

고지방식으로 유도한 비만 흰쥐에서 함초 (*Salicornia herbacea* L.) 분말의 항비만 효과 탐색*

김미정 · 전현영 · 김정희†

서울여자대학교 자연과학대학 식품영양학과

Anti-obesity effect of Korean Hamcho (*Salicornia herbacea* L.) powder on high-fat diet-induced obese rats*

Kim, Mi Joung · Jun, Hyun Young · Kim, Jung Hee†

Department of Food and Nutrition, College of Natural Sciences, Seoul Women's University, Seoul 139-774, Korea

ABSTRACT

Purpose: The objective of this study was to examine whether Hamcho freeze-dried powder and Hamcho freeze-dried nano powder have an anti-obese effect on high fat diet-induced obese rats. **Methods:** Sprague Dawley rats were divided into 6 different groups, each of which was bred for 8 weeks with a different experimental diet: normal diet group (NC), high fat diet group (HFC), high fat diet + 2% *Salicornia herbacea* L. freeze-dried powder group (2% HS), high fat diet + 5% *Salicornia herbacea* L. freeze-dried powder group (5%HS), high fat diet + 1% *Salicornia herbacea* L. freeze-dried nano powder group (1% HSN), high fat diet + 2% *Salicornia herbacea* L. freeze-dried nano powder group (2% HSN). **Results:** The 5% HS group showed a weight loss effect in body weight, liver and adipose tissue by reducing the amount of dietary intake and food efficiency ratio. In addition, the 5% HS group showed a significant reduction of serum leptin concentration, while having a beneficial effect on the improvement of lipid metabolism such as increase the serum concentration of adiponectin. However, Hamcho freeze-dried nano powder did not show a weight loss effect. **Conclusion:** Overall data indicated that Hamcho seemed to have anti-obesity effects. In particular, consumption of 5% Hamcho freeze-dried powder might have beneficial effects on body weight, serum adiponectin level, and lipid profiles since it led to reduced body weight and growth of adipose tissues by suppressing dietary intakes. However conduct of further research studies is needed for analysis of active components and biochemical action mechanism of Hamcho.

KEY WORDS: *Salicornia herbacea* L., anti-obesity effect, lipid profile, leptin, adiponectin

서 론

비만 인구는 현대사회로 들어오면서 우리나라 뿐만 아니라 전 세계적으로 급속하게 증가되고 있으며, 이러한 비만 인구의 증가는 여러 가지 만성질환을 야기하고 나아가 사회적, 경제적인 문제를 발생시킨다. 이로 인하여 세계보건기구 (World Health Organization, WHO)에서는 ‘비만이란 단순히 건강을 해치는 위험요인이 아닌 치료가 필요한 질병’이라고 선언하였다.¹

비만은 섭취량에 비해 소모하는 열량이 적어 발생되는

대사성 질환으로 단순히 체중만 증가하는 것이 아닌 체내 지방조직이 증가되는 상태를 말하며, 식습관과 운동부족 뿐만 아니라 다양한 환경적 유전적인 요인이 작용되는 복합증후군이다.^{2,3} 비만을 개선하기 위한 여러 가지 치료 방법으로 운동요법, 식사요법, 약물요법 및 수술 등 다양한 방법이 있으나, 비만 치료제의 화학 합성 물질은 높은 비만 억제 효능을 나타내는 반면 부작용 역시 많이 나타나는 것으로 알려져 있다.⁴ 따라서 최근에는 안전하고 부작용의 위험이 적은 천연 식물 소재에 대한 관심이 점차 높아지고 있으며, 특히 우리나라 자생식물을 이용하여 부가가치를

Received: August 6, 2014 / Revised: September 4, 2014/ Accepted: February 27, 2015

*This study was supported by a R&D grant of Korea Institute of Planning & Evaluation for Technology in Food, Agriculture, Forestry & Fisheries (IPET 109147-3).

†To whom correspondence should be addressed.

tel: +82-2-970-5646, e-mail: jheekim@swu.ac.kr

© 2015 The Korean Nutrition Society

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.

높이고 비만치료에 효과를 나타내는 기능성 소재를 개발하기 위한 여러 가지 연구가 요구되고 있다.

천연물을 이용한 항비만 소재로는 지방의 소화와 흡수를 저해하는 물질로 flavonoids, 키토산 등이 있으며, 식욕억제에 관여하는 물질로 식이섬유소, 이눌린, hydroxycitric acid (HCA) 등이 보고되고 있다.⁵⁻⁷ 이 외에도 고추의 capsaicin, 녹차의 catechin 성분은 체중 및 체지방 감소에 효과를 나타냈고, 홍삼은 에너지 대사를 활발히 하여 체내 저장된 지방량을 감소시키는 것으로 보고되었다.^{8,9} 또한 홍차와 녹차는 위장관에서 췌장 lipase와 α -amylase 등 지방과 탄수화물의 소화효소 활성을 감소시키는데 기인하는 것으로 보고되었다.¹⁰

함초 (*Salicornia herbacea* L.)는 명아주과에 속하는 식물로 생김새가 통통하고 마디마디가 튀어나온 풀과 같아서 ‘통통마디’로도 불리어지며, 나문재, 칠면초, 해홍나물 등과 함께 우리나라 갯벌의 지역에 자생하는 대표적인 염생식물이다.^{11,12} 함초는 염류가 높은 염습지대에서 자라므로 내염성이 강하고 다량의 NaCl을 함유하고 있으나, 다른 식품에 비해 K, Ca, Mg, Fe 등 다양한 천연 미네랄 역시 많이 함유하고 있다.¹³ 또한 필수지방산 및 필수아미노산 역시 풍부하며 50~60% 정도의 과량의 식이섬유소가 함유되어 있어 함초는 예로부터 몸 안에 쌓인 독소 및 숙변을 배출시키고 위장병, 소화불량 등의 좋은 약재로도 이용되어 왔다.^{14,15}

최근 기능성식품으로서의 함초에 대한 관심이 점차 높아지면서 생리활성에 대한 여러 가지 연구가 수행되어져 항산화¹⁶ 및 항당뇨병,^{17,18} 항고혈압,¹⁹ 항암,²⁰ 지질대사 개선^{18,21,22} 등에 관한 많은 연구 결과들이 보고되고 있다. 특히 3T3-L1 adipocytes를 이용한 선행연구에서는 함초 물추출물이 지방세포 합성 과정에서 분화를 억제하는데 영향을 미쳐 leptin 및 resistin 생성을 감소하였고, adiponectin 생성을 증가시켜 비만과 당뇨병 및 심혈관계 질환 예방 효과를 가질 가능성이 있을 것으로 보고되었다.²³

건강에 대한 관심이 높아지면서 건강을 향상시키는데 도움이 되는 여러 가지 기능성식품에 관한 연구 역시 증가되고 있다. 최근에는 각각의 기능성 물질의 흡수를 도울 수 있는 여러 가지 방법들이 연구되고 있는데, 나노화 기술이 역시 그 중 한가지로 들 수 있다. 나노물질이란 미립자 크기의 작은 형태로 나누어지는 분말 물질을 말하며, 이러한 나노화 과정은 기존의 마이크로 물질에 비해 비표면적이 증가하고 수용성 및 흡수율을 증가시키는 특징이 있다.^{24,25} 갈슘과 지질의 경우에도 나노화를 통해 비표면적과 수용성을 증가시켜 체내 흡수율을 높일 수 있다는 연구결과가 보고되고 있다.^{26,27} 그러나 나노화 물질은 작은 입자 크기

로 인해 물질의 특성이 변화될 수 있고, 일부 세포실험을 통한 연구에서 마크로단위의 물질보다 나노화 물질의 흡수성과 독성이 증가하여 세포의 사멸에 영향을 미치는 것으로 보고되고 있다.²⁸ 그러므로 기능성소재 식품을 이용한 나노기술의 적용은 보다 안정성과 독성에 대한 연구가 필요하다.

따라서 본 연구에서는 한국산 함초 (*Salicornia herbacea* L.)의 항비만 효과를 알아보고자 함초 동결건조 분말과, 미세한 입자로 비표면적과 수용성을 증가시킨 동결건조 나노화 분말이 고지방식으로 비만을 유도한 흰쥐의 체중 증가 억제, 지질 농도 개선 및 비만 관련 호르몬을 변화시키는 지 알아보고자 실험을 실시하였다.

연구방법

동물사육 및 실험설계

본 연구는 160~180 g 정도의 6주령 된 Sprague Dawley (SD) Rat 수컷 63마리를 나라 바이오텍에서 공급받았으며, 실험기간 중 사육실 실내온도는 $23 \pm 2^{\circ}\text{C}$ 로 유지시켰으며, 채광은 7:00~19:00으로 일정하게 조절하였다. 처음 일주일간 일반 고형식이를 공급하여 실험실 환경에 적응시킨 후, 각 군간의 차이가 없도록 체중을 측정하여 난괴법에 따라 normal diet 섭취군 (NC, n = 12), high fat diet 섭취군 (HFC, n = 11), high fat diet + 함초 동결건조 분말 2% 섭취군 (2% HS, n = 10), high fat diet + 함초 동결건조 분말 5% 섭취군 (5% HS, n = 10), high fat diet + 함초 동결건조 나노화 분말 1% 섭취군 (1% HSN, n = 10), high fat diet + 함초 동결건조 나노화 분말 2% 섭취군 (2% HSN, n = 10) 등 총 6군으로 나누어 8주간 사육하였다. 동물실험의 모든 절차 및 방법은 서울여자대학교 동물실험윤리위원회의 권고에 따라 실시하였다 (IACUC-A-2).

실험 식이는 AIN-76을 기초로 하여 본 실험 목적에 맞도록 수정하여 결정하였다. HFC군은 고지방식으로 단백질 급원 및 무기질과 비타민 급원의 구성비는 NC군과 동일하지만, 옥수수전분의 함량은 줄이고 지방의 급원으로 옥수수기름 외에 돼지기름 (lard) 15%와 콜레스테롤 1%의 함량을 추가적으로 공급하여 지방이 전체 열량의 약 40%가 되도록 제조하였다. 함초 동결건조 분말 섭취군 (2% HS, 5% HS)과 함초 동결건조 나노화 분말 섭취군 (1% HSN, 2% HSN)은 HFC군의 고지방식이 조성에 함초 동결건조 분말을 2%, 5%로 함초 동결건조 나노화 분말을 1%, 2%로 함량을 달리하여 첨가 하였으며, 첨가한 만큼의 양을 옥수수전분에서 제외하여 제조하였다 (Table 1).

함초 동결건조 분말의 함량은 신체 표면적 기준화기법²⁹

Table 1. Composition of experimental diets (%)

Ingredient	Group	NC	HFC	2% HS	5% HS	1% HNS	2% HNS
Casein		20	20	20	20	20	20
DL-methionine		0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
Corn starch		29	12.5	10.5	7.5	11.5	10.5
Sucrose		40	40	40	40	40	40
Cellulose		1	1	1	1	1	1
Corn oil		5	5	5	5	5	5
Lard		0	15	15	15	10	10
AIN-mineral Mix ¹⁾		3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5
AIN-vitamin Mix ²⁾		1	1	1	1	1	1
Choline chloride		0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
Cholesterol		-	1	1	1	1	1
Sodium cholate		-	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Hamcho freeze-dried powder		-	-	2	5	-	-
Hamcho freeze-dried nano powder		-	-	-	-	1	2

NC: normal diet group, HFC: high fat diet group, 2% HS: high fat diet group with 2% *Salicornia herbacea* L. freeze dried powder, 5% HS: high fat diet group with 5% *Salicornia herbacea* L. freeze dried powder, 1% HSN: high fat diet group with 1% *Salicornia herbacea* L. freeze dried nano powder, 2% HSN: high fat diet group with 2% *Salicornia herbacea* L. freeze dried nano powder

1) Composition of AIN-76 salt mixture 2) Composition of AIN-76 vitamin mixture

에 근거하여 2%와 5%로 설정하여 식이중에 혼합하여 공급하였다. 나노화 처리를 한 식품성분은 표면적의 증가로 흡수율이 약 2배 증가되고,^{26,27} 과량의 섭취는 독성 작용²⁸의 영향을 준다는 여러 연구 결과를 토대로 동결건조 분말의 1/2에 해당하는 양인 1%와 2%로 사료에 첨가하였다. 이를 통해 함초 동결건조 분말과 나노화 분말의 섭취가 항비만 효과에 차이를 나타내는지 알아보기 위해 실험을 진행하였다.

본 실험에 사용된 함초 동결건조 분말은 전라남도 신안군에서 채취한 함초를 이용하여 제조하였으며, 함초 동결건조 나노화 분말은 동결건조 분말을 입도 3 µm로 초미립 분말화하여 사용하였다. 모든 실험 식이는 지방의 산패를 방지하기 위해 1 kg씩 Pellet 형태로 조제하고 밀봉하여 냉장 보관하였다가 1일 1회 일정 시간에 각 군마다 일정량 (20 g/일)을 공급하였다. 식이효율 (Food Efficiency Ratio, FER)은 실험기간에 성장한 체중 증가량을 같은 기간 동안 섭취한 식이의 양으로 나누어 다음과 같이 계산하였다.

$$FER = \frac{\text{Body weight gain for experimental period (g)}}{\text{Food intake for experimental period (g)}}$$

혈청 지질, leptin 및 adiponectin 농도 측정

실험동물은 8주간의 실험기간 종료 후 희생 전에 12시간 동안 절식시키고, diethyl ether로 마취시켜 혈액과 간, 부고환 지방조직을 적출하였다. 적출한 부고환 지방 조직 (좌, 우)은 차가운 생리식염수로 세척한 후 여과지에서 수분과 잔여물을 제거하여 좌 우 지방 조직 각각의 중량을 측정하

였다. 채취한 혈액에서 4°C 3,000 rpm으로 20분간 원심 분리하여 혈청을 분리 하였다. 분리된 혈청은 e-tube에 분주한 후 액체 질소를 사용하여 급속 동결시켜 -80°C에서 보관하였다가 사용하였다. leptin, adiponectin 분석에 사용하였다.

혈청의 중성지질, 총 콜레스테롤, HDL-콜레스테롤의 함량은 Salè 등의 방법을 수정한 효소법³⁰ (중성지질: BCS Triglyceride Kit, Bio Clinical System Co., Anyang, Korea, 총 콜레스테롤: BCS Total Cholesterol Kit, Bio Clinical System Co., HDL-콜레스테롤: BCS HDL-Cholesterol Kit, Bio Clinical System Co.)을 이용하여 측정하였다.

혈청 leptin과 adiponectin 농도는 각각 leptin mouse/rat enzyme immunoassay (EIA) kit (SPI-bio, Bretonneux, France)와 adiponectin rat EIA kit (ALPCO Diagnostics, Salem, NH, USA)를 사용하여 sandwich type enzyme linked immunosorbent assay (ELISA) 법으로 측정하였으며, plate reader (Spectra Max 250, Molecular Devices, Sunnyvale, CA, USA)를 이용하여 450 nm에서 측정하였다.

간의 지질, 단백질 및 FAS 농도 측정

간조직은 혈액 채취 후 즉시 적출하여 차가운 생리식염수로 세척하고 여과지에서 여분의 수분과 잔여물을 제거한 후 무게를 측정하였다. 간의 homogenate와 cytosol 분획은 Masmoudi (1989)의 방법³¹에 따라 분리하였다. 얻어진 간 세포질 역시 e-tube에 분주하고 액체 질소를 사용하

여 급속 동결시켜 -80°C deep freezer에서 보관하였다가 분석 시 사용하였다.

간 조직 속의 지질은 Bligh와 Dyer의 방법³²을 이용하여 간 homogenate에서 추출하였다. 간 지질은 혈청 지질분석과 동일한 방법³⁰을 이용하여 측정하였다.

간 homogenate 및 세포질의 단백질 함량은 Lowry 방법³³으로 측정하였다. 이때 표준물질로는 bovine serum albumin을 사용하여 계산하였다. 측정된 단백질의 양은 간 속에 들어있는 중성지질, 총 콜레스테롤 및 FAS의 함량 계산에 이용하였다.

Fatty acid synthase (FAS) 농도는 간의 membrane 분획으로 얻어낸 cytosol을 이용하여 분석하였으며, commercial ELISA kit (Usn Life Science, USA)를 사용하여 ELISA 법으로 plate reader (Spectra Max 250, Molecular Devices, Sunnyvale, CA, USA)를 이용하여 측정하였다.

분변 채취 및 지질 분석

실험동물의 분변은 희생하기 전 즉 8주차에 metabolic cage에서 24시간 동안의 분변을 받아내어 수집하였다. 수집된 분변은 상압가열 건조법으로 건조한 후 믹서기로 분쇄하였으며, 각각의 시료를 conical tube (15 ml)에 넣고 뚜껑을 잘 밀봉하여 냉동고 (-18°C)에 보관하였다. 분쇄한 분변 속의 지질 역시 Bligh와 Dyer의 방법³²을 이용하여 추출하였다. 분변의 중성지질과 총콜레스테롤 정량분석을 하기 위해서, 분석 직전에 분쇄한 분변에서 추출한 지질에 chloroform 1 ml를 일정하게 넣어 잘 녹인 후 0.1 ml를 취하여 N_2 gas로 chloroform을 휘발시킨 후 anhydrous ethanol 0.2 ml를 첨가하여 다시 지질을 녹여 사용하였다. 24시간 분변 지질은 혈청 지질분석과 동일한 방법³⁰을 이용하여 측정하였다.

통계처리

실험동물 63마리에 대한 모든 실험 결과는 Statistical Analysis System (SAS version 8.0)을 이용하여 통계 처리하였다. 모든 측정치는 평균과 표준편차로 표시하였으며, 함초 동결건조 분말과 함초 동결건조 나노화 분말 농도에 따른 효과의 차이를 알아보기 위하여 실험결과를 분산분석 (ANOVA)으로 분석하여 $\alpha = 0.05$ 수준에서 Duncan's multiple range test에 의해 유의성을 검증하였다.

결 과

체중, 식이섭취량 및 식이효율

실험종료 후 최종 체중, 식이섭취량 및 식이효율에 대한

Table 2. Effect of *Salicornia herbacea* L. powder on final body weight, food intake and food efficiency ratio¹⁾

Group (n)	Final body weight (g)	Food intake (g/day)	Food efficiency ratio
NC (12)	436.45 \pm 30.21 ^b	20.02 \pm 0.33 ^a	0.144 \pm 0.014 ^b
HFC (11)	477.02 \pm 32.00 ^a	18.64 \pm 0.64 ^c	0.205 \pm 0.017 ^a
2% HS (10)	473.64 \pm 36.07 ^a	18.74 \pm 1.04 ^c	0.196 \pm 0.015 ^a
5% HS (10)	387.90 \pm 36.23 ^c	16.95 \pm 1.15 ^d	0.129 \pm 0.033 ^b
1% HSN (10)	495.88 \pm 18.32 ^a	19.09 \pm 0.45 ^{bc}	0.210 \pm 0.015 ^a
2% HSN (10)	490.67 \pm 16.49 ^a	19.51 \pm 0.43 ^{ab}	0.205 \pm 0.012 ^a

(n): number of animals, NC: normal diet group, HFC: high fat diet group, 2% HS: high fat diet group with 2% *Salicornia herbacea* L. freeze dried powder, 5% HS: high fat diet group with 5% *Salicornia herbacea* L. freeze dried powder, 1% HSN: high fat diet group with 1% *Salicornia herbacea* L. freeze dried nano powder, 2% HSN: high fat diet group with 2% *Salicornia herbacea* L. freeze dried nano powder

1) Values are Mean \pm SD.

Means with the different superscripts are significantly different at $p < 0.05$ by Duncan's multiple range test.

결과는 Table 2에 제시하였다.

고지방식이군 (HFC)의 최종체중은 정상식이군 (NC)에 비해 유의하게 증가하여 고지방식으로 인한 체중증가가 유도되었음을 나타냈으며 ($p < 0.05$). 5% 함초 동결건조 분말을 섭취한 5% HS군 (387.90 g)은 HFC군 (477.02 g)에 비해 유의하게 감소하였고, NC군 (436.45 g)보다도 유의적으로 낮았다 ($p < 0.05$). 8주간의 체중증가 정도는 모든 군에서 매주 체중이 증가하는 경향을 나타내었으나 5% HS군의 경우 4주차 이후 체중의 변화가 크게 나타나지 않았다 (Fig. 1).

식이섭취량은 2% HSN군을 제외한 모든 고지방식이군에서 NC군에 비하여 유의하게 감소하였으며 ($p < 0.05$), 5% HS군 (16.95 g)에서 가장 낮아 HFC군보다도 유의하게 감소하였다 ($p < 0.05$).

식이효율은 에너지 밀도가 높은 고지방식이군 (HFC)이 0.205 \pm 0.017로 정상식이군 (NC)의 0.144 \pm 0.014에 비하여 유의하게 증가하였으며, 체중증가율이 가장 적었던 5% HS군의 식이효율이 다른 고지방군에 비하여 유의하게 낮았다.

간 및 부고환 지방조직 무게

간 및 부고환 지방조직의 무게를 살펴본 결과 (Table 3) 고지방식이의 영향으로 NC군에 비하여 고지방식을 섭취한 모든 군에서 간 무게가 유의하게 증가하였으나 5% HS군의 간무게는 HFC군에 비해 유의하게 감소하였다 ($p < 0.05$).

상대적 간 무게 역시 NC군에 비하여 모든 고지방식이 섭취군에서 유의하게 높았고 ($p < 0.05$), 1% 함초 동결건

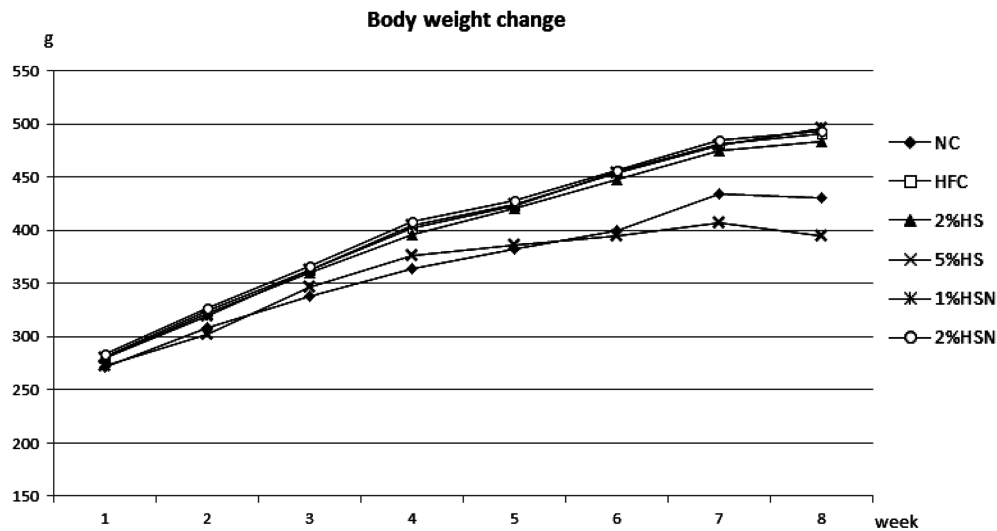


Fig. 1. Body weight change

Table 3. Effect of *Salicornia herbacea* L. powder on liver weight, relative liver weight, epididymal white adipose tissue weight and relative epididymal white adipose tissue weight¹⁾

Group (n)	Liver weight (g)	Relative liver weight (g/100g BW)	Epididymal white adipose tissue-left (g)	Relative Epididymal white adipose tissue-left (g/100g BW)	Epididymal white adipose tissue-right (g)	Relative Epididymal white adipose tissue-right (g/100g BW)
NC (12)	12.24 ± 0.92 ^c	2.82 ± 0.31 ^c	4.48 ± 0.78 ^{ab}	1.03 ± 0.20 ^a	4.52 ± 0.66 ^a	1.04 ± 0.18 ^a
HFC (11)	31.72 ± 2.79 ^a	6.66 ± 0.58 ^a	4.32 ± 0.55 ^{ab}	0.91 ± 0.10 ^{ab}	4.45 ± 0.49 ^a	0.93 ± 0.08 ^{ab}
2% HS (10)	30.03 ± 3.94 ^a	6.33 ± 0.51 ^{ab}	3.99 ± 0.47 ^b	0.85 ± 0.13 ^b	4.18 ± 0.50 ^a	0.89 ± 0.11 ^b
5% HS (10)	25.44 ± 3.93 ^b	6.52 ± 0.50 ^{ab}	2.46 ± 0.39 ^c	0.63 ± 0.07 ^c	2.50 ± 0.51 ^b	0.64 ± 0.10 ^c
1% HSN (10)	30.41 ± 2.40 ^a	6.13 ± 0.39 ^b	4.23 ± 0.92 ^{ab}	0.85 ± 0.18 ^b	4.42 ± 0.90 ^a	0.89 ± 0.18 ^b
2% HSN (10)	31.61 ± 4.02 ^a	6.43 ± 0.67 ^{ab}	4.60 ± 0.38 ^a	0.94 ± 0.07 ^{ab}	4.77 ± 0.49 ^a	0.97 ± 0.10 ^{ab}

(n): number of animals, NC: normal diet group, HFC: high fat diet group, 2% HS: high fat diet group with 2% *Salicornia herbacea* L. freeze dried powder, 5% HS: high fat diet group with 5% *Salicornia herbacea* L. freeze dried powder, 1% HSN: high fat diet group with 1% *Salicornia herbacea* L. freeze dried nano powder, 2% HSN: high fat diet group with 2% *Salicornia herbacea* L. freeze dried nano powder

1) Values are Mean ± SD.

Means with the different superscripts are significantly different at $p < 0.05$ by Duncan's multiple range test.

조 나노화 분말을 섭취한 1% HSN군이 HFC군과 비교해 유의하게 낮았다 ($p < 0.05$).

부고환 지방조직과 상대적 부고환 지방조직의 무게를 살펴보면, 왼쪽/오른쪽 모두 5% HS군에서 HFC군에 비해 유의하게 크게 감소하여 NC군보다도 유의적으로 낮게 나타났다 ($p < 0.05$).

24시간 분변량, 수분함량 및 분변 지질함량

각 군별 24시간 분변량, 분변 중 수분 및 지질 함량에 대한 결과는 각 군당 10마리씩 총 60마리의 분변을 수집하여 측정하였으며 Table 4에 제시하였다.

24시간 분변량은 각 군간의 유의한 차이는 없었으며, 상압가열 건조법으로 건조한 분변의 무게와 수분함량 역시 군간의 유의한 차이가 없었다.

분변 중 중성지질과 총 콜레스테롤 농도 모두 NC군에

비해 모든 고지방식이 섭취군에서 유의하게 높았으나 ($p < 0.05$) 함초 분말 섭취에 따른 차이는 없었다.

혈청, 간조직의 지질함량 및 FAS 농도

혈청 중성지질 농도는 NC군에 비해 모든 고지방식이 섭취군에서 유의하게 높았으며, 함초 분말 섭취에 따른 유의한 차이는 없었다. 혈청 총 콜레스테롤 농도 역시 2% HS군을 제외한 모든 고지방식이군에서 NC군에 비해 유의하게 높았고 ($p < 0.05$), 2% HS군의 혈청 총 콜레스테롤 농도는 HFC군에 비해 감소하는 경향을 보였다. 혈청 HDL-Cholesterol 농도는 NC군에서 가장 높았고 5% HS군의 경우 2% HS군과 1% HSN군에 비해 유의적으로 증가하였다 (Table 5).

간 조직 속의 중성지질 농도는 고지방 식이의 영향으로 NC군에 비하여 5% HS군을 제외한 고지방식이를 섭취한

Table 4. Effect of *Salicornia herbacea* L. powder on feces weight, feces water and lipid contents¹⁾

Group (n)	Feces (g)	Feces/Food intake (g/g)	Dry feces (g)	Water content (%)	Triglyceride (mg/g dried feces)	Total cholesterol (mg/g dried feces)
NC (10)	1.47 ± 0.77 ^{NS}	0.073 ± 0.039 ^b	1.11 ± 0.53 ^{NS}	23.42 ± 10.89 ^{NS}	5.41 ± 2.57 ^b	10.34 ± 4.90 ^b
HFC (10)	1.97 ± 1.00	0.107 ± 0.056 ^{ab}	1.28 ± 0.52	30.26 ± 12.90	25.76 ± 15.24 ^a	77.01 ± 42.08 ^a
2% HS (10)	2.32 ± 0.87	0.124 ± 0.045 ^a	1.42 ± 0.28	35.16 ± 12.30	25.48 ± 8.11 ^a	80.02 ± 25.63 ^a
5% HS (10)	2.05 ± 1.17	0.121 ± 0.068 ^a	1.28 ± 0.60	33.44 ± 10.61	20.07 ± 10.02 ^a	56.07 ± 31.79 ^a
1% HSN (10)	1.90 ± 0.75	0.100 ± 0.039 ^{ab}	1.23 ± 0.44	32.35 ± 17.27	21.40 ± 9.94 ^a	63.80 ± 33.80 ^a
2% HSN (10)	2.30 ± 0.42	0.118 ± 0.023 ^{ab}	1.48 ± 0.21	33.31 ± 17.14	26.13 ± 5.31 ^a	67.79 ± 18.07 ^a

(n): number of animals, NC: normal diet group, HFC: high fat diet group, 2% HS: high fat diet group with 2% *Salicornia herbacea* L. freeze dried powder, 5% HS: high fat diet group with 5% *Salicornia herbacea* L. freeze dried powder, 1% HSN: high fat diet group with 1% *Salicornia herbacea* L. freeze dried nano powder, 2% HSN: high fat diet group with 2% *Salicornia herbacea* L. freeze dried nano powder

1) Values are Mean ± SD.

Means with the different superscripts are significantly different at $p < 0.05$ by Duncan's multiple range test.

Table 5. Effect of *Salicornia herbacea* L. powder on serum lipid profiles¹⁾

Group (n)	Triglyceride (mg/dl)	Total cholesterol (mg/dl)	HDL-cholesterol (mg/dl)
NC (12)	123.10 ± 72.53 ^a	78.39 ± 19.38 ^c	54.71 ± 11.99 ^a
HFC (11)	61.12 ± 15.63 ^b	117.72 ± 25.22 ^{ab}	43.69 ± 17.81 ^{ab}
2% HS (10)	57.52 ± 12.25 ^b	103.99 ± 16.05 ^{bc}	38.05 ± 13.82 ^b
5% HS (10)	49.32 ± 7.74 ^b	126.85 ± 25.22 ^{ab}	53.35 ± 17.01 ^a
1% HSN (10)	51.37 ± 17.20 ^b	112.50 ± 20.68 ^{ab}	30.95 ± 8.29 ^b
2% HSN (10)	63.59 ± 21.77 ^b	137.20 ± 56.34 ^a	40.49 ± 19.01 ^{ab}

(n): number of animals, NC: normal diet group, HFC: high fat diet group, 2% HS: high fat diet group with 2% *Salicornia herbacea* L. freeze dried powder, 5% HS: high fat diet group with 5% *Salicornia herbacea* L. freeze dried powder, 1% HSN: high fat diet group with 1% *Salicornia herbacea* L. freeze dried nano powder, 2% HSN: high fat diet group with 2% *Salicornia herbacea* L. freeze dried nano powder

1) Values are Mean ± SD.

Means with the different superscripts are significantly different at $p < 0.05$ by Duncan's multiple range test.

모든 군에서 유의하게 증가하였으나 ($p < 0.05$), 함초분말 섭취에 따른 유의한 차이는 없었다. 그러나 5% HS군의 중성지질은 HFC군에 비해 유의하지는 않지만 감소하는 경향을 보였다. 간의 총 콜레스테롤 농도 역시 고지방식이를 섭취한 모든 군에서 NC군에 비해 유의하게 증가하였으며 ($p < 0.05$), 함초분말 섭취에 따른 유의한 차이는 없었다. 간 세포질 중 FAS 농도의 경우, NC군이 고지방식이를 섭취한 모든 군들에 비해 유의하게 증가하였으며 ($p < 0.05$), 함초분말 섭취에 따른 차이는 없었다 (Table 6).

혈청 leptin 및 adiponectin 농도

혈청 leptin 농도는 고지방식이 섭취에 따른 유의한 차이는 없었으나 모든 함초분말 섭취군에서 HFC군에 비해 낮은 경향을 보였으며, 특히 5% HS군에서는 HFC군에 비해 유의하게 낮았다 ($p < 0.05$). 혈청 adiponectin 농도의 경우 고지방식이 섭취에 의해 유의하게 감소하였으며 ($p < 0.05$),

Table 6. Effect of *Salicornia herbacea* L. powder on liver triglyceride and total cholesterol contents and cytosolic fatty acid synthase level¹⁾

Group (n)	Triglyceride (mg/mg homogenate protein)	Total cholesterol (mg/mg homogenate protein)	Fatty acid synthase (ng/ml)
NC (12)	1.64 ± 0.63 ^c	0.15 ± 0.05 ^c	13.02 ± 2.63 ^a
HFC (11)	2.96 ± 1.07 ^{ab}	1.44 ± 0.44 ^{ab}	6.97 ± 1.97 ^b
2% HS (10)	3.09 ± 1.02 ^{ab}	1.85 ± 0.53 ^a	7.27 ± 2.02 ^b
5% HS (10)	2.28 ± 0.65 ^{bc}	1.38 ± 0.48 ^b	7.90 ± 1.25 ^b
1% HSN (10)	3.13 ± 0.76 ^a	1.75 ± 0.43 ^b	7.49 ± 1.87 ^b
2% HSN (10)	3.40 ± 1.03 ^a	1.81 ± 0.58 ^a	6.60 ± 1.14 ^b

(n): number of animals, NC: normal diet group, HFC: high fat diet group, 2% HS: high fat diet group with 2% *Salicornia herbacea* L. freeze dried powder, 5% HS: high fat diet group with 5% *Salicornia herbacea* L. freeze dried powder, 1% HSN: high fat diet group with 1% *Salicornia herbacea* L. freeze dried nano powder, 2% HSN: high fat diet group with 2% *Salicornia herbacea* L. freeze dried nano powder

1) Values are Mean ± SD.

Means with the different superscripts are significantly different at $p < 0.05$ by Duncan's multiple range test.

Table 7. Effect of *Salicornia herbacea* L. powder on serum leptin and adiponectin¹⁾

Group (n)	Leptin (pg/dl)	Adiponectin (μg/ml)
NC (12)	1,812.52 ± 812.20 ^a	11.951 ± 2.280 ^a
HFC (11)	1,274.69 ± 702.78 ^{ab}	6.312 ± 1.597 ^{bc}
2% HS (10)	790.00 ± 426.40 ^{bc}	7.042 ± 1.131 ^{bc}
5% HS (10)	237.29 ± 112.10 ^c	7.612 ± 1.910 ^b
1% HSN (10)	1,066.00 ± 966.77 ^b	6.029 ± 1.102 ^c
2% HSN (10)	880.57 ± 512.00 ^b	6.707 ± 1.530 ^{bc}

(n): number of animals, NC: normal diet group, HFC: high fat diet group, 2% HS: high fat diet group with 2% *Salicornia herbacea* L. freeze dried powder, 5% HS: high fat diet group with 5% *Salicornia herbacea* L. freeze dried powder, 1% HSN: high fat diet group with 1% *Salicornia herbacea* L. freeze dried nano powder, 2% HSN: high fat diet group with 2% *Salicornia herbacea* L. freeze dried nano powder

1) Values are Mean ± SD.

Means with the different superscripts are significantly different at $p < 0.05$ by Duncan's multiple range test.

함초 동결건조 분말섭취에 따라 유의하지는 않지만 증가하는 경향을 보여 HFC군에 비해 5% HS군에서 약간 높았다 (Table 7).

고 찰

최근 비만 인구가 급속하게 증가함에 따라 비만을 예방 및 개선할 수 있는 안전한 천연 식물 소재에 대한 관심이 높아지고 있으며, 항비만 효능을 나타내는 기능성 식물 소재들을 찾아내어 이들의 작용기전을 밝히는 연구 역시 요구되고 있다.³ 따라서 본 연구에서는 최근 관심이 높아지고 있는 한국산 함초 (*Salicornia herbacea* L.)의 항비만 효과 및 함초 분말의 나노화에 따른 효능의 차이를 알아보고자 흰쥐에게 함초 동결건조 분말과 함초 동결건조 나노화 분말을 고지방식이에 혼합 공급함으로써 실험을 실시하였다. 함초 동결건조 나노화 분말은 함초 동결건조 분말에 비해 비표면적을 증가시켜 소장에서 함초의 흡수율을 높이기 위해 동결건조 분말을 입도 3 μm 로 초미립 분말화 하였다.

본 연구에서 최종 체중은 고지방식이군 (HFC)이 정상식이군 (NC)에 비해 유의적으로 높아 고지방식으로 인한 비만이 유도되었음을 관찰할 수 있었다. 또한, 최종 체중은 5% 함초 동결건조 분말 섭취에 의해 유의하게 감소되었으며 고지방식이 대조군 (HFC군)뿐만 아니라 정상식이군 (NC군)보다도 유의하게 낮게 나타났다. 식이섭취량은 에너지 밀도가 높은 고지방식이 섭취에 의해 감소하였으며, 5% 함초분말 섭취에 의해 더욱 감소하여 가장 낮은 식이섭취량을 보였고, 식이효율 역시 5% HS 군에서 가장 낮았다. 이러한 결과로 볼 때, 5% 함초 동결건조 분말 섭취는 식이섭취량에 영향을 미쳐 체중 증가를 억제하는 항비만 효과를 보이는 것으로 사료된다. 그러나 흡수율 증가 효과를 기대한 분말의 나노화는 체중 감소 효능에 차이를 나타내지 않았다. 일반적으로 함초는 총 식이섬유 함량이 매우 높은 것으로 보고되고 있으며,^{34,35} 섬유소를 다량함유하고 있는 김 (31.4%), 미역 (37.8%), 다시마 (29.3%) 등 해조류에 비해 약 2배 높은 것으로 보고되고 있다.³⁶ 또한, 결과에 제시하지는 않았지만 본 연구에서 사용한 함초 동결건조 분말과 함초 동결건조 나노화 분말의 식이섬유소 함량을 한국식품연구원에서 분석한 결과, 각각 100 g당 41.3 g과 40.1 g의 식이섬유소를 함유하고 있어 모두 40% 이상의 식이섬유소를 함유하고 있는 것으로 조사되었다. 이처럼 함초에 다량 함유된 식이섬유는 에너지원으로 이용되지 못하고 쉽게 포만감을 느끼게 함으로써 음식의 섭취를 줄이고 체중과 식이효율의 감소를 가져와 비만 억제에 궁

정적 영향을 미칠 수 있다. 그러나 함초가 염분을 함유하고 있으므로 함초의 첨가 비율이 점차 증가하면 짠맛의 강도 역시 증가하게 되어 식이섭취량이 감소되고 이에 따라 체중 증가가 상대적으로 적게 일어날 수 있음도 배제할 수 없다. 또한, 2% 함초 동결건조 분말 섭취는 식이섭취량이나 체중에 영향을 나타내지 않았고, 2% 동결건조 분말군과 동일한 식이섬유소를 함유한 2% HSN군에서는 오히려 식이섭취량이 고지방대조군에 비해 유의하게 증가하였으므로 5% 함초 동결건조 분말에 의한 항비만 효과가 식이섬유소 섭취에 의한 것인지는 그에 대한 기전연구가 필요하다. 아울러 분말의 나노화 역시, 5% 나노화 분말 섭취군에 대한 실험을 실시하지 않은 관계로 나노화를 통한 섬유소 입자의 미세화가 장내 섬유소의 흡수율을 향상시켜,^{26,27} 분해되지 않고 장내에서 작용하는 식이섬유로서의 효능이 감소된 결과인지 아니면 식이섭취를 감소시킬 수 있는 식이섬유소 공급량이 식이 중 5%까지 증가되어야 하는 지에 대한 보완 연구가 필요할 것으로 사료된다.

고지방식이 섭취는 간에 중성지방 및 콜레스테롤 등의 축적을 일으켜 간 중량을 증가시킨다.³⁷ 본 실험결과에서도 간 무게는 고지방식이의 영향으로 NC군에 비하여 고지방식이를 섭취한 모든 군에서 유의하게 증가하였으며, 이는 고지방식이에 의해 간 내에 콜레스테롤 및 중성지방 등이 축적되어 중량을 증가시킨다는 결과와 일치하는 것으로 보여진다.³⁸ 함초분말 섭취에 따라서는 5% HS군의 간 무게가 HFC군에 비해 유의하게 낮았으나, 상대적인 간 무게는 HFC군과 유의한 차이가 없었다. 이는 5% 함초 동결건조 분말 섭취군의 식이섭취량 감소로 인한 체중감소 때문에 체중을 고려한 상대적인 간 무게에는 유의한 차이가 나타나지 않은 것으로 사료된다.

일반적으로 비만이란 단순한 체중의 증가가 아닌 지방 조직에 중성지방이 축적되어 발생하는 체지방량의 증가를 말하며, 특히 복부지방 함량이 증가할수록 대사성 질환 위험 역시 증가한다고 보고되고 있다.³⁹ 중성지방의 저장고인 부고환 지방조직의 무게를 살펴보면 왼쪽/오른쪽 모두 5% HS군이 HFC군에 비해 유의하게 낮은 것을 볼 수 있으며, NC군보다도 유의적으로 수치가 낮았다. 또한 체중을 고려한 상대적 부고환 지방조직의 무게에서 역시 5% HS군이 HFC군이나 정상식이군에 비해 유의하게 크게 낮았는데 이러한 결과는 고지방식이와 식이섬유를 동시에 섭취한 흰쥐의 체지방량이 저지방식이 섭취군과 비슷한 수치를 나타낸 Artissa 등⁴⁰의 연구 결과와 비교할 때 함초에 함유된 식이섬유 섭취가 체지방 조직 감소에 영향을 미쳤을 가능성도 배제할 수 없다. 그러나, 본 연구결과 5% 함초 동결건조 분말의 섭취는 식이섭취량을 유의하게 크게

감소시켰기 때문에 이로 인한 간 및 부고환 지방조직에서의 지방 축적 억제 효과가 더 크게 나타났을 것으로 사료된다. 체중을 고려한 상대적 부고환 지방조직의 무게는 정상식이군 (NC)에서 가장 높게 측정되었는데 이는 높은 식이 섭취율로 인해 증가된 탄수화물의 섭취가 혈중 중성지질을 높여 지방조직의 합성을 증가시킨 것으로 사료되나 이에 관한 연구는 좀 더 진행되어야 할 것이다.⁴¹

Metabolic cage에서 24시간 동안 수집한 분변량을 식이 섭취량으로 보정하여 분석한 결과 함초 동결건조 분말 섭취에 따른 분변량의 유의한 차이는 없었고, 분변에서 추출한 지질 농도 역시 고지방식이 섭취에 의해서는 유의하게 증가하였으나 함초 분말 섭취에 따른 차이는 없었다. 또한, 혈중 중성지방, 총 콜레스테롤 및 HDL-콜레스테롤 농도 역시 함초 섭취 유무에 따른 유의한 차이는 나타나지 않아 함초 동결건조 분말 섭취가 장내 지방의 흡수나 혈중 지질 농도에는 영향을 미치지 않는 것으로 여겨진다. 일반적으로 고지방식이 급여로 인한 지방산 공급의 증가는 혈중 중성지방과 총 콜레스테롤 농도를 증가시키고 HDL-콜레스테롤 농도를 감소시켜 심혈관 및 관상심혈관질환을 야기한다.⁴² 본 실험결과에서도 혈청 총 콜레스테롤 함량은 2% HS군을 제외한 모든 고지방식이 섭취군에서 유의적으로 증가하였으나 혈중 중성지질 농도는 NC군에서 고지방식이를 섭취한 모든 군에 비해 유의적으로 증가한 것을 볼 수 있었다. 이는 정상식이를 섭취한 NC군이 고지방식이를 섭취한 다른 군보다 탄수화물의 섭취가 많아 지방으로 저장되는 대사과정에서 중성지질의 합성을 늘려 혈중 농도를 높여 나타내는 결과로 생각된다.⁴¹

간은 콜레스테롤 합성의 주요 장기로 지단백을 구성하여 순환계로 분비함으로서 혈액의 콜레스테롤의 농도를 조절하는 기능을 하며, 간의 콜레스테롤 농도는 순환기계 질환의 유발에 주요한 지표가 되고 있다.⁴³ 또한, 고지방식이는 간에 지방을 축적시켜 지방간의 원인이 되는 것으로 알려져 있으며,³⁷ 본 연구에서도 간 조직의 중성 지질과 총 콜레스테롤 함량이 고지방식이 섭취에 의해 유의하게 증가됨을 관찰할 수 있었다. FAS는 acetyl-CoA carboxylase (ACC)와 함께 지방 합성을 조절해주는 주요 조절 효소로 조직 특이적으로 지방 합성이 활발한 간이나 지방조직에서 많이 검출되며, 영양섭취 상태에 따라 활성도가 민감하게 반응하는 것으로 알려져 있다.⁴⁴ 본 연구에서 간 세포질의 FAS 농도를 측정한 결과, FAS 농도가 고지방식이 섭취에 의해 유의하게 감소하였는데, 이는 같은 열량의 저지방 고탄수화물 식이가 고지방 저탄수화물 식이보다 지방산 합성이 증가되었다고 한 인체연구⁴⁵ 결과와 일치하며, NC군이 식이섭취량도 다른 군보다 높았고 상대적으로 탄수

화물의 섭취도 많았기 때문에 이로 인한 해당과정 중간대사 물질 증가가 FAS 농도를 높이는데 기인하였을 것으로 여겨진다.⁴⁶ 그러나, 본 연구 결과, 간 조직 내 중성지질, 콜레스테롤 함량 및 FAS 농도 모두 함초 동결건조 분말 섭취에 따른 유의한 차이는 관찰할 수 없었다.

Leptin은 지방세포의 비만 유전자에 의해 생성되는 호르몬으로 비만의 경우 leptin의 분비량이 증가하는 것으로 알려져 있으며, 혈중 leptin 농도는 체지방량을 나타내는 지표로 비만연구에 많이 사용되고 있다.⁴⁷ 본 실험에서 혈중 leptin 농도는 NC군이 모든 군에 비해 가장 높게 측정되었는데, 이는 높은 식이섭취로 탄수화물의 섭취가 증가되고 이로 인해 혈중 중성지질과, 지방조직의 합성이 증가되면서 leptin의 분비량을 증가시킨 것으로 사료된다. 혈청 중 leptin 농도의 경우 HFC군에 비해 모든 함초 섭취군에서 유의적이진 않았지만 leptin의 수치가 낮게 나타나는 경향이 보였으며, 특히 함초 동결건조 분말 첨가 농도에 따라 leptin 역시 의존적으로 감소하는 경향을 보였다. 특히 5% HS군은 HFC군에 비해 leptin 농도가 유의적으로 감소하였는데, 5% 동결건조 함초의 섭취는 식이섭취량을 감소시키고, 이로 인한 체중 및 체지방 감소 효과를 야기하여 혈중 leptin의 농도를 감소시키는 효과가 나타났다.

혈중 adiponectin은 비만한 사람에게서 그 발현양이 감소하며, 내장지방이 많을수록 더 높은 음의 상관관계를 나타내고 adiponectin 농도 감소는 심혈관계 질환의 위험을 증가시키는 것으로 보고되고 있다.^{48,49} 혈청 중 adiponectin 농도에 대한 결과는 고지방식이의 영향으로 NC군에 비하여 고지방식이를 섭취한 모든 군에서 농도가 유의적으로 감소하였다. 특히 함초 동결건조 분말군의 경우 유의적인 차이는 없었지만 농도 의존적으로 증가하는 것을 볼 수 있으며, 5% HS군의 경우 HFC군에 비해 adiponectin의 농도가 증가하는 경향이 나타났다. 이는 5%의 함초 동결건조 분말의 섭취가 식이섭취량을 감소시켜 지방의 축적을 막아 adiponectin의 분비에 영향을 미쳤을 것으로 추정된다.

결론적으로 고지방식이와 함께 섭취한 5% 함초 동결건조 분말 (5% HS)은 식이섭취량을 줄여 체중, 간 및 지방조직의 무게 감소 효과를 나타냈다. 또한 5% HS군은 고지방식이군 (HFC)에 비해 혈중 leptin 농도를 유의적으로 감소시켰으며, 혈중 adiponectin 농도를 증가시키는 경향을 보이는 등 지질대사 개선에 긍정적인 영향을 미치는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 함초 동결건조 분말에 많이 함유된 식이 섬유소와 관련이 있을 가능성이 있으나 정확한 원인에 대해서는 더 많은 연구가 필요하다. 또한, 본 연구는 자유 식이를 통해 식이섭취량의 통제가 정확히 이루어지지 않았기 때문에 함초 동결건조 분말의 항비만 원인 물질

및 생화학적인 작용기전에 대한 더 심도 있는 연구가 필요하며, 나아가 인체 대상의 임상실험을 통한 직접적인 연구도 필요하다.

요 약

본 연구에서는 한국산 함초 (*Salicornia herbacea* L.)인 통통마디의 항비만 효과를 알아보기로 동물실험을 실시하였다. 함초 동결건조 분말 및 함초 동결건조 나노화 분말의 항비만 효과를 살펴본 결과는 다음과 같다.

1) 최종체중은 5% 함초 동결건조 분말을 섭취한 5% HS군이 HFC군에 비해 유의하게 감소하였으며, NC군보다도 유의적으로 낮게 나타났다. 식이섭취량은 NC군에 비하여 고지방식이 섭취군 (HFC, 2% HS, 5% HS, 1% HSN)에서 유의적으로 감소하였고, 5% 함초 동결건조 분말을 섭취한 5% HS군은 고지방식이군보다 유의적으로 식이섭취량이 낮았다.

2) 간 무게는 고지방식이의 영향으로 NC군에 비하여 모든 고지방식이 섭취군에서 유의하게 증가하였고, 5% 함초 동결건조 분말 섭취군은 HFC군과 비교해 유의하게 낮았다. 부고환 지방조직의 무게 역시 왼쪽/오른쪽 모두 5% 함초 동결건조 분말 섭취군에서 HFC군에 비해 유의하게 낮았으며, NC군보다도 유의적으로 수치가 낮았다.

3) 혈청 중성지방 농도는 NC군이 모든 고지방식이 섭취군에 비해 유의하게 높았으며, 혈청 총 콜레스테롤 농도는 2% HS군을 제외한 모든 고지방식이군에서 NC군에 비해 유의하게 높았다. 그러나, 혈청 중성지방, 총 콜레스테롤, LDL-콜레스테롤 및 HDL-Cholesterol 농도 모두 HFC군과 비교하여 함초 섭취에 따른 유의한 차이가 없었다.

4) 간 조직의 중성지방과 총 콜레스테롤 농도는 NC군에 비하여 모든 고지방식이 섭취군에서 유의적으로 증가하였다 ($p < 0.05$). HFC군은 함초 섭취군과 유의적인 차이가 나타나지 않았으나, 5% 함초 동결건조 분말 섭취군의 중성 지방과 총 콜레스테롤 농도는 HFC군에 비해 감소하는 경향을 보였다.

5) 간 세포질 중 FAS 농도의 경우 NC군이 모든 고지방식이 섭취군에 비해 유의적으로 증가하였으며, 함초분말 섭취에 따른 유의한 차이는 없었다.

6) 혈청 leptin 농도는 HFC군에 비해 모든 함초 섭취군에서 leptin의 수치가 낮게 나타나는 경향이 보였다. 특히 5% HS군은 HFC군에 비해 leptin 농도가 유의적으로 감소하였다. 혈청 adiponectin 농도는 NC군이 모든 고지방식이 섭취군에 비해 유의적으로 높았으며, 5% 함초 동결건조 분말 섭취군의 경우 HFC군 비해 그 농도가 증가하는 경향이

나타났으나 유의적인 차이는 없었다.

이상의 실험 결과에서 고지방식과 함께 섭취한 5% 함초 동결건조 분말은 식이섭취량을 줄여 체중, 간 및 지방조직의 무게를 감소하였고, 혈중 leptin 농도를 유의적으로 감소시켰으며, 혈중 adiponectin 농도를 증가시키는 경향을 보이는 등 지질대사 개선에 긍정적인 영향을 나타냈다. 이러한 결과는 함초의 식이조절 및 지질개선 건강기능성 소재 개발 가능성을 제시한 것으로 생각된다.

References

- Solomon CG, Manson JE. Obesity and mortality: a review of the epidemiologic data. *Am J Clin Nutr* 1997; 66(4 Suppl): 1044S-1050S.
- Albu J, Allison D, Boozer CN, Heymsfield S, Kissileff H, Kretser A, Krumhar K, Leibel R, Nonas C, Pi-Sunyer X, VanItallie T, Wedral E. Obesity solutions: report of a meeting. *Nutr Rev* 1997; 55(5): 150-156.
- Grundy SM. Multifactorial causation of obesity: implications for prevention. *Am J Clin Nutr* 1998; 67(3 Suppl): 563S-572S.
- Reddy P, Chow MS. Focus on orlistat: a nonsystemic inhibitor of gastrointestinal lipase for weight reduction in the management of obesity. *Formulary* 1998; 33(10): 943-959.
- Burns AA, Livingstone MB, Welch RW, Dunne A, Rowland IR. Dose-response effects of a novel fat emulsion (Olibra) on energy and macronutrient intakes up to 36 h post-consumption. *Eur J Clin Nutr* 2002; 56(4): 368-377.
- Delzenne NM, Cani PD, Daubioul C, Neyrinck AM. Impact of inulin and oligofructose on gastrointestinal peptides. *Br J Nutr* 2005; 93 Suppl 1: S157-S161.
- Zacour AC, Silva ME, Cecon PR, Bambirra EA, Vieira EC. Effect of dietary chitin on cholesterol absorption and metabolism in rats. *J Nutr Sci Vitaminol (Tokyo)* 1992; 38(6): 609-613.
- Oh SJ, Kim YS, Park CY, Kim SW, Yang IM, Kim JW, Choi YK, Paeng JR, Shin HD. Body fat decreasing mechanisms of red ginseng compound. *J Korean Soc Study Obes* 2000; 9(4): 209-218.
- Rhee SJ, Kim KR, Kim HT, Hong JH. Effects of catechin on lipid composition and adipose tissue in obese rats fed high fat diet. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 2007; 36(5): 540-547.
- Jeon JR, Kim JY, Lee KM, Cho DH. Anti-obese effects of mixture contained pine needle, black tea and green tea extracts. *J Korean Soc Appl Biol Chem* 2005; 48(4): 375-381.
- Lee TB. Illustrated flora in Korea. Seoul: Hyangmoonsa; 1980.
- Lee YN. An illustrated book of the Korean flora. Seoul: Kyohaksa; 1996.
- Kim CS, Song TG. Ecological studies on the halophyte communities at western and southern coasts in Korea (IV): the halophyte communities at the different salt marsh habitats. *Korean J Ecol* 1983; 6(3): 167-176.
- Do JR, Kim EM, Koo JG, Jo KS. Dietary fiber contents of marine algae and extraction condition of the fiber. *J Korean Fish Soc* 1997; 30(2): 291-296.
- Jo YC, Ahn JH, Chon SM, Lee KS, Bae TJ, Kang DS. Studies on pharmacological effects of Glasswort (*Salicornia herbacea* L.).

- Korean J Med Crop Sci 2002; 10(2): 93-99.
16. Song HS, Kim DP, Jung YH, Lee MK. Antioxidant activities of red Hamcho (*Salicornia herbacea* L.) against lipid peroxidation and the formation of radicals. Korean J Food Nutr 2007; 20(2): 150-157.
 17. Bang MA, Kim HA, Cho YJ. Hypoglycemic and antioxidant effect of dietary Hamcho powder in streptozotocin-induced diabetic rats. J Korean Soc Food Sci Nutr 2002; 31(5): 840-846.
 18. Kim SH, Ryu DS, Lee MY, Kim KH, Kim YH, Lee DS. Anti-diabetic activity of polysaccharide from *Salicornia herbacea*. Korean J Microbiol Biotechnol 2008; 36(1): 43-48.
 19. Lee JT, An BJ. Detection of physical activity of *Salicornia herbacea*. Korean J Herbol 2002; 17(2): 61-69.
 20. Jung BM, Park JA, Bae SJ. Growth inhibitory and quinone reductase induction activities of *Salicornia herbacea* L. fractions on human cancer cell lines in vitro. J Korean Soc Food Sci Nutr 2008; 37(2): 148-153.
 21. Cha JY, Jeon BS, Park JW, Kim BK, Jeong CY, Ryu JS, Choi CK, Cho YS. Hypocholesterolemic effect of yogurt supplemented *Salicornia herbacea* extract in cholesterol-fed rats. J Life Sci 2004; 14(5): 747-751.
 22. Kim KR, Jang MJ, Choi SW, Woo MH, Choi JH. Effects of water extract from enzymic-treated Hamcho (*Salicornia herbacea*) on lipid metabolism in rats fed high cholesterol diet. J Korean Soc Food Sci Nutr 2006; 35(1): 55-60.
 23. Kim MJ, Jun HY, Kim JH. Antiadipogenic effect of Korean glasswort (*Salicornia herbacea* L.) water extract on 3T3-L1 adipocytes. J Korean Soc Food Sci Nutr 2014; 43(6): 814-821.
 24. Hou JG, Wang Y, Xu W, Yang L, Wu ZQ, Zhang YH. Formation of (110) oriented layered silver nano-crystallites. Mater Lett 1998; 34(1-2): 36-39.
 25. Douroumis D, Fahr A. Nano- and micro-particulate formulations of poorly water-soluble drugs by using a novel optimized technique. Eur J Pharm Biopharm 2006; 63(2): 173-175.
 26. Gao H, Chen H, Chen W, Tao F, Zheng Y, Jiang Y, Ruan H. Effect of nanometer pearl powder on calcium absorption and utilization in rats. Food Chem 2008; 109(3): 493-498.
 27. Dey TK, Ghosh S, Ghosh M, Koley H, Dhar P. Comparative study of gastrointestinal absorption of EPA & DHA rich fish oil from nano and conventional emulsion formulation in rats. Food Res Int 2012; 49(1): 72-79.
 28. Nenaah GE. Chemical composition, toxicity and growth inhibitory activities of essential oils of three *Achillea* species and their nano-emulsions against *Tribolium castaneum* (Herbst). Ind Crops Prod 2014; 53: 252-260.
 29. Reagan-Shaw S, Nihal M, Ahmad N. Dose translation from animal to human studies revisited. FASEB J 2008; 22(3): 659-661.
 30. Omodeo Salè F, Marchesini S, Fishman PH, Berra B. A sensitive enzymatic assay for determination of cholesterol in lipid extracts. Anal Biochem 1984; 142(2): 347-350.
 31. Masmoudi A, Labourdette G, Mersel M, Huang FL, Huang KP, Vincendon G, Malviya AN. Protein kinase C located in rat liver nuclei. Partial purification and biochemical and immunochemical characterization. J Biol Chem 1989; 264(2): 1172-1179.
 32. Bligh EG, Dyer WJ. A rapid method of total lipid extraction and purification. Can J Biochem Physiol 1959; 37(8): 911-917.
 33. Lowry OH, Rosebrough NJ, Farr AL, Randall RJ. Protein measurement with the Folin phenol reagent. J Biol Chem 1951; 193(1): 265-275.
 34. Cho YS, Kim SI, Han YS. Effects of slander glasswort (*Salicornia herbacea* L.) extract on improvements in bowel function and constipation relief. Korean J Food Sci Technol 2008; 40(3): 326-331.
 35. Shin KS, Boo HO, Jeon MW, Ko JY. Chemical components of native plant, *Salicornia herbacea* L. Korean J Plant Resour 2002; 15(3): 216-220.
 36. Hwang SH, Kim JI, Sung CJ. Analysis of dietary fiber content of some vegetables, mushrooms, fruits and seaweeds. Korean J Nutr 1996; 29(1): 89-96.
 37. Sung NJ, Lee SJ, Shin JH, Chung MJ, Lim SS. Effects of *Houttuynia cordata* Thunb powder and juice on lipid composition of liver, brain and kidney in dietary hypercholesterolemic rats. J Korean Soc Food Sci Nutr 1998; 27(6): 1230-1235.
 38. Soloff LA, Rutenberg HL, Lacko AG. Serum cholesterol esterification in patients with coronary heart disease. Importance of initial rate of esterification expressed as a function of free cholesterol. Am Heart J 1973; 85(2): 153-161.
 39. Després JP. Abdominal obesity as important component of insulin-resistance syndrome. Nutrition 1993; 9(5): 452-459.
 40. Artiss JD, Brogan K, Brucal M, Moghaddam M, Jen KL. The effects of a new soluble dietary fiber on weight gain and selected blood parameters in rats. Metabolism 2006; 55(2): 195-202.
 41. Hellerstein MK. Carbohydrate-induced hypertriglyceridemia: modifying factors and implications for cardiovascular risk. Curr Opin Lipidol 2002; 13(1): 33-40.
 42. Wald NJ, Law MR. Serum cholesterol and ischaemic heart disease. Atherosclerosis 1995; 118 Suppl: S1-S5.
 43. Grundy SM. Monounsaturated fatty acids, plasma cholesterol, and coronary heart disease. Am J Clin Nutr 1987; 45(5 Suppl): 1168-1175.
 44. Kim YH. By nutritional and hormonal regulation of fatty acid synthase. Foods Nutr Proc 1996; 7: 46-58.
 45. Hudgins LC, Hellerstein M, Seidman C, Neese R, Diakun J, Hirsch J. Human fatty acid synthesis is stimulated by a eucaloric low fat, high carbohydrate diet. J Clin Invest 1996; 97(9): 2081-2091.
 46. Lakshmanan MR, Nepokroeff CM, Porter JW. Control of the synthesis of fatty-acid synthetase in rat liver by insulin, glucagon, and adenosine 3':5' cyclic monophosphate. Proc Natl Acad Sci U S A 1972; 69(12): 3516-3519.
 47. Caro JF, Sinha MK, Kolaczynski JW, Zhang PL, Considine RV. Leptin: the tale of an obesity gene. Diabetes 1996; 45(11): 1455-1462.
 48. Piñeiro R, Iglesias MJ, Gallego R, Raghay K, Eiras S, Rubio J, Diéguez C, Gualillo O, González-Juanatey JR, Lago F. Adiponectin is synthesized and secreted by human and murine cardiomyocytes. FEBS Lett 2005; 579(23): 5163-5169.
 49. Matsuzawa Y, Funahashi T, Kihara S, Shimomura I. Adiponectin and metabolic syndrome. Arterioscler Thromb Vasc Biol 2004; 24(1): 29-33.