

식이섬유질의 종류가 흰쥐의 혈청지질농도와 장기능에 미치는 영향

김 미 정 · 이 상 선

한양대학교 가정대학 식품영양학과

The Effect of Dietary Fiber on the Serum Lipid Level and Bowel Function in Rats

Kim, Mi Jeong · Lee, Sang Sun

Department of Food and Nutrition, Hanyang University, Seoul, Korea

ABSTRACT

This study was performed to investigate the influence of dietary fibers from the whole foods on the serum lipid level and bowel function in rats.

The fiber sources of experimental diets were prepared by drying and milling of cereal (rice bran), vegetables (Korean cabbage, radish), fruit (apple), and sea weeds (laver, sea tangle). Each of fiber sources was mixed into the diet to make the 5% level of total dietary fiber. Male rats of Sprague-Dawley strain were blocked into 8 groups : FF, CC, CE, V1, V2, FR, S1, and S2. The animals were fed ad libitum each of experimental diets for 4 weeks.

Serum triglyceride level was not significantly different among groups. The laver group showed the lowest level in the serum total cholesterol. The Korean cabbage group showed the highest level in the serum HDL cholesterol.

The longest transit time was observed in the fiber free group and the shortest transit time was observed in the sea tangle group. Absorption rates of calcium were especially lower in the Korean cabbage and the sea tangle groups than the other groups. Magnesium and phosphorus absorption rates were influenced by SDF (Soluble Dietary Fiber) intake and TDF (Total Dietary Fiber) intake, respectively.

Mucosa weight in the small intestine showed the tendency to increase by increasing of IDF (Insoluble Dietary Fiber) intake, especially the Korean cabbage group was the heaviest. The activity of maltase in the mucosa of small intestine was the lowest in the radish group.

KEY WORDS : dietary fiber · serum lipid level · bowel function.

채택일자 : 1994년 11월 25일

서 론

1970년대 이후 우리나라는 경제성장과 함께 국민 소득이 빠른 속도로 증가하고 있다. 이로 인해 현재 한국인의 1인당 식품소비량은 1950년대에 비해 거의 3배에 육박하고 있다. 이러한 증가율은 식물성 식품보다 동물성 식품에서 더욱 현저하여 식물성 식품의 소비량은 약 2배로 증가한 반면 동물성 식품은 거의 9배로 증가하였다¹⁾. 그리고 점차 우리의 식생활이 서구화되고 가공식품화되고 있으며 외식산업이 증대하는 양상을 보이고 있다²⁾. 이러한 식습관의 변화와 함께 우리나라의 주요사망원인이 변화되었다. 1991년의 사망원인 통계에 의하면 뇌혈관질환, 심장병, 고혈압성 질환 등의 순환기계 질환이 전체 사망원인의 28.7%를 차지하였으며 다음으로는 암 등의 악성신생물이 19.2%였다³⁾. 그리고 이러한 질병들과 식이섬유질 섭취량과의 상관관계에 관한 많은 연구들이 이미 서구에서 진행되어 왔다^{4,5)}.

식이섬유질은 그 성질에 따라 크게 두 가지로 나눌 수 있다. 즉, 지방과 전분을 제거한 후 뜨거운 물에 용해되는 pectin, gums, 몇몇의 hemicellulose 등의 가용성 성분과 cellulose, lignin, 가용성 hemicellulose를 제외한 나머지 hemicellulose 등의 불용성 성분으로 나누어진다⁴⁾. 가용성 섬유질(soluble dietary fiber, SDF)은 불용성 섬유질(Insoluble dietary fiber, IDF)에 비해 보수력(water-holding capacity)이 커서⁶⁾ gel 형성으로 점도가 높아지므로 음식물이 위에 머무르는 시간이 길어져 포만감을 주고, 영양소의 소화, 흡수를 지연시켜 당뇨병 환자에게 당내성을 증진시키는 효과가 있는 것으로 보고되고 있다⁷⁾. 또한 장내에서 콜레스테롤 및 담즙산을 흡착하여 대변내 배설 및 지단백 대사에 변화를 주어 혈청 콜레스테롤 수준을 저하시키고 심장병 및 대장암의 발병율을 낮춘다고 보고되고 있다⁸⁾.

식이섬유질은 또한 그의 종류에 따라 대장내 혐기성 발효 정도가 달라 대장을 통과할 때 물리화학적 성질 및 생리적 기능이 달라질 수 있다고 한다. 특히 IDF는 대장내 미생물의 작용을 적게 받아 대장내에 비발효 잔사로 남게 된다. 따라서 대장내에서 식이섬유질의

matrix가 그대로 유지되어 대변의 부피감과 무게를 증가시키는데 효과적인 것으로 보고되고 있다⁹⁾.

우리나라에서도 최근 식이섬유질에 관한 관심이 증가하고 있으며 식이섬유질이 배변량, 장 통과시간, 지방 대사 및 무기질 대사 등에 미치는 영향에 대해서 연구들이 행해졌고 섬유질의 효과가 입증되어 왔다¹⁰⁾. 그러나 대부분의 연구들이 정제된 식이섬유질을 사용하였으며¹¹⁾, 식품자체를 실험재료로 이용한 연구는 드물었다¹⁰⁾.

본 연구에서는 정제된 형태의 식이섬유질을 사용하지 않고 우리가 일상적으로 많이 섭취하고 있는 식품들(쌀겨, 배추, 무, 사과, 김, 미역)을 선택하여 식이섬유질에 대한 연구를 실시하였다. 인간에게 적당한 섬유질 섭취량이라고 여겨지는 양이 전체식이종의 5% 정도임을 고려하여¹²⁾, 총 식이섬유질(total dietary fiber, TDF) 함량이 5%가 되도록 조정된 식이를 실험동물(Sprague-Dawley Rats)에게 적용시켰다. 그리고 각 식품속에 함유되어 있는 식이섬유질이 실험동물의 혈청지질농도와 장기능에 미치는 영향을 관찰함으로써 식이섬유질의 생리적 효과를 알아보았다.

실험재료 및 방법

1. 실험재료

1) 실험동물의 식이조제

본 실험에 사용한 식이는 Table 1과 같이 조제하였다.

시료 중 건조상태의 것(쌀겨, 무말랭이, 김, 미역)은 바로 50±5℃의 dry oven에서 건조시켜 분쇄하여 사용하였으며, 배추, 사과는 일광으로 말린 후 50±5℃의 dry oven에서 건조하여 분쇄하였다.

권혁희¹³⁾, 김은희 등¹⁴⁾의 분석결과 중 Prosky 등의 방법에 의한 TDF(total dietary fiber) 함량을 참고로 하여 각 식이내에 TDF 함량이 5%가 되도록 조정하였다. 그리고 FF(fiber free)군을 제외한 각 식이의 열량을 CC(cellulose control)군과 동일하게 하기 위해서 섬유질원에 함유되어 있는 탄수화물, 단백질, 지방 양을 고려하여(Table 2) sucrose, casein, corn

oil을 각 식이마다 다르게 첨가하였다. FF군의 경우에는 섬유질원을 전혀 첨가하지 않았고 sucrose 5%로 대체하였으며, CC군의 경우에는 rat 사육시 기본적인 섬유질원으로 사용되는 α -cellulose(Sigma)를 사용하였다.

2) 실험동물의 사육기간

본 실험에서는 실험동물로 생후 4주된 Sprague-Dawley Rat 수컷 64마리를 사용하였다. 이들을 체중에 따라 8마리씩 8군으로 나누어 한 마리씩 stainless steel cage에서 총 4주간, 조제한 식이로 사육하였다. 식이와 음료수는 제한없이 먹을 수 있도록 하였으며, 체중은 1주일에 한 번씩 측정하였다.

2. 실험방법

1) 섬유질원의 분석

(1) 일반성분 분석

섬유질원의 일반성분 분석은 AOAC법¹⁵⁾에 준해 수분은 상압건조법, 조단백질은 micro Kjeldahl법, 조지방은 Soxhlet 추출법, 조회분은 회화법으로 각각 그 양을 산출하였다.

(2) 섬유질 분석

실험식이의 섬유질원으로 사용된 쌀겨, 배추, 무, 사과, 감, 미역은 Prosky등의 방법¹⁶⁾에 의해서 불용성

Table 1. Composition of experimental diets (g/100g)

Ingredients\Group	FF ¹⁾	CC	CE	V1	V2	FR	S1	S2
Casein	20	20	17	15.4	16.8	16.5	15.3	15.8
Corn starch	20	20	20	20	20	20	20	20
Sucrose	47.5	42.5	32	32.4	30.3	14	39.5	34.1
Corn oil	5	5	2	4.3	4.9	4.2	4.9	4.7
Lard	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
Fiber source	0	5	21.5	20.4	20.5	37.8	12.8	17.9
Vitamin mixture ²⁾	1	1	1	1	1	1	1	1
Mineral mixture ³⁾	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5
Choline chloride	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
DL-methionine	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3

- 1) FF : fiber free group, CC : cellulose control group, CE : cereal(rice bran) group, V1 : vegetable 1(Korean cabbage) group, V2 : vegetable 2(radish) group, FR : fruit(apple) group, S1 : sea weed 1(laver) group, S2 : sea weed 2(sea tangle) group
- 2) Vitamin Mixture(mg/100g) : VD₃ 0.582, α -tocopherol-acetate 1200.0, Retinol-acetate 93.2, VK₃ 6.0, Thiamin-HCl 59.0, VB₁₂ 0.2, VC 588.0, Pyridoxine-HCl 29.0, D-biotin 1.0, Folic acid 2.0, Inositol 1176.0, Ca-pantothenate 235.0, Riboflavin 59.0, Nicotinic acid 294.0, Sucrose 96257.017
- 3) Mineral Mixture(g/100g) : CaCO₃ 29.29, CaHPO₄ · 2H₂O 0.43, KH₂PO₄ 34.31, NaCl 25.06, MgSO₄ · 7H₂O 9.98, Fe(C₆H₅O₇) · 6H₂O 0.623, CuSO₄ · 5H₂O 0.156, MnSO₄ · H₂O 0.121, (NH₄)₆Mo₇O₂₄ · 4H₂O 0.0025, Na₂SeO₃ · 5H₂O 0.0015, ZnCl₂ 0.02, KI 0.0005

Table 2. Apparent composition of fiber source (g/100g)

	Moisture	Crude protein	Crude fat	Crude ash	TDF	
					IDF	SDF
CE	2.03	15.29	17.60	9.03	19.08	2.90
V1	9.61	26.64	1.33	13.16	23.83	2.97
V2	11.18	16.58	0.39	8.98	15.91	3.20
FR	7.59	2.21	2.76	1.66	7.48	3.25
S1	3.71	41.58	0.94	10.86	24.89	11.69
S2	4.14	23.91	1.09	25.34	13.36	34.32

식이섬유질 종류와 흰쥐의 혈청지질농도

식이섬유질(IDF)과 가용성 식이섬유질(SDF) 분석을 행하였으며, 이 두 값을 더한 것을 총 식이섬유질(TDF) 함량으로 하였다.

2) 시료의 분석

(1) 변의 수거

각 실험동물의 변은 실험기간 중 두번째 주와 네번째 주에 일주일 동안 수거하여 변 중량(wet weight)를 재고 -20°C 냉동고에 보관하였다. 그 후 분석전에 80°C dry oven에서 24시간 건조시켜 건중량(dry weight)을 재 후 분쇄하여 Ca, Mg, P의 분석시료로 이용하였다.

(2) 변내의 Ca, Mg, P의 분석

마지막 주에 수거하여 건조시킨 변 1.5g을 600°C에서 회화시킨 후, Ca과 Mg은 Atomic Absorption Spectrophotometer(Varian AA-1475 series)로 정량하였고, P는 Spectrophotometer(Milton-Roy Co., Spectronic 601)를 이용하여 정량하였다¹⁷⁾.

(3) 식이의 Ca, Mg, P의 분석

건조시킨 실험식이 1.5g을 변의 무기질 분석방법과 동일하게 정량하였다.

(4) 혈청지질농도 측정

총콜레스테롤은 영동제약 kit를, HDL-콜레스테롤과 중성지방은 Eiken kit를 사용하여 효소비색법으로 분석하였다.

(5) 소장 점막효소의 활성화도

점막을 maleate 완충용액으로 10mg/ml이 되게 균질화시키고 37°C에서 maltose를 기질로 첨가하여 60분 동안 반응을 진행시킨 후, 반응액에 들어있는 포도당과 단백질 농도는 Sigma kit를 사용하여 측정하였다¹⁸⁾. 효소의 활성화는 1시간 동안 1mg의 단백질에 의해 1mg의 포도당이 생성된 것을 1 unit로 정의하였다.

3) 장 통과시간(transit time) 측정

실험 시작 2주 경과시 실험동물을 12시간 절식시킨 후, 각 군의 식이 2g에 10% brilliant blue dye를 1ml 첨가하여 제공하고 2g 모두를 섭취한 후 정상식을

공급하였다. 그 후 푸른색 변이 나오는 처음 시간과 마지막 시간을 일정시간 단위로 기록하였다. 장 통과시간은 Heanton등의 보고¹⁹⁾를 참고하여 brilliant blue dye를 먹인 후부터 마지막 푸른 변이 나오기까지 걸리는 시간으로 정의하였다.

3. 통계처리

실험결과들의 평균값 차이 검증은 ANOVA(analysis of variance)를 사용하였고, Tukey's multiple comparison test를 행하여 $\alpha=0.05$ 수준에서 실험군들 간의 유의적인 차이를 검증하였다.

또한, 혈청지질농도, 장 통과시간, 무기질 흡수율, 그리고 소장 점막무게에 영향을 미치는 인자들을 찾아내고 그 영향의 정도를 파악하기 위해서 forward stepwise multiple regression을 실시하였다²⁰⁾.

실험 결과 및 고찰

1. 식이섭취량, 체중증가량

실험기간동안 각 군의 식이섭취량과 체중증가량은 Table 3에 제시하였다.

Table 3에서 보는 바와 같이 fiber free군(FF)과 cellulose control군(CC) 그리고 미역군(S2)의 평균 식이섭취량이 다른 군에 비해서 유의적으로 낮았다. 실험기간 동안 실험동물의 체중증가량은 식이섭취량과 같은 경향을 보였다.

Table 3. Food intake and weight gain

Group	Food intake (g/day)	Weight gain (g/day)
FF	8.99 ± 0.47 ^{a1)}	2.60 ± 0.21 ^a
CC	9.50 ± 0.24 ^a	2.76 ± 0.12 ^a
CE	13.47 ± 0.67 ^b	5.23 ± 0.29 ^b
V1	13.25 ± 0.99 ^b	5.20 ± 0.14 ^b
V2	14.15 ± 0.49 ^b	5.54 ± 0.20 ^b
FR	13.56 ± 0.57 ^b	5.15 ± 0.25 ^b
S1	13.04 ± 0.80 ^b	5.15 ± 0.42 ^b
S2	9.99 ± 0.85 ^a	3.46 ± 0.30 ^a

1) Mean ± S.E.

Values with different superscripts are significantly different among groups at the 0.05 level according to Tukey's multiple range test.

체중증가량은 Mueller등²¹⁾의 보고와 마찬가지로 fiber free군이나 불용성 식이섬유질만 섭취한 cellulose control군에 비해 식품을 통해 불용성, 가용성 식이섬유질을 함께 공급받은 군의 체중이 더 증가하였다. 미역군의 경우에는 가용성 식이섬유질의 함량은 높았으나 식이섭취량이 적었으므로 체중증가량도 적은 경향을 보였다.

2. 혈청 중성지방, 총콜레스테롤, HDL-콜레스테롤 농도

혈청에서의 triglyceride(TG), total cholesterol(TC), HDL-cholesterol(HDL-c) 농도와 HDL-c/TC의 비는 Table 4에, 혈청 TG, HDL-c 농도, HDL-c/TC와 유의적인 상관관계가 있는 변수들의 회귀분석 결과는 Table 5에 제시하였다. 회귀분석시에는 식이섭취량, 총 식이섬유질 섭취량, 불용성 식이섬유질 섭취량, 가용성 식이섬유질 섭취량, 체중을 상관변수로 포함하였다.

Table 4, 5에 제시한 바와 같이, 혈청 중성지방 농도는 군들 간의 차이는 없었으나, 체중이 증가할수록 혈청 중의 중성지방 농도가 증가하는 경향을 보였다.

혈청 총콜레스테롤의 농도는 김을 섭취한 군이 가장 낮았으며 cellulose control군이 가장 높은 결과를 보였다. HDL-콜레스테롤 농도는 fiber free군이 가장 낮았으며 배추군이 가장 높았다. 상관관계가 있다고 추정되는 여러 변수들을 회귀분석한 결과, TDF 섭취량이 많을수록 HDL-콜레스테롤 양이 많아지는 양상을 보이며, 총콜레스테롤 농도가 낮았던 김 섭취군의 경우에는 HDL-콜레스테롤 농도도 낮게 측정되었다. HDL-콜레스테롤과 총콜레스테롤 간의 비(ratio)는 각 군들 간에 통계적으로 유의한 차이를 보이지는 않았으나, fiber free군이나 cellulose control군에 비해 식품을 통해서 섬유질을 공급받은 군이 더 높은 것으로 나타났다. 회귀분석 결과에 의하면 식이섭취량이 많은 군들이 적은 군들보다 HDL-c/TC의 비가 더 증가하는 경향을 보였다.

본 실험에서는 식이섬유질 자체가 혈청 총콜레스테롤 수준에 별로 영향을 미치지 않았다는 결과를 얻었는데, 이는 Jenkins등²²⁾의 결과와 비슷하며, Stasse-Wolthuis등²³⁾의 연구와 비교해 볼 때에는 본 실험에서 더 적은 양의 섬유질을 공급했으므로 총 콜

Table 4. Serum levels of triglyceride, total cholesterol, HDL cholesterol and HDL-c/TC ratio

Group	TG (mg/dl)	TC (mg/dl)	HDL-c (mg/dl)	HDL-c/TC
FF	36.23 ± 4.66 ^{NS1)}	78.26 ± 3.90 ^{ab2)}	36.58 ± 1.62 ^a	0.47 ± 0.02 ^{NS}
CC	35.41 ± 5.69	96.37 ± 3.70 ^b	43.28 ± 2.75 ^{ab}	0.45 ± 0.03
CE	35.32 ± 3.29	81.35 ± 2.85 ^{ab}	42.67 ± 2.05 ^{ab}	0.53 ± 0.03
V1	47.32 ± 3.42	89.65 ± 5.29 ^{ab}	53.41 ± 4.23 ^b	0.59 ± 0.02
V2	51.83 ± 10.39	81.37 ± 7.21 ^{ab}	46.38 ± 3.02 ^{ab}	0.58 ± 0.03
FR	48.30 ± 6.48	83.52 ± 4.58 ^{ab}	47.40 ± 2.97 ^{ab}	0.57 ± 0.04
S1	46.67 ± 4.12	71.93 ± 8.11 ^a	37.88 ± 4.20 ^{ab}	0.55 ± 0.07
S2	41.31 ± 7.17	95.30 ± 6.33 ^{ab}	47.51 ± 6.78 ^{ab}	0.51 ± 0.07

1) Mean ± S.E.

NS : Not significant among groups at the 0.05 level according to Tukey's multiple range test

2) Values with different superscripts are significantly different among groups at the 0.05 level according to Tukey's multiple range test.

Table 5. Multiple regression of various parameters possibly related to serum lipid level

Dependent	Independent	Multiple R	R square	Sig. F	Std. regression coefficient
Triglyceride	Body weight	0.26588	0.07069	0.0456	0.265881
HDL cholesterol	TDF intake	0.49324	0.24329	0.0001	0.493241
HDL-c/TC	Food intake	0.57725	0.33321	0.0000	0.577246

식이섬유질 종류와 흰쥐의 혈청지질농도

레스테롤의 감소효과를 볼 수 없었던 것으로 사료된다. 한편, 사람을 대상으로 한 연구²⁴⁾의 경우에 지방섭취량이 전체 열량의 30~40%를 차지하였고 이때 혈중 지질농도를 감소시키는 효과를 볼 수 있었으며, rat를 대상으로 한 경우에는 식이 중에 콜레스테롤을 첨가해 주었을 때²⁵⁾ 식이섬유질의 혈중 지질농도 감소효과를 볼 수 있었던 점으로 미루어 볼 때, 본 실험에서 식이섬유질이 혈청지질농도를 개선시키는 뚜렷한 효과를 보이지 않은 것은 식이 지방섭취량이나 콜레스테롤 섭취량이 상대적으로 적었기 때문이었던 것으로 생각해 볼 수도 있겠다.

3. 장 통과시간

Brilliant blue dye를 혼합한 식이를 marker로 제공한 후 푸른색 변이 나오는 처음시간(T-first)과 마지막 시간(transit time)을 측정 한 결과는 Table 6과 같으며,

Table 6. Transit time (hour)

Group	T-First	Transit time
FF	16.63 ± 0.82 ^{c1)}	216.75 ± 19.32 ^d
CC	11.36 ± 1.16 ^{ab}	156.57 ± 14.61 ^c
CE	13.56 ± 0.92 ^{bc}	102.19 ± 6.36 ^b
V1	10.25 ± 1.38 ^{ab}	56.56 ± 5.98 ^a
V2	8.06 ± 0.90 ^a	62.56 ± 5.08 ^{ab}
FR	9.79 ± 0.71 ^{ab}	66.43 ± 5.72 ^{ab}
S1	8.88 ± 0.90 ^a	67.50 ± 6.30 ^{ab}
S2	7.85 ± 1.26 ^a	41.44 ± 2.12 ^a

1) Mean ± S.E.

Values with different superscripts are significantly different among groups at the 0.05 level according to Tukey's multiple range test.

장 통과시간과 유의적인 상관관계가 있는 변수들의 회귀분석 결과는 Table 7과 같다. 회귀분석시에는 식이섭취량, 총 식이섬유질 섭취량, 불용성 식이섬유질 섭취량, 가용성 식이섬유질 섭취량, 배변량을 상 관변수에 포함하였다.

Table 6에서 보는 것처럼 처음 푸른색 변이 나오는 시간, 마지막 푸른색 변이 나오는 시간은 모두 fiber free군에서 가장 길었고 미역군에서 가장 짧았다.

많은 식이섬유질은 위와 소장에서의 통과시간이 길어짐에도 불구하고 대장에서의 통과시간은 짧아져서 결과적으로 입에서 항문까지의 통과시간(mouth to anus transit time)이 유의적으로 감소하게 되며, 이러한 효과들은 Kelsay²⁶⁾의 연구에 의해 증명되었다. 이 연구에서는 12명의 정상인에게 과일과 채소 식이를 섭취시켰을 때 배변량이 증가했으며 장 통과 시간은 감소했다고 보고했다. 그리고 SD rat에게 cellulose, guar gum 등을 식이 중 5%를 첨가해서 공급했을 때 fiber free군에 비해 장 통과시간이 감소했다는 보고도 있다²⁷⁾.

본 실험의 결과를 살펴볼 때, 장 통과시간은 배변량과는 유의적인 상관관계를 보이지 않았으며 식이 섬유질 섭취량이 많을수록 장 통과시간이 감소함을 알 수 있었다.

4. 무기질 흡수율

실험기간 동안 각 군들의 무기질 흡수율은 Table 8과 같으며, 무기질 흡수율과 유의적인 상관관계가 있는 변수들의 회귀분석 결과는 Table 7과 같다. 회귀분석시에는 총 식이섬유질 섭취량, 불용성 식이섬

Table 7. Multiple regression of various parameters possibly related to transit time, mineral absorption rate, and mucosa weight of small intestine

Dependent	Independent	Multiple R	R square	Sig. F	Std. regression coefficient
T-First	TDF intake	0.61520	0.37847	0.0000	-0.615197
Transit time	TDF intake	0.79148	0.62644	0.0000	-0.791483
Ca absorption rate	TDF intake	0.60839	0.37013	0.0000	-0.608387
Mg absorption rate	Mg intake	0.87864	0.77201	0.0000	-0.807987
	SDF intake	0.90783	0.82416	0.0002	-0.239052
P absorption rate	TDF intake	0.70034	0.49048	0.0000	-0.544043
	P intake	0.76899	0.59135	0.0004	-0.353977
Mucosa weight	IDF intake	0.53998	0.29157	0.0000	0.539976

Table 8. Calcium, magnesium, and phosphorus absorption rate (%)

Group	Calcium	Magnesium	Phosphorus
FF	74.74 ± 2.97 ^{d1)}	89.73 ± 1.42 ^d	90.10 ± 1.28 ^d
CC	76.23 ± 2.55 ^d	91.54 ± 1.39 ^d	81.48 ± 1.09 ^{cd}
CE	39.75 ± 3.08 ^c	15.03 ± 3.16 ^a	42.04 ± 2.56 ^a
V1	13.96 ± 2.95 ^a	51.00 ± 3.23 ^b	39.75 ± 3.97 ^a
V2	35.94 ± 4.08 ^{bc}	71.44 ± 3.66 ^c	65.28 ± 2.43 ^b
FR	64.71 ± 7.43 ^d	80.72 ± 3.46 ^{cd}	70.24 ± 5.05 ^{bc}
S1	72.53 ± 5.74 ^d	68.07 ± 3.21 ^c	82.63 ± 3.02 ^{cd}
S2	17.23 ± 2.73 ^{ab}	15.65 ± 2.49 ^a	49.49 ± 3.74 ^a

1) Mean ± S.E.

Values with different superscripts are significantly different among groups at the 0.05 level according to Tukey's multiple range test.

유질 섭취량, 가용성 식이섬유질 섭취량, 각각의 무기질 섭취량, 장 통과시간을 상관변수로 포함하였다.

식이내에 함유된 무기질양을 측정하고 식이섭취량을 고려하여 무기질 섭취량을 추정하였으며, 변내 무기질 함유량을 측정하고 배변량을 고려하여 무기질 배설량을 추정하였다. 그리고 흡수율은(섭취량-배설량)/섭취량×100으로 계산하였다.

배추군의 Ca 섭취량이 가장 많았으며 배설량 또한 가장 많았다. 그리고 미역군은 섭취량의 수준에 비해 배설량이 많은 편이어서 이들 두 군은 Ca 흡수율이 14%, 17% 정도로 다른 군들에 비해 아주 낮은 편이었다. Mg 섭취량은 쌀겨군과 미역군이 다른 군들에 비해 많았으며 특히 쌀겨에는 월등히 많은 양의 Mg이 함유되어 있었다. 섭취량이 많은 이들 두 군이 배설량도 많았으며 흡수율은 15% 정도로 아주 낮았다. P의 섭취량과 배설량도 쌀겨군이 가장 많았으며 흡수율은 쌀겨군, 배추군, 미역군이 다른 군들에 비해 낮은 결과를 보였다(Table 8).

사람에게 겨에서 추출한 22g NDF/day를 29일간 공급했을 때 Ca balance에는 변화가 없었으나 35g으로 증가시켰을 때는 negative Ca balance를 보인다는 보고²⁸⁾가 있다. 그리고 과일과 채소 섬유질원에는 수산이 존재하여 다량무기질의 흡수에 영향을 준다는 보고들이 있다.

무기질 흡수율과 상관관계가 있다고 추정되는 여러 변수들을 회귀분석한 결과(Table 7), 식이섬유질 섭취가 무기질의 흡수율을 감소시켰음을 발견할 수 있었다. Ca의 흡수율은 TDF 섭취량에 의해, Mg 흡수

율은 SDF 섭취량에 의해, P 흡수율은 TDF 섭취량에 의해 영향을 받는 것으로 보여진다. 곡류의 경우에는 phytate 함량이²⁵⁾, 채소류와 과일류의 경우에는 수산 함량이²⁹⁻³¹⁾, 그리고 해조류의 경우에는 알긴산 함량이³²⁾ 영향을 미친다고 보고되고 있으나, 본 실험에서는 이들에 의한 영향을 고려하지는 못했다. 따라서 식이섬유질 섭취와 무기질 흡수율과의 상관관계에 대해서는 좀 더 자세한 연구가 필요하리라 생각된다.

5. 소장 점막효소의 활성도

도체후 적출한 소장의 점막을 끊어내어 그 무게와 점막내에 함유된 효소의 활성도를 측정 한 결과는 Ta-

Table 9. Mucosa weight and maltase activity of small intestine

Group	Mucosa weight (g/100cm intestine)	Maltase activity (U ² /mg protein)
FF	2.07 ± 0.14 ^{a1)}	9.21 ± 0.71 ^{ab}
CC	2.47 ± 0.25 ^{ab}	10.17 ± 0.49 ^b
CE	2.54 ± 0.26 ^{ab}	9.03 ± 0.38 ^{ab}
V1	3.10 ± 0.21 ^b	9.76 ± 0.85 ^{ab}
V2	2.71 ± 0.31 ^{ab}	7.25 ± 0.43 ^a
FR	2.70 ± 0.18 ^{ab}	8.49 ± 0.36 ^{ab}
S1	2.48 ± 0.24 ^{ab}	8.58 ± 0.44 ^{ab}
S2	2.26 ± 0.21 ^{ab}	8.96 ± 0.43 ^{ab}

1) Mean ± S.E.

Values with different superscripts are significantly different among groups at the 0.05 level according to Tukey's multiple range test.

2) U : 1 unit. 1mg of glucose produced by 1mg of protein for 1 hour

ble 9에, 소장점막의 무게와 유의적인 상관관계가 있는 변수들의 회귀분석 결과는 Table 7에 제시하였다. 회귀분석시에는 총 식이섬유질 섭취량, 불용성 식이섬유질 섭취량, 가용성 식이섬유질 섭취량을 상 관변수로 포함하였다.

소장 100cm당 소장점막의 무게는 배추군이 가장 무거웠으며, fiber free군이 가장 가벼웠다. 그리고 소장점막 maltase 활성은 cellulose control군이 가장 높았으며 무군이 가장 떨어지는 경향을 보였다(Table 9).

회귀분석 결과, IDF 섭취량이 증가할수록 소장점막의 무게가 무거워지는 경향을 보였는데(Table 7), 이는 SDF는 소장을 통과하면서 소장 내부의 세포를 박리시키는 작용이 강한 반면, IDF는 입안에서는 비교적 오래 씹어야 되지만 의외로 장내에서는 조직손상을 적게 일으키기 때문인 것으로 생각된다³³⁾. 그리고 maltase의 활성은 무군에서만 감소하였으며 섬유질에 의한 효과는 발견할 수 없었다. 이러한 결과를 살펴볼 때, 5% TDF 섭취로는 소장 점막효소의 활성을 저해하는 부작용이 나타나지 않을 것으로 사료된다.

결론 및 제언

본 연구는 식이섬유질원으로 식품자체 즉 곡류, 채소류, 과일류 그리고 해조류를 선택하여 이들 식품속에 함유되어 있는 섬유질의 함량을 분석하고, 이들을 분말화하여 식이 중 총 식이섬유질 함량이 5%가 되도록 조제한 식이로 흰쥐를 4주간 사육했을 때 혈청지질농도와 장기능에 미치는 영향에 대하여 관찰한 것이다.

그 결과, 실험동물의 식이섭취량은 fiber free군, cellulose control군 그리고 미역군이 적었으며, 식이섭취량이 많은 군들이 체중증가량도 많았음을 볼 수 있었다.

혈청 중성지질 농도는 각 군들 간에 차이를 보이는 않았으나 체중에 의해 영향을 받음을 알 수 있었으며, 혈청 총콜레스테롤 농도는 김군이 가장 낮았으나 섬유질에 의한 영향은 나타나지 않았다. 혈청 HDL 콜레스테롤 농도는 배추군이 가장 높았으며 총 식이섬유질 섭취량이 많을수록 혈청 HDL 콜레스테롤

농도가 상승함을 알 수 있었다. 혈청 HDL 콜레스테롤과 총콜레스테롤 간의 비는 통계적 유의성을 보이지는 않았으나 식품을 통해 섬유질을 공급받는 군에서 더 상승하는 경향을 볼 수 있었다.

실험동물의 장 통과시간은 총 식이섬유질 섭취량에 의해 영향을 받았는데 이들의 섭취량이 많은 군들의 장 통과시간이 짧은 것을 볼 수 있었으며, fiber free군이 가장 길었고 미역군이 가장 짧았다.

칼슘의 흡수율은 배추군과 미역군이 다른 군들에 비해 특히 낮았으며 전반적으로 총 식이섬유질 섭취량이 많을수록 칼슘의 흡수율은 감소함을 보였다. 그리고 마그네슘의 흡수율은 가용성 식이섬유질 섭취량에 의해, 인의 흡수율은 총 식이섬유질 섭취량에 의해 영향을 받는 것을 관찰할 수 있었다.

소장점막의 무게는 불용성 식이섬유질 섭취량이 많을수록 무거워지는 경향을 보였는데 특히 배추군이 가장 무거웠다. 그리고 점막내의 maltase 활성은 무군에서 감소함을 보였으며 섬유질에 의한 효과는 발견할 수 없었다.

본 연구결과를 고려해 보면, 섬유질을 전혀 섭취하지 않거나 cellulose와 같은 불용성 식이섬유질만을 섭취하는 것은 체내에 유익한 생리적 효과를 가져오지 못하며, 식품자체를 통해 5%의 총 식이섬유질을 공급받을 때 배변량이 증가하고 장 통과시간이 감소하는 등 장기능이 향상되는 효과를 기대할 수 있으나, 혈청지질농도 개선의 효과를 기대하기는 어렵다는 결론을 내릴 수 있겠다.

Literature cited

- 1) 이일하. 한국인의 식생활 양상의 변화가 건강 및 질병상태에 미친 영향. *한국식문화학회 추계학술대회*, 1993
- 2) 권태완·강수기. 식품공업의 발달과 우리의 식생활. *한국 식문화학회 추계학술대회*, 1993
- 3) 사망원인 통계연보. *대한 통계협회*, 1991
- 4) Gordon DT. The importance of total dietary fiber in human nutrition and health. *Kor J Nutr* 25(1) : 75, 1992
- 5) Kelsay JL. A review of research on effects of fiber intake on man. *Am J Clin Nutr* 31 : 142, 1978

- 6) Chen JY, Piva M, Labuza TP. Evaluation of water binding capacity(WBC) of food fiber sources. *J Food Sci* 49 : 59, 1984
- 7) Torsdottir I, Alpsten M, Holm G, Sandberg AS, Tolli J. A small dose of soluble alginate-fiber affects postprandial glycemia and gastric emptying in humans with diabetes. *J Nutr* 121 : 795, 1991
- 8) Kay RM, Truswell AS. Effect of citrus pectin on blood lipids and fecal steroid excretion in man. *Am J Clin Nutr* 30 : 171, 1977
- 9) Schneeman BO. Soluble vs insoluble fiber-different physiological responses. *Food Technol* 41(2) : 81, 1987
- 10) 박정난. 식이섬유질의 종류와 함량이 장의 기능과 형태에 미치는 영향. *한양대 식품영양학과 석사학위논문*, 1992
- 11) 장유경 · 윤홍재. 지방의 섭취량과 첨가된 섬유소의 종류가 흰쥐의 체내 지질 수준에 미치는 영향. *한국영양학회지* 17(4) : 253, 1984
- 12) Trowell H, Burkitt D, Heaton K. Definitions of dietary fibre and fibre-depleted foods : in *Dietary fibre, fibre-depleted foods and disease*. Torwell H, Burkitt D, Heaton K(eds). Academic Press, London, p27, 1985
- 13) 권혁희. Dietary fiber의 분석방법에 관한 고찰. *한국영양학회지* 25(1) : 91, 1992
- 14) 김은희 · 맹영선 · 우순자. 곡류 및 두류 식품의 식이섬유 함량. *한국영양학회지* 26(1) : 98, 1993
- 15) Official method of analysis of association of official analytical chemists. 15th ed Washington DC. *J of AOAC*, 1990
- 16) 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 of AOAC* 71 : 1017, 1988
- 17) 신효선. *식품분석*, 신광출판사, 1983
- 18) Pesce AJ, Kapla LA. *Methods in clinical chemistry*. The CV Mosby Company, 1987
- 19) Heanton JM, Lennard-Jones JE, Young AC. A new method for studying gut transit times using radiopaque markers. *Gut* 10 : 842, 1969
- 20) 채서일 · 김범중. *SPSS/PC+를 이용한 통계분석*, 범문사, 1988
- 21) Mueller MA, Cleary MP, Kritchevsky D. Influence of dietary fiber on lipid metabolism in meal-fed rats. *J Nutr* 113 : 2229, 1983
- 22) Jenkins DJA, Reynolds D, Leeds AR, Waller AL, Cummings JH. Hypocholesterolemic action of dietary fiber unrelated to fecal bulking effect. *Am J Clin Nutr* 32 : 2430, 1979
- 23) Stasse-Wolthuis M, Hautvast JG, Hermus RJ. The effect of a natural high-fiber diet on serum lipids, fecal lipids, and colonic function. *Am J Clin Nutr* 32 : 1881, 1979
- 24) Kestin M, Moss R, Clifton PM, Nestel PJ. Comparative effects of three cereal brans on plasma lipids, blood pressure, and glucose metabolism in mildly hypercholesterolemic men. *Am J Clin Nutr* 52 : 661, 1990
- 25) 정경아. 곡류 섬유질이 간과 혈청의 지질농도와 무기질 흡수율에 미치는 영향. *한양대학교 석사학위논문*, 1993
- 26) Kelsay JL, Behall KM, Prather ES. Effect of fiber from fruits and vegetables on metabolic responses of human subjects : I. Bowel transit time, number of defecations, fecal weight, urinary excretions of energy and nitrogen and apparent digestibilities of energy, nitrogen, and fat. *Am J Clin Nutr* 31 : 1149, 1978
- 27) Begin F, Vachon C, Jones JD, Wood PJ, Savoie L. Effect of dietary fibers on glycemia and insulinemia and on gastrointestinal function in rats. *Can J Physiol Pharmacol* 67 : 1265, 1989
- 28) van Dokkum W, Wesstra A, Schippers FA. Physiological effects of fibre-rich types of bread I. the effect of dietary fibre from bread on the mineral balance of young men. *Br J Nutr* 47 : 451, 1982
- 29) Kelsay JL, Behall KM, Prather ES. Effect of fiber from fruits and vegetables on metabolic responses of human subjects II. Calcium, magnesium, iron and silicon balances. *Am J Clin Nutr* 32 : 1876, 1979
- 30) Kelsay JL, Jacob RA, Prather ES. Effect of fiber from fruits and vegetables on metabolic responses of human subjects III. Zinc, copper, and phosphorus balances. *Am J Clin Nutr* 32 : 2307, 1979
- 31) Kelsay JL, Clark WM, Herbst BJ, Prather ES. Nutrient utilization by human subjects consuming fruits and vegetables as sources of fiber. *J Agri Food*

식이섬유질 종류와 흰쥐의 혈청지질농도

- Chem* 29 : 461, 1981
- 32) 최 면·태원찬·김종대. 식이섬유의 종류가 자연 적 고혈압 유발 백서의 혈압변화 및 Na 흡수에 미치는 영향. *한국영양학회지* 24(1) : 40, 1991
- 33) Keisuke Tsuji. 식이섬유의 3대 기능과 영양. *식이 섬유와 건강에 관한 국제 심포지움*, 1992