韓國營養學會誌 29(9) : 934~942, 1996

노화된 흰쥐에서 식이섬유질원이 첨가된 식이가 혈청지질과 장기능에 미치는 효과*

박 은 영 · 이 상 선

한양대학교 가정대학 식품영양학과

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

Park, Eun Young · Lee, Sang Sun

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

ABSTRACT

This study was performed to investigate the influence of dietary fibers on the serum lipid level and bowel function in aged rats. Fiber sources of experimental diets were made from mugwort(M), butterbur(B), apple(A), sea mustard(S) by drying and milling. Each of fiber sources was mixed into the diet at the level of 5, 15% of diet. Sprague-Dawley strain, 13 month old male rats were divided into 9 groups by randomized complete block design : C, M5, B5, A 5, S5, M15, B15, A15, S15. The animals were fed ad libitum each of experimental diets for 4 weeks.

Control group showed lower food intake compare to the other groups. There were no significant difference between 5% groups and 15% groups in food intake. Fecal weight, dry fecal weight and fecal water content of control group were significantly lower than those of experimental groups, and fecal water content was increased by increasing level of dietary fiber. Apple group showed the lowest values, sea mustard group showed the highest.

The shorter transit time was observed in the group of higher intake of dietary fiber. At the same level of dietary fiber, transit time of sea mustard group was shorter than the other groups. With increasing age, serum triglycerides, total cholesterol were increased and HDL-cholesterol was decreased. Fiber fed groups showed lower serum TG, TC and higher HDL-c level compare to the control group.

Absorption rates of calcium, magnesium and phosphorus were tend to be lower in the group fed dietary fiber sources than control group. Mucosa weight and maltase activity in the small intestine were decreased by increasing age. As intake of dietary fiber increased, mucosa weight in the small intestine was not different but maltase activity was decreased. (*Korean J Nutrition* 29(9) : 934~942, 1996)

KEY WORDS : dietary fiber · aged rats · serum lipid level · transit time · maltase activity.

채택일 : 1996년 8월 30일

*본 연구는 1992~1995년도 한국과학재단 특정기초연구과제 연구비에 의해 수행된 것임.

서 론

생활수준의 향상 및 의학의 발달로 세계적으로 노인계층이 증가하는 추세이며, UN통계에 의하면 세계 전체 인구에 대한 65세이상 노인인구의 비율이 1975년에 약 5%였으며, 2000년에는 약 7%, 2025년에는 약 12%에 달할것으로 예상하고 있다. 우리나라의 경우, 외국 선진국 수준에 비해 적은 수치지만, 1975년에 3.5%, 2000년에는 약 6.4%, 2020년에는 약 11.4%에 달할것으로 추산되고 있다[1].

노화란 시간이 지남에 따라 점차적으로 개체의 생물학적인 기능이 감소함과 동시에 질병에 대한 감수성이 증가하는 현상으로, 생리학적 기능의 감소, 스트레스, 상해, 이환율의 증가를 동반하게 된다[2]. 생리적 상태의 변화에 따라 영양학적 요구도 변화하게 되며, 노인계층의 증가와 만성 퇴행성질환 발병의 증가는 식생활의 영양학적 측면을 부각시켰다[3]. 식이의 조절은 대사적인 결함을 유발하는 유전적, 병리학적 조건의 증상을 완화시키는 작용을 하며[4], 특히, 식이중의 적절한 비율의 식이섬유질(dietary fiber)의 공급은 연령증가에 따른 특정 질병의 위험율을 감소시킨다는 보고도 있다[5].

식이섬유질은 인간의 소화효소에 의해 가수분해되지 않는 식물세포의 잔여물로 정의되며, 당질과 지질의 흡수 지연, 만복감 부여, 혈청 콜레스테롤의 저하등의 생리적 효과를 나타내는 수용성 섬유질과 주로 대장기능에 영향을 미쳐 배변량과 배변횟수의 증가, 장 통과시간의 단축효과를 보이는 불용성 섬유질로 구분할수 있다[6].

특히, 과일, 채소, 곡류 등을 통한 식이에서의 섬유질 비율을 증가시키면, 노인에게서 일반적으로 나타나는 게실염, 변비치료에 효과적이라고 보고되었다[7]. 식이섬유질의 섭취권장량은 정해지지 않았으나, National Cancer Institute에서는 하루에 20~30g 정도의 섭취를 권장하고 있다. 그러나, 60g 이상 과다 섭취시에는 수용성 섬유질이 지방흡수를 방해하여 지용성 비타민의 흡수를 낮추며, 식이섬유질 자체 또는 phytic acid, oxalic acid 등이 무기질과 흡착하여 Ca, Fe, Zn 등의 영양결핍을 일으킬 수 있다[8][9]. 특히, 노인들의 경우 영양소의 흡수불량으로 인한 부족현상이 일어나기 쉬우므로 특별한 고려가 필요하다.

우리나라에서도 식이섬유질에 대한 관심이 증가되면서, 식이섬유질이 배변량, 장 통과시간, 지방대사, 무기질대사 등에 미치는 영향에 대해 많은 연구들이 행해졌다. 그러나, 식이섬유질을 증가시킴으로써 노화에 따른 영향을 연구한 논문은 별로 보고된 바 없었다.

본 연구에서는 노화된 흰쥐를 대상으로 정제된 형태의 식이섬유질이 아닌 자연 농수산물(쑥, 머위, 사과, 미역)을 식이섬유질원으로 사용한 식이를 섭취시키고, 이들이 혈청지질수준과 장기능, 무기질 흡수율 등에 미치는 영향을 보고자 하였다. 이러한 연구를 통하여 적절한 식품의 선택및 섭취의 중요성을 강조하며, 특히 노년기의 올바른 식이조절을 통해 연령증가에 따른 여러가지 생리적 변화들의 예방학적 효과를 알아보고자 하였다.

실험재료 및 방법

1. 실험재료

1) 실험 식이의 조제

본 실험에 사용한 식이는 AIN-76을 참고하여[10], Table 1과 같이 조제하였다. 식이섬유질 공급원으로 사용된 쑥, 머위, 사과, 미역은 가락시장(서울)에서 구입하여, 이물질을 제거하고, 세척한 후, 일광에서 건조하였다. 그리고 45±5℃의 dry oven에서 건조시켜 분쇄한 후 식이의 5%와 15%를 각각 첨가 시켜주었다. 각 식이내 첨가한 섬유질원의 양은 탄수화물 급원인 corn starch와 대치하였다. 대조군의 경우에는 α-cellulose (Sigma)만을 1% 사용하였고, 나머지 식이에는 각각의 식이섬유질원과 α-cellulose 1%를 넣어주었다.

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

Ingredients	Control	5% Fiber	15% Fiber
Casein	20	20	20
Corn Starch	44	39	29
Sucrose	20	20	20
Lard	5	5	5
Corn Oil	5	5	5
Fiber Source	0	5	15
Cellulose	1	1	1
Vitamin Mixture[1]	1	1	1
Mineral Mixture[2]	3.5	3.5	3.5
Choline Cholride	0.2	0.2	0.2
DL-Methionine	0.3	0.3	0.3

1) Vitamin Mixture(mg/100g) : VD_3 0.582, α-tocopherol-acetate 1200.0, Retinol-acetate 93.2, VK_3 6.0, Thiamin-HCl 59.0, VB_{12} 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

2) Mineral Mixture(g/100g) : $CaCO_3$ 29.29, $CaHPO_4 \cdot {}^{2H}{}_2O$ 0.43, KH_2PO_4 34.31 NaCl 25.06, $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ 9.98, $Fe(C_6H_5O_7) \cdot 6H_2O$ 0.623, $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ 0.156, $MnSO_4 \cdot H_2O$ 0.121, $(NH_4)6M_{07}O_{24}$ $4H_2O$ 0.0025, $Na_2SeO_3 \cdot 5H_2O$ 0.0015 $ZnCl_2$ 0.02, KI 0.0005

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

	M[1]	B[2]	A[3]	S[4]
Moisture	7.9	6.9	7.7	4.5
Carbohydrate	49.2	60.0	85.7	47.5
Crude Protein	25.8	19.2	2.1	21.6
Crude Fat	4.0	3.5	2.5	1.7
Crude Ash	13.2	10.4	2.1	24.7

1) M : Mugwort 2) B : Butterbur
3) A : Apple 4) S : Sea mustard

각 식이내에 사용된 섬유질원의 일반성분은 Table 2에 제시한 바와 같다.

2) 실험동물 및 사육

본 실험에서는 이유후 12개월된 Sprague-Dawley rat 수컷 150마리를 사용하였다. 이유후 1년동안 고형사료(삼양사)를 자유급식 시켰으며, 1개월, 6개월, 12개월 후에 baseline 자료를 얻기위한 예비실험으로 8마리씩 선택하여 희생시켰다. 12개월 후에 이들을 각군의 평균 체중이 650g 정도 되도록 체중에 따른 난괴법(randomized complete block design)에 의하여 13마리씩 9군으로 나누어, 한마리씩 stainless steel cage에서 각 군마다 다르게 조제한 식이에 대한 3일간의 적응기간을 거친후, 실험식이로 총 4주간 사육하였다. 사육실의 온도는 22±2℃, 습도는 40~60%로 명암주기는 12시간이 되도록 조절하였다. 식이와 음료수는 제한없이 먹을 수 있도록 하였으며, 체중은 7일에 한번씩, 식이섭취량과 수분섭취량은 매일 일정한 시간에 측정하였다.

2. 실험방법

1) 일반성분 분석

섬유질원의 일반성분 분석은 AOAC법[11]에 준해 수분은 상압건조법으로, 조단백질은 Micro Kjeldahl법으로, 조지방은 Soxhlet 추출법으로, 조회분은 회화법으로 각각 그 양을 산출하였다. 탄수화물 양은 시료의 총량에서 수분, 조단백질, 조지방, 조회분의 함량을 뺀 값으로 하였다.

2) 섬유질 분석

실험식이의 섬유질원으로 사용된 쑥, 머위, 사과, 미역은 Mongeau와 Brassard 방법에 의해서[12] insoluble dietary fiber(IDF)와 soluble dietary fiber(SDF)분석을 행하였으며, 두값을 더한 것을 total dietary fiber(TDF)함량으로 하였다.

3) 장 통과시간 (transit time) 측정

실험 시작 2주후 실험동물을 12시간 절식시킨 후, 각 군의 식이 2g에 10% brilliant blue dye용액 1ml를 혼합하여 제공하고 염색된 식이를 모두 섭취한 후 정상식이를 공급하였다. 그 후 푸른색 변이 나오는 처음시간과 마지막 시간을 일정시간 단위로 기록하였고, brilliant blue dye를 먹인 후 부터 마지막 푸른 변이 나오기까지 걸리는 시간을 transit time으로 기록하였다[13].

4) 변의 수거

각 실험동물의 변은 실험기간 중 두번째 주와 네번째 주에 일주일 동안 수거하여 각 개체당의 변 중량(wet weight)을 재고 80℃ dry oven에서 24시간 건조시켜 건중량(dry weight)을 잰 후, Ca, Mg, P의 분석시료로 이용하였다.

5) 변내의 Ca, Mg의 분석

건조시킨 변 1.5g을 600℃ 전기회화로에서 회화시킨 후 묽은 HCl(1 : 1) 용액 10ml을 가하면서 용해시키고 건조시켰다. 완전히 건조된후 증류수로 50ml을 맞추고, 다시 인의 방해를 방지하기 위해서 1% $LaCl_3$ 용액으로 20배 희석한 후, Atomic Absorption Spectrophotometer(Varian AA-1475 series)로 Ca은 0.5nm slit로 422.7nm 파장에서, Mg은 1nm slit로 202.5nm 파장에서 흡광도를 측정하여 정량하였다.

6) 변내의 P의 분석

Ca 분석과 마찬가지로 변을 회화시켜 HCl에 용해시켜 완전히 건조시킨 후 증류수로 100ml로 맞추고, 이 시료용액 1ml을 25ml mass flask에 취한 후 몰리브덴산암모늄 용액 2ml을 넣고 수분간 방치했다가, 2ml의 하이드로퀴논 용액과 2ml의 아황산나트륨 용액을 첨가시키고 증류수로 25ml을 정확히 맞추었다. 그 후 30분간 방치시킨 후 spectrophotometer (Milton-Roy Co. spectronic 601)를 이용하여 650nm 흡광도를 측정하여 정량하였다.

7) 식이의 Ca, Mg, P의 분석

건조시킨 실험식이 1.5g을 변의 무기질 분석방법과 동일하게 정량하였다.

8) 무기질 흡수율의 측정

식이내 함유된 무기질양과 식이섭취량을 고려하여 무기질 섭취량을 추정하였으며, 변내 무기질 함유량과 배변량을 고려하여 무기질 배설량을 추정하였다. 그리고, 흡수율은(섭취량-배설량)/ 섭취량×100으로 계산하였다.

9) 혈액채취와 혈청지질 농도 측정

실험 식이 섭취 4주후 실험동물을 ether로 마취하여 heart puncture로 혈액을 채취하였고 이를 3000rpm에서 10분간 원심분리하여 혈청을 얻었다. 혈청지질농도는 영동제약 kits를 이용하여 효소비색법으로 분석하였다. 중성지방, 총 콜레스테롤, HDL-cholesterol(HDL-c)의 농도는 spectrophotometer를 사용하여 505nm, 500nm, 555nm에서 각각 흡광도를 측정하여 정량하였다.

10) 소장점막의 채취 및 maltase의 활성도 측정

실험동물에서 적출해 낸 소장은 갈라서 얇은 유리판으로 점막을 긁어낸 후 무게를 측정하고, 점막을 polytron homogenizer을 이용하여 6~8mg/ml이 되도록 균질화 시킨 후 maleic acid와 NaOH로 pH 6.4가 되도록 조정한 maleate 완충용액을 첨가하고 maltase를 기질로하여 37℃에서 반응을 진행시키고, 60분이 지나면 얼음에 넣어서 그 시점을 stopping point로 하였다. 용액내에 들어있는 glucose양은 Sigma glucose kit를 사용하여 측정하였고, 단백질 농도는 Sigma protein kit로 사용하여 측정하였다. Maltase의 활성도는 1시간 동안 1mg의 단백질에 의해 1mg의 포도당이 생성된 것을 1 unit로 정의하였다.

3. 통계처리

각 실험군간의 차이는 ANOVA(analysis of variance)를 사용하여 α=0.05 수준에서 유의성을 검증하였고, Duncan's multiple comparison test를 행하여 평균값에 차이를 보이는 군을 알아보았다.

Table 3. Insoluble, soluble and total dietary fiber contents of experimental samples

	M	B	A	S
IDF[1)]	15.0	13.6	8.6	11.3
SDF[2)]	9.9	8.5	6.5	27.6
TDF[3)]	24.8	22.2	15.1	38.9

1) IDF : Insoluble dietary fiber
2) SDF : Soluble dietary fiber
3) TDF : Total dietary fiber

실험결과 및 고찰

1. 식이섬유질의 함량

불용성 섬유질 함량은 다른 식품에 비해 사과에서 가장 낮게 나타났으며, 수용성 섬유질 함량은 미역에서 매우 높게 나타났다(Table 3). 총 식이섬유질 함량은 쑥, 머위는 비슷하고, 미역에서 가장 높게, 사과에서 가장 낮게 나타났다. 전 시료중 미역의 총식이섬유질 함량이 가장 높게 나타나, 다른 시료들에 비해 식이섬유 식품으로서 가치가 가장 높다고 보여진다.

2. 식이섭취량과 체중변화량 및 식이효율

식이섭취량은 대조군보다 실험군들에서 높게 나타났

Table 4. Food intake, weight change and FER(food efficiency ratio) in rats fed diets containing different sources and amounts of dietary fiber

Group	Food intake(g / day)	Weight change(g / day)	FER
C[4)]	$17.3\pm0.7^{1)a2)\dagger3)}$	$-4.6\pm0.3^{a\dagger}$	$-0.26\pm0.01^{a\dagger}$
M5[5)]	$20.5\pm1.0^{bc\dagger\dagger}$	$-2.6\pm0.2^{c\dagger\dagger}$	$-0.13\pm0.01^{d\dagger\dagger}$
B5[7)]	18.5 ± 0.8^{ab}	-3.2 ± 0.4^{b}	-0.17 ± 0.01^{b}
A5[9)]	18.8 ± 0.8^{ab}	-3.5 ± 0.3^{b}	-0.18 ± 0.02^{b}
S5[11)]	19.5 ± 0.8^{abc}	-2.8 ± 0.2^{c}	-0.14 ± 0.01^{bcd}
M15[6)]	$19.2\pm0.6^{abc\dagger\dagger}$	$-3.0\pm0.2^{b\dagger\dagger}$	$-0.16\pm0.01^{bc\dagger\dagger}$
B15[8)]	19.8 ± 0.6^{abc}	-2.9 ± 0.3^{c}	-0.15 ± 0.01^{bc}
A15[10)]	19.2 ± 0.7^{abc}	-3.2 ± 0.4^{b}	-0.17 ± 0.02^{b}
S15[12)]	21.5 ± 0.7^{c}	-2.3 ± 0.3^{d}	-0.10 ± 0.01^{e}

1) Mean±S.E.
2) Values with different alphabets are significantly different among groups at the 0.05 level by Duncan's multiple range test
3) † : Values with diferent number of superscripts are significantly different among C, 5% and 15% groups at the 0.05 level by Duncan's multiple range test
4) C : Control group fed a diet containing 1% cellulose
5,6) M5, M15 : Group fed a diet containing 5% and 15% Mugwort
7,8) B5, B15 : Group fed a diet containing 5% and 15% Butterbur
9,10) A5, A15 : Group fed a diet containing 5% and 15% Apple
11,12) S5, S15 : Group fed a diet containing 5% and 15% Sea mustard

다(Table 4). 식이내 섬유질원의 비율이 증가할수록 식이섭취량이 약간 증가하는 경향을 나타냈으나 유의적이지는 않았으며, 15% 미역군이 가장 높은 식이섭취량을 보였다.

Gordon은 식이섬유질 성분중 수용성 식이섬유질이 gastric emptying rate을 늦추며, 불용성 식이섬유질이 위에서 bulking effect을 부여함으로써 식사량을 감소시킨다고 보고하고 있으나[14], 본 실험의 결과와는 일치되지 않았다. 이는 사용된 섬유질의 양과 형태에 따른 차이 때문이라고 설명할 수 있다[15].

실험기간 동안 실험동물의 체중변화는 대조군에서 가장 큰 것으로 나타났다. 식이섭취량이 가장 적은 대조군에서 체중의 감소가 가장 컸으며, 식이섭취량이 가장 많은 15% 미역군에서 가장 적은 체중감소를 보였다. 실험동물의 체중변화량과 식이효율은 음적인 감소의 경향을 나타냈는데, 이는 성장기가 아닌 노화기의 실험동물을 이용하였기 때문이라고 사료된다.

3. 수분섭취량과 배변량 및 변내 수분함량

실험동물의 수분섭취량은 대조군이 다른 군들에 비해 적었으며, 식이내 섬유질 함량이 증가할수록 유의적으로 증가하였다(Table 5). 그리고, 15% 섬유질원 첨가군에서 미역군의 수분섭취량이 가장 큰 것으로 나타났다. 배변량, 건중량, 변내 수분함량은 대조군이 가장 적었으며, 동일한 섬유질원 비율에서는 사과군이 가장 적었고, 미역군이 가장 높게 나타났다. 또한, 섬유질원의 비율이 5%에서 15%로 증가됨에 따라 유의적으로 증가되는 것을 볼 수 있다. 이러한 차이를 나타내는 것은 식이섬유질의 생리화학적 성질과 관련이 있으며, 영향을 주는 요인으로는 입자의 크기와 다당류 섬유질의 화학적 조성을 들 수 있다[16].

불용성 섬유질은 입에서 항문까지의 이동시간을 단축시키며, 수분보유력을 증가시킴으로써 배변량을가시킨다. 또한 결장에서의 수분흡수가 감소되면서 변내 수분함유량이 증가된다. 식이섬유질이 장 통과시간을 단축시키고, 장내용물을 희석시키며, microbial flora에 유리한 작용을 함으로써 장기능개선에 영향을 미친다고 보고하였으며[17][18], Painter는 결장내용물의 부피감 부족은 대장에서의 게실염을 유발한다고 하였다. 섬유질의 섭취량이 부족하면, 장내용물이 딱딱하게되고 변의 부피도 적어져 내용물을 움직이기 위해서는 높은 장내압(intraluminal pressures)을 요구하게 되는데, 식이섬유질은 결장내용물의 유연성과 체적을 부여하는 역할을 하게 된다[19][20].

Russell의 연구에 의하면, 70세 이상 노인에서 고섬유질 식이를 섭취시켰을때 게실염이 90%정도 치유되었고, 노인에게서 많이 발생하는 변비치료에도 효과가 있음을 보고 하였다[7].

4. 장 통과시간(transit time)

Brilliant blue 염료를 혼합한 식이를 제공한 후 푸른색 변이 나오는 처음 시간(T-first)과 마지막 시간(Transit time)을 측정한 결과를 Table 6에 제시하였다.

섬유질원이 첨가되지 않은 대조군이 장 통과시간이 가장 길게 나타났고, 섬유질원의 비율이 5%에서 15%로 증가됨에 따라 장 통과시간이 유의적으로 감소되는 것을 볼 수 있다. 이는 다른 연구에서 식이섬유질의 섭취는 배변량을 증가시키면서 장 통과시간을 감소시킨다는 결과와 일치한다[21][22]. Burkitt등은 식품중의 섬유질성분이 적은 음식을 섭취하게 되면, 장 통과시간이 길어져 이때 발암물질이 대장점막에 장시간 접촉하게 되며 대장암 발생 위험율이 증가한다고 보고하였다[17].

Table 5. Water intake, fecal weight and fecal water contents

Group	Water intake(ml/day)	Wet fecal weight(g/day)	Dry fecal weight(g/day)	Water contents(%)
C	$20.1\pm2.3^{1)a2)\dagger3)}$	$1.2\pm0.2^{a\dagger}$	$0.9\pm0.1^{a\dagger}$	$25.8\pm3.4^{a\dagger}$
M5	$23.1\pm2.0^{b\dagger\dagger}$	$2.6\pm0.2^{cd\dagger\dagger}$	$1.6\pm0.1^{c\dagger\dagger}$	$38.5\pm2.3^{c\dagger\dagger}$
B5	23.3 ± 2.0^{b}	2.3 ± 0.3^{c}	1.4 ± 0.2^{b}	40.1 ± 3.1^{c}
A5	20.5 ± 1.8^{a}	2.0 ± 0.3^{b}	1.3 ± 0.2^{b}	33.5 ± 2.5^{b}
S5	23.9 ± 2.8^{b}	2.5 ± 0.3^{cd}	1.4 ± 0.1^{b}	44.7 ± 3.8^{d}
M15	$26.8\pm2.6^{c\dagger\dagger\dagger}$	$3.6\pm0.3^{e\dagger\dagger\dagger}$	$1.9\pm0.2^{e\dagger\dagger\dagger}$	$46.2\pm1.7^{d\dagger\dagger\dagger}$
B15	28.5 ± 2.4^{c}	3.8 ± 0.5^{e}	2.1 ± 0.2^{e}	45.3 ± 1.8^{d}
A15	24.2 ± 3.5^{b}	2.6 ± 0.3^{d}	1.6 ± 0.2^{c}	39.2 ± 1.6^{c}
S15	31.3 ± 2.3^{d}	5.9 ± 0.5^{f}	3.0 ± 0.3^{d}	49.6 ± 2.4^{e}

1) Mean±S.E.

2) Values with different alphabets are significantly different among groups at the 0.05 level by Duncan's multiple range test

3) † : Values with different number of superscripts are significantly different among C, 5% and 15% groups at the 0.05 level by Duncan's multiple range test

5. 혈청 중성지방, 총 콜레스테롤, HDL-콜레스테롤 농도

세차례의 예비실험을 통해, 동물의 나이가 증가됨에 따라 혈청 중성지방, 총 콜레스테롤의 유의적인 증가와 HDL-콜레스테롤의 유의적인 감소를 관찰할 수 있었다 (Table 7). 이는 평균수명이 1년정도인 노화촉진 마우스(Senescence-accelerated mouse : SAM)을 이용하여 혈청의 지질을 측정한 실험에서도 같은 경향을 찾아볼 수 있었다[23].

본 실험에서 실험식이를 4주간 공급하였을때, 대조군보다는 식이에 섬유질원을 첨가시, 혈청 중성지방 및 총 콜레스테롤의 감소, HDL-c의 증가를 관찰할 수 있었으나, 식이내 섬유질원 비율에 의한 차이는 보이지 않았다. 성장기 동물에서보다 노화된 동물에게서 식이섬유질이 혈청 지질농도에 미치는 영향이 더 큰 것이 관찰되었으며[24], 이는 노화에 따른 체중감소와 함께 식이섬유질원의 공급이 혈청농도를 개선시켰기 때문인 것으로 사료된다.

Table 6. Transit time of rats fed experimental diets

(hour)

Group	T-first[1)]	Transit time
C	$18.0\pm2.1^{2)e3)\dagger\dagger\dagger4)}$	$120.9\pm4.8^{g\dagger\dagger\dagger}$
M5	$11.5\pm1.1^{d\dagger\dagger\dagger}$	$72.2\pm2.9^{e\dagger\dagger}$
B5	11.7 ± 1.0^{d}	73.8 ± 3.6^{e}
A5	12.0 ± 1.2^{d}	84.9 ± 4.5^{f}
S5	10.4 ± 1.2^{c}	65.8 ± 3.2^{d}
M15	$9.0\pm0.7^{b\dagger}$	$51.8\pm2.5^{ab\dagger}$
B15	9.6 ± 1.0^{bc}	54.5 ± 5.2^{b}
A15	9.2 ± 0.8^{b}	61.1 ± 8.8^{c}
S15	7.3 ± 0.5^{a}	49.3 ± 2.0^{a}

1) T-first : First time when the feces dyed with brilliant blue appeared
2) Mean±S.E.
3) Values with different alphabets are significantly different among groups at the 0.05 level by Duncan's range test
4) † : Values with different number of superscripts are significantly different among C, 5% and 15% groups at the 0.05 level by Duncan's multiple range test

6. 체내 무기질 흡수율

대조군에 비해 식이에 섬유질원이 많이 첨가될수록 무기질 흡수율이 감소됨을 관찰할 수 있다 (Table 8). 그리고, 실험동물이 성장기가 아닌 노화기의 동물이므로 전체적으로 흡수율이 감소되었다고 사료된다. 성장기 동물을 사용한 김[24]의 실험에서의 무기질 흡수율과 비교시 섬유질원 섭취량 증가에 따른 흡수율 감소가 노화된 동물에서 더 크게 나타남을 관찰할 수 있었다.

Gordon에 의하면, 무기질의 생체이용율은 2가지 요인에 의해 영향을 받는데, 첫번째 내적요인으로 나이를

Table 7. Serum levels of triglycerides, total cholesterol, HDL-cholesterol and HDL-c/TC ratio

Group	TG(mg/dl)	TC(mg/dl)	HDL-c(mg/dl)	HDL-c/TC
B1[1)]	$41.1\pm4.3^{4)A5)}$	$87.5\pm 7.5^{A\dagger}$	$44.4\pm2.6^{B\dagger}$	$0.51\pm0.05^{C\dagger}$
B2[2)]	46.1 ± 3.6^{B}	92.6 ± 8.6^{A}	38.3 ± 2.9^{A}	0.42 ± 0.05^{B}
B3[3)]	66.9 ± 4.0^{C}	122.0 ± 8.7^{B}	36.6 ± 1.8^{A}	0.30 ± 0.03^{A}
C	$73.5\pm6.5^{b6)\dagger\dagger7)}$	$123.1\pm 9.3^{b\dagger\dagger}$	$34.5\pm3.3^{a\dagger}$	$0.28\pm0.03^{a\dagger}$
M5	$63.0\pm5.9^{a\dagger}$	$110.0\pm11.2^{a\dagger}$	$39.0\pm4.8^{b\dagger\dagger}$	$0.36\pm0.07^{b\dagger\dagger}$
B5	64.9 ± 5.9^{a}	108.0 ± 9.1^{a}	40.1 ± 5.9^{b}	0.37 ± 0.06^{b}
A5	62.7 ± 6.3^{a}	105.7 ± 8.3^{a}	39.6 ± 5.1^{b}	0.38 ± 0.07^{b}
S5	65.8 ± 5.3^{a}	106.1 ± 9.8^{a}	40.6 ± 5.3^{b}	0.39 ± 0.05^{b}
M15	$61.6\pm7.3^{a\dagger}$	$105.2\pm 8.1^{a\dagger}$	$40.6\pm4.3^{b\dagger\dagger}$	$0.38\pm0.05^{b\dagger\dagger}$
B15	62.4 ± 5.3^{a}	104.3 ± 9.1^{a}	41.4 ± 4.9^{b}	0.39 ± 0.06^{b}
A15	62.5 ± 6.5^{a}	103.5 ± 9.1^{a}	39.9 ± 4.6^{b}	0.38 ± 0.06^{b}
S15	61.4 ± 6.6^{a}	102.7 ± 10.6^{a}	40.9 ± 4.0^{b}	0.40 ± 0.06^{b}

1) B1 : Baseline 1, 2 month old rats fed rat chow
2) B2 : Baseline 2, 7 month old rats fed rat chow
3) B3 : Baseline 3, 13 month old rats fed rat chow
4) Mean±S.E.
5) Values with different alphabets(capital letter) are significantly different among baseline groups at the 0.05 level by Duncan's multiple range test
6) Values with different alphabets significantly different among experimental groups at the 0.05 level by Duncan's multiple range test
7) † : Values with different number of superscripts are significantly different among C, 5% and 15% groups at the 0.05 level by Duncan's multiple range test

Table 8. Calcium, magnesium, phosphorus absorption rate

Group	Ca	Mg	P
C	73.1±4.0[1)e2)†††3)]	88.8±1.8[d†††]	87.7±1.1[e†††]
M5	41.7±3.7[d†††]	48.7±3.2[c†††]	55.0±5.5[c†††]
B5	40.8±4.5[cd]	49.6±1.9[c]	63.9±4.4[d]
A5	42.3±5.1[d]	47.0±2.3[bc]	63.1±3.0[d]
S5	42.0±4.0[d]	47.2±3.6[bc]	61.4±1.8[d]
M15	34.7±3.9[b†]	42.7±5.9[a†]	45.5±3.9[b†]
B15	32.7±4.4[a]	46.6±3.7[bc]	42.8±3.1[ab]
A15	37.7±2.9[bc]	45.0±4.7[ab]	41.8±5.5[a]
S15	30.1±5.4[a]	43.7±2.5[a]	42.7±5.9[ab]

1) Mean±S.E.
2) Values with different alphabets are significantly different among groups at the 0.05 level by Duncan's multiple range test
3) † : Values with different number of superscripts are significantly different among C, 5% and 15% groups at the 0.05 level by Duncan's multiple range test

대표적으로 들 수 있고, 두번째 외적요인으로 단백질, 지방, 탄수화물, 식이섬유질의 섭취량을 꼽았다[25]. 21세와 51세 사람을 대상으로 Ca 섭취를 조사한 한 연구에서 보면, 뇨와 변으로의 Ca 배출량을 조사하여 순수한 Ca의 흡수율을 구할때 44%와 22%가 각각 나왔으며, 나이의 증가에 따라 체내 Ca 흡수율이 저하됨을 관찰할 수 있었다[26].

Mg 흡수는 passive transport mechanism 에 의한다고 하며, Gordon의 실험에 의하면 cellulose 수준이 높을때 Mg의 흡수율이 감소됨이 관찰되었다[27]. 이는 장내용물의 통과시간이 단축되어 흡수부위에서의 ionic Mg 이용도가 감소되었기 때문이라고 한다. 인간을 대상으로 한 실험에서도 식이섬유질의 섭취를 증가시키면, 장 통과시간이 단축하게 되고, Mg의 음적평형(negative balance)을 이루게 된다는 보고가 있다[28]. 본 실험에서도 장 통과시간(transit time)이 가장 빠른 15% 미역군에서 Ca, Mg, P의 체내 흡수율이 낮게 나타났다.

7. 소장 점막효소의 활성도

예비실험을 통해 동물의 나이가 증가할 수록 소장점막 무게와 소장점막 효소인 maltase의 활성도가 감소함을 관찰할 수 있었다(Table 9). 본 실험에서는 식이내 섬유질원의 증가에 따른 소장점막 무게의 변화는 관찰되지 않았으며, maltase 활성도는 섬유질원 섭취 증가에 따라 유의적으로 감소하는 것을 관찰할 수 있었다. 위장관은 나이가 증가함에 따라 gastric emptying rate의 감소, 연동 운동의 감소, 흡수 표면적의 감소, 점막 표면적의 감소등 광범위한 변화가 일어난다고 보고되고 있다[7]. Brenard의 연구에서도 maltase의 활성이 3개월된 쥐보다 12개월된 쥐에게서 50%정도 감소하는 것을 관찰하였다[29]. Paulini등에 의하면, 식이섬유질은 villus tip에 cellular swelling, microvillar denudation등의 상해를 일으킨다고 보고하였다[30].

Table 9. Mucosa weight and maltase activity of small intestine

Group	Mucosa weight (g/100 B.W)	Maltase activity (U[1)]/mg protein)
B1	0.40±0.07[2)A3)]	10.1±1.2[NS4)]
B2	0.27±0.04[B]	9.7±1.2
B3	0.22±0.04[B]	9.3±0.9
C	0.24±0.04[NS]	9.3±0.7[(5)†††6)]
M5	0.24±0.05	7.7±0.4[d†††]
B5	0.24±0.06	7.3±0.3[d]
A5	0.22±0.04	7.6±0.4[e]
S5	0.22±0.04	7.1±0.4[d]
M15	0.24±0.05	7.0±0.4[b†]
B15	0.20±0.03	6.8±0.2[bc]
A15	0.21±0.03	7.0±0.3[c]
S15	0.24±0.03	6.7±0.3[a]

1) U : 1 unit. 1mg of glucose produced by 1mg of protein for 1hour
2) Mean±S.E.
3) Values with different alphabets(capital letter) are significantly different among baseline groups at the 0.05 level by Duncan's multiple range test
4) NS : Not significant among C, 5% and 15% groups at the 0.05 level according to Duncan's multiple range test
5) Values with different alphabets are significantly different among groups at the 0.05 level by Duncan's multiple range test
6) † : Values with different number of superscripts are significantly different among C, 5% and 15% groups at the 0.05 level by Duncan's multiple range test

요 약

본 연구는 식이섬유질원으로 쑥, 머위, 사과, 미역을 선택하여, 각 식품속에 함유되어 있는 식이섬유질의 함량을 분석하였고, 이들을 분말화하여 식이중에 5%와 15%를 첨가하여 실험식이를 제조하였다. 조제한 식이를 이유후 12개월된 노화된 흰쥐에게 4주간 공급한 후 혈청지질농도와 장기능에 미치는 영향을 관찰하였다.

각 식품들속에 함유되어 있는 총 식이섬유질의 함량은 미역, 쑥, 머위, 사과의 순으로 나타났으며, 미역군에서 특히 많았음을 관찰할 수 있었다.

실험동물의 식이 섭취량은 대조군에 비해 섬유질을 첨가한 경우 증가하는 경향을 나타냈다. 수분 섭취량은 식이섬유질의 비율이 증가할수록 유의적인 증가경향을 보였고, 섬유질의 섭취가 증가할 수록 배변량, 건중량 및 변내 수분함량의 유의적인 증가를 볼 수 있었다. 동일한 섬유질원 비율에서는 사과군이 가장 적었고, 미역군이 가장 높게 나타났다.

식이를 통한 섬유질원의 섭취량이 증가할 수록 대조군에 비해 장 통과시간이 유의적으로 감소됨을 관찰할 수 있었다. 동일한 섬유질원 비율에서는 미역군이 다른 군들에 비해 장 통과시간이 빠른 것을 관찰할 수 있었고, 나머지 군들간의 차이는 크지 않았다.

이유후 1개월, 6개월, 12개월후에 실시한 예비실험을 통해, 나이의 증가에 따라 혈청 TG, TC 농도가 증가되고, HDL-c 농도가 감소됨을 관찰할 수 있었다. 그리고, 실험식이를 4주간 공급한 후에는 대조군에 비해 섬유질 섭취군들에게서 TG, TC의 감소, HDL-c의 증가를 관찰할 수 있었다.

체내 무기질 흡수율은 섬유질 첨가군에서 유의하게 낮았으며 첨가비율이 높을수록 무기질의 흡수율이 더욱더 낮은 것으로 나타났다. 나이가 증가함에 따라 소장점막의 무게와 점막내 maltase의 활성도가 감소되는 것을 관찰할수 있었다. 식이내 섬유질원의 공급 및 증가에 따른 소장점막 무게의 변화는 찾아볼 수 없었으나, maltase의 활성도는 유의적인 감소를 나타냈다.

본 연구를 통하여, 노화된 쥐에게 식이섬유질원을 공급시에, 배변량의 증가, 장 통과시간의 감소, 혈청지질농도의 개선을 찾아볼 수 있었다. 반면, 체내 무기질 흡수율의 감소와 소장 점막효소인 maltase의 활성도 감소가 관찰되었으며, 성장기 동물을 이용한 실험에서보다 감소비율이 더 큰 것을 알 수 있었다. 따라서, 노화된 동물이 과도한 식이섬유질원을 섭취할 때에는 특정 영양소의 결핍과 부작용을 초래할수 있으므로 특별한 주의가 요구된다.

Literature cited

1) 경제기획원 조사통계청. 장래인구추이. 1991
2) Kinsella KG. Changes in life expectancy 1900-1990. *Am J Clin Nutr 55 : 1196S-1202S, 1992*
3) Harper AE. Nutrition, aging and longevity. *Am J Clin Nutr* 36 : 10737-10749, 1982
4) Schneeman BO, Richter D. Changes in plasma and hepatic lipids, small intestinal histology and pancreatic enzyme activity due to aging and dietary fiber in rats. *J Nutr* 123 : 1328-1337, 1993
5) Trowell H. Definition of dietary fiber and hypotheses that it is a protective factor in certain diseases. *Am J Clin Nutr* 29 : 417-427, 1976
6) Trowell H, Burkitt D. Definitions of dietary fibre and fibre-depleted foods : in Dietary fibre, fibre-depleted foods and disease. Academic Press, pp27-60, London, 1985
7) Russell RM. Changes in gastrointestinal function attributed to aging. *Am J Clin Ntr* 55 : 1203S-1207S, 1992
8) Cummings JH. Nutritional implications of dietary fiber. *Am J Clin Nutr* 31 : S21-S29, 1978
9) Hoene AE, Schelenz R. Effect of dietary fiber on mineral absorption in growing rats. *J Nutr* 110 : 1774-1784. 1980
10) Reeves PG. AIN-76 diet : *Should we change the formulation? J Nutr* 119 : 1081-1082, 1989
11) Van Soest PJ. Collaborative study of acid-detergent fiber and lignin. *J of AOAC* 56 : 781, 1973
12) Mongeau R, Brassard R. Determination of insoluble, soluble, and total dietary fiber : collaborative study of a rapid gravimetric method. *Cereal foods world* 35 : 319-324, 1990
13) Heanton JM, Lennard-Jones JE, Young ACl. A new method for studying gut transit times using radiopaque markers. *Gut* 10 : 842-847, 1969
14) Gordon DT. The importance of total dietary fiber in human nutrition and health. *Kor J Nutr* 25(1) : 75-76, 1992
15) Stevens J. Does dietary fiber affect food intake and body weight? *J Am Diet Assoc* 88(8) : 939-942. 1988
16) Payler DK, Pomare EW, Heaton KW, Harvey RF. The effect of wheat bran on intestinal transit. *Gut* 16 : 209-213, 1975
17) Burkitt DP. Epidemiology of cancer of colon and rectum. *Cancer* 28 : 3, 1971
18) Stephen AM, Cummings JH. Water-holding by dietary fibre in vitro and its relationship to faecal output in man. *Gut* 20 : 722-29, 1979
19) Painter NS. Diverticular disease of the colon : a disease of this century. *Lancet* 2 : 586, 1969

20) Bourquin LD, Titgemeyer EC, Fahey GC. Vegetable fiber fermentation by human fecal bacteria : cell wall polysaccharide disappearance and short-chain fatty acid production during in vitro fermentation and water-holding capacity of unfermented residues. *J Nutr* 123 : 860-869, 1993

21) Jenkins DA, Reynolds D, Leeds AR, Waller AL, Cummings JH. Hypochole-sterolemic action of dietary fiber unrelated to bulking effect. *Am J Clin Nutr* 32 : 2430-2435, 1979

22) Vahouny GV, Kritchevsky D. Dietary fiber in health and disease. Plenum Press, pp263-415, New York, 1982

23) 최진호 · 유 병팔. 노화촉진마우스(SAM) 뇌의 연령관련 생리적 변화에 관한 연구. *한국노화학회지* 4(2) : 61-70, 1994

24) 김미정. 식이섬유질의 종류가 흰쥐의 혈청지질농도와 장기능에 미치는 영향. 한양대 식품영양학과 석사학위논문. 1994

25) Gordon DT. Total dietary fiber and mineral absorption. *Kor J Nutr* 25(6) : 429-449, 1992

26) Spencer H, Kramer L, Osis D. Factors contributing to calcium loss in aging. *Am J Clin Nutr* 36 : 10, 776-787, 1982

27) Gordon DT, Williford CB, Ellersieck MR. The action of cellulose on intestinal mucosa and element absorption by the rat. *J Nutr* 113 : 2545-2556, 1983

28) Slavin JL, Marlett JA. Influence of refined cellulose on human bowel function and calcium and magnesium balance. *Am J Clin Nutr* 33 : 1932-1939, 1980

29) Brenard A. Diet fatty acid composition, age and rat jejunal microvillus enzyme activities. *Comp Biochem Physiol* 101(3) : 607-612, 1992

30) Paulini I, Mehta T, Hargis A. Intestinal structural change in African green monkey after long term psyllium or cellulose feeding. *J Nutr* 117 : 253-266, 1987