

복분자씨유의 식용유지 대체가 C57BL/6J Mice의 혈청 지질에 미치는 영향

변문선¹ · 차연수¹ · 황금택² · 유옥경¹

¹전북대학교부설 비만연구센터, 전북대학교 식품영양학과

²서울대학교 생활과학대학 식품영양학과, 생활과학연구소

Effects of *Rubus Coreanus* Miq. Oil on Serum Lipids in C57BL/6J Mice

Moon-Sun Byun¹, Youn-Soo Cha¹, Keum-Taek Hwang², and Ok-Kyeong Yu¹

¹Obesity Research Center, Department of Food Science and Human Nutrition, Chonbuk National University

²Department of Food and Nutrition, Research Institute of Human Ecology, Seoul National University

ABSTRACT This study evaluated the effects of *Rubus coreanus* Miq. oil on the plasma lipid profile of high fat diet (HFD)-induced obese mice. Animals were randomly divided into 4 groups (n=10). After completion of the 5-week experimental period, we measured bodyweight gain, food intake, adipose tissue mass, and plasma lipid profile. We also analyzed the activities of carnitine and superoxide dismutase (SOD) involved in β -oxidation and antioxidation, respectively. Our results show that HFD-induced weight gain in animals in the *R. coreanus* Miq. oil diet group (RCO) and corn oil diet group (CO) was significantly lower compared to animals in the HFD group; RCO supplementation had a more noticeable effect than CO. Visceral and back fat weights were lower in the RCO and CO groups while plasma HDL cholesterol (HDL-C) and HDL-C per total cholesterol [HDL-C/TC (%)] ratio were significantly higher in the RCO group. The contents of acid-soluble acylcarnitine and total carnitine as well as SOD activation were significantly higher in the RCO group, but no significant difference was observed between the RCO and CO groups. In conclusion, RCO effectively averted elevation of total body weight and fat weight in HFD-induced obese mice and promoted increased HDL-C. Therefore, *R. coreanus* Miq. oil might play an anti-obesity role in obese people and could be used as an effective oil supplement.

Key words: *Rubus coreanus* Miq. oil, serum lipids, anti-obesity, antioxidant activities, C57BL/6J mice

서 론

산딸기 속(*Rubus*)은 다양성이 풍부한 식물 속 중 하나로 이들 가운데 가장 가치 있는 종 중 하나가 복분자(*Rubus coreanus* Miq.)이다. 복분자는 장미목(Rosales), 장미과(Rosaceae)의 낙엽관목으로 동남아시아 지역, 특히 중국과 일본, 한반도의 남쪽에 분포하고 있으며, 5~6월에 연한 홍색의 꽃이 피고 열매는 7~8월에 성숙되어 붉은색으로 익어 점차 검게 변하게 된다(1-3). 복분자는 전통적으로 한방에서 보간신(補肝腎), 명목(明目), 이노계의 효능이 있고 정력 감퇴, 유정, 빈뇨 등의 치료용 약재로 이용되어 왔으며(4,5), 최근에는 상업적 용도로 청량음료, 다류, 젤리, 잼 등의 제품이 개발되고 있고, 특히 주류의 원료로 각광받아 국내 생산량이 2005년 2,222톤에서 2009년 4,914톤, 2013년 9,801톤으로 크게 증가하였다(6,7).

복분자는 아질산염 소거 작용이나 superoxide dismutase(SOD) 유사 활성 작용, 항균 활성 작용 등이 있는 것으로 확인되었고(3), 항염증, 항암, 항돌연변이, 항바이러스, 지질 산화반응 억제 등의 효과를 가지고 있으며(8), 천연 색소인 안토시아닌이 다량으로 함유되어 있는 것으로 보고되고 있다(6,9). 하지만 현재 보고되고 있는 복분자의 생리활성 물질에 관한 연구나 식품 가공으로의 활용은 주로 열매에 국한되어 있으며 복분자 씨 등 나머지 부속물에 관한 활용이나 연구는 아직 미흡한 실정이다.

이에 대해 국내에서 재배되고 있는 복분자 씨앗의 지방산 조성을 분석한 결과 복분자씨유는 49~70%의 linoleic acid(C_{18:2}), 13~34%의 linolenic acid(C_{18:3}), 8~17%의 oleic acid(C_{18:1}), 1~5%의 palmitic acid(C_{16:0}) 및 0~3%의 stearic acid(C_{18:0})로 90% 이상이 불포화지방산으로 구성되어 있었고, 종류에 따라서는 95% 이상이 불포화지방산으로 구성되어 있는 것도 있어 불포화지방산의 함량이 매우 높다고 보고된 바 있다(10,11). 이는 현재 식용으로 사용되고 있는 식물성 유지인 콩기름[51% linoleic acid(C_{18:2}), 7% linolenic acid(C_{18:3})], 해바라기씨유[66% linoleic acid(C_{18:2}), 0.4% linolenic acid(C_{18:3})], 포도씨유[68% linoleic acid

Received 6 March 2015; Accepted 14 May 2015

Corresponding author: Youn-Soo Cha, Department of Food Science and Human Nutrition, Chonbuk National University, Jeonju, Jeonbuk 561-756, Korea

E-mail: cha8@jbnu.ac.kr, Phone: +82-63-270-3822

(C_{18:2}), 0.05% linolenic acid(C_{18:3})]의 지방산 구성(12,13)과 비교하였을 때 복분자씨에서 추출한 유지의 지방산 조성이 매우 우수한 수준임을 알 수 있다. 다중불포화지방산(polyunsaturated fatty acid, PUFA)은 prostaglandin 등의 생리활성 물질로 전환되는 성분으로 혈장 VLDL-콜레스테롤(very low density lipoprotein cholesterol, VLDL-C)과 LDL-콜레스테롤(low density lipoprotein cholesterol, LDL-C)의 농도를 낮추고(14), 장관으로 콜레스테롤 배출과 중성 스테로이드 또는 담즙산으로 산화반응을 촉진시켜 혈중 콜레스테롤 농도를 저하시키는 것으로 알려져 있다(15-17). 뿐만 아니라 식이성 지방산의 종류에 따라 생체 내 지방 조직의 패턴이 상당히 변화하는 것으로 보고되고 있어(18) 식용유지의 선택은 매우 중요한 문제이다.

따라서 본 연구에서는 복분자씨유의 생체 내 지질대사에 미치는 효과를 평가하고자 지방의 종류를 달리한 식이를 고지방식으로 비만이 유도되는 C57BL/6J mice에게 급여하여 체중 및 체내 지질패턴의 조성에 미치는 효과를 측정하였으며, 이를 통해 복분자씨유의 유용성을 평가하고자 하였다.

재료 및 방법

복분자씨유

본 실험에 사용한 복분자는 전북 고창군, 강원도 고성군, 전북 완주군, 전북 고창군 복분자 시험장에서 2005년도에 재배된 것을 사용하였으며, 수집 후 사용 시까지는 -40°C에서 보관하였다. 조지방은 Soxhlet(Poongil Physics & Chemistry Co., Seoul, Korea) 장치를 사용하였으며, 조지방에 사용되는 250 mL 수기를 건조와 방랭을 반복하여 수기의 건조 함량을 구하였다. 원통여지(Advantec Toyo No. 2, Toyo Roshi Kaisha, Ltd., Tokyo, Japan)에 분쇄한 건조 시료를 넣고 냉각관, 추출관, flask를 연결한 후 수기에 ethyl ether(Samchun Pure Chemical Co., Pyeongtaek, Korea)를 150 mL 넣고 가열하여 1분간 80방울 정도 떨어지게 향온수조 온도와 냉각관의 물 흐름을 조절하였다. Siphon 원리에 의해 지방을 녹인 ether는 Siphon 관을 통해 수기에 흘러 들어가도록 하고, 다시 수기 중의 ether만이 재증발되어 시료 중의 지방을 용출하고 수기에 지방만을 모았다. 8~10시간 후 지방이 모두 추출되면 추출관에서 원통여지를 꺼내고 다시 냉각관을 연결하여 수조에서 ether를 증발시켰다. 수기를 꺼내어 104°C에서 건조, 방랭하여 수기의 함량을 구하였다(10).

$$\text{조지방(\%)} = \frac{A - B}{\text{시료 무게(g)}} \times 100$$

A: 지방 추출 후 수기 무게(g)

B: 지방 추출 전 건조 수기의 무게(g)

실험동물 사육

본 동물실험은 전북대학교 동물실험윤리위원회(승인번호: 07047)의 승인을 받아 실시되었다. 연구에 사용된 실험동물은 출생시기가 동일한 4주령 C57BL/6J계 수컷(Charles River Laboratories, Tokyo, Japan) mice로, 1주일 동안 환경에 적응시킨 후 12주 동안 고지방식을 공급하여 비만을 유도하고 평균체중이 유사하도록 난괴법(randomized block design)에 의해 고지방옥수수유첨가식이군(CO), 고지방복분자씨유첨가식이군(RCO), 고지방돈지첨가식이군(L), 고지방우지첨가식이군(BT) 총 4군으로 군당 10마리씩 나누어 5주간 사육하였다. 실험식은 American Institute of Nutrition의 식이 조성을 참고로 AIN-76 diet를 변형하여 Table 1과 같이 디자인 하였으며(19-21), 실험식은 매주 만들어 지방의 산패를 방지하기 위해 4°C에 보관하여 사용하였다.

사육기간 중 실험동물의 체중은 1주일에 한 번 측정하였고, 식이섭취효율(food efficiency ratio, FER)은 사육기간 동안 체중 증가량을 같은 기간 동안 섭취한 식이량으로 나누어 계산하였다. 실험기간 동안 물과 실험식은 자유롭게 섭취하도록 하였으며, 사육실 환경은 실내온도 23±1°C, 상대습도는 50%로 유지하였고, 명암은 12시간 주기(06:00~18:00)로 하였다.

$$\text{식이섭취효율(FER)} = \frac{\text{총 실험기간의 체중증가량(g)}}{\text{총 실험기간의 식이섭취량(g)}}$$

혈장 및 장기 채취

실험동물은 12시간 절식시킨 후 희생시켰으며, 혈액은 4°C, 1,100×g에서 15분간 원심분리로 혈청을 분리하여 -80°C에서 보관하였다. 간 및 지방 조직은 채혈 후 즉시

Table 1. Composition of experimental diets (AIN-76 modified diet)

| Ingredient | Groups ¹⁾ | | | |
|--------------------------------|----------------------|-------|-------|-------|
| | CO | RCO | L | BT |
| Casein | 200 | 200 | 200 | 200 |
| DL-Methionine | 3 | 3 | 3 | 3 |
| Sucrose | 500 | 500 | 500 | 500 |
| Cellulose | 50 | 50 | 50 | 50 |
| Corn oil | 200 | — | — | — |
| <i>Rubus coreanus</i> Miq. oil | — | 200 | — | — |
| Lard | — | — | 200 | — |
| Beef tallow | — | — | — | 200 |
| AIN mineral mix | 35 | 35 | 35 | 35 |
| AIN vitamin mix | 10 | 10 | 10 | 10 |
| Choline bitartrate | 2 | 2 | 2 | 2 |
| Total (g) | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 |
| Energy (kcal) | 4,600 | 4,600 | 4,600 | 4,600 |
| Fat energy (%) | 39.1 | 39.1 | 39.1 | 39.1 |

¹⁾CO, AIN-76 modified high fat diet (39.1% fat energy) with 5% corn oil diet group; RCO, AIN-76 modified high fat diet with 5% *Rubus coreanus* Miq. oil diet group; L, AIN-76 modified high fat diet with 5% lard diet group; BT, AIN-76 modified high fat diet with 5% with beef tallow diet group.

적출하여 생리식염수로 씻은 다음 여과지로 물기를 제거하고 무게를 측정한 후 -80°C에서 보관하였다.

지질성분 함량 측정

체지방은 복부 지방과 등 지방을 각각 채취하여 무게를 재어 측정한 후 액체질소에 보관한 뒤 -80°C에서 저장하였다. 혈중 및 간 조직 중의 중성지방 및 총콜레스테롤(total cholesterol, TC)은 효소법(Asan Phamaceutical Co., Seoul, Korea)으로, HDL-콜레스테롤(high density lipoprotein cholesterol, HDL-C)은 phosphotungstic acid/MG²⁺ 침전효소법(Asan Phamaceutical Co.)으로 분석하였으며 총 콜레스테롤 함량에 대한 HDL-C의 비율(HDL-C/TC)을 구하였다.

카르니틴 분석

간 중의 카르니틴 농도 분석은 동위원소를 이용한 Cederblad와 Lindstedt(22)의 분석방법을 변형시킨 Sachan 등(23)의 방법에 준하여 실시하였다. 간 조직 50 mg을 0.3 M perchloric acid(PCA) 용액 1 mL와 균질화하여 1,500×g로 원심분리 한 뒤 상층액 100 µL를 0.6 M PCA와 8% bovine serum albumin(BSA)에서 소화시켜 1,500×g로 10분간 원심분리 하여 상층액과 침전물을 분리하였다. 상층액은 non-esterified carnitine(NEC)과 acid-soluble acylcarnitine(ASAC)을 측정하는 데 사용하였으며, 침전물은 acid-insoluble acylcarnitine(AIAC)을 측정하는 데 사용하였다. 상층액 150 µL를 1 M-KHCO₃으로 중화시킨 후 원심분리하여, 상층액 100 µL에 [1-¹⁴C]acetyl coenzyme A(Amersham, Arlington Heights, IL, USA)가 함유된 반응액을 가하고 1 unit의 carnitine acetyl-transferase를 가한 후 37°C에서 30분간 반응시켰다. 반응액 200 µL를 ion exchange resin(Dowex 1×8-400 mesh)이 충전된 column을 통과시켜 [1-¹⁴C]acetyl carnitine을 회수한 후 liquid scintillation counter(Beckman Instruments, Palo Alto, CA, USA)로 cpm을 측정하여 NEC 양을 정량하였다. ASAC 분석은 상층액 100 µL를 0.5 N-KOH로 가수분해하고, PCA/MOPS-II로 중화한 다음 원심분리 하여 상층액을 분리한 후 NEC와 동일한 방법으로 측정하였다. AIAC 분석은 침전물을 0.6

M-PCA로 3회 세척하여 잔존하는 NEC 및 ASAC를 완전히 제거한 후 0.5 N-KOH 200 µL로 65°C에서 60분간 열탕 분해하고, PCA/MOPS-I로 중화한 다음 원심분리 하여 상층액을 분리한 후 위와 동일한 방법으로 측정하였다. Total carnitine(TCNE)은 NEC, ASAC 및 AIAC 분획들의 합으로 산출하였다.

Superoxide dismutase(SOD) 항산화 효소활성도 조사

간 조직의 SOD를 분석하기 위해 Okado-Matsumoto와 Fridovich(24)의 방법에 따라 전처리를 실시하였다. 시판되는 kit(R&D systems, Minneapolis, MN, USA)을 사용하여 각 시료의 % inhibition을 측정한 후 이를 토대로 SOD 활성을 조사하였다.

통계처리

모든 실험 결과는 SPSS 12.0 프로그램(SPSS Inc., Chicago, IL, USA)을 이용하여 평균(mean)±표준편차(standard deviation, SD)로 표시하였고, 각 군 간의 통계적 유의성은 ANOVA 분석을 통해 검증하였다. 각 군 간에 유의한 차이가 있을 경우 P<0.05 수준에서 Duncan's multiple range test를 실시하여 검증하였다.

결 과

체중증가량 및 식이섭취량

실험동물의 체중증가 및 식이섭취량은 Table 2와 같다. 초기 체중은 모든 군에서 유의적인 차이가 없었으나, 실험 종료 후 RCO군의 체중이 L군이나 BT군보다 유의적으로 감소하였다. 식이섭취량 및 식이섭취효율은 CO군과 RCO군이 L군과 BT군보다 유의적으로 낮았다.

지방 조직의 무게

실험 종료 후의 지방 조직 무게 변화는 Fig. 1과 같다. 복부 지방은 CO군과 RCO군에서 유의적으로 낮았으며, 등 지방도 CO군과 RCO군이 유의적으로 낮았다.

Table 2. Body weight and food intake in mice fed experimental diets

| | Groups ¹⁾ | | | |
|-------------------------|----------------------------|-------------------------|--------------------------|-------------------------|
| | CO | RCO | L | BT |
| Initial body weight (g) | 44.98±0.08 ²⁾ | 44.82±0.42 | 44.99±0.47 | 45.60±0.05 |
| Final body weight (g) | 37.03±0.01 ^{bc3)} | 36.08±2.33 ^c | 40.51±0.80 ^{ab} | 41.22±0.56 ^a |
| Food intake (g/d) | 1.57±0.06 ^b | 1.58±0.04 ^b | 1.98±0.01 ^a | 2.01±0.06 ^a |
| Energy intake (kcal/d) | 7.20±0.28 ^b | 7.28±0.22 ^b | 9.11±0.06 ^a | 9.25±0.27 ^a |
| FER ⁴⁾ | -0.13±0.09 ^b | -0.15±0.12 ^b | -0.05±0.05 ^a | -0.05±0.05 ^a |

¹⁾Groups are the same as Table 1.

²⁾Values are mean±SD of 10 C57BL/6J mice fed for 5 weeks of experimental diet.

³⁾Values with different letters in a row are significantly different by ANOVA with Duncan's multiple range test at P<0.05.

⁴⁾FER (food efficiency ratio)=body weight increased during experimental period (g)/ total food intake during experimental period (g).

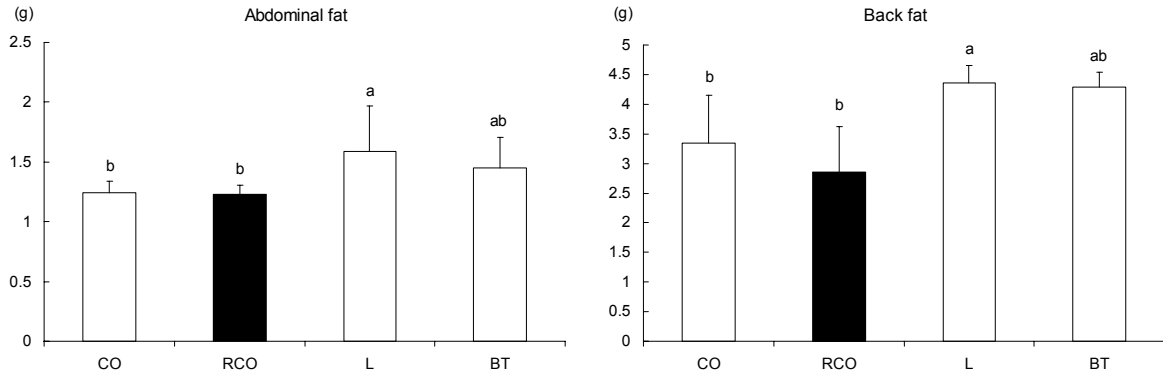


Fig. 1. Adipose tissue weights of mice fed experimental diets. Groups are the same as Table 1. Values are mean±SD of 10 C57BL/6J mice fed for 5 weeks of experimental diet. Values with different letters (a,b) above the bars are significantly different by ANOVA with Duncan's multiple range test at $P<0.05$.

혈중 및 간중 지질 함량

각 군의 혈중 지질 성분 분석 결과는 Fig. 2와 같다. 혈중 중성지방은 RCO군이 L군과 BT군에 비해 유의적으로 낮았으며, HDL-C와 HDL-C/TC(%)는 RCO군에서 유의적으로 가장 높았으나 총콜레스테롤은 모든 군 간에 유의적인 차이를 보이지 않았다. 이에 반해 간 중 중성지방과 총콜레스테롤 함량은 모든 군 간에 유의적인 차이를 보이지 않았다 (Fig. 3).

카르니틴 분석

간 중 카르니틴 수준은 Table 3과 같다. NEC의 경우 CO군, RCO군, L군이 BT군보다 유의적으로 높았으며, ASAC와 TCNE는 CO군과 RCO군에서 BT군보다 유의적으로 높았으나 AIAC는 모든 군 간에 유의적인 차이를 보이지 않았다.

SOD 항산화효소 활성도

간 중 SOD 항산화효소 활성도를 조사한 결과는 Fig. 4와

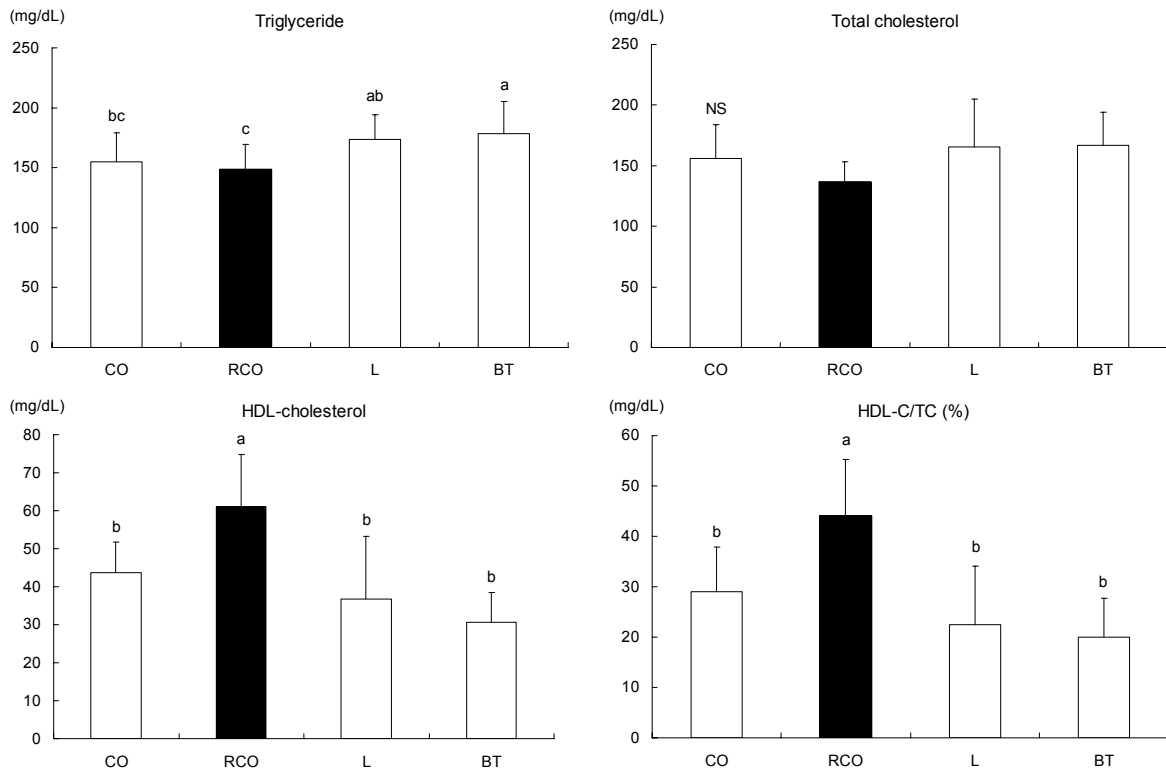


Fig. 2. Effect of experimental diets on lipid profiles in serum. Groups are the same as Table 1. Values are mean±SD of 10 C57BL/6J mice fed for 5 weeks of experimental diet. Values with different letters (a-c) above the bars are significantly different by ANOVA with Duncan's multiple range test at $P<0.05$. NS, not significant. HDL-C/TC (%)=(high density lipoprotein cholesterol/ total cholesterol)×100.

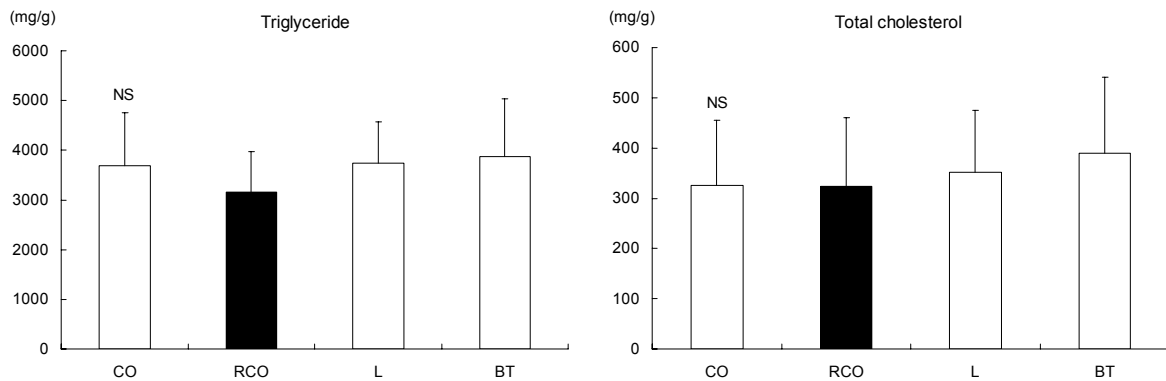


Fig. 3. Effects of experimental diets on lipid profiles in liver. Groups are the same as Table 1. Values are mean±SD of 10 C57BL/6J mice fed for 5 weeks of experimental diet. NS, not significant.

Table 3. Effects of experimental diets on carnitine concentrations in liver

| | Groups ¹⁾ | | | |
|--------------------------------|-------------------------------|---------------------------|----------------------------|---------------------------|
| | CO | RCO | L | BT |
| NEC ²⁾ (nmol/10 mg) | 143.50±16.23 ^{a3)4)} | 150.87±18.45 ^a | 144.17±13.97 ^a | 128.98±18.02 ^b |
| ASAC (nmol/10 mg) | 31.38±14.23 ^a | 37.33±14.70 ^a | 19.11±15.17 ^b | 18.68±17.19 ^b |
| AIAC (nmol/10 mg) | 2.24±1.46 | 3.07±4.07 | 2.50±2.80 | 1.96±1.30 |
| TCNE | 173.25±15.20 ^a | 182.90±17.09 ^a | 165.77±17.08 ^{ab} | 149.61±10.08 ^b |

¹⁾Groups are the same as Table 1.

²⁾NEC, non-esterified carnitine; ASAC, acid-soluble acylcarnitine; AIAC, acid-insoluble acylcarnitine; TCNE, total carnitine=NEC+ASAC+AIAC.

³⁾Values are mean±SD of 10 C57BL/6J mice fed for 5 weeks of experimental diet.

⁴⁾Values with different letters in a row are significantly different by ANOVA with Duncan's multiple range test at $P < 0.05$.

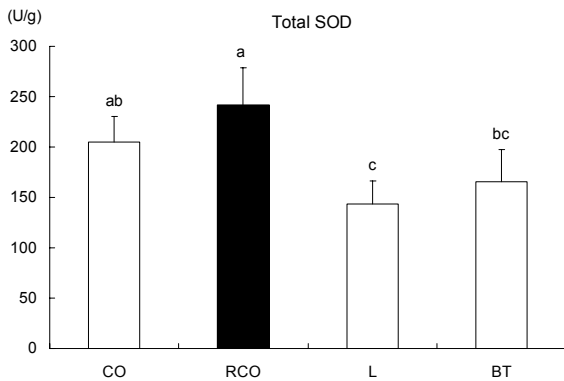


Fig. 4. SOD (superoxide dismutase) activity of mice fed experimental diets. Groups are the same as Table 1. Values are mean±SD of 10 C57BL/6J mice fed for 5 weeks of experimental diet. Values with different letters (a-c) above the bars are significantly different by ANOVA with Duncan's multiple range test at $P < 0.05$.

같다. RCO군이 L군이나 BT군에 비해 유의적으로 높은 SOD 수준을 보였으나, CO군과는 유의적인 차이가 없었다.

고 찰

실험 결과 실험동물의 체중이 RCO군과 CO군에서 유의적으로 감소되었고, 특히 RCO군은 CO군에 비해 체중이 더 감소하는 경향을 보였는데 이는 고지방식이 급여 시 8주까

지는 대조군에 비해 체중증가량에 차이가 없다가 12주 이상 급여 후 대조군과 유의적인 차이를 보였다는 Kim과 Kang (19)이나 Park과 Park(25)의 연구 결과와 유사한 경향으로 5주간의 실험기간으로는 실험군과 대조군 사이의 체중 변화가 유의적이지 않을 수도 있음을 알 수 있으며, 장기간의 실험 수행이 있었다면 보다 긍정적인 결과를 기대해 볼 수 있을 것으로 사료된다. 본 실험 결과 실험동물의 체중증가량에서 초기 체중에 비해 최종 체중이 다소 감소되었는데 이는 실험동물이 12주간의 비만유도기간을 통해 최대치로 비만이 된 이후 실험동물의 연령 증가에 따른 식이섭취량 감소로 같은 고지방식이임에도 불구하고 모든 군에서 체중이 감소하는 경향을 보인 것으로 사료되며, 이는 Morley(26)와 Osborne 등(27)의 연구 결과 실험동물의 연령 증가에 따른 식이섭취량 감소로 체중이 감소되었다는 보고와 같은 경향이였다. 이에 식이가 체중증가에 미치는 영향을 판단하는 근거로써 식이섭취효율을 평가한 결과, CO군과 RCO군에서 식이로 인한 체중증가율이 낮았고 RCO군이 CO군보다도 더 낮은 경향을 보였다. 일반적으로 고지방식은 체내에서 gastric emptying을 지연시켜 식이섭취량을 감소시키며 열량이 높은 식이일수록 식이섭취량은 감소되는 것으로 알려져 있는데(28) 본 연구에서는 동물성 유지보다 식물성 유지에서 식이섭취효율이 더 낮은 것으로 조사되었다.

복부와 등의 지방 조직 무게는 CO군과 RCO군이 L군이나 BT군에 비해 유의적으로 낮았다. 이는 Kang 등(29)의 연구

에서와 같이 체중이 감소됨과 더불어 내장지방이 감소된 것으로 사료되며, 복분자씨유가 체지방 축적 억제에 효과가 있을 수 있음을 확인한 결과로 사료된다.

혈중 지질 성분 검사 결과에서는 RCO군에서 비만으로 증가된 혈중 중성지방이 유의적으로 감소하였으며, HDL-C와 HDL-C/TC(%)가 유의적으로 높았는데, 이는 복분자 추출물의 지질대사에 미치는 영향에 대해 연구한 Kim 등(30)의 연구에서 lipopolysaccharide(LPS)에 의해 지질대사 장애가 일어난 대조군에 비해 복분자 추출물을 섭취한 실험동물군에서 혈중 중성지방과 TC가 유의적으로 감소하고 HDL-C는 유의적으로 증가하였다는 보고와 유사한 결과이다. HDL-C는 조직의 콜레스테롤을 간으로 운반하는 역할을 하며, 간에서 콜레스테롤을 체외로 내보내게 되므로 동맥경화에 대한 방어 효과를 지닌다. 따라서 혈청 총콜레스테롤 농도보다 HDL-C/TC(%)나 HDL-C/LDL-C(%)의 농도비가 심혈관계 질환의 발병을 예견할 수 있는 좋은 지표가 되는데(31), RCO군에서 항동맥경화인 HDL-C/TC(%)가 다른 식이군에 비해 유의적으로 높았던 것은 복분자씨유가 혈중 지질 패턴을 유의하게 바꾸어준 결과라 생각되며, 본 실험 결과는 복분자씨유가 심혈관계 질환 예방에 좋은 유지급원으로써 사용 가능성이 있음을 제시하는 결과로 사료된다. Oh(10)의 연구 결과에 따르면 복분자의 씨앗 함량은 dry basis로 26~62%였으며, 씨앗의 지방 함량은 dry basis로 13~28%였다고 보고한 바 있다. 이를 고려하여 만약 국내에서 생산되는 복분자의 1/3을 지방 추출에 사용한다면 연간 91톤의 지방을 생산할 수 있으며(9,10), 이는 주류나 간식류 등 현재 복분자 가공 과정 중 폐기 처분되고 있는 씨앗이 고부가가치 식품산업 소재로써 활용 가능성이 매우 큼을 시사한다.

반면 간 중의 중성지방 및 총콜레스테롤 수치에는 RCO군에서 낮아지는 경향은 보였으나 모든 군 간에 유의적인 차이가 없었는데, 이는 성장기 암컷 흰쥐를 대상으로 한 Choi와 Jo(32)의 연구에서 대두 이소플라본이 지질 농도에 미치는 영향을 분석한 결과 혈중 콜레스테롤 감소 효과는 나타났으나 간 지질 농도의 변화는 나타나지 않았다는 보고와 같이 혈중과 간 중의 콜레스테롤 수치 변화는 동시에 일어나지 않을 수도 있다는 결과와 같았다.

카르니틴은 아미노산 정도의 분자량을 가진 동물의 심장 및 근육조직에 다량 존재하는 질소화합물로 에너지원으로 쓰일 지방산을 다른 장기 또는 미토콘드리아 내막으로 이동시켜 지방산의 β -산화를 촉진시키는 데 필수적인 물질이다(33-35). 카르니틴은 주로 간 및 신장에서 합성되기도 하고 음식을 통해 외부로부터 공급받기도 하는데 인체 내에서 카르니틴은 NEC, ASAC 및 AIAC의 세 가지 형태로 존재하며, 심장 또는 근육 등과 같이 지방으로부터 많은 양의 에너지를 얻는 세포 내에서는 이들의 농도가 낮다(33-35). 본 실험에서는 간 중 NEC와 ASAC 및 TCNE가 동물성지방 섭취군에 비해 식물성지방 섭취군인 CO군과 RCO군에서 유의적으로

높았는데, 이는 체내의 β -oxidation이 증가하였음을 간접적으로 제시하는 것으로 사료된다. Cha 등(36,37)의 연구에서 운동 또는 고지방 식이의 경우 에너지 요구량을 높이고 에너지 기질로써 지방산의 이용도를 증가시킴으로써 지방산화가 촉진되어 조직의 카르니틴 농도를 증가시킨다고 보고하였는데, 본 연구에서도 체내 이용 가능한 지방산 pool이 증가되어 카르니틴 대사가 촉진된 것으로 사료되며 이러한 카르니틴 대사 작용은 식물성지방에서 더욱 효율적인 것으로 사료된다.

활성산화물질(reactive oxygen species, ROS)은 산소의 체내대사과정 또는 흡연, 환경오염 등의 외부인자로부터 생성되며 세포 내 방어기전은 ROS 제거 항산화효소인 SOD 등에 의해 수행된다(38-40). ROS는 세포가 나이를 먹거나 흡연, 자외선, 환경오염에 장기 노출 또는 부적절한 운동 등의 원인에 의해 생성속도가 높아진다고 알려져 있으며(41-43), 증가한 ROS 농도가 항산화계의 방어한계를 넘어서면 산화적 스트레스 현상에 의해 세포의 단백질, 탄수화물, 지질뿐만 아니라 DNA까지 손상을 입혀 심혈관계 질환, 암 등의 질병에 이르게 된다(44). 현재 복분자씨유의 건강기능성에 대한 선행연구는 부족하지만 복분자와 같은 장미과에 속하는 raspberry seed oil을 동물모델에 급여하여 혈중 지질 대사 지표의 변화를 연구한 Pieszka 등(45)의 연구 결과 raspberry seed oil 투여군에서 glutathione peroxidase(cGPx)와 SOD의 항산화 활성을 증가시킨다고 보고한 바 있다. 뿐만 아니라 복분자 열매의 항산화능은 Park과 Jang(2), Kwon 등(5), Cha 등(4), Yoon 등(46), Lee와 Do(47)의 많은 연구에서 이미 입증된 바 있으며, 본 연구 결과 RCO군에서 total SOD가 유의적으로 높은 결과를 보여 복분자씨유도 항산화 활성에 효과가 있을 수 있음을 확인하였다. 이는 흰쥐의 항산화 활성에 영향을 미치는 홍삼, 삼백초, 복분자 추출물의 상승 효과를 연구한 Choe 등(9)의 연구와도 일치하는 결과로써, 본 실험 결과 복분자씨유가 비만인의 체내 유해산소에 의한 산화기전을 효과적으로 억제하는 데 기여할 수 있을 것이라 사료된다.

요 약

본 연구는 식이로 비만이 유도되는 C57BL/6J mice에 복분자씨유와 지방의 종류를 달리한 식이를 급여하여 체중 및 체내 지질패턴에 미치는 효과를 평가하고자 수행되었다. 이를 위해 실험동물의 체중증가량 및 식이섭취효율을 평가하고, 지방 조직의 무게 및 혈중과 간 중 지질성분을 분석하였다. 또한 β -oxidation과 관련된 카르니틴 함량 변화와 superoxide dismutase(SOD) 항산화효소 활성도를 측정하였다. 실험 결과 실험동물의 체중이 고지방복분자씨유첨가식이군(RCO군)에서 유의하게 감소하였고, 식이섭취효율이 고지방옥수수유첨가식이군(CO군)과 RCO군에서 유의적으로 낮았다. 복부 지방과 등 지방은 CO군과 RCO군에서 유의적

으로 낮았고, 혈중 HDL-C와 HDL-C/TC(%)는 RCO군에서 유의적으로 높았다. 간 중 acid-soluble acylcarnitine 및 total carnitine의 카르니틴 수준은 CO군과 RCO군에서, SOD 항산화효소 활성은 RCO군에서 고지방돈지침가식이 군과 고지방우지침가식이군에 비해 유의적으로 높았다. 본 연구 결과 복분자씨유는 비만이 유도된 성인 쥐의 체중 및 체지방량과 HDL-C 및 HDL-C/TC(%)의 개선에 긍정적인 영향을 미치는 것으로 분석되었으며, 이는 복분자씨유를 비만인들에게 적용했을 때 매우 효과적인 유지 급원으로써의 사용 가능성이 있음을 시사하는 결과로 사료된다. 이에 대해 추후 복분자씨유의 기능성과 상업성에 대한 후속 연구가 필요할 것으로 여겨지며, 본 연구는 현재 식품가공 과정 중 폐기처분되고 있는 복분자씨가 식품산업의 새로운 소재로써의 가능성이 있음을 확인한 의미 있는 실험이라 사료된다.

REFERENCES

1. Byamukama R, Kiremire BT, Andersen ØM, Steigen A. 2005. Anthocyanins from fruits of *Rubus pinnatus* and *Rubus rigidus*. *J Food Compos Anal* 18: 599-605.
2. Park YS, Jang HG. 2003. Natural products, organic chemistry: lactic acid fermentation and biological activities of *Rubus coreanus*. *J Korean Soc Agric Chem Biotechnol* 46: 367-375.
3. Cha HS, Youn AR, Park PJ, Choi HR, Kim BS. 2007. Comparison of physiological activities of *Rubus coreanus* Miquel during maturation. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 36: 683-688.
4. Cha HS, Lee MK, Hwang JB, Park MS, Park KM. 2001. Physicochemical characteristics of *Rubus coreanus* Miquel. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 30: 1021-1025.
5. Kwon KH, Cha WS, Kim DC, Shin HJ. 2006. A research and application of active ingredients in Bokbunja (*Rubus coreanus* Miquel). *Korean J Biotechnol Bioeng* 21: 405-409.
6. Choung MG, Lim JD. 2012. Antioxidant, anticancer and immune activation of anthocyanin fraction from *Rubus coreanus* Miquel fruits (Bokbunja). *Korean J Medicinal Crop Sci* 20: 259-269.
7. Ministry of Agriculture Food and Rural Affairs. 2014. 2013 an actual output of crop for a special purpose. <http://ebook.mafra.go.kr/preview/viewer/main.php?site=2&menu=2&previewno=6676&iframe=0&dlbt=> (accessed Feb 2015).
8. Shin JS, Cho EJ, Choi HE, Seo JH, An HJ, Park HJ, Cho YW, Lee KT. 2014. Anti-inflammatory effect of a standardized triterpenoid-rich fraction isolated from *Rubus coreanus* on dextran sodium sulfate-induced acute colitis in mice and LPS-induced macrophages. *J Ethnopharmacol* 2: 219-300.
9. Choe M, Sin GJ, Choe GP, Do JH, Kim JD. 2003. Synergistic effects of extracts from Korean red ginseng, *Saururus chinensis* (Lour.) Baill. and *Rubus coreanus* Miq. on antioxidative activities in rats. *Korean J Medicinal Crop Sci* 11: 148-154.
10. Oh HH. 2007. Chemical characteristics of raspberry and blackberry fruits produced in Korea. *MS Thesis*. Chonbuk National University, Jeonju, Korea.
11. Ku CS, Mun SP. 2008. Characterization of seed oils from fresh Bokbunja (*Rubus coreanus* Miq.) and wine processing waste. *Bioresour Technol* 99: 2852-2856.
12. Hands ES. 1996. Lipid composition of selected foods. In

Bailey's Industrial Oil and Fat Products: Edible Oil and Fat Products. John Wiley & Sons Inc., New York, NY, USA. p 441-505.

13. Hwang JT, Kang HC, Kim TS, Park WJ. 1999. Lipid component and properties of grape seed oils. *Korean J Food & Nutr* 12: 150-155.
14. Beynen AC, Katan MB. 1985. Why do polyunsaturated fatty acids lower serum cholesterol? *Am J Clin Nutr* 42: 560-563.
15. Grundy SM, Ahrens Jr EH. 1970. The effects of unsaturated dietary fats on absorption, excretion, synthesis, and distribution of cholesterol in man. *J Clin Invest* 49: 1135-1152.
16. Spritz N, Ahrens Jr EH, Grundy S. 1965. Sterol balance in man as plasma cholesterol concentrations are altered by exchanges of dietary fats. *J Clin Invest* 44: 1482-1493.
17. Nestel PJ, Havenstein N, Whyte HM, Scott TJ, Cook LJ. 1973. Lowering of plasma cholesterol and enhanced sterol excretion with the consumption of polyunsaturated ruminant fats. *N Engl J Med* 288: 379-382.
18. Field CJ, Angel A, Clandinin MT. 1985. Relationship of diet to the fatty acid composition of human adipose tissue structural and stored lipids. *Am J Clin Nutr* 42: 1206-1220.
19. Kim CO, Kang SA. 2001. Effect of high fat and high carbohydrate diet on serum leptin and lipids concentration in rat. *Korean J Nutr* 34: 123-131.
20. Reeves PG, Nielsen FH, Fahey Jr GC. 1993. AIN-93 purified diets for laboratory rodents: final report of the American Institute of Nutrition ad hoc writing committee on the reformulation of the AIN-76A rodent diet. *J Nutr* 123: 1939-1951.
21. Ryu MH, Sohn HS, Heo YR, Moustaid-Moussa N, Cha YS. 2005. Differential regulation of hepatic gene expression by starvation versus refeeding following a high-sucrose or high-fat diet. *Nutrition* 21: 543-552.
22. Cederblad G, Lindstedt S. 1972. A method for the determination of carnitine in the picomole range. *Clin Chim Acta* 37: 235-243.
23. Sachan DS, Rhew TH, Ruark RA. 1984. Ameliorating effects of carnitine and its precursors on alcohol-induced fatty liver. *Am J Clin Nutr* 39: 738-744.
24. Okado-Matsumoto A, Fridovich I. 2001. Subcellular distribution of superoxide dismutases (SOD) in rat liver: Cu, Zn-SOD in mitochondria. *J Biol Chem* 276: 38388-38393.
25. Park YJ, Park YJ. 1997. Effect of high fat and high cholesterol diet on kidney function. *J Nutr Health* 30: 187-194.
26. Morley JE. 2001. Decreased food intake with aging. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* 56: 81-88.
27. Osborne TB, Mendel LB, Ferry EL. 1917. The effect of retardation of growth upon the breeding period and duration of life of rats. *Science* 23: 294-295.
28. Dodge JA. 1994. Dietary fats and gastrointestinal function. *Eur J Clin Nutr* 48: S8-S16.
29. Kang TS, Lee MY, Beak SH, Jeong HS, Park HJ, Kong YJ, Jung IS. 2005. Effects of oat soluble β -glucan on glucose dialysis retardation and blood glucose in diabetic rats. *Food Engineering Progress* 9: 88-96.
30. Kim ID, Kang KS, Kwon RH, Yang JO, Lee JS, Ha BJ. 2007. The effect of *Rubus coreanus* Miquel against lipopolysaccharide-induced oxidative stress and lipid metabolism. *J Fd Hyg Safety* 22: 213-217.
31. Choi HM. 2004. *Nutrition*. Kyomunsa, Seoul, Korea. p 90-94.
32. Choi MJ, Jo HJ. 2005. Effects of isoflavones supplemented diet on lipid concentrations and hepatic LDL receptor mRNA level in growing female rats. *Korean J Nutr* 35: 344-351.

33. Bieber LL. 1988. Carnitine. *Ann Rev Biochem* 57: 261-283.
34. Bremer J. 1983. Carnitine-metabolism and functions. *Physiol Rev* 63: 1420-1480.
35. Cha YS. 1993. Cellular and enzymatic basis for carnitine-mediated attenuation of ethanol metabolism. *MS Thesis*. Tennessee University, Knoxville, TN, USA.
36. Cha YS, Sohn HS, Daily III JW, Oh SH. 1999. Effects of exercise training and/or high fat diet on lipid metabolism and carnitine concentrations in rats. *Nutr Res* 19: 934-945.
37. Cha YS, Choi SK, Suh H, Lee SN, Cho D, Li K. 2001. Effects of carnitine coingested caffeine on carnitine metabolism and endurance capacity in athletes. *J Nutr Sci Vitaminol (Tokyo)* 47: 378-384.
38. Fantos JC, Ward PA. 1982. Role of oxygen-derived free radicals and metabolites in leukocyte-dependent inflammatory reactions. *Am J Pathol* 107: 397-418.
39. Bergsten P, Amitai G, Kehrl J, Levine M. 1990. Ascorbic acid content of human B and T lymphocytes and monocytes. *Ann NY Acad Sci* 587: 275-277.
40. Ames BN, Shigenaga MK, Hagen TM. 1993. Oxidants, antioxidants, and the degenerative diseases of aging. *Proc Natl Acad Sci USA* 90: 7915-7922.
41. Epe B. 1991. Genotoxicity of singlet oxygen. *Chem Biol Interact* 80: 239-260.
42. Pryor WA, Stone K. 1993. Oxidants in cigarette smoke. Radicals, hydrogen peroxide, peroxynitrate, and peroxynitrite. *Ann NY Acad Sci* 686: 12-27.
43. Ji LL. 1995. Oxidative stress during exercise: implication of antioxidant nutrients. *Free Radic Biol Med* 18: 1079-1086.
44. Gutteridge JMC, Halliwell B. 1994. *Antioxidants in nutrition, health and disease*. Oxford University Press, Oxford, UK. p 143.
45. Pieszka M, Tombarkiewicz B, Roman A, Migdał W, Niedziółka J. 2013. Effect of bioactive substances found in rapeseed, raspberry and strawberry seed oils on blood lipid profile and selected parameters of oxidative status in rats. *Environ Toxicol Pharmacol* 36: 1055-1062.
46. Yoon I, Cho JY, Kuk JH, Wee JH, Jang MY, Ahn TA, Park KH. 2002. Identification and activity of antioxidative compounds from *Rubus coreanum* fruit. *Korean J Food Sci Technol* 34: 898-904.
47. Lee JW, Do JH. 2000. Determination of total phenolic compounds from the fruit of *Rubus coreanum* and antioxidative activity. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 25: 943-947.