

동아의 물리적 특성 및 *in vitro* 포도당, 담즙산, 카드뮴 투과억제 효과에 대한 열처리 영향

주인옥 · 정기태 · 류 정 · 김영수^{1,*}

전라북도 농업기술원, ¹전북대학교 응용생물공학부 식품공학전공

Effect of Heat Treatments on Physical Properties and *in vitro* Glucose, Bile Acid, and Cadmium Transport Retardation of Wax Gourd (*Benincasa hispida*)

In-Ok Ju, Gi-Tai Jung, Jeong Ryu and Young-Soo Kim^{1,*}

Jeollabuk-do Agricultural Research and Extension Services

¹Faculty of Biotechnology (Food Science and Technology Major), Chonbuk National University
(The Institute of Agricultural Science and Technology)

The effects of heat treatment on the physical and physiological properties of wax gourd (*Benincasa hispida*) were examined. The applied heat treatments were autoclaved at 121°C for 1 hr, boiled for 30 min, and microwaved at 680 W for 5 min. The water retention capacity (WRC) of the wax gourds was 9.43 g/g for the microwaved samples, 5.12 g/g for the boiled samples, 4.63 g/g for the raw samples, and 2.61 g/g for the autoclaved samples. Heat treatment caused to increase swelling by up to 4.4~7.8 mL/g. Calcium binding capacity of heat-treated wax gourd increased in the order of microwaved, boiled, raw, autoclaved samples. Scanning electron microscopy (SEM) showed that autoclaving caused the most severe structural modifications, while microwave treatment produced the least modifications. The retarding effect on glucose and bile acid transport depended on the heat treatment. Only boiling showed the glucose retardation effect. Bile acid retardation effect increased in order of boiling (22.9%), autoclaving (17.1%), microwave treatment (14.3%), and raw wax gourd (8.6%). The cadmium retardation effect was significantly high in all samples.

Key words: wax gourd, heat treatments, physical property, glucose, bile acid and cadmium retardation effects

서 론

최근 건강에 대한 관심이 고조되면서 건강증진 및 질병의 예방과 치료효과가 있는 기능성식품 소재의 발굴을 위한 연구가 활발하게 진행되고 있는 실정이다. 동아(*Benincasa hispida* Cogn.)는 이노, 거담, 해열, 해독, 지갈, 소염 등의 효과가 있어 즐기, 잎, 과피, 과육, 종자까지 약용으로 활용되어 왔으며, 과육은 각종 부종, 각기병, 해수천식, 당뇨병, 설사, 종기, 땀띠, 치질 등의 병증과 어둑 및 주독 등에 효능이 있다고 알려져 있다⁽¹⁾. 또한 최근의 연구결과 동아는 비만 및 변비억제 효과와 콜레스테롤의 대변 배설 증가효과 뿐만 아니라 다량의 식이섬유를 함유하고 있는 것으로 보고되었다⁽²⁾.

식이섬유는 인체 내에서 소화되지 않으면서 다양한 기능을 제공하는 물질로, 식물의 세포벽을 구성하는 pectin, hemicellulose, cellulose와 lignin 등으로 구성되어 있다. 식이섬유는 용해도에 따라 불용성 식이섬유와 수용성 식이섬유로 구분된다. 불용성 식이섬유는 소화기관을 통과할 때 다량의 수분을 흡수하여 대변의 용적 증가, 장내 통과시간의 단축, 전분의 가수분해 억제 및 포도당 흡수 지연 등의 기능을 가지며, 수용성 식이섬유는 3차원 구조의 gel을 형성하여 식품의 통과를 지연시키고, 포도당의 흡수를 저해하며 특히 혈중콜레스테롤 함량을 저하시키는 역할을 하는 것으로 밝혀져 있다^(3,4).

채소류는 식이를 통해 공급되는 식이섬유 중 특히 수용성 식이섬유의 중요한 공급원이며 상당량이 가공되거나 조리된 상태로 섭취된다. 따라서 가공과정에서 세포와 세포벽 구조의 접착력(adherence)의 변형으로 인하여 채소류의 물성이 현저하게 변하고⁽⁵⁾ 식이섬유 또한 변형이 일어난다⁽⁶⁾. 식이섬유는 가공처리에 의해 glycosidic 결합이 파괴되어 고분자 물질이 분자량이 작은 fragments를 형성함으로써 물리화학적 특

*Corresponding author : Young-Soo Kim, Faculty of Biotechnology (Food Science and Technology Major), Chonbuk National University, 664-14 Dukjin-dong, Chonju 561-756, Korea
Tel: 82-63-270-2569
Fax: 82-63-270-2572
E-mail: ykim@chonbuk.ac.kr

성에 영향을 미치는 것으로 알려져 있다. 당근의 경우 blanching 처리에 의해 pectin의 분자량이 감소하였으며 그로 인해 점도와 보수력이 달라지는 것으로 보고되었다⁷⁾. 또한, 채소류는 열처리에 의해 세포사이의 calcium-pectin complexes로부터 calcium이온이 유리되어 연화되는 것으로 나타났다⁸⁾.

가공처리에 의한 식이섬유의 조성변화는 in vivo에서의 생리적인 기능성에 영향을 미치는데 장내 균총에 의한 발효이용도의 증가로 bulking capacity가 감소한다⁹⁾. 식이섬유의 소화관내 생리적 효과를 예측하기 위한 방법으로 in vitro에 의한 glucose와 bile acid 흡수지연 효과를 동물실험 및 인체실험과 비교한 결과 glucose와 bile acid 흡수지연효과가 높을수록 혈액내 glucose 조절 및 혈청내 cholesterol 감소효과가 큰 것으로 나타났다¹⁰⁾. 따라서 다양한 식품소재의 생리적 효과를 예측하는 데 있어 동물실험이나 인체실험에 앞서 in vitro에 의한 평가가 효과적인 방법으로 제시되고 있다.

본 연구에서는 여러 방법으로 열처리한 동아 과육의 물리적 특성변화를 조사하고 열처리가 생리적 특성에 미치는 영향을 검토하기 위하여 in vitro법에 의한 포도당, bile acid, cadmium 투과 억제효과를 조사하였다.

재료 및 방법

재료

동아는 전북 익산지역에서 재배된 순창재래 동아(*Benincasa hispida* Cogn.)를 2000년 10월 상순경에 수확하여 과피와 속을 제거하고 3×3×3 cm 크기로 절단한 후 -20°C 냉동고에 보관하면서 사용하였다. Glucose, bile acid, cadmium 흡수 지연효과 측정에 사용된 투석막(M.W. cut-off<1,200)과 taurocholic acid는 Sigma사 제품을 사용하였다. Ca와 Cd 표준용액은 Cica-Merck 제품을 사용하였으며 나머지 시약은 특급을 사용하였다.

동아의 열처리

냉동 보관된 동아를 상온에서 30분간 해동시킨 다음 1×1×1 cm 크기로 잘라 열처리하였다. Autoclaving은 시료 250 g에 증류수 50 mL를 넣고 121°C에서 1시간, boiling은 시료 250 g에 증류수 100 mL를 넣고 30분간, microwaving은 시료 250 g을 680 W로 5분간 처리하였으며 열처리를 하지 않은 것을 무처리로 하였다. 열처리가 끝난 시료는 동결건조(FD 5510, Ilshin Lab, Korea)한 후 20 mesh 미망으로 분쇄하여 4°C에서 냉장보관하면서 시료로 사용하였다.

열처리 방법에 따른 수화 특성

열처리 방법에 따른 동아의 수화특성은 Robertson 등¹¹⁾의 방법을 변형하여 측정하였다. 보수력(water retention capacity, WRC)은 동아 200 mg을 10 mL 원심분리관에 취하고 증류수 5 mL를 가하여 18시간 평형화시켰다. 이를 원심분리(12,000 rpm, 20분)한 후 상등액을 버리고 tube를 거꾸로 세워 여분의 수분을 제거하였다. 원심분리 후 측정된 무게와 건조 후 무게 차로부터 흡착된 수분을 계산하여 WRC(g/g dry weight)로 나타내었다. 팽윤력(swelling)은 동아 500 mg과 0.02% sodium azide를 포함하는 증류수 15 mL를 mess cylinder에 취

하여 실온에서 18시간 평형화시키고 이 때 나타나는 bed의 부피를 volume/g sample dry weight로 나타내었다.

Calcium 흡착력 측정

열처리 동아의 calcium 흡착력은 Idouraine¹²⁾의 방법을 변형하여 측정하였다. Acid washing은 시료에 1% HCl(12.5:1, w/v)을 넣어 하룻밤 진탕하고 1G2 유리여과기를 이용하여 여과한 후 pH 7.0이 될 때까지 증류수로 세척하여 동결건조하였다. Calcium 결합은 동결건조시료 0.25 g을 취하여 1,000 ppm Ca 표준용액 5 mL를 넣고 3시간동안 진탕한 후 1G2 유리여과기를 이용하여 여과하고 증류수로 3회 세척하여 동결건조 하였다. Re-acid washing은 calcium이 결합된 시료의 일부를 취해 1% HCl(12.5:1, w/v)을 넣어 하룻밤 진탕하고 1G2 유리여과기를 이용하여 여과한 다음 증류수로 3회 세척하여 동결건조 하였다. Calcium 분석을 위하여 acid washed, calcium 결합, re-acid washed 그리고 열처리 동아 0.05 g을 시험관에 취하고 Conc. HNO₃ 5 mL을 넣어 60°C에서 1시간 분해한 후 온도를 100°C로 올려 30분 간격으로 30% 과산화수소를 5방울씩 넣어가며 2시간 동안 밝은 녹색이 될 때까지 분해시켰다. 분해된 시료는 증류수로 정용(10 mL)한 후 AAS(SpectrAA 220FS, Varian, USA)로 분석하였으며 endogenous, acid washed, bound, re-acid washed calcium 함량을 µg/g으로 나타내었다.

Scanning electron microscopy

열처리 직후 동아 과육을 4×4×2 mm 크기로 잘라 2% glutaraldehyde 용액에 침지하여 4°C에서 2시간 prefixing 시킨 후 0.1 M phosphate buffer로 3회 세척하고 1% osmium tetroxide 용액으로 4°C에서 2시간 postfixing시켜 0.1 M phosphate buffer로 3회 세척하였다. 고정시킨 시료를 ethanol (50, 70, 80, 90, 95, 100%)을 사용하여 순차적으로 20분씩 탈수시킨 다음 isoamylacetate에 하룻밤 침지시켰다. 액체 CO₂를 사용하여 critical point dryer로 건조시키고 ion coater로 gold coating한 다음 scanning electron microscope(JSM-5410LV, Japan)를 이용하여 20 kV의 accelerating voltage에서 100배율로 관찰하였다. 분말의 경우에는 열처리 후 동결건조한 동아를 분쇄하고 coater를 사용하여 gold coating한 후 500배율로 관찰하였다.

In vitro법에 의한 열처리 동아의 생리적 특성

Glucose 투과 억제효과는 투석막 한 쪽 끝을 dialysis tubing closure로 밀봉하고 투석막 내부에 시료 0.2 g과 포도당 360 mg을 용해시킨 0.1% sodium azide 용액 6 mL를 넣고 투석막의 나머지 한 쪽 끝도 밀봉하여 뚜껑이 있는 용기(직경 8 cm×길이 8 cm)에서 시료를 14시간 수화시켰다^{13,14)}. 0.1% sodium azide 용액 100 mL를 가하고 37°C water bath에서 100 rpm으로 8시간 shaking하면서 일정한 시간 간격으로 투석 외액 1 mL를 취하여 DNS법¹⁵⁾으로 glucose 함량을 분석하였다. 대조구는 시료를 제외하고 glucose 용액만 넣었으며, 투석막에 시료만 넣고 투석하여 시료자체에 함유된 glucose를 보정하였다.

Bile acid 투과 억제효과는 투석막 내부에 시료 0.2 g과

0.1% sodium azide를 포함하는 0.05 M phosphate buffer(pH 7.0)에 15 mmole taurocholic acid/L를 녹인 용액 6 mL를 넣고 투석막의 나머지 한 쪽 끝도 밀봉하고 뚜껑이 있는 용기(직경 8 cm×길이 8 cm)에서 시료를 14시간 수화시켰다. 대조구는 시료를 제외하고 bile acid 용액만 넣었다. 여기에 0.1% sodium azide를 포함하는 0.05 M phosphate buffer (pH 7.0) 100 mL를 가지고 37°C water bath에서 100 rpm으로 48시간 shaking하면서 일정한 시간 간격으로 투석 외액 1 mL를 취하여 taurocholic acid 함량을 Boyd 등⁽¹⁶⁾의 방법으로 분석하였다. 즉 투석외액 1 mL에 70% H₂SO₄ 용액 5 mL를 가지고 5분 후 0.25% furfural 용액 1 mL를 첨가하고 60분 후 spectrophotometer(Spectronic Genysis 2, Milton Roy, USA)로 510 nm에서 흡광도를 측정하였다.

Cadmium 투과 억제효과는 투석막 내부에 시료 0.2 g과 isotonic Tris buffer (pH 7.4) 6 mL를 넣고 여기에 CdSO₄ (1000 ppm) 120 µL를 첨가하고 투석막의 나머지 한 쪽 끝도 밀봉하여 뚜껑이 있는 용기(직경 8 cm×길이 8 cm)에서 시료를 14시간 수화시켰다. 대조구는 시료를 제외하고 cadmium용액만 넣었다. 여기에 isotonic Tris buffer (pH 7.4) 100 mL를 첨가하고 37°C water bath에서 100 rpm으로 24시간 shaking하면서 일정한 시간 간격으로 투석막 외액 1 mL를 취하여 cadmium 함량을 분석하였다⁽¹⁴⁾. 즉 투석막 외액 1 mL에 0.1 N HNO₃ 1 mL를 가하여 2배로 희석한 다음 AAS(SpectraAA 220 FS, Varian, USA)로 228.8 nm에서 측정하였다.

Glucose, bile acid, Cd 투과 억제지수는 다음과 같이 계산하였다.

$$\text{Retardation index (\%)} = 100 - \frac{\text{Total concentration diffused from sack containing wax gourd}}{\text{Total concentration diffused from sack without wax gourd}} \times 100$$

결과 및 고찰

보수력(water retention capacity, WRC) 및 팽윤력(swelling)

열처리 방법에 따른 동아의 수화특성으로 보수력(water retention capacity, WRC)과 팽윤력(swelling)을 조사한 결과는 Fig. 1과 같다. 일정량의 시료에 흡착된 수분량을 측정하는 보수력은 microwaving(9.43 g/g)처리가 가장 높았고 boiling과 무처리는 각각 5.12 g/g, 4.63 g/g으로 비슷하게 나타났으며, autoclaving(2.61 g/g)처리가 가장 낮은 것으로 나타났다. 보수력은 불용성 식이섬유가 생리적인 특성에 영향을 미치는 가

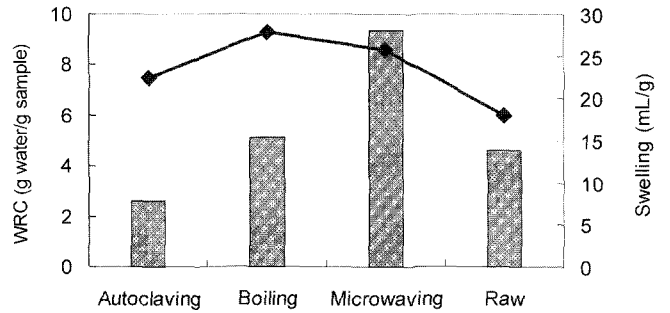


Fig. 1. Water retention capacity and swelling of heat-treated wax gourds.

■: WRC, -◆-: swelling.

장 중요한 물성으로 분자의 미세구조(microstructure)가 물을 보유하는 정도에 따라 결정되며 입자의 크기와 팽윤력이 중요한 요인으로 작용한다⁽¹⁸⁾. 따라서 본 연구에서 autoclaving 처리의 경우 보수력이 감소한 것은 autoclaving 처리에 의해 내부구조가 변형되어 불용성 식이섬유가 감소하기 때문인 것으로 생각된다.

일정량의 시료가 수화되어 차지하는 bed의 부피를 측정하는 팽윤력은 열처리 방법에 관계없이 22.4~25.8 mL/g으로 무처리(18.0 mL/g)보다 증가한 것으로 나타났다. 이는 보수력이 열처리방법에 따라 큰 차이를 보인 것과는 대조적인 결과로 pea hull, apple pulp, citrus pulp의 수화특성을 조사한 결과 보수력(3.8~10.7 g/g)이 팽윤력(6.6~10.5 mL/g)에 비하여 비교적 차이가 크게 나타난 Robertson 등⁽¹¹⁾의 연구결과와 일치하는 경향을 보였다. 한편 본 연구에서 동아의 팽윤력이 Robertson 등⁽¹¹⁾의 연구 결과에 비하여 크게 나타난 것은 열처리 동아에 다량 존재하는 soluble matrix와 열처리에 의한 물리적 특성의 변형에 의한 것으로 생각된다. 팽윤력은 주로 insoluble matrix의 작용에 의해 나타나는 물성으로 수용성 물질(water-soluble material)의 존재, 그리고 가공처리에 의한 matrix 구조의 변형이나 파괴에 의해서도 큰 영향을 받는다⁽¹¹⁾. 완두콩 껍질을 압출성형하고 팽윤력과 보수력을 측정할 결과 팽윤력은 감소하였으며 보수력은 온화한 조건에서는 증가하였으나 가혹한 조건에서는 감소한다고 보고하였다⁽¹⁹⁾. 이는 압출성형에 의하여 구성성분들을 연결하고 있는 섬유질 망상구조(fiber matrix)가 붕괴되어 입자 크기가 감소하고 물과 접촉하는 표면적이 증가하여 보수력이 증가하나 가혹한 조건에서는 구조 자체가 붕괴됨으로써 보수력이 감소한 것으로 해석되어진다.

Table 1. Calcium binding capacity of heat-treated wax gourds¹⁾

Processing	Calcium concentration (µg/g)			
	Endogenous	Acid washed	Calcium-bound	Re-acid washed
Autoclaved	2,174	59	1,896	56
Boiled	1,972	54	5,970	74
Microwaved	2,554	68	6,142	83
Raw	2,328	144	5,416	151

¹⁾Values are means of duplicate measurements.

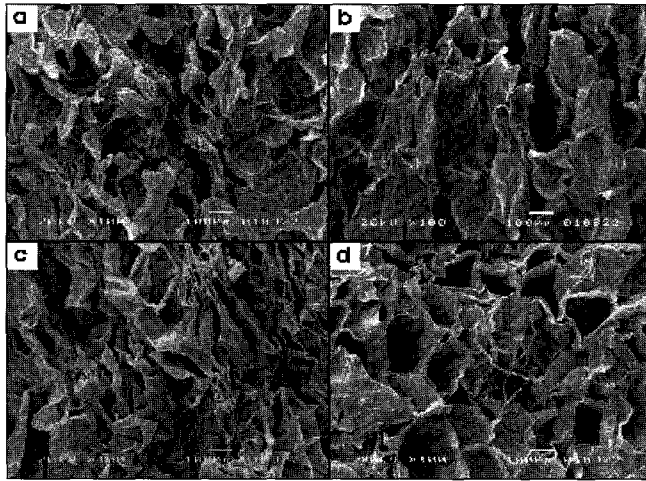


Fig. 2. Scanning electron micrographs of heat-treated wax gourds.
a: autoclaving, b: boiling, c: microwaving, d: raw. Magnification 100× for all samples.

Calcium 흡착력

열처리가 동아의 calcium 흡착력에 미치는 영향을 측정하기 위하여 endogenous, acid washed, calcium-bound 그리고 re-acid washed calcium을 분석한 결과는 Table 1과 같다. 동아에 결합된 calcium은 microwaving(6,074 µg/g)과 boiling(5,916 µg/g)처리에 의하여 무처리(5,272 µg/g) 보다 증가하였으며 autoclaving(1,837 µg/g)처리는 크게 감소하였다.

Camire와 Clydesdale⁽²⁰⁾은 pH와 열처리 방법이 wheat bran과 시판 식이섬유 fraction의 calcium, magnesium, zinc 그리고 iron 흡착에 미치는 영향을 조사한 결과 식이섬유의 금속 결합력은 pH에 의해 크게 영향을 받으며 toasting과 boiling 등의 열처리 방법에도 영향을 받는 것으로 보고하였다. 본 연구에서도 열처리 방법에 따라 calcium 흡착력이 크게 다른 것으로 나타났는데 이는 열처리에 의해서 calcium과 결합하는 specific sites의 수와 같은 수의 sites를 가지더라도 calcium에 대한 친화력의 변화⁽¹¹⁾에 의한 것으로 생각되어진다.

Scanning electron microscopy

열처리 방법에 따른 동아과육의 구조 변화를 주사전자현미경(SEM)으로 관찰한 결과(Fig. 2), 동아과육은 autoclaving과 boiling 처리에 의해 구조가 붕괴되고 공극이 감소하였으

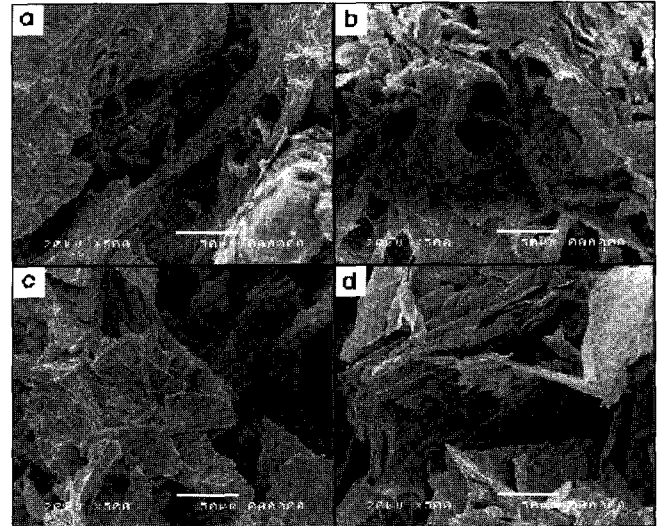


Fig. 3. Scanning electron micrographs of heat-treated wax gourd powder.
a: autoclaving, b: boiling, c: microwaving, d: raw. Magnification 500× for all samples.

며 microwaving 처리의 경우에는 조직이 붕괴되는 것보다는 공극이 작아지는 경향이였다. 동아분말(Fig. 3)의 경우는 autoclaving 처리에 의해 표면이 매끄러워졌으며 boiling과 microwaving 처리는 무처리에 비하여 끝이 부드러워지는 것을 알 수 있었다. 이상의 결과 autoclaving 처리에 의해 동아과육과 분말의 형태적인 변형이 가장 심하게 일어난 것을 알 수 있었다.

Glucose retardation effect

열처리 방법이 동아의 생리적 특성에 미치는 영향을 검토하고자 투석막을 이용하여 glucose 투과억제효과를 조사한 결과(Table 2), 투석시간이 증가함에 따라 투과되는 glucose량이 증가하였으며 투과억제효과는 열처리 방법에 따라 다르게 나타났다. Boiling 처리에 한해서 glucose 투과억제효과가 나타났으며 투석시간이 30분에서 1시간으로 증가함에 따라 투과 억제지수도 10.3%에서 20.6%로 증가하였다. 위장관 내에서의 glucose 투과억제효과는 점성이 높은 gel을 형성하는 수용성 식이섬유의 경우 그 효과가 크다고 보고되어 있는데 이는 식이섬유의 구조내에 glucose가 trapping 될 뿐만 아니라 gastric emptying rate를 저하시킴으로서 나타난다고 보고

Table 2. Glucose retarding effect of heat-treated wax gourds¹⁾

Processing	Dialysis for 30 min		Dialysis for 1 hr	
	Glucose in dialysate (mg/mL)	Glucose retardation index (%)	Glucose in dialysate (mg/mL)	Glucose retardation index (%)
Control	0.319 ± 0.018 ^a	0	0.715 ± 0.032 ^a	0
Autoclaving	0.351 ± 0.049 ^a	-10.0	0.737 ± 0.021 ^a	-3.1
Boiling	0.286 ± 0.032 ^a	10.3	0.568 ± 0.025 ^b	20.6
Microwaving	0.356 ± 0.042 ^a	-9.7	0.712 ± 0.049 ^a	0.4
Raw	0.378 ± 0.025 ^a	-18.5	0.724 ± 0.028 ^a	-1.3

¹⁾Values are mean ± SD of triplicate measurements.

Means followed by different letters within columns are significantly different at p=0.05 by Duncan's multiple test.

Table 3. Bile acid retarding effect of heat-treated wax gourds¹⁾

Processing	Dialysis for 2 hr		Dialysis for 4 hr	
	Bile acid in dialysate (mmole/L)	Bile acid retardation index (%)	Bile acid in dialysate (mmole/L)	Bile acid retardation index (%)
Control	0.055 ± 0.002 ^a	0	0.075 ± 0.004 ^a	0
Autoclaving	0.045 ± 0.001 ^{ab}	18.2	0.067 ± 0.003 ^b	10.7
Boiling	0.038 ± 0.004 ^b	30.9	0.053 ± 0.002 ^c	29.3
Microwaving	0.041 ± 0.002 ^b	25.5	0.064 ± 0.001 ^b	14.7
Raw	0.050 ± 0.001 ^a	9.1	0.073 ± 0.004 ^a	2.7

¹⁾Values are mean ± SD of triplicate measurements.

Means followed by different letters within columns are significantly different at p=0.05 by Duncan's multiple test.

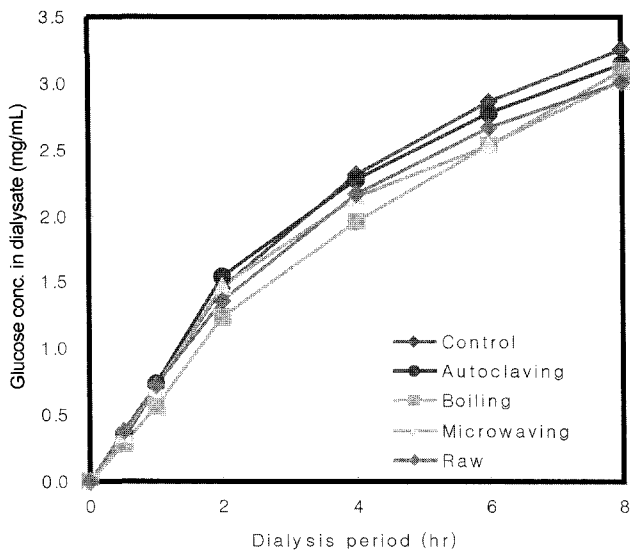


Fig. 4. Passive transport of glucose in the presence of heat-treated wax gourds.

Values are mean of triplicate measurements.

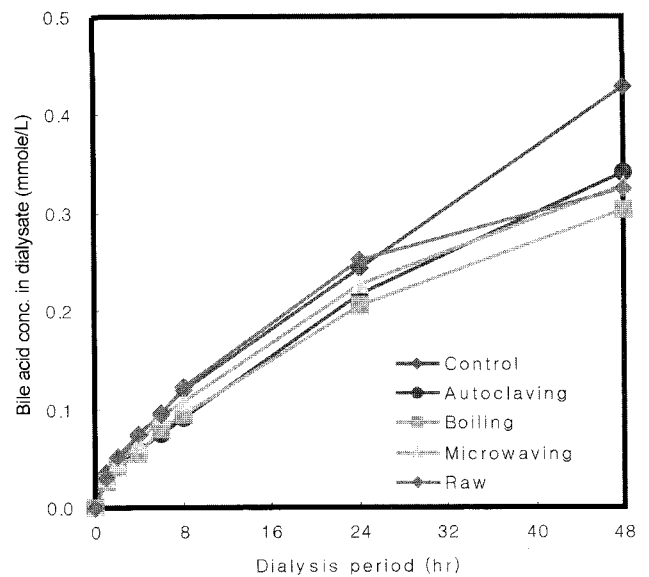


Fig. 5. Passive transport of bile acid in the presence of heat-treated wax gourds.

Values are mean of triplicate measurements.

되어 있다.^(3,13) 점성이 높은 식이섬유의 *in vitro* 실험에 의한 glucose 투과 억제효과는 *in vivo* 실험에서도 같은 경향으로 혈당 강하효과를 나타내는 것으로 보고되어 있어^(14,21,22) *in vitro* 실험을 통하여 식품의 체내에서의 반응이 예측 가능한 것으로 알려져 있다.

투석 시간을 8시간까지 연장시킨 결과(Fig. 4), 투과되는 glucose는 지속적으로 증가하였으며 투석 초기에는 glucose 투과 억제효과를 보이지 않았던 microwaving과 무처리의 경우 투석 4시간 이후 투과 억제효과를 나타내었다. 감과피와 대추 식이섬유의 glucose 투과 억제효과를 조사한 Lee와 Kim의 연구 결과⁽¹⁴⁾에 의하면 투석 초기에 높은 지연효과를 나타낸 감과피 수용성식이섬유, 대추 총식이섬유와 수용성식이섬유, CM-cellulose 그리고 citrus pectin 등은 투석시간이 경과하면서 지연효과가 서서히 감소하였으며 투석 초기에 지연효과를 나타내지 않았던 감과피 총식이섬유의 경우 시간이 경과되면서 지연효과를 보여 본 연구결과와 일치하는 경향이었다.

Bile acid retardation effect

동아의 bile acid 흡수 투과억제효과를 taurocholic acid를

사용하여 조사한 결과(Table 3), 동아의 glucose 투과 억제효과와는 달리 모든 처리에서 나타났다. 열처리 방법에 따라 유일하게 glucose 투과 억제 효과를 보였던 boiling 처리가 투석시간에 관계없이 가장 높은 지연효과를 나타내었다. 투석 2시간 후의 지연효과는 boiling(30.9%), microwaving(25.5%), autoclaving(18.2%), 무처리(9.1%) 순으로 나타났으며 투석 시간이 증가하면서 지연효과는 서서히 감소하였다. 투석시간을 48시간까지 연장시킨 결과(Fig. 5), bile acid의 투과 억제효과는 지속적으로 나타났으며 특히 투석 초기에 비교적 낮은 지연효과를 보였던 autoclaving과 무처리의 경우 오히려 투석시간이 증가하면서 지연효과가 각각 18.2%에서 20.3%로, 9.1%에서 24.1%로 증가하는 것으로 나타났다. 투석초기에 가장 높은 억제지수를 보였던 boiling 처리는 투석 48시간에도 29.2%의 높은 억제효과를 나타내었다. 식이섬유가 bile acid와 결합하는 것은 이온결합과 gel matrix 형성에 의한 trapping 효과⁽²³⁾와 hydrophobic bonding⁽²⁴⁾으로 설명되고 있다. 식이섬유의 bile acid 흡착에 의한 투과억제는 혈청 cholesterol의 농도 저하와 밀접한 관련이 있는데 식이섬유에 흡착된 bile acid는 체내로 흡수되지 못하고 체외로 배출되어

Table 4. Cadmium retarding effect of heat-treated wax gourds¹⁾

Processing	Dialysis for 1 hr		Dialysis for 2 hr	
	Cadmium in dialysate (mg/L)	Cadmium retardation index (%)	Cadmium in dialysate (mg/L)	Cadmium retardation index (%)
Control	0.156 ± 0.003 ^a	0	0.221 ± 0.004 ^a	0
Autoclaving	0.055 ± 0.001 ^b	64.7	0.064 ± 0.001 ^b	71.1
Boiling	0.049 ± 0.001 ^c	68.5	0.052 ± 0.002 ^d	76.6
Microwaving	0.055 ± 0.001 ^b	64.7	0.058 ± 0.001 ^c	73.6
Raw	0.034 ± 0.001 ^d	78.2	0.045 ± 0.002 ^e	79.8

¹⁾Values are mean ± SD of triplicate measurements.

Means followed by different letters within columns are significantly different at p=0.05 by Duncan's multiple test.

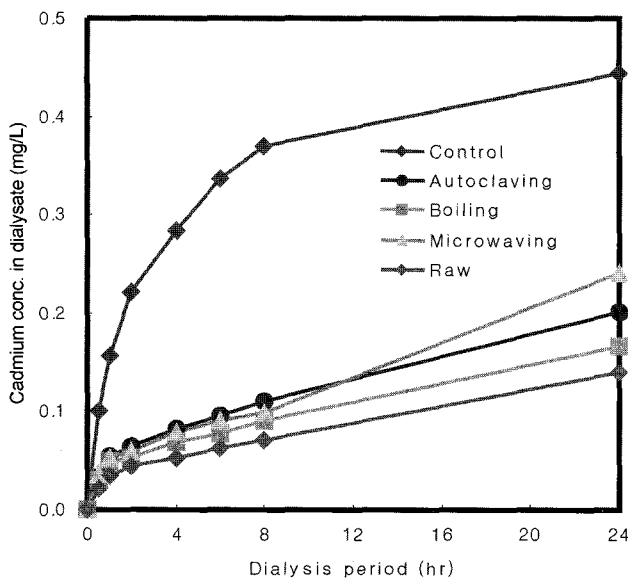


Fig. 6. Cadmium passive transport in the presence of heat-treated wax gourds.

Values are mean of triplicate measurements.

혈청과 간에서 bile acid를 재합성하기 위한 cholesterol의 이용이 증가하기 때문이다⁽²⁵⁾. Camire 등⁽²⁶⁾은 감자껍질의 bile acid 흡착효과를 조사한 결과 bile acid 종류에 따라 그리고 processing 방법에 따라 흡착효과가 달라진다고 보고하고 있는데 본 연구에서도 동아의 열처리 방법에 따라 taurocholic acid의 흡착에 의한 투과 억제효과가 다르게 나타났으며 특히 boiling 처리가 bile acid의 투과 억제에 효과적인 것으로 나타났다.

Cadmium retardation effect

투석막을 이용한 열처리 동아의 cadmium 투과 억제효과를 투석시간에 따라 조사한 결과(Table 4), 모든 처리에서 65% 이상의 높은 투과 억제효과를 나타내었다. 처리방법 별로는 무처리가 78% 이상의 투과 억제효과를 나타내 가장 높았으며, 열처리 중에서는 boiling 처리가 69% 이상으로 높게 나타났다. Cadmium 투과 억제효과는 투석시간을 24시간까지 연장했을 때에도 Fig. 6과 같이 투석 초기와 비슷한 경향으로 높은 지연효과를 나타내었다. 식이섬유의 cadmium 투과 억제효과는 식이섬유와 cadmium과의 결합과 fiber solution의

점성으로 인한 cadmium의 확산을 감소로 설명되어지고 있다. 따라서 불용성 식이섬유의 cadmium 투과 억제효과는 성분 중 lignin과의 강한 결합에 의한 것으로 설명되고 있으며 수용성 식이섬유의 cadmium 투과 억제효과는 점성이 높은 gel matrix 형성에 의한 cadmium의 trapping 효과로 설명되고 있다^(27,28).

이상의 *in vitro* 법을 이용하여 동아의 열처리 방법이 glucose, bile acid, cadmium 투과 억제에 미치는 영향을 조사한 결과 glucose와 bile acid 투과 억제효과는 boiling 처리에서 가장 높았으며 cadmium 투과 억제효과는 열처리 방법에 관계없이 모든 처리에서 높은 것으로 나타났다.

요 약

동아를 autoclaving, boiling, microwaving 처리하고 그에 따른 물리적 특성과 *in vitro* 생리적 특성의 변화를 조사하였다. 열처리 방법에 따른 보수력은 microwaving이 9.43 g/g으로 가장 높았으며 boiling(5.12 g/g), 무처리(4.63 g/g), autoclaving(2.61 g/g) 순으로 낮아졌다. 팽윤력은 열처리 동아의 경우 22.4-25.8 mL/g으로 무처리(18.0 mL/g)보다 높은 것으로 나타났다. 동아의 calcium 흡착력은 microwaving, boiling, 무처리, autoclaving 순으로 나타났으며 autoclaving의 경우 나머지 처리의 30% 정도의 낮은 흡착력을 나타내었다. 열처리 동아의 세포조직은 autoclaving 처리에 의하여 가장 심한 구조적 변형을 보였다. 반투막을 이용하여 *in vitro*법으로 확인한 glucose 투과 억제효과는 boiling 처리에 한해서 20.6%(투석 1시간)로 나타났다. Bile acid 투과 억제효과는 boiling, autoclaving, microwaving, 무처리 순으로 각각 22.9, 17.1, 14.3, 8.6%(투석 1시간)의 투과 억제효과를 보였다. Cadmium 투과 억제효과는 열처리 방법에 관계없이 65% 이상으로 높게 나타났다.

문 헌

- Lee, K.S., Ahn, D.K., Shin, M.K. and Kim, C.M. Encyclopedia of Chinese Medicine, pp. 1392-1399. Jeong Dam Publishing, Seoul, Korea (1997)
- Hong, S.S. A Study on the Weight Loss Effect of Wax Gourd and the Development of Processed Food from Wax Gourd, pp. 88-90. Ministry of Agriculture and Forestry, Seoul, Korea (2000).
- Scheneeman, B.O. Soluble vs insoluble fiber-different physiological responses. Food Technol. 41: 81-82 (1987)

4. Scheneeman, B.O. Dietary fiber. *Food Technol.* 43: 133-139 (1989)
5. Wursch, P., Del Vedovo, S. and Koellreuter, B. Cell structure and starch nature as key determinant of the digestion rate of starch in legumes. *Am. J. Clin. Nutr.* 43: 25-29 (1986)
6. Albersheim, P., Neukom, H. and Deul, H. Splitting of pectin molecules in neutral solutions. *Arch. Biochem. Biophys.* 90: 46-51 (1960)
7. Plat, D., Ben-shalom, N., Levi, A., Reid, D. and Goldschmidt, E.E. Degradation of pectic substances in carrots by heat-treatment. *J. Agric. Food Chem.* 36: 362-365 (1988)
8. Sterling, C. Effects of solutes and pH on the structure and firmness of cooked carrot. *J. Food Technol.* 3: 367-371 (1968)
9. Nyman, M., Byorck, I., Hakansasson, B. and Asp, N.G. Popping of whole-grain wheat: Effects on dietary fibre degradation in the rat intestinal tract. *J. Cereal Sci.* 5: 67-72 (1987)
10. Lee, K.S. and Lee, S.R. Retarding effect of dietary fibers on the glucose and bile acid movement across a dialysis membrane *in vitro*. *Korean J. Nutr.* 29: 738-746 (1996)
11. Robertson, J.A., Monredon, F.D., Dysseler, P., Guillon, F., Amado, R. and Thibault, J.F. Hydration properties of dietary fibre and resistant starch: a European collaborative study. *Lebensm. Wiss. Technol.* 33: 72-79 (2000)
12. Idourain, A., Khan, M.J. and Weber, C.W. *In vitro* binding capacity of wheat bran, rice bran, and oat fiber for Ca, Mg, Cu, and Zn alone and in different combinations. *J. Agric. Food Chem.* 44: 2067-2072 (1996)
13. Adiotomre, J., Eastwood, M.A., Edwards, C.A. and Brydon, W.G. Dietary fiber: *In vitro* methods that anticipate nutrition and metabolic activity in humans. *Am. J. Clin. Nutr.* 52: 128-134 (1990)
14. Lee, H.J. and Kim, M.K. Retarding effect of dietary fibers isolated from persimmon peels and jujubes on *in vitro* glucose, bile acid, and cadmium transport. *Korean J. Nutr.* 31: 809-822 (1998)
15. Miller, G.L., Blum, R., Grennon, W.E. and Burton, A.L. Measurement of carboxymethylcellulase activity. *Anal. Biochem.* 2: 127-132 (1960)
16. Boyd, G.S., Eastwood, M.A. and Maclean, N. Bile acids in the rat: Studies in experimental occlusion of the bile duct. *J. Lipid Res.* 7: 83-94 (1966)
17. Thomas, M., Crepeau, M.J., Rumpunen, K. and Thibault, J.-F. Dietary fiber and cell-wall polysaccharides in the fruits of Japanese quince (*Chaenomeles japonica*). *Lebensm. Wiss. Technol.* 33: 124-131 (2000)
18. Hwang, J.K. Physicochemical properties of dietary fibers. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 25: 715-719(1996)
19. Ralet, M.C., Della-Valle, G. and Thibault, J.F. Raw and extruded fiber from pea hulls. Part 1: Composition and physicochemical properties. *Carbohydr. Polym.* 20: 17-23 (1993)
20. Camire, A.L. and Clydesdale, F.M. Effect of pH and heat treatment on the binding of calcium, magnesium, zinc, and iron to wheat bran and fractions of dietary fiber. *J. Food Sci.* 46: 548-551 (1981)
21. Leclere, C.J., Champ, M., Biollot, J., Guille, G., Lecannu, G., Molis, C., Bornet, F., Krempf, M., Delort-Labal, J. and Galmiche, J.P. Role of viscous guar gums in lowering the glycemic response after a solid meal. *Am. J. Clin. Nutr.* 59: 914-921 (1994)
22. Gouge, C.M.P., Champ, M.M.J., Lozano, Y. and Delort-Lava, J. Dietary fiber from mango byproducts: Characterization and hypoglycemic effects determined by *in vitro* method. *J. Agric. Food Chem.* 40:1864-1868 (1992)
23. Ebihara, K. and Schneeman, B.O. Interaction of bile acids, phospholipids, cholesterol and triglyceride with dietary fibers in the small intestine of rats. *J. Nutr.* 119: 1100-1106 (1989)
24. Story, J.A. and 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)
25. Vahouny, G.V., Khalafi, R., Satchithanandam, S., Watkins, D.W., Story, J.A., Cassidy, M.M. and Krichevsky, D. Dietary fiber supplementation and fecal bile acids, neutral steroids and divalent cations in rats. *J. Nutr.* 117: 2009-2015 (1987)
26. Camire, M.E., Zhao, J. and Violette, D.A. *In vitro* binding of bile acids by extruded potato peels. *J. Agric. Food Chem.* 41: 2391-2394 (1993)
27. Morio, K., Motohiro, M., Sumiko, N., Kazuyo, M., Yoshihiro, T., Fumie, M., Mitsuo, N. and Shoji, K. Studies on poisonous metals. IX. Effects of dietary fibers on absorption of cadmium in rats. *Chem. Pharm. Bull.* 30: 4494-4499 (1982)
28. Rose, H.E. and Quarterman, J. Dietary fibers and heavy metal retention in the rat. *Environ. Res.* 42: 166-175 (1987)

(2003년 9월 5일 접수; 2003년 9월 24일 채택)