

탄수화물의 급원과 식이섬유의 종류를 달리한 식이가 제 2형 당뇨병 쥐의 당대사 및 지질대사에 미치는 영향*

권상희 · 정혜진 · 심지애 · 손영애 · 김미경*
이화여자대학교 식품영양학과

Effect of Feeding with Different Source of Carbohydrate and Fiber on Carbohydrate and Lipid Metabolism in Type 2 Diabetic Rats

Sanghee Kwon, Hyejin Jeong, JeeAe Shim, Young-Ae Son, Mi Kyung Kim*

Department of Food & Nutrition Sciences, Ewha Womans University

Abstract

This study was designed to evaluate the effects of fructose(F) or sucrose(S) and guar gum intake on carbohydrate and lipid metabolism in 15-week-old male Goto-Kakizaki(GK) rats. Fifty rats were randomly assigned to 5 groups which were different in carbohydrate(25% of carbohydrate) and fiber(5% w/w) sources. The carbohydrate(CHO) sources of each group were comstarch(control group, 100% of CHO), fructose with cellulose(F), fructose with guar gum(FG), sucrose with cellulose(S), and sucrose with guar gum(SG). Each group was fed experimental diet for 4 weeks. We measured food intake, body weight gain, adipose tissues weight and organs weight. We conducted oral glucose tolerance test(OGTT) and measured plasma insulin concentration to examine carbohydrate metabolism. To evaluate lipid metabolism, we measured the lipid profile of plasma, liver and feces. Food intake and weight gain of FG or SG groups tended to be less than those of F or S groups. Perirenal and epididymal fat pad weights of SG group were significantly lower than those of S group and those of FG group tended to be lower than those of F group. In OGTT, blood glucose values of F or S groups were significantly higher than those of C group, and FG or SG groups tended to be lower than those of F or S groups during the experimental time. The area under the curve(AUC) of C group was significantly highest among the groups, AUC and plasma insulin concentration of FG or SG groups tended to be lower than those of F or S groups. Plasma and hepatic triglyceride(TG) of FG and SG groups were significantly lower than those of F and S groups, plasma and hepatic total lipid(TL) and total cholesterol(TC) of FG and SG groups tended to be lower than those of F and S groups. Fecal TL, TG and TC of FG or SG groups tended to be higher than those of F and S groups. In conclusion, intake of guar gum should improve carbohydrate and lipid metabolism in partial substitution of fructose or sucrose for comstarch in GK rats.

Key Words : sucrose, fructose, guar gum, type 2 diabetes, carbohydrate metabolism, lipid metabolism.

1. 서 론

최근 우리나라는 급격한 경제 성장과 전반적인 생활수준의 향상으로 식생활의 서구화되고, 가공식품의 섭취가 증대하는 양상을 보이고 있으며, 이러한 식생활의 변화와 함께 암, 심장병, 고혈압, 당뇨병 등으로 인한 사망률이 높아지고 있다(Chen 등 1991, Kim & Paek 1997). 국내 당뇨병의 대부분은 중년 이후에 유발되는 인슐린 비의존성 당뇨병으로, 30대 이상 인슐린 비의존성 당뇨병환자가 1998년의 6.6%에서 2005년의 8.1%로 증가되었다(보건복지부, 2005). 만성적인 대사성 질환의 일환인 당뇨병은 인슐린 분비 및 작용의 감소로 생체 내 대사 조절기능의 이상이 초

래되어 고혈당 및 뇨 중으로의 당 배설을 나타내는 질환으로 적절한 치료와 식생활 관리가 요구된다(Cambell & Steil 1998).

현재 우리나라 설탕의 섭취는 점차 증가하는 추세로, 성인 1인 1일당 설탕 공급량이 1988년도에 32.30 g이었으나 2004년에는 57.09 g으로 매년 증가하고 있다(식품수급표, 2004). 이와 같이 증가하고 있는 당뇨병 유병률과 설탕 섭취와의 연관성이 나타나면서 설탕을 대체하여 사용할 수 있는 감미료로서 설탕에 비하여 당 지수 및 흡수율이 낮은 과당에 관심이 모아지고 있다(Uusitupa 1994, Basciano 등 2005).

식이 섬유소란 '인간의 소화 효소에 의해 소화되지 않는

* This work was supported by grants from Daesang.Co.Ltd. and the second stage of Brain Korea 21 Project in 2006.

* Corresponding Author: Mi Kyung Kim, Dept. of Food & Nutrition Sciences, Ewha Womans University, 11-1, Daehyeon-dong, Seodaemun-gu, Seoul 120-750, Korea
Tel : 82-2-322-3092 Fax : 82-2-3277-2862 E-mail : mkk@ewha.ac.kr

난소화성 다당류의 총체'로 정의된다(Nishimune 등 1991). Trowel(1978)은 식이섬유의 섭취 부족이 당뇨병의 원인으로 작용할 가능성이 있다고 제시하였으며, Anderson & Chen(1979)도 고섬유소 식이를 섭취하였을 때 당뇨병 환자의 혈당이 감소하므로 인슐린 요구량이 감소한다고 하였다. 이처럼 당뇨병에 효과적인 식이섬유소는 크게 불용성 식이섬유소(insoluble dietary fibers)와 수용성 식이섬유소(soluble dietary fibers)로 나누어진다. 셀룰로오스, 리그닌 등의 불용성 식이섬유소는 대장 내 미생물에 의한 발효가 불가능하여, 대장 내에서 식이섬유소의 matrix가 그대로 남게 되어 대변의 부피와 무게를 증가시키는데 효과적이다(Schneeman 1987). 펙틴, 검, 헤미셀룰로오스 등의 수용성 식이 섬유는 보수력(water-holding capacity)이 커서 장에서 gel을 형성하여 점도가 높아지므로 음식물이 위에 머무르는 시간을 증가시켜 포만감을 주고(Torsdottir 등 1991), 영양소의 소화 및 흡수를 지연시켜 당뇨병 환자의 포도당 내성(glucose tolerance)을 증진시키는 효과를 가지며(Granfeldt 등 1994), 장내 콜레스테롤 및 담즙산을 흡착하여 대변으로 배설시킴으로써 혈청 콜레스테롤 수준을 저하시키고 심장병 및 대장암의 발병률을 낮춘다고 보고되고 있다(Newman 등 1989, Deshaies 등 1990, Nishinal 등 1991). 인도 동북부 및 파키스탄의 자생 콩과 식물인 *Cyamopsis tetragonolobus*의 종자 배유에 들어있는 다당류로 (Youn 등 2002) guaran이라도 하며 galactomannan의 구조를 갖는 구아검은 불용성 식이섬유소인 셀룰로오스와는 다르게 점성이 높아 혈당을 감소시키고 동시에 혈중 콜레스테롤 및 중성지방 수준을 감소시킨다(Deshaies 등 1990).

따라서 본 연구에서는 식이 내 탄수화물 급원을 과당이나 설탕으로 일부 대체하고, 식이섬유의 종류를 셀룰로오스 또는 구아검으로 달리한 식이의 공급이 제 2형 당뇨 실험동물의 당대사 및 지질대사에 미치는 영향을 알아보기 위하여, 생후 15개월령의 Goto-kakizaki(GK) 종 수컷 흰쥐 50마리를 다섯 군으로 나누어 실험 식이를 공급하였다. 한 군은 식이 내 탄수화물 급원으로 옥수수전분을 100% 공급하였고, 나머지 네 군은 식이 내 탄수화물 급원의 25%를 과당 또는 설탕으로 각각 대체하여 공급하고, 각각 두 군씩 식이섬유소 급원을 셀룰로오스 또는 구아검으로 달리 공급하였다. 실험 기간 중 경구당부하검사와 실험 종료 후 혈장 내 인슐린 농도를 측정하여 당대사에 미치는 영향을 알아보고, 혈장, 간 및 변의 지질 농도를 측정하여 지질대사에 미치는 영향을 알아보았다.

II. 실험재료 및 방법

1. 실험동물의 사육 및 식이

실험동물은 생후 15개월령의 GK종 수컷 흰쥐(중앙실험

동물(주))를 대상으로 하였다. GK rat은 췌장 β -세포의 기능 상실에 의하여 인슐린 분비가 저하되고, 인슐린 저항성을 보여 공복 시 혈당이 높고, 내당능 이상이 나타나는 자연발증 제 2형 당뇨 모델이다(Kim & Yokoyama 1997). 실험동물은 1주일간 고형배합사료(삼양)로 적응시킨 후, 체중이 330 ± 3 g인 쥐들을 체중에 따라 난괴법(randomized complete block design)에 의해 10마리씩 5군으로 분류하여 4주간 사육하였다. 실험동물은 한 마리씩 stainless steel cage에서 사육하였고 식이와 물은 자유롭게 먹도록 하였다. 동물사육실은 온도 $22 \pm 1^\circ\text{C}$, 습도 45% 내외로 유지시켰으며, lighting cycle은 12시간 주기로 일정하게 하였고, 식이섭취량은 일주일에 2회, 체중은 일주일에 1회 일정한 시각에 측정하였다.

실험 군 별 식이의 구성은 <Table 1>과 같고, 식이는 AIN-93G diet를 기본으로 배합하여 공급하였다. 실험에 사용된 식이의 탄수화물 급원으로는 옥수수전분(corn starch, 대상주식회사), 과당(Fructose, Kato Kagaku, 일본), 설탕(Sucrose, 대상주식회사)을 사용하였다. 대조군은 식이 내 탄수화물의 100%를 옥수수전분(64% of energy)으로 공급하고 실험군은 옥수수전분의 25%를 각각 과당이나 설탕으로 대체하여 공급하였다. 지방 급원으로는 대두유(soybean oil, CJ 주식회사)를 총 식이무게의 4%로 공급하고, 단백질 급원으로는 casein (edible acid casein, Scerma Goulburn Co-operative Co., France)을 식이 무게의 20% 수준으로 공급하였다. 무기질과 미네랄은 AIN-93G mixture를 사용하여 각각 식이무게의 3.5%와 1% 수준으로 식이에 섞어 공급하였다. 식이 섬유소는 식이무게의 5%에 상응하는 셀룰로오스(dyets, USA)나 구아검((주)중앙실험동물)을 각각 공급하였다.

2. 실험동물의 희생 및 변, 혈액, 장기의 채취

실험동물을 희생하기 5일 전에 2일 간격으로 12시간씩 2회에 걸쳐 24시간 동안의 변을 채취하였고, 식이에 의해 변의 성분이 오염되는 것을 막기 위해 식이그릇을 빼주었다. 변을 채취하는 동안 물을 제한 없이 공급하였으며, 채취한 변은 무게를 측정 후 -80°C deep freezer에 보관하여 변 내 지질 농도를 측정하였다.

사육기간이 종료된 실험동물은 12시간 절식시킨 후 diethyl ether로 마취시켜 개복한 후 10 mL 주사기를 이용하여 심장에서 혈액을 채취하였다. 혈액이 응고되는 것을 방지하기 위해 주사기의 내부를 heparin sodium 용액(25,000 I.U./5 mL, 신풍제약주식회사)으로 코팅하였다. 이렇게 채취한 혈액을 polystyrene 원심분리관에 담고, 3.8% sodium citrate 용액으로 내부를 코팅한 주사기를 사용하여 채취한 혈액은 ethylenediaminetetraacetic acid(EDTA)을 담은 polystyrene 원심분리관에 담아 ice bath에 20분간 방치시킨 후, 원심분리기로 2,800 rpm, 4

<Table 1> Composition of experimental diet

Ingredients	Group ¹⁾				
	C	F	FG	S	SG
Corn starch	629.486	472.115	472.115	472.115	472.115
Fructose	-	157.371	157.371	-	-
Sucrose	-	-	-	157.371	157.371
Casein	200.000	200.000	200.000	200.000	200.000
Soybean oil	70.000	70.000	70.000	70.000	70.000
Fiber	50.000	50.000	-	50.000	-
Guar gum	-	-	50.000	-	50.000
Mineral mix ²⁾	35.000	35.000	35.000	35.000	35.000
Vitamin mix ³⁾	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000
L-cystine	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000
Choline chloride	2.500	2.500	2.500	2.500	2.500
Tert-butyl hydroquinone	0.014	0.014	0.014	0.014	0.014
Total	1000.000	1000.000	1000.000	1000.000	1000.000

¹⁾ C : Control group (AIN-93G diet)

F : Fructose substitution group with cellulose

FG : Fructose substitution group with guar gum

S : Sucrose substitution group with cellulose

SG : Sucrose substitution group with guar gum

²⁾ Mineral mix (AIN-93G-MX) (g/kg mixture) : Calcium Carbonate 357, Potassium Phosphate monobasic 196, Potassium Citrate monohydrate 70.78, Sodium Chloride 74, Potassium Sulfate 46, Magnesium Oxide 24, Ferric Citrate 6.06, Zinc Carbonate 1.65, Manganous Carbonate 0.63, Cupric Carbonate 0.30, Potassium Iodate 0.01, Sodium Selenate 0.01025, Ammonium Paramolybdate 4H₂O 0.00795, Sodium Metasilicate 9 hydrate 1.45, Chromium Potassium Sulfate 12 hydrate 0.275, Lithium Chloride 0.0174, Boric Acid 0.0815, Sodium Fluoride 0.0635, Nickel Carbonate 0.0318, Ammonium Vanadate 0.0066, Sucrose finely powdered 221.026

³⁾ Vitamin mix (AIN-93-VX) (g/kg mixture) : Niacin 3, Calcium Pantothenate 1.60, Pyridoxine HCl 0.70, Thiamine HCl 0.60, Riboflavin 0.60, Folic Acid 0.20, Biotin 0.02, Vitamin E Acetate (500 IU/g) 15, Vitamin B12 (0.1%) 2.50, Thitamin A Palmitate(500,000 IU/g) 0.80, Vitamin D3 (400,000 IU/g) 0.25, Vitamin K1/Dextrose Mix (10 mg/g) 7.50, Sucrose 967.23

℃에서 30분간 원심분리하였다. 그 후 혈장을 분리하여 -80℃ deep freezer에 보관하여 각각 혈액 내 지질 농도 및 혈액 내 인슐린 농도를 분석하였다.

혈액을 채취한 후 즉시 간을 떼어 무게를 측정하고 -80℃ deep freezer에 보관하여 간 내 지질 농도를 측정하였고, 그 외 신장 주변지방, 부고환지방 조직을 떼어 무게를 측정하였다.

3. 경구당부하검사

실험동물을 희생하기 5일전에 12시간 절식시킨 후 50% 포도당 용액을 이용하여 체중 kg당 포도당 1g이 되도록 경구투여하였다. 포도당 투여 전(12시간 금식 혈당), 포도당 투여 후 30, 60, 90, 120분에 꼬리 정맥을 통하여 혈액을 채취하여 혈당 측정기(accur-check, Germany)로 혈당을 측정하였고, WinNolin Program(Ver 1.1)을 이용하여 포도당 반응 면적(The areas under the curve of the glucose response)을 구하였다.

4. 생화학적 분석

1) 혈장 인슐린 농도

혈장 내 인슐린의 농도는 효소면역측정법으로 분석하였

다. 인슐린에 대한 항체가 붙어있는 well에 혈장 내 인슐린이 항원으로 작용하여 반응하면, 이를 발색제로 염색하여 농도를 측정하는 원리를 이용한 분석 kit(Mercodia, Sweden)를 사용하여 혈장 내 인슐린 농도를 분석하였다.

2) 혈장, 간 및 변의 지질 농도

혈장 내 총 지질 농도는 Frings & Dunm(1970) 법으로 측정하였으며, 이 총 지질을 methanol로 녹여 중성지방, 총 콜레스테롤, 고밀도 지단백 콜레스테롤의 농도를 분석하였다. 중성지방 농도는 glycerol-3-phosphate oxidase-PAP 효소법을 이용한 분석 kit(아산제약)를 사용해 측정하였고, 총 콜레스테롤 농도는 콜레스테롤 가수분해 효소로 콜레스테롤과 지방산으로 분해하여 측정하는 분석 kit(아산제약)를 이용하여 비색 정량하였으며, 고밀도 지단백 콜레스테롤 농도는 저밀도 지단백을 침전시켜 고밀도지단백 중의 콜레스테롤을 정량하는 분석 kit(아산제약)를 이용하여 측정하였다. 간 내 총 지질 농도는 Bligh & Dyer(1959) 법으로 측정하였고, 혈장 내 중성지방 및 총 콜레스테롤 농도 측정과 같은 방법으로 간 내 중성지방 및 총 콜레스테롤 농도를 측정하였다. 변의 총 지질배설량을 측정하기 위해 -80℃ deep freezer에 보관되었던 변을 동결건조기로 24시간 건

<Table 2> Food intake, calorie intake, body weight gain and body weight per 100 kcal in GK rats fed experimental diets

Group ¹⁾	Food intake (g/day)	Calorie intake (kcal/day)	Body weight gain (g/4 weeks)	Body weight gain /calorie intake (g/100kcal)
C	12.12±0.97 ^{2)ab3)}	45.37±3.65 ^{ab}	22.71±9.99 ^a	2.26±0.95 ^a
F	12.68±1.41 ^a	47.44±5.29 ^a	20.90±8.18 ^a	2.03±0.85 ^{ab}
FG	10.80±1.11 ^b	40.34±4.15 ^b	11.47±5.11 ^b	1.29±0.58 ^{bc}
S	11.94±0.77 ^{ab}	44.67±2.85 ^{ab}	21.63±5.36 ^a	2.22±0.58 ^a
SG	11.18±1.84 ^b	41.79±6.86 ^b	9.55±8.30 ^b	0.99±0.84 ^{bc}

¹⁾ C : Control group (AIN-93G diet)

F : Fructose substitution group with cellulose

FG : Fructose substitution group with guar gum

S : Sucrose substitution group with cellulose

SG : Sucrose substitution group with guar gum

²⁾ Mean ± Standard Error (n=10)

³⁾ Values within a column with different letters are significantly different at α=0.05 level by Duncan's multiple range test

조시켜 desiccator에서 항량 시킨 후 무게를 측정하고 0.3 g씩 취하여 간과 같은 방법으로 총 지질, 중성지방 및 총 콜레스테롤 농도를 분석하였다.

5. 통계처리

모든 실험 분석 결과는 SAS program을 이용하여 각 군의 평균과 표준오차를 계산하였고 일원배치 분산분석 (one-way analysis of variance)을 한 후 α=0.05 수준에서 Duncan's multiple range test에 의하여 각 실험군 평균치간의 유의성을 검정하였다. 모든 생화학적 분석 시료는 2회 반복 측정하였으며, 같은 실험군 내에서 분석치가 평균으로부터 크게 벗어난 값은 기각검정을 통하여 제외되었다.

III. 실험결과 및 고찰

본 실험은 제 2형 당뇨병 쥐를 대상으로 탄수화물 급원의 일부를 설탕이나 과당으로 대체하고 식이섬유소의 급원을 셀룰로오즈나 구아검으로 달리한 식이 공급이 당대사 및 지질 대사에 미치는 영향을 알아보기 위하여 실행되었다.

실험동물의 일일 평균 식이 섭취량, 열량 섭취량 및 4주 동안의 체중 증가량은 <Table 2>와 같았다. 과당군은 설탕군 및 대조군보다 식이 섭취량이 높은 경향을 보였고 과당·구아검군 및 설탕·구아검군과 비교하여 식이 섭취량 및 열량 섭취량이 유의적으로 높았다. 과당·구아검군은 과당군보다 식이 섭취량과 열량 섭취량이 유의적으로 낮았으며, 설탕·구아검군은 설탕군에 비하여 유의적이지는 않으나 식이 섭취량과 열량 섭취량이 더 낮은 경향을 보여, 구아검의 섭취가 식이 섭취량 및 열량 섭취량을 감소시킨다는 사실을 알 수 있었다. 체중 증가량의 경우, 과당군 및 설탕군은 대조군과 비교하여 유의적인 차이는 없었으나 과당·구아검군 및 설탕·구아검군은 대조군과 과당군 및 설탕군

에 비하여 유의적으로 낮았다. 섭취 열량 100 kcal 당 체중 증가량은 과당·구아검군 및 설탕·구아검군이 대조군과 설탕군에 비하여 유의적으로 낮았고, 과당·구아검군은 과당군에 비하여 유의적이지는 않으나 낮은 경향을 나타내었다. 본 실험 결과, 식이 섭취량 및 체중 증가량은 탄수화물 급원에 의하여 영향을 받지 않았고, 식이섬유소의 급원에 따라 영향을 받아, 구아검의 섭취가 식이 섭취량 및 체중 증가량을 감소시킴을 알 수 있었다. Kim & Chang(1993)의 연구에서 식이섬유소 급원을 식이의 5%(w/w)에 해당하는 셀룰로오즈 또는 구아검으로 공급하였을 때, 구아검 섭취군이 셀룰로오즈 섭취군에 비하여 식이 섭취량 및 체중 증가량이 낮은 경향을 보여 본 실험의 결과와 일치하였다. Shiau & Chang(1986)의 연구에서 식이섬유소 급원으로 식이 내 5%(w/w)의 셀룰로오즈와 구아검을 공급하였을 때 식이 섭취량 및 체중 증가량에는 유의적인 차이가 없었으나, 식이 내 15%(w/w)의 셀룰로오즈와 구아검을 공급하였을 때는 구아검 공급군에서 체중의 증가량이 유의적으로 낮았다. 구아검과 같은 수용성 식이섬유소는 보수력이 커 위장 내에서 gel을 형성하여 음식물이 위 배출 속도를 늦추어

<Table 3> Adipose tissue weight in GK rats fed experimental diets

Group ¹⁾	Perirenal fat pad (g/100g BW)	Epididymal fat pad (g/100g BW)
C	5.50±0.24 ^{2)bc3)}	5.19±0.06 ^a
F	5.31±0.36 ^b	5.02±0.19 ^{ab}
FG	5.24±0.27 ^b	4.78±0.10 ^{ab}
S	6.47±0.25 ^a	5.24±0.24 ^a
SG	4.68±0.30 ^b	4.56±0.44 ^b

¹⁾ See Table 2

²⁾ Mean ± Standard Error (n=10)

³⁾ Values within a column with different letters are significantly different at α = 0.05 level by Duncan's multiple range test

⁴⁾ Values within a column are not significant at α = 0.05 level by Duncan's multiple range test

<Table 4> Blood glucose concentrations during oral glucose tolerance test in GK rats fed experimental diet

(UNIT: mg/100mL)

Time Group ¹⁾	0	30	60	90	120
C	141.00 ± 10.68 ^{2) b3)}	296.86 ± 25.15 ^b	376.86 ± 28.16 ^b	335.14 ± 34.28 ^b	319.71 ± 29.88 ^b
F	159.13 ± 12.84 ^a	381.75 ± 64.26 ^a	436.88 ± 59.34 ^a	413.75 ± 68.93 ^a	396.38 ± 77.12 ^a
FG	140.44 ± 10.03 ^b	377.44 ± 39.81 ^a	420.00 ± 48.16 ^{ab}	405.33 ± 44.69 ^a	376.22 ± 42.14 ^{ab}
S	154.25 ± 15.73 ^{ab}	388.75 ± 38.92 ^a	433.88 ± 61.42 ^a	416.75 ± 47.35 ^a	396.88 ± 62.41 ^a
SG	141.14 ± 12.20 ^b	329.71 ± 25.48 ^b	390.43 ± 35.12 ^{ab}	381.00 ± 33.53 ^{ab}	344.71 ± 39.04 ^{ab}

¹⁾ See Table 2²⁾ Mean ± Standard Error (n=10)³⁾ Values within a column with different letters are significantly different at $\alpha = 0.05$ level by Duncan's multiple range test

주므로 포만감을 주고 공복감을 줄여 식욕을 저하시키므로 (Kim & Chang 1993, Kim & Paek 1997, Max & Edzard 2001) 구아검 섭취시 식이 섭취량 및 체중 증가량의 감소가 나타나는 것으로 사료된다. 또한 Shah 등 (1982) 및 Kim & Chang(1993)의 식이 내 구아검의 수준이 증가 할수록 체중 증가가 감소된다는 연구결과와 본 실험의 구아검 섭취군의 체중 증가 감소는 일치하였다.

실험동물의 신장 주변 지방 및 부고환 지방의 무게는 <Table 3>과 같았다. 신장주변 지방의 무게는 설탕군이 대조군 및 다른 실험군에 비하여 유의적으로 높았다. 부고환 지방 무게는 설탕·구아검군이 설탕군보다 유의적으로 낮았고, 과당·구아검군은 유의적이지 않았으나 과당군보다 낮은 경향을 보였다.

경구당부하검사를 실시하여 얻은 혈중 포도당 농도의 변화는 <Table 4>와 같았다. 초기 혈당은 과당군이 대조군과 구아검 섭취군들에 비하여 높았고, 설탕군은 대조군에 비하여 높은 경향을 보였다. 과당·구아검군은 과당군에 비하여 초기 혈당이 유의적으로 낮았고, 설탕·구아검군은 설탕군에 비하여 초기 혈당이 낮은 경향을 보였다. 포도당 투여 후 30분에서 120분 사이에 대조군은 과당군 및 설탕군보다 혈당이 유의적으로 낮았으며, 포도당 투여 후 30분 경과 시 혈당은 설탕·구아검군이 설탕군에 비하여 유의적으로 낮았고, 과당·구아검군은 과당군에 비하여 낮은 경향을 보였다. 이때 과당군과 설탕군은 유의적인 차이가 없었다. 포도당 투여 후 60분, 90분과 120분에는 과당·구아검군과 설탕·구아검군의 혈당이 각각 과당군과 설탕군에 비하여 낮은 경향을 보였다. 따라서 탄수화물 급원의 25%를 과당이나 설탕으로 대체 한 경우 대조군에 비하여 혈당이 높았고, 구아검을 섭취한 군들은 셀룰로오스를 섭취한 군들에 비하여 혈당이 낮았다. 특히 설탕군과 설탕·구아검군의 혈당 차이가 과당군과 과당·구아검군의 혈당 차이에 비하여 뚜렷하였다. 포도당 반응 면적은 <Table 5>와 같았다. 모든 실험군들에 비하여 대조군의 포도당 반응 면적이 유의적으로 낮았고 과당군 및 설탕군의 포도당 반응 면적은 각각 과당·구아검군 및 설탕·구아검군에 비하여 높은 경향을 보였다.

<Table 5> The areas under the curve of the glucose response in GK rats fed experimental diet

Group ¹⁾	The areas under the curve of the glucose response (mg · 120 min/dL)
C	37176.43 ± 2240.38 ^{2) b3)}
F	45303.75 ± 6580.17 ^a
FG	43944.44 ± 4217.60 ^a
S	46352.14 ± 2858.09 ^a
SG	42462.00 ± 4424.26 ^a

¹⁾ See Table 2²⁾ Mean ± Standard Error (n=10)³⁾ Values within a column with different letters are significantly different at $\alpha = 0.05$ level by Duncan's multiple range test

<Table 6> Plasma insulin concentration in GK rats fed experimental diet

Group ¹⁾	Insulin (μ g/L)
C	1.24 ± 0.60 ^{2) NS3)}
F	1.32 ± 0.77
FG	1.01 ± 0.31
S	1.33 ± 0.37
SG	1.02 ± 0.34

¹⁾ See Table 2²⁾ Mean ± Standard Error (n=10)³⁾ Values within a column are not significant at $\alpha = 0.05$ level by Duncan's multiple range test

실험 식이를 먹인 실험동물의 혈장 인슐린 농도를 분석한 결과는 <Table 6>에 제시하였다. 모든 군에서 인슐린의 유의적인 차이는 나타나지 않았으나, 과당·구아검군 및 설탕·구아검군의 인슐린 농도가 과당군 및 설탕군에 비하여 각각 약 23% 씩 낮았다. 당대사 실험 결과, 제 2형 당뇨 쥐의 경우, 식이 내 탄수화물 급원을 과당이나 설탕으로 대체하는 것은 혈당상승의 원인이 될 수 있고, 이때 식이섬유소의 급원을 셀룰로오스가 아닌 구아검으로 공급할 경우 혈당강하 효과가 나타남을 알 수 있었다.

과당은 흡수가 느리고 당지수가 낮아 총 에너지의 10-20% 정도로 적절히 섭취할 경우, 혈당 상승이 작아 같은 양의 설탕이나 전분을 공급하였을 때에 비하여 당뇨병 환자의

<Table 7> Plasma total lipids, triglyceride, total cholesterol, HDL-cholesterol concentrations and HDL-cholesterol: total cholesterol ratio in GK rats fed experimental diets

Group ¹⁾	Total lipids (mg/dL)	Triglyceride (mg/dL)	Total cholesterol (mg/dL)	HDL-cholesterol (mg/dL)	HDL:total cholesterol ratio
C	381.98 ± 28.74 ^{2)NS3)}	65.48 ± 3.02 ^{b4)}	68.39 ± 4.63 ^{ab}	62.86 ± 6.21 ^{NS}	0.94 ± 0.15 ^{NS}
F	437.64 ± 35.09	90.41 ± 6.85 ^a	78.07 ± 4.97 ^a	50.82 ± 4.03	0.68 ± 0.07
FG	363.04 ± 31.02	67.61 ± 2.76 ^b	67.18 ± 5.64 ^{ab}	55.25 ± 4.86	0.89 ± 0.14
S	399.83 ± 37.01	82.91 ± 5.40 ^a	73.11 ± 5.39 ^{ab}	55.67 ± 4.71	0.82 ± 0.11
SG	370.91 ± 22.61	65.25 ± 2.17 ^b	62.16 ± 3.01 ^b	52.17 ± 4.10	0.87 ± 0.09

¹⁾ See Table 2

²⁾ Mean ± Standard Error (n=10)

³⁾ Values within a column are not significant at $\alpha = 0.05$ level by Duncan's multiple range test

⁴⁾ Values within a column with different letters are significantly different at $\alpha = 0.05$ level by Duncan's multiple range test

혈당 조절이나 당대사에 악영향을 미치지 않는 것으로 알려져 있다(Uusitupa 1994). 그러나 본 실험에서는 탄수화물의 급원으로 과당을 공급한 군에서 혈당이 낮아지지 않았다. 이는 본 실험에 사용된 제 2형 당뇨 모델인 GK rat은 인슐린 분비능이 저하되어 세포의 당 흡수가 저해되므로 세포의 에너지원으로 포도당을 이용하기 위하여 포도당신생합성에 의한 hepatic glucose output이 증가되기 때문으로 사료된다. Blakely 등(1981)의 연구에서도 총 식이의 15%에 해당하는 과당을 15개월 간 공급했을 때, 전분 섭취에 비하여 공복 시 높은 혈당을 보였는데, 이는 과당 섭취로 인하여 포도당신생합성 효소인 phosphoenolpyruvate carboxykinase의 활성이 유의적으로 높아져 hepatic glucose output이 증가되기 때문이라고 보고하였다. 본 실험에서 식이섬유소를 셀룰로오스로 공급한 군에 비하여 구아검으로 공급한 군들이 경구당부하검사시 낮은 혈당을 나타내었다. 이는 식이의 7%(w/w)에 해당하는 구아검의 섭취로 제 1형 당뇨 동물모델의 혈당이 유의적으로 낮아짐을 보여준 Cameron-Smith 등(1997)의 연구 결과와 제 2형 당뇨 환자들을 대상으로 5g의 구아검을 하루 3회 섭취시켰을 때 섭취 전에 비하여 혈당이 감소하였다는 김 등(1989)의 연구결과와 일치하였다. 불용성 식이섬유소는 혈당조절에 큰 영향을 미치지 못하지만(Kim 등 1990), 수용성 식이섬유소인 구아검은 위의 배출 속도를 억제하여 식후 혈당의 증가를 막고 gel을 형성하여 소장에서의 탄수화물의 소화 및 흡수를 억제하기 때문에 식후 혈당 상승을 감소시킨다(Cameron-Smith 등 1994, Granfeldt 등 1994, Cameron-Smith 등 1997, Russo 등 2000). 또한 구아검은 인슐린 민감성을 개선하고(Cameron-Smith 등 1997, Kim & Chang 1989) 포도당신생합성을 낮추어 혈당을 감소시키는 것으로 보고되고 있다(Cameron-Smith 등 1997). 본 실험에서도 이러한 기전으로 구아검 섭취군들의 혈당이 감소된 것으로 사료된다.

혈장 내 총 지질, 중성지방 및 총 콜레스테롤의 농도는 <Table 7>에 제시하였다. 혈장 내 총 지질 수준은 과당군과 설당군이 대조군에 비하여 유의적인 차이는 없었으나

높은 경향을 나타내었고, 과당군과 설당군이 과당·구아검군과 설당·구아검군보다 더 높았다. 혈장 내 중성지방은 대조군에 비하여 과당군과 설당군이 유의적으로 높았으며, 구아검의 영향을 받아 과당·구아검군과 설당·구아검군이 과당군과 설당군보다 유의적으로 더 낮게 나타났다. Takuya & Hiroshi(2004)의 연구에서도 본 실험결과와 같이 과당군의 혈장 내 중성지방 수준이 증가하였으나, 과당·구아검군에서는 중성지방이 저하되었다. 과당을 섭취한 군들에서 총 지질, 중성지방 및 콜레스테롤 수준이 증가하는 것은 과당이 해당 작용의 속도 결정 단계로 작용하는 glucokinase와 phosphofructokinase의 조절을 받지 않고 빠르게 대사되기 때문으로 생각된다. 과당군과 설당군의 혈장 내 총 콜레스테롤은 대조군보다 높은 경향을 보였고, 과당·구아검군과 설당·구아검군은 과당군 및 설당군에 비하여 낮은 경향을 보였다. 이는 구아검의 섭취로 혈액 콜레스테롤 수준이 저하되었다는 Chen & Anderson(1984)의 연구 결과와도 일치한다. 구아검은 장내에서 콜레스테롤 및 담즙산의 흡수를 감소시키고, 담즙산의 장간순환(enterohepatic circulation)을 감소시켜 담즙산의 배설을 증가시키므로, 과당·구아검군 및 설당·구아검군은 배설된 담즙산을 보충하기 위하여 혈액의 콜레스테롤을 담즙산 생성의 전구체로 사용함으로써 혈중 콜레스테롤 수준을 낮추는 것으로 사료된다. 또한, 고밀도 지단백 콜레스테롤

<Table 8> Liver total lipids, triglyceride and total cholesterol concentrations in GK rats fed experimental diets

Group ¹⁾	Total lipids (mg/dL)	Triglyceride (mg/dL)	Total cholesterol (mg/dL)
C	21.51 ± 2.47 ^{2)ns3)}	8.39 ± 2.20 ^a	1.03 ± 0.17 ^a
F	12.05 ± 5.41 ^b	4.50 ± 1.34 ^{bc}	0.82 ± 0.14 ^{bc}
FG	11.73 ± 5.58 ^b	2.85 ± 0.97 ^d	0.68 ± 0.19 ^c
S	15.33 ± 0.43 ^b	5.60 ± 0.68 ^b	0.94 ± 0.17 ^{ab}
SG	14.20 ± 3.81 ^b	3.28 ± 1.06 ^{cd}	0.85 ± 0.16 ^{bc}

¹⁾ See Table 2

²⁾ Mean ± Standard Error (n=10)

³⁾ Values within a column with different letters are significantly different at $\alpha = 0.05$ level by Duncan's multiple range test

<Table 9> Fecal total lipids, triglyceride and total cholesterol excretions in GK rats fed experimental diets

Group ¹⁾	Wet weight (g/day)	Dry weight (g/day)	Fecal lipids excretion (mg/day)		
			Total lipids	Triglyceride	Total cholesterol
C	1.03 ± 0.06 ^{2)NS3)}	0.80 ± 0.04 ^{NS}	1.33 ± 0.35 ^{NS}	0.99 ± 0.95 ^{a4)}	0.08 ± 0.02 ^b
F	0.87 ± 0.12	0.64 ± 0.08	0.65 ± 0.14	0.15 ± 0.02 ^b	0.08 ± 0.03 ^b
FG	1.06 ± 0.16	0.71 ± 0.10	2.11 ± 0.59	0.17 ± 0.06 ^b	0.17 ± 0.03 ^{ab}
S	1.16 ± 0.09	0.79 ± 0.05	1.45 ± 0.28	0.19 ± 0.06 ^b	0.14 ± 0.02 ^{ab}
SG	0.96 ± 0.13	0.67 ± 0.07	2.00 ± 0.90	0.21 ± 0.08 ^b	0.19 ± 0.02 ^a

¹⁾ See Table 2

²⁾ Mean ± Standard Error (n=10)

³⁾ Values within a column are not significant at $\alpha = 0.05$ level by Duncan's multiple range test

⁴⁾ Values within a column with different letters are significantly different at $\alpha = 0.05$ level by Duncan's multiple range test

의 농도는 유의적인 차이 없었으나, 대조군보다 과당군들과 설당군들이 더 낮은 경향을 나타내었다. 총 콜레스테롤에 대한 고밀도 지단백 콜레스테롤의 비율은 대조군 가장 높았으나 모든 군들 간에 유의적인 차이는 없었다.

간 내 총 지질, 중성지방, 총 콜레스테롤 수준은 <Table 8>과 같았다. 혈장 내 지질수준과 달리 간 내 총 지질, 중성지방, 총 콜레스테롤 농도는 대조군이 모든 실험군들보다 유의적으로 높았다. 간 내 총 지질을 모든 실험군들간에 유의적인 차이가 없었으나 구아검을 섭취한 군들의 경우 셀룰로오스를 섭취한 군들에 비하여 낮은 경향을 나타내었다. 간 내 중성지방은 대조군에 비하여 과당군과 설당군이, 과당군과 설당군에 비하여 과당·구아검군과 설당·구아검군이 유의적으로 낮았다. 또한 총 콜레스테롤 농도는 대조군과 비교하여 과당군이 유의적으로 낮았고, 과당군 및 설당군보다 과당·구아검군과 설당·구아검군이 낮게 나타났다. 식이섬유소를 구아검으로 공급한 군의 간 내 콜레스테롤 농도가 유의적으로 낮은 이유는 콜레스테롤과 담즙산의 흡수 억제 및 결장에서 단쇄지방산(short chain fatty acids) 생성으로 간에서의 지단백질 생산이 억제되고 말초조직에서의 지단백질 제거가 증가되었기 때문이다 (Anderson & Tietyen 1986).

일일 변 배설량 및 변을 통한 총 지질과 중성지방, 총 콜레스테롤 농도는 <Table 9>와 같았다. 일일 평균 변의 무게는 군 간의 유의적 차이가 없었으나, 과당·구아검군이 과당군에 비하여 높은 경향을 보였다. 일일 총 지질 배설량은 모든 군 간의 유의적인 차이가 나타나지 않았으나 설당군보다 과당군이 더 낮았고, 과당·구아검군 및 설당·구아검군은 과당군과 설당군에 비하여 높은 경향을 보였다. 변의 중성지방 배설량은 대조군이 다른 군들에 비하여 유의적으로 가장 높았고 실험군들간에는 유의적인 차이가 나타나지 않았으나 구아검 섭취군들이 셀룰로오스 섭취군들에 비하여 높은 경향을 나타내었다. 변 내 총 콜레스테롤 배설량은 대조군과 과당군이 설당군에 비하여 낮게 나타났으며 과당·구아검군과 설당·구아검군은 과당군과 설당군에 비하여 높은 경향을 보였다. 따라서 변을 통한 지방의 배설량

은 식이섬유소 급원으로 셀룰로오스가 아닌 구아검으로 공급할 경우 증가한다는 사실을 알 수 있었고, 이는 Ahn 등 (1997)의 연구결과 및 Kim 등(1997)의 연구 결과와도 일치하였다. 즉, 구아검 섭취군들의 변의 중성지방, 총 콜레스테롤의 배설량이 높아진 것은 구아검이 식이지방과 결합하여 담즙산으로의 변 배설량을 높였기 때문으로 생각되며 이는 혈장 및 간에서의 중성지방, 총 콜레스테롤 농도 감소와 연관이 있는 것으로 보고되고 있다(Ahn 등 1997).

IV. 요약 및 결론

본 실험에서는 제 2형 당뇨 쥐의 식이 내 탄수화물의 급원 중 25%를 과당 또는 설당으로 대체하고, 식이섬유소를 셀룰로오스 또는 구아검으로 다르게 공급하여 4주간 사육한 후, 실험 식이가 당대사 및 지질대사에 미치는 영향을 알아보았다.

실험 결과, 식이 섭취량, 열량 섭취량, 체중 증가량은 과당군 및 설당군에서 대조군과의 유의적 차이가 나타나지 않았으나, 과당·구아검군 및 설당·구아검군은 과당군 및 설당군에 비하여 유의적으로 낮게 나타났다. 신장 주변 지방 무게와 부고환 지방무게는 설당군이 가장 높았고 대조군, 과당군, 구아검 섭취군 순으로 높았다. 경구당부하검사 결과, 대조군은 전 실험 시간에서 다른 실험식이군에 비하여 혈당이 낮았고, 대체적으로 과당·구아검군 및 설당·구아검군은 과당군 및 설당군에 비하여 혈당이 낮았고 포도당 반응 면적이 작았다. 혈당 반응 및 인슐린 분비능이 탄수화물 급원의 25%를 과당 또는 설당으로 대체한 것에 의하여 영향을 받지 않았으나, 구아검에 의한 개선효과가 나타나 식이섬유소 급원에 의하여 영향을 받을 수 있었다. 혈장 내 총 지질과 총 콜레스테롤 농도는 과당군, 설당군, 대조군, 구아검 섭취군 순으로 높았다. 혈장 내 중성지방 수준은 과당군과 설당군이 대조군에 비하여 유의적으로 높았고, 구아검 섭취군들이 셀룰로오스 섭취군들에 비하여 유의적으로 더 낮게 나타났다. 간 내 총 지질과 중성지방은 대조군이 다른 군들에 비하여 유의적으로 높았고

특히 중성지방은 구아검 섭취군들이 셀룰로오즈 섭취군들에 비하여 유의적으로 낮은 결과를 보였다. 또한 간 내 총 콜레스테롤 농도도 대조군이 가장 높았고 구아검 섭취군들이 셀룰로오즈 섭취군들에 비하여 낮은 경향을 보였다. 일일 변의 총지방, 중성지방, 총 콜레스테롤 배설량을 살펴보면 구아검 섭취군들이 다른 군들에 비하여 높은 경향을 나타내었다.

따라서 적당한 구아검의 섭취는 혈당 저하 및 내당능 개선 효과를 보이고, 변으로의 지질 배설을 증가시켜 혈액과 간의 중성지방 및 총 콜레스테롤 수준을 낮추므로 제 2형 당뇨병을 예방하고 치료하는 식이개발에 사용될 수 있을 것으로 기대된다.

■ 참고문헌

- Ahn HS, Kwon JR, Lee SS. 1997. Effect of dietary lipids and guar gum on lipid metabolism in ovariectomized rats. *Korean J. Nutrition*, 30(10): 1123-1131
- Anderson JW, Akanji AO. 1991. Dietary fiber-An overview. *Diabetes Care*, 14: 1126-1131
- Anderson JW, Chen WJL. 1979. Plant fiber. *Carbohydrate and lipid metabolism. Am J. Clin. Nutr.*, 32: 346-363
- Anderson JW, Geil PB. 1988. New perspectives in nutrition management of diabetes mellitus. *Am J. Med.*, 85: 159-165
- Anderson JW, Tietyen-Clark K. 1986. Dietary fiber; hyperlipidemia, hypertension and coronary heart disease. *Am J. Gastroenterol*, 81: 907-919
- Arrol S, Mackness MI, Laing I, Durrington PN. 1994. Effects of insulin and glucagon on the secretion of apolipoprotein β -containing lipoproteins and triacylglycerol synthesis by human hepatoma (HepG2) cells. *Diabetes Nutr. Metab.*, 72: 263-271
- Basciano H, Federico L, Adeli K. 2005. Fructose, insulin resistance, and metabolic dyslipidemia. *Nutr Metab(Lond)*, 2(5)
- Bierman EL, Amaral AP, Belknap BH. 1966. Hyperlipidemia and diabetes mellitus. *Diabetes*, 15: 675-679
- Blakely SR, Hallfrisch J, Reiser S, Prather ES. 1981. Long-term effects of moderate fructose feeding on glucose tolerance parameters in rats. *J. Nutr.*, 111: 307-314
- Bligh EG, Dyer WJ. 1959. A rapid method for total lipid extraction and purification. *Can J. biochem Physiol*, 37: 911-917
- Cambell RK, Steil CF. 1998. *Diabetes clinical pharmacy and therapeutics*, William & Wilks, Washington DC, pp 48-61
- Cameron-Smith D, Collier GR, O' Dea K. 1994. Effect of soluble dietary fibre on the viscosity of gastrointestinal contents and the acute glycaemic response in the rat. *Br J. Nutr.*, 71(4): 563-71
- Cameron-Smith D, Habito R, Barnett M, Collier GR. 1997. Dietary Guar gum improves insulin sensitivity in streptozotocin-induced diabetic rats. *J. Nutr.*, 137: 359-364
- Castelli WP, Wilson PF, Levy D, Anderson K. 1990. Serum lipids and risk of coronary artery disease. *Atherosclerosis*, 21: 7-19
- Chen MS, Kao CS, Chang CJ. 1991. Prevalence and risk factors of diabetic retinopathy among non-insulin-dependent diabetic subjects. *Am J. Ophthalmol*, 114: 723-730
- ChenW-JL, Anderson JW. 1986. Hypocholesterolemic effects of soluble fiber. In: Vahouny GV, Kritchevsky D, eds, *Basic and clinical aspects of dietary fiber*. Plenum Press, New York, p 275
- ChenW-JL, Anderson JW, Jennings D. 1984. Propionate may mediate the hypercholesterolemic effects of certain soluble plant fibers in cholesterol-fed rats. *Proc Soc Exper Biol Med.*, 175: 215-218
- Deshiaies Y, Begin F, Savoie L, Vachon C. 1990. Attenuation of the meal-induced increase in plasma lipids and adipose tissue lipoprotein lipase by guar gum in rats. *J. Nutr.*, 120(1): 64-70
- Elliott SS, Keim NL, Stern JS, Teff K, Havel PJ. 2002. Fructose, weight gain, and the insulin resistance syndrome. *Am J. Clin Nutr.*, 76: 911-922
- Food Balance Sheet. 2004. Korea Rural Economic institute. Seoul
- Frings CS, Dunm RT. 1970. A colorimetric method for determination of total serum lipid based on the sulfuric-Phospho-vanillin reaction. *Am J. Clin Nutr.*, 53(1): 89-91
- Goldberg RB. 1981. Lipid disorders in diabetes. *Diabetes Care*, 4: 561-572
- Granfeldt Y, Liljeberg H, Drews A, Newman R, Bjorck I. 1994. Glucose and insulin responses to barley products : influence of food structure and amylose-amylopectin ratio. *Am J. Clin Nutr.*, 59: 1075-1082
- Hallfrisch J, Ellwood KC, Michaelis OE 4th, Reiser S, O' Dorisio TM, Prather ES. 1983a. Effects of dietary fructose on plasma glucose and hormone responses in normal and hyperinsulinemic men. *J. Nutr.*, 113: 1819-1826
- Hallfrisch J, Reiser S, Prather ES. 1983b. Blood lipid distribution of hyperinsulinemic men consuming three levels of fructose. *Am J. Clin Nutr.*, 37: 740-748
- James J, Kerr D. 2005. Prevention of childhood obesity by reducing soft drinks. *Int J. Obes*, 29(2): S54-S57
- Kim EM, Chang YK. 1989. Effect of guar gum on the blood composition in type - 2 diabetic subjects. *Korean J. Nutr.*, 22(6): 457-465
- Kim JM, Yokoyama K. 1997. Effects of Alkaline Ionized Water on Spontaneously diabetic GK - rats fed Sucrose. *Korean J. of Lab Anim Sci.*, 13(2): 187-190
- Kim YR, Lee HC, Cho BY, Huh KB. 1990. Dietary Fiber (Guar gum) in management of non-insulin dependent diabetes

- mellitus. *J. Kor Diabetes Assoc*, 14(1): 73-78
- Kim MK, Paek JE. 1997. Effect of dietary fibers in rice and barley on lipid and cadmium metabolism in the rat. *Korean J. Nutr.*, 30(3): 252-265
- Kim SY, Chang YK. 1993. Effect of Guar Gum and Calcium Supplement on Nutritional Bioavailabilities in the Rats. *Korean J. Nutr.*, 26(1): 21-33
- Laaksonen DE, Toppinen LK, Juntunen KS, Autio K, Liukkonen KH, Poutanen KS, Niskanen L, Mykkanen HM. 2005. Dietary carbohydrate modification enhances insulin secretion in persons with the metabolic syndrome. *Am J. Clin Nutr.*, 82(6): 1218-1227
- Marckmann P, Raben A, Astrup A. 2000. Ad libitum intake of low-fat diets rich in either starchy foods or sucrose: effects on blood lipids, factor VII coagulant activity, and fibrinogen. *Metabolism*, 49: 731-735
- Martinez FJ, Rizza RA, Romero JC. 1994. High-fructose feeding elicits insulin resistance, hyperinsulinism, and hypertension in normal mongrel dogs. *Hypertension*, 23: 456-463
- Max HP, Edzard E. 2001. Guar gum for body weight reduction: Meta-analysis of randomized trials. *Am J. Med.*, 110: 724-730
- Morgan LM, Goulder TJ, Tsiolakis D, Marks V, Alberti KG. 1979. The effect of unabsorbable carbohydrate on gut hormones. Modification of post-prandial GIP secretion by guar. *Diabetologia*, 17(2): 85-89
- Moundras C, Behr SR, Remesy C, Demigne C. 1997. Fecal Losses of Sterols and Bile Acids Secretion. *J. Nutr.*, 127(6): 1068-1076
- Newman RK, Newman CW, Graham H. 1989. The hypocholesterolemic function of barley β -glucans. *Cereal Foods World*, 34: 883-886
- Nishimune T, Sumimoto T, Yakusiji T, Kunita N. 1991. Determination of total dietary fiber in Japanese foods. *J. Assoc Off Anal Chem.*, 74(2): 350-359
- Nishina PM, Schneeman BO, Freedland RA. 1991. Effects of dietary fibers on nonfasting plasma lipoprotein and apolipoprotein levels in rats. *J. Nutr.*, 121(4): 431-437
- Nutritional recommendations and principles for individuals with diabetes mellitus: 1986. American Diabetes Association. 1987. *Diabetes Care*, 10(1): 126-32.
- Reaven KM. 1987. Abnormal lipoprotein metabolism in non-insulin-dependent diabetes mellitus. *Am J. Med.*, 83: 31-40
- Reiser S, Powell AS, Scholfield DJ, Panda P, Fields M, Canary JJ. 1989. Day-long glucose, insulin, and fructose responses of hyperinsulinemic and nonhyperinsulinemic men adapted to diets containing either fructose or high-amylose cornstarch. *Am J. Clin Nutr.*, 50: 1008-1014
- Report on 2005 National Health and Nutrition Survey: Nutrition Survey. 2006. Ministry of Health and Welfare.
- Russo A, Stevens JE, Wilson T, Wells F, Tonkin A, Horowitz M, John KL. 2000. Guar attenuates fall in postprandial blood pressure and slows gastric emptying of oral glucose in type 2 diabetes. *Dis Sci*, 48: 1221-1229
- Saudex CH, Eder HA. 1979. Lipid metabolism in diabetes mellitus. *Am J. Med.*, 66: 843-852
- Schneeman BO. 1987. Soluble vs insoluble fiber-different physiological responses. *Food Technol.*, 41(2): 81-82
- Shah N, Atallah MT, Mahoney RR, Pellett PL. 1982. Effects of dietary fiber components on fecal nitrogen excretion and protein utilization in growing rats. *J. Nutr.*, 112: 658-666
- Shiau SY, Chang GW. 1986. Effects of certain dietary fibers on apparent permeability of the rat intestine. *J. Nutr.*, 116: 223-232
- Shimoyama R, Uehara S, Itagaki Y, Izumiyama S, Hirayama A. 1982. Effects of guar intake on plasma somatostatin-like immunoreactivity in diabetic patients. *Hokkaido igaku Zasshi*, 57(6): 727-733
- Suzuki T, Hara H. 2004. Ingestion of Guar Gum Hydrolysate, a soluble and Fermentable Nondigestible Saccharide, Improves Glucose Intolerance and Prevents Hypertriglyceridemia in Rats Fed Fructose. *J. Nutr.*, 134: 1942-1947
- Torsdottir I, Alpsten M, Holm G, Sandberg AS, Tolli J. 1991. A small dose of soluble alginate-fiber affects postprandial glycemia and gastric emptying in humans with diabetes. *J. Nutr.*, 121(6): 795-799
- Trowell H. 1978. Diabetes mellitus and dietary fiber of starchy foods. *Am J. Clin Nutr.*, 31: S53-S57
- Uusitupa MI. 1994. Fructose in the diabetic diet. *Am J. Clin Nutr.*, 59(3): 753S-757S
- Venkatesan N, Devaraj SN, Devaraj H. 2007. A fibre cocktail of fenugreek, guar gum and wheat bran reduces oxidative modification of LDL induced by an atherogenic diet in rats. *Mol Cell Biochem*, 294(1-2): 145-53
- West KM, Ahuja MMS, Bennett PH, Czyzyk A, Acosta OMD, Fuller JH, Oras E, Orabauska V, Jarrett RJ, Kosaka K, Keen H, Krolewski AS, Miki E, Schliack V, Teuscher A, Watkins PJ, Stober JA. 1983. The role of circulating glucose and triglyceride concentrations and their interaction with other 'risk factors' as determinants of arterial disease in nine diabetic population samples from the WHO multinational study. *Diabetes Care*, 6: 361-369
- Youn SK, Oh HI, Lee HJ, Moon TW, Noh BS. 2002. Food chemistry, Soohaksa. Seoul. pp 119-120