율무 선식이 고지방식이 마우스의 비만 및 고지혈증에 미치는 영향

이윤지¹ · 박해진² · 조수정³ · 박순애⁴ · 김미림⁴

¹대구한의대학교 한방식품학과, ²대구한의대학교 바이오융합시험센터,
³대구한의대학교 간질환한약융합활용연구센터, ⁴대구한의대학교 푸드케어학부

The Effect of Yulmu (*Coix lacryma-jobi* L.)-Sunsik on Obesity and Hyperlipidemia in Mice Fed High-Fat Diet

Yun-Ji Lee¹, Hae-Jin Park², Su-Jung Cho³, Soon-Ae Park⁴, and Mi-Lim Kim⁴

¹Department of Herbal Food and Nutrition, ²Bio Convergence Testing Center,
³HCLD, and ⁴Foodcare YAKSUN, Daegu Haany University

ABSTRACT This study to sought investigate the effects of mixed grain powder (yulmu-sunsik) on obesity and hyperlipidemia. Yulmu-sunsik was prepared by mixing *Cucurbita moschata* Duch., *Wolfiporia extensa*, barley (*Hordeum vulgare* L.), *Carthamus tinctorius* L., *Monascus purpureus*, *Nelumbinis semen*, *Dioscorea batatas* Decne, and yulmu (*Coix lacryma-jobi* L.) as the primary ingredients. The antioxidant properties of yulmu-sunsik CP65 (yulmu : barley : the other ingredients = 6.5:2.5:1) were measured. Animal testing was performed by classifying C57BL/6 mice into a normal group (normal), high-fat diet group (60% fat, control), high-fat diet with low-CP65 group (1 g/kg/d, CSL), and high-fat diet with high-CP65 group (2 g/kg/d, CSH). The ABTS and DPPH radical scavenging activities, and total polyphenol levels were higher in heated-CP65. Bodyweight, liver and epididymal white adipose tissue weight significantly decreased in the CSL group compared to the control group. The CSL group also showed significantly decreased total blood cholesterol levels compared to the control group. Blood triglycerides and low-density lipoprotein-cholesterol levels significantly decreased, hepatic lipids levels were significantly lowered, and blood high-density lipoprotein-cholesterol levels significantly increased in the CSL and CSH groups compared to the control group. Based on these results, yulmu-sunsik may be considered a nutritious and healthy meal replacement that can promote the reduction of obesity and hyperlipidemia.

Key words: *Coix lacryma-jobi* L., sunsik, obesity, hyperlipidemia

서 론

최근 급속한 경제발전으로 인한 사회적 생활수준의 변화로 신체적 활동의 부족과 앉아서 일하는 업무형태, 과잉 영양상태와 불균형한 식생활 패턴은 각종 대사질환을 초래하고 있으며 사회적 큰 문제로 대두되고 있다. 특히 대부분의 대사질환은 섭취하는 식이와 밀접한 관련이 있는 것으로 보고되고 있다(Park 등, 2016).

국민건강영양조사 결과를 참고하면 대사질환의 원인인 비만은 고혈압, 이상지질혈증, 당뇨병의 유발 위험을 높이는 주요한 요인으로 보고되었으며(Choi 등, 2018), 세계보건기

구(WHO)는 비만을 '21세기 신종 전염병'으로까지 규정하였다(Choi 등, 2018; Lee 등, 2014).

생활수준이 높아지고 건강에 대한 인식 변화로 식생활의 중요성이 높아졌으며, 큰 사회문제로 대두된 비만을 조절할 수 있는 식생활에 대한 관심이 커졌다. 또한 생활패턴이 변화하여 편의성을 추구하게 되면서 식사를 한 끼 대용식으로 섭취하는 사람, 기능성을 초점으로 섭취하는 사람, 자연주의 및 안정성을 추구하는 사람 등 식생활에 대한 요구가 다양화되었다.

한편 선식은 다양한 계층에서 식사 대용식 또는 영양 균형 식으로서 이용되고 있다. 선식(仙食)은 복잡한 조리과정

Received 22 April 2021; Revised 3 June 2021; Accepted 14 June 2021

Corresponding author: Mi-Lim Kim, Faculty of Herbal Food Cuisine and Nutrition, Daegu Haany University, 1, Hanuidae-ro, Gyeongsan-si, Gyeongbuk 38609, Korea, E-mail: mlk8742@dhu.ac.kr

Author information: Yun-Ji Lee (Graduate student), Hae-Jin Park (Professor), Su-Jung Cho (Researcher), Soon-Ae Park (Professor), Mi-Lim Kim (Professor)

Copyright © 2021 by The Korean Society of Food Science and Nutrition. All rights Reserved.

This is Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

없고 보관이 용이하여 간편하게 우유나 물과 함께 즉석 섭취가 가능하며, 수도자들이 참선할 때 먹던 자연 건강식으로 위에 부담을 주지 않고 머리를 맑게 하는 편의식품을 말한다(Jeon과 Kim, 2010). 일반적으로 가정에서 곡류를 볶아 가루로 만든 형태로 간식이나 아침 식사용으로 애용해 왔다. 최근 현대화 제조 방식이 도입되면서 원재료 선택의 폭이 넓어지고 건강에 대한 관심도가 높아지면서 다양한 곡류와 채소류 등을 첨가해 제조하여 ‘선식’이라 부르게 되었다(Ra와 Kim, 2014). 대부분 선식의 식재료들은 최소 가공 형태로 식이섬유소 등이 풍부하여 적은 양을 섭취하여도 포만감을 느낄 수 있어 체중감소 다이어트나 특수 목적의 보조 영양 섭취를 위해 이용되고 있다(Lee 등, 2010). 한편, 시판되는 선식들은 단순 곡물가루를 배합한 혼합물이 많아 영양성분이 대부분 탄수화물로 치우쳐져 있으므로, 건강과 기능성을 보강하여 경쟁력 있는 다양한 제품들을 개발할 필요성이 있다(Ra와 Kim, 2014).

율무(*Coix lacryma-jobi* L. var. *ma-yuen* Stapf.)는 일반 곡류에 비해 단백질 및 지질 함량이 높은 것으로 알려져 있다(Lee 등, 2019). 탄수화물 중 당질은 적고 섬유소 함량은 높으며, 칼슘, 철분, 비타민 B군을 다량 함유하고 있어 영양적으로 우수해 시판되는 선식이나 다이어트 관련 건강 보조식품으로 적당하다고 보고된다(Kim 등, 2000). 율무는 혈액 내 중성지방 및 콜레스테롤 농도를 감소시키며 콜레스테롤 재분배 역할을 하는 high-density lipoprotein(HDL)-콜레스테롤 농도를 증가시키는 것으로 알려져 있다(Chung 등, 1988). 또한 동물성 유지를 섭취시켜도 율무쌀 첨가 시 혈장 내 콜레스테롤 수준이 식물성 유지를 섭취시킨 수준과 비슷해지는데 이는 율무쌀의 혈장 중성지방 농도 감소 효과 때문이라고 보고되었다(Park, 1988).

본 연구에서는 이러한 율무를 기반으로 기능성 선식을 개발하고자 한다. 율무 선식에 첨가한 효능이 알려진 소재들로는 β -글루칸이 풍부하여 체내 혈중 콜레스테롤의 저하, 간 조직의 콜레스테롤 축적 억제 및 지방의 체내 흡수 감소 효과가 알려진 보리(*Hordeum vulgare* L.), 중화본초에서 항비만, 혈당강하, 면역증강, 위장관 운동조절능 회복, 항산화 작용 등이 보고된 산약(*Dioscorea batatas* Decne) 및 호박(*Cucurbita moschata* Duch.), 180여 종의 항암작용, 이뇨 작용, 혈당저하, 뇌세포의 활성 작용으로 알려져 널리 사용되고 있는 복령(*Wolfiporia extensa*)(Kim, 2010), 혈중 콜레스테롤 저하 작용이 보고된 홍화(*Carthamus tinctorius* L.)(Kim 등, 2003), 고혈압 등 심혈관 질환 관련 효능이 보

고된 연자육(*Nelumbinis semen*)(Ling 등, 2005), 강력한 콜레스테롤 생합성 저해 작용이 보고된 홍국(*Monascus purpureus*)(Park 등, 2012a)을 첨가하여 혼합 분말 선식을 제조하였다(Kim, 2010; Kim 등, 2003; Ling 등, 2005; Park 등, 2012a). 제조한 율무 선식의 이화학적, 항산화적 지표를 평가하고 항비만 효능을 검증함으로써 소비자들의 건강증진을 위한 고부가가치 선식 개발의 가능성을 제시하고자 한다.

재료 및 방법

율무 선식의 제조

본 실험에 사용된 율무(품종: 조현율무)는 농촌진흥청에서 제공받아 사용하였고, 율무 선식 제조를 위해 복령(Yakchomyungga, Gyeonggi, Korea), 연자육(Yakchomyungga), 산약(Yakchomyungga), 찰보리쌀(Hyundai Nongsan, Gyeonggi, Korea), 홍국쌀(Hanaro Rice, Seoul, Korea), 홍화꽃(Donguiherb, Seoul, Korea), 늪은 호박가루(Purundeulpan, Seoul, Korea)를 구입하여 사용하였다. 율무 선식에 사용한 재료와 배합비는 Table 1과 같다. 동물실험에 사용한 가열 율무의 제조 방법은 수세 3회, 수침 4시간, 실온 22°C에서 12시간 건조한 후, 200°C에서 23분 로스팅기(MK-400A Citta, MICO Co., Beijing, China)에 로스터를 하였다. 총 폴리페놀 함량 및 항산화적 지표 평가에 사용된 비가열 율무의 제조 방법은 가열 율무 제조 방법에서 로스터 과정을 제외시켰다. 복령, 연자육, 산약은 수세 1회, 실온 22°C에서 12시간 건조한 후, 200°C에서 10분 로스터를 하였다. 찰보리쌀은 수세 3회, 수침 4시간, 실온 22°C에서 12시간 건조한 후, 200°C에서 20분 로스터를 하였다. 홍국쌀은 쌀의 특성상 수세 없이 바로 200°C에서 20분 로스터 하였다. 홍화 꽃가루와 늪은 호박가루는 시판용을 사용하였고, 율무 선식에 사용되는 재료는 모두 제분기(HMF-3450S, Hanil, Seoul, Korea)를 이용하여 분쇄한 후 표준망체(test sieve 160 μ m, Cheonggye Industrial Co., Seoul, Korea)에 친 후 시료로 사용하였다.

일반영양성분 분석

일반영양성분 분석은 식품공전법에 준하여 실시하였으며, 수분함량은 건조감량법, 조회분은 직접회화법, 조지방은 에틸에테르를 용매로한 Soxhlet법, 조단백질은 Kjeldahl법, 나트륨 정량은 inductively coupled plasma spectrometer

Table 1. Formula for yulmu-sunsik

Sample ¹⁾	Ingredients (%)							
	<i>Coix lacrymajobi</i> powder	<i>Hordeum vulgare</i> powder	<i>Disocorea batatas</i> powder	<i>Wolfiporia extensa</i> powder	<i>Nelumbinis semen</i> powder	<i>Carthamus tinctorius</i> powder	<i>Cucurbita moschata</i> Duch. powder	<i>Monascus purpureus</i> powder
CP65	65	25	3	3	1	1	1	1

¹⁾CP: *Coix lacryma-jobi* powder.

(ICPE 9000, SHIMADZU, Cambridge, UK)를 사용하여 분석하였고 시료 전체를 100%로 하여 수분, 조단백질, 조지방 및 회분 함량 %를 감한 것을 탄수화물 함량(%)으로 하였다. 콜레스테롤은 비누화 과정을 통해 추출하고 기체크로마토그래피(GC-2010, Shimadzu, Kyoto, Japan)를 이용하여 측정하였다. 당류의 함량은 시료를 물에 녹인 후 아세토니트릴을 가해 membrane 필터로 여과한 것을 시험용액으로 하여 HPLC(Alliance e2695, Waters Co., Manchester, UK)를 이용해 측정하였다.

총 폴리페놀 함량 측정

본 실험에서 사용한 율무 선식 추출물은 3차 증류수로 10배 희석하여 환류추출을 1시간 진행하였으며, 3,000 rpm (5810R, Eppendorf Co., Hamburg, Germany), 20°C에서 5분간 원심분리하여 상층액만 사용하였다.

총 폴리페놀 함량은 희석한 시료 500 µL에 Folin reagent 500 µL를 넣어 혼합한 후 상온에서 3분 방치한 다음 Na₂CO₃ 용액 500 µL를 각각 분주 및 혼합한 뒤 상온에서 1시간 반응시킨 후 760 nm에서 흡광도를 측정하였다. 폴리페놀 화합물은 tannic acid(Sigma-Aldrich, St. Louis, MO, USA)를 사용하여 표준검정곡선을 작성하였으며, 표준검정곡선에 시료의 흡광도 값을 대입하여 총 폴리페놀 함량(µg tannic equivalent/g)을 계산하였다.

DPPH 전자공여능 측정

DPPH(2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl, Sigma-Aldrich)는 0.2 mM로 에탄올에 희석하여 사용하였으며, 양성 대조군은 ascorbic acid를 0.1 mg/mL로 희석하여 사용하였다. 96-well plate에 희석한 시료를 100 µL씩 분주한 다음 0.2 mM 농도의 DPPH 시약 50 µL를 첨가하여 상온에서 10분간 반응시킨 후 517 nm에서 흡광도를 측정하였다. DPPH 라디칼 소거 활성(%)은 아래의 식으로 계산하여 나타냈다.

$$\text{DPPH 라디칼 소거 활성(\%)} = 1 - \frac{\text{시료 처리구 흡광도} - \text{공시험 흡광도}}{\text{무처리구 흡광도}} \times 100$$

ABTS 라디칼 소거 활성 측정

7 mM ABTS(2,2-azino-bis(3-ethylbenzoline-6-sulfonic acid), Sigma-Aldrich) 용액과 2.45 mM의 potassium persulfate(Sigma-Aldrich)를 혼합하여 실온의 암소 상태에서 약 16시간 이상 방치하여 ABTS⁺를 형성시킨 후 734 nm에서 흡광도 값이 0.70±0.02가 되게 증류수로 희석하였다. 희석된 ABTS 용액 100 µL에 시료를 각각 50 µL를 가하여 5분 동안 방치한 다음 흡광도를 측정하였다. ABTS 라디칼 소거 활성(%)은 아래의 식으로 계산하여 나타냈다.

ABTS 라디칼 소거 활성(%) =

$$1 - \frac{\text{시료 처리구 흡광도} - \text{공시험 흡광도}}{\text{무처리구 흡광도}} \times 100$$

동물사육 실시

5주령 웅성 C57BL/6 마우스(Daehan Bio Link., Eum-seong, Korea)를 구매하여 물과 고형사료(NIH-41, Zeigler Bros, Inc., Gardners, PA, USA)를 충분히 공급하며 1주간 실험실 환경에 적응시킨 후 실험에 사용하였다. 실험은 대구 한의대학교 동물실험 윤리위원회의 승인(DHU2020-009)을 얻어 시행하였으며 동물관리 규정을 준수하였다. 동물 사육실의 조건은 conventional system으로 온도 22±2°C, 습도 50±5%, 명암주기는 12시간 주기로 조절하였다. 모든 마우스는 일정한 시간에 1회/1일 체중 및 사료 섭취량을 측정하였다. 실험군은 군별로 6마리씩 4군으로 나눈 뒤, 정상군을 제외한 나머지 3개 군에 60% high-fat diet(HFD; Diet 12492, Research Diets, Inc., New Brunswick, NJ, USA)를 매일 새롭게 공급하였다. 고지방식이 대조군(Control)은 증류수, 실험 소재 보충군 2개 군은 가열 율무 선식(*Coix lacryma-jobi* L.-sunsik(CS) low-dose(CSL, 1 g/kg/d); CS high-dose(CSH, 2 g/kg/d))을 준대(Zonde)를 이용하여 5주간 경구 투여하였다. 부검 12시간 전에 절식시킨 후, 실험동물의 혈액 및 간조직과 부고환 지방조직을 채취하였다.

혈액 바이오 마커 측정

심장에서 채혈한 혈액을 4°C, 4,000 rpm으로 10분 동안 원심분리하여 혈청을 얻었다. 마우스 혈청의 triglyceride(TG)와 total cholesterol(TC)은 TG, TC assay kit(Wako Pure Chemical Industries, Ltd., Osaka, Japan)의 프로토콜에 따라 측정하였다. 간손상 지표로 alanine aminotransferase(ALT/GPT) 및 aspartate aminotransferase(AST/GOT)와 혈청 HDL-cholesterol(HDL-C)은 각 assay kit(Asan Pharmaceutical, Seoul, Korea)의 프로토콜에 따라 측정하였다. Low-density lipoprotein-cholesterol(LDL-C)은 Friedward법을 이용하여 계산하였다.

$$\text{LDL-C} = \text{TC} - (\text{HDL-C} + \text{TG}/5)$$

간조직 지질 측정

간조직 지질은 Folch 등(1957)의 방법에 따라 추출하였으며, 총 콜레스테롤 및 중성지질 함량은 혈액과 동일한 방법으로 분석하였다(Folch 등, 1957).

통계분석

모든 수치는 평균과 표준오차로 표시하였으며, SPSS (Version 25.0, IBM, Armonk, NY, USA)를 사용하여 Control군과 정상식이군 또는 실험 소재 보충군들 간에는 Student's t-test를 실시하여 각 군의 평균차이에 대한 통계

Table 2. Proximate compositions of the CP65

Sample	CP65 ¹⁾ (100 g)
Calorie	400.236 kcal
Carbohydrate	75.156 g
Protein	15.129 g
Sodium	0.006 g
Sugars	1.061 g
Fat	4.344 g
Saturated fat	0.613 g
Trans fat	—
Cholesterol	—
Moisture	3.66%
Ash	1.71%

¹⁾CP65, yulmu (*Coix lacryma-jobi* powder) : barley : the other ingredients = 6.5:2.5:1.

적 유의성을 $P<0.05$ 에서 검증하였다.

결과 및 고찰

영양성분 분석

선식은 소비자들에게 주로 간식용뿐만 아니라 식사대용으로 이용되므로 영양적 균형을 고려하여 제조할 필요성이 있다. 본 연구에서는 가열 CP65의 영양성분을 평가하고자 하였으며, 분석된 CP65 선식의 영양성분 분석 결과는 Table 2와 같다. 100 g 기준으로 총열량은 400.236 kcal, 탄수화물 75.156 g, 조단백질 15.129 g, 나트륨 0.006 g, 당류 1.061 g, 지방 4.344 g으로, 그중 포화지방산은 0.613 g이었고 트랜스지방 및 콜레스테롤은 검출되지 않았다. 회분 함량은 1.71%, 수분함량은 3.66%로 측정되었다. Lee 등 (2010)의 볶음현미 첨가 선식에서 탄수화물의 비율은 79.1%, 조단백질 함량은 10.5%로 CP65와 비교하여 탄수화물의 비율은 높은 반면 조단백 함량은 낮게 보고되었고, Bang 등 (2017)의 발아현미 선식의 경우 조지방 함유량이 8~9%로 CP65의 4.344%보다 2배가량 높은 것으로 보고되었다 (Lee 등, 2010; Bang 등, 2017). 영양균형 선식 제조연구 (Kim 등, 2005)에서 개발한 선식의 조단백 함유량과 CP65의 결과가 유사하였으며, 조지방 함량은 CP65에서 더 낮은 것으로 나타났다 (Kim 등, 2005). 그러나 선식은 일반적으로 다양한 곡류 및 채소류 등을 원료로 사용할 뿐 아니라 여러 제조 방식과 선식 원료 구성, 배합비의 차이에 영향을 받으므로 본 연구에서 분석된 일반성분 결과와 정확한 비교 분석은 할 수 없다. 다만 보고된 다양한 기능성 선식들에 비해 CP65의 경우 탄수화물 및 조지방의 비율은 낮고, 조단백질의 함량은 높거나 유사한 것으로 판단된다.

총 폴리페놀 분석

Table 3은 CP65 가열 및 비가열 추출물의 총 폴리페놀 함량을 분석한 결과이다. CP65의 가열 및 비가열 추출물의 총 폴리페놀 함량은 각각 91.79 ± 2.43 , 62.36 ± 0.82 $\mu\text{g TAE/g}$ 으로 측정되었으며, 동물실험에 총 폴리페놀 함량이

Table 3. Content of total polyphenol in CP65

Sample	$\mu\text{g TAE/g}^{1)}$
Heated-CP65	91.79 ± 2.43
Unheated-CP65	62.36 ± 0.82

¹⁾The polyphenol contents are expressed as tannic acid equivalents (TAE). The results are mean $\pm$ SE from three replication.

높은 가열 추출물을 시료로 사용하였다. Jang 등 (2012)은 한약재는 열처리 시 열에 의해 결합형 폴리페놀의 유리형 폴리페놀로의 전환 때문에 폴리페놀 함량이 증가한 것으로 보고하였으며, 이는 가열한 CP65에서의 총 폴리페놀 함량이 증가한 것을 설명할 수 있다. 또한 Hwang 등 (2020)은 가열 시간이 증가할수록 누룽지의 총 폴리페놀과 총 플라보노이드 함량이 높아진다고 보고하였으며, 유사한 연구로 쌀, 율무 등은 가열시간 및 온도가 증가할수록 총 폴리페놀 함량이 증가한다고 알려져 있다 (Hwang 등, 2020; Lee 등, 2009; Lee, 2011). 과채류의 열처리에 따른 항산화 성분 함량 연구에서는 수박, 참외, 토마토, 사과 및 바나나가 열처리 시 총 폴리페놀 함량이 증가하였는데, 이는 열처리 시 단백질과 결합된 고분자의 페놀성 화합물이 저분자의 페놀성 화합물로 전환되었거나, 이들 페놀 화합물의 결합이 파괴 또는 새로운 페놀 화합물의 생성 때문이라 보고하였다 (Kim 등, 2008).

DPPH 및 ABTS 라디칼 소거 활성 측정

CP65 추출물의 DPPH 및 ABTS 라디칼 소거능 측정 결과는 Table 4에 제시하였다. 가열 CP65 추출물의 DPPH 및 ABTS 라디칼 소거 활성을 비타민 C와 비교해보았을 때, 비가열 CP65보다 유의적으로 높게 측정되었다. Hwang (2007)의 연구에서 배의 열처리 시 항산화 활성이 증가하였으며, Hwang 등 (2020)의 연구에서 누룽지의 가열시간이 길어질수록 항산화 활성 및 항산화 물질 함량이 증가하였다 (Hwang, 2007; Hwang 등, 2020). DPPH 및 ABTS 라디칼 소거능은 과채류 열처리 시 증가하는 경향을 보였다고 보고된 바 있으며, 항산화 활성을 나타내는 대표적 화합물이 페놀 화합물이고 이는 열처리 시 함량이 높아져 항산화 효과가 증가하였다고 보고되었다 (Kim 등, 2008). 여러 연구에서 식

Table 4. DPPH and ABTS radical scavenging activities of CP65

Group	DPPH (%)	ABTS (%)
Vit. C	73.22 ± 1.75	100.13 ± 0.11
Heated-CP65	$79.42 \pm 1.59^*$	$94.53 \pm 0.52^{**}$
Unheated-CP65	$70.49 \pm 1.49^{\text{NS1)}$	$60.68 \pm 2.22^{***}$

DPPH, 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl; ABTS, 2,2-azino-bis(3-ethylbenzoline-6-sulfonic acid).

Concentrations: Vit. C, 0.1 mg/mL; samples, 100 mg/mL.

¹⁾Not significant.

All values are mean $\pm$ SE (n=3).

*** $P<0.001$, ** $P<0.01$, and * $P<0.05$, compared with Vit. C by Student's t-test.

Table 5. Effects of diets with CP65 supplement on weight gain, food intake, diet efficiency

Group ¹⁾	Initial weight (g)	Final weight (g)	Weight gain (g/d)	Food intake (g/d)	Diet efficiency
Normal	22.41±0.30 ^{NS2)}	26.17±0.48***	0.11±0.01***	2.59±0.03**	4.25±0.24***
Control	23.11±0.23	32.48±0.71	0.28±0.02	1.93±0.03	14.28±0.87
CSL	22.86±0.32 ^{NS}	28.29±0.85**	0.16±0.05**	1.80±0.05 ^{NS}	8.90±1.48**
CSH	22.75±0.25 ^{NS}	30.16±1.11 ^{NS}	0.22±0.03*	1.89±0.01 ^{NS}	11.04±1.50**

¹⁾Control, high-fat diet group; CSL, control with low-CP65; CSH, control with high-CP65.

²⁾Not significant.

All values are mean±SE (n=6).

***P<0.001, **P<0.01, and *P<0.05, compared with Control by Student's t-test.

물체를 열처리할 경우 결합형의 폴리페놀 성분이 유리형으로 전환되어 항산화 효과가 증가하고 또한 고온고압 상태에서 새로운 항산화 화합물이 생성된다고 알려진(Choi 등, 2006; Turkmen 등, 2005; Kim 등, 2008). Kim 등(2008)은 열처리로 인해 식물체의 구성 성분들이 분해 또는 중합되어 폴리페놀 등 항산화 물질들이 생성되면서, 총 폴리페놀 및 전자공여능 등이 증가하고 항산화력 역시 증가할 것으로 보고하였다(Kim 등, 2008). 가열 CP65의 높은 DPPH 및 ABTS 라디칼 소거 활성능은 가열 CP65에서 폴리페놀 수치가 높은 것(Table 3)과 유사한 패턴으로, CP65는 가열 시 항산화 성분의 함량이 증가하고 항산화 활성이 뛰어난 것으로 사료된다.

실험동물 체중 및 식이효율

5주간의 실험 소재 보충 후 체중 변화 및 식이효율을 Table 5에 나타내었다. CSL군에서 최종체중과 체중 증가량은 Control군에 비해 유의하게 감소하였으며, CSH군에서는 체중 증가량이 유의적으로 감소하였다. 울무 선식 실험군들의 식이 섭취량은 Control군과 차이를 보이지 않았으며 체중 증가량이 감소한 결과, 식이효율이 Control군에 비해 유의적으로 낮았다. 따라서 고지방식이 울무 선식의 보충이 체중 증가를 억제하는 효과가 있는 것으로 판단되며, 저용량의 경우 그 효과가 크게 나타났다. Song 등(2016)은 고지방식이 급여 마우스에서 울무 추출물 급여 시 체중 및 지방세포 크기가 유의적으로 줄어든다고 보고하였으며, Lee 등(2012)도 울무 및 늪은 호박 등을 첨가한 혼합 조성물 식이가 고지방식이에서 체중 증가를 억제한다고 보고한 바 있어 본 연구의 울무 첨가 선식의 체중 감소 효과를 뒷받침해 줄 수 있다(Song 등, 2016; Lee 등, 2012). 울무 혼합물 섭취에 의한 식이효율 감소 효과는 Park 등(2011)의 연구에서도 보고된 바 있다. 한편, 고용량 섭취군에서 최종체중의 유의성이 나타나지 못한 것은 CSL군에 비해 상대적으로 선식의 용량이 높아 총 에너지 섭취량이 높았기 때문이라 판단되며, 추후 기전 연구를 위하여 최종 열량을 통일시켜 실험해야 할 필요성이 있다.

조직 무게 및 간조직 지질 함량

고지방식을 급여한 마우스에 울무 선식의 보충이 장기 무게에 미치는 영향은 Table 6과 같다. 간조직 및 부고환

Table 6. Effects of diets with CP65 supplement on organ weight

Group ¹⁾	Organ weight	
	Liver (mg/g body weight)	Epididymal white adipose tissue (mg/g body weight)
Normal	30.69±0.60***	22.67±2.34***
Control	35.00±1.46	51.29±3.03
CSL	30.14±1.45*	40.42±2.15*
CSH	35.60±1.22 ^{NS2)}	46.54±5.16 ^{NS}

¹⁾Control, high-fat diet group; CSL, control with low-CP65; CSH, control with high-CP65.

²⁾Not significant.

All values are mean±SE (n=6).

***P<0.001 and *P<0.05, compared with Control by Student's t-test.

백색지방 무게가 Control군에 비해 CSL군에서 유의적으로 감소하였다. 간조직 지질 함량 측정 결과에서는 CSL군과 CSH군에서 모두 TG 및 TC 농도가 억제되는 효과를 보였다(Table 7).

비만이 건강상 위험한 이유는 체중 자체의 증가보다는 체지방의 증가에 기인한다는 것으로 알려져 있으며(Han 등, 2009), 비만은 지방량 증가뿐만 아니라 근육량의 증가도 포함되기 때문에 체중에 비례하여 부고환 지방량을 측정함으로써 지방량의 상대적 증가를 알아보고자 하였다(Han 등, 2009). 일반적으로 고지방식이인 비만과 조직의 지방축적을 유도하고 체중을 증가시키며 간에서의 지방을 축적시켜 간조직 무게가 증가한다고 보고된다(Lee 등, 2014; Jayasooriya 등, 2000; Han 등, 2006). 따라서 본 연구에서는 조직의 무게 및 간조직 지질함량을 측정함으로써 체지방 억

Table 7. Effects of diets with CP65 supplement on hepatic lipid levels

Group ¹⁾	Hepatic lipid profiles (mg/g) ²⁾	
	TG	TC
Normal	8.02±0.99***	6.03±0.37***
Control	14.71±0.54	10.78±0.22
CSL	12.12±0.27**	7.96±0.20***
CSH	11.10±0.43***	7.21±0.20***

¹⁾Control, high-fat diet group; CSL, control with low-CP65; CSH, control with high-CP65.

²⁾TG: triglyceride, TC: total cholesterol.

All values are mean±SE (n=6).

***P<0.001 and **P<0.01, compared with Control by Student's t-test.

Table 8. Effects of diets with CP65 supplement on GPT and GOT activities

Group ¹⁾	GPT (IU/L)	GOT (IU/L)
Normal	4.58±0.76 ^{NS2)}	23.05±2.02 ^{**}
Control	6.21±0.79	41.27±3.09
CSL	4.88±0.91 ^{NS}	27.17±4.55 [*]
CSH	5.28±0.82 ^{NS}	32.21±2.93 ^{NS}

¹⁾Control, high-fat diet group; CSL, control with low-CP65; CSH, control with high-CP65.

²⁾Not significant.

All values are mean±SE (n=6).

^{**}P<0.01 and ^{*}P<0.05, compared with Control by Student's t-test.

제 효과를 판단하고자 하였다. 천연 소재 추출물들의 항비만 효과를 연구한 여러 논문에서 고지방식이에 의해 간조직 무게가 증가하였으며, 실험 소재군에서의 지방 무게 감소로 소재의 비만 억제 효과를 설명하였다(Lee 등, 2009; Park 등, 2007). 본 연구와 같이 율무에 다른 식물 소재를 혼합한 Park 등(2012b)의 연구에서 율무와 뽕잎 혼합물이 고지방식에서 체지방 증가 억제 효과를 보고하였다. Song 등(2016)은 율무 추출물 급여가 지방세포의 크기 및 체중을 감소시켰으며 간조직의 지질축적을 억제하였고 간조직 무게는 고지방식이군보다 정상군에 더 가까운 수준이라고 보고하였다(Park 등, 2012b; Song 등, 2016). 본 연구 결과에서 저용량의 율무 선식 투여가 간 무게를 정상군 수치에 유사하게 감소시켰으며 율무 선식 투여는 또한 간조직 TC 수치를 Control군보다 정상군에 가까운 수준으로 감소시켰다. 고지방식이에 율무의 보충이 간조직 지질 농도를 정상군에 가깝게 감소시킨 결과는 Lim(2006)의 연구에서 보고되었다. 이러한 보고들은 본 연구에서 율무 선식 섭취에 의한 간 및 지방 두 조직 무게의 유의적 감소 및 간조직 지질축적 억제와 유사한 결과로써, 본 연구에서 사용한 율무 선식 역시 체지방 억제 및 체중 증가 억제 효과를 기대할 수 있다.

혈청 GOT, GPT 활성

율무 선식의 간 기능 보호 효과를 평가하기 위해 간세포에

다량 존재하는 효소인 GOT 및 GPT의 혈청 활성도를 측정하였다(Table 8). 이들 효소는 간손상 시 세포 외로 다량 유출되어 혈액에 증가함으로써 간손상의 지표로 이용된다(Kim 등, 2013). 저용량 율무 첨가 선식 투여군에서 Control군에 비해 유의하게 GOT 활성이 감소하였고 GPT는 감소 수치를 보였다. 고용량 율무 선식 투여군에서는 GOT 및 GPT 활성이 Control군에 비해 유의성은 없었으나 감소 수치를 보였다. GOT 및 GPT 수준이 정상군에 가까운 수준을 보인 유사한 결과는 Song 등(2016) 연구에서 보고된 바 있다. 고지방식을 급여한 쥐에서 GOT 및 GPT 활성이 증가하는데(Kim 등, 2013), 본 연구에서는 GOT, GPT 활성이 실험 소재 보충으로 감소하는 것으로 보아, 율무 선식 소재가 간세포 내 효소 활성에 영향을 주어 간손상 완화에 효과적으로 작용한 것으로 판단된다(Kim 등, 2013).

혈청 지질대사 바이오 마커

Table 9는 고지방식을 급여한 마우스에서 율무 선식의 보충이 혈액 지질지표들에 미치는 영향을 측정하고, 심혈관 위험지수(cardiac risk factor, CRF) 및 동맥경화지수(atherogenic index, AI) 값을 산출한 결과이다. 혈청 중성지방의 경우 CSL군 및 CSH군에서 고지방식에 비해 유의하게 감소하였으며, 총 콜레스테롤은 CSL군에서 유의적으로 감소하였다. LDL-콜레스테롤은 CSL, CSH군 모두 고지방식이 Control군에 비해 유의하게 낮게 측정된 반면, HDL-콜레스테롤은 율무 선식 급여군 모두 Control군에 비해 유의적으로 높게 나타났다. 결과적으로 동맥경화지수 및 심혈관 위험지수가 율무 선식 급여군 CSL, CSH군에서 유의적으로 감소하는 효과를 보였다.

비만에서 지방 및 당 대사 이상으로 인한 이상지질혈증은 흔히 동반되는 현상으로 식이성 비만 유도 마우스는 혈중 TG와 TC 농도가 증가하고, HDL-콜레스테롤 농도는 감소한다고 보고되었다(Lee 등, 2006). 율무 열수 추출물 급여는 고지방식이 비만 마우스에서 TC 농도의 감소 및 HDL-콜레스테롤 농도를 증가시켰으며(Song 등, 2016), 고지방식을 급여한 흰쥐 실험에서 역시 율무 약침요법의 혈중지

Table 9. Effects of diets with CP65 supplement on serum lipid levels

Group ¹⁾	Serum lipid profiles (mg/dL) ²⁾				CRF ³⁾	AI ⁴⁾
	TG	TC	HDL-C	LDL-C		
Normal	137.52±9.09 ^{**}	150.09±12.37 [*]	31.91±3.10 [*]	26.85±7.56 ^{***}	1.56±0.09 [*]	0.56±0.09 [*]
Control	178.41±7.43	184.03±2.38	35.92±1.45	94.47±2.05	5.17±0.23	4.17±0.23
CSL	139.94±7.88 ^{**}	154.50±3.26 ^{***}	56.24±4.70 ^{**}	42.15±6.04 ^{***}	2.84±0.23 ^{***}	1.84±0.23 ^{***}
CSH	151.22±8.79 [*]	162.64±10.94 ^{NS5)}	48.62±3.93 [*]	59.46±11.11 [*]	3.46±0.36 ^{**}	2.46±0.36 ^{**}

¹⁾Control, high-fat diet group; CSL, control with low-CP65; CSH, control with high-CP65.

²⁾TG: triglyceride, TC: total cholesterol, HDL-C: high-density lipoprotein cholesterol, LDL-C: low-density lipoprotein cholesterol.

³⁾CRF (cardiac risk factor)=total cholesterol/ HDL-cholesterol.

⁴⁾AI (atherosclerotic index)=(total cholesterol - HDL-cholesterol)/ HDL-cholesterol.

⁵⁾Not significant.

All values are mean±SE (n=6).

^{***}P<0.001, ^{**}P<0.01, and ^{*}P<0.05, compared with Control by Student's t-test.

질 농도 감소 효과가 보고된 바 있다(Song 등, 2016; Lee 등, 2006). 또한, Lim(2006)은 고농도 및 저농도 율무 메탄올 추출액 급여가 고지방식이를 섭취한 흰쥐의 혈중 TG, TC 및 LDL-콜레스테롤을 감소시켰다고 보고하였다. 특히 혈중 TG 및 TC 농도가 정상군 수준으로 감소하였는데, 이는 본 연구의 저용량 율무 선식 결과와 유사하였다(Lim, 2006). 율무에 빵잎을 혼합한 연구에서도 고지방식이를 섭취한 흰쥐의 혈중 TC 및 LDL-콜레스테롤 감소 효과가 보고되었다(Park 등, 2012b). LDL-콜레스테롤은 간에서 말초 조직으로 콜레스테롤을 운반하며, HDL-콜레스테롤은 말초의 콜레스테롤을 간으로 이동시켜 담즙산으로 배출시킴으로써 서로 상반된 기능으로 심혈관계 질환을 조절하는데(Back 등, 2002), 본 연구결과는 저용량 율무 선식의 급여로 혈중 TG, TC 및 LDL-콜레스테롤 농도가 감소하였고, HDL-콜레스테롤의 농도는 증가하였다(Back 등, 2002). 결론적으로 동맥경화지수 및 심혈관위험지수가 낮게 산출되어 율무 선식이 이상지질혈증을 개선하고 심혈관계 질환을 예방할 것으로 기대되며, 이는 Park 등(2011)의 연구에서도 율무 혼합물의 동맥경화지수 및 심혈관위험지수 감소 효과와 혈중지질 농도 개선 효능이 보고된 바와 같다(Park 등, 2011).

요 약

본 연구에서는 율무 선식이 고지방식이 섭취 비만 마우스의 비만 및 지질대사 개선에 미치는 영향을 검토하였다. 율무 선식 CP65의 일반성분 분석 결과, 보고된 다른 선식들에 비해 조단백질의 함량은 비교적 높거나 비슷하였고, 조지방의 함량은 낮은 수준으로 나타났다. 소재의 기능성 분석으로 총 폴리페놀 함량과 ABTS 및 DPPH 라디칼 소거능은 가열 CP65 추출물에서 높게 나타났으며 이를 동물식이 보충 소재로 사용하였다. C57BL/6 마우스의 체중은 저용량 율무 선식 투여군인 CSL군에서 유의적으로 감소하였으며, 군간식이 섭취량의 차이는 나타나지 않아 율무 선식군들의 식이 효율이 유의적으로 낮게 나타났다. 간 및 부고환 지방조직의 무게 또한 고지방식이군에 비해 CSL군에서 유의적으로 감소하였다. 혈청지질 농도 측정 결과, 두 가지 용량의 율무 선식군에서 TG 및 LDL-C 농도가 감소하였고 HDL-C 농도는 증가하였으며, TC 농도는 저용량 율무 선식군에서 감소하였다. 율무 선식의 혈청지질 농도 개선의 결과는 심혈관지수 및 동맥경화지수가 유의적으로 감소하는 효과를 가져왔다. 또한 두 가지 용량의 율무 선식 보충은 간조직 지질 축적을 억제하였다. 이상의 연구 결과로 율무 선식은 고지방식이 비만에서 체중 및 지방조직 무게를 감소시켰고, 혈청 지질 농도를 조절해 이상지질혈증을 개선시킨 것으로 판단된다. 한편, 본 소재와 관련된 기능성분 및 작용기작에 대하여 추후 보다 구체적인 연구가 요구되며 이를 통해 기능성과 경쟁력을 갖춘 율무 선식의 가정 간편식, 영양 균형식으로의 개

발이 기대된다.

감사의 글

본 연구는 농촌진흥청 연구사업(세부과제번호: PJ014251032020)의 지원에 의해 이루어진 것입니다.

REFERENCES

- Back SN, Yang JL, Jin HH, Kim YH. Effects of green tea consumption on serum lipid profiles. *Korean J Nutr.* 2002. 35: 854-862.
- Bang YS, Jang EH, Chung HJ. Quality and physicochemical characteristics of newly developed *Sunsik* products with germinated brown rice. *Korean J Food Sci Technol.* 2017. 49: 513-518.
- Choi WH, Seo YM, Jeon MY, Choi SY. Convergence study on the comparison of risk factors for dyslipidemia by age and gender: based on the Korea national health and nutrition examination survey (2013~2015year). *J Korea Converge Soc.* 2018. 9:571-587.
- Choi Y, Lee SM, Chun J, Lee HB, Lee J. Influence of heat treatment on the antioxidant activities and polyphenolic compounds of Shiitake (*Lentinus edodes*) mushroom. *Food Chem.* 2006. 99:381-387.
- Chung BS, Suzuki H, Hayakawa S, Kim JH, Nishizawa Y. Studies on the plasma cholesterol-lowering component in coix. *Nippon shokuhin Kogyo Gakkaishi.* 1988. 35:618-623.
- Folch J, Lees M, Sloane-Stanley GH. A simple method for the isolation and purification of total lipides from animal tissues. *J Biol Chem.* 1957. 226:497-509.
- Han CK, Kim SS, Choi SY, Park JH, Lee BH. Effects of rice added with mulberry leaves and fruit on blood glucose, body fat and serum lipid levels in rats. *J Korean Soc Food Sci Nutr.* 2009. 38:1336-1341.
- Han CT, Lee SH, Lim SB, Kong HS, Kim SH, Lee SK. Studies on production of high fat diet induced obesity C57BL/6NCrj Bgi mice. *Lab Anim Res.* 2006. 22:221-226.
- Hwang ES, Lee HK, Moon SJ. Quality characteristics, acrylamide content, and antioxidant activities of *Nurungji* manufactured with various heating times. *J Korean Soc Food Sci Nutr.* 2020. 49:601-607.
- Hwang IG. Biological activity of the heated Korean pear (*Pyrus pyrifolia* Nakai): Isolation, identification and optimization of heating condition. Master's thesis. Chungbuk National University, Chungbuk, Korea. 2007.
- Jang GY, Kim HY, Lee SH, Kang Y, Hwang IG, Woo KS, et al. Effects of heat treatment and extraction method on antioxidant activity of several medicinal plants. *J Korean Soc Food Sci Nutr.* 2012. 41:914-920.
- Jayasooriya AP, Sakono M, Yukizaki C, Kawano M, Yamamoto K, Fukuda N. Effects of *Momordica charantia* powder on serum glucose levels and various lipid parameters in rats fed with cholesterol-free and cholesterol-enriched diets. *J Ethnopharmacol.* 2000. 72:331-336.
- Jeon YS, Kim MW. Quality characteristics of white pan bread added with *Sunsik* powder. *J East Asian Soc Diet Life.* 2010. 20:299-306.
- Kim HK, Cho DW, Hahm YT. The effects of coix bran on lipid metabolism and glucose challenge in hyperlipidemic and diabetic rats. *J Korean Soc Food Sci Nutr.* 2000. 29:140-146.

- Kim HY, Woo KS, Hwang IG, Lee YR, Jeong HS. Effects of heat treatments on the antioxidant activities of fruits and vegetables. Korean J Food Sci Technol. 2008. 40:166-170.
- Kim JH, Kim JK, Kang WW, Ha YS, Choi SW, Moon KD. Chemical compositions and DPPH radical scavenger activity in different sections of safflower. J Korean Soc Food Sci Nutr. 2003. 32:733-738.
- Kim JH, Park PS, Kim JK. Manufacture of nutritionally balanced “Sunsik” for the moderns: its quality characteristics. Korean J Food Preserv. 2005. 12:123-129.
- Kim MS, Chun SS, Choi JH. Effects of turmeric (*Curcuma longa* L.) on antioxidative systems and oxidative damage in rats fed a high fat and cholesterol diet. J Korean Soc Food Sci Nutr. 2013. 42:570-576.
- Kim SM. Quality characteristics of rice cookies added with *Nelumbo nucifera* Gaertn and *Poria cocos* Wolf powder. Master’s thesis. Myongji University, Seoul, Korea. 2010.
- Lee BY, O J, Kim MH, Jang KH, Lee JC, Surh J. Influences of roasted or non-roasted brown rice addition on the nutritional and sensory properties and oxidative stability of *Sunsik*, Korean heated cereal powder. Korean J Food Cook Sci. 2010. 26:872-886.
- Lee HJ, Lee JH, Jung JT, Lee YJ, Oh MW, Chang JK, et al. Changes in free sugar, coixol contents and antioxidant activities of adlay sprout (*Coix lacryma-jobi* L. var. *ma-yuen* Stapf.) according to different growth stage. Korean J Med Crop Sci. 2019. 27:339-347.
- Lee JM, Lee SH, Lee JH, Lee E. Effects of *Coix lacryma-jobi* var. *mayuen* Stapf. pharmacopuncture on plasma lipid composition and glucose in rat fed high fat diet. Korean J Meridian & Acupoint. 2006. 23:59-66.
- Lee KW, Sung KS, Kim SS, Lee OH, Lee BH, Han CK. Effects of *Cucurbita moschata*, adlay seed, and *Cudrania tricuspidata* leaf mixed-powder diet supplements on the visceral fat, fecal amount, and serum lipid levels of the rats on a high-fat diet. Korean J Food Nutr. 2012. 25:990-998.
- Lee MJ, Kim SE, Lee SW, Yeum DM, Lee MJ. Quality characteristics of Korean and Chinese job’s tears (*Coicis lacryma-jobi*). Food Industry and Nutrition. 2011. 16(2):49-53.
- Lee MR, Oh DS, Wee AJ, Yun BS, Jang SA, Sung CK. Anti-obesity effects of *Lentinus edodes* on obese mice induced by high fat diet. J Korean Soc Food Sci Nutr. 2014. 43:194-199.
- Lee SH, Lee YR, Hwang IG, Woo KS, Kim KH, Kim KJ, et al. Antioxidant activities and quality characteristics of germinated rough rice tea according to roasting temperature, time and leaching condition. Korean J Food Sci Technol. 2009. 41:386-391.
- Lim SC. Effect of Yullmoo (*Coix lacryma-jobi* var. *mayuen* stapf.) ext. on lipidlowering and serum glucose in hyperlipidemic rat. Korean J Plant Res. 2006. 19:126-129.
- Ling ZQ, Xie BJ, Yang EL. Isolation, characterization and determination of antioxidative activity of oligomeric procyanidins from the seedpod of *Nelumbo nucifera* Gaertn. J Agric Food Chem. 2005. 53:2441-2445.
- Park JH, Choi SY, Lee KW, Kim SS, Cho KD, Han CK. Effect of diets with red yeast sweet potato powder supplement on fecal amount and lipid metabolism in rats fed a high-fat diet. J Korean Soc Food Sci Nutr. 2012a. 41:487-493.
- Park JH, Lee KW, Cho KD, Kim SS, Lee BH, Lee HJ, et al. Effects of Korean traditional *Cheonggukjang* added with job’s tears on body weight gains and lipid metabolism in rats fed high-fat diet. J Korean Soc Food Sci Nutr. 2011. 40: 409-415.
- Park JH, Lee KW, Sung KS, Kim SS, Cho KD, Lee BH, et al. Effect of diets with job’s tears and *Cudrania tricuspidata* leaf mixed-powder supplements on body fat and serum lipid levels in rats fed a high-fat diet. J Korean Soc Food Sci Nutr. 2012b. 41:943-949.
- Park SJ, Lee DW, Park SH, Rha YA. Quality characteristics of *Cirsium setidens* Nakai by different drying method. Culi Sci & Hos Res. 2016. 22:104-114.
- Park YJ. Effect of coix on plasma cholesterol and lipid metabolism in rats. Korean J Nutr. 1988. 21:88-98.
- Park YS, Yoon Y, Ahn HS. Platycodon grandiflorum extract represses up-regulated adipocyte fatty acid binding protein triggered by a high fat feeding in obese rats. World J Gastroenterol. 2007. 13:3493-3499.
- Ra HN, Kim HY. Quality characteristics and microbial safety of sunsik with dandelion (*Taraxacum platycarpum*) complex extract powder (AF-343) for home meal replacement. Korean J Food Cook Sci. 2014. 30:642-649.
- Song MY, Jung HW, Park YK. Antiobesity effect of water extract of *Coix lacrymajobi* var. *mayuen* in high fat fed C5BL/6 mice. J Korean Med Obes Res. 2016. 16:27-35.
- Turkmen N, Sari F, Velioglu YS. The effect of cooking methods on total phenolics and antioxidant activity of selected green vegetables. Food Chem. 2005. 93:713-718.