

## 보리, 귀리 $\beta$ -Glucan의 이화학적 특성과 생리적 기능

이 영 택\*

### Physicochemical Characteristics and Physiological Functions of $\beta$ -Glucans in Barley and Oats

Young Tack Lee\*

#### 目 次

- |                                   |                        |
|-----------------------------------|------------------------|
| 1. $\beta$ -Glucan의 일반적 특성        | 4. $\beta$ -Glucan의 활용 |
| 2. $\beta$ -Glucan의 구조 및 물리화학적 특성 | 5. 맺는 말                |
| 3. 보리, 귀리 $\beta$ -Glucan의 생리적 기능 | 참고문헌                   |

**ABSTRACT :** (1 $\rightarrow$ 3), (1 $\rightarrow$ 4)- $\beta$ -D-glucans( $\beta$ -glucans) are a major component of the cell walls of grasses as a component of the cereal endosperm and aleurone cell walls. Although  $\beta$ -glucans exist in all cereals, their concentration is highest in oats and barley. Genetic and environmental differences are found in total  $\beta$ -glucan content. Both oats and barley  $\beta$ -glucans have cholesterol-lowering effects. This suggests possible use as food additives. Structural characterization of  $\beta$ -glucan is important because structure can influence physical and physiological properties. In this review,  $\beta$ -glucans of barley and oats are discussed in details including structure, chemical and physical properties, and nutritional implications. The use of barley and oat products as well as  $\beta$ -glucan as a food additive continues to increase. This can provide an additional market for barley and oats, thus increasing the value of the crops.

**Key words :** Barley, Oats,  $\beta$ -Glucans, Physicochemical characteristics, Physiological functions.

보리는 평균적으로 전분 64%, 단백질 11%,  $\beta$ -glucan 5%로 구성되어 있으며 나머지 20%는 수분, 지방, 회분, 섬유소, 그리고 소량의 비타민 등 미량성분들을 포함하고 있다<sup>40)</sup>. 전통적으로 귀리는 동물사료용으로 가장 많이 사용되어 왔으나  $\beta$ -glucan 함량이 높은 귀리제품의 체내 혈중 콜레

스테롤 강하 효과는 인체 영양학적으로도 매우 중요해 귀리에 대한 수요를 증가시키고 있다. 곡류의 비전분 다당류(non-starch polysaccharide)인 (1 $\rightarrow$ 3), (1 $\rightarrow$ 4)- $\beta$ -D-glucan( $\beta$ -glucan)은 곡류 알곡의 배유와 호분층 세포벽을 구성하고 있는 성분으로 오랫동안 수없이 많이 연구되어 왔다.  $\beta$ -

\* 선문대학교 식량자원식품공학부(Department of Food Resources and Manufacture, Sun Moon University, Asan 336-840, Korea) <'96. 1. 15 接受>

glucan은 단일 화학성분이라기 보다 분자구조와 크기가 다양한 그룹의 성분인 것으로 알려져 있다.

서양에서는 보리가 맥주를 생산하기 위한 맥아 제조용으로 많이 사용되기 때문에 맥주 제조시  $\beta$ -glucan의 중요성이 오래전부터 인식되어져 왔다. 1960년대 이후부터  $\beta$ -glucan에 관한 연구가 상당히 진행되어 왔으며 처음에는 주로  $\beta$ -glucan의 구조분석과 맥주 제조시의 중요성에 대해 다루었다. 보리  $\beta$ -glucan은 맥아의 변형(malt modification), 맥아 추출물의 함량(% malt extract), 맥즙의 점도(wort viscosity), 맥즙의 분리(wort separation), 맥주의 여과(beer filtration), 그리고 haze형성 등에 영향을 미치는 것으로<sup>10)</sup> 알려져 있다. 보리  $\beta$ -glucan의 점성은 맥주 제조시 문제를 야기<sup>11)</sup>시킬 뿐만 아니라 사료용으로서 보리의 가치를 제한하지만<sup>16)</sup> 반면에 혈중 포도당과 인슐린(insulin)에 대한 반응조절을 향상시키고 혈중 콜레스테롤 수준을 감소시킨다. 혈중 콜레스테롤 저하작용은 인체의 건강에 중요시 되고 있으며 이는  $\beta$ -glucan에 기인하는 것으로 알려져 있어 최근  $\beta$ -glucan의 영양학적 기능성에 대한 연구가 매우 활발하게 진행되고 있다.

혈중 콜레스테롤 농도와 심장병의 발생은 매우 밀접하게 연관되어 있어 인체내에 콜레스테롤의 함량이 높아지게 되면 동맥경화를 비롯한 심장질환, 고혈압, 생리 저하, 당뇨병 등의 성인병을 유발하게 된다. 보리나 귀리 브랜(oat bran)을 섭취함으로써 콜레스테롤을 저하시킬 수 있다는 연구 보고들이 많이 나오고 있어 보리나 귀리에 간장의 콜레스테롤 생합성을 억제하거나 혈중 콜레스테롤의 양을 저하시키는 등 인체내에서 생리활성이 높은 유용성분이 풍부하기 때문인 것으로 판단된다. 특히 보리나 귀리의 성분중 세포벽을 구성하고 있는 물질이자 고분자 수용성 식이섬유인  $\beta$ -glucan은 생리학적으로 매우 중요한 역할을 하는데 인체내 소화기관에서 분해되지 않고 점도를 유지함으로써 체내의 콜레스테롤 함량을 낮추어 줄 수 있는 대표적인 생리활성물질인 것으로 알려져 있다.

성인병 예방을 위해서는 식이요법이 중요하며

최근 들어 자연건강식의 개발과 질병 예방에 대한 기능성을 갖는 식품에 대한 수요가 증가하고 있다. 식품의 기능성에 관한 연구로는 일본에서 1980년대부터 '식품의 기능성'에 대한 연구를 시작하여 1991년 '특정보건용 식품'의 허가제도를 시행하기에 이르렀고 미국에서도 미국 국립암연구소(National Cancer Institute)와 식품의약국(Food & Drug Administration)의 후원으로 연구가 진행되고 있으며 1989년 기능성 식품과 유사한 'Designer Food'에 관한 개념을 소개하였다. 우리나라에서도 1994년에 식품공전에서 '특수영양식품'과 '건강보조식품'이라는 개념을 도입하여 정의하고 있다. 질병의 예방이나 치료를 위해서 섭취하고 있는 건강식품은 생체의 방어, 질병의 방지, 질병의 회복, 신체리듬의 조절 및 노화의 억제 등과 같은 기능성 인자를 가져야 하며 보리나 귀리의 경우 식이섬유( $\beta$ -glucan)가 대표적인 기능성 인자로 인정되고 있다.

기능성 인자로서  $\beta$ -glucan의 구조적인 특성은 물리적인 특성 및 인체생리적인 기능성에 영향을 줄 수 있는 중요한 요소이다. 또한  $\beta$ -glucan의 물리적, 생리적인 특성은 영양기능적 측면에서 중요시 될 뿐만 아니라 기능성 성분의 활용을 위한 산업적인 생산과도 연관되어 있다. 따라서  $\beta$ -glucan의 구조적, 물리화학적 특성 및 생리적 기능성을 정리하여 건강기능성 인자로서의 가치와 활용도를 고찰해 보고자 한다.

## 1. $\beta$ -Glucan의 일반적 특성

$\beta$ -Glucan은 단자엽식물에서 발견되며 특히 일부 풀과(grass family)의 초엽, 잎, 그리고 그밖의 다른 조직체에 존재하고 종실에 유달리 풍부하다<sup>56)</sup>.  $\beta$ -Glucan은 보리, 라이밀, 옥수수, 밀, 쌀, 귀리, 수수, 기장 등 곡류의 배유 및 호분층 세포벽 다당류로서 존재하며 그중 보리와 귀리의 알곡에 가장 많이 함유<sup>25)</sup>되어 있다. 보리의 배유 세포벽은 주로  $\beta$ -glucan(~70%)과 arabinoxylan(~20%)으로 구성되어 있으며<sup>24)</sup> 세포벽의 나머지 부분은 glucomannans로 추정되는 mannose를 포

Table 1. Variation in content of total, insoluble, and soluble  $\beta$ -glucans(% dry grain) and in soluble  $\beta$ -glucans as percent of total  $\beta$ -glucans from barley and oats<sup>2)</sup>

$\beta$ -Glucan constituents	Mean value	Range of values
Scandinavian barley (n=51)		
Total	4.4	3.0~5.6
Insoluble	2.0	1.2~2.7
Soluble	2.4	1.3~3.4
Soluble, % of total	55	38~69
Montana barley (n=13)		
Total	5.2	4.0~6.9
Insoluble	2.6	1.9~3.3
Soluble	2.6	1.6~4.0
Soluble, % of total	49	38~61
Swedish oats (n=121)		
Total	3.2	2.2~4.2
Insoluble	0.64	0.30~1.1
Soluble	2.5	1.5~3.6
Soluble, % of total	80	65~90

함하는 고분자, 셀룰로오스, 단백질, 페놀성 구성물(phenolic constituents) 등이 차지하고 있다<sup>3)</sup>. 보리의 호분층 세포벽에는 arabinoxylan(~65%)과  $\beta$ -glucan(~25%)을 주성분으로 소량의 mannose 포함 고분자, 셀룰로오스,  $\beta$ -(1 $\rightarrow$ 3)-glucans, 단백질, 회분, 아세틸기(acetyl group), 페놀성 구성물들이 함께 포함되어 있다<sup>7)</sup>.

사료용 및 맥아제조용 겉보리는 약 2~8%의 총  $\beta$ -glucan을 함유하고 있다<sup>2,32,38,42,43,50)</sup>. 총  $\beta$ -glucan 함량은 유전적, 환경적인 조건에 따라 차이를 나타내며<sup>14,31,32,57)</sup>, 유전적 인자가 더 중요하게 영향을 미치는 것으로 나타났다. 6조보리는 일반적으로 2조보리에 비해 함량이 낮으며<sup>32)</sup> 찰성<sup>60)</sup>이나 껍질없는 보리(hull-less barley)는  $\beta$ -glucan 함량이 높아 많게는 16%까지 함유<sup>45)</sup>하고 있는 것으로 보고된 바 있다. 귀리품종의  $\beta$ -glucan 함량은 겉겨없는 귀리(groat)에서 3.9~6.8%, 겉겨(bran)에서 5.8~8.9%였으며<sup>67)</sup> 보리와 마찬가지로 귀리의  $\beta$ -glucan 함량 역시 유전 및 환경에 영향을 받는다<sup>39,47,63)</sup>.

보리와 귀리의  $\beta$ -glucan은 수용성 형태나 불용성 형태로 존재하며  $\beta$ -glucan의 용해성은  $\beta$ -glucan 다당류의 미세구조, 세포벽 구성물질들 사이의 상호관계, 전처리, 추출조건, 그리고 내부

효소(endogenous enzyme)의 활성 등과 같은 여러가지 요인에 달려있다. 유전 및 환경적인 요인 또한  $\beta$ -glucan의 용해성에 영향을 미친다. 보리 품종의  $\beta$ -glucan중 평균 54%가 수용성이며 귀리는 약 80%가 수용성인 것으로 보고<sup>2)</sup>된 바 있다(표 1).

## 2. $\beta$ -Glucan의 구조 및 물리화학적 특성

### 1) $\beta$ -Glucan의 화학적 구성성분

$\beta$ -Glucan은  $\beta$ -glucosyl unit이  $\beta$ -(1 $\rightarrow$ 3)-결합과  $\beta$ -(1 $\rightarrow$ 4)-결합으로 연결되어 가지가 없이 선형 사슬(unbranched linear chains)로 구성된 단순 다당류(homopolysaccharide)이다(그림 1).  $\beta$ -(1 $\rightarrow$ 4)-결합으로만 이루어진 셀룰로오스와는 달리  $\beta$ -glucan 사슬내의  $\beta$ -(1 $\rightarrow$ 3)-결합은 분자형태에 불규칙적인 구조를 초래하여  $\beta$ -glucan을 부분적으로 수용성이고 가수분해에 더 민감하게 만든다<sup>15,75)</sup>.

보리 배유로부터 추출하여 정제한 수용성  $\beta$ -glucan의 화학적 조성 및 미세구조는 여러 연구자에 의해서 광범위하게 연구되었다<sup>55,74~76)</sup>. 보리 배유 세포벽의  $\beta$ -glucan은 추출 및 정제과정 중에

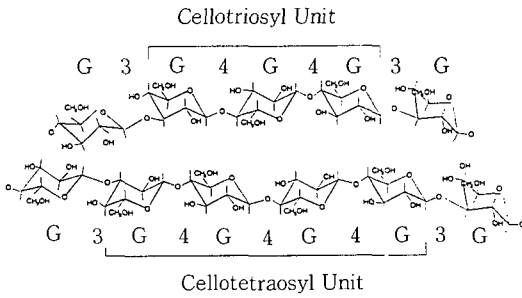


Fig. 1. Main structural units of mixed-linked (1→3), (1→4)-β-D-glucans: G=β-glucopyranosyl unit, 4=(1→4)-linkage, 3=(1→3)-linkage.

약간의 오염된 다른 성분들을 포함하게 된다. 40℃ 수용성 추출물로부터 정제한 β-glucan의 단당류를 분석한 결과에 의하면<sup>75)</sup> 회수한 당의 약 98%가 글루코오스였으며 약간의 아라비노스(arabinose)와 자일로오스(xylose) 그리고 극소량의 만노오스, 갈락토오스도 존재하였다(표 2). β-Glucan은 약간의 질소와 아세틸기도 포함하였다. 한편 65℃에서 추출한 수용성 β-glucan은 40℃에서 추출한 β-glucan에 비해 아라비노오스와 자일로오스가 없었으며 uronic acid 함량

이 훨씬 높은 것으로 분석되었다<sup>76)</sup>.

## 2) β-Glucan의 분리 및 정제

세포벽 구성물질들은 여러가지 용매로 추출할 수 있는데 물추출이 가장 일반적인 방법이며 알칼리<sup>12,64)</sup>나 산용액<sup>22)</sup>을 사용하여 추출하기도 한다. 세포벽 물질을 추출하기에 앞서 보통 뜨거운 80% 에탄올로 원료를 전처리함으로써 효소를 불활성화시키고 가용성 당을 제거시키지만<sup>30,49)</sup> 반면에 이는 β-glucan의 추출량을 감소시킬 수 있다는 단점이 있다.

β-Glucan은 배양세포벽과 호분층 세포벽에 여러가지 형태로 존재하기 때문에 물추출에 의해 모든 β-glucan을 제거하지 못하기 쉽다. 일부는 물에 자유롭게 추출되어 나오지만 그 이상의 분획은 높은 온도조건이나 약알칼리<sup>24,49)</sup>에서 용해되어 나오기 때문이다. 뒤에 추출되어 나오는 β-glucan 분획은 (1→4)-β-oligoglucoside 부분이 보다 더 길거나 더 많이 포함되는 화학적 특징을 가지고 있다. 이들은 아마 분자크기가 더 큰 탄수화물 고분자이거나 β-glucan 다당류가 단백질 혹은 기타 물질들과 결합하고 있는 복합체인 것으로 여겨진다<sup>9)</sup>. 추출된 β-glucan은 다양한 크기의 분자량을

Table 2. Composition of barley β-glucans<sup>75)</sup>

Composition(units)	Source	
	Clipper*	Commercial**
Monosaccharides(%w/w)		
Glucose	98.3	97.9
Arabinose	1.1	1.3
Xylose	0.6	0.8
Mannose	trace	trace
Galactose	trace	trace
Linkage positions(%mol/mol)		
(1→3)-glucosyl	28	30
(1→4)-glucosyl	72	70
Terminal glucosyl	trace	trace
Nitrogen(%w/w)	0.18	0.22
Protein(% nitrogen × 6.25)	1.2	1.4
Ash(%w/w)	1	1
Uronic acid(%w/w)	<0.1	<0.1

\* Experimentally prepared β-glucan

\*\* Commercial β-glucan; Biocon (Australia) Pty. Ltd.

가지게 되며 일반적으로 분자크기가 클수록 추출 하기가 더 힘들다.

보리의 물추출물은  $\beta$ -glucan 뿐만 아니라 arabinoxylan, 전분, 단백질 등을 포함하게 된다. 대부분의  $\beta$ -glucan 분리방법으로는 알코올(alcohol), 아세톤(acetone), 또는 ammonium sulfate를 사용하여 침전시킨다. 미정제된  $\beta$ -glucan 추출물로부터 순수한  $\beta$ -glucan을 얻기위해서 다양한 정제방법이 사용되어져 왔으며 가장 성공적이고 일반적으로 적용할 수 있는 방법은 20~30% ammonium sulfate로  $\beta$ -glucan을 선택적으로 침전<sup>48,49)</sup>시키는 것이었다. Ammonium sulfate와 아세톤을 번갈아 사용하여 정제과정을 더 진행시킬 수 있으며<sup>18)</sup> 전분질은  $\alpha$ -amylase를 사용하여 제거하기도 한다<sup>74)</sup>. 보리  $\beta$ -glucan을 알칼리 추출법에 의해 미정제된 형태로 추출한 후 선택적인 침전법과 효소처리에 의해 정제하는 과

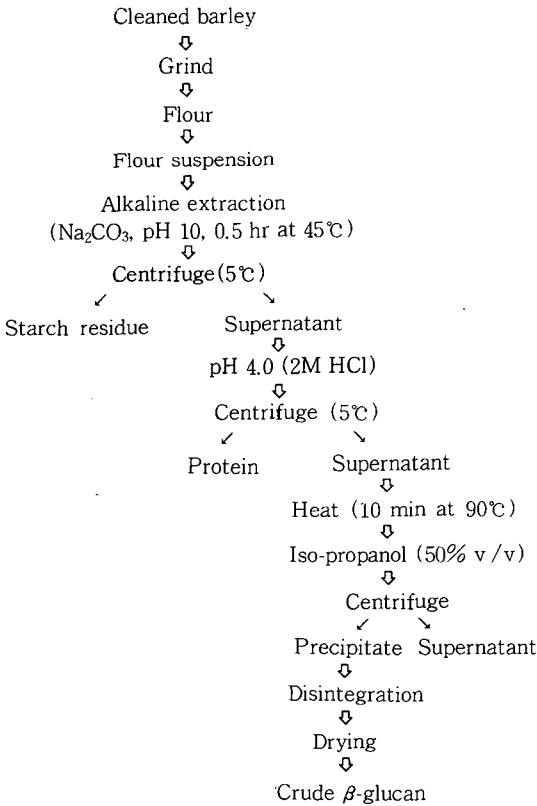


Fig. 2. Summary of  $\beta$ -glucan extraction<sup>37)</sup>.

정이 그림 2, 3에 요약되어 있다.

### 3) $\beta$ -Glucan의 구조적 특성

(1→3),(1→4)- $\beta$ -D-glucan endohydrolase ( $\beta$

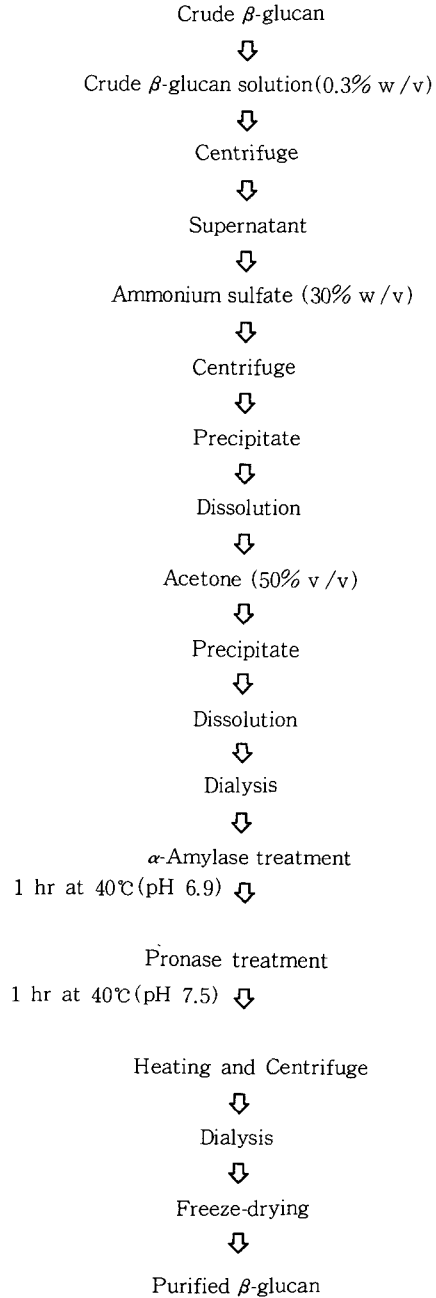


Fig. 3. Summary of  $\beta$ -glucan purification<sup>37)</sup>.

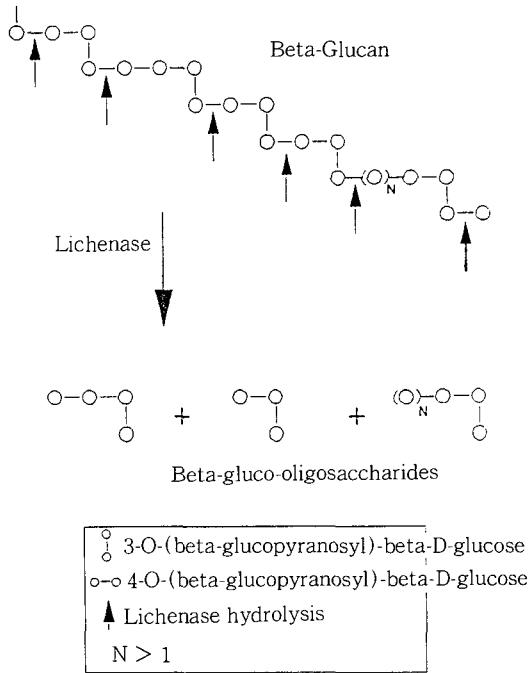


Fig. 4. Enzymatic hydrolysis and oligomeric products of  $\beta$ -glucan.

-glucanase 혹은 lichenase)가  $\beta$ -glucan의 구조적 특성을 규명하는데 사용되며<sup>22,65,71,75</sup>  $\beta$ -glucan glycosyl unit의 3번째(O-3) 위치가  $\beta$ -(1 $\rightarrow$ 3)-결합으로 되어 있는 glucosyl unit의  $\beta$ -(1 $\rightarrow$ 4)-결합을 가수분해한다(그림 4). 효소에 의해 분해된 소당류 산물(oligomeric products)은 gel filtration chromatography(GFC)<sup>22,71,75,76</sup>와 HPLC<sup>65,68</sup>에 의해 분리되었다. Lichenase 효소에 의해 분해되어 나온 trisaccharide와 tetrasaccharide는 (1 $\rightarrow$ 3)-결합에 의해 분리, 구분되어지는 cellotriosyl 잔기(3-O- $\beta$ -cellobiosyl-D-glucose)와 cellotetraosyl 잔기(3-O- $\beta$ -cellotriosyl-D-glucose)로서 보리 배유  $\beta$ -glucan의 약 90%(w/w)를 차지했으며 상당한 양( $\sim$ 10%)의 큰 block의 (1 $\rightarrow$ 4)-결합 glycosyl unit(DP 5-11)도 함께 구성되어 있다<sup>22,75</sup>. Cellotriosyl 잔기와 cellotetraosyl 잔기안에 있는 glycosyl unit의 배열은 규칙적이지만  $\beta$ -glucan 다당류 사슬내에서의 cellotriosyl과 cellotetraosyl block

은 임의적으로 배열되어 있다<sup>55</sup>.

소당류와 다당류를 구성하고 있는 기본단위인 다당류 사이를 연결하는 결합의 위치(linkage position)를 결정하기 위한 방법으로 methylation 분석<sup>17,28</sup>이 광범위하게 사용된다. Methylation 분석에 의하면 대부분의 수용성 보리  $\beta$ -glucan은 대략 30%의 (1 $\rightarrow$ 3)-결합과 70%의 (1 $\rightarrow$ 4)-결합을 가지고 있다<sup>8,28</sup>. Carbon-13 nuclear magnetic resonance(<sup>13</sup>C-NMR) spectra 역시 다당류의 구조적인 정보를 자세하게 제공해 줄 수 있다<sup>13,19,65</sup>. 귀리, 보리, lichenin(Iceland moss)으로부터 얻은  $\beta$ -glucan의 (1 $\rightarrow$ 4)-결합과 (1 $\rightarrow$ 3)-결합의 비는 평균 2.4~2.5인 것으로 <sup>13</sup>C-NMR spectra에 의해 평가되었다<sup>19</sup>.

$\beta$ -Glucan의 미세구조는 추출조건에 따른 영향을 받는다. 65 $^{\circ}$ C에서 추출한 보리 배유  $\beta$ -glucan은 40 $^{\circ}$ C에서 추출한 것보다 (1 $\rightarrow$ 3)- $\beta$ -glucosyl unit이 더 많았으며 cellotriosyl/cellotetraosyl 잔기의 비율이 65 $^{\circ}$ C에서 더 높게 나타났다<sup>76</sup>.

한편 귀리로부터 추출한  $\beta$ -glucan은  $\beta$ -(1 $\rightarrow$ 4)와  $\beta$ -(1 $\rightarrow$ 3)-결합 glucosyl unit의 비율이 약 3:1로 구성되어 있으며<sup>5,29</sup> lichenase처리에 의해 귀리  $\beta$ -glucan으로부터 분리된 소당류 산물들은 보리에서와 비슷한 것으로 보고되었다<sup>65</sup>. 귀리  $\beta$ -glucan은 대부분이 cellotriosyl과 cellotetraosyl 잔기이며 약간의 긴 (1 $\rightarrow$ 4)-결합도 포함되어 있으며 연쇄적인 (1 $\rightarrow$ 3)-결합은 발견되지 않았다.  $\beta$ -glucan의 trisaccharide(cellotriosyl 잔기)와 tetrasaccharide(cellotetraosyl 잔기)의 비율에 있어서는 귀리브랜(oat bran), 호울그로우트(whole groats), 혹은 여러 귀리품종들간에 큰 차이가 나타나지 않았다. 그러나 귀리는 타곡류  $\beta$ -glucan과는 차이가 있어 귀리의 tri-와 tetrasaccharide의 비율이 2.1로 나타나 보리의 3.2, 밀의 3.5보다 낮았다<sup>65,70</sup>.

보리와 귀리  $\beta$ -glucan은 다른 화학적 구성물질들과 관련되어 있으나  $\beta$ -glucan과 다른 세포벽 구성물 사이의 화학적 결합은 아직 확실하게 밝혀져 있지 않다. 배유  $\beta$ -glucan은 아마 단백질과 공유결합되어 있거나<sup>26</sup> 세포벽내의 비탄수화물 구성체와 연관되어 있다<sup>76</sup>. 또한 귀리 호분층의  $\beta$

-glucan에서 전하그룹(charge group)이 관련되어 있다고 제시된<sup>61)</sup> 바 있다. (1→3),(1→4)-β-D-glucan 내의 상대적으로 길게 β-(1→4)-결합된 부분은 다른 β-glucan 분자의 상대적으로 길게 β-(1→4)-결합된 부분이나 arabinoxylyan의 치환되지 않은 부분, 혹은 cellulose와 비공유 상호작용을 용이하게 한다. 세포벽 성분들의 화학적 구조와 세포벽 구성물질 사이의 상호관계는 중요하며 이는 인체내에서 물리화학적 특성에 영향을 미칠 수 있다.

β-Glucan은 분자 크기가 다양한 다당류의 커다란 집합체로서 β-glucan의 분자량은 많은 연구자에 의해 보고되었으며 추출, 정제 및 분석방법에 따라 상당한 차이를 보인다. 분자량은 osmotic pressure measurement, sedimentation and diffusion coefficients, end group analysis, 그리고 gel filtration chromatography(GFC)에 의해 결정할 수 있다. 겔여과크로마토그래프에 의해 분자량 분포를 측정된 결과 β-glucan은 대략 10<sup>5</sup>에서 10<sup>7</sup> Da 사이(그림 5)인 것으로 보고<sup>26,73)</sup>된 바 있다. β-Glucan은 추출온도가 높아질수록(30~65℃) 분자량이 증가한다<sup>1)</sup>고 하였다. Wood 등<sup>66)</sup>은 최근에 보리, 귀리, 호밀로 부터 β-glucan을 추출하여 size exclusion chromatography(SE-C)에 의해 분자량을 측정된 결과 귀리 β-glucan이 분자량이 가장 높았고(3,000 kDa) 다음으로 보리(2,140 kDa) 호밀(1,130 kDa)의 순이었다. 보리는 또한 품종별로 β-glucan의 분자량에 있어 차이가 있었다.

보리 β-glucan은 수용액에서 지렁이 같은 구성(worm-like conformation)을 하여 상대적으로 유연한 구조를 가지고 있다. 이는 완전히 펼쳐진 리본 모양으로 존재하는 (1→4)-β-D-glucan(cellulose)과 차이를 보인다. 보리 β-glucan의 (1→4)-결합 부위들 사이에는 부분적으로 intermolecular 수소결합을 하고 있는 것으로 간주되는 반면 (1→3)-결합부위의 존재는 intermolecular 회합을 방해하여 β-glucan의 용해성과 다소 관련되어 있다<sup>14,72)</sup>.

#### 4) β-Glucan의 유동 특성

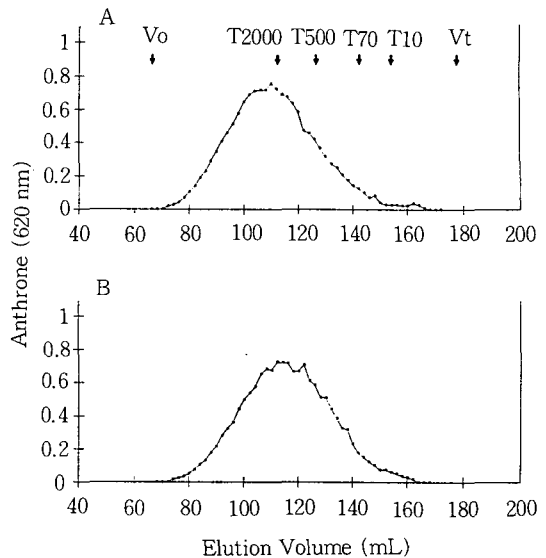


Fig. 5. Molecular weight distribution of β-glucan: A, experimentally isolated β-glucan(Wanubet); B, commercial β-glucan<sup>37)</sup>.

곡류 β-glucan은 수용액에서 높은 점성을 나타내며 이는 고분자량인 β-glucan의 비대칭성과 (1→4)-결합으로 되어 있는 부위 사이의 intermolecular 상호작용에 기인할 수 있다. β-Glucan의 리올로지 특성에 관해서 귀리 β-glucan<sup>6, 21,68)</sup>과 쌀보리 β-glucan<sup>37)</sup>의 유동특성이 조사된 바 있다. Autio<sup>61)</sup>가 추출한 귀리 검물질(oat gum)은 80% β-glucan으로 분자량이 2,000 kDa이었으며 이<sup>37)</sup>는 >95%의 β-glucan으로 정제된 β-glucan을 준비하였으며 이는 2,000 kDa을 초과하는 분자량을 가졌다. β-Glucan 용액은 전단속도(shear rate)에 따라 점도(viscosity)가 감소하는 비가소성 유동특성(pseudoplastic flow behavior)을 지녔으며 power law가 유동특성을 묘사하는데 적합하게 나타났다. β-Glucan 농도가 높아질수록 점조도지수(consistency index)는 증가하였으며 유동특성지수(flow behavior index)는 감소하는 것으로 보고되었다<sup>6,37)</sup>. β-Glucan의 유동특성은 그밖에 온도, pH, 분자량, 이온강도 등에 의해 영향을 받는 것으로 나타났다.

### 3. 보리, 귀리 $\beta$ -Glucan의 생리적 기능

#### 1) 보리, 귀리의 콜레스테롤 저하 효과

콜레스테롤은 인체내에서 탄수화물 대사, 비타민 합성, 성호르몬 합성, 혈액순환조절 등 중요한 작용을 하는 물질이지만 과다하게 생성되거나 섭취되어 체내에 콜레스테롤 함량이 높으면 동맥경화를 비롯한 심장질환, 고혈압, 당뇨병 등의 성인병을 유발시키게 된다. 현대인의 성인병에는 식이요법이 중요하여 포화지방산이나 콜레스테롤이 많은 음식을 피하고 식이섬유소가 풍부한 음식을 많이 섭취함으로써 혈관이나 간의 콜레스테롤 함량을 줄이고 고혈압 등 성인병을 예방할 수 있다. 최근에 보리와 귀리를 섭취함으로써 콜레스테롤을 저하시킨다는 연구가 많이 보고되고 있으며 이들의 섭취는 간의 콜레스테롤 생합성을 저해함은 물론 음식물로 섭취된 포화지방산 등을 흡착 배설시킴으로써 콜레스테롤의 축적을 억제시키는 효과가 있다.

보리와 귀리의 콜레스테롤 저하효과는 실험동물과 사람을 대상으로 하여 많이 연구되어져 왔다. 보리의  $\beta$ -glucan 중 수용성 부분이 체내에서 생리적으로 중요한 인자인데 수용성 부분은 점질성이 높아 콜레스테롤을 저하시키는 효과와 연관되어 있기 때문이다. 수용성  $\beta$ -glucan은 병아리<sup>23)</sup>, 쥐<sup>52~54)</sup>, 그리고 사람<sup>20,44~46)</sup>에게 있어 콜레스테롤을 저하시키는 효과와 관련이 있었다. 여러가지 곡류로부터 추출, 정제한  $\beta$ -glucan을 빵에 첨가하여 쥐에게 먹었을 때 혈중 콜레스테롤의 저하를 초래하였으며<sup>35)</sup> 쌀보리로부터 추출한  $\beta$ -glucan이 풍부한 분획을 병아리에 먹었을 경우 옥수수에 비해 36%의 혈중 콜레스테롤을 감소시키는 것<sup>13)</sup>으로 보고되었다.

인체와 관련해서는 귀리  $\beta$ -glucan이 최초로 체내의 혈중 콜레스테롤과 LDL-콜레스테롤 농도를 낮추고 HDL-콜레스테롤 농도를 높일 수 있는 것으로 보고<sup>4,33)</sup>되었다. 동물에게 있어서는 보리섭취가 영양적으로 부정적인 효과를 주는데 이는  $\beta$ -

-glucan에 의해 지방질의 소화기능이 떨어지는데 다소 기인하기 때문이다. 그러나 이러한 효과는 사람에게는 유익하게 작용할 수 있으며 보리  $\beta$ -glucan이 인체영양에 미치는 효과에 대한 연구가 활발히 진행중이다. 사람에게 보리를 사용하여 조사한 결과에 의하면 밀을 섭취한 그룹에 비해서 보리를 섭취한 그룹에서 혈중 콜레스테롤 함량이 현저하게 줄어들었다(표 3)<sup>44,45)</sup>.

실험동물 혹은 인체내에서 혈중 콜레스테롤 저하효과를 보이는 물질로는  $\beta$ -glucan이외에도 여러가지가 있다. 지용성 성분인  $\alpha$ -tocotrienol과  $\alpha$ -linolenic acid가 간에서 콜레스테롤 합성을 억제함으로써 인체의 혈중 콜레스테롤 농도를 감소시킨다고 알려져 있다. 보리는 토코페롤(tocopherols)을 함유하는데  $\alpha$ -D-tocotrienol( $\alpha$ -T-3)이 실험동물의 간에서 콜레스테롤 합성의 억제제(inhibitor)로서 작용하여 콜레스테롤 합성의 속도제한효소(rate limiting enzyme)인 hydroxymethylglutaryl-CoA(HMG-CoA) reductase를 억제한다<sup>51)</sup>고 하였다. 보리지방을 어린 암돼지에 먹었을 때 혈중 콜레스테롤을 감소시켰으며 HMG-CoA reductase 활성을 40% 감소시켰다. Wang 등<sup>62)</sup>은 보리 9품종에서  $\alpha$ -T-3 수준은 100g 당 0.96~1.73mg 범위인 것으로 보고한 바 있다. 보리지방의 두번째 콜레스테롤 억제제는  $\alpha$ -linoleic acid인데 Qureshi 등<sup>51)</sup>에 의해 분리되었으며 총 지방산의 약 5%를 차지하는 아주 미량으로 존재한다. 보리지방의 약 8%를 차지하고 있으며 비누화되지 않는 성분(non-saponifiable component)인 보리의 carotenoids, tocopherols, 그리고 is-

Table 3. Effect of barley compared to wheat on serum lipids of men after 28 days<sup>44)</sup>

	Serum lipids(mg /dl)			
	Wheat		Barley	
	Pre	Post	Pre	Post
Cholesterol	176	198	179	173
Low density lipoproteins	119	133	120	114
High density lipoproteins	37	43	32	34
Triglycerides	101	109	132	129



oprenoid products는 최근 건강에 유익하게 작용하는 특성이 있는 성분들로 관심을 끌고 있다.

## 2) $\beta$ -Glucan의 생리활성 작용

식생활이 서구화 되고 다양화 됨에 따라서 생리적, 기능적 측면에서 식이섬유는 중요하게 평가받고 있으며, 최근 기능성 식품에 대한 관심이 증가함에 따라 기능성 성분으로서의 식이섬유의 역할에 대한 기대는 더욱 높아지고 있는 실정이다. 식이섬유는 각종 곡류, 두류, 과채류, 해조류에 많이 존재하고 있으며 특히 최근 기능성 식품 소재로서 광범위하게 사용되고 있는 검류(gums)도 이에 해당된다. 식이섬유는 인간의 식이에 중요하며 생리학적인 의미로 인간의 소화효소로 소화되지 않는 식물성 물질과 리그닌(lignin)으로 정의되며<sup>59)</sup>, 화학적 의미로 리그닌과 비전분 다당류(non-starch polysaccharides)로 정의할 수 있다<sup>58)</sup>.

식이섬유는 일반적으로 용해성에 의해 분류되며, 셀룰로오스, 불용성 헤미셀룰로오스(insoluble hemicellulose), 리그닌(lignin) 등과 같은 물에 녹지 않는 불용성 식이섬유와 펙틴(pectin), 검류(gums), 가용성 헤미셀룰로오스(soluble hemicellulose), 가용성  $\beta$ -glucan과 같은 수용성 식이섬유소가 있다. 최근 변비, 비만증, 당뇨병, 고혈압, 대장암 등의 발병은 식이섬유의 섭취와 관련이 있다고 보고된 바 있다. 특히 수용성 식이섬유는 체내 혈중 콜레스테롤을 강하시키는 효과가 있는 것으로 잘 알려져 있으며 보리와 귀리는 대표적으로  $\beta$ -glucan이라는 수용성 식이섬유를 포함한다.

식이섬유의 물리화학적 특성은 용해성에 따라 작용기작에 차이를 나타내는데 불용성 식이섬유의 경우 수분흡착능력이 주요한 작용기작인 반면에 수용성 식이섬유는 용해되어 점도가 높은 젤상의 물질을 형성하기 때문에 결과적으로 각각 다른 생리특성을 제공한다. 수용성 식이섬유에 의하여 형성된 3차원 구조의 젤은 섭취된 식품의 통과를 지연시키고 포도당의 흡수를 저해하며, 특히 혈중의 콜레스테롤 함량을 저하시키는 역할을 하는 것으로 밝혀진 바 있어 동물의 혈장 콜레스테롤 저

하에 수용성 식이섬유소의 점도가 중요하다는 것이 보고되었다.

가용성 섬유소의 콜레스테롤 저하효과에 대해 제시된 몇가지 작용기전<sup>34,46)</sup>에 의하면 점성질의 가용성 섬유소가 인체내 소화기관에서 콜레스테롤과 담즙산을 물리적으로 감싸 배설함으로써 흡수를 방지할 수 있다고 하였으며  $\beta$ -glucan의 콜레스테롤 저하효과는 아마 담즙염과 식이 콜레스테롤을 포함하는 지질의 대변 배설량이 증가하는 것과 연관된다<sup>3)</sup>. 또한  $\beta$ -glucan은 대장에서 대장균에 의해 단쇄지방산(short-chain fatty acids)으로 분해되는데 이들 단쇄지방산이 간에서의 콜레스테롤 합성을 억제하는 것으로 설명되었다.  $\beta$ -Glucan의 세균 발효에 의한 결과 생성된 단쇄지방산 특히 butyric acid의 대장내 증가는 인간의 대장암에 대한 보호효과를 가질 수 있다<sup>34)</sup>.

콜레스테롤 저하 효과에 영향을 주는  $\beta$ -glucan의 특성을 결정하기 위해 쌀보리로부터 추출한  $\beta$ -glucan의 구조를 살펴본 결과<sup>13)</sup> 병아리에게 나타난 콜레스테롤 저하효과는  $\beta$ -glucan의 함량과 분자량의 기능에 의해 야기된 점질성 조건에 기인하는 것으로 나타났다. 점도 효과와 비슷하게  $\beta$ -glucan은 작은창자내에서 전분, 단백질, 지질과 같은 영양분을 둘러싸 영양소의 가수분해와 흡수를 막아주는 물리적 방패체로서 작용한다. 알곡을 분쇄하거나 가공하면 이러한 물리적 효과는 감소하나 대부분이 크게 영향을 받지 않는다. 보리의 가공은 또한  $\beta$ -glucan의 가용성에 영향을 미치는 것으로 나타났는데<sup>41)</sup> 이는 소화기관에서 생리적 효과에 영향을 줄 수 있다.

$\beta$ -Glucan은 콜레스테롤 저하효과와 잠재적인 암예방 효과 뿐만 아니라 혈중 포도당 농도를 조절하는데 아마 유용하게 작용하여 glucose 반응을 낮추는 것으로 나타났다. 그러나  $\beta$ -glucan은 무기질과 비타민의 흡수를 방해할 수 있는 부정적인 영양효과를 가지고 있기도 하다<sup>34)</sup>. 수용성 및 불용성  $\beta$ -glucan은 소화기관 윗부분에서 독성물질이나 미생물을 흡착하거나 서로 반응할 수 있다<sup>3)</sup>. 이러한 효과는 대장에서 줄어드는데 대장에서는  $\beta$ -glucan이 미생물에 의해 급속히 발효되기

때문이다. Aman and Graham<sup>3)</sup>에 의하면  $\beta$ -glucan의 인체내 영양생리적인 효과는  $\beta$ -glucan이 가지고 있는 이화학적 특성에 의한 기능이며 이는  $\beta$ -glucan의 섭취량과 전처리에 관련되어 있을 뿐만 아니라 다른 식이성분들과의 상호관계에 따라 결정될 수 있다고 하였다.

#### 4. $\beta$ -Glucan의 활용

우리나라의 경지 이용율은 1965년 158%에서 1992년 108%로 급속히 감소하고 있는데 그 주원인은 동계작물로서의 맥류재배 면적이 1965년 83만 정보에서 1992년 10만 정보로 급격히 감소한 데 있다고 하겠다. 현재의 식량작물이 국제경쟁력에서 열위를 면치 못하고 있는 가장 큰 이유 중의 하나가 외국에 비해 5~6배 높은 생산비에 있는 상황에서 경지이용율의 감소현상은 토지생산성을 더욱 저하시켜 생산비를 높이는 결과를 초래하고 있다. 이런 점에서 월동작물로서 대체작목이 없는 한 맥류재배는 국가나 농가 경제면에서 볼 때 불가피한데 이를 위해서는 생산물에 대한 이용성을 보다 개발 확대시켜야 한다. 국내산 맥류작물의 생산, 소비를 촉진하여 농가와 국가의 경제를 발전시키고자 맥류의 생산, 가공, 유통 등 모든 분야의 연구를 하여야 하며, 가장 큰 비중을 두어야 할 것은 경제순위에 맞는 새 수요의 창출을 위해 적절한 이용방법의 모색이 절실히 요구되고 있다.

성인병 예방효과가 있는 귀리와 보리  $\beta$ -glucan의 효율적인 활용을 위해  $\beta$ -glucan 함량이 높은 품종들을 선발하거나 육종하여야 하며 혹은 제분 기술에 의해  $\beta$ -glucan 함량이 높은 보리가루 제분분획을 생산해 낼 수 있는 방안이 요구되고 있다.  $\beta$ -Glucan 함량이 높은 중간소재를 식이섬유소가 강화된 식품이나 식품첨가제로 응용하기 위하여 정제된  $\beta$ -glucan이나  $\beta$ -glucan이 농축된 곡분의 대량생산에 관심이 모아지고 있다. 귀리나 보리의 섬유소 추출물은 추출 및 침전방법에 의해  $\beta$ -glucan 함량이 높고 정제되어 순도가 높은 정제  $\beta$ -glucan으로 제조될 수 있지만 이 방법은 비용이 많이 소요되는 단점이 있다. 따라서 건조제

분(dry milling) 방법에 의해서  $\beta$ -glucan이 농축된 제분분획을 경제적으로 제조 생산할 수 있다.

보리가루의  $\beta$ -glucan을 농축하기 위해 pin milling과 기류분급(air classification)에 의한 제분공정이 제시된 바 있으며 최근에 보리와 귀리로부터  $\beta$ -glucan이 2~3배 이상 농축된 분획을 얻었다.<sup>36,67,77,78)</sup> 귀리브랜으로부터  $\beta$ -glucan이 높은 검물질의 생산방법이 Wood 등<sup>68)</sup>에 의해 개발되었다.

$\beta$ -Glucan은 수용액 상태에서 점도가 높기 때문에 식품검류(food gum)로 사용하여 식품에 원하는 기능적 특성을 부여할 수 있다. Food gum으로서 잠재성을 평가하기 위한  $\beta$ -glucan의 유동특성에 관해서 이미 설명한 바와 같이 곡류  $\beta$ -glucan 용액은 점도가 높기 때문에 식품첨가시 증점제(thickening agent)로서 상업적 가치를 가지고 있는 것으로 제시되었다.<sup>6,21)</sup> 보리나 귀리  $\beta$ -glucan을 섭취할 때 생리적인 반응은 점도에 의존하는 것으로 실제로 식후 혈중 포도당과 인슐린의 증가는 점도와 역비례하는 것으로 나타났다.<sup>70)</sup>  $\beta$ -Glucan은 아마 사람이 섭취시에는 효과적인 hypoglycemic 그리고 hypocholesterolemic agent로 이용될 수 있다.<sup>46)</sup>  $\beta$ -Glucan이 풍부한 오프씨리얼(oat cereal)이 고콜레스테롤 환자를 위한 식이요법으로 연구된<sup>20)</sup> 바 있다.

수많은 연구들에 의해 보리 및 귀리  $\beta$ -glucan은 고콜레스테롤증인 사람의 혈중 콜레스테롤을 저하시킬 수 있어 의약품과 건강식품산업에 잠재적으로 응용할 수 있을 것으로 사료된다.

#### 5. 맺는 말

보리와 귀리의  $\beta$ -glucan은 영양생리적으로 중요한 역할을 하는 고분자 점질성인 식이섬유로서 음식물로 섭취시 인체내 콜레스테롤 수치를 저하시켜 준다. 보리와 귀리의  $\beta$ -glucan은 고콜레스테롤증 환자들의 콜레스테롤 수치를 조절할 수 있는 치료제로서 매우 유용하게 쓰여질 수 있다. 질병의 치료와 예방차원의 기능성 인자로서  $\beta$ -glucan은 분자량, 결합의 위치 및 비율(linkage po-

sition and ratio), 그리고 올리고당 산물 (oligomeric products)과 같은 구조적 차이에 의해 생리적 특성에 영향을 줄 뿐만 아니라 물리적 성질 및 유동성질(flow behavior)에 영향을 미칠 수 있다. 따라서  $\beta$ -glucan을 식품소재화할 경우 일반적인 영양학적 효과뿐만 아니라 기능적 특성과의 관계를 규명하여 제품개발에 적용해야 한다.

보리, 귀리는 각종 성인병을 예방, 치료할 수 있는 생리활성물질들이 풍부하여 건강기능식으로 식품학적 가치가 매우 높을 뿐만 아니라 재배에 따른 환경조건 측면에서도 절대적으로 필요한 유용작물이다. 특히 보리는 예로부터 우리 국민에게 쌀 다음가는 중요한 주곡작물로서 대단한 비중을 차지해 왔으나 국민의 식량소비구조가 변화함에 따라 최근 수년동안 급격한 소비 감소를 보이고 있어 적절한 소비방안이 마련되어야 소비의 감소에 따른 재배기피현상을 줄일 수 있다. 국내 잠재 생산 가능성이 높으나 생산량이 줄고 있는 작물로부터 성인병을 예방할 수 있는 천연생리활성물질 소재들을 활용하여 고부가가치화 할 수 있는 기술을 개발하여야 한다.

## 참고문헌

- Ahluwalia, B. and E. E. Ellis. 1985. Studies of beta-glucan in barley, malt and endosperm cell walls. Pages 285-290. in: New Approach to Research on Cereal Carbohydrates. R. D. Hills and L. Munck, eds. Elsevier Science Publishers:Amsterdam.
- Åman, P. and H. Graham. 1987a. Analysis of total and insoluble mixed-linked (1 $\rightarrow$ 3),(1 $\rightarrow$ 4)- $\beta$ -glucans in barley and oats. J. Agric. Food Chem. 35(5):704-709.
- \_\_\_\_\_ and \_\_\_\_\_. 1987b. Mixed-linked beta-(1 $\rightarrow$ 3),(1 $\rightarrow$ 4)-D-glucans in the cell walls of barley and oats- chemistry and nutrition. Scand. J. Gastroenterol. 22:42-51.
- Anderson, J. W., L. Story, B. Sieling, W. L. Chen, M. S. Petro and J. Story. 1984. Hypercholesterolemic effects of oat-bran or bran intake for hypercholesterolemic men. Am. J. Clin. Nutr. 40:1146
- Aspinall, G. O. and R. C. Carpenter. 1984. Structural investigations on the nonstarch polysaccharides of oat bran. Carbohydr. Poly. 4:271.
- Autio, K., O. Myllymäki and Y. Mälkki. 1987. Flow properties of solutions of oat beta-glucans. J. Food Sci. 52(5):1364-1366.
- Bacic, A. and B. A. Stone. 1981. Chemistry and organization of aleurone cell wall components from wheat and barley. Aust. J. Plant Physiol. 8:475.
- Ballance, G. M. 1985. Purification of a specific endo-beta-glucanase from *Bacillus subtilis* for beta-glucan quantification. Cereal Chem. 62:148.
- \_\_\_\_\_ and D. J. Manners. 1978. Structural analysis and enzymic solubilization of barley endosperm cell-walls. Carbohydr. Res. 61:107-118.
- Bamforth, C. W. 1982. Barley  $\beta$ -glucans -The role in malting and brewing. Brewer's Digest. June:22.
- \_\_\_\_\_. 1985. Biochemical approaches to beer quality. J. Inst. Brew. 91: 154.
- Bathgate, G. N. and C. E. Dalglish. 1974. The diversity of barley and malt beta-glucans. Proc. Am. Soc. Brew. Chem. 33:32-36.
- Bengtsson, S., P. Åman and H. Graham. 1990. Chemical studies on mixed-linked  $\beta$ -glucans in hullless barley cultivars giving different hypocholesterolaemic responses in chickens. J. Sci. Food Agric. 52:435.

14. Bourne, D. T. and R. E. Wheeler. 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.
15. Buliga, G. S., D. A. Brant and G. B. Fincher. 1986. The sequence statistics and solution conformation of a barley (1→3), (1→4)- $\beta$ -D-glucan. *Carbohydr. Res.* 157:139.
16. Campbell, G. L. and M. R. Bedford. 1992. Enzymatic applications for monogastric feeds: A review. *Can. J. Anim. Sci.* 72:449.
17. Carpita, N. C. and E. M. Shea. 1989. Linkage structure of carbohydrates by gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS) of partially methylated alditol acetates. pages 157-216 in: *Analysis of Carbohydrates by GLC and MS*. C. J. Biermann and G. D. McGinnis, eds, CRC Press, Inc., Boca Raton, Fla.
18. Clarke, A. E. and B. A. Stone. 1966. Enzymatic hydrolysis of barley and other beta-glucans by a beta-(1→4)-glucan hydrolase. *Biochem. J.* 99:582-588.
19. Dais, P. and A. S. Perlin. 1982. High-field,  $^{13}\text{C}$ -NMR spectroscopy of beta-D-glucans, amylopectin, and glycogen. *Carbohydr. Res.* 100:103-116.
20. Davidson, M. H., L. D. Dugan, J. H. Burns, J. Bova, K. Story and K. B. Drennan. 1991. The hypocholesterolemic effects of  $\beta$ -glucan in oat meal and oat bran - A dose-controlled study. *JAMA.* 265(14):1833.
21. Doublier, J. and P. J. Wood. 1995. Rheological properties of aqueous solutions of (1→3), (1→4)- $\beta$ -D-glucan from oats (*Avena sativa* L.). *Cereal Chem.* 72(4):335-340.
22. Edney, M. J., B. A. Marchylo and A. W. MacGregor. 1991. Structure of total barley  $\beta$ -glucan. *J. Inst. Brew.* 97:39-44
23. Fadel, J. G., R. K. Newman, C. W. Newman and A. E. Barnes. 1987. Hypocholesterolemic effects of  $\beta$ -glucans in different barley diets fed to broiler chicks. *Nutr. Rep. Int.* 35:1049.
24. Fincher, G. B. 1975. Morphology and chemical composition of barley endosperm cell walls. *J. Inst. Brew.* 81:116-122.
25. \_\_\_\_\_, and B. A. Stone. 1986. Cell walls and their components in cereal grain technology, p 207-295 in: *Advances in Cereal Sci. and Technol.* Vol. VIII. Y. Pomeranz, ed. Am. Assoc. Cereal Chem. St. Paul, Minnesota.
26. Forrest, I. S. and T. Wainwright. 1977. The mode of binding of  $\beta$ -glucans extracted from barley at different temperatures. *Carbohydr. Res.* 83:279.
27. Gallaher, D. D., C. A. Hassel, K. J. Lee and C. A. Gallaher. 1993. Viscosity and fermentability as attributes of dietary fiber responsible for the hypocholesterolemic effect in hamsters. *J. Nutr.* 123:244-253.
28. Harris, P. J., R. J. Henry, A. B. Blakeney and B. A. Stone. 1984. An improved procedure for the methylation analysis of oligosaccharides and polysaccharides. *Carbohydr. Res.* 127:59-73.
29. Heims, H. and H. Steinhart. 1991. Determination of structural features of the water-insoluble dietary fiber from oats by the reductive cleavage method. *Carbohydr. Poly.* 15:207.
30. Henry, R. J. 1984. A simplified enzymatic method for the determination of (1→3), (1→4)- $\beta$ -D-glucans in barley. *J. Inst. Brew.*

- 90:178-180.
31. \_\_\_\_\_ . 1986. Genetic and environmental variation in the pentosan and beta-glucan contents of barley, and their relation to malting quality. *J. Cereal Sci* 4:269-277.
  32. Hockett, E. A., C. F. McGuire, C. W. Newman and N. Prentice. 1987. The relationship of barley beta-glucan content to agronomic and quality characteristics. *Barley Genetics*. V:851.
  33. Kirby, R. W., J. W. Anderson, B. Sieling, E. D. Rees, W. L. Chen, R. E. Miller and R. M. Kay. 1981. Oat-bran intake selectively lowers serum low-density lipoprotein cholesterol concentrations of hypercholesterolemic men. *Am. J. Clin. Nutri.* 34:824.
  34. Klopfenstein, C. F. 1988. The role of cereal  $\beta$ -glucans in nutrition and health. *Cereal Foods World*. 33:865.
  35. \_\_\_\_\_ and R. C. Hoseney. 1987. Cholesterol lowering effect of  $\beta$ -glucan enriched bread. *Nutr. Rep. Int.* 36:1091.
  36. Knuckles, B. E., M. M. Chiu and A. A. Betschart. 1992.  $\beta$ -Glucan-enriched fractions from laboratory-scale dry milling and sieving of barley and oats. *Cereal Chem*, 69(2):198.
  37. Lee, Y. T. 1992.  $\beta$ -Glucans from hull-less barley: Isolation, chemical and rheological characterization, and utilization as a food gum. Ph.D. dissertation, North Dakota State University.
  38. \_\_\_\_\_ and C. K. Lee. 1994. Effect of varietal variation in barley on  $\beta$ -glucan and malting quality characteristics. *Korean J. Food Sci*, 26(2):172-177.
  39. Lim, H. S., P. J. White and K. J. Frey. 1992. Genotypic effects on  $\beta$ -glucan content of oat lines grown in two consecutive years. *Cereal Chem*, 69:262-265.
  40. MacGregor, A. W. and G. B. Fincher. 1993. Carbohydrates of the barley grain. Pages in: *Barley: Chemistry and Technology*. A. W. MacGregor and R. S. Bhatti, eds. Am. Assoc. Cereal Chem., St. Paul, MN.
  41. Marlett, J. A. 1991. Dietary fiber content and effect of processing on two barley varieties. *Cereal Foods World*. 36:576-578.
  42. McCleary, B. V. and M. Glennie-Holmes. 1985. Enzymatic quantification of (1 $\rightarrow$ 3), (1 $\rightarrow$ 4)- $\beta$ -D-glucan from barley and malt. *J. Inst. Brew.* 91:285.
  43. Newman, C. W. and C. F. McGuire. 1985. Nutritional quality of barley. pages 403-456 in: *Barley*. D.C. Rasmusson, ed. ASA, Inc., Madison, Wis.
  44. Newman, R. K., C. W. Newman, J. Fadel and H. Graham. 1987. Nutritional implications of beta-glucans in barley. *Barley Genetics* V:773-780.
  45. \_\_\_\_\_, S. E. Lewis, C. W. Newman, R. J. Boik and R. T. Pamage. 1989. Hypocholesterolemic effect of barley foods on healthy men. *Nutr. Rep. Int.* 39 (4):749.
  46. \_\_\_\_\_, C. W. Newman and H. Graham. 1989. The hypocholesterolemic function of barley  $\beta$ -glucans. *Cereal Foods World*. 34:883.
  47. Peterson, D. M. 1991. Genotypic and environment effects on oat beta-glucan concentration. *Crop Sci*. 31:1517-1520.
  48. Preece, I. A. and R. Hobkirk. 1953. Non-starchy polysaccharides of cereal grains. III. Higher molecular gums of common cereals. *J. Inst. Brew.* 59:385-388.
  49. \_\_\_\_\_ and K. G. Mackenzie. 1952. Non-starchy polysaccharides of cereal gr-

- ains. I. Fractionation of the barley gums. *J. Inst. Brew.* 58:353-362.
50. Prentice, N., S. Babler and S. Faber. 1980. Enzymic analysis of  $\beta$ -D-glucans in cereal grains. *Cereal Chem.* 57(3):198-202.
  51. Qureshi, A. A., W. C. Burgerm, D. M. Peterson and C. E. Elson. 1986. The structure of an inhibitor of cholesterol biosynthesis isolated from barley. *J. Bio. Chem.* 261:10544.
  52. Ranhotra, G. S., J. A. Gelroth, K. Astroth and R. S. Bhatta. 1991. Relative lipidemic responses in rats fed barley and oat flours and their fractions. *Cereal Chem.* 68:548-551.
  53. Shinnick, F. L., S. L. Ink and J. A. Marlett. 1990. Dose response to a dietary oat bran fraction in cholesterol-fed rats. *J. Nutr.* 120:561.
  54. \_\_\_\_\_, M. J. Longacre, S. L. Ink and J. A. Marlett. 1988. Oat fiber: composition versus physiological function in rats. *J. Nutr.* 118:114.
  55. Staudte, R. G., J. R. Woodward, G. B. Fincher and B. A. Stone. 1983. Water-soluble (1 $\rightarrow$ 3),(1 $\rightarrow$ 4)- $\beta$ -glucans from barley (*Hordeum vulgare*) endosperm. III. Distribution of cellotriosyl and cellotetraosyl residues. *Carbohydr. Poly.* 3:229.
  56. Stone, B. A. 1984. Noncellulosic  $\beta$ -glucans in cell walls. in: Structure, function, and biosynthesis of plant cell walls. *Am. Soc. Plant Physiol.* pp. 52-74.
  57. Stuart, I. M., L. Loi and G. B. Fincher. 1988. Varietal and environmental variations in (1 $\rightarrow$ 3),(1 $\rightarrow$ 4)- $\beta$ -glucan levels and (1 $\rightarrow$ 3),(1 $\rightarrow$ 4)- $\beta$ -glucanase potential in barley: relationships to malting quality. *J. Cereal Sci.* 7:61-71.
  58. Theander, O. and E. A. Westerlund. 1986. Studies on dietary fiber, 3. Improved procedures for analysis of dietary fiber. *J. Agric. Food Chem.* 34:330.
  59. Trowell, H. 1976. Definition of dietary fiber and hypotheses that it is a protective factor in certain diseases. *Am. J. Clin. Nutr.* 29:417-427.
  60. Ullrich, S. E., J. A. Clancy, R. F. Eslick and R. C. M. Lance. 1986. Beta-glucan content and viscosity of extracts from waxy barley. *J. Cereal Sci.* 4:279-285.
  61. VÅrum, K. M. and O. Smidsrød. 1988. Partial chemical and physical characterization of (1 $\rightarrow$ 3),(1 $\rightarrow$ 4)- $\beta$ -D-glucans from oat aleurone. *Carbohydr. Poly.* 9:103-117.
  62. Wang, L., R. K. Newman, C. W. Newman and P. Hofer. 1992. Barley  $\beta$ -glucans alter intestinal viscosity and reduce plasma cholesterol concentrations in chicks. *J. Nutr.* 122:2292-2297.
  63. Welch, R. W., J. M. Leggett and J. D. Lloyd. Variation in the kernel (1 $\rightarrow$ 3),(1 $\rightarrow$ 4)- $\beta$ -D-glucan content of oat cultivars and wild *Avena* species and its relationship to other characteristics. *J. Cereal Sci.* 13:173-178.
  64. Wood, P. J., D. Paton and I. R. Siddiqui. 1977. Determination of beta-glucan in oats and barley. *Cereal Chem.* 54(3):524-533.
  65. \_\_\_\_\_, J. Wiesz and B. A. Blackwell. 1991. Molecular characterization of cereal  $\beta$ -glucans. Structural analysis of oat  $\beta$ -D-glucan and rapid structural evaluation of  $\beta$ -D-glucans from different sources by high-performance liquid chromatography of oligosaccharides released by lichenase. *Cereal Chem.* 68:31-39.
  66. \_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_ and W. Mahn. 1991. Molecular characterization of cereal  $\beta$ -glucans. II. Size-exclusion chromatogra-

- phy for comparison of molecular weight. *Cereal Chem.* 68: 530-536.
67. \_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_ and P. Fedec. 1991. Potential for  $\beta$ -glucan enrichment in brans derived from oat (*Avena sativa* L.) cultivars of different (1 $\rightarrow$ 3), (1 $\rightarrow$ 4)- $\beta$ -D-glucan concentrations. *Cereal Chem.* 68(1):48-51.
  68. \_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_ and V. D. Burrows. 1989. Large-scale preparation and properties of oat fractions enriched in (1 $\rightarrow$ 3), (1 $\rightarrow$ 4)- $\beta$ -D-glucan. *Cereal Chem.* 66(2):97-103.
  69. \_\_\_\_\_, J. T. Braaten, F. W. Scott, K. D. Riedel, M. S. Wolynetz and M. W. Collins. 1994. Effect of dose and modification of viscous properties of oat gum on blood glucose and insulin following oral glucose load. *Brit. J. Nutr.* 72:731-743.
  70. \_\_\_\_\_, J. Wiesz and B. A. Blackwell. 1994. Structural studies of (1 $\rightarrow$ 3), (1 $\rightarrow$ 4)- $\beta$ -D-glucans by  $^{13}\text{C}$ -nuclear magnetic resonance spectroscopy and by rapid analysis of cellulose-like regions using high-performance anion-exchange chromatography of oligosaccharides released by lichenase. *Cereal Chem.* 71(3):301-307.
  71. Woodward, J. R. and G. B. Fincher. 1982a. Substrate specificities and kinetic properties of two (1 $\rightarrow$ 3), (1 $\rightarrow$ 4)- $\beta$ -D-glucans endohydrolase from germinating barley. *Carbohydr. Res.* 106:111-122.
  72. \_\_\_\_\_ and \_\_\_\_\_. 1982b. Substrate specificities and kinetic properties of two (1 $\rightarrow$ 3), (1 $\rightarrow$ 4)- $\beta$ -D-glucans endohydrolase from germinating barley. *Carbohydr. Res.* 106:111-122.
  73. \_\_\_\_\_ and \_\_\_\_\_. 1983. Water-soluble barley beta-glucans. Fine structure, solution behavior and organization in the cell wall. *Brew. Digest* 58:28-32.
  74. \_\_\_\_\_, D. R. Phillips and G. B. Fincher. 1983. Water-soluble (1 $\rightarrow$ 3), (1 $\rightarrow$ 4)- $\beta$ -glucans from barley (*Hordeum vulgare*) endosperm. I. Physicochemical properties. *Carbohydr. Poly.* 3:143-156.
  75. \_\_\_\_\_, G. B. Fincher and B. A. Stone. 1983. Water-soluble (1 $\rightarrow$ 3), (1 $\rightarrow$ 4)- $\beta$ -glucans from barley (*Hordeum vulgare*) endosperm. II. Fine structure. *Carbohydr. Poly.* 3:207-225.
  76. \_\_\_\_\_, D. R. Phillips and B. A. Stone. 1988. Water-soluble (1 $\rightarrow$ 3), (1 $\rightarrow$ 4)- $\beta$ -glucans from barley (*Hordeum vulgare*) endosperm. IV. Comparison of 40 $^{\circ}\text{C}$  and 65 $^{\circ}\text{C}$  soluble fractions. *Carbohydr. Poly.* 8:85-97.
  77. Wu, Y. V. and A. C. Stringfellow. 1995. Enriched protein- and  $\beta$ -glucan fractions from high-protein oats by air classification. *Cereal Chem.* 72(1):132-134.
  78. \_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_ and G. E. Inglett. 1994. Protein and  $\beta$ -glucan enriched fractions from high-protein, high  $\beta$ -glucan barleys by sieving and air-classification. *Cereal Chem.* 71:220-223.