

식이 내 곡류 종류와 지방수준이 성장기 이후 비만유도 흰쥐의 당대사와 항혈전능에 미치는 영향

옥향목[§] · 손정숙 · 김미경

이화여자대학교 식품영양학과

The Impact of Kinds of Dietary Grain and Dietary Lipid Level on the Glucose Metabolism and Antithrombogenic Capacity of Full Grown Obesity Induced Rats

Ok, Hyang Mok[§] · Sohn, Jung Sook · Kim, Mi Kyung

Department of Food and Nutrition, Ewha Woman's University, Seoul 120-750, Korea

ABSTRACT

This study was designed to evaluate impact of kinds of dietary grain and dietary lipid level on the glucose metabolism and antithrombogenic capacity in obesity induced rats. Total of 80 Sprague-Dawley male rats were raised for one month with control diet containing 50% (w/w) well-milled rice powder and 20% (w/w) of dietary lipids. The rats were blocked into 8 groups and raised for two months with diets containing well-milled rice, brown rice, black rice, or glutinous barley powder and 8 or 20% (w/w) of dietary lipids. The contents of total dietary fiber in experimental grains were in following order; glutinous barley > black rice > brown rice > well-milled rice. Weekly food intake were lower in glutinous barley group among all experimental groups. Body weight gain was high in high level of fat groups (20% w/w) than medium level of fat groups (8% w/w). Plasma glucose concentration was not different significantly in each groups. But brown rice group was a little lower than others. Plasma insulin concentration was lower in black rice and glutinous barley group than rice group. Plasma glucagon concentration did not differ significantly among all experimental groups. Hexokinase activities in skeletal muscle are different significantly according to level of dietary fat and grain variety factors. Brown rice group was significantly highest among all experimental groups in hexokinase activity. Plasma TXB₂ concentrations in black rice and glutinous barley groups were lower as compared to rice and brown rice groups. Plasma 6-keto-PGF_{1 α} concentrations in glutinous barley group was higher as compared to others. In conclusion brown rice has a little lowering effect glucose concentration. Black rice and glutinous barley intakes enhance antithrombogenic capacity. It is suggested that the intakes of mixed gains are recommend. (*Korean J Nutrition* 38(8): 613~625, 2005)

KEY WORDS : well-milled rice, brown rice, black rice, glutinous barley, glucose metabolism, antithrombogenic capacity.

서 론

현재 우리나라의 경우 주식으로 미곡을 일상적으로 소비하고 있으나 점차 그 소비량이 줄어들고 있으면서 순환기계 질환으로 인한 사망자 수는 증가하고 있는 추세이다. 따라서 곡류에 함유되어 있는 식이섬유와 항산화 물질들이 만성질환의 위험을 낮추어 줄 수 있다는 가능성에 대하여 관

심이 집중되고 있다. 한국인은 채식 위주의 전통적인 식습관으로 인하여 서구인에 비해 많은 양의 식이 섬유를 섭취하고 있을 것으로 생각되나,¹⁾ 1969~1990년 국민영양조사 보고서의 “식품별 1인 1일당 섭취량” 자료와 일본인 상용식품 분석치를 토대로 한 보고 결과를 보면 우리나라 사람들의 1일 평균 식이섬유 섭취량은 1969년 전국 평균 24.4 g이던 것이 소폭의 증감을 되풀이하여 점차적인 감소를 보이다가 1987년 큰 폭으로 감소하여 1990년 17.3 g으로 떨어져 20년간 약 30%의 섭취 감소를 보인 것으로 보고되었다.²⁾ 곡류 섭취 중에서도 식이섬유의 함량이 낮은 정백미의 섭취는 증가된 반면, 식이섬유 함량이 높은 보리의 소비량은 1970년대 중반 이후로 크게 감소하였다.¹⁾ 쌀

접수일 : 2005년 5월 8일

채택일 : 2005년 9월 21일

[§]To whom correspondence should be addressed.

E-mail : ohm0420@hotmail.com

은 도정도가 높아감에 따라 양적 감소 뿐만 아니라 단백질, 지방질, 무기질, 비타민 및 섬유소의 감소도 많은데 이는 이 성분들이 주로 겨층에 많이 분포되어 있기 때문이라고 한다.^{3,4)} 그러나 최근 건강 유지에 대한 관심이 증가하고 식이 섬유의 기능성이 알려지면서 백미 대신 보리나 현미를 건강식으로 섭취하는 사람들이 있다. 건강한 식생활에 대한 최근의 연구에서 식이섬유 특히 곡류 식이섬유 섭취 증가가 유익하다고 보고하고 있으며⁵⁾ 곡류 식이섬유의 급원으로 우리나라에서도 보리, 현미, 흑미에 대한 관심이 높아지고 있다.

쌀은 옥수수, 밀과 더불어 세계 3대 곡물 중의 하나이고 우리나라 국민이 주식으로 가장 많이 소비하는 곡류로서 우리나라 1인당 공급량은 2001년에 254.2 g이었다.⁶⁾ 백미 (*Oryza sativa* L.)는 세계 대부분의 지역에서 중요한 기본 식량자원이고 안정성과 소비자 기호에 따른 이유로 전통적으로 도정된 백미의 형태로 생산, 소비되어왔다. 쌀은 왕겨만을 제거한 현미의 형태로 저장시키며 이 현미의 쌀겨와 쌀눈을 포함한 전체 무게의 약 8%를 도정하면 백미가 된다.^{7,8)} 쌀겨층의 제거는 상당한 영양소의 손실을 가져오는데 지방 (불포화지방산이 높은 지방), 단백질, 무기질, 비타민, 비전분 다당류와 같은 영양소가 손실된다.

현미는 다양한 비타민, 무기질-나이아신, 비타민 B₆, 마그네슘, 망간, 인, 셀레늄, 비타민 E를 포함하고 있다. 현미는 단지 소량의 단백질을 포함하지만 백미에 비해서는 상대적으로 제한아미노산인 lysine의 수준이 높아 그 질이 좋다. 이 현미를 정백미로 도정할 때 생기는 쌀겨에는 혈중 콜레스테롤을 낮추는 작용을 가지고 있는 것으로 알려진 오리자놀, 단백질, 사이토스테론, 식이섬유 성분들이 들어 있다.⁹⁾ 특히 쌀겨 속에 들어있는 식이섬유 중 펙틴을 비롯한 점성을 가진 수용성 식이섬유는 식이성 콜레스테롤 흡수 저해 작용이 있어 혈중 콜레스테롤 수준을 저하시키는 동시에 간장 콜레스테롤의 축적 억제 작용을 나타내는 것으로 알려지고 있다.⁹⁾

흑미 (*Oryza sativa* var.)는 중국의 광둥 운남 지방에 야생되었던 것으로¹⁰⁾ 본초강목에는 흑미가 인체조절기능을 개선시키고 면역기능을 강화하며 질병예방에 효과가 있다고 알려져 있다. 유색미의 일종인 흑미는 특유의 색과 향으로 다양한 형태의 식품으로 가공되며 그 소비가 점차 증가하고 있다. 흑미의 색소는 다양한 구조와 분자량의 폴리페놀 화합물로 구성되어 있으며, 이러한 폴리페놀화합물은 항산화, 항균성, 항암성 등의 생리활성을 갖는 것으로 확인되고 있다.¹¹⁾ 흑미에 대한 연구에는 많은 부분이 색소에 관한 연구로서 자색의 흑미는 안토시아닌 계통의 cyanidin-3-

glucoside를 주로 포함하고 있으며 이 색소가 혈관노화방지, 혈압강화에 효과가 있는 것으로 알려져 있다.

보리 (*Hordeum vulgare* L.)는 오랫동안 우리의 주곡작물로서 쌀과 더불어 식량의 주축이 되어 왔으나, 최근 식생활의 변화로 소비량이 급격히 감소하고 있는 실정이다. 우리 식생활에서 쌀 다음으로 중요한 기본 식량으로 보리쌀, 압맥, 할맥의 형태는 주로 혼반용으로 이용되고 있으며 맥아 형태는 식혜나 맥주 등을 만들 때 이용되고 있다.¹²⁾ 보리는 특히 식이섬유인 β -glucan의 함량이 높아 체내 혈중 콜레스테롤 수치를 저하시킴으로써 심장질환을 예방할 뿐만 아니라 체지방의 축적을 억제하여 비만에 수반되는 증상을 완화하는 등 성인병의 예방에 탁월한 효과가 있는 것으로 알려져 있다.^{13,14)} 보리의 β -glucan은 곡립의 세포벽을 구성하고 있는 mixed-linked (1 \rightarrow 3), (1 \rightarrow 4)- β -glucan으로서 보리 곡립의 약 3~7%를 차지하고 있으며¹⁵⁾ 찰보리는 메보리보다 β -glucan 함량이 더 높다.¹⁶⁾ 보리는 쌀과 같은 곡류에 비해 비교적 많은 양의 식이 섬유소를 함유하고 있기 때문에 최근에는 성인병을 예방하는 건강식품으로서의 가치가 높은 것으로 재인식되고 있어 국민 1인당 소비량이 95년 1.39 kg에서 96년 2.17 kg으로 증가되었다.¹³⁾ 일반적으로 보리쌀은 찰기가 없고 쉽게 굳어지는 등 가공적성이 낮지만 찰보리쌀은 쌀과 혼합하여 밥을 지어도 잘 퍼지고 amylose 함량이 낮아 찰기가 많으며 식어도 잘 굳어지지 않는다. 뿐만 아니라 찰보리는 β -glucan의 함량이 메보리 보다 많아서 성인병 예방에 더 효과적인 건강 식품으로서의 가능성을 보여준다고 하겠다.¹⁷⁾

따라서 본 연구에서는 성장이 끝난 흰쥐를 고지방식이로 비만유도한 후 탄수화물 급원으로 백미 또는 현미, 흑미, 찰보리를 공급하고 식이 내 지방 수준을 달리할 때 비만으로 유발되는 질병 발생 위험들에 미치는 효과를 비교하기 위하여 행하였다. 혈액과 근육 조직에서의 당대사를 살펴보고서 혈중 eicosanoids 함량을 측정하여 항혈전능을 알아 보았다. 또한 백미, 현미, 흑미, 찰보리 시료 내의 식이섬유 함량을 측정하여 이들 물질의 식이 내 수준에 따른 생리 효과를 비교하고자 하였다.

실험재료 및 방법

1. 실험식이 재료

1) 곡류 시료의 준비

실험식이의 탄수화물 급원은 백미 (추청미, 경기도 이천, 이천농협, 2003년), 현미 (추청미, 경기도 이천, 이천농협,

2003년), 흑미 (흑진주미, 강원도 철원, 철원농협, 2003년), 찰보리 (새찰보리쌀, 충남 논산, 부적농협, 2003년)로 구입한 후에 각 곡류를 수세 후 동결건조 하였다. 동결건조 후 모든 시료는 fitz mill (Fitz Patrick, No. DASO6)로 40 mesh를 통과할 수 있도록 분말화 하였다.

2) 실험식이 시료 내 식이섬유 함량 분석

식이섬유 함량은 AOAC 공인 방법인 Lee 등¹⁸⁾의 방법으로 정량하였다.

2. 동물사육 실험

1) 실험동물의 사육 및 식이

실험동물의 사육은 바이오 제노믹스에 의뢰하여 출생시부터 동일한 환경에서 고형배합사료 [(주)바이오 제노믹스: AIN-93 diet를 기본으로 배합한 미국의 Harlan Teklad 제품]로 사육한 생후 9개월 된 Sprague-Dawley종 수컷 흰쥐 80마리를 대상으로 하였다. 실험동물은 본 실험에 들어가기 전 10일간을 동일한 고형배합사료 식이로 적응시켰다. 체중이 757.73 ± 7.9 g인 흰쥐 80마리를 대상으로 백미를 탄수화물 급원으로 한 고지방식이 (20% fat as w/w)를 공급하여 한 달간 비만을 유도하였다. 이후 체중에 따

라 난괴법 (randomized complete block design)에 의해 10마리씩 8군으로 분류하였다. 모두 8군의 실험동물은 식이 지방 수준을 달리하고 (8, 20% fat as w/w) 탄수화물 급원을 백미, 현미, 흑미, 찰보리로 달리한 실험식으로 각각 2개월간 사육하였다.

실험에 사용한 식이의 구성성분은 Table 1과 같았다. 식이의 탄수화물 급원은 백미, 현미, 흑미, 찰보리를 사용하였다. 지방 급원으로는 식물성 지방으로 옥수수유 (corn oil, 백설)와 대두유 (soybean oil, 백설), 동물성 지방으로 돼지기름 (lard, (주)바이오 제노믹스), 쇠기름 (beef tallow, (주)바이오 제노믹스)을 사용하여 1 : 1 : 1 : 1 (w : w)의 비율로 섞어 고지방 식이에서는 실험식이의 20% (w/w) 수준으로 제공하였다. 중지방 식이에서는 실험식이의 8% (w/w) 수준으로 사용하였다. 단백질 급원으로는 casein (edible acid casein, Scerma, France)을 고지방 식이는 식이 무게의 14%, 중지방식이는 식이무게의 10% 수준으로 사용하여 총열량에서 차지하는 열량을 약 15%로 맞추어 주었다. 무기질과 비타민은 시약급을 사용하여 혼합한 것 (AIN-93M)을 각각 식이무게의 3.5%와 1% 수준으로 식이에 섞어 공급하였다. 고지방식이군의 경우 cholesterol

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

Ingredients	Groups ¹⁾							
	NR	NBN	NBK	NB	HR	HBN	HBK	HB
Each grain	Well-milled rice	Brown rice	Black rice	Barley	Well-milled rice	Brown rice	Black rice	Barley
	670.7	670.7	670.7	670.7	510.2	510.2	510.2	510.2
Sucrose	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
Casein	100.0	100.0	100.0	100.0	140.0	140.0	140.0	140.0
Soybean oil	20.0	20.0	20.0	20.0	50.0	50.0	50.0	50.0
Corn oil	20.0	20.0	20.0	20.0	50.0	50.0	50.0	50.0
Lard	20.0	20.0	20.0	20.0	50.0	50.0	50.0	50.0
Beef tallow	20.0	20.0	20.0	20.0	50.0	50.0	50.0	50.0
Mineral mix ²⁾	35.0	35.0	35.0	35.0	35.0	35.0	35.0	35.0
Vitamin mix ³⁾	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
L-cysteine	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8
Choline bitartrate	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
Tert-butylhydroquinone	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008
Cholesterol	-	-	-	-	0.5	0.5	0.5	0.5
Total	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000

1) NR: Well-milled rice powder-8% fat diet group, NBN: Brown rice powder-8% fat diet group, NBK: Black rice powder-8% fat diet group, NB: Glutinous barley powder-8% fat diet group, HR: Well-milled rice powder-20% fat diet group, HBN: Brown rice powder-20% fat diet group, HBK: Black rice powder-20% fat diet group, HB: Glutinous barley powder-20% fat diet group

2) Mineral mix (AIN-93M-MIX): Calcium carbonate, anhydrous 357, Potassium phosphate, monobasic 250, Sodium chloride 74, Potassium sulfate 46.6, Potassium citrate, tri-potassium, monohydrate 28, Magnesium oxide 24, Ferric citrate 6.06, Zinc carbonate 1.65, Manganous carbonate 0.63, Cupric carbonate 0.3, Potassium iodate 0.01, Sodium selenate, anhydrous 0.01025, Ammonium paramolybdate 0.000795, Sodium meta-silicate, 9 hydrate 1.45, Chromium potassium sulfate, 12 hydrate 0.275, Boric acid, 0.0815, Sodium fluoride, 0.0635, Nickel carbonate 0.0318, Lithium chloride 0.0174, Ammonium vanadate 0.0066, Powdered sucrose 209.806

3) Vitamin mix (AIN-93-VX) (mg/kg mixture): Nicotinic acid 3000, Ca pantothenate 1600, Pyridoxine-HCl 700, Thiamin-HCl 600, Riboflavin 600, Folic acid 200, D-Biotin 20, Vitamin B₁₂ (cyanocobalamin) (0.1% in mannitol) 2.5, Vitamin E (all-rac- α -tocopheryl acetate) (500 IU/g) 1500, Vitamin A (all-trans-retinyl palmitate) (5000,000 IU/g) 800, Vitamin D₃ (cholecalciferol) (400,000 IU/g) 250, Vitamin K (Phylloquinone) 75, Powdered sucrose 974.655 g

을 식이무게의 0.05% 수준으로 첨가하였다.

실험동물은 한 마리 씩 stainless steel cage에서 사육하였고, 식이와 물은 자유롭게 먹도록 하였다. 동물 사육실은 온도 22~24°C, 습도 45% 내외로 유지시켰으며 lighting cycle은 12시간 주기로 일정하게 하였다.

2) 혈액과 장기의 채취

실험기간이 종료된 실험동물은 12시간 절식시킨 후 diethyl ether로 마취시켜 개복한 후 10 ml 주사기를 이용하여 심장에서 혈액을 채취하였다. 이때 eicosanoids 측정을 위한 혈액은 3.8% sodium citrate 용액 0.1 ml로 내부를 coating한 주사기를 사용하였으며 그 외에는 heparin (25000 IU/5 ml) 40 μ l로 내부를 coating한 주사기를 사용하였다. Sodium citrate 용액으로 coating한 주사기를 사용하여 채취한 혈액은 응고되는 것을 방지하기 위해 ethylene diamine tetra acetate (EDTA)가 들어있는 polystyrene tube에 담고, heparin 처리한 주사기를 사용한 경우에는 다른 처리 없이 바로 빈 polystyrene tube에 담아 ice bath에 20분간 방치한 후 원심분리기 (refrigerated multipurpose centrifuge union 55R Hanil, Korea)로 2,800 rpm, 4°C에서 30분간 원심 분리하였다. 원심분리 후 아래층의 red blood cell (RBC)과 혈장을 분리하여 -70°C deep freezer에 보관하고, 또한 혈장의 일부는 eicosanoids 측정을 위해 혈장 600 μ l에 EDTA 용액 57 μ l와 absolute alcohol에 녹인 0.04 M indomethacin 용액 3 μ l을 넣어 가볍게 혼합한 후 분석 전까지 -70°C deep freezer에 보관하였다. 위의 EDTA 용액은 2 g의 disodium EDTA와 0.8 g의 NaCl을 증류수로 녹인 후 NaOH로 pH 7.4를 맞추고 3차 증류수로 최종부피가 100 ml가 되도록 제조한 것으로 indomethacin 용액과 함께 혈장에 첨가하면 arachidonic acid가 prostaglandins로 전환되지 않도록 한다.

혈액을 채취한 후 ice bath위에서 즉시 간, 신장, 근육, 부고환 지방 조직을 채취하여 무게를 측정하였다.

3. 생화학적 분석

1) 당대사 관련 지표 분석

(1) 혈장의 포도당, insulin, glucagon

혈장의 포도당 수준은 glucose oxidase법¹⁹⁾을 이용한 Glucose-E kit (영동제약)를 이용하여 spectrophotometer (GENESYS 10, SPETRONIC, U.S.A.)로 파장 505 nm에서 비색 정량하였다.

혈장의 insulin 농도는 Mercodia rat insulin kit (Mercodia AB, Sweden)를 이용하여 two-site enzyme immu-

noassay로 분석하였다.

혈장의 glucagon 농도는 YK090 Glucagon EIA kit (Yanaihara, Japan)를 이용하여 측정하였다.

(2) 근육의 glycogen 함량

근육의 glycogen 함량은 근육 시료 0.2 g을 칭량하여 포도당으로 분해하여 측정하는 colorimetry법²⁰⁾을 이용하였으며, 포도당 표준용액과 비교하여 정량하였다. 근육 0.2 g을 1 ml의 30% KOH 용액에 넣고 20분간 100°C의 shaking water bath에서 가열한 후 ethanol을 1.25 ml 넣어 교반하고 5분간 100°C의 shaking water bath에서 다시 가열하였다. 이것을 즉시 ice water에 담겨 냉각시킨 후 15분간 3,000 rpm에서 원심분리시켜 상등액은 버리고 침전물을 4 ml의 3차 증류수를 넣고 섞어준 후 이 용액에서 1 ml를 취하였다. 여기에 2 ml의 0.2%의 anthrone solution을 넣고 10분 동안 100°C의 water bath에서 가열한 후 ice water에 담겨 냉각시킨 후 620 nm에서 microtitration plate photometer (SPECTRA MAX 340, U.S.A.)로 읽어 비색정량 하였다.

(3) 근육의 hexokinase 활성

근육의 hexokinase 활성은 glucose를 기질로 하여 25°C에서 5분 동안의 NADPH의 생성을 측정하는 Kawashita 등²¹⁾의 방법에 준하여 측정하였다. 근육 0.2 g을 칭량하여 extraction buffer 용액 2 ml을 넣어 균질화하였다. Extraction buffer의 구성은 50 mM/L의 Tris buffer, 5 mM/L MgCl₂, 1 mM/L EDTA, 20 mM/L mercaptoetanol (pH = 8.2)로 구성되었다. 균질액을 10,000 × g에서 15분 동안 원심분리 시키고 분리된 층의 상층액을 취한 후 100,000 × g에서 60분 동안 원심분리하였다. 원심분리 후 분리된 층의 상층액에서 20 μ l을 cuvette에 넣고 880 μ l의 reaction mixture를 섞었다. Reaction mixture의 구성은 75 mM의 Tris buffer, 7.5 mM의 MgCl₂, 0.8 mM의 EDTA, 1.5 mM의 KCl, 4 mM의 mercaptoetanol, 0.4 mM의 NADP⁺, 2.5 mM의 ATP (2Na), 10 mM의 creatine phosphate (2Na), 0.9 IU/ml의 creatine phosphokinase (rabbit muscle), 0.7 IU/ml의 glucose-6-phosphate dehydrogenase (*Leuconostoc mesenteroids*) (pH = 7.3)로 구성되었다. 기질을 넣은 유무에 따라 변화하는 흡광도의 차이를 비교하여 계산하는데, 이 반응에서는 glucose를 기질로 하였다. 즉 기질을 넣는 것은 10 mM의 glucose 0.1 ml을 첨가시켜 반응을 시작하였고 기질을 넣지 않는 반응은 glucose를 넣는 대신 동량의 reaction mixture를 넣어주었다. 340 nm에서 5분간 microtitration plate photo-

meter (SPECTRA MAX 340, U.S.A.)로 측정하였다.

2) 항혈전능 분석

(1) 혈장의 thromboxane B₂ 함량

Thromboxane A₂ (TXA₂)는 혈소판 응집의 강력한 inducer이며 vasoconstrictor로 작용을 하는데, 반감기가 30 초 정도로 매우 빠르게 가수분해되어 비교적 안정한 형태인 thromboxane B₂ (TXB₂)를 형성한다. 따라서 TXB₂를 측정하는 것이 TXA₂의 좋은 지표가 될 수 있다. 분석방법은 unlabelled TXB₂와 일정량의 peroxidase 로 labelled 된 TXB₂ 간의 한정된 수의 specific antibody의 결합 위치에 대한 competition을 근거로 한 enzyme immunoassay (EIA) kit (amersham phamacia biotech, UK)를 사용하였다. 반응은 1M 황산 용액을 넣어 종결시킨 후 생성된 반응물질은 450 nm에서 microtitre plate photometer (SPECTRA MAX 340, U.S.A.)로 읽어 비색정량 하였다. 이 때 TXB₂ 표준용액의 농도범위는 0~64 pg/well 이었다.

(2) 혈장의 6-keto-prostaglandin F_{1α} 함량

Prostacyclin (PGI₂)은 TXA₂와 생리적으로 정반대의 작용을 하며, 불안정하여 자발적 가수분해 과정을 거쳐 6-keto-Prostaglandin F_{1α}가 된다. 따라서, 6-keto-Prostaglandin F_{1α}를 측정하는 것이 PGI₂ 형성량을 대표한다고 하겠다. 분석 방법은 TXB₂의 분석 원리와 같으며 EIA kit (amersham phamacia biotech, UK)를 사용하여 반응시킨 후 1 M 황산 용액을 넣어 반응을 종결 시키고 450 nm 에서 microtitre plate photometer (SPECTRA MAX 340, U.S.A.)로 측정을 하였다.

4. 통계 처리

Window용 SAS package program를 이용하여 모든 측정치는 실험군당 평균과 표준오차를 계산하였고, 일원배치 분산분석 (one-way analysis of variance)을 한 후 $\alpha = 0.05$ 수준에서 Duncan's multiple range test에 의하여 각 실험군 평균치간의 유의성을 검정하였다. 또한 각 실험인자 (A: 식이내 지방수준, B: 식이내 곡류의 종류)의 영향과 이들의 상호작용 (A × B: 식이내 지방수준 × 식이내 곡

류의 종류)의 영향은 이원배치 분산분석 (two-way analysis variance)을 하여 각 요인과 요인간의 상호작용의 효과를 $\alpha = 0.05$ 수준에서 검정하였다.

실험결과

1. 백미, 현미, 흑미, 찰보리 시료의 수율 및 총 식이 섬유함량

본 실험에서 사용한 백미, 현미, 흑미, 찰보리 건분의 수율 및 식이섬유의 함량은 Table 2와 같았다. 실험 식이에 첨가한 각 곡류의 동결건조 수율은 백미는 83%, 현미는 82%, 흑미는 88%, 찰보리는 82%로 나타났다.

각 곡류 내에 함유되어 있는 식이섬유를 분석한 결과, 식이섬유의 총량은 백미가 43.63 mg/g, 현미는 62.95 mg/g, 흑미는 75.83 mg/g, 찰보리는 96.30 mg/g으로 나타나 찰보리가 가장 높았고 다음 흑미, 현미, 백미 순으로 총식이 섬유 함량이 높았다. 식이섬유 총량 중 불용성 섬유질이 차지하는 비율은 흑미, 백미, 현미, 찰보리 순으로 높았다. 수용성 섬유질의 총량은 찰보리, 현미, 흑미, 백미 순으로 높았고 특히 찰보리는 식이섬유 총량 중 수용성 식이섬유가 차지하는 비율 또한 다른 곡류에 비해 높게 나타났다.

2. 식이 섭취량과 체중변화량 및 식이섬유 섭취량

실험동물의 일주일 간의 평균 식이 섭취량과 실험기간동안의 체중변화량은 Table 3과 같았다. 일주일 간의 평균 식이섭취량은 곡류 급원의 차이에 따라 유의적인 차이가 있었다. 백미, 현미, 흑미군에 비해 찰보리군의 평균 식이섭취량이 유의적으로 낮았다. 미반 유도 후 곡류종류와 지방수준이 다른 식이를 섭취한 체중변화량은 고지방식이군들이 중지방식이군들에 비해 체중변화량이 유의적으로 높아서 고지방식이군들의 체중변화량은 중지방식이군보다 변화량이 7배 정도 더 높았다. 특히 고지방-찰보리군은 중지방식이를 준 백미, 현미, 흑미군 에서의 체중변화와 비슷한 정도의 체중증가를 보였다.

실험동물의 식이섭취량을 열량으로 환산하여 단위 열량당 체중증가량을 비교하였을 때 고지방식이군들이 중지방식이군에 비해 유의적으로 높았다. 또한 백미, 현미, 흑미군

Table 2. Yields, contents of total dietary fibers in four kinds of grain powders

Constitute	Types of diet			
	Well-milled rice powder	Brown rice powder	Black rice powder	Glutinous barley powder
Yields (%)	83.34	82.00	87.50	82.00
Total dietary fibers (mg/g powder)	43.63	62.95	75.83	96.30
Insoluble dietary fibers (mg/g powder)	38.60	54.55	69.67	76.19
[% of IDF in total dietary fibers]	[88.47]	[86.66]	[91.88]	[79.12]
Soluble dietary fibers (mg/g powder)	5.03	8.40	6.16	20.11
[% of SDF in total dietary fibers]	[11.53]	[13.34]	[8.12]	[20.88]

Table 3. Food intake and body weight gain in rats fed diets containing one of four kinds of grains with two different fat levels¹⁾

Groups ²⁾		Food intake (g/week)	Body weight gain (g/2 months)	Weight gain/calorie intake (g/kcal, 2 months)	
1-way analysis	NR	174.86 ± 4.82 ^{ab}	22.30 ± 10.42 ^b	0.004 ± 0.002 ^b	
	NBN	163.88 ± 4.46 ^{ab}	15.33 ± 9.03 ^{bc}	0.003 ± 0.002 ^b	
	NBK	175.95 ± 7.28 ^a	32.60 ± 13.90 ^b	0.005 ± 0.002 ^b	
	NB	153.77 ± 7.00 ^b	-20.60 ± 13.01 ^c	-0.005 ± 0.003 ^c	
	HR	174.80 ± 6.38 ^a	114.11 ± 14.71 ^a	0.017 ± 0.002 ^a	
	HBN	177.79 ± 5.75 ^a	115.10 ± 14.86 ^a	0.015 ± 0.001 ^a	
	HBK	172.98 ± 7.85 ^a	106.80 ± 18.51 ^a	0.015 ± 0.002 ^a	
	HB	150.60 ± 6.22 ^b	6.20 ± 13.91 ^{bc}	0.000 ± 0.002 ^{bc}	
2-way analysis	Dietary fat level	Medium 167.20 ^a High 168.66 ^a	12.33 ^b 84.82 ^a	0.002 ^b 0.012 ^a	
	Grain Variety	Rice	174.83 ^a	65.79 ^a	0.010 ^a
		Brown rice	170.84 ^a	67.84 ^a	0.009 ^a
		Black rice	174.46 ^a	69.70 ^a	0.010 ^a
		Glutinous barley	152.18 ^b	-7.20 ^b	-0.002 ^b
Significant factor ⁴⁾		B	A, B, A × B	A, B	

1) Mean ± Standard error

2) See table 1

3) Values with different alphabet within the column are significantly different, at α = 0.05 level by Duncan's multiple range test

4) Statistical significance of experimental factors was calculated based on 2-way ANOVA.

A: Effect of dietary fat level was significant at α = 0.05 level, B: Effect of grain variety was significant at α = 0.05 level

A × B: Interaction of dietary fat level and grain variety was significant at α = 0.05 level

Table 4. Dietary fiber intake in rats fed diets containing one of four kinds of grains two different fat levels¹⁾

Groups ²⁾	Total dietary fibers intake (g/2 months)	Insoluble dietary fibers intake (g/2 months)	Soluble dietary fibers intake (g/2 months)
NR	40.93 ± 1.13 ^{ab}	36.21 ± 1.00 ^c	4.72 ± 0.13 ^e
NBN	55.35 ± 1.51 ^c	47.97 ± 1.31 ^b	7.39 ± 0.20 ^c
NBK	71.59 ± 2.96 ^b	65.77 ± 2.72 ^a	5.82 ± 0.24 ^d
NB	79.45 ± 3.61 ^a	62.86 ± 2.86 ^a	16.59 ± 0.75 ^a
HR	31.13 ± 1.14 ^e	27.54 ± 1.01 ^d	3.59 ± 0.13 ^f
HBN	45.68 ± 1.48 ^d	39.59 ± 1.28 ^c	6.10 ± 0.20 ^d
HBK	53.54 ± 2.43 ^c	49.19 ± 2.23 ^b	4.35 ± 0.20 ^{ef}
HB	59.19 ± 2.45 ^c	46.83 ± 1.94 ^b	12.36 ± 0.51 ^b

1) Mean ± Standard error

2) See table 1

3) Values with different alphabet within the column are significantly different, at α = 0.05 level by Duncan's multiple range test

에 비해 찰보리군의 단위 열량 당 체중증가량이 유의적으로 가장 낮았다.

실험동물의 두 달간의 식이섭취량으로부터 백미, 현미, 흑미, 찰보리 내 들어있는 총 식이섬유, 불용성식이섬유, 수용성식이섬유 함량을 이용하여 식이섬유 섭취량을 계산한 결과는 Table 4와 같았다. 실험동물의 두 달간의 평균 총 식이섬유 섭취량은 중지방-찰보리군이 가장 높았고 고지방-백미군이 가장 낮았다. 불용성 식이섬유 섭취량은 중지방-흑미군, 중지방-찰보리군이 유의적으로 높았으며 고지방-백미군에서 가장 낮았다. 수용성 식이섬유 섭취량은

중지방-찰보리군은 16.59 ± 0.75 g으로 가장 높았고 고지방-백미군은 3.59 ± 0.13으로 가장 낮았다.

3. 생화학적 분석

1) 곡류급원과 지방수준에 따른 당대사의 변화

(1) 혈장 내 포도당 수준

실험동물의 혈장 내 포도당 수준은 Table 5와 같았다. 혈장 내 포도당 수준은 모든 실험군들 간에 유의적인 차이가 나타나지 않았다. 즉 지방수준에 따라 유의적인 차이가 나지 않았으며 곡류종류에 의해서도 현저한 차이를 볼 수 없었다.

(2) 근육 내 glycogen 함량

실험동물의 근육 내 glycogen 함량은 Table 5와 같이 모든 군 간에 유의적인 차이가 나타나지 않았다.

(3) 혈장 내 insulin 농도

실험동물의 혈장 내 insulin 농도는 Table 5와 같았다. 혈장 내 insulin 농도는 식이 지방 수준에 의해서는 유의적인 차이가 없었으나 고지방 식이군이 중지방식이군에 비해 다소 높은 경향을 나타내었다. 곡류종류에 따라서는 백미군에 비하여 나머지 세 곡류군들이 낮았는데 특히 흑미, 찰보리 군이 유의적으로 insulin 농도가 낮았다. 중지방-백미군의 insulin 농도가 가장 높았고 이 고지방 식이군들 중

백미군, 현미군, 흑미군들이 유사한 수준의 insulin 농도를 보였고 고지방-찰보리군이 중지방군들 중 현미군, 흑미군, 찰보리군과 유사한 수준의 insulin 농도를 나타내었다.

이가 나지 않았으나 곡류종류에 의한 차이를 보여 찰보리군에서 가장 낮은 경향을 보였다. 그러나 식이 지방 수준에 따른 차이는 볼 수 없었다.

(4) 혈장 내 glucagon 농도

실험동물의 혈장 내 glucagon 농도는 Table 5와 같았다. 혈장 내 glucagon 농도는 모든 군들 간에 유의적인 차

(5) 근육 내 hexokinase 활성

실험동물의 근육 내 hexokinase 활성은 Table 6과 같았다. 근육 내 hexokinase 활성은 식이지방 수준 및 곡류

Table 5. Plasma glucose concentration, gastrocnemius muscle glycogen content, plasma insulin concentration and plasma glucagon concentration in rats fed diets containing one of four kinds of grains with two different fat levels¹⁾

Groups ²⁾		Blood glucose (mg/100 ml)	Glycogen content (μ g/g)	Plasma insulin (ng/ml)	Plasma glucagon (ng/ml)	
1-way analysis	NR	158.44 \pm 4.39 ^{NS3)}	170.37 \pm 19.88 ^{NS3)}	2.84 \pm 0.46 ³⁾	0.33 \pm 0.05 ^{NS3)}	
	NBN	165.80 \pm 5.88	301.54 \pm 70.77	1.71 \pm 0.28 ^{b)}	0.30 \pm 0.04	
	NBK	167.45 \pm 7.96	224.09 \pm 44.09	1.47 \pm 0.18 ^{b)}	0.30 \pm 0.05	
	NB	163.56 \pm 7.59	190.71 \pm 39.95	1.81 \pm 0.21 ^{b)}	0.23 \pm 0.03	
	HR	167.65 \pm 8.08	215.55 \pm 48.57	2.30 \pm 0.55 ^{ab)}	0.34 \pm 0.05	
	HBN	153.62 \pm 10.19	210.12 \pm 27.08	2.33 \pm 0.33 ^{ab)}	0.33 \pm 0.04	
	HBK	168.38 \pm 4.81	227.46 \pm 56.81	2.00 \pm 0.26 ^{ab)}	0.34 \pm 0.04	
	HB	170.90 \pm 6.63	223.14 \pm 62.59	1.54 \pm 0.17 ^{b)}	0.23 \pm 0.03	
2-way analysis	Dietary fat level	Medium 163.76 ^{NS4)} High 165.37	222.19 ^{NS4)} 219.76	1.96 ^{NS4)} 2.03	0.29 ^{NS4)} 0.31	
	Grain variety	Rice	162.80 ^{NS4)}	192.96 ^{NS4)}	2.58 ^{3d)}	0.34 ^{3d)}
		Brown rice	159.71	258.52	2.02 ^{ab)}	0.31 ^{ab)}
		Black rice	167.91	225.97	1.72 ^{b)}	0.32 ^{ab)}
		Glutinous barley	167.23	206.92	1.67 ^{b)}	0.23 ^{b)}
	Significant factor ⁴⁾		-	-	B	-

1) Mean \pm Standard error, 2) See table 1, 3) Not significant at $\alpha = 0.05$ level by 1-way ANOVA,

4) Statistical significance of experimental factors was calculated based on 2-way ANOVA.

A: Effect of dietary fat level was significant at $\alpha = 0.05$ level, B: Effect of grain variety was significant at $\alpha = 0.05$ level

A \times B: Interaction of dietary fat level and grain variety was significant at $\alpha = 0.05$ level

-: Effects of A and B was not significant at $\alpha = 0.05$ level

Table 6. Gastrocnemius muscle hexokinase activity, plasma TXB₂ content and plasma content of 6-keto-PGF_{1 α} in rats fed diets containing one of four kinds of grains with two different fat levels¹⁾

Groups ²⁾		Hexokinase activity (nmol/min/mg protein)	Plasma thromboxane B ₂ (ng/dl)	6-keto-prostaglandin F _{1α} (ng/dl)	
1-way analysis	NR	7.12 \pm 1.10 ^{bc3)}	20.17 \pm 3.42 ^{b3)}	8.88 \pm 1.02 ^{NS3)}	
	NBN	12.54 \pm 1.90 ^{a)}	10.56 \pm 1.67 ^{b)}	7.99 \pm 2.03	
	NBK	9.70 \pm 1.70 ^{ab)}	15.34 \pm 2.33 ^{b)}	8.02 \pm 1.22	
	NB	6.03 \pm 1.25 ^{bc)}	14.07 \pm 2.33 ^{b)}	19.15 \pm 12.25	
	HR	5.40 \pm 0.98 ^{c)}	26.81 \pm 5.23 ^{ab)}	5.81 \pm 1.17	
	HBN	6.57 \pm 0.68 ^{bc)}	36.81 \pm 12.24 ^{a)}	11.01 \pm 3.20	
	HBK	4.80 \pm 0.42 ^{c)}	14.98 \pm 2.80 ^{b)}	10.76 \pm 3.74	
	HB	5.32 \pm 0.69 ^{c)}	16.92 \pm 4.12 ^{b)}	19.64 \pm 13.38	
2-way analysis	Dietary fat level	Medium 8.75 ^{3d)} High 5.57 ^{b)}	15.53 ^{3d)} 23.88 ^{a)}	11.09 ^{NS4)} 11.98	
	Grain variety	Rice	6.36 ^{3d)}	23.32 ^{NS4)}	7.43 ^{NS4)}
		Brown rice	9.56 ^{a)}	26.20	9.50
		Black rice	7.68 ^{ab)}	15.17	9.39
		Glutinous barley	5.70 ^{b)}	15.49	19.39
	Significant factor ⁴⁾		A, B	A	-

1) Mean \pm Standard error, 2) See table 1

3) Not significant at $\alpha = 0.05$ level by 1-way ANOVA, 4) See table 5⁴⁾

의 종류에 따라 hexokinase 활성은 유의적이어서 중지방식이군들이 고지방식이군들에 비해 유의적으로 높았다. 곡류의 종류에 따른 차이를 보면 현미군이 가장 유의적으로 hexokinase 활성이 높았으며 중지방식이에서는 흑미, 백미, 찰보리 순으로 그 활성이 높았다.

2) 곡류급원과 지방수준에 따른 항혈전능의 변화

(1) 혈장의 thromboxane B₂ 함량과 6-keto-prostaglandin F_{1α} 함량

실험동물의 혈장의 thromboxane B₂ 함량은 Table 6과 같았다. 혈장 내 thromboxane B₂ (TXB₂)의 함량은 혈소판 응집과 혈관 수축을 촉진하는 thromboxane A₂ (TXA₂) 지표로서 측정하였으며 본 연구에서의 혈장의 thromboxane B₂ 함량은 고지방-현미군이 유의적으로 가장 높았다. 식이지방수준에 따른 차이를 보면 고지방 식이군들의 TXB₂의 함량이 중지방식이군들에 비해 유의적으로 높았고 곡류의 종류에 따라서는 유의적인 차이가 없었으나 현미, 백미군들이 찰보리, 흑미군들에 비하여 높은 경향을 나타내었다. 특히 현미군들의 경우 TXB₂ 함량이 중지방-현미군은 모든 군 중 가장 낮았으나 고지방-현미군은 모든 군들 중 가장 높았다. 그러나 흑미와 찰보리군들의 경우 식이지방수준과 관계없이 TXB₂ 함량이 백미군들에 비하여 다소 낮았다.

실험동물의 혈장 내 6-keto-prostaglandin F_{1α} 함량은 Table 6과 같았다. 혈장 내 6-keto-prostaglandin F_{1α}의 함량은 TXA₂와 정반대의 생리작용을 하는 prostacyclin (PGI₂)의 형성량을 대표하는 지표로 측정하였는데 본 연구에서 혈장의 6-keto-prostaglandin F_{1α} 함량은 모든 실험군들 간에 유의적인 차이가 없었으나 고지방-찰보리군과 중지방-찰보리군이 다른 곡류군들에 비해 높은 경향을 나타내었다. 즉 곡류 종류의 차이만을 비교하였을 때, 유의적이지는 않지만 찰보리군의 수준이 가장 높았음을 알 수 있었다.

고 찰

1. 곡류 급원에 따른 체중변화량

본 연구에서 실험기간동안의 흰쥐의 체중은 찰보리군에서 유의적으로 감소하였다. 식이섭취량에서도 찰보리군이 유의적으로 그 수준이 낮았는데, 실험동물의 식이섭취량을 열량으로 환산하여 단위 열량 당 체중증가량을 비교하였을 때 백미, 현미, 흑미군에 비해 찰보리군의 체중증가량이 유의적으로 가장 낮았다. Pectin, gums, mucilages, hemicellulose 등의 수용성 식이섬유는 보수력이 커서 장에서 gel

을 형성하여 점도가 높아지므로 음식물이 위에 머무르는 시간을 증가시켜 포만감을 주고 영양소의 소화, 흡수를 지연시켜 당뇨병 환자의 포도당 내성을 증진시키는 효과를 가지며 장내에서 cholesterol 및 담즙산을 흡착하여 대변으로 배설시킴으로써 혈청 cholesterol 수준을 저하시키고 심장병 및 대장암의 발병률을 낮춘다고 보고 되고 있다.²²⁻²⁵⁾ 또한 Cellulose, lignin 등의 불용성 식이 섬유는 대장 내 미생물의 작용을 적게 받아, 대장 내에 비발효 잔사로 식이섬유의 matrix가 그대로 남게 되어 대변의 부피와 무게를 증가시키는 효과적이다.²⁶⁾ 본 실험에서 찰보리의 경우 식이섬유 총량 중 수용성 섬유소의 함량이 차지하는 비율은 20.88%로 가장 높았고, 그 다음 현미가 13.34%, 백미가 11.53%, 흑미가 8.12%인 것을 볼 때 찰보리의 수용성 식이섬유로 인해 체중 감소가 일어났던 것으로 생각된다. 또한 불용성 식이섬유의 함량에서도 찰보리가 식이섬유 총량 중 불용성 식이섬유가 차지하는 함량이 76.19 mg/g으로 가장 높았고 그 다음 흑미가 69.67 mg/g, 현미는 54.55 mg/g, 백미는 38.60 mg/g로 나왔다. 이러한 결과로 미루어 볼 때 체중감소에 찰보리가 백미, 현미, 흑미에 비해 가장 효과적인 곡류로 생각된다. 여성을 대상으로 한 Li 등²⁷⁾의 연구에 의하면 보리의 섭취가 지질 대사에 이로운 효과를 가진다고 하였다. 즉 보리를 섭취하게 한 실험에서 보리가 혈중 지질과 변 중의 지질을 배설시키는 작용을 일으켜 체내 지질대사와 관련하여 이로운 작용을 한다고 하였다. 또한 Behall 등²⁸⁾은 보리에 풍부한 수용성 식이섬유, 즉 β-glucan이 풍부하여 보리의 보충이 남성과 여성 둘다에서의 총콜레스테롤과 LDL 콜레스테롤 수준을 낮추준다고 보고하였다. 본 연구의 체중감소에 찰보리가 백미, 현미, 흑미에 비해 가장 효과적인 작용을 하는 기전은 보리의 식이섬유 형태인 β-glucan과 지질대사와의 상관성과 관련하여 설명할 수 있겠다.

2. 곡류급원과 지방수준에 따른 당대사의 변화

곡류와 곡류 추출물들을 많이 섭취하는 것은 혈당을 조절하거나 개선하고 인슐린 저항성을 감소시키는 것으로 알려져 왔다. 인슐린 저항성은 비만과 관련 있고, 제 2형 당뇨병의 초기 위험 단계로 가는 것과 연관이 있다. 곡류가 인슐린 저항성과 당뇨로의 진전을 지연하거나 막는 등의 여러 당대사들과 관계한다.²⁹⁾

백미, 현미, 흑미, 찰보리의 동결건조 분말 1 g에 들어있는 총 식이섬유의 함량을 측정하였을 때 백미가 43.63 mg/g, 현미는 62.95 mg/g, 흑미는 75.83 mg/g, 찰보리는 96.3 mg/g으로 나타나 찰보리, 흑미, 현미, 백미 순으로 총 식이

섬유 함량이 높았다. 식이섬유는 수용성 섬유와 불용성 섬유로 분류되는데 이들은 비전분성 다당류들이며, 여기에는 cellulose, mixed-linkage β -glucan, hemicellulose, pectin, gums 등이 포함된다. 혈장 콜레스테롤의 저하 작용, 혈당 수준의 변화, 대장 기능의 개선, 영양소 이용 효율의 저하와 같은 여러 가지 생리적 효과들은 분리된 섬유 분획들이나 섬유가 풍부한 식품들 모두에서 일어난다.³⁰⁾ 식사를 통하여 10~25 g 범위로 섭취한 점성 식이섬유는 식후 혈당과 인슐린 수준을 저하시킨다.³¹⁾ 이와 같은 반응은 정상인과 당뇨병 환자 모두에서 식이섬유가 당 부하와 함께 투여되거나 또는 식사 일부로써 투여될 때 일어난다. 이 효과는 위내용 배출의 지연, 소장 내에서의 전분소화의 지연과 소장으로부터 포도당 흡수의 지연 등에 의한 것으로 설명될 수 있다.

본 실험 결과 혈장 내 포도당 농도는 백미, 현미, 흑미, 찰보리군을 공급한 모든 군들 간에 유의적인 차이가 나타나지 않았으나 흑미, 찰보리군이 다소 높은 경향을 보였다. 일반적으로 식품 중 식이섬유는 당성분의 흡수를 저해하여 혈당 상승 지연 및 저하효과가 있는 것으로 보고되었다.^{32,33)} 본 연구에서 곡류의 총 식이섬유의 함량과 혈당과의 관계를 보면 찰보리, 흑미, 현미, 백미 순으로 식이섬유의 함량이 높았지만 혈당수준에서는 유의적인 차이가 나지 않았다.

실험동물의 일주일 간의 평균 식이섭취량은 찰보리군에서 유의적으로 낮았고 식이 내의 식이섬유 함량이 높아 총 식이섬유 및 수용성 식이섬유 섭취량이 오히려 더 높았음에도 불구하고 혈당수준에서 유의적인 차이가 나지 않았다. 본 연구에서 각각의 곡류 섭취와 혈당과의 관계의 결과를 혈당과 insulin과의 상관성과 연관 지어 생각해 볼 수 있겠는데 백미에서 흑미, 찰보리를 공급한 군과는 달리 유의적으로 혈중 insulin 분비가 높았다. 백미군은 식이섬유 섭취량은 낮았으나 혈당에서 다른 곡류들과 큰 차이가 없었다. 이것은 insulin 수준이 높아서 혈당을 낮추는데 insulin의 영향이 컸던 것으로 생각된다. 본 연구에서 고지방식은 흰쥐에서 혈당조절과 인슐린 저항성이 초래될 정도로 비만을 유도하지 못하였으며 혈당수준변화는 식이섬유섭취량보다는 insulin 수준에 따른 영향이 더 큰 것으로 보인다.

Glucagon은 간의 glycogen으로부터 포도당의 방출을 자극함으로써 당 섭취 부족 시에 에너지를 내도록 유지시키는 작용을 하며 glucagon의 방출은 당과 insulin에 의해 주로 조절된다. 본 연구에서 혈중 glucagon 수준은 찰보리군이 낮았으나 insulin/glucagon ratio는 모든 군 간에 차이가 없어 실험군들의 혈당 수준에 큰 차이가 없었던 것이 그 원인으로 생각된다.

종류가 다른 곡류 식이가 본 연구에서 사육한 실험쥐의 근육 내 glycogen 함량을 변화시키지 못하였다. 이것은 근육의 glycogen은 주로 근육의 에너지원으로 사용되고 혈당조절과는 관계가 없는 것으로 보인다. 본 연구에서 공복 후 12시간 후에 근육의 glycogen 저장량은 민감하게 영향을 받지 않은 것으로 보인다. 또한 본 실험쥐들은 cage에서 관리되어 근육 운동도 할 수 없어 운동으로 인한 근육 내 glycogen 함량 차이도 볼 수 없었던 것으로 보인다.

Hexokinase는 해당과정에 있어서 첫 번째 효소로서 해당과정의 속도를 결정하는 효소이다. 이것은 insulin 의존적이고 포도당 항상성을 유지시키고 glucose-6-phosphate를 생성함으로 모든 세포의 유지에 중요한 역할을 한다. Hexokinase의 활성이 증가하는 것은 해당과정이 일어나고 있음을 의미하며 이것은 에너지 생산을 위한 당의 사용이 증가됨을 나타내 주는 지표라고 할 수 있겠다.³⁴⁾ 연구결과 hexokinase 활성에서 고지방식이군에 비해 중지방식이군이 hexokinase 활성이 유의적으로 높았다. 이는 중지방군들이 고지방군들에 비해 에너지 급원으로 포도당을 더 많이 이용하고 있음을 나타낸다고 할 수 있다. 곡류에 따른 차이를 보면 현미군의 hexokinase 효소 활성이 유의적으로 가장 높았다. *Gongronema latifolium* 잎의 수용성 추출물과 에탄올 추출물의 혈당강하효과에 관한 Ugochukwu와 Baddy의 연구³⁵⁾에서 이러한 물질을 투여한 당뇨쥐에서 대조군 당뇨쥐에 비해 유의적으로 간에서의 hexokinase 효소 활성을 증가시켰고, 혈당저하 효과가 있다고 발표하였다. Pari와 Satheesh의 *Boerhaavia diffusa* L.의 항당뇨효과에 대한 연구³⁶⁾에서 실험물질을 처리한 당뇨쥐에서 간의 hexokinase 활성을 증가시킴으로 해당과정을 촉진하며 혈당의 감소를 유도하였다고 하였다. 본 실험에서 hexokinase 활성이 현미군에서 가장 높았다는 것은 고지방 식이에 의한 당뇨 유발 위험에 현미가 혈당을 감소시키는데 가장 효과적이라고 생각할 수 있겠다. 실제로 고지방 식이를 섭취한 군들 중 현미군의 혈당 수준이 가장 낮은 경향을 보였다. 그러나 본 연구에서 혈당 수준이 모든 군 간에 유의적 차이가 나타나지 않았다. 이는 실험동물로부터 혈액을 식후 12시간 만에 채취하였고 또한 당뇨병 환자에게 guar gum, pectin과 같은 정제된 식이섬유를 식이 무게의 4~5% 첨가하여 혈당강하 효과를 관찰한 실험³⁷⁾에 비해 식이 내 식이섬유의 함량이 적고, 점도 등의 물리적 특성이 다르기 때문에 뚜렷한 혈당 강하 효과를 나타내지 않았다고 생각된다.

식이섬유와 혈당강하효과와 관련된 많은 연구결과들이 보고되었는데 Hiromi 등³⁸⁾의 연구에 의하면 당뇨 쥐를 대상

으로 백미와 발아현미를 7주 동안 섭취시키고 혈당수준을 비교해 본 결과 식이섬유 함량이 높았던 발아현미를 먹인 군에서 혈당수준을 낮춘다고 하였다. 연구에 사용되었던 백미에 함유된 총식이섬유량은 0.6 g/100 g total dietary powder, 발아현미에 함유된 총식이섬유량은 2.7 g/100 g total dietary powder로 본 연구에서 사용된 백미, 현미의 총식이섬유 함량에 비해 낮았음에도 불구하고 효과를 나타내었다 (본 연구에서 사용된 총식이섬유량은 다음과 같다—중지방-백미군: 2.9 g/100 g total dietary powder, 고지방-백미군: 2.2 g/100 g total dietary powder, 중지방-현미군: 4.2 g/100 g total dietary powder, 고지방-현미군: 3.2 g/100 g total dietary powder). 그러나 Hiromi 등의 연구에서는 지방 함량이 본 실험의 중지방, 고지방 식이군의 지방함량에 비해 더 적은 양이었음을 감안한다면 본 연구에서 지방함량이 더 높아 식이섬유 중재효과가 가리워졌다고 생각되어진다. Lee 등³⁹⁾의 연구에서 고식이섬유현미를 10주간 섭취시킨 당뇨 쥐의 내당능을 비교하기 위해 포도당을 투여하였고 포도당 투여 후 120분 후의 혈당이 고식이섬유현미군에서 대조군보다 유의하게 낮은 결과를 보였다. Lee 등의 연구에서 사용된 고식이섬유 현미는 일반 쌀의 2배 이상의 식이섬유가 함유되어 있어서 그 효과를 나타내었다고 생각된다. Li 등²⁷⁾의 연구에서는 당뇨쥐를 대상으로 보리, 백미, cornstarch로 나누어 9개월 동안 섭취시켰을 때 보리를 섭취한 군이 glucose tolerance를 유의적으로 개선시켰다고 보고하였다. Li 등의 연구에서 실험동물이 섭취한 보리에 포함된 식이섬유 섭취량을 보면 1.79 g/d 였는데, 본 연구와 비교 시 중지방-보리군의 식이섬유 섭취량은 1.42 g/d, 고지방-보리군은 1.06 g/d로 본 연구에 비해 식이섬유섭취량이 더 높았고 기간 또한 길어서 식이섬유에 의한 효과를 나타내었다고 생각된다. 또한 Urooj 등⁴⁰⁾의 연구에서 당뇨환자 15명을 대상으로 10%의 보리와 15%의 정맥 (pearl barley)을 첨가한 빵을 섭취했을 때 밀빵을 섭취했을 때에 비해 혈당을 낮춘다고 하였다. Pick 등⁴¹⁾의 연구에서 11명의 제 2형 당뇨환자를 대상으로 밀빵 대신 보리빵을 24주간 섭취시켰을 때 보리가 혈당을 감소시키는 데 효과적이었다는 연구결과가 보도되었다. 그러나 Li 등⁴²⁾의 연구에 의하면 10명의 여성을 대상으로 4주간 보리를 첨가한 식이를 시켰을 때 공복 시 혈당 개선능을 보이지 않았다. 4주의 기간이 단기간이었기 때문에 공복 시 혈당에 영향을 끼치지 않았던 것으로 보인다.

따라서 위의 연구들의 결과와 본 연구 결과를 종합해 볼 때, 식이섬유의 공복 시 혈당과 내당력에서의 개선 정도는 식이섬유 섭취량, 섭취기간, 식이섬유 종류, 정상-당뇨 실

험동물 model, 식이 내 지방함량 등에 따라서 그 효과가 차이가 있을 것으로 생각된다.

이상을 종합해 보면 백미 또는 현미, 흑미, 찰보리를 탄수화물 급원으로 하고 식이 지방 수준을 달리한 식이를 공급하였을 때 혈당 수준이 실험군 간에 유의적인 차이가 나지 않았다. 이는 식이섬유 섭취량에 따른 영향이 혈중 insulin 수준에 의하여 가려진 것으로 생각된다. 식후 12시간이 지난 혈중 insulin 수준은 식이 지방 수준에 따른 차이는 없었지만 곡류 중에서는 백미군의 혈중 insulin 수준이 유의적으로 가장 높았다. 또한 근육 내 hexokinase 효소 활성이 유의적으로 가장 높았던 현미군에서 혈당 수준이 유의적이지는 않았지만 가장 낮은 경향을 나타낸 것으로 보아 현미는 hexokinase 활성을 증가시켜 혈당을 낮출 수 있는 가능성을 나타내었고 관련 연구를 통해 계속하여 검토할 필요가 있겠다.

3. 곡류급원과 지방수준에 따른 항혈전능의 변화

본 연구에서는 고지방식으로 비만을 유도한 후 백미 또는 현미, 흑미, 찰보리를 탄수화물 급원으로 하고 식이지방수준을 달리한 식이를 공급하였을 때, 성장기 이후 흰쥐에서 곡류의 생리활성물질들이 혈전형성에 어떠한 영향을 주는 지 함께 살펴보았다.

생체 내에서 혈액은 응고와 용해작용이 항상 평형을 이루고 있어 정상적인 상태에서는 출혈이나 혈전 등에 의하여 흐름이 방해받지 않는다. 혈전형성은 과도한 혈소판 응집과 관련이 있으며 혈소판 응집은 아라키돈산에서 합성되는 TXA₂와 PGI₂량에 의해 조절된다. 즉 혈소판 응집작용과 혈관수축 작용을 하는 TXA₂와 항응집 작용과 혈관 확장 작용을 하는 PGI₂의 길항작용 때문에 TXA₂와 PGI₂의 균형에 의해 혈소판 응집이 조절된다고 할 수 있다.⁴³⁾

혈소판 응집 반응은 동맥경화, 혈전형성 및 혈관 협착에 의한 색전증의 주요한 병인으로 여기어 지는 것으로 염증상태에서 arachidonic acid가 세포막으로부터 유출되어 lipoxygenase와 cyclooxygenase에 의해 prostaglandin endoperoxide와 thromboxane A₂ (TXA₂)로 대사되는 과정을 통해서 일어난다. Prostaglandin endoperoxide와 TXA₂는 혈소판을 활성화시켜서 활성화된 혈소판이 혈관벽에 침착, 응집되도록 유도하고, lipid peroxide와 free radical의 발생을 증가시키고 또한 내피세포에서 항혈전 및 혈관이완인자인 prostacyclin과 nitrous oxide가 생성되는 것을 방해하는 역할을 한다.^{44,45)}

본 연구의 혈장 내 TXB₂의 함량은 고지방 식이군이 중지방식이군에 비해 유의적으로 높았고, 곡류종류에 의한 차

이를 보면 유의적이지는 않았지만 흑미, 찰보리군이 백미, 현미군보다 낮은 경향을 나타내었다. 한편 6-keto-PGF_{1α}의 함량은 곡류군들 중 찰보리군에서 가장 높은 경향을 나타내었다.

흑미는 그 색소성분으로 인하여 다른 곡류에 비하여 페놀 화합물의 함량이 매우 높으며 흑미의 butanol 분획 중 흑미 페놀화합물의 항산화 기작은 라디칼 소거작용에 기인하는 것이며 특히 활성산소종에 가장 반응성이 크며 생체내의 산화 원인이 되는 hydroxy 라디칼의 소거능은 기존의 항산화제보다 월등히 우수하다고 한다.¹¹⁾ Ling 등⁴⁶⁾의 연구에 의하면 고콜레스테롤 식이를 섭취한 토끼에서 흑미나 흑미 껍질부분을 투여시 백미 껍질부분을 투여했을 때 비하여 죽상경화 plaque 형성을 유의적으로 감소시켰다고 하였다. 이것은 흑미를 먹인 토끼에서의 항산화 상태를 개선시킨 것과 관련 있는데 흑미는 vitamin E, selenium, 철분, 아연 농도가 높고 흑미 외부 껍질에는 polyphenols, isoflavones, anthcyanidins과 같은 여러 기능을 가진 다양한 phytochemicals을 함유하고 있다. 흑미 껍질부분을 보충한 식이에 의해 유도된 지질 profile의 개선은 흑미 껍질부분에 풍부한 flavones이나 isoflavones과 같은 물질에 기인한다. 동물 연구에서 죽상경화 plaque 형성에 감소를 일으키는 흑미 껍질부분에 존재하는 항염, 항산화작용과 관련한 특별한 성분들에 대한 많은 연구^{47,48)}가 있는데 흑미 껍질부분에는 anthocyanins과 flavonoids가 다량 함유되어 있다.⁴⁹⁾ Flavonoid 전구체들, prenylated compound (e.g., morusin, kuwanon C, sanggenon D)를 포함하여 bilobetin과 ginkgetin과 같은 bioflavonoids는 lipopolysaccharide로 유발된 NO 생성의 억제에 효과적이다.^{50,51)}

죽상경화 plaque 형성은 염증반응에 의하여 시작되는데 염증반응은 LDL의 초기 산화적 변형에 의해 유도된다. 이것은 죽상 형성의 시작과 진행에서 중요한 역할을 한다.⁵²⁾ Oxidized LDL로 유발된 내피세포로의 macrophage 부착은 콜레스테롤 축적과 foam cell 형성을 진행시키는 염증반응이다.⁵³⁾ Li 등⁴²⁾의 연구에 의하면 보리의 섭취가 유의적으로 혈중 총콜레스테롤과 LDL 콜레스테롤 수준을 낮추는데, 이것은 보리에 있는 식이섬유인 β-glucan이 콜레스테롤 대사를 변화시키는 active agent로 작용하기 때문이라 하였다. 따라서 보리 중의 β-glucan은 혈중 LDL 콜레스테롤 수준을 낮춤으로써 항염 작용을 하는 것으로 생각할 수 있겠다. 또한 백미의 polyphenols 함량이 100 g 건분 당 8.6 mg이 함유되어 있는 것에 비해 보리에는 1200~1500 mg이 함유되어 있다.⁵⁴⁾ 많은 역학 조사들은 phenolic antioxidants의 섭취의 증가와 심혈관 질환 위험의 감

소와의 상관관계를 보여주었다.⁵⁵⁻⁵⁷⁾ 즉 phenolic antioxidants는 free radicals의 terminators로서, 또한 지질 과산화를 촉매화 하는 금속들의 chelators로서 기능한다.⁵⁴⁾

이상을 종합하면 고지방군들에서 TXB₂ 함량이 높아 혈전 위험이 중지방군들에 비하여 높음을 볼 수 있었다. 또한 혈중 TXB₂ 수준은 흑미와 찰보리군에서 낮고 혈중 6-keto-prostaglandin F_{1α} 수준은 찰보리군에서 높아 흑미와 찰보리의 항혈전 효과를 기대할 수 있겠다. 이와 같은 항혈전 효과는 흑미의 polyphenols, isoflavones, anthcyanidins과 같은 phytochemicals의 작용과 찰보리의 β-glucan과 polyphenols과 같은 생리활성 물질에 기인하는 것으로 생각된다.

요약 및 결론

본 연구는 우리나라 사람들이 주로 섭취하는 탄수화물 급원인 백미, 현미, 흑미, 찰보리와 지방수준이 다른 식이가 성장기 이후 비만유도 흰쥐의 당대사, 항혈전능에 미치는 영향을 알아보고자 하였으며 그 결과는 다음과 같았다.

- 1) 백미, 현미, 흑미, 찰보리 내의 총식이섬유 함량과 수용성, 수용성 식이섬유 함량을 측정된 결과 총식이섬유 함량은 찰보리가 가장 높았고 다음 흑미, 현미, 백미 순으로 그 함량이 높았다. 특히 찰보리는 식이섬유 총량 중 수용성 식이섬유의 함량이 다른 곡류에 비해 높은 경향이 있었다.
- 2) 실험동물의 단위 열량 당 체중증가량을 비교하였을 때 고지방식이군들이 중지방식이군에 비해 유의적으로 높았다. 또한 찰보리군이 다른 곡류들에 비해 체중증가량이 유의적으로 낮았다.
- 3) 백미, 현미, 흑미, 찰보리 내 생리활성물질들이 고지방식이 섭취로 인한 당대사에 미치는 영향에서는 혈당 수준에서는 유의적인 차이를 보이지 않았다. 총식이섬유 함량이 가장 높고, 수용성 식이섬유 함량이 높았던 찰보리 섭취로 인해 혈당 감소 효과를 보이지 않았고 오히려 백미, 현미를 섭취시켰을 때 혈당 수준이 낮은 경향을 보였다. 또한 현미군의 혈당수준은 유의적이지는 않았지만 가장 낮은 수준을 보였으며 hexokinase 활성은 유의적으로 다른 곡류들에 비해 높았다.
- 4) TXB₂ 및 6-keto-PGF_{1α} 수준에 대한 결과를 보면 TXB₂ 수준은 고지방식이군들이 중지방식이군들에 비해 유의적으로 높았고 흑미, 찰보리를 섭취시켰을 때 식이지방 수준과 관계없이 백미를 섭취시킨 것보다 TXB₂가 다소 낮았다. 6-keto-PGF_{1α} 수준은 찰보리를 섭취시켰을 때 유의적이지는 않았지만 가장 높았음을 알 수 있었다. 이와 같은

항혈전능 효과는 흑미, 찰보리가 백미, 현미에 비해 뛰어났는데 특히 찰보리의 효과가 좋았다.

이상의 결과를 종합해 보면 고지방식이로 유도된 비만흰쥐에서 백미, 현미, 흑미에 비해 식이섬유질이 많은 찰보리가 체중증가와 관련된 비만억제에 효과적이었으며 다른 곡류들에 비해 현미가 고지방식이섭취로 발생할 수 있는 당뇨와 같은 위험요인을 혈당을 다소 감소시킴으로 중재할 수 있다고 생각된다. 항혈전능에서는 흑미, 찰보리가 백미, 현미에 비해 효과가 있었다. 특히 찰보리의 경우 흑미보다 더 효과적인 항혈전능을 보였다. 따라서 비만으로 인해 발생할 수 있는 만성질환 위험을 각각의 곡류의 효과가 다르므로 비만, 당뇨, 항혈전능을 개선하기 위해서는 백미 보다는 현미나, 흑미, 찰보리를 혼합하여 섭취함으로써 식이로 어느 정도 중재할 수 있다고 생각되며 이러한 곡류의 생리활성 물질들을 이용하여 기능성 식품개발에 이용할 수 있는 가능성을 시사한다고 본다.

Literature cited

- Jung KA, Chang YK. Effect of cereals on lipid concentration of liver and serum in the rats. *Kor J Nutr* 28 (1) : 5-14, 1995
- Lee HS. Dietary fiber intake of Korean. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 26 (2) : 540-548, 1997
- Korean food research (2). Food science and technology, 1977
- Korean food research (1). Food science and technology, 1971
- Analysis of dietary fiber and biofunctional effect. The Korean society of crop science, pp.23-30, 2004
- 2001 Food Balance Sheet. Korea Rural Economic Institute, 2002
- The latest food manufacturing study. Yurimmunwha Press, 1999
- The agricultural manufacturing study. Youngjimmunwha Press, 1990
- Saunders RM. The properties of rice bran as a foodstuff 35: 632-636, 1990
- Oh GS, Kim K, Na HS, Choi GC. Comparison of physicochemical properties on waxy black rice and glutinous rice. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 31 (1) : 12-16, 2002
- Chung YA, Lee JK. Antioxidative properties of phenolic compounds extracted from black rice. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 32 (6) : 948-951, 2003
- Newman RK, Newman CW. Barley as a food grain. *Cereal Foods World* 36: 800-805, 1991
- Newman RK, Newman CW, Graham H. Hypocholesterolemic function of barley β -glucans. *Cereal Foods World* 34: 883-886, 1989
- Newman RK, Newman CW, Boik RJ, Ramage RI. Hypocholesterolemic effect of barley foods on healthy men. *Nutr Rep Int* 39: 749-760, 1998
- Aman P, Graham H. Analysis of total and insoluble mixed linked (1 \rightarrow 3), (1 \rightarrow 4)- β -glucan in barley and oats. *J Agric Food Chem* 35: 704-709, 1987
- Food balance sheet (1996), Korea rural economic institute, 1998
- Jung DH. The β -glucan and quality of barley, A prompt report of research guidance- Rural development administration, pp.3, 1984
- Lee SC, Prosky LD, Evries JW. Determination of total soluble and insoluble dietary fiber in food-enzymatic gravimatic method. MES-TRIS buffer: Collaborative study. *J Assoc Anal Chem* 75: 395-416, 1992
- Roberto Raabo E, Terkildsen TC. On the enzymatic determination of blood glucose. *Scandinav J Lab Invest* 12: 402-207, 1960
- Hassid WZ, Abraham X. Chemical procedures for analysis of polysaccharides. *Methods in Enzymology* 3. Academic press pp. 34-50, 1957
- Kawashita NH, Brito MN, Brito SR, Moura MA, Festuccia WT, Garofalo MA, Machado UF, Kettelhut IC, Migliorini RH. Glucose uptake, glucose transporter GLUT4, and glycolytic enzymes in brown adipose tissue from rats adapted to a high-protein diet. *Metabolism* 51 (11) : 1501-1505, 2002
- Granfeldt Y, Liljeberg H, Drews A, Newman R, Bjorck I. Glucose and insulin responses to barley products: influence of food structure and amylose-amylopectin ratio. *Am J Clin Nutr* 59: 1075-1082, 1994
- Nishina PM, Schneeman BO, Freedland RA: Effects of dietary fibers on nonfasting plasma lipoprotein and apolipoprotein levels in rats. *J Nutr* 121 (4) : 431-437, 1991
- Deshaies Y, Begin F, Savoie L, Vachon C. Attenuation of the meal-induced increase in plasma lipids and adipose tissue lipoprotein lipase by guar gum in rats. *J Nutr* 120 (1) : 64-70, 1990
- Newman RK, Newman CW, Graham H. The hypocholesterolemic function of barley β -glucans. *Cereal Foods World* 34: 883-886, 1989
- Schneeman BO. Soluble vs insoluble fiber-different physiological responses. *Food Technol* 41 (2) : 81-82, 1987
- Li J, Kaneko T, Qin LQ, Wang J, Wang Y, Sato A. Long-term effects of high dietary fiber intake on glucose tolerance and lipid metabolism in GK rats: comparison among barley, rice, and cornstarch. *Metabolism* 52 (9) : 1206-1210, 2003
- Behall KM, Scholfield DJ, Hallfrisch J. Diets containing barley significantly reduce lipids in mildly hypercholesterolemic men and women. *Am J Clin Nutr* 80: 1185-1193, 2004
- Judith H, Kay MB. Mechanism of the effects of grains on insulin and glucose responses. *J Am Col of Nutr* 19 (3) : 320s-325s, 2000
- Present knowledge in nutrition 8th Ed. Chungangmunwha Press, 2003
- Wolever TMS, Jenkins DJA. Effect of fiber and foods on carbohydrate metabolism. In: Spiller GA, ed., Dietary fiber in human nutrition, 2nd ed. Boca Raton, FL: CRC Press, pp.111-152, 1993
- Schneeman BO. Soluble vs insoluble fiber different physiological responses. *Food Technol* 41 (2) : 81, 1987
- Schweizer TH, Wursch P. The physiological and nutritional importance of dietary fiber. *Experientia* 47: 181-186, 1987
- Pari L, Saravanan R. Antidiabetic effect of diasulin, a herbal drug, on blood glucose, plasma insulin and hepatic enzymes of glucose metabolism in hyperglycaemic rats. *Diabetes. Obesity and Metabolism* 6: 286-292, 2004
- Ugochukwu NH, Babady NE. Antihyperglycemic effect of aqueous and ethanolic extracts of *Gongronema latifolium* leaves on

- glucose and glycogen metabolism in livers of normal and streptozotocin-induced diabetic rats. *Life Sciences* 73: 1925-1938, 2003
- 36) Pari LM, Satheesh A. Antidiabetic activity of *Boerhaavia diffusa* L: effect on hepatic key enzymes in experimental diabetes. *Journal of Ethnopharmacology* 91: 109-113, 2004
- 37) Jenkins DJA, Leeds AR, Gassull MA, Wolever TMS, Goff DV, Albeit KGMM, Hockaday TDR. Unabsorbable carbohydrates and diabetes: Decreased post-prandial hyperglycemia. *Lancet* 2: 172-174, 1976
- 38) Hagiwara H, Seki T, Ariga T. The effect of pre-germinated brown rice intake on blood glucose and PAI-a levels in streptozotocin-induced diabetic rats. *Biosci Biotechnol Biochem* 68(2): 444-447, 2004
- 39) Lee SH, Park HJ, Cho SY, Jung IK, Cho YS, Kim TY, Hwang HG, Lee YS. Supplementary effect of the high dietary fiber rice on blood glucose in diabetic KK mice. *Korean J Nutr* 37(2): 75-80, 2004
- 40) Urooj A, Vinutha SR, Puttaraj S, Leelavathy K, Rao PH. The effect of barley incorporation in bread on its quality and glycaemic responses in diabetics. *Int J Food Sci Nutr* 4: 265-270, 1998
- 41) Nelson DL, Cos MM. *Leninger Principles of Biochemistry* 3rd ed, 2001
- 42) Li J, Kaneko T, Qin LQ, Wang J, Wang Y. Effects of barley intake on glucose tolerance, lipid metabolism, and bowel function in women. *Nutrition* 19(11-12): 926-929, 2003
- 43) Yook GJ, Lee HJ, Kim MK. Effect of chestnut and acorn on lipid metabolism, antioxidative capacity and antithrombotic capacity in rats. *Korean J Nutr* 35(2): 171-182, 2002
- 44) Njiveldt RJ, Nood E, Hoorn DEC, Boelens PG, Norren K, Leeuwen PAM. Flavonoids: a review of probable mechanisms of action and potential applications. *Am J Clin Nutr* 74: 418-425, 2001
- 45) Petroni A, Blasevich M, Salami M, Papini N, Montedoro GF, Galli C. Inhibition on platelet aggregation and eicosanoid production by phenolic components of olive oil. *Thrombosis Res* 78(2): 151-160, 1995
- 46) Ling WH, Cheng QX, Ma J, Wang T. Red and black rice decrease atherosclerotic plaque formation and increase antioxidant status in rabbits. *J Nutr* 131: 1421-1426, 2001
- 47) Kondo K, Kurihara M, Miyata N, Suzuki T, Toyoda, M. Mechanistic studies of catechins as antioxidants against radical oxidation. *Arch Biochem. Biophys* 363: 79-86, 1999
- 48) Rice-Evans C. Flavonoid antioxidants. *Curr Med Chem* 8: 797-807, 2001
- 49) Hu C, Kitts DD, Zawistowski J. Anthocyanins: bioactivity and potential uses in functional foods. In International Conference and Exhibition on Nutraceuticals and Functional Foods, December, Portland, OR., 2001
- 50) Cheon BS, Kim YH, Son KS, Chang HW, Kang SS, Kim HP. Effects of prenylated flavonoids and bioflavonoids on lipopolysaccharide-induced nitric oxide production from the mouse macrophage cell line RAW 264.7. *Plant Med* 66: 596-600, 2000
- 51) Kim HK, Cheon BS, Kim YH, Kim SY, Kim HP. Effects of naturally occurring flavonoids on nitric oxide production in the macrophage cell line RAW 264.7 and their structure-activity relationships. *Biochem Pharmacol* 58: 759-765, 1999
- 52) Liao DF, Jin ZG, Baas AS, Daum G, Gygi SP, Aebersold R, Berk BB. Purification and identification of secreted oxidative stress induced factors from vascular smooth muscle cells. *J Biol Chem* 275: 189-196, 2000
- 53) Xia M, Ling WH, Ma J, Kitts DD, Zawistowski J. Supplementation of diets with the black rice pigment fraction attenuates atherosclerotic plaque formation in apolipoprotein E deficient mice. *J Nutr* 133: 744-751, 2003
- 54) Bravo L. Polyphenols: Chemistry, dietary sources, metabolism, and nutritional Significance. *Nutrition Reviews* 56(11): 317-333, 1998
- 55) Hertog MGL, Feskens EJM, Hollman PCH, Katan MB, Kromhout D. Dietary antioxidant flavonoids and risk of coronary heart disease: the Zutphen Elderly Study. *Lancet* 342: 1007-1011, 1993
- 56) Herog MGL, Sweetnam PM, Fehily AM, Elwood PC, Kromhout D. Antioxidant flavonols and ischemic heart disease in a Welsh population of men: the Caerphilly Study. *Am J Clin Nutr* 65: 1489-1494, 1997
- 57) Hertog MG, Kromhout D, Aravanis C, Blackburn H, Buzina R, Fidanza F, Giampaoli S, Jansen A, Menotti A, Nedeljkovic S. Flavonoid intake and long-term risk of coronary heart disease and cancer in the seven countries study. *Arch Intern Med* 155: 381-386, 1995