

갈색거저리 (*Tenebrio molitor* L.) 첨가 급여가 산란계의 생산성과 계란의 품질에 미치는 영향

김선곤¹ · 구희연¹ · 김정은¹ · 강성주¹ · 선상수²

¹전남농업기술원 곤충잡업연구소, ²전남대학교 동물자원학부

Effect of Yellow Mealworms (*Tenebrio molitor* L.) Feed Supplementation on Egg Productivity and Quality in Broiler

S.G. Kim¹, H.Y. Koo¹, J.E. Kim¹, S.J. Kang¹ and S.S. Sun²

¹Insects and Sericultural Research Institute, Jeollanamdo Agricultural Research and Extension
Services, ²Department of Animal Science, Chonnam National University

ABSTRACT

Animal sources protein would be important for egg production in layers. Yellow mealworm (MW) was supplemented in layers feed to test as a protein sources for animal. Layers (Hy-Line Brown, one-hundred twenty, 15 weeks old) were randomly assigned in three treatment (control, 1% MW, 2% MW). Animal diet was mixed based on nutrient requirement for layers and then fed 12 weeks. Egg production rate was increased significantly ($p<0.05$) in mealworm supplemented group than that in control group. Egg production increased about 2~3% would be big benefit for poultry farmers. Egg shell color and Hough Unit were reduced in both treatment groups. However, linoleic acid and linolenic acid were significantly ($P<0.05$) increased in mealworm supplemented groups. Saturated fatty acid and unsaturated fatty acid were not affected by mealworm supplementation. Therefore, mealworm supplementation would be positive effect on egg production and egg quality in layers.

Additional key words: Mealworm, Egg Productivity, Egg Quality, Layers

서 론

산란계에서 생산된 계란은 완전식품으로서 난각, 난백 및 난황으로 구성되어 있다. 계란은 평균 중량을 60g으로 가정했을 때, 난각이 전체 중량의 10.5%를 차지하고 있으며, 나머지가 가식부분으로 이 중 난황이 31.0%, 난백이 58.5%를 차지하고,

가식부분 중 75%는 수분이며, 인간이 영양소로 이용할 수 있는 계란의 고형물은 계란 한 개 당 약 25% 정도라고 보고되었다 (Na, 2010). 이 밖에도 계란의 구성 성분에 대한 많은 선행 연구가 진행되었는데, Cunningham 등(1960)에 따르면 닭의 연령이 증가할수록 계란 내 난백의 비율은 감소하는 반면 난황 비율은 증가하였고, Silversides

(1994)은 산란 주령이 경과할수록 난백 높이는 감소하지만, 계란 중량과 난백의 총량은 증가한다고 보고하고 있다. 산란일령이 증가할수록 계란의 품질이 저하할 수 있다 (Kim, et al., 2014). 일반적으로 계란의 중량은 소비자가 계란 구매 시 우선 선택지표이며, 계란의 모양, 난각 파손상태 및 청결도 또한 소비자 의사에 영향을 준다 (Genchev, 2012).

곤충은 여러 종류의 동물에서 중요한 자연식품으로 인식되어왔다 (Anand et al., 2008). 예를 들면, 곤충들은 사람과 동물들을 위한 영양소일 뿐만 아니라, 의약품과 유기물을 재활용하는 용도로 이용되고 있다. 곤충을 사육하면 다른 동물성 단백질 공급원에 비하여 적은면적에 낮은 비용으로 사육할 수 있어서 미래에 유망한 산업이다. 더욱이 대부분의 곤충 종들은 식물성 단백질원을 동물성 단백질로 바꾸는데 대단히 효과적이다 (Premalatha et al., 2011). 곡류위주의 음식을 섭취하는 개발도상국에서 대부분의 식용 곤충들은 저렴하고 좋은 단백질과 무기물 공급원이다 (Ifie and Emeruwa, 2011).

거저리 (Mealworms, *Tenebrio molitor* L.)는 작은 포유류와 파충류를 포함한 애완동물의 먹이로 이용되고 있으며, 곤충체내에 44-70%의 단백질을 함유하고 있어서 좋은 사료원이기도 하다 (Ramos-Elorduy et al., 2002; Oonincx and de Boer, 2012). 농업적으로도 거저리와 같은 가식용 곤충들은 단백질, 지질, 탄수화물, 비타민 함량이 높아서 가금류의 사료원으로 우수하게 평가되고 있다 (Ramos-Elorduy and Pino, 1990). 또한 거저리는 필수아미노산 함량이 높으며, 딱정벌레목에 속하는 곤충들은 특히 유충시기에 지방함량이 높다 (Cerritos, 2009). 이러한 높은 영양소 함량 때문에, 거저리는 년 중 이용이 가능한 미래 유망한 사료원으로 가능성이 높다. 다른 보고에 의하면 거저리는 암모니아를 배출하지 않으며 (Oonincx et al., 2010), 환경오염이 낮다 (Pimental et al., 1975)고 한다.

건조한 거저리 유충은 사료섭취량, 증체량, 사료 효율에 부정적인 영향 없이 육계 스타터 사료에 10% (DM) 까지 첨가할 수 있다. 또한 거저리 첨가사료에 대한 조직감이나 기호성에 따른 영향은

없었다 (Ramos-Elorduy et al., 2002). 산란계에 대한 연구는 제한적이지만 거저리 유충이 산란계 첨가사료로 적합하며 (Giannone, 2003), 건조한 거저리는 산란계에서 어분을 대체할 수 있는 좋은 사료원이다 (Wang et al., 1996).

산란계에 있어 산란 초기는 전 산란 기간 동안의 난 생산성에 지대하게 영향을 미친다. 산란 초기 기간 동안 적절한 수준의 에너지, 조단백질 및 필수 영양소를 공급함으로써 산란율이 90~95% 수준에 도달하고, 난중은 약 60 g까지 증가하며, 체중은 약 2.1 kg까지 증가하게 된다 (한국사양표준-가금, 2012). 또한, 산란 피크 기간 중 영양소 공급을 적절히 함으로서 전체 산란 기간 동안의 난 생산성이 잘 유지될 수 있다 (Leeson and Summers, 2001).

현재까지 산란계에 관한 여러 연구들이 수행되었지만 곤충이나 거저리를 사료 공급원으로 이용한 사례는 많지 않다. 본 연구는 산란계 사료 내 갈색거저리를 첨가 급여하여 산란계의 계란 생산성과 계란의 품질을 조사하기 위하여 실험을 수행하였다.

재료 및 방법

1. 시험동물 및 사양관리

시험 동물은 1일령의 하이라인(Hy-line)종 산란계를 15주 동안 육추한 후에 120 수를 공시하여 3개 처리구 (대조구, 1% MW, 2% MW)에 각각 40수씩 완전임의배치하고 12주동안 시험하였다. 사양 관리는 전남술대학교 부속 동물사육장의 관행에 준하여 3단 철제 케이지에서 사육하였다. 점등은 전 사양 기간 동안 24시간 종일 전등을 실시하였고, 계사 온도는 24~22℃까지 사육실 온도 관리 프로그램에 따라 조절하였다. 시험사료는 시판 산란초기 사료(광주축산업협동조합)를 기초 사료로 이용하였으며, 건조된 갈색거저리 (Mealworms, MW) 유충을 분쇄하여 수준별로 첨가하였다. 영양소 함량은 산란초기 영양소 함량에 적합한 배합을 하였다. 동물실험은 동물보호법 제13조 및 제14조에 의거하여 「전남대학교 동물실험윤리위원회」에 의해 사전 승인되었다.

2. 산란계의 생산성

사료 섭취량은 급여량과 잔량을 측정하여 계산하였으며, 매일 동일한 시간에 산란수와 난중을 측정하였으며, 산란율은 실험 기간 중 생산된 총 산란수를 공시수로 나누어 백분율로 계산하였다. 난황은 총 난중에서 흰자를 제거한 후 평균 난황을 측정하였다.

3. 계란의 품질

계란의 품질은 실험 종료 후 각 처리구당 30개의 계란을 수집한 다음, 계란의 품질을 측정하였다. 난품질 중 난각 강도는 난각 강도계(QC-SPA, TSS, UK)를 이용하였고, 난각 색도, 난백고, Hough Unit과 난황의 색도는 계란 품질 측정기(QCM+, TSS, UK)를 이용하여 측정하였다.

4. 난황 지방산 함량

계란의 난황 내 지방산 조성을 조사하기 위해서 각 처리구당 5개씩 수집된 계란의 난황을 난백으로부터 분리, 동결건조하여 이후 0.5 g의 난황을 취한 다음 Smith 등(2002)의 방법에 따라 saponification과 메탄올에 녹인 0.5 N potassium hydroxide를 이용한 esterification을 실시하였다. 이후 헥산을 이용하여 fatty acid methyl ester(FAME)를 추출하였으며 scintillation vial로 헥산을 옮겨 담은 다음 GC-MSD (6870N-5973, Agilent, US)를 이용하여 난황 내 지방산을 분석하였다. 이때 GC-MSD는 컬럼을 Fused silica capillary column (100 m × 0.25 mm × 0.2 um film thickness, SP(TM) 2560 No.48340-01)으로 하였다.

4. 통계 분석

모든 얻어진 결과에 대한 통계 분석은 Statistical Analysis System(SAS, 2005)의 General Linear Model (GLM) procedure를 이용하여 실시하였고, 처리구간의 유의성 검정은 Duncan의 다중 검정(Duncan, 1955)을 통해 유의 수준 $P < 0.05$ 에서 검정하였다.

결과 및 고찰

산란계의 생산성 연구는 오래전부터 많은 생산자들이 실험하고 있는 내용이다. 사료 효율을 증가시키고 사료 요구율을 감소시키는 생산성 증가는 생산자의 경제적 이익을 가져올 뿐만 아니라 계란의 품질을 향상시키는 계기가 되었다. 산란계의 사료는 영양소 요구량에 맞추어 적합하게 배합하는 것이 가장 중요하다(Table 1). 단백질 함량을 조절하기 위하여 대두박과 거저리의 함량을 조절하였다.

Table 1. Formula and chemical composition of experimental diet for layers.

Ingredients	(%)
Corn	67.55
Soybean meal	17.28~18.28
Corn gluten meal	3.15
Rapeseed meal	0.50
Limestone	8.23
Vitamin premix ¹	0.20
Mineral premix ²	0.10
Mealworm	1~2
Calculated chemical composition	
ME (kcal/kg)	2,800
CP (%)	16.00
Ca (%)	3.70
P (%)	0.40

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

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

Table 2. Effect of yellow mealworm supplementation on productivity of laying hens

Treatments	Control	1% MW	2% MW
Egg production (%)	72.5±1.35 ^a	75.1±1.59 ^b	74.8±1.27 ^b
Egg weight (g)	58.9±0.61	56.4±0.82	58.2±0.74
Feed intake (g)	116.8±1.07	117.3±2.01	118.31±1.83

* Mean values within a row different superscript are different (p<0.05).

Table 3. Effect of yellow mealworm supplementation on egg quality of layers

Treatments	Control	1% MW	2% MW
Egg shell color	25.36±0.70	24.18±1.04	23.84±0.89
Albumin height (mm)	5.89±0.27	5.73±0.38	5.81±0.29
Haugh unit	81.67±2.46	80.78±2.19	79.15±3.16
Yolk color	6.71±0.11	6.90±0.16	6.21±0.27
Egg shell strength (kg/cm ²)	4.57±0.16	4.92±0.26	5.05±0.25

거저리 첨가급여에 의한 산란계의 생산성은 Table 2에 나타나있다. 산란율은 대조구에 비하여 거저리 첨가구에서 유의적으로 (p<0.05) 증가하였다. 산란율의 2~3% 증가는 농가의 소득증대에 커다란 영향을 줄 수 있다. 그러나 난중에는 별다른 영향이 나타나지는 않았지만, 사료섭취량은 거저리 첨가급여에 의하여 약간 증가하는 경향을 보였다. 직접적인 곤충은 아니지만 지렁이 분변토 발효 사료 첨가제의 급여에 의하여 산란능력 개선 효과를 보고하였다(Hwangbo et al., 2014). 또한 조단백질 급여 수준에 따라 난중에 관한 영향을 조사한 많은 연구가 있으며, 대부분의 경우 조단백질 수준이 높을수록 난중은 증가하는 결과를 나타낸다(Parsons et al., 1993; Scheideler et al., 1998). 그러나 산란계 사료에 있어 매리골드 추출물의 첨가는 계란 내 과산화물을 억제함으로써 저장 기간 동안의 계란의 신선도 유지에 긍정적인 영향을 미치는 것을 확인하였고, 천연 항산화제로써의 잠재적인 가능성을 확인 하였다(Kim, 2014).

일반적으로 계란 중량과 난황 중량 또는 난백 중량 사이에 유의적인 정의 상관관계가 존재하며, 계란의 중량이 증가할수록 난백 높이의 감소와 함께 계란 신선도 평가시 대표적인 요인인 Haugh unit이 감소함이 보고되고 있다(Silversides, 1994; Mitrovic et al., 2010). 따라서 본 실험 결과들은 이전의 연구와 유사하며, 산란된 계란을 산란 주령

과 관계없이 중량 규격으로 분류하였을 때 난각, 난황 및 난백 중량은 중량 규격대가 증가함에 따라 동일하게 증가하지만, 난백 높이와 Haugh unit은 중량 규격대가 증가할수록 낮아지는 것을 확인할 수 있었다(Lee, 2013).

산란계의 사육방법이 다른 산란계 운동장 사육은 산란 초기의 생산성을 저하시키나, 중후기의 생산성은 약간 증가를 보였으며, 면역성은 증가하였으나 스트레스는 다소간 더 받는 것으로 나타났다. 따라서 초기 산란율을 향상시키고, 적절한 외부의 환경에 의한 스트레스를 줄일 수 있는 사육 환경이 뒷받침된다면 운동장 사육이 동물복지형 사육이 매우 적합한 사양방법이라고 생각 된다(Kim, 2013).

계란의 품질에 관한 결과는 Table 3에 나타나 있다. 난각의 색깔은 거저리 첨가급여에 의하여 약간 감소하는 경향을 보였다. 이러한 결과는 다른 연구들과 반대되는 내용을 보여주고 있다. 또한 Hough Unit는 거저리 첨가급여에 의하여 약간 감소하였다. 그러나 난각강도는 거저리 첨가급여에 의하여 조금 증가하는 경향을 보였다. 난황색은 계란의 품질을 판단하는데 있어 중요한 요소로 자리 잡고 있다(Delgado-Vargas et al., 1998). 전 세계적으로 소비자들은 금황색, 오렌지색 등과 같은 짙은 난황색을 선호 한다(Hasin et al., 2006). 다른 첨가시험에서 약용 식물 가공 부산물을 산란계 사

료에 적용한 결과, 대조구에 비해 약용 식물 가공 부산물을 첨가한 처리구에서 유의차는 없었으나, 산란율 및 Haugh unit이 개선되었으며(Kim et al., 2006), 산란계 사료에 인도 자생 허브 5종을 첨가한 연구에서 허브를 첨가한 처리구가 대조구에 비해 난질 및 Haugh unit이 개선되었다는 연구 결과(Shon et al., 2004)와 일치한다. Haugh unit은 계란의 내부 난질을 평가하는 지표이며, 시간 경과에 따라 감소하는 경향을 나타냈다(Williams, 1992). Haugh unit은 영양적 요인에 의해 보통은 잘 변화하지 않지만(Naber, 1979), 천연 항산화 영양소의 급여 후 난백의 품질이 향상되어 Haugh unit이 개선되는 결과가 나타나기도 한다(Keshavarz, 1996; Sahin et al., 2003). 또한 산란계가 고온에 노출되면 체열을 방출하기 위해 열성 다호흡을 함으로써 혈액 CO₂가 과다하게 배출되어 호흡성 알칼리혈증(alkalosis)이 일어나, 산란율, 난중 및 계란의 비중 등의 저하 원인이 되기도 한다(Deaton et al., 1986).

거저리 첨가급여에 의하여 linoleic acid 와 linolenic acid 는 대조구에 비하여 처리구에서 모두 유의적으로($p<0.05$) 증가하였다. Myristic acid 와 Arachidonic acid 는 거저리 첨가급여에 의하여 약간 증가하는 경향을 보였다. 그러나 다른 지

방산들은 별다른 영향을 보이지 않았다. 포화지방산과 불포화지방산의 함량에도 변화가 나타나지 않았다. 그러나 다른 연구보고에 의하면 첨가에 의하여 난황 중의 불포화 지방산 및 포화 지방산의 비율은 처리구간 유의적인 차이를 나타내었다($p<0.05$) (Hwangbo et al., 2014). 일반적으로 인간의 건강을 위하여 식품내 n-6/n-3의 이상적인 비율은 4 : 1 이하로 알려져 있다(Park and Park, 2012). 본 결과는 거저리 사료 첨가 급여가 일반 계란과 비교할 때 이상적인 비율에 가까워짐을 나타내고 있기 때문에 고품질 계란 생산에 기여할 수 있음을 보여준다.

요 약

산란계의 생산성을 증진시키기 위하여 동물성 단백질의 공급이 매우 중요하다. 동물성 단백질을 높여주기 위하여 거저리(곤충)의 산란계 사료에 이용성을 실험하였다. 하이라인 산란계를 15주 동안 육추한 후에 120 수를 공시하여 3개 처리구(대조구, 1% MW, 2% MW)에 완전임의배치 하고 12주 동안 시험하였다. 시험사료는 산란초기 사료에 건조된 갈색거저리(Mealworms, MW) 유충을 분

Table 4. Effect of yellow mealworm supplementation on fatty acid composition of egg yolk.

Treatments	Control	1% MW	2% MW
Myristic acid (C14:0)	0.33±0.01	0.38±0.02	0.36±0.01
Palmitic acid (C16:0)	24.53±0.32	24.72±0.38	25.17±0.41
Palmitoleic acid (C16:1n7)	2.38±0.20	2.72±0.31	2.63±0.26
Stearic acid (C18:0)	12.36±0.45	11.83±0.52	12.93±0.47
Oleic acid (C18:1n9)	43.74±1.38	42.94±2.09	44.17±1.83
Linoleic acid (C18:2n6)	13.97±1.05 ^a	14.18±2.18 ^{ab}	15.03±1.53 ^b
Linolenic acid (C18:3n3)	0.22±0.01 ^a	0.35±0.02 ^b	0.31±0.02 ^b
Arachidonic acid (C20:4n6)	3.38±0.20	3.94±0.31	3.62±0.27
SFA ¹	37.22±0.61	36.93±0.72	38.46±0.58
UFA ²	63.69±0.61	64.13±0.83	65.76±0.73
UFA/SFA	1.71±0.04	1.74±0.08	1.71±0.06

¹Saturated fatty acid, ²Unsaturated fatty acid.

* Mean values within a row different superscript are different ($p<0.05$).

쇄하여 수준별로 첨가하였다. 산란율은 대조구에 비하여 거저리 첨가구에서 유의적으로 ($p<0.05$) 증가하였다. 산란율의 2~3% 증가는 농가의 소득 증대에 커다란 영향을 줄 수 있다. 난각의 색깔은 거저리 첨가급여에 의하여 약간 감소하는 경향을 보였다. Hough Unit 는 거저리 첨가급여에 의하여 약간 감소하였다. 거저리 첨가급여에 의하여 linoleic acid 와 linolenic acid 는 대조구에 비하여 처리구에서 모두 유의적으로 ($p<0.05$) 증가하였다. 포화 지방산과 불포화지방산의 함량에도 변화가 나타나지 않았다. 결과적으로 거저리 사료 첨가 급여가 일반 계란과 비교할 때 이상적인 비율에 가까워짐을 나타내고 있기 때문에 고품질 계란 생산에 기여할 수 있음을 보여준다.

검색어: 거저리, 계란생산성, 계란품질, 산란계

참고문헌

1. Anand H, Ganguly A, Haldar P 2008 Potential value of acridids as high protein supplement for poultry feed. *International Journal of Poultry Science* 7(7): 722-725.
2. Cerritos R 2009 Insects as food: an ecological, social and economical approach. CAB Reviews: Perspectives in Agriculture, Veterinary Science, Nutrition and Natural Resources.
3. Cunningham FE, Cotterill OJ, Funk EM 1960 The effect of season and age of bird. 1. on egg size, quality, and yield. *Poultry Sci* 39: 289-299.
4. Deaton JW, Reece FN, Lott BD 1986 Effect of summer cyclic temperatures versus moderate temperature on laying hen performance. *Poultry Sci* 65: 1649-1651.
5. Delgado-Vargas F, Paredes-Lopez O, Avila-Gonzalez E 1998 Effects of sunlight illumination of marigold flower meals on egg yolk pigmentation. *J Agric Food Chem* 46: 698-706.
6. Duncan DB 1955 Multiple range and multiple F tests. *Biometrics* 11: 1-42.
7. Genchev A 2012 Quality and composition of Japanese quail eggs (*Coturnix japonica*). *TJS* 10: 91-101.
8. Giannone M 2003 A natural supplement made of insect larvae. *Rivista di Avicoltura*, 72(4): 38, 40-41.
9. Hasin BM, Ferdaus AJ, Islam MA, Uddin MJ, Islam MS 2006 Marigold and orange skin as egg yolk color promoting agents. *J Poult Sci* 5: 979-987.
10. Hwangbo J, Park SO, Park BS 2014 Effect of Dietary Fermented Earthworm Cast Additives on Odor Reduction of Poultry House and Egg Production. *Korean J. Poult. Sci.* 41(1): 1-5.
11. Ifie I, Emeruwa CH 2011 Nutritional and anti-nutritional characteristics of the larvae of *Oryctes monoceros*. *Agric Biol J N Am* 2(1): 42-46.
12. Keshavarz K 1996 The effect of different levels of vitamin C and cholecalciferol with adequate or marginal levels of dietary calcium on performance and eggshell quality of laying hens. *Poultry Sci* 75: 1227-1235.
13. Kim EJ 2014 The Dietary Effects of Marigold Extracts on Egg Production, Egg Quality and the Production of Lutein Fortified Chicken Eggs. *Korean J. Poult. Sci.* 41(2): 135-142.
14. Kim JH, Na JC, Kim SH, Jang BG, Kang HS, Lee DS, Lee SJ, Jwa SH 2006 Effect of dietary medicinal plant byproducts on egg production and egg quality in laying hens. *Korean J Poult Sci* 33: 121-126.
15. Kim KS, Lee SK, Choi YS, Ha CH, Kim WH 2013 Effects of Production Performance, Immunity and Egg Quality by Raising on Exercise Yard in Laying Hens. *Korean J. Poult. Sci.* 40(2): 097~103.
16. Kim SG, Koo HY, Kim JE, Oh HK, Kang SJ, Sun SS 2014 Feed Supplementation of Yellow Mealworms (*Tenebrio molitor* L.) Improves Blood characteristics and Meat quality in Broiler. *Korean J. Poult. Sci.* (accepted).

17. Lee JC, Kim SH, Sun CW, Kim CH, Jung S, Lee JH, Jo C 2013 Comparison of Principle Components and Internal Quality of Eggs by Age of Laying Hens and Weight Standard. *Korean J. Poult. Sci.* 40(1): 049-055.
18. Leeson S, Summers JD 2001 Nutrition of the Chicken. 4th ed. University Books, Guelph, Ontario, Canada.
19. Mitrovic S, Pandurevic T, Milic V, Djekic V, Djermanovic V 2010 Weight and egg quality correlation relationship on different age laying hens. *J Food Agric Environ* 8: 580-583.
20. Na JC 2010 Method to improve egg quality. *Hyun Dai Yang Ge* 498: 56-59.
21. Naber EC 1979 The effect of nutrition on the composition of eggs. *Poultly Sci* 58: 518-528.
22. Oonincx DGAB, de Boer IJM 2012 Environmental impact of the production of mealworms as a protein source for humans – A Life Cycle Assessment. *PLOS ONE* | www.plosone.org 7(12): e51145.
23. Oonincx DGAB, van Itterbeeck J, Heetkamp MJW, van den Brand H, van Loon JJA 2010 An exploration on greenhouse gas and ammonia production by insect species suitable for animal or human consumption. *PLoS ONE* 5(12): e14445. doi:10.1371/ journal.pone.0014445.
24. Park BS, Park SO 2012 The consumption of low animal food with low n-6/n-3 ratio reduce LDL cholesterol in humans. *Res J Med Sci* 6: 107-112.
25. Parsons CM, Koelkebeck KW, Zhang Y, Wang X, Leeper RW 1993 Effect of dietary protein and added fat levels on performance of young laying hens. *J Appl Poult Res* 2: 214-220.
26. Pimental D, Dritschilo W, Krummel J, Kutzman J 1975 Energy and land constraints in food protein production. *Science* 190: 754-761.
27. Premalatha M, Abbasi T, Abbasi SA 2011 Energy-efficient food production to reduce global warming and eco-degradation: The use of edible insects. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 15: 4357-4360.
28. Ramos-Elorduy J, Pino JM 1990 Variation of the nutritive value of *Tenebrio molitor* L. raised on different substrates. *Proc Int Working Conf Stored Prod Protect 1*: 210-210.
29. Ramos-Elorduy J, Avila Gonzalez E, Rocha Hernandez A, Pino JM 2002 Use of *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae) to recycle organic wastes and as feed for broiler chickens. *J Econ Entomol* 95(1): 214-220.
30. Sahin N, Sahin K, Onderci M 2003 Vitamin E and selenium supplementation to alleviate cold-stress-associated deterioration in egg quality and egg yolk mineral concentrations of Japanese quails. *Bio Trace Element Res* 96: 179-189.
31. Scheideler SE, Jaroni D, Froning GW 1998 Strain and age effects on egg composition from hens fed diets rich in n-3 fatty acids. *Poultry Sci* 77: 192-196.
32. Shon KS, Kwon OS, Min BJ, Cho JH, Chen YJ, Kim IH, Kim HS 2004 Effect of dietary herb product(animunin powder) on egg characteristic, blood components, and nutrient digestibility in laying hens. *Korean J Poult Sci* 31: 237-244.
33. Silversides FG 1994 The Haugh unit correction for egg weight is not adequate for comparing eggs from chickens of different lines and ages. *J Appl Poult Res* 3: 120-126.
34. Wang YC, Chen YT, Li XR, Xia JM, Du QS, Zhi C 1996 Study on rearing the larvae of *Tenebrio molitor* Linne and the effects of its processing and utilization. *Acta Agriculturae Universitatis Henanensis* 30(3): 288-292.
35. Williams KC 1992 Some factors affecting albumen quality with particular reference to Haugh unit score. *World's Poult Sci J* 48: 5-16.
36. 한국사양표준(가금) 2012 농림부 농촌진흥청 국립축산과학원.