

배추 폐기물로부터 분리한 불용성 식이섬유가 고지방 식이를 급여한 쥐의 혈중 지질농도에 미치는 영향

유문려¹ · 고강희² · 김학렬² · 김인철^{1,2*}

¹목포대학교 식품공학과

²목포대학교 천일염 및 염생식물 산업화사업단

The Effect of Insoluble Dietary Fiber Extracted from Chinese Cabbage Waste on Plasma Lipid Profiles in Rats Fed a High Fat Diet

Wenli Liu¹, Kang Hee Ko², Hag Ryeol Kim², and In Cheol Kim^{1,2*}

¹Dept. of Food Engineering and ²Solar Salt and Halophyte R&D Center,
Mokpo National University, Jeonnam 534-729, Korea

Abstract

This study investigated the lipid profiles for the possible improving activity of insoluble dietary fiber extracted from cabbage waste discarded during kimchi manufacture and market distribution. Enzyme-treated Insoluble Dietary Fiber (EIDF) is the remnants of crude dietary fiber (CDF) treated by α -amylase, protease, and amyloglucosidase after removal of soluble materials from cabbage waste. The insoluble dietary fiber of CDF and EIDF in cabbage waste was $65.33 \pm 0.33\%$ and $73.57 \pm 0.09\%$, respectively. To examine the effects of EIDF on plasma cholesterol concentration, two groups of rats were fed either a high fat diet (HFD) or a HFD containing 0.1~1.0% EIDF for 4 weeks. The body weight of all groups was not significantly different ($p < 0.05$) but the body weight of EIDF+HFD groups was less than that of the HFD group ($p < 0.1$). Compared with the HFD group, EIDF also lowered serum levels of total triglycerides to 11.2~23.3% and cholesterol to 26.8~28.5%. In EIDF+HFD groups, the HDL-cholesterol level increased by 7.2~26.1%, while LDL-cholesterol especially decreased by 51.0~61.4% and VLDL-cholesterol by 16.9~26.4%. The atherogenic index of EIDF+HFD groups was also reduced twice that of the HFD group. From these results, EIDF from cabbage waste could be a potential effective food ingredient for improving lipid profiles.

Key words: insoluble dietary fiber, chinese cabbage waste, plasma lipid, cholesterol reducing effect

서 론

김치는 우리나라의 전통적인 대표 발효식품으로, 80년대까지는 각 가정에서 제조하여 소비해왔으나 여성의 사회참여, 외식산업 및 단체급식의 증가로 김치의 대량 생산이 증가하고 있다(1). 연간 소비되는 김치는 150만 톤 내외로 추정되며, 이 중 배추김치의 소비가 전체의 약 70%로 큰 비중을 차지하고 있다. 이러한 가운데 많은 배추 폐기물이 주로 배추 유통 과정 및 김치 제조 시에 발생한다. 농산물 시장에서 배추 유통과정 동안에 배추의 겉잎과 심 중 약 40%가 버려지며, 일부만이 동물 사료로 사용되고 있다(2). 김치 공장에서 발생하는 대부분의 부산물은 폐염수와 배추 폐기물이며, 재료 다듬기 공정 후, 배추 폐기물은 원배추에 대해서 12.9~25.2%가 발생한다(3). 이들은 자연환경에서 쉽게 부패하고 처리 비용이 많이 들며 이로 인해 환경적, 경제적 문제를 야기하고 있다. 김치 공장에서 발생하는 폐염수를 재활용하기

위한 연구는 진행되어 왔으나(4-7), 김치 제조과정 중 발생하는 배추 폐기물 이용에 관한 연구는 폐염수와 함께 배추 쓰레기 착즙액을 이용해 효모 균체 생산(4)이 전부이다. 그러나 최근에는 배추 겉잎으로부터 항산화성 식이섬유 생산에 관한 연구가 진행되어 배추 폐기물의 이용 방안을 모색하고 있다(2).

배추에는 총 식이섬유 함량이 1.2%(wet basis)이며 이 중 불용성 식이섬유가 가용성 식이섬유보다 약 2배 많다(8). 특히 배추 겉잎은 배추의 총 식이섬유 함량 중 41~43%(건조중량)로 높은 함량을 지니며(2) 추출조건에 따라 가용성 식이섬유가 불용성 식이섬유로 전환될 수 있기 때문에 그 함량은 더 높아질 것으로 예상하고 있다(9). 식이섬유는 사람의 소화 효소에 의해 가수분해 되지 않는 리그닌, 비전분성 다당, 저항전분의 통칭으로(10) 정장작용, 영양소 흡수 조절 등의 기능을 지니고 있어 체중과다나 비만을 유발하기 쉬운 현대 식생활에 없어서는 안 될 영양소이다(11). 또한 우리나

*Corresponding author. E-mail: ickim@mokpo.ac.kr
Phone: 82-61-450-2426, Fax: 82-61-454-7916

라에서도 식습관이 서구화되면서 갈수록 심혈관계 질환이 증가하고 있어 식이섬유의 섭취가 더욱 요구되고 있다.

식이섬유는 제2형 당뇨 예방, 장내 물질 흡수 조절, 지질 및 지단백 합성 조절, 담즙산 결합으로 혈청 콜레스테롤 저하 등의 기능을 지니고 있지만 식이섬유 중에서도 pectin이나 gum류 같은 점성 식이섬유를 제외한 나머지는 당 및 지질대사에 크게 관여하지 않는 것으로 보고하고 있다(12). 그러나 불용성 식이섬유는 수분 결합 능력이 뛰어나며(9,13) 변비 예방 효과, 대장암 예방 효과 등을 기대할 수 있고(14) 식물 세포의 탄수화물 방출을 더 느리게 하여 혈중 당 농도를 낮추게 할 수 있다(9)는 보고도 있어 당 및 지질 등의 물질을 흡착하는 능력이 우수할 것으로 판단된다. 특히 식물성 원료 추출물에 포함된 섬유질은 정제된 식이섬유와 달리 flavonoids, 항산화물질 등의 미량 성분과 함께 존재해 식이섬유가 지니는 기능성의 상승효과를 기대해 볼 수 있다(2,15).

그러므로 본 연구에서는 김치 부산물로서 버려지는 배추 폐기물로부터 불용성 식이섬유를 추출하고, 고지방식이와 식이섬유식이를 흰쥐에게 동시에 급여하여 고지혈증 및 관상동맥 질환을 야기하는 혈청 지질 및 콜레스테롤 농도에 미치는 영향을 확인하였다.

재료 및 방법

불용성 식이섬유 시료 준비

김치 제조업체(삼진지에프, 나주, 한국)로부터 배추 폐기물을 회수하고 동량 무게의 물을 넣어 한약추출기(엔젠텍, 인천, 한국)에서 121°C/15분으로 추출하였다. 추출액을 제거하고 남은 박을 60°C에서 건조하여 분쇄하고 100 mesh 체를 이용해 조식이섬유 분말(crude dietary fiber, CDF)을 제조하였다.

배추 추출박에 남은 다당류, 단백질을 제거하기 위해 3 L 증류수에 250 g 배추분말을 넣고 α -amylase(Termamyl 120L, Novo Nordisk, Bagsvaerd, Denmark), protease(Neutrase 0.5L, Novo Nordisk), amyloglucosidase(AMG 300L, Novo Nordisk)를 각각 0.5 mL씩 가하여 50°C에서 10 시간 반응하였다. Whatman No. 1 여과지를 사용하여 분해되지 않은 잔사를 걸러내고 이를 증류수로 3번 세척하였다. 여과물을 60°C에서 12시간 건조하여 효소 처리된 불용성 식이섬유 분말(enzyme treated insoluble dietary fiber, EIDF)을 회수하였다.

일반성분 분석

CDF 및 EIDF의 일반성분으로 수분, 조지방, 조단백질, 조회분 함량을 분석하였고 이는 AOAC법(16)에 의하였다.

불용성 식이섬유의 분석

불용성 식이섬유 함량 분석은 식품공전에 의거하여 실시하였으며(17), 사용한 효소는 배추 추출박에서 불용성 식이

섬유 추출에 사용한 것과 동일한 것으로 하였다. 식이섬유는 400 mL 폴리카본 비커(PC비커)에 시료 1 g을 넣고 pH 8.2로 보정된 Mes-Tris buffer를 40 mL 가한다. 이에 내열성 α -amylase 용액 50 μ L를 가하여 수조 97°C에서 40분간 반응시켰다. Protease 용액 100 μ L를 가하고 60°C에서 30분간 반응 후 0.561 N HCl 5 mL를 가하고 흔들어 혼합한 다음, 60°C에서 pH를 4.0~4.7로 조정하였다. Amyloglucosidase 용액 300 μ L를 가하고 60°C에서 30 분간 반응하여 완료하였다. 미리 celite를 넣어 항량시킨 유리여과기에 78% ethanol 15 mL를 가하여 분산시킨 후 흡인여과 하여 celite 층이 고르게 형성되게 하였다. 잔사는 78% ethanol, 95% ethanol 그리고 acetone의 순서로 각각 15 mL씩 2회 세척하고 105°C에서 건조하여 항량을 구하였다. 이에 조회분과 조단백질 함량을 감하여 불용성 식이섬유 함량을 측정하였다.

실험동물의 사육 및 식이

본 연구에 이용한 실험동물은 4주령의 Sprague-Dawley 계 수컷 흰쥐 72마리를 대상으로 하였으며, 체중을 측정하여 난괴법(randomized complete block design)에 의해 각 실험 집단으로 분류하였다. 대조군(control group, n=18), 고지방식이군(HFD group, n=18), 0.1% EIDF+고지방식이군(0.1% EIDF+HFD group, n=12), 0.3% EIDF+고지방식이군(0.3% EIDF+HFD group, n=12) 및 1.0% EIDF+고지방식이군(1.0% EIDF+HFD group, n=12)으로 구분하였다. 모든 실험동물은 온도(20°C), 습도(50~60%) 및 주기의 조명(12시간 dark/light cycle)이 조절된 사육실에서 1주일간 적응시킨 뒤, 각 식이와 물을 4주 동안 제한 없이 공급하였고 1주일 간격으로 체중을 측정하였다.

실험사료는 곡류 사료 원료를 이용하여 배합하였으며, 실험사료에 대한 배합비율은 Table 1에 나타낸 바와 같다. Control군의 식이는 AIN-93G 식이를 사용하였으며(18) HFD군 및 EIDF 투여군의 고지방식이는 AIN-93G 식이를 토대로 하여 지방 급원으로 13% 라드를 사용하고 탄수화물 급원인 corn starch, sucrose, dextrose를 각각 58%, 27%, 26% 줄여 공급하였다. 배합된 실험사료는 사육장소에서 서늘하게 보관하여 사용하였다.

시료 채취 및 처리

실험동물은 희생 전 12시간 절식시킨 후 경추분리에 의해 희생하였다. 동물의 복부에서부터 흉부까지 개복하고 심장 박동이 유지되고 있는 상태에서 심장으로부터 직접 채혈하였다. 채혈된 혈액 시료는 3,000 rpm에서 15분 동안 원심분리 하였으며, 얻어진 혈장을 분석 때까지 -70°C에서 냉동 보관하였다.

혈장 지질 함량 측정

혈장은 Vitro Ektachem(Johnson & Johnson, New Brunswick, NJ, USA) 자동혈액분석기를 이용하여 2중 분석되었다. 분석 항목은 총 콜레스테롤 함량, HDL-콜레스테

Table 1. Formula and nutrient content of experimental diet composition

Diet composition (/kg)	AIN-93G	HFD	0.1%EIDF + HFD	0.3%EIDF + HFD	1.0%EIDF + HFD
Protein (gram%)	20	24	24	24	24
Carbohydrate (gram%)	64	40	40	40	40
Fat (gram%)	7	24	24	24	24
Calories (kcal/g)	4.0	4.8	4.8	4.8	4.8
Casein, lactic (gram)	200	200	200	200	200
L-Cystine (gram)	3	3	3	3	3
Corn starch (gram)	397.486	165.886	165.046	163.376	157.516
Sucrose (gram)	100	73.5	73.5	73.5	73.5
Dextrose (gram)	132	97.55	97.55	97.55	97.55
Cellulose (gram)	50	50	50	50	50
Soybean oil (gram)	70	70	70	70	70
Lard (gram)	0	130	130	130	130
t-Butylhydroquinone (gram)	0.014	0.014	0.014	0.014	0.014
AIN-93G mineral mix ¹⁾ (gram)	35	35	35	35	35
AIN-93 vitamin mix ²⁾ (gram)	10	10	10	10	10
Choline bitartrate (gram)	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
EIDF ³⁾ (gram)	0	0	0.837	2.511	8.370

¹⁾AIN-93G mineral mix (g/kg mix): calcium carbonate anhydrous 357, potassium phosphate, monobasic 196, potassium citrate monohydrate 70.78, sodium chloride 74, potassium sulfate 46, magnesium oxide 24, ferric citrate 6.06, zinc carbonate 1.65, manganous carbonate 0.63, cupric carbonate 0.3, potassium iodate 0.01, sodium selenite 0.01025, sodium meta-silicate 9 hydrate 1.45, chromium potassium sulfate 12 hydrate 0.275, lithium chloride 0.0174, boric acid 0.0815, sodium fluoride 0.0635, nickel carbonate 0.0318, ammonium vanadate 0.0066, powdered sucrose 221.026.

²⁾AIN-93 vitamin mix (mg/kg mix): nicotinic acid 30, pantothenate 15, pyridoxine 6, thiamin 5, riboflavin 6, folic acid 2, vitamin K 0.75, D-biotin 0.2, vitamin B-12 0.025, vitamin A 4,000 IU, vitamin D3 1,000 IU, vitamin E 75 IU.

³⁾EIDF was enzyme-treated CDF (crude dietary fiber).

콜, 중성지방, VLDL-콜레스테롤을 측정하였으며, LDL-콜레스테롤은 Friedewald 등(19)이 제시한 방정식을 이용하여 산출하였고 동맥경화지수(atherogenic index, AI)는 다음 공식에 의해 계산되었다(20).

$$\text{LDL-콜레스테롤} = \text{총 콜레스테롤} - \text{HDL-콜레스테롤} - (\text{중성지방}/5)$$

$$\text{동맥경화지수(AI)} = (\text{총 콜레스테롤} - \text{HDL-콜레스테롤}) \div \text{HDL-콜레스테롤}$$

통계처리

본 연구에 대한 자료처리방법은 SPSS statistical package(v.12.01, IBM, Armonk, NY, USA)를 이용, 모든 자료에 대해 평균과 표준편차를 산출하였으며, 집단 간 및 투여기간 경과에 따른 평균치 차이를 검증하기 위하여 반복측정에 의한 이원변량분석(Two-way ANOVA by repeated measure)을 적용하였다. 또한 평균치에서 유의한 차이가 나타난 변인에 대해서 사후검증(Post hoc, Duncan's multiple range test)을 실시하였다. 본 연구에 대한 실험 결과의 유의차 평가는 체중(p<0.1)을 제외하고 모두 p<0.05로 하였다.

결과 및 고찰

조식이섬유 분말 및 효소 처리한 불용성 식이섬유 분말의 일반성분 분석

조식이섬유 분말(CDF)와 효소 처리한 불용성 식이섬유 분말(EIDF)의 일반성분 함량은 Table 2와 같다. 수분함량, 조단백 함량은 EIDF가 더 낮았으며 CDF와 EIDF의 조지방

Table 2. General compositions of crude dietary fiber (CDF) and enzyme treated insoluble dietary fiber (EIDF) extracted from Chinese cabbage waste

Content (%)	CDF ¹⁾	EIDF ²⁾
Moisture	5.18±0.02 ³⁾	1.85±0.04
Crude protein	9.51±0.03	6.27±0.02
Crude lipid	16.33±0.04	15.3±0.04
Crude ash	3.65±0.02	3.01±0.04
Insoluble dietary fiber	65.33±0.13	73.57±0.09

¹⁾CDF was crude dietary fiber meant the water-insoluble remnants removed water-soluble parts after extraction of cabbage waste.

²⁾EIDF was enzyme-treated CDF (crude dietary fiber).

³⁾Mean±SD.

및 조회분 함량은 유사하게 나타났다. EIDF의 불용성 식이섬유 함량은 전분과 단백질 분해효소 처리를 함에 따라 약 8% 정도 증가하였고 분해효소 양에 따른 수율의 차이는 없었다(data not shown). Nilnakara 등(2)에 의하면 배추의 겉잎의 조섬유 함량은 가열처리하지 않았을 때보다 가열처리했을 때 2배 증가하였고 이때의 조섬유 함량은 43~45%(건조중량)였다. 반면, 본 연구에서 배추 겉잎이 대부분인 배추 폐기물로부터 추출한 불용성 식이섬유 함량은 이보다 20% 더 많은 결과를 보였다. 이는 본 연구에서 수행한 추출 조건의 온도와 압력이 더 높았기 때문인 것으로 추정되며, 특히 배추를 추출할 때 추출 온도가 상승할수록 불용성 식이섬유 추출량이 증가한다는 보고와도 일치하였다(9).

흰쥐의 체중증가량에 대한 불용성 식이섬유의 영향

모든 군의 체중증가량은 4주 기간 경과에 따라 증가되었

Table 3. Changes in body weight, food intake and food efficiency ratio of the groups fed high fat diet and insoluble dietary fiber extracted from cabbage waste

Diet group ¹⁾	Body weight (g/week)					body weight gain (g/day)	Food intake (g/day)	FER ⁴⁾
	0	1	2	3	4			
Control	233.77±17.30 ^{2)a3)}	306.33±9.42 ^b	337.46±13.65 ^a	390.83±25.93 ^{ab}	396.42±29.08 ^a	5.43±0.96 ^a	31.70±4.04 ^{bc}	0.17±0.04 ^a
0.1%EIDF +HFD	237.08±10.92 ^a	308.87±14.58 ^b	346.35±18.65 ^a	396.42±23.31 ^{ab}	407.28±26.41 ^b	6.16±0.73 ^{ab}	29.68±5.44 ^{abc}	0.21±0.03 ^{ab}
0.3%EIDF +HFD	237.22±6.60 ^a	304.06±14.83 ^{ab}	348.71±22.54 ^a	399.46±21.94 ^{ab}	405.60±22.79 ^b	5.79±0.28 ^{ab}	27.32±4.48 ^{ab}	0.22±0.04 ^b
1.0%EIDF +HFD	236.50±7.07 ^a	297.08±15.06 ^a	336.38±22.31 ^a	388.63±16.03 ^a	394.33±17.03 ^a	5.83±0.21 ^{ab}	26.42±3.44 ^a	0.22±0.02 ^b
HFD	234.28±9.09 ^a	320.61±15.89 ^c	365.70±23.81 ^b	411.67±37.21 ^b	422.41±44.34 ^b	6.73±1.90 ^b	33.88±5.01 ^c	0.20±0.04 ^{ab}

¹⁾See the legend of Table 1.

²⁾Mean±SD.

³⁾The same letters in a column of body weight are not significantly different at (p<0.1) by Duncan's multiple range test.

⁴⁾FER (food efficiency ratio)=weight gain (g/day)/ food intake (g/day).

으나 각 집단 간에는 유의확률(p<0.05) 이내에 차이가 없는 것으로 나타났다. Control 군의 체중 증가가 고지방식을 섭취한 경우와 크게 차이를 보이지 않은 것은 양호한 식이 상태와 성장발육이 활발한 시기였기 때문인 것으로 추정된다(21). 다만 유의확률(p<0.1) 이내에서 control 군과 EIDF 투여군은 HFD군에 비해 체중이 더 낮았고 특히 1.0% EIDF +HFD군이 고지방식을 했음에도 불구하고 control 군과 체중이 유사하였다(Table 3). EIDF의 첨가 함량이 증가할수록 일일 체중증가량이 감소하는 경향을 보였고 식이섭취량은 EIDF+HFD군이 HFD군에 비해 낮았다. 식이효율은 EIDF의 첨가와 무관하게 HFD를 섭취한 군에서는 유의차가 없었으나 control군보다 유의적으로 높았다. 특히 HFD + EIDF 첨가군의 식이효율이 높은 것은 불용성 식이섬유가 포만감을 향상시킴으로써 식이섭취량을 감소시켰고 동시에 체중의 저하를 유도했기 때문인 것으로 판단된다.

혈청 지질의 함량 변화

혈청 중성지방 농도는 0주째에 56.83±4.96 mg/dL였으며, 4주 경과함에 따라 control 군과 HFD군은 초기에 비해 3.2%와 6.5% 증가하였다. 반면, EIDF 투여군은 초기수준에 비해 2주 후 유의하게 감소된 수준을 보였고(p<0.05) 특히 EIDF 투여군 중 EIDF를 1% 첨가했을 때 혈청 중성지방 함량을 44.0%까지 낮추었다. 그러나 4주 후가 되었을 때, 2주째와는 달리 중성지방 함량이 모든 군에서 증가하였다. 그럼에도 불구하고 혈청 중성지방 농도는 초기수준에 비해 0.1% EIDF 투여군은 6.4%, 0.3% EIDF 투여군은 9.5%, 1.0% EIDF 투여군은 18.3% 감소된 수준을 유지하고 HFD군에 비해 각각 11.2%, 15%, 23.3% 더 낮아, 배추 폐기물에서 추출한 불용성 식이섬유가 혈청 중성지방을 억제하는 효과가 관찰되었다(Fig. 1-A, B).

혈청 총 콜레스테롤 농도는 0주째에 72.83±8.47 mg/dL였으며, control 군에서 식이 4주 후 12.8% 감소하였다. HFD 군에서도 식이 2주 후에는 유의한 차이가 없었으나 4주 후에는 초기에 비해 13.6% 증가되어 고지방식이 혈청 콜레스

테롤을 증가시키는 결과가 관찰되었다. EIDF 투여군은 EIDF의 각 농도 0.1%(F=9.138, p<0.01), 0.3%(F=11.971, p<0.001) 및 1.0%(F=10.700, p<0.001)에서 시간이 경과함에 따라 초기에 비해 각각 16.2%, 18.6%, 18.8% 감소되어 혈청 콜레스테롤을 억제하는 효과를 보였고 4주째에 HFD군에 비해 각각 26.8%, 28.2%, 28.5% 더 감소하였다(Fig. 1-C, D).

고지방 식이를 한 Sprague-Dawley 쥐에 8주 동안 점성식이섬유인 pectin과 불용성 식이섬유인 cellulose를 투여했을 때, 둘 다 대조구 수준으로 쥐의 총 지질 및 콜레스테롤 함량은 감소하였고 pectin이 cellulose에 비해 유의적인 감소를 야기했으나 두 군 간에는 큰 차이가 없었다(21,22). 또한 4주 동안 불용성 식이섬유인 cellulose만을 투여한 경우보다 carrot pomace의 불용성 식이섬유를 첨가했을 때 hamsters의 혈중 중성지방과 콜레스테롤 수치를 각각 22.8%, 19.7% 만큼 더 낮춰 carrot pomace에 함유된 미량성분들의 영향도 크음을 나타낸 바 있어(23) 배추 폐기물에서 분리한 불용성 식이섬유 분말의 혈청 지질 및 콜레스테롤 수치 저하 효과에는 식이섬유와 더불어 다양한 미량성분에 의한 영향도 있을 것으로 추정되며, 불용성 식이섬유 분말에 함유된 미량성분의 규명이 추가적으로 연구되어야 할 것으로 판단된다.

혈중 지단백 함량에 미치는 영향

말초조직의 콜레스테롤을 제거하는 HDL-콜레스테롤 농도가 0주째 control 군에서 19.83±2.32 mg/dL를 보였다. HDL-콜레스테롤 농도는 control 군(F=3.665^{ns})과 HFD군(F=1.136^{ns})에서 투여기간 경과에 따라 유의한 차이는 없었으나 2주째에 EIDF 투여군은 HFD군보다 40.0~67.2%만큼 증가하였다. 4주째에는 EIDF의 첨가 농도가 증가함에 따라 HDL-콜레스테롤 농도가 낮아졌음에도 불구하고, HFD군에 비해 7.2~26.1% 증가하였다. 반면, 4주째에 1% EIDF 투여군은 control 및 HFD 군과 유의차가 없었다(Fig. 2-A, B).

혈청 HDL-콜레스테롤과는 대조적으로 동맥경화를 유도하는 물질인 LDL-콜레스테롤은 0주째에 43.50±5.54 mg/dL였다. 4주 동안 HFD 군의 LDL-콜레스테롤은 초기에 비해

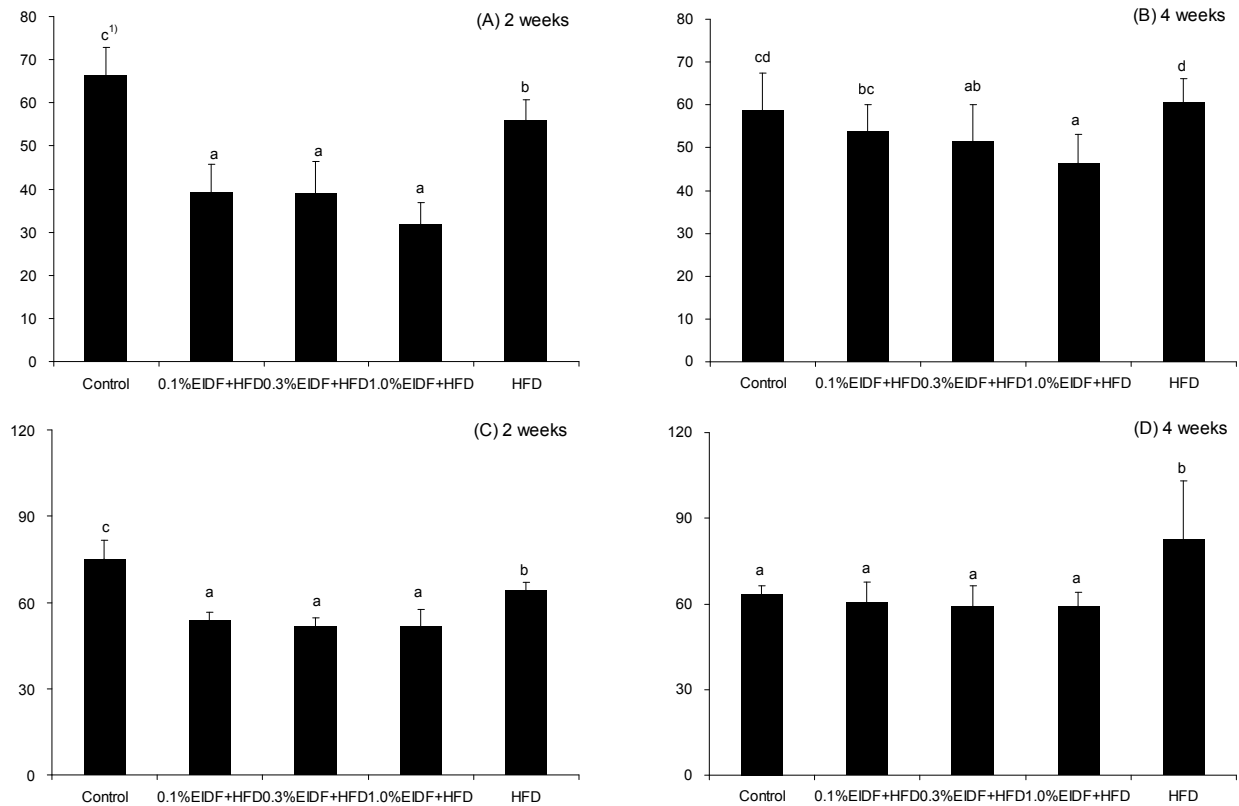


Fig. 1. Effect of insoluble dietary fiber extracted from cabbage waste on the serum triglyceride levels (A and B) and serum total cholesterol levels (C and D). A and B were amount of serum triglyceride, and C and D were total cholesterol in serum. Values are means±SD. ¹The same letters in each graph are not significantly different at (p<0.05) by Duncan's multiple range test.

12.0% 증가하였으며, control 군은 36.9% 감소하였다(Fig. 2-C, D). EIDF 투여군은 EIDF 투여 첨가량에 상관없이 LDL-콜레스테롤이 초기에 비해 2주째에 66.7%~72.8%, 4주째에 45.1%~56.5%까지 감소하였고 4주째에는 HFD군보다 51.0~61.4% 더 낮았다. 특히 EIDF 투여군의 EIDF 투여 첨가량에 따른 유의차가 없어 불용성 식이섬유는 저농도에서도 LDL-콜레스테롤을 감소시킬 수 있을 것으로 예상된다. 반면, VLDL-콜레스테롤은 0주째 9.50±1.87 mg/dL였고 이는 모든 식이군에서 시간이 경과함에 따라 큰 차이가 없었다(Fig. 2-E, F). 그러나 EIDF 투여군이 4주째에 control 및 HFD군보다 유의적으로 낮은 함량을 보였다(p<0.05).

동맥경화지수는 control 군(F=3.282^{ns})이 0주째에 2.69±0.40이었고 시간이 지남에 따라 0.52~1.07 정도 감소하였다(Fig. 2-G, H). 그에 반해 HFD 집단은 초기수준에 비해 투여 4주 후 유의하게 증가된 수준(F=11.737, p<0.001)을 나타내어 고지방식이 동맥경화를 유도하는 결과를 확인할 수 있었다. 반면에, EIDF 투여군(0.1%: F=58.155, p<0.001; 0.3%: F=50.867, p<0.001; 1.0%: F=29.084, p<0.001)에서는 초기수준에 비해 투여 2주 후에서부터 유의하게 감소된 수준을 나타냈고(p<0.05) 이는 control 및 HFD 군에 비해 유의적으로 낮은 수준을 보여(p<0.05) 불용성 식이섬유 섭취가 동맥경화현상을 억제할 수 있을 것으로 판단된다.

이상의 결과에서 봤을 때, 배추 폐기물에서 추출한 불용성 식이섬유에 의해 HDL-콜레스테롤은 증가하는 반면, LDL- 및 VLDL-콜레스테롤은 감소하였고 이로 인해 동맥경화지수도 감소하였다. 이러한 양상은 cocoa fiber(24)나 grape pomace(25), 야콘 분말(26)을 투여했을 때도 나타났으나 고지방식이군과 비교했을 때, 배추 폐기물에서 분리한 불용성 식이섬유가 다른 연구 결과들에 비해 LDL-콜레스테롤 함량을 크게 낮춰 혈중 콜레스테롤 농도가 감소하는 것으로 확인되었다(Table 4). Nishimura 등(27)의 결과에서는 식이섬유를 제외한 식이에 배추 식이섬유를 첨가해서 흰쥐에 먹였을 때, 대조군에 비해 LDL-과 VLDL-콜레스테롤이 감소하여 혈장 콜레스테롤 저하능을 나타내 본 연구와 유사한 결과를 보였으나, HDL-콜레스테롤의 증가양상은 보이지 않아 본 연구의 결과와 상이했다. 그러나 이는 고콜레스테롤 식이를 한 경우가 아니므로 고콜레스테롤 식이를 했을 때와 그렇지 않았을 때 분변 중 sterol 배출, 콜레스테롤 합성 저해 등의 식이섬유가 체내에서 작용하는 기전에 차이가 있을 수 있으며, 이러한 결과는 고지방식을 했을 때와 마찬가지로 추정된다(27). 식이섬유는 대장에서 장내미생물에 의해 저분자화된 단쇄지방산에 의해, 또는 분변 중 steroid를 배출 시킴으로써 혈중 콜레스테롤 저하에 관여하는 것으로 알려져 있으나 이는 대부분이 수용성 식이섬유에 의한 것으로

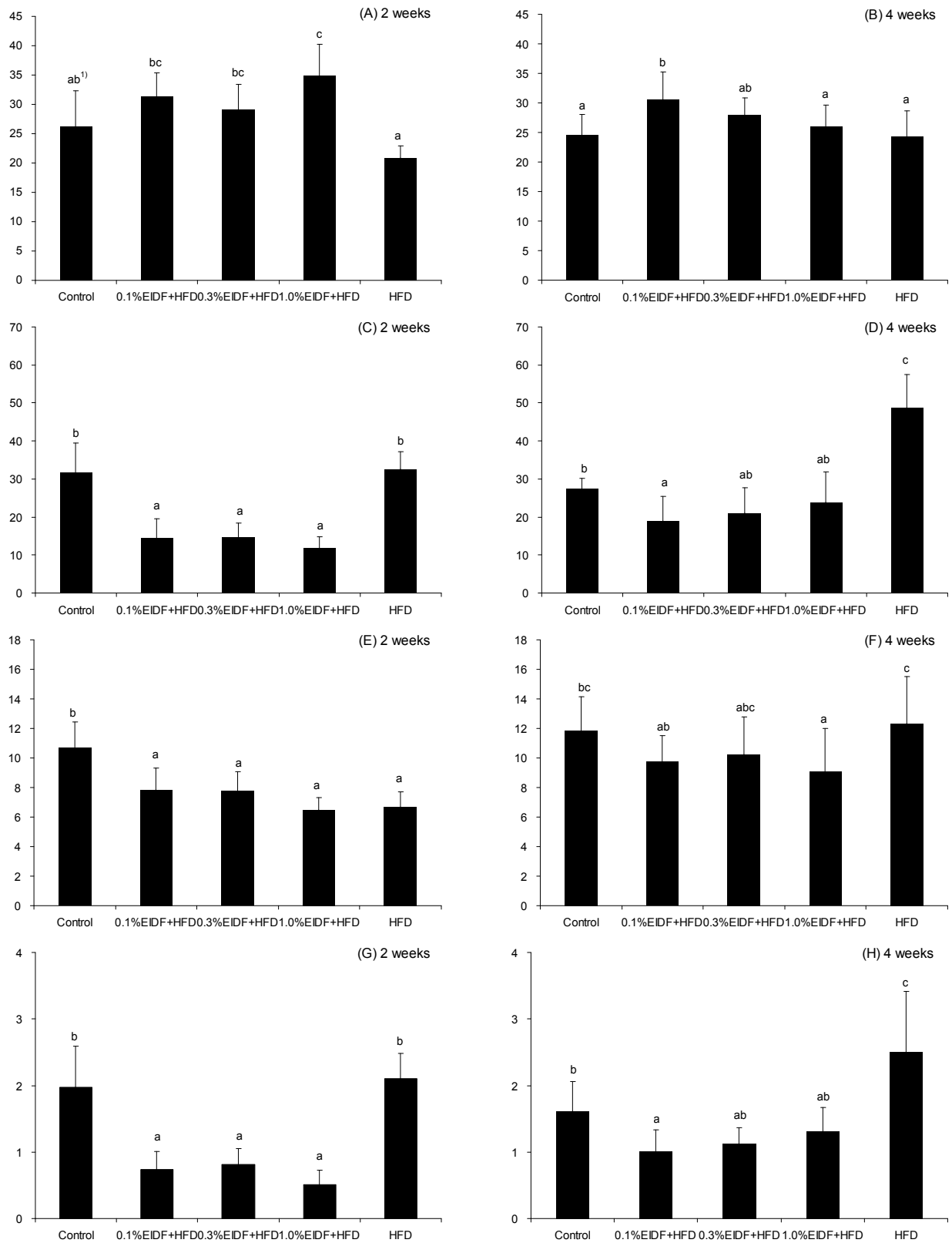


Fig. 2. Effect of insoluble dietary fiber extracted from cabbage waste on serum lipoprotein-cholesterol (A~F) and atherogenic index (G, H). A and B were amount of serum HDL-cholesterol, C and D were serum LDL-cholesterol, E and F were serum VLDL-cholesterol and G and H were atherogenic index (AI). AI were calculated based on the data of the total cholesterol and HDL-cholesterol levels as described in Materials and Methods. Values are means \pm SD. ¹⁾The same letters in each graph are not significantly different at ($p < 0.05$) by Duncan's multiple range test.

Table 4. Effect of insoluble dietary fiber extracted from cabbage waste on the serum triglyceride levels and serum total cholesterol levels

Rats	Intake of dietary fiber	Fed time (weeks)	Total cholesterol (mg/dL)	LDL-C (mg/dL)	HDL-C (mg/dL)	TG (mg/dL)	AI ¹⁾	References
Wistar rats	Control diet (AIN93M) with 10% cellulose	3	80.0±10.9	28.0±6.1	50.0±5.3	41.8±2.8	0.60±0.08	24
	Control diet with 16.5% cocoa fiber (about 10% dietary fiber)	3	80.5±4.8	29.4±8.8	53.2±3.0	37.8±4.6	0.51±0.08	
Sprague-Dawley 90 g	Control-AIN93	4	79.6±13.63	49.0±11.6	22.4±5.0	75.2±7.3	2.55	25
	Control+grape-pomace 5%	4	86.6±14.19	42.2±10.36	33.5±8.73	56.2±6.25	1.59	
	HF	4	87.2±9.03	52.8±9.55	20.2±3.33	67.5±12.18	3.32	
	HF+grape-pomace 5%	4	69.8±18.24	34.6±11.86	24.6±4.07	53.7±5.68	1.84	
Sprague-Dawley 214~216 g	N-AIN93	4	59.00±2.13	43.83±3.20	29.50±2.05	71.67±5.43	1.02±0.09	26
	HFC	4	79.00±4.31	78.60±5.75	17.67±1.58	86.33±4.92	3.55±0.25	
	HFC-PSL	4	72.00±5.63	67.27±3.65	21.50±1.95	83.83±6.41	2.37±0.16	
	HFC-PSH	4	68.67±4.74	60.53±5.66	24.33±1.71	81.00±5.38	1.83±0.08	
Sprague-Dawley 230~240 g	Control (AIN-93G)	4	63.50±2.81	27.43±2.82	24.67±3.33	58.67±8.78	1.62±0.44	This study
	0.1% EIDF+HFD	4	60.58±6.96	18.92±6.52	30.58±4.60	53.75±6.33	1.01±0.32	
	0.3% EIDF+HFD	4	59.25±7.11	21.07±6.62	27.92±2.97	51.42±8.70	1.13±0.24	
	1.0% EIDF+HFD	4	59.17±4.93	23.87±8.08	26.00±3.62	46.42±6.61	1.31±0.36	
	HFD	4	82.75±20.28	48.70±8.82	24.25±4.45	60.50±5.55	2.50±0.92	

Values are means±SD.

¹⁾AI values of this study were calculated based on the data of the total cholesterol and HDL-cholesterol levels as described in Materials and Methods.

알려져 있다(28). 그러나 수용성 식이섬유와 마찬가지로 불용성 식이섬유 또한 대장에서 저분자화가 가능하며 특히 불용성 식이섬유는 수용성 식이섬유와 달리 분변의 부피를 늘려주며, 장 통과시간을 감소시킨다(13). Carrot pomace의 불용성 식이섬유가 분변을 통해 콜레스테롤, 지질 및 담즙산의 배출을 강화시킨다고 하였고(23) 고콜레스테롤 식이에 불용성의 beet fiber를 첨가했을 때 쥐의 혈중 콜레스테롤 함량이 낮았는데 이때 대장의 단쇄지방산 및 분변 함량이 증가한 것으로 보고하였다(27).

배추의 식이섬유는 cellulose, hemicellulose, lignin 등의 불용성 식이섬유가 pectin과 같은 수용성 식이섬유보다 2배 많다(8). 현재 배추 폐기물로 버려지고 있는 배추의 겉잎에는 식이섬유 함량이 배추의 총 식이섬유 함량에 대해 최대 41~43%로 매우 높고 더구나 수분 보유력 및 부피 팽창력이 뛰어나다(2). 대표적 불용성 식이섬유인 lignin은 담즙산 결합력이 높고 auto-hydrolyzed lignin은 hamster의 분변으로 담즙산 배출을 강화시킨다고 보고된 바 있다(29). 또한 cellulose는 많은 양을 섭취했을 때 acid sterol의 배출을 증가시킨다고 알려져 있기 때문에(29), 배추 폐기물의 불용성 식이섬유가 총콜레스테롤 함량을 감소시킬 수 있었던 것으로 추정된다. 더불어 포도의 식이섬유는 노화과정 중인 흰쥐의 혈중 지질 수준을 낮추고 동시에 β-carotene, 비타민 C, 비타민 E, 폴리페놀에 의해 LDL-콜레스테롤 함량을 효과적으로 감소시켰다고 하였다(25). 배추에는 아스코르빈산, 페놀성 화합물, 토코페롤 등의 물질이 포함되어 있고 배추 겉잎에서 추출한 식이섬유에도 페놀성 화합물, 비타민 C 등의 항산화 물질이 존재하며(2), 이것으로 인해 배추 폐기물에서 추출한 불용성

식이섬유의 LDL-콜레스테롤 저하 효과가 나타난 것으로 여겨진다.

요 약

농산물 유통과정 및 김치 제조과정 중 발생하는 배추 폐기물의 이용성을 확대하기 위해 이로부터 불용성 식이섬유를 분리하고 혈중 콜레스테롤 저하능을 확인하였다. 배추폐기물을 121°C/15분 조건에서 추출한 다음, 수용성 물질은 제거하고 남은 박에 전분 및 단백질 분해효소를 처리하여 효소 처리된 불용성 식이섬유 분말(EIDF)을 제조하였다. 고지혈증 및 동맥경화에 미치는 영향을 알아보기 위해 고지방 식이에 0.1~1%의 EIDF를 첨가하여 이를 흰쥐에 4주 동안 공급하였다. 체중증가량에 대해 p<0.05 수준에서는 유의적인 차이를 확인할 수 없었으나 p<0.1 수준에서는 고지방 식이를 한 경우보다 EIDF를 첨가한 군의 체중이 낮았다. 또한 EIDF는 혈중 중성지방 및 총 콜레스테롤, LDL-콜레스테롤, VLDL-콜레스테롤의 수준을 낮췄으며, HDL-콜레스테롤 함량은 증가시켜 동맥경화지수가 낮은 것으로 확인되었다. 특히 EIDF를 투여함에 따라 LDL-콜레스테롤 함량을 2주째에 66.7%~72.8%, 4주째에 45.1%~56.5%까지 낮춰 배추 폐기물에서 추출한 불용성 식이섬유의 혈중 콜레스테롤 저하능이 우수한 것을 평가할 수 있었으며, 이를 이용하여 부가가치가 높은 건강기능보조식품으로의 활용이 기대된다.

감사의 글

본 연구는 농림수산식품부 연구개발사업 310014-03-1-

CG000에 의해 이루어진 것임.

문헌

- Kim SH, Yang JY, Kang SA, Chun HK, Park KY. 2007. Current state and improvement for Korean kimchi industry. *Food Industry and Nutrition* 12: 7-13.
- Nilnakara S, Chiewchan N, Devahastin S. 2009. Production of antioxidant dietary fibre powder from cabbage outer leaves. *Food Bioprod Process* 87: 301-307.
- Han ES, Seok MS. 1996. Improvement of Chinese cabbage salting process in Kimchi industry. *Food Industry and Nutrition* 1: 50-70.
- Choi MH, Park YH. 1998. Production of yeast using Chinese cabbage salting waste water in Kimchi factory. *Agric Chem Biotechnol* 41: 331-336.
- Yoon HH, Lee SY. 2003. Quality characteristics of baechu Kimchi salted with recycled wastebrine. *Korean J Soc Food Cookery Sci* 19: 609-615.
- Yoon HH, Kim DM. 2002. Effects of filtration on the characteristics of reused waste brine in Kimchi manufacturing. *Korean J Food Sci Technol* 34: 444-448.
- Yoon HH, Jeon EJ, Sung SJ, Kim DM. 2000. Characteristics of waste brine from the salting process of Chinese cabbage. *Korean J Food Sci Technol* 32: 97-101.
- Park KY, Ha JO, Rhee SH. 1996. A study on the contents of dietary fibers and crude fiber in kimchi ingredients and kimchi. *J Korean Soc Food Nutr* 25: 69-75.
- Wennberg M, Nyman M. 2004. On the possibility of using high pressure treatment to modify physico-chemical properties of dietary fibre in white cabbage (*Brassica oleracea* var. *capitata*). *Innovative Food Sci Emerging Technol* 5: 171-177.
- DeVries JW. 2001. The definition of dietary fiber. *Cereal Foods World* 46: 112-126.
- Sin HJ, Kim KO, Kim SH, Kim YA, Lee HS. 2010. Effect of resistant starch on the large bowel environment and plasma lipid in rats with loperamide-induced constipation. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 39: 684-691.
- Kendall CWC, Esfahani A, Jenkins DJA. 2010. The link between dietary fibre and human health. *Food Hydrocolloid* 24: 42-48.
- Bach Knudsen KE. 2001. The nutritional significance of dietary fibre analysis. *Anim Feed Sci Tech* 90: 3-20.
- Slavin JL. 2001. Dietary fibre and colon cancer. In *Handbook of Dietary Fibre*. Cho SS, Dreher ML, eds. Marcel Dekker Inc, New York, NY, USA. p 31-45.
- Pérez-Jiménez J, Serrano J, Tabernero M, Arranz S, Díaz-Rubio E, García-Diz L, Goñi I, Saura-Calixto F. 2008. Effects of grape antioxidant dietary fiber in cardiovascular disease risk factors. *Nutrition* 24: 646-653.
- AOAC. 1990. *Official methods of analysis*. 15th ed. Association of Official Analytical Chemists, Washington, DC, USA. p 777-781.
- KFDA. 2005. *Food code*. Korea Food and Drug Administration, Seoul, Korea. p 34-37.
- Reeves PG, Nielsen FH, Fahey GC. 1993. AIN-93 purified diets for laboratory rodents: final report of the American institute of nutrition Ad Hoc writing committee on the reformulation of the AIN-76A rodent diet. *J Nutr* 123: 1939-1951.
- Friedewald WT, Levy RI, Fedreison DS. 1979. Estimation of concentration of low density lipoprotein cholesterol in plasma without use of the preparative ultracentrifuge. *Clin Chem* 18: 499-502.
- Hlomes DT, Frohlich J, Buhr K. 2008. The concept of precision extended to the atherogenic index of plasma. *Clin Biochem* 41: 631-635.
- Han JS, Han YB. 1994. The effect of high fat diet and dietary fiber on lipid metabolism in rats. *J Korean Soc Food Nutr* 23: 541-547.
- Jang SJ, Park YJ. 1995. Effects of dietary fiber sources and levels on lipid metabolism in rats fed high lard diet. *Korean J Nutr* 28: 107-114.
- Hsu PK, Chien PJ, Chen CH, Chau CF. 2006. Carrot insoluble fibre-rich fraction lowers lipid and cholesterol absorption in hamsters. *Lebensm-Wiss Technol* 39: 337-342.
- Lecumberri E, Goya L, Mateos R, Alía M, Ramos S, Izquierdo-Pulido M, Bravo L. 2007. A diet rich in dietary fiber from cocoa improves lipid profile and reduces malondialdehyde in hypercholesterolemic rats. *Nutrition* 23: 332-341.
- Zhang XH, Choi SK, Seo JS. 2010. Effect of dietary grape pomace on lipid metabolism and hepatic morphology in rats fed a high fat diet. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 39: 1595-1603.
- Kim AR, Lee JJ, Lee YM, Jung HO, Lee MY. 2010. Cholesterol-lowering and anti-obesity effects of *Polymnia sonchifolia* Poep. & Endl. powder in rats fed a high fat-high cholesterol diet. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 39: 210-218.
- Nishimura N, Taniguchi Y, Kiriya S. 2000. Plasma cholesterol lowering effect on rats of dietary fiber extracted from immature plants. *Biosci Biotechnol Biochem* 64: 2543-2551.
- Theuwissen E, Mensink RP. 2008. Water-soluble dietary fibers and cardiovascular disease. *Physiol Behav* 94: 285-292.
- Kay RM. 1982. Dietary fiber. *J Lipid Res* 23: 221-242.

(2011년 5월 12일 접수; 2011년 12월 27일 채택)