

고식이섬유쌀의 급여가 KK 당뇨 마우스의 체내 지질 대사에 미치는 영향

이성현[§] · 박홍주 · 조소영 · 한귀정 · 전해경 · 황홍구* · 최해춘*

농업과학기술원 농촌자원개발연구소 농산물가공이용과, 작물과학원 비육전육종과

Supplementary Effect of the High Dietary Fiber Rice on Lipid Metabolism in Diabetic KK Mice

Lee, Sung Hyeon[§] · Park, Hong Ju · Cho, So Young · Han, Gwi Jung
Chun, Hye Kyung · Hwang, Hung Goo* · Choe, Hae Chun*

Agriproduct Science Division, National Rural Resource Development Institute, NIAST, RDA, Suwon 441-853, Korea
Rice Genetics and Breeding Division, National Institute of Crop Science, RDA, Suwon 441-857, Korea

ABSTRACT

This study was conducted to investigate the supplementary effects of Suwon 464 developed by Rural Development Administration, which has over two times of dietary fiber content compared with normal rice (Ilpum), on lipid metabolism in diabetic mice. We supplied 5 kinds of experimental diets (corn starch diet as a control (CO), Ilpum polished rice diet (IP), Ilpum brown rice diet (IB), polished rice diet (SP) and brown rice diet (SB) of Suwon 464) to diabetic mice for 8 weeks, after analyzing dietary fiber contents of 5 experimental diets. Diet intake, body weight, organ weights, and lipids levels of serum, liver and feces were measured. The dietary fiber contents in CO, IP, IB, SP, and SB diets were 1.0, 1.2, 1.4, 1.4, and 2.0% respectively. Body weight and liver and epididymal fat pad weights were lower in SB group than the other groups though there was no significant difference in diet intake among experimental groups. The concentrations of serum triglyceride was lower in SP and SB groups than CO and IP groups. The levels of hepatic total lipid and total cholesterol were significantly lower in SP and SB groups than CO group, and the level of hepatic triglyceride was lower in IB, SP and SB groups than CO group. The levels of total lipid and triglyceride excreted in feces were higher in IB, SP and SB, and the level of total cholesterol in feces was higher in SP and SB groups than CO group. These results suggested that the high dietary fiber rice (Suwon 464) decrease the triglyceride or total cholesterol concentrations of serum and liver by increasing of fecal lipid excretion in diabetic mice. (*Korean J Nutrition* 37(2): 81~87, 2004)

KEY WORDS : high dietary fiber rice, Suwon 464, diabetic mouse, lipid metabolism.

서 론

의료기술 및 건강에 대한 관심 증가로 한국인의 평균 수명이 길어지고 있으나 각종 성인병 유병율이 높아지고 있으며, 특히 당뇨병 (Diabetes mellitus)은 암 및 순환기계 질환과 더불어 우리나라 3대 질병 중의 하나로 지목되고 있다.¹⁾ 당뇨병 관리가 잘 되지 않은 환자에서는 고중성지방혈증, 고콜레스테롤혈증, 지방간 등이 초래되기 쉽고,²⁾ 고혈압, 동맥경화 등의 심장혈관계 합병증이 당뇨병 환자의

주요 사망원인이 되고 있어^{3,4)} 당뇨병 환자는 혈당 뿐 아니라 혈청 지질 수준의 관리가 중요하다.

식이 섬유는 인간의 소화 효소로 가수분해되지 않는 영양소로서 특히 당뇨병 환자의 지질수준 감소에 효과적^{5,6)}이며, 식이 섬유소의 종류와 급원에 따라 나타내는 효과가 상당히 차이 있는 것으로 보고되고 있다.⁷⁾ 일반적으로 식품 중 식이섬유는 지질의 흡수를 저해하여 체내 지질 수준 감소 효과가 있는 것으로 알려져 있으나^{8,9)} 현대의 식생활에서 성인 1일 권장량인 20~25 g을 섭취하기 어려운 실정이다.^{10, 11)} 따라서 농촌진흥청 작물과학원에서는 '02년 국민의 식이섬유 섭취량을 향상시킬 목적으로 고식이섬유 쌀 (수원 464)을 개발하게 되었고, 백미와 현미 모두 모종인 일반 (일품) 쌀보다 식이섬유 함량이 2배 이상임을 보

접수일 : 2003년 10월 17일

채택일 : 2004년 2월 17일

[§]To whom correspondence should be addressed.

고하였다. 그러나 수원 464의 in vivo에서의 체내 지질대사 개선효과는 아직 분석하지 못하였으며, 특히 지질대사에 이상을 갖는 당뇨 모델에 대한 급여 효과를 과학적으로 구명하지 못하였다. 따라서 본 연구에서는 당뇨 마우스에게 농촌진흥청에서 개발한 고식이섬유쌀 (수원 464)를 급여하여 체내 지질 대사에 미치는 영향을 조사하고, 고식이섬유쌀의 기능성 구명을 통해 우리 농산물의 부가가치 향상 및 국민의 건강 증진을 위한 기초자료로 이용하고자 한다.

재료 및 방법

고식이섬유쌀의 급여가 당뇨모델의 지질대사에 미치는 영향을 구명하기 위하여 옥수수 전분, 일품쌀 및 고식이섬유쌀로 배합한 실험식이를 당뇨마우스에게 8주간 급여하고, 혈액, 간 및 대변 중의 지질 함량을 측정 비교하였다.

1. 실험동물의 종류 및 사육

본 실험에서는 생후 6주된 60마리의 수컷 KK 마우스에 당뇨 유발식이 (지방 15%)를 10주간 급여하여 당뇨를 발현시킨 후, 비공복 혈당이 200 mg/dl 이상인 당뇨 마우스 50마리를 선발하였다. 실험동물은 혈당 및 체중을 고려하여 10마리씩 5군으로 완전임의 배치하였으며, 적정 환경 (온도 $22 \pm 2^\circ\text{C}$, 상대습도 $60 \pm 5\%$, 명암은 12시간 주기)에서 8주간 사육하면서 체중을 주 1회 측정하였다.

2. 실험식이의 종류 및 급여

실험식이는 총 5종 (대조군-옥수수전분, 일품백미군, 일품현미군, 고식이섬유백미군, 고식이섬유현미군)으로 옥수수전분은 (주)동방 제품을 구입하였고, 일품 및 고식이섬유 (수원 464)의 백미와 현미는 작물과학원에서 제공받아 사용하였다. 실험식이 조성은 AIN-93M에 근거하였으나, 지방 15% 및 콜레스테롤이 0.5% 첨가된 고지방식이이며 정제된 원료로 배합하였다 (Table 1). 그리고 모든 실험식이와 음용수를 8주간 자유섭취방법으로 급여하면서 주 2~3회 일정한 시간에 섭취량을 측정하였다.

3. 시험재료 및 실험식이의 식이섬유 함량 분석

조섬유 함량은 A.O.A.C에 따라 분석하였고,¹¹⁾ 식이섬유 함량은 Prosky의 방법¹²⁾을 이용한 Kit (Sigma, USA)를 사용하여 분석하였다.

4. 시료 채취 및 분석

1) 시료 수집 및 분석 준비

실험식이 급여 8주 후에 대사케이지에서 4일간 실험동물의 대변을 수집하였고, -70°C 이하에서 냉동보관 하였

Table 1. Composition of experimental diets¹⁾ (g/kg diet)

Ingredients	CO	IP	IB	SP	SB
Corn starch	645.7				
Rice powder		645.7	645.7	645.7	645.7
Casein	140	140	140	140	140
Soy bean oil	75	75	75	75	75
Lard	75	75	75	75	75
Cholesterol	5	5	5	5	5
α -Cellulose ²⁾	10	10	10	10	10
L-Cystine	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8
Choline bitartrate	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
Mineral Mix. ³⁾	35	35	35	35	35
Vitamin Mix. ⁴⁾	10	10	10	10	10

¹⁾ CO (Control, cornstarch), IP (Ilpum, polished rice), IB (Ilpum, brown rice), SP (Suwon 464, polished rice), SB (Suwon 464, brown rice)

²⁾ α -Cellulose (Sigma, USA)

³⁾ AIN-93M Mineral mix, AIN-93VX Vitamin mixture (ICN, USA)

다가 하루 평균 배설되는 지질함량 분석에 이용하였다. 실험식이 급여 8주 후에는 실험동물을 14시간 절식시킨 후 안정맥에서 혈액을 채취하였고, 3000 rpm에서 20분간 원심 분리하여 얻은 혈청을 지질 농도 분석에 사용하였다. 간, 신장, 심장 및 부고환주위의 지방은 적출하여 무게를 측정하였고, 간은 액화질소로 급속 냉동시켜 -70°C 이하에서 냉동보관 하였다가 지질함량 분석에 이용하였다.

2) 시료의 분석 항목 및 방법

혈청 중성지방과 총콜레스테롤 및 HDL-콜레스테롤 농도는 건식 생화학분석기 (Ektachem, Johnson and Johnson Co. Ltd., USA)로 측정하였고, LDL-콜레스테롤 농도는 {총콜레스테롤 - (HDL - 콜레스테롤 + 중성지방/5)}, 동맥경화지수 (atherogenic index)는 {(총콜레스테롤 - HDL 콜레스테롤)/HDL 콜레스테롤}로 계산하였다. 간조직과 분으로 배설되는 총지질 함량은 Folch 등의 방법,¹⁶⁾ 총콜레스테롤 함량은 Zlatkis와 Zak의 방법¹⁷⁾ 그리고 중성지방 함량은 Biggs 등의 방법¹⁸⁾을 이용하여 분석하였다.

5. 통계 처리

실험결과는 SPSS 10.0 프로그램을 이용하여 평균과 표준편차 (mean \pm SD)로 제시하였고, 각 처리별 유의성은 ANOVA test 후 Duncan's multiple range test로 $p < 0.05$ 수준에서 검증하였다.

결과 및 고찰

1. 시험재료 및 실험식이의 식이섬유 함량

시험재료 4종 (일품 백미 및 현미, 고식이섬유 백미 및

현미)의 조섬유 및 식이섬유 함량을 Table 2에 제시하였다. 시험재료의 조섬유 함량은 일품 백미와 현미에서 0.2%와 0.6%, 고식이섬유 백미와 현미에서 0.7%와 1.5%로 나타나 일품의 경우 현미가 백미의 3배, 고식이섬유쌀의 경우 현미가 백미보다 2배 이상의 조섬유 함량을 가지고 있었다. 또한 시험재료의 식이섬유 함량은 일품 백미와 현미에서 각각 4.1%, 5.6%이었고, 고식이섬유쌀의 경우 백미와 현미에서 각각 8.7%와 11.4%로 나타나 고식이섬유쌀의 식이섬유 함량은 각각 백미와 현미에서 모두 일품의 2배 이상의 수준을 보였다.

실험식이 5종 (대조군, 일품백미군, 일품현미군, 고식이섬유백미군, 고식이섬유현미군)의 조섬유 및 식이섬유 함량을 Table 2에 제시하였는데, 실험식의 조섬유 및 식이섬유 함량은 4종 시험재료에 들어 있는 각각 성분 함량에 따라 차이를 보였다. 즉, 실험식에 대한 비율로 볼 때 조섬유는 대조군 1.0%, 일품백미군 1.2%, 일품현미군 1.4%, 고식이섬유백미군 1.4%, 고식이섬유현미군 2.0%의 수준이었고, 식이섬유는 대조군 1.1%, 일품백미군 3.6%, 일품현미군 4.6%, 고식이섬유백미군 6.6%, 고식이섬유현미군

8.4%로 나타나, 각각의 백미 및 현미로 배합한 실험식에서 고식이섬유쌀 실험식이 일품 실험식보다 약 2배 수준의 식이섬유 함량을 가지고 있었다.

2. 식이 및 물의 섭취량, 체중 변화 및 장기의 무게

1) 식이 및 물 섭취량과 체중의 변화

실험식이 급여기간 동안의 평균 식이 섭취량은 모든 실험군 사이에 유의한 차이가 없었으나 물 섭취량은 고식이섬유쌀 섭취군 (SP, SB)에서 낮게 나타났다 (Table 3). 초기 체중은 실험군 사이에 유의한 차이가 없었으나 실험식이 급여 8주 후에는 고식이섬유현미군 (SB)에서 낮은 경향을 보였다 (Table 3). 일반적으로 섬유소 섭취는 체중의 감량에 효과적인 것으로 알려져 있는데¹⁹⁾ 불용성 식이 섬유는 위 내에서 bulking 효과를 가져와 위에서 포만감을 빨리 느끼게 하고 오랫동안 지속시켜 식사량을 감소시키고, 수용성 섬유소는 gastric emptying을 지연시켜 탁월한 비만 감소 효과를 보여 주었다.²⁰⁾ 그러나 식품자체를 재료로 이용한 다른 실험들²¹⁻²³⁾에서는 식이섬유 급여군과 대조군의 체중증가에 차이가 없었던 것으로 보고되었다.

Table 2. Comparison of the crude fiber and dietary fiber contents in the 4 kinds of rice and 5 experimental diets¹⁾ (%)

Nutrient	Rice				Experimental diets				
	IP	IB	SP	SB	CO	IP	IB	SP	SB
Fiber	0.2	0.6	0.7	1.5	1.0	1.2	1.4	1.4	2.0
Dietary fiber	4.1	5.6	8.7	11.4	1.1	3.6	4.6	6.6	8.4

¹⁾ CO (Control, cornstarch), IP (Ilpum, polished rice), IB (Ilpum, brown rice), SP (Suwon 464, polished rice), SB (Suwon 464, brown rice)

Table 3. Body weight, food intake and water intake of diabetic KK mice fed experimental diets for 8 weeks

Group ¹⁾	Food intake (g/day)	Water intake (ml/day)	Body weight (g)	
			Initial	Final
CO	6.8 ± 2.3 ^{NS}	19.2 ± 6.1 ^{ab}	41.7 ± 6.4 ^{NS}	41.5 ± 6.4 ^{ab}
IP	7.2 ± 2.8	20.6 ± 4.8 ^a	41.3 ± 5.6	44.9 ± 4.4 ^a
IB	7.0 ± 2.5	19.8 ± 6.3 ^{ab}	42.2 ± 9.0	42.5 ± 6.6 ^{ab}
SP	6.8 ± 1.5	12.9 ± 2.2 ^c	42.4 ± 7.2	39.7 ± 5.1 ^{ab}
SB	7.2 ± 1.7	15.8 ± 2.8 ^{bc}	42.2 ± 6.8	37.4 ± 6.0 ^b

¹⁾ CO (Control, cornstarch), IP (Ilpum, polished rice), IB (Ilpum, brown rice), SP (Suwon 464, polished rice), SB (Suwon 464, brown rice)

Values are mean ± SD (n = 10), NS: Not significant

a, b, c: Means with different superscripts in the same column are significantly different at p < 0.05 by Duncan's multiple range test

Table 4. Organ and epididymal fat pad weights of diabetic KK mice fed experimental diets for 8 weeks¹⁾ (g/100 g body wt.)

Groups	Liver	Kidney	Heart	Spleen	Epididymal fat pad
CO	7.58 ± 2.03 ^a	1.34 ± 0.31 ^{NS}	0.45 ± 0.12 ^{NS}	0.41 ± 0.13 ^{NS}	3.43 ± 1.08 ^a
IP	8.09 ± 1.78 ^a	1.17 ± 0.26	0.39 ± 0.07	0.39 ± 0.10	3.17 ± 0.88 ^{ab}
IB	8.04 ± 2.26 ^a	1.37 ± 0.10	0.40 ± 0.09	0.39 ± 0.06	2.75 ± 1.01 ^{ab}
SP	6.49 ± 1.60 ^{ab}	1.40 ± 0.20	0.45 ± 0.18	0.43 ± 0.14	3.21 ± 0.76 ^{ab}
SB	5.86 ± 1.22 ^b	1.35 ± 0.11	0.43 ± 0.12	0.42 ± 0.11	2.70 ± 0.94 ^b

¹⁾ CO (Control, cornstarch), IP (Ilpum, polished rice), IB (Ilpum, brown rice), SP (Suwon 464, polished rice), SB (Suwon 464, brown rice)

Values are mean ± SD (n = 10), NS: Not significant

a, b: Means with different superscripts in the same column are significantly different at p < 0.05 by Duncan's multiple range test

2) 장기의 무게

체중 100 g 당 간, 신장, 심장 및 지방조직의 무게를 Table 4에 제시하였다. KK 당뇨 마우스에게 탄수화물 급원 및식이섬유 함량이 다른 5종의 실험식이를 급여하였을 때, 간의 무게는 고식이섬유쌀 섭취군 (SP, SB)에서 낮은 경향을 보였고, 부고환주위 지방의 무게는 일품 현미 (IB) 및 고식이섬유 현미군 (SB)에서 대조군 (CO)보다 낮은 경향을 보였으며 고식이섬유현미군 (SB)에서 대조군과 유의한 차이를 보였다. 이것은 식이섬유를 첨가한 실험군에서 체중 100 g 당 간 무게가 감소한 연구에서와 같은 결과로 이는 실험식이 중 식이섬유의 지질 감소효과²⁴⁾와 관련된 것으로 보인다. 그리고 간 외에 신장, 심장 및 비장의 무게는 모든 실험군 사이에 유의한 차이가 없었다.

3. 혈청 및 간조직의 지질 수준

1) 혈청 지질 농도

탄수화물 급원 및 식이섬유 함량이 다른 실험식이를 섭취한 당뇨 마우스의 혈청 중성지방과 총콜레스테롤 농도 (mg/dl)를 Fig. 1에 제시하였다. 혈청 중성지방 농도 (mg/dl)는 일품현미군 (IB), 고식이섬유백미군 (SP) 및 고식이섬유현미군 (SB)에서 낮은 경향을 보였고, 고식이섬유쌀을 섭취한 당뇨 마우스 (SP, SB)에서 대조군 (CO)보다 유의하게 ($p < 0.05$) 낮게 나타났다. 혈청 총콜레스테롤 함량 (mg/dl)도 유의하지는 않았지만 고식이섬유쌀 섭취군 (SP, SB)에서 대조군 (CO)보다 낮은 경향을 보였다. 이와 같이 고식이섬유쌀 섭취군에서 혈청 총콜레스테롤의 낮은 수준을 보인 것은 식이섬유소의 체내 콜레스테롤 대사에 영향을 주었기 때문으로 보이며, 식이섬유가 담즙산을 흡착하여 총콜

레스테롤의 장간 순환을 감소시킴으로써 혈중 총콜레스테롤 수준을 낮추거나,²⁵⁻²⁹⁾ 대장의 미생물이 식이섬유를 분해하였을 때 생성되는 단쇄지방산들이 간의 콜레스테롤 합성능력을 감소시킨다는 연구³⁰⁾와 관련된 것으로 생각된다.

당뇨병 환자의 약 90% 이상을 차지하는 인슐린 비의존성 당뇨병 환자에서 가장 특징적으로 관찰되는 지질대사의 이상은 고중성지방혈증으로 당뇨병 환자의 혈청 중성지방 수준도 혈청 총콜레스테롤 수준과 함께 심혈관 질환의 주요 위험인자로 알려져 있다.³¹⁾ 그리고 고콜레스테롤 혈증은 관동맥 질환의 중요한 식이 관련 위험인자 중의 하나로³²⁾ 혈청 콜레스테롤 농도가 200 mg/dl 이상이면 관동맥 질환에 대한 위험이 유의하게 증가하는 것으로 알려져 있다.^{33,34)} 따라서 당뇨병 환자의 경우 혈청 중성지방과 총콜레스테롤의 관리가 모두 필요하며, 고식이섬유쌀이 혈청에서 두 요인의 수준을 낮출 수 있는 점을 고려할 때, 고식이섬유쌀의 섭취는 심혈관질환의 예방 및 개선에 도움이 될 것으로 생각된다.

실험식이를 8주 동안 섭취한 당뇨 마우스의 혈청 LDL-콜레스테롤 (mg/dl), HDL-콜레스테롤 (mg/dl) 및 동맥경화지수 (atherogenic index)를 Fig. 2에 나타내었다. 혈청 LDL-콜레스테롤 농도 (mg/dl)는 유의하지는 않았으나 모든 쌀 실험식이 섭취군 (IP, IB, SP, SB)에서 대조군 (CO)보다 낮은 경향을 보였고, 혈청 HDL-콜레스테롤 농도 (mg/dl)는 모든 쌀실험식이 섭취군 (IP, IB, SP, SB)에서 대조군 (CO)보다 높은 경향을 보였으나 일품백미군 (IP)과 일품현미군 (IB)에서만 대조군 (CO)과 유의한 차이를 나타내었다. 그리고 혈청 총콜레스테롤과 HDL-콜레스테롤로 계산된 동맥경화지수는 모든 쌀실험식이 섭취군에서

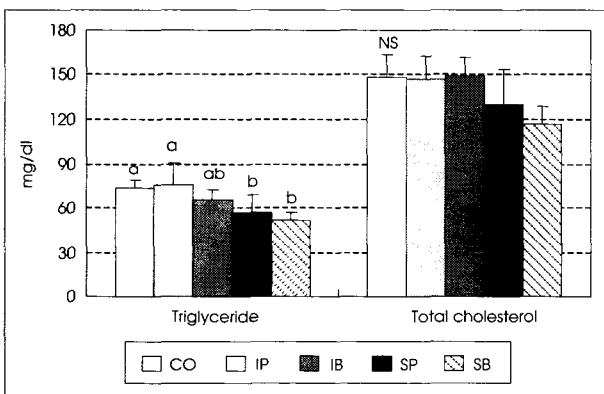


Fig. 1. Comparison of serum triglyceride and total cholesterol concentrations in diabetic KK mice fed experimental diets for 8 weeks. ¹⁾ CO (Control, cornstarch), IP (Ilpum, polished rice), IB (Ilpum, brown rice), SP (Suwon 464, polished rice), SB (Suwon 464, brown rice), NS: Not significant, a, b: Means with different alphabets on the same kinds of bars are significantly different at $p < 0.05$ by Duncan's multiple range test.

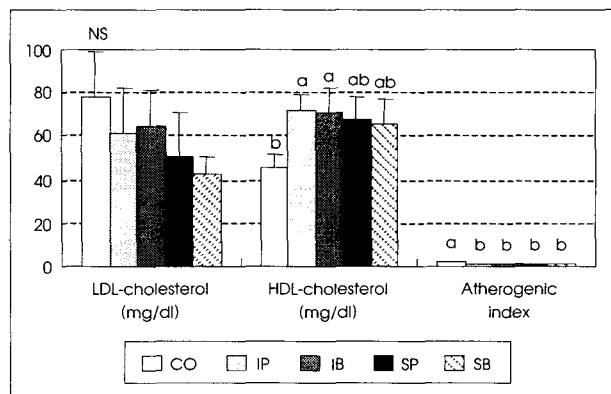


Fig. 2. Comparison of serum HDL-cholesterol, LDL-cholesterol and atherogenic index in diabetic KK mice fed experimental diets for 8 weeks. ¹⁾ CO (Control, cornstarch), IP (Ilpum, polished rice), IB (Ilpum, brown rice), SP (Suwon 464, polished rice), SB (Suwon 464, brown rice), NS: Not significant, a, b: Means with different alphabets on the same kinds of bars are significantly different at $p < 0.05$ by Duncan's multiple range test.

대조군보다 낮게 나타났으며, 고식이섬유백미군 (SP) 및 고식이섬유현미군 (SB)에서 가장 낮은 수준을 보였다.

식이섬유 함량이 많은 식품을 공급했을 때, 혈중 LDL-콜레스테롤 수준이 20 mg/dl까지 감소되는 것으로 알려졌는데,³⁵⁾ 본 연구에서도 고식이섬유쌀 섭취군 (SP, SB)에서 혈중 LDL-콜레스테롤 감소 효과가 큰 것으로 나타났다. 또한 인슐린 비의존형 당뇨병 환자에서 주요 지질대사의 비정상성은 고콜레스테롤혈증과 혈중 HDL-콜레스테롤 농도의 감소를 들 수 있는데,³⁶⁻³⁹⁾ 이와 같은 고지혈증과 HDL-콜레스테롤 농도의 감소는 주요 당뇨 합병증인 관상동맥 질환의 위험을 높이는 요인으로 알려져 있다.^{40,41)} 당뇨병 치료식으로 식이섬유의 공급은 인슐린 비의존형 당뇨병 환자의 혈청 총콜레스테롤과 중성지방의 감소 및 HDL-콜레스테롤 증가에 효과가 있는 것으로 보고되었으나⁴²⁾ 정제 섬유는 섭취에 대한 불쾌감과 구토감으로 인해 실용화되기 어려운 상황이다.⁴³⁾ 따라서 정제 섬유의 형태보다는 고식이섬유의 천연식품 발굴 및 개발이 필요한 실정이며, 이러한 시점에서 농촌진흥청 작물과학원의 고식이섬유쌀 개발은 소비자들의 기호를 충족시킬 수 있으나 다양한 이용 제품 개발이 이루어져야 할 것으로 생각된다.

2) 간조직의 지질 함량

간조직의 총지질, 중성지방 및 총콜레스테롤 함량을 Fig. 3에 제시하였다. 간조직의 총지질 함량은 일품현미군 (IB), 고식이섬유백미군 (SP) 및 고식이섬유현미군 (SB)에서 대조군 (CO)보다 낮은 경향을 보였고, 두 고식이섬유쌀 섭취군 (SP, SB)에서 대조군과 유의한 차이 ($p < 0.05$)를 나타내었으며 고식이섬유현미군 (SB)은 일품백미군 (IP) 및 일품현미군 (IB)보다 유의하게 낮았다. 중성지방

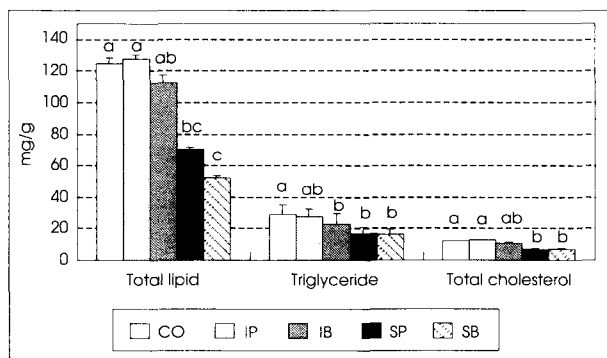


Fig. 3. Comparison of hepatic total lipid, triglyceride and total cholesterol contents in diabetic KK mice fed experimental diets for 8 weeks.¹⁾ CO (Control, cornstarch), IP (Ilpum, polished rice), IB (Ilpum, brown rice), SP (Suwon 464, polished rice), SB (Suwon 464, brown rice). a, b, c: Means with different alphabets on the same kinds of bars are significantly different at $p < 0.05$ by Duncan's multiple range test.

함량도 모든 쌀 실험식이군 (IP, IB, SP, SB)에서 대조군 (CO)보다 낮은 경향을 보였고, 일품현미군 (IB), 고식이섬유백미군 (SP) 및 고식이섬유현미군 (SB)에서 대조군 (CO)과 유의한 차이를 나타내었다. 간 중의 총콜레스테롤 함량도 일품현미군 (IB), 고식이섬유백미군 (SP) 및 고식이섬유현미군 (SB)에서 대조군 (CO)보다 낮은 경향을 보였는데, 고식이섬유쌀을 섭취한 고식이섬유백미군 (SP) 및 고식이섬유현미군 (SB)은 대조군 (CO) 뿐 아니라 일품백미군 (IP)보다도 유의하게 낮은 수준이었다. 간조직의 지질 감소 효과는 식이섬유의 종류 및 수준에 의해 영향을 받는 것으로 알려져 있는데,^{24,44)} 본 연구에서도 식이섬유 함량이 많은 고식이섬유쌀 (수원 464) 섭취군 특히 고식이섬유현미군 (SB)에서 간 중의 지질 함량 감소 효과가 높은 것으로 나타났다.

4. 대변 중의 지질 배설량

탄수화물 및 식이섬유 함량이 다른 5종의 실험식이를 당뇨 마우스에게 8주간 급여하였을 때, 대변으로 배설되는 지질 수준을 비교하여 Fig. 4에 나타내었다. 대변중 총지질 배설량은 모든 쌀실험식이 섭취군 (IP, IB, SP, SB)에서 많았으나 일품현미군 (IB), 고식이섬유백미군 (SP) 및 고식이섬유현미군 (SB)에서 대조군 (CO)과 유의한 차이를 보였다. 대변 중으로 배설되는 중성지방 함량도 일품현미군 (IB), 고식이섬유백미군 (SP) 및 고식이섬유현미군 (SB)에서 대조군 (CO)보다 유의하게 많았으며, 두 고식이섬유쌀 섭취군 (SP, SB)은 일품백미군 (IP) 및 일품현미군 (IB)보다 유의하게 많은 중성지방 배설효과가 있는 것으로 나타났다. 대변 중의 총콜레스테롤 배설량은 일품현미군 (IB), 고식이섬유백미군 (SP) 및 고식이섬유현미군 (SB)

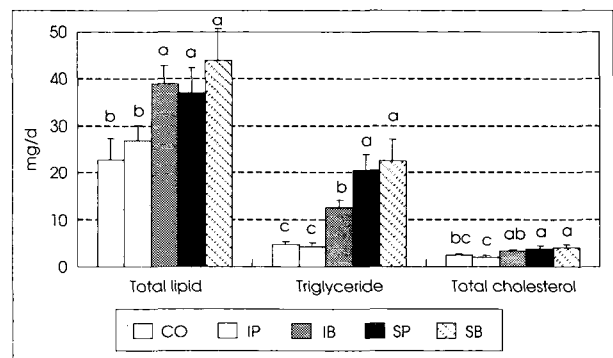


Fig. 4. Fecal excretion of total lipid, triglyceride and total cholesterol of diabetic KK mice fed experimental diets for 8 weeks.¹⁾ CO (Control, cornstarch), IP (Ilpum, polished rice), IB (Ilpum, brown rice), SP (Suwon 464, polished rice), SB (Suwon 464, brown rice). a, b, c: Means with different alphabets are significantly different at $p < 0.05$ by Duncan's multiple range test.

에서 대조군 (CO) 및 일품백미군 (IP)보다 많은 것으로 나타났고 특히 고식이섬유백미군 (SP)과 고식이섬유현미군 (SB)은 대조군 (CO)이나 일품백미군 (IP)보다 유의한 수준에서 차이를 보였다. 지질대사에 대한 식이섬유의 보충 효과는 주로 점성이 큰 수용성 섬유소에 의한 것으로 보고되어 왔는데, 그 기전으로서의 보수성이 강한 수용성 식이섬유가 물과 결합하여 gel matrix를 형성하고 소장 내용물의 점도를 증가시켜 콜레스테롤의 흡수속도를 억제한다는 설명이 제시되었다.⁴⁵⁾ 한편 식이섬유가 소장 내에서 lipase의 활성을 저하시켜 지방의 소화를 방해하고, 소장 관강을 통과하는 동안 담즙산과 결합하여 담즙의 정상적인 장간 순환을 방해하므로, 간에서 콜레스테롤이 담즙산으로 전환되는 양이 증가되어 혈청 총 콜레스테롤 수준을 감소시킨다고 보아 왔다.⁴⁶⁾ 그러나 최근에는 대장 미생물의 발효에 의해 생성되는 단쇄지방산들이 혈청과 간의 총콜레스테롤 농도를 낮추고 간의 HMG-CoA reductase의 활성을 저하시켜 체내 콜레스테롤이 낮아진다⁴⁷⁾는 견해도 있다.

요약 및 결론

식생활의 서구화와 고령화 등에 따른 당뇨병 유병률의 증가는 잘 알려진 사실로 이제 우리나라에서도 당뇨병이 사회·경제적으로 미치는 영향은 심각하다. 당뇨병 관리가 잘 되지 않은 환자에서는 지질대사 이상에 의한 고지혈증, 고혈압 및 동맥경화 등의 합병증을 동반하기 쉽고 이런 질환들이 당뇨병 환자의 주요 사망원인이 되고 있다. 특히 당뇨병 환자에서 식이섬유 보충을 통한 혈당 및 지질대사 개선효과에 관심이 집중되고 있으나 현대인의 식생활에서 식이섬유의 1일 권장량을 섭취하기는 어려운 실정이다. 따라서 본 연구에서는 농촌진흥청 작물과학원에서 개발한 고식이섬유쌀 (수원 464, 백미 및 현미)의 식이섬유 함량을 분석하고 식이섬유의 함량이 일반 쌀의 2배 이상인 고식이섬유쌀을 당뇨 마우스에게 급여하여 체내 지질수준저하 효과를 구명하였다. 그러나 고식이섬유쌀은 당뇨병 환자 뿐 아니라 일반 국민들의 식이섬유 섭취량 증가에 기여할 수 있을 것으로 보이며, 앞으로 소비자들의 기호에 부응하고 국제 경쟁력도 갖춘 다양한 농산물의 개발이 필요할 것으로 생각된다.

Literature cited

1) Ministry and health welfare. '98 National health and nutrition survey report. Korea institute for health and social affairs, 1999

2) Dong SH, Oh DH, Kim SW, Yang IM, Kim JW, Kim YS, Choi YG. Relationship among complications serum lipids and lipoprotein profiles in diabetics. *Kor J Internal Medicine* 35: 510-519, 1988

3) Cho NH. Analysis of epidemiological characteristic and dangerous factor. *Kor J Lipid and Arteriosclerosis*, pp.11-16, 2000

4) Huh KB. Insulin Resistance and Chronic Degenerative Diseases. *J Kor Diabetes* 16: 93-98, 1992

5) Kiehm TG, Anderson JN, Ward K. Beneficial effects of a high carbohydrate, high fiber diet in hyperglycemic men. *Am J Nutr* 29: 895, 1976

6) Jenkin DJA, Leeds AR, Gassull MA, Wolever TMS, Goff DV, Alberti KGM, Hockaday TDR. Unabsorbable carbohydrates and diabetes: Decreased postprandial hyperglycemia. *Lancet* 2: 172, 1976

7) Schneeman BO, Tieryen J, Inshils ME, Olson JA, Shike M. Dietary fiber. Modern nutrition in health and disease, pp.89, Lee & Febiger, 1994

8) Schneeman BO. Soluble vs insoluble fiber different physiological responses. *Food Technol* 41 (2): 81, 1987

9) Schweizer TH, Wursch P. The physiological and nutritional importance of dietary fiber. *Experientia* 47: 181-186, 1987

10) Hwang SH, Kim JI, Sung CJ. Assessment of dietary fiber intake in Korean college students. *Journal of the Korean society of food and nutrition* 25 (2): 205-213, 1996

11) Rhie SG, Park YJ. The comparison of health status and dietary health practice with or without hypertension of middle-aged rural adults in Kyunggi province. *Korean Journal of Rural Living Science* 8 (2): 131-143, 1997

12) Na HJ, Kim YN. The prevalence of constipation and dietary fiber intake of 3rd grade high school girls. *Korean Journal of Nutrition* 33 (6): 675-683, 2000

13) Baek JW, Koo BK, Kim KJ, Lee YK, Lee SK, Lee HS. Nutritional status of the long-live elderly people in Kyungpook Sung-Ju area (I): Estimation of nutrients intake. *Korean Journal of Nutrition* 33 (4): 438-453, 2000

14) AOAC. Official methods of analysis. 15th ed. Association of official analytical chemists, pp.788, Washington DC, 1990

15) Prosky L, ASP N, Schweizer T, DeVries J, Furda I. Determination of insoluble, soluble and total dietary fiber in foods products, Interlaboratory study. *J Assoc Off Anal Chem* 71: 1017-1020, 1988

16) Folch J, Less M, Sloanestanley GH. A simple method for the isolation and purification of total lipid from animal tissues. *J Bio Chem* 226: 497, 1957

17) Zlatkis A, Zak B. Study of a new cholesterol reagent. *Anal Biochem* 29: 143, 1968

18) Biggs HG, Erikson TA, Moorehead WR. A manual colorimetric assay of triglyceride in serum. *Clinical Chem* 21: 47, 1975

19) Anderson JW, Bryant CA. Dietary fiber: Diabetes and obesity. *Am J Gastroenterol* 81: 898, 1986

20) Choe JH, Kim JI, Kim IS, Choe JS, Byeon DS, Yoon TH. Effect of Brown Algae (Undaria Pinnatifida) on Inhibitory Action of Obesity 1. Effect on Body Weight, Feed and Gross Efficiencies, and Metabolic Body Size. *Korean J Gerontology* 1: 168-172, 1991

- 21) Kim MJ, Lee SS. The effect of dietary fiber on the serum lipid level and bowel function in rats. *Korean Journal of Nutrition* 28(1): 23-32, 1995
- 22) Hwang JK. Physicochemical Properties of Dietary Fibers. *Journal of the Korean Society of Food Science and Nutrition* 25(4): 715-719, 1996
- 23) Oh HI. A study on Nutritional characteristics of common Korean dietary fiber rich foods. Thesis for master degree. Chungnam National University, 1998
- 24) Hong SS. Effects of dietary fibers, lipids and ethanol on liver function and lipid metabolism of rats. Thesis for doctor degree. Dong-A University, 2001
- 25) Anderson JW, Bryant CA. Dietary fiber: Diabetes and obesity. *Am J Gastroenterol* 81: 898-906, 1986
- 26) Toma RB, Curtis DJ. Dietary fiber: Its role for diabetics. *Food Technol* 2: 118-126, 1986
- 27) Diabetes and dietary fiber. *Nutr Rev* 36: 273-275, 1978
- 28) Anderson JW, Tietzen-Clark J. Dietary fiber: Hyperlipidemia, hypertension, and coronary heart disease. *Am J Gastroenterol* 81: 907-919, 1986
- 29) Jenkins DJA, ainey-Macdonald G, Jenkins AL, Benn G. Fiber in the treatment of hyperlipidemia: Spiller GA. 2nd ed, CRC Handbook of dietary fiber in human nutrition, pp.327-344, CRC Press, USA, 1986
- 30) Greenwaid P, Lanza E, Eddy GA. Dietary fiber in the reduction of colon cancer risk. *J Am Diet Assoc* 87: 1178-1188, 1987
- 31) Fontbonne A, Eschwege E, Cambien F, Richard JL, Ducimetiere P, Thibault N, Narnet JM, Claude JR, Rosselin GE. Hypertriglycemia as a risk factor of coronary heart disease mortality in subjects with impaired glucose tolerance or diabetes. *Diabetologia* 32: 300-304, 1989
- 32) Stamler J. Coronary heart disease: Doing the 'right things'. *N Engl J Med* 312: 1053-1055, 1985
- 33) Kannel WB, Castelli WP, Gordon T. Cholesterol in the prediction of atherosclerotic disease. New perspectives based on the Framingham study. *Ann Intern Med* 90: 85-91, 1979
- 34) Gordon T, Castelli WP, Hjortland MC. Predicting coronary heart disease in middle-aged and older persons. The framingham study. *J Am Med Assoc* 238: 497-499, 1977
- 35) Mcpherson KR, Jacobs M, Lewis B, Miller N, Katan MB. Relationship between changes in plasma lipoprotein concentrations and fecal steroid excretion in man during consumption of four experimental diets. *Atherosclerosis* 55: 15-23, 1985
- 36) Goldberg RB. Lipid disorders in diabetes. *Diabetes care* 4: 561-572, 1981
- 37) Reaven KM. Abnormal lipoprotein metabolism in non-insulin-dependent diabetes mellitus. *Am J Med* 83: 31-40, 1987
- 38) Albrink MJ, Lavietes PH, Man EB. Vascular disease and serum lipids in diabetes mellitus: Observation of 30 years. *Ann Intern Med* 58: 305-323, 1963
- 39) Bierman EL, Amaral AP, Belknap BH. Hyperlipidemia and diabetes mellitus. *Diabetes* 15: 675-679, 1966
- 40) West KM, Ahuja MMS, Bennett PHI. The role of circulating glucose and triglyceride concentrations and their interaction with other risk factors as determinants of arterial disease in nine diabetic population samples from the WHO multinational study. *Diabetes Care* 6: 361-369, 1983
- 41) Castelli WP, Wilson PF, Levy D, Anderson K. Serum lipids and risk of coronary artery disease. *Atherosclerosis Rev* 21: 7-19, 1990
- 42) Kim SY, Chang YW, Yang IM, Kim JW, Kim YS, Kim GW, Choi YG. Supplementary effect of guar on glucose and lipid metabolism in diabetes. *Diabetes* 13: 159-161, 1990
- 43) Kirby RW, Anderson JW, Sieling B, Rees ED, Chen WJL, Miller RE, Kay RM. Oat-bran intake selectively lowers serum low-density lipoprotein cholesterol concentrations. *Am J Clin Nutr* 34: 824-829, 1981
- 44) Jenkins DJ, Wolever TM, Leed AR, Gassull MA, Haisman P, Dilawari J, Goff DV, Metz JL, Alberti KG. Dietary fibers, fiber analogous and glucose tolerance importance of viscosity. *Br Med J* 1: 1392-1394, 1978
- 45) Anderson JW. High fiber diets for diabetic and hypertriglyceridemic patients. *Can Med Assoc J* 123: 975-979, 1983
- 46) Vahouny G. Dietary fibers and the intestinal absorption of lipids: Vahouny GV, Kritchevsky D. Dietary fiber in Health and Disease, pp.203, Plenum Press, New York, 1982
- 47) Langkilde AM, Andersson H, Bosaeus I. Sugar-beet increases cholesterol and reduces bile acid excretion from the small bowel. *Br J Nutr* 70: 757, 1993