

## Kamut (*Triticum turgidum* spp.) 식빵 급여가 고지방식이 유도 비만 C57BL/6 마우스에 미치는 효과

정현기<sup>†</sup> · 백지윤<sup>†</sup> · 최예정<sup>1</sup> · 강기성<sup>1</sup> · 김현영 · 김지현 · 최진상

경상국립대학교 식품과학부, <sup>1</sup>가천대학교 한의과대학

### Effects of White Pan Bread Added with Kamut (*Triticum turgidum* spp.) on High Fat Diet-Induced Obese C57BL/6 Mice

Hyun Gi Jung<sup>†</sup>, Ji Yun Baek<sup>†</sup>, Ye Jung Choi<sup>1</sup>, Ki Sung Kang<sup>1</sup>, Hyun Young Kim, Ji Hyun Kim, Jine Shang Choi

Department of Food Science, Gyeongsang National University, <sup>1</sup>College of Korean Medicine, Gachon University

**Received:** October 7, 2021

**Revised:** November 9, 2021

**Accepted:** November 12, 2021

<sup>†</sup>These authors contributed equally to this work.

**Correspondence to:** Ji Hyun Kim  
Department of Food Science,  
Gyeongsang National University, 33  
Dongjin-ro, Jinju 52725, Korea  
Tel: +82-55-772-3567  
Fax: +82-55-772-3279  
E-mail: jihyunkim@gnu.ac.kr

**Correspondence to:** Jine Shang Choi  
Department of Food Science,  
Gyeongsang National University, 33  
Dongjin-ro, Jinju 52725, Korea  
Tel: +82-55-772-3275  
Fax: +82-55-772-3279  
E-mail: choijs@gnu.ac.kr

Copyright © 2021 by The Society of Korean  
Medicine for Obesity Research

**Objectives:** The purpose of this study was to investigate the effect of white pan bread added with Kamut (*Triticum turgidum* spp.) on high fat diet (HFD)-induced obese C57BL/6 mice.

**Methods:** The white pan bread or white pan bread with Kamut (BK) were administered for 8 weeks in HFD-induced obese C57BL/6 mice. To evaluate the effect and its mechanisms of BK on obese mice, we measured body weight change, serum lipid profiles, histopathological analysis, and protein expression of CCAAT/enhancer binding protein- $\alpha$  (C/EBP $\alpha$ ) in the liver.

**Results:** Administration of BK significantly decreased body weight in HFD-induced obese mice. In addition, BK-administered group significantly reduced serum total cholesterol, glucose, and high-density lipoprotein cholesterol levels compared with the HFD-induced control group. The HFD-induced mice had damaged liver tissue and increased the size of adipose tissue, but BK-administered group attenuated liver damage and decreased the size of adipocyte. Furthermore, administration of BK significantly down-regulated C/EBP $\alpha$  in the liver compared with HFD-fed mice. In particular, BK-administered group has higher inhibited body weight, serum lipid profiles, and C/EBP $\alpha$  expressions than white pan bread-administered group.

**Conclusions:** This study demonstrated that administration of BK attenuated HFD-induced obesity by regulation of C/EBP $\alpha$  than consumption of white pan bread. Therefore, BK could be developed as a bread for prevention of obesity.

**Key Words:** High-fat diet, Obesity, Triticum, Kamut, White pan bread

## 서론

우리나라의 경제 성장, 산업화, 세계화 등에 따라 식생활이 점차 서구화되어가고 있으며, 전통적인 주식인 밥의 섭취량에 비해 1인당 빵의 섭취량이 꾸준히 증가하고 있다<sup>1)</sup>. 식빵은 밀가루, 식염, 이스트 등을 이용하여 반죽을 만든 뒤 발효하여 구워낸 빵의 일종으로 식사 대용으로서 수요가 증가함에 따라 빵 종류에서 가장 많이 소비되고

있는 제품이다<sup>2)</sup>. 이에 따라 국내외 많은 연구에서 다양한 식빵 제품 개발에 관한 연구가 활발히 이루어지고 있으며, 특히 체 내 생리활성을 가진 부재료를 첨가하여 항산화, 항비만, 고지혈증 개선 효능 등 건강기능성에 도움을 줄 수 있는 식빵을 제조하고자 하는 연구가 꾸준히 증가하고 있다<sup>3-5)</sup>.

카무트(Kamut, *Triticum turgidum* spp.)는 고대 이집트에서 재배되었던 4배체 원시 밀의 일종으로 다른 밀 품종에

비해 낱알이 크고 길이가 길며, 폭이 좁은 특징을 나타낸다<sup>6)</sup>. 카무트는 필수아미노산, 무기질 및 비타민을 풍부하게 함유하고 있을 뿐만 아니라 식이섬유소, 셀레늄, 폴리페놀 등의 다양한 생리활성 성분 함유량이 일반 밀에 비해 높은 것으로 알려져 있다<sup>6,7)</sup>. 카무트는 체 내 면역기능 개선 효능, 혈관건강 개선 효능, 항산화 활성, 항당뇨 효과 등 다양한 생리활성이 보고되었으며, 특히 카무트 식단을 섭취한 사람들은 혈중 지질 개선 및 염증반응 억제 효능을 나타내어 심혈관 질환 발병 위험이 감소하는 것으로 보고되었다<sup>7-11)</sup>. 뿐만 아니라 카무트를 첨가하여 제조한 쿠키, 빵, 파스타 등의 곡류 제품은 다른 밀을 이용하여 만든 제품에 비해 혈중 항산화 효소 활성 증가, 간 및 소장 내 염증 개선 효능 등이 보고된 바 있다<sup>12-14)</sup>. 그러나 카무트 첨가 식빵과 일반 식빵의 고지방식이 유도 비만 동물모델에서 비만에 미치는 효과와 그 작용기전 규명에 관한 연구는 부족한 실정이다.

본 연구에서는 고지방식이로 비만을 유도한 C57BL/6 마우스 모델에서 카무트를 첨가한 식빵과 일반 밀을 이용하여 제조한 식빵을 각각 투여한 뒤 체중 변화, 혈중 지질 농도 측정, 조직병리학적 분석 등을 통해 비만에 미치는 영향을 확인하고 간 조직 내 단백질 발현 분석을 통해 관련 작용기전을 규명하고자 한다.

## 재료 및 방법

### 1. 실험재료

본 실험에 사용한 카무트는 (주)네이처스원(Seoul, Korea)에서 구매한 뒤 (주)농림생약(Seoul, Korea)에서 분쇄하여 제빵에 사용하였다. 제빵에 사용된 재료는 소맥분(강력 1급; Daehan Flour Mills Co., Incheon, Korea), 설탕(CJ Cheiljedang Co., Seoul, Korea), 식염(Hanjoo salt; Hanjoo Co., Incheon, Korea), 버터(Lotte Sam Kang Co., Yangsan, Korea), 탈지분유(Seoul Milk Co., Seoul, Korea), S-500 및 생이스트(Sunin Co., Asan, Korea)이며 각 식빵의 조성은 Table 1과 같다. 일반 및 카무트 첨가 식빵은 실험 직전 동결건조하여 실험에 사용하였다.

### 2. 실험동물

4주령 C57BL/6 (DBL Co., Umsung, Korea) 수컷 마우스를 구입하여 사육기간 동안 온도 23±3°C, 상대습도

**Table 1.** Formulas of White Pan Bread Added with Kamut

Ingredients (%)	Levels of Kamut	
	HFB	HFBK
Bread flour	100	70
Water	65	65
Yeast	2	2
Sucrose	8	8
Salt	2	2
Non-fat dry milk	2	2
Butter	3	3
Improvers of bread	2	2
Kamut	0	30

HFB: high fat diet contains white pan bread, HFBK: high fat diet contains white pan bread added with Kamut.

50±10%, 12시간 조명 주기 조건 하에서 식이와 식수는 자유롭게 섭취하도록 하였고, 7일간 사육 환경에 적응시킨 후 실험에 사용하였다. 체중 및 음식 섭취량은 실험기간 동안 주 2회 모니터링하였다.

### 3. 실험군 설정 및 실험 식이

실험동물을 1주일간 실험 환경에 적응시킨 뒤 무작위로 평균 체중이 동일하도록 총 4개의 실험군으로 나누었다. 정상 식이군(normal control diet, NC; n=10)은 AIN-93G Rodent Diet (DBL Co.)를, 고지방식이군(high fat diet, HF; n=10)은 Research Diet사(New Brunswick, NJ, USA)의 고지방식이(#D12492, 60% of the calories)를 각각 8주간 제공하였다. 고지방식이에 일반 식빵 첨가군(high fat diet contains white pan bread, HFB; n=10) 및 카무트 식빵 첨가군(high fat diet contains white pan bread added with Kamut, HFBK; n=10)은 각각 일반 식빵 및 카무트 식빵을 30% 비율로 첨가하여 8주간 실험동물에게 공급하였다. 실험군의 실험식이 조성은 Table 2와 같다. 본 실험은 가천대학교 동물실험윤리위원회의 승인을 받아 수행하였다(승인 번호: GU1-2021-IA0031-00).

### 4. 체중 변화 및 식이효율

주 2회 매주 동일한 시간에 전자저울(ENTRIS 5201-IS; Sartorius, Göttingen, Germany)을 이용하여 체중 및 식이 섭취량을 그래프(g) 단위를 사용하여 측정하였다. 측정된 체중 및 식이 섭취량 값을 이용하여 식이효율(food efficacy ratio, FER)을 산출하였으며, FER은 체중 증가량을 식이 섭

**Table 2.** Composition of Experimental Diets

Ingredients (g/kg)	Experimental groups			
	NC	HF	HFB	HFBK
Casein	200	200	145	135
Corn starch	401	348.2	103.2	113.2
Sucrose	101	68.8	68.8	68.8
Cellulose	50	50	50	50
Maltodextrin	132	35	35	35
Mineral mix	35	10	10	10
Vitamin mix	10	10	10	10
Choline bitartrate	2	2	2	2
Soybean oil	70	25	25	25
Lard	-	245	245	245
Calcium carbonate	-	6	6	6
Freeze dried white pan bread	-	-	300	-
Freeze dried white pan bread added with Kamut	-	-	-	300

NC: normal control diet, HF: high fat diet, HFB: high fat diet contains white pan bread, HFBK: high fat diet contains white pan bread added with Kamut.

취량으로 나누어 백분율(%)로 산출하였다.

### 5. 혈청 생화학적 분석

마우스를 희생 전 12시간 절식 후 배대동맥에서 혈액을 채혈한 뒤 이를 30분 이내에 4°C, 3,500 rpm에서 15분간 원심분리하여 혈청(serum)을 분리하여 -80°C에서 냉동보관하였다. 혈청 글루코오스(glucose), 총 콜레스테롤(total cholesterol, TC), 중성지방(triglyceride, TG), high-density lipoprotein cholesterol (HDL-cholesterol), low-density lipoprotein cholesterol (LDL-cholesterol)에 대한 분석은 전문 검사 기관인 (주)GENIA (Seongnam, Korea)에 의뢰하였다.

### 6. 장기 및 부위별 지방 중량 측정

실험 종료 후 희생 시 부고환지방(epididymal adipose), 복부 피하 지방(abdominal subcutaneous fat), 장간막지방(intestinal fat), 신장(kidney) 및 간(liver) 조직을 적출하여 생리식염수로 세척하여 조직 표면의 수분을 제거하였다. 이후 전자저울을 이용하여 각 조직의 중량을 g 단위를 사용하여 측정하였다.

### 7. 간 조직 및 부고환지방의 조직병리학적 분석

적출한 간 및 부고환지방 조직 일부를 10% 포르말린 용액에 24시간 고정한 후 자동 처리기(Excelsior ES; Thermo

Scientific, Rockford, MI, USA)를 사용하여 파라핀에 포매하였다. 포매된 조직을 5 µm로 섹션하여 hematoxylin and eosin (Sigma-Aldrich Chemical Co., St. Louis, MO, USA)로 염색한 후 광학현미경(Olympus CX31; Olympus, Tokyo, Japan)으로 관찰하였다.

### 8. 간 조직의 단백질 발현 분석

각 군의 간 조직 단백질 추출은 protease inhibitor cocktails (Thermo Fisher Scientific, Waltham, MA, USA)이 첨가된 ProtinEx TM Animal cell/tissue (GeneAll Biotechnology, Seoul, Korea)을 사용하였다. 단백질의 농도는 BCA assay kit (Sigma-Aldrich Chemical Co.)를 이용하여 정량하였으며, 10% sodium dodecyl sulfate-polyacrylamide gel electrophoresis로 단백질 분리 후 polyvinylidene difluoride membrane (Millipore, Burlington, MA, USA)으로 전달하였다. 이후 1시간 동안 membrane을 5% skim milk에 처리한 후 상온에서 1차 항체와 2차 항체를 각각 1시간 동안 반응시켰다. 그 후 0.1% Tween20이 첨가된 tris-buffered saline 용액으로 10분씩 3번 세척하고 membrane을 enhanced chemiluminescence (GE Healthcare, Chicago, IL, USA)과 반응시킨 뒤 chemiluminescence system으로 발현 정도를 분석하였다(FUSION Solo; PEQLAB Biotechnologie GmbH, Erlangen, Germany). CCAAT/enhancer binding protein-α (C/EBPα; Cell

Signaling Technology, Danvers, MA, USA)의 단백질 발현 값은 ImageJ® software (v1.48; National Institutes of Health, Bethesda, MD, USA)를 이용하여 산출하였다.

### 9. 통계 분석

실험 결과의 통계 분석은 GraphPad PRISM statistical package (Ver. 5.00; GraphPad software Inc., La Jolla, CA, USA)를 이용하여 분석하였다. 군 사이의 유의성을 검증하기 위해 일원배치분산분석(one-way analysis of variance)을 실시한 뒤 P<0.05 또는 P<0.01 유의 수준에서 Bonferroni test를 실시하였다.

## 결과

### 1. 체중, 식이 섭취량 및 식이 효율에 미치는 영향

8주간 고지방식이에 일반 및 카무트 식빵을 30% 비율로 첨가하여 먹인 실험동물의 체중 변화, 식이 섭취량 및 식이 효율은 Fig. 1과 Table 3과 같다. 체중은 일반식이를 섭취한 NC군에 비해 60% 고지방식을 섭취한 HF군이 42.69% 유의하게 증가하여 HF군이 비만이 유도되었음을 확인하였다. 최종 체중을 측정된 결과, HF군은 38.44 g, 일반 식빵 식이를 투여한 HFB군은 36.14 g, 카무트 첨가 식빵을 투여한 HFBK군은 34.15 g의 수치를 나타내었으며, 특히 HFBK군은 HF군에 비해 유의하게 체중 증가량이 적은 것을 확인하였다. 총 식이 소비량은 NC군 1,236.30 g, HF군 1,487.20 g, HFB군 1,499.90 g, HFBK군 1,345.28 g

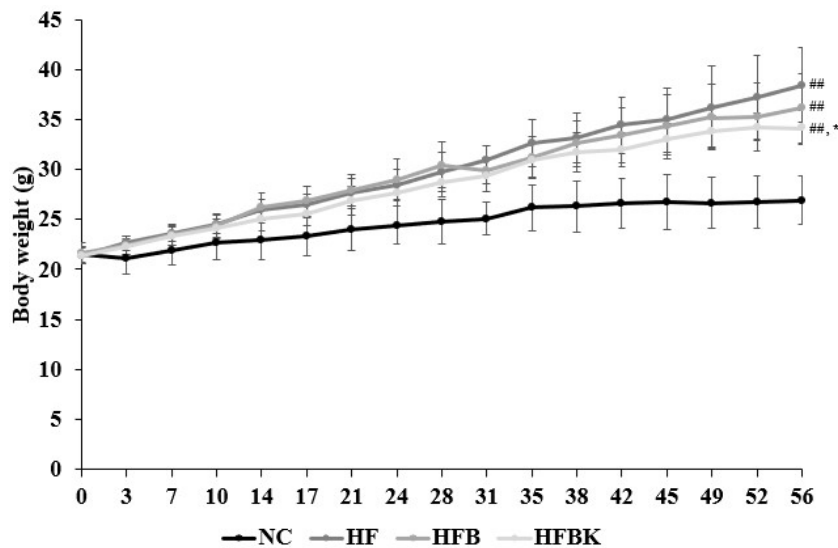


Fig. 1. Effect of white pan bread added with Kamut on body weight change. NC: normal control diet, HF: high fat diet, HFB: high fat diet contains white pan bread, HFBK: high fat diet contains white pan bread added with Kamut. Values are expressed as means±standard error of the mean (n=8). ##P(0.01 (compared with NC) and \*P(0.05 (compared with HF).

Table 3. Effect of White Pan Bread Added with Kamut on Food Intake and Food Efficacy Ratio in High Fat Diet-Induced Mice

Group	Total food intake (g)	Food intake (g/day)	Food efficacy ratio (%)
NC	1236.30	2.80±0.37 <sup>NS</sup>	7.10±2.40
HF	1487.20	3.42±1.69	18.30±4.12 <sup>##</sup>
HFB	1499.90	3.41±0.41	17.20±3.85 <sup>##</sup>
HFBK	1345.28	2.91±0.41	13.63±2.20 <sup>##,*</sup>

Values are expressed as means±standard error of the mean (n=8).

NC: normal control diet, HF: high fat diet, HFB: high fat diet contains white pan bread, HFBK: high fat diet contains white pan bread added with Kamut, NS: non-significance.

##P(0.01 (compared with NC) and \*P(0.05 (compared with HF).

으로 모두 NC군보다 높은 소비량을 나타내었다. 식이 섭취량은 NC군에 비해 HF군이 21.98% 증가하였고, HF군에 비해 HFB군은 0.16%, HFBK군은 14.80% 감소하였지만 군 간 유의한 차이는 나타나지 않았다. 영양소의 소화율과 이용률을 나타내는 식이 효율을 산출한 결과, NC군에 비해 HF군에서 유의하게 증가하였고, HF군에 비해 HFBK군이 25.53% 유의하게 감소하였으며 HFB군은 6.02% 감소 효과를 보였다. 또한 HFBK군은 HFB군에 비해 유의하게 식이효율이 감소하였다.

## 2. 지방 및 장기 무게에 미치는 영향

고지방식이에 일반 및 카무트 식빵을 첨가한 식이 섭취에 따른 부고환지방, 복부지방, 장간막지방, 간장 및 신장 무게는 Table 4와 같다. 부고환지방의 경우 NC군에 비해 HF, HFB, HFBK군 모두에서 유의하게 증가하였고, HF군에 비해 HFB군과 HFBK군은 각각 6.22%, 24.56% 감소를 나타내었으며, 특히 HFB군에 비해 HFBK군이 19.32% 유의하게 감소됨을 확인하였다. 복부지방은 NC군에 비해 모든 군에서 유의하게 증가하였으며, HF군에 비해 HFB

군 13.07%와 HFBK군 23.18%의 유의한 감소를 나타내었다. 장간막지방 함량은 NC군에 비해 모든 군에서 유의한 증가를 보였고, HF군에 비해 HFB군과 HFBK군은 각각 13.90% 및 24.12% 감소하였으며, HFBK군은 HFB군에 비해 유의한 감소 효과를 나타내었다. 간장 무게는 NC군에 비해 HF 및 HFB군이 유의하게 증가하였고, HFBK군은 HF군에 비해 유의한 감소를 나타내었다. 신장의 경우 NC군에 비해 모든 군에서 유의하게 증가하였으나 HF군과 비교하였을 때 HFB 및 HFBK군 간의 통계적 유의성 및 중량 감소는 보이지 않았다.

## 3. 혈청 lipid profiles에 미치는 효과

일반 및 카무트 식빵 급여가 혈청 지질 농도에 미치는 영향을 확인하기 위해 혈청TC, TG, glucose, HDL-cholesterol 및 LDL-cholesterol 수치를 측정하였으며, 결과는 Table 5와 같다. TC 수치는 NC군에 비해 모든 군에서 유의하게 증가하였고, HF군에 비해 HFBK군에서 17.83% 유의하게 감소한 수치를 나타내었다. TG는 모든 군에서 유의한 차이는 없었으나 HF군 대비 HFBK군이 16.05% 감소하였

**Table 4.** Effects of White Pan Bread Added with Kamut on Organ Weights in High Fat Diet-Induced Mice

Group	Organ weight (g)				
	Epididymal fat	Abdominal fat	Intestinal fat	Liver	Kidney
NC	0.40±0.10	0.09±0.04	0.19±0.19	0.89±0.07	0.29±0.02
HF	2.21±0.30 <sup>##</sup>	0.86±0.08 <sup>##</sup>	3.26±0.49 <sup>##</sup>	1.37±0.23 <sup>##</sup>	0.33±0.02 <sup>##</sup>
HFB	2.07±0.25 <sup>##</sup>	0.74±0.05 <sup>##,**</sup>	2.81±0.27 <sup>##</sup>	1.13±0.11 <sup>##,**</sup>	0.33±0.02 <sup>##</sup>
HFBK	1.67±0.07 <sup>##,**,\$</sup>	0.66±0.03 <sup>##,**</sup>	2.48±0.15 <sup>##,**</sup>	1.02±0.06 <sup>**</sup>	0.33±0.01 <sup>##</sup>

Values are expressed as mean±standard error of the mean (n=8).

NC: normal control diet, HF: high fat diet, HFB: high fat diet contains white pan bread, HFBK: high fat diet contains white pan bread added with Kamut.

<sup>##</sup>P<0.01 (compared with NC), <sup>\*\*</sup>P<0.01 (compared with HF), and <sup>\$</sup>P<0.05 (compared with HFB).

**Table 5.** Effects of White Pan Bread Added with Kamut on Serum Levels in High Fat Diet-Induced Mice

Group	Serum index (mg/dL)				
	TC	TG	GLU	HDL-C	LDL-C
NC	118.33±7.99	49.75±8.54 <sup>NS</sup>	99.00±5.20	66.81±3.06	10.41±2.72
HF	193.50±10.86 <sup>##</sup>	60.75±4.79	227.00±20.42 <sup>##</sup>	68.40±5.76	18.60±4.83 <sup>##</sup>
HFB	180.00±11.82 <sup>##</sup>	56.80±9.52	214.00±5.05 <sup>##</sup>	72.89±1.94 <sup>##</sup>	16.63±3.48 <sup>#</sup>
HFBK	159.00±9.86 <sup>##,**,\$</sup>	51.00±10.58	184.67±8.74 <sup>##,**,\$</sup>	75.47±1.86 <sup>##,*</sup>	13.91±2.33

Values are expressed as mean±standard error of the mean (n=8).

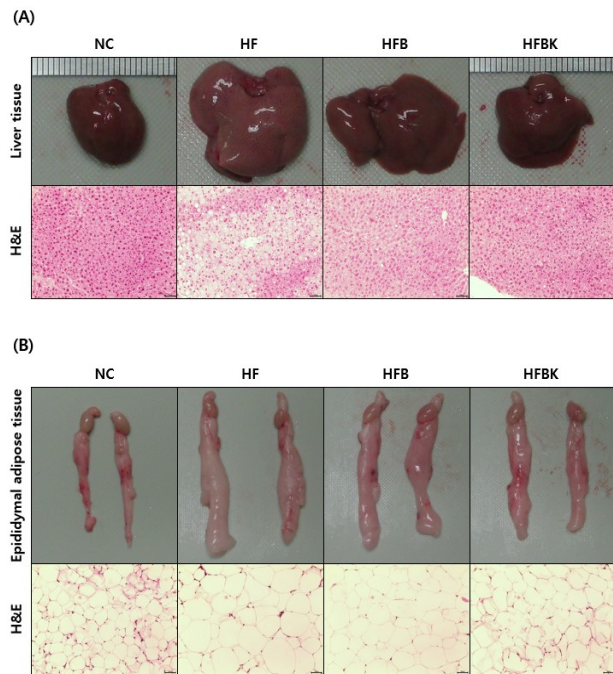
NC: normal control diet, HF: high fat diet, HFB: high fat diet contains white pan bread, HFBK: high fat diet contains white pan bread added with Kamut, TC: total cholesterol, TG: triglyceride, GLU: serum glucose, HDL-C: high-density lipoprotein cholesterol, LDL-C: low density lipoprotein cholesterol, NS: non-significance.

<sup>##</sup>P<0.01 (compared with NC), <sup>\*</sup>P<0.05 (compared with HF), <sup>\*\*</sup>P<0.01 (compared with HF), and <sup>\$</sup>P<0.05 (compared with HFB).

다. Glucose 수치는 NC군에 비해 모든 군에서 유의하게 증가한 반면 HF군에 비해 고지방식이에 카무트가 첨가된 식빵을 급여한 HFBK군에서 18.65% 유의하게 감소됨을 확인하였다. 또한 HFBK군은 HFB군에 비해 glucose 수치가 유의하게 낮아 혈당 개선 효과를 확인할 수 있었다. HDL-cholesterol은 대조군 간의 유의한 차이는 없었으나 NC군에 비해 HF군 및 HFBK군 수치가 유의하게 높았다. 뿐만 아니라 HF군 대비 HFBK군에서 HDL-cholesterol 수치가 10.33% 유의하게 증가함을 보였다. LDL-cholesterol 수치 측정 결과, NC군에 비해 HF군 및 HFB군은 유의하게 증가한 반면 HFBK군이 HF군에 비해 25.19% 유의하게 감소됨을 확인하였다.

#### 4. 간 및 부고환지방의 조직병리학적 분석

일반 및 카무트 식빵 급여가 간 및 부고환지방에 미치는 효과를 확인하기 위해 조직 형태를 관찰한 결과 Fig. 2와 같다. 간 조직의 경우 HF군의 마우스 간 조직에서 과도한 지질 축적으로 인한 회색지방 축적세포가 넓게 나타난 것이 확인되었고, 그에 비해 HFB군과 HFBK군은 완화

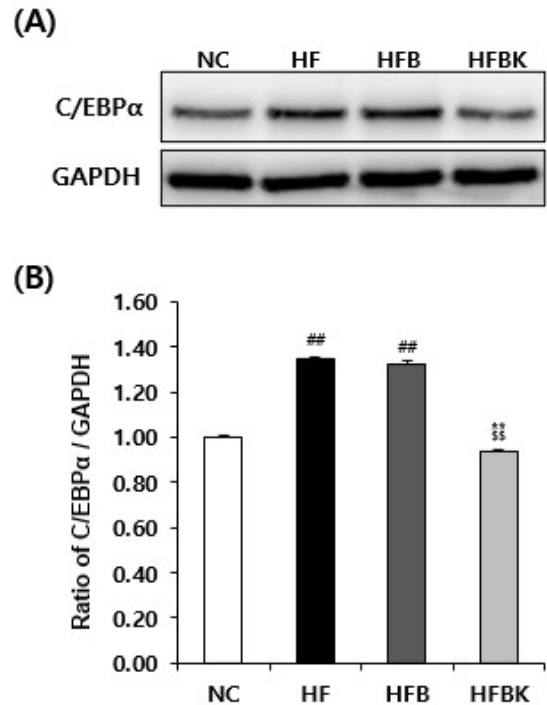


**Fig. 2.** Morphology changes and H&E staining ( $\times 40$ ) in liver (A) and epididymal adipose tissue (B). NC: normal control diet, HF: high fat diet, HFB: high fat diet contains white pan bread, HFBK: high fat diet contains white pan bread added with Kamut, H&E: hematoxylin and eosin.

되었고 HFBK군에서 가장 효과적으로 완화된 것이 관찰되었다. 또한 부고환지방 조직의 형태 변화는 NC군에 비해 HF군 및 HFB군에서 지방 세포의 비대가 관찰되었지만 HFBK군에서 약화됨을 관찰하였다.

#### 5. 간 조직의 C/EBP $\alpha$ 단백질 발현 조절에 미치는 효과

일반 및 카무트 식빵 급여가 마우스 간 조직에서 지방 생성 초기에 중요한 역할을 하는 C/EBP $\alpha$ 의 단백질 발현 양상을 분석한 결과는 Fig. 3과 같다. NC군에 비해 HF군에서 간 조직 내 C/EBP $\alpha$  단백질 발현이 유의하게 증가하는 것으로 나타나 지방 분화에 C/EBP $\alpha$ 가 관여하였음을 확인하였다. 반면 HFB군에서는 HF군에 비해 유의한 차이를 나타내지 않았지만 HFBK군에서 C/EBP $\alpha$  단백질 발현을 유의하게 억제하고 있음을 확인하였다.



**Fig. 3.** Effects of white pan bread added with Kamut on protein expression of C/EBP $\alpha$  in the liver of high fat diet-induced mice. NC: normal control diet, HF: high fat diet, HFB: high fat diet contains white pan bread, HFBK: high fat diet contains white pan bread added with Kamut, C/EBP $\alpha$ : CCAAT/enhancer binding protein- $\alpha$ , GAPDH: glyceraldehyde-3-phosphate dehydrogenase. GAPDH was used as a loading control. Values are expressed as mean $\pm$ standard error of the mean (n=8). <sup>##</sup>P<0.01 (compared with NC), <sup>\*\*</sup>P<0.01 (compared with HF), and <sup>\$\$\$</sup>P<0.01 (compared with HFB).

## 고찰

우리나라의 비만 발병률은 꾸준히 증가하고 있으며, 비만은 당뇨병, 고혈압, 고지혈증, 암 등 다양한 질병 발병에 관여하여 심각한 문제를 초래한다<sup>15)</sup>. 비만은 과도한 에너지 섭취로 인해 에너지 불균형이 발생되어 체 내에 지방조직이 과다하게 축적된 상태로, 이는 정상적인 지질 대사 과정 손상 및 조직 내 지질 축적으로 인한 염증 반응 등을 초래한다<sup>15,16)</sup>. 특히 C57BL/6 마우스는 고지방식을 투여하였을 때 포도당 대사 과정이 손상되어 지방 축적에 더 취약한 종으로 비만 관련 연구에 널리 사용되는 동물모델이다<sup>16)</sup>.

최근 식빵 섭취가 증가함에 따라 각종 부재료를 첨가하여 건강에 도움을 줄 수 있는 웰빙 식빵 소재 개발에 관한 연구가 활발히 이루어지고 있다. 비타민나무 열매가루를 첨가한 식빵은 라디칼 소거능 증가를 통한 항산화 활성이 보고되었으며, 곤약 글루코만난을 첨가한 식빵은 고지방식이 유도 비만 동물모델에서 체중 및 혈중 지질 개선 효과를 나타내었다<sup>23)</sup>. 카무트는 고대 원시작물의 일종으로 일반 밀에 비해 항산화 성분이 다량 함유되어 체내 항산화, 고지혈증 개선 효능 등이 보고되었다<sup>7-9)</sup>. 특히, 카무트의 체내 생리활성이 규명됨에 따라 빵, 쿠키, 파스타, 생면, 와플, 시리얼 등 다양한 곡류 제품 가공 및 제조에 카무트를 첨가하여 건강기능성이 강화된 곡류 제품 개발과 연구가 활발히 이루어지고 있으며, 이 외에도 음료 개발에 관한 연구도 보고된 바 있다<sup>12-14,17-19)</sup>. 국내에서 카무트 첨가 빵을 이용한 연구는 대부분 빵의 이화학적 품질 특성에 관한 연구가 주를 이루고 있으며, 특히 일반 식빵과 카무트 첨가 식빵의 C57BL/6 비만 마우스에서 비만에 미치는 효과 비교에 관한 연구는 이루어지지 않은 실정이다<sup>20,21)</sup>. 따라서 본 연구에서는 일반 식빵과 카무트 첨가 식빵의 고지방식이로 비만이 유도된 C57BL/6 마우스 모델에 미치는 효과를 확인하고, 카무트 첨가 식빵의 비만 개선 효과와 그 작용 메커니즘을 규명하고자 한다.

먼저 실험기간 동안 각 군별 실험동물의 총 식이 섭취량을 측정된 결과, NC군은 1,236.30 g, HF군은 1,487.20 g, HFB군은 1,499.90 g, HFBK군은 1,345.28 g의 수치를 나타내었다(Table 3). 또한 각 군별로 실험동물 1마리당 하루에 섭취한 식이량을 측정된 결과, NC군은 2.80 g/day, HF군은 3.42 g/day, HFB군은 3.41 g/day, HFBK군은 2.91 g/day

임을 확인하였다(Table 3). 특히 Kamut 밀 첨가 식빵 투여군인 HFBK군은 일반 식빵 투여군인 HFB군에 비해 낮은 식이 섭취량을 나타낸 것으로 보이나 통계적 유의성은 없었음을 확인하였다. 따라서 실험 기간 동안 모든 군간 식이 섭취량이 통계적으로 유의한 차이를 나타내지 않는 것을 통해 각 군간 식이 섭취량이 연구 결과에 영향을 미치지 않은 것으로 생각한다.

고지방식을 8주간 섭취한 쥐는 일반식을 섭취한 쥐에 비해 체중 뿐 아니라 간, 지방 조직 등 장기 무게가 증가하여 비만이 유도되는 것으로 보고되었다<sup>22)</sup>. 본 연구에서 고지방식을 유도한 HF군은 일반식을 섭취한 NC군에 비해 체중이 유의적으로 증가하였으며, 이 외에도 부고환지방, 복부지방, 장간막지방, 간 조직 등 장기 무게가 증가하여 비만이 유도되었음을 확인하였다. 반면 고지방식이 유도 동물에 일반 식빵 또는 카무트 첨가 식빵을 30% 비율로 섭취시킨 HFB 및 HFBK군의 경우 HFB군은 유의한 차이를 나타내지 않았으나 HFBK군의 경우 HF군에 비해 유의하게 체중 및 부고환지방, 복부지방, 장간막지방, 간 등의 장기 무게 증가량이 적은 것을 통해 카무트 식빵 섭취는 체중 개선 효과가 있는 것으로 생각한다.

비만은 과도한 지방조직 축적으로 인해 발생하는 질환으로 지방 대사와 밀접한 관련이 있다<sup>19)</sup>. 비만이 유도된 경우 지방 대사를 억제시켜 혈중 TG, TC, LDL-cholesterol 수치를 증가시키는 반면 세포 내 축적된 콜레스테롤 제거 작용을 하는 HDL-cholesterol 수치는 감소시키는 것으로 보고되었다<sup>19,23)</sup>. 또한 비만은 인슐린 저항성을 높여 혈중 glucose 농도가 증가하며, 이는 제2형 당뇨병 등과 같은 대사성 질환의 위험요소로 알려져 있다<sup>23,24)</sup>. 따라서 TG, TC, LDL-cholesterol, HDL-cholesterol, glucose와 같은 지표들은 비만을 측정하고 진단하는 요소로써 이용된다. C57BL/6 마우스에 고지방식이로 8주간 비만을 유도한 경우에도 혈청 내 TG, TC, LDL-cholesterol, glucose 수치가 증가하고, HDL-cholesterol 수치는 감소하여 비만이 유도됨이 보고되었다<sup>22)</sup>. 본 연구에서도 고지방식을 유도한 HF, HFB, HFBK군의 경우 NC군에 비해 혈청 내 TG, glucose, LDL-cholesterol 수치가 증가하여 지질대사 및 포도당 대사 손상을 확인하였다. 반면 HFB군은 유의적인 차이를 나타내지 않았으나 카무트 식빵을 섭취한 HFBK군의 경우 HF군에 비해 TC, glucose 수치가 유의적으로 감소하였으며, HDL-cholesterol 수치는 증가하여 지질대사

및 포도당 대사 손상에 대한 개선 효과를 나타내었다. 특히 HFBK군은 HFB군에 비해 유의적으로 TC, glucose, HDL-cholesterol 수치가 개선되어 지질대사 및 포도당 대사 개선 효과를 나타내었다.

고지방식이 섭취는 지방 대사 손상을 일으키며, 이는 간 조직 내에도 지방 축적을 유도하여 간 손상의 원인이 된다<sup>25</sup>). 뿐만 아니라, 고지방식이로 비만을 유도한 동물은 일반식이 유도 정상 동물에 비해 지방 조직 내 지방세포의 수와 크기가 증가한다<sup>15,16</sup>). 본 연구에서 간 및 지방 조직의 조직병리학적 분석 결과, 고지방식이를 유도한 HF군의 경우 간 조직 내 지방 축적을 나타내었으며, 지방 조직 내 지방세포의 크기가 증가되어 비만이 유도됨을 알 수 있었다. 그러나 카무트 식빵을 섭취한 HFBK군의 경우 HF 및 HFB군에 비해 간 조직 내 염증 개선과 지방조직 내 지방세포 크기가 감소되어 간 및 지방조직 내 조직병리학적 개선 효과를 나타내었다.

C/EBP family는 지방 세포 합성 및 분화에 관여하는 대표적인 transcription factors이다<sup>26</sup>). 체 내 지방 조직이 형성될 때 C/EBP $\alpha$ , C/EBP $\beta$ , C/EBP $\gamma$  등의 C/EBP family에 속하는 인자들이 순차적으로 발현된다<sup>26</sup>). 특히 C/EBP $\alpha$ 는 지방세포 분화 후기에 발현되는 인자로 leptin, adiponectin, fatty acid synthase 등 지방조직 특이적 유전자들인 adipocytokine 및 adipogenic protein을 발현시켜 지방세포 분화 및 지방조직 합성을 촉진하는 것으로 보고되었다<sup>27,28</sup>). 이에 따라 국내외 비만 예방 및 개선용 소재 개발 관련 연구에서 C/EBP $\alpha$  단백질 발현을 억제하는 소재 개발에 관한 연구가 활발히 이루어지고 있다<sup>29,30</sup>). 본 연구에서 고지방식이를 유도한 HF군은 일반식이를 유도한 NC군에 비해 간 조직 내 C/EBP $\alpha$ 가 유의하게 증가되어 지방 합성이 촉진된 것을 알 수 있었다. HFB군은 HF군에 비해 C/EBP $\alpha$  단백질 발현에 유의한 차이를 나타내지 않았으나, HFBK군은 HF군에 비해 유의하게 간 조직 내 C/EBP $\alpha$  단백질 발현을 억제하였다. 또한 HFBK군은 HFB군에 비해 C/EBP $\alpha$  단백질 발현을 유의하게 억제시킴을 확인하였다. 따라서 카무트 첨가 식빵은 일반 식빵에 비해 간 조직 내 C/EBP $\alpha$  단백질 발현 억제를 통해 지방 축적을 억제하여 비만 개선 효과를 나타내는 것으로 생각한다.

이전 연구에서 카무트 밀과 일반 밀의 일반 성분을 분석한 결과 일반 밀에 비해 수분, 단백질, thiamine, riboflavin, niacin, vitamin A, magnesium, sodium, zinc 등의 비

타민과 무기질 함량이 높은 반면 에너지, 탄수화물, calcium, potassium 함량은 낮은 것으로 보고되었다<sup>6</sup>). 특히 카무트 밀은 일반 밀에 비해 총 지질 함량이 100 g 당 2.13 g으로 일반 밀 1.99 g에 비해 높았으나, saturated fat 함량이 일반 밀 0.368 g에 비해 0.196 g으로 낮은 것을 알 수 있었다<sup>6</sup>). 뿐만 아니라 카무트 밀에는 일반 밀에 비해 대표적인 항산화 물질로 알려진 폴리페놀, 셀레늄, 아연, 망간 등의 함량이 높아 심혈관 질환, 비만 등 만성질환 발생 위험을 감소시키는 것으로 보고되었다<sup>8,20</sup>). 따라서 이들 성분 차이로 인해 본 연구에서도 카무트를 첨가한 식빵은 혈중 지질 개선 효능을 나타낸 것으로 생각되나 카무트의 성분과 대사 개선에 미치는 효능의 보다 구체적인 상관관계 관련 연구가 필요할 것으로 생각된다.

## 결론

고지방식이로 비만을 유도한 C57BL/6 마우스에 일반 및 카무트 식빵을 각각 30%의 비율로 투여한 결과 카무트 식빵 투여군은 일반 식빵 투여군에 비해 유의적으로 체중 증가량이 적었으며, 혈청 내 TC, glucose, HDL-cholesterol 수치 개선 효과를 나타내었다. 특히 카무트 식빵 투여군은 일반 식빵 투여군에 비해 간 조직 내 지질 합성에 관여하는 C/EBP $\alpha$  단백질 발현을 유의적으로 억제하여 비만 개선 효과가 있는 것으로 생각한다. 따라서 카무트 식빵은 일반 식빵보다 비만 및 지질대사 개선 소재로 이용할 수 있을 것으로 기대된다.

## 감사의 글

본 연구는 2020~2021년도 경상국립대학교 대학회계 연구비 지원에 의하여 연구되었음.

## References

1. Han G. Consumption status of commercial staple food in Korean adults: data from 2010~2014 Korea national health and nutrition examination survey. *Culi Sci & Hos Res.* 2017 ; 23(8) : 54-66.
2. Lee HJ, Jung SI, Hwang YI. Characteristics and preservation of the plain bread added with onion juice. *J Life*



- Sci. 2009 ; 19 : 781-6.
3. Park JS, Lee SI, Park I. Effects of white bread with konjac glucomannan on body weight and serum lipids on rats with diet-induced obesity. *J Korean Soc Food Sci Nutr.* 2013 ; 42(2) : 188-94.
  4. Jeon KS, Park SI. Antioxidative properties of Chinese artichoke (*Stachys sieboldii* Miq) added white bread. *Korean J Culin Res.* 2015 ; 21(6) : 120-32.
  5. Pozzo L, Pucci L, Buonamici G, Giorgetti L, Maltinti M, Longo V. Effect of white wheat bread and white wheat bread added with bioactive compounds on hypercholesterolemic and steatotic mice fed a high-fat diet. *J Sci Food Agric.* 2015 ; 95(12) : 2454-61.
  6. Bordonni A, Danesi F, Di Nunzio M, Taccari A, Valli V. Ancient wheat and health: a legend or the reality? A review on KAMUT khorasan wheat. *Int J Food Sci Nutr.* 2017 ; 68(3) : 278-86.
  7. Abdel-Aal el SM, Young JC, Rabalski I, Hucl P, Fregeau Reid J. Identification and quantification of seed carotenoids in selected wheat species. *J Agric Food Chem.* 2007 ; 55 : 787-94.
  8. Shin KO. Analysis of the general and mineral compositions of kamut powder and effect of kamut (*triticum turanicum* jakubz) powder and its effect on blood parameters in mice fed a high-fat diet supplement. *Korean J Food Nutr.* 2017 ; 30(6) : 1157-63.
  9. Trozzi C, Raffaelli F, Vignini A, Nanetti L, Gesuita R, Mazzanti L. Evaluation of antioxidative and diabetes-preventive properties of an ancient grain, KAMUT® khorasan wheat, in healthy volunteers. *Eur J Nutr.* 2019 ; 58(1) : 151-61.
  10. Sofi F, Whittaker A, Cesari F, Gori AM, Fiorillo C, Becatti M, et al. Characterization of Khorasan wheat (Kamut) and impact of a replacement diet on cardiovascular risk factors: cross-over dietary intervention study. *Eur J Clin Nutr.* 2013 ; 67(2) : 190-5.
  11. Spisni E, Valerii MC, De Fazio L, Rotondo E, Di Natale M, Giovanardi E, et al. A Khorasan wheat-based diet improves systemic inflammatory profile in semi-professional basketball players: a randomized crossover pilot study. *J Sci Food Agric.* 2020 ; 100(11) : 4101-7.
  12. Carnevali A, Gianotti A, Benedetti S, Tagliamonte MC, Primiterra M, Laghi L, et al. Role of Kamut® brand khorasan wheat in the counteraction of non-celiac wheat sensitivity and oxidative damage. *Food Res Int.* 2014 ; 63 : 218-26.
  13. Benedetti S, Primiterra M, Tagliamonte MC, Carnevali A, Gianotti A, Bordonni A, et al. Counteraction of oxidative damage in the rat liver by an ancient grain (Kamut brand khorasan wheat). *Nutrition.* 2012 ; 28 : 436-41.
  14. Valli V, Danesi F, Gianotti A, Di Nunzio M, Taneyo Saa DL, Bordonni A. Antioxidative and anti-inflammatory effect of in vitro digested cookies baked using different types of flours and fermentation methods. *Food Res Int.* 2016 ; 88 : 256-62.
  15. Oh SW. Recent epidemiological changes in Korean obesity. *Korean J Helicobacter Up Gastrointest Res.* 2017 ; 17(2) : 62-5.
  16. de Moura E Dias M, Dos Reis SA, da Conceição LL, Sedyama CMNO, Pereira SS, de Oliveira LL, et al. Diet-induced obesity in animal models: points to consider and influence on metabolic markers. *Diabetol Metab Syndr.* 2021 ; 13(1) : 32.
  17. Kim MY, Kim JH, Chun SS. Quality characteristics of American waffle with kamut whole wheat flour. *Korean J Food Nutr.* 2020 ; 33 : 183-93.
  18. Lee P, O H, Kim SY, Kim YS. Effects of kamut (*Triticum turanicum* Jakuba) flour replacement on the quality of wet noodles. *Korean J Food Cook Sci.* 2018 ; 34 : 545-59.
  19. Lee P, O H, Kim SY, Kim YS. Physicochemical characteristics and quality properties of a cereal-based beverage made with roasted kamut (*Triticum turanicum* Jakuba). *J Korean Soc Food Sci Nutr.* 2019 ; 48 : 1112-9.
  20. Choi JH, Kim J, Lee KS. Quality characteristics of sourdough bread made with Kamut sour starter. *Culi Sci & Hos Res.* 2016 ; 22(5) : 117-33.
  21. Yoon JA, Han JW, Choi JH, Shin KO. Quality characteristics and antioxidant activity of white bread added with germinated kamut (*Triticum turanicum* Jakubz) powder. *J East Asian Soc Kiet Life.* 2020 ; 30(5) : 345-54.
  22. Park BG, Park YS, Park JW, Shin E, Shin WS. Anti-obesity potential of enzymatic fragments of hyaluronan on high-fat diet-induced obesity in C57BL/6 mice. *Biochem Biophys Res Commun.* 2016 ; 473(1) : 290-5.

23. Klop B, Elte JW, Cabezas MC. Dyslipidemia in obesity: mechanisms and potential targets. *Nutrients*. 2017 ; 5(4) : 1218-40.
24. Yazıcı D, Sezer H. Insulin resistance, obesity and lipotoxicity. *Adv Exp Med Biol*. 2017 ; 960 : 277-304.
25. Lian CY, Zhai ZZ, Li ZF, Wang L. High fat diet-triggered non-alcoholic fatty liver disease: a review of proposed mechanisms. *Chem Biol Interact*. 2020 ; 330 : 109199.
26. Ali AT, Hochfeld WE, Myburgh R, Pepper MS. Adipocyte and adipogenesis. *Eur J Cell Biol*. 2013 ; 92(6-7) : 229-36.
27. Long SD, Pekala PH. Lipid mediators of insulin resistance: ceramide signalling down-regulates GLUT4 gene transcription in 3T3-L1 adipocytes. *J Biol Chem*. 1996 ; 319 : 179-84.
28. Cao Z, Umek RM, McKnight SL. Regulated expression of three C/EBP isoforms during adipose conversion of 3T3-L1 cells. *Genes Dev*. 1991 ; 5 : 1538-52.
29. Park J, Kim HL, Jung Y, Ahn KS, Kwak HJ, Um JY. Bitter Orange (*Citrus aurantium* Linné) improves obesity by regulating adipogenesis and thermogenesis through AMPK activation. *Nutrients*. 2019 ; 11(9) : 1988.
30. Lee HS, Lim SM, Jung JI, Kim SM, Lee JK, Kim YH, et al. *Gynostemma pentaphyllum* extract ameliorates high-fat diet-induced obesity in C57BL/6N mice by up-regulating SIRT1. *Nutrients*. 2019 ; 11(10) : 2475.