

흰쥐에서 수수추출물이 트랜스지방산이 함유된 지방과 콜레스테롤의 흡수에 미치는 영향

김주연¹ · 노상규¹ · 우관식² · 서명철²

¹국립창원대학교 식품영양학과
²농촌진흥청 국립식량과학원 기능성작물부

Sorghum Extract Lowers Lymphatic Absorption of Trans Fat and Cholesterol in Rats

Juyeon Kim¹, Sang Kyu Noh¹, Koan-Sik Woo², and Myung-Chul Seo²

¹Department of Food and Nutrition, Changwon National University

²Department of Functional Crop, National Institute of Crop Science, Rural Development Administration

ABSTRACT Excessive intake of *trans* fats is a risk factor for cardiovascular diseases. Previously, we showed that green tea extract lowers intestinal absorption of cholesterol and elaidic acid in rats. This study was conducted to investigate a possible role for sorghum extract on lymphatic absorption of *trans* fat and cholesterol in rats. Adult male rats with lymph cannulae were infused at a rate of 3.0 mL/h for 8 h via a duodenal catheter with a lipid emulsion containing 146.4 μmol of trielaidin, 36.8 μmol of trilinoelaidin, 452.0 μmol of triolein, 1.0 μCi cholesterol labeled with ¹⁴C (¹⁴C-cholesterol), 20.7 μmol of cholesterol, and 396.0 μmol of Na-taurocholate without or with 100.0 mg of sorghum extract in phosphate-buffered saline buffer (pH 6.4). Lymph was collected hourly for 8 h. No significant difference was noted in lymph flow. However, the lymphatic absorption of elaidic acid and linoelaidic acid for 8 h was significantly lower in rats infused with sorghum extract than in those infused with no sorghum extract. Further, lymphatic absorption of ¹⁴C-cholesterol was reduced by sorghum extract, which was observed previously. These data indicate that sorghum extract has an inhibitory effect on the intestinal absorption of *trans* fat and cholesterol. The mechanism(s) by which sorghum extract lowers intestinal absorption of *trans* fat warrants further study.

Key words: cholesterol, intestinal absorption, rats, sorghum extract, *trans* fat

서 론

트랜스지방산은 시스형 이중결합을 가진 불포화지방산에 수소를 첨가하는 경화과정을 거치면서 결합하고 있던 수소의 위치가 서로 다른 방향으로 결합하여 생성되며 고온의 조건에서 공기 중에 장기간 노출되어 생성되기도 한다(1). Elaidic acid(*trans*-C18:1Δ9)는 대표적인 트랜스지방산이며 oleic acid(*cis*-C18:1Δ9)와 같이 단일 불포화지방산이지만 공간 구조는 올레산과 달리 트랜스 결합으로 포화지방산과 유사한 물리화학적 성질을 가진다(2). 이러한 이유로 트랜스지방은 체내 염증반응과 인슐린 저항성을 증가시키고, 혈관내피세포 기능을 저하시키는 것으로 알려졌다(3,4). 또한 혈중 LDL-cholesterol과 중성지질 농도를 증가시키고, HDL-cholesterol은 감소시켜 심혈관질환의 위험인자

로 보고된다(5-7). 최근에는 불임, 알츠하이머, 유방암, 전립선암 유병률이 증가하는 현상도 트랜스지방 섭취 증가와 연관이 있는 것으로 보고되고 있다(8-10). 이러한 건강상의 이유로 전 세계적으로 트랜스지방의 섭취를 규제하고는 있지만 여전히 상당량 섭취하고 있는 것으로 알려졌다(11).

수수(*Sorghum bicolor* L. Moench)는 전 세계적으로 밀, 벼, 보리, 옥수수 다음으로 수확량이 많은 작물로서(12), 다른 잡곡보다 benzoic acid, cinnamic acid 같은 페놀성 화합물, tannins, anthocyanins과 같은 플라보노이드 유도체, phytosterol, policosanols 등을 풍부하게 함유한다(13). 수수의 이러한 생리활성물질은 혈중 LDL-cholesterol을 억제하고, HDL-cholesterol을 높이는 등의 hypocholesterolemia 효과가 우수한 것으로 알려졌다(14-16). 그리고 밀이나 귀리, 기장과 같은 잡곡보다 훨씬 cholesterol 조절에 효과적이라고 보고되어 있다(17). 그러나 수수 섭취로 인한 혈중 지방 감소 현상은 그 기전이 아직 명확히 알려지지 않으며, 다만 tannin 성분이 소화효소의 활성을 억제한다는 보고는 있다(18). 일반적으로 녹차의 카테킨을 비롯한 플라보노이드 성분은 지방의 소화와 흡수과정을 차례로 억제하

Received 21 January 2016; Accepted 28 March 2016

Corresponding author: Sang Kyu Noh, Department of Food and Nutrition, Changwon National University, Changwon, Gyeongnam 51140, Korea

E-mail: sknolog@changwon.ac.kr, Phone: +82-55-213-3516

여 소장의 지방흡수율에 영향을 미쳐 혈액 지방을 감소시키는 효과가 있는 것으로 알려졌다(19-22). 이와 관련하여 수수에 고농도로 존재하는 policosanol이나 phytosterol에 의해 소장에서의 지방 흡수 억제 효과가 발생할 가능성이 있다고 판단된다. 따라서 관심도와 활용도가 낮은 수수를 이용하여 대표적인 트랜스지방산인 elaidic acid와 linoelaidic acid 그리고 cholesterol의 소장흡수에 어떤 영향을 미치는지를 알아보고자 하였다.

본 연구에서는 *in vivo* 상태에서 외과적 수술 후 일정 시간 동안 외인성 물질에 반응하는 림프의 소장 흡수율을 측정하기 위해 소장흡수율 측정모델(intestinal mesenteric lymph duct cannulated rat model)을 사용하였다.

재료 및 방법

동물사육 및 수수추출물 준비

실험에 사용한 동물은 7주령의 수컷 Sprague-Dawley rat으로 (주)중앙실험동물(Seoul, Korea)로부터 공급받았으며, 동물 사육실에서(실내온도 $22\pm 2^\circ\text{C}$, 상대습도 $55\pm 5\%$, 12 h light-dark cycle) 개인별 케이지에 넣어 자유롭게 공급된 증류수와 AIN-93G 표준식으로 사육하였다. 동물실험에 사용한 분말형 AIN-93G 식이(주)중앙실험동물을 통해 공급받아 사용하였으며, 탄수화물원으로 dextrose와 cellulose, 단백질 함량은 egg white로 조정되었고, 지방원으로 soybean oil을 사용한 표준식으로 사육하였다. 소장흡수수술에 사용한 동물의 평균체중은 약 330 g이었다. 중자 상태의 수수를 Pin-type Mill(DK201, Sejung Tech, Daegu, Korea)을 이용하여 4,600 rpm으로 분쇄한 후 일정량을 80% 메탄올로 50°C 에서 24시간 동안 3회 진탕추출(WiseCube WIS-RL010, Daihan Scientific Co., Ltd., Seoul, Korea)한 다음 여과하여 감압농축(Eyela N-1000, Eyela, Tokyo, Japan) 및 동결건조(FDT-8612, OPERON, Kimpo, Korea) 한 수수추출물(sorghum extract)을 국립식량과학원 기능성작물부에서 공급받아 -70°C 냉동고에 보관하면서 시료로 사용하였다. 수수추출물의 페놀화합물 함량은 HPLC(Agilent 1200, Agilent Technologies, Waldbronn, Germany), ZORBAX ODS(4.6×250 mm, Agilent Technologies) column을 이용하여 Seo 등(23)의 방법으로 분석하였다. 수수추출물의 주요 페놀화합물로는 (+)-catechin(699.38 $\mu\text{g/g}$), salicylic acid(686.11 $\mu\text{g/g}$), rutin(271.24 $\mu\text{g/g}$)으로 확인되었다. 본 동물실험은 창원대학교 동물윤리심의위원회 승인을 거쳐 진행하였다(CWNUIACUC 2010-2).

림프관 우회수술

수술 전 16시간 동안 절식시키고 난괴법으로 5마리씩 두 그룹으로 나누어 소장흡수율 측정을 위한 수술을 시행하였다(24). Isoflurane(Forane Soln®, ChoongWae Pharma

Co., Ltd., Seoul, Korea)과 산소를 공급하며 마취를 유도한 상태에서 림프관 연결튜브(ID 0.5 mm, OD 0.8 mm; Dural Plastics & Engineering, Auburn, Australia)는 오른쪽 옆 구리를 통하여 장간막 림프에 삽입하여 관을 고정하였다. 이후 십이지장 주입관(ID 1.02 mm, OD 2.1 mm; Silastic® medical grade tubing, Dow Corning Co., Midland, MI, USA)을 위장을 통하여 십이지장으로 삽입하여 고정시켰다. 절개된 복부는 봉합하여 $30\pm 2^\circ\text{C}$ 가 유지되는 회복실에서 20시간 이상 회복시켰다. 회복 동안에 syringe pump(NE-1600, New Era Pump Systems Inc., Wantagh, NY, USA)를 이용하여 5% glucose를 함유하고 있는 PBS buffer (6.75 mM Na_2HPO_4 , 16.5 mM NaH_2PO_4 , 115 mM NaCl, and 5 mM KCl, pH 6.4)를 시간당 3 mL씩 다음날 실험 시까지 공급하였다(25).

지질유화액 제조와 림프시료 채취

지질유화액은 Table 1에 나타낸 바와 같이 PBS buffer를 기본으로 trielaidin(Nu-Chek Prep Inc., Elysian, MN, USA), trilinoelaidin(Nu-Chek Prep Inc.), ^{14}C -cholesterol(specific activity, 1.9 GBq/mmol, Perkin Elmer Inc., Waltham, MA, USA) 등과 함께 *in vivo* 실험 당일 초음파기(UW 2200, Bandelin Electronic, Berlin, Germany)를 이용하여 제조하였다. 수수추출물 없이 지질유화액만 공급받은 동물군을 대조군(Control), 수수추출물 100 mg을 지질유화액과 함께 공급한 동물군을 수수군(Sorghum)으로 분류하였다. 수술 후 약 20시간 동안 동물을 회복시킨 후 십이지장 주입관으로 지질유화액을 시간당 3 mL씩 8시간 동안 총 24 mL 주입하였고, 100 μL EDTA를 넣어둔 튜브에 매시간 8시간 동안 림프시료를 채취하였다.

트랜스지방산 및 ^{14}C -cholesterol의 소장흡수율 측정

Elaidic acid, linoelaidic acid가 포함된 림프의 지방산

Table 1. Composition of lipid emulsion¹⁾

Ingredient	Amount
^{14}C -Cholesterol (μCi)	1.0
Trielaidin (μmol)	146.4
Trilinoelaidin (μmol)	36.8
Cholesterol (μmol) ²⁾	20.7
Triolein (μmol) ²⁾	452.0
Na-taurocholate (μmol) ²⁾	396.0
α -Tocopherol (μmol) ²⁾	3.1
Retinol (nmol) ²⁾	75.4
Albumin (mg) ²⁾	72.0
Sorghum extract (mg)	100.0
PBS buffer (mL)	24.0

¹⁾Prepared using a ultrasonicator.

²⁾Cholesterol (99%, Sigma-Aldrich Co., St. Louis, MO, USA), triolein (95%, Sigma-Aldrich Co.), Na-taurocholate (Sigma-Aldrich Co.), α -tocopherol (97%, Sigma-Aldrich Co.), retinol (Sigma-Aldrich Co.), albumin (Sigma-Aldrich Co.).

측정은 Folch 등(26)과 Slover와 Lanza(27)의 방법을 변형하여 사용하였다. 림프시료를 chloroform : methanol(v/v, 2:1) 혼합용매로 추출하고 0.5 N methanolic NaOH로 가수분해시킨 후 14% BF₃로 메틸화시켜 측정하였다. GC (Model 7890A, Agilent Technologies, Wilmington, DE, USA)를 이용하여 지방산을 분리 및 동정하였고, (50%-cyanopropyl)-methylpolysiloxane 소재로 만들어진 DB-23 GC column(60 m×0.25 mm×0.15 μm; Agilent J&W Scientific Inc., Santa Clara, CA, USA), 검출기는 불꽃이온화검출기를 사용하여 측정하였다. 지방산의 종류로는 palmitic acid(16:0), stearic acid(18:0), elaidic acid(18:1t), oleic acid(18:1), linoelaidic acid(18:2tt), linoleic acid(18:2), arachidonic acid(20:4) 그리고 docosahexaenoic acid(22:6)를 측정하였으며, 총지방산은 측정된 지방산 양을 모두 합하여 구하였다. 림프시료에 포함시킨 내부표준지방산(17:0)의 회수율을 구하여 동일 분석조건의 지방산 표준품(Nu-Chek Prep Inc.)의 피크면적과 비교하여 각 지방산의 양을 계산하였다. 림프로 흡수된 ¹⁴C-cholesterol은 섬광보조액(Ready Safe™, Beckman Coulter Inc., Brea, CA, USA)과 혼합한 후 liquid scintillation counter(Wallac 1414, Perkin Elmer Inc.)를 이용하여 radioactivity를 측정하였다(21). 각 시간별 림프의 ¹⁴C-cholesterol 방사선 활성도와 지질유화액의 제조에 사용된 ¹⁴C-cholesterol의 방사선 활성도를 퍼센트 농도(%dose)로 나타내어 흡수율을 계산하였다.

통계 및 결과 처리

실험의 결과는 평균치와 표준편차(means±SD)로 나타내었고, Student's t-test를 이용하여 P의 값이 0.05 이하일 경우를 두 동물군 간에 유의적인 차이가 있는 것으로 판정하였다.

결과 및 고찰

트랜스지방산과 cholesterol의 소장흡수

수수추출물의 공급이 트랜스지방산과 기타 주요 지방산 그리고 cholesterol의 소장흡수에 미치는 영향은 Table 2, Fig. 1~3에 나타냈다. 8시간 동안 분비된 림프의 양은 대조군 20.32±4.37 mL, 수수군 19.62±2.14 mL로 수수추출물의 공급은 림프분비량에 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다. Table 2에서와 같이 8시간 동안 소장으로 흡수된 총 elaidic acid의 양은 대조군 103.10±13.73 μmol, 수수군 70.24±8.41 μmol로 나타나 수수추출물의 영향으로 elaidic acid의 소장 흡수가 32% 억제되는 것을 확인할 수 있었다. Fig. 1에서는 수수추출물 공급 2시간째부터 elaidic acid의 소장흡수가 유의적으로 억제되기 시작하였고, 이러한 흡수 억제 현상은 시간이 지날수록 더욱 커지는 것으로 나타났다. 또 다른 트랜스지방산인 linoelaidic acid의 8시간 동안

Table 2. Cumulative lymphatic absorption of fatty acids and ¹⁴C-cholesterol in rats infused with lipid emulsion with or without (control) sorghum extract for 8 h

Lymph lipid	Control	Sorghum
Lymph volume (mL/8 h)	20.32±4.37 ¹⁾	19.62±2.14 ^{NS}
Fatty acids (μmol/8 h)		
16:0	61.27±8.71	52.43±6.05*
18:0	25.97±2.28	19.97±1.49*
18:1t	103.10±13.73	70.24±8.41*
18:1	691.67±95.12	445.50±43.41*
18:2tt	38.15±7.52	25.41±3.52*
18:2	45.04±7.97	42.17±4.54 ^{NS}
20:4	30.90±3.81	22.23±1.42*
22:6	4.81±1.07	3.49±0.62*
Total fatty acid	1,000.93±134.12	681.44±56.89*
¹⁴ C-Cholesterol (%dose/8 h)	38.53±2.81	30.71±4.68*

¹⁾Values are means±SD (n=5).

Asterisks (*) denote significant differences at P<0.05.

NS: not significant.

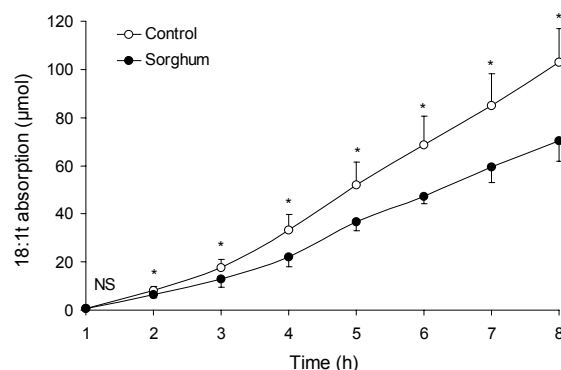


Fig. 1. Cumulative lymphatic absorption of elaidic acid (18:1t) in rats infused with a lipid emulsion containing sorghum extract for 8 h. Values are expressed as means±SD (n=5). Asterisks (*) denote significant differences at P<0.05. NS: not significant.

소장으로 흡수된 양은 대조군 38.15±7.52 μmol, 수수군 25.41±3.52 μmol로 나타나, 수수추출물의 영향으로 linoelaidic acid의 소장흡수 또한 34% 억제되는 것으로 나타났다(Table 2). Fig. 2에서와 같이 흡수실험 2시간째부터 대조군보다 수수군의 linoelaidic acid 흡수가 유의적으로 억제되기 시작하였고, 이러한 흡수 억제 현상은 실험 8시간째까지 지속하는 것으로 나타났다. 또한 트랜스지방산과 함께 측정된 palmitic acid, stearic acid, oleic acid, linoleic acid, arachidonic acid 그리고 docosahexaenoic acid의 소장흡수도 대조군보다 수수군에서 감소하였다. 본 연구에서 측정된 모든 지방산들의 합인 총지방산의 양은 대조군 1,000.93±134.12 μmol, 수수군 681.44±56.89 μmol로 측정되어 수수추출물의 영향으로 소장으로의 총지방산 흡수가 32% 감소한 것으로 나타났다. 한편 트랜스지방산과 함께 외인성 지방을 대표하는 cholesterol의 흡수율도 함께 살펴본 결과 8시간 동안 소장으로 흡수된 ¹⁴C-cholesterol은 대조군 38.53±2.81%dose, 수수군 30.71±4.68%dose로 나타나 수수추출물의 영향으로 대조군보다 소장흡수가 유의

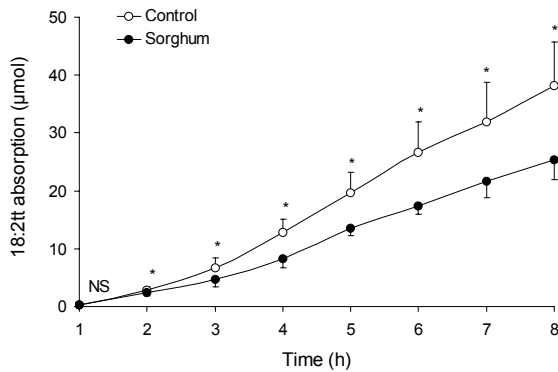


Fig. 2. Cumulative lymphatic absorption of linoelaidic acid (18:2tt) in rats infused with a lipid emulsion containing sorghum extract for 8 h. Values are expressed as means±SD (n=5). Asterisks (*) denote significant differences at $P<0.05$. NS: not significant.

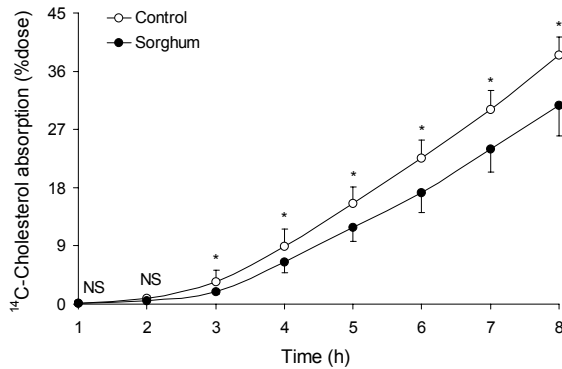


Fig. 3. Cumulative lymphatic absorption of ^{14}C -cholesterol in rats infused with a lipid emulsion containing sorghum extract for 8 h. Values are expressed as means±SD (n=5). Asterisks (*) denote significant differences at $P<0.05$. NS: not significant.

적으로 억제된 것으로 나타났다(Table 2). Fig. 3에서와 같이 흡수실험 3시간째부터 대조군보다 수수군의 ^{14}C -cholesterol 흡수가 유의적으로 억제되기 시작해 8시간째까지 지속해서 억제되는 것으로 나타났다.

현재까지 수수의 혈중지질 개선 효과와 관련한 연구들은 다수 보고되어 있다. 식이를 통한 수수추출물의 공급은 혈중 non-HDL-cholesterol의 농도를 감소시키고(15), 수수의 policosanol 성분은 cholesterol 억제제인 lovastatin보다 효율적인 LDL-cholesterol 억제 효과가 있는 것으로 보고되고 있다(14). 하지만 수수의 이러한 지질 개선 효과와 관련한 기전 연구는 아직도 미비한 수준이다. 이와 관련하여 최근에는 수수에 고농도로 존재하는 policosanol, phytosterol과 같은 다양한 생리활성물질에 의해 소장에서의 지방 흡수가 억제되었을 가능성이 보고되고 있다. 지방은 췌장성 지방분해효소들의 도움을 받아 분해된 후 마이셀 운반체를 통해 소장세포로 접근하여 소장세포 내에서 재합성 과정을 거친 후 림프순환계로 유입한다(28). 식품의 폴리페놀 성분이 이러한 일련의 지방소화흡수 대사에 영향을 미칠 가능성이 있다고 여겨진다. Al-Mamary 등(18)의 연구와 Juhel

등(29)의 연구에서는 수수의 tannin 성분이 췌장성 lipase의 활성을 억제한다고 밝혔으며, Lindahl과 Tagesson(30)은 췌장성 phospholipase A₂의 활성이 tannin에 의해 억제된다고 보고하였다. 수수뿐만 아니라 폴리페놀 성분이 풍부한 녹차 또는 그 추출물의 연구에서도 췌장성 phospholipase A₂의 활성을 억제시키고(31), 분해된 지방들의 소장흡수세포벽 진입과 운반을 억제한다고 보고하고 있다(32). 이러한 폴리페놀 성분이 풍부한 식품의 지방소화흡수 억제현상은 대표적인 외인성 지방인 cholesterol과 중성지방에만 국한된 것이 아니라 환경호르몬이나 α -tocopherol과 같은 강한 지용성을 띠는 물질의 소장흡수 억제에도 영향을 미친 것으로 보고되고 있다(22,33). 이러한 연구들을 종합해 볼 때 본 연구에서 수수추출물의 공급이 트랜스지방산의 소장흡수를 억제시킨 기전은 수수에 함유된 여러 생리활성물질이 지방의 소화 및 분해 작용을 지연시키고 장내 마이셀 형성을 감소시키며, 식이성 지방의 소장세포 진입 및 세포 내 재합성을 순차적으로 억제시킨 것으로 판단해 볼 수 있다. Yoo 등(34)은 잡곡류 중 하나인 보리로 만든 빵을 6주간 섭취한 후의 혈중 트랜스지방 농도가 밀가루빵 섭취군보다 절반 수준에 그친다고 보고하였다. 이러한 현상은 보리의 폴리페놀 성분이 트랜스지방의 소장흡수를 방해한 결과라고 유추해 볼 수 있다. 현재까지 수수가 트랜스지방의 소장흡수에 미치는 영향을 직접적으로 다룬 논문은 없다. 다만 폴리페놀 성분이 풍부한 녹차추출물이 트랜스지방인 elaidic acid를 비롯해 인지질, 총지방산, cholesterol의 소장흡수를 억제시킨다는 보고가 있으며(35), 이는 본 연구 결과와 상당히 유사한 것으로 판단된다. 결론적으로 본 연구에서는 흰쥐의 소장으로 트랜스지방산, cholesterol과 함께 수수추출물을 지방유화액 형태로 주입하였을 때 elaidic acid, linoelaidic acid와 같은 트랜스지방산의 흡수가 현저하게 억제된 것으로 확인되었다. 뿐만 아니라 수수추출물은 palmitic acid, stearic acid, oleic acid, arachidonic acid, docosahexaenoic acid와 cholesterol의 소장 흡수를 유의적으로 감소시킨다는 사실을 확인하였다. 본 연구는 다양한 생리활성 성분을 함유함에도 불구하고 다른 잡곡류에 비해 연구 결과가 미흡했던 수수를 이용하여 이루어진 소장흡수 실험이었다. 식이적 수준에서의 수수 섭취가 법적으로 엄격히 규제되고 있지만 여전히 식품에 잔존하는 트랜스지방을 소장흡수 차원에서 억제할 수 있는 효율적인 식이수단이 될 수 있다는 것을 증명하였다. 다양한 생리활성 성분을 함유한 수수의 섭취는 트랜스지방산을 포함하는 각종 지방산 및 대표적인 식이성 지방인 cholesterol의 소장 흡수를 억제시켜 이와 관련한 질환을 예방하는 데 중요한 역할을 할 수 있을 것으로 생각한다.

요 약

본 연구는 수수의 섭취가 대표적인 트랜스지방산인 elaidic

acid, linoelaidic acid와 cholesterol의 소장흡수에 어떤 영향을 미치는지를 조사하기 위하여 설계하였다. 소장의 지방흡수를 *in vivo* 상태에서 측정하기 위해 소장흡수율 측정모델을 이용하여 십이지장주입관과 림프채취관을 삽입하는 미세수술을 진행하였다. 실험동물의 십이지장으로 146.4 μ mol trielaidin, 36.8 μ mol trilinoelaidin, 452.0 μ mol triolein, 1.0 μ Ci 14 C-cholesterol, 20.7 μ mol cholesterol, 396.0 μ mol Na-taurocholate, PBS buffer(pH 6.4)가 포함된 지질유화액만 공급받는 동물군을 대조군, 수수추출물이 혼합된 지질유화액을 공급받는 동물군을 수수군으로 설계하였다. 지질유화액은 시간당 3 mL씩 8시간 동안 주입하면서 림프관으로 흡수되는 elaidic acid, linoelaidic acid와 각종 지방산 그리고 14 C-cholesterol의 양을 분석하여 수수에 의한 영향을 비교하였다. 먼저 8시간 동안 분비된 림프액의 양은 대조군과 수수군 간에 유의적인 차이를 나타내지 않았다. 하지만 8시간 동안의 elaidic acid 흡수는 수수추출물의 공급으로 유의적으로 억제되는 것으로 나타났다. Linoelaidic acid 또한 마찬가지로 수수추출물 공급으로 유의적으로 그 흡수가 억제된 것으로 나타났다. 트랜스지방산을 비롯해 palmitic acid, stearic acid, oleic acid, linoleic acid, arachidonic acid, docosahexaenoic acid, 14 C-cholesterol 또한 대조군보다 수수군에서 흡수가 유의적으로 억제된 것으로 나타났다. 이상의 결과들은 수수추출물이 트랜스지방산과 cholesterol의 소장 흡수를 억제할 수 있다는 사실을 증명한다. 이번 연구를 바탕으로 수수 섭취가 트랜스지방이나 cholesterol의 흡수를 농도 비례적으로 억제할 수 있을지, 소화흡수 과정 중 정확히 어떤 과정에 영향을 미쳤는지에 관한 연구가 앞으로 진행될 과제라고 판단된다.

감사의 글

이 논문은 농촌진흥청 공동연구사업(과제번호: PJ007513)의 지원에 의해 수행된 연구내용으로 이에 감사드립니다.

REFERENCES

- Semma M. 2002. *Trans* fatty acids: properties, benefits and risks. *J Health Sci* 48: 7-13.
- Żbikowska A. 2010. Formation and properties of *trans* fatty acids—a review. *Pol J Food Nutr Sci* 60: 107-114.
- Lopez-Garcia E, Schulze MB, Meigs JB, Manson JE, Rifai N, Stampfer MJ, Willett WC, Hu FB. 2005. Consumption of *trans* fatty acids is related to plasma biomarkers of inflammation and endothelial dysfunction. *J Nutr* 135: 562-566.
- Bray GA, Lovejoy JC, Smith SR, DeLany JP, Lefevre M, Hwang D, Ryan DH, York DA. 2002. The influence of different fats and fatty acids on obesity, insulin resistance and inflammation. *J Nutr* 132: 2488-2491.
- Hammad S, Pu S, Jones PJ. 2016. Current evidence supporting the link between dietary fatty acids and cardiovascular disease. *Lipids* 51: 501-517.
- Lichtenstein AH. 2014. Dietary *trans* fatty acids and cardiovascular disease risk: past and present. *Curr Atheroscler Rep* 16: 433.
- Nestle P. 2014. *Trans* fatty acids: are its cardiovascular risks fully appreciated?. *Clin Ther* 36: 315-321.
- Chavarro JE, Furtado J, Toth TL, Ford J, Keller M, Campos H, Hauser R. 2011. *Trans*-fatty acid levels in sperm are associated with sperm concentration among men from an infertility clinic. *Fertil Steril* 95: 1794-1797.
- Grimm MO, Rothhaar TL, Grösgen S, Burg VK, Hundsdörfer B, Hauptenthal VJ, Friess P, Kins S, Grimm HS, Hartmann T. 2012. *Trans* fatty acids enhance amyloidogenic processing of the Alzheimer amyloid precursor protein (APP). *J Nutr Biochem* 23: 1214-1223.
- Hu J, La Vecchia C, de Groh M, Negri E, Morrison H, Mery L. 2011. Dietary trans fatty acids and cancer risk. *Eur J Cancer Prev* 20: 530-538.
- de Souza RJ, Mente A, Maroleanu A, Cozma AI, Ha V, Kishibe T, Uleryk E, Budyłowski P, Schünemann H, Beyene J, Anand SS. 2015. Intake of saturated and trans unsaturated fatty acids and risk of all cause mortality, cardiovascular disease, and type 2 diabetes: systematic review and meta-analysis of observational studies. *BMJ* 351: h3978.
- Ryu HS, Kim J, Kim HS. 2006. Enhancing effect of *Sorghum bicolor* L. Moench (sorghum, su-su) extracts on mouse spleen and macrophage cell activation. *Korean J Food & Nutr* 19: 176-182.
- Waniska RD, Poe JH, Bandyopadhyay R. 1989. Effects of growth conditions on grain molding and phenols in sorghum caryopsis. *J Cereal Sci* 10: 217-225.
- Castaño G, Menéndez R, Más R, Amor A, Fernández JL, González RL, Lezcay M, Alvarez E. 2002. Effects of policosanol and lovastatin on lipid profile and lipid peroxidation in patients with dyslipidemia associated with type 2 diabetes mellitus. *Int J Clin Pharmacol Res* 22: 89-99.
- Carr TP, Weller CL, Schlegel VL, Cuppett SL, Guderian DM Jr, Johnson KR. 2005. Grain sorghum lipid extract reduces cholesterol absorption and plasma non-HDL cholesterol concentration in hamsters. *J Nutr* 135: 2236-2240.
- Cho SH, Ha TY. 2003. *In vitro* and *in vivo* effects of proso-millet and sorghum on cholesterol metabolism. *Food Sci Biotechnol* 12: 485-490.
- Klopfenstein CF, Varriano-Marston E, Hosney RC. 1981. Cholesterol-lowering effect of sorghum diet in guinea pigs. *Nutr Rep Int* 24: 621-627.
- Al-Mamary M, Molham AH, Abdulwali AA, Al-Obeidi A. 2001. *In vivo* effects of dietary sorghum tannins on rabbit digestive enzymes and mineral absorption. *Nutr Res* 21: 1393-1401.
- Koo SI, Noh SK. 2007. Green tea as inhibitor of the intestinal absorption of lipids: potential mechanism for its lipid-lowering effect. *J Nutr Biochem* 18: 179-183.
- Ikeda I, Imasato Y, Sasaki E, Nakayama M, Nagao H, Takeo T, Yayabe F, Sugano M. 1992. Tea catechins decrease micellar solubility and intestinal absorption of cholesterol in rats. *Biochim Biophys Acta* 1127: 141-146.
- Löest HB, Noh SK, Koo SI. 2002. Green tea extract inhibits the lymphatic absorption of cholesterol and α -tocopherol in ovariectomized rats. *J Nutr* 132: 1282-1288.
- Kim J, Koo SI, Noh SK. 2012. Green tea extract markedly lowers the lymphatic absorption and increases the biliary secretion of 14 C-benzo[a]pyrene in rats. *J Nutr Biochem* 23: 1007-1011.
- Seo MC, Ko JY, Song SB, Lee JS, Kang JR, Kwak DY,

- Oh BG, Yoon YN, Nam MH, Jeong HS, Woo KS. 2011. Antioxidant compounds and activities of foxtail millet, proso millet and sorghum with different pulverizing methods. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 40: 790-797.
24. Bollman JL, Cain JC, Grindlay JH. 1948. Techniques for the collection of lymph from the liver, small intestine, or thoracic duct of the rat. *J Lab Clin Med* 33: 1349-1352.
25. Koo SI, Noh SK. 2001. Phosphatidylcholine inhibits and lysophosphatidylcholine enhances the lymphatic absorption of α -tocopherol in adult rats. *J Nutr* 131: 717-722.
26. Folch J, Lees M, Sloane-Stanley GH. 1957. A simple method for the isolation and purification of total lipides from animal tissues. *J Biol Chem* 226: 497-509.
27. Slover HT, Lanza E. 1979. Quantitative analysis of food fatty acids by capillary gas chromatography. *J Am Oil Chem Soc* 56: 933-943.
28. Tso P, Balint JA. 1986. Formation and transport of chylomicrons by enterocytes to the lymphatics. *Am J Physiol* 250: G715-G726.
29. Juhel C, Armand M, Pafumi Y, Rosier C, Vandermander J, Lairon D. 2000. Green tea extract (AR25) inhibits lipolysis of triglycerides in gastric and duodenal medium in vitro. *J Nutr Biochem* 11: 45-51.
30. Lindahl M, Tagesson C. 1997. Flavonoids as phospholipase A₂ inhibitors: importance of their structure for selective inhibition of group II phospholipase A₂. *Inflammation* 21: 347-356.
31. Wang S, Noh SK, Koo SI. 2006. Green tea catechins inhibit pancreatic phospholipase A₂ and intestinal absorption of lipids in ovariectomized rats. *J Nutr Biochem* 17: 492-498.
32. Reynier MO, Lafont H, Crotte C, Sauve P, Gerolami A. 1985. Intestinal cholesterol uptake: comparison between mixed micelles containing lecithin or lysolecithin. *Lipids* 20: 145-150.
33. Wang S, Noh SK, Koo SI. 2006. Epigallocatechin gallate and caffeine differentially inhibit the intestinal absorption of cholesterol and fat in ovariectomized rats. *J Nutr* 136: 2791-2796.
34. Yoo YS, Lee KS, Cho KH, Kim DH, Park CH, Lee SH, Lee JH. 2009. Effect of barley on variation of blood glucose and lipid metabolism. *Korean J Fam Med* 30: 790-795.
35. Kim J, Noh SK. 2012. Green tea extract decreases the lymphatic absorption of *trans* fat in rats. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 41: 73-78.