

식이섬유 식이에 적응된 흰쥐에서 고지방식이 식후 혈장지질농도와 소화효소활성에 미치는 영향

양정례 · 서명자 · 송영선*

부산대학교 식품영양학과, 김치연구소

*인제대학교 식품영양학과

Postprandial Plasma Lipid Levels and Digestive Enzyme Activities After High Fat Meal in Rats Adapted to Dietary Fiber

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

Dept. of Food Science and Nutrition and Kimchi Research Institute, Pusan National University, Pusan 609-735, Korea

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

Abstract

Rats were adapted to diets containing 10% cellulose, 10% sodium alginate and fiber-free diet for 5 weeks. Following a 14 hour fasting, rats were fed 5g of a test meal that provided 50% energy from fat, then killed at 4 hour postprandially. Plasma and lipoprotein fraction-cholesterol levels were lower in sodium alginate-fed animals than in rats fed other diets. Plasma TG did not differ among diet treatments. Increase in TG content of HDL fraction occurred in dietary fiber groups. Intestinal apolipoprotein B level and lipase activity were lower in sodium alginate-fed group than in other dietary groups. These results suggest that chronic consumption of sodium alginate affects plasma cholesterol level as in the case of fiber supplementation, but is less likely to modify the acute plasma TG response to high fat meal than if a fiber supplement is incorporated into the meal.

Key words: dietary fiber, postprandial, digestive enzymes, plasma lipids, rats

서론

식이섬유는 체내 효소에 의해서 가수분해 되지않는 동식물성 다당류와 lignin으로 정의된다(1). 식이섬유는 불용성인 cellulose, hemicellulose, lignin과 수용성인 pectin, gums, 해조 다당류로 나뉘며, 식이섬유의 화학구조 및 물리적 성질에 따라 동물의 소화기관내에서의 생리 효과도 다르게 나타난다(2). Trowell 등(1)은 수용성 식이섬유가 불용성 식이섬유에 비해 gelling effect와 water binding capacity 및 viscosity가 더 크다고 하였으며, 불용성 식이섬유는 bulking effect가 커서 대변의 배설량을 증가시킨다고 한다(3,4). 이와같은 물리적인 특성으로 인해 식이섬유는 지방 및 단백질, 무기질 등 여러 영양소의 체내 소화·흡수에 영향을 미친다고 알려져 있다.

식이섬유 특히 수용성 식이섬유는 콜레스테롤을 비롯한 지질대사에 영향을 미친다고 보고되고 있다(5-12).

수용성 식이섬유가 콜레스테롤 농도를 낮추는 가능한 기작으로는 첫째, 장내에서의 지질흡수 저해(13,14), 둘째, 소장에서의 담즙산 재흡수 저해(15-19), 셋째, 대장에서의 식이섬유 발효 부산물인 short-chain fatty acids에 의한 콜레스테롤 합성능 감소(20) 등이 제안되고 있다. 또한 Poksay와 Schneeman(21)은 식이섬유의 섭취가 소장내의 소화효소 분비와 소화기관의 변화를 야기하여 소화생리에 변화를 초래한다고 하였으며, 식이섬유의 섭취가 소화관내에서의 transit time에 영향을 미쳐 영양소의 소화·흡수에 영향을 준다거나(22), 소장 내용물에서 지단백을 구성하는 apo지단백 수준에 영향을 미쳐 지질대사에 변화를 초래한다는 보고들도 있다(23). 최근 강 등(24)은 sodium alginate 식이로 사육된 흰쥐에서 식후 혈장의 콜레스테롤과 중성지방 농도가 다른 식이군에 비해 낮았으며, 이러한 효과는 sodium alginate의 높은 점성에 기인한 것이라고 설명하였다.

*To whom all correspondence should be addressed

본 연구에서는 식이섬유에 장기간 적용된 동물에서 식이섬유가 배제된 고지방식이의 섭취가 지질의 소화흡수에 미치는 영향을 알아보기 위하여 식후 상태의 흰쥐에서 혈장 지단백 조성, 소장 apolipoprotein B와 소화효소 활성 등을 조사하였다.

재료 및 방법

실험동물 사육 및 식이

체중 $110 \pm 5g$ 의 Sprague-Dawley계 수컷 흰쥐를 한국화학연구소에서 구입하여 1주일간 plastic cage속에 2마리씩 넣어 고품사료로 예비 사육하였다. 적응기간 후 한마리씩 사육 철망상자속에 넣고 completely randomized design에 의해 각각 무섬유식이군, 10% cellulose 군, 10% sodium alginate군으로 나누어 자유급식법으로 5주(35일)간 사육하였으며, 식이의 조성은 Table 1과 같다. 전 사육기간 동안 식수로는 지하수를 자유로이 공급하였으며, 사육실의 온도는 $20 \sim 25^{\circ}C$ 의 실온을 유지하였고, 12시간 간격으로 점등 및 소등하였다. 5주간 실험식이에 적응시키고 14시간 이상 절식시킨 다음, 총 식이의 50% 에너지에 해당하는 지방과 1% 콜레스테롤을 함유한 고지방 무섬유식이인 test meal 5g씩을 주어 30분내에 섭취하게 하고 4시간 뒤 희생하였다. Test meal의 조성은 Table 2와 같다.

시료의 수집 및 처리

실험기간 종료 후 절식시켰다가 고지방 test meal을

급여하고 4시간 후 dry ice로 마취하여 EDTA(10mg) 함유 주사기로 심장에서 채혈하였다. 채취한 혈액은 $10^{\circ}C$ 에서 4,000rpm으로 10분간 원심분리하여 혈장을 얻었으며, 냉동보관($-20^{\circ}C$)하면서 분석용으로 하였다. 또한 sequential floatation ultracentrifugation법(25)에 의해 지단백을 얻었다. 이때 지단백의 확인을 위해 예비실험에서 sudan black 염색용액을 사용하였으며, 혈장으로부터 밀도가 다른 Chylomicron/VLDL($d < 1.006g/ml$), LDL($d = 1.006 \sim 1.063g/ml$), HDL($d = 1.063 \sim 1.210g/ml$)을 얻었다. 장시간의 원심분리로 인한 지단백 조성의 변화를 방지하기 위하여 5,5'-dithio-(bis)-2-nitro-benzoic acid를 혈장에 첨가하였다. 개복 후 적출한 소장은 증류수 10ml이 든 주사기로 일정한 힘을 가하면서 소장 내용물을 씻은 뒤 slide glass를 이용하여 일정한 힘으로 소장을 압착하여 내용물을 수집하였다. 수집된 내용물은 균질화한 후 원심분리하고 상등액을 취하여 냉동보관($-20^{\circ}C$)하면서 분석용으로 하였다. 내용물을 제거한 소장은 0.04M Trizma base buffer(pH 8.1) 10ml을 가하여 교반하고 원심분리하여 일정량의 상등액을 취하여 분석용으로 하였다.

혈장과 지단백의 지질과 apoprotein A-1 분석

혈장 및 각 지단백 중의 총 콜레스테롤 함량(Sigma Kit, No.352-50), 중성지방 함량(Sigma Kit, No. 339-20), HDL 중 apolipoprotein A-I의 함량(Sigma Kit, No. 356), HDL 중의 인지질 함량(영연 화학 주식회사, PL- α 인-600'영연)은 효소법을 이용한 kit 시약으로 측정하였다.

소장과 소장내용물의 소화효소활성과 apoprotein B, 단백질, 담즙산 정량

소장의 apolipoprotein B의 함량은 효소법에 의한 정량용 Kit 시약(Sigma Kit, No. 357)으로 측정하였다. 소장내용물의 amylase활성(26)과 lipase활성(27)은 효소법에 의한 정량용 kit시약(Sigma Kit, No. 575-3, No. 800-1,2,3)으로 측정하였다. Protease활성은 hemoglobin을 분해하여 방출되는 방향족 아미노산의 흡광도를 bovine pancreas protease(Sigma P4630)를 이용한 표준곡선에 대입하여 구하였다(28). 소장내용물에서의 단백질은 Lowry 법(29)으로, 담즙산 함량은 효소법을 이용한 kit시약(Sigma Kit, No.450-1.2)으로 측정하였다.

통계처리

실험의 분석결과는 means \pm SEM으로 표시하였으며, 각 식이군간의 유의성은 one-way ANOVA(analysis

Table 1. The composition of the experimental diet (%)

Ingredient	Fiber-free	Cellulose	Sodium alginate
Corn starch	66.8	56.8	56.8
Casein	20.0	20.0	20.0
Corn oil	10.0	10.0	10.0
Mineral mixture	3.0	3.0	3.0
Vitamin mixture	1.0	1.0	1.0
Choline bitartrate	0.2	0.2	0.2
Cellulose	-	10.0	-
Sodium alginate	-	-	10.0

Table 2. The composition of the test meal

Ingredient	Content(%)
Corn starch	44.8
Casein	20.0
Corn oil	30.0
Cholesterol	1.0
Mineral mixture	3.0
Vitamin mixture	1.0
Choline bitartrate	0.2

of variance)로 조사하여 유의성이 있는 군에 대해서는 Fisher's least significant difference test로 검정하였다.

결과 및 고찰

식이 섭취량, 체중 증가량 및 식이효율

각 실험식이로 5주간 사육한 흰쥐의 실험식이 섭취량, 체중 증가량 및 식이 효율은 Table 3과 같다. 1일 평균 식이 섭취량은 무섬유 식이군과 sodium alginate군에 비해 cellulose군이 유의적으로 낮았다($p<0.05$). 이 결과는 흰쥐의 식이에 첨가한 sodium alginate 10%는 식미에 영향을 미치지 않음을 보여준다. 식이섭취에 따른 1일 평균 체중 증가량은 무섬유 식이군과 cellulose군에 비해 sodium alginate군이 유의적으로 낮았다($p<0.05$). 또한 식이효율은 sodium alginate첨가군이 다른 식이군에 비해 유의적으로 낮은 식이효율을 보였다($p<0.05$).

혈장과 지단백의 콜레스테롤 함량

식이섬유에 장기간 적응된 흰쥐에서 무섬유 고지방 식이가 식후 혈장과 지단백에서의 콜레스테롤 함량에 미치는 영향은 Table 4와 같다. 혈장의 총 콜레스테롤 함량은 cellulose군이 가장 높았고 sodium alginate군이 가장 낮았다. Chylomicron/VLDL과 LDL-콜레스테롤 함량은 cellulose군과 무섬유식이군에 비해 sodium algi-

nate군에서 가장 낮았고($p<0.05$), cellulose군은 무섬유식이군에 비해 낮게 나타났다($p<0.05$). HDL-콜레스테롤 함량은 무섬유식이군과 cellulose군에 비해 sodium alginate군에서 유의적으로 낮았고($p<0.05$), HDL의 주요 단백질 성분인 apo A-I 함량은 cellulose군에서 가장 높게 나타났다($p<0.05$).

수용성 식이섬유의 장기간 섭취는 공복시의 혈중 콜레스테롤 농도를 낮추는 것으로 알려져 있다. Nishina 등(30)은 8% pectin의 급여가, 식후 흰쥐의 혈장과 모든 지단백에서 콜레스테롤 농도를 감소시켰음을 보고 하였으며, 그 가능한 이유로 pectin의 섭취가 gastric filling과 emptying을 변화시켰기 때문이라고 하였다. Sodium alginate의 공복시 hypocholesterolemic effect도 이미 보고된 바 있으며(31), 또한 sodium alginate의 섭취가 흰쥐의 식후 혈장 콜레스테롤 농도를 유의하게 저하하였다는 보고도 있다(24). 식이섬유의 식후 콜레스테롤 농도 저하에 대한 연구들은 식이섬유가 식후의 지질 소화 흡수에 미치는 영향을 조사하기 위하여 식이섬유가 첨가된 실험식을 공급하고 일정시간 후의 혈장 지질 농도를 조사한 것이다. 그러나 본 실험은 식이섬유를 장기간 섭취한 흰쥐에서 식이섬유를 배제한 고지방식이 식후 혈장 지질의 조성에 미치는 영향을 살펴 본 것이다. 그 결과 수용성 식이섬유인 sodium alginate는 다른 식이군에 비해 혈장 총 콜레스테롤을 비롯한 chylomicron/VLDL, LDL, HDL콜레스테롤 농

Table 3. Feed intake, body weight gain and feeding efficiency in rats fed a fiber-free diet or diets containing cellulose and sodium alginate with 1% cholesterol¹⁾

	Fiber-free	Cellulose	Sodium alginate
Feed intake(g/day) ²⁾	29.98±0.50 ^b	23.51±0.28 ^a	26.97±0.44 ^b
Body weight gain(g/day) ³⁾	6.39±0.07 ^b	6.05±0.12 ^b	3.76±0.05 ^a
Feeding efficiency ⁴⁾	21.31±2.77 ^b	25.73±2.63 ^b	13.95±0.37 ^a

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⁾Feed intake(g/day)=total food intake g/28days

³⁾Weight gain(g/day)=increased body weight g/28days

⁴⁾Feeding efficiency=(weight gain g/food intake g)×100

Table 4. Plasma, chylomicron/VLDL, LDL, HDL cholesterol and HDL apoprotein A-I after high fat meal in rats adapted to a fiber-free diet or diets containing cellulose and sodium alginate¹⁾ (mg/dl)

	Fiber-free	Cellulose	Sodium alginate
Plasma cholesterol	93.88±3.74 ^b	110.84±1.71 ^c	80.58±2.24 ^a
Chylomicron/VLDL cholesterol	6.11±0.35 ^c	4.86±0.10 ^b	2.86±0.39 ^a
LDL cholesterol	18.62±0.61 ^c	13.83±0.60 ^b	10.20±0.68 ^a
HDL cholesterol	57.14±3.22 ^b	64.47±1.69 ^b	36.26±2.21 ^a
HDL apoprotein A-I	10.85±0.81 ^a	16.36±0.71 ^b	8.00±0.66 ^a

¹⁾Values are means±SEM(n=10). All groups were sacrificed 4hrs after high fat meal. 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($p<0.05$)

도를 저하하였다. 이와 유사한 결과가 Redard 등(32)에 의해 보고되었는데, 이들은 다양한 식이섬유를 섭취한 흰쥐에서 식후 혈장과 HDL-콜레스테롤은 수용성 식이섬유인 psyllium husk군에서만 유의적으로 낮았다고 보고하였다. 한편 불용성 식이섬유인 cellulose는 다소 높은 혈장 콜레스테롤 농도를 보였는데, cellulose의 혈장에서의 hypercholesterolemic effect는 이미 보고된 바 있다(33).

일반적으로 LDL-콜레스테롤은 혈중 콜레스테롤의 주된 운반형으로서, 동맥 혈관벽에 콜레스테롤을 축적시켜 동맥경화를 촉진하므로 혈장 LDL-콜레스테롤 농도와 관상심장 질환의 발생과는 밀접한 상관관계가 있다. 반면, HDL은 말초 조직으로부터 콜레스테롤을 간장으로 운반하여 혈관벽에 콜레스테롤의 축적을 방지하는 역할을 하므로 HDL-콜레스테롤 농도는 동맥경화 등 관상심장질환의 발생과 역관계에 있는 것으로 이해되고 있다(34-36). 그러나 본 실험에서는 sodium alginate 섭취군에서 총 콜레스테롤 농도 저하와 동시에 모든 지단백획분에서 콜레스테롤 농도의 저하를 보였는데 이러한 결과는 sodium alginate의 장기간 섭취가 체내 콜레스테롤 pool size의 감소를 초래하기 때문으로 보이며, 이와 유사한 결과로써 식이섬유가 HDL-콜레스테롤 농도에 어떤 영향을 미치지 않거나 오히려 혈장의 총 콜레스테롤 농도처럼 감소시켰다는 보고들이 있다(37,38).

혈장 및 지단백의 중성지방 함량과 HDL-인지질 함량

각 실험식이에 적응된 흰쥐에서 고지방식이 식후 중성지방 함량에 미치는 영향은 Table 5와 같다. 혈장과 chylomicron/VLDL-중성지방 함량은 식이군간에 유의적인 차이는 없었으나 LDL-중성지방 함량은 sodium alginate군에서 유의적으로 낮았다($p<0.05$). HDL-인지질 함량은 유의적인 차이는 없었으나 HDL-중성지방 함량은 무섬유식이군에 비해 식이섬유군에서 높게

나타났다($p<0.05$). 수용성 식이섬유는 공복상태나 식후의 혈장 중성지방 농도를 저하시킨다는 여러 보고가 있으며(5-7,31), 그 이유는 점성의 식이섬유가 gastric emptying을 지연시키거나 gel-forming능으로 인한 unstirred water layer를 증가시켜 지질의 소화·흡수가 방해되기 때문이다(22,39). 또한 강 등(24)은 sodium alginate와 cellulose 급여가 무섬유식이군에 비해 흰쥐의 식후 혈장의 중성지방 농도를 낮추었으며 특히 sodium alginate는 Chylomicron/VLDL-중성지방의 농도를 현저히 저하하였다고 하였다. 그러나 식이섬유가 배제된 고지방식을 섭취한 본 연구의 흰쥐에서는 식후상태 chylomicron/VLDL의 중성지방 함량은 식이군간에 차이가 없었으나 식이섬유군의 HDL의 중성지방 함량은 무섬유군에 비해 2배 정도 증가하였다. Psyllium husk, cellulose, oat bran 등에 장기간 적응된 흰쥐에 있어서 psyllium husk 식이는 고지방식이 식후 혈장과 HDL-중성지방 농도를 유의적으로 증가했다는 보고(32)는 본 연구결과와 유사하였다. 인체에는 cholesterol ester transfer protein(CETP)에 의해 TG-rich lipoprotein(TRL)의 중성지방이 HDL로 이동되어진다. 그러나 쥐는 CETP를 합성하지 않으므로 HDL로의 중성지방 이동이 제한되어진다. 그러므로 본 실험의 결과에서 HDL획분의 중성지방 함량이 높은 것은 아마도 간이나 소장에서 HDL의 밀도를 가진 TRL이 생성되는 때문으로 보인다(40).

이처럼 식이섬유에 적응된 흰쥐에 있어서 고지방식 후 혈장의 중성지방 농도가 일시적으로 높아진 것은 오랫동안 식이섬유 섭취로 인해 소장에서 지질의 흡수 방해가 지속되다가 일회적인 무섬유 고지방식에 대응하여 생체의 지질에 대한 요구를 충족시키기 위한 보상작용에 따른 것으로 보인다. 그리고 식이섬유를 장기간 섭취하였다 하더라도 일회적으로 식이섬유가 배제된 고지방식사를 했을 때 식이섬유의 hypolipidemic effect는 식이섬유가 첨가된 고지방식사를 했을 때 보다 그 효과가 둔화된다고 생각된다. 이를 실제 한국인

Table 5. Plasma, chylomicron/VLDL, LDL and HDL triglyceride, HDL phospholipid after high fat meal in rats adapted to a fiber-free diet or diets containing cellulose and sodium alginate¹⁾ (mg/dl)

	Fiber-free	Cellulose	Sodium alginate
Plasma triglyceride	116.27±2.12	131.01±4.94	133.53±7.85
Chylomicron/VLDL triglyceride	53.58±3.63	44.45±2.55	48.30±6.95
LDL triglyceride	34.68±1.45 ^b	40.65±2.33 ^b	21.63±6.95 ^a
HDL triglyceride	8.20±0.75 ^a	21.58±1.58 ^b	16.20±2.28 ^b
HDL phospholipid	94.90±6.99	102.50±6.07	84.06±8.66

¹⁾Values are means ± SEM(n=10). All groups were sacrificed 4hrs after high fat meal. 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($p<0.05$)

의 식생활에 이용해 보자면, 식이섬유가 풍부한 식사를 해온 사람이라도 갈비나 불고기와 같은 고지방식을 할 때는 전체나 반찬으로 나오는 해조류 및 채소를 식사 도중에 충분히 섭취하는 것이 혈중 중성지방 농도의 상승을 효과적으로 억제할 것으로 생각된다.

소장의 apolipoprotein B 함량

식이섬유의 섭취가 소장 apolipoprotein B 함량에 미치는 결과는 Table 6과 같으며, 소장의 apolipoprotein B 함량은 무섬유식이군과 cellulose군에 비해 sodium alginate군에서 유의적으로 증가하였다($p < 0.05$). Apolipoprotein B는 간과 장에서의 TRL 분비와 관련되어 있다(32). 본 실험에서는 장기간 식이섬유에 적응한 동물의 소장에서 지방의 흡수와 밀접한 관계가 있는 apolipoprotein B 함량을 측정된 결과 sodium alginate식이군에서 가장 높았다. 이는 식이섬유 섭취군의 혈중 중성지방 증가와 관련지어 볼 때, 식이섬유의 장기간 섭취에 따른 식이지방의 흡수 억제효과에 대응하여 apolipoprotein B의 함량이 증가되었던 것으로 생각된다.

소장내용물 중의 소화효소활성, 단백질 및 담즙산 함량

식이섬유에 적응된 흰쥐에 있어 고지방식 후 나타나

는 소장내용물 중의 효소활성, 단백질 및 담즙산의 함량을 Table 7에 요약하였다. Amylase 활성은 세군간에 유의적인 차이가 없었으나 sodium alginate군에서 다소 높게 나타났고, lipase 활성은 무섬유식이군과 cellulose군에 비해 sodium alginate군에서 유의적인 증가를 보였다($p < 0.05$). 이는 5% sodium alginate를 급여한 흰쥐 소장내용물 중의 amylase 활성이 증가했다는 Ikegami 등(41)의 보고나 또한 5% pectin을 투여한 흰쥐의 식후 amylase, lipase 활성이 증가했다는 Forman과 Schneeman (42)의 연구결과와 유사하였다. Schneeman 등(43)은 5%, 20% wheat bran 섭취는 식후 소장내용물에서 lipase 활성만을 증가시켰으며, 이는 수용성 식이섬유의 친수적인 성질이 유화제로 작용하고 소장내 불소화물들이 효소를 보호하기 때문이라고 하였다. 또한 cellulose의 섭취는 소장내 소화효소의 활성을 모두 감소시켰으며(44), 이것은 cellulose의 회석효과 때문으로 보고되었다(45). Protease 활성과 담즙산의 함량은 식이군간에 유의적인 차이가 없었으며, 소장내용물 중의 단백질 함량은 무섬유식이군에 비해 식이섬유군에서 유의적인 증가를 보였는데($p < 0.05$), 이것은 식이섬유 첨가가 소장 세포탈피(sloughing)를 증가시킨 때문으로 사료된다(41).

요 약

식이섬유에 5주간 적응된 흰쥐(S.D., male)를 14시

Table 6. Small intestinal apolipoprotein B content after high fat meal in rats adapted to a fiber-free diet or diets containing cellulose and sodium alginate¹⁾

	Fiber-free	Cellulose	Sodium alginate
Apoprotein B	1.52 ± 0.10 ^a	1.47 ± 0.04 ^a	3.26 ± 0.15 ^b

¹⁾Values are means ± SEM(n=10). All groups were sacrificed 4hrs after high fat meal. 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($p < 0.05$)

Table 7. Amylase, lipase and protease activity, protein and bile acids of small intestinal content after high fat meal in rats adapted to a fiber-free diet or diets containing cellulose and sodium alginate¹⁾

	Fiber-free	Cellulose	Sodium alginate
Amylase activity(units/g) ²⁾ × 10 ³	7.90 ± 0.70	14.10 ± 1.30	16.40 ± 1.00
Lipase activity(units/g) ³⁾	7.25 ± 3.42 ^a	7.25 ± 1.17 ^a	10.23 ± 4.44 ^b
Protease activity(units/g) ⁴⁾	593.90 ± 17.1	593.00 ± 13.46	556.90 ± 41.65
Bile acids(μmol/g)	1.40 ± 0.11	0.80 ± 0.10	1.06 ± 0.09
Protein(mg/g)	19.56 ± 1.23 ^a	33.70 ± 1.08 ^b	33.20 ± 1.24 ^b

¹⁾Values are means ± SEM(n=10). All groups were sacrificed 4 hrs after high fat meal. 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⁾Unit of amylase is 1μmole NADH liberated during 1 minutes of incubation with 1mL Sigma Diagnostics Amylase reagent

³⁾1Sigma-Tietz Units of lipase is exactly equal to the mL of 0.05N NaOH required to neutralize the fatty acids liberated during 3 hours 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 1 unit of bovine pancreas protease at 280nm during 10 minutes of incubation with 1ml hemoglobin substrate

간 절식시킨 뒤 총 에너지의 50%가 되는 고지방식을 급여하고 4시간 뒤의 혈장 지질 농도와 소화효소활성을 조사하여 다음과 같은 결과를 얻었다. 혈장과 지단백의 콜레스테롤 함량은 sodium alginate군에서 가장 낮았다($p<0.05$). 혈장 중성지방 함량은 식이군간에 차이가 없었으나 LDL-중성지방은 sodium alginate군에서 가장 낮았다($p<0.05$). HDL-중성지방 함량은 식이섬유군에서 높았다 ($p<0.05$). 소장 apolipoprotein B는 무섬유식이군과 cellulose군에 비해 sodium alginate군에서 유의적으로 높았다($p<0.05$). 소장 내용물에서의 amylase 활성은 각 식이군간에 유의적인 차이는 없었으나 식이섬유 첨가군에서 다소 높았으며, lipase 활성은 무섬유식이군과 cellulose군에 비해 sodium alginate군에서 유의적으로 높았다($p<0.05$). 소장내용물에서 protease 활성과 담즙산 함량은 식이군간에 유의적인 차이가 없었으나, 단백질 함량은 무섬유식이군에 비해 식이섬유 첨가군에서 유의적으로 높았다($p<0.05$). 이상의 결과를 종합해 볼 때 장기간의 식이섬유 섭취는 식이섬유가 배제된 고지방식 후에도 혈장 콜레스테롤 농도를 낮추는 효과가 있으나, 혈장 중성지방 농도는 식이섬유가 함유된 식이에 비해 영향을 받지 않는 것으로 보인다.

감사의 글

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

문헌

1. 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)
2. 황재관, 김종태, 홍석인, 김철진 : 압출성형에 의한 식물 세포벽의 수용화. *한국영양식량학회지*, **23**, 358(1994)
3. Margareta, N., Thoman, F. S., Susanne, T., Silvia, R. and Nils-Georg, A. S. P. : Fermentation of vegetable fiber in the intestinal tract of rats and effects on fecal bulking and bile acid excretion. *J. Nutr.*, **120**, 459(1990)
4. 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)
5. Anderson, J. W., Jones, A. E. and Riddell-Mason, S. : Ten different dietary fibers have significantly different effects on serum and liver lipids of cholesterol-fed rats. *J. Nutr.*, **124**, 78(1994)
6. Tinker, L. F., Davis, P. A. and Schneeman, B. O. : Prune fiber or pectin compared with cellulose lowers plasma and liver lipids in rats with diet-induced hyperlipidemia. *J. Nutr.*, **124**, 310(1994)
7. Tsai, A. C., Elias, J., Kelley, J. J., Lin, R. S. C. and Robson, J. R. K. : Influence of certain dietary fibers on serum and tissue cholesterol levels in rats. *J. Nutr.*, **106**, 118(1976)
8. Story, J. A. and Kritchevsky, D. : Comparison of the binding of various bile acids and bile salts *in vivo* by several types of fiber. *J. Nutr.*, **106**, 1291(1976)
9. Shinnick, F. L., Ink, S. L. and Marlett, J. A. : Dose response to a dietary oat bran fraction in cholesterol-fed rats. *J. Nutr.*, **120**, 561(1990)
10. Ney, D. M., Lasekan, J. B. and Shinnick, F. L. : Soluble oat fiber tends to normalize lipoprotein composition in cholesterol-fed rats. *J. Nutr.*, **118**, 1455(1988)
11. Fernandez, M. L., Sun, D. M., Tosca, M. A. and Mcnamara, D. J. : Citrus pectin and cholesterol interact to regulate hepatic cholesterol homeostasis and lipoprotein metabolism : a dose-response study in guinea pigs. *Am. J. Clin. Nutr.*, **59**, 869(1994)
12. Chen, W. J. L. and Anderson, J. W. : Effects of guar gum and wheat bran on lipid metabolism of rats. *J. Nutr.*, **109**, 1028(1979)
13. Ebihara, K. and Schneeman, B. O. : Interaction of bile acids, phospholipids, cholesterol and triglyceride with dietary fibers in the small intestine of rats. *J. Nutr.*, **119**, 1100(1989)
14. Vahouny, G. V., Roy, T., Gallo, L. L., Story, J. A., Kritchevsky, D. and Cassidy, M. M. : Dietary fibers. III. Effects of chronic intake on cholesterol absorption and metabolism in the rat. *Am. J. Clin. Nutr.*, **33**, 2182(1980)
15. Ide, T., Horii, M., Yamamoto, T. and Kawashima, K. : Contrasting effects of water-soluble and water-insoluble dietary fibers on bile acid conjugation and taurine metabolism in the rat. *Lipids*, **25**, 335(1990)
16. Nishina, P. M. and Freedland, R. A. : Effects of propionate on lipid biosynthesis in isolated rat hepatocytes. *J. Nutr.*, **120**, 668(1990)
17. Kritchevsky, D. and Story, J. A. : Binding of bile salts *in vitro* by nonnutritive fiber. *J. Nutr.*, **104**, 458(1974)
18. Anderson, J. W. and Chen, W. L. : Plant fiber, carbohydrate and lipid metabolism. *Am. J. Clin. Nutr.*, **32**, 346(1979)
19. Gallaher, D. and Schneeman, B. O. : Intestinal interaction of bile acids, phospholipids, dietary fiber and cholestyramine. *Am. J. Physiol.*, **250**, 420(1986)
20. Venter, C. S., Vorster, H. H. and Van Der Nest, D. G. : Comparison between physiological effects of konjac-glucomannan and propionate in baboons fed "western" diets. *J. Nutr.*, **120**, 1046(1990)
21. Poksay, K. S. and Schneeman, B. O. : Pancreatic and intestinal response to dietary guar gum in rats. *J. Nutr.*, **113**, 1544(1983)
22. 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)

23. Stock-Damge, C., Aprahamian, M., Raul, F., Humbert, W. and Bouchet, P. : Effects of wheat bran on the exocrine pancreas and the small intestinal mucosa in the dog. *J. Nutr.*, **114**, 1076(1984)
24. 강희정, 서명자, 송영선 : Sodium alginate와 cellulose가 식후 혈장 lipoprotein 조성과 콜레스테롤 대사에 미치는 영향(II). *한국영양학회지*, **23**, 887(1994)
25. Converse, C. A. and Skinner, E. R. : Lipoprotein analysis. A practical approach, Oxford University Press, p.11(1992)
26. Junge, W. : Lipases. In "*Methods of Enzymatic Analysis*" Bergmeyer, J. and Graßl, M.(eds.), 3rd ed., VCH, Weinheim, p.15(1986)
27. 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)
28. Fritz, H. : Proteinases and their inhibitors. In "*Methods of Enzymatic Analysis*" Bergmeyer, J. and Graßl, M. (eds.), 3rd ed., VCH, Weinheim, p.73(1986)
29. Lowry, O. H., Rosebrough, N. J., Farr, A. L. and Randall, R. J. : Protein measurement with the folin phenol reagent. *J. Biol. Chem.*, **193**, 265(1951)
30. Nishina, P. M., Schneeman, B. O. and Freedland, R. A. : Effects of dietary fibers on nonfasting plasma lipoprotein and apolipoprotein levels in rats. *J. Nutr.*, **121**, 431(1991)
31. 최진호, 임채환, 김재연, 양종순, 최재수, 변대석 : 비만 치료식 개발을 위한 기초연구 1. 식물섬유로서의 알긴산의 비만억제 효과. *한국수산학회지*, **19**, 303(1986)
32. Redard, C. L., Davis, P. A., Middleton, S. J. and Schneeman, B. O. : Postprandial lipid response following a high fat meal in rats adapted to dietary fiber. *J. Nutr.*, **122**, 219(1992)
33. Kritchevsky, D., Tepper, S. A. and Story, J. A. : Isocaloric, isogravic diets in rats. III. Effect of non-nutritive fiber(alfalfa or cellulose) on cholesterol metabolism, *Nutr. Rep. Int.*, **9**, 301(1974)
34. Stryer, L. : Biochemistry. 3rd ed., W. H. Freeman, Company, p.547(1988)
35. Zubay, G. : Biochemistry. 3rd ed., Wm. C. Brown, Publishers, p.635(1993)
36. Rifkind, B. M., Tamir, I., Heiss, G., Wallace, R. G. and Tyroler, H. A. : Distribution of high density and other lipoproteins in selected LRC prevalence study populations : a brief survey. *Lipids*, **14**, 105(1979)
37. Demigne, C. and Remesy, C. : Stimulation of absorption of volatile fatty acids and minerals in the cecum of rats adapted to a very high fiber diet. *J. Nutr.*, **115**, 53(1985)
38. Hunninghake, D. B., Miller, V. T., Larosa, J. C., Kinoshian, B., Brown, V., Howard, W. J., Diserio, F. J. and O'Conner, R. R. : Hypocholesterolemic effects of a dietary fiber supplement. *Am. J. Clin. Nutr.*, **59**, 1050(1994)
39. Ebihara, K. and Schneeman, B. O. : Interaction of bile acids, phospholipids, cholesterol and triglyceride with dietary fibers in the small intestine of rats. *J. Nutr.*, **119**, 1100(1989)
40. Oschry, Y. and Eisenberg, S. : Rat plasma lipoproteins : reevaluation of a lipoprotein system in an animal devoid of cholesteryl ester transfer activity. *J. Lipid Res.*, **23**, 1099(1982)
41. 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.*, **113**, 163(1983)
42. 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)
43. 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)
44. 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)
45. 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)

(1996년 4월 9일 접수)