

ARTICLE

산란계에 대한 누에 분말의 사료 내 첨가 급여가 난생산성, 계란품질, 혈액특성 및 계란 저장성에 미치는 영향

김동욱¹ · 김성렬² · 최광호² · 노환국^{1*}

¹국립한국농수산대학 가금학과

²농촌진흥청 국립농업과학원 잠사양봉소재과

Effect of Dietary Supplementation of Silkworm Powder on Laying Performance, Egg Quality, Blood Characteristic, and Egg Storage Stability in Laying Hens

Dong-Wook Kim¹, Seong-Ryul Kim², Kwang-Ho Choi², Whan-Gook Nho^{1*}

¹Department of Poultry Science, Korea National College of Agriculture and Fisheries, Jeonju 54874, Korea

²Sericultural and Apicultural Materials Division, National Institute of Agricultural, RDA, Wanju 55365, Korea

Received: April 23, 2020

Revised: May 20, 2020

Accepted: May 25, 2020

*Corresponding author :
Whan-Gook Nho
Department of Poultry Science,
Korea National College of Agriculture
and Fisheries, Jeonju 54874, Korea
Tel : +82-63-238-9230
E-mail : nhowgook@korea.kr

Copyright © 2020 Resources Science Research Institute, Kongju National University. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ORCID

Dong-Wook Kim
<https://orcid.org/0000-0003-2647-2690>
Seong-Ryul Kim
<https://orcid.org/0000-0001-6819-9667>
Kwang-Ho Choi
<https://orcid.org/0000-0002-1151-0191>
Whan-Gook Nho
<https://orcid.org/0000-0001-7016-4658>

Abstract

This experiment was conducted to investigate the effects of dietary supplementation of silkworm powder on laying performance, egg quality, blood characteristic, and egg storage stability in laying hens. A total of two hundred forty 40-wks-old laying hens (Hy-line brown) were divided into 4 groups with 6 replicates of 10 birds each. The four dietary treatments fed for 12 weeks were : C (no additive) and silkworm powder treated groups (0.01%, 0.03% or 0.05%). The egg production rate, egg mass, and feed conversion ratio were significantly improved in all treated groups compared to control ($p<0.05$). No significant differences among all the groups were observed in egg weight and feed intake. Haugh unit and egg yolk color were significantly increased in all treated groups than those of the control ($p<0.05$), but the strength and thickness of egg shell were not changed significantly by the treatment of silkworm powder. No significant difference among the all groups were observed on blood leukocyte profile. But total white blood cell (WBC), heterophil, lymphocyte, and stress indicator (heterophil : lymphocyte ratio) tended to be decreased by increasing the level of supplemental silkworm powder. The levels of blood urea nitrogen (BUN), creatinine, total protein, albumin, globulin, aspartate aminotransferase (AST), and alanine aminotransferase (ALT), which used as the blood biochemical parameters of liver and kidney damages were significantly decreased or tended to be decreased in silkworm treated groups than those of the control ($p<0.05$). The change of Haugh unit and thiobarbituric acid reactive substances (TBARS) values of egg during storage period were significantly less in all treated groups than those of the control ($p<0.05$). In conclusion, the dietary supplementation of silkworm powder improved the laying performance, egg quality, and health states. Furthermore, the silkworm powder decreased the egg deterioration in relation to storage period. These results suggest the possibility that silkworm powder could be used as a functional feed additive in laying hens.

Keywords

Laying hens, Silkworm, Laying performance, Egg quality, Egg storage stability

1. 서론

고품질 안전 축산물에 대한 수요 증가, 축산 냄새·악취 발생 및 가축 전염병 만성화에 따른 인식

악화, 중국·인도 등의 경제 성장에 따른 사료 수급 경쟁 심화 등 축산환경이 변화함에 축산의 지속 발전을 위해서는 패러다임의 전환이 무엇보다 중요한 시기가 되었다. 과거 식량 안보 및 동물성 단백질 공급이라는 축산의 가치만으로는 그 한계에 도달하였으며, 농촌지역 경제 활성화 및 타 침체산업의 성장동력으로서의 축산의 역할이 강조되어야 한다.

우리나라 양잠산업은 1970년대에는 연간 5억 달러 수출을 달성할 정도로 핵심 전략 산업이었으나, 1976년을 정점으로 급격히 감소하여 1995년부터는 실크용 누에고치 생산은 거의 중단되고, 건조누에, 동충하초, 오디 등 기능성 양잠산물을 생산하는 것으로 전환되어 그 명맥만 유지하고 있는 실정이다 (Cha et al., 2009). 그러나 건강기능식품이나 의료용 신소재 생산·판매만으로는 그 한계가 있기 때문에 축산과 연계하여 누에 활용 기능성 사료첨가제 개발 및 산업화는 안정적인 시장 확보와 신성장동력 창출이라는 관점에서 매우 중요하다. 누에 (*Bombyx mori* L.)는 나비목 누에나방과에 속하는 완전변태류 곤충으로 단백질, 지방 등의 영양소가 풍부하고 영양소이용률이 높아 영양적 가치가 우수하다 (Cho et al., 1989). 또한 누에에는 1-deoxynojirimycin (DNJ), rutin, cecropin 등 생리활성물질이 다량 함유되어 있어 혈당 강하, 간 기능 개선, 면역능 증강 등에 효과적인 것으로 알려지며, 건강기능식품, 의약품, 한방치료제 등 다양한 분야에서 효능 평가 및 적용을 위한 연구가 진행되어 왔다 (Cha et al., 2009; Chung et al., 1997; Ryu et al., 1999; Shiomi et al., 1998). 기존의 *in vitro* 및 *in vivo* 시험에서 누에 분말 또는 추출물은 α -glucosidase 활성을 저해하여 혈당 상승을 억제하고, 자양강장 효과 (tonic effect)를 통해 번식호르몬 분비와 활성을 촉진하여 번식 가능 저하를 예방할 수 있다고 보고하였으며 (Chung et al., 1997; Hwang et al., 2005; Ryu et al., 2011), 이 외에도 사염화탄소 및 알코올성 간 독성 동물실험모델에 간보호 효과가 높은 것으로 확인된 바 있다 (Kato et al., 1998; Ryu et al., 1999). 축산 분야에서는 누에를 활용한 기능성 사료첨가제로서의 개발·적용 연구보다는 어분 등 고가의 동물성 단백질 대체 및 단백질사료 원료로서의 이용 가능성을 조사한 연구가 대부분을 이루고 있다 (Sheikh et al., 2018; Ullah et al., 2017). 그러나 누에에는 병일 유래 항산화물질인 DNJ, rutin은 물론 cecropin, defensin 등 자기 방어를 위한 항균 펩타이드를 다량 함유하고 있는 동시에 소비자에게 천연물로 손쉽게 인식될 수 있어 가축 건강성 증진 및 고품질 안전 양계산물 생산을 위한 기능성 사료 소재로서 이용할 가치가 높다.

따라서 본 연구에서는 누에 분말의 기능성 사료 소재로서의 이용 가능성을 확인하고자 산란계 사료 내 수준별로 첨가 급여하여 난생산성, 계란 품질, 혈액 특성 및 계란 저장 안전성에 미치는 영향을 조사하였다.

II. 재료 및 방법

공시재료

경상남도 농업기술원에서 사육한 5령 3일차 누에를 공시하여 회전식 microwave 건조기로 70℃에서 24시간 동안 건조하였다. 건조된 누에를 분말·균질화하여 산란계 사양시험에 이용하였으며, 시험에 이용한 누에 분말의 일반성분은 수분 4.1% 조단백 67.9%, 조지방 13.3%, 조섬유 4.8%, 조회분 6.9%로 나타났다.

시험동물 및 시험설계

40주령 산란계 (Hy-line brown) 240수를 공시하여 4처리, 6반복, 반복당 10수씩 배치하고 12주간 사양실험을 실시하였다. 시험처리는 대조구 (C)와 기초사료에 누에 분말을 0.01%, 0.03% 또는 0.05% 첨가하여 시험구로 두었다.

시험사료 및 사양관리

시험사료는 NRC (1994) 및 한국가금사양표준 (2012)에 근거하여 대사에너지와 조단백질 함량을 각각 2,650 kcal/kg 및 조단백질 15.5%가 되도록 배합하였으며, 기초사료 배합비 및 영양소 조성은 Table 1에 제시하였으며, 기초사료에 누에 분말을 0.01%, 0.03% 또는 0.05% 첨가하였다. 사양실험 전 기간 동안 A자형 2단 철제케이지 (가로 30cm×세로 35cm×높이 50cm)에서 케이지당 1수씩 사육하였으며, 사료급여기 및 급수기 개수는 케이지별 동일하게 배치하였다. 사료와 물은 자유채식 및 자유음수시켰으며, 점등은 시험종료시까지 17L:7D를 유지하였다.

Table 1. Formula and calculated nutritional values of the basal diet

Ingredients	C	Silkworm powder		
		0.01%	0.03%	0.05%
		----- % -----		
Corn	56.50	56.50	56.50	56.50
Soybean meal	18.90	18.90	18.90	18.90
Corn gluten meal	4.00	3.99	3.97	3.95
Wheat bran	7.60	7.60	7.60	7.60
Soybean oil	1.00	1.00	1.00	1.00
L-Lysine (99.0%)	0.35	0.35	0.35	0.35
DL-Methionine (99.0%)	0.05	0.05	0.05	0.05
Tricalcium phosphate	1.00	1.00	1.00	1.00
Limstone	10.00	10.00	10.00	10.00
Salt	0.35	0.35	0.35	0.35
Vitamin-mineral mixture ¹⁾	0.60	0.60	0.60	0.60
Silkworm powder	0.00	0.01	0.03	0.05
Total	100.00	100.00	100.00	100.00
Chemical composition²⁾				
ME (kcal/kg)	2,650	2,650	2,650	2,650
Crude protein (%)	15.5	15.5	15.5	15.5
Lysine (%)	0.71	0.71	0.71	0.71
Methionine (%)	0.31	0.31	0.31	0.31
Methionine+cystine (%)	0.64	0.64	0.64	0.64
Calcium (%)	4.00	4.00	4.00	4.00
Available phosphorus (%)	0.30	0.30	0.30	0.30

¹⁾ Vitamin-mineral mixture provided following nutrients per kg of diet: vitamin A, 15,000 IU; vitamin D₃, 1,500 IU; vitamin E, 20.0 mg; vitamin K₃, 0.70 mg; vitamin B₁₂, 0.02 mg; niacin, 22.5 mg; thiamin, 5.0 mg; folic acid, 0.70 mg; pyridoxin, 1.3 mg; riboflavin, 5 mg; pantothenic acid, 25 mg; choline chloride, 175 mg; Mn, 60 mg; Zn, 45 mg; I, 1.25 mg; Cu, 10.0 mg; Fe, 72 mg; Co, 2.5 mg.

²⁾ Calculated value.

조사항목 및 방법

1) 계란 생산성

계란은 매일 15:00시에 채란하여 난중 및 산란수를 조사하였고, 산란수를 사육수수로 나누어 헨데이 산란율을 구하였으며, 평균난중과 산란율을 이용하여 일산란량을 구하였다. 사료섭취량은 4주 간격으로 반복별로 사료잔량을 측정하여 구하였다. 조사된 사료섭취량과 일산란량을 통하여 사료요구율을 산출하였다.

2) 계란 품질

시험 개시 후 4주 간격으로 처리구당 30개씩 계란을 수집하여 난질 및 난각질을 조사하였다. 계란 품질자동분석기 (QCM+, Technical services & supplies Ltd., England)를 이용하여 난황색, Haugh unit 및 난각색을 측정하였으며, 난각강도계 (Fujihara industry Co., Ltd., Japan)와 난각두께측정기 (Fujihara industry Co., Ltd., Japan)를 이용하여 난각강도 및 난각두께를 측정하였다.

3) 백혈구 조성

시험 종료시 처리구당 10수씩 선발하여 익하정맥에서 혈액 채취하고, K₃-EDTA가 처리된 혈액 튜브에 전혈 1 mL씩을 담아 혈액 채취 후 24시간 이내에 자동혈구분석기 (HEMAVET[®] HV950PS, Drew Scientific, Inc.)로 분석하였다.

4) 혈액 생화학 조성

시험 종료시 처리구당 12수씩 선발하여 익하정맥에서 혈액을 채취하고, 상온에서 응고시킨 후 원심분리를 통해 혈청을 분리하여 분석에 이용하였다. 자동혈액분석기 (COBAS MIRA plus, ROCHE diagnostics)를 사용하여 blood urea nitrogen (BUN), creatinine, total protein, albumin, globulin, aspartate aminotransferase (AST), alanine aminotransferase (ALT)를 분석하였다.

5) 계란 저장성

계란 저장성 조사하기 위해 시험 종료시 생산된 계란을 수집하여 실온 (28°C-32°C)에서 보관하였다가 0일, 7일, 14일 및 21일 경과 후 처리구별로 10개씩 Haugh unit 및 난황 내 지방과산화물가를 측정하였다. 난황 내 지방과산화물가는 지방 과산화시 형성되는 malondialdehyde (MDA) 함량을 측정하여 MDA mg/mL로 나타내었으며 Beuge와 Aust (1978)의 방법을 변형하여 실시하였다. 1회용 주사기로 난황 1 mL를 채취하여 증류수 9 mL와 butylated hydroxyanisole (BHA) 50 µL를 넣고 균질화시킨 후, 균질액 2 mL를 시험관으로 옮겨 thiobarbituric acid (TBA)/trichloroacetic acid (TCA) 혼합 용액 4 mL를 넣어 혼합하였다. 이를 90°C 항온수조에 넣어 15분간 반응시키고 냉각한 후, 원심분리 (3,000 rpm×10 min) 하고 상층액을 회수하여 531 nm에서 흡광도를 측정하였다. 형성된 난황 내 malondialdehyde (MDA)는 흡광도에 계수 5.88을 곱하여 계산하였다.

통계처리

실험에서 얻어진 모든 데이터는 SAS GLM procedure를 이용하여 분산분석을 실시하였다. 처리구 간 유의성은 Duncan's multiple range-test를 이용하여 $p < 0.05$ 수준에서 유의성을 검정하였다. 또한 Orthogonal polynomial contrasts test를 이용하여 사료 내 누에 분말 수준 증가에 따른 직선적 효과 (Linear effect) 및 곡선적 효과 (Quadratic effect)를 검정하였다.

III. 결과 및 고찰

계란 생산성

누에 분말의 사료 내 첨가 급여가 계란 생산성에 미치는 영향은 Table 2에 제시한 바와 같다. 누에 분말 첨가수준 및 급여기간에 따라 차이는 있으나, 누에분말 첨가 급여시 대조구에 비해 산란율, 일산란량이 유의하게 증가하거나 증가하는 경향을 보였다 ($p<0.05$). 또한 누에 분말 첨가 급여로 일산란량이 증가함에 따라 사료요구율 역시 유의적으로 개선되는 결과를 나타냈다 ($p<0.05$).

Table 2. Effects of dietary supplementation of silkworm powder on laying performance in laying hens¹⁾

	Control	Silkworm powder			SEM	p-value	
		0.01%	0.03%	0.05%		Linear	Quadratic
Egg production (%)							
4 wks	92.2	92.5	92.8	92.8	0.35	0.33	0.23
8 wks	91.5	92.3	93.6	92.7	0.31	0.21	0.49
12 wks	90.4 ^b	91.0 ^b	92.4 ^a	92.8 ^a	0.43	<0.05	0.11
Total	91.4 ^b	91.9 ^{ab}	92.6 ^a	92.8 ^a	0.39	<0.05	0.08
Egg weight (g)							
4 wks	64.5	64.1	64.0	64.9	0.11	0.22	0.35
8 wks	64.8	65.2	64.7	65.3	0.09	0.32	0.63
12 wks	65.4	65.2	65.4	65.6	0.10	0.55	0.67
Total	64.9	64.8	64.7	65.1	0.10	0.38	0.44
Egg mass (g/d)							
4 wks	59.5	59.3	59.3	60.2	0.13	0.23	0.33
8 wks	59.3	60.2	59.9	60.5	0.14	0.41	0.59
12 wks	59.1 ^b	59.3 ^b	60.4 ^a	60.9 ^a	0.11	<0.05	0.08
Total	59.3 ^b	59.6 ^{ab}	59.9 ^a	60.4 ^a	0.13	<0.05	0.07
Feed intake (%)							
4 wks	105.2	103.6	105.6	104.0	0.55	0.54	0.58
8 wks	110.1	107.0	107.5	108.0	0.67	0.57	0.63
12 wks	111.8	109.9	106.0	107.6	0.63	0.63	0.75
Total	109.0	106.8	106.4	106.5	0.61	0.58	0.64
Feed conversion ratio							
4 wks	1.77 ^a	1.75 ^b	1.78 ^a	1.73 ^b	0.02	0.13	0.28
8 wks	1.83 ^a	1.78 ^b	1.79 ^b	1.78 ^b	0.01	0.21	0.24
12 wks	1.86 ^a	1.85 ^a	1.75 ^b	1.77 ^b	0.01	<0.05	0.19
Total	1.82 ^a	1.79 ^b	1.78 ^b	1.78 ^c	0.01	<0.05	<0.05

¹⁾ Data are least squares means of 6 observations per treatment.

^{a-c} Means within the same row with no common superscripts differ significantly ($p<0.05$).

누에 분말의 사료 내 첨가 급여에 따른 계란 생산성 변화를 조사한 연구 및 자료가 극히 제한적이고, 대부분 육계에서 어분, 대두박 등 단백질사료의 대체 효과를 구명하고자 수행한 연구이기 때문에 직접적인 비교가 어렵다. 그러나 Khatun 등 (2005)은 로드 아일랜드에 단백질원으로 누에박을 6% 또는 8% 수준으로 급여한 시험에서 계란 생산성이 대조구에 비해 유의적으로 향상되었다고 보고하였다. 반면, Ullah 등 (2017)은 52주령 백색 레그혼에 누에박을 대두박의 25%, 50%, 75% 또는 100% 대체 급여시 산란율, 사료섭취량 및 사료요구율 등에 변화가 없었다고 보고하였으며, Deshpande 등 (1996)은 산란계에 누에박을 어분과 대체하여 3-6% 급여한 실험에서 체중 및 사료섭취량이 유의하게 감소하였다고 보고하였다. 상기 선행연구들은 실크를 생산한 후의 누에 번데기에서 기름을 짜고 남은 누에박을 사료원료로 이용한 것으로 본 연구에서 사용한 누에 분말과는 유효성분 등에서 차이가 있을 것으로 사료된다. 실제 Chung 등 (1997)은 5령 3일 누에가 혈당강화 및 간보호 개선 등의 건강기능성을 목적으로 누에 분말을 제조할 때 가장 효과적이라고 하였다. 계란 생산은 닭의 번식과정으로 영양 상태 및 번식호르몬이 영향을 미치는데, 난포호르몬 (estrogen)이 난황단백질과 지방 형성을 촉진하고, 난관을 발달시켜 산란에 직접적으로 관여한다. Ryu 등 (2011)과 Yang 등 (2010)은 누에분말 또는 추출물을 랫트에 경구 투여한 실험을 통해 누에가 난포호르몬의 분비 및 활성을 촉진시켜 갱년기 여성 등을 대상으로 에스트로겐 기능 개선을 위한 건강기능식품 소재 및 대체요법 등에 활용할 수 있다고 보고하였다.

본 연구에서는 누에 분말의 사료 내 첨가급여가 계란 생산성에 긍정적인 영향을 미치는 것을 확인하였으며, 영양소 대사 및 번식호르몬 분비 양상 등을 추가적으로 조사하여 정확한 작용기전을 확인할 필요가 있다고 사료된다.

계란 품질

산란계에 대한 누에 분말의 사료 내 첨가 급여가 계란 품질에 미치는 영향은 Table 3에 제시하였다. 계란 신선도를 나타내는 지표인 Haugh unit이 대조구에 비해 모든 처리구에서 유의하게 증가하거나 증가하는 경향을 나타냈다 ($p < 0.05$). 난황색 역시 누에 분말 처리구에서 대조구에 비해 다소 증가하는 경향은 보였으나, 통계적 유의성은 인정되지 않았다. 이외 난각두께 및 난각강도에 있어서는 대조구를 비롯한 전 처리구에서 유의적인 차이가 나타나지 않았다.

누에 분말의 사료 내 첨가 급여에 따른 계란 품질에 대한 연구가 많지 않으나, 어분 및 대두박을 대체하여 산란계에 누에박을 급여한 일부 연구에서는 누에박 대체 급여가 계란 품질에 영향을 미치지 않았다고 보고하였다 (Khatun et al., 2005; Ullah et al., 2017). 다만 누에가 먹는 뽕잎 등 식물체 내 존재하는 다양한 생리활성물질이 계란의 내외부 품질에 긍정적인 영향을 미칠 수 있다는 연구결과들이 보고되어 왔다 (Acamovic et al., 2005; Windisch et al., 2008). 산란계 사료 내 뽕잎 분말 또는 추출물을 첨가 급여하여 계란 품질을 조사한 연구가 일부 수행되었으나, 서로 상반된 결과를 보고하고 있다 (Lin et al., 2017; Lokaewmanee et al., 2009; Park et al., 2012). Lin 등 (2017)은 뽕잎 추출물을 0.5-2.0% 수준으로 산란계에 첨가 급여한 연구에서 Haugh unit, 난황색 및 난각색이 유의적으로 증가하였다고 보고하였으며, Al-Kirshi와 Alimon (2010)은 산란계에 단백질 공급원으로 뽕잎박을 10-20% 급여한 연구에서 Haugh unit과 난황색이 유의적으로 증가하였다고 보고하였다. 반면, Lokaewmanee 등 (2009)은 뽕잎 분말 첨가 급여시 난황색은 다소 개선하였으나, 다른 계란 품질에는 어떠한 영향도 미치지 않았다고 보고하였다.

본 연구 결과, 누에 분말 내 함유되어 있는 뽕잎 유래 항산화 성분과 색소물질 등의 작용으로 계란 Haugh unit 및 난황색 개선 효과가 나타난 것으로 판단된다.

백혈구 조성

산란계에 대한 누에 분말의 사료 내 첨가 급여에 따른 백혈구 조성 변화는 Table 4에 나타내었다.

Table 3. Effects of dietary supplementation of silkworm powder on egg quality in laying hens¹⁾

	Control	Silkworm powder			SEM	p-value	
		0.01%	0.03%	0.05%		Linear	Quadratic
Haugh unit							
4 wks	95.4 ^c	95.9 ^{bc}	97.4 ^a	96.5 ^{ab}	0.33	0.37	0.35
8 wks	94.0 ^b	94.9 ^a	95.4 ^a	95.0 ^a	0.28	0.26	0.44
12 wks	92.8 ^b	94.2 ^a	94.4 ^a	94.6 ^a	0.35	<0.05	0.07
Total	94.1 ^b	95.0 ^a	95.7 ^a	95.4 ^a	0.29	<0.05	0.08
Egg yolk color (R.C.F)							
4 wks	9.1	9.3	9.5	9.3	0.08	0.18	0.37
8 wks	9.2	9.4	9.4	9.5	0.10	0.21	0.43
12 wks	9.2	9.5	9.2	9.4	0.07	0.25	0.56
Total	9.2	9.4	9.3	9.4	0.08	0.16	0.24
Eggshell strength (kg/cm ²)							
4 wks	3.80	3.81	3.81	3.80	0.02	0.33	0.33
8 wks	3.78	3.78	3.84	3.83	0.01	0.43	0.59
12 wks	3.80	3.76	3.90	3.84	0.02	0.25	0.18
Total	3.79	3.78	3.85	3.82	0.02	0.25	0.27
Eggshell thickness (mm)							
4 wks	0.39	0.38	0.38	0.40	0.01	0.23	0.26
8 wks	0.38	0.37	0.38	0.40	0.01	0.41	0.21
12 wks	0.36	0.35	0.36	0.38	0.01	0.15	0.38
Total	0.38	0.37	0.37	0.39	0.01	0.18	0.27

¹⁾ Data are least squares means of 6 observations per treatment.

^{a,b} Means within the same row with no common superscripts differ significantly ($p < 0.05$).

Table 4. Effects of dietary supplementation of silkworm powder on egg quality in laying hens¹⁾

	Control	Silkworm powder			SEM	p-value	
		0.01%	0.03%	0.05%		Linear	Quadratic
White blood cell (K/ μ L)	28.36	28.41	27.32	25.35	0.87	0.33	0.33
Heterophil (K/ μ L)	10.07	9.85	9.68	9.14	0.23	0.33	0.26
Lymphocyte (K/ μ L)	15.60	15.52	15.31	14.63	0.42	0.21	0.49
Heterophil/lymphocyte	0.65	0.63	0.62	0.62	0.03	0.07	0.11

¹⁾ Data are least squares means of 6 observations per treatment.

White blood cell (WBC), heterophil, lymphocyte 및 heterophil/lymphocyte 모두 누에 분말의 첨가 수준이 증가할수록 감소하는 경향은 보였으나, 통계적으로 유의성은 인정되지 않았다.

누에 분말 및 유래 성분에 의한 백혈구 조성과의 관련 연구는 거의 수행된 바 없어 비교가 어려우나, 콩잎 등 식물체 내 존재하는 polysaccharide, alkaloid 및 flavonoid 등의 식물 2차 대사산물이 면역 강화 및 면역 조절제로 작용할 수 있다고 알려져 있다 (Xue and Meng, 1996; Zhang et al., 2005). 특히 Ma 등 (2005)은 육계에 오디를 첨가 급여한 연구에서 오디 첨가 급여시 항산화 지표 및 비장 lymphocyte 증식이 유의적으로 증가하였다고 보고한 바 있다.

본 연구에서는 누에 분말 첨가 급여에 따른 통계적 유의성은 인정되지는 않았으나, 스트레스 및 면역이 유도된 상황에서는 다른 결과가 나타날 수 있을 것으로 사료된다.

혈액 생화학 조성

누에 분말의 산란계 사료 내 첨가 급여가 혈액 생화학적 지표에 미치는 영향은 Table 5에 제시한 바와 같다. 누에 분말 첨가 급여시 혈액 내 간 및 신장 손상 지표인 AST와 ALT가 대조구에 비해 유의적으로 감소하였으며 (p<0.05), BUN, creatinine, total protein, albumin, globlulin 역시 다소 감소하는 경향은 보였으나, 통계적 유의성은 인정되지 않았다.

혈액 내 BUN, creatinine, AST 및 ALT 수치는 대사 장애, 독소, 염증 등에 의한 간, 신장 등의 조직 손상을 나타내며 (Lumeij, 1997), 새로운 사료 원료나 첨가제의 이용시 안전성을 판단하기 위한 지표로 이용될 수 있다 (Diaz, 2003). 누에의 간 기능 개선 및 보호 효과는 세포·조직 또는 실험동물을 이용한 여러 연구에서 보고하고 있다 (Cha et al., 2009; Chung et al., 1997; Ryu et al., 1999; Shiomi et al., 1998). Ryu 등 (1999)은 사염화탄소를 이용한 간 독성 동물실험모델을 이용하여 실크 단백질 및 sericin 등의 항산화 작용으로 간조직의 지질과산화화를 억제한다고 보고하였으며, Kato 등 (1998)은 알코올성 간질환 유도 마우스에 누에 추출물 첨가 급여시 AST 및 ALT 수치가 유의하게 낮아졌다고 보고하였다.

본 연구 결과, 누에 분말은 강력한 항산화 작용을 통해 간, 신장 등 조직의 손상을 예방하여 건강성 증진에 긍정적인 영향을 미친 것으로 판단되었다.

계란 저장성

산란계 사료 내 누에 분말 첨가 급여가 계란 저장 안전성에 미치는 영향은 Table 6에 제시한 바와 같다. 저장기간이 경과함에 따라 Haugh unit이 감소하였으며, 계란 보관 14일, 21일 차에 대조구에

Table 5. Effects of dietary supplementation of silkworm powder on blood biochemical parameters in laying hens¹⁾

	Control	Silkworm powder			SEM	p-value	
		0.01%	0.03%	0.05%		Linear	Quadratic
BUN (mg/dL)	1.81	1.78	1.72	1.78	0.03	0.28	0.23
Creatinine (mg/dL)	0.38	0.35	0.34	0.36	0.01	0.19	0.09
Total protein (mg/dL)	3.98	3.85	4.06	3.96	0.05	0.18	0.18
Albumin (mg/dL)	1.87	1.85	1.96	1.80	0.02	0.12	0.11
Globlulin (mg/dL)	2.11	2.00	2.10	2.16	0.02	0.10	0.23
Albumin/globlulin	0.89	0.93	0.93	0.83	0.01	0.08	0.15
AST (U/L)	300.3 ^a	290.1 ^b	284.7 ^{bc}	282.1 ^c	4.27	<0.05	0.15
ALT (U/L)	9.76 ^a	8.21 ^b	8.23 ^b	7.65 ^c	0.09	<0.05	0.12

¹⁾ Data are least squares means of 12 observations per treatment.

^{a-c} Means within the same row with no common superscripts differ significantly (p<0.05).

Table 6. Effects of dietary supplementation of silkworm powder on egg storage stability in laying hens¹⁾

Items	NC	Silkworm powder			SEM	p-value	
		0.01%	0.03%	0.05%		Linear	Quadratic
Haugh unit							
0 d	94.5	95.3	95.2	95.8	2.45	0.13	0.31
7 d	83.8	84.7	85.2	84.8	1.66	0.08	0.25
14 d	72.5 ^c	76.8 ^b	79.3 ^a	79.5 ^a	1.79	<0.05	0.21
21 d	57.2 ^c	64.6 ^b	66.8 ^a	67.1 ^a	1.02	<0.05	0.18
TBARS (MDA mg/L)							
0 d	0.91	0.95	0.95	0.85	0.09	0.12	0.11
7 d	1.92	1.89	1.83	1.89	0.07	0.10	0.23
14 d	2.62 ^a	2.51 ^b	2.45 ^b	2.47 ^b	0.06	<0.05	0.11
21 d	4.11 ^a	3.93 ^b	3.84 ^{bc}	3.77 ^c	0.07	<0.05	0.18

¹⁾ Data are least squares means of 6 observations per treatment.

^{a-c} Means within the same row with no common superscripts differ significantly ($p < 0.05$).

비해 누에 분말 처리구에서 유의하게 높았다 ($p < 0.05$). 지질과산화물도 역시 저장 기간이 경과함에 따라 증가하였으며, 누에 분말 처리구에서 유의하게 낮은 것을 확인할 수 있었다 ($p < 0.05$). Haugh unit은 저장 기간의 경과와 역의 상관관계가 있어 계란 신선도 및 내부 품질을 평가하는 주요 지표로서 이용되고 있다 (Williams, 1992). 비타민 C, 비타민 E, carotenoid, flavonoid 등의 항산화물질이 계란 Haugh unit을 향상시켰다는 연구결과들이 다수 보고되었으며 (Kim *et al.*, 2006; Sahin *et al.*, 2003), 이를 통해 계란 보존성을 개선시킬 수 있다고 알려져 있다 (Cherian *et al.*, 1996; Park and Kim, 2008). 또한 누에의 유효성분인 DNJ, rutin, sericin, cecropin 등의 항균·항산화 작용에 의해 유해세균 증식 및 지질과산화를 억제할 수 있다고 여러 선행연구들에서 보고되어 왔다 (Cha *et al.*, 2009; Chung *et al.*, 1997; Ryu *et al.*, 1999).

본 연구에서도 누에의 자기방어기전에서 생성된 cecropin 등의 항균 펩타이드 및 flavonid, phenolic compound 등의 병영 유래 항산화 성분의 작용에 의해 계란 저장 안전성이 개선된 것으로 사료되며, 누에 분말의 첨가 급여가 장기간 저장에 의한 계란 품질 저하를 효과적으로 방지할 수 있는 것을 확인할 수 있었다.

IV. 요약

본 연구는 산란계에 대한 누에 분말의 사료 내 첨가 급여가 난생산성, 계란 품질, 혈액 특성 및 계란 저장 안전성에 미치는 영향을 조사하여 기능성 사료 소재로서의 이용 가능성을 확인하고자 수행되었다. 40주령 산란계 (Hy-line brown) 240수를 공시하여 4처리, 6반복, 반복당 10수씩 배치하고, 12주간 사양실험을 실시하였다. 시험처리는 대조구 (C)와 기초사료에 누에 분말을 0.01%, 0.03% 또는 0.05% 첨가하여 시험구로 두었다.

누에분말의 사료 내 첨가 급여시 대조구에 비해 산란율, 일산란량이 유의하게 증가하거나 증가하는 경향을 보였다 ($p < 0.05$). 또한 누에 분말 첨가 급여로 일산란량이 증가함에 따라 사료요구율 역시 유의적으로 개선되는 결과를 나타냈다 ($p < 0.05$). 계란 신선도를 나타내는 지표인 Haugh unit이 대조구

에 비해 모든 처리구에서 유의하게 증가하거나 증가하는 경향을 나타냈다 ($p < 0.05$). 난황색 역시 누에 분말 처리구에서 대조구에 비해 다소 증가하는 경향은 보였으나, 통계적 유의성은 인정되지 않았다. 이외 난각두께 및 난각강도에 있어서는 대조구를 비롯한 전 처리구에서 유의적인 차이가 나타나지 않았다. 백혈구 구성에 있어서는 White blood cell (WBC), heterophil, lymphocyte 및 heterophil/lymphocyte 모두 누에 분말의 첨가 수준이 증가할수록 감소하는 경향은 보였으나, 통계적으로 유의성은 인정되지 않았다. 혈액 생화학적 지표 중 AST 및 ALT는 대조구에 비해 유의하게 감소하였으며 ($p < 0.05$), BUN, creatinine, total protein, albumin, globulin 역시 다소 감소하는 경향은 보였으나, 통계적 유의성은 인정되지 않았다.

계란 저장성은 저장기간이 경과함에 따라 Haugh unit이 감소하였으며, 계란 보관 14일, 21일 차에 대조구에 비해 누에 분말 처리구에서 유의하게 높았다 ($p < 0.05$). 지질과산화물가 역시 저장 기간이 경과함에 따라 증가하였으며, 누에 분말 처리구에서 유의하게 낮은 것을 확인할 수 있었다 ($p < 0.05$).

본 연구 결과, 산란계 사료 내 누에 분말의 첨가 급여는 계란 생산성을 향상시키고, 건강 유지에 긍정적인 영향을 미쳤으며, Haugh unit 및 난황색 등 계란 품질을 개선시켰을 뿐만 아니라, 저장 기간 경과에 따른 계란 품질 저하를 감소시켜 기능성 사료 소재로서의 이용 가능성을 제시하였다.

V. 참고문헌

1. Acamovic T, Brooker JD. 2005. Biochemistry of plant secondary metabolites and their effects in animals. *Proc Nutr Soci* 64:403-412.
2. Al-Kirishi R, Alimon AR. 2010. Utilization of mulberry leaves (*Morus alba*) as protein supplement in diets for laying hens. *Italian J Anim Sci* 9:265-267.
3. Cha JY, Kim YS, Ahn HY, Um KE, Park BK, Jeon BS, Cho YS. 2009. Biological activity of fermented silkworm powder. *J Life Sci* 19:1468-1477.
4. Cho CH, Cha WS, Kim JS. 1989. Effect of temperature, time and pH on the extraction of protein in a chrysalis of silkworm. *Korean J Biotechnol Bioeng* 4:65-68.
5. Chung SH, Kim MS, Ryu KS. 1997. Effect of silkworm extract on intestinal α -glucosidase activity in mice administrated with high carbohydrate-containing diet. *Korean J Seric Sci* 39:86-92.
6. Diaz GJ, Roldan LP, Cortes A. 2003. Intoxication of *Crotalaria pallida* seeds to growing broiler chicks. *Vet Hum Toxicol* 45:187-189.
7. Duncan DB. 1955. Multiple range and multiple F test. *Biometric* 11:1-42.
8. Hwang S, Kang SW, Yun CY, Lee SH. 2005. High throughput-compatible screening of antioxidative substances by insect extract library. *Korean J Food Preserv* 12:482-488.
9. Kato NS, Sato S, Yamanaka A, Yamada H, Fuwa N, Nomura M. 1998. Silk protein, sericin, inhibits lipid peroxidation and tyrosinase activity. *Biotechnol Biochem* 62:145-147.
10. Khatun R, Azmal SA, Sarker MSK, Rashid MA, Hussain MA, Miah MY. 2005. Effect of silkworm pupae on the growth and egg production performance of Rhode Island Red (RIR) pure line. *Inter J Poult Sci* 4:718-720.
11. Lin WC, Lee MT, Chang SC, Chang YL, Shin CH, Yu B, Lee TT. 2017. Effects of mulberry leaves on production performance and the potential modulation of antioxidative status in laying hens. *Poult Sci* 96:1191-1203.
12. Lokaewmanee K, Mompanuon S, Khumpeerawat P, Yamauchi K. 2009. Effects of dietary mulberry leaves (*Morus alba* L.) on egg yolk color. *J Poult Sci* 46:112-115.

13. Ma D, Shan A, Li J, Zhao Y, Guo X. 2009. Influence of an aqueous extract of *Ligustrum lucidum* and ethanol extract of *Schisandra chinensis* on parameters of antioxidative metabolism and splen lymphocyte proliferation of broilers. Arch Anim Nutri 63:66-74.
14. NRC. 1994. Nutrient requirements of poultry. 9th rev. ed. National Academy of Science, Washington DC.
15. Ryu KS, Lee HS, Kim SY. 1999. Effects of *Bombyx mori* L. extracts on carbon tetrachloride-induced hepatotoxicity in mice. J Life Sci 9:375-381.
16. Ryu KS, Lee HS, Kim KY, Kim MJ, Oh HG, Kang PD. 2011. Secretion of effect of estrogen of different growth stages of silkworm (*Bombyx mori* L.). Int J Indust Entomol 22:17-20.
17. SAS Institute. 2002. SAS user's guide: Statistics. version 9.1 SAS Institute Inc. Cary, NC.
18. Sheikh IU, Banday MT, Baba IA, Adil S, Nissa SS, Zaffer B, Bulbul KH. 2018. Utilization of silkworm pupae meal as an alternative source of protein in the diet of livestock and poultry: A review. J Entom Zool 64:1010-1016.
19. Shiomi S, Habu D, Takeda T, Nishiguchi S, Kuroki T, Tanaka T, Tsuchida K, Yamagami S. 1998. Significance of peptidoglycan in patients with chronic liver diseases. J New Remedies Clinics 47:32-37.
20. Ullah R, Khan S, Hafeez A, Sultan A, Khan NA, Chand N, Ahmad N. 2017. Silkworm (*Bombyx mori*) meal as alternate protein ingredient in broiler finisher ration. Pakistan J Zool 49:1463-1470.
21. Williams KC. 1992. Some factor affecting albumen quality with particular reference to Haugh unit score. World Poult Sci J 48:5-16.
22. Windisch W, Schedle K, Plitzner C, Kroismayr A. 2008. Use of phytogetic products as feed additives for swine and poultry. J Anim Sci 86:140-148.
23. Xue M, Meng XS. 1996. Review on research progress and properous of immune activities of bioactive polysaccharide. J Tradit Chin Vet Med 3:15-18.
24. Yang HJ, Lee JW, Lee SH, Ryu JS, Kwak DH, Nam KS, Park YI, Lee YC, Jung KY, Choo YK. 2010. Estrogenic activity produced by aqueous extracts of silkworm (*Bombyx mori*) pupae in ovarietomized rats. American J Chinese Medc 38:89-97.