

식이섬유의 기능이 강화된 저항전분(HI-MAIZE DIET)의 생리적 특성

최양문¹ · 오성훈² · 유광원³ · 신광순⁴ · 나경수⁵ · 박철수⁶ · 김경미⁷ · 서형주^{7*}

¹신성대학 외식산업전공, ²안산공과대학 식품생명공학과, ³국립청주과학대학 김치식품과학과,
⁴경기대학교 식품생물공학과, ⁵대구공업대학 식품영양과,
⁶광동제약(주)중앙연구소, ⁷고려대학교 병설 보건대학 식품영양과

Physiological Characteristics of Resistant Starch (HI-MAIZE DIET) Fortified with Other Dietary Fiber Components

Yang Mun Choi¹, Sung Hoon Oh², Kwang Won Yu³, Kwang Soon Shin⁴,
Kyung Soo Ra⁵, Chul Soo Park⁶, Kyung Mi Kim⁷ and Hyung Joo Suh^{7*}

¹Dept. of Food Service and Industry, Shinsung College, Chungnam 343-860, Korea

²Dept. of Food and Biotechnology, Ansan College of Technology, Ansan 425-792, Korea

³Dept. of Kimchi and Food Science, Chongju National College of Science and
Technology, Chungbuk 368-701, Korea

⁴Dept. of Food Science and Biotechnology, Kyonggi University, Suwon 443-760, Korea

⁵Dept. of Food and Nutrition, Daegu Technical College, Daegu 704-721, Korea

⁶Central Research Institute, Kwang Dong Pharmaceutical Co., Ltd., Seoul 135-090, Korea

⁷Dept. of Food and Nutrition, College of Health Sciences, Korea University, Seoul 136-703, Korea

Abstract

This study was performed to investigate the influences of resistant starch (HM: HI-MAIZE) and HM-D (HI-MAIZE DIET) fortified with D-factor (consisted of Psyllium husk, polydextrose and hydrocitric acid) on the glucose and bile acid absorption and production of short chain fatty acids (SCFA). HM-D absorbed more glucose and bile acid than did HM. The glucose transport of HM and HM-D against dialysis membrane showed 77% and 68% for 4 h, respectively. After 24 h, bile acid transport of HM and HM-D showed 65% and 62.3%, respectively. The HM and HM-D produced 217.8 mM and 264.0 mM of SCFA, respectively. The production of butyric acid in HM-D (32.7 mM) showed higher than that of HM (26.9 mM). The addition of D-factor to HM increased the physiological function of dietary fiber through the glucose and bile acid absorption and production of SCFA.

Key words: resistant starch, dietary fiber, short chain fatty acid, glucose, bile acid, membrane transport

서 론

인간의 소화효소로서 소화되지 않는 다당류를 주체로 한 고분자 성분의 총체로서 현재 정의되고 있는 식이섬유(1,2)는 체내에서 흡수되어 이용되지 못하므로 1965년 이전에는 영양학적 측면에서의 역할에 대한 관심이 거의 없었다. 1970년대 이래 많은 연구(2,3)에 의해 식이섬유의 건강증진과 질병예방 및 치료효과가 입증됨에 따라 식이섬유에 대한 관심이 증가되었다. 또한 최근 기능성 식품에 대한 관심이 고조됨에 따라 생리활성 성분으로 식이섬유에 대한 관심은 더욱 높아지고 있다(4).

식이섬유는 혈당을 감소하고 체중을 조절하며 심혈관계의 건강을 유지하고 변비를 줄이고 대장의 pH를 낮추어 대

장의 건강을 개선하는 것으로 알려져 있다. 또한 여러 가지 성인병과의 연구가 계속되면서 식이섬유 종류에 따른 효과들이 보고되고 있어 중요한 생리활성물질로 필요한 권장량을 제시하고 식생활지침이나 기초식품으로서 복합탄수화물로 섭취를 권장하고 있다(5). 그러나 식이섬유를 포함하거나 첨가한 식품은 강한 냄새나 거친 느낌을 주어 품질이 저하될 뿐만 아니라 수분흡수력이 높아 저장중에 식품의 변질이 일어날 수 있어 식품에 식이섬유 첨가량을 증가하기는 매우 어렵다.

반면에 비슷한 생리적 특성을 갖는 저항전분은 부드럽고 냄새가 온화하며 입자가 작고 수분흡수력이 낮아 가공식품의 품질을 유지 개선할 수 있어(6), 비전분 다당류보다 많이 첨가할 수 있다. 저항전분은 대장의 건강에 도움을 주는 단쇄지방산(SCFA, short chain fatty acid)의 생성과 그중 bu-

*Corresponding author. E-mail: suh1960@unitel.co.kr
Phone: 82-2-940-2853, Fax: 82-2-941-7825

tyric acid 비율이 높아 대장암의 억제 효과 및 prebiotic fiber 역할을 하는 것으로 알려져 있으며 불용성 식이섬유의 변통을 개선하고 변비를 줄이는 효과를 모두 갖고 있는 것으로 보고되고 있다(7,8). 또한 무기질의 흡수 저해가 없고 대장에서 수분흡수를 조절하여 콜레라의 감염으로 유발된 설사를 줄일 수 있다고 보고되었다(9,10).

따라서 본 논문에서는 저항전분의 식이섬유로서 기능을 한층 강화하고자 첨가물 D-factor(차전자피, polydextrose, hydrocitric acid로 구성)를 첨가하여 당과 지방산의 흡수 배출 효과와 장내 세균에 의한 단쇄지방산의 생성에 미치는 효과를 측정하여 D-factor 첨가에 의한 식이섬유 기능강화를 보고하고자 한다.

재료 및 방법

실험재료

시판용 저항전분 HI-MAIZE1043K(National Starch & Chemical Co., New Jersey, USA)를 구입하여 사용하였으며, 반투막 투과법에 사용된 반투막은 분자량 한계가 비교적 낮은 투석막(MW cut-off<1,200)을 사용하였으며, taurocholic acid는 Sigma Chemical Co.(St. Louis, Mo, USA)에 구입하여 사용하였다. 이외의 일급이상의 분석용 시약을 사용하였다.

Glucose 흡수저해효과

식이섬유의 장관내 흡수저해 효과를 측정하기 위하여 glucose가 투석막을 빠져나오는 원리를 이용하였다(11). 넓이 3.2 cm의 투석막(MW cut-off<1,200)을 10 cm의 길이로 자른 후 0.1% sodium azide 용액에 하룻밤 담근 다음 사용하였다. 투석막 한쪽 끝을 묶은 후 투석막 내부에 시료 0.2 g을 넣고 glucose 36 mg을 용해시킨 0.1% sodium azide 용액 6 mL를 넣어 나머지 투석막 끝도 묶은 후 뚜껑이 있는 용기(150 mL 용량)에 넣고 12시간동안 수화시켰다. Control의 경우 glucose 용액만을 사용하였다. 이 용기에 0.1% sodium azide 용액 100 mL를 첨가한 후 37°C water bath에 용기를 잠기게 하여 100 rpm으로 24시간 동안 교반하였다. 일정시간 간격으로 투석외액 1 mL씩을 취하여 glucose 함량을 Somogyi-Nelson법(12)에 의해 분석하였다. Glucose 흡수 억제 지수는 아래와 같이 계산하였다.

Glucose retardation index (%)

$$= 100 - \frac{\text{Total glucose diffused from sack containing fiber}}{\text{Total glucose diffused from sack without fiber}} \times 100$$

Bile acid 흡수저해효과

Glucose의 경우와 마찬가지로 유리상태의 bile acid가 투석막을 빠져나오는 원리를 이용하였다(11). 즉, 투석막(MW cut-off<1,200) 내부에 시료 0.2 g을 넣고 0.1% sodium azide

용액을 함유한 0.05 M phosphate buffer(pH 7.0)에 15 mM taurocholic acid 6 mL를 넣어 투석막 끝을 묶은 다음 뚜껑이 있는 150 mL 용량의 용기에 넣고 12시간 동안 수화시켰다. Control은 bile acid 용액만을 넣었다. 이 용기에 0.1% sodium azide 용액 100 mL를 첨가한 후 37°C water bath에 용기를 잠기게 하여 100 rpm으로 24시간 동안 교반하였다. 일정시간 간격으로 투석외액 1 mL씩을 취하여 taurocholic acid 함량을 Boyd 등의 방법(13)에 따라 측정하였다. Bile acid 흡수억제 지수는 아래와 같이 계산하였다.

Bile acid retardation index (%)

$$= 100 - \frac{\text{Total bile acid diffused from sack containing fiber}}{\text{Total bile acid diffused from sack without fiber}} \times 100$$

장내세균에 의한 단쇄지방산 생성

지난 6개월간 항생제를 먹지 않은 사람의 대변 40 g을 anaerobic dilution 용액(14) 360 mL에 분산시킨 다음 분쇄기로 30초간 갈았다. 그 후 두겹의 무명천에 통과시킨 여액을 inoculum으로 사용하였다. 혐기성 배지는 Titgemeyer 등(15)이 사용한 혐기성 배지 30 mL과 0.35 g의 시료를 혼합하여 가압살균 후 37°C로 냉각되었을 때 CO₂ 97%, H₂ 3%의 혼합가스 하에서 inoculum 5 mL를 첨가하여 혐기적 조건, 37°C에서 24시간 배양하였다. 배양 후 단쇄 지방산의 함량은 Lebet 등의 방법(16)에 따라 HP-FFAP capillary column(30 m×0.53 mm; 1 μm)을 사용하였다. 이때 HP gas-chromatograph 5890 Series II, HP 7673 GC/SFC Injector와 Helium을 이동상으로 사용하였다.

결과 및 고찰

식이섬유의 기능을 가지는 저항전분(HM: HI-MAIZE)과 저항전분에 차전자피, polydextrose와 hydrocitric acid를 포함한 탄수화물로 구성된 D-factor를 10% 가하여 제조한 식이섬유(HM-D: HI-MAIZE DIET)의 특성을 비교하기 위하여 glucose 및 bile acid 흡수저해효과 및 장내 세균에 의한 혐기적 발효산물인 단쇄지방산의 함량을 각각 비교하였다.

Glucose 흡수저해효과

반투막을 이용하여 glucose 흡수저해효과를 측정한 결과(Table 1), 저항전분을 첨가하지 않은 control과 비교시 각 시료 첨가시 glucose 흡수저해효과가 있는 것으로 나타났다. HM에 비하여 HM-D의 경우 glucose 저해효과가 다소 우세한 것으로 나타났다. 이는 저항전분이 지니는 glucose 저해효과가 D-factor 첨가에 의해 증가하는 것을 알 수 있었다. 이러한 glucose 저해효과는 미역의 식이섬유가 30%, 배추나 사과 등의 경우 15~20%내외이며, 쌀겨, 보리쌀, 굴의 경우 10%내외의 glucose 저해효과(17)를 보인 결과 중 사과나 배추

Table 1. Retarding effect of HM and HM-D on the membrane transport of glucose

Sample	Glucose retardation index		
	30 min	60 min	120 min
Control	0	0	0
HM	18.2±2.4 ¹⁾	20.3±0.8	21.1±1.1
HM-D	23.5±3.2	25.2±1.2	26.3±1.3

¹⁾Mean ± standard deviation.

의 식이섬유의 glucose 저해효과와 비슷한 효과를 보였다.

식이섬유의 glucose 흡수저해효과는 Schneeman(3)에 의하면 식이섬유 구조내에 glucose를 붙잡아 가두는 효과로 non-specific binding으로 기대된다. 특히 점성이 높은 수용성 식이섬유의 경우 그 효과가 높게 나타났는데 그 이유로서는 이들이 물과 함께 점성이 높은 gel 구조를 형성하여 물성의 변화와 더불어 glucose를 가두는 능력이 증가하기 때문이다. 따라서 D-factor에 함유된 차전자피가 점성을 증가시켜 glucose 흡수저해 효과를 증대시키는 것으로 추정된다.

Glucose 투석과정을 24시간 연장시켜 살펴본 결과(Fig. 1), 투석막을 통한 glucose 투과는 4시간 경과시 HM은 77%와 HM-D는 68%를 보였으며, 24시간까지 연장시 glucose는 거의 전부 투과되었다. Table 1의 결과와 같이 HM에 비하여 D-factor를 첨가한 HM-D의 glucose 흡수저해효과가 우수하였다.

식이섬유의 첨가는 음식물을 통한 glucose 섭취시 초기에 흡수저해효과가 높기 때문에 혈액내에 glucose의 완만한 상승에 도움을 줄 수 있으나 음식물 섭취 시간이 길어짐에 따라 glucose의 흡수저해효과는 떨어질 것으로 예상된다(17).

Bile acid 흡수저해효과

투석막을 이용한 bile acid 흡수저해효과를 알기 위하여 2, 4, 6시간으로 나누어 살펴본 결과(Table 2), control과 비교시 저항전분에 의한 bile acid 흡수저해효과를 가지고 있

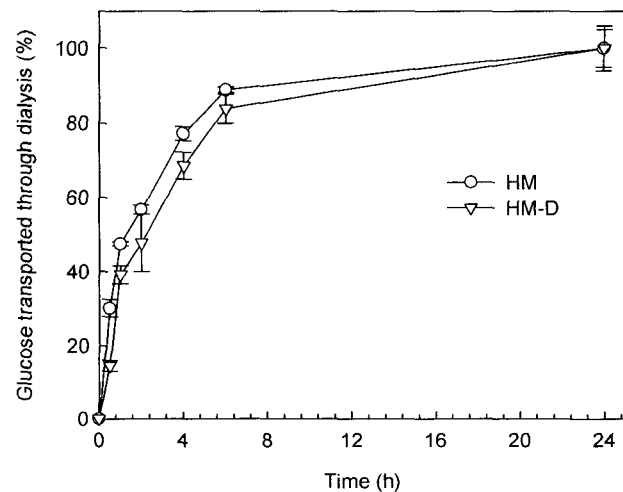


Fig. 1. Passive transport of glucose *in vitro* in presence of HM and HM-D.

Table 2. Retarding effect of HM and HM-D on the membrane transport of taurocholic acid

Sample	Bile acid retardation index		
	2 h	4 h	6 h
Control	0	0	0
HM	12.8±0.8 ¹⁾	18.5±0.5	19.2±0.9
HM-D	15.3±0.3	24.3±0.3	25.4±1.1

¹⁾Mean ± standard deviation.

음을 확인하였으며, HM 시료에 비하여 D-factor가 첨가된 저항전분의 경우 bile acid 흡수저해 효과가 우수함을 알 수 있었다.

Bile acid는 micelle 형성을 통하여 지방질 대사에 관여하지만 식이섬유의 종류에 따른 점성의 효과와 더불어 소장내에서 소수성(hydrophobic)인 bile acid와 식이섬유가 흡착됨으로써 bile acid의 분해대사 및 체내 이용성을 떨어뜨리는 것으로 보고된 바 있다(3). 그러나 식이섬유의 혈청내 cholesterol 감소효과는 Vahouny 등(18)이 지적한 바와 같이 인체 및 동물실험의 경우 식이섬유 섭취에 따른 대변내 bile acid 배설량이나 혈청내 cholesterol 감소 효과를 단순히 대변으로의 bile acid 배설 증가에 따른 cholesterol 함량 감소로 기대하기는 힘든 것으로 생각된다. Story(19)는 식이섬유와 bile acid의 결합에 의해 유리상태의 bile acid 함량 감소로 재흡수되는 담즙산의 함량에 변화를 주게 되고 궁극적으로 micelle 형성 및 지방대사에 영향을 주어 chylomicron tri-glyceride 형성 저해에 의해 cholesterol 합성이 저하될 것이라 제안하였다. 이와 더불어 식이섬유가 대장내에서 미생물에 의해 분해 생성된 단쇄지방산(SCFA) 및 식이섬유의 glucose 흡수 조절효과에 따른 insulin 및 glucagon의 분비 감소 등도 bile acid 및 cholesterol 대사에 관여할 것이라 주장하였다(20,21).

저항전분에 대한 bile acid 흡수저해효과를 24시간까지 연장한 결과(Fig. 2), 투석막을 통한 bile acid 투과는 서서히

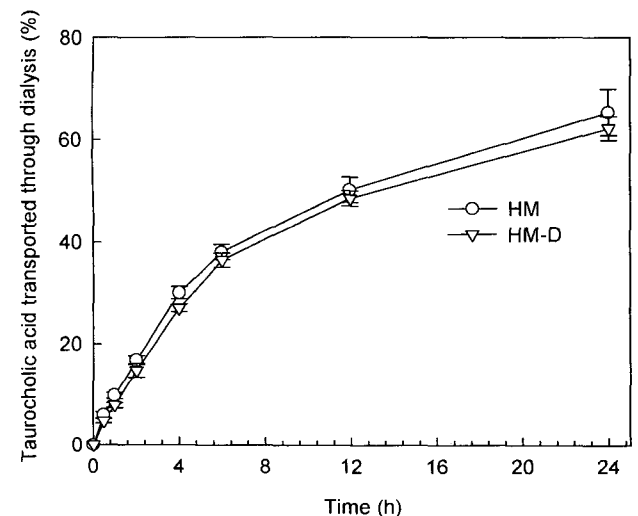


Fig. 2. Passive transport of taurocholic acid *in vitro* in presence of HM and HM-D.

일어났으며 24시간 경과시 HM과 HM-D의 경우 65%와 62.3%의 bile acid 투과가 이루어졌다. Glucose 흡수저해효과에 비하여 bile acid의 흡수저해효과는 더디게 나타났다.

장내세균에 의한 단쇄지방산 생성

소장에 있어서 흡수되지 않은 식이섬유는 장내세균에 의해 발효되어 butyrate, acetate, propionate 등의 단쇄지방산을 생성한다. 주로 식이섬유 등이 그 기질이며 단쇄지방산은 장 점막으로부터 빨리 흡수되어 장 점막세포의 에너지원으로 이용되고 있다(6-8). 또한, 면역 조절기능을 가지고 있는 것이 확인되어 알러지와 염증성 장질환에 대한 효과도 기대된다(22). 장의 건강증진에 도움을 주는 단쇄지방산 생성에 대한 HM와 HM-D의 저항전분에 영향을 측정한 결과(Fig. 3), HM 저항전분의 경우 217.8 mM, HM-D 경우 264.0 mM로 HM-D의 경우 더 많은 양의 단쇄지방산의 생성량을 보였으며, 생성된 단쇄지방산중에 butyric acid의 양이 32.7 mM로 26.9 mM의 butyric acid 생성량을 보인 HM에 비하여 단쇄지방산 생성량뿐만 아니라 질적인 면에서도 우수하였다. 앞서 언급하였듯이 식이섬유를 기질로 이용하여 단쇄지방산을 생성하고 장의 pH를 저하시킴으로써 발암물질의 생성을 저하시키며 세균의 증식으로 인한 대변 무게의 증가, 대변의 통과시간 단축, 그리고 변비에방과 같은 생리적 효과가 보고되고 있다(7,8). 단쇄지방산중 butyric acid는 그 작용이 뛰어나서 interleukin-8에 대한 억제작용 등 면역활성에 관여할 뿐만 아니라 염증성 장질환에 대한 항염증작용(23)이 기대되며, 임상적으로는 대장암 세포의 apoptosis의 유도작용과 발암 유전자의 발현억제 작용을 가지고 있는 것이 명백하여 대장암의 예방에 유용성이 기대되고 있다(24,25). 식이섬유중 저항전분은 다른 식이섬유중에 단쇄지방산의 생성량뿐만 아니라 butyric acid 생성량이 우수하여 장의 건전성에 뛰어난 효과를 지니고 있다.

따라서 위의 결과에서 알 수 있듯이 D-factor 첨가는 저항

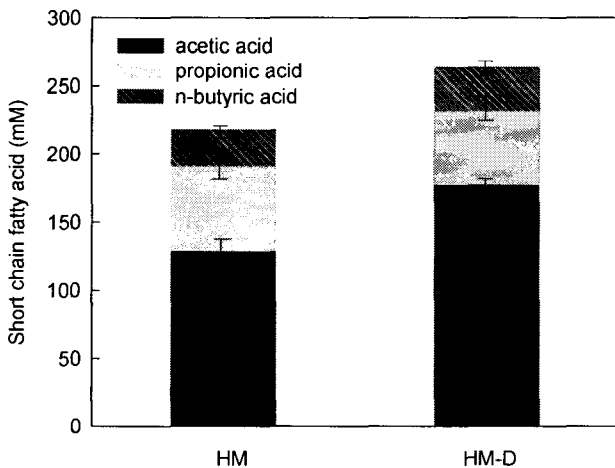


Fig. 3. Short chain fatty acid composition of fermented HM and HM-D.

전분이 지니는 식이섬유의 기능을 강화하는 것을 확인하였다.

요 약

식이섬유의 기능을 가지는 저항전분(HM: HI-MAIZE)과 저항전분에 차전자피를 포함한 탄수화물로 구성된 D-factor를 10% 가하여 제조한 식이섬유(HM-D: HI-MAIZE DIET)의 특성을 비교하기 위하여 glucose 및 bile acid 흡수저해효과 및 장내 세균에 의한 혐기적 발효산물인 단쇄지방산의 함량을 각각 비교하였다. 반투막을 이용하여 glucose 흡수저해효과를 측정한 결과, HM에 비하여 HM-D의 경우 glucose 저해효과가 다소 우세한 것으로 나타났으며, 투석막을 통한 glucose 투과는 4시간 경과시 HM은 77%와 HM-D는 68%를 보였으며, 24시간까지 연장시 glucose는 거의 전부 투과되었다. 투석막을 이용한 bile acid 흡수저해효과는 HM 시료에 비하여 D-factor가 첨가된 저항전분의 경우 bile acid 흡수저해효과가 우수함을 알 수 있었으며, 투석막을 통한 bile acid 투과는 서서히 일어났으며 24시간 경과시 HM과 HM-D의 경우 65%와 62.3%의 bile acid 투과가 이루어졌다. 장내 세균에 의한 단쇄지방산 생성은 HM의 경우 217.8 mM, HM-D는 264.0 mM로 HM-D의 경우 더 많은 양의 단쇄지방산의 생성량을 보였으며, butyric acid 생성량은 HM-D가 32.7 mM로 26.9 mM 생성량을 보인 HM에 비하여 높았다. 따라서 D-factor 첨가에 의해 glucose와 bile acid의 흡수저해효과가 증가하였을 뿐만 아니라 단쇄지방산의 함량과 butyric acid 함량 증가를 보임에 따라 D-factor 첨가에 의해 저항전분이 지니는 식이섬유의 기능이 강화되었다.

문 헌

1. Trowell HC. 1974. Definition of fiber. *Lancet* 303: 503.
2. Trowell HC. 1976. Definition of dietary fiber and hypothesis that is a protective factor in certain diseases. *Am J Clin Nutr* 29: 417-425.
3. Schneeman BO. 1987. Soluble vs insoluble fiber different physiological responses. *Food Technol* 41: 81-88.
4. Stollman N, Raskin JB. 2004. Diverticular disease of the colon. *Lancet* 363: 631-639.
5. Tunngland BC, Meyer D. 2002. Nondigestible oligo- and polysaccharides (dietary fiber): Their physiology and role in human health and food. *Compre Rev Food Sci Food Safety* 1: 73-92.
6. Thrompson DB. 2000. Strategies for the manufacture of resistant starch. *Trends Food Sci Tech* 11: 245-253.
7. Silvi S, Rumney CJ, Cresci A, Rowl IR. 1999. Resistant starch modifies gut microflora and microbial metabolism in human flora-associated rats inoculated with faeces from Italian and UK donors. *J Appl Microbiol* 86: 521-530.
8. Brown I, Warhurst M, Arcot J, Playne M, Illman RJ, Topping DL. 1997. Fecal numbers of bifidobacteria are higher in pigs fed *Bifidobacterium longum* with a high amylose cornstarch than with a low amylose cornstarch. *J Nutr* 127: 1822-1827.

9. Heijnen ML, Beynen A. 1998. Effect of consumption of uncooked (RS2) and retrograded (RS3) resistant starch on apparent adsorption of magnesium, calcium, and phosphorus in pigs. *Z Ernährungswiss* 37: 13-17.
10. Lopez HW, Levrat V, Verny MA, Coudray C, Besson C, Krespine V, Messager A, Deigne C, Remesy C. 2001. Class 2 resistant starches lower plasma and liver lipids and improve mineral retention in rats. *J Nutr* 131: 1283-1289.
11. Adiotomre J, Eastwood MA, Edwards CA, Brydon WG. 1990. Dietary fiber: *in vitro* methods that anticipate nutrition and metabolic activity in humans. *Am J Clin Nutr* 52: 128-134.
12. Somogyi M. 1952. Notes on sugar determination. *J Biol Chem* 195: 19-23.
13. Boyd GS, Eastwood MA, MacLean N. 1966. Bile acids in the rat: Studies in experimental occlusion of the bile duct. *J Lipid Research* 7: 83-94.
14. Bryant MP, Burkey LA. 1953. Cultural methods and some characteristics of some of the more numerous groups of bacteria in the bovine rumen. *J Dairy Sci* 36: 205-217.
15. Tigemeyer EC, Bourguin LD, Fahey GC, Garleb KA. 1991. Fermentability of various fiber sources by human fecal bacteria *in vitro*. *Am J Clin Nutr* 53: 1418-1424.
16. Lebet V, Arrigoni E, Amadó R. 1988. Measurement of fermentation products and substrate disappearance during incubation of dietary fibre sources with human faecal flora. *Lebensm-Wiss Technol* 31: 473-479.
17. Lee KS, Lee SR. 1996. Retarding effect of dietary fibers on the glucose and bile acid movement across a dialysis membrane *in vitro*. *Kor J Nutr* 29: 738-746.
18. Vahouny GV, Khalafi R, Satchithanandam S, Watkins DW, Story JA, Cassidy MM, Kritchevsky D. 1987. Dietary fiber supplementation and fecal bile acids, neutral steroids and divalent cations in rats. *J Nutr* 117: 2009-2015.
19. Story JA. 1985. Dietary fiber and lipid metabolism. *Proc Soc Exp Biol Med* 180: 447-452.
20. Chen WJL, Anderson JW, Jennings D. 1984. Propionate may mediate the hypocholesterolemic effects of certain soluble plant fiber in cholesterol-fed rats. *Proc Soc Exp Biol Med* 175: 215-218.
21. Jenkins DJA, Wong GS, Patten R, Bird J, Hall M, Buckley GC, McGuire V, Reichert R, Little JA. 1983. Leguminous seeds in the dietary management of hyperlipidemia. *Am J Clin Nutr* 26: 567-573.
22. Segain JP, de la Blétière DR, Bourreille A, Leray V, Gervois N, Rosales C, Ferrier L, Bonnet C, Blottière HM, Galmiche JP. 2000. Butyrate inhibits inflammatory responses through NFκB inhibition: implications for Crohn's disease. *Gut* 47: 397-403.
23. Lim BO, Lee CJ, Kim JD. 2004. Study on immunoregulatory function of dietary fiber. *Food Ind Nutr* 9: 26-30.
24. Smith JG, Yokoyama WH, German BG. 1998. Butyric acid from the diet: actions at the level of gene expression. *Clin Rev Food Sci* 38: 259-297.
25. Caderni G, Luceri C, Lancioni L, Tessitore L, Dolara P. 1998. Slow-release pellets of sodium butyrate increase apoptosis in the colon of rats treated with azoxymethan, without affecting aberrant crypt foci and colonic proliferation. *Nutr Cancer* 30: 175-181.

(2004년 12월 23일 접수; 2005년 2월 15일 채택)