

사료내 비타민 A와 E의 계란내 이행시 상호작용과 비타민 A의 다량투여에 따른 계란 및 간내 함량 변화

강경래 · 이창환 · 남기택 · 강창원¹
건국대학교 축산대학 동물자원연구센터

Study on the Interaction between Vitamins A and E on Their Transfer from Diet to Chicken Eggs, and Effect of Flood-dosing of Dietary Vitamin A on its Content in Eggs and Livers

K. R. Kang, C. H. Lee, K. T. Nham and C. W. Kang¹

Animal Resources Research Center, College of Animal Husbandry
Kon-Kuk University, Seoul, Korea 133-701

ABSTRACT

This study was conducted to investigate the interaction of vitamins A and E on their transfer from diet to chicken eggs and the effect of vitamin A flood-dosing on its concentration in eggs and livers. In Experiment I, forty-two 45-wk-old brown layers (Bobcock) were divided into seven groups and fed one of seven diets; control, three vitamin A supplemented diets (8,000, 16,000, and 64,000 IU/kg diet) or three vitamin E supplemented diets (50,100, and 200 IU/kg diet). In Experiment II, a total of thirty-two 35-wk-old white layers (Hy-line) were divided into four groups and fed one of four diets; control, vitamin A 20,000+vitamin E 200 IU/kg, vitamin A 50,000+vitamin E 200 IU/kg or vitamin A 100,000+vitamin E 200 IU/kg supplemented diets. In Experiment III, a total of fifty-six 35-wk-old white layers (Hy-line) was divided into four groups and fed one of four diets; control or three vitamin A supplemented diets (80,000, 120,000 and 160,000 IU/kg diet). In Experiment I, vitamin E levels of egg yolk in hens fed the vitamin A supplemented diets decreased as dietary vitamin A level increased ($P<0.05$). On the other hand, a slight reduction in vitamin A levels of egg yolks in hens fed the vitamin E supplemented diet for 4 wk of the experiment was recovered back to control level at wk 8 ($P<0.05$). In Experiment II, supplemental vitamin A markedly decreased the yolk deposition of vitamin E when two vitamins were supplemented simultaneously. The yolk deposition of vitamin A decreased as high level of vitamin E was supplemented, suggesting an antagonistic interaction between the two vitamins. In Experiment III, the concentration of liver vitamin A rapidly increased and then stabilized during wk 3 to 4 after starting the experiment. Vitamin A levels in egg yolk linearly increased up to wk 6. However, vitamin A level of egg yolk in hens fed the diets supplemented 160,000 IU vitamin A/kg was significantly lower than those of hens receiving 120,000 IU vitamin A/kg diet ($P<0.05$).

본 연구는 한국과학재단 지정 동물자원연구센터와 (주)부국사료의 지원에 의하여 수행되었음.

¹ To whom correspondence should be addressed.

indicating that megadosing of vitamin A more than 120,000 IU /kg diet be uneconomical for its enrichment of chicken eggs.

(Key words: interaction, vitamin A, vitamin E, egg yolk, liver, vitamin A flood-dosing)

서 론

오래 전부터 비타민 A와 E는 영양학적으로 상호작용이 존재하는 것으로 알려져 왔다. 사료내 비타민 E가 부족되었을 때는 간내 총비타민 A 함량이 감소되었고(Davies와 Moore, 1941), 사료내 tocopherol 함량을 높였을 때 쥐의 조직내 비타민 A 수준이 증가되었다(Sondergaard, 1972). 반면 사료내 비타민 A 수준을 높게 했을 때 송아지 (Dicks 등, 1958), 쥐 (Edwin 등, 1962) 및 병아리(Combs와 Scott, 1974; Combs, 1976; Pudelkiewicz 등, 1964) 등에서 혈장 및 조직내 tocopherol 수준이 낮아졌다. 이러한 현상에 대하여 비타민 A와 E의 상호작용이 기질과 항산화제로서의 작용에서 오는지 또는 조직내에서 생화학적인 기구가 별도로 존재하는지에 관하여 연구자간에 오랫동안 그 견해를 달리해 왔다(Green 등, 1967).

Tappel(1962)은 처음으로 tocopherol 그 자체가 체내에서 항산화제로서 역할을 하기 때문이라고 주장하였으며, 이것은 Sklan과 Donoghue(1982)의 병아리를 이용한 비타민 A와 E의 상호작용에 관한 실험결과로 뒷받침되었다. Sondergaard(1972)의 연구 결과에 의하면 비타민 E의 비타민 A 절약효과는 thiodiphenylamine, DPPD (diphenyl-p-phenylene diamine) 및 ascorbic acid와 같은 항산화제로서 대신할 수 없었으나 비타민 E와 구조적으로 유사한 ethoxyquin은 비타민 E와 같은 효과를 나타내어 결국 비타민 E의 비타민 A 절약효과는 비타민 E의 항산화제 기능보다는 비타민 E의 화학구조적 특성에 기인한다고 볼 수 있다.

한편 Pudelkiewicz 등(1964)과 Bieri 등(1981)은 과다한 비타민 A가 소화관 내에서 비타민 E의 흡수를 저해한다고 보고했으며, McCuaig와 Motzok(1970)은 비타민 E가 비타민 A 과잉증을 완화시켰다고 보고하여, 소화관내에서 두 비타민이 상호경쟁적 관계에

있음을 나타내었다. 이에 더하여 비타민 A를 비타민 E와 시간차를 두어 공급했을 때는 비타민 E 대사에 아무런 영향이 없었다(Green 등, 1967). 하지만 Lemley 등(1947)은 비타민 E를 비타민 A와 같이 급여하거나, 다른 날에 급여하거나 또는 피하주사 형태로 주입하더라도 체내 비타민 A의 이용성을 향상시켰다고 상반된 결과를 보고하였다.

두 비타민의 관계는 조직세포내에서도 찾아볼 수 있는데, Dingle(1964) 및 Lucy와 Dingle(1964)은 고수준의 비타민 A는 세포막내 지질단백(lipoprotein)의 구조를 파괴할 수도 있으며 비타민 E는 이러한 파괴를 보호한다고 밝혔다. Napoli와 Beck(1984) 및 Napoli 등(1984)은 α -tocopherol은 간, 신장 및 장내에서 retinyl ester 가수분해효소를 억제함으로써 비타민 A를 절약하는 효과를 지니고 있다고 밝혔다.

이러한 상호작용이 이들 두 비타민의 계란 이행에서도 나타나는지에 관한 연구는 미진한 실정이다. Konno 등(1985)은 고수준의 비타민 A(40,000 IU/kg)와 E(500 mg/kg)를 동시에 첨가했을 때 비타민 A와 E의 상호작용이 나타나지 않았다고 보고하였다. 하지만 최근 Jiang 등(1994)의 연구결과에 의하면 산란계 사료에 β -carotene과 α -tocopherol을 동시에 첨가하였을 때는 단독으로 첨가했을 때와 비교해 계란내 β -carotene 수준에는 변화가 없었지만 α -tocopherol 수준은 현저히 감소하는 것으로 밝혀졌다.

사료내 비타민 A의 장내 흡수율은 80~90%에 달하며, 체내 비타민 A의 90% 이상은 간에 저장되고 섭취량이 매우 높았을 때는 상대적으로 흡수율이 낮아진다(Machlin, 1991). Squires와 Naber(1993)에 의하면 흡수된 비타민 A는 우선적으로 간내에 저장되기 때문에 계란내 비타민 A의 이행량은 사료내 비타민 A의 수준변화에 따라 빨리 반응하지 않는다. 아울러 사료내 그 수준을 높였을 때 1주일 만에 계란으로 본격적인 이행이 나타나는 비타민 E와는 그 형태가 완전히 다르다(강경래 등, 1994). 이것은 체조직 중에서 간은

비타민 E에 대한 완충능력(buffering capacity)은 낮지만 비타민 A에 대한 완충능력은 높은 데서 기인한다고 볼 수 있다(Jiang 등, 1994).

따라서 본 시험은 산란계 사료내 비타민 A와 E가 계란으로 이행될 때의 상호관계를 구명하고, 비타민

A를 다량투여(flood-dosing)하여 간조직내 비타민 A 함량을 포화시켰을 때 이 비타민의 계란으로의 이행정도를 관찰하고자 실시하였다.

재료 및 방법

Table 1. Ingredient and chemical composition of basal diet

Item	Experiment I	Experiment II & III
Ingredients :	----- % -----	
Corn, yellow	56.20	37.58
Wheat (hard)	—	25.00
Wheat bran	5.38	9.14
Gluten meal	2.57	—
Soybean meal	20.40	7.85
Rapeseed meal	—	8.00
Limestone	11.69	8.25
Canola meal(34%)	—	2.00
Tricalcium phosphate	1.62	1.11
Salt	0.30	0.25
Animal fat	1.00	0.40
L-Lysine	0.10	0.10
DL-Methionine	0.14	0.05
Choline chloride(25%)	0.10	0.07
Vitamin premix ¹	—	0.10
Mineral premix ²	—	0.10
Vitamin-mineral premix ³	0.50	—
Total	100.00	100.00
Calculated analysis :		
Crude protein	16.00	14.50
Crude fat	3.87	2.50
Crude fiber	3.00	3.57
Ca	4.41	3.65
P	0.56	0.62
ME(kcal /kg)	2,794	2,800

¹ Vitamin premix contains following nutrients per kg: vitamin A 11,000,000 IU ; vitamin D₃ 2,200,000 IU ; vitamin E 5,000 IU ; vitamin K₃ 415 mg ; riboflavin 10,000 mg ; pantothenate 8,000 mg ; niacin 35,000 mg ; folic acid 200 mg ; vitamin B₁₂ 13 mg ; endox 20,000 mg.

² Mineral premix contains following nutrients per kg : Cu 25,000 mg ; I 1,500 mg ; Mn 80,000 mg ; Zn 60,000 mg ; Se 100 mg.

³ Vitamin-mineral premix contains following nutrients per kg: vitamin A 2,000,000 IU ; vitamin D₃ 400,000 IU ; vitamin E 1,500 IU ; vitamin K₃ 300 mg ; vitamin B₁ 200 mg ; vitamin B₂ 800 mg ; vitamin B₆ 600 mg ; Ca-D. pantothenate 1,200 mg ; niacin 5,500 mg ; choline chloride 50,000 mg ; folic acid 100 mg ; vitamin B₁₂ 1,500 mg ; Cu 1,000 mg ; I 150 mg ; Fe 12,000 mg ; Mn 12,000 mg ; Zn 8,000 mg ; Co 100 mg ; Se 100 mg.

1. 공시동물과 사료

45주령 갈색산란계(Bobcock) 42수를 8주간 사육하였으며(시험 I), 32주령의 백색산란계(Hy-line) 88수(시험 II, III)를 2단 철제 cage당 2수씩 배치하여 물과 사료를 8주 동안 자유채식 시켰으며 점 등은 18 시간으로 고정시켜 실시하였다.

본 시험에 사용된 기초사료의 배합비 및 조성은 Table 1에서 보는 바와 같다. 추가공급된 비타민 A와 E(비타민 A 500,000 IU /g, 비타민 E 500 IU /g ; BASF, Germany) 는 말분에 희석 배합한 후 기초사료와 배합하였다.

2. 비타민의 첨가와 조사항목

본 시험의 시험별 비타민 첨가수준(Table 2)과 조사항목은 다음과 같았다.

1) 시험 I : 비타민 A와 E의 상호작용에 관한 시험

비타민 A와 E의 각각의 첨가수준별 상호작용이 존재하는지를 구명하기 위해 기초사료(대조구, C)에 비타민 A를 사료 kg당 8,000 IU(A1), 16,000 IU(A2) 및 64,000 IU(A3)를 그리고 비타민 E를 50 IU(E1), 100 IU(E2) 및 200 IU(E3)를 각각 첨가하여 시험사료 별로 총7개 처리를 하여 처리구당 6수씩 산란계를 공시하였다.

조사항목은 시험사료 급여후 0, 1, 2, 4 및 8주체에 처리구별 전란을 채취하여 난황내 비타민 A 및 E 수준을 분석하였다.

2) 시험 II : 비타민 A와 E를 동시에 강화 했을 때 상호작용에 관한 시험

비타민 E를 사료 kg당 200 IU 투여하였을 때 비타

Table 2. Vitamin A and E levels of diets used in this study¹

(IU /kg)

Experiments	Diets	Vitamins supplemented		Total vitamin level by assay ¹	
I	C	-		Vitamin A	10,804 ± 64
		-		Vitamin E	12.46 ± 0.24
	A1	Vitamin A	8,000	Vitamin A	17,460 ± 1,103
	A2	Vitamin A	16,000	Vitamin A	25,665 ± 289
	A3	Vitamin A	64,000	Vitamin A	75,818 ± 1,807
	E1	Vitamin E	50	Vitamin E	60.85 ± 0.69
	E2	Vitamin E	100	Vitamin E	107.65 ± 2.84
	E3	Vitamin E	200	Vitamin E	205.49 ± 4.42
II	C	-		Vitamin A	10,658 ± 112
		-		Vitamin E	13.5 ± 0.2
	1	Vitamin A	20,000	Vitamin A	35,179 ± 668
		Vitamin E	200	Vitamin E	222.4 ± 0.0
	2	Vitamin A	50,000	Vitamin A	62,357 ± 1448
		Vitamin E	200	Vitamin E	208.5 ± 3.1
	3	Vitamin A	100,000	Vitamin A	116,133 ± 2219
		Vitamin E	200	Vitamin E	219.1 ± 1.1
III	C	-		Vitamin A	10,658 ± 112
	a1	Vitamin A	80,000	Vitamin A	89,265 ± 1622
	a2	Vitamin A	120,000	Vitamin A	129,380 ± 4231
	a3	Vitamin A	160,000	Vitamin A	162,140 ± 3536

¹ Assayed as retinol acetate and -tocopherol acetate, respectively(mean ± SE).

민 A의 첨가수준별 상호작용을 알아보기 위하여 기초 사료(대조구, C)에 사료 kg당 비타민 A 20,000 IU + 비타민 E 200 IU(1), 비타민 A 50,000 + 비타민 E 200 IU(2), 그리고 비타민 A 100,000 IU + 비타민 E 200 IU(3)를 각각 첨가하여 시험사료별로 총 4개 처리를 하여 처리구당 8수씩 공시산란계를 배치하였다.

계란 sample은 시험사료 급여 후 0, 1, 2, 4 및 8주째 처리구별 전란을 채취하여 난황내 비타민 A 및 E 함량을 분석하였으며, 4주 및 8주째에는 추가로 처리구중 무작위로 2수에서 간을 채취하여 간내 비타민 A 및 E함량을 분석하였다.

3) 시험 III: 비타민 A의 다량투여(Flood-dosing) 시험

비타민 A를 다량투여 하였을 때 간 및 계란내 비타민 A의 수준변화를 동시에 관찰하기 위하여 기초사료(대조구, C)에 사료 kg당 비타민 A를 80,000 IU(a1), 120,000 IU(a2) 및 160,000 IU(a3)를 각각 첨가하여 시험사료별로 총 4개 처리를 두어 처리구당 14수씩 공시산란계를 배치하였다.

시험사료 급여후 0, 1, 2, 3, 4 및 6주째에 계란은 전란을, 그리고 간은 처리구 중 2수에서 무작위로 채취하여 계란과 간내 비타민 A와 E 함량을 분석하였다.

3. 비타민 분석

사료 및 난황내 비타민 A 및 E 함량 분석법과 HPLC 구성은 강경래 등(1994)의 것과 동일하였다. 간내 비타민 A 및 E 함량 분석은 Brubacher 등(1991)의 방법에 의거 분석하였다. 시험사료별 사료내 비타민 A 및 E의 분석치는 Table 2에서 보는 바와 같다.

4. 통계처리

본 시험의 통계분석은 SAS Institute(1985)의 GLM option을 이용하여 실시하였으며 처리구간 유의성 검정은 요인 분석법에 의한 Duncan(1955)의 다중 검정법으로 분석하였다.

1. 시험 I : 비타민 A와 E의 상호작용에 관한 시험

비타민 A 강화에 따른 계란내 비타민 E 함량 변화를 살펴 보기 위해 A1, A2 및 A3 처리구의 계란으로부터 비타민 E를 분석한 결과는 Table 3에 나타난 바와 같다. A1 및 A2 처리구의 경우 계란내 비타민 E함량이 2주까지는 대조구에 비해 차이가 없었으나, 4주 이후 8주부터 감소하는 것으로 나타났다($P < 0.05$). A3 처리구에 있어서는 계란내 비타민 E함량이 2주 이후에 급격하게 감소하기 시작하여 8주에는 대조구 대비 50% 이하로 나타나 사료내 비타민 A수준이 높을수록 비타민 E의 이행량은 감소하고 있음을 알 수 있었다($P < 0.05$).

이러한 결과는 계란내 이행에 있어서도 비타민 A와 E의 상호작용이 존재함을 확인시켜 주었는데 최근 Jiang 등(1994)도 사료내 비타민 A수준이 증가할수록 계란내 비타민 E수준은 감소한다고 보고한 바 있다.

사료내 비타민 E 강화에 따른 계란내 비타민 A 함량 변화를 살펴보기 위해 E1, E2 및 E3 처리구의 계란내 비타민 A 함량변화를 관찰한 결과는 Table 4에 나타난 바와 같다. 각 처리구에서 4주까지 계란내 비타민 A수준이 유의하게 감소하는 것으로 나타났으나 4주 이후에는 다시 증가하는 것으로 나타났다($P < 0.05$). 그리고 사료 및 계란내 비타민 E 함량에 따른 처리구별 일정한 변화를 보이지 않아 비타민 A 강화에 따른 비타민 E의 영향과는 또 다른 형태를 보였다.

이러한 결과는 4주이후에 난황내 그 수준이 다시 회복되는 것으로 보아 사료내 비타민 E가 다량 투여되어 나타나는 비타민 A의 상대적인 흡수 및 이용율의 저하에 따른 일시적인 현상으로 볼 수도 있다. 하지만 다수의 연구자들(Davies와 Moore, 1941 ; Lemley 등, 1947 ; Napoli 등, 1984)이 보고한 사료내 비타민 E의 비타민 A 절약 효과는 비타민의 계란내 이행과정에서는 나타나지 않았으며, Sondergaard(1972)가 사료내 tocopherol함량을 높였을 때 체조직내 비타민 A수준이 증가되었다고 보고한 것과는 다른 경우로 보아야 할 것이다. 그러나 Jiang 등(1994)이 사료내 비타민 E수준을 높였을 때 난황내 비타민 A 함량에는 유의한 변화가 없었다고 보고한 것과는 비슷한 경

결과 및 고찰

Table 3. Changes of vitamin E content in egg yolk over time in hens fed vitamin A supplemented diets¹

Treatment	Time(wk)				
	0	1	2	4	8
	----- µg / 10g egg yolk -----				
C	496.8 ^{bcA} ± 4.8	525.3 ^{abcA} ± 31.6	482.9 ^{cA} ± 28.1	565.5 ^{aA} ± 8.3	559.9 ^{aA} ± 9.4
A1	494.9 ^{abA} ± 16.8	506.1 ^{abA} ± 3.5	500.1 ^{abA} ± 9.0	469.6 ^{bB} ± 6.4	387.3 ^{cB} ± 9.7
A2	483.7 ^{aA} ± 24.7	496.7 ^{aA} ± 42.8	463.5 ^{abA} ± 0.4	464.4 ^{abB} ± 13.6	388.8 ^{bB} ± 12.5
A3	477.4 ^{aA} ± 9.6	488.7 ^{aA} ± 14.1	322.4 ^{cB} ± 6.9	429.0 ^{bc} ± 1.0	262.5 ^{dC} ± 12.4

¹ Values are means ± SE.^{a-d} Means within a row with no common superscripts differ significantly (P < 0.05).^{A-C} Means within a column with no common superscripts differ significantly (P < 0.05).**Table 4.** Changes of vitamin A content in egg yolk over time in hens fed vitamin E supplemented diets¹

Treatment	Time(wk)				
	0	1	2	4	8
	----- IU / 10g egg yolk -----				
C	228.9 ^{aA} ± 0.4	229.4 ^{aAB} ± 2.3	224.8 ^{aA} ± 10.6	224.1 ^{aA} ± 0.8	225.6 ^{aAB} ± 5.5
E1	222.3 ^{abA} ± 4.4	215.2 ^{bcBC} ± 5.4	203.8 ^{dcA} ± 8.2	194.2 ^{cC} ± 0.7	214.5 ^{bcB} ± 0.9
E2	232.5 ^{abA} ± 15.3	211.7 ^{cdC} ± 4.5	213.4 ^{bcdA} ± 3.0	196.1 ^{dC} ± 0.1	236.2 ^{abA} ± 2.5
E3	227.9 ^{abA} ± 0.1	230.8 ^{aA} ± 0.2	215.6 ^{bcA} ± 4.2	205.7 ^{cB} ± 2.0	231.7 ^{aA} ± 0.9

¹ Values are means ± SE.^{a-d} Means within a row with no common superscripts differ significantly (P < 0.05).^{A-C} Means within a column with no common superscripts differ significantly (P < 0.05).**Table 5.** Changes of vitamin A content in egg yolk over time in hens fed vitamins A and E supplemented diets¹

Treatment	Time(wk)				
	0	1	2	4	8
	----- IU / 10g egg yolk -----				
C	225.8 ^{abA} ± 0.8	237.5 ^{aBC} ± 2.2	204.9 ^{bd} ± 6.7	223.5 ^{abc} ± 3.9	211.4 ^{bc} ± 9.0
1	217.6 ^{cA} ± 4.0	213.2 ^{cC} ± 9.4	245.7 ^{bc} ± 7.1	289.0 ^{abc} ± 3.1	230.7 ^{bcC} ± 1.4
2	213.9 ^{cA} ± 0.3	252.5 ^{bcB} ± 7.4	333.8 ^{aB} ± 7.3	369.1 ^{ab} ± 19.2	289.0 ^{bb} ± 1.2
3	213.5 ^{dA} ± 8.6	646.7 ^{bA} ± 4.8	461.4 ^{cA} ± 10.1	847.1 ^{aA} ± 27.2	448.4 ^{cA} ± 11.4

¹ Values are means ± SE.^{a-d} Means within a row with no common superscripts differ significantly (P < 0.05).^{A-D} Means within a column with no common superscripts differ significantly (P < 0.05).

향을 나타낸 것으로 사료된다. 다만 왜 조식내 비타민 A 수준과 난황내 수준이 같은 경향을 보이지 않는가에 대한 설명을 위해서는 좀 더 많은 연구가 필요하다.

이상의 결과에서 볼 때 계란내 비타민 A를 강화했

을 때는 비타민 E 수준이 감소함을 알 수 있었으며 비타민 E를 강화했을 때는 비타민 A 수준이 일시적으로 감소한 후 다시 회복됨을 알 수 있었다. 이러한 결과로 미루어 보아 계란내에서도 비타민 A와 E의 상호작용

상호작용이 존재함을 확인할 수 있었다.

2. 시험 II: 비타민 A와 E를 동시에 강화했을 때 상호작용에 관한 시험

비타민 A와 E를 동시에 강화했을 때 기간별 난황내 비타민 A의 수준변화를 관찰해 보면 그 결과는 Table 5에서 보는 바와 같다. 처리구 1과 2는 시험 개시후 완만한 증가를 보이지만 처리구 3에서는 주별 변화의 폭이 크게 증가와 감소를 반복하는 형태를 띄고 있다.

이러한 결과는 강경래 등(1994)의 결과와 본 시험의 시험 III (Table 9)을 동시에 비교하여 볼 때 그 이행형태가 매우 특이한 것이었으며, 그 이행량도 상대적 첨가수준을 고려해서 비교 관찰해 볼 때 모든 처리구에서 매우 낮음을 알 수 있다. 또한 닭의 품종 및 사육환경 등 제반 실험조건을 고려하더라도 그

차이는 매우 크다고 판단된다. 결과적으로 본 시험에서는 비타민 A와 E를 동시에 다량 투여하였을 때는 단독으로 투여했을 때보다 비타민 A 역시 계란으로의 이행율이 감소하였음을 나타내고 있다. 이것은 동일한 지용성 비타민인 비타민 A와 E를 동시에 강화함으로써 비타민 A의 상대적인 흡수 및 이용율의 저하에서 나타난 결과로 사료된다. Davies와 Moore(1941) 및 Sondergaard(1972) 등이 쥐의 조직내에서 관찰했던 바와 같은 사료내 비타민 E의 첨가에 따른 비타민 A에 대한 절약효과는 관찰할 수 없었다.

첨가수준 및 기간별 난황내 비타민 E 함량 변화를 살펴보면 Table 6에서 보는 바와 같다. 모든 처리구에서 계란내 비타민 E의 함량이 2주만에 최고치에 도달하고 2주 이후에는 추가적인 증가가 없는 등 이행형태가 유사하게 나타났다. 하지만 비타민 A 첨가수준이

Table 6. Changes of vitamin E content in egg yolk over time in hens fed vitamins A and E supplemented diets ¹

Treatment	Time (wk)				
	0	1	2	4	8
	g / 10g egg yolk				
C	557.8 ^{aA} ± 2.4	510.3 ^{bD} ± 4.2	546.2 ^{abC} ± 13.2	568.7 ^{aD} ± 23.1	513.7 ^{bD} ± 5.1
1	563.0 ^{bA} ± 5.0	2584.8 ^{aA} ± 26.0	2633.9 ^{aA} ± 13.8	2599.2 ^{aA} ± 20.8	2523.9 ^{aB} ± 27.7
2	525.1 ^{eA} ± 20.5	1924.1 ^{dC} ± 11.0	2292.0 ^{cB} ± 27.2	2421.8 ^{bB} ± 21.3	2684.8 ^{aA} ± 22.3
3	536.8 ^{dA} ± 11.5	2308.4 ^{aB} ± 30.7	2016.2 ^{bB} ± 39.2	1847.4 ^{cC} ± 21.9	1959.4 ^{bC} ± 20.5

¹ Values are means ± SE.

^{a-d} Means within a row with no common superscripts differ significantly (P < 0.05).

^{A-D} Means within a column with no common superscripts differ significantly (P < 0.05).

Table 7. Changes of vitamins A and E content in liver over time in hens fed vitamins A and E supplemented diets ¹ (Vitamin A: IU/g, Vitamin E: g/g)

Treatment	Wk 4		Wk 8	
	Vitamin. A	Vitamin. E	Vitamin. A	Vitamin. E
	IU /g	µg /g	IU /g	µg /g
C	1724.5 ^{aD} ± 42.1	ND ²	1901.0 ^{aD} ± 4.9	ND ²
1	295.0 ^{bc} ± 18.4	18.6 ^{aA} ± 0.2	3644.5 ^{aC} ± 97.9	20.1 ^{aAB} ± 5.1
2	3984.0 ^{bB} ± 26.2	15.5 ^{bA} ± 0.6	8510.0 ^{aB} ± 226.3	43.9 ^{aA} ± 0.7
3	6777.0 ^{bA} ± 43.8	ND ²	9961.0 ^{aA} ± 236.2	17.7 ^{AB} ± 4.6

¹ Values are means ± SE.

² Not detected

^{a-b} Means within a row with no common superscripts differ significantly (P < 0.05).

^{A-D} Means within a column with no common superscripts differ significantly (P < 0.05).

Table 8. Changes of vitamin A content in liver over time in hens fed vitamin A flood-dosing diets¹

Treatment	Time(wk)					
	0	1	2	3	4	6
	----- IU / g -----					
C	1804.7 ^{dA} ± 30.7	1587.9 ^{dD} ± 13.5	1689.5 ^{cB} ± 18.4	1882.3 ^{cD} ± 8.3	2204.8 ^{aD} ± 5.5	1952.3 ^{bD} ± 10.4
a1	1878.8 ^{fA} ± 24.1	2188.1 ^{eC} ± 62.5	3732.2 ^{cA} ± 48.9	3935.5 ^{bC} ± 5.5	5622.2 ^{aC} ± 13.5	3526.6 ^{dC} ± 8.9
a2	1856.1 ^{dA} ± 27.7	2486.9 ^{cB} ± 21.0	4232.8 ^{bA} ± 97.3	5828.3 ^{aB} ± 48.1	5870.6 ^{bB} ± 20.3	5936.3 ^{aA} ± 34.4
a3	1850.0 ^{eA} ± 24.6	3288.6 ^{dA} ± 61.9	3866.2 ^{cA} ± 126.5	7311.1 ^{aA} ± 76.3	6903.2 ^{bA} ± 18.2	4103.9 ^{cB} ± 19.7

¹ Values are means ± SE.

^{a-f} Means within a row with no common superscripts differ significantly ($P < 0.05$).

^{A-D} Means within a column with no common superscripts differ significantly ($P < 0.05$).

달라짐에 따라 4주 이후에 계란내 비타민 E 수준이 처리구간 유의한 차이를 보이고 있는데 ($P < 0.05$), 특히 처리구 1과 2에 비해 처리구 3의 비타민 E 수준이 현저히 낮았다. 따라서 사료내 비타민 A 수준이 증가할수록 난황내 비타민 E 수준은 감소한 시험 1의 결과로 미루어 보아 비타민 E를 다량 투여해도 그러한 경향은 나타난다는 것을 확인할 수 있었다.

또한 본 시험에서의 난황내 비타민 E의 이행수준은 처리구에서 2,000~2,500 $\mu\text{g}/10\text{ g}$ 범위인데 반해 강경래 등(1994)이 보고한 바에 따르면 기초사료에 단독으로 비타민 E를 200 IU/kg 첨가했을 때 그 이행량은 이보다 약 2배가 높은 5,000 $\mu\text{g}/10\text{ g}$ 수준이었다. 따라서 사료내 비타민 A 수준이 증가할수록 난황내 비타민 E 이행율은 직선적으로 감소함을 관찰할 수 있었다.

간내에서 비타민 A와 E의 상호작용을 관찰해 보았을 때 그 결과는 Table 7에서 보는 바와 같다. 간내 비타민 A 함량은 첨가수준 별로 직선적으로 증가하였다 ($P < 0.05$). 하지만 비타민 E 함량은 비타민 A 수준이 증가할수록 감소하는 경향을 보였다. 특히 처리구 3의 4주 결과는 비타민 E의 간장내 함량이 매우 낮은 것으로 판명되어 비타민 A 첨가수준의 증가가 비타민 E의 흡수 및 대사에 미치는 영향을 나타내었다. 그러나 Table 6에서 처리구 3의 난황내 비타민 E 함량이 대조구보다는 높은 것을 볼 때 단순히 비타민 A에 의한 비타민 E의 흡수 저해 이외에도 조직내의 다른 상호작용이 있을 수 있다고 사료되며 이에 대한 구명은 좀 더 많은 연구가 필요하다. 한편, 시험 III과 비교해

보았을 때 비타민 E를 사료내에 첨가하므로써 간내 비타민 A 절약효과가 관찰되었다. Napoli와 Beck (1984)의 연구결과에 의하면 α -tocopherol은 특이적으로 간, 신장 및 장내에서 retinyl ester 가수분해효소를 억제하는 것으로 밝혀졌다. 이것은 α -tocopherol의 친지질성 방향성고리와 최소한 한개의 이종원자(heteroatom)가 가수분해효소와 상호작용을 하기 때문으로 보이며 단순히 항산화적 성질에 의해 일어나지 않는 것으로 보인다(Napoli 등, 1984).

따라서 본 시험 II에서는 비타민 A와 E를 계란내에 동시에 강화해도 비타민 A와 E 간에 상호작용이 존재함을 관찰할 수 있었다. 하지만 그 형태는 난황과 간에 있어서 각각 다르게 나타났는데, 난황에서는 상호길항적으로 작용한 반면 간에서는 비타민 E가 비타민 A를 절약하는 형태로 나타났다. 이러한 결과가 체조직과 계란에 대한 닭의 특이적 영향인지를 밝히기 위해서는 더 많은 연구가 필요하다고 사료된다. 시험 I의 결과와 같이 시험 II에서도 난황에서의 비타민 E 강화에 대한 비타민 A의 결과가 시험기간을 연장해 보았을 때는 다시 그 수준이 회복될지에 관해서는 단정할 수가 없었다. 그러나 Tengerdy와 Nockels(1975)는 비타민 A와 E를 통한 병아리의 면역력 향상 시험을 실시 하였는데 두가지 비타민을 함께 주었을 때(비타민 A 60,000 IU/kg, 비타민 E 300 mg/kg)는 각각을 단독으로 첨가했을 때 보다 그 효과가 크지 않아면 역기능에도 상호간에 길항작용이 존재한다고 보고한 바 있다.

Table 9. Changes of vitamin A content in egg yolk over time in hens fed vitamin A flood-dosing diets ¹

Treatment	Time(wk)					
	0	1	2	3	4	6
	IU /10g egg yolk					
C	224.5 ^{ab} ±3.5	186.8 ^{bd} ±1.0	214.5 ^{ad} ± 7.2	210.1 ^{abd} ±5.9	209.3 ^{abd} ± 5.3	211.1 ^{abd} ±3.4
a1	204.9 ^{ec} ±1.0	358.3 ^{cc} ±1.5	441.3 ^{bc} ±12.1	410.4 ^c ±5.1	362.1 ^{dc} ± 3.3	679.1 ^{ac} ±7.9
a2	248.6 ^{fa} ±4.3	21.9 ^{eb} ±8.6	835.7 ^{da} ± 4.4	949.3 ^{ca} ±1.1	1118.0 ^{ba} ±38.7	1258.6 ^{aa} ±8.1
a3	213.3 ^{bc} ±1.9	483.1 ^{ea} ±2.2	721.6 ^{cb} ± 4.4	594.5 ^{db} ±2.5	860.4 ^{ab} ± 7.5	821.5 ^{bb} ±6.3

¹ Values are means±SE.

^{a-f} Means within a row with no common superscripts differ significantly(P<0.05).

^{A-D} Means within a column with no common superscripts differ significantly(P<0.05).

3. 시험 III: 비타민 A의 다량투여 시험

비타민 A 다량투여에 따른 기간별 간내 비타민 A의 수준변화를 관찰해 보면 Table 8 에서 보는 바와 같다. 각 첨가수준별로 처리구 a2와 a3는 3주만에 간내 저장량이 포화상태에 도달한 반면, 처리구 a1은 4주만에 포화상태에 도달했다. 하지만 처리구 a1과 a3는 포화상태에 도달한 후 급격하게 그 수준이 감소하고 있으나, 처리구 a2는 평형상태를 유지하고 있다.

시험 II에서의 비타민 A 수준(20,000, 50,000 및 100,000 IU/kg)과 시험 III에서의 비타민 A 수준(80,000, 120,000 및 160,000 IU/kg)을 동시에 고려하여 상대적인 간내 비타민 A 수준을 관찰해 볼때 Table 7과 Table 8에서 볼 수 있듯이 비타민 E를 사료내 200 IU/kg 첨가한 시험 II의 간조직내 비타민 A수준이 시험 III에 비해 현저히 높게 나타났다. 따라서 본 시험의 간내 비타민 함량 분석 결과는 비타민 E가 비타민 A를 절약하는 효과가 있음을 입증하고 있으며 이러한 결과는 Davies와 Moore(1941)과 Sondergaard(1972) 등의 결과와 일치하고 있다.

난황내에서의 비타민 A의 수준변화를 관찰해 보면 Table 9에서 보는 바와 같다. 처리구 a1은 4주까지는 완만하게 증가한 다음, 4주 이후에 급격하게 증가하는 형태를 보여 강경래 등(1994)의 결과와 일치한다. 하지만 처리구 a2는 시험사료 급여후 1주부터 직선적으로 증가한 반면, 처리구 a3는 계단식으로 증가하고 있다. 아울러 특이한 것은 2주 결과부터는 처리구 a3의 비타민 A 수준이 처리구 a2의 수준보다 점차 낮아져

서 6주 결과에서는 매우 큰 차이를 보이고 있다(P<0.05).

이러한 결과의 원인에 대해서는 본 시험에서는 밝힐 수가 없었다. 하지만, 난황내 비타민 A의 최고치에 대해서는 아직 보고된 바가 없으며, 아마도 비타민 A의 사료내 첨가수준이 160, 000 IU/kg 이상에서는 독성을 나타내기 시작하거나, 아니면 난소로 이행하는 데 있어서 어떤 제한인자가 있을 것으로 사료된다(Mokady와 Tal, 1974). 따라서 본 시험에서는 비타민 A를 다량 투여해도 비타민 E와는 달리 간내 완충능력이 높아서(Jiang 등, 1994), 그 본격적인 이행시기를 단축할 수는 없었지만, 계란내 비타민 A 강화를 위한 사료내 첨가수준을 결정할 때 최소한 그 상한선은 제시하고 있다.

적 요

본 연구는 산란계 사료내 비타민 A와 E가 계란으로 이행될 때의 상호작용과 그 형태를 규명하고, 비타민 A를 다량투여(flood-dosing)시켰을 때 간과 계란내 비타민 A 수준의 변화를 관찰하고자 실시하였다. 시험 I에서는 계란이행에 있어서 상호작용이 존재하는지를 규명하기 위해 기초사료(C)에 비타민 A를 kg당 8,000 IU(A1), 16,000 IU(A2) 및 64,000 IU(A3)를, 그리고 비타민 E를 50 IU(E1), 100 IU(E2) 및 200 IU(E3)를 각각 첨가하여 시험사료별로 7개 처리구를 두었으며, 공시산란계로서는 45주령의 바브콕(Bobcock) 42수를 처리구당 6수씩 배치하였다. 시험

II에서는 비타민 A와 E를 동시에 강화했을 때 상호작용을 관찰하기 위하여 기초사료(C)에 사료 kg당 비타민 A 20,000 IU + 비타민 E 200 IU(1), 비타민 A 50,000 IU + 비타민 E 200 IU(2) 및 비타민 A 100,000 IU + 비타민 E 200 IU(3)를 각각 첨가하여 4개 처리구를 두고 35주령의 하이라인(Hyline) 32수를 처리구당 8수씩 배치하였다. 시험 III에서는 비타민 A를 다량투여 했을 때 계란 및 간내 비타민 A의 변화를 살펴보기 위해 기초사료(C)에 비타민 A를 80,000 IU(a1), 120,000 IU(a2) 및 160,000 IU(a3)를 각각 첨가하여 시험사료별로 총4개 처리구를 두어 처리구당 14수씩 35주령의 하이라인 56수를 배치하였다.

시험 I에서는 사료내 비타민 A수준이 증가할 수록 난황내 비타민 E수준은 감소했다. 하지만, 사료내 비타민 E수준이 증가할 수록 난황내 비타민 A수준은 일시적으로 감소한뒤 회복되었다($P < 0.05$). 시험 II에서는 다량의 비타민 E(200 IU/kg)가 첨가되어도 사료내 비타민 A 수준이 증가할 수록 난황내 비타민 E 수준은 유의하게 감소되었다($P < 0.05$). 아울러 다량의 비타민 E가 첨가됨으로서 비타민 A의 이행량도 감소되었다. 이러한 결과로 미루어 보아 사료내의 비타민 A와 E가 계란으로 이행하는 데 있어서도 상호작용이 존재한다는 것을 알 수 있었으며, 그 형태는 비타민 E의 비타민 A 절약효과가 아니라 상호 길항적으로 작용하는 것이었다. 하지만 간에서는 비타민 E의 비타민 A에 대한 절약효과가 관찰되었다. 시험 III에서는 간과 난황내 비타민 A 함량은 직선적으로 증가되었으며 간내 비타민 A함량은 시험사료 급여후 3~4주만에 포화상태가 되었다. 하지만, a3처리구의 난황내 비타민 A 수준이 시험개시 2주부터는 a2처리구의 수준보다 유의하게 낮았다($P < 0.05$). 이러한 결과로 볼 때, 비타민 A강화를 위한 산란계 사료내 비타민 A 첨가 수준을 120,000 IU/kg 이상으로 높히는 것은 경제적으로 실효성이 없다고 사료된다.

인용문헌

- Bieri JG, Wu A, Tolliver TJ 1981 Reduced intestinal absorption of vitamin E by low dietary levels of retinoic acid in rats. *J Nutr* 111: 458-467.
- Brubacher G, Muller-Mulot W, Southgate DAT 1991 Methods for the determination of vitamins in food. Elsevier, London & New York. Pages 23-32; 97-106.
- Combs GF, Scott ML 1974 Antioxidant effects on selenium and vitamin E function in the chick. *J Nutr* 104: 1297-1303.
- Combs GF 1976 Differential effects of high dietary levels of vitamin A on the vitamin E-selenium nutrition of young and adult chickens. *J Nutr* 106: 967-975.
- Davies AW, Moore T 1941 Interaction of vitamins A and E. *Nature* 147: 794-796.
- Dicks MW, Rousseau JE, Eaton HD, Teichman R, Grifo RG, Kenmerer HA 1958 Some interrelationships between vitamin E and vitamin A in Holstein calves. *J Dairy Sci* 42: 501-511.
- Dingle JT 1964 Penetration and stabilization of biological membranes by vitamin A. *Biochem J* 90:36.
- Ducan DB 1955 Multiple range and multiple F test. *Biometrics* 11: 1-42.
- Edwin EF, Bunyan J, Green J, Diplock AT 1962 The effect of vitamin A on ubiquinone and ubiquinone in the rat and its relation to the effect of vitamin E. *Br J Nutr* 16: 135-149.
- Green J, Muthy IR, Diplock AT, Bunyan J, Cawthorne, MA, Murrell EA 1967 Vitamin E and stress: 7. The interrelationships between polyunsaturated fatty acid stress, vitamin A and vitamin E in the rat and the chick. *Br J Nutr* 21: 845-864.
- Jiang YH, Mcgeachin RB, Bailey CA 1994 α -Tocopherol, β -carotene, and retinol enrichment of chicken eggs. *Poultry Sci* 73:1137-1143.
- Konno T, Asada T, Katsuo T 1985 The effect of

- some fat-soluble substances on contents of vitamins A and E in egg yolk. Jap J Zootech Sci (Nihon Chikusan Gakkai-ho) 56: 414-416.
- Lemley JM, Brown RA, Bird OD, Emmett AD 1947 The effect of mixed tocopherols on the utilization of vitamin A in the rat. J Nutr 34:205-210.
- Lucy JA, Dingle JT 1964 Fat-soluble vitamins and biological membranes. Nature 204:156-160.
- McCuaig LW, Motzok I 1970 Excessive dietary vitamin E: its alleviation of hypervitaminosis A and lack of toxicity. Poultry Sci 49: 1050-1052.
- Machlin LJ 1991 Handbook of vitamins(second edition). Marcel Dekker, Inc. Page 13.
- Mokady S, Tal M 1974 Isolation and partial characterization of retinal binding protein from chicken plasma. Biochim Biophys Acta 336:361-366.
- Napoli JL, Beck CD 1984 α -Tocopherol and phyloquinone as non-competitive inhibitors of retinyl ester hydrolysis. Biochem J 223:267-270.
- Napoli JL, McCormick AM, O'meara B, Dratz EA 1984 Vitamin A metabolism: α -tocopherol modulates tissue retinol levels *in vivo*, and retinyl palmitate hydrolysis *in vitro*. Arch Biochem Biophys 230:194-202.
- Pudelkiewicz WJ, Webster L, Matterson LD 1964 Effects of high levels of dietary vitamin A acetate on tissue tocopherol and some related analytical observations. J Nutr 84: 113-117.
- SAS Institute 1985 SAS User's Guide : Statistics Version 5 Edition SAS Institute Inc Cary NC.
- Sklan D, Donoghue S 1982 Vitamin E response to high dietary vitamin A in the chick. J Nutr 112: 759-765.
- Sondergaard E 1972 The influence of vitamin E on the expenditure of vitamin A from the liver. Experientia 28: 773-774.
- Squires MW, Naber EC 1993 Vitamin profiles of eggs as indicators of nutritional status in the laying hen: Vitamin A study. Poultry Sci 72: 154-164.
- Tappel AL 1962 Vitamin E as the biological lipid antioxidant. Vitam. Hormon. 20: 493-509.
- Tengerdy RP, Nockels CF 1975 Vitamin E or vitamin A protects chickens against E. coli infection. Poultry Sci 54: 1292-1296.
- 강경래 남기택 민방식 강창원 1994 사료내 비타민 A 와 E의 첨가수준별 계란내 이행과 기간별 수준변화. 한영사지 18:240-248.