

알칼리 가수분해에 따른 보리 β -Glucan의 이화학적 특성

이상훈 · 장귀영 · 김기종* · 이미자* · 김태집 · 이준수 · 정헌상

충북대학교 식품공학과, *국립식량과학원 벼맥류부

Physicochemical Properties of Depolymerized Barley β -Glucan by Alkali Hydrolysis

Sang-Hoon Lee, Gwi-Yeong Jang, Kee-Jong Kim*, Mi-Ja Lee*, Tae-Jip Kim,

Jun-soo Lee and †Heon-Sang Jeong

Dept. of Food Science and Technology, Chungbuk National University, Cheongju 361-763, Korea

*Division of Rice and Winter Cereal Crop, National Institute of Crop Science, Iksan 570-080, Korea

Abstract

This study was performed to investigate the changes of total and soluble β -glucan contents, purity and physicochemical characteristics of alkali hydrolyzed barley varieties: Saessalbori (SSB), Saechalssalbori (SCSB) and Hinchalssalbori (HCSB). The barleys were hydrolyzed at different concentrations of sodium hydroxide (0.2~1.0 N) for 12 hours. Total β -glucan contents of raw SSB, SCSB and HCSB were 8.40, 7.77 and 8.28%, and soluble β -glucan contents were 4.80, 4.16 and 4.61%, respectively. The total β -glucan contents after alkali hydrolyzed at 1.0 N NaOH were 7.54, 6.89 and 7.54%, also soluble β -glucan contents were 4.82, 4.30 and 4.55%, respectively. The degree of purity of soluble β -glucan in SSB, SCSB, and HCSB were 35.79, 30.91 and 33.90%, respectively. They were increased to 74.02, 75.28 and 81.41% after hydrolyzed at 1.0 N NaOH, respectively. The molecular weight and viscosity of soluble β -glucan solutions were decreased as sodium hydroxide concentration was increased. The re-solubility of raw barley β -glucan was about 50%; however, it was increased to approximately 87% as sodium hydroxide concentration was increased.

Key words: barley, β -glucan, alkali hydrolysis, depolymerization, physicochemical properties

서 론

(1 \rightarrow 3)(1 \rightarrow 4)- β -D-Glucan은 곡류의 배유와 호분층의 세포벽을 구성하는 비전분성 다당류로 보리와 귀리의 종실에 가장 많이 함유되어 있다. 쌀보리와 겉보리는 약 2~8%의 총 β -glucan을 함유하고 있으며, 찰성보리가 멥성보리에 비해 1.0~2.5% 정도 더 함량이 많다(Aman & Graham 1987; McCleary & Glennie-Holmes 1985). 또한 β -glucan의 함량은 유전 및 환경적인 조건에 따라 차이가 있으며, 유전적 인자가 더 중요하게 영향을 미치는 것으로 알려져 있다(Bourne & Wheeler 1984).

보리 β -glucan은 수용성 또는 불용성 형태로 존재하는데,

β -(1 \rightarrow 4)-linkage로만 이루어진 cellulose와는 달리 사슬내의 β -(1 \rightarrow 3)-linkage가 분자형태에 불규칙적인 구조를 초래하여 부분적으로 수용성이고, 가수분해에 더 민감하게 만든다(Woodward 등 1983). β -Glucan의 용해성은 유전 및 환경적인 요인뿐만 아니라, β -glucan 다당류의 미세구조, 세포벽 구성 물질들 사이의 상호관계, 전처리, 추출조건, 그리고 내부효소의 활성 등과 같은 여러 가지 요인에 따라 달라질 수 있다(Lee YT 1996). β -Glucan은 혈중 콜레스테롤 함량 저하 효과(Klopfenstein CF 1988)와 혈중 지질조성의 개선(Bae 등 2009) 등의 생리적 기능이 알려지면서 대표적인 수용성 식이섬유의 하나로 주목받고 있다. 그러나 분자량이 크고 수용액의

† Corresponding author: Heon-Sang Jeong, Dept. of Food Science and Technology, Chungbuk National University, Cheongju 361-763, Korea. Tel: +82-43-261-2570, Fax: +82-43-271-4412, E-mail: hsjeong@chungbuk.ac.kr

점성이 높아 보리를 이용한 맥주 제조 시 여과를 방해하고 (Bamforth CW 1985), 소화율을 낮추어 가축사료로서의 이용을 제한하며(Campbell & Bedford 1992), 소스와 드레싱의 제조시 바람직하지 못한 침전물을 형성(Carr 등 1990)하는 등 산업적 이용에 제한이 있다.

이러한 문제점을 해결하기 위하여 고분자 β -glucan을 저분자화시키는 연구가 진행되었는데, 주로 황산과 인산 등을 이용한 산 가수분해(Hasegawa 등 1993), cellulase 및 β -glucanase 등을 이용한 효소 가수분해(Roubroeks 등 2001), 초음파와 감마선 조사를 통한 물리적 방법(Byun 등 2008) 등이 연구되었다. 그러나 이러한 저분자화 방법들은 효과적으로 분자량을 감소시킬 수 있지만, 높은 처리 비용, 낮은 수율, 긴 공정시간 및 산성 폐기물을 생성하는 등의 문제점을 야기할 수 있어(Jeon & Kim 2002), 효율적인 저분자화 공정이 필요한 실정이다. 알칼리 처리는 식물체의 리그닌 구조가 파괴되고, 셀룰로오스가 팽창되어 셀룰로오스 결정구조도 파괴되기 때문에 표면적이 증가하며, 미생물이 분해하기 쉬운 단량체(monomer) 형태로 가수분해되며, 이때 알칼리 용액의 농도, 반응시간 및 온도 등이 중요한 인자로 작용한다(He 등 2008). Grimm 등(1995)은 보리 β -glucan 용액이 pH 2~11 범위에서 안정하다고 보고하였지만 반응시간에 따른 안정성은 평가되지 않았으며, Bhatti RS(1995)는 1 N NaOH에 의해 pH가 높게 유지된 β -glucan 용액의 점도가 감소하였다고 보고하였다. 그러나 알칼리 가수분해 농도에 따른 보리 β -glucan의 이화학적 특성에 대한 연구는 전무한 실정이며, 고분자의 β -glucan을 함유함에 따라 용해도 및 점성이 높아 산업적인 이용이 제한되고 있는 보리의 저분자화를 통하여 물리적 특성을 개선하고, 불용성 β -glucan의 수용성화 시킴으로써 식품산업에서의 활용도를 높이고자 하는 연구가 필요하다.

따라서 본 연구에서는 보리 β -glucan의 저분자화를 통한 활용도 증진을 위하여 메성보리와 찰성보리를 NaOH의 농도 별로 처리한 다음 알칼리 가수분해 농도에 따른 β -glucan의 함량과 순도, 분자량 분포, 점도 및 재용해성을 살펴보았다.

재료 및 방법

1. 보리시료 및 알칼리 가수분해

본 실험에 사용된 보리는 메성보리인 새쌀보리(*Saessalbori*)와 찰성보리인 새찰쌀보리(*Saechalssalbori*), 흰찰쌀보리(*Hinchalssalbori*)로 2010년 수확한 것을 농촌진흥청 국립식량과학원으로부터 제공받아, 80 mesh로 분쇄(Micro hammer cutter mill type-3, Culatti AG, Zurich, Swiss)한 후 -18°C 에서 보관하며 시료로 사용하였다. 알칼리 가수분해는 분말시료 5 g에 0.2~1.0 N의 농도로 제조된 NaOH(Samchun Pure Chemical Co., Ltd, Pyeongtaek, Korea) 100 ml를 가한 후 shaking water bath (JSSB-

30T, JS Research Inc., Gongju, Korea)를 이용하여 50°C 에서 150 rpm으로 12시간 동안 진탕배양 하였으며, 1 N HCl(SK Chemicals, Ulsan, Korea)을 이용하여 pH 6.5로 중화시켜 실험에 사용하였다. 가수분해하지 않은 시료를 무처리로 하였다.

2. β -Glucan의 추출 및 정제

무처리 및 알칼리 가수분해 보리로부터 β -glucan의 추출은 Wood 등(1977)의 방법을 변형하여 실시하였다. 즉, 총 β -glucan의 추출은 중량 대비 50배의 1 N NaOH를 가한 후 1시간 동안 교반추출하고, 원심분리(3,500 rpm, 15 min)하여 상등액을 회수하였다. 상등액에 1 N HCl을 가하여 pH를 6.5로 조정하고, 상등액 1 l 당 CaCl_2 와 내열성 α -amylase(A3306, Sigma-Aldrich Co. LLC, St. Louis, MO, USA)를 각각 70 mg과 1.0 ml 첨가한 후 95°C 로 설정된 수욕조에서 1시간 동안 효소처리 하였다. 효소처리 종료 후 실온으로 냉각하고, 1 N HCl을 이용하여 pH를 4.5로 조정한 후 원심분리하여 취한 상등액에 에탄올의 농도가 80%가 되도록 99% 에탄올을 가하면서 격렬히 진탕하고 4°C 의 냉장고에서 12시간 동안 방치하여 β -glucan을 침전시켰으며, 이를 3,500 rpm에서 30분간 원심분리하여 총 β -glucan을 얻었다. 수용성 β -glucan의 추출은 중량 대비 50배의 증류수를 가한 후 65°C 로 설정된 수욕조에서 1시간 동안 추출하고, 추출액 1 l 당 CaCl_2 와 내열성 α -amylase를 각각 70 mg과 1.0 ml 첨가한 후 95°C 로 설정된 수욕조에서 1시간 동안 효소처리 하였다. 효소처리 종료 후 실온으로 냉각하고, 원심분리하여 취한 상등액에 에탄올의 농도가 80%가 되도록 99% 에탄올을 가하면서 격렬히 진탕하고, 4°C 의 냉장고에서 12시간 동안 방치하여 β -glucan을 침전시켰으며, 이를 3,500 rpm에서 30분간 원심분리하여 수용성 β -glucan을 얻었다.

추출된 β -glucan의 순도는 β -D-glucan assay kit (Megazyme, Wicklow, Ireland)를 이용하여 McCleary & Glennie-Holmes(1985)의 방법을 이용하여 측정하였다. 즉, 건조 분말화한 β -glucan 약 100 mg에 50% 에탄올 0.2 ml와 20 mM sodium phosphate buffer(pH 6.5) 4.0 ml를 순차적으로 가하여 5분씩 교반하고 끓는 물에서 3분간 방치 후 lichenase(10 U) 0.2 ml를 가하여 50°C 에서 1시간 동안 효소처리 하였다. 효소처리액에 200 mM sodium acetate buffer(pH 4.0) 5.0 ml를 가하여 반응을 종료시킨 후 4,000 rpm에서 10분간 원심분리하여 상등액을 취하였다. 상등액 0.1 ml를 3개의 test tube에 넣고 하나의 test tube에는 50 mM sodium acetate buffer(pH 6.0) 0.1 ml를 가하고, 나머지 test tube에는 β -glucosidase(10 U) 0.1 ml를 가하여 50°C 에서 10분간 배양하였다. 배양액에 GOPOD(glucose oxidase/peroxidase) 3.0 ml를 가하고 50°C 에서 20분간 배양한 후 510 nm에서 흡광도를 측정(spectrophotometer UV-1650 PC, Shimadzu, Tokyo, Japan)하여 β -glucan의 순도를 계산하였다.

3. 분자량 분포

무처리 및 알칼리 가수분해 보리 수용성 β -glucan의 분자량 분포는 Woodward 등(1983)의 방법을 변형하여 측정하였다. 즉, HPLC(Acme 9000 system, Younglin Ins., Anyang, Korea)에 YMC Diol-300 size exclusion column(300×4.6 mm I.D., particle size 5 μ m, pore size 30 nm, YMC Co. Ltd., Kyoto, Japan)을 장착하여 이동상으로 HPLC grade water를 0.5 ml/min으로 흘려주며, RI detector(RI 750F, Younglin Ins., Anyang, Korea)로 검출하였다. 분자량 측정용 표준물질로 Pullulan standard kit(P-82, Showa-Denko, Tokyo, Japan)를 사용하였고, 표준물질의 분자량은 P-800이 708,000, P-400이 375,000, P-200이 200,000, P-100이 107,000, P-50이 47,100, P-10이 9,600, P-5가 5,900이었다. 표준 크로마토그램으로부터 회귀식을 구한 후, 동일조건으로 분석한 크로마토그램의 용출시간을 대입하여 무처리 및 알칼리 가수분해 수용성 β -glucan의 분자량을 측정하였다.

4. 겔보기 점도와 재용해성

무처리 및 알칼리 가수분해 보리 수용성 β -glucan의 겔보기 점도는 Jeong 등(2004)의 방법을 변형하여 측정하였다. 즉, 무처리 및 0.2~1.0 N NaOH로 알칼리 가수분해하여 얻은 수용성 β -glucan 건조분말을 0.25, 0.5, 1.0, 1.5 및 2.0%(w/v)가 되도록 증류수에 넣고 95°C에서 30분간 중탕 가열하고 균질

화시킨 후, 20°C로 조절된 항온수조에서 점도계(RVT DV-II, Brookfield Co., Middleboro, MA, USA)를 이용하여 측정하였다. 점도계의 spindle은 No. 02을 사용하였으며, 25°C에서 100 rpm으로 3회 반복 측정하였다. 수용성 β -glucan의 재용해율은 증류수를 이용하여 1.0%(w/v)의 농도로 제조한 후 50°C에서 12시간 중탕 가열한 용액을 냉각 및 원심분리(12,000 rpm, 10 min)한 후 남은 불용성 고형분의 무게를 측정하여 재용해율을 측정하였다.

5. 통계분석

통계분석은 SPSS 통계프로그램(Statistical Package for the Social Science, Ver. 12.0 SPSS Inc., Chicago, USA)을 이용하여 각 측정군의 평균과 표준편차를 산출하고 처리 및 품종간의 차이 유무를 one-way ANOVA (Analysis of variation)로 분석한 뒤 Duncan's multiple range test를 이용하여 유의성을 검정하였다($p=0.05$).

결과 및 고찰

1. 총 및 수용성 β -Glucan 함량

알칼리 가수분해 농도에 따른 보리 총 및 수용성 β -glucan의 함량과 각 처리구의 용해도를 측정한 결과는 Table 1과 같

Table 1. Effects of alkali hydrolysis on total and soluble β -glucan contents of three barley cultivars with different concentrations of sodium hydroxide (Unit: %, dry basis)

Samples	NaOH conc.(N)	Total β -glucan(%)	Soluble β -glucan(%)	Solubility (Soluble/insoluble)
<i>Saessalbori</i>	Control	8.40±0.12 ^{a1)}	4.80±0.13 ^{NS}	1.33 ^b
	0.2	8.37±0.11 ^a	4.78±0.16	1.33 ^b
	0.4	8.35±0.11 ^a	4.82±0.18	1.37 ^b
	0.6	8.32±0.08 ^a	4.97±0.27	1.48 ^b
	0.8	7.92±0.12 ^b	4.82±0.25	1.56 ^{ab}
	1.0	7.54±0.32 ^c	4.82±0.18	1.77 ^a
<i>Saechalssalbori</i>	Control	7.77±0.29 ^a	4.16±0.09 ^{NS}	1.15 ^d
	0.2	7.56±0.20 ^a	4.15±0.14	1.22 ^{cd}
	0.4	7.51±0.08 ^a	4.22±0.21	1.28 ^c
	0.6	7.42±0.16 ^{ab}	4.18±0.17	1.29 ^c
	0.8	7.12±0.13 ^{bc}	4.15±0.09	1.40 ^b
	1.0	6.89±0.17 ^c	4.30±0.11	1.66 ^a
<i>Hinchalssalbori</i>	Control	8.28±0.11 ^a	4.61±0.24 ^{NS}	1.26 ^b
	0.2	8.11±0.18 ^a	4.73±0.30	1.40 ^{ab}
	0.4	8.08±0.13 ^a	4.68±0.21	1.38 ^{ab}
	0.6	7.97±0.27 ^{ab}	4.66±0.19	1.41 ^{ab}
	0.8	7.84±0.30 ^{ab}	4.61±0.14	1.43 ^a
	1.0	7.54±0.32 ^c	4.55±0.15	1.52 ^a

¹⁾ Any means in the same column followed by the different superscripts are significantly different($p<0.05$) by Duncan's multiple test

다. 총 β -glucan 함량은 새쌀보리, 새찰쌀보리 및 흰찰쌀보리가 각각 8.40 ± 0.12 , 7.77 ± 0.29 및 $8.28 \pm 0.11\%$ 로 나타났으며, 알칼리 가수분해 농도가 증가함에 따라 감소하는 경향을 나타내었다. 특히 0.8 N 이상의 처리구에서 유의적인 함량 감소를 보였으며, 1.0 N NaOH 처리구에서 각각 7.54 ± 0.32 , 6.89 ± 0.17 및 $7.54 \pm 0.32\%$ 로 감소하였다($p < 0.05$). Lee YT(1996)는 몇 가지 보리 품종의 총 β -glucan 함량을 측정된 결과, 새쌀보리, 찰보리, 찰쌀보리가 각각 4.25, 7.09 및 5.76%로 본 연구 결과보다 낮은 함량을 보였으나, 이는 보리의 품종, 재배환경 및 도정율에 따라 다르지만 약 2~8%의 β -glucan을 함유하고 있다는 연구 결과들과는 유사하였다(Aman & Graham 1987; McCleary & Glennie-Holmes 1985). 수용성 β -glucan 함량은 새쌀보리, 새찰쌀보리 및 흰찰쌀보리가 각각 4.80 ± 0.13 , 4.16 ± 0.09 및 $4.61 \pm 0.24\%$ 이었으며, 알칼리 가수분해 농도에 따라 유의적인 차이가 없었다($p > 0.05$). Lee YT(1996)의 연구에서는 새쌀보리, 찰보리, 찰쌀보리의 수용성 β -glucan 함량이 각각 1.68, 3.91 및 3.13%로 나타나, 본 연구 결과보다 낮은 함량을 보였다. 그러나 유전 및 환경적인 요인이 수용성 β -glucan의 함량에 영향을 미치며, 보리 품종의 β -glucan 중 평균 54%가 수용성이라고 보고한 Aman & Graham(1987)의 연구 결과와는 유사하였다. 알칼리 처리시 식물체의 리그닌 구조의 파괴, 셀룰로오스의 팽창에 따른 결정구조 파괴로 인하여 표면적이 증가하고, 단량체 형태로 가수분해되어 수율이 감소하고(He 등 2008), 강알칼리 조건에서 가수분해에 더욱 민감한 (1 \rightarrow 4)- β -D 결함이 파괴되어 저분자화 된다(McCleary & Codd 1991). 수용성과 불용성 β -glucan의 비로 나타낸 용해도는 메성보리인 새쌀보리가 1.33로 찰성보리인 새찰쌀보리와 흰찰쌀보리의 1.15과 1.26보다 높게 나타났으며, 알칼리 가수분해 농도가 증가함에 따라 각각 1.77, 1.66 및 1.52로 증가하였다.

2. 수용성 β -Glucan의 순도

알칼리 가수분해 농도에 따른 보리 수용성 β -glucan의 순도를 측정된 결과는 Fig. 1과 같다. 메성보리인 새쌀보리의 수용성 β -glucan 순도는 무처리구 35.79 \pm 0.71% 이었지만, 알칼리 가수분해 농도가 증가함에 따라 증가하여 1.0 N NaOH 처리구에서는 74.02 \pm 1.50%를 나타내었다($p < 0.05$). 찰성보리인 새찰쌀보리와 흰찰쌀보리 수용성 β -glucan의 순도 역시 무처리구에서는 각각 30.91 \pm 1.09 및 33.90 \pm 0.38% 이었지만, 알칼리 가수분해 농도가 증가함에 따라 증가하여 1.0 N NaOH 처리구에서 각각 75.28 \pm 1.52 및 81.41 \pm 0.76%를 나타내었다($p < 0.05$). 추출된 β -glucan에 단백질의 혼입은 주로 저장 단백질에 기원하는 것으로 Forrest & Wainwright(1977)는 세포벽에 강하게 결합되어 있는 펙타이드가 β -glucan 및 arabinoxylan

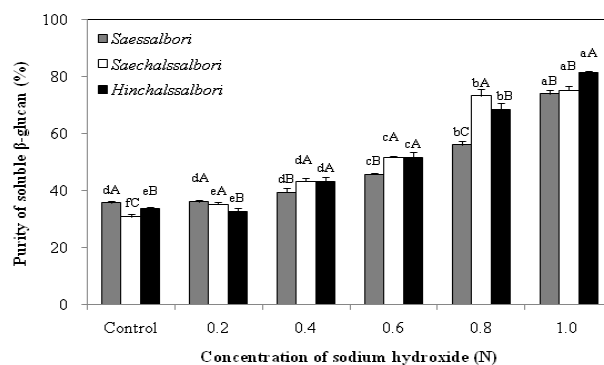


Fig. 1. Purity of soluble β -glucans from *Saessalbori*, *Saechalssalbori* and *Hinchalssalbori* with different concentrations of sodium hydroxide. Different capital letters and small letters in the same items indicate a significant difference ($p < 0.05$) among different barley cultivars and concentrations of sodium hydroxide, respectively

과 서로 결합되어 존재한다고 보고하였으며, Wood 등(1977)의 방법을 이용한 여러 보고에서도 crude β -glucan에 5~20%의 단백질과 2~3%의 전분이 혼입되어 존재하는 것으로 나타났다. Kim 등(1999)은 품종이 다른 보리로부터 추출한 β -glucan의 순도를 측정된 결과, 1차 추출된 crude β -glucan에서 메성보리와 찰성보리가 각각 59.15 및 62.91%로 상당량의 단백질이 포함되어 있었으나, ammonium sulfate 침전법, acetone 침전법 및 효소에 의한 전분과 단백질의 분해과정을 거쳐 2차 정제된 β -glucan의 순도는 각각 99.60 및 99.70%로 증가되었다 보고하였다. 또한 Dawkin & Nnanna(1995)는 추출용매의 pH와 추출온도를 조절하여 β -glucan의 순도를 높였고, 특히 pH 9.2/50 $^{\circ}$ C 또는 pH 10.5/50~55 $^{\circ}$ C 추출조건에서는 전분이나 단백질의 오염을 줄여 순도가 높은 β -glucan을 얻었다고 보고하였다.

3. 수용성 β -Glucan의 분자량

알칼리 가수분해 농도에 따른 보리 새쌀보리 수용성 β -glucan의 분자량 분포 변화를 측정된 결과는 Table 2에서 보는 바와 같이 새쌀보리 수용성 β -glucan의 분자량은 무처리의 경우 603,342 \pm 8,570에서 알칼리 가수분해 농도가 증가함에 따라 유의적으로 감소하여($p < 0.05$), 1.0 N NaOH에서는 35,897 \pm 1,015로 감소하였다. 찰성보리인 새찰쌀보리와 흰찰쌀보리는 무처리에서 각각 698,401 \pm 9,872 및 669,405 \pm 9,462이었지만 1.0 N NaOH 처리구에서는 41,347 \pm 1,169 및 39,630 \pm 1,120으로 감소하였다($p < 0.05$). 품종에 따라서는 메성보리보다 찰성보리의 분자량이 더 큰 것으로 나타났다($p < 0.05$). Gomez 등(1997)에 의하면 보리 β -glucan의 평균분자량은 $2.0 \times 10^5 \sim 5.7 \times 10^5$ 범위이며, Woodward 등(1983)도 보리 β -glucan의 평

Table 2. Effects of alkali treatment on molecular weight of soluble β -glucan from three barley cultivars with different concentrations of sodium hydroxide

NaOH conc.(N)	Saessalbori	Saechalssalbori	Hinchalssalbori
Control	606,342±8,570 ^{aC1)}	698,401±9,872 ^{aA}	669,405±9,462 ^{aB}
0.2	589,441±8,332 ^{bC}	678,934±9,596 ^{bA}	650,746±9,198 ^{bB}
0.4	488,235±7,506 ^{cC}	562,362±9,101 ^{cA}	539,014±8,598 ^{cB}
0.6	259,705±7,341 ^{dB}	299,135±8,456 ^{dA}	286,716±8,105 ^{dA}
0.8	110,209±4,726 ^{eB}	126,942±5,443 ^{eA}	121,671±5,217 ^{eA}
1.0	35,897±1,015 ^{fB}	41,347±1,169 ^{fA}	39,630±1,120 ^{fA}

¹⁾ Different capital letters in the same row indicate a significant difference ($p < 0.05$) among different barley cultivar and small letters in the same column indicate a significant difference ($p < 0.05$) among concentration of sodium hydroxide

균분자량이 $2.1 \times 10^5 \sim 2.9 \times 10^5$ 범위라 보고하였는데, 이러한 차이는 품종, 재배환경 및 추출방법에 따라 다양하게 나타난다고 하였다. 또한 국내 메성 및 찰성보리 β -glucan의 분자량을 측정 한 Choi 등(2004)의 연구에서는 메성보리보다 찰성보리 β -glucan의 분자량이 더 크며, 각각 625,900 및 798,600으로 본 연구 결과와 유사하였다. 알칼리 가수분해 농도에 따른 수용성 β -glucan의 분자량 감소는 알칼리 처리시 식물체의 리그닌 구조의 파괴, 셀룰로오스의 팽창에 따른 결정구조 파괴로 인하여 표면적이 증가하고, 단량체 형태로 가수분해되며(He 등 2008), 강알칼리 조건에서 가수분해에 더욱 민감한 (1 \rightarrow 4)- β -D-glycosidic 결합이 파괴되어 저분자화 되기 때문인 것으로 판단된다(McCleary & Codd 1991).

4. 수용성 β -Glucan의 점도

알칼리 가수분해 농도에 따른 보리 수용성 β -glucan 수용액의 점도 특성 농도별로 살펴본 결과는 Fig. 2와 같다. 무처

리 수용성 β -glucan의 경우 농도가 증가함에 따라 점도는 증가하는 경향을 보였으며, 알칼리 가수분해하여 얻은 수용성 β -glucan의 경우 수용성 β -glucan의 농도가 증가함에 따라 점도가 증가하는 경향을 보였다. 그러나 가수분해 농도가 증가함에 따라 점도의 농도의존성이 감소하여 수용성 β -glucan의 농도 증가에 따른 점도의 증가 폭이 감소하였다. 또한 품종에 따라서는 메성보리인 새쌀보리가 0.25%의 농도에서 1.5 ± 0.1 cP로 나타났으나, 찰성보리인 새찰쌀보리와 흰찰쌀보리가 각각 4.5 ± 0.1 및 3.6 ± 0.1 cP로 나타나, 찰성보리 β -glucan의 점도가 더 높게 나타났다. 이는 Choi 등(2004)의 연구에서 보리 β -glucan의 점도는 농도가 증가할수록 증가하였으며, 찰성보리 β -glucan이 메성보리 β -glucan보다 점성이 더 높게 나타났으며, 찰성보리 β -glucan이 메성보리 β -glucan에 비해 농도의존성이 더 큰 것으로 나타난 연구 결과와 유사하였다. 알칼리 가수분해 농도에 따른 2% 수용성 β -glucan의 점도 변화를 측정한 결과, 새쌀보리는 무처리시 12.8 ± 0.2 cP에서 알칼리 가수분해 농도가 증가함에 따라 점도는 감소하는 경향을 나타내어 1.0 N NaOH에서는 3.6 ± 0.2 cP로 감소하였다. 동일 농도에서 새찰쌀보리는 무처리의 32.8 ± 0.4 cP에서 4.2 ± 0.2 cP(1.0 N NaOH)로 감소하였고, 흰찰쌀보리는 무처리의 26.8 ± 0.3 cP에서 3.8 ± 0.1 cP(1.0 N NaOH)로 감소하였다. 이는 1 N NaOH에 의해 pH가 높게 유지된 β -glucan 용액의 점도가 감소하였으며(Bhatty RS 1995), 알칼리 조건에서 가온하였을 때 점도가 감소하였다(Burkus & Temelli 1998)는 연구와 일치하는 결과이다. 또한 강알칼리 조건에서 (1 \rightarrow 4)- β -D-glycosidic 결합이 가수분해되어 저분자화 되기 때문에 점도가 감소한다는 보고와도 일치하는 결과이다(McCleary & Codd 1991). β -Glucan은 분자량이 큰 고분자 물질로 알려져 있으며, 식품 산업에서 이용되는 대부분의 고분자 물질의 점도는 용액의 농도, 분자량 및 분자량 분포 등 여러 가지 요인에 의해서 결정되며, 특히 β -glucan의 분자량과 점도사이의 양의 상관관계는 잘 알려져 있다(Wood 등 1977).

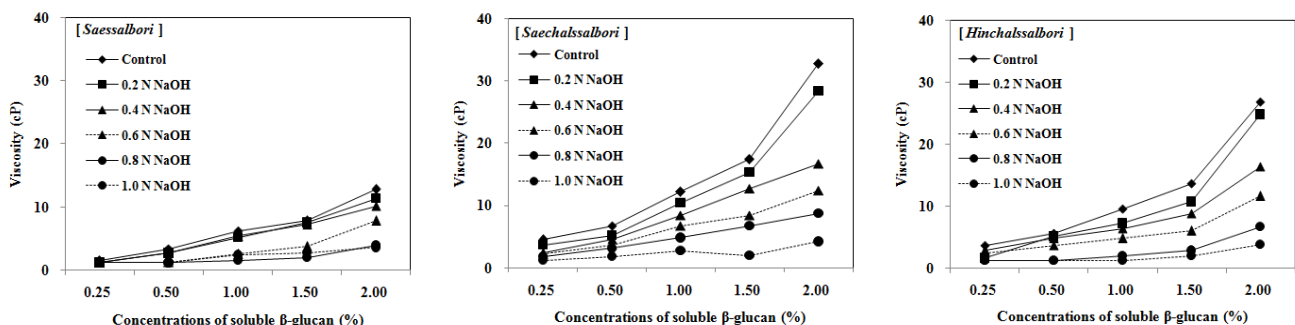


Fig. 2. Apparent viscosity of soluble β -glucans from Saessalbori, Saechalssalbori and Hinchalssalbori with different concentrations of soluble β -glucan and sodium hydroxide. Spindle number 02. 100 rpm, 20°C

5. 수용성 β -Glucan의 재용해율

알칼리 가수분해 농도에 따른 보리 수용성 β -glucan의 용해특성을 살펴본 결과는 Fig. 3과 같다. 새쌀보리 무처리의 수용성 β -glucan은 $50.00 \pm 2.42\%$ 의 재용해율을 보였으며, 알칼리 가수분해 농도가 증가함에 따라 재용해율은 증가하여 1.0 N NaOH 처리구에서는 $87.66 \pm 1.21\%$ 를 나타내었다($p > 0.05$). 찰성보리인 새찰쌀보리와 흰찰쌀보리 무처리의 재용해율은 각각 51.04 ± 2.11 및 $55.90 \pm 1.08\%$ 이었으나, 알칼리 가수분해 농도가 증가함에 따라 증가하여 1.0 N NaOH 처리구에서는 각각 80.00 ± 3.34 및 $81.21 \pm 2.48\%$ 로 증가하였다($p > 0.05$). Varum & Simidsrod(1988)는 순수 β -glucan을 60°C 에서 3시간 또는 overnight한 후에 80°C 에서 0.5~1시간 동안 용해하였으나, 완전히 용해되지 않았으며, Beer 등(1996)은 에탄올 침전법으로 얻은 β -glucan을 용해시키는데 어려움이 있다고 보고하였다. 이처럼 무처리 수용성 β -glucan의 경우 50°C 에서 12시간 용해시켰음에도 불구하고 50~55%의 재용해율을 보였으나, 알칼리 가수분해 농도가 증가함에 따라 수용성 β -glucan의 순도 증가, 분자량 및 점도의 감소로 인하여 β -glucan의 용해성이 증가된 것으로 판단된다.

요 약

알칼리 가수분해에 따른 보리 β -glucan의 이화학적 특성 변화를 살펴보기 위하여 새쌀보리, 새찰쌀보리 및 흰찰쌀보리에 0.2~1.0 N NaOH를 처리하였으며, 총 및 수용성 β -glucan의 함량 및 순도, 수용성 β -glucan의 분자량, 점도 및 재용해율을 살펴보았다. 3품종 보리의 총 β -glucan 함량은 7.77~8.40% 범위이었으며, 알칼리 가수분해 농도가 증가함에

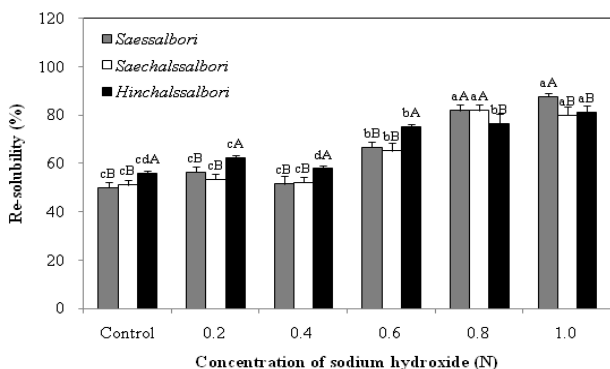


Fig. 3. Re-solubility of soluble β -glucans from Saessalbori, Saechalssalbori and Hinchalssalbori with different concentrations of sodium hydroxide. Different capital letters and small letters in the same items indicate a significant difference ($p < 0.05$) among different barley cultivars and concentrations of sodium hydroxide, respectively

따라 6.89~7.54% 범위로 감소하였다. 수용성 β -glucan의 함량은 무처리의 4.16~4.80% 범위에서 알칼리 가수분해 농도가 증가함에 따라 4.30~4.82% 범위로 유의적인 차이가 없었다.

수용성 β -glucan의 순도는 3품종 모두 30.91~35.79% 범위이었으나, 알칼리 가수분해에 의해 74.02~81.41%까지 증가하였다. 분자량은 메성보리보다 찰성보리가 더 컸으며, 알칼리 가수분해 농도가 증가함에 따라서 크게 감소하였다. β -Glucan 수용액의 점도는 알칼리 가수분해 농도가 증가함에 따라 감소하였으며, 메성보리보다 찰성보리가 높았고, 흰찰쌀보리보다 새찰쌀보리가 높았다. 재용해율은 무처리의 50~55% 범위에서 알칼리 가수분해 농도가 증가함에 따라 증가하여 1.0 N NaOH 처리구에서 80.00~87.66% 범위로 증가하였다.

감사의 글

본 연구는 농촌진흥청 연구비 지원(과제번호 PJ0082422013)에 의해 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

References

- Aman P, Graham H. 1987. Analysis of total and insoluble mixed-linked (1 \rightarrow 3),(1 \rightarrow 4)- β -glucans in barley and oats. *J Agric Food Chem* 35:704-709
- Bae IY, Lee SY, Kim SM, Lee HG. 2009. Effect of partially hydrolyzed oat β -glucan on the weight gain and lipid profile of mice. *Food Hydrocol* 23:2013-2021
- Bamforth CW. 1985. Biochemical approaches to beer quality. *J Inst Brew* 91:154-160
- Beer MU, Wood PJ, Weisz J. 1997. Molecular weight distribution and (1 \rightarrow 3),(1 \rightarrow 4)- β -D-glucan content of consecutive extracts of various oat and barley cultivars. *Cereal Chem* 74:476-480
- Bhatty RS. 1995. Laboratory and pilot plant extraction and purification of β -glucans from hull-less barley and oat bran. *J Cereal Sci* 22:163-170
- Bourne DT, Wheeler RE. 1984. Environmental and varietal differences in total beta-glucan contents of barley and the effectiveness of its breakdown under different malting conditions. *J Inst Brew* 90:306-310
- Burkus Z, Temelli F. 1998. Effect of extraction conditions on yield, composition and viscosity stability of barley β -glucan gum. *Cereal Chem* 75:805-809
- Byun EH, Kim JH, Sung NY, Choi JI, Lim ST, Kim KH, Yool HS, Byun MW, Lee JW. 2008. Effects of gamma irradiation

- on the physical and structural properties of β -glucan. *Radiat Phys Chem* 77:781-786
- Campbell GL, Bedford MR. 1992. Enzyme applications for mono-gastric feeds: A review. *Can J Anim Sci* 72:449-466
- Carr JM, Glatter S, Jeraci JL, Lweis BA. 1990. Enzymic determination of β -glucan in cereal-based food products. *Cereal Chem* 67:226-229
- Choi HD, Seog HM, Choi IW, Park YK, Lee CH, Shin KS. 2004. Molecular structure of β -glucan isolated from non-waxy and waxy barley. *Food Sci Biotechnol* 13:744-748
- Dawkins NL, Nnanna IA. 1995. Studies on oat gum [(1-3,1-4)- β -D-glucan]: composition, molecular weight estimation and rheological properties. *Food Hydrocol* 9:1-7
- Forrest IS, Wainwright T. 1977. The mode of binding of β -glucans extracted from barley at different temperatures. *Carbohydr Res* 83:279-286
- Gomez C, Navarro A, Manzanares P, Horta A, Carbonell JV. 1997. Physical and structural properties of barley (1 \rightarrow 3)(1 \rightarrow 4)- β -D-glucan. I. Determination of molecular weight and macromolecular radius by light scattering. *Carbohydrate Polym* 32:7-15
- Grimm A, Kruger E, Burchard W. 1995. Solution properties of β -D-(1,3)(1,4)-glucan isolated from beer. *Carbohydrate Polym* 27:205-214
- Hasegawa M, Isogai A, Onabe F. 1993. Preparation of low molecular weight chitosan using phosphoric acid. *Carbohydrate Polym* 20:279-283
- He Y, Pang Y, Liu Y, Li X, Wang K. 2008. Physicochemical characterization of rice straw pretreated with sodium hydroxide in the solid state for enhancing biogas production. *Energy & Fuels* 22:2775-2781
- Jeon YI, Kim SK. 2000. Production of chitooligosaccharides using an ultrafiltration membrane reactor and their antibacterial activity. *Carbohydrate Polym* 41:133-141
- 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
- Jung MH, Youn KS. 2012. Preparation and physicochemical characteristics of octenyl succinated rice starches based on amylose content. *Korean J Food Sci Technol* 44:577-582
- Kim JT, Noh WS. 1992. The retrogradation and swelling power of modified potato starches. *J Korean Soc Agric Chem* 35:404-409
- Kim SR, Choi HD, Seog HM, Kim SS, Lee YT. 1999. Physicochemical characteristics of β -glucan isolated from barley. *Korean J Food Sci Technol* 31:1164-1170
- Klopfenstein CF. 1988. The role of cereal β -glucans in nutrition and health. *Cereal Foods World* 33:865-869
- Lee YT. 1996. β -Glucans in barley and oats and their changes in solubility by processing. *Agric Chem Biotechnol* 39:482-487
- McCleary BV, Codd R. 1991. Measurement of (1-3),(1-4)- β -D-glucan in barley and oats: a streamlined enzymic procedure. *J Sci Food Agric* 55:303-312
- McCleary BV, Glennie-Holmes M. 1985. Enzymatic quantification of (1 \rightarrow 3)(1 \rightarrow 4)- β -D-glucan in barley and malt. *J Inst Brew* 91:285-295
- Roubroeks JP, Andersson R, Mastromauro DI, Christensen BE, Aman P. 2001. Molecular weight, structure and shape of oat (1 \rightarrow 3),(1 \rightarrow 4)- β -D-glucan fractions obtained by enzymatic degradation with (1 \rightarrow 4)- β -D-glucan-4-glucanohydrolase from *Trichoderma reesi*. *Carbohydrate Polym* 46:275-285
- Thomas DJ, Atwell WA. 1998. Eagan Press Handbook Series: Starches. Eagan Press, St. Paul, Minnesota, MN, USA
- Varum KM, Simidsrod O. 1988. Partial chemical and physical characterisation of (1 \rightarrow 3),(1 \rightarrow 4)- β -glucans from oat (*Avena sativa* L.) Aleurone. *Carbohydrate Polym* 9:103-117
- Wood PJ, Paton D, Siddiqui IR. 1977. Determination of β -glucan in oats and barley. *Cereal Chem* 54:524-533
- Woodward JR, Fincher GB, Stone BA. 1983. Water-soluble (1 \rightarrow 3),(1 \rightarrow 4)- β -D-glucans from barley (*Hordeum vulgare*) endosperm. II. Fine structure. *Carbohydrate Polym* 3:207-225

접 수 : 2013년 8월 26일
 최종수정 : 2013년 9월 5일
 채 택 : 2013년 9월 11일