

고지방식으로 유도된 비만 쥐에서 토종 보리수의 지질 대사 개선 효과

김예빈¹ · 조묘경² · 정현나³ · 최수임⁴ · 장미란^{1,2,5,*}

¹인제대학교 디지털항노화헬스케어학과, ²인제대학교 식의약생명공학과,
³덕성여자대학교 덕성 글로벌교육 ODA 개발협력센터, ⁴(주)메디오젠 R&D 센터

Effects of autumn olive (*Elaeagnus umbellata* Thunb.) berries on lipid metabolism in high fat diet-induced obese mice

Yebin Kim¹, Myogyong Cho², Hyunna Jung³, Soo-Im Choi⁴, and Miran Jang^{1,2,5,*}

¹Department of Institute of Digital Anti-aging Healthcare, Inje University,

²Department of Smart Food and Drug, Inje University,

³Duksung Global Education ODA Development Cooperation Center, Duksung Women's University,

⁴MEDIOGEN Co., Ltd. R&D center

⁵Department of Food Technology and Nutrition, Inje University

Abstract Autumn olive berries (AOB, *Elaeagnus umbellata* Thunb.) have been reported to show potential anti-obesity properties. Here, we evaluated the fat-reducing effects of AOB in C57BL/6J mice fed a high-fat diet (HFD). Reductions in epididymal fat and liver weight, as well as overall body weight were observed in the AOB-treated group compared with the HFD control. Specifically, observations of epididymal adipose tissues from obese mice showed that the size of lipid droplets was reduced in AOB-treated mice. Additionally, fat degeneration in the liver was observed in the HFD group compared with the normal diet group, but the extent of fat degeneration was reduced by AOB treatment. Furthermore, serum total cholesterol levels were lower in the AOB group than in the HFD control. Overall, this study demonstrated that AOB consumption can result in beneficial anti-obesity effects, including improvements in body weight, adipocyte size and area, and serum cholesterol levels.

Keywords: Autumn olive berries (*Elaeagnus umbellata* Thunb.), high-fat diet (HFD), anti-obesity

서 론

비만의 유병률은 전 세계적으로 증가하는 추세이며 비만의 증가는 인슐린 저항성, 제2형 당뇨병, 비알코올성 지방간 질환, 죽상 경화증 및 특정 암을 포함한 질병의 발병률 증가와 밀접하게 관련이 있다(Geng 등, 2022; Ng 등, 2014). 이러한 비만은 유전적, 대사적, 행동적, 문화적 요인 등 여러 요인에 의해 발생하기 때문에 최근에는 예방을 위한 다양한 식이 조절 상품이 개발되고 있다(Kang 등, 2013; Woods 등, 1998). 합성 의약품인 비만 의약품은 환자들이 가장 우선적으로 선택하는 치료방법이지만 두통, 복통, 어지러움, 수면장애 등과 같은 부작용이 보고되어, 최근에는 비만에 효과적이며 부작용이 없는 천연 유래 식품 소재 개발이 필수적으로 여겨진다(Kang 등, 2013; Kazemipoor 등, 2015; Nazir 등, 2020a). 특히, 천연 유래 식품 소재 중에서 베리류의 열매는 파이트케미컬의 좋은 공급원으로서 다양한 건강상의 이점이 보고되고 있어 더욱 주목할 필요가 있다(Nazir 등,

2020b). 많은 연구에 따르면 플라보노이드가 풍부한 베리 류의 열매를 지속적으로 섭취하면 비만, 제2형 당뇨병, 허혈성 질환, 노화 효과, 파킨슨병 및 알츠하이머병 등의 만성 대사질환을 개선할 수 있다(Olas, 2018; Wilson 등, 2008).

토종보리수(Autumn olive, *Elaeagnus umbellata* Thunb.)는 야생 가시 가지가 있는 관목 중 하나이며 아시아가 원산지인 Elaeagnaceae 계통의 식물이다(Nazir 등, 2020a). 토종보리수의 열매는 9월에서 11월 사이에 식용 가능한 길은 붉은색으로 성숙하며 달콤하고 신맛이 나며 과즙이 많다(Nazir 등, 2020a). 토종보리수의 열매에는 카테킨, 루테인, 갈산, 카페인산, 피토엔, 피토플루엔, β-크립토잔틴, β-카로틴, α-크립토잔틴이 많이 함유되어 있는 것으로 알려져 있다(Pei 등, 2015). 한편, 토종보리수 열매의 지질 대사와 관련된 항비만 효과에 대한 연구보고는 매우 제한적이다. 따라서, 본 연구에서는 고지방식으로 비만이 유도된 쥐에게 토종보리수 열매 추출물을 섭취시켰을 때 지질대사를 개선할 수 있는지 확인해보고자 하였다.

실험 재료 및 방법

토종보리수 추출물 제조

연구에 사용된 토종보리수 열매 추출물은 뉴트리어드바이저(경기도 성남)에서 제공받았다. 토종보리수는 한국 경상도 함천에서 재배되었으며, 성숙한 열매는 수확 후 신선한 상태로 구입하여

*Corresponding author: Miran Jang, Ph.D, Department of Food Technology and Nutrition, Inje University, Gimhae, Gyeongnam 50834, Korea
Tel: +82-55-320-3234
E-mail: mrjang@inje.ac.kr
Received June 26, 2024; revised April 10, 2025;
accepted April 10, 2025

즉시 -20°C 의 진공 상태에서 동결건조기(Ilshin Lab. Co., Yangju, Korea)로 72시간 동안 건조시켰다. 토종보리수 열매 추출물은 물에 용해하여 음용할 수 있는 분말 차의 주요 물질로 사용하기 위해 준비되었기 때문에 유기 용매를 사용하지 않고 100% 증류수(1:10 w/v)로 80°C 에서 환류 추출했다. 그 후, 추출물을 동결건조하여 수분을 완전히 제거한 후 분말로 만들었다. 분말 샘플을 dimethyl sulfoxide (DMSO)에 용해시켜 15 mg/mL 원액을 제조하고, -80°C 에서 보관한 후 실험 직전에 증류수에 적절한 농도로 희석하였다.

실험동물 사육 및 식이

실험동물은 4주령의 수컷 C57BL/6J 마우스 28마리를 라온바이오(Raonbio, Yongin, Korea)에서 공급받아 사용하였다. 정상식이 대조군($n=7$)은 지방이 총 칼로리의 18%에 해당하는 일반 사료를 급여하였고, 정상식이 대조군을 제외한 고지방식이 대조군($n=7$)과 토종보리수 열매 추출물 200, 400 mg/kg (각각 $n=7$) 처리 실험군에는 지방이 총 칼로리의 60%에 해당하는 고지방 사료(No. D12492, Research Diets Inc, New Brunswick, NJ, USA)를 7주간 급여하여 비만을 유도하였다. 실험 환경은 온도 $23\pm 1.0^{\circ}\text{C}$, 습도 $45\pm 5\%$ 로 유지하였고, 조명은 밤낮을 12시간으로 조절하였으며, 식수는 자유롭게 섭취할 수 있도록 하였다. 실험의 전 과정은 덕성여자대학교 동물실험윤리위원회의 승인(2023010020)을 받아 진행되었다.

조직 염색 및 지방세포 크기 측정

조직의 관찰을 위하여 적절한 장기는 중성완충 포르말린(10% NBF)에 고정하였다. 고정이 완료된 장기는 조직표본 제작에 적합한 크기인 약 3 mm의 두께로 삭정하였다. 그 다음 개체번호가 기록된 전용 카세트에 넣어 14시간 전처리 후 embedding을 실시하였다. 약 4 μm 두께로 박절하여 발생된 절편을 슬라이드에 부착하여 건조 후 탈 파라핀, 함수과정을 거쳐 증류수로 세척 후 Hematoxylin & Eosin (H&E) 염색을 실시하였다.

혈액 분석

생화학 검사는 채혈한 혈액 약 1 mL을 SST tube에 넣은 후 혈액을 3,000 rpm으로 10분간 원심분리 하였다. 원심분리 후 얻어진 혈청으로 혈액생화학분석기(7180, Hitachi, Japan)를 이용하여 Table 1에 나타난 항목에 대하여 조사하였다.

통계학적 분석

본 실험의 결과에 대하여 자료의 정규성을 가정하고, 모수적인

다중비교(Parametric multiple comparison procedures)를 이용하여 분석하였다. 모수적 일원분산분석(One-way ANOVA) 결과가 유의한 경우, Dunnett's multiple comparison test를 이용하여 사후검정을 실시하였다. 통계학적 분석은 Prism 8.4.3 (GraphPad Software Inc., San Diego, CA, USA)을 이용하여 실시하여, p 값이 0.05 미만일 경우, 통계학적으로 유의한 것으로 판정하였다.

결과 및 고찰

토종보리수 열매 추출물을 섭취한 비만 쥐의 무게 변화

우리의 실험에서 고지방식이 섭취 쥐는 정상식이 섭취 쥐에 비하여 유의적으로 체중이 증가하여 비만이 유도된 것을 확인할 수 있었으며, 고지방식과 함께 토종 보리수를 섭취한 경우 체중이 유의적으로 감소하는 것이 확인되었다($p<0.05$, Fig. 1A). 쥐의 부고환 지방조직과 간조직의 무게를 측정하였을 때, 체중의 변화와 마찬가지로 고지방식이 쥐에 비해 토종보리수를 섭취한 쥐는 조직의 무게가 감소하는 경향을 보였다(Fig. 1B, 1C). 본 연구팀의 이전 연구에 따르면, 고포도당식으로 비만을 유도한 예쁜꼬마선충에 본 연구에서 사용된 동일한 토종보리수 열매 추출물을 섭취시킨 결과 대조군에 비하여 지질축적 억제 효과를 나타냈다(Kim 등, 2024). 또한, 최근 토종보리수 에탄올 추출물은 고단순당·고지방식이 쥐에서 체중 및 부고환 지방의 무게를 감소시킨다는 결과가 보고되었다(Choi 등, 2024). 이는 토종보리수가 비만을 동반하는 당뇨 식이에 대하여 항비만 효능을 나타내는 것이 확인된 것으로 본 연구의 결과를 뒷받침하는 결과이다. 다만, 식물추출물은 식물의 재배특성과 수확 후 관리 및 추출 시 사용되는 용매에 따라 함유하는 기능성분의 함량과 종류가 달라지며 그 결과 이들의 생리활성에도 영향을 줄 수 있다(Cho 등, 2023; Jang 등, 2020). 따라서 토종보리수의 비만 억제 관련 효능에 대한 더 심도있는 통찰력 제공을 위해서는 토종보리수의 전처리 조건에 따른 기능성분의 정성 및 정량 분석이 추가적으로 수행될 필요가 있다.

토종보리수 열매 추출물을 섭취한 비만 쥐의 지방조직의 변화

H&E 염색을 진행한 쥐의 부고환 지방조직을 관찰한 결과, 체중변화와 마찬가지로 일반식이군 대비 고지방식이 섭취군의 지방구 길이와 면적이 통계적으로 유의하게 증가한 것이 확인되어, 고지방식으로 인한 비만이 유도된 것을 확인할 수 있었다($p<0.001$, Fig. 2A). 또한, 고지방식이 쥐에 비해 토종보리수를 처리한 쥐에서 지방구의 길이 및 면적이 감소한 것을 확인할 수 있었다($p<0.001$, Fig. 2B, 2C). 특히 부고환 지방조직 내 지방구의 크기

Table 1. Blood analysis category and units, and methods

Category	Unit	Methods
Alanine aminotransferase (ALT)	U/L	IFCC
Aspartate aminotransferase (AST)	U/L	IFCC
Total cholesterol (T-Chol)	mg/dL	CHD-POD method
Triglycerides (TG)	mg/dL	GPO-HMMPS
Glucose (Glu)	mg/dL	GOD-POD method
Blood urea nitrogen (BUN)	mg/dL	Urease-GLDH
Creatinine (Crea)	mg/dL	Modified Jaffe
High density lipoprotein cholesterol (HDL-C)	mg/dL	Direct method
Low density lipoprotein cholesterol (LDL-C)	mg/dL	Direct method

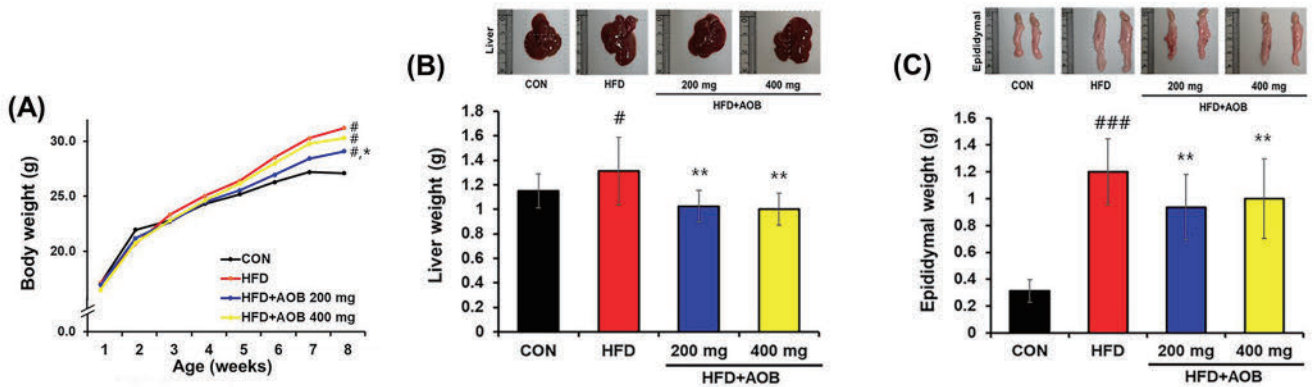


Fig. 1. Effect of autumn olive berries (AOB) on (A) body weight, (B) liver weight, and (C) epididymal weight in HFD-induced obese mice. ND: normal diet and HFD: high-fat diet. #: significant difference compared to ND ($p < 0.05$), ###: significant difference compared to ND ($p < 0.001$), *: significant difference compared to HFD ($p < 0.05$) and **: significant difference compared to HFD ($p < 0.01$).

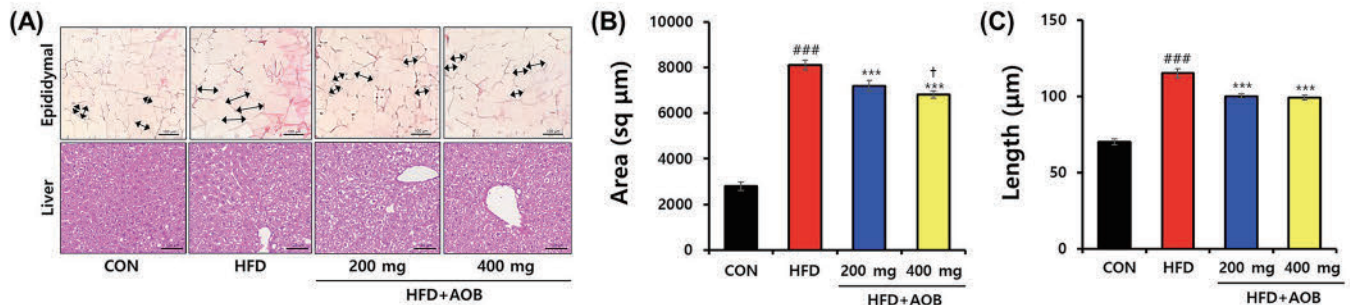


Fig. 2. Effect of autumn olive berries (AOB) on histological change of liver and epididymal adipose tissue in HFD-induced obese mice. (A) liver and epididymal tissues, (B) adipocyte area, (C) adipocyte length. ND: normal diet and HFD: high-fat diet. ###: significant difference compared to ND ($p < 0.001$), ***: significant difference compared to HFD ($p < 0.001$), †: significant difference compared to 200 mg ($p < 0.05$).

는 토종보리수 추출물에 농도의존적으로 감소하였다($p < 0.05$). 부고환 지방조직은 비만의 지표로서 섭취 칼로리가 사용하는 에너지보다 클 때 잉여 대사 에너지를 지질로 저장하도록 확장하며, 섭취 칼로리가 적을 때 저장된 지방에서 지방산으로 분해된 후 방출하여 다른 조직의 대사 요구를 지원한다. 따라서 부고환 지방조직의 감소는 비만이 개선되었음을 의미한다(Adamcova 등, 2018; Sárvari 등, 2021). 다음으로 간 조직을 관찰했을 때, 육안으로 식별할 수 있는 지방구의 형성이 확인되지 않았다. 간 내 지방구 형성에 대한 정확한 식별을 위하여 간조직에 oil red O 염색을 실시하여 붉게 염색된 지방구를 관찰하는 등의 추가적 분석이 필요하다.

비만 쥐의 간기능에 대한 토종보리수 열매 추출물의 효과

알라닌 아미노기전이효소(Alanine aminotransferase, ALT)는 주로 간세포 내에 존재하는 효소로, 간세포의 이상이 발생할 경우 혈액 속으로 유출되어 간세포 괴사 정도를 예측하는 검사이다(Liu 등, 2014). 따라서 간에 이상이 있을 경우 ALT 수치가 증가하게 되며 약물복용이나 비만 등에서도 수치가 상승할 수 있다(Liu 등, 2014). 또한 아스파르트산 아미노기전이효소(Aspartate aminotransferase, AST)도 ALT와 마찬가지로 주로 간세포 내에 존재하는 효소로, 간세포의 이상이 발생할 경우 혈액 속으로 유출되어 간세포 괴사 정도를 알 수 있는 검사이다(Jalili 등, 2022). 본 연구의 실험결과 모든 실험군에서 ALT와 AST 값은 유의적으로 차이가 없었다(Fig. 3A, 3B, $p > 0.05$). 이런 결과는 토종보리

수가 간 독성을 유발하지 않고 체지방 개선에 도움을 주는 소재임을 의미할 수 있다.

비만 쥐의 신장기능에 대한 토종보리수 열매 추출물의 효과

혈중요소질소(Blood Urea Nitrogen, BUN)는 혈액 중의 요소에 함유된 질소이며 단백질의 주요 최종분해산물로서 혈중요소질소 값이 증가하면 신기능장애, 그 값이 감소하면 중증간질환을 의심할 수 있는 지표로 사용된다(Xie 등, 2018). 혈중요소질소 값의 측정 결과, 일반식이군, 고지방식이군 및 토종보리수 섭취군을 비교했을 때 통계적으로 차이가 없었다(Fig. 4A).

크레아티닌(Creatinine, Crea)은 혈중요소질소보다 신질환에 더 특이적이므로 신장 기능의 평가를 위한 기초 검사 지표로 사용된다. 크레아티닌 값이 감소하는 것은 특별한 임상적 의의가 없지만, 크레아티닌 값이 증가하면 신기능장애, 근질환 등을 의심할 수 있는 지표로 사용된다(Kashani 등, 2020). 본 연구에서 크레아티닌의 측정 결과, 혈중요소질소 수치와 마찬가지로 모든 실험군에서 통계적인 차이가 확인되지 않았다(Fig. 4B). 이러한 결과는 본 연구에 사용된 고지방식이나 토종보리수가 신기능장애를 유발하지 않는 것을 의미한다.

비만 쥐의 혈청 내 지질대사 관련 인자에 대한 토종보리수 열매 추출물의 효과

중성지방(Triglyceride, TG)은, 비만의 지표로 활용된다(Alves-Bezerra와 Cohen, 2017). 본 연구에서 처치한 고지방식이 및 처치

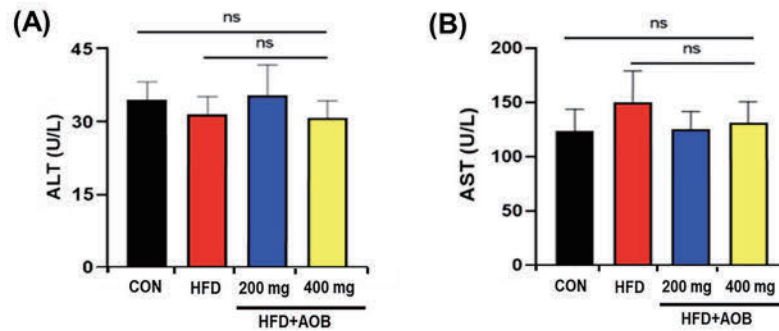


Fig. 3. Effect of autumn olive berries (AOB) on liver toxicity. (A) ALT (Alanine aminotransferase) and (B) AST (Aspartate aminotransferase). ND: normal diet and HFD: high-fat diet. ns: not significant ($p>0.05$).

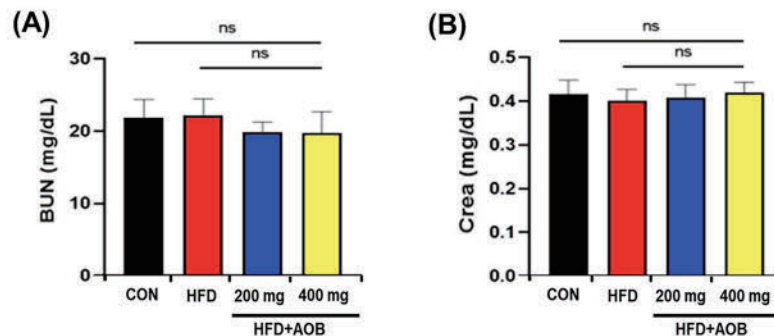


Fig. 4. Effect of autumn olive berries (AOB) on renal dysfunction. (A) BUN (Blood urea nitrogen) and (B) Crea (Creatinine). ND: normal diet and HFD: high-fat diet. ns: not significant ($p>0.05$).

기간은 혈중 중성지방의 값을 유의미하게 증가시키지 않았으며, 토종보리수 처리군에서도 대조군에 비하여 통계적인 차이가 없었다(Fig. 5A). 식이 처치 기간을 연장할 경우 처리군 간의 차이를 효과적으로 검증할 수 있을 것으로 사료되어 향후 추가 연구가 필요할 것으로 판단된다.

총 콜레스테롤(Total cholesterol, T-Chol)은 고지혈증 진단의 선별 검사이며, 동맥경화 및 전반적인 영양상태를 반영하여 나타내는 값이다(Peters 등, 2016). 비만인 경우 고지혈증을 동반하는 경우가 많기 때문에 총 콜레스테롤은 비만을 확인하는 지표가 되기도 한다. 총 콜레스테롤의 측정 결과, 고지방식이군은 일반식이군 보다 높은 수치를 보이며($p<0.001$), 토종보리수 투여에 의해 총 콜레스테롤을 값이 감소하는 것이 확인되었다($p<0.05$, Fig. 5B).

고밀도 지단백질(High density lipoprotein, HDL)과 저밀도 지단백질(Low density lipoprotein, LDL)은 비만 및 동맥경화와 관련이 있고 여러 고지혈증을 판단할 수 있는 측정값이다(Ansell 등, 2005; Steinberg, 1997). 고밀도 지단백질의 수치는 일반식이군에 비하여 고지방식이군에서 유의적으로 증가하였으나($p<0.001$), 토종보리수 섭취군에서 그 수치가 감소하는 것이 확인되었다($p<0.01$). 그러나 저밀도 지단백질에서는 모든 실험군에서 유의적 차이가 나타나지 않았다(Fig. 5C, 5D).

혈당(Glucose, GLU)은 당뇨의 진단에 지표가 되며(Bano, 2013), 혈당 수치는 당뇨 외에도 비만, 이상지질혈증 등과 같은 질병과 밀접한 관계가 있다고 보고된다(Boles 등, 2017). 혈당 수치는 랭게르한스섬에서 베타 세포의 세포사멸을 유발할 뿐만 아니라 산화된 LDL의 축적 정도를 결정한다(Wang 등, 2022). 또한 혈당 수치는 TG 및 LDL-C 수치와 상승된 TG/HDL-C 및 LDL-C/HDL-C 비율과 긍정적인 연관이 있다(Wang 등, 2022). 그러나 본

연구에서 혈당의 측정 결과, 일반 식이군에 비해 고지방식이군의 혈당이 증가하였으나 토종보리수 섭취에 의한 감소효과는 나타나지 않았다(Fig. 5E).

본 연구에서는 토종보리수가 체지방 축적에 미치는 영향을 8주 동안의 식이 관리 후 관찰하였다. 본 연구팀은 토종보리수의 산업적 활용을 용이하게 하기 위해 열수 추출 방식을 사용하였으며, 이를 통해 토종보리수 열수 추출물의 생리활성을 평가한 최초의 연구를 수행하였다. 연구 결과, 토종보리수 열수 추출물은 체지방 축적을 개선하는 효과를 보여, 비만 예방을 위한 기능성 식품 소재로서의 가능성을 제시한다.

비만은 지방의 합성과 분해 사이의 불균형에서 발생한다. 기존의 항비만 기능성 소재들은 지방 합성을 억제하거나 축적된 지방을 분해하는 역할을 하며, 그 효능은 각 소재에 포함된 기능성 성분에 따라 달라질 수 있다(Jang과 Choi, 2022). 따라서 토종보리수를 기능성 식품 소재로 활용하기 위해서는 체지방 축적 억제와 관련된 작용 기전에 대한 추가적인 연구가 필요하다.

요 약

본 연구는 비만 쥐에게 토종보리수를 섭취시킨 후 항비만 효과를 평가하였다. 쥐의 체중 및 장기 무게 측정 평가에서 쥐의 체중과 부고환 지방 및 간 조직 모두 고지방식이 대조군에 비해 토종보리수를 함께 섭취시킨 쥐에서 그 무게가 감소하는 것을 확인하였다. 쥐의 지방세포 및 간조직의 단면을 관찰한 결과, 고지방식이군의 부고환 지방조직에 비해 토종보리수 섭취군에서 지방세포 크기가 감소하였다. 또한 간 조직에서는 고지방식이군에서 나타난 지방 변성이 토종보리수 섭취에 의해 감소되는 것이

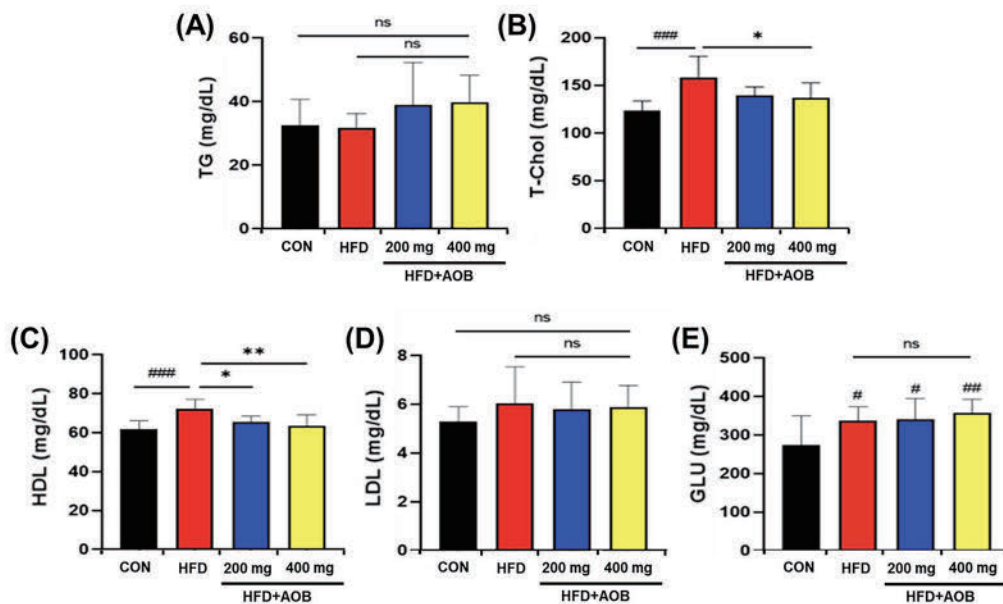


Fig. 5. Effect of autumn olive berries (AOB) on serum biochemical indicators in HFD-induced obese mice. (A) TG (Triglyceride), (B) T-Chol (Total cholesterol), (C) HDL (High-density lipoprotein), (D) LDL (Low-density lipoprotein), and (E) GLU (Glucose). #: significant difference compared to ND ($p < 0.05$), ##: significant difference compared to ND ($p < 0.01$), ###: significant difference compared to ND ($p < 0.001$), *: significant difference compared to HFD ($p < 0.05$), **: significant difference compared to HFD ($p < 0.01$), and ns: not significant ($p > 0.05$).

확인되었다. 또한 고지방식이에 의해 증가된 혈청 총 콜레스테롤과 고밀도 지단백 콜레스테롤은 토종보리수 섭취군에서 유의적으로 낮아지는 것이 확인되었다. 본 연구를 통하여 토종보리수의 섭취는 체중 및 지방조직 무게 감소와 더불어 혈중 지질대사 관련 인자들을 조절하는 비만 개선에 긍정적인 효과를 나타내는 것이 확인되었다.

References

Adamcova K, Horakova O, Bardova K, Janovska P, Brezinova M, Kuda O, Rossmeisl M, Kopecky J. Reduced number of adipose lineage and endothelial cells in epididymal fat in response to omega-3 PUFA in mice fed high-fat diet. *Mar. Drugs*. 16: 515 (2018)

Alves-Bezerra M, Cohen DE. Triglyceride metabolism in the liver. *Compr. Physiol*. 8: 1 (2017)

Ansell BJ, Watson KE, Fogelman AM, Navab M, Fonarow GC. High-density lipoprotein function: recent advances. *J. Am. Coll. Cardiol*. 46: 1792-1798 (2005)

Bano G. Glucose homeostasis, obesity and diabetes. *Best Pract. Res. Clin. Obstet. Gynaecol*. 27: 715-726 (2013)

Boles A, Kandimalla R, Reddy PH. Dynamics of diabetes and obesity: Epidemiological perspective. *Biochim. Biophys. Acta-Mol. Basis Dis*. 1863: 1026-1036 (2017)

Cho M, Kim Y, You S, Hwang DY and Jang M. Chlorogenic acid of *Cirsium japonicum* resists oxidative stress caused by aging and prolongs healthspan via SKN-1/Nrf2 and DAF-16/FOXO in *Caenorhabditis elegans*. *Metabolites*. 13: 224 (2023)

Choi HN, Jo AJ, Kim HN, Kim JI. Effects of autumn olive berry on insulin resistance and hyperglycemia in mice fed a high-fat, high-sucrose diet. *J. Nutr. Health*. 57: 6-26 (2024)

Geng J, Ni Q, Sun W, Li L, Feng X. The links between gut microbiota and obesity and obesity related diseases. *Biomed. Pharmacother*. 147: 112678 (2022)

Jalili V, Poorahmadi Z, Hasanpour Ardekanizadeh N, Gholamalizadeh M, Ajami M, Houshiarad A, Hajipour A, Shafie F, Alizadeh A, Mokhtari Z, Shafaei H, Esmaeili M, Doaei S. The association

between obesity with serum levels of liver enzymes, alanine aminotransferase, aspartate aminotransferase, alkaline phosphatase and gamma-glutamyl transferase in adult women. *Endocrinology, Diabetes Metab*. 5: e367 (2022)

Jang M, Choi SI. Schisandrin C isolated from *Schisandra chinensis* fruits inhibits lipid accumulation by regulating adipogenesis and lipolysis through AMPK signaling in 3T3-L1 adipocytes. *J. Food Biochem*. 46: e14454 (2022)

Jang M, Kim KH and Kim GH. Antioxidant capacity of thistle (*Cirsium japonicum*) in various drying methods and their protection effect on neuronal PC12 cells and *Caenorhabditis elegans*. *Antioxidants* 9: 200 (2020)

Kang J-H, Yun S-I, Park M-H, Park J-H, Jeong S-Y, Park H-O. Anti-obesity effect of *Lactobacillus gasseri* BNR17 in high-sucrose diet-induced obese mice. *PloS one*. 8: e54617 (2013)

Kashani K, Rosner MH, Ostermann M. Creatinine: from physiology to clinical application. *Eur. J. Intern. Med*. 72: 9-14 (2020)

Kazemipoor M, Cordell GA, Sarker MMR, Radzi CwJBWM, Hajifaraji M, En Kiat P. Alternative treatments for weight loss: Safety/risks and effectiveness of anti-obesity medicinal plants. *Int. J. Food Prop*. 18: 1942-1963 (2015)

Kim Y, Nam S, Lim J and Jang M. Autumn olive (*Elaeagnus umbellata* Thunb.) berries improve lipid metabolism and delay aging in middle-aged *Caenorhabditis elegans*. *Int. J. Mol. Sci*. 2024: 3418 (2024)

Liu Z, Que S, Xu J, Peng T. Alanine aminotransferase-old biomarker and new concept: a review. *Int. J. Med. Sci*. 11: 925-935 (2014)

Nazir N, Zahoor M, Nisar M. A review on traditional uses and pharmacological importance of genus *Elaeagnus* species. *The Botanical Review*. 86:247-280 (2020a)

Nazir N, Zahoor M, Ullah R, Ezzeldin E, Mostafa GA. Curative effect of catechin isolated from *Elaeagnus umbellata* Thunb. berries for diabetes and related complications in streptozotocin-induced diabetic rats model. *Molecules* 26: 137 (2020b).

Ng M, Fleming T, Robinson M, Thomson B, Graetz N, Margono C, et al. Global, regional, and national prevalence of overweight and obesity in children and adults during 1980–2013: A systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2013. *The Lancet*. 384: 766-781 (2014)

Olas B. Berry phenolic antioxidants—implications for human health?

- Front. Pharmacol. 9:320038 (2018)
- Pei R, Yu M, Bruno R, Bolling BW. Phenolic and tocopherol content of autumn olive (*Elaeagnus umbellata*) berries. J. Funct. Food. 16: 305-314 (2015)
- Peters SA, Singhateh Y, Mackay D, Huxley RR, Woodward M. Total cholesterol as a risk factor for coronary heart disease and stroke in women compared with men: A systematic review and meta-analysis. Atherosclerosis. 248: 123-131 (2016)
- Sárvári AK, Van Hauwaert EL, Markussen LK, Gammelmark E, Marcher A-B, Ebbesen MF, Nielsen R, Brewer JR, Madsen JGS, Mandrup S. Plasticity of epididymal adipose tissue in response to diet-induced obesity at single-nucleus resolution. Cell Metab. 33: 437-453.E5 (2021)
- Steinberg D. Low density lipoprotein oxidation and its pathobiological significance. J. Biol. Chem. 272: 20963-20966 (1997)
- Wang L, Yan N, Zhang M, Pan R, Dang Y, Niu Y. The association between blood glucose levels and lipids or lipid ratios in type 2 diabetes patients: A cross-sectional study. Front. Endocrinol. 13: 969080 (2022)
- Wilson T, Singh AP, Vorsa N, Goettl CD, Kittleson KM, Roe CM, Kastello GM, Ragsdale FR. Human glycemic response and phenolic content of unsweetened cranberry juice. J. Med. Food. 11: 46-54 (2008)
- Woods SC, Seeley RJ, Porte Jr D, Schwartz MW. Signals that regulate food intake and energy homeostasis. Science. 280: 1378-1383 (1998)
- Xie Y, Bowe B, Li T, Xian H, Yan Y, Al-Aly Z. Higher blood urea nitrogen is associated with increased risk of incident diabetes mellitus. Kidney Int. 93: 741-752 (2018)