

홍국고구마가 고지방식을 급여한 흰쥐의 배변량 및 지질대사에 미치는 영향

박주현¹ · 최상윤¹ · 이경원¹ · 김성수¹ · 조경동² · 한찬규^{1*}

¹한국식품연구원

²푸드원텍(주)

Effect of Diets with Red Yeast Sweet Potato Powder Supplement on Fecal Amount and Lipid Metabolism in Rats Fed a High-fat Diet

Ju-Hun Park¹, Sang-Yoon Choi¹, Kyung-Won Lee¹, Sung-Soo Kim¹,
Kyung-Dong Cho², and Chan-Kyu Han^{1*}

¹Korea Food Research Institute, Gyeonggi 463-746, Korea

²Food One Tech Inc., Seoul 153-787, Korea

Abstract

This study was performed to investigate the effects of a diet with a red yeast sweet potato supplement on fecal amount and lipid metabolism in male Sprague-Dawley rats fed a high-fat diet for 10 weeks. Rats were fed a high-fat diet (15% fat) with additional lard (7%) and cholesterol (1%) based on AIN-93G basal diet (7% fat) for 6 weeks during the first phase. In the second phase, which lasted 4 weeks, the rats divided into four experimental groups which were composed of a high-fat diet group as a control (CON), a high-fat diet with 5% white-fleshed sweet potato supplement group (WFSP), a high-fat diet with 5% red yeast sweet potato supplement group (RYSP), and a high-fat diet with 5% purple-fleshed sweet potato supplement group (PFSP). The fecal amount of group RYSP increased significantly during the second phase compared to the other groups ($p < 0.05$). The fecal total cholesterol (TC) and triglyceride (TG) content of group RYSP were also highest among all experimental groups. The serum TC and TG were shown to have the lowest levels in the group RYSP, and LDL-cholesterol levels were significantly decreased in groups RYSP and PFSP than in group CON ($p < 0.05$). These results indicate that supplementation with red yeast sweet potato seemed to be effective in increasing feces and fecal lipid excretion, and also in decreasing serum lipid levels in rats fed a high-fat diet.

Key words: red yeast, sweet potato, fecal lipid, cholesterol, triglyceride

서 론

우리나라는 지난 한 세대에 걸친 급속한 경제발전으로 인해 생활수준이 크게 향상됨에 따라 식생활에도 적지 않은 변화를 가져오게 되었다. 특히, 서구화된 식단으로의 변화는 동물성식품의 지속적인 섭취증가를 가져온 반면, 식이섬유의 섭취는 감소함으로써 지질 및 당질대사 이상에 의한 비만, 고지혈증, 동맥경화, 심근경색 등 순환기계 질병으로 인한 사망률이 급속하게 증가하는 추세에 있다(1-3). 특히, 관상심장계질환(Coronary Heart Disease, CHD)은 관상동맥에 혈중 지질이 침착하여 심장조직의 죽상경화와 사멸을 야기하여 일어나는 급성 질환인데, 병인에 흡연, 고혈압, 당뇨, 스트레스 같은 많은 요인이 작용하지만 혈중 콜레스테롤 상승이 주요 위험인자로 인식되고 있다(4).

한편, 고구마(*Ipomoea batatas* L.)는 중남미가 원산지로서 재배가 용이하고 단위면적당 수확량이 많으며 수분을

제외한 건조 고형물 중에는 탄수화물이 75% 이상 함유되어 있다. 고구마의 영양성분은 대부분 전분으로 이루어져 있고 식이섬유, 무기질, β -carotene, 비타민 C 등 건강기능성 성분을 풍부히 함유하고 있다(5). 고구마의 생리활성으로는 혈중 콜레스테롤 저하, 항산화, 항암, 심혈관질환 예방과 비만 억제, 변비예방효과 등이 보고되어 있으며 특히 식이섬유로 인한 배변활동 촉진효과가 크다고 알려져 있다(6-11).

Monascus속 곰팡이의 일종인 홍국은 붉은색소를 생산하여 진한 홍색을 띠며 주요 약리작용으로는 콜레스테롤 생합성 억제 및 혈압상승 억제효능 등이 보고되어 있다(12,13). 이의 활성성분으로는 monacolin-K가 대표적이고 이는 HMG-CoA(3-hydroxy-3-methylglutaryl CoA) reductase를 길항 저해하는 강력한 콜레스테롤 생합성 저해물질로 알려져 있다(14). 따라서 홍국의 기능성을 이용한 다양한 홍국첨가 식품이 개발되고 있다. 이와 같이 홍국 및 홍국첨가 식품의 지질 생합성 저해효과는 속속 보고되고 있으나 아직까지 배변

*Corresponding author. E-mail: ckhan@kfri.re.kr
Phone: 82-31-780-9236, Fax: 82-31-709-9876

효과 및 지질배설에 미치는 영향에 대한 연구는 미비한 실정이다.

이에 본 연구는 배변활동 촉진효과가 높은 고구마에 홍국을 첨가하여 홍국고구마를 제조하고 이의 배변량 및 지질대사에 미치는 영향을 평가하기 위하여 고지방식이를 급여한 흰쥐에게 홍국고구마 분말을 급여한 후 배변량과 장 통과시간 그리고 분변 및 혈청 지질농도 등을 조사하고 일반고구마 및 자색고구마와 비교 검토하여 기능성 홍국고구마로서의 활용을 위한 기초자료를 얻기 위하여 수행하였다.

재료 및 방법

실험시료

본 실험에서 사용한 일반고구마는 2009년산 경기도 여주 밤고구마를 이용하였고, 홍국고구마는 (주)에프앤피(Jeungpyeong, Chungbuk, Korea)에서 배양 제조한 홍국고구마 분말을 원료로 공급받아 사용한 것으로, 그 제조방법은 고구마와 현미를 1:2 비율로 혼합하여 121°C에서 1시간 멸균 후, PDA 배지에 배양한 홍국 균주 *Monascus pilosus* FNP1-5 305-9를 접종하였다. 이때 접종량은 홍국균을 쌀에 배양할 경우 설정된 기준치 100 mL/kg으로 하여 온도 30°C, 습도 70%의 배양실에서 40일간 배양하였으며 배양 중 3회 교반을 실시하였다. 배양 후 100°C에서 40분간 2차 멸균하여 균의 활성을 억제한 후 수분함량이 4% 내외가 되도록 50°C에서 10시간 건조하고 분말화한 홍국고구마를 제조하였으며,

이때 Kang 등(15)의 방법에 준하여 HPLC(Jasco, Tokyo, Japan)로 분석한 monacolin-K의 함량은 2,250 mg/kg으로 나타났다. 자색고구마는 2009년산 전라남도 해남 자색고구마를 실험식이 제조에 이용하였다. 일반고구마와 자색고구마는 동결건조 하여 분말시료로 사용하였다.

실험식이

홍국고구마가 흰쥐의 생리효능에 미치는 영향을 평가하기 위해 실험식이는 흰쥐용 일반 고형사료(AIN-93G)(16)를 기본식이(basal diet)로 하여 실험 1기는 기본식이에 돈지(lard)와 콜레스테롤을 각각 7%, 1%씩 중량비(weight basis)로 첨가하여 식이중의 총 지방함량이 약 15%가 되도록 제조한 고지방식이를 6주 동안 급여하였고, 실험 2기는 고지방식이에 3종의 고구마분말(일반, 홍국, 자색)을 각각 5%씩 중량비로 첨가한 실험식이를 4주간 급여하였다(Table 1). 실험식이의 열량은 399.08~401.41 kcal/100 g, 지방 함량은 14.10~14.49 g/100 g, 단백질 함량은 18.86~19.94 g/100 g으로 비슷하였다. 식이섬유 함량은 실험군 중 홍국고구마군(19.73 g/100 g)이 유의적으로 가장 높았고 고지방대조군(16.59 g/100 g)이 가장 낮았다($p<0.05$). 칼슘(Ca) 함량은 자색고구마군이 홍국고구마군에 비해 유의하게 높았고($p<0.05$), 인(P) 함량은 일반, 홍국 및 자색고구마군이 고지방대조군보다 유의적으로 낮았다($p<0.05$, Table 2).

실험동물의 사육

실험동물은 3주령 된 Sprague-Dawley(SD)계 수컷 흰쥐

Table 1. Experimental design for animal study

Group ¹⁾ (n=10)	Treatment	
	1st phase (6 weeks)	2 nd phase (4 weeks)
CON		HFD (100%, control)
WFSP	basal diet ²⁾ (92%)+lard (7%)+cholesterol (1%)	HFD (95%)+WFSP powder (5%)
RYSP	→ high fat diet (HFD)	HFD (95%)+RYSP powder (5%)
PFSP		HFD (95%)+PFSP powder (5%)

¹⁾CON: control, WFSP: white-fleshed sweet potato, RYSP: red yeast sweet potato, PFSP: purple-fleshed sweet potato.

²⁾Basal diet (AIN-93G) ingredients (g/kg diet): corn starch 397.486, sucrose 100.00, dextrose 132.00, casein 200.00, soybean oil 70.00, cellulose 50.00, mineral mixture 35.00, vitamin mixture 10.00, choline bitartrate 2.50, L-cystein 3.00, t-butylhydroquinone 0.014.

Table 2. Proximate compositions of the experimental diet added with sweet potato powder

Component	Experimental diet ¹⁾			
	CON	WFSP	RYSP	PFSP
Calorie (kcal/100 g)	401.41±2.97 ^{NS2)}	400.39±6.33	399.08±9.02	399.22±6.77
Moisture (g/100 g)	8.59±0.33 ^{NS}	8.73±0.52	8.98±0.07	9.20±0.53
Crude fat (g/100 g)	14.33±0.61 ^{NS}	14.23±0.71	14.10±0.92	14.49±0.50
Crude protein (g/100 g)	19.36±1.18 ^{NS}	19.41±0.84	18.86±1.71	19.94±1.47
Crude ash (g/100 g)	8.97±0.43 ^{NS}	9.08±0.87	8.83±0.70	9.12±0.35
Carbohydrate (g/100 g)	48.75±1.54 ^{NS}	48.55±0.39	49.23±2.12	47.25±1.20
Dietary fiber (g/100 g)	16.59±0.27 ³⁾	18.51±1.05 ^b	19.73±0.13 ^a	17.74±0.26 ^b
Calcium (mg/100 g)	2238.24±95.80 ^{ab}	2266.74±135.72 ^{ab}	2116.59±95.05 ^b	2380.14±28.04 ^a
Phosphorus (mg/100 g)	796.73±21.75 ^a	760.85±12.98 ^b	748.97±10.95 ^b	760.91±18.86 ^b

Values are mean±SE (n=10).

¹⁾See the 2nd phase in Table 1.

²⁾Not significant.

³⁾Values within a row with different superscript letters are significantly different at $p<0.05$ by Duncan's multiple range test.

를 (주)한림실험동물(Hwaseong, Gyeonggi, Korea)에서 구입하였고, 실험 전 1주일 동안 흰쥐용 일반 고형사료로 적응기를 거친 후 난괴법(randomized block design)으로 각 처리군당 10마리씩 임의배치 하여 케이지당 2마리씩 총 10주간 사육하였다. 사육실의 환경은 항온(23±1°C) 및 항습(50±5%) 조건을 유지하였고, 조명은 12시간 light/dark cycle (08:00~20:00)로 일정하게 조절하였다. 실험기간 동안 식이와 식수는 자유섭취(*ad libitum*)하도록 하였고, 체중은 1주일에 한 번씩 일정한 시간에 실험동물저울(GF-2000, AND, Anyang, Gyeonggi, Korea)을 이용하여 측정하였으며, 식이섭취량은 매일 일정한 시간에 공급하고 남은 식이를 4°C에서 냉장보관 한 후 1주일에 한 번 측정하였다. 식이효율(feed efficiency ratio, FER)은 체중증가량을 동일 기간 동안의 식이섭취량으로 나누어 계산하였다.

실험동물의 처리 및 시료 수집

실험이 종료된 실험동물은 12시간 절식시킨 후 안와정맥총(orbital plexus)으로부터 혈액을 채취하고 원심분리관에 넣어 1시간 정도 실온에 방치한 다음 2,500 rpm에서 10분간 원심분리 시킨 후 혈청을 분리하였다. 각 지방조직(정소상체 지방패드, 신장주변지방패드, 갈색지방) 및 소장, 대장은 적출 후 0.9% 생리식염수에 세척한 다음 여과지로 물기를 제거하고 무게 또는 길이를 측정하였다. 혈청은 -70°C에서 냉동보관하면서 분석에 이용하였으며, 분변의 지질분석을 위해 실험종료 전 4일간의 분변을 수집하여 fume hood에서 48시간 자연건조 시킨 후 -18°C에서 냉동보관 하였다.

배변량과 장 통과시간

배변량은 실험 1기 6주째와 실험 2기 4주째에 각각 4일간 조사하였고, 장 통과시간(gastrointestinal transit time)은 Park 등(17)의 방법에 따라, 실험 2기 4주째에 carmine red (Sigma, St. Louis, MO, USA)를 이용하여 이를 0.5% 농도로 각 실험식에 첨가하여, 급여 시작 시간과 적색변이 최

초로 검출되기까지의 시간 간격으로 하였다.

분변의 지질 농도 및 혈청 성분 분석

분변의 총콜레스테롤(total cholesterol, TC)과 중성지방(triglyceride, TG) 함량은 Folch 등(18)의 방법을 수정, 보완하여 지질성분을 추출한 후 상업용 측정 kit(Asan Pharmaceutical Co. Ltd., Seoul, Korea)를 이용하여 측정하였으며, 혈청 지질, 인슐린, 렙틴 및 혈당농도 등 혈청 생화학치는 Han 등(19)의 방법에 준하여 그 분석방법을 Table 3에 나타내었다.

통계처리

SPSS program for windows version 17.0(SPSS Inc., Chicago, IL, USA)을 이용하여 실험결과를 분석하였으며, 분석결과는 mean±SE(standard error)로 나타내었다. 각 군의 결과값에 대해 one-way ANOVA 분석 후 Duncan's multiple range test를 이용하여 p<0.05 이상의 수준에서 유의성 검정을 실시하였으며, 실험 1기와 2기의 배변량 변화는 Student t-test로 검정하였다.

결과 및 고찰

체중, 식이섭취량 및 식이효율

고지방식에 일반, 홍국 및 자색고구마 분말을 첨가한 식이가 흰쥐의 체중, 증체량, 식이섭취량 및 식이효율에 미치는 영향은 Table 5와 같다. 실험 1기(고지방식급여)의 실험종료 시 체중, 일당증체량 및 식이효율(FER)은 실험군 간에 통계적인 차이가 없었으며(Table 4), 실험 2기(고구마분말 첨가식급여)의 체중, 증체량, 식이섭취량 및 식이효율은 실험군별 유의적인 차이가 없었다. 이중 일당증체량의 경우 홍국고구마첨가군(RYSP)이 3.24 g으로 일반고구마첨가군 및 자색고구마첨가군(3.68, 3.51 g)에 비해 다소 낮았으며, 식이효율 역시 RYSP군(0.130)이 고지방대조군(CON)과

Table 3. Analytical methods of blood chemicals

Item	Method	Sample	Reagent	Analyzer
TC ¹⁾	Enzymatic method	Serum	Cholesterol reagents (Bayer, Pittsburgh, PA, USA)	ADVIA 1650 (Bayer, Shiga, Japan)
HDL-C ²⁾	Enzymatic method	Serum	Direct HDL-cholesterol (Bayer)	ADVIA 1650 (Bayer)
LDL-C ³⁾	EIA ⁴⁾	Serum	LDL-cholesterol (Bayer)	ADVIA 1650 (Bayer)
TG ⁵⁾	Lipase, GK ⁶⁾ , GPO ⁷⁾ colorimetry	Serum	Triglyceride reagents (Bayer)	ADVIA 1650 (Bayer)
Insulin	ECLIA ⁸⁾	Serum	Human insulin-specific RIA kit (Linco, St. Charles, MO, USA)	Modular analytics E170 (Roche, Mannheim, Germany)
Leptin	RIA ⁹⁾	Serum	Human leptin RIA kit (Linco)	γ-counter COBRA 5010 Quantum (Packard, Meriden, CT, USA)
Glucose	Enzymatic method	Serum	Glucose hexokinase (Bayer)	ADVIA 1650 (Bayer)

¹⁾TC: total cholesterol. ²⁾HDL-C: high-density lipoprotein-cholesterol. ³⁾LDL-C: low-density lipoprotein-cholesterol.

⁴⁾EIA: enzyme immunoassay. ⁵⁾TG: triglyceride. ⁶⁾GK: glycerokinase.

⁷⁾GPO: L-α-glycerol phosphate oxidase. ⁸⁾ECLIA: electrochemiluminescence immunoassay. ⁹⁾RIA: radioimmunoassay.

Table 4. Effect of diets added with red yeast sweet potato powder on weight gain, diet intake and FER in rats fed high fat diet (1st phase)

Group ¹⁾	Initial wt. (g)	Final wt. (g)	Weight gain (g/day)	Diet intake (g/day)	FER ²⁾
CON	103.4±6.0 ^{b3)}	403.5±25.1 ^{NS4)}	7.14±1.90 ^{NS}	25.68±1.31 ^b	0.281±0.082 ^{NS}
WFSP	108.7±5.9 ^a	428.5±31.9	7.61±2.00	27.97±1.31 ^a	0.274±0.075
RYSP	109.2±3.8 ^a	427.9±25.8	7.59±2.00	27.71±1.76 ^a	0.277±0.079
PFSP	104.9±3.2 ^{ab}	416.9±28.9	7.43±2.02	26.65±1.13 ^{ab}	0.281±0.082

Values are mean±SE (n=10).

¹⁾See Table 1.

²⁾FER (feed efficiency ratio)=weight gain/diet intake.

³⁾Values within a column with different superscript letters are significantly different at p<0.05 by Duncan's multiple range test.

⁴⁾Not significant.

Table 5. Effect of diets added with red yeast sweet potato powder on weight gain, diet intake and FER in rats fed high fat diet (2nd phase)

Group ¹⁾	Initial wt. (g)	Final wt. (g)	Weight gain (g/day)	Diet intake (g/day)	FER ²⁾
CON	403.5±25.1 ^{NS3)}	492.6±31.3 ^{NS}	3.18±1.05 ^{NS}	25.39±2.76 ^{NS}	0.136±0.021 ^{NS}
WFSP	428.5±31.9	531.5±55.8	3.68±1.27	28.07±4.72	0.141±0.027
RYSP	427.9±25.8	518.6±41.6	3.24±1.15	27.42±3.78	0.130±0.021
PFSP	416.9±28.9	515.2±46.6	3.51±1.01	26.43±3.44	0.142±0.038

Values are mean±SE (n=10).

¹⁾See Table 1.

²⁾FER (feed efficiency ratio)=weight gain/diet intake.

³⁾Not significant.

WFSP, PFSP군(0.136, 0.141, 0.142)에 비해 약간 낮은 결과를 보였지만 유의한 차이가 나타나지 않아, 홍국고구마의 체중증가 억제와 관련하여 보완연구가 필요할 것으로 사료된다.

배변량과 장 통과시간

흰쥐에게 고지방식이 급여 후 고구마분말첨가식을 급여했을 때 배변량에 미치는 영향은 Table 6과 같다. 실험 1기(고지방식급여)의 1일 평균 배변량은 20.29~24.13 g으로 실험군 간에 유의한 차이가 있었다(p<0.05). 실험 2기(고구마분말 첨가식 급여)의 1일 평균 배변량은 19.13~26.03 g의 범위로 고지방대조군(CON)과 자색고구마첨가군(PFSP)보다 일반고구마첨가군(WFSP)과 홍국고구마첨가군(RYSP)이 통계적으로 유의하게 많았다(p<0.05). 실험 1기와 실험 2기의 배변량 변화를 보면 CON군은 유의적으로 감소하였고, WFSP군과 PFSP군은 차이가 없었던 반면, RYSP군은 유의하게 증가하였다(p<0.05). 또한 장 통과시간 역시 RYSP

Table 6. Effect of diets added with red yeast sweet potato powder on fecal amount in rats fed high fat diet

Group ¹⁾	Fecal wt. (g/day)	
	1st phase (6 wks)	2nd phase (4 wks)
CON	21.47±2.97 ^{Ab2)}	19.13±1.69 ^{Bb}
WFSP	24.13±2.78 ^{Aa}	24.46±4.52 ^{Aa}
RYSP	23.93±2.04 ^{Bab}	26.03±4.62 ^{Aa}
PFSP	20.29±2.56 ^{Ab}	20.66±2.88 ^{Ab}

Values are mean±SE (n=10).

¹⁾See Table 1.

²⁾Values within a row (A,B) and a column (a,b) with different superscript letters are significantly different at p<0.05 by Student t-test.

군이 다른 군에 비하여 가장 짧았다(p<0.05, Fig. 1). Spiller 등(20)은 식이섬유소가 위와 소장에서 통과시간이 길어짐에도 불구하고 대장에서의 통과시간은 짧아져 최종 배설되는 시간이 짧아지며, 이는 식이섬유소의 수분 보유력이 증가함에 따라 장 내용물의 부피와 점성을 증가시켜 대장의 운동을 자극하기 때문이라고 보고한 바 있다. 또한 Mc Dougall 등(21)은 불용성 식이섬유소는 대변의 양을 증가시키고 장 통과시간을 단축시키는 작용을 한다고 보고하였다. 본 연구에서 홍국고구마군의 배변량 증가와 장 통과시간 단축은 고구마와 현미를 주원료로 한 홍국고구마의 높은 식이섬유소의 영향을 받아 배변효과를 증진시킨 것으로 판단된다.

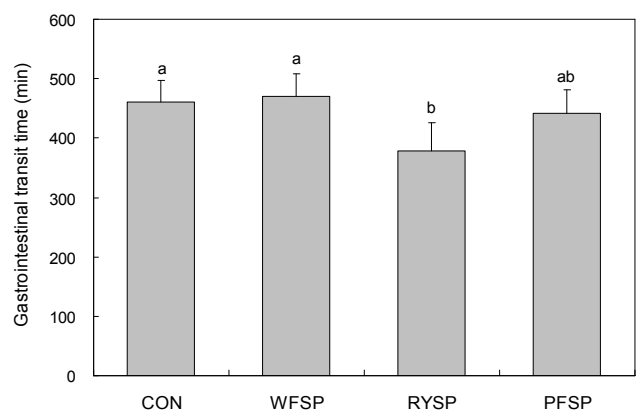


Fig. 1. Effect of diets added with red yeast sweet potato powder on gastrointestinal transit time in rats fed high fat diet. Values are mean±SE (n=10). Bars with different letters are significantly different at p<0.05 by Duncan's multiple range test. CON (high fat diet as control), WFSP (white-flashed sweet potato 5%), RYSP (red yeast sweet potato 5%), PFSP (purple-flashed sweet potato 5%).

Table 7. Effect of diets added with red yeast sweet potato powder on adipose tissue weight and length of intestine in rats fed high fat diet

Group ¹⁾	Adipose tissue weight (g/100 g of body weight)			Length of intestine (cm/100 g of body weight)	
	EFP ²⁾	RFP ³⁾	BAT ⁴⁾	Small intestine	Large intestine
CON	0.70±0.17 ^{NS5)}	1.03±0.27 ^{NS}	0.16±0.04 ^{a6)}	124.3±7.29 ^{NS}	23.14±2.80 ^b
WFSP	0.77±0.25	1.17±0.46	0.14±0.02 ^{ab}	128.8±5.79	25.97±1.79 ^a
RYSP	0.74±0.17	1.03±0.34	0.15±0.03 ^{ab}	130.6±5.97	26.76±1.78 ^a
PFSP	0.70±0.16	1.10±0.34	0.12±0.04 ^b	125.0±10.90	23.15±1.52 ^b

Values are mean±SE (n=10).

¹⁾See Table 1. ²⁾EFP: epididymal fat pad. ³⁾RFP: perirenal fat pad. ⁴⁾BAT: brown adipose tissue. ⁵⁾Not significant.

⁶⁾Values within a column with different superscript letters are significantly different at p<0.05 by Duncan's multiple range test.

지방조직의 무게 및 장관길이

흰쥐에게 고지방식이 급여 후 고구마분말첨가식을 급여했을 때 지방조직의 무게 및 장관길이에 미치는 영향은 Table 7과 같다. 체지방은 형태나 작용에 따라 백색지방(white adipose tissue)과 갈색지방(brown adipose tissue)으로 구분된다. 백색지방은 주로 체내 잉여에너지를 지방으로 저장하며 피하와 장기주변에 분포하는 반면 갈색지방은 열을 생산하는 기능을 하고 목주위에 발달되어 있다(22). 백색지방인 정소상체지방패드(epididymal fat pad)와 신장주변지방패드(perirenal fat pad)의 무게는 실험군간 유의적인 차이가 없었으며, 갈색지방 무게는 자색고구마첨가군(PFSP)이 고지방대조군(CON)에 비해 유의하게 낮았다(p<0.05). 장관길이를 살펴보면 소장길이는 단위 체중당 124.3~130.6 cm의 범위로 군별 유의적인 차이가 없었으나 홍국고구마첨가군(RYSP)이 다소 높았고, 대장길이는 WFSP군과 RYSP군이 각각 25.97, 26.76 cm로 CON군과 PFSP군(23.14, 23.15 cm)에 비해 통계적으로 유의하게 높았다(p<0.05). 이는 홍국고구마의 식이섬유 및 난소화성 당류 등의 물질의 급여에 따른 다소간의 장기 확장의 결과가 나타난 것으로(23) 이는 생물학적 적응현상이라고 판단된다.

분변의 지질 농도

흰쥐에게 고지방식이 급여 후 고구마분말첨가식을 급여했을 때 분변 중 지질농도에 미치는 영향은 Table 8과 같다. 분변의 총콜레스테롤(TC) 함량은 일반고구마첨가군(5.83 mg/g)과 홍국고구마첨가군(6.05 mg/g)이 자색고구마첨가군(4.47 mg/g)보다 각각 30%, 35% 더 높은 것으로 나타났고(p<0.05), 중성지방(TG) 함량은 홍국고구마첨가군(RYSP)이 가장 높았으나 유의한 차이는 없었다. TC와 TG의 1일

총 배설량의 경우에도 RYSP군이 각각 157.45, 72.40 mg으로 실험군중 가장 높았으며 이는 대조군(CON) 및 자색고구마군(PFSP)과 유의적인 차이가 있는 것으로 나타났다(p<0.05). Yang 등(24)은 콜레스테롤 투여 흰쥐에 있어 분변 중의 콜레스테롤과 중성지방 함량은 fiber-free군에 비해 식이섬유 첨가군에서 유의적으로 증가한 것으로 보고하였으며, Vahouny 등(25)은 콜레스테롤 식이에 첨가한 cellulose가 분변 중의 담즙산 및 중성 steroid 배설량을 유의적으로 증가시켰다고 보고한 바 있다. 본 연구에서 홍국고구마첨가군의 지질 배설량 증가는 고구마와 현미의 식이섬유에 의한 작용 외에도 홍국의 지질 배변효과 등의 다양한 기전이 영향을 주었을 것이라 생각된다.

혈청 지질과 호르몬 및 혈당 농도

흰쥐에게 고지방식이 급여 후 고구마분말첨가식을 급여했을 때 혈청 지질, 인슐린, 렙틴 및 혈당농도에 미치는 영향은 Table 9에 제시하였다. 혈청 중 총콜레스테롤(TC) 함량은 홍국고구마첨가군(RYSP)이 59.20 mg/dL로 실험군중 가장 낮았고, 이는 고지방대조군(73.70 mg/dL)에 비해 약 20% 감소한 것으로 드러났으나 실험군 간에 유의적인 차이는 없었다. HDL-콜레스테롤 농도는 일반고구마첨가군(WFSP)에서 대조군(CON)보다 유의적으로 높게 나타났고(p<0.05), LDL-콜레스테롤 농도는 홍국 및 자색고구마첨가군(RYSP, PFSP)이 각각 7.80, 7.80 mg/dL로 CON군(11.10 mg/dL)에 비해 유의하게 낮은 것으로 나타났다(p<0.05). 중성지방(TG) 농도는 RYSP군이 57.00 mg/dL로 실험군중 가장 낮은 결과를 보였으며, 이는 WFSP군(73.60 mg/dL)과 통계적으로 유의한 차이가 있었다(p<0.05). 혈청지질 함량은 심혈관계 질환, 당뇨병 등의 진단지표로 이용되고 있다.

Table 8. Effect of diets added with red yeast sweet potato powder on fecal lipid levels in rats fed high fat diet

Group ¹⁾	Concentration (mg/g of feces)		Total excretion amount (mg/day)	
	TC	TG	TC	TG
CON	5.04±1.13 ^{ab2)}	2.28±0.57 ^{NS3)}	96.37±21.52 ^b	43.56±10.92 ^b
WFSP	5.83±0.95 ^a	2.56±0.64	142.64±23.17 ^a	62.56±15.65 ^{ab}
RYSP	6.05±1.71 ^a	2.78±1.21	157.45±44.60 ^a	72.40±31.37 ^a
PFSP	4.47±0.87 ^b	2.20±0.80	92.36±18.00 ^b	45.47±16.51 ^b

Values are mean±SE (n=10).

¹⁾See Table 1.

²⁾Values within a column with different superscript letters are significantly different at p<0.05 by Duncan's multiple range test.

³⁾Not significant.

Table 9. Effect of diets added with red yeast sweet potato powder on serum lipid, hormone and glucose levels in rats fed high fat diet

Group ¹⁾	Lipid profiles ²⁾ (mg/dL)				Hormone (ng/mL)		Glucose (mg/dL)
	TC	HDL-C	LDL-C	TG	Insulin	Leptin	
CON	73.70±24.59 ^{NS3)}	10.10±3.21 ^{b4)}	11.10±3.38 ^a	69.20±22.76 ^{ab}	0.24±0.15 ^b	4.95±2.57 ^{ab}	74.60±8.13 ^c
WFSP	75.30±12.51	13.00±2.05 ^a	9.50±2.42 ^{ab}	73.60±15.56 ^a	0.81±0.43 ^a	3.69±1.20 ^b	84.80±8.77 ^b
RYSP	59.20±10.82	11.40±1.43 ^{ab}	7.80±2.97 ^b	57.00±13.76 ^b	0.43±0.22 ^b	5.78±4.31 ^{ab}	86.90±7.78 ^b
PFSP	60.90±10.77	11.30±2.11 ^{ab}	7.80±1.55 ^b	64.80±11.11 ^{ab}	1.07±0.45 ^a	6.81±3.69 ^a	96.20±10.48 ^a

Values are mean±SE (n=10).

¹⁾See Table 1.

²⁾TC: total cholesterol, HDL-C: high-density lipoprotein-cholesterol, LDL-C: low-density lipoprotein-cholesterol, TG: triglyceride.

³⁾Not significant.

⁴⁾Values within a column with different superscript letters are significantly different at p<0.05 by Duncan's multiple range test.

고콜레스테롤혈증(hypercholesterolemia), 고중성지방혈증(hypertriglyceridemia) 등은 심혈관계 질환의 위험인자로서(26,27), 비만에서는 지방대사와 당대사의 이상으로 인하여 이상지혈증(dyslipidemia)이 흔히 동반되는데, 식이에 의해 비만이 유도된 흰쥐에서 혈중 중성지방과 콜레스테롤이 증가하였고, HDL-콜레스테롤은 감소하였다고 보고되었다(28,29). 따라서 혈중 콜레스테롤 및 중성지방 농도를 낮추기 위한 시도가 활발히 전개되고 있다(30,31). 한편, 홍국균은 강력한 콜레스테롤 생합성 저해물질 monacolin-K 및 유사한 구조를 갖는 관련 활성물질들을 생산하며 그 양이나 활성은 홍국균의 종류나 배양조건 등에 따라 차이를 나타내는 것으로 알려져 있으며(32-34), monacolin-K는 혈중 콜레스테롤을 저하시킬 뿐 아니라 중증의 고 콜레스테롤 혈증 환자에 대해서는 LDL-콜레스테롤을 우선적으로 낮추는 한편 혈중 콜레스테롤 농도가 정상인 경우에도 VLDL 및 LDL-콜레스테롤의 생성을 함께 저하시키는 것으로 보고되고 있다(35). 이와 관련하여 Yu 등(12)은 홍국 첨가식이 흰쥐의 혈중 LDL-콜레스테롤 및 중성지방 함량을 감소시킨 것으로 보고하였으며, Rhyu 등(14)은 홍국의 장기섭취가 자연발증 고혈압 쥐(SHR)의 혈중 TC 및 LDL-C를 감소시킨 것으로 보고한 바 있다. 본 연구에서 홍국첨가군의 혈중 지질 감소 결과는 고구마의 생리활성과 더불어 홍국의 지질 생합성 저해 기전이 큰 작용을 한 것으로 사료된다.

한편, 혈청 호르몬 중 인슐린 농도는 RYSP군(0.43 ng/mL)이 WFSP, PFSP군(0.81, 1.07 ng/mL)에 비해 유의적으로 낮은 결과를 보였으며(p<0.05), 식욕조절인자로 알려진 렙틴 함량의 경우 PFSP군이 WFSP군에 비해 유의적으로 높은 것으로 나타났다(p<0.05). 혈당 농도는 CON군에 비해 고구마분말 첨가군(WFSP, RYSP, PFSP)이 유의하게 높았다(p<0.05). 이는 고구마의 당분이 다소간의 혈당 상승작용을 한 것으로 보이지만, 이중 RYSP군은 혈당 상승에 비해 인슐린 분비는 상대적으로 적은 것으로 나타나 홍국 첨가식은 성인병 예방에도 다소 효과가 있는 것으로 사료된다.

이상에서 고지방식이 섭취 흰쥐에서의 홍국고구마 분말 첨가식은 배변량 증가 및 분변의 지질 배설량 증가, 그리고 혈청 지질 농도 감소 등으로 인한 배변 및 지질대사 개선

효과가 규명되었다. 이는 향후 홍국과 고구마의 기능성을 접목한 고기능성 홍국고구마 대량 생산으로 배변활동 및 콜레스테롤 수치 개선을 위한 건강기능식품 개발이 가능할 것으로 기대된다.

요 약

홍국고구마가 고지방식을 섭취한 흰쥐의 배변량 및 지질대사 개선에 미치는 영향을 조사하고자 SD계 수컷 흰쥐를 대상으로 실험 1기(6주)에 고지방식을 급여하고, 실험 2기(4주)에 3종의 고구마분말(일반, 홍국, 자색)을 5% 첨가한 식이를 급여했을 때, 배변량은 홍국고구마군(RYSP)이 고지방대조군(CON)에 비해 유의하게 증가하였고(p<0.05), 장 통과시간 역시 RYSP군이 가장 짧았다. 분변 중 총콜레스테롤(TC) 함량은 일반고구마군(WFSP)과 홍국고구마군(RYSP)이 유의하게 높았고(p<0.05), 그중에서도 RYSP군이 더 높은 함량을 나타내었으며, 중성지방(TG) 농도는 RYSP군이 WFSP군과 PFSP(자색고구마)군에 비해 각각 9%, 26% 더 높았으나 유의성은 없었다. 반면 1일 총 지질배설량은 TC와 TG 모두 RYSP군이 CON군과 PFSP군에 비해 유의적으로 높았다(p<0.05). 혈청 중 TC 농도는 RYSP군이 CON군에 비해 유의적 차이 없이 20% 감소하였고, LDL-C 농도는 RYSP, PFSP군이 CON군보다 통계적으로 유의하게 낮았으며(p<0.05), TG 농도는 RYSP군이 실험군중 가장 낮았고 이는 WFSP군과 유의적인 차이가 있었다(p<0.05). 이상의 결과에서 홍국고구마 식이는 배변량을 증가시키고, 분변 중 지질 배설량을 다소 증가시키며, 혈청 지질 농도의 감소 효과를 확인할 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 2009년도 농림기술개발사업의 연구비 지원에 의한 결과로 이에 감사드립니다.

문 헌

1. Anderson JW, Deakins DA, Floore TL, Smith BM, Whitis

- SE. 1990. Dietary fiber and coronary heart disease. *Crit Rev Food Sci Nutr* 29: 95-147.
2. Kritchevsky D. 1976. Diet and atherosclerosis. *Am J Pathol* 84: 615-632.
 3. Ministry of Health and Welfare. 2005. *Year Book of Health and Welfare Statistics*. Korea. p 51-77.
 4. Wu JH, Kao JT, Wen MS, Wu D. 1993. Coronary artery disease risk predicted by plasma concentrations of HDL cholesterol, apolipoprotein AI, apolipoprotein B, and lipoprotein(a) in a general Chinese population. *Clin Chem* 39: 209-215.
 5. Kim KE, Kim SS, Lee YT. 2010. Physicochemical properties of flours prepared from sweet potatoes with different flesh colors. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 39: 1476-1480.
 6. Rabah IO, Hou DX, Komine SI, Fujii M. 2004. Potential chemopreventive properties of extract from baked sweet potato (*Ipomoea batatas* lam. Cv. Koganesengan). *J Agric Food Chem* 23: 7152-7157.
 7. Huang GJ, Sheu MJ, Chen HJ, Chang YS, Lin YH. 2007. Growth inhibition and induction of apoptosis in NB4 promyelocytic leukemia cells by trypsin inhibitor from sweet potato storage roots. *J Agric Food Chem* 55: 2548-2553.
 8. Huang DJ, Lin CD, Chen HJ, Lin YH. 2004. Antioxidant and antiproliferative activities of sweet potato (*Ipomoea batatas* [L.] Lam 'Tainong 57') constituents. *Bot Bull Acad Sin* 52: 179-186.
 9. Kusano S, Abe H. 2000. Antidiabetic activity of white skinned sweet potato (*Ipomoea batatas* L.) in obese Zucker fatty rats. *Biol Pharm Bull* 23: 23-26.
 10. Park KH, Kim JR, Lee JS, Lee H, Cho KH. 2010. Ethanol and water extract of purple sweet potato exhibits anti-atherosclerotic activity and inhibits protein glycation. *J Med Food* 13: 91-98.
 11. Song J, Chung MN, Kim JT, Chi HY, Son JR. 2005. Quality characteristics and antioxidative activities in various cultivars of sweet potato. *Korean J Crop Sci* 50: 141-146.
 12. Yu TS, Kim HH, Yoon CG. 2003. Hepatic oxygen free radical metabolizing enzyme activities and serum lipid profile in rats fed diet supplemented with *Monascus* pigment. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 32: 244-249.
 13. Kang MR, Kim JY, Hyun YJ, Kim HJ, Yeo HY, Song YD, Lee JH. 2008. The effect of red-yeast-rice supplement on serum lipid profile and glucose control in subjects with impaired fasting glucose or impaired glucose tolerance. *Korean J Nutr* 41: 31-40.
 14. Rhyu MR, Kim EY, Han JS. 2003. Effect of *Monascus koji* on blood pressure and serum cholesterol composition of SHR by chronic dietary administration. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 32: 464-468.
 15. Kang DZ, Um JB, Lee SK, Lee JH. 2003. Content of rutin and monacolin K in the red buckwheat fermented with *Monascus ruber*. *Korean J Food Sci Technol* 35: 242-245.
 16. Reeves PG, Nielsen FH, Fahey GC. 1993. AIN-93 purified diets for laboratory rodent: final report of the American Institute Nutrition Ad Hoc Wrioting Committee in the reformulation of the AIN-76A rodent diets. *J Nutr* 123: 1939-1951.
 17. Park SH, Lee YK, Lee HS. 1994. The effects of dietary fiber feeding on gastrointestinal functions and lipid and glucose metabolism in streptozotocin-induced diabetic rats. *Kor J Nutr* 27: 311-322.
 18. Folch J, Lees M, Stanley GSH. 1957. A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues. *J Biol Chem* 226: 497-509.
 19. Han CK, Kim SS, Choi SY, Park JH, Lee BH. 2009. Effects of rice added with mulberry leaves and fruit on blood glucose, body fat and serum lipid levels in rats. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 38: 1336-1341.
 20. Spiller GA, Cheronoff MC, Hill RA, Gates JE, Nassar JJ, Shibly EA. 1980. Effect of purified cellulose, pectin and a low residue diet on fecal volatile fatty acids, transit time and fecal weight in humans. *Am J Clin Nutr* 33: 754-759.
 21. Mc Dougall GJ, Morrison IM, Hillman JR. 1996. Plant cell walls dietary fibre: range, structure, processing and function. *J Sci Food Agric* 70: 133-150.
 22. Avram AS, Avram MM, James WD. 2005. Subcutaneous fat in normal and diseased status: 2. Anatomy and physiology of white and brown adipose tissue. *J Am Acad Dermatol* 53: 671-683.
 23. Park YK, Kang YH. 2004. Effects of single cells of carrot and radish on the fecal excretion properties, mineral absorption rate and structure of small intestine and colon in rats. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 33: 505-511.
 24. Yang JL, Suh MJ, Song YS. 1996. Effects of dietary fibers on cholesterol metabolism in cholesterol-fed rats. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 25: 392-398.
 25. Vahouny GV, Khalafi R, Satchithanadam S, Watkins DW, Story JA, Cassidy MM, Kritchevsky D. 1987. Dietary fiber supplementation and fecal bile acids, neutral steroids and divalent cations in rats. *J Nutr* 117: 2009-2015.
 26. Inkeles S, Eisenberg D. 1981. Hyperlipidemia and coronary atherosclerosis. *Medicine* (Baltimore) 60: 110-123.
 27. Manninen V, Tenkanen L, Koskinen P, Huttunen JK, Manntari M, Heinonen OP, Frick MH. 1992. Triglycerides and LDL-cholesterol concentrations on coronary heart disease risk in the Helsinki Heart Study. *Circulation* 85: 37-45.
 28. Lee JS, Lee MK, Ha TY, Bok SH, Park HM, Jeong KS, Woo MN, Do GM, Yeo JY, Choi MS. 2006. Supplementation of whole persimmon leaf improves lipid profiles and suppresses body weight gain in rats fed high-fat diet. *Food Chem Toxicol* 44: 1875-1883.
 29. Jang JY, Choi HY. 2003. Effects of *Artemisia iwayomogi* oligosaccharide on the blood lipids, abdominal adipose tissues and leptin levels in the obese rats. *Korean J Nutr* 36: 437-445.
 30. Cha JY, Cho YS. 1999. Effect of potato polyphenolics on hyperlipidemia in rats. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 29: 274-279.
 31. Matsumoto N, Okushio K, Hara Y. 1998. Effect of blacktea polyphenols on plasma lipids in cholesterol-fed rats. *J Nutr Sci Vitaminol* 44: 337-342.
 32. Endo A. 1979. Monacolin K, a new hypocholesterolemic agent produced by a *Monascus* species. *J Antibiotics* 32: 852-854.
 33. Endo A. 1985. Compactin (ML-236B) and related compounds as potential cholesterol-lowering agents that inhibit HMG-CoA reductase. *J Med Chem* 28: 401-405.
 34. Kroon PA, Hand KM, Huff JW, Alberts AW. 1982. The effect of mevinolin on serum cholesterol levels of rabbits with endogenous hypercholesterolemia. *Atherosclerosis* 44: 41-48.
 35. Arad Y, Ramarkrishnan R, Ginsberg HN. 1990. Lovastatin therapy reduces low density lipoprotein apoB levels in subjects with combined hyperlipidemia by reducing the production of apoB production. *J Lipid Res* 31: 567-582.

(2012년 1월 3일 접수; 2012년 1월 26일 채택)