

화학적 변성 및 생감자 전분이 고지방식으로부터 유도된 비만 흰쥐의 지질대사 및 항산화계에 미치는 영향

박수진¹ · 최미경² · 김진숙³ · 임학태⁴ · 강명화^{1*}

¹호서대학교 식품영양학과, ²청운대학교 식품영양학과,
³농촌진흥청 농업과학기술원 농촌자원개발연구소, ⁴강원대학교 BT 특성화 학부대학 식물공학부 식물생물공학 전공

The Effect of Dietary Modified Potato Starch By Chemically Denatured Treatment and Potato Starch on the Weight Loss, Lipid Metabolism and Redox Antioxidant System in High Fat Diet-Induced Obese Rats

Soo-Jin Park¹, Mi-Kyeong Choi², Jin-Suk Kim³, Hak-Tea Lim⁴, and Myung-Hwa Kang^{1*}

¹Dept. of Food Science and Nutrition, Hoseo University, Chungnam 336-795, Korea

²Dept. of Human Nutrition and Food Science, Chungwoon University, Chungnam 350-701, Korea

³Rural Resource Development Institute, NIAST, RDA, Gyeonggi 441-853, Korea

⁴Dept. of Plant Biotechnology, College of Bioscience and Biotechnology,
Kangwon National University, Kangwon 200-701, Korea

Abstract

For the first 42 days, we made rats obese by feeding them potato starch instead of corn starch and after that we fed them transformed potato starch by 4 groups for 70 days. The 4 groups are GPS group, SPS group, EZ group and H40 groups and each were fed normal potato, small potato, enzyme treated potato, and acid treated potato starches, respectively. We determined body weight and feeding efficiency, lipid profiles in serum, lipid peroxidation in tissues and redox antioxidant system as GSH and GP-x *in vivo*. As a result, there was no difference in the increment of body weight in the groups of GPS, EZ and H40. Therefore EZ group showed lower body weight increment than other groups. While GPS group and SPS group did not show significant difference in blood glucose, cholesterol level, LDL-cholesterol and TC, and their measured values were lower than those of EZ and H40 groups. No significant difference was found in HDL-cholesterol level except for GPS group. Furthermore, when calculating atherogenic index (AI) by HDL-cholesterol and TC contents, H40 group showed higher measured value than other groups. When measuring the lipid peroxidation in serum, kidney and liver tissues, the serum lipid peroxidation in H40 group was higher than others. In the tissue of liver and kidney, EZ and H40 groups showed significantly lower contents than others. The content of GSH showed different tendency in each tissue, but the measured value of GP-x activity was lower in SPS group.

Key words: potato, modified starch, obesity, antioxidative activity, glucose levels

서 론

비만은 심혈관계, 당뇨, 고혈압 및 암과 같은 질병의 합병증을 유발시킬 수 있는 위험한 질병의 원인으로 알려져 사회 문제의 하나로 주목받고 있다(1-3). 1970년대 이후 국민 소득의 증대와 식생활 양식의 간편화 및 서구화로 활동량은 감소하였고, 탄수화물 섭취량은 줄어든 반면 지방의 섭취가 증가하였다(1-5). 2006년 통계청 자료에 의하면, 사망자 사망 원인의 순위는 암, 뇌혈관질환, 심장질환, 당뇨병 및 간질환 순으로 나타나 순환기계 질환과 암이 주요 사망의 원인이었고, 전체 사망자의 50.4%를 차지하여 10년 전과 비교하여

볼 때, 심장질환, 대장암 및 당뇨병은 증가하였고, 감염성 질환은 감소한 것으로 조사되었다. 뿐만 아니라, 순환기 질환 환자 42%, 당뇨 환자 35%, 간 질환 환자 48%가 비만인 것으로 보고되어, 비만은 성인병 이환율과 밀접한 관계가 있는 것으로 밝혀졌다.

탄수화물은 열량 영양소의 공급기능으로 인식되어 왔으나, 최근 기존의 역할 외에 생리작용에 다양하게 작용할 수 있다는 연구들이 많이 보고되고 있으며, 전분은 용해도, 점도, 가공적성을 향상시키기 위해 다양한 변성방법이 산업적으로 사용되고 있다(6,7).

새로운 제품개발과 더불어 급격한 수요증가가 요구되는

*Corresponding author. E-mail: mhkang@hoseo.edu
Phone: 82-41-540-5973, Fax: 82-41-548-0670

중요한 자원 중의 하나인 전분은 전분자체로써도 쓰이지만 특수목적으로 변성을 시켜 사용하기도 한다. 생전분의 입자들은 상온에서 물에 녹지 않으며, 특히 효소와는 반응을 잘 하지 않고 전분 고유의 특징 이외에는 특수한 기능성도 가지지 못한다. 그러므로 다양한 기능성을 부여하기 위해 변성전분을 제조할 필요성을 느낀다. 즉 입자구조의 변화를 가져오므로써 기능성 성격을 부여하게 된다(8-10). 감자전분을 변형시킨 변성전분은 견고한 망상구조를 형성하여 내열성, 내산성 등의 특성을 가지며(11), 높은 젤 강도를 가질 뿐 아니라(12), 온화한 맛, 냉동, 해동 안전성, 분산성 등이 뛰어나 유아식품, 제과제빵, 통조림식품, 편의식품, 유제품, 육제품, 인스턴트식품 등에 널리 사용되고 있다(13).

변성전분은 탄수화물계의 대표적인 지방대체물질로 저열량 식품 가공에 이용되며, 물성, 저장성 향상 및 비용절감의 효과를 기대할 수 있다. 특히 주식이 탄수화물인 우리나라에서는 탄수화물계 식품의 생산량은 많으나, 가공에 이용되는 식품은 수입에 의존하고 있어, 식품에 적합하고 안전한 변성전분의 개발 가능성을 모색하고, 상품화 가능한 소재로써의 활용방법과 부가가치가 높은 식품 개발이 가능한 소재로써 가치가 부여될 것으로 생각된다.

지금까지 변성된 감자전분을 이용하여 이화학적인 특성, 가공적성 등을 규명한 연구들은 다수 수행되어 있으나, 변성된 전분의 생체 내 생리적 기능 및 독성에 관한 연구는 미비한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 Song과 Kang(14)의 연구에서 사용하였던 감자전분(GPS, SPS), 변성전분(H40, EZ)을 이용하여 변성된 감자전분의 섭취가 생체 내 지질 패턴에 미치는 영향에 대해 알아보하고자 하였다.

재료 및 방법

전분 분리 및 변성

감자와 알감자에 물을 가해 마쇄하고, 무게의 약 10배 물을 가한 후 침지과정을 3~4회 반복하여 전분이 더 이상 침전되지 않을 때까지 침지시키고, 침전된 전분을 건조시켜 감자전분(GPS), 알감자 전분(SPS)을 제조하였다.

건조된 전분(GPS)에 2 M-acetic acid를 가하여 40°C에서 반응 후 증류수를 사용하여 세척시킨 후 건조하여 H40을 제조하였고, 수분을 흡수시킨 전분(GPS)에 glucoamylase(Sumizyme, 新日本化學, Japan)를 전분 무수물로 환산하여 중량 당 0.075%가 되게 첨가하고 후 -70°C에서 동결건조시켜 EZ를 제조 후 시료로 사용하였다.

실험동물 및 식이

생후 3주령 된 Sprague-Dawley종 수컷 흰쥐 50마리((주)대한실험동물)를 실내온도 20±5°C, 습도 55~60%, 12 hr light-dark cycle의 조건에서 표준식이와 물을 충분히 공급하여 1주간 환경에 적응시켰다. 그 후 AIN-93G 기본식이

로 corn starch를 potato starch로 100% 대체한 식이(대조군, n=10)와 lard 10%, 콜레스테롤 0.5% 첨가한 고지방식이(실험군, n=40)를 42일간 급여하면서 비만을 유도하였다(Table 1). 42일간의 비만 유도 후, 일반감자전분 첨가 고지방식이군(GPS 군), 알감자 전분 첨가 고지방식이군(SPS 군), 효소처리에 의한 변성전분 첨가 고지방식이군(EZ 군), 저온 처리하여 변성시킨 전분 첨가 고지방식이군(H40 군) 각 4군으로 나누어 70일간 급여하였다.

식이섭취량은 일주일에 3번, 체중은 1주일에 1회 동일한 시간에 측정하였다. 식이효율(Food efficiency ratio: FFR)은 사육기간 동안 체중증가량을 같은 기간 동안 섭취한 식이량으로 나누어 산출하였다.

$$\text{식이효율(FFR, \%)} = \frac{\text{총실험기간의 체중증가량(g)}}{\text{총실험기간의 식이섭취량(g)}} \times 100$$

혈액과 장기의 채취

사육기간이 종료 된 실험동물은 12시간 절식 후, diethyl ether로 마취시켜 복부를 개복한 후 간정맥에서 채혈 후 원심분리관에 담아 24시간 냉장온도(4°C)에 방치하고 3500 rpm에서 15분간 원심분리 후 혈청을 분리하여 -70°C deep freezer에 보관하면서 분석에 사용하였다. 간과 신장은 혈액을 채취한 후 즉시 적출하여 차가운 0.1 mM phosphate buffer(pH 7.4)에 수차례 세척하여 연결조직을 제거한 다음, filter paper로 물기를 제거하여 무게를 측정하고 분석 직전까지 -70°C deep freezer에 보관하였다.

지질 패턴 분석

혈청 내 total cholesterol(TC), triglyceride(TG) 그리고 HDL-cholesterol, LDL-cholesterol 농도는 ADVIA 1650 (Jeol, Japan)장비를 이용하여 측정하였다. 혈청의 HDL-cholesterol 농도에 대한 LDL-cholesterol 농도로 계산하여 나타내었으며, atherogenic index(AI)는 동맥경화 위험지수로서 다음의 식에 의해 계산하였다(15).

$$\text{Atherogenic index} = (\text{Total cholesterol} - \text{HDL-cholesterol}) / \text{HDL-cholesterol}$$

또한, 간 조직 내 총지방과 중성지방 함량 및 총 콜레스테롤 함량은 Zak(16)의 방법으로 측정하였다.

ALT, AST 활성

ALT, AST(Randox, UK) kit를 사용, ADVIA 1650(Jeol, Japan)에서 측정하였다.

Glucose levels

혈청의 glucose량은 포도당(GOD kit, Waco company) kit를 이용하여 분석하였다.

지질과산화도

과산화지질 생성량은 Ohkawa 등의 방법(17)을 일부 변형하여 측정하였다. 간 균질액(간 조직: 0.1 M phosphate buf-

Table 1. Compositions of experimental diets

Component	High fat diet (n=40)				Control (n=10)
	GPS ¹⁾	SPS ²⁾	EZ ³⁾	H40 ⁴⁾	
Carbohydrate	Potato starch	34.375	34.375	34.375	44.875
	Sucrose	15.0	15.0	15.0	15.0
	Cellulose	5.0	5.0	5.0	5.0
	Lard	10.0	10.0	10.0	10.0
Lipid	Corn oil	10.0	10.0	10.0	10.0
	Cholesterol	0.5	0.5	0.5	0.5
	Casein	20.0	20.0	20.0	20.0
Protein	Vitamin mixture ⁵⁾	1.0	1.0	1.0	1.0
	Mineral mixture ⁶⁾	3.5	3.5	3.5	3.5
	DL-Methionine	0.3	0.3	0.3	0.3
	Choline chloride	0.2	0.2	0.2	0.2
	Taurocholic acid	0.125	0.125	0.125	0.125
	Total	100	100	100	100

¹⁾GPS: General potato starch. ²⁾SPS: Small potato starch.

³⁾EZ: modified potato starch by enzyme treatment. ⁴⁾H40: by temperature at 40°C.

⁵⁾Composition of vitamin mixture (g/kg diet): vitamin A-acetate 100.0 (50,000 U), vitamin D₃ 0.25 (10,000 IU), vitamin-E acetate 500.0, vitamin K₃ 20.0, vitamin B₁-HCl 120.0, vitamin B₂ 400.0, vitamin B₆-HCl 80.0, vitamin B₁₂ 0.05, vitamin C 3,000.0, biotin 2.0, folic acid 20.0, calcium-pantothenate 500.0, para-amino-benzoic acid 600.0, nicotinic acid 600.0, inositol 600.0, choline-chloride 20,000, cellulose-powder 73,057.7.

⁶⁾Composition of mixture (g/kg diet): CaHPO₄ · 2H₂O 0.43, KH₂PO₄ 34.31, NaCl 25.06, Fe-citrate 0.625, MgSO₄ 4.8764, ZnCl₂ 0.02, MnSO₄ · 5H₂O 0.121, CuSO₄ · 5H₂O 0.156, KI 0.0005, CaCO₃ 29.29, (NH₄)₆Mo₇O₂₄ · 4H₂O 0.0025, cellulose-powder 5.1036.

fer(pH 7.0)=1:9, w/v) 0.1 mL에 8.1% SDS(sodium dodecyl sulfate) 0.2 mL, 20% acetic acid(pH 3.5) 1.5 mL, 0.8% TBA 1.5 mL, H₂O 0.7 mL를 넣고 혼합한 뒤 95°C에서 60분 간 끓인 후 냉각하였다. n-butanol : pyridine(14:1)을 4 mL 넣고 섞어준 후 3000 rpm에서 15분 원심분리 하고, 상층액의 흡광도를 532 nm에서 측정하였다.

조직 내 단백질 함량

조직의 단백질 함량을 Lowry 등의 방법(18)에 의해 측정하여 간 조직 내 과산화지질 생성량 및 항산화 효소 활성 계산에 사용하였다. 조직(간, cytosol) 균질액 1 mL에 10% Na₂CO₃-0.5 N NaOH, 1% CuSO₄-5H₂O, 2% Na-K tartarate 를 20:1:1의 비율로 섞어 실온에 15분간 방치한 다음, 10% 2 N folin-phenol을 3 mL씩 첨가, 45분 후에 540 nm에서 흡광도를 측정하였다.

항산화효소 활성능

Glutathione의 함량(19)은 간 균질액을 원심분리 하여 얻은 cytosol에 10 mM 5,5-dithiobis-2-nitrobenzoic acid (DTNB stock solution) DTNB working solution을 첨가 후 412 nm에서 흡광도를 측정하였다.

Glutathione-S-transferase(GST) 활성(20)은 cytosol 부 유액을 기질로 1 mM GSH와 chlorodinitro-benzene(CDNB)을 반응시켜 340 nm에서의 흡광도 변화를 측정하였으며, 효소의 활성도는 단백질 mg당 1분간 반응되는 CDNB nmole

로 나타내었다.

Glutathione peroxidase 활성은 Flohe의 방법(21)으로 측정하였다. 6.37 mM EDTA를 함유한 1 M의 tris buffer 0.1 mL에 0.1 M GSH, 1000 unit/mL GSSG reductase 0.1 mL, 2 mM NADPH 0.1 mL를 H₂O로 총 1 mL를 맞춰주어 섞어 37°C에서 2분간 incubation 한 후 7 mM tetr-BuOH를 0.01 mL 넣어 340 nm에서 3분 동안 흡광도를 측정하였다. 효소의 활성도는 단백질 mg당 1분 동안 산화되는 NADPH nmole을 1 unit으로 환산하여 표기하였다.

통계처리

본 연구의 동물사육 실험결과는 SAS program을 이용하여 각 실험군당 평균과 표준편차를 계산하였고, 각 군별로 나누어 일원배치분산분석(one-way analysis of variance)을 한 후 Duncan's multiple range test에 의해 α=0.05의 수준에서 각 실험군 평균치 간에 유의성을 검정하였다(22).

결과 및 고찰

체중변화 및 식이효율

42일간 비만 유도 후 70일 동안 변성방법을 달리한 전분 첨가 고지방식이를 급여하여 체중증가량을 살펴본 결과 (Fig. 1, Table 2), 변성 감자 전분 섭취 군 중 H40군 472.09 ± 68.99 g, 일반감자 전분을 섭취한 군(GPS군)의 462.01 ± 33.23 g으로 크게 나타났고, SPS군은 412.08 ± 44.01 g으로

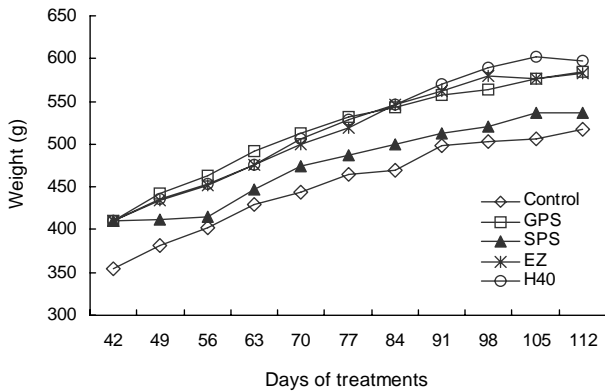


Fig. 1. Body weight changes in rats fed different diets during 70 days.

Table 2. Food intake, weight gain and feed efficiency ratio in rats

Dietary group	Total food intake (g)	Body weight gain (g)	FER ¹⁾
Control	31262.1	391.59±37.91	0.0125±0.0024 ^b
GPS	28949.2	462.01±33.23	0.0159±0.0015 ^a
SPS	31482.1	412.08±44.10	0.0131±0.0092 ^b
EZ	34077.4	458.66±110.12	0.0135±0.0053 ^b
H40	31492.0	472.09±68.99	0.0150±0.0099 ^a

Each value is mean±SD of experimental group, n=10. Different alphabets in each values show statistically difference at α=0.05 by Duncan's multiple range test.

¹⁾Food efficiency ratio: Body weight gain (g)/ total food intake (g).

가장 적었다. 따라서 SPS군이 체중에 미치는 영향이 가장 적으며, 일반 감자 전분을 base로 처리 방법이 달랐던(EZ, H40, GPS군) 탄수화물의 섭취는 체중에 유의적인 영향을 주지 않는 것으로 사료되어진다. Chang과 Kim(23)은 쌀 전분을 물리적 변성하여 rat에 급여한 결과 체중증가량이 탄수화물 섭취에 유의적이 영향을 주지 않는다고 보고하여 본 실험과 유사한 결과를 보였다. 실험기간 동안의 식이섭취량과 체중증가량으로 살펴본 식이효율은 GPS, H40군이 SPS, EZ군에 비해 높게 나타나 SPS, EZ군에서 식이가 체중에 미치는 영향이 적은 것으로 나타났다.

장기무게

간과 신장의 무게 측정 결과는 Table 3과 같다. 장기의 무게는 체중 100 g당 환산했을 때 증량으로 나타낸 것으로

간, 신장, 뇌, 심장은 SPS군이 유의적으로 높게 측정이 되었다. 고환의 무게는 Control군이 다른 고지방 식이를 섭취한 군보다 높게 나타났다. 또한, 간의 무게는 일반 식이를 급여했던 Control군에 비해서 고지방식이를 급여한 GPS, SPS, EZ, H40군이 무게가 비교적 높게 측정되었으며, 이는 식이 지방과 관계없이 고지방식이 섭취로 간의 무게가 증가하였다는 보고와 일치한다(24-28).

혈청 및 간 조직 내 지질 함량

Table 4는 혈청 TC, LDL-cholesterol, HDL-cholesterol 함량을 나타내었다. TC 함량은 GPG, SPS군에서 낮았으며, EZ, H40군에서 높은 함량을 보였고, LDL-cholesterol의 경우 EZ군, H40군에서 높았다. 혈중 HDL-cholesterol과 LDL-cholesterol 비율은 Control군> SPS군> EZ군> GPS군> H40군 순으로 나타났고, 특히 H40군에서 혈중 지질 패턴뿐 아니라 HDL-cholesterol과 LDL-cholesterol 비율 또한 유의적으로 낮게 측정되어 변성방법에 따라 혈중 지질 패턴이 다르게 나타났다. TC, HDL-cholesterol 정도로 동맥경화지수(Atherogenic Index)를 산출해 본 결과 GPS, EZ, H40군에서 비교적 높게 측정되어 변성된 전분이 혈청 지질농도를 높이는 경향을 보였고, GPS에 비해 SPS를 첨가하여 제조한 식이 군에서 혈청 지질농도가 낮아 품종 간에도 차이가 있는 것으로 사료된다.

간 조직 내 지질 함량은 total lipid, TC, TG 모두 EZ, H40군에서 높았고, GPS, SPS군이 비교적 낮았다. 따라서 간 조직 내 지질 함량 또한 식이 중 전분의 처리방법에 의한 영향을 받는 것으로 사료된다.

Amino transferase 활성 및 혈당 농도

본 실험 결과 AST 활성은 H40군과 SPS군이 다른 식이군에 비해 유의적으로 높았고, ALT는 Control과 GPS군에서 낮았으며, SPS, EZ, H40군에서는 유의적인 차이가 없었다(Table 5). 이와 같이 AST와 ALT활성은 고지방 식이를 섭취한 군에서 모두 높게 측정되었는데, 이는 고지방식이에 의하여 비만 및 간 조직 내 지방축적이 유도되었기 때문으로 사료된다. 또한 화학처리 한 변성전분의 섭취가 간의 기능저하에 미치는 영향이 큰 것으로 나타났다.

각 군의 혈당 농도를 살펴본 결과는 Table 5와 같다. Control군 164.11±11.76 mg/dL, GPS군 148.70±18.14 mg/dL, SPS군 131.50±6.75 mg/dL, EZ군 160.60±20.36 mg/dL

Table 3. Organ weight in rats fed experimental diet

Dietary group	Liver	Kidney	Brain	Heart	Testicles
Control	2.72±0.42 ^d	0.62±0.06 ^a	0.42±0.01 ^a	0.29±0.05 ^a	0.30±0.03 ^a
GPS	4.59±0.57 ^c	0.57±0.05 ^b	0.37±0.00 ^b	0.27±0.00 ^{ab}	0.27±0.18 ^{ab}
SPS	5.75±0.80 ^a	0.62±0.02 ^a	0.42±0.00 ^a	0.30±0.00 ^a	0.27±0.09 ^{ab}
EZ	5.18±0.21 ^b	0.56±0.00 ^b	0.37±0.01 ^b	0.26±0.00 ^{ab}	0.24±0.18 ^b
H40	5.13±0.67 ^b	0.56±0.01 ^b	0.37±0.00 ^b	0.26±0.02 ^{ab}	0.23±0.05 ^b

Each value is mean±SD of experimental group, n=10. Different alphabets in each values show statistically significant difference at α=0.05 by Duncan's multiple range test.

Table 4. Cholesterol levels and atherogenic index of serum and liver of rats fed different diets

	Serum					Liver		
	TC (mg/dL)	LDL-C (mg/dL)	HDL-C (mg/dL)	L/H ratio ¹⁾	AI ²⁾	TL (mg/g)	TG (mg/g)	TC (mg/g)
Control	59.56 ± 17.69 ^d	9.89 ± 3.40 ^d	57.00 ± 16.71 ^a	5.76	0.045 ± 0.06 ^d	83.33 ± 19.09 ^c	13.3 ± 1.67 ^d	4.58 ± 0.82 ^d
GPS	74.40 ± 18.50 ^c	17.10 ± 7.21 ^c	41.60 ± 11.42 ^b	2.43	0.788 ± 0.48 ^b	135.16 ± 21.23 ^{bc}	23.559 ± 9.04 ^c	6.58 ± 1.33 ^b
SPS	68.80 ± 2.60 ^{cd}	19.00 ± 3.11 ^c	57.67 ± 10.34 ^a	3.04	0.192 ± 0.09 ^c	144.91 ± 24.69 ^{bc}	26.438 ± 7.87 ^c	5.85 ± 0.91 ^{bc}
EZ	93.30 ± 23.94 ^b	20.56 ± 7.48 ^{bc}	54.50 ± 10.99 ^a	2.65	0.711 ± 0.32 ^b	277.41 ± 36.69 ^a	57.8 ± 9.34 ^a	8.98 ± 3.22 ^{ab}
H40	110.30 ± 45.05 ^a	43.00 ± 26.10 ^a	57.44 ± 12.20 ^a	1.34	1.660 ± 0.99 ^a	217.50 ± 12.50 ^a	45.6 ± 9.77 ^{ab}	10.23 ± 2.45 ^a

Each value is mean ± SD of experimental group, n=10. Different alphabets in each values show statistically significant difference at α=0.05 by Duncan's multiple range test.

¹⁾L/H ratio=HDL-cholesterol/ LDL-cholesterol.

²⁾Atherogenic index=(Total cholesterol - HDL-cholesterol)/ HDL - cholesterol.

Table 5. AST, ALT and glucose levels of serum of rats fed different diets

Dietary group	AST (U/L)	ALT (U/L)	Glucose (mg/dL)
Control	147.8 ± 33.36 ^d	26.8 ± 1.71 ^c	164.11 ± 11.76 ^b
GPS	201.0 ± 56.75 ^c	74.4 ± 29.64 ^b	148.70 ± 18.14 ^c
SPS	429.2 ± 117.05 ^a	275.2 ± 24.66 ^a	131.50 ± 6.75 ^d
EZ	312.6 ± 229.93 ^b	290.2 ± 109.29 ^a	160.60 ± 20.36 ^b
H40	486.7 ± 185.56 ^a	216.3 ± 173.54 ^a	173.60 ± 24.47 ^a

Each value is mean ± SD of experimental group, n=10. Different alphabets in each values show statistically significant difference at α=0.05 by Duncan's multiple range test.

dL, H40군 173.60 ± 24.47 mg/dL로, H40 > control > EZ > GPS > SPS군 순이었다. 각 실험군의 혈당 농도는 고지방식이에 의한 영향은 보이지 않았으며, 실험 군에 첨가된 전분으로 인한 영향이 있는 것으로 생각된다. 특히 변성을 유도한 전분을 처리한 군에서 높게 측정되어 변성처리 과정에서 전분이 다른 당류의 형태로 분해되었을 것이며, 다른 형태의 당류가 생체 내에서 혈당에 영향을 미쳤을 가능성을 생각할 수 있다.

지질과산화도

혈청, 간 및 신장 조직의 MDA 생성량을 측정해 본 결과 (Table 6), 혈청 MDA 함량은 H40군에서 유의적으로 높았다. 간 조직에서는 Control군이 GPS군, SPS군에 비해 높았고, EZ, H40군에서는 유의적으로 낮았다. 신장 조직에서는 GPS, SPS군이 다른 군에 비해 유의적으로 높아 각 조직별 MDA 생성 경향이 다르게 나타났다. 한편, 산처리 한 변성전분인 H40군에서 높은 값을 보였고, EZ군에서는 낮은 MDA 생성량을 나타냈으며, 이는 ALT, AST 활성과 양적 상관관계를 보이는 것으로 사료된다. 즉, ALT, AST 활성이 높았던 SPS군, H40군에서 과산화지질생성이 높게 측정되었다.

항산화능

산소는 생명 유지에 필수 불가결한 반면, 호흡 시 부수적으로 생성되는 활성산소는 유해한 작용을 한다. 때문에 생체는 glutathione peroxidase, catalase 등의 작용으로 지질 hydroperoxide(LOOH)나 과산화수소(H₂O₂)를 분해하고, 지질과산화를 유도하는 alkoxy radical(LO·)이나 hydroxyl

Table 6. Serum, liver and kidney peroxidation of rats fed different diets

Dietary group	MDA (μmole)/mg/mL		
	Serum (μmole)/mg/mL × 10 ⁻⁴	Liver (μmole)/mg/mL × 10 ⁻⁴	Kidney (μmole)/mg/mL
Control	5.13 ± 1.38 ^b	6.37 ± 1.22 ^a	0.025 ± 0.0089 ^c
GPS	8.52 ± 6.49 ^b	4.12 ± 1.51 ^b	0.048 ± 0.0042 ^a
SPS	8.09 ± 4.64 ^b	2.88 ± 0.34 ^c	0.049 ± 0.0100 ^a
EZ	3.39 ± 2.16 ^b	1.59 ± 1.05 ^d	0.038 ± 0.0080 ^b
H40	22.70 ± 3.55 ^a	1.22 ± 0.49 ^d	0.038 ± 0.0050 ^b

Each value is mean ± SD of experimental group, n=10. Different alphabets in each values show statistically significant difference at α=0.05 by Duncan's multiple range test.

radical(·OH) 등의 활성산소의 생성을 억제한다. 대표적인 항산화 효소인 superoxide dismutase(SOD)는 O₂가 한 개의 전자 받아가며 형성된 superoxide anion을 hydrogen peroxide(H₂O₂)로 환원시키는 역할을 한다. Catalase는 적혈구와 간에 많이 함유되어 있고, SOD에 이어 두 번째 항산화 작용에 관여하여 H₂O₂를 무독성의 H₂O로 환원하며, 마지막으로 glutathione peroxidase는 GSSG를 형성함으로써 조직의 과산화를 방지한다(29,30).

간 조직으로부터 분리한 cytosol로 측정된 glutathione 함량은 H40군 > EZ군 > Control군 > SPS군 > GPS군 순으로 측정되었으며, 신장조직에서는 각 군별로 유의적인 차이를 나타내었다. Glutathione의 기질로 사용되는 SH기의 함량은 EZ, H40, GPS군에서 높게 측정되었고, control과 SPS군에서는 낮은 함량을 보여 glutathione 함량과 유사한 경향이었다 (Table 7).

GST는 셀레늄 비의존성 GP-x로서 친전자성 물질을 무독화 시키는 과정을 촉매하는 효소이다. 환원형 GSH를 포함시켜 glutathione thioester(R-S-G)를 형성하는 반응을 촉매하고, 불포화지질의 peroxide를 환원하여 알코올로 전환시키는 역할을 한다(31,32). 간 조직의 cytosol에서의 GST 활성은 GPS군, SPS군, H40군에서 높게 측정되었다. 그리고 EZ군 및 control군에서는 낮은 활성을 보였고, 신장조직에서는 GPS, SPS군을 제외하고 유의적인 차이가 나타나지 않았다.

또한, 과산화수소를 분해하여 조직 세포의 산화성 손상으로부터 세포막을 보호하는 역할을 하는 GP-x는(33) GPS군

Table 7. Glutathione (GSH) contents, GST, GP-x activity

	Liver			Kidney		
	GSH ($\mu\text{g}/\text{mg}$ protein)	GST (U/mg protein/min)	GP-x (nmol of NADPH/mg protein/min)	GSH ($\mu\text{g}/\text{mg}$ protein)	GST (U/mg protein/min)	GP-x (nmol of NADPH/ mg protein/min)
Control	34.57 \pm 11.08 ^c	2.14 \pm 1.08 ^c	4.68 \pm 2.26 ^a	17.71 \pm 1.20 ^b	3.44 \pm 0.85 ^a	4.67 \pm 1.13 ^c
GPS	52.55 \pm 3.15 ^{ab}	2.93 \pm 0.62 ^a	3.42 \pm 0.90 ^{ab}	10.46 \pm 6.08 ^c	0.73 \pm 0.04 ^c	20.75 \pm 12.98 ^a
SPS	59.65 \pm 6.94 ^a	2.85 \pm 0.91 ^a	2.78 \pm 0.42 ^b	15.89 \pm 3.29 ^b	1.22 \pm 0.46 ^b	11.78 \pm 1.57 ^b
EZ	47.80 \pm 12.29 ^b	2.36 \pm 0.34 ^b	3.65 \pm 1.21 ^{ab}	17.07 \pm 2.95 ^b	3.06 \pm 1.08 ^a	13.03 \pm 5.15 ^b
H40	52.93 \pm 4.12 ^{ab}	2.95 \pm 0.65 ^a	2.82 \pm 0.14 ^b	22.18 \pm 5.56 ^a	3.39 \pm 1.01 ^a	10.92 \pm 3.39 ^b

Each value is mean \pm SD of experimental group, n=10. Different alphabets in each values show statistically significant difference at $\alpha=0.05$ by Duncan's multiple range test.

의 신장조직 cytosol에서 매우 높게 측정되었으나, 다른 군들은 유의적인 차이를 보이지 않았다.

이는 MDA 생성량 측정실험과 비교하여 유추해 볼 때 GP-x는 과산화 지질 생성을 막기 위해서 다른 군에 비해 많이 사용되어졌기 때문에 GPS군을 제외한 다른 군에서 낮은 활성도를 나타낸 것으로 사료된다.

요 약

AIN-93G 식이조성을 기본으로 corn starch를 potato starch로 100% 대체한 고지방식이로 42일간 rat에 급여하여 비만을 유도 후, GPS군, SPS군, EZ군, H40군으로 나누어 70일 급여한 후 지질대사에 미치는 영향을 살펴보았다. 그 결과, 체중증가량은 GPS, EZ, H40군에서 차이가 없었고 식이효율 또한 유의적으로 차이가 없었다. 혈중 혈당농도, TC, LDL-cholesterol 농도는 변성 전분 섭취 군(EZ, H40군)에서 높았고, atherogenic index는 H40이 다른 군에 비교해 높게 측정되어 H40군이 비만, 동맥경화에 미치는 영향이 크게 나타났다. 간과 신장 조직의 MDA 생성량은 H40군이 혈청 MDA 생성량이 다른 군에 비해 매우 높았고, 간과 신장 조직에서는 EZ, H40군이 낮았다. Glutathione 함량은 각 조직별로 경향이 달랐으나, GP-x활성은 SPS군에서 낮았다. 본 연구에서 전분을 달리하여 첨가한 고지방 식이가 비만형 식이에 미치는 영향을 살펴본 결과, 알감자 전분을 100% 대체하여 제조한 SPS군 및 효소 처리한 변성전분(EZ)을 100% 대체하여 급여한 군에서 비만억제 효과가 나타났다. 따라서 변성전분의 심혈관계 질환 및 혈중 지질 패턴 변화에 관련된 기전 연구가 지속적으로 필요하며, 생리활성이 규명된 후 다양한 가공식품 개발이 이루어져야 할 것으로 사료된다.

감사의 글

본 연구는 농림수산식품부에서 시행한 2004년 농림기술개발사업(과제번호, 204027-02-1-SB010)의 지원에 의한 연구결과물의 일부로 이에 감사드립니다.

문 헌

- Ahn HS, Park JK, Lee DH, Paik IK, Lee JH, Lee YJ. 1994. Clinical and nutritional examination in obese children and adolescents. *Korean J Nutr* 27: 79-89.
- Larsson B. 1990. Obesity, fat distribution and cardiovascular disease. In *Progress in Obese Research*. Oomura Y, ed. John Liddey & Compbell, Ltd., London. p 375-379.
- Kim HS, Chung JS. 2001. Effects of dietary zinc and iron levels on serum trace minerals and obesity index in high fat diet-induced obese rats. *Korean J Food Sci Nutr* 30: 325-330.
- Moon HN, Hong SJ, Suh SJ. 1992. The prevalence of obesity in children and adolescents. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 25: 413-418.
- Recommended dietary allowances for Koreans*. 1995. 6th revision. The Korean Nutrition Society, Seoul.
- Song YS. 1991. The present status of infant feeding in Korea and suggestions for its improvement. *Kor J Nutr* 4: 282-291.
- Oh SJ, Kim YH, Kim HY, Choi EH, Kim SH. 1999. Effect of fructooligosaccharide on lipid metabolism in hypercholesterolemic rat. *Kor J Nutr* 32: 129-136.
- Kum JS, Lee HY, Shin MR, Kim KH. 1994. Properties of modified rice starch by physical modification. *Korean J Food Sci Technol* 26: 428-435.
- French D. 1984. Organization of starch granules. In *Starch chemistry and technology*. 2nd ed. Academic Press, New York. p 183.
- Guilbot A, Mercier C. 1984. *The polysaccharides*. Academic Press, New York. Vol 3, p 209.
- Rutenberg MU, Solarek D. 1984. Starch derivatives production and uses. In *Starch and Technology*. Academic Press, New York. p 324.
- Kim CS, Lee YS. 1997. Characteristics of sponge cakes replacement of sucrose with oligosaccharides and sugar alcohols. *Korean J Soc Foods Sci* 13: 118-126.
- Andress GL. 1983. *Food processing*. AP, New York. p 59.
- Song ES, Kang MH. 2006. Development of fat replacer made by modified waxy potato starch. 20040573. ARPC. Final report.
- Muruganandan S, Crinivasan K, Gupta S, Gupta PK, Lai J. 2005. Effect of mangiferin on hyperglycemia and atherogenicity in streptozotocin diabetic rats. *J Ethnopharmacol* 97: 495-501.
- Zak B. 1968. Total and free cholesterol. In *Standard method chemistry*. Academic Press, New York. p 79-89.
- Ohkawa H, Ohishi N, Yagi K. 1978. Assay for lipid peroxides animal tissues by thiobarbituric acid reaction. *Anal Biochem* 95: 351-358.

18. Lowry OH, Rosebrough NJ, Farr AL, Randall RJ. 1951. Protein measurement with folin phenol reagent. *J Biol Chem* 193: 265-275.
19. Yoo JS, Lee JH, Jo SH. 1999. *Experimental nutrition*. Hyung-Seol Press, Seoul, Korea. p 52-54.
20. Habig WH, Pabst MJ, Jabby WB. 1974. Glutathione-S-transferase: the first enzymatic step mercapturic acid formation. *J Biol Chem* 25: 7130-7139.
21. Flohe L. 1998. Determination of glutathione peroxidase. In *CRC Handbook of Free Radicals and Antioxidants in Biomedicine*. Miquel J, Quintanilha AT, Weber H, eds. CRC Press, Inc., Boca Raton, Fla. Vol 3, p 281-286.
22. SAS. 2000. User's guide. SAS Institute, Cary, NC, USA.
23. Chang MJ, Kim MH. 2003. Comparative growth performance and physiological function of physically modified rice starch and gelatinized rice starch in growing rats. *Korean J Food Culture* 18: 592-600.
24. Sung IS, Kim MJ, Cho SY. 1997. Effect of *Quercus acutissima* CARRUTHERS extracts on the lipid metabolism. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 26: 327-333.
25. Wursch P. 1979. Influence of tannin-rich carb pod fiber on the cholesterol metabolism in the rat. *J Nutr* 109: 685-692.
26. Park OJ. 1994. Plasma lipid and fecal excretion of lipids in rats fed a high fat diet, a high cholesterol diet or a low fat/high sucrose diet. *Korean J Nutr* 27: 785-794.
27. Park SJ, Kang MH. 2003. The effect of dietary noodle with glucomannan on the weight loss in high fat diet-induced obese rats. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 32: 893-898.
28. Kang MH, Lee JH, Lee JS, Kim JH. 2004. Effects of acorn supplementation on lipid profiles and antioxidant enzyme activities in high fat diet-induced obese rats. *Korean J Nutr* 37: 169-175.
29. Hatano T. 1995. Constituents of natural medicines with scavenging effects on active oxygen species-tannins and related polyphenols. *Nat Med* 49: 357-363.
30. Masaki H, Sasaki S, Sakurai H. 1995. Active oxygen scavenging activity of plants extracts. *Biol Pharm Bull* 18: 162-166.
31. Lieber CS. 1990. Interaction of ethanol with drug, hepatotoxic agent, carcinogen and vitamins. *Alcohol Alcohol* 25: 157-176.
32. Lee JW. 1973. Effects of ethanol on the metabolism of free fatty acids in isolated liver cells. *J Lipid Res* 14: 78-84.
33. Pierce S, Tappel AL. 1978. Glutathione peroxidase activities from rat liver. *Biochem Biophys Acta* 523: 27-36.

(2008년 8월 14일 접수; 2008년 9월 24일 채택)