

미강 식이섬유 첨가량이 흰쥐의 혈청지질농도, 장 기능 및 무기질 흡수율에 미치는 영향

진현정 · †이상선
한양대학교 식품영양학과

Effect of Rice Bran Dietary Fiber Level on Serum Lipid Concentration, Bowel Function, and Mineral Absorption in Rats

Jin Hyun Jung and †Sang Sun Lee

Dept. of Food and Nutrition, Hanyang University, Seoul 133-791, Korea

Abstract

This study was performed to investigate the effect of rice bran dietary fiber powder on serum lipid levels, bowel function, and mineral absorption in rats. Four weeks old male Sprague Dawley rats(SD rat) were divided into four groups : control group fed 5% cellulose as a fiber source, RB10 fed 5% of cellulose and 10% of rice bran dietary fiber powder, RB20 and RB30. The animals were fed the experimental diets for 4 weeks. Serum lipid levels were not significantly different among the groups. But, fecal total cholesterol(TC), triglycerides(TG), and high density lipoprotein cholesterol(HDL-c) excretion increased in the RB30 group. Fecal weight and fecal water content were higher in the rice bran added groups than those in the control group. Transit time was significantly shorter in the rice bran fiber-added groups than that in the control. Weight of the stomach and large intestine in the RB20 and RB30 groups were significantly greater than those in the other groups. Absorption rates of Ca, Mg, P, and Zn decreased significantly in the RB30 group compared to those in the other groups. A high amount of rice bran increased fecal lipids, including TC, TG and HDL-c. Rice bran increased fecal weight and fecal water content and shortened gastrointestinal transit time. However, a high level of rice bran diet decreased mineral absorption rates.

Key words: dietary fiber, gastrointestinal transit time, serum lipid level, mineral absorption

서론

식이섬유는 인간의 소화효소에 의해 가수분해되지 않는 식물세포의 잔여물로 정의되며, 지방과 전분을 제거한 후 뜨거운 물에 용해되는 pectin, gums, 일부 hemi-cellulose 등의 수용성 식이섬유(soluble dietary fiber, SDF)와 cellulose, lignin, 일부 hemi-cellulose 등의 불용성 식이섬유(insoluble dietary fiber, IDF)로 분류할 수 있다(Trowell H 1976).

불용성 식이섬유에는 셀룰로오스와 헤미셀룰로오스가 대부분이며, 셀룰라아제가 분비되지 않기 때문에 소화, 흡수되

지 않고 배설되며, 장의 연동운동을 촉진해 변비를 막는다. 이러한 불용성 식이섬유는 장 통과시간을 감소시키고, 변 무게와 배설빈도를 증가시키며, 대장 내용물을 희석시키고 장내 유익균의 증식에 도움을 준다(Cummings JH 2000). 이런 효능으로 발암물질이 대장 세포와 접촉할 시간을 단축시켜 대장암의 유발을 억제할 수 있다는 연구결과도 있다(Trock 등 1990). 또한 식이섬유로 인해 식후 포만감을 증진시켜 체중 감량 효과가 있다(Slavin JL 2005).

이런 식이섬유의 효과가 우리나라에서도 인식되면서 한국인의 식이섬유 섭취 양상에 대한 조사도 계속 이루어지고 있

† Corresponding author: Sang Sun Lee, Dept. of Food and Nutrition, Hanyang University, Seoul 133-791, Korea. Tel: +82-2-2220-1206, Fax: +82-2-2292-1266, E-mail: leess@hanyang.ac.kr

다. 국민영양조사를 통한 한국인 식이섬유 섭취 보고에 따르면 1969년부터 1977년 사이에는 평균적으로 24.9 g의 높은 섭취량을 보였으나, 1978년부터 1986년에는 22 g, 1987년부터 1990년까지는 17 g으로 점차 감소하였다(Lee HS 1997). 반면, 1991년부터 2001년까지는 20 g으로 증가되었는데, 이는 식생활에서 식이섬유의 중요성이 강조되었기 때문인 것으로 보인다(Lee 등 2006). 한국보건산업진흥원의 보고에 의하면 2005년에는 19.84 g을 섭취하고 있는 것으로 나타났는데(Lee 등 2005), 이는 2010년도 한국인 영양섭취기준의 성인 남성의 충분섭취량인 25 g보다는 적고, 성인 여성의 충분섭취량인 20 g과는 비슷하게 섭취되고 있다(The Korean Nutrition Society 2010).

불용성 식이섬유소가 풍부한 미강은 한국인의 주식인 쌀이 백미로 도정되는 과정에서 배출되며, 이용은 하고 있지 않아 버려지는 실정이다. 미강에는 지방, 단백질, 식이섬유의 함량이 높아, 현재 식품가공업에서는 미강유를 추출하여 상품화가 이루어져 있고, 최근에는 미강에서 단백질을 추출하여 단백질 보충제를 개발하고, 남은 성분 내에도 식이섬유의 함량이 높아 식이섬유 제품을 개발하고 있다. 이런 미강 내 식이섬유를 이용한 제품 출시 시 저렴한 가격으로 소비자들이 이용할 수 있기 때문에 상업적 가치가 높을 것으로 예상된다.

현재까지 미강 식이섬유의 영향을 알아본 연구는 90년대의 미강과 미강유 섭취에 따른 햄스터의 콜레스테롤 저하에 관한 연구(Kahlon 등 1992)와 미강 추출물이 고지방식을 섭취한 흰쥐의 혈청과 간조직 지질농도에 미치는 영향을 알아본 연구들이 있었다(Ha 등 1997). 최근에는 미강의 단백질과 식이섬유를 이용한 식품 제조에 관련한 연구가 많이 이뤄지고 있다. 하지만 미강 내 식이섬유를 추출하여 장 기능과 무기질 흡수를 확인한 연구는 거의 없었기에, 본 연구에서는 미강에서 추출한 식이섬유를 이용하여 식이 내 함량에 따른 혈청지질농도, 장 기능과 무기질 흡수에 미치는 영향을 알아보고자 하였다.

재료 및 방법

1. 실험재료

1) 실험동물의 식이 조제

본 연구에서 사용한 식이는 (주) CJ 식품연구소에서 제공받은 미강 식이섬유 분말(CJ Riber 50)을 식이에 혼합하여 사용하였다. 제공받은 미강 식이섬유의 성분은 46%가 불용성 식이섬유이고, 단백질 12.4%, 지방 1.3%, 전분 24.6%, 회분 10.1% 등을 함유하고 있었다. 실험에 사용한 식이는 성장기의 rat에

Table 1. Composition of diet with different level of rice bran
(g/1,000 g)

Ingredients	Control ¹⁾	RB10	RB20	RB30
Sample powder	0	100	200	300
Casein	200	187.6	175.2	162.8
Dextrose	132	132	132	132
Cornstarch	397.486	311.206	224.926	138.646
Sucrose	100	100	100	100
Cellulose	50	50	50	50
Soybean oil	70	68.68	67.36	66.04
t-Butylhydroquinone	0.014	0.014	0.014	0.014
Salt mix #210025	35	35	35	35
Vitamin mix #310025	10	10	10	10
L-cystine	3	3	3	3
Choline bitartrate	2.5	2.5	2.5	2.5
Total weight	1,000	1,000	1,000	1,000
kcal	3,949.74	3,883.10	3,816.46	3,749.82

¹⁾ Control: Control diet group,

RB10: 10% rice bran powder added group,

RB20: 20% rice bran powder added group,

RB30: 30% rice bran powder added group.

게 널리 사용되는 식이제조법인 AIN-93G(Reeves 등 1993)를 참고하여 Table 1과 같이 조제하였다.

미강 식이섬유 분말의 함유 정도에 따라 나누어진 control, RB10(Rice bran 10%), RB20(Rice bran 20%), RB30(Rice bran 30%)군의 식이 섬유질원으로는 모두 기본적으로 cellulose가 5%씩 함유되어 있어, control은 cellulose 5%만 함유되어 있고, RB10에는 cellulose 5%와 미강 식이섬유가 4.6%, RB20에는 9.2%, RB30에는 13.8%의 미강 식이섬유가 추가적으로 첨가되었다. 따라서 식이 내 식이섬유함량은 control이 5%, RB10이 약 10%, RB20이 약 15%, RB30이 약 20%로 함유되어 있다. 미강 분말의 식이섬유는 cellulose와 hemicellulose로 불용성 식이섬유이었다. 식이제조 시 미강 제품 함유로 인해 초과되는 protein은 casein에서, fat은 soybean oil에서, total starch는 corn starch에서 동량을 제거하여 조정하였다.

2) 실험동물의 사육

본 동물실험은 건국대학교 동물실험윤리위원회(IACUC)의 심의를 받아 건국대학교 실험동물연구센터에서 시행하였다. 실험동물은 ㈜오리엔트바이오에 의뢰하여 출생 시부터 동일한 환경에서 사육된 생후 4주된 Sprague-Dawley Rat(SD-rat) 수컷 40마리를 사용하였다. 실험동물은 본 실험에 들어가기 전 7일 간 적응기간을 거쳤다. 이들을 체중에 따라 10마리씩

4군으로 나누어 두 마리씩 IVC-rack(Individual Ventilated Cages)에서 총 4주간 사육하였으며, 식이와 물은 제한 없이 먹을 수 있도록 하였다.

동물사육실은 온도 22~24℃, 습도 45% 내외로 유지시켰으며, lighting cycle은 12시간 주기로 하였다. 식이섭취량은 이틀에 한 번씩 오전 10시부터 측정하였고, 체중은 주 1회 오전 9시부터 측정하였다.

2. 실험방법

1) 변의 수거

각 실험동물의 변은 실험기간 중 첫 번째 주와 마지막 주에 일주일 동안 수거하여 변 중량(wet weight)을 재고 -80℃에서 냉동 보관하였다. 그 후 분석 전에 80℃ oven에서 24시간 건조시켜 건 중량(dry weight)을 잰 후, 무기질과 지질의 분석시료로 이용하였다.

2) 혈액의 채취

실험식이 섭취 4주 후 실험동물을 12시간 절식시키고 Zoletil 40 mg/kg(Zoletil50, Virbac, France)과 Rumpun 10 mg/kg(Rumpun 2%, Bayer, Germany)을 투여하여 마취 후 회복하여 복부대정맥에서 혈액을 채취하였다. 이를 3,000 rpm에서 20분간 원심 분리하여 혈청을 얻었다. 그 후 분석 시까지 -80℃에 보관하였다.

3) 장 통과시간(Gastrointestinal transit time) 측정

실험 시작 2주 경과 시 실험동물을 12시간 절식시킨 후, 한 마리당 각 군의 식이 2 g에 10% brilliant blue dye(brilliant blue R, Sigma, United States)를 1 ml 첨가하여 약 1시간 반 동안 섭취시킨 후, 정상식이를 제공하였다(Kim & Lee 1995). 그 후 푸른색 변이 나오는 처음 시간을 'transit first'로 기록하고, 장 통과시간(transit time)은 brilliant blue dye를 먹인 후부터 마지막 푸른 변이 나오기까지 걸리는 시간으로 정의하였다.

4) 장의 길이 및 무게 측정

실험동물을 도체하여 위, 소장, 대장을 적출한 후, 소장과 대장의 길이를 측정하였으며, 0.9% 생리식염수로 세척한 후 여과지로 여분의 수분을 제거한 뒤 무게를 측정하였다.

5) 변과 식이의 무기질 함량 측정

식이섭취의 무기질 흡수율 감소에 대한 McCance & Widdowson(1942) 보고, Walker 등(1948)의 연구, Drews 등(1979)의 연구를 통해 Ca, Mg, P, Zn을 분석하였다. 마지막 주에 수거하

여 건조시킨 변 1 g을 회분도가니에 담아 전기회화로(Muffle furnace, Iklab MF-21G, Korea)에 넣고 600℃에서 회화하였다. 회화된 시료를 방냉한 후 5 ml 염산(염산:증류수=1:1)을 가하여 용해하였다. 그 후 여과지(Toyo No.6, Japan)로 여과하고, 증류수를 넣어 10 ml로 맞추었다(Park & Kang 2004). 이 10 ml 중 0.5 ml를 옮겨 담아 50 ml로 정용하여 1,000 ppm으로 맞추어 ICP-AES(Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectrophotometer, Thermo scientific, Germany)로 Ca, Mg, P, Zn을 정량 분석하였다. 실험식이 중 무기질 함량 측정은 각 군의 식이 1 g을 분변 중 무기질 함량 측정 방법과 동일한 방법으로 분석하였다. 식이 1 g 내의 무기질 함량과 일일 평균 식이섭취량을 이용하여 무기질 섭취량을 추정하고, 분변 1 g 내의 무기질 함량과 일일 평균 분변량을 이용하여 무기질 배설량을 추정하였다. 무기질 흡수율은 다음 수식에 의해 산출하였다.

$$\text{무기질 흡수율(\%)} = (\text{무기질섭취량} - \text{무기질배설량}) / \text{무기질섭취량} \times 100$$

6) 혈청 지질농도 분석

혈청 지질농도는 원심분리 후 -80℃에서 보관한 혈청으로 Chemistry analyzer(Olympus AU400, Japan)를 이용하여, total cholesterol, triglyceride, HDL-cholesterol과 LDL-cholesterol을 분석하였다.

7) 변 내 지질농도 분석

변의 지질농도는 Folch 법을 이용하여 측정하였다(Folch 등 1957). 냉동 보관한 변을 oven에서 24시간 건조하고, 건조한 변 0.5 g을 취하여 0.9% 생리식염수 1.5 ml를 넣고 균질화 하였다. 그 후 chloroform과 methanol을 2:1로 혼합한 용액 5 ml과 증류수 1 ml를 넣고 균질화하였다. 이후 3,000 rpm에서 10분간 원심분리하여 하층액인 chloroform층을 얻었다. 얻은 하층액을 50℃ oven에서 24~72시간 건조시켰다(Bligh & Dyer 1959). 건조시킨 시료에 0.5 ml의 methanol을 넣고, water bath에서 용해시켜 분석하였다.

용해시킨 시료의 중성지방 농도는 glycerol-3-phosphate oxidase-PAP 효소법을 이용한 분석 kit(아산제약, 한국)로 spectrophotometer를 이용하여 550 nm에서 흡광도를 측정하였다. 총 콜레스테롤 농도는 콜레스테롤 가수분해 효소를 이용하여 콜레스테롤과 지방산을 분리시켜 측정하는 분석 kit(아산제약, 한국)을 이용하여 500 nm에서 비색 정량하였고, HDL-콜레스테롤 농도는 LDL 및 VLDL을 침전시킨 후 남아있는 HDL 중의 콜레스테롤을 측정하는 분석 kit(아산제약, 한국)를 이용하여 500 nm에서 흡광도를 측정하였다.

3. 통계처리

본 연구의 실험결과들은 SPSS(Statistical Package for Social Science 17.0)를 이용하여 $\alpha=0.05$ 수준에서 실험군들 간의 유의적인 차이를 검증하였다. 모든 측정치는 실험군당 평균과 표준오차를 계산하였고, 일원배치 분산분석(one-way analysis of variance)을 한 후, Tukey's multiple range test에 의하여 각 실험군 평균치 간의 유의성을 검증하였다.

결과 및 고찰

1. 식이섬유량, 체중증가량, 식이효율

실험 기간 동안 각 군의 평균 일일 식이섭취량, 체중증가량 및 식이효율은 Table 2와 같다. 식이섭취량을 살펴보면, control보다 미강의 식이섬유가 식이 내 30% 첨가된 RB30에서 유의적으로 높았다. Gordon 등(1983)의 보고에 의하면 식이 섬유질 성분 중 수용성 식이섬유가 gastric emptying rate를 늦추며, 불용성 식이섬유는 위에서 bulking effect를 제공하여 위에서의 포만감을 빨리 느끼게 해주고, 이 포만감을 오랫동안 지속시켜 주기 때문에 식사량을 감소시켜준다고 하였다. 하지만 본 연구 결과에서는 섬유질의 열량희석효과를 보상하기 위해 실험군의 식이섭취량이 높게 나타났다는 결과(Kim & Lee 1995)와 일치했다. 실험기간 동안의 체중증가량은 식이 섬유가 첨가된 군이 control군보다 유의적으로 높았으며, 이 결과는 Muller 등(1983)의 연구에서 fiber free군이나 cellulose control군에 비해 식품을 통해 불용성, 가용성 식이섬유를 함께 공급받은 군의 체중이 더 증가하였다는 결과와 같았다.

식이효율은 실험기간 동안의 체중증가량을 식이섭취량으로 나누어 산출한 값으로 control이 식이섬유가 첨가된 군들에 비해 식이효율이 낮은 결과를 보였다.

2. 장의 무게와 길이

실험 기간 동안 각 군의 위, 소장과 대장의 무게와 길이를 체중 100 g 당으로 환산한 값은 Table 3과 같다. 위의 무게는 control과 RB10에 비해 RB20과 RB30이 유의적으로 높았다($p<0.001$). 소장의 무게는 control과 실험군 간에 유의적인 차

이가 나타나지 않았으며, 대장의 무게는 control과 RB10에 비해 RB20과 RB30이 유의적으로 높았다($p<0.01$). 소장과 대장의 길이는 control과 실험군 간에 유의적인 차이가 나타나지 않았다. 이는 male Wistar rat에게 fiber free, 10% cellulose, 10% alfalfa, 5% citrus pectin, 5% guar gum, 10% metamucil을 4주간 공급했을 때 소장의 길이에는 차이가 나타나지 않았다는 Calvert 등(1985)의 결과와 일치하였다.

3. 배변량, 변 내 수분함량

실험 기간 동안 각 군의 1일 변의 중량, 변 내 수분함량을 환산한 값은 Table 3과 같다.

변의 중량은 control군보다 식이섬유 첨가군에서 식이 내 식이섬유 함량에 따라 유의적으로 증가하였다($p<0.001$). 이는 24 시간 건조시킨 건 중량에서도 마찬가지로 증가하였으며, 변 내 수분함량 또한 미강 식이섬유 함량이 증가할수록 유의적으로 증가하였다($p<0.001$). 섬유질의 섭취량이 부족하면, 장 내용물이 딱딱하게 되고 변의 부피도 적어져 이를 이동시키기 위해서는 높은 장내압(intraluminal pressures)을 요구하게 된다. 이때 식이섬유질은 결장내용물의 유연성과 체적을 부여하는 역할을 하게 된다는 Bourquin 등(1993)의 연구처럼 식이섬유 섭취군이 control군보다 배변량, 건 중량과 변 내 수분함량이 높았다.

4. 변 내 지질농도

실험 기간 동안 각 군의 1일 변 내 총 콜레스테롤, 중성지방, HDL-콜레스테롤을 환산한 값은 Table 3과 같다. 변 내 총 콜레스테롤은 RB30군이 다른 군에 비해 유의적으로 높았고($p<0.001$), 변 내 중성지방의 값은 RB10군에서 가장 낮았으며, RB30군에서 유의적으로 높았다($p<0.001$). HDL-콜레스테롤은 control에 비해 실험군이 유의적으로 높았다($p<0.01$). 이는 일일 변 중량으로 환산하였기에, 미강 식이섬유의 함유량이 많을수록 변 중량이 증가하여 RB30에서 가장 높게 나타난 것으로 보인다. Kang & Song(1997)의 연구에서 식이섬유의 콜레스테롤 저하효과는 분변으로의 담즙산 배설 증가에 의한 것으로 설명되고 있는데, 담즙산이 콜레스테롤로부터 합성되는 물질로서 체내 콜레스테롤이 체외로 배설되는 유일

Table 2. Food intake, weight gain and food efficiency ratio of rats fed different level of rice bran dietary fiber

Group	Control ¹⁾	RB10	RB20	RB30	F-value
Food intake(g/day)	15.46±0.77 ^{a2)}	15.66±0.54 ^{ab}	15.62±1.14 ^{ab}	16.94±0.43 ^b	8.918***
Weight gain(g/day)	4.27±0.70 ^a	5.08±0.29 ^b	5.22±0.81 ^b	5.30±0.67 ^b	5.168**
FER ³⁾	0.27±0.18 ^a	0.31±0.09 ^b	0.32±0.22 ^b	0.31±0.19 ^b	4.715**

¹⁾ See Table 1,

²⁾ Values are mean±SE. Data were analyzed by one-way ANOVA. Values with different alphabets are significantly different among groups at the $p<0.05$ level by Tukey's multiple range test, ³⁾ Food efficiency ratio=weight gain(g)/food intake(g), * $p<0.05$, ** $p<0.01$, *** $p<0.001$.

Table 3. Weights and lengths of stomach and intestine, fecal weight and fecal water and lipids contents of rats fed different level of rice bran

Group	Control ¹⁾	RB10	RB20	RB30	F-value
Stomach weight(g/100 g B.W)	0.68±0.08 ^{ab2)}	0.65±0.08 ^a	0.93±0.04 ^b	0.80±0.08 ^b	17.174***
Small intestine weight(g/100 g B.W)	2.15±0.12	2.14±0.02	2.19±0.23	2.03±0.22	0.159
Large intestine weight(g/100 g B.W)	2.14±0.10 ^a	2.06±0.23 ^a	2.56±0.02 ^b	2.70±0.11 ^b	6.924**
Small intestine length(cm/100 g B.W)	31.50±1.19	29.06±3.15	30.91±5.74	30.27±1.57	0.242
Large intestine length(cm/100 g B.W)	6.24±0.39	5.85±0.25	6.50±0.37	6.70±0.31	0.646
Wet weight(g/day)	1.44±0.02 ^a	2.49±0.17 ^b	4.02±0.20 ^c	6.96±0.45 ^d	94.382***
Dry weight(g/day)	1.21±0.02 ^a	1.59±0.13 ^a	2.58±0.15 ^b	3.80±0.19 ^c	75.868***
Water contents(%)	15.76±0.58 ^a	36.69±1.13 ^b	36.08±1.24 ^b	43.59±4.55 ^b	30.934***
Total cholesterol(mg/day)	12.38±1.50 ^a	11.17±0.36 ^a	11.12±1.45 ^a	22.04±1.30 ^b	14.974***
Triglyceride(mg/day)	8.90±0.45 ^b	6.05±0.46 ^a	7.62±0.64 ^{ab}	12.26±0.71 ^c	18.738***
HDL-c(mg/day)	0.72±0.05 ^a	2.88±0.64 ^{ab}	5.14±1.37 ^{bc}	7.79±1.79 ^c	7.029**

¹⁾ See Table 1,

²⁾ Values are mean± SE. Data were analyzed by one-way ANOVA. Values with different alphabets are significantly different among groups at the $p<0.05$ level by Tukey's multiple range test, * $p<0.05$, ** $p<0.01$, *** $p<0.001$.

한 경로이기 때문이다. 이런 식이섭유가 담즙 배설능력에 미치는 영향은 식이섭유의 종류에 따라 다양한 결과를 보여주고 있다. 대다수의 연구(Kang 등 1994; Yang 등 1996)에서 수용성 식이섭유는 변 내 콜레스테롤 배출이 이루어지지만, 불용성 식이섭유의 콜레스테롤 배설능력은 없다고 보고했다. 하지만 반대로 콜레스테롤 저하효과가 없는 불용성 식이섭유인 cellulose도 분변으로의 담즙 배설을 증가시킨다는 보고가 있다(Lafont 등 1985; Gallaher & Schneeman 1986; Ebihara & Schneeman 1989). 이에 본 연구에서는 control에 비해 RB30에서 변 내 총 콜레스테롤과 중성지방 함량이 유의적으로 높았

으므로, 불용성 식이섭유인 미강 식이섭유가 변으로 콜레스테롤을 배출한다는 결과를 얻었다. 그에 반해 HDL-콜레스테롤 또한 RB30군에서 유의적으로 높았다.

5. 혈청 지질농도

실험 기간 동안 각 군의 혈청 지질의 농도를 환산한 값은 Table 4와 같다. 혈청 중성지방, 총 콜레스테롤, HDL 콜레스테롤과 LDL 콜레스테롤의 농도는 control과 실험군 간의 차이가 없었다. HDL-c/TC 비는 control에 비해 식이 내 식이섭유 함량에 따라 높아지는 경향을 보였다. 그리고 AI값은 유의

Table 4. Serum total cholesterol, triglycerides, HDL-cholesterol, LDL-cholesterol concentrations of rats fed different level of rice bran

Group	Control ¹⁾	RB10	RB20	RB30	F-value
TC(mg/dl)	53.26± 4.13 ²⁾	57.10± 6.42	54.59±1.18	52.81±2.75	0.168
TG(mg/dl)	58.97±10.46	65.62±19.42	45.32±5.58	48.72±3.28	0.572
HDL-c(mg/dl)	24.74± 1.56	30.15± 3.63	30.59±0.49	28.77±2.51	1.067
LDL-c(mg/dl)	12.86± 2.40	15.28± 4.64	13.07±2.32	9.19±0.96	1.121
HDL-c/TC	0.55± 0.02	0.58± 0.05	0.58±0.02	0.64±0.01	3.691
AI ³⁾	0.87± 0.12	0.74± 0.13	0.72±0.06	0.57±0.02	2.095
Transit first ⁴⁾	10.04± 0.22	9.94± 0.21	9.91±0.27	9.33±0.31	1.664
Transit time ⁵⁾	122.20± 1.51 ^b	120.04± 3.22 ^b	102.24±0.36 ^a	101.06±0.17 ^a	39.824***

¹⁾ See Table 1, ²⁾ Values are mean±SE. Data were analyzed by one-way ANOVA,

³⁾ AI(Atherogenic index)=(Total cholesterol-HDL-cholesterol)/ HDL-cholesterol,

⁴⁾ Transit first is the time of the first excretion of blue feces after ingestion of blue dye,

⁵⁾ Transit time is the period of the last excretion of blue feces after ingestion of blue dye, * $p<0.05$, ** $p<0.01$, *** $p<0.001$.

적인 차이를 보이지는 않았으나, control에 비해 식이섬유 함량에 따라 낮아지는 경향을 보였다. 식이섬유는 콜레스테롤과 담즙산의 흡수를 감소시키고 장에서의 lipoprotein 분비와 간에서의 lipoprotein 생성을 변화시켜 혈청 콜레스테롤 농도에 영향을 주게 된다는 보고가 있다(Chen & Anderson 1986). 그러나 pure gel이나 gum과 같은 수용성 식이섬유는 혈청 콜레스테롤 농도를 감소시켜주는 효과가 있지만(Kay & Truswell 1977), 밀의 섬유질이나 cellulose와 같은 불용성 식이섬유 섭취 시에는 효과가 없다는 보고들도 있다(Story JA 1981). 따라서 불용성 식이섬유인 미강의 섭취 시에 혈청 콜레스테롤 농도에 변화가 나타나지 않은 본 연구의 결과와 일치했다.

6. 장 통과시간

실험 기간 동안 각 군의 transit first와 transit time을 환산한 값은 Table 4와 같다. 푸른색 변이 처음 나온 시간인 transit first를 보면, control에 비해 미강 식이섬유를 섭취한 군들이 유의적이지는 않지만, 수치가 감소하는 경향을 보였고, 마지막 푸른색 변이 나온 transit time에서는 control과 RB10에 비해 RB20과 RB30군이 유의적으로 장 통과시간이 단축된 것을 볼 수 있다($p<0.001$). 이는 Begin 등(1989)의 연구에서 SD rat에게 cellulose, guar gum 등을 식이 내 5%로 제공했을 때 fiber free군에 비해 식이섬유 첨가군에서 장 통과시간이 감소했다고 보고한 것과 같았다.

7. 무기질 흡수율

실험 기간 동안 각 군의 1일 섭취, 배출된 무기질 양과 흡

수율은 Table 5와 같다. Control에 비해 미강 식이섬유의 함량이 높아질수록 Ca 섭취량이 증가하였고, 특히 RB20에서 급격하게 증가하였다. 이는 미강 식이섬유에 Ca이 함유되어 있어 섭취량이 증가된 것으로 보인다. 변 내 Ca 배설량은 control, RB10과 RB20에 비해 RB30이 유의적으로 증가하였다($p<0.001$). Ca 배설량 또한 일일 변 중량을 곱하여 환산하였으므로, 미강 식이섬유 함량이 높아질수록 Ca 배설량이 증가했다. Ca 흡수율은 RB30이 다른 군에 비해 유의적으로 낮았다($p<0.01$). 이 결과는 사람에게 겨에서 추출한 22 g 중성세제 불용성 섬유소(NDF, Neutral Detergent fiber)/day를 29일간 공급했을 때 Ca 균형에는 변화가 없었으나, 일일 35 g으로 증가시켰을 때는 역의 Ca 균형을 보여, 흡수를 저해했다는 보고(Van Dokkum 등 1982)와 일치하는 경향을 보였다. 또한 26 g/day의 밀겨, 옥수수겨, 콩 외피를 급여했을 시 변으로 배설되는 Ca의 양이 증가했다는 연구결과도 있었다(Dintzis 등 1985). 이에 대해 Toma & Curtis(1986)는 식이섬유 섭취가 증가하면, 장 내에서 Ca을 운반하는데 필수적인 Ca-binding protein complex가 저해를 받기 때문에 Ca의 배설량이 증가하는 것이라고 결론지었다. 또한 미강 식이섬유에 Mg이 함유되어 있어, 이로 인해 control에 비해 미강 식이섬유가 함유된 군들의 Mg 섭취량이 유의적으로 높았으며($p<0.001$), 이는 식이 내 식이섬유 함량에 따라 증가되었다. Mg 배설량 또한 control에 비해 실험군이 유의적으로 높았다($p<0.001$). 실험군은 많이 섭취한 만큼 많이 배설되었지만, 흡수율을 살펴보았을 때, control에 비해 식이 내 식이섬유 함량이 높아질수록 유의적으로 감소함을 알 수 있었다($p<0.001$). Gordon 등(1983)의 연구에서도

Table 5. Intake, excretion and absorption rate of Ca, Mg, P, Zn in rats fed different level of rice bran

Group	Control ¹⁾	RB10	RB20	RB30	F-value
Ca intake(mg/day)	74.47±1.17 ^{a2)}	76.11±1.16 ^a	85.75±2.56 ^b	86.63± 2.07 ^b	11.848***
Ca excretion(mg/day)	24.53±0.36 ^a	22.18±1.86 ^a	28.78±2.99 ^a	42.46± 4.75 ^b	8.914***
Ca absorption rate(%)	66.98±0.72 ^b	71.33±1.97 ^b	66.87±2.65 ^b	50.28± 7.71 ^a	7.156**
Mg intake(mg/day)	8.30±0.13 ^a	49.73±0.76 ^b	64.52±1.93 ^c	92.18± 2.20 ^d	534.748***
Mg excretion(mg/day)	2.41±0.06 ^a	15.33±1.02 ^b	34.79±2.73 ^c	66.06± 5.19 ^d	119.663***
Mg absorption rate(%)	71.25±0.93 ^c	69.61±1.54 ^c	46.55±2.91 ^b	27.39± 8.75 ^a	38.943***
P intake(mg/day)	47.00±0.74 ^{a2)}	103.8±1.59 ^b	173.16±5.17 ^c	232.50± 5.56 ^d	430.753***
P excretion(mg/day)	13.99±0.25 ^a	30.42±2.08 ^a	61.15±5.21 ^b	113.50±11.67 ^c	70.653***
P absorption rate(%)	70.22±0.43 ^b	71.12±1.51 ^b	65.04±2.11 ^b	50.37± 7.14 ^a	11.046***
Zn intake(mg/day)	0.70±0.01 ^{a2)}	0.71±0.01 ^a	0.88±0.03 ^b	0.95± 0.02 ^b	44.217***
Zn excretion(mg/day)	0.41±0.00 ^a	0.48±0.04 ^{ab}	0.56±0.04 ^b	0.88± 0.07 ^c	20.154***
Zn absorption rate(%)	40.87±1.09 ^b	33.96±4.24 ^b	36.86±3.53 ^b	7.20±11.46 ^a	8.392***

¹⁾ See Table 1,

²⁾ Values are mean± SE. Data were analyzed by one-way ANOVA. Values with different alphabets are significantly different among groups at the $p<0.05$ level by Tukey's multiple range test, * $p<0.05$, ** $p<0.01$, *** $p<0.001$.

cellulose의 수준이 높을 때, Mg의 흡수율이 감소되는 것으로 나타났다. 이는 장 내 통과시간의 감소로 흡수부위에서의 Mg 이온의 이용도가 떨어졌기 때문이라고 Behar(1974)는 설명했다. P의 흡수율은 RB30이 다른군에 비해 유의적으로 낮았고, 이는 Jang & Jung(1996)의 연구에서 백미와 밀가루의 식이섬유를 제공한 것보다 현미, 보리, 밀의 식이섬유를 섭취시킨 군의 변 내 배설량이 유의적으로 컸고, 흡수율이 유의적으로 낮았다는 결과와 일치한다. Zn의 경우 control과 RB10에 비해 RB20과 RB30이 유의적으로 섭취량이 많았고($p<0.001$), 배설량도 많았다. Zn의 흡수율에서는 RB30이 다른 군에 비해 유의적으로 낮았다($p<0.001$). 이는 Drews 등(1979)이 청소년에게 21일 동안 cellulose나 pectin이 첨가된 식이를 제공 시 불용성 식이섬유인 cellulose군은 Mg과 Zn의 변 중 배설량을 증가시켰다는 연구와 일치하였다. 따라서 무기질 흡수율이 저하되지 않기 위해서는 RB20 미만으로 섭취를 해야 할 것으로 생각된다.

요약 및 결론

본 연구는 미강 식이섬유의 비율을 달리하여 식이에 첨가하여 흰쥐에게 섭취시킨 후 혈청지질농도, 장 기능과 무기질 흡수율에 어떤 영향을 주는지 알아보려고 하였고, 결과는 다음과 같다.

미강에 함유되어 있는 불용성 식이섬유의 식이 함량에 따른 혈청지질농도에는 유의적인 차이가 나타나지 않았다. 변 내 지질 배설량에서는 RB30일 때 TC, TG, HDL-c의 배설량이 유의하게 증가하였다($p<0.001$).

장 기능 측면에서는 식이 내 미강 식이섬유 함량에 따라 변의 중량과 변 내 수분함량이 유의적으로 증가하였다. 장기에서는 위와 대장의 무게가 RB20 이상일 때 유의적으로 증가하였고($p<0.001$), 소장과 대장의 길이에는 영향이 없었으며, 유의적으로 장 통과시간이 빨라졌다($p<0.001$). 따라서 미강 식이섬유 섭취 시 장 내 체류시간을 단축시키며, 변의 중량과 변 내 수분함량은 증가시킨다는 결과를 얻었다.

또한 본 연구에서 RB30 일 때 Ca, P, Zn의 흡수율이 유의하게 감소하였고, Mg의 흡수율은 RB20 이상일 때 유의적으로 감소하였다($p<0.001$).

본 연구 결과에서 미강 식이섬유 10~30%를 첨가한 경우 혈청 지질농도에는 영향을 주지 않았으며, 변 내 지질 배설량은 30% 첨가 시 증가하였다. 배변기능 개선 효과는 RB20에서 관찰되었으며, RB30에서는 무기질의 흡수율이 유의적으로 낮아짐이 관찰되었다($p<0.001$).

RB20에서 장 통과시간이 빨라지고, 변 중량과 수분함량이 높아지고, 변으로의 콜레스테롤 배출에는 유의적인 결과를

나타내지 않았지만, RB30에서 무기질 흡수율이 저하된 결과를 토대로 흰쥐의 식이섭취량을 성인의 평균섭취량으로 환산하였을 경우, 성인 기준 1일 약 25~30 g을 섭취하였을 경우 유의한 효과를 많이 볼 것으로 예상된다.

참고문헌

- Begin F, Vachon C, Jones JD, Wood PJ, Savoie L. 1989. Effect of dietary fibers on glycemia and insulinemia and on gastrointestinal function in rats. *Canadian Journal of Physiology and Pharmacology* 67:1265-1271
- Behar J. 1974. Magnesium absorption by the rat ileum and colon. *American Journal of Physiology* 227:334-340
- Bligh EG, Dyer WJ. 1959. A rapid method of total lipid extraction and purification. *Canadian Journal of Physiology and Pharmacology* 37:911-917
- Bourquin LD, Titgemeyer EC, Fahey JG. 1993. 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. *Journal of Nutrition* 123:860-869
- Calvert R, Schneeman BO, Satchithanandam S, Cassidy MM, Vahouny GV. 1985. Dietary fiber and intestinal adaptation: Effects on intestinal and pancreatic digestive enzyme activities. *American Journal of Clinical Nutrition* 41:1249-1256
- Chen WJ, Anderson JW. 1986. Hypocholesterolemia: Effects of Soluble Fibre. pp.275-286. Plenum Press
- Cummings JH. 2000. Nutritional Management of Diseases of the Gut. pp.547-573. Human Nutrition and Dietetics
- Dintzis FR, Watson PR, Sandstead HH. 1985. Mineral contents of brans passed through the human GI tract. *American Journal of Clinical Nutrition* 41:901-908
- Drews LM, Kies C, Fox HM. 1979. Effect of dietary fiber on copper, zinc, and magnesium utilization by adolescent boys. *American Journal of Clinical Nutrition* 32:1893-1897
- Ebihara K, Schneeman BO. 1989. Interaction of bile acids, phospholipids, cholesterol and triglyceride with dietary fibers in the small intestine of rats. *Journal of Nutrition* 119:1100-1106
- Folch J, Lees M, Sloane-Stanley GH. 1957. A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues. *J Biol Chem* 226:497-509
- Gallaher D, Schneeman BO. 1986. Intestinal interaction of bile acids, phospholipids, dietary fibers, and cholestyramine. *Ame-*

- rican Journal of Physiology-Gastrointestinal and Liver Physiology* 250:420-426
- Gordon DT, Besch-Williford C, Ellersieck MR. 1983. The action of cellulose on the intestinal mucosa and element absorption by the rat. *Journal of Nutrition* 113:2545-2556
- Ha TY, Lee SH, Lee HY. 1997. The effect of various rice bran extracts on the lipid contents of serum and liver in rat fed with high fat diet. *Korean J Food Sci Technol* 29:178-182
- Jang YK, Jung KA. 1996. Effect of cereals dietary fiber on mineral absorption. *Korean Association of Human Ecology* 14:41-51
- Kahlon TS, Chow FI, Sayre RN, Betschart AA. 1992. Cholesterol-lowering in hamsters fed rice bran at various levels, defatted rice bran and rice bran oil. *J Nutr* 122:513-519
- Kang HJ, Song YS. 1997. Dietary fiber and cholesterol metabolism. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 26:358-369
- Kang HJ, Suh MJ, Song YS. 1994. Effect of sodium alginate and cellulose on fasting plasma lipoprotein composition and cholesterol metabolism in rats (II). *J Korean Soc Food Nutr* 23:887-893
- Kay RM, Truswell AS. 1977. Effect of citrus pectin on blood lipids and fecal steroid excretion in man. *American Journal of Clinical Nutrition* 30:171-175
- Kim YH, Lee SS. 1995. The effect of diet containing different fiber sources on the serum lipid level and bowel function in rats. *Kor J Nutr* 28:825-833
- Lafont H, Lairon D, Vigne JL, Chanussot F, Chabert C, Portugal H, Pauli AM, Crotte C, Hauton JC. 1985. Effect of wheat bran, pectin and cellulose on the secretion of bile lipids in rats. *Journal of Nutrition* 115:849-855
- Lee HJ, Kim YA, Lee HS. 2006. Annual changes in the estimated dietary fiber intake of Korean during 1991~2001. *The Korean Journal of Nutrition* 39:549-559
- Lee HS. 1997. Intake of dietary fiber of Korean. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 26:540-548
- Lee YN, Kim CI, Kim WS, Lee HJ, Jang YA, Lee HS, Kim AY. 2005. Development of Nutrient database- 5. Dietary fiber composition of foods. Korea Health Industry Development Institute
- McCance RA, Widdowson EM. 1942. Mineral metabolism of healthy adults on white and brown bread dietaries. *The Journal of Physiology* 101:44-85
- Mueller MA, Cleary MP, Kritchevsky D. 1983. Influence of dietary fiber on lipid metabolism in meal-fed rats. *Journal of Nutrition* 113:2229-2238
- Park YK, Kang YH. 2004. Effects of single cells of carrot and radish on the fecal excretion properties, mineral absorption rate and structure of small intestine and colon in rats. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 33:505-511
- Reeves PG, Nielsen FH, Fahey Jr GC. 1993. AIN-93 purified diets for laboratory rodents: final report of the American Institute of Nutrition ad hoc writing committee on the reformulation of the AIN-76A rodent diet. *Journal of Nutrition* 123:1939-1951
- Slavin JL. 2005. Dietary fiber and body weight. *Nutrition* 21:411-418
- Story JA. 1981. The role of dietary fiber in lipid metabolism. *Advances in Lipid Research* 18:229-246
- The Korean Nutrition Society 2010. Dietary Reference Intakes for Koreans
- Toma RB, Curtis DJ. 1986. Dietary fiber: Effect on mineral bioavailability. *Food Technology* 2:111-116
- Trock B, Lanza E, Greenwald P. 1990. Dietary fiber, vegetables, and colon cancer: Critical review and meta-analyses of the epidemiologic evidence. *Journal of the National Cancer Institute* 82:650-661
- Trowell H. 1976. Definition of dietary fiber and hypotheses that it is a protective factor in certain diseases. *American Journal of Clinical Nutrition* 29:417-427
- Van Dokkum W, Wesstra A, Schippers FA. 1982. Physiological effects of fibre-rich types of bread. 1. The effect of dietary fibre from bread on the mineral balance of young men. *The British Journal of Nutrition* 47:451-460
- Walker AR, Fox FW, Irving JT. 1948. Studies in human mineral metabolism: 1. The effect of bread rich in phytate phosphorus on the metabolism of certain mineral salts with special reference to calcium. *Biochemical Journal* 42:452-462
- Yang JL, Suh MJ, Song YS. 1996. Effects of dietary fibers on cholesterol metabolism in cholesterol-fed rats. *J Korean Soc Food Nutr* 25:392-398

접 수 : 2011년 10월 13일
 최종수정 : 2011년 12월 9일
 채 택 : 2011년 12월 26일