

귀리 수용성 베타글루칸의 포도당 투석지연 및 당뇨쥐의 혈당에 미치는 영향

강태수 · 이명렬 · 백승화 · 정현상* · 박희정 · 공영준** · 정익수***

충북과학대학 식품생명과학과, *충북대학교 식품공학과,
강원도농업기술원 고원농업시험장, *(주)보락

Effects of Oat Soluble β -glucan on Glucose Dialysis Retardation and Blood Glucose in Diabetic Rats

Tae-Su Kang, Myong-Yul Lee, Seung-Hwa Baek, Heon-Sang Jeong*, Hee-Jeong Park, Young-Jun Kong** and Ick-Soo Jung***

Department of Food Science and Biotechnology, Chungbuk Provincial University of Science and Technology

*Department of Food Science, Chungbuk National University

**Alpine Agricultural Experiment Station, Kangwon ARES

***Technical Research Institute, Borak Company Limited

Abstract

To develop the healthy/functional food ingredients of soluble β -glucan extracted from oat bran concentrate (OBC), the glucose dialysis retardation index (GDRI, %) and the effect on the blood glucose concentration of diabetic rats were investigated. The GDRI value of glucose dialysis after 4 hours was the highest in the β -glucan No.14 (temp. 50°C, ethanol 10% and pH 5) and the GDRI in the β -glucan No.3 (temp. 55°C, ethanol 15% and pH 6) was relatively higher than the one in the other samples ($p < 0.05$). After 2 weeks diabetic rats were fed β -glucan No.3 and β -glucan No.14, their body weights increased 17 g and 19g, respectively. The changes of their body weights(17g and 19g) were much higher than that of diabetic control(7 g) but were not significant statistically. The blood glucose concentrations of β -glucan No.3 and β -glucan No.14 were 237.8 mg/dL and 266.8 mg/dL, respectively, and these values decreased into 42% and 35%, compared with diabetic control (412.3 mg/dL) ($p < 0.001$). The triglyceride concentrations of β -glucan No.3 and β -glucan No.14 were 71.59 mg/dL and 78.66 mg/dL, respectively, and these values decreased into 32% and 25%, compared with diabetic control (105.33 mg/dL). The experimental groups of β -glucan No.3 and β -glucan No.14 did not significantly influence the total cholesterol and HDL, and LDL-cholesterol. The weights of the liver and the spleen of diabetic groups decreased significantly ($p < 0.01-0.001$), compared to the normal control group. These results suggested that soluble β -glucans in oat bran have potentiality as a healthy/functional food ingredient for diabetics.

Key words: oat, soluble β -glucan, glucose dialysis retardation index, diabetic rat, blood glucose

서 론

귀리(*Avena* spp. L.)는 냉습한 날씨에서 잘 자라는 대표적인 곡류로서(Macrae *et al.*, 1993a) 과거에는 사료로 많이 사용되어 왔으나 근래에는 귀리 β -

glucan의 혈중콜레스테롤 강하효능이 알려지면서 기능성식품 소재로서 많은 관심을 끌고 있다(Maier *et al.*, 2000; Newman *et al.*, 1992). 귀리 β -glucan은 구조적으로 (1 \rightarrow 3)(1 \rightarrow 4)- β -D-glucan으로 가지가 없는 비전분 다당류로서(Aspinal와 Carpenter, 1984) 귀리의 배유 및 호분층에 비교적 다량 함유되어 있는데, 일반적으로 약 4%가량이 함유되어 있으며, 시판되고 있는 귀리 걸겨(oat bran)에는 약 7~10% 정도가 함유되어 있고, 특별한 공정으로 처리된 경우에는 19%이상이 되는 것도 있다(Wood *et al.*,

Corresponding author: Tae-Su Kang, Department of Food Science and Biotechnology, Chungbuk Provincial University of Science and Technology, Okchon, 373-807, Korea.
Phone: 043-830-6383, Fax:
E-mail: tskang@ctech.ac.kr

1989). 귀리 β -glucan은 수용성과 불용성으로 구분되는데, 총 β -glucan중 약 80%가 수용성으로 수용성이 차지하는 비중이 높으며(Aman와 Graham, 1987), 생리활성의 측면에 있어서도 수용성과 불용성 β -glucan은 차이가 있는 것으로 알려져 있다. 귀리 β -glucan과 같은 수용성 식이섬유는 혈중 콜레스테롤 감소효능이 매우 우수하며(Estrada *et al.*, 1997a; Estrada *et al.*, 1999b), 위 내용물의 점성을 증가시키고, 위 공복시간을 지연시키며, 포도당을 흡착하여 배설하므로 혈당증가와 포도당 부하에 따른 인슐린 분비 저해능력을 보유하고 있음이 알려져 있다(Ranhotra *et al.*, 1991). 한편, 불용성 β -glucan은 보수성이 우수하여 대장에서 박테리아 분해에 저항성을 갖기 때문에 변의 장 통과시간을 단축시키며 동시에 배변량을 증가시키는 것으로 알려져 있다(Bell *et al.*, 1999). Fincher(1975)는 β -glucan의 특성과 생리활성은 추출조건이나 방법에 따라 정제도, 분자량, 수용성의 정도 및 화학적 구조 등이 다를 수 있다고 보고하였으며, 이러한 특성의 차이에 따라 생리활성의 정도에도 차이가 있음이 알려져 있다(Lee, 1996). 지금까지 국내에서는 메밀식이 혈당에 미치는 영향(이, 1994)이나 도라지나 쇠뜨기 추출물이 혈당에 미치는 영향(성 등, 1996; 이, 1992) 등 곡류나 식용 또는 약용작물의 추출물에 대한 항당뇨 효능에 관한 연구보고는 일부 알려져 있으나 귀리 수용성 식이섬유인 β -glucan에 대한 항당뇨 효능에 대한 연구보고는 없는 실정이다.

따라서 최근에 경제성장과 더불어 식습관의 변화로 인하여 남녀노소에 관계없이 당뇨병환자가 크게 늘어나고 있어 혈당을 조절하여 당뇨를 예방하고 치료의 효과도 기대할 수 있는 건강, 기능성 식품소재의 개발에 관한 연구가 많은 관심을 끌고 있다.

그러므로 본 연구에서는 귀리에 함유되어 있는 β -glucan을 당뇨예방 및 혈당강하용 건강, 기능성 식품소재로서 개발하기 위하여 전보(강 등, 2003; 정 등, 2004)에서와 같이 귀리겉겨로부터 다양한 조건하에서 β -glucan분획 15종을 추출분리한 후 이들을 대상으로 당투석지연효능을 검토하였으며, 이로부터 우수한 활성을 지닌 2종의 분획을 선정하여 당뇨병의 혈당에 미치는 영향을 검토하였다.

재료 및 방법

재료 및 β -glucan의 추출 조건

귀리로부터 수용성 β -glucan을 분리하기 위하여

사용한 귀리 겉겨(bran) 원료는 (주)보락으로부터 OBC(Oat Bran Concentrate, Avena Ltd. Finland)를 공급받아 사용하였다. 귀리 겉겨로부터 수용성 β -glucan의 추출 조건은 전보(강 등, 2003; 정 등, 2004)와 같이 귀리 수용성 β -glucan추출 조건중에서 가장 중요한 3가지 요인인 추출온도(X1), 에탄올농도(X2) 및 pH(X3)를 각각 독립변수로 하고, 이들을 각각 5수준(-2, -1, 0, 1, 2)으로 하여 중심합성계획(central composite design)에 의해 총 16가지로 설계하였다. 즉, 귀리 겉겨 50g에 pH가 여러농도로 조절된 에탄올 600ml를 가하고 1시간 동안 환류추출한 다음, 원심분리하여 상등액을 회수하고, 회수액의 1.5배(v/v) 용량의 95%의 에탄올을 가하여 교반한 후 4°C에서 하루동안 방치하였다. 그 후 침전물을 회수하여 95%에탄올로 2회 반복하여 세척하고 난 다음, 동결건조하여 귀리겉겨로부터 수용성 β -glucan을 얻었다.

당투석 지연효능

동물을 이용한 항당뇨 실험을 수행하기 위하여 총 16종의 귀리 β -glucan시료중에서 혈당강하능이 우수할 것으로 예측되는 시료를 선별하기 위하여 사람의 위장관과 유사한 조건하에서 포도당투석 지연효능 실험을 수행하였다. 즉, 귀리 수용성 β -glucan 분획시료가 포도당을 흡착하여 투석시 포도당이 투석외액으로의 투과성에 미치는 영향을 조사하였는데, 이는 *In vitro*법에 의한 당투석 지연효능으로 혈당강하효능과 유의적인 관계가 있는 방법으로 Adiotomre 등(1990)의 방법에 따라 포도당투석 지연지수(glucose dialysis retardation index, GDRI)를 다음과 같이 구하여 조사하였다. 투석막(dialysis membrane)은 사람의 위장관과 가장 유사한 분자량 배제한계(M.W.C.O.)가 1,200이하인 것을 사용하였으며, 전처리 용액으로 처리한 후 증류수로 세척하였다. 그 후 투석막을 약 10cm 정도의 길이로 자른 다음 0.1%의 sodium azide용액에서 하루밤 수화시켰다. 귀리 β -glucan시료를 0.1% sodium azide용액에 0.1%(w/v)의 농도로 용해하고 glucose 50mg을 첨가하여 12시간 정도 소형 시험관에서 수화시킨 후 이 시료용액을 투석막에 넣고 실로 묶은 다음, 100ml의 메스실린더에 넣고 0.1% sodium azide용액으로 최종 용량이 100ml 되도록 첨가하였다. 37°C, 100rpm으로 조절된 shaking incubator에서 반응시키며 일정시간 간격으로 투석외액 시료를 채취하여 glucose & lactate analyzer(YSI 2300, USA)로

glucose 함량을 정량하였으며, 아울러 포도당투석 지연지수(%)는 아래의 식으로 계산하였다.

$$\text{Glucose dialysis retardation index(GDRI, \%)} \\ = [1 - (\text{mg glucose dialyzed in sample} / \text{mg glucose dialyzed in control})] \times 100$$

실험 동물 및 당뇨 유발

실험동물은 5-6주령의 S.D. (Sprague-Dawley)계열로 (주)다물사이언스로부터 구입하여, 온도 23±2°C, 상대습도 50±10%, 환기횟수 12회/hr, 조명주기 12시간(07:00~19:00), 조도 150~300 lux로 사육실환경을 조절해 주면서 1주 이상 고형사료로 적응사육하였다. 물은 증류수를 자유롭게 섭취토록 하였으며, 적응기간중 안정한 증체율을 보이는 rat만을 선별하여 실험에 사용하였다. 당뇨유발은 streptozotocin (STZ, Sigma S-0130)을 citrate buffer(pH 4.5)에 녹여 50 mg/kg의 농도로 1회 복강주사하고, 24시간이 지난 다음 12시간동안 절식시킨 후 꼬리정맥에서 채혈하여 간이혈당계(Optimum, Medisense Co., USA)로 혈당농도를 측정하여 200 mg/dL 이상인 것들만 당뇨쥐로 사용하였다. 이때 정상대조군은 0.01M의 citrate buffer만을 당뇨병 유발군과 같은 방법으로 주사하였다. 실험동물은 4군(정상군, 당뇨대조군, β-glucan No. 3군, β-glucan No.14군)으로 나누었고, 각 군당 10마리씩 분리하되 각 실험군의 체중 및 혈당값이 유사하도록 배치하여 2주간 실험사육을 실시하였다.

식이 조성

실험용 식이의 조성은 Table 1에서 보는 바와 같다.

귀리 β-glucan시료는 3번군(추출온도 55°C, 에탄올농도 15%, pH 6) 및 14번군(추출온도 50°C, 에탄올농도 10%, pH 5)을 선정하여 표준식에 β-glucan 3번 및 14번 분말시료를 각각 5%씩 첨가하여 조제하였다. 이때, 실험식이의 영양균형(calorie balance)을 맞추어 주기 위하여 첨가되는 β-glucan 시료에 함유되어 있는 당류, 섬유질, 단백질 및 지질함량을 표준식이인 AIN-76의 corn starch, fiber, casein 및 corn oil 에서 각각 이들 함량을 고려하여 조제하였으며, 조제된 식이는 4°C의 저온실에서 냉장보관하며 실험에 사용하였다. 실험 식이의 공급은 아침과 저녁 2회에 걸쳐 일정시간에 식이의 무게를 측정하여 자유섭취토록 공급하였다.

Table 1. Composition of experimental diets (%)

Ingredients	Normal & Diabetic control	Diabetic	
		β-glucan No.3	β-glucan No.14
Sucrose	50.0	50.0	50.0
Corn starch	15.0	13.5	13.0
Fiber	5.0	3.5	3.8
Casein	20.0	18.6	18.7
Corn oil	5.0	4.4	4.5
DL-Methionine	0.3	0.3	0.3
Choline bitatrate	0.2	0.2	0.2
Mineral mix ¹⁾	3.5	3.5	3.5
Vitamin mix ¹⁾	1.0	1.0	1.0
β-glucan No.3 ²⁾	0	5	0
β-glucan No.14 ³⁾	0	0	5

¹⁾AIN(American Institute of Nutrition)-76

²⁾Freeze dried powder extracted at 55°C, 15% ethanol concentration and pH 6.

³⁾Freeze dried powder extracted at 50°C, 10% ethanol concentration and pH 5.

체중 및 식이섭취량

전 실험기간을 통하여 체중은 매일 아침 일정시간에 1회 저울로 무게를 측정하여 조사하였고, 식이섭취량은 아침과 저녁 2회에 걸쳐 잔존 식이량의 무게를 측정한 후 공급한 식이량에서 감하여 계산하였다.

생화학적 분석

2주간 실험사육이 끝난뒤 실험쥐를 12시간 동안 절식시킨 후, 데시케이터에서 ethyl ether로 마취시켜 복부를 절개한 다음, 심장으로부터 주사기로 전혈을 채취하고, 약 1시간 가량 빙수중에 방치한 후, 원심분리기를 이용하여 2,500rpm에서 15분간 원심분리하여 상등액으로부터 혈청을 분리하였다. 혈청내의 혈당함량은 glucose & lactate analyzer(YSI 2300, USA)로 측정하였으며, 중성지방농도는 triglyceride kit(아산제약)를 사용하여 효소용액을 조제하고, 시료 0.02 ml와 효소용액 3 ml를 혼합하여 37°C의 항온수조에서 10분간 반응시킨 후 550 nm에서 흡광도를 측정하였다. Blank는 시료대신 증류수를 가한 것으로 하였고, 표준용액을 시료와 동일한 방법으로 처리하여 얻은 검량곡선으로부터 혈중에 함유된 중성지방함량 (mg/dL)을 계산하였다. 혈중 총콜레스테롤 농도는 kit(아산제약)로 정량하였는데, 효소시약 1병과 완충액 1병을 이용하여 만든 효소용액 3 ml와 시료 0.02 ml를 혼합한 후 37°C 항온수조에서 5분간 반응시킨 다음, 500nm에서 흡광

도를 측정하였다. 총콜레스테롤 함량(mg/dL)은 표준 용액을 시료와 동일하게 처리하여 얻은 검량곡선으로부터 계산하였다. 혈중 HDL 콜레스테롤 농도의 경우도 kit(아산제약)를 사용하였는데 시료 0.2 ml와 분리시약 0.2 ml를 혼합하여 실온에서 10분간 방치하였다가 3,000 rpm에서 10분간 원심분리하였다. 그 후 상등액 0.1 ml를 취하여 효소용액 3 ml와 혼합한 다음, 37°C에서 5분간 반응시킨 후 500nm에서 흡광도를 측정하였으며, HDL 콜레스테롤 함량은 표준액을 시료와 동일하게 처리하여 얻은 검량곡선으로부터 계산하였다. LDL 콜레스테롤 농도는 중성지질, 총콜레스테롤, 및 HDL 콜레스테롤을 농도를 구하여 이를 아래의 Friedewald식에 대입하여 산출하였다.

$$\text{LDL콜레스테롤(mg/dL)} = [\text{총 콜레스테롤} - (\text{중성지질}/5 + \text{HDL콜레스테롤})]$$

통계 분석

본 실험으로부터 얻은 자료는 SAS(Statistical Analysis System) program을 이용하여 평균값과 표준편차를 구하였으며, 각 처리군간의 유의성검증은

박(1985)의 일원배치법(one factor design of experiment)에 의한 분산분석(analysis of variance)과 Duncan의 다중비교 검증을 수행하였다.

결과 및 고찰

당투석 지연효능

귀리 수용성 β-glucan의 포도당투석 지연지수를 구한 결과는 Table 2와 같다.

Table 2에서 보는 바와 같이 투석 1시간 후의 포도당 투석지연지수(GDRI)를 구한 결과, 대조구에 비해 귀리 β-glucan첨가구는 glucose투석 지연효과가 있는 것으로 나타났는데, 그중에서도 특히 14번 분획이 69.4%로 가장 높은 것으로 나타났으며, 2, 7, 8, 9, 15번 시료도 GDRI가 60% 이상으로 비교적 높은 값을 보였다. 2시간 후의 GDRI에서도 14번 분획이 64.9%로 가장 높은 값을 보였으며, 3, 9번 분획도 60.5%의 높은 당투석 지연효과를 보였다. 또 투석 4시간 후의 경우는 1, 2시간째에 비해 당투석 지연지수값이 전반적으로 감소하였으나 역시 귀리 β-glucan 14번 분획 첨가구가 58.2%로 가장 높은 GDRI를 보였으며(p<0.05), 3번 분획도 53

Table 2. Retarding effect of oat β-glucans on the dialysis membrane transport of glucose

Sample No.	Dialysis for 1hr			Dialysis for 2hr			Dialysis for 4hr		
	Glucose in (%)	dialyzate (mg)	GDRI (%)	Glucose in (mg)	dialyzate (%)	GDRI (%)	Glucose in (mg)	dialyzate (%)	GDRI (%)
Control	23.2±0.9 ^{m1}	46.4 ²⁾	0 ³⁾	27.1±0.3 ^h	54.2	0	34.7±0.3 ^k	69.4	0
1	12.4±1.2 ⁱ	24.8	46.6	14.9±0.4 ^f	29.8	45.0	19.6±0.3 ^e	39.2	43.5
2	8.4±1.1 ^c	16.8	63.8	10.9±0.2 ^b	21.8	59.8	17.4±1.1 ^c	34.4	49.9
3	9.5±1.0 ^e	19.0	59.1	10.7±0.5 ^{bc}	21.4	60.5	16.3±0.5 ^b	32.6	53.0
4	10.6±0.8 ^g	21.2	54.3	16.5±0.4 ^g	33.0	39.1	27.0±0.4 ^j	54.0	22.2
5	13.7±1.5 ^k	27.4	40.9	16.7±1.1 ^g	33.4	38.4	21.6±0.7 ^h	43.2	37.8
6	13.0±1.2 ^j	26.0	44.0	16.3±0.9 ^g	32.6	39.9	21.3±0.4 ^g	42.6	38.6
7	9.1±0.3 ^{de}	18.2	60.8	12.4±0.2 ^d	24.8	54.2	19.4±1.4 ^c	38.8	44.1
8	9.0±0.4 ^d	18.0	61.2	11.1±0.7 ^{bc}	22.2	59.0	17.1±0.7 ^c	34.2	50.7
9	8.0±0.5 ^b	16.0	65.5	10.7±0.5 ^b	21.4	60.5	18.0±0.1 ^d	36.0	48.1
10	14.6±1.3 ^l	29.2	37.1	17.7±1.1 ^g	35.4	34.7	25.1±0.3 ⁱ	50.2	27.7
11	9.3±0.7 ^{de}	18.6	59.9	11.4±1.1 ^c	22.8	57.9	17.2±0.5 ^c	34.4	50.4
12	11.2±0.2 ^h	22.4	51.7	13.8±0.4 ^e	27.6	49.1	20.1±0.6 ^f	40.2	42.1
13	10.0±0.3 ^f	20.0	56.9	14.8±0.3 ^f	29.6	45.4	18.2±0.7 ^d	36.4	47.6
14	7.1±0.2 ^a	14.2	69.4	9.5±0.7 ^a	19.0	64.9	14.5±0.3 ^a	29.0	58.2
15	9.2±0.8 ^{de}	18.4	60.3	12.7±0.2 ^d	25.4	53.1	20.5±0.7 ^f	41.0	40.9
16	9.3±0.3 ^{de}	18.6	59.9	12.7±0.2 ^d	25.2	53.1	20.2±0.2 ^f	40.4	41.8

1) Values are mean±S.D. of 3 replicate trials

2) % ratio of glucose in dialyzate out of total glucose added

3) Glucose dialysis retardation index

Means with different superscript letters in the same column are significantly different at p<0.05

%로 비교적 높은 당투석지연효능을 보였다($p<0.05$).

이와 이(1996)는 시판용 식이섬유의 포도당 흡수 지연 효능을 검토한 결과, 2시간 투석후의 GDMI 값이 alginic acid가 33.6%으로 가장 높았으며, guar gum과 CM-cellulose 가 각각 33.2%와 32.6%로 비교적 포도당 흡수 지연효과가 높다고 보고한 바 있다.

일반적으로 당뇨병은 췌장엔 있는 랑게르한스섬의 베타세포에서 분비되는 인슐린이 전혀 생산되지 않거나 소량생산될 때, 또는 정상적으로 생산되더라도 인슐린 작용의 이상이나 receptor의 부족으로 생체내 대사조절에 이상이 생겨 혈당이 상승하는 대사성 질환이다(Macrae *et al.*, 1993b). 당뇨병자는 식이요법, 운동요법 및 약물요법을 균형있게 병행하여 항상 일정한 농도의 혈당을 유지하는 것이 치료에 매우 중요하며, 고혈당(hyperglycemia)의 발생은 여러 요인이 있으나 그중에서도 음식으로부터 취한 당성분에 의해 가장 큰 영향을 받는다. 식품 성분중 수용성 식이섬유는 당흡착능이 강해 섭취한 당 성분을 흡착하여 당 흡수를 지연시키며 배설을 돕게 되어 궁극적으로 혈당상승을 저해하므로 당뇨병 환자의 혈당조절에 도움을 주게 된다(Jenkins *et al.*, 1982b). 그러므로 당투석 지연효능이 우수한 물질은 당뇨병자의 혈당조절에 큰 도움을 주는 것으로 알려지고 있다.

따라서 귀리 β -glucan시료들의 당투석 지연효능은 매우 뛰어나 혈당강하효능이 있을 것으로 판단되었으며, 그 중에서도 당투석지연지수가 가장 큰 β -glucan No.3번 및 No.14번 분획을 항당뇨 동물실험의 시료로 최종 선정하였다.

식이섭취량 및 체중변화

실험 2주 동안의 식이섭취량과 체중변화를 조사한 결과는 Table 3과 같다.

식이섭취량은 도표에서 보는 바와 같이 정상대조

군은 일일 평균 20.6 g정도를 섭취하였고, 당뇨대조군과 귀리 β -glucan 3번군 및 14번은 정상대조군에 비해 유의적($p<0.001$)으로 많았으며, 이는 당뇨병으로 인한 다식의 증세로 생각되었다. 또 귀리 β -glucan 3번군 및 14번군간의 식이섭취량은 각각 26.0 g 및 24.7 g으로 유의적인 차이가 있었으며, 당뇨대조군과는 유의적인 차이가 없었다.

체중 변화의 경우, 당뇨대조군은 초기 160.7 g에서 2주 후 167.3 g으로 약 7g이 증가하였고, 귀리 β -glucan 3번군 및 14번군은 각각 17 g 과 19 g이 증가하여 당뇨대조군에 비해 체중증가량이 높았으나 유의성은 없었다. 일반적으로 당뇨쥐는 췌장의 이상으로 체내대사의 퇴행적인 변화 때문에 체중이 감소하는 것으로 알려져 있는데, 최와 이(1995)는 당뇨유발을 회생 4일전 streptozotocin(STZ)를 주사하여 당뇨병을 유발시킨 결과 체중이 현저히 감소하였음을 보고한 바 있으며, 이와 박(1997)도 4주간 사육후 STZ를 주사하였더니 체중이 급격히 감소하였다고 하였다. 또 제 2형 당뇨병은 비만과 밀접한 관계가 있는데 guar gum과 같은 점질성 식이섬유는 당뇨병자의 체중조절에 도움이 되는 것으로 보고되고 있다(Jenkins *et al.*, 1977a). 그러나 본 연구 결과에서는 당뇨쥐가 정상쥐의 체중증가량(79 g)에는 크게 못 미치지만 약간 증가하여 기존의 연구보고들과는 상이한 결과를 보였는데, 이는 당뇨의 유발 시기, STZ에 의한 췌장의 손상정도, 당뇨유발 전후의 실험사육 기간, 실험식이 성분조성의 차 등으로 인하여 나타나는 결과로 생각되며, 앞으로 이에 대한 추가적인 연구검토가 필요한 것으로 생각된다.

혈중 glucose 농도

실험쥐의 공복시 혈중총의 포도당 농도를 측정된 결과는 Table 4와 같다.

실험식이 1주 후 귀리 β -glucan 3번군 및 14번군은 각각 386.8 mg/dl 및 328.3 mg/dl으로 당뇨대조군

Table 3. Diet intake and body weight gains of rats fed experimental diets for 2 weeks

Groups	Diet intake (g/day)	Body weight(g)		
		Initial	Final	Gain
Normal control	20.6±0.93 ^{1)×2)}	208.0±4.99 ^a	287.0±13.55 ^a	79±9.49 ^a
Diabetic control	25.7±1.36 ^{ab}	160.7±10.88 ^b	167.3±20.98 ^c	7.0±14.91 ^b
β -glucan No.3	26.0±1.57 ^a	167.3±9.25 ^b	184.5±24.01 ^{bc}	17.0±28.78 ^b
β -glucan No.14	24.7±1.19 ^b	169.0±5.76 ^b	188.4±17.69 ^b	19.0±20.29 ^b

¹⁾Values are mean±SE in each group(n=6~10).

²⁾Means with the same letter in the same column are not significantly different($p<0.001$).

Table 4. Effects of oat β-glucan on serum glucose level of diabetic rats fed experimental diets for 2 weeks

Groups	Glucose(mg/dL)		
	0	7days	14days
Normal control	110.8±8.12 ^{1)B2)}	103.4±12.29 ^c	96.2±9.74 ^c
Diabetic control	354.3±32.36 ^a	461.7±33.02 ^a	412.3±20.99 ^a
β-glucan No.3	339.4±15.91 ^a	386.8±111.14 ^b	237.8±100.15 ^b
β-glucan No.14	348.3±40.42 ^a	328.3±51.60 ^b	266.8±61.33 ^b

¹⁾Values are mean±SE in each group(n=6~10).

²⁾Means with the same letter in the same column are not significantly different(p<0.001).

의 461.7 mg/dl에 비해 각각 16% 및 29%정도로 혈당값이 감소하였다(p<0.001). 또 실험 2주후의 혈당값은 β-glucan 3번군이 237.8 mg/dl, 14번 군은 266.8 mg/dl로 당뇨병대조군(412.3 mg/dl)에 비해 각각 42%와 32%의 높은 혈당강하효능을 보였다. 실험 1주차에는 β-glucan 14번군이 3번군에 비해 혈당감소율이 컸으나 2주차에는 β-glucan 3번군이 14번군에 비해 혈당감소효능이 높았다. 이 같은 차이는 전보에서 보고한 바와 같이 귀리 β-glucan시료 중에 함유되어 있는 β-glucan의 함량 등, 여러 가지 성분조성의 차이 때문인 것으로 생각되었다. 실험 식이를 공급한 2주 동안 당뇨병대조군의 경우는 혈당의 높은 상승으로 10마리의 rats중에 4마리가 사망하였으며, β-glucan 3번군 및 14번군은 각각 2마리씩 사망하였다.

대개 β-glucan과 같은 수용성식이섬유는 식후 접도가 높은 3차원 구조의 겔상이 되어 포도당의 흡수를 지연시켜 고혈당(hyperglycemia)을 억제하며, 혈중 인슐린 반응을 저해하는 효과가 있는데, Braaten 등(1991)은 수용성 oat gum 일정량을 사람이 섭취할 경우 식후 20분에서 60분까지 혈당과 insulin분비가 대조구에 비해 유의적으로 감소함을 보고한 바 있다. 또 이(1994)는 메밀을 3가지로 방법으로 처리하여 5%를 표준식에 섞어 당뇨병쥐에 2주간 공

급한 후 혈당변화를 조사한 결과, 메밀섭취군들이 당뇨병대조군에 비해 18%~37%의 비교적 높은 혈당강하능이 있었음을 보고한 바 있어 메밀이나 귀리와 같은 곡류에는 식이섬유와 같은 기능성 성분이 당뇨병쥐의 혈당강하효능에 관여하고 있는 것으로 생각되었다.

따라서 이상의 결과로부터 귀리 β-glucan은 당뇨병쥐의 혈당을 유의적으로 감소시킨다는 사실을 확인할 수 있었다.

중성지질, 총 콜레스테롤, HDL 및 LDL-콜레스테롤
혈청중에 함유되어 있는 중성지질 및 콜레스테롤 함량을 측정된 결과는 Table 5와 같다.

비만과 관계가 있는 것으로 알려진 중성지질(triglyceride) 농도는 귀리 β-glucan 3번군 및 14번군이 각각 71.59 mg/dl와 78.66 mg/dl로 당뇨병대조군의 105.33 mg/dl에 비해 32%와 25% 정도 유의(p<0.001)하게 감소하였다. 한편, 총 콜레스테롤 농도는 당뇨병대조군(79.13 mg/dl)과 β-glucan 3번군(75.28 mg/dl) 및 β-glucan 14번군(77.89 mg/dl) 모두 비슷한 범위의 값을 보였으며, 혈중 HDL-콜레스테롤 및 LDL-콜레스테롤 농도의 경우도 실험군 모두 비슷한 값을 보였다.

Oat bran의 콜레스테롤 저하효과에 대해서는 많은 연구 결과들이 알려져 있는데, Maier 등(2000)은 oat bran이 남성과 여성의 혈중 HDL-콜레스테롤 감소효과에 대해 보고하였고, Newman 등(1992)도 oat bran이 병아리와 쥐의 혈중 LDL-콜레스테롤을 감소시키는 효과가 있음을 보고한 바 있다. 따라서 식이섬유의 종류나 섭취량, 실험동물과 실험방법 등에 따라 수용성 β-glucan이 혈중 콜레스테롤의 농도를 저하시키는 효과는 차이가 있는 것으로 생각되었다.

이상의 결과로부터 귀리의 수용성 β-glucan 3번 및 14번 시료는 당뇨병쥐의 혈중 지질대사의 개선에

Table 5. Effects of oat β-glucan on serum lipid composition diabetic rats fed experimental diets for 2 weeks

Group	Triglyceride (mg/dL)	Total-cholesterol (mg/dL)	HDL-cholesterol (mg/dL)	LDL-cholesterol (mg/dL)
Normal control	73.28±2.84 ^{1)B2)}	77.68±3.89 ^{NS3)}	44.10±3.14 ^{NS}	18.92±5.37 ^{NS}
Diabetic control	105.33±5.50 ^a	79.13±1.14	37.40±2.01	20.67±2.53
β-glucan No.3	71.59±25.56 ^b	75.28±9.54	40.65±8.85	20.31±8.23
β-glucan No.14	78.66±14.68 ^b	77.89±6.59	41.00±6.17	21.16±7.50

¹⁾Values are meanSE in each group(n=6~10)

²⁾Means with the same letter in the same low are not significantly different(p<0.001).

NS represents not significantly different(p<0.001) among groups.

³⁾Not significant at P<0.001

의한 중성지방 감소효과는 있었으나 콜레스테롤 저하효과는 없는 것으로 확인되었다.

간장 및 비장 무게

실험쥐의 간장과 비장무게를 조사한 결과는 Table 6과 같다.

간장(Fig. 1)의 무게는 정상대조군이 10.66 g인데 비해 당뇨대조군 8.86 g, β -glucan 3번군 및 β -glucan 14번군이 각각 8.36 g 과 9.03 g으로 당뇨군 모두가 정상군에 비해 모두 유의적($p < 0.01$)으로 감소하는 경향을 보였으며, 당뇨대조군과 β -glucan 섭취군 사이에는 유의적인 차이가 보이지 않았다. 이는 일반적으로 streptozotocin에 의해 당뇨병이 유발되면 insulin저하로 정상적인 당대사가 일어나지 않아 간장내 지질성분이 축적되어 간장이 비대해 지는 것으로 알려져 있는 손 등(1992)의 보고와는 상이한 결과이다. 이는 콜레스테롤 감소효과와도 관련이 있을 것으로 생각되었으며 차후 이에 대한 추

가 연구가 있어야 할 것으로 판단되었다. 한편, 비장(Fig. 2)의 무게는 정상쥐가 평균 0.76 g 정도인데 비하여 당뇨대조군 0.33 g, 귀리 β -glucan 3번군 0.39 g, β -glucan 14번군이 0.43 g으로 당뇨군들은 정상군에 비해 비장무게가 모두 유의($p < 0.001$)하게 감소하여 당뇨군들은 비장의 기능에 이상이 초래되었음을 알 수 있었다.

결론

귀리 겉겨(OBC)로 부터 추출한 수용성 β -glucan을 건강, 기능성 식품소재로 개발하기 위하여 당투석지연지수(GDRI, %) 및 당뇨쥐의 혈당에 미치는 영향을 조사하였다. 4시간 투석후의 GDRI는 β -glucan 14번(추출온도 50°C, 에탄올농도 10%, pH 5)이 가장 높았고($p < 0.05$), 3번(추출온도 55°C, 에탄올농도 15%, pH 6) 시료도 비교적 높은 값을 보였다. 2주 동안 β -glucan 3번 및 14번군을 섭취한 실험쥐들의 체중은 각각 17 g과 19 g이 증가하여 당뇨대조군(7 g)에 비해 체중증가는 높았으나 유의성은 없었다. 2주후 혈당 농도는 β -glucan 3번 및 14번군이 각각 237.8 mg/dL 및 266.8 mg/dL으로 대조군(412.3 mg/dL)에 비해 42%와 35% 정도 유의적인 감소를 보였다($p < 0.001$). 중성지방농도는 β -glucan 3번군(71.59 mg/dL) 및 14번군(78.66 mg/dL)이 당뇨대조군(105.33 mg/dL)에 비해 32%와 25% 정도의 유의적인 감소를 보였다. 귀리 β -glucan 3번 및 14번을 섭취한 실험군의 혈중 총 콜레스테롤, HDL 및 LDL-콜레스테롤에는 거의 영향이 없었다. 당뇨실험군의 간장 및 비장의 무게는 정상대조군에

Table 6. Weight of liver and pancreas of rats fed experimental diets for 2 weeks

Groups	Liver ¹⁾	Spleen ²⁾
Normal control	10.66±1.64 ^{3a}	0.76±0.07 ^a
Diabetic control	8.86±0.61 ^b	0.33±0.09 ^b
β -glucan No.3	8.36±1.01 ^b	0.39±0.14 ^b
β -glucan No.14	9.03±1.07 ^b	0.43±0.11 ^b

¹⁾Means with the same letter in the same column are not significantly different($p < 0.01$).

²⁾Means with the same letter in the same column are not significantly different($p < 0.001$).

³⁾Values are mean±SE in each group($n=6-10$).

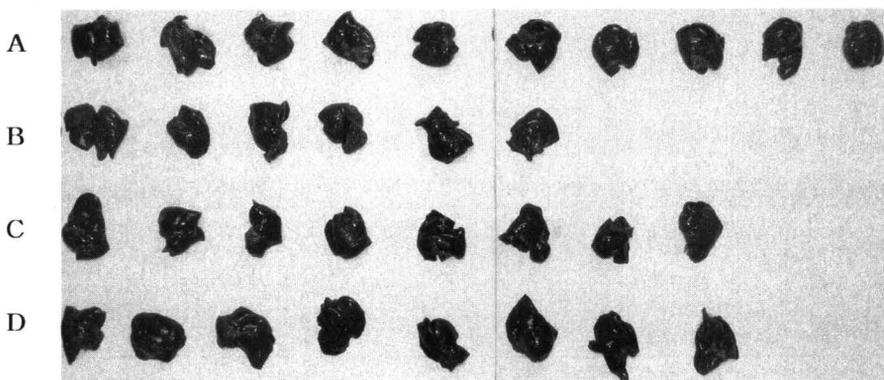


Fig. 1. Photograph of livers of rats fed experimental diets for 2 weeks.

A: group of normal control, B: group of diabetic control, C: group of β -glucan No. 3, D: group of β -glucan No. 14

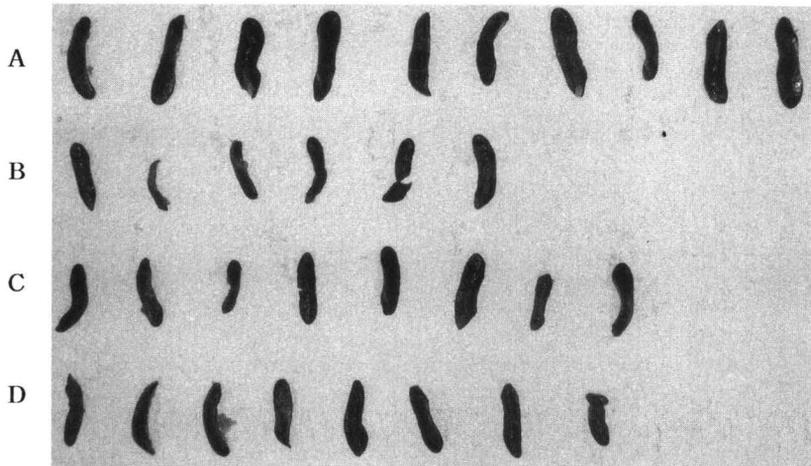


Fig. 2. Photograph of spleens of rats fed experimental diets for 2weeks

A: group of normal control, B: group of diabetic control, C: group of diabetic β -glucan No. 3, D: group of diabetic β -glucan No. 14

비해 유의적으로 감소하였다($p < 0.01 \sim 0.001$).

감사의 글

본 연구는 보건복지부 보건의료기술연구개발사업 (02-PJ1-PG4-PT04-0003)의 지원에 의해 이루어진 연구 결과의 일부로 감사드립니다.

문헌

강태수, 정현상, 박희정, 이명렬, 공영준, 정익수. 2003. 귀리 수용성 β -glucan의 생물활성. 한국식품저장유통학회지 **10**: 547-553.

박성현. 1985. 회귀분석. 대영사

성낙주, 이수정, 신정혜, 이일숙, 정영철. 1996. 도라지추출액이 Alloxan유발 당뇨성 흰쥐의 혈당 및 지질성분에 미치는 영향. 한국식품영양과학회지 **25**: 986-992.

손기호, 김석환, 최종원. 1994. 고혈당 쥐의 췌장효소 활성에 미치는 nicotinamide의 영향. 한국영양과학회지 **21**: 117-124

이경숙, 이서래. 1996. *In vitro*법에 의한 식이섬유의 포도당 및 담즙산 흡수 지연 효과. 한국영양학회지 **29**: 738-746

이순재, 박규영. 1997. Streptozotocin 유발 당뇨쥐 간조직에서의 3-hydroxy-3-Methyl-glutaryl Co Enzyme A Reductase 활성과 혈중지질수준에 미치는 녹차 catechin의 영향. 한국식품영양과학회지 **26**: 1187-1193

이정선. 1994. 메틸식이카 당뇨대사에 미치는 영향. 한양대학교 박사학위논문

이현자. 1992. *Equisetum arvense* L. 이 streptozotocin유발 당뇨성 쥐의 항당뇨 작용에 미치는 영향. 동아대학교

석사학위논문

정현상, 강태수, 박희정, 정익수, 이항영. 2004. 귀리 수용성 추출물의 성분과 점도특성. 산업 식품공학 **8**: 40-46.

최원경, 이순재. 1995. Streptozotocin유발 당뇨쥐에 있어서 metallothionein 합성에 미치는 비타민 E의 영향. 한국영양과학회지 **24**: 183-194.

Adiotomre, J., Eastwood, M.A., Edward, C.A. and Brydon, W.G. 1990. Dietary fiber: in vitro method that anticipate nutrition and metabolic activity in humans. *Am. J. Clin. Nutr.* **52**: 128-134.

Aman, P. and 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.

Aspinall, G.O. and Carpenter, R.C. 1984. Structural investigations on the non-starchy polysaccharides of oat bran. *Carbohydrate polymers* **4**: 271-282.

Bell, S., Goldman, V.M., Bistran, B.R., Arnold, A.H., Ostroff, G.H. and Forse, R.A. 1999. Effect of β -glucan from oats and yeast on serum lipids. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* **39**: 189-202.

Braaten, J. T., Wood, P. J., Scott, F. W., Riedel, D.K., Poste, L.M. and Colins, M.W. 1991. Oat gum lowers glucose and insulin after an oral glucose load. *Am. J. Clin. Nutr.* **53**: 1425-1430

Estrada, A., Yun, C.H., Kessel, A.V., Li, B., Hauta, S. and Laarveld, B. 1997a. Immunomodulatory activities of oat β -glucan in vitro and in vivo. *Microbial. Immunol.* **41**: 991-998

Estrada, A., Kessel, A.V. and Laarveld, B. 1999b. Effect of administration of oat β -glucan on immune parameters of healthy and immunosuppressed beef steers. *Can. J. Vet. Res.* **63**: 261-268

- Fincher, G.B. 1975. Morphology and chemical composition of barley endosperm cell walls. *J. Inst. Brew.* **81**: 116-122
- Jenkins, D.J.A., Wolever, T.M.S., Hockaday, T.D.R., Leeds, A.R., Haworth, R., Bacon, S., Apling, E.C. and Dilawari, J. 1977a. Treatment of diabetes with guar gum, *Lancet* **2**: 779-780
- Jenkins, D.J.A., Ghafari, H., Wolever, T.M.S., Taylor, R.H., Baker, H.M., Fielden, H., Jenkins, A.L. and Bowling, A.C. 1982b. Relationship between the rate of digestion of foods and postprandial glycemia. *Diabetologia* **22**: 450-455.
- Lee, Y.T. 1996. Physicochemical characteristics and physiological function of β -glucans in barley and oats. *korean J. Crop. Sci.* **41**: 10-24.
- Macrae, R., Robinson, R.K. and Sadler, M.J. 1993a. Encyclopedia of food science food technology and nutrition. Academic Press, USA, pp. 3319-3322.
- Macrae, R., Robinson, R.K. and Sadler, M.J. 1993b. Encyclopedia of food science food technology and nutrition. Academic Press, USA, pp. 1329-1354.
- Maier, S.M., Turner, N.D. and Lupton, J.R. 2000. Serum lipids in hypercholesterolemia men and women consuming oat bran and amaranth products. *Cereal Chem.* **77**: 297-302.
- Newman, R.K., Klopfenstein, C.F., Newman, C.W., Guritno, N. and Hofer, P.J. 1992. Comparison of the cholesterol-lowering properties of whole barley, oat bran, and wheat red dog in chicks and rats. *Cereal chem.* **69**: 240-244.
- Ranhotra, G.S., Gelroth, J.A., Astroth, K. and Bhatti, R.S. 1991. Relative lipidemic responses in rats fed barley and oat flours and their fractions. *Cereal Chem.* **68**: 548-551.
- Wood, P.J., Weisz, J., Fedec, P. and Burrows, V.D. 1989. Large scale preparation and properties of oat fractions enriched in (1 \rightarrow 3)(1 \rightarrow 4)- β -D-glucan, *Cereal Chem.* **66**: 97-103.