pISSN 1229-1153 / eISSN 2465-9223 *J. Food Hyg. Saf.*
Vol. 31, No. 6, pp. 399~405 (2016)
https://doi.org/10.13103/JFHS.2016.31.6.399

Journal of Food Hygiene and Safety
Available online at http://www.foodhygiene.or.kr

옥수수 색소 2호 품종의 알곡과 속대 추출물을 첨가한 고지방-고콜레스테롤 식이가 흰쥐의 항산화 활성에 미치는 영향

이기연[1] · 김재은[1] · 홍수영[1] · 김태희[1] · 노희선[1] · 김시창[1] · 박종열[2] · 안문섭[1] · 김희연[1]*
[1]강원도농업기술원 농식품연구소, [2]강원도농업기술원 옥수수연구소

Effect of Saekso 2 Corn Kernels and Cobs Extracts on Antioxidant Activity in Rats Fed High Fat-cholesterol Diet

Ki Yeon Lee[1], Jai Eun Kim[1], Soo Young Hong[1], Tae hee Kim[1], Hee Sun Noh[1], Si Chang Kim[1], Jong yeol Park[2], Mun Seob Ahn[1], and Hee Yeon Kim[1]*
[1]*Agriproduct Processing Experiment Station, Gangwon-do Agicultural Research and Experiment Services*
[2]*Hongcheon Maize Experiment, Gangwon-do Agicultural Research and Experiment Services*
(Received October 4, 2016/Revised October 8, 2016/Accepted October 10, 2016)

ABSTRACT - The objective of this study was to determine the effect of sakso 2 corn kernels and cobs extracts on antioxidant activity in rats fed a high fat-cholesterol diet (HFC) for 2 weeks. 48 male Sprague-Dawley (4-weeks-old) were randomly divided into 6 groups: normal diet (N), HFC (C), HFC and 0.05% kernel extracts of Saekso 2 (T1), HFC and 0.25% kernel extracts of Saekso 2 (T2), HFC and 0.05% cob extracts of Saekso 2 (T3), HFC and 0.25% cob extracts of Saekso 2 (T4). The weight gain in all treatment groups were significantly lower and the food efficiency ratio (FER) in all treatment groups except T3 were lower than C group. Liver index (liver weight/100 g body weight) in N group and T2 were significantly lower than C group. The level of total cholesterol in plasma of N group and T2 were significantly lower than C group and HDL-cholesterol in plasma of N group and T2 were significantly lower than C group. Malondialdehyde (MDA) concentration of thiobarbituric acid reactive substances in N group, T3 and T4 were significantly lower than C group. Activity of catalase (CAT) in all treatment groups were lower than C group. These result suggest that saekso 2 corn kernels and cobs extracts may reduce oxidative damage through the activation of antioxidative defense systems in rats fed high fat-cholesterol diets.

Key words : Purple corn, Saekso 2, Antioxidant activity, High fat-cholesterol diet

우리나라 2014년 국민건강 통계[1)]를 보면, 곡류의 1인 1일 섭취량은 2005년 314 g에서 2014년 293 g으로 감소한 반면 육류의 섭취량은 2005년 90 g에서 2014년 113 g으로 증가하였고, 성인(만30세이상) 고콜레스테롤혈증은 14.6%로 2013년과 비슷하나 2005년 8.0% 대비 지속적으로 증가하는 추세를 보였다. 고지방 및 고콜레스테롤 섭취는 조직과 혈액의 지질과산화물 함량을 증가시켜 체내 조직의 산화적 손상을 유발하고, 항산화 방어계의 불균형을 초래한다고 알려져 있다[2,3,4)]. 최근 고지혈증, 고혈압, 동맥경화증과 같은 순환기계 질환이 빠른 속도로 증가하고 있는 원인이기도 하다. 현재 고지혈증 치료제로 주로 사용되고 있는 스타틴 성분은 근육통증, 당뇨병 유발, 간손상, 기억력 감퇴 등의 부작용[5)]이 보고되면서 최근에는 고지혈증 치료제 대신 식이요법, 운동, 건강기능식품 섭취, 민간요법 등의 약물대체 치료가 활발히 이루어지고 있다. 특히 건강기능식품에 대한 관심과 수요가 지속적으로 증가하여 현재 식품의약품안전처가 콜레스테롤 개선으로 인정한 고시형 원료 감마리놀렌산 함유 유지 등 12종, 개별 인정된 기능성 원료로 대나무잎 추출물 등 11종, 혈중 중성지방 개선으로 개별 인정한 글로빈가수분해물 등 7종 등이 있다.

2014년 강원도농업기술원 옥수수연구소에서 품종 등록된 색소2호는 알곡이 흑자색이고 속대와 포엽은 자색을 나타내는데, 색소 2호 자색의 주성분은 안토시아닌으로 cyanidin 3-glucoside, cyanidin galactoside와 pelargonidin glucoside 등 12 종의 물질이 분리되어 보고되었고[6)], 안토

*Correspondence to: Hee Yeon Kim, Agriproduct Processing Experiment Station, Gangwon-do Agricultural Research and Experiment Services, Chuncheon 24203, Korea
Tel: 82-33-248-6526, Fax: 82-33-248-6555
E-mail: heeya80@korea.kr

시아닌의 주요 기능성으로는 항산화, 항균성, 항돌연변이, 항암활성, 항당뇨, 항비만 효과 등을 나타낸다고 보고되었다[7,8]. 안토시아닌의 기능성 중에서 현재 항산화 활성에 관한 많은 연구가 진행되었는데 항산화 효과면에서 주로 활성산소 제거능, 지질과산화물 생성억제의 효과 등이 보고되었다[9,10]. 그 외 항비만 효과로 자색옥수수 기원 안토시아닌 색소를 식이에 투여한 결과, mice에서 뚜렷한 항비만 효과를 확인하였다[11].

본 연구는 현재 흑자색 알곡 품종으로 등록된 색소2호 옥수수 알곡과 속대 추출물의 항산화 활성을 검정하고자, 고지방-고콜레스테롤 식이와 추출물을 동시에 혼합급이함으로서 수행되었다. 본 연구의 결과는 향후 항산화 효과에 관한 색소2호 활용 기능성 식품에 관한 기초자료로 제공하고자 한다.

Materials and Methods

실험재료

본 연구에 사용된 색소 2호 옥수수는 2015년도에 강원도농업기술원 옥수수연구소 에서 표준재배법에 준하여 재배되었다. 재배된 색소 2호를 수확하여 수염과 외피를 제거하고 건조하여 알곡과 속대를 분리한 다음 분쇄하여 추출시료로 사용하였다. 옥수수 알곡과 속대 건조분말시료 500 g에 0.1% citric acid가 함유된 30% 에탄올을 20 L씩 첨가하고 12시간동안 상온 교반하여 2회 반복 추출하였다. 추출액을 여과하여 감압농축 한 다음 동결 건조하여 동물식이 조제용 시료로 사용하였다.

Table 1. Classification of experimental group and dose administration

Experimental group	Diet
Normal (N)	Standard diet
Control (C)	HFC[1)]
Treatment 1 (T1)	HFC + 0.05% kernel extract of 'Saekso 2'
Treatment 2 (T2)	HFC + 0.25% kernel extract of 'Saekso 2'
Treatment 3 (T3)	HFC + 0.05% cob extract of 'Saekso 2'
Treatment 4 (T4)	HFC + 0.25% cob extract of 'Saekso 2'

[1)]HFC : High fat-cholesterol diet

실험동물 및 사육환경

실험동물은 Sprague Dawley(SD)계 4주령 웅성 흰쥐를 샘타코(Osan, Korea)에서 구입하여 1주일간 일반사료(AIN-93G, Todo bio, Guri, Korea)를 급여하여 순화시킨 후 실험에 사용하였다. 실험기간 동안 물과 사료는 자유롭게 섭취할 수 있게 공급하였고, 사육실의 온도는 24 ± 2°C, 습도는 50 ± 5%로 유지하였다. 본 동물실험은 강원도농업기술원 농식품연구소 동물실험윤리위원회의 승인(GWARES-AEC-16-04)을 거쳐 진행하였다.

실험군 분리 및 식이

1주일간 순화기간을 거친 실험동물을 난괴법(randomized block design)따라 각 처리군당 6마리씩 총 6군으로 나누어 실험하였으며 군 분리, 투여물질 및 용량은 Table 1과 같다. 실험군은 정상식이군(정상군, N), 고지방-고콜레스테롤 식이군(대조군, C), 고지방-고콜레스테롤 식이와 알곡

Table 2. Composition of the experimental diet

(g/kg)

Ingredient	N[1)]	HFC[2)]	T1[3)]	T2	T3	T4
Casein	200	233.07	233.07	233.07	233.07	233.07
Sucrose	100	201.38	201.38	201.38	201.38	201.38
Dextrose	132	116.54	116.54	116.54	116.54	116.54
Corn Starch	397.5	84.84	84.84	84.84	84.84	84.84
Cellulose	50	58.27	58.27	58.27	58.27	58.27
Soybean Oil	70	29.13	29.13	29.13	29.13	29.13
Lard	0	206.85	206.85	206.85	206.85	206.85
Mineral Mix	35	52.44	52.44	52.44	52.44	52.44
Vitamin mix	10	11.65	11.65	11.65	11.65	11.65
L-Cystine	3	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5
TBHQ	0.014	0.014	0.014	0.014	0.014	0.014
Choline Bitartrate	2.50	2.33	2.33	2.33	2.33	2.33
Cholesterol	-	10	10	10	10	10
extract of Saekso 2	-	-	0.5	2.5	0.5	2.5

[1)]AIN-93G
[2)]HFC : High fat-cholesterol diet
[3)]Refer to the legend of Table 1.

추출물 처리군(T1~T2), 고지방-고콜레스테롤 식이와 속대 추출물 처리군(T3~T4)으로 나누어 실험하였다. 군 분리 후 정상군 및 대조군, 실험군의 식이는 2주 동안 자유 급여 방법으로 공급되었다. 정상식이와 고지방-고콜레스테롤 식이의 조성은 Table 2와 같다.

체중 및 식이섭취량의 변화

실험동물의 체중, 음수 및 사료 섭취량은 시험 개시일과 개시 후 매주 1회 간격으로 측정하였다. 최종 체중에서 실험개시일의 체중을 감하여 실험기간으로 나누어 체중증가율을 산출하였고, 실험기간 동안 증가한 체중량을 식이섭취량으로 나누어 각 실험군의 식이효율을 산출하였다.

혈액 채취 및 혈액생화학적 검사

실험종료 후 실험동물을 12시간 절식시킨 다음 흡입마취기(Rodent Circuit Controller, RC2, VetEQUIP, Livermore, CA, USA)를 통해 산소와 isofluane을 흡입시키고 마취가스 농도를 1.5~2.5%로 조절하며 마취를 유지시키고 복대정맥에서 2 mL을 채혈하여 3,000 rpm에서 10분간 원심분리하였다. 원심분리 후 상등액을 취하여 혈청을 분리하고 자동혈청분석기(BT1000, Bio-technical Instrument, Rome, Italy)를 이용하여 혈청 중 총 콜레스테롤(Total cholesterol, CHO), 중성지방(Triglycerise, TG), HDL(High density lipoprotein)-콜레스테롤(HDL), LDL(Low density lipoprotein)-콜레스테롤(LDL)을 측정하였다.

장기무게 측정 및 간 조직 적출

실험동물의 복대정맥에서 채혈한 후 방혈을 실시하였으며 간과 신장을 적출하여 생리식염수에 세척한 다음 흡수지에 체액 및 혈액을 제거하고 각각의 무게를 측정하였다. 적출된 간 조직 중 중간엽을 채취하여 간 조직 내 항산화 효소 활성 및 지질과산화물 측정 시료로 사용하였다.

간 조직 내 지질과산화물 측정

간 조직 내 지질과산화물 함량은 thiobarbituric acid(TBA)와 반응하는 malondialdehyde(1,1,3,3-tetraethoxypropane, MDA)의 농도를 측정하여 확인하였다. 간 조직에 10배에 해당하는 1.15% KCl을 첨가하여 조직분쇄기(TissueLyser II, Hilden, Germany)를 사용하여 균질화하고, 간 조직 균질화액 500 μL에 1% phosphoric acid 3 mL와 0.6% TBA 용액 1 mL을 첨가하여 95°C 항온수조에서 45분간 반응시켰다. 반응액을 차갑게 식힌 다음 n-Butanol 4 mL을 첨가하고 5000 rpm에서 20분간 원심 분리하였다. 원심 분리된 상등액을 취하여 분광광도계(Evolution 201, Thermo, Waltham, MA, USA)를 사용하여 535 nm에서 흡광도를 측정하였다. 표준물질로 1,1,3,3-tetraethoxypropane (Sigma Chemical Co., St, Louis, MO, USA)를 사용하여 정량곡선을 작성하고 간 조직 내 생성된 MDA 함량을 정량하였다[12].

간 조직 내 항산화 효소 활성 측정

분리된 간 조직에 냉각된 10 mM EDTA를 함유한 0.1 M 인산염 완충액(pH 7.4)을 첨가한 후 조직분쇄기(TissueLyser II, Hilden, Germany)를 사용하여 균질화시키고 10,000 rpm에서 20분간 원심분리 한 후, 분리된 상층액으로 catalase 효소 활성 측정에 사용하였다[13].

Catalase 활성도는 Aebi 방법[14]을 참고하여 측정하였다. 50 mM phosphate buffer (pH 7.0) 2.89 mL에 10 mM 과산화수소 용액 100 μL를 혼합하여 25°C에서 3분 동안 방치한 후, 균질화 시킨 간 조직 상등액 10 μL를 첨가한 다음 분광광도계(Evolution 201, Thermo, Waltham, MA, USA)를 사용하여 240 nm에서 3분 동안 변화되는 흡광도를 측정하였다. H_2O_2 흡광도 변화와 몰흡광계수로 H_2O_2의 농도를 구하여 시료액이 반응하여 1분 동안 분해시킨 H_2O_2를 μmol로 나타내었다.

통계처리

실험 결과는 평균(mean)과 표준편차(SD)로 나타내었으며, 통계처리는 SPSS (Statistical Package for Social Science, version 12.0, SPSS Inc., Chicago, IL, USA)를 이용하여 일원배치 분산분석(one-way ANOVA)을 실시한 후 Duncan's multiple range test로 유의성을 $p < 0.05$ 수준에서 검증하였다.

Results and Discussion

체중증가량, 식이섭취량, 식이효율

고지방-고콜레스테롤 식이와 색소 2호 알곡 및 속대 추출물의 첨가량을 달리한 식이를 2주간 급여한 실험군의 체중증가량, 식이섭취량 및 식이효율은 Table 3과 같다. 실험기간 동안의 체중증가량은 실험군 간의 유의적인 차이를 보였으며, 고지방-고콜레스테롤 식이군(C)이 일반 식이만 급여한 정상군(N)에 비하여 12.02%의 체중증가율을 보여 고지방-고콜레스테롤 식이로 인하여 비만이 유도되었음을 알 수 있었다. 고지방-고콜레스테롤 식이와 색소 2호 알곡 및 속대 추출물 처리군(T1~T4)에서는 추출물의 함량이 높아질수록 대조군(C)에 비하여 체중이 감소하는 경향을 나타내었다. 특히, 고지방-고콜레스테롤 식이와 0.25%의 속대 추출물을 첨가한 실험군(T4)에서 대조군(C) 대비 7.31%의 체중 감소량을 나타내었다. 식이섭취량은 대조군(C)이 정상군(N)에 비하여 유의하게 감소하였으며 고지방-고콜레스테롤 식이와 T3를 제외한 색소 2호의 알곡 및 속대 추출물 처리군의 식이섭취량은 대조군(C)에 비하여 유의하게 증가하는 경향을 보였다. 색소 2호의 알곡 및 속대 추출물의 첨가로 인한 식이섭취 억제효과는 없는 것으로

Table 3. Change in body weight gain, food intake and food efficiency ratio of rat a high fat-cholesterol diet containing extract from the kernel and cob of 'Saekso 2' for 2 weeks

Groups[1)]	Body weight gain (g/day)	Food intake (g/day)	FER[2)]
N	8.27 ± 0.69[3)a4)]	20.45 ± 0.13[abc]	0.40 ± 0.03[a]
C	9.40 ± 0.51[c]	19.50 ± 0.84[a]	0.48 ± 0.03[b]
T1	9.17 ± 0.28[ab]	21.45 ± 0.39[c]	0.42 ± 0.01[a]
T2	8.84 ± 0.87[ab]	21.09 ± 0.39[bc]	0.42 ± 0.04[a]
T3	8.89 ± 0.89[ab]	19.91 ± 0.26[ab]	0.45 ± 0.05[ab]
T4	8.76 ± 0.73[ab]	20.50 ± 0.58[abc]	0.43 ± 0.04[a]

[1)]Refer to the legend of Table 1.
[2)]FER (food efficiency ratio) : total weight gain/total food intake
[3)]Value are mean ± SD of 6 rats per each group.
[4)]Values with different superscripts within a column indicate significant difference ($p < 0.05$) by Duncan's multiple range test.

Table 4. Change in kidney and liver weight of rats fed high fat-cholesterol diet containing extract from the kernel and cob of 'Saekso 2' for 2 weeks

(unit : g)

Groups[1)]	Kidney	Liver
N	2.10 ± 0.15[2)a3)]	7.96 ± 0.46[a]
C	2.06 ± 0.16[a]	10.93 ± 0.97[c]
T1	2.10 ± 0.08[a]	11.08 ± 0.55[c]
T2	2.02 ± 0.08[a]	9.41 ± 0.73[b]
T3	1.96 ± 0.11[a]	10.12 ± 0.20[bc]
T4	1.97 ± 0.13[a]	10.22 ± 1.24[bc]

[1)]Refer to the legend of Table 1.
[2)]Value are mean ± SD of 6 rats per each group.
[3)]Values with different superscripts within a column indicate significant difference ($p < 0.05$) by Duncan's multiple range test.

판단된다. 대조군(C)의 식이섭취량이 감소되는 것은 에너지밀도가 높은 고지방-고콜레스테롤 식이의 섭취로 인하여 체내에 증가된 에너지 균형을 맞추기 위한 적응현상에 의한 것이라 추측된다[15]. Lee 등[15]의 연구에서 고지방-고콜레스테롤 식이군이 정상 식이군에 비하여 식이섭취량이 감소하였으며, Pellizzon 등[16]은 고지방식이군이 저지방식이군에 비하여 식이섭취량이 낮았다고 보고하여 본 실험과 유사한 결과를 보였다. 식이효율은 고지방-고콜레스테롤을 섭취한 대조군(C)이 정상군(N)에 비하여 유의적으로 증가하였으며 고지방-고콜레스테롤 식이와 색소 2호의 알곡 및 속대 추출물 처리군(T1~T4)은 대조군(C)에 비하여 유의적으로 감소하는 경향을 보였다. 본 실험결과 색소 2호 알곡 및 속대의 추출물을 투여로 인한 식이섭취량 감소 효과는 없는 것으로 나타났으나 체중 증가율 및 식이효율은 대조군(C)에 비하여 유의적으로 감소됨을 알 수 있었다. 이는 색소 2호 알곡 및 속대 추출물이 체내에서 에너지 소비를 증가시키고 지방대사에 관여 하는 것으로 판단되어진다.

장기중량

실험종료 후 신장 및 간 조직을 적출하여 무게를 측정한 결과는 Table 4와 같다. 신장의 무게는 모든 실험군들 사이에서 유의적인 차이는 없었으며 고지방-고콜레스테롤 식이 및 색소 2호 알곡 및 속대 추출물로 인한 영향은 없는 것으로 나타났다. 체중 당 간 무게인 liver index는 대조군(C)이 정상군(N)에 비하여 24.94% 유의적으로 높게 나타났는데, 이는 고지방-고콜레스테롤 식이로 인하여 간에서 콜레스테롤 및 중성지질 등의 지방이 축적되어 간 무게가 증가한 결과로 판단된다[15,17]. 색소 2호 알곡 추출물 처리군 T2의 간 무게는 대조군에 비하여 유의적으로 낮았으나 나머지 처리군의 liver index는 유의적인 차이가 없었다.

혈액생화학적 검사

고지방-고콜레스테롤 식이와 색소 2호 알곡 및 속대 추출물 첨가 식이를 2주간 동시 급여를 실시한 후 각 실험군의 혈청을 분리하여 총콜레스테롤, 중성지방, HDL-콜레스테롤, LDL-콜레스테롤을 측정한 결과는 Table 5와 같다. 혈청 중 총콜레스테롤 함량은 대조군(C)이 정상군(N)에 비하여 32.71% 유의적으로 함량이 높았고, 색소 2호 알곡 추출물 0.25% 처리군 T2가 대조군(C)대비 유의적으로 함량이 낮게 측정되었으나, 그 외 처리군은 대조군과 유의적 차이는 없는 것으로 나타났다. 고지방 식이로 비만이 유도된 흰쥐의 경우 중성지방과 콜레스테롤 함량이 증가한다고 보고되었는데[15,17] 본 실험에서 고지방-고콜레스테롤 식이로 인한 중성지방 함량은 실험군들 간의 유의적 차이는 없는 것으로 나타났다. 혈청 중 HDL-콜레스테롤 함량은 대조군(C)이 정상군(N)에 비하여 35.84% 낮게 측정되었으며 색소 2호 알곡 추출물 처리군(T1~T2)에서는 HDL-콜레스테롤 함량 증가 효과는 나타나지 않았으며 색소 2호 속대 추출물 0.05% 처리군 T3에서 유의적으로 높게 측정되었다. LDL-콜레스테롤함량은 대조군(C)이 정상군(N)에 비하여 31.81% 높게 측정되었으나, 색소 2호 알곡 및 속대 추출물 모든 처리군은 유의적으로 차이가 없었다. 고지방-고콜레스테롤 식이로 인한 비만으로 체내의 지질 균형에 이상이 오면 LDL-콜레스테롤 농도가 증가하고, HDL-콜레스테롤 농도가 감소하여 심혈관계 질환을 유발한다고 알려져 있다[18]. Lee 등[15]의 연구에서 모시잎 첨가 식이군이 고지방-고콜레스테롤 식이군에 비하여 LDL-콜레스테롤 함량이 감소하였고 HLD-콜레스테롤 함량이 증가하였다고 보고하였는데, 본 실험에서 고지방-고콜레스테롤 식이로 인하여 비만이 유발되어 대조군(C)의 LDL-콜레스테롤 함량은 증가하고 HDL-콜레스테롤 함량은 감

Table 5. Contents of total cholesterol, triglyceride, HDL-cholesterol and LDL-cholesterol in serum of rats fed a high fat-cholesterol diet containing extract from the kernel and cob of 'Saekso 2' for 2 weeks

Group[1)]	Serum lipid profiles (mg/dL)			
	CHO	TG	HDL	LDL
N	50.60 ± 2.97[2)a3)]	64.60 ± 16.01[a]	56.58 ± 3.32[d]	27.22 ± 2.37[a]
C	75.20 ± 10.16[c]	64.80 ± 10.99[a]	36.30 ± 10.22[ab]	39.92 ± 8.04[b]
T1	62.50 ± 9.71[b]	63.67 ± 11.78[a]	34.23 ± 9.60[a]	33.37 ± 5.18[ab]
T2	75.50 ± 10.12[c]	73.25 ± 6.34[a]	36.93 ± 2.62[ab]	41.10 ± 9.19[b]
T3	65.00 ± 9.57[bc]	60.40 ± 9.57[a]	47.48 ± 4.11[c]	38.55 ± 6.92[b]
T4	67.50 ± 8.02[bc]	66.50 ± 6.45[a]	43.70 ± 2.77[bc]	38.06 ± 8.16[b]

[1)]Refer to the legend of Table 1.
[2)]Value are mean ± SD of 6 rats per each group.
[3)]Values with different superscripts within a column indicate significant difference ($p < 0.05$) by Duncan's multiple range test.

소된 것으로 나타났으나 색소 2호 알곡 및 속대 추출물 첨가로 인한 HDL-콜레스테롤과 LDL-콜레스테롤의 상관관계가 뚜렷하게 나타나지 않아 추후 색소 2호 알곡과 속대 추출물의 0.25% 이상 처리하는 추가연구가 필요하다고 판단된다.

간 조직 내 지질과산화물 측정

고지방-고콜레스테롤 식이와 색소 2호 알곡 및 속대 추출물 첨가 식이를 2주간 동시 급여를 실시한 후 각 실험군의 간 조직 내 지질과산화물 함량을 측정하였다. 세포막을 구성하는 불포화지방산은 산화적 스트레스로 인하여 생성된 활성 산소와 결합하여 hydroperoxide, endroperoxide 및 polyperoxide와 같은 지질과산화물이 되고 MDA로 분해된다[5)]. 지질과산화 반응의 생성물로 간 조직의 과산화적 손상 지표가 되는 MDA 함량을 측정한 결과는 Fig. 1과 같다. 지질과산화물 함량은 TBA와 반응하여 생성되는 MDA의 농도로 측정하였으며, 정상군(N)의 MDA 함량을 100%로 하고 나머지 실험군들의 MDA 함량을 상대적으로 비교하였다. 정상군(N)의 MDA 함량을 100%로 하였을 때,

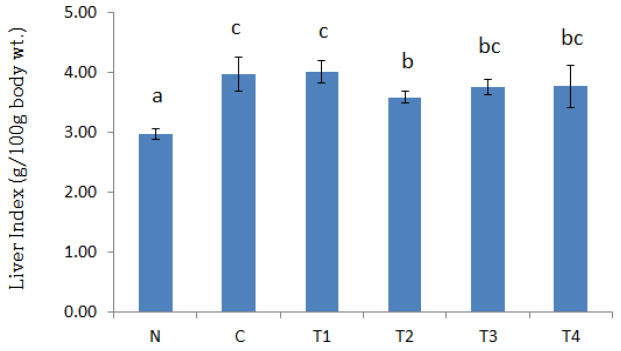

Fig. 1. Change in liver index of rats fed high fat-cholesterol diet containing extract from the kernel and cob of 'Saekso 2' for 2 weeks. Each bar represents the mean ± SD of 6 rats. Bars with different letters in the same time are significantly different at $p < 0.05$.

대조군(C)의 MDA 함량은 133%로 유의하게 증가하였으며 이는 고지방-고콜레스테롤 식이로 인한 지질대사 이상으로 간 조직 내에 지질과산화물이 축적되었음을 의미한다. 색소 2호 알곡 추출물 처리군 T1과 T2를 제외한 속대 추출물 처리군 T3와 T4에서 고지방-고콜레스테롤 식이로 인하여 생성된 MDA 함량이 각각 18.19%와 18.05%로 유의적으로 함량이 낮았다. 고지방-고콜레스테롤 식이의 공급으로 인한 과산화지질 함량 증가는 고지방-고콜레스테롤 섭취가 체내 조직의 산화적 손상을 초래하였음을 의미한다[19,20)]. 고지방-고콜레스테롤 상태에서의 산화적 스트레스는 체내에 생성된 활성산소을 제거하는 항산화계의 불균형을 초래하여 고혈압 및 동맥경화 등과 같은 심혈관계 질환을 유발하는 주요 요인으로 보고되었다[21)]. 본 연구에서 색소 2호 알곡 및 속대 추출물의 첨가로 간 조직 내의 과산화지질 함량이 감소되었으며 이는 색소 2호 알곡 및 속대 추출물이 체내 고지방-고콜레스테롤로 인하여 생성되는 지질과산화 반응을 억제하는 효과가 있는 것으로 판단된다.

간 조직 내 항산화효소활성 측정

고지방-고콜레스테롤 식이와 색소 2호 알곡 및 속대 추출물 첨가 식이를 2주간 동시 급여를 실시한 후 각 처리군의 간 조직 내 catalase 활성을 측정하였다. 체내 산화적 방어계 중 catalase는 대사과정으로 생성된 과산화수소를 물과 산소로 분해하고 생성된 활성산소를 체외로 배출시켜 활성산소에 의한 손상으로부터 조직을 보호하는 항산화 효소로 알려져 있다[22)]. 색소 2호 알곡 및 속대 추출물의 첨가 식이가 고지방-고콜레스테롤 식이로 인하여 손상된 간 조직의 catalase 활성에 미치는 영향을 측정한 결과는 Table 6과 같다. 대조군(C)의 catalase 활성은 정상군(N)에 비하여 56.08% 감소하였으며 색소 2호 알곡 추출물 처리군(T1~T2)의 catalase 활성은 정상군(N)과 비슷한 수준으로 유의하게 증가하였고, 색소 2호 속대 추출물 처리군(T3~T4)은 정상군(N)보다 높은 수준으로 유의하게 증가하였다. 대

Table 6. Concentration of catalase in liver of rats fed a high fat-cholesterol diet containing extract from the kernel and cob of 'Saekso 2' for 2 weeks

Group[1)]	Catalase (μmol/min/mL)
N	2.13 ± 0.68[2)b3)]
C	0.92 ± 0.35[a]
T1	2.30 ± 0.56[b]
T2	2.85 ± 0.88[b]
T3	2.99 ± 0.82[bc]
T4	3.91 ± 0.83[c]

[1)]Refer to the legend of Table 1.
[2)]Value are mean ± SD of 6 rats per each group.
[3)]Values with different superscripts within a column indicate significant difference ($p < 0.05$) by Duncan's multiple range test.

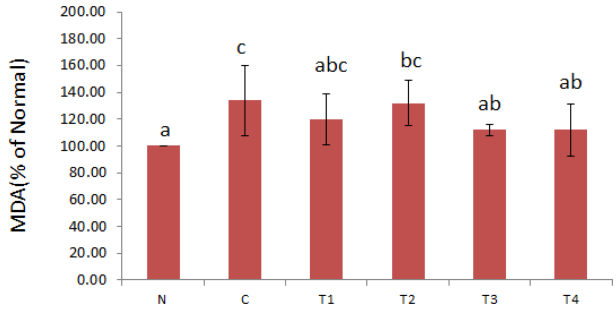

Fig. 2. MDA formation in liver of rats fed a high fat-cholesterol diet containing extract from the kernels and cob of 'Saekso 2' for 2 weeks. Each bar represents the mean ± SD of 6 rats. Bars with different letters in the same time are significantly different at $p < 0.05$.

조군(C)의 catalase 활성이 감소한 것은 고지방-고콜레스테롤 식이로 인하여 축적된 지질과산화물을 분해하는 대사에 간 조직 내 항산화효소가 사용되어 활성이 감소된 것으로 판단되며[23] 이와 같이 지질과산화물 축적으로 인하여 간 조직의 효소 활성이 저하되었으나 색소 2호 알곡 및 추출물의 첨가 식이로 인하여 항산화효소인 catalase의 활성이 증가된 것을 확인할 수 있었다. 이는 색소 2호 알곡 및 속대 추출물이 체내 고지방-고콜레스테롤로 인하여 생성되는 지질과산화 반응을 억제하고 지질과산화물의 분해를 촉진시키는 데 효과가 있는 것으로 판단된다.

Acknowledgement

본 연구는 농촌진흥청에서 시행한 지역특화작목기술개발사업 과제인 종실용 색소옥수수 기능성 탐색 및 가공소재화(과제번호: PJ011155022016)의 지원으로 이루어졌으며 이에 감사드립니다.

국문요약

고지방-고콜레스테롤 식이와 색소 2호 알곡 및 속대 추출물의 첨가량을 달리한 식이를 2주간 급여한 결과, 색소 2호 알곡 및 속대 추출물 첨가로 인한 식이섭취량 감소 효과는 없었으며 체중 증가율은 대조군(C)대비 모든 처리군에서 유의적으로 감소하였고, 식이효율에서는 처리군(T3)을 제외하고 모든 처리군에서 유의적으로 감소하였다. 장기중량은 실험군 간의 체중 당 신장 무게는 유의적인 차이는 없었으며 체중 당 간 무게는 대조군(C)이 정상군(N)에 비하여 유의적으로 증가하였고, 처리군(T2)가 대조군(C)대비 유의적으로 낮았다. 혈청 중 중성지방 함량은 전체 실험군에서 유의적 차이는 없었으며, 총콜레스테롤 함량은 처리군(T2)이 대조군(C)대비 유의적으로 낮았고, HDL-콜레스테롤 함량은 처리군(T2)이 대조군(C)대비 유의적으로 높았다. 고지방-고콜레스테롤 식이로 인하여 대조군(C)의 간 조직 내 MDA 함량이 정상군(N)에 비하여 유의적으로 증가하였으며 처리군 T3와 T4가 대조군(C) 대비 간 조직 내 MDA 함량이 유의적으로 감소하는 경향을 보였다. 고지방-고콜레스테롤 식이로 인하여 대조군(C)의 catalase 활성은 정상군(N)에 비하여 유의적으로 감소하였으며 모든 색소 2호 알곡 및 속대 추출물 처리군(T1~T4)의 catalase 활성은 정상군(N)과 비슷한 수준으로 유의하게 증가하였다.

References

1. 2014 Korea National Health and Nutrition Examination Survey. KNHANES. VI-2. pp. 36-56 (2015).
2. Jeon S. M., Bok S. H., Jang M. K., Lee M. K., Nam K. T., Park Y. B., Rhee S. J., Choi M. S.: Antioxidative activity of naringin and lovastatin in high cholesterol-fed rabbits. *Life Sci.,* **69**, 2855-2866 (2001).
3. Cha J. Y., Kim H. J., Cho Y. S.: Effects of water-soluble extract from leaves of *Morus alba* and *Cudrania tricuspidata* on the lipid peroxidation in tissues of rats. *J Korean Soc Food Sci Nutr.,* **29**, 531-536 (2000).
4. Song W. Y., Yang J. A., Ku K., K., H. Choi J., H.: Effects of Red Pepper seeds Powder on antioxidative System and Ocidative Damage in Rats Fed High-fat·High-Cholesterol Diet. *J Korean Soc Food Sci Nutr.,* **38**, 1161-1166 (2009).
5. Yoon H. J., Park Y. S.: Effects of *Scutellaria baicalensis* water extract on lipid metabolism and antioxidant defense system in rats fed high fat diet. *J. Korean Soc. Food Nutr.*, **39**, 219-226 (2010).
6. Li C. Y., Kim H. W., Won S. R., Min H. K., Park K. J., Park J. Y., Ahn M. S., Rhee H. I.: Corn husk as a potential source of anthocyanins. *J. Agric. Food Chem.,* **56**, 11413-11416 (2008).
7. Kim J. T., Son Y. B., Lee J. S., Baek S. B., Woo K. S., Jung G. H., Kim M. J., Jeong K. H., Kwon. Y. U.: Effects of particle size on antioxidant activity and cytotoxicity in purple

corn seed powder. *Korean J. Crop. Sci*., **57**, 353-358 (2012).
8. Lee J. S., Son B. M., Kim J. T., Ku J. H., Han O. K., Baek S. B., Moon J. K., Hwang J. J., Kwon Y. U.: Change of total anthocyanin contents and antioxidant activities of purple waxy corn inbred lines and hybrids during grain filling. *Korean J. Breed Sci.*, **44**, 290-300 (2012).
9. Duan X. W., Jiang Y. M., Zhang Z. Q., Shi J.: Antioxidant properties of anthocyanin extracted from litchi (*Litchi chinenesis* Sonn.) fruit pericarp tissues in relation to their role in the pericarp browning. *Food Chem*., **101**, 1365-1371 (2006).
10. Chung M. G., Lim J. D.: Antioxidant, Anticancer and Immune Activation of Anthocyanin Fraction from Rubus coreanus Miquel fruits (Bokbunja). *Korean J. Medicinal Crop Sci*., **20**, 259-269 (2012).
11. Tusda T., Horio F., Uchida K., Aoki H., Osawa T.: Dietary cyanidin 3-O-β-glucoside-rich purple corn color prevents obesity and ameliorates hyperglycemia in mice. *J. Nutrition*, **133**, 2125-2130 (2003).
12. Lee I. W., Chio H. S., Kim S. M.: Hepatoprotective Activity of Spatholobi Caulis Water Extract against Acetaminophen-induced Toxicity in Rats. *Kor. J. Herbology*, **26**, 65-73 (2011).
13. Jin D. C., Jeong S. W., Park P. S.: Effect of green tea extract an acute ethanol-induced hepatotoxicity in rats. *J. Korean. Soc. Food Sci. Nutr.*, **39**, 343-349 (2010).
14. Aebi H.: Catalase in vitro. Methods in Enzymology. ELSEVIER, Amsterdam, Netherlands. **105**, 121-126 (1984).
15. Lee J. J., Park M. R., Kim A. R., Lee M. Y.: Effects of ramie leaves on improvement of lipid metabolism and anti-obesity effect in rats fed a high fat/high cholesterol diet. *Korean J. Food Sci. Technol*., **43**, 83-90 (2011).
16. Pellizzon M., Busion A., Jen K. L.: Short-term weight cycling in aging female rats increase rate of weight gain but not body fat content. *Int. J. Obesity*, **24**, 236-245 (2000).
17. Park Y. H., Kim H. Y., Lim S. H., Kim K. H., Park D. S., Lee J. H., Park C. G., Park C. B., Kim S. M.: Effect of Aceriphyllum rossii ethanol extract on lipid metabolism in rats fed a high-fat diet. *J. Korea Soc. Food Sci. Nutr.,* **40**, 1411-1416 (2011).
18. Park S. H., Jang M. J., Hong J. H., Rhee S. J., Choi K. H., Park M. R.: Effect of mulberry leaf extrac feeding on lipid status of rats fed high cholesterol diets. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.*, **36**, 43-50 (2007).
19. Kim M. S., Chun S. S., Choi J. H.: Effects of tumeric(*Curcuma longa* L.) on antioxidative systems and oxidative damage in rats fed a high fat and cholesterol diet. *J. Korean Soc. Food Nutr*., **42**, 570-576 (2013).
20. Song W. Y., Yang J. A., Ku K. H., Choi J. H.: Effect of red pepper seeds powder on antioxidative systems and oxidative damage in rats fed a high fat -high cholesterol diet. *J. Korean Soc. Food Nutr*., **38**, 1161-1166 (2009).
21. Bok S. H., Park S. Y., Park Y. B., Lee M. K., Jeon S. M., Jeong T. S., Choi M. S.: Quercetin dihydrate and gallate supplements lower plasma and hepatic lipids and change activities of fepatic antioxidant enzymes in high cholesterol-fed rats. *Int. J. Vitam. Nutr*., **72**, 161-169 (2002).
22. Kwak C. S., Kim M. Y., Lee M. S.: Antioxidative effect of plant food mixtures in rat fed on high fat-high cholesterol diet. *The Korean Nutrition Society*, **38**, 352-363 (2005).
23. No H. N.: Effect of diatary quercetin on oxidative stresses in rats high0fat diet, and 1,2-dimethylhydzazine-induced DNA damage and colon carcinigenesis. *MS Thesis*. Sookmyung Women's University, Korea, pp. 82-87 (2003).