

# 감과피와 대추로부터 분리한 식이섬유의 포도당, 담즙산, 카드뮴 투과 억제에 관한 *in vitro* 연구\*

이 혜 진 · 김 미 경

이화여자대학교 식품영양학과

## Retarding Effect of Dietary Fibers Isolated from Persimmon Peels and Jujubes on *in vitro* Glucose, Bile Acid, and Cadmium Transport

Lee, Hye Jin · Kim, Mi Kyung

Department of Food and Nutrition, Ewha Womans University, Seoul 120-750, Korea

### ABSTRACT

Retarding effects of the dietary fibers from persimmon peels(PTDF : total dietary fibers, PIDF : insoluble dietary fibers, PSDF : soluble dietary fibers) and dried jujubes(JTDF : total dietary fibers, JIDF : insoluble dietary fibers, JSDF : soluble dietary fibers) on glucose, bile acid and cadmium transport were evaluated by *in vitro* dialysis sack method. These effects were compared with those of commercial citrus pectin, CM-cellulose(CMC) and  $\alpha$ -cellulose. Yields of PTDF, PIDF and PSDF on wet weight basis were 14.04%, 11.61%, 1.76%, respectively, and those from dried jujubes were 14.80%, 9.98%, and 2.80%, respectively. The amount of soluble fibers in JTDF was higher than PTDF. Soluble fibers had the retarding effects on glucose transport but insoluble fibers did not have. CM-cellulose showed the greatest retarding effect, which was followed by citrus pectin and JSDF. Among the soluble fibers, PSDF had the lowest retarding effect. Retarding effect of TDF was dependent upon the amount of SDF in TDF. Regarding bile acid dialysis, insoluble dietary fibers as well as soluble dietary fibers showed the retarding effects, among which JSDF had the greatest retarding effect, followed by citrus pectin. Among the extracted fibers, dietary fibers from dried jujubes were more effective than those from persimmon peels, and SDF seemed to show higher retarding effects than IDF and TDF. On cadmium transport retardation, all dietary fibers except  $\alpha$ -cellulose had the retarding effects and PSDF showed the greatest effect which was followed by PIDF and CMC. The extracted fibers showed higher retarding effect on Cd transport than glucose and bile acid transport, and dietary fibers from persimmon peels showed higher retarding effects than those from dried jujubes. (*Korean J Nutrition* 31(4) : 809~822, 1998)

**KEY WORDS** : persimmon peels dietary fibers · jujubes dietary fibers · membrane transport

### 서 론

감과 대추는 우리 나라의 고유 과실류로서, 한국 통  
채택일 : 1998년 3월 13일

\*This research was supported by the '97 grant from the Ministry of health and welfare.

계 연감<sup>1)</sup>에 따르면 1996년도 우리 나라의 감 생산량은 약 19만톤, 대추 생산량은 약 13,000톤에 이르며 재배 면적과 생산량이 계속 증가되고 있는 추세에 있다. 감은 주로 생식용으로 소비되거나 꽃감으로 가공되어 이용되나 꽃감 제조시 발생하는 많은 양의 감과피는 폐기물로서 버려지고 있다. 한편 주로 건대추의 형태로 소

비되는 대추의 경우 최근 대추 음료 시장의 급속한 성장과 함께 건대추의 추출 후 대추 착즙박이 폐기물로서 발생되고 있다. 그러나 이들 감과피나 대추 착즙박에는 pectin 등의 식이섬유나 bioflavonoids 등의 성분이 많이 함유되어 있어 식품 소재 또는 기능성 물질의 급원으로서 이용가능성이 높은 것으로 판단된다.

현재까지 국내에서 감의 이용에 대해 이루어진 연구를 살펴보면, 문광덕 등<sup>2)</sup>이 감 과육 및 과피의 수분, 단백질, 지질, 탄수화물 등의 유용 성분을 조사하고 이들을 이용한 가공 식품을 개발하려는 연구를 행하였고, 김연순<sup>3)</sup>, 박원기 등<sup>4)</sup>이 뽕의 감의 과육을 이용한 잼을 개발하고자 하였으며, 대추의 연구에 있어서는 최정선 등<sup>5)</sup>이 건대추가 아닌 생대추를 수용화하여 대추 음료 생산시 이용하려는 연구를 행하였을 뿐, 아직까지 감과피나 건대추의 식이섬유 구성 성분 함량 측정과 이에 대한 생리적 효과를 밝힌 실험은 없었다.

식이섬유는 1976년 Trowell<sup>6)</sup>에 의해 "인간의 소화효소에 의해 가수분해되지 않는 식물성 다당류와 lignin" 이라고 정의되었으나 최근에는 "인간의 소화효소에 의해 소화되지 않는 난소화성 다당류의 총체"<sup>7)</sup>로 다시 정의되고 있다. 구조적으로 식이섬유는 복합 다당류(complex polysaccharide)로서 식이섬유의 각종 생리적 기능성과 물리적 특성은 기본적으로 구성성분의 구조적 특징에 의하여 결정된다<sup>8)</sup>. 식이섬유의 구조적 복합성으로 식이섬유를 일률적으로 분류하기는 어려우나 일반적으로 물리적 성질인 용해도에 따라 수용성(free molecule pectin, gums, mucilages 등)과 불용성(cellulose, hemicellulose, lignin 등)으로 구분된다. 수용성 식이섬유는 소화 기관에서 수용화되면서 점도가 증가되거나 gel matrix를 형성하여 각종 영양 성분의 흡수율을 감소시키는데, 당뇨 환자가 수용성 식이섬유를 섭취할 경우 glucose의 흡수를 지연시켜 급격한 혈당 상승을 막아주었다고 하며<sup>9)10)</sup>, 수용성 식이섬유와 식이 cholesterol이나 bile acid가 결합하여 대변으로 배설됨으로서 혈청 cholesterol을 저하시키는 효과가 있음이 밝혀졌다<sup>11)12)</sup>. 조사에 의하면 fiber 섭취가 적은 경우 당뇨의 위험이 증가한다고 하며<sup>13)</sup>, fiber가 풍부한 식이는 혈청 cholesterol 수준을 낮춤으로써 관상 심장 질환의 위험을 낮춰준다고 한다<sup>14)</sup>. 또한 수용성 식이섬유들은 대장 내에서 미생물에 의해 발효되어 short chain fatty acids를 발생시키는데 이 short chain fatty acids는 장내 pH를 낮추어 발암성 secondary bile acid 생성을 억제시킴으로써 대장암을 예방할 수 있다고 한다<sup>15)</sup>. 한편 불용성 식이섬유는 물을 흡수하여

팽창하며 대장 내에서 미생물의 발효에 의해 분해되지 않으므로 대변의 부피와 무게를 증가시키는 데 효과적이다.

근래 들어 우리 나라는 경제 수준의 향상과 더불어 동물성 식품과 가공 식품 섭취는 증가하는 반면 식물성 식품의 섭취량은 감소되고 있다<sup>16)</sup>. 연구에 따르면<sup>16)17)</sup> 한국인의 식이섬유 섭취량은 지난 20년간 감소 추세를 보이고 있으며 90년대에는 하루 20g 미만인 것으로 나타나고 있어 구미인들이나 일본인들에 비해 결코 높지 않고, 현재의 식품 섭취 패턴 변화가 계속될 경우 앞으로 더욱 감소될 것으로 예측되고 있다. 이와 같은 식생활의 변화는 우리 나라의 질병 구조의 변화와도 무관하지 않아서 최근 10년 사이 결장, 직장 및 항문암 등의 사망자 수가 계속 증가하고 있으며, 당뇨병이 2배 이상 증가하였고 허혈성 심장 질환이 3배 이상의 급격한 증가를 보이고 있다<sup>18)</sup>. 그러므로 이러한 만성 질환과 대장암의 예방 및 치료와 관련된 식이섬유의 생리적 효과와 식이섬유 신소재 개발에 대한 관심이 고조되고 있다. 또한 중금속 오염 문제는 산업 사회에서 날로 심화되고 있는데 그 중 Cd은 공기나 토양으로부터 식품에 오염되어 식품 섭취를 통해 인체 내로 축적되어 독성을 나타낼 수 있다. 구강으로 섭취된 Cd의 흡수는 식이내 단백질<sup>19)</sup>, Ca<sup>20)</sup>, Zn<sup>21)</sup>의 함량 등 여러 인자의 영향을 받는데 그 중에서도 식이섬유는 양이온 교환 능력으로 인해 Cu, Zn와 같은 여러 미량 무기질의 흡수 이용성을 감소시킬 수도 있으나<sup>22)</sup> Pb, Cd과 같은 중금속의 흡수를 억제하는 데 효과적임이 밝혀져<sup>23-25)</sup> 중금속 중독 예방 효과와 관련되어 많은 연구가 행해지고 있다.

따라서 본 연구에서는 감과피와 건대추로부터 총 식이섬유를 추출하고 총 식이섬유로부터 불용성 식이섬유와 수용성 식이섬유를 분리하여 추출한 후 dialysis sack method를 이용하여 glucose, bile acid, Cd에 대한 투과 억제 효과를 측정하고 이를 상동화된 citrus pectin, carboxymethyl-cellulose,  $\alpha$ -cellulose 등의 투과 억제 효과와 비교해 보고자 하였다. 그러므로 본 연구의 결과는 새로운 기능성 식이섬유 소재로서 감과피와 건대추 가공 폐기물의 재활용과 더불어 당뇨, 혈액순환계 질병, 중금속 중독 등의 예방 및 치료에 응용 가능한 기초 자료로 이용될 수 있겠다.

## 재료 및 방법

### 1. 식이섬유의 추출 및 함량분석

단감은 서울 가락동 농수산물 시장에서 무게 100~

150g 정도의 것을 구입하여 1~2mm 두께로 박피한 후 껍질을 작은 조각으로 나누어 Vacuum Tray Freeze-Dryer(II-Sin Engineering Co.)에서 냉동건조하였다. 대추는 서울 경동 시장에서 건조된 것을 구입하여 씨를 제거한 뒤 가식부를 작은 조각으로 나누어 냉동건조한 후 85% ethanol로 3번 씻어내어 당분을 추출 제거한 다음 다시 냉동건조하였다. 각각의 건조 시료를 분쇄하여 355 $\mu$ m mesh 체에 통과시키고 Pro-sky등<sup>26)</sup>의 분석방법을 변형시켜 총 식이섬유와 수용성, 불용성 식이섬유를 추출하였다(Fig. 1). 감과피와 건대추로부터 추출한 총 식이섬유의 순도를 확인하기 위해 AOAC에서 승인된 Lee등<sup>27)</sup>의 방법에 준하여 수용성, 불용성, 총 식이섬유의 함량을 정량하였다. 시판용 식이섬유로는 citrus pectin(Sigma P9135), carboxymethyl-cellulose(Sigma C4888),  $\alpha$ -cellulose(Sigma C8002)를 사용하였다.

## 2. 식이섬유의 투과 억제 실험

### 1) Glucose 투과 억제 효과

식이섬유의 장관내 흡수 억제 효과를 *in vitro*에서 측정하기 위하여 투석막을 이용하여 투석막 내액의 glucose가 투석막 외액으로 빠져나오는 원리를 이용하였다<sup>24)26)29)</sup>. 즉 유리 상태의 glucose는 투석막을 그대로 통과하지만 식이섬유와 같은 고분자 물질에 흡착된 glucose는 투석막을 통과하지 못할 것이라는 가정 하에 투석막 외액을 취하여 glucose 농도를 분석하였다. 이때 투석막은 생체 내 장막의 투과 조건과 유사한 것으로 molecular cut-off가 비교적 낮은 투석막(Sigma D7884 : M.W. cut-off >1200)을 사용하였다. 넓이 3.2cm의 투석막을 10cm의 길이로 자르고 0.1% sodium azide 용액에 24시간 침지한 후 사용하였다. 투석막의 한쪽 끝을 dialysis tubing closure로 밀봉한 후 투석막 내부에 식이섬유 시료 0.2g을 넣고 glucose

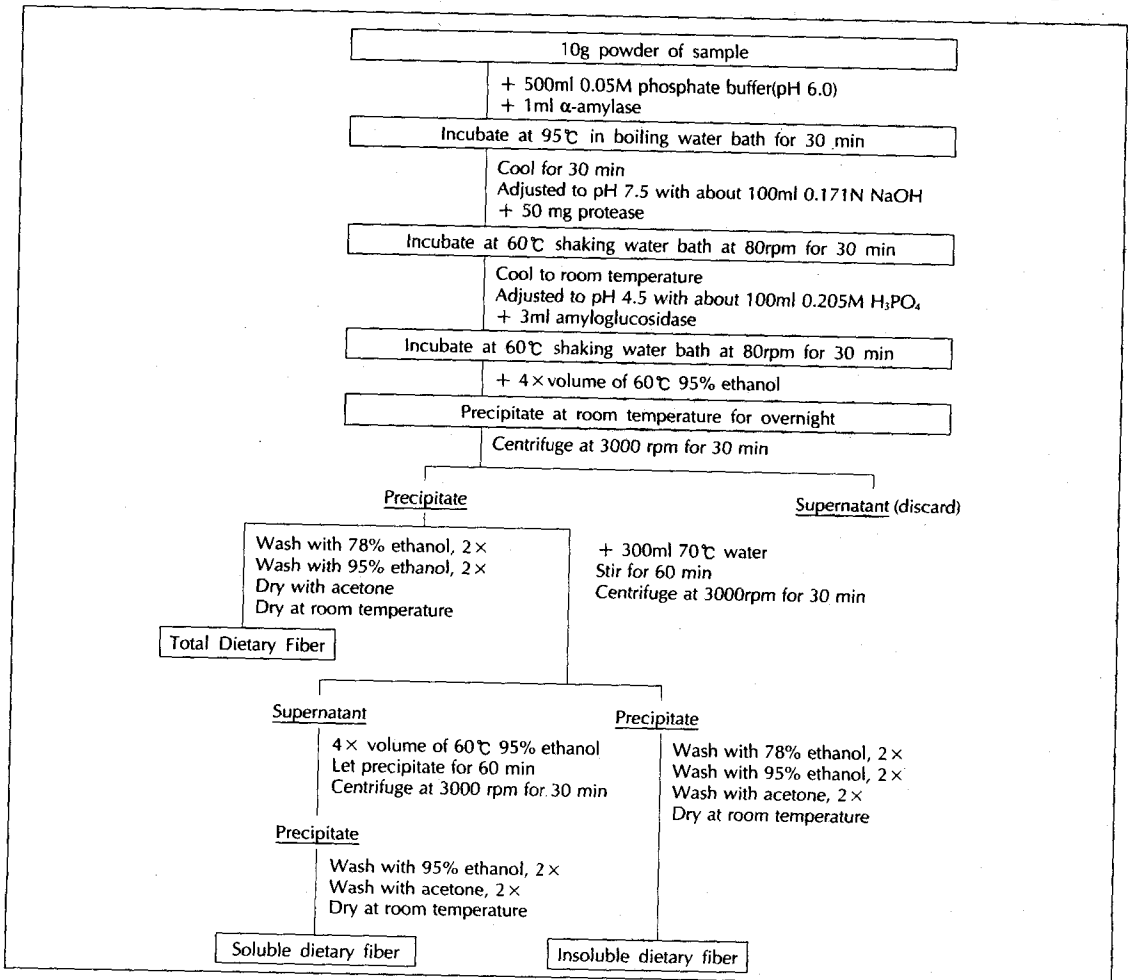


Fig. 1. Schematic diagram for the extraction of dietary fibers.

36mg을 용해시킨 0.1% sodium azide 용액 6ml를 넣어 나머지 투석막 끝도 밀봉 후 뚜껑이 있는 150ml 용량의 시린다 용기(직경 4.5cm×길이 10.5cm)에서 14시간 동안 시료를 수화시켰다. Control의 경우는 glucose 용액만 넣고 식이섬유 시료는 제외시켰다. 이 용기에 0.1% sodium azide 용액 100ml를 가한 후 37℃ water bath에서 100rpm으로 24시간 흔들어 주면서 일정한 시간 간격으로 투석막 외액 1ml씩을 취하여 Somogyi-Nelson법<sup>30)31)</sup>에 따라 glucose 함량을 분석하였다.

## 2) Bile acid 투과 억제 효과

식이섬유질의 장관내 bile acid의 흡수 지연 효과는 glucose의 경우와 마찬가지로 투석막을 이용하여 투석막 내액의 bile acid가 투석막 외액으로 빠져나오는 원리를 이용하였다<sup>24)28)29)</sup>. 투석막(Sigma D7884 : M.W. cut off > 1200)은 10cm의 길이로 자른 후 0.1% sodium azide 용액에 24시간 침지한 뒤 사용하였다. 투석막의 한쪽 끝을 closure로 밀봉한 후 투석막 내부에 식이섬유 시료 0.2g을 넣고 0.05M phosphate buffer(pH 7.0)로 제조한 0.1% sodium azide 용액에 15 mmole taurocholic acid/L를 녹인 용액 6ml를 넣어 나머지 투석막 끝도 밀봉 후 뚜껑이 있는 150ml 용량의 용기에 넣어 14시간 동안 시료를 수화시켰다. Control의 경우는 bile acid 용액만 넣고 식이섬유 시료는 제외시켰다. 여기에 0.05M phosphate buffer(pH 7.0)로 제조한 0.1% sodium azide 용액을 100 ml를 첨가한 후 37℃ water bath에서 100rpm으로 72시간 동안 흔들어 주었다. 일정한 시간 간격으로 투석막 외액 1ml씩을 취하여 Boyd등의 방법<sup>32)</sup>에 따라 taurocholic acid 함량을 분석하였다.

## 3) Cadmium 투과 억제 효과

식이섬유의 장관내 Cd의 흡수 지연 효과도 glucose와 bile acid의 경우와 마찬가지로 투석막을 이용하여 투석막 내액의 Cd이 투석막 외액으로 빠져나오는 원리를 이용하였다<sup>23)24)28)</sup>. 모든 유리 기구는 Cd의 오염을 방지하기 위하여 10% 질산용액에 하룻밤을 담근 후 증류수에 행구어 사용하였다. 투석막(Sigma D7884 : M.W. cut off > 1200)은 10cm의 길이로 자른 후 0.1% sodium azide 용액에 24시간 침지한 뒤 사용하였다. 투석막의 한쪽 끝은 closure로 밀봉한 후 투석막 내부에 식이섬유시료 0.2g을 넣은 후 isotonic Tris buffer(pH 7.4) 6ml를 넣고, 여기에 CdSO<sub>4</sub>(1000 ppm) 120μl를 첨가하여 나머지 투석막 끝도 밀봉한 후 뚜껑이 있는 150ml 용량의 용기에 넣어 14시간 동안 시료

를 수화시켰다. Control의 경우 Cd용액만 넣고 식이섬유시료는 제외시켰다. 여기에 isotonic Tris buffer(pH 7.4) 100ml를 첨가 후 37℃ water bath에서 100 rpm으로 24시간 동안 흔들어 주면서 일정한 시간 간격으로 투석막 외액 1ml씩을 취하여 Cd 함량을 분석하였다. 즉 투석막 외액 1ml에 0.1N 질산을 1ml 첨가하여 2배로 희석시킨 것을 atomic absorption spectrophotometer(Perkin-Elmer Co., Model 2380)로 228.8 nm에서 측정하였다<sup>23)</sup>.

Glucose, bile acid, cadmium 투과 억제 지수는 다음과 같이 계산하였다.

Retardation index(%)

=100

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

## 4) 통계 처리

반투막 투과 실험과 식이섬유 함량 분석 등 모든 실험은 3회 반복하였으며 그 결과를  $\alpha=0.05$  수준에서 각각 일원 배치 분산 분석하고 Duncan의 방법으로 평균치간의 다중 비교를 행하였다.

## 결과 및 고찰

### 1. 식이섬유의 수율 및 순도

감에서 얻은 과피의 수율은 신선물 기준으로 8~12%였으며 감과피의 수분 함량은 72~75%였다. 건대추로부터 씨를 제거한 후 얻은 가식부의 수율은 70~78%였고 건대추 가식부의 수분 함량은 22~30%였으며, 탈당과정을 통해 제거된 당분은 건조 시료의 67~78%였다. 감과피와 건대추로부터 얻은 식이섬유의 수율은 Table 1에 나타난 바와 같았다.

감과피로부터 추출한 총 식이섬유(total dietary fibers from persimmon peels : PTFDF)는 신선물 기준으로 15.04%였고 불용성 식이섬유(insoluble dietary fibers from persimmon peels : IDF)는 11.61%, 수용성 식이섬유(soluble dietary fibers from persimmon peels : PSDF)는 1.76%였다. 건대추로부터

Table 1. Yield of dietary fibers (wet weight basis)

Dietary fibers	Yield (%) <sup>1)</sup>	
	Persimmon peels	Dried jujube
Total dietary fiber	15.04±0.05	14.80±0.22
Insoluble dietary fiber	11.61±0.35	9.98±0.30
Soluble dietary fiber	1.76±0.08	2.80±0.19

1) Values are mean±S.D. of triplicate trials.

터 추출한 총 식이섬유(total dietary fibers from dried jujubes : JTDF), 불용성 식이섬유(Insoluble dietary fibers from dried jujubes : JIDF), 수용성 식이섬유(soluble dietary fibers from dried jujubes : JSDF)는 각각 14.80%, 9.98%, 2.80%였다. 선행 실험<sup>33)</sup>에서 감과육의 TDF 함량은 2.25%였고 감과피의 TDF 함량은 18.16%였는데 본 실험에서 얻은 감과피의 TDF의 수율은 15.04%로 큰 차이 없이 과육보다는 많은 양의 식이섬유를 얻을 수 있음을 확인하였다. 또한 선행 실험에서 건대추의 TDF 함량은 13.74%였는데 본 실험에서 얻은 건대추의 TDF의 수율은 14.80%로서 큰 차이를 보이지 않았다. 감과피와 건대추의 TDF의 수율은 서로 비슷하였으나 SDF와 IDF의 수율에 있어서는 차이를 보였는데, 감과피의 IDF의 수율은 SDF의 약 6.6배이고 건대추는 약 3.6배로서 건대추의 SDF 함량이 감과피에 비해 높음을 알 수 있었다. 선행 실험<sup>33)</sup>에 의하면 감과피의 IDF는 신선물 기준으로 15.71%, SDF는 2.46%로 IDF가 SDF의 6.4배였는데 이는 본 실험의 결과와 거의 일치하고 있다. 또한 선행 실험에서 건대추의 IDF는 신선물 중량으로 11.58%, SDF는 2.16%였는데 IDF가 SDF의 5.4배로서 본 실험에서의 결과와는 차이를 보이고 있다. 선행 실험에서<sup>33)</sup> 생대추와 건대추를 비교시 건대추의 SDF가 증가하였음을 고려해 볼 때, 이는 대추의 건조 정도에 따른 차이일 수 있으리라 생각된다.

감과피와 건대추로부터 Prosky등<sup>26)</sup>의 방법을 통해 얻은 TDF의 순도를 확인하기 위해 AOAC에서 승인된 Lee등<sup>27)</sup>의 방법에 준하여 TDF, IDF, SDF의 함량과 수분, 단백질, 회분 함량을 정량한 결과는 Table 2와 같았다.

감과피의 총 식이섬유(PTDF)의 순도는 76.0%였으며 이중 IDF가 65.9%, SDF가 10.1%로 IDF가 SDF의 6.5배였다. 선행 실험에 의하면<sup>33)</sup> 감과피내의 식이섬유의 불용성 성분은 주로 lignin, hemicellulose, cell-

ulose였고 수용성 성분은 주로 pectin으로서, lignin 함량은 신선물 기준으로 7.52%, cellulose는 1.28%, hemicellulose는 3.08%, total pectin은 3.37%였다. 따라서 본 실험에서 추출한 감과피의 각 식이섬유들의 구성 성분도 대체로 이와 비슷하리라 생각된다. 건대추의 총 식이섬유(JTDF)의 순도는 75.2%였고 이중 IDF가 55.9%, SDF가 19.3%로 IDF가 SDF의 2.9배였다. 선행 실험에서<sup>33)</sup> 건대추내 식이섬유의 불용성 성분은 주로 lignin, hemicellulose, cellulose였고 수용성 성분은 주로 pectin으로 나타났는데, 신선물 기준으로 lignin함량은 6.78%, hemicellulose는 3.17%, cellulose는 0.30%, total pectin은 2.33%였다. 그러나 생대추와 건대추를 비교해볼 때 생대추에서는 cellulose와 lignin이 거의 발견되지 않았으나 건대추에서는 lignin의 함량이 높아졌으므로 건조 과정을 통해 이들 구성 성분의 조성에 변화가 일어남을 알 수 있었다. 따라서 본 실험에서 추출한 건대추의 식이섬유들도 주로 이들 성분으로 구성되어 있을 것으로 생각되지만 본 실험에서 사용한 건대추와 선행 실험에서 사용한 건대추의 건조 정도가 다를 것으로 추측되므로 이들 성분의 함량에 있어서는 다소 차이가 있을 것으로 본다. 이상과 같이 감과피와 건대추로부터 추출한 각 TDF, IDF, SDF들은 그 화학적 조성이 달라서 glucose, bile acid와 cadmium 흡수 억제에 각각 다른 생리 효과를 가질 것으로 보인다.

## 2. 식이섬유의 투과 억제 효과

### 1) Glucose 투과 억제 효과

전반적인 glucose 투과율을 보면 투석 초기 2시간까지는 급속히 투과되나 투석 시간이 경과할수록 투과율이 떨어졌으며 투석 초기의 glucose retardation index는 glucose의 흡수 지연 효과를 판단하는 지표가 될 수 있다. 투석막을 이용하여 30분, 1시간, 2시간의 투석 시간에 따라 식이섬유의 glucose 투과 억제 효과를 살펴본 결과는 Table 3과 같았다.

투석 후 1시간까지는 통계적으로 유의한 차이는 없었으나 모든 식이섬유군들 중 수용성 성분들이 투과 억제 효과를 나타냈다. 상품화된 식이섬유인 CM-cellulose(CMC), citrus pectin과 함께 대추의 SDF의 투과 억제 효과가 30% 정도로 가장 높았고, 감과피의 SDF도 glucose의 투과를 억제하는 효과를 보였으나 SDF의 함량이 높은 대추의 TDF가 감과피의 SDF보다 높은 투과 억제 효과를 나타냈다. Alpha-cellulose를 비롯한 각 불용성 식이섬유들과 IDF의 함량이 높은 감과피의 TDF는 투과 억제 효과가 없거나 매우 낮았다. 투석 2시간째에는 통계적으로 유의하지는 않으나 citrus

Table 2. Purity of dietary fibers

Constituent	Content (%) <sup>1)</sup>	
	PTDF <sup>2)</sup>	JTDF <sup>3)</sup>
Moisture	6.1	7.3
Ash	5.8	7.6
Protein	12.1	9.9
Total dietary fiber <sup>4)</sup>	76.0	75.2
Insoluble DF	65.9	55.9
Soluble DF	10.1	19.3

1) Mean of triplicate determinations

2) Total dietary fiber extracted from persimmon peels

3) Total dietary fiber extracted from dried jujubes

4) Insoluble plus soluble dietary fibers

**Table 3.** Retarding effect of dietary fibers on dialysis membrane transport of glucose

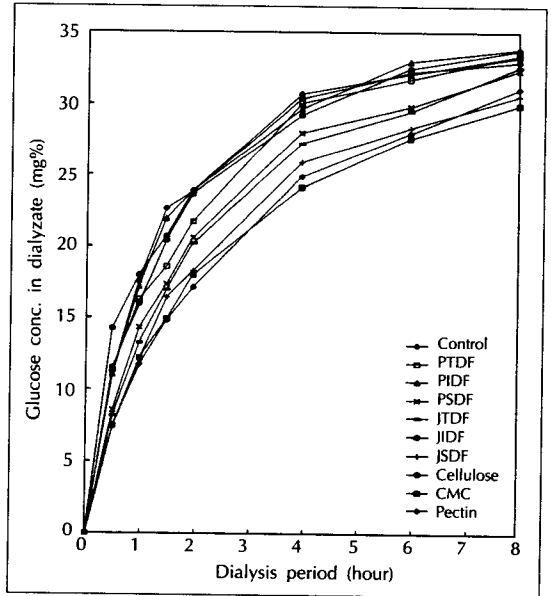
Sample	Dialysis for 30min		Dialysis for 1 hour		Dialysis for 2 hour	
	Glucose in dialyate(mg%)	RI(%) <sup>1)</sup>	Glucose in dialyate(mg%)	RI(%)	Glucose in dialyate(mg%)	RI(%)
Control	11.18±3.13 <sup>2N.S.3)</sup>	0.00	17.51±3.95 <sup>N.S.</sup>	0.00	23.83±4.23 <sup>N.S.</sup>	0.00
PTDF <sup>4)</sup>	11.32±5.44	-1.34	16.22±4.82	7.31	21.69±4.14	8.98
PIDF <sup>4)</sup>	11.00±1.48	1.61	17.14±1.77	2.11	23.82±1.73	0.04
PSDF <sup>4)</sup>	8.54±2.30	23.61	14.27±2.38	18.46	20.55±3.18	13.76
JTDF <sup>5)</sup>	8.14±1.33	27.19	13.20±2.21	24.57	20.18±2.79	15.32
JIDF <sup>5)</sup>	11.47±2.98	-2.68	15.98±4.02	8.69	23.63±4.00	0.84
JSDF <sup>5)</sup>	7.49±2.40	33.01	12.05±4.11	31.14	18.24±6.99	23.46
α-cellulose	14.26±6.57	-27.55	17.96±6.32	-2.63	23.82±5.09	0.04
CM-cellulose	7.46±2.23	33.27	12.12±1.99	30.74	17.97±2.41	24.63
Citrus pectin	7.41±1.07	33.72	11.70±2.13	33.14	17.08±3.33	28.33

- 1) RI : glucose retardation index(%)
- 2) Values are mean ± S.D. of triplicate trials.
- 3) N.S. : no significance at p<0.05 by Duncan's multiple range test
- 4) PTDF : Total dietary fibers extracted from persimmon peels  
PIDF : Insoluble dietary fibers extracted from persimmon peels  
PSDF : Soluble dietary fibers extracted from persimmon peels
- 5) JTDF : Total dietary fibers extracted from dried jujubes  
JIDF : Insoluble dietary fibers extracted from dried jujubes  
JSDF : Soluble dietary fibers extracted from dried jujubes

pectin의 효과가 가장 컸고, 다음으로 CMC와 대추의 SDF가 24% 정도의 비슷한 억제 효과를 보였다. 총 식이섬유중에서는 수용성 성분이 많은 대추의 TDF가 대추보다 수용성 성분이 적은 감과피의 TDF보다 투과 억제 효과가 컸고, 불용성 식이섬유인 α-cellulose, 대추와 감과피의 IDF들은 거의 효과를 보이지 않았다.

투석 시간을 8시간까지 연장시켜 본 결과는 Fig. 2와 같았다. 식이섬유의 glucose 투과 억제 효과는 시간이 경과함에 따라 서서히 감소하였으나 수용성 식이섬유 군들은 다른 군들에 비해 계속 투과 억제 효과가 비교적 높게 유지되었는데 그 중 CMC가 가장 투과 억제 효과가 컸고 대추의 SDF와 citrus pectin은 비슷한 효과를 나타냈다. 감과피의 SDF와 대추의 TDF는 비슷한 투과 억제 효과를 보여서 수용성 식이섬유군들 중에서는 감과피의 SDF가 가장 낮은 효과를 가졌다. Alpha-cellulose, 감과피와 대추의 IDF와 같은 불용성 식이섬유군들은 투석 6시간째에는 전혀 효과가 없었고 감과피의 TDF도 점점 효과가 감소하여 4~6시간에는 1~2% 정도의 억제 효과를 보이다가 8시간에 이르러 억제 효과가 사라졌다.

감과피와 대추의 TDF의 glucose 투과 억제 효과를 비교해 보면, TDF를 구성하고 있는 IDF와 SDF의 함량에 의해 그 효과가 달라짐을 알 수 있었다. 즉 감과피의 TDF에는 glucose 투과 억제효과가 없는 IDF의 함량이 SDF에 비해 매우 높고, 감과피의 SDF 자체의 glucose 투과 억제효과도 높지 않으므로 감과피의



**Fig. 2.** Passive transport in vitro of glucose in the presence of dietary fibers.

TDF의 glucose 투과 억제 효과는 매우 낮은 수준이었다. 이에 반해 대추의 TDF에는 SDF의 함량이 감과피에 비해 높고 대추의 SDF의 glucose 투과 억제 효과도 감과피의 SDF에 비해 높아서 결과적으로 대추의 TDF의 효과가 감과피의 TDF보다 매우 높게 나타났다.

감과피와 건대추의 수용성 식이섬유가 모두 pectin이 주성분이지만 glucose 투과 억제에 있어서 효과의

차이를 보이는 것은 급원에 따라 pectin의 화학적 구성과 물리화학적 성질이 다르기 때문으로 생각되어진다. 이경숙 등의 연구에서도 apple pectin은 citrus pectin보다 glucose나 bile acid 투과 억제 효과가 낮은 것으로 나타나 pectin의 급원이 다른 경우에 그 생리적 효과도 서로 다른 결과를 보였다<sup>29)</sup>. 본 실험에서 대추의 SDF가 citrus pectin과 비슷한 효과를 보이는 것으로 보아 대추의 SDF를 이루는 pectin은 citrus pectin과 화학적 구조나 물리화학적 성질이 유사할 것으로 추측할 수 있다.

본 *in vitro* 실험에서 나타난 수용성 식이섬유들의 glucose 투과 지연 효과는 수용성 식이섬유에 의한 점성 증가로써 설명될 수 있다<sup>8)34)</sup>. 즉 수용성 식이섬유들은 점성이 높은 gel matrix를 형성하여 glucose를 trapping함으로써 glucose가 확산되는 것을 억제하는 것으로 생각된다. Adiotomre등<sup>28)</sup>의 *in vitro* 실험에서도 pectin, CMC를 비롯한 각종 수용성 식이섬유들은 glucose 흡수를 지연시켰고 주로 불용성 성분으로 구성된 wheat bran은 그 효과가 매우 낮았다. 한편 수용성 식이섬유들의 glucose 흡수 지연 효과는 *in vivo* 실험에서도 *in vitro* 실험 결과와 같은 양상을 나타내는데, Groop등<sup>9)</sup>의 연구에서는 오랜 기간에 걸쳐 하루 15g의 guar gum을 NIDDM 환자에게 공급한 경우 혈당 조절과 postprandial glucose tolerance가 향상되었고, Feldman등<sup>10)</sup>의 연구에서는 수용성 식이섬유가 풍부하게 들어있는 식품을 섭취한 NIDDM 환자의 식후 혈당 수준과 insulin 수준이 control에 비해 감소되어 수용성 식이섬유가 NIDDM 환자의 혈당 조절에 도움이 될 수 있음을 제안하였다. 이와 같이 *in vivo* 실험에서 보여지는 guar gum, pectin 등 수용성 식이섬유의 혈당 조절 효과는 점증력에 의해 glucose가 trapping되는 것 뿐만 아니라 gastric emptying rate이 저하됨으로써 나타난다고 여겨지며<sup>34)35)</sup>, 실제로 인체를 대상으로 한 *in vivo* 실험의 결과를 살펴 보면 김은희 등의 연구에서 점도가 높은 수용성 식이섬유일수록 혈당 강하 효과가 높아짐이 확인되었다<sup>36)</sup>.

본 연구에서는 불용성 식이섬유군들에서 glucose 투과 지연 효과가 나타나지 않았는데 다른 실험에서도 cellulose, wheat bran 등의 불용성 식이섬유들은 glucose 흡수 지연 효과나 postprandial glycemic response에 큰 효과를 보이지 않아<sup>10)28)</sup> *in vitro* 실험과 *in vivo* 실험의 결과가 일치하고 있으며 이는 수용성 식이섬유에 비해 점성이 떨어지기 때문으로 생각되고 있다.

본 연구에서 감과피와 건대추로부터 추출한 불용성 식이섬유는 glucose 투과 억제 효과를 보이지 않았으

나 수용성 식이섬유는 효과가 있었다. 특히 감과피의 수용성 식이섬유에 비해 건대추의 수용성 식이섬유가 더욱 효과적이어서 상판화된 수용성 식이섬유들과 비슷한 효과를 보였으며, 총 식이섬유의 glucose 투과 억제 효과는 총 식이섬유내의 수용성 식이섬유의 함량에 따라 다르게 나타났다. 따라서 당뇨병 환자(NIDDM)에게서 수용성 식이섬유가 혈당을 조절하고 insulin을 절약하여 주었다는 결과를 볼 때 혈당의 급격한 상승을 억제시켜야 하는 당뇨 환자를 위한 기능성 식품 개발에 특히 건대추의 수용성 식이섬유를 이용할 수 있겠다.

## 2) Bile acid 투과 억제 효과

투석막을 이용하여 식이섬유들의 bile acid 투과 억제 효과를 30분, 2시간, 4시간의 시간 간격으로 살펴본 결과는 Table 4와 같았다. Glucose의 경우와는 달리 모든 식이섬유군들이 유의적으로 bile acid의 투과를 억제하는 결과를 볼 수 있었다. 투석 30분에서는 감과피와 대추의 SDF들이 가장 크게 bile acid의 투과를 억제시켜 약 30% 정도의 억제 효과를 나타냈고 citrus pectin은 20% 정도의 억제 지수를 보였다. Glucose 투과 억제에서는 효과를 보이지 않았던 감과피와 대추의 IDF들이 14% 전후의 투과 억제 효과를 나타냈고 glucose 투과 억제에서 높은 효과를 보였던 CMC는 bile acid의 투과를 억제하는 효과는 낮았다. 투석 2시간에서는 대추의 SDF가 투석 억제 효과가 28%로 가장 높았고 그 다음으로 대추의 TDF와 citrus pectin이 20% 내외의 효과를 보였으며 감과피의 SDF와 IDF, 대추의 IDF의 투과 억제 효과는 13~15%로 비슷하였다. 투석 4시간에서는 투석 효과가 가장 낮았던  $\alpha$ -cellulose, 감과피의 TDF와 IDF군을 제외한 다른 군들의 효과는 서로 유의적인 차이를 보이지 않았으나 대추의 SDF와 IDF, citrus pectin군들이 비교적 효과가 높은 경향을 나타냈다. 감과피의 TDF,  $\alpha$ -cellulose는 투과 억제 효과는 낮았으나 glucose 투과시와는 달리 시간 경과에 따라 억제 효과가 감소하지 않고 지속적으로 나타났으며 감과피 IDF는 감과피 TDF와  $\alpha$ -cellulose보다는 억제 효과가 다소 더 높은 경향을 보였다.

투석 시간을 24시간까지 연장시켜 본 결과는 Fig. 3과 같았다. 시간별로 bile acid의 투과율을 볼 때 glucose보다 투과가 서서히 이루어졌으며 이것은 bile acid의 분자량(537.7)이 glucose(180)보다 커서 투석 속도가 느리기 때문인 것으로 생각된다. 감과피와 대추로부터 추출한 식이섬유들은 24시간까지 비슷한 투과 억제 효과를 유지하였는데 특히 투석 초기에는 효과가 낮은 감과피의 TDF는 시간이 경과함에 따라 투과 억

**Table 4.** Retarding effect of dietary fibers on dialysis membrane transport of bile acid

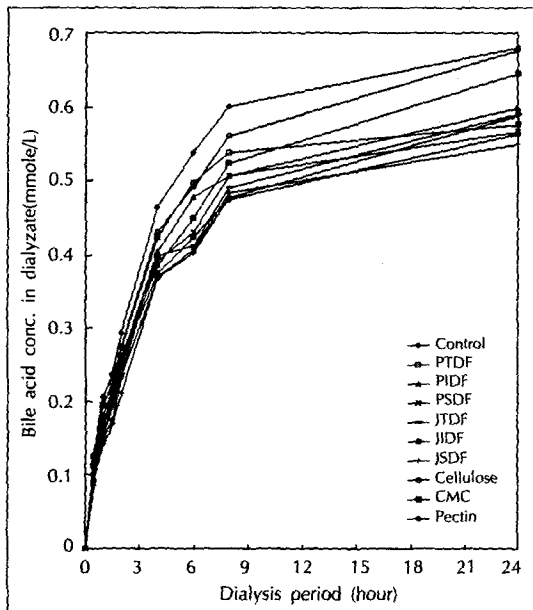
Sample	Dialysis for 30min		Dialysis for 2 hour		Dialysis for 4 hour	
	Bile acid in dialyrate (mmol/L)	Ri(%) <sup>1)</sup>	Bile acid in dialyrate (mmol/L)	Ri(%)	Bile acid in dialyrate (mmol/L)	Ri(%)
Control	0.129±0.008 <sup>2(a3)</sup>	0.00	0.293±0.012 <sup>a</sup>	0.00	0.465±0.021 <sup>a</sup>	0.00
PTDF <sup>4)</sup>	0.125±0.004 <sup>ab</sup>	3.10	0.275±0.030 <sup>ab</sup>	6.48	0.424±0.042 <sup>ab</sup>	8.82
PIDF <sup>4)</sup>	0.112±0.005 <sup>abc</sup>	13.18	0.256±0.039 <sup>abc</sup>	12.63	0.405±0.057 <sup>ab</sup>	12.90
PSDF <sup>4)</sup>	0.088±0.008 <sup>e</sup>	31.78	0.249±0.039 <sup>abc</sup>	15.02	0.393±0.034 <sup>b</sup>	15.48
JTDF <sup>5)</sup>	0.117±0.003 <sup>abc</sup>	9.30	0.238±0.008 <sup>bc</sup>	18.77	0.399±0.003 <sup>b</sup>	14.19
JIDF <sup>5)</sup>	0.110±0.014 <sup>bcd</sup>	14.73	0.255±0.033 <sup>abc</sup>	12.97	0.375±0.023 <sup>b</sup>	19.35
JSDF <sup>5)</sup>	0.094±0.005 <sup>de</sup>	27.13	0.211±0.014 <sup>c</sup>	27.99	0.370±0.015 <sup>b</sup>	20.43
α-cellulose	0.117±0.006 <sup>abc</sup>	9.30	0.276±0.017 <sup>ab</sup>	5.80	0.431±0.037 <sup>ab</sup>	7.31
CM-cellulose	0.116±0.018 <sup>abc</sup>	10.08	0.262±0.028 <sup>ab</sup>	10.58	0.386±0.033 <sup>b</sup>	16.99
Citrus pectin	0.103±0.008 <sup>cde</sup>	20.16	0.234±0.008 <sup>bc</sup>	20.14	0.367±0.033 <sup>b</sup>	21.08

1) Ri : bile acid retardation index(%)

2) Values are mean±S.D. of triplicate trials

3) Means not followed by the same letter in the same column differ significantly from one another( $p < 0.05$ ) by Duncan's multiple range test.

4)5) Same as Table 3

**Fig. 3.** Passive transport in vitro of bile acid in the presence of dietary fibers.

제 지수가 계속 증가하여 24시간째에는 약 15%의 억제 지수를 보였다. 투석 시작 후 24시간에 걸쳐 대추의 SDF의 투과 억제 효과가 가장 컸고 citrus pectin의 효과는 대추 SDF보다 다소 낮았다. 다음으로 대추의 TDF, IDF, 감과피의 SDF가 서로 비슷한 효과를 보였으며 그 다음으로는 감과피의 IDF, CMC가 이들보다 다소 낮은 효과를 나타냈다. 감과피의 TDF와 α-cellulose는 효과가 가장 낮게 나타났으나 투석 시간이 경과함에 따라 감과피의 TDF가 α-cellulose에 비해 다

소 높은 효과를 보이는 경향이 있었다.

Glucose 투석때와는 달리 감과피와 대추의 불용성 식이섬유들이 bile acid 투과 억제에 있어서 뚜렷한 억제 효과를 보인 것은 IDF 구성 성분인 lignin, cellulose, hemicellulose 중에서도 특히 lignin과 hemicellulose의 작용으로 생각된다. 즉 선행 실험에 의하면<sup>33)</sup> 감과피에는 신선물 기준으로 lignin 7.52%, hemicellulose 3.08%, cellulose 1.28%가 포함되어 있었고, 건대추에는 각각 6.78%, 3.17%, 0.30%가 포함되어 있어 감과피와 대추의 IDF의 주성분은 cellulose보다는 lignin과 hemicellulose임이 밝혀졌다. 여러 *in vitro* 실험에서 cellulose는 bile acid와의 결합력이 매우 낮은 데 비해 lignin은 결합력이 높았고<sup>37)38)</sup> Galaher 등<sup>39)</sup>의 *in vivo* 실험에서도 cellulose는 bile acid와의 결합력이 거의 없었던 데 비해 lignin은 bile acid와의 결합력이 매우 높게 나타났다. 또한 Rotstein 등<sup>40)</sup>의 실험에서도 lignin이 bile acid와 결합하여 변으로의 bile acid 배설을 증가시켰다. Eastwood 등에 의하면 lignin과 bile acid의 결합은 hydrophobic bonding에 의한 것이며 lignin의 급원과 구조에 따라 결합 정도가 달라진다고 하였는데<sup>41)</sup> 본 실험에서 감과피와 대추의 IDF들이 bile acid 투과 억제 효과가 달랐던 것도 주로 lignin의 차이 때문인 것으로 생각된다. 또한 hemicellulose 역시 물을 흡수하여 gel matrix를 형성함으로써 bile acid를 붙잡는 효과(trapping effect)가 있다는 보고가 있었다<sup>42)</sup>.

수용성 식이섬유군들의 투과 억제 정도는 glucose 투과 억제 실험에서와 같이 대추의 SDF와 citrus pectin이 가장 높은 효과를 보이고 감의 SDF는 이보



다 낮은 효과를 보임으로써 감과피와 대추의 SDF를 구성하는 pectin과 citrus pectin의 구조에 대한 추측을 가능케 해 준다. 즉 대추의 pectin과 citrus pectin은 구조적으로 유사하고 감과피의 pectin의 구조는 이들과 다르므로 이들의 억제 효과에 차이가 생긴 것으로 생각되는데, pectin의 methyl esterification 정도가 클수록 bile acid와의 상호 작용이 증가한다는 보고가 있으므로<sup>43)</sup> 이에 따르면 감과피의 pectin은 대추의 pectin이나 citrus pectin에 비해 esterification 정도가 낮을 것으로 생각된다.

총 식이섬유군들의 투과 억제 효과를 살펴볼 때 대추의 TDF는 그를 구성하는 대추의 IDF와 대추의 SDF가 모두 높은 bile acid 투과 억제 효과를 보였으므로 투과 억제 효과가 높게 나타났다. 그러나, 감과피는 감과피의 IDF와 SDF가 모두 bile acid 투과 억제 효과가 낮았으므로 TDF의 효과도 낮았다.

식이섬유들이 bile acid와 결합하는 것은 이온 결합과 gel matrix의 형성에 의한 trapping 효과<sup>44)</sup>, 혹은 hydrophobic bonding<sup>38)42)</sup>이 관여하는 것으로 알려져 있다. 이러한 식이섬유의 bile acid와의 흡착은 식이섬유에 의한 혈청 cholesterol 저하 효과에 매우 중요한 역할을 하는데, 식이섬유에 의해 흡착된 bile acid는 체내에서 재흡수되지 못하고 체외로 배설되므로<sup>11)45)</sup> 그만큼의 bile acid를 다시 합성하기 위해 간의 cholesterol 합성 및 이용이 증진된다. 즉, 식이섬유를 공급하였을 때 cholesterol로부터 bile acid를 합성하기 위한 효소인 7 $\alpha$ -hydroxylase의 활성이 증가되어 간에서 bile acid의 합성이 활발해졌고, cholesterol 합성을 위한 HMG CoA reductase의 활성이 증진되어 간의 cholesterol 합성이 증가되었으며<sup>12)46)47)</sup> 간의 LDL-receptor의 활성이 높아져 간으로의 cholesterol uptake가 증가됨으로써<sup>46)</sup> 결국 혈중 cholesterol 수준이

감소되었다. 수용성 식이섬유에 의해 혈청 cholesterol과 간의 cholesterol이 감소되었다는 보고가 있으나<sup>48)49)</sup> in vivo 실험에서 cellulose나 wheat bran 등의 불용성 식이섬유는 이러한 cholesterol 저하 효과가 나타나지 않았다<sup>11)44-46)</sup>. 그 밖에 식이섬유와 bile acid의 결합에 의해 장내의 micelle 형성을 방해하여 지방 흡수를 감소시킴으로써 혈청 cholesterol 수준이 감소되었다는 보고가 있으며<sup>50)</sup>, 수용성 식이섬유는 그 점성이 클수록 영양소 흡수를 지연시켜 cholesterol 저하 효과가 컸다고 하였다<sup>51)52)</sup>. 또한 수용성 식이섬유가 대장 내에서 발효되어 생긴 propionic acid가 HMG CoA reductase의 inhibitor로 작용하여 cholesterol 합성을 억제시킨다는 주장도 있었으나<sup>53)</sup>, 이러한 short chain fatty acids와 수용성 식이섬유의 cholesterol 저하 효과와는 관련이 없었다는 보고가 있는 등<sup>52)54)</sup> 현재까지 식이섬유에 의한 cholesterol 저하 효과의 기전은 확실히 밝혀지지 않고 있다.

본 실험에서 감과피와 건대추로부터 추출한 식이섬유들은 대부분 bile acid 투과 억제 효과를 보였고 그중 수용성 식이섬유들이 각각의 불용성, 총식이섬유들보다 억제효과가 더 컸다. 특히 건대추의 수용성 식이섬유는 상품 수용성 식이섬유인 citrus pectin과 비슷한 효과가 있었고 대추와 감과피의 식이섬유들을 비교해 볼 때 대추의 식이섬유들이 감과피의 식이섬유들에 비해 bile acid 투과 억제에 더 효과적이었다.

### 3) Cadmium 투과 억제 효과

투석막을 이용하여 식이섬유들의 Cd 투과 억제 효과를 투석후 30분, 1시간, 2시간 간격으로 살펴 본 결과는 Table 5와 같았다. Alpha-cellulose군을 제외한 모든 식이섬유군들에게서 Cd 투과 억제 효과가 매우 높게 나타났으며  $\alpha$ -cellulose는 2시간 내내 Cd의 투과

Table 5. Retarding effect of dietary fibers on dialysis membrane transport of cadmium

Sample	Dialysis for 30min		Dialysis for 1 hour		Dialysis for 2 hour	
	Cadmium in dialyate(ppm)	RI(%) <sup>1)</sup>	Cadmium in dialyate(ppm)	RI(%)	Cadmium in dialyate(ppm)	RI(%)
Control	0.286 ± 0.032 <sup>2)3)</sup>	0.00	0.486 ± 0.068 <sup>a)</sup>	0.00	0.765 ± 0.093 <sup>a)</sup>	0.00
PTDF <sup>4)</sup>	0.115 ± 0.050 <sup>bcd)</sup>	59.79	0.260 ± 0.092 <sup>bc)</sup>	46.50	0.424 ± 0.137 <sup>bc)</sup>	44.58
PIDF <sup>4)</sup>	0.105 ± 0.040 <sup>cd)</sup>	63.29	0.228 ± 0.035 <sup>bc)</sup>	53.09	0.358 ± 0.039 <sup>bc)</sup>	53.20
PSDF <sup>4)</sup>	0.076 ± 0.019 <sup>d)</sup>	73.43	0.173 ± 0.034 <sup>c)</sup>	64.40	0.299 ± 0.043 <sup>c)</sup>	60.92
JTDF <sup>5)</sup>	0.117 ± 0.015 <sup>bcd)</sup>	59.09	0.240 ± 0.059 <sup>bc)</sup>	50.62	0.466 ± 0.049 <sup>bc)</sup>	39.08
JIDF <sup>5)</sup>	0.169 ± 0.038 <sup>b)</sup>	40.91	0.300 ± 0.073 <sup>b)</sup>	38.27	0.471 ± 0.136 <sup>bc)</sup>	38.43
JSDF <sup>5)</sup>	0.102 ± 0.037 <sup>cd)</sup>	64.34	0.208 ± 0.076 <sup>bc)</sup>	57.20	0.438 ± 0.076 <sup>bc)</sup>	42.75
$\alpha$ -cellulose	0.263 ± 0.028 <sup>a)</sup>	8.04	0.471 ± 0.062 <sup>a)</sup>	3.09	0.734 ± 0.078 <sup>a)</sup>	4.05
CM-cellulose	0.113 ± 0.004 <sup>bcd)</sup>	60.49	0.204 ± 0.006 <sup>bc)</sup>	59.02	0.389 ± 0.148 <sup>bc)</sup>	49.15
Citrus pectin	0.154 ± 0.035 <sup>bc)</sup>	46.15	0.315 ± 0.035 <sup>b)</sup>	35.19	0.490 ± 0.035 <sup>b)</sup>	35.95

1) RI : cadmium retardation index(%)

2)3) Same as Table 4

4)5) Same as Table 3

억제 효과가 거의 없었다. 투석 2시간동안 가장 높은 Cd 투과 억제 효과를 보인 것은 감과피의 SDF였고, 다음으로 감과피의 TDF와 IDF, 대추의 TDF, SDF군들과 CMC군이 비슷한 억제 효과를 나타냈다. 그 다음으로 대추의 IDF군과 citrus pectin군의 효과가 비슷하였는데 citrus pectin은 glucose와 bile acid의 투과 억제에는 매우 효과적이었으나 Cd 투과 억제에서는 다른 군들에 비해 효과가 다소 낮게 나타났다. 모든 식이 섬유들이 대체로 투석 초기 30분에 가장 높은 억제 효과를 나타냈고 그 이후로는 시간에 따라 효과가 감소하였다.

투석막을 통한 Cd 투과 정도를 24시간까지 연장시켜 본 결과는 Fig. 4와 같았다. Control군을 비롯한 모든 식이섬유군들에서 투석막 외액의 농도는 2시간까지 급격히 증가하였으나 4시간 이후에는 증가율이 완만해졌고 8~24시간에서는 큰 변화가 없었다. 투석 24시간동안 가장 억제 효과가 컸던 것은 감과피의 SDF였고, 다음으로 감과피의 IDF와 CMC도 비슷하게 높은 효과를 나타냈으며 그 다음으로 감과피의 TDF군이 높은 효과를 보였다. 대추의 TDF, IDF, SDF군들과 citrus pectin은 투과 억제 효과가 비슷하였는데 citrus pectin이 대추의 식이섬유군들보다 효과가 다소 더 낮은 경향을 보였다. 대추의 TDF와 SDF, citrus pectin은 시간이 경과할수록 투과 억제력이 감소하였으나 대추의 IDF는 계속 40% 전후의 억제 효과를 유지하였으며 이러한 경향은 감과피의 IDF도 마찬가지여서 IDF는

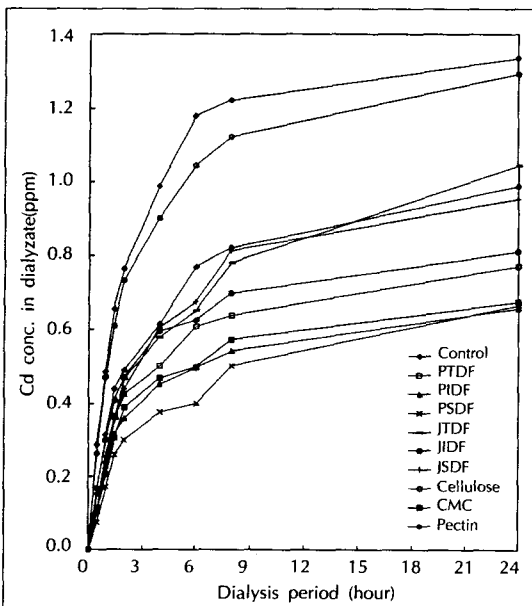


Fig. 4. Passive transport in vitro of cadmium in the presence of dietary fibers.

TDF, SDF에 비하여 비교적 일정한 억제 지수를 유지하는 결과를 볼 수 있었다.

감과피와 대추의 TDF의 Cd 투과 억제 효과를 살펴볼 때 glucose나 bile acid 투과시와 마찬가지로 TDF는 그를 구성하는 IDF, SDF의 함량에 따라 억제 효과가 달라졌다. 즉 IDF의 함량이 높은 감과피의 TDF는 감과피 IDF와 억제력이 비슷하였는데, 비록 감과피의 SDF가 Cd 억제 효과는 매우 높았지만 감과피 TDF내 SDF의 함량이 적어서 큰 영향을 주지 못한 것으로 생각된다. 또한 대추의 TDF는 대추의 IDF와 SDF의 중간 정도의 억제 효과를 보였는데 대추 TDF 내의 SDF의 함량이 감과피에 비해 높으므로 시간경과에 따른 억제 효과의 변화 경향이 대추의 SDF와 유사하였다.

감과피와 대추의 SDF와 citrus pectin의 효과를 비교해 보면, glucose와 bile acid 투과 억제 실험을 통해 그 구조나 물리화학적 성질이 비슷할 것으로 추측되었던 citrus pectin과 대추의 SDF, 즉 대추의 pectin 성분은 Cd 투과 억제에 있어서도 비슷한 효과를 보였으며, 이들과는 구조가 다른 pectin을 포함할 것으로 생각된 감과피의 SDF는 citrus pectin과 대추의 SDF에 비해 매우 높은 Cd 투과 억제 효과를 나타냈다. 24시간 동안  $\alpha$ -cellulose는 뚜렷한 투과 억제 효과를 나타내지 않았는데 Schäfer 등<sup>25)</sup>의 동물 실험에서도 식이에 cellulose를 첨가한 경우 Cd 흡수를 억제하지 못하는 결과를 보여 본 실험의 결과와 일치하고 있다.

식이섬유가 Cd의 투과를 억제하는 것은 식이섬유와 Cd의 결합, fiber solution의 점성으로 인한 Cd의 확산률 감소 효과로 설명할 수 있겠다. 즉, Morio 등<sup>59)</sup>에 의하면 Cd와 식이섬유와의 결합 정도는 lignin > Na CM-cellulose > Na alginate > pectin > glucomannan > cellulose 순으로 나타났는데 Cd와의 결합력이 높을수록 흡수 지연 효과가 컸다. 본 실험에서도 CMC가 매우 높은 Cd 투과 억제 효과를 나타낸 것은 CMC와 Cd의 결합에 의한 것으로 보이며, 감과피와 대추내 IDF의 억제 효과는 그 주성분인 lignin이 Cd와 강하게 결합하기 때문으로 생각된다. 단 그 효과에 있어서 감과피의 IDF가 대추의 IDF보다 더 높은 억제 효과를 보였던 것은 IDF중의 lignin 함량과 화학적 구조가 급원에 따라 달랐기 때문인 것 같다. 또한 Rose 등<sup>50)</sup>에 의하면 fiber solution의 점성이 높을 경우 Cd이 흡착되어 확산율이 감소되었는데, 본 실험에서도 수용성 식이 섬유들의 Cd 투과 억제 효과는 주로 점성이 높은 gel matrix 형성에 의한 Cd의 trapping effect로 생각되며 투과 억제 효과에 차이가 나타나는 것은 pectin의 구조적 차이에 따른 것 같다.

식이섬유에 의한 Cd 흡수 억제 효과는 여러 *in vivo* 실험에서도 확인되었다. Berglund등<sup>57)</sup>은 식이섬유가 Cd의 장내 흡수를 억제시킬 수 있음을 보고하였고, Schäfer등<sup>25)</sup>과 Moberg등<sup>58)</sup>의 실험에서도 wheat bran이 장내 Cd 흡수를 억제함으로써 체내 Cd 보유를 낮추었으며, Morio등<sup>59)</sup>의 실험에서는 쥐에게 lignin, cellulose, CMC를 먹인 결과 lignin과 CMC는 혈액, 간, 신장, 비장, 고환의 Cd 함량을 감소시켰으나 cellulose에 의한 효과는 작았다. 김미경 등<sup>59)</sup>의 연구에서도 쥐에게 수용성 식이섬유를 섭취시켰을 때 변을 통한 Cd 배설량이 현저히 증가되어 Cd의 흡수가 억제되고 간과 신장 등 조직 내 Cd 함량이 감소되었다. 또한 Wilson등<sup>60)</sup>의 실험에서는 식이 내 식이섬유 수준을 3%에서 6%로 높였을 때 Cd의 독성이 적게 나타나서 식이섬유의 농도를 달리할 때 중금속의 흡수 억제 효과가 달라질 수 있음을 보였다.

본 실험 결과  $\alpha$ -cellulose군을 제외한 모든 식이섬유 군들이 Cd 투과 억제에 높은 효과를 나타내었는데, 특히 감과피의 식이섬유군들이 건대추의 식이섬유군들에 비해서 투과 억제 효과가 더 높아서 상품화된 식이섬유 중에서 가장 높은 Cd 투과 억제 효과를 보인 CMC와 효과 정도가 비슷하였다. 또한 감과피의 식이섬유들 중에서는 수용성 식이섬유의 Cd 투과 억제 효과가 가장 높았고, 불용성 식이섬유도 높은 효과를 보였다. 따라서 생체 내 Cd의 독성 완화를 위해 감과피의 식이섬유와 건대추의 식이섬유를 모두 이용할 수 있겠으나, 특히 감과피의 수용성, 불용성 식이섬유의 효과가 클 것으로 기대된다.

### 요약 및 결론

감과피와 건대추의 식이섬유의 생리적 기능을 조사하기 위해 감과피와 건대추로부터 각각 총 식이섬유(total dietary fiber : TDF), 불용성 식이섬유(Insoluble dietary fiber : IDF), 수용성 식이섬유(soluble dietary fiber : SDF)를 추출하여 반투막을 이용한 *in vitro* 실험을 통해 glucose, bile acid, Cd에 대한 투과 억제 효과를 측정하고 이를 상품화된 식이섬유인  $\alpha$ -cellulose, CM-cellulose(CMC), citrus pectin의 효과와 비교하여 보았다.

감과피로부터 얻은 식이섬유의 수율은 신선물 기준으로 TDF가 14.04%, IDF가 11.61%, SDF가 1.76%였고 감과피로부터 추출한 TDF의 순도는 76.0%였으며 그 중 IDF의 함량은 65.9%, SDF 함량은 10.1%였다. 건대추로부터 얻은 식이섬유의 수율은 신선물 기준으로

TDF가 14.80%, IDF가 9.98%, SDF가 2.80%였고, 건대추로부터 추출한 TDF의 순도는 75.2%였으며 그 중 IDF의 함량은 55.9%, SDF 함량은 19.3%였다.

투석막을 통한 식이섬유들의 glucose 투과 억제 효과는 수용성 식이섬유군들인 CMC, citrus pectin, 건대추의 SDF, 감과피의 SDF군들에서 나타났는데 그 중 CMC의 효과가 가장 컸고 citrus pectin과 건대추의 SDF는 효과가 비슷하였으며 감과피의 SDF는 효과가 비교적 낮았다. 건대추와 감과피의 IDF군들과  $\alpha$ -cellulose에서는 glucose 투과 억제 효과가 없었고, TDF 군들 중에서는 감과피의 TDF에 비해 SDF의 함량이 비교적 높은 건대추의 TDF가 더 큰 효과를 나타냈다. 시간별 glucose의 투석 정도를 보면, 투석 2시간까지는 glucose가 급속히 투과되었으나 4시간 이후부터는 투과율이 서서히 감소되었다.

투석막을 통한 bile acid의 투과는 glucose 투과시와 달리 서서히 이루어졌으며 감과피와 건대추에서 추출한 모든 식이섬유군들이 bile acid 투과 억제 효과를 보였다. 투석 시작 후 24시간에 걸쳐 건대추의 SDF와 citrus pectin의 투과 억제 효과가 가장 컸고 다음으로 건대추의 TDF, IDF, 감과피의 SDF가 서로 비슷한 효과를 보였으며 그 다음으로 감과피의 IDF와 CMC가 이들보다 다소 낮은 효과를 나타냈다. 감과피의 TDF와  $\alpha$ -cellulose는 효과가 가장 낮았으나 투석 시간이 경과함에 따라 감과피의 TDF가  $\alpha$ -cellulose에 비해 다소 높은 투과 억제 효과를 보였다.

식이섬유의 Cd 투과 억제 효과는  $\alpha$ -cellulose군을 제외한 모든 군에서 매우 높게 나타났으며  $\alpha$ -cellulose는 Cd 투과 억제 효과가 없었다. 투석 외액의 Cd 농도는 2시간까지 급격히 증가하였으나 4시간 이후 증가율이 완만해졌고 8시간에서 24시간까지는 큰 변화가 없었다. 투석 24시간 동안 감과피의 SDF가 가장 큰 억제 효과를 보였고 다음으로 감과피의 IDF와 CMC가 높은 효과를 보였으며 감과피의 TDF군의 효과는 이들보다 다소 낮았다. 그 다음으로 건대추의 TDF, IDF, SDF들과 citrus pectin이 비슷한 억제 효과를 나타냈다.

이상의 결과를 종합해 볼 때 감과피의 TDF내에는 IDF의 함량이 SDF의 6.5배였고 건대추의 TDF내에는 IDF의 함량이 SDF의 2.9배로, 건대추의 TDF에는 감과피의 TDF에 비해 SDF의 함량이 더 높았다. Glucose 투과 억제에 있어서는 감과피의 SDF보다 건대추의 SDF가 더 효과적이어서 상품화된 수용성 식이섬유인 citrus pectin과 비슷한 효과를 보였고 불용성 식이섬유군들은 glucose 투과 억제 효과가 나타나지 않았으며 TDF의 효과는 TDF내의 SDF의 함량에 따

라 다르게 나타났다. Bile acid 투과 억제에 있어서는 감과피와 건대추의 TDF, IDF, SDF가 모두 효과를 보였으나 건대추의 식이섬유들이 감과피의 식이섬유들에 비해 bile acid 투과 억제에 더 효과적이었고, SDF들이 TDF와 IDF에 비해 억제 효과가 더 컸으며 특히 건대추의 SDF가 투과 억제 효과가 가장 높아서 citrus pectin의 효과와 비슷한 결과를 나타냈다. Cadmium의 투과 억제는  $\alpha$ -cellulose를 제외한 모든 군들이 높은 효과를 보였는데 감과피 식이섬유들이 건대추 식이섬유들보다 효과가 더 높았고 특히 감과피의 SDF와 IDF가 매우 높은 효과를 나타냈다.

### Literature cited

- 1) Korea statistical yearbook. National statistical office, Republic of Korea, 1996
- 2) Moon KD, Kim JK, Kim JH, Oh SL. Studies on valuable components and processing of persimmon flesh and peel. *Korean J Dietary Culture* 10(4) : 321-326, 1995
- 3) Kim YS. Study on the contents of nutrients and gelation substances in the Korean persimmons. *J Korean Soc Food Nutr* 4(1) : 19-23, 1975
- 4) Park WK, Yoo YH, Hyun JS. Study on the manufacture of jam with Korean persimmon. *J Korean Soc Food Nutr* 4(1) : 25-29, 1975
- 5) Choi JS, Hwang JK, Kim CT, Chung KH, Lee DS. Enzymatic solubilization of thermally treated jujube tissues. *Korean J Dietary Culture* (5) : 683-687, 1996
- 6) Trowell H. Definition of dietary fiber and hypotheses that it is a protective factor in certain disease. *Am J Clin Nutr* 29 : 417-427, 1976
- 7) Nishimune T, Sumimoto T, Yakusiji T, Kunita N. Determination of total dietary fiber in Japanese foods. *J Assoc Off Anal Chem* 74 : 350-359, 1991
- 8) Hwang JK. Physicochemical properties of dietary fibers. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 25(4) : 715-719, 1996
- 9) Groop PH, Aro A, Stenman S, Groop L. Long-term effects of guar gum in subjects with non-insulin dependent diabetes mellitus. *Am J Clin Nutr* 58 : 513-518, 1993
- 10) Feldman N, Norenberg C, Voet H, Manor E, Berner Y, Madar Z. Enrichment of an Israeli ethnic food with fibres and their effects on the glycaemic and insulinaemic responses in subjects with non-insulin-dependent diabetes mellitus. *Br J Nutr* 74 : 681-688, 1995
- 11) Arjmandi BH, Ahn J, Nathani S, Reeves RD. Dietary soluble fiber and cholesterol affect serum cholesterol concentration, hepatic portal venous short-chain fatty acid concentration and fecal sterol excretion in rats. *J Nutr* 122 : 246-253, 1992
- 12) Garcia-Diez F, Garcia-Mediavilla V, Bayon JE, Gonzalez-Gallego J. Pectin feeding influences fecal bile acid excretion, hepatic bile acid and cholesterol synthesis and serum cholesterol in rats. *J Nutr* 126 : 1766-1771, 1996
- 13) Salmern J, Manson JE, Stampfer MJ, Colditz GA, Wing AL, Willett WC. Dietary fiber, glycemic load, and risk of non-insulin-dependent diabetes mellitus in women. *JAMA* 277 : 472-477, 1997
- 14) Miettinen TA. Dietary fiber and lipids. *Am J Clin Nutr* 45 : 1237-1242, 1987
- 15) Roberfroid M. Dietary fiber, inulin, and oligofructose : a review comparing their physiological effects. *Critical Review in Food Science and Nutrition* 33(2) : 103-148, 1993
- 16) Lee HS. Dietary fiber intake of Korean. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 25(2) : 540-548, 1997
- 17) Lee KH, Park MA, Kim ES, Moon HK. A study on dietary fiber intakes of Korean. *J Korean Soc Food Nutr* 23(5) : 767-773, 1994
- 18) Annual report on the cause of death statistics. National statistical office, Republic of Korea. p37, 1996
- 19) Revis NW, Osborne TR. Dietary protein effects on cadmium and metallothionein accumulation in the liver and kidney of rats. *Environ Health Perspect* 54 : 83-91, 1984
- 20) Bae KH. The effect of dietary calcium level on cadmium toxicity in growing rats. Thesis for master's degree, Ewha womans university, 1990
- 21) Bae SY. Effects of dietary zinc on cadmium toxicity and metabolism in rats. Thesis for master's degree, Ewha womans university, 1991
- 22) Claye SS, Idouraine A, Weber CW. In vitro mineral binding capacity of five fiber sources and their insoluble components for copper and zinc. *Plant Foods for Human Nutrition* 49(4) : 257-269, 1996
- 23) Lee SR, Lee KS. A suppressive effect of dietary fiber on in vitro absorption of lead. *Korean J Food Sci Technol* 21(1) : 63-67, 1989
- 24) Kim MK, Yang YJ. Retarding effects of dietary fibers isolated from tangerine peels on glucose, bile acid, cadmium transport *In Vitro*. *Korean J Nutrition* 30(2) : 210-219, 1997
- 25) Schäfer L, Anderson O, Nielsen JB. Effects of dietary factors on G.I. Cd absorption in mice. *Acta Pharmacol Toxicol* 59(7) : 549-552, 1986
- 26) Prosky L, Asp NG, Furda L, DeVries JW, Schweizer TF, Harland BF. Determination of total dietary fiber in foods, food products, and total diets : Interlaboratory study. *J Assoc Off Anal Chem* 68 : 677-679, 1985
- 27) Lee SC, Prosky L, DeVries JW. Determination of total, soluble and insoluble dietary fiber in food-enzymatic gravimetric method, MES-TRIS buffer : Collaborative study.

- J Assoc Off Anal Chem* 75 : 395-416, 1992
- 28) Adiotomre J, Eastwood MA, Edwards CA, Brydon WG. Dietary fiber : in vitro methods that anticipate nutrition and metabolic activity in humans. *Am J Clin Nutr* 52 : 128-134, 1990
  - 29) Lee KS. Content analysis, intake estimation and physiological function of dietary fibers in Korean foods. Thesis for doctor's degree, Ewha womans university, 1994
  - 30) Somogyi M. Notes on sugar determination. *J Biol Chem* 195 : 19-23, 1944
  - 31) Nelson N. A photometric adaptation of the Somogyi method for the determination of the glucose. *J Biol Chem* 153 : 375-380, 1944
  - 32) Boyd GS, Eastwood MA, Maclean N. Bile acids in the rat : Studies in experimental occlusion of the bile duct. *J Lipid Res* 7 : 83-94, 1966
  - 33) Eun JB, Kim MK, Woo HJ, Lee SR, Woo GJ. Development and functional evaluation of bioflavonoids and dietary fibers from Korean fruits. Report on '96 research project supported by a grant from the Ministry of health and welfare, Republic of Korea. pp5-16, 1997
  - 34) Anderson JW, Chen WL. Plant fiber, carbohydrate and lipid metabolism. *Am J Clin Nutr* 32 : 346-363, 1979
  - 35) Leclère CJ, Champ M, Boillot J, Guille G, Lecannu G, Molis C, Bornet F, Krempf M, Delort-Labal J, Galmiche JP. Role of viscous guar gums in lowering the glycemic response after a solid meal. *Am J Clin Nutr* 59 : 914-921, 1994
  - 36) Kim EH, Vladimir V, Evelyn W. The relationship between viscosity of soluble dietary fiber and their hypoglycemic effects. *Korean J Nutrition* 29(6) : 615-621, 1996
  - 37) Kritchevsky D. In vitro binding properties of dietary fibre. *Eur J Clin Nutr* 49(Suppl 3) : S113-S115, 1995
  - 38) Story JA, Kritchevsky D. Comparison of the binding of various bile acids and bile salts in vitro by several types of fiber. *J Nutr* 106 : 1292-1294, 1976
  - 39) Gallaher D, Schneeman BO. Intestinal interaction of bile acids, phospholipids, dietary fibers, and cholestyramine. *Am J Physiol* 250 : G420-G426, 1986
  - 40) Rotstein OD, Kay RM, Wayman M, Strasberg SM. Prevention of cholesterol gallstones by lignin and lactulose in the hamster. *Gastroenterol* 81 : 1098-1103, 1981
  - 41) Eastwood MA, Hamilton D. Studies on the adsorption of bile salts to non-absorbed components of diet. *Biochim Biophys Acta* 152 : 165-173, 1968
  - 42) Birkner HJ, Kern Jr. F. In vitro adsorption of bile salts to food residues, salicylazosulfapyridine, and hemicellulose. *Gastroenterol* 67(2) : 237-244, 1974
  - 43) Dongowski G. Influence of pectin structure on the interaction with bile acids under in vitro conditions. *Zeitschrift für Lebensmittel-Untersuchung und-Forschung* 201(4) : 390-398, 1995
  - 44) Ebihara K, Schneeman BO. Interaction of bile acids, phospholipids, cholesterol and triglyceride with dietary fibers in the small intestine of rats. *J Nutr* 119 : 1100-1106, 1989
  - 45) Vahouny GV, Khalafi R, Satchithanandam S, Watkins DW, Story JA, Cassidy MM, Kritchevsky D. Dietary fiber supplementation and fecal bile acids, neutral steroids and divalent cations in rats. *J Nutr* 117 : 2009-2015, 1987
  - 46) Horton JD, Cuthbert JA, Spady DK. Regulation of hepatic 7 $\alpha$ -hydroxylase expression by dietary psyllium in the hamster. *J Clin Invest* 93 : 2084-2092, 1994
  - 47) Mazur A, Rémècy C, Gueux E, Levrat M, Demigné C. Effects of diets rich in fermentable carbohydrates on plasma lipoprotein levels and on lipoprotein catabolism in rats. *J Nutr* 120 : 1037-1045, 1990
  - 48) Tinker LF, Davis PA, Schneeman BO. Prune fiber or pectin compared with cellulose lowers plasma and liver lipids in rats with diet-induced hyperlipidemia. *J Nutr* 124 : 31-40, 1994
  - 49) Mälkki Y, Törrönen R, Pelkonen K, Myllymäki O, Hänninen O, Syrjänen K. Effects of oat-bran concentration on rat serum lipids and liver fat infiltration. *Br J Nutr* 70 : 767-776, 1993
  - 50) Morgan LM, Tredger JA, Shavila Y, Travis JS, Wright J. The effect of non-starch polysaccharide supplementation on circulating bile acids, hormone and metabolite levels following a fat meal in human subjects. *Br J Nutr* 70 : 491-501, 1993
  - 51) Choe M, Kim JD, Joo JS. Effects of polydextrose and hydrolysed guar gum on lipid metabolism of normal rats with different levels of dietary fat. *Korean J Nutrition* 25(3) : 211-220, 1992
  - 52) Gallaher DD, Hassel CA, Lee KJ, Gallaher CM. Viscosity and fermentability as attributes of dietary fiber responsible for the hypocholesterolemic effect in hamsters. *J Nutr* 123 : 244-252, 1993
  - 53) Anderson H. Suggested sterol-binding mechanisms of dietary fibre based on ileostomy studies. *Eur J Clin Nutr* 49(Suppl 3) : S173-S177, 1995
  - 54) Stark AH, Madar Z. In vitro production of short chain fatty acids by bacterial fermentation of dietary fiber compared with effects of those fibers on hepatic sterol synthesis in rats. *J Nutr* 123 : 2166-2173, 1993
  - 55) Morio K, Motohiro M, Sumiko N, Kazuyo M, Yoshihiro T, Fumie M, Mitsuo N, Shoji K. Studies on poisonous metals. IX. Effects of dietary fibers on absorption of cadmium in rats. *Chem Pharm Bull* 30(12) : 4494-4499, 1982
  - 56) Rose HE, Quarterman J. Dietary fibers and heavy metal retention in the rat. *Environ Res* 42(1) : 166-175, 1987

- 57) Berglund M, Akesson A, Nermell B, Vahter M. Intestinal absorption of dietary cadmium in women depends on body iron stores and fiber intake. *Environ Health Perspect* 102(12) : 1058-1066, 1994
- 58) Moberg A, Hallmans G, Sjöström R, Wing KR. The effect of wheat bran on the absorption and accumulation of cadmium in rats. *Br J Nutr* 58 : 383-391, 1987
- 59) Kim MK, Chung HS. Effect of dietary fibers isolated from tangerine peels on lipid and cadmium metabolism in the rat. *Korean J Nutrition* 30(3) : 229-243, 1997
- 60) Wilson RH, DeEds F. Importance of diet in studies of chronic toxicity. *Arch Ind Hyg Occup Med* 1 : 73-80, 1950