

슈퍼자미벼 미강 추출물 보충 섭취에 의한 항산화 대사 및 혈중 지질 개선 효과

남수진 · 정수임* · †강미영**

경북대학교 식품영양학과 박사, *경북대학교 농업과학기술연구소 교수, **경북대학교 식품영양학과 교수

Effects of Improving Plasma Lipid Profiles and Antioxidant Metabolism of Superjami Extract Supplementation

Su-Jin Nam, Soo-Im Chung* and †Mi-Youn Kang**

Doctor, Dept. of Food Sciences and Nutrition, Kyungpook National University, Daegu 41566, Korea

*Professor, International Agricultural Training Center, Kyungpook National University, Daegu 41566, Korea

**Professor, Dept. of Food Sciences and Nutrition, Kyungpook National University, Daegu 41566, Korea

Abstract

This study was to confirm the effect of supplementation of superjami bran extract on lipid and antioxidant metabolism. Twenty-five subjects were recruited, and divided into Superjami group ($n=12$), and Placebo group ($n=13$) random assignment. Among the groups, the Superjami group took a Superjami bran extract (2 g/2 capsule/day), and the Placebo group took dextrin (2 g/2 capsule/day), for 12 weeks. As a result of the experiment, concentrations of TG, TC, and HDL-C in the blood, were significantly lower than those in the control group, and HDL-C was significantly higher. AI and HTR also showed positive values. Leptin did not differ significantly, but as a result of adipectin, the Superjami group displayed a higher value, compared to the Placebo group, and LAR also had significantly lower value. Antioxidant results showed that GPx, CAT, and RGLU, were significantly higher before as well as after intakes of the Superjami group, and significantly higher levels of the Superjami group, compared to the Placebo group. AOPP showed significantly lower values for the Superjami group, compared to the Placebo group. So, based on this study, ingestion of Superjami bran extract is effective in improving blood lipid concentrations as well as inflammatory substances, and has positive effects relative to increasing antioxidant activity.

Key words: Superjami rice bran, antioxidant, lipid profile, human subject.

서 론

우리의 주식인 쌀의 새로운 가치 창출을 위해서는 신제품 개발 측면과 기존의 품종에 가공을 통해 부가가치를 높이는 측면으로 발전시켜야 할 필요성이 있다. 이러한 맥락에서 육종을 통한 품종개량 연구의 결과 거대배아미(Koh 등 1993; Hong 등 2012a; Park 등 2015), 유색미(Lee 등 2006; Kim 등 2008a; Kim 등 2011a; Park 등 2018), 향미(Kim 등 2008b; Kim

등 2008c; Cho 등 2017) 등 다양한 기능성 쌀 품종들이 개발되었고, 한편으로는 국내 개발 고 기능성 쌀을 건강기능성 식품 소재로의 적극적인 활용 방안을 위한 다양한 연구들이 추진되었다(Bae 등 2014; Chung 등 2016; Chung 등 2017).

슈퍼자미벼는 기존에 개발되었던 흑미 품종에 비해서 C3G(cyanidin-3-glucoside)의 함량이 5배 이상 높은 것을 특징으로 하는 기능성 신제품으로서, 일반 쌀이나 시판 흑미에 비하여 높은 생리활성 효능이 있음을 여러 연구에 의해 확인된

† Corresponding author: Mi-Youn Kang, Professor, Dept. of Food Sciences and Nutrition, Kyungpook National University, Daegu 41566, Korea. Tel: +82-53-950-6235, Fax: +82-53-950-6229, E-mail: mykang@knu.ac.kr

된다(Kim 등 2010; Kim 등 2012; Ham 등 2015; Ham 등 2017).

최근 생활수준의 향상과 더불어 식생활 양식의 변화로 인하여 복부비만, 고혈압, 고중성지방 등 대사증후군에 의한 만성질환의 발병 위험률이 높아지고 있으며(Grundy 등 2005; Kang 등 2012), 식생활이 대사증후군의 중요한 결정적인 요인은 주지의 사실이다(Esmailzadeh 등 2007; Hong 등 2012b; Song 등 2015). 대사증후군은 주로 체내의 활성산소로 인한 산화적 스트레스의 결과, 신체의 대사에 관여하는 단백질 및 지질의 기능이 저하되고, DNA가 손상되어 비정상적인 세포를 생성할 때 그 위험도가 증가되는 것이다(Som 등 1981; Block G 1992; Diaz 등 1997; Hirashima 등 2000; Chen 등 2002; Bonomini 등 2015; Van De Wier 등 2017). 이러한 체내의 산화 스트레스는 체내에서 생성되는 항산화물이나 식사로 섭취하는 항산화물을 통해 조절될 수 있다. 항산화물은 산소와의 반응성이 높아서 다른 물질의 산화를 방지하는 기능을 가지고 있기 때문이다(Akcalaya 등 2017).

식사를 통해 섭취할 수 있는 항산화물로는 phytochemical 들과 항산화성 비타민류를 들 수 있으며(Jacob RA 1995; Jun 등 2015; Jun 등 2016; Kim 등 2016), 항산화물 섭취량이 증가할수록 산화스트레스 지표에 긍정적인 영향을 미치고 있음을 확인하였다(Ishikawa 등 2007; Godala 등 2016). 그러므로 항산화물의 섭취량을 늘리면 체내 활성산소의 농도를 낮추어 결과적으로 산화스트레스 지표가 개선될 것이고, 궁극적으로 대사증후군을 비롯한 만성질환의 발생 위험성이 낮아질 것을 예측할 수 있다.

본 연구에서는 항산화 활성이 우수한 슈퍼자미 쌀의 미강 추출물을 항산화에 도움을 줄 수 있는 건강기능성 식품소재로의 적용을 위해서 수행되었으며, 이전 동물실험을 통해 산출된 인체에의 적용 가능한 항산화물로서의 슈퍼자미 미강 추출물을 12주간 보충 섭취함에 의한 항산화 대사 및 지질대사에 미치는 영향을 확인하고자 하였다.

재료 및 방법

1. 연구대상

본 연구에 참여한 대상자의 선정기준은 만 40세 이상 60세 미만, BMI(Body Mass Index) 지수가 15.8 kg/m² 이상 24.9 kg/m² 이하의 남녀 중 자발적으로 참여하고자 하며, 고혈압, 심장, 신장, 갑상선, 뇌혈관 질환 및 위장관계 질환, 당뇨병, 정신질환, 혈당조절제 섭취 중인 자를 제외하였다. 또한, 시험물질의 항산화 및 지질대사 개선 여부를 확인하고자 연구 참여기간 동안 시험물질 이외의 건강기능성 식품의 섭취를 제한하였으며, 이에 대한 피험자의 동의를 받았다. 연구에 참

여하고자 하는 28명 중 제외기준에 해당되는 3명을 제외한 25명을 선정한 후 연구 참여시 주의사항 등을 설명한 후 서면 동의를 받았다. 본 연구의 피험자 수 산출은 슈퍼자미 미강 추출물을 이용한 동물실험 선행 연구결과를 토대로 산출하였으며, 경북대학교 임상시험 심사위원회의 승인(IRB 승인번호: KNU IRB 2016-0029)을 받았다.

2. 시험제품 및 복용량

본 연구에 사용된 시료는 (주)이룸(Gangwondo, Korea)으로부터 제공 받았으며, 제조 방법은 다음과 같다. 슈퍼자미 미강에 주정을 첨가하여 추출 및 농축한 후, 텍스트린 50%를 첨가하여 분무건조된 분말을 캡슐에 1,000 mg씩 충전하여 제조되었다. 제조된 캡슐에는 슈퍼자미 미강 추출물 500 mg이 함유되었다. 위약군의 캡슐에는 텍스트린을 외견상 본 시료와 동일한 색과 동량을 캡슐에 충전되도록 제조하였다. 복용량은 하루에 2캡슐(슈퍼자미 미강 추출물 1,000 mg 섭취)을 충분한 물과 함께 섭취하도록 하였다.

3. 시험 디자인

모집된 피험자는 무작위 배정을 통해 실험군($n=12$)과 위약군($n=13$)으로 나누었다. 실험군에게는 슈퍼자미 미강 추출물 캡슐을 위약군에게는 텍스트린이 함유된 캡슐을 제공하였으며, 식이제한은 별도로 실시하지 않았다. 연구가 진행되는 12주 동안 지속적인 시료 섭취가 이루어질 수 있도록 문자 및 연락을 이용하여 확인하였으며, 섭취 중 문제가 발생시 비상연락망을 통해 충분한 교류가 이루어질 수 있도록 하였다. 캡슐 섭취 시작 전(0주)과 종료되는 시점(12주)에 피험자들로부터 혈액채취를 하였으며, 이를 통해 항산화 및 지질 대사 관련 효능을 검증하였다(Fig. 1).

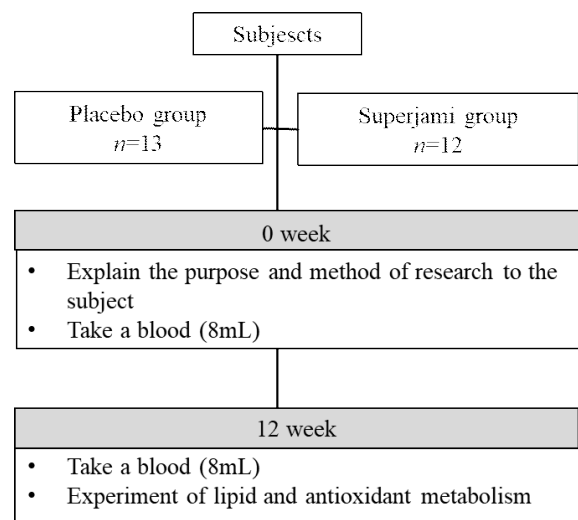


Fig. 1. Experimental design for a trial.

4. 혈액 채취

슈퍼자미 미강 추출물을 섭취함에 따른 혈중 항산화지질 및 항산화 효능을 검증하기 위해 캡슐 섭취전(0주)과 섭취 후(12주)에 혈액을 채취하였다. 채혈 시 피험자는 12시간 공복상태로 참여하였으며, 임상 병리사에 의해 팔꿈치 안쪽 정맥혈에서 8 mL의 혈액을 채취되었다. 채취한 혈액은 EDTA가 담긴 tube에 주입 후 3,000 rpm 원심분리(15 min, 4°C)한 후 얼어진 혈장으로 실험에 사용하였다. 시료는 실험 전까지 -70°C에 보관하였다.

5. 혈중 지질 및 GOT, GPT 농도

혈장의 TG(triglyceride), TC(total cholesterol), HDL-C(high density lipoprotein cholesterol)의 농도는 assay kit(Asanpharm, Seoul, Korea)를 이용해 측정하였으며, LDL-C(low density lipoprotein cholesterol) 농도는 Friedewald 등(1972)의 방법 TC-HDL-C-TG/5로 측정하였다. HTR은 $((HDL - C)/TC) \times 100$, A.I.(atherogenic index)는 $((TC) - (HDL - C))/HDL - C$ 로 계산하여 측정하였다. Leptin과 adiponectin은 assay kit(Mybiosource, San Diego, CA, USA)를 이용하여 측정하였으며, leptin과 adiponectin의 농도 비를 이용하여 LAR을 측정하여 나타내었다. 혈장의 GOT(glutamic oxaloacetic transaminase)와 GPT(glutamic pyruvic transaminase)는 아산제약 kit(Asanpharm, Seoul, Korea)를 이용하여 측정하였다.

6. 혈장 TBARS

TBARS(thiobarbituric acid reactive substance) 농도는 5% TCA(trichloroacetic acid)와 0.06 mM TBA(thiobarbituric acid)를 3:1 비율로 혼합한 후 80°C 수욕상에서 90분간 반응시켰다. 이후 반응물은 실온에서 냉각시킨 후 원심분리(4,000 rpm, 4°C, 15분)하여 발생된 상층액을 이용하여 흡광도 535 nm에서 농도를 측정하였다. 표준용액은 0.01 N HCl 용액과 1 mM TMP(tetramethoxypropane)을 혼합한 후 50°C 수욕상에서 60분간 반응시켰다. 반응물은 실온에서 냉각시킨 후 TMP용액 0.01 M Na_3PO_4 (pH 7.0)에 희석하여 MDA(malondialdehyde) 표준용액을 만들었다. MDA 표준용액은 시료와 동일한 조건으로 반응시켜 표준곡선을 작성하였으며, 이를 이용하여 혈장 TBARS 농도를 산출하였다.

7. 항산화 활성도에 미치는 영향

GPx(glutathione peroxidase), CAT(catalase), RGLU(reduced glutathione), AOPP(advanced oxidation protein products) 활성도는 assay kit(Mybiosource, San Diego, CA, USA)를 이용하여 측정하였다.

8. 통계 분석

본 연구의 실험 결과는 SPSS package program version 25 (statistical package for the social science, SPSS Inc., Chicago, III)를 이용하여 평균±표준오차(mean±S.E.)로 나타내었다. Placebo 그룹과 Superjami 그룹 비교는 독립표본 t-test, 섭취 전과 후 비교는 대응표본 t-test를 이용하여 $p < 0.05$, $p < 0.01$, $p < 0.001$ 수준에서 검정하였다.

결과 및 고찰

1. 피험자 특성

선정된 대상자들을 무작위 배정된 25명을 대상으로 설문 조사를 통해 신체적 특성을 분석한 결과(Table 1), 나이, 키, 몸무게, BMI에서 실험군과 위약군 간의 유의적 차이가 없었다. 본 연구에 참여한 대상자 25명 중 중도탈락(drop-out)은 없었으며, 위약군의 성별은 남성 2명, 여성이 11명으로 남녀비는 1:5.5이었다. 실험군은 남성 2명, 여성 10명으로 남녀비는 1:5이었다.

2. 혈중 지질, TBARS 및 GOT, GPT 농도

슈퍼자미 미강 추출물을 섭취함으로써, 혈중 지질 농도에 미치는 영향을 Table 2에 나타내었다. 혈중 TG 농도의 실험 결과, 캡슐 섭취 전의 위약군과 실험군 간에 유의적 차이는 없었으나, 섭취 후의 위약군이 실험군에 비해 25.26 mg/dL 높은 값을 나타내었다. 혈중 TC 농도는 섭취 전과 후로 비교해 보았을 때, 실험군은 1.32배, 위약군은 1.66배 증가되었다. 캡슐 섭취 후의 실험군과 위약군의 농도를 비교해 보았을 때, 유의적($p < 0.01$)인 차이가 나타났다. HDL-C농도 변화를 섭취 후의 각 군간으로 비교해 보았을 때, 실험군이 50.75±0.02 mg/dL의 농도로 위약군의 농도인 41.00±0.34 mg/dL보다 유의적($p < 0.001$)으로 높은 값을 나타내었다. LDL-C은 관상동맥 질환의 예측 인자로서 농도가 높아지면 대식세포에 의해 혈

Table 1. The average values of anthropometric measurements in subjects

	Placebo	Superjami
Age (years)	50.10±0.88	51.20±2.13
Height (cm)	157.40±2.07	160.60±3.11
Weight (kg)	59.10±1.28	59.80±1.27
BMI (kg/m ²)	23.82±0.07	23.12±0.09

Values are means±S.E. Placebo group ($n=13$), Superjami group ($n=12$).

t-test between Placebo group and Superjami group.

BMI, body mass index.

Table 2. Changes of plasma lipid profile, TBARS, GOT and GPT concentration in subjects fed extract of Superjami rice bran

	Placebo			Superjami		
	Before	After	<i>p</i> -value ¹⁾	Before	After	<i>p</i> -value
TG (mg/dL)	92.54±1.42	136.48±3.52	0.000	93.44±1.23	111.22±0.71 ^{**2)}	0.009
TC (mg/dL)	127.72±2.22	190.22±1.54	0.000	126.92±3.84	168.55±2.37 ^{**}	0.002
HDL-C (mg/dL)	52.21±2.06	41.00±0.34	0.026	51.32±1.51	50.75±0.02 ^{***}	0.742
LDL-C (mg/dL)	95.01±3.43	167.76±0.32	0.000	94.29±3.99	140.71±4.44 [*]	0.001
AI	1.45±0.09	2.83±0.09	0.000	1.48±0.12	2.32±0.10 [*]	0.006
HTR (%)	40.91±1.87	26.15±0.62	0.001	40.50±1.47	30.17±0.59 [*]	0.008
TBARS (nmol/mL)	12.00±0.14	15.41±1.07	0.035	12.76±0.11	15.43±1.32	0.114
GOT (karman/mL)	25.10±1.73	39.77±1.33	0.003	22.77±0.67	31.77±1.45 [*]	0.005
GPT (karman/mL)	22.10±0.68	27.74±0.93	0.005	22.44±0.67	23.13±0.68	0.086

Values are means±S.E. Placebo group (*n*=13), Superjami group (*n*=12).

¹⁾ *t*-test between before and after in Placebo and Superjami.

²⁾ Values are significantly different between Placebo and Superjami group by *t*-test at * *p*<0.05, ** *p*<0.01, *** *p*<0.001.

TG, total glycerol; TC, total cholesterol. HTR = (HDL-cholesterol/Total cholesterol) × 100; AI, atherogenic index = (Total cholesterol - HDL cholesterol)/HDL cholesterol; TBARS, thiobarbituric acid reactive substances; GOT, glutamate oxaloacetate transaminase; GPT, glutamate pyruvate transaminase.

관 내 콜레스테롤의 함량이 높아져 결국 혈관 내 침착 및 심혈관계 질환을 야기한다(Hiramatsu 등 1987; Wager 등 2002). LDL-C의 실험결과, 캡슐 섭취 후의 실험군이 140.71±4.44 mg/dL로 위약군의 167.76±0.32 mg/dL에 비해 유의적(*p*<0.05)으로 낮은 값을 나타내었다. 동맥경화지수인 A.I와 HTR의 실험결과를 캡슐 섭취 후의 농도에서 실험군과 위약군 간의 농도가 유의적(*p*<0.05)인 차이를 나타내었다. TBARS 농도 측정 결과, 실험군에서 시간이 경과함에 따른 혈중 농도변화는 없었으나, 위약군은 섭취 전에 비해 섭취 후의 농도가 유의적(*p*=0.035)으로 높은 값을 나타내었다. 이러한 혈중 지질 농도의 실험결과는 슈퍼자미 섭취가 혈중 지질농도 개선에 효과를 보인 Bae 등(2014)의 연구 결과와 유사한 것을 확인하였다.

Zawistowski 등(2009)에 의하면 유색미인 흑미 미강 추출물에는 식이섬유, oryzanol, anthocyanin 등이 함유되어 있음을 보고하였으며, 이러한 생리활성 물질은 체내 베타산화물 증가시켜 지질 축적을 효과적으로 억제시켜 HDL-C 농도 증가, 고혈압 예방 및 동맥경화 예방 등의 지질대사 개선에 영향을 미친다고 알려져 있다(Cicero & Derosa 2005; Jang 등 2012). Nizamutdinova 등(2009)의 연구에는 anthocyanin 이 혈당 및 혈중 TG 등의 개선에 효과가 있음을 보고하였으며, Choung & Lim(2012)은 anthocyanin 중 C3G가 콜레스테롤 저하, 항 동맥 경화 등에 효능이 있음을 확인하였다.

즉, 본 연구에서의 실험군의 혈중 지질 농도 변화는 슈퍼자미 미강 추출물에 함유되어 있는 생리활성 물질에 의해 체

내 베타산화가 증가되어 지질 축적을 억제시키며, 이로 인하여 혈중 TG, TC, HDL-C 등의 농도 개선 및 동맥경화 예방에 효능이 있는 것으로 판단되었다. 또한 슈퍼자미에는 흑미에 비해 C3G가 다량 함유되어 있는 것으로(Kim 등 2010), 지질 대사 개선 효과가 더욱 큰 것으로 사료된다.

본 연구에서 위약군의 지질대사 실험 결과는 캡슐 섭취 전과 섭취 후의 농도가 유의적으로 나타났다. 이는 여성의 경우 40세가 넘으면 폐경이 시작되어 여성호르몬 중 에스트로겐 감소와 체내 지질 대사 변화로 인해 심혈관계 질환의 위험도가 증가되는 것을 바탕으로(Ross 등 1989; Campos 등 1990; Gu BS 1996), 본 실험 피험자들 중 남성에 비해 여성의 비율이 높은 점을 고려했을 때 호르몬의 변화로 인하여 위약군의 지질 농도에 영향을 미쳤을 것으로 판단된다.

캡슐 투여가 간 손상에 미치는 영향을 알아보기 위해 분석한 혈중 GOT, GPT 효소활성 결과, GPT는 군들간 유의적 차이를 보이지 않은 반면, GOT는 12주차에서 실험군이 위약군에 비해 유의적(*p*<0.05)으로 증가한 것으로 나타났다. GOT와 GPT는 간세포 손상이 발생되면 농도가 높아지는데, 이에 대한 원인은 만성간염, 간경변증, 지방간, 과체중이 있으며, 이외에도 폐경에 의한 호르몬 변화도 GOT, GPT의 농도에 영향을 미치는 것으로 알려져 있으나(Kim 등 2000; Choi 등 2007; Lee 등 2008), GOT의 정상범위는 8-40 karman/mL, GPT 농도의 정상범위는 5-30 karman/mL로 본 실험에 사용된 캡슐 섭취 이후의 GOT 및 GPT 모두 정상범위 내에 속하므로 간 손상에는 문제가 없을 것으로 보인다.

3. 혈장 leptin, adiponectin, LAR 농도

지방조직에서 분비되는 adipokines 중 adiponectin, leptin의 농도 및 LAR을 Table 3에 나타내었다. 지방세포에서 분비되는 leptin은 식욕 조절 호르몬으로, 뇌 시상하부의 수용체에 결합하여 식이 섭취를 조절 및 에너지 소비를 증가시켜 체중을 조절하는 역할을 하는데, 비만인의 경우 leptin이 다량 분비되어 저항성이 야기된다(Hamann & Matthaei 1996; Kim YW 2007). 즉, leptin은 체지방 함량과 양의 상관관계를 나타내어 비만의 지표로 사용된다(Caro 등 1996). 실험결과, 실험군은 캡슐 섭취 전(4.30±0.08 pg/mL)에 비해 섭취 후(3.92±0.34 pg/mL)의 농도가 감소한 값을 나타내었으며, 위약군은 이와 반대로 섭취 전(4.01±0.32 pg/mL)에 비해 섭취 후(4.49±0.11 pg/mL)의 농도가 증가하였다. 하지만 슈퍼자미 미강 추출물의 섭취 여부에 따른 실험군과 위약군 간의 유의적 차이는 나타나지 않았다. 이는 leptin의 경우 체지방 함량이 높은 비만인에게 다량 분비되는 호르몬이므로, 본 연구에 참여한 피험자들의 혈중 농도에서는 변화가 없었던 것으로 추측된다.

Adiponectin은 혈중 0.5~30 µg/mL 함유되어 있는 물질로, 성인의 경우 지방세포에서 다량 합성 및 분비되며, 베타산화를 촉진하고 지질축적을 억제함으로써 체중조절에 영향을 미친다(Tilg & Moschen 2006; Kim WH 2007). 그 외에도 항염증 작용 및 혈관에 축적된 콜레스테롤을 용해함으로써 혈관손상과 동맥경화 예방에 효과적이다(Ouchi 등 2000). 또한 adiponectin은 비만 및 이상지질혈증 환자 등에게 낮은 수치를 나타내는 것으로 BMI 및 TG와 역의 상관관계를 나타낸다(Hotta 등 2000; Koleva 등 2013). 본 연구의 실험결과에서는 TG와 adiponectin의 역의 상관관계가 나타나지 않았으나, TG에서 캡슐 섭취 후의 농도가 위약군에 비해 실험군이 낮았으며, adiponectin의 농도는 증가하였다. 또한 실험군의 캡슐 섭취 후가 섭취 전에 비해 유의적($p=0.002$)으로 높은 값을 나타내었다. 이러한 결과는 유색미인 흑미 미강 추출물이 혈중 adiponectin의 농도에 영향을 미친다는 보고(Jang 등

2015)와 유사하였으며, 슈퍼자미 미강 추출물의 섭취는 앞서 확인한 지질 대사 실험 결과와 동일하게 베타산화를 촉진시킴으로써 지질축적을 억제하는 효능이 있음을 확인하였으며, 항염증, 혈관 손상에도 효능이 있을 것으로 사료된다.

Leptin과 adiponectin의 비인 LAR은 비만으로 인한 대사성 질환의 위험률이나, 동맥경화 위험도와 양의 상관관계를 가지는 것(Zhuo 등 2009)으로 비만, 인슐린 저항성 및 대사증후군을 예측하는데 좋은 지표라 제안되었다(Oda 등 2008). 실험결과 위약군은 섭취 전에 비해 섭취 후의 농도가 증가하였으며, 실험군은 섭취 전에 비해 섭취 후의 농도가 감소하였으나, 각 군간의 유의적 차이는 나타나지 않았다.

4. 혈중 항산화 대사 관련 효소

체내에서 대사가 이루어질 때 반응성이 큰 활성산소(Reactive Oxygen Species: ROS)를 생성되는데, 이는 세포막을 손상시켜 세포기능을 상실시키며, 노화 등의 문제를 야기한다(Machlin & Bendich 1987). 이때 체내에 존재하는 항산화 효소 중 GPx와 CAT는 반응성이 큰 hydrogen peroxide를 물(H₂O)과 산소(H₂O₂)로 환원시켜 항산화 작용을 한다(Deisseroth & Dounce 1970; Bast 등 1991). GPx의 실험결과, 캡슐 섭취 전에는 위약군과 실험군 간에 유의적 차이가 없었으나, 섭취 후에는 실험군이 위약군에 비해 약 2.9배 높은 값이 측정되어 유의적($p<0.001$)으로 높은 값을 나타내었다. 그리고 위약군은 섭취 전과 후의 농도에서 유의적 차이가 없었으나, 실험군은 섭취 전에 비해 섭취 후가 유의적($p<0.001$)으로 높은 값을 나타내었다. CAT 또한 섭취 전에는 각 군간에 유의적 차가 없었으나, 섭취 후에는 실험군이 위약군에 비해 약 2.5배 높은 활성도를 나타내어 유의적($p<0.05$)으로 높은 값을 나타내었다. 그리고 실험군에서 섭취 전 농도에 비해 섭취 후의 농도가 유의적($p=0.000$)으로 높은 값을 나타내었다. Glutathione을 측정하는 RGLU의 실험결과는 캡슐 섭취 후 실험군이 위약군에 비해 유의적($p<0.05$)으로 높은 값을 나타내었으며, 실험군의 경우 섭취 후가 섭취 전에 비해 유의적($p=0.05$)으로 높은 값을 나

Table 3. Changes of plasma leptin, adiponectin and LAR concentration in subjects fed extract of Superjami rice bran

	Placebo			Superjami		
	Before	After	<i>p</i> -value ¹⁾	Before	After	<i>p</i> -value
Leptin (pg/mL)	4.01±0.32	4.49±0.11	0.224	4.30±0.08	3.92±0.34	0.343
Adiponectin (µg/mL)	14.51±0.46	14.51±0.18	1.000	12.58±0.30 ^{*2)}	15.00±0.16	0.002
LAR (%)	0.28±0.02	0.31±0.01	0.070	0.34±0.01	0.28±0.04	0.121

Values are means±S.E. Placebo group ($n=13$), Superjami group ($n=12$).

¹⁾ *t*-test between before and after in Placebo and Superjami.

²⁾ Values are significantly different between before and after within group by *t*-test at * $p<0.05$, ** $p<0.01$, *** $p<0.001$.

LAR, leptin to adiponectin ratio.

타내었다. Rana 등(2004)의 연구에서는 미강 유를 쥐에게 급여한 결과, 항산화능이 향상되었음을 확인하였는데, 이는 본 연구 결과와 유사한 것을 확인할 수 있었다. 미강에 함유되어 있는 oryzanol, tocotrienol, ferulic acid 등이 항산화 효소활성 증가시켜 ROS로부터 세포를 보호하는데 효과가 있으며 (Rana 등 2004; Woo 등 2005; Park 등 2009; Park & Kim 2011), 유색미인 흑미는 일반 쌀에 비해 anthocyanin을 다량 함유하고 있어 비교적 강한 항산화 효과가 있다고 알려져 있다 (Slavin 등 1999; Choi 등 2010). 이를 토대로 본 연구 결과를 살펴보았을 때, 슈퍼자미는 흑미에 비해 anthocyanin 중 C3G가 10~15배 이상 함유되어 있으므로(Kim 등 2011b), 흑미보다 우수한 항산화 효능이 있는 것으로 사료된다.

AOPP는 ROS에 의한 세포 손상, 노화 등의 이유로 정상적인 단백질이 분해되지 않아 생성되는 물질로써 단백질 산화매개성 단백질 손상의 새로운 마커로 인정받고 있다(Wu 등 2015). 이는 비만과 당뇨병환자에게서 높은 농도로 측정되어 ROS 및 염증으로 인한 조직 손상 마커뿐만 아니라, 심혈관계 질환의 바이오마커 등으로 사용된다(Nemzer 등 2011; Codoner-Franch 등 2012; Liu 등 2012). 실험결과, 위약군의 경우, 시간

이 경과함에 따라 농도가 유의적($p=0.043$)으로 증가되었다. 실험군에서 섭취 전과 후의 농도는 유의적 차이가 없었으나, 섭취 후의 실험군 농도가 대조군 농도에 비해 약 1.5배 낮은 값으로 유의적($p<0.01$) 차이를 나타내었다. 위약군에서 AOPP 농도가 증가된 것은, 노령화됨에 따라 콜라겐 등의 단백질 손상에 기인한다는 보고에 따라(Noda & Roodon 1989; Kim 등 1995; Tiku 등 2003) 본 실험에서도 피험자들의 연령 및 호르몬의 변화로 인한 것으로 추측된다. 반면에 실험군에서는 시간이 경과함에 따른 유의적 차이가 없는 것은 슈퍼자미 미강 추출물이 노령화 및 ROS로부터 단백질 손상을 방어하는 효능이 있는 것으로 사료된다.

요약 및 결론

본 연구는 인체에의 적용 가능한 항산화물로서의 슈퍼자미 미강추출물을 12주간 보충 섭취함에 의한 항산화 대사 및 지질대사에 미치는 영향을 확인하고자 하였다. (주)이룸으로부터 슈퍼자미 미강 추출물(실험군)과 텍스트린(위약군)으로 제조된 캡슐을 제공 받아 사용하였다.

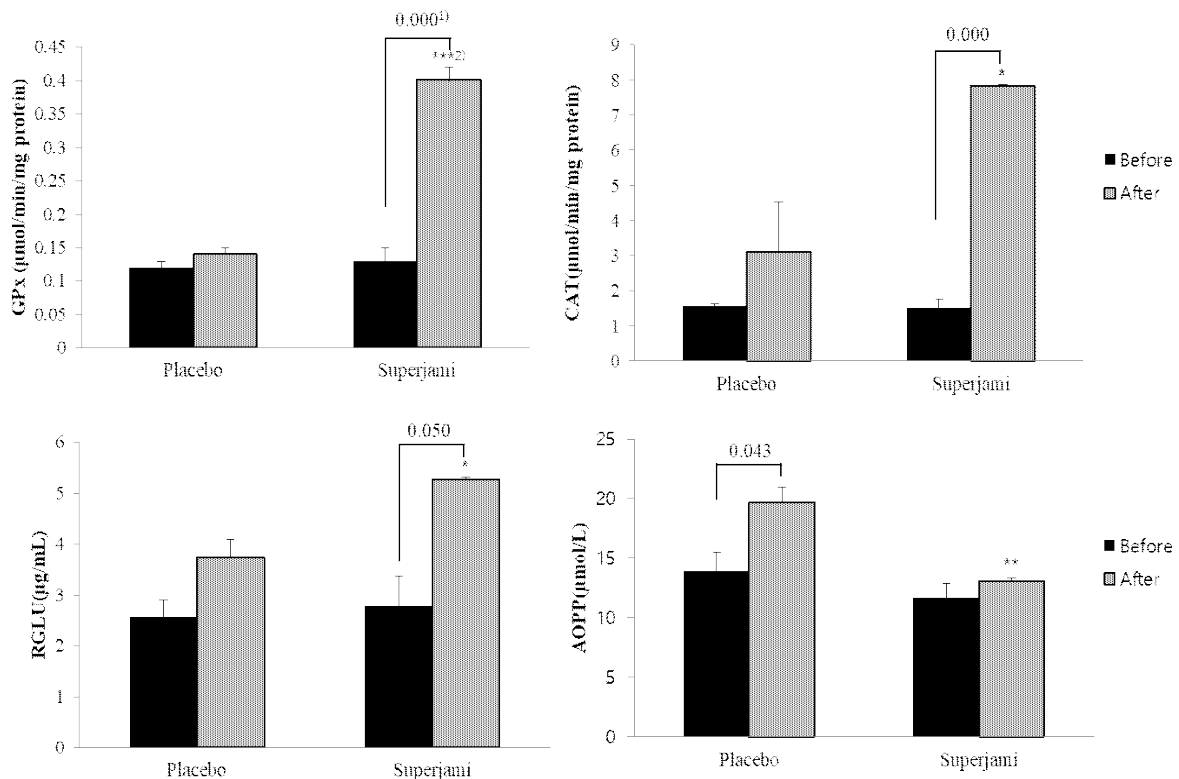


Fig. 2. Changes of plasma CAT, GPx, RGLU and AOPP concentration in subjects fed extract of Superjami rice bran. Values are means±S.E. Placebo group ($n=13$), Superjami group ($n=12$). ¹⁾ t -test between before and after in Placebo and Superjami. ²⁾ Values are significantly different between Placebo and Superjami group by t -test at * $p<0.05$, ** $p<0.01$, *** $p<0.001$. GPx, glutathione peroxidase; CAT, catalase; RGLU, reduced glutathione; AOPP, advanced oxidation protein products.

슈퍼자미 미강 추출물을 섭취함으로써 혈중 TC, TG, LDL-C의 농도가 위약군에 비해 유의적으로 낮은 값을 나타내었으며, HDL-C은 유의적으로 높은 값을 나타내었다. 이에 대한 AI는 유의적으로 낮은 값을 나타내었고, HTR은 높은 값을 나타내었다. 이는 슈퍼자미 미강 추출물은 혈중 지질 농도를 긍정적으로 조절함으로써, 비만 및 더 나아가 이상지질혈증의 위험도를 낮추는 것에 긍정적인 역할을 하는 것으로 판단된다.

지방조직에서 분비되는 adipokines 중 leptin의 경우 위약군은 섭취 전에 비해 섭취 후의 농도가 증가되었으나, 실험군은 섭취 전에 비해 섭취 후의 농도가 감소하였음을 확인하였다. Adiponectin의 실험 결과, 위약군은 섭취 전과 섭취 후의 농도 변화는 없었으나, 실험군은 섭취후의 농도가 섭취가 섭취 전에 비해 증가되었다. LAR의 농도 결과, Placebo군의 농도는 증가된 반면, 실험군의 농도는 감소하였다. 이는 슈퍼자미 미강 추출물의 섭취가 혈중 지질 농도를 저하시킬 뿐만 아니라, 체중 조절 및 비만을 저해 시키는 효능 및 지질 혈증의 위험도를 낮추는 효능이 있는 것이라 사료된다.

항산화 효소 및 항산화물을 측정할 GPx, CAT, RGLU의 실험결과, 캡슐 섭취 전에는 각 군간의 유의적 차이가 나타나지 않았으나, 섭취 후에는 실험군의 농도가 유의적으로 높은 값을 나타내었다. 특히 GPx의 실험군의 경우 섭취 전에 비해 섭취 후의 항산화 효소 활성도가 약 3배 증가되었다. 즉, 본 연구를 통해 슈퍼자미 미강 추출물을 섭취는 혈중 지질 농도 및 염증 물질을 개선하는데 효과적이며, 항산화 효소 활성도를 증가시키는데 효능이 있음을 확인할 수 있었다.

슈퍼자미 미강 추출물을 섭취를 통해 혈중 지질 농도 개선에 효과적인 뿐만 아니라, 항산화 효소 및 항산화물의 농도를 증가 시키는데 영향을 미치는 것으로 건강기능성 식품 소재로 활용할 가치가 있을 것이라 사료된다.

감사의 글

이 연구는 농촌진흥청 차세대바이오그린21사업(No. PJ013140)의 지원에 의해 이루어진 것임.

References

- Akcaakaya H, Tok S, Dal F, Cinar SA, Nurten R. 2017. β -Carotene treatment alters the cellular death process in oxidative stress-induced K562 cells. *Cell Biol Int* 41:309-319
- Bae HJ, Rio CW, Ryu SN, Kang MY. 2014. Hypolipidemic, hypoglycemic, and antioxidative effects of a new pigmented rice cultivar "Superjami" in high fat-fed mice. *J Korean Soc Appl Biol Chem* 57:685-691
- Bast A, Haenen GR, Doelman CJ. 1991. Oxidants and antioxidants: state of the art. *Am J Med* 91:S2-S13
- Block G. 1992. The data support a role for antioxidants in reducing cancer risk. *Nutr Rev* 50:207-213
- Bonomini F, Rodella LF, Rezzani R. 2015. Metabolic syndrome, aging and involvement of oxidative stress. *Aging Dis* 6:109-120
- Campos H, Wilson PW, Jimenez D, Mcnamara JR, Ordovas J, Schaefer EJ. 1990. Differences in apolipoproteins and low-density lipoprotein subfractions in postmenopausal women on and off estrogen therapy: Results from the framingham offspring study. *Metabolism* 39:1033-1038
- Caro JF, Sinha MK, Kolaczynski JW, Zhang PL, Considine RV. 1996. Leptin: The tale of an obesity gene. *Diabetes* 45:1455-1462
- Chen J, He J, Hamm L, Batuman V, Whelton PK. 2002. Serum antioxidant vitamins and blood pressure in the United States population. *Hypertension* 40:810-816
- Cho JH, Song YC, Lee KS, Choi SW, Lee MJ, Jang KC, Kim HY, Kang HJ, Park KD, Seo WD. 2017. Physicochemical characteristics of cultivated aromatic rice germplasm and comparative analysis of flavor components during transplanting time. *Korean J Environ Agric* 36:175-183
- Choi HJ, Yoon JH, Kim SH, Yoon KS, Hong SH. 2007. Effect of lipid profile and inflammatory marker on serum γ -GT in pre- and post-menopausal women. *J Korean Soc Menopause* 13:14-20
- Choi SP, Kim SP, Kang MY, Nam SH, Friedman M. 2010. Protective effects of black rice bran against chemically-induced inflammation of mouse skin. *J Agri Food Chem* 58:10007-11015
- Choi Y, Jeong HS, Lee J. 2007. Antioxidant activity of methanolic extracts from some grains consumed in Korea. *Food Chem* 103:130-138
- Choung MG, Lim JD. 2012. Antioxidant, anticancer and immune activation of anthocyanin fraction from *Rubus coreanus* Miquel fruits (Bokbunja). *Korean J Med Crop Sci* 20:259-269
- Chung SI, Lee SC, Kang MY. 2017. Physicochemical properties of giant embryo rice Seonong 17 and Keunnunjami. *Biosci Biotechnol Biochem* 81:972-978
- Chung SI, Ryu SN, Kang MY. 2016. Germinated pigmented rice

- (*Oryza sativa* L. cv. Superhongmi) improves glucose and bone metabolisms in ovariectomized rats. *Nutrients* 8:E658
- Cicero AFG, Derosa G. 2005. Rice bran and its main components: potential role in the management of coronary risk factors. *Curr Top Nutraceutical Res* 3:29-46
- Codoner-Franch P, Tavaréz-Alonso S, Murria-Estal R, Tortajada-Girbes M, Simo-Jorda R, Alonso-Iglesias E. 2012. Elevated advanced oxidation protein products (AOPPs) indicate metabolic risk in severely obese children. *Nutr Metab Cardiovasc Dis* 22:237-243
- Deisseroth A, Dounce AL. 1970. Catalase: Physical and chemical properties, mechanism of catalysis, and physiological role. *Physiol Rev* 50:319-375
- Diaz MN, Frei B, Vita JA, Keaney JF Jr. 1997. Antioxidants and atherosclerotic heart disease. *N Eng J Med* 337:408-416
- Esmailzadeh A, Kimiagar M, Mehrabi Y, Azadbakht L, Hu FB, Willett WC. 2007. Dietary patterns, insulin resistance, and prevalence of the metabolic syndrome in women. *Am J Clin Nutr* 85:910-918
- Friedewald WT, Levy RI, Fredrickson DS. 1972. Estimation of the concentration of low-density lipoprotein cholesterol in plasma, without use of the preparative ultracentrifuge. *Clin Chem* 18:499-502
- Godala MM, Materek-Kusmierkiewicz I, Moczulski D, Rutkowski M, Szatko F, Gaszynska E, Tokarski S, Kowalski J. 2016. Lower plasma levels of antioxidant vitamins in patients with metabolic syndrome: A case control study. *Adv Clin Exp Med* 25:689-700
- Grundey SM, Cleeman JI, Daniels SR, Donato KA, Eckel RH, Franklin BA, Gordon DJ, Krauss RM, Savage PJ, Smith Jr SC, Spertus JA, Costa F. 2005. Diagnosis and management of the metabolic syndrome: An American Heart Association/National Heart, Lung, and Blood Institute Scientific Statement. *Circulation* 112:2735-2752
- Gu BS. 1996. Gynecology endocrinology. *Goryeo Med Sci* 481-489
- Ham TH, Kwon SW, Ryu SN, Koh HJ. 2015. Correlation analysis between grain color and cyanidin-3-glucoside content of rice grain in segregate population. *Plant Breed Biotechnol* 3:160-166
- Ham TH, Kwon SW, Ryu SN. 2017. A late maturing and high content of cyanidin 3-glucoside (C3G) rice variety 'Neugeunsuperjami'. *Korean J Breed Sci* 49:47-51
- Hamann A, Matthaei S. 1996. Regulation of energy balance by leptin. *Exp Clin Endocrinol Diabetes* 104:293-300
- Hiramatsu K, Nishida J, Naito A, Yoshikura H. 1987. Molecular cloning of the closed circular provirus of human T cell leukaemia virus type I: A new open reading frame in the Gag-Pol region. *J gen Virol* 68:213-218
- Hirashima O, Kawano H, Motoyama T, Hirai N, Ohgushi M, Kugiyama K, Ogawa H, Yasue H. 2000. Improvement of endothelial function and insulin sensitivity with vitamin C in patients with coronary spastic angina: possible role of reactive oxygen species. *J Am Coll Cardiol* 35:1860-1866
- Hong HC, Kim YG, Choi YH, Yang SJ, Lee KS, Lee JH, Jung OY, Yang CI, Cho YC, Choi IS, Baek MK, Kim MK, Yea JD, Hwang HG, Roh JH, Kim SL, Choi HC, Lee YT, Lee SH. 2012a. A medium-maturing, giant-embryo, and germination brown rice cultivar 'Keunnun'. *Korean J Breed Sci* 44:160-164
- Hong S, Song YJ, Lee KH, Lee HS, Lee MS, Lee SH, Joung HJ. 2012b. A fruit and dairy dietary pattern is associated with a reduced risk of metabolic syndrome. *Metabolism* 61:883-890
- Hotta K, Funahashi T, Arita Y, Takahashi M, Matsuda M, Okamoto Y, Iwahashi H, Kuriyama H, Ouchi N, Maeda K, Nishida M, Kihara S, Sakai N, Nakajima T, Hasegawa K, Muraguchi M, Ohmoto Y, Nakamura T, Yamashita S, Hanafusa T, Matsuzawa Y. 2000. Plasma concentrations of a novel, adipose-specific protein, adiponectin, in type 2 diabetic patients. *Arterioscler Thromb Vasc Bio* 20:1595-1599
- Ishikawa S, Kayaba K, Gotoh T, Nakamura Y, Kajii E. 2007. Metabolic syndrome and C-reactive protein in the general population: JMS Cohort Study. *Circ J* 71:26-31
- Jacob RA. 1995. The integrated antioxidant system. *Nutr Res* 15:755-766
- Jang HH, Park MY, Kim HW, Lee YM, Hwang KA, Park JH, Park DS, Kwon O. 2012. Black rice (*Oryza sativa* L.) extract attenuates hepatic steatosis in C57BL/6 J mice fed a high-fat diet via fatty acid oxidation. *Nutr Metab (Lond)* 9:27
- Jang WS, Seo CR, Jang HH, Song NJ, Kim JK, Ahn JY, Han JJ, Seo WD, Lee YM, Park KW. 2015. Black rice (*Oryza sativa* L.) extracts induce osteoblast differentiation and protect against bone loss in ovariectomized rats. *Food Funct* 6:265-275
- Jun SY, Hong EJ, Joung HJ. 2015. Flavonoid intake according to food security in Korean adults: Based on the Korea

- National Health and Nutrition Examination Survey 2007~2012. *J Nutr Health* 48:507-518
- Jun SY, Shin SA, Joung HJ. 2016. Estimation of dietary flavonoid intake and major food sources of Korean adults. *Br J Nutr* 115:480-489
- Kang JS, Kang HS, Yun EK, Choi HR. 2012. Factors influencing health behavior compliance of patients with metabolic syndrome. *Korean J Adult Nurs* 24:191-199
- Kim DJ, Choi SM, Kim HY, Kim JH, Ryu SN, Han SJ, Hong SG. 2011b. Evaluation of biological activities of fermented rice bran from novel black colored rice cultivar SuperC3GHi. *Korean J Crop Sci* 56:420-426
- Kim DJ, Ryu SN, Han SJ, Kim HY, Kim JH, Hong SG. 2011a. *In vivo* immunological activity in fermentation with black rice bran. *Korean J Food Nutr* 24:273-281
- Kim EO, Oh JH, Lee KT, Im JG, Kim SS, Suh HS, Choi SW. 2008a. Chemical compositions and antioxidant activity of the colored rice cultivars. *Korean J Food Preserv* 15:118-124
- Kim HJ, Cha JY, Choi ML, Cho YS. 2000. Antioxidative activities by water-soluble extracts of *Morus alba* and *Cudrania tricuspidata*. *J Korean Soc Appl Biol Chem* 43:148-152
- Kim HY, Kim JH, Lee SA, Ryu SN, Han SJ, Hong SG. 2010. Antioxidative and anti-diabetic activity of C3GHi, novel black rice breed. *Korean J Crop Sci* 55:38-46
- Kim JS, Ahn SN, Cho YH, Gwag JG, Kim TS, Lee JR, Lee SY. 2008b. Estimation of agronomic characteristics of domestic aromatic rice germplasm and foreign aromatic rice germplasm in RDA genebank, Korea. *Korean J Crop Sci* 53:261-272
- Kim JS, Park OS, Ahn SN, Lee JR, Gwag JG, Kim TS, Lee SY. 2008c. Quantification of 2-acetyl-1-pyrroline from the aroma rice germplasm by gas chromatography. *Korean J Food Sci Technol* 40:516-521
- Kim KB, Choi SK, Kim DS. 2012. Physicochemical properties and antioxidant activity of Superjami. *Korean J Food Cook Sci* 28:789-796
- Kim SA, Jun SY, Joung HJ. 2016. Estimated dietary intake of vitamin A in Korean adults: based on the Korea National Health and Nutrition Examination Survey 2007~2012. *J Nutr Health* 49:258-268
- Kim YH, Hong SP, Yang R. 1995. Differential scanning calorimetry of skin collagen. *Korean J Food Sci Technol* 27:571-575
- Kim YW. 2007. Leptin resistance. *Korean Endocr Soc* 22:311-316
- Koh HJ, Park SZ, Won YJ, Heu MH. 1993. Nutritional and agronomic characteristics of super-giant embryo mutant in rice. *Korean J Crop Sci* 38:537-544
- Koleva DI, Orbetzova MM, Atanassova PK. 2013. Adipose tissue hormones and appetite and body weight regulators in insulin resistance. *Folia Medi (Plovdiv)* 55:25-32
- Lee HH, Kim HY, Koh HJ, Ryu SN. 2006. Varietal difference of chemical composition in pigmented rice varieties. *Korean J Crop Sci* 51:113-118
- Lee KH, Kim YH, Park EJ, Cho SR. 2008. Study on dietary habit and effect of onion powder supplementation on serum lipid levels in early diagnosed hyperlipidemic patients. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 37:561-570
- Liu H, Han T, Tian J, Zhu ZY, Liu Y, Li Y, Xiao SX, Li Y, Feng YY. 2012. Monitoring oxidative stress in acute-on-chronic liver failure by advanced oxidation protein products. *Hepatol Res* 42:171-180
- Machlin LJ, Bendich A. 1987. Free radical tissue damage: protective role of antioxidant nutrients. *FASEB J* 1:441-445
- Nemzer BV, Rodriguez LC, Hammond L, Disilvestro R, Hunter JM, Pietrzowski Z. 2011. Acute reduction of serum 8-isoprostane and advanced oxidation protein products *in vivo* by a polyphenol-rich beverage: A pilot clinical study with phytochemical and *in vitro* antioxidant characterization. *Nutr J* 10:67
- Nizamutdinova IT, Jin YC, Chung JI, Shin SC, Lee SJ, Seo HG, Lee JH, Chang KC, Kim HJ. 2009. The anti-diabetic effect of anthocyanins in streptozotocin-induced diabetic rats through glucose transporter 4 regulation and prevention of insulin resistance and pancreatic apoptosis. *Mol Nutr Food Res* 53:1419-1429
- Noda M, Rodan GA. 1989. Transcriptional regulation of osteopontin production in rat osteoblast-like cells by parathyroid hormone. *J Cell Biol* 108:713-718
- Oda N, Imamura S, Fujita T, Uchida Y, Inagaki K, Kakizawa H, Hayakawa N, Suzuki A, Takeda J, Horikawa Y, Itoh M. 2008. The ratio of leptin to adiponectin can be used as an index of insulin resistance. *Metabolism* 57:268-273
- Ouchi N, Kihara S, Arita Y, Okamoto Y, Maeda K, Kuriyama H, Hotta K, Nishida M, Takahashi M, Muraguchi M, Ohmoto Y, Nakamura T, Yamashita S, Funahashi T, Matsuzawa Y. 2000. Adiponectin, an adipocyte-derived plasma protein, inhibits endothelial NF-kappaB signaling through a cAMP-dependent pathway. *Circulation* 102:1296-

1301

- Park DS, Hwang UH, Park SK, Lee JH, Han SI, Cho JH, Lee JY, Oh SH, Jang KC, Seo WD, Shin DJ, Kim SY, Song YC, Yeo US, Park NB, Nam MH, Lee JK. 2015. A waxy black giant embryo early maturing rice variety 'Nunkeun-heugchal'. *Korean J Breed Sci* 47:68-74
- Park JH, Lee JY, Chun JB, You OJ, Son EH. 2018. Multivariate analysis of variation of growth and quality characteristics in colored rice germplasm. *Korean J Crop Sci* 63:175-185
- Park JS, Kim MH. 2011. Anti-inflammatory effects of rice bran ethanol extract in murine macrophage RAW 264.7 cells. *J Pharm Soc Korea* 55:456-461
- Park TS, Lee SY, Kim HJ, Kim KT, Kim YJ, Jeong IH, Do WN, Lee HJ. 2009. Extracts of adlay, barley and rice bran have antioxidant activity and modulate fatty acid metabolism in adipocytes. *Korean J Food Nutr* 22:456-462
- Rana P, Vadhera S, Soni G. 2004. *In vivo* antioxidant potential of rice bran oil (RBO) in albino rats. *Indian J Physiol Pharmacol* 48:428-436
- Ross RK, Paganini-Hill A, Mack TM, Henderson BE. 1989. Cardiovascular benefits of estrogen replacement therapy. *Am J Obstet Gynecol* 160:1301-1306
- Slavin JL, Martini MC, Jacobs DR Jr, Marquart L. 1999. Plausible mechanisms for the protectiveness of whole grains. *Am J Clin Nutr* 70:459S-463S
- Som S, Basu S, Mukherjee D, Deb S, Choudhury PR, Mukherjee S, Chatterjee SN, Chatterjee IB. 1981. Ascorbic acid metabolism in diabetes mellitus. *Metabolism* 30:572-577
- Song SJ, Kim EK, Hong SY, Shin SA, Song YJ, Baik HW, Joung HJ, Paik HY. 2015. Low consumption of fruits and dairy foods is associated with metabolic syndrome in Korean adults from outpatient clinics in and near Seoul. *Nutr Res Pract* 9:554-562
- Tiku ML, Allison GT, Naik K, Karry SK. 2003. Malondialdehyde oxidation of cartilage collagen by chondrocytes. *Osteoarthritis Cartilage* 11:159-166
- Tilg H, Moschen AR. 2006. Adipocytokines: Mediators linking adipose tissue, inflammation and immunity. *Nat Rev Immunol* 6:772-783
- Van De Wier B, Koek GH, Bast A, Haenen GR. 2017. The potential of flavonoids in the treatment of non-alcoholic fatty liver disease. *Crit Rev Food Sci Nutr* 57:834-855
- Wager JF, Hitt JC, Baukol BA, Bender JP, Keszler DA. 2002. Luminescent impurity doping trends in alternating-current thin-film electroluminescent phosphors. *J Lumin* 97:68-81
- Woo KM, Lee YS, Kim YH. 2005. Antioxidant effects of tocotrienol in rice bran. *Korean Soc Crop Sci* 50:4-7
- Wu Q, Zhong ZM, Pan Y, Zeng JH, Zheng S, Zhu SY, Chen JT. 2015. Advanced oxidation protein products as a novel marker of oxidative stress in postmenopausal osteoporosis. *Med Sci Monit* 21:2428-2432
- Zawistowski J, Kopec A, Kitts DD. 2009. Effects of a black rice extract (*Oryza sativa* L. *indica*) on cholesterol levels and plasma lipid parameters in Wistar Kyoto rats. *J Funct Foods* 1:50-56
- Zhuo Q, Wang Z, Fu P, Piao J, Tian Y, Xu J, Yang X. 2009. Comparison of adiponectin, leptin and leptin to adiponectin ratio as diagnostic marker for metabolic syndrome in older adults of Chinese major cities. *Diabetes Res Clin Pract* 84:27-33

Received 31 January, 2019

Revised 24 April, 2019

Accepted 10 May, 2019