

## 식이로 유도한 비만마우스에서 아피오스의 내장지방 감소 효과

— 연구노트 —

최라영<sup>1</sup> · 이진<sup>1</sup> · 류효선<sup>1</sup> · 함주리<sup>1</sup> · 박석규<sup>1</sup> · 김명주<sup>2</sup> · 이미경<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup>순천대학교 식품과학부 식품영양학전공

<sup>2</sup>수성대학교 제과제빵커피과

<sup>3</sup>순천천연물의약소재개발연구센터

### Anti-Visceral Obesity Effect of *Apios americana* Medikus in Diet-Induced Obese Mice

Ra-Yeong Choi<sup>1</sup>, Jin Lee<sup>1</sup>, Hyo-Seon Ryu<sup>1</sup>, Ju Ri Ham<sup>1</sup>, Seok-Kyu Park<sup>1</sup>,  
Myung-Joo Kim<sup>2</sup>, and Mi-Kyung Lee<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup>Department of Food & Nutrition, Suncheon National University

<sup>2</sup>Department of Bakery & Barista, Suseong College

<sup>3</sup>Suncheon Research Center for Natural Medicines

**ABSTRACT** This study examined the effects of apios (*Apios americana* Medikus) supplementation on visceral obesity in high-fat diet-induced obese mice. C57BL/6N mice were fed a high-fat diet (40% calories from fat) with or without apios powder (10%, w/w) for 12 weeks. At the end of the experiment, apios supplementation reduced visceral fat mass significantly by 14.3% compared to the control group. Apios decreased significantly the atherogenic index, serum leptin level, hepatic lipid (free fatty acid and triglyceride) content, and lipid droplets, whereas it increased the serum high density lipoprotein-cholesterol/total cholesterol ratio. Hepatic lipogenic gene expression of peroxisome proliferator activated receptor gamma, fatty acid synthase, and diacylglycerol O-acyltransferase 2 was down-regulated by apios supplementation. These results suggest that apios is a healthy food for preventing high-fat diet-induced visceral obesity and fatty liver.

**Key words:** apios, atherogenic index, hepatic lipid, obesity, visceral fat

## 서론

비만은 에너지 섭취와 소비의 불균형으로 체내에서 소비되고 남은 에너지가 지방으로 축적되어 발생하며, 제2형 당뇨병, 대사증후군, 동맥경화증, 고지혈증 등과 같은 대사성 질환 발병과 관련성이 매우 높아 전 세계적으로 해결되어야 할 건강문제로 여겨지고 있다(1). 비만을 치료하기 위한 다양한 약물들이 출시되고 있으나, 대부분 그 효능이 미미하거나 심각한 부작용으로 인하여 상대적으로 독성이 적고 안전한 천연물이나 식품소재를 이용한 체중조절용 기능성 식품 개발에 많은 노력을 기울이고 있다. 이들 천연물 유래 비만 치료제들은 주로 소화흡수 저해, 지방세포 분화 억제, 식욕 억제, 지방산 생성 억제 등 다양한 작용기작에 바탕을 두고 연구되어 왔다(2).

아피오스(*Apios americana* Medikus)는 덩굴성이면서

지하부에 근류와 괴경을 형성하는 다년생 콩과 식물로 인디언감자라고도 불리며, 지하경이 5~10 cm 간격으로 비대해지는 괴경을 식용한다(3). 아피오스는 전분과 단백질을 주성분으로 하며, 단백질은 괴경을 이용하는 다른 식품보다 3배 정도 높다(4). 이외에도 칼슘, 철분, 사포닌, 비타민 C, 비타민 E 등이 풍부하여 정장작용 및 아토피성 피부염, 요통, 관절통 등의 질환 개선에 효과적이며(5), 자연발생고혈압(spontaneously hypertension) 흰쥐에서 혈압강하 효과가 보고되었다(3). 우리나라는 Kang 등(5)의 아피오스 생육특성, 생산기술 및 품종 개발에 대한 연구를 시작으로 제주도에서의 재배시험을 통하여 현재는 전국적으로 생산할 수 있게 되어 새로운 소득작물로 관심이 높아지고 있다. 그러나 아직까지 국내에서 아피오스의 식품학적 특성에 관한 연구가 초기 단계에 머물러 있고 아피오스를 이용한 가공식품 및 기능성 식품개발에 필요한 기초 자료는 미비하다. 특히 아피오스의 생리활성에 관한 연구는 전무한 실정이다.

따라서 본 연구는 고지방식이를 급여한 마우스에게 아피오스 분말을 12주간 급여한 후 체중 변화, 내장지방량과 지방세포 크기, 혈청과 간 조직 내의 지질 함량 및 지질대사 관련 유전자 발현을 측정하여 기능성 식품 소재로의 아피오

Received 25 July 2017; Accepted 11 August 2017

Corresponding author: Mi-Kyung Lee, Department of Food and Nutrition, Suncheon National University, Suncheon, Jeonnam 57922, Korea

E-mail: leemk@sunchon.ac.kr, Phone: +82-61-750-3656

스 활용 가능성을 평가하고자 하였다.

## 재료 및 방법

### 아피오스 분말 제조

아피오스는 금밭 흠이야기(Suncheon, Korea)로부터 제공받았다. 일반적으로 아피오스는 익혀서 섭취하는 식품이며, 차류나 약재의 생리활성을 높이기 위하여 구증구포 방법이 사용되어 왔다(6). 따라서 본 실험에서도 아피오스를 5분 동안 찌고 55~60°C에서 3시간 동안 건조 과정을 9번 반복하는 구증구포 방법으로 제조한 다음 분말화하였다.

### 실험동물 사육

실험동물은 4주령의 수컷 C57BL/6N 마우스 16마리를 오리엔트바이오(Seongnam, Korea)로부터 구입하였다. 마우스는 1주간 고형식이로 적응시킨 후 난피법에 의하여 8마리씩 고지방식이군(Control)과 고지방-아피오스 분말군(Apios)으로 나누어 12주간 사육하였다. 동물사육실의 환경은 항온(22±2°C), 항습(50±5%), 12시간 간격(08:00~20:00)의 광주기로 일정한 조건을 유지하였고 동물들은 폴리카보네이트 케이지에 한 마리씩 분리하여 사육하였다. 동물실험은 순천대학교 동물실험윤리위원회의 승인을 받아 수행하였다(동물실험 승인번호: SCNU IACUC-2016-02).

본 실험에 사용한 기본식은 AIN-76의 식이조성에 준하였으며 총 열량의 40%(lard 18%와 corn oil 3%)를 지방으로 공급하였다. 아피오스 분말은 식이에 10% 수준이 되도록 조절하여 급여하였으며 식이와 식수는 자유롭게 섭취(*ad libitum*)하도록 하였고, 모든 실험식은 사육기간 동안 냉장 보관하였다.

### 혈청 및 장기 채취

사육이 끝난 실험동물은 희생 전 12시간 동안 절식시킨 후 에테르를 흡입시켜 마취시킨 다음 복부 하대정맥(inferior vena cava)으로부터 공복혈액을 채취하여 900×g에서 15분간 원심분리 하여 혈청을 분리하였다. 실험동물의 내장 지방조직(부고환, 후복막, 신장주변, 장간막)은 혈액 채취 후 즉시 적출하여 생리식염수로 수차례 헹군 뒤 표면의 수분을 제거하여 측정하였다.

### 혈청 중의 렙틴 함량 측정

혈청 중의 렙틴 농도는 효소면역측정법(enzyme-linked immunosorbent assay, ELISA)으로 마우스 ELISA kit (R&D Systems Inc., Minneapolis, MN, USA)를 사용하여 측정하였다.

### 혈청과 간 조직의 지질 함량 측정

혈청 중의 중성지질, 총 콜레스테롤, HDL-콜레스테롤 함량은 조절된 kit 시약(Asan Pharmaceutical Co., Ltd.,

Seoul, Korea)를 사용하여 측정하였으며, 유리지방산은 효소법을 이용한 발색법 원리에 따라 유리지방산 측정용 kit (Shinyang Diagnostics, Seoul, Korea)를 사용하여 측정하였다. 총 콜레스테롤 농도에 대한 HDL-콜레스테롤의 비율(HTR)은 다음 수식에 의해 산출하였다.

$$\text{HTR} (\%) = \frac{\text{HDL-cholesterol}}{\text{Total cholesterol}} \times 100$$

동맥경화 지수(atherogenic index, AI)는 다음과 같은 식을 이용하여 구하였다.

$$\text{AI} = \frac{\text{Total cholesterol} - \text{HDL-cholesterol}}{\text{HDL-cholesterol}}$$

간 조직의 지질 함량은 Folch 등(7)의 방법에 따라 클로로포름:메탄올(2:1, v/v) 혼합액으로 지질을 추출한 후 혈청과 동일한 방법으로 측정하여 농도를 구하였다.

### 간 조직과 지방조직의 형태학적 분석

조직 일부를 10% 포름알데히드 용액에 24시간 고정한 다음 수세하고 60% 에탄올에서부터 상승농도로 탈수하고 파라핀에 포매하고, 이것을 4 μm 두께로 박절하여 hematoxylin-eosin(H-E) 염색한 다음 광학현미경에서 200배 배율로 관찰하였다.

### 간 조직 중의 RNA 분리 및 real-time PCR 분석

Total RNA 추출은 Trizol 시약(Invitrogen Life Technologies, Grand Island, NY, USA)으로 추출하여 정제하였으며, 분리한 RNA는 Nano drop 1000(Thermo Fisher Scientific, Waltham, MA, USA)을 이용하여 260 nm와 280 nm에서 흡광도를 측정하여 정량하였다. 그 후 mRNA 발현은 SYBR green PCR kit(Qiagen, Hilden, Germany)를 사용하여 real-time PCR analysis를 수행하였다. Real-time PCR은 CFX96TM real-time PCR system(Bio-Rad, Hercules, CA, USA)을 이용하여 수행하였으며, threshold cycle(Ct) 값은 형광커브와 역치선이 만나는 cycle 값으로 CFX3.1(Bio-Rad)로 분석하였다. 각각의 유전자 발현은 동일한 시료의 *Gapdh* 발현을 측정하여 보정하였으며,  $2^{-\Delta\Delta Ct}$  방법(8)을 사용하여 계산되었다. Primer sequence는 Table 1과 같다.

### 통계처리

실험 결과는 SPSS package 프로그램(version 22, SPSS Inc., Chicago, IL, USA)을 이용하여 실험군당 평균±표준오차로 표시하였고 실험군 간의 평균치의 통계적 유의성 검정은  $P < 0.05$  수준에서 Student's *t*-test로 검정하였다.

## 결과 및 고찰

### 체중, 식이섭취량 및 내장지방 무게

**Table 1.** Primer sequences for RT-qPCR

Gene	Full name	Forward/Reverse (5'-3')
<i>Dgat2</i>	diacylglycerol O-acyltransferase 2	CTGGCTGATAGCTGCTCTCTACTTC/TGTGATCTCTGCCACCTTTC
<i>Fasn</i>	fatty acid synthase	CGCTCCTCGCTTGTCGTCTG/AGCCTTCCATCTCCTGTCATCATC
<i>Gapdh</i>	glyceraldehyde-3-phosphate dehydrogenase	ACAATGAATACGGCTACAGCAACAG/GGTGGTCCAGGGTTTCTTACTCC
<i>Plpp2</i>	phospholipid phosphatase 2	GGGTTCTACTGTGGAGATGA/TGACAGTAGCTGTGATGATGA
<i>Pparg</i>	peroxisome proliferator activated receptor gamma	CTGGCCTCCCTGATGAATAAAG/GGTGGGACTTTCTCTGCTAATAC

**Table 2.** Effects of *Apios americana* Medikus powder on changes of body weight, food intake, and FER in diet-induced obese mice

	Control	Apios
Body weight (g)		
Initial	19.36±0.30 <sup>1)</sup>	19.91±0.22
Final	37.79±0.60	36.45±1.22
Food intake (g/d)	3.32±0.04	3.43±0.04
FER <sup>2)</sup>	0.06±0.002	0.05±0.004

<sup>1)</sup>Values are expressed as mean±SE (n=8).

<sup>2)</sup>FER: Food efficiency ratio = body weight gain/food intake per day.

식이로 유도한 비만마우스에게 아피오스 분말을 12주간 급여한 후 각 실험군의 체중 변화 및 식이섭취량은 Table 2와 같다. 실험 시작에 비해 체중이 약 2배 증가함으로써 비만 유도를 확인하였으나 아피오스 분말에 의한 유의적인 체중 감소는 관찰되지 않았다. 식이섭취량 및 식이효율 역시 실험군 간 차이가 없었다.

비만은 단순 체중 증가보다 체지방량의 증가를 의미하며, 특히 복강 내에 위치한 내장지방량 증가는 다양한 만성 대사성 질환의 위험 요인으로 작용한다(9). 따라서 본 연구에서 체중 단위당 내장지방량을 측정된 결과 부고환지방과 후복막지방 무게는 아피오스 분말군에서 대조군에 비해 각각 18.4%와 16.4%의 유의적인 감소를 보임으로써 총 내장지방 무게는 아피오스 분말 섭취로 14.3% 감소하였다(Fig. 1A). 부고환지방조직의 형태학적 변화에서도 아피오스 분말군의 지방세포의 크기는 대조군에 비해 일정하고 작았다(Fig. 1B). 또한, 지방구 크기를 측정된 결과 아피오스 분말군이 대조군에 비하여 39.3% 유의적으로 감소하였다(Fig. 1B). 아피오스처럼 피경을 식용하는 토란분말을 고지방식이에 20%와 30% 첨가하여 마우스에게 급여한 결과 부고환지방 무게와 지방세포의 크기가 유의적으로 감소하였다는 결과와 유사하다(10). Kim 등(4)은 아피오스의 식이섭취가 수미감자에 비해 3배 정도 높아 만성변비, 고혈압, 비만, 당뇨 등의 질환 예방에 효과적일 것으로 제시하였다.

#### 혈청 중의 렙틴 및 지질 함량에 미치는 영향

체내의 내장지방 축적은 혈중 지질 함량뿐만 아니라 지방조직의 아디포카인 분비에 영향을 미쳐 대사증후군, 비만, 인슐린저항성 등의 대사성 질환 유발에 기여하는 것으로 보고되고 있다(11). 특히 렙틴은 체내에 에너지가 과잉 축적되

**Table 3.** Effects of *Apios americana* Medikus powder on serum leptin and lipid profiles in diet-induced obese mice

	Control	Apios
Leptin (ng/mL)	10.99±0.82 <sup>2)</sup>	5.41±1.52*
FFA <sup>1)</sup> (mmol/L)	0.67±0.02	0.65±0.04
TG (mmol/L)	0.84±0.02	0.76±0.04
TC (mmol/L)	3.57±0.20	3.20±0.06
HDL-C (mmol/L)	2.34±0.12	2.50±0.07
HTR (%)	65.69±1.68	78.08±1.84 <sup>***</sup>
AI	0.53±0.04	0.28±0.03 <sup>***</sup>

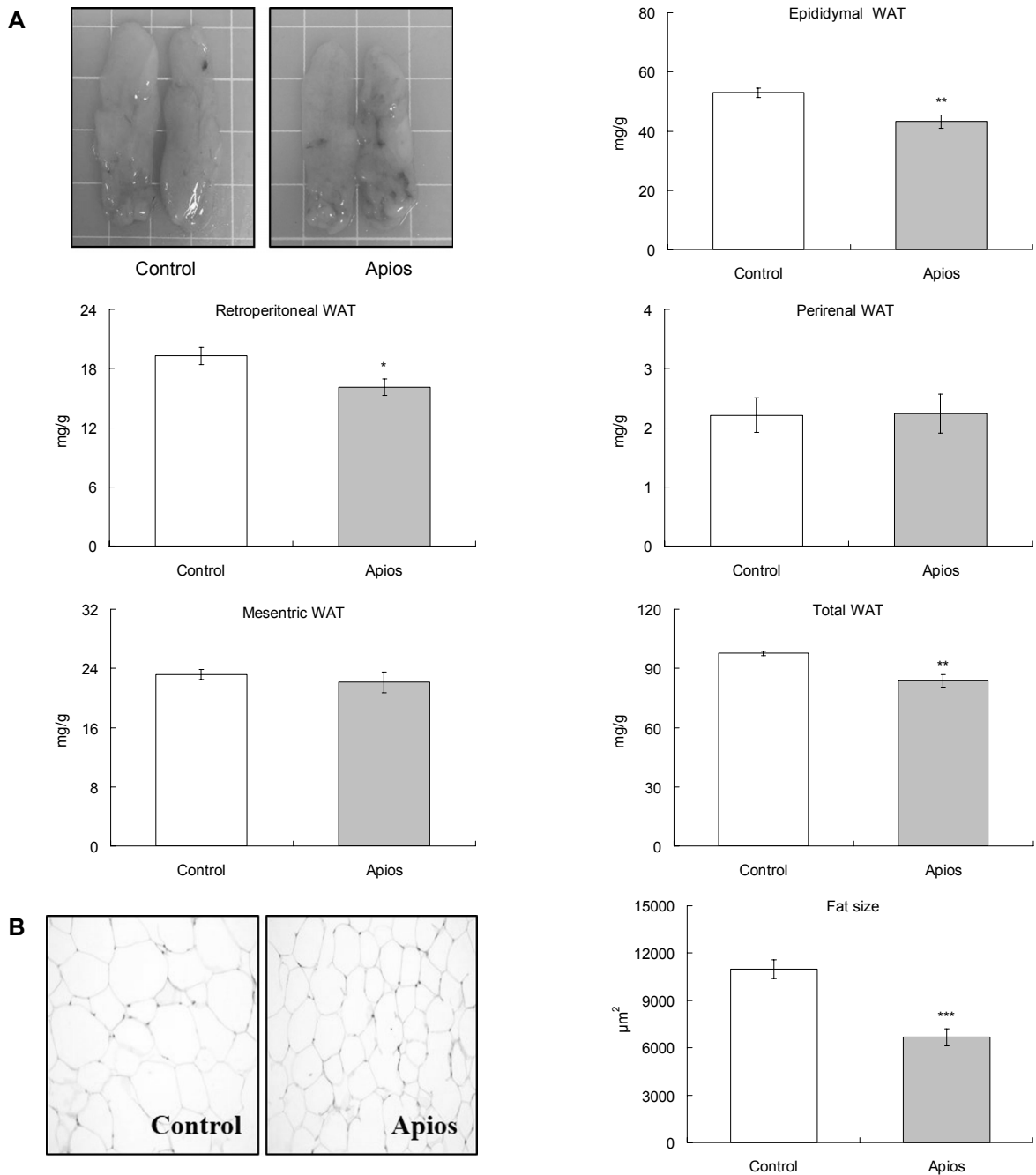
<sup>1)</sup>FFA: free fatty acid, TG: triglyceride, TC: total cholesterol, HDL-C: HDL-cholesterol, HTR=HDL-cholesterol/Total cholesterol×100, AI: atherogenic index=(Total cholesterol-HDL-cholesterol)/HDL-cholesterol.

<sup>2)</sup>Values are expressed as mean±SE (n=8).

\*P<0.05, \*\*\*P<0.001 vs. Control by Student's *t*-test.

면 생성이 증가하고 체지방량과 상관관계가 있어 비만을 판단하는 지표로 사용되고 있다(10). 본 연구 결과 혈청의 렙틴 함량은 대조군에 비하여 아피오스 분말군에서 50.8% 유의적으로 감소하였다(Table 3). 렙틴은 뇌하수체에 존재하는 렙틴수용체와 관련하여 음식 섭취를 줄여 체중조절에 관여한다고 알려져 있다(12). 그러나 본 연구에서 아피오스 분말이 식이섭취량에 영향을 미치지 않은 것으로 보아 내장지방량 감소에 따른 혈청 렙틴 농도 감소가 나타난 것으로 생각된다.

혈청의 유리지방산 및 중성지질 함량과 더불어 총 콜레스테롤 함량은 두 실험군 간에 유의적인 차이가 없었다. 그러나 HTR은 아피오스 분말 섭취로 18.9% 유의적인 증가를 보였다(Table 3). HDL-콜레스테롤은 혈중의 콜레스테롤을 간으로 수송하는 항동맥경화 지표이므로 총 콜레스테롤 함량의 감소보다 HTR의 증가를 항동맥경화의 중요한 인자로 고려하고 있다. 따라서 본 연구에서 아피오스 분말 급여로 HTR이 증가함은 아피오스 분말이 고지방 섭취로 인한 심혈관질환 예방에 유효할 것으로 평가된다. 또한, 식이로 유도한 비만마우스에서 아피오스 분말은 대조군에 비하여 동맥경화 지수를 47.2% 개선하였다(Table 3). 동맥경화 지수는 동맥경화의 발생률을 확인하는 지표로 비만이나 유전적인 요인에 의해 혈중에 총 콜레스테롤과 LDL-콜레스테롤 농도가 높아지는 반면, HDL-콜레스테롤 농도는 낮아져서 동맥경화나 심혈관질환 발생률을 높인다(13). 본 연구에서 HDL-콜레스테롤 함량이 유의적이지는 않았으나 아피오스



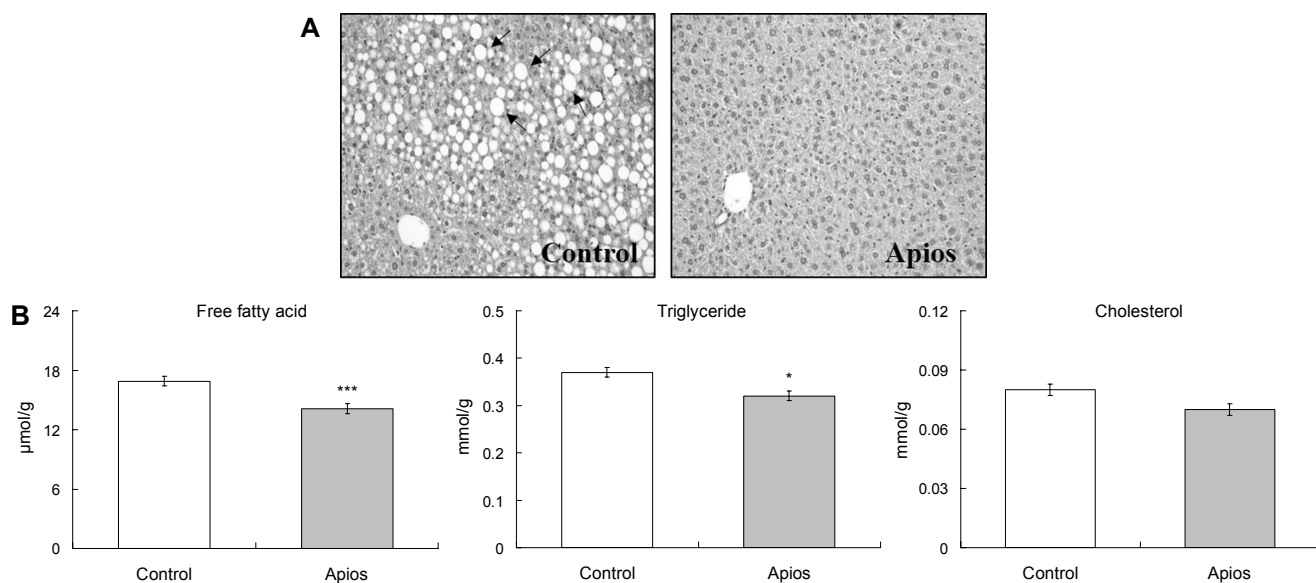
**Fig. 1.** Effects of *Apios americana* Medikus powder on visceral adipose tissue weight (A) and size of epididymal white adipose tissue (B) in diet-induced obese mice. Values are expressed as mean±SE (n=8). \**P*<0.05, \*\**P*<0.01, \*\*\**P*<0.001 vs. Control by Student's *t*-test. WAT: white adipose tissue, Total WAT: sum of epididymal WAT, perirenal WAT, retroperitoneal WAT, and mesenteric WAT.

분말군에서 6.8% 높아진 경향이 동맥경화 지수를 개선하는데 기여한 것으로 생각된다.

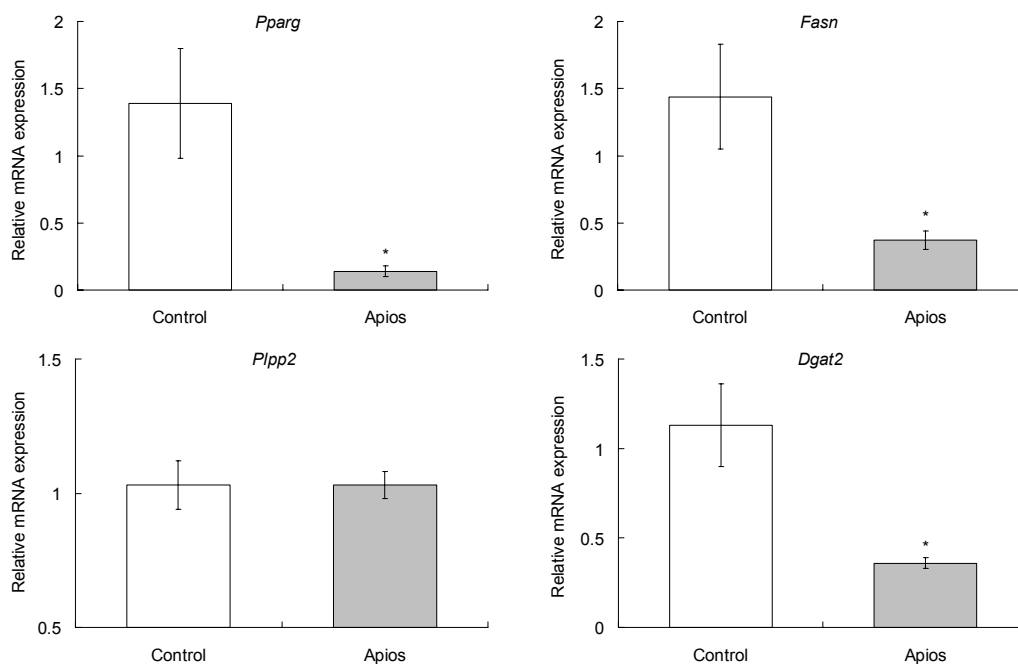
**간 조직의 지질 함량 및 지질대사 관련 유전자 발현에 미치는 영향**

간 조직의 중성지질 축적은 대사 장애와 관련이 있으므로 (14) 본 연구에서는 아피오스 분말이 간 조직의 지질 함량 및 조직학적 형태변화에 미치는 영향을 살펴보았다. 그 결과

지방구들이 간세포 내에 많이 형성된 대조군에 비하여 아피오스 분말은 간 조직의 지질축적을 현저히 개선하였다(Fig. 2A). 간 조직 내 유리지방산과 중성지질 함량은 아피오스 분말군이 대조군에 비해 각각 16.4%와 13.5% 유의적으로 낮은 반면, 콜레스테롤 함량은 실험군 간의 유의적인 차이가 없었다(Fig. 2B). 이러한 지방축적 감소에 미치는 기전을 살펴보고자 간 조직 내 지질대사 관련 유전자의 발현량을 측정하였다.



**Fig. 2.** Effects of *Apios americana* Medikus powder on hepatic lipid accumulation (A) and lipid contents (B) in diet-induced obese mice. Values are expressed as mean±SE (n=8). \* $P<0.05$ , \*\*\* $P<0.001$  vs. Control by Student's *t*-test.



**Fig. 3.** Effects of *Apios americana* Medikus powder on hepatic lipogenic gene expression in diet-induced obese mice. Values are expressed as mean±SE (n=8). \* $P<0.05$  vs. Control by Student's *t*-test. *Pparg*: peroxisome proliferator activated receptor gamma, *Fasn*: fatty acid synthase, *Plpp2*: phospholipid phosphatase 2, *Dgat2*: diacylglycerol O-acyltransferase 2.

Peroxisome proliferator activated receptor gamma (PPAR $\gamma$ )는 지방세포의 전사조절인자 중의 하나로 지방세포의 분화 및 지방 합성과 저장에 관여하는 효소들의 발현을 조절할 뿐만 아니라 대사중후군, 염증반응, 동맥경화증과 관련된 여러 유전자들의 발현을 조절하는 역할을 한다(15). PPAR $\gamma$ 는 주로 지방조직에서 발현되는 것으로 알려져 있으나, 고지방 급여 시 간 조직의 *Pparg* 유전자 발현 증가는 지방간을 유발하는 요인으로 보고되었다(16). 본 연구 결과

(Fig. 3), *Pparg*와 지방산 합성(fatty acid synthase) 효소의 유전자인 *Fasn*의 발현은 아피오스 분말군에서 대조군에 비하여 유의적으로 낮았다. 또한, 중성지방 합성 효소 중 phosphatidate phosphohydrolase의 유전자인 *Plpp2*는 실험군 간 유의적인 차이가 관찰되지 않았으나, diacylglycerol O-acyltransferase(*Dgat*) 2의 유전자 발현은 아피오스 분말 급여에 의해 유의적으로 억제되었다. *Dgat*는 diacylglycerol과 fatty acyl-CoA를 기질로 사용하여 중성지방

합성의 마지막 단계를 촉진하므로(17) *Dgat2*의 발현 억제 는 지방간 개선의 타깃 인자로 보고되어 있다(18,19). 이와 같이 식이로 유도한 비만마우스에 아피오스 분말 급여는 지방산 생성과 지방산에스테르화 관련 유전자의 발현을 하향 조절함으로써 간 조직의 지방축적을 개선하는 것으로 생각 된다.

## 요 약

본 연구는 고지방식이(열량의 40%를 지방으로 공급)로 유도한 비만마우스에게 아피오스 분말(10%, w/w)을 12주간 급여한 후 내장지방 감소 및 지방간 개선 효과를 살펴보았다. 아피오스 분말 급여로 인한 유의적인 체중 감소는 보이지 않았으나, 부고환지방과 후복막지방 무게가 유의적으로 감소하여 총 내장지방 무게는 대조군에 비해 14.3% 감소하였다. 부고환지방조직의 지방세포 크기 역시 아피오스 분말군에서 현저히 감소되었다. 혈청의 유리지방산, 중성지질과 총 콜레스테롤 함량은 실험군 간의 유의적인 차이가 없었으나 총 콜레스테롤에 대한 HDL-콜레스테롤 비와 동맥경화 지수는 아피오스 분말군이 대조군에 비해 각각 18.9%와 47.2% 유의적으로 개선되었다. 혈청의 렘틴 함량은 아피오스 분말군이 대조군에 비해 유의적으로 낮았다. 고지방식을 급여한 마우스에 아피오스 분말 급여는 간 조직 중의 지질축적 및 유리지방산과 중성지질 함량을 유의적으로 낮추는 것으로 나타났다. 간 조직의 지질합성 관련 유전자인 *Pparg*, *Fasn*과 *Dgat2*의 발현이 아피오스 분말 급여로 억제되었다. 이상의 결과에서 아피오스 분말은 고지방식으로 인한 내장지방 축적과 지방간을 개선할 수 있을 것으로 평가되었다.

## 감사의 글

본 연구는 순천천연물약소재개발연구센터의 지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

## REFERENCES

- Han Y, Wu JZ, Shen JZ, Chen L, He T, Jin MW, Liu H. 2017. Pentamethylquercetin induces adipose browning and exerts beneficial effects in 3T3-L1 adipocytes and high-fat diet-fed mice. *Sci Rep* 7: 1123-1135.
- Jeong HY. 2011. Anti-obesity effects of *Sophora tonkinensis* Gapnep. in 3T3-L1 adipocyte. *MS Thesis*. Dong-Eui University, Busan, Korea.
- Iwai K, Matsue H. 2007. Ingestion of *Apios americana* Medikus tuber suppresses blood pressure and improves plasma lipids in spontaneously hypertensive rats. *Nutr Res* 27: 218-224.
- Kim YH, Rhee SK, Lee AR, Kim DB, Lee OH. 2014. Analysis of food components of apios (*Apios americana* Medikus) potato cultivated in Korea. *J Agric Life Environ Sci* 26: 1-5.
- Kang SY, Riu KZ, Kang YK, Kang BK, Kim DS, Park IS, Song HS. 2005. Preliminary culture evaluation of newly introduced apios (*Apios americana* M.). *Korean J Plant Res* 18: 424-432.
- Kim DW, Kim YJ, Lee YJ, Min JW, Kim SY, Yang DC. 2008. Conversion of ginsenosides by 9 repetitive steamings and dryings process of Korean ginseng root and its inhibition of BACE-1 activity. *Korean J Orient Physiol Pathol* 22: 1557-1561.
- Folch J, Lees M, Sloane Stanley GH. 1957. A simple method for the isolation and purification of total lipides from animal tissues. *J Biol Chem* 226: 497-509.
- Livak KJ, Schmittgen TD. 2001. Analysis of relative gene expression data using real-time quantitative PCR and the  $2^{-\Delta\Delta C_T}$  method. *Methods* 25: 402-408.
- Park YM, Lim JH, Seo EW. 2015. Anti-obesity effect of by-product from soybean on mouse fed a high fat diet. *Korean J Plant Res* 28: 168-177.
- Moon JH, Sung J, Choi IW, Kim Y. 2010. Anti-obesity and hypolipidemic activity of taro powder in mice fed with high fat and cholesterol diets. *Korean J Food Sci Technol* 42: 620-626.
- Prins JB. 2002. Adipose tissue as an endocrine organ. *Best Pract Res Clin Endocrinol Metab* 16: 639-651.
- Melby CL, Paris HL, Foright RM, Peth J. 2017. Attenuating the biologic drive for weight regain following weight loss: must what goes down always go back up?. *Nutrients* 9: E468.
- Mensink RP, Katan MB. 1992. Effect of dietary fatty acids on serum lipids and lipoproteins. A meta-analysis of 27 trials. *Arterioscler Thromb* 12: 911-919.
- Nassir F, Adewole OL, Brunt EM, Abumrad NA. 2013. CD36 deletion reduces VLDL secretion, modulates liver prostaglandins, and exacerbates hepatic steatosis in ob/ob mice. *J Lipid Res* 54: 2988-2997.
- Kim HG, Bose S, Kim DI, Koo BS, Kim H. 2014. Effects of fermented lotus extracts on glucose intolerance and lipid metabolism-related gene expression. *J Korean Med Rehab* 24: 1-12.
- Inoue M, Ohtake T, Motomura W, Takahashi N, Hosoki Y, Miyoshi S, Suzuki Y, Saito H, Kohgo Y, Okumura T. 2005. Increased expression of PPAR $\gamma$  in high fat diet-induced liver steatosis in mice. *Biochem Biophys Res Commun* 336: 215-222.
- Postic C, Girard J. 2008. Contribution of de novo fatty acid synthesis to hepatic steatosis and insulin resistance: lessons from genetically engineered mice. *J Clin Invest* 118: 829-838.
- Cases S, Stone SJ, Zhou P, Yen E, Tow B, Lardizabal KD, Voelker T, Farese RV Jr. 2001. Cloning of DGAT2, a second mammalian diacylglycerol acyltransferase, and related family members. *J Biol Chem* 276: 38870-38876.
- Yamazaki T, Sasaki E, Kakinuma C, Yano T, Miura S, Ezaki O. 2005. Increased very low density lipoprotein secretion and gonadal fat mass in mice overexpressing liver DGAT1. *J Biol Chem* 280: 21506-21514.