

초고압 기술을 이용하여 제조된 3종의 해조 추출물이 고지방식이 급여된 마우스의 항비만 활성에 미치는 영향

양재훈 · 이인아¹ · 이나영*

국립군산대학교 식품생명공학과, ¹국립군산대학교 화학과

Effect of Three Seaweed Extracts Prepared Using High Hydrostatic Pressure on Anti-Obesity Activity in Mice Fed a High-Fat Diet

Jae Hun Yang, In-Ah Lee¹ and Na-Young Lee*

Department of Food Science and Biotechnology, Kunsan National University, Gunsan 54150, Republic of Korea

¹Department of Chemistry, Kunsan National University, Gunsan 54150, Republic of Korea

We examined the effects of three seaweed extracts prepared using high hydrostatic pressure (HHP) extraction on anti-obesity activity in mice fed a high-fat diet. The extraction yields of LH (laver extract produced by HHP processes), SCH (sea cabbage extract produced by HHP processes) and SMH (sea mustard extract produced by HHP processes) from HHP treatment were 11.32%, 28.61%, and 12.05%, respectively, with desalinated sea cabbage exhibiting the highest extraction efficiency. The body weights of mice fed a high-fat diet supplemented with seaweed extracts were monitored, and after 5 weeks, the body weight of the SMH group was 18.95 g. The triglyceride levels in the SCH and SMH groups were 106.55 and 100.40 mg/dL respectively, while the SCC group showed the highest triglyceride and high-density lipoprotein cholesterol levels. The LH group had the lowest levels of low-density lipoprotein cholesterol levels among the extract-treated groups. The glucose levels in the SCC and SMH groups were 155.81 and 263.56 mg/dL, respectively. Histological differences were observed in the liver and adipose tissues of mice fed a high-fat diet supplemented with seaweed extracts compared with those of mice fed only a high-fat diet.

Keywords: Anti-obesity activity, High-fat diet, High hydrostatic pressure, Non-thermal processing, Seaweed extracts

서론

비만은 체내 지방의 과도한 축적으로 인한 대사 장애를 말하며, 동맥경화증, 제2형 당뇨병, 이상지질혈증, 심혈관 질환 등과 같은 질병 유발요인으로 작용한다(Jobu et al., 2013; Lavie et al., 2014; Longo et al., 2019; Kim et al., 2023; Ma et al., 2024). 또한, 고지방식은 고지혈증 및 심혈관질환과 같은 만성질환으로 이어질 수 있다(Wang et al., 2024). 해양에서 생산되는 조류는 광합성 생물로서 크게 미세조류(microalgae)와 거대조류(macroalgae)로 나뉜다(Plaza et al., 2008). 해조류는 색소 성분에 따라 홍조류, 갈조류, 녹조류로 분류하며 해조류의 영양소는 해조류의 품종, 성장 및 환경 조건 등에 따라 달라진다(Santhoshkumar et al., 2023). 해조류는 주로 식용자원으로 이

용되어 왔으며 국내의 경우 건제품과 염장 제품이 가장 큰 비중을 차지한다(Do et al., 1994). 또한, 해조류는 약용, 사료, 식품첨가물 등으로도 이용되고 있다(Lee et al., 2010; Lange et al., 2015). 우리나라의 주요 식용 해조류의 생산은 양식에 의한 생산이 높은 비중을 차지한다(Park et al., 2007). 해조류의 국내 생산량은 2010년도에 약 91만톤, 2015년도에는 약 121만톤, 2022년도에는 약 173만톤이 생산되어(KREI, 2023), 그 생산량은 증가하고 있는 추세를 보이고 있다. 해조류에는 다당류, 식이섬유, 단백질, 미네랄, 불포화 지방산 및 생리활성 물질 등과 같은 다양한 성분이 함유되어 있는 것으로 보고되고 있다(Kim et al., 1995; Gupta and Abu-Ghannam, 2011; Mohamed et al., 2012; Lange et al., 2015; Ganesan et al., 2019; Huang et al., 2022; Matos et al., 2024). 초고압(high hydrostatic pressure)은 식품

*Corresponding author: Tel: +82. 63. 469. 1826 Fax: +82. 63. 469. 7448

E-mail address: nylee@kunsan.ac.kr



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

<https://doi.org/10.5657/KFAS.2025.0026>

Korean J Fish Aquat Sci 58(1), 26-32, February 2025

Received 30 November 2024; Revised 19 December 2024; Accepted 27 January 2025

저자 직위: 양재훈(대학원생), 이인아(교수), 이나영(교수)

의 가공 기술 중 물리적으로 처리되는 비열 가공(non-thermal processing)기술로서, 보통 100–1,000 MPa 압력의 범위를 말한다(Han and Jeong, 2005; Park et al., 2010; Zhang et al., 2023). 초고압의 압력은 식품에서 미생물의 불활성화(Agregán et al., 2021), 단백질 변성(Hong et al., 2007; Park et al., 2010), 추출(Corrales et al., 2008; Teles et al., 2021), 물성의 변화(Liu et al., 2016) 등의 효과를 나타낸다. 또한, 초고압의 식품 적용은 식품의 색과 향미, 영양성분 등의 식품 품질에 미치는 영향이 적다(Koo et al., 2007; Lee, 2013; Liu et al., 2023; Zhang et al., 2023).

본 연구에서는 비가열 기술 적용을 통한 해조류의 기능소재 활용 가능성을 확인하기 위해 3종의 해조류에 초고압 기술을 이용하여 제조된 해조 추출물이 고지방식이 급여 마우스의 항비만 활성에 미치는 영향에 대해 알아보하고자 한다.

재료 및 방법

초고압 처리에 의한 해조 추출물 제조

본 연구에 사용된 건조 해조류는 2018–2019년도에 구입하였으며, 김은 군산시수협(Gunsan, Korea)에서 구입하여 사용하였고, 다시마(*Saccharina japonica*)와 미역(*Undaria pinnatifida*)은 흑산도어촌수산(Shinan, Korea)에서 구입하여 사용하였다. 해조 추출물 제조를 위해 김, 다시마 및 미역은 분쇄기(Hmf-3800ss; Hanil Co., Sejong, Korea)로 분쇄하여 사용하였다. 제염은 시료를 10 cm로 일정하게 잘라 흐르는 물을 이용하여 세척한 후 3분간 물에 침지 시켜 염을 제거한 후 12시간 탈수하여 50°C convection oven (Daihan Labtech Co., Namyanju, Korea)에서 수분함량이 10% 이하가 될 때까지 건조하였다. 해조류의 초고압처리를 위해 예비실험을 통해 시료와 용매의 비율을 설정하였다. 해조류에 70% 에탄올(해조류:70% ethanol=1:1.66)을 첨가하여 진공포장 하였으며, 초고압 처리는 등방정수압성형기(ISA-CIP-S30-200; Ilshin Autoclave Co., Daejeon, Korea)를 이용하여 24°C에서 3,000 kg/cm²의 압력을 30분 동안 적용하였다. 초고압 처리된 시료는 시료량의 40배의 70% ethanol을 가하여 72시간 동안 상온에서 추출하였다. 추출물은 여과지(Toyo Roshi Kaisha, Tokyo, Japan)를 사용하여 여과하고 회전 증발 농축기(R-300; Buchi, Flawil, Switzerland)로 농축한 후 진공동결건조기(OPR-FDU-5006; Operon, Gimpo, Korea)로 동결건조하였다. 해조 추출물은 김추출물(laver extract, LC), 초고압을 이용하여 제조된 김추출물(laver extract produced by HHP processes, LH), 다시마추출물(sea cabbage extract, SCC), 초고압을 이용하여 제조된 다시마추출물(sea cabbage extract produced by HHP processes, SCH), 미역추출물(sea mustard extract, SMC), 초고압을 이용하여 제조된 미역추출물(sea mustard extract produced by HHP processes, SMH)로 제조하였으며, 제조된 시료는 분말 형태로 분쇄하

여 -18°C에서 냉동 보관하였다. 해조류 추출물의 추출 수율(%)은 고형물 함량/시료 무게 × 100으로 하여 산출하였다.

실험동물 및 식이

실험동물은 5주령 C57BL/6 수컷 마우스를 중앙실험동물(주)(Central Lab. Animal Inc., Seoul, Korea)에서 구입하였고, 사육환경은 온도 22 ± 2°C, 상대습도 50 ± 10% 조건에서 12시간 간격의 낮-밤 주기환경에서 사육하였다. 마우스는 반입 후 기본식이 및 환경 적응 후 실험에 사용되었다.

실험군은 일반食이를 섭취한 정상식이군(normal diet, ND), 고지방식이군(high fat diet, HFD) 및 고지방식이에 추출물이 급여된 해조 추출물 식이군으로 분류하여 진행하다. 고지방 식이는 45% kcal high fat diet (D12451; Research Diets Inc., New Brunswick, NJ, USA)를 이용하였으며, 그룹당 5마리씩 6주 동안 실시하였다. 해조 추출물 식이군은 고지방식이에 LC, LH, SCC, SCH, SMC 및 SMH 추출물 200 µL (1 mg/mL)를 매일 경구투여 하였고, 물과 식이는 자유롭게 공급하였다. 체중 변화는 6주 동안 매일 일정한 시간에 측정하였다. 혈액 및 조직 분석을 위해 식이 급여 6주 후 포르말린을 이용하여 마취 후 혈액을 채취한 후 간 및 복부지방을 분리하였다. 혈액은 원심분리(10,000 rpm, 10분)를 하여 혈청을 분리하였으며, 혈청 및 장기는 -80°C 냉동고에 보관하였다. 본 연구는 동물실험윤리위원회의 규정을 준수하였으며, 군산대학교 동물실험윤리위원회의 승인(2020-05)을 받아 수행되었다.

혈청 지질, 혈당 및 조직학적 분석

혈청 중 triglyceride, total cholesterol, HDL-cholesterol 및 glucose 함량은 분석 키트(Asan Pharm. Co., Seoul, Korea)를 이용하여 분석하였다. Triglyceride는 효소 시약 3 mL에 혈청 0.02 mL를 분주하고 혼합하여 37°C에서 10분간 반응한 후 550 nm에서 흡광도를 측정하였다.

Total cholesterol 및 glucose 함량 분석은 혈청 0.02 mL에 각각의 효소 시약 3.0 mL를 가하여 혼합하고 37°C에서 5분간 반응한 후 492 nm에서 흡광도를 측정하였다. HDL-cholesterol은 혈청과 분리 시액을 혼합하여 10분간 실온에서 반응하고 원심분리(3,000 rpm, 10 min)한 후 분리한 상층액 0.1 mL에 효소 시약과 혼합하여 37°C에서 5분간 반응하여 492 nm에서 흡광도를 측정하여 분석하였다. LDL-cholesterol은 계산식에 의해 계산하였다.

간 및 지방 조직의 분석은 조직 일부를 각각 절단하여 10% 포르말린 용액에 고정 후 파라핀으로 포매하여 절편한 다음 유리 현미경 슬라이드에 장착한 후 절편을 Hematoxylin & Eosin (H&E)으로 염색하였다. 염색된 조직은 광학현미경(BX53F2; Evident Co., Nagano, Japan)을 이용하여 분석하였다.

통계분석

실험 결과는 평균 및 표준편차로 나타내었다. 분석한 결과에

대한 통계적인 유의성 검정은 SPSS Statistics 29 package program (IBM Corp., Armonk, NY, USA)를 이용하여 분산분석(ANOVA)을 한 후 Duncan's multiple range test로 유의수준 5% 이내($P < 0.05$)에서 유의적 차이를 분석하였다.

결과 및 고찰

해조류 추출물의 추출 수율

본 연구에서는 초고압 기술을 이용하여 제조된 해조 추출물이 고지방식이 급여된 마우스의 항비만 활성에 미치는 영향을 확인하기 위해 3종의 해조 추출물을 제조하고 추출 수율을 분석하였다. 해조 추출물의 추출 수율을 분석한 결과 LC, SCC 및 SMC의 추출 수율은 각각 11.16%, 27.23% 및 12.32%를 나타내었고, 초고압을 이용하여 제조된 LH, SCH 및 SMH의 추출 수율은 각각 11.32, 28.61 및 12.05%로 확인되었다. Kim et al. (2011)은 방사선조사를 이용하여 미역귀로부터 조다당을 추출한 결과 선량 의존적으로 추출 수율이 증가하였다고 보고하였다. Na et al. (2014)은 해조류의 추출 방법별 수율의 경우 아임계추출, 열수추출, 용매추출 순으로 수율이 높았다고 보고하였다. Kwon and Youn (2015)은 톱으로부터 조다당 추출시 초고압, 가압가열과 열수방법을 이용한 결과 초고압 이용 시 조다당의 추출 수율이 높게 나타났다고 보고하였다. 본 연구에서는 다시마를 이용하여 제조된 추출물이 높은 추출 수율을 나타내었으며, 초고압을 이용하여 해조 추출물을 제조 시 해조류에 따라 추출 수율의 차이를 보이는 것으로 확인되었다.

체중 및 혈중 지질성분 변화

초고압을 이용하여 제조된 해조 추출물 급여에 따른 고지방식이 마우스의 체중 변화 및 혈중 중성지방, 총콜레스테롤, HDL-

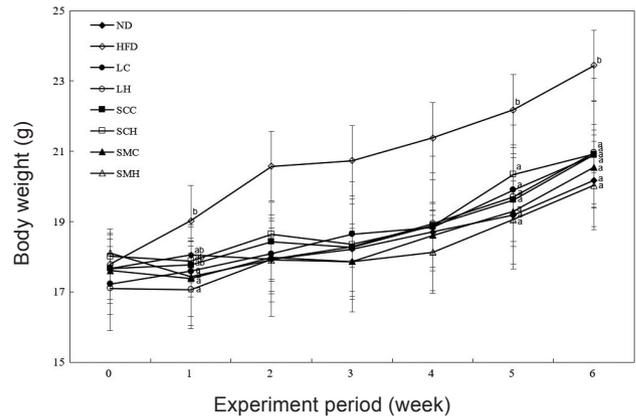


Fig. 1. Weight changes in mice fed a high-fat diet supplemented with seaweed extracts prepared by HHP treatment. HHP, High hydrostatic pressure; ND, Group fed a normal diet; HFD, Group fed a high fat diet; LC, Group fed a high-fat diet supplemented with laver extract; LH, Group fed a high-fat diet supplemented with laver extract produced by HHP processes; SCC, Group fed a high-fat diet supplemented with sea cabbage extract; SCH, Group fed a high-fat diet supplemented with sea cabbage extract produced by HHP processes; SMC, Group fed a high-fat diet supplemented with sea mustard extract; SMH, Group fed a high-fat diet supplemented with sea mustard extract produced by HHP processes. ^{a-b}Different letters indicate a significantly different by Duncan's multiple range test ($P < 0.05$).

콜레스테롤 및 LDL-콜레스테롤 함량을 분석한 결과는 Fig. 1 및 Table 1과 같다. 마우스의 체중변화를 확인한 결과 ND 및 HFD 식이군의 경우 초기 평균 몸무게는 각각 17.67 및 17.79 g으로 확인되었으며, 5주 후에는 각각 19.12 및 22.19 g으로

Table 1. Changes in serum lipid composition of mice fed a high-fat diet supplemented with seaweed extracts prepared by HHP treatment

Samples	Triglyceride (mg/dL)	Total cholesterol (mg/dL)	HDL-cholesterol (mg/dL)	LDL-cholesterol (mg/dL)
ND	114.88±10.253 ^{abc1}	118.77±25.07 ^a	39.48±13.34 ^a	56.31±13.03 ^a
HFD	126.19±11.48 ^{abc}	183.70±19.47 ^c	68.79±7.50 ^{bc}	89.67±19.88 ^c
LC	130.75±23.45 ^{bc}	161.51±19.17 ^{bc}	59.05±7.64 ^b	76.30±13.39 ^{bc}
LH	119.44±42.56 ^{abc}	152.67±35.31 ^b	60.52±13.63 ^{bc}	68.27±24.24 ^{ab}
SCC	136.51±18.41 ^c	174.86±14.26 ^{bc}	70.17±6.10 ^c	77.39±10.92 ^{bc}
SCH	106.55±29.86 ^{ab}	164.38±19.88 ^{bc}	67.76±4.44 ^{bc}	75.32±31.29 ^{bc}
SMC	104.56±27.77 ^{ab}	154.93±26.02 ^b	62.59±11.14 ^{bc}	71.43±11.55 ^{abc}
SMH	100.40±22.30 ^a	160.68±12.10 ^{bc}	62.41±5.64 ^{bc}	78.19±9.47 ^{bc}

^{1a-c}means in a same column by different letters are significantly different by Duncan's multiple range test ($P < 0.05$). HHP, High hydrostatic pressure; ND, Group fed a normal diet; HFD, Group fed a high fat diet; LC, Group fed a high-fat diet supplemented with laver extract; LH, Group fed a high-fat diet supplemented with laver extract produced by HHP processes; SCC, Group fed a high-fat diet supplemented with sea cabbage extract; SCH, Group fed a high-fat diet supplemented with sea cabbage extract produced by HHP processes; SMC, Group fed a high-fat diet supplemented with sea mustard extract; SMH, Group fed a high-fat diet supplemented with sea mustard extract produced by HHP processes.

나타났다. 해조 추출물 LC 및 LH 식이군의 경우 3주 후 각각 18.81 및 17.94 g을 나타냈으며, SCC 및 SCH 식이군의 경우 각각 18.59 및 18.83 g을 나타내었다. 또한, SMC 및 SMH 식이군의 경우 5주 후에 각각 19.20 및 18.95 g으로 확인되었다. 해조 추출물 급여에 따른 고지방식이 마우스의 체중 변화를 확인한 결과 HFD 식이군과 해조 추출물 식이군과는 유의적 차이를 나타내었다(Fig. 1). 해조 추출물 시료간 체중 변화는 1주차에는 일부 해조 추출물 급여군간 체중변화가 유의적 차이를 나타냈으나, 2주차 이후부터 해조 추출물 시료간에 유의적 차이는 보이지 않는 것으로 확인되었다. 중성지질 함량 변화의 경우 ND 및 HFD 식이군의 경우 각각 114.88 및 126.19 mg/dL로 확인되었다. 해조 추출물 중 SCC 식이군의 중성지질 함량은 136.51 mg/dL로 가장 높은 값을 나타내었으며, SMH 식이군은 100.40 mg/dL로 가장 낮은 함량을 나타냈다. 또한, 고지방식이 마우스의 혈중 중성지질 함량은 LH, SCH 및 SMH 식이군은 LC, SCC 및 SMC 식이군과 비교 시 낮은 함량을 나타내는 것으로 확인되었다. 총콜레스테롤 함량은 LH 식이군은 LC 식이군에 비해 유의적으로 낮은 값을 나타내었으며, SMH 식이군은 SMC 식이군과 비교 시 높은 함량을 나타내었다. HDL-콜레스테롤 함량의 경우 해조류 추출물 식이군 중 SCC 식이군이 70.17 mg/dL로 가장 높게 나타났으며 SCH 식이군은 67.76 mg/dL로 확인되었다. 해조추출물 중 LH 식이군의 HDL-콜레스테롤 함량은 LC 식이군과 비교 시 유의적인 차이를 나타내었다. LDL-콜레스테롤 함량은 해조추출물 식이군과 비교시 LH 식이군에서 가장 낮은 함량을 나타내었으며 SMH 식이군은 SMC 식이군과 비교 시 높은 함량을 나타내었고 SCC 및 SCH 식이군은 유의적 차이를 보이지 않았다. 본 연구 결과 해조 추출물 급여는 고지방식이 마우스의 총콜레스테롤 및 LDL-콜레스테롤 함량을 감소시키는 경향을 나타내었다. Park et al. (1996)은 해조류인 참도박 메탄올 추출물 급여시 고지방식이군에 비해 흰쥐의 총콜레스테롤과 중성지방 함량이 감소하였다고 보고하였다. Jang et al. (2024)은 고지방식이군과 비교시 수컷마우스군에서 serum total cholesterol 함량은 고지방식이에 갈조류인 sugar kelp 식이군에서 감소하였다고 보고하였다. Lee et al. (2010)은 고지방식이 마우스에 김에서 분리한 포피란을 급여한 결과 고지방식이 대조군과 비교 시 혈중 총콜레스테롤 및 LDL-콜레스테롤이 각각 20 및 21% 감소하였다고 보고하였다.

혈당 및 조직학적 변화

초고압을 이용하여 제조된 해조 추출물 급여에 의한 마우스의 혈당, 조직 무게, 간 및 지방 조직을 분석하였으며, 그 결과는 Table 2, Fig. 2 및 Fig. 3과 같다. 마우스 혈당의 경우 ND 및 HFD 식이군에서 각각 175.09 및 193.05 mg/dL를 나타내었다. 고지방식이 마우스의 혈당은 SCC 식이군이 155.81 mg/dL로 가장 낮게 나타났으며, SMH 식이군은 263.56 mg/dL로 가장 높은 혈당 함량을 보이는 것으로 나타났다. 해조 추출물 중

LC와 LH 식이군의 혈당 함량은 유의적 차이를 보이지 않았으나, SCH 및 SMH 식이군은 SCC 및 SMC 식이군과 비교 시 높은 혈당 값을 보이는 것으로 확인되었다($P < 0.05$). Sharma et al. (2017)은 고지방식이 마우스의 *Caulerpa okamurae* 추출물 급여는 plasma glucose 함량을 감소하였다고 보고하였다. 이는 본 연구의 초고압을 이용한 해조추출물 급여 결과와 대조적인 결과로서 초고압을 이용하여 제조된 해조 추출물의 고지방식이 급여에 따른 혈당 변화에 대한 연구는 필요한 것으로 사료된다. 간 및 지방 조직 무게를 분석한 결과 간 조직 무게의 경우 LC 식이군이 가장 높게 나타났으나 모든 처리군간의 유의적 차이를 보이지 않았다. 지방조직 무게는 LH 및 SMH 식이군이 각각 0.49 및 0.47 g으로 다른 해조 추출물 식이군과 비교 시 가장 낮은 값을 보이는 것으로 확인되었다. 또한, 간 및 지방 조직을 분석한 결과 HFD 식이군과 비교 시 해조 추출물 식이군의 경우 지방세포의 분포 및 크기 등의 차이를 나타내는 것으로 확인되었다(Fig. 2, Fig. 3). 간 조직내 지방 축적을 확인한 결과 HFD 식이군과 비교 시 SMC 및 SMH 식이군에서 낮은 지방 분포도를 보이는 것으로 확인되었으며, 지방조직의 경우 HFD 식이군과 비교시 해조 추출물 식이군에서 지방세포 크기 등의 차이를 보이는 것으로 확인되었다. Kang et al. (2016)은 제주연안에서 서식하는 홍조류인 *Plocamium telfairiae* 추출물 급여가 고지방식이에 의한 마우스의 체중, 중성지방 및 글루코즈 함량, 지방세포 크기 등을 개선하였다고 보고하였다. Wang et al. (2023)

Table 2. Changes in serum glucose contents, liver and fat tissue weight of mice fed a high-fat diet supplemented with seaweed extracts prepared by HHP treatment

Samples	Glucose (mg/dL)	Liver tissue weight (g)	Adipose tissue weight (g)
ND	175.09±46.61 ^{ab1}	1.08±0.14 ^a	0.43±0.14 ^a
HFD	193.05±49.43 ^{bc}	1.21±0.06 ^a	0.90±0.44 ^b
LC	180.99±19.03 ^{ab}	1.23±0.05 ^a	0.66±0.05 ^{ab}
LH	172.98±11.30 ^{ab}	1.09±0.18 ^a	0.49±0.07 ^a
SCC	155.81±11.74 ^a	1.22±0.10 ^a	0.60±0.20 ^{ab}
SCH	217.69±13.98 ^c	1.19±0.05 ^a	0.71±0.23 ^{ab}
SMC	192.87±30.73 ^{bc}	1.19±0.02 ^a	0.71±0.11 ^{ab}
SMH	263.56±27.58 ^d	1.18±0.27 ^a	0.47±0.11 ^a

^{1a-d}means in a same column by different letters are significantly different by Duncan's multiple range test ($P < 0.05$). HHP, High hydrostatic pressure; ND, Group fed a normal diet; HFD, Group fed a high fat diet; LC, Group fed a high-fat diet supplemented with laver extract; LH, Group fed a high-fat diet supplemented with laver extract produced by HHP processes; SCC, Group fed a high-fat diet supplemented with sea cabbage extract; SCH, Group fed a high-fat diet supplemented with sea cabbage extract produced by HHP processes; SMC, Group fed a high-fat diet supplemented with sea mustard extract; SMH, Group fed a high-fat diet supplemented with sea mustard extract produced by HHP processes.

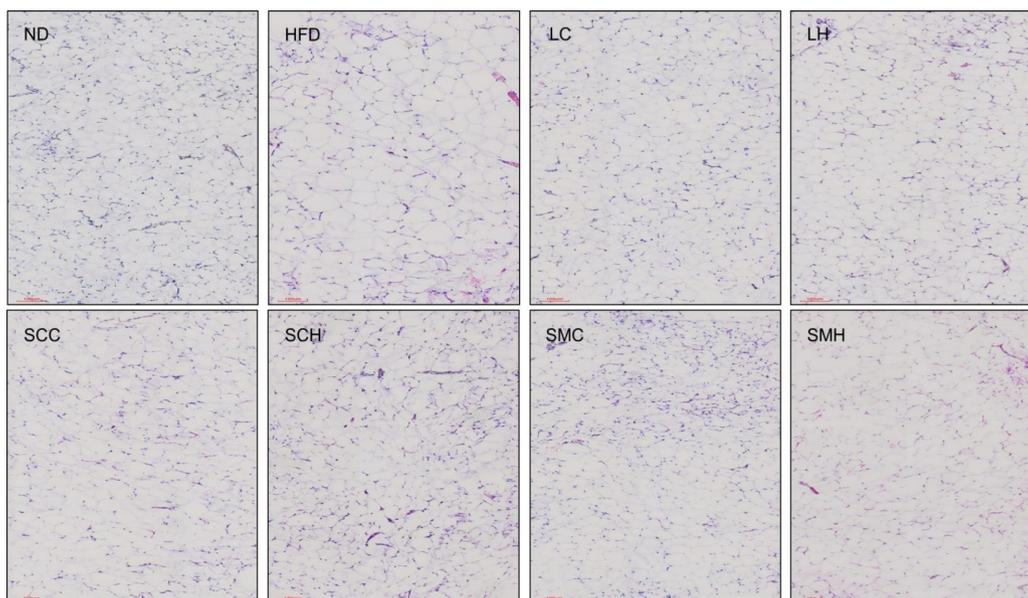


Fig. 3. Observation of adipose tissue of mice fed a high-fat diet supplemented with seaweed extract prepared by HHP treatment (100×). HHP, High hydrostatic pressure; ND, Group fed a normal diet; HFD, group fed a high fat diet; LC, Group fed a high-fat diet supplemented with laver extract; LH, Group fed a high-fat diet supplemented with laver extract produced by HHP processes; SCC, Group fed a high-fat diet supplemented with sea cabbage extract; SCH, Group fed a high-fat diet supplemented with sea cabbage extract produced by HHP processes; SMC, Group fed a high-fat diet supplemented with sea mustard extract; SMH, Group fed a high-fat diet supplemented with sea mustard extract produced by HHP processes.

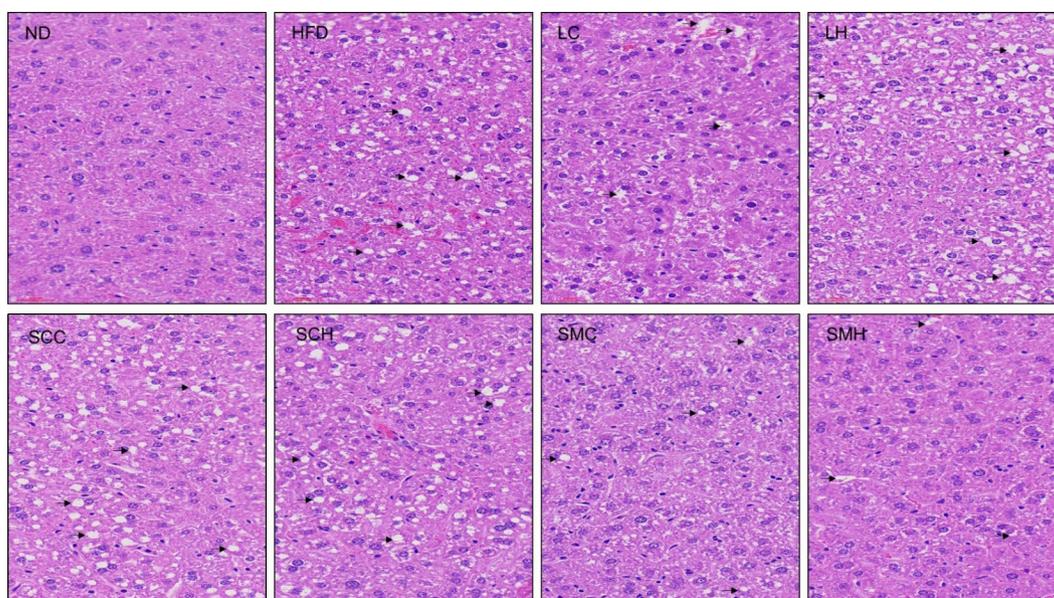


Fig. 2. Analysis of liver tissue in mice fed a high-fat diet supplemented with seaweed extract prepared by HHP treatment (400×). HHP, High hydrostatic pressure; ND, Group fed a normal diet; HFD, group fed a high fat diet; LC, Group fed a high-fat diet supplemented with laver extract; LH, Group fed a high-fat diet supplemented with laver extract produced by HHP processes; SCC, Group fed a high-fat diet supplemented with sea cabbage extract; SCH, Group fed a high-fat diet supplemented with sea cabbage extract produced by HHP processes; SMC, Group fed a high-fat diet supplemented with sea mustard extract; SMH, Group fed a high-fat diet supplemented with sea mustard extract produced by HHP processes.

은 3T3-L1 세포 분화를 통한 해조 추출물의 지방생성억제능을 확인한 결과 대조군과 비교했을 때 지방축적 억제 효능을 보였다고 보고하였다. 본 연구에서는 초고압 공정을 이용하여 제조된 3종의 해조 추출물이 고지방 식이 마우스의 항비만 활성에 미치는 영향에 대해 살펴보았다. 고지방 식이 마우스의 체중 변화를 확인한 결과 해조 추출물 식이군은 HFD 식이군과 비교 시 유의적 차이를 나타내었으며, 중성지방 함량은 해조 추출물 시료와 비교 시 초고압을 이용하여 제조된 해조 추출물 식이군에서 낮은 함량을 나타내었다. 총 콜레스테롤 및 LDL-콜레스테롤 함량의 경우 HFD 식이군과 비교 시 해조추출물 식이군에서 함량이 감소하는 경향을 나타내었으며 LH 식이군은 LC 식이군에 비해 낮은 함량을 보이는 것으로 확인되었다. 또한 고지방식이 급여 마우스의 조직, 지방세포 분포 등에도 차이를 보이는 것으로 나타나 초고압공정을 이용하여 제조된 해조 추출물의 급여가 고지방식이 마우스의 체중 변화, 혈중 지질대사, 간 및 지방 조직 등에 영향을 주는 것으로 확인되었다.

사 사

이 논문은 2018년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No. 2018R1D1A1B07048791).

References

- Agregán R, Munekata PES, Zhang W, Zhang J, Pérez-Santaescolástica C and Lorenzo J. 2021. High-pressure processing in inactivation of *Salmonella* spp. in food products. *Trends Food Sci Tech* 107, 31-37. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.11.025>.
- Corrales M, Toepfl S, Butz P, Knorr D and Tauscher B. 2008. Extraction of anthocyanins from grape by-products assisted by ultrasonics, high hydrostatic pressure or pulsed electric fields: A comparison. *Innov Food Sci Emerg Technol* 9, 85-91. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2007.06.002>.
- Do JR, Koo JG, Kim DS, Jo JH and Jo KS. 1994. Studies on the processing conditions of seasoned kelp products. *Bull Korean Fish Soc* 27, 27-32.
- Ganesan AR, Tiwari U and Rajauria G. 2019. Seaweed nutraceuticals and their therapeutic role in disease prevention. *Food Sci Hum Well* 8, 252-263. <https://doi.org/10.1016/j.fshw.2019.08.001>.
- Gupta S and Abu-Ghannam N. 2011. Bioactive potential and possible health effects of edible brown seaweeds. *Trends Food Sci Tech* 22, 315-326. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2011.03.011>.
- Han GD and Jeong BY. 2005. High pressure processing on foods. *Food Ind Nutr* 10, 30-36.
- Hong GP, Ko SH, Choi MJ and Min SG. 2007. Effects of pressure assisted freezing on physicochemical properties of pork. *Korean J Food Sci Ani Resour* 27, 190-196. <https://doi.org/10.5851/kosfa.2007.27.2.190>.
- Huang W, Tan H and Nie S. 2022. Beneficial effects of seaweed-derived dietary fiber: Highlights of the sulfated polysaccharides. *Food Chem* 373, 131608. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.131608>.
- Jang H, Kim MB, Kang H, Corvino O, Lee JY and Park YK. 2024. Dietary sugar kelp consumption inhibits adipose tissue inflammation and fibrosis in male mouse model of diet-induced obesity. *J Agr Food Res* 17, 101226. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2024.101226>.
- Jobu K, Yokota J, Yoshioka S, Moriyama H, Murata S, Ohishi M, Ukeda H and Miyamura M. 2013. Effects of goishi tea on diet-induced obesity in mice. *Food Res Int* 54, 324-329. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2013.07.037>.
- Kang MC, Kang N, Ko SC, Kim YB and Jeon YJ. 2016. Anti-obesity effects of seaweeds of Jeju island on the differentiation of 3T3-L1 preadipocytes and obese mice fed a high-fat diet. *Food Chem Toxicol* 90, 36-44. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2016.01.023>.
- Kim DM, Kim KH, Sung NY, Jung PM, Kim JS, Kim JK, Kim JH, Choi JI, Song BS, Lee JW, Kim JK and Yook HS. 2011. Effects of gamma irradiation on the extraction yield and whitening activity of polysaccharides from *Undaria pinnatifida* sporophyll. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 40, 712-716. <https://doi.org/10.3746/jkfn.2011.40.5.712>.
- Kim DS, Lee DS, Cho DM, Kim HR and Pyeun JH. 1995. Trace components and functional saccharides in marine algae 2. Dietary fiber contents and distribution of the algal polysaccharides. *J Korean Fish Soc* 28, 270-278.
- Kim H, Kang S and Go GW. 2023. The effects of multi grain with oats (*Avena sativa*) on obesity in C57BL/6NTac mice fed a high-fat diet: Limited evidence observed. *Korean J Food Sci Technol* 55, 346-352. <https://doi.org/10.9721/KJFST.2023.55.4.346>.
- Koo SY, Cha KH and Lee DH. 2007. Effects of high hydrostatic pressure on foods and biological system. *Food Sci Ind* 40, 23-30. <https://doi.org/10.23093/FSI.2007.40.3.23>.
- KREI (Korea Rural Economic Institute). 2023. 2022 Food Balance Sheet. KREI, Naju, Korea, 170-171.
- Kwon YR and Youn KS. 2015. Quality characteristics of *Hijikia fusiforme* extracts with different extraction method. *Korean J Food Preserv* 22, 70-77. <https://doi.org/10.11002/kjfp.2015.22.1.70>.
- Lange KW, Hauser J, Nakamura Y and Kanaya S. 2015. Dietary seaweeds and obesity. *Food Sci Hum Well* 4, 87-96. <https://doi.org/10.1016/j.fshw.2015.08.001>.
- Lavie CJ, McAuley PA, Church TS, Milani RC and Blair SN. 2014. Obesity and cardiovascular diseases: Implications regarding fitness, fatness, and severity in the obesity paradox. *J Am Coll Cardiol* 63, 1345-1354. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jacc.2014.01.022>.

- Lee JS, Lee MH and Koo JG. 2010. Effects of prophyran and insoluble dietary fiber isolated from laver, *Porphyra yezoensis*, on lipid metabolisms in rats fed high fat diet. Korean J Food Nutr 23, 562-569.
- Lee SH. 2013. Advanced in food preservation technology using high pressure. Food Sci Ind 46, 42-48. <https://doi.org/10.23093/FSI.2013.46.1.42>.
- Lee SJ, Ha WH, Choi HJ, Cho SY and Choi JW. 2010. Separation and purification of antihypertensive substances from edible seaweeds. Korean J Fish Aquat Sci 43, 421-427. <https://doi.org/10.5657/kfas.2010.43.5.421>.
- Liu H, Guo X, Li Y, Li H, Fan H and Wang M. 2016. *In vitro* digestibility and changes in physicochemical and textural properties of tartary buckwheat starch under high hydrostatic pressure. J Food Eng 189, 64-71. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2016.05.015>.
- Liu H, Lin Y, Sun MY, Zhang XW, Zhao XX and Xhao XY. 2023. The effects of high-pressure processing on the nutritional quality of sprouts: A review. Food Biosci 56, 103384. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2023.103384>.
- Longo M, Zatterale F, Nadere J, Parrillo L, Formisano P, Raciti GA, Beguinot F and Miele C. 2019. Adipose tissue dysfunction as determinant of obesity-associated metabolic complications. Int J Mol Sci 20, 2358. <https://doi.org/10.3390/ijms20092358>.
- Ma P, Xiao J, Hou B, He P, Yang X, Wang Y, Wang Z, Xu T, Yang X, Zhu X, Xiang S, Li S, Du G, Ying J and Qiang G. 2024. Carbonic anhydrase 2 mediates anti-obesity effects of black tea as thermogenic activator. Food Sci Hum Well 13, 2917-2936. <http://doi.org/10.26599/FSHW.2022.9250236>.
- Mohamed S, Hashim SN and Rahman HA. 2012. Seaweeds: A sustainable functional food for complementary and alternative therapy. Trends Food Sci Tech 23, 83-96. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2011.09.001>.
- Matos J, Cardoso C, Serralheiro ML, Bandarra NM and Afonso C. 2024. Seaweed bioactives potential as nutraceuticals and functional ingredients: A review. J Food Compos Anal 133, 106453. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2024.106453>.
- Na HS, Kim JY, Park JS, Choi GC, Yang SI, Lee JH, Cho JY and Ma SJ. 2014. Characteristics of marine algae extracts using subcritical water extract method. Koran J Food Preserv 21, 62-68. <https://doi.org/10.11002/kjfp.2014.21.1.62>.
- Park J, Na S and Lee Y. 2010. Present and future of non-thermal food processing technology. Food Sci Ind 43, 2-20. <https://doi.org/10.23093/FSI.2010.43.1.2>.
- Plaza M, Cifuentes A and Ibáñez E. 2008. In the search of new functional food ingredients from algae. Trends Food Sci Technol 19, 31-39. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2007.07.012>.
- Park JC, Jang YI, Doo MS, Kim SH and Choi JW. 1996. Effect of methanolic extract of *Pachymeniopsis elliptica* on lipids component of hyperlipidemic rats. J Korean Soc Food Sci Nutr 25, 958-962.
- Park YK, Kang SG, Jung ST, Kim DH, Kim SJ, Park JI, Kim CH, Rhim JW and King JM. 2007. Development of value-added products using seaweeds. J Mar Biosci Biotechnol 2, 133-141.
- Santhoshkumar P, Yoha KS and Moses JA. 2023. Drying of seaweed: Approaches, challenges and research needs. Trends Food Sci Tech 138, 153-163. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2023.06.008>.
- Sharma BR, Kim HJ, Kim MS, Park CM and Rhyu DY. 2017. *Caulerpa okamurae* extract inhibits adipogenesis in 3T3-L1 adipocytes and prevents high-fat diet-induced obesity in C57BL/6 mice. Nutr Res 47, 44-52. <https://doi.org/10.1016/j.nutres.2017.09.002>.
- Teles ASC, Chávez DWH, Coelho MAZ, Rosenthal A, Gottschalk LMF and Tonon RV. 2021. Combination of enzyme-assisted extraction and high hydrostatic pressure for phenolic compounds recovery from grape pomace. J Food Eng 288, 110128. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2020.110128>.
- Wang Q, Yan J, Im Y, Bak J, Go Y, Go Y and Kim H. 2023. *In vitro* screening of seaweed ethanol extracts for anti-inflammatory and anti-obesity properties. Korean J Food Sci Technol 55, 50-56. <https://doi.org/10.9721/KJFST.2023.55.1.50>.
- Wang QS, Li M, Pan S, Ren JN and Fan G. 2024. Regulation of lipid metabolism by the major components of orange essential oil in high-fat diet mice. Food Biosci 59, 103965. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2024.103965>.
- Zhang H, Feng X, Liu S, Ren F and Wang J. 2023. Effects of high hydrostatic pressure on nutritional composition and cooking quality of whole grains and legumes. Innov Food Sci Emerg Technol 83, 103239. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2022.103239>.