

감귤과피로부터 분리한 식이섬유의 포도당, 담즙산, 카드뮴 투과억제에 관한 *In Vitro* 연구*

김 미 경 · 양 윤 정

이화여자대학교 식품영양학과

Retarding Effect of Dietary Fibers Isolated from Tangerine Peels on Glucose, Bile Acid, Cadmium Transport *In Vitro*

Kim, Mi Kyung · Yang, Yoon Jung

Department of Food and Nutrition, Ewha Womans University, Seoul, Korea

ABSTRACT

Retarding effects of the dietary fibers from tangerine peels on glucose, bile acid and cadmium transport were evaluated by dialysis method, and were compared with those of commercial dietary fibers(citrus pectin, CM-cellulose, guar gum, α -cellulose). Yields of total (TDF), insoluble(IDF) and soluble dietary fibers(SDF) from tangerine peels on the fresh matter basis were 2.84%, 1.95% and 0.39% respectively. The amount of insoluble fibers was 5.2 times higher than that of soluble fibers. Soluble fibers(guar gum, CM-cellulose, SDF, pectin) had the retarding effect on glucose transport, while IDF, TDF and α -cellulose did not have. Guar gum showed the greatest effect, followed by CM-cellulose, SDF and pectin. Among the extracted fibers, only SDF had the effect on glucose transport retardation. Regarding bile acid dialysis, guar gum had the greatest retarding effect, and all dietary fibers from tangerine peels, especially SDF, showed the effect on bile acid retardation. On cadmium transport retardation, CM-cellulose had the greatest effect, followed by SDF, TDF, IDF, guar gum and pectin. Among the extracted fibers, SDF had the greatest effect on Cd transport retardation. The extracted dietary fibers showed higher retarding effect on Cd transport than glucose and bile acid transport, and the effect of SDF was higher than TDF and IDF. (*Korean J Nutrition* 30(2) : 210~219, 1997)

KEY WORDS : tangerine peel dietary fibers · membrane transport.

서 론

우리나라의 1993년도 밀감생산량은 약 62만 톤으로 대부분이 식용으로 소비되고 약 8만톤이 가공용으로 사용되고 있으나¹⁾, 과육만을 이용할뿐 엄청난 양의 과피는

채택일 : 1997년 1월 20일

*본 연구는 1995년도 보건복지부 보건의료기술 연구개발 사업비의 지원에 의하여 이루어졌음.

폐기되고 있다. 그러나 과피에는 pectin, hesperidin, naringin, peel oil 등의 성분이 많이 함유되어 있어 식품소재 또는 기능성물질의 급원으로서 이용 가능성이 높아지고 있다²⁾.

지금까지의 국내 감귤과피이용에 대한 연구를 보면 장호남 등³⁾은 감귤과피에서 pectin, hesperidin, naringin을 추출하여 폐과피내 함량을 측정하였고 문수재 등⁴⁾은 감귤과피내에 함유되어있는 pectin을 추출하여

pectin과 pectin gel의 특성에 관하여 연구하였다. 또한 심기환 등⁵⁾은 감귤과피에서 carotenoid 색소를 분리하여 이것의 이화학적 성질을 밝혔을뿐 감귤과피로부터 추출한 식이섬유에 대한 생리적 기능을 밝힌 실험은 없다.

식이섬유는 1976년 Trowell⁶⁾에 의해 "인간의 소화효소에 의해 가수분해 되지 않는 식물성 다당류와 lignin" 이라고 정의되었으나 최근에는 "인간의 소화효소에 의해 소화되지 않는 난소화성 다당류의 총체"⁷⁾로 다시 정의되고 있다. 즉 식이섬유에는 cellulose, hemicellulose, lignin, pectin, gums, mucilages 등의 식물성분과 chitin, chitosan, chondroitin sulfates와 같은 동물성 다당류까지 포함된다.

식이섬유는 급원과 물리화학적 특성에 따라 생리작용이 다른데^{8,9)} 일반적으로 식이섬유는 물리적 성질인 용해도에 따라 수용성(guar gum, oat bran, pectin, mucilages)과 불용성(cellulose, wheat bran, lignin)으로 구분된다. Guar gum이나 pectin과 같은 수용성 식이섬유는 장에서 gel을 형성하여 점도가 높아지므로 음식물이 위에 머무르는 시간을 증가시켜 영양소의 소화, 흡수를 지연시킨다고 한다¹⁰⁻¹²⁾. 수용성 식이섬유를 당뇨병자가 섭취했을때 포도당의 흡수를 지연시켜서 급격한 혈당상승을 막아주어 glucose tolerance가 향상되었다는 보고가 있다^{13,14)}. 또한 수용성 식이섬유는 cholesterol 및 bile acid를 흡착하여 대변으로 배설시킴으로 혈청 cholesterol 수치를 떨어뜨리는 것으로 알려지고 있다^{15,16)}. 한편 불용성 식이섬유인 cellulose, lignin, 불용성 hemicellulose는 대장내에서 미생물의 작용을 적게 받아 비발효산으로 식이섬유의 matrix가 남아있어 대변의 부피와 무게를 증가시키는데 효과적이다¹⁷⁾. 또한 식이섬유의 대장내 미생물 발효에 의해 생성된 short-chain fatty acids가 장내 pH를 감소시켜서 secondary bile acids 생성을 방해함으로 대장암의 예방에 효과가 있다는 보고가 있다¹⁸⁻²⁰⁾.

중금속오염문제는 산업사회에서 날로 심화되고 있는데 그중 구강으로 섭취되는 cadmium(Cd)의 흡수는 식이내 단백질, 칼슘, 아연, 철요소 등의 식이 인자에 의해 영향을 받는다^{21,22)}. 식이섬유 섭취시에 Cd의 흡수및 조직내 농도가 감소되었으며²³⁾, 식이섬유와 함께 변으로 칼슘, 철, 아연 등의 무기질 배설이 증가되었다는 보고가 있다²⁴⁻²⁶⁾.

우리나라의 경우 곡류와 채식위주의 식생활이 서구화되어가고 있고 가공식품의 소비가 증가함에 따라 식이섬유의 섭취량이 감소하고 비만, 당뇨병, 계실증, 심장질환, 대장암등의 발생이 증가하고 있다^{27,28)}. 그러므로 이러한 만성질환과 중금속오염의 예방 및 치료와 관련된

식이섬유의 생리적 효과와 식이섬유 신소재 개발에 대한 관심이 고조되고 있다.

따라서 본 연구에서는 감귤과피로부터 총 식이섬유를 추출하여 이를 수용성 식이섬유와 불용성 식이섬유로 분리한 후 dialysis sack method를 이용하여 glucose, bile acid, cadmium에 대한 투과 억제 효과를 측정하고 이를 상판화된 citrus pectin, carboxymethyl-cellulose, guar gum, α -cellulose 등의 투과 억제 효과와 비교해 보고자 하였다. 본 연구 결과는 폐기되고 있는 감귤과피의 재활용과 더불어 비만, 혈액순환계질병, 중금속중독 등의 예방 및 치료에 응용가능한 기초자료로 이용될 수 있겠다.

재료 및 방법

1. 식이섬유의 추출 및 함량분석

감귤은 서울 시내 소재 신촌농협에서 무게가 100~120g 정도의 중간 크기의 것을 구입하여 껍질만을 사용하였다. 즉 껍질을 작은 조각으로 나눈 다음 Vacuum Tray freeze-dryer(II-Sin Engineering Co.)에서 냉동건조 시켜 25 mesh 체에 통과시킨 후 Prosky등²⁹⁾의 분석방법을 변형시켜 총 식이섬유와 수용성, 불용성 식이섬유를 추출하였다(Fig. 1). 그리고 시판용 식이섬유로는 citrus pectin(Sigma P9135), carboxymethyl cellulose(Sigma C4888), guar gum(Sigma G4129), α -cellulose(Sigma C8002)를 사용하였다. 감귤 과피로부터 추출한 총 식이섬유의 순도를 확인하기 위해 AOAC에서 승인된 Lee등³⁰⁾의 방법에 준하여 수용성, 불용성, 총 식이섬유의 함량을 정량하였다.

2. 식이섬유의 투과 억제 실험

1) Glucose 투과 억제 효과

식이섬유의 장관내 흡수 억제 효과를 *in vitro*에서 측정하기 위하여 투석막을 이용하여 투석 내액의 glucose가 투석 외액으로 빠져나오는 원리를 이용하였다³¹⁾. 즉 유리상태의 glucose는 투석막을 그대로 통과하지만 고분자 물질에 흡착된 glucose는 투석막을 통과하지 못할 것이라는 가정하에 투석 외액을 취하여 glucose 농도를 분석하였다. 이때 투석막은 생체내 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 자른 후 0.1% sodium azide 용액에 24시간 담근 다음에 사용하였다. 투석막의 한쪽 끝을 dialysis tubing closure로 밀봉한 후 투석막 내부에 식이섬유 시료 0.2g을 넣고

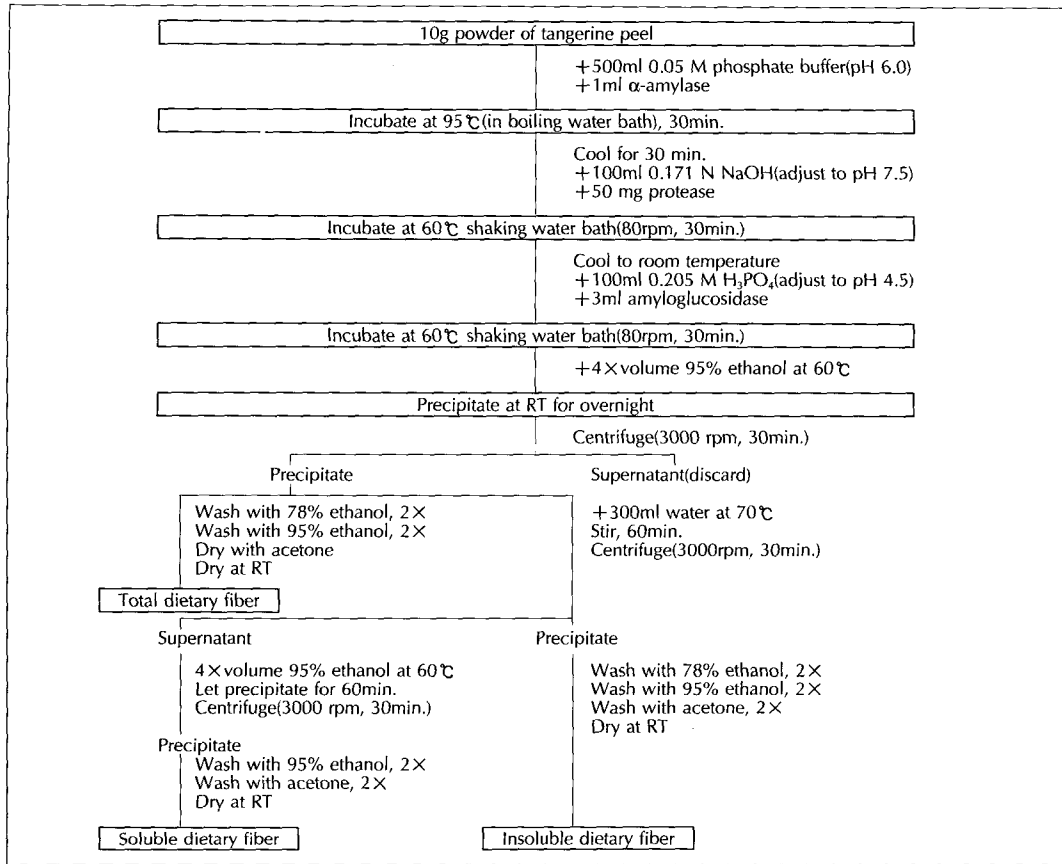


Fig. 1. Schematic diagram for the extraction of dietary fibers from tangerine peels.

glucose 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)에 넣어 14시간 동안 시료를 수화시켰다. Control의 경우는 glucose 용액만 넣고 식이섬유 시료는 제외시켰다. 이 용기에 0.1% sodium azide 용액 100ml를 첨가한 후 37°C water bath에서 100rpm으로 24시간 shaking하면서 일정한 시간 간격으로 투석 외액 1ml씩을 취하여 Somogyi-Nelson법^{32/33)}에 따라 glucose 함량을 분석하였다.

2) Bile acid의 투과 억제 효과

투석막(Sigma D7884 : M.W. cut off > 1200)은 10cm의 길이로 자른 후 0.1% sodium azide 용액에 24시간 담근 뒤 사용하였다. 투석막의 한 쪽 끝을 closure로 밀봉한 후 투석막 내부에 식이섬유 시료 0.2g을 넣고 0.1% sodium azide 용액이 되도록 맞춘 0.05M phosphate buffer(pH 7.0)에 15 mmole taurocholic acid/L를 녹인 용액 6ml를 넣어 나머지 투석막 끝도 밀봉 후 뚜껑이 있는 150ml 용량의 용기에 넣어 14시간 동안 시

료를 수화시켰다. Control의 경우는 bile acid 용액만 넣고 식이섬유 시료는 제외시켰다. 여기에 0.1% sodium azide 용액이 되도록 맞춘 0.05M phosphate buffer(pH 7.0) 100ml를 첨가한 후 37°C water bath에서 100rpm으로 24시간 동안 shaking 시켰다. 일정한 시간 간격으로 투석 외액 1ml씩을 취하여 taurocholic acid 함량을 Boyd 등의 방법³⁴⁾에 따라 분석하였다. 즉 투석외액(bile acid 용액) 1ml에 70% H₂SO₄ 용액 5ml를 더하고 5분 후에 0.25% furfural 용액 1ml를 첨가하여 60분간 방치하여 분홍색이 최대로 발색된 후 최대 흡수 파장인 510nm에서 spectrophotometer(Spectronic 301)로 흡광도를 측정하였다.

3) Cadmium 투과 억제 효과

모든 유리기구는 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 담근 뒤 사용하였다. 투석막의 한 쪽 끝을 closure로 밀봉한 후 투석막 내부에 식이섬유시료 0.2g을

넣은 후 isotonic Tris buffer(pH 7.4) 6ml를 넣고, 여기에 CdSO₄ 120μl를 첨가하여 나머지 투석막 끝도 밀봉한 후 뚜껑이 있는 150ml 용량의 용기에 넣어 14시간 동안 시료를 수화시켰다. Control의 경우 Cd용액만 넣고 식이섬유시료는 제외시켰다. 여기에 isotonic Tris buffer(pH 7.4) 100ml를 첨가 후 37°C water bath에서 100rpm으로 24시간 동안 shaking 시켰다. 일정한 시간 간격으로 투석 외액 1ml씩을 취하여 Cd 함량을 분석하였다.

즉 1ml씩 취한 투석 외액에 0.1N 질산을 1ml 첨가하여 2배로 희석시킨 것을 atomic absorption spectrophotometer(Perkin-Elmer Co., Model 2380)로 228.8nm에서 측정하였다³⁵⁾.

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

Retardation index(%)

$$= 100 - \frac{\text{Diffused amount from sack containing fiber}}{\text{Diffused amount from sack without fiber}} \times 100$$

4) 통계 처리

반투막 투과실험과 식이섬유 함량분석등 모든 실험은 3회 반복하였으며 그 결과를 각각 일원 배치 분산 분석하고 Duncan의 방법³⁶⁾으로 평균치간의 다중비교를 하였다.

결과 및 고찰

1. 감귤과피 식이섬유의 수율

감귤에서 과피부분은 신선물 기준으로 19~21%를 차지하며 과피의 수분은 75~77%였다. 감귤 과피로부터 얻은 식이섬유의 수율은 Table 1에 나타난 바와 같이 신선물 기준으로 총 식이섬유(TDF)가 2.84%였고 불용성(IDF), 수용성(SDF) 식이섬유가 각각 1.95%, 0.39%였다.

한국인 영양권장량³⁷⁾에 수록된 식품영양가표에 의하면 감귤과육의 식이섬유 함량이 1.5%이고 과피의 식이섬유 함량은 3.0%였는데 본 실험에서 감귤과피의 총 식이섬유의 수율은 2.84%로 3.0%와 큰 차이 없이 과육보다는 많은 양의 식이섬유를 얻을 수 있음을 확인하였다.

Table 1. Yield of dietary fibers from tangerine peels(Wet weight basis)

Dietary fibers	Yield (%) ¹⁾
Total dietary fiber	2.84 ± 0.09
Insoluble dietary fiber	1.95 ± 0.13
Soluble dietary fiber	0.39 ± 0.02

1) Values are mean ± SD of triplicate trials

2. 감귤과피 식이섬유의 화학적 조성

Prosky²⁹⁾의 방법을 통해 감귤과피로부터 얻은 TDF의 순도를 확인하기위해 AOAC에서 승인된 Lee³⁰⁾의 방법에 준하여 TDF, IDF, SDF의 함량과 수분, 단백질 함량을 정량한 결과는 Table 2와 같았다. 총 식이섬유(TDF)의 순도는 79.6%였으며 이중 IDF가 66.7%, SDF가 12.9%로 IDF가 SDF의 약 5.2배였다. 수분의 함량은 10.3%였고 회분과 단백질 함량은 각각 8.9%, 1.2%였다. 은중방 등이 감귤과피의 식이섬유를 분석한 결과²⁾ 감귤과피에 함유된 cellulose 함량은 신선물 기준으로 3.56%였고 hemicellulose는 2.07%, lignin은 0.43%였다. 위의 결과로 볼때 IDF도 주로 cellulose와 hemicellulose, lignin으로 구성되어 있으리라 생각된다. 수용성 식이섬유(SDF)는 주로 pectin으로²⁴⁾ 감귤과피에서 추출한 pectin의 함량은 건물중량으로 11.52%였고⁴⁾ 주성분인 anhydrouronic acid는 98%였으며³⁴⁾ methoyl함량은 추출법에 따라 달라서 각각 7%이하³⁾, 13.41%였다⁴⁾. 그러므로 본 연구에서 TDF, IDF, SDF를 구성하는 식이섬유의 종류와 화학성분이 달라서 glucose, bile acid와 cadmium 흡수 억제에 각각 다른 생리 효과를 가졌다.

3. 식이섬유의 투과 억제 효과

1) Glucose 투과 억제 효과

투석막을 이용하여 30분, 60분, 2시간의 투석시간에 따라 식이섬유의 glucose 투과 억제 효과를 살펴본 결과는 Table 3과 같았다. Glucose는 모든 실험군에서 2시간에 걸쳐 지속적으로 투석됨을 볼 수 있었고 투과 억제 지수(retardation index)는 모든 식이섬유군에서 투석 시간에 따라 변화하였다. 투석후 30분에서는 통계적으로 유의한 차이는 없었으나 상품화된 식이섬유중 α-cellulose군을 제외한 pectin, CM-cellulose, guar gum군의 효과가 감귤과피로부터 추출한 식이섬유군들(TDF, IDF, SDF)에 비하여 높았다. 그리고 수용성 식이섬유(SDF, pectin, CM-cellulose, guar gum)에는

Table 2. Purity of dietary fibers isolated from tangerine peels

Constituent	Content(%) ¹⁾
Moisture	10.3
Ash	8.9
Protein	1.2
Total dietary fiber ²⁾	79.6
Insoluble d.f.	66.7
Soluble d.f.	12.9

1) Mean of triplicate determinations

2) Insoluble plus soluble dietary fibers

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

Sample	Dialysis for 30 min.		Dialysis for 60 min.		Dialysis for 120 min.	
	Glucose in dialyate(mg%)	Glucose retardation index(%)	Glucose in dialyate (mg%)	Glucose retardation index(%)	Glucose in dialyate(mg%)	Glucose retardation index(%)
Control	10.93 ± 2.33 ^{1)a2)}	0	16.91 ± 2.81 ^a	0	25.06 ± 2.77 ^{ab}	0
TDF ³⁾	11.54 ± 2.43 ^a	-5.6	17.73 ± 3.19 ^a	-4.9	24.11 ± 1.63 ^{abc}	3.8
IDF ³⁾	11.70 ± 2.71 ^a	-7.1	17.68 ± 3.32 ^a	-4.5	23.95 ± 2.65 ^{abcd}	4.5
SDF ³⁾	10.03 ± 2.46 ^a	8.2	14.32 ± 3.51 ^a	15.3	19.78 ± 3.34 ^{cd}	21.1
Pectin	9.60 ± 1.65 ^a	12.1	14.47 ± 1.95 ^a	14.4	20.16 ± 1.74 ^{bcd}	19.6
CM-cellulose	8.94 ± 1.07 ^a	18.2	14.14 ± 1.25 ^a	16.4	19.25 ± 1.51 ^{cd}	23.2
Guar gum	9.22 ± 1.14 ^a	15.6	13.81 ± 1.07 ^a	18.3	18.97 ± 0.72 ^d	24.3
α-cellulose	13.76 ± 4.28 ^a	-25.9	19.53 ± 3.71 ^a	-15.5	25.92 ± 1.63 ^a	-3.4

1) Values are mean ± SD of triplicate trials

2) 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

3) TDF : Total dietary fibers extracted from tangerine peel
 IDF : Insoluble dietary fibers extracted from tangerine peel
 SDF : Soluble dietary fibers extracted from tangerine peel

억제 효과가 있었으나 불용성 식이섬유(IDF, α-cellulose)와 불용성 식이섬유의 함량이 높은 TDF는 억제 효과가 없었다. 투석 60분에서는 불용성 식이섬유의 함량이 높은 TDF군과 불용성 식이 섬유인 IDF, α-cellulose군은 억제 효과가 나타나지 않았다. 그러나 수용성인 SDF, pectin, CM-cellulose, guar gum군은 유의적 차이는 없으나 대체로 14~18%의 억제 효과가 있었다. 투석 2시간에서는 guar gum의 투과 억제 효과가 가장 컸으며 SDF의 억제 효과도 커져서 guar gum, CMC, pectin과 비슷한 수준의 효과를 나타냈다. Alpha-cellulose는 2시간에 걸쳐 억제 효과가 전혀 없었고 TDF, IDF는 3~4%정도의 억제 효과가 있었다.

Glucose의 투과 과정을 8시간까지 연장시켜본 결과는 Fig. 2와 같다. 투석막을 통한 glucose의 투과는 투석 초기부터 투석 6시간 동안 TDF, IDF, α-cellulose군에서는 control군과 비슷한 수준으로 투과되었고 수용성인 SDF, pectin, CM-cellulose, guar gum군에서는 control군보다는 적은 양이 투과되었다. 투석 90분, 2시간, 4시간에 SDF, pectin, CM-cellulose, guar gum의 억제 효과가 다른 식이섬유에 비해 컸고 투석 8시간이 되어서는 식이섬유의 종류에 관계없이 control군과 거의 같은 수준으로 glucose가 투과되는 것을 볼 수 있었다.

수용성 식이섬유의 glucose 흡수 억제 효과는 수용성 식이섬유에 의한 점성증가와 gastric emptying rate의 저하로 설명될 수 있다⁹⁾¹⁰⁾³⁸⁾. 즉 수용성 식이섬유인 pectin, guar gum, CM-cellulose를 섭취시켰을 때 소화내용물의 높은 점성에 의해 gastric emptying rate이 느려져서 소장에서의 glucose 흡수가 감소된다. 반면, Adiotomre³¹⁾³⁹⁾은 불용성 식이섬유의 경우 fiber

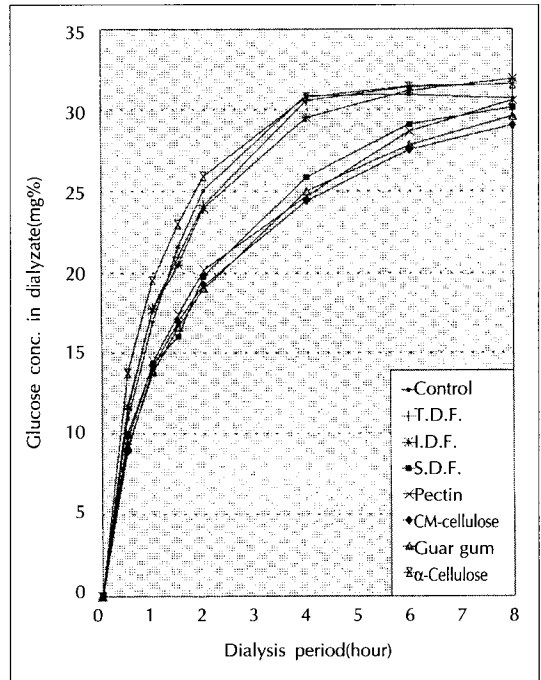


Fig. 2. Passive transport in vitro of glucose in the presence of dietary fibers.

matrix안에 glucose를 가두는 효과(keeping effect)에 의한 고립현상으로 glucose 흡수를 지연 시킨다고 설명 하지만, Schwartz등에 의하면 불용성 식이섬유는 위 내용물의 점성에 영향을 주지 않고 따라서 gastric emptying rate에 변화가 없기때문에 소장에서의 glucose 흡수 지연 효과가 나타나지 않는다고 한다⁴⁰⁾.

본 연구에서 감귤과피로부터 추출한 수용성 식이섬유만이 glucose의 투과 지연 효과가 있었고 이 효과는 다

른 상품 수용성 식이섬유와 비슷한 수준이었다.

2) Bile acid 투과 억제 효과

투석막을 이용하여 식이섬유들의 bile acid 투과 억제 효과를 30분, 2시간, 4시간의 투석시간 간격으로 살펴본 결과는 Table 4와 같았다. 투석후 30분, 2시간, 4시간에서 모든 식이섬유군의 투과 억제 효과가 control군에 비하여 컸다. 투석 30분에서는 guar gum군의 억제 효과가 가장 컸고 다른 식이섬유의 억제지수는 5~16%로 유의적인 차이가 없었다. 투석 2시간에서는 SDF군의 효과(21.8%)가 커져서 guar gum군(24.4%)과 비슷한 수준이었으며 다른 식이섬유군의 억제지수는 6~19%로 유의적인 차이가 없었다. 투석 4시간후에도 guar gum군의 투석 억제 효과가 가장 컸고 다음으로 SDF군이었으며 pectin, CM-cellulose군의 억제지수도 증가하여 guar gum, SDF군과 비슷하였다. 투과 억제 효과가 낮았던 TDF, IDF, α-cellulose군에서도 glucose 투석때와는 달리 억제 효과가 지속적으로 나타났다. 이와 같이 수용성 식이섬유가 불용성 섬유에 비해 bile acid의 투과 억제 효과가 큰 것으로 나타났고, 대체로 모든 식이섬유군에서 4시간에 걸쳐서 투과 억제 효과가 증가하였다.

투석막을 통한 bile acid의 투과정도를 24시간까지 연장시켜 살펴본 결과는 Fig. 3과 같았다. 투석 시작 후 24시간에 걸쳐 모든 식이섬유군에서 투석외액의 농도가 계속 증가하였고, guar gum군의 투과 억제 효과가 24시간 내내 가장 컸다. Alpha-cellulose를 제외한 모든 식이섬유군들이 투석시작후 4시간, 6시간 일때 투과 억제지수가 가장 컸으며 투과후 24시간에서도 모든 식이섬유군들에서 투과 억제 효과가 있었다.

시간별로 투과 정도를 비교하였을때 control군에 있어서 glucose의 경우에는 투석후 6시간 이후에는 투석

외액의 glucose농도가 거의 증가하지 않았지만 bile acid는 투석외액내 농도가 24시간동안 꾸준히 증가하였다. 이것은 bile acid의 분자량(537.7)이 glucose(180)보다 커서 투석속도가 느리기때문인 것으로 생각된다. 불용성 섬유인 IDF군의 bile acid 투과 억제 지수는 투석 4시간에 걸쳐 14~24%이었는데 이것은 IDF구성 성분인 cellulose, hemicellulose, lignin때문에 생긴 것으로 생각되며²⁾ 본 연구에서도 α-cellulose군이 10~14%

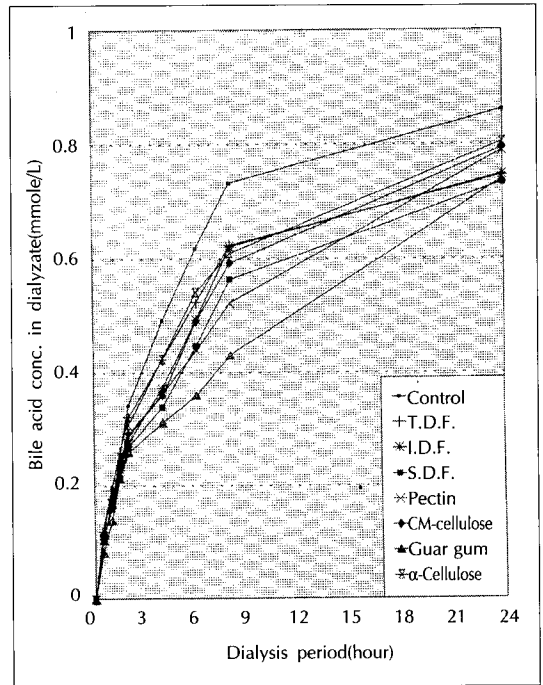


Fig. 3. Passive transport in vitro of bile acid in the presence of dietary fibers.

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

Sample	Dialysis for 30 min.		Dialysis for 2 hrs		Dialysis for 4 hrs	
	Bile acid in dialyzate(mmmole/L)	Bile acid retardation index(%)	Bile acid in dialyzate(mmmole/L)	Bile acid retardation index(%)	Bile acid in dialyzate(mmmole/L)	Bile acid retardation index(%)
Control	0.124 ± 0.018 ^{1a2)}	0	0.344 ± 0.019 ^a	0	0.492 ± 0.054 ^a	0
TDF ³⁾	0.118 ± 0.006 ^{ab}	5.1	0.322 ± 0.019 ^{ab}	6.2	0.424 ± 0.064 ^{ab}	14.0
IDF ³⁾	0.107 ± 0.014 ^{ab}	13.9	0.277 ± 0.007 ^{ab}	19.3	0.374 ± 0.084 ^{ab}	24.1
SDF ³⁾	0.112 ± 0.018 ^{ab}	9.7	0.269 ± 0.029 ^b	21.8	0.340 ± 0.067 ^b	31.0
Pectin	0.104 ± 0.012 ^{ab}	16.4	0.288 ± 0.040 ^{ab}	16.1	0.364 ± 0.019 ^b	26.1
CM-cellulose	0.105 ± 0.005 ^{ab}	15.8	0.293 ± 0.031 ^{ab}	14.8	0.361 ± 0.037 ^b	26.7
Guar gum	0.082 ± 0.012 ^b	33.8	0.260 ± 0.047 ^b	24.4	0.312 ± 0.030 ^b	36.6
α-cellulose	0.108 ± 0.020 ^{ab}	12.9	0.309 ± 0.002 ^{ab}	10.1	0.425 ± 0.025 ^{ab}	13.7

1) Values are mean ± SD of triplicate trials

2) 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

3) TDF : Total dietary fibers extracted from tangerine peel
 IDF : Insoluble dietary fibers extracted from tangerine peel
 SDF : Soluble dietary fibers extracted from tangerine peels

의 투석 억제 효과가 있었고, 특히 lignin은 bile salts 등의 유기물질과 결합해서 소장에서 영양소 흡수를 지연시키는 효과가 있다고 한다⁴¹⁾. 감귤과피로부터 추출한 SDF군과 상품 pectin의 bile acid 억제 효과에 큰 차이가 없었던 것은 감귤 SDF가 주로 pectin으로 구성되어 있기 때문인 것으로 생각된다²⁾. 그러나 두 군간 억제 효과에 다소 차이가 있었던 것은 pectin구조에 차이가 있기 때문인 것으로 생각되는데, bile acid와의 상호작용은 esterification정도가 클수록 증가하며, pectin의 구조와 bile acid의 구조에 따라 상호작용효과가 다르다는 보고가 있다⁴²⁾.

Bile acid와 식이섬유의 흡착은 혈청 cholesterol 저하 효과등 생리적으로 중요한 의미를 지니며 이에 대한 많은 연구가 행해져 왔다. Bile acid와 식이섬유와의 결합에는 이온 결합과 hydrophobic bond가 관여하는 것으로 알려져 있으며⁴³⁾⁴⁴⁾ 소장내에서 식이섬유와 bile acid의 흡착 또는 선택적인 이온교환 반응은 bile acid를 배설시켜 체내 이용성(bioavailability)을 떨어뜨린다⁴⁵⁾.

식이섬유가 혈청 cholesterol 농도를 저하시킬수 있는 것은 식이섬유 섭취시 bile acid와 식이섬유가 결합함으로써 bile acid의 흡수가 감소되고 소장과 대장에서 식이섬유의 gel형성으로 인해 bile acid를 격리시켜 gut으로의 흡수를 감소시키기 때문이다. 그밖에 식이섬유가 대장내에서 발효되어 생긴 propionic acid가 3-hydroxy-3-methyl glutaryl CoA reductase의 inhibitor로 작용하여 혈청 cholesterol을 저하시킨다고 한다⁴⁶⁾.

본 연구에서 감귤과피로부터 추출한 수용성, 불용성, 총 식이섬유 모두 bile acid 투과 억제 효과가 있었다. 특히 감귤과피의 수용성 식이섬유는 불용성, 총 식이섬

유보다 억제 효과가 컸으며 이는 다른 상품 수용성 식이섬유와 비교할 때 비슷한 억제 효과가 있었다.

3) Cadmium 투과 억제 효과

투석막을 이용하여 식이섬유들의 Cd 투과 억제 효과를 투석후 30분, 60분, 2시간 간격으로 살펴본 결과는 Table 5와 같았다. Alpha-cellulose군을 제외한 모든 식이섬유군들에서 glucose, bile acid때보다 높은 투과 억제 효과를 나타냈으며 α-cellulose는 2시간의 투석시

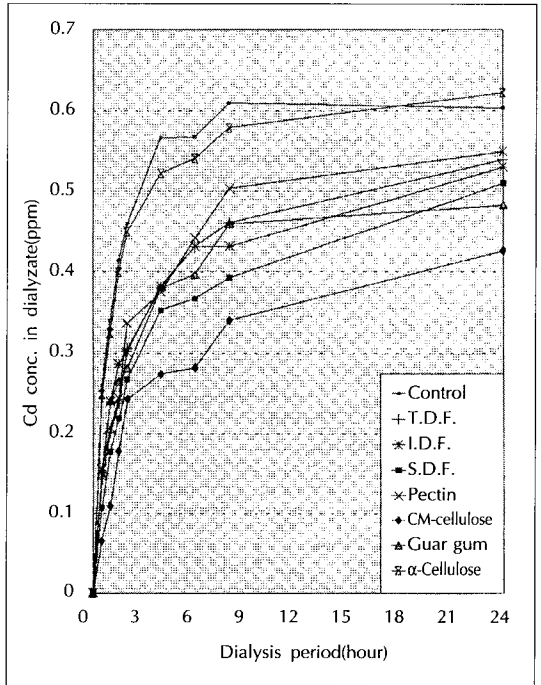


Fig. 4. Passive transport in vitro of cadmium in the presence of dietary fibers.

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

Sample	Dialysis for 30 min.		Dialysis for 60 min.		Dialysis for 120 min.	
	Cadmium in dialysate(ppm)	Cadmium retardation index(%)	Cadmium in dialysate(ppm)	Cadmium retardation index(%)	Cadmium in dialysate(ppm)	Cadmium retardation index(%)
Control	0.260±0.013 ¹⁾²⁾	0	0.340±0.038 ^a	0	0.460±0.041 ^a	0
TDF ³⁾	0.143±0.032 ^b	45.0	0.202±0.035 ^b	40.6	0.305±0.064 ^{bc}	33.8
IDF ³⁾	0.155±0.016 ^b	40.3	0.240±0.034 ^b	29.4	0.302±0.014 ^{bc}	34.4
SDF ³⁾	0.108±0.013 ^{bc}	58.6	0.178±0.039 ^{bc}	47.7	0.268±0.044 ^{bc}	41.7
Pectin	0.157±0.011 ^b	39.7	0.208±0.044 ^b	39.0	0.337±0.022 ^b	26.8
CM-cellulose	0.065±0.026 ^c	74.9	0.110±0.021 ^c	67.8	0.243±0.033 ^c	47.1
Guar gum	0.150±0.003 ^b	42.4	0.241±0.016 ^b	29.1	0.281±0.006 ^{bc}	38.9
α-cellulose	0.249±0.042 ^a	4.2	0.325±0.057 ^a	4.5	0.450±0.048 ^a	2.6

1) Values are mean±SD of triplicate trials

2) 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

3) TDF : Total dietary fibers extracted from tangerine peels
 IDF : Insoluble dietary fibers extracted from tangerine peels
 SDF : Soluble dietary fibers extracted from tangerine peels

간 내내 Cd의 투과에 영향을 주지 않았다. 투석 2시간에 걸쳐 투과 억제 효과가 가장 컸던 것은 CM-cellulose로 47~75%의 억제 효과를 보였고, 다음으로 SDF가 42~59%의 억제 효과를 나타냈으며, 그 다음으로는 TDF, IDF, pectin, guar gum군들이었으며 이 4군의 억제지수는 비슷하였다. 모든 식이섬유군에서 대체로 투석초기(30분)에 흡수 억제제가 가장 컸고 시간이 경과할수록 효과가 감소되었다.

투석막을 통한 Cd의 투과정도를 24시간까지 연장시켜 살펴본 결과는 Fig. 4와 같았다. 모든 식이섬유군에서 24시간의 투석시간 동안 Cd가 지속적으로 투과됨을 볼 수 있었으나 투석액의 농도는 초기(0~2시간)에 급격히 증가하였고 투석 4시간 후에는 완만해져서 투석 8시간 후에는 큰 변화가 없었다. 투석 24시간 동안 CM-cellulose의 억제 효과가 가장 컸고 다음으로 SDF군의 효과가 컸다. Alpha-cellulose군을 제외한 모든 식이섬유군들이 투과후 24시간에서도 억제 효과를 나타냈다.

식이섬유가 장에서 cadmium의 흡수를 억제하는 것은 Morio등⁴⁷⁾이 제안한대로 식이섬유와 Cd와의 결합과 fiber solution의 점성이 Cd의 확산에 미치는 영향으로 설명 될 수 있다. 즉, Cd와 식이섬유와의 결합정도는 lignin > Na CM-cellulose > Na alginate > pectin > glucomannan > cellulose 순으로 Cd과의 결합력이 높을수록 흡수 지연 효과가 크며, fiber solution의 점성이 높을 경우 Cd의 확산율이 감소되어 장내 mucosa 표면의 Cd 농도가 낮아져 Cd의 흡수가 억제된다. 따라서 본 실험에서 CM-cellulose군의 Cd투과 억제 효과도 Cd과의 결합력에 기인한 것으로 보이며 TDF, IDF군의 Cd투과 억제 효과가 glucose, bile acid의 경우보다 큰 것은 불용성 섬유성분중 lignin이 Cd와 강하게 결합하기 때문으로 생각된다. 이밖에 수용성 식이섬유군들인 SDF, guar gum, pectin군의 억제 효과는 수용액에서 점성이 증가하고 gel을 형성함으로써 붙잡는 효과(trapping effect)가 나타나 Cd의 흡수가 억제 되는것 같다⁴⁸⁾.

본 실험에서 감귤과피에서 추출한 SDF, TDF, IDF군 모두 Cd의 투과 지연 효과가 커서 Cd의 독성 완화 효과를 기대할 수 있으나 동물 실험을 통한 생체내 연구가 뒷받침 되어야 할 것이다.

요약 및 결론

감귤과피로부터 추출한 수용성 식이섬유(soluble dietary fibers : SDF), 불용성 식이섬유(insoluble diet-

ary fibers : IDF), 총 식이섬유(total dietary fibers : TDF)와 상포화된 citrus pectin, CM-cellulose, guar gum, α -cellulose의 glucose, bile acid, cadmium에 대한 투과 억제 효과를 비교하고자 반투막을 이용한 in vitro 실험을 수행하였다.

감귤과피로부터 추출하여 얻은 식이섬유의 수율은 신선물 기준으로 총 식이섬유가 2.84%이고 불용성, 수용성 식이섬유가 각각 1.95%, 0.39%였다. 총 식이섬유의 순도는 79.6%였으며 그중 불용성 식이섬유는 66.7%, 수용성 식이섬유는 12.9%를 차지하였다.

투석막을 통한 식이섬유들의 glucose 투과 억제 효과는 수용성 식이섬유인 SDF, pectin, CM-cellulose, guar gum군에서 나타났고 그중 guar gum과 CM-cellulose의 효과가 가장 컸다. 불용성 식이섬유의 함량이 높은 TDF군과 불용성 식이섬유인 IDF, α -cellulose군에서는 24시간 내내 glucose 투과 억제 효과가 나타나지 않았다.

식이섬유의 bile acid 투과 억제 효과는 glucose 경우와는 달리 모든 섬유군들에서 나타났다. Guar gum군의 억제 효과가 가장 컸으며 감귤과피로 부터 추출한 SDF, IDF, TDF 모두 투과 억제 효과가 있었고 그중 SDF의 효과가 가장 컸다.

식이섬유의 cadmium 투과 억제 효과는 α -cellulose군을 제외한 모든 식이섬유군에서 나타났다. 투석 24시간 내내 CM-cellulose의 억제 효과가 가장 컸고 다음으로 SDF가 컸으며 TDF, IDF, guar gum, pectin의 투과 억제 지수는 비슷하였다. 감귤과피에서 추출한 SDF, TDF, IDF군 모두 glucose, bile acid보다는 Cd 투과시에 억제 효과가 큰 것으로 나타났다.

이상과 같은 결과들을 종합해볼 때, 감귤과피에서 추출한 식이섬유는 불용성이 수용성의 5.2배로 대부분이 불용성 식이섬유였다. 감귤과피의 식이섬유중 수용성 식이섬유만이 상품 guar gum과 비슷한 수준의 glucose 투과 억제 효과가 있었다. Bile acid 투과 억제 효과는 감귤과피의 수용성, 불용성, 총 식이섬유군들에서 모두 나타났는데 그중 감귤과피의 수용성 섬유군의 억제 효과가 가장 컸으나 이들 감귤과피 섬유군들의 투과 억제 지수는 비슷한 수준이었다. Cadmium의 억제 효과는 감귤과피의 수용성, 불용성, 총 식이섬유 모두에서 나타났는데 특히 감귤과피 수용성 섬유인 경우 상품CM-cellulose 다음으로 억제 효과가 컸다. 감귤과피에서 추출한 식이섬유군들의 투과 억제 효과는 glucose, bile acid보다는 cadmium의 경우 가장 크게 나타났는데 그중 감귤과피 수용성 섬유의 억제 효과가 가장 컸다.

Literature cited

- 1) 통계청. 한국통계연감 41 : 125, 1994
- 2) 은종방 · 정영민 · 우건조. 감귤과육 및 과피의 식이섬유와 플라보노이드 검색 및 정량. *한국식품과학회지* 28(2) : 371-377, 1996
- 3) 장호남 · 남경은 · 허종화. 한국산 감귤과피의 효율적 이용에 관한 연구(2). *한국식품과학회지* 9(4) : 251-254, 1977
- 4) 문수재 · 손경희 · 윤 선 · 이명혜 · 이명희. 한국산 감귤류 폐과피 내의 펙틴함량 과 펙틴의 특성에 관한 연구. *한국식품과학회지* 14(1) : 63-66, 1982
- 5) 심기환 · 성낙계 · 강갑석 · 최진상 · 장치원. 감귤 과피 Carotenoid 색소의 분리 및 이화학적 성질. *한국영양식량학회지* 23(1) : 143-149, 1994
- 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) Kritchevsky D, In vitro binding properties of dietary fibre. *Eur J Clin Nutr* 49(3) : s113-s115, 1995
- 9) Kestin M, Moss R, Clifton PM, Nestel PJ. Comparative effects of three cereal brans on plasma lipids, blood pressure and glucose metabolism in mildly hypercholesterolemic men. *Am J Clin Nutr* 52(4) : 661-666, 1990
- 10) Torsdottir I, Alpsten M, Andersson H, Einarsson S. Dietary guar gum effects on postprandial blood glucose insulin and hydroxyproline in humans. *J Nutr* 119(12) : 1925-1931, 1989
- 11) Krotkiewski M. Effect of guar gum on body-weight, hunger rating and metabolism in obese subjects. *Br J Nutr* 52 : 97-105, 1984
- 12) Torsdottir I, Alpsten M, Holm G, Sandberg AS, Tolli JA. Small dose of soluble alginate-fiber affects postprandial glycemia and gastric emptying in humans with diabetes. *J Nutr* 121 : 795-799, 1991
- 13) Casimirri F, Pasquali R, Melchionda N, Biso P, Capelli M, Martelli E. Effect of guar on plasma lipids and on the biological activity of insulin in patients with type 2 diabetes mellitus. *Minerva Medica* 78(23) : 1753-1757, 1987
- 14) Jenkins DJA, Leeds AR, Wolever TMS, Goff DV, Alberti KGMM, Gassull MA, Hockaday TDR. Unadsorbable carbohydrates and diabetes : Decreased post-prandial hyperglycemia. *Lancet* 2 : 172-174, 1976
- 15) Nishina PM, Schneeman BO, Freedland RA. Effects of dietary fibers on nonfasting plasma lipoprotein and apolipoprotein levels in rats. *J Nutr* 121(4) : 431-437, 1991
- 16) Hagander B, Asp NG, Efendic S, Nilsson-Ehle P, Schersten B. Dietary fiber decreases fasting blood glucose levels and plasma LDL concentration in noninsulin-dependent diabetes mellitus patients. *Am J Clin Nutr* 47(5) : 852-858, 1988
- 17) Hillman L, Peters S, Fisher A, Pomare EW. Differing effects of pectin, cellulose and lignin on stool pH, transit time and weight. *Br J Nutr* 50 : 189-195, 1983
- 18) Van Munster IP, Nagengast FM. The role of carbohydrate fermentation in colon cancer prevention. *Sand J Gastroenterol-Supplement* 200 : 80-86, 1993
- 19) Klurfeld DM. Dietary fiber-mediated mechanisms in carcinogenesis. *Cancer Res* 52(7) : 2055s-2059s, 1992
- 20) Fleming SE, Fitch MD, Chansler MW. High-fiber diets : Influence on characteristics of cecal digesta including short-chain fatty acid concentrations and pH. *Am J Clin Nutr* 50(1) : 93-99, 1989
- 21) Omori M, Muto Y. Effects of dietary protein, Ca, P, fiber on renal accumulation of exogenous Cd in young rats. *J Nutr Sci Vitaminol* 23 : 361-366, 1978
- 22) Revis NW, Osborne TR. Dietary protein effects on Cd and metallothionein accumulation in the liver and kidney of rats. *Environ Health Perspect* 54 : 83-91, 1984
- 23) Moberg A, Hallmans G. The effect of wheat bran on the absorption and accumulation of cadmium in rats. *Br J Nutr* 58 : 383-391, 1987
- 24) Sandberg AR, Hasselblad C. The effects of wheat bran on the absorption of minerals in the small intestine. *Br J Nutr* 48 : 185-191, 1982
- 25) Schwartz R, Apgar BJ. Apparent absorption and retention of Ca, Cu, Mg, Mn, Zn from a diet containing bran. *Am J Clin Nutr* 43 : 444-455, 1986
- 26) Jiang KS. Effects of dietary cellulose and xylon on absorption and tissue contents of Zn and Cu in rats. *J Nutr* 116 : 999-1006, 1986
- 27) 통계청. 사망원인통계연보, 1992
- 28) 경제기획원조사통계국. 사망원인통계 1982
- 29) Prosky L, Asp NG, Furda I, 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
- 30) 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
- 31) Adiomre 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
- 32) Somogyi M. Notes on sugar determination. *J Biol Chem* 195 : 19-23, 1944

- 33) Nelson N. A photometric adaptation of the Somogyi method for the determination of the glucose. *J Biol Chem* 153 : 375-260, 1944
- 34) 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
- 35) 이서래 · 이경숙. 납의 In vitro 흡수에 미치는 식이 섬유유의 억제효과. *한국식품과학회지* 21(1) : 63-67, 1989
- 36) Zar JH. Biostatistical Analysis, 2nd edition. Prentice-Hall, 188, 1984
- 37) 한국영양학회. 한국인영양권장량 6 : 258-259, 1995
- 38) Leclere CJ, Champ M, Boillot J, Guille G, Lecannu G, Molis C, Bornet F, Krempf M, Delort-Laval J, Galmiche JP. Role of viscous guar gums in lowering the glycemic response after a solid meal. *Am J Clin Nutr* 59(4) : 914-921, 1994
- 39) Anderson JM, Chen WJL. Plant fiber : Carbohydrate and lipid metabolism. *Am J Clin Nutr* 32 : 346-363, 1979
- 40) Schwartz SE, Levine RA, Singh A, Schreidecker JR, Track NS. Sustained pectin ingestion delays gastric emptying. *Gastroenterol* 83 : 812-817, 1982
- 41) Van Soest PJ, Mcqueen RW. The chemistry and estimation of fibre. *Proc Nutr Soc* 32(3) : 123-130, 1973
- 42) Dongowski G. Influence of pectin structure on the interaction with bile acids under in vitro conditions. *Zeitschrift fur Lebensmittel-Untersuchung und-Forschung*. 201(4) : 390-398, 1995
- 43) Ebihara K, Masuharea R, Kiriyaama S. Soluble dietary fiber on plasma glucose and insulin responses in young man undergone glucose tolerance test. *Nutr Rep Inter* 23 : 577-583, 1981
- 44) Eastwood MA, Hamilton D. Studies on the adsorption of bile salts to non-absorbed components of diet. *Biochem Biophys Acta* 152 : 165-173, 1968
- 45) Herman JB, Fred KJ. In vitro adsorption of bile salts to food residues, salicylazosulfapyridine and hemicellulose. *Gastroenterol* 67 : 237-244, 1974
- 46) Sara MH, James LG. Advanced nutrition and human metabolism. New York : West publishing com. 347-359, 1990
- 47) 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
- 48) Rose HE, Quarterman J. Dietary fibers and heavy metal retention in the rat. *Environ Res* 42(1) : 166-175, 1987