

## 안정화 미강이 고지방 식이로 유도된 C57BL/6 Mice의 비만과 항산화 효소 활성에 미치는 영향

김자영<sup>1</sup> · 신말식<sup>1,2</sup> · 허영란<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>전남대학교 식품영양과학부

<sup>2</sup>전남대학교 생활과학연구소

### Effects of Stabilized Rice Bran on Obesity and Antioxidative Enzyme Activity in High Fat Diet-induced Obese C57BL/6 Mice

Ja-Young Kim<sup>1</sup>, Malshick Shin<sup>1,2</sup>, and Young-Ran Heo<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Division of Food and Nutrition and <sup>2</sup>Human Ecology Research Institute, Chonnam National University

**ABSTRACT** Rice bran (RB), a by-product obtained during polishing of un-milled rice, contains a large quantity of essential nutrients such as minerals, vitamins, fiber, amino acids, and antioxidants. In this study, the anti-obesity effects of stabilized RB addition as a food material in a diet-induced obese animal model were investigated. For the analysis, a total of 32 mice were randomly divided into four groups: normal diet group (ND, n=8), high-fat diet group (HFD, n=8), 20% RB added high fat diet group (HFRB20, n=8), and 40% RB added high fat diet group (HFRB40, n=8). The animals were sacrificed after 7 weeks. Body weight gain, various adipose tissue weights, blood glucose concentration, and serum leptin level of the HFRB40 group were found to be significantly lower than those of the HFD group. Moreover, antioxidant enzyme activity of the HFRB40 group was significantly higher than that of the HFD group. However, the HFRB20 group did not show significantly different values. The results of this study show that RB (40%) addition reduces body weight gain and improves obesity-related parameters. These results suggest RB could be considered as a functional additive material for the manufacture of anti-obesity products, and 40% RB addition would be the physiologically effective level.

**Key words:** stabilized rice bran, obesity, adipose tissue, leptin, antioxidative enzyme

## 서 론

최근 경제 발전에 따라 신체 활동의 감소, 고열량 식품 섭취의 증가, 스트레스에 의한 신경 내분비적인 요인 및 사회적, 경제적, 유전적 요인 등으로 인해 과체중이나 비만이 점차 증가하고 있다(1). 세계보건기구(WHO)에서는 비만을 '21세기 신중 전염병'으로 지목하였으며 2015년에 전 세계 인구의 약 23.4%가 비만이 되고 10년 후에는 비만 인구가 현재보다 50% 더 증가할 것으로 전망하였다(2). 국내의 성인 비만율의 경우도 1998년 26.0%에서 2012년 32.4%로 지속적으로 증가하고 있는 추세이다(3). 비만은 단순한 체중 증가가 아니라 체중 중 과도한 지방의 축적을 의미하며, 가장 큰 원인으로 소비 에너지에 비하여 초과 섭취된 잉여 에너지가 지방으로 저장되기 때문으로 보고 있다(4,5). 지방 조직의 과잉 축적은 고혈압, 당뇨병, 심장질환 및 뇌졸중 등의 위험 요인으로 지목되고 있으며, 조기 사망 및 우울증과

같은 정신건강에도 부정적인 영향을 미쳐 삶의 질을 떨어뜨리는 것으로 알려져 있다(6).

지방 조직은 중성지방의 합성 및 저장기관으로의 역할뿐만 아니라 생체 내 대사의 다양한 신호 전달에 관여하는 adiponectin, leptin, resistin, tumor necrosis factor alpha(TNF- $\alpha$ ), interleukin-6 등의 adipokines을 분비하는 내분비 기관으로서 기능을 가지고 있음은 잘 알려져 있다(7-9). 이들 중 leptin은 시상하부의 중추회로에 포만감에 대한 신호를 전달하여 식사섭취를 억제하고 교감신경계를 활성화시킴으로 에너지 소비 촉진 기능을 한다. Adiponectin은 지방, 근육 및 간 조직에서 인슐린 민감도 향상과 당의 항상성 유지 기능을 하며, 지방산화 증가 및 지질축적 억제를 통하여 체중 감소를 유도한다(10). 일반적으로 비만인의 경우 leptin의 증가가 관찰되는데 leptin의 경우 당뇨병 환자에게서 관찰되는 insulin resistance와 유사하게 leptin resistance로 설명되고 있으며, adiponectin의 경우는 감소가 관찰된다(11). 또한 비만은 지질과산화물의 형성을 촉진시켜 체내 항산화 시스템의 불균형을 일으키는 과정과 관련이 있다(12,13). 지방이 축적될 경우 몸 전체에서 산화스트레스가 증가하는 양상을 보이는데, 비만 쥐의 경우 지방 조직

Received 24 June 2014; Accepted 17 July 2014

Corresponding author: Young-Ran Heo, Division of Food and Nutrition, Chonnam National University, Gwangju 500-757, Korea  
E-mail: yrhuh@jnu.ac.kr, Phone: +82-62-530-1338

에서 활성산소종(reactive oxygen species: ROS)의 생산이 선택적으로 많이 이루어진다. 생체 내에는 이러한 산화적 손상을 예방하거나 복구하는 체계로 superoxide dismutase(SOD), glutathione(GSH), glutathione peroxidase(GSH-Px), glutathione S-transferase(GST), catalase(CAT) 등이 있다(14). 비만으로 인한 산화스트레스는 항산화 효소 활성을 감소시켜 항산화 방어 시스템을 저하시킨다고 알려져 있는 바 ROS와 항산화 효소와의 항상성의 불균형은 DNA, 단백질 및 지질의 산화 변형을 통하여 노화를 촉진하며 심혈관 질환, 염증성 질환 및 암과 같은 질환을 유발하게 된다(15,16). 이러한 비만과 산화적 스트레스 및 각종 질환과의 관계가 밝혀짐에 따라 국내외 여러 분야에서 비만을 예방하거나 개선하기 위한 방법에 대한 관심이 증가하고 있다. 국내 건강기능성식품 생산에 있어 '체지방 감소' 제품이 수위를 차지하고 있으며, 원료 인증 사례 중 '체지방 감소' 기능성이 가장 많았던 사실(17)은 관심을 뒷받침하고 있다.

미강(rice bran)은 현미를 백미로 도정할 때 얻어지는 부산물로 식이 섬유가 풍부하며,  $\gamma$ -oryzanol, tocopherol, tocotrienol 및 ferulic acid 등의 항산화 성분과 각종 비타민 등 다양한 생리활성 성분을 함유하고 있는 소재이다(18). 미강의 국내 연간 생산량은 약 40만 톤 정도이며 이 중 약 30% 정도는 미강유 제조에 사용되고, 나머지 70% 정도는 사료나 비료로 이용되거나 폐기물로 처리되고 있어 식품소재로서 활용은 제한적인 상태이다(19). 이는 지방산 함량이 높아 산패로부터 안정성이 떨어지는 특성에 기인한다. 그동안의 미강의 생리활성에 대한 연구는 미강의 추출물이나 미강에서 분리한 특정 성분을 이용하여 연구된 것이 대부분으로 미강 식이 섬유의 장 기능 개선 효과(20), 당뇨병 환자에서 공복 혈당 저하와 당뇨병의 개선 효과(21,22), 미강 단백질의 알레르기 유발 저항성(22), 혈중 콜레스테롤 저하 및 항종양 효과(23), 미강 오일의 항산화 효과 및 혈압 상승 억제 효과(24)가 있다. 또한 미강의  $\gamma$ -oryzanol과 ferulic acid의 지질 대사 개선 효과(25,26), 미강의 tocotrienol, ferulic acid와 oryzanol의 항산화 효소 활성 증가를 통한 자유라디칼에 의한 손상으로부터 보호 효과 등이 있다(27-30). 그러나 최근 지방 가수분해 효소의 작용을 억제하거나 없애는 과정을 거쳐 산패를 지연 혹은 방지시키는 방법을 적용한 안정화 미강 제조법이 개발되어 미강의 추출물이나 분리 성분이 아닌 미강 자체를 식품소재로서 활용가능성이 확대되었다(31).

한편 미강을 활용한 제품개발에 대한 기초 연구로 미강의 식이 섬유소를 첨가한 생국수 및 식빵 제조(32,33)와 돈육 육제품 및 소시지 개발(34,35) 등이 있으며, 유색미 미강 추출물 첨가에 의한 밥의 노화 지연 효과(36) 등이 있다. 또한 미강 자체를 소재로써 첨가한 식빵, 파운드케이크 및 쿠키 제조 관한 연구(37-39)가 있다. 대부분의 이들 연구들은 미강 및 미강 추출물 첨가에 따른 제품의 관능성 및 기호

적합성을 분석하여 최적 첨가 비율을 찾는 것을 목표로 하였으며 개발된 제품의 생리활성 기능성에 대한 연구는 시도되지 않았다. 이에 본 연구에서는 식이유도 비만 마우스에 안정화 미강을 첨가한 식이를 섭취시켜 비만 개선의 생리활성을 나타내는지 검토하고자 하였으며 아울러 비만과 관련 있다고 알려진 산화스트레스, 즉 항산화 효소 활성화에 미치는 영향을 분석하였다. 본 연구 결과를 통하여 비만 개선과 항산화 효과를 나타내는 식품개발에 있어 안정화 미강의 첨가 범위에 대한 기초 자료를 제공하고자 하였다.

## 재료 및 방법

### 실험 재료

실험에 사용된 시료는 전라남도 고흥군에 소재한 정미소에서 쌀 도정 중 발생된 유기농 미강을 구하여 쌀눈의 일부를 제거하고 Kim(31)의 방법에 따라 안정화시켜 사용하였다. 미강의 열량 및 영양소 함량은 식품위생검사기관[(주)에스푸드가디언스, 서울, 한국]에 의뢰하여 분석하였는 바 탄수화물 61.38%, 조단백질 14.88%, 조지방 10%, 회분 9.71% 및 수분 4.03%였고 식이 섬유소 함량은 38.78 g/100 g이었으며 열량은 395.04 kcal/100 g이었다.

### 실험동물 및 실험 설계

실험동물은 4주령의 평균체중  $15.5 \pm 0.9$  g인 C57BL/6 mice 수컷을 (주)Uni Faith(서울, 한국)에서 구입하여 사용하였다. 동물 사육실의 온도 및 습도는  $23 \pm 1^\circ\text{C}$ ,  $50 \pm 5\%$ 로 설정하였으며 lighting cycle은 12시간 주기로 하였다. 식이와 물은 자유섭취 시켰다. 본 동물실험은 전남대학교 동물실험윤리위원회의 심의를 받아 전남대학교 식품영양과학부 동물실험실에서 시행하였다(CNU IACUC-YB-2013-3).

실험동물은 1주일간 사육하여 환경에 적응시킨 후 정상식이군(ND, n=8)과 45% 고지방식이군(HFD, n=24)으로 나누었다. ND군은 정상 식이를 급여하였고, HFD군은 45% 고지방 식이를 6주간 급여하여 비만을 유도하였으며 체중과 공복 혈당을 측정하여 비만이 유도되었음을 확인하였다. HFD군을 대조군인 고지방식이 급여군(HFD, n=8)과 고지방 식이에 안정화 미강을 20% 첨가한식이 급여군(HFRB20, n=8), 고지방 식이에 안정화 미강을 40% 첨가한식이 급여군(HFRB40, n=8)으로 나누어 실험 식이를 7주간 급여하였다. ND군은 식이의 변동 없이 유지하였다. 정상식이(#D10012G, Research diets, New Brunswick, NJ, USA)와 45% 고지방식이(#12451, Research diets)를 사용하였으며, 안정화 미강 첨가 식이는 45% 고지방 식이에 안정화 미강을 각각 20%와 40% 첨가(w/w)한 것으로 실험동물식이 제조 전문기관((주)Uni Faith)에 의뢰하여 제조하였다(Table 1).

**Table 1.** Composition of experimental diet

	ND <sup>1)</sup>	HFD	HFRB20	HFRB40
Ingredient (g)				
Casein	200	200	200	200
L-cysteine	3	3	3	3
Corn starch	397	72.8	72.8	72.8
Maltodextrin 10	132	100	100	100
Sucrose	100	172.8	172.8	172.8
Cellulose	50	50	50	50
Soybean oil	70	25	25	25
t-Butylhydroquinone	0.014			
Lard		177.5	177.5	177.5
Mineral mix	35	10	10	10
Dicalcium phosphate		13	13	13
Calcium carbonate		5.5	5.5	5.5
Potassium citrate		16.5	16.5	16.5
Vitamin mix	10	10	10	10
Choline bitartrate	2.5	2	2	2
Rice bran			214.5	572.1
Total amount (g)	1,000.0	858.1	1,072.6	1,430.2
Total calorie (kcal)	4,000	4,057	4,904	6,317
Total kcal/g	4.0	4.7	4.6	4.4

<sup>1)</sup>ND: normal diet, HFD: 45% high fat diet, HFRB20: 20% rice bran added in high fat diet, HFRB40: 40% rice bran added in high fat diet.

### 실험 수집 및 전처리

실험기간 동안 식이 섭취량은 3일에 1회 측정하여 1일 식이 섭취량을 산출하였다. 체중은 1주일에 1회 측정하였다. 식이 효율(food efficiency ratio: FER)은 실험식이 공급 시작일부터 희생일까지 총 실험기간 동안의 체중 증가량을 실험기간 동안의 식이 섭취량으로 나누어 산출하였다.

$FER = \text{weight gain (g/7 weeks)} / \text{food intake (g/7 weeks)}$

실험동물은 희생 전 12시간 절식시킨 후 복강 내에 마취제를 주입하여 마취하였으며 회복 후 심장에서 혈액을 채취하였다. 마취제는 zoletil(Zoletil 50, Virbac Animal Health, Carros, France)과 rompun(Rompun, Bayer Animal Health, Toronto, Canada)을 2:1로 섞은 용액을 PBS에 1:10으로 희석하여 사용하였다. 채취한 혈액은 ice box에 정치시킨 후 1,000×g, 4°C에서 15분간 원심분리 후 혈청을 분리하였으며 분석 전까지 -80°C 냉동고에 보관하였다.

채혈 즉시 각 지방 조직과 장기를 적출하여 0.9% 생리식염수를 이용해 세척한 후 가볍게 물기를 닦아 정밀 저울을 이용하여 무게를 측정하였다. 장기 및 지방 조직은 -80°C 냉동고에 보관하였다.

### 공복 혈당 측정 및 경구 당 부하 검사

실험동물의 공복 혈당 농도는 실험식이 섭취 전(0), 4주 및 7주 후에 12시간 절식 후 꼬리 정맥에서 채혈한 후 혈당 측정계(Glucocard 01, Arkray, Kyoto, Japan)를 이용하여 측정하였다. 또한 실험식이 섭취 7주 후에 경구 당 부하 검사를 실시하였는 바 12시간 절식시킨 다음 꼬리 정맥에서 채혈하여 공복 시 혈당 농도를 측정한 후 포도당 용액(glucose 2

g/kg B.W)을 zonde를 사용하여 경구투여 하고 30, 60, 90, 120분 후에 꼬리 정맥으로부터 채혈하여 혈당 농도를 측정하였으며, Wolever 등(40)의 방법으로 혈당 반응 면적(incremental area under the curve, ΔiAUC)을 계산하였다.

### Leptin 및 adiponectin 농도 측정

혈청 leptin 농도는 leptin 측정 kit(Leptin(mouse), EIA kit, Enzo Diagnostic, Farmingdale, NY, USA)를 사용하였고, 혈청 adiponectin 농도는 adiponectin 측정 kit(Adiponectin(mouse) Total, HMW ELISA kit, ALPCO Diagnostics, Windham, NH, USA)를 사용하여 Enzyme-Linked Immunosorbent Assay(ELISA) 방법으로 측정하였다.

### 간 조직의 항산화 효소 활성 측정

SOD 활성은 SOD assay kit-WST(Dojindo, Kumamoto, Japan)를 이용하였다. 0.1 g의 간 조직에 sucrose buffer (0.25 M sucrose, 10 mM Tris, 1 mM EDTA, pH 7.4)를 더해 teflon homogenizer로 분쇄하여 4°C에서 10,000×g로 60분간 원심분리 하여 얻은 상층액을 효소원으로 사용하였다. Glutathione peroxidase(GSH-Px) 활성은 glutathione peroxidase activity assay kit(BioVision Inc., Mountain View, CA, USA)를 이용하여 측정하였다. 0.1 g의 간 조직에 cold assay buffer 0.2 mL를 더해 teflon homogenizer로 분쇄하여 4°C에서 10,000×g로 15분간 원심분리 하여 얻은 상층액을 효소원으로 사용하였다. Catalase(CAT) 활성은 catalase assay kit(BioVision Inc.)를 이용하여 측정하였다. 0.1 g의 간 조직에 cold assay buffer 0.2 mL를 더해 teflon homogenizer로 분쇄하여 4°C에서 10,000×g로 15분간 원심분리 하여 얻은 상층액을 효소원으로 사용하였다.

단백질 정량은 bovine serum albumin(BSA)을 표준물질로 사용하여 Bradford(41)의 방법에 따라 측정하였다.

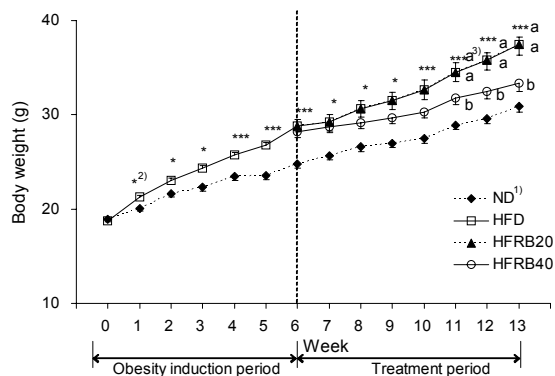
### 통계 처리

모든 통계분석은 SPSS version 21(International Business Machines, Armonk, NY, USA)을 이용하였으며, 모든 실험 결과는 평균±표준오차(mean±SEM)로 표시하였다. ND군과 HFD군의 평균의 차이는 독립표본 t-test를 이용하여 검증하였고, HFD군과 미강 첨가 식이를 먹인 군인 HFRB20, HFRB40군은 one-way ANOVA를 실시한 후 사후 검정 방법으로는 Duncan's multiple range test를 이용하여 유의성을 검증하였다. 모든 경우의 유의적 수준은  $P < 0.05$ 를 적용하였다.

## 결 과

### 체중과 식이 효율

실험기간의 체중 변화는 Fig. 1 및 Table 2와 같다. 비만



**Fig. 1.** Body weight changes of the C57BL/6 mice fed experimental diets during experimental period. <sup>1)</sup>Groups are the same as Table 2. <sup>2)</sup>Significantly different between the ND and the HFD by t-test ( $^*P<0.05$ ,  $^{***}P<0.001$ ). <sup>3)</sup>Values with different letters in each period represent significantly different between three experimental groups by ANOVA with Duncan's multiple range test ( $P<0.05$ ).

유도기간 초기에 ND군과 HFD군의 체중은 차이가 없었으나 고지방 식이 급여 1주 후부터 HFD군과 ND군에 사이에 차이를 보이기 시작하여 비만 유도 6주에는 HFD군이 ND군에 비하여 체중이 유의하게 높았다( $P<0.001$ ). 이러한 차이는 실험기간 7주 후까지 동일하게 유지되었다. 비만 유도

후 실험식이 급여 전 HFD군과 실험군의 체중은 유의한 차이가 없었고, 실험식이 급여 7주 후 HFRB20군은 HFD군과 체중의 유의한 차이가 없었지만 HFRB40군은 HFD군에 비하여 체중이 유의하게 낮았다( $P<0.05$ ). 즉 실험기간 동안 증체량은 HFD군에 비하여 HFRB20군은 유의한 차이가 없었으나 HFRB40군은 유의하게 낮았다( $P<0.05$ ).

식이 섭취량, 에너지 섭취량 및 식이 효율의 결과는 Table 2와 같다. 식이 급여 7주 동안의 식이 섭취량은 ND군이 HFD군보다 유의하게 많았고, HFD군과 실험군의 식이 섭취량을 비교했을 때 HFRB20군은 유의한 차이가 없었으나 HFRB40군은 유의하게 많았다( $P<0.05$ ). 한편 에너지 섭취량은 ND군과 HFD군이 유의한 차이가 없었다. HFRB20군은 HFD군에 비하여 에너지 섭취량에 유의한 차이가 없었고, HFRB40군은 HFD군에 비하여 유의하게 많았다( $P<0.05$ ). 따라서 식이 효율의 경우 HFD군이 ND군보다 유의하게 높았으며, HFRB20군은 HFD군과 유의한 차이가 없었고 HFRB40군은 HFD군보다 유의하게 낮은 결과를 보였다( $P<0.05$ ).

### 지방 조직 무게

각 지방 조직의 무게는 Table 3과 같다. 신장 지방( $P<0.001$ ), 부고환 지방( $P<0.001$ ), 피하 지방 조직( $P<0.05$ ) 무

**Table 2.** Effect of rice bran on body weight, food intake and weight gain

	ND <sup>1)</sup>	HFD	HFRB20	HFRB40
<b>Body weight</b>				
Initial weight (g)	24.79±0.40 <sup>***2)3)</sup>	28.83±0.65	28.34±0.66	28.23±0.62
Final weight (g)	30.86±1.64 <sup>***</sup>	37.44±0.81 <sup>a4)</sup>	37.01±1.08 <sup>a</sup>	33.33±0.83 <sup>b</sup>
Weight gain (g/7 weeks)	6.08±0.28 <sup>***</sup>	8.61±0.29 <sup>a</sup>	8.68±0.64 <sup>a</sup>	5.10±0.49 <sup>b</sup>
<b>Food intake</b>				
Food intake (g/7 weeks)	144.01±4.27 <sup>***</sup>	118.23±3.24 <sup>b</sup>	131.87±4.23 <sup>b</sup>	156.94±7.20 <sup>a</sup>
Energy intake (kcal/7 weeks)	561.65±16.67	559.22±15.34 <sup>b</sup>	602.66±19.33 <sup>ab</sup>	693.68±31.82 <sup>a</sup>
Food efficiency ratio	4.22±0.16 <sup>***</sup>	7.35±0.39 <sup>a</sup>	6.60±0.49 <sup>a</sup>	3.25±0.30 <sup>b</sup>

<sup>1)</sup>ND: mice fed the normal diet, HFD: mice fed the high fat diet, HFRB20: mice fed with 20% rice bran added in high fat diet, HFRB40: mice fed with 40% rice bran added in high fat diet.

<sup>2)</sup>Values are mean±SE.

<sup>3)</sup>Significantly different between the ND and the HFD by t-test ( $^*P<0.05$ ,  $^{***}P<0.001$ ).

<sup>4)</sup>Values with different superscripts within a row represent significantly different between three experimental groups by ANOVA with Duncan's multiple range test ( $P<0.05$ ).

**Table 3.** Effect of rice bran on weight of various adipose tissue

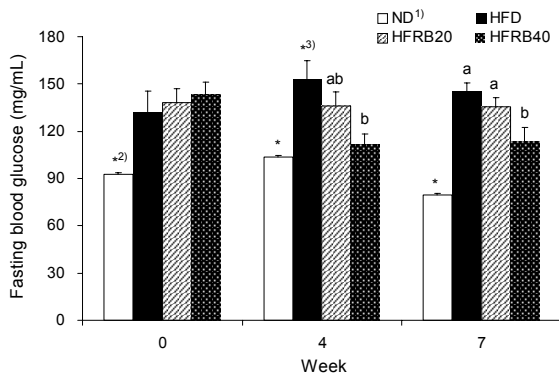
	ND <sup>1)</sup>	HFD	HFRB20	HFRB40
Perirenal fat pad weight (g)	0.36±0.04 <sup>***2)3)</sup>	0.86±0.07 <sup>a4)</sup>	0.88±0.01 <sup>a</sup>	0.54±0.07 <sup>b</sup>
Epididymal fat pad weight (g)	1.05±0.06 <sup>***</sup>	2.01±0.09 <sup>a</sup>	1.96±0.11 <sup>a</sup>	1.50±0.13 <sup>b</sup>
Subcutaneous fat pad weight (g)	1.80±0.18 <sup>*</sup>	3.19±0.31 <sup>a</sup>	3.55±0.20 <sup>a</sup>	2.30±0.23 <sup>b</sup>
Total fat pad weight (g)	3.21±0.27 <sup>***</sup>	6.06±0.41 <sup>a</sup>	6.40±0.38 <sup>a</sup>	4.33±0.41 <sup>b</sup>
Total fat pad weight/ body weight	0.10±0.01 <sup>*</sup>	0.16±0.01 <sup>a</sup>	0.17±0.01 <sup>a</sup>	0.13±0.01 <sup>b</sup>

<sup>1)</sup>Groups are the same as Table 2.

<sup>2)</sup>Values are mean±SE.

<sup>3)</sup>Significantly different between the ND and the HFD by t-test ( $^*P<0.05$ ,  $^{***}P<0.001$ ).

<sup>4)</sup>Values with different superscripts within a row represent significantly different between three experimental groups by ANOVA with Duncan's multiple range test ( $P<0.05$ ).



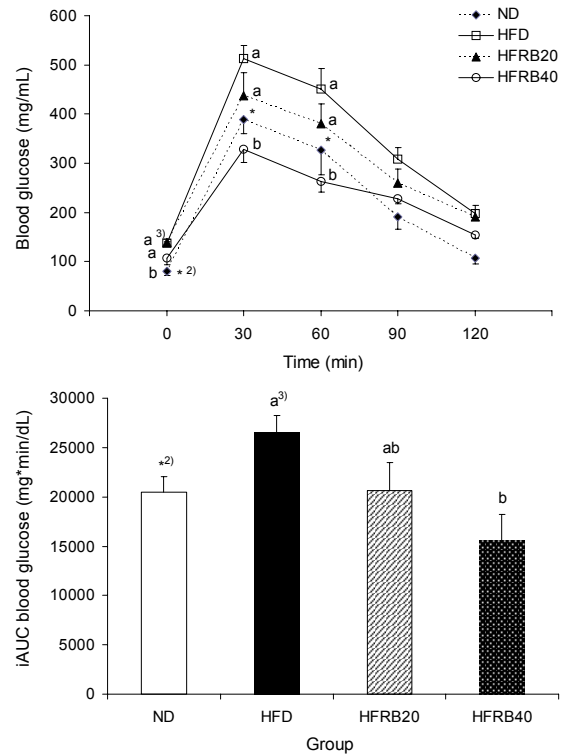
**Fig. 2.** Change of fasting blood glucose concentration. <sup>1)</sup>Groups are the same as Table 2. <sup>2)</sup>Significantly different between the ND and the HFD by t-test ( $P < 0.05$ ). <sup>3)</sup>Values with different letters above the bar represent significantly different between three experimental groups by ANOVA with Duncan's multiple range test ( $P < 0.05$ ).

게는 HFD군이 ND군에 비해 유의하게 높았으며, 이러한 결과는 총 지방 조직량( $P < 0.001$ ) 및 체중에 대한 지방 조직 비율( $P < 0.05$ )은 HFD군이 ND군에 비하여 유의하게 높은 결과를 나타내었다. 실험식이의 경우 HFRB20군은 각 지방 조직 무게 및 총 지방 조직량과 체중에 대한 지방 조직 비율이 HFD군과 유의한 차이가 없었으나, HFRB40군은 HFD군에 비하여 신장 지방, 부고환 지방, 피하 지방 조직 및 총 지방 조직량과 체중에 대한 총 지방 조직 비율이 유의하게 낮았다( $P < 0.05$ ).

**공복 혈당 및 경구 당 부하**

공복 혈당 변화는 Fig. 2와 같다. 비만 유도 후 실험식이 급여 전 HFD군의 공복 혈당은 ND군에 비해 유의하게 높았으며, 실험식이 급여 4주 후 및 실험식이 급여 7주 후에 측정된 공복 혈당 농도의 경우도 모두 실험 초기와 동일하게 HFD군이 ND군에 비하여 유의하게 높았다( $P < 0.05$ ). 한편 HFRB20군은 실험식이 급여 4주 후 및 7주 후 모두 HFD군에 비하여 공복 혈당 농도에 유의한 차이가 없었으나, HFRB40군은 실험식이 급여 4주 후 및 7주 후 모두 HFD군보다 유의하게 낮았다( $P < 0.05$ ).

실험식이 급여 7주 후 경구 당 부하 검사 결과는 Fig. 3과 같다. 공복 혈당 농도는 HFD군이 ND군보다 유의하게 높았으며( $P < 0.05$ ), 포도당 경구 부하 30분과 60분 후 혈당 농도 또한 HFD군이 ND군에 비하여 유의하게 높았으나, 포도당 경구 부하 90분 및 120분 후에는 양군 사이에 유의한 차이가 없었다. 한편 HFRB20군의 혈당 반응은 각 측정 시점 모두 HFD군과 유의한 차이가 없었으나, HFRB40군은 HFD군에 비하여 포도당 경구 부하 30분 및 60분 후 혈당 농도가 유의하게 낮았다( $P < 0.05$ ). 이러한 혈당 농도 반응을 혈당 반응 면적으로 산출한 결과는 Fig. 3과 같다. HFD군은 ND군에 비하여 혈당 반응 면적이 유의하게 높았으며( $P < 0.05$ ),



**Fig. 3.** Effect of rice bran on blood glucose and incremental area under the curve by oral glucose tolerance test. <sup>1)</sup>Groups are the same as Table 2. <sup>2)</sup>Significantly different between the ND and the HFD by t-test ( $P < 0.05$ ). <sup>3)</sup>Values with different letters represent significantly different between three experimental groups by ANOVA with Duncan's multiple range test ( $P < 0.05$ ).

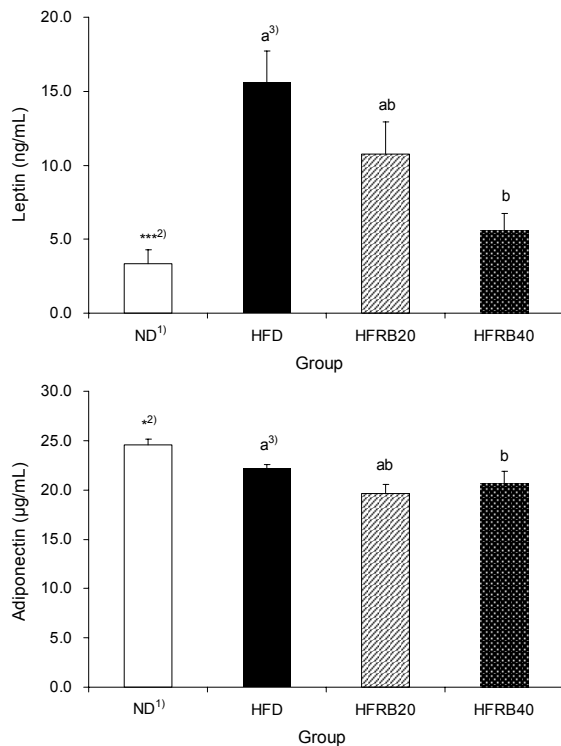
HFRB20군은 HFD군에 비하여 낮은 경향을 보였으며, HFRB40군은 HFD군에 비하여 유의하게 낮았다( $P < 0.05$ ).

**혈청 adipokines 농도**

혈청 leptin 농도의 결과는 Fig. 4와 같다. HFD군의 ND군에 비하여 leptin 농도는 유의하게 높았고( $P < 0.001$ ) adiponectin 농도는 유의하게 낮았다( $P < 0.05$ ). 한편 HFRB20군은 HFD군에 비하여 leptin 농도가 낮은 경향을 보였으며 HFRB40군은 HFD군에 비하여 유의하게 낮았다( $P < 0.05$ ). Adiponectin 농도는 HFD군, HFRB20군 및 HFRB40군 사이에 유의한 차이가 없었다.

**간 조직의 항산화 효소 활성**

간 조직의 SOD, GSH-Px 및 CAT 활성 결과는 Fig. 5와 같다. HFD군은 ND군에 비하여 SOD( $P < 0.001$ ), GSH-Px( $P < 0.05$ ) 및 CAT( $P < 0.05$ ) 활성이 유의하게 낮았다. 한편 HFRB20군은 HFD군에 비하여 SOD, GSH-Px 및 CAT 활성이 높아지는 경향이었으며 HFRB40군은 HFD군에 비하여 SOD, GSH-Px 및 CAT 활성이 유의하게 높았다( $P < 0.05$ ).

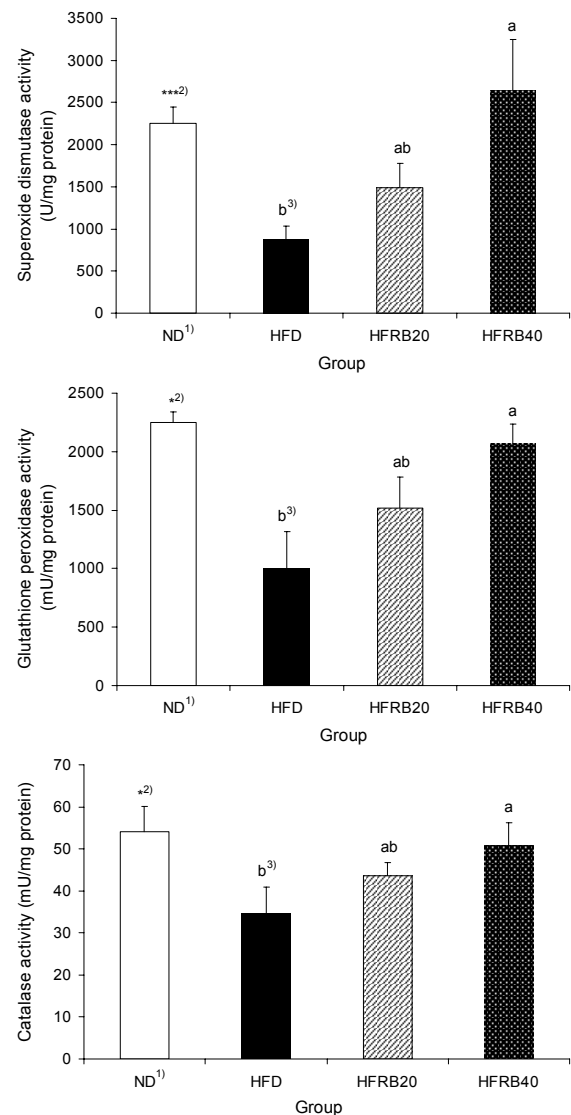


**Fig. 4.** Effect of rice bran on serum leptin and adiponectin level. <sup>1)</sup>Groups are the same as Table 2. <sup>2)</sup>Significantly different between the ND and the HFD by t-test ( $P < 0.05$ ,  $***P < 0.001$ ). <sup>3)</sup>Values with different letters above the bar represent significantly different between three experimental groups by ANOVA with Duncan's multiple range test ( $P < 0.05$ ).

## 고찰

본 연구는 식이유도 비만 동물 모델을 이용하여 안정화된 미강이 비만 억제와 항산화 기능에 미치는 영향을 분석함으로써 미강을 식품소재로 활용할 제품 개발의 기초 자료를 얻기 위하여 수행되었다. C57BL/6 마우스에 6주간 고지방 식이를 급여하여 비만을 유도하였고, 고지방 식이에 안정화 미강을 각각 20%와 40% 첨가(w/w)한 식이를 비만이 유도된 C57BL/6 마우스에게 7주간 급여하여 비만과 항산화에 미치는 영향을 분석하였고, 이를 토대로 안정화 미강 첨가 제품 개발 시 기능성을 유지하는 적정 첨가 비율에 대한 기초 자료를 확보하였다.

고지방 식이를 급여한 HFD군은 정상 식이를 급여한 ND군과 비교 시 유의적으로 체중, 내장 지방과 피하 지방 무게 증가가 높았다. 생화학적 검사에서는 혈당과 leptin 농도가 유의적으로 증가하였으며, adiponectin 농도는 감소하였다. 또한 비만으로 인한 산화적 손상을 예방하거나 복구하는 항산화 효소(SOD, GSH-Px, CAT)의 활성이 감소되었다. 이러한 결과는 선행 연구에서 밝혀진 바와 같이 고지방 식이가 비만의 원인이 되고(4,5), 비만의 경우 adipocytokine의 변화를 수반하며(10,11), 항산화 효소 활성 감소되어 산화스트레스에 대한 항산화 시스템의 불균형이 초래된다(15,16)



**Fig. 5.** Effect of rice bran on superoxide dismutase, glutathione peroxidase, and catalase activity. <sup>1)</sup>Groups are the same as Table 2. <sup>2)</sup>Significantly different between the ND and the HFD by t-test ( $P < 0.05$ ,  $***P < 0.001$ ). <sup>3)</sup>Values with different letters above the bar represent significantly different between three experimental groups by ANOVA with Duncan's multiple range test ( $P < 0.05$ ).

는 점을 확인시켜 주었다.

본 연구에서 고지방 식이에 안정화 미강을 20% 첨가한 식이를 먹인 HFRB20군은 HFD군과 비교하여 체중과 지방 조직 무게에 유의한 차이가 없었지만 낮은 경향을 보였고, 고지방 식이에 안정화 미강을 40% 첨가한 식이를 먹인 HFRB40군에서는 HFD군에 비해 체중과 지방 조직의 무게가 유의하게 낮았다. 이러한 결과는 고지방 식이에 안정화 미강을 40% 첨가한 식이 급여 시 체중 및 체지방의 증가를 억제한다는 점을 시사한다. Kim 등(42)은 고지방 식이에 미강 30%를 보충한 식이를 7주간 마우스에 공급한 후 포도당 대사에 미치는 영향을 검토한 실험에서 미강 보충 식이 급여군의 체중 증가가 억제되었다고 보고하였다. 또 Anderson

등(43)은 고콜레스테롤 식이에 10여 종의 식이 섬유소 급원을 달린 식이를 3주간 마우스에 공급한 결과 corn bran, oat bran 및 wheat bran의 경우는 체중에 유의한 변화를 미치지 않은 반면, 미강의 경우 다른 군에 비하여 체중 증가량이 유의하게 낮았다고 보고하였다. 이러한 점으로 미루어 볼 때 미강에 있어서 특히 미강 식이 섬유가 고지방 식이에 의한 비만을 억제하는 작용이 있음을 시사한다. 본 연구의 HFRB40군의 체중과 지방 조직 무게의 감소도 식이 섬유소의 효과로 생각된다. 특히 HFD군과 비교하여 장기 무게는 유의한 차이가 없으면서 체중과 지방 조직 무게는 유의하게 낮았던 점은 안정화 미강의 섭취가 지방 조직의 증가를 억제함으로써 증체량이 적었던 것으로 생각된다.

고지방 식이에 안정화 미강을 20% 첨가한 식이를 먹인 HFRB20군의 식이 섭취량과 에너지 섭취량은 HFD군과 유의한 차이가 없었지만, 고지방 식이에 안정화 미강을 40% 첨가한 식이를 먹인 HFRB40군에서는 HFD군에 비해 식이 섭취량과 에너지 섭취량이 유의하게 많았다. 이러한 결과는 Kim과 Lee(44)의 보고와 일치되는 결과로써 식이 섬유가 첨가된 식이를 먹은 실험군의 경우 섬유소에 의한 열량 회색 효과를 보상하기 위해 식이 섭취량이 많아진다고 하였다. 반면 Gordon 등(45)의 보고에 의하면 식이 섬유 중 수용성 식이 섬유는 위 내용물의 배출 속도(gastric emptying rate)를 늦추며, 불용성 식이 섬유는 위에서 팽화 효과(bulking effect)를 제공하여 포만감을 빨리 느끼게 해주고 이 포만감을 오랫동안 지속시켜 식사량을 감소시켜 준다고 하였다. Lee와 Moon(46)은 미강 식이 섬유의 경우 대부분 불용성 식이 섬유소이며 소량의 가용성 식이 섬유소로 이루어져 있다고 하였다. 이에 안정화 미강의 식이 섬유 구성 및 구성 식이 섬유 종류에 따른 생리활성 효과에 대한 추후 연구가 필요할 것으로 생각된다.

본 연구에서 HFRB40군이 HFD군에 비해 식이 섭취량과 에너지 섭취량이 유의하게 많았음에도 불구하고 체중과 지방 조직 무게가 적었던 것은 고지방 식이에 안정화 미강을 첨가함으로써 식이 효율이 감소되었음을 의미한다. 이러한 식이 효율의 감소는 식이 내 식이 섬유 함량에 기인하였을 것으로 추측된다. 즉 실험기간 동안 HFD군의 식이 섬유 섭취량은  $6.89 \pm 0.19$  g이었고, HFRB20군과 HFRB40군의 식이 섬유소 섭취량은 각각  $16.37 \pm 0.53$  g과  $29.83 \pm 1.37$  g이었다. 미강의 불용성 식이 섬유는 대장 내에서 수분과 결합하여 대변 양을 늘려주고 장운동을 활발하게 도와줌으로써 장 통과 속도를 빠르게 하고, 가용성 식이 섬유소는 위 내용물의 점도를 높여 위와 소장에서의 영양소 흡수를 느리게 하여 소화, 흡수 시간이 충분치 않게 되면서 식이 효율을 저하시킨다는 점은 잘 알려진 바 있다.

한편 안정화 미강 첨가가 혈당 반응 대사에 미치는 영향을 살펴본 결과 HFD군에 비하여 HFRB20군은 공복 혈당과 혈당 반응 면적은 감소하는 경향이었고, HFRB40군은 공복 혈당과 혈당반응 면적이 HFD군에 비하여 유의하게 낮았다.

Qureshi 등(22)은 안정화 미강, 안정화 미강의 수용성 물질 및 안정화 미강 섬유소를 제1형 또는 제2형 당뇨병 환자에게 60일간 공급한 후 혈당에 미치는 영향을 검토한 결과 안정화 미강, 안정화 미강의 수용성 물질 및 안정화 미강 섬유소 세 가지 모두에서 공복 혈당이 유의하게 감소되었다고 하였다. Lee 등(47)은 미강의  $\gamma$ -oryzanol을 KK 당뇨 마우스에게 8주간 급여하여 혈당에 미치는 영향을 검토한 결과 공복 혈당이 저하되었음을 보고하였고, Tazakori 등(48)은 미강 분말을 제2형 당뇨병 환자에게 하루 2번, 20g씩 30일간 공급한 후 혈당에 미치는 영향을 검토한 결과 혈당 저하 효과를 보고하였다. 이러한 선행 연구 결과에 비추어 볼 때 HFRB40군에서 나타난 혈당 저하 효과는 안정화 미강 식이 섬유의 영양소 소화, 흡수 지연으로 인한 혈당 저하 효과와 그 외에  $\gamma$ -oryzanol과 토코트리엔올 등과 같은 다양한 유효 성분들의 상호작용에 의한 시너지 효과가 영향을 미쳤을 것으로 추측된다. 한편 HFRB20군에서 유의하진 않지만 공복 혈당과 혈당 반응 면적이 낮아지는 경향을 나타내었으므로 본 연구기간이 7주였다는 점에 비추어 볼 때 장기 섭취한다면 유의한 변화를 이끌어 낼 수도 있을 것으로 추측되며, 이에 대한 추후 검증이 필요하다고 생각된다.

한편 adipocytokine 중 leptin 농도는 HFD군과 HFRB20군 사이에 유의한 차이가 없었지만, HFRB40군은 HFD군에 비하여 유의하게 낮았다. Leptin은 지방 세포에서 분비하는 사이토카인으로 식욕을 억제하고 포만감을 느끼게 하는 호르몬으로 식욕과 에너지 대사를 조절하며 체지방량과 상관관계가 있다. Friedman과 Halaas(49)와 Galic 등(50)은 실험동물에서 고지방 식이 섭취에 따라 체지방량이 증가할수록 leptin의 농도가 증가하였고 비만 환자에서도 leptin의 증가가 관찰되었다고 보고하였다. 본 연구에서 고지방 식이를 먹인 HFD군이 ND군에 비하여 leptin 농도가 유의하게 높았고 안정화 미강의 첨가 비율이 증가함에 따라 HFRB20군에서는 HFD군에 비하여 감소하는 경향을 보였으며 HFRB40군은 HFD군에 비하여 leptin 농도가 유의하게 낮았다. 이러한 결과는 체지방량과 leptin 농도의 상관관계에 대한 이전의 연구 결과(7-10)와 일치되는 결과이다. 즉 HFRB40군에서 HFD군과 비교하여 체지방량이 유의적으로 감소하였고, leptin 농도도 이에 따라 낮은 농도를 보였다. 본 연구에서 고지방 식이에 안정화 미강을 첨가한 식이를 섭취한 HFRB 20군과 HFRB40군의 adiponectin 농도는 HFD군과 유의한 차이가 없었다. Adiponectin의 혈중 농도와 다양한 질병과의 상관관계에 대한 많은 논문이 보고되고 있는데, 그중에서 가장 두드러진 것은 혈중 adiponectin의 농도가 내장 지방과 음의 상관관계를 갖는다는 것이며 내장 지방이 축적될수록 adiponectin 유전자의 프로모터를 강력히 억제할 수 있는 TNF- $\alpha$ 의 발현이 증가한다는 것이다(51). Justo 등(52)은 수용성 미강 효소 추출물을 정상 식이에 각각 1%와 5% 첨가하여 비만 쥐에게 20주간 섭취시킨 후 혈중 지질 저하, 고혈압과 인슐린 저항성 개선 효과를 보고하

였고 이때 adiponectin 농도가 증가하였음을 보고하였으며, 이러한 효과는 미강의 주요 성분인 감마 oryzanol에 기인하는 것으로 보고하였다. 본 연구에서 고지방 식이를 먹인 HFD군은 ND군에 비하여 adiponectin 농도가 감소하였고 이러한 결과는 체지방량 변화와 동일한 양상이었다. 그러나 HFRB40군은 HFD군에 비해 체지방량이 유의하게 낮았음에도 불구하고 adiponectin 농도에는 유의한 차이가 없었다. 이는 HFRB 40군의 체지방량 감소가 TNF- $\alpha$ 의 발현을 감소할 만큼 이루어지지 않았거나 안정화 미강이 adiponectin의 농도를 증가시키는 효과를 나타내기까지 실험기간이 충분치 않았기 때문으로 생각된다.

본 연구에서 항산화 관련 효소인 SOD, CAT 및 GSH-Px 활성 모두 HFD군이 ND군에 비하여 유의하게 낮아 비만이 체내 항산화 시스템의 불균형을 야기한다는 선행 보고(12, 13)와 일치되는 결과를 나타내었다. 한편 본 연구에서 고지방 식이에 안정화 미강의 첨가 수준을 증가시킴에 따라 항산화 효소 활성이 농도 의존적으로 증가되는 경향을 나타내었으며 체중 및 체지방량의 변화와 일치된 결과를 나타내었다. 최근 비만과 산화스트레스와의 관련성에 대한 기작으로 비만 지방 조직에 다량의 대식세포가 있으며 활성화된 대식세포가 활성산소종을 생성하여 산화스트레스를 유발하기 때문인 것으로 제안하였다(53). 즉 비만이 심혈관 질환, 염증성 질환 및 암과 같은 질환의 위험인자로 간주되는 것은 상기 기작에 따라 지방 조직의 대식세포에서 생성된 반응성이 강하고 친핵성의 경향이 강한 활성산소종에 의하여 DNA, 단백질 및 지질을 산화 변형시키기 때문으로 볼 수 있다(15, 16). Olusi(54)는 비만인의 경우 항산화 방어 역량이 정상인에 비해 낮은 수준을 가짐으로써 조직 내 항산화 방어 시스템을 불안하게 하며 정상인과 비교하여 비만인에서 SOD 활성과 GSH-Px의 활성이 각각 41%, 22% 더 낮았다고 보고하였다. Rana 등(55)은 미강유를 식이에 20% 첨가하여 4주간 마우스에 급여한 후 항산화 효과를 검토한 실험에서 간의 GSH-Px와 SOD 활성이 증가하였고, 이는 미강의 oryzanol 효과로 보고하였다. Kang 등(56)은 고지방 식이에 미강으로부터 얻은 phytic acid를 5% 첨가하여 7주간 마우스에 급여한 후 혈중 지질 저하와 항산화 효과를 검토한 실험에서 간의 GSH-Px와 CAT 활성의 증가를 보고하였다. 이외에도 미강의 tocotrienol, ferulic acid 등이 항산화 효소의 활성을 증가시켜 자유라디칼에 의한 손상으로부터 보호 효과를 보고하였다(28-31). 본 연구에서 HFRB40군의 항산화 효소 활성이 HFD군에 비해 유의하게 높았던 결과는 oryzanol, phytic acid, tocotrienol과 ferulic acid 등의 안정화 미강의 항산화 성분 효과와 HFRB40군의 지방 조직 무게가 HFD군에 비해 유의하게 낮아 산화스트레스 생성 또한 감소하였기 때문으로 생각된다.

본 연구에서는 안정화 미강의 첨가가 *in vivo* model에서 항비만 및 항산화 효과를 나타내는지 분석하였다. 고지방 식이를 섭취한 HFD군에 비하여 고지방 식이에 미강을 40%

첨가한 HFRB40군이 체중 및 체지방량이 감소되었고 공복 혈당 농도 및 경구 혈당 반응을 개선시켰다. 또한 HFD군에 비하여 HFRB40군은 leptin 농도의 감소 및 항산화 효소의 활성이 증가되었다. 이러한 결과는 안정화 미강의 식이 섬유소와 그 외의 주요 성분들의 복합적인 시너지 효과에 의한 것으로 지질 흡수 억제 및 체지방 형성을 억제함으로써 항비만 효과를 나타내었으며, 이에 따라 체내 항산화 시스템의 불균형이 개선된 것으로 보인다. 즉 항비만 및 항산화 효과를 나타내는 안정화 미강의 첨가량은 40%가 적절한 것으로 생각된다. 그러나 본 연구 결과는 40% 안정화 미강 함유 고지방 식이를 7주간 급여한 효과를 분석한 결과이다. 비록 유의한 변화를 나타내지는 않았지만 20% 안정화 미강을 함유한 HFRB20군에서 체중 및 체지방 감소, 공복 혈당 및 경구 혈당 반응 개선과 leptin 농도 및 항산화 효소의 활성이 증가되는 경향을 나타내었으므로 장기간 급여 시 의미 있는 효과를 나타낼 수 있을 것으로 기대된다. 본 연구가 식품소재로서 생리활성을 나타내는 적절한 미강 첨가량에 대한 기초 자료를 얻고자 수행되었는 바 미강을 첨가한 제품에 대한 선행 연구에서 미강 첨가량이 증가할수록 제품의 응집성과 선호도가 감소하는 경향을 보였으므로 미강의 함유 비율을 낮추어 장기간의 섭취 효과에 대한 추가 연구가 필요할 것으로 생각된다.

## 요 약

미강은 쌀 도정의 부산물로 다양한 연구에서 미강의 생리활성 구성 요소의 항산화, 항암, 면역 강화, 콜레스테롤 저하 효과가 보고되어 미강을 식품소재로 활용하기 위한 연구가 진행되고 있다. 하지만 미강을 첨가한 제품의 품질과 관능·기호도에 대한 기초 자료를 제공할 뿐이고, 미강의 생리활성에 대한 연구는 미강 추출물로 이루어진 것이 대부분이다. 이에 본 연구는 안정화 미강 첨가가 항비만 및 항산화 효과를 나타내는지 생리적 효과를 검토하기 위해 *in vivo* model에서 실험을 진행하였다. C57BL/6 마우스에 6주간 고지방 식이를 급여하여 비만을 유도하였고, 미강이 비만에 미치는 영향을 살펴보고 제품 개발 시 기능성을 유지하는 적정 첨가 비율을 확인하기 위해 안정화 미강 분말을 고지방 식이에 각각 20%, 40%를 첨가하여 7주간 실험을 진행하였다. 실험 결과 고지방 식이에 미강을 20% 첨가한 HFRB20군은 HFD군과 유의한 차이가 없었지만, 고지방 식이에 미강을 40% 첨가한 HFRB40군에서 체중 증가 억제와 지방 조직 무게 감소 효과 및 혈당 저하와 leptin 농도의 감소를 보였고 항산화 효소 활성을 개선시켰다. 이러한 결과는 안정화 미강의 식이 섬유소와 그 외의 주요 성분들이 복합적으로 시너지 효과를 나타냈기 때문으로 보인다. 결론적으로 안정화 미강을 이용하여 생리적 효과를 나타내는 제품 개발에 안정화 미강의 첨가량은 40%가 적절한 것으로 생각된다. 그러나 본 연구는 7주의 단기 연구를 수행하였고 통계적 유의성은



없었으나 HFRB20군에서 비만과 항산화 및 관련 지표가 개선되는 경향을 나타내었으므로 장기간 섭취 시의 효과에 대한 추후 연구가 필요할 것으로 생각된다.

### 감사의 글

본 연구는 2012년 농림수산식품부 기술사업화지원사업에 의해 이루어진 것이므로 이에 감사드립니다.

### REFERENCES

- Merkus MP, Mathus-Vliegen LM, Broekhoff CM, Heijnen AM. 1995. Extreme obesity: sociodemographic, familial and behavioural correlated in the Netherlands. *J Epidemiol Community Health* 49: 22-27.
- WHO. 10 facts on obesity. <http://www.who.int/features/factfiles/obesity/en/index.html> (accessed Apr 2014).
- Korean National Statistical Office. The statistics of life table 2011. [http://www.index.go.kr/egams/stts/jsp/potal/stts/PO\\_STTS\\_IdxMain.jsp?idx\\_cd=2705&bbs=INDX\\_001](http://www.index.go.kr/egams/stts/jsp/potal/stts/PO_STTS_IdxMain.jsp?idx_cd=2705&bbs=INDX_001) (accessed Apr 2014).
- Stienstra R, Duval C, Muller M, Kersten S. 2007. PPARs, obesity, and inflammation. *PPAR Res* 2007: Article ID 95974.
- Codoñer-Franch P, Valls-Bellés V, Arilla-Codoñer A, Alonso-Iglesias E. 2011. Oxidant mechanisms in childhood obesity: the link between inflammation and oxidative stress. *Transl Res* 158: 369-384.
- Bray GA. 1992. Pathophysiology of obesity. *Am J Clin Nutr* 55: 448-494.
- Trayhurn P, Wood IS. 2004. Adipokines: inflammation and the pleiotropic role of white adipose tissue. *Br J Nutr* 92: 347-355.
- Körner A, Blüher S, Kapellen T, Garten A, Klammt J, Kratzsch J, Kiess W. 2005. Obesity in childhood and adolescence: a review in the interface between adipocyte physiology and clinical challenges. *Hormones (Athens)* 4: 189-199.
- Weyer C, Funahashi T, Tanaka S, Hotta K, Matsuzawa Y, Pratley RE, Tataranni PA. 2001. Hypoadiponection in obesity and type 2 diabetes: close association with insulin resistance and hyperinsulinemia. *J Clin Endocrinol Metab* 86: 1930-1935.
- Tilg H, Moschen AR. 2006. Adipocytokines: mediators linking adipose tissue, inflammation and immunity. *Nat Rev Immunol* 6: 772-783.
- Kim JY, Shin HW, Jeong IK, Cho SW, Min SJ, Lee SJ, Park CY, Oh KW, Hong EG, Kim HK, Kim DM, Yu JM, Ihm SH, Choi MG, Yoo HJ, Park SW. 2005. The relationship of adiponectin, leptin and ghrelin to insulin resistance and cardiovascular risk factors in human obesity. *Korean J Med* 69: 631-641.
- Carantoni M, Abbasi F, Warmerdam F, Klebanov M, Wang PW, Chen YD, Azhar S, Reaven GM. 1998. Relationship between insulin resistance and partially oxidized LDL particles in healthy, nondiabetic volunteers. *Arterioscler Thromb Vasc Biol* 18: 762-767.
- 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.
- Halliwill B. 1996. Antioxidant in human health and disease. *Annu Rev Nutr* 16: 33-50.
- Matsuda M, Shimomura I. 2013. Increased oxidative stress in obesity: Implications for metabolic syndrome, diabetes, hypertension, dyslipidemia, atherosclerosis, and cancer. *Obes Res Clin Pract* 7: e330-e341.
- Trakshel GM, Maines MD. 1988. Characterization of glutathione S-transferase in rat kidney. Alteration of composition by cis-platinum. *Biochem J* 252: 127-136.
- KFDA. Newsrelease 42. Status of health functional food materials approved in 2013. <http://www.foodnara.go.kr/hfoodi/main/sub.jsp?Mode=view&boardID=home&num=402&tpage=1&keyfield=&key=&bCate=> (accessed Feb 2014).
- Jeon SB, Jeon JA, Jeong BG. 2010. Anti-oxidative activities and tyrosinase inhibition ability of rice bran ethanol extract. *J Kor Soc Cosm* 16: 602-606.
- Kim YH, Lee SS. 1995. The effect of diet containing different fiber sources on the serum lipid level and bowel function in rats. *Kor J Nutr* 28: 825-833.
- Jung JH, Lee SS. 2011. Effect of rice bran dietary fiber level on serum lipid concentration, bowel function, and mineral absorption in rats. *Korean J Food & Nutr* 24: 622-629.
- Rodrigues Silva C, Dutra de Oliveira JE, de Souza RA, Silva HC. 2005. Effect of rice bran fiber diet on serum glucose levels of diabetic patients in Brazil. *Arch Latinoam Nutr* 55: 23-27.
- Qureshi AA, Sami SA, Khan FA. 2002. Effects of stabilized rice bran, its soluble and fiber fractions on blood glucose levels and serum lipid parameters in humans with diabetes mellitus types I and II. *J Nutr Biochem* 13: 175-187.
- Fabian C, Ju YH. 2011. A review on rice bran protein: its properties and extraction methods. *Crit Rev Food Sci Nutr* 51: 816-827.
- Nicolsi RJ, Rogers EJ, Ausman LM, Orthefer FT. 1993. Rice bran oil and its health benefits. In *Rice Science and Technology*. Marshal WE, Wadsworth JI, eds. Marcel Dekker, New York, NY, USA. p 421-437.
- Cicero AF, Gaddi A. 2001. Rice bran oil and gamma-oryzanol in the treatment of hyperlipoproteinaemias and other conditions. *Phytother Res* 15: 277-289.
- Son MJ, Rico CW, Nam SH, Kang MY. 2010. Influence of oryzanol and ferulic acid on the lipid metabolism and antioxidative status in high fat-fed mice. *J Clin Biochem Nutr* 46: 150-156.
- Jung EH, Ha TY, Hwang IK. 2010. Anti-hyperglycemic and antioxidative activities of phenolic acid concentrates of rice bran and hydroxycinnamic acids in cell assays. *Korean J Food & Nutr* 23: 233-239.
- Woo KM, Lee YS, Kim YH. 2005. Antioxidant effects of tocotrienol in rice bran. *Korean J Crop Sci* 50: 4-7.
- Park TS, Lee SY, Kim HJ, Kim KT, Kim YJ, Jeong I, 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.
- 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.
- Kim WJ. 2013. Quality and antioxidative activity of Garaeduk prepared with stabilized rice bran and rice flours by semi-dry milling. *MS Thesis*. Chonnam National University, Gwangju, Korea. p 13-14.
- Kim YS, Ha TY, Lee SH, Lee HY. 1997. Effect of rice bran

- dietary fiber on flour rheology and quality of wet noodles. *Korean J Food Sci Technol* 29: 90-105.
33. Kim YS, Ha TY, Lee SH, Lee HY. 1997. Properties of dietary fiber extract from rice bran and application in bread-making. *Korean J Food Sci Technol* 29: 502-508.
  34. Choi YS, Choi JH, Han DJ, Kim HY, Lee MA, Kim HW, Jeong JY, Paik HD, Kim CJ. 2008. Effect of adding levels of rice bran fiber on the quality characteristics of ground pork meat product. *Korean J Food Sci Ani Resour* 28: 319-326.
  35. Choi YS, Jeong JY, Choi JH, Han DJ, Kim HW, Lee MA, Kim HY, Paik HD, Kim CJ. 2008. Effects of dietary fiber from rice bran fiber on the quality characteristics of emulsion-type sausages. *Korean J Food Sci Ani Resour* 28: 14-20.
  36. Kim JH, Nam SH, Kim MH, Sohn JK, Kang MY. 2007. Cooking properties of rice bran with pigmented rice bran extract. *Korean J Crop Sci* 52: 60-68.
  37. Chang KH, Byun GI, Park SH, Kang WW. 2008. Dough properties and bread qualities of wheat flour supplemented with rice bran. *Korean J Food Preserv* 15: 209-213.
  38. Jang KH, Kwak EJ, Kang WW. 2010. Effect of rice bran powder on the quality characteristics of cookie. *Korean J Food Preserv* 17: 613-636.
  39. Jang KH, Kwak EJ, Kang WW. 2010. The quality characteristics of pound cake prepared with rice bran powder. *Korean J Food Preserv* 17: 250-255.
  40. Wolever TM, Jenkins DJ, Jenkins AL, Josse RG. 1991. The glycemic index: methodology and clinical implications. *Am J Clin Nutr* 54: 846-854.
  41. 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.
  42. Kim SM, Rico CW, Lee SC, Kang MY. 2010. Modulatory effect of rice bran and phytic acid on glucose metabolism in high fat-fed C57BL/6N mice. *J Clin Biochem Nutr* 47: 12-17.
  43. Anderson JW, Jones AE, Riddell-Mason S. 1994. Ten different dietary fibers have significantly different effects on serum and liver lipids of cholesterol-fed rats. *J Nutr* 124: 78-83.
  44. Kim YH, Lee SS. 1995. The effect of diet containing different fiber sources on the serum lipid level and bowel function in rat. *Korean J Nutr* 28: 825-833.
  45. Gordon DT, Besch-Williford C, Eilersieck MR. 1983. The action of cellulose on the intestinal mucosa and element absorption by the rat. *J Nutr* 113: 2545-2556.
  46. Lee YH, Moon TW. 1994. Composition, water-holding capacity and effect on starch retrogradation of rice bran dietary fiber. *Korean J Food Sci Technol* 26: 288-294.
  47. Lee SH, Chun HK, Chang SO, Lee YS. 2004. Effect of  $\gamma$ -oryzanol on blood glucose in diabetic KK mice. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 33: 827-831.
  48. Tazakori Z, Dehghan MH, Iranparvar M, Zare M, Foladi N, Mohammadi R. 2007. Effect of rice bran powder on blood glucose levels and serum lipid parameters in diabetes patient II. *Res J Biol Sci* 2: 252-255.
  49. Friedman JM, Halaas JL. 1998. Leptin and the regulation of body weight in mammals. *Nature* 395: 763-770.
  50. Galic S, Oakhill JS, Steinberg GR. 2010. Adipose tissue as an endocrine organ. *Mol Cell Endocrinol* 316: 129-139.
  51. Maeda N, Takahashi M, Funahashi T, Kihara S, Nishizawa H, Kishida K, Nagaretani H, Matsuda M, Komuro R, Ouchi N, Kuriyama H, Hotta K, Nakamura T, Shimomura I, Matsuzawa Y. 2001. PPAR $\gamma$  ligands increase expression and plasma concentrations of adiponectin, an adipose-derived protein. *Diabetes* 50: 2094-2099.
  52. Justo ML, Rodriguez-Rodriguez R, Claro CM, Alvarez de Sotomayor M, Parrado J, Herrera MD. 2013. Water-soluble rice bran enzymatic extract attenuates dyslipidemia, hypertension and insulin resistance in obese Zucker rats. *Eur J Nutr* 52: 787-797.
  53. Weisberg SP, McCann D, Desai M, Rosenbaum M, Leibel RL, Ferrante Jr AW. 2003. Obesity is associated with macrophage accumulation in adipose tissue. *J Clin Invest* 112: 1796-1808.
  54. Olusi SO. 2002. Obesity is an independent risk factor for plasma lipid peroxidation and depletion of erythrocyte cytoprotective enzymes in humans. *Int J Obes Relat Metab Disord* 26: 1159-1164.
  55. 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.
  56. Kang MY, Kim SM, Rico CW, Lee SC. 2012. Hypolipidemic and antioxidative effects of rice bran and phytic acid in high fat-fed mice. *Food Sci Biotechnol* 21: 123-128.