

당뇨병 환자를 위한 고식이섬유 보충물의 개발을 위한 연구(I)*
- 해조류 투여가 당뇨쥐의 장기능과 증세호전도에 미치는 영향 -

이혜성 · 최명숙 · 이연경 · 박수현 · 김유정

경북대학교 생활과학대학 식품영양학과

A Study on the development of high-fiber supplements for the diabetic patients (I)
- Effect of Seaweed Supplementation on the Gastrointestinal Function and
Diabetic Symptom Control in Streptozotocin-induced Diabetic Rats -

Lee, Hye-Sung · Choi, Myung-Sook · Lee, Yeun-Kyung
Park, Soo-Hyun · Kim Yu-Jung

Department of Food Science and Nutrition, Kyungpook National University, Taegu, Korea

ABSTRACT

The present study was conducted to evaluate the usefulness of four kinds of seaweeds (mixture of purple laver & sea lettuce, sea tangle, sea mustard, agar agar) as a high-fiber supplement in the therapeutic diet for the diabetic patients. Seven groups of normal and streptozotocin-induced diabetic rats were fed dietary fiber-free control diet or one of experimental diets containing 7% of one of the four seaweeds for 6 weeks. The effects of seaweeds supplementation on the body weight change, gastrointestinal functions, and the control of diabetic symptoms were examined and compared with the effects of fiber-free diet or pectin diet used as references. The body weight gains of all the diabetic groups were significantly suppressed compared to the normal group. Feed efficiency ratios and body weight gains of seaweed groups were relatively higher than those of the pectin group. Sea tangle appeared to have an effect of alleviating the typical diabetic symptoms such as polyphasia, polydipsia, polyuria, urinary glucose excretion and hyperglycemia indicating its beneficial action of improving glucose metabolism even though the degree of effectiveness was less than that with pectin. All the supplementations of seaweeds and pectin resulted in the significant changes in gastrointestinal functions; shortening of GI transit time, increase of fecal volume and the length of intestine. Based on their effects of the significant changes in GI function it may be suggested that seaweeds may influence the process of digestion and absorption of nutrients in diabetic animals. (*Korean J Nutrition* 29(3) : 286~295, 1996)

KEY WORDS : diabetes · seaweed · gastrointestinal function · diabetic symptoms.

채택일 : 1996년 3월 4일

*이 연구는 1994년 한국과학재단 핵심전문연구비 지원에 의한 결과임. (과제번호 : 941-0600-060-1)

서 론

식이섬유는 근년 당뇨병의 영양관리와 심혈관계 질환의 예방을 위해 크게 강조되고 있는 식이성분이며, 현재 당뇨병 환자를 위해 권장되는 식사요법의 초점은 식이섬유와 복합당질의 높은 섭취와 지방과 콜레스테롤의 낮은 섭취라는데 의견의 일치를 보이고 있다. 이와 같은 결론에 도달하기까지는 식이섬유가 당뇨병 환자의 혈당반응, 인슐린 요구량과 감수성, 혈중 지질과 지단백 농도에 미치는 영향 등에 대해서 많은 연구들이 행하여져 왔다. 그 결과 일반적으로 식이섬유의 섭취증가가 내당능과 혈청 지질의 수준을 개선함으로써 당뇨병의 치료에 유익하다는 증거들이 제시되었다¹⁻⁵⁾. 이와 같이 많은 역학적 임상적 연구들에서 식이섬유의 다량 섭취가 당뇨병 환자의 내당능과 비정상적 지질 대사의 개선에 효과가 있다는 사실이 밝혀진 후 1986년 미국 당뇨병학회에서는 당뇨병 환자의 식사요법 지침에 1일 식이섬유 섭취량을 40g 이상 또는 15~25g/1000kcal/d로 권장하고 있다⁶⁾. 우리나라에서도 1988년 발간된 당뇨병의 식품교환 지침에 섬유소가 많은 식품을 별도로 표시하여 당뇨병 관리에서 식이섬유의 중요성을 강조하고 있다⁷⁾.

식이섬유가 당뇨병의 대사 개선에 미치는 효과를 평가하기 위해서는 정제섬유 보충물을 당뇨병 환자의 식사에 혼합하거나 또는 식이섬유 함량이 매우 높은 고섬유식을 임상연구에 적용하는 방법 등이 사용되었다. 일반적으로 점성을 지닌 수용성 섬유들이나 이를 다량 포함하는 식품들이 효과적이며 보고되었으며 특히 구아검과 펙틴과 같은 정제 수용성 식이섬유 첨가물을 섭취시킨 임상연구들에서 이들의 당뇨병 대사개선에 미치는 유익한 생리효과가 보고⁸⁻¹³⁾된 바 있다. 그러나 이들은 다량(14~40g/d) 섭취했을 때 수화된 섬유자체의 불쾌한 맛과 구토감, 헛배부름 등으로 인한 환자들의 거부감이 이들 섬유 첨가물들의 실용화를 저해하는 요인이 되어 현실적으로 당뇨병 치료식에 널리 이용되지 못하고 있다. 이러한 맛에 대한 문제를 해결하기 위하여 이들 정제섬유들을 mini-tablet, 빵, 국수, 비스킷 등의 가공식품에 혼합하여 섭취하는 방법들에 대한 연구¹⁴⁻¹⁷⁾들이 이루어졌으나 실용화로 연결되지는 못하였다. 국내 연구로서는 곤약에 포함된 식이섬유 성분인 글루코만난의 투여가 인슐린 비의존성 당뇨병 (Non-Insulin-Dependent Diabetes mellitus, NIDDM) 환자의 식후 혈당감소, 혈청 콜레스테롤과 중성지방의 감소 및 HDL-콜레스테롤의 증가에 유효하다는 보고¹⁸⁾가 있고 정제섬유 구아검의 투여가 NIDDM 환자의 혈당감소와 혈중지질 대사에 유익한 영

향을 미친다는 보고가 수편¹⁹⁻²¹⁾이 있으나 역시 불쾌한 맛과 구토감으로 인한 문제점을 제기하고 있다.

고섬유식의 이용이 당뇨병 환자들의 당질 및 지질대사에 유익한 효과를 가진다는 임상연구 결과들에도 불구하고 이들이 당뇨병 치료식에 실용화 되기에는 문제점이 있는 것으로 보인다. 즉 임상연구들에서 사용된 고섬유식의 식이섬유 함량이 일상식의 평균 식이섬유 함량의 수배에 달하는 다량을 사용하였다는 점에서 당뇨병 환자들이 엄격한 채식주의적 식습관으로 바꾸지 않는 한 그들의 식이섬유 섭취수준을 현실적으로 권장량 수준으로 증가시킨다는 것은 매우 어렵다고 본다. 실제 우리 나라의 일부 인슐린 비의존성 당뇨병 환자들을 대상으로 조사한 결과²²⁾ 1일 평균 식이섬유 섭취량은 17±8g으로서 정상인에 대한 권장량(20~30g)에도 미달된 섭취상태를 보이고 있었고 당뇨병 환자에 대한 권장량보다는 더욱 미달되고 있었다. 따라서 당뇨병 환자에게 고섬유식을 권장하고 있으나 실천이 어려운 점을 감안할 때 당뇨병 환자의 식이섬유 섭취량을 증가시키는데 있어 보다 용이하고 실천가능한 방법으로서 식이섬유가 고농도로 함유되어 있고 열량이 낮은 보충식품을 제품으로 개발하는 일은 당뇨병 환자의 식사요법에 크게 도움이 되리라 생각한다.

식이섬유 보충물은 한국인의 상용식품의 범위내에서 그 제품의 소재를 발견하고 개발함으로써 이미 그 효과가 알려져 있음에도 불구하고 섭취에 따른 구토감과 거부감 등으로 인해 실용화가 어려운 구아검과 펙틴과 같은 일부 수용성 정제 식이섬유와는 달리 맛에 대한 호응도가 높고 그 효용 가치는 매우 클 것으로 생각된다. 이와 같은 가능성이 높은 식품소재로서 해조류를 들 수 있다. 해조류는 한국인의 상용식품 중 총식이섬유 함량이 가장 높고, 당뇨병 대사개선 효과가 이미 인정되어 있는 수용성 섬유의 비율이 높으며 또한 기호도가 높은 식품류이다. 해조류의 총식이섬유 함량은 건조중량 기준으로 32.7~74.6%이며 이중 51.6~85.0%가 수용성이므로²³⁾ 영양생리에 유익할 수 있는 다양한 물리화학적, 식품물성적 특성을 가질 수 있는 식이섬유의 좋은 급원인 것 같다. 따라서 본 연구에서는 해조류를 시료로 선택하여 당뇨병 환자를 위한 고식이섬유 보충물의 소재로서의 효용가능성을 탐색하고자 일차적으로 해조류가 당뇨병동물의 사료효율 및 체중변화와 장기능 및 증세호전도에 미치는 영향을 조사하였다.

실험재료 및 방법

1. 실험동물 및 식이

3주령 된 Sprague-Dawley종 수컷 흰쥐를 화학연구

소(대전시 유성구 장동 100번지)로부터 입수하여 2주 동안 pellet형 고탄사료(제일사료)로 체중 200g 정도의 성숙쥐로 성장할 때까지 사육한 다음 대조식(dietary fiber free)으로 1주간 적응시킨 후 평균 체중이 유사하도록 각 군당 10마리씩 7군으로 나누었다. 본 실험에 사용된 해조류는 김파래(Mixture of purple laver & sea lettuce: Mixture of porphyra tenera & ulva lactuca), 다시마(Sea tangle: Laminaria japonica), 미역(Sea mustard: Undaria pinnatifida), 한천(Agar agar: Gelidium amansii)의 4종이며 실험군의 분류는 (1) 정상 대조군 (2) 당뇨 대조군 (3) 당뇨 김파래식이군 (4) 당뇨 다시마식이군 (5) 당뇨 미역식이군 (6) 당뇨 한천식이군 (7) 당뇨 펙틴식이군으로 하였다. 당뇨군의 동물들은 실험식이 시작 직전 실험적으로 당뇨상태를 유도한 후 급식실험에 사용하였으며 실험식이 급여기간은 6주였고 실험 전기간 동안 식이와 물은 제한없이 섭취하도록 하였다.

본 실험에 사용한 식이의 구성성분은 Table 1과 같으며 대조식은 식이섬유 무첨가식이고 실험식은 식이 kg 당 각각 70g의 식이섬유를 포함하였으며 cornstarch, casein과 corn oil의 함량을 조절하여 각 군의 에너지를

같은 수준으로 공급하였다. 따라서 본 실험식의 식이섬유 함량은 7g/392kcal/100g diet 이며, 이는 17g/1000kcal에 해당하므로 당뇨병 환자를 위한 식이섬유 권장수준인 15~25g/1000kcal의 범위에 있는 양이다. 식이섬유 첨가물로 사용한 해조류 중 김파래, 다시마, 미역은 건조물을 구입해서 수회 세척하여 염분을 제거한 후 열풍건조기(아진종합식품, 경북 하양시 소재)를 이용하여 60°C에서 건조시켜 분쇄기로 50mesh 이하로 분말화 하였으며 한천은 세척, 건조과정 없이 바로 분말화하여 사용하였다. 시료로 사용한 해조류들의 일반성분 및 식이섬유 함량은 한국식품공업협회 식품검사부에 의뢰하여 정량했다. 즉 수분은 상압가열 건조법으로, 조단백은 semi-microkjeldahl법으로, 조지방은 soxhlet 추출법으로, 회분은 직접 회화법으로, 식이섬유는 Prosky-AOAC법²⁴⁾인 효소중량법(enzymatic-gravimetric procedure)으로 정량하였다. 탄수화물은 수분, 조단백, 조지방, 회분, 식이섬유의 양을 합한 후 100에서 뺀 수치로 하였다. 시료 중의 수용성, 불용성 식이섬유의 정량은 Prosky-AOAC법²⁴⁾인 효소중량법에 의하였다. 즉 건조시료를 Termamyl(heat stable α -amylase)로 젤라틴화 하고 단백질과 전분을 제거하기 위해 protease와

Table 1. Composition of experimental diets

Ingredients	Control diet	Experimental diets				
		MPS	ST	SM	AA	Pectin
		g/100 g diet				
Total Carbohydrate	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00
Cornstarch	45.00	41.75	42.32	43.84	42.88	45.00
Sucrose	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00
From fiber material	0.00	3.25	2.68	1.16	2.12	0.00
Total Protein	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00
Casein	20.00	15.89	19.03	16.23	19.81	20.00
From fiber material	0.00	4.11	0.97	3.77	0.19	0.00
Total Fat	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00
Corn oil	8.00	6.53	7.51	7.30	7.92	8.00
From fiber material	0.00	1.47	0.49	0.70	0.08	0.00
AIN 76 vitamin Mix ¹⁾	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
AIN 76 mineral Mix ²⁾	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50
Choline chloride	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
DL-methionine	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
Dietary fiber	0.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00

To provide 7g dietary fiber/100g diet the following amounts of seaweeds (g/100g diet) were used : MSP 18.0, ST 14.0, SM 17.5, AA 11.2 Abbreviations MPS ; mixture of purple laver & sea lettuce, ST ; sea tangle, SM ; sea mustard, AA ; agar

1) AIN-76 Vitamin mix(g/kg mix) : thiamin · HCl 0.6, riboflavin 0.6, pyridoxine · HCl 0.7, nicotinic acid 3, D-calcium pantothenate 1.6, folic acid 0.2, D-biotin 0.02, cyanocobalamin 0.001, retinyl palmitate 0.8(500,000IU/g), DL- α -tocopheryl acetate 20(250IU/g), cholecalciferol 0.0025, menaquinone 0.005, sucrose to make 1kg

2) AIN-76 Mineral mix(g/kg mix) : calcium phosphate dibasic 500, sodium chloride 74, potassium citrate monohydrate 220, potassium sulfate 52, magnesium oxide 24, manganous carbohydrate 3.5, ferric citrate 6, zinc carbonate 1.6, cupric carbonate 0.3, potassium iodate 0.01, sodium selenite 0.01, chromium potassium sulfate 0.55, sucrose to make 1kg

amyloglucosidase를 이용하여 효소적으로 분해시킨 후 잔사물을 여과하고 물로 씻은 다음 여과액을 모아서 수용성 식이섬유 분석에 사용하였고 잔사물은 95% ethanol과 aceton으로 씻고 건조시킨 후 중량을 측정하였다. Duplicate 중 하나는 단백질의 정량 분석에 사용하였고 다른 하나는 회분 정량을 위해 525℃에서 회화시켰다. 불용성 식이섬유의 중량은 단백질과 회분무게를 뺀 나머지로 하였다. 수용성 식이섬유는 첫 단계의 효소분해 후 생성된 잔여물의 여과액을 4배량의 ethanol을 붓고 이때 생성된 침전물을 여과하여 78% ethanol, 95% ethanol, aceton의 순으로 씻고 건조시킨 후 정량하였다. Duplicate 중 하나는 단백질을 정량 분석하는데 사용하고 다른 하나는 회분 정량을 위해 525℃에서 회화시켰다. 수용성 식이섬유의 중량은 단백질과 회분 무게를 뺀 나머지로 하였다. 해조류의 성분 분석결과는 Table 2와 같다.

2. 실험방법

1) 당뇨병의 유도

실험식이 급여 시작 전날 당뇨병의 동물에 streptozotocin(Sigma Chem Co., USA, 50mg/kg BW)을 대퇴부 근육에 1회 주사함으로써 실험적으로 중등도 당뇨병을 유발하였다. Streptozotocin은 0.1M citric acid buffer(pH 4.5)용액에 용해시켜 사용하였고 정상군은 동량의 citric acid(0.1M, pH 4.5)용액을 주사하였다. 당뇨병의 확인은 streptozotocin 주사 24시간 후 꼬리 정맥으로부터 채혈하여 공복시 혈당이 180mg/dl 이상일 때 당뇨병이 유발된 것으로 간주하였으며 실험식 투여 5주째에 공복시 혈당 측정에 의해 당뇨병상태가 유지되고 있음을 확인하였다. 혈당의 측정에는 혈당계(Accutrend GC, Boehringer Mannheim, Germany)로 측정하였다.

2) 체중 변화와 사료효율 측정

실험식 개시일을 0 day로 하여 1주마다 동물저울로 체중을 달아 급식실험 종료일까지 동물의 체중 변화상태

를 측정하였으며 전 실험기간 동안의 사료 섭취량과 체중 증가량으로부터 사료효율(feed efficiency ratio, 체중증가량 g/사료섭취량 g)을 계산하였다.

3) 장통과 시간(Gastrointestinal transit time)의 측정

Marker로 사용한 Carmine red(Sigma Chem. CO., USA)를 0.5%의 농도로 각 실험식에 첨가하여 실험 22일째 급여하고 매시간 marker의 변 중 배설을 체크하였다. 실험식 급여 시작 시간과 marker가 변 중에 처음 나타나기까지의 시간 간격을 장통과 시간으로 하였다.

4) 당뇨병세의 측정

식이 섭취량, 수분 섭취량, 뇨 배설량과 뇨당의 측정을 위해 실험식이 5주째 실험 동물을 48시간 동안 한마리씩 대사 cage에 수용하여 충분한 식이와 물을 제한없이 급여하였다. 식이 및 수분의 급여량과 잔여량의 차이로부터 1일 평균 식이 섭취량, 수분 섭취량을 계산하였다. 뇨 배설량은 대사 cage로부터 48시간 수집된 총량을 1일 평균 뇨배설량으로 계산하였고, 뇨당은 glucose analyzer(YSI, 2300 STAT, USA)를 이용하여 측정하였다. 혈당은 사육기간 6주 후 공복상태에서 채혈한 혈액을 glucose analyzer(YSI, 2300 STAT, USA)를 이용해서 측정하였다.

5) 분변 수집 및 분변 중 수분함량의 측정

실험식이 5주째 대사 사육장에서 48시간 동안 배설되는 대변을 하루 2회씩 수집하여 wet weight를 칭량한 후 냉동시켰다가 항량이 달할 때까지 건조시킨 다음 dry weight를 칭량하고 wet weight와의 차이를 수분함량으로 하였다.

6) 조직의 채취

사육기간 완료 전날 밤 실험동물을 12시간 절식시킨 후 1% ketamin hydrochloride액을 복강주사하여(0.2ml/100g BW) 마취시킨 후 개복하고 복부 대정맥으로부터 혈액을 채취한 다음 즉시 간과 콩팥을 적출하였다. 지방을 제거하고 냉장 생리식염수로 수회 세척 후

Table 2. Percent composition of seaweeds

Seaweeds	Moisture	Protein	Fat	Ash	Carbohydrate	Dietary fiber		
						TDF	IDF	SDF
MPS	4.0	22.9	8.2	7.8	18.1	39.0	18.7(48)*	20.3(52)*
ST	7.5	6.9	3.5	13.1	19.1	49.9	29.2(59)	20.7(41)
SM	6.6	21.6	4.0	15.5	12.2	45.6	25.6(56)	20.0(44)
AA	12.5	1.7	0.7	0.7	19.0	62.6	59.5(95)	3.1 (5)

Abbreviations TDF ; total dietary fiber, SDF ; soluble dietary fiber, IDF ; insoluble dietary fiber, MPS ; mixture of purple laver & sea lettuce, ST ; sea tangle, SM ; sea mustard, AA ; agar agar

* % total dietary fiber

cheese cloth로 수분을 제거하고 무게를 달았다. 또한 장은 소장과 대장을 구분하여 채취한 후 장내용물을 비워낸 후 길이를 측정하였다.

7) 자료의 통계 처리

당뇨쥐의 장기능과 증세호전도에 미치는 식이섬유 급원에 따른 영향의 차이는 one way ANOVA와 Duncan's multiple comparison test²⁵⁾에 의해 P < 0.05 수준에서 유의성을 검증하였다.

결 과

1. 해조류가 체중 증가량, 장기무게 및 사료효율에 미치는 영향

실험식 투여 6주 후 실험동물의 체중변화와 간과 신장의 무게 및 사료효율은 Table 3과 같다. 실험기간 동안 정상 대조군은 평균 238g의 체중증가를 보인 반면 모든 당뇨군의 체중증가는 14~53g에 그쳐 당뇨병에 의한 체중증가 억제현상이 나타났다. 당뇨군내 체중변화 상황은 펙틴군에서 가장 낮았으나 식이섬유의 급원에 따른 유의적인 차이는 관찰되지 않았다. 간과 신장의 체중 100g당 상대적인 무게는 모든 당뇨군에서 정상 대조군에 비해 높게 나타났다. 특히 신장의 경우는 모든 당뇨 동물에서 정상 대조군에 비해 약 2배 정도의 비대 현상을 보였으나 펙틴군은 다른 당뇨군에 비해 유의적으로 낮은 신장 비대를 보였다. 사료효율은 모든 당뇨군에서 정상 대조군에 비해 유의적으로 낮은 값을 보였고 당뇨군에서는 펙틴군이 가장 낮은 값을 보였으며, 해조류군들은 그 차이가 유의적이지는 않았으나 펙틴군에 비해 높은 사료효율을 보였다.

2. 당뇨병의 증세호전도에 미치는 해조류의 영향

실험식이 5주째에 대사 사육장을 이용하여 측정된 실험동물의 식이 섭취량, 수분 섭취량, 뇨 배설량 및 뇨당

배설량과 6주째에 측정된 공복 혈당치는 Fig. 1과 같다. 식이 섭취량은 정상 대조군(3.8g/100g BW/d)에 비해 당뇨 펙틴군(7.30g/100g BW/d)을 제외한 모든 당뇨군들에서 유의적으로 높았다. 당뇨군에서는 당뇨 대조군(9.87g/100g BW/d), 다시마군(8.34g/100g BW/d), 미역군(10.54g/100g BW/d)이 펙틴군과는 유의적인 차이가 없는 식이섭취를 보였다. 수분 섭취량은 정상 대조군(6.68g/100g BW/d)에 비해 모든 당뇨군들이 4~10배로 유의적으로 높았으며 당뇨군에서는 펙틴군(29.91g/100g BW/d)의 수분 섭취량이 당뇨 대조군, 김과래군, 미역군 및 한천군에 비해 유의적으로 낮았으나 다시마군(46.52g/100g BW/d)과는 유의적인 차이를 나타내지 않았다. 뇨 배설량은 수분 섭취량과 유사한 경향을 보였으며 당뇨군에서는 펙틴군과 다시마군에서 가장 낮은 뇨 배설량을 나타내었다. 뇨당 배설량은 정상 대조군에서는 뇨당이 검출되지 않았으며 당뇨군에서는 펙틴군(2.29g/100g BW/d)의 뇨당 배설량이 당뇨 대조군, 김과래군, 미역군 및 한천군에 비해 유의적으로 낮았고 다시마군(3.33g/100g BW/d)과는 유의적인 차이를 나타내지 않았다. 혈당은 사육기간 6주 후 공복 상태에서 측정된 것으로서 정상 대조군(163mg/dl)에 비해 당뇨 펙틴군(215mg/dl)을 제외한 모든 당뇨군에서 유의적으로 높았고 당뇨군에서는 다시마군(320mg/dl)과 한천군(323mg/dl)이 펙틴군과 유의적인 차이를 나타내지 않았다.

3. 장기능에 미치는 해조류의 영향

해조류의 첨가가 장 내용물의 장 통과 시간(GI transit time), 분변 배설량, 분변 중 고형물량과 수분함량, 대장 및 소장의 길이에 미치는 효과는 Fig. 2와 같다. 식이섬유 투여군들의 장 통과 시간은 9~15시간으로 무식이섬유군인 정상 대조군(18.4시간)과 당뇨 대조군(18.4시간)에 비해 유의적으로 단축되었다. 섬유군들에서는 모든 해조류 투여군들이 수용성 정제 섬유소인 펙틴 투

Table 3. Effect of seaweeds on growth and organ weight in normal and diabetic rats

Groups	Initial body weight(g)	Final body weight(g)	Body weight gain (g/42days)	Liver weight (g/100g BW)	Kidney weight (g/100g BW)	FER ¹⁾
Normal control	255.22±8.45*	493.56±12.00 ^b	238.33± 9.13 ^b	3.03±0.15 ^a	0.54±0.01 ^a	0.207±0.006 ^b
Diabetic control	257.00±4.98	292.44± 9.72 ^a	35.44± 9.15 ^a	3.95±0.11 ^{cde}	1.08±0.02 ^e	0.022±0.005 ^a
Diabetic MPS	249.00±7.79	269.33±16.72 ^a	20.33±10.60 ^a	4.01±0.07 ^e	1.04±0.03 ^{de}	0.012±0.006 ^a
Diabetic ST	251.67±8.33	305.44±16.06 ^a	53.78±12.40 ^a	3.90±0.08 ^{cde}	0.99±0.04 ^{cd}	0.034±0.008 ^a
Diabetic SM	253.11±9.21	303.11±18.82 ^a	50.00±12.79 ^a	3.67±0.11 ^{bcd}	0.94±0.04 ^c	0.032±0.008 ^a
Diabetic AA	250.11±8.03	292.89±15.53 ^a	42.78± 8.67 ^a	3.65±0.07 ^{bc}	1.06±0.04 ^{de}	0.025±0.005 ^a
Diabetic pectin	248.22±8.67	262.56±21.54 ^a	14.33±14.08 ^a	3.48±0.06 ^b	0.85±0.02 ^b	0.007±0.015 ^a

*Mean±S.E. for nine animals per treatment

1) FER ; feed efficiency ratio (weight gain, g/feed intake,g)

Different superscripts in the same column indicate significant difference (p < 0.05) between groups by Duncan's multiple comparison test. Abbreviations MPS ; mixture of purple laver & sea lettuce, ST ; sea tangle, SM ; seamustard, AA ; agar agar

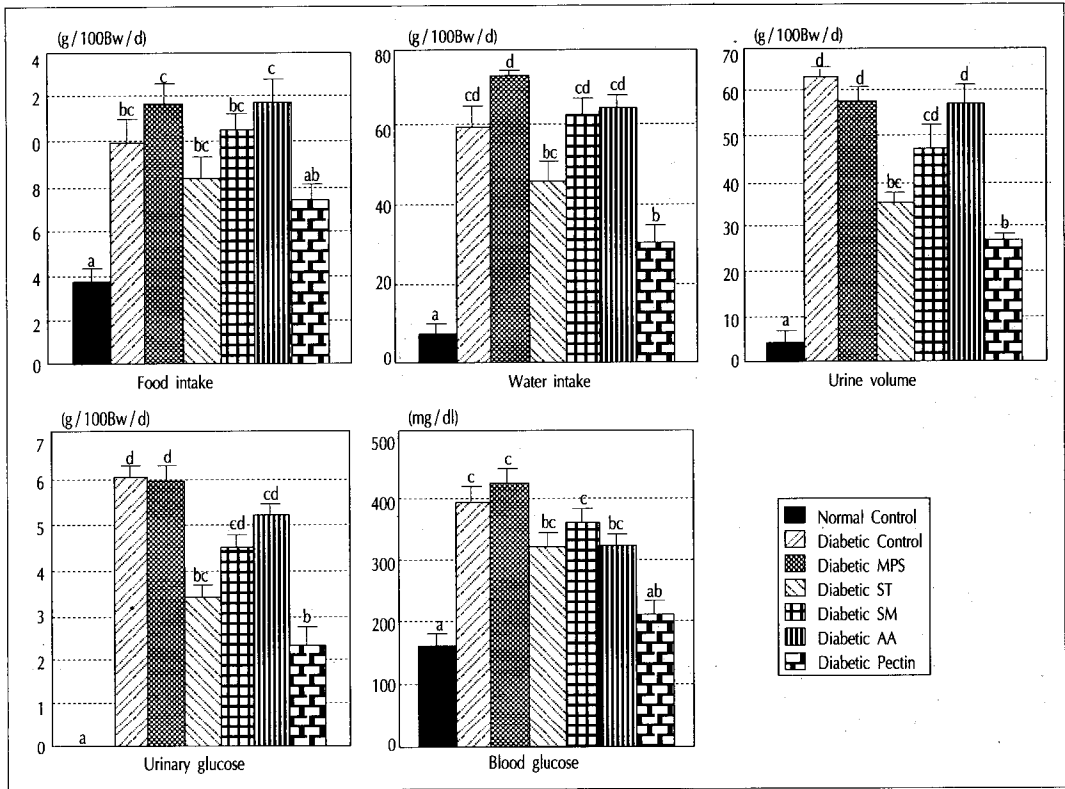


Fig. 1. Food intake, water intake, urine volume, urinary glucose excretion and blood glucose in normal and diabetic rats.

Abbreviations MPS : mixture of purple laver & sea lettuce, ST : sea tangle, SM : sea mustard, AA : agar agar. Values are means for 8 rats with their standard errors indicated by vertical bars. Different letter on the top of the bar indicates significant difference between groups by multiple comparison test ($p < 0.05$).

여군에 비해 장통과 시간이 유의적으로 짧았고 해조류군들에서는 한천군이 가장 짧았으나(9.1시간) 유의적인 차이는 아니었다. 분변의 총량과 고형물량(건조중량)은 해조류들이 무식이섬유군과 펙틴군에 비해 유의적으로 많았으며 그 중에서도 김파래 투여군과 한천 투여군이 유의적으로 높은 배설량을 보였다. 변중 수분함량은 모든 당뇨군들이 정상 대조군(27.7%)에 비해 유의적으로 높았으며 당뇨군에서는 모든 해조류군이 당뇨 대조군(39.5%)과 펙틴군(38.3%)에 비해 유의적으로 높았고 그중 김파래군(64.3%)과 한천군(61.9%)이 가장 높은 수분함량을 보였다. 소장 길이는 펙틴군이 다른 모든 군에 비해 유의적으로 길었으며 해조류군들은 식이섬유를 투여하지 않은 대조군들에 비해 소장의 길이가 유의적으로 길게 나타나 식이섬유의 투여는 그 종류에 상관없이 소장의 길이에 영향을 미침을 볼 수 있었다. 대장의 길이 역시 모든 식이섬유 투여군들에서 당뇨 대조군에 비해 유의적으로 길게 나타났고 펙틴군에서 가장 길었다.

고찰

당뇨병 상태에서는 세포의 포도당 이용이 저해되어 기아상태의 대사특징을 나타내므로 본 실험의 결과에서 모든 당뇨군들이 정상 대조군에 비해 유의적으로 낮은 체중 증가를 나타낸 것은 당연히 추정될 수 있는 결과라고 본다. 이와 같은 결과는 Hebrew University종 수컷쥐와 Wistar 수컷쥐에서 각각 streptozotocin으로 당뇨상태를 유발시킨 Daniel 등²⁶⁾과 Zacharia²⁷⁾의 실험에서도 관찰된 바가 있다. 한편 Zacharia²⁷⁾의 실험결과에서 brown rice fiber 또는 soybean fiber 투여군의 체중 증가율이 당뇨 대조군에 비해 높은 경향을 나타냈는데 본 실험에서도 당뇨쥐의 체중 증가에서 해조류의 종류에 따른 유의적인 차이는 발견할 수 없었으나 다시마, 미역, 한천 투여군이 당뇨 대조군에 비해 높은 체중증가 경향을 보였다. 당뇨군들에서 공통적으로 관찰된 낮은 식이

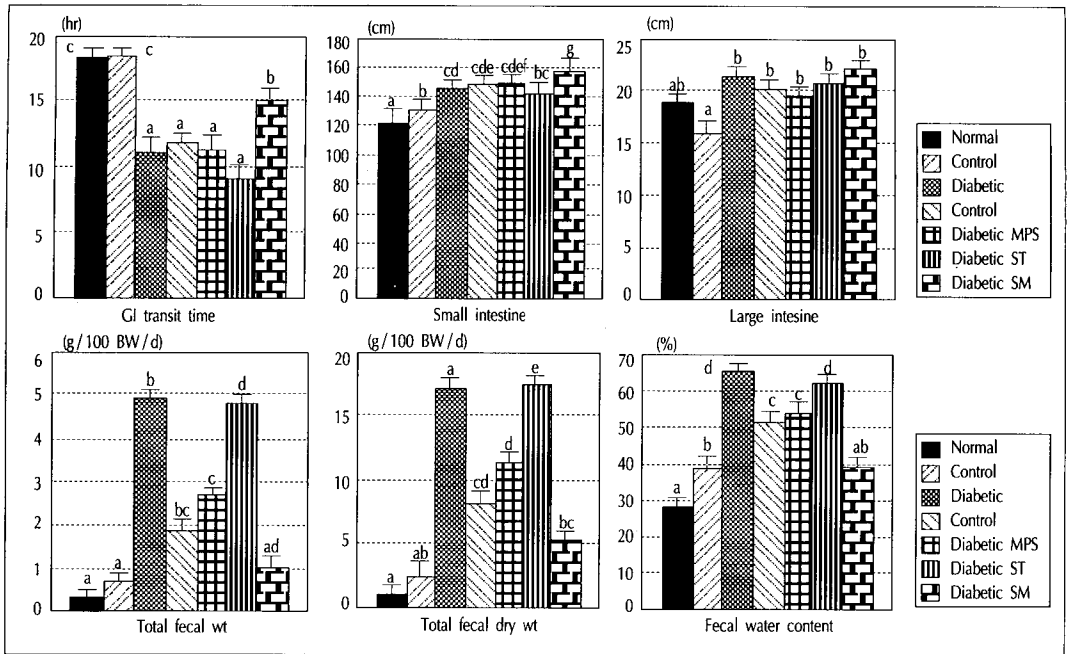


Fig. 2. Effects of seaweeds on gastrointestinal parameters in normal and diabetic rats. Abbreviations MPS : mixture of purple laver & sea lettuce, ST : sea tangle, SM : seamustard, AA : agar agar. Values are means for 8 rats with their standard errors indicated by vertical bars. Different letter on the top of the bar indicates significant difference between groups by multiple comparison test ($p < 0.05$).

효율은 당뇨동물의 전형적인 증세인 높은 식이섭취량에 비해 체중 증가량이 낮음에 기인한다고 본다. 특히 펙틴 투여군의 낮은 식이효율과 낮은 체중 증가량에 대해 Heaton²⁹⁾은 펙틴이 포만감을 증대시켜 식이섭취량을 감소시키고 결과적으로 체중증가를 감소시킨다고 보고하나 정제 섬유유의 불쾌한 맛으로 인한 식이섭취의 저하도 원인중의 하나인 것으로 사료된다.

당뇨병의 발병 초기에 신사구체 여과율의 증가와 함께 콩팥의 크기와 용적이 증가하는 병태적 특징은 잘 알려져 있으며^{29,30)}, Seyer-Hansen은³¹⁾ 당뇨쥐에서 콩팥의 비대(renal hypertrophy)는 당뇨 유발 후 수일내에 시작되는 것으로 보고했으며 비대의 정도는 혈당조절 정도와 상관관계가 있는 것으로 밝혔다³²⁾. 또한 Daniel 등²⁶⁾은 당뇨쥐의 체중 100g당 콩팥의 무게가 1.33g으로서 정상쥐의 0.67g에 비해 유의적으로 높았다고 보고하였는데 본 실험에서도 당뇨 동물들의 체중에 대한 콩팥의 상대적인 무게가 정상 동물에 비해 유의적으로 높았으며, 다시마와 미역 투여군이 펙틴군과 함께 당뇨 대조군에 비해 낮은 신장 비대를 나타냈다는 점은 특기할 만하다. 특히 다시마가 펙틴과 유의적인 차이가 없는 낮은 공복 혈당치와 뇨당배설을 나타낸 점(Fig. 1)은 콩팥비대의 정도가 혈당조절 정도와 상관관계가 있다는 사실을 뒷받침 할 수 있는 결과로 평가된다.

당뇨병에서 당질대사의 비정상과 관련된 주요 증세들이 多飲(polydipsia), 多食(polyphagia), 多尿(polyuria), 뇨당배설(glycosuria), 고혈당(hyperglycemia)이라는 점³³⁾에서 해조류 투여에 따른 이들 증세의 완화 상태를 식이섭취량, 수분섭취량, 뇨배설량, 뇨중 당농도, 공복시 혈당 수준의 측정을 통해 관찰한 결과 당뇨동물들은 정상동물에 비해 이상의 모든 측정치들에서 유의하게 높은 수준을 나타냄으로써 전형적인 당뇨증세들을 보였다. 정제 식이섬유를 시료로 사용한 박 등³⁴⁾의 보고에서 cellulose, pectin, guar gum 등이 당뇨동물의 당뇨증세를 호전시킬 수 있음을 보여주었는데 본 실험에서도 수용성 정제 식이섬유인 펙틴 투여군에서 여전히 가장 양호한 증세호전 효과가 나타났다. 해조류 중 다시마군은 펙틴에 비해 그 정도는 약하나 식이섭취량, 수분섭취량, 뇨와 뇨당 배설량, 공복시 혈당수준 등 모든 증세들에서 펙틴군과 유의적인 차이를 보이지 않음으로써 당뇨동물의 증세를 완화시키는데 유의한 효과를 나타낼 가능성이 있는 것으로 기대된다. 당뇨증세들은 체내의 비정상적인 당질대사의 임상적 발현이므로 다시마의 증세 완화 효과는 다시마가 당뇨 동물의 당질대사를 개선시킬 수 있음을 의미한다. 더욱이 본 실험 식이의 투여 기간이 6주에 불과하므로 기간이 연장될 경우 또는 투여량이 증가될 경우 그 효과는 보다 뚜렷이 나타날 가능성도 있다

고 본다.

식이섬유의 물리적 특성 중 수분보유성(waterholding capacity), 점성(viscosity), 젤형성성(gelformation), 그리고 담즙산 결합력(bile acid binding capacity)은 동물의 장기능에 영향을 미칠 수 있다³⁵⁾. 즉 수용성 식이섬유들은 위배출시간(gastric emptying time)과 유미즙의 소장 통과시간을 지연시키고, 불용성 섬유들은 강한 수분보유력으로 인해 대변의 부피를 증가시키고 유미즙의 장내 통과를 촉진하는 작용이 알려져³⁶⁾ 있으므로 이와 같은 장기능의 변화는 당뇨 동물에서 소화관내 macronutrients의 소화와 흡수과정에 변화를 초래함으로써 당질과 지질대사에 영향을 미칠 수 있을 것으로 예측된다. 본 실험의 결과에서 해조류군들과 펙틴군의 장통과 시간이 무식이섬유군들에 비해 유의적으로 짧게 나타난 것은 식이섬유 투여에 의해 분변량이 증가하고 증가된 장 내용물이 장의 연동운동을 자극한 결과로 해석되며 이는 apple pulp, bran, pectin, guar gum, cellulose 등을 식이섬유 재료로 사용했을 때 장통과 시간이 단축됨을 보고한 Takehisa³⁷⁾의 실험결과와 일치한다. 또한 이 결과는 당근 분말과 미역줄기 분말을 식이 중 5%, 10%, 15%로 첨가해서 흰쥐에게 30일간 먹였을 때 식이섬유의 함량이 증가할수록 장내용물의 장통과 시간이 감소한다고 보고한 박³⁸⁾의 결과와도 상통한다. 식이섬유의 투여가 분변량을 증가시키며 그 정도는 섬유의 종류에 따라 차이가 있음이 알려져 있는데³⁹⁻⁴²⁾ 본 실험결과에서 천연 정제 식이섬유인 펙틴에 비해 해조류를 첨가한 군들에서 분변 총 배설량이 유의적으로 높게 나타난 것은 펙틴이 수용성 정제 식이섬유인데 비해 해조류에는 보수성이 높은 불용성 섬유가 상당량 함유되어 있기 때문(Table 2)인 것으로 사료된다. 당뇨 대조군의 분변 중 수분 보유량이 정상 대조군에 비해 유의적으로 높게 나타난 것은 당뇨쥐의 높은 수분 섭취량과 관계가 있는 것으로 보인다. 당뇨군에서는 해조류군들이 당뇨 대조군 및 펙틴군에 비해 유의적으로 높은 분 중 수분 보유량을 나타내었는데 이것은 해조류의 불용성 식이섬유 성분의 수분 흡수성 및 단축된 장통과 시간과 관계가 있는 것으로 생각된다. 대장의 주기능이 장내용물의 수분 흡수인 점에서 본 실험에서는 대장에서의 통과시간을 측정하지는 않았지만 해조류군들의 단축된 장통과 시간이 대장에서의 수분 흡수시간을 단축할 수 있다고 유추할 수도 있다. 본 실험결과에서 장통과 시간과 분변량 사이에 역의 상관관계를 보였는데 장통과 시간이 영양소의 흡수율에 영향을 미칠 수 있다는 점에서 해조류 투여군의 증가된 분변 배설량과 짧은 장통과 시간은 당질과 지질의 흡수시간을 단축시킴으로써 당뇨쥐의 당질과 지질대사에 영향을 미칠 수도 있을 것으로 사료된다.

다. 본 실험에서 흰쥐의 소장과 대장의 길이가 무식이섬유군에 비해 해조류군 및 펙틴군에서 길게 나타났는데 Brown 등⁴³⁾의 실험에서는 펙틴과 구아검을 섭취한 흰쥐의 소장길이 증가 원인을 gel-forming 성질로 인한 영양소 흡수 저해 결과에 대한 적응과정으로 설명하고 있다. 한편 Paulin 등⁴⁴⁾의 실험에서는 10% psyllium과 cellulose를 흰송이에게 3.5년 동안 급여시켰을 때 장의 길이에는 유의적인 차이가 없었다고 보고한 바 있으므로 장길이의 연장에 대한 식이섬유 섭취의 영향은 아직 일관성 있는 결론을 내리기 어렵다고 본다.

요 약

본 연구에서는 한국인이 상용하는 해조류 4종(김파래, 다시마, 미역, 한천)에 대해 당뇨병 환자의 치료식을 위한 고식이섬유 보충물로서의 가능성을 실험 조사하였다. 실험동물은 streptozotocin에 의해 당뇨상태가 유발된 흰쥐를 사용하여 각 해조류 분말 시료를 7% 포함하고 에너지 밀도가 동일한 실험식을 6주동안 투여하고 해조류 투여가 당뇨동물의 체중변화와 장기능 및 증세호전도에 미치는 영향을 무식이섬유 대조군 및 이미 당뇨병 개선효과가 인정되어 있는 펙틴군과 비교하였다. 본 연구의 결과는 당뇨동물들의 체중 증가는 정상동물에 비해서는 유의적으로 낮았으나 해조류 투여군들은 펙틴군에 비해 높은 사료효율과 체중유지 경향을 보였다. 해조류 중 다시마는 펙틴에 비해 그 정도는 약하나 당뇨동물에서 전형적인 당뇨병 증세들을 호전시키는 경향을 보임으로써 당질대사 개선효과의 가능성을 나타내었다. 해조류의 투여는 펙틴의 투여와 마찬가지로 장통과 시간의 유의적인 단축, 분변 배설량의 유의적인 증가, 장길이의 유의적인 증가 등 당뇨동물의 소화 흡수과정에 영향 미칠 수 있는 장기능의 변화를 초래하였다.

Literature cited

- 1) American Diabetic Association. Position of the American Diabetic Association : Health implications of dietary fiber. *J Am Diet Assoc* 88 : 216-221, 1988
- 2) Viniik ATL, Jenkins DJA. Dietary fiber in management of diabetes. *Diabetes Care* 11 : 160-173, 1988
- 3) Kris-Etherton PM, Krummel D, Russell ME, et al. The effect of diet on plasma lipids, lipoproteins and coronary heart disease. *J Am Diet Assoc* 88 : 1373-1400, 1988
- 4) Life Sciences Research Office. Federation of American Societies for Experimental Biology. Physiological effects and health consequences of dietary fiber. *Bethesda, Maryland*

- land : FASEB, 1987
- 5) Anderson JW, Bryant CA. Dietary fiber : Diabetes and obesity. *Am J Gastroenterol* 81 : 898-906, 1986
 - 6) American Diabetes Association : Nutritional recommendations and principles for individuals with diabetes mellitus. *Diabetes Care* 10 : 126-132, 1987
 - 7) 대한당뇨병학회, 대한영양사회, 한국영양학회. 당뇨병의 식품교환 지침. p62 서울, 의학문화사, 1988
 - 8) Jenkins DJA, Leeds AR, Slavin B, Mann J, Jepsom EM. Dietary fiber and blood lipids : Reduction of serum cholesterol in type II hyperlipidemia by guar gum. *Am J Clin Nutr* 32 : 16-18, 1979
 - 9) Groop PH, Aro A, Stenman S, Groop L. Long term effects of guar gum in subjects with non-insulin-dependent diabetes mellitus. *Am J Clin Nutr* 58 : 513-518, 1993
 - 10) Kyllastinen M, Lahikainen T. Long-term dietary supplementation with a fiber product (guar gum) in elderly diabetics. *Curr Therapeut Res* 30 : 872-879, 1981
 - 11) Jenkins DJA, Leeds AR, Newton C, Cummings JH. Effect of pectin, guar gum, and wheat fibre on serum-cholesterol. *Lancet* 2 : 1116-1118, 1975
 - 12) Kay RM, Truswell AS. Effect of citrus pectin on blood lipids and fecal seroid excretion in man. *Am J Clin Nutr* 30 : 171-175, 1977
 - 13) Anderson JW, Story L, Sieling B, Chan W-JL, Petro MS, Stroy J. Hypocholesterolemic effects of oat-bran or bean intake for hypercholesterolemic men. *Am J Clin Nutr* 40 : 1146-1155, 1984
 - 14) Peterson DB, Mann JI. Guar. Pharmacology fiber of food fiber? *Diabetic Medicine* 2 : 345-347, 1985
 - 15) Jenkins DJA, Wolever TMS, Nineham R, Taylor R, Metz GL, Bacon S, Hockaday TDR. Guar crispbread in the diabetic diet. *Br Med J* 2 : 1744-1746, 1978
 - 16) Gatti E, Catenazzo G, Camisasca E, Torri A, Denegri E, Sirtori CR. Effect of guar enriched pasta in the treatment of diabetes and hyperlipidemia. *Ann Nutr Metab* 28 : 1-10, 1984
 - 17) Ellis PR, Kanalanathan T, Dawoud FM, Strange RN, Coultate TP. Evaluation of guar biscuits for use in the management of diabetes : Tests of physiological effects and palatability in non-diabetic volunteers. *Eur J Clin Nutr* 42 : 425-435, 1988
 - 18) 이태희, 김양순. Glucomannan이 성인형 당뇨병환자의 당질 및 지질대사에 미치는 영향. *대한내과학회지* 26 : 507-513, 1983
 - 19) 김은미, 장유경. Guar gum이 type-II 당뇨병 환자의 혈액 성분에 미치는 영향. *한국영양학회지* 22 : 457-465, 1989
 - 20) 김성운, 장영운, 양인명, 김진우, 김영설, 김광원, 최영길. 인슐린 비의존형 당뇨병에서 Guar gum의 당질 및 지질대사에 대한 영향. *당뇨병* 13 : 153-161, 1990
 - 21) 김유리, 이현철, 조병연, 허갑범. 인슐린 비의존형 당뇨병의 치료에 있어서 식이섬유(Guar gum)의 효과. *당뇨병* 14 : 73-78, 1990
 - 22) 이연경, 이해성, 김보완. 인슐린 비의존성 당뇨병 환자의 식이섬유 섭취실태. *당뇨병* 18 : 256-262, 1994
 - 23) Lahaye M. Marine algae as sources of fibres : Determination of soluble and insoluble dietary fibre contents in some 'sea vegetables'. *J Sci Food Agric* 54 : 587-594, 1991
 - 24) Prosky L, Asp NG, Schweizer TF, Devries JW, Furda I. Determination of insoluble, soluble and total dietary fiber in foods and food products : Interlaboratory study. *J Assoc Off Anal Chem* 71 : 1017-1023, 1988
 - 25) Steel RGD, Torrie JH. Principles and procedures of statistics. p481, McGraw-Hill, New York, 1960
 - 26) Daniel DG, Saari C, Don WS, Judith MO. Diabetes increases excretion of urinary malonaldehyde conjugates in rats. *Lipids* 28 : 663-666, 1993
 - 27) Zacharia M. Effect of brown rice and soybean dietary fiber on the control of glucose and lipid metabolism in diabetic rats. *Am J Clin Nutr* 38 : 388-393, 1983
 - 28) Heaton KW. Food fiber as an obstacle to energy intake. *Lancet* 2 : 1418-1421, 1973
 - 29) Mogensen CE, Anderson MJF. Increased kidney size and glomerular filtration rate in early juvenile diabetes. *Diabetes* 22 : 706-712, 1973
 - 30) Gallaher DD, Csallany AS, Shoeman DW, Olson JM. Diabetes increases excretion of urinary malonaldehyde conjugates in rats. *Lipids* 28 : 663-666, 1993
 - 31) Seyer-Hansen K. Renal hypertrophy in streptozotocin-diabetic rats. *Clin Sci Mol Med* 51 : 551-555, 1976
 - 32) Seyer-Hansen K. Renal hypertrophy in experimental diabetes : Relation to severity of diabetes. *Diabetologia* 13 : 141-143, 1977
 - 33) 小坂樹徳他. 糖尿病の診断に關する委員會報告. *糖尿病* 25 : 859, 1982
 - 34) 박수현, 이연경, 이해성. 식이섬유 첨가식이 streptozotocin-유도 당뇨병쥐의 장기능과 지질 및 당질대사에 미치는 영향. *한국영양학회지* 27 : 311-322, 1994
 - 35) Schneeman BO. Gastrointestinal responses to dietary fiber. In : New developments in dietary fiber. pp37-42, ed Furda I, Brine CJ. Plenum Press, New York, 1990
 - 36) Schweizer TH, Wursch P. The physiological and nutritional importance of dietary fiber. *Experientia*, 47 : 181-186, 1991
 - 37) Takehisa F. Effects of dietary fiber source on feces output and transit time in alimentary canal of mice. *J Jpn Soc Nutr Food Sci* 39 : 457-464, 1986
 - 38) 박정난. 식이섬유질의 종류와 함량이 장의 기능과 형태에 미치는 영향. *한양대학교 대학원 석사논문* 1992

- 39) Story JA, Kritchevsky D. Nutrients with special functions-dietary fiber. In : Slater RBA, Kritchevsky D. eds. Human nutrition a comprehensive treatise, nutrition and the adult-macronutrients. vol.3a, Plenum, New York (1980) pp. 259-279
- 40) Anderson JW, Chen WJL. Plant fiber carbohydrate and lipid metabolism. *Am J Clin Nutr* 32 : 346-363, 1979
- 41) Anderson JW, Story L, Sieling B, Chen WJL, Petro MS, Story H. Hypocholesterolemic effects of oat-bran or bean intakes for hypercholesterolemic men. *Am J Clin Nutr* 40 : 1146-1155, 1984
- 42) Kelsay JL. A review of research on effects of fiber intakes on man. *Am J Clin Nutr* 31 : 145-159, 1976
- 43) Brown RC, Kelleher J, Losowsky MS. The effect of pectin on the structure and function of the rat small intestine. *Br J Nutr* 42 : 357, 1979
- 44) Paulin I, Mehta T, Hargis A. Intestinal structural changes in African green monkeys after long term psyllium or cellulose feeding. *J Nutr* 117 : 253, 1987