

단기간의 식이섬유 첨가물의 섭취가 인슐린 비의존성 당뇨병 환자의 당질대사에 미치는 영향

이연경[†] · 이혜성 · 김보완*

경북대학교 식품영양학과

*경북대학교 의과대학 내과학교실

Effect of Short-Term Feeding of Dietary Fiber Supplements on Glucose Metabolism in Subjects with Non-Insulin-Dependent Diabetes Mellitus

Yeun-Kyung Lee[†], Hey-Sung Lee and Bo-Wan Kim*

Dept. of Food Science and Nutrition, Kyungpook National University, Taegu 702-701, Korea

*Internal Medicine, Kyungpook National University, Taegu 702-701, Korea

Abstract

High dietary fiber(DF) diets lower blood glucose and insulin requirements in diabetics. In this study we evaluated the effects of high dietary fiber(DF) food supplements on glucose metabolism in thirty-four subjects with non-insulin-dependent diabetes mellitus(NIDDM). The subjects were divided into three test groups. Each group's prescribed hospital diets were augmented by one of the three following DF supplements for two weeks: Soybean biscuits containing 5g of total DF—the control group(n=15); Biji biscuits containing 20g of total DF—the high insoluble DF group(n=9); and sea tangle biscuits containing 25g of total DF—the high soluble DF group(n=10). The mean daily DF intake of the subjects during the period were: 19.1 ± 4.3 g for the soybean control group; 32.5 ± 4.1 g for the Biji group; and 38.1 ± 5.5 g for the sea tangle group. The supplementation of the Biji or sea tangle biscuits significantly lowered fasting serum glucose levels($p < 0.05$) and resulted in the improvement of glucose tolerance. However, the secretions of insulin, C-peptide, and glucagon and HbA_{1c} concentration were not affected by the high fiber supplementary feeding for two weeks. The urinary excretion of glucose decreased remarkably after the addition of the DF supplements in all three groups($p < 0.05$). The results indicate that the supplementation of Biji or sea tangle biscuits possesses a beneficial effect on the improvement of glucose metabolism in subjects with NIDDM.

Key words: dietary fiber, glucose metabolism, diabetes mellitus

서 론

식이섬유의 섭취 부족이 당뇨병의 발병에 원인적 요소로 작용할 가능성이 있다고 Trowell과 Woodgreen (1)이 제시한 후 Anderson 등(2-5)은 고탄수화물-고섬유식이 인슐린 의존성 및 비의존성 당뇨병 환자의 혈당과 인슐린 요구량을 감소시키며, 혈중 지질의 농도를 저하시킨다고 보고하였고, 이와 같은 식이섬유의 유익한 효과는 많은 연구를 통하여 뒷받침되어 현재 당뇨병 환자를 위한 식사요법의 초점은 고복합탄수화물, 고식이섬유 및 저지방식이라는 데 의견의 일치를 보이고 있다(6-9).

우리나라 일부 당뇨병 환자들의 1일 평균 식이섬유 섭취량은 17g(10.5g/1000kcal)으로 나타나(10) 당뇨병 환자에 대한 권장량인 40g(25/1000kcal)(7)에 상당히 미달되었으며, 한국인의 평균 식이섬유 추정 섭취량(17.3g)(11)과 차이가 없었다. 따라서 당뇨병 환자에게 고식이섬유식을 권장하고 있으나 실천이 어려운 점을 감안할 때 당뇨병 환자의 식이섬유 섭취량을 증가시키기 위한 방법으로서 식이섬유가 고농도로 함유되고 열량이 낮은 보충식품을 개발하면 이미 그 효과가 알려져 있음에도 불구하고 섭취에 따른 구토감과 거부감 등으로 인해 실용화가 어려운 구아와 펙틴과 같은 일

[†]To whom all correspondence should be addressed

부 수용성 정제 식이섬유와는 달리 맛에 대한 호응도가 높아 당뇨병 환자의 식이요법에 보다 큰 도움이 될리라 생각된다.

콩류는 일반적으로 혈당지수(glycemic index, GI)가 낮아 당뇨병 환자에게 유익하다고 보고되어 있으며(12,13), 콩제품 중 두부제조시 부산물인 비지의 경우 혈당지수가 매우 낮을 뿐 아니라(GI=6)(14) 총 식이섬유 함량이 70%에 달하는 고식이섬유 물질이므로 당뇨병의 대사 개선을 위한 유용한 식이섬유 소재로서 가능성을 검토하는 것은 새로운 식품자원의 개발이라는 점에서도 그 의의가 있다고 생각된다. 그리고 해조류는 총 식이섬유 함량이 32.7~74.6%, 그 중 수용성 식이섬유가 51.6~85.0%로 풍부하며(15) 홍조류의 추출물인 alginate, carrageenan과 agar는 점성용액 즉 겔(gel)을 형성한다고 알려져 있다(16). 또한 alginate, carrageenan 등이 당질대사 개선에 효과적임이 보고되었으므로(17,18) 한국인이 상용하는 해조류 중 특히 점성물질이 풍부한 다시마에 대해서도 천연 고식이섬유 첨가물로서의 유용성을 검토해 보는 것은 의미있는 일로 보인다.

이에 본 연구에서는 당뇨병 환자의 식이섬유 권장량인 1일 40g 섭취를 돕기 위한 고식이섬유 첨가물의 소재로서 비지와 다시마를 선정하여 이들을 맛과 소화면에서 섭취하기 좋은 식품의 형태로 제조하고, 임상실험을 통하여 이들 식이섬유 첨가물이 인슐린 비의존성 당뇨병 환자의 당질대사에 개선효과가 있는지를 실험 조사하여 당뇨병 환자를 위한 치료보조식품으로서의 유용성을 검토하고자 하였다.

연구 방법

조사대상

경북대학교병원 내분비내과에 입원한 인슐린 비의존성 당뇨병 환자 가운데 소화기계나 신장질환, 그리고 중증의 당뇨병성 만성 합병증이 없고 임상 연구에 협조적인 34명을 대상으로 하였다. 대상자들은 저식이섬유 섭취 대조군(low dietary fiber group, LDF)과 고식이섬유군으로 구분하고 고식이섬유 섭취군은 다시 불용성 고식이섬유 섭취군(Insoluble dietary fiber-rich group, SDF)과 수용성 고식이섬유 섭취군(soluble dietary fiber-rich group, SDF)으로 임의로 분배하였다. 이들 각군의 임상적 특성은 Table 1에서 처럼 연령 등의 신체적 조건이나 혈당, 혈청 지질 등의 당뇨병 대사 지표에 차이가 없었다. 식이섬유 첨가물의 투여 및 혈액, 소변, 대변 시료의 채취는 실험대상자 개인의 입원기간 18일 동안 행하여졌으며 이 기간 동안 실험 일정은 전보(19)와 같다.

경구 당부하검사(Oral glucose tolerance test)

식이섬유 첨가물을 섭취하기 전과 섭취 2주 후 12시간 이상 금식시킨 후 75g의 포도당을 경구 투여하고 투여 전과 투여 후 30, 60, 90, 120 및 180분에 정맥 채혈하였다. 혈당 농도는 Glucose Analyzer(YSI 2300 STAT, U.S.A.)로 분석하였으며, 혈중 C-peptide와 glucagon의 농도는 이중항체법(double antibody method)을 이용한 Diagnostic Products Corporation(U.S.A.)사의 radioimmunoassay kit를, insulin 농도는 INSI-PR(France)

Table 1. Clinical characteristics of subjects with non-insulin-dependent diabetes mellitus

Characteristics	LDF	IDF	SDF
	(n=15)	(n=9)	(n=10)
Sex(M/F)	(5/10)	(3/6)	(3/7)
Age(yr)	51.1± 9.5	52.8± 4.8	53.9± 5.0
Diabetes duration(yr)	8.0± 6.0	7.4± 6.0	7.2± 5.9
Height(cm)	160± 8.3	158± 9.5	157± 9.5
Weight(kg)	57± 9.0	60± 7.5	54± 14.6
BMI(kg/m ²)	22.1± 2.3	23.9± 3.3	21.7± 5.0
sBP(mmHg)	114.7± 11.8	124.4± 18.7	121.0± 28.4
dBp(mmHg)	72.7± 5.9	80.0± 10.0	78.0± 18.1
FBS(mg/dl)	190.6± 15.6	204.6± 16.1	190.7± 25.3
HbA _{1c} (%)	9.6± 1.0	9.2± 0.9	9.4± 0.8
Calorie intake(kcal/day)	1587± 235.6	1478± 233.3	1550± 236.8
Antidiabetic treatment(n)			
Oral hypoglycemic agent	4	4	4
Insulin	11	5	6

Mean±S.D. LDF: Low dietary fiber group, IDF: Insoluble dietary fiber-rich group, SDF: Soluble dietary fiber-rich group, sBP: Systolic blood pressure, dBp: Diastolic blood pressure, FBS: Fasting blood sugar, HbA_{1c}: Hemoglobin A_{1c}

사의 radioimmunoassy kit를 이용하여 Gamma counter (Cobra II, packard A Canberra Co., U.S.A.)로 자동분석하였다.

글루카곤 자극검사(Glucagon stimulation test)

글루카곤 자극에 의한 C-peptide 반응은 12시간 이상 금식 후 glucagon(Novo) 1mg을 정맥 주사한 후 0, 6, 9 및 15분에 각각 채혈하여 방사면역 측정법으로 측정하였다.

당화혈색소 및 뇨당농도 측정

당화혈색소(Glycosylated hemoglobin, HbA_{1c})의 농도는 Bio Rad Laboratory(U.S.A.)의 column을 이용한 microchromatography 방법으로 측정하였다. 뇨당 농도는 Glucose Analyzer(YSI 2300 STAT, U.S.A.)로 측정하고 1일 배설되는 뇨당의 총량을 구하였다.

식이섬유 섭취량 조사

식이섬유 섭취량은 24시간 회상법에 의해 실험기간 중 매일 조사하였으며, 전보(20)에서와 동일한 방법으로 LOTUS 123 program을 이용하여 분석하였다.

자료의 통계처리

식이섬유의 섭취량은 평균치와 표준편차로 나타내고, 임상실험의 결과는 평균치와 표준오차로 산출하였다. 실험식 섭취 전후의 차이는 Student's t-test에 의해 유의성을 검증하고, LDF, IDF, SDF 세군간의 비교는 oneway ANOVA와 Duncan's multiple comparison test(21)에 의해 p<0.05 수준에서 유의성을 검증하였다.

결과 및 고찰

당뇨병 환자에서 식이섬유가 당질대사를 개선시키

는 기전이 아직 완전히 규명되지 않았다. 지금까지 알려진 기전으로는 당질의 소화관에서의 영향(22-26), 말초조직에서의 인슐린 저항성의 개선(27-31), 췌장의 β -세포에서 인슐린 분비능의 증진(32,33) 또는 당대사에서 인슐린 작용에 길항하는 중요 호르몬인 글루카곤 분비의 억제(34) 등이 보고되었다.

식이섬유 섭취상태

식이섬유의 일일 평균 섭취량은 Table 2와 같다. 병원에서 처방된 식사에 더하여 일일 5g의 식이섬유를 첨가한 저식이섬유군, 20g의 식이섬유를 첨가한 불용성 고식이섬유군, 25g의 식이섬유를 첨가한 수용성 고식이섬유군의 실제 일일 식이섬유 섭취량은 각각 19.1±4.3g(13.8±8.0g/1000kcal), 32.5±4.4g(19.7±3.8g/1000kcal), 38.1±5.5g(24.5±4.5g/1000kcal)이었다.

당부하시 내당능의 변화

당뇨병 환자에게 식이섬유의 투여 전과 2주 동안의 투여 후에 실시한 경구 당부하 검사의 결과는 Fig. 1과 같다. 식이섬유 투여 전 세군의 공복 시 혈당치 및 포도당 부하 후 30분, 60분, 90분, 120분, 180분의 혈당 수준도 각 군간에 유의한 차이는 없었다. 저식이섬유군에서는 2주간의 식이섬유 투여 후 공복 시와 당부하 후 60분에서의 혈당치는 섭취 전에 비해 유의한 감소를 보였다(p<0.05). 불용성 고식이섬유군은 2주간의 식이섬유 투여 후 공복 시 혈당은 물론 당부하 후 180분까지 모두 투여 전에 비해 유의한 혈당 감소를 나타내었다(p<0.05). 수용성 고식이섬유군은 2주간의 식이섬유 투여 후 공복 시와 30분, 60분과 180분에 투여 전 보다 유의한 혈당 감소를 나타내었다(p<0.05). 식이섬유 첨가물의 투여 전, 후를 비교한 이러한 혈당치의 변화폭을 백분율로 보면 Fig. 2와 같다. 저식이섬유군의 경우 가장 큰 감소를 보인 것은 공복 시에 20.7%였고, 불용성 고식이섬유군과 수용성 고식이섬유군은 공복 시에

Table 2. Mean daily intakes of dietary fiber and crude fiber during supplementation of different levels and sources of dietary fiber in subjects with non-insulin-dependent diabetes mellitus

	Total daily intake		Intake/1000kcal		DF/CF ratio
	DF	CF	DF	CF	
	g		g		
LDF(n=15)	19.1±4.3 ^a	8.3±2.5 ^a	13.8±8.0 ^a	6.0±3.3 ^a	2.4±0.5 ^a
IDF(n=9)	32.5±4.1 ^b	10.9±2.9 ^b	19.7±3.8 ^b	7.1±3.9 ^{ab}	2.8±0.5 ^b
SDF(n=10)	38.1±5.5 ^c	13.1±2.4 ^c	24.5±4.5 ^c	8.4±2.1 ^a	2.9±0.7 ^b

Mean±S.D. LDF: Low dietary fiber group, IDF: Insoluble dietary fiber-rich group, SDF: Soluble dietary fiber-rich group, DF: Dietary fiber, CF: Crude fiber

Different superscripts in the same column indicate significant differences(p<0.001) between group by Duncan's multiple comparison test

각각 36.3%, 35.0%로 저식이섬유군에 비해 공복 시 혈당은 유의하게 큰 감소를 나타냈다($p < 0.05$). 식이섬유 첨가물의 섭취 후 섭취 전에 비해 모든 군에서 혈당이 전반적으로 감소하였으며 공복 시와 당부하 후 시간대별로 저식이섬유군은 10~20%, 불용성 고식이섬유군은 17~36%, 수용성 고식이섬유군은 17~35%의 감소율을 보였다.

식이섬유의 혈당 반응에 대한 소화관에서의 작용 기전은 위 배출 시간의 지연(22), 장 통과 시간의 지연(23), 공장과 회장의 상피세포의 미세융모를 통과하는 단당

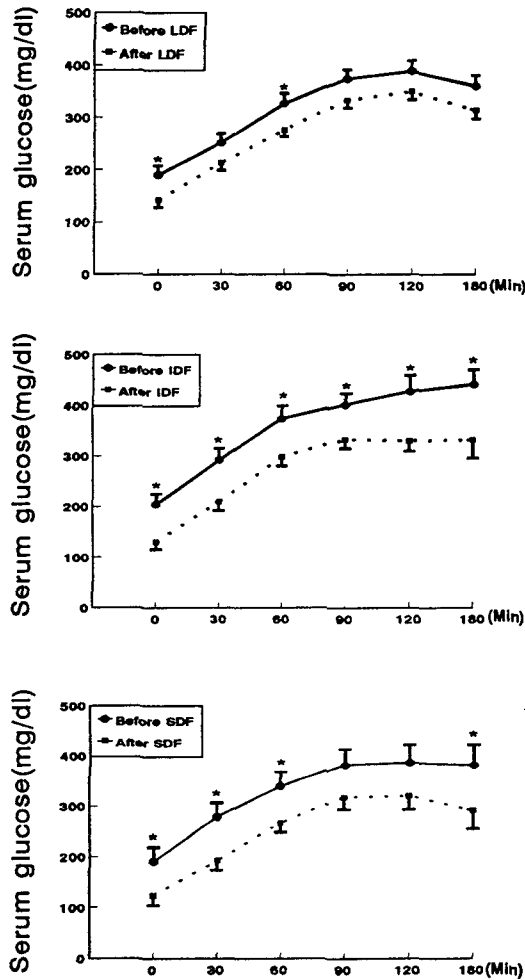


Fig. 1. Serum glucose concentrations during oral glucose tolerance test before and 2-week after supplementation of different levels and sources of dietary fiber in subjects with non-insulin-dependent diabetes mellitus. LDF: Low dietary fiber group, IDF: Insoluble dietary fiber-rich group, SDF: Soluble dietary fiber-rich group, *: Before and 2-week after treatment ($p < 0.05$).

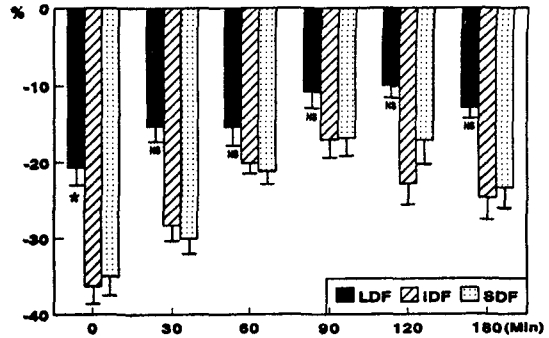


Fig. 2. Percent changes of serum glucose levels during oral glucose tolerance test after dietary fiber supplementation in subjects with non-insulin-dependent diabetes mellitus. LDF: Low dietary fiber group, IDF: Insoluble dietary fiber-rich group, SDF: Soluble dietary fiber-rich group, *: LDF vs IDF and SDF group ($p < 0.05$), NS: Not significant.

류의 흡수 속도의 지연(24) 등이 관련되는 것으로 보고되었다. Torsdottir 등(17)은 해조류의 일종인 alage로부터 추출한 alginate fiber가 점성의 젤을 형성하여 위 배출 시간을 지연시킴으로써 혈당을 개선시킴을 증명하였으나, Blackburn 등(24)은 위 배출 시간과는 무관하게 구아검을 포도당용액과 함께 공장에 주입하여 장 내용물의 점성을 증가시켜 포도당의 장 흡수속도를 지연시킴으로써 혈당 개선에 효과적임을 입증하였다. 점성의 검(gum)이 장 통과시간을 지연시킴으로써 혈당 상승을 감소시킨다고 알려져 있으며(23), 몇몇 연구자들(25,26)은 oat gum과 펙틴 등의 수용성 식이섬유가 소장의 unstirred water layer의 두께를 증가시킴으로써 포도당의 장 흡수를 지연시키며 그 효과는 점성에 비해한다고 보고하였다.

본 연구에서는 수용성 식이섬유 뿐 아니라 불용성 식이섬유를 섭취했을 때도 내당능이 개선되었다. 이는 Bosello 등(35)이 wheat bran 20g을 내당능장애(impaired glucose tolerance) 환자에게 1개월간 섭취시켰을 때 혈당 및 인슐린 반응곡선 아래의 면적이 유의하게 감소되었다는 보고와 일치한다. 또한 불용성 식이섬유인 cellulose와 hemicellulose의 주성분인 uronic acid가 혈당지수와 유의한 역상관계가 있으므로 혈당 저하 효과에 불용성 식이섬유가 주된 작용을 하며(36), 44개 식품들의 총 식이섬유 함량과 혈당 지수간의 회귀곡선으로부터 산출한 혈당지수 중 비지의 혈당지수가 6으로 가장 낮았다(37)는 보고들이 이를 뒷받침한다. 비지의 주재료인 콩에는 상당량의 lectin, saponin, phytate, tannin 등의 antinutrient가 포함됨으로써 혈당지수를 낮추어 당뇨병 환자의 식사에 첨가할 때 인슐린 요구

량의 증가없이 당질대사에 유익한 영향을 미치며(13), 콩의 cellulose와 uronic acid 함량은 곡류 보다 더 높으며 다른 식품 보다 더 낮은 혈당 반응을 나타낸다고 보고된 바 있다(38).

고혈당은 그 자체가 말초의 인슐린 저항성을 초래하며, 고혈당 자극에 대한 β 세포의 민감성을 손상시킨다는 “포도당 독성(glucose toxicity)” 가설(39)은 1985년 Unger와 Grundy(40)에 의해 처음으로 제안된 이후 당뇨병 동물 모델과 *in vitro* system 등 많은 실험을 통해

입증되었다(41-45). 임상연구를 통한 증거들은 다소 불충분하나 Yki-Jarvinen 등(46)은 인슐린 의존성 당뇨병 환자에서 24시간 고혈당이 인슐린에 의한 포도당의 이용율을 20% 감소시킴을 보여주었다. 본 연구에서 보여진 식이섬유 첨가물 섭취 후 공복 시 고혈당의 뚜렷한 감소는 이차적으로 인슐린 민감성의 개선과 췌장 β 세포의 기능적 호전을 예상하게 한다.

당부하시 혈중 insulin, C-peptide 농도의 변화

혈중 인슐린 농도의 공복시 및 경구 당부하에 의한 변화는 Fig. 3과 같다. 식이섬유 첨가물 섭취 전 각 군별 혈중 인슐린 농도간에 차이가 없었으며 2주간의 식이섬유 섭취 후 당부하에 따른 혈중 인슐린 농도도 각 군간 및 각 군내 유의한 차이가 없었다. 2주간의 식이섬유 첨가물의 투여 전과 후 공복시 및 경구 당부하에 의한 혈중 C-peptide 농도의 변화는 Fig. 4와 같으며 각 군간 또는 군내 섭취 전 후의 농도에도 전혀 차이가 없었다.

인슐린 비의존성 당뇨병 환자의 내인성 인슐린의 분비를 평가한 DeFronzo 등(32)의 연구에서 고식이섬유 섭취 시 혈당은 개선되었으나 요중 C-peptide 배설량이 대조군과 차이가 없었으므로 개선된 혈당 조절이 인슐린 분비의 증가와 관련되지 않음을 시사하였다. 또한 Anderson 등(33)은 고식이섬유 섭취로 인슐린의 분비가 증가되지는 않았으나 공복시 인슐린 농도와 당부하에 따른 인슐린의 반응이 저하된다고 보고하였다.

당부하시 혈중 glucagon 농도의 변화

식이섬유 첨가물 섭취 전, 후 경구당부하에 따른 혈중 글루카곤 농도의 변화는 Fig. 5와 같다. 비스킷 섭취 후 세 군 모두 모든 시간대에서 비스킷 섭취 전에 비해 혈중 글루카곤 농도가 전반적으로 감소했으나 그 차이가 유의하지는 않았다.

Unger와 Orei(47)는 정상인에서 당부하 후 글루카곤의 분비는 거의 변동이 없으며 다량의 당투여 시 억제될 수 있으나, 당뇨병 환자에서는 당부하 후 글루카곤의 과다 분비가 내인성 당생성을 일으킨다고 주장하였다. Morgan 등(48)은 고식이섬유 식사 후 저식이섬유 섭취시에 비해 글루카곤의 농도가 낮아짐을 관찰하고 이러한 글루카곤 농도의 감소가 말초조직에서의 인슐린의 효과를 촉진시키는 요인이 될 것이라고 제안하였다. Miranda와 Horwitz(49) 및 Tasi 등(50)은 당뇨병 환자에게 고식이섬유식과 soy polysaccharide 국수

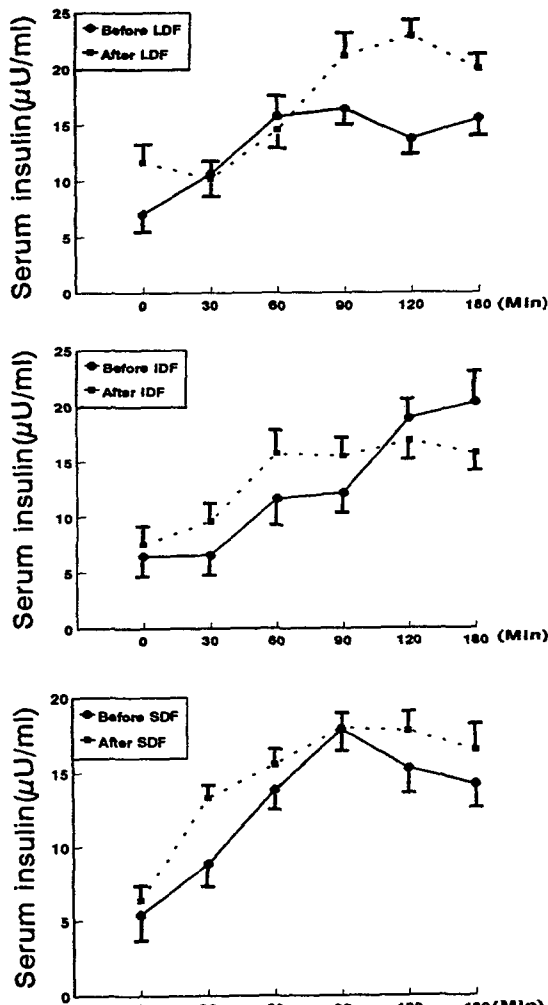


Fig. 3. Serum insulin concentrations during oral glucose tolerance test before and 2-week after supplementation of different levels and sources of dietary fiber in subjects with non-insulin-dependent diabetes mellitus. LDF: Low dietary fiber group, IDF: Insoluble dietary fiber-rich group, SDF: Soluble dietary fiber-rich group, Not significant.

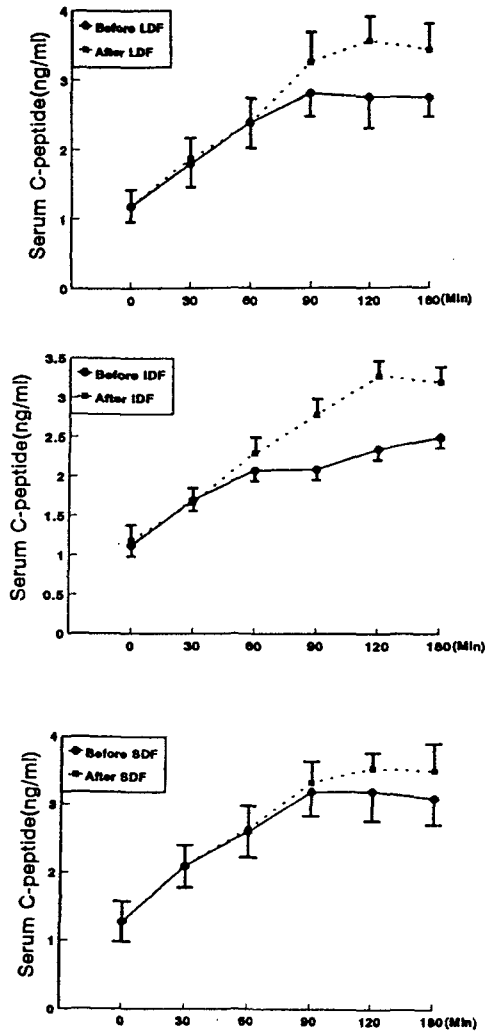


Fig. 4. Serum C-peptide concentrations during oral glucose tolerance test before and 2-week after supplementation of different levels and sources of dietary fiber in subjects with non-insulin-dependent diabetes mellitus. LDF: Low dietary fiber group, IDF: Insoluble dietary fiber-rich group, SDF: Soluble dietary fiber-rich group, Not significant.

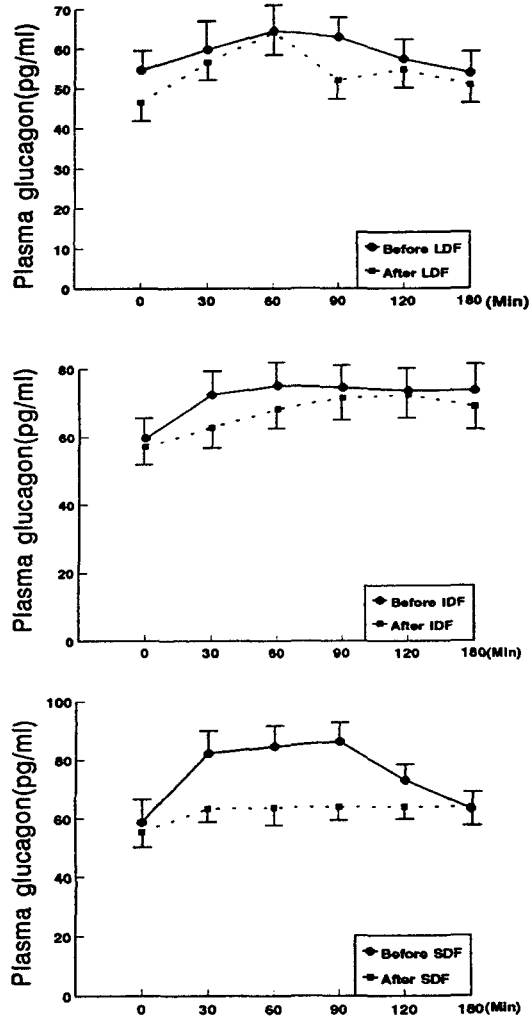


Fig. 5. Plasma glucagon concentrations during oral glucose tolerance test before and 2-week after supplementation of different levels and sources of dietary fiber in subjects with non-insulin-dependent diabetes mellitus. LDF: Low dietary fiber group, IDF: Insoluble dietary fiber-rich group, SDF: Soluble dietary fiber-rich group, Not significant.

를 섭취시켰을 때 혈중 글루카곤의 농도가 저하됨을 보고하였으나, 본 연구에서의 마찬가지로 Matsuura 등(51)도 glucomannan 투여 후 경구 당부하검사 동안 혈중 글루카곤 농도에 변화가 없었다고 보고하였다.

글루카곤 자극 후 C-peptide 농도의 변화

인슐린 분비능을 검토하기 위한 또 다른 방법으로 식이섬유 첨가물 섭취 전, 후 글루카곤 자극 검사를 실시

한 결과는 Table 3과 같다. 식이섬유 첨가물 섭취 전 공복시 C-peptide 농도는 저식이섬유군이 $1.10 \pm 0.16 \text{ ng/ml}$, 불용성 고식이섬유군이 $0.93 \pm 0.15 \text{ ng/ml}$, 수용성 고식이섬유군이 $1.27 \pm 0.23 \text{ ng/ml}$ 이었으며 섭취 후에는 저식이섬유군이 $1.05 \pm 0.19 \text{ ng/ml}$, 불용성 고식이섬유군이 $1.04 \pm 0.18 \text{ ng/ml}$, 수용성 고식이섬유군이 $1.25 \pm 0.24 \text{ ng/ml}$ 로 섭취 전에 비해 약간 증감을 보였으나 유의한 차이는 없었다.

Table 3. Serum C-peptide concentrations during glucagon stimulation test before and 2-week after supplementation of different levels and sources of dietary fiber in subjects with non-insulin-dependent diabetes mellitus

Groups		Serum C-peptide concentrations(ng/ml)			
		0min	6min	9min	15min
LDF(n=15)	Before	1.10±0.16 ^{NS}	2.50±0.26 ^{NS}	2.40±0.28 ^{NS}	1.81±0.23 ^{NS}
	After	1.05±0.19	2.27±0.39	2.25±0.40	1.72±0.32
IDF(n=9)	Before	0.93±0.15 ^{NS}	1.89±0.33 ^{NS}	1.87±0.31 ^{NS}	1.48±0.26 ^{NS}
	After	1.04±0.18	1.78±0.34	1.84±0.35	1.58±0.33
SDF(n=10)	Before	1.27±0.23 ^{NS}	2.47±0.49 ^{NS}	2.48±0.53 ^{NS}	1.87±0.36 ^{NS}
	After	1.25±0.24	2.39±0.38	2.28±0.40	1.97±0.39

Mean±S.E. LDF: Low dietary fiber group, IDF: Insoluble dietary fiber-rich group, SDF: Soluble dietary fiber-rich group, NS: Not significant

Table 4. Glycosylated hemoglobin, urine volume and urinary glucose excretion before and 2-week after supplementation of different levels and sources of dietary fiber in subjects with non-insulin dependent diabetes mellitus

	HbA _{1c} (%)		Urine volume(ml/day)		Urinary glucose(g/day)	
	Before	After	Before	After	Before	After
LDF(n=15)	9.6±1.0 ^{NS}	9.4±0.6	1738.3±228.2 ^{NS}	1614.2±136.1	54.42±23.2 ^a	4.74±2.6 ^b
IDF(n=9)	9.2±0.9 ^{NS}	8.5±0.6	1722.2±161.1 ^{NS}	1507.7±128.3	43.31±18.7 ^a	0.78±0.2 ^b
SDF(n=10)	9.4±0.8 ^{NS}	8.3±0.8	1997.5±289.1 ^{NS}	1717.5±159.7	50.27±25.9 ^a	2.30±0.9 ^b

Mean±S.E. LDF: Low dietary fiber group, IDF: Insoluble dietary fiber-rich group, SDF: Soluble dietary fiber-rich group, HbA_{1c}: Hemoglobin A_{1c}

Different superscripts in the same row indicate significant differences(p<0.05) between before and after within groups by Student's t-test. NS: Not significant

다른 혈당조절 지표들의 변화

당화혈색소와 일일 뇨 배설량 및 뇨당 배설량의 변화는 Table 4와 같다. 비스킷 섭취 전 당화혈색소는 저식이섬유군이 9.6±1.0%, 불용성 고식이섬유군이 9.2±0.9%, 수용성 고식이섬유군이 9.4±0.8%이었으며 섭취 후에는 저식이섬유군이 9.4±0.6%, 불용성 고식이섬유군이 8.5±0.6%, 수용성 고식이섬유군이 8.3±0.8%로서 모든 군에서 비스킷 섭취 후 당화혈색소가 감소하는 경향이었으나 섭취 전에 비해 유의한 차이는 없었으며 군간에도 유의한 차이는 없었다. 일일 뇨 배설량은 비스킷 섭취 전에 비해 섭취 후 모든 군에서 뇨 배설량이 감소하는 경향이었으나 유의한 차이는 없었으며, 군간에도 뇨 배설량의 유의한 차이는 없었다. 24시간 뇨당의 배설량은 모든 군에서 2주간의 비스킷 섭취 후 유의한 감소가 있었다. 그러나 세 군간에 유의한 차이는 인정되지 않았다.

저자가 관찰한 대상들은 공복 혈당이 평균 약 200mg/dl 수준으로 중등도 이상의 고혈당이 있으면서 공복 시의 기저 혈청 C-peptide 농도가 평균 약 1.2ng/ml이고 포도당이나 글루카곤의 자극에 대해 반응이 둔화되어 있어 인슐린 분비의 기능적 장애가 동반된 것으로 판단된 인슐린 비의존성 당뇨병 환자들이었다. 이들에게

당뇨병의 조절을 위해 2주 동안 기존의 치료법을 강화하면서 식이섬유를 첨가하여 복용시킨 결과 불용성 식이섬유 섭취군과 수용성 식이섬유 섭취군이 저식이섬유 섭취군에 비해 공복시 고혈당의 하강폭이 유의하게 증가되었으며 경구 포도당 부하에 의한 내당능도 보다 큰 폭으로 개선된 양상을 보였다(Fig. 1, Fig. 2). 이러한 사실은 중등도 이상의 고혈당을 가진 인슐린 비의존성 당뇨병 환자에게 2주간의 식이섬유의 첨가 섭취가 당질대사에 긍정적인 효과를 나타내며 불용성과 수용성 식이섬유 사이에는 별다른 차이가 없음을 보여주었다. 그러나 경구 포도당 부하검사 및 글루카곤 자극검사에 의해 관찰한 혈청 C-peptide 및 인슐린 농도에 유의한 증가를 관찰할 수 없었던 점으로 보아 2주간의 식이섬유 첨가로 인슐린 분비능이 호전되지는 않음을 알 수 있었다. 또한 경구 포도당 부하에 따른 혈당의 상승 시 억제되지 않던 혈장 글루카곤 농도는 2주 후에도 별다른 변화를 보이지 않음으로 보아 2주간의 식이섬유 첨가가 글루카곤 분비에도 영향을 미치지 않음을 알 수 있었다. 그러나 흡수지연에 따른 고혈당 개선, 이에 따른 소위 포도당 독성의 개선에 의한 간접적인 영향일 가능성도 배제할 수 없다. 추후 장기간의 섭취에 따른 추가 연구가 필요할 것 같다.

요 약

인슐린 비의존성 당뇨병 환자를 대상으로 식이섬유 섭취량을 증가시키기 위한 방법으로 병원에서 처방된 식사에 더하여 일일 5g의 식이섬유를 포함하는 콩가루 비스켓(15명, 대조군), 20g을 포함하는 비지 비스켓(9명, 불용성 고식이섬유군) 또는 25g을 포함하는 다시마 비스켓(10명, 수용성 고식이섬유군)을 2주 동안 첨가 섭취시킨 후 당질대사 개선효과를 평가하였다. 실험기간 중 당뇨병 환자들의 일일 열량 섭취량은 세 군간에 유의한 차이가 없었고, 하루 실제로 섭취한 평균 총 식이섬유량은 대조군이 19.1±4.3g(13.8±8.0g/1000kcal), 비지 비스켓군이 32.5±4.1g(19.7±3.8g/1000kcal), 다시마 비스켓군이 38.1±5.5g(24.5±4.5g/1000kcal)이었다. 비지 비스켓과 다시마 비스켓의 2주간 섭취 후 공복 시 고혈당의 하강폭이 대조군에 비해 유의하게 컸으며(p<0.05), 경구 포도당 부하 후의 내당능도 뚜렷하게 개선되었다(p<0.05). 경구 포도당 부하검사 및 글루카곤 자극검사를 통해 관찰한 바 혈청 인슐린과 C-peptide 수준 및 혈장 글루카곤의 농도는 2주간의 고식이섬유 첨가물의 섭취에 의해 변화를 보이지 않았다. 당화혈색소 수준은 2주간의 식이섬유 첨가물 섭취 후에 다소 감소 경향을 보였으나 유의한 변화로는 판정되지 않았고 일일 요당의 배설량은 세군 모두에서 비스켓 섭취 전에 비해 유의하게 감소되었다(p<0.05). 2주 동안의 식이섬유 첨가 섭취가 인슐린 비의존성 당뇨병 환자의 당질대사에 긍정적인 효과를 미치는 것으로 관찰되었으므로 비지와 다시마 첨가물이 당뇨병의 식사요법에서 유용한 고식이섬유 식품 첨가물로서의 가능성이 있는 것으로 판단된다.

문 헌

1. Trowell, H. C. and Woodgreen, M. D. : Dietary-fiber hypothesis of the etiology of diabetes mellitus. *Diabetes*, **24**, 762(1975)
2. Anderson, J. W. and Ward, K. : High-carbohydrate, high-fiber diets for insulin-treated men with diabetes mellitus. *Am. J. Clin. Nutr.*, **32**, 2312(1979)
3. Anderson, J. W. : Dietary fiber in nutrition management of diabetes. In "Dietary fiber : Basic and clinical aspects" Vahouny, G. V. and Kritchevsky, D.(eds.), Plenum Press, New York(1986)
4. Story, L., Anderson, J. W. and Chen, W-J. L. : Adherence to high-carbohydrate, high-fiber diets: Long-term studies of non-obese diabetic men. *J. Am. Diet. Assoc.*, **85**, 1105(1985)
5. Anderson, J. W. : High-fibre diets for diabetic and hypertriglyceridemic patients. *Can. Med. Assoc. J.*, **123**,

- 975(1983)
6. Anderson, J. W. and Akanji, A. O. : Dietary fiber-An overview. *Diabetes Care*, **14**, 1126(1991)
7. American Diabetes Association : Nutritional recommendations and principles for individuals with diabetes mellitus. *Diabetes Care*, **10**, 126(1987)
8. Crapo, P. : The nutritional therapy of non-insulin dependent(type II) diabetes. *Diabetes Educator*, **9**, 13(1983)
9. Anderson, J. W. and Geil, P. B. : New perspectives in nutrition management of diabetes mellitus. *Am. J. Med.*, **85**, 159(1988)
10. 이연경, 이혜성, 김보완 : 인슐린 비의존성 당뇨병 환자의 식이섬유 섭취실태. *당뇨병*, **18**, 11(1994)
11. 이혜성, 이연경, 서영주 : 한국인의 식이섬유 섭취상태의 연차적 추이(1969~1990). *한국영양학회지*, **27**, 59(1994)
12. Jenkins, D. J. A., Wolever, T. M. S., Buckley, G., Lam, K. Y., Giudici, S., Kalmusky, J., Jenkins, A. L., Patten, R. L., Bird, J., Wong, G. S. and Josse, R. G. : Low glycemic index starchy foods in the diabetic diet. *Am. J. Clin. Nutr.*, **48**, 248(1988)
13. Thorne, M. J., Thompson, L. U. and Jenkins, D. J. A. : Factors affecting starch digestibility and the glycemic response with special reference to legumes. *Am. J. Clin. Nutr.*, **38**, 481(1983)
14. Nishimune, T., Yakushiji, T., Sumimoto, T., Taguchi, S., Konishi, Y., Nakahara, S., Ichikawa, T. and Kunita, N. : Glycemic response and fiber content of some foods. *Am. J. Clin. Nutr.*, **54**, 414(1991)
15. Lahaye, M. : Marine algae as sources of fibers : Determination of soluble and insoluble dietary fibre contents in some 'sea vegetables'. *J. Sci. Food Agric.*, **54**, 587(1991)
16. Davison, R. L. : *Handbook of water-soluble gums and resins*. McGraw-Hill, New York(1980)
17. Torsdottir, I., Alpstrm, M., Goran, H., Sandberg, A. S. and Tolli, J. : A small dose of soluble alginate-fiber effects postprandial glycemia and gastric emptying in humans with diabetes. *J. Nutr.*, **121**, 795(1991)
18. Watanabe, Y., Kawai, K. and Yamashita, K. : Effect of a dietary fiber-protein mixture on glucose tolerance and lipid metabolism on diabetics. *J. Jpn. Soc. Nutr. Food Sci.*, **43**, 103(1990)
19. 이연경, 이혜성, 김보완 : 단기간의 식이섬유 첨가물의 섭취가 인슐린 비의존성 당뇨병 환자의 지질대사에 미치는 영향. *당뇨병*, **19**, 80(1995)
20. 이혜성, 이연경, Shirley, C. Chen : 대학생의 식이섬유 섭취에 관한 연구. *한국영양학회지*, **24**, 534(1991)
21. 채서일, 김범중 : SPSS/PC를 이용한 통계분석. 서울, 법문사(1988)
22. Ray, T. K., Mansell, K. M., Kinght, L. C., Malmud, L., S., Owen, O. E. and Boden, G. : Long-term effect of dietary fiber on glucose tolerance and gastric emptying in noninsulin-dependent diabetic patients. *Am. J. Clin. Nutr.*, **37**, 376(1983)
23. Meyer, J. H. and Doty, J. E. : GI transit and absorption of solid food : Multiple effects of guar. *Am. J. Clin. Nutr.*, **48**, 267(1988)
24. Blackburn, N. A., Redfern, J. S., Jarjis, H., Holgate, A. M., Hanning, I., Scarpello, J. H. B., Johnson, I. T. and

- Read, N. W. : The mechanism of action of guar gum in improving glucose tolerance in man. *Clin. Sci.*, **66**, 329(1984)
25. Johnson, I. T. and Gee, J. M. : Effect of gel forming gums on the intestinal unstirred layer and sugar transport *in vitro*. *Gut*, **22**, 398(1981)
26. Flourie, B., Vidon, N., Florent, C. H. and Bernier, J. J. : Effect of pectin on jejunal glucose absorption and unstirred layer thickness in normal man. *Gut*, **25**, 936(1984)
27. Nestel, P. J., Nola, C., Bazelmans, J. and Cook, R. : Effect of a high-starch diet with low or high fiber content on postabsorptive glucose utilization and glucose production in normal subjects. *Diabetes Care*, **7**, 207(1984)
28. Hjollund, E., Pederson, O., Richelsen, R., Beck-Nielsen, H. and Sorenen, N. S. : Increased insulin binding to adipocytes and monocytes and increased insulin sensitivity of glucose transport and metabolism in adipocytes from non-insulin-dependent diabetics after a low fat/high starch/high fiber diet. *Metabolism*, **32**, 1067(1983)
29. Pederson, O., Hjollund, E., Lindskov, H. O., Helms, P., Sorensen, N. S. and Ditzal, J. : Increased insulin receptor binding to monocytes from insulin-dependent diabetic patients after a low-fat, high-starch, high-fiber diet. *Diabetes Care*, **5**, 284(1982)
30. Sun, J. V., Tepperman, H. M. and Tepperman, J. A. : Comparison of insulin binding by liver plasma membranes of rats fed a high glucose diet or a high fat diet. *J. Lipid Res.*, **18**, 533(1977)
31. Ward, G. M., Simpson, R. W., Simposn, H. C. R., Naylor, B. A., Mann, J. I. and Turner, R. C. : Insulin receptor binding increased by high carbohydrate low fat diet in noninsulin dependent diabetics. *Eur. J. Clin. Invest.*, **12**, 93(1982)
32. DeFronzo, R. A., Tobin, J. D. and Andres, R. : Glucose clamp technique : A method of quantifying insulin secretion and resistance. *Am. J. Physiol.*, **237**, E214(1979)
33. Anderson, J. W. : High-carbohydrate diet effects on glucose and triglyceride metabolism of normal and diabetic men. In "Metabolic effects of utilizable dietary fiber carbohydrate" Reiser, S.(ed.), Marcel Dekker, New York, pp.285(1982)
34. Morgan, L. M., Goullder, T. J., Tsiolakis, D., Marks, V. and Alberti, K. G. M. M. : The effects of unabsorbable carbohydrate on gut hormones. *Diabetologia*, **17**, 85(1979)
35. Bosello, O., Ostuzzi, R., Armellini, R., Micciolo, R. and Scuro, L. A. : Glucose tolerance and blood lipids in bran-fed patients with impaired glucose tolerance. *Diabetes Care*, **3**, 46(1980)
36. Wolever, T. M. S. : Relationship between dietary fiber content and composition in foods and the glycemic index. *Am. J. Clin. Nutr.*, **51**, 72(1990)
37. Nishimune, T., Yakushiji, T., Sumimoto, T., Taguchi, S., Konishi, Y., Nakahara, S., Ichikawa, T. and Kunita, N. : Glycemic response and fiber content of some foods. *Am. J. Clin. Nutr.*, **54**, 414(1991)
38. Jenkins, D. J. A., Wolever, T. M. S., Buckley, G., Lam, K. Y., Giudici, S., Kalmusky, J., Jenkins, A. L., Patten, R. L., Bird, J., Wong, G. S. and Josse, R. G. : Low glycemic index starchy foods in the diabetic diet. *Am. J. Clin. Nutr.*, **48**, 248(1988)
39. Rossetti, L., Giaccari, A. and DeFronzo, R. A. : Glucose toxicity. *Diabetes Care*, **13**, 610(1990)
40. Unger, R. H. and Grundy, S. : Hyperglycemia as an inducers as well as a consequence of impaired islet cell function and insulin resistance : Implications for the management of diabetes. *Diabetologia*, **28**, 119(1985)
41. Robertson, R. P. : Type II diabetes, glucose "non-sense" and islet desensitization. *Diabetes*, **38**, 1501(1989)
42. Levy, J., Gavin, J. R., Fausto, A., Gingerich, R. L. and Avioli, L. V. : Impaired insulin action in rats with non-insulin-dependent diabetes. *Diabetes*, **33**, 901(1984)
43. Bevilacqua, S., Barrett, E. J., Smith, D. and Simonson, D. C. : Hepatic and peripheral insulin deficiency in the dog. *Metabolism*, **34**, 817(1985)
44. Reaven, G. M., Sageman, W. S. and Swenson, R. S. : Development of insulin resistance in normal dogs following alloxan-induced insulin deficiency. *Diabetologia*, **13**, 459(1977)
45. Rosetti, L., Smith, D., Shulman, G. I., Papachristiou, D. and DeFronzo, R. A. : Correction of hyperglycemia with phlorizin normalizes tissue sensitivity to insulin in diabetic rats. *J. Clin. Invest.*, **79**, 1510(1987)
46. Yki-jarvinen, H., Helve, E. and Koivisto, V. A. : Hyperglycemia decrease glucose uptake in type I diabetes. *Diabetes*, **36**, 892(1987)
47. Unger, R. H. and Orei, L. : The essential role of glucagon in the pathogenesis of the endogenous in the hyperglycemia of diabetes mellitus. *Lancet*, **1**, 14(1975)
48. Morgan, L. M., Goullder, T. J., Tsiolakis, D., Marks, V. and Alberti, K. G. M. M. : The effects of unabsorbable carbohydrate on gut hormones. *Diabetologia*, **17**, 85(1979)
49. Miranda, P. M. and Horwitz, D. L. : High fiber diet in the treatment of diabetes mellitus. *Ann. Intern. Med.*, **88**, 482(1987)
50. Tsai, A. C., Vinik, A. I. and Lasichak, A. : Effect of soy polysaccharide on postprandial plasma glucose, insulin, glucagon, pancreatic polypeptide, somatostatin and triglyceride in obese diabetic patients. *Am. J. Clin. Nutr.*, **45**, 596(1987)
51. Matsuura, M., Hirose, Y., Kawara, A., Saminoe, K., Takeda, F., Uenoyama, R., Doi, K., Baba, S. and Nishikawa, K. : Treatment of diabetes mellitus with glucomannan. *Japan Diabe. Soc.*, **23**, 209(1980)

(1996년 6월 20일 접수)