

β -8-Apo-Carotenoic Acid Ethyl Ester의 급여가 산란 노계의 도체와 난황의 착색에 미치는 영향

나재천^{1,†} · 장병귀¹ · 이진건¹ · 하정기² · 송재연³ · 이봉덕³ · 안길환³

¹농촌진흥청 축산연구소, ²경상대학교 축산학부, ³충남대학교 농업생명과학대학

Effect of β -8-Apo-Carotenoic Acid Ethyl Ester Supplementation on Pigmentation in Muscle, Skin, and Egg Yolk of Old Layers

J. C. Na^{1,†}, B. G. Jang¹, J. G. Lee¹, J. K. Ha², J. Y. Song³, B. D. Lee³, and G. H. An³

¹Poultry Division, National Livestock Research Institute, 253 Gyesan-dong, Yuseong-gu, Daejeon 305-365, South Korea

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

³College of Agricultural Biotechnology, Chungnam National University, 220 Gung-dong, Yuseong-gu, Daejeon 305-764, South Korea

ABSTRACT The effect of supplemental yellow β -8-Apo-carotenoic acid ethyl ester (ACA) (0~300 mg/kg feed) on its accumulation in each body part of laying hens and the pigmentation in egg yolk was determined. The chickens used in this study were 78-wk-old ISA brown laying hens. ACA significantly affected the color of the bodies of laying hens. The yellowness (b*) but not the redness (a*) and, the lightness (L*) of the skin, and muscle as measured by a colorimeter significantly ($P < 0.05$) increased when ACA was fed at 50~100 mg/kg feed. Egg yolk color was also significantly affected by feeding ACA longer than 2 days ($P < 0.05$) at the levels higher than 50 mg/kg feed. Conclusively, ACA is recommended for improving yellowness of skin.

(Key words : β -8-Apo-carotenoic acid ethyl ester, pigmentation, old layers, egg yolk)

서 론

유통과정 중 축산물의 외관과 색상은 매우 중요한데, 제품의 신선도 유지 정도와 영양가 평가 등이 주로 외관에 의하여 평가되므로 선명한 고유의 색상을 보유할수록 그 가치가 높게 평가되기 때문이다 (Cole and Haresign, 1989). 또한 적절한 색상은 소비자의 선호도를 높여 제품의 선택에 중요한 영향을 미친다. Allen(1988)은 가금류에 있어서 carotenoids 농도와 화학적 성질에 따라 간, 피부, 정강이 그리고 난황과 같은 노란색을 띠는 부위에 이들 화합물을 저장하는 능력이 있다고 하였으며, 혈관으로 이동된 carotenoid는 지방조직과 말초조직으로 이동하여 가금의 난황, 지방, 피부, 정강이 및 부리 등 발색이나 각종 생리작용을 하게 된다 (Krinsky and Rock, 1999; Parker, 1996; Zeng et al., 1992). 이

러한 결과를 이용하여 축산물이 적절한 색상을 띠도록 사료에 carotenoid 등의 색소를 이용하기도 한다. Carotenoids는 또한 발색의 원인이 되는 conjugated double bonds의 구조를 가지고 있어 생체에 유해한 것으로 알려진 free radical을 포집하거나 항산화 기능을 나타낸다(Tee, 1992).

닭의 경우 일반적으로 사료에 들어있는 옥수수 등에 함유된 β -carotene과 xanthophyll의 함유량에 따라 계란의 난황과 육계의 육색 등의 색깔이 좌우된다. 그러나 현대에 있어 배합사료 기술의 발달로 carotenoid를 함유하지 않는 밀 등의 대체원료를 사용함에 따라 이들 천연색소의 함량이 매우 미량이거나 동물체내로의 이행율이 낮아 소비자들이 원하는 식품의 색이 나타나지 않는 경우가 발생하였다 (Parker, 1992; Bantov and Bornsteins, 1969). 또한 생산되는 계육의 품질관리를 위해서는 일정한 착색을 유지해야만 하는데 이것

[†] To whom correspondence should be addressed : jcn6730@rda.go.kr

또한 쉽지 않은 일이다. Carotenoids를 함유한 사료성분의 품질이 일정하지 않고, 사료원료의 가격에 따라 대체성분을 첨가하여야 되기 때문이다. 예를 들면, 사료에 있어 착색원인 옥수수, 옥수수 글루텐 및 건조 알팔파 분말에는 carotenoids가 들어 있으나 저장기간 동안 함량의 저하가 일어나 단미사료의 경우 종류에 따라 그 차이가 크다(Livingston et al., 1969). 따라서 항상 동일한 색조의 계육을 생산하기 위하여 carotenoid들이 사용되는데, 사료생산자들은 항상 yellow carotenoid(β -apo-8-carotenoid ethyl ester, zeaxanthin, lutein)와 red carotenoid(canthaxanthin, citranaxanthin, capsanthin 또는 capsorubin)을 혼합하여 사용한다(Perez-Vendrell et al., 2000).

George et al.(1970)은 사료 톤당 ACA(β -apo-8-carotenoid acid ethyl ester)가 0, 5, 10, 20, 30 및 40g이 함유된 사료를 육계에 급여하였을 때, ACA 수준이 증가할수록 정강이와 피부의 색은 직선적으로 증가하였다고 보고하였다. Roche (1988)는 사료의 β -carotene은 난황에 1% 미만이 축적되고, 옥수수에서 발견되는 zeaxanthin은 7% 정도가 축적되는데, β -apo-8-carotenoid acid ethyl ester와 같은 일부 합성제품은 혼합물에 따라 축적율이 34% 정도로 높아진다고 하였다. Balnave and Bird(1996)는 canthaxanthin과 같은 적색소와 ACA와 같은 황색소를 복합적으로 사용하여 난황 또는 피부 및 육색을 개선하는 것은 좋은 방법이라고 하였으며, 김창혁 등(2003)은 정강이 피부의 착색도는 착색제 첨가수준이 증가할수록 높았다고 보고하였다.

본 연구는 난황과 육계의 착색에 이용되는 β -apo-8-carotenoid ethyl ester를 산란노계에 급여시 피부, 계육에 미치는 착색효과를 구명함으로써 외국에 수출되는 산란노계 육의 창백한 피부때문에 발생하는 노계육의 상업적 가치를 개선시킴으로서 수출을 증진시키고자 수행하였다.

재료 및 방법

1. 시험동물 및 사양관리

β -apo-8-carotenoid ethyl ester의 첨가수준이 산란노계의 근육과 피부 및 난황의 착색에 미치는 영향을 구명하기 위하여 β -apo-8-carotenoid ethyl ester 0, 50, 100, 200 및 300 mg/kg씩 첨가한 5개의 시험구를 두었다. 각 시험구당 3반복, 반복당 15수씩 총 225수의 78주령 ISA Brown 산란노계를 공시하여 5주 동안 사양시험을 수행하였다. 공시계들은 낱풀이 장착된 2수용 3단 철제 케이지에 1수씩 수용하였고, 사료와 물은 자유 채식시켰으며, 점등은 04:00부터 21:00까지 17

Table 1. Formulas and chemical composition of experimental diets for old layers

Ingredient	Content (%)
Corn	68.33~68.03 ¹
Soybean meal (CP 44%)	17.82
Corn gluten meal	3.60
β -8-Apo-carotenoid acid ethyl ester	0~0.3 ^a
Limestone	8.40
Tricalcium phosphate	0.93
DL-methionine50	0.09
L-Lysine80	0.08
Vit-min complex ²	0.50
Salts	0.25
Total	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

¹ 0~0.3%: β -8-Apo-carotenoid acid ethyl ester; 10%, w/w.

² Contained followings per kg of diet: vitamin A, 1,600,000 IU; vitamin D₃, 300,000 IU; vitamin E, 800 IU; vitamin K₃, 132 mg; vitamin B₂, 1,000 mg; vitamin B₁₂, 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; iron, 4,000 mg; copper, 500 mg; manganese, 12,000 mg; zinc, 9,000 mg; cobalt, 100 mg; BHT, 6,000 mg; iodide, 250 mg.

시간 점등하였다. 시험사료는 황색옥수수와 대두박 위주의 배합사료를 사용하였는데, 조단백질과 에너지 함량은 각각 16%와 2,800 kcal/kg으로 Table 1에 수록된 바와 같다.

2. 조사항목과 조사방법

피부착색도는 시험 종료시 반복별로 3수씩 총 45수를 도계한 후, 냉장상태에서 비닐포장하여 2시간 운반 후 날개, 가슴 및 다리로 구분하여 피부가 계육에 부착된 상태에서 피부 외피의 착색도를 측정하였다. 계육 착색도는 피부의 착색도 조사가 끝난 후 피부를 제거한 상태에서 날개, 가슴 및

다리로 구분하여 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.

β -apo-8-carotenoid ethyl ester의 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 집란하였고, 급여주령이 난황의 착색에 미치는 영향을 알아보기 위하여 1, 2, 3, 4 및 5주에 반복별 10개씩 매주 150개, 총 750개를 집란하여 집란 즉시 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)의 신다중검정법으로 5% 수준에서 유의성을 검정하였다.

결과 및 고찰

1. 피부 및 근육

β -apo-8-carotenoid ethyl ester (ACA)의 수준별 급여가 부분육의 착색에 미치는 영향을 구명하기 위하여 착색도를 조사하였다. ACA의 수준별 급여가 피부에 미치는 영향을 살펴보면 명도(L*)와 적색도(a*)는 모든 실험구간에서 유의적인 차이가 보이지 않았다(Table 2). 그러나 황색도(b*)는 모든 부위의 피부에서 ACA 50~100 mg/kg 이상을 사료에 첨가시 무첨가구보다 유의적으로 높았다(P < 0.05) (Table 2). 이러한 결과는 George et al.(1970)이 사료 톤당 β -apo-8-carotenoid acid ethyl ester가 0, 5, 10, 20, 30 및 40g이 함유된 사료를 육계에 3주 동안 급여하였을 때, 사료의 xanthophyll 수준이 증가할수록 정강이와 피부의 색은 직선적으로 증가하였다고 보고한 것과 일치하였으며, 피부의 황색도를 개선하기 위해서는 ACA를 50 mg/kg 이상 첨가할 필요가 있었다. Canthaxanthin을 이용한 연구결과와 비교하였을 때, ACA의 색이 황색이기 때문에 주황색의 canthaxanthin에 비해서 적색도의 효과는 낮았다(나재천, 2003). 그러나 황색도의 증가는 canthaxanthin에 비해 뚜렷한데 이는 ACA의 흡수율이 canthaxanthin에 비하여 높기 때문으로 추정된다(나재천, 2003).

Table 2. Effect of supplemental ACA levels for old layers on skin pigmentation

ACA (mg/kg feed)	Colorimetric value (CIE) ¹		
	L*	a*	b*
	Wing skin		
0	74.52±0.09 ²	1.82±0.69	10.56±1.05 ^b
50	74.69±0.66	1.59±0.30	15.15±1.42 ^{ab}
100	74.75±1.20	1.63±0.84	21.58±2.50 ^a
200	74.08±0.34	3.11±1.39	21.77±4.22 ^a
300	73.62±0.21	1.72±0.27	22.13±1.69 ^a
	Breast skin		
0	71.82±1.54	1.16±0.46	11.26±0.52 ^c
50	71.41±1.06	1.05±0.58	18.13±2.92 ^{ab}
100	70.12±1.35	0.60±0.54	20.06±0.64 ^{ab}
200	71.15±1.22	0.79±1.07	16.97±0.94 ^{ab}
300	70.32±0.14	-0.24±0.73	22.85±2.22 ^a
	Thigh skin		
0	72.17±1.31	1.07±0.29	8.88±0.48 ^c
50	72.00±1.07	1.29±0.52	11.03±2.43 ^{bc}
100	71.60±0.96	0.51±0.48	13.87±1.62 ^{ab}
200	72.85±0.71	1.18±0.59	13.52±1.01 ^{abc}
300	71.75±0.26	0.98±0.44	16.20±0.73 ^a

^{a-c} Means with different superscripts in the same column under the specific carotenoid are significantly different (P < 0.05).

¹ CIE values: L*, lightness; a*, redness; b*, yellowness.

² Mean±standard error of mean.

사료내 ACA 첨가 급여에 따른 산란계의 근육 착색 효과는 Table 3에서 보는 바와 같이, 명도는 날개육, 가슴육 및 다리육에서 첨가수준에 따른 유의적인 차이를 나타내지 않았다. 그러나 적색도는 가슴육에서 300 mg/kg을 첨가하였을 때 무첨가구와 유의적인 차이를 보였다(P < 0.05). 황색도의 경우 날개육은 200 mg/kg 이상, 가슴육은 100 mg/kg 이상, 다리육은 100 mg/kg 이상 첨가시 무첨가구보다 유의적으로 높았다(P < 0.05). 위의 시험 결과로 볼 때 각 부분육의 황색도를 유의적 수준(P < 0.05)으로 높이기 위해서는 사료내에 100~200 mg/kg 이상의 ACA 첨가가 필요하여 피부에 비하여 더 높은 수준의 첨가가 요구됨을 알 수 있었다(Table 3).

Table 3. Effect of supplemental ACA levels for old layers on muscle pigmentation

ACA (mg/kg feed)	Colorimetric value (CIE) ¹		
	L*	a*	b*
	Wing muscle		
0	69.77±1.93 ²	2.16±0.21	4.07±0.67 ^c
50	65.21±0.56	2.57±0.14	5.30±0.69 ^c
100	69.54±2.04	1.70±0.40	7.23±0.77 ^{bc}
200	71.17±1.91	1.81±0.33	10.15±1.24 ^{ab}
300	70.28±2.63	2.16±0.52	11.22±1.78 ^a
	Breast muscle		
0	59.63±1.22	1.48±0.21 ^a	1.85±0.09 ^b
50	59.06±0.79	0.94±0.13 ^{ab}	3.29±0.72 ^{ab}
100	56.73±1.69	0.84±0.34 ^{ab}	4.51±0.64 ^a
200	57.13±1.40	0.93±0.15 ^{ab}	4.94±0.69 ^a
300	56.60±1.07	0.27±0.40 ^b	5.16±0.50 ^a
	Thigh muscle		
0	62.29±1.02	3.80±0.63	-0.37±0.51 ^c
50	58.93±2.24	5.02±0.92	0.37±0.33 ^{bc}
100	58.23±2.39	3.94±0.58	1.51±0.80 ^{ab}
200	61.64±1.52	3.55±0.24	2.28±0.41 ^a
300	57.41±2.72	4.50±0.93	2.36±0.14 ^a

^{a-c} Means with different superscripts in the same column under the specific carotenoid are significantly different ($P < 0.05$).

¹ CIE values: L*, lightness; a*, redness; b*, yellowness.

² Mean±standard error of mean.

2. 난 황

ACA의 첨가수준에 따른 일령별 난황색의 변화는 급여 1 일에서는 사료 kg당 300mg을 첨가한 시험구가 무첨가구에 비하여 유의적인 차이를 보였으나($P < 0.05$), 2일째부터는 무첨가구에 비하여 모든 첨가구가 유의적으로 높았다($P < 0.05$) (Table 4). 3~4일의 급여에서는 무첨가구뿐만 아니라 첨가구간에도 ACA의 첨가량에 따라 유의적인 차이를 보였고($P < 0.05$), 5일 이상에서는 사료내에 50 mg/kg 이상의 ACA의 첨가에 의하여 더 이상의 colorimetric values 증가를 일으키지 않았다.

Janky et al.(1980)은 본 연구에서 사용된 농도의 1/10 수준의 황색옥수수의 xanthophyll을 사료 kg당 0.93, 1.87, 2.81 및 3.74mg을 첨가하여 50주령 산란계에게 3주 동안 급여하였을 때 난황의 착색도가 Roche color fan score로 각각 4.0, 5.3, 7.0 및 7.9로서 첨가수준이 증가할수록 유의적으로 증가한다고 보고하였는데, 이러한 결과의 차이는 급여기간, 급여수준 및 공시계의 주령 차이에 의한 것으로 사료된다. 한편 ACA를 1~5주간 급여시 모든 첨가구는 급여기간이나 급여수준에 관계없이 무첨가구보다 유의적으로 높았다($P < 0.05$) (Table 5). 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 하였는데, 위의 시험에서 사료섭취량의 저하나 도체 조사에서 특별한 징후가 발견되지 않아 ACA는 300 mg/kg 까지 급여하여도 닭의 건강에는 아무런 영향이 없는 것으로 판단되었다.

일반적으로 계란의 황색 정도는 Roche color fan score로 표시하는데, 가장 선호도가 높은 계란의 난황색은 Roche color fan score 11~12이며, 보통은 6~7을 나타낸다(Roche, 1988). Bird (1994)는 일반적으로 황색옥수수 기초사료에는 황색 carotenoid가 충분하기 때문에 황색 carotenoid를 첨가시킬 필요가 없으나, 적색 carotenoid는 소비자가 원하는 깊은 난황색을 얻기 위해 단독으로 사용된다고 하였다. 난황내의 carotenoid 축적속도는 급여 2일에 있어서 canthaxanthin이 Roche color fan score 13~14인데 비하여(나재천, 2003) ACA는 11~12사이로(Table 4) canthaxanthin이 ACA보다 빨랐으며, 소비자가 선호하는 11~12사이의 난황색을 얻기 위해서 ACA를 50 mg/kg 이상 첨가할 필요가 없으리라 생각되는데, 경제적인 첨가수준은 추가적인 연구가 필요한 것으로 사료된다.

적 요

β -8-Apo-carotenoid acid ethyl ester (ACA)를 0~300 mg/kg을 사료에 첨가하였을 때 산란노계의 피부 및 계육에 미치는 착색효과를 조사하였다. 산란노계에서 황색도(b*)는 모든 부위의 피부에 있어서 ACA를 50~100 mg/kg 이상 첨가시 무첨가구보다 유의적으로 높았다($P < 0.05$). 날개육, 가슴육 및 다리육에서 유의적 수준의($P < 0.05$) 황색도 변화를 일으키기 위해서는 100 ~ 200 mg/kg 이상의 ACA 첨가가 필요하며

Table 4. Egg-yolk color values while feeding of ACA at 1~7 d

ACA (mg/kg feed)	Supplementation period(day)						
	1	2	3	4	5	6	7
0	8.79±0.21 ^{1,ab}	8.86±0.23 ^c	8.36±0.20 ^d	8.21±0.24 ^c	7.79±0.21 ^c	7.79±0.28 ^b	9.00±0.21 ^b
50	9.43±0.14 ^a	11.21±0.21 ^b	13.21±0.21 ^c	14.14±0.10 ^b	14.14±0.10 ^b	13.93±0.07 ^a	14.43±0.14 ^a
100	8.86±0.23 ^{ab}	11.50±0.20 ^b	13.43±0.31 ^{bc}	14.21±0.15 ^b	14.07±0.13 ^b	14.21±0.11 ^a	14.79±0.11 ^a
200	9.14±0.23 ^{ab}	11.50±0.40 ^b	13.93±0.13 ^b	14.71±0.13 ^a	14.21±0.11 ^b	14.36±0.13 ^a	14.79±0.11 ^a
300	8.64±0.27 ^b	12.50±0.20 ^a	14.57±0.14 ^a	14.79±0.11 ^a	14.64±0.13 ^a	14.29±0.13 ^a	14.64±0.13 ^a

^{a-c} Means with different superscripts in the same column are significantly different (P < 0.05).

¹ Mean±standard error of mean.

(Unit: Roche color fan score).

Table 5. Egg-yolk color values while feeding of ACA 5 wk

ACA (mg/kg feed)	Supplementation period (wk)				
	1	2	3	4	5
0	8.79±0.24 ^{1,b}	9.29±0.16 ^b	9.57±0.27 ^c	8.57±0.47 ^b	8.21±0.30 ^b
50	14.43±0.14 ^a	14.36±0.13 ^a	14.14±0.10 ^b	14.21±0.11 ^a	14.36±0.13 ^a
100	14.79±0.11 ^a	14.27±0.12 ^a	14.21±0.15 ^b	14.36±0.13 ^a	14.36±0.13 ^a
200	14.71±0.13 ^a	14.36±0.13 ^a	14.29±0.13 ^{ab}	14.50±0.14 ^a	14.57±0.14 ^a
300	14.71±0.13 ^a	14.50±0.14 ^a	14.71±0.13 ^a	14.57±0.14 ^a	14.64±0.13 ^a

^{a-c} Means with different superscripts in the same column are significantly different (P < 0.05).

¹ Mean±standard error of mean.

(Unit: Roche color fan score).

피부에 비하여 첨가수준이 약간 더 높았다. ACA의 첨가수준에 따른 일령별 난황색의 변화는 급여 1일에서는 무첨가구와 첨가구간에 유의차가(P < 0.05)가 300 mg/kg에서만 보였으나, 2일째부터는 무첨가구에 비하여 모든 첨가구가 유의적으로 높았다(P < 0.05). 1~5주간 급여시 모든 첨가구가 무첨가구보다 첨가수준이나 급여기간에 관계없이 유의적으로 높았다(P < 0.05).

(색인 : β -8-Apo-Carotenoic Acid Ethyl Ester, 착색, 산란노계, 난황)

인용문헌

Allen PC 1988 Physiological basis for carotenoid malabsorption

during coccidiosis. Proc Maryland Nutr Conf 11:18-23.
 Balnave D, Bird JN 1996 Relative efficiencies of yellow carotenoids for egg yolk pigmentation. AJAS 9(5):515-517.
 Bird JN 1994 The practical use of xanthophylls in wheat based diets. Australian Feed Grains Seminar. Australian Wheat Board. Singapore pp.61-70.
 Bornsteins BJ 1969 Depletion and repletion of body xanthophyll reserves as related to broiler pigmentation. Poultry Sci 48:495.
 Cole DSA, Haresign W 1989 Recent developments in poultry nutrition. pp.145.
 Duncan DB 1955 Multiple range and multiple F test. Biometrics 11:1-42.
 George MH, Jack LF, Harms RH 1970 The use of β -apo-8-

- carotenoid acid ethylester as a standard in broiler pigmentation studies. *Poultry Sci* 49:1396.
- Herrick GM 1971 Repletion and depletion of pigmentation in broiler skin and shanks. *Poultry Sci* 50:1467.
- Janky DM, Fletcher DL, Voitle RA, Harms RH 1980 The influence of the light transmission properties of plastic window coverings on broiler pigmentation. *Poultry Sci* 59: 1350-1352.
- Krinsky NI, Rock CL 1999 Carotenoids: Chemistry, Sources and Physiology. In *Encyclopedia of Human Nutrition*. Sadler MJ, Strain JJ and Caballero B(Ed) pp.304-314.
- Livingston AL, Kuzmicky DD, Knowles RE, Kohler GO 1969 The nature and deposition of the carotenoids from alfalfa and corn gluten meal in chicken skin. *Poultry Sci* 48: 1678-1683.
- Parker L 1992 *Method in enzymology*. Academic Press. pp.312.
- Parker RS 1996 Absorption, metabolism, and transport of carotenoids. *FASEB J* 10:542.
- Perez-Vendrell AM, Hernandez JM, Llauro L, Schierle J, Brufau J 2001 Influence of source and ratio of xanthophylls pigments on broiler chicken pigmentation and performance. *Poultry Sci* 80:320-326.
- 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
- Tee ES 1992 Carotenoids and retinoids in human nutrition. *Cri Rev Food Sci Nutr* 31:103.
- Zeng S, Furr HC, Olson JA 1992 Metabolism of carotenoid analogs in humans. *Am J Clin Nutri* 56:433.
- 김창혁 김혜정 함영훈 이성기 이규호 2003 천연 및 합성 착색제의 첨가가 브로일러의 육성성적, 착색도 및 육색변화에 미치는 영향. *한국가금학회지* 1:35-40.
- 나재천 2003 Carotenoid의 급여수준과 급여기간이 산란계의 도체와 난황의 착색에 미치는 영향. *경상대학교 박사학위 논문*.