

보리가루에서 분리한 β -Glucan의 생리적 기능성

오희정 · 이서래
이화여자대학교 식품영양학과

Physiological Function *in vitro* of β -Glucan Isolated from Barley

Hee-Jung Oh and Su-Rae Lee

Department of Food and Nutrition, Ewha Woman's University

Abstract

In order to prove physiological function of β -glucan isolated from barley flour by enzymatic method, *in vitro* experiments simulating the passive membrane transport of gastrointestinal tract were carried out using dialysis membrane. The yield of β -glucan from barley flour was 6.2% and its constituents were determined to give 81.6% total dietary fiber, 72.9% soluble dietary fiber, 8.7% insoluble dietary fiber, 8.5% moisture, 2.5% protein and 7.4% ash. The water holding capacity of the β -glucan preparation was 6 g water/g dry material. The glucose retardation index after 30 minute dialysis was 13.5% in the presence of 3% β -glucan. As the dialysis period became longer, the retarding effect toward glucose absorption decreased and the effect was close to zero after 2 hour dialysis. The bile acid retardation index after 30 minute dialysis was 3, 12 and 18% in the presence of 1, 3 and 5% β -glucan, respectively. The effect was higher than the glucose retardation index and decreased as the dialysis time elapsed.

Key words: barley β -glucan, absorption retardation, glucose, bile acid

서 론

식이섬유란 "인간의 소화효소에 의해 소화되지 않는 난소화성 다당류의 총체"⁽¹⁾로 정의되고 있다. 식이섬유는 크게 수용성과 불용성으로 나뉘는데 그들이 인체내에서 나타내는 생리작용도 각각 다른 것으로 알려져 있다. 즉 pectin, gums, mucilages, hemicelluloses와 같은 수용성 식이섬유는 보수력(water-holding capacity)이 커서 위에서의 포만감을 제공하고 당뇨병 환자에게 glucose tolerance를 증진시키는 효과를 가지며 혈청 cholesterol 함량을 저하시킨다는 보고가 있다⁽²⁾. 한편 cellulose, lignin, 어떤 hemicellulose와 같은 불용성 식이섬유는 대장내에서 미생물의 작용을 적게 받아 비발효 잔사로 남아 식이섬유 matrix가 그대로 대변의 부피와 무게를 증가시키는데 효과적이다.

보리, 귀리 등의 세포벽에는 β (1 \rightarrow 3)과 β (1 \rightarrow 4) glucoside 결합이 3:7의 비율로 이루어진 mixed linked β -D-glucan이 많이 함유되어 있는데 보리의 경우 그 함량이

3.0~6.9%이다. β -Glucan에는 수용성 부분과 불용성 부분이 공존하는데 그 중 수용성 부분은 38~69%이다⁽³⁾. 보리 β -glucan은 양조산업 및 가축사료와 관련하여 많은 연구가 이루어졌으나 최근 인체 건강에 미치는 생리적 효과에 관심을 끌기 시작했다. 즉 동물실험과 인체 실험에서 수용성 식이섬유가 풍부한 보리와 귀리의 섭취는 혈중 cholesterol 함량을 낮출 수 있다는 보고가 있고 이러한 효과는 β -glucan에 기인하는 것으로 알려졌다^(2,4). β -Glucan의 cholesterol 저하효과에 대한 *in vivo* 실험은 비교적 많이 행해진데 반하여 당뇨병의 예방과 치료 효과에 대해서는 아직 연구가 미흡한 편이다.

국내에서 식이섬유에 관한 연구보고는 상당수 있으나 보리 β -glucan에 관한 연구는 매우 한정되어 있다^(5,6). 본 연구에서는 국내산 보리로부터 β -glucan을 추출, 정제하였고 그의 생리적 효과를 규명하기 위한 선행 실험으로 투석막을 이용한 *in vitro* 실험을 수행하였다.

재료 및 방법

보리가루 및 효소제

보리가루는 풍미양행에서 제조된 것을 사용하였다.

Corresponding author: Su-Rae Lee, Department of Food and Nutrition, Ewha Woman's University, Seodaemun-gu, Seoul 120-750, Korea

보리가루로부터 β -glucan의 추출 및 정제시에 사용된 효소제는 세균액화효소(Novo회사의 Termamyl 120L, Type LS)과 amyloglucosidase (Sigma A9913), protease (Sigma P5380)이었고, 식이섬유의 함량 분석시에는 α -amylase (Sigma A3403), protease (Sigma P5380), amyloglucosidase (Sigma A9913)를 사용하였다.

β -Glucan의 추출 및 정제방법

Aman 등⁷⁾, 차 등⁸⁾의 분석방법을 변형시켜 다음과 같이 β -glucan을 추출하였다. 즉, 보리가루 50 g을 증류수 250 ml에 분산시켜 pH 10으로 조정하여 실온에서 20시간 방치하여 softening시킨 다음, pH 6으로 조정하고 Termamyl 25 ml를 가하여 95°C water bath에서 2시간동안 75 rpm으로 shaking시켰다. 이것을 다시 pH 4.5로 조정하고 amyloglucosidase 7.5 ml를 가하여 60°C에서 2시간 동안 흔들어 반응시킨 다음, 끓는 물에서 30분간 가열하여 효소를 불활성화시켰다. 이것을 냉각시킨 다음 4,000 rpm으로 20분간 원심분리하여 상층액을 취하여 에탄올 농도 80%가 되도록 알콜을 가하고 하룻밤 방치시켜 다당류를 침전시켰다. 증류수를 가하여 침전물의 에탄올 농도를 10% 이하로 낮추고 pH 4.5로 조정한 후 amyloglucosidase 7.5 ml를 다시 가하여 60°C에서 2시간 shaking시켰다. 끓는 물에서 30분간 가열하여 효소를 불활성화시키고 이를 냉각한 다음 에탄올 농도 80%가 되도록 알콜을 가하고 원심분리하여 침전물을 얻었다.

이와 같이 얻은 crude β -glucan에 증류수를 가하여 에탄올 농도가 10% 이하가 되도록 한 다음 pH 6으로 조정하고 termamyl 25 ml를 가하여 95°C water bath에서 2시간동안 75 rpm으로 shaking시켰다. 이것을 다시 pH 4.5로 조정하고 amyloglucosidase 7.5 ml를 가하여 60°C에서 2시간 동안 흔들어 반응시킨 다음, 끓는 물에서 30분간 가열하여 효소를 불활성화시켰다. 이것을 냉각시킨 다음 에탄올 농도 80%가 되도록 에탄올을 가하여 원심분리시켰다. 원심분리하여 얻은 침전물에 다시 증류수를 가하여 Termamyl 및 amyloglucosidase 효소처리를 반복하였다. 여기에서 얻은 침전물에 다시 증류수를 가한 다음 pH 4.5로 조정하고 amyloglucosidase 7.5 ml를 가하여 60°C에서 2시간 동안 흔들어 반응시켰다. 이것을 pH 7.5로 재조정하고 protease 0.25 g을 가하여 37°C에서 2시간 shaking시킨 다음 끓는 물에서 30분간 가열하여 효소를 불활성화시켰다. 이를 냉각시킨 후 에탄올 농도가 80% 되도록 알콜을 가하고 원심분리하여 얻은 침전물을 냉동건조하여 순수한 β -glucan 제품을 얻었다. 이것의 무게를

젠 다음 상압가열건조법(105°C, 3시간)으로 수분함량을 측정하고 silica gel이 들어있는 폴리에틸렌병에 넣어 desiccator에서 보관하였다.

여기에서 얻은 β -glucan 제품은 AOAC에서 승인된 Lee 등⁹⁾의 방법에 준하여 수용성, 불용성, 총 식이섬유의 함량을 정량하였다.

소화관내 Glucose 흡수 지연효과(반투막 투과법)

Adiotomre 등¹⁰⁾의 방법에 따라 유리상태의 glucose는 투석막을 그대로 통과하지만 고분자 물질과 결합된 glucose는 투석막을 통과하지 못할 것이라는 가정하에 투석외액을 취하여 glucose 농도를 분석하였다.

투석막(Sigma 250-7U : M.W. cut-off >12,000)은 10 cm 길이로 자른 후 0.1% sodium azide 수용액에 하룻밤 담근 후에 사용하였다. Dialysis tubing closure로 투석막 한쪽 끝을 단단히 막고 투석막 내부에 β -glucan 일정량(0.07, 0.2 또는 0.3 g)과 glucose 36 mg을 용해시킨 0.1% sodium azide 수용액 6 ml를 넣은 다음 투석막의 다른 한쪽 끝도 단단히 막은 후 뚜껑이 있는 150 ml 용량의 cylinder 용기(직경 4.5 cm×길이 10.5 cm)에 넣어 14시간 동안 β -glucan을 수화시켰다. 여기에 0.1% sodium azide용액 100 ml를 첨가한 후 37°C water bath에서 용기가 물에 잠기게 하여 100 rpm으로 shaking하였다. 비교실험을 위한 control의 경우는 glucose용액만 넣고 β -glucan은 첨가시키지 않았다. 투석이 시작된 후 일정한 시간 간격으로 투석외액 1 ml씩을 취하여 Somogyi-Nelson법으로 glucose함량을 분석하였으며 glucose 흡수억제 지수는 아래와 같이 계산하였다.

Glucose retardation index (%)

$$=100$$

$$\left[\frac{\text{amount of glucose diffused from sack containing fiber}}{\text{amount of glucose diffused from sack without fiber}} \right]$$

$$\times 100$$

소화관내 Bile acid 흡수지연 효과(반투막 투과법)

Glucose의 경우와 마찬가지로 투석막을 이용하여 투석내액의 bile acid가 투석외액으로 빠져나오는 원리를 이용하였다¹⁰⁾. 즉 투석막 내부에 β -glucan 일정량(0.07, 0.2 또는 0.3 g)을 넣고 0.1% sodium azide, 15 mM taurocholic acid 농도가 되도록 녹인 0.05 M phosphate buffer (pH 7.0) 용액 6 ml를 넣은 다음 뚜껑이 있는 150 ml 용량의 시린다 용기에 넣어 14시간 동안 시료를 수화시켰다. 여기에 0.1% sodium azide농도가 되도록 맞춘 0.05 M phosphate buffer (pH 7.0)용액

100 ml를 첨가한 후 water bath에서 용기가 물에 잠기게 하여 37°C를 유지하면서 100 rpm으로 shaking하였다. 투석이 시작된 후 일정한 시간 간격으로 투석액의 1 ml씩을 취하여 Boyd 등⁽¹⁰⁾의 방법에 따라 taurocholic acid 함량을 분석하였다. Bile acid 흡수억제 지수는 다음과 같이 계산하였다.

Bile acid retardation index(%)

=100

$$= \left[\frac{\text{amount of taurocholic acid diffused from sack with fiber}}{\text{amount of taurocholic acid diffused from sack without fiber}} \right] \times 100$$

수분 보유력 측정법

식이섬유의 수분보유력(water-holding capacity)은 장관(腸管)내의 조건과 비슷하게 흉내내어 2기압의 삼투압 조건하에서 투석막을 통해 수화된 시료의 무게를 측정하였다^(11,12). 즉 투석막 내부에 정제된 β-glucan 0.1 g과 0.1% sodium azide용액 5 ml를 넣고 투석막 끝을 단단히 막은 다음 뚜껑이 있는 150 ml 용량의 시린다 용기에 넣어 24시간 동안 수화시켰다. 여기에 대장내에서 나타나는 약 2기압의 삼투압을 맞추기 위하여 0.1% sodium azide용액 1 l당 95 g의 polyethylene glycol (molecular weight 3350, Sigma P-3640)을 넣어 만든 용액 100 ml를 첨가한 후 37°C water bath에서 용기가 잠기게 하여 25 rpm으로 72시간 동안 shaking시켰다. 그 다음 용기의 뚜껑을 열어 투석막을 꺼내고 막 외부의 수분을 가볍게 닦아낸 후 무게달은 aluminum dish에 옮겼다. 수화된 시료는 즉시 무게를 재었으며(W₁), 이것을 100°C에서 하룻밤 건조시킨 후 다시 무게를 재었다(W₂). 이 무게의 차이는 시료의 삼투압에 의해 빨아들인 수분으로 나타내었다(W₁-W₂). Control의 경우는 섬유시료를 제외하고 0.1% sodium azide용액 5 ml만을 넣은 후 모든 절차를 동일하게 하였다(WC₁, WC₂). 식이섬유의 수분보유력은 다음과 같이 계산하였으며 건조시료 1 g당 보유된 수분의 g 수로 표현하였다.

Water holding capacity (WHC)

$$= [g \text{ water}(\text{fiber}) - g \text{ water}(\text{control})] / g \text{ dry material}$$

$$= [(W_1 - W_2) - (WC_1 - WC_2)] / g \text{ dry material}$$

결과 및 고찰

β-Glucan의 수율 및 화학적 조성

보리가루로부터 추출하여 얻은 β-glucan의 수율은 6.2%였으며 그 순도를 확인하기 위하여 수분, 단백질,

Table 1. Composition of isolated β-glucan and barley flour

Constituent	Content (%) ¹⁾	Constituent	Content (%) ²⁾
<Isolated β-glucan>		<Barley flour>	
Moisture	8.5	Moisture	14.8
Ash	7.4	Ash	2.1
Protein	2.5	Protein	10.3
Total dietary fiber	81.6	Crude fiber	2.6
Soluble dietary fiber	72.9	N-free extract	68.4
Insoluble dietary fiber	8.7	Fat	1.9

¹⁾Mean of triplicate determinations

²⁾Literature value (Food Composition Table, RDA, 1991)

식이섬유 함량을 정량한 결과는 Table 1과 같다. 보리에는 12~16%의 총 식이섬유가 함유되어 있고 그 중 β-glucan은 3.0~6.9% 함유되어 있는 것으로 알려져 있는데⁽³⁾ 이와 비교할 때 본 실험에서의 β-glucan 수율은 비교적 낮았던 것으로 생각된다. 보리쌀에 있었던 전분질(68.4%), 지방질과 대부분의 단백질, 무기질은 β-glucan 정제 중에 제거된 것으로 판단된다.

본 실험에서 얻은 β-glucan 제품의 총 식이섬유 함량은 81.6%였고 이 중 수용성은 72.9%, 불용성은 8.7%를 차지하였다. β-Glucan은 수용성 부분과 비수용성 부분으로 구분되는데 보리 β-glucan은 38~69%가 수용성이라는 보고⁽⁹⁾에 비추어볼 때 여기에서 얻은 β-glucan 제품도 수용성이 대부분임을 알 수 있었다.

β-Glucan의 Glucose 흡수지연 효과

투석막을 이용하여 β-glucan의 glucose 흡수지연 효과를 30분, 60분, 120분 간격으로 나누어 살펴본 결과는 Table 2와 같다. Glucose 투과율은 초기에 급속히 이루어지다 투석시간이 경과할수록 떨어졌다. β-Glucan을 3% 첨가한 경우 흡수 지연효과를 나타내는 glucose retardation index를 보면 투석이 시작된지 30분이 경과한 후 13.5%였고 시간이 경과할수록 감소하여 2시간이 경과되었을 때는 그 효과가 거의 없는 것으로 나타났다.

이⁽¹²⁾의 실험의 경우 보리에서 얻은 식이섬유 추출물의 glucose retardation index는 투석 30분 후 8%로 나타났는데 본 실험에 사용된 β-glucan 정제품의 glucose 흡수지연 효과가 13.5%로 더 크다는 것을 알 수 있다. 불용성 식이섬유보다는 수용성 식이섬유의 효과가 높다는 결과⁽¹²⁾에 비추어 볼 때 불용성 식이섬유가 많은 보리 식이섬유 추출물보다 수용성 식이섬유가 많은 정제된 β-glucan의 효과가 더 컸음은 쉽게 납득할 수 있는 일이다.

Table 2. Retarding effect of β -glucan on the membrane transport of glucose

Sample (conc.)	Dialysis for 30 min		Dialysis for 60 min		Dialysis for 120 min	
	Glucose in dialyzate (mg%)	Glucose retardation index(%) ¹⁾	Glucose in dialyzate (mg%)	Glucose retardation index (%)	Glucose in dialyzate (mg%)	Glucose retardation index (%)
Control (none)	17.35 \pm 0.06 ^{A2)}	0	21.67 \pm 0.06 ^A	0	22.80 \pm 0.00 ^A	0
β -Glucan (1%)	17.27 \pm 0.90 ^A	0.46	21.35 \pm 0.57 ^A	1.48	22.67 \pm 0.42 ^A	0.57
β -Glucan (3%)	15.00 \pm 1.00 ^B	13.54	20.07 \pm 0.90 ^B	7.38	22.64 \pm 0.50 ^A	0.70
β -Glucan (5%)	15.27 \pm 0.29 ^B	11.99	20.00 \pm 0.20 ^B	7.71	22.67 \pm 0.29 ^A	0.57

¹⁾Glucose retardation index

$$= 100 - \left[\frac{\text{mg\% glucose dialyzed in fiber}}{\text{mg\% glucose dialyzed in control}} \times 100 \right]$$

²⁾Values are mean \pm SD of triplicate trials; Means not followed by the same superscript letter in the same column differ significantly from one another by Duncan's multiple range test ($p < 0.05$)

식이섬유가 glucose 흡수에 미치는 영향을 설명할 수 있는 메카니즘으로는 gastric emptying rate를 감소시키고 소장에서의 흡수표면으로 glucose가 확산되는 것을 감소시키기 때문이라고 알려져 있다. 일반적으로 점성이 큰 식이섬유가 영양소의 흡수를 지연시키는 효과가 큰 것으로 보고되고 있는데 수용성 식이섬유는 Jenkins 등⁽¹³⁾이 지적한 바와 같이 점성이 높아 gel matrix를 형성하여 glucose를 붙잡는 효과(trapping effect)로 장내의 glucose 확산을 떨어뜨리는 것으로 생각된다. 반면 불용성 식이섬유는 Adiatomre 등⁽⁹⁾이 지적한 바와 같이 fiber matrix 안에 glucose를 가두는 효과(keeping effect)에 의해 장내의 glucose 확산을 떨어뜨리는 것으로 생각된다.

미국 FDA⁽¹⁷⁾에서는 식이섬유의 권장량을 1일 2,000 칼로리 섭취시 25 g으로 정하였다. 본 실험에서는 한국인이 하루에 섭취하는 식품원료량을 1 kg 또는 조리된 음식량 2 kg으로 보고 식이섬유 권장량을 25 g이라고 가정할 때 음식물 중의 식이섬유 함량은 1.25%가 되어야 한다. 이러한 점을 감안하여 β -glucan의 농도를 1, 3, 5%로 달리하여 실험하였다. β -Glucan의 농도에 따른 glucose 흡수지연 효과를 보면 β -glucan을 1% 첨가한 경우에는 효과가 나타나지 않았고 3% 첨가한 경우에는 투석시간이 60분 경과할 때까지 그 효과가 크게 나타났으며 5% 첨가한 경우에는 3%인 경우와 비슷한 수준이었다. 따라서 식이에 3% 이상으로 β -glucan을 첨가하는 것은 glucose 흡수지연 효과를 높이는 데 효과를 거두지 못할 것으로 생각된다.

Glucose의 흡수 과정을 8시간까지 연장시켜 본 결과는 Fig. 1과 같다. 투석막을 통한 glucose 투과는 투석이 시작되지 2시간 후에 β -glucan 농도에 관계없이 glucose retardation index는 0.5% 수준으로 투석 2시간 후부터는 그 효과가 없는 것으로 생각된다.

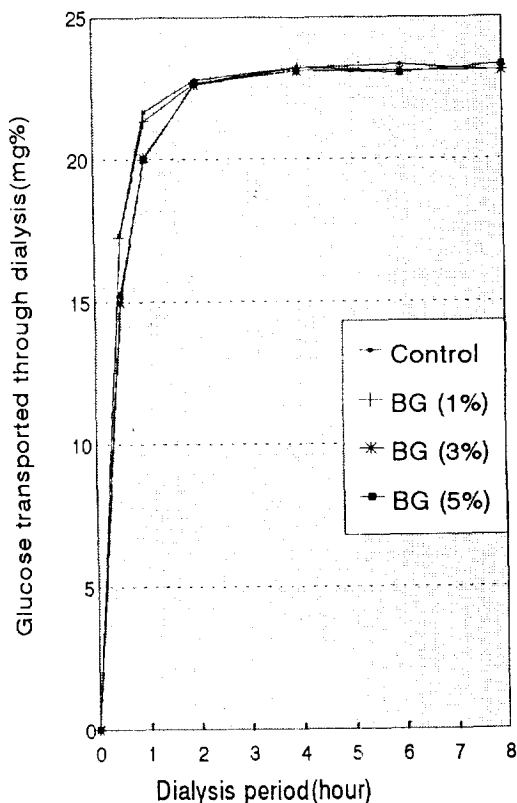


Fig. 1. Passive membrane transport of glucose *in vitro* in the presence of β -glucan (BG)

일반적으로 당뇨병 환자 식이로 보리밥을 권장하는데 이는 보리 중에 풍부한 수용성 식이섬유인 β -glucan의 효과 때문인 것으로 생각된다. 즉 본 실험 결과에서 알 수 있듯이 β -glucan의 첨가는 음식물을 통한 glucose 섭취시 초기에 glucose 흡수 지연 효과가 높아 혈액내 glucose가 급격히 상승하는 것을 억제하는데

도움을 주고 혈액 중의 인슐린을 절약시킬 수 있을 것으로 보인다. β-Glucan의 효과만을 생각하여 총 식품 섭취량의 3%인 30 g의 β-glucan을 섭취하기 위해서는 하루 세 끼의 보리밥 (300 g의 보리쌀에 해당)으로 가 능하나 현실적으로 이것은 매우 어렵다. 그러나 β-glucan은 보리밥의 형태로 섭취하는 것 뿐만 아니라 빵제 품에 첨가되어 이용될 수도 있고 수용성이므로 음료 제품으로 이용하는 등 그 이용범위가 넓어 β-glucan에 의한 당뇨병의 예방과 치료 효과를 충분히 기대할 수 있으리라 생각된다.

Bile acid 흡수 지연 효과

투석막을 이용하여 β-glucan의 bile acid 흡수 지연 효과를 30분, 2시간, 4시간 간격으로 나누어 살펴본 결과는 Table 3과 같다.

투석 초기에는 bile acid retardation index가 높아 bile acid 흡수지연 효과가 크게 나타났으나 시간이 경과할 수록 그 효과가 감소하였다. 투석이 시작된지 30분이 경과되었을 때 각 농도별 β-glucan의 bile acid retardation index는 β-glucan 농도가 1, 3, 5% 첨가된 경우 각각 3, 12, 18% 수준으로 같은 시간이 경과되었을 때의 glucose 흡수지연 효과보다 더 크게 나타났다. 이것은 bile acid의 분자량(538)이 glucose (180)보다 더 크기 때문에 투과가 서서히 이루어졌을 것이라 생각된다. 이 등⁽¹³⁾의 결과와 비교했을 때 보리에서 얻은 식이섬유 추출물의 bile acid retardation index가 β-glucan 제품의 index보다 더 크게 나타난 것으로 보아 보리 중의 식이섬유 개별성분과 bile acid 흡착 능력에 대한 연구가 필요 하리라 생각된다. β-Glucan의 농도에 따른 bile acid 흡수지연 효과를 살펴보면 β-glucan 농도가 높을수록 bile acid 흡수지연 효과가 컸으나 유의성을 검증한 결과 control과 β-glucan 1%인 것, 그리고 β-glucan 3%인

것과 5%인 것 사이에 유의적 차이는 보이지 않았다.

β-Glucan에 대한 bile acid 흡수과정을 24시간까지 연장시켜 살펴본 결과는 Fig. 2와 같다. 투석막을 통한 bile acid의 투과는 β-glucan 1%인 경우 투석 초기부터 control과 같은 수준이었으며 β-glucan 3%인 경우는 투석시간이 6시간 경과된 후에 bile acid retardation index가 2% 수준으로 24시간이 경과될 때까지 그 수준

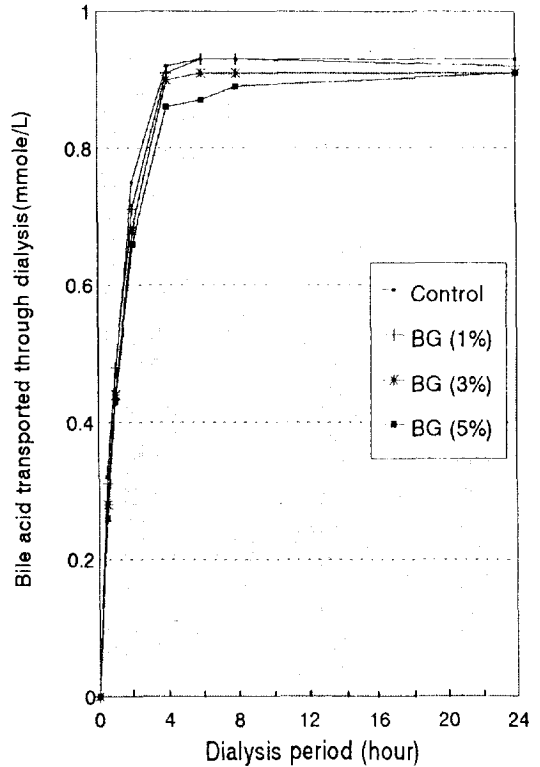


Fig. 2. Passive membrane transport of taurocholic acid in vitro in the presence of β-glucan (BG)

Table 3. Retarding effect of β-glucan on the membrane transport of taurocholic acid

Sample	Dialysis for 30 min		Dialysis for 2 hrs		Dialysis for 4 hrs	
	Bile acid in dialyzate (mmole/L)	Bile acid retardation index(%) ¹⁾	Bile acid in dialyzate (mmole/L)	Bile acid retardation index (%)	Bile acid in dialyzate (mmole/L)	Bile acid retardation index (%)
Control (none)	0.32±0.01 ^{A2)}	0	0.75±0.01 ^A	0	0.92±0.02 ^A	0
β-Glucan (1%)	0.31±0.01 ^A	3.13	0.71±0.02 ^A	5.33	0.91±0.02 ^A	1.09
β-Glucan (3%)	0.28±0.02 ^B	12.50	0.68±0.01 ^B	9.33	0.89±0.01 ^B	3.26
β-Glucan (5%)	0.26±0.00 ^B	18.75	0.66±0.01 ^B	12.00	0.86±0.04 ^B	6.52

¹⁾Bile acid retardation index(%)
 = 100 - [$\frac{\text{amount of taurocholic acid diffused from sack with fiber}}{\text{amount of taurocholic acid diffused from sack without fiber}}$] × 100

²⁾Values are mean ± SD of triplicate trials; Means not followed by the same superscript letter in the same column differ significantly from one another by Duncan's multiple range test (p<0.05)

을 유지하였다. β -Glucan 농도가 5%인 경우는 24시간이 경과될 때까지 서서히 bile acid의 투과가 일어나서 retardation index가 2% 수준으로 나타났다. 즉 시간이 오래 경과한 후에도 β -glucan을 첨가한 경우가 control의 경우보다 bile acid 투과량은 작았으나 그 효과가 조금씩 나타났다.

Bile acid와 식이섬유의 흡착은 생리적으로 중요한 의미를 지니며 이에 관해서는 많은 연구가 행해져 왔다. Bile acid와 식이섬유의 흡착에는 이온 결합과 hydrophobic bond가 관여하는 것으로 알려져 왔다. Story 등⁽¹⁴⁾은 식이섬유가 trihydroxy bile acid보다 극성이 낮은 dihydroxy bile acid에 흡착을 더 잘 한다는 실험 결과를 통하여 bile acid 흡착은 주로 소수성 결합에 의한다고 설명하였으며 소장내에서 식이섬유가 bile acid를 흡착 또는 선택적인 이온교환 반응에 의해 bile acid의 체내 이용성을 떨어뜨린다고 하였다.

β -Glucan의 혈청 내 cholesterol 감소효과는 여러 *in vivo* 실험을 통하여 증명되었으며 β -glucan의 급원에 따라서 cholesterol 감소효과에 차이를 보였다. Kahlon 등⁽¹⁵⁾은 oat bran β -glucan이 processed barley β -glucan보다 cholesterol 감소 효과가 크다고 했으며, 이와는 반대로 Klopfenstein 등⁽¹⁶⁾은 barley β -glucan의 효과가 더 크다고 하였는데 β -glucan의 급원에 따른 cholesterol 감소 효과에 대해서는 더 많은 연구가 이루어져야 할 것이다. 또한 보리 β -glucan의 경우에서도 보리 품종에 따라서 다른 결과를 나타냈다⁽¹⁵⁾.

Anderson 등⁽¹⁷⁾은 식이섬유의 혈청내 cholesterol 감소 효과에 영향을 주는 메카니즘으로 식이섬유가 소장내에서 bile acid와 결합하여 bile acid의 배설량 증가로 bile acid pool을 변화시키고 cholesterol을 bile acid로 전환시키므로써 hypocholesterolemic effect를 준다고 하였다. 그 밖의 가능한 메카니즘으로는 식이섬유가 대장내에서 발효되어 생성된 short-chain fatty acid가 cholesterol 합성을 감소시킬 것이라는 설명⁽¹⁸⁾과 식이섬유의 glucose 흡수조절 효과에 의해 insulin, glucagon 등의 호르몬 분비가 감소하여 간에서의 cholesterol 및 지방산 합성의 감소를 들었다⁽¹⁹⁾. 또한 Kay 등⁽²⁰⁾은 식이섬유와 bile acid의 결합에 의해 유리상태의 bile acid 함량이 감소하여 micelle 형성이 방해받아 소장내 효소작용의 방해, 지방 흡수 표면의 기능성 변화 및 대변 내 지방 배설량 증가로 인한 지방 흡수 방해로 chylomicron triglyceride 형성 지연에 의해 cholesterol 합성이 저하될 수 있다고 하였다.

수분 보유력

Table 4. Water-holding capacity of isolated β -glucan and other fibers as determined by dialysis method

Sample	WHC (g water/g dry matter)
β -Glucan	6.0 \pm 0.06 ¹⁾
Barley fiber	1.0 ²⁾
α -Cellulose	0.5 ²⁾
Citrus pectin	11.5 ²⁾
CM-cellulose	28.6 ²⁾

¹⁾Values are mean \pm SD of triplicate trials

²⁾Quoted from reference (12)

투석막을 이용한 β -glucan의 수분 보유력은 1g의 건조물당 약 6g의 수분을 보유하는 것으로 나타났다 (Table 4). 이 등⁽¹²⁾의 실험에서 보리쌀 식이섬유의 수분 보유력이 1g 이내로 비교적 낮게 나타났는데 비해서 수용성인 β -glucan의 수분 보유력이 더 크다는 것을 알 수 있었다. 그 밖의 다른 식이섬유와 비교해 볼 때 수용성 식이섬유인 citrus pectin, CM-cellulose는 수분 보유력이 컸으나 불용성 식이섬유인 β -cellulose는 수분 보유력이 매우 낮은 것으로 보고되었다.

위장의 질병과 관련된 식이섬유의 유익한 효과는 대변 배설량의 증가와 장관 통과 속도의 조절로 알려져 왔다. 그러나 이⁽²¹⁾, Stasse-Wolthuis 등⁽²²⁾이 지적한 바와 같이 소화되기 이전 식이섬유의 수분 보유력과 대변의 무게와는 상관성이 떨어지는 것으로 생각되는데 그 이유는 식이섬유가 대장 내에서 미생물에 의해 발효되는 과정을 거치게 되기 때문이라고 생각된다. McBurney 등⁽²³⁾은 수분 보유력이 큰 식이섬유일수록 미생물에 의한 발효 정도가 더 크다고 보고하였다. 따라서 대장의 질환과 관련된 식이섬유의 중요성을 설명하기 위해서는 식이섬유의 수분 보유력과 함께 장내에서의 발효 정도와 발효 속도를 고려해야 할 것으로 생각된다⁽²³⁾.

요 약

보리가루로부터 β -glucan을 추출, 정제하여 그의 소화관내 생리적 기능을 알아보기 위해 반투막을 이용한 *in vitro* 실험을 수행하였다. 보리가루로부터 β -glucan을 6.2%의 수율로 정제하였으며 그의 순도를 확인한 결과 총 식이섬유 81.6%, 수용성 식이섬유 72.9%, 불용성 식이섬유 8.7%, 수분 8.5%, 단백질 2.5%, 회분 7.4%였다. β -Glucan 제품의 수분보유력은 1g의 건조물당 6g이었다.

투석막을 이용하여 β -glucan 제품의 glucose 흡수 지연효과를 살펴 본 결과 β -glucan을 3% 첨가한 경우 투

석 30분이 경과되었을 때 glucose retardation index가 13.5%였고 시간이 경과할수록 그 효과는 감소하여 투석 2시간 후에는 그 효과가 거의 없는 것으로 나타났다. Bile acid 흡수 지연 효과를 살펴 본 결과 투석 30분이 경과되었을 때 bile acid retardation index는 β -glucan이 1, 3, 5% 첨가된 경우 각각 3, 12, 18% 수준으로 같은 시간이 경과되었을 때의 glucose 흡수 지연 효과보다 더 크게 나타났으며 시간이 경과할수록 그 효과가 감소하였다.

감사의 글

이 논문은 1995학년도 이화여자대학교 교내연구비 지원에 의한 연구결과의 일부이며 아시아식품영양연구소에 배정된 연구과제로 수행되었으므로 이에 감사하는 바이다.

문헌

- Nishimune, T., Sumimoto, T., Yakusiji, T. and Kunita, N.: Determination of total dietary fiber in Japanese foods. *J. Assoc. Off. Anal. Chem.*, **74**, 350 (1991)
- Schneeman, B. O.: Soluble vs insoluble fiber-different physiological responses. *Food Technol.*, **41**(2), 81 (1987)
- Marlett, J. A.: Dietary fiber content and effect of processing on two barley varieties. *Cereal Foods World.*, **36**, 576 (1991)
- Newman, R. K., Lewis, S. E., Newman, C. W., Boik, R. J. and Ramage, R. T.: Hypocholesterolemic effect of barley foods on healthy men. *Nutr. Rep. Int.*, **39**, 749 (1989)
- 차희숙, 김미옥, 구성자 : DSC에 의한 보리 β -glucan [mixed-linked (1-3), (1-4)- β -D-glucan]의 열적 특성에 관한 연구. *한국식품과학회지*, **25**, 22 (1993)
- 이영태, 이춘기 : 보리의 품종적 변이가 β -glucan 및 맥아의 품질에 미치는 영향. *한국식품과학회지*, **26**, 172 (1994)
- Aman, P. and Graham, H.: Analysis of total and insoluble mixed-linked (1 \rightarrow 3),(1 \rightarrow 4)- β -D-glucans in barley and oats. *J. Agric. Food Chem.*, **35**, 704 (1987)
- Lee, S.C., Prosky, L. and DeVries, J. W.: Determination of total, soluble and insoluble dietary fiber in foods-enzymatic gravimetric method, MES-TRIS buffer : Collaborative study. *J. Assoc. Off. Anal. Chem.*, **75**, 395 (1992)
- Adiotomre, J., Eastwood, M. A., Edwards, C. A. and Brydon, W. G.: Dietary fiber : *in vitro* methods that anticipate nutrition and metabolic activity in humans. *Am. J. Clin. Nutr.*, **52**, 128 (1990)
- Boyd, G. S., Eastwood, M. A. and MacLean, N.: Bile acids in the rat : studies in experimental occlusion of the bile duct. *J. Lipid Research*, **7**, 83 (1966)
- Robertson, J. A. and Eastwood, M. A.: A method to measure the water-holding properties of dietary fibre using suction pressure. *Br. J. Nutr.*, **46**, 246 (1981)
- 이경숙 : 국내산 식품 중 식이섬유의 함량, 섭취량 및 생리적 기능. 이화여자대학교 박사학위논문, 109면 (1993)
- Jenkins, D. J. A., Wolever, T. M. S., Leeds, A. R., Gassull, M. A., Haisman, P., Dilawari, J., Goff, D. V., Metz, G. L. and Alberti, K. G. M. M.: Dietary fibres, fibre analogues and glucose tolerance : importance of viscosity. *Br. Med. J.*, **27**, 1392 (1978)
- Story, J. A., and White, A. and West, L. G.: Adsorption of bile acids by component of alfalfa and wheat bran *in vitro*. *J. Food Sci.*, **47**, 1276 (1982)
- Kahlon, T. S., Chow, F. I., Knuckles, B. E. and Chiu, M. M.: Cholesterol-lowering effects in hamsters of β -glucan-enriched barley fraction, dehulled whole barley, rice bran and oat bran and their combinations. *Cereal Chem.*, **70**, 435 (1993)
- Klopfenstein, C. F. and Hoseney, R. C.: Cholesterol-lowering effect of β -glucan-enriched bread. *Nutr. Rep. Inter.*, **36**, 1091 (1987)
- Anderson J. W., Deakins, D. A., Floore, T. L., Smith, B. M. and Whitis, S. E.: Dietary fiber and coronary heart disease. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.*, **29**, 95 (1990)
- Vahouny, G. V., Tombes, R., Cassidy, M. M., Kritchevsky, D. and Gallo, L. L.: Dietary fibers : V. Binding of bile salts, phospholipids and cholesterol from mixed micelles by bile acid sequestrants and dietary fibers. *Lipids*, **15**, 1012 (1980)
- Chen, W. J. L., Anderson, J. W. and Jennings, D.: Propionate may mediate the hypocholesterolemic effect of certain soluble plant fiber in cholesterol-fed rats. *Proc. Soc. Exp. Biol. Med.*, **175**, 215 (1984)
- Kay, R. M. and Truswell, A. S.: Effect of citrus pectin on blood lipids and fecal steroid excretion in man. *Am. J. Clin. Nutr.*, **30**, 171 (1977)
- 이경숙, 이서래 : *In Vitro*법에 의한 식이섬유의 헝기적 발효 및 수화 잔여물의 무게. *한국영양학회지*, **28**, 834 (1995)
- Stasse-Wolthuis, M., Albers, H. F. F., Van Jeveren, J. G. C., De Jong, J. W., Hautvast, J. G. A. J., Hermus, R. J. J., Katan, M. B., Brydon, W. G. and Eastwood, M. A.: Influence of dietary fiber from vegetables and fruits, bran or citrus pectin on serum lipids, fecal lipids and colonic function. *Am. J. Clin. Nutr.*, **33**, 1745 (1980)
- McBurney, M. I., Horvath, P. J., Jeraci, J. L. and Van Soest, P. J.: Effect of *in vitro* fermentation using human faecal inoculum on the water-holding capacity of dietary fibre. *Br. J. Nutr.*, **53**, 17 (1985)