

사료내 비태인과 에너지 수준이 산란계의 간지방과 콜레스테롤에 미치는 영향

박재홍 · 박수영 · 류경선[†]

전북대학교 동물자원과학과

Effects of Dietary Betaine and Energy Levels on Liver Fats and Cholesterol in Laying Hens

J. H. Park, S. Y. Park and K. S. Ryu[†]

Department of Animal Resources and Biotechnology, Chonbuk National University, Chonju 561-756 Korea

ABSTRACT Two experiments were conducted to examine the effects of betaine intake on blood and yolk cholesterol, abdominal fat, liver fat, tissue triglyceride(TG) and liver HMG-CoA reductase in laying hens. In Expt. 1, a total of 72 ISA-brown laying hens were individually assigned into four treatments from 18 to 21 weeks old. Corn-soybean meal based diet were fed with the addition of 0, 300, 600 and 1,200ppm. In Expt. 2, 72 ISA-brown laying hens were housed into individual cage to evaluate the effect of dietary betaine(0, 600ppm) and energy(ME, 2,800, 2,900kcal/kg) from 70 to 74 weeks. Serum total cholesterol, LDL and HDL-cholesterol and TG concentration in blood of hens fed betaine tended to increase compared to those of the control, but were not significantly different. However, betaine supplementation showed a statistically significant decrease in yolk cholesterol($P<0.05$). There was no significant difference in abdominal fat among the treatments. Liver fats and TG of birds fed betaine was decreased compared with control. Serum total cholesterol, LDL-cholesterol and triglyceride concentration were significantly increased by feeding a diet containing 600ppm betaine in Expt. 2($P<0.05$), but were not influenced by the dietary energy levels. Yolk cholesterol, abdominal fat and HMG-CoA reductase activity were affected neither by dietary energy nor betaine level.

(Key words: betaine, energy, fat, cholesterol, laying hens)

서 론

아미노산 유도체인 비태인은 척추동물에서 삼투압 조절체로서 역할을 하며, 메틸기 공급원으로서 작용하므로 메티오닌이나 콜린과 같은 메틸기 요구량을 부분적으로 절감할 수 있다(Kidd et al., 1997; Simon, 1999). 이전의 연구 결과에 의하면 비태인이 가축에서 생산성 또는 도체의 품질을 개선하였다는 보고와 그 반대의 연구 결과도 보고되어 왔으므로 비태인의 급여 효과는 그 의견이 다양하다(Matthews et al., 1998; 2001; Pettey et al., 2001). 한편 사료 섭취량을 제한했을 때 또는 사료내 에너지 함량이 부족했을 때 비태인 요구 수준은 증가한다고 하여 비태인이 에너지 대사에 영향을 미칠 수 있음을 시사하였다(Casarin et al., 1997; Cromwell et al.,

1999). 콕시듐증에 감염된 브로일러에서 비태인은 생산성을 개선하였는데(Kettunen et al., 2001; Klasing et al., 2001), 이는 첨가된 비태인이 에너지 섭취가 제한되거나 스트레스 조건 하에서 특별하게 유익할 수 있음을 가리킨다. 지방 대사에서 비태인의 중요한 관련성은 항지방간 역할에 있다. 콜린은 레시틴의 주요 성분이며, 항지방간 인자로서 지방 수송을 촉진하고, 또한 간 자체의 지방산 이용을 촉진함으로써 지방의 비정상적인 축적을 방지하는 역할을 하는데(Daily and Sachan, 1995), 사료의 비태인이나 메티오닌은 인지질을 생산하거나 콜린의 합성체인 dimethylethanolamine의 전구체를 공급함으로써 인하여 콜린을 부분적으로 대체할 수 있다. 메티오닌뿐만 아니라 비태인은 dimethylethanolamine에 메틸기를 공여함으로써 trimethylethanolamine(choline)의 형태로 전변

본 연구는 한국과학재단 특정기초연구(R01-2003-000-10134-0) 지원으로 수행되었음.

[†] To whom correspondence should be addressed : seon@chonbuk.ac.kr

시킨다. 이러한 콜린은 레시틴의 합성에 직접적으로 이용될 수 있다(Saunderson and Mackinlay, 1990). 따라서 콜린의 결핍은 쥐와 병아리(Lombardi et al., 1968) 그리고 산란계 (Schexnaider and Griffith, 1973; Wolford and Polin, 1975)에서 지방간을 유발시킨다. Yao and Vance(1989)에 의하면 콜린이 결핍된 식이를 섭취한 쥐의 간 미토콘드리아로부터 분리한 간세포를 배양한 결과, 낮은 수준의 lipoprotein을 분비하였으나, 비타민을 보충하여 배양하였을 때에는 이를 보정하였다고 하였다. 이들 연구는 비타민이 인지질을 형성하는 콜린의 기능을 대체함으로써 콜린을 절약할 수 있다는 가설을 뒷받침하고 있다. 또한 옥수수-대두박 위주의 기초사료에 메티오닌이나 비타민을 첨가시에 가슴육의 생산량은 증가하고, 복강 지방은 감소하는 것으로 나타났다(Virtanen and Rosi, 1995). 그러나 메티오닌은 브로일러의 도체 지방을 감소하지만, 비타민은 도체 지방에 차이가 없었다는 보고도 있다(Rostagno and Pack, 1996). 그러므로 비타민은 인지질 대사과정에는 관여하는 것으로 알려져 있지만, 가금에서 도체 지방을 감소 효과는 일관적이지 못하고, 아직까지 명백하게 정립되어 있지 않다. 따라서 본 연구는 비타민의 첨가가 에너지 수준을 달리하여 급여한 산란계의 지질 대사와 지방의 축적에 미치는 영향을 구명하고자 하였다.

재료 및 방법

1. 시험 설계

시험 1에서는 18주령 ISA-Brown 산란계를 이용하여 처리구당 18수씩 총 72수를 공시하여 4주간 사양시험을 실시하였다. 처리구는 CP 16%, ME 2,800kcal/kg의 기초사료에 비타민 0, 300, 600, 1,200ppm 수준으로 첨가·급여하였다(Table 1). 시험 2에서는 70주령 ISA-Brown 산란계를 이용하였고, 처리구당 18수씩 총 72수를 공시하여 4주간 사양시험을 실시하였다. 처리구는 사료내 에너지 2수준(2,800, 2,900kcal/kg)과 비타민 첨가 2수준(0, 600ppm)으로 2×2 요인분석 시험을 실시하였다. 시험사료의 성분과 조성은 Table 2에 제시하였다. 시험기간 동안 물과 사료는 자유채식 시켰으며, 점등시간을 1일 18시간이 되도록 하였다.

2. 조사항목

1) 혈액의 콜레스테롤 함량

혈청 중 총콜레스테롤과 TG, LDL, HDL-cholesterol 함량

Table 1. Formula and chemical composition of basal diet(Expt. 1)

Ingredients	(%)
Corn	64.46
Soybean meal	18.65
Corn gluten meal	4.13
Wheat bran	1.90
Limestone	9.41
Dicalcium phosphate	0.85
Salt	0.34
DL-methionine	0.06
Vitamin premix ¹	0.10
Mineral premix ²	0.10
Total	100.00
Calculated chemical composition	
ME(kcal/kg)	2,800
CP(%)	16.00
Methionine(%)	0.32
Lysine(%)	0.75
Ca(%)	3.70
Available P(%)	0.40
Choline(mg/kg)	1,177.7

¹ Provided per kilogram of diet: vit. A, 5,500IU; vit. D₃, 1,100IU; vit. E, 11IU; vit. B₁₂ 0.0066mg; riboflavin, 4.4mg; niacin, 44mg; pantothenic acid, 11mg (Ca-pantothenate, 11.96mg); choline, 190.96mg (choline chloride 220mg); menadione, 1.1mg (menadione sodium bisulfite complex, 3.33mg); folic acid, 0.55mg; pyridoxine, 2.2mg(pyridoxine hydrochloride, 2.67mg); biotin, 0.11mg; thiamin, 2.2mg(thiamine mononitrate, 2.40mg); ethoxyquin, 125mg.

² Provided in mg per kilogram of diet; MnSO₄, 120; ZnSO₄, 100; FeSO₄, 60; CuSO₄, 10; Ca(IO₃)₂, 0.46; CaCO₃, min: 150 max: 180.

을 자동생화학분석기(ADVIA 1650; JEOL, Japan)로 측정하였다.

2) 조직내 지질 함량

시험 종료시 처리구당 10수씩을 선별하여 간, 가슴육, 다리육을 채취하고 복강지방 함량을 측정하였다. 채취한 시료는 Folch et al.(1957)의 방법을 이용하여 지질 함량과 중성지방 함량을 측정하였다.

3) 복강 지방의 비율

Table 2. Formula and chemical composition of basal diet (Expt. 2)

Ingredients	MEn	
	2,800kcal/kg	2,900kcal/kg
Corn	64.46	67.71
Soybean meal	18.65	13.95
Corn gluten meal	4.13	7.30
Wheat bran	1.90	-
Limestone	9.41	9.42
DCP	0.85	0.90
Salt	0.34	0.34
L-lysine	-	0.11
DL-methionine	0.06	0.08
Vitamin premix ¹	0.10	0.10
Mineral premix ²	0.10	0.10
Total	100.00	100.00
Calculated chemical composition		
ME(kcal/kg)	2,800	2,900
CP(%)	16.00	16.00
Methionine(%)	0.32	0.32
Lysine(%)	0.75	0.75
Ca(%)	3.70	3.70
AP(%)	0.40	0.40
Choline(mg/kg)	1,177.7	1,053.6

¹ Provided per kilogram of diet: vit. A, 5,500IU; vit. D₃, 1,100IU; vit. E, 11IU; vit. B₁₂ 0.0066mg; riboflavin, 4.4mg; niacin, 44mg; pantothenic acid, 11mg (Ca-pantothenate, 11.96 mg); choline, 190.96mg (choline chloride 220mg); menadione, 1.1mg (menadione sodium bisulfite complex, 3.33mg); folic acid, 0.55mg; pyridoxine, 2.2mg(pyridoxine hydrochloride, 2.67mg); biotin, 0.11mg; thiamin, 2.2mg(thiamine mononitrate, 2.40mg); ethoxyquin, 125mg.

² Provided in mg per kilogram of diet; MnSO₄, 120; ZnSO₄, 100; FeSO₄, 60; CuSO₄, 10; Ca(IO₃)₂, 0.46; CaCO₃, min: 150 max: 180.

시험 종료시 각각의 처리구에서 체중이 비슷한 개체를 선별하고, 근위 주위와 복강 내부에 축적된 지방을 분리한 후 무게를 측정하여 생체중에 대한 비율로 계산하였다.

4) 난황의 콜레스테롤 함량

계란의 콜레스테롤 함량은 direct saponification 방법(Fenton and Sim, 1991)을 이용하였다. 난황 샘플(0.2g)은 33%

KOH 용액에 1시간 검화시킨 후 증류수와 hexane을 가하고, hexane층 1 μ L를 GC(GC-2010, Shimadzu, Japan)에 주입하였다. 내부 표준 물질은 5 α -cholestan을 이용하였으며, column은 VB-1(30m, 0.25mm \times 0.25m, Valco Instruments Co., Inc. USA)을 이용하였다.

5) 간조직의 Microsomal 3-hydroxy-3-methylglutaryl-CoA(HMG-CoA) Reductase 활성

우선 간조직에서 microsome을 분리하는 방법으로 간조직 1g을 0.1M triethanolamin, 0.02M EDTA, 2mM dithiothreitol로 구성된 ice-cold buffer(pH 7.0) 8mL를 가하여 균질화 시켰다. 이후 10,000g와 12,000g에서 10분간 원심분리한 다음 상층액을 취하여 100,000g에서 60분간 초고속 원심분리하였다. 원심분리로 얻어진 microsomal pellet은 단백질 함량을 측정하기 위하여 buffer 1mL로 균질화 하고, 단백질 정량 분석 키트(Protein quantification kit; Fluka, Japan)를 이용하여 microsome 단백질을 구하였다.

간으로부터 분리된 microsome의 HMG-CoA reductase 활성은 Hulcher and Oleson(1973)의 방법을 약간 변형하여 수행하였다. 150 μ M HMG-CoA와 2mM NADPH를 500 μ g microsome protein과 잘 혼합하고, 0.1M triethanolamin, 0.02M EDTA (pH 7.4) buffer로 1mL를 채운 다음 37 $^{\circ}$ C에서 30분 동안 반응시켰다. 이후 0.01M sodium arsenite 20 μ L를 가하고 상온에서 1분 이상 반응시킨 다음 2M citrate(pH 3.5), 3% Na-tungstate로 이루어진 buffer 100 μ L를 가하여 37 $^{\circ}$ C에서 10분간 반응시켰다. 반응물은 25,000g에서 15분 동안 원심분리한 후 상층액 1mL를 취하였다. 여기에 2M tris(pH 10.6) 200 μ L와 2M tris(pH 8.0)를 혼합하여 pH를 8.0으로 조절하고, 0.4M sodium arsenite를 섞어 실온에서 반응시킨 후 분광광도계용 cubette에 옮겼다. 다음으로 3mM 5,5-dithiobis 2-nitrobenzoic acid(DTNB), 0.1M triethanolamine, 0.2M EDTA(pH 7.4) buffer 20 μ L를 가하고 잘 혼합한 후 412nm에서 4분간 흡광도를 측정하였다.

3. 통계 분석

수집된 자료는 SAS package(1996)의 GLM procedure로 분산분석을 실시하였으며, 처리구간의 통계적인 차이는 Duncan's new multiple range test(Steel and Torrie, 1980)를 이용하였다.

결과 및 고찰

1. 혈중 콜레스테롤 및 난황 콜레스테롤

Table 3는 산란계 사료에 비타민을 수준별(0, 300, 600, 1,200ppm)로 첨가하여 급여시 혈액과 난황의 콜레스테롤 함량 변화를 조사하였다. 난황의 콜레스테롤 함량은 비타민 600과 1,200ppm 급여구가 대조구와 비타민 300ppm 급여구에 비하여 유의하게 감소하였다($P<0.05$). 혈중 총콜레스테롤, LDL-cholesterol 그리고 중성지방 함량은 비타민의 첨가 수준에 따라서 증가하는 경향을 보였으나, 처리구간에 유의적인 차이는 없었다. Table 4에서는 에너지 수준(2,800kcal/kg, 2,900kcal/kg)에 따른 비타민의 첨가가 혈중 콜레스테롤과 난황콜레스테롤에 미치는 영향을 조사하였다. 혈중 총콜레스

테롤은 에너지 수준이 2,900kcal/kg 급여구가 2,800kcal/kg 급여구에 비하여 증가하는 경향을 보였지만 통계적인 차이가 없었다. 그러나 비타민 600ppm 급여구는 대조구에 비하여 현저하게 증가하였다($P<0.05$). HDL-cholesterol 함량은 에너지 수준과 비타민 첨가에 영향을 받지 않았다. LDL-cholesterol 함량은 사료내 에너지 수준에 의하여 변화되지 않았지만, 비타민 600ppm 첨가구에서 대조구와 비교하여 유의적으로 증가하였다($P<0.05$). 또한 혈중 중성지방의 함량도 비타민 첨가구에서 대조구에 비하여 유의적으로 증가하였다($P<0.05$). 난황 콜레스테롤은 사료내 에너지와 비타민 수준에 영향을 받지 않았다.

Table 3. Blood cholesterol, triglyceride and yolk cholesterol as affected by different levels of dietary betaine in laying hen(Expt. 1)

Betaine (ppm)	Total cholesterol (mg/dL)	HDL-cholesterol (mg/dL)	LDL-cholesterol (mg/dL)	Triglyceride (mg/dL)	Yolk cholesterol (mg/g)
0	186.88	61.00	38.57	1,867	14.8 ^a
300	201.63	60.63	42.13	1,983	14.6 ^a
600	213.67	59.43	45.80	2,042	13.3 ^b
1,200	252.44	59.67	71.00	2,340	13.0 ^b
Pooled SE	17.56	2.14	7.09	110	0.25

^{a,b} Means within a column with no common superscripts differ significantly ($P<0.05$).

Table 4. Blood cholesterol and yolk cholesterol as affected by different levels of dietary betaine and energy in laying hen(Expt. 2)

Energy (kcal/kg)	Betaine (ppm)	Total cholesterol	HDL-cholesterol	LDL-cholesterol	Triglyceride	Yolk cholesterol (mg/g)
		----- (mg/dL) -----				
2,800	0	85.6	34.1	28.7	760	10.87
2,800	600	121.9	30.0	38.0	1,331	11.61
2,900	0	89.6	23.8	27.8	1,012	11.34
2,900	600	124.7	33.0	38.3	1,294	11.59
Main effect means						
Energy	2,800	103.8	32.5	33.4	1,046	11.24
	2,900	107.2	28.4	33.1	1,153	11.47
Betaine	0	87.6 ^b	29.0	28.3 ^b	886 ^b	11.11
	600	123.3 ^a	31.5	38.2 ^a	1,313 ^a	11.60
----- P-value -----						
Energy		0.7838	0.1935	0.9101	0.6066	0.4552
Betaine		0.0078	0.3651	0.0025	0.0480	0.1019
Energy×Betaine		0.9609	0.0227	0.8352	0.4891	0.4041

^{a,b} Means within a column with no common superscripts differ significantly ($P<0.05$).

Mattews et al.(1998)과 Overland et al.(1999)은 비태인이 혈중 콜레스테롤과 nonesterified fatty acid(NEFA) 농도에 영향을 미치지 않았다고 하였으나, Mattews et al.(2001)은 비태인의 급여가 육성돈의 혈중 콜레스테롤과 NEFA 함량을 증가시켰다고 하였다. 또한 Sugiyama et al.(1986)은 쥐에서 호모시스틴, 시스테인 그리고 3-methylthiopropionate와 같은 메티오닌 중간 대사물이 콜레스테롤을 감소시키는 반면, L-methionine, D-methionine, 콜린, 비태인과 같은 메틸기는 혈중 콜레스테롤을 증대하였다고 보고하여 본 시험의 결과와 유사하였다. 따라서 비태인은 혈장 콜레스테롤을 증가시키는 역할을 하는 것으로 나타났다.

2. 복강 지방, 조직내 중성 지방 및 HMG-CoA Reductase Activities

비태인의 첨가가 산란계의 복강 지방, 간 지방 및 조직내 중성 지방 함량에 미치는 영향을 Table 5에 나타내었다. 생체중에 대한 복강 지방의 비율(%)에 있어서는 비태인 600ppm 급여구가 4.205%로 대조구의 3.369%에 비하여 증가하는 경향을 보였으나 유의적인 차이는 없었다. 그러나 간지방 함량은 비태인의 급여 수준이 증가할수록 감소하여 비태인 1,200 ppm 급여구에서는 대조구와 비교하여 유의적인 차이를 나타내었다($P<0.05$). 또한 간의 중성 지방 함량에서도 비태인 급여구에서 현저하게 감소하였다($P<0.05$). 그러나 가슴육과 다리육의 중성지방 함량은 뚜렷한 경향을 나타내지 않았다. Saunderson and MacKinlay(1990)는 비태인은 브로일러의 가슴육의 단백질 함량을 증대시키고, 체지방 감소에 효과적이라고 하였다. 또한 육성돈에서도 비태인의 급여는 등지방 함량을 감소시키며, 저지방육 생산을 증가시킨다고 보고되어 왔다(Cadogan et al., 1993; Fernandez-Figares et al., 2002). 대부분의 *in vivo* 연구에서 비태인의 protective role은 제시되어

왔다. 쥐에 비태인을 투여하였을 때 고지방 식이로 인한 간의 지방 함량 증가는 완화되었으며, 또한 간 조직내 중성 지방은 비태인의 투여로 억제되었다(Harper et al., 1953). 쥐에서 간의 지방 침윤은 에탄올에 의하여 발생되지만, 비태인의 섭취로 억제되었으며, 이러한 원인은 S-adenosyl methionine의 증가에 기인한다고 하였다(Beckenhauer et al., 1993; Barak et al., 1994). Ghoshal et al.(1983)은 콜린과 메티오닌의 결핍이 간장에 중성 지방을 축적시키고, 간 지방을 증대한다고 하였다. 콜린은 인지질과 세포막의 합성에 관련이 있으며, 비태인은 간접적으로 S-adenosylmethionine을 경유하여 카르니틴을 합성하는데 메틸기를 공여하며, 카르니틴은 지방의 산화를 위해서 장쇄 지방산을 미토콘드리아로 이동시키는데 필요하다(Stryer, 1988). 따라서 메틸기가 부족함으로 인하여 야기되는 카르니틴의 결핍은 지방산의 산화를 감소시킨다(Stryer, 1988). 이와 같이 비태인은 메티오닌의 대체 역할로 카르니틴 합성에 영향을 미치고, 지방산의 산화적 이화작용을 자극함으로써 지질 대사에 작용하므로 도체 지방은 감소될 수 있는 가능성을 가진다(Schutte et al., 1997).

Table 6는 에너지 수준에 따른 비태인을 첨가시에 산란계의 복강지방 함량과 혈중 중성지방 및 간의 HMG-CoA reductase 활성을 비교하였다. 생체중에 대한 복강 지방의 비율(%)은 에너지 수준이 2,900kcal/kg 급여구가 2,800kcal/kg 급여구에 비해서 증가하는 경향을 보였고, 비태인 600ppm 첨가구가 무첨가구에 높은 수치를 나타냈으나 통계적인 차이는 없었다. 그리고 간의 HMG-CoA 환원효소의 활성에 있어서도 처리구간 유의적인 차이는 없었다. HMG-CoA reductase와 cholesterol acyltransferase(ACAT)는 콜레스테롤 대사의 조절에 있어서 중요한 역할을 한다는 것은 이미 잘 알려져 있다. 따라서 HMG-CoA reductase는 콜레스테롤 생합성 단계에서 가장 중요한 율속(조절)효소이기 때문에 HMG-CoA reductase

Table 5. Abdominal fat, liver fat and triglyceride as affected by different levels of dietary betaine in laying hen(Expt. 1)

Betaine (ppm)	Abdominal fat (%)	Liver fat	Triglyceride		
			Liver	Breast meat	Thigh meat
0	3.369	10.57 ^a	76.98 ^a	1.87	10.23
300	3.487	7.42 ^{ab}	44.64 ^b	1.22	15.29
600	4.205	7.36 ^{ab}	40.42 ^b	1.55	10.34
1,200	3.348	6.05 ^b	36.63 ^b	1.52	13.43
Pooled SE	0.174	0.60	5.32	0.27	1.71

^{a,b} Means within a column with no common superscripts differ significantly($P<0.05$).

Table 6. Abdominal fat, triglyceride and HMG-CoA reductase as affected by dietary betaine and energy level in laying hen(Expt. 2)

Energy (kcal/kg)	Betaine (ppm)	Abdominal fat (%)	HMG-CoA reductase activities (nmoles/min/mg microsomal protein)
2,800	0	3.52	157.7
2,800	600	3.64	168.2
2,900	0	4.26	157.2
2,900	600	3.90	178.8
Main effects means			
Energy	2,800	3.58	163.0
	2,900	4.08	168.0
Betaine	0	3.89	157.5
	600	3.77	173.5
----- P-value -----			
Energy		0.2504	0.4552
Betaine		0.7764	0.1019
Energy×Betaine		0.5746	0.4041

^{ab} Means within a column with no common superscripts differ significantly ($P < 0.05$).

inhibitor의 투여는 고콜레스테롤 혈증(hypercholesterolemia)와 동맥경화증(atherosclerosis)에 효과적이다(Bocan et al., 1998; Hay et al., 1999). 그리고 Modola et al.(1992)에 의하면 L-carnitine은 쥐의 간세포에서 HMG-CoA reductase 활성 억제를 통해 콜레스테롤 대사에 영향을 준다고 보고하였다. 그러므로 비태인이 L-carnitine 합성에 관여되므로 HMG-CoA reductase 효소의 생성에도 영향을 미칠 수 있다는 것을 가정할 수 있다. 그러나 본 시험의 결과, 비태인의 급여는 산란계의 HMG-CoA reductase 활성에 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다. 이러한 원인은 체내에서 동적 평형을 이루려는 생리적 기작에 근거할 것으로 사료된다.

적 요

비태인의 급여가 산란계의 지질 대사에 미치는 영향을 구명하기 위하여 혈액의 성상, 복강 지방과 간 지방 함량, 난황의 콜레스테롤 함량, 조식내 중성 지방 함량 그리고 간 조직의 HMG-CoA reductase activity를 조사하기 위하여 2차례의 사양시험을 실시하였다. 시험 1에서는 18주령 ISA-Brown 산란계를 이용하여 처리구당 18수씩 총 72수를 공시하여 4주간 사양시험을 실시하였다. 처리구는 CP 16%, ME 2,800kcal/kg의 기초사료에 비태인 0, 300, 600, 1,200ppm 수준으로 첨가

급여하였다. 시험 2에서는 70주령 ISA-Brown 산란계를 공시하여 처리구당 18수씩 총 72수를 공시하여 4주간 사양시험을 실시하였다. 처리구는 사료내 에너지 2수준(2,800, 2,900 kcal/kg)과 비태인 2수준(0, 600ppm)으로 2×2 요인분석 시험을 실시하였다. 본 시험의 결과, 난황의 콜레스테롤 함량에서는 비태인 600, 1,200ppm 첨가구가 대조구와 비태인 300ppm 첨가구에 비하여 유의하게 감소하였다($P < 0.05$). 혈중 total cholesterol, LDL-cholesterol 그리고 중성지방 함량은 비태인의 첨가 수준에 따라서 그 수치도 증가하는 경향을 보였으나 유의적인 차이는 없었다(시험 1). 에너지 수준(2,800 kcal/kg, 2,900kcal/kg)에 따른 비태인의 첨가 효과를 조사한 결과, 혈중 total cholesterol, LDL 및 중성 지방 함량은 에너지 수준에서는 차이가 없었으나 비태인 600ppm 첨가구는 무첨가구에 비하여 현저하게 증가하였다($P < 0.05$). 그러나 난황 콜레스테롤 함량에서는 사료내 에너지와 비태인 수준에 영향을 받지 않았다(시험 2). 총 2회의 시험에서 생체중에 대한 복강지방의 비율(%)은 일관적인 결과를 나타내지 못하였으며, 간의 총지질 함량은 비태인의 급여 수준이 증가할수록 감소하여 비태인 1,200ppm 급여구에서는 대조구와 비교하여 유의적인 차이를 나타내었다. 또한 간의 중성 지방 함량에 있어서도 비태인 급여구에서 유의하게 감소하였다($P < 0.05$). 한편, 간 조직의 HMG-CoA 환원 효소의 활성에 있어서는 처리구간 유의적인 차이가 없었다.

(색인어 : 베타인, 에너지, 간지방, 콜레스테롤, 산란계)

인용문헌

- Barak AJ, Beckenhauer HC, Tuma DJ 1994 S-adenosylmethionine generation and prevention of alcoholic fatty liver by betaine. *Alcohol* 11:501-503.
- Beckenhauer HC, Barak AJ, Tuma DJ 1993 Relationship of administration dietary levels of betaine to hepatic S-adenosylmethionine and triglyceride. *Hepatology* 18:254.
- Bocan TM, Mueller SB, Brown EQ, Lee P, Bocan MJ, Rea T, Pape ME 1998 HMG-CoA reductase and ACAT inhibitors act synergistically to lower plasma cholesterol and limit atherosclerotic lesion development in the cholesterol-fed rabbit. *Atherosclerosis* 139:21-30.
- Cadogan DJ, Campbell RG, Harrison D, Edwards AC 1993 The effects of betaine on the growth performance and carcass characteristics of female pigs. In: Batterham, E.S. (Ed.), *Manipulating Pig Production IV*. Australasian Pig Science Association, Attwood Victoria, Australia, pp. 219.
- Casarin A, Forat M, Zabarar-Krick BJ 1997 Interrelationships between betaine (Betafin-BCR) and level of feed intake on the performance parameters and carcass characteristics of growing-finishing pigs. *J Anim Sci* 75(Suppl 1):75 (Abstr).
- Cromwell GL, Lindemann MD, Randolph JR, Monegue HJ, Laurent KM, Parker GR 1999 Efficacy of betaine as a carcass modifier in finishing pigs fed normal and reduced energy diets. *J Anim Sci* 77(Suppl 1):179 (Abstr).
- Daily JW, Sachan DS 1995 Choline supplementation alters carnitine homeostasis in humans and guinea pigs. *J Nutr* 125: 1938-1944.
- De Ridder JJ, Van Dam K 1975 Control of choline oxidation by rat-liver mitochondria. *Biochim Biophys Acta* 408: 112-122.
- Fenton M, Sim JS 1991 Determination of egg yolk cholesterol content by on-column capillary gas chromatography. *J Chromatography* 540:323-329.
- Fernandez-Figares I, Wray-Cahen D, Steele NC, Campbell RG, Hall DD, Virtanen E 2002 Effect of dietary betaine on nutrient utilization and partitioning in the young growing feed-restricted pig. *J Anim Sci* 80:421-428.
- Folch J, Lees M, Sloane-Stanley GH 1957 A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues. *J Biol Chem* 226:497-509.
- Ghoshal AK, Ahluwalia M, Farber E 1983 The rapid induction of liver cell death in rats fed a choline-deficient methionine-low diet. *Am J Pathol* 113:309-314.
- Hay JW, Yu WM, Ashraf T 1999 Pharmacoeconomics of lipid-lowering agents for primary and secondary prevention of coronary artery disease. *Pharmacoeconomics* 15:47-74.
- Harper AE, Monson WJ, Benton DA, Elvehjem CA 1953 The influence of protein and certain amino acids, particularly threonine, on the disposition of fat in the liver of the rats. *J Nutrition* 50:383.
- Hulcher FH, Oleson WH 1973 Simplified spectrophotometric assay for microsomal 3-hydroxy-3-methylglutaryl CoA reductase by measurement of coenzyme A. *J Lipid Res* 14: 625-631.
- Kettunen H, Peuranen S, Tiihonen K 2001 Betaine aids in the osmoregulation of duodenal epithelium of broiler chicks, and affects the movement of water across the intestinal epithelium *in vitro*. *Comp Biochem Physiol A* 129:595-603.
- Kidd MT, Ferket PR, Garlich JD 1997 Nutritional and osmoregulatory functions of betaine. *World Poul Sci* 53: 125-139.
- Klasing KC, Adler KL, Calvert CC, Remus JC 2001 Effect of dietary betaine on intestinal leukocyte numbers, osmolality, and morphology during an *Eimeria acervulina* challenge. *J Anim Sci* 79(Suppl 1):170. (Abstr.)
- Matthews JO, Southern LL, Pontif JE, Higbie AD, Bidner TD 1998 Interactive effects of betaine, crude protein, and net energy in finishing pigs. *J Anim Sci* 76:2444-2455.
- Matthews JO, Southern LL, Higbie AD, Persica MA, Bidner TD 2001 Effects of betaine on growth, carcass characteristics, pork quality, and plasma metabolites of finishing pigs. *J Anim Sci* 79:722-728.
- Mondola P, Santillo M, De Mercato R, Santangelo F 1992 The effect of L-carnitine on cholesterol metabolism in rat (*Rattus bubalus*) hepatocyte cells. *Int J Biochem* 24:1047-1050.
- Overland M, Rorvik KA, Skrede A 1999 Effect of trimethylamine oxide and betaine in swine diets on growth performance, carcass characteristics, nutrient digestibility, and sensory quality of pork. *J Anim Sci* 77:2143-2153.
- Petty LA, Cromwell GL, Lindemann MD, Randolph JH, Mo-

- negue HJ, Laurent KM, Parker R, Coffey RD 2001 Efficacy of betaine as a carcass modifier in finishing pigs fed normal and low protein diets supplemented with amino acids. *J Anim Sci* 79(Suppl 1):183 (Abstr).
- SAS Institute 1996 SAS/STAT[®] Guide Version 6.12. SAS Institute Inc. Cary NC.
- Saunderson CL, MacKinlay J 1990 Changes in body-weight, composition and hepatic enzyme activities in response to dietary methionine, betaine and choline levels in growing chicks. *British Journal of Nutrition* 63:339-349.
- Schexnaider R, Griffith M 1973 Liver fat and egg production of laying hens as influenced by choline and other nutrients. *Poultry Sci* 52:1188-1194.
- Schutte JB, De Jong J, Smink W, Pack M 1997 Replacement value of betaine for DL-methionine in male broiler chicks. *Poultry Sci* 76:321-325.
- Simon J 1999 Choline, betaine and methionine interactions in chickens, pigs and fish including crustaceans. *World's Poultry Sci* 55:353-374.
- Steel RGD, Torrie JH 1980 Principles and procedure of statistics. McGraw Hill New York.
- Sugiyama K, Akai H, Muramatsu K 1986 Effects of methionine and related compounds on plasma cholesterol level in rats fed a high cholesterol diet. *J Nutr Sci Vitaminol* 32:537-549.
- Stryer L 1988 Biochemistry. 3rd Ed Freeman, New York pp.935.
- Yao Z, Vance DE 1989 Head group specificity in the requirement of phosphatidylcholine biosynthesis for very low density lipoprotein secretion from cultured hepatocytes. *Journal of Biological Chemistry* 264:11373-11380.
- Wolford JH, Polin D 1975 Effect of inositol, lecithin, vitamins (B₁₂ with choline and E), and iodinated casein on induced fatty liver-hemorrhagic syndrome in laying chickens. *Poultry Sci* 54:981-991.