

식물성 식이조성물이 고지혈증을 유발시킨 흰쥐의 체중, 배변량, 체지방 및 혈청 지질농도에 미치는 영향

김성수 · 성기승 · 이옥환¹ · 이종석¹ · 이영택² · 김상현³ · 한찬규*
한국식품연구원, ¹강원대학교 식품생명공학과, ²가천대학교 식품생물공학과, ³(주)두리두리

Effects of Phytoplant Diets on Body Weight, Feces Production, Body Fat, and Serum Lipid Levels in High-fat Diet-induced Hyperlipidemic Rats

Sung-Soo Kim, Ki-Seung Seong, Ok-Hwan Lee¹, Jong Seok Lee¹, Young-Tack Lee², Sang-Hyun Kim³, and Chan-Kyu Han*

Korea Food Research Institute

¹Department of Food Science and Biotechnology, Kangwon National University

²Department of Food Science and Biotechnology, Gachon University

³Doori Doori Co., Ltd.

Abstract This study was performed to evaluate the anti-obesity and lipid-lowering effects of phytoplant diets in rats fed with a high-fat/cholesterol diet (HFCD). Experimental diet formulae contained various phytoplants such as brown rice, barley, soybean, germinated brown rice, malt, black bean, sea tangle, and/or dietary fibers including polydextrose, garcinia combogia, glucomannan, L-carnitine, and chitosan. Male Sprague-Dawley rats were fed with a HFCD for 6 weeks and then fed with a HFCD with/without phytoplants for another 6 weeks. Rats fed with phytoplant diets showed lower body weights, liver weights, visceral fat levels, and blood lipid levels compared to those of rats fed with HFCD alone. In addition, rats administered phytoplant diets showed increased daily feces production during the second experimental phase. These results suggest that phytoplant diets improve body weight, feces production, adipose tissue weight, and lipid metabolism.

Keywords: formulated phytoplant diet, high-fat diet, body fat, serum lipid profile

서 론

고지혈증은 혈장내에 콜레스테롤이나 중성지방이 비정상적으로 증가된 상태를 의미한다. 특히 고콜레스테롤혈증(hypercholesterolemia)은 죽상동맥경화증을, 고중성지방혈증은 췌장염을 유발시키는 것으로 알려져 있다(1,2). 혈관벽을 따라 지질이 두껍게 쌓인 죽상동맥경화증은 혈류를 감소시켜 허혈성 심장질환과 협심증, 심근경색의 원인이 되므로 임상적으로 중요한 문제가 된다(3,4). 고지혈증을 치료하기 위하여 많은 약물들이 개발되었는데, 그 중 대표적인 것은 cholestyramine 등과 같이 장내에서 담즙산의 재흡수를 억제하는 담즙산 결합수지, 로바스타틴(lovastatin) 등과 같은 콜레스테롤합성을 직접적으로 억제하는 HMG-CoA reductase 저해제 및 혈액내 중성지방의 농도를 낮추는 gemfibrozil 등과 같은 피부릭산 유도제 등이 널리 이용되고 있다. 그러나 이러한 약물들은 복용시 지용성 비타민 결핍증, 간과 신장기능 저하 등의 부작용을 동반하는 것으로 알려져 있고, 또한 일시적이 아닌 일생동안 복용해야 하므로 부작용의 심화 및 환자의 복용 거

부 등의 또 다른 문제점이 발생한다(5,6). 따라서 일반적으로 고지혈증의 치료는 약물요법보다는 식이요법이나 생활요법이 일차적으로 이용되는 경우가 많다.

생식은 다양한 곡류와 채소류를 동결건조한 식품으로서 가열로 인한 영양소 및 미네랄 등의 파괴가 이루어지지 않는 장점이 있으며, 일반적으로 생식의 재료로 각종 곡물 및 채소류 등이 사용되고 있기 때문에 동물성 식이를 섭취하지 않는 채식자와 유사한 섭취환경을 제공한다. 채식자를 대상으로 한 연구에서 채식자가 비채식자에 비하여 혈청 콜레스테롤이 저하된다고 보고하여 채식성분이 혈청 콜레스테롤을 저하시키는데 유리한 점을 제공하는 것으로 생각된다(7,8). 식이요법을 통한 고지혈증의 치료는 저지방을 기초로 한 다양한 영양소의 충분한 공급이라는 개념 아래 이루어지기 때문에 최근 들어 곡류 또는 엽채류를 동결 건조하여 마쇄하는 방법을 통해 가공하여 열에 약한 각종 영양소의 파괴를 억제한 생식은 고지혈증 환자의 식이요법에 다양한 장점을 제공할 수 있을 것으로 생각된다(9-11). 생식의 주원료로 사용되고 있는 현미, 발아현미, 보리, 맥아, 대두, 흑두 등은 식이 섬유를 비롯하여 다량의 생리활성 물질을 함유하고 있어 이들 생식원료 조성물에 의한 고지혈증 지표의 조절이 가능할 것으로 생각된다.

따라서, 본 연구는 현미, 발아현미, 보리, 맥아, 대두, 흑두 등을 각각 다른 비율로 혼합한 식물성 식이조성물의 생체내 효능을 평가하고자 흰쥐에게 고지방-고콜레스테롤식이를 급여하여 고지혈증을 유발시키고, 이들 식물성 식이조성물에 의한 체중감량

*Corresponding author: Chan-Kyu Han, Korea Food Research Institute, Seongnam, Gyeonggi 463-746, Korea
Tel: 82-31-780-9236
Fax: 82-31-780-9237
E-mail: ckhan@kfri.re.kr
Received March 14, 2014; revised May 26, 2014;
accepted June 9, 2014

과 배변량, 체지방 및 혈청지질 패턴에 미치는 영향을 조사하였다.

재료 및 방법

실험재료 및 처리

본 실험에 사용한 식물성 식이조성물에 사용된 각종 곡류와 두류는 정선, 세척, 건조공정을 거친 현미, 발아현미, 보리, 맥아, 대두, 흑두를 THDR-20 곡물볶음기(Taehwan Automation Industry Co., Ltd, Bucheon, Korea)에서 시료별로 170-200°C 범위에서 15-20분 동안 볶은 후 SC-IB pin mill (Kyung Chang Precision Co., Seoul, Korea)을 사용하여 120 mesh로 분쇄하고, 수수, 검정깨, 건조 양배추, 다시마, 미역, 우영, 녹차, 표고버섯, 호박, 사과, 차전자피는 pin mill로 80 mesh 이상 분쇄하였다. 상기 분쇄물과 시판용 수용성 첨가물 폴리덱스트로스, 가르시아카보지아, 글루코만난, L-카르니틴, 키토산 등을 일정 비율로 첨가하여 배합한 후 Hobart mixer (Hobart Co., Troy, OH, USA)에서 20분간 충분히 교반하여 식이조성물을 제조하였다(Table 1).

실험식이

식물성 식이조성물이 흰쥐의 비만억제에 미치는 영향을 평가하기 위해 실험 1기는 고지혈증 유발을 위해 흰쥐사료에 돼지기름, 옥수수기름 및 콜레스테롤을 각각 중량비(10%:2%:1%)로 첨가한 고지방-고콜레스테롤식이(HFCD)를 6주간 급여하였고, 일반식이 대조군은 일반식이(AIN-93G)를 6주간 급여하였다. 실험 2기는 식물성 식이조성물군, HFCD 대조군 및 일반식이 대조군으로 배치하여 6주간 급여하였다(Table 2). 한편, 실험군의 실험식은 현미, 발아현미, 보리, 맥아, 대두, 흑두 등의 원료를 각각 달리하여 제조하였으며 Group A는 AIN 사료 50%+식물성 식이조성물 50%, Group B는 AIN 사료 30%+식물성 식이조성물 70%, Group C는 100% 식물성 식이조성물을 섭취하게 하였다(Table 2).

실험동물의 사육

공시동물은 3주령된 Sprague-Dawley계 수컷 흰쥐를 (주)한림실험동물(Hwaseong, Korea)에서 구입하였고, 실험전 1주일동안 흰쥐용 일반고형사료(AIN-93G)로 적응기를 거친 후 체중이 약 90g의 것을 난괴법으로 처리군당 10마리씩 임의 배치하였다. 실험동물은 온도 18±2°C, 상대습도 50±10%, 환기회수 10-20회/h, 조명 시간 12시간(08:00 점등-20:00 소등), 조도 150-300 Lux로 설정된 환경에서 stainless steel wire cage (225 W×200 L×180 H mm)에서 두 마리씩 분리 사육하였다. 실험 1기는 6주 동안 기본 식이로 고지방-고콜레스테롤食을 급여하여 고지혈증을 유발시키고, 실험2기는 6주동안 식물성 식이조성물을 급여하였다. 이때 실험 대조군으로 HFCD 대조군은 고지방-고콜레스테롤食을, 일반식이 대조군은 일반식이(AIN-93G)를 실험 전기간 동안 급여하였다. 사료와 물은 자유롭게 섭취하도록 하였다. 체중 및 식이섭취량은 실험기간중 1주일에 한번씩 일정한 시간에 실험동물용 저울(GF-2000, AND, Anyang, Korea)을 이용하여 측정하여 주간별 평균 1일 성장률을 구하였다. 배변량은 실험 1, 2기에 각각 2회, 4일 동안 측정하였고 채취한 변은 70°C 건조기에서 24시간 건조시켜 건조 후 무게를 측정한 후, 변에 포함된 수분량을 측정하였다.

체혈 및 장기적출

실험종료 전 12시간 동안 흰쥐를 절식시킨 후 ether로 마취한 다음 심장에서 체혈하였다. 채취한 혈액은 1시간 방치 후 3,000 rpm에서 15분간 원심분리하여 혈청을 분리하였다. 체혈 후 즉시

Table 1. Formulation ratio of the experimental diets in the second period

Materials	Formulation ratio (%)		
	A	B	C
Brown rice	15	15	15
Germinated brown rice	5	5	5
Barley	15	15	15
Malt	5	5	5
Soybean	10	10	10
Black bean	-	5	5
Sorghum	-	3	3
Black sesame	-	3	3
Cabbage	-	3	3
Kelp	-	6	6
Sea tangle	-	-	3
Carrot	-	-	3
Burdock (weed)	-	-	3
Green tea	-	-	3
Shiitake mushroom	-	-	3
Pumpkin	-	-	3
Apple	-	-	3
Plantago asiatica extract	-	-	3.5
Polydextrose	-	-	3
Garciaacombogia (HCA)	-	-	0.5
Glucomannan	-	-	1.0
L-Carnitine	-	-	0.5
Chitosan	-	-	0.5
AIN-diet ¹⁾	50	30	-

¹⁾AIN-93G diet as negative control group during the experimental period ingredients (g/kg diet): corn starch 397.486, sucrose 100.00, dextrose 132.00, casein 200.00, soybean oil 70.00, cellulose 50.00, mineral mixture 35.00, vitamin mixture 10.00, choline bitartrate 2.50, L-cystine 3.00, t-butylhydroquinone 0.014.

간장, 신장, 고환을 분리 적출하여 생리식염수로 세척한 후 거즈로 수분을 제거, 무게를 측정하였다. 내장지방 중 신장주변지방패드(perirenal fat pad, RFP)와 정소상체지방패드(epididymal fat pad, EFP)의 무게를 측정하였다.

혈청 지질분석

혈청 중성지방의 함량은 혈청 중성지방 측정용 kit (Sigma Co, St. Louis, MO, USA)를 사용하여 triglyceride reagent를 이용한 enzymatic method으로 분석 후 자동화학분석기 ADVIA 1650 (Bayer, Tarrytown, NY, USA)로 측정하였다. 혈청 총 콜레스테롤 함량은 Rudel과 Morris(12)의 방법에 의거하여 cholesterol reagents를 이용한 enzymatic method로 분석하였고, high-density lipoprotein (HDL)-콜레스테롤 함량과 LDL-콜레스테롤 함량은 Noma 등(13)의 연구에 준하여 HDL-콜레스테롤 reagent를 이용한 enzymatic method로 분석하여 자동화학분석기 ADVIA 1650으로 측정하였다.

장 통과시간

장 통과시간(gastrointestinal transit time)은 Park 등(14)의 방법에 따라 실험 12주차에 carmine red (Sigma, St. Louis, MO, USA)를 이용하여 이를 0.5% 농도로 각 실험식에 첨가하여, 급여 시작 시간과 적색변이 최초로 검출되기까지의 시간 간격으로 측정하였다.

Table 2. Experimental design

Group	Initial wt. (g)	Basal Diet (1 st phase, 6 wks)	Formulated Diet (2 nd phase, 6 wks)
A	94.3±4.1 ¹⁾	HFCD ²⁾	Formulated Diet 50%+AIN diet 50%
B	93.0±2.0	HFCD	Formulated Diet 70%+AIN diet 30%
C	93.6±1.8	HFCD	Formulated Diet 100%
D	92.1±2.6	HFCD	HFCD as positive control
E	93.4±3.0	Rat Chow ³⁾	Rat Chow as negative control

¹⁾Values are mean±SD.

²⁾HFCD: high-fat and cholesterol diet (lard, cholesterol, corn=10:2:1)

³⁾Rat commercial chow (AIN-93G diet)

통계분석

통계분석은 SPSS program (SPSS Inc., Chicago, USA)을 이용하여 평균과 표준편차(mean±SD)로 제시하였고, 각 처리군 유의성은 실험군의 결과측정치에 대해 one-way ANOVA 분석후 Duncan's multiple range test를 이용하여 $p < 0.05$ 수준에서 유의성 검증을 실시하였으며, 실험 1기와 2기의 배변량 변화는 Student *t*-test로 검정하였다.

결과 및 고찰

체중 및 식이섭취량

실험 1기 동안 고지방-고콜레스테롤식이(HFCD)를 급여한 흰쥐에 식물성 식이조성물을 6주간 급여한 실험 2기 흰쥐의 성장률은 Table 3과 같다. 시험 6주 후 종료체중은 HFCD 대조군(D)이 573.8g으로 가장 높았고, 일반식이 대조군(E)이 543.6g, 식물성 식이조성물군(A, B, C)은 각각 494.1, 511.8, 497.6g으로 HFCD 대조군(D)에 비하여 통계적으로 유의하게 낮았다($p < 0.05$). 일당증체량(weight gain, g/day)은 식물성 식이조성물군(1.43, 2.22, 2.25g)이 HFCD 대조군(4.16g)과 비교할 때 유의적으로 낮았다($p < 0.05$). 식이섭취량(diet intake)은 식물성 식이조성물군(A, B, C)이 HFCD 대조군(D) 보다 통계적으로 많았다. 고콜레스테롤 식이를 급여한 흰쥐에게 식이섭취율을 급여한 결과 식이섭취율을 공급한 모든 군에서 체중증가량과 식이효율이 식이섭취 무처리군에 비하여 유의적으로 낮았다고 보고하였다(15-17). 따라서 본 연구 결과, 고지방-고콜레스테롤 식이로 비만이 유도된 흰쥐에서 식물성 식이조성물 첨가로 인하여 체중증가량이 감소되었는데, 이는 식물성 식이조성물에 다량 함유되어 있는 식이섭취소가 열량, 단백질 및 지질의 소화와 흡수율을 저하시키고 지질을 흡착하여 배설을 촉진시킨 결과로 사료된다.

배변량과 장 통과시간

흰쥐에게 고지방-고콜레스테롤식이 급여 후 식물성 식이조성물을 급여했을 때 배변량에 미치는 영향은 Fig. 1과 같다. 식물성 식이조성물군(A, B, C)에서 실험 2기의 배변량이 실험 1기의 배변량에 비하여 통계적으로 유의하게 증가한($p < 0.05$) 반면, HFCD 대조군(D)과 일반식이 대조군(E)에서는 유의적인 차이가 없었다. 실험 2기 종료시 배변량은 식물성 식이조성물 A군과 C군이 통계적으로 유의하게 많았고(Fig. 1), 변시료 중의 수분함량은 식물성 식이조성물중 B군과 C군이 각각 39.02%, 56.63%로 HFCD 대조군(D)에 비하여 유의하게 높았다(Table 4). 수분을 제거한 건조분변량은 HFCD 대조군(D)이 통계적으로 유의하게 높았고, 식물성 식이조성물에서는 C군이 가장 낮았다. 장 통과시간을 측정할 결과, 최초로 마커가 나타난 시간은 식물성 식이조성물 A군이

Table 3. Effect of formulated diet on body weight and diet intake in rats fed with high fat diet

Group ¹⁾	Initial wt. (g)	Final wt. (g)	Wt. gain (g/day)	Diet intake (g/day)
A	413.1±17.7	494.1±28.9 ^b	1.43±2.51 ^c	27.29±4.15 ^a
B	430.6±35.2	511.8±50.1 ^b	2.22±0.76 ^{bc}	25.49±1.45 ^{ab}
C	402.6±29.7	497.6±38.2 ^b	2.25±1.44 ^{bc}	27.68±1.04 ^a
D	437.8±29.6	573.8±47.2 ^a	4.16±0.79 ^a	23.82±1.50 ^b
E	407.9±36.8	543.6±50.9 ^{ab}	3.48±1.48 ^{ab}	25.11±2.56 ^{ab}

Values are mean±SD (n=10).

Values within a column with different superscript letters are significantly different at $p < 0.05$.

¹⁾A: Formulated Diet 50%+AIN diet 50%, B: Formulated Diet 70%+AIN diet 30%, C: Formulated Diet 100%, D: HFCD, E: Rat commercial chow (AIN-93G diet)

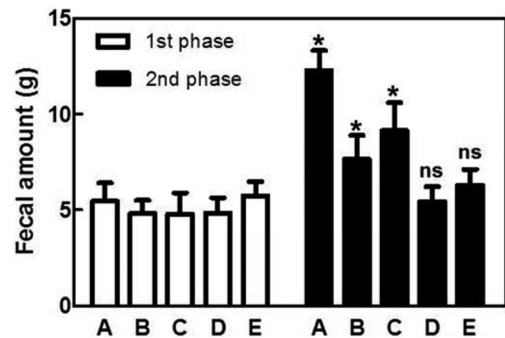


Fig. 1. Effect of formulated diet on fecal amount in rats fed with high fat diet. Values are mean±SD (n=10). * $p < 0.05$ vs. 1st phase; ns, not significant. A: Formulated Diet 50%+AIN diet 50%, B: Formulated Diet 70%+AIN diet 30%, C: Formulated Diet 100%, D: HFCD, E: Rat commercial chow (AIN-93G diet)

3.75 h으로 가장 빨랐고, HFCD 대조군(D)군이 6.50 h으로 가장 늦었다. 식물성 식이조성물중에서 C군은 4.50 h으로 두 대조군에 비해 통계적으로 장 통과시간이 빨랐다($p < 0.05$). 식이섭취소가 위와 소장에서 통과시간이 길어짐에도 불구하고 대장에서의 통과시간은 짧아져 최종 배설되는 시간이 짧아지며, 이는 식이섭취소의 수분 보유력이 증가함에 따라 장 내용물의 부피와 점성을 증가시켜 대장의 운동을 자극하기 때문이라고 보고된 바 있다(18). 또한, 식이섭취소가 가진 양이온교환능과 흡착능은 금속이온의 흡수를 저하시키고 배설을 촉진하며, 독성제거 효과도 있는 것으로 보고되었다(19). 본 연구에서 식물성 식이조성물군의 배변량 증가와 장 통과시간 단축은 식물성 식이조성물의 높은 식이섭취소의 영향을 받아 배변효과를 증진시킨 것으로 사료된다.

Table 4. Effect of formulated diet on gastrointestinal transit time in rats fed with high fat diet

Group ¹⁾	Fecal water content (%)	Dried fecal wt. (g/g of stool)	Gastrointestinal transit time (h)
A	25.89±5.96 ^{bc}	0.74±0.06 ^{ab}	3.75±0.29 ^d
B	39.02±9.79 ^b	0.61±0.10 ^b	5.88±0.63 ^{ab}
C	56.63±6.06 ^a	0.43±0.06 ^c	4.50±0.41 ^{cd}
D	23.16±3.20 ^c	0.77±0.03 ^a	6.50±1.08 ^a
E	33.42±7.84 ^{bc}	0.67±0.08 ^{ab}	5.25±0.87 ^{bc}

Values are mean±SD (n=10).

Values within a column with different superscript letters are significantly different at $p < 0.05$.

¹⁾A: Formulated Diet 50%+AIN diet 50%, B: Formulated Diet 70%+AIN diet 30%, C: Formulated Diet 100%, D: HFCD, E: Rat commercial chow (AIN-93G diet)

^{ns} not significant

Table 5. Effect of formulated diet on adipose tissue weight and intestinal length in rats fed with high fat diet

Group ¹⁾	Adipose tissue weight (g/100 g of bw)		Intestinal length (cm)	
	EFP ²⁾	RFP ³⁾	Small intestine	Large intestine
A	0.46±0.08 ^b	1.06±0.15 ^b	128.2±7.37 ^b	16.11±3.19 ^{ab}
B	0.47±0.08 ^b	1.09±0.28 ^b	129.8±8.95 ^b	15.63±3.23 ^{ab}
C	0.46±0.10 ^b	1.03±0.28 ^b	138.9±3.75 ^a	17.62±2.08 ^a
D	0.78±0.18 ^a	1.66±0.44 ^a	131.6±9.10 ^b	14.78±2.51 ^b
E	0.57±0.21 ^b	1.30±0.33 ^b	129.5±8.90 ^b	15.23±1.95 ^{ab}

Values are mean±SD (n=10).

Values within a column with different superscript letters are significantly different at $p < 0.05$.

¹⁾A: Formulated Diet 50%+AIN diet 50%, B: Formulated Diet 70%+AIN diet 30%, C: Formulated Diet 100%, D: HFCD, E: Rat commercial chow (AIN-93G diet)

²⁾EFP: epididymal fat pad

³⁾RFP: perirenal fat pad

지방조직의 무게 및 장관길이

흰쥐에게 고지방-고콜레스테롤식이(HFCD)를 급여한 후 식물성 식이조성물을 급여했을 때 지방조직의 무게 및 장관길이에 미치는 영향은 Table 5와 같다. 체지방은 형태나 작용에 따라 백색지방(white adipose tissue)과 갈색지방(brown adipose tissue)으로 구분되며, 주로 체내 잉여에너지를 지방으로 저장하며 피하와 장기 주변에 분포하는 백색지방인 정소상체지방패드(epididymal fat pad, EFP)와 신장주변패드(perirenal fat pad, RFP)의 무게는 고지방-고콜레스테롤식을 급여한 HFCD 대조군(D)이 0.78, 1.66 g으로 식물성 식이조성물군(A, B, C)에 비해 통계적으로 유의하게 무거웠다($p < 0.05$). 한편, 장관 중 소장의 길이는 식물성 식이조성물중 C군이 138.9 cm로 다른 실험군보다 유의하게 길었고, 대장의 길이도 C군이 17.62 cm로 HFCD 대조군(D, 14.78 cm)에 비해 유의적으로 길었다($p < 0.05$). 일반적으로 비만이 건강상 위험한 이유는 체중의 증가보다는 내장지방의 증가에 기인한다. 특히 복강 내에 위치한 지방조직의 증가가 건강상의 위해 요인으로 작용하여 체지방 함량이 동일하더라도 복부지방 함량이 증가할수록 대사성 합병증이 증가하는 것으로 알려져 있다(20-22). 식이섬유 및 phytochemical 성분을 다량 함유하고 있는 감잎, 메밀잎, 구기자 잎 및 모시잎이 고지방-고콜레스테롤 식이에 의한 부고환지방조직과 장간막지방조직의 무게 증가를 유의적으로 감소시켰다고 보

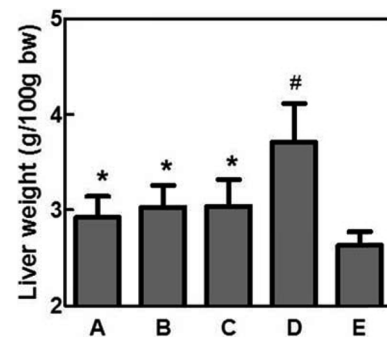


Fig. 2. Effect of formulated diet on liver weight in rats fed with high fat diet. Values are mean±SD (n=10). * $p < 0.05$ vs. D group; # $p < 0.05$ vs. E group. A: Formulated Diet 50%+AIN diet 50%, B: Formulated Diet 70%+AIN diet 30%, C: Formulated Diet 100%, D: HFCD, E: Rat commercial chow (AIN-93G diet)

고되었다(11,21). 따라서 본 연구결과 고지방-고콜레스테롤 식이로 백색지방인 정소상체지방패드(EFP)와 신장주변패드(RFP)의 무게가 증가되었으나, 식물성 식이조성물의 급여로 감소된 효과가 관찰되어 본 연구의 식물성 식이조성물이 복부비만을 억제하는 효과가 있을 것으로 사료된다(23).

간조직의 무게 및 혈청지질

고지방-고콜레스테롤식이(HFCD)를 급여한 후 식물성 식이조성물을 6주간 급여한 흰쥐의 간조직 무게를 비교한 결과는 Fig. 2와 같다. 체중당 간조직 무게는 일반 식이대조군(E)에 비하여 HFCD 대조군(D)에서 유의하게 증가하였는데, 이는 고지방 식이와 식이 중 콜레스테롤 첨가로 인하여 간에서 콜레스테롤 및 중성지질 등이 축적되어 간 무게가 증가하였다는 보고(24)와 일치한다. 반면, 식물성 식이조성물군(A, B, C)은 HFCD 대조군(D)에 비하여 간조직의 무게가 유의하게 감소하는 경향을 보였다. 고지방-고콜레스테롤식이(HFCD)를 급여한 후 식물성 식이조성물을 6주간 급여한 흰쥐의 혈청 지질 함량을 비교한 결과는 Table 6과 같다. TC 농도는 고지방-고콜레스테롤식을 급여한 HFCD 대조군(D)이 74.1 mg/dL로 일반식이 대조군(E, 47.8 mg/L)에 비하여 유의적으로 증가하였으며, 식물성 식이조성물군(A, B, C)에서 HFCD 대조군(D)에 비하여 유의적으로 감소하였다($p < 0.05$). TG 농도는 HFCD 대조군(D)이 125.8 mg/dL로 일반식이 대조군(E, 93.9 mg/L)에 비하여 유의적으로 증가하였으며, 식물성 식이조성물군(A, B, C)에서 HFCD 대조군(D)에 비하여 감소하였다. HDL-콜레스테롤 농도는 HFCD 대조군(D)이 일반식이 대조군(E)에 감소하였으며, 식물성 식이조성물군(A, B, C)에서 유의성 없이 증가하였다. 특히 LDL-콜레스테롤 농도는 일반식이 대조군(E, 28.2 mg/dL)에 비하여 HFCD 대조군(D, 28.2 mg/dL)에서 유의적으로 증가하였으며, 식물성 식이조성물군(A, B, C)에서 HFCD 대조군에 비하여 유의적으로 감소하였다($p < 0.05$). 동맥경화지수(atherogenic index, AI)는 식물성 식이조성물군(A, B, C)이 HFCD 대조군(E, 2.61)에 비해 통계적으로 유의하게 낮았다($p < 0.05$).

동물성 지방의 과다한 섭취로 인한 혈액내의 고 콜레스테롤과 고 중성지방이 만성 성인병의 발병에 중요한 원인으로 여겨지고 있다(25). 비만의 경우, 지방 및 당대사 이상으로 인한 이상지혈증이 흔히 동반되는데, 식이성 비만 유도쥐에서 혈중 TC와 TG 농도가 증가하고, HDL-콜레스테롤 농도는 감소하였다(26,27). Joo 등(28)은 다시마 추출 제품이 식이성 고지혈증을 유도한 흰쥐의 체중 및 장관의 무게, 혈청 중 TG와 인지질 농도가 고지방식이

Table 6. Effect of formulated diet on serum lipids in rats fed with high fat diet

Group ¹⁾	Serum lipid profiles (mg/dL)				
	TC ²⁾	TG ³⁾	HDL ⁴⁾	LDL ⁵⁾	AI ⁶⁾
A	49.7±5.79 ^b	68.0±18.4 ^{cd}	23.0±3.06 ^{ns}	12.3±3.40 ^{bc}	1.17±0.11 ^b
B	46.2±6.21 ^b	88.8±34.4 ^{bc}	21.5±3.60	10.1±4.28 ^{bc}	1.16±0.16 ^b
C	50.6±6.96 ^b	63.1±9.95 ^d	23.6±3.98	14.4±3.06 ^b	1.16±0.12 ^b
D	74.1±13.5 ^a	125.8±36.8 ^a	20.7±3.77	28.2±10.4 ^a	2.61±0.57 ^a
E	47.8±11.2 ^b	93.9±24.7 ^b	22.4±5.40	8.70±3.06 ^e	1.14±0.16 ^b

Values are mean±SD (n=10). Values within a column with different superscript letters are significantly different at *p*<0.05.

¹⁾A: Formulated Diet 50%+AIN diet 50%, B: Formulated Diet 70%+AIN diet 30%, C: Formulated Diet 100%, D: HFCD, E: Rat commercial chow (AIN-93G diet)

²⁾TC: total cholesterol, ³⁾TG: triglyceride, ⁴⁾HDL: high-density lipoprotein cholesterol, ⁵⁾LDL: low-density lipoprotein cholesterol, ⁶⁾AI: atherogenic index (AI=[TC-HDL]/HDL)

대조군보다 감소되었고, Jung 등(29)은 고지혈증 유도 식이를 섭취한 대조군에 비해 녹차와 홍차를 섭취한 군에서 HDL-콜레스테롤이 높은 함량을 나타내었으며, 동맥경화지수(AI)는 대조군에 비해 유의적으로 낮았다고 보고하였다. 또한 생식제품에 포함된 솔잎(30), 콩(31), 김(32)등의 식이성분이 체내 콜레스테롤과 중성지방의 농도를 저하시키는 것으로 보고되어 있다. 콩 관련 식이 연구에서 Potter 등(33)은 soy protein은 혈청 지질 수준을 낮추며, 특히 soy protein 중 soy peptides, globulins, isoflavones, saponin 등이 효과가 있다고 한다. Clair와 Anthony(34)는 대두류를 통한 isoflavone의 섭취가 혈중 지질 수준을 감소시켜 동맥 경화가 예방된다고 하였다. 특히 혈중 콜레스테롤 농도를 저하시키는 효과를 나타내는 물질들인 섬유소, isoflavones, phytosterols, saponin 등과 대두 단백질에 풍부한 arginine과 glycine은 혈청 인슐린 수준을 낮춤으로써 간에서의 콜레스테롤을 감소시킨다(35). 또한, 식이에 의한 콜레스테롤의 증가는 식이섬유에 의해서 억제되는 것으로 알려져 있다. 수용성 식이섬유에 의한 콜레스테롤의 감소 효과는 첫째 점도를 올려 지방산의 흡수 자체를 억제하고(36), 둘째 담즙산의 재흡수 억제에 의한 콜레스테롤의 배출 증가(37), 셋째 식이 섬유소의 발효시 발생하는 단쇄지방산에 의한 콜레스테롤 합성 억제능이 많이 알려져 있다(38). 본 연구에서는 식사대용 및 다이어트 식품을 개발하기 위하여 고지혈증을 유발시킨 흰쥐에게 저칼로리의 식물성 식이조성물을 급여하여 그 효능을 평가하였다. 본 연구에서 식물성 식이조성물에는 9.4-15.5% 정도 식이섬유가 포함되어 있어서 고지방식이를 급여한 흰쥐의 체중과 내장지방의 감량, 배변량의 증가 및 혈중 콜레스테롤 농도를 유의적으로 저하시킨 것으로 나타났다. 즉, 발아현미, 흑두, 검정깨, 다시마, 녹차 등의 식이조성물을 구성하고 있는 각 식물소재의 구성요소 및 식이섬유가 콜레스테롤의 흡수를 억제함으로써 고지혈증의 개선에 영향을 미친 것으로 사료된다.

요 약

본 연구에서는 흰쥐에게 고지방-고콜레스테롤 식이를 6주간 급여하여 고지혈증을 유발한 후, 현미, 발아현미, 보리, 맥아, 대두, 흑두 등이 혼합된 식물성 식이조성물을 각각 다른 비율로 6주간 급여하면서 체중감량, 배변량, 체지방 및 혈청지질농도에 미치는 영향을 조사하였다. 실험기간 동안 일당중체량은 식물성 식이조성물군이 HFCD 대조군과 비교할 때 유의적으로 낮았으며, 배변량은 증가하고 장 통과시간은 HFCD 대조군에 비하여 감소하였다. 내장지방 중 신장주변지방패드(RFP)와 정소상체지방패드(EPF)는 일반식이 대조군에 비하여 고지방-고콜레스테롤 식이를 급여

한 HFCD 대조군에서 증가하였으며, 식물성 식이조성물군에서는 HFCD대조군에 비하여 통계적으로 유의하게 감소하였다. 고지방-고콜레스테롤 첨가로 인하여 HFCD 대조군에서 간 무게가 증가하였고, 반면, 식물성 식이조성물군은 HFCD 대조군에 비하여 간 조직의 무게가 유의하게 감소하는 경향을 보였다. 또한 고지방-고콜레스테롤 식이에 의해 증가된 혈청 지질 중 TC, TG, LDL-콜레스테롤 농도가 식물성 식이조성물군에서 유의하게 감소하였으며, 동맥경화지수 역시 감소하였다. 이상에서 고지방-고콜레스테롤 식이를 급여한 흰쥐에게 발아현미, 흑두, 검정깨, 다시마, 녹차 등의 식이조성물 첨가식이를 급여했을 때 체중감소, 배변량 증가, 체지방함량 저하, 혈청 중 TC, TG 감소의 유의한 감소작용이 있는 것으로 나타나서, 앞으로 이들 혼합조성물의 적절한 처방으로 다이어트와 고지혈증 개선을 위한 소재로 이용될 수 있을 것으로 사료된다. 또한, 본 연구는 고지혈증 개선 효능이 있는 생식제품 개발시 원료의 레시피 선정에 있어서 기초자료로 활용 가능한 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 중기청 산학연공동기술개발전소사업으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

References

- Jang YS, Jeong JM. Effects of phyto-extract mixture on adiposity and serum lipid levels in obese mice induced by high fat diet. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 39: 1439-1445 (2010)
- Lee HK. Korean disease pattern and nutrition. *Korean J. Nutr.* 29: 381-383 (1996)
- Manninen V, Tenkanen L, Koskinen P, Huttunen JK, Mänttari M, Heinonen OP, Frick MH. Joint effects of serum triglyceride and LDL cholesterol and HDL cholesterol concentrations on coronary heart disease risk in the Helsinki Heart Study. Implications for treatment. *Circulation* 85: 37-45 (1992)
- Rana JS, Boekholdt SM, Kastelein JJ, Shah PK. The role of non-HDL cholesterol in risk stratification for coronary artery disease. *Curr. Atheroscler. Rep.* 14: 130-134 (2012)
- McKenney JM. Lipid management: tools for getting to the goal. *Am. J. Manag. Care* 7: S299-306 (2001)
- Miettinen TA. Cholesterol absorption inhibition: a strategy for cholesterol-lowering therapy. *Int. J. Clin. Pract.* 55: 710-716 (2001)
- Crowe FL, Appleby PN, Travis RC, Key TJ. Risk of hospitalization or death from ischemic heart disease among British vegetarians and nonvegetarians: results from the EPIC-Oxford cohort study. *Am. J. Clin. Nutr.* 97: 597-603 (2013)

8. Burr ML, Butland BK. Heart disease in British vegetarians. *Am. J. Clin. Nutr.* 48: 830-832 (1988)
9. Mason EE. Methods for voluntary weight loss and control. *Obes. Surg.* 2: 275-276 (1992)
10. Kim SG, An GH, Yoon SW, Lee YC, Ha SD. A study on dietary supplement to reduce obesity by the mechanism of decreasing lipid and carbohydrate absorption. *Korean J. Food Sci. Technol.* 35: 519-526 (2003)
11. Lee JJ, Park MR, Kim AR, Lee MY. Effects of ramie leaves on improvement of lipid metabolism and anti-obesity effect in rats fed a high fat/high cholesterol diet. *Korean J. Food Sci. Technol.* 43: 83-90 (2011)
12. Rudel LL, Morris MD. Determination of cholesterol using *O*-phthalaldehyde. *J. Lipid Res.* 14: 364-366 (1973)
13. Noma A, Nakayama KN, Kita M, Okabe H. Simultaneous determination of serum cholesterol in high and low density lipoprotein with use of heparin, Ca^{2+} , and an anion-exchange resin. *Clin. Chem.* 24: 1504-1508 (1978)
14. Park SH, Lee YK, Lee HS. The effects of dietary fiber feeding on gastrointestinal functions and lipid and glucose metabolism in streptozotocin-induced diabetic rats. *Kor. J. Nutr.* 27: 311-322 (1994)
15. Kim HK, Cho DW, Hahm YT. The effects of coix bran on lipid metabolism and glucose challenge in hyperlipidemic and diabetic rats. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 29: 140-146 (2000)
16. Han CK, Kim SS, Choi SY, Park JH, Lee BH. Effects of rice added with mulberry leaves and fruit on blood glucose, body fat and serum lipid levels in rats. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 38: 1336-1341 (2009)
17. Chai YM, Lim Bk, Lee JY, Kim YH, Rhee SJ. Preparation of soluble dietary fiber from oak wood (*Quereus Mongolica*) and its physiological function in rat fed high cholesterol diets. *J. Korean Nutr. Soc.* 36: 9-17 (2003)
18. Spiller GA, Chernoff MC, Hill RA, Gates JE, Nassar JJ, Shipley EA. Effect of purified cellulose, pectin, and a low-residue diet on fecal volatile fatty acids, transit time, and fecal weight in humans. *Am. J. Clin. Nutr.* 33: 754-759 (1980)
19. Kang HJ, Song YS. Dietary fiber and cholesterol metabolism. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 26: 358-369 (1997)
20. Lee KW, Sung KS, Kim SS, Lee OH, Lee BH, Han CK. Effects of *Cucurbita moschata*, adlay seed, and *Cudrania tricuspidata* leaf mixed-powder diet supplements on the visceral fat, fecal amount, and serum lipid levels of the rats on a high-fat diet. *Korean J. Food Nutr.* 25: 990-998 (2012)
21. Jung UJ, Lee JS, Bok SH, Choi MS. Effects of extracts of persimmon leaf, buckwheat leaf, and Chinese matrimony vine leaf on body fat and lipid metabolism in rats. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 40: 1215-1226 (2011)
22. Despres JP. Abdominal obesity as important component of insulin-resistant syndrome. *Nutrition* 9: 452-459 (1993)
23. Story JA. The role of dietary fiber in lipid metabolism. *Adv. Lipid Res.* 18: 229-246 (1981)
24. Jayasooriya AP, Sakono M, Yukizaki C, Kawano M, Yamamoto K, Fukuda N. Effects of *Momordica charantia* powder on serum glucose levels and various lipid parameters in rats fed with cholesterol-free and cholesterol-enriched diets. *J. Ethnopharmacol.* 72: 331-336 (2000)
25. Golan M, Fainaru M, Weizman A. Role of behaviour modification in the treatment of childhood obesity with the parents as the exclusive agents of change. *Int. J. Obes. Relat. Metab. Disord.* 22: 1217-1224 (1998)
26. Lee JM, Lee SH, Lee JH, Lee E. Effects of *Coix lachrymal-jobi* var. *mayuen* Stapf. pharmacopuncture on plasma lipid composition and glucose in rat fed high fat diet. *Kor. J. Acupunct.* 23:59-66 (2006)
27. Jang JY, Choi HY. Effects of *Artemisia iwayomogi* oligosaccharide on the blood lipids, abdominal adipose tissues and leptin levels in the obese rats. *Korean J. Nutr.* 36: 437-445 (2003)
28. Joo DS, Lee JK, Choi YS, Cho SY, Je YK, Choi JW. Effect of seatangle oligosaccharide drink on serum and hepatic lipids in rats fed a hyperlipidemic diet. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 32: 1364-1369 (2003)
29. Jung YH, Han SH, Shin MK. Effects of green and black Korean teas on lipid metabolism in diet-induced hyperlipidemic rats. *J. East Asian Soc. Dietary Life* 16: 550-558 (2006)
30. Lee E, Choi MY. Effects of pine needle on lipid composition and TBARS in rat fed high cholesterol. *Korean. J. Food Sci. Technol.* 32: 1186-1190 (2000)
31. Sin MK, Han SH. Effects of methanol extracts from *Phaseolus vulgaris* on serum lipid concentration in rats fed high fat and cholesterol diet. *Korean. J. Food Sci. Technol.* 33: 113-116 (2001)
32. Jung KJ, Jung BM, Kim SB. Effects of porphyrin isolated from laver, *Porphyra yezoensis*, on lipid metabolism in hyperlipidemic and hypercholesterolemic rats. *Korean. J. Food Sci. Technol.* 33: 633-640 (2001)
33. Potter SM, Baum JA, Teng H, Stillman RJ, Shay NF, Erdman JW Jr. Soy protein and isoflavones: their effects on blood lipids and bone density in postmenopausal women. *Am. J. Clin. Nutr.* 68: 1375S-1379S (1998)
34. Clair RS, Anthony M. Soy, isoflavones and atherosclerosis. *Handb. Exp. Pharmacol.* 170: 301-323 (2005)
35. Potter SM. Overview of proposed mechanisms for the hypocholesterolemic effect soy. *J. Nutr.* 125: 606S-611S (1995)
36. Story JA, Kritchevsky D. Comparison of the binding of various bile acids and bile salts in vitro by several types of fiber. *J. Nutr.* 106: 1292-1294 (1976)
37. Anderson JW, Chen WJ. Plant fiber. Carbohydrate and lipid metabolism. *Am. J. Clin. Nutr.* 32: 346-363 (1979)
38. Venter CS, Vorster HH, Van der Nest DG. Comparison between physiological effects of konjac-glucomannan and propionate in baboons fed "Western" diets. *J. Nutr.* 120: 1046-1053 (1990)