

한국인 상용 식이섬유 급원 식품의 영양 생리적 특성

오현인 · 이선영*

충남대학교 식품영양학과

A Study on Nutritional Characteristics of Common Korean Dietary Fiber Rich Foods

Hyun-In Oh and Sun-Yung Ly[†]

Dept. of Food and Nutrition, Chungnam National University, Taejeon 305-764, Korea

Abstract

The effects of common Korean dietary fiber-rich foods(dried sea mustard, *Lentinus edodes* and Korean radish leaves) on total gut transit time of diet, serum cholesterol level and mineral apparent absorption ratio and tissue level were investigated. Twenty eight male rats were divided into 4 groups and were fed a control diet(containing 2% cellulose) and three fiber supplementary diet mixed with 10% of the above dietary fiber rich foods for 4 weeks, respectively. Body weight gain and food efficiency ratio were not affected by the supplementary diet of fiber but the total gut transit time of diet was shortened in all dietary fiber groups. The *Lentinus edodes* reduced significantly serum total cholesterol and increased the HDL-cholesterol/total cholesterol ratio at 4th week without any effect on calcium and iron apparent absorptions and tissue levels of the minerals. Radish leaves decreased significantly iron apparent absorption ratio with a tendency to increase iron retention in spleen and did not alter serum cholesterol level. Serum cholesterol concentration and calcium and iron apparent absorptions were not significantly altered by the ingestion of sea mustard, while it had more soluble dietary fiber than mushroom and radish leaves.

Key words: dietary fiber, serum cholesterol, mineral absorption, fecal transit time

서 론

식이섬유는 물리 화학적인 성질에 따라 수용성 soluble dietary fiber(SDF)과 불용성(insoluble dietary fiber: IDF)으로 나누어지는데 이에 따라 영양생리적 특성이 다르게 나타나는 것으로 알려져 있다. 수용성 식이섬유는 대개 위장관 내용물의 점성을 높여 영양소의 흡수를 느리게 하고 소화기관의 증식을 유도하며 혈청 콜레스테롤의 감소를 가져 온다고 알려져 있다(1-3). 불용성 식이섬유는 주로 장내 박테리아에 의해 분해되지 않아 대부분 배설되어 분변량을 증가시키며 소장 통과 시간을 지연시키는 반면 대장 통과시간은 촉진시키는 것으로 알려져 있다(4).

최근 우리나라에서는 가공식품의 이용과 외식산업이 급증하는 등 식생활이 서구화되면서 동물성 식품의 섭취가 늘어나고 정제 또는 가공된 식품의 섭취가 증가

하는 반면 식이섬유의 섭취량은 권장량인 20~30g에 못 미치는 15~20g 정도로 계속 감소되고 있는 추세이다(5,6). 그러므로 한국인의 식단에서도 식이 섬유 섭취량을 차차 늘려 주기를 권장하고 있는 실정이나, 또 한편으로는 여러 형태의 식이섬유를 함유하고 있는 건강보조 식품이 난무하여 영양불균형을 초래하기 쉬운 집단인 어린이나 젊은 여성, 노인층 등이 사전 지식없이 이러한 건강보조 식품을 선택하여 먹을 수 있는 가능성이 높아져 있어 새로운 영양문제로 대두되고 있다. 특히 젊은 여성들이 주 소비층인 체중감량 등을 위한 건강보조 식품내에는 섬유질 함량이 매우 높아 무분별하게 복용하게 되면 위장관에 부담을 주어 장기 복용시 가입기 여성의 건강에 심각한 불균형을 초래할 가능성도 적지 않다.

한편, 최근까지도 식이섬유의 영양생리학적 효과에 대한 대부분의 연구들이 정제된 식이섬유 성분이 이

*To whom all correspondence should be addressed

용하여 실험된 결과이었으므로 실제 식이섬유 급원 식품 자체의 효과와 같다고 보기는 어렵다. 장관내에서 식품의 소화 및 흡수 기전은 매우 복잡하여 여러 식이 인자에 의해 영향을 받으며 식품내에 존재하는 식이섬유질 역시 그 조성비가 식품마다 각각 달라 영양 생리적 활성이 다르게 나타날 수 있으므로 한두가지 정제된 식이섬유들에서 얻어진 결과를 식이섬유질 급원식품의 영양생리적 특성이라고 보고 영양가를 논하는 데는 문제가 있다고 사료된다.

따라서 본 연구에서는 한국인 상용식품 중 우선 식이섬유질이 다량 함유되어 있는 것으로 알려져 있는 식품을 선택하고 그 중에 수용성 섬유질이 풍부한 것으로 알려져 있는 미역과 주로 불용성 섬유질로 구성되어 있는 표고버섯과 무우청을 선택하여 식이의 10% 수준으로 흰쥐에게 공급하였을 때 식이효율, 변의 증량 정도와 장관을 통한 통과시간, 무기질 및 혈청 지질 대사에 미치는 영향, 소장의 길이에 미치는 영향 등을 조사하여 그 결과를 보고하고자 한다.

재료 및 방법

실험동물

285±10g의 흰쥐(Sprague-Dawley) 수컷 28마리를 7마리씩 4군으로 나누어 Table 1에 나타난 실험식으로 4주간 사육하였다. 식이를 먹인지 2주째와 4주째 되기 3일 전부터 쥐를 대사 cage에 옮겨 3일간 무기질 대사량 측정을 위하여 매일 일정 시간에 사료 섭취량과 배설량을 정확히 측정하였다. 수거된 변은 110°C의 dry oven에서 항량에 도달할 때까지 건조시켜 건조 중량을 재고 분석시까지 -20°C의 냉동고에 보관하였다. 전 사육기간 동안 조제한 실험 식이와 탈염수는 제한없이 공급하였다.

실험식이

실험식은 AIN-76식을 기본으로 하여 Table 1과 같이 제조하였다.

대조군과 비교군의 식이내 섬유질 급원으로서는 기본적으로 모든 군에 2%의 α-cellulose를 첨가하였으며 섬유질군에는 식이 중량의 10%에 해당하는 녹말을 섬유질 급원으로 사용된 식품(미역, 표고, 무청)의 분말로 대체하여 식이섬유의 다량 첨가 효과를 저 식이섬유군(대조군)에 비교해 보고자 하였다. 미역, 표고, 무우청은 대전의 시장에서 구입하여 깨끗이 손질하여 65°C의 oven에서 건조시킨 후 분말화하여 기본식이에 첨가하고 대조군과의 열량차이는 전분양에서 조절하였다.

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

Ingredient	Group ¹⁾			
	C	S	M	R
Casein	20	20	20	20
Corn oil	5	5	5	5
Corn starch	53	43	43	43
Sucrose	15	15	15	15
Fiber				
α-Cellulose	2	2	2	2
Fiber source food powder	0	10	10	10
Mineral mix. ²⁾	3.5	3.5	3.5	3.5
Vitamin mix. ³⁾	1.0	1.0	1.0	1.0
Choline bitartrate	0.2	0.2	0.2	0.2
DL-Methionine	0.3	0.3	0.3	0.3
Dietary fiber ⁴⁾				
SDF ⁵⁾	ND ⁶⁾	0.86	ND	ND
IDF ⁷⁾	3.58	11.53	11.86	10.73
Total ⁸⁾	3.58	12.39	11.86	10.73

¹⁾The experimental diet groups are as follows.
C: control, S: mixed with sea mustard, M: mixed with *Lentinus edodes*, R: mixed with radish leaves
²⁾Mineral mixture: AIN-76 salt mixture
³⁾Vitamin mixture: AIN-76 vitamin mixture
⁴⁾Dietary fiber content was directly measured by the method of AOAC.
⁵⁾Soluble dietary fiber
⁶⁾Not detectable
⁷⁾Insoluble dietary fiber
⁸⁾SDF+IDF

식이섭취량, 체중증가량, 식이효율 및 식이의 소화 관 통과 시간 측정

식이섭취량은 이틀에 한번씩 일정한 시간에 측정하였으며 체중은 일주일에 한번씩 측정하였다. 식이의 소화관 통과 시간 측정은 실험 시작 2주째에 하였으며 실험동물을 12시간 절식시킨 후 각군의 식이에 10% brilliant blue dye 1g을 혼합하여 다 먹게 한 후 정상식을 공급하였다(7). 푸른색 변이 나오는 처음 시간과 마지막 시간을 기록하고 푸른색 변이 나오는데 걸린 총 시간을 식이가 소화 기관을 통과하여 배설되기까지의 총 통과시간으로 하였다.

섬유질분석

실험식이의 섬유질원으로 사용되는 미역, 표고버섯, 무우청군의 식이는 그 일부를 취하여 AOAC에 등재된 Prosky 등(8)의 효소중량법에 의해 불용성 식이섬유(IDF)와 수용성 식이섬유(SDF)의 분석을 실시하여 식이내 섬유질의 함량으로 표시하였다.

검체 수집 및 혈청 지질 측정

채혈은 각 대사 실험 후 저녁부터 12시간 이상 절식

상태를 유지시켜 ether로 마취시킨 후 심장에서 하였다. 채혈한 혈액은 바로 3,000rpm에서 15분간 원심분리하여 혈청을 취하여 냉동보관하였다가 실험목적에 따라 사용하였다. 희생시에는 채혈 후 간과 비장, 왼쪽 대퇴골(femur)을 적출하여 무게를 재고 바로 액체 질소에 넣어 냉동시키고 분석시까지 냉동고에 보관하였다. 소장은 유문(pylorus)괄약근에서부터 인대까지를 십이지장으로 하고 그 이후 회맹판 이전까지의 길이를 공장과 회장으로 하여 생리적 식염수 내에서 각각의 길이를 재었다(9).

혈청지질 측정

혈청 중의 총콜레스테롤과 triglyceride 농도는 아산 제약의 혈청 지질측정용 kit시약을 이용하여 측정하였고, HDL-콜레스테롤 농도는 시판되는 dextran sulfate (Sigma Kit No.352-3)로 LDL과 VLDL-콜레스테롤을 침전시킨 후 상층액에서 HDL-콜레스테롤을 측정하였다.

무기질의 외견적 흡수율 및 장기내 저장량 측정

사료, 변과 장기들에 함유된 무기질 분석을 위해 장기 및 사료에는 진한 질산 6ml와 과산화수소 2ml를, 변에는 진한 황산 3ml와 진한 염산 3ml를 순차적으로 넣어 microwave digestion system에서 습식회화 하였다. 회화처리된 시료를 냉각시킨 후에 0.1% lanthanum oxide 용액으로 적절히 희석하여 atomic absorption spectrophotometer(Thermo Tarrell Ash, AA-SCAN4)를 이용하여 Ca과 Fe함량을 측정하였다. 혈청 중의 Ca와 Fe는 kit 시약(ASAN사)을 이용하여 측정하였다. 칼슘과 철분의 외견적 흡수율은 다음과 같이 계산하였다.

$$\text{Apparent absorption ratio}(\%) = \frac{\text{Intake} - \text{fecal loss}}{\text{intake}} \times 100$$

통계방법

실험결과는 평균과 표준편차로 표시하였으며 실험군의 평균값간에 차이가 있는지는 one-way ANOVA (analysis of variance)를 이용하여 $\alpha=0.05$ 수준에서 유의성을 검증하였고 유의성이 있는 항목에 대해서는 각 군간의 차이를 Student-Newman-Keuls multiple range test(SNK)로 검정하였다. 통계 처리는 SAS 통계 package program을 이용하였다.

결과 및 고찰

실험식이의 식이 섬유 함량

Prosky 효소중량법을 이용하여 측정한 각 실험식이

내 식이섬유 함량은 Table 1에 나타내었다. 총 식이섬유 함량은 대조군에서는 건조 중량의 3.58%이었고 식이섬유를 첨가한 군에서는 10~12% 정도로 식이섬유 급원을 섞은 각 군간에 약간의 차이가 있었으나 전체 식이내 함량을 고려해 볼 때 큰 차이를 보이지는 않았다. 황 등(10)이 여러 가지 식품군 별로 식이섬유를 분석한 논문에서는 건 미역, 생 표고버섯, 삶은 우거지의 식이섬유 함량이 각각 건조 무게의 43.36%, 48.78%, 68.67%로서 무청에 식이섬유의 함량이 더 높은 것으로 보고하였으며, 이와 이(11)의 논문에서는 표고버섯의 식이섬유 함량이 39.8%, 미역이 32.26%로 보고되어 아직도 식이섬유는 분석하는 사람에 따라 값이 다르게 얻어지는 것을 볼 수 있었다. 본 실험에서는 실험식이내 건조된 섬유질 급원 식품의 중량비만을 일정하게 10%로 맞추어 사용하였으므로 실험군 간에도 섬유질 함량이 다소 차이가 났다.

사료섭취, 체중 증가 및 사료 효율

실험기간 동안 두번의 채혈을 하였는데 첫 번 채혈시 표고버섯군의 쥐 두마리가 희생되었으므로 최종 결과 처리에서 모두 제외시켰다. 실험 말기에 각 군의 평균 체중증가량과 사료 효율은 유의적인 차이가 없었다 (Table 2). 비록 사료 섭취량에 있어서는 미역군과 무청군이 높은 값을 보였으나 배변량들도 함께 증가하여 식이섬유 급원식품이 비교적 많이 첨가되었음에도 불구하고 체중의 변화는 볼 수 없었다. 표고버섯군에서는 식이내 총 식이섬유 함량이 다른 식이섬유 급원 식품군에서와 거의 비슷한 수준이었음에도 불구하고 식이섭

Table 2. Food intake, body weight gain and food efficiency ratio¹⁾

Group	Body weight gain(g)	Food intake(g)	FER ¹⁾
C ²⁾ (7) ³⁾	70.0±11.9 ⁴⁾	494.4±28.9 ⁵⁾	0.14±0.02
S(7)	75.7±12.9	564.3±22.8 ^{b)}	0.13±0.02
L(5)	67.7±14.5	501.4±29.8 ^{a,c)}	0.13±0.02
R(7)	80.4±19.4	533.7±30.9 ^{b,c)}	0.15±0.03
ANOVA	N.S. ⁶⁾	p<0.001	N.S.

¹⁾Food efficiency ratio=weight gain(g)/food intake(g)

²⁾The experimental diet groups are as follows.

C: Control, S: mixed with sea mustard, L: mixed with Lentinus edodes, R: mixed with radish leaves

³⁾Sample size

⁴⁾Mean±SD

⁵⁾Means with different letters^(a,b) within a column are significantly different from each other at $\alpha=0.05$ as determined by Student-Newman-Keuls test.

⁶⁾Not significant at p<0.05 as determined by one-way analysis of variance

취량이나 사료 효율 등이 대조군과 다르지 않게 나타났다. 일반적으로 섬유질의 섭취는 체중의 감량에 효과적인 것으로 알려져 있으며(12) 특히 수용성 섬유질에 대하여 비만 감소 효과를 많이 발표하고 있으나(13) 본 실험에서와 같이 정상의 쥐들에게 자유 급식시켰을 때는 식이섬유군의 배변량과 함께 식이 섭취량이 늘어나 사료 효율은 차이가 없는 것으로 나타났다.

장기 무게

체중이나 사료 효율에서와 마찬가지로 본 실험에서 측정된 장기들의 무게는 식이군 별로 차이가 없었다 (Table 3).

장의 길이 및 식이의 소화기관 통과 시간

식이섬유를 보충 급여한 흰쥐의 전체 소장의 길이는 대체로 대조군에 비하여 길어진 것을 볼 수 있었으며 미역군과 무우청군에서는 대조군에 비하여 십이지장의 길이에서도 증가하는 경향을 보여주었다(Table 4). 전반적으로 보았을 때 소장의 길이 성장에 가장 큰 영향을 미치는 섬유질 식품은 무우청인 것으로 나타났다

으며 미역과 표고버섯군은 대조군에 비해 증가되는 경향만을 보여주었다. 그러나 표고버섯이 소장의 길이에 미치는 효과는 미역과 다소 달라 십이지장의 길이보다는 그 이하에서 더 크게 영향을 미치는 것으로 나타났다. 번이 장관을 통과하는 시간은 섬유질을 보충 급여시켰을 때 뚜렷하게 짧아졌으며 그 평균치는 표고버섯군에서보다 미역과 무우청군에서 좀 더 크게 나타났으나 세 섬유질 식이군 간에 유의적인 차이는 볼 수 없었다. Table 1에 나타내었던 식이섬유의 분석치를 고려하면 전체 식이내 식이섬유의 함량이 3~4배 많아짐에 따라 장 통과 시간이 2배 이상 빨라짐을 볼 수 있었다. 식이 섬유는 종류에 따라 식이의 소화관내 이동 속도에 다르게 영향을 미치는 것으로 보고되고 있으나(14,15) 이들의 결과가 모두 일치하는 것은 아니며 특히 일상 식이내의 식이섬유는 불용성과 수용성이 혼합되어 있을 수 있으므로 식품의 조합에 따라 달라질 것으로 사료된다.

혈청 콜레스테롤 및 HDL-콜레스테롤의 함량

총 콜레스테롤의 함량(Table 5)은 2주째와 4주째 모두 표고버섯군에서 가장 낮게 나타났으며 무우청군은 대조군과 큰 차이가 없는 것으로 나타나 혈청내 콜레스

Table 3. Weights of liver, spleen and femur

Group	Liver		Spleen		Femur	
	Total(g)	g/100gBW	Total(g)	g/100gBW	Total(g)	g/100gBW
C ¹⁾ (7) ²⁾	9.5±1.0 ³⁾	2.70±0.22	1.21±0.11	0.35±0.03	1.24±0.12	0.35±0.03
S (7)	9.6±0.8	2.64±0.16	1.28±0.11	0.35±0.03	1.28±0.11	0.35±0.03
L (5)	10.2±0.8	2.85±0.19	1.33±0.12	0.37±0.03	1.29±0.05	0.36±0.02
R (7)	10.2±0.7	2.78±0.09	1.28±0.05	0.35±0.01	1.28±0.05	0.35±0.01

¹⁾C: Control, S: Sea mustard, L: Lentinus edodes, R: radish leaves

²⁾Sample number

³⁾Mean±SD

Table 4. Length of duodenum, jejunum + ileum and total small intestine and fecal transit time

(unit: cm)

Group	Small intestinal length			Transit time	
	Duodenum	Jejunum + Ileum	Total small intestine	T-first ¹⁾	Total transit time
C ¹⁾ (7) ²⁾	8.9±1.7 ⁴⁾	81.8± 8.0	90.7± 8.8 ⁵⁾	15.4±3.7 ^a	104.0±15.3 ^a
S (7)	9.7±0.9	90.0±11.7	99.7±12.1 ^{a,b}	9.1±3.4 ^b	48.6± 7.5 ^b
L (5)	8.8±0.8	91.9±15.9	100.7±16.4 ^{a,b}	9.3±3.7 ^b	56.8±11.9 ^b
R (7)	9.9±0.9	96.6± 5.5	106.5± 5.9 ^b	8.7±3.5 ^b	49.6±11.0 ^b
ANOVA	NS ⁶⁾	NS	p<0.05	p<0.001	p<0.0001

¹⁾T-first is the time when the fece dyed with brilliant blue was appeared.

²⁾C: Control, S: Sea mustard, L: Lentinus edodes, R: radish leaves

³⁾Sample number

⁴⁾Mean±SD

⁵⁾Means with different letters(a,b) within a column are significantly different from each other at α=0.05 as determined by Student-Newman-Keuls test.

⁶⁾Not significant at p<0.05 as determined by one-way analysis of variance

Table 5. Serum total cholesterol, HDL-cholesterol and HDL-cholesterol/total cholesterol ratio

Group	Total cholesterol(mg/dl)		HDL-cholesterol(mg/dl)		HDL-chole./Total chol.	
	2nd week	4th week	2nd week	4th week	2nd week	4th week
C ¹⁾ (7) ²⁾	96.0± 7.7 ^{3)a4)}	93.9±15.5 ^a	37.1±3.9 ^a	30.3±4.1	0.39±0.05	0.32±0.03 ^a
S (7)	83.8± 2.8 ^a	82.8± 6.3 ^{a,b}	35.6±3.0 ^a	28.7±3.6	0.43±0.04	0.35±0.04 ^a
L (5)	66.7± 7.2 ^b	64.8± 6.5 ^b	29.5±2.6 ^b	27.8±2.8	0.45±0.06	0.43±0.02 ^b
R (7)	98.6±16.9 ^a	102.8±28.3 ^a	42.3±7.4 ^a	33.5±8.0	0.44±0.13	0.33±0.03 ^a
ANOVA	p<0.01	p<0.0001	p<0.0001	NS ⁵⁾	NS	p<0.0001

¹⁾C: Control, S: Sea mustard, L: Lentinus edodes, R: radish leaves

²⁾Sample number

³⁾Mean±SD

⁴⁾Means with different letters(^{a,b}) within a column are significantly different from each other at $\alpha=0.05$ as determined by Student-Newman-Keuls test.

⁵⁾Not significant at $p<0.05$ as determined by one-way analysis of variance

테를 낮추는 효과는 거의 없는 것으로 나타났다. 미역군에서는 2주째와 4주째 총 콜레스테롤치가 대조군에 비하여 다소 낮아지기는 하였으나 통계적인 유의성은 없었다. HDL-콜레스테롤치는 2주째에만 각군간에 유의적인 차이를 보여주었는데 그 변화의 양상은 총 콜레스테롤치에서와 비슷하였다. HDL-콜레스테롤/총 콜레스테롤의 비율은 표고버섯군에서 4주째 혈청에서만 유의적으로 높아졌으며 미역군이나 무우청군에서는 2주째 다소 높은 값을 보이다가 4주째에는 대조군의 수준으로 감소되는 것으로 보아 비교적 빠른 시간에 혈청 지질의 적응 상태가 일어나는 것으로 보였다. 지질 대사에 대한 섬유질의 효과는 주로 수용성 섬유질에 의한 것으로 보고되고 있는데 그 기전으로서는 소장내에서 lipase활성 저하로 지방의 소화가 방해되고 담즙산의 배설 작용으로 인한 콜레스테롤의 재흡수의 감소 등(1)과 대장에서 미생물에 의해 발효된 후 흡수된 짧은 지방산이 간에서 콜레스테롤 합성 효소를 저해한다는 등이 거론되고 있으나 본 연구에서는 입증되지 않았다. 한편, David (16)는 식이내 수용성 섬유가 불용성 섬유질과 섞여있게 되면 발효되어 생성되는 지방산의 조성이 변화된다고 하여 혼합 식품의 효과는 단일 섬유질의 효과와는 다르게 나타남을 시사하였으며 양 등(17) 및 Fernandez 등(18)은 수용성 식이섬유가 오히려 간에서 콜레스테롤 합성 효소의 활성을 증가시켰다고 하여 논란의 여지가 많은 주제로 인식되고 있다. 본보에서 얻은 결과 중 표고버섯의 혈청 콜레스테롤 저하 효과는 담즙산 배설을 통한 섬유질의 효과라고만 할 수는 없는데 그 이유는 현재까지 몇몇 학자들에 의해서 표고버섯내의 혈청 콜레스테롤치를 저하시킬 수 있는 생리 활성 물질이 보고되어 왔기 때문이다. Chibata 등(19)은 일찍이 표고버섯내에 "lentinacin"이라는 체내 콜레스테롤 저하 효과가 있는 물질에 대해 발표한 바 있

며, 최근에 Sugiyama 등(20)은 표고버섯내 존재하는 "eritadenine"이라는 물질이 혈액순환을 원활히 해줌으로서 순환계에서 혈청 콜레스테롤을 제거할 수 있다고 보고하였다. 또한 표고버섯은 α -linoleic acid함량이 높아 다른 식물성 지방과 마찬가지로 간내 콜레스테롤 함량을 저하시켰다는 보고(21)와 식물성 스테롤은 콜레스테롤 저하 작용이 있다는 연구 보고의 결과들(22)이 다수 발표되었던 것으로 보아 본보의 결과에서 나타난 표고버섯의 혈청 콜레스테롤 저하 효과는 단순히 버섯내의 섬유질에 의한 것이라기 보다 섬유질과 다른 생리활성 물질의 복합 작용으로 보아야 할 것이며 이러한 사실은 표고버섯이 섬유질 급원 식품으로서 갖는 또 하나의 장점이 될 수 있다.

혈청과 장기내 무기질 함량 및 무기질 흡수율

혈청의 칼슘 함량에서는 각군 간의 유의적인 차이를 볼 수는 없었지만 혈청에서 철의 경우 실험 전반에 걸쳐 무우청군에서 다소 낮은 것으로 나타났다(Table 6). 혈청내 칼슘 농도는 뼈와 신장, 소장의 협동 작용에 따른 조절 기전에 의해 결정되며 정상 범위에서 벗어날 경우 바로 호르몬 분비를 통해 뼈와 같은 칼슘의 저장소로부터 칼슘이 유리되어 정상화되는 것으로 알려져 있는데 단기간이기는 하지만 본 연구에서와 같이 섬유질 함량이 비교적 높은 식이를 섭취시킨 경우에도 혈청의 칼슘 농도가 잘 유지됨을 확인할 수 있었다. 그러나 혈청내 철의 경우에는 칼슘과는 조금 다르게 나타나는 것을 볼 수 있는데 비록 개체간의 차이가 커서 통계적인 유의성은 나오지 않았으나 무우청을 먹은 쥐들의 혈청내 철 농도가 4주에 걸쳐 다른 군에 비하여 낮은 경향을 보여주었다. 다음으로 본 실험에서는 장기내 무기질의 저장량을 보기 위하여 칼슘의 저장소로서는 대퇴골을, 철분의 저장소로서는 지라를 택하여 대표적인 한 장기내

Table 6. Calcium and iron contents of serum

Group	Ca(mg/dl)		Fe(μg/dl)	
	2nd week	4th week	2nd week	4th week
C ¹⁾ (7) ²⁾	10.36±0.30 ³⁾	9.60±0.76	219.5±56.3	138.4±39.3
S (7)	10.07±0.65	9.73±1.14	239.9±87.3	140.7±47.3
L (5)	9.52±0.36	9.02±0.71	229.9±75.4	163.2±45.4
R (7)	10.18±0.61	9.02±0.67	197.0±92.1	117.8±30.6

¹⁾C: Control, S: Sea mustard, L: Lentinus edodes, R: radish leaves

²⁾Sample number

³⁾Mean±SD

저장량을 측정하였다. 대퇴골의 총 칼슘 함량은 미역 군에서 가장 높은 수치를 보여주었으나 통계적인 유의성은 없는 것으로 나타났다. 한편, 무우청군에서는 가장 낮은 값을 보여주어 체내 칼슘의 저장량을 낮출 수 있는 가능성을 보여주었다. 표고버섯을 먹인 군의 대퇴골내 칼슘 함량은 대조군에 비해 차이가 없었다. 한편, 비장의 철분 함량은 대조군에 비해 실험군들의 결과가 다소 높게 나타났으며 특히 혈청의 철분 함량이 비교적 낮게 나타났던 무청군에서도 지라내 철분 함량은 증가하는 경향을 보여주어 대조적이었다(Table 7). 체내의 칼슘이 부족되면 혈청의 칼슘 농도를 정상으로 유지하기 위해 저장되어 있던 칼슘이 유리되는데 그 중 가장 큰 역할을 하는 칼슘 저장소는 뼈이므로 대퇴골의 칼슘 함량은 실험기간 동안 체내 칼슘 영양을 대변해 줄 수 있다. Table 6의 혈청 칼슘 농도에 대한 결과에서 각 식이섬유 공급군들의 혈청 칼슘 농도가 대조군의 것에 비해 유의적인 차이는 없었으나 대퇴골내 칼슘의 저장량에서 차이가 나타난 것으로 보아 불용성 식이섬유의 과잉 섭취는 정상인에게서도 칼슘 부족을 초래할 수 있을 뿐 아니라 칼슘 부족에 걸리기 쉬운 집단이나 이미 칼슘 부족의 증세를 보이고 있는 집단에서는 좀 더 심각한 영향을 줄 수 있을 것임을 알 수 있었다. 한편,

철분은 체내 저장소로서 간, 지라, 골수 등을 들고 있는데 칼슘에서와 같이 전체 체내 저장량의 절대량을 가지고 있는 장기는 없기 때문에 지라내 철분 저장량만을 가지고 체내 전체 저장량을 대변하기에는 다소 무리가 있을 수 있으나 철분의 혈청내 함량이나 뒤에 기술하게 될 흡수율의 결과와 함께 고려해 보면 식이섬유 식품들이 체내의 무기질 대사에 미치는 전반적인 효과를 추정해 볼 수 있을 것이라고 사료된다. 칼슘의 흡수율은 실험 전반에 걸쳐 대조군과 버섯군에 비해 미역군과 무우청군이 낮은 값을 보여주었으며 철분의 흡수율에 있어서는 무우청군만이 뚜렷하게 낮은 값을 나타내었다(Table 8). 미역은 그 자체에 다량의 칼슘을 함유하고 있어 좋은 칼슘 급원 식품이기는 하나 이온의 흡착력이 높은 수용성 섬유질의 함량 역시 높으며 또한 신장에서의 재흡수 기전을 공유하는 나트륨의 함량도 높아 소변으로 칼슘의 배설을 촉진하는 현상이 있는 것을 고려할 때 (23) 알칼리성 식품으로의 효능을 기대하려면 함유하고 있는 영양소의 체내 대사에 대한 연구가 더 필요할 것이다. 표고버섯은 칼슘이나 철분의 흡수율, 체내 저장 상태 등에서 뚜렷하게 영향을 주지 않으면서 혈청의 콜레스테롤을 낮추는 효과가 뚜렷한 점으로 보아 칼슘의 흡수에 도움을 줄 수 있는 비타민D

Table 7. Calcium content of femur and iron content of spleen

Group	Ca in femur		Fe in spleen	
	Total(mg)	mg/g	Total(mg)	mg/g
C ¹⁾ (7) ²⁾	69.2± 7.8 ^{3),a,b4)}	70.34±24.2 ^a	0.22±0.05	0.173±0.038
S (7)	86.8±28.3 ^a	56.13±8.88 ^{a,b}	0.26±0.07	0.216±0.027
L (5)	71.5± 5.4 ^{a,b}	55.24±2.40 ^{a,b}	0.29±0.03	0.220±0.033
R (7)	59.1± 7.5 ^b	46.19±5.27 ^b	0.28±0.05	0.223±0.043
ANOVA	p<0.05	p<0.05	N.S. ⁵⁾	N.S.

¹⁾C: Control, S: Sea mustard, L: Lentinus edodes, R: Radish leaves

²⁾Sample number

³⁾Mean±SD

⁴⁾Means with different letters(a,b) within a column are significantly different from each other at α=0.05 as determined by Student-Newman-Keuls test.

⁵⁾Not significant at p<0.05 as determined by one-way analysis of variance.

Table 8. Mineral apparent absorption ratio¹⁾

Group	Ca(%)		Fe(%)	
	2nd week	4th week	2nd week	4th week
C ²⁾ (7) ³⁾	79.2±3.2 ^{4)a5)}	70.0± 5.5 ^a	66.7±10.6 ^a	73.1± 5.5 ^a
S (7)	59.2±8.9 ^b	42.1±15.6 ^b	67.8±20.3 ^a	67.9±11.3 ^a
L (5)	76.6±7.1 ^a	63.5±22.3 ^a	70.2± 2.5 ^a	65.4±10.2 ^a
R (7)	57.1±9.3 ^b	67.1± 7.8 ^a	21.9±27.3 ^b	19.5±36.3 ^b
ANOVA	p<0.00001	p<0.005	p<0.0002	p<0.0002

¹⁾ Apparent absorption ratio=(intake-fecal excretion)/intake×100

²⁾ C: Control, S: Sea mustard, L: Lentinus edodes, R: radish leaves

³⁾ Sample number

⁴⁾ Mean±SD

⁵⁾ Means with different letters^(a,b) within a column are significantly different from each other at $\alpha=0.05$ as determined by Student-Newman-Keuls test.

급원 식품으로서만이 아니라 섬유질 급원 식품으로도 유용한 것으로 사료된다. 한편 무우청은 장내에서 섬유질 효과는 뚜렷하게 나타났으나 혈청 지질의 개선 효과는 적었으며 무기질의 흡수율 중 특히 철분의 흡수율에 크게 영향을 주어 장기적으로 다량을 섭취할 경우 여성이나 청소년기, 노인층에 영양의 불균형을 초래할 가능성이 큰 것으로 나타났다. 이와 송(24)은 9% casein식을 agar와 함께 4주간 섭취시킨 쥐에서 철분 배설량이 늘면서 혈청내 철과 transferrin saturation이 감소하고 장기간 철분의 저장량이 증가함을 보고하였는데 이에 대한 설명으로서 적게 섭취시킨 단백질이 헤모글로빈의 합성과 transferrin saturation을 제한하여 장기간 철의 축적을 초래하였다고 하였다. 그러나 본 실험에서는 단백질을 제한하지 않았으므로 무우청군에서 보여준 비장의 철분 함량 증가를 체내 단백질 합성 감소에 연관지어 보기는 어렵고 철분의 흡수율 저하가 어떤 기전으로든 체내 철분 저장소로부터의 철분의 이동을 제한하여 배설을 억제하는 것이 아닌가하는 추측을 해 볼 수 있었다. 정상의 개체에서 철분은 일단 체내로 흡수된 후 배설경로가 거의 없어 극히 적은 양만이 장점막 세포의 낙설과 같이 손실되는 것으로 알려져있다. 그러므로 섬유질의 다량 섭취와 같이 장 점막에 손상을 일으켜 장세포의 turnover를 증가시키는 경우에는 변으로 배설되는 양이 증가할 것이며 이러한 섬유질의 효과는 불용성 섬유질에서 보다 수용성 섬유질에서 더 크게 나타나는 것으로 보고되고 있다(25). 그러나 본 연구에서와 같이 철분의 외전적 흡수율 측정만으로는 위와 같은 소장 점막 세포에서의 손실량까지는 고려될 수 없으므로 본 연구에서 얻은 결과는 실제 철분의 흡수율과는 다소 차이가 있을 수 있다. 실제의 철흡수율에 대한 자료를 얻기 위해서는 동위원소로 표시된 식품을 사용하여 철분의 흡수율을 측정하는 방법을 이용해야 하는데

이미 서구 여러 나라에서는 이러한 방법으로 철분의 흡수율을 측정하여 많은 식이 인자들에 대한 정보를 얻고 있다. 그 중 섬유질 식품에 대한 연구 결과로는 귀리나 밀의 껍질, 두류 등을 사람의 식사에 첨가하였을 때 철분의 생체 이용율이 유의적으로 저하된다는 다수의 보고가 있었으며 이 때 얻어진 철분의 흡수율은 모두 10% 미만이었다. 그러나 흰쥐를 대상으로 하였을 때 동위원소를 이용하여 철분의 생체 이용율을 측정된 결과들은 사람의 경우보다 훨씬 높은 수치의 결과로 나타나 House와 Welch(26)의 논문에서는 ferric chloride를 섭취시켰을 때 71%의 흡수율을 얻었다. Reddy와 Cook(27)은 흰쥐와 사람을 대상으로 똑같은 동위원소 표지를 이용한 방법을 사용하여 식이 인자들이 non-heme 철의 흡수율에 미치는 영향을 비교 분석하였다. 여기서 사람과 흰쥐의 철분 흡수율은 그 절대값에서 상당한 차이(사람의 대조군에서 2~8%; 흰쥐의 대조군에서 45~70%)의 철분 흡수율을 보여 주었으나 비타민C나 밀 껍질, 콩단백질과 같은 식이 인자의 효과 자체는 사람과 흰쥐에서 동일하게 나타났으며 다만 흰쥐에서 흡수율의 변동폭이 작게 나타나 흰쥐는 사람에 비해 철분흡수의 조절 능력이 떨어지는 것으로 보고하였다. 따라서 철분 흡수율에 영향을 미치는 식이 인자들에 대한 screening을 할 때 흰쥐를 사용하게 되면 그 효과가 사람을 대상으로 하였을 때보다 잘 나타나지 않을 수도 있다는 가능성을 제시하였으나 본 연구에서와 같이 다량의 섬유질을 공급하였을 때의 실험 모델로서는 크게 무리가 없는 것으로 사료되었다.

요 약

한국인이 상용하는 섬유질 급원 식품의 생리 활성을 알아보고자 7주령의 흰쥐 28마리를 대조군과 섬유질 공

급원 3군으로 나누어 각각의 실험식을 공급하며 4주간 사육하였다. 모든 군에는 cellulose 2% 식이를 공급하였고 비교군인 미역군, 표고버섯군, 무우청군에는 마른 미역, 표고버섯, 무우청을 각각 식이 중량의 10%씩 첨가하여 공급하였다. 2주째와 4주째 채혈하여 혈청 지질과 무기질을 측정하였으며 3일간의 대사 실험을 통하여 무기질 흡수율을 측정하였고 대사실험 중간에 식이의 소장관 통과 시간을 측정하였다. 희생 후에는 대퇴골과 간, 비장을 적출하여 무게를 재었으며 소장의 길이를 측정하고 뼈와 비장에서 각각 칼슘과 철분을 측정하였다. 세 가지의 섬유질의 섭취시 모두 유의적으로 체중이 감소되지는 않았으며 장기 무게에도 변화가 없었다. 그러나 모든 섬유질 첨가 식이의 소장관 통과 시간은 유의적으로 감소시켰으며 무우청은 소장의 길이를 증가시켰다. 총 콜레스테롤의 감소나 HDL-콜레스테롤/총 콜레스테롤의 비율을 증가시키는 효과는 표고버섯군에서만 뚜렷이 나타났으며 미역과 무우청군에서는 유의적인 변화를 보여주지 못하였다. 혈청내 무기질의 농도는 세 군 모두 차이가 없었으나 미역은 칼슘 흡수율을, 무우청은 칼슘과 철분의 흡수율 모두를 낮추었으며 무우청군의 대퇴골내 칼슘의 함량은 감소되는 경향을 보였고 비장의 철분 함량은 증가하는 경향을 보여주었다. 결론적으로 종류가 다른 식이섬유들의 급원인 세 가지 식품 중 표고버섯은 무기질 대사에는 큰 영향을 주지 않으면서 혈청 지질의 개선 효과를 보여주었으며 무우청은 칼슘과 철분의 대사를 저해하는 효과가 가장 크면서도 혈청 지질의 개선 효과는 보이지 않았다. 미역은 그 효과가 가장 미약한 것으로 나타나 식이섬유로서나 알칼리성 식품으로서의 효능을 실용화하기 위해서는 일상 식이에 첨가되는 양을 변화시켜 더 많은 연구가 이루어져야만 할 것으로 사료되었다.

문헌

1. Vahouny, G. : Dietary fibers and the intestinal absorption of lipids. "Dietary fiber in health and disease" Vahouny, G. V. and Kritchevsky, D.(eds.), Plenum Press, New York, p.203(1982)
2. Sandhu, K. S., El Samahi, M. M., Mena, I., Dooley, C. P. and Valenzuela, J. E. : Effect of pectin on gastric emptying and gastroduodenal motility in normal subjects. *Gastroenterology*, **92**, 486(1987)
3. Flourie, B., Vidon, N., Florent, C. H. and Bernier, J. J. : Effect of pectin on jejunal glucose absorption and unstirred layer thickness in normal mans. *Gut*, **25**, 935(1984)
4. 池上幸江 : 食物纖維の 消化吸収機能. *榮養學雜誌*, **51**, 251(1993)

5. 이혜성, 이연경, 서영주 : 한국인의 식이섬유 섭취상태의 연차적 추이(1969-1990). *한국영양학회지*, **27**, 59(1994)
6. 황선희, 김정인, 승정자 : 한국 대학생의 식이 섭취 실태 조사. *한국영양식량학회지*, **25**, 265(1996)
7. Heanton, J. M., Lennard-Jones, J. E. and Young, A. C. : A new method for studying gut transit times using radioopaque markers. *Gut*, **10**, 842(1969)
8. Prosky, L., Asp, N. G., Schweizer, T. F., Devries, J. W. and Furrda, I. : Determination of insoluble, soluble and total dietary fiber in foods and food products : Inter-laboratory study. *J. Asso. Off. Anal. Chem.*, **77**, 1017(1988)
9. 이선영, 오현인 : 흰쥐의 소장 점막 세포의 성장에 미치는 glutamine, glycine과 nucleosides/nucleotide 혼합물의 효과. *한국식품영양과학회지*, **26**, 130(1997)
10. 황선희, 김정인, 승정자 : 채소류, 버섯류, 과일류 및 해조류 식품의 식이섬유 함량. *한국영양학회지*, **29**, 89(1996)
11. 이경숙, 이서래 : 국내산 식물성 식품 중 식이섬유 함량의 분석. *한국식품과학회지*, **25**, 225(1993)
12. Anderson, J. W. and Bryant, C. A. : Dietary fiber : Diabetes and obesity. *Am. J. Gastroenterol.*, **81**, 898(1986)
13. 최진호, 김재일, 김일성, 최재수, 변대석, 윤태헌 : 비만 억제 작용에 미치는 미역 성분의 용량의존성. 1. 체중, 사료 및 에너지 효율, 대사 체중에 대한 영향. *한국노화학회지*, **1**, 168(1991)
14. Rainbird, A. L. and Low, A. G. : Effect of various types of dietary fiber on gastric emptying in growing pigs. *Br. J. Nutr.*, **55**, 111(1986)
15. 김정인 : 흰쥐에 있어서 펙틴이 식이의 상부소화관내 이동 속도에 미치는 영향. *한국영양식량학회지*, **21**, 627(1992)
16. David, L. T. : Soluble fiber polysaccharides ; effect on plasma cholesterol and colonic fermentation. *Nutr. Rev.*, **49**, 195(1991)
17. 양정례, 서명자, 송영선 : 콜레스테롤 투여 흰쥐에 있어서 식이섬유가 콜레스테롤 대사에 미치는 영향. *한국영양식량학회지*, **25**, 392(1996)
18. Fernandez, M. L., Sun, D. M., Tosca, M. A. and Namara, D. J. : Citrus pectin and cholesterol interact to regulate hepatic cholesterol homeostasis and dipoprotein metabolism, a dose-response study in guinea pigs. *Am. J. Clin. Nutr.*, **59**, 869(1994)
19. Chibada, I., Okumura, K., Takeyama, S. and Kotera, K. : Lentinacin : a new hypocholesterolemic substance in Lentinus edodes. *Experientia*, **25**, 1237(1969)
20. Sugiyama, K., Akachi, T. and Yamakawa, A. : Hypocholesterolemic action of eritadenine is mediated by a modification of hepatic phospholipid metabolism in rats. *J. Nutr.*, **125**, 2134(1995)
21. 김군자, 김한수, 김성희, 김희숙, 최운정, 정승용 : 식용 버섯과 식물성 유지의 혼합 급여가 흰쥐 간장의 지질 성분 및 지방산 조성에 미치는 영향. *한국영양식량학회지*, **23**, 736(1994)
22. Gene, A. P. : Beyond dietary fiber. *Am. J. Clin. Nutr.*, **54**, 615(1991)
23. 김양애, 승정자 : 한국 성인 여자에 있어서 나트륨 섭취 수준이 체내 칼슘 대사에 미치는 영향. *한국영양학회지*, **20**, 246(1987)

24. 이명숙, 승정자 : Dietary fiber가 흰귀의 철분흡수억제에 미치는 영향. 한국영양학회지, **18**, 115(1985)
25. 김미정, 이상선 : 식이 섬유질의 종류가 흰귀의 혈청 지질 농도와 장기능에 미치는 영향. 한국영양학회지, **28**, 23 (1995)
26. House, W. A. and Welch, R. M. : Bioavailability to rats of iron in six varieties of wheat grain intrinsically labeled with radioiron. *J. Nutr.*, **117**, 476(1987)
27. Reddy, M. B., Cook, J. D. : Assessment of dietary determinants of nonheme-iron absorption in humans and rats. *Am. J. Clin. Nutr.*, **54**, 723(1991)

(1997년 12월 27일 접수)