J Korean Soc Food Sci Nutr
35(3), 328~334(2006)

돼지고기의 콜레스테롤 함량 감소에 관한 β-Cyclodextrin의 급여효과

박 병 성
강원대학교 동물생명공학과

Influence of Feeding β-Cyclodextrin on Reducing the Content of Cholesterol in Pork

Byung-Sung Park

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

Abstract

The main objective of the present study was to determine the effect of dietary β-cyclodextrin (βCD) on reducing the cholesterol content of pork. Twelve swine of 50 kg body weight were randomly distributed into four groups of three heads each and fed experimental diets for 9 weeks until they reached a market weight of 110 kg. They were assigned to the four experimental diets containing 0% (control), 1.5%, 3.0% or 5.0% pure βCD. Daily feed intake, body weight gain and feed efficiency were not significantly different between any of the four group. The plasma total lipid, triacylglycerol and total cholesterol content of the swine in the three βCD-fed groups were significantly ($p<0.05$) decreased when compared to those in the control group, and were significantly ($p<0.05$) reduced by 21.80%, 55.58% and 27.69%, respectively, in the swine fed on 5% βCD. The cholesterol content of pork belly (mg/100 g) was significantly ($p<0.05$) decreased by 5.33 mg, 12.70 mg and 15.23 mg in the swine maintained on 1.5%, 3.0% and 5.0% βCD, respectively. The cholesterol content of pork belly, when expressed as the rate of reduced cholesterol, was significantly ($p<0.05$) decreased by 6.44%, 15.36% and 18.42% in groups of 1.5%, 3.0% and 5.0% βCD, respectively, when compared to that of the control group. These results suggest that dietary βCD may be classified as dietary fiber which can modulate cholesterol metabolism in swine.

Key words: β-cyclodextrin, swine, pork, belly, cholesterol, plasma lipid

서 론

돼지고기는 단백질 함량이 높아서 우수한 식품이지만 포화지방산과 콜레스테롤 함량이 높기 때문에 이의 섭취량을 제한해야 할 것으로 알려지고 있다. 돼지고기의 콜레스테롤 함량은 100 g당 95~100 mg으로 기타 육류, 곡류, 생선류에 비해서 높다(1,2). 콜레스테롤 함량이 높은 식품의 빈번한 섭취 또는 과잉의 섭취가 혈액 콜레스테롤, 특히 저밀도 지단백질 콜레스테롤(LDL-C, low density lipoprotein cholesterol) 수준을 높일 수 있다는 많은 보고가 있다(3). 혈액 LDL-C의 증가는 동맥경화증, 심근경색과 같은 심장혈관계 질환(cardiovascular disease) 및 뇌혈관계 질환으로 인한 사망률을 높이는 원인이다(4). 따라서 현재의 식품섭취 패턴에 있어서 콜레스테롤 함량이 높은 식품의 섭취를 줄이는 것이 바람직한 것으로 보고 있다(5). 이러한 문제를 해결하기 위해서 돼지고기의 콜레스테롤 함량을 낮추려는 연구가 많았다. 많은 연구에서 돼지 사료의 조성을 변화시켜줌으로서 콜레스테롤 함량을 낮출 수 있을 것으로 보고하였다. 이와 관련해서 β-cyclodextrin(βCD)을 이용하여 계란난황(6), 크림(7) 및 돼지기름(8) 내 콜레스테롤을 흡착 후 원심분리에 의해서 85%이상 콜레스테롤 함량이 낮아진 저콜레스테롤 식품을 생산할 수 있는 기술이 개발되었다.

β-cyclodextrin(βCD)이란 7개의 글루코스 분자가 β-(1,4) glycosidic 구조로 연결된 환상형 올리고당으로서, 전분이나 말토올리고당으로부터 cyclodextrin glycosyl transferase의 효소반응에 의해서 생성·추출된 물질이다(9,10). βCD는 도넛츠 형으로 된 분자구조식 모형을 가지며 내부 표면은 강력한 소수성(hydrophobic)을 띠고 있다. 그러므로 콜레스테롤과 같은 소수성분자를 결합할 수 있기 때문에 콜레스테롤과 접촉 시 불용성물질을 형성한다(7,11). βCD를 콜레스테롤 제거를 위한 외부흡착제로서 사용하였을 때 화학적인 안정성과 콜레스테롤과의 복합물을 쉽게 분리할 수 있는 특징이 있기 때문에 식품으로부터 콜레스테롤을 제거할 수 있는 외부흡착제로서 널리 이용하고 있다(7,8,12). 그러나 이와 같은

E-mail: bspark@kangwon.ac.kr
Phone: 82-33-250-8610, Fax: 82-33-244-2434

방법은 식품가공 공정에서 유익하게 쓰일 수 있지만 돼지고기 내 콜레스테롤 함량을 낮추는데 있어서는 제한적일 수밖에 없다.

동물의 생체 내에서 βCD 내부 표면의 소수성기는 콜레스테롤과 같은 지질과 높은 친화력을 유지하여 강한 불용성 물질을 형성하기 때문에 지질의 흡수를 억제하는 것으로 보고되었다(13). βCD는 독성이 없으며, 사람과 동물의 소장에서 분해 흡수되지 않고, 대장 미생물에 의한 작용으로 일부가 분해되는 것으로 알려져 있다(16). 동물실험결과 βCD는 햄스터(14), 흰쥐(15,16), 돼지(17)에서 혈액 중성지방과 저밀도 지단백질 콜레스테롤 함량을 낮추는 효과가 큰 것으로 보고되었다. 이와 같은 현상은 동물의 생체 내에서 βCD 내부표면의 소수성기가 콜레스테롤과 높은 친화성을 유지하기 때문이다. 즉, βCD는 지질의 흡수를 억제하고, 소화관에서 담즙산 또는 스테롤과의 결합을 자극하며, 분을 통한 스테로이드의 배설량을 높여주기 때문이다(14-17). 한편, 산란계에서 βCD를 급여하여 계란 콜레스테롤 함량을 25%이상 떨어뜨릴 수 있는 것으로 보고되었다(18,19). 그러나 βCD첨가 급여가 돼지고기 내 콜레스테롤 수준의 변화에 관해서 어떠한 영향을 갖는지는 보고된 것이 없다. 본 연구는 돼지고기의 콜레스테롤 함량 감소에 관한 βCD의 급여효과를 알아보는 것이었으며, 이를 위하여 돼지사료 내 βCD를 첨가급여한 후 돼지의 성장능력, 혈액지질 및 고기부위별 콜레스테롤 수준의 변화를 조사하였다.

재료 및 방법

실험동물 및 실험설계

실험동물은 생체중 50 kg의 3원 교잡종(Landrace×Large White×Duroc종) 거세 수퇘지 12마리를 이용하여서 시판체중이 110 kg에 도달할 때까지 9주 동안 실험사료를 급여하였다. 실험설계는 4처리×3반복으로 완전임의 배치하였고, 4개의 실험처리구는 βCD를 함유하지 않은 대조구와 βCD 1.5%, 3.0%, 5.0%를 각각 함유하는 βCD첨가구로 구분하였다.

실험사료 및 사양관리

실험사료는 옥수수, 분쇄 밀, 대두박 등의 일반 곡류사료원료를 이용하여 배합하였으며, 모든 처리구의 사료는 NRC (1998)에 의해서 권장된 돼지의 영양소요구량(20)을 충족 또는 약간 높게 배합하였다. 실험사료에 첨가되는 βCD급원(Cavamax® w7, Wacker, USA)은 순도 99.4% 이상의 고도로 정제된 제품을 사용하였다. βCD첨가 수준증가에 따른 총 사료 중량에 대한 손실부분은 분쇄 밀과 옥수수 함량을 줄여서 조절해 주었고, 배합된 모든 사료 내 조단백질과 에너지 함량을 동일한 수준으로 조절하였다. 실험사료의 배합비율 및 영양소 함량은 Table 1과 같다. 배합된 실험사료는 서늘한 장소에 보관하였으며, 물과 실험사료는 자유섭취(*ad libitum*)하도록 하였다. 동물을 포함한 모든 실험절차는 유럽실험동물 취급면허(SCT-w94058)에서 제시된 과학적이고 윤리적인 규정을 따랐다.

Table 1. Formula and nutrient content of experimental diets

Ingredients	Diets with βCD (% of diet)			
	Control	1.5	3.0	5.0
Yellow corn, ground	33.00	34.50	35.00	33.00
Wheat, ground	37.00	34.00	32.00	32.00
Wheat bran	5.50	5.50	5.50	5.50
Soybean oil meal	15.20	15.20	15.20	15.20
β-cyclodextrin (βCD)[1)]	-	1.50	3.00	5.00
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	5.00	5.00	5.00
Vitamin-Min mix[2)]	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 values				
Crude protein (%)	15.00	15.00	15.00	15.00
DE (kcal/kg)[3)]	3,400	3,400	3,400	3,400

[1)]Purity 99.4%, Cavamax® w7, Wacker, USA.
[2)]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.
[3)]Digestible energy.

사양성적조사 및 혈액채취

돼지의 성장에 따른 각 단계별 사양성적 즉, 사료섭취량, 증체량 및 사료효율은 실험개시일 및 실험개시 후 3주 간격으로 측정하였다. 혈액의 채취는 실험개시일 및 실험개시 후 3주 간격으로 헤파린 처리된 25 G 주사기를 이용하여 귀 정맥(ear vein)으로부터 혈액 10 mL를 채취하였고, 채취된 혈액은 3,000 rpm에서 15분간 원심분리하여 혈장을 분리하였다. 분리된 혈장은 액체 질소가스에 급속 냉동한 다음 생화학적 분석 시까지 냉동 보관하였다.

혈액 총지질, 중성지방 및 총콜레스테롤 분석

혈액 총지질 함량은 Folch 등의 방법(21)으로 클로로포름과 메탄올 혼합용매(2 : 1 vol/vol)로써 추출한 다음 중량비로서 계산하였으며, 중성지방과 총콜레스테롤 함량은 상업용 효소킷(bioclinical system auto kits, BCS, Korea)을 이용하여 분석하였다.

돼지고기 내 콜레스테롤 분석

콜레스테롤은 독일 Boehringer Mannheim사의 biochemical analysis kit(Cat. No. 139.5., Germany)를 사용하여 측정하였다(22). 즉, 시료 2.5 g을 정확히 정량하여 50 mL Round bottomed flask에 넣은 후 1 g의 sea sand와 새롭게

제조된 1 mole의 methanolic potassium hydroxide 용액 20 mL 그리고 isopropanol 10 mL를 혼합한 후 30분 동안 reflux condenser 하에서 가열한 후 식혔다. Round bottomed flask에 상층액을 pippette을 이용하여 volmetric flask에 옮기고 6 mL isopropanol을 첨가하여 5분간 다시 가열하였다. 이를 2회 반복하여 실시한 후 volmetric flask에 isopropanol을 이용하여 25 mL 표선까지 채운 다음 filter paper No.2를 통과시켜 여과하였다. 여과 후 시료 0.40 mL를 취하였다. 여기에 cholesterol reagent mixture 5.00 mL를 첨가하여서 격렬하게 혼합된 반응물 2.5 mL를 취하여 cholesterol oxidase 20 μL를 가한 후 37°C에서 60분간 반응시킨 후 405 nm에서 흡광도(Jasco spectrometer UVIDEC-610, Japan)를 측정하였다. 콜레스테롤 함량은 시료와 blank의 흡광도 차이값(Δa)에다가 콜레스테롤 표준물질의 농도, 시료의 희석배수 및 기기의 여러 가지 분석조건을 고려하여 이미 제시되어 있는 상수값 0.711을 곱하여 계산하였다. 분석의 정확도를 알아보기 위해서 콜레스테롤 표준물질을 미국의 Sigma Co.(St. Louis, MO)로부터 구입하여 회수율을 측정한 결과 90.25%로 나타났으며, Table 3에 제시된 값은 회수율을 보정해서 나타낸 값이다.

통계처리

분석된 자료의 통계처리는 SAS(23)의 GLM(General Linear Model) procedure를 이용하여 분산분석을 실시하였고, 처리구간의 평균값에 대한 통계적인 유의성은 Duncan's multiple range test에 의하여 95%수준에서 유의성을 검정($p<0.05$)하였다(24).

결과 및 고찰

생체중 50 kg의 거세한 수컷 육성돼지를 시판체중인 110 kg에 도달할 때까지 9주간에 걸쳐서 실험사료를 급여하여 사육한 결과 조사된 사료섭취량, 증체량 및 사료효율은 Table 2와 같다.

βCD를 첨가하지 않은 대조구와 βCD 1.5%, 3.0% 및 5.0% 첨가구의 돼지에서 사양성적 즉, 일일 사료섭취량, 일일 증체량 및 사료효율은 각 처리구간 통계적인 유의차가 나타나지 않았다. 사료섭취량은 실험기간 동안에 두당 일일 평균 2.6 kg이었고, 처리구간 차이가 없었으며, 일일평균 체중증가는 대조구가 0.9 kg으로 βCD 첨가구의 평균증체량인 0.8 kg보다 약간 높게 나타났으나 처리구간 통계적인 유의차는 없었다. 일일 평균증체량에 대한 사료섭취량의 비율로 계산한 사료효율은 대조구가 2.81로 나타났고 βCD 첨가구가 평균 3.25로 약간 차이가 있었으나 처리구간 통계적인 유의차는 없었다. 따라서 이 결과는 돼지사료 내 βCD를 5.0% 수준까지 첨가·급여하더라도 정상적인 돼지의 성장·발달에 아무런 영향을 주지 않는다는 것을 보여준다.

Table 2. Effect of the feeding βCD on daily feed intake, body weight and feed conversion rate in swine fed experimental diets for 9 weeks

Items	Diets with βCD (% of diet)			
	Control	1.5	3.0	5.0
Feed intake (kg/day)	2.53±0.81[1)]	2.64±0.78	2.69±1.21	2.64±0.65
Weight gain (kg/day)	0.90±0.18	0.80±0.12	0.84±0.16	0.81±0.20
FE[2)]	2.81±1.08	3.30±1.28	3.20±0.62	3.25±0.83

[1)]Standard error of mean values.
[2)]Feed efficiency: feed intake/weight gain.

동물식이내 βCD 첨가수준을 늘려줄 경우 흰쥐의 식이섭취량, 식이효율 및 체중감소(14,25), 산란계의 산란성적 감소(18,19), 햄스터의 식이섭취량 증가(14) 및 흰쥐의 식이섭취량과 체중에 아무런 영향이 없다(15,16)는 상반된 보고가 있다. 이와 같이 서로 상반되는 결과의 이유로는 βCD의 대사적 특성에 기인한 것으로, βCD는 사람과 동물의 소장에서 분해·흡수되지 않으며 대장에서 미생물에 의한 분해가 일어나기 때문이다(26). 따라서 돼지가 본 실험에서 사용된 βCD량에 비해서 더욱 많은 양, 즉 5% 이상의 βCD를 포함하는 사료를 섭취할 경우 소장에서 대사장애가 발생하여 기호성이 떨어지고 사양성적이 낮아질 것으로 보지만(25) 이에 관해서는 더 많은 검토가 필요하다.

생체중 50 kg의 거세한 수컷 육성돼지를 시판체중인 110 kg에 도달할 때까지 9주 동안 실험사료를 급여·사육하면서 3주일 간격으로 조사된 혈액 지질함량 변화는 Fig. 1~3과 같다.

혈액 총지질 함량(Fig. 1)은 βCD가 함유된 실험사료를 섭취하는 일수가 길어짐에 따라서 낮아지는 경향을 보였다. 실험사료 급여를 시작하기 직전(0일째)에 조사된 돼지의 혈액 100 mL당 총지질 함량은 대조구, βCD 1.5%, βCD 3.0% 및 βCD 5.0% 첨가구가 각각 410.15 mg, 406.87 mg, 414.21

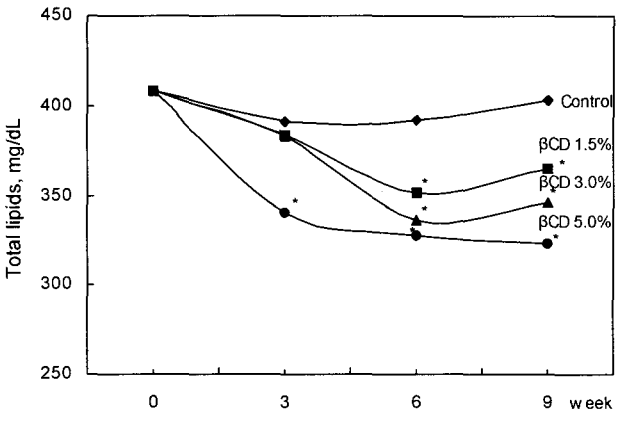

Fig. 1. Changes in plasma total lipids from swine fed different levels of β-cyclodextrin.
Asterisks in each spot show statistical differences when compared with values of control group ($p<0.05$).

mg 및 402.55 mg으로서 4개 처리구의 평균값은 408.44 mg 이었고 통계적 유의성은 없었다. 3주째 돼지의 혈액 100 mL 당 총지질 함량은 대조구, βCD 1.5%, βCD 3.0% 및 βCD 5.0% 첨가구가 각각 391.59 mg, 383.38 mg, 382.77 mg 및 340.09 mg으로서 대조구와 비교해서 βCD 첨가수준이 높아질수록 약간씩 감소경향을 나타냈으나 처리구간 통계적 유의성은 없었다. 6주째 돼지의 혈액 100 mL당 총지질 함량은 대조구, βCD 1.5%, βCD 3.0% 및 βCD 5.0% 첨가구가 각각 392.32 mg, 351.09 mg, 335.76 mg 및 327.15 mg으로서 대조구와 βCD 첨가구간은 유의적인 감소경향을 나타냈으며, 각각의 βCD 처리구간에도 통계적 유의성이 있었다($p<0.05$). 실험사료 섭취가 종료되는 시점인 9주째에 조사된 각 처리구간의 혈액 총지질 함량은, 대조구가 혈액 100 mL 당 403.58 mg으로써 가장 높았고 βCD 5.0% 첨가구가 323.42 mg으로서 가장 낮았으며, βCD 3.0% 및 βCD 1.5% 첨가구가 각각 346.22 mg, 364.58 mg으로서 유의적으로 낮아지는 경향을 보였고, 각각의 βCD 처리구간은 통계적인 유의성이 있었다($p<0.05$).

혈액 중성지방 함량(Fig. 2)은 대조구의 경우 사료섭취일수가 증가함에 따라서 높아졌으나 βCD를 함유하는 실험사료 섭취구는 3주째 이후부터 감소하는 경향을 나타냈고, 대조구와 비교할 때 βCD 첨가구가 통계적으로 유의하게 낮아졌다($p<0.05$). 3주째 혈액 중성지방 함량은 βCD 5.0% 첨가구가 유의성 있게 낮아진 것을 제외하면, 대조구와 나머지 βCD 처리구간의 통계적 유의성은 나타나지 않았다. 6주째 혈액 중성지방은 대조구와 비교할 때 βCD 1.5% 첨가구는 유의차가 없었으나 βCD 3.0% 및 βCD 5.0% 첨가구는 유의차가 있었으며, βCD 1.5%, βCD 3.0% 첨가구와 βCD 5.0% 첨가구 사이에 통계적인 유의성이 있었다($p<0.05$). 실험사료 섭취가 종료되는 시점인 9주째의 혈액 중성지방 함량은 대조구가 100 mL 당 111.38 mg으로써 가장 높았고, βCD 1.5%, βCD 3.0% 및 βCD 5.0% 첨가구가 각각 81.89 mg, 54.22 mg, 49.47 mg으로 나타나서 βCD 첨가구가 대조구에 비해서 유의적으로 낮게 나타났으며, 각각의 βCD 처리구 사이에 통계적 유의성이 있었다($p<0.05$).

혈액 총콜레스테롤 함량(Fig. 3)은 대조구의 경우 사료섭취일수 6주째에 약간 증가하는 변화를 보였으나 9주째에 이르러서는 0일자와 동일한 수준이 유지되었고, βCD를 함유하는 실험사료 섭취구는 사료섭취일수가 증가함에 따라서 3주째 이후부터 감소하는 경향이 유의성 있게 나타났다. 3주째 혈액 총콜레스테롤 함량은 대조구와 비교해서 βCD 3.0%와 βCD 5.0% 첨가구가 유의성 있게 낮아진 것을 제외하면, 대조구와 나머지 처리구간 통계적 유의성은 나타나지 않았다. 6주째 이후부터 혈액 총콜레스테롤 함량은 대조구와 비교할 때 모든 βCD 첨가구에서 유의차가 있었다($p<0.05$). 실험사료 섭취가 종료되는 시점인 9주째의 혈액 총콜레스테롤 함량은 대조구의 혈액 100 mL당 90.08 mg과 비교할 때, βCD 1.5%, βCD 3.0%및 βCD 5.0% 첨가구가 각각 혈액 100 mL당 77.62 mg, 74.36 mg, 66.14 mg으로 나타나서 βCD 첨가구가 유의적으로 낮아졌으며, 각각의 βCD 첨가구 사이에 통계적 유의성이 있었다($p<0.05$).

생체중 50 kg의 거세한 수컷 육성돼지를 시판체중인 110 kg에 도달할 때까지 9주 동안 실험사료를 급여한 후 조사된 혈액 총지질, 중성지방 및 콜레스테롤 함량의 감소율은 Fig. 4와 같다.

혈액 총지질 함량 감소율은 대조구와 비교할 때, βCD 5.0% 첨가구가 80.16 mg 낮아져 19.86%의 가장 높은 감소율을 나타냈고, βCD 1.5% 첨가구가 39 mg 낮아진 9.66% 감소율 그리고 βCD 3.0% 첨가구가 57.36 mg 낮아진 14.21% 감소율로서 나타났으며 대조구와 βCD 첨가구간 통계적 유의성을 나타냈다($p<0.05$). 중성지방 함량의 감소율은 대조구와 비교할 때, βCD 5.0% 첨가구가 61.89 mg 낮아져 55.57%의 높은 감소율을 나타냈으며, βCD 1.5% 첨가구와 βCD 3.0% 첨가구가 각각 29.47 mg, 57.14 mg 낮아진 26.46% 및

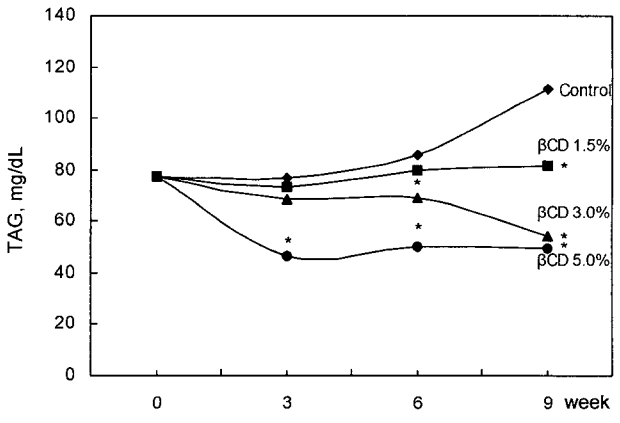

Fig. 2. Changes in plasma triacylglyceride (TAG) from swine fed different levels of β-cyclodextrin.
Asterisks in each spot show statistical differences when compared with values of control group ($p<0.05$).

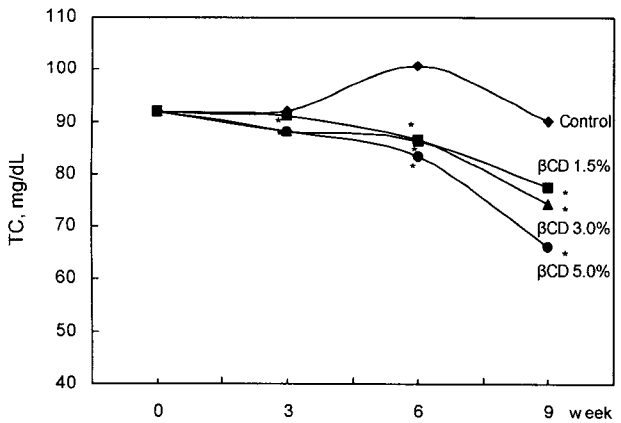

Fig. 3. Changes in plasma total cholesterol (TC) from swine fed different levels of β-cyclodextrin.
Asterisks in each spot show statistical differences when compared with values of control group ($p<0.05$).

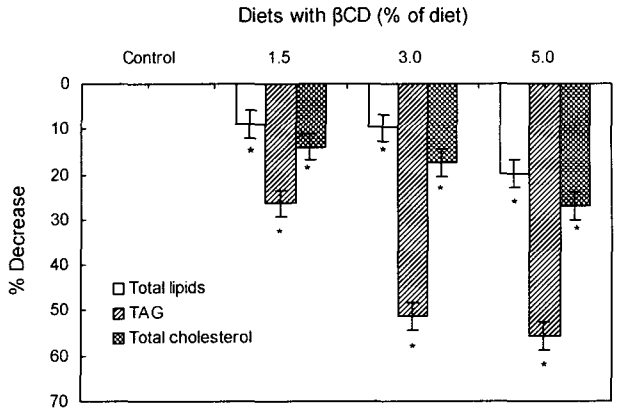

Fig. 4. Decrease in plasma total lipid, triacylglyceride (TAG) and total cholesterol from swine fed different levels of β-cyclodextrin for 9 weeks.
Bars represent standard error of mean values.
Asterisks in each spot show statistical differences when compared with values of control group ($p<0.05$).

51.31%의 감소율로서 나타났으며 대조구와 βCD 첨가구간 통계적 유의성을 나타냈다($p<0.05$). 총콜레스테롤 함량의 감소율은 대조구와 비교할 때 βCD 5.0% 첨가구가 23.94 mg 낮아진 26.98%의 감소율로서 가장 높은 감소율을 보였고, βCD 1.5% 첨가구 및 βCD 3.0% 첨가구가 각각 12.46 mg, 15.72 mg 낮아진 13.83% 및 17.45%의 감소율을 나타냈으며 대조구와 βCD 첨가구간 통계적 유의성이 나타났다($p<0.05$). 따라서 이 결과는 돼지사료 내 βCD 첨가 시 혈액 지질 함량을 크게 낮출 수 있음을 보여준다.

동물의 식이 내 βCD를 첨가·급여하였을 때 흰쥐(27,28), 햄스터(14) 및 돼지(17,29,30)에서 혈액 콜레스테롤 함량을 떨어뜨릴 수 있음이 보고되었다. 일반적으로 βCD는 사람과 실험동물인 흰쥐의 소장에서 효소작용에 의해 가수분해되지 않으며 생체 내 지질과 강하게 흡착하여 불용성물질을 형성함으로써 분을 통한 지질의 배설량을 촉진시켜(14) 궁극적으로 혈액 지질함량을 떨어뜨리는 것으로 알려져 있다. βCD는 특히 중성지방과 콜레스테롤 흡수를 억제시키고 담즙산 분비를 증가시켜 혈액 콜레스테롤 수준을 떨어뜨린다(15,31). 흰쥐에게 βCD함유 식이를 30일 동안 급여하였을 때, 혈액 내 총지질 함량이 87%까지 낮아졌고 중성지방 89%, 총 콜레스테롤 62% 그리고 LDL 콜레스테롤 54%의 유의적인 감소가 보고되었으며, 이는 분을 통한 스테로이드의 배설량이 1.67배 증가했기 때문으로 알려졌다(15). 본 실험에서 이 부분은 직접 조사하지는 못하였지만 혈액 지질함량 특히 콜레스테롤의 감소가 뚜렷하게 나타난 점 등은 Park(16)의 보고와 맥락을 같이한다고 하겠다.

생체중 50 kg의 거세한 수컷 육성돼지를 시판체중이 110 kg에 도달할 때까지 9주 동안 실험사료를 급여한 후 조사된 돼지고기의 등지방, 등심, 삼겹살 및 햄 부위에서 조사된 콜레스테롤 함량은 Table 3과 같으며, 특히 등지방과 삼겹살의 콜레스테롤 감소율은 Fig. 5와 같다.

Table 3. Cholesterol content in pork back fat, loin, belly and ham from swine fed experimental diets (mg/100 g)

Items	Diets with βCD (% of diet)			
	Control	1.5	3.0	5.0
Back fat	73.91±4.21[1)a]	72.63±5.28[a]	61.02±6.72[b]	54.69±5.53[c]
Loin	70.52±6.11[a2)]	63.77±5.01[b]	65.92±5.15[c]	51.07±4.68[d]
Belly	82.70±6.28[a]	77.37±4.53[b]	70.00±5.73[c]	67.47±5.16[c]
Ham	65.38±6.08[a]	61.42±4.78[b]	59.50±5.26[b]	53.46±5.15[c]

[1)]Standard error of mean values.
[2)]Mean values within a same row with unlike superscript letters were significantly different ($p<0.05$).

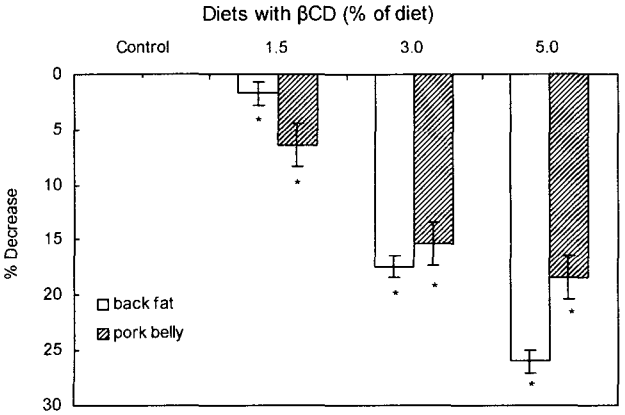

Fig. 5. Decrease in pork back fat and belly cholesterol from swine fed different levels of β-cyclodextrin.
Bars represent standard error of mean values.
Asterisks in each spot show statistical differences when compared with values of control group ($p<0.05$).

등지방의 콜레스테롤 함량은 대조구에 비해서 βCD 첨가수준이 3.0%이상으로 높아질수록 유의적인 감소경향을 나타냈으며, 등지방 100 g당 콜레스테롤 함량은 대조구 73.91 mg과 비교할 때 βCD 5.0% 첨가구가 54.69 mg으로써 19.22 mg의 콜레스테롤이 줄어든 26.00%의 유의적인 감소율을 나타냈다($p<0.05$). βCD 3.0% 첨가구의 등지방 100 g당 콜레스테롤 함량은 대조구와 비교할 때 12.89 mg이 낮아진 17.44%의 유의적인 감소율을 나타냈다($p<0.05$). 등심의 콜레스테롤 함량은 대조구에 비해서 βCD 첨가수준이 1.5%이상으로 높아질수록 유의적인 감소경향을 나타냈으며 각 처리구간 통계적인 유의차가 있었다($p<0.05$). 등심 100 g 당 콜레스테롤 함량은 대조구 70.52 mg과 비교할 때 βCD 5.0% 첨가구가 51.07 mg으로써 19.45 mg이 낮아졌으며 이는 27.58%의 높은 감소율을 나타냈다($p<0.05$). 그리고 대조구와 비교할 때 βCD 1.5%, βCD 3.0%에서 각각 9.57%, 6.52%의 통계적으로 유의한 감소율을 나타냈다($p<0.05$). 삼겹살 100 g당 콜레스테롤 함량은 대조구 82.70 mg과 비교하였을 때, βCD 3.0%와 βCD 5.0% 첨가구에서 각각 12.70 mg 및 15.23 mg 낮아졌으며 이 값은 15.36% 및 18.42% 낮아지는 높은 감소율을 나타냈다($p<0.05$). 햄 100 g당 콜레스테롤 함량은 대조구 65.38 mg에 비해서 βCD 첨가수준이 높아질수록 유의적으로 감소

하였고, 특히 βCD 5.0% 첨가구가 53.46 mg으로써 대조구와 비교할 때 11.92 mg이 낮아진 18.23%의 감소율을 나타냈다 ($p<0.05$). 동물식이 내 βCD를 첨가·급여하면 간에서 콜레스테롤 합성에 관여하는 비율제한효소인 HMG-CoA reductase activity(32)의 감소 그리고 콜레스테롤의 흡수를 억제하여 분을 통한 스테로이드 배설량(15,33)의 증가로 인하여 혈액 콜레스테롤 수준이 낮아질 것으로 생각된다. 본 연구의 결과 βCD 첨가수준이 증가함에 따라서 돼지고기의 콜레스테롤 함량이 크게 낮아진 것은 바로 이와 같은 기전에 의해서 유지된 혈액 내 저수준의 콜레스테롤(Fig. 3)로부터 돼지의 근육 및 지방조직으로 이동되어 축적된 양이 감소하였을 것으로 생각된다. 즉 돼지사료 내 βCD를 첨가 급여함에 따라서 βCD가 돼지의 생체 내에서 일어나는 간의 콜레스테롤 생합성을 억제했을 뿐만 아니라 콜레스테롤과 βCD의 높은 친화성에 기인하여서 콜레스테롤을 강하게 흡착함으로써 불용성 형태로 전환한 다음에 분을 통한 콜레스테롤 및 이의 대사물에 관한 배설량을 높였을 것으로 추정된다. βCD는 도넛츠 형태로 된 분자구조식을 이루며 내부의 소수성 히드록시기는 콜레스테롤과의 강한 친화성을 갖기 때문에 콜레스테롤과 접촉 시 불용성 복합물을 형성할 수 있다(8,10,12). 따라서 이와 같은 기전으로 혈액 콜레스테롤 함량이 26.98%까지 낮아졌으며(Fig. 3), 결과적으로 혈액을 통하여 조직으로 이동된 콜레스테롤 역시 줄어들어서 등지방과 삼겹살의 콜레스테롤 함량이 각각 26.00%와 18.42% 낮아진 것으로 볼 수 있다.

요 약

본 연구의 주목적은 돼지고기의 콜레스테롤 함량 감소에 관한 사료 내 βCD의 급여효과를 조사하는 것이었다. 생체중 50 kg의 3원교잡종 거세 수퇘지 12마리를 이용하여서 4처리구 3반복으로 완전임의배치한 후, 시판체중인 110 kg 도달시까지 약 9주 동안 실험사료를 급여하였다. 일일 사료섭취량, 일일 증체량 및 사료효율은 βCD를 첨가하지 않은 대조구와 비교할 때, βCD 1.5%, 3.0% 및 5.0% 첨가구의 각 처리구간 통계적인 유의차가 나타나지 않았다. 혈액 총지질, 중성지방 및 총콜레스테롤 함량은 대조구와 비교할 때 βCD 첨가구가 유의적으로 낮아졌으며, 특히 βCD 5.0% 첨가구에서 각각의 감소율은 21.80%, 55.58% 및 27.69%로서 가장 높게 나타났다($p<0.05$). 돼지고기 삼겹살의 콜레스테롤 함량은 대조구와 비교할 때 βCD 1.5%, 3.0% 및 5.0% 첨가구에서 각각 5.33 mg, 12.70 mg 및 15.23 mg의 유의적인 감소를 나타났으며, 특히 이 값을 콜레스테롤의 감소율로서 나타냈을 때 각각 6.44%, 15.36%, 18.42%로서 유의적인 차이를 나타냈다($p<0.05$). 이 결과는 돼지에서 βCD 첨가급여가 콜레스테롤 대사를 조절할 수 있는 식이섬유로서 사용될 수 있음을 시사해준다.

감사의 글

본 연구는 2003년 (주)굿팜의 연구비지원 및 강원대학교 동물자원공동연구소의 일부 지원에 의해서 이루어졌으며 이에 감사드립니다.

문 헌

1. Bragagnolo N, Rodriguez DB. 2002. Simultaneous determination of total lipid, cholesterol and fatty acids in meat and backfat of suckling and adult pigs. *Food Chem* 79: 255-260.
2. Dorado M, Martin GEM, Jimenez-Colmenero F, Masoud TA. 1999. Cholesterol and fat contents of spanish commercial pork cuts. *Meat Sci* 51: 321-323.
3. Leaf A, Weber PC. 1988. Cardiovascular effect of n-3 fatty acid. *New Engl J Med* 318: 549-553.
4. Shekelle RB, Stamler J. 1989. Dietary cholesterol and ischaemic heart disease. *Lancet* 1: 1177-1179.
5. Palca J. 1990. Getting to the heart of the cholesterol debate. *Science* 247: 1170-1171.
6. Rao P, Kumar SU, Rao DN, Divakar S. 2000. Optimization of digestion parameters for the elemination of residual β-cyclodextrin used for cholesterol reduction in egg using glucoamylase. *Eur Food Res Technol* 210: 231-236.
7. Okenfull DG, Pearce RJ, Sidhu GS. 1991. Low-cholesterol dairy product. *Aust J Dairy Technol* 46: 110-112.
8. Yen GC, Chen CJ. 2000. Effects of fractionation and the refining process of lard on cholesterol removal by β-cyclodextrin. *J Food Sci* 65: 622-624.
9. Szejtli J. 1982. Types, formation and structures of inclusion complexes. In *β-Cyclodextrin and their inclusion complex*. Akademial Kiado, Budapest. Vol 11, p 93-108.
10. Saenger W. 1984. Structural aspects of cyclodextrins and their inclusion complexes. *Incl Compounds* 2: 231-243.
11. Horikoshi K. 1979. Production and industrial applications of beta-cyclodextrin. *Process Biochem* 14: 26-30.
12. Nagatomo S. 1985. Cyclodextrins-expanding the development of their functions and applications. *Chemical Economy and Engineering Review* 17: 28-34.
13. Froming KH, Fridrich R, Mehnert W. 1993. Inclusion compounds of cholesterol and β-cyclodextrin. *Eur J Pharm Biopharm* 39: 148-152.
14. Oliver P, Verwaerde F, Hedges AR. 1991. Subchronic toxicity of orally administered beta-cyclodextrin in rats. *J Am Coll Toxicol* 10: 407-419.
15. Riottot M, Olivier P, Lutton C. 1993. Hypolipidemic effects of β-cyclodextrin in the hamster and in the genetically hypercholesterolemic rico-rat. *Lipids* 28: 181-188.
16. Park BS. 2003. The biological effects of β-cyclodextrin on antithrombotic activity and plasma lipid metabolism in rats. *J Anim Sci (Kor)* 45: 199-210.
17. 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 β-cyclodextrin and its effects on cholesterol metabolism in pigs fed a cholesterol-enrich diet. *J Lipid Res* 38: 86-100.
18. Park BS. 2004. Effect of dietary β-cyclodextrin on egg quality and cholesterol content of egg yolks. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 33: 614-620.
19. Park BS, Kang HG, Jang AR. 2005. Influence of feeding β-cyclodextrin to laying hens on the egg production and

cholesterol content of yolk. *Asian Aust J Anim Sci* 18: 835-840.
20. National Research Council. 1998. *Nutrient requirements of swine*. 10th ed. National Academy Press, Washington, DC.
21. Folch L, Lees M, Sloane-Stanley GHA. 1957. A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues. *J Biol Chem* 226: 497-507.
22. 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.
23. SAS institute. 2000. *SAS® User's Guide: Statistics*. Version 8 edition. SAS Institute Inc., Cary, NC, USA.
24. Duncan DB. 1995. Multiple range and multiple F-test. *Biometrics* 11: 1-6.
25. 鈴木正成. 1983. サイクロデキストリンの生体への影響. フレグランスジャーナル 63: 63-67.
26. Flourié B, Molis C, Achour L, Dupas H, Hatat C, Rambaud JC. 1993. Fate of β-cyclodextrin in the human intestine. *J Nutr* 123: 676-680.
27. Suzuki M, Sato A. 1985. Nutritional significance of cyclodextrins: Indigestibility and hypolipidemic effects of β-cyclodextrin. *J Nutr Sci Vitaminol* 31: 209-223.
28. 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.
29. Juste C, Catala I, Riottot M, Andre M, Parquet M, Lyun B, Bequet F, Ferezou-viala J, Serougne C, Domingo N, Lutton C, Lafont H, Corring T. 1997. Inducing cholesterol precipitation from pig bile with β-cyclodextrin and cholesterol dietary supplementation. *J Hepatology* 26: 711-721.
30. 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-β-cyclodextrin-enriched diets with either casein or soybean concentrate as protein sources. *Br J Nutr* 83: 411-420.
31. Hostmark AT, Lystad E, Haung A, Eilertsen E. 1989. Plasma lipids, lipoproteins, and fecal excretion of neutral sterols and bile acids in rats fed various and high diets or low fat/high sucrose diet. *J Nutr* 119: 356-363.
32. 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.
33. Fukushima M, Akiba S, Nakano M. 1996. Comparative hypocholesterolemic effect of six vegetable oils in cholesterol-fed rat. *Lipids* 31: 415-419.

(2005년 12월 20일 접수; 2006년 3월 3일 채택)