

산란생산성과 인 이용성에 대한 Microbial Phytase의 첨가 효과 II. 무기태인 수준이 다르고 칼슘수준이 높은 사료에 Microbial Phytase 첨가가 산란성 및 인 이용성에 미치는 영향

김상호 · 유동조 · 이상진 · 강보석 · 서육석 · 최철환 · 이원준¹ · 류경선²
축산기술연구소 대전지소, ¹대성미생물연구소, ²전북대학교 동물자원과학과

Efficacy of Supplemental Microbial Phytase on Laying Performance and Phosphorus Utilization II. Effect of Microbial Phytase at Different Phosphorus Levels and High Calcium Content on Laying Performance and Phosphorus Utilization

S. H. Kim, D. J. Yu, S. J. Lee, B. S. Kang, O. S. Suh, C. H. Choi,
W. J. Lee¹ and K. S. Ryu²

Daejeon Branch, National Livestock Research Institute, 253 Gyesan-dong, Yusung-gu, Daejeon, Korea 305-365

¹ Daesung Microbiological Labs, 820-8, Yeoksam-dong, Kangnam-gu, Seoul, Korea 135-080

² Department of Animal Resource and Biotechnology, Chonbuk National University, Chonju, Korea 561-756

ABSTRACT: Present study was conducted to investigate effects of microbial phytase in laying hen diets on utilization of non-phytate phosphorus (NPP) whose levels were adjusted to be adequate or lower than that of NRC requirements. Birds of control group were fed a diet containing 0.275% NPP and 3.4% Ca, satisfying the NRC (1994) feeding standard. birds on T1, T2 and T3 were allowed to eat diets containing NPP at 100, 80 and 60%, respectively, of Control group, and 4.0% Ca level along with a microbial phytase added at a level of 300 DPU. Three hundred and sixty, ISA Brown layers, 23-week-old, divided into four treatment groups with three replications per treatment and 30 layers per replication were fed the diets for 12 weeks. Levels of feed intake were not different among the groups. The egg mass/feed intake ratio appeared better in T2 group by about 8%, though without a statistical significance, compared to that of control. Egg production rate tended to be improved over the control group by feeding the 100% (T1) and 80% (T2) NPP diets added with phytase, with a significant difference for T2 ($p<0.05$). Mean egg weight and egg shell quality, measured by breaking strength and thickness of the egg shell, of the T2 group tended to show numerically better, without a significance, than those of control. Furthermore, birds of the T2 group showed higher calcium and phosphorus contents in tibia by about 9% ($p<0.05$) than the control. Overall performances of birds in T1 appeared better than those of control, but tended to be lower than those of the T2. The birds in T3 performed similar to the those of the other dietary groups except the relatively low tibia calcium level. In conclusion, the results of this study suggest that supplementation of microbial phytase at a level of 300 DPU was effective to spare about 20% of NPP in laying hen diets without any adverse effects on production performances and bone quality.

(Key words : microbial phytase, non-phytate phosphorus, laying hen, egg shell quality, tibia)

서론

Phytate는 식물성 사료인 곡류, 두과, 종실사료내 인의 주요저장형태로서 (Ravindran 등, 1995), 단위동물에서 phytate 인 이용성은 극히 빈약하다. Nelson (1976)은 옥수수과 밀을

주원료로 하는 사료의 phytate 인의 가수분해는 각각 0%와 8%수준이라고 하였다. 또 다른 연구에서는 급여되는 phytate의 60%이상까지 이용된다는 보고가 있지만 (Temperton과 Cassidy, 1964; Edwards, 1983). phytate 인의 분해와 축적은 phytate의 형태와 동물의 광물질 및 비타민 D의 영양상태에 따라 차이가 많다. 이러한 요인들에 의하여

phytate 인의 생체 이용성이 좌우되는데, Ballam 등 (1985)은 고칼슘수준의 사료는 쥐에서 phytate P의 가수분해를 감소시킨다고 하였다. 반면에 칼슘수준을 낮추었을 때 phytate의 이용성은 개선되었다 (Mohammed 등, 1991).

Phytate P의 이용성을 개선하기 위하여 상용되는 것이 microbial phytase이다. Microbial phytase는 phytate P의 가수분해를 촉진하여 이용성을 개선시키는데, 무기태인 결감효과 및 분내 인 배설량을 감소시키는 효과가 있는 것으로 알려져 있다. 이러한 microbial phytase와 mucosal phytase의 활성에 가장 큰 영향을 미치는 인자가 칼슘이다 (Bahndari, 1980; Wise, 1983). Qian 등 (1997)은 Ca과 P의 비율이 커질수록 microbial phytase의 효과는 감소한다고 하였다. 그 이유는 phytate 인의 이용은 사료내 칼슘과 인의 수준에 영향을 받고 (Edwards와 Veltmann, 1983), 잉여 칼슘이 phytate와 결합하여 불용성이 되어 phytase의 접근을 제한하며, 또 잉여 칼슘이 효소의 작용부위에 경쟁하면서 phytase의 활동을 직접적으로 방해하기 때문이다 (Wise, 1983; Pointillart 등, 1985). 그러므로 microbial phytase의 정상적인 작용을 위해서는 적정 칼슘수준 유지가 강조되고 있다.

한편 이 등 (1997)은 산란계에 고칼슘수준 급여시 난각질이 개선되었으며, 산란성은 약간 증가한다고 보고하였다. 이는 산란계에 있어서 고칼슘수준이 가능하고 경제성도 있는 것을 의미한다. 지금까지 보고된 공판이 유래 phytase의 경우 그 작용이 칼슘수준과 반비례하는 것으로 나타났는데, 그러한 가설은 미생물의 종류에 따라 생산되는 phytase의 성질이 다른 것을 감안할 때 매우 위험할 수 있다.

따라서, 본 연구의 목적은 세균 유래 phytase를 인의 함량이 다르고 칼슘수준이 높은 산란사료에 첨가했을 때 인 이용성 및 생산성에 대한 영향을 구명하고자 실시하였다.

재료 및 방법

1. 시험설계

본 연구는 23주령 ISA-Brown 산란계 360수를 이용하여 축산기술연구소 대전지소 시험계사에서 12주간 사양시험을 실시하였다. 처리내용은 사료내 non-phytate P의 수준을 NRC (1994) 권장량수준인 0.275% (C, T1)와 80% 수준인 0.220% (T2), 60% 수준인 0.165% (T3)로 하였다. 칼슘은 대조구를 3.4%로 하고 phytase 첨가구는 모두 4.0%로 하였다. 첨가된 phytase는 Transphos[®] 제품이었으며 첨가수준은 대조구 (C)를 제외하고 T1, T2, T3 모두 사료 kg당 300DPU로 하였다. 공시계의 시험구배치는 처리별 3반복으로 반복당

30수씩 배치하였다.

2. 시험사료

산란계에 급여한 기초사료의 비율 및 화학적 조성분은 Table 1에서 보는 바와 같다. 대조구사료 (C)의 영양소 함량을 보면 대사에너지가 2,800kcal/kg이며 조단백질은 16%, 칼슘함량은 3.4%였다. Phytase 첨가구의 기초사료는 대사에너지와 단백질 함량은 대조구사료와 동일하지만 칼슘수준은 4.0%로 하였다. Phytase 첨가구의 무기태 인 수준은 tricalcium phosphate (TCP)로 조정하였는데 C와 T1에 0.93%, T2와 T3에 각각 0.62, 0.31%의 수준으로 첨가하였다. TCP의 첨가량변화에 따른 칼슘함량의 차이는 석회석으로 조정하였다.

3. 사양관리

시험계사는 개방식 계사였으며 공시계는 니플이 설치된 1수용 3단 케이지에서 사육되었다. 사료는 전기간 자유 채식

Table 1. Chemical composition of basal diet

Ingredients	Conventional diet (%)	Experimental diet (%)
Com	68.33	67.86
Soybean meal (44%)	17.83	13.61
Corn gluten meal (60%)	3.60	6.55
Tricalcium phosphate	0.93	0.97
Limestone	8.40	10.02
DL-Methionine (50%)	0.09	0.05
L-Lysine (80%)	0.08	0.19
Vit-min mixtures ¹	0.50	0.50
Salt	0.25	0.25
Chemical composition ²		
ME, kcal/kg diet	2,800	2,800
Crude protein, %	16.00	16.00
Ca, %	3.4	4.0
Non phytate phosphorus, %	0.275	0.275
Methionine, %	0.76	0.76
Lysine, %	0.33	0.33

¹ The amount contained per kg mixture : Vit. A 1,600,000IU, Vit. D₃ 300,000IU, Vit. E 800IU, Vit. K₃ 132mg, Vit. B₂ 1,000mg, Vit. B₁₂ 1,200mcg, niacin 2,000mg, pantothenic acid 800mg, folic acid 60mg, choline chloride 35,000mg, dl-methionine 6,000mg, iron 4,000mg, copper 500mg, manganese 12,000mg, zinc 9,000mg, cobalt 100mg, BHT 6,000mg, iodide 250mg.

² Calculated values.

하였으며, 점등시간은 23주령에 14시간부터 시작하여 매주 15분씩 점증하였으며 35주령부터 17시간으로 고정하였다.

4. 조사항목 및 조사방법

산란수는 매일 오후 3시에 조사하였으며, 정상란과 기형란으로 분류하였다. 산란율은 정상란과 기형란을 합하여 계산하였으며, 평균난중은 정상란만 고려하여 구하였고 1일산란량은 산란율과 평균난중을 곱하여 계산하였다. 사료섭취량 조사는 2주간격으로 실시하였으며 수당 사료섭취량과 사료요구율로 표시하였다.

계란의 내부품질과 난각질은 32주령에 측정하였는데 반복당 5개씩 수집하여 당일 측정하였다. 계란 내부품질은 TSS 난질측정기 (QCM, England)를 이용하여 Haugh unit와 yolk color로서 표시하였으며, 난각질은 난각강도계와 난각두께측정기 (FHK, Japan)로 측정하여 나타내었다.

대사시험은 32주령에 실시하였는데 처리당 6수씩 선발하여 대사케이지로 옮기고 2일간 예비시험 기간을 거친 후 3일동안 실시하였다. 사료섭취량과 계분배설량은 매일 조사하였고 수집된 계분은 충분히 섞은 후 열풍건조기로 60℃ 상태에서 3일간 건조 후 분쇄하여 분석하였다. 시험사료와 계분의 일반성분은 AOAC (1995)방법으로 분석하였으며, Ca은 원자흡광도계 (atomic absorption spectrophotometry)로 P은 molybdovanadate로 발색한 후 비색계 (Spectrophotometry)를 이용하여 분석하였다. 영양소 축적률은 사료섭취량과 영양소이용률을 이용하여 계산하였다.

대사시험이 종료된 후 각 개체의 경골부위를 채취하여 근육과 인대 등을 제거하고 105℃에서 24시간 건조 후 에테르로 2일간 탈지한 후 회분과 Ca, P을 분석하였다.

5. 통계분석

수집된 자료에 대한 통계분석은 SAS package (SAS Institute, 1996)를 이용하여 분산분석을 실시하였으며 유의성 검정은 Duncan's new multiple range test를 실시하였으며 신뢰수준은 95%수준으로 하였다.

결과 및 고찰

1. 산란성적, 사료이용성 및 계란 품질

산란성적 및 사료이용성은 Table 2에서와 같다. 산란율은 T2가 가장 높은 것으로 나타났으며 T3는 대조구와 비슷한 결과를 나타내었다 ($P < 0.05$). 난중과 산란량은 처리간에 뚜렷한 차이를 보이지 않았으며, 수당 사료섭취량은 유의한 차이를 보이지 않았으나 phytase 첨가구가 약간 적게 섭취한 것으로 나타났다. 사료요구율도 처리간 유의적인 차이는 없었지만 phytase처리구에서 개선되는 경향을 나타내었다.

Um과 Paik (1999)은 무기태 인의 수준이 낮은 사료에 microbial phytase 첨가시 phytate 인의 이용성이 개선되어 산란율과 난중이 관행급여구와 차이가 없다고 하여 본 연구 결과와 일치하는 보고를 하였다. Mohammed 등 (1991)과 Ballam 등 (1985)은 phytate 인의 가수분해는 칼슘과 유효인

Table 2. Effect of supplemental microbial phytase on laying performance, feed efficiency, and quality of egg interior and of eggshell in laying hens¹

	C	T1	T2	T3	SEM
Productivities					
Egg production (%)	88.6 ^b	91.2 ^{ab}	93.2 ^a	89.5 ^b	3.01
Egg weight (g)	61.5	62.5	61.8	61.8	0.62
Egg mass (g/d)	54.5	57.0	57.6	55.3	2.31
Feed intake (g/d/hen)	123.2	123.4	120.0	120.1	24.3
Feed conversion	2.26	2.17	2.08	2.17	2.17
Egg qualities					
Eggshell breaking strength (kg/cm ²)	3.90	4.43	4.17	3.99	0.07
Eggshell thickness (μm)	390	412	386	389	79.7
Haugh unit	93.9	96.5	93.1	97.4	4.68
Yolk color	9.33	10.33	9.67	9.67	0.36

^{a,b} Means within a row without common letters are significantly different at $P < 0.05$ by Duncan's new multiple range test.

¹ C, conventional diet; T1, 100% non-phytate P+phytase; T2, 80% NPN+phytase and T3, 60% NPN+phytase.

의 농도와 밀접한 관계가 있으며 칼슘수준을 낮추었을 때 phytate 인의 분해가 자극된다고 하였다. Bhandari (1980)와 Wise (1983)은 phytase의 작용에 가장 많은 영향을 미치는 것이 칼슘이라고 하였다. Qian 등 (1997)은 칼슘의 수준이 높을수록 phytase의 작용이 감소하여 부정적인 효과가 있다고 하였으며, 칼슘과 인의 비율이 작을수록 효과가 크다고 하였다.

기존의 연구 (Um과 Paik, 1999)에서 곰팡이 유래 phytase는 사료의 칼슘수준에 의한 영향을 받지 않았으나, 본 연구에서는 칼슘수준을 증가하여도 phytate 인의 이용성을 개선시키는 microbial phytase의 효과가 여전한 것으로 나타났다. 한편 이 등 (1997)은 오전·오후 분리급여시 칼슘수준을 8% 이상 증가시켜도 산란생산성에는 문제가 되지 않는다고 하였다. 또 이 경우 칼슘수준이 증가하면서 사료비가 감소하기 때문에 경제성이 개선되는 효과가 있다고 하였는데 본 연구에서도 비슷한 결과를 보였다.

난각질과 계란의 품질은 Table 2에서 보는 바와 같다. 난각 강도는 첨가구가 약간 개선되는 경향을 보였으나 처리간 통계적 유의성은 인정되지 않았으며, 난각두께, Haugh unit, 난황색도 처리간에 차이가 없었다. Um과 Paik (1999)의 결과에서 비중, 난각강도, Haugh unit가 관행급여구와 차이가 없었는데 본 연구에서도 동일한 결과를 나타내었다.

이상의 결과에서 공시된 microbial phytase는 칼슘수준이 증가하더라도 그 작용에 영향이 없는 것으로 판단된다.

2. 영양소 축적량 및 배설량

대사시험에서의 영양소 축적량과 배설량은 Table 3에서 보는 바와 같다. 건물의 축적량 (소화율)은 phytase의 첨가량이 높을수록 더 증가하는 경향을 보였으나 통계적인 유의성은 없었다. 질소와 회분의 축적은 일정한 경향을 보이지 않았다. 칼슘과 인의 축적량은 대조구에 비해 phytase첨가 수준이 높아질수록 증가하는 경향이 현저하였으나 사료내 P 수준이 가장 낮은 T3구는 오히려 P의 축적량이 가장 적게 나타났다. 영양소 배설량에서 질소의 배설량은 유의성은 없었지만 phytase 첨가구가 약간 적은 경향을 보였으며, 회분과 칼슘은 일정한 차이를 보이지 않았다. 인의 배설량은 phytase 첨가로 인하여 감소되는 경향을 보였다 ($P<0.05$).

Um과 Paik (1999), Simons 등 (1992)은 microbial phytase 첨가에 의해 사료내 인의 이용성이 개선되어 광물질의 체내 축적량을 증가시키고 인의 배설량이 감소되었다고 하였다. 본 연구결과는 칼슘과 인의 축적량이 phytase 첨가구에서 증가되었으며 배설량은 감소되었는데 기존의 연구결과와 비슷하였다. 특히 인 배설량 감소는 현재 축산업에 제기되는 환경오염 문제의 해결방안으로 주목되어지는 부분이다.

3. 경골회분, 칼슘, 인 함량

경골내 무기질 함량은 Table 4에서 보는 바와 같다. 경골회분은 처리간 차이가 나타나지 않았으나, 칼슘함량은 고칼슘수준 급여구에서 유의적으로 높게 나타났다 ($P<0.05$). 경골내 인의 함량은 차이가 없었다.

Qian 등(1996)은 인 결핍증상중 가장 특징적인 것이 뼈의 비정상적인 발달이라고 하였으며, 무기태인의 수준이 낮은

Table 3. Nutrients retention and excretion of laying hens fed experimental diets¹

	C	T1	T2	T3	SEM
	(g/d/hen, DM basis)				
Nutrients retention					
Dry matter	81.98	81.45	85.54	87.73	41.26
Nitrogen	2.03	1.92	1.81	2.27	0.11
Ash	9.23 ^a	7.42 ^b	8.42 ^{ab}	9.40 ^a	1.17
Calcium	2.18 ^b	2.52 ^{ab}	3.43 ^a	2.64 ^{ab}	0.20
Phosphorus	0.27 ^{ab}	0.30 ^{ab}	0.31 ^a	0.22 ^b	0.002
Nutrients excretion					
Nitrogen	1.06 ^{ab}	1.18 ^a	1.23 ^a	0.72 ^b	0.03
Ash	7.44 ^a	5.23 ^c	6.70 ^b	7.83 ^a	0.09
Calcium	2.05 ^a	1.72 ^{ab}	1.59 ^b	2.10 ^a	0.05
Phosphorus	0.31 ^a	0.30 ^a	0.21 ^b	0.18 ^b	0.003

^{abc} Means within a row without common letters are significantly different at $P<0.05$ by Duncan's new multiple range test.

¹ C, conventional diet; T1, 100% non-phytate P+phytase; T2, 80% NPN+phytase and T3, 60% NPN+phytase.

Table 4. Ash, calcium and phosphorus contents in tibia of laying hens fed experimental diets containing various levels of P added with phytase¹

Treatments	Tibia ash	% dry bone	
		Calcium	Phosphorus
Control	52.13	18.76 ^b	7.81
T1	52.18	19.28 ^{ab}	8.13
T2	51.26	20.41 ^a	8.51
T3	51.26	18.86 ^b	7.86
SEM	3.94	0.44	0.15

^{a,b,c} Means within a row without common letters are significantly different at $P < 0.05$ by Duncan's new multiple range test.

¹ C, conventional diet; T1, 100% non-phytate P+phytase; T2, 80% NPN+phytase and T3=60% NPN+phytase.

사료에 phytase 첨가시 뼈 발달에 양호한 효과가 있다고 하였다. 본 연구에서도 경골내 광물질함량이 관행급여구와 차이가 없었는데, 기존의 연구보고와 비슷하였다.

이상의 연구결과는 산란계 사료내 인의 함량을 NRC 사양 표준 (1994)에 맞춘 대조군에 비해 80% 수준으로 낮추면서 phytase를 첨가하여 (T2) phytase P의 이용성을 향상시키면 산란성적과 경골의 건강이 유지될 수 있음을 보이고 있다. Table 2에서 T2군은 산란율, 난중, 사료효율의 생산성과 난각의 파괴 강도, 난각 두께 등 난각의 품질에서 대조군에 비해 더 우수하거나 거의 같은 성적을 보였다. 그러면서도 경골의 회분, 칼슘 및 인의 함량에서 대조군에 비해 더 좋은 성적을 나타내고 있어 phytase 300 DPU의 첨가에 의해 산란계 사료내 인을 20%나 절약할 수 있었다. 특히 T2군의 경골에는 대조군보다 더 좋게 나타나고 있었다.

한편 인의 요구량보다 40%나 더 적게 함유한 시험구 (T3)에서는 phytase 첨가군중에 경골의 칼슘 함량이 가장 적게 나타났다. 이는 phytase 첨가에 의해 인의 이용성이 개선되었음에도 불구하고 인의 절대량이 요구량에 비해 너무 부족하였기 때문에 칼슘과 인의 적정비율을 유지하지 못해 그 결과 칼슘의 축적이 방해되었을 것으로 판단된다.

적 요

산란계 사료에 첨가한 microbial phytase가 non-phytate P의 이용성에 미치는 영향을 조사하기 위하여 350수의 산란계를 사용하여 12 주간 사양실험을 실시하였다. 대조군의 칼슘과 인 (non-phytate)의 함량은 각각 3.4%와 0.275%로 하였

다. T1, T2 및 T3군의 인 함량은 각각 대조군의 100, 80 및 60% 수준으로 조절하였으며, 칼슘의 수준은 모두 4.0%로 하였고 여기에 phytase를 300DPU 수준으로 첨가하였다. 사료섭취량은 전반적으로 차이가 없었다. 일단 사료섭취량과 일당 난중을 비교한 사료효율은 T2군에서 유의성은 없었으나 대조군에 비해 8%정도 더 좋게 나타났다. 한편 T1과 T2군의 산란율이 대조군보다 더 좋아지는 경향이었으며 특히 T2군의 성적은 $p < 0.05$ 수준에서 유의한 차이가 있었다. T2군은 난중과 난각질에서도 대조군과 전혀 차이가 없었다. 경골의 칼슘과 인 함량도 T2군은 대조군보다 각각 8.7% ($p < 0.05$) 및 8.9%씩 더 많았다. T1군의 전반적인 성적도 대조군보다 더 좋아졌으나 T2군에 비해 떨어지는 경향이였다. T3군의 산란성적은 다른 처리군과 같은 수준을 유지하였지만 경골내 칼슘 함량이 T1 및 T2군에 비해 낮았다. 본 연구결과는 microbial phytase 300DPU의 첨가에 의해 산란계 사료의 non-phytate P를 요구량보다 20%정도 절약할 수 있음을 보여주고 있다.

(색인어 : microbial phytase, 무기태인, 칼슘, 산란계, 산란사료, 영양소축적량, 난각, 경골)

인용문헌

- AOAC 1995 Official methods of analysis 16th ed. Association of official Analytical Chemists. Arington VA. USA.
- Bahandari SD, 1980 Effect of phytate feeding with and without protein and vitamin D deficiencies on intestinal phytase activity in rat. Indian J Biochem Biophys 17:309-912.
- Ballam SC, Nelson TS, Kirby LK 1985 Effect of different levels of dietary calcium and phosphorus on phytate hydrolysis by chicks. Nutr Pep Int 32:909-913.
- Edwards HM Jr, Veltmann JR Jr 1983 The role of calcium and phosphorus in the etiology of tibial dyschondroplasia in young chicks. J Nutr 113:1568-1575.
- Mohammed A, Gibney MJ, Taylor TG 1991 The effects of dietary levels of inorganic phosphorus, calcium and cholecalciferol on the digestibility of phytate-P by the chick. Br J Nutr 66:251-259.
- Nelson TS 1976 The hydrolysis of phytate phosphorus by chicks and laying hens. Poultry Sci 55:2262-2264.
- Pointillart A, Fourdin A, Thomasset M, Jay ME 1985

- Phosphorus utilization and hormonal control of calcium metabolism in pigs fed phytic phosphorus diets containing normal or high calcium levels. *Nutr Pep Int* 40:517-527.
- Qian H, Veit HP, Kornegay ET, Ravindran V, Denbow DM 1996 Effect of supplemental phytase and phosphorus on histological and other tibial bone characteristic and performances of broilers fed semi-purified diets. *Poultry Sci* 75:618-626.
- Qian H, Kornegay ET, Denbow DM 1997 Utilization of phytate phosphorus and calcium as influenced by microbial phytase, cholecalciferol, and the calcium: Total phosphorus ratio in broiler diets. *Poultry Sci* 76:37-46.
- SAS Institute 1996 SAS/STAT Software for PC, Release 6.12. SAS Institute Inc, Cary NC USA.
- Simons PCM, Jongbloed AW, Versteegh HAJ 1992 Improvement of phosphorus availability by microbial phytase in poultry and pigs. *Br J Nutr* 66:100-109.
- Temperton H, Cassidy J 1964 Phosphorus requirements of poultry I. The utilization of phytin phosphorus by the chick as indicated by balance experiments. *Br Poult Sci* 5:75-80.
- Um JS, Paik IK 1999 Effects of microbial phytase supplementation on egg production, eggshell quality, and mineral retention of laying hens fed different levels of phosphorus. *Poultry Sci* 78:75-79.
- Wise A 1983 Dietary factors determining the biological activities of phytate. *Nutr Abstr Rev* 53:791-806.
- 이상진 김상호 강보석 1998 산란계 사료의 오전·오후 분리 급여 효과. *한국가금학회지* 25:71-77.