

## Sodium Alginate와 Cellulose가 식후 혈장 Lipoprotein 조성과 콜레스테롤 대사에 미치는 영향(II)

강희정 · 서명자 · 송영선\*†

부산대학교 식품영양학과

\*인제대학교 식품영양학과

## Effects of Sodium Alginate and Cellulose on Postprandial Plasma Lipoprotein and Cholesterol Metabolism in Rats (II)

Hee-Jung Kang, Myung-Ja Suh and Young-Sun Song\*†

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

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

### Abstract

This study was undertaken to determine whether dietary fibers had an effect on postprandial plasma lipoprotein and liver lipid composition in rats. Each experimental diet contained 10% dietary fiber by weight. All animals were sacrificed in postprandial state. Sodium alginate-fed animals has significantly lower plasma cholesterol, VLDL-, LDL-cholesterol, TG, and protein levels than did the fiber-free control group. In addition, liver cholesterol and TG concentrations were the lowest in sodium alginate-fed animals. There was no significant change in HDL-cholesterol levels among experimental groups. Cellulose-fed animals also have lower plasma cholesterol and TG levels than fiber-free controls, but liver TG concentrations were not different from those in fiber-free controls. This study demonstrates that dietary fiber included in the diet of rats is able to alter postprandial lipoprotein cholesterol and TG, and that sodium alginate, a soluble fiber, was the most effective in lowering plasma and liver cholesterol and TG.

**Key words** : sodium alginate, postprandial, rats, lipoprotein

### 서론

식이섬유(Dietary fiber)는 '소장에서 소화되지 않으며 대장에서 분해 또는 발효되거나 되지않는 섭취된 모든 식품중합체들의 총합'이다<sup>1)</sup>. 식이섬유는 크게 불용성과 수용성의 2가지로 분류되고 소화관 내에서의 기능과 생리적 효과도 다른 것으로 보고되고 있다<sup>2-4)</sup>. 최근에는 수용성 식이섬유의 콜레스테롤 저하능에 관하여 많은 연구들이 행해져오고 있다<sup>5-7)</sup>. 국내에서는 조등<sup>8)</sup>이 pectin을 비롯한 식이섬유가 풍부한 갖의 섭취가 혈장 콜레스테롤을 감소시킴과 동시에 분변으로 배설되는 콜레스테롤 담즙산을 증가시킨다고 보고하였으며, 최 등<sup>9)</sup>은 메밀면의 섭취가 흰쥐의 혈청 및 간장의

중성지질 농도를 완만하게 낮추는 효과가 있었음을 보고한 바 있다. 또한 감 추출물이 혈청 중의 중성지질과 콜레스테롤 함량을 현저히 감소시켰다고 보고되었으며<sup>10)</sup> alginate가 다량 함유되어 있는 해조류<sup>11-13)</sup>의 섭취가 혈청 총 콜레스테롤과 중성지질 함량을 감소시켰다고 보고되고 있다<sup>14)</sup>. 식이섬유가 지질대사에 미치는 영향을 알아보기 위한 이제까지의 연구들은 주로 절식상태의 실험동물을 대상으로 하여 행해져 왔다. 그러나 규칙적인 식사를 하는 인간은 절식상태라기 보다는 오히려 식후상태로 더 오래 지속되고 있다고 할 수 있으므로 식후상태에서의 혈장 콜레스테롤과 지단백질 조성이 동맥경화 유발에 중요한 한 요인이 되리라 믿어진다<sup>15)</sup>. 그러므로 식이섬유 첨가식을 섭취한 동물에서 식후상태의 혈장 지질 조성을 조사하는 것은 의미 있는 일이 될 것이다. 뿐만 아니라 식이섬유의 섭취가

†To whom all correspondence should be addressed

소장에서 지방과 콜레스테롤 합성에 미치는 영향이나 chylomicron의 분비와 혈장 지단백대사에 미치는 영향 등을 연구하는 것은 식이섬유가 지질대사에 작용하는 기작을 이해하는데 큰 도움이 될 것이다. 그러므로 본 연구에서는 sodium alginate와 cellulose를 장기간 섭취시킨 흰쥐에서 식이섬유가 함유된 식이의 공급이 식후 혈장 지단백질과 지질 조성에 미치는 영향을 조사하여 식이섬유 첨가식이 지질의 흡수와 지단백질대사에 미치는 영향을 알아보고자 하였다.

## 재료 및 방법

### 실험동물의 사육 및 식이

실험동물은 평균 체중 100~110g의 Sprague Dawley 종 수컷 흰쥐 30마리를 경북대학교 의대로 부터 구입하여 1주간 고형사료(주) 미원)로 적응시킨 다음, 체중에 따라 무작위로 각군을 10마리씩 3종의 실험식이군으로 나누어 한마리씩 stainless steel cage에 넣고 각 해당식이로 4주간 사육하였다. 각 군의 실험식은 무섬유식이, sodium alginate 및 cellulose 10% 첨가식이로서 그 조성은 Table 1과 같이 조제하여 사용하였다. 전 사육기간 동안 실험식사와 물은 자유로이 섭취하게 하고, 사육실의 온도는 20~25°C를 유지하였으며, 명암은 12시간 간격으로 점등 및 소등하였다.

### 식이섭취량, 체중증가량 및 식이효율

식이섭취량은 1주에 2회, 체중은 전 실험기간을 통해 매주 한번씩 측정하였다. 식이효율은 실험기간 동안의 체중증가량을 식이섭취량으로 나누어서 구하였다.

### 혈액, 장기와 분변의 수집 및 처리

혈액은 실험기간 종료 후 사육한 흰쥐를 14시간 절식시킨 후 5.0g의 해당식이를 30분 이내에 섭취하게 하고 4시간이 경과한 후 dry ice로 마취하여 EDTA(10mg) 함유 주사기로 심장에서 채혈하였다. 채취한 혈액은 4,

000rpm으로 10분간 원심분리하여 혈장을 얻었으며, 냉동보관(-20°C)하면서 분석용으로 하였다. 또한 sequential floatation ultracentrifugation법에 의해 혈장으로 부터 밀도가 다른 Chylomicron/VLDL ( $d < 1.006\text{g/ml}$ ), LDL ( $d = 1.006 - 1.063\text{g/ml}$ ), HDL ( $d = 1.063 - 1.210\text{g/ml}$ )의 세 지단백 분획을 얻었다<sup>16</sup>. 이때 지단백 분획의 확인을 위해 예비실험에서 sudan black 염색용액을 사용하였으며, 원심분리 도중에 생길 수 있는 지단백 조성의 변화를 방지하기 위하여 5,5'-dithio-bis-2-nitrobenzoic acid를 혈장에 첨가하였다. 간장은 채혈 후 즉시 적출하여 생리식염수로 씻고 여과지로 생리식염수를 제거한 뒤 -20°C에서 보관하면서 분석용으로 하였고, 일정량을 취하여 Folch 등의 방법<sup>17)</sup>으로 지질을 추출하여 지질분석용으로 하였다.

### 혈장, lipoprotein, 간의 지질 및 단백질 분석

혈장과 지단백 분획 중의 총 콜레스테롤(Sigma kit, No. 352-50), 중성지질(Sigma kit, No. 339-20) 및 인지질(영연화학주식회사, PL-아이 M<sup>®</sup>-600 '영연')은 각각 효소법을 이용한 kit로 측정하였다. 이들 시료 중의 free 콜레스테롤 함량은 총 콜레스테롤 정량용 시약에서 cholesterol esterase를 제외한 조성으로 시약을 조제하여 측정하였으며, 총 콜레스테롤 함량과의 차를 esterified 콜레스테롤 함량으로 하였다. 간 지질추출액중의 총 콜레스테롤, free 콜레스테롤 및 중성지질 함량은 혈장 중의 분석과 같은 효소법을 이용하되 탁도에 의한 오차를 줄이기 위해 Sale 등의 방법<sup>18)</sup>을 도입하였다. 각 시료 중의 단백질 함량은 Lowry법<sup>19)</sup>으로 측정하였으며, 표준물질로 bovine serum albumin을 사용하였다. 상기의 모든 분석은 각 시료에서 2번 측정하였다.

### 통계처리

실험결과는 means  $\pm$  SEM으로 표시하였으며, 각 식이군간의 유의성은 one-way ANOVA로 조사하여 유의성이 발견된 경우  $p < 0.05$  수준에서 Fisher's least significant difference test로 검정하였다.

## 결과 및 고찰

### 식이섭취량, 체중증가량 및 식이효율

각 실험식이로 흰쥐를 4주간 사육하면서 실험식이의 섭취량, 체중증가량 및 식이효율을 측정한 결과는 Table 2와 같다. 실험기간 중의 식이섭취량은 각 식이군간에 유의적인 차이를 보이지 않았으나, 체중증가량

Table 1. Composition of experimental diets (%)

	Fiber-free	Cellulose	Sodium alginate
Casein	20	20	20
Corn starch	65.8	55.8	55.8
Cellulose	-	10	-
Sodium alginate	-	-	10
Corn oil	10	10	10
AIN-76 mineral mixture	3	3	3
AIN-76 vitamin mixture	1	1	1
Choline bitartrate	0.2	0.2	0.2

은 무섬유식이군에 비해 sodium alginate군에서 유의적으로 감소하였다 ( $p < 0.05$ ). 또한, 실험기간 중의 식이 섭취량에 대한 체중증가량을 백분율로 계산한 식이효율에 있어서도 무섬유식이군에 비해 sodium alginate 첨가군에서 유의적으로 낮은 수치를 나타냈다 ( $p < 0.05$ ). Alginate의 체중 증가 억제 효과는 여러 연구자들에 의해 보고되고 있으며<sup>23,24</sup>, 이것은 sodium alginate의 높은 점성과 위내용물의 체류시간 및 이동속도의 지연 효과에 의한 만족감, 소장 내에서의 흡수 억제 효과에 기인하는 것으로 풀이된다<sup>25</sup>.

### 혈장의 지질 및 단백질 함량

흰쥐 혈장내의 지질 및 단백질 함량은 Table 3과 같다. 혈장내 총 콜레스테롤 함량은 무섬유식이군에 비해 cellulose군에서 다소 감소하였고 sodium alginate군에서는 유의적으로 감소하였다. 혈장의 중성지방 농도에 있어서도 무섬유식이군에 비해 식이섬유를 섭취한 군에서 유의적으로 낮은 경향을 보였으며 특히 sodium alginate군에서 더욱 현저하게 감소함으로써 식이섬유의 섭취가 혈장의 콜레스테롤과 중성지질 농도를 낮출 수 있는 것으로 나타났다. 수용성 식이섬유의 콜레스테롤 저하 효과는 콜레스테롤과 cholic acid를 첨가한 식이를 섭취한 실험동물에서 주로 보고되고 있다<sup>5-7</sup>. 반면 cholesterol-free diet를 섭취한 동물에서 식이섬유는 혈장 콜레스테롤 농도에 큰 영향을 미치지

않았다고 보고되고 있다<sup>23,24</sup>. 그러나 본 실험은 cholesterol-free diet에 첨가한 식이섬유를 섭취한지 4시간이 경과한 식후상태에서 행해졌으므로 그 결과는 상당히 다르게 나타났다. 즉 cellulose와 sodium alginate는 무섬유식이군에 비해 혈장 콜레스테롤 농도를 각각 12%, 15% 저하하였으며, 중성지방을 40~50% 저하하였다. 또한 단백질의 농도는 각각 35%, 55% 감소하였다. 이러한 경향은 pectin 등의 첨가가 식후 혈장 콜레스테롤과 중성지방의 농도를 낮추었다는 Nishina 등<sup>25</sup>의 보고와 wheat germ, oat bran, wheat fiber 등이 식후 혈장 콜레스테롤의 농도를 감소하였다는 Cara 등<sup>26</sup>의 보고에서도 확인되며, 그 가능한 이유로 식이섬유의 섭취가 gastric filling과 emptying의 속도를 변화시켰기 때문으로 생각할 수 있다. 즉, cellulose와 같은 불용성 식이섬유는 장내에서 발효하지 않으므로 장내 내용물의 부피를 증가시키고 위장관에서의 transit time을 단축하여 영양소의 흡수를 저해하며<sup>27</sup>, sodium alginate와 같이 점성이 있는 수용성 식이섬유는 소장점막세포에 영양소의 접근을 방해하여 영양소의 흡수를 저해한다<sup>28</sup>. 본 실험에서도 동물의 해부시에 sodium alginate군에서는 식후 4시간이 경과한 후에도 위내용물이 아직 많이 남아있음이 관찰되었다. 또한 Gallaher 등<sup>28</sup>은 점성이 높은 guar gum을 hamsters에 섭취시킨 결과 혈장과 간의 콜레스테롤 농도가 현저히 감소하였으며 이로써 장내용물의 점성이 클수록 콜레스테롤 저하 효과가

**Table 2. Feed intake, body weight gain and feeding efficiency in rats fed a fiber-free diet or diets containing cellulose and sodium alginate<sup>1</sup>**

	Fiber-free	Cellulose	Sodium alginate
Feed intake (g/d)	26.30±1.25	24.11±1.39	23.88±1.37
Body weight gain (g/d)	5.46±0.44 <sup>a</sup>	4.18±0.42 <sup>ab</sup>	3.10±0.52 <sup>b</sup>
Feeding efficiency	20.73±1.38 <sup>a</sup>	17.44±1.76 <sup>ab</sup>	13.36±2.72 <sup>b</sup>

<sup>1</sup> Values are means±SEM (n=10). Data were analyzed by one-way ANOVA and Fisher's least significant difference test whether mean values were different. Values in rows without common superscripts are significantly different ( $p < 0.05$ )

**Table 3. Plasma cholesterol, TG, phospholipid and protein concentrations in rats fed a fiber-free diet or diets containing cellulose and sodium alginate<sup>1</sup>**

	Fiber-free	Cellulose	Sodium alginate
Total cholesterol (mg/dl)	44.25±1.71 <sup>a</sup>	39.13±1.42 <sup>ab</sup>	38.24±3.21 <sup>b</sup>
Free cholesterol (mg/dl)	15.54±0.53	17.22±1.66	15.76±1.42
Esterified cholesterol (mg/dl)	28.72±1.24	21.91±1.44	22.48±3.22
Esterified : Free ratio	1.95±0.14 <sup>a</sup>	1.28±0.13 <sup>b</sup>	1.43±0.21 <sup>ab</sup>
Triglyceride (mg/dl)	133.06±5.30 <sup>a</sup>	81.27±6.03 <sup>b</sup>	67.08±6.91 <sup>b</sup>
Phospholipid (mg/dl)	43.84±1.42	45.01±1.40	50.97±1.35
Protein (mg/dl)	92.45±3.72 <sup>a</sup>	59.78±6.41 <sup>b</sup>	42.08±3.92 <sup>b</sup>

<sup>1</sup> Values are means±SEM (n=10). Data were analyzed by one-way ANOVA and Fisher's least significant difference test whether mean values were different. Values in rows without common superscripts are significantly different ( $p < 0.05$ )

크다고 보고하였으며, Ikegami 등<sup>23)</sup>은 점성이 높은 sodium alginate 첨가군에서는 점성이 없는 다른 식이 섬유군에 비해 pancreatic-biliary secretion이 감소하였다고 보고하였다. 이외에도 식이섬유는 소장 mucin의 분비량을 변화시켜 영양소의 흡수를 조절하는 것으로 보고되고 있다<sup>29)</sup>. 한편 guar gum과 같은 점성이 높은 식이섬유는 식후 혈당 농도의 상승을 완만하게 하여 당뇨병 식이로 권장되고 있으며<sup>30)</sup>, 식이섬유가 많이 함유된 곡류의 섭취시 당질의 소화속도가 느려졌다는 보고가 있다<sup>31)</sup>. 본 실험에서도 혈장의 단백질 함량 역시 무섬유식이군에 비해 식이섬유군에서 유의적으로 감

소하였는데, 이로써 식이섬유군은 무섬유식이군에 비해 지질 뿐 아니라 다른 영양소의 흡수도 저해하고 있음을 짐작할 수 있다.

#### Lipoproteins의 지질 및 단백질 함량

각 혈장 지단백 분획의 지질 및 단백질 함량을 Table 4~6에 나타내었다. Chylomicron/VLDL 분획에서 총 콜레스테롤 함량은 다른 식이군에 비해 sodium alginate 군에서 유의적으로 감소하였다. 중성지질 및 인지질 농도 역시 무섬유식이군에 비해 cellulose군과 특히 sodium alginate군에서 유의한 수준으로 감소하였는데 이

**Table 4. Chylomicron/VLDL cholesterol, TG, phospholipid and protein concentrations in rats fed a fiber-free diet or diets containing cellulose and sodium alginate<sup>1</sup>**

	Fiber-free	Cellulose	Sodium alginate
Total cholesterol (mg/dl)	6.17±0.11 <sup>a</sup>	6.23±0.32 <sup>a</sup>	4.88±0.15 <sup>b</sup>
Free cholesterol (mg/dl)	3.23±0.31	2.62±0.63	2.75±0.31
Esterified cholesterol (mg/dl)	2.94±0.24 <sup>ab</sup>	3.61±0.41 <sup>a</sup>	2.13±0.34 <sup>b</sup>
Esterified : Free ratio	0.88±0.16	1.38±0.60	0.77±0.27
Triglyceride (mg/dl)	60.04±0.33 <sup>a</sup>	35.43±1.51 <sup>b</sup>	25.91±0.10 <sup>c</sup>
Phospholipid (mg/dl)	12.18±0.34 <sup>a</sup>	5.19±0.96 <sup>b</sup>	3.03±0.01 <sup>b</sup>
Protein (mg/dl)	46.64±2.61 <sup>a</sup>	21.14±5.25 <sup>b</sup>	13.67±3.54 <sup>b</sup>

<sup>1</sup> Values are means±SEM(n=10). Data were analyzed by one-way ANOVA and Fisher's least significant difference test whether mean values were different. Values in rows without common superscripts are significantly different (p<0.05)

**Table 5. LDL cholesterol, TG, phospholipid and protein concentrations in rats fed a fiber-free diet or diets containing cellulose and sodium alginate<sup>1</sup>**

	Fiber-free	Cellulose	Sodium alginate
Total cholesterol (mg/dl)	11.53±0.92 <sup>a</sup>	8.43±0.31 <sup>b</sup>	7.66±0.43 <sup>b</sup>
Free cholesterol (mg/dl)	4.72±0.21 <sup>1</sup>	4.42±0.01 <sup>a</sup>	3.87±0.15 <sup>b</sup>
Esterified cholesterol (mg/dl)	6.81±1.43 <sup>a</sup>	4.01±0.25 <sup>b</sup>	3.79±0.27 <sup>b</sup>
Esterified : Free ratio	1.44±0.32	0.91±0.16	0.98±0.19
Triglyceride (mg/dl)	16.33±0.82	18.35±0.71	16.98±1.34
Phospholipid (mg/dl)	10.34±0.51 <sup>a</sup>	12.55±0.43 <sup>ab</sup>	14.57±0.73 <sup>b</sup>
Protein (mg/dl)	12.01±0.57 <sup>a</sup>	14.55±0.38 <sup>b</sup>	8.24±0.23 <sup>c</sup>

<sup>1</sup> Values are means±SEM(n=10). Data were analyzed by one-way ANOVA and Fisher's least significant difference test whether mean values were different. Values in rows without common superscripts are significantly different (p<0.05)

**Table 6. HDL cholesterol, TG, phospholipid and protein concentrations in rats fed a fiber-free diet or diets containing cellulose and sodium alginate<sup>1</sup>**

	Fiber-free	Cellulose	Sodium alginate
Total cholesterol (mg/dl)	28.34±1.12	21.87±1.35	24.71±0.42
Free cholesterol (mg/dl)	3.32±0.34	2.95±0.43	2.87±0.33
Esterified cholesterol (mg/dl)	25.02±1.12	19.02±1.48	21.84±0.28
Esterified : Free ratio	7.54±0.93	6.67±1.02	7.61±1.01
Triglyceride (mg/dl)	7.93±0.31	7.86±0.13	7.15±0.42
Phospholipid (mg/dl)	25.17±1.13	22.85±0.52	22.57±0.81
Protein (mg/dl)	26.35±0.70	24.24±2.52	20.21±0.16

<sup>1</sup> Values are means±SEM(n=10). Data were analyzed by one-way ANOVA and Fisher's least significant difference test whether mean values were different. Values in rows without common superscripts are significantly different (p<0.05)

러한 결과는식이섬유가 지질의 흡수를 다소 저해하기 때문인 것으로 생각할 수 있다. 단백질 함량이 있어서도 무섬유식이군에서 보다 식이섬유군, 특히 sodium alginate군에서 유의적으로 감소하는 경향을 보였다. LDL 분획의 총 콜레스테롤 및 콜레스테롤 에스테르 농도는 무섬유식이군에 비해 cellulose군과 특히 sodium alginate군에서 유의적으로 감소하였으며, 유리콜레스테롤 함량은 다른 식이군에 비해 sodium alginate군에서 유의적인 감소를 보였다. 한편, 중성지질 농도는 각 식이군간 유의적인 차이를 보이지 않았으며, 인지질 함량은 무섬유식이군에 비해 sodium alginate군에서 유의적으로 증가하였다. LDL의 단백질 함량은 cellulose군에서 가장 높았고 무섬유식이군과 sodium alginate군에서는 유의적으로 감소하였다. HDL 분획에서 총 콜레스테롤과 중성지질 및 인지질 함량은 각 식이군간에 유의적인 차이를 보이지 않았으며 단백질 함량 역시 유의적인 차이를 보이지 않았다.

식이섬유의 콜레스테롤 농도 저해작용은 지단백의 조성에 영향을 미치는 것으로 알려져있다. Hundemer 등<sup>7)</sup>은 식이섬유원으로 rice bran 및 soybean fiber를 7% 씩 첨가했을 때, 혈장의 총 콜레스테롤 함량은 감소했으나 HDL-콜레스테롤 농도에는 변화가 없었다고 보고했다. Fernandez 등<sup>12)</sup>은 pectin을 첨가하여 guinea pig에 섭취시킨 결과 LDL-콜레스테롤치가 33%나 감소하였음을 보고하였고, Jonnalagadda 등<sup>31)</sup>도 oat bran과 cellulose 및 xylan을 각각 첨가하여 hamsters에 섭취시켰을 때 VLDL+LDL-콜레스테롤 농도의 현저한 감소를 관찰했다고 보고한 바 있다. 또한 Ney 등<sup>34)</sup>은 oat fiber가 VLDL+LDL-콜레스테롤을 현저하게 감소시킨 반면 HDL-콜레스테롤을 증가시켰다고 보고하였다. 이외에도 기능성 음료에 사용되는 polydextrose가 혈청 콜레스테롤 및 중성지질을 감소시키고 HDL-콜레스테롤을 증가시켰다는 최 등<sup>35)</sup>의 보고가 있다. 본 연구에서도 식이섬유에 의한 식후 혈장 콜레스테롤 저하 효과가 지단백 조성에 미치는 영향을 조사하였다. 그 결과 sodium alginate에 의한 혈장 콜레스테롤 저하는 chylomicron/VLDL과 LDL-콜레스테롤 감소에 의한 것이 밝혀졌으며, HDL-콜레스테롤은 무섬유식이군에 비해 다소 감소하였으나 유의적인 차이는 없었다. 그러나 cellulose군에서는 LDL-콜레스테롤 농도는 무섬유식이군에 비해 유의적으로 감소하였으나 chylomicron/VLDL과 HDL-콜레스테롤 농도는 유의적인 차이가 없었다. 이러한 사실은 sodium alginate의 식후 혈장 콜레스테롤 저하는 소장에서의 담즙성 콜레스테롤 흡수 저해와

chylomicron의 합성 저하에 의한 것으로 사료되며, cellulose의 혈장 콜레스테롤 저하는 내인성 콜레스테롤 pool의 감소에 의한 것으로 풀이된다<sup>36)</sup>. 혹은 식이섬유의 섭취가 소장에서의 콜레스테롤 합성이나 chylomicron을 구성하는 apo지단백의 합성을 저하하는 것으로 설명할 수도 있다<sup>37)</sup>. Cellulose와 sodium alginate는 식후 혈장 중성지방과 인지질의 농도 또한 감소시켰는데, 이러한 감소는 chylomicron/VLDL 분획에서 현저하게 나타난다. 지방은 담즙에 유화되어 소장에서 chylomicron의 형태로 운반되므로 chylomicron/VLDL 분획에서의 중성지방 감소는 소장에서의 중성지방 흡수가 저해(혹은 chylomicron 분비 감소)<sup>22)</sup>, lipoprotein lipase 활성 증가에 의한 chylomicron particles의 제거 속도 상승<sup>26)</sup>, insulin에 의한 조직으로의 중성지방 uptake 증가<sup>38,39)</sup>, 간에서의 VLDL 분비 감소 등<sup>40)</sup>으로 설명될 수 있다. 혹은 위장관내의 lipase 활성이 부분적으로 저해되어 이러한 결과를 가져왔는지도 모른다<sup>41)</sup>. 그러나 단기간의 식이섬유 섭취는 식후 chylomicron이나 TG-rich lipoprotein (TRL)의 중성지방 농도에 아무런 영향을 주지 않았다는 보고가 있다<sup>37)</sup>. Cara 등<sup>26)</sup>도 wheat bran, oat bran 등의 단기간 섭취가 무섬유식이를 섭취한 정상 성인의 식후 insulin response나 glucose 농도에 영향을 미치지 않았다고 보고하였다. 이것은 식이섬유의 단기간 섭취가 영양소의 소화, 흡수 과정을 급속하게 변화하지 않음을 보여주는 결과라 하겠다. 그러므로 식이섬유의 장기간 섭취는 흰쥐의 소화효소, 그리고 내분비계에 영향을 미치고 이러한 생리적 변화가 식이섬유 섭취 후 지질의 흡수와 지단백 조성에 변화를 초래하는 것으로 보인다.

#### 간의 지질 및 단백질 함량

간장의 지질 및 단백질 함량을 측정된 결과는 Table 7과 같다. 간장 중 총 콜레스테롤 및 유리 콜레스테롤 함량은 무섬유식이군에 비해 cellulose군과 sodium alginate군에서 유의적인 수준으로 감소하였으며, 간장의 중성지질 함량은 다른 식이군에 비해 sodium alginate군에서 유의적으로 감소하였다. 간장의 단백질 함량은 각 식이군간 유의적인 차이를 보이지 않았다. 이러한 결과는 pectin의 섭취가 간장의 콜레스테롤 함량을 현저히 감소했다고 보고한 Fernandez 등<sup>32)</sup>의 연구결과와 흰쥐에 oat fiber를 첨가하였을 때 간의 콜레스테롤 및 중성지질 함량이 감소하였다고 보고한 Shinnick 등<sup>5)</sup>의 보고에서 확인된다. 식이섬유 섭취에 의한 간 콜레스테롤 저하는 이들 식이섬유에 의한 담즙산 배설 효과

**Table 7. Liver cholesterol, TG, phospholipid and protein concentrations in rats fed a fiber-free diet or diets containing cellulose and sodium alginate<sup>1</sup>**

	Fiber-free	Cellulose	Sodium alginate
Total cholesterol (mg/g)	2.49±0.08 <sup>a</sup>	1.98±0.09 <sup>b</sup>	1.95±0.12 <sup>b</sup>
Free cholesterol (mg/g)	1.08±0.05 <sup>a</sup>	0.82±0.07 <sup>b</sup>	0.73±0.05 <sup>b</sup>
Esterified cholesterol (mg/g)	1.41±0.13	1.16±0.08	1.22±0.12
Esterified : Free ratio	1.37±0.21	1.46±0.17	1.73±0.25
Triglyceride (mg/g)	8.13±0.41 <sup>a</sup>	7.99±0.67 <sup>a</sup>	5.65±0.55 <sup>b</sup>
Phospholipid (mg/g)	13.18±0.57	13.15±0.07	12.91±0.16
Protein (mg/g)	10.97±0.22	9.98±0.20	10.52±0.40

<sup>1</sup> Values are means±SEM(n=10). Data were analyzed by one-way ANOVA and Fisher's least significant difference test whether mean values were different. Values in rows without common superscripts are significantly different (p<0.05)

에 따른 것으로 간 콜레스테롤이 담즙산 합성에 이용되기 때문이다<sup>5,6</sup>. 이외에도 Nishina 등<sup>23</sup>은 pectin 첨가식이 간 중성지질 농도를 유의적으로 낮추었으며, cellulose 첨가식은 간 중성지질 농도에 있어서 유의적인 차이를 보이지 않았다고 보고하여 본 연구의 결과와 일치한다.

## 요 약

흰쥐에 있어서 sodium alginate와 cellulose가 식후 혈장 지단백과 간의 지질 조성에 미치는 영향을 조사하였다. 실험식이에 각 식이섬유를 10% 수준으로 첨가한 식이로 흰쥐를 4주간 사육한 후 14시간 절식시켰다가 5.0g씩의 해당식이를 섭취하게 하고 4시간이 경과한 뒤 희생하여 혈장 지단백 및 간의 지질 조성을 측정하였다. Sodium alginate의 섭취는 무섬유식이군에 비해 혈장 및 Chylomicron/VLDL-과 LDL-의 콜레스테롤, 중성지방과 단백질 농도를 유의적인 수준으로 감소시켰다. 또한, 간의 콜레스테롤과 중성지방 농도에 있어서도 sodium alginate 첨가군에서 가장 낮은 수치를 보였다. 그러나, HDL-콜레스테롤 농도는 각 식이군간에 유의적인 차이를 나타내지 않았다. Cellulose 첨가군 역시 무섬유식이군에 비해 혈장 콜레스테롤과 중성지방 농도를 감소시켰으나, 간의 중성지방 농도에 있어서는 무섬유식이군과 차이를 보이지 않았다. 이러한 결과는 흰쥐 식이에 함유된 식이섬유가 식 후 지단백 콜레스테롤과 중성지방의 농도를 변화시킬 수 있으며, 특히 수용성 식이섬유인 sodium alginate가 혈장과 간의 콜레스테롤 및 중성지방 농도를 낮추는데 가장 효과적이었음을 보여주었다.

## 문 헌

- Gordon, D. T. : The importance of total dietary fiber in human nutrition and health. *Kor. J. Nutr.*, **25**, 75 (1992)
- Jenkins, D. J. A., Jenkins, A. L., Rao, A. V. and Thompson, L. U. : Cancer risk : possible protective role of high carbohydrates high fiber diets. *Am. J. Gastroenterol.*, **81**, 931 (1986)
- Mendeloff, A. I. : Dietary fiber and gastrointestinal disease. *Am. J. Clin. Nutr.*, **45**, 1267 (1987)
- Mongeau, R. and Brassard, R. : Insoluble dietary fiber from breakfast cereals and brans : bile salt binding and water holding capacity in relation to particle size. *J. Food Sci.*, **59**, 413 (1982)
- Shinnick, F. L., Longacre, M. J., Ink, S. L. and Marlett, J. A. : Oat fiber : Composition versus physiological function in rats. *J. Nutr.*, **118**, 144 (1988)
- 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)
- Hundemer, J. K., Nabar, S. P., Shriver, B. J. and Forman, L. P. : Dietary fiber sources lower blood cholesterol in C57BL/△ mice. *J. Nutr.*, **121**, 1360(1991)
- 조영숙, 박정로, 박석규, 전순실, 정승용, 하봉석 : 갯의 급여가 흰쥐의 cholesterol 대사에 미치는 영향. *한국영양학회지*, **26**, 13 (1993)
- 최용순, 안철, 심호흡, 최면, 이상영 : 인스탄트 메밀 국수가 백서의 소화흡수율, 간장 및 혈청지질 농도에 미치는 영향. *한국영양학회지*, **21**, 478 (1992)
- 최진호, 김재일, 김일성, 김동우 : 흰쥐 혈청중의 중성지질 및 콜레스테롤 함량에 미치는 감(盤柵) 성분의 영향. *한국노화학회지*, **2**, 148 (1992)
- 김선희, 박희연, 박원기 : 해조가공품의 dietary fiber 함량과 물리적 특성. *한국영양학회지*, **17**, 320 (1988)
- 김동수, 박영호 : 알긴산의 화학적 조성 및 그 물성에 관한 연구. (1) 갈태알긴산의 우론산 조성. *한국수산학회지*, **17**, 391 (1984)
- 김동수, 박영호 : 알긴산의 화학적 조성 및 그 물성에 관한 연구. (3) 큰잎모자반의 알긴산. *한국수산학회지*, **18**, 29 (1985)
- 손홍수, 김현숙, 주진순 : 해조류 섭취가 성인 남자의

- Na, Ca, K 흡수와 지질대사에 미치는 영향. 한국영양  
 식량학회지, **21**, 471 (1992)
15. Zilversmit, D. B. : Atherogenesis : a postprandial ph-  
 enomenon. *Circulation*, **60**, 473 (1979)
  16. Mackness, M. I. and Durrington, P. N. : Lipoprotein  
 separation and analysis for clinical studies. In "Lipop-  
 rotein analysis : A practical approach" Converse, C.  
 A. and Skinner E. R.(eds.), Oxford University Press,  
 New York, p.17 (1992)
  17. Folch, J., Lees, M. and Stanley, G. H. S. : A simple meth-  
 od for the isolation and purification of total lipids fr-  
 om animal tissue. *J. Biol. Chem.*, **223**, 498 (1956)
  18. Sale, F. O., Marchesini, S., Fishman, P. H. and Berra,  
 B. : A sensitive enzymatic assay for determination of  
 cholesterol in lipid extracts. *Anal. Biochem.*, **142**, 347  
 (1984)
  19. Lowry, O. H., Rosebrough, N. J., Farr, A. L., Randall, R.  
 J. : Protein measurement with the folin phenol reagent.  
*J. Biol. Chem.*, **193**, 265 (1951)
  20. 최진호, 임채환, 김재연, 양종형, 최재수, 변대석 : 비  
 만치료식 개발을 위한 기초 연구. 1. 식물섬유료서의  
 알긴산의 비만 억제효과. 한국수산학회지, **19**, 303  
 (1986)
  21. 최진호, 최재수, 변대석, 양달선 : 비만치료식 개발을  
 위한 기초연구. 2. 조류와 생약성분의 비만억제작용  
 비교. 한국수산학회지, **19**, 485 (1986)
  22. Ikegami, S., Tsuchihashi, T., Harada, H., Tsuchihashi,  
 N., Nishide, E. and Innami, S. : Effect of viscous indige-  
 stible polysaccharides on pancreatic-biliary secretion  
 and digestive organs in rats. *J. Nutr.*, **120**, 353 (1990)
  23. Nishina, P. M. and Freedland, R. A. : The effects of  
 dietary fiber feeding on cholesterol metabolism in rats.  
*J. Nutr.*, **120**, 800 (1990)
  24. 강희정, 송영선, 서명자, 김은희 : Sodium alginate와  
 cellulose가 흰쥐의 lipoprotein 조성과 콜레스테롤 대  
 사에 미치는 영향. 한국영양학회지 제 35차 학술발  
 표회 초록 (1994)
  25. Nishina, P. M., Schneeman, B. O. and Freedland, R.  
 A. : Effects of dietary fibers on nonfasting plasma lip-  
 oprotein and apoprotein levels in rats. *J. Nutr.*, **122**,  
 219 (1992)
  26. Cara, L., Dubois, C., Borel, P., Armand, M., Senft, M.,  
 Portugal, H., Pauli, A-M., Bernard, P-M. and Lairon,  
 D. : Effects of oat bran, rice bran, wheat fiber, and wh-  
 eat germ on postprandial lipemia in healthy adults.  
*Am. J. Clin. Nutr.*, **55**, 81 (1992)
  27. 이기열, 이양자 : 고급영양학. 신평출판사, p.46 (1992)
  28. Gallaher, D. D., Hassel, C. A., Lee, K-J. and Gallaher,  
 C. M. : Viscosity and fermentability as attributes of  
 dietary fiber responsible for the hypocholesterolemic  
 effect in hamsters. *J. Nutr.*, **123**, 244 (1993)
  29. Smithson, K. W., Millar, D. B., Jacob, L. K. and Gray,  
 G. M. : Intestinal diffusion barrier unstirred water layer  
 or membrane surface mucous coat? *Science*, **214**, 1241  
 (1990)
  30. Jenkins, D. J. A., Wolver, T. M. S., Leeds, A. R., Gas-  
 sull, M. A., Haisman, P., Dilawari, J., Goff, D. V., Metz,  
 G. L. and Alberti, K. G. G. M. : Dietary fibers, fiber  
 analogues and glucose intolerance : Importance of  
 viscosity. *Br. Med. J.*, **27**, 1392 (1978)
  31. Snow, P. and O'Dea, K. : Factors affecting the rate of  
 hydrolysis of starch in food. *Am. J. Clin. Nutr.*, **34**, 2721  
 (1981)
  32. Fernandez, M. L., Trejo, A. T. and McNamara, D. J. :  
 Pectin isolated from prickly pear (*Opuntia* sp.) modifies  
 low density lipoprotein metabolism in cholesterol-fed  
 guinea pigs. *J. Nutr.*, **120**, 1283 (1990)
  33. Jonnalagadda, S. S., Thye, F. W. and Robertson, J. L. :  
 Plasma total and lipoprotein cholesterol, liver cho-  
 lesterol and fecal cholesterol excretion in hamsters fed  
 fiber diets. *J. Nutr.*, **123**, 1377 (1993)
  34. 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)
  35. 최면, 김종대, 주진순 : Polydextrose와 hydrolysed guar  
 gum이 지방량을 달리한 식이를 섭취한 정상백서의 지  
 질대사에 미치는 영향. 한국영양학회지, **25**, 211 (1992)
  36. Linscheer, W. G. and Vergoesen, A. J. : Lipids. In "Mo-  
 dern nutrition in health and disease" Shils, M. E. and  
 Young, V. R. (eds.), 7th ed., Lea and Febiger, Philadel-  
 phia, p.83 (1988)
  37. Redard, C. L., Davis, P. A., Middleton, S. J. and Schne-  
 eman, B. O. : Postprandial lipid response following a  
 high fat meal in rats adapted to dietary fiber. *J. Nutr.*,  
**122**, 219 (1992)
  38. Jenkins, D. J. A., Rainey-MacDoanld, C. G., Jenkins,  
 A. L. and Benn, G. : Fiber in the treatment of hyperli-  
 pidemia. In "CRC handbook of dietary fiber of human  
 nutrition" Spiller, G. A.(ed.), Boca Raton, Florida, CRC  
 Press, p.87 (1986)
  39. Wolever, T. M. S. and Jenkins, D. J. A. : Effect of dietary  
 fiber and foods on carbohydrate metabolism. In "CRC  
 handbook of dietary fiber of human nutrition" Spiller,  
 G. A. (ed.), Boca Raton, Florida, CRC Press, p.87 (1986)
  40. Mahlwy, R. W. : Atherogenic hyperlipoproteinemia.  
 The cellular and molecular biology of plasma lipoprote-  
 ins altered by dietary fat and cholesterol. *Med. Clin.*  
*North Am.*, **66**, 375 (1982)
  41. Schneeman, B. O. : Effect of plant fiber on lipase, try-  
 psin and chymotrypsin activity. *J. Food Sci.*, **43**, 634  
 (1978)

(1994년 9월 8일 접수)