

갈대순분말이 고지방을 급여한 마우스의 지질대사 및 적혈구 항산화방어계에 미치는 영향

이진¹ · 정주영² · 조영숙¹ · 박석규¹ · 김광진³ · 김명주⁴ · 이미경^{1*}

¹순천대학교 식품영양학과, ²순천대학교 교육대학원 영양교육전공
³(주)갈대나라, ⁴대구산업정보대학 호텔조리계열

Effect of Young *Phragmites communis* Leaves Powder on Lipid Metabolism and Erythrocyte Antioxidant Enzyme Activities in High-Fat Diet Fed Mice

Jin Lee¹, Joo-Yong Jeong², Young-Sook Cho¹, Seok-Kyu Park¹, Kwangjin Kim³,
Myung-Joo Kim⁴, and Mi-Kyung Lee^{1*}

¹Dept. of Food and Nutrition and ²Dept. of Nutrition Education, Graduate School of Education,
Suncheon National University, Jeonnam 540-742, Korea

³Gardaenara Agricultural Co. Ltd., Suncheon National University, Jeonnam 540-742, Korea

⁴Faculty of Hotel Cuisine, Daegu Polytechnic College, Daegu 706-022, Korea

Abstract

This study investigated the effect of young *Phragmites communis* (Pc) leaves on lipid profiles, lipid metabolism and erythrocyte antioxidant defense system in high-fat diet fed mice. Three groups of mice were fed different diets for 8 weeks: normal diet (Normal), high-fat diet (High-fat; 37% calories from fat) and high-fat diet supplemented with 1% Pc (wt/wt, HF-Pc). Body weight, daily food intake and energy intake tended to decrease by Pc supplement in high-fat fed mice. Pc supplementation significantly lowered plasma triglyceride and total cholesterol concentrations compared to the high-fat control group. Pc also lowered hepatic and heart cholesterol contents, whereas it significantly increased fecal excretion of triglyceride and cholesterol compared to the high-fat control group. Pc significantly inhibited fatty acid synthase, 3-hydroxy-3-methylglutaryl CoA reductase and acyl-CoA:cholesterol acyltransferase activities compared to the high-fat control group. Erythrocyte superoxide dismutase and catalase activities were also significantly higher in the high-fat group than in the normal group, however Pc supplementation reversed these changes. The Pc supplementation significantly lowered erythrocyte lipid peroxidation level compared to the high-fat control group. Accordingly, these results suggest that Pc improves lipid metabolism and erythrocyte antioxidant defense system in high-fat diet fed mice.

Key words: *Phragmites communis* leaves, lipid profile, lipid metabolism, antioxidant defense system, erythrocyte

서론

최근 우리나라 40대 이상의 주요 사망원인이 암, 뇌혈관질환, 심장질환, 당뇨병, 간질환, 고혈압, 동맥경화증 등 생활습관병으로 보고되었으며(1), 그 유병률은 점차 증가하는 추세이다(2,3). 이와 같은 생활습관병의 증가는 비만과 밀접한 관련이 있으며, 대한비만학회와 세계보건기구에서도 비만관리는 생활습관병의 예방과 조절을 위한 가장 중요한 전략으로 제시하고 있다. 비만은 유전적인 요인과 내분비 기능, 영양물 섭취 외에 다른 환경적인 요소를 포함한 여러 가지 요인에 의해 발생하는 질병이다(4). 따라서 많은 연구자들이 비만을 예방 또는 개선할 수 있는 천연물 소재 개발에 관심을 높이고 있다.

갈대(*Phragmites communis*)는 외떡잎식물로 화본목 화본과로 분류된다. 온대와 한대지역에 주로 분포하며 늪, 강기슭, 습지, 바닷가 기슭에서 떼 지어 서식한다. 높이는 3 m 정도이며 줄기 속은 비어있고 잎은 30~50 cm 정도이다(5). 또한 갈대는 생산성이 가장 높은 초본의 하나로서(6) 우리나라에서 자라는 갈대 속 식물로는 갈대(*P. communis*), 달뿌리풀(*P. japonicus*) 및 큰달뿌리풀(*P. karka*) 등 3종류가 있다. 갈대뿌리는 한방에서 해열, 지갈, 이노제, 당뇨병의 소갈, 구역질, 변비, 식중독 등 약용으로 사용되어 왔으나 갈대는 우리 주위에서 흔하게 볼 수 있어 그 가치를 잊어버리고 왔다. Choi 등(7)에 의해 갈대뿌리의 고지혈증 개선효능이 보고된 바 있으나 그 작용 기전에 관한 연구는 미비할 뿐만 아니라, 특히 예로부터 식용으로 사용되어 온 갈대의 어린

*Corresponding author. E-mail: leemk@sunchon.ac.kr
Phone: 82-61-750-3656, Fax: 82-61-752-3657

순에 관한 연구는 전무한 상태이다.

따라서 본 연구는 고지방 식이를 급여한 마우스에게 갈대순분말을 8주간 급여한 후 체중변화, 혈장과 조직 내의 지질 함량 및 간 조직에서의 지질대사 관련 효소 활성도와 적혈구의 항산화 효소 활성도를 측정하였다.

재료 및 방법

갈대순분말의 일반성분, 식이섬유소 및 총 페놀화합물의 함량 분석

갈대순은 2007년 7월에서 8월 사이 순천만에서 채취하여 깨끗하게 세척하고 건조한 다음 균질기로 파쇄 하여 갈대순분말로 사용하였다.

시료의 일반성분은 AOAC(8)에 준해 회분은 회화법, 조지방은 Soxhlet 추출법, 조단백질은 단백질 자동분석기(Buchi-342, Buchi Labortechnik AG, Flawil, Switzerland)를 사용하여 시료 분해 및 함량을 측정하였다. 탄수화물은 100에서 수분, 조단백질, 조지방 및 회분을 뺀 값으로 결정하였다. 식이섬유소 함량은 Johansson과 Hallmer(9)의 방법에 따라 정량하였다.

총 페놀화합물 함량은 Folin-Denis법에 준해(10) 측정하였으며, 그 함량은 tannic acid를 이용하여 작성한 표준곡선으로부터 구하였다.

실험동물 사육

실험동물은 4주령의 수컷 ICR 마우스 24마리를 바이오제노믹스(Biogenomics, Seoul, Korea)로부터 구입하였다. 마우스는 1주간 고형식으로 적응시킨 후 난괴법에 의하여 정상군(Normal), 고지방군(High-fat)과 고지방-갈대순분말군(HF-Pc)으로 나누어 8주간 사육하였다. 동물 사육실의 환경은 항온(22±2°C), 항습(50±4%), 12시간 간격(08:00~20:00)의 광주기로 일정한 조건을 유지하고 동물들은 폴리카보네이트 사육 상자에 두 마리씩 분리하여 사육하였다.

본 실험에 사용한 기본식은 AIN-76(11)의 식이조성에 준하였으며 단백질 공급원으로는 카제인(Dajung, Siheung, Korea)을 공급하고, 탄수화물 공급원은 옥수수 전분(ShindongbangCP, Ansan, Korea), 지방 공급원으로는 옥수수기름(Cheiljedang, Seoul, Korea)을 사용하였다. 고지방 식이군은 총 열량의 37%가 되도록 쇠기름(Wako, Osaka, Japan)을 공급하였다. 갈대순분말은 사람이 하루에 3잔의 차를 마시는 양을 기준으로 갈대순분말 1% 수준이 되도록 조제(Table 1)하여 급여하였으며 식이와 식수는 자유롭게 섭취(ad libitum)하도록 하였고, 모든 실험 식이는 사육기간 동안 냉장 보관하였다. 식이 100 g당 에너지는 열량계(Parr-1351, Parr Instrument Company, Moline, IL, USA)를 사용하여 측정하였다. 사육기간 마지막 5일 동안 분변을 수집하여 건조시킨 후 지질측정에 사용하였다.

체중은 매주 1회 일정시각에 측정하였으며, 식이섭취량은

Table 1. Composition of the experimental diet (%)

Ingredients	Groups		
	Normal	High-fat	HF-Pc
Casein	20.0	20.0	20.0
Corn starch	50.0	34.0	33.0
Sucrose	15.0	15.0	15.0
Cellulose	5.0	5.0	5.0
Corn oil	5.0	—	—
Beef tallow	—	21.0	21.0
AIN-mineral mixture ¹⁾	3.5	3.5	3.5
AIN-vitamin mixture ²⁾	1.0	1.0	1.0
DL-Methionine	0.3	0.3	0.3
Choline bitartrate	0.2	0.2	0.2
<i>Phargmite communis</i> leaves ³⁾	—	—	1.0
kcal/100 g diet	421.56	515.14	512.16
Calories from fat (%)	11.0	37.0	37.0

¹⁾Mineral mixture (g/kg) according to AIN-76.

²⁾Vitamin mixture (g/kg) according to AIN-76.

³⁾Powdered young *Phargmite communis* leaves; 1 g *Phargmite communis* leaves in 100 g diet provides 3.65 kcal energy, 649.2 mg carbohydrate, 196.4 mg protein, 30.0 mg fat and 531.8 mg dietary fiber based on Table 2.

매일 일정시각에 측정된 후 급여량에서 잔량을 감하여 계산하였다.

혈장 및 장기 채취

사육이 끝난 실험동물은 희생 전 12시간 동안 절식시킨 후 에테르를 흡입시켜 마취시킨 다음 복부 하대정맥(inferior vena cava)으로부터 공복혈액을 채취하였다. 헤파린 처리된 혈액은 1,000×g(4°C)에서 15분간 원심분리 하여 혈장을 분리하였다. 실험동물의 장기조직은 혈액 채취 후 즉시 적출하여 PBS(phosphate buffered saline)용액으로 수차례 헹군 후 표면의 수분을 제거하였으며, 즉시 액체질소로 급냉시켜 -70°C에 보관하였다.

혈장, 조직 및 분변 중의 지질 함량 측정

혈장 중의 중성지질 함량은 Muller의 방법(12)으로 조제된 kit 시약(Asan Pharmaceutical, Seoul, Korea)을 사용하여 측정하였다. 총 콜레스테롤 함량은 Richmond의 방법(13)으로 조제된 kit 시약(Asan Pharmaceutical)을 사용하였다.

조직과 분변의 지질 함량은 Folch 등의 방법(14)에 준하여 클로로포름 : 메탄올(2:1, v/v) 혼합액으로 지질을 추출한 후 혈액과 동일한 방법으로 측정하여 농도를 구하였다.

적혈구와 간 조직 중의 효소원 분리

혈액으로부터 혈장과 buffy coat를 완전히 제거한 후 McCord와 Fridovich의 방법(15)에 준하여 적혈구를 분리하였다. 즉 분리한 적혈구는 0.9% 생리식염수로 3회 세척한 후 증류수로 용해한 다음 효소원으로 사용하였다. 적혈구의 효소활성도는 kit 시약(Asan Pharmaceutical)으로 측정된 헤모글로빈 g 당의 고유활성도로 나타내었다.

간 조직은 4배량의 0.25 M sucrose(pH 7.4) 완충용액을 가하여 균질기(IKA, Rw20.7, IKA Inc., Wilmington, USA)로 마쇄하여 얻은 균질액을 600×g(4°C)에서 10분간 원심분리 하여 핵 및 미 마쇄 부분을 제거한 후 상층액을 얻었다. 이를 10,000×g(4°C)에서 20분간 원심분리 하여 미토콘드리아 분획을 취했으며, 분리된 상층액을 100,000×g(4°C)에서 1시간 초원심분리 하여 시토졸 분획과 마이크로솜 분획을 얻었다. 미토콘드리아과 마이크로솜 침전물은 사용된 완충용액에 녹인 후 효소원으로 사용하였다. 미토콘드리아 분획은 fatty acid β -oxidation(β -oxidation) 활성 측정에 사용하였고 시토졸 분획은 fatty acid synthase(FAS) 활성 측정에 사용하였다. 마이크로솜 분획은 3-hydroxy-3-methylglutaryl CoA (HMG-CoA) reductase와 acyl-coenzyme A:cholesterol acyltransferase(ACAT) 활성 측정에 사용하였다. 조직의 효소활성도는 Bradford의 방법(16)을 사용하여 측정된 단백질 mg 당의 고유활성도로 나타내었다.

간 조직 중의 지질대사 관련 효소 활성도 측정

FAS 활성도는 Carl 등(17)이 실시한 방법을 수정·보완하여 산화되는 NADPH 정도를 340 nm에서 측정하였다. β -Oxidation은 Lazarow(18) 방법을 수정·보완하여 NAD⁺가 NADH로 환원되는 정도를 340 nm에서 측정하였다. HMG-CoA reductase 활성도는 Shapiro 등(19)이 실시한 방법을 수정·보완하여 [¹⁴C]HMG-CoA를 기질로 하여 생성되는 [¹⁴C]mevalonate의 양을 측정하였다(Packard Tricarb 1600TR, Packard, Canberra, Australia). ACAT 활성도는 Erickson 등(20)의 방법을 수정·보완하여 [¹⁴C]Oleoyl-CoA를 기질로 하여 생성되는 [¹⁴C]cholesteryl oleate의 양을 측정하였다(Packard Tricarb 1600TR).

적혈구 중의 항산화 효소 활성도 측정

Superoxide dismutase(SOD) 활성은 Marklund와 Marklund의 방법(21)에 준하여 효소액을 넣지 않고 반응시킨 0.5 mM pyrogallol 용액의 자동산화율 50% 억제하는 정도를 나타내었다. Catalase(CAT) 활성은 Aebi의 방법(22)에 준하여 1분간 1 g의 헤모글로빈에 의해 소실되는 과산화수소 양을 나타내었다. Glutathione peroxidase(GSH-Px)활성은 Paglia와 Valentine의 방법(23)에 준하여 헤모글로빈 1 g당 1분 동안 산화되는 NADPH 정도를 나타내었다.

적혈구 중의 지질과산화물 함량 측정

적혈구 중의 지질과산화물 함량은 Tarladgis 등의 방법(24)에 준하여 측정하였다. 지질과산화물의 지표물질인 malondialdehyde(MDA) 함량은 tetramethoxypropane 표준 검량선에 준하여 나타내었다.

통계처리

실험결과는 SPSS package 프로그램을 이용하여 실험군 평균과 표준오차로 표시하였고 각 실험군 간의 평균치의 통

계적 유의성 검정은 one-way ANOVA를 실시하고 각 실험군 간의 차이는 p<0.05 수준에서 Duncan's multiple test로 사후 검정하였다.

결과 및 고찰

갈대순의 일반성분, 식이섬유소 및 총 페놀화합물 함량

갈대순의 일반성분, 식이섬유소 및 총 페놀화합물 함량은 Table 2와 같다. 갈대순분말 100 g당 탄수화물은 64.92%이었으며, 단백질은 19.64%로 함유량이 높은 반면, 조지방은 3.00%로 소량 함유되어 있다. 한편 식이섬유소 함량은 갈대순분말 100 g당 53.18%로 높은 함유량을 보였으며, 총 페놀화합물의 함량은 100 g당 1.16 g으로 나타났다.

체중, 식이섭취량 및 내장지방 무게에 미치는 영향

갈대순분말이 고지방식을 급여한 마우스의 체중, 식이섭취량과 내장지방무게에 미치는 영향은 Table 3에 나타내었다. 실험 개시 체중은 실험군간 유사하였으나, 실험종료 8주에는 열량의 37%를 지방으로 급여한 고지방군이 정상군에 비하여 유의적인 체중증가를 보였고 갈대순분말군의 체중은 고지방군에 비하여 감소되는 경향이였다. 이는 갈대순분말 급여 시 고지방군에 비하여 식이섭취량과 일일 에너지섭취량이 감소되는 경향과 유사하였다. 이와 같이 갈대순분말 급여군의 식이섭취량 감소경향은 갈대순분말의 높은 식이섬유소 함유에서 기인되는 것으로 사료된다. 다량의 식이섬유소 섭취는 포만감을 주어 식이섭취량과 체중 감소를 가져와 비만억제에 효과가 있다고 알려져 있다(25). 따라서 최근 식이섬유소의 주요 급원식품이나 이로부터 추출한 식이섬유소가 체중조절과 만성퇴행성 질환의 예방 및 치료를 위한 건강기능 식품들로 출시되고 있다.

내장지방량을 측정하기 위하여 부고환지방과 신장주변의 흰색지방 무게를 측정된 결과(Table 3) 체중단위당 신장주변 지방무게는 실험군 간에 차이가 없었으나 부고환 지방무게는 고지방군이 정상군에 비하여 1.6배 높았다. 갈대순분말은 부고환 지방무게에 유의적인 영향을 미치지 않았다.

혈장, 조직 및 분변 중의 지질 함량에 미치는 영향

혈장, 조직과 분변 중의 중성지질과 콜레스테롤 함량은

Table 2. The general composition and total phenolic contents of powdered young *Phragmites communis* leaves

Component	<i>Phragmites communis</i> leaves
Moisture (%)	5.61±0.10
Carbohydrate (%)	64.92±3.60
Crude protein (%)	19.64±1.20
Crude fat (%)	3.00±0.08
Ash (%)	6.83±0.50
Dietary fiber (%)	53.18±1.37
Total phenolics (mg/g)	11.60±0.50

Values are mean±SE of triplicates.

Table 3. Effects of young *Phargmite communis* leaves on body weight, food intake, energy intake and visceral fat weight in mice¹⁾

	Normal	High-fat	HF-Pc
Body weight (g)			
Initial	28.49±0.38	28.75±0.42	28.42±0.40
Final	42.28±0.73 ^a	47.47±2.05 ^b	45.49±1.78 ^{ab}
Food intake (g/day)	7.07±0.30 ^b	6.58±0.30 ^{ab}	6.01±0.10 ^a
Energy intake (kcal/day)	29.83±1.26 ^a	33.90±0.38 ^b	30.82±1.14 ^{ab}
Visceral fat weight (mg/g of BW)			
Epididymal white adipose tissue	27.40±2.47 ^a	43.46±1.98 ^b	38.12±3.50 ^b
Perirenal white adipose tissue	13.10±1.79	14.60±0.75	13.52±1.20

¹⁾Mean±SE (n=8).

^{a,b}Values with different superscripts in the same row are significant different at p<0.05.

Table 4에 나타내었다. 고지방 식이는 혈장과 간 조직의 지질 함량을 유의적으로 증가시키는데(26), 본 실험에서도 8주간의 고열량 섭취는 정상군에 비해 혈장 중의 총 콜레스테롤은 171%, 중성지질은 118%의 유의적인 증가를 보였으나 혈장의 총 콜레스테롤 함량은 갈대순분말 급여 시 고지방 대조군에 비해 19% 감소되었고 중성지질 함량은 36% 유의적인 감소를 보였다. 특히, 최근 중성지방 농도감소는 관상심장질환의 위험을 감소시키는 것으로 보고된바 있는데(27) 본 실험 결과 갈대순분말은 고지방을 급여한 마우스 혈장 중성지질을 개선하는데 탁월한 것으로 나타났다.

8주간의 고지방 식이 급여군의 간 조직 중 중성지질과 콜레스테롤 함량은 정상군에 비하여 유의적으로 높았으나 갈대순분말 급여는 간 조직의 중성지질 함량 변화에는 영향을 미치지 않았으며 콜레스테롤 함량은 고지방군에 비하여 유의적으로 낮추었다. 심장조직의 중성지질과 콜레스테롤 함량 역시 정상군에 비해 고지방군이 각각 145%, 112%의 유의적인 증가를 나타내었다. 갈대순분말군의 심장조직 중 중성지질 함량은 감소경향을 보였으나 콜레스테롤 함량은 정상군과 유사한 수준으로 개선되었다. 이와 같이 갈대순은 고지

방 섭취로 인한 간 조직과 심장조직 중의 콜레스테롤 축적을 효과적으로 억제하였다.

한편, 갈대순분말이 고지방을 섭취한 마우스의 지질 흡수 또는 배설에 미치는 영향을 살펴보기 위하여 분변 중의 지질 함량을 측정하였다(Table 4). 그 결과 콜레스테롤 함량은 고지방군이 정상군에 비하여 낮은 반면, 중성지질은 약 6배 높았다. 이는 콜레스테롤을 첨가하지 않은 고지방식이를 6주간 급여한 선행연구에서도 같은 양상을 보였다(28). 그러나 갈대순분말 급여는 고지방군에 비하여 분변으로의 중성지질과 콜레스테롤 배설을 각각 27%와 28%로 유의적으로 증가시켰다. 이는 갈대순분말이 지방의 흡수를 저해하거나 배설을 촉진시킴으로써 혈중 지질 개선과 조직 중의 지질 축적을 억제하는데 기여하는 것으로 사료된다. 이와 같은 지질저하 효과와 분변으로의 배설 증가가 갈대순분말에 많이 함유되어 있는 섬유소에 기인하는 것인지 다른 성분에 의한 것인지 관한 연구가 필요하다. 본 연구진의 선행연구에서 뽕잎(28)이나 보리순(29)의 경우 분말과 동일량의 분말을 열수추출 하여 고지방식이에 보충급여 시 지질저하 개선효과가 유사한 것으로 나타났다.

Table 4. Effects of young *Phargmite communis* leaves on plasma, liver, heart and fecal lipid contents in mice¹⁾

	Normal	High-fat	HF-Pc
Plasma			
Triglyceride (mg/dL)	146.22±10.92 ^b	172.67±23.77 ^c	110.46±7.58 ^a
Total cholesterol (mg/dL)	125.01±12.12 ^a	213.99±18.46 ^c	171.98±12.49 ^b
HDL-cholesterol (mg/dL)	68.31±2.10	70.69±2.64	70.32±5.70
HTR (%) ²⁾	52.17±1.72 ^b	34.73±3.08 ^a	40.97±2.04 ^a
Liver			
Triglyceride (mg/g)	23.69±1.01 ^a	31.78±2.22 ^b	29.38±1.5 ^b
Cholesterol (mg/g)	3.65±0.38 ^a	4.32±0.14 ^b	3.70±0.12 ^a
Heart			
Triglyceride (mg/g)	4.46±0.20 ^a	6.45±0.27 ^b	5.53±0.21 ^{ab}
Cholesterol (mg/g)	3.06±0.06 ^a	3.43±0.07 ^b	3.12±0.30 ^a
Feces			
Triglyceride (mg/g)	23.51±8.48 ^a	146.40±9.84 ^b	186.32±14.09 ^c
Cholesterol (mg/g)	4.32±0.14 ^c	2.57±0.15 ^a	3.28±0.20 ^b

¹⁾Mean±SE (n=8).

²⁾(HDL-cholesterol/ Total cholesterol)×100.

^{a-c}Values with different superscripts in the same row are significant different at p<0.05.

Table 5. Effects of young *Phargmite communis* leaves on hepatic lipid regulating enzyme activities in mice¹⁾

	Normal	High-fat	HF-Pc
FAS ²⁾ (nmol/min/mg protein)	2.09±0.17 ^a	3.62±0.08 ^b	2.27±0.42 ^a
β-oxidation (nmol/min/mg protein)	7.06±0.49 ^b	3.41±0.54 ^a	3.27±0.51 ^a
HMG-CoA reductase (pmol/min/mg protein)	220.64±20.89 ^a	462.57±19.33 ^c	389.34±19.37 ^b
ACAT (pmol/min/mg protein)	169.34±8.91 ^a	250.60±10.58 ^c	217.97±10.77 ^b

¹⁾Mean±SE (n=8).

²⁾FAS, fatty acid synthase; β-oxidation, fatty acid β-oxidation; HMG-CoA reductase, 3-hydroxy-3-methylglutaryl CoA reductase; ACAT, acyl-CoA:cholesterol acyltransferase.

^{a-c}Values with different superscripts in the same row are significant different at p<0.05.

간 조직의 지질대사 관련 효소 활성도에 미치는 영향

갈대순이 고지방을 급여한 마우스의 간 조직 중 지질대사에 미치는 영향을 Table 5에 나타내었다. 8주간의 고지방식이 급여군의 간 조직 중 지방산 합성효소는 정상군에 비하여 유의적으로 높아진 반면, 지방산 분해 기전인 지방산 β-산화는 정상군의 48% 정도로 감소되었다. 지방산 β-산화는 미토콘드리아 기질에서 일어나는 반응으로 지방산을 분해하여 ATP를 생성할 수 있는 acetyl-CoA가 생성되는 과정으로 고지방식이에 의한 지질대사 이상이 체내 지질 축적을 유발하는 것으로 사료된다. 그러나 갈대순분말 급여 시 지방산 산화에는 영향을 미치지 않았으나 지방산 합성효소의 활성을 유의적으로 낮추어 정상군 수준으로 개선하였다. 지방산 합성효소는 *in vivo*에서 에너지 저장에 중심적인 역할을 하는 효소로서(30) 비만과 암 등 인간의 질병에 관련되어 있다(31). 따라서 최근 체내 지질 합성의 중요한 역할을 수행하는 지방산 합성효소 활성 저해는 동물실험에서 비만 치료의 중요한 타겟으로 제시되고 있다(32). 이와 같이 갈대순분말은 간 조직에서의 지방산 합성효소를 저해함으로써 고지방식을 급여한 마우스의 체내지질 저하에 부분적으로 기여하는 것으로 사료된다.

한편, 콜레스테롤 대사를 조절하는 효소에는 콜레스테롤 생합성 경로의 조절효소인 HMG-CoA reductase와 유리콜레스테롤을 에스테르화하는 ACAT 등이 있다. 따라서 본 연구에서도 갈대순분말이 콜레스테롤 대사 조절에 미치는 영향을 살펴 본 결과 HMG-CoA reductase와 ACAT 활성은 모두 정상군보다 고지방군에서 유의적으로 높았으나 갈대순분말 급여 시 고지방군에 비해 이들 활성이 유의적으로 낮았다. 갈대순분말의 HMG-CoA reductase 활성 저해는 간에서의 콜레스테롤 생합성을 억제하여 세포내 콜레스테롤

공급과 ACAT 활성을 감소시킴으로써 혈장 중의 콜레스테롤 함량을 개선하였을 뿐만 아니라 관상동맥 심혈관계 질환의 위험성을 감소시킬 수 있을 것으로 사료된다.

적혈구 중의 항산화효소 활성도와 지질과산화물 함량에 미치는 영향

적혈구의 항산화효소 활성도와 지질과산화물 함량은 Table 6에 나타내었다. 적혈구 중의 SOD와 CAT 활성은 정상군에 비하여 고지방식이 급여 시 각각 119%, 121% 정도로 유의적인 증가를 보였으나 GSH-Px 활성은 고지방식이로 인한 변화가 관찰되지 않았다. 반면, 갈대순분말 급여는 적혈구의 SOD와 CAT 활성을 고지방군에 비하여 유의적으로 낮추었으며, GSH-Px 활성에는 영향을 미치지 않았다.

산화적 스트레스는 동맥경화, 당뇨병 등 질병을 일으키는 요인 중의 하나이며, 이러한 산화적 스트레스는 유리라디칼 생성과 항산화계의 불균형에서 기인된다(33). 특히, 적혈구는 산소와 헤모글로빈 농도가 높아서 산화적 손상에 민감하여 심혈관 질환과의 관련성이 높은 것으로 보고되었다(34). 그러나 적혈구는 충분한 에너지 공급과 항산화방어 기전을 지니고 있기 때문에 산화적 손상으로부터 보호할 수 있다(35,36). 효소적 방어기전으로 SOD, CAT와 GSH-Px가 관여하는데 SOD는 동물의 거의 모든 조직에 분포되어 있는 효소로서(37), 반응성이 크고 독성이 강한 산소를 과산화수소로 바꾸며 생성된 과산화수소와 유기과산화물은 CAT와 GSH-Px의 작용에 의해 물로 배설됨으로써 산소독에서 생체를 보호한다. 산화적 스트레스가 증가될 때 SOD의 의해 생성되는 과산화수소는 비가역적으로 SOD 활성을 감소시키며 이 때 생성된 과산화수소를 제거하기 위하여 CAT는 활성화되는 것으로 보고되고 있으나(38) 본 연구에서는 8주

Table 6. Effects of young *Phargmite communis* leaves on erythrocyte antioxidant enzyme activities and lipid peroxide content in mice¹⁾

	Normal	High-fat	HF-Pc
SOD ²⁾ (unit/g Hb)	381.13±13.96 ^a	449.33±15.07 ^b	391.40±12.93 ^a
CAT (umol/min/g Hb)	4.69±0.23 ^a	5.68±0.16 ^b	4.61±0.13 ^a
GSH-Px (nmol/min/g Hb)	37.44±0.38	37.72±0.71	38.77±0.75
MDA (nmol/g Hb)	784.82±51.67 ^a	1105.28±66.42 ^b	843.24±41.59 ^a

¹⁾Mean±SE (n=8).

²⁾SOD, superoxide dismutase; CAT, catalase; GSH-Px, glutathione peroxidase; MDA, malondialdehyde.

^{a,b}Values with different superscripts in the same row are significant different at p<0.05.

간의 고지방식이로 인하여 적혈구 SOD와 CAT 활성이 정상군에 비하여 유의적으로 높았다. 이는 정상 체중인 사람에 비하여 비만 체중인 사람의 혈중 SOD 활성과 superoxide anion 농도가 높다는 보고(39)와 열량의 37%를 쇠기름으로 6주간 급여한 C58BL/6N 마우스의 적혈구 중의 SOD 활성이 정상군에 비하여 유의적으로 높았다는 본 연구진의 선행연구(40) 결과와 유사하였다. 그러나 고지방식이에 갈대순분말 보충은 적혈구 SOD와 CAT 활성 모두 정상군 수준으로 개선하였다. 이는 갈대순분말 급여로 인한 지질저하는 산화적 스트레스를 개선함으로써 적혈구내 방어효소인 SOD 활성을 낮추었으며, 이로 생성된 과산화수소 생성 감소는 CAT 활성을 낮춘 것으로 생각된다. 반면, GSH-Px는 고지방식이와 갈대순분말에 의한 영향을 보이지 않았다. 따라서 본 실험에서 생성된 과산화수소 제거 기전에 GSH-Px보다 CAT가 더 민감하게 반응한 것으로 사료된다.

활성산소종에 의해 세포막 불포화지방산의 산화로 지질 과산화물이 생성되며, 이들 지질과산화물의 분해는 독성이 큰 malondialdehyde(MDA) 축적을 유발한다. 따라서 MDA 측정은 가장 광범위하게 사용되는 지질과산화물 지표이므로 본 실험에서도 적혈구 중의 MDA 함량을 측정한 결과 고지방군이 정상군에 비하여 약 141%의 유의적인 증가를 보였다. 그러나 갈대순분말 급여군의 MDA 함량이 고지방군에 비하여 24% 유의적으로 개선되었다. 이와 같이 갈대순분말은 고지방식이로 인한 지질과산화물 생성을 효과적으로 억제하는 것으로 나타났다. 본 실험에 사용된 갈대순분말 중의 총 폴리페놀화합물 함량은 11.6 mg/g 정도로 효과적인 항산화제로의 가능성을 제시하고 있다.

요 약

본 연구는 고지방을 급여한 마우스의 체내 지질개선 및 항산화 방어계에 미치는 갈대순의 영향을 구명하고자 하였다. 4주령의 ICR마우스(n=24)를 1주일간 적응시킨 후 정상 식이를 급여한 정상군, 고지방을 급여한 고지방군, 고지방-갈대순분말 급여군으로 나누어 8주간 사육하였다. 갈대순분말은 사람이 하루에 3잔의 차를 마시는 양을 고려하여 식이에 1% 수준이 되도록 첨가·조제하여 급여하였다. 갈대순분말군의 체중, 일일 식이섭취량과 에너지섭취량은 고지방군에 비하여 감소하는 경향이였다. 갈대순분말 급여 시 혈장의 총 콜레스테롤 함량은 고지방군에 비하여 19% 감소되었고 중성지질 함량은 36% 유의적인 감소를 보였다. 갈대순분말은 고지방식이로 축적된 간 조직의 중성지질 함량 변화에는 영향을 미치지 않았으나 콜레스테롤 함량은 고지방군에 비하여 유의적으로 낮추었다. 심장조직의 중성지질과 콜레스테롤 함량 역시 정상군에 비하여 고지방군이 각각 145%, 112%의 유의적인 증가를 나타내었으나 갈대순분말 급여로 중성지질 함량은 감소경향을 보였으며 콜레스테롤 함량은

정상군과 유사한 수준으로 개선되었다. 갈대순분말은 고지방군에 비하여 분변으로의 중성지질과 콜레스테롤 배설을 각각 27%와 28% 유의적으로 증가시켰다. 갈대순분말은 간 조직의 지방산 산화에는 영향을 미치지 않았고 지방산 합성 효소 활성을 유의적으로 억제하였다. 간 조직 중의 HMG-CoA reductase와 ACAT 활성도 역시 갈대순급여군이 고지방군에 비하여 유의적으로 낮았다. 적혈구 중의 SOD와 CAT 활성은 정상군에 비하여 고지방식이 급여 시 유의적인 증가를 보였으나 GSH-Px 활성은 고지방식이로 인한 변화가 관찰되지 않았다. 반면, 갈대순분말 급여는 적혈구의 SOD와 CAT 활성과 지질과산화물 함량을 고지방군에 비하여 유의적으로 낮추었다. 이와 같이 갈대순분말은 고지방식이를 급여한 마우스의 간 조직에서의 지방산과 콜레스테롤 합성을 저해하고 분변으로의 지질배설을 증가시킴으로써 혈장 지질 개선에 효과적이었으며 적혈구의 항산화 효소활성도와 지질과산화물 함량도 개선하는 것으로 나타났다.

문 헌

1. Korean National Statistical Office. 2007. The cause of death statistics (death and death rates) "2005".
2. Hwangbo JH, Son YA, Shin SR, Yoon KS, Kim KS, Kim KS. 2002. Studies on the food and daily habits and lipid concentrations in serum of adult man. *Food Ind Nutr* 7: 45-50.
3. Nam KH, Shin MS, Yoo JH, Bae JJ, Lee SH, Kim SS, Hong YS, Byun JJ, Park HK. 2003. The effect of exercise program during 16 weeks on leptin, HbA_{1c}, BMI and body composition in middle aged men obesity and NIDDM. *J Sport Leis Stud* 20: 1115-1126.
4. Ahima RS, Flier JS. 2000. Adipose tissue as an endocrine organ. *Trends Endocrinol Metab* 11: 327-332.
5. Lee CB. 1980. *An illustrated plant*. Hyangmon press, Seoul, Korea. p 990.
6. Kim CM, Yim YJ, Rim RD. 1972. Studies on the primary production of the *Phragmites longivalvis* community in Korea. IBP REP. No. 6. Korean National Committee for the IBP. p 1-7.
7. Choi JS, Le JH, Young HS. 1995. Anti-hyperlipidemic effect of *Phragmites communis* and its active principles. *J Korean Soc Food Nutr* 24: 523-529.
8. AOAC. 1995. *Official methods of analysis*. 16th ed. Association of Official Analytical Chemists, Washington, DC, USA.
9. Johansson CG, Hallmer H. 1983. Rapid enzymatic assay of insoluble and soluble dietary fiber. *J Agric Food Chem* 31: 476-482.
10. Gutfinger T. 1981. Polyphenols in olive oils. *J Am Oil Chem Soc* 58: 966-968.
11. American Institute of Nutrition. 1977. Report of the American institute of nutrition ad hoc committee on standards for nutritional studies. *J Nutr* 107: 1340-1348.
12. Muller PH. 1977. A fully enzymatic triglyceride determination. *J Clin Chem Clin Biochem* 15: 457-464.
13. Richmond V. 1976. Use of cholesterol oxidase for assay of total and free cholesterol in serum continuous flow analysis. *Clin Chem* 22: 1579-1588.
14. Folch J, Mee L, Stanley GSH. 1975. A simple method for

- the isolation and purification of total lipid from animal tissues. *J Biol Chem* 226: 497-509.
15. McCord JM, Fridovich I. 1969. Superoxide dismutase: An enzymatic function for erythrocyte protein (Hemocuprein). *J Biol Chem* 244: 6049-6055.
 16. Bradford MM. 1976. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Anal Biochem* 72: 248-254.
 17. Carl MN, Lakshmana MR, Porter JW. 1975. Fatty acid synthase from rat liver. *Method Enzy* 35: 37-44.
 18. Lazarow PB. 1981. Assay of peroxisomal β -oxidation of fatty acids. *Methods Enzy* 72: 315-319.
 19. Shapiro DJ, Nordstrom JL, Mitschelen JJ, Rodwell VW, Schimke RT. 1974. Micro assay for 3-hydroxy-3-methylglutaryl-CoA reductase in rat liver and in L-cell fibroblasts. *Biochim Biophys Acta* 370: 369-377.
 20. Erickson SK, Schrewsbery MA, Brooks C, Meyer DJ. 1980. Rat liver acyl-coenzyme A:cholesterol acyltransferase: its regulation *in vivo* and some of properties *in vitro*. *J Lipid Res* 21: 930-941.
 21. Marklund S, Marklund G. 1974. Involvement of the superoxide anion radical in the autoxidation of pyrogallol and a convenient assay for superoxide dismutase. *Eur J Biochem* 47: 469-474.
 22. Aebi H. 1988. Catalase *in vitro*. *Method Enzy* 105: 121-126.
 23. Paglia ED, Valentine WN. 1967. Studies on the quantitative and qualitative characterization of erythrocytes glutathione peroxidase. *J Lab Clin Med* 70: 158-169.
 24. Tarladgis BG, Pearson AM, Dugan LR. 1964. Chemistry of the 2-thiobarbituric acid test for determination of oxidative rancidity in foods. *J Sci Food Agri* 15: 602-607.
 25. Papathanasopoulos A, Camilleri M. 2010. Dietary fiber supplements: effects in obesity and metabolic syndrome and relationship to gastrointestinal functions. *Gastroenterology* 138: 65-72.
 26. Ghasi S, Nwobodo E, Ofili JO. 2000. Hypocholesterolemic effects of crude extract of leaf of *Moringa oleifera* Lam in high-fat diet fed wistar rats. *J Ethnopharmacol* 69: 21-25.
 27. Davignon J, Cohn JS. 1996. Triglycerides: A risk factor for coronary heart disease. *Atherosclerosis* 124: S57-S64.
 28. Cho YS, Shon MY, Lee MK. 2007. Lipid-lowering action of powder and water extract of mulberry leaves in C57BL/6 mice fed high-fat diet. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 36: 405-410.
 29. Yang EJ, Cho YS, Choi MS, Woo MN, Kim MJ, Shon MY, Lee MK. 2009. Effect of young barley leaf on lipid contents and hepatic lipid-regulating enzyme activities in mice fed high-fat diet. *Korean J Nutr* 42: 14-22.
 30. Smith S. 1994. The animal fatty acid synthase: one gene, one polypeptide, seven enzymes. *FASEB J* 8: 1248-1259.
 31. Lin JK, Lin-Shiau SY. 2006. Mechanism of hypolipidemic and anti-obesity effects of tea and tea polyphenols. *Mol Nutr Food Res* 50: 211-217.
 32. Tian WX. 2006. Inhibition of fatty acid synthase by polyphenols. *Curr Med Chem* 13: 967-977.
 33. Halliwell B. 1996. Mechanisms involved in the generation of free radicals. *Pathol Biol* 44: 6-13.
 34. Clemens MR, Waller HD. 1987. Lipid peroxidation in erythrocytes. *Chem Phys Lipids* 45: 251-268.
 35. Stocker R, Frei B. 1991. Endogenous antioxidant defenses in human blood plasma. In *Oxidative stress: oxidants and antioxidants*. Academic Press, London, UK. p 213-243.
 36. Carrel R, Winterbourn C, Rachmilewitz F. 1975. Activated oxygen and hemolysis. *Br J Haemat* 20: 259.
 37. Pearson WR, Windle JJ, Morrow JF, Benson AM, Talalay P. 1983. Increased synthesis of glutathione S-transferases in response to anticarcinogenic antioxidants. Cloning and measurement of messenger RNA. *J Biol Chem* 258: 2052-2062.
 38. Mittal PC, Kant R. 2009. Correlation of increased oxidative stress to body weight in disease-free post menopausal women. *Clin Biochem* 42: 1007-1011.
 39. Stefanovic A, Kotur-Stevuljevic J, Spasic S, Bogavac-Stanojevic N, Bujisic N. 2008. The influence of obesity on the oxidative stress status and the concentration of leptin in type 2 diabetes mellitus patients. *Diabetes Res Clin Pract* 79: 156-163.
 40. Cho YS, Jang EM, Jang SM, Chun MS, Shon MY, Kim MJ, Lee MK. 2007. Effect of grape seed water extract on lipid metabolism and erythrocyte antioxidant defense system in high-fat diet induced obese C57BL/6 mice. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 36: 1537-1543.

(2010년 1월 26일 접수; 2010년 3월 18일 채택)