

## Canthaxanthin을 이용한 산란계의 피부, 근육 및 난황의 착색 효과

나재천<sup>1,†</sup> · 이상진<sup>1</sup> · 하정기<sup>2</sup> · 김재황<sup>1</sup> · 광웅권<sup>3</sup> · 송재연<sup>3</sup> · 이봉덕<sup>3</sup> · 안길환<sup>3</sup>

<sup>1</sup>농촌진흥청 축산연구소, <sup>2</sup>경상대학교 축산학부, <sup>3</sup>충남대학교 농업생명과학대학

### Effect of Canthaxanthin Supplementation on Skin, Muscle and Egg Yolk Pigmentation of Laying Hens

J. C. Na<sup>1,†</sup>, S. J. Lee<sup>1</sup>, J. K. Ha<sup>2</sup>, J. H. Kim<sup>1</sup>, W. K. Kwak<sup>3</sup>, J. Y. Song<sup>3</sup>, B. D. Lee<sup>3</sup>, and G. H. An<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Poultry Division, National Livestock Research Institute, 253 Gyesan-dong, Yusung-gu, Daejeon 305-365, South Korea

<sup>2</sup>Division of Applied Life Science, Institute of Agriculture & Life Sciences, Gyeongsang National University, 900 Gaja-dong, Jinju, Gyeongnam 660-701, South Korea

<sup>3</sup>College of Agricultural Biotechnology, Chungnam National University, 220 Gung-dong, Yusung-gu, Daejeon 305-764, South Korea

**ABSTRACT** A total of 225 ISA Brown layers, 63-wk-old, were used in a 5-wk feeding trial to measure the effect of dietary canthaxanthin(0, 50, 100, 200, and 300 mg/kg feed) on its accumulation in various body parts and the egg yolk. There were three replications per treatment and 15 birds per replication. The redness(a\*) and yellowness(b\*) of wing and thigh skin significantly(P < 0.05) increased when canthaxanthin was fed at  $\geq 200$  and  $\geq 50$  mg/kg feed, respectively. However, the color of breast skin was not significantly affected by the canthaxanthin supplementation. Skin lightness(L\*) was not influenced by the dietary canthaxanthin. The dietary canthaxanthin supplementation did not significantly affect the redness or the yellowness of breast and thigh muscles. However, feeding canthaxanthin at 300mg/kg, compared to the control(0 mg/kg feed), significantly(P < 0.05) decreased the lightness of wing and breast muscles. Feeding of canthaxanthin for 1~3 d also significantly increased the color of egg yolks. In conclusion, canthaxanthin can be used to improve the color of skin and egg yolks, but it should be used cautiously because too intense egg yolk redness could be rejected by consumers.

(Key words : canthaxanthin, pigmentation, laying hens, egg yolk)

## 서 론

Carotenoids는 식품의 착색뿐만 아니라 육류의 착색에도 이용되는데, 자연 추출액 중에 함유된 carotenoids는 오래 전부터 식품의 착색에 이용되어 왔다.  $\beta$ -carotene과 bixin으로 구성된 annatto, crocetin의 배당체인 saffron, capsanthin 및 cap-sorubi이 주요 성분인 paprika, xanthophyll 추출물, 당근 추출액, red palm oil 등이 대표적이다(Britton and Goodwin, 1982; Borenstein and Bunnell, 1966; Bauerfeind et al., 1971). 화학 합성으로는 1953년 스위스의 Roche사(Switzerland)에 의하여  $\beta$ -carotene이 공업적으로 합성되기 시작하여, 현재는 canthaxanthin, astaxanthin,  $\beta$ -apocarotenal 등이 각종 가공식품, 음료류 등과 고기, 계란 및 어류의 착색제로 이용되고 있다.

닭의 경우, 주요 곡물사료인 옥수수에 함유된  $\beta$ -carotene과 xanthophyll에 의하여 계란의 난황과 피부가 노란색으로 착색된다. 그러나 때로는 carotenoid를 함유하지 않는 보리나 밀 같은 곡물을 사용하거나, 이들 천연색소의 함량이 매우 미량 사용되거나(Schiedt et al., 1987), 동물체내의 이행율이 낮아 소비자들이 원하는 식품의 색이 나타나지 않는 경우가 종종 있다(Parker, 1992). 이를 극복하기 위하여 carotenoid들이 사용되는데, 천연착색제로는 marigold 분말(금잔화; Tagetes erecta), 녹조류, 알팔파 분말 등이 있으며, 인공착색제로는 astaxanthin, canthaxanthin( $\beta$ , $\beta$ -carotene-4,4'-dione)과  $\beta$ -apo-8-carotenoid ethyl ester가 주로 사용되고 있다.

주황색 carotenoid인 canthaxanthin은 일부 감자류와 조류의 깃털과 부리가 핑크색으로 착색되는데 관여하는데(Ma-

<sup>†</sup> To whom correspondence should be addressed : jcn6730@rda.go.kr

rusich and Bauernfeind, 1981), 난황과 육계의 착색에 대한 canthaxanthin의 효과는 많은 연구자들에 의하여 수행되어 왔다(Fletcher et al., 1978; Saylor, 1986).

Canthaxanthin을 육계에 급여시 도체의 canthaxanthin 함량은 사료에서의 농도와 비례하여 직선적으로 증가하며, 정강이도 착색시키는데(Juliusz et al., 1986), 옥수수 등에 존재하는 천연색소와 적절한 비율로 배합하여 쓰면 더욱 좋은 결과를 볼 수 있다고 하였다(Juliusz et al., 1987; Jensen et al., 1998; Okotie-Eboh et al., 1997; Haq et al., 1996). 한편 김창혁 등(2002)은 산란계에서 천연착색제와 합성착색제의 착색효과를 xanthophyll이 함유되지 않은 사료와 함유된 사료에서 비교한 결과 합성착색제가 천연착색제에 비하여 우수하다고 보고한 바 있다.

난황색은 소비자들이 계란의 품질을 판단하는 가장 중요한 특성 중의 하나로서(Papa, 1985; El Boushy and Raterink, 1987), 황색옥수수 기초사료에는 황색 carotenoid가 충분하기 때문에 황색 carotenoid를 첨가시킬 필요가 없으나, 적색 carotenoid는 소비자가 원하는 깊은 난황색을 얻기 위해 단독으로 사용된다(Bird, 1994). Herrick(1971)는 난황색이 계란의 영양가치에 직접적으로 영향을 미치는 요소는 아니지만, 소화기 장애나 내부기생충에 감염된 닭은 섭취량 감소 또는 흡수 저하가 발생하는 경우가 있으므로 계란의 착색도는 닭의 건강상태와 관계가 있는 것으로 간주된다고 하였다.

본 연구는 육계와 난황착색에 쓰이는 적색소 canthaxanthin을 사료에 첨가하여 산란계에 급여할 때 피부 및 근육의 착색에 미치는 효과를 구명하여 계육 수출시의 창백한 피부색을 개선시킴으로 계육의 상업적 가치를 높이고자 수행하였다.

## 재료 및 방법

### 1. 시험동물 및 사양관리

Canthaxanthin의 첨가수준이 산란계의 근육과 피부 및 난황의 착색에 미치는 영향을 구명하기 위하여 63주령 ISA Brown 산란계를 이용하여 5주 동안 사양시험을 수행하였다. 시험구는 Canthaxanthin을 사료 kg당 0, 50, 100, 200 및 300 mg을 첨가한 5개를 두었으며, 시험구 당 3반복, 반복당 15수씩, 총 225수를 공시하였고, 공시계들은 넙풀이 장착된 2수용 3단 철제케이지에 1수씩을 수용하였다. 사료와 물은 자유 채식시켰으며, 점등은 04:00부터 21:00까지 17시간 점등하였다. 시험사료는 황색옥수수와 대두박 위주의 배합사료를 사

용하였는데, 조단백질과 에너지 함량은 각각 16%와 2,800 kcal/kg으로서 Table 1에 수록하였다.

### 2. 분석

육색의 측정은 시험 종료시 반복별로 3수씩 총 45수를 도계한 후, 냉장 상태에서 비닐포장하여 2시간 동안 승용차를 이용하여 운반한 후 날개, 가슴 및 다리 부분 피부에 chroma meter의 detector를 접촉시켜 피부 외피의 착색도를 측정하였다. 계육 착색도는 피부를 제거한 상태에서 날개, 가슴 및 다

**Table 1.** Formulas and chemical composition of experimental diets for laying hens

Ingredients	Content (%)				
Corn	68.03	68.13	68.23	68.28	68.33
Soybean meal (CP 44%)	17.82	17.82	17.82	17.82	17.82
Corn gluten meal	3.60	3.60	3.60	3.60	3.60
Canthaxanthin <sup>1</sup>	0.3	0.2	0.1	0.05	0
Limestone	8.40	8.40	8.40	8.40	8.40
Tricalcium phosphate	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93
DL-methionine 50	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09
L-Lysine 80	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
Vit.-min. complex <sup>2</sup>	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
Salts	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
Total	100.0	100.00	100.00	100.00	100.00
Calculated composition					
ME (kcal/kg)	2,800				
CP (%)	16.00				
Ca (%)	3.40				
Available P (%)	0.275				
Methionine (%)	0.76				
Lysine (%)	0.33				

<sup>1</sup> Canthaxanthin: 10%, w/w.

<sup>2</sup> Contained followings per kg of diet : vitamin A, 1,600,000 IU; vitamin D<sub>3</sub>, 300,000 IU; vitamin E, 800 IU; vitamin K<sub>3</sub>, 132 mg; vitamin B<sub>2</sub>, 1,000 mg; vitamin B<sub>12</sub>, 1,200 mg; niacin, 2,000 mg; pantothenate Ca, 800 mg; folic acid, 60 mg; choline chloride, 35,000 mg; DL-methionine, 6,000 mg; Fe, 4,000 mg; Cu, 500 mg; Mn, 12,000 mg; Zn, 9,000 mg; Co, 100 mg; BHT, 6,000 mg; iodide, 25mg.

리 부분의 착색도를 측정하였다. 착색도는 Chroma meter (Cr 301, Minolta Co., Tokyo, Japan)로 L\*(lightness; 명도), a\*(redness; 적색도), b\*(yellowness; 황색도)를 Commission Internationale de Leclairage(CIE)값으로 측정하였고, 표준판은 Y=92.40, x=0.3136, y=0.3196의 백색 타일을 사용하였다. 그리고 Canthaxanthin의 수준 및 급여일수에 따라 난황의 착색에 미치는 영향을 구명하기 위하여 급여 1, 2, 3, 4, 5, 6 및 7일 동안 15:00에 반복당 10개씩 매일 150개, 총 1,050개를 집란하였으며, 급여주령이 난황의 착색에 미치는 영향을 알아보기 위하여 1, 2, 3, 4 및 5주에 반복별 10개씩 매주 150개, 총 750개를 집란하여 집란 당일에 난질자동측정기(QCM+, Technical Services and Supplies, York, England)를 이용하여 측정하였다.

### 3. 통계처리

실험에서 얻어진 자료는 SAS package(1996)의 GLM procedure로 분산분석을 실시하고, Duncan's multiple range test (1955) 신다중검정법으로 5% 수준에서 유의성을 검정하였다.

## 결과 및 고찰

### 1. 피부

Canthaxanthin의 급여는 날개 피부의 명도에 영향을 미치지 못하였다(Table 2). 그러나 적색도는 canthaxanthin을 200 mg/kg 이상을 첨가시에 무첨가구와 유의적인 차이를 보였으며( $P < 0.05$ ), 황색도는 50 mg/kg 이상을 첨가시 유의적으로 높았다( $P < 0.05$ ) (Table 2). 그러나 가슴 피부는 명도, 적색도 및 황색도가 시험구간에 통계적인 유의차를 보이지 않았으나, 적색도의 경우 canthaxanthin 첨가시 무첨가구보다 높아지는 경향을 보였다. Canthaxanthin의 첨가시 계육의 다리피부에 미치는 영향은 적색도는 200 mg/kg 이상을 첨가시 대조구와 유의적인 차이를 보였으며( $P < 0.05$ ), 황색도도 200 mg/kg 이상을 첨가시 무첨가구보다 유의적으로 높았고( $P < 0.05$ ), 첨가수준이 증가할수록 증가되는 경향을 보였다(Table 2). Janky and Harms(1983)는 육계에서 xanthophyll의 함량이 48.4 mg/kg인 사료에 적색소인 canthaxanthin을 0~4.4 mg/kg 첨가하였을 때 정강이의 피부 착색도는 xanthophyll의 섭취량과 상관관계가 있었다고 보고하여 본 연구 결과와 일치하였다.

### 2. 근육

**Table 2.** Effect of supplemental canthaxanthin levels for laying hens on skin pigmentation

Canthaxanthin (mg/kg feed)	Colorimetric value (CIE) <sup>1</sup>		
	L*	a*	b*
	Wing skin		
0	74.52±0.09 <sup>2</sup>	1.82±0.69 <sup>b</sup>	10.56±1.05 <sup>b</sup>
50	75.16±0.15	3.39±0.71 <sup>ab</sup>	14.23±0.59 <sup>a</sup>
100	73.30±1.12	3.59±0.17 <sup>ab</sup>	14.06±0.77 <sup>a</sup>
200	73.94±0.59	3.74±0.57 <sup>a</sup>	14.56±1.23 <sup>a</sup>
300	74.65±0.20	4.17±0.54 <sup>a</sup>	15.16±1.57 <sup>a</sup>
	Breast skin		
0	71.82±1.54	1.16±0.46	11.26±0.52
50	72.57±1.12	1.70±0.84	12.86±1.17
100	71.95±0.35	1.44±0.51	12.15±3.59
200	71.98±1.25	1.68±0.73	11.31±1.11
300	71.03±1.05	1.47±0.70	10.67±2.70
	Thigh skin		
0	72.17±1.31	1.07±0.29 <sup>c</sup>	8.88±0.48 <sup>b</sup>
50	72.89±0.44	1.65±0.30 <sup>bc</sup>	10.36±0.74 <sup>ab</sup>
100	72.78±0.48	2.16±0.40 <sup>abc</sup>	10.68±0.82 <sup>ab</sup>
200	72.04±1.31	2.34±0.33 <sup>ab</sup>	12.29±0.42 <sup>a</sup>
300	73.62±1.61	2.89±0.36 <sup>a</sup>	12.20±0.91 <sup>a</sup>

<sup>a-c</sup> Means without the same superscripts in the same column under the specific skin part are significantly different ( $P < 0.05$ ).

<sup>1</sup> CIE values: L\*, lightness; a\*, redness; b\*, yellowness.

<sup>2</sup> Mean ± standard error of mean.

Canthaxanthin 급여에 의한 날개육, 가슴육 및 다리육의 적색도와 황색도는 첨가구와 무첨가구 사이에서 통계적 유의성이 없었다(Table 3). 그러나 가슴육의 경우에 황색도는 canthaxanthin의 첨가에 의하여 개선되는 경향을 보였다(Table 3). Canthaxanthin의 첨가에 의한 육색의 착색 효과는 피부의 착색 효과에 비하여 낮았는데(Table 2 & 3), 이것은 피부색(흰색)과 육색(붉은색)의 차이와 피부의 높은 지방함량으로 지용성인 canthaxanthin이 지방에 축적되어(Toyoda et al., 2001) 피부의 착색효과가 더 좋았기 때문으로 사료된다.

황색도 및 적색도와는 달리 날개육과 가슴육의 명도는 canthaxanthin을 300 mg/kg 첨가하였을 때 무첨가구와 유의

**Table 3.** Effect of supplemental canthaxanthin levels for laying hens on muscle pigmentation

Canthaxanthin (mg/kg feed)	Colorimetric value (CIE) <sup>1</sup>		
	L*	A*	b*
	Wing muscle		
0	69.77±1.93 <sup>a,2</sup>	2.16±0.21	4.07±0.67
50	66.99±0.94 <sup>ab</sup>	2.55±0.18	3.79±0.18
100	66.61±0.31 <sup>ab</sup>	2.15±0.34	4.62±0.06
200	66.70±1.22 <sup>ab</sup>	2.68±0.24	3.64±0.40
300	65.76±0.62 <sup>b</sup>	2.75±0.26	5.30±0.76
	Breast muscle		
0	59.63±1.22 <sup>a</sup>	1.48±0.21	1.85±0.09
50	59.99±1.45 <sup>a</sup>	1.60±0.17	2.73±0.96
100	57.33±1.36 <sup>ab</sup>	1.23±0.55	2.45±1.02
200	57.49±1.13 <sup>ab</sup>	1.38±0.36	2.30±0.45
300	55.26±1.31 <sup>b</sup>	1.54±0.26	2.47±0.30
	Thigh muscle		
0	62.29±1.02	3.80±0.63	-0.37±0.51
50	62.06±0.39	4.13±0.29	-0.08±0.42
100	61.48±2.45	3.80±0.18	-1.28±0.59
200	60.28±1.81	4.22±0.43	-0.90±0.37
300	59.69±1.74	4.50±0.21	0.13±0.79

<sup>ab</sup> Means without the same superscripts in the same column under the specific muscle are significantly different ( $P < 0.05$ ).

<sup>1</sup> CIE values: L\*, lightness; a\*, redness; b\*, yellowness.

<sup>2</sup> Mean  $\pm$  standard error of mean.

적인 차이를 보였는데( $P < 0.05$ ), 다리육에서는 시험구간에 차이를 보이지 않았다. 본 시험의 결과로 볼 때 육색의 개선에는 canthaxanthin은 효과가 적은 것으로 사료된다.

### 3. 난 황

Canthaxanthin의 첨가가 난황색의 착색에 미치는 영향을 알아보기 위하여 급여기간에 따른 난황색의 변화를 조사하였다. 1~5주간 급여시 무첨가구에서도 급여기간에 따라 난황색이 통계적인 유의차를 나타냈는데, 이것은 이 시험에 사용된 사료가 배합사료로서 원료 자체에서 carotenoids의 함량이 변이가 있었기 때문으로 사료된다. 그러나 canthaxanthin을 첨가시 모든 첨가구는 급여수준이나 급여기간에 관계없이 무첨가구보다 난황색이 유의적으로 높았다( $P < 0.05$ ) (Table 4). 그리고 Herrick(1971)은 난황색이 계란의 영양가치에 직접적으로 영향을 미치는 요소는 아니지만, 소화기 장애나 내부 기생충에 감염된 닭은 섭취량 감소 또는 흡수 저하가 발생하는 경우가 있으므로 계란의 착색도는 닭의 건강상태와 관계가 있는 것으로 간주된다고 하였는데, 시험사료를 5주간 급여하였을 때 사료섭취량이 저하되나 닭의 이상 징후 등은 관찰되지 않아 300 mg/kg까지 급여하여도 문제는 없는 것으로 사료된다.

Canthaxanthin의 급여가 난황의 착색에 영향을 미치는 시기를 측정하기 위하여 난황색을 1일 주기로 측정하였다. 첨가수준에 따른 일령별 난황색의 변화는 급여 1일에서는 무첨가구와 첨가구간에 유의차를 보이지 않았으나, 2일부터 무첨가구에 비하여 모든 첨가구가 유의적으로 높았다( $P < 0.05$ ) (Table 5). 그리고 3일 이상에서는 급여수준과 상관없이 난황색이 일정하여 canthaxanthin에 의한 착색이 더 이상 진행되지 않았는데, Karunajcewa(1980)는 산란계에게 무

**Table 4.** Roche color fan score change of egg yolks during 5-wk supplementation with canthaxanthin

Canthaxanthin (mg/kg feed)	Supplementation period(wk)				
	1	2	3	4	5
0	8.79±0.24 <sup>b,1</sup>	9.29±0.16 <sup>ab</sup>	9.57±0.27 <sup>a</sup>	8.57±0.47 <sup>b</sup>	8.21±0.30 <sup>b</sup>
50	14.50±0.14 <sup>a</sup>	14.29±0.13 <sup>a</sup>	14.36±0.13 <sup>a</sup>	14.21±0.11 <sup>a</sup>	14.43±0.14 <sup>a</sup>
100	14.36±0.13 <sup>a</sup>	14.21±0.11 <sup>a</sup>	14.14±0.10 <sup>a</sup>	14.50±0.14 <sup>a</sup>	14.07±0.07 <sup>a</sup>
200	14.29±0.13 <sup>a</sup>	14.21±0.11 <sup>a</sup>	14.07±0.07 <sup>a</sup>	14.07±0.07 <sup>a</sup>	14.29±0.13 <sup>a</sup>
300	14.57±0.14 <sup>a</sup>	14.21±0.11 <sup>a</sup>	14.07±0.13 <sup>a</sup>	14.43±0.14 <sup>a</sup>	14.07±0.07 <sup>a</sup>

<sup>ab</sup> Means without the same superscripts in the same raw are significantly different ( $P < 0.05$ ).

<sup>1</sup> Mean  $\pm$  standard error of mean.

**Table 5.** Roche color fan score change of egg yolks during the first 7 d of canthaxanthin supplementation

Canthaxanthin (mg/kg feed)	Supplementation period (day)						
	1	2	3	4	5	6	7
0	8.79±0.21 <sup>b1</sup>	8.86±0.23 <sup>b</sup>	8.36±0.20 <sup>b</sup>	8.21±0.24 <sup>ab</sup>	7.79±0.21 <sup>a</sup>	7.79±0.28 <sup>a</sup>	9.00±0.21 <sup>b</sup>
50	8.93±0.20 <sup>c</sup>	13.00±0.30 <sup>b</sup>	14.43±0.14 <sup>a</sup>	14.79±0.11 <sup>a</sup>	14.36±0.13 <sup>a</sup>	14.21±0.11 <sup>a</sup>	14.50±0.14 <sup>a</sup>
100	9.00±0.15 <sup>b</sup>	14.14±0.10 <sup>a</sup>	14.43±0.14 <sup>a</sup>	14.79±0.11 <sup>a</sup>	14.43±0.14 <sup>a</sup>	14.21±0.11 <sup>a</sup>	14.36±0.13 <sup>a</sup>
200	8.57±0.23 <sup>b</sup>	14.43±0.14 <sup>a</sup>	14.50±0.14 <sup>a</sup>	14.57±0.14 <sup>a</sup>	14.36±0.13 <sup>a</sup>	14.36±0.13 <sup>a</sup>	14.29±0.13 <sup>a</sup>
300	9.14±0.14 <sup>b</sup>	14.07±0.20 <sup>a</sup>	14.07±0.34 <sup>a</sup>	14.86±0.10 <sup>a</sup>	14.14±0.10 <sup>a</sup>	14.29±0.13 <sup>a</sup>	14.50±0.14 <sup>a</sup>

<sup>a-c</sup> Means without the same superscripts in the same raw are significantly different ( $P < 0.05$ ).

<sup>1</sup> Mean  $\pm$  standard error of mean.

carotenoids 사료에 carotenoids를 첨가하여 급여하면 섭취한 carotenoids의 미량이 48시간 이내에 난황에 신속하게 축적된다고 하여 본 연구결과와 일치하였다.

위의 결과에서 canthaxanthin과 같은 적색소를 단독으로 50 mg/kg 이상 사료에 첨가시 난황색은 너무 붉은색을 나타내어 소비자들에게 혐오감을 주기 때문에 사용에 주의하여야 하는데, 적색소의 적절한 첨가 비율은 앞으로 더 많은 연구가 필요하다고 사료된다.

## 적 요

적색 carotenoid인 canthaxanthin의 급여가 산란계육과 난황의 착색도 변화에 미치는 효과를 알아보기 위하여 63주령 갈색산란계(ISA Brown) 225수를 가지고 5주 동안 사양실험을 실시하였다. Canthaxanthin을 5수준으로 사료에 첨가하여 5처리(0, 50, 100, 200, 300 mg/kg)로 하였으며, 처리당 3반복, 반복당 15수를 사용하였다. 산란계에서 날개피부 및 다리피부의 적색도는 200 mg/kg 이상을 급여하였을 때, 그리고 황색도의 경우 날개피부는 50 mg/kg 이상, 다리피부는 200 mg/kg 이상을 급여하였을 때 유의적으로 높았다( $P < 0.05$ ). 그러나 명도는 날개, 가슴 및 다리피부에서 차이가 없었다. 한편, 날개육과 가슴육의 명도는 300 mg/kg 이상을 사료에 첨가(canthaxanthin)시 무첨가구와 유의적인 차이를 보였으나( $P < 0.05$ ), 적색도와 황색도는 첨가구간에 차이가 없었다. 난황색(Roche color fan score)은 canthaxanthin 급여 1일에는 차이가 없었으나, 첨가수준에 관계없이 2일째부터 첨가구가 무첨가구보다 유의적으로 높았다( $P < 0.05$ ).

(색인 : canthaxanthin, 착색, 산란계, 난황)

## 인용문헌

- Bauerfeind JC, Brubacher GB, Klaui HM, Marusich WL 1971 Use of Carotenoids. Carotenoids 11:1.
- Bird JN 1994 The practical use of xanthophylls in wheat based diets. Australian Feed Grains Seminar. Australian Wheat Board. Singapore. pp.61-70.
- Borenstein B, Bunnell RH 1966 Carotenoids : Properties, Occurrence, and Utilization in Food. Adv Food Res 15: 195-276.
- Britton G, Goodwin W 1982 Carotenoid chemistry and biochemistry. Pergmon Press, Oxford pp.1.
- Duncan DB 1955 Multiple range and multiple F tests. Biometrics 11:1-42.
- El Boushy AR, Raterink R 1987 Consumers prefer well pigmented yolks. Poultry (Misset International) 3(2):14-17.
- Fletcher DL, Harms RH, Janky DM 1978 Yolk color characteristics, xanthophylls availability, and a model system for predicting egg yolk color using beta-apo-8-carotinal and canthaxanthin. Poultry Sci 57:624-629.
- Haq AU, Christopher A, Chinnah A 1996 Effect of  $\beta$ -carotene, canthaxanthin, lutein, and vitamin E on neonatal immunity of chicks when supplemented in the broiler breeder diets. Poultry Sci 75(9):1092-1097.
- Herrick GM 1971 Repletion and depletion of pigmentation in broiler skin and shanks. Poultry Sci 50:1467.
- Janky DM, Harms RH 1983 Influence of canthaxanthin supplementation on broiler pigmentation in open and windowless houses. Poultry Sci 62:2192-2194.

- Jensen SK, Jensen C, Jakobsen K, Engber RM, Anderson JO, Lauridsen C, Sorensen P, Skibsteb LH, Bertensen G 1998 Supplementation of broiler diets with retinal acetate,  $\beta$ -carotene or canthaxanthin: effect on vitamin status and oxidative status of broilers *in vivo* and meat stability. *Animal Sci* 48:28-37.
- Juliusz K, Tyczkowski, Hamilton PB 1987 Altered metabolism of carotenoids during aflatoxicosis in young chicken. *Poultry Sci* 66:1184-1188.
- Juliusz K, Tyczkowski, Hamilton PB 1986 Canthaxanthin as a model for the study of utilization of oxycarotenoids by chickens. *Poultry Sci* 65:1350-1356.
- Karunajeewa H 1980 The deposition of synthetic oxycarotenoids in egg yolks. *World' s Poultry Science Journal* 36: 219-226.
- Marusich WL, Bauernfeind JC 1981 Oxycarotenoids in poultry feeds. pp.319-462. in *Carotenoids as Colorants and Vitamin A Precursors*. JC Bauernfeind, ed. Academic Press, Inc., New York, NY.
- Okotie-Eboh GO, Kubena LF, Chinnah AD, Bailey CA 1997 Effect of  $\beta$ -carotene and canthaxanthin on aflatoxicosis in broilers. *Poultry Sci* 76:1337-1341.
- Parker L 1992 *Method in enzymology*. Academic press. pp. 312.
- Papa CM, Fletcher DL, Halloran HR 1985 Utilization and yolk coloring capability of xanthophylls from synthetic and high xanthophyll concentrates. *Poultry Sci* 64:1464-1469.
- Roche Vitamins and Fine Chemicals. 1988. *Egg yolk pigmentation with carophyll*. 3rd ed. Publ. 1218. Basel, Switzerland : Hoffmann-La Roche.
- SAS Institute 1996 *SAS/STAT Software for PC Release 6.12*. SAS Institute. Cary. NC
- Saylor WW 1986 Evaluation of mixed natural carotenoid products as xanthophylls sources for broiler pigmentation. *Poultry Sci* 65:1112-1119.
- Schiedt K, Weiser, Weber S 1987 Retention, distribution and excretion of H3-labelled canthaxanthin in laying hens including egg yolk pigmentation. In. Thesis for the doctor technicae degree. Norwegian Institute of Technology. University of Trondheim, Norway. pp. 75-101.
- Toyoda Y, Thomson LR, Langner A, Craft NE, Garnett KM, Nichols CR, Cheng KM, Dorey CK 2002 Effect of dietary zeaxanthin on tissue distribution of zeaxanthin and lutein in quail. *Investigative Ophthalmology & Visual Science* 43: 1210-1221.
- 김창혁 이성기 이규호 2002 산란계 사료에 천연 및 합성착색제 첨가가 산란성적, 난질 및 난황의 지방산 농도에 미치는 영향. *한국가금학회지* 4:271-278.