

보리순이 고지방을 급여한 마우스의 지질 함량과 간조직의 지질대사 관련 효소활성에 미치는 영향

양은주¹⁾ · 조영숙²⁾ · 최명숙³⁾ · 우명남³⁾ · 김명주⁴⁾ · 손미예⁵⁾ · 이미경^{2)§}

순천대학교 교육대학원 영양교육전공,¹⁾ 순천대학교 식품영양학과,²⁾ 경북대학교 식품영양학과,³⁾
대구산업정보대학 식품영양과,⁴⁾ 경상대학교 식품영양학과⁵⁾

Effect of Young Barley Leaf on Lipid Contents and Hepatic Lipid-Regulating Enzyme Activities in Mice Fed High-Fat Diet

Yang, Eun-Ju¹⁾ · Cho, Young-Sook²⁾ · Choi, Myung-Sook³⁾ · Woo, Myoung-Nam³⁾
Kim, Myung-Joo⁴⁾ · Shon, Mi-Yae⁵⁾ · Lee, Mi-Kyung^{2)§}

Department of Nutrition Education,¹⁾ Graduate School of Education,
Suncheon National University, Suncheon 540-742, Korea

Department of Food and Nutrition,²⁾ Suncheon National University, Suncheon 540-742, Korea

Department of Food Science and Nutrition,³⁾ Kyungpook National University, Daegu 702-701, Korea

Department of Food Science and Nutrition,⁴⁾ Daegu Polytechnic College, Daegu 706-022, Korea

Department of Food Science and Nutrition,⁵⁾ Gyeongsang National University, Jinju 660-701, Korea

ABSTRACT

This study was conducted to investigate the effects of powdered young barley leaf and its water extract on body weight and lipid metabolism in high-fat fed mice. Male mice were divided into normal group, high-fat (HF) group, high-fat group supplemented with powdered young barley leaf (HF-YBL) and high-fat group supplemented with water extract of the powdered young barley leaf (HF-WYBL). The powdered young barley leaf or its water extract was added to a standard diet based on 1% dried young barley leaf (1 g YBL/100 diet and 0.28 g WYBL/100 g diet) for 8 weeks. Supplementation of YBL and WYBL significantly reduced body weight and epididymal adipose tissue weight in high-fat fed mice. Food intake and daily energy intake were significantly lower in the YBL group than in the HF group. After 8 weeks, plasma triglyceride and cholesterol concentrations were significantly higher in the HF group than in the Normal group; however, both YBL and WYBL significantly lowered those of the high-fat fed mice. The ratio of HDL-cholesterol/total cholesterol of the YBL and WYBL groups were significantly elevated compared to that of HF group. Both YBL and WYBL significantly increased fecal excretion of triglyceride in high-fat fed mice, whereas they did not affect fecal cholesterol concentration. The triglyceride levels of liver, adipose tissue and heart were significantly lower in the YBL and WYBL groups than in the HF group. Supplementation of WYBL also lowered the kidney triglyceride and heart cholesterol concentrations compared to those of HF group. Hepatic lipid regulating enzyme activities, fatty acid synthase, HMG-CoA reductase and acyl-coenzyme A: cholesterol acyltransferase, were significantly lower in the YBL and WYBL groups than in the HF group. Accordingly, these results suggest that YBL and WYBL improve plasma and organ lipid levels partly by increasing fecal lipid excretion and inhibiting fatty acid and cholesterol biosynthesis in the liver. (Korean J Nutr 2009; 42(1): 14~22)

KEY WORDS: young barley leaf, body weight, lipid content, lipid metabolism.

서 론

곡류를 주식으로 하는 우리나라에서 쌀 다음으로 소비가

높은 곡류가 보리 (*Hordeum vulgare*)이지만 식생활이 서구화됨에 따라 그 소비는 감소되어 왔다. 그러나 보리의 생리활성 기능성이 재조명되면서 보리국수, 빵류, 보리 미숫가루, 보리차, 보리음료 등 보리를 이용한 가공식품 개발이

접수일 : 2008년 12월 12일 / 수정일 : 2008년 12월 22일 / 채택일 : 2008년 12월 26일

§To whom correspondence should be addressed.

E-mail : leemk@sunchon.ac.kr

활발히 이루어지고 있다.¹⁾

보리는 수용성식이섬유소인 β -glucan을 다량 함유하고 있어 고콜레스테롤혈증 개선에 효과적인 것으로 인체시험과 동물실험을 통해서 검증되어 왔다.²⁻⁵⁾ β -glucan은 콜레스테롤의 흡수를 저해하고 변으로 콜레스테롤 배설을 촉진함으로써 혈중 콜레스테롤을 낮추는 것으로 알려져 있다.⁶⁾ Wilson 등⁷⁾은 보리로부터 분리한 분자량이 다른 β -glucan을 고콜레스테롤혈증 유발 햄스터에 급여한 결과 모두 콜레스테롤치를 낮추었다고 보고하였다. Ohmori 등⁸⁾은 in vitro 실험에서 보리차가 녹차에 비하여 항산화력과 LDL 산화 억제효과가 약한 것으로 보고하였으나, Jang 등⁹⁾은 보리잎차의 DPPH (1, 1-diphenyl-2-picrylhydrazyl) 소거능과 아질산염 소거능이 녹차보다 약하나 SOD (superoxide dismutase) 유사 활성은 녹차보다 높아 보리잎차가 활성산소종 활성을 억제하는 능력이 높다고 보고하였다. 이와 같이 최근에는 보리잎을 이용하는 연구가 국내외적으로 진행되고 있다.

보리잎은 세계적으로 다양하게 분포되어 있는 중요한 재배 식품 중의 하나로서 단백질이 35~45% 함유되어 있으며, 각종 비타민, 무기질, 효소가 풍부할 뿐만 아니라, 보리잎의 추출물은 강력한 항산화제인 SOD, 비타민 C, 비타민 E 및 β -carotene (provitamin A)을 다량 함유하고 있다.¹⁰⁾ 어린 보리잎의 항산화물질은 2"-O-glycosylisovitexin으로 알려져 왔으며 최근 flavone-C-glycoside인 saponarin과 lutonarin이 밝혀졌다.¹¹⁾ 곡류나 채소, 과일에 포함된 flavone계 항산화 물질은 자유 라디칼로부터 생체를 보호하는 물질로서 많은 관심이 모아지고 있다.¹⁰⁾ Yu 등¹²⁾은 당뇨환자를 대상으로 보리잎차 추출물을 급여한 결과 자유 라디칼 제거력과 LDL 산화 억제력이 우수하였으며, 비타민 C, E 등과 함께 섭취시 제2형 당뇨환자의 혈관계 질환이 예방될 수 있음을 제시하였다. 또한 Yu 등¹³⁾은 매일 15 g의 어린 보리잎 추출물을 고지혈증 환자에게 4주간 급여한 결과 혈중의 지질 감소와 LDL 산화가 저해되는 것으로 보고하였다. 그러나 비만을 유도한 동물모델에서 보리잎의 체중 및 고지혈증 개선 기전에 관한 연구는 미비한 실정이다.

따라서 본 연구는 고지방 식이로 비만을 유도한 마우스에게 보리순분말과 보리순열수추출물을 각각 8주간 급여한 후 체중변화, 혈장과 여러 조직내의 지질 함량 및 간조직에서의 지질대사 관련 효소활성도를 측정하였다.

재료 및 방법

보리순분말과 열수추출물 제조

보리순은 2007년 3월초에 채취한 것을 주식회사 명설차

(전남 순천)로부터 제공받아 사용하였다. 보리순은 음건한 후 작은 절편으로 만들어 균질기로 과쇄하여 분말로 사용하였으며, 열수추출물은 분말시료 100 g을 등근플라스크에 넣고 10배량의 증류수를 가하여 4시간 동안 가열추출하고 그 여액을 회전증발농축기로 감압농축하여 동결건조한 후 사용하였다. 보리순 열수추출물의 수율은 28%이었다.

보리순분말과 열수추출물의 일반성분, 식이섬유소 및 총 페놀 화합물의 함량 분석

시료의 일반성분은 AOAC¹⁴⁾에 준하여 회분은 회화법, 조지방은 Soxhlet 추출법, 조단백질은 단백질 자동분석기 (Buchii-342)를 사용하여 시료 분해 및 함량을 측정하였다. 탄수화물은 100에서 수분, 조단백질, 조지방 및 회분을 뺀 값으로 결정하였다. 식이섬유소는 Johansson 등¹⁵⁾의 방법에 따라 정량하였다.

총 페놀화합물 함량은 Folin-Denis법¹⁶⁾에 준하여 측정하였으며, 그 함량은 tannic acid를 이용하여 작성한 표준곡선으로부터 구하였다.

실험동물 사육

실험동물은 4주령의 수컷 ICR 마우스 32마리를 바이오제노믹스 (Biogenomics, Seoul, Korea)로부터 구입하였다. 마우스는 1주간 고형식으로 적응시킨 후 난괴법에 의하여 정상군 (Normal), 고지방대조군 (HF), 고지방-보리순분말군 (HF-YBL) 과 고지방-보리순열수추출물군 (HF-WYBL)으로 나누어 8주간 사육하였다. 동물 사육실의 환경은 항온 (22 ± 2°C), 항습 (50 ± 4%), 12시간 간격 (08:00~20:00)의 광주기로 일정한 조건을 유지하고 동물들은 polycarbonate cage에 두 마리씩 분리하여 사육하였다.

본 실험에 사용한 기본식은 AIN-76¹⁷⁾의 식이조성에 준하였으며, 단백질 공급원으로는 카제인 (Murray, UK)을 공급하고, 탄수화물 공급원은 옥수수 전분 (신동방), 지방 공급원으로는 옥수수 기름 (제일제당)을 사용하였다. 고지방 식이 군들은 총 열량의 37%가 되도록 쇠기름 (Wako, 일본)을 공급하였다.

보리순분말과 열수추출물은 사람이 하루에 3잔의 차를 마시는 양을 기준으로 보리순분말 1% 수준이 되도록 조제 (Table 1)하여 급여하였으며 식이와 식수는 자유롭게 섭취 (ad libitum)하도록 하였고, 모든 실험식은 사육기간 동안 냉장 보관하였다. 식이 100 g당 에너지는 열량계 (Parr-1351, USA)를 사용하여 측정하였다.

체중은 매주 1회 일정시각에 측정하였으며, 식이섭취량은 매일 일정시각에 측정 후 급여량에서 잔량을 감하여 계산하였다.

Table 1. Composition of the experimental diet (g/100 g diet)

| Ingredients | Groups | | | |
|-----------------------------------|--------|--------|--------|---------|
| | Normal | HF | HF-YBL | HF-WYBL |
| Casein | 20.0 | 20.0 | 20.0 | 20.0 |
| Corn starch | 50.0 | 34.0 | 33.0 | 33.72 |
| Sucrose | 15.0 | 15.0 | 15.0 | 15.0 |
| Cellulose | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 5.0 |
| Corn oil | 5.0 | - | - | - |
| Beef tallow | - | 21.0 | 21.0 | 21.0 |
| AIN-mineral mixture ¹⁾ | 3.5 | 3.5 | 3.5 | 3.5 |
| AIN-vitamin mixture ²⁾ | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 |
| DL-Methionine | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.3 |
| Choline bitartrate | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 |
| YBL ³⁾ | - | - | 1.0 | - |
| WYBL ⁴⁾ | - | - | - | 0.28 |
| kcal/100g diet | 421.56 | 515.14 | 517.59 | 510.00 |
| Calories from fat (%) | 11.0 | 37.0 | 37.0 | 37.0 |

¹⁾Mineral mixture (g/kg) according to AIN-76

²⁾Vitamin mixture (g/kg) according to AIN-76

³⁾Powdered young barely leaf: 1g young barely leaf in 100g diet provides 555.9 mg carbohydrate, 269.4 mg protein, 30.26 mg fat and 320.4 mg dietary fiber based on Table 2

⁴⁾Water extract of powdered young barley leaf: 0.28 g water extract of young barely leaf in 100 g diet provides 195.47 mg carbohydrate, 37.55 mg protein, 0.08 mg fat and 38.14 mg dietary fiber based on Table 2

혈장 및 장기 채취

사육이 끝난 실험동물은 희생 전 12시간 동안 절식시킨 후 에테르를 흡입시켜 마취시킨 다음 복부 하대정맥 (inferior vena cava) 으로부터 공복혈액을 채취하였다. 헤파린 처리된 혈액은 3,000 rpm (4℃)에서 15분간 원심분리하여 혈장을 분리하였다. 실험동물의 장기조직은 채혈 후 즉시 적출하여 PBS (phosphate buffered saline) 용액으로 수차례 헹군 후 표면의 수분을 제거하여 칭량하였으며, 즉시 액체질소로 급냉시켜 -70℃에 보관하였다.

혈장, 간조직, 지방조직, 심장, 신장 및 변 중의 지질 함량 측정

혈장 중의 트리글리세리드 함량은 Muller의 방법¹⁸⁾으로 조제된 kit 시약 (아산제약, 한국)을 사용하여 측정하였다. 총 콜레스테롤과 HDL-콜레스테롤 함량은 Richmond의 방법¹⁹⁾으로 조제된 kit (아산제약, 한국) 시약을 사용하였다.

조직과 변의 지질 함량은 Folch 등의 방법²⁰⁾에 준하여 클로로포름 : 메탄올 (2 : 1, v/v) 혼합액으로 지질을 추출한 후 혈액과 동일한 방법으로 측정하여 농도를 구하였다. 변은 사육기간 마지막 5일 동안 수집한 것을 사용하였다.

간조직 중의 효소원 분리

간조직은 4배량의 0.25M sucrose (pH 7.4) 완충용액을 가하여 균질기 (IKA, Rw20.7, USA)로 마쇄하여 얻은 균질액을 600 g (4℃)에서 10분간 원심분리하여 핵 및 미마쇄 부분을 제거한 후 상층액을 얻었다. 이를 10,000 g

(4℃)에서 20분간 원심분리하여 미토콘드리아 분획을 취했으며, 분리된 상층액을 100,000 g (4℃)에서 1시간 초원심분리하여 시토졸 분획과 마이크로솜 분획을 얻었다. 미토콘드리아와 마이크로솜 침전물은 사용된 완충용액에 녹인 후 효소원으로 사용하였다. 미토콘드리아 분획은 fatty acid β -oxidation (β -oxidation) 활성 측정에 사용하였고 시토졸 분획은 fatty acid synthase (FAS) 활성 측정에 사용하였다. 마이크로솜 분획은 3-hydro-3-methylglutaryl CoA (HMG-CoA) reductase와 acyl-coenzyme A: cholesterol acyltransferase (ACAT) 활성 측정에 사용하였다. 조직의 효소활성도는 Bradford의 방법²¹⁾을 사용하여 측정된 단백질 mg당의 고유활성도로 나타내었다.

간조직 중의 지질대사 관련 효소 활성도 측정

FAS 활성도는 Carl 등²²⁾이 실시한 방법을 수정·보완하여 산화되는 NADPH 정도를 340 nm에서 측정하였다. β -oxidation은 Lazarow²³⁾방법을 수정·보완하여 NAD⁺가 NADH로 환원되는 정도를 340 nm에서 측정하였다. HMG-CoA reductase 활성도는 Shapiro 등²⁴⁾이 실시한 방법을 수정·보완하여 [¹⁴C]HMG-CoA를 기질로 하여 생성되는 [¹⁴C] mevalonate의 양을 측정하였다. ACAT 활성도는 Erickson 등²⁵⁾의 방법을 수정·보완하여 [¹⁴C]Oleoyl-CoA를 기질로 하여 생성되는 [¹⁴C]cholesteryl oleate의 양을 측정하였다.

통계처리

실험결과를 SPSS package 프로그램을 이용하여 실험군당 평균 \pm 표준오차로 표시하였고 각 군간의 평균치의 통계적 유의성 검정은 one-way ANOVA를 실시하고 군간의 차이는 $p < 0.05$ 수준에서 Duncan's multiple test로 사후검정하였다.

결 과

보리순분말과 열수추출물의 일반성분, 식이섬유소 및 총 페놀 화합물 함량

보리순분말과 열수추출물의 일반성분, 식이섬유소 및 총 페놀화합물 함량은 Table 2와 같다. 탄수화물 함량은 보리순분말 (55.9 g/100 g)에 비하여 보리순열수추출물 (69.81 g/100 g)이 높았으나 단백질은 보리순분말 (26.94 g/100 g)이 보리순열수추출물 (13.41 g/100 g)보다 높았다. 조지방은 보리순분말과 보리순열수추출물에서 각각 100 g당 3.26 g과 0.03 g으로 낮았으며 회분 함량은 보리순분말이 11.90 g, 보리순열수추출물이 12.05 g으로 유사한 수준이었다.

식이섬유소 함량은 100 g당 각각 보리순분말이 32.04 g, 보리순열수추출물이 13.62 g으로 나타났으며, 총 페놀화합물의 함량은 보리순열수추출물 (1.79 g/100 g)이 보리순분말(0.97 g/100 g)에 비하여 1.8배 높았다.

체중, 식이섭취량 및 내장지방 무게에 미치는 영향

보리순분말과 보리순열수추출물이 고지방식을 급여한 마우스의 체중, 식이섭취량과 내장지방 무게에 미치는 영향은 각각 Fig. 1, Table 3 및 Fig. 2에 나타내었다.

열량의 37%를 지방으로 급여한 1주부터 정상식을 급여한 군보다 체중이 유의적으로 높았으며, 실험종류 8주에는 고지방대조군이 정상군에 비하여 12.3%의 유의적인 체중증가를 보였다. 그러나 보리순분말과 보리순열수추출물은 고지방으로 인한 체중증가를 유의적으로 억제하여 실험 종료시 정상군의 체중과 유사하였다.

Table 2. The general composition, dietary fiber and total phenolic contents of YBL and WYBL

| Component | YBL ¹⁾ | WYBL ²⁾ |
|---------------------------|-------------------|--------------------|
| Moisture (g/100 g) | 2.31 | 4.70 |
| Carbohydrate (g/100 g) | 55.59 | 69.81 |
| Crude protein (g/100 g) | 26.94 | 13.41 |
| Crude fat (g/100 g) | 3.26 | 0.03 |
| Ash (g/100 g) | 11.90 | 12.05 |
| Dietary Fiber (g/100 g) | 32.04 | 13.62 |
| Total phenolics (g/100 g) | 0.97 | 1.79 |

¹⁾YBL, powdered young barely leaf

²⁾WYBL, water extract of powdered young barely leaf

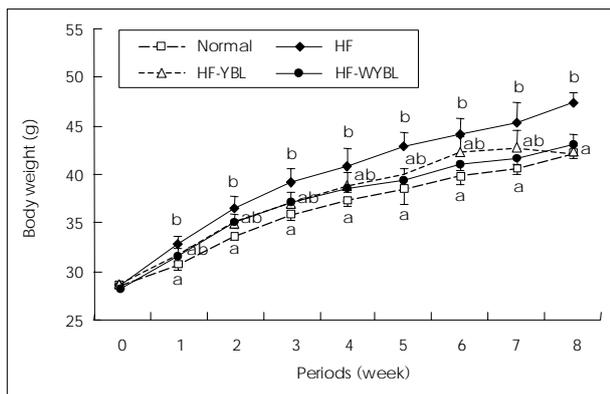


Fig. 1. Effects of young barley leaf on changes of body weight in mice fed a high-fat diet. Mean \pm S.E. (n = 8). Means not sharing a common letter are significantly different between groups (p < 0.05).

식이섭취량과 일일 에너지 섭취량은 보리순분말군이 고지방대조군보다 유의적으로 낮았으나 보리순열수추출물은 이들의 변화에 영향을 미치지 않았다.

내장지방 무게의 지표로 널리 사용되는 부고환 지방과 신장주변 지방무게를 측정된 결과 신장주변 지방무게는 실험군간에 유의적인 차이가 나타나지 않았다. 부고환 지방무게는 고지방대조군이 정상군보다 1.6배 높았으나 보리순분말과 보리순열수추출물은 부고환지방 무게를 각각 27%, 31% 감소시키는 것으로 나타났다.

혈장, 조직 및 변 중의 지질 함량에 미치는 영향

보리순분말과 열수추출물을 8주간 급여한 후 혈장, 여러 조직 및 변 중의 지질 함량을 측정된 결과는 Table 4와 Fig. 3과 같다.

8주간의 고열량 섭취는 정상군에 비해 혈장 중의 총 콜레스테롤은 171%, 트리글리세리드는 118%의 유의적인 증가를 일으켰다. 그러나 혈장의 총 콜레스테롤 함량은 보리순분말과 열수추출물 급여시 고지방 대조군에 비해 각각 25%와 20%의 감소효과를 보였으며, 트리글리세리드 함량은 보리순분말군과 열수추출물군 각각 28%와 43%의 유의적인 감소를 보였다. 한편, 혈장 총 콜레스테롤에 대한 HDL-콜레스테롤 비 (HTR)는 정상군에 비하여 고지방대조군에서 유의적으로 낮았는데 보리순분말과 열수추출물은 이러한 HTR을 유의적으로 개선하였다. 특히, 보리순열수추출물군의 HDL-콜레스테롤 함량은 고지방대조군에 비하여 유의적으로 높았다.

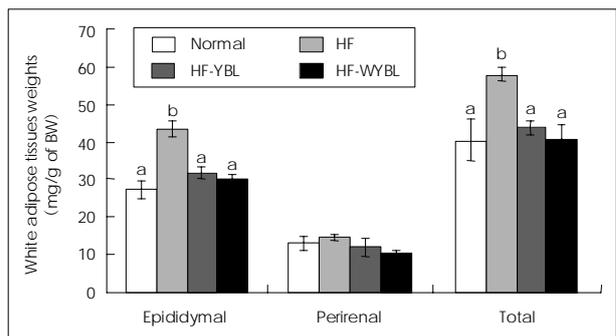


Fig. 2. Effects of young barley leaf on white adipose tissue weights in mice fed a high-fat diet. Mean \pm S.E. (n = 8). Means not sharing a common letter are significantly different between groups (p < 0.05).

Table 3. Effects of young barley leaf on food intake and energy intake in mice fed a high-fat diet*

| | Normal | HF | HF-YBL | HF-WYBL |
|--------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| Food Intake (g/day) | 7.07 \pm 0.30 ^b | 6.58 \pm 0.30 ^b | 5.9 \pm 0.17 ^a | 6.56 \pm 0.26 ^b |
| Energy Intake (kcal/day) | 29.83 \pm 1.26 ^a | 33.90 \pm 0.38 ^b | 28.96 \pm 0.92 ^a | 33.47 \pm 1.37 ^b |

*Mean \pm S.E. (n = 8)

Means in the same row not sharing a common letter are significantly different between groups (p < 0.05)

Table 4. Effects of young barley leaf on plasma and fecal lipid profiles in mice fed a high-fat diet*

| | Normal | HF | HF-YBL | HF-WYBL |
|---------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|----------------------------|
| Plasma | | | | |
| Triglyceride (mg/dL) | 146.22 ± 10.92 ^b | 172.67 ± 23.77 ^c | 123.68 ± 15.07 ^b | 98.17 ± 7.58 ^a |
| Total cholesterol (mg/dL) | 125.01 ± 12.12 ^a | 213.99 ± 18.46 ^c | 160.46 ± 13.27 ^b | 171.76 ± 7.51 ^b |
| HDL-cholesterol (mg/dL) | 68.31 ± 2.10 ^a | 70.69 ± 2.64 ^a | 71.28 ± 3.17 ^a | 81.60 ± 4.49 ^b |
| HTR (%) ¹⁾ | 52.17 ± 1.72 ^c | 34.73 ± 3.08 ^a | 45.17 ± 2.12 ^b | 47.84 ± 2.85 ^{bc} |
| Feces | | | | |
| Triglyceride (mg/g feces) | 23.51 ± 8.48 ^a | 146.40 ± 9.841 ^b | 169.25 ± 6.53 ^c | 171.32 ± 4.62 ^c |
| Cholesterol (mg/g feces) | 4.32 ± 0.14 ^b | 2.57 ± 0.15 ^a | 2.71 ± 0.20 ^a | 2.68 ± 0.23 ^a |

*Mean ± S.E. (n = 8)

Means in the same row not sharing a common letter are significantly different between groups (p < 0.05)

¹⁾HTR = (HDL-cholesterol/Total cholesterol) × 100

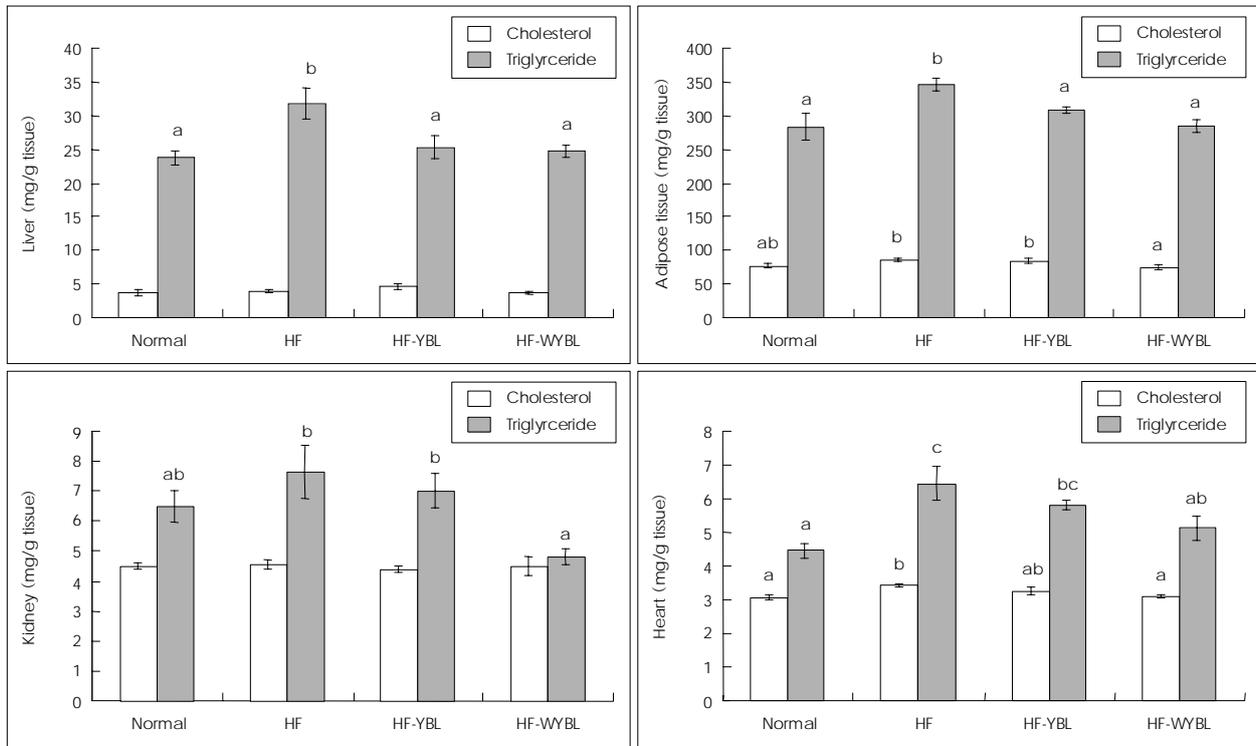


Fig. 3. Effects of young barley leaf on liver, adipose tissue, kidney and heart lipid contents in mice fed a high-fat diet. Mean ± S.E. (n = 8). Means not sharing a common letter are significantly different between groups (p < 0.05).

간조직과 지방조직의 트리글리세리드 함량은 정상군에 비해 고지방대조군이 각각 1.3배, 1.2배의 증가를 보였으나 보리순분말과 열수추출물 급여시 모두 간조직과 지방조직의 트리글리세리드가 정상군과 유사한 수준으로 개선되었다. 신장에서의 트리글리세리드 함량은 고지방식이로 증가하는 경향을 보였고 심장에서는 1.4배의 유의적인 증가를 나타내었으며, 보리순열수추출물에서만 유의적인 개선 효과를 볼 수 있었다. 간조직과 신장의 콜레스테롤 함량은 실험군간에 차이는 없었으나, 심장의 콜레스테롤 함량은 고지방대조군이 정상군보다 112% 높았다. 보리순열수추출물의 경우 심장의 콜레스테롤 함량을 유의적으로 낮추었다.

변 중의 콜레스테롤 함량은 고지방대조군이 정상군에 비하여 낮은 반면, 트리글리세리드는 약 6배 높았다. 보리순분말과 열수추출물 급여는 고지방대조군에 비하여 변으로의 트리글리세리드 배설을 유의적으로 증가시킨 반면, 콜레스테롤 함량에는 영향을 미치지 않았다.

간조직의 지질대사 관련 효소 활성도에 미치는 영향

보리순분말과 열수추출물이 고지방을 급여한 마우스의 간조직 중 지질대사에 미치는 영향을 Table 5에 나타내었다. 간조직 중 FAS 활성은 정상군에 비해 고지방대조군에서 1.7배 높아진 반면, β-oxidation은 유의적으로 낮았다. 보

Table 5. Effects of young barley leaf on hepatic lipid regulating enzyme activities in mice fed a high-fat diet*

| | Normal | HF | HF-YBL | HF-WYBL |
|---|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| FAS ¹⁾ (nmol/min/mg protein) | 2.09 ± 0.17 ^a | 3.62 ± 0.08 ^b | 2.12 ± 0.30 ^a | 2.33 ± 0.28 ^a |
| β-oxidation (nmol/min/mg protein) | 7.06 ± 0.49 ^b | 3.41 ± 0.54 ^a | 3.81 ± 0.88 ^a | 4.45 ± 0.48 ^a |
| HMG-CoA reductase (pmol/min/mg protein) | 220.64 ± 20.89 ^a | 462.57 ± 19.33 ^c | 326.07 ± 21.29 ^b | 331.51 ± 17.79 ^b |
| ACAT (pmol/min/mg protein) | 169.34 ± 8.91 ^a | 250.60 ± 10.58 ^c | 203.03 ± 11.47 ^b | 219.78 ± 7.19 ^b |

*Mean ± S.E. (n = 8)

Means in the same row not sharing a common letter are significantly different between groups (p < 0.05)

¹⁾FAS, fatty acid synthase; β-oxidation, fatty acid β-oxidation; HMG-CoA reductase, 3-hydroxy-3-methylglutaryl CoA reductase; ACAT, acyl-coenzyme A: cholesterol acyltransferase

리순분말과 보리순열수추출물은 지방산 합성효소의 활성을 정상군 수준으로 개선하였으나 지방산 산화에는 영향을 미치지 않았다.

콜레스테롤 합성에 관련하는 HMG-CoA reductase와 ACAT 활성은 각각 정상군보다 고지방대조군에서 각각 2.1배, 1.5배씩 높았으나 보리순분말과 보리순열수추출물 급여시 유의적으로 낮았다.

고 찰

비만에서 체중 감량은 비만과 관련된 질환과 대사 장애를 호전시키는데²⁶⁾ 보리순분말과 보리순열수추출물은 열량의 37%를 쇠기름으로 비만을 유도한 마우스의 체중을 유의적으로 감소시켰으며, 분말과 열수추출물의 체중감소 효과는 유사하였다. 본 실험에서 보리순분말은 식이섭취를 억제함으로써 일일 에너지 섭취가 감소된 것으로 나타났는데, 이는 보리순분말의 식이섬유소 함량이 100 g당 32.04 g으로 보리순열수추출물 (13.62 g/100 g)에 비하여 높은 것에서 기인된 결과로 사료된다. 그러나 체중감소 효과뿐만 아니라 내장무게 대표 지표인 부고환 지방 무게도 고지방대조군에 비하여 보리순분말과 보리순열수추출물군에서 유사하게 유의적으로 감소되었다. 이는 보리순의 체중감소 효과는 식이섭취 억제에 의존적이지 않음을 제시한다. 보리는 수용성 식이섬유소인 β-glucan을 다량 함유하고 있어 혈중 지질 개선에 효과적인 것으로 알려져 있는데 본 실험에서도 보리순열수추출물의 식이섬유소 함량이 보리순분말의 약 30% 정도로 수용성 식이섬유소 함량이 높음을 확인할 수 있다. 미국 FDA는 포화지방산과 콜레스테롤이 낮은 식사와 함께 귀리의 수용성 섬유인 β-glucan 섭취는 심혈관질환 위험을 감소시킬 수 있다는 Health Claim을 허용하고 있다.²⁷⁾ 보리와 귀리의 β-glucan는 구조,^{28,29)} 분자량³⁰⁾ 및 용해성³¹⁾의 차이는 있으나, 콜레스테롤 저하 효능은 거의 동일하다고 보고되었다.³²⁾

쇠기름, 라드, 버터지방과 같은 포화지방산은 혈청의 지질 농도를 상승시키는 것으로 알려져 있는데 본 실험에서

도 고지방대조군의 혈장 트리글리세리드와 총 콜레스테롤 함량이 정상군에 비하여 각각 1.7배, 1.2배 유의적으로 높았다. 또한 비만은 대사증후군의 중요한 인자로서 뇌졸중, 심근경색 및 심혈관 질환 사이에 직접적인 연관성이 있는 것으로 잘 알려져 있다. 그러나 보리순분말과 열수추출물은 모두 혈장의 지질 농도를 유의적으로 개선하였다. 이러한 혈장 지질함량 감소는 관상심혈관 질환의 위험을 감소시키는 것으로 알려져³³⁾ 있으므로 과다한 열량 섭취로 인한 지질함량 증가는 보리순분말과 열수추출물 급여시 개선될 수 있다. 한편, HDL-콜레스테롤은 말초조직으로부터 콜레스테롤을 간으로 수송하는 항동맥경화 지표인데 고지방을 급여한 마우스에서 보리순분말과 열수추출물 보충급여는 총 콜레스테롤에 대한 HDL-콜레스테롤 비 (HTR)를 높임으로써 보리순분말과 열수추출물 모두 고지방 섭취로 인한 심혈관 질환의 예방에 유효할 것으로 평가된다. 식물체의 폴리페놀화합물은 혈중 지질 농도를 변화시켜 심혈관질환에 유익하며, 플라보노이드를 포함한 폴리페놀화합물 섭취가 높을수록 심혈관 질환으로 인한 사망위험이 감소된 것으로 보고되었다.^{34,35)} 본 실험에 사용된 보리순분말과 열수추출물의 총 폴리페놀화합물이 100 g당 각각 0.97 g과 1.79 g이 함유되어 있다. 보리잎에서 발견되는 플라보노이드인 2"-O-glycosylisovitexin는 2개의 당분자가 붙어있는 구조를 이루고 있어 쉽게 용해되어 세포막에 도달하고 그 후에는 당이 떨어져나감으로써 지용성을 띠게 되어 세포내로 쉽게 들어가 유해산소를 제거한다고 보고되었다.¹⁰⁾ 또한 2"-O-glycosylisovitexin은 물과 알코올에 모두 용해 가능하며 고온에서 안정적이고 pH의 영향을 크게 받지 않는 항산화 물질로 동맥경화를 비타민 C보다 강하게 억제할 것으로 보고되고 있다.³⁶⁾ 특히, 심장조직 중의 트리글리세리드 함량은 보리순분말과 열수추출물 급여시 유의적으로 낮았으며, 보리순열수추출물은 심장의 지질 함량을 정상 마우스 수준으로 개선하였다. 심장이외 간조직과 부고환지방조직 중의 트리글리세리드 함량 역시 보리순분말과 열수추출물 급여군에서 고지방대조군에 비하여 유의적으로 낮았으며, 보리순열수추출물은 부고환지방조직의 콜레스테롤 함량과 신장

의 트리글리세리드 함량 개선에도 효과적이었다. 이와 같이 보리순은 고지방 섭취로 인한 조직 중의 지질 축적을 효과적으로 억제하는 것으로 평가된다.

한편, 보리순이 고지방을 섭취한 마우스의 지질 흡수 또는 배설에 미치는 영향을 살펴보기 위하여 변 중의 지질 함량을 측정할 결과 보리순분말과 열수추출물군의 변 중 트리글리세리드 함량이 고지방대조군에 비하여 유의적으로 높았다. 이는 보리순분말과 열수추출물 모두 지방의 흡수를 저해하거나 배설을 촉진시킴으로써 혈중 지질 개선과 조직 중의 지질 축적을 억제하는데 기여한 것으로 사료된다. Chisaka 등³⁷⁾은 폴리페놀화합물의 콜레스테롤 저하 기전은 주로 변으로의 콜레스테롤과 담즙산의 배설 증진에 의해서 이루어진다고 설명하고 있으나 본 실험에서는 보리순분말과 열수추출물은 변 중 콜레스테롤 함량에는 영향을 미치지 않았다. 이는 앞선 연구들이 고콜레스테롤식이를 급여한 것과 달리 본 실험에서는 콜레스테롤은 첨가되지 않았다.

간조직은 탄수화물로부터의 지방산 합성과 지질의 흡수·저장·방출 등에 중추적인 역할을 하여 혈 중의 지질 함량과 지방산 산화를 조절한다. 따라서 보리순분말과 열수추출물이 고지방을 급여한 마우스의 간조직 중 지질대사에 미치는 영향을 살펴보았다. 고지방군이 정상군에 비하여 지방산 합성효소는 1.7배 증가한 반면, 지방산 분해 기전인 지방산 β -산화는 정상군의 48% 정도로 감소하였다. 8주간의 고지방섭취 동안 이러한 지질대사 이상이 체내 지질 축적을 유발한 것으로 사료된다. 그러나 보리순분말과 열수추출물 모두 지방산의 β -산화에는 영향을 미치지 않았으나 지방산 합성 효소의 활성을 유의적으로 낮추어 정상군 수준으로 개선하였다. 최근 체내 지질 합성의 중요한 역할을 수행하는 지방산 합성효소 활성 저해는 동물실험에서 비만 치료의 중요한 타겟으로 제시되고 있다.³⁸⁾ 또한 본 실험에서는 보리순분말과 열수추출물은 간조직 중의 HMG-CoA reductase와 ACAT 활성을 유의적으로 저해하였다. HMG-CoA reductase는 체내의 콜레스테롤 생합성 율속효소로 콜레스테롤 대사조절에 매우 중요한 역할을 하며, ACAT는 간의 콜레스테롤 에스테르화 및 소장외의 콜레스테롤 흡수 후 재에스테르화를 촉매하는 효소로서 간의 콜레스테롤 저장에 관여하며 콜레스테롤 항상성 유지에 중요한 역할을 한다. 보리순이 콜레스테롤의 흡수·배설 기전에는 영향을 미치지 않았으나 간조직의 콜레스테롤 생합성 관련 효소 활성도를 조절함으로써 혈중 콜레스테롤 저하에 기여하는 것으로 사료된다.

이와 같이 보리순분말과 보리순열수추출물은 고지방식이로 유도한 비만 마우스의 체중을 효과적으로 조절하고 변으로

의 중성지질 배설 증가와 간조직에서의 지질 대사 관련 효소활성도를 변화시켜 혈중 지질을 개선함으로써 비만으로 인한 여러 대사 장애 예방에 효과적일 것으로 평가된다.

요 약

본 연구는 고지방 (열량의 37%를 지방으로 대체)을 급여한 마우스의 체중과 체내 지질함량에 미치는 보리순의 영향을 규명하고자 하였다. 4주령의 ICR 마우스 (n = 32)를 1주일간 적응시킨 후 정상식이를 급여한 정상군, 고지방을 급여한 고지방대조군, 고지방-보리순분말군과 고지방-보리순열수추출물군으로 나누어 8주간 사육하였다. 보리순은 사람이 하루에 3잔의 차를 마시는 양을 고려하여 보리순 1%수준이 섭취되도록 분말과 열수추출물을 각각 식이에 첨가·조제하여 8주간 급여하였다. 식이섭취량은 보리순분말군이 고지방대조군에 비하여 유의적으로 낮았으나 보리순열수추출물은 식이섭취량에 영향을 미치지 않았다. 보리순분말과 보리순열수추출물은 고지방식이로 유도된 비만마우스의 체중을 효과적으로 낮추었으며 특히, 내장지방무게의 대표적 지표인 부고환지방조직 무게를 유적으로 낮추었다. 이는 보리순이 식이섭취 억제에 의존적으로 체중감소 효과를 나타내지 않음을 제시한다. 혈장의 총 콜레스테롤 함량은 보리순분말과 열수추출물 급여시 고지방 대조군에 비해 각각 25%와 20%의 감소효과를 보였으며 중성지질 함량은 보리순분말군과 열수추출물군 모두 28%와 43%의 유의적인 감소를 보였다. 또한 보리순분말과 보리순열수추출물은 혈장 중의 총 콜레스테롤에 대한 HDL-콜레스테롤 비 (HTR)를 고지방대조군에 비하여 유의적으로 높였다. 간조직과 지방조직의 트리글리세리드 함량은 정상군에 비해 고지방대조군이 각각 1.3배, 1.2배의 증가를 보였으나 보리순분말과 열수추출물 급여시 모두 간조직과 지방조직의 트리글리세리드 함량이 정상군과 유사한 수준으로 개선되었다. 신장에서의 트리글리세리드 함량은 고지방식이로 증가하는 경향을 보였고 심장에서는 1.4배의 유의적인 증가를 나타내었으며, 보리순열수추출군에서만 유의적인 개선효과를 볼 수 있었다. 간조직과 신장의 콜레스테롤 함량은 실험군간에 차이가 없었으나, 심장 중의 콜레스테롤 함량은 고지방대조군이 정상군보다 유의적으로 높았다. 보리순열수추출물의 경우 심장의 콜레스테롤 함량을 유의적으로 낮추었다. 변 중의 콜레스테롤 함량은 고지방 대조군이 정상군에 비하여 낮은 반면, 트리글리세리드 함량은 약 6배 높았다. 한편, 보리순분말과 열수추출물 급여는 고지방 대조군에 비하여 변으로의 트리글리세리드 배설을 유의적으로 증가시켰으나 콜

레스테롤 함량에는 영향을 미치지 않았다. 간조직 중 FAS 활성은 정상군에 비해 고지방대조군에서 1.7배 높아진 반면, β -oxidation은 유의적으로 낮았다. 보리순분말과 열수추출물은 지방산 합성효소의 활성을 정상군 수준으로 개선하였으나 지방산 산화에는 영향을 미치지 않았다. 콜레스테롤 합성에 관련하는 HMG-CoA reductase와 ACAT 활성은 각각 정상군보다 고지방대조군에서 각각 2.1배, 1.5배씩 높았으나 보리순분말과 열수추출물 급여시 유의적으로 낮았다. 이와 같이 보리순분말과 열수추출물은 고지방 식이로 비만을 유도한 마우스의 간조직에서 지방산과 콜레스테롤 합성을 저해함으로써 지질개선에 효과적인 것으로 나타났다.

Literature cited

- 1) Newman RK, Newman CW. Barley as a food grain. *Cereal Foods World* 1991; 36: 800-805
- 2) McIntosh GH, Whyte J, McArthur R, Nestel PJ. Barley and wheat foods: influence on plasma cholesterol concentrations in hypercholesterolemic men. *Am J Clin Nutr* 1991; 53: 1205-1209
- 3) Behall KM, Scholfield DJ, Hallfrisch J. Lipids significantly reduced by diets containing barley in moderately hypercholesterolemic men. *J Am Coll Nutr* 2004; 23: 55-62
- 4) Newman RK, Newman CW, Graham H. The hypocholesterolemic function of barley β -glucans. *Cereal Foods World* 1989; 34: 883-886
- 5) German B, Xu R, Walzem R, Kinsella JE, Knuckles B, Nakamura M, Yokoyama W. Effects of dietary fats and barley fiber on total cholesterol and lipoprotein cholesterol distribution in plasma of hamsters. *Nutr Res* 1996; 16: 1239-1249
- 6) Rieckhoff D, Trautwein EA, Malkki Y, Ebersdobler HF. Effects of different cereal fibers on cholesterol and bile acid metabolism in the Syrian Golden hamster. *Cereal Chem* 1999; 76: 788-795
- 7) Wilson TA, Nicolosi RJ, Delaney B, Chadwell K, Mooichandani V, Kotyla T, Ponduru S, Zheng GH, Hess R, Knutson N, Curry L, Kolberg L, Giukson M, Ostergren K. Reduced and high molecular weight barley β -glucans decrease plasma total and non-HDL-cholesterol in hypercholesterolemic Syrian Golden hamsters. *J Nutr* 2004; 134: 2617-2622
- 8) Ohmori R, Iwamoto T, Tago M, Takeo T, Unno T, Itakura H, Kondo K. Antioxidant activity of various teas against free radicals and LDL oxidation. *Lipids* 2005; 40: 849-853
- 9) Jang JH, Choi HS, Cheong HS, Kang OJ. A comparison of the antioxidant activity of barley leaf tea and green tea according to leaching conditions in distilled water. *Korean J Food Cookery Sci* 2007; 23: 165-172
- 10) Kim KT, Kim SS, Lee SH, Kim DM. The functionality of barley leaves and its application on functional foods. *Food Sci Industry* 2003; 36: 45-49
- 11) Markham KR, Mitchell KA. The mis-identification of the major antioxidant flavonoids in young barley (*Hordeum vulgare*) leaves. *Z Naturforsch* 2003; 58: 53-56
- 12) Yu YM, Chang WC, Chang CT, Hsieh CL, Tsai CE. Effects of young barley leaf extract and antioxidative vitamins on LDL oxidation and free radical scavenging activities in type 2 diabetes. *Diabetes Metabolism* 2002; 28: 107-114
- 13) Yu YM, Chang WC, Liu CS, Tsai CM. Effect of young barley leaf extract and adlay on plasma lipids and LDL oxidation in hyperlipidemic smokers. *Biol Pharm Bull* 2004; 27: 802-805
- 14) AOAC. Official methods of analysis, 16th ed., Association of official analytical chemists, Washington DC.; 1995
- 15) Johansson CG, Hallmer H. Rapid enzymatic assay of insoluble and soluble dietary fiber. *J Agric Food Chem* 1983; 31: 476-482
- 16) Gutfinger T. Polyphenols in olive oils. *J Am Oil Chem Soc* 1981; 58: 966-968
- 17) American Institute of nutrition. Report of the American Institute of nutrition Ad Hoc committee on standards for nutritional studies. *J Nutr* 1977; 107: 1340-1348
- 18) Muller PH. A fully enzymatic triglyceride determination. *J Clin Chem Clin Biochem* 1977; 15: 457-464
- 19) Richmond V. Use of cholesterol oxidase for assay of total and free cholesterol in serum continuous flow analysis. *Clin Chem* 1976; 22: 1579-1588
- 20) Folch J, Mee L, Stanley GSH. A simple method for the isolation and purification of total lipid from animal tissues. *J Biol Chem* 1957; 226: 497-509
- 21) Bradford MM. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Anal Biochem* 1976; 72: 248-254
- 22) Carl MN, Lakshmana MR, Porter JW. Fatty acid synthase from rat liver. *Methods in Enzymology* 1975; 35: 37-44
- 23) Lazarow PB. Assay of peroxisomal β -oxidation of fatty acids. *Methods in Enzymology* 1981; 72: 315-319
- 24) Shapiro DJ, Nordstrom JL, Mitschelen JJ, Rodwell VW, Schimke RT. Micro assay for 3-hydroxy-3-methylglutaryl-CoA reductase in rat liver and in L-cell fibroblasts. *Biochimica et Biophysica acta* 1974; 370: 369-377
- 25) Erickson SK, Schrewsbery MA, Brooks C, Meyer DJ. Rat liver acyl-coenzyme A: cholesterol acyltransferase: its regulation in vivo and some of properties in vitro. *J Lipid Res* 1980; 21: 930-941
- 26) Yoo SJ. Pharmacological treatment of obesity. *J Korean Endocrine Soc* 2008; 23: 223-233
- 27) US Food and Drug Administration, Center for Food Safety and Applied Nutrition, Office of Nutritional Products, Labeling, and Dietary Supplements. Claims that can be made for conventional foods and dietary supplements. CFR 101.81. Appendix C. September 2003.
- 28) Jeraci JL, Lewis BA. Determination of the soluble fiber components: (1 \rightarrow 3; 1 \rightarrow 4)- β -D-glucans and pectins. *Anim Feed Sci Technol* 1989; 23: 15-25
- 29) Bamforth CW. Barley β -glucans: their role in malting and brewing. *Brewers Digest* 1982; 22: 22-27
- 30) Cui SW. Cereal non-starch polysaccharide I: (1 \rightarrow 3) (1 \rightarrow 4)- β -D-glucans. In: polysaccharide gums from agricultural products-processing, structures and functionality. Technomic Publishing, Lancaster, PA; 2001. p.103-166
- 31) Aman P, Graham H. Analysis of total and insoluble mixed-linked (1 \rightarrow 3) (1 \rightarrow 4)- β -D-glucans in barley and oats. *J Agric Food Chem* 1987; 35: 704-709

- 32) Delaney B, Nicolosi RJ, Wilson TA, Carlson T, Frazer F, Zheng GH, Hess R, Ostergren K, Haworth J, Knutson N. β -glucan fractions from barley and oats are similarly antiatherogenic in hypercholesterolemic Syrian Golden hamsters. *J Nutr* 2003; 133: 468-495
- 33) Davignon J, Cohn JS. Triglyceride: a risk factor for coronary heart disease. *Atherosclerosis* 1996; 124 (suppl): S57-S64
- 34) Yugarani T, Tan BK, The M, Das NP. Effects of polyphenolic natural products on the lipid profiles of rats fed high fat diets. *Lipids* 1992; 27: 181-186
- 35) Hartog MGL, Feskens EJM, Hollman PCH, Katan MB, Krom-houy D. Dietary antioxidant flavonoids and risk of coronary heart disease: the Zutphen Elderly Study. *Lancet* 1993; 342: 1007-1011
- 36) Kitta K, Hagiwara Y, Shibamoto T. Antioxidant activity of an isoflavonoid, 2'-O-glycosylisovitexin isolated from young green barley leaves. *J Agric Food Chem* 1992; 40: 1843-1845
- 37) Chisaka T, Matsuda H, Kubomura Y, Mochizuki M, Yamahara J, Fujimura H. The effect of crude drugs on experimental hypercholesteremia: mode of action of (-)-epigallocatechin gallate in tea leaves. *Chem Pharm Bull* 1988; 36: 227-233
- 38) Tian WX. Inhibition of fatty acid synthase by polyphenols. *Curr Med Chem* 2006; 13: 967-977