



산란말기에 게르마늄의 첨가 급여가 산란계의 생산성과 계란품질 및 혈액성상에 미치는 영향

임천익¹ · 문홍길² · 김상호² · 최호성³ · 류경선^{1*}

¹전북대학교 동물자원과학과, ²국립축산과학원 가금연구소,
³전북대학교 동물생명공학과

Effects of Dietary Germanium on the Performance, Egg Quality and Blood Composition for the Finishing Stage of Laying Hens

Chun Ik Lim¹, Hong Kil Moon², Sang Ho Kim², Ho Sung Choe³ and Kyeong Seon Ryu^{1*}

¹Department of Animal Science, Chonbuk National University, Jeonju 54896, Republic of Korea

²Poultry Research Institute, National Institute of Animal Science, RDA, Pyeongchang 25342, Republic of Korea

³Department of Animal Biotechnology, Chonbuk National University, Jeonju 54896, Republic of Korea

ABSTRACT This study was conducted to assess the effect of dietary addition of Germanium (Ge) on performance, egg quality, serum biochemical properties and yolk fatty acid composition in laying hens. At 74 weeks of age, a total of 360 Hy-line brown commercial layers were divided into four treatments with five replicates per treatment. Four dietary levels of Ge (0, 1, 2 and 4%) were added to the basal diets (ME: 2,750 kcal/kg, CP: 16%) and fed corresponding diet for a period of 12 weeks. The effects of these treatments on production performance and egg quality were measured three times at four week intervals, and at the end of the experiment, blood and egg yolk fatty acid were analyzed. The results showed that production performance parameters including egg production rate, feed intake, egg weight, egg mass and feed conversion ratio were non-significant, but dietary addition of 2% Ge tended to increase egg production rate. Eggshell strength was found to be significantly higher in Ge supplemented groups than in the control group ($P<0.05$), and eggshell thickness was also trended to be improved in Ge treated groups. In serum, triglyceride content was significantly greater ($P<0.05$), and the highest total cholesterol was found in hens of the control group as compared with that of the Ge supplemented groups. The yolk fatty acid composition including polyunsaturated fatty acid, unsaturated fatty acid and saturated fatty acid were not affected among the treatments but addition of 2 or 4% Ge in basal diet had significantly ($P<0.05$) increased monounsaturated fatty acid. Therefore, supplementation of Ge in laying hens diet has positive effects on egg quality and triglyceride in serum.

(Key words: blood composition, egg quality, germanium, laying hens, performance)

서 론

국내에 수천만 톤 이상 매장되어 있을 것으로 추정되는 게르마늄은 주기율표 14족 4주기에 속하는 원자번호 32의 탄소족 원소로서, 최초로 전자공학 분야에서 이용되었지만, 의학적으로 면역강화, 산소공급증진, 혈액정화, 중금속 배출 촉진 및 항산화와 같은 다양한 작용이 구명되어 인체에서도 활발히 활용되어 왔다(Lee, 2005; Nakamura et al., 2015). 가축용 사료에 게르마늄의 첨가급여로 항체 생산능력이 향상되어 질병 발생을 예방하고(Xuan and Fuzhu, 2009), 장내에

서 대장균과 살모넬라 같은 소화기성 질병의 원인체 억제 및 성장촉진과 항산화 작용에 기여한다(Song and Ji, 2005; Jung et al., 2012). 산란계 사료에 게르마늄의 0.2% 첨가 급여시에 체조직과 난황 내로 이행이 가능하였고(Youn et al., 2009), 간 지질대사에 영향을 미쳐 혈중 콜레스테롤과 중성지방의 농도를 낮추며 혈중 백혈구 농도를 증대하여 산란계의 질병저항력과 면역능력을 개선한다고 하였다(Hong et al., 2002; Qu, 2006). 이외에도 게르마늄은 칼슘과 교호작용을 통하여 장내 칼슘흡수를 촉진하는 역할을 하므로(Wand and Xiao, 2006), 산란계에 게르마늄의 첨가 급여는 다양한

* To whom correspondence should be addressed : seon@jbnu.ac.kr

약리작용을 통하여 산란계의 강건성을 증진하고, 난각품질을 개선할 것으로 사료된다. 특히, 계란의 생산과 칼슘흡수력이 급격히 저하되는 산란말기에서 게르마늄의 급여는 계란의 생산성을 향상하고, 난각과 관련한 계란품질을 개선하는 방안으로 사료되나, 산란계의 산란말기에서 게르마늄을 급여한 연구는 거의 없다.

그러므로 본 연구는 산란말기 사료에 게르마늄을 수준별 급여하여 닭의 생산성, 계란품질 및 혈액성상에 미치는 영향을 구명하고자 시행하였다.

재료 및 방법

1. 실험동물 및 설계

74주령의 하이라인 갈색종 산란계 360수를 4처리구의 5반복으로 3단 케이지에 임의로 배치하여 총 12주간 사양실험을 실시하였다. 기초사료는 옥수수, 대두박 위주의 가루사료 형태로 대사에너지는 2,750 kcal/kg, 조단백질은 16% 수준으로 배합하였고(Table 1), 각 처리구에는 가루형태의 게르마늄 분말을 기초사료에 0, 1, 2 및 4% 수준으로 첨가하여 급여하였다. 물은 니플에서 자유 음수하도록 하였고, 점등은 16시간으로 일정하게 고정하였다.

2. 조사항목 및 방법

1) 산란율, 난중, 1일 산란량 및 사료요구율

산란 수와 난중은 매일 조사하였고, 사료섭취량은 총 급여량에서 사료잔량을 공제하여 측정하였다. 산란율은 산란수를 사육수수로 나누었고, 사료요구율은 사료섭취량을 1일 산란량으로 나누어 계산하였다.

2) 난백높이, 호유닛, 난각강도 및 두께

처리구 당 30개의 계란을 채집하여 분석하였다. 난백높이와 호유닛은 계란품질측정기(QCM+; TSS, UK)를 이용하였고, 난각강도와 두께는 난각강도계(QC-SPA; TSS, UK)와 난각두께측정기(FHK, Japan)를 이용하여 측정하였다.

3) 난황 내 지방산 분석

사양시험 종료 후 처리구당 계란 10개의 계란을 수집하여 조사하였다. 조사방법으로는 계란에서 0.5 g의 난황을 채취하여 methanol과 benzen을 4:1로 혼합한 용액을 첨가한 후 acetyl chloride 200 μ L를 첨가하여 100 $^{\circ}$ C에서 1시간 반응시켰다. 이후 6% potassium carbonate과 hexane을 각각 2 mL 첨

Table 1. Basal diet composition

| Ingredient | % |
|--|-------|
| Corn | 67.23 |
| Soybean meal | 17.38 |
| Corn gluten meal | 4.24 |
| Limestone | 9.42 |
| Calcium phosphate | 0.94 |
| Salt | 0.38 |
| L-Lysine | 0.05 |
| DL-Methionine | 0.03 |
| Vitamin premix ¹ | 0.18 |
| Mineral premix ² | 0.15 |
| Total | 100 |
| Chemical composition (calculation value) | |
| ME (kcal/kg) | 2,750 |
| CP (%) | 16 |
| Lysine (%) | 0.740 |
| Methionine (%) | 0.320 |
| Calcium (%) | 3.800 |
| Sodium (%) | 0.165 |
| Available phosphate (%) | 0.320 |

¹ Contains per kg: vit. A, 5,500 IU; vit. D₃, 1, 100 ICU; vit. E, 11 mg; vit. B₁₂, 0.0066 mg; vit. K₃, 1.1 mg; riboflavin, 4.4 mg; pantothenic acid, 11 mg (calcium pantothenate: 1.96 mg); choline, 190.96 mg; folic acid, 0.55 mg; pyridoxine, 2.2 mg; biotin, 0.11 mg; thiamine, 2.2 mg; ethoxyquin, 125 mg.

² Contains per kg: Cu, 10 mg; Fe, 60 mg; I, 0.46 mg; Mn, 120 mg; Zn, 100 mg.

가하여 hexane층을 추출하였고 -20 $^{\circ}$ C에서 보관하였다. 헬륨을 시험기체로 하였고, split ratio는 30:1로 하여 GC-MSD (6890N-5973, Agilent, US)를 이용하여 분석하였다.

4) 혈액 생화학적 분석

처리구 당 10수의 산란계에서 채혈하여 혈청을 분리하였고, 세그먼트에 배열한 후 전자동 생화학 분석장비(Automatic Biochemical Analyser, Thermo Scientific, Konelab 20, Finland)를 이용하여 알부민, AST, 콜레스테롤, 글루코오스, 단백질 및 중성지방을 분석하였다.

3. 통계분석

모든 데이터는 SAS(Statistical Analysis System, 9.2 Version, Cary, NC, 2002)의 General Linear Model을 이용하여 분석하였으며, Duncan (1955)의 다중검정방법을 통하여 5% 수준에서 통계적 차이를 확인하였다.

결과 및 고찰

1. 산란율, 사료섭취량, 난중, 1일 산란량 및 사료요구율

산란말기 사료에 게르마늄의 수준별 첨가 급여가 산란율, 사료섭취량, 난중, 1일 산란량 및 사료요구율에 미치는 영향은 Table 2에 나타내었다. 산란율은 게르마늄 2% 급여구에서 79.03%로 대조구에 비해 약 2.01% 증가하는 경향이 있었지만 통계적 차이는 없었다. 사료섭취량은 모든 처리구에서 103.09~104.21 g으로 차이가 없었으며, 난중도 61.32~61.81 g으로 게르마늄 첨가수준에 따른 차이가 없었다. 또한 1일 산란량과 사료요구율은 처리구 간의 차이가 확인되지 않았다. 육계와 육용오리에 대한 게르마늄 첨가급여가 생산성에 미치는 영향은 없었고(Ham et al., 2002; Xuan et al., 2009), 40주령의 산란계에서도 사료 내 게르마늄 흑운모의 첨가급여가 산란율에 미치는 영향은 없었다고 하였다(Lee et al., 2003). 본 연구에서는 산란말기인 73주령 산란계에 게르마늄 2%보다 높은 수준의 첨가 급여구에서 산란율은 대조구에 비하여 증가하는 경향을 보였으나 유의성은 없었다.

2. 난백높이, 호유닛, 난각강도 및 두께

산란말기 사료에 게르마늄의 수준별 첨가급여가 난백높이, 호유닛, 난각강도 및 두께에 미치는 영향은 Table 3에 나타내었다. 난백높이는 7.76~7.99 mm로 처리구 간에 통계적

Table 2. Effect of dietary germanium on the performance of laying hens

| Germanium (%) | Egg production (%) | Feed intake (g) | Egg weight (g) | Daily egg mass (g) | Feed conversion |
|---------------|--------------------|-----------------|----------------|--------------------|-----------------|
| 0 | 77.02 | 103.99 | 61.32 | 47.22 | 2.202 |
| 1 | 76.69 | 102.84 | 61.81 | 47.40 | 2.171 |
| 2 | 79.03 | 104.21 | 61.38 | 48.52 | 2.149 |
| 4 | 78.67 | 103.09 | 61.35 | 48.26 | 2.136 |
| SEM | 0.42 | 0.60 | 0.23 | 0.30 | 0.014 |
| P-value | 0.10 | 0.85 | 0.89 | 0.38 | 0.360 |

Table 3. Effect of dietary germanium on the egg quality in laying hens

| Germanium (%) | Albumen height (mm) | Haugh unit | Shell strength (kg/cm ²) | Shell thickness (mm) |
|---------------|---------------------|------------|--------------------------------------|----------------------|
| 0 | 7.76 | 86.92 | 2.65 ^b | 0.355 |
| 1 | 7.81 | 87.12 | 3.47 ^a | 0.363 |
| 2 | 7.99 | 88.06 | 3.25 ^a | 0.374 |
| 4 | 7.83 | 87.26 | 3.42 ^a | 0.363 |
| SEM | 0.11 | 0.66 | 0.08 | 0.003 |
| P-value | 0.89 | 0.94 | 0.01 | 0.090 |

^{a,b} Value with the different letters in the row are significantly different at 5% level.

차이가 없었으며, 호유닛도 게르마늄 첨가수준에 따른 86.92~88.06으로 유의성은 없었다. 난각강도는 게르마늄 급여구에서 대조구에 비하여 0.60~0.82 kg/cm²로 증가되었고 (P<0.05), 난각두께도 처리구 간에 유의성은 없었지만, 게르마늄 급여구에서 0.363~0.374 mm로 대조구의 0.355 mm에 비하여 개선되는 경향을 보였다. 이와 같이 게르마늄 급여구에서 계란의 난각강도와 두께의 개선은 칼슘과의 교호작용을 통하여 체내 칼슘흡수를 촉진하였다는 이전의 보고(Wand and Xiao, 2006)와 동일한 과정을 통하여 있을 것으로 사료된다. 반면에 Lee et al.(2003)은 40주령 산란계에 게르마늄 흑운모의 0.5~1.5% 첨가급여가 계란의 난각강도와 두께에 미치는 영향은 없었다고 하였으며, Hong et al.(2002)도 32주령 산란계에 게르마늄의 급여시 난각품질 변화가 없었다고 보고하여 본 연구결과와 상반되었다. 이러한 원인은 산란계 주령의 차이에서 기인된 것으로 보이며, Hansen (2002)은 40주령 이후 산란계의 칼슘흡수력이 지속적으로 저하되었다고 하였으므로, 게르마늄 급여는 칼슘흡수력이 비교적 우수한 산란중기보다 산란말기에 저하된 칼슘흡수력을 높게 하였을 것으로 사료되었다.

3. 난황 내 지방산 조성

산란말기 사료에 게르마늄의 수준별 첨가 급여가 계란의 난황 내 지방산 조성에 미치는 영향은 Table 4에 나타내었다. Myristic acid(C14:0), palmitic acid(C16:0) 및 palmitoleic acid(C16:1, n-7)는 처리구 간에 통계적 차이는 없었지만, stearic acid(C18:0)는 게르마늄 2% 급여구에서 8.98%로 현저히 감소하였다(P<0.05). Oleic acid(C18:1, n-9)는 게르마

Table 4. Effect of dietary germanium on composition of yolk fatty acids (%) in laying hens

| Germanium (%) | C14:0 | C16:0 | C16:1 (n-7) | C18:0 | C18:1 (n-9) | C18:2 (n-6) | C18:3 (n-3) | C20:1 (n-9) | C20:4 (n-6) | C22:6 (n-3) | MUFA ¹ | PUFA ² | UFA ³ | SFA ⁴ |
|-----------------|-------|-------|-------------|--------------------|--------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------------|-------------------|------------------|------------------|
| 0 | 0.23 | 28.42 | 3.82 | 9.90 ^a | 43.37 ^b | 13.15 | 0.23 | 0.40 | 0.22 | 0.26 | 47.59 ^b | 13.87 | 61.46 | 38.54 |
| 1 | 0.20 | 28.70 | 3.80 | 10.22 ^a | 42.32 ^b | 13.57 | 0.24 | 0.40 | 0.27 | 0.28 | 46.53 ^b | 14.36 | 60.89 | 39.11 |
| 2 | 0.20 | 28.18 | 4.11 | 8.98 ^b | 44.74 ^a | 12.70 | 0.24 | 0.42 | 0.21 | 0.24 | 49.26 ^a | 13.38 | 62.64 | 37.36 |
| 4 | 0.21 | 27.87 | 3.66 | 10.16 ^a | 44.53 ^a | 12.49 | 0.22 | 0.38 | 0.22 | 0.26 | 48.57 ^a | 13.19 | 61.76 | 38.24 |
| SEM | 0.03 | 0.25 | 0.10 | 0.20 | 0.54 | 0.25 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.56 | 0.26 | 0.40 | 0.40 |
| <i>P</i> -value | 0.27 | 0.29 | 0.41 | 0.04 | 0.03 | 0.16 | 0.77 | 0.68 | 0.06 | 0.55 | 0.04 | 0.16 | 0.10 | 0.10 |

^{a,b} Value with the different letters in the row are significantly different at 5% level.

¹ Monounsaturated fatty acid, ² Polyunsaturated fatty acid, ³ Unsaturated fatty acid, ⁴ Saturated fatty acid.

닭 2%와 4% 급여구에서 44.53~44.74%로 대조구인 42.32~42.37%에 비하여 현저하게 증가하였고($P<0.05$), linoleic acid (C18:2, n-6), linolenic acid(C18:3, n-3), eicosenoic acid (C20:1, n-9), arachidonic acid(C20:4, n-6) 및 docosahexaenoic acid(22:6, n-3)는 처리구 간에 차이가 없었다. 이에 따라 단일불포화지방산(MUFA)은 게르마늄 2와 4% 급여구에서 49.26과 48.57%로 증가하였고($P<0.05$), 다중불포화지방산(PUFA)은 처리구 간 차이가 없었다. 불포화지방산(UFA)은 게르마늄 2%와 4% 급여구에서 61.76~62.64%로 대조구와 1% 급여구에 비해 높은 경향을 보였지만 포화지방산(SFA)은 감소하는 경향을 나타내었다. 본 연구의 결과는 육용오리 사료에 게르마늄 1% 수준으로 급여시 가슴육에서 oleic acid(C18:1 n-9)가 증가되어 단일불포화지방산과 불포화지방산 함량이 증가되었다는 보고(Kim et al., 2003)와 산란계에 게르마늄을 급여하면 난황으로 이행이 가능하며, oleic acid(C18:1 n-9) 함량이 증가되어 결과적으로 단일불포화지

방산이 증가한다는 보고(Youn et al., 2009)와 일치하였다.

4. 혈액의 생화학 성상

사료 내 게르마늄의 수준별 급여가 산란말기 닭의 혈중 알부민, AST, 콜레스테롤, HDL 콜레스테롤, 글루코오스, 단백질 및 중성지방 수준에 미치는 영향은 Table 5에 나타내었다. 혈중 알부민과 AST는 처리구 간 통계적 차이가 없었고, 콜레스테롤도 유의성은 없었지만 게르마늄 급여구에서 178.67~180.75 mg/dL로 대조구인 238.43 mg/dL에 비해 감소하는 경향이 확인되었다. HDL 콜레스테롤, 글루코오스 및 단백질은 게르마늄 급여에 따른 차이가 없었다. 중성지방은 게르마늄 급여구에서 2,218.52~2,328.33 mg/dL로 대조구에 비해 약 32% 감소되었다($P<0.05$). Qu(2006)는 산란계에 게르마늄의 첨가로 혈중 콜레스테롤과 중성지방의 농도가 저하되었다고 하였으며, Hong et al.(2002)도 32주령 산란계에 게르마늄 콜로이드를 수준별로 급여시에 처리구 간

Table 5. Effect of dietary germanium supplementation on the blood biochemical parameter in laying hens

| Germanium (%) | ALB ¹ (g/dL) | AST ² (IU/L) | CHOL ³ (mg/dL) | HDL ⁴ (mg/dL) | Glucose (mg/dL) | Protein (g/dL) | Triglyceride (mg/dL) |
|-----------------|-------------------------|-------------------------|---------------------------|--------------------------|-----------------|----------------|-----------------------|
| 0 | 2.29 | 158.42 | 238.43 | 16.28 | 264.47 | 6.78 | 3,364.72 ^a |
| 1 | 2.28 | 165.70 | 180.12 | 15.93 | 260.69 | 6.98 | 2,285.90 ^b |
| 2 | 2.41 | 163.72 | 180.75 | 17.61 | 259.09 | 7.08 | 2,328.33 ^b |
| 4 | 2.38 | 162.65 | 178.67 | 16.52 | 272.63 | 7.09 | 2,218.52 ^b |
| SEM | 0.02 | 3.04 | 10.22 | 0.85 | 4.98 | 0.09 | 0.09 |
| <i>P</i> -value | 0.13 | 0.88 | 0.09 | 0.92 | 0.80 | 0.63 | 0.01 |

^{a,b} Value with the different letters in the row are significantly different at 5% level.

¹ Albumin, ² Aspartate amino transferase, ³ Cholesterol, ⁴ High density lipoprotein cholesterol.

유의성은 없었지만, 1% 급여구에서 콜레스테롤과 중성지방이 감소되는 경향을 보였다고 하였다. 또한 Yuan et al.(2000)도 게르마늄의 급여가 육계의 지질대사에 영향을 미치므로 근내 지방침착과 콜레스테롤이 감소되며, 혈중 콜레스테롤과 중성지방도 감소되었다고 보고하여 본 연구결과와 일치하였다. 산란계는 주령이 증가함에 따라 지질대사 작용이 저하되므로 혈중 콜레스테롤과 중성지방이 상승되며, 이에 따른 간과 혈관 관련질환이 유발될 수 있으므로(So et al., 2009), 산란말기에 게르마늄의 첨가급여는 이러한 지질대사를 개선하여 닭의 강건성을 유지할 것으로 보인다.

적 요

본 연구는 산란말기 사료에 게르마늄의 수준별 급여가 닭의 생산성, 계란품질 및 혈액 성상에 미치는 영향을 구명하고자 시행하였다. 74주령 하이라인 브라운 산란계 360수를 4개 처리 5반복 반복당 18수씩 배치하여 총 12주간 사양실험을 실시하였으며, 처리구는 영양소 함량이 ME 2,750 kcal/kg, CP 16% 수준의 기초사료에 게르마늄 분말을 0, 1, 2 및 4% 수준으로 첨가하였다. 산란율과 난중은 매일, 사료섭취량과 계란품질은 4주 간격으로 조사하였고, 혈액성상과 난황지방산은 사양실험 종료 후 측정하였다. 산란율은 게르마늄 급여구에서 대조구에 비하여 높은 경향을 보였지만 통계성은 없었고, 사료섭취량, 난중, 1일 산란량 및 사료요구율은 처리구 간에 유의적 차이는 없었다. 계란의 난백높이와 호유닛은 처리구 간 유의적 차이가 없었지만, 난각강도는 게르마늄 급여구에서 현저하게 개선되었으며($P<0.05$), 난각두께도 개선되는 경향을 보였다. 계란 내 난황지방산중 단일불포화 지방산은 게르마늄 급여구에서 유의적으로 증가하였고($P<0.05$), 불포화지방산도 증가하는 경향을 보였다. 혈액성상에서 콜레스테롤은 처리구 간에 통계적 차이가 없었지만 게르마늄 급여수준에 비례적으로 감소되는 경향을 보였으며, 중성지방은 현저하게 감소되었다($P<0.05$). 본 연구결과, 산란말기 사료에 게르마늄의 첨가급여는 난각강도를 높게 하였고, 건강관련 인자에 속하는 혈중 콜레스테롤과 중성지방을 개선하였다.

(색인어: 게르마늄, 산란계, 생산성, 계란품질, 혈액성상)

사 사

본 연구는 농촌진흥청 공동연구사업(과제번호: PJ01256

702)에 의해 이루어진 것으로 이에 감사드립니다.

REFERENCES

- Duncan DB 1955 Multiple range and multiple F tests. *Biometrics* 11:1-42.
- Finucane OM, Lyons CL, Murphy AM, Reynolds CM, Klinger R, Healy NP, O'Reilly ME 2015 Monounsaturated fatty acid-enriched high-fat diets impede adipose NLRP3 inflammasome-mediated IL-1 β secretion and insulin resistance despite obesity. *Diabetes* 64:2116-2128.
- Ham YH, Kim SI, Lee KH 2002 Effect of germanium on the performance of growing ducks. *Annals of Anim Res Sci* 13:83-90.
- Hansen KK 2002 Aging and the role of estrogen in calcium mobilization in the laying hen. *Uni of Nebraska-Lincoln NE* 90-95.
- Hong JW, Kim IH, Kwon OS, Lee SH, Min BJ, Lee WB 2002 Influence of dietary supplemental germanium colloid on egg quality and immune response in layers. *Korean J Poult Sci* 29:7-12.
- Jung MH, Cha SB, Shin SW, Lee WJ, Shin MK, Yoo AN, Yoo HS 2012 The effects of germanium biotite on the adsorptive and inhibition of growth abilities against *E. coli* and *Salmonella* spp. *in vitro*. *Korean J Vet Res* 52:33-38.
- Kim HJ, Yang SU, Ju MG, Lee GH, Jo SH, Lee SG 2003 Effects of dietary germanium supplementation on the meat quality of duck. *Korean J Anim Res Food Sci* 23:200-208.
- Lee KH 2005 A study on characteristics of adsorption of germanium for heavy metals. *Korean J Envir Analysis* 8:213-218.
- Lee WB, Kim IH, Hong JW, Kwon OS, Lee SH, Min BJ, Jung YK 2003 Influence of dietary germanium biotite on egg quality and fecal noxious gas content in laying hens. *Korean J Poult Sci* 30:61-66.
- Nakamura T, Takeda T, Tokuji Y 2015 The oral intake of organic germanium, Ge-132, elevates α -tocopherol levels in the plasma and modulates hepatic gene expression profiles to promote immune activation in mice. *International J Vit and Nutr Res* 84:183-195.

- Qu J 2006 The biological functions of germanium and its application in the poultry industry. *Feed China* 9:20-26.
- SAS 2002 SAS/STAT Software for PC. SAS Institute, Cary, NC, USA.
- So HH, Jeon EO, Byun SH, Mo IP 2009 Early diagnosis of fatty liver-hemorrhagic syndrome using blood biochemistry in commercial layers. *Korean J Poult Sci* 36:165-175.
- Song C, Ji C 2005 Advance in physical and chemical properties of germanium and nutrition functions in animals. *Chinese J Anim Sci* 41:64-66.
- Wang YX, Xiao C 2006 Research and progress of organic germanium. *Jiangxi J Med Labor Sci* 24:252-254.
- Xuan NZJWL, Fuzhu L 2009 Effects of carboxyethyl germanium sesquioxide (Ge-132) on growth performance and immune response of broilers [J]. *J Chinese Cereals and Oils Assoc* 1:23.
- Youn MJ, Ryu MS, Jeong YD, Ryu KS 2009 Effects of feeding different types of germanium on its accumulation in egg yolk. Pages 106-108. In: *Proceeding of Korean Society of Poultry Science Conference*.
- Yuan Y, Wen P, Guo DX, Tian H 2000 Effects of organic and inorganic germanium on lipid metabolism of broilers. *Shenyang J Agri Uni* 31:203-206.

Received Feb. 19, 2018, Revised Mar. 20, 2018, Accepted Mar. 21, 2018