

## 제주산 보리 및 추출된 $\beta$ -Glucan의 이화학적 특성

김효진 · 김현정\*

제주대학교 식품생명공학과

### Physicochemical Characteristics of Jeju Barley and Extracted $\beta$ -Glucan

Hyo Jin Kim and Hyun Jung Kim\*

Department of Food Bioengineering, Jeju National University

#### Abstract

This study investigated the physicochemical properties of barley varieties grown in Jeju along with the characteristics of soluble dietary fiber  $\beta$ -glucan extracted from barley. Jeju naked barley and blue barley contained greater amounts of starch and total dietary fiber than other varieties of barley, and their  $\beta$ -glucan contents were 8.63 and 7.02%, respectively. Unhulled barley, black barley, and Jeju beer barley contained 4.49-5.86% of  $\beta$ -glucan. The viscosity of barley solution greatly increased by heating and the viscosity values of Jeju naked barley and blue barley at heating were 2350.0 and 4563.3 cP, which were the highest. When compared to unpolished and polished Jeju beer barley, the viscosity increased by polishing.  $\beta$ -Glucan was efficiently extracted from different barley varieties where extraction yield ranged from 70.12 to 85.23%. The resolubilities of extracted  $\beta$ -glucans were significantly different depending on the varieties of barley ( $p < 0.05$ ). The ratio of  $\beta(1 \rightarrow 3)$  to  $\beta(1 \rightarrow 4)$  linkage composed of  $\beta$ -glucan was measured in the range of 1:2.3-4.49. These results suggested that the barley grown in Jeju containing a high amount of  $\beta$ -glucan presented different physicochemical properties and could possibly be applied to develop various types of food products with beneficial health functions.

**Key words:** Jeju barley,  $\beta$ -glucan,  $\beta$ -glucan extraction, physicochemical properties

## 서 론

보리는 4대 곡물 중 하나로서 전분이 64%로 주를 이루며 단백질 11%와  $\beta$ -glucan 5%, 그 외 섬유질, 수분 등의 기타 성분 20%로 구성되어 있다(Macgregor & Fincher, 1985). 보리는 껍질이 잘 분리되는 쌀보리(naked barley)와 껍질이 분리되기 어려운 겉보리(unhulled barley)로 나뉘는데, 겉보리는 주로 맥아, 양조사업에 이용되며 쌀보리는 식품 가공용으로 이용되고 있다(Park et al., 1978). 맥주양조에 특화된 종인 맥주보리는 제주지역이 주 생산지이며, 국내에서 겨울철 눈을 이용하여 조사료 급원으로 널리 재배되고 있는 청보리 또한 제주지역에서 재배되고 있다(Song et al., 2013). 청보리는 보리를 수확하기 15일전, 그 이후에 수확한 것으로 일반보리에 비하여 chlorophyll이 많을 뿐만 아니라 항산화능을 갖는다(Yu et al., 2006). 최근에는

cyanidin과 delphinidin의 anthocyanin 계통의 천연색소를 다량 함유하고 있는 검정보리가 충청 및 전라도 지역에서 재배되고 있다(RDA, 2011).

(1 $\rightarrow$ 3)(1 $\rightarrow$ 4)- $\beta$ -D-Glucan( $\beta$ -glucan)은 보리, 귀리, 호밀, 쌀 등 곡류의 세포벽에 존재하는 수용성 식이섬유로(Lee et al., 2012), 보리는 품종에 따라 약 5%의  $\beta$ -glucan을 함유하고 있다(Macgregor, 1993).  $\beta$ -Glucan은 세포벽의 안쪽에 존재하여 세포벽내의 다른 성분들과도 복잡하게 결합되어 있고(Forrest & Wainwright, 1977; Miller et al., 1995) 분자량이 커 수용액 상태에서 높은 점성을 나타낸다(Bhatty, 1993; Kim & Ryu, 2003; Andersson et al., 2004).  $\beta$ -Glucan은 화학구조상 다량의 glucose들이  $\beta(1 \rightarrow 4)$ 와  $\beta(1 \rightarrow 3)$ 결합으로 이루어져 있는데, 이는  $\beta(1 \rightarrow 4)$ 결합만으로 이루어진 cellulose와는 다르게  $\beta(1 \rightarrow 3)$ 결합이 존재하여 불규칙적인 구조의 분자형태를 나타낸다(Woodward et al., 1983; Buliga et al., 1986). 이러한 구조로 인해 추출이 불완전하며 추출 시  $\beta$ -glucan의 함량비가 낮아지기도 한다(Bhatty, 1993; Dawkins et al., 1993).  $\beta$ -Glucan은 보리의 종류 및 상태에 따라 분포 및 함량이 다르기 때문에 보리의 도정률에 따라서도  $\beta$ -glucan의 회수율이 다르게 나타난다(Kim & Ryu, 2003).  $\beta$ -Glucan은 수용성 식이섬유로 인체 내 소화

\*Corresponding author: Hyun Jung Kim, Department of Food Bioengineering, Jeju National University, 102 Jejudaehakno, Jeju, 690-756, Republic of Korea

Tel: +82-64-754-3614; Fax: +82-64-755-3601

E-mail: [hyunjkim@jejunu.ac.kr](mailto:hyunjkim@jejunu.ac.kr)

Received January 5, 2015; revised March 3, 2015; accepted March 31, 2015

기관에서 분해되지 않고 점성이 높아 혈중 포도당과 insulin에 대한 조절반응을 향상시키고, 담즙산(bile acid) 대사의 변화를 일으켜 혈중 콜레스테롤 수치를 낮춰주는 생리적 기능성을 갖는 것으로 알려져 있다(Lee, 1996; Chronakis et al., 2004). 우수한 생리적 기능성을 갖는 보리가 제주 지역에서 다양한 품종으로 재배되고 있지만 제주보리의 이화학적 특성 및 기능성 인자인  $\beta$ -glucan에 대한 연구는 이루어지지 않고 있는 실정이다. 따라서 본 연구에서는 제주 지역에서 재배, 생산되는 보리의 이화학적 특성을 분석하고, 이로부터 수용성 식이섬유인  $\beta$ -glucan을 추출하여 품종에 관계 없이 타 지역에서 재배된 보리와 이화학적 특성을 비교, 분석하여 기능성을 갖춘 가공식품으로서 활용할 수 있는 기초자료를 제공하고자 하였다.

## 재료 및 방법

### 재료

본 실험에서 사용한 겉보리(unhulled barley)는 전라남도 장흥군, 검정보리(black barley)는 충청북도 괴산군에서 재배된 것을 구입하였고, 제주맥주보리(Jeju beer barley), 제주살보리(Jeju naked barley)는 제주특별자치도 제주시에서 제주청보리(Jeju blue barley)는 제주특별자치도 서귀포시에서 재배된 것을 구입하여 사용하였다. 제주보리는 도정된 것(polished Jeju beer barley)과 도정하지 않은 것(unpolished Jeju beer barley)을 각각 구입하였다. 구입한 보리를 실험실용분쇄기(MF10, Ika-Werke GMBH & Co., Staufen, Germany)를 사용하여 100 mesh 이하로 분쇄한 후 시료로 사용하였다.

### 일반성분분석

보리 시료의 일반성분은 AOAC법(1995)에 따라 분석하였다. 수분함량은 수분함량측정기(MX-50, AND Ltd. Co., Tokyo, Japan)를 이용하여 105°C 상압가열조건법으로 측정하였고, 조단백질은 Kjeldahl 분석법, 조지방은 Soxhlet 추출법, 회분은 직접회화법(550°C)을 이용하여 정량하였다.  $\beta$ -Glucan, 전분, 식이섬유 함량은 Megazyme assay kit (K-BGLU, K-TSTA, K-TDFR, Megazyme International Co., Wicklow, Ireland)를 이용하여 측정하였다.

### 점도 측정

보리시료의 겉보기 점도를 비교하기 위하여 Jeong et al. (2004) 방법을 변형하여 분석하였다. 분쇄된 보리시료와 증류수를 1:8의 비율로 하여 현탁액을 만든 후 점도계(DV-I, Brookfield Engineering Labs. Inc., Middleboro, MA, USA)를 이용하여 상온과 80°C에서 열처리 후에 점도를 측정하였다. 가열교반기(MSH-20D, Daihan Scientific Co., Wonju, Korea)를 이용하여 온도를 유지하였고, 점도계의 spindle은

상은 24°C에서 No.2와 열처리 후에는 No.6를 사용하여 100 rpm 속도로 3회 반복하여 측정하였다.

### $\beta$ -Glucan의 추출

분쇄된 보리시료로부터  $\beta$ -glucan의 추출은 Kim & White (2010)의 방법을 변형하여 실시하였다. 보리가루 15 g과 82% 에탄올 150 mL을 85°C에서 2시간 동안 열환류 장치를 이용하여 reflux한 후 원심분리(3,100 × g, 20 min)하여 얻은 침전물에 95% 에탄올 50 mL을 넣어 섞은 다음 다시 원심분리(3,100 × g, 15 min)하여 상층액을 버리는 과정을 2번 반복하여 얻은 침전물을 건조기(JSOF-150, JS Research Inc., Gongju, Korea)를 이용하여 40°C에서 건조시켰다. 건조된 시료는 약 12 g 정도였으며 여기에 120 mL의 증류수를 넣어 47°C의 교반식 항온수조(JSSB-30T, JS Research Inc., Gongju, Korea)에서 3시간 동안 추출한 후 원심분리(3,100 × g, 20 min)하여 상층액을 얻는 과정을 3번 반복하였다. 이 과정을 통해 얻은 상층액에 200  $\mu$ L의  $\alpha$ -amylase (Sigma-Aldrich Co., St. Louis, MO, USA)와 36-40 mg calcium chloride (Sigma-Aldrich)를 넣어 90°C 교반식 항온수조에서 2시간 동안 전분을 가수분해시킨 후 원심분리(3,100 × g, 20 min)하여 얻은 상층액에 15 mg의 pancreatin (Sigma-Aldrich)과 10% sodium azide (Sigma-Aldrich) 200  $\mu$ L를 넣고 40°C에서 3시간 동안 반응시킨 후 2배 용량의 60% 에탄올을 넣고 4°C에서 12시간 이상  $\beta$ -glucan을 침전시켰다. 침전액을 원심분리(3,000 × g, 20 min)하여 얻은  $\beta$ -glucan을 증류수에 용해시킨 후 -20°C에서 동결하고, 동결건조기(TFD Series, Ilshin Biobase Co., Dongducheon, Korea)를 이용하여 진공동결건조 하였다.

동결건조한  $\beta$ -glucan의 총  $\beta$ -glucan 함량을 Megazyme  $\beta$ -glucan assay kit (K-BGLU, Megazyme International)를 이용해 측정하였다. 즉, 동결건조된  $\beta$ -glucan 약 10-20 mg에 50% 에탄올 200  $\mu$ L와 sodium phosphate buffer (20 mM, pH 6.5) 4 mL을 넣고 혼합하였다. 끓는 물에 1분 동안 넣고 다시 잘 혼합한 후 다시 끓는 물에 2분 동안 넣었다가 혼합하였다. 50°C에서 5분간 방치한 후 lichenase (E-LICHN, Megazyme International Co., Wicklow, Ireland) 200  $\mu$ L(10 U)를 넣고 잘 섞어준 후 50°C 교반식 항온수조에서 1시간 동안 섞어주며 중간에 3-4회 정도 흔들어주었다. Sodium acetate buffer (200 mM, pH 4.0) 5 mL를 넣고 잘 섞어준 후 상온에 5분간 방치하였다. 이후 원심분리(1,000 × g, 10 min)하여 상층액 100  $\mu$ L를 3개의 시험관에 취하였다. 2개의 시험관에는  $\beta$ -glucosidase (E-BGLUC, Megazyme International) 100  $\mu$ L (0.2 U)를 넣고 나머지 1개의 시험관에는 sodium acetate buffer (50 mM, pH 4.0) 100  $\mu$ L를 넣어 50°C에서 10분간 반응시켰다. GOPOD Reagent (K-GLUC, Megazyme International) 3 mL을 각 시험관에 넣고 50°C에서 20분간 보관한 후 분광광도계

(OPTIZEN 2120UV, Mecasys Co. Ltd., Daejeon, Korea)를 이용하여 510 nm에서 흡광도를 측정하여  $\beta$ -glucan 함량을 구하였다.

### 재용해율 측정

$\beta$ -glucan의 물에 대한 재용해율(resolubility)이  $\beta$ -glucan의 순도와 분자량,  $\beta(1\rightarrow3):\beta(1\rightarrow4)$ 결합비와 관련이 있을 것으로 예상되어(Lee, 1996)  $\beta$ -glucan의 재용해율을 측정하였다. 추출된  $\beta$ -glucan에 10배의 증류수를 넣고 50°C에서 12시간 동안 교반식 항온수조에서 교반한 후 원심분리(16,000 × g, 20 min)한 후 상층액을 버리고 침전물을 건조시켜 불용성 고형분의 무게를 측정하여 재용해율을 산출하였다.

### $\beta(1\rightarrow3): \beta(1\rightarrow4)$ 결합비 측정

보리의 종류에 따른  $\beta$ -glucan의 구조적 차이를 비교하기 위하여  $\beta(1\rightarrow3)$ 과  $\beta(1\rightarrow4)$ 의 결합비를 측정하였다(Woodward et al., 1983).  $\beta(1\rightarrow3)$ 으로 결합된 glucose 함량과 총 glucose 함량을 각각 구한 후, 총 glucose 함량에서  $\beta(1\rightarrow3)$ 으로 결합된 glucose 함량을 빼서  $\beta(1\rightarrow4)$ 결합으로 이루어진 glucose 함량을 구하여 결합비를 측정하였다.  $\beta(1\rightarrow3)$ 결합으로 된 glucose 함량은 동결건조한  $\beta$ -glucan 2 mg에 20 mM sodium phosphate buffer (pH 6.5)와 lichenase 4 U를 넣고 40°C에서 22시간 동안 반응 시킨 후 200 mM sodium acetate buffer (pH 4.0) 5 mL을 넣어 원심분리(2,000 × g, 10 min)를 하였다. 상층액 100  $\mu$ L에 exo-1,3- $\beta$ -glucanase (E-EXG5AO, Megazyme International) 1 U를 넣어 50°C에서 10분 동안 반응시킨 후 GOPOD Reagent로 발색하여 510 nm에서 흡광도를 측정하여 계산하였다. 총 glucose 함량은  $\beta(1\rightarrow3)$ 결합과 같이 22시간 동안 반응시킨 후  $\beta$ -glucosidase 0.2 U를 넣고 50°C에서 10분 동안 반응시킨 후 100  $\mu$ L을 취해 GOPOD Reagent로 발색시켜 510 nm에서 흡광도를 측정하여 계산하였다.

### 통계처리

본 연구의 모든 결과는 통계분석 프로그램 SPSS

(Statistics Package for the Social Science, Ver. 18.0, SPSS Inc., Chicago, IL, USA)를 이용하여 분산분석에 의해 유의성을 검정하였고 Duncan의 다중범위 검정을 실시하여  $p<0.05$ 에서 비교하였다.

## 결과 및 고찰

### 일반성분

보리의 종류에 따른 일반성분분석 결과는 Table 1과 같다. 겉보리, 검정보리, 제주쌀보리의 단백질 함량은 11.05%, 12.00%, 12.81%로 7.70%인 제주청보리와 9.10-9.25%인 제주맥주보리에 비해 더 높은 단백질 함량을 나타내었다. 제주맥주보리는 맥주양조에 사용되는 특성으로 인해 단백질 함량이 낮았으며, 도정에 따라서는 단백질 함량에 유의적인 차이를 미치지 않았다( $p>0.05$ ). 보리의 지방 함량은 1.66-2.41% 범위로 품종간 큰 차이가 없었으나 도정되지 않은 제주맥주보리는 3.33%로 높은 값을 나타내었다. 회분 함량도 지방 함량과 비슷하게 도정되지 않은 제주맥주보리를 제외하고 나머지 보리 품종들은 비슷한 값을 나타내었다. 전분 함량은 제주에서 재배된 보리가 겉보리나 검정보리보다 대체로 높은 경향을 보였으나 유의적인 차이는 나타나지 않았다( $p>0.05$ ). 특히 도정되지 않은 제주맥주보리는 전분 함량 56.66%로 도정된 보리에 비하여 낮은 값을 나타내었다. 식이섬유 함량은 겉보리가 9.75%, 제주쌀보리가 9.29%, 제주청보리가 10.11%로 유의하게 나타났으며, 검정보리가 6.63%, 도정된 제주맥주보리가 5.88%로 비교적 낮게 나타났다. 도정되지 않은 제주맥주보리는 18.68%의 가장 높은 식이섬유 함량을 나타내는 것으로 보아 보리의 도정이 식이섬유 함량과 밀접한 영향이 있음을 나타내었다. 식이섬유 중 수용성식이섬유인  $\beta$ -glucan의 함량은 겉보리가 5.03%, 검정보리가 5.86%로 농촌진흥청에서 조사한 함량과 유사한 값을 나타내었다(RDA, 2011). 제주에서 재배된 제주쌀보리와 제주청보리는 각각 8.63%, 7.02%로 기존의 보리가 함유하고 있는 약 5%의  $\beta$ -glucan 함량에 비해 높은 값을 나타내었다(Macgregor, 1993). 제주

**Table 1. Chemical composition of barley varieties**

Barley	Protein <sup>1)</sup> (%)	Fat (%)	Ash (%)	Starch (%)	Total dietary fiber (%)	$\beta$ -glucan (%)	
Unhulled barley	11.05±0.07 <sup>c2,3)</sup>	1.88±0.15 <sup>c</sup>	1.01±0.10 <sup>c</sup>	64.40±1.56 <sup>ab</sup>	9.75±0.31 <sup>b</sup>	5.03±0.23 <sup>cd</sup>	
Black barley	12.00±0.09 <sup>b</sup>	2.41±0.15 <sup>b</sup>	1.03±0.02 <sup>c</sup>	64.74±3.94 <sup>ab</sup>	6.63±0.23 <sup>c</sup>	5.86±0.30 <sup>c</sup>	
Naked barley	12.81±0.09 <sup>a</sup>	2.04±0.17 <sup>cb</sup>	1.17±0.04 <sup>cb</sup>	68.56±2.88 <sup>a</sup>	9.29±0.38 <sup>b</sup>	8.63±0.85 <sup>a</sup>	
Jeju barley	Blue barley	7.70±0.07 <sup>c</sup>	1.73±0.11 <sup>c</sup>	1.26±0.23 <sup>b</sup>	68.25±4.16 <sup>a</sup>	10.11±0.22 <sup>b</sup>	7.02±0.84 <sup>b</sup>
Beer barley (unpolished)	9.25±0.21 <sup>d</sup>	3.33±0.55 <sup>a</sup>	2.19±0.12 <sup>a</sup>	56.66±7.83 <sup>b</sup>	18.68±0.58 <sup>a</sup>	4.49±0.11 <sup>d</sup>	
Beer barley (polished)	9.10±0.08 <sup>d</sup>	1.66±0.14 <sup>c</sup>	1.02±0.04 <sup>c</sup>	69.00±5.23 <sup>a</sup>	5.88±0.26 <sup>c</sup>	4.95±0.34 <sup>cd</sup>	

<sup>1)</sup>All chemical contents were calculated as dry basis, %.

<sup>2)</sup>Each value is mean±standard deviation.

<sup>3)</sup>Means with the different letter in a column indicate significant difference ( $p<0.05$ ) by Duncan's multiple range test.

맥주보리는 도정 처리에 영향 없이  $\beta$ -glucan의 함량이 다른 보리 중에 비해 낮은 4.49-4.95% 범위였는데, 이는 맥주양조에 이용되는 맥주보리는  $\beta$ -glucan에 의해 맥주의 여과나 맥즙 분리에 어려움을 야기할 수 있어  $\beta$ -glucan의 함량을 낮춘 품종으로 개량된 것으로 판단된다(Lee, 1996).

**점도**

보리의 종류에 따른 물리적 특성을 비교하고자 점도특성을 측정된 결과는 Table 2와 같다. 겉보리, 검정보리, 도정되지 않은 제주맥주보리와 도정된 제주맥주보리 현탁액의 점도는 상온에서 32.0-44.3 cP로 유사한 값을 나타내었다. 이에 반해 제주쌀보리는 102.5 cP와 제주청보리는 84.4 cP로 더 높은 점도특성을 나타내었다. 이는 보리의 일반 성분 함량과 관계가 있는데, 보통 곡류의 점도는 전분 함량에 따라 가장 많은 영향을 받고 식이섬유, 단백질과 지방 함량 순으로 영향을 받는 것으로 알려져 있다(Sikorski et al., 2008). 전분 함량이 유사했던 제주쌀보리와 제주청보리의 점도는 분자량이 큰 식이섬유인  $\beta$ -glucan의 함량이 다른 보리 품종에 비해 높은 것으로 보아  $\beta$ -glucan에 의해 높은 점도를 나타낸 것으로 사료된다(Lee et al., 2012).

가열 시 보리 현탁액의 점도는 크게 증가하였는데, 겉보리, 검정보리, 도정된 제주맥주보리는 1516.7 cP, 1793.3 cP, 1540.0 cP의 값을 나타내었고, 제주쌀보리와 제주청보리는 2350.0 cP, 4563.3 cP로 높은 점도 특성을 나타내었다. 한편, 도정하지 않은 제주맥주보리는 356.9 cP로 가열 전 점도와 가열 후 점도에서 모두 낮은 값을 보였다. 상온에서의 점도와 가열 후 점도의 차이가 겉보리는 1476.7 cP, 검정보리는 1754.2 cP, 제주쌀보리는 2247.5 cP, 제주청보리는 4478.9 cP, 도정되지 않은 제주맥주보리는 324.9 cP, 도정된 제주맥주보리는 1495.7 cP로 온도 증가에 따라 점도의 큰 차이를 보였다. 이는 보리의 일반성분 중 60% 이상을 차지하는 전분이 가열에 의해 호화 되어 보리 현탁액의 점도를 증가시킨 것으로 볼 수 있다(Jeong et al., 2013). 또한 가열에 의해 보리의 불용성 세포벽이 파괴됨으로써 수용성 식이섬유(특히,  $\beta$ -glucan)의 양이 증가하여 점도에 영향을 미친 것으로 판단된다(Brandt et al., 1984; Hwang et al., 1994). Choi et al. (2003) 연구에서는  $\beta$ -glucan의 첨가가 12% 메성 및 찰성 보리전분 현탁액의 호화과정 중 점도에 영향을 미친 것으로 보고하였는데, 특히 메성 보리전분 현탁액이  $\beta$ -glucan의 첨가에 의해 월등히 점도가 증가하였음을 나타내었다. 또한 보리전분의 팽윤에 대한 저항 정도가 높을수록 전분의 호화 온도가 증가하여 점도가 상대적으로 낮아졌다(Jeong et al., 2013). Izydorczyk et al. (2000) 연구에서는 보리 가루 현탁액(1:6, 보리가루:물)에 효소를 처리하여  $\beta$ -glucan이 점도에 미치는 영향을 조사하였는데 전분 분해 효소인  $\alpha$ -amylase의 작용보다  $\beta$ -glucan 분해효소인 lichenase의 작용이 점도 감소의 즉각적인 원인

**Table 2. Viscosity of barley powder suspension**

Barley	Viscosity (cP) at room temperature	Viscosity (cP) at heating
Unhulled barley	40.0±0.00 <sup>d1),2)</sup>	1516.7±5.77 <sup>d</sup>
Black barley	39.1±0.23 <sup>c</sup>	1793.3±20.82 <sup>c</sup>
Naked barley	102.5±0.23 <sup>a</sup>	2350.0±110 <sup>b</sup>
Jeju Blue barley	84.4±0.00 <sup>b</sup>	4563.3±51.32 <sup>a</sup>
barley Beer barley (unpolished)	32.0±0.40 <sup>f</sup>	356.9±5.95 <sup>c</sup>
Beer barley (polished)	44.3±0.23 <sup>c</sup>	1540.0±72.11 <sup>d</sup>

<sup>1)</sup>Each value is mean±standard deviation.

<sup>2)</sup>Means with the different letter in a column indicate significant difference ( $p<0.05$ ) by Duncan's multiple range test.

이 됨을 제시하였고, 단백질 분해효소인 protease는 점도에 영향을 미치지 않았다고 보고하였다. 따라서 보리 가루 현탁액에서 전분이나 단백질의 분해보다  $\beta$ -glucan의 분해가 점도 감소에 영향을 미치는 것으로 사료된다.

겉보리와 검정보리의 일반성분 함량과 점도 관계를 고려 시 단백질, 지방, 회분, 전분,  $\beta$ -glucan 함량들이 큰 차이를 보이지 않았으나(Table 1), 점도는 식이섬유 함량이 적은 검정보리가 유의적으로 높게 나타났다(Table 2). 이는 검정보리의 식이섬유에 비해 겉보리에 수용성 식이섬유인  $\beta$ -glucan을 제외한 불용성 식이섬유를 함유하고 있기 때문인 것으로 판단된다. 제주쌀보리와 제주청보리가 다른 품종의 보리보다 가열 전과 후에 큰 점도를 나타냈으나, 전분이나 식이섬유 함량은 도정되지 않은 제주맥주보리 외의 다른 품종의 보리들과 유사하였으므로 보리의 점도가  $\beta$ -glucan의 함량과 관련이 있었음을 시사한다. 하지만, 제주쌀보리와 제주청보리의 지방, 회분, 전분, 식이섬유,  $\beta$ -glucan 함량이 유사하였을 때는(Table 1) 단백질 함량이 적은 제주청보리가 더 높은 점도를 나타내었다. 점도가 현저히 낮은 도정되지 않은 제주맥주보리는 전분함량이 다른 보리보다 낮았고 식이섬유 함량이 높았는데(Table 1), 이는 도정되지 않은 제주맥주보리의 전분 호화도가 낮았고 수용성에 비해 불용성 식이섬유를 함유하고 있었던 것으로 판단된다. 이와 같이 보리 가루 현탁액의 점도는 가열에 의한 물리적인 처리뿐만 아니라 일반성분 함량과 그들 서로간의 상호작용에 의해서도 영향을 미치는 것으로 나타났다.

**추출된  $\beta$ -glucan의 함량 및 재용해율**

서로 다른 품종의 보리로부터 추출한  $\beta$ -glucan의 순도를 확인하기 위하여  $\beta$ -glucan 함량을 측정된 결과는 Table 3과 같다. 추출된  $\beta$ -glucan의 함량은 겉보리가 85.23%로 가장 높았고 제주청보리가 70.12%로 가장 낮았으며 제주쌀보리와 제주맥주보리, 검정보리는 78-80% 범위로 유사하였다. 비교적  $\beta$ -glucan 함량이 낮았던 겉보리(5.03%)와 검정보리(5.86%), 도정된 제주맥주보리(4.95%)에서 약 80%

**Table 3. Concentration of  $\beta$ -glucan extracted from different varieties and their resolubility**

Barley	$\beta$ -Glucan (%) <sup>1)</sup>	Resolubility
Unhulled barley	85.23±7.48 <sup>a2),3)</sup>	35.11±4.88 <sup>c</sup>
Black barley	80.48±9.49 <sup>ab</sup>	71.83±5.72 <sup>a</sup>
Naked barley	78.22±7.71 <sup>ab</sup>	63.56±10.49 <sup>ab</sup>
Jeju Blue barley	70.12±5.54 <sup>b</sup>	39.50±3.21 <sup>c</sup>
barley Beer barley (unpolished)	78.15±4.45 <sup>ab</sup>	12.70±3.36 <sup>d</sup>
Beer barley (polished)	80.66±6.88 <sup>ab</sup>	56.51±4.23 <sup>b</sup>

<sup>1)</sup> $\beta$ -Glucan contents were calculated as dry basis, %

<sup>2)</sup>Each value is mean±standard deviation

<sup>3)</sup>Means with the different letter in a column indicate significant difference ( $p < 0.05$ ) by Duncan's multiple range test.

의  $\beta$ -glucan을 추출할 수 있었다. Kim & Ryu (2003)에 따르면 호분층에서 외피로 갈수록  $\beta$ -glucan의 회수율이 낮다고 보고했으나 도정되지 않은 제주맥주보리의 경우  $\beta$ -glucan 함량이 도정한 제주맥주보리와 유의적인 차이를 나타내지 않는 것으로 보아 본 연구에서 이용된  $\beta$ -glucan 추출방법이 도정되지 않은 보리의  $\beta$ -glucan 추출 순도를 높인 것으로 판단된다.  $\beta$ -glucan은 주로 펙타이드와 arabinoxylan 등과 강하게 결합되어 있는데(Bhatty, 1993; Zheng et al., 2000; Storsley et al., 2003), 특히 단백질은 외피로 갈수록 함량이 증가하여  $\beta$ -glucan과 강하게 결합되어 있다고 보고되었다(Kim & Ryu, 2003). 따라서 보리의 외피 중 단백질, 펙타이드, 전분, arabinoxylan 등의 성분들이 도정 정도에 따라 함량의 차이를 보여  $\beta$ -glucan의 추출 순도에 영향을 미치는 것으로 판단되며, 이는 단백질과 전분 함량이 높았던 제주청보리의  $\beta$ -glucan 추출에 영향을 미친 것으로 사료된다.

추출된  $\beta$ -glucan의 용해특성을 비교하여 Table 3에 나타내었다. 검정보리에서 추출된  $\beta$ -glucan의 재용해율은 71.83%로 가장 높았으며, 도정되지 않은 제주보리가 12.70%로 가장 낮았다. 이는 추출된  $\beta$ -glucan의 화학구조적 특성 중 분자량과 관련이 있었을 것으로 예상된다(Wood et al., 1991).  $\beta$ -Glucan의 용해도는 분자량이 증가할수록 낮아졌으며, 낮은 분자량을 갖는 경우에는  $\beta$ -glucan은 용해도가 처

음에는 증가하다가 다시 감소하였다(Kim & White, 2011).

추출된  $\beta$ -glucan의 순도가 가장 낮았던 제주청보리의 재용해율은 39.50%로 낮았는데, 이는 제주청보리의  $\beta$ -glucan이 고분자물질로 구성되어 있고(Lee et al., 2012) 추출된  $\beta$ -glucan의 순도가 낮아 다른 보리품종들에서 비해 낮은 것으로 보아 불용성 물질들이 많이 결합되어 있어 물에 대한 용해도를 감소시켰을 것으로 판단된다. 또한 도정되지 않은 제주맥주보리로부터 추출한  $\beta$ -glucan 함량은 78%로 다른 보리들과 차이가 없었으나 재용해율이 가장 낮았던 것으로 보아 식이섬유 중 불용성 성분의 함량이 높아  $\beta$ -glucan의 재용해율을 감소시킨 것으로 생각된다. 보리 품종에 따라 추출된  $\beta$ -glucan 재용해율의 차이가 나타나는 것으로 보아 추출 및 정제 과정에서  $\beta$ -glucan의 구조적 특징인 분자량과  $\beta(1\rightarrow3):\beta(1\rightarrow4)$  결합 비율이 영향을 미치는 것으로 판단된다(Autio, 1996). 추출 과정 중 침전시켜 얻은  $\beta$ -glucan은 재용해에 어려움이 있다는 보고(Beer et al., 1996)에 따라 본 연구에서 추출 중  $\beta$ -glucan을 에탄올로 침전시켰는데 이와 같은 방법이  $\beta$ -glucan 재용해율에 영향을 미쳤을 것이라고 생각된다. 게다가  $\beta$ -glucan의 미세구조, 세포벽 구성물질, 전처리, 추출조건 등 여러 가지 요인에 의해  $\beta$ -glucan의 용해 특성은 달라질 수 있다(Lee, 1996).

#### $\beta(1\rightarrow3):\beta(1\rightarrow4)$ 결합비

$\beta$ -Glucan을 이루고 있는 glucose의 결합 형태와  $\beta(1\rightarrow3)$ 과  $\beta(1\rightarrow4)$  결합비를 측정된 결과는 Table 4와 같다.  $\beta(1\rightarrow3):\beta(1\rightarrow4)$  결합비는 겉보리와 도정되지 않은 제주맥주보리가 비슷한 값인 1:2.3과 1:2.37을 나타내어 낮았으나 다른 보리 품종들과 통계학적으로는 유의적인 차이를 나타내지 않았다( $p > 0.05$ ). Stone et al. (1992)에 보고된 결과에 따르면 보리  $\beta$ -glucan의  $\beta(1\rightarrow3):\beta(1\rightarrow4)$  결합비는 1:2.3-3.0 정도였는데, 검정보리와 제주쌀보리, 제주청보리, 도정된 제주맥주보리는 1:3.60, 1:3.52, 1:4.49, 1:3.95으로 보고된 결과값보다 높게 나타났다. 이는 추출 시  $\beta$ -glucan의 정제가 잘 된 것일수록 결합비가 증가한다는 보고에 따라(Park et al., 2005),  $\beta(1\rightarrow3):\beta(1\rightarrow4)$  결합비의 차이가  $\beta$ -glucan의 정제율에 따라 다르게 나타남을 시사한다. 추출된  $\beta$ -glucan의

**Table 4. Amounts of  $\beta(1\rightarrow3)$  and  $\beta(1\rightarrow4)$  linked glucoses and ratio of  $\beta(1\rightarrow3)$  to  $\beta(1\rightarrow4)$  linkages in extracted  $\beta$ -glucans**

Barley	$\beta(1\rightarrow3)$ linked glucoses (mg)	$\beta(1\rightarrow4)$ linked glucoses (mg)	$\beta(1\rightarrow4)/\beta(1\rightarrow3)$	
Unhulled barley	9.23±1.44 <sup>ab1),2)</sup>	21.50±3.53 <sup>b</sup>	2.33±0.75 <sup>a</sup>	
Black barley	7.30±1.12 <sup>b</sup>	26.30±8.81 <sup>ab</sup>	3.60±0.72 <sup>a</sup>	
Naked barley	12.06±1.79 <sup>a</sup>	42.43±7.58 <sup>a</sup>	3.52±1.17 <sup>a</sup>	
Jeju barley	Blue barley	9.38±1.18 <sup>ab</sup>	42.07±5.76 <sup>a</sup>	4.49±0.55 <sup>a</sup>
Beer barley (unpolished)	9.68±4.05 <sup>ab</sup>	22.90±10.79 <sup>b</sup>	2.37±1.96 <sup>a</sup>	
Beer barley (polished)	7.74±0.93 <sup>b</sup>	30.55±12.11 <sup>ab</sup>	3.95±2.17 <sup>a</sup>	

<sup>1)</sup>Each value is mean±standard deviation.

<sup>2)</sup>Means with the different letter in a column indicate significant difference ( $p < 0.05$ ) by Duncan's multiple range test.

순도가 높았던 검정보리, 제주쌀보리, 제주청보리, 도정된 맥주보리의  $\beta$ -glucan은 겉보리와 도정되지 않은 맥주보리의  $\beta$ -glucan보다 정제율이 높았다고 판단 할 수 있다. 하지만 추출한  $\beta$ -glucan 중 순도가 현저히 낮았던 제주청보리의 결합비가 높은 반면 추출한  $\beta$ -glucan 중 순도가 가장 높았던 겉보리의 결합비가 낮은 결과값을 나타냈기 때문에 정제율만이  $\beta(1\rightarrow3):\beta(1\rightarrow4)$  결합의 비율에 영향을 미친다고는 할 수 없는 것으로 생각된다.  $\beta$ -glucan 중  $\beta(1\rightarrow4)$  결합비가 높은 분획의 경우 평균 분자량이 작았다는 보고 (Izydorczyk et al., 1998)에 따르면  $\beta(1\rightarrow4)$  결합으로 이루어진 glucose의 함량이 높은 제주쌀보리와 제주청보리가 평균분자량이 작을 것으로 예상된다. 또한 도정되지 않은 제주맥주보리와 도정된 제주맥주보리의  $\beta(1\rightarrow3):\beta(1\rightarrow4)$  결합비가 다르게 나타나는 것으로 보아 도정률에 따라서도  $\beta(1\rightarrow3):\beta(1\rightarrow4)$  결합비가 달라질 수 있음을 시사한다.

## 요 약

본 연구에서는 제주 지역에서 재배하고 생산되는 보리의 이화학적 특성을 분석하고, 수용성 식이섬유인  $\beta$ -glucan을 추출하여 타 지역에서 재배된 보리와 비교, 분석하여 제주 보리가 기능성을 갖춘 제품으로 활용될 수 있는 자료를 제시하고자 하였다. 제주 지역에서 재배된 보리는 전반적으로 전분 함량과 식이섬유 함량이 높았으며, 특히 수용성 식이섬유인  $\beta$ -glucan의 함량이 높은 것으로 나타났다. 제주 맥주보리는 타 지역 보리와 유사한 성분 함량을 갖는 것으로 나타났으며 도정유무가 전분, 식이섬유와  $\beta$ -glucan 함량에 영향을 주는 것으로 나타났다. 보리의 점도는 가열 처리에 의해 상당량 증가하였는데 상온에서는 제주쌀보리가 102.5 cP의 높은 점도를 나타내었고 가열 후에는 4563.3 cP로 제주청보리가 가장 높은 점도를 나타내어 타 지역 보리에 비해 점도가 높게 나타났다. 또한 도정 유무가 점도에 영향을 미쳤는데, 도정되지 않은 제주맥주보리의 점도가 도정된 제주맥주보리에 비해 현저히 감소하였다. 열수와 효소를 이용하여 보리로부터 비교적 높은 수율의  $\beta$ -glucan을 추출하였다(70-80%). 추출된  $\beta$ -glucan의 재용해율은 보리의 품종에 따라 다르게 나타났는데, 검정보리와 제주쌀보리의 재용해율이 높은 것으로 나타났다. 도정되지 않은 제주맥주보리는 가장 낮은 재용해율을 보여 도정이 추출된  $\beta$ -glucan의 물리적 특성에 영향을 미치는 것으로 나타났다.  $\beta$ -Glucan을 구성하는 glucose들간의  $\beta(1\rightarrow3):\beta(1\rightarrow4)$  결합비는 1:2.3-4.49의 범위에서 측정되었으며, 정제 정도만이  $\beta(1\rightarrow3):\beta(1\rightarrow4)$  결합비에 영향을 미치는 것이 아니라 도정율과 같은 다른 요인들도 영향을 미칠 수 있다는 것을 확인하였고, 구체적으로 어떠한 요인들이  $\beta(1\rightarrow3):\beta(1\rightarrow4)$  결합비에 영향을 미칠 수 있는지에 대한 연구가 더 필요한 것으로 보인다. 본 연구를 통하여 제주 지역에서

재배된 보리의 일반성분과 온도에 따른 점도 특성, 추출된  $\beta$ -glucan의 이화학적 특성의 결과를 바탕으로 제주 보리를 활용한 새로운 기능소재 및 제품 개발에 이용 가능성이 높을 것으로 기대되었다.

## 감사의 글

이 논문은 2013년도 제주대학교 학술연구지원사업에 의하여 연구되었으며 이에 감사드립니다.

## References

- Andersson AAM, Amo E, Grangeon E, Fredriksson H, Andersson R, Aman P. 2004. Molecular weight and structure units of (1 $\rightarrow$ 3, 1 $\rightarrow$ 4)- $\beta$ -glucans in dough and bread made from hull-less barley milling fraction. *J. Cereal Sci.* 40: 195-204.
- AOAC. 1995. Official Methods of Analysis. 16th ed., Association of Official Analytical Chemists. Washington DC, USA.
- Autio K. 1996. Functional aspects of cereal cell wall polysaccharides. In: Carbohydrate in Food. Eliasson AC. (ed). Marcel Dekker, New York, NY, USA, pp. 227-264.
- Beer MU, Arrigoni E, Amado R. 1996. Extraction of oat gum from oat bran: effects of process on yield, molecular weight distribution, viscosity and (1 $\rightarrow$ 3),(1 $\rightarrow$ 4)- $\beta$ -D-glucans content of the gum. *Cereal Chem.* 73: 58-62.
- Bhatty RS. 1993. Extraction and enrichment of (1 $\rightarrow$ 3), (1 $\rightarrow$ 4)- $\beta$ -D-glucans from barley and oat brans. *Cereal Chem.* 70: 73-77.
- Brandt LM, Jeltema MA, Zabik ME, Jeltema BD. 1984. Effects of cooking in solutions of varying pH on the dietary fiber components of vegetables. *J. Food Sci.* 49: 133-141.
- Buliga GS, Brant DA, Fincher GB. 1986. The sequence statistics and solution conformation of a barley (1 $\rightarrow$ 3), (1 $\rightarrow$ 4)- $\beta$ -D-glucan. *Carbohydr. Res.* 157: 139-156.
- Choi HD, Seog HM, Kim YS, Lee CH. 2003. Effect of barley  $\beta$ -glucan on dynamic viscoelasticity of barley starch. *Korean J. Food Sci. Technol.* 35: 1022-1027.
- Chronakis IS, Triantafyllou AO, Oste R. 2004. Solid-state characteristics and redispersible properties of powders formed by spray-drying and freeze-drying cereal dispersions of varying (1 $\rightarrow$ 3,1 $\rightarrow$ 4)- $\beta$ -glucan content. *J. Cereal Sci.* 40: 183-193.
- Dawkins NL, Nnanna IA. 1993. Oat gum and  $\beta$ -glucan extraction from oat bran and rolled oat: temperature and pH effect. *J. Food Sci.* 58: 562-566.
- Forrest IS, Wainwright T. 1977. The mode of binding of  $\beta$ -glucans and pentosans in barley endosperm cell walls. *J. Inst. Brew.* 83: 279-286.
- Hwang JK, Kim CT, Hong SI, Kim CJ. 1994. Solubilization of plant cell walls by extrusion. *Korean J. Soc. Food Nutr.* 23: 358-370.
- Izydorczyk MS, Biliaderist CG, Macri LJ, Macgregor AW. 1998. Fractionation of oat (1 $\rightarrow$ 3),(1 $\rightarrow$ 4)- $\beta$ -D-glucans and characteristics of the fractions. *J. Cereal Sci.* 27: 321-325.
- Izydorczyk MS, Storsley J, labossiere D, Macgregor AW, Rossnagne BG. 2000. Variation in total and soluble  $\beta$ -glucan content in hullless barley: effects of thermal, physical and enzymic treat-

- ments. *J. Agric. Food Chem.* 48: 982-989.
- Jeong HS, Kang TS, Park HJ, Jung IS, Lee HY. 2004. Characteristics of viscosity and components of soluble extract in oats. *Food Eng. Prog.* 8: 40-46.
- Jeong YS, Kim JW, Lee ES, Han YY, Gil NY, Lee MJ, Lee GH, Hong ST. 2013. Studies on physico-chemical characterization of starch extracted from domestic barley cultivars. *Food Eng. Prog.* 17: 203-211.
- Kim HJ, White PJ. 2010. *In vitro* bile-acid binding and fermentation of high, medium, and low molecular weight  $\beta$ -glucan. *J. Agric. Food Chem.* 58: 628-634.
- Kim SY, Ryu CH. 2003. Extraction and Physicochemical Characterization of Barley Bran  $\beta$ -glucan. *Korean J. Soc. Food Cookery Sci.* 19: 616-623.
- Lee SH, Jang GY, Kim HY, Woo KS, Hwang IG, Kim KJ, Lee MJ, Kim TJ, Lee JS, Jeong H S. 2012. Physicochemical properties of barley  $\beta$ -glucan with different heating temperatures. *Korean J. Soc. Food Sci. Nutr.* 41: 1764-1770.
- Lee YT. 1996.  $\beta$ -Glucans in barley and oats and their changes in solubility by processing. *Agric. Chem. Biotechnol.* 39: 482-487.
- Lee YT. 1996. Physicochemical characteristics and Physiological functions of  $\beta$ -glucans in barley and oat. *Korean J. Crop Sci.* 41: 10-24.
- Macgregor AW, Fincher GB. 1985. Enzymatic quantification of (1-3),(1-4)  $\beta$ -D-glucan in barley and malt. *J. I. Brewing.* 91: 285-295.
- Macgregor AW, Fincher GB. 1993. Carbohydrates of the barley grain. In: *Barley: Chemistry and Technology*. Macgregor AW, Bhatti RS. (eds). American Association of Cereal Chemists, St. Paul, MN, USA, pp. 73-130.
- Miller SS, Fulcher AS, Amason JT. 1995. Oat endosperm cell walls: I. Isolation, composition, and comparison with other tissues. *Cereal Chem.* 72: 421-427
- Park HJ, Kang TS, Lee HB, Kim KY, Jang KI, Noh YH, Jeong HS. 2005. Purification of oat  $\beta$ -glucan by  $\alpha$ -amylase treatment and characterization of its physicochemical properties. *Korean J. Food Sci. Technol.* 5: 776-782.
- Park MW, Cho CH, Kim HB. 1978. A study of amylose content, water absorption and gelatinization characteristics of barley varieties. *J. Korean Soc. Crop. Sci.* 23: 88-98.
- Rural Development Administration (RDA). 2011. *Hordeum vulgare L.* (Iksan No. 100). Available from: [http://www.rda.go.kr/board/board.do?mode=html&prgId=arg\\_newvarietyQuery](http://www.rda.go.kr/board/board.do?mode=html&prgId=arg_newvarietyQuery). Accessed Dec. 1, 2014.
- Sikorski ZE, Pokorny J, Damodaran S. 2008. Physical and chemical interactions of components in food systems. In: *Fennema's Food Chemistry*. Damodaran S, Parkin KL, Fennema OR. (eds). CRC Press, Inc., Boca Roton, FL, USA, pp. 849-883.
- Song TH, Paek TI, Han OK, Park HH, Cho SK, Oh YJ, Kang HJ, Jang YW, Park KG. 2013. Effect of harvesting time and making method on feed value and fermentative quality in silage of whole crop barley. *Korean J. Crop Sci.* 58: 362-366.
- Stone BA, Clarke AE. 1992. (1 $\rightarrow$ 3, 1 $\rightarrow$ 4)- $\beta$ -Glucan in higher plants. In: *Chemistry and Biology of (1 $\rightarrow$ 3)- $\beta$ -Glucans*. Stone BA, Clarke AE. (eds). La Trobe University Press, Victoria, Australia, pp. 431-489.
- Storsley JM, Izidorczyk MS, You S, Biliaderis CG, Rossangel B. 2003. Structure and physicochemical properties of  $\beta$ -glucans and arabinoxylans isolated from hull-less barley. *Food Hydrocolloid.* 17: 831-844.
- Woodward JR, Fincher GB, Stone BA. 1983. Water-soluble (1 $\rightarrow$ 3), (1 $\rightarrow$ 4)- $\beta$ -D-glucans from barley (*Hordeum vulgare*) endosperm. II. Fine structure. *Carbohydr. Polym.* 3: 207-225.
- Wood PJ, Weisz J, Blackwell BA. 1991. Structural analysis of oat  $\beta$ -D-glucan and rapid structural evaluation of  $\beta$ -D-glucan from different sources by high-performance liquid chromatography (HPLC) of oligosaccharides released by Lichenase. *Cereal Chem.* 68: 31-39.
- Yu JS, Shin YM, Kim MR. 2006. Physicochemical and Sensory Characteristic of Bread Substituted with Green Barley. *Chungnam J. Human Ecology.* 19: 64-71.
- Zheng GH, Rossnagel BG, Tyler RT, Bhatti RS. 2000. Distribution of  $\beta$ -glucan in the again of hull-less barley. *Cereal Chem.* 77: 140-144.