J. Korean Soc. Food Nutr.
22(6), 673 ~ 677(1993)

백서에 있어서 콩제품(두부, 비지)급여의 콜레스테롤 저하효과

최용순† · 이상영*
강원대학교 생물응용공학과
*강원대학교 식품공학과

Cholesterol-Lowering Effects of Soybean Products (Curd or Curd Residue) in Rats

Yong-Soon Choi† and Sang-Young Lee*
Dept. of Applied Biology and Technology, Kangwon National University, Chuncheon 200-701, Korea
**Dept. of Food Science and Technology, Kangwon National University, Chuncheon 200-701, Korea*

Abstract

The effects of soybean products (bean curd and curd residue) on the cholesterol profiles of serum and liver were studied in rats. Male rats were fed on purified diets, supplemented with cholesterol, containing casein (CAS), dried bean curd (DBC), or mixture of casein and dried bean curd residue (CBCD, 3:1, w/w) as a protein source for 4weeks. Dietary DBC and CBCD, compared with CAS, reduced markedly the concentration of serum cholesterol. The concentration of HDL-cholesterol was significantly higher in the CAS group than in the CBCD group, but there were no significant differences in the ratio of HDL-cholesterol to total cholesterol. Liver cholesterol was lower in the DBC group than in the CAS and CBCD groups. The results suggest an effective cholesterol-lowering action of soybean products in rats fed on cholesterolemic diets, and further a possibility that bean curd dreg decrease the concentration of serum cholesterol, regardless of the presence of animal protein in diets.

Key words : cholesterol, soybean products, rats

서 론

식사성분의 종류는 사람이나 동물의 혈청지질농도를 결정하는 주요한 인자이다. 혈청콜레스테롤농도의 상승은 동맥경화를 원인으로 하는 심질환발생의 주요한 위험인자로 알려져 있어 혈청콜레스테롤농도의 조절을 위한 주요한 방법으로 식이성분에 관한 많은 연구가 진행되어 왔다[1-3].

많은 동물실험이나 임상실험으로 부터 식물성단백질(특히 대두단백질)은 동물성단백질(casein)에 비교하여 고지질혈증의 개선효과가 보고되고 있다. 즉, 대두단백질의 혈청콜레스테롤저하효과는 담즙산배설의 증가, 간장으로 부터 혈액으로의 very-low density lipoprotein (VLDL) 분비의 감소, low density lipoprotein-receptor 발현의 항진 등이 보고되고 있다[4-6]. 저자 등[7,8]은 이와 함께 대두단백질은 casein에 비하여 HMG-CoA reductase활성을 감소시켜 체내 콜레스테롤의 pool을 감소시키고 있음을 지적한 바 있다. 그러나 콜레스테롤대사에 관련한 대부분의 진행된 연구는 비가열 대두단백질을 이용하여 검토되어 왔다.

콩제품은 우리나라 국민의 주요한 단백질원으로 여러가지 가공형태로 소비되어 왔으며, 특히 두부는 대표적인 가공식품이라 할 수 있다. 비지는 두부가공중 부산물로 얻어져 식품으로 소비되어 왔으나, 최근에는 대부분 사료로 이용되고 있다. 비지는 두부에 비하여 단백질함량이 낮은 반면, 상대적으로 식이섬유소의 함량이 높아 식이섬유소를 이용한 식품의 기능성면에서 높은 잠재성을 갖고 있을 것으로 생각된다[9-11]. 식이섬유는 최근 혈청콜레스테롤농도저하를 비롯한 여러가지 영양생리적 효과가 보고되고 있으며, 이를 이용한

†To whom all correspondence should be addressed

여러가지 식품이 개발 · 시판되고 있다[3,11,12].

본 연구에서는 백서를 이용하여 콩의 가공식품으로 비지와 두부의 섭취가 혈청 및 간장의 콜레스테롤농도에 미치는 효과를 검토하여, 기능성식품으로서의 개발 가능성을 검토하였다.

재료 및 방법

재료

두부 및 비지는 효자두부공장(춘천)으로 부터 구입, 가능한 한 수분을 제거한 후 50°C 에서 감압 건조하였다. Casein은 Wako사(일본) 제품이었다.

실험동물사료의 조제

동물사료는 AIN-76 식이조성에 준하여 조제하였으며[13], 0.2 %의 cholesterol을 첨가하였다(Table 1). 단백질원으로는 casein, 두부분말, casein+비지분말(3 : 1, w/w)을 사용하였다(비지분말의 조단백질함량 : 17.2%). 예비실험에서 비지분말만을 단백질원(사료의 20%w/w)으로 투여시 현저한 성장감소(외견상 체중의 감소)를 나타내어, 본 실험에서는 비지투여군의 경우 casein 75%와 비지분말 25%를 혼합하여 단백질함량(66.3%)을 조정하여 단백질원으로 사용하였다. 본 실험은 식품전체로서의 효과를 검토할 목적으로 다른 성분의 함량차이는 고려하지 않았다(Table 2).

Table 1. Composition of diets

Ingredients	%
Dietary protein[1]	20
Corn oil	5
Mineral mix(AIN-mix)	3.5
Vitamin mix(AIN-mix)	1.0
Choline bitartrate	0.2
DL-methionine	0.3
Cellulose	5.0
Corn starch	15.0
Sucrose	49.8
Cholesterol	0.2

[1]See the Table 2

Table 2. General composition of dietary protein sources (%)

	Casein	Bean curd	Cas+curd res[1] (3:1, w/w)
Moisture	10.4	5.3	9.6
Ash	0.9	3.9	1.6
Crude protein	82.6	47.4	66.3
Crude lipid	0.1	27.6	2.2
Sugar	6.0	15.8	20.5

[1]Cas+curd res(3 : 1, w/w) : mixture of casein and bean curd residue

동물사육

실험동물은 4주령의 Sprague-Dawley계 수컷 백서(화인 Biotech., 서울)를 구입, 사육용사료(삼양사료, 원주)로 일주일간 적응시킨 후 각 그룹당 5마리씩으로 하여 개별사육 cage에서 4주 동안 사육하였다. 사육실 온도는 23~25°C, 12시간 간격으로 점등과 소등하였다. 실험기간동안 물 및 사료는 자유섭취하도록 하였다. 식이섭취량 및 체중증가량은 매 2일마다 측정하였다. 시험기간이 끝나 12시간 절식 후, 오전 10시에 단두도살하여 혈액을 채취한 후 30분간 실온에 방치하여 혈청을 원심분리하여 얻었으며, 간장은 적출하여 분석시까지 -20°C로 냉동 보관 하였다.

시험방법

혈청 총 콜레스테롤(Cholesterol C-2, Wako Chemical Co., 일본), HDL-콜레스테롤(HDL-cholesterol kit, Daiichi Chemical Co., 일본) 은 각각 효소법으로 측정하였다. 간장중 지방질은 Folch법[14]으로 추출정제하여 콜레스테롤 및 중성지방은 각각 Sperry-Webb법[15]과 Fletcher의 방법[16]으로 비색정량하였다. 식이단백질의 일반성분 분석은 상법에 준하였다[17]. 결과에 대하여 Anova로 분석한 후 $p<0.05$ 수준에서 LSD-test로 유의성검정을 행하였다.

결 과

Table 3은 실험기간중 체중증가율 및 식이섭취량을 나타내고 있다. 사료섭취량은 casein 섭취군에 비하여 두부섭취군, casein+비지분말혼합물섭취군(이하 비지섭취군으로 약함)에서 낮았으나, 실험기간동안 체중증가량에 각군간 유의한 차이는 없었다. 체중 100g당 간장중량은 casein, 두부섭취군보다 비지섭취군에서 낮은 경향을 보였다.

Table 3. Growth parameters and liver weight in rats

Group	Initial body weight (g)	Weight gain (g/4 weeks)	Food intake (g/day)	Liver weight (g/100g B.W.)
Casein	150±8	207± 9	23.3±0.70	4.13±0.28
Bean curd	147±5	202± 7	22.0±0.19	4.17±0.30
CBCD[1]	158±6	209±16	20.9±1.23	3.83±0.49

Mean ± SE of 5 rats

[1]CBCD : mixture of casein and bean curd residue (3 : 1, w/w)

Table 4는 사육후 간장 및 혈청의 콜레스테롤농도를 나타낸 것이다. 혈청콜레스테롤농도는 casein군에 비하여 두부섭취군과 비지섭취군에서 유의하게 낮은 수준을 나타내었으나, 두부섭취군과 비지섭취군간 차이는 없었다. HDL-콜레스테롤농도 역시 비슷한 경향을 나타내어, casein 섭취군이 다른 두군보다 높은 수준을 나타내었다(특히, casein군이 비지투여군보다). 그러나 HDL-콜레스테롤을 총콜레스테롤농도로 나눈 비에 그룹간 유의한 차이는 없었다. 간장콜레스테롤농도는 두부섭취군에서 다른 두 군보다 유의하게 낮았으나, 비지섭취군과 casein 단독투여군사이에 유의한 차이는 없었다. 간장 triacylglycerol 농도는 각각 39.2±3.0, 36.3±3.3, 34.5±5.0mg/g으로 유의한 차이는 없었다 (casein, 두부섭취군, 비지섭취군 순으로).

고 찰

동물실험에 있어 식이단백질의 혈청콜레스테롤농도 조절효과는 콜레스테롤동시투여시 보다 명확한 대사응답을 나타낸다. 본 실험에서는 0.2%의 콜레스테롤을 첨가한 hypercholesterolemic 식이조건하에서 두부와 비지혼합물의 혈청 및 간장콜레스테롤농도에 미치는 효과를 casein과 비교 검토하였다[7,18].

Table 3에서 보는 바와 같이, casein섭취군에 비하여 두부섭취군과 비지섭취군은 낮은 사료섭취량을 보여, 두부 또는 비지혼합물은 백서에 있어 낮은 섭식기호도를 제공하는 것으로 생각된다. Jacques와 Peret[19]는 식이중 단백질의 성질은 동물의 섭식기호에 영향을 줌으로써, 자유급식중 식이섭취량의 변화를 지적하고 있으며, Jenkins와 Mitchell[20]은 동물성단백질에 비하여 식물성단백질사료의 섭취량의 감소는 아미노산의 결핍 또는 불균형이나 식이에 대한 감소된 섭식기호에 기인된다는 가능성을 제시하고 있다. 본 실험에서 두부섭취군이나 비지섭취군은 낮은 섭취량에도 불구하고 실험기간동안 체중증가율은 casein군과 차이가 없어 본 실험에서 급식한 단백질의 함량수준으로 외견상 관찰되는 성장장애는 없는 것으로 생각된다. 그러나 casein 섭취군의 단백질함량(사료중 16.2%)에 비하여 두부섭취군은 9.2% 정도로, 단백질원으로서 사료에 두부분말의 20% 첨가는 장기투여실험에 있어 단백질 부족증상을 유발할 가능성은 배제될 수 없다.

Table 4에 나타난 바와 같이 백서에 있어 콩의 가공품은 casein에 비하여 현저한 혈청콜레스테롤농도 저하효과가 있음을 보여주고 있다. 많은 대두단백질의 콜레스테롤농도저하효과는 비가열분리단백질을 이용한 연구로 부터 밝혀져 왔다[4-8]. 본 실험의 결과는 대두단백질을 가열처리하여 분리한 단백질(두부), 또는 그 부산물(비지)을 casein식이에 25% 수준으로 첨가하여도 casein의 혈청콜레스테롤농도의 상승 억제효과를 보여주어, 동물성단백질의 존재와 관계없이 콩가공품(비지)은 혈청콜레스테롤농도를 조절할 수 있음을 강하게 시사한다. Chandrasiri 등[21]은 백서에 가열된 대두단백질과 비가열단백질을 투여시 혈청콜레스테롤농도에 유의한 차이가 없음을 지적하였으나, 이때 사료는 콜레스테롤무첨가사료를 이용하였던 점에 유의하여야 할 것이다. 실제로 임상실험에서 대두단백질의 혈청콜레스테롤저하효과는 고콜레스테롤혈증 환자에서 명확하다[4,6]. 또한, Kito 등[22]은 대두단백질을 고온고압처리한 경우(extruder 처리) 단백질구조가 변화하여 소화기관내에서 지방과의 복합물형성이 혈청콜레스테롤농도 감소의 한 요인으로 지적한 바 있다.

한편 두부섭취군의 경우 두부에 함유된 높은 지방함량으로 실제로 약 5% 정도 불포화지방을 추가 섭취(사료중 지방함량 10%)하게 되는데, 이러한 불포화지방(대두유)의 섭취는 대두단백질의 콜레스테롤저하효과를 더욱 강화시킬 것이다[23]. 나아가 비지의 혈청콜레스테롤농도저하효과는 부분적인 대두단백질의 효과와 동시에 단백질의 제거(두부)로 상대적으로 증가한 섬유소의 효과가 유효하게 작용했을 것으로 생각된다. 대두의 식이섬유소함량은 약 7.8%정도이다[9]. 이러한

Table 4. Concentration of cholesterol in liver and serum of rats

	Liver		Serum (mg/100ml)		
	mg/g liver	mg/liver	Total	HDL-C	HDL-/Total-C (%)
Casein	3.85±0.26[1a]	56.1±3.78[a]	131 ±3[a]	53.4±8.4[a]	45.8±6.29
Bean curd	2.68±0.14[b]	38.6±2.18[b]	98.0±6.1[b]	43.2±2.2[ab]	44.1±2.41
CBCD[2]	4.23±0.23[a]	57.9±6.01[a]	96.7±6.0[b]	40.4±2.2[b]	42.2±1.97

[1]Mean±SE of 5 rats

[2]CBCD : mixture of casein and bean curd residue (3:1, w/w), HDL-C : High density lipoprotein cholesterol

[ab]Values in the same column with different superscript letters denote significant difference ($p<0.05$)

결과는 적어도 혈청콜레스테롤농도조절을 목표로 하는 기능성식품으로서 비지의 이용가치를 강하게 시사한다.

Normocholesterolemic 백서에서 혈중 콜레스테롤의 대부분(60~80%)은 HDL 형태로 이동되며, 5~10%만이 LDL형태로 이동된다[24]. 그러나 hypercholesterolemic 백서에 있어서는 지방단백질의 조성비가 변화하여 혈청콜레스테롤은 주로 chylomicron, VLDL 혹은 chylomicron remnant 형태로 이동되어진다[25]. 본 실험에서 HDL-콜레스테롤농도는 두부나 비지투여에 의해 현저하게 감소하였으나, 총콜레스테롤농도에 대한 HDL-콜레스테롤의 비는 단백질원에 의해 변화하지 않았다. 많은 동물이나 임상실험에 있어 식이단백질에 의한 각 lipoprotein의 조성비의 변동정도는 일치된 결과를 보이지 않는다[4-6].

한편 간장콜레스테롤농도는 두부섭취군이 다른 두 군에 비하여 유의하게 낮아 두부제품은 혈청뿐 아니라 간장의 콜레스테롤농도를 효과적으로 감소시킬 수 있음을 보여준다. 이러한 결과는 많은 비가열대두단백질의 연구결과와 일치한다[4,7,8,18]. 간장콜레스테롤의 축적은 콜레스테롤합성 및 LDL-receptor의 발현을 현저하게 억제한다[26]. 따라서 두부섭취군의 낮은 간장콜레스테롤농도는 LDL-receptor를 통한 LDL농도를 감소시키게 되며, 궁극적으로 체내콜레스테롤 pool의 감소는 분변으로의 담즙산배설항진에 기인되어 질 것이다[4,7,18]. Sugano 등[27]은 대두단백질을 가수분해하여 생성되는 고분자분획물의 현저한 담즙산배설효과가 있음을 밝혀, 대두단백질에 의한 담즙산배설의 항진은 단백질자체의 소화로 형성되는 펩티드의 스테롤결합성의 항진에 기인됨을 시사하였다. 이는 섬유소가 상당히 제거된 두부의 콜레스테롤감소효과를 어느 정도 대사적으로 설명할 수 있을 것이다. 그러나 casein과 비지의 혼합투여는 casein 단독투여와 비슷한 간장콜레스테롤농도를 나타내어, 비지혼합물에 의한 혈청콜레스테롤농도 저하효과는 간장으로부터의 VLDL 분비의 감소에 크게 기인되는 듯 하다[4]. Lo 등[28]은 토끼를 이용하여 단백질원으로 casein을, 식이섬유원으로 cellulose(16%) 또는 soy fiber(29%)를 투여시 soy fiber 투여군의 현저히 낮은 혈청 및 간장콜레스테롤농도를 보고하였다. 이러한 결과는 본 실험과 동물종의 차이는 있으나, 비지투여량에 의존하는 간장콜레스테롤농도의 변동가능성은 있다.

결론적으로, 단백질원으로서 두부는 백서에서 체내의 콜레스테롤 pool을 감소시키며, 비지는 casein단독투여에 비하여 혈청콜레스테롤농도를 유의하게 감소시켜, 혈청콜레스테롤농도저하를 목적으로 하는 기능성식품으로서 비지의 개발가능성을 시사한다. 그러나, 두부가공시 단백질의 응고목적으로 칼슘이나 마그네슘이 첨가되므로 이들 성분의 추가섭취에 의한 지질대사의 변동을 검토할 필요가 있을 것으로 생각된다.

요 약

백서를 이용하여 콩가공품(두부, 비지)의 섭취가 간장 및 혈청의 콜레스테롤농도에 미치는 효과를 검토하였다. 단백질원으로서 casein, 건조두부분말 또는 casein과 건조비지분말의 혼합물(3 : 1, w/w)을 콜레스테롤이 첨가된 정제사료로 4주간 수컷 백서를 사육하였다. 두부분말과 비지혼합물의 섭취는 카제인 단독섭취에 비하여 현저한 혈청콜레스테롤농도를 감소시켰다. HDL-콜레스테롤농도는 카제인 섭취군이 다른 두 군보다 높았으나, HDL-콜레스테롤과 총콜레스테롤농도의 비에 유의한 차이는 없었다. 간장콜레스테롤은 casein을 섭취했던 두 군에 비하여 두부섭취군에서 현저하게 낮은 농도를 나타내었다. 이러한 결과는 콜레스테롤첨가사료를 섭취한 백서에 있어서 콩가공품의 콜레스테롤저하작용, 더 나아가 비지의 섭취는 식이중 동물성단백질의 존재에도 불구하고 효과적인 혈청콜레스테롤농도의 조절 가능성을 시사한다.

감사의 글

실험기간에 동물사육을 도와 준 강원대학교 생물응용공학과 한달호군 및 분석을 도와준 식품공학과 주진우군에게 고마움을 표한다.

문 헌

1. *Stehbens, W. E. : Diet and atherogenesis. Nutr. Rev.*, **47**, 1 (1989)
2. Ulbright, T. L. V. and Southgate, D. A. T. : Coronary heart disease : Seven dietary factors. *Lancet*, **338**, 985 (1991)
3. 최용순, 이상영 : 혈청콜레스테롤과 3-hydroxy-3-methylglutaryl coenzyme A reductase. 한국영양식량학회지, **21**, 580 (1992)
4. *Sugano, M. : Nutritional studies on the regulation of cholesterol metabolism : The effects of dietary protein. J. Jap. Soc. Nutr. Food Sci.*, **40**, 93 (1987)
5. Kritchevsky, D., Tepper, S. A. and Klurfeld, D. M. : Dietary protein and atherosclerosis. *J. Amer. Oil*

Chem. Soc., **64**, 1167(1987)
6. Barth, C. A. and Pfeuffer, M. : Dietary protein and atherogenesis. *Klin. Wochenschr.*, **66**, 135 (1988)
7. Choi, Y. S., Goto, S., Ikeda, I. and Sugano, M. : Interaction of dietary protein, cholesterol and age on lipid metabolism of the rat. *Br. J. Nutr.*, **61**, 53 (1989)
8. Choi, Y. S., Ikeda, I. and Sugano, M. : The combined effects of dietary proteins and fish oil on cholesterol metabolism in rats of different ages. *Lipids*, **24**, 506 (1989)
9. 食品成分研究會 : 食品の含量表. 醫歯藥出版(株), 東京, p.56 (1985)
10. 농촌영양개선연구원 : 식품성분표. 4판, 수원, p.36 (1991)
11. 지성규 : 기능성식품. 광일문화사, 서울, p.100 (1992)
12. 정연강, 백홍근 : 기능화시대를 맞는 식품산업. 신한종합연구소, 서울, p.7 (1991)
13. American Institute of Nutrition : Report of the American Institute of Nutrition Ad Hoc Committee on standards for nutritional studies. *J. Nutr.*, **107**, 1340 (1977)
14. Folch, J., Lees, M. and Sloane-Stanly, G. H. : A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues. *J. Biol. Chem.*, **226**, 497(1957)
15. Sperry, W. M. and Webb, M. : A revision of the Schoenheimer-Sperry method for cholesterol determination. *J. Biol. Chem.*, **187**, 97 (1950)
16. Fletcher, M. J. : A colorimetric method for estimating serum triglycerides. *Clin. Chim. Acta*, **22**, 393 (1968)
17. 최용순, 안 철, 심호흠, 최 면, 오상룡, 이상영 : 인스탄트 메밀국수가 백서의 소화흡수율, 간장 및 혈청지질농도에 미치는 영향. 한국영양식량학회지, **21**, 478 (1992)
18. Eklund, A. and Sjoblom, L. : Effect of dietary proteins on hepatic and plasma lipoprotein fractions during dietary induced hypercholesterolemia in male rats. *Biochim. Biophys. Acta*, **877**, 127 (1986)
19. Jacques, R. A. and Peret, J. : Protein efficiency ratio and related methods. In "*Protein and amino acid function*" Bigwood, E. J. (ed.), Pergamon Press, New York, p.317 (1972)
20. Jenkins, M. Y. and Mitchell, G. V. : Nutritional assessment of twelve protein foods/ingredients. *Nutr. Res.*, **9**, 83 (1989)
21. Chandrasiri, V., Bau, H. M., Villaums, C., Giannangeli, F. and Mejean, L. : Effect of germinated and heated soybean meals on plasma cholesterol and triglycerides in rats. *Reprod. Nutr. Rev.*, **30**, 611 (1990)
22. Kito, M., Moriyama, T., Kimura, Y. and Kambara, H. : Changes in plasma lipid levels in young healthy volunteers by adding an extruder-cooked soy protein to conventional meals. *Biosci. Biotech. Biochem.*, **57**, 354 (1993)
23. Goodnight, S. H. Jr., Harris, W. S., Conner, W. E. and Illingworth, D. : Polyunsaturated fatty acids, hypercholesterolemia and thrombosis. *Arteriosclerosis*, **2**, 87 (1982)
24. Day, C. E., Phillips, W. A. and Schurr, P. E. : Animal models for an intergrated approach to the pharmacologic control of atherosclerosis. *Artery*, **5**, 90 (1979)
25. Mahley, R. W. and Holcombe, K. S. : Alterations of the plasma lipoproteins and apoproteins following cholesterol feeding in the rat. *J. Lipid Res.*, **18**, 314 (1977)
26. Spady, D. K. and Dietschy, J. M. : Dietary saturated triacylglycerols suppress hepatic low density lipoprotein receptor activity in the hamster. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, **82**, 4526 (1985)
27. Sugano, M., Yamada, Y., Goto, S. and Yoshida, K. : Dietary proteins, cholesterol metabolism and atherosclerosis. In "*Monographs on atherosclerosis*" Sugano, M. and Beynen, A. C. (eds.), S. Karger, Basel, p. 85 (1990)
28. Lo, G. S., Evans, R. H., Phillips, K. S., Dahlgrem, R. R. and Steinke, F. H. : Effect of soy fiber and soy protein on cholesterol metabolism and atherosclerosis in rabbits. *Atherosclerosis*, **64**, 47(1987)

(1993년 7월 7일 접수)