

베타-글루칸의 고지방 식이 유도 비만쥐에서 체지방 및 혈청지질 개선효과

홍경희¹, 김현순^{2,3}, 장기효⁴, 강순아^{2,3*}

¹동서대학교 식품영양학과, ²호서대학교 벤처대학원 융합공학과, ³호서대학교 보건산업연구소, ⁴강원대학교 식품영양학과

The Improvement Effects of β -Glucan on Adiposity and Serum Lipids Levels in High Fat Diet-Induced Obese Rats

Kyung Hee, Hong¹, Hyun-Soon, Kim^{2,3}, Ki-Hyo, Jang⁴ and Soon Ah, Kang^{2,3*}

¹Dept. of Food Science and Nutrition, Dongseo University

²Dept. of Converging Technology, Graduate School of Venture, Hoseo University

³Institute of Health Industry, Hoseo University

⁴Dept. of Food and Nutrition, Kangwon University

요약 본 연구는 미생물 유래 베타-글루칸의 항비만 효과를 검증하기 위하여 동물실험을 통해 식이 베타-글루칸이 체지방 형성과 혈중 지질에 미치는 영향을 조사하였다. Sprague-Dawley종 흰쥐를 6주간 고지방 식이로 사육하여 비만을 유도한 후 베타-글루칸을 각각 식이 무게의 0%(고지방 대조군), 0.1%, 0.5%로 함유한 식이로 5주간 사육하였다. 정상 대조군은 AIN-76A 식이로 사육하였다. 고지방식이군에서 단위체중당 체지방이 많았으며, 0.1% 베타-글루칸 공급은 고지방 식이에 의해 유도된 복막지방, 내장지방 축적을 각각 16%와 19% 억제하였고, 혈중 렙틴을 28% 감소시켰다(P<0.05). 정상 대조군과 비교하여 고지방 대조군의 평균 지방세포 크기는 1.7배 높았으며, 베타-글루칸 섭취군에서는 감소하여 정상대조군 수준으로 낮아졌다(P<0.05). 0.1% 베타-글루칸 섭취에 의해 혈청 유리지방산 농도는 19% 감소하였고, 반면 HDL 콜레스테롤 50% 증가하였다(P<0.05). 결론적으로 베타-글루칸 공급은 렙틴과 같은 호르몬 분비와 지단백질 대사 변화로 지질 대사 개선을 유도하고 체지방 형성과 축적을 억제하는 것으로 보인다. 본 연구 결과 베타-글루칸은 고지방 식이에 기인하는 비만과 이상지혈증 개선에 도움이 되는 기능성 식품 소재로 사용될 수 있을 것으로 사료된다.

Abstract This study was aimed to investigate the effect of dietary β -glucan obtained from bacterial fermentation on the adiposity and serum lipids level in rats. Sprague-Dawley rats fed high fat diet for 6 weeks to induce obesity, and subsequently fed with 0% (high fat control group), 0.1% or 0.5% β -glucan supplemented high-fat diets (w/w) for another 5 weeks. For comparison, normal control groups fed AIN-76A diet. Supplemented with 0.1% β -glucan resulted in a significant reduction of high-fat induced peritoneal fat and visceral fat development by 16%, 19%, and 28%, respectively(P<0.05). Serum free fatty acid levels were reduced(by 19%), whereas the HDL cholesterol level was increased(by 50%) by 0.1% dietary β -glucan(P<0.05). In conclusion, dietary β -glucan reduced adiposity and improved serum lipids in obese rats fed high fat diet. The present study suggest that β -glucan supplementation to the diet is beneficial in suppressing diet-induced obesity and dyslipidemia.

Key Words : beta-Glucan, Fat mass, Leptin, Obesity, Serum lipid

1. 서론

비만은 전 세계적으로 가장 심각한 건강 문제로 대두

되고 있으며, 국민건강영양조사에서 우리나라 만 19세 이상 성인 인구의 32.5%에 이르는 사람이 비만으로 분류될 만큼 우리나라의 비만 인구 또한 상당히 높은 수준

본 논문은 교육과학기술부 (MEST) 연구비 지원(2011-003018 : 2013M3A9B1069772)을 받아 수행된 연구로 이에 감사드립니다.

*Corresponding Author : Soon Ah Kang(Hoseo Univ.)

Tel: +82-2-2059-2353 email: sakang@hoseo.edu

Received March 3, 2015

Revised (1st April 14, 2015, 2nd May 20, 2015)

Accepted June 11, 2015

Published June 30, 2015

이다[1]. 환경적 요인과 유전적 요인이 비만을 유발하는데 중요한 역할을 하며, 에너지 섭취 증가와 소비 감소로 인한 에너지 불균형이 주요한 환경적 요인으로 꼽히고 있다. 이 중 식이로 유도되는 비만이 가장 주요한 의학적 문제가 되고 있다[2].

비만을 예방 또는 치료할 수 있는 물질에 대한 많은 연구가 진행되고 있으며, 항 비만 효과의 가능성을 보여주는 식품 소재로 인체에서 소화되지 않는 다당류인 베타-글루칸을 들 수 있다. 베타-글루칸은 진균류를 포함한 미생물의 주요 세포벽 성분으로 발견되며, 보리, 귀리 등의 곡류를 비롯하여 버섯, 이스트, 조류(algae), 박테리아 등에도 포함되어 있다[3,4,5]. 베타-글루칸은 젤을 형성하는 특성에 의해 식품의 질감 또는 수분 보유력, 열안정성을 향상시키는 소재로 사용되며, 두부, 어묵, 국수, 소시지, 젤리, 잼 등 다양한 식품 가공에 사용된다[6].

베타-글루칸의 체내 효능으로는 면역증강과 항암효과에 대하여 비교적 많은 부분이 알려져 있는데, 베타-글루칸은 암세포를 직접 공격하기보다는 사이토카인 분비를 조절하고 면역세포의 면역기능을 활성화시켜 암세포의 증식과 전이 및 재발을 억제하는 것으로 알려져 있다 [7,8,9]. 베타-글루칸은 방사선에 대한 보호작용 및 다양한 병원체의 감염에 대한 방어작용을 한다고 알려져 있으며[10], 혈압 및 혈당 강화작용 등의 효능도 알려져 있다[11,12]. 보리 또는 귀리의 베타-글루칸은 섭취 시 혈중 중성지방과 LDL 콜레스테롤을 감소시키는 등 이상지혈증을 개선하는 효과를 나타내며[13,14], 체지방 감소에 의한 항비만 효과를 나타낸다고 보고되었다 [15,16]. 그러나 이러한 효과는 베타-글루칸의 점도, 수용성 비율, 분자량 등에 따라 다르게 나타나는 것으로 보인다[17].

본 연구에 사용된 베타-글루칸은 미생물에서 유래한 것으로 *Agrobacterium* spp. R259 KCTC 10197BP로부터 생산되었으며, 분자량이 약 30만 정도로 β -1,3-glucosidic bond로만 연결되어 있다. 또한 산과 구강에서의 효소적 분해에 대해 매우 높은 안전성을 가지며, 수용성인 보리나 귀리의 베타-글루칸과 달리 불용성으로 여러 가지 물성에서 차이를 보인다. 선행된 연구 [18]에서 미생물 유래 베타-글루칸을 식이 무게의 1% 또는 5%로 고용량 공급했을 때 항비만 효과와 혈중 지질 강화 효과를 나타내는 것이 확인되었다. 하지만, 이러한 고용도(1%, 5%)의 베타-글루칸은 단기간에 목적하는 효능을 확인하기에는 유리하나, 사람이 실제로 복용하는

용량으로는 너무 높다. 따라서, 본 연구에서는 미생물 유래 베타-글루칸을 기능성 식품 소재로 사용할 수 있을 정도의 저용량(0.1%, 0.5%)으로 공급하면서 베타-글루칸의 비만 및 혈중 지질 관련 효능을 검증하고자 하였다. 고지방 식이로 유도된 비만쥐에서 베타-글루칸을 0.1% 또는 0.5% 함유한 식이가 체중 및 체지방분포, 혈청 지질 및 렙틴, 인슐린 등 에너지 대사와 관련한 변화에 미치는 영향을 조사하여 베타-글루칸의 항비만 기능성 식품 소재로서의 활용 가능성을 알아보고자 한다.

2. 재료 및 방법

2.1 실험동물의 사육 및 식이

본 연구에서는 3주령 Sprague-Dawley종 숫컷 흰쥐를 중앙실험동물사에서 구입하여 1주일간 적응시킨 후 실험동물 4주령부터 6주간 고지방 식이를 공급하여 비만을 유도하였다. 선행연구[19]에서 Sprague-Dawley종 숫컷 흰쥐를 4주령부터 성장기 6주간의 고지방 식이 섭취는 체지방 축적을 증가시켜 비만을 유도함을 확인하였다. 비만 유도 후 10주령부터 5주간 베타-글루칸을 각각 0%, 0.1%, 0.5% 함유한 실험식이(w/w)를 공급하여 고지방 대조군(HF), 0.1% 글루칸군(HF-0.1G), 0.5% 글루칸군(HF-0.5G)으로 하였다. 정상 대조군(N)은 4주령부터 11주의 실험 기간 동안 AIN-76A diet # 100000(Dytes Inc., Bethlehem, PA, USA)를 공급하였고, 고지방 식이군은 지방 급원으로 beef tallow를 사용하여 AIN-76A diet # 100496(Dytes Inc., Bethlehem, PA, USA)으로 총 열량의 40%를 지방으로 공급하여 사육하였다.

실험동물의 체중은 6주간의 비만 유도 후, 즉 10주령의 체중을 시작 체중으로 하였고, 5주간 실험식이를 공급한 후 15주령의 체중을 최종 체중으로 하였다. 식이효율(food efficiency ratio)은 실험식이 공급 5주간의 체중 증가량을 식이 섭취량으로 나누어 산출하였다.

2.2 시료수집

실험동물을 15주령에 희생하여 혈액과 장기를 채취하였다. 간과 복막지방(peritoneal fat), 내장지방(visceral fat), 부고환지방(epididymal fat) 갈색지방조직(brown adipose tissue)을 분리하여 무게를 측정하였다. 혈액은 희생 시 복대정맥으로부터 채취한 후 3,000rpm에서 15분간 원심

분리하여 혈청을 얻었으며 이들 시료는 분석 시 까지 -70℃에서 보관하였다.

2.3 지방세포 크기 측정

15주령의 실험동물의 내장지방조직을 채취하여 지방 세포의 크기를 측정하였다[20]. 내장지방조직 0.5g을 취하여 3% BSA(bovine serum albumin)을 함유한 145 mmol/L NaCl-buffer로 세척한 후, 작은 조각으로 쪼개어 collagenase 1.5mg을 함유한 NaCl-buffer 1 mL를 첨가하여 37℃에서 1시간 동안 방치하였다. 그 후 450 μm nylon mesh로 여과하여 초직으로부터 분리된 지방세포를 얻고 5 mM 포도당을 함유한 NaCl-buffer로 2회씩 세척하였다. 세척 후 NaCl-buffer 1 mL를 첨가하여 눈금기 표시된 현미경(Olympus CK2, USA)으로 지방세포의 크기를 관찰하였다. 각 조직마다 30개 세포의 직경을 측정하여 평균을 구하였다.

2.4 혈청 지질 및 AST, ALT 분석

혈청 중성지방, 총 콜레스테롤, HDL 콜레스테롤, 유리지방산, AST(aspartate transaminase), ALT(alanine transaminase)의 농도를 Sigma Chemical사(St. Louis, MO, USA)의 kit을 이용하여 측정하였다.

2.5 혈청 렙틴 및 인슐린 농도 분석

혈청 렙틴 농도는 Linco Leptin Assay Kit(Linco research Immunoassay, St. Charles, MO, USA)를 이용하여 방사선 면역능을 측정하였고, 인슐린 농도는 rat insulin standard(Linco research Immunoassay)를 이용하여 방사선 면역능을 측정하였다.

2.6 통계 분석

모든 통계분석은 SAS programe을 이용하여 평균(mean)±표준편차(standard deviation, SD)로 표시하였다. 각 실험군 간의 차이는 one-way ANOVA에 의하여 검정하고, Duncan's multiple range test를 실시하여 유의성을 검증하였다.

3. 결과

3.1 식이섭취, 체중 및 식이효율

실험동물의 식이섭취량, 체중, 식이효율의 결과는

Fig. 1과 같다. 실험식이를 5주간 공급하는 동안의 체중 변화에서는 실험군간에 통계적인 유의성이 나타나지 않았다. 식이섭취량은 정상대조군에 비해 고지방식이군들이 유의적으로 낮았고, 0.5% 글루칸 식이를 섭취한 군에서 고지방 대조군에 비해 낮은 경향을 보였다. 식이효율은 정상대조군에 비해 고지방식이군들에서 높았고, 0.5% 글루칸군에서 높아지는 경향을 보였다.

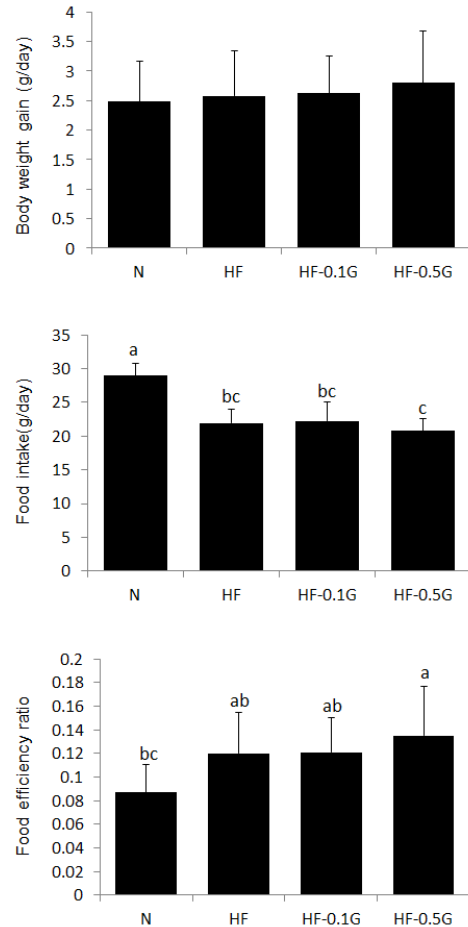


Fig. 1. Daily food intake, body weight gain and food efficiency ratio of rats fed experimental diets for 5 weeks. Values are mean±SD. Values within a column with different superscript letters are significantly different from each other at p<0.05 by Duncan's multiple range test.

3.2 간 무게 및 혈청 AST, ALT 활성

실험동물의 간 조직 무게 및 간기능 관련 효소활성도

의 변화를 Table 1에 나타내었다. AST 및 ALT는 세포가 손상되었을 때 유리되어 혈중으로 분비되므로 혈장에 존재하는 이들 효소의 양은 조직세포, 특히 간 손상의 척도로 사용되고 있다. 본 연구 결과 간 무게와 혈청 AST 및 ALT 활성 모두 실험군 간 차이가 나타나지 않았다.

Table 1. Effect of dietary β -glucan on liver weight and serum AST and ALT

	Liver weight (g/100g body weight)	AST (IU/L)	ALT (IU/L)
N	2.86±0.21	94.00±35.89	43.38±10.93
HF	2.86±0.20	108.40±14.61	42.10±8.94
HF-0.1G	2.95±0.40	89.83±13.18	36.33±6.31
HF-0.5G	2.82±0.07	97.40±6.88	36.66±5.88

1) Values are Mean±S.D.

3.3 지방조직 무게 및 지방세포 크기

식이 지방과 글루칸 공급에 따른 복막지방, 내장지방, 부고환지방, 갈색지방조직 무게를 비교한 결과는 Table 2와 같으며, 각 지방조직 모두 100 g 체중에 대한 조직 무게로 환산하여 표시하였다.

복막지방 무게는 정상 대조군에 비해 고지방 대조군이 1.3배 높았고, 0.1% 글루칸군은 정상 대조군 수준으로 감소하였고, 0.5% 글루칸군은 정상 대조군보다도 낮은 값을 보여 고지방 대조군의 69% 수준이었다. 내장지방 무게 또한 복막지방과 유사하게 고지방 대조군에서 높아진 값이 글루칸 섭취에 의해 낮아지는 경향을 보였다. 부고환지방 무게는 실험군간에 통계적 유의성은 나타나지 않았다. 갈색지방조직 무게는 정상 대조군과 고지방 대조군 간에는 유의적 차이가 나타나지 않았고, 글루칸 식이를 공급받은 실험동물에서 정상 대조군 또는 고지방 대조군에 비해 높은 결과를 보였다.

Table 2. Effect of dietary β -glucan on adipose tissue mass and adipocyte size

	Peritoneal fat	Visceral fat	Epididymal fat	Brown adipose tissue	Adiocyte size
	g/100g body weight			μ m	
N	2.06±0.41b	1.34±0.54b	1.25±0.20	0.073±0.019b	107.26±30.26bc
HF	2.68±0.49a	2.48±0.92a	1.79±0.42	0.085±0.020b	187.16±41.08a
HF-0.1G	2.25±1.05b	2.01±1.40ab	1.81±1.01	0.111±0.017a	135.58±32.05b
HF-0.5G	1.85±0.85bc	2.14±0.59ab	1.73±0.69	0.094±0.022ab	121.56±9.33bc

1) Values are Mean±S.D.

2) Values within a column with different superscript letters are significantly different from each other at $p < 0.05$ by Duncan's multiple range test

내장지방세포의 크기를 측정하여 각 군의 평균치를 측정한 결과(Table 2), 내장지방세포의 크기는 글루칸군에서 지방조직 무게가 낮았던 결과와 유사한 결과를 나타내었다. 정상 대조군과 비교하여 고지방 대조군의 평균 지방세포 크기는 1.7배 높았으며, 글루칸 섭취군에서는 고지방 대조군에 비해 낮아져 정상대조군 수준으로 감소하는 결과를 보였다.

3.4 혈청 지질 농도

혈청 중성지방과 총 콜레스테롤, HDL 콜레스테롤, 유리지방산의 농도는 Fig. 2에 나타내었다. 혈청 중성지방은 정상 대조군에 비해 고지방 대조군에서 약간 증가하고 0.5% 글루칸군에서 약간 감소하는 경향을 보였으나 통계적 유의성은 없었다. 혈청 총 콜레스테롤 농도 또한 실험군 간 통계적 유의성은 나타나지 않았다. HDL 콜레스테롤은 정상 대조군이나 고지방 대조군보다 글루칸군들에서 높은 값을 보여 0.1% 글루칸군, 0.5% 글루칸군은 고지방 대조군의 각각 1.5배, 1.3배였다. 혈청 유리지방산 농도는 고지방 대조군에 비하여 글루칸군들에서 정상 대조군 수준으로 낮아지는 경향을 보였고, 0.1% 글루칸군에서 가장 낮은 값을 보여 고지방 대조군의 81% 수준이었다.

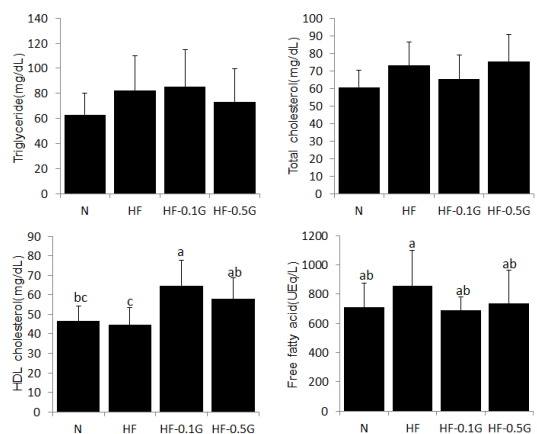


Fig. 2. Effect of dietary β -glucan on serum triglyceride, total cholesterol, HDL cholesterol and free fatty acid levels. Values are mean±SD. Values within a column with different superscript letters are significantly different from each other at $p < 0.05$ by Duncan's multiple range test.

3.5 혈청 렙틴 및 인슐린 농도

혈청 렙틴 농도는 정상 대조군에 비해 고지방 대조군이 유의적으로 높은 값을 보였고, 글루칸 식이 공급에 의해 감소하여 0.1%, 0.5% 글루칸군은 각각 고지방 대조군의 23%, 34% 수준으로, 모두 정상 식이군과 유사한 수준으로 낮은 값을 보였다(Fig. 3). 혈청 인슐린 농도는 고지방 대조군과 0.1% 글루칸군에서 약간 낮은 값을 보였으나 실험군 간 큰 차이는 나타나지 않았다.

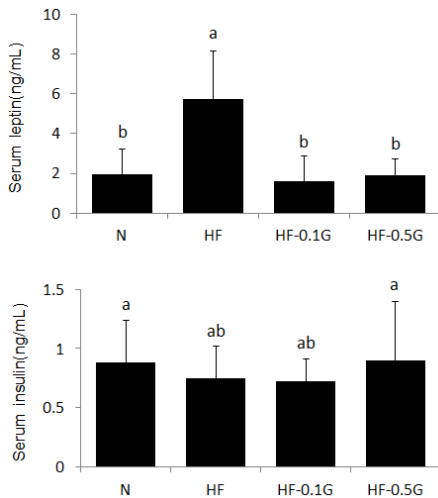


Fig. 3. Effect of dietary β -glucan on serum leptin and insulin levels. Values are mean \pm SD. Values within a column with different superscript letters are significantly different from each other at $p < 0.05$ by Duncan's multiple range test.

4. 고찰

본 연구는 글루코오스 중합체인 베타-글루칸의 지질 대사 조절에 미치는 영향과 항비만 효과를 알아보기 위하여 수행하였다. 6주간 고지방 섭취로 유도된 비만 쥐에서 베타-글루칸을 식이의 0%, 또는 0.1%, 0.5%로 5주간 공급한 후, 체지방 형성 및 분포화 지방세포 크기를 측정하였고, 혈중 지질 및 렙틴과 인슐린 농도를 분석하였다.

식이섭취, 체중 및 식이효율 결과는 고지방식으로 사육한 실험동물 정상대조군에 비해 식이섭취량이 적었음에도 체중증가량에 차이가 없고, 식이효율이 증가하는 경향을 보인 것은 성장기 동안 식사에서의 높은 지방 섭

취율이 비만의 원인으로 작용할 수 있음을 시사한다.

베타-글루칸 섭취는 동물실험에서 체중증가를 억제하고 인체실험에서 항비만 효과를 나타내는 것으로 보고되고 있는데 이는 베타-글루칸 섭취에 의해 GLP(glucagon-like peptide)-1, PYY(peptide tyrosine tyrosine), 그렐린, CCK(cholecystokinin) 등의 식욕 조절 호르몬이 분비가 조절되어 포만감을 증가시키고 식이섭취량이 감소하기 때문인 것으로 생각되고 있다 [11,16]. Ning 등[21]은 고지방 식이로 유도된 비만쥐에서 귀리 베타-글루칸 섭취가 에너지 섭취를 감소시켰음을 보고하여 본 연구와 유사한 결과를 나타내었다. 백미밥과 베타-글루칸이 풍부한 보리밥을 비교한 임상연구에서도 보리밥 섭취군이 백미밥 섭취군에 비해 포만감을 더 많이 느꼈고 에너지 섭취가 적은 것으로 보고되었다 [22]. 본 연구에서 0.5% 글루칸 식이 공급에 의해 식이섭취량이 감소한 결과를 볼 때 체중증가량에는 영향이 없었으나 베타-글루칸의 식욕 조절 효과를 기대해 볼 수 있다고 사료된다.

간 무게 및 혈청 AST, ALT 활성 결과에(Table 1)에 의하면 실험식이 섭취로 인한 간 기능 손상 유발 문제는 없는 것으로 사료되며 식이 베타-글루칸의 안전성을 확인할 수 있었다.

지방조직 무게 및 지방세포 크기 분석에서는 베타-글루칸 함유 식이를 공급받은 쥐의 복막지방과 내장지방이 고지방 식이만 공급받은 쥐에 비해 감소하여, 고지방 식이로 유도된 체지방 축적이 식이 글루칸에 의해 억제되었다. 본 연구결과와 유사하게 Zhang 등[23]은 고지방 식이로 비만을 유도한 쥐에서 6주간 식이의 2% 또는 5% 베타-글루칸을 공급했을 때 지방조직 무게와 체지방율이 감소하였고, 정상 식이로 사육한 쥐에서도 10% 귀리 베타-글루칸 식이 공급으로 대조군에 비해 체지방율이 낮아졌음을 보고하여[16] 베타-글루칸의 체지방 축적 억제에 의한 항비만 효과를 보여주었다. 임상 연구에서도 베타-글루칸을 포함한 보충제를 식이로 공급하였을 때 체지방 감소가 촉진되었다[15,24]. 고지방식은 내장지방을 2배까지 증가시키는 결과를 나타내는데[25], 본 실험결과에서도 고지방식에 의한 영향이 갈색지방조직보다는 내장지방 축적에 더 크게 나타나고, 내장지방이 만성퇴행성질환의 유병률을 높이는 큰 위해 요인임을 시사한다.

갈색지방조직은 발열 반응의 주요 담당기관으로 본

연구에서 베타-글루칸 공급에 의해 갈색지방조직의 무게가 증가한 것은 열 발생에 의해 에너지 소비량이 증가하게 됨을 보여주며[26], 따라서 베타-글루칸의 체지방 증가 억제 효과는 에너지 소비량 증가가 기여할 수 있음을 시사한다.

본 연구 결과, 체지방 무게 변화와 유사하게 고지방 식이에 의한 지방세포의 크기 증가도 글루칸 식이에 의해 정상 수준까지 억제되어 베타-글루칸의 고지방 식이로 유도되는 체지방 증가 억제 효과를 확인시켜주었다. 이러한 결과로 베타-글루칸에 의한 체지방 축적 억제는 지방세포의 hypertrophy를 억제한 결과임을 알 수 있다. 또한 이러한 결과는 베타-글루칸이 수용성 섬유소와 유사하게 작용하여 장내 미생물에 의한 베타-글루칸의 발효로 생성되는 단쇄지방산(short-chain fatty acid, SCFA)과 호르몬 분비 변화에 의해 지방 합성과 지질 운반 관련 유전자 발현을 억제하여 나타난 결과로 생각된다[27].

또한 본 연구 결과에서 나타난 바와 같이 식이 글루칸 공급에 의해 체중에는 변화가 없는 상태에서 체지방 축적이 억제된 것은 체지방의 비율을 낮추는 변화를 가져와 더욱 의미가 크다고 하겠다.

기존에 알려진 보리[13] 또는 귀리[14,21], 버섯[28], 이스트[9] 등으로부터 유래한 베타-글루칸은 혈중 지질 개선 효과가 뛰어난 것으로 동물실험과 임상실험을 통해 보고되었다. 본 연구결과에서는 박테리아 유래의 베타-글루칸에 의한 혈중 지질 개선 효과가 확인되었다. 즉, 실험결과 고지방 식이 공급 후 베타-글루칸 식이는 고지방 식이로 유도된 혈청 중성지방 증가를 감소시켰으나 유의적인 차이는 없었고, 혈청 HDL 콜레스테롤의 증가를 가져왔다. HDL 콜레스테롤은 항동맥경화지표로서 체내 콜레스테롤을 말초혈관으로부터 간으로 운반하여 관상동맥 질환에 대하여 방어작용을 한다고 알려져 있다. 역학조사에서 심혈관질환의 위험인자와 HDL 농도의 감소 사이에 상관관계가 밝혀졌는데 심혈관질환자의 경우 HDL 이외의 다른 지단백분획, 나이, 체중과는 무관하게 HDL의 감소가 관찰되었으며 HDL 농도가 감소하면 체내 콜레스테롤 pool이 증가하였다고 보고되었다[30]. 본 연구 결과 실험군 간의 혈청 총 콜레스테롤에 유의적 차이가 없는 상태에서 베타-글루칸 섭취로 혈청 HDL 콜레스테롤이 증가하였는데, 이는 베타-글루칸이 지질 대사를 개선하여 심혈관질환의 위험을 낮추는 효과가 있음을 보여주었다.

이러한 베타-글루칸에 의한 혈중 지질 개선 효과는 수용성 섬유소의 지질 개선 효과 기전과 마찬가지로 몇 가지로 설명할 수 있다. 첫째, 베타-글루칸은 소장에서 소화물의 점성을 증가시키고 소장 접막의 unstirred layer를 두껍게 하여 지방 및 콜레스테롤, 담즙산의 흡수를 저해하는 것으로 생각된다[31,32]. 둘째, 베타-글루칸은 장내 미생물에 의해 발효되어 프로피온산 등의 단쇄지방산을 생성하고[16], 이 단쇄지방산이 간에서의 콜레스테롤 합성을 저해하는 것으로 생각된다[33]. 셋째, 베타-글루칸에 의한 지질 대사 개선은 호르몬 분비의 변화와 지단백질 대사 변화에 기인한 것으로 생각된다[11].

내장지방은 지방분해 활성도가 높아 혈중 유리지방산의 농도를 상승시키는데 본 연구결과에서는 베타-글루칸 공급군에서 내장지방과 혈청 유리지방산의 감소가 함께 나타나 베타-글루칸이 내장지방 저장을 감소시키는 효과가 있음을 확실히 보여주고 있다고 하겠다.

렙틴은 식욕과 에너지 소비율을 조절하는 호르몬으로 체지방의 양에 비례하여 지방조직에서 분비되며 뇌의 시상하부에서 식욕을 조절하여 체내 지방 축적과 체중 증가를 억제하는 기능을 한다[34,35]. 따라서 본 연구 결과 혈청 렙틴 농도가 낮게 나타난 것은 베타-글루칸 섭취에 의하여 체지방 축적이 억제된 결과에 기인하는 것으로 사료된다. 렙틴은 에너지가 과잉 축적될 경우 생성이 증가하여 비만 지표로 사용될 수 있는데[36], 이러한 관점에서 볼 때 글루칸군에서 혈청 렙틴 농도가 낮은 것은 글루칸의 비만 개선 효과를 보여주는 지표가 될 수 있다고 하겠다.

연구 결과를 종합해 보면 다음과 같다.

- 1) 식이섭취량은 0.5% 글루칸군에서 낮았다.
- 2) 고지방식이군에서 단위체중당 체지방이 많았으며, 글루칸군에서 내장지방과 복막지방 무게가 감소하여 베타-글루칸 섭취에 의해 체지방 축적이 억제됨을 보여주었다.
- 3) 글루칸군에서 지방세포 크기가 감소하여 베타-글루칸 섭취가 지방세포의 지방 축적을 억제함으로써 체지방 형성을 감소시켰음을 나타내었다.
- 4) 글루칸군에서 혈청 유리지방산 농도가 감소하여 베타-글루칸의 내장지방 감소 효과를 확인시켜주었다.
- 5) 글루칸군에서 HDL 콜레스테롤 수준이 증가하여 베타-글루칸 섭취가 지질 대사를 개선시킬 수 있

음을 보여주었다.

결론적으로 베타-글루칸은 지질 대사 개선을 유도하여 체지방 형성과 축적을 억제하는 효과를 나타내는 것으로 보인다. 본 연구 결과 베타-글루칸은 비만과 이상지혈증 개선에 도움이 되는 기능성 소재가 될 수 있음을 제시한다. 또한, 본 연구에서 사용한 베타-글루칸 최저농도는 0.1%였으며, 이 농도 이하에서는 실험을 진행하지 않았다. 따라서, 향후 후속연구에서는 0.1% 이하의 베타-글루칸 농도에서 이러한 효과들이 관찰되는지에 대한 연구가 필요하다고 판단된다.

References

- [1] Ministry of Health and Welfare, Korea National Health and Nutrition Examination Survey, 2013.
- [2] B. K. Kit, E. Kuklina, M. D. Carroll, Y. Ostchega, D. S. Freedman, C. L. Ogden, "Prevalence of and trends in dyslipidemia and blood pressure among US children and adolescents 1999-2012", *JAMA Pediatr*, 169(3), 272-279, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.1001/jamapediatrics.2014.3216>
- [3] B. Delaney, R. J. Nicolosi, T. A. Wilson, "Beta-glucan fractions from barley and oats are similarly antiatherogenic in hypercholesterolemic Syrian golden hamsters", *J Nutr*, 133, pp. 468-475, 2003.
- [4] K. Babr'cek, I. Cechova', R. R. Simon, "Toxicological assessment of a particulate yeast (1,3/1,6)-beta-D-glucan in rats", *Food Chem Toxicol*, 45, pp. 1719 - 1730, 2007. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.fct.2007.03.013>
- [5] M. McIntosh, B. A. Stone, V. A. Stanisich, "Curdlan and other bacterial (1(3)-beta-D-glucans", *Appl Microbiol Biotechnol*, 68, pp. 163 - 173, 2005.
- [6] G. J. Dijkgraaf, P. H. Li, J. Bussey, Cell-wall β -glucan of *Saccharomyces cerevisiae*, pp.179-205, In Erick Vandamme, Sophie De Baets, and Alexander Steinbuechel (eds.), *Biopolymers*, Vol 6. Wiley-VCH Verlag GmbH, Germany, 2002.
- [7] M. J. Kim, H. W. Ryu, G. H. Cho, H. W. Kim, "Expression of inflammatory cytokine by beta-glucan in macrophage cell line", *J Pharm Soc Korea*, 52(1), pp. 73-78, 2008. DOI: <http://dx.doi.org/10.4196/kjpp.2008.12.2.73>
- [8] M. D. Han, Y. H. Kim, W. J. Kim, "*In vivo* growth inhibition of Sarcoma-180 cells by a β -glucan from the mushroom *Ganoderma lucidum*", *J Life Sci*, 24(7), pp. 721-727, 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.5352/JLS.2014.24.7.721>
- [9] V. Vetvicka, J. Vetvickova, "Effects of yeast-derived beta-glucans on blood cholesterol and macrophage functionality", *J Immunotoxicol*, 6(1), pp. 30-35, 2009. DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/15476910802604317>
- [10] G. D. Brown, S. Gordon, "Fungal beta-glucans and mammalian immunity", *Immunity*, 19(3), pp. 311-315, 2003. DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/S1074-7613\(03\)00233-4](http://dx.doi.org/10.1016/S1074-7613(03)00233-4)
- [11] D. E. I. Khoury, C. Cuda, B. L. Luhovyy, G. H. Anderson, "Beta glucan: health benefits in obesity and metabolic syndrome", *J Nutr Metab*, 2012(851362), pp. 1-28, 2012. DOI: <http://dx.doi.org/10.1155/2012/851362>
- [12] S. M. Tosh, Y. Brummer, T. M. S. Wolever, P. J. Wood, "Glycemic response to oat bran muffins treated to vary molecular weight of β -glucan" *Cereal Chemistry*, 85(2), pp. 211 - 217, 2008. DOI: <http://dx.doi.org/10.1094/CCHEM-85-2-0211>
- [13] S. S. AbuMweis, S. Jew, N. P. Ames, " β -glucan from barley and its lipid-lowering capacity: a meta-analysis of randomized, controlled trials", *Eur J Clin Nutr*, 64(12), pp. 1472-1480, 2010. DOI: <http://dx.doi.org/10.1038/ejcn.2010.178>
- [14] A. Whitehead, E. J. Beck, S. Tosh, T. M. Wolever, "Cholesterol-lowering effects of oat β -glucan: a meta-analysis of randomized controlled trials" *Am J Clin Nutr*, 100(6), pp. 1413-1421, 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.3945/ajcn.114.086108>
- [15] W. Yokoyama, P. Davis, C. Hudson, R. Backus, D. Richter, B. Knuckles, B. O. Schneeman, "Postprandial lipid, glucose, insulin, and cholecystokinin responses in men fed barley pasta enriched with beta-glucan", *Am J Clin Nutr*, 69(1), pp. 55-63, 1999.
- [16] C. L. Adam, P. A. Williams, M. J. Dalby, K. Garden, L. M. Thomson, A. J. Richardson, S. W. Gratz, A. W. Ross, "Different types of soluble fermentable dietary fibre decrease food intake, body weight gain and adiposity in young adult male rats", *Nutr Metab (Lond)*, 11(36), pp. 1-12, 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.1186/1743-7075-11-36>
- [17] P. J. Wood, M. U. Beer, G. Butler, "Evaluation of role of concentration and molecular weight of oat beta-glucan in determining effect of viscosity on plasma glucose and insulin following an oral glucose load", *Br J Nutr*, 84(1), pp. 19-23, 2000.
- [18] K. H. Hong, K. H. Jang, J. C. Lee, S. H. Kim, M. K. Kim, I. Y. Lee, S. M. Kim, Y. H. Lim, S. A. Kang,

- "Bacterial β -glucan exhibits potent hypoglycemic activity via decrease of serum lipids and adiposity, and increases of UCP mRNA expression", *J Microbio Biotechnol*, 15(4), pp. 823-830, 2005.
- [19] K. H. Hong, S. A. Kang, S. H. Kim, R. W. Choue, "Effects of high fat diet on serum leptin and insulin level and brown adipose tissue UCP1 expression in rats", *Korean J Nutrition*, 34(8), pp. 865-871, 2001.
- [20] L. F. Nordfors, L. Jansson, M. Thorne, A. Schalling, M. P. Arner, "Leptin secretion from adipose tissue in women", *J Clin Invest*, 99, pp. 2398-2404, 1997.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1172/JCI119422>
- [21] N. Lin, Y. Li, L. Tang, J. Shi, Y. Chen, "In vivo effect of oat cereal β -glucan on metabolic indexes and satiety-related hormones in diet-induced obesity C57-BL mice", *Mol Nutr Food Res*, 57(7), pp. 1291-1294, 2013.
- [22] S. Aoe, T. Ikenaga, H. Noguchi, C. Kohashi, K. Kakumoto, N. Kohda, "Effect of cooked white rice with high β -glucan barley on appetite and energy Intake in healthy Japanese subjects: A randomized controlled trial", *Plant Foods Hum Nutr*, 69(4), pp. 325-330, 2014.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s11130-014-0437-6>
- [23] Y. Zhang, L. Xia, W. Pang, T. Wang, P. Chen, B. Zhu, J. Zhang, "A novel soluble β -1,3-D-glucan salean reduces adiposity and improves glucose tolerance in high-fat diet-fed mice", *Br J Nutr*, 109(2), pp. 254-262, 2013.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1017/S0007114512000980>
- [24] R. Nicolosi, S. J. Bell, B. R. Bistrrian, I. Greenberg, R. A. Forse, G. L. Blackburn, "Plasma lipid changes after supplementation with beta-glucan fiber from yeast", *Am J Clin Nutr*, 70(2), pp. 208-212, 1999.
- [25] P. A. Hansen, D. H. Han, L. A. Nolte, M. Chen, J. O. Holloszy, "DHEA protects against visceral obesity and muscle insulin resistance in rats fed a high-fat diet", *Am J Physiol*, 273, R1704-1708, 1997.
- [26] A. M. Mistry, A. G. Swick, D. R. Romsos, "Leptin rapidly lowers food intake and elevates metabolic rates in lean and ob/ob mice", *J Nutr*, 127(10), pp. 2065-2072, 1997.
- [27] L. A. Drozdowski, R. A. Reimer, F. Temelli, R. C. Bell, T. Vasanthan, A. B. Thomson, "Beta-glucan extracts inhibit the in vitro intestinal uptake of long-chain fatty acids and cholesterol and down-regulate genes involved in lipogenesis and lipid transport in rats", *J Nutr Biochem*, 21(8), pp. 695-701, 2010.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jnutbio.2009.04.003>
- [28] G. Kanagasabapathy, S. N. Malek, A. A. Mahmood, K. H. Chua, S. Vikineswary, U. R. Kuppasamy, "Beta-glucan-rich extract from *Pleurotus sajor-caju* (Fr.) singer prevents obesity and oxidative stress in C57BL/6J mice fed on a high-fat diet", *Evid Based Complement Alternat Med*, 2013(185259), pp. 1-10, 2013.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1155/2013/185259>
- [29] R. Nicolosi, S. J. Bell, B. R. Bistrrian, I. Greenberg, R. A. Forse, G. L. Blackburn, "Plasma lipid changes after supplementation with beta-glucan fiber from yeast", *Am J Clin Nutr*, 70(2), pp. 208-212, 1999.
- [30] N. E. Miller, "The evidence for the antiatherogenicity of high density lipoprotein in man" *AOCS Annual Meeting*, St. Louis, Missouri, 1978.
- [31] P. C. K. Cheung, "The hypocholesterolemic effect of extracellular polysaccharide from the submerged fermentation of mushroom", *Nutr Res*, 16, pp. 1953-1957, 1996.
DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/S0271-5317\(96\)00218-7](http://dx.doi.org/10.1016/S0271-5317(96)00218-7)
- [32] H. M. Seong, S. R. Kim, H. D. Choi, H. M. Kim, "Effects of β -glucan-enriched barley fraction on the lipid and cholesterol contents of plasma and feces in rat", *Korean J Food Sci Technol*, 34, pp. 678-683, 2002.
- [33] J. Shimizu, N. Tsuchihashi, K. Kudoh, M. Wada, T. Takita, S. Innami, "Dietary curdlan increases proliferation of bifidobacteria in the cecum of rats", *Biosci Biotechnol Biochem*, 65(2), pp. 466-469, 2001.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1271/bbb.65.466>
- [34] Y. Zhang, R. Proenca, M. Maffei, M. Barone, L. Leopold, J. M. Friedman, "Positional cloning of the mouse obese gene and its human homologue", *Nature*, 372, pp.425-432, 1994.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1038/372425a0>
- [35] A. Sainsbury, I. Cusin, F. Rohner-Jeanrenaud, B. Jeanrenaud, "Adrenalectomy prevents the obesity syndrome produced by chronic central neuropeptide Y infusion in normal rats", *Diabetes*, 46(2), pp. 209-214, 1997.
DOI: <http://dx.doi.org/10.2337/diab.46.2.209>
- [36] P. J. Havel, "Role of adipose tissue in body-weight regulation: mechanisms regulating leptin production and energy balance", *Proc Nutr Soc*, 59(3), pp. 359-371, 2000.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1017/S0029665100000410>

홍 경 희(Kyung Hee Hong)

[정회원]



- 1993년 2월 : 이화여자대학교 대학원 식품영양학과(이학석사)
- 2003년 8월 : 경희대학교 동서의학대학원 임상영양전공 (의학영양학박사)
- 2007년 1월 ~ 2009년 2월 : (주)농심 R&BD 센터 과장

- 2009년 3월 ~ 2014년 2월 : 배화여자대학교 식품영양학과 교수
- 2014년 3월~ 현재 : 동서대학교 에너지생명공학부 식품영양학과 교수

<관심분야>

영양학, 기능성식품학

강 순 아(Soon Ah Kang)

[정회원]



- 1983년 2월 : 서울대학교 가정대학 식품영양학과 (이학석사)
- 1991년 2월 : 미국 퍼듀 대학교 식품영양학과 (이학박사)
- 2014년 12월 ~ 현재 : 농림축산식품부 식품산업진흥위원회 심의위원
- 2013년 11월 ~ 현재 : 호서대학교 보건산업연구소 소장

- 2012년 10월 ~ 현재 : 호서대학교 벤처대학원 융합공학과 교수

<관심분야>

영양학, 기능성식품학, 발효식품학

김 현 순(Hyun-Soon Kim)

[정회원]



- 2010년 3월 2012년 8월 : 경기대 대체의학대학원 석사 (식품치료전공)
- 2014년 3월 ~ 현재 : 호서대 벤처전문대학원 융합공학 박사과정
- 2014년 3월 ~ 현재 : 호서대 보건산업연구소 연구원

<관심분야>

식품치료, 생활향기치료, 발효식품학

장 기 효(Ki-Hyo Jang)

[정회원]



- 1993년 2월 : 경희대학교 식품가공학과(식품미생물학 석사)
- 1998년 10월 : 호주 빅토리아대학교 CBFT(식품미생물학박사)
- 2003년 9월 ~ 2006년 2월 : 삼척대학교 식품영양학과 교수
- 2006년 3월 ~ 현재 : 강원대학교 식품영양학과 교수

<관심분야>

발효식품학, 식품미생물학