

## 난황 콜레스테롤 및 계란 품질에 관한 식이내 베타-사이클로덱스트린의 효과

박 병 성

강원대학교 동물생명과학전공

### Effect of Dietary $\beta$ -Cyclodextrin on Egg Quality and Cholesterol Content of Egg Yolks

Byung-Sung Park

Animal Life Science Program, Kangwon National University, Chuncheon 200-701, Korea

#### Abstract

This study was to determine the effect of dietary  $\beta$ -cyclodextrin ( $\beta$ CD) on egg quality and cholesterol content of egg yolk. One-hundred 28-week-old laying hens were randomly distributed into five groups of twenty hens each and maintained in individual laying cages for 10 weeks of the experiment. They were assigned to the five treatments of experimental layer diets containing 0, 3, 5, 7 or 10% pure  $\beta$ CD of diets. Food intake, egg production and egg weight varied slightly and insignificantly in the hens fed with 0, 3, 5 or 7%  $\beta$ CD-added diets. But food intake, egg production, and egg weight were uniformly lower ( $p < 0.05$ ) in the hens fed with 10%  $\beta$ CD-added diets. Food conversion rate, when expressed per number egg, was impaired ( $p < 0.05$ ) without having an obvious relation to the dietary  $\beta$ CD level. No difference in haugh unit, egg yolk color, and egg shell thickness was found among treatment. The cholesterol content of egg yolks was significantly decreased ( $p < 0.05$ ) to 3.76, 5.12, 5.49 and 6.48 mg/g yolk in  $\beta$ CD 3, 5, 7 and 10% treatments respectively when compared to that of the  $\beta$ CD 0% group. The cholesterol content of eggs, when expressed in mg/60 g egg, was greatly ( $p < 0.05$ ) decreased to 54, 71, 77 and 86 mg in  $\beta$ CD 3, 5, 7 and 10% treatments when compared to that of the  $\beta$ CD 0% group. The most striking effects ( $p < 0.05$ ) were observed in  $\beta$ CD 5% and 7% treatments, whose cholesterol content decreased from 28.19% to 30.23%. In conclusion,  $\beta$ CD added-diets fed to laying hens can reduced the cholesterol content of egg yolk, and this new type of egg yolk with lower cholesterol can be considered a functional livestock food.

Key words:  $\beta$ -cyclodextrin, cholesterol content, egg yolk, egg quality

#### 서 론

계란은 영양학적으로 가장 완전한 자연식품으로 알려져 있으나 계란에는 200~288 mg의 콜레스테롤이 들어있기 때문에 섭취가 제한되고 있다(1-3). 계란을 많이 섭취하면 혈액 고밀도 지질단백질 콜레스테롤(HDL-C, high density lipoprotein cholesterol)에 대한 총 콜레스테롤의 비율이 높아지며 이는 심장혈관계질환의 발생율이 높아질 수 있기 때문에 계란 및 콜레스테롤이 많은 식품의 섭취를 줄여야 한다는 보고가 많다(4,5). 이 문제를 해결하기 위해 오래 전부터 많은 노력이 계속되고 있으며 가장 적극적인 해결방안은 계란의 콜레스테롤 함량을 낮추는 것이다. 지금까지 계란의 콜레스테롤 함량을 낮추기 위해서 산란계의 식이조성을 변화시키는 방법(3,6-10)과 생산된 계란으로부터 콜레스테롤을 제거하는 방법이 연구되었다(11). 특히 후자의 방법으로 최근 베타-사이클로덱스트린( $\beta$ CD,  $\beta$ -cyclodextrin)을 난황물질과

흡착처리하여 원심분리함으로써 저콜레스테롤 계란을 생산 할 수 있는 기술이 널리 응용되고 있다(11-14).

$\beta$ CD는 7개의 포도당 분자가  $\alpha$ -(1,4)glycosidic 결합되어 있는 도넛 형태의 환상고리형 올리고당으로써 전분이나 말토올리고당으로부터 cyclodextrin glycosyl transferase의 효소작용에 의해서 생성·추출된 물질이다(15,16).  $\beta$ CD의 안쪽 내벽은 소수성을 나타내고 콜레스테롤 또한 소수성이 아주 강하다(15).  $\beta$ CD를 식품산업에서 콜레스테롤 제거를 위한 외부 흡착제로 사용할 경우 이들과 결합하여 화학적 안정성과 분리의 용이함을 나타낸다. 이같은 특성을 이용해서 계란 및 기타 식품 중의 콜레스테롤을 쉽게 흡착제거할 수 있다 (6,17). 그러나 지금까지는 계란에  $\beta$ CD를 이용하여 콜레스테롤 함량이 낮은 제품을 생산하기 위해서는 액란 및 가공란 생산을 위하여 계란을 깨뜨려서 혼합 원심분리하는 제품들이 소비가 되어(11) 신선란을 선호하는 소비자들의 시선을 끌지 못하는 문제점이 있다. 산란계로부터 직접 생산되는 신선

란의 콜레스테롤 함량을 낮추는 방법으로써 산란계 사료내 여러 가지 물질을 첨가하여 급여하게 되면 저콜레스테롤 계란을 생산할 수 있다(3,6,7). 한편 식이조성의 변화에 의해서 난황 콜레스테롤 함량이 어느 수준 이하로 저하되면 산란율이 급격히 떨어질 수 있다는 보고(9)가 있는 반면에 산란성적(8), 난황색 및 기호성이 유지된다(10)는 보고도 있다. BCD를 동물에게 급여하였을 때 혈액 중성지방과 유해콜레스테롤 함량이 현저하게 낮아진다는 보고가 있으며 그 이유는 BCD 내벽의 소수성기가 생체내 콜레스테롤과 스테로이드 와의 높은 친화력을 유지하여서 지질의 흡수를 억제하고 담즙산의 합성을 자극해주며 분을 통한 배설량을 높여주기 때문으로 알려졌다(18-20). 그러나 산란계에 대한 BCD의 급여 효과는 아직까지 보고된 것이 전혀 없다. 그러므로 본 연구에서는 BCD를 섭취한 산란계의 난황 콜레스테롤과 계란 품질에 대하여 살펴보았다.

## 재료 및 방법

### 시험동물 및 식이

산란계(Hy-Line Brown) 29주령 100마리를 이용하여 5개의 처리구당 20마리씩 나누어서 완전임의 배치하였고 개개의 산란케이지에서 수용한 후 38주령까지 10주간에 걸쳐서 사육하였다. 실험에 대한 모든 처리구의 식이는 NRC(1994)에 의해서 권장된 영양소 요구량을 충족 또는 약간 높게 배합되었다(21). 산란계는 옥수수, 대두박 위주의 기초 식이내 순수한 BCD 0, 3, 5, 7 또는 10%를 함유하는 5개의 시험식이를 각각 섭취하였다. 기초 식이내 BCD 급원(Cavamax® w7, Wacker, USA)은 순도 99.4% 이상의 고도로 정제된 BCD를

사용하였다. BCD 첨가 수준증가에 따른 손실부분은 옥수수 함량을 줄여서 조절해 주었고 특히 BCD 10% 첨가구의 경우는 옥수수의 감소량에 따른 조단백질 함량을 보완해주기 위해 대두박의 첨가량을 약 1% 정도 높여주었다. 모든 식이내 총지방 함량을 동일하게 해주고, 필수지방산의 공급을 위해서 항산화제로서 BHT가 기름 L당 650 mg 첨가된 옥수수 기름을 식이 kg당 15 g 수준으로 첨가하였다. 따라서 배합된 모든 식이내 조단백질과 에너지 함량을 동일한 수준으로 조절하였다(Table 1). 점등시간은 17시간이 되도록 조절하였고 물과 시험식이는 자유섭취(ad libitum)케 하였으며 동물을 포함한 모든 시험절차는 유럽실험동물 취급면허(SCT-w94058)에서 제시된 과학적이고 윤리적인 규정을 따랐다.

### 식이섭취량, 산란율, 난중 및 식이요구율

식이섭취량은 일주일 간격으로 급여량에 대하여 잔량을 뺀값으로 측정하였다. 계란은 매일 수집하였으며 전체 조사 기간 동안의 난생산율(산란율)과 난중을 조사하기 위해서 하나하나 개체별 산란한 숫자를 기록하면서 무게를 측정하였다. 산란율과 계란 1개당 식이요구율 및 계란 kg당 무게로 써 식이요구율을 계산하였다(22).

### 계란품질조사

계란 품질조사는 29주령부터 시험식이 급여후 4주째인 32주령부터 2주 간격으로 총 4회(32주, 34주, 36주, 38주)에 걸쳐서 계란을 수거하여 체란 후 즉시 Quality control microprocess(QCM, Technical Services and Supplies Co.,UK)을 사용하여 Haugh unit(HU)를 측정하였고 QCM color meter를 이용하여 난황색을 측정하였다. 난각두께는 Dial pipe guage(Ozaki MFG Co., Ltd, Japan)을 이용하여 HU와 난황

Table 1. The ingredient composition and nutrient content of  $\beta$ -cyclodextrin ( $\beta$ CD)-added experimental diets fed to laying hens

Ingredients	Diets including $\beta$ CD (% of diet)				
	0	3	5	7	10
Ground yellow corn	51.50	48.50	46.50	44.50	40.80
Soybean meal	21.80	21.80	21.80	21.80	22.50
Wheat bran	9.70	9.70	9.70	9.70	9.70
Corn gluten meal	6.30	6.30	6.30	6.30	6.30
Corn oil <sup>1)</sup>	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50
$\beta$ -cyclodextrin <sup>2)</sup>	-	3.00	5.00	7.00	10.00
Limestone	7.70	7.70	7.70	7.70	7.70
Tricalcium phosphate	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80
NaCl	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
DL-methionine (50%)	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
Vitamin-mineral mixture <sup>3)</sup>	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27
Vitamin C	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03
Calculated nutrient content					
Metabolizable energy (kcal/kg)	2900	2900	2900	2900	2900
Crude protein (N × 6.25)(g/kg)	18.78	18.55	18.40	18.25	18.30

<sup>1)</sup>Included 650 mg BHT per liter oil.

<sup>2)</sup>Purity 99.4%, Cavamax® w7, Wacker, USA.

<sup>3)</sup>Provided per kilogram of diet: vitamin A (retinyl palmitate), 1,200 IU; cholecalciferol, 2,500 IU; vitamin E (dl- $\alpha$ -tocopheryl acetate), 20 IU; vitamin K<sub>3</sub>, 4.0 mg; thiamin, 1.5 mg; riboflavin, 50.0 mg; pantothenic acid, 10.0 mg; niacin, 30 mg; pyridoxine, 4.0 mg; choline chloride, 250 mg; folic acid, 0.5 mg; biotin, 220  $\mu$ g; vitamin B<sub>12</sub>, 12  $\mu$ g; BHT, 250 mg; manganese, 48 mg; zinc, 40 mg; iron, 24 mg; copper, 16 mg; iodine, 0.6 mg; selenium, 0.12 mg; and DL-methionine, 50 mg.

색 측정에 이용된 32주, 34주, 36주 및 38주령 시의 계란에서 난각의 둔단부, 중간부, 첨단부를 각각 4회 측정하여 평균값으로 나타내었다.

$$\text{Haugh unit: } 100 \log (H + 7.57 - 1.7W^{0.37})$$

H: Albumin height (mm), W: Egg weight (g)

자료는 실험시작 4주째인 32주령부터 7주동안 2주간격으로 총 4회에 걸쳐 수집된 계란 즉 32주, 34주, 36주 및 38주령에 채란하여 측정한 평균값을 혼합하여 제시하였다.

#### 계란 콜레스테롤 분석

29주령부터 시험식이 급여후 4주째인 32주령부터 2주간격으로 총 4회에 걸쳐서 수집된 계란(32주, 34주, 36주 및 38주령)에 대한 계란 무게를 측정하였고 품질검사와는 별도로 동일한 처리구의 계란을 끓는 물에서 20분 동안 삶아서 난백과 난황을 분리한 다음 각각의 무게를 측정하였다. 콜레스테롤 분석을 위하여 분리 후 삶은 난황은 -20°C의 냉동실에 보관하였다. 분석시에 냉동난황을 녹여서 잘 혼합한 다음 콜레스테롤을 분석하였으며 4회에 걸쳐서 측정된 평균값으로 나타내었다. 총난황 콜레스테롤은 독일 Boehringer Mannheim사의 biochemical analysis kit(Cat. No. 139.5, Germany)를 사용하여 효소적으로 측정하였다(23). 즉, 난황시료 0.5 g에 새롭게 제조된 methanolic potassium hydroxide 용액 20 mL와 isopropanol 10 mL를 혼합한 후 30분 동안 reflux condenser하에서 가열, 여과 후 시료 0.40 mL를 취하였다. 여기에 cholesterol reagent mixture 5.00 mL를 첨가하여 격렬하게 혼합된 반응물 2.5 mL를 취하여 cholesterol oxidase 20 μL를 가한 후 37~40°C에서 60분간 반응시킨 후 405 nm에서 흡광도(Jasco spectrometer UVIDEC-610, Japan)를 측정하였다. 콜레스테롤 함량은 시료와 blank의 흡광도 차이값( $\Delta A$ )에다가 콜레스테롤 표준물질의 농도, 시료의 희석배수 및 기기의 여러가지 분석조건을 고려하여 이미 제시되어 있는 상수값 0.711을 곱하여 계산하였다. 자료는 4주째인 32주령부터 2주간격으로 총 4회에 걸쳐 수집된 계란(32주, 34주, 36주 및 38주령에 채란)에서 각각 일자별로 측정한 평균값을 혼합하여 제시하였다.

#### 통계처리

실험자료는 SAS의 GLM procedure를 이용하여 분산 분석하였고(24) Duncan's multiple range test(25)에 의하여 95% 수준에서 처리평균치간의 통계적 유의성을 검정( $p < 0.05$ )하였다.

#### 결과 및 고찰

Hy-Line Brown 산란계를 이용하여 29주령부터 서로 다른 수준의 βCD(0, 3, 5, 7, 10%) 실험식이를 급여하기 시작하여 38주령까지 총 10주간 실험을 진행하였다. 실험기간 중 난황 콜레스테롤 감소율이 거의 일정한 수준(plateau)에 도달한 시점 즉 실험식이 급여후 4주째부터 7주간의 사이에서 조사된 사양성적(32주~38주)은 Table 2와 같다.

식이섭취량은 βCD 무첨가구와 βCD 3%, 5%, 7% 첨가구 사이에 유의차는 없었으나 βCD 10% 첨가구는 βCD 무첨가구 및 7% 이하의 βCD 첨가구에 비해서 유의적으로 낮은 섭취경향을 보였다( $p < 0.05$ ). 이와 비슷하게 산란율과 난중도 βCD 10% 첨가구에서 일정하게 낮아졌다( $p < 0.05$ ). 식이요구율은 계란 1개당 숫자로 나타냈을 때 βCD 10% 첨가구가 βCD 무첨가구, βCD 3%, 5% 및 7% 첨가구에 비해서 유의적으로 낮아졌으나 ( $p < 0.05$ ) 계란 kg당 무게로 나타냈을 때 처리구간별 유의적인 차이는 나타나지 않았다.

전체적으로 산란계의 사양 성적(Table 2)은 βCD가 첨가된 식이(0, 3, 5, 7%)에 의해서 거의 영향 받지 않았다. 그러나 난생산 성적과 사양 특성사이에는 몇 가지 일반적인 관계가 있었다. 산란율과 난중은 βCD 10% 첨가구를 제외한 7% 이하의 βCD 첨가구에서 일정하였고 식이섭취량은 βCD 10% 첨가식이에 의해서 줄어드는 경향이 있었기 때문에 이 식이를 섭취한 닦은 기타 식이를 섭취한 닦과 비교할 때 계란 1개당 산란을 위해서 약간 적은량의 식이를 요구하였다. 그러나 이것은 많은량의 βCD를 함유한 식이를 섭취한 닦에서 식이섭취량 감소에 기인하여 산란율과 난중감소가 있었던 것으로 볼 수 있기 때문에 양계경영에 있어서 비경제적인 것으로 생각된다. 산란율, 식이섭취량 및 난중 등은 채란양

Table 2. Effect of feeding hens with β-cyclodextrin (βCD)-added diets on production characteristics during 7 weeks (32~38 weeks) after start in experiment at 29 weeks

Items	Dietary level of βCD (% of diet)					SEM <sup>3)</sup>
	0	3	5	7	10	
Egg production (%)	93.27 <sup>a4)</sup>	93.32 <sup>a</sup>	93.47 <sup>a</sup>	93.25 <sup>a</sup>	91.20 <sup>b</sup>	0.9096
Egg weight (g)	64.40 <sup>a</sup>	64.47 <sup>a</sup>	64.27 <sup>a</sup>	64.07 <sup>a</sup>	62.30 <sup>b</sup>	0.9578
Feed consumption (g/hen/day)	120.55 <sup>a</sup>	120.85 <sup>a</sup>	120.35 <sup>a</sup>	120.47 <sup>a</sup>	115.10 <sup>b</sup>	1.4997
Feed conversion rate per egg <sup>1)</sup>	129.27 <sup>a</sup>	129.52 <sup>a</sup>	128.32 <sup>ab</sup>	129.20 <sup>a</sup>	126.20 <sup>b</sup>	1.7829
per kg eggs <sup>2)</sup>	2.00	1.99	2.00	2.01	2.02	0.0376

<sup>1)</sup>Feed intake per one number of egg.

<sup>2)</sup>Feed intake per kg egg mass.

<sup>3)</sup>Standard error of mean values.

<sup>4)</sup>Mean values within a same row with unlike superscript letters were significantly different ( $p < 0.05$ ).

계에 있어서 가장 중요한 산란능력의 경제형질이다(26).

평균적으로  $\beta$ CD 10% 첨가구를 제외한 기타 시험식이를 섭취한 산란계에 의해서 조사된 난중과 식이섭취량은  $\beta$ CD 무첨가구에서 기록된 것과 비슷하였음을 알 수 있었다. 그러나 난중과 산란율은  $\beta$ CD 10% 첨가식이 급여에 의해서 더욱 영향을 받았기 때문에  $\beta$ CD 10% 첨가구에서 평균 식이 요구율은 생산된 계란 한 개당 요구된 식이 g으로서 표시하였을 때  $\beta$ CD 무첨가구 및 기타 처리구에서 보다 낮았다( $p<0.05$ ). Elkin 등(8)은 계란 콜레스테롤을 낮추기 위하여 식이 조성을 변화시켰을 때 산란계의 산란성적이 영향받지 않는다고 하였으나, Hargis(9)는 난황 콜레스테롤 함량이 어느 수준 이하로 떨어지게 되면 계란 생산능력 즉 산란율이 급격히 낮아질 수 있다고 하였다. 동물식이내  $\beta$ CD 첨가수준을 늘려줄 경우 흰쥐의 식이 섭취량, 식이효율 및 체중감소(19, 27), 햄스터의 식이섭취량 증가(19) 및 흰쥐의 식이섭취량과 체중에 아무런 영향이 없다(18,28)는 상반된 보고가 있다. 본 실험결과는 흰쥐식이내  $\beta$ CD를 20% 이상 첨가하여 급여 하였을 때 식이섭취량과 체중감소가 있었다는 Riottot 등(19)과 鈴木(27)의 보고와 일반적인 견해를 같이하고 있다. 이와같은 결과는  $\beta$ CD의 대사적 특성에 기인한 것으로 사람과 동물의 소장에서  $\beta$ CD는 분해 흡수되지 않으며 대장에서 미생물에 의한 분해(29)가 일어나는 것으로 알려져 있다. 따라서 많은량의  $\beta$ CD 첨가식이를 섭취할 경우 동물의 소장에서 대사장애가 발생하여(27) 기호성이 떨어지기 때문에 식이섭취량이 낮아지는 것으로 생각할 수 있다.

호우유니트, 난각두께 및 난황색은  $\beta$ CD 무첨가구와  $\beta$ CD 3%, 5%, 7% 및 10% 첨가구가 서로 비슷한 것으로 조사되었으며 통계적 유의성도 없었다(Table 3). 이는 Birrenkott 등(10)이 난황 콜레스테롤 함량을 낮추기 위하여 식이조성을 변화를 주었을 때 난황색은 대조구와 처리구 사이에 차이가 없었으며 일정하게 유지되었다는 결과와 유사하였다. 난질

은 계란품질을 결정하는데 중요한 요소이며 특히 최근의 소비자 기호도와 관련하여 식품의 가치를 높이는데 내부와 외부의 품질이 우수해야 한다(30). 내부품질의 척도가 되는 Haugh unit은  $\beta$ CD 무첨가구와 시험구 모두에서 91이상으로 높은 수치를 나타내 내부품질이 우수하였다(31). QCM color meter에 의하여 난황색의 농담(30)이 구분되는데 1~14 등급까지 분류되며 대조구와 시험구 모두에서 난황색 등급은 8.1로 진한 황색이였다.

실험기간 중 난황 콜레스테롤 감소율이 거의 일정한 수준(plateau)에 도달한 시점부터 즉 실험식이 급여 후 4주째부터 7주간의 사이에서 조사된(32주~38주) 계란 콜레스테롤 함량은 큰 차이가 없었다. 따라서 각 측정일자별로 구분하여 표에 나타내는 것은 의미가 없다고 판단되어 4주째인 32주령부터 2주 간격으로 총 4회에 걸쳐 수집된 계란(32주, 34주, 36주 및 38주령에 체란)에서 각각 측정한 평균값을 혼합하여 Table 4에 나타냈다.

난황 g당으로 나타낸 콜레스테롤 함량은  $\beta$ CD 무첨가구가 18.16 mg이었고 실험식이내  $\beta$ CD첨가수준이 3, 5, 7, 10%로 높아질수록 각각 14.40, 13.04, 12.67 및 11.68 mg으로 낮아지는 경향을 보였으며 처리구간 통계적 유의성이 있었다( $p<0.05$ ). 즉  $\beta$ CD 무첨가구와 비교해 볼 때 실험식이내  $\beta$ CD 첨가수준이 3, 5, 7, 10%로 높아질수록 난황 g당 콜레스테롤 함량은 각각 3.76, 5.12, 5.49 및 6.48 mg씩 유의적인 감소경향을 나타냈다( $p<0.05$ ). 한편 계란 1개(대란, 60 g 기준)의 콜레스테롤 함량으로 계산했을 때  $\beta$ CD 무첨가구가 약 263 mg으로 나타났으나  $\beta$ CD 첨가수준이 3, 5, 7, 10% 수준으로 높아질수록 각각 209, 192, 186 및 177 mg으로 줄어들었음을 알 수 있었고 이 값을 대조구와 비교해 볼 때 각각 54, 71, 77 및 86 mg씩 유의적인 감소경향을 보였으나 통계적 유의차는 5% 이하에서는 유의차가 있었지만 5% 이상 급여구에서는 통계적 차이가 없었다.

Table 3. Effect of feeding hens with  $\beta$ -cyclodextrin ( $\beta$ CD)-added diets on haugh unit, egg yolk color and egg shell thickness during 7 weeks (32~38 weeks) after start in experiment at 29 weeks

Items	Dietary level of $\beta$ CD (% of diet)					SEM <sup>1)</sup>
	0	3	5	7	10	
Haugh unit	94.98	92.57	91.26	91.26	94.01	2.9854
Egg yolk color (Unit)	8.16	8.09	8.10	8.18	8.09	0.2343
Eggshell thickness (mm)	0.37	0.38	0.39	0.38	0.37	0.0189

<sup>1)</sup>Standard error of mean values.

Table 4. Effect of feeding hens with  $\beta$ -cyclodextrin ( $\beta$ CD)-added diets on egg cholesterol content during 7 weeks (32~38 weeks) after start in experiment at 29 weeks

Items	Dietary level of $\beta$ CD (% of diet)					SEM <sup>1)</sup>
	0	3	5	7	10	
Egg yolk (g)	15.49	15.55	15.74	15.67	15.74	0.4779
Total cholesterol mg/g of yolk	18.16 <sup>a2)</sup>	14.40 <sup>b</sup>	13.04 <sup>c</sup>	12.67 <sup>c</sup>	11.68 <sup>d</sup>	0.3408
mg/60 g of egg	262.66 <sup>a</sup>	208.53 <sup>b</sup>	191.97 <sup>c</sup>	186.09 <sup>c</sup>	177.19 <sup>c</sup>	9.8176

<sup>1)</sup>Standard error of mean values.

<sup>2)</sup>Mean values within a same row with unlike superscript letters were significantly different ( $p<0.05$ ).

평균적으로 난황 콜레스테롤 함량 감소율을 대조구와 비교하여 나타낸 결과는 Fig. 1에서 보는 바와 같다. 대조구와 비교하였을 때  $\beta$ CD 첨가수준이 3, 5, 7 및 10%로 높아짐에 따라서 난황 콜레스테롤 함량은 각각 20.70, 28.19, 30.23 및 35.68%의 감소율을 나타냈으며 통계적인 유의성이 있었다 ( $p<0.05$ ). 따라서 산란계 식이내  $\beta$ CD의 첨가는 난황 콜레스테롤 함량을 획기적으로 낮출 수 있을 것으로 생각된다(Table 4, Fig. 1). 난황의 콜레스테롤 함량은  $\beta$ CD 첨가식이를 섭취한 후 4주째에 최대 감소수준을 보였으며 그 이후부터는 거의 일정한 수준으로 유지하였다. 따라서 식이조성 변화에 의한 산란계의 생리적인 관점에서 21~28일의 기간은 난황 콜레스테롤 함량을 최대로 낮추는데 충분할 것으로 보인다. 계란 콜레스테롤의 수준은 식이, 생합성 및 생체내 순환 사이클에 의해서 달라질 수 있으며 배자발육에 필수적인 성분이며 생명유지를 위한 지질의 구성이다(30,32,33). 60 g 계란 1개에는 콜레스테롤이 240~288 mg이 함유되어 있으며 주로 난황 부분에 위치하고 있고 난황의 1.3~1.4% 비율을 차지하며 난황지질의 4%를 차지한다(32). 따라서 콜레스테롤이 없는 계란은 가금의 생존을 허용할 수 없을 뿐만 아니라 난황 콜레스테롤이 어느 수준 이하로 낮아지게 되면 산란이 중지될 수 있는 닭의 생리적인 한계로 인해 계란 콜레스테롤 함량을 낮추는데는 어느 정도 한계가 있는 것으로 생각된다(6, 8,33). 최근에 식이적인 방법으로 인해서 간에서 콜레스테롤 합성 단계를 차단하는 연구가 진행되었는바 Chowdhury 등(7)은 양간마늘을 10%까지 산란계에 급여하여 난황 콜레스테롤을 28%까지 낮출 수 있었으며, Elkin 등(6)은 Atorvastatin 0.06% 투여군에서 난황 콜레스테롤 함량이 46%나 감소하였고 또 다른 실험에서 Elkin 등(8)은 31%까지 낮출 수 있다고 보고하였다. 동물에게  $\beta$ CD를 식이내 첨가급여시 흰쥐(18,28,34~36), 햄스터(19) 및 돼지(20,37,38)에서 혈액 콜레스테롤 함량을 떨어뜨릴 수 있음이 보고되었다. 동물식이

내  $\beta$ CD 첨가 급여에 의해서 혈액 콜레스테롤 수준이 낮아지는 기전으로서는 간에서 콜레스테롤 합성에 관여하는 비율 제한효소인 HMG-CoA reductase activity(18,39~41)의 감소 그리고 콜레스테롤의 흡수를 억제하여 분을 통한 스테로이드 배설량(18,42~46)의 증가를 생각해 볼 수 있다. 본 연구 결과  $\beta$ CD 첨가수준이 증가함에 따라서 계란 콜레스테롤 함량이 획기적으로 낮아진 것은 바로 이와 관련했을 것으로 추측해 볼 수 있다. 즉 산란계 식이내  $\beta$ CD를 첨가 급여함에 따라서  $\beta$ CD가 산란계의 생체내에서 일어나는 간의 콜레스테롤 생합성을 억제했을 뿐만 아니라 콜레스테롤과  $\beta$ CD의 높은 친화성에 기인하여서 콜레스테롤을 강하게 흡착함으로써 불용성 형태로 전환한 다음에 분을 통한 콜레스테롤 및 이의 대사물에 관한 배설량을 높였을 것으로 추정된다.  $\beta$ CD는 도넛츠 형태로 된 분자구조식을 이루며 내부의 소수성 히드록시기는 콜레스테롤과의 강한 친화성을 갖기 때문에 콜레스테롤과 접촉시 불용성 복합물을 형성할 수 있다(13,16,17,47).

## 요 약

본 연구의 주목적은 난황 콜레스테롤 함량 및 계란 품질에 관한 식이내 베타사이클로덱스트린( $\beta$ CD)의 효과를 조사하는 것이었다. 29주령 산란계 100마리를 이용하여 각각 20마리씩의 5그룹으로 나누어서 완전임의 배치하였으며 실험 10주기간 동안에 각각의 산란 케이지 내에서 수용하였다. 산란 계의 식이는 순수한  $\beta$ CD를 0, 3, 5, 7 또는 10% 함유하는 5개의 처리구로 나누었다. 암탉의 식이섭취량, 산란율, 난중은  $\beta$ CD 무첨가구와  $\beta$ CD 3, 5, 및 7% 첨가구 사이에 서로 비슷하였으나  $\beta$ CD 10% 첨가구는 유의적으로 낮아졌다( $p<0.05$ ). 식이요구율을 계란 1개당으로 표시했을 때 식이내  $\beta$ CD 첨가수준과 차이는 없었으나  $\beta$ CD 10% 첨가구에서 유의적으로 손상되었다( $p<0.05$ ).  $\beta$ CD 첨가는 호우유니트, 난황색 및 난각두께에 아무런 영향을 주지 않았다. 난황 g당 콜레스테롤 함량은  $\beta$ CD 무첨가구와 비교할 때  $\beta$ CD 3, 5, 7 및 10% 첨가구에서 각각 3.76, 5.12, 5.49 및 6.48 mg씩 유의적으로 낮아지는 경향을 보였다( $p<0.05$ ). 계란 60 g당 콜레스테롤 함량은  $\beta$ CD 무첨가구와 비교할 때  $\beta$ CD 3, 5, 7 및 10% 첨가구에서 각각 54, 71, 77 및 86 mg으로 감소하는 경향이었다 ( $p<0.05$ ). 가장 획기적인 효과는 산란계 식이내  $\beta$ CD 5%와 7% 첨가구에 의해서 난황 콜레스테롤 함량이 각각 28.19% 및 30.23%까지 감소한 관찰이었다. 이상의 결과로  $\beta$ CD의 첨가 급여는 난황의 콜레스테롤 함량을 낮출 수 있으며 콜레스테롤 함량이 낮아진 기능성 계란을 생산할 수 있을 것으로 본다.

## 감사의 글

이 논문은 2001년도 한국학술진흥재단의 지원에 의하여

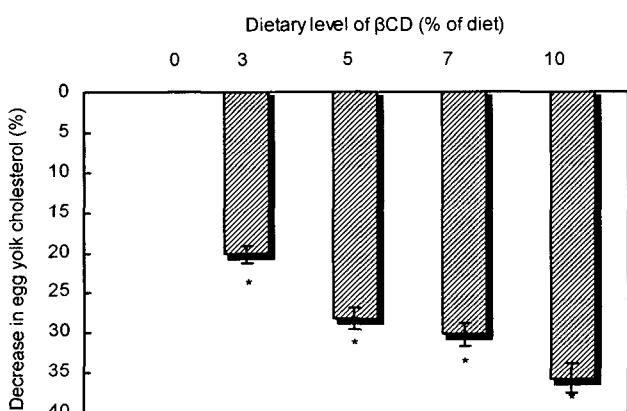


Fig. 1. % Decrease in egg yolk cholesterol from laying hens during 7 weeks (32~38 weeks) after start in experiment at 29 weeks with feeding  $\beta$ -cyclodextrin ( $\beta$ CD)-added diets.  
\*Values were significantly different against control group ( $p<0.05$ ). Bars represent standard error of mean values.

연구되었으며(KRF-2001-002-G00066) 이에 감사드립니다.

## 문 현

1. Brown WV. 1990. Dietary recommendations to prevent coronary heart disease. *Annals of the New York Academy of Sciences* 598: 376-388.
2. Weggemans RM, Zock PL, Katan MB. 2001. Dietary cholesterol from eggs increases the ratio of total cholesterol to high-density lipoprotein cholesterol in humans: a meta-analysis. *Am J Clin Nutr* 73: 885-891.
3. Punita A, Anurag C. 2000. Effect of feeding crude red palm oil (*Elaeis guineensis*) and grain amaranth (*Amaranthus paniculatus*) to hens on total lipid, cholesterol, PUFA levels and acceptability of eggs. *Plant Food for Human Nutr* 55: 147-157.
4. Palca J. 1990. Getting to the heart of the cholesterol debate. *Science* 247: 1170-1171.
5. Shekelle RB, Stamler J. 1989. Dietary cholesterol and ischaemic heart disease. *Lancet* 1: 1177-1178.
6. Elkin RG, Yan Z, Zhong Y, Donkins SS, Buhman KK, Story JA, Turek JJ, Porter RE, Anderson M, Homan R. 1999. Select 3-hydroxy-3-methylglutaryl-coenzyme A reductase inhibitors vary in their ability to reduce egg yolk cholesterol levels in laying hens through alterations of hepatic cholesterol biosynthesis and plasma VLDL composition. *J Nutr* 129: 1010-1019.
7. Chowdhury SR, Chowdhury SD, Smith TK. 2002. Effect of dietary garlic on cholesterol metabolism in laying hens. *Poultry Sci* 81: 1856-1862.
8. Elkin RG, Furumoto EJ, Thomas CR. 2003. Assessment of egg nutrient compositional changes and residue in eggs, tissues, and excreta following oral administration of atorvastatin to laying hens. *J Agric Food Chem* 51: 3473-3481.
9. Hargis PS. 1988. Modifying egg yolk cholesterol in the domestic fowl: A review. *World's Poultry Sci J* 44: 17-29.
10. Birrenkott G, Brockenfelt GE, Owens M, Haplin E. 2000. Yolk and blood cholesterol levels fed a garlic-supplemented diet. *Poultry Sci* 79 (Suppl. 1): 75 (Abstr.).
11. Newsweek. 1992. Betting on a guilt-free egg. April 6: 46.
12. Vollbrecht HR. 1991. Process for the removal of cholesterol and cholesterol esters from egg yolk. *US Patent* 5: 063-077.
13. Smith DM, Awad AC, Bennick MR, Gill JL. 1995. Cholesterol reduction in liquid egg using  $\beta$ -cyclodextrin. *J Food Sci* 60: 691-694.
14. Rao P, Kumar SU, Rao DN, Divakar S. 2000. Optimization of digestion parameters for the elimination of residual  $\beta$ -cyclodextrin used for cholesterol reduction in egg using glucoamylase. *Eur Food Res Technol* 210: 231-236.
15. Horikoshi K. 1979. Production and industrial applications of beta-cyclodextrin. *Process Biochem* 14: 26-30.
16. Saenger W. 1984. Structural aspects of cyclodextrins and their inclusion complexes. *Incl Compounds* 2: 231-243.
17. Yen GC, Chen CJ. 2000. Effects of fractionation and the refining process of lard on cholesterol removal by  $\beta$ -cyclodextrin. *J Food Sci* 65: 622-624.
18. Park BS. 2003. The biological effects of  $\beta$ -cyclodextrin on antithrombotic activity and plasma lipid metabolism in rats. *J Anim Sci (Kor)* 45: 199-210.
19. Riottot M, Olivier P, Huet A, Caboche JJ, Parguet M, Khalou J, Lutton C. 1993. Hypolipidemic effect of  $\beta$ -cyclodextrin in the hamster and in the genetically hypercholesterolemic rigo rat. *Lipids* 28: 181-188.
20. Férézou J, Riottot M, Sérougne C, Cohen-solal C, Catala I, Alguier C, Parguet M, Juste C, Lafont H, Mathé D, Corring T, Lutton C. 1997. Hypocholesterolemic action of  $\beta$ -cyclodextrin and its effects on cholesterol metabolism in pigs fed a cholesterol-enriched diet. *J Lipid Res* 38: 86-100.

21. National research council. 1994. *Nutrients requirements of poultry*. 9th rev. National Academy Press, Washington DC.
22. Szymczyk B, Pisulewski PM. 2003. Effects of dietary Conjugated linoleic acid on fatty acid composition and cholesterol content of hen egg yolks. *Br J Nutr* 90: 93-99.
23. Boehringer mannheim. 1987. *Methods of biochemical analysis and food analysis using test-combinations*. Boehringer manheim gmbh biochemica, Sndhofer strabe manheim, W.-Germany. p 16-18.
24. SAS Institute. 2000. *SAS® User's guide: Statistics*. Version 8 edition. SAS Institute Inc., Cary, NC, USA.
25. Duncan DB. 1955. Multiple range and multiple F tests. *Biometrics* 11: 1-42.
26. Sheridan AK, Randall MC. 1977. Heterosis for egg production in white Leghorn-Australop crosses. *Br Poult Sci* 18: 69-77.
27. 鈴木正成. 1983. サイクロデキストリンの生体への影響. フレガランスジャーナル 63: 63-67.
28. Olivier P, Verwaerde F, Hedges AR. 1991. Subchronic toxicity of orally administered beta-cyclodextrin in rats. *J Am Coll Toxi* 10: 407-419.
29. Flourié B, Molis C, Achour L, Dupas H, Hatat C, Rambaud JC. 1993. Fate of  $\beta$ -cyclodextrin in the human intestine. *J Nutr* 123: 676-680.
30. Lesson S, Summers JD. 1991. Commercial poultry nutrition. Canada NIH 6N8. p 77-148.
31. Nordskog AW, Cotterill O. 1953. Breeding for egg quality. *Poult Sci* 32: 1051-1054.
32. Larbier M, Leclercq B. 1995. *Nutrition and feeding of poultry*. Nottingham university press, Leicestershire, UK. p 185-215.
33. Naber EC. 1983. Nutrient and drug effects on cholesterol metabolism in the laying hen. *Federation Proc* 42: 2486-2493.
34. Favier ML, Remesy C, Moundras C, Demigne C. 1995. Effect of cyclodextrin on plasma lipids and cholesterol metabolism in the rat. *Metabolism* 44: 200-206.
35. Frijlink HW, Eissens AC, Hefting NR, Poelstra K, Lerk CF, Meijer DKF. 1991. The effects of parenterally administered cyclodextrin on cholesterol levels in the rat. *Pharm Res* 8: 9-16.
36. Suzuki M, Sato A. 1985. Nutritional significance of cyclodextrins: Indigestibility and hypolipidemic effects of  $\beta$ -cyclodextrin. *J Nutr Sci Vitaminol* 31: 209-223.
37. Catala I, Juste C, Boehler N, Ferezou J, Andre M, Riottot M, Cutton C, Lafront H, Bornet F, Corring T. 2000. Cholesterol crystallization in gall-bladder bile of pigs given cholesterol- $\beta$ -cyclodextrin-enriched diets with either casein or soybean concentrate as protein sources. *Br J Nutr* 83: 411-420.
38. Juste C, Catala I, Riottot M, Andre M, Parquet M, Lyon B, Bequet F, Ferezou-viala J, Sérougne C, Domingo N, Lutton C, Lafont H, Corring T. 1997. Inducing cholesterol precipitation from pig bile with  $\beta$ -cyclodextrin and cholesterol dietary supplementation. *J Hepatology* 26: 711-721.
39. Balasubramaniam S, Goldstein JL, Faust JR, Brunschede GY, Brown MS. 1997. Lipoprotein-mediated regulation of 3-hydroxy-3-methylglutaryl coenzyme A reductase activity and cholesterol ester metabolism in the adrenal gland of the rat. *J Biol Chem* 252: 1771-1782.
40. Qureshi AA, Abuirmeileh N, Burger WC, Din ZZ, Elson CE. 1983. Effect of AMO 1681 on cholesterol and fatty acid me-

- tabolism in chicken and rats. *Atherosclerosis* 46: 202-216.
41. Qureshi AA, Abuirmeileh N, Din ZZ, Ahmad Y, Burger WC, Elson CE. 1983. Suppression of cholesterol synthesis and reduction of LDL cholesterol by dietary ginseng and fraction in chicken liver. *Atherosclerosis* 48: 81-94.
42. Fukushima M, Akiba S, Nakano M. 1996. Comparative hypocholesterolemic effect of six vegetable oils in cholesterol-fed rat. *Lipids* 31: 415-419.
43. Hostmark AT, Lystad E, Haung A, Eilertsen E. 1989. Plasma lipids, lipoproteins, and, fecal excretion of neutial steroid and bile acids in rats fed various and high diets or a low fat/high sucrose diet. *J Nutr* 119: 356-363.
44. Myant NB, Eder HA. 1961. The effect of bilary brainge upon the synthesis of cholesterol in the liver. *J Lipid Res* 2: 363-368.
45. Grundy SM, Ahrens EH Jr, Salen G. 1971. Interruption of the enterohepatic circulation of bile acids in man: Comparative effects of cholesterylamine and ileal exclusion on cholesterol metabolism. *J Lab Clin Med* 78: 94-121.
46. Einarsson K, Ericsson S, Ewerth S, Reihner E, Rudling M, Stahlberg D, Angelin B. 1991. Bile acid sequestrants: mechanisms of action on bile acid and cholesterol metabolism. *Eur J Clin Pharmacol* 40 [suppl 1] : 553-558.
47. Nagatomo S. 1985. Cyclodextrins-expanding the development of their functions and applications. *Chemical Economy and Engineering Review* 17: 28-34.

(2003년 11월 27일 접수; 2004년 3월 18일 채택)