

식이지방 수준이 다른 식이를 섭취한 흰쥐의 체내 지질대사에 대한 난소화성 덱스트린의 섭취 효과

우동호* · 강현숙 · 이연숙 · 박양자 · 이현수*

서울대학교 생활과학대학 식품영양학과, (주) 삼양제넥스 연구소*

Effects of Indigestible Dextrin on Lipid Metabolism in Rats Fed Normal or High Fat Diet

Woo, Dong Ho* · Kang, Hyun Sook · Lee, Yeon Sook
Park, Yang Ja · Lee, Hyun Soo*

Department of Food and Nutrition, College of Human Ecology, Seoul National University,
Seoul, 151-742, Korea

Samyang Genex Research Institute,* Daejeon, 305-348, Korea

ABSTRACT

The effects of indigestible dextrin on lipids in serum, tissue, and feces were investigated in two experiments carried out with 64 male Sprague-Dawley rats for eight weeks. Experiment I diet(normal fat diet) containing 5% corn oil and experiment II diet(high fat diet) containing 18% fat(13% beef tallow and 5% corn oil) and 1% cholesterol were divided into four groups with 0.5% cellulose(0.5CL : control), 10% cellulose(10CL), 10% indigestible dextrin I(ID-I) and 10% indigestible dextrin II(ID-II), respectively. ID-I and ID-II diets produced a decrease in serum total lipid and cholesterol concentrations in both normal and high fat diets but more significantly in the groups fed high fat diet. ID-I, ID-II, and 10CL of high fat diet decreased serum glucose concentration. ID-I and ID-II diets also decreased liver cholesterol and triglyceride concentrations in rats fed normal and high fat diets. The fecal excretion of cholesterol in ID-II/high fat diet was significantly higher than that of 0.5CL diet. Bile acid excretion was increased in the rats fed 10CL and ID-II diets of normal and high fat diets. These observations indicate the hypolipidemic and hypocholesterolemic effects of indigestible dextrin on the rats. These effects are mediated by the increase of fecal cholesterol and bile acid excretion. (*Korean J Nutrition* 31(6) : 981~990, 1998)

KEY WORDS : indigestible dextrin · normal/high fat diet · hypolipidemic effect · hypocholesterolemic effect.

서 론

식이섬유의 정장작용 및 혈중지질 저하효과(hypolipidemic effects)에 대하여 현재까지 많은 연구가 수행되어 왔다. 그 중 식이섬유의 콜레스테롤혈증(cholesterol) : 1998년 7월 22일

terolemia)에 대한 효과는 잘 알려져 있으나¹⁻⁴⁾ 그 종류가 다양하고 기원에 따라 물리화학적인 성질이 다르기 때문에 생리적 효과는 동일하지 않은 것으로 알려져 있다.

수용성 식이섬유 즉, pectin, soybean polysaccharide 등은 혈장 콜레스테롤 저하효과가 매우 우수한 것으로 밝혀졌으며, 그 작용 메커니즘은 크게 두 가지

로 제시되었다. 첫째, 지방과 콜레스테롤의 소장에서의 소화와 흡수를 저해하여 혈장 지질과 콜레스테롤 수준을 낮추는 것이고⁴⁾, 둘째, 담즙의 재흡수를 저하시켜 지방과 담즙산의 변으로의 배설을 증가시킴으로써 혈장 지질과 콜레스테롤 수준을 낮추는 것이다⁶⁾. Pectin이 소장에서 gel화 되어 콜레스테롤과 담즙산의 소화와 흡수를 지연시킴으로써 변 내로의 이들 물질의 배설을 증가시켰다는 보고⁴⁾가 이 메커니즘을 설명 가능하게 하였다. 또한 구조 기능적인 효과를 밝힌 연구로는 식이섬유의 점성(viscosity)이 지방과 담즙산의 흡수를 지연시켜 혈장지질과 콜레스테롤 수준을 저하시켰으며, 고점성 구아검(guar gum) 식이가 저 점성 검(gum)식에 비해 혈청 LDL-콜레스테롤의 저하 효과가 우수하였다는 보고⁵⁾도 있다.

불용성 식이섬유는 큰 용적에 의해 소장 내에서 소화산물의 양을 증가시켜 포만감을 주고 영양소의 소화를 지연시키며, 담즙산과도 결합하여 담즙산의 재흡수를 저해하고 변으로 담즙산의 배설을 증가시킴으로써 간의 콜레스테롤 대사를 증가시켜 혈장콜레스테롤 수준을 저하시킨다고 보고되었다⁷⁾.

한편, Wakabayashi 등⁸⁾은 가수분해 효소에 의해 분해되지 않는 감자 전분 유래의 난소화성 텍스트린은 맹장의 크기와 무게를 확대시키며 대장에서 발효되어 프로피온산(C3)과 같은 단쇄지방산을 생성하여 pH를 낮췄다고 보고하였다. Chen 등⁹⁾은 *in vivo* 및 *in vitro* 실험을 통해 프로피온산이 HMG-CoA reductase의 활성을 저해하여 간에서의 콜레스테롤 합성을 억제하였다고 보고하였다. 간의 콜레스테롤 급원은 lipoprotein 구성 성분으로서의 콜레스테롤과 cholesterologenesis로부터 합성되는데, 이때 cholesterologenesis의 속도제한 효소가 HMG-CoA reductase로써 그 활성이 다량의 프로피온산에 의해 저해된다¹⁰⁾¹¹⁾. Ramsy 등¹²⁾은 이눌린 식이 섭취시 생성되는 맹장 내용물의 낮은 pH가 담즙산 불용화의 주요인이라 간주하면서, 산성 pH 하에서 담즙산이 장내 미생물이나 불용성 칼슘염과 결합하여 변으로 배설된다고 주장하였다. 그러나 식이 중의 콜레스테롤은 간의 콜레스테롤 합성 효소의 활성을 억제시키나 콜레스테롤과 함께 급여한 식이섬유는 다시 이 억제를 반전시킨다는 보고¹³⁾가 있으며, 그 예로, 식이섬유 무첨가에 비해 셀룰로오스나 sodium alginate가 콜레스테롤 합성효소의 활성을 증가시켰는데, 이는 변으로 배설된 담즙산과 콜레스테롤을 보상하기 위한 작용이라고 보고¹⁴⁾된 바 있다.

한편, 전세계적으로는 특정 생리기능 및 건강증진 기

능을 가지는 식이 성분의 개발에 괄목한 만한 성과를 보이고 있는데 그 예로서 폴리텍스트로오스 및 소화 저항성전분(resistance starch) 등을 들 수 있다. 이들의 화학적 구조나 물리화학적 성질을 고려할 때 식이섬유와 유사한 영양, 생리 기능을 가질 것으로 예상되는데 실제로 저항성 전분과 전분유래의 난소화성 텍스트린 등은 장에서 쉽게 발효되는 다른 식이섬유와 생리적으로 유사한 효과가 있었음이 보고¹⁵⁾된 바 있다.

최근 우리 나라에서도 식생활의 서구화로 고지방식을 배제하기 힘든 형편인데 식이섬유의 다양한 생리효과를 정상지방식 및 인위적으로 지방의 함량을 증가시킨 고지방식으로 구분하여 종합적으로 비교 평가한 연구는 아직까지 미흡한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 옥수수 열처리 텍스트린으로부터 대량으로 제조한 난소화성 텍스트린 2종과 대표적인 불용성 식이섬유인 셀룰로오스가 체내 지질대사에 미치는 영향을 정상수준 및 고수준의 지방식 섭취조건에서 비교 검토하였다.

실험재료 및 방법

1. 난소화성 텍스트린의 제조

미국산 옥수수 열처리 텍스트린(Cerestar, USA)을 열수에 40%(w/w) 농도로 용해한 다음 pH를 5.8로 조정하고 95℃로 조절된 항온수조에서 Novo사의 내열성 α -amylase(Termamyl 120LS)를 열처리 텍스트린에 대해 0.2%(v/w) 첨가하여 2시간 동안 반응시켰다. 활성탄을 첨가한 다음 끓여 효소를 불활성화시키고 최종 membrane filter(SUPOR-200, Gelman Sciences, USA)처리 단계까지 여과하였다. 음이온 및 양이온 교환수지(SK 1B 및 WA 30, 삼양사)를 이용하여 탈염과 탈색을 거친 후 농축하고 분무건조하여 난소화성 텍스트린-I(Indigestible dextrin-I : ID-I)로 하고 본 실험에 사용하였다. 또한 난소화성 획분이 더 높은 시료를 제조하기 위해 ID-I과 동일한 조건으로 내열성 α -amylase를 처리한 다음 효소를 불활성화시키고 pH를 4.5로 조절한 후 Novo사의 amyloglucosidase(AMG 300L)를 텍스트린 대비 0.05%(v/w) 첨가하여 55℃로 조절된 항온 수조에서 48시간 동안 반응시켰다. 반응 후 위와 같은 방법으로 여과한 다음 30%(w/w) 농도로 조절하고 고형분 대비 중량 비로 5배의 95% 에탄올을 섞어 상온에서 3시간 방치하여 생성된 침전으로부터 상층액을 제거하였다. 침전은 증류수에 용해하고 잔여 에탄올은 농축하면서 완전히 제거한 후 위와 동일하게 정제하고 분말화하여 난소화성 텍스트린-II(Indigestible

dextrin-I : ID-II)로 하고 본 실험에 사용하였다.

2. 난소화성 덱스트린의 분석

수분 함량 및 회분은 AOAC법¹⁶⁾으로, pH는 10%(w/w) 용액을 측정하였으며, 포도당 당량(DE)은 Cryoscope(Fiske Associates, USA)로 어느 점 내림점과의 상관관계¹⁷⁾를 이용하여 측정하였다. 또한 난소화성 획분 함량은 HPLC법¹⁸⁾¹⁹⁾으로, 식이섬유 함량은 Prosky-AOAC법¹⁸⁾²⁰⁾으로 정량하였으며, 원자 흡광 분광 광도계(Atomic absorptionspectrometer 3300, PERKIN ELMER Co., USA)를 이용하여 칼륨, 납, 은, 철, 카드뮴, 구리, 마그네슘, 칼슘 및 나트륨을 분석¹⁸⁾한 다음 합계치를 중금속 함량으로 하였다. 본 실험에 실험식으로 급여한 난소화성 덱스트린의 분석 결과는 Table 1에 제시하였다.

Table 1. Typical analysis of indigestible dextrin

Items	ID-I ¹⁾	ID-II ²⁾
Moisture(%)	3.5	3.5
Indigestible fraction(%) ³⁾	50.0	83.6
Dietary fiber(%) ⁴⁾	25.0	62.8
Dextrose equivalent ⁵⁾	10.0	14.5
Crude ash(%)	0.2 Max.	0.2 Max.
Heavy metal(ppm) ⁶⁾	5.0 Max.	5.0 Max.
pH ⁷⁾	4.5	5.6

- 1) Indigestible dextrin-I
- 2) Indigestible dextrin-II
- 3) Indigestible fraction analyzed by HPLC with Sugar-Pak column
- 4) Dietary fiber content analyzed by Prosky-AOAC method
- 5) Dextrose equivalent analyzed by cryoscope
- 6) Heavy metal content analyzed by atomic absorption spectrometer
- 7) 10%(w/w) solution

Table 2. Composition of experimental diets(g/100g)

Ingredient	Expt. 1(Normal fat diet)				Expt. 2(High fat diet)			
	0.5CL ¹⁾	10CL ²⁾	ID-I ³⁾	ID-II ⁴⁾	0.5CL	10CL	ID-I	ID-II
Casein	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0
Cornstarch	69.5	60.0	60.0	60.0	55.5	46.0	46.0	46.0
Cellulose	0.5	10.0	-	-	0.5	10.0	-	-
ID-I	-	-	10.0	-	-	-	10.0	-
ID-II	-	-	-	10.0	-	-	-	10.0
Corn oil	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0
Beef tallow	-	-	-	-	13.0	13.0	13.0	13.0
Cholesterol	-	-	-	-	1.0	1.0	1.0	1.0
DL-methionine	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
Mineral mixture ⁵⁾	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5
Vitamin mixture ⁵⁾	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Choline bitartrate	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2

- 1) 0.5% cellulose in diet
- 2) 10% cellulose in diet
- 3) Indigestible dextrin-I
- 4) Indigestible dextrin-II
- 5) Mineral mixture and vitamin mixture based on the AIN²⁶⁾

3. 실험동물의 사육과 식이

평균 체중 120g의 Sprague-Dawley종 수컷흰쥐(서울대학교 실험동물 사육장에서 구입) 64마리를 실험조건을 일정하게 하기 위해 환경 조절된 실험동물 사육실에서 4일간 고형식이(삼양사료)로 적응시킨 후 실험군당 8마리씩 무작위로 배치하였다. 실험동물을 크게 실험 1(정상지방식 섭취)과 실험 2(고지방식 섭취)로 나누고 각 실험마다 식이섬유의 종류와 함량을 달리한 4종의 실험식이를 8주동안 급여하였다. 실험식이는 Table 2와 같이 기본적으로 AIN-76에 따라 실험 1은 정상지방식으로 지방 함량 5%, 콜레스테롤 무첨가 식이로 하였고, 실험 2는 고지방식으로 지방함량 18%(콩기름 5%+우지 13%), 콜레스테롤 1% 첨가 식이로 하였다. 실험의 대조군으로는 식이 중 셀룰로오스 함량이 0.5%(0.5CL : control)인 식이를, 실험군으로는 식이섬유의 함량과 종류를 달리한 식이, 즉, 식이 중 셀룰로오스 함량이 10%(10CL), ID-I 함량이 10%(ID-I), ID-II 함량이 10%(ID-II)인 것을 각각 급여하였다.

실험식이의 원료로는 정제된 카제인(삼익유가공(주)), 옥수수 전분(삼양사), 옥수수 기름(해표-유니레버), 우지(서울농산(주)에서 구입하여 본 실험실에서 정제), 콜레스테롤(Sigma, USA)과 비타민 혼합물(AIN-76 pattern : Oriental 효모공업, Japan)을 사용하였으며 미네랄 혼합물(AIN-76 pattern)은 조제하여 사용하였다.

식이의 섬유소 급원으로서 cellulose(Sigma, USA), 난소화성 덱스트린 ID-I과 난소화성 덱스트린 ID-II(삼양제넥스(주)에서 제조)를 사용하였다.

실험 동물은 Shoebox cage에 한 마리씩 분리 사육하였으며 사육실의 환경은 온도 22±2℃, 상대습도 65

±5%, 조명 6:00 AM-6:00 PM으로 일정하게 유지하였다. 실험식이와 증류수는 자유롭게 섭취시켰다. 체중과 식이 섭취량은 2일에 한번씩 일정시간에 측정하였다.

4. 시료수집 및 분석방법

1) 시료수집

식이섭취 조건을 일정하게 하기 위해 실험 최종일에 실험동물을 12시간 절식시킨 후 diethyl ether로 마취시킨 후 경동맥에서 혈액을 채취하였다. 채취한 혈액은 냉장고(4℃)에서 하룻밤 동안 방치시킨 다음 3000rpm (GLC-2B, Sorvall Co., USA)에서 20분간 원심분리하여 혈청을 분리하였다. 혈액채취 후 즉시 간과 심장을 적출하여 부착되어 있는 지방을 제거한 후 0.9% NaCl 용액으로 세척한 다음 여과지로 표면의 수분을 닦고 각각의 무게를 측정하였다. 변은 실험식이 급여기간 중 실험종료 전 4일간 acryl metabolic cage로부터 수집하였으며, wet weight를 측정한 후 냉동건조하여 분석하였다. 모든 시료는 즉시 -74℃에서 냉동 보관하였다.

2) 시료분석

혈청의 총지질 농도는 Fringe 방법²¹⁾으로, 혈청중성지방, 콜레스테롤, HDL-콜레스테롤과 혈당 농도는 혈액 자동 분석기(Fully automated dry chemistry system : Spotchem, Daiichi Kagaku Co., Japan)로 측정하였다. 혈청 LDL-콜레스테롤 농도는 Friedwald식²²⁾에 의거하여 산출하였다. 간과 심장조직 및 변 중의 중성지방, 콜레스테롤 함량은 Folch등의 방법²³⁾을 이용하여 조직 및 변으로부터 총지질을 추출한 후 혈청과 동일한 방법으로 분석하였다. 혈액의 bile acid 함량은 Sigma bile acid kits(Sigma diagnostics, USA)로 측정하였고, 변 중의 bile acid 함량은 Mittinen등

의 방법²⁴⁾을 이용하여 변에서 bile acid를 추출한 후 Sigma bile acid kits를 이용하여 혈액과 동일한 방법으로 측정하였다.

5. 통계분석

실험결과와 통계처리는 SAS package program을 이용하였고 그 결과는 평균과 표준오차(mean±SE)로 제시하였다. 각 지방 수준(Normal, High)별로 4군간의 유의성 검정은 Duncan's multiple range test에 의해 p<0.05 수준에서 검증하였다.

실험결과 및 고찰

1. 체중 및 식이섭취량

식이 중 지방함량과 식이섭취의 종류를 달리한 8종의 실험식이를 급여한 후 8주만에 따른 체중증가량과 식이섭취량을 Table 3에 제시하였다. 정상지방식에서는 ID-I과 ID-II 섭취군의 체중증가량이 대조군(0.5CL)에 비해 높은 경향을 보였고, 10CL군에 비해 유의적으로 높았다(p<0.05). 식이섭취량은 군간 차이가 없었다. 반면 고지방식의 경우 ID-I과 ID-II섭취군의 체중증가량이 대조군에 비해 유의적으로 낮았다(p<0.05). 식이섭취량 역시 ID-II섭취군이 대조군에 비해 유의적으로 낮았다(p<0.05).

Wakabayashi등²⁵⁾은 쥐를 대상으로한 실험결과, 정상지방식(지방함량 5%)을 기본식으로할 때 난소화성 텍스트린의 함량이 18.5% 이상시 설사가 유발되었으며, 이러한 현상은 실험 6일째부터 회복, 소실되어 체중증가량 및 최종체중에 영향을 크게 미치지 않았다고 보고하였다. 본 연구결과 정상지방식의 난소화성 텍스트린 섭취군의 성장은 양호했던 반면, 고지방식의 경우 난소화성 텍스트린의 함량이 10%임에도 불구하고 난

Table 3. Effect of indigestible dextrin on body weight, food intake and food efficiency ratio in rats

Dietary group	Final body weight (g)	Weight gain (g/8wks)	Daily food intake (g/d)	FER(WG/FI) ⁴⁾
Expt. 1(Normal fat diet)				
0.5CL	389.6±14.6 ^{1)ab3)}	254.6±16.6 ^{ab}	17.1±0.5 ^{NS2)}	0.28±0.02 ^{NS}
10CL	373.0±12.4 ^b	236.6±13.3 ^b	17.1±0.7	0.28±0.02
ID-I	422.2±9.0 ^a	284.9±12.5 ^a	17.3±1.4	0.32±0.04
ID-II	416.1±17.8 ^a	289.6±16.0 ^a	18.0±1.1	0.31±0.04
Expt. 2(High fat diet)				
0.5CL	434.9±9.9 ^a	306.2±8.6 ^a	16.3±1.4 ^a	0.35±0.03 ^{NS}
10CL	420.6±25.2 ^{ab}	282.4±23.4 ^{ab}	17.1±0.8 ^a	0.32±0.02
ID-I	369.8±17.2 ^{bc}	246.8±16.5 ^b	14.6±1.0 ^{ab}	0.33±0.03
ID-II	358.1±22.2 ^c	239.1±19.1 ^b	13.0±0.6 ^b	0.34±0.04

1) Mean±S.E. for eight rats per group 2) NS, not significantly different
 3) Values in a column of each experiment with different superscripts are significantly different(p<0.05)
 4) FER : Weight gain/Food intake

소화성 텍스트린 섭취군의 체중증가량이 낮았던 결과는 고지방식을 섭취한 쥐의 실험기간 초기 4주간의 설사에 기인한 결과로 난소화성 텍스트린과 고지방의 상호작용에 의한 것으로 사료된다. 그러나 설사는 실험 4주째부터 점차 호전되어 실험 종료시에는 정상적인 쥐의 변의 형태로 회복되었다. 고지방식의 난소화성 텍스트린 섭취군의 식이섭취량과 체중증가량이 모두 낮아 사료효율은 군간 차이가 없었다.

2. 혈청지질 및 혈당농도

Table 4에 난소화성 텍스트린의 혈청지질 및 혈당농도에 대한 영향을 제시하였다. 혈청총지질 농도는 정상지방식에서는 대조군에 비해 ID-I섭취군에서 유의적으로 낮았다($p < 0.05$). 고지방식의 혈청총지질 농도는 대조군, ID-I 및 ID-II섭취군 간에는 차이가 없었고, 10CL섭취군에서 다른 세 군에 비해 높았다($p < 0.05$). 혈청 콜레스테롤 농도는 정상지방식 및 고지방식의 ID-I과 ID-II섭취군 모두 대조군에 비해 낮았다($p < 0.05$). 혈청중성지방 농도는 정상지방식과 고지방식 모두 군간 차이가 없었다. HDL-콜레스테롤 농도는 정상지방식에서는 ID-I섭취군이 대조군에 비해 유의적으로 낮았다($p < 0.05$). 고지방식에서는 ID-II섭취군의 HDL-콜레스테롤 농도가 대조군에 비해 낮았다($p < 0.05$). LDL-콜레스테롤 농도는 정상지방식에서는 10CL섭취군이 가장 높았으며, ID-I과 ID-II섭취군 모두 10CL섭취군에 비해 낮았다($p < 0.05$). 고지방식에서도 10CL섭취군의 LDL-콜레스테롤 농도가 가장 높았으며, ID-I섭취군의 LDL-콜레스테롤 농도는 10CL섭취군에 비해 낮았다($p < 0.05$). 혈당농도는 정상지방식의 ID-I섭취군이 대조군에 비해 낮았다($p < 0.05$). 특히 고지방식의 10CL, ID-I, ID-II섭취군 모두 대조군에 비해 유의적으로 낮은 혈당치를 보였다($p < 0.05$).

이상의 결과를 종합 고찰하면 난소화성 텍스트린 섭취가 고지방식 섭취 흰쥐 뿐만 아니라 정상지방식 섭취 흰쥐의 혈청 총지질과 콜레스테롤 농도를 저하시키는 효과를 보였으며, 혈당 저하효과 역시 관찰되었다. 이는 감자 전분 유래 난소화성 텍스트린이 수용성 식이섬유와 생리적으로 유사한 효과를 보였으며, 혈청 콜레스테롤 저하효과를 보였다는 다른 연구결과²⁶⁾와 일치하고 있다. 그러나 본 실험에서는 혈청콜레스테롤 저하정도가 난소화성 텍스트린에 대해 양적 의존성을 나타내지는 않았다. 한편 cellulose 섭취는 혈청 지질농도 저하효과를 보이지 않아, 다른 연구결과²⁶⁾로부터 밝혀진 바와 같이 불용성 식이섬유인 cellulose 혈청지질 저하효과가 인정되지 않았다. 난소화성 텍스트린 섭취는 혈청 LDL-콜레스테롤 농도를 저하시키는 효과가 있었으나 HDL-콜레스테롤 농도를 상승시켜주는 효과는 보이지 않았다.

한편 난소화성 텍스트린의 혈당수준 저하효과에 대한 기존의 연구결과로서 전분유래 저 점성 수용성 식이섬유인 난소화성 텍스트린이 sucrase의 활성을 저해할 뿐 아니라 sucrose의 가수분해에 의해 발생한 glucose의 흡수를 저하시키고 또 장관 glucagon과 동시에 분비된다고 알려져 있는 glucagon-like peptide의 분비를 억제할 가능성이 있는 점 등이 보고²⁷⁾되었고, 이를 쥐 및 건강인에게 경구투여시 혈당수준 상승 및 인슐린 분비를 늦추는 효과가 있었음을 분명히 하였다²⁸⁾.

한편 난소화성 텍스트린의 혈당저하 메커니즘을 규명하기 위해 난소화성 텍스트린 함유식과 비함유식의 소화관 통과속도를 비교 검토한 결과²⁹⁾난소화성 텍스트린 함유식의 소화관 통과가 비함유식에 비해 현저하게 느렸음을 알 수 있었다. 따라서 난소화성 텍스트린 섭취시 식이의 느린 소화관 통과로 인해 소화흡수의 절대

Table 4. Effect of indigestible dextrin on serum total lipid, cholesterol, triglyceride, HDL-cholesterol LDL-cholesterol and glucose concentrations in rats(mg/100ml)

Dietary group	Total lipid	Total Cholesterol	Triglyceride	HDL-cholesterol	LDL-cholesterol	Glucose
Expt. 1(Normal fat diet)						
0.5CL	229.4 ± 16.1 ^{1)ab2)}	101.8 ± 3.7 ^a	32.0 ± 0.9 ^{NS3)}	75.8 ± 2.6 ^a	16.5 ± 2.5 ^b	104.4 ± 6.0 ^a
10CL	246.4 ± 23.3 ^a	97.8 ± 5.3 ^a	37.4 ± 3.5	65.3 ± 3.5 ^{ab}	25.8 ± 2.6 ^a	95.6 ± 8.8 ^{ab}
ID-I	151.4 ± 8.5 ^c	67.7 ± 3.9 ^b	32.5 ± 1.3	62.6 ± 4.5 ^b	7.7 ± 2.1 ^b	80.4 ± 4.5 ^b
ID-II	188.8 ± 17.2 ^{bc}	71.4 ± 4.2 ^b	33.4 ± 3.1	70.8 ± 2.5 ^a	8.9 ± 2.2 ^b	91.0 ± 3.1 ^{ab}
Expt. 2(High fat diet)						
0.5CL	213.6 ± 14.0 ^b	98.4 ± 2.0 ^a	39.7 ± 2.4 ^{NS}	37.5 ± 2.0 ^a	44.5 ± 4.6 ^{ab}	96.2 ± 3.9 ^a
10CL	307.2 ± 31.1 ^a	104.6 ± 5.8 ^a	43.1 ± 3.6	32.2 ± 3.6 ^{ab}	54.7 ± 4.9 ^a	74.0 ± 1.9 ^b
ID-I	227.2 ± 21.4 ^b	73.2 ± 4.8 ^b	42.0 ± 5.4	30.8 ± 4.5 ^{ab}	36.4 ± 2.6 ^b	77.6 ± 1.9 ^b
ID-II	190.5 ± 9.5 ^b	77.8 ± 4.5 ^b	39.4 ± 2.1	23.3 ± 4.2 ^b	43.1 ± 3.4 ^{ab}	78.2 ± 2.7 ^b

1) Mean ± S.E. for eight rats per groups

2) Values in a column of each experiment with different superscripts are significantly different($p < 0.05$)

3) NS, not significantly different

량이 낮아 혈당 농도를 저하시키는 것으로 사료된다.

3. 간중량과 간 조직의 지질농도

난소화성 텍스트린의 간중량, 간총지질, 간콜레스테롤 및 간중성지방 함량에 대한 영향을 Table 5와 6에 제시하였다. 간중량은 정상지방식의 ID-II섭취군에서 대조군에 비해 높았고($p < 0.05$). 고지방식의 ID-I과 ID-II섭취군에서 대조군에 비해 낮았다($p < 0.05$). 체중 100g당 간의 상대적 중량(relative liver weight)은 정상지방식의 10CL섭취군에서만 낮았을 뿐($p < 0.05$), 고지방식의 4군간에는 차이가 없었다. 간총지질 함량은 정상지방식과 고지방식에서 군간에 차이를 보이지 않았다. 간총지질 함량을 간의 총 건조중량(total dry weight)으로 환산시 정상지방식의 대조군, ID-I 및 ID-II섭취군 간에는 차이가 없었으나, 10CL섭취군에서 ID-II섭취군에 비해 낮게 나타났다($p < 0.05$). 그러나 고지방식의 ID-I과 ID-II섭취군의 총지질 함량/간의 총 건조중량은 대조군에 비해 낮았다($p < 0.05$). 간

콜레스테롤 함량은 정상지방식의 4군간 차이가 없었으나, 간의 총 건조중량으로 환산시 10CL섭취군이 ID-I 및 ID-II섭취군에 비해 낮았다($p < 0.05$). 고지방식의 ID-I과 ID-II섭취군의 간콜레스테롤 및 간콜레스테롤 함량/간의 총 건조중량은 대조군에 비해 낮았다($p < 0.05$). 간중성지방 함량은 정상지방식 및 고지방식 공히 10CL, ID-I, ID-II섭취군에서 낮았다($p < 0.05$). 간중성지방 함량을 간의 총 건조중량으로 환산시 정상지방식의 군간에는 차이가 없었으나 고지방식의 10CL, ID-I 및 ID-II섭취군에서 낮았다($p < 0.05$).

이상의 결과를 고찰해 보면 간의 콜레스테롤 및 중성지방 함량에 있어서 난소화성 텍스트린 섭취에 의한 저하효과가 인정되었으며, 그 효과의 정도는 정상지방식보다는 고지방식이의 난소화성 텍스트린 섭취군에서 더욱 컸다. 또한 고지방식의 난소화성 텍스트린 섭취군의 총지질, 콜레스테롤, 중성지방의 함량을 간 총 건조중량 당으로 환산하여 비교한 결과, 간 1g당의 함

Table 5. Effect of indigestible dextrin on liver weight and total lipid content in rats

Dietary group	Total weight		Relative weight (g/100g B.W)	Total lipid	
	(g, fresh)	(g, dry)		(mg/g, dry liver)	(mg/total liver)
Expt. 1(Normal fat diet)					
0.5CL	9.57±0.40 ^{1bc2)}	3.04±0.11 ^{bc}	2.54±0.08 ^a	216.7±14.8 ^{NS3)}	659.2±53.1 ^{ab}
10CL	8.50±0.35 ^c	2.66±0.1 ^c	2.29±0.04 ^b	202.5±9.0	543.3±40.0 ^b
ID-I	10.5 ±0.49 ^{ab}	3.29±0.16 ^{ab}	2.53±0.07 ^a	229.1±11.6	691.6±49.9 ^{ab}
ID-II	11.1 ±0.64 ^a	3.58±0.23 ^a	2.70±0.06 ^a	222.1±11.7	747.8±72.0 ^a
Expt. 2(High fat diet)					
0.5CL	17.9 ±0.57 ^a	8.67±0.44 ^a	4.17±0.09 ^{NS}	565.8±13.1 ^{NS}	4941.1±356.4 ^a
10CL	16.2 ±1.21 ^{ab}	7.93±0.59 ^{ab}	3.94±0.12	582.5±13.8	4640.0±403.8 ^{ab}
ID-I	14.9 ±0.61 ^b	6.78±0.35 ^b	4.01±0.12	553.3±21.8	3791.1±320.0 ^{bc}
ID-II	14.1 ±1.07 ^b	6.49±0.72 ^b	3.75±0.14	562.5±19.2	3326.8±266.2 ^c

1) Mean±S.E. for eight rats per groups

2) Values in a column of each experiment with different superscripts are significantly different($p < 0.05$)

3) NS, not significantly different

Table 6. Effect of indigestible dextrin on liver cholesterol and triglyceride contents in rats

Dietary group	Total cholesterol		Triglyceride	
	(mg/g, dry liver)	(mg/total liver)	(mg/g, dry liver)	(mg/total liver)
Expt. 1(Normal fat diet)				
0.5CL	18.5±0.85 ^{1NS3)}	56.8±4.2 ^{ab2)}	95.1 ±7.8 ^a	278.6±28.6 ^{NS}
10CL	18.5±1.86	48.8±2.6 ^b	74.4 ±3.8 ^{bc}	205.8±12.9
ID-I	19.3±1.02	66.6±3.8 ^a	75.7 ±5.3 ^b	253.2±28.0
ID-II	19.5±1.04	65.9±6.5 ^a	57.8 ±5.4 ^c	201.4±27.2
Expt. 2(High fat diet)				
0.5CL	155.7±5.2 ^a	1352.3±90.5 ^a	185.1 ±8.4 ^a	1688.6±198.9 ^a
10CL	158.9±7.6 ^a	1249.1±92.8 ^a	117.1 ±6.3 ^b	1027.5±115.4 ^b
ID-I	127.8±4.3 ^b	889.9±60.7 ^b	47.87±3.3 ^d	359.7±10.5 ^c
ID-II	120.4±11.4 ^b	722.8±76.1 ^b	83.27±16.2 ^c	449.5±111.9 ^c

1) Mean±S.E. for eight rats per groups

2) Values in a column of each experiment with different superscripts are significantly different($p < 0.05$)

3) NS, not significantly different

량으로 측정시보다, 함량이 더욱 뚜렷하게 낮아졌음을 볼 수 있었다. 전체적으로 난소화성 덱스트린보다는 적지만 10% 셀룰로오스 역시 간중성지방 함량을 저하시켰다.

4. 심장중량과 지질농도

난소화성 덱스트린의 심장중량, 심장총지질, 심장콜레스테롤 및 심장중성지방에 대한 영향을 Table 7과 8에 제시하였다. 심장중량은 정상지방식에서는 군간에 차이가 없었고 고지방식에서는 ID-II섭취군에서 낮았다 ($p < 0.05$). 심장의 체중에 대한 상대무게도 정상지방식의 군간에는 차이가 없었으나, 고지방식의 10CL섭취군이 다른 군에 비해 낮았다 ($p < 0.05$). 심장총지질 함량은 정상지방식의 군간 차이가 없었고, 고지방식의 ID-II섭취군이 높게 나타났다. 심장의 총 건조중량으로 환산된 총지질 함량은 정상지방식의 10CL섭취군에서 ID-I 및 ID-II섭취군에 비해 낮았다 ($p < 0.05$). 고지방식의 군간에는 차이가 없었다. 심장콜레스테롤 함량은

정상지방식의 ID-II섭취군이 낮았고 ($p < 0.05$), 고지방식에서는 유의적인 차이는 없었으나 ID-I과 ID-II섭취군이 낮은 경향을 보였다. 심장 콜레스테롤함량/심장 건조중량은 정상식의 ID-II섭취군이 대조군에 비해 낮은 경향을 보였으며, 고지방식의 ID-I 및 ID-II섭취군도 대조군에 비해 낮은 경향을 보였다. 심장중성지방 함량은 정상지방식과 고지방식의 군간에 차이가 없었다.

심장에 대한 난소화성 덱스트린 섭취효과는 일관성 있게 나타나지 않았다. 즉, 심장콜레스테롤 함량은 정상지방식의 난소화성 덱스트린식 군에서 낮았으나, 총지질 함량은 고지방식의 난소화성 덱스트린군에서 높게 나타났고, 중성지방 함량은 군간 유의적인 차이를 보이지 않았다.

5. 변중량, 변 중 수분함량 및 변 중 지질 배설량

난소화성 덱스트린의 변 배설, 변지질 배설 및 변 bile acid 배설에 대한 영향을 Table 9와 10에 제시하였다. 변배설량은 정상지방식과 고지방식의 10CL섭취

Table 7. Effect of indigestible dextrin on heart weight and total lipid contents in rats

Dietary group	Total weight		Relative weight (g/100g B.W.)	Total lipid	
	(g, fresh)	(g, dry)		(mg/g, dry heart)	(mg/total heart)
Expt. 1(Normal fat diet)					
0.5CL	1.15 ± 0.06 ^{1)NS3)}	0.25 ± 0.01 ^{b2)}	0.30 ± 0.01 ^{NS}	120.0 ± 10.0 ^{NS}	27.1 ± 0.01 ^{ab}
10CL	1.18 ± 0.03	0.25 ± 0.01 ^b	0.32 ± 0.01	111.7 ± 10.0	22.5 ± 0.01 ^b
ID-I	1.26 ± 0.03	0.28 ± 0.01 ^a	0.30 ± 0.01	107.5 ± 10.0	33.8 ± 0.01 ^a
ID-II	1.29 ± 0.01	0.28 ± 0.01 ^a	0.31 ± 0.01	130.0 ± 10.0	36.0 ± 0.01 ^a
Expt. 2(High fat diet)					
0.5CL	1.32 ± 0.02 ^a	0.3 ± 0.0 ^a	0.31 ± 0.01 ^a	203.7 ± 10.0 ^b	60.1 ± 10.0 ^{NS}
10CL	1.21 ± 0.07 ^{ab}	0.29 ± 0.02 ^{ab}	0.29 ± 0.01 ^b	230.0 ± 10.0 ^{ab}	66.2 ± 10.0
ID-I	1.18 ± 0.05 ^{ab}	0.27 ± 0.01 ^{ab}	0.32 ± 0.01 ^a	227.5 ± 20.0 ^{ab}	62.5 ± 10.0
ID-II	1.01 ± 0.14 ^b	0.25 ± 0.02 ^b	0.31 ± 0.01 ^a	323.7 ± 70.0 ^a	78.7 ± 20.0

1) Mean ± S.E. for eight rats per groups
 2) Values in a column of each experiment with different superscripts are significantly different
 3) NS, not significantly different

Table 8. Effect of indigestible dextrin on heart cholesterol and triglyceride contents in rats

Dietary group	Total cholesterol		Triglyceride	
	(mg/g, dry heart)	(mg/total heart)	(mg/g, dry heart)	(mg/total heart)
Expt. 1(Normal fat diet)				
0.5CL	12.3 ± 1.41 ^{1)NS2)}	2.73 ± 0.45 ^{ab}	45.7 ± 6.2 ^{NS3)}	12.3 ± 2.1 ^{NS}
10CL	10.1 ± 0.33 ^a	2.56 ± 0.13 ^{ab}	60.0 ± 8.4	14.6 ± 1.7
ID-I	10.4 ± 0.45 ^a	3.14 ± 0.18 ^a	59.4 ± 10.0	17.2 ± 3.2
ID-II	7.91 ± 0.44 ^b	2.14 ± 0.14 ^b	73.1 ± 11.2	19.9 ± 4.4
Expt. 2(High fat diet)				
0.5CL	38.2 ± 6.1 ^{NS}	11.3 ± 1.8 ^{ab}	74.31 ± 16.1 ^{NS}	22.3 ± 4.9 ^{NS}
10CL	30.9 ± 9.9	13.8 ± 1.7 ^a	58.18 ± 5.1	17.7 ± 1.6
ID-I	19.1 ± 7.1	5.46 ± 2.2 ^b	75.5 ± 9.3	21.0 ± 2.4
ID-II	24.1 ± 2.9	5.50 ± 0.6 ^b	55.7 ± 7.1	13.4 ± 1.6

1) Mean ± S.E. for eight rats per groups
 2) Values in a column of each experiment with different superscripts are significantly different
 3) NS, not significantly different

군이 각각 다른군에 비해 약 4배, 1.5배 정도 많았으며 변 건조중량 역시 정상식의 10CL섭취군이 높았고($p < 0.05$), 고지방식의 10CL섭취군도 다른군에 비해 높은 경향을 나타냈다. 변 중 수분함량은 모든 군간 차이를 보이지 않았다. 변총지질과 중성지방 배설량은 1일 변배설량이 높은 10CL섭취군이 다른군에 비해 높았을 뿐($p < 0.05$), 난소화성 텍스트린의 섭취 효과는 관찰할 수 없었다. 그러나 변콜레스테롤 배설량은 고지방식의 ID-II섭취군이 대조군에 비해 유의적으로 높았다($p < 0.05$). 변 중 bile acid 배설량을 측정한 결과 정상지방식에서는 10CL과 ID-II 섭취군에서 고지방식에서는 10CL 섭취군에서 높았다($p < 0.05$).

Pectin, guar gum, soybean polysaccharide 등의 수용성 식이섬유는 콜레스테롤 저하 작용이 뚜렷한 것으로 널리 알려져 왔다³⁰⁾. 그 메커니즘으로 이들 식이섬유와 bile acid가 결합하여 변으로의 bile acid 배설을

촉진시키고 bile acid의 pool을 유지하기 위해 더 많은 콜레스테롤이 bile acid로 분해된다는 것이 있고, 둘째는 식이섬유와 결합된 bile acid는 micelle 형성을 불가능하게 하여 결과적으로 소장 내에서 지방과 콜레스테롤의 solubilization을 저하시켜 그들의 흡수를 저하시킨다는 것이다³¹⁾. 본 실험에서 난소화성 텍스트린을 섭취(고지방식의 ID-II섭취시)시 변 중 콜레스테롤과 bile acid의 배설이 증가되었던 결과로부터, 난소화성 텍스트린이 다른 수용성 식이섬유와 마찬가지로 혈청 콜레스테롤 저하 효과를 가지고 있음이 증명되었다.

췌장 유래 분해효소에 의해 소화되지 않는 저항성전분(resistant starch)은 대장에 도달하여 대장내 미생물에 의해 분해되는 등 발효성 식이섬유(fermented dietary fiber)와 유사한 생리적 기능인 콜레스테롤 저하효과가 입증되었다³²⁾. 즉 저항성전분은 대장에서 분해되어 단쇄지방산(short chain fatty acids)을 생성

Table 9. Effect of indigestible dextrin on fecal output and fecal water content in rats

Dietary group	Fecal output		Fecal water content ⁴⁾
	(g wet wt/day)	(g dry wt/day)	(%)
Expt. 1(Normal fat diet)			
0.5CL	1.13±0.15 ^{1) b2)}	0.67±0.11 ^b	55.9 ±10.8 ^{NS3)}
10CL	4.06±0.42 ^a	2.77±0.1 ^a	73.6 ±2.9
ID-I	1.00±0.13 ^b	0.43±0.2 ^b	53.33±4.3
ID-II	0.98±0.19 ^b	0.49±0.12 ^b	67.0 ±5.1
Expt. 2(High fat diet)			
0.5CL	1.58±0.13 ^b	1.10±0.08 ^{NS}	69.4 ±6.0 ^{NS}
10CL	2.74±0.54 ^a	2.12±0.75	83.1 ±2.4
ID-I	1.59±0.29 ^b	0.99±0.10	70.9 ±10.3
ID-II	1.31±0.15 ^b	0.74±0.10	60.7 ±8.9

1) Mean±S.E. for eight rats per groups

2) Values in a column of each experiment with different superscripts are significantly different

3) NS, not significantly different

4) Fecal water content(%) = $\frac{\text{Wet wt.} - \text{Dry wt.}}{\text{Wet wt.}} \times 100$

Table 10. Effect of indigestible dextrin on fecal total lipid, cholesterol, triglyceride and bile acid excretion in rats

Dietary group	Total lipid	Total cholesterol	Triglyceride	Bile acids
	(mg/day)	(mg/day)	(mg/day)	mmol/day
Expt. 1(Normal fat diet)				
0.5CL	63.4±14.1 ^{1) b2)}	6.1±1.23 ^b	22.2±3.8 ^b	0.53±0.38 ^b
10CL	185.1±6.7 ^a	11.0±0.80 ^a	92.2±3.3 ^a	4.47±0.98 ^a
ID-I	50.8±5.5 ^b	6.1±1.04 ^b	14.5±0.7 ^b	0.28±0.06 ^b
ID-II	49.2±11.7 ^b	9.2±2.19 ^{ab}	16.4±3.9 ^b	5.21±1.31 ^a
Expt. 2(High fat diet)				
0.5CL	201.4±9.0 ^{NS3)}	78.0±8.0 ^b	36.8±2.6 ^b	0.71±0.31 ^b
10CL	179.0±54.5	45.0±9.9 ^c	83.5±30.2 ^a	13.2 ±2.61 ^a
ID-I	211.6±18.5	79.7±11.2 ^b	33.1±3.3 ^b	2.31±0.99 ^b
ID-II	157.2±36.7	119.6±1.9 ^a	28.8±2.1 ^b	7.04±0.95 ^a

1) Mean±S.E. for eight rats per groups

2) Values in a column of each experiment with different superscripts are significantly different

3) NS, not significantly different

하여 대장의 pH를 낮추고 생성된 단쇄지방산은 간의 HMG-CoA reductase의 활성을 저하시켜 콜레스테롤 합성을 저하시키는 등 건강에 유익한 작용을 하는 것으로 알려져 있다³⁹⁾. 난소화성 텍스트린 역시 회장 유래 효소에 의해 소화되지 않으며 대장에 도달한다는 사실이 이미 보고된 바 있고, 단쇄지방산으로 분해되었다는 연구결과⁴⁰⁾가 있다. 또한 본인에 의한 다른 실험 결과⁴¹⁾로부터 난소화성 텍스트린을 섭취한 쥐의 대장 pH가 낮았음도 관찰할 수 있었다. 따라서 난소화성 텍스트린 섭취시 변 중 콜레스테롤과 bile acid 배설이 증가한 결과는 이 식이의 혈청콜레스테롤 수준 저하 메커니즘의 하나로 제시될 수 있다.

요약 및 결론

옥수수 전분을 열 분해하여 생성된 난소화성 텍스트린 ID-I과 ID-II의 영양적, 생리적 기능을 연구하기 위해 난소화성 텍스트린의 체내 지질대사 개선효과를 정상수준(실험 1) 및 고수준(실험 2)의 지방 함유식을 섭취한 흰쥐를 이용하여 검토하였다.

식이내 지방 함량이 5%, 콜레스테롤을 무첨가한 정상지방식과, 식이내 지방 함량이 18%, 콜레스테롤 1%를 첨가한 고지방식을 기본식으로 하고 이를 식이섭유의 종류와 함량을 달리한 4종의 실험식으로 각각 나누어 8주간 급여하였다. 혈청, 간조직, 심장조직의 지질함량, 혈당수준 및 변 중 지질 배설량을 측정하였고, 실험 결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 난소화성 텍스트린 섭취시 혈청 및 간조직의 콜레스테롤 함량이 현저히 저하되었다.

2) 난소화성 텍스트린 섭취시 혈당수준 저하효과를 관찰할 수 있었으며, 이는 난소화성 텍스트린 식이의 느린 소화관 통과로 인해 소화흡수의 절대량이 낮았기 때문이라고 사료된다.

3) 셀룰로오스 10% 식이는 정상지방식이나 고지방식을 섭취한 쥐의 혈청의 지질수준을 저하시키지 않았으나, 혈당수준과 간의 중성지방 함량을 저하시켰다.

4) 난소화성 텍스트린 섭취시 심장조직의 지질함량에 대한 영향은 식이내 지방함량 및 섬유 급원에 따라 일관성 있는 결과를 보이지 않았다.

5) 셀룰로오스 10%식이 섭취는 1일 변배설량을 현저히 증가시켰는데, 정상지방식의 경우는 다른군에 비해 약 4배 높은 변배설량, 고지방식의 경우는 약 2배 높은 변배설량을 보였다. 그러나 난소화성 텍스트린식 섭취로 인한 변배설량 증가는 없었다.

6) 난소화성 텍스트린 식이 섭취시 혈청 및 간 콜레

스테롤 함량 저하는 변 중의 높은 콜레스테롤과 담즙산 배설량에 기인한다.

결론적으로 난소화성 텍스트린 섭취는 정상지방식이나 고지방식을 섭취한 흰쥐의 혈중지질 저하효과(hypocholesterolemic effects) 및 혈중콜레스테롤 저하효과(hypocholesterolemic effects)를 유도하며, 그 메커니즘으로 콜레스테롤과 담즙산의 분 중 배설을 촉진시키는 것으로 사료된다.

Literature cited

- 1) Anderson JW, Linda S, Sieling B, Chen WJL, Petro MS, Story JA. Hypocholesterolemic effects of oat bran or bean intakes for hypercholesterolemic men. *Am J Clin Nutr* 40 : 1146-1155, 1984
- 2) Anderson JW, Chen WJL. Plant fiber. Carbohydrate and lipid metabolism. *Am J Clin Nutr* 32 : 346-363, 1979
- 3) Story JA. Dietary fiber and lipid metabolism. *Proc Soc Exp Biol Med* 180 : 447-452, 1985
- 4) Topping DL. Soluble Fiber polysaccharides : Effects on plasma cholesterol and colonic fermentation. *Nutr Rev* 49 : 195-203, 1991
- 5) Superko HR, Haskell WL, Sawrey-Kubicek L, Farquhar JW. Effects of solid and lipid guar gum on plasma cholesterol and triglyceride concentrations in moderate hypercholesterolemia. *Am J Cardiol* 62 : 51-55, 1988
- 6) Iiiman RJ, Topping DL. Effects of dietary oat bran on faecal steroid excretion, plasma volatile fatty acids and lipid synthesis in rats. *Nutr Res* 5 : 839-46, 1985
- 7) Topping DL, Iiiman RJ. Bacterial fermentation in the human large bowel : Time to change from the rough age model of dietary fiber? *Med J Aust* 144 : 307-9, 1986
- 8) Wakabayashi S, Satouchi M, Nogami Y, Ohkuma K, Matsuoka A. Effect of indigestible dextrin on cholesterol metabolism in rats. *J Jap Soc Nutr Food Sci* 44 : 471-478, 1991
- 9) Chen WJL, Anderson JW, Jennings D. Propionate mediate the hypocholesterolemic effects of certain soluble plant fiber in cholesterol-fed rats. *Pro Soc Exp Biol Med* 175 : 215-218, 1984
- 10) Iiiman RJ, Topping DL, McIntosh GH, Trimble RP, Storer GB, Taylor MN, Cheng B-Q. Hypocholesterolemic effects of dietary propionate : Studies in whole animals and perfused rat liver. *Ann Nutr Metab* 32 : 97-107, 1988
- 11) Beaulieu KE, McBurney MI. Changes in pig serum lipids, nutrient digestibility and sterol excretion during cecal infusion of propionate. *J Nutr* 121 : 1730-1737, 1991
- 12) Remesy C, Lebrat M-A, Gamet L, Demigen C. Cecal fermentations in rats fed oligosaccharides(inulin)are mo-

- dulated by dietary calcium level. *Am J Physiol* 64 : G855-G862, 1993
- 13) Arjmandi BH, Craig J, Nathani S, Reeves RD. Soluble dietary fiber and cholesterol influence in vivo hepatic and intestinal cholesterol biosynthesis in rats. *J Nutr* 122 : 1559-1565, 1992
 - 14) Yang JR, Suh MJ, Song YS. Effects of dietary fibers on cholesterol metabolism in cholesterol-fed rats. *J Kor Soc Food Nutr* 25(3) : 392-398, 1996
 - 15) Cummings JH, Beatty ER, Kingman SM, Bingham SA, Englyst, HN. Digestion and physiological properties of resistant starch in the human large bowel. *Br J Nutr* 75 : 733-747, 1996
 - 16) AOAC : official methods of analysis, 14th edition, Association of Official Analytical Chemists, Washington DC, pp.249, 1984
 - 17) Marchal LM, Jonkers J, Tramper J. The use of freezing-point depression for the theoretical dextrose equivalent measurement. *Starch* 48(6) : 220-224, 1996
 - 18) Food Code, Korea Food Industry Association, pp.36-38, pp.63-65, 1997
 - 19) Ohkuma K, Matsuda I, Katta Y, Hanno Y. Pyrolysis of starch and its digestibility by enzymes. *Denpun Kagaku* 37(2) : 107-114, 1990
 - 20) Prosky L, Asp NG, Furda I, Devries JW, Schweizer TF, Harland BF. Determination of total dietary fiber in foods and food products. *J Assoc Off Chem* 71(5) : 1017-1023, 1988
 - 21) Fringe CS, Dunn RM. The colorimetric method for determination of serum total lipids based on the sulfophosphovanillin reaction. *Am J Clin Patho* 53 : 89-92, 1980
 - 22) Friedwald WT, Levy RT, Fridrickson DS. Estimation of the concentration of low density lipoprotein cholesterol in plasma without the use of the preparative ultracentrifuge. *Clin Nutr* 18 : 499-502, 1972
 - 23) Folch J, Less M, Sloestanley GH. A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues. *J Biol Chem* 226 : 497-502, 1957
 - 24) Mittinen TA, Ahrens EH, Grundy SM. Quantitative isolation and gas-liquid chromatographic analysis of total dietary and fecal neutral steroids. *J Lipid Res* 6 : 411-424, 1965
 - 25) Wakabayashi S, Satouchi M, Ueda Y, Ohkuma K. Acute toxicity and mutagenicity studies of indigestible dextrin and its effect on bowel movement of the rat. *J Food Hyg Soc Jpn* 33 : 11-16, 1992
 - 26) Anderson JW, Floore TL, Geil PB, O'Neal DS, Balm TK. Hypocholesterolemic effects of different bulk forming hydrophilic fibers as adjuncts to dietary therapy in mild to moderate hypercholesterolemia. *Arch Intern Med* 151 : 1597-1602, 1991
 - 27) Nomura M, Nakajima Y, Abe H. Effects of long-term administration of indigestible dextrin as soluble dietary fiber on lipid and glucose metabolism. *J Jpn Soc Nutr Food Sci* 45 : 21-25, 1992
 - 28) Wakabayashi S, Satouchi M, Ueda Y, Ohkuma K, Matsuoka A. Effect of indigestible dextrin on insulin secretion. *Diabetes* 40(suppl 1) : 487A, 1991
 - 29) Kang HS, Lee YS, Park YJ. Effect of indigestible dextrin on cecal functions and fecal states of rats.(submitted to)
 - 30) Anderson JW, Jones AE, Riddele-Mason S. Ten different dietary fibers have significantly different effects on serum and liver lipids of cholesterol-fed rats. *J Nutr* 124 : 78-83, 1994
 - 31) Gallaher D, Schneeman BO. Intestinal interaction of bile acids, phospholipids, dietary fibers, and cholestyramine. *Am J Physiol* 250 : G420-G426
 - 32) Cummings JH, Beatty ER, Kingman SM, Bingham SA, Englyst H. Digestion and physiological properties of resistant starch in the human large bowel. *Br J Nutr* 75 : 733-747, 1996
 - 33) Phillips J, Muir JG, Birkett A, Lu ZX, Jones GP, O'Dea K, Young GP. Effect of resistant starch on fecal bulk and fermentation-dependent events in humans. *Am J Clin Nutr* 62 : 121-130, 1995