

## BCD를 섭취한 돼지의 부위별 콜레스테롤 함량

강환구 · 박병성<sup>†</sup>

강원대학교 동물생명공학과

## Cholesterol Contents of Pork Fed Dietary $\beta$ -Cyclodextrin

Hwan Ku Kang and Byung Sung Park<sup>†</sup>

Dept. of Animal Biotechnology, Kangwon National University, Chuncheon 200-701, Korea

### Abstract

This study demonstrates that pork cholesterol levels are reduced in fattening stage swine fed  $\beta$ -cyclodextrin ( $\beta$ CD). The study subjects were 120 swine fed their respective chow diets containing 0, 5, 7, or 10%  $\beta$ CD for 35 consecutive days. Plasma total lipids, triglyceride and total cholesterol of the  $\beta$ CD-treated group were significantly lower than those of the control group ( $p < 0.05$ ). The levels of plasma lipid were significantly decreased by 63.22 mg, 73.98 mg, and 82.12 mg in the fattening swine group fed  $\beta$ CD at 5%, 7%, and 10%, respectively, compared to those in the control group ( $p < 0.05$ ). When 5, 7, and 10%  $\beta$ CD was administered to fattening swine, the triacylglyceride levels were decreased by 56.24 mg, 55.48 mg, and 60.02 mg, and total cholesterol concentration was reduced by 25.05 mg, 27.17 mg, and 30.19 mg, respectively, compared to those in the control group ( $p < 0.05$ ). Excretion of total steroid significantly ( $p < 0.05$ ) increased with the increasing amount of  $\beta$ CD supplementation. The cholesterol levels of swine back fat, belly, loin, and ham were significantly decreased with increasing  $\beta$ CD supplementation ( $p < 0.05$ ). The pork cholesterol was significantly ( $p < 0.05$ ) reduced by 15.31% in the  $\beta$ CD-treated group, compared to that of the control group. These results suggest that feeding  $\beta$ CD to fattening swine may produce novel functional pork with low cholesterol levels.

**Key words:** swine,  $\beta$ -cyclodextrin, plasma lipid, bile acids, pork cholesterol

### 서 론

콜레스테롤이 높은 축산식품의 낮은 섭취 및 과잉섭취는 혈액 내 유해 콜레스테롤로서 알려진 저밀도지단백 콜레스테롤(low density lipoprotein cholesterol, LDL-C) 함량을 증가시킨다(1,2). 혈액 LDL-C의 증가는 심장혈관계질환을 일으킬 수 있는 주원인으로 밝혀졌으며 높은 사망률을 초래할 수 있다(3). 2005년도 우리나라 사망률 1위인 암 다음으로 심장혈관계 및 뇌혈관계질환이 보고됨으로써 콜레스테롤에 대한 관심이 높아지고 있다. 따라서 국내외적으로 축산식품의 콜레스테롤 함량을 낮추려는 연구가 활발하게 진행되고 있다.

돼지고기의 콜레스테롤 함량은 가식부 100 g당 55~69 mg으로 알려져 있으나(4), 그 수준은 돼지에게 공급되는 사료 성분 및 지방의 종류와 함량 차이에 의해서 달라질 수 있다(5-7).  $\beta$ -cyclodextrin( $\beta$ CD)이란 7개의 글루코스 분자가  $\beta$ -(1,4) glycosidic linkage로 연결된 cyclic oligosaccharide로서, 전분이나 malto-oligosaccharide로부터 cyclodextrin glycosyl transferase의 효소반응에 의해서 생성·추출된 물

질이다(8).  $\beta$ CD는 도넛츠 형으로 된 분자 구조식 모형을 가지며 내부 표면은 강력한 소수성을 띠고 있다. 그러므로 콜레스테롤과 같은 소수성분자를 결합할 수 있기 때문에 콜레스테롤과 접촉 시 불용성물질을 형성하여 식품으로부터 콜레스테롤을 쉽게 흡착·제거할 수 있다(9,10).  $\beta$ CD를 이용하여 계란 난황(11-13), 크림(14) 및 돼지기름(15) 내 콜레스테롤을 흡착 후 원심분리에 의해서 85% 이상 콜레스테롤 함량이 낮아진 저콜레스테롤 식품을 생산할 수 있는 기술이 개발되었다. 그러나 이러한 방법은 생산된 축산식품의 가공단계에서 적용하는 한계를 갖고 있다.

동물실험 결과  $\beta$ CD는 햄스터(16), 흰쥐(17-21), 돼지(22-24)에서 혈액 중성지방, 총콜레스테롤 및 저밀도지단백질 콜레스테롤 함량을 낮추는 효과가 크며, 산란계의 사료 내  $\beta$ CD를 첨가, 급여하였을 때 계란 콜레스테롤 함량을 25% 이상 떨어뜨릴 수 있는 것으로 보고되었다(25,26). 본 연구자는 이전의 연구결과에서 생 체중 50 kg부터 110 kg 도달 시까지 돼지의 사육기간 동안  $\beta$ CD를 1.5%, 3.0% 및 5.0% 수준으로 급여하였을 때 돼지고기 삼겹살의 콜레스테롤 함량이 18.42% 낮아진 것으로 보고하였다(24). 그러나

<sup>†</sup>Corresponding author. E-mail: bspark@kangwon.ac.kr  
Phone: 82-33-250-8615, Fax: 82-33-251-7719

여기에 포함된 기작은 명확하게 밝혀지지 않았으며, 특히 돼지의 경우, 전 기간 동안  $\beta$ CD 첨가사료를 급여하게 되면 사료비 증가로 인한 생산비용이 높아질 수 있어 이에 대한 새로운 방법이 필요하다. 따라서 비육말기에서 시판 체중에 이르는 돼지(체중 80~110 kg)에 대한 약 35일의 기간 동안  $\beta$ CD 첨가사료를 급여 후 돼지고기 내 콜레스테롤 감소효과를 구명할 필요가 있다. 본 연구는 비육말기 돼지에게  $\beta$ CD 함유사료를 급여해서 돼지고기 콜레스테롤 함량 및 그 대사 기전을 조사하였다.

## 재료 및 방법

### 시험동물 및 실험설계

생체중 80 kg의 비육말기 3원 교잡종(Landrace×Yorkshire×Duroc) 거세 수돼지 120마리를 이용하여서 110 kg에 도달할 때까지 35일 동안 사양실험을 실시하였다. 실험설계는  $\beta$ CD를 함유하지 않은 대조구와  $\beta$ CD를 각각 5.0%, 7.0% 또는 10.0% 함유하는 3개의  $\beta$ CD 첨가구로 구분하였으며, 각 처리구당 3반복, 반복 펜당 10마리씩 완전임의 배치하였다. 여기서  $\beta$ CD의 첨가수준은 이전의 보고(24)에서 돼지고기 삼겹살의 콜레스테롤 함량이 18.42% 감소효과가 나타난 5.0% 이상의 수준으로 조절하였다. 동물을 포함한 모든 실험절차는 저자의 유럽실험동물 취급면허(SCT-w94058)에서 제시된 과학적이고 윤리적인 절차를 따랐다.

### 실험사료 및 사양관리

실험사료는 옥수수, 분쇄 밀, 대두박 등의 일반 곡류사료 원료를 이용하여 배합하였으며, 모든 처리구의 사료는 미국의 NRC(27)에 의해서 권장된 체중 80~110 kg 돼지의 영양소 요구량을 충족 또는 약간 높게 배합하였다. 실험사료에 첨가되는  $\beta$ CD 급원(Cavamax<sup>®</sup> w7, Wacker, USA)은 순도 99.4% 이상의 고도로 정제된 제품을 사용하였다.  $\beta$ CD 첨가 수준증가에 따른 영양소의 부족한 부분은 대두박 및 우지의 첨가량을 늘려서 조절해 주었고, 배합된 모든 사료 내 조단백질과 에너지 함량을 동일한 수준으로 조절하였다. 실험사료의 배합비율 및 영양소 함량은 Table 1과 같다. 배합된 실험 사료는 서늘한 장소에 보관하였으며, 물과 실험사료는 자유섭취(*ad libitum*)하도록 하였다.

### 혈액 채취 및 혈액 지질

혈액은 각 처리구의 반복구에서 각각 5마리씩을 임의로 선정해서 처리구 당 총 15마리의 혈액을 채취하여서 지질분석에 이용하였다. 실험사료의 급여시작과 종료일에 각각 귀정맥(ear vein)으로부터 25 G 주사기를 이용하여 heparinized vacuum tube(Becton Dickinson Vacutainer System, Franklin lakes, NJ 07417, USA) 속으로 혈액 10 mL를 채취하였다. 채취된 혈액은 4°C, 3,000 rpm에서 15분간 원심분리하여 혈장을 얻었다. 분리된 혈장은 액체 질소가스(-196°C)

**Table 1. Formula and nutrient content of experimental diets for swine (80~110 kg)**

Ingredients (%)	Diets with $\beta$ -cyclodextrin %			
	Control	5.0	7.0	10.0
Yellow corn, ground	36.20	36.20	34.50	33.70
Wheat, ground	37.00	34.00	31.20	23.80
Wheat bran	5.50	-	-	-
Soybean oil meal	12.00	14.50	16.00	18.20
$\beta$ -cyclodextrin <sup>1)</sup>	-	5.00	7.00	10.00
Limestone flour	1.00	1.00	1.00	1.00
Dicalcium phosphate	0.50	0.50	0.50	0.50
Common salt	0.30	0.30	0.30	0.30
Molasses	1.50	1.50	1.50	1.50
Tallow	5.00	6.00	7.00	10.00
Vitamin-min. mix <sup>2)</sup>	0.60	0.60	0.60	0.60
Choline chloride	0.10	0.10	0.10	0.10
L-Lysine	0.30	0.30	0.30	0.30
Total	100	100	100	100
Calculated nutrient content <sup>3)</sup>				
Crude protein (%)	14.00	14.00	14.00	14.00
DE (kcal/kg) <sup>4)</sup>	3,400	3,400	3,400	3,400

<sup>1)</sup>Purity 99.4%, Cavamax<sup>®</sup> w7, Wacker, USA.

<sup>2)</sup>Contained per kg mixture: vitamin A, 5,500 IU; vitamin D3, 550 IU; vitamin E, 15 IU; riboflavin, 5 mg; pantothenic acid, 10 mg; niacin, 40 mg; vitamin B12, 0.01 mg; folic acid, 0.9 mg; biotin, 0.05 mg; pyridoxine, 3 mg; menadione sodium bisulfate, 3 mg; thiamin, 3 mg; iodine, 1 mg; manganese, 60 mg; zinc, 40 mg; copper, 4 mg; cobalt, 100 mg; iron, 40 mg; selenium, 0.09 mg.

<sup>3)</sup>Calculated from NRC (27).

<sup>4)</sup>Digestible energy.

에 급속 냉동한 다음 생화학적 분석 시까지 냉동 보관하였다. 혈액 총지질 함량은 Folch 등(28)의 방법으로 클로로포름과 메탄올 혼합용매(2:1, v/v)로써 추출한 다음 증량비로서 계산하였으며, 중성지방과 총콜레스테롤 함량은 상업용 효소시약 kit(Sigma Chem. Co., St. Louis, MO, USA)을 이용하여 분석하였다.

### 중성스테로이드와 담즙산

변을 통해서 배설되는 중성스테로이드와 담즙산의 함량을 측정하기 위하여, 실험종료 10일전에 각 처리구당 총 6마리(반복 당 10마리 가운데 2마리씩 선택)를 임의로 선정하였다. 각각의 대사케이지로 이동한 후 실험종료 7일전부터 4일간 각 처리구의 돼지로부터 배설된 변을 수거하였다. 매일 채취된 변을 잘 혼합한 후 전체 무게의 10%를 채취하여서 냉동 건조, 분쇄하여 스테로이드 배설량 측정에 이용하였다(29,30). 냉동 건조된 변 2 g으로부터 지질을 속시렛 장치에서 24시간 동안 에탄올을 이용하여 추출하였다. 지질을 1시간 동안 ethanolic 2 M potassium hydroxide로 가열하여 검화시켰다. 검화 후 petroleum ether로서 처리하여 추출된 비검화물을 함유하는 스테로이드를 상등액으로부터 취하여 중성스테로이드의 분획을 얻었고, 검화물을 함유하는 아래 층으로부터 bile acids가 함유된 산성스테로이드 분획을 얻었다. 수용액 상에서 bile acid를 Grundy 등(29)의 방법에 의해서 deconjugate하였고, diethylether를 이용해서 추출하

였다. Free bile acid와 neutral sterol을 기기분석 전에 di-azomethane를 이용해서 메틸화하였다. 검화에 의해서 얻어진 중성스테로이드와 담즙산의 TMS(trimethylsilyl) 유도체를 조제하였으며 그 방법은 다음과 같다. Bile acid methyl ester의 TMS ether는 37°C에서 30분 동안 과량의 bis(trimethylsilyl)trifluoroacetamide와 함께 배양해서 조제하였다. Neutral steroid의 TMS ether는 용매로서 pyridine, hexamethyldisilazane 및 trimethylchlorosilane을 9:3:1의 비율로 해서 30분 동안 실온에서 사용 전에 혼합, 제조하였다. TMS 반응혼합물 1 µL를 gas liquid chromatography (GLC, Packard model 439, USA)에 주입하여서 중성스테로이드와 담즙산을 측정하였다. Hyodeoxycholic acid, lithocholic acid, chenodeoxycholic acid, lithocholic acid, oxo acid 및 내부 표준물질로서 5 $\alpha$ -cholestane은 Sigma(St. Louis, MO, USA)로부터 구입하였고, DB17 capillary column(0.25 mm×30 m, J & W Scientific, Folsom, CA)을 분석에 이용하였다. GLC 분석을 위한 carrier gas로는 분당 1.5~2.0 mL로서 조절된 helium gas를 사용하였고, column 온도 240°C, 그리고 detector 온도 260°C로 조절하였다.

#### 돼지고기의 콜레스테롤

콜레스테롤 함량을 측정하기 위해서 도살 후 각 처리구당 6마리씩의 돼지를 임의로 선정하였다. 돼지고기의 콜레스테롤 함량은 internal standard method을 사용하여 direct saponification gas chromatographic 방법에 따라서 실시하였다(7,31). 불꽃이온화검출기, 자동시료주입기(model AOC-17) 및 model Class-VP chromatography data system이 갖춰진 capillary column gas chromatographic system(model GC-15A, Shimadzu Corp., Kyoto, Japan)을 이용하였다. Homogenized samples, 즉 internal standard로서 epicholesterol(15 µg; Steraloids Inc., Newport, RI, USA)와 함께 혼합된 돼지고기 0.5 g을 methanolic potassium hydroxide solution(0.5 M) 25 mL와 함께 혼합한 후, 80°C shaking water bath에서 15분 동안 가열하여서 검화하였다. 가열 후 혼합물을 식힌 다음에 증류수 5 mL를 첨가하였고, 콜레스테롤의 추출은 hexane 25 mL를 첨가하여서 수행하였다. 추출물의 1/3을 취하여 50°C heating block과 함께 gentle nitrogen stream 하에서 건조하였다. Sterol로부터 제조된 trimethylsilyl(TMS) ethers 유도체를 gas chromatographic analyser에 주입하였다. 돼지고기 0.5 g과 0.5 mg cholesterol(98%; Sigma Chem. Co., St. Louis, MO, USA)을 함께 혼합·균질화한 이후에 조사된 분석상의 회수율은 96.12%로 나타났다. 사용된 fused silica capillary column은 1.0 µm의 필름 두께로서 SPB-1 코팅된 15 m×0.32 mm(Supelco Inc, Bellefonte, PA)이었다. 칼럼의 온도는 분당 2°C씩 상승하면서 250°C~275°C로 프로그램화되었으며, 이 상태에서 12분 동안 유지하였다. Injection port의 온도는 300°C로 조절하였으며, flame ionization detector 온도는 300°C로 조절하였다. Helium carrier gas의 속도는 분당 2 mL, hydrogen gas는 분당 30 mL, 그리고 공기는 분당 300 mL로 유지하였다. 모든 분석은 20:1의 split ratio에서 수행하였다.

통계처리

본 실험에서 얻어진 모든 결과에 대한 측정치는 SAS(32)의 General Linear Model Procedure를 이용하여 평균과 표준오차 값을 산출하였고 분산분석을 실시한 후, Duncan(33)의 다중검정 방법에 의해서 95% 수준의 신뢰구간에서 유의성을 검정하였다.

#### 통계처리

결과 및 고찰

본 실험에서 조사된 각 처리구의 일일 두당 사료섭취량은 3.25 kg이었고, 일일 체중증가는 0.85 kg으로 나타났으며 통계적인 유의차는 없었다(제시하지 않았음).

#### 결과 및 고찰

Table 2는 생체중 80 kg의 비육말기 돼지를 시판 체중인 110 kg에 도달할 때까지 35일 동안 시험사료를 급여한 후에 조사된 혈액 지질의 함량 변화를 보여준다.

여기에 제시되지는 않았지만, 시험사료 급여시작 일에 조사된 12마리 돼지의 혈액 100 mL당 총 지질 함량 평균값은 386.78 mg이었으며, 이 값은 대조구의 실험 종료일 측정치와 서로 비슷하였다. 혈액 총 지질 함량은 대조구가 βCD의 첨가구에 비해서 높게 나타났으며 통계적인 유의차가 나타났다(p<0.05). 즉 대조구가 혈액 100 mL 당 395.59 mg으로 가장 높았고, βCD 10.0% 첨가구가 313.47 mg으로 가장 낮았으며, βCD 5.0% 및 βCD 7.0%가 각각 332.37 mg, 321.61 mg으로 낮아지는 경향을 보였고 각 처리구간 통계적인 유의성이 있었다(p<0.05). 혈액 총 지질 함량 감소율은 대조구

**Table 2. Plasma total lipid, triacylglyceride and total cholesterol concentrations in swine fed diets with β-cyclodextrin for 35 days (80~110 kg)** (mg/dL)

Items	Diets with β-cyclodextrin %			
	Control	5.0	7.0	10.0
Total lipid	395.5±4.46 <sup>1a2)</sup> (-) <sup>3)</sup>	332.3±4.04 <sup>b</sup> (15.98)	321.6±2.27 <sup>bc</sup> (18.70)	313.4±2.74 <sup>c</sup> (20.75)
Triacylglyceride	108.5±1.54 <sup>a</sup> (-)	52.2±0.54 <sup>b</sup> (51.83)	53.0±1.49 <sup>b</sup> (51.13)	48.4±0.65 <sup>c</sup> (55.32)
Total cholesterol	96.3±0.39 <sup>a</sup> (-)	71.3±0.49 <sup>b</sup> (25.99)	69.2±0.49 <sup>c</sup> (28.19)	66.1±0.51 <sup>d</sup> (31.32)

<sup>1)</sup>Means±standard deviation (n=15).

<sup>2)</sup>Values within a row sharing same superscript letter(s) are not significantly different (p>0.05).

<sup>3)</sup>%, rate of reduction against control group.

와 비교할 때,  $\beta$ CD 10.0% 첨가구가 82.12 mg 낮아져 20.75%의 높은 감소율을 나타냈고,  $\beta$ CD 5.0% 첨가구가 63.22 mg 낮아진 15.98% 감소율 그리고  $\beta$ CD 7.0% 첨가구가 73.98 mg 낮아진 18.70% 감소율로 나타났으며 각 처리구간 통계적인 유의성을 나타냈다( $p < 0.05$ ). 혈액 중성지방 함량은  $\beta$ CD의 첨가구가 대조구에 비해서 낮아지는 경향을 보였으며 통계적인 유의성이 있었다( $p < 0.05$ ). 시험사료 급여시작 일에 조사된 12마리 돼지의 혈액 100 mL 당 중성지방 함량 평균값은 106.78 mg이었으며, 이 값은 대조구에서 실험 종료일까지 크게 변화하지 않은 것으로 나타났다. 혈액 중성지방 함량은 대조구가 100 mL 당 108.50 mg으로 가장 높았고,  $\beta$ CD 5.0%,  $\beta$ CD 7.0% 및  $\beta$ CD 10.0% 첨가구가 각각 52.20 mg, 53.02 mg, 48.47 mg으로 나타나서  $\beta$ CD 첨가구가 대조구에 비해서 유의적으로 낮게 나타났다( $p < 0.05$ ). 중성지방 함량의 감소율은 대조구와 비교할 때,  $\beta$ CD 10.0% 첨가구가 60.02 mg 낮아져 55.32%의 가장 높은 감소율을 나타냈으며,  $\beta$ CD 5.0% 첨가구와  $\beta$ CD 7.0% 첨가구가 각각 56.24 mg, 55.48 mg 낮아진 51.83% 및 51.13%의 감소율로 나타났으며 각 처리구간 통계적 유의성을 나타냈다( $p < 0.05$ ). 대조구에서 총콜레스테롤 함량은 시험사료 급여시작 일에 조사된 12마리 돼지의 혈액 100 mL 당 총콜레스테롤 함량 평균값 97.41 mg과 비슷하였다. 혈액 총콜레스테롤 함량은 대조구와 비교할 때  $\beta$ CD의 첨가수준이 높아질수록 유의적으로 낮아지는 경향을 보였다( $p < 0.05$ ). 혈액 총콜레스테롤 함량은 대조구의 혈액 100 mL 당 96.38 mg과 비교할 때,  $\beta$ CD 5.0%,  $\beta$ CD 7.0% 및  $\beta$ CD 10.0% 첨가구가 각각 혈액 100 mL 당 71.33 mg, 69.21 mg, 66.19 mg으로 나타나서  $\beta$ CD 첨가구가 유의적으로 낮아졌다( $p < 0.05$ ). 총콜레스테롤 함량의 감소율은 대조구와 비교할 때,  $\beta$ CD 10.0% 첨가구가 30.19 mg 낮아진 31.32%의 가장 높은 감소율을 보였고,  $\beta$ CD 5.0% 첨가구 및  $\beta$ CD 7.0% 첨가구가 각각 25.05 mg, 27.17 mg 낮아진 25.99% 및 28.19%의 감소율을 나타냈으며 대조구와  $\beta$ CD 첨가구간 통계적 유의성이 나타났다( $p < 0.05$ ).

본 실험결과는 이전의 보고(24)와 일치하고 있으며,  $\beta$ CD

는 생체 내에서 지질과 불용성물질을 형성함으로써 변을 통한 지질의 배설량을 촉진시키고 궁극적으로 혈액 중성지방과 콜레스테롤 흡수를 강하게 억제시켜 혈액 콜레스테롤 수준을 떨어뜨리는 것으로 알려져 있다(20,34). 본 실험결과  $\beta$ CD 첨가구의 혈액 콜레스테롤이 크게 떨어진 점은 대조구보다도  $\beta$ CD 첨가구에서 변을 통해서 배설된 스테롤의 함량이 높았던 것과 일치한다(Table 3). 콜레스테롤의 장 흡수율의 감소는  $\beta$ CD에 의한 콜레스테롤의 캡슐화와 관련이 있을 것으로 보이며, 장에서  $\beta$ CD에 의한 담즙산의 캡슐화는 콜레스테롤의 흡수와 장 간 순환을 방해하여 결국 콜레스테롤의 변 배설을 조정하는 것으로 보고되었다(16).

Table 3은 시험기간의 말기에 돼지에서 조사된 변을 통해서 배설된 중성스테로이드와 담즙산의 일일 배설량과 비율을 나타낸다.

총스테로이드의 배설은  $\beta$ CD 첨가수준이 증가할수록 대조구에 비해서 유의적으로 높아졌으며,  $\beta$ CD 10% 첨가구에서 가장 높았고  $\beta$ CD 첨가구간 통계적 유의성이 있었다( $p < 0.05$ ). 중성스테로이드의 배설은  $\beta$ CD 7% 첨가구가 가장 높았고, 대조구와 비교할 때 통계적인 유의성은 있었으나( $p < 0.05$ ) 대조구를 제외한  $\beta$ CD 처리구간 유의성은 없었다. 담즙산의 배설은 대조구에 비해서  $\beta$ CD 첨가수준이 증가할수록 유의적으로 높게 나타났으며,  $\beta$ CD 첨가구간 통계적 유의성이 있었다( $p < 0.05$ ). 담즙산 가운데서, 대조구는 hyodeoxycholic acid가 가장 높았고, lithocholic acid, chenodeoxycholic acid 순으로 높은 배설량을 나타냈으나,  $\beta$ CD 첨가구는 hyocholic acid가 가장 높았고, hyodeoxycholic acid 순으로 높게 나타났으며 lithocholic acid, chenodeoxycholic acid, oxo acid는 서로 비슷한 것으로 나타났다.

$\beta$ CD 5%와 10%를 각각 함유하는 사료를 섭취한 돼지에서 변을 통한 담즙산의 제거는 증가하며  $\beta$ CD 10% 첨가구에서 일일 담즙산의 배설량은 대조구보다도 3.5배 높은 것으로 보고되었는 바(22) 본 실험결과는 이와 비슷하였다. 일반식이 및  $\beta$ CD 함유식이를 섭취한 햄스터에서 변을 통해 배설되는 담즙산은 각각 deoxy cholic acid와 lithocholic acid가 가

**Table 3. Excretion of fecal neutral steroid and bile acids in swine fed diets with  $\beta$ -cyclodextrin for 35 days (80~110 kg) (mg/day/head)**

Items	Diets with $\beta$ -cyclodextrin %			
	Control	5.0	7.0	10.0
Total steroid	7.26±0.05 <sup>1)(d2)</sup>	13.48±0.17 <sup>c</sup>	15.25±0.08 <sup>b</sup>	16.78±0.13 <sup>a</sup>
Neutral steroid	5.96±0.06 <sup>b</sup>	9.21±0.41 <sup>a</sup>	10.12±0.15 <sup>a</sup>	9.83±0.34 <sup>a</sup>
Bile acids	1.33±0.07 <sup>c</sup>	3.62±0.03 <sup>b</sup>	5.08±0.06 <sup>a</sup>	4.92±0.07 <sup>a</sup>
— % distribution of bile acids <sup>3)</sup> —				
LCA	22.78±0.50 <sup>a</sup>	9.83±0.15 <sup>b</sup>	10.25±0.06 <sup>b</sup>	8.10±0.56 <sup>c</sup>
CHA	13.01±0.07 <sup>a</sup>	9.46±0.34 <sup>c</sup>	10.10±0.33 <sup>bc</sup>	10.65±0.20 <sup>b</sup>
HCA	46.59±0.25 <sup>a</sup>	32.60±0.65 <sup>b</sup>	33.35±0.37 <sup>b</sup>	32.65±0.54 <sup>b</sup>
HA	8.35±0.18 <sup>b</sup>	37.56±0.33 <sup>a</sup>	38.11±0.21 <sup>a</sup>	38.29±0.47 <sup>a</sup>
OA	10.23±0.16 <sup>b</sup>	10.83±0.1 <sup>ab</sup>	8.51±0.34 <sup>c</sup>	11.28±0.29 <sup>a</sup>

<sup>1)</sup>Means±standard deviation (n=6).

<sup>2)</sup>Values within a row sharing same superscript letter(s) are not significantly different ( $p > 0.05$ ).

<sup>3)</sup>LCA: lithocholic acid, CHA: chenodeoxycholic acid, HCA: hyodeoxycholic acid, HA: hyocholic acid, OA: oxo acid.

**Table 4. Cholesterol content in pork back fat, loin, belly and ham from swine fed diets with  $\beta$ -cyclodextrin for 35 days (80~10 kg)** (mg/100 g)

Items	Diets with $\beta$ -cyclodextrin %			
	Control	5.0	7.0	10.0
Back fat	81.45 $\pm$ 0.38 <sup>1)a2)</sup>	61.92 $\pm$ 0.84 <sup>b</sup> (23.97) <sup>3)</sup>	58.71 $\pm$ 0.53 <sup>c</sup> (27.91)	56.11 $\pm$ 0.24 <sup>d</sup> (31.11)
Loin	70.61 $\pm$ 0.35 <sup>a</sup>	49.96 $\pm$ 0.43 <sup>b</sup> (29.24)	49.51 $\pm$ 0.43 <sup>b</sup> (29.88)	47.38 $\pm$ 0.77 <sup>c</sup> (32.90)
Belly	73.55 $\pm$ 0.37 <sup>a</sup>	62.29 $\pm$ 0.78 <sup>b</sup> (15.31)	60.40 $\pm$ 0.37 <sup>c</sup> (17.88)	56.63 $\pm$ 0.58 <sup>d</sup> (23.00)
Ham	66.18 $\pm$ 0.51 <sup>a</sup>	49.56 $\pm$ 0.42 <sup>b</sup> (25.11)	47.75 $\pm$ 0.51 <sup>c</sup> (27.85)	46.44 $\pm$ 0.27 <sup>c</sup> (29.83)

<sup>1)</sup>Means $\pm$ standard deviation (n=6).

<sup>2)</sup>Mean values within a row sharing a same superscript letter(s) are not significantly different (p>0.05).

<sup>3)</sup>%, Rate of reduction against control group.

장 높은 것으로 보고되었으나(16), 본 실험결과와 일치하지 않으며 이는 동물의 품종차이에 기인할 것으로 생각된다.  $\beta$ CD는 소화관에서 콜레스테롤, 담즙산 및 중성스테로이드와 함께 강하게 결합함으로써 지질의 흡수를 억제함과 동시에 변을 통한 배설량을 높여준다(16,19,22).

Table 4는 생체중 80 kg의 거세한 수컷 육성돼지를 시판 체중인 110 kg에 도달할 때까지 35일 동안 시험사료를 급여한 후에 조사된 돼지고기 내 콜레스테롤 함량을 나타낸다.

돼지고기의 부위별 콜레스테롤 함량은 대조구에 비해서  $\beta$ CD 첨가수준이 높아질수록 유의적인 감소 경향을 나타냈다(p<0.05). 등지방 100 g 당 콜레스테롤 함량은 대조구 81.45 mg과 비교할 때  $\beta$ CD 10.0% 첨가구가 56.11 mg으로 25.34 mg의 콜레스테롤이 줄어든 31.11%의 가장 높은 감소율을 나타냈으며 통계적인 유의성이 인정되었다(p<0.05).  $\beta$ CD 5.0%와 7.0% 첨가구의 등지방 100 g 당 콜레스테롤 함량은 대조구와 비교할 때, 각각 19.53 mg, 22.74 mg이 낮아진 23.97%와 27.91%의 유의적인 감소율을 나타냈다(p<0.05). 등심 100 g 당 콜레스테롤 함량은 대조구 70.61 mg과 비교할 때  $\beta$ CD 10.0% 첨가구가 47.38 mg으로써 23.23 mg이 낮아졌으며 이는 32.90%의 높은 감소율을 나타냈다(p<0.05). 그리고 대조구와 비교할 때  $\beta$ CD 5.0%,  $\beta$ CD 7.0%에서 각각 20.65 mg, 21.10 mg이 낮아져 29.24%와 29.88%의 통계적으로 유의한 감소율을 나타냈다(p<0.05). 삼겹살 100 g 당 콜레스테롤 함량은 대조구 73.55 mg과 비교하였을 때,  $\beta$ CD 5.0%,  $\beta$ CD 7.0% 및 10.0% 첨가구에서 각각 11.26 mg, 13.15 mg 및 16.92 mg 낮아졌으며 이 값은 15.31%, 17.88% 및 23.00%의 높은 감소율을 나타냈다(p<0.05). 햄 100 g 당 콜레스테롤 함량은 대조구의 66.18 mg과 비교하였을 때,  $\beta$ CD 5.0%, 7.0% 첨가구에서 각각 49.56 mg, 47.75 mg으로 나타나서 16.62 mg, 18.43 mg이 낮아진 25.11%, 27.85%의 높은 감소율을 보였고, 특히  $\beta$ CD 10.0% 첨가구가 46.44 mg으로써 대조구와 비교할 때, 19.74 mg이 낮아진 29.83%의 감소율을 나타냈으며, 모든 처리구간 통계적 유의성이 인정되었다(p<0.05). 본 실험결과는 이전의 보고(24)와 일치하고 있으며, 일반적으로 동물사료 내 첨가된  $\beta$ CD는 생체 내에서 콜레스테롤과 강하게 흡착하여 불용성물질을 생성함으로써 이의 흡수가 억제되고, 변을 통한 스테로이드 배설량의 증가

를 나타내어(16,22,35), 그 결과로서 혈액 콜레스테롤 수준이 낮아지고 혈액으로부터 조직으로 이동되는 콜레스테롤의 양이 줄어드는 것으로 볼 수 있다.

본 실험결과  $\beta$ CD 첨가수준이 증가함에 따라서 돼지고기의 콜레스테롤 함량이 크게 낮아진 것은 바로 이와 같은 스테로이드의 배설 기전(Table 3)에 의해서 유지된 혈액 내 저수준의 콜레스테롤(Table 2)로부터 돼지고기의 각 부위로 이동되어 축적된 양이 감소(Table 4)하였을 것으로 생각된다. 즉 돼지사료 내  $\beta$ CD를 첨가 급여함에 따라서 돼지의 생체 내에서 콜레스테롤과  $\beta$ CD의 높은 친화성에 기인하여서 콜레스테롤을 강하게 흡착해서 불용성 형태로 전환한 다음에 변을 통한 스테로이드의 배설량을 높였기 때문으로 볼 수 있다.  $\beta$ CD는 도넛츠 형태로 된 분자구조식을 이루며 내부의 소수성 히드록시기는 콜레스테롤과의 강한 친화성을 갖기 때문에 콜레스테롤과 접촉 시 불용성 복합물을 형성할 수 있다(9,36). 따라서 이와 같은 기전으로  $\beta$ CD 첨가구에서 특히 혈액 콜레스테롤 함량이 25.99% 이상 급격하게 낮아졌으며, 결과적으로 혈액을 통하여 조직으로 이동된 콜레스테롤 역시 줄어들어서 돈육의 콜레스테롤 함량이 15.31% 이상 크게 낮아진 것으로 볼 수 있다.

## 요 약

본 연구는 비육말기 돼지에서 베타사이클로덱스트린( $\beta$ CD)의 급여가 돈육의 콜레스테롤 수준을 낮춘다는 것을 나타내고 있다. 120마리의 돼지에게 0, 5, 7, 10%의  $\beta$ CD를 함유하는 사료를 35일 간 급여하였다. 혈액 총지질, 중성지방 및 총 콜레스테롤 함량은  $\beta$ CD첨가구가 대조구에 비해서 낮게 나타났으며 처리구간 통계적인 유의차가 나타났다(p<0.05). 혈액 100 mL 당 지질은 대조구와 비교할 때  $\beta$ CD 5.0%,  $\beta$ CD 7.0% 및  $\beta$ CD 10.0% 첨가구에서 각각 63.22 mg, 73.98 mg, 82.12 mg의 유의적인 감소를 나타냈으며, 중성지방 56.24 mg, 55.48 mg, 60.02 mg, 총콜레스테롤 25.05 mg, 27.17 mg, 30.19 mg의 유의성 있는 감소경향을 보였다(p<0.05). 총스테로이드의 배설은  $\beta$ CD 첨가수준이 증가할수록 대조구에 비해서 유의적으로 높게 나타났다(p<0.05). 돼지고기의 부위별, 등지방, 삼겹살, 등심 및 햄의 콜레스테

콜 함량은 대조구에 비해서  $\beta$ CD 첨가수준이 높아질수록 유의적인 감소경향을 나타냈다( $p < 0.05$ ). 돼지고기의 콜레스테롤 함량 감소율은  $\beta$ CD 첨가구가 대조구와 비교할 때 15.31% 이상의 높은 감소율을 나타냈다( $p < 0.05$ ). 본 연구 결과는 비육말기 돼지사료 내  $\beta$ CD를 혼합·급여하여서 콜레스테롤 함량이 낮아진 새로운 기능성 돈육을 생산할 수 있음을 시사해준다.

### 감사의 글

본 연구는 2004년 (주)굿팜의 연구비지원 및 강원대학교 동물자원공동연구소의 일부 지원에 의해서 이루어졌으며 이에 감사드립니다.

### 문헌

- Grundy SM. 1983. Absorption and metabolism of dietary cholesterol. *Ann Rev Nutr* 3: 71-96.
- Leaf A, Weber PC. 1988. Cardiovascular effect of n-3 fatty acid. *New Engl J Med* 318: 549-553.
- Grundy SM. 1986. Cholesterol and coronary heart disease. *JAMA* 256: 2849-2858.
- USDA. 2000. *USDA Nutrient database for standard references*. Release 13. U.S. Department of agriculture, Agriculture research service, Beltsville, MD.
- Dorado M, Martin GEM, Jimenez-Colmenero F, Masoud TA. 1999. Cholesterol and fat contents of spanish commercial pork cuts. *Meat Sci* 51: 321-323.
- Bragagnolo N, Rodriguez DB. 2002. Simultaneous determination of total lipid, cholesterol and fatty acids in meat and back fat of suckling and adult pigs. *Food Chem* 79: 255-260.
- Piironen V, Toivo J, Lampi AM. 2002. New data for cholesterol contents in meat, fish, milk, eggs and their products consumed in finland. *J Food Comp Anal* 15: 705-713.
- Horikoshi K. 1979. Production and industrial applications of beta-cyclodextrin. *Process Biochem* 14: 26-30.
- Saenger W. 1984. Structural aspects of cyclodextrins and their inclusion complexes. *Incl Compounds* 2: 231-243.
- Nagatomo S. 1985. Cyclodextrins-expanding the development of their functions and applications. *Chemical Economy and Engineering Review* 17: 28-34.
- News week. 1992. Betting on a guilt-free egg. *Newsweek* April 6: 46.
- Smith DM, Awad AC, Bennick MR, Gill JL. 1995. Cholesterol reduction in liquid egg using  $\beta$ -cyclodextrin. *J Food Sci* 60: 691-694.
- Rao R, Kumar SU, Rao DN, Divakar S. 2000. Optimization of digestion parameter for the elimination of residual  $\beta$ -cyclodextrin used for cholesterol reduction in egg using glucoamylase. *Eur Food Res Technol* 210: 231-236.
- Okenfull DG, Pearce RI, Sidhu GS. 1991. Low-cholesterol dairy product. *Aust J Dairy Technol* 46: 110-112.
- 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.
- Riottot M, Olivier P, Lutton C. 1993. Hypolipidemic effects of  $\beta$ -cyclodextrin in the hamster and in the genetically hypercholesterolemic rico-rat. *Lipids* 28: 181-188.
- 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.
- Suzuki M, Sato A. 1985. Nutritional significance of cyclodextrins: indigestibility and hypolipidemic effects of  $\beta$ -cyclodextrin. *J Nutr Sci Vitaminol* 31: 209-223.
- Oliver P, Verwaerde F, Hedges AR. 1991. Subchronic toxicity of orally administered beta-cyclodextrin in rats. *J Am Coll Toxicol* 10: 407-419.
- 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.
- Park BS. 2003. The biological effect of  $\beta$ -cyclodextrin on antithrombotic activity and plasma lipid metabolism in rats. *J Anim Sci (Kor)* 45: 199-210.
- 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-enrich diet. *J Lipid Res* 38: 86-100.
- Juste C, Catala I, Riottot M, Andre M, Parquet M, Lyon B, Bequet F, Ferezou-viala J, Serougne 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.
- Park BS. 2006. Influence of feeding  $\beta$ -cyclodextrin on reducing the content of cholesterol in pork. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 35: 328-334.
- Park BS, Kang HG, Jang A. 2005. Influence of feeding  $\beta$ -cyclodextrin to laying hens on the egg production and cholesterol content of yolk. *Asian Aust J Anim Sci* 18: 835-840.
- Park BS. 2004. Effect of dietary  $\beta$ -cyclodextrin on egg quality and cholesterol content of egg yolks. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 33: 614-620.
- National Research Council. 1998. *Nutrient requirements of swine*. 10th edition. National Academy Press, Washington DC, USA.
- Folch L, Lees M, Sloane-Stanley SHA. 1957. A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues. *J Biol Chem* 226: 497-507.
- Grundy SM, Ahrens Jr EH, Miettinen TA. 1965. Quantitative isolation and gas-liquid chromatographic analysis of total fecal bile acids. *J Lipid Res* 6: 397-410.
- Miettinen TA, Ahrens Jr EH, Grundy SM. 1965. Quantitative isolation and gas liquid chromatographic analysis of total dietary and fecal neutral steroids. *J Lipid Res* 6: 411-424.
- Ulbrecht F, Reich H. 1992. Gas chromatographic determination of cholesterol in processed foods. *Food Chem* 43: 387-391.
- SAS Institute. 2000. *SAS<sup>®</sup> User's guide: Statistics*. Version 8 edition. SAS Institute Inc., Cary, NC, USA.
- Duncan DB. 1955. Multiple range and multiple F-test. *Biometrics* 11: 1-6.
- Froming KH, Fridrich R, Mehnert W. 1993. Inclusion compounds of cholesterol and  $\beta$ -cyclodextrin. *Eur J Pharm Biopharm* 39: 148-152.
- Abadie C, Hug M, Kubli C, Gains N. 1994. Effect of cyclodextrins and undigested starch on the loss of chenodeoxycholate in the faeces. *Biochem J* 299: 725-730.
- 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.

(2006년 12월 4일 접수; 2007년 2월 2일 채택)