

다시마 (*Laminaria japonicus*) Alginate의 가열가수분해에 따른 물리·화학적 및 생물학적 특성에 관한 연구

5. 랫드의 체중, 장기, 췌장과 소장의 성분 및 소장용모의 미세구조에 미치는 저분자 Alginate의 영향

김육용 · 조영제*

주식회사 MSC 연구소, *부경대학교 식품공학과

Studies on Physicochemical and Biological Properties of Depolymerized Alginate from Sea tangle, *Laminaria japonicus* by Thermal Decomposition

5. Effects of Depolymerized Alginate on Body Weight, Organ, Pancreatic and Small Intestinal Composition, and Small Intestinal Microvilli Structure in Rats

Yuck-Yong KIM and Young-Je CHO*

Research Laboratory, MSC Co. Ltd., Yangsan 626-840, Korea

*Faculty of Science and Biotechnology, Food Science and Technology Major, Pukyong National Univ., Pusan 608-737, Korea

To examine functionality of depolymerized alginate obtained by hydrolysis of alginate through a heating process at 121°C on gastrointestinal physiology, the changes of body weight, organ weight and length, pancreatic and small intestinal composition, and light microscopy (LM) observation of small intestinal microvilli's appearances were checked in the rats. Rats were fed diets containing 1%, 5%, and 10% of each depolymerized alginate (HAG-10, HAG-50, HAG-100) and alginate for 35 days. The feeding of 5 and 10% HAG-50 and 10% alginate diets for 35 days significantly depressed the body weight gain, but increased the length and weight of the small intestine and cecum in rats ($p < 0.01$). Pancreatic protease activity was decreased significantly ($p < 0.01$) in all groups except 1% of HAG-10 diets, but the protein content increased in all groups. However, pancreatic amylase and lipase activities as well as DNA and RNA content were not significantly different. The small intestinal protein and the DNA content were the highest in diets fed 5% HAG-50; RNA content increased significantly ($p < 0.01$) in all groups except in the fiber-free diets. Light microscopy (LM) observation showed growth of small intestinal microvilli with numerous ridges; the multiplication of the convolution goblet cells in rats fed with diets containing 5% of HAG-50 were more than others group.

Key words: Depolymerized alginate, Gastrointestinal physiology, Organ, Small intestinal microvilli, Pancreatic, Cecum, DNA, RNA, Goblet cell

서론

알긴산을 섭취하면 체중의 증가가 억제되며 (Kuda et al., 1992; Weaver et al., 1996; Takahashi et al., 1994a, b), 이는 식이섬유의 종류, 점도, pH 및 흡수성 등에 따라 달라지게 된다 (Ikegami et al., 1990). 식이섬유의 섭취에 의한 체중 증가율의 저하는 점성을 가지는 식이섬유가 체내에서 영양분들과 흡수·결합하여 소화되지 않고 체외로 빠르게 배출되기 때문이다 (Kuda et al., 1992; Takahashi et al., 1994a). Tsuji et al. (1968) 및 Harmuth-Hoene and Schwerdtfeger (1979)가 랫드에 알긴산을 섭취시켰을 때, 사료 섭취량의 감소로 체중 증가량이 적어지고 단백질과 지방 소화율의 감소로 분변량이 증가되며, 특히 가수분해한 alginate에서 단백질의 이용효율이 현저히 감소된다고 보고하였다. 일반적으로 식이섬유를 섭취하면 췌장의 소화효소활성이 저하하며 (Poksay and Schneeman, 1983; Ikegami et al., 1990), 소장의 길이와 무게가 증가하고 용모의 표면적이 넓어지며, 소장 점막중 mucin을 분비하여 영양원의 흡수속도를 제한하는 goblet cell이 발달되는데

(Cummings and Hill, 1976; Ikegami et al., 1990), 소화효소활성의 정도와 소장점막의 형태 (Schneeman et al., 1982)는 식이섬유의 종류와 특성에 따라 달라진다고 하였다.

따라서, 본 연구에서는 가열 가수분해법으로 제조한 저분자 alginate를 랫드에 장기간 섭취시켰을 때, 체중, 각종 장기의 무게와 길이, 췌장과 소장의 소화효소활성과 단백질, DNA 및 RNA 함량을 측정하고 소장용모의 미세구조의 변화를 관찰하여, 저분자 alginate가 랫드의 소화생리의 특성에 미치는 영향을 검토하였다.

실험 재료 및 방법

1. 실험 재료

실험에 사용한 원료, 다시마 alginate 및 저분자 alginate (HAG-10, HAG-50, HAG-100)는 전보 (Kim and Cho, 2000)와 같이, HAG-10은 평균분자량 약 10,000, HAG-50은 평균분자량 약 50,000 그리고 HAG-100은 평균분자량 100,000의 저분자 alginate를 가열가수분해법으로 제조하여 시료로 사용하였다.

2. 실험 방법

1) 실험동물, 사육조건, 실험군의 구성 및 식이조성

실험동물과 사육조건은 전보 (Kim et al., 2000)와 같으며, 실험군의 구성은 무작위로 7마리씩 13종의 실험식이군으로 나누어 3~4마리씩 사육상자 (polycarbonate, 220 W×320 L×170 Hmm, 명진기계)에 넣어 식별가능라벨을 부착후 해당식이로 35일 (5주)간 사육하였다. 각 군의 실험식은 무첨가구, HAG-10 (1%, 5%, 10%), HAG-50 (1%, 5%, 10%), HAG-100 (1%, 5%, 10%), alginate (1%, 5%, 10%)의 총 13종으로, 그 식이조성은 corn starch +HAG-10, HAG-50, HAG-100 및 alginate의 첨가비율; 33.0%, sucrose; 32.8%, casein; 20.0%, corn oil; 8.0%, AIN-76 mineral mixture; 3.0%, AIN-76 vitamin mixture; 1.0%, tyrosin; 1.0%, tryptophane; 1.0%, choline bitartrate; 0.2%로 설정하였다. 실험식이 중 AIN-76 mineral mixture와 AIN-76 vitamin mixture는 ICN제 (U.S.A.)를 사용하였으며, 전 사육기간동안 실험식이와 음수는 자유롭게 섭취하도록 하였다.

2) 랫드의 체중과 장기의 무게와 길이의 측정

체중의 측정은 전 사육기간을 통하여 7일마다 한번씩 측정하였다. 그리고 장기의 수집, 처리 및 무게와 길이의 측정은 사육 최종일 (35일)에 14시간 절식시킨 후, 에테르 마취하에 처사시켜 간장, 위, 췌장, 소장, 대장 및 맹장을 적출하여 생리식염수로 씻고 여과지 (watman No. 5)로 물기를 제거한 뒤 무게와 길이를 측정하고 -70°C에 동결보관하면서 분석시료로 사용하였다.

3) 췌장과 소장의 소화효소활성과 단백질 및 DNA, RNA 함량

췌장의 소화효소활성측정은 췌장에 0.04 M Trizma base buffer (pH 8.1) 10 mL를 가하여 교반하고 3,000 rpm에서 10분간 원심분리하고 상층액을 취하여 분석용 시료로 하였다. Amylase와 lipase 활성은 Fuwa (1954)의 방법으로 효소법에 의한 측정용 kit (Sigma, U.S.A.)으로 측정하였다. Protease 활성은 Anson (1938)의 방법으로 기질로 사용한 hemoglobin을 분해하여 방출되는 방향족 아미노산의 흡광도를 bovine pancreas protease (Sigma, U.S.A.)를 이용한 표준곡선에 대입하여 구하였다. 췌장과 소장의 DNA와 RNA 함량은 Munro and Fleck (1966)의 방법으로 측정하였다. 즉, 시료 1 mL에 증류수 2 mL와 디페닐아민시약 5 mL를 넣어 끓는 물에 10분간 증탕한 후 595 nm에서 흡광도를 측정하여 계산하였으며, RNA 함량은 오르시놀시약을 사용하여 분석하였고 단백질함량은 Lowry법으로 측정하였다.

4) 소장운동의 미세구조 관찰

사육 35일의 최종일에는 14시간 절식시킨 후, 에테르 마취하에 처사시켜 소장 운동의 미세구조를 관찰하기 위해 회맹장 부위로부터 10 cm의 부위를 취하여 1~2 mm³의 크기가 되게 잘라 5.0% glutaraldehyde 용액 (0.1 M phosphate buffer, pH 7.4)에 넣어 4°C에서 12시간 동안 1차 고정하고, 1.0% osmiumtetroxide로 실온에서 4시간동안 후고정 (post-fixation)하였다. 고정이 완료된 시료는 acetone으로 탈수한 뒤, 파라핀절편을 만들어 ultramicrotome으로 0.5~1.0 μm 두께의 절편을 얻었다. 관찰이 용이하도록 hematoxylin & eosin으로 염색을 한 후 사진촬영장치가 부착된 광학현미경 (JENAMED2, CARLZEISS, Germany)으로 100배에

서 검경하였다.

5) 통계처리

분석결과는 SAS (Statistical Analysis System) 통계 패키지로 처리하여 평균 ± 표준편차로 나타내었으며, 각 기간별 유의성검증은 Student t-test로 하였다.

결과 및 고찰

1. 체 중

HAG-10, HAG-50, HAG-100 및 alginate 섭취에 의한 체중의 변화는 Fig. 1에 나타내었다. 무첨가구에서 투여전의 체중은 177.35 ± 20.25 g이었는데 35일 후에 245.71 ± 19.37 g으로 급격히 증가하였으나, 5%와 10% HAG-50 및 10% alginate에서는 현저히 저하되었으며, 다음으로 1% HAG-50, HAG-100 그리고 1%와 5% alginate에서 체중의 증가가 어느 정도 억제되었으나, HAG-10에서는 효과가 없었다. 이상과 같이, HAG-50, HAG-100 및 alginate의 식이가 체중의 증가를 억제시킨 결과는, Kuda et al. (1992)과 Ikegami et al. (1990)이 랫드에 미역에서 추출한 알긴산을 섭취시켰을 때 체중의 증가속도가 현저히 저하하였다는 보고와 일치하였다. 체중증가의 감소 원인은 식이섭유가 체내에서 다량의 수분 및

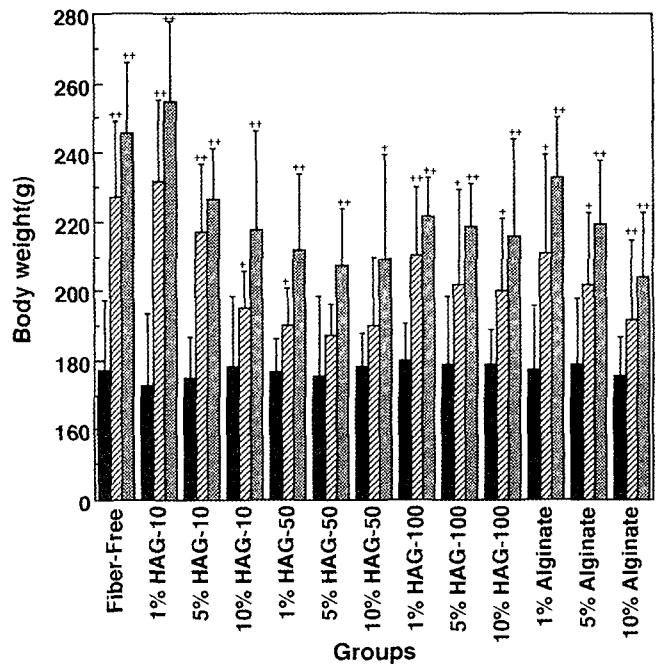


Fig. 1. Effects of diets containing HAG-10, HAG-50, HAG-100 and alginate on body weight of rats. All data were calculated by Mean ± S.D. for 7 individuals. +, ++: Significantly different in student t-test from the before intake (+p<0.05, ++p<0.01). ■ Before intake, ▨ During intake for 21 days, ▩ During intake for 35 days

영양분들과 결합하여 소화되지 않고 체외로 빠르게 배출되기 때문이라는 보고 (Kuda et al., 1992; Takahashi et al., 1994a, b)와 같이, 저분자 alginate가 단백질과 지방 등의 영양분의 배출을 촉진하였기 때문에 체중의 증가가 억제된 것으로 사료된다.

2. 장기의 무게와 길이

사육 35일의 최종일에 14시간 절식시킨 후, 에테르마취하에 치사시켜 간장, 위, 췌장, 소장, 대장 및 맹장을 적출하여 생리식염수로 씻고 여과지로 물기를 제거한 뒤 무게와 길이를 측정하여 Table 1에 나타내었다. 간장의 무게는 유의적인 차이가 없었고, 위의 무게와 길이는 10% HAG-10, 1%, 5% 및 10% HAG-50, 1%와 5% HAG-100 그리고 5% alginate에서 증가하는 경향을 보였으며, 췌장의 무게와 길이는 모두 약간 증가하였다. 소장의 무게와 길이는 1%와 5% HAG-10를 제외하고 모두 증가하였으나 대장은 전반적으로 감소하였으며, 맹장은 10% HAG-10, 1%, 5% 및 10% HAG-50 그리고 1%와 5% HAG-100에서 증가하였다. 이상과 같이, 췌장의 무게와 길이는 모두 약간 증가하였는데, 이러한 결과는 난소화성 식이섬유를 첨가했을 때, 췌장의 증식이 촉진된다는 보고 (Poksay and Schneeman, 1983; Ikegami et al., 1990)들과 일치하였다. 소장의 무게와 길이는 1%와 5% HAG-10를 제외하고 모두 증가하였는데, 이는 Younoszai et al. (1978)와 Brown et al. (1979)이 식이섬유를 투여하면 소장의 무게와 길이가 증가한다고 보고와 Ikegami et al. (1990)와 Song et al. (1996)도 alginate의 섭취는 대장 및 소장의 길이가 현저히 증가한다는 보고와 일치하였으며, 소장 조직의 비대는 소장중의 DNA 함량의 증가에서 기인되는 것이 아니고 단백질 함량의 증가 때문이라고 하였다 (Brown et al., 1979). 맹장은 10% HAG-10, HAG-50 그

리고 1%와 5% HAG-100에서 증가하였는데, 이는 난소화성 텍스트린과 펙틴 (Wang et al., 1996), 수용성 글루코만난 (Konishi et al., 1984) 및 alginate (Ikegami et al., 1990; Song et al., 1996)를 랫드에 섭취시켰을 때 맹장의 무게와 길이가 증가한다는 보고들과 일치하였다. 장기의 무게와 길이의 변화는 아주 복잡하게 이루어지므로 정확한 규명이 불가능하며 본 실험에서 저분자 alginate의 섭취에 의한 전반적인 장기의 증가는 식이섬유로서의 alginate를 소화하기 위하여 조직의 연동운동이 증가되고 상피세포의 자극이 촉진되어서 결국 장기의 무게와 길이가 증가되었다고 생각된다.

3. 췌장의 소화효소활성과 단백질, DNA 및 RNA 함량

췌장의 소화효소활성과 단백질 및 DNA, RNA 함량의 변화를 Table 2에 나타내었는데, 췌장의 amylase 활성은 유의적인 차이를 보이지 않았고, lipase 활성은 HAG-50에서 저하하였으며 protease 활성은 1% HAG-10만 제외하고 유의적 ($p < 0.01$)으로 저하하였다. 췌장의 단백질 함량은 모두 유의적 ($p < 0.01$)으로 증가하였으나, DNA와 RNA 함량은 유의적인 차이는 없었다. 이와 같이, 식이섬유의 섭취가 췌장의 효소활성에 미치는 영향에 관하여 Poksay and Schneeman (1983)이 구아검을 랫드에 섭취하였을 때 amylase 활성은 거의 변화가 없는 반면에, lipase와 protease 활성은 유의적으로 저하하였다는 보고와 일치하였고, Ikegami et al. (1990)은 난소화성 다당류들을 섭취시켰을 때, 췌장의 단백질 함량은 모두 증가하였고 특히 alginate와 구아검에서 현저한 증가를 나타내었다는 보고와 일치하는 경향을 나타내었다. 췌장의 소화효소활성의 저하와 체중의 감소와는 서로 비례하는 상관관계를 나타내었는데, 이는 저분자 alginate가 영양분과 소화효소의 확산속도를 지연시키고 피막을 형성하여 효소의 작용기를 봉쇄하므로서

Table 1. Effects of diets containing HAG-10, HAG-50, HAG-100 and alginate on organ weight and length of rats

	Organ weight (g/100 g B.W.)						Organ weight (cm/100 g B.W.)		
	Liver	Stomach	Pancreas	Small intestine	Large intestine	Cecum	Small intestine	Large intestine	
Before intake	3.68±0.15	1.38±0.43	0.19±0.01	2.40±0.45	0.44±0.09	0.75±0.06	40.16±4.23	5.18±0.78	
Control	3.73±0.43	1.35±0.24	0.18±0.03	2.20±0.18	0.45±0.06	0.66±0.08*	38.96±3.88	5.47±0.32	
HAG-10	1%	3.81±0.29	1.41±0.09	0.19±0.09	2.34±0.87	0.44±0.06	0.78±0.03	40.08±2.78	4.93±0.88
	5%	3.83±0.78	1.67±0.21**	0.20±0.04	3.18±0.57**	0.42±0.07	0.76±0.09	41.77±4.67	4.97±0.72
	10%	3.81±0.99	1.79±0.72	0.25±0.08 ⁺	3.85±0.21**	0.41±0.05	0.92±0.11**	45.71±4.67	5.28±0.71
HAG-50	1%	3.74±0.33	1.78±0.11**	0.23±0.06	3.57±0.77**	0.39±0.01	0.99±0.10**	44.56±1.99*	5.49±0.86
	5%	3.85±0.55	1.85±0.43**	0.27±0.03**	3.98±0.17**	0.37±0.09	1.01±0.08**	45.64±2.38**	5.28±0.90
	10%	3.85±0.25	1.87±0.33**	0.28±0.07**	4.16±0.32**	0.36±0.09	1.21±0.04**	45.77±2.22**	4.93±0.17
HAG-100	1%	3.81±0.59	1.86±0.09**	0.25±0.06 ⁺	4.02±0.87**	0.42±0.04	1.01±0.14**	42.37±3.31	4.88±0.48
	5%	3.74±0.66	1.85±0.11**	0.27±0.07**	4.15±0.32**	0.44±0.08	0.92±0.07**	44.27±5.44	5.34±0.19
	10%	3.83±0.91	1.63±0.72	0.21±0.03	4.47±0.21**	0.41±0.05	0.89±0.11**	45.76±1.91**	5.26±0.75
Alginate	1%	3.77±0.73	1.78±0.11**	0.19±0.06	3.82±0.77**	0.39±0.07	0.78±0.05	46.24±1.93**	5.18±0.39
	5%	3.75±0.77	1.80±0.18**	0.23±0.03**	4.53±0.31**	0.38±0.03	0.82±0.07	46.93±3.49**	5.04±0.09
	10%	3.73±0.25	1.78±0.18**	0.20±0.06	4.77±0.10**	0.43±0.06	0.79±0.07	47.55±2.72**	5.47±0.38

All datas were calculated by mean ± S.D. for 7 individuals of g or cm per 100 g body weight of rats.
⁺, ⁺⁺: Significantly different in student *t*-test from the before intake(⁺ $p < 0.05$, ⁺⁺ $p < 0.01$).

Table 2. Effects of diets containing HAG-10, HAG-50, HAG-100 and alginate on pancreatic amylase, lipase, protease activity, protein, DNA, RNA content and small intestinal protein, DNA, RNA content in rats

	Pancreatic amylase activity ($\times 10^3$ U/total pancreas) ¹	Pancreatic lipase activity ($\times 10^3$ U/total pancreas) ²	Pancreatic protease activity ($\times 10^3$ U/total pancreas) ³	Pancreatic protein content (\times mg/total pancreas)	Pancreatic DNA content ($\times \mu$ g/total pancreas)	Pancreatic RNA content ($\times 10^{-3}$ μ g/total pancreas)	Small intestinal protein content (mg/g)	Small intestinal DNA content (μ g/g)	Small intestinal RNA content (μ g/g)	
Before intake	1.15 \pm 0.05 ⁺	121.33 \pm 12.88	141.66 \pm 14.88	700.88 \pm 24.37	15.98 \pm 0.82	44.16 \pm 2.19	306.27 \pm 27.77	27.65 \pm 3.78	0.21 \pm 0.06	
Control	1.21 \pm 0.05 ⁺	134.67 \pm 18.21	149.77 \pm 11.11	673.88 \pm 18.99 ⁺	14.92 \pm 2.11	41.74 \pm 6.28	276.92 \pm 34.21 ⁺⁺	24.22 \pm 1.19 ⁺	0.18 \pm 0.05	
HAG-10	1%	0.99 \pm 0.08 ⁺⁺	124.78 \pm 9.01	149.91 \pm 15.58	781.183 \pm 2.29 ⁺⁺	15.28 \pm 3.99	48.35 \pm 3.91 ⁺	314.49 \pm 29.90	28.56 \pm 5.22	0.31 \pm 0.04 ⁺
	5%	0.98 \pm 0.03 ⁺	105.61 \pm 11.28	111.17 \pm 11.92	840.29 \pm 32.29 ⁺⁺	17.33 \pm 4.01	50.87 \pm 6.22 ⁺⁺	330.67 \pm 29.98 ⁺⁺	35.45 \pm 2.73 ⁺⁺	0.35 \pm 0.06 ⁺⁺
	10%	1.06 \pm 0.08 ⁺	109.34 \pm 12.09 ⁺	89.26 \pm 7.72 ⁺⁺	900.12 \pm 18.88 ⁺⁺	18.65 \pm 2.29 ⁺⁺	53.29 \pm 2.77 ⁺⁺	398.33 \pm 34.28 ⁺⁺	35.45 \pm 2.73 ⁺⁺	0.35 \pm 0.06 ⁺⁺
HAG-50	1%	1.12 \pm 0.13 ⁺⁺	108.44 \pm 10.01 ⁺	87.12 \pm 10.09 ⁺⁺	971.19 \pm 28.91 ⁺⁺	19.42 \pm 3.10 ⁺⁺	54.48 \pm 1.90 ⁺⁺	397.76 \pm 40.03 ⁺⁺	36.55 \pm 2.11 ⁺⁺	0.38 \pm 0.08 ⁺⁺
	5%	1.03 \pm 0.10 ⁺⁺	104.77 \pm 13.02 ⁺	71.66 \pm 7.28 ⁺⁺	989.23 \pm 22.22 ⁺⁺	20.06 \pm 3.30 ⁺⁺	57.82 \pm 3.10 ⁺⁺	407.32 \pm 29.90 ⁺⁺	40.61 \pm 4.00 ⁺⁺	0.32 \pm 0.07 ⁺⁺
	10%	1.02 \pm 0.07 ⁺⁺	103.22 \pm 10.92 ⁺⁺	76.19 \pm 9.00 ⁺⁺	993.29 \pm 19.03 ⁺⁺	19.93 \pm 2.88 ⁺⁺	56.39 \pm 3.29 ⁺⁺	401.84 \pm 32.67 ⁺⁺	37.18 \pm 2.11 ⁺⁺	0.36 \pm 0.03 ⁺⁺
HAG-100	1%	0.97 \pm 0.09 ⁺⁺	114.68 \pm 21.19	77.67 \pm 5.99 ⁺⁺	980.23 \pm 47.38 ⁺⁺	18.92 \pm 2.99 ⁺	55.54 \pm 5.29 ⁺⁺	399.38 \pm 45.59 ⁺⁺	38.77 \pm 2.87 ⁺⁺	0.34 \pm 0.09 ⁺⁺
	5%	1.03 \pm 0.17	116.72 \pm 20.07	71.51 \pm 7.28 ⁺⁺	970.92 \pm 41.19 ⁺⁺	19.18 \pm 6.32 ⁺⁺	54.72 \pm 2.81 ⁺⁺	396.27 \pm 21.19 ⁺⁺	37.65 \pm 3.09 ⁺⁺	0.37 \pm 0.10 ⁺⁺
	10%	1.04 \pm 0.11 ⁺	108.88 \pm 16.78 ⁺	79.43 \pm 8.90 ⁺⁺	810.82 \pm 33.39 ⁺⁺	19.30 \pm 3.07 ⁺⁺	54.57 \pm 3.28 ⁺⁺	388.76 \pm 31.20 ⁺⁺	34.36 \pm 5.02 ⁺⁺	0.38 \pm 0.09 ⁺⁺
Alginate	1%	1.11 \pm 0.14	109.56 \pm 18.67 ⁺	84.38 \pm 12.22 ⁺⁺	820.38 \pm 41.29 ⁺⁺	19.44 \pm 5.59	52.29 \pm 4.38 ⁺⁺	396.38 \pm 42.11 ⁺⁺	30.34 \pm 4.21 ⁺	0.41 \pm 0.11 ⁺⁺
	5%	1.03 \pm 0.08 ⁺⁺	111.27 \pm 21.45	92.38 \pm 11.99 ⁺⁺	780.43 \pm 32.19 ⁺⁺	19.92 \pm 4.82 ⁺	48.82 \pm 2.99 ⁺⁺	374.98 \pm 42.99 ⁺⁺	29.54 \pm 3.90	0.45 \pm 0.09 ⁺⁺
	10%	0.99 \pm 0.09 ⁺⁺	109.38 \pm 23.28 ⁺	88.27 \pm 13.89 ⁺⁺	776.93 \pm 29.99 ⁺⁺	20.15 \pm 5.38 ⁺	46.67 \pm 4.44	326.28 \pm 29.09 ⁺⁺	25.82 \pm 3.91	0.47 \pm 0.10 ⁺⁺

All datas were calculated by mean \pm S.D. for 7 individuals.

⁺, ⁺⁺: Significantly different in student *t*-test from the before intake (⁺*p*<0.05, ⁺⁺*p*<0.01).

1 : 1 Unit of amylase is 1 μ mol NADH liberated during 1 min of incubation with 1 mL Sigma Diagnostics amylase reagent.

2 : 1 Sigma-Tietz Unit of lipase is exactly equal to the mL of 0.05 N NaOH required to neutralize the fatty acids liberated during 3 hrs of incubation with 3 mL lipase substrate. The calculated by subtracting the volumn of NaOH (exact normality) used for the blank from the volume of NaOH (exact normality) used for the test.

3 : 1 Unit of protease is equal to the absorbance of aromatic amino acids liberated by 1 unit of bovine pancrease at 280 nm during 10 min of incubation with 1 mL hemoalobin substrate.

소화되지 않고 체외로 빠르게 배출되기 때문에 체중의 증가가 억제된 것으로 사료된다 (Kuda et al., 1992; Takahashi et al., 1994a, b). 또한, 췌장의 단백질이 모두 유의적으로 증가하였고, DNA와 RNA는 약간 증가하는 경향을 나타내었는데, 이는 장기간의 식이 섬유 섭취가 췌장의 소화효소합성과 호르몬 등의 생리대사 조절 물질의 합성에 다소 영향을 미쳤기 때문으로 생각된다.

4. 소장의 단백질, DNA 및 RNA 함량

소장의 단백질 및 DNA, RNA 함량의 변화는 Table 2와 같다. 소장의 단백질 함량은 1% HAG-10만 제외하고 유의적 (*p*<0.01)으로 증가하여 5%와 10% HAG-50에서 가장 높은 함량을 나타내었으며, 소장 DNA 함량은 5% HAG-50에서 유의적 (*p*<0.01)으로 증가하여 가장 높은 함량을 보였으며, 소장 RNA 함량은 전반적으로 증가되는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 체식을 위주로 하는 사람들은 육식을 많이하는 사람들에 비해 소장의 길이가 길고 용모의 표면적이 넓으며, 소장 점막의 단백질 함량, DNA 및 RNA 함량과 비례관계가 있다는 보고들 (Brown et al., 1979)과 유사한 경향을 나타내었다.

5. 소장용모의 미세구조

광학현미경에 의한 소장용모 (intestinal microvilli)의 미세구조의 변화를 Fig. 2에 나타내었는데, 무첨가구와 5% HAG-10에서의

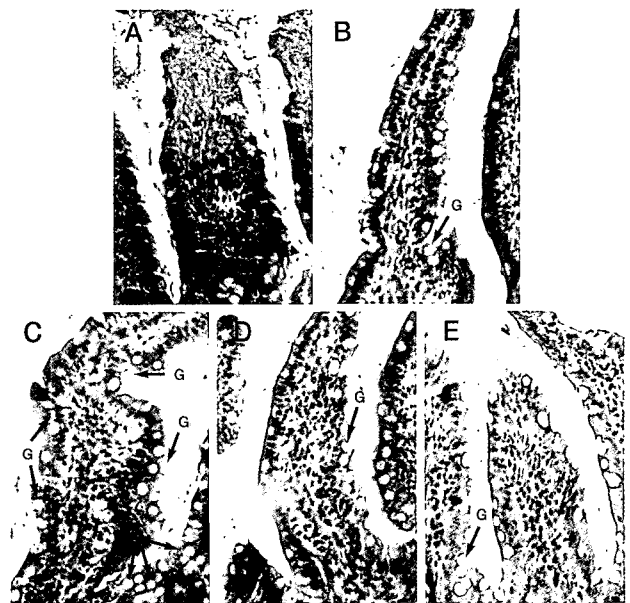


Fig. 2. Changes of morphology of intestinal villi prepared from rats fed fiber-free diet (A) or diets containing 5% HAG-10 (B), HAG-50 (C), HAG-100 (D) and alginate (E) by light micrographs ($\times 100$). G: Goblet cell.

소장용모는 주름이 거의 없고 가늘고 납작한 형태로 용모손상에 의한 세포의 파괴가 진행되어 있었으며 goblet cell이 드물게 나타났고 전체적으로 미약한 용모의 구조를 가지고 있었다. 5% HAG-100와 alginate에서는 주름을 가진 넓은 잎사귀 모양의 용모 세포와 goblet cell이 잘 발달되어 있었고 전체적으로 완전한 용모의 구조를 가지고 있었으며, 특히 5% HAG-50에서는 주름을 가진 넓은 잎사귀모양의 용모세포와 돌림주름이 현저히 발달되어 있었고 goblet cell의 증식이 현저히 진행되어 있었으며, 용모의 표면적이 넓은 구조로 이루어져 있었다. HAG-50, HAG-100 및 alginate의 섭취는 돌림주름과 goblet cell이 잘 발달되어 있었고 표면적이 넓은 완전한 구조를 이루고 있었는데, 이러한 결과는, wheat bran의 공급이 goblet cell의 비율을 증가시켰다는 보고 (Cummins et al., 1976)와 일치하였고,식이섬유의 섭취에 의한 소장의 구조 변화는식이섬유 섭취에 대한 그 기관의 적응현상으로 볼 수 있으며, 채식을 위주로 하는 사람들은 육식을 많이 하는 사람들에 비해 소장의 길이가 길고 용모의 표면적이 넓어진다는 보고 (Paulini et al., 1987)와 랫드에 식이섬유를 섭취시키면 용모의 표면적이 넓어지고 goblet cell이 발달된다는 보고 (Cummins and Hill, 1976)들은 본 실험의 결과를 잘 설명하고 있다.

이와 같이, 소장용모의 발달과 goblet cell의 분화에 미치는 식이섬유의 영향에 대한 보고들을 미루어 볼 때, 본 실험의 HAG-50은 수용성의 식이섬유원으로써 용모세포의 손상을 방지하고 goblet cell의 성장 및 분화에 에너지원으로 이용되는 단쇄지방산의 생성을 촉진하였기 때문에 주름을 가진 넓은 잎사귀 모양의 용모 세포와 돌림주름 및 goblet cell이 현저히 발달되었다고 생각되며 또한, 유해물질 (cholesterol, glucose 및 카드뮴)의 체외배출률이 HAG-50에서 현저히 증가한 전보 (Kim et al., 2000)와 체중의 증가가 억제된 결과는 소장용모의 goblet cell에서 분비되는 mucin의 증가와 밀접한 관계가 있는 것으로 추측되며, 분비된 mucin과 섭취한 HAG-50은 소장내에 점성을 증가시켜 소화효소 및 영양분의 확산을 방지하고 피막을 형성하여 효소의 작용기를 봉쇄하므로써 소화되지 않고 체외로 영양분이 빠르게 배출되기 때문에 체중의 증가가 억제된 것으로 사료된다 (Kuda et al., 1992; Takahashi et al., 1994a, b).

요 약

Alginate를 가열에 의해 저분자화하여 저분자화에 따른 소화생리 특성을 검토하기 위해, 랫드에 저분자 alginate인 HAG-10, HAG-50, HAG-100 및 alginate를 장기간 섭취시켰을 때, 체중, 각종 장기의 무게와 길이 및 췌장과 소장의 소화효소활성과 단백질, DNA 및 RNA 함량을 측정하였고 소장용모의 미세구조의 변화를 관찰하였다.

랫드의 체중은 5%와 10% HAG-50 및 10% alginate에서 체중의 증가가 유의적으로 현저히 억제되었다. 간장의 무게는 유의적인 차이가 없었고, 위의 무게와 길이는 10% HAG-10, 1%, 5% 및 10% HAG-50, 1%와 5% HAG-100 그리고 5% alginate에서 증가하는 경향을 보였으며, 췌장의 무게와 길이는 모두 약간 증가하

였다. 소장과 맹장의 무게와 길이는 1%와 5% HAG-10을 제외하고 모두 증가하였으나 대장의 무게와 길이는 전반적으로 감소하였다. 췌장의 amylase 활성은 유의적인 차이는 보이지 않았고, lipase 활성은 HAG-50에서 약간 저하하였으며, protease 활성은 1% HAG-10만 제외하고 유의적으로 저하하였다. 췌장의 단백질 함량은 모두 증가하였으나, DNA와 RNA 함량은 유의적인 차이가 없었다. 소장의 단백질 함량은 5%와 10% HAG-50에서 그리고 DNA는 5% HAG-50에서 가장 높은 함량을 보였으며, RNA는 전반적으로 증가하였다. 소장용모의 미세구조는 HAG-50에서 주름이 많고 표면적이 넓은 잎사귀 모양의 용모세포와 돌림주름 및 goblet cell이 현저히 발달되어 있었다.

참 고 문 헌

Anson, M.L. 1938. The estimation of pepsin, trypsin, papain, and cathepsin with hemoglobin. *J. Gen. Physiol.*, 22, 79~89.

Brown, R.C., J. Kelloher and M.S. Losowsky. 1979. The effect of pectin on the structure and function of the small intestine. *Br. J. Nutr.*, 12, 357.

Cummings, J.H. and M.J. Hill. 1976. Changes in fecal composition and colonic function due to cereal fiber. *Am. J. Clin. Nutr.*, 29, 1468~1473.

Fuwa, H. 1954. A new method for microdetermination of amylase activity by the use of amylose as the substrate. *J. Biochem.*, 41, 583~603.

Harmuth-Hoene, A.E. and E. Schwerdtfeger. 1979. Effect of indigestible polysaccharides on protein digestibility and nitrogen retention in growing rats. *Nutr. Metab.*, 23, 399~407.

Ikegami, S., F. Tsuchihashi, H. Harada, N. Tsuchihashi, E. Nishide and S. Innami. 1990. Effect of viscous indigestible polysaccharide on pancreatic-biliary secretion and digestive organs in rats. *J. Nutr.*, 120, 353~360.

Kim, Y.Y. and Y.J. Cho. 2000. Studies on physicochemical and biological properties of depolymerized alginate from sea tangle, *Laminaria japonicus* by thermal decomposition. 1. Changes in viscosity, average molecular weight and chemical structure of depolymerized alginate. *J. Korean Fish. Soc.*, 33, 325~330 (in Korean).

Kim, Y.Y., K.W. Lee, G.B. Kim and Y.J. Cho. 2000. Studies on physicochemical and biological properties of depolymerized alginate from sea tangle, *Laminaria japonicus* by thermal decomposition. 3. Excretion effects of cholesterol, glucose and cadmium (Cd). *J. Korean Fish. Soc.*, 33, 393~398 (in Korean).

Konishi, F., T. Oku and N. Hosoya. 1984. Hypertrophic effect of unavailable carbohydrate on cecum and colon in rat. *J. Nutr. Sci. Vitaminol.*, 30, 373~379.

Kuda, T., T. Fujii, K. Saheki, A. Hasegawa and Okuzumi. 1992. Effects of brown algae on faecal flora of rats. *Nippon Nogeikagaku Kaishi*, 58, 307~314.

Munro, H.N. and A. Fleck. 1966. Recent developments in the measurement of nucleic acids in biological materials: A supplementary review. *Analyst*, 91, 78~88.

Paulini, I., T. Mehta and A. Harpis. 1987. Intestinal structural changes in African Green Monkeys after long term psyllium or cellulose feeding. *J. Nutr.*, 29, 1468.

- Poksay, K.S. and B.O. Schneeman. 1983. Pancreatic and intestinal response to dietary guar gum in rats. *J. Nutr.*, 113, 1544~1549.
- Schneeman, B.O., B.D. Richter and L.R. Jacobs. 1982. Response to dietary wheat bran in the exocrine pancreas and intestine of rats. *J. Nutr.*, 112, 283~286.
- Song, Y.S., J.L. Yang and M.J. Suh. 1996. Effects of sodium alginate and cellulose on gastrointestinal physiology in rats. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.*, 25, 551~559 (in Korean).
- Takahashi, H., S.I. Yang, M. Kim and T. Yamamoto. 1994a. Protein and energy utilization of growing rats fed on the diets containing intact or partially hydrolyzed guar gum. *Com. Biochem. Physiol.*, 197A, 255~260.
- Takahashi, H., S.I. Yang, Y. Ueda, M. Kim and T. Yamamoto. 1994b. Influence of intact and partially hydrolyzed guar gum on iron utilization in rats fed on iron-deficient diets. *Com. Biochem. Physiol.*, 109A, 75~82.
- Tsuji, K., S. Oshima, E. Matsuzaki, A. Nakamura, S. Innami and T. Tezuka. 1968. Effect of polysaccharides on cholesterol metabolism (Part 1). Studies on konnyaku powder, sodium alginate and pectin. *Jap. J. Nutr.*, 26, 113~122 (in Japanese).
- Wang, S.G., E.Y. Yoon and Y.H. Lim. 1996. Effects of indigestible dextrin on bowel function and serum lipid in rats. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.*, 25, 560~567 (in Korean).
- Weaver, G.A., G.T. Tangel, J.A. Krause, H.D. Alpern, P.L. Jenkins, M. M. Parfitt and J.J. Stragand. 1996. Dietary guar gum alters colonic microbial fermentation in azoxymethane-treated rats. *J. Nutr.*, 126, 1979~1991.
- Younoszai, M.K., M. Adedoyin and J. Ranshaw. 1978. Dietary components and gastrointestinal growth in rats. *J. Nutr.*, 108, 341.

2000년 11월 9일 접수

2001년 1월 10일 수리