

Sodium Alginate와 Cellulose가 흰쥐의 소화생리에 미치는 영향

송영선*† · 양정례 · 서명자

*인제대학교 식품영양학과
부산대학교 식품영양학과

Effects of Sodium Alginate and Cellulose on Gastrointestinal Physiology in Rats

Young-Sun Song*†, Jeong-Lye Yang and Myung-Ja Suh

*Dept. of Food Science and Nutrition, Inje University, Kimhae 621-749, Korea
Dept. of Food Science and Nutrition, Pusan National University, Pusan 609-735, Korea

Abstract

To examine the effects of dietary fibers on gastrointestinal physiology, rats were fed with diets containing 10% sodium alginate, 10% cellulose, or fiber-free diets for 5 weeks. The results obtained were as follows: The chronic consumption of sodium alginate induced a significant decrease in body weight gain and feeding efficiency, but a significant increase in length and weight of small intestine. Fecal bulk and weight were higher in fiber-fed group than fiber-free group. The chronic consumption of dietary fiber induced a significant increase in fecal output, resulting in the decrease of apparent digestibility of protein and lipid. Pancreatic protease activity was lower in fiber-fed group than fiber-free group, whereas pancreatic amylase and lipase activities were not affected. Scanning electron microscopy(SEM) and light microscopy(LM) studies showed small intestine microvilli with numerous ridges and convolutions and goblet cells in fiber-fed groups. As a result of this study, it is concluded that the chronic consumption of dietary fiber decreases apparent digestibility of nutrients and induces morphological and biochemical adaptation of digestive organs.

Key words: dietary fiber, gastrointestinal physiology, rats, microstructure

서 론

식이섬유가 만성 퇴행성 질환의 예방에 관련되어 있다는 "fiber hypothesis" 이후 식이섬유에 대한 관심이 고조되고 있다. 우리나라는 국민 1인당 15~18g의 식이섬유를 섭취하고 있는 것으로 보고되고 있으며, 식이섬유의 주요 급원은 채소, 곡류, 과일로 각각 30.7%, 29.3%, 14.3%인 것으로 나타났다. 그외 콩류, 해조류로부터 얻고 있는 식이섬유 섭취량은 각각 8.8%, 6.6%였다(1). 해조류는 기원전 3,000년 경부터 이용된 것으로 추측되며 우리나라를 비롯한 중국, 일본 등 극동지역에서 널리 식용화해온 식품이다. 현재 우리나라에 알려진 것 중 식용가능한 것은 50여종에 불과하며 상용되는 것은 6~7종이다. 서구에서는 해조류가 식품산업·기술면에서 농후제나 겔화제, 기능성 생물소재의 원

료 정도로만 여겨지다가 해조류 건조중량의 40%를 차지하는 식이섬유가 우리들의 건강에 큰 영향을 미치고 신체의 항상성 유지와 다양한 생리적 효과가 인정되면서 학문분야 뿐만 아니라 식품으로서의 이용율을 높이 고자 하는 연구가 활발히 진행되고 있다(2-4).

식이섬유는 혈당과 콜레스테롤 수준을 저하시키는 효과가 있으며, 이는 소화생리와 밀접한 관계가 있다고 보고되고 있다(5). Poksay와 Schneeman(6)은 식이섬유의 섭취가 소장내의 소화효소분비와 소화기관의 변화를 야기하여 소화생리에 변화를 초래하였다고 하였으며, Ikegami 등(7)은 locust bean gum, gum xanthan, guar gum 같은 고점성의 다당류가 영양소의 소화 흡수를 방해하여 소화성을 저하시키고 소화기관의 과증식을 야기한다고 보고하였다. Pectin, wheat bran, cellulose 등은 변으로 지방과 단백질의 배설을 증가시킨다

*To whom all correspondence should be addressed

고 보고되고 있다(8-10). 그리고 식이섬유의 섭취가 소화관내에서의 transit time에 영향을 미치거나(7), 장 표면의 형태학적 변화나 goblet cell 증식에 영향을 미쳐 당질과 지질대사에 변화를 초래한다는 보고들도 있다(11,12). 본 연구에서는 미역, 다시마, 톳 같은 갈조류에 20~30%나 함유되어 있어 우리민족이 용이하게 섭취할 수 있는 식이섬유인 alginate와 채소류에 많은 불용성 식이섬유인 cellulose의 장기간 섭취가 흰쥐의 소화관 생리에 미치는 영향을 비교, 조사하여 식이섬유가 지질과 당질대사에 미치는 영향을 이해하는데 도움이 되고자 하였다.

재료 및 방법

실험동물의 사육 및 식이

실험동물은 체중 110 ± 10 g의 Sprague-Dawley계 수컷 흰쥐를 한국화학연구소(대전소재)에서 구입하여 1주간 고행사료로 적응시킨 다음, 무작위로 각군을 10마리씩 3종의 실험식이군으로 나누어 한마리씩 사육 철상상자속에 넣고 각 해당식이로 5주(35일간)간 사육하였다. 각군의 실험식은 무섬유식이, sodium alginate와 cellulose 10% 첨가식이로서 그 조성은 Table 1과 같이 조제하여 사용하였다. 실험식이 중 casein, mineral mixture, vitamin mixture, cellulose는 ICN계, sodium alginate는 Junsei제를 사용하였다. 전 사육기간 동안 실험식사와 물은 자유로이 섭취하게 하고, 사육실의 온도는 $20 \sim 25^{\circ}\text{C}$ 를 유지하였으며, 명암은 12시간 간격으로 점등 및 소등하였다.

식이섭취량, 체중증가량 및 식이효율

식이 섭취량은 1주에 2회, 체중은 전 실험기간을 통하여 매주 한번씩 측정하였다.

식이효율은 실험기간 동안의 체중 증가량을 식이 섭취량으로 나누어서 구하였다.

Table 1. Composition of the experimental diet (%)

Constituent	Fiber-free	Cellulose	Sodium alginate
Corn starch	65.8	55.8	55.8
Casein	20.0	20.0	20.0
Corn oil	10.0	10.0	10.0
AIN-76 mineral mixture	3.0	3.0	3.0
AIN-76 vitamin mixture	1.0	1.0	1.0
Choline bitartrate	0.2	0.2	0.2
Cellulose	—	10.0	—
Sodium alginate	—	—	10.0

각 장기와 분변의 수집 및 처리

실험기간 종료 후 사육한 흰쥐를 14시간 절식시켜 dry ice로 희생하였다. 간과 췌장은 적출하여 생리식염수로 씻고 여과지로 물기를 제거한 뒤 무게를 재고 분석시까지 -70°C 에서 냉동보관하였다. 위와 소장, 대장은 적출하여 무게와 길이를 측정하고 소장의 미세구조 관찰을 위해 회맹장 부위로 부터 10cm의 부위를 취하여 즉시 시료 처리하였으며 나머지는 성분분석에 사용하였다. 각 식이군별로 실험식이에 적응이 되었다고 생각되는 사육 33일째 부터 48시간 동안 흰쥐를 대사 cage에 한마리씩 넣어 소변과 대변을 분리 수집하였으며, 분변은 동결건조하여 마쇄한 것을 -20°C 로 냉동보관하였다가 분석에 사용하였다.

분변의 분석

각 식이군별로 사육이 시작된 후 33일째 부터 48시간 동안 분변을 매일 수집하여 무게와 부피를 측정하였다. 수집 후 즉시 측정된 무게를 분변의 wet weight로 하였고, 이것을 5일간 동결건조한 후 측정된 무게를 dry weight로 하였다. Wet weight에서 dry weight를 뺀 값을 변의 수분 함량으로 하였다. 분변의 부피는 10ml의 병에 분변을 넣고 물을 가득 채운 뒤 회수된 물의 부피를 10ml에서 뺀값으로 하였다. 조단백 함량은 동결건조하여 분말화한 변을 Kjeldahl법(13)으로 측정하였으며, 지방 함량은 modified Soxhlet기를 이용하여 3시간 동안 지질을 추출한 후, ether로 25ml이 되도록 정용한 것을 일부 취하여 비중법으로 계산하였다(13). 단백질과 지질의 소화율(apparent digestibility)은 아래의 식 (1)에 따라 구하였다.

Apparent digestibility(%)=

$$\frac{\text{Feed intake} - \text{Fecal excretion}}{\text{Feed intake}} \times 100 \quad (1)$$

췌장과 소장분석

췌장의 소화효소활성 측정은 췌장에 0.04M Trizma base buffer(pH 8.1) 10ml을 가하여 교반하고 원심분리한 후 일정량의 상등액을 취하여 분석용으로 하였다. Amylase 활성(14)과 Lipase 활성(15)은 효소법에 의한 정량용 kit시약(Sigma Kit. No. 575-3, No. 800-1, 2, 3)으로 측정하였다. 시료 ml당 췌장 lipase 활성은 아래의 식 (2)에 따라 계산하여 Sigma-Tietz Units로 나타내었다.

ml 0.05N NaOH needed to neutralize fatty acids formed = ml 0.05N NaOH used for TEST - ml 0.05N NaOH used for BLANK

Pancreas Lipase(Sigma-Tietz Units per ml sample) = [ml NaOH needed to neutralize fatty acids formed \times Normality factor of NaOH] / 0.05 (2)

Protease 활성은 기질로 사용한 hemoglobin을 분해하여 방출되는 방향족 아미노산의 흡광도를 bovine pancreas protease(Sigma P4630)를 이용한 표준곡선에 대입하여 구하였다(16). 췌장과 소장의 DNA 함량은 췌장의 핵산추출 시료 1ml에다 증류수 2ml과 디페닐아민 시약 5ml을 넣어 끓는 물 중탕으로 10분간 가열한 후 595nm에서 흡광도를 측정하여 계산하였으며, RNA 함량은 오르시놀 시약을 사용하여 분석하였다(17). 단백질 함량은 modified Lowry법으로 측정하였다(18).

Scanning Electron Microscopy(SEM)와 Light Microscopy(LM)에 의한 소장 미세구조 관찰

쥐의 소장 조직은 1~2mm³의 크기가 되게 잘라 5% glutaraldehyde용액(0.1M phosphate buffer, pH 7.4)에 넣어 4°C에서 12시간 동안 1차 고정하고, 1% osmium tetroxide로 실온에서 4시간 동안 후고정(post-fixation)하였다. 고정이 완료된 시료는 acetone으로 탈수한 뒤 SEM시료는 냉동건조하였고, LM시료는 polybed 812로 고정화하여 ultramicrotome으로 0.5~1.0 μ m 두께의 시편을 얻었다. LM시료는 관찰을 용이하게 하기 위해 1% toluidine blue용액으로 염색하였다. SEM시료

는 ion sputter(JEOL JSM-840A)를 이용하여 100~120 μ m의 두께로 gold coating한 후 JEOL 35 SEM으로 accelerating voltage 10kV에서 관찰하였다.

통계처리

실험의 분석결과는 means \pm SEM으로 표시하였으며, 각 식이군간의 유의성은 one-way ANOVA(analysis of variance)로 조사하여 유의성이 있는 군에 대해서는 Fisher's Least Significant Difference test로 검정하였다.

결과 및 고찰

체중증가량과 각 장기의 무게 및 길이

각 실험식이로 5주간 사육한 흰쥐의 체중 증가량과 체중 100g당 장기의 무게 및 길이는 Table 2와 같다. 각군의 체중 증가량은 무섬유식이군과 cellulose군에 비해 sodium alginate군에서 유의적으로 낮았으며($p < 0.05$), 체중 100g당 간장, 위장과 췌장 무게는 각군 간에 유의적인 차이가 없었다. 이는 난소화성식이섬유를 첨가했을 때 췌장효소의 분비가 자극을 받아 췌장의 과중식이 일어난다는 이전의 보고들(6,7,19)과는 상반된 결과였다. 반면, 체중 100g당 소장무게, 길이와 단위 길이당 무게는 무섬유식이군과 cellulose군에 비해 sodium alginate군에서 유의적으로 증가하였다($p < 0.05$). 본 실험에서 관찰된 sodium alginate군의 소장은 다른 식이군에 비해 외관상 두껍고 다소 투명한 외관을 보여주었다. 이는 sodium alginate 첨가식이 대장 및 소장의 길이를 현저히 증가시켰다는 Ikegami 등(7,19)과 pectin의 첨가가 흰쥐의 소장 길이와 muscle layer를 증가시켰다는 Brown 등(20)의 보고와 일치한

Table 2. Body weight gain, liver weight, pancreas weight, stomach weight, small intestine weight per 100g body weight and small intestine length, small intestine weight per centimeter, large intestine length in rats adapted to a fiber-free diet or diets containing cellulose and sodium alginate¹⁾

	Fiber-free	Cellulose	Sodium alginate
Body weight gain(g/day)	6.39 \pm 0.07 ^b	6.80 \pm 0.12 ^b	3.86 \pm 0.05 ^a
Liver weight(g/100g)	3.71 \pm 0.04	3.84 \pm 0.04	3.75 \pm 0.02
Stomach weight(g/100g)	1.49 \pm 0.04	1.63 \pm 0.05	1.84 \pm 0.05
Pancreas weight(g/100g)	0.25 \pm 0.02	0.18 \pm 0.01	0.21 \pm 0.01
Small intestine weight(g/100g)	2.21 \pm 0.03 ^a	2.28 \pm 0.04 ^a	4.22 \pm 0.07 ^b
Small intestine length(cm)	116.75 \pm 0.76 ^a	118.50 \pm 0.62 ^a	131.45 \pm 1.59 ^b
Small intestine weight per centimeter(g/cm)	0.056 \pm 1.01 ^a	0.060 \pm 0.77 ^a	0.070 \pm 1.08 ^b
Large intestine length(cm)	20.13 \pm 0.31	19.56 \pm 0.51	20.70 \pm 0.22

¹⁾ Values are means \pm SEM(n=10). All groups were sacrificed after 14hrs fasting. Data were analyzed by one-way ANOVA and Fisher's least significant difference test whether mean values were different between groups. Values in rows without common superscripts are significantly different($p < 0.05$)

다. 대장의 길이는 세군 간에 유의적인 차이가 없었다. 이는 streptozotocin으로 유도한 당뇨쥐에 5% cellulose, pectin, guar gum을 급여했을 때 대장의 길이가 모두 유의적으로 증가했다는 보고(21)와는 상반되는 결과이다. 점성의식이섬유는 장내용물의 점성 증가로 효소와 기질의 확산을 막고, 소화산물의 흡수세포로의 접근을 방해하여 소화율을 감소시킨다고 보고되어 왔다(6-8,22). 그러므로 본 실험의 결과에서 sodium alginate군의 소장 길이가 무게가 증가한 것은 점성이 강한 sodium alginate가 영양소의 소화 흡수를 방해하는데 따른 신체의 보상작용으로 보아지며, 식이섬유의 섭취가 간장, 위장과 췌장에는 큰 변화없이 소장에서 과증식을 유도했으므로 식이섬유는 소화 보다는 흡수에 더 큰 영향을 미친다고 사료된다.

분변의 부피, 무게, 수분함량, 단백질과 지질의 배설량 및 소화율

실험식이에 충분히 적응이 되었다고 생각되는 사육 33일째 부터 이틀간의 분변을 수집하여 분석한 결과는 Table 3과 같다. 수집한 변의 하루 평균 부피는 무섬유식이군이 0.29, sodium alginate군이 3.53, cellulose군이 5.23cm³으로 cellulose군에서 가장 높았다. 이러한 결과는 Fig. 1의 분변 사진에서 확인되며, 불용성인 cellulose는 수용성인 sodium alginate 보다 효과적인 fecal bulker임을 보여준다. 분변의 wet weight는 무섬유식이군에 비해 cellulose군과 sodium alginate군에서 높게 나타났으며(p<0.05), sodium alginate군이 cellulose군 보다 다소 높았다. 변의 dry weight는 무섬유식이군이 0.23g인데 비해 sodium alginate군이 1.25g, cellulose군이 1.89g으로 cellulose군이 가장 높은 값을 나타내었다(p<0.05). 이러한 경향은 불용성 식이섬유

인 cellulose가 장내에서 발효되지 않음으로써 대부분이 변으로 배설되었기 때문인 것으로 사료된다(23). 따라서 분변 중의 수분 함량은 sodium alginate군에서 가장 높았으며, sodium alginate군의 수분 함량은 무섬유식이군에 비해 무려 21배의 증가를 보였다. 이는 수용성식이섬유인 sodium alginate가 큰 보수성을 지님으로 인해 물분자가 식이섬유의 표면에 흡착되거나 또는 식이섬유의 틈새에 침입함으로써 식이섬유의 용적을 증가시키게 되고 그 결과로 분변의 부피와 무게를 증가시킨 것으로 보인다. SEM을 이용한 연구에서도 식이섬유의 섭취가 분변의 구조에 영향을 미친다는 것을 확인하였다(Fig. 2). 즉 무섬유식이군에서는 외관이 딱딱한 것처럼 분변에 matrix가 전혀 형성되지 않았고, cellulose군에서는 발효되지 않은 섬유들이 그대로 배설됨을 볼 수 있었으며 sodium alginate군에서는 빵반죽 같은 무정형의 matrix가 형성됨을 볼 수 있었는데, 이것은 소화되지 않은 sodium alginate가 대장에서 발효되면서 생긴 휘발성 성분에 의한 것으로 보인다. 식이섬유의 이러한 효과는 여러 연구자들에 의해 보고 되어졌는데, Spiller 등(24)은 사람에게 식이섬유원으로 wheat bran을 첨가한 빵을 섭취시킨 결과, 첨가한

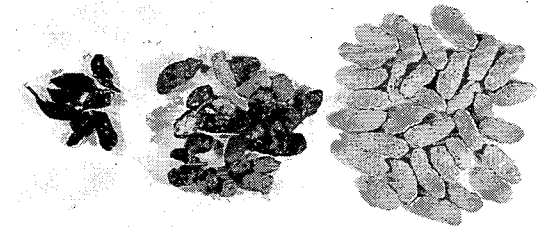


Fig. 1. Dried feces of rats fed fiber-free diet or diets containing 10% cellulose and 10% sodium alginate.

Table 3. Fecal volume, wet and dry weight, fecal moisture, protein, total fat content and apparent digestibility of lipid and protein in rats adapted to a fiber-free diet or diets containing cellulose and sodium alginate¹⁾

	Fiber-free	Cellulose	Sodium alginate
Fecal volume(cm ³ /day)	0.29±0.01 ^a	5.23±0.21 ^c	3.53±0.21 ^b
Fecal wet weight(g/day)	0.29±0.12 ^a	2.44±0.06 ^b	2.71±0.12 ^b
Fecal dry weight(g/day)	0.23±0.01 ^a	1.89±0.05 ^c	1.25±0.05 ^b
Fecal moisture content(g/day)	0.07±0.008 ^a	0.55±0.014 ^b	1.47±0.007 ^c
Fecal protein(g/day)	0.11±0.002 ^a	0.23±0.004 ^b	0.34±0.001 ^c
Fecal total fat(g/day)	0.040±0.003 ^a	0.329±0.002 ^b	0.259±0.010 ^b
Apparent digestibility of protein(%) ²⁾	98.27±0.04 ^b	94.94±0.15 ^a	93.78±0.27 ^a
Apparent digestibility of lipid(%) ²⁾	98.79±0.09 ^b	87.52±0.77 ^a	88.78±0.73 ^a

¹⁾Values are means±SEM(n=10). All groups were sacrificed after 14hrs fasting. Data were analyzed by one-way ANOVA and Fisher's least significant difference test whether mean values were different between groups. Values in rows without common superscripts are significantly different(p<0.05)

²⁾Apparent digestibility(%)=(Food intake-Fecal excretion/Food intake)×100

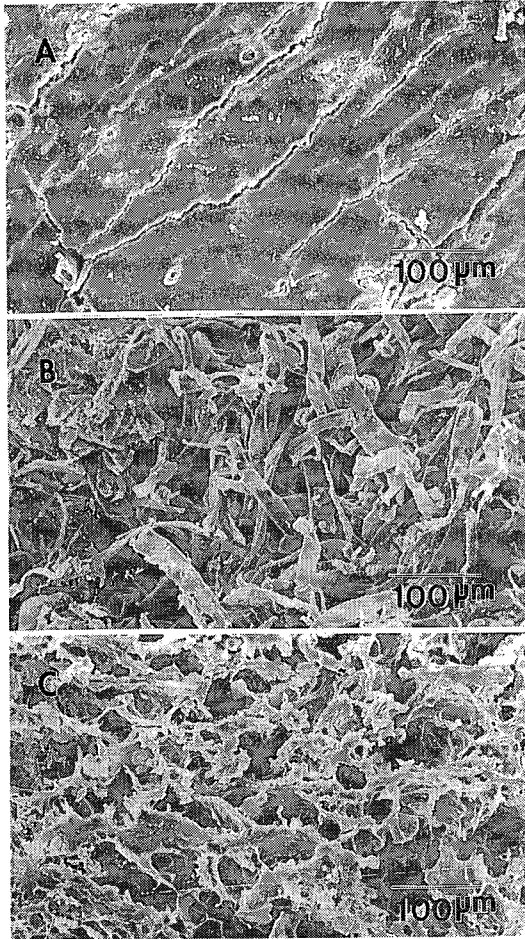


Fig. 2. Scanning electron micrographs of fecal matrix of rats fed fiber-free diet(A) or diets containing 10% cellulose(B) and 10% sodium alginate (C).

wheat bran의 양이 증가함에 비례하여 변의 무게 및 수분 또한 현저히 증가하였다고 보고하였다. Polydextrose(25), 해조류(26), 야채의 섬유소(23,27), cellulose(19), pectin과 guar gum(21) 등도 좋은 fecal bulker가 될 수 있다고 보고되었다.

분변 중 단백질 함량은 무섬유식이군에 비해 식이섬유군에서 유의적으로 높았으며($p < 0.05$), sodium alginate군에서 가장 높았다. 그리고 분변으로 배설되는 총 지질의 양은 무섬유식이군에 비해 식이섬유군에서 유의적으로 증가하였다($p < 0.05$). 따라서 단백질과 지질의 소화율은 무섬유식이군에 비해 식이섬유군에서 유의적으로 낮았으며($p < 0.05$), 식이섬유의 섭취는 단백질보다 지질의 소화율을 현저하게 저하시켰다. 이러한

결과는 Ikegami 등(19)이 5% sodium alginate와 pectin을, Schneeman과 Gallaher(10)가 20% cellulose를 급여한 흰쥐의 소장에서 소화가 되지 않은 성분들로 인하여 장내용물이 증가되면서 변으로의 단백질과 지방 배설도 증가한다고 보고한 연구결과와 일치한다. 또한 Nyman 등(23)도 채소를 급여한 흰쥐에서 분변 중의 건고물 함량이 증가되었다고 보고하였으며, 이것은 발효되지 않은 식이섬유 뿐만 아니라 소화가 덜된 단백질, 지방, 무기질의 배설이 증가된 때문이라고 하였다. 이상의 결과로써 sodium alginate와 cellulose의 급여는 소화관 생리에 영향을 미쳐 정상작용과 변비를 예방하고 치료하는데 효과적인 것이며 지질 등의 영양소 흡수를 방해하여 분변으로의 배설을 증가시키므로 당뇨, 고지혈증과 같은 특정 질병의 예방에 도움이 될 것으로 사료된다.

체장의 소화효소활성과 단백질 및 DNA, RNA 함량

Sodium alginate와 cellulose 식이에 적용된 흰쥐의 체장 소화효소 활성과 단백질 및 DNA, RNA의 함량은 Table 4와 같다. Amylase와 lipase의 활성은 세군 간에 유의적인 차이가 없었으나 protease 활성은 무섬유식이군과 cellulose군에 비해 sodium alginate군에서 유의적으로 낮았다($p < 0.05$). 체장의 단백질 함량은 무섬유식이군에 비해 식이섬유 첨가군에서 유의적으로 높게 나타났으며($p < 0.05$), DNA와 RNA의 함량은 세군 간에 유의적인 차이가 없었으나 식이섬유 첨가군에서 다소 높게 나타났다. 식이섬유 급여가 체장의 효소 활성에 미치는 영향에 관하여는 여러 상반된 보고가 있다. Sheard와 Schneeman(28)은 5% wheat bran에 적용된 흰쥐에서 체장 효소 활성이 증가되었으며 Schneeman 등(9)과 Stock-Damge 등(8)은 wheat bran이 체장의 효소분비를 자극한다고 보고했다. Ikegami 등(19)은 5% sodium alginate 섭취는 체장 amylase, protease 활성에 영향을 미치지 않았고, 5% cellulose는 protease 활성만을 감소시켰다고 보고했으며, 20% cellulose 섭취는 체장의 효소분비를 변화시키지 않고 장내에서 효소활성에 영향을 미친다고 보고되었다(10). 또한 *in vitro* 실험에서 식이섬유는 체장 소화효소 활성을 저해한다는 보고도 있다(29). Schneeman과 Gallaher(30)는 소화효소에 미치는 식이섬유의 영향에 대한 연구 결과가 연구자들 사이에 다소 차이가 있는 것은 실험동물의 연령, 식이 중 단백질의 양, 식이 중 섬유소의 양, 희생당한 동물의 식이섭취 정도, 또는 효소활성을 표시하는 단위 등이 실험마다 차이가 있기 때문이라고 지적하였다. 또한 본 실험의 결과에서 식이섬유 섭취군의 단

Table 4. Pancreatic amylase, lipase and protease activity, protein, DNA and RNA content in rats adapted to a fiber-free diet or diets containing cellulose and sodium alginate¹⁾

	Fiber-free	Cellulose	Sodium alginate
Amylase activity (units/total pancreas) ²⁾	1.17±0.07×10 ³	0.98±0.05×10 ³	1.06±0.05×10 ³
Lipase activity (units/total pancreas) ³⁾	123.50±2.70	109.20±2.80	104.70±3.80
Protease activity (units/total pancreas) ⁴⁾	141.20±4.80 ^b	112.30±6.50 ^b	70.10±1.90 ^a
Protein(mg/total pancreas)	659.30±27.16 ^a	998.40±18.68 ^b	904.90±20.79 ^b
DNA(μg/total pancreas)	15.05±0.80	17.16±0.95	19.54±2.05
RNA(μg/total pancreas)	0.042±0.0005	0.054±0.0020	0.056±0.0017

¹⁾Values are mean±SEM(n=10). All groups were sacrificed after 14hrs of fasting. Data were analyzed by one-way ANOVA and Fisher's least significant difference test whether mean values were different between groups. Values in rows without common superscripts are significantly different(p<0.05)

²⁾1 Unit of amylase is 1μmole NADH liberated during 1 minutes of incubation with 1ml Sigma Diagnostics Amylase reagent

³⁾1 Sigma-Tietz Units of lipase is exactly equal to the ml of 0.05N NaOH required to neutralize the fatty acids liberated during 3 hrs of incubation with 3ml lipase substrate. They are calculated by subtracting the volume of NaOH(exact normality) used for the BLANK from the volume of NaOH(exact normality) used for the TEST

⁴⁾1 Unit of protease is equal to the absorbance of aromatic amino acids liberated by 1unit of bovine pancreas protease at 280nm during 10 minutes of incubation with 1ml hemoglobin substrate

백질과 DNA, RNA 함량이 증가한 사실은 장기간의식이섬유 섭취가 체장의 소화효소 합성과 호르몬 등 생리조절 물질의 합성에 다소 영향을 미친 것으로 보인다.

SEM과 LM에 의한 소장 미세구조 관찰 및 소장 분석

SEM과 LM을 이용한 연구에서 식이섬유의 공급이 소장의 흡수세포를 형태적으로 변화시킨다는 것을 확인하였다(Fig. 3, 4). 무섬유식이군의 소장용모는 주름이 없는 길고 납작한 모양을 하고 있었고, cellulose군의 소장용모는 미약한 주름을 약간 가지고 있었으며, sodium alginate군의 것은 많은 잔주름을 가지고 있었다. 또한, 식이섬유군의 소장용모는 무섬유식이군에 비해 상대적으로 넓은 잎모양(broad leaf-shaped)을 하고 있었다. 식이섬유 섭취에 따른 소장의 구조 변화는 식이섬유의 섭취에 대한 그 기관의 적응현상으로 볼 수 있다. 체식을 위주로 하는 사람들은 육식을 많이 하는 사람들에 비해 소장의 길이가 길고 용모의 표면적이 넓다고 보고되고 있으며(31), 동물실험에서도 식이섬유의 이러한 효과가 확인되었다(32). 식이섬유의 이러한 효과는 점막의 DNA, RNA, 단백질 함량과 관계가 있다고 알려져 있는데(11), 본 실험에서 조사된 소장의 단백질과 RNA 함량은 sodium alginate군에서 유의적으로 높았으며, DNA 함량은 cellulose군에서 가

Table 5. Small intestinal protein, DNA and RNA content in rats adapted to a fiber-free diet or diets containing cellulose and sodium alginate

	Fiber-free	Cellulose	Sodium alginate
Protein(mg/g)	298.28±2.51 ^a	283.93±2.71 ^a	391.14±2.91 ^b
DNA(μg/g)	25.32±0.54 ^a	37.38±1.31 ^b	23.35±0.36 ^a
RNA(μg/g)	0.19±0.01 ^a	0.26±0.01 ^a	0.44±0.05 ^b

¹⁾Values are means±SEM(n=10). All groups were sacrificed after 14hrs of fasting. Data were analyzed by one-way ANOVA and Fisher's least significant difference test whether mean values were different between groups. Values in rows without common superscripts are significantly different(p<0.05)

장 높았다(Table 5).

광학 현미경에 의한 소장 용모의 관찰에서, 식이섬유군의 용모에서는 돌림주름과 goblet cell이 잘 발달되어 있었으나 무섬유식이군에서는 드물게 나타났다. 이 결과는 wheat bran의 공급이 goblet cell의 비율을 증가시켰다는 보고(9)와 일치한다. Goblet cell은 미분화된 crypt cell로부터 만들어지며 점액성 물질인 mucin을 분비한다. Mucin은 영양소의 흡수속도를 제한하는 diffusion barrier로 작용하는 unstirred water layer의 주된 성분이다. 따라서 식이섬유군에서의 단백질과 지질 소화율 저하는 부분적으로 goblet cell에서 분비하는 mucin의 증가에 기인한 것으로 보인다.

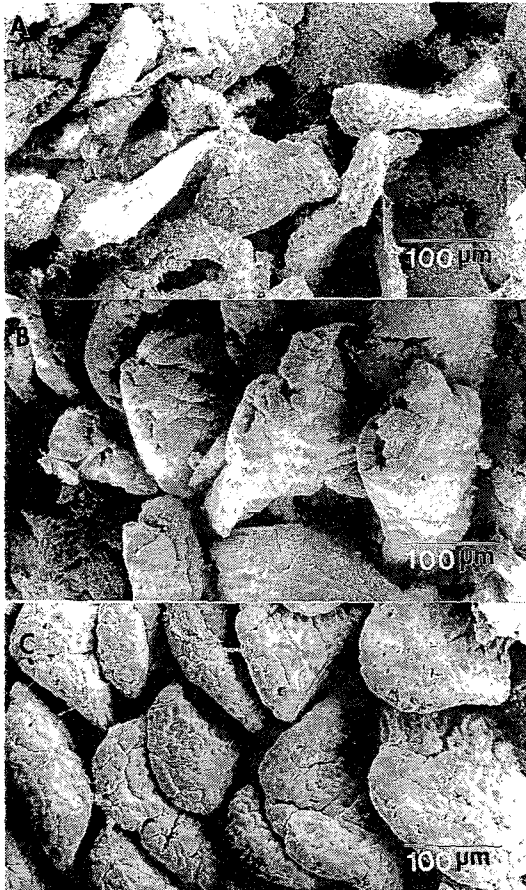


Fig. 3. Scanning electron micrographs of small intestinal villi from rats fed fiber-free diet(A) or diets containing 10% cellulose(B) and 10% sodium alginate(C). Villi with finger-shaped were seen in fiber-free control, whereas villi with leap-shaped were seen in fiber-fed groups.

요 약

10% sodium alginate와 cellulose의 장기간 섭취가 흰쥐(Sprague-Dawley, 수컷)의 소화생리에 미치는 영향은 다음과 같았다. 체중 증가량은 무섬유식이군과 cellulose군에 비해 sodium alginate군에서 유의적으로 낮았다($p < 0.05$). 소장 무게와 길이 및 단위길이당 무게는 무섬유식이군과 cellulose군에 비해 sodium alginate군에서 유의적으로 높았다($p < 0.05$). 분변의 부피 및 무게는 무섬유식이군에 비해 식이섬유 첨가군에서 높게 나타났으며($p < 0.05$), 건조 중량은 cellulose군에서 가장 높았다. 분변으로 배설된 단백질 및 지질의

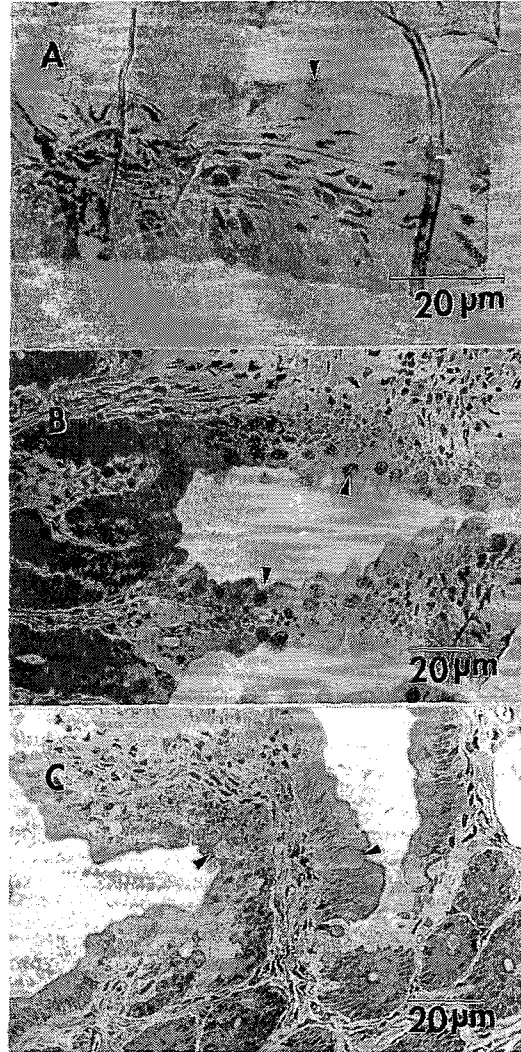


Fig. 4. Light micrographs of intestinal villi from rats fed fiber-free diet(A) or diets containing 10% cellulose(B) and 10% sodium alginate(C). Small intestinal villi with numerous ridges, convolutions and goblet cells were seen in fiber-fed groups. Arrows are goblet cells.

함량은 무섬유식이군에 비해 식이섬유 첨가군에서 유의적으로 높았으며($p < 0.05$), 따라서 단백질과 지질의 소화율은 무섬유식이군에 비해 cellulose군과 sodium alginate군에서 유의적으로 낮았다($p < 0.05$). 췌장의 amylase와 lipase 활성은 세군간에 유의적인 차이가 없었으나 무섬유식이군에 비해 식이섬유군에서 다소 낮은 경향을 보였으며, 췌장의 protease 활성은 무섬유식이군과 cellulose군에 비해 sodium alginate군에서 유의

적으로 낮았다($p < 0.05$). 췌장의 DNA 및 RNA 함량은 식이군간에 유의적인 차이가 없었으나 췌장 단백질 함량은 무섬유식이군에 비해 식이섬유군에서 높게 나타났다($p < 0.05$). SEM과 LM을 이용한 연구에서 식이섬유의 섭취는 주름을 가진 넓은 잎사귀모양의 음모세포와 goblet cell의 증식을 유도하는 것을 확인하였다. 이상의 결과를 종합해 볼 때, 식이섬유의 섭취는 지방과 단백질의 흡수를 억제하여 영양소의 소화율을 떨어뜨리며 소화기관의 형태적·생화학적 변화를 유도함을 알 수 있었다.

감사의 글

본 논문은 농림수산부에서 시행한 '95 농림수산 특정 연구과제 연구비의 지원에 의하여 이루어진 '기초 연구' 결과의 일부이며, 이에 깊이 감사드립니다.

문헌

- 이혜성, 이연경, Chen, S. C. : 대학생의 식이섬유 섭취에 관한 연구. *한국영양학회지*, **24**, 534(1991)
- 황재관, 김종태, 홍석인, 김철진 : 압출성형에 의한 식물세포벽의 수용화. *한국영양학회지*, **23**, 358(1994)
- Mabeau, S. and Fleurence, J. : Seaweed in food products : biochemical and nutritional aspects. *Trends in Food Science & Technology*, **41**, 103(1993)
- 최면, 김종대, 주진순 : Polydextrose와 hydrolysed guar gum이 지방량을 달리한 식이를 섭취한 정상백서의 지질대사에 미치는 영향. *한국영양학회지*, **25**, 211(1992)
- Trowell, H. C., Southgate, D. A. T., Wolever, T. M. S., Leeds, A. R., Gassul, M. A. and Jenkins, D. J. A. : Dietary fiber redefined(letter). *Lancet*, **1**, 967(1976)
- Poksay, K. S. and Schneeman, B. O. : Pancreatic and intestinal response to dietary guar gum in rats. *J. Nutr.*, **113**, 1544(1983)
- Ikegami, S., Tsuchihashi, F., Harada, H., Tsuchihashi, N., Nishide, E. and Innami, S. : Effect of viscous indigestible polysaccharides on pancreatic-biliary secretion and digestive organs in rats. *J. Nutr.*, **120**, 353(1990)
- Stock-Damge, C., Bouchet, P., Dentinger, A., Aprahamian, M. and Grenier, J. F. : Effect of dietary fiber supplementation on the secretory function of the exocrine pancreas in the dog. *Am. J. Clin. Nutr.*, **38**, 843(1983)
- Schneeman, B. O., Richter, B. D. and Jacobs, L. R. : Response to dietary wheat bran in the exocrine pancreas and intestine of rats. *J. Nutr.*, **112**, 283(1982)
- Schneeman, B. O. and Gallaher, D. : Changes in small intestinal digestive enzyme activity and bile acids with dietary cellulose in rats. *J. Nutr.*, **110**, 584(1980)
- Vahouny, G. V. and Cassidy, M. M. : Dietary fiber and intestinal adaptation. In "Dietary fiber" Vahouny, G. V. and Kritchevsky, D.(eds.), Plenum Press, New York, p.181(1994)
- Stock-Damge, C., Aprahamian, M., Raul, F., Humbert, W. and Bouchet, P. : Effects wheat bran on the exocrine pancreas and the small intestinal mucosa in the dog. *J. Nutr.*, **114**, 1076(1984)
- 주현규, 조현기, 박중균, 조규성, 채수규, 마상조 : 식품 분석법. 유림문화사, 서울(1992)
- Junge, W. : Lipases. In "Methods of enzymatic analysis" Bergmeyer, J. and Graßl, M.(eds.), 3rd ed., VCH, Weinheim, p.15(1986)
- Pierre, K. J. and Tung, K-K. : α -Amylase. In "Methods of enzymatic analysis" Bergmeyer, J. and Graßl, M. (eds.), 3rd ed., VCH, Weinheim, p.146(1986)
- Fritz, H. : Proteinases and their inhibitors. In "Methods of enzymatic analysis" Bergmeyer, J. and Graßl, M.(eds.), 3rd ed., VCH, Weinheim, p.73(1986)
- 한국생화학회 교재 편찬위원회 편저 : 실험생화학. 탐구당, 서울, p.90(1984)
- Peterson, G. L. : Simplification of protein assay method of Lowry et al.-which is more generally applicable. *Anal. Biochem.*, **83**, 346(1971)
- Ikegami, S., Tsuchihashi, N., Nagayama, S., Harada, H., Nishide, E. and Innami, S. : Effect of indigestible polysaccharides on function of digestion and absorption in rats. *J. Nutr.*, **3**, 163(1983)
- Brown, R. C., Kelleher, J. and Losocosky, M. S. : The effect of pectin on the structure and function of the rat small intestine. *Br. J. Nutr.*, **42**, 357(1979)
- 박수현, 이연경, 이혜성. : 식이섬유 첨가식이 streptozotocin-유도 당뇨쥐의 장기능과 지질 및 당질 대사에 미치는 영향. *한국영양학회지*, **27**, 311(1994)
- Forman, L. P. and Schneeman, B. O. : Effects of dietary pectin and fat on the small intestinal contents and exocrine pancreas of rats. *J. Nutr.*, **110**, 1992(1980)
- Nyman, M., Schweizer, T. F., Tyren, S., Reimann, S. and Asp, N. : Fermentation of vegetable fiber in the intestinal tract of rats and effects on fecal bulking and bile acid excretion. *J. Nutr.*, **120**, 459(1990)
- Spiller, G. A., Story, J. A., Wong, L. G., Nunes, J. D., Alton, M., Petro, M. S., Furumoto, E. J., Whittman, J. H. and Scala, J. : Effect of increasing levels of hard wheat fiber on fecal weight, minerals and steroids and gastrointestinal transit time in healthy young women. *J. Nutr.*, **116**, 778(1986)
- Oku, T. : New viewpoint on physiological property of dietary fiber, and the status of dietary fiber intake in Japan. *J. Kor. Soc. Food Nutr.*, **25**, 77(1992)
- 손홍수, 김현숙, 주진순 : 해조류 섭취가 성인 남자의 Na, Ca, K 흡수와 지질대사에 미치는 영향. *한국영양학회지*, **21**, 471(1992)
- Vahouny, G. V., Khalafi, R., Satchithanandam, S., Watkins, D. W., Story, J. A., Cassidy, M. M. and Kritchevsky, D. : Dietary fiber supplementation and fecal bile acids, neutral steroids and divalent cations in rats. *J. Nutr.*, **117**, 2009(1987)
- Sheard, N. F. and Schneeman, B. O. : Wheat bran's effect on digestive enzyme activity and bile acid levels in rats. *J. Food Sci.*, **45**, 1645(1980)
- Schneeman, B. O. : Effect of plant fiber on lipase, tryp-

- sin, chymotrypsin. *J. Food Sci.*, **43**, 634(1978)
30. Schneeman, B. O. and Gallaher, D. : Effects of dietary fiber on digestive enzymes. In "*CRC Handbook of dietary fiber in human nutrition*" Spiller, G. A.(ed.), CRC Press, Boca Raton, p.305(1986)
31. Tasman-Jones, C. : Effects of dietary fiber on the structure and function of the small intestine. In "*Medical aspects of dietary fiber*" Spiller, G. A. and Kay, R. M.(eds.), Plenum Press, New York, p.67(1980)
32. Chacko, C. J. G., Paulson, K. A., Mathan, V. I. and Bahu, S. J. : The villus architecture of the small intestine in the tropics. A necroscopy study. *J. Pathol.*, **98**, 146(1969)

(1996년 3월 27일 접수)