



산란계 사료 내 비타민 D3 첨가에 따른 난각품질과 계란내 비타민D3 함량에 관한 농장 조사

조동해^{1,2*} · 권병연² · 김다혜³ · 이경우⁴

¹한국양계농협 경제사업부 팀장, ²건국대학교 동물자원학과 대학원생,
³건국대학교 동물자원학과 박사후 연구원, ⁴건국대학교 동물자원학과 교수

Farm Survey on Eggshell Quality and Egg Vitamin D3 Contents in Laying Hens Fed Vitamin D3-enriched Diets

Dong-Hae Joh^{1,2*}, Byung-Yeon Kwon², Da-Hye Kim³ and Kyung-Woo Lee⁴

¹Technical Manager, Department of Economic Business, Korea Poultry Agricultural Cooperative, Seoul 02228, Republic of Korea

²Graduate Student, Department of Animal Science and Technology, Konkuk University, Seoul 05029, Republic of Korea

³Post-Doctoral Researcher, Department of Animal Science and Technology, Konkuk University, Seoul 05029, Republic of Korea

⁴Professor, Department of Animal Science and Technology, Konkuk University, Seoul 05029, Republic of Korea

ABSTRACT Vitamin D3 is an essential nutrient which plays an important role in calcium metabolism for eggshell formation, in calcium and phosphorus metabolism for bone mineralization, and in maintaining host immunity. Although there have been a great deal of studies investigating the role of vitamin D3 in eggshell quality and vitamin D3 contents in eggs, no attempts have been made to monitor the eggshell quality and vitamin D3 contents in eggs at farm level. Thus, this survey was conducted to measure eggshell quality and vitamin D3 contents in eggs laid from laying hens fed diets containing different levels of vitamin D3. Eggs from four commercial laying hen farms were sampled before and 1, 2, 3 and 5 weeks after provision of the vitamin D3-enriched diets added with the level of 16,500 IU and 29,000 IU. Dietary vitamin D3 did not affect the eggshell color and breaking strength, but increase the eggshell thickness. In addition, vitamin D3 contents in eggs were elevated as vitamin D3 in diets was increased. It is concluded that addition of dietary vitamin D3 into the diets of laying hens at the commercial laying hen farms could improve eggshell quality and vitamin D3 contents in eggs. It is expected that the prediction equation for egg vitamin D3 contents might be produced if more data on vitamin D3 contents in diets and eggs at the farms are to be analyzed. (Key words: vitamin D3, eggshell thickness, eggshell strength)

서 론

비타민 D3(cholecalciferol)는 닭이 정상적인 뼈, 부리나 발톱 및 단단한 난각 형성과 칼슘과 인의 적절한 대사를 위해 필요한 영양소이다. 현재 비타민 D는 비타민이라기보다는 체내 특수한 조직에 의해 생성되는 하나 혹은 그 이상의 스테로이드-유사 호르몬의 전구체로 받아들여지고 있으며 이 호르몬이 없는 경우 뼈는 광물질 침착에 결함이 생긴다(Hadley and Levine, 2008). 비타민 D3는 칼슘과 인의 흡수, 부갑상선호르몬(PTH)의 조절, 뼈의 무기질화 및 파골세포의 골 흡수 등 다양한 생리 과정에 관여하기 때문에 뼈 질환의 발병을 조절하는 데 중요한 역할을 한다(Bikle, 1994; Garcia et al., 2013). 일반적으로 태양광선에 충분히 노출된 닭은 피하에 있는

7-dehydrocholesterol에서 충분한 양의 비타민 D3를 합성할 수 있다. 닭의 비타민 D 요구량은 인 공급원, 칼슘과 인의 균형, 햇빛 노출 정도, 마이코톡신 등에 의해 영향을 받는다(Leeson and Summer, 2001). 하지만 대부분 산란계는 실내에서 사육되고 있어 비타민 D 요구량을 충족시킬 충분한 수준의 7-dehydrocholesterol를 비타민 D3로 변환할 만큼 충분한 햇빛을 받지 못하므로 산란율, 부화율, 난각형성 및 칼슘 항상성 유지를 위해 필수적으로 비타민 D를 외부로부터 공급받아야 한다. 산란계에서 비타민 D3가 충분하지 못하면 부리가 연해지고 성장과 우모 발생이 나빠질 뿐 아니라 난각의 품질이 떨어져 경제적으로 손실을 초래할 수 있다.

난각의 품질을 개선하고 계란의 가치를 높이기 위해서 고수준의 비타민 D3 첨가 연구가 오랫동안 이루어져 왔으며, 특히

* To whom correspondence should be addressed : welldone21@hanmail.net

최근 COVID-19과 비타민 D3 수준과의 상관성이 알려지면서 인간 건강을 위한 비타민 D3 강화란 등이 재조명받고 있다 (Świątkiewicz et al., 2017; Grant et al., 2020; Lanham-New et al., 2020, Clark et al., 2021). 닭 사료 내 비타민 D3 첨가는 난각의 품질을 개선하고 질병으로 인한 비타민 D3 결핍을 해결하고 비타민 D3 강화 계란 또는 닭고기 제품 생산으로 부가가치를 제공할 수 있다(Warren and Livingston, 2021).

Mattila et al.(2011)은 비타민 D3를 첨가한 구가 비타민 D2를 첨가한 구보다 난황 내 비타민 D 함량을 더 효과적으로 증가시켰으며 산란 생산성에는 영향을 주지 않았으나 뼈 강도는 개선되었다고 보고하였으며, Adhikari et al.(2020)은 고농도 비타민 D 첨가는 산란계의 Ca와 P의 소화율을 향상시켰다고 하였다. 또한, Persia et al.(2013)은 산란계 사료 내 비타민 D3 첨가수준이 증가할수록 난황 내 비타민 D3 함량이 선형적으로 증가하였으며 난각 무게도 증가하였다고 하였고, Warren et al.(2021)은 고수준의 비타민 D 첨가 급여를 통하여 산란계 뼈에 존재하는 Ca와 P 함량에 영향을 미치지 않았으나, 난황 내 비타민 D3 함량이 급격히 증가하였다고 하였다. 이러한 비타민 D3 급여에 따른 난각의 품질 개선 효과는 비타민 D3의 수준을 1,681 IU에서 68,348 IU까지 첨가한 연구에서도 보고된 바 있다(Wen et al., 2019).

그동안 비타민 D3의 난각 품질 개선 및 비타민 D3 강화 계란과 관련한 연구는 많이 이루어져 왔으나, 국내 산란계 농장 현장에서 비타민 D3 첨가 및 수준 조사는 거의 없는 실정이다. 따라서, 본 연구에서는 비타민 D3 수준이 다른 산란계 농가에서 난각의 품질과 계란 내 비타민 D3 함량에 대한 자료를 알아보고자 농가를 대상으로 현장 조사를 수행하였다. 이러한 현장 연구는 계란 산업에서 향후 비타민 D3 강화 계란을 생산하는 데 있어 참고자료를 제공할 것이며 실험실이 아닌 농가 수준에서 진행되는 현장 연구로 그 의의가 있다고 할 수 있다.

재료 및 방법

1. 조사방법

본 연구는 비타민 D3 강화 계란을 생산하는 농장에서 수거한 계란의 난각 품질과 계란 내 비타민 D3 함량을 알아보고자 실시하였다. 난각 품질과 비타민 D3 분석을 위한 계란은 비타민 D3 강화 계란을 생산하는 산란계 4개 농가에서 총 5회에 걸쳐 농장별로 150개(30개/회) 특란(60 g~68 g) 기준으로 샘플을 수거하였다. 본 조사에 참여한 산란계 농장은 K사에서 생산하는 비타민 D3 강화 사료를 사용하고 있으며, 2개 농가(A농가 및 B농가)는 16,500 IU 함유한 사료를 사용하고, 다른 2개 농가(C농가 및 D농가)는 29,000

IU 비타민 D3 함유한 사료를 급여하고 있었다. 농가에서 급여하는 사료의 조성은 Table 1에 제시하였으며, A와 B농가

Table 1. Ingredients and chemical composition of layers' diets

Ingredients	Diet A	Diet B
Yellow corn	54.24	56.39
Wheat	5.00	5.00
Soybean meal	22.4	19.93
Corn gluten meal	1.2	1.0
Dried distiller's grains with solubles	4.5	5.0
Bended fat	1.3	1.0
Molasses	0.5	0.5
Methionine (99%)	0.22	0.2
Lysine (78%)	0.07	0.1
Limestone, 2 mm	9.1	9.55
Tricalcium phosphate	0.94	0.80
Salt	0.2	0.2
Vitamin mineral premix	0.10	0.10
Supplements	0.1	0.1
Choline chloride (50%)	0.08	0.08
Phytase	0.05	0.05
Nutrients % (calculated)		
AMEn (kcal/kg)	2,790	2,780
Crude protein	17.00	16.00
Ether extracts	4.1	4.0
Crude fiber	3.0	3.0
Crude ash	13.3	13.2
Ca	4.1	4.0
Available phosphorus	0.41	0.38
Total lysine	0.84	0.81
Total methionine	0.42	0.39
Total sulfur amino acids	0.76	0.73

Provided following nutrients per kg of diet: vitamin A, 10,000 IU; vitamin D3, 4,000 IU; vitamin E, 20 IU; vitamin K, 2 mg; vitamin B1, 1.5 mg; vitamin B2, 4 mg; vitamin B6, 4 mg; vitamin B12, 15 mg; Ca-pantothenate, 8 mg; niacin, 30 mg; biotin, 0.1 mg, folic acid, 0.6 mg, cobalt, 0.4 mg, copper, 15 mg; zinc, 80 mg; iron, 60 mg; manganese, 60 mg; Iodine, 1 mg; selenium, 0.3 mg.

는 diet B 그리고 C와 D농가는 diet A를 사용하였다. 기본 사료 내 비타민 D3의 함량은 4,000 IU/kg를 유지하고 있었으며, 여기에 비타민 D3 프리믹스(vitamin D3 25,000 IU/g, NHU, China)를 0.05%(12,500 IU/kg)와 0.1%(25,000 IU/kg)를 추가하여 최종 사료에는 16,500 IU D3/kg와 29,000 IU D3/kg를 포함하고 있었다. 비타민 D3 프리믹스의 D3 함량은 농협 분석센터에서 분석하여 g당 25,000 IU를 확인하였으며, 사료 내 비타민 D3의 함량은 계산치로 제시하였다.

4개 농장에서 사육하는 산란계는 Hy-line Brown, Isa Brown, Tetra 품종을 사육하고 있었으며, 산란계의 주령은 각각 42주령, 44주령, 52주령, 72주령으로 농가별로 차이가 있었다(Table 2). 비타민 D3 강화 사료를 급여하기 전에는 4,000 IU D3/kg 함유한 일반 사료를 급여하였다. 계란은 농장별 비타민 강화 사료 급여 전 및 급여 후 1주, 2주, 3주 및 5주에 수거하여 분석하였다.

2. 난각 품질 분석

난각색은 Eggshell color fan(NH Eggshell color fan)을 이용하여 측정하였다(Fig. 1). Eggshell color fan은 10단계의 단계별 색으로 구성되어 있으며 수치가 올라갈수록 짙은 갈색을 의미한다. 난각강도는 디지털 계란품질 분석기인 DET 6500(NABEL Co, Ltd, Japan)로 분석하였다. 난각두께는 난각막을 분리한 난각의 중앙부를 디지털 두께측정기

Table 2. Laying hen farms used in this study

Farms	Region	Breed	Ages (weeks)	No. of hens/house
A	Kyeongbuk	Hyline Brown	52	45,000
B	Kyeongbuk	Hyline Brown	72	30,000
C	Jeonnam	Isa Brown	42	15,000
D	Jeonnam	Tetra	44	16,500



Fig. 1. Eggshell color fan (Nonghyup eggshell color fan, Korea Poultry Cooperative, Korea).

(Model No. 547-360, Mitutoyo Co. Ltd., Japan)를 이용하여 측정하였다.

3. 계란 난황 내 비타민 D3 분석

농장에서 채취한 계란 중 3개의 계란을 선별하여 난황을 분리하고 균질화하였다. 난황 내 비타민 D3 함량 분석은 균질화된 난황을 한국식품연구원에 의뢰하여 진행하였다. 분석 결과는 계란 1개에 포함된 비타민 D3 함량으로 제시하였다. 비타민 D3 분석은 LC-MS/MS 분석기(Model: AB Sciex Triple Quad 3500)를 이용하여 분석하였으며 조건은 Table 3에 명시하였다.

4. 통계처리

본 시험에서 얻어진 모든 자료는 엑셀 프로그램(Microsoft® Excel®)을 이용하여 농가별 비타민 D3 강화 사료 급여 전과 후에 측정된 난각색, 난각강도 및 난각두께 결과는 paired t-test로 분석하였다. 계란 내 비타민 D3 함량은 비타민 D3 강화 사료 급여 전, 그리고 2 수준의 비타민 D3 강화 사료를 급여한 농장에서 얻어진 결과는 분산분석을 진행하였으며, 처리 평균 간 차이는 Tukey test로 분석하였다. 통계적 유의성은 P-value가 0.05보다 작을 때 유의하다고 하였다.

결 과

1. 난각강도

비타민 D3 강화란을 생산하는 농장에서 계란의 난각강도를 조사한 결과는 Table 3에 제시하였다. 계란의 난각강도는 비타민 D3 강화사료를 급여함에 따라 큰 차이가 나타나지 않았다(Table 4).

Table 3. LC-MS/MS condition for vitamin D analysis

Model	AB Sciex Triple Quad 3500
Injection volume	2 µL
Flow rate	0.35 mL/min
Column temperature	40°C
Column	Unison UK-C18(2.0 mm × 100 mm, 3 µm)
Mobile phase	mM Ammonium acetate:methanol(5:95)
Ionization	ESI, positive
Monitoring ion	Vitamin D2: 397 → 107, 105, 91 Vitamin D3: 385 → 107, 105, 91
Voltage	5,500
Temperature	500°C

Table 4. Changes in eggshell strength of eggs laid from laying hens fed vitamin D3 enriched diets¹

Farms	Normal diet (IU/kg feed)	Enriched diet (IU/kg feed)	Eggshell strength (kgf/cm ²)				P-value
			Before		After		
			Mean	S.D.	Mean	S.D.	
A	4,000 IU	16,500 IU	5.2	0.34	5.22	1.00	0.950
B	4,000 IU	16,500 IU	4.57	1.08	4.91	0.87	0.278
C	4,000 IU	29,000 IU	5.07	0.66	5.01	0.91	0.862
D	4,000 IU	29,900 IU	4.78	0.74	4.57	0.51	0.332

¹ Value are least squares means.

S.D.: standard deviation.

2. 난각두께 및 난각색

산란계 사료 내 비타민 D3를 추가로 첨가하면 난각의 두께는 추가 전과 비교하여 유의적으로 증가하였다(Table 5). 난각의 두께는 중간수준의 비타민 D3를 함유한 사료를 급여한 A와 B 농가에서는 급여 전보다 10%~19% 개선되었

으며($P<0.001$), 고수준의 비타민 D3를 함유한 사료를 급여한 C와 D 농가에서는 약 5%~8% 향상되었다($P<0.05$).

비타민 D3 첨가 후 난각색의 조사 결과는 Table 5에 제시하였다. 난각색 변화는 주차별 샘플에 따라 다소 차이가 있었으나 평균값은 유의차가 없었다(Table 6).

Table 5. Changes in eggshell thickness of eggs laid from laying hens fed vitamin D enriched diets¹

Farms	Normal diet (IU/kg feed)	Enriched diet (IU/kg feed)	Eggshell thickness (mm)				P-value
			Before		After		
			Mean	S.D.	Mean	S.D.	
A	4,000 IU	16,500 IU	0.39	0.03	0.43	0.02	<0.001
B	4,000 IU	16,500 IU	0.36	0.02	0.43	0.03	<0.001
C	4,000 IU	29,000 IU	0.39	0.04	0.41	0.03	0.004
D	4,000 IU	29,900 IU	0.36	0.03	0.39	0.03	0.034

¹ Value are least squares means.

S.D.: standard deviation.

Table 6. Changes in eggshell color index of eggs laid from laying hens fed vitamin D enriched diets¹

Farms	Normal diet (IU/kg feed)	Enriched diet (IU/kg feed)	Eggshell color index				P-value
			Before		After		
			Mean*	S.D.	Mean*	S.D.	
A	4,000 IU	16,500 IU	8.5	0.67	8.35	0.94	0.584
B	4,000 IU	16,500 IU	8.4	0.92	8.33	0.69	0.821
C	4,000 IU	29,000 IU	9.1	0.54	8.95	0.71	0.489
D	4,000 IU	29,900 IU	8.2	0.75	8.28	0.81	0.793

¹ Value are least squares means.

* 10: dark brown, 1: light white (NH eggshell color fan).

S.D.: standard deviation.

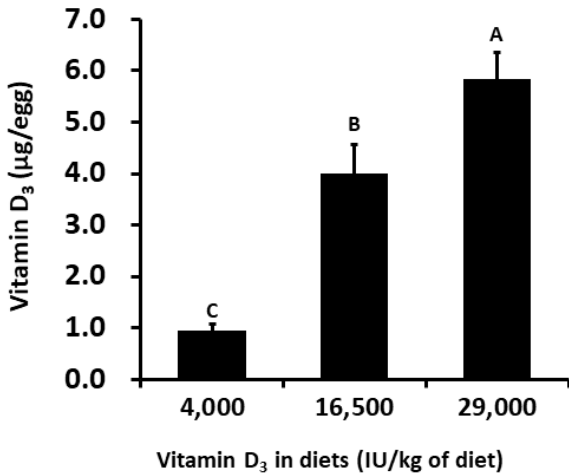


Fig. 2. Vitamin D₃ contents in eggs obtained from laying hens fed vitamin D₃-enriched diets.

3. 난황 내 비타민 D₃ 함량

비타민 D₃ 강화 사료 급여 후 난황 내 비타민 D₃ 함량은 주차 별 큰 차이가 없어 동일한 비타민을 급여한 A와 B 농장 그리고 C와 D 농장의 결과를 전 구간의 평균으로만 제시하였다(Fig. 2). 비타민 D₃ 강화 사료를 급여하기 전에는 계란 1개(50 g)에 포함된 비타민 D₃ 함량은 0.95 µg으로 조사되었다. 하지만, 비타민 D₃ 강화 사료를 급여 후 7일차에 최고치에 도달하였다(data not shown). 16,000 IU와 29,000 IU 비타민 D₃ 사료를 급여한 농장에서 계란의 비타민 D₃ 함량의 평균은 예상보다 낮은 4.0 µg 및 5.84 µg 내외로 분석되었다. 이러한 증가는 비타민 D₃ 강화 사료를 급여함에 따라 계란 내 비타민 D₃ 함량이 급여 전보다 각각 4.0배 및 5.8배 증가한 결과이다.

고 찰

이번 연구에서 산란계 농장에 비타민 D₃ 추가첨가 시 난각색과 난각강도에는 영향을 미치지 않았으나 난각두께는 유의적으로 향상되는 결과가 도출되었다($P < 0.05$). 일반적으로 난각두께가 증가되면 난각강도가 증가되나 이번 연구에서는 농장 사료(계란)를 운송하는 과정의 충격 등에 의해 난각강도 측정치가 일관성 없게 나타나 난각강도의 개선효과를 평가할 수 없었다. 이는 Jing et al.(2022)의 연구에 의한 비타민 D₃를 고수준으로 급여하였을 때 대조구에 비해 4주 말 난각두께가 유의하게 증가(0.402 cm vs 0.437 cm)했으며 12주 말에는 난각두께(0.383 cm vs 0.415 cm) 향상 이외에도 난각강도(37.06 N vs 40.17 N)를 유의하게 증가시켰다고 하였다($P < 0.05$)고 한 결과와 같이 비타민 D₃ 추가첨가가 난

각품질의 개선에 효과가 있었다는 결과와 유사하였다. 본 연구에서는 비타민 D₃ 첨가로 난각두께가 급여 전과 비교하여 평균 5.1%~19.4% 개선되는 결과를 나타내었다. 특히, 16,500 IU를 급여한 농장에서의 난각두께의 증가 효과가 더 크게 조사되었다. 산란계 사료 내 칼슘 함량은 4.0%~4.1% 함유되어 있어 산란 기간에 필요한 칼슘을 충분하였을 것으로 판단되기에(Plaimast et al., 2015), 비타민 D₃ 추가 공급으로 난각두께가 향상된 것은 칼슘의 소화 및 이용성이 향상된 것으로 추측할 수 있다(Adhkari et al., 2020). 이는 고수준의 비타민 D₃ 첨가가 파란의 비율을 낮추고 난각두께를 개선시킨 이전 연구의 결과와 유사하다고 할 수 있다.(Safamehr et al., 2013; Plaimast et al., 2015; Ren et al., 2016; Jing et al., 2022). 하지만, 고수준의 비타민 D₃를 급여하더라도 난각두께에는 차이가 없었다는 연구(Mattila et al., 2004; Park et al., 2005; Browning and Cowieson, 2014; Percia et al., 2017; Wen et al., 2019; Warren et al., 2021)와는 상반된 결과를 나타내었으며 Wen et al.(2019) 및 Dazuk et al.(2022)는 산란후기 산란계에 고수준의 비타민 D₃를 첨가하면 난각강도가 개선되었다고 하였다. 따라서, 비타민 D₃ 첨가에 대한 난각 품질 개선 효과는 연구자마다 차이가 있으며 특히, 난각두께와 난각강도 간 정의 상관성이 발생하지 않은 이유는 난각의 구성성분과 전자현미경 분석을 통한 추가 연구로 규명이 필요한 것으로 사료된다.

또한, 고수준의 비타민 D₃ 첨가가 방사계란의 탈색과 관련하여 지나친 비타민 D 공급으로 난각색이 얼어진다는 주장(Samiullah et al., 2015; Fabian, 2020)이 있으나, 본 연구에서는 비타민 D₃ 첨가 시 난각색에는 차이가 없었으며 이는 Roberts et al.(2014)와 Roberts and Scott(2015)의 연구와 동일한 결과를 나타내었다.

일반적으로 계란 1개의 비타민 D₃ 함량은 1.0 µg/50 g 내외로 알려져 있다(USDA, 2019). 본 연구에서는 비타민 D₃ 강화 사료를 급여하기 전에는 0.95 µg/50 g 수준이었으나, 급여 후에는 각각 4.0 µg과 5.8 µg으로 큰 폭으로 증가하였다. 이러한 증가는 계란 내 비타민 D₃의 함량은 사료 내 비타민 D₃의 함량에 의해 결정된다는 선행연구와 일치한 결과라 할 수 있다. 실제로 사료 내 2,000 IU/kg 첨가 시 난황 내 3.3~3.7 µg/100 g, 6,000 IU/kg 첨가 시 8.4~8.8 µg/100 g으로 증가하였다고 보고하였다(Plaimast et al., 2015). 또한, Duffy et al.(2017)은 1,500~3,000 IU, Zang et al.(2011)은 2,400~2,500 IU, Mattila et al.(2004)는 2,500~15,000 IU, Percia et al.(2017)은 9,700~24,700 IU, Warren et al.(2021)은 400~36,000 IU, Yao et al.(2013)은 2,500~24,700 IU, 그리

고 Wen et al.(2019)은 1,681~68,348 IU를 산란계 사료에 수준별 급여한 실험에서도 모두 첨가수준에 따라 계란 내 비타민 D3의 함량이 선형으로 증가하였다고 보고하였다. 비타민 D3 수준에 따른 비타민 D3 이행에 관한 선행연구(Mattila et al., 2004; Zang et al., 2011; Yao et al., 2013; Duffy et al., 2017; Wen et al., 2019) 결과에서 사료 내 비타민 D3 함량과 계란 내 비타민 D3 함량간의 관계를 그래프로 나타낸 결과를 Fig. 3에 제시하였다. 선행 연구의 사료 내 비타민 D3 함량은 1,500~68,348 IU 범위에 있었으며, 분석한 계란 내 비타민 D3 함량은 0.07~21.82 µg으로 조사되었다. 사료 내 비타민 D3 함량에 따른 계란 1개에 이행되는 비타민 D3 함량의 회귀 공식은 $Y = 0.0003 \times \text{vitamin D3 contents in diet}(\text{IU/kg}) + 0.3772$ 로 나타내었다. 이 회귀 공식을 이용하여 본 연구의 계란 내 비타민 D3 함량을 추정하였을 때 비타민 D3 4,000 IU, 16,500 IU 및 29,000 IU를 함유한 사료를 급여 시 계란 내(50g) 비타민 D3는 평균 1.5 µg, 5.3 µg 및 9.1 µg를 포함할 것으로 추정되었다. 본 연구는 산란계 농장에서 생산한 계란에서 분석한 비타민 D3 함량은 이러한 추정치의 약 60.4~75.0%에 해당하는 함량으로 다소 낮은 수치를 나타내었다. 하지만, 본 연구는 산란계 농장에서 생산된 계란을 대상으로 분석하였기 때문에 다양한 환경을 조절할 수 있는 실험실 사육 환경과는 많이 차이가 있어 직접적인 비교는 힘들 수 있다. 또한, 이러한 차이는 산란계의 주령, 비타민 D의 품질, 그리고 칼슘과 다른 광물질의 수준 등 다양한 요인에서 기인할 수 있다. 그럼에도 불구하고, 선

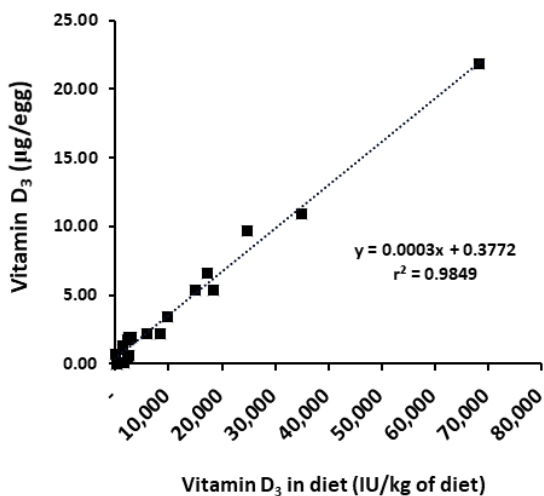


Fig. 3. Relationship between the vitamin D3 contents in eggs and dietary vitamin D3 contents. Linear regression coefficient is 0.9849. This graph was depicted from data obtained from previous studies (Mattila et al., 2004; Zang et al., 2011; Yao et al., 2013; Duffy et al., 2017; Wen et al., 2019).

행연구에서 도출된 회귀 공식을 이용한다면 농장 내 비타민 D3 함량을 추정할 수 있을 것으로 사료되었다. 향후 더 많은 산란계 농장에서 계란 내 비타민 D3 함량을 조사와 더불어 비타민 D3 연구에 대한 메타 분석을 통하여 정확한 회귀 공식을 산출할 수 있을 것으로 사료된다.

적 요

비타민 D3는 난각 형성에 필요한 칼슘의 흡수와 대사에 필수적인 뿐 아니라 칼슘과 인의 대사를 조절하여 뼈 건강에 필수적인 요소이며 건강한 면역체계를 유지하는 영양소이다. 계란과 관련된 비타민 D3에 관한 연구는 많이 이루어져 왔으나 산란계 농장에서 수행한 연구는 보고된 바가 거의 없다. 본 연구는 비타민 D3 강화 계란을 생산하는 산란계 농가에서 생산되는 계란의 난각 품질과 계란 내 비타민 D3 함량을 분석하고자 농가 조사를 수행하였다. 산란계 4개 농가를 선정하여 16,500 IU 및 29,000 IU 함유한 사료 급여 전과 후에 계란을 수거하여 난각 품질과 계란 내 비타민 D3 함량을 측정하였다. 분석 결과 비타민 D3 첨가는 난각두께를 개선하는 효과는 있었으나, 난각색과 난각강도에는 미치는 영향은 미미하였다. 산란계 사료 내 비타민 D3를 첨가하면 계란 내 비타민 D3 함량이 증가하는 것으로 조사되었다. 결과적으로 산란계 농가에서 사료 내 비타민 D3를 추가로 공급한다면 난각 품질의 개선과 비타민 D3 강화 계란을 생산할 수 있는 것으로 확인되었다. 향후 더 많은 산란계 농가에서 사료와 계란 내 비타민 D3 함량에 대한 추가 조사를 진행한다면 계란 내 비타민 D3 함량을 추정할 수 있는 회귀식을 도출할 수 있을 것으로 사료되었다.

(색인어 : 비타민 D₃, 난각두께, 난각강도)

사 사

본 결과물은 농림축산식품부의 재원으로 농림식품기술기획평가원의 축산현안대응산업화기술개발사업의 지원을 받아 연구되었음(321080-03-3-HD020).

ORCID

Dong-Hae Joh <https://orcid.org/0000-0002-5592-2104>
 Byung-Yeon Kwon <https://orcid.org/0000-0002-6588-7680>
 Da-Hye Kim <https://orcid.org/0000-0002-1742-8543>
 Kyung-Woo Lee <https://orcid.org/0000-0002-3533-7979>

REFERENCES

- Adhikari R, White D, House JD, Kim WK 2020 Effects of additional dosage of vitamin D3, vitamin D2, and 25-hydroxyvitamin D3 on calcium and phosphorus utilization, egg quality and bone mineralization in laying hens. *Poult Sci* 99(1):364-373.
- Bikle DD 1994 Role of vitamin D, its metabolites, and analogs in the management of osteoporosis. *Rheum Dis Clin North Am* 20(3):759-775.
- Browning LC, Cowieson AJ 2014 Vitamin D fortification of eggs for human health. *J Sci Food Agric* 94(7):1389-1396.
- Clark A, Kuznesof S, Davies S, Waller A, Ritchie A, Wilson S, Harbord L, Hill T 2021 Egg enrichment with vitamin D: The sunshine eggs projects. *Nutr Bull* 46(3):332-338.
- Dazuk V, Da Silva AS, Da Rosa G, Alba DF, Roscamp E, Oliveira PV, Boiago MM 2022 Effects of vitamin D addition for laying hens in the final third of production on egg quality. *Res Soc Dev* 11(10):e1222111030292-e1222111030292.
- Duffy SK, Rajauria G, Clarke LC, Kelly AK, Cashman KD, O'Doherty JV 2017 The potential of cholecalciferol and 25-hydroxyvitamin D3 enriched diets in laying hens, to improve egg vitamin D content and antioxidant availability. *Innov Food Sci Emerg Technol* 44:109-116.
- Fabian B 2020 How to get egg shell colour right? *Poultry World*. <https://www.poultryworld.net/poultry/how-to-get-egg-shell-colour-right/> Accessed on December 19, 2022.
- Garcia AFQM, Murakami AE, Amaral Duarte CR, Rojas ICO, Picoli KP, Puzotti MM 2013 Use of vitamin D3 and its metabolites in broiler chicken feed on performance, bone parameters and meat quality. *Asian-Australas J Anim Sci* 26(3):408-415.
- Grant WB, Lahore H, McDonnell SL, Baggerly CA, French CB, Aliano JL, Bhattoa HP 2020 Evidence that vitamin D supplementation could reduce risk of influenza and COVID-19 infections and deaths. *Nutrients* 12(4):988.
- Hadley ME, Levine JE 2008 *Endocrinology*. 6th ed. Benjamin Cummings, San Francisco, CA.
- Jing X, Wang Y, Song F, Xianfeng Xu X, Liu M, Wei Y, Zhu H, Yulan Liu Y, Wei J, Xu X 2022 A Comparison between vitamin D3 and 25-hydroxyvitamin D3 on laying performance, eggshell quality and ultrastructure, and plasma calcium levels in late period laying hens. *Animals* 12(2):2824.
- Lanham-New SA, Webb AR, Cashman KD, Buttriss JL, Fallowfield JL, Masud T, Hewison M, Mathers JC, Kiely M, Welch AA, Ward KA 2020 Vitamin D and SARS-CoV-2 virus/COVID-19 disease. *BMJ Nutr Prev Health* 3(1):106-110.
- Leeson S, Summers JD 2001. *Scott's Nutrition of the Chicken*. 4th. ed. University Books, Guelph, Ontario, Canada.
- Mattila P, Rokka T, Könkö K, Valaja J, Rossow L, Ryhänen EL 2003 Effect of cholecalciferol-enriched hen feed on egg quality. *J Agric Food Chem* 51(1):283-287.
- Mattila P, Valaja J, Rossow L, Venäläinen E, Tupasela T 2004 Effect of vitamin D2-and D3-enriched diets on egg vitamin D content, production, and bird condition during an entire production period. *Poult Sci* 83(3):433-440.
- Mattila P, Valkonen E, Valaja J 2011 Effect of different vitamin D supplementations in poultry feed on vitamin D content of eggs and chicken meat. *J Agric Food Chem* 59(15):8298-8303.
- Park SW, Namkung H, Ahn HJ, Paik IK 2005 Enrichment of vitamins D3, K and iron in eggs of laying hens. *Asian-Australas J Anim Sci* 18(2):226-229.
- Persia ME, Higgins M, Wang T, Trample D, Bobeck EA 2013 Effects of long-term supplementation of laying hens with high concentrations of cholecalciferol on performance and egg quality. *Poult Sci* 92(11):2930-2937.
- Persia ME, Wang T, Livingston KA 2017 Vitamin D in laying hens: how high is high enough? Page 58 In: 28th Annual Australian Poultry Science Symposium, Sydney, New South Wales, Australia.
- Plaimast H, Kijparkorn S, Ittitanawong P 2015 Effects of vitamin D3 and calcium on productive performance, egg quality and vitamin D3 content in egg of second production cycle hens. *Thai J Vet Med* 45(2):189-195.
- Ren Z, Jiang S, Zeng Q, Ding X, Bai S, Wang J, Luo Y, Su Z, Xuan Y, Yao B, Cisneros F, Zhang K 2016 Effect of dietary canthaxanthin and 25-hydroxycholecalciferol supplementation on the performance of duck breeders under two different vitamin regimens. *J Anim Sci Biotechnol* 7(2):1-9.

- Roberts JR, Scott P, Samiullah S, Fernando N, Anwar AM 2014 Maintenance of shell colour in free range laying hens. Pages 122-125 In: 25th Annual Australian Poultry Science Symposium, Poultry Research Foundation, Sydney, New South Wales, Australia.
- Roberts JR, Scott P 2015 Understanding the physiology of shell pigmentation and color deterioration in laying hens. Australian Egg Corporation Limited. <https://www.australianeggs.org.au/what-we-do/leading-research/understanding-the-physiology-of-shell-pigmentation-and-colour-deterioration-in-laying-hens> Accessed on December 20, 2022.
- Safamehr A, Hedatyati S, Shahir MH 2013 The effects of dietary calcium sources and vitamin D3 on egg quality and performance in laying hens. *Iran J Appl Anim Sci* 3(1):167-175.
- Samiullah S, Roberts JR, Chousalkar K 2015 Eggshell color in brown-egg laying hens—a review. *Poult Sci* 94(10): 2566-2575.
- Świątkiewicz S, Arczewska-Włosek A, Bederska-Lojewska D, Józefiak D 2017 Efficacy of dietary vitamin D and its metabolites in poultry-review and implications of the recent studies. *Worlds Poult Sci J* 73(1):57-68.
- USDA 2019 FoodData Central. Eggs, grade A, large, egg whole (foundation, 748967). <https://fdc.nal.usda.gov/index.html> Accessed on December 20, 2022.
- Warren MF, Livingston KA 2021 Implications of vitamin D research in chickens can advance human nutrition and perspectives for the future. *Curr Dev Nutr* 5(5):nzab018.
- Warren MF, Pitman PM, Hodgson DD, Livingston KA 2021 Super-doses of dietary vitamin D3 intake in aged laying hens illustrates limitation of 24, 25-dihydroxycholecalciferol conversion. *bioRxiv*. doi:10.1101/2021.10.14.464328
- Wen J, Livingston KA, Persia ME 2019 Effect of high concentrations of dietary vitamin D3 on pullet and laying hen performance, skeleton health, eggshell quality, and yolk vitamin D3 content when fed to W36 laying hens from day of hatch until 68 wk of age. *Poult Sci* 98(12):6713-6720.
- Yao L, Wang T, Persia M, Horst RL, Higgins M 2013 Effects of vitamin D3 Enriched diet on egg yolk vitamin D3 content and yolk quality. *J Food Sci* 78(2):C178-C183.
- Zang H, Zhang K, Ding X, Bai S, Hernández JM, Yao B 2011 Effects of different dietary vitamin combinations on the egg quality and vitamin deposition in the whole egg of laying hens. *Brazilian J Poult Sci* 13(3):189-196.

Received Jan. 15, 2023, Revised Apr. 7, 2023, Accepted Apr. 8, 2023