

대두단백질 및 카제인 섭취가 병아리의 혈액 Cholesterol 함량에 미치는 영향 비교

지규만[†] · 김영미 · 전지영 · 최인숙 · 오미향

고려대학교 생명과학대학 영양생화학연구소

Comparative Effects of Dietary Isolated Soy Protein and Casein on Plasma Cholesterol Levels in Young Chicks

Kew Mahn Chee[†], Young Mee Kim, Jee Young Juhn, In Sook Choi and Mi-Hyang Oh

Laboratory of Nutritional Biochemistry, College of Life Sciences and Biotechnology, Korea University, Seoul 136-700, Korea

ABSTRACT Hypocholesterolemic effect of soy protein was examined in comparison with casein and three other dietary protein sources in chicks. In two feeding trials, 40 (Expt.1) or 50 (Expt. 2), three-day-old, male chicks were forced-fed each of five semi-purified-type diets containing isolated soy protein (ISP, cp 82%), casein (cp 92%), rice protein (RP, cp 70%), corn gluten meal (CGM, cp 65%) or fish meal (FM, cp 70%) for two weeks. The diets for Expt. 2 were supplemented with 0.3% cholesterol by replacing glucose. Each protein source was the only source of protein of each diet. Essential amino acids were added to the diets to satisfy their requirements according to NRC. The diets were forced-fed to equalize the intake of all nutrients except the amino acids which were inherently variable in the diets. Chicks fed casein showed lower body weight gain than those fed the other proteins in both experiments. Birds fed ISP and FM gained better body weight than the others. Chicks fed casein showed significantly higher levels of plasma total cholesterol, non-HDL cholesterol and triacylglycerol (TG) than those fed ISP and the other protein sources. Meanwhile, the chicks fed ISP, RP, CGM and FM showed comparable levels of plasma total cholesterol, non-HDL cholesterol and TG. In Expt. 2, the birds fed casein and FM showed markedly elevated plasma total cholesterol and non-HDL cholesterol levels. Liver weight and levels of total lipids and cholesterol of chicks fed casein appeared significantly higher than those of the other protein diets, whereas those of the chicks fed ISP, RP, CGM and FM appeared comparable except cholesterol in FM group. In conclusion, only the chicks fed casein diets in both experiments always showed significantly higher levels of plasma cholesterol and TG compared to those fed ISP and the other protein sources. These results support the views that casein, which has unique lysine-arginine ratio, is inherently hyper-cholesterolemic, and ISP is hypocholesterolemic only when compared to casein.

(Key words : isolated soy protein, casein, rice protein, fish meal, corn gluten meal, plasma cholesterol, chick)

서 론

섭취 단백질과 체내 지질대사와의 연관성에 대해 지난 수십 년 동안 많은 연구가 이뤄졌다. 그 결과 동물성 단백질은 혈액 콜레스테롤 수준을 높이는데 반해 대두단백질은 반대로 그 수준을 저하시킬 수 있다고 결론(Carroll, 1982; Kritchevsky et al., 1987)이 내려져 있지만 이 판단의 타당성에 대해 아직도 논란이 계속되고 있다.

대두단백질이 혈액 콜레스테롤 수준을 저하시킬 수 있는 원인에 대해 대두단백질 자체의 효과(Kritchevsky, 1979) 또는 대두에 들어있는 이소플라본(Setchell, 1999)이나 사포닌

(Potter et al., 1979)에 기인한다는 주장들이 있다. 그러나 이 소플라본이나 사포닌에 의한 혈액 콜레스테롤 저하 효과는 최근 들어 거의 부정되고 있다(Sacks et al., 2006). 그에 비해 대두단백질의 분해산물 중 소수성(hydrophobic) 펩티드 또는 불소화성 고분자 분획물들이 담즙산과 결합하여 대변으로 스테로이드의 체외 배설을 높여 혈액 콜레스테롤 저하 효과를 가져온다는 주장(Nagata et al., 1982; Sugano et al., 1988)이 많이 인용되고 있다.

한편, Carroll(1991)을 비롯한 여러 연구자들(Dewell et al., 2006; Sacks et al., 2006)은 대두단백질에 의한 혈중 콜레스테롤 저하 효과가 콜레스테롤 농도가 정상인 사람에서는 나타

[†] To whom correspondence should be addressed : cheekm@korea.ac.kr

나지 않은 반면 상대적으로 혈중 농도가 높은 사람에서 나타나는 경향을 지적하고 있다. 대두단백질의 효과가 초기 혈액 콜레스테롤 농도에 따라 좌우된다는 것은 대두단백질에 의한 동물성 단백질(동물성 식품)의 대체 효과로서, 포화지방산과 콜레스테롤 섭취가 감소될 수 있기 때문이다.

이렇게 대두단백질의 혈액콜레스테롤 저하 효과에 대해 비판적인 시각과 긍정적인 효과를 주장하는 연구 결과들이 계속 발표되고 있다. 미국 FDA(1999)에서는 긍정적인 효과를 인정하여 대두단백질을 함유한 식품에서 관상동맥심장병의 예방 효과 표시(labeling)를 허락하고 있다.

본 연구에서는 대두단백질의 혈액 콜레스테롤 저하 효과를 판단하는데 있어서 그 동안 간과되고 있는 중요한 관점 한 가지를 확인하고자 한다. 동물 실험에서 대두단백질의 콜레스테롤 저하 효과가 그 자체의 독자적인 작용이라기보다 카제인과 비교할 때 만 나타나는 상대적인 것이라고 판단된다. 이 주장의 주요 이유는 대부분의 연구자들이 대두단백질의 비교 대상(대조군)으로 카제인을 사용하고 있으며, 카제인은 본질적으로 혈액 콜레스테롤 함량을 높이는 특성을 갖고 있다(Harper et al., 1970). 따라서 카제인(대조군)과 비교하면 대두단백질이나 어떤 식품 단백질들도 상대적으로 혈액 콜레스테롤 농도의 저하 효과를 나타낼 수 있다고 생각된다.

카제인과 대두단백질의 혈액 콜레스테롤 농도에 미치는 영향이 서로 다른 이유가 lysine(Lys)과 arginine(Arg)의 함량 차이 때문이라는 연구가 있다(Jones et al., 1967; Aljwad et al., 1991). 카제인에는 Lys이 많이 들어있어 Lys/Arg 비율이 1.95 정도로 높다. 이렇게 과잉의 Lys에 의해 발생하는 Lys-Arg 길항 작용은 동물의 사료 섭취량 저하와 성장 억제제를 초래하며 혈액 콜레스테롤 함량도 크게 증가시킨다(Harper et al., 1970; 김현숙 등, 1995).

본 연구에서는 사료 단백질 급원으로 카제인과 대두단백질 외에 우리 일상생활에 중요하다고 판단되는 단백질 급원 세 가지를 추가해서 이 단백질들이 병아리의 혈액 콜레스테롤 농도에 미치는 영향을 비교하였다. 이 다섯 가지 단백질들의 반응을 토대로 카제인 단백질이 나타내는 영향의 특수성과 일반 단백질 급원과의 차이점을 검토코자 하였다.

실험 동물로 병아리를 사용한 이유는 사료에 대한 혈액 콜레스테롤 농도의 반응이 쥐보다 더 예민하며, 사람과 혈중 지단백질 수준이 비슷하고(Chandler et al., 1979), 콜레스테롤 섭취에 의해 동맥경화증(atherosclerosis)이 쉽게 발생한다(Wong, 1975; Ayala et al., 2005). 또한 병아리는 쥐와 달리 사람과 마찬가지로 간이 지방산의 주요 합성 장소이며, 담낭을 갖고 있어 쥐보다 본 연구에 적절한 동물 모델이 될 수 있다(Qureshi

et al., 1980).

재료 및 방법

두 차례에 걸쳐 동물 실험을 하였다. 두 실험의 동물, 재료와 방법 등은 동일하였는데 다만 실험 2에서는 모든 사료에 0.3% 콜레스테롤(Sigma Chemical Co., St. Louis)을 첨가, 급여하였다.

1. 실험 동물 및 관리

두 실험 모두 부화 후 3일령의 Hyline Brown 계통(한양부화장, 경기도), 수평아리를 사용하였다. 실험 1에서는 한 처리당 8수씩 총 40수(평균 체중 39.0 g), 실험 2에서는 한 처리당 10수씩 총 50수(평균 체중 44.8 g)를 사용하였다. 이들은 철제 케이지(45×50×20 cm) 한 칸에 8~10수씩 수용하였으며, 케이지 후면에 음수 통을 설치하였다.

실험 기간 동안 물을 자유롭게 섭취토록 하였다. 병아리들은 실험 전 3일간은 일반 시판용 어린 병아리 사료를 섭취하였다. 실내 온도는 일반 병아리 사육 조건에 맞추어 처음 1주 동안은 33 °C 정도를 유지하여 주었으며, 다음 2주째는 30 °C 정도로 낮추어 주었다.

2. 실험 설계 및 실험 사료

단백질 급원에 따라 5개의 처리군을 두었다. 각 단백질이 처리별 사료의 유일한 단백질 급원으로 이용되었다. 단백질 급원은 두 종류의 동물성 단백질(카제인, LACTOPROT, Deutschland GMBH, 독일; 어분, 국내)과 세 종류의 식물성 단백질(정제대두단백질, Pro-Fam 974, isolated soy protein, Decatur, IL, 미국; 쌀단백질, rice protein, Eunjin International Co., 벨지움; 옥수수단백질, corn gluten meal, 국내)이었다.

실험 1과 2의 사료 배합표는 Table 1에서와 같다. 실험 2에서는 혈중 콜레스테롤 농도를 인위적으로 높인 조건에서 단백질 급원들의 효과를 비교하기 위해 모든 사료에 콜레스테롤을 0.3%를 첨가(포도당 대치)하였다. 원료 사료로 포도당, 전분, α -cellulose 등 정제된 것들을 사용하였는데, 단백질 급원만은 원료에 따라 정제도가 달랐다. 카제인과 대두단백질은 고도로 정제된 제품으로 단백질 함량이 각각 92.0과 82.4%였으며, 쌀단백질, 옥수수단백질과 어분은 단백질 함량이 각각 70.0, 65.0 및 71.0%였다.

실험 사료의 모든 영양소 함량은 NRC 사양표준(1994)에 준해서 병아리의 요구량을 충족시켰다. 단백질 급원에 따라

Table 1. Composition of experimental diets (Experiments 1 & 2¹)

Items	Dietary groups containing				
	Casein	Isolated soy protein	Rice protein	Corn gluten meal	Fish meal
Ingredients (%)					
Casein (92% cp)	20.30	–	–	–	–
ISP (82.4% cp)	–	23.20	–	–	–
Rice protein (70% cp)	–	–	27.40	–	–
Corn gluten meal(65% cp)	–	–	–	26.80	–
Fish meal (71% cp)	–	–	–	–	27.10
α -Cellulose	4.00	3.00	4.00	3.00	3.00
Tricalcium phosphate	1.20	1.70	1.70	1.82	–
CaCO ₃	0.85	0.63	0.35	0.54	0.75
DL-Methionine	0.03	0.33	–	–	–
L-Lysine HCl	–	–	0.16	0.60	–
L-Arginine HCl	0.31	–	–	0.52	–
L-Threonine	–	–	–	0.14	–
L-Tryptophan	–	–	–	0.07	–
Miscellaneous ²			38.7		
Glucose			Up to 100		
Total	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
Nutrient contents, calculated					
AMEn ³ (kcal/kg)	3,400	3,330	3,400	3,360	3,310
Crude protein (%)	19.3	19.3	19.4	19.4	19.2
Lysine (%)	1.48	1.28	0.84	0.85	1.48
Arginine (%)	0.99	1.55	1.61	0.98	1.14
Methionine+cystine (%)	0.63	0.63	1.10	0.69	0.78
Lys/Arg ratio	1.50	0.82	0.52	0.86	1.20

¹For the diets of Experiment 2, 0.3% cholesterol was added by replacing glucose by weight.

²Miscellaneous include 32% starch, 3.0% soybean oil fortified with 0.0125% ethoxyquin, 0.3% NaCl, 0.2% vitamin mixture, 3.0% trace mineral mixture and 0.2% choline-chloride. Vitamin mixture provided the following per kg of diet: vitamin A, 5,200 IU; vitamin D₃, 600 IU; vitamin E, 50 IU; vitamin K, 2 mg; thiamin · HCl, 20 mg; niacin, 50 mg; riboflavin, 15 mg; D-Ca pantothenate, 30 mg; vitamin B₁₂, 0.04 mg; pyridoxine · HCl, 7.8 mg; D-biotin, 0.6 mg; folic acid, 6 mg; ascorbic acid, 250 mg; inositol, 100 mg; PABA, 2 mg; BHT, 100 mg. Trace mineral mixture provided the following per kg of diet: KHCO₃, 5.1 g; K₂CO₃, 3.5 g; CuSO₄ · 5H₂O, 0.03 g; ZnSO₄ · 7H₂O, 0.34 g; MgSO₄ · 7H₂O, 6.3 g; FeSO₄ · 7H₂O, 0.4 g; MnCO₃, 0.24 g; H₃BO₃, 9 mg; Na₂MoO₄ · 2H₂O, 8.3 mg; KI, 0.5 mg; CoCl₂, 0.46 mg; Na₂SeO₄, 0.36 mg.

³Nitrogen-corrected apparent metabolizable energy.

아미노산 조성이 달라 요구량을 맞추기 위하여 여러 필수 아미노산을 첨가하였다. Lys과 Arg을 첨가할 때 이들의 요구량 비율은 고려하지 않았다(Table 2). 어분은 아미노산 균형이 매우 좋아 다른 아미노산을 첨가할 필요가 없었다. 각 실험 사료의 단백질과 에너지 함량을 유사하게(isonitrogenous, isocaloric) 만들기 위하여 α -cellulose 농도를 3~4% 범위에서 조절하였다.

모든 사료는 하루에 3번씩 2주간 강제로 급여(forced-feeding)하였다. 이는 모든 개체의 영양소 섭취량을 최대한 같게 하여 섭취하는 단백질로부터의 아미노산 조성 이외 다른 요인이 실험 결과에 미치는 영향을 최소화하기 위해서였다. 사료 급여량은 별도의 자유 급식군(일반 사료)을 두고 이들이 섭취한 평균적인 사료 섭취량을 기준하였다. 강제 급여는 Leung et al.(1968)의 방법을 수정하여 실시하였는데, 50 mL 크기의 플라스틱 주사기에 사료를 넣고 사료 무게와 같은 부피의 물(1:1)을 주사기 안에 투입하여 혼합하였다. 이 주사기에 길이 10 cm, 외경 5 mm 정도 크기의 폴리에틸렌 튜브를 연결하여 병아리의 소낭(crop)에 직접 주입하였다.

3. 측정 항목

실험 종료일에 12시간 정도 절식시킨 후 개체별 체중을 측정하여 실험 기간의 증체량을 구하였다. 사료 이용 효율(F/G)은 단위 체중 증가에 필요한 사료량으로 구하였다. 심장에서 채취한 혈액에 EDTA 처리를 하여 혈장을 분리 후

-20 °C에 냉동 보관하였다.

혈액 총 콜레스테롤, HDL-콜레스테롤 및 triacylglyceride (TG) 농도와 간 조직의 콜레스테롤 농도는 시판 분석 kit(주식회사 엠비엘, 경기도)를 사용하여 효소적인 방법으로 측정하였다. HDL-콜레스테롤은 침강 시약을 첨가하고 실온에서 5분 이상 방치 후 3,000 rpm에서 10분간 원심분리하고, 그 상층액을 이용하여 분석하였다. Non HDL-콜레스테롤(LDL-콜레스테롤+VLDL-콜레스테롤)은 총 콜레스테롤 함량과 HDL-콜레스테롤 함량의 차이로 구하였다. 간 조직의 총 지방 함량은 Folch et al.(1957)의 방법에 의해 중량법으로 구하였다.

4. 통계 처리

모든 실험 data는 one way analysis of variance에 의해 분산 분석을 하였으며, 처리 평균 간의 유의차는 Duncan's new multiple range test에 의해 비교하였다(SigmaStat, 2006). 유의성은 $P<0.05$ 를 기준으로 평가하였다. 모든 실험 data는 평균±표준편차로 표시하였다.

결 과

실험 사료가 병아리의 체중 증가와 F/G에 미치는 영향은 Table 3에서와 같다. 실험 1과 2에서 비슷한 경향이 나타났

Table 2. Major essential amino acid compositions of the dietary protein sources and their requirements in young chicks

Amino acids	Casein ²	Isolated soy protein ³	Rice protein ⁴	Corn gluten meal ⁵	Fish meal ⁵	Amino acid requirement ⁶
	% air dry-matter					% diet
Lysine	7.99	5.50	2.50	1.03	5.07	0.80
Arginine	3.61	6.70	5.89	1.82	3.81	0.94
Met+cyst	2.86	1.30	4.03	2.59	2.60	0.59
Threonine	4.29	3.30	2.64	2.00	2.82	0.64
Tryptophan	1.05	0.81	0.81	0.36	0.78	0.16
Lysine/arginine	2.21	0.82	0.42	0.57	1.33	0.85

¹Amino acids composition of the protein sources from NRC (1994) except rice protein. The data for rice protein was from the manufacturer's spec.

²LACTOPROT (sodium caseinate), Deutschland GMBH.

³PRO-FAM 974 (isolated soy protein). Decatur, IL.

⁴Rice protein (Eunjin International Co., Ltd., Pyeongtaek, Kyeonggi-do).

⁵Local products.

⁶NRC. 1994. Amino acid requirements for young chicks of brown-egg-laying strains.

Table 3. Effects of various dietary proteins on body weight gain and feed/gain ratio in young chicks during 0~2 weeks of age (Experiments 1 and 2)¹

Items	Dietary groups containing				
	Casein	Isolated soy protein	Rice protein	Corn gluten meal	Fish meal
Experiment 1					
Body weight gain (g/bird)	91.1±6.7 ^c	110.0±3.9 ^a	98.0±3.5 ^b	97.9±5.8 ^b	110.3±4.7 ^a
Feed/gain ratio	2.66±0.20 ^a	2.20±0.10 ^c	2.47±0.10 ^b	2.47±0.20 ^b	2.19±0.10 ^c
Experiment 2					
Body weight gain (g/bird)	111.3±6.2 ^b	123.8±4.5 ^a	109.7±3.5 ^b	114.6±3.6 ^b	129.7±6.6 ^a
Feed/gain ratio	2.17±0.12 ^a	1.95±0.07 ^b	2.20±0.07 ^a	2.11±0.07 ^a	1.87±0.10 ^b

¹ Initial average body weights were 39.2 and 44.8 g/b for Experiments 1 and 2, respectively.

Total amount of each diet forced-fed to individual bird during 14 days is the same (241.4 g/b) for Experiments 1 and 2.

Values are mean±standard deviation ($n=8$ or 10).

^{a-c}Means within a row with common superscripts do not differ significantly ($p<0.05$).

는데 다섯 가지 단백질 처리군 중에 대두단백질과 어분군의 증체량이 110 g/bird 수준으로 유의하게 가장 좋았으며, 카제인, 쌀· 및 옥수수단백질군은 서로 비슷한 수준(91~98 g)이었다. F/G도 증체량과 유사한 경향을 보였다.

실험 1에서 혈액 총 콜레스테롤 농도는 카제인군이 유의하게 가장 높았고, 대두 단백질과 어분군이 가장 낮았다(Table 4). 대두·쌀·옥수수단백질군 사이에 통계적으로 유의한 차이가 없었다. HDL-콜레스테롤 농도 역시 비슷한 경향을 보여 카제인군이 유의하게 가장 높았고, 대두·옥수수·쌀단백질 및 어분군 사이에는 유의한 차이가 없었다. Non HDL-콜레스테롤 농도도 카제인군이 가장 높았으며, 대두단백질군이 가장 낮은 농도를 보였다. 쌀·옥수수단백질과 어분군은 그 중간 수준이었는데 non-HDL 콜레스테롤 수준은 모든 처리 간에 통계적으로 유의한 차이가 없었다(Table 4).

혈액 TG 농도 역시 카제인군이 유의하게 가장 높았고, 나머지 대두·쌀·옥수수단백질 및 어분군은 36.6~52.1 mg/100 mL 수준으로 서로간에 유의한 차이가 없었다(Table 4).

실험 2에서는 사료에 콜레스테롤을 첨가 급여하였기 때문에 전체적으로 모든 실험군에서 혈액 총콜레스테롤 농도가 증가하는 경향을 보였다. 카제인군이 421.2 mg으로 실험 1에 비해 137.4 mg이나 증가하였고 어분군도 실험 1에 비해 119.4 mg 증가하였다. 대두·쌀·옥수수단백질군은 총콜레스테롤 농도가 232~285 mg 수준으로 실험 1에 비해 36~58 mg 정도 증가하는데 그쳐 동물성 단백질군에 비해 증가 폭이 현저히 더 적었다(Table 4).

실험 2의 HDL-콜레스테롤 농도는 실험 1에 비해 약간만 변화하는 경향을 보여 콜레스테롤의 사료 첨가가 혈액 HDL-콜레스테롤 농도에 별다른 영향을 미치지 않았다. 반면에 실험 2의 non HDL-콜레스테롤 농도는 크게 증가하여 카제인군은 279.1 mg으로 실험 1에 비해 147.6 mg이나 증가하였고, 어분군도 124.5 mg이나 증가한 반면 대두·쌀·옥수수단백질군은 21~59 mg 정도의 증가만 보였다(Table 4).

Table 5는 섭취 단백질에 따른 간의 무게와 간 조직 내 총 지질 함량과 콜레스테롤 농도의 변화를 보여주고 있다. 실험 1에서 간의 무게는 카제인군이 체중 100 g당 4.8 g으로 가장 무거웠으며, 대두단백질이나 다른 단백질 군은 차이가 없었다. 총 지질 함량도 카제인군이 간 무게의 13.6%로 유의하게 가장 많았으며, 대두단백질군은 쌀·옥수수단백질, 어분군과 비슷한 수준이었다. 간 조직의 콜레스테롤 농도도 총 지질 함량과 비슷한 경향을 보여, 카제인군이 5.7 mg으로 유의하게 가장 많았고, 대두단백질군(3.4 mg)과 다른 단백질군 사이에는 유의한 차이가 없었다(Table 5).

실험 2에서도 간 무게, 조직 내 총 지질 함량, 콜레스테롤 농도에서 실험 1과 비슷한 경향을 보였다. 카제인군이 간 무게나 총 지질 함량에서 다른 단백질군에 비해 통계적으로 유의하게 더 높았으며, 대두단백질과 다른 단백질군들은 비슷한 경향이였다. 간의 콜레스테롤 함량(조직 g당)은 카제인과 어분군이 5.7~6.1 mg으로 가장 많았고, 대두·쌀단백질군은 유의하게 가장 낮았고, 옥수수단백질은 그 중간이었다(Table 5).

Table 4. Effects of various dietary proteins on levels (mg/100 mL) of plasma total-, HDL-, non-HDL cholesterol and triacylglycerol in young chicks

Plasma	Dietary groups containing				
	Casein	Isolated soy protein	Rice protein	Corn gluten meal	Fish meal
Experiment 1					
Total cholesterol	283.8±43.3 ^a	195.8±23.3 ^b	210.7±53.8 ^b	227.3±43.6 ^b	196.2±48.0 ^b
HDL cholesterol ¹	152.3±14.8 ^a	108.5±17.3 ^c	99.1±15.6 ^c	132.0±17.9 ^b	98.4±24.4 ^c
Non-HDL cholesterol ²	131.5±39.2	87.3±31.0	111.6±55.0	95.3±28.1	97.8±35.2
Triacylglycerol	92.2±15.2 ^a	43.2±9.0 ^b	49.7±10.4 ^b	36.6±8.0 ^b	52.1±10.3 ^b
Experiment 2					
Total cholesterol	421.2±37.5 ^a	232.4±28.4 ^c	256.2±26.3 ^c	285.5±65.1 ^{bc}	315.6±61.4 ^b
HDL cholesterol	142.1±15.2 ^a	97.9±31.1 ^b	123.3±11.9 ^a	130.8±22.4 ^a	94.3±11.9 ^b
Non-HDL cholesterol	279.1±23.1 ^a	134.5±38.4 ^b	132.9±28.3 ^b	154.7±44.5 ^b	221.3±43.4 ^a
Triacylglycerol	88.3±25.6 ^a	35.3±10.5 ^{bc}	45.3±7.8 ^{bc}	36.5±7.1 ^{bc}	23.0±7.6 ^c
Changes of cholesterol levels in Expt. 2 over Expt. 1					
Total cholesterol	137.4	36.6	45.5	58.2	119.4
HDL cholesterol	-10.2	-10.6	24.2	-1.2	-4.1
Non-HDL cholesterol	147.6	47.2	21.3	59.4	123.5

Values are mean±standard deviation ($n=8$ or 10).

¹High density lipoprotein cholesterol.

²Non HDL-cholesterol=LDL-cholesterol+VLDL-cholesterol=Total cholesterol-HDL-cholesterol.

^{a-c}Means within a row with common superscripts do not differ significantly ($p<0.05$).

Table 5. Effects of various dietary proteins on liver weight, levels of liver total lipids and cholesterol in young chicks

Items	Dietary groups containing				
	Casein	Isolated soy protein	Rice protein	Corn gluten meal	Fish meal
Experiment 1					
Liver weight (g/100 g BW)	4.8±0.7 ^a	3.4±0.5 ^b	3.4±0.2 ^b	3.5±0.4 ^b	3.4±0.5 ^b
Total lipids (%)	13.6±2.8 ^a	8.9±0.9 ^b	9.8±1.1 ^b	9.8±1.9 ^b	9.7±0.6 ^b
Cholesterol (mg/g tissue)	5.7±1.2 ^a	3.4±0.4 ^b	4.2±0.7 ^b	4.8±2.4 ^{ab}	3.6±0.7 ^b
Experiment 2					
Liver weight (g/100 g BW)	5.5±0.8 ^a	3.1±0.2 ^b	3.2±0.2 ^b	3.8±0.7 ^b	3.3±0.3 ^b
Total lipids (%)	14.4±1.8 ^a	6.3±0.1 ^c	6.8±0.3 ^c	9.6±0.7 ^b	7.1±0.1 ^c
Cholesterol (mg/g tissue)	5.7±0.6 ^a	2.9±0.2 ^c	3.2±0.2 ^c	4.4±1.0 ^b	6.1±1.2 ^a

Values are mean±standard deviation ($n=8$ or 10).

^{a-c}Means within a row with common superscripts do not differ significantly ($p<0.05$).

고 찰

본 연구에서 실험 동물에게 사료를 강제로 투입하여 처리군 간에 사료 섭취량이 같아지도록 한 것은 연구 방법적인 면에서 매우 중요한 의미를 갖는다. 아미노산을 제외한 모든 영양소의 섭취량이 최대한 같아졌기 때문에 따라서 실험군 간에 나타나는 차이는 기본적으로 섭취한 사료의 아미노산 조성에 기인한다고 볼 수 있기 때문이다.

대부분의 동물 실험에서 자유로운 사료 섭취를 허락하고 있는데 카제인과 대두 단백질질을 비교하는 경우 아미노산 조성의 차이 때문에 사료 섭취량이 크게 달라질 수 있다. 특히 Arg이 보충되지 않은 카제인 사료를 섭취한 동물에서 사료 섭취량과 성장률이 크게 저하되는 현상을 자주 볼 수 있어 (Nagata et al., 1981; Mol et al., 1981) 연구 결과의 해석에 어려움이 따를 수 있다.

1. 단백질 급원에 따른 병아리 성장률 비교

이 연구에 사용한 단백질 급원들은 모두 독특한 아미노산 조성을 갖고 있다. 카제인은 병아리의 요구량에 비해 과잉의 Lys를 갖고 있고, 쌀 단백질은 이와 대조적으로 Lys이 부족한 반면 과잉의 Arg을 갖고 있으며, 대두단백질은 함유황 아미노산이 부족하고, 옥수수단백질은 함유황아미노산은 충분하지만 Lys, Arg 등이 부족하며, 어분은 모든 아미노산을 풍부하게 갖고 있다. 본 연구에서는 병아리의 아미노산 요구량에 비해 부족하게 들어있는 아미노산만을 보충하여 주었으며, 과잉으로 들어있는 아미노산으로 인한 길항 작용(Harper et al., 1970)을 방지하기 위한 특별한 조치는 취하지 않았다. 따라서 카제인과 쌀단백질군의 경우 각각 과잉의 Lys과 Arg의 영향이 그대로 반영되기를 기대하였다.

모든 실험군의 병아리들이 동일한 양의 영양소를 공급받았지만 대두단백질과 어분군이 가장 우수하고 카제인군이 가장 저조한 이유는 섭취한 아미노산의 균형 차이 때문이라고 볼 수 있다. 여기서 사용한 단백질 급원들의 아미노산 생체 이용성(bioavailability)은 모두 우수한 편이라고 알려져 있다 (NRC, 1994). 그럼에도 불구하고 카제인군의 경우 Lys-Arg 길항 작용 때문에 증체량이 저조하였다고 판단된다.

카제인을 섭취한 병아리, 쥐에서 Lys-Arg의 길항 작용으로 인해 사료 섭취량이 감소하고 성장률이 저하되는 현상은 여러 연구자들에 의해 보고된 바 있다(Aljawad et al., 1991; Wong, 1975; Sugano et al., 1984; 최인숙과 지규만, 1995). 길항 작용이 발생하는 이유는 Lys과 Arg 모두 dibasic 아미노산으로 이들은 장내 흡수 기전(y+군)이 같아 장벽 통과를 위한 경쟁

관계에 있다. 따라서 어느 한쪽 아미노산이 다른 것보다 양적으로 더 많으면 더 적게 들어있는 아미노산의 결핍이 초래될 수 있기 때문이다(Harper et al., 1970). 카제인에 Arg을 첨가해 주면 길항 작용이 완화되어 성장 저하가 완화되었다 (Czarnecki and Kritchevsky, 1979; Saeki and Kiriyama, 1990).

이와 동일한 이유로 쌀단백질에는 Arg이 Lys보다 두 배 이상 들어있어 카제인의 경우와 반대로 Lys의 결핍이 초래될 수 있다. Lys을 보충하였음에도 불구하고 실험 1과 2의 쌀단백질군이 저조한 성장률을 보인 이유는 본래 Arg이 많이 들어 있었기 때문에 그로 인한 길항 작용 때문이라고 생각된다. 대두단백질은 병아리의 요구량에 비해 부족하였던 함유황 아미노산을 첨가한 결과 증체량이 좋아졌다고 생각된다.

2. 카제인과 대두단백질이 병아리 혈액 콜레스테롤 농도에 미치는 영향

기대했던 대로 실험 1과 2에서 모두 카제인군의 혈액 콜레스테롤 농도가 대두단백질군에 비해 현저히 높았는데, 이런 현상은 많은 연구에서 보고되고 있다(Czarnecki and Kritchevsky, 1979; Carroll, 1982; Terpstra, 1983; Saeki and Kiriyama, 1990; 김현숙 등, 1995). 물론 카제인과 대두단백질이 혈액 콜레스테롤 농도에 전혀 영향을 미치지 않았다는 연구도 있다. Madani et al.(1998, 2000)은 Wistar 쥐 수컷에게 두 단백질 급원을 10~30% 수준으로 급여하였음에도 대두단백질의 혈액 콜레스테롤 저하 효과가 보이지 않았다. 이 연구자들은 실험 결과가 다른 연구들과 다르게 나왔음을 인정하면서도 그 이유를 명확하게 설명하지 못하고 있다.

대두단백질에 의한 혈액 콜레스테롤 농도 저하 요인으로 제시된 것 중 이소플라본이나 사포닌은 대두단백질(isolated soy protein) 제품에 이소플라본이 0.6~1.0 mg/g protein(Sacks et al., 2006), 사포닌이 0.44%(Sugano et al., 1988) 정도 들어 있다. 그러나 이들 성분에 의한 혈액 콜레스테롤 저하 가능성에 대해 많은 연구자들이 의문을 표하고 있다(Sacks et al., 2006). 한편, 단백질의 분해산물 중 소수성 펩티드 또는 불소화성 고분자 분획물들이 담즙산과 결합하여 스테로이드 물질을 분으로 체외 배설하여 혈중 콜레스테롤을 저하시킨다 (Nagata et al., 1982; Sugano et al., 1988)는 주장은 여전히 많은 연구자들에 의해 인용되고 있다. 이번 연구에서 분으로 배설되는 스테로이드 함량을 조사하지 않았으나 차후 연구에서 쌀- 및 옥수수단백질 등을 섭취한 동물에서 스테로이드의 분 배설 정도를 조사할 필요가 있다.

본 연구에서 관찰하고자 하는 것은 대두단백질의 혈중 콜

레스테롤 저하 원인 성분에 관한 것이 아니고, 대두단백질이 관련 독자적으로 혈중 콜레스테롤 농도를 저하시킬 수 있는 지 여부에 관한 것이다. 대두단백질이 동물의 혈액 콜레스테롤 농도를 저하시킨다는 주장이 성립되려면 실험 종료시 혈중 농도가 실험 시작 때보다 더 낮아지는 경향이라도 보여야 한다. 불행히도 많은 연구자들(본 연구 포함)이 실험 초기의 동물 혈액 농도를 측정하지 않고 있어 실험 기간 중 콜레스테롤의 농도 변화가 파악되지 않고 있다. 몇 개의 동물 실험(Aljawad et al., 1991; Carroll, 1978; Terpstra et al., 1983; West 등, 1989)에서 실험 초기와 실험 기간 중 단계별로 분석한 것을 종합해 보면 대두단백질군에서 실험 초기와 말기의 혈액 콜레스테롤 농도가 거의 변화하지 않고 있었다. 이렇게 대두단백질의 급여 동물에서 실험 초기 혈중 농도가 그대로 실험 종료까지 지속되고 있었는데 대조군(카제인)의 혈액 콜레스테롤 농도는 계속 증가하고 있었다. 이를 본 실험에 적용해 보면 대두단백질군과 같은 혈액 콜레스테롤 농도를 보인 쌀·옥수수단백질 및 어분군의 경우도 혈중 농도가 실험 기간 동안 변화하지 않았을 가능성을 생각해볼 수도 있다.

Nagata et al.(1981)은 합성 아미노산으로 카제인 및 대두단백질 조성과 완전히 동일하게 배합한 실험에서 대두단백질에 비해 카제인군에서 혈액 콜레스테롤의 현저한 증가를 보았다. 이 경우에는 어떤 펩티드의 영향도 완전히 배제되며, 혈중 콜레스테롤 농도의 차이는 순전히 아미노산 조성의 차이 때문이라고 결론 내리고 있다. 앞에서 지적한 바와 같이 카제인 사료는 동물의 혈액 콜레스테롤 농도를 현저히 높이는 특성을 갖고 있는데, 그 원인은 카제인 단백질에 과량으로 들어있는 Lys이 Arg에 대해 길항 작용을 일으키기 때문이라는 보고들이 많이 있다(Aljawad et al., 1991; Khosla et al., 1991). 본 연구에서 카제인군의 혈액 콜레스테롤 농도가 현저히 높아진 것도 역시 같은 이유 때문이라고 볼 수 있다.

카제인 사료에서 Lys에 의한 길항 작용을 방지하기 위해서는 Lys과 Arg의 요구량 비율 수준으로 Arg를 첨가해 주어야 한다(Harper et al., 1970). 김현숙 등(1995)이 Arg(1.5%)을 카제인 사료에 첨가하여 Lys/Arg 비율이 0.85가 되게 한 결과, 병아리의 혈액 콜레스테롤 함량이 대두단백질군과 완전히 비슷해지는 것을 보고한 바 있다.

Lys-Arg 길항 작용이 혈액 콜레스테롤 함량을 변화시키는 기전에 대해 이들 아미노산이 glucagon과 insulin 분비 비율에 미치는 영향 때문이라는 주장이 있다. Lys의 다량 섭취는 insulin 분비를 촉진하고, Arg의 섭취 증가는 glucagon의 분비를 촉진한다. Sugano et al.(1982)에 의하면 카제인을 섭취한 쥐에서 insulin 분비가 증가하였고, 카제인에 Arg를 여러 수

준으로 첨가할수록 glucagon 분비가 비례적으로 높아졌다. Chango et al.(1998)은 쥐에게 Lys/Arg 비율이 0.4~0.5인 lupin 사료를 급여하였을 때 카제인 군에 비해 혈액 glucagon이 증가하고, insulin/glucagon 비율이 감소하면서 혈액 콜레스테롤 함량도 저하하였다. 사람에서도 Arg를 첨가한 카제인을 섭취할 때 glucagon 분비 증가에 의해 혈액 insulin/glucagon 비율이 저하되었다(Sanchez et al., 1988). Arg에 의한 glucagon 분비 촉진에 protein kinase C가 관여한다는 보고(Bjaaland et al., 1988)도 있다. Insulin은 간에서 콜레스테롤 합성의 주요 효소인 HMG-CoA reductase 활성을 증가시키며, glucagon은 반대로 이 효소의 작용을 억제할 수 있다(Champe et al., 2005). Jaya and Kurup(1987)도 glucagon 투여가 쥐 간의 HMG-CoA reductase 활성을 억제하고, 간 lipoprotein의 혈액 유입을 감소시키며, 동시에 간에서 콜레스테롤의 담즙산 전환을 높여 혈액 콜레스테롤 함량이 저하됨을 보고하였다.

그러나 여전히 카제인을 섭취하여도 혈액 콜레스테롤이 증가하지 않는 실험 예가 있으며(Nagata et al., 1980; Mol et al., 1981; Madani et al., 1998), 이렇게 연구자에 따라 다른 실험 결과가 나오는 원인으로 다음의 몇 가지 요인을 생각해볼 수 있다.

첫째는 동물 종에 따라 Lys과 Arg의 요구량에 차이가 있다. Van Der Meer and Beynen(1987)은 동물 종에 따라 카제인과 대두단백질에 대한 혈액 콜레스테롤 반응이 크게 다를 것을 보고하였다. 성장 중인 쥐(rat)의 Lys, Arg 요구량은 각각 9.2%와 4.3%이며, mouse는 4.0:3.0, guinea pig 8.4:12.0(NRC, 1995) 등이다. 이렇게 실험 동물에 따라 두 아미노산의 요구량 비율이 달라지면 결국 카제인 사료에 대한 반응에서도 당연히 차이가 나타날 수밖에 없다.

둘째 요인은 실험 동물에 urea cycle의 존재 여부이다. Arg의 요구량은 urea cycle의 존재 여부에 따라 달라진다. 포유 동물은 urea cycle에서 Arg를 합성할 수 있기 때문에 사료로부터의 결핍을 어느 정도 완화할 수 있다(Gropper et al., 2005). 병아리는 쥐에 비해 Arg의 결핍에 더 예민하게 반응하는데(Nesheim, 1968) 조류는 단백질의 최종 분해산물로 uric acid를 배설하기 때문에 urea cycle이 존재하지 않아 Arg이 조류에서 필수 아미노산으로 되어 있다. 본 연구에서 카제인 사료에 Arg를 첨가해 주지 않았으면 병아리의 성장은 더 현저하게 지연되었을 것이며, 혈액 콜레스테롤 농도도 더 크게 증가하였을 수 있을 것이다.

세 번째로는 과잉의 Lys이 arginase 활성에 미치는 영향의 차이를 들 수 있다. Lys은 쥐 간 조직에서 arginase 활성을 억제하여 Arg의 활용을 도와주는데(Cittadini et al., 1964) 반해

병아리에서는 오히려 콩팥에서 arginase 작용을 촉진하여 Arg의 분해를 초래하여 결핍을 한 단계 더 심화시키는 역할을 한다(Jones et al., 1967; Nesheim, 1968)

이런 이유들로 쥐에서는 카제인의 Lys-Arg 길항 작용의 영향이 비교적 적게 나타날 수 있다. 그럼에도 불구하고 카제인을 섭취한 쥐의 성장률이 더 저조하거나 혈액 콜레스테롤 함량이 증가하는 현상(Aljawad et al., 1991; Fukui et al., 2002; Zhang and Beynen, 1993)이 보이는 것은 urea cycle에서 생산되는 Arg이 요구량에 비해 여전히 충분하지 않을 수 있다는 해석이 가능하다.

3. 쌀단백질, 옥수수단백질 및 어분이 혈액 콜레스테롤 농도에 미치는 효과

본 연구에서 쌀단백질군의 혈액 총콜레스테롤 함량이 카제인 군에 비해 유의하게 더 낮은 것은 Morita et al.(1996) 및 Sugano et al.(1984)의 보고와 일치한다. 그러나 Yoshida et al.(1990)은 쥐에서 쌀단백질과 카제인군의 혈청 콜레스테롤 수준이 같았다고 하였다. 쌀단백질군은 사료에 Lys를 보충하였음에도 불구하고 전체 실험군 중 Lys/Arg 비율이 가장 낮았다. 쌀단백질군의 혈액 콜레스테롤 농도가 낮았던 것은 본래 많이 들어있던 Arg으로 인해 glucagon의 분비가 증가할 수 있었기 때문이라고 판단된다(Jaya and Kurup, 1987).

옥수수단백질군은 여러 측정 항목에서 대두단백질군과 비슷하였는데, 다만 HDL-콜레스테롤 농도가 유의하게 높았다. 옥수수단백질군 사료의 Lys과 Arg 비율(0.86)이 대두단백질군(0.82)과 비슷한 수준으로 아미노산 균형에서 혈액 콜레스테롤 농도에 영향을 미칠 정도의 특징적인 것은 없어 보여 HDL-콜레스테롤 농도가 높아진 이유는 불확실하다.

어분군의 혈액 콜레스테롤 농도가 실험 1에서는 대두단백질 군과 비슷하였으나 실험 2에서는 대두 및 쌀단백질군 보다 유의하게($P<0.05$) 높아진 것은 매우 흥미롭다. Zhang and Beynen(1993)도 쥐에서 세 가지 종류(대구, 민어, 넙치)의 어분을 급여한 결과 혈액 콜레스테롤 함량이 카제인군에 비해 더 낮았지만 대두단백질군 보다는 유의하게 높게 나왔다. 이 연구자들은 섭취한 단백질의 아미노산 조성의 차이에 의해 혈액 콜레스테롤 함량이 달라진 것 같다고 보고 있다. 본 연구에서 어분군의 Lys/Arg 비율이 1.20으로 요구량 비율(0.85)에 비해 높기는 하나 병아리가 두 실험에서 가장 좋은 성장률을 보인 것을 고려하면 이 Lys/Arg 비율이 혈액 콜레스테롤에 절대적 영향을 미칠 정도는 아니라고 생각된다(실험 1). 그럼에도 불구하고 이 정도(1.20)의 비율에서 Arg 공급이 한계 수준이었을 수 있고, 거기에 사료에 첨가 급여한 콜레

스테롤(실험 2)이 계기가 되어 혈액 콜레스테롤 농도가 더 증가했을 가능성도 있다.

본 연구에 사용한 어분의 지방산과 콜레스테롤 함량 등은 측정하지 않았다. 이 어분처럼 단백질 함량이 높은 경우 일반적으로 조지방 함량이 5~10% 정도 될 수 있고(NRC, 1994), 어유의 n-3 지방산이 혈액 콜레스테롤 함량을 낮추는 효과는 잘 알려져 있다(Harris, 1989). 그러나 어유에는 상당량의 콜레스테롤이 함유되어 있을 수 있어(Chee et al., 1990; Yoshida et al., 1990) 이것이 본 실험 결과에 영향을 미쳤을 가능성도 배제할 수 없다. 어분 단백질 자체가 혈액 콜레스테롤 함량에 미치는 영향을 더 정확하게 확인하기 위해서는 정제도가 높은 순수한 어분 단백질을 사용하는 연구가 필요하다고 생각된다.

본 실험 결과, 카제인을 섭취한 동물은 대두단백질군에 비해 혈액 콜레스테롤 농도가 항상 현저히 높았으며, 대두단백질군의 혈중 농도는 다른 식물성 단백질군(쌀·옥수수단백질) 및 어분(실험 1)군과 차이가 없었다. 실험 2에서 콜레스테롤을 첨가 급여한 경우에도 혈액 콜레스테롤 농도의 상승 정도가 대두·쌀·옥수수단백질군에서 서로 비슷하였다. 이렇게 두 실험 모두 대두단백질군은 카제인을 제외한 다른 단백질군과 비슷한 결과를 보였다.

이렇게 카제인군에서만 혈중 콜레스테롤 농도가 현저히 높아지는 것은 카제인 단백질만의 독특한 아미노산 조성 때문이라고 볼 수 있다. Lys-Arg 길항 작용은 카제인 단백질만의 특징적인 현상이며, 다른 자연 상태의 일반 동·식물성 단백질에서는 좀처럼 보기 힘든 현상이다. 대부분의 동·식물성 단백질 식품에서 이 두 아미노산의 함량 비율(Lys/Arg)이 그렇게 높지 않(식품성분표, 2007)기 때문이다. 따라서 혈액 콜레스테롤 함량에 영향을 미칠 수 있는 아미노산 조성의 특징으로 볼 때 카제인은 결코 일반 동물성 단백질이나 동물성 식품을 대표할 수 없으며, 동물성 단백질 섭취가 혈액 콜레스테롤 함량을 높인다는 일반적인 주장(Carroll, 1982)은 타당한 근거가 없다고 생각된다.

결론적으로 대두단백질은 혈중 콜레스테롤 농도를 저하시키는 독자적 기능을 갖고 있지 않으며, 대두단백질 섭취 시 나타나는 일반적인 혈중 농도의 저하 현상은 카제인 군과의 비교에 의한 상대적인 결과에 불과하다고 판단된다.

적 요

대두단백질(ISP)이 혈액 콜레스테롤 농도에 미치는 영향을 확인하기 위하여, 카제인, 어분, 쌀단백질, 옥수수 단백질

(글루텐 밀) 등과 함께 이들을 각각 함유한 반정제(semi-purified)사료를 2주간 병아리에게 급여하였다. 병아리는 쥐에 비해 혈액 콜레스테롤에 예민하게 반응하며, 인체의 지질 실험 모델로 더 적합한 동물이다. 각 단백질 사료 마다 NRC 요구량을 기준하여 부족한 필수아미노산(lysine, arginine 등)을 첨가하였다. 모든 실험 사료는 강제 급여 방식으로 1일 3회 급여하여 아미노산을 제외한 모든 영양소의 섭취량을 동일하게 하였다. 실험 2에서는 모든 사료에 콜레스테롤을 0.3% 수준으로 첨가하여 급여하였다. 카제인군의 병아리 증체량이 두 실험 모두 가장 저조하였고($P < 0.05$), 대두단백질과 어분군의 성장률이 가장 좋았다. 카제인군은 실험 1, 2에서 혈액 총콜레스테롤, non-HDL 콜레스테롤, TG 함량이 유의하게 가장 높았고, 대두단백질 군은 다른 단백질군(쌀·옥수수단백질, 어분)과 대체로 비슷한 수준을 보였다. 어분군은 실험 2에서 혈액 콜레스테롤이 대두·쌀·옥수수단백질 군 보다 유의하게 더 높았다. 카제인군은 간 중량이 두 실험 모두 가장 무거웠고 간의 콜레스테롤 및 총지질 함량도 가장 많았다. 반면에 어분군은 콜레스테롤 함량을 제외하고 대두·쌀·옥수수단백질 군과 같은 수준을 보였다. 카제인군에서 나타난 고콜레스테롤혈증(hypercholesterolemia)은 전형적인 Lys-Arg 길항 작용에 의한 결과이며, 카제인을 섭취한 대부분의 동물에서 나타나는 현상이다. 반면에 대두단백질과 쌀단백질, 옥수수단백질 및 어분군의 혈중 콜레스테롤 함량이 비슷하게 나타나는 것은 사료 Lys/Arg 비율이 카제인만큼 심하게 높지 않기 때문이라고 생각된다. 결론적으로 대두단백질군의 저콜레스테롤 혈증(hypocholesterolemia)은 카제인에 비교할 때만 나타나는 상대적인 현상으로, 대두단백질 자체가 혈중 콜레스테롤을 저하시킬 수 있는 독자적인 기능을 갖고 있지 않다고 판단된다.

(색인어 : 혈액 콜레스테롤, 정제대두단백질, 카제인, 쌀단백질, 어분, 병아리)

사 사

본 연구는 고려대학교 교수 특별연구비 지원에 의해 수행되었다.

인용문헌

- Aljawad NS, Fryer EB, Fryer HC 1991 Effects of casein, soy, and whey proteins and amino acid supplementation on cholesterol metabolism in rats. *J Nutr Biochem* 2:150-155.
- Ayala I, Perez BG, Domenech G, Castells MT, Valdes M 2005 Use of the chicken as an experimental animal model in atherosclerosis. *Avian and Poult Biol Rev* 16:151-159.
- Bjaaland T, Hii CST, Jones PM, Howell SL 1988 Role of protein kinase C in arginine-induced glucagon secretion from isolated rat islets of Langerhans. *J Molec Endocrin* 1:105-110.
- Calvert GD, Blight L, Illman RJ, Topping DL, Potter JD 1981 A trial of the effects of soya-bean flour and soya-bean saponins on plasma lipids, faecal bile acids and neutral sterols in hypercholesterolemic men. *Br J Nutr* 45:277-281.
- Carroll KK 1978 The role of dietary protein in hypercholesterolemia and atherosclerosis. *Lipids* 13:360-365.
- Carroll KK 1982 Hypercholesterolemia and atherosclerosis: Effects of dietary protein. *Fed Proc* 41:2792-2796.
- Carroll KK 1991 Review of clinical studies on cholesterol-lowering response to soy protein. *Perspectives in Practice* 91: 820-827.
- Champe PC, Harvey RA, Ferrier DR 2005 Cholesterol and steroid biochemistry. Page 218 In: *Biochemistry*. Williams & Wilkins, Lippincott, Baltimore.
- Chandler R, Hooper S, Ismail H 1979 Antihypercholesterolemic studies with sterols: Comparison of rats and chicks as animal model. *Canad J Pharmac Sci* 14:15-20.
- Chango A, Villaume C, Bau HM, Schwertz A, Nicolas JP, Mejean L 1998 Effects of casein, sweet white lupin and sweet yellow lupin diet on cholesterol metabolism in rats. *J Sci Food Agric* 76:303-309.
- Chee KM, Gong J, Rees DMG, Meydani M, Siguel EN, Schaefer EJ 1990 Fatty acid content of marine oil capsules. *Lipids* 25:523-528.
- Cittadini D, Pietropaola C, De Cristofaro D, Caracciolo MD 1964 *In vivo* effect of l-lysine on rat liver arginase. *Nature* 203:643-644.
- Czarnecki S, Kritchevsky D 1979 The effect of dietary proteins on lipoprotein metabolism and atherosclerosis in rabbits. *J Am Oil Chem Soc* 56:388-398.
- Dewell A, Hollenbeck PLW, Hollenbeck CB 2006 Clinical review: A critical evaluation of the role of soy protein and isoflavone supplementation in the control of plasma chole-

- sterol concentrations. *J Clin Endoc & Metab* 91:772-780.
- FDA 1999 Food labeling: health claims: soy protein and coronary heart disease. HHS: Final rule: soy protein and coronary heart disease. *Fed Reg* 64:57700-57733.
- Folch J, Lees M, Sloane SGH 1957 A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues. *J Biol Chem* 266:497-509.
- Fukui K, Tachibana N, Wanezaki S, Tsuzaki S, Takamatsu K, Yamamoto T, Hashimoto U, Shimoda T 2002 Isoflavone-free soy protein prepared by column chromatography reduces plasma cholesterol in rats. *J Agric Food Chem* 50:5717-5721.
- Gropper S, Smith JL, Groff JL 2005 *Advanced Nutrition and Human Metabolism* 4th ed. Wadsworth.
- Harper AE, Benevenga NJ, Wohlhueter RM 1970 Effects of ingestion of disproportionate amounts of amino acids. *Physiol Rev* 50:428-558.
- Harris WS 1989 Fish oils and plasma lipid and lipoprotein metabolism in humans: a critical review. *J Lipid Res* 30:785-807.
- Jaya P, Kurup PA 1987 Mechanism of hypocholesterolemic action of glucagon. *J Biosc* 12:111-114.
- Jones JD, Petersburg SJ, Burnett PC 1967 The mechanism of the lysine-arginine antagonism in the chicken: Effect of lysine on digestion, kidney arginase, and liver transaminase. *J Nutr* 93:103-116.
- Khosla P, Samman S, Carroll KK 1991 Decreased receptor-mediated LDL catabolism in casein-fed rabbits precedes the increase in plasma cholesterol levels. *J Nutr Biochem* 2:203-209.
- Kritchevsky D 1979 Vegetable protein and atherosclerosis. *J Am Oil Chem Soc* 56:135-140.
- Kritchevsky D, Tepper SA, Klurfeld DM 1987 Dietary protein and atherosclerosis. *J Am Oil Chem Soc* 64:1167-1171.
- Leung PMB, Rogers QR, Harper AE 1968 Effect of amino acid imbalance in rats fed *ad libitum*, interval-fed, or forced-fed. *J Nutr* 95:474-481.
- Madani S, Lopez S, Blond JP, Prost J, Belleville J 1998 Highly purified soybean protein is not hypocholesterolemic in rats but stimulates cholesterol synthesis and excretion and reduces polyunsaturated fatty acid biosynthesis. *J Nutr* 128:1084-1091.
- Madani S, Prost J, Belleville J 2000 Dietary protein level and origin (casein and highly purified soybean protein) affect hepatic storage, plasma lipid transport, and antioxidative defense status in the rat. *Nutrition* 16:368-375.
- Mol MAE, Smet RC, Terpstra AHM, West CE 1981 Effect of dietary protein and cholesterol on cholesterol concentration and lipoprotein pattern in the serum of chickens. *J Nutr* 112:1029-1037.
- Morita T, Oh-hashii A, Kasaoka S, Ikai M, Kiriyaama S 1996 Rice protein isolates produced by the two different methods lower serum cholesterol concentration in rats compared with casein. *J Sci Food Agric* 71:415-424.
- Nagata Y, Imaizumi K, Sugano M 1980 Effects of soyabean protein and casein on serum cholesterol levels in rats. *Br J Nutr* 44:113-121.
- Nagata Y, Ishiwaki N, Sugano M 1982 Studies on the mechanism of antihyper-cholesterolemic action of soy protein and soy proteintype amino acid mixtures in relation to the casein counterparts in rats. *J Nutr* 112:1614-1625.
- Nagata Y, Tanaka K, Sugano M 1981 Further studies on the hypocholesterolemic effect of soyabean protein in rats. *Br J Nutr* 45:233-243.
- National Research Council 1994 *Nutrient Requirement of Poultry*. 9th rev ed., National Academy Press, Washington, D.C.
- National Research Council 1995 *Nutrient Requirement of Laboratory Animals*. 4th rev ed., National Academy Press, Washington, D.C.
- Nesheim MC 1968 Kidney arginase activity and lysine tolerance in strains of chickens selected for a high or low requirement of arginine. *J Nutr* 95:79-87.
- Potter JD, Topping DL, Oakenfull DG 1979 Soya, saponins and plasma cholesterol. *Lancet* 1:223.
- Qureshi AA, Burger WC, Prentice N, Bird HR, Sunde ML 1980 Regulation of lipid metabolism in chicken liver by dietary cereals. *J Nutr* 110:388-393.
- Sacks FM, Lichtenstein A, Horn LV, Harris W, Kris-Etherton P, Winston M 2006 Soy protein, isoflavones, and cardiovascular health: An american heart association science advisory for professionals from the nutrition committee. *Circulation* 113:1034-1044.
- Saeki S, Kiriyaama S 1990 Some evidence excluding the possibility that rat plasma cholesterol is regulated by the modi-

- fication of enterohepatic circulation of steroids. Pages 71-84, vol 16 In: Dietary Protein, Cholesterol Metabolism and Atherosclerosis. Sugano M & Beynen AC(ed.). Monographs on Atherosclerosis, Karger, Basel, Switzerland.
- Sanchez A, Hubbard RW, Smit E, Hilton GF 1988 Testing a mechanism of control in human cholesterol metabolism: regulation of arginine and glycine to insulin and glucagon. *Atherosclerosis* 71:87-92.
- Setchell KDR 1999 Dietary isoflavones: biological effects and relevance to human health. *J Nutr* 129:758S-767S.
- SigmaStat 3.5 for Windows 2006 Systat Software Inc., CA.
- Sugano M, Ishiwaki N, Nagata Y, Imaizumi K 1982 Effect of arginine and lysine addition to casein and soybean protein on serum lipids, apolipoproteins, insulin and glucagon in rats. *Br J Nutr* 48:211-221.
- Sugano M, Ishiwaki N, Nakashima K 1984 Dietary protein-dependent modification of serum cholesterol level in rats. *Ann Nutr Metab* 28:192-199.
- Sugano M, Yamada Y, Yoshida K, Hashimoto Y, Matsuo T, Kimoto M 1988 The hypocholesterolemic action of the undigested fraction of soyprotein in rats. *Atherosclerosis* 72:115-122.
- Terpstra AHM, Schutte JB, West CE 1983 Prevention of hypercholesterolemia in cholesterol-fed chickens by high-casein and high-soybean protein diets. *Atherosclerosis* 46:95-104.
- Van Der Meer R, Beynen AC 1987 Species-dependent responsiveness of serum cholesterol to dietary proteins. *JAOCS* 64:1171-1177.
- West CE, Spaaij CJK, Clous WM, Twisk HP, Goertz MPH, Hubbard RW, Kuyvenhoven MW, Van Der Meer R, Roszkowski WF, Sanchez A, Beynen AC 1989 Comparison of the hypocholesterolemic effects of dietary soybean protein with those of formaldehyde-treated casein in rabbits. *J Nutr* 119:843-856.
- Wong HY 1975 The cockerel as an animal model for atherosclerosis research. *Adv Exp Med Biol* 63:381-391.
- Yoshida A, Aoyama Y, Oda H, Okumura Y 1990 Characteristic effect of soy and rice protein on cholesterol metabolism in rats. Pages 1-10, vol 16 In: Dietary Proteins, Cholesterol Metabolism and Atherosclerosis. Sugano M & Beynen AC (ed). Monographs on Atherosclerosis. Karger, Basel, Switzerland.
- Zhang X, Beynen AC 1993 Lowering effect of dietary milk-whey protein v. casein on plasma and liver cholesterol concentrations in rats. *Br J Nutr* 70:139-146.
- 김현숙 지규만 최인숙 1995 사료 중 casein 단백질과 어유의 섭취가 병아리의 혈액 cholesterol 함량에 미치는 영향. *한국가금학회지* 22:43-54.
- 식품성분표 2007 농촌진흥청 (제6개정판).
- 최인숙 지규만 1995 Casein 단백질 및 대두단백질의 아미노산 균형이 병아리의 혈액 및 간 조직 내 cholesterol 함량에 미치는 영향. *한국축산학회지* 37:127-135.
- (접수: 2010. 3. 2, 수정: 2010. 3. 14, 채택: 2010. 3. 14)