 귀리 분말을 제조하기 위하여 분쇄기의 배출체 종류를 달리하여 각각 40, 60, 80, 100 mesh로 분쇄한 후 얻어진 귀리 분말을 입도분석기로 분석하였으며 그 결과는 Table 1과 같다. 쌀귀리(42.77~174.72 μm)가 겉귀리(32.66~128.28 μm)보다 입자크기가 전반적으로 높게 나타났으며 분쇄 mesh가 작을수록 입도가 큰 경향을 나타내었다. 즉 겉귀리는 40 mesh(128.28 μm)> 60 mesh(57.15 μm)> 80 mesh(36.58 μm)> 100 mesh(32.66 μm)였으며, 쌀귀리는 40 mesh(174.72 μm)> 60 mesh(64.70 μm)> 100 mesh(43.98 μm)> 80 mesh(42.77 μm) 순으로 평균 입자크기가 작은 것을 확인하였다. 또한, 귀리품종에 관계없이 80 mesh와 100 mesh는 유의적인 차이를 나타내지 않았다.

수용성, 불용성 및 총베타글루칸 함량

귀리의 주된 기능성 물질인 베타글루칸은 귀리의 세포벽에 많이 함유되어 있으며 가공처리에 의해 용해성 및 함량이 변화되기 때문에 식품 이용에 있어 매우 중요한 성분이다(20). 또한, 베타글루칸은 혈중 콜레스테롤의 함량을 저하하는 물질로서 수용성과 불용성으로 구분되며(3), 입도별 귀리 분말의 베타글루칸 함량을 분석한 결과는 Table 2와 같다. 총베타글루칸 함량은 겉귀리 3.20~4.23%, 쌀귀리 3.40~4.26%로 입자크기에 따라 겉귀리는 40 mesh를 제외하고 입자가 작을수록 함량이 낮게 나타났지만 쌀귀리는 증가하

Table 1. Particle size of oat flours in different particle sizes

Type	Particle size (μm)			
	40 mesh	60 mesh	80 mesh	100 mesh
Hulled oat	128.28±9.23 ^a	57.15±2.91 ^b	36.58±1.68 ^c	32.66±0.50 ^c
Naked oat	174.72±10.93 ^a	64.70±0.87 ^b	42.77±2.57 ^c	43.98±3.56 ^c

Values are mean±SD of triplicate analyses.

Values with the different letters (a-c) in each row are significantly different at P<0.05.

Table 2. Contents of β -glucan of oat flours in different particle sizes

Type	Mesh	β -Glucan (% dry basis)			Solubility (%) ¹⁾
		Total	Insoluble	Soluble	
Hulled oat	40	4.02±0.23 ^{ab}	0.37±0.03 ^b	3.65	90.80
	60	4.23±0.43 ^a	0.58±0.00 ^{ab}	3.65	86.29
	80	3.52±0.00 ^{bc}	0.81±0.10 ^a	2.71	76.99
	100	3.20±0.08 ^c	0.72±0.17 ^a	2.48	77.50
Naked oat	40	3.58±0.15 ^{ab}	0.37±0.01 ^b	3.22	89.94
	60	3.40±0.54 ^b	0.59±0.10 ^{ab}	2.81	82.65
	80	3.68±0.05 ^{ab}	0.77±0.15 ^a	2.91	79.08
	100	4.26±0.04 ^a	0.80±0.13 ^a	3.46	81.22

Values are mean±SD of triplicate analyses.

Values with the different letters (a-c) within a column differ significantly ($P<0.05$).

¹⁾Soluble β -glucan as percent of total β -glucan.

는 경향을 보였다. 겉귀리의 경우 60 mesh(4.23%), 쌀귀리는 100 mesh(4.26%)에서 가장 높은 함량을 나타내어 귀리의 입자가 커질수록 총베타글루칸 함량이 증가하였다(21)는 결과와는 다소 차이가 있었다. 한편 수용성 베타글루칸은 0.37~0.81%로 품종에 상관없이 귀리 분말의 mesh가 증가할수록 함량이 높아지는 경향을 나타내었다. 아울러 수용성 베타글루칸 함량은 2.48~3.65%로 총베타글루칸의 대부분(76.99~90.80%)을 차지하는 것을 알 수 있었다. 이러한 결과는 겉귀리의 총베타글루칸 함량이 2.2~4.2%이며, 이 중 약 80%가 수용성 베타글루칸으로 수용성이 차지하는 비중이 높다는 Aman과 Graham(3)의 결과와도 일치하였다. 한편 베타글루칸은 입도가 큰 비전분 다당류로 동일한 제분 조건에서는 입자가 큰 구간에서 높은 함량을 나타내므로 이러한 특성을 이용하여 베타글루칸 함량이 높은 기능성 귀리 분말의 제조가 가능할 것으로 생각된다.

총전분 및 아밀로오스 함량

귀리의 분쇄 크기에 따른 총전분과 아밀로오스의 함량을 측정된 결과는 Table 3과 같다. 총전분은 겉귀리(63.64~69.82%)가 쌀귀리(52.45~63.71%)보다 높게 나타났으며 이는 귀리의 총전분 함량이 59.8~61.5% 함유되어 있다는 Tian 등(33)의 연구 결과와 유사하였다. 또한, 겉귀리의 총

전분 함량은 40 mesh(69.82%)> 60 mesh(67.63%)> 80 mesh(65.39%)> 100 mesh(63.64%) 순으로 나타났으며, 쌀귀리의 경우 100 mesh(54.43%)를 제외하고 40 mesh(63.71%)> 60 mesh(58.28%)> 80 mesh(52.45%) 순으로 입자크기가 작을수록 유의적으로 낮아졌다. 이는 귀리의 총전분은 입자크기가 작을수록 증가하였다(29)는 보고와는 상반된 결과로 귀리의 품종 및 식이섬유와 베타글루칸의 함유량에 따른 결과 차이로 생각된다. 한편 아밀로오스는 전분의 호화, 노화, 소화율 특성 등에 영향을 미치는 성분으로 함유량에 따라 특성의 차이를 나타낸다(3). 겉귀리와 쌀귀리의 아밀로오스 함량은 총전분과는 상반된 음의 상관관계로 귀리 분말의 입자크기가 클수록 낮아지는 경향을 나타내었다. 또한, 아밀로오스의 함량은 겉귀리(7.54~12.92%)가 쌀귀리(5.47~7.94%)보다 전반적으로 높은 수치를 나타내었으며 입자크기가 작을수록 함량이 증가하였다(29)는 보고와 일치하였다. 하지만 귀리의 아밀로오스 함량이 21.3%였다는 결과(34)와는 달리 상대적으로 낮은 값을 나타내었으며 이는 귀리의 품종 및 수확시기에 따른 함량 차이로 생각된다.

유리아미노산 함량

입자크기에 따른 겉귀리와 쌀귀리 분말의 유리아미노산의 함량은 17가지의 아미노산 표준물질(필수아미노산 9가지 및 비필수아미노산 8가지)을 이용하여 분석하였으며 그 결과는 Table 4와 같다. 귀리의 유리아미노산 함량은 귀리의 종류 및 입도에 관계없이 입자크기가 클수록 높은 경향을 보였다. 즉 겉귀리의 경우 40 mesh(1,933.7±192.0 μ g/g)> 60 mesh(1,927.6±125.5 μ g/g)> 80 mesh(1,888.2±134.6 μ g/g)> 100 mesh(999.9±62.3 μ g/g) 순으로 나타났으며, 특히 100 mesh에서 함량이 현저하게 감소하는 것을 확인할 수 있었다. 또한, 쌀귀리는 40 mesh(2,559.4±391.4 μ g/g)> 60 mesh(1,820.5±167.1 μ g/g)> 80 mesh(1,457.1±126.3 μ g/g)> 100 mesh(1,270.4±155.5 μ g/g) 순으로 겉귀리에 비해 40 mesh와 100 mesh는 특이적으로 약 1.3배 정도 높게 나타났다. 한편 두 가지 귀리 모두 필수아미노산

Table 3. Contents of total starch and amylose of oat flours in different particle sizes

Type	Mesh	Total starch (% dry basis)	Amylose (% dry basis)
Hulled oat	40	69.82±0.82 ^a	7.54±0.07 ^d
	60	67.63±0.58 ^{ab}	8.51±0.33 ^c
	80	65.39±1.12 ^{bc}	12.34±0.09 ^b
	100	63.64±1.02 ^c	12.92±0.23 ^a
Naked oat	40	63.71±1.42 ^a	5.47±0.20 ^b
	60	58.28±0.41 ^b	7.00±0.19 ^a
	80	52.45±2.01 ^c	7.94±0.72 ^a
	100	54.43±1.09 ^c	7.67±0.00 ^a

Values are mean±SD of triplicate analyses.

Values with the different letters (a-d) within a column differ significantly ($P<0.05$).

Table 4. Contents of free amino acid of oat flours in different particle sizes

Amino acid	Free amino acid content (µg/g, dry basis)												
	Hulled oat						Naked oat						
	40 mesh	60 mesh	80 mesh	100 mesh	40 mesh	60 mesh	80 mesh	100 mesh	40 mesh	60 mesh	80 mesh	100 mesh	
Glycine	48.4±9.1 ^a	46.8±3.3 ^{ab}	46.5±3.9 ^{ab}	20.9±1.6 ^b	81.1±14.1 ^a	55.0±4.2 ^b	45.4±4.7 ^b	46.1±6.6 ^b	20.9±1.6 ^b	81.1±14.1 ^a	55.0±4.2 ^b	45.4±4.7 ^b	46.1±6.6 ^b
Alanine	203.8±26.5 ^a	183.4±17.1 ^{ab}	180.2±16.2 ^{ab}	96.8±6.0 ^b	248.6±40.2 ^a	187.3±20.0 ^{ab}	156.0±14.4 ^b	145.0±15.0 ^b	96.8±6.0 ^b	248.6±40.2 ^a	187.3±20.0 ^{ab}	156.0±14.4 ^b	145.0±15.0 ^b
Serine	80.4±6.8 ^a	84.7±4.9 ^a	79.7±2.8 ^a	41.9±2.3 ^b	119.6±19.2 ^a	85.9±5.6 ^{bc}	67.9±6.6 ^{bc}	46.4±4.8 ^c	41.9±2.3 ^b	119.6±19.2 ^a	85.9±5.6 ^{bc}	67.9±6.6 ^{bc}	46.4±4.8 ^c
Proline	38.8±7.2 ^{ab}	50.3±8.0 ^a	38.7±5.2 ^{ab}	15.2±1.3 ^b	62.8±9.2 ^a	37.5±1.4 ^b	29.4±3.8 ^b	21.0±4.3 ^b	15.2±1.3 ^b	62.8±9.2 ^a	37.5±1.4 ^b	29.4±3.8 ^b	21.0±4.3 ^b
Valine [*]	176.5±23.3 ^a	172.7±13.3 ^a	159.1±13.6 ^{ab}	88.5±4.3 ^b	240.3±37.1 ^a	166.6±12.2 ^b	126.9±10.6 ^{bc}	86.0±11.2 ^c	88.5±4.3 ^b	240.3±37.1 ^a	166.6±12.2 ^b	126.9±10.6 ^{bc}	86.0±11.2 ^c
Threonine [*]	65.6±9.2 ^a	68.1±4.4 ^a	57.9±5.0 ^{ab}	25.4±2.2 ^b	101.9±19.9 ^a	68.1±6.0 ^b	49.1±6.3 ^{bc}	35.7±6.0 ^c	25.4±2.2 ^b	101.9±19.9 ^a	68.1±6.0 ^b	49.1±6.3 ^{bc}	35.7±6.0 ^c
Cysteine	ND ¹⁾	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Leucine [*]	328.0±20.5 ^a	298.8±16.1 ^a	285.7±18.5 ^a	168.7±6.2 ^b	357.4±35.2 ^a	269.4±20.8 ^b	208.8±16.5 ^{bc}	143.4±15.4 ^c	168.7±6.2 ^b	357.4±35.2 ^a	269.4±20.8 ^b	208.8±16.5 ^{bc}	143.4±15.4 ^c
Isoleucine [*]	83.4±12.5 ^a	80.1±5.9 ^a	77.6±6.6 ^a	32.3±2.6 ^b	118.4±27.8 ^a	81.5±8.2 ^{ab}	55.8±7.9 ^{bc}	24.1±6.9 ^c	32.3±2.6 ^b	118.4±27.8 ^a	81.5±8.2 ^{ab}	55.8±7.9 ^{bc}	24.1±6.9 ^c
Aspartic acid	67.3±13.1 ^a	56.6±6.4 ^a	53.5±10.0 ^a	Tr ²⁾	117.8±32.8 ^a	85.1±9.1 ^{ab}	54.6±11.8 ^b	83.8±11.1 ^{ab}	67.3±13.1 ^a	117.8±32.8 ^a	85.1±9.1 ^{ab}	54.6±11.8 ^b	83.8±11.1 ^{ab}
Lysine [*]	158.4±38.6 ^a	138.7±21.8 ^b	121.4±18.3 ^c	20.8±8.5 ^d	174.2±39.8 ^a	117.2±35.2 ^{ab}	97.0±8.0 ^b	81.6±6.3 ^b	20.8±8.5 ^d	174.2±39.8 ^a	117.2±35.2 ^{ab}	97.0±8.0 ^b	81.6±6.3 ^b
Glutamic acid	95.7±7.8 ^c	150.9±10.4 ^b	182.6±22.2 ^a	94.8±9.9 ^c	155.5±6.0 ^{ab}	119.2±27.9 ^b	121.7±20.0 ^b	233.3±30.4 ^a	94.8±9.9 ^c	155.5±6.0 ^{ab}	119.2±27.9 ^b	121.7±20.0 ^b	233.3±30.4 ^a
Methionine [*]	50.5±5.9 ^a	46.2±3.6 ^a	44.9±0.3 ^a	18.8±9.4 ^b	69.8±12.3 ^a	37.2±1.2 ^b	22.5±3.1 ^c	3.7±3.1 ^c	18.8±9.4 ^b	69.8±12.3 ^a	37.2±1.2 ^b	22.5±3.1 ^c	3.7±3.1 ^c
Histidine [*]	33.2±4.6 ^b	40.7±1.1 ^a	46.1±2.4 ^a	28.3±0.8 ^b	63.3±8.0 ^b	43.7±0.3 ^b	35.1±2.9 ^b	34.5±7.7 ^b	28.3±0.8 ^b	63.3±8.0 ^b	43.7±0.3 ^b	35.1±2.9 ^b	34.5±7.7 ^b
Phenylalanine [*]	198.0±1.8 ^a	197.7±2.5 ^a	198.0±6.5 ^a	146.0±0.7 ^b	248.7±24.0 ^a	173.6±5.7 ^b	139.8±0.7 ^b	94.9±7.4 ^c	146.0±0.7 ^b	248.7±24.0 ^a	173.6±5.7 ^b	139.8±0.7 ^b	94.9±7.4 ^c
Arginine [*]	193.9±5.0 ^a	197.0±1.1 ^a	200.0±0.2 ^a	121.3±3.5 ^b	259.4±36.9 ^a	189.2±6.4 ^b	157.3±8.9 ^{bc}	124.5±13.9 ^c	121.3±3.5 ^b	259.4±36.9 ^a	189.2±6.4 ^b	157.3±8.9 ^{bc}	124.5±13.9 ^c
Tyrosine	115.5±0.1 ^a	114.9±5.6 ^a	116.3±2.9 ^a	80.2±2.7 ^b	140.6±28.9 ^a	104.0±2.9 ^{ab}	89.8±0.1 ^b	66.4±5.4 ^b	80.2±2.7 ^b	140.6±28.9 ^a	104.0±2.9 ^{ab}	89.8±0.1 ^b	66.4±5.4 ^b
Total amino acid	1,933.7±192.0 ^a	1,927.6±125.5 ^a	1,888.2±134.6 ^a	999.9±62.3 ^b	2,559.4±391.4 ^a	1,820.5±167.1 ^b	1,457.1±126.3 ^b	1,270.4±155.5 ^b	999.9±62.3 ^b	2,559.4±391.4 ^a	1,820.5±167.1 ^b	1,457.1±126.3 ^b	1,270.4±155.5 ^b
Essential amino acid	1,287.5±121.4 ^a	1,240.0±69.8 ^b	1,193.7±71.4 ^c	650.1±38.5 ^d	1,633.4±241.0 ^a	1,146.5±96.0 ^b	892.3±64.9 ^c	628.4±77.9 ^d	650.1±38.5 ^d	1,633.4±241.0 ^a	1,146.5±96.0 ^b	892.3±64.9 ^c	628.4±77.9 ^d

Values are mean±SD of triplicate analyses.

Values with the different letters (a-d) within a row differ significantly ($P < 0.05$).

^{*}Essential amino acid.

¹⁾ND: not detected.

²⁾Trace: <10 µg/g.

의 함량이 총 유리아미노산의 절반 이상(628.4~1,633.4 µg/g)을 차지하였으며 입자가 작을수록 필수아미노산이 차지하는 비율은 유의적으로 감소하였다. 이는 입도가 작을수록 조단백질 및 아미노산 함량이 감소한다(29)는 결과와 유사하였으며 귀리 부위별 아미노산 함량은 강층이 배유와 분말보다 높다는 결과를 뒷받침해준다(1). 아울러 걸귀리와 쌀귀리의 아미노산 조성별 함량을 살펴보면 serine, glycine, threonine, lysine, isoleucine, leucine 등은 입도가 작아질수록 함량이 감소하였으며 걸귀리에서는 필수아미노산인 histidine, arginine과 비필수 아미노산인 glutamic acid가 100 mesh를 제외하고 입자가 작아짐에 따라 증가하는 경향을 나타내었다. 또한, aspartic acid와 glutamic acid는 걸귀리 100 mesh에서는 함량이 많이 감소하여 각각 미량, 94.8 µg/g을 나타냈지만 쌀귀리는 83.8 µg/g, 233.3 µg/g으로 많이 증가하는 것을 확인할 수 있었다. 또한, 17가지의 표준물질 중 유일하게 cystine은 걸귀리, 쌀귀리 모두에서 검출되지 않았다. 따라서 각각의 아미노산 조성에 따라 함량의 감소 및 증가 경향이 모두 차이가 있음을 알 수 있었으며 이는 Yu(23)의 연구 결과와도 일치하였다.

지방산 함량

귀리의 종류 및 입자크기에 따른 지방산의 함량을 비교한 결과는 Table 5와 같다. 걸귀리와 쌀귀리 두 종류 모두 포화지방산인 palmitate(C16:0), stearate(C18:0)가 검출되었으며 불포화지방산은 oleic acid(C18:1), linoleate(C18:2) 및 linolenate(C18:3)가 검출되었다. 아울러 걸귀리와 쌀귀리 간의 지방산 조성 및 함량에 따른 유의적인 차이는 보이지 않았으며 이러한 결과는 Yu(23)의 보고와도 일치하였다. 한편 걸귀리의 경우 palmitate는 4.81~5.58%, stearate는 0.50~0.62%로 소량 존재함을 확인하였으며, oleic acid는 22.75~26.40%, linoleate는 38.14~44.11%, linolenate는 0.57~0.72% 함유되어 있음을 알 수 있었다. 반면 쌀귀리의 경우 palmitate 4.92~6.06%, stearate 0.38~0.70%, oleic acid 22.33~29.75% 및 linoleate 36.43~46.73%, linolenate 0.31~0.75%로 전반적으로 쌀귀리의 함량이 높은 것

을 확인할 수 있었다. 걸귀리와 쌀귀리의 불포화지방산은 입자크기와 관계없이 전체 지방산 조성의 약 90% 이상이며 귀리의 주요 지방산은 palmitate, oleic acid, linoleate 등으로 다른 곡류에 비해 불포화지방산의 조성이 높은 것으로 나타났다(2).

호화특성 분석

입자크기에 따른 걸귀리와 쌀귀리 분말의 호화특성을 분석하였으며, 그 결과는 Table 6과 같이 최고점도, 최저점도, 최종점도, 강하점도, 치반점도, peak time 및 호화온도로 표시하였다. 귀리 입도별 호화특성에 따른 뚜렷한 경향은 보이지 않았으나 최고점도, 최저점도 및 강하점도는 걸귀리(215.08, 146.22, 68.86 RVA), 쌀귀리(210.00, 136.55, 73.44 RVA) 두 종류 모두 100 mesh에서 높게 나타나는 것을 확인하였다. 아울러 강하점도는 가공 중의 안정도를 확인하는 지표로써 입자크기가 작을수록 값이 증가하는 경향을 나타내며(35) 입도가 작은 시료의 최고점도가 높다(36)는 연구 결과와 일치하였다. 한편 최종점도와 치반점도는 입자크기가 큰 귀리 분말이 상대적으로 높은 수치를 나타냈으며 걸귀리는 60 mesh(424.44, 290.28 RVA)에서, 쌀귀리는 40 mesh(338.45, 238.00 RVA)에서 각각 높게 나타났다. 치반점도는 노화와 밀접한 관계가 있으며 입자크기가 작을수록 높다는 연구 결과(35)와 다소 차이가 있었다. 최고점도에 이르는 peak time의 경우 걸귀리와 쌀귀리 모두 100 mesh(6.29, 6.11 min) > 80 mesh(6.16, 6.02 min) > 60 mesh(6.07, 5.85 min) > 40 mesh(5.82, 5.62 min) 순으로 귀리의 입자가 클수록 높은 경향을 나타냈다. 아울러 호화개시온도는 귀리의 입자크기가 작을수록 감소하는 경향을 보였으며 걸귀리(64.85°C)와 쌀귀리(63.20°C) 모두 100 mesh에서 가장 낮게 나타났으며, 이는 입자크기가 작아짐에 따라 낮아진다는 Kum과 Lee(37)의 연구 결과와 일치하였다. 따라서 입도에 따른 영양성분의 조성 변화가 귀리의 물리적 특성과 가공적성에도 영향을 주는 것을 확인할 수 있었다.

Table 5. Contents of fatty acid of oat flours in different particle sizes

Type	Mesh	Fatty acid content (% , dry basis)				
		Palmitate (C16:0)	Stearate (C18:0)	Cis-9-Oleic acid (C18:1)	Linoleate (C18:2)	Linolenate (C18:3)
Hulled oat	40	4.81±0.35	0.50±0.10	22.75±1.29	38.14±2.11	0.57±0.10
	60	5.34±0.62	0.60±0.10	25.37±2.90	42.07±4.77	0.65±0.11
	80	5.39±0.46	0.55±0.09	26.40±2.17	43.12±3.39	0.69±0.10
	100	5.58±0.97	0.62±0.15	24.99±5.33	44.11±7.32	0.72±0.17
Naked oat	40	6.06±0.21	0.70±0.03	29.75±0.97	46.73±1.46	0.75±0.05
	60	4.95±1.59	0.39±0.47	23.55±8.64	37.98±1.71	0.37±0.54
	80	5.61±0.66	0.43±0.38	25.75±6.20	41.74±6.96	0.44±0.46
	100	4.92±0.90	0.38±0.53	22.33±7.62	36.43±7.70	0.31±0.54

Values are mean±SD of triplicate analyses.

Results are not significantly different at $P < 0.05$ significance level by Duncan's multiple range test.

Table 6. Pasting properties of oat flours in different particle sizes

Type	Mesh	Peak viscosity (RVA)	Trough viscosity (RVA)	Breakdown viscosity (RVA)	Final viscosity (RVA)	Setback viscosity (RVA)	Peak time (min)	Pasting temperature (°C)
Hulled oat	40	169.17±2.38 ^c	119.72±0.95 ^c	49.44±2.09 ^b	367.50±16.33 ^b	247.78±17.15 ^b	5.82±0.08 ^b	83.72±6.60 ^a
	60	201.22±5.09 ^{ab}	134.17±6.47 ^b	67.06±1.79 ^a	424.44±3.54 ^a	290.28±3.29 ^a	6.07±0.14 ^a	73.10±9.61 ^{ab}
	80	196.36±12.05 ^b	121.67±4.20 ^c	74.70±10.42 ^a	364.39±10.51 ^b	242.72±6.51 ^b	6.16±0.20 ^a	68.85±4.72 ^b
	100	215.08±9.56 ^a	146.22±9.01 ^a	68.86±2.96 ^a	382.78±12.51 ^b	236.56±4.59 ^b	6.29±0.03 ^a	64.85±2.06 ^b
Naked oat	40	151.61±3.01 ^c	100.39±1.70 ^c	51.22±1.44 ^d	338.45±2.86 ^a	238.00±1.42 ^a	5.62±0.04 ^c	87.48±0.88 ^a
	60	180.75±6.04 ^b	112.84±5.68 ^b	68.86±1.38 ^b	345.36±13.32 ^a	232.53±7.65 ^a	5.85±0.04 ^b	67.55±2.86 ^{bc}
	80	161.28±5.75 ^c	98.72±5.08 ^c	62.56±2.53 ^c	303.94±11.66 ^b	205.22±6.79 ^b	6.02±0.04 ^a	72.82±10.03 ^b
	100	210.00±8.37 ^a	136.55±6.35 ^a	73.44±2.05 ^a	298.47±8.31 ^b	161.92±1.97 ^c	6.11±0.03 ^a	63.20±0.52 ^c

Values are mean±SD of triplicate analyses.

Values with the different letters (a-c) within a column differ significantly ($P<0.05$).

Table 7. The amount of starch nutritional fractions (RDS, SDS, RS) and expected glycemic index (eGI) of oat flours in different particle sizes

Type	Mesh	Starch fraction ¹⁾ (%)			eGI ²⁾
		RDS	SDS	RS	
Hulled oat	40	25.58±1.02 ^c	32.19±2.72 ^{ab}	42.23±1.70 ^a	76.57±1.17 ^b
	60	32.37±2.81 ^b	28.15±0.53 ^{ab}	39.48±3.33 ^{ab}	80.61±1.48 ^{ab}
	80	42.71±2.18 ^a	23.41±8.08 ^b	33.88±5.90 ^{ab}	84.01±3.36 ^a
	100	32.42±2.61 ^b	39.60±2.14 ^a	27.98±4.75 ^b	85.53±2.66 ^a
Naked oat	40	26.20±1.68 ^c	37.52±6.14 ^{NS3)}	36.29±7.82 ^a	80.40±4.15 ^b
	60	32.09±2.04 ^b	44.18±1.83	23.73±3.87 ^{ab}	89.61±2.44 ^{ab}
	80	44.45±1.81 ^a	42.21±0.45	13.34±1.36 ^b	95.73±3.65 ^a
	100	42.37±0.65 ^a	39.29±5.88	18.34±6.54 ^b	92.20±2.94 ^a

Values are mean±SD of triplicate analyses.

Values with the different letters (a-c) within a column differ significantly ($P<0.05$).

¹⁾RDS: rapidly digestible starch, SDS: slowly digestible starch, RS: resistant starch.

²⁾eGI: expected glycemic index.

³⁾NS: not significant.

In vitro 소화율

귀리 전분의 *in vitro* 소화율과 *in vitro* eGI를 측정 한 결과는 Table 7과 같다. 전분 소화율은 겉귀리가 쌀귀리에 비해 RDS(25.58~42.71%)와 SDS(23.41~39.60%)의 함량이 낮게 나타났지만 RS(27.98~42.23%)의 함량은 비교적 높게 나타났으며 품종 및 입도 크기에 따른 일정한 경향성은 보이지 않았다. RS는 인체 내 느리게 대사되어 포만감을 증가시키며 혈당 및 인슐린 반응을 감소시켜 당뇨병의 위험을 낮추는 전분으로(38) 다른 곡류에 비해 상대적으로 매우 높은 수치(겉귀리 27.98~42.23%, 쌀귀리 13.34~36.29%)를 나타내었다. 이는 귀리의 식이섬유는 RDS를 감소시키며 RS를 증가시켰다(28)는 연구 결과로 미루어 보았을 때 귀리의 식이섬유 및 지방의 함량이 다른 곡류에 비해 많은 것에 기인하는 것으로 생각된다. 한편 혈당지수는 식품의 분쇄나 제분 등의 가공방법에 따라 영향을 받으며 입자의 크기가 줄어들면 물에 쉽게 흡수되고 소화효소의 접근이 용이하여 혈당지수가 높아진다(38). 또한, 전분 내 아밀로오스의 비율이 높을수록 낮아진다(39)는 보고와는 다른 경향을 나타내었는데 이는 입자가 클수록 전분 및 식이섬유의 함량이 높다(29)는 연구 결과에 더 많은 영향을 받은 것으로 생각된다.

식빵(eGI=100)을 기준으로 eGI를 분석한 결과 겉귀리(76.57~85.53)가 쌀귀리(80.40~95.73)보다 전반적으로 값이 낮았으며 입자가 클수록 낮아지는 경향을 나타내었다. 또한, 겉귀리 및 쌀귀리 모두 40 mesh에서 각각 76.57, 80.40으로 가장 낮게 나타났다. 전분의 소화율과 소화속도는 전분의 구조나 가공방법에 따라 다양하게 나타날 수 있으며 전분의 종류, 아밀로오스와 아밀로펙틴의 비율 및 입자의 크기 등에 영향을 받는다(40). 따라서 향후 입도별 귀리의 전분 결정 및 분자구조에 대한 추가적인 연구가 필요하며 이를 통해 소화율이 낮은 기능성 귀리제품을 개발하는 데 도움이 될 것으로 생각된다.

요 약

국내에서 육종된 겉귀리(조한)와 쌀귀리(조양)를 40, 60, 80, 100 mesh로 분쇄하여 얻은 귀리 분말의 입자크기별 영양성분 및 이화학적 특성을 조사하였다. 총베타글루칸의 함량은 겉귀리의 경우 60 mesh(4.23%), 쌀귀리는 100 mesh(4.26%)에서 가장 높게 나타났으며, 수용성 베타글루칸은 총베타글루칸의 76.99~90.80%로 대부분 차지하였다. 총

전분은 걸귀리(63.64~69.82%)가 쌀귀리(52.45~63.71%)에 비해 함량이 높았으며 입자가 작을수록 감소하는 경향을 나타냈지만 아밀로오르는 총전분과 음의 상관관계를 나타내었다. 한편 유리아미노산은 조성에 따라 감소 및 증가 패턴의 차이를 보였으나 걸귀리와 쌀귀리 모두 입도가 클수록 유의적으로 높게 나타났다. 아울러 지방산은 입도별 유의적인 차이는 보이지 않았으며 걸귀리에 비해 쌀귀리의 함량이 높고 불포화지방산(oleic acid, linoleate)이 약 90% 이상 함유되어 있음을 확인하였다. 호화특성인 최고점도, 최저점도 및 강하점도는 걸귀리와 쌀귀리 모두 100 mesh에서 높게 나타났으며 최종점도와 치반점도는 입자크기가 큰 귀리 분말이 상대적으로 높았으며 호화개시온도는 귀리의 입자크기가 작을수록 감소하는 경향을 보였다. 한편 전분 소화율의 경우 입자가 큰 귀리 분말의 RS 함량이 높게 나타났으며 eGI는 걸귀리(76.57~85.53)가 쌀귀리(80.40~95.73)보다 전반적으로 낮았고 입자가 클수록 감소하는 경향을 나타내었다. 이러한 결과를 종합해보면 귀리의 종류 및 입자크기에 따른 특성이 최종 가공제품에 영향을 미칠 수 있으므로 용도 및 가공적성에 적합한 귀리 분말을 선택하는 것이 중요할 것으로 생각된다.

감사의 글

본 논문은 농촌진흥청 연구사업(과제번호: PJ01050803 2015) 지원에 의해 이루어진 것으로 이에 감사드립니다.

REFERENCES

- Hahn JD, Chung TK, Baker DH. 1990. Nutritive value of oat flour and oat bran. *J Anim Sci* 68: 4253-4260.
- Leonova S, Shelenga T, Hamberg M, Konarev AV, Loskutov I, Carlsson AS. 2008. Analysis of oil composition in cultivars and wild species of oat (*Avena* sp.). *J Agric Food Chem* 56: 7983-7991.
- Aman P, Graham H. 1987. Analysis of total and insoluble mixed-linked (1-3),(1-4)-D-β-glucans in barley and oats. *J Agric Food Chem* 35: 704-709.
- Thies F, Masson LF, Boffetta P, Kris-Etherton P. 2014. Oats and CVD risk markers: a systematic literature review. *Br J Nutr* 112: S19-S30.
- Lee YT. 1996. Physicochemical characteristics and physiological functions of β-glucans in barley and oats. *Korean J Crop Sci* 41(S1): 10-24.
- Park HJ, Kim YB, Kang TS, Jung IS, Kim KY, Jeong HS. 2005. Immunomodulatory activities of oat bran extracts with different extraction conditions. *Korean J Food Sci Technol* 37: 103-107.
- Peterson DM, Quresh AA. 1993. Genotype and environment effects on tocopherols of barley and oats. *Cereal Chem* 70: 157-162.
- Peterson DM, Hahn MJ, Emmons CL. 2002. Oat avenanthramides exhibit antioxidant activities in vitro. *Food Chem* 79: 473-478.
- Gutkoski LC, EI-Dash AA. 1999. Effects of extrusion variable on functional and nutritional properties of extruded oat products. *J Food Sci Nutr* 4: 159-162.
- Welch RW. 1997. The oat crop: production and utilization. *Economic Botany* 51: 188.
- Park BG, Lee HJ, Lee KH. 1995. Adaptation and quality of naked oat (*Avena nuda* L.) cultivars in Korea. *Korean J Breed* 27: 429-437.
- Korea Customs Service. 2015. *Trend of major grains the first half of income by 2015*. Seoul, Korea.
- Han OK, Park TI, Park HH, Song TH, Kim KJ, Park NG, Ju JI. 2014. A new high-yielding winter oat cultivar for whole crop forage, 'Dahan'. *J Korean Soc Grassl Forage Sci* 34: 26-32.
- Park HH, Heo HY, Park KH, Park TI, Seo JH, Cheong YK, Choi JS, Kim JG, Kwon YU, Ju JI, Rye IM, Hong YG, Jung KY, Han OK. 2007. A new early-heading and high-yielding forage winter oat cultivar, "Chohan". *Korean J Breed Sci* 39: 124-125.
- Han OK, Park HH, Park TI, Seo JH, Park KH, Kim JG, Heo HY, Hong YG, Kim DH. 2008. A new early-heading and high-yielding naked oat cultivar for human consumption, 'Choyang'. *Korean J Breed Sci* 40: 512-516.
- Kim JG, Park HS, Lee SH, Jung JS, Lee KW, H Jong Ko. 2015. Evaluation of productivity and silage quality for domestically developed forage crops in Korea. *J Korean Soc Grassl Forage Sci* 35: 145-151.
- Han OK, Park TI, Park HH, Song TH, Hwang JJ, Baek SB, Kim DW, Kwon YU. 2012. Effect of seeding dates on yield and quality of various oat cultivars for year-around forage production. *J Kor Grassl Forage Sci* 32: 209-220.
- Park HJ, Kang TS, Lee HB, Kim KY, Jang KI, Noh YH, Jeong HS. 2005. Purification of oat β-glucan by α-amylase treatment and characterization of its physicochemical properties. *Korean J Food Sci Technol* 37: 776-782.
- Kang TS, Jeong HS, Park HJ, Lee MY, Kong YJ, Jung IS. 2003. Biological activities of oat soluble β-glucans. *Korean J Food Preserv* 10: 547-553.
- Lee YT. 1996. β-Glucans in barley and oats and their changes in solubility by processing. *J Korean Soc Agric Chem Biotechnol* 39: 482-487.
- Jeong HS, Kang TS, Jung IS, Park HJ, Min YK. 2003. β-Glucan contents with different particle size and varieties of barley and oats. *Korean J Food Sci Technol* 35: 610-616.
- Oh SH. 2014. Development of traditional Doenjang added with fermented oat and its functionality. *MS Thesis*. Jeonbuk University, Jeonju, Korea.
- Yu SH. 2014. Effect of particle size of naked oat on physicochemical and baking properties. *MS Thesis*. Jeonbuk University, Jeonju, Korea.
- Lee C. 2009. Changes in the microbiological characteristics of oat extract by lactic-bacterial fermentation. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 38: 1811-1814.
- Kim BY, Choi HS, Lyu ES. 2014. Quality characteristics of cookies prepared with oat and barley powder. *Korean J Food Cook Sci* 30: 428-434.
- Oh NG. 2009. Research on cultivation and processing technologies in winter naked oats. *PhD Dissertation*. Jeonbuk University, Jeonju, Korea.
- Dikeman CL, Fahey GC. 2006. Viscosity as related to dietary fiber: a review. *Crit Rev Food Sci Nutr* 46: 649-663.
- Asp NG, Björck I. 1992. Resistant starch. *Trends Food Sci Technol* 3: 111-114.
- Lee HI, Lee HG, Bae IY. 2013. Impact of dietary fibers from various source in wheat flour gel model: Aspect of suitability of processing and *in vitro* starch digestibility. *Food*

- Eng Prog* 17: 297-304.
30. Association of Official Analytical Chemists (AOAC). 2002. *Official methods of analysis of AOAC International*. 17th ed. AOAC, Washington, DC, USA. AOAC official method 996.06.
 31. Englyst HN, Kingman SM, Cummings JH. 1992. Classification and measurement of nutritionally important starch fractions. *Eur J Clin Nutr* 46: S33-S50.
 32. Goni I, Garcia-Alonso A, Saura-Calixto F. 1997. A starch hydrolysis procedure to estimate glycemic index. *Nutr Res* 17: 427-437.
 33. Tian B, Xie B, Shi J, Wu J, Cai Y, Xu T, Xue S, Deng Q. 2010. Physicochemical changes of oat seeds during germination. *Food Chem* 119: 1195-1200.
 34. Lindeboom N, Chang PR, Tyler RT. 2004. Analytical, biochemical and physicochemical aspects of starch granule size, with emphasis on small granules starches: a review. *Starch* 56: 89-99.
 35. Lee NY. 2012. Starch and pasting characteristics of various rice flour collected from markets. *Korean J Food Preserv* 19: 257-262.
 36. Lee NY. 2013. Starch and quality characteristic of Korean rice cultivar with waxy and non-waxy type. *Korean J Crop Sci* 58: 226-231.
 37. Kum JS, Lee HY. 1999. The effect of the varieties and particle size on the properties of rice flour. *Korean J Food Sci Technol* 31: 1542-1548.
 38. Chung HJ, Lim ST. 2014. Relationship between starch digestibility and its structure. *Food Science and Industry* 47 (3): 21-32.
 39. Singh J, Dartois A, Kaur L. 2010. Starch digestibility in food matrix: A review. *Trends Food Sci Technol* 21: 168-180.
 40. Hoover R, Zhou Y. 2003. In vitro and in vivo hydrolysis of legume starches by α -amylase and resistant starch formation in legumes—A review. *Carbohydr Polym* 54: 401-417.