

김에서 분리한 포피란과 불용성 식이섬유가 고지방식이 섭취 흰쥐의 지질대사에 미치는 영향

이정선 · 이명현* · †구재근**

JS식품영양연구소, *한림성심대학 식품영양과, **군산대학교 식품생명공학과

Effects of Porphyran and Insoluble Dietary Fiber Isolated from Laver, *Porphyra yezoensis*, on Lipid Metabolism in Rats Fed High Fat Diet

Jung-Sun Lee, Myung-Heon Lee* and †Jae-Geun Koo**

Institute of JS Food & Nutrition, Chuncheon 200-761, Korea

*Dept. of Food & Nutrition, Hallym College, Chuncheon 200-702, Korea

**Dept. of Food Science & Biotechnology, Kunsan National University, Gunsan 573-701, Korea

Abstract

This study was conducted to investigate the hypocholesterolemic effects of porphyran and insoluble dietary fiber isolated from laver in rats fed high fat diet containing 1% cholesterol, 0.25% sodium cholate and 12% lard. Rats were fed, *ad libitum*, diets containing 5% diet fiber as cellulose(normal control or high fat control), porphyran or insoluble dietary fiber for 4 weeks. Among the groups fed high fat diet, liver weight was significantly lower in high fat porphyran group than high fat control. Plasma GOT, GPT, total cholesterol, cholesteryl ester, LDL-cholesterol and liver total cholesterol concentration were significantly lower in high fat porphyran group than high fat control. The feeding of porphyran significantly increased fecal cholesterol and bile acid excretion. The feeding of insoluble dietary fiber had no significant effect on either plasma or liver cholesterol levels, although fecal cholesterol level in the insoluble dietary fiber group was significantly higher than that in the high fat control. The results indicate that porphyran isolated from the laver may exert their hypocholesterolemic effect by increasing excretion of fecal bile acid and cholesterol.

Key words: *Porphyra yezoensis*, porphyran, rat, cholesterol, lipid metabolism.

서론

우리나라 사람들의 식생활 양상이 서구화되면서 관상동맥 질환의 발생 빈도가 급격히 증가하고 있다. 관상동맥질환 중 대표적인 질환은 협심증과 심근경색증이며, 이는 대부분 죽상동맥경화증에 의해서 발생된다. 죽상동맥경화증의 발생에 중요한 영향을 미치는 1차적인 위험 요인으로는 고콜레스테롤혈증, 고혈압, 흡연이며, 2차적인 위험 요인은 당뇨, 비만, 성별, 연령 및 성격을 들 수 있다(Stamler 1981). 한국인의 혈중 총콜레스테롤 수치는 지난 1980년 이후 꾸준히 증가해서

2007년 국민건강영양조사에서 30세 이상 성인의 경우 남자는 189 mg/dl, 여자는 192 mg/dl이었다(Ministry of Health & Welfare 2008). 한국인의 혈중 총콜레스테롤 수치가 점차 증가하는 이유는 식이 중 지질 섭취량의 증가와 식이섬유 섭취량의 감소를 들 수 있다. 1인 1일 평균 지질 섭취량의 경우 1990년 72 g, 2000년 80 g, 2007년에는 89 g으로 증가되었으며(National Health Statistics 2009), 식이섬유 섭취량은 1980년 22 g, 1985년 25 g, 1990년 17 g, 1995년 21 g, 2001~2002년 20 g이었다(Korea Health Industry Development Institute 2005). 한편, 식이섬유가 인체의 콜레스테롤을 포함하는 지질대사

† Corresponding author: Jae-Geun Koo, Dept. of Food Science and Biotechnology, Kunsan National University, San 68, Miryong-dong, Gunsan-si, Jeonbuk-do 573-701, Korea. Tel: +82-63-469-1828, Fax: +82-63-469-1821, E-mail: kseaweed@kunsan.ac.kr

에 영향을 미치는 것은 잘 알려져 있다(Alan 등 1975; Anderson & Chen 1979; Mirttinen 1987). 식이섬유를 함유하고 있는 다양한 식물성 식품 및 이들에서 추출한 식이섬유의 섭취가 혈중 콜레스테롤 저하 효과를 나타낸다고 보고되고 있다(Anderson 등 1994; Kang 등 1994; Park 등 1996; Lee 등 1998; Lee 등 2004). 이들 식품 중 해조류는 건강에 유익한 생리활성에 대한 보고가 이루어져 건강 기능성 천연소재로서 각광을 받고 있다(Jimenez-Escrig & Goni-Cambrodon 1999). 해조류 중 김(*Porphyra yezoensis*)은 건물 기준으로 25% 정도의 당을 함유하고 있는데, 이들 당은 주로 세포벽 구성 성분인 불용성 다당과 세포 간 충전 물질인 수용성 산성 다당인 포피란으로 이루어져 있다. 수용성 다당인 포피란은 건조 김의 10% 내외로 함유되어 있고, 최근에는 항종양 활성(Noda 등 1989), 항산화 활성(Zhang 등 2004) 및 ACE(Angiotensin converting enzyme) 저해 활성(Kim 등 2005) 등 우수한 생리활성이 밝혀짐에 따라 기능성 식품 소재로서의 이용 가능성이 매우 높은 성분으로 보고되고 있다. 그러나 김의 불용성 다당에 관한 연구는 hemice-llulose의 구성당 조성 등에 한정되어 있다(西澤一俊 1989).

본 연구에서는 현대인의 서구화된 식생활을 반영하기 위해 고지방/고콜레스테롤 식이를 고지방대조군으로 하였으며, 김으로부터 분획하여 얻은 포피란과 불용성 식이섬유를 고지방 식이에 혼합하여 흰쥐에 섭취시켜 식이성 고지혈증의 개선 효과를 검토하고자 하였다.

재료 및 방법

1. 김으로부터 포피란 및 불용성 식이섬유 제조

실험에 사용한 김은 전라북도 소재의 신시도 양식장에서 채취한 후 건조하여 실험에 사용하였다. 포피란 제조는 Koo 등(2007)의 방법에 준하여 pH 4.0의 약산성 조건에서 추출(80°C, 3 hr), 여과한 후 0.5% Alcalase와 0.5% Flavozyme을 처리하여 포피란 시료로 하였다. 불용성 식이섬유 제조는 건조 김에 증류수를 넣고 100°C에서 3시간 추출한 후 200 mesh 체로 잔사를 얻었다. 잔사를 다시 증류수에 분산시킨 후 1% Alcalase와 1% Flavozyme으로 연속적으로 가수분해한 후 유리여과기(Iwaki 25G1)로 여과하여 불용성 잔사를 분리한 다음 열풍 건조(50°C)하여 불용성 식이섬유로 하였다. 포피란의 주요성분은 총당 83.8%, 단백질 2.7%, 회분 13.5%이었고, 포피란의 주요 구성당은 3,6-anhydro galactose 14.9%, 6-methyl galactose 2.1%, galactose 46.5%이었고, 황산기 14.5%이었다. 불용성 다당은 총당 46.7%, 단백질 10.6%, 황산기 2.1%이었다.

2. 실험 동물

실험 동물은 5주령의 Sprague-Dawley계 숫쥐 32마리를

(주)오리엔트로부터 분양받아 사육용 steel cage에 1마리씩 사육하였으며, 쥐사육용 고택사료로 1주일간 예비 사육한 후 모든 실험군들의 체중이 일정하도록 고려한 다음 실험군을 8마리씩 4군으로 나누었다. 사육 기간 동안 사육실 온도는 22±2°C로 일정하게 유지하고 12시간 주기로 명암을 자동 조절하였으며, 사육 전 기간 동안에 사료와 물은 자유 섭취 방법으로 급식하였고, 사료 섭취량은 매일 오전 10시에, 체중은 1주일 간격으로 측정하였다.

3. 실험 식이

1주일간의 예비사육 기간 동안 실험식은 고택 쥐사료를 섭취시켰다. 본 실험의 실험군은 정상대조군(Normal control, N), 고지방대조군(High Fat Control, HF), 고지방-포피란군(High Fat-Porphyrin, HF-P), 고지방-불용성 식이섬유군(High Fat-Insoluble Dietary Fiber, HF-I) 4군으로 나누어 4주간 섭취시켰다. 본 실험기간에 사용한 식이는 다음과 같이 제조하였다. 즉, 정상대조군의 정상식은 American Institute Nutrition (AIN)의 식이조성(Report of AIN, 1977)에 준하여 제조하였으며, 고지방대조군은 옥수수기름 대신 포화지방산의 함유량이 높은 돼지기름 12%와 콜레스테롤 1%, sodium cholate 0.25%를 함유하는 식이를 제조하여 고지혈증과 고콜레스테롤혈증을 유발시켰다. 실험군은 김에서 추출한 포피란과 불용성 식이섬유를 cellulose 대신 각각 5%씩 고지방 식이에 혼합하였다. 실험 식이의 구성성분은 Table 1과 같았다.

Table 1. Composition of experimental diet (%)

	N	HF	HF-P	HF-I
Casein	20	20	20	20
DL-Methionine	0.3	0.3	0.3	0.3
Sucrose	50	50	50	50
Corn starch	15.0	6.75	6.75	6.75
Corn oil	5.0	-	-	-
Lard	-	12.0	12.0	12.0
Cholesterol	-	1.0	1.0	1.0
Sodium cholate	-	0.25	0.25	0.25
Mineral mix ¹⁾	3.5	3.5	3.5	3.5
Vitamin mix ²⁾	1.0	1.0	1.0	1.0
Choline bitartrate	0.2	0.2	0.2	0.2
Cellulose	5.0	5.0	-	-
Porphyrin	-	-	5.0	-
Insoluble dietary fiber	-	-	-	5.0

¹⁾ AIN vitamin mixture(g/kg mix), ²⁾ AIN-76 mineral mix(g/kg mix).

4. 분변의 수집, 채혈, 장기 무게 측정

실험기간이 끝나기 1주일 전부터 하루에 배설되는 분변을 7일간 수집한 후 이물질들을 제거하고 무게를 측정하고 동결 건조하여 분석시료로 사용하였다. 실험쥐의 사육 기간이 끝나기 전 12시간 공복시킨 후 에틸에테르로 마취시킨 다음 항응고제가 들어 있는 5 ml 주사위를 이용하여 복부대동맥에서 채혈한 후 원심분리 시험관에 조심스럽게 가하여 뚜껑을 닫고 2~3회 가볍게 기울여 잘 섞이도록 하였다. 혈액은 3,000 rpm(4°C)에서 10분간 원심분리하여 혈장을 분리하고 분석 전까지 -70°C 냉동고에 보관하였다. 또한 장기는 떼어내어 식염수에 세척한 다음 거름종이에서 물기를 제거한 후 무게를 측정하였다. 간장은 먼저 생리식염수로 혈액을 제거한 후 물기를 제거하고 총무게를 측정하였다.

5. 혈액성분 측정

혈액의 당질, 중성지질, 총콜레스테롤, HDL-콜레스테롤, GOT, GPT는 아산제약의 kit로 측정하였으며, 유리 콜레스테롤, 유리 지방산은 효소비색법을 이용한 Wako사 kit 시약을 이용하여 측정하였다. 또한 총콜레스테롤에서 유리 콜레스테롤을 뺀 값으로 cholesteryl ester를 구하였으며, 분석된 혈중 지질 수치를 이용하여 Cholesteryl ester/Free cholesterol 비율, LDL-콜레스테롤 농도(Friedewald 등 1972), 동맥경화지수(atherogenic index, AI) 및 (total cholesterol-HDL-cholesterol)/HDL-cholesterol)을 구하였다.

6. 간장 및 분변의 성분 측정

간장과 분변의 총지질 함량은 클로로포름:메탄올(2:1, v/v) 용액을 이용하여 지질을 추출한 후 용매를 날려 보내고 지질의 무게를 측정하여 구하였다. 추출한 간장과 분변의 지질은 일정량의 클로로포름에 녹여 밀봉한 후 중성지질과 콜레스테롤 함량 분석 전까지 냉장·저장하였다. 중성지질 및 총콜레스테롤은 혈액 측정 시 사용한 것과 동일한 kit 시약(아산제약)으로 각각 측정하였다. 변에서의 고형분 함량은 동결건조법으로 구하였으며, 변의 담즙산 함량을 측정하기 위해 변에서 담즙산을 추출하였다. 즉, 냉동건조하여 분말화한 분변 시료 0.2 g을 7 ml acetone : ethanol(1 : 1, v/v) 용액과 함께 뚜껑이 있는 원심분리용 튜브에 넣고 1시간 동안 shaking시킨 후 원심분리하였다. 상등액을 취하여 다른 튜브에 옮기고 위와 같은 단계를 1회 더 반복하였다. 담즙산 분석은 효소적 방법을 이용한 kit 시약(Wako, Japan)을 이용하여 분광광도계로 측정하였다.

7. 통계 처리

본 실험에서 얻어진 결과의 통계 처리는 SAS computer pro-

gram을 이용하여 실험군별로 평균과 표준오차를 구하였고, 각 실험군들 간의 유의성을 확인하기 위하여 ANOVA에 의해 $p < 0.05$ 수준에서 Duncan's multiple range test를 행하여 실험군 사이의 평균의 차이에 대한 통계적 유의성을 검증하였다.

결과 및 고찰

1. 실험동물의 식이섭취량 및 체중증가량

실험동물의 일일 평균 식이섭취량, 체중증가량 및 사료효율은 Table 2와 같았다. 일일 평균 식이섭취량은 고지방-불용성 식이섬유군에서 다소 적게 섭취한 경향을 보였으나 유의적인 차이는 아니었다. 체중증가량은 다른 군에 비해 정상대조군이 낮은 경향을 보였으며, 사료효율은 고지방-불용성 식이섬유군에서 높은 경향을 보였으나 유의적인 차이는 아니었다.

2. 실험동물의 장기무게

실험동물의 간장, 신장, 비장의 무게는 Table 3과 같았다. 실험동물의 간장 무게는 정상대조군과 비교해서 고지방대조군, 고지방-포피란군, 고지방-불용성 식이섬유군에서 각각 70%, 50%, 55% 증가하였다. 신장과 비장의 무게는 정상대조군과 비교하여 모든 실험군에서 유의적인 차이가 없었다. 장기 무게를 체중에 대한 백분율로 나타내었을 때 간장의 경우만 고지방대조군보다 고지방-포피란군이 유의적으로 13% 작게 나타났고, 신장과 비장은 실험군들 간에 차이를 보이지 않았다.

3. 혈중 GOT, GPT 및 혈당 농도

혈중 GOT, GPT 및 혈당 농도는 Table 4와 같았다. 혈중 간기능 지표효소인 GOT, GPT 농도는 정상대조군과 비교하여 고지방을 섭취한 고지방대조군, 고지방-포피란군, 고지방-불용성 식이섬유군에서 높았으며, 고지방대조군과 비교해서는

Table 2. Feed intake, weight gain and FER of the experimental rats

Group	Feed intake (g/day)	Body weight gain (g/day)	FER ¹⁾
N	22.36±1.00	7.50±0.44	0.34±0.02
HF	24.45±1.92	8.01±0.31	0.34±0.01
HF-P	23.30±2.22	8.31±0.36	0.37±0.02
HF-I	20.90±0.83	8.16±0.23	0.39±0.01

Values are Mean±S.E.,

¹⁾ Feed efficiency ratio: Weight gain(g/day) divided by feed intake (g/day).

Table 3. Organ weight of the experimental rats

Group	Liver	Kidney (g)	Spleen
N	16.38±0.61 ^a	2.84±0.09	0.73±0.03
HF	27.98±1.51 ^b	2.88±0.12	0.85±0.06
HF-P	24.53±1.44 ^b	2.97±0.10	0.89±0.06
HF-I	25.49±1.11 ^b	2.82±0.07	0.90±0.13

(% of body weight)			
N	4.58±0.14 ^a	0.79±0.01	0.20±0.01
HF	7.54±0.36 ^c	0.78±0.02	0.23±0.02
HF-P	6.53±0.39 ^b	0.79±0.02	0.23±0.01
HF-I	6.81±0.21 ^{bc}	0.76±0.02	0.24±0.03

Values are Mean±S.E.,

Values within the same column with different alphabets are significantly different($p<0.05$) among the groups by Duncan's multiple range test.

Table 4. The levels of GOT, GPT and glucose in the plasma of the experimental rats

Group	GOT(IU/ ℓ)	GPT(IU/ ℓ)	Glucose(mg/dℓ)
N	30.8±1.4 ^a	9.3±0.6 ^a	192.9±11.2
HF	48.6±7.0 ^b	16.1±1.6 ^b	203.6±13.1
HF-P	44.5±7.5 ^{ab}	12.5±1.3 ^{ab}	178.8±6.70
HF-I	49.9±9.9 ^b	15.4±2.9 ^b	208.5±9.80

Values are mean±S.E.,

Values within the same column with different alphabets are significantly different($p<0.05$) among the groups by Duncan's multiple range test.

고지방-포피란군에서 낮은 경향을 보였다. GOT, GPT 활성은 고지방식, 알콜 등으로 지방간이 유발되었을 때나 간 독성물질에 의하여 혈중의 활성도가 높아지게 된다. 미역, 다시마, 곰피, 대황과 같은 해조류를 포함한 고지방/고콜레스테롤 식이를 섭취한 흰쥐의 혈중 GOT, GPT는 해조류를 포함하지 않은 대조군과 비교하여 낮은 결과를 보인 것과 일치하였다 (Jang 등 2008). 혈당 농도는 모든 실험군들 중에서 고지방-포피란군이 가장 낮은 수준이었으나 유의적인 차이는 아니었다.

4. 혈중 중성지질 및 유리지방산 농도

혈중 중성지질 및 유리지방산의 농도는 Table 5와 같았다. 혈중 중성지질 농도는 고지방 섭취군들이 정상대조군과 비교해서 높은 경향을 보였는데, 이는 고지방군들의 식이 내 지질 함량이 정상대조군보다 7% 더 많아 지질 섭취량의 차이가

Table 5. The levels of triglyceride and free fatty acid in the plasma of the experimental rats

Group	Triglyceride(mg/dℓ)	Free fatty acid(μEq/ ℓ)
N	126.0±7.1	0.75±0.05
HF	136.7±4.5	0.75±0.03
HF-P	130.8±3.0	0.76±0.05
HF-I	139.8±5.1	0.68±0.06

Values are mean±S.E.

많았기 때문에 사료된다. 고지방-포피란군과 고지방-불용성 식이섬유군의 중성지질 농도는 고지방대조군과 유의적인 차이를 보이지 않았는데, 이는 고지방대조군도 5% cellulose를 함유하고 있어 어느 정도 지질 저하 효과를 나타내 실험군들과 큰 차이를 보이지 않은 것으로 사료된다. 혈중 유리지방산 농도는 실험군들 간에 유의적인 차이가 없었으나, 고지방-불용성 식이섬유군이 낮은 경향을 보였다. Kang 등(1994)은 흰쥐에게 10% 옥수수기름을 함유한 고지방식이를 4주간 섭취시켰을 때 무식이섬유군과 비교해서 10% cellulose군과 10% sodium alginate군은 혈중 중성지질 함량이 유의적으로 감소하였으나, cellulose군과 sodium alginate군 간의 유의적인 차이는 보이지 않았다. Jang 등(1998)은 5% 옥수수기름에 1% 콜레스테롤을 함유한 식이를 흰쥐에게 5주간 섭취시켰을 때 무식이섬유군과 비교해서 5% cellulose군과 5% pectin군은 혈중 중성지질 함량이 유의적으로 감소하였으나, cellulose군과 pectin군 간의 유의적인 차이는 보이지 않았다. 본 실험의 경우 무식이섬유군이 없어 실험군과의 차이를 비교할 수는 없었으며, Kang 등(1994)과 Jang 등(1998)의 결과와 같이 불용성 식이섬유와 수용성 식이섬유의 중성지질 저하효과는 유의적인 차이를 보이지 않았다.

5. 혈중 콜레스테롤 농도

혈중 총콜레스테롤, 유리 콜레스테롤, LDL-콜레스테롤, HDL-콜레스테롤 농도 및 동맥경화지수는 Table 6과 같았다. 혈중 총콜레스테롤 농도는 실험군들 중에서 정상대조군이 가장 낮았으며, 고지방-포피란군의 혈중 총콜레스테롤 농도는 고지방대조군과 비교해서 20% 유의적으로 감소하였다. 정상대조군과 비교하여 1% 콜레스테롤, 0.25% cholic acid를 함유한 식이를 섭취한 고지방대조군은 혈중 총콜레스테롤이 66% 증가하였으며, 김으로부터 추출한 불용성 식이섬유를 함유한 실험군의 혈중 총콜레스테롤 농도는 고지방대조군과 유의적인 차이를 보이지 않았다. 식이섬유를 이용한 콜레스테롤 저하효과실험에서 그 효과는 불용성보다 수용성에서 현저히 크다고 하였다(Anderson 등 1994; Kang & Song 1997). 대표적인 불용성 식이섬유인 cellulose가 콜레스테롤에 미치는

Table 6. The levels of total cholesterol, free cholesterol, cholesteryl ester, CE/FC ratio, LDL-cholesterol, HDL-cholesterol and AI in the plasma of the experimental rats

Group	Total cholesterol (mg/dl)	Free cholesterol (mg/dl)	Cholesteryl ester (mg/dl)	CE/FC	LDL cholesterol (mg/dl)	HDL cholesterol (mg/dl)	AI ¹⁾
N	92.4± 6.5 ^a	20.9±0.9	71.6± 5.9 ^b	3.41±0.29 ^a	47.4± 6.7 ^a	19.9±0.9 ^a	3.7±0.4 ^b
HF	153.3±16.4 ^c	28.4±4.2	125.0± 9.6 ^a	4.68±0.36 ^b	130.6±16.7 ^c	9.4±1.2 ^b	18.6±4.5 ^a
HF-P	123.2±20.1 ^b	25.3±5.1	97.9±15.5 ^b	4.28±0.48 ^b	103.8±20.1 ^b	9.3±0.9 ^b	14.3±2.6 ^a
HF-I	160.5±29.1 ^c	34.4±6.7	135.1±22.6 ^a	4.14±0.29 ^b	125.6±29.8 ^{ab}	10.0±1.3 ^b	14.3±4.0 ^a

Values are mean±S.E.,

Values within the same column with different alphabets are significantly different ($p < 0.05$) among the groups by Duncan's multiple range test,

¹⁾ Atherogenic index: (total cholesterol - HDL-cholesterol)/HDL-cholesterol.

영향에 대한 쥐실험에서 cellulose가 오히려 혈중 콜레스테롤을 증가시키거나 영향을 미치지 않았다(Nishina 등 1991; Yang 등 1996). 한편, 고콜레스테롤 유발제인 Triton WR-1339를 주사한 쥐에게 김 추출물을 복강 주사하였을 때 혈중 콜레스테롤이 저하되었는데(Hong 등 1998), 이것도 김의 수용성 추출물이었다. 김 이외의 해조류인 참다발 메탄올 추출물(Park 등 1996), 미역과 다시마 유래 저분자 알긴산(Lee 등 1998), 갈래곰보(Park 등 2001), 매생이(Kwon 등 2006)도 고지방 섭취 흰쥐의 혈중 콜레스테롤 함량을 낮춘 것으로 보고된 바 있다. 유리 콜레스테롤 농도는 고지방식이 섭취에 의해 실험군들 간에 유의적인 차이를 나타내지 않았으며, 고지방군들 중에서는 고지방-포피란군에서 낮은 경향을 보였다. 콜레스테롤 에스테르 농도의 경우 고지방식이에 의해 유의적으로 증가하였으며, 고지방대조군과 비교하여 고지방-포피란군에서 22% 유의적으로 낮았다. CE/FC 비율도 고지방식이에 의해 유의적으로 증가하였으며, 고지방군들 사이에는 유의적인 차이를 보이지 않았지만 고지방-불용성 식이섬유군에서 낮은 경향을 보였다. 혈중 LDL-콜레스테롤 농도는 정상대조군이 실험군들 중에서 가장 낮았고 고지방대조군과 비교해서 고지방-포피란군은 21% 유의적으로 감소하였다. HDL-콜레스테롤 농도는 정상대조군에 비해서 고지방군들이 낮았으며 고지방군들 사이에 유의적인 차이는 보이지 않았다. 동맥경화지수는 정상대조군에 비해 고지방군들에서 증가하였으며, 고지방대조군과 비교하여 고지방-포피란군과 고지방-불용성 식이섬유군이 낮은 경향을 보였다. LDL은 혈청 콜레스테롤의 주된 운반형으로 고콜레스테롤을 섭취할 경우 혈청의 LDL 농도가 증가된다. 이러한 LDL-콜레스테롤 농도 증가는 심혈관계질환 발생률의 증가와 밀접한 관련성이 있다(Bates 1979; William 등 1979; Gorden 등 1981). HDL-콜레스테롤은 콜레스테롤을 말초조직으로부터 간으로 이동시키며 혈관벽에 콜레스테롤 축적을 방지하는 항동맥경화 인자로 알려져 있다(Castelli 등 1986). 고콜레스테롤 식이를 섭취시킨 동물실험에서 식이섬유의 섭

취는 혈장 총콜레스테롤과 LDL-콜레스테롤을 낮추어 주고, HDL-콜레스테롤은 높이는 것으로 보고되었다(Kang & Song 1997). HDL-콜레스테롤의 경우 식이섬유의 종류에 따라 유의적인 변화를 보이지 않거나 오히려 감소하는 경우도 보고되었지만(Fernandez 등 1990; Hundemer 등 1991), 수용성 식이섬유가 증가된 총콜레스테롤과 LDL-콜레스테롤을 낮춘다는 사실은 많은 연구 결과에서 일치하고 있다. 고콜레스테롤 및 고지방식이를 섭취시킨 본 실험의 경우 고지방-포피란군에서 보여준 혈중 총콜레스테롤의 감소는 주로 LDL-콜레스테롤의 감소에 의한 것으로 생각된다. 한편 고콜레스테롤 식이에 포피란 1%, 5%, 10%를 각각 실험쥐에 투여한 경우 혈중 중성지질, 총콜레스테롤, LDL-콜레스테롤 및 동맥경화지수는 낮아졌으며, HDL-콜레스테롤은 증가되었는데, 이러한 효과는 포피란 함유량이 가장 많은 10% 수준에서 가장 크게 나타났다(Jung 등 2001).

6. 간장의 지질 함량

간장의 지질 함량은 Table 7과 같았다. 고지방식이를 섭취한 실험군들은 정상대조군보다 유의적으로 간의 지방 함량이 증가되었고, 고지방군에서는 실험군들 간의 유의적인 차이를 보이지 않았다. 간장의 중성지질 함량도 정상대조군에서 유의적으로 낮았으며, 고지방군들에서는 유의적인 차이를 보이지 않았으나 고지방-포피란군과 고지방-불용성 식이섬유군이 낮은 경향을 보였다. 간장의 총콜레스테롤 함량은 정상대조군과 비교하여 고지방군들에서 현저하게 증가되었으며 고지방-포피란군은 고지방대조군보다 16% 유의적으로 감소하였다. 고지방 식이를 섭취할 경우 간장의 지질은 미처 대사되지 못하고 간에 쌓이게 되고, 이러한 상황에서 수용성 식이섬유의 섭취는 간의 지질 함량을 낮추는 것으로 보고되었다(Fernandez 등 1990; Kang 등 1994; Kim 등 1999). Kim 등 (1999)의 보고에서 식이섬유 함유군의 간장 내 총콜레스테롤 함량은 식이섬유 무함유군 보다 낮았으며, 식이섬유 함유군

Table 7. The levels of total lipid, total cholesterol and TG in the liver of the experimental rats

Group	Total lipid (%)	TG (mg/g)	Total cholesterol (mg/g)
N	5.24±0.17 ^a	6.6±1.1 ^b	1.38±0.13 ^c
HF	21.92±1.11 ^b	15.0±2.1 ^a	15.43±0.92 ^a
HF-P	21.86±1.34 ^b	12.8±0.6 ^a	12.95±0.52 ^b
HF-I	23.48±0.60 ^b	13.1±0.7 ^a	14.54±0.60 ^{ab}

Values are mean±S.E.,

Values within the same column with different alphabets are significantly different ($p < 0.05$) among the groups by Duncan's multiple range test.

의 경우 셀룰로오스군보다 펙틴군의 총콜레스테롤 함량이 유의하게 낮았다. 이러한 결과는 간장 내 유리 콜레스테롤 및 에스테르 콜레스테롤 함량에서도 유사하게 나타났다. 본 실험의 경우 김에서 추출한 수용성 식이섬유인 포피란은 간의 콜레스테롤 함량을 유의적으로 감소시켰으나, 불용성 식이섬유는 간의 지질 함량에 영향을 미치지 못해 혈액에서와 유사한 결과를 나타내었다.

7. 분변의 무게 및 지질 함량

실험동물의 분변 무게, 총지질, 콜레스테롤 및 총담즙산 함량은 Table 8과 같았다. 실험동물의 일일 건조 분변 무게는 모든 실험군에서 유의적인 차이가 없었으나, 고지방-포피란군에서 다소 높게 나타났다. 분변의 총 지질은 퍼센트 함량인 경우 정상대조군과 비교해서 고지방대조군, 고지방-포피란군, 고지방-불용성 식이섬유군에서 각각 32%, 37%, 54% 유의하게 증가하였는데, 이는 식이 중에 같은 양의 식이섬유를 함유하더라도 고지방군의 경우 지방의 흡수율이 낮았기 때문으로 사료된다. 하루에 배설된 분변의 총 지질량으로 볼 때 정상대조군에 비해 고지방-포피란군이 57% 유의적으로 증가하였는데, 이는 일일 분변의 총 배설량과 지방 함량이 모두 고지방-포피란군에서 많았기 때문인 것으로 사료된다. 분변에

서의 콜레스테롤 함량은 정상대조군보다 고지방군들이 유의적으로 많았으며, 고지방대조군과 비교해서 고지방-포피란군, 고지방-불용성 식이섬유군에서 각각 26%, 13% 유의하게 증가하였다. 분변을 통한 콜레스테롤의 일일 배설량으로 보면 고지방대조군과 비교해서 고지방-포피란군이 39% 유의하게 많았다. 분변 중 담즙산 함량은 정상군보다 고지방군들에서 유의적으로 많았으며, 고지방군에서는 대조군과 비교해서 고지방-포피란군에서 14% 유의하게 증가하였다. 분변을 통한 담즙산의 일일 배설량은 정상군보다 고지방군들에서 유의적으로 많았으며, 고지방대조군과 비교해서 고지방-포피란군에서 22% 유의하게 증가하였다. 식이섬유는 분변으로 배설하는 지질의 양에 영향을 미친다고 보고되었다(Yang 등 1996). 알긴산을 흰쥐에 섭취시켰을 경우 지방의 소화율이 감소되어 분변량 및 분변의 지방 함량이 증가되었다고 하였다(Harmuth-Hoene & Schwerdtfeger 1979). 이러한 분변을 통한 지질 배설 작용은 불용성 다당보다는 점성이 있거나 gel을 형성하는 수용성 다당에서 더 크게 일어나며, 이는 장관에서 중성지방, 콜레스테롤 및 담즙산과 직접 결합하여 이들의 배설을 증가시키고 결국 혈액 및 간장의 중성지질 및 콜레스테롤 저하 효과를 나타낸다고 하였다(Vahouny 등 1980; Kang 등 1994; Yang 등 1996). 본 실험 결과, 김의 수용성 다당인 포피란은 대조군인 cellulose나 김의 불용성 식이섬유보다 분변으로 배설하는 콜레스테롤 및 담즙산 양을 증가시켜 혈중 총콜레스테롤, LDL-콜레스테롤 및 간의 콜레스테롤 저하작용을 나타낸 것으로 사료된다. 최근 증가되고 있는 고콜레스테롤혈증 및 동맥경화를 예방하고 회복하는데 김의 수용성 다당인 포피란은 기능성 재료로서 그 활용도를 넓힐 수 있을 것으로 생각된다.

요약 및 결론

본 연구는 김으로부터 분획하여 얻은 포피란과 불용성 식이섬유를 5% 포함하는 고지방식을 흰쥐에 섭취시켜 식이성 고지혈증의 개선 효과를 검토하고자 하였다. 실험군은 정상대조군, 고지방대조군, 고지방-포피란군, 고지방-불용성 식

Table 8. The fecal dry weights, total lipid, cholesterol and total bile acid in the feces of the experimental rats

Group	Fecal dry weight (g/day)	Fecal total lipid		Fecal cholesterol		Fecal total bile acid	
		(%, dry weight)	(g/day, dry weight)	(mg/g)	(mg/day)	(μ mol/g)	(μ mol/day)
N	1.41±0.12	9.36±0.70 ^a	0.14±0.02 ^b	3.06±0.15 ^d	4.47±0.61 ^c	0.60±0.05 ^a	0.87±0.13 ^a
HF	1.58±0.08	12.39±0.47 ^b	0.20±0.01 ^{ab}	25.78±0.86 ^c	40.99±3.21 ^b	4.62±0.20 ^b	7.28±0.45 ^b
HF-P	1.68±0.19	12.85±0.45 ^{bc}	0.22±0.03 ^a	32.49±0.89 ^a	57.12±6.95 ^a	5.28±0.08 ^c	8.87±0.15 ^c
HF-I	1.37±0.08	14.37±0.84 ^c	0.20±0.02 ^{ab}	29.26±1.64 ^b	40.68±4.09 ^b	5.02±0.06 ^{bc}	6.88±0.20 ^b

Values are mean±S.E.,

Values within the same column with different alphabets are significantly different ($p < 0.05$) among the groups by Duncan's multiple range test.

이섬유군과 같이 4군으로 나누었으며, 4주간 자유급식으로 섭취시켰다. 실험쥐의 일일 평균 식이섭취량, 실험기간 중의 체중증가량, 사료효율은 실험군 간에 유의적인 차이를 보이지 않았다. 장기무게를 체중에 대한 백분율로 나타내었을 때 간장은 고지방대조군보다 고지방-포피란군이 13% 작게 나타났다. 혈중 GOT, GPT 농도와 혈당은 고지방대조군과 비교해서는 고지방-포피란군에서 낮은 경향을 보였고, 혈중 중성지질과 유리지방산은 실험군 간에 유의적인 차이가 없었다. 고지방 섭취에 의해 혈중 총콜레스테롤, LDL-콜레스테롤, 콜레스테롤 에스테르 농도는 증가하였으며, 고지방대조군과 비교해서 고지방-포피란군은 혈중 총콜레스테롤 20%, LDL-콜레스테롤 21%, 콜레스테롤 에스테르 22% 유의적으로 감소하였다. 혈중 HDL-콜레스테롤과 동맥경화지수는 실험군 간에 유의적인 차이를 보이지 않았다. 고지방 섭취에 의해 간장의 지질 함량은 정상대조군보다 증가하였으며, 총 지질 및 중성지질의 경우 실험군 간에 유의적인 차이를 보이지 않았으나, 총콜레스테롤 함량은 고지방대조군과 비교해서 고지방-포피란군이 16% 유의적으로 감소하였다. 실험동물의 일일 건조 분변 무게는 모든 실험군에서 유의적인 차이가 없었으나, 변의 지질 배설량, 총콜레스테롤 및 담즙산량은 정상대조군과 비교하여 고지방 섭취군들에서 유의적으로 증가하였으며, 하루에 배설된 분변의 총 지질량은 정상대조군에 비해 고지방-포피란군이 57% 유의적으로 많았다. 분변에서의 총콜레스테롤 함량은 고지방대조군과 비교해서 고지방-포피란군, 고지방-불용성 식이섬유군에서 각각 26%, 13% 유의하게 증가하였으며, 콜레스테롤 일일 배설량은 고지방대조군과 비교해서 고지방-포피란군에서만 39% 유의하게 많았다. 분변의 담즙산 함량은 고지방대조군과 비교해서 고지방-포피란군에서 14% 유의하게 증가하였고, 담즙산의 일일배설량은 고지방-포피란군에서 22% 유의하게 증가하였다. 이상을 정리하여 보면 김의 수용성 다당인 포피란은 분변으로 배설하는 콜레스테롤 및 담즙산 양을 증가시켜 혈중 총콜레스테롤, LDL-콜레스테롤, 에스테르 콜레스테롤 및 간의 콜레스테롤 저하작용을 나타낸 것으로 사료된다.

감사의 글

본 연구는 해양수산부 수산특정연구개발사업(과제번호 : 20040024)의 연구비 지원에 의해 수행된 결과로 이에 감사드립니다.

참고문헌

西澤一俊. 1989. 海藻の生理活性物質(I). *食品と開發* 24:54-59

- Alan CT, Joel E, James JK, Lin RSC, John RKR. 1975. Influence of certain dietary fibers on serum and tissue cholesterol levels in rats. *J Nutr* 106:118-123
- Anderson JW, Jones AE, Riddell-Mason S. 1994. Ten different dietary fibers have significantly different effects on serum and liver lipids of cholesterol-fed rats. *J Nutr* 124:78-83
- Bates SR. 1979. Accumulation and loss of cholesterol esters in monkeys arterial smooth muscle cells exposed to normal and hyperlipidemic serum lipoproteins. *Arteriosclerosis* 43:165-176
- Castelli WP, Garrison RJ, Wilson PFW, Abbott RD, Kalousdian S, Kannel WB. 1986. Incidence of coronary heart disease and lipoprotein cholesterol levels. *JAMA* 256:2835-2838
- Fernandez ML, Trejo A, McNamara DJ. 1990. Pectin isolated from prickly pear(*Opuntia* sp.) modifies LDL metabolism in cholesterol-fed guinea pigs. *J Nutr* 120:1283-1290
- Friedewald WT, Ley RI, Fredrickson DS. 1972. Estimation of the concentration of low density lipoprotein cholesterol the preparative ultracentrifuge. *Clin Chem* 18:499-502
- Gordon T, Castelli WP, Hortland MC, Lannel WB, Dawber TR. 1977. High density lipoprotein as a protective factor against coronary heart disease; the Framingham study. *Am J Med* 62:707-714
- Harmuth-Hoene A, Schwerdtfeger E. 1979. Effect of indigestible polysaccharides on protein digestibility and nitrogen retention in growing rats. *Nutr Metab* 23:399-407
- Hong YK, Park IS, Jung YH, Song SH, Hong SY. 1998. Effect of the seaweed *Porphyra yezoensis* extract on Triton WR-1339 induced hypercholesterolemia in mouse. *J Kor Fish Soc* 31:508-515
- Hundemer JK, Naber SP, Shiver BJ, Forman LP. 1991. Dietary fiber sources lower blood cholesterol in C57BL/6 mice. *J Nutr* 121:1360-1365
- Jang JY, Lee MK, Kim MJ, Cho SY. 1998. Effect of fiber on serum lipid metabolism in rats with diet-induced hypercholesterolemia. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 27:1211-1216
- Jang YH, Choi SW, Cho SH. 2008. Effect of *Eisenia bicyclis* and its pill on serum lipid status in rats fed high fat diet. *Korean J Nutr* 41:5-12
- Jimenez-Escrig A, Goni-Cambrodon I. 1999. Nutritional evaluation and physiological effects of edible seaweeds. *Arch Latinoam Nutr* 49:114-120
- Jung KJ, Jung BM, Kim SB. 2001. Effect of porphyran isolated from laver, *Porphyra yezoensis*, on lipid metabolism in hy-

- perlipidemic and hypercholesterolemic rats. *Korean J Food Sci Technol* 33:633-640
- Kang HJ, Song YS. 1997. Dietary fiber and cholesterol metabolism. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 26:358-369
- Kang HJ, Suh MJ, Kim EH, Song YS. 1994. Effects of sodium alginate and cellulose on fasting plasma lipoprotein composition and cholesterol metabolism in rats (I). *J Kor Soc Food Nutr* 23:879-886
- Kim MJ, Jang JY, Lee MK, Park JY, Park EM. 1999. Effect of fiber on lipid concentration in hypercholesterolemic rats. *Korean J Food & Nutr* 12:20-25
- Kim YM, Do JR, In JP, Park JH. 2005. Angiotensin I converting enzyme(ACE) inhibitory activities of laver(*Porphyra tenera*) protein hydrolysates. *Korean J Food & Nutr* 18: 11-18
- Koo JG, Park BC, Kim BG, Kim HA, Ryu CH, Kim SY. 2007. Chemical composition and rheological properties of deproteinated porphyran. *J Kor Fish Soc* 40:1-7
- Korea Health Industry Development Institute. 2005. Project of Food Component DB Construction
- Kwon MJ, Nam TJ. 2006. Effects of *Mesangi(Capsosiphon fulvecens)* powder on lipid metabolism in high cholesterol fed rats. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 35:530-535
- Lee DS, Mam TJ, Pyeun JH. 1998. Effect of low molecular alginates on cholesterol levels and fatty acid compositions of serum and liver lipids in cholesterol-fed rats. *J Kor Fish Soc* 31:399-408
- Lee MY, Kim MK, Shin J, Kim SD. 2004. Dietary effect of hemicellulose from soy fiber on blood glucose and cholesterol content in streptozotocin-induced diabetic rats. *J Korean Soc Food Nutr* 33:1119-1125
- Ministry of Health & Welfare. 2008. The 4th Korea National Health and Nutrition Examination Survey, the first year
- Mirttinen TA. 1987. Dietary fiber and lipids. *Am J Clin Nutr* 45: 1237-1242
- Nishina PM, Schneeman BO, Freedland RA. 1991. Effects of dietary fibers on nonfasting plasma lipoprotein and apolipoprotein levels in rats. *J Nutr* 121:431-437
- Noda HHA, Arashima K. 1989. Antitumour activity of polysaccharides and lipids from marine algae. *Nippon Suisan-gakkaishi* 55:1265-1271
- Park HY, Yoon HD, Oh EG. 2001. Effect of *Meristotheca paouloosa* on lipid concentration of serum and liver in rats fed high fat diet. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 30:107-111
- Park JC, Jang YI, Doo MS, Kim SH, Choi JW. 1996. Effect of methanolic extract of *Pchymeniopsis elliptica* on lipids component of hyperlipidemic rats. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 25:958-962
- Stamler J. 1981. Introduction to risk factors in coronary artery disease in medical communication. pp1-3. Northfield
- Statistics Korea. 2009. Social Indicator of Korea
- Vahouny GV, Roy T, Callo LL, Story JA, Kritchevsky D, Cassidy MM. 1980. Dietary fibers III. Effects of chronic intake on cholesterol absorption and metabolism in the rat. *Am J Clin Nutr* 33:2182-2191
- William P, Robinson D, Bailey A. 1979. High-density lipoprotein and coronary risk factors in normal men. *Lancet* 313: 72-75
- Yang JL, Suh MJ, Song YS. 1996. Effect of dietary fibers on cholesterol metabolism in cholesterol-fed rats. *J Korean Soc Food Nutr* 25:392-398
- Zhang Q, Ning L, Liu X, Zhao ZZL, Xu Z. 2004. The structure of a sulfated galactan from *Porphyra haitanensis* and its vivo antioxidant activity. *Carbohydr Res* 339:105-111

접 수 : 2010년 10월 22일
 최종수정 : 2010년 11월 18일
 채 택 : 2010년 12월 13일