

고지방 식이 유도 비만 마우스에서 고올레산 땅콩 섭취의 혈장 지질 개선 효과

오은영 · 배석복 · 김성업 · 김정인 · 이명희* · 성정숙* · †하태정**

농촌진흥청 국립식량과학원 남부작물부 농업연구사,
*농촌진흥청 국립식량과학원 남부작물부 농업연구관, **농촌진흥청 연구정책국 농업연구관

Effect of Monounsaturated Fatty Acid-enriched Peanut Consumption on Serum Lipid in High Fat Diet-induced Mice

Eunyoung Oh, Suk-Bok Pae, Sungup Kim, Jung-In Kim,
Myoung Hee Lee*, Jung Sook Sung* and †Tae Joung Ha**

Researcher, Dept. of Southern Area Crop Science, National Institute of Crop Science, Rural Development Administration, Miryang 50424, Korea

*Senior Researcher, Dept. of Southern Area Crop Science, National Institute of Crop Science, Rural Development Administration, Miryang 50424, Korea

**Senior Researcher, Planning and Coordination Bureau, Rural Development Administration, Jeonju 54875, Korea

Abstract

This study was conducted to evaluate the effect of high-oleate and normal-oleate peanut consumption on adipose mass and serum lipids in obese-induced C57BL/6J mice. After four weeks of the high-fat diet, mice were randomly divided into six groups: normal control (NC) diet, high-fat control (HFC) diet, high-oleate peanut-seed (HOPS) diet, normal-oleate peanut-seed (NOPS) diet, high-oleate peanut-oil (HOPO) diet, and olive-oil (OO) diet. After four weeks, all four experimental diet groups showed significantly lower body weight and epididymal fat weight than HFC group. In four experimental diet groups, serum triglycerides (TG), total cholesterol (TC) and low-density lipoprotein cholesterol (LDL-C) were significantly lower, and high-density lipoprotein cholesterol (HDL-C) was significantly higher than HFC group. TG was significantly decreased in HOPS group (92.1±1.2 mg/dL) than NOPS group (101.7±5.3 mg/dL, $p<0.05$). Similarly, LDL-C was significantly lower in HOPS group (66.1±2.8 mg/dL) than NOPS (76.9±1.5 mg/dL, $p<0.05$), on the other hand, HDL-C indicated a significant elevation in HOPS (50.5±2.1 mg/dL) than NOPS group (45.2±1.6 mg/dL, $p<0.05$). This result suggests that the consumption of high-oleate peanut has a favorable effect on the plasma lipid profile.

Key words: peanut, oleic acid, monounsaturated fatty acid, lipid serum, hyperlipidemia

서론

땅콩(*Arachis hypogaea* L.)은 종실의 약 49%가 지방인 대표적인 유지방작물로 볶음땅콩, 풋땅콩, 식용기름, 땅콩 싹나물 등의 형태로 소비되고 있다(Lee C 2001; Wang 등 2013; Park 등 2018; Kim 등 2019; Lee YR 2019). 땅콩은 올레산(C18:1)과 리놀레산(C18:2) 등의 불포화지방산이 지방산의 약 80%를 차지하는데, Norden 등(1987)은 올레산 조성비가 기존의 50% 수준 대비 약 80%인 *ahFAD2* 돌연변이에 의한 고올레산 땅콩

자원을 최초로 보고하였으며, 이후 산화 안정성이 높은 올레산의 산업적 중요성에 힘입어 국내외 다수의 고올레산 땅콩 품종들이 개발되어오고 있다(Jung 등 2000; Chu 등 2009; Janila 등 2016).

순환기계 질환(cardiovascular disease)은 이상지질혈증(dyslipidemia) 등의 요인으로 발생되는 현대인의 주요한 사망원인이며(Statistics Korea 2020), 이상지질혈증의 유발원인으로 식이요인이 지목되면서 다양한 지방산의 식품원 섭취에 따른 심혈관 건강 지표 관련 연구들이 수행되어왔다(Kris-Etherton

† Corresponding author: Tae Joung Ha, Senior Researcher, Planning and Coordination Bureau, Rural Development Administration, Jeonju 54875, Korea. Tel: +82-63-238-0896, Fax: +82-63-238-1779, E-mail: taejoung@korea.kr

등 2001; Carson & Anderson 2020). 포화지방산과 트랜스지방산 섭취가 혈장 콜레스테롤과 중성지방 증가 요인으로 제시되는 반면, 불포화지방산 섭취 비율의 증가는 총 콜레스테롤과 저밀도지질단백콜레스테롤(low-density lipoprotein cholesterol, LDL-C) 농도와 부의 상관을 나타낸다고 보고되었다(Mata 등 1992; Hodson 등 2001; Asif M 2011; Baum 등 2012). 올레산은 지질의 산화에 필수적인 CPT1A(Carnitine palmitoyltransferase IA)와 UCP2(uncoupling protein 2) 발현을 증가시키며, ROS (reactive oxygen species) 생성을 감소시키는 역할을 한다고 보고된 바 있다(Gonçalves-de-Albuquerque 등 2016). 또한 Yang 등(2017)은 올레산 비율이 높은 고지방식이 섭취에서 지방조직의 LPL(lipoprotein lipase)과 간의 Acetyl-CoA oxidase 활성이 유의하게 증가하였으며, 8주간의 식이 후 PPAR γ (peroxisome proliferator-activated receptor gamma)의 전사 인자 발현과 부고환 지방 축적에서도 일반식 대비 유의한 차이가 없었음을 보고하였다. 올레산을 주성분으로 하는 올리브유는 지중해 식이(Mediterranean diet)의 대표적인 지질 공급원으로 이를 통한 높은 비율의 단일불포화지방산(monounsaturated fatty acid, MUFA) 섭취는 지중해 국가의 낮은 순환기계 질환 발병률과 유의한 상관관계를 나타내었다(Martinez-González & Sánchez-Villegas 2004; Mente 등 2009; Schwingshackl & Hoffmann 2014). 위의 보고들과 같이 심혈관계 질환, 대사 증후군 등과 관련하여 단일불포화지방산 식이 지방 섭취의 중요성이 강조되고 있다. 땅콩은 국내 1 인당 소비량이 약 850 g인 주요한 지질 공급원으로(Korean Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs 2019), 국내 소비자들의 기능성 오일에 대한 관심도 향상과 함께 올레산과 리놀레산 비율을 기존의 0.97에서 30.7로 높인 고올레산 땅콩과 그 기름의 영양학적 가치에 대한 연구가 필요한 실정이다(Pae 등 2008; Pae 등 2016; Korea Agro-Fisheries & Food Trade Corporation 2017). 따라서 본 연구에서 올레산 함량을 높인 땅콩 품종 ‘케이올’의 볶음 땅콩과 땅콩 기름에 대한 체내 혈중 지질 개선효과 규명을 위하여, 고지방식으로 비만이 유도된 C57BL/6J 마우스를 대상으로 지방산 조성비가 다른 땅콩을 급여하여 체중, 혈장 지질 구성, 지방조직의 변이를 확인하였다.

재료 및 방법

1. 실험재료 및 이화학적 분석

농촌진흥청 국립식량과학원 남부작물부에서 2017년도 생산한 땅콩(*Arachis hypogaea* L.) 품종 ‘케이올(cv.K-OI)’과 ‘참평(cv.Charmpyeong)’을 실험재료로 사용하였다(Pae 등 2008; Pae 등 2016). 땅콩은 국내 표준 재배 양식(Rural Develop-

ment Administration 2018)에 따라 재배, 수확하여 종실의 수분함량이 6%가 되도록 양건 하였다. 실험용 볶음 땅콩 조제를 위해 땅콩 종자 5 kg을 가열 온도 180°C로 설정한 자동 볶음 솔(Dongbang Machinery Co., Daegu, Korea)으로 약 30분간 볶아 상온에 방냉 후 4°C에 보관하였다. 땅콩 기름은 마찬가지로 30분간 볶은 땅콩 종자를 유압식 착유기(Dongbang Machinery Co., Daegu, Korea)를 사용하여 압착 착유한 뒤 별도의 정제를 거치지 않고 밀봉하여 4°C에 보관하였다. 실험에 사용된 땅콩 기름의 식이비교를 위해 올리브유(O1514, Sigma-Aldrich, MO, USA)를 사용하였다. 시험에 사용된 두 품종의 땅콩과 기름의 지방산 분석을 위해 동결건조한 시료를 정량한 후 MeOH:Benzen:2,2-Dimethoxypropane:Sulfuric acid= 39:20:5:2 용액 2 mL과 heptane 1 mL을 첨가하여 80°C 2시간 methylation 반응을 유도하였다. 이후 상온에서 분리된 상층액을 가스크로마토그래피-불꽃이온화검출기(Agilent, Santa Clara, CA, USA)를 이용해 분석하였다. 분석용 컬럼으로 DB-23(Agilent, Santa Clara, CA, USA)를 사용하였으며, 오븐 온도는 50°C, 1분 hold, 130°C까지 25°C/min, 170°C 까지 8°C / min, 215°C 까지 1.5°C/min, 260°C 까지 5°C/min 승온 후 5분 hold 조건으로 설정하였으며, 검출기 온도 280°C로 분석하였다.

2. 동물사육 및 식이

본 실험은 부산대학교 동물실험윤리위원회 운영규정(규칙 2194호)에 근거하여 동물실험윤리운영위원회의 심의(승인번호: PNU-2018-1972)를 거쳐 적합한 절차에 따라 수행되었다. 실험에 사용된 동물로 5주령의 수컷 C57BL/6J 마우스를 중앙실험동물(Seoul, Korea)로부터 분양 받았으며, 실험기간동안 마우스는 약 21±2°C의 온도 환경과 12시간의 light-dark cycle의 사육공간에서 관리되었다. 실험동물에 매일 정량의 사료를 공급하며 음용수는 자유롭게 섭취하도록 하였다. 실험 기간 9주 중 먼저 일반 식이(TD06416, Envigo Teklad Diets, Madison, WI, USA) 급여로 일주일의 적응기를 거쳤으며, 이후 난괴법(randomized complete block design)으로 군당 7마리로 구성된 6개의 실험군으로 나누어 실험식이 급여를 진행하였다. 먼저 일반대조군인 normal control(NC)군을 제외한 5개의 실험군에 4주간 1%의 콜레스테롤을 첨가한 45% 고지방 식이(TD06415, Envigo Teklad Diets, Madison, WI, USA)를 공급하여 비만을 유도하였다. 그 후 4주의 실험식이 기간 동안 NC군과 고지방대조군인 high-fat control(HFC)군, 그리고 HFC군과 같은 고지방 열량 비율로 사료 중량의 20%를 실험식으로 대체한 4개의 실험군인 high-oleate peanut oil(HOPO cv.K-OI)군, normal-oleate peanut seed(NOPS cv.Charmpyeong)군, high-oleate peanut seed(HOPS cv.K-OI)군, olive oil(OO)군

Table 1. Dietary composition of experimental groups

Components (g)	Groups ¹⁾					
	NC	HFC	HOPS	NOPS	HOPO	OO
Casein	210	243	190	190	245	245
L-Cystein	3	3	3.5	3.5	3.5	3.5
Corn starch	280	84	87	87	130	130
Maltodextrin	50	114	113	113	110	110
Sucrose	325	198	150	150	165	165
Cellulose	37.15	57	60	60	65	65
Soybean oil	20	30	15	15	-	-
Lard	20	193	110	110	-	-
Mineral mix	35	43	40	40	43	43
Dicalcium phosphate	2	3	3.4	3.4	3.4	3.4
Vitamin mix	15	19	15	15	19	19
Choline bitartrate	2.75	3	3	3	3	3
Antioxidant	-	-	0.1	0.1	0.1	0.1
Cholesterol	-	10	10	10	10	10
Roasted peanut (C18:1%) ²⁾	-	-	200(41.5)	200(18.1)	-	-
Peanut oil/Olive oil (C18:1%)	-	-	-	-	200(80.7)	200(72.9)
Total (g)	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Total kcal/g	3.7	4.6	4.6	4.6	4.6	4.6
Carbohydrate	70	36	36	36	36	36
Calorie ratio (%) Protein	20	19	19	19	19	19
Fat	10	45	45	45	45	45

¹⁾ NC: normal control, HFC: high-fat control, HOPS: high fat with high-oleate peanut seed, NOPS: high fat with normal-oleate peanut seed, HOPO: high fat with high-oleate peanut oil, OO: high-fat with olive oil.
²⁾ Composition (w/w) of oleic acid (C18:1) within supplementary peanut seed and oil.

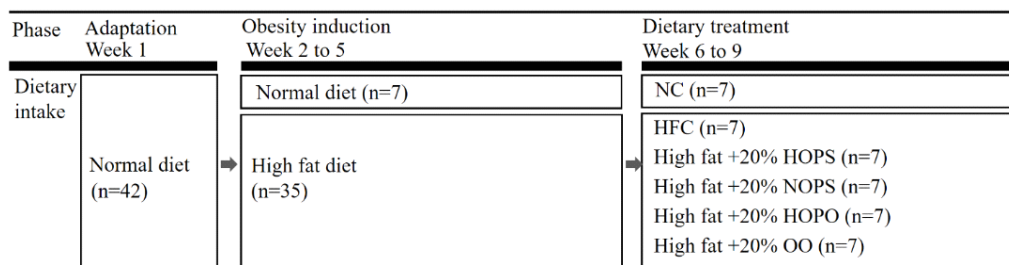


Fig. 1. Experimental design. NC: normal control, HFC: high-fat control, HOPS: high-oleate peanut seed, NOPS: normal-oleate peanut seed, HOPO: high-oleate peanut oil, OO: olive oil.

으로 나누어 실험을 수행하였다(Table 1, Fig. 1).

3. 혈장 지질 및 지방조직 분석

실험이 진행되는 매주 특정 시각에 마우스의 개체 별 체중을 전자 저울(OHAUS, Parsippany, NJ, USA)을 이용해 측정하

였다. 실험 급여가 끝난 뒤 실험 최종일에 12시간 절식 후 채혈하였다. 채혈된 시료는 냉각을 거쳐 4°C 3,000 rpm에서 15분간 원심분리한 뒤 분리된 혈장을 -70°C에 보관하였다. 혈장 총 콜레스테롤, 중성지방(triglyceride), 고밀도지질단백 콜레스테롤(HDL-C), 고밀도지질단백콜레스테롤(LDL-C)의

농도는 kit(Asan Pharmaceutical, Seoul, Korea)를 이용하여 분석되었다. 희생한 실험체의 부고환 주변 지방조직과 간조직을 개체로부터 분리하여, 생리식염수로 세척 후 물기를 제거한 뒤 그 중량을 측정하였다. 부고환 지방조직은 10% 포르말린에 고정시켜 파라핀 포매조직을 형성, microtome으로부터 4 um의 지방조직 절편을 획득하였으며, hematoxylin과 eosin(Sigma-Aldrich, MO, USA) 시약으로 염색하였다. 광학현미경(Olympus, Tokyo, Japan)을 이용하여 지방세포의 조직 단면을 관찰하였으며, 지방세포의 크기는 DMC advanced software(INS industry, Seoul, Korea)으로 측정되었다.

4. 통계처리

본 실험의 결과에 대해 일원 배치 분산분석(one-way analysis of variance)과 최소유의차검정(Least significant difference test) 및 다중분석(Duncan's multiple range test)으로 실험식을 요인으로 하는 집단간 비교를 수행하였다. 모든 분석은 5% 유의수준에서 실시되었으며 통계 분석 프로그램 SAS ver 9.4(SAS Institute Inc., Cary, NC, USA)를 사용하였다.

결과 및 고찰

1. 식이에 따른 체중과 지방조직 변이

C57BL/6J 마우스에서 일주일간 적응기와 4주간의 비만 유도, 그 이후 4주간의 실험 식이에 따른 체중 변이 결과는 Fig.

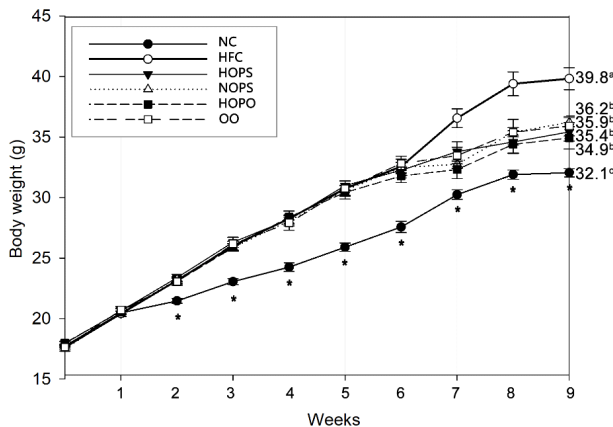


Fig. 2. Effect of peanut oil consumption on average weekly body weight of mouse. NC: normal control, HFC: high-fat control, HOPS: high-fat with high-oleate peanut seed, NOPS: high-fat with normal-oleate peanut seed, HOPO: high-fat with high-oleate peanut oil, OO: high-fat with olive oil. Means indicated with different letters are significantly different at $p < 0.05$ by Duncan's multiple range test.

2와 같다. 적응 기간인 1주 차를 제외하고 비만이 유도된 2주에서 5주차까지의 기간 동안 실험군들은 평균 체중의 유의한 차이를 보였으며, 비만 유도 기간인 2주에서 5주차까지 NC군을 제외하고 고지방식이를 섭취한 5개의 실험군(HFC, NOPS, HOPS, HOPO, OO)에서 같은 수준의 체중 증가 경향을 보였다. 실험 식이가 시작된 5주차 이후로 실험 식이를 섭취한 실험군들의 체중 증가 폭이 상대적으로 감소하였다. 실험 식이가 종료된 9주차에서 HFC군이 39.8 g으로 평균 체중이 가장 높았으며, 그 다음으로 NOPS군이 36.2 g을, OO군이 35.9 g, HOPS군이 35.4 g, HOPO군이 34.9 g을 나타냈으며 고지방 실험 식이를 섭취한 4개 실험군의 평균 체중은 통계적으로 유의한 차이가 없었다. 실험식이 기간 동안 같은 비율의 지방섭취에도 불구하고 HFC군의 평균 체중과 비교해 실험 마지막 9주 차에 4.2 g의 차이를 보이며, 약 10.6% 더 낮은 수준으로 평균 체중이 유의하게 낮았음을 확인할 수 있었다($p < 0.05$).

4주간의 실험 식이를 섭취한 C57BL/6J 마우스 시험군의 간과 부고환 백색 지방의 무게를 측정된 결과를 Table 2에 제시하였다. NC군의 마우스의 평균 간 무게는 1.46 ± 0.13 g이었으며, HFC를 포함한 5개의 고지방식이군의 마우스에서 측정된 평균 무게와 유의한 차이를 보였다($p < 0.05$). 고지방식이를 섭취한 5개의 실험군의 평균 간 무게는 1.97 g으로 NC군을 제외한 실험군간의 유의성은 나타나지 않았다. 각 실험군의 평균 부고환 백색 지방 무게는 실험식군에 따라 유의한 차이를 보이며($p < 0.05$), NC군이 1.13 ± 0.21 g으로 가장 낮았으며 HFC군이 2.35 ± 0.35 g으로 가장 높았다. 고지방 실험 식이

Table 2. Variation of average liver and epididymal fat weight by peanut oil consumption on obesity-induced mouse

Groups ¹⁾	Weight (g)	
	Liver	Epididymal fat pad
NC	1.46 ± 0.13^b	1.13 ± 0.21^c
HFC	2.08 ± 0.24^a	2.35 ± 0.35^a
HOPS	1.96 ± 0.16^a	1.93 ± 0.17^b
NOPS	1.96 ± 0.15^a	2.06 ± 0.14^b
HOPO	1.94 ± 0.35^a	1.80 ± 0.21^b
OO	1.92 ± 0.39^a	1.80 ± 0.23^b
<i>LSD</i> _{0.05}	0.304	0.266

Values is expressed as mean±standard deviation of seven replicates. Columns followed by different letter were significantly different at $p < 0.05$ level.

¹⁾ NC: normal control, HFC: high-fat control, HOPS: high fat with high-oleate peanut seed, NOPS: high fat with normal-oleate peanut seed, HOPO: high fat with high-oleate peanut oil, OO: high-fat with olive oil.

를 섭취한 NOPS, HOPS, HOPO, OO군 간의 부고환 백색 지방 무게의 유의한 차이는 나타나지 않았으며, HOPO군과 OO군의 평균 부고환 지방 무게는 각 1.80 ± 0.21 g과 1.80 ± 0.23 g으로 유사하였다. 부고환 지방조직의 Hematoxylin & Eosin 염색 절편 이미지를 관찰한 결과, 정상식이를 섭취한 NC군에 비해 HFC군에서 전체적인 지방세포 크기가 증가하였음을 확인하였으며, HFC군에 비해 고지방 실험식이를 급여한 HOPO, HOPS, OO군에서 전체적인 지방세포 단편의 크기가 상대적으로 감소한 것을 관찰할 수 있었다(Fig. 3). Hsu & Huang(2006)은 올레산의 섭취가 혈장 leptin의 감소와 함께 간에서의 PPAR α (peroxisome proliferator-activated receptor alpha) 활성화와 후복막 지방 조직에서 지질 항상성에 관여하는 전사인자인 SREBP-1c(sterol regulatory element-binding protein-1c)의 downregulation을 유도한다는 결과를 보고하였는데, 이와 마찬가지로 포화지방산 비율이 높은 고지방식이 대비 불포화지방산의 비율이 높았던 땅콩과 땅콩 기름의 섭취가 지방세포 비대(hypertrophy) 억제와 관련된 전사 인자 발현을 유도하여 체중 증가폭 감소에 영향을 준 것으로 추정된다. 본 시험에서 실험 식이로 사용된 올리브유는 기존 보고들을 통해 oleuropein, hydroxytyrosol 등 지방세포 분화를 억제하고 β -oxidation을 촉진시켜 항비만 작용을 나타내는 페놀류 화합물이 풍부하다고 알려져 있다(Castro-Barquero 등 2018). 올리브유 섭취 시험군(OO group)과 고올레산 땅콩 기름(HOPO group) 섭취 시험군의 결과를 비교한 결과, 부고환 지방조직 무게와 지방세포의 지름이 HFC군에 비해 유의하게 낮은 결과를 나타내었다.

2. 혈중 지질대사 변이

4주간의 실험 식이 급여 후 혈액 중 중성지방, 총 콜레스테롤, HDL-C, LDL-C 농도를 분석한 결과를 Table 3에 나타내었다. 혈장 구성 지질 중 중성지방, 총 콜레스테롤, HDL-C, LDL-C은 실험군 간의 유의한 차이를 보였다($p < 0.05$). 중성지방은 고지방식이를 섭취한 HFC군에서 118.6 ± 5.3 mg/dL로 가장 높았으며, 식이섭취군 중 NOPS > HOPS > HOPO > OO 순으로 대조군인 HFC군에 비해서 유의하게 감소하였다. 총 콜레스테롤 농도는 HFC가 163.4 ± 3.0 mg/dL로 가장 높았으며, NOPS, HOPS군에서 유의한 감소를 보이며, 고올레산 땅콩 기름을 섭취한 HOPO군과 올리브유를 급여한 OO군이 각 131.1 ± 0.8 mg/dL, 130.7 ± 1.6 mg/dL으로 고지방 실험 식이 중 가장 낮은 농도를 나타내었다. HDL-C는 고지방식이를 섭취한 모든 시험군에서 NC군(55.2 ± 3.0 mg/dL)에 비해 유의하게 낮았으며, HFC군이 40.0 ± 2.5 mg/dL로 가장 낮은 수치를 보였으나 실험식이를 섭취한 4개의 실험군에서는 상대적으로 HFC군에 비해 증가한 결과를 보였다. OO군에서 51.0 ± 1.5 mg/dL로 NC군 다음으로 높았으며, 고올레산 땅콩을 섭취한 HOPS군과 고올레산 땅콩 기름을 섭취한 HOPO군에서 각 50.5 ± 2.1 , 47.6 ± 2.3 mg/dL로 유의하게 높았다. LDL-C의 경우 반대로 HFC군에서 99.7 ± 3.0 mg/dL로 유의하게 높았으며 고지방실험식을 섭취한 4개의 군에서 OO, HOPS, HOPO, NOPS군 순으로 낮은 LDL-C 농도를 보였다. 분석한 혈장 구성 지질의 농도를 통해 동맥경화지수(Atherogenic Index)를 확인한 결과, HFC군의 3.10 ± 0.27 에 비해 고올레산 땅콩 기름과 올리브유를 섭취한 실험군은 같은 고지방식이를 섭취했음에도 불구하고 동맥경화지수가 1.76 ± 0.13 과 1.57 ± 0.09 로 상

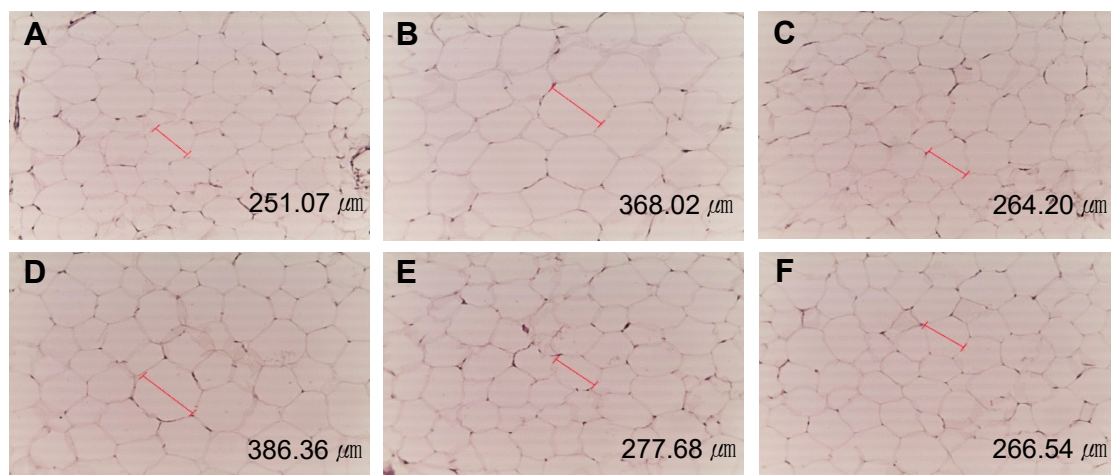


Fig. 3. Representative sections epididymal fat pad stained with hematoxylin and eosin from 9-week-old mice fed with normal, high-fat diet, and MUFA-enriched diets. A: normal control, B: high-fat control, C: high fat with high-oleate peanut seed, D: high fat with normal-oleate peanut seed, E: high fat with high-oleate peanut oil, F: high-fat with olive oil.

Table 3. Effect of MUFA supplementary diet on serum lipids from the obesity-induced mouse fed with peanut, peanut oil, and olive oil

Groups ¹⁾	mg/dL				A.I. ²⁾
	TG	TC	HDL-C	LDL-C	
NC	84.8±4.4 ^{de}	122.0±2.4 ^c	55.2±3.0 ^a	49.8±1.8 ^c	1.22±0.14 ^c
HFC	118.6±5.3 ^a	163.4±3.0 ^a	40.0±2.5 ^d	99.7±3.0 ^a	3.10±0.27 ^a
HOPS	92.1±1.2 ^c	135.0±2.3 ^c	50.5±2.1 ^b	66.1±2.8 ^c	1.68±0.10 ^{cd}
NOPS	101.7±5.3 ^b	142.5±1.3 ^b	45.2±1.6 ^c	76.9±1.5 ^b	2.15±0.11 ^b
HOPO	88.6±1.4 ^{cd}	131.1±0.8 ^d	47.6±2.3 ^c	65.7±2.0 ^{cd}	1.76±0.13 ^c
OO	82.1±8.1 ^e	130.7±1.6 ^d	51.0±1.5 ^b	63.3±1.9 ^d	1.57±0.09 ^d
<i>LSD</i> _{0.05}	5.718	2.386	2.632	2.603	0.179

Values is expressed as mean±standard deviation of seven replicates. Columns followed by different letter were significantly different at $p<0.05$ level.

¹⁾ NC: normal control, HFC: high-fat control, HOPS: high fat with high-oleate peanut seed, NOPS: high fat with normal-oleate peanut seed, HOPO: high fat with high-oleate peanut oil, OO: high-fat with olive oil.

²⁾ A.I. (Atherosclerotic Index)=total cholesterol - HDL cholesterol/HDL cholesterol

대적으로 낮은 것을 확인 할 수 있었다. 고지방식이에서 땅콩과 땅콩 기름의 섭취는 마찬가지로 올레산이 풍부한 식품인 아보카도와 아몬드 유래의 지방산 임상연구와 동물실험에서 보고된(Kris-Etherton 등 2001; Tabeshpour 등 2017) 결과와 같이 혈장 내 총 콜레스테롤, LDL-C의 농도, 중성지방의 감소와 더불어 HDL-C 농도 증가에 영향을 준 것으로 사료된다. Huth 등(2015)의 보고에 따르면 포화지방과 트랜스지방이 올레산으로 대체된 경우 총 콜레스테롤(TC)과 LDL-C의 유의적인 감소가 확인되었으나, 다가불포화지방산이 올레산으로 대체될 경우 혈장 지질의 유의적인 변화는 없었다. 그러나 본실험에서 고올레산 땅콩 종자와 기름을 섭취한 실험군이 리놀렌산 비율이 높은 일반 땅콩을 섭취한 시험군보다 낮은 부고환 지방축적과 함께 혈중 중성지방, TC, LDL-C 농도가 유의하게 낮아 같은 땅콩 섭취에서 다가불포화지방산에 대한 단일불포화지방산의 상대적 비율 증가가 체내 지방 축적 억제와 혈중 지질 개선에 긍정적인 효과를 보인 것으로 사료된다. 본 연구의 결과를 토대로 후속 연구를 통해 단일 불포화지방산의 장기적 섭취에 따른 지질 대사와 비만인자로부터 유발되는 대사증후군 연관 지표 변이에 대한 추가적인 분석이 필요하며, 지방산 섭취와 산화 과정 이후의 중간 대사 산물에 대한 추적 분석을 통해 확인이 가능할 것으로 사료된다. Lou-Bonafonte 등(2012)는 다수의 동물실험과 코호트연구에서 올리브유 섭취는 다른 동물성, 식물성 기름 섭취와 비교하여 죽상동맥경화증(atherogenesis) 발생 방지 효과를 나타냈다고 보고하였으며, 이러한 결과에 대해 올레산과 더불어 올리브유의 트리테르펜(triterpenes), 스쿠알렌(squalene) 등의 기능성 화합물의 복합적인 효과로 추정하였다. Lim 등

(2017)은 지방산의 다가불포화지방산이 올레산과 같은 단일 불포화지방산으로 대체된 고올레산 땅콩 품종에서 산화 안정성 증대와 더불어 기름 내 토코페롤과 파이토스테롤의 잔존율이 높다는 장점을 보고하였는데, 본 시험의 결과에서도 땅콩의 단일불포화지방산과 관련해 지질 산화 억제 역할을 하는 비타민 E, 콜레스테롤 흡수를 제어하는 파이토스테롤 등(Segura 등 2006) 비정제 땅콩 기름에 함유된 기능성 화합물의 역할을 추가적으로 확인할 필요가 있다고 사료된다. 이상의 결과로 올레산 함량이 증진된 땅콩을 지방급원으로 섭취하였을 때 부고환지방 무게 감소와 혈중 지질 개선효과를 확인할 수 있었으며, 이와 더불어 장기적인 섭취에 따른 지질대사 관련 전사 인자와 내분비신호에 대한 분석과 함께 고올레산 땅콩 기름과 땅콩 유래의 심혈관 건강 지표 개선과 관련된 유도지질 등의 생리활성물질 탐색과 단일불포화지방산과의 상호작용에 대한 후속 연구가 필요할 것으로 보인다.

요약 및 결론

본 연구에서는 다양한 비율의 불포화지방산 조성을 가진 땅콩과 땅콩 기름 섭취에 따른 비만 유도 마우스의 비만지표와 지질 대사 변이를 확인하였다. 수컷 C57BL/6J 마우스에 고지방식을 대조군으로 하여 고올레산 땅콩(케이올)과 일반 올레산 땅콩(참평)의 볶음땅콩과 고올레산 땅콩 기름, 올리브유로 조제한 고지방 사료를 4주 동안 급여하여 체중 변이와 간, 부고환지방조직 그리고 혈장 내 지질조성을 분석하였다. 그 결과로 고지방식을 급여한 대조군에 비해 땅콩, 땅콩 기름과 올리브유 실험식을 급여한 시험군에서 체중

이 유의하게 감소하였음을 보였다. 측정된 부고환 지방 조직의 무게는 고올레산 땅콩 기름, 올리브유, 고올레산 볶음땅콩, 일반올레산 볶음땅콩 시험군의 순으로 유의하게 낮았으며, 염색 후 지방조직 단면 관찰 결과 고지방식이 대비군에 비해 땅콩과 땅콩 기름, 올리브유를 섭취한 실험군에서 크기가 감소했음을 관찰할 수 있었다. 혈장의 지질 수준은 실험 식이를 섭취한 시험군 전체에서 중성지방, 총 콜레스테롤, HDL-C, LDL-C 농도 모두 유의하게 낮았다. 고올레산 땅콩 기름을 섭취한 시험군의 총 콜레스테롤과 HDL-C의 농도는 올리브유 섭취 시험군과 유의한 차이가 없었으며, 땅콩 종실을 섭취한 두 개의 시험군 중 고올레산 품종을 섭취한 시험군이 일반 올레산 품종을 섭취한 시험군 보다 혈장 내 중성지방, 총 콜레스테롤, LDL-C 농도가 유의하게 낮아 고올레산 땅콩 품종의 섭취가 혈중 지질 개선에 보다 효과적일 것으로 나타났다. 이러한 결과를 통해 땅콩을 통한 지방 공급이 체내 지방 축적과 체중 증가 억제와 함께 혈중 지질 대사를 개선하는데 긍정적인 효과를 가질 수 있을 것으로 사료된다.

감사의 글

본 연구는 농촌진흥청 농업과학기술 시험연구사업(과제 번호: PJ01320402)의 지원으로 수행되었습니다.

References

- Asif M. 2011. Health effects of omega-3, 6, 9 fatty acids: *Perilla frutescens* is a good example of plant oils. *Orient Pharm Exp Med* 11:51-59
- Baum SJ, Kris-Etherton PM, Willett WC, Lichtenstein AH, Rudel LL, Maki KC, Whelan J, Ramsden CE, Block RC. 2012. Fatty acids in cardiovascular health and disease: A comprehensive update. *J Clin Lipidol* 6:216-234
- Carson JAS, Anderson CAM. 2020. Dietary cholesterol and cardiovascular risk: A science advisory from the American Heart Association. *Circulation* 141:39-53
- Castro-Barquero S, Lamuela-Raventós RM, Doménech M, Estruch R. 2018. Relationship between mediterranean dietary polyphenol intake and obesity. *Nutrients* 10:1523
- Chu Y, Holbrook CC, Ozias-Akins P. 2009. Two alleles of ahFAD2B control the high oleic acid trait in cultivated peanut. *Crop Sci* 49:2029-2036
- Gonçalves-de-Albuquerque CF, Medeiros-de-Moraes IM, Oliveira FMJ, Burth P, Bozza PT, Faria MVC, Silva AR, Castro-Faria-Neto HC. 2016. Omega-9 oleic acid induces fatty acid oxidation and decreases organ dysfunction and mortality in experimental sepsis. *PLOS ONE* 11:e0153607
- Hodson L, Skeaff CM, Chisholm WAH. 2001. The effect of replacing dietary saturated fat with polyunsaturated or monounsaturated fat on plasma lipids in free-living young adults. *Eur J Clin Nutr* 55:908-915
- Hsu SC, Huang CJ. 2006. Reduced fat mass in rats fed a high oleic acid-rich safflower oil diet is associated with changes in expression of hepatic PPARα and adipose SREBP-1c-regulated genes. *J Nutr* 136:1779-1785
- Huth PJ, Fulgoni VL, Larson BT. 2015. A systematic review of high-oleic vegetable oil substitutions for other fats and oils on cardiovascular disease risk factors: Implications for novel high-oleic soybean oils. *Adv Nutr* 6:674-693
- Janila P, Pandey MK, Shasidhar Y, Variath MT, Sriswathi M, Khera P, Manohar SS, Nagesh P, Vishwakarma MK, Mishra GP, Radhakrishnan T, Manivannan N, Dobariya KL, Vasanthi RP, Varshney RK. 2016. Molecular breeding for introgression of fatty acid desaturase mutant alleles (ahFAD2A and ahFAD2B) enhances oil quality in high and low oil containing peanut genotypes. *Plant Sci* 242:203-213
- Jung S, Powell G, Moore K, Abbott A. 2000. The high oleate trait in the cultivated peanut [*Arachis hypogaea* L.]. II. Molecular basis and genetics of the trait. *Mol Gen Genet* 263:806-811
- Kim MY, Kim H, Lee Y, Kim MH, Lee JY, Lee B. 2019. Enzyme inhibitory and anti-proliferation effects of peanut skin extracts depending on cultivar. *Korean J Food Nutr* 32:511-521
- Korea Agro-Fisheries & Food Trade Corporation. 2017. Processed food consumption behavior survey report: Edible oil market. Available from <http://www.atfis.or.kr> [cited 10 October 2020]
- Korean Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs. 2019. 2019 Statistic report of agriculture and food. Available from <https://lib.mafra.go.kr> [cited 10 October 2020]
- Kris-Etherton PM, Zhao G, Binkoski AE, Stacie M, Coval BS, Etherton TD. 2001. The effects of nuts on coronary heart disease risk. *Nutr Rev* 59:103-111
- Lee C. 2001. The changes in the physico-chemical properties of peanut milk by processing conditions. *Korean J Food Nutr* 14:199-203
- Lee YR. 2019. Antioxidant activity of peanut flours with germination and roasting. *Korean J Food Nutr* 32:155-159

- Lim HJ, Kim MS, Kim DS, Kim HS, Pae SB, Kim JK, Shin EC. 2017. Comparison of lipid constituents and oxidative properties between normal and high-oleic peanuts grown in Korea. *Korean J Food Sci Technol* 49:235-241
- Lou-Bonafonte JM, Arnal C, Navarro MA, Osada J. 2012. Efficacy of bioactive compounds from extra virgin olive oil to modulate atherosclerosis development. *Mol Nutr Food Res* 56:1043-1057
- Martinez-González MÁ, Sánchez-Villegas A. 2004. The emerging role of Mediterranean diets in cardiovascular epidemiology: Monounsaturated fats, olive oil, red wine or the whole pattern? *Eur J Epidemiol* 19:9-13
- Mata P, Alvarez-Sala LA, Rubio MJ, Nuno J, De Oya M. 1992. Effects of long-term monounsaturated- vs polyunsaturated-enriched diets on lipoproteins in healthy men and women. *Am J Clin Nutr* 55:846-850
- Mente A, De Koning L, Shannon HS, Anand SS. 2009. A systematic review of the evidence supporting a causal link between dietary factors and coronary heart disease. *Arch Intern Med* 169:659-669
- Norden AJ, Gorbet DW, Knauff DA, Young CT. 1987. Variability in oil quality among peanut genotypes in the Florida breeding program. *Peanut Sci* 14:7-11
- Pae SB, Cheong YK, Shim KB, Hwang CD, Lee MH, Jung CS, Kang CW, Park KY, Park CB, Choi GH, Lee JC, Kim IJ, Kim JK. 2008. A new short stem, lodging resistance and high yielding peanut "Charmpyeong". *Korean J Breed Sci* 40:168-172
- Pae SB, Hwang CD, Lee MH, Kim SU, Oh KW, Lee BK, Park CH, Park KY, Baek IY, Jun YC. 2016. A high oleate peanut variety 'K-Ol'. *Korean J Breed Sci* 48:313-318
- Park JW, Kim MY, Kim MO, Lee HR, Lee JJ, Kim SK, Jeong HS, Lee YR. 2018. The quality characteristics of rice pie adding roasted peanut and peanut sprout flour. *Korean J Food Nutr* 31:766-773
- Rural Development Administration. 2018. Oilseed Crop. pp. 184-196. Human culter Arirang
- Schwingshackl L, Hoffmann G. 2014. Monounsaturated fatty acids, olive oil and health status: A systematic review and meta-analysis of cohort studies. *Lipids Health Dis* 13:154
- Segura R, Javierre C, Lizaraga MA, Ros E. 2006. Other relevant components of nuts: Phytosterols, folate and minerals. *Br J Nutr* 96:S36-S44
- Statistics Korea. 2020. Causes of death statistics. Available from <http://kosis.kr> [cited 10 October 2020]
- Tabeshpour J, Razavi BM, Hosseinzadeh H. 2017. Effects of avocado (*Persea americana*) on metabolic syndrome: a comprehensive systematic review. *Phytother Res* 31:819-837
- Wang ML, Chen CY, Tonnis B, Barkley NA, Pinnow DL, Pittman RN, Davis J, Holbrook CC, Stalker HT, Pederson GA. 2013. Oil, fatty acid, flavonoid, and resveratrol content variability and FAD2A functional SNP genotypes in the U.S. peanut mini-core collection. *J Agric Food Chem* 61: 2875-2882
- Yang SC, Lin SH, Chang JS, Chien YW. 2017. High fat diet with a high monounsaturated fatty acid and polyunsaturated/saturated fatty acid ratio suppresses body fat accumulation and weight gain in obese hamsters. *Nutrients* 9:1148

Received 06 November, 2020

Revised 30 November, 2020

Accepted 08 December, 2020