

## 백년초 및 녹차 가루 첨가 연근 부각의 지질저하 기능성

김미정<sup>1</sup> · 홍선희<sup>1</sup> · 정라나<sup>2</sup> · 최은옥<sup>3</sup> · 송영옥<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>부산대학교 식품영양학과 및 김치연구소

<sup>2</sup>경희대학교 호텔관광대학

<sup>3</sup>인하대학교 식품영양학과

### Development of Lotus Root Bugak with Plasma Lipid Reduction Capacity by Addition of *Opuntia ficus-indica* var. *saboten* or Green Tea as a Coloring Agent

Mijeong Kim<sup>1</sup>, Sun Hee Hong<sup>1</sup>, Lana Chung<sup>2</sup>, Eunok Choe<sup>3</sup>, and Yeong-Ok Song<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Dept. of Food Science and Nutrition, and Kimchi Research Institute  
Pusan National University, Busan 609-735, Korea

<sup>2</sup>College of Hotel and Tourism Management, Kyunghee University, Seoul 130-701, Korea

<sup>3</sup>Dept. of Food and Nutrition, Inha University, Incheon 402-451, Korea

**ABSTRACT** The purpose of this study was to develop functional lotus root *bugak* with plasma lipid reduction capacity by controlling the color of batter used for *bugak* preparation. Lotus root, nearly colorless, was selected to observe color effects. *Gardenia fructus* (GF), *Opuntia ficus-indica* var. *saboten* (OF), and green tea (GT), which are colored yellow, red, and green, respectively, were used as coloring agents. Fermented glutinous rice was prepared naturally during winter season by placing glutinous rice and water (1:2, w/w) together in a crock pot for 7 days. Coloring materials (10%, w/w) were blended with glue made from fermented glutinous rice flour to prepare the batter. Cooked lotus root was then mixed with a 1.1-fold amount of batter (w/w) and dried at room temperature. Lotus root *bugak* (LRB) is pan-fried with un-roasted sesame oil, which is traditionally used as frying oil in Korea. Low-density lipoprotein receptor knockout (LDLr<sup>-/-</sup>) mice (n=36) were fed an atherogenic diet (AD) containing various types of LRB (10 g%) for 10 weeks. Plasma triglyceride, total cholesterol, and LDL-C concentrations decreased significantly in mice fed LRB prepared with OF batter (OFB) and GT batter (GTB) ( $P<0.05$ ). Protein expression levels of fatty acid synthase (FAS) and 3-hydroxyl-3-methylglutaryl coenzyme A reductase (HMGCR) in the OFB and GTB groups were suppressed compared with the LRB group ( $P<0.05$ ). In accordance with the results on FAS and HMGCR expression, sterol regulatory element binding protein- I and II (SREBP- I and II), which are responsible for the regulation of FAS and HMGCR gene expression, respectively, were down-regulated compared to the LRB group ( $P<0.05$ ). In conclusion, the plasma lipid reduction activities of OFB and GTB could be mediated through down-regulation of FAS and HMGCR mRNA expression via suppression of regulatory molecules, SREBP- I and II, in LDLr<sup>-/-</sup> mice.

**Key words:** *bugak*, *Opuntia ficus-indica* var. *saboten*, green tea, HMGCR, SREBPs

## 서 론

부각은 기름에 튀겨서 먹는 음식으로 튀각으로부터 발전된 음식이다. 튀각은 한문으로 ‘투각(鬪篋)’ 또는 ‘투각(套角)’으로 표기하는데, 이는 소리음에 한자를 임의로 붙인 것으로 ‘고사십이집’(1780년)에 다시마를 유전(油煎)한 것으로 소식에 알맞은 찬이라고 최초로 보고되고 있다. 이후 산채류 또는 해조류를 장기간 보관할 목적으로 말린 후 찹쌀풀 등의 전분풀을 입혀서 말린 후 기름에 튀겨먹는 부각으로 발전하였다. 식물성 재료를 주로 사용하는 부각은 사찰을

중심으로 발전되어 왔으며 송광사의 감자부각, 고추자반, 양산통도사의 가죽부각, 해인사의 산동백잎부각은 유명하다. 우리나라 식생활에 있어서 부각 요리의 의미는 구황식품의 일환으로 원재료 상태로 먹기 힘든 산채류, 해조류 등을 말린 후 이를 기름에 튀겨 먹음으로써 이들을 식용 재료화 하였으며 더불어 지방질을 공급하는 중요한 식품 급원이다. 현대의 식생활에 있어서 부각 요리의 중요성은 간과될 수 있으나 우리나라 전통 방식으로 제조된 부각요리는 서양에서 도입된 튀김요리 또는 기름에 튀긴 스낵들과는 건강 측면에서 매우 다른 점이 있는 것으로 알려져 있다. 즉 채소 또는 해조류를 주재료로 사용함으로써 섬유소를 공급할 수 있으며(1), 식힌 찹쌀가루로 튀김옷을 입혀 생 참기름, 참기름 또는 들깨유에 튀김한 부각은 밀가루풀과 콩기름, 해바라기

Received 18 November 2013; Accepted 27 November 2013

\*Corresponding author.

E-mail: yosong@pusan.ac.kr, Phone: +82-51-510-2847

유, 올리브유 등의 식용유에 튀긴 부각보다 기름 흡수량이 낮아 이의 섭취 시 혈중 지질 농도를 낮추는 건강한 튀김요리 제조법으로 보고되고 있다(2).

튀김 및 스낵과 같은 식품은 지방 함량이 높아 이를 지속적으로 섭취할 때 고지혈증에 의한 건강장애를 일으키게 된다(3). 그러나 튀김요리는 특유의 향미, 조직감 그리고 튀김 특유의 맛 때문에 섭취를 거부하기가 매우 힘들다(4). 따라서 튀김요리를 먹더라도 조리법을 개선하여 지방의 흡수량을 낮게 할 수 있는 방안에 대한 연구가 진행되어 왔다. 튀김옷은 튀김요리의 외관 및 부피 등을 증진시키기 위한 목적으로 사용되었으나, 튀김옷을 입혔을 때 튀김요리에 함유되는 지방의 함량이 낮아졌다(5). 튀김옷은 쌀, 밀 등의 전분가루에 물과 조미료를 섞어서 만든 것으로 사용하는 곡물의 종류에 따라 기름 흡수량이 다른데, 이는 곡물의 아미노산 조성 중 지용성 아미노산 비율이 높으면 유화능력이 증가되어 기름을 흡수하는 성질이 높아지기 때문으로 쌀가루 반죽 옷을 입힌 튀김은 밀가루 반죽 옷으로 만든 튀김에 비해 기름 흡수율이 낮다고 보고하였다(6).

연근은 부각재료로 자주 사용되고 있는 식품으로 다년생 수상식물인 연(*Nelumbo nucifera*)의 뿌리부분을 식용으로 사용하고 있다(7). 연근은 레시틴과 뮤신을 다량 함유하고 있어 혈당강하 및 혈중 콜레스테롤 저하효과가 알려져 있고 항균, 항염, 해열 등의 약리 작용도 보고되고 있다(8). 본 연구에서는 부각의 재료로 사용되고 있으며 식품 자체 색깔이 거의 없는 연근을 이용하여 붉은색, 녹색 그리고 노란색을 낼 수 있는 천연 재료인 백년초, 녹차 및 치자 가루를 삭힌 찹쌀풀에 첨가하여 기능성 스낵을 제조해 보고자 하였다. 백년초(*Opuntia ficus-indica* var. *saboten*)는 적색의 betanine 색소를 함유한 선인장과(Cactaceae)에 속하는 손바닥 선인장의 열매로 열대성의 다년생 초본이나 우리나라의 제주도 등지에서도 자생하고 있다. 백년초의 생리활성으로는 혈당강하, 지질저하 효과 등이 알려져 있고, 약리 작용으로 항괴양, 항알레르기, 진통 그리고 항염증 효과 등이 보고되었다(9). 백년초는 열과 산성 조건에서도 안전하여(10) 초콜릿과 같은 가공제품에 사용되고 있다. 녹차는 다량의 폴리페놀을 함유하고 있어 항산화, 항암, 항균, 혈압강하, 혈중 중성지방 및 콜레스테롤 저하 등의 건강 기능이 잘 알려져 있다(11-13). 녹차의 생리활성을 나타내는 관련 효소 및 전사인자의 발현과 페놀 화합물과의 관계에 대한 연구 역시 광범위하게 이루어져 있다(14,15). 치자(*Gardenia fructus*)는 천연색소 물질로 우리나라에서 널리 사용되어 온 꼭두서니과(Rubiaceae)에 속하는 치자나무(*Gardenia jasminoides* Ellis)의 열매로 항산화, 항암 그리고 신경보호 작용이 보고되었으며, 특히 치자의 황색 색소물질인 crocin은 췌장 lipase를 억제하는 작용을 통해 혈중 중성지방, 총콜레스테롤 및 LDL-C를 감소시킨다고 알려져 있다(16).

본 연구에서는 부식으로만 사용되어 온 부각의 제조과정을 개발하여 스낵으로서도 사용 가능한 기능성 부각을 제조

하고자 하였다. 최근 미국에서는 야채의 섭취를 증가시키기 위해 우리나라의 부각과 매우 유사한 제품을 만들어 가정에서 간단히 튀겨서 먹을 수 있도록 제품화하여 판매하고 있다. 부각 스낵화를 위하여 전통부각 제조법을 응용하여 다양한 색상의 부각 제조를 시도하였다. 즉 재료 자체의 색상이 거의 없는 연근을 이용하여 삭힌 찹쌀풀(천연발효)에 치자, 백년초 및 녹차 가루 등의 천연 색소를 첨가한 튀김옷을 입혀 튀김한 후 이를 동물에 섭취시켜 지질저하 기능성을 비교하여 기능성 부각 제조를 시도하였다.

## 재료 및 방법

### 전통 찹쌀풀 제조

조리서를 바탕으로 전통 찹쌀풀 제조법을 조사한 후 본 연구의 선행 연구 결과 가장 좋은 결과를 나타낸 방법을 선택하였다. 즉 찹쌀과 2배의 물(w/w)을 독에 넣고 뚜껑을 잘 닫은 다음 실온에서 7일간 자연 발효하였다. 발효기간은 선행연구의 관능평가 중 씹힘성 및 발효냄새 두 항목에서 가장 바람직한 평가를 받았던 시간을 선택하였다. 자연발효를 위해서 온도 및 습도가 각각 20~23°C, 38~43% 부근이어야 하므로 겨울철에 본 연구를 실시하였다. 발효 후 삭혀진 찹쌀을 물로 수세한 후 3 mm 크기로 돌 분쇄기(Stone roller, Pungjin Food Machinery Co., Ltd., Hanam, Korea)를 이용하여 가루로 만들었다. 찹쌀풀은 가루 중량의 6배에 해당하는 물을 넣고 뚜껑을 닫지 않은 상태에서 가스 불 '강'에서 10분간 끓이다가 '약'으로 불을 낮춘 후 5분간 끓였다. 초기부터 지속적으로 잘 저어가면서 풀 쭉기를 실시하였다. 풀이 완전히 식은 후 삭힌 찹쌀가루 중량의 10%(w/w)에 해당하는 치자, 백년초 및 녹차 가루를 첨가하여 골고루 섞어 다양한 색상의 부각용 풀을 제조하였다.

### 연근부각 제조

연근을 2 mm 두께로 썬 후 15분간 끓이고 찬 물에 담가 식혔다. 삶은 연근에 연근 중량의 1.1배에 해당되는 치자, 백년초, 녹차 찹쌀풀을 각각 첨가하여 골고루 입혀지도록 손으로 섞은 후 하나씩 퍼서 상온에서 3일 동안 잘 뒤집어가며 건조시켰다. 건조 후 180°C의 생 참기름을 이용하여 pan-frying(HMR-3100 Haemaroo, Seoul, Korea) 하였다. 튀김에 소요된 시간은 전면, 후면 각각 3초씩 총 6초이었다. 튀김요리의 효과를 확인하기 위하여 완성된 부각을 동물 식이에 첨가하였다.

### 실험식이 및 동물 사육

부각의 지질저하 효과 및 관련 기전을 효과적으로 관찰하기 위하여 식이에 의해 혈중 지질 농도가 유의적으로 상승하는 동물을 선정하였다. 유전학적으로 변형된 LDL 수용체 결핍(LDL receptor deficient, LDLr<sup>-/-</sup>) 마우스 5주령 수컷 36마리와 이의 wild type(C57BL/6) 마우스 5주령 수컷 6

**Table 1.** Composition of experimental diet (g/100 g diet)

Ingredient	Experiment diet	
	Control	Lotus root <i>bugak</i>
Casein	22.3	20.1
L-Cystine	0.3	0.3
Corn starch	23.6	21.2
Maltodextrin	7.9	7.1
Sucrose	13.7	12.3
Cellulose	5.6	5.0
Soybean oil	2.8	2.5
Cocoa butter	17.3	15.6
Mineral mix <sup>1)</sup>	3.9	3.5
Vitamin mix <sup>2)</sup>	1.1	1.0
Choline bitartrate	0.3	0.2
Cholesterol	1.2	1.2
Lotus root <i>bugak</i>	—	10.0
Total cal (kcal/100 g)	452.1	452.7

<sup>1)</sup>AIN-76A mineral mix (No. 200000; Dyets, Inc., Bethlehem, PA, USA).

<sup>2)</sup>AIN-76A vitamin mix (No. 300050; Dyets, Inc.).

마리를 Jackson laboratory(Bar Harbor, ME, USA)에서 구입하여 1주일 동안 실험실 환경에 적응시켰다. 동물은 케이지 당 1마리씩 넣어 사육하였으며 사육실의 온도는 22±1 °C, 습도는 55±5%로 유지하였고, 조명은 12시간 주기로 조절하였다. 1주일 적응 후 LDLr<sup>-/-</sup> 마우스는 각 군의 평균 체중이 유사하도록 식이 섭취 종류에 따라 5군으로 나누었다.

실험식은 동맥경화 유발 식이(atherogenic diet, AD)를 Table 1과 같이 제조하여 대조군 식이로 사용하였다. 실험군 식이 제조는 상기의 방법대로 만든 다양한 전분풀을 입혀 말린 연근재료를 생 참기름에 튀김한 후 기름종이를 깔은 채반에서 약 5분간 두어 잔유 기름을 빠지게 한 다음 분쇄기에서 가루를 내어 이를 총 식이의 10%가 되게 첨가하였다. 연근부각의 일반 조성은 사용한 재료 및 흡수된 지방량으로부터 계산으로 산출해 보았을 때 탄수화물 64.4%, 단백질 9%, 지방 23%, 기타 3.6% 정도이었다. 연근 부각의 영양소 함량을 고려하여 대조군과 실험식이군 간의 총칼로리 및 지방 함량이 유사하도록 합성 식이 첨가량을 조절하였다. 제조된 대조군 식이는 100 g당 452.1 kcal이고, 실험식은 456.9 kcal이었으나 마우스의 1일 섭취량인 3.3 g을 기준으로 칼로리를 산출하였을 때 대조군 14.9 kcal, 실험군 15.0 kcal이었다. 식이는 매주 제조하여 -20°C에 보관하면서 공급하였다. 본 연구의 실험군은 AD를 섭취하는 wild type 마우스군(wild type mice control group, WC), AD를 섭취하는 LDLr<sup>-/-</sup> 마우스 대조군(LDLr<sup>-/-</sup> mice control group, CON), 연근부각 섭취군(LDLr<sup>-/-</sup> mice lotus root *bugak* group, LRB), 백년초연근부각 섭취군(LDLr<sup>-/-</sup> mice *opuntia ficus-indica* var. *saboten bugak* group, OFB), 녹차연근부각 섭취군(LDLr<sup>-/-</sup> mice green tea *bugak* group, GTB), 치자연근부각 섭취군(LDLr<sup>-/-</sup> mice *gardniae fruc-*

*tus lotus root bugak* group, GFB)의 총 6군이다.

본 연구의 실험기간은 총 10주였으며, 다양한 연근부각 종류에 따른 차이를 확인하기 위하여 제한 식이를 실시하였다. 초기 2주간은 하루에 3.1 g의 식이를, 그리고 나머지 실험기간인 8주 동안은 하루에 3.3 g의 식이를 공급하였다. 본 실험에서 공급한 식이의 양은 본 연구팀의 선행 연구 결과 및 마우스가 섭취하는 것으로 보고된 식이 양에 기준하여 충분하도록 마우스의 월령에 따라 설정하였으며(17), 물을 제한 없이 공급하였다. 실험기간 중 식이 잔사현상은 발견되지 않았다. 마우스의 체중은 매주 측정하였다. 본 동물실험의 전 과정은 실험동물위원회(Pusan National University-Institutional Animal Care and Use Committee, PNU-IACUC, Approval Number PNU-2013-0281)의 승인 후 수행되었다.

#### 해부 및 시료 채취

실험동물은 10주간 사육 후 12시간 동안 절식시킨 다음 zolazepan, tiletamine 혼합물(zoletil 50, 30 mg/kg bw, Virbac Laboratories, Carros, France)과 xylazine(10 mg/kg bw, Bayer Korea, Seoul, Korea) 혼합액을 복강 주사하여 마취한 후 개복하여 하대정맥에서 채혈하였다. 혈액은 heparin tube에 채취하여 3,000 rpm, 4°C에서 20분간 원심분리 하였으며, 얻어진 혈장은 사용 전까지 -80°C에 보관하였다. 채혈 후 간은 차갑게 냉각시킨 phosphate buffered saline(cold PBS)으로 관류하여 남은 혈액을 제거한 후 적출하여 여러 차례 씻은 후 여과지로 수분을 완전히 제거하였다. 간 무게를 측정한 후 -80°C에 보관하면서 실험에 사용하였다.

#### 혈청 지질 및 효소활성 측정

혈청 중성지방(AM157S-K, Asan Pharmaceutical Co., Seoul, Korea), 총콜레스테롤(AM202-K, Asan Pharmaceutical Co.), HDL 콜레스테롤(AM203-K, Asan Pharmaceutical Co.) 및 AST, ALT(AM101-K, Asan Pharmaceutical Co.)의 농도는 kit를 사용하여 측정하였으며, LDL 콜레스테롤의 농도는 Friedward법(18)을 이용하여 계산하였다. 계산법은 다음과 같다.

$$\text{LDL cholesterol} = \text{Total cholesterol} - (\text{HDL cholesterol} + \text{triglyceride}/5)$$

#### Western blot 분석

지방산 합성 효소(fatty acid synthase, FAS) 및 콜레스테롤 합성 효소(3-hydroxy-3-methylglutaryl CoA reductase, HMGCR)의 단백질 발현 정도를 확인하기 위하여 간 조직에 protease inhibitor(10 µL/mL protease inhibitor cocktail, Sigma-Aldrich, Saint-Quentin-Fallavier, France)를 포함한 NP-40 lysis buffer(50 mM Tris, pH 8.0, 5 mM EDTA, 150 mM NaCl, 1% nonidet-P40)를 첨가하여

Polytron homogenizer(PT-MR 3100, Polytron, Kinematica, Lucerne, Switzerland)로 균질화 하였다. 균질액을 1시간 동안 얼음에 보관한 후 4°C에서 12,000 rpm으로 20분간 원심분리 하여 분리한 상층액을 세포의 단백질 추출액으로 사용하였다. 단백질 농도는 Bio-Rad 단백질 정량시약(Bio-Rad, Hercules, CA, USA)으로 측정하였고, 세포의 단백질 추출물은 Laemmli sample buffer(Bio-Rad)와  $\beta$ -mercaptomethanol을 혼합한 후 8% sodium dodecyl sulphate-polyacrylamide gel(SDS-PAGE)에 전기영동하였다. 분리된 단백질은 nitrocellulose membrane(0.45  $\mu$ m pore size, Whatman, Dassel, Germany)으로 이동시킨 후 5% skim milk에 1시간 동안 blocking 하였다. Anti-fat ty acid synthase(ab22759, Abcam Inc., Cambridge, UK)와 HMGCR(sc-33827, Santa Cruz Biotechnology, Santa Cruz, CA, USA) 항체는 1:1,000 비율로, anti-alpha tubulin(ab52866, Abcam Inc., Cambridge, UK) 항체는 1:50,000 비율로 희석하여 4°C에서 1차 항체를 밤새 반응시키고 세척한 후 2차 항체를 상온에서 1시간 동안 반응시켰다. 2차 항체로 사용한 Donkey polyclonal secondary antibody to rabbit IgG(ab6802, Santa Cruz Biotechnology)와 Goat polyclonal secondary antibody to mouse IgG(ab6789, Santa Cruz Biotechnology)는 각각 1:3,000과 1:5,000의 비율로 희석하여 사용하였다. 반응이 끝난 membrane은 세척하여 부착되지 않은 항체를 제거한 후 enhanced chemiluminescence(ECL) 용액(HyGLO, Denville Scientific, Metuchen, NJ, USA)으로 발색시킨 후 CAS-400SM(Davinch-K, Seoul, Korea)에서 단백질 발현을 촬영하였다. 단백질의 발현은 TotalLab-CoreBio Quant image analysis software(Core Bio, Seoul, Korea)를 사용하여 측정하였고, 발현 정도는  $\alpha$ -tubulin에 대한 비율로 표시하였다.

지질 합성 효소의 발현에 관여하는 전사인자인 sterol regulatory element binding protein- I, II(SREBP- I, II)의 발현 정도 역시 지질 합성 효소의 발현과 동일한 방법으로 측정하였다. 실험에 사용한 1차 항체는 SREBP-1(sc-8984, Santa Cruz Biotechnology)과 SREBP-2(sc-5603, Santa Cruz Biotechnology)이며, 1:1,000으로 희석하여 사용하였다.

### 통계처리

모든 실험결과는 평균 $\pm$ 표준편차로 나타내었으며, 유의성은 SPSS version 20(SPSS Inc., Chicago, IL, USA)을 이용하여 one-way analysis of variance(ANOVA)를 실시하고, 사후 검증으로 Duncan's multiple range test를 실시하여 유의수준 0.05에서 유의성을 검증하였다.

**Table 2.** Body weight gain of LDLR<sup>-/-</sup> mice fed atherogenic diet containing various kinds of lotus root *bugak* for 10 weeks (g)

Group <sup>1)</sup>	Body weight		Body weight gain
	Initial	Final	
WC	22.5 $\pm$ 0.7 <sup>a</sup>	30.2 $\pm$ 2.4 <sup>a</sup>	7.7 $\pm$ 2.6 <sup>NS</sup>
CON	19.1 $\pm$ 1.6 <sup>b</sup>	26.1 $\pm$ 1.4 <sup>b</sup>	7.0 $\pm$ 2.2
LRB	19.1 $\pm$ 1.2 <sup>b</sup>	26.3 $\pm$ 1.5 <sup>b</sup>	7.1 $\pm$ 1.3
OFB	19.1 $\pm$ 1.3 <sup>b</sup>	26.3 $\pm$ 1.1 <sup>b</sup>	7.1 $\pm$ 1.1
GTB	19.1 $\pm$ 1.3 <sup>b</sup>	25.7 $\pm$ 2.3 <sup>b</sup>	6.5 $\pm$ 1.6
GFB	19.1 $\pm$ 1.3 <sup>b</sup>	27.7 $\pm$ 1.4 <sup>b</sup>	7.9 $\pm$ 1.0

Data are mean $\pm$ SD (n=6 in each group).

LRB: lotus root *bugak* prepared with fermented glutinous rice flower batter (FGR) and pan-fried with unroasted sesame oil, OFB: *Opuntia ficus-indica* var. *saboten* was added to FGR batter for the LRB preparation, GTB: green tea was added to FGR for LRB preparation, GFB: Gardeniae fructus was added to FGR batter for LRB preparation.

<sup>1)</sup>WC: wild type mice, C57BL/6, fed atherogenic diet (AD), CON: LDLR<sup>-/-</sup> mice fed AD, LRB, OFB, GTB, GFB: LDLR<sup>-/-</sup> mice fed AD containing 10% (w/w) of various type of lotus root *bugak*, respectively.

<sup>a,b</sup>Data with different letters in the column are significantly different with one-way ANOVA followed by Duncan's multiple range test at  $P < 0.05$ .

<sup>NS</sup>Data in the column are not significantly different.

## 결과 및 고찰

### 체중 변화

실험기간 중 마우스의 체중변화량은 Table 2와 같다. LDLR<sup>-/-</sup> 마우스는 wild type mouse인 C57BL/6에 비해 초기 체중이 낮았다. 실험기간 중의 체중증가량을 비교해 보았을 때 마우스의 종류 및 식이군에 따른 차이는 나타나지 않았다. 이는 다양한 연근 부각의 차이를 살펴보기 위해 제한 식이를 하였기 때문으로 생각된다.

### 혈청 AST/ALT 농도

백년초, 녹차, 치자를 첨가하여 연근부각 섭취 시 실험군의 혈중 AST, ALT 농도는 정상 범위 내에 있었다(Table 3).

**Table 3.** Plasma AST and ALT concentration of LDLR<sup>-/-</sup> mice fed atherogenic diet containing various kinds of lotus root *bugak* for 10 weeks (Karmen unit/mL)

Group <sup>1)</sup>	AST	ALT
WC	60.6 $\pm$ 6.6 <sup>NS</sup>	73.5 $\pm$ 13.0 <sup>NS</sup>
CON	62.4 $\pm$ 9.9	69.8 $\pm$ 4.4
LRB	73.3 $\pm$ 9.6	72.8 $\pm$ 12.0
OFB	70.6 $\pm$ 14.8	74.8 $\pm$ 7.9
GTB	60.0 $\pm$ 12.4	65.4 $\pm$ 13.6
GFB	73.6 $\pm$ 12.5	79.3 $\pm$ 9.7

Data are mean $\pm$ SD (n=6 in each group).

<sup>1)</sup>See the legend of Table 2.

<sup>NS</sup>Data in the column are not significantly different.

**Table 4.** Plasma lipid concentration of LDLr<sup>-/-</sup> mice fed atherogenic diet containing various kinds of lotus root *bugak* for 10 weeks (mg/dL)

Group <sup>1)</sup>	TG	TC	LDL-C	HDL-C
WC	38.7±13.1 <sup>d</sup>	98.0±14.9 <sup>d</sup>	24.7±7.1 <sup>d</sup>	65.6±9.1 <sup>a</sup>
CON	121.0±18.4 <sup>a</sup>	1,184.0±73.9 <sup>a</sup>	1,082.6±78.1 <sup>a</sup>	50.4±12.3 <sup>b</sup>
LRB	92.7±8.6 <sup>b</sup>	1,000.1±93.5 <sup>b</sup>	949.0±85.8 <sup>b</sup>	54.5±3.8 <sup>ab</sup>
OFB	71.6±8.9 <sup>c</sup>	865.8±119.4 <sup>c</sup>	799.5±128.8 <sup>c</sup>	52.2±15.1 <sup>b</sup>
GTB	72.6±9.2 <sup>c</sup>	875.4±99.4 <sup>c</sup>	823.6±83.4 <sup>c</sup>	47.3±7.0 <sup>b</sup>
GFB	91.5±21.4 <sup>bc</sup>	1,037.7±100.1 <sup>b</sup>	964.3±100.4 <sup>b</sup>	48.9±9.2 <sup>b</sup>

Data are mean±SD (n=6 in each group).

<sup>1)</sup>See the legend of Table 2.

<sup>a-d</sup>Data with different letters in the column are significantly different with one-way ANOVA followed by Duncan's multiple range test at  $P<0.05$ .

### 기능성 부각 섭취에 따른 혈장 지질 농도 변화

동맥경화식을 섭취한 마우스 혈중 지질 농도는 LDL 수용체를 결핍시킨 LDLr<sup>-/-</sup> 마우스에서의 혈중 중성지방(triglyceride, TG), 총콜레스테롤(total cholesterol, TC) 그리고 LDL-C 농도가 wild type 마우스인 C57BL/6보다 유의적으로 높았다. 동일한 동맥경화식을 섭취하였음에도 불구하고 LDL 수용체가 결핍된 경우 지질 농도가 급격히 상승함을 확인할 수 있었다(Table 4).

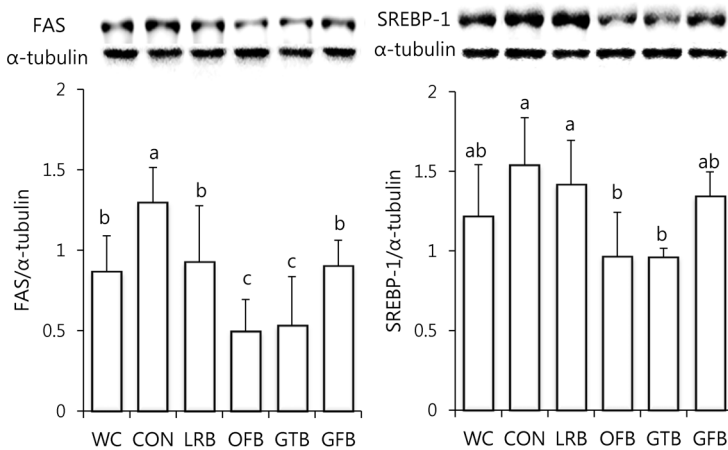
부각을 섭취한 실험군의 지질 농도는 모든 연근부각 첨가군에서 혈중 지질 농도가 감소하였다. AD에 연근부각 10%를 첨가한 연근부각군(LRB군)은 AD만 공급한 CON군에 비해 혈중 TG, TC 그리고 LDL-C 농도가 유의적으로 낮아졌다. 본 연구 결과는 김부각을 전통 제조법인 삭힌 참쌀가루 풀과 생 참기름을 사용해 제조하여 동물에 섭취시켰을 때 AD만 공급한 대조군에 비해 혈중 TG, TC 그리고 LDL-C 농도가 유의적으로 낮았으며, 밀가루 풀과 콩기름에 튀긴 김부각을 섭취한 마우스에 비해 혈중 지질 농도가 유의적으로 낮아졌던 결과와 일치하였다(2). 이는 삭힌 참쌀풀의 소수성 아미노산 조성이 밀가루 풀에 비해 낮아 기름에 대한 친수성이 낮아졌기 때문이며(6), 삭히는 과정 중 amylase에 의해 생성된 maltose, dextrin 그리고 다른 전분 분해물의(19,20) 농도가 높아져 튀김 과정 중 생성된 crust의 film 생성력이 증가하여 기름 흡수를 방해하였기 때문으로 생각된다. 뿐만 아니라 생 참기름의 항산화 성분인 lignan compounds 중 sesamin은 가열산화 안정성이 매우 높아 튀김 온도에서도 분해되지 않아(21) 튀김 과정 중 부각으로 흡수된 기름에 항산화물질인 sesamin의 농도가 다른 항산화물질에 비해 상대적으로 높았기 때문으로 생각된다. Sesamin은 HMG-CoA reductase의 발현을 억제하는 것으로 보고되고 있다(22,23).

부각의 스낵화를 위하여 재료 자체의 색상이 거의 없는 연근을 선정하여 항산화 또는 지질저하 기능성 및 색상을 증진시킬 수 있는 백년초, 녹차 및 치자를 첨가하여 부각 제조 후 지질저하 기능성 증진을 확인해 본 결과 백년초(OFB군) 및 녹차 첨가 연근부각(GTB군)을 섭취한 마우스의 TG 농도는 LRB군에 비해 각각 22.8%와 21.7% 유의적

으로 감소하였으며, TC 농도는 각각 13.4%와 12.5% 유의적으로 감소하였고 LDL-C 농도도 15.8%와 13.2% 유의적으로 감소하였다( $P<0.05$ ). 이에 반해 치자연근부각(GFT군)을 섭취한 마우스의 혈중 지질 농도는 예상과는 달리 LRB군의 혈중 지질 농도와 유사하였고, 치자 첨가에 의한 지질저하 효과가 관찰되지 않았다. 백년초의 지질저하 효과는 함유된 당단백질이나 pectin 성분 때문으로 생각된다(24,25). 백년초로부터 분리한 90 kDa의 glycoprotein은 triton WR-1330을 처리한 마우스의 혈중 TG, TC 그리고 LDL-C를 낮추는 효과가 관찰되었는데, 이는 glycoprotein의 유리기 소거 효과 때문이라고 설명하였다(24). 또한 백년초에서 분리한 pectin을 섭취시킨 guinea pigs의 LDL-C 대사를 조절하여 혈중 콜레스테롤을 감소시키는 효과가 보고되었다(25). 녹차 폴리페놀의 다양한 기능성은 광범위하게 보고되고 있으며 특히 catechin의 콜레스테롤 저하기능 효과는 잘 알려져 있다. 녹차로부터 분리한 epigallocatechin gallate(EGCG)를 식이의 1%(0.7 g/day/kg BW)를 rat에 4주간 투여한 결과 혈청 총콜레스테롤과 LDL-C의 농도가 낮아졌다고 보고하였으며, 이는 EGCG가 소장에서 지질 흡수를 위한 micelle 형성 시 콜레스테롤이 micelle에 함유되는 것을 방해함으로써 결과적으로 콜레스테롤의 흡수를 감소시켰기 때문이라고 설명하였다(26). 치자는 우리나라 전통 조리법에서 전류의 색상을 좋게 하기 위하여 치자를 물에 우려 다음 밀가루 등에 첨가하여 사용하였다. 치자의 황색 색소물질인 crocin은 췌장 lipase를 억제하는 작용을 통해 혈중 중성지방, 총콜레스테롤 및 LDL-C를 감소시킨다고 알려져 있으며(16), 그 외에 항산화, 항암 그리고 신경보호 작용 등이 알려져 있다. 그러나 치자의 황색 색소물질인 crocin은 carotenoid 계열로 가공 및 저장과정 중 파괴되기 쉽다고 보고되어(27) 본 연구에서 치자연근부각이 혈중 지질저하 효과를 나타내지 않은 이유는 치자연근부각의 제조 시 수행한 튀김 과정 중 crocin이 파괴되어 혈중 지질저하 효과를 나타내지 못한 것으로 생각된다.

### 간의 지방산 합성 전사인자 및 효소의 발현

간에서의 FAS의 mRNA 발현 정도를 protein 농도로 환



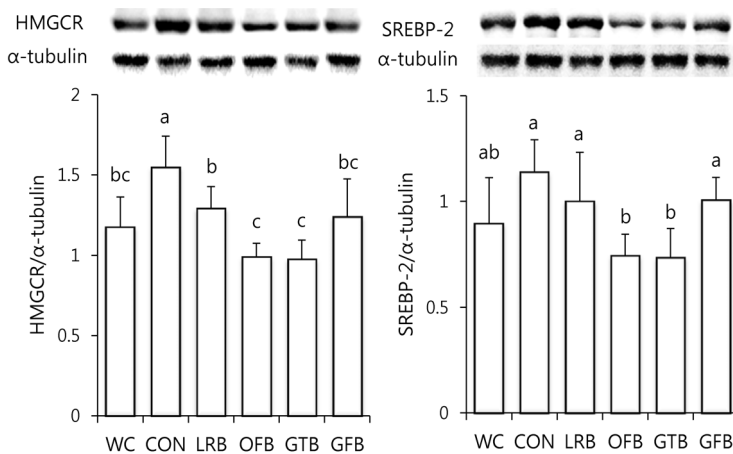
**Fig. 1.** Western blot analysis results of fatty acid synthase (FAS) and sterol regulatory element binding protein (SREBP)-1 expressions in  $LDLr^{-/-}$  mice fed atherogenic diet containing various kinds of lotus root *bugak* for 10 weeks. Data are mean $\pm$ SD (n=6 in each group). See the legend of Table 2 for the experimental group. <sup>a-c</sup>Data with different letters are significantly different with one-way ANOVA followed by Duncan's multiple range test at  $P < 0.05$ .

인하여 Fig. 1에 나타내었다. LRB군의 FAS 발현은 CON군에 비해 유의적으로 낮았다( $P < 0.05$ ). 본 연구 결과는 김부각을 동맥경화유발식에 20% 첨가하여 섭취한 마우스에서 혈장 지질 농도 및 FAS의 발현 정도가 낮아졌던 결과(2)와 일치한다. OFB군과 GTB군의 FAS mRNA 발현은 LRB군보다 각각 46.5%와 42.7% 유의적으로 낮았다( $P < 0.05$ ). 이에 반해 GFT군의 FAS 발현 정도는 LRB군과 유사하였다. FAS 유전자의 promotor에 결합하여 mRNA의 발현을 촉진시키는 전사인자로 알려진 SREBP-1(28)의 발현 정도를 protein 농도로 확인하였을 때 LRB군의 SREBP-1 protein 농도는 CON군에 비해 낮았으나 유의적이지 않았다. 그러나 OFB군과 GTB군의 SREBP-1 발현은 LRB군에 비해 각각 31.9%와 32.2% 감소하였으며( $P < 0.05$ ) GFT군은 LRB군과 유사하였다. FAS는 에너지 대사에 참여하는 중요한 효소(29), 잉여 칼로리 존재 시 acetyl-CoA와 malonyl-CoA의 축합에 의해 지방산 탄소가 16개(palmitate) 될 때까지 연장시키는 지방산 생합성에 관여하는 효소(30) 간에서 합성된 지방산은 중성지방으로 전환되어 VLDL의 형태로 혈장을 순환하며 지방조직에 중성지방을 전달한다. 따라서 간에서의 FAS의 발현 정도는 혈중 중성지방 농도와 상관관계가 있는 것으로 잘 알려져 있으며(31) FAS의 발현은 SREBP-1의 조절을 받는 것으로 알려져 있다(32). 본 연구 결과에 의하면 백년초 및 녹차 첨가 연근부각군의 혈중 중성지방 농도는 연근부각군에 비해 약 20% 정도 각각 감소하였고 FAS 및 SREBP-1의 발현도 유의적으로 감소하였으나, 치자연근부각군의 중성지방 농도는 연근부각군과 유의적인 차이가 없었고 FAS 및 SREBP-1의 발현도 유사하여 일관성 있는 결과를 나타내었다. 이러한 혈중 중성지방 농도의 감소를 초래하는 원인은 다양하겠으나 그중 한 가지 가능한 설명은 백년초와 녹차의 기능성 성분으로 전사인자인 SREBP-1이 FAS의 발현을 조절하여 지방산의 합성을 억제함으로써 혈중 중성지방의 감소를 초래한 것으로 생각된다. 녹차로부터 추출한 EGCG는 닭의 간에서 fatty acid synthase의 활성을 억제했으며(14), Wang 등(15)은 녹차

catechin의 galloyl moiety가 FAS의 활성을 억제한다고 보고하였다. 또한 EGCG를 제외한 녹차의 수용성 성분 역시 Balb/c mice의 간에서 FAS, HMGCR 및 acetyl-coenzyme A carboxylase alpha 등 지질대사에 관련하는 효소의 발현을 낮추어 혈중 지질을 낮추었다고 보고되고 있다(33). 백년초에 의한 FAS의 발현 억제에 대한 보고는 본 연구가 처음이다.

#### 간의 콜레스테롤 합성 전사인자 및 효소의 발현

간에서의 콜레스테롤 합성의 율속 효소로 작용하는 HMGCR(34,35)과 이의 전사인자인 SREBP-2의 발현을 protein 농도로 확인하여 Fig. 2에 나타내었다. LRB군의 HMGCR mRNA 발현은 CON군에 비해 유의적으로 낮았으며( $P < 0.05$ ), OFB군과 GTB군의 HMGCR 발현은 LRB군에 비해 23.3%와 24.4% 유의적으로 감소하였다( $P < 0.05$ ). HMGCR의 mRNA 발현에 관여하는 전사 인자 중 하나인 SREBP-2는 콜레스테롤 합성에 관여하는 조절 인자이다(36,37). LRB군의 SREBP-2 발현 정도는 CON군보다 12.1% 낮아졌으나 유의적이지 않았다. 그러나 OFB군과 GTB군의 SREBP-2의 발현은 LRB군에 비해 각각 25.5%와 26.5% 유의적으로 감소하였다( $P < 0.05$ ). HMGCR은 혈중 콜레스테롤을 조절하는 대단히 중요한 효소로 혈중 콜레스테롤이 높으면 간에서 효소의 합성이 낮아져 간으로의 콜레스테롤 이동을 촉진하고 혈중 콜레스테롤 농도가 낮아 체내 요구량이 높으며, 효소의 발현이 증가되고 콜레스테롤 합성을 촉진하여 혈장 콜레스테롤 수준을 조절한다(38,39). 본 연구에서는 LRB군의 혈중 콜레스테롤 농도가 CON군에 비해 낮았는데, 이는 튀김 시 사용한 생 참기름의 항산화물질인 lignan 화합물 중 하나인 sesamin의 가열산화 안정성이 매우 높아 튀김 중 분해되지 않고 기름이 흡수될 때 상대적으로 다른 항산화물질에 비해 높은 농도가 잔존함으로써 지질저하 효과를 나타낸 것으로 생각된다. Sesamin은 SREBP-2의 발현을 조절하는 효과가 있어 HMGCR 발현을 억제함으로써 혈중 콜레스테롤을 낮춘다고 알려져 있다(40). 본 연구에서



**Fig. 2.** Western blot analysis results of 3-hydroxy-3-methylglutaryl CoA reductase (HMGR) and sterol regulatory element binding protein (SREBP)-2 expressions in LDLr<sup>-/-</sup> mice fed atherogenic diet containing various kinds of lotus root *bugak* for 10 weeks. Data are mean±SD (n=6 in each group). See the legend of Table 2 for the experimental group. <sup>a-c</sup>Data with different letters are significantly different with one-way ANOVA followed by Duncan's multiple range test at P<0.05.

도 혈장 콜레스테롤 농도와 간의 HMGR의 발현 및 SREBP-2의 발현은 높은 상관관계를 보였다. C57BL/6 mice에 녹차 추출물을 섭취시켰을 때 고지방 및 고당질 (sucrose) 식이에 의해 혈장 콜레스테롤 농도가 상승하는 것을 억제시키는 효과가 관찰되었으며 이는 녹차가 HMGR 유전자 발현을 억제하였기 때문이라고 설명하였다(23).

**요 약**

본 연구는 한국 전통부각 제조방법을 이용하여 부각을 부식으로뿐만 아니라 스낵의 용도로도 사용할 수 있게 개발하고자 하였다. 부각 제조가 상대적으로 간편하며 원료 자체의 색상이 거의 없는 연근을 선정하여 여기에 빨강, 녹색 그리고 노란색을 낼 수 있도록 천연 기능성 색소 소재로 백년초, 녹차 그리고 치자 가루를 사용하였다. 이들 기능성 색소 재료를 식힌 찹쌀풀 제조 후 첨가하여 다양한 부각을 만들고 이를 말린 후 생 참기름에 튀겨 동맥경화식이에 10%가 되도록 첨가하여 LDLr<sup>-/-</sup> 마우스에 10주간 섭취시켜 지질저하 기능을 비교하였다. 실험군은 동맥경화유발식을 섭취한 wild type mice 대조군(WC), LDLr<sup>-/-</sup> mice 대조군(CON), 그리고 동맥경화식이에 다양한 연근부각을 첨가한 연근부각군(LRB), 백년초연근부각군(OFB), 녹차연근부각군(GTB), 그리고 치자연근부각군(GFB)의 총 7군이였다. 부각의 효과를 비교하기 위하여 제한식을 실시하였다. CON의 혈중 지질 농도는 WC에 비해 유의적으로 높았으며, LRB의 혈중 TG, TC 그리고 LDL-C 농도는 CON에 비해 유의적으로 낮았다(P<0.05). 기능성 색소 재료 첨가에 따른 지질저하 기능을 살펴보았을 때 OFB와 GTB군의 혈중 TG, TC 그리고 LDL-C 농도가 LRB군에 비해 유의적으로 낮았다(P<0.05). 간의 지방산 합성 효소인 FAS와 콜레스테롤 합성 효소인 HMGR의 발현 역시 OFB와 GTB군에서 LRB군에 비해 유의적 낮아(P<0.05) 혈중 지질 농도 결과와 일치하였다. 그러나 GFB군의 혈중 지질 농도는 LRB군보다 낮았으나 유의적인 차이를 보이지 않았고, FAS 및 HMGR 발현

역시 유의적인 차이를 보이지 않았다. FAS 및 HMGR의 mRNA 발현을 조절하는 전사인자인 SREBP-1과 2의 발현을 살펴보았을 때, OFB군과 GTB군은 LRB군에 비해 각각 유의적으로 낮았으나(P<0.05) GFB군에서는 발현 정도가 낮기는 하였으나 유의적이지 않았다. 이상의 결과로부터 백년초와 녹차 가루를 첨가하여 제조한 연근부각은 LDLr<sup>-/-</sup> 마우스의 간에서 지방산과 콜레스테롤의 생합성 억제를 통해 혈중 지질의 농도를 낮추는 효과가 있음을 확인하였다.

**감사의 글**

본 연구는 농림축산식품부 한식세계화용역연구사업에 의해 이루어진 것으로 연구비 지원에 감사드립니다.

**REFERENCES**

1. Yoon GS, Song YS. 1996. A study on the knowledge and utilization of Korea traditional basic side dishes II : Dried side dishes and jabans. *Korean J Dietary Culture* 11: 393-400.
2. Kim M, Hong SH, Chung L, Yang JE, Choe E, Song YO. 2014. Superiority of traditional cooking process for *bugak* (Korean traditional fried dish) for plasma lipid reduction. *J Med Food* 17: 57-66.
3. Hegsted DM, Ausman LM, Johnson JA, Dallal G. 1993. Dietary fat and serum lipids: an evaluation of the experimental data. *Am J Clin Nutr* 57: 875-883.
4. Saguy IS, Dana D. 2003. Integrated approach to deep fat frying: engineering, nutrition, health and consumer aspects. *J Food Eng* 45: 143-152.
5. Makinson JG, Greenfield H, Wong ML, Willis RBH. 1987. Fat uptake during deep-fat frying of coated and uncoated foods. *J Food Comp Anal* 1: 93-101.
6. Shih F, Daigle K. 1999. Oil uptake properties of fried batters from rice flour. *J Agric Food Chem* 47: 1611-1615.
7. Yang D, Wang Q, Ke L, Jiang J, Ying T. 2007. Antioxidant activities of various extracts of lotus (*Nelumbo nuficera* Gaertn) rhizome. *Asia Pac J Clin Nutr* 16: 158-163.
8. Du H, Zhao X, You JS, Park JY, Kim SH, Chang KJ. 2010. Antioxidant and hepatic protective effects of lotus root hot

- water extract with taurine supplementation in rats fed a high fat diet. *J Biomed Sci* 17: S39.
9. Saleem M, Kim HJ, Han CK, Jin C, Lee YS. 2006. Secondary metabolites from *Opuntia ficus-indica* var. *saboten*. *Phytochemistry* 67: 1390-1394.
  10. Lee SP, Whang K, Ha YD. 1998. Functional properties of mucilage and pigment extracted from *Opuntia ficus-indica*. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 27: 821-826.
  11. Bursill CA, Abbey M, Roach PD. 2007. A green tea extract lowers plasma cholesterol by inhibiting cholesterol synthesis and upregulating the LDL receptor in the cholesterol-fed rabbit. *Atherosclerosis* 193: 86-93.
  12. Yang M, Wang C, Chen H. 2001. Green oolong and black tea extracts modulate lipid metabolism in hyperlipidemia rats fed high-sucrose diet. *J Nutr Biochem* 12: 14-20.
  13. Wu LY, Juan CC, Ho LT, Hsu YP, Hwang LS. 2004. Effect of green tea supplementation on insulin sensitivity in Sprague-Dawley rats. *J Agric Food Chem* 52: 643-648.
  14. Wang X, Tian W. 2001. Green tea epigallocatechin gallate: a natural inhibitor of fatty-acid synthase. *Biochem Biophys Res Commun* 288: 1200-1206.
  15. Wang X, Song KS, Guo QX, Tian W. 2003. The galloyl moiety of green tea catechins is the critical structural feature to inhibit fatty-acid synthase. *Biochem Pharmacol* 66: 2039-2047.
  16. Lee IA, Lee JH, Baek NI, Kim DH. 2005. Antihyperlipidemic effect of crocin isolated from the fructus of *Gardenia jasminoides* and its metabolite crocetin. *Biol Pharm Bull* 28: 2106-2110.
  17. Bachmanov AA, Reed DR, Beauchamp GK, Tordoff MG. 2002. Food intake, water intake, and drinking spout side preference of 28 mouse strains. *Behav Genet* 32: 435-443.
  18. Friedwald WT, Levy RT, Fridrickson DS. 1972. Estimation of the concentration of low density lipoprotein cholesterol in plasma without the use of the preparative ultracentrifuge. *Clin Nutr* 18: 499-502.
  19. Villagran MD, Chester W, Toman LJ, Byars KD, Cawes NC, Zimmerman SP. 1995. Process for making reduced-fat fried snacks with lighter, more expanded snack structures. *US Patent* 5,464,642.
  20. Lim YH, Lee HY, Jang MS. 1993. Changes of physico-chemical properties of soaked glutinous rice during preparation of Yu-Kwa. *Korean J Food Sci Technol* 25: 247-251.
  21. Lee J, Lee Y, Choe E. 2008. Effects of sesamol, sesamin, and sesamolol extracted from roasted sesame oil on the thermal oxidation of methyl linoleate. *LWT-Food Sci Technol* 41: 1871-1875.
  22. Hirose N, Inoue T, Nishihara K, Sugano M, Akimoto K, Shimizu S, Yamada H. 1991. Inhibition of cholesterol absorption and synthesis in rats by sesamin. *J Lipid Res* 32: 629-638.
  23. Suzuki T, Kumazoe M, Kim Y, Yamashita S, Nakahara K, Tsukamoto S, Sasaki M, Hagihara T, Tsurudome Y, Huang Y, Yamamoto MM, Shinoda Y, Yamaguchi W, Yamada K, Tachibana H. 2013. Green tea extract containing a highly absorbent catechin prevents diet-induced lipid metabolism disorder. *Sci Rep* 3: 2749.
  24. Oh PS, Lim KT. 2006. Glycoprotein (90 kDa) isolated from *Opuntia ficus-indica* var. *saboten* MAKINO lowers plasma lipid level through scavenging of intracellular radicals in triton WR-1339-induced mice. *Biol Pharm Bull* 29: 1391-1396.
  25. Fernandez ML, Trejo A, Mcnamara DJ. 1990. Pectin isolated from pickly pear (*Opuntia* sp.) modifies low-density lipoprotein metabolism in cholesterol-fed guinea pigs. *J Nutr* 120: 1283-1290.
  26. Raederstorff DG, Schlachter MF, Elste V, Weber P. 2003. Effect of EGCG on lipid absorption and plasma lipid levels in rats. *J Nutr Biochem* 14: 326-332.
  27. Slim K, Tsimidou M, Biliaderis CG. 2000. Kinetic studies of degradation of saffron carotenoids encapsulated in amorphous polymer matrices. *Food Chem* 71: 199-206.
  28. Shimano H, Horton JD, Hammer RE, Shimomura I, Brown MS, Goldstein JL. 1996. Overproduction of cholesterol and fatty acids causes massive liver enlargement in transgenic mice expressing truncated SREBP-1a. *J Clin Invest* 98: 1575-1584.
  29. Smith S. 1994. The animal fatty acid synthase: one gene, one polypeptide, even enzymes. *FASEB J* 8: 1248-1259.
  30. Joseph SB, Laffitte BA, Patel PH, Watson MA, Matsukuma KE, Walczak R, Collins JL, Osborne TF, Tontonoz P. 2002. Direct and indirect mechanisms for regulation of fatty acid synthase gene expression by liver X receptors. *J Biol Chem* 277: 11019-11025.
  31. Agheli N, Kabir M, Berni-Canani S, Petitjean E, Boussairi A, Luo J, Bornet F, Slama G, Rizkalla SW. 1998. Plasma lipids and fatty acid synthase activity are regulated by short-chain fructo-oligosaccharides in sucrose-fed insulin-resistant rats. *J Nutr* 128: 1283-1288.
  32. Shimano H. 2009. SREBPs: physiology and pathophysiology of the SREBP family. *FEBS J* 276: 616-621.
  33. Yasui K, Paeng N, Miyoshi N, Suzuki T, Taguchi K, Ishigami Y, Fukutomi R, Imai S, Isemura M, Nakayama T. 2012. Effects of a catechin-free fraction derived from green tea on gene expression of enzymes related to lipid metabolism in the mouse liver. *Biomed Res* 33: 9-13.
  34. Brown MS, Goldstein JL. 1997. The SREBP pathway: regulation of cholesterol metabolism by proteolysis of a membrane-bound transcription factor. *Cell* 89: 331-340.
  35. El-Sohemy A, Archer MC. 1999. Regulation of mevalonate synthesis in low density lipoprotein receptor knockout mice fed n-3 or n-6 polyunsaturate fatty acids. *Lipids* 34: 1037-1043.
  36. McPherson P, Gauthier A. 2004. Molecular regulation of SREBP function: the Insig-SCAP connection and isoform-specific modulation of lipid synthesis. *Biochem Cell Biol* 82: 201-211.
  37. Marseille-Tremblay C, Gravel A, Lafond J, Mounier C. 2007. Effect of an enriched cholesterol diet during gestation on fatty acid synthase, HMG-CoA reductase and SREBP-1/2 expression in rabbits. *Life Sci* 81: 772-778.
  38. Luduc V, Jasmin-Belanger S, Poirier J. 2010. APOE and cholesterol homeostasis in Alzheimer's disease. *Trends Mol Med* 16: 469-477.
  39. Welch CL, Xia YR, Shechter I, Farese R, Mehrabian M, Mehdizadeh S, Warden CH, Lusis AJ. 1996. Genetic regulation of cholesterol homeostasis: chromosomal organization of candidate genes. *J Lipid Res* 37: 1406-1421.
  40. Namiki M. 2007. Nutraceutical functions of sesame: a review. *Crit Rev Food Sci Nutr* 47: 651-673.