

두유박 수용성 식이섬유의 고온 추출물 제조와 이화학적 특성구명

박천호 · 김현정 · 문태화

서울대학교 식품공학과 및 농업생물신소재연구센터

Preparation and Physicochemical Properties of Soluble Dietary Fiber Extracts from Soymilk Residue at High Temperature

Chunho Park, Hyunjung Kim and Tae Wha Moon

Department of Food Science and Technology and Research Center for
New Bio-Materials in Agriculture, Seoul National University

Abstract

Thermal treatment of soymilk residue was carried out at 140, 150, and 160°C for possible use as a raw material for dietary fiber, and some physicochemical properties of the extracts were investigated. Soluble dietary fiber(SDF) content of the extracts prepared under optimal conditions was more than 30% suggesting the conversion of insoluble dietary fiber to SDF. The main sugar components of the extracts were glucose, galactose, and arabinose. Analysis of the molecular weight distribution by high performance size exclusion chromatography revealed that the proportion of high molecular weight fraction decreased and that of middle-sized polymer increased as the extraction temperature increased. The viscosity of aqueous solution of the extracts decreased with an increase in extraction temperature, but showed no trend as pH changed. The solubility increased with extraction temperature showing the highest at 160°C. The extract at 140°C had the biggest calcium-binding capacity, which correlated with the changes in viscosity.

Key words: soymilk residue, soluble dietary fiber extract, viscosity, solubility, calcium-binding capacity

서 론

두유 제조 과정에서 생성되는 부산물인 두유박은 양질의 단백질과 식이섬유를 함유하고 있으나 일부가 사료로 이용되고 있을 뿐 대부분이 폐기되고 있어 이의 활용 방안이 대두 가공 식품산업의 주요 과제로 인식되고 있다. 식생활 양식의 서구화로 인해 우리나라에서도 식이섬유 섭취의 중요성이 대두되면서부터 두유박 식이섬유의 활용 방안에 대한 관심이 높아지고 있다. 두유박에 대한 국내 연구는 수 편⁽¹⁻⁴⁾ 보고된 바 있으나 아직까지는 산업적으로 활용되지 않고 있는 실정이다. 식이섬유는 '인간의 소화관에서 분비되는 효소에 의해 소화되지 않는 식물성 다당류와 lignin의 합'으로 정의되며⁽⁵⁾, 구성 성분에 따라 불용성 식이섬유(insoluble dietary fiber; IDF)와 수용성 식이섬유(soluble dietary fiber; SDF)로 나뉘는데, 전자는 cel-

lulose와 일부 hemicellulose, lignin 등이, 그 외의 pectin, gum류 등의 성분이 후자에 해당된다⁽⁶⁾.

식이섬유의 대표적인 물리 화학적 특성으로는 수화, 유지 결합, 양이온 교환, 세균에 의한 분해 등이 있으며 이들 특성은 식이섬유의 점도 및 용해도와 관련된다⁽⁷⁾. 불용성 식이섬유와 수용성 식이섬유는 이러한 물리 화학적 성질의 차이로 인해 인체 내에서의 생리 작용과 그 메커니즘이 매우 다르다. 불용성 식이섬유는 분변량의 증가를 유발하여 변비 해소 등 주로 대장 기능에 관련된 효과를 보이며, 수용성 식이섬유는 담즙산과 결합하여 분변으로 배출됨으로써 체내 담즙산 보충을 위한 콜레스테롤 소모를 유도하여 혈중 콜레스테롤치를 저하시키며^(8,9) 동맥경화를 예방하고, 대장 내에서 세균에 의해 분해되어 단쇄 지방산이 생성되고 가스를 발생시키는⁽¹⁰⁾ 등의 장내 환경 변화를 일으킴으로써 장내 세균의 증가를 유발하는 등 다양한 생리 기능을 갖고 있다. 그리고 이와 같은 생리적 차이를 보이는 것 외에 식품 소재로서의 활용 면에서도 다른데, 불용성 식이섬유가 빵, 과자 등 고체 식품에 주로 이용될 수 있는데 반해,

Corresponding author: Tae Wha Moon, Department of Food Science and Technology, Seoul National University, Suwon 441-744, Korea

수용성 식이섬유는 음료, 수프 등의 액상 식품에도 직접 사용될 수 있으며 전분이나 밀가루, 유지 등을 대체하는 증점제로도 이용될 수 있는 등, 불용성 식이섬유보다 식품에의 다양한 이용이 가능하다⁽⁴⁾. 수용성 식이섬유의 이런 특성 때문에 불용성 식이섬유를 다량 함유한 소재에 다양한 처리를 통해 수용성 식이섬유 함량을 증가시키려는 시도들이 있어 왔다^(12,15).

이 연구에서는 두유박으로부터 새로운 수용성 식이섬유 소재를 개발하기 위해 두유박을 고온에서 처리하여 두유박 식이섬유의 대부분을 차지하는 불용성 식이섬유를 수용성 식이섬유로 변환시켰으며, 이를 추출한 후 부분적으로 정제하여 분자량 분포, 점도 및 유동 특성, 용해도, Ca-binding capacity 등의 물리 화학적 특성을 조사하였다.

실험 재료 및 방법

실험재료

두유박은 L사로부터 제공받았으며, 수용성 단백질을 일정 정도 제거하기 위해 두유박에 2배량(w/v)의 증류수를 넣고 블렌더를 사용하여 5분 동안 간 후 원심분리(1,000×g, 10분)하여 상정액을 따라 버렸다. 여기에 3배량(w/v)의 acetone을 가하여 1시간 동안 5분 간격으로 격렬하게 저은 후 Whatman 여과지(No. 2)를 통과시켜 지방을 제거하고 70°C 전기 건조기에서 8시간 건조시켰다. 건조된 두유박은 분쇄하여 체눈의 크기가 0.59 mm인 체(28 mesh)로 친 후 -20°C에 보관하며 사용하였다.

두유박 고온 추출물의 제조

두유박 고온 추출물의 제조 과정은 Fig. 1에 나타내었다. 냉동 보관 시료를 20배량(w/v)의 증류수에 분산시킨 다음 1 N NaOH로 pH를 7로 조절하고 고압 가열 장치에 넣은 후 140°C에서 10분, 150 및 160°C에서는 각각 5분 동안 가열하였다. 이것을 1 N HCl을 사용해 pH 4.6으로 조절하고 10분간 교반한 다음 원심분리(1,000×g, 5분)하고 상정액을 Whatman 여과지(No. 42)를 사용해 감압여과하여서 단백질과 불용성 고형분을 제거하였다. 여과액을 동결건조하여 두유박 고온 추출물을 제조하였다.

총, 수용성, 불용성 식이섬유 함량 분석

효소-중량법인 Prosky 등의 방법⁽¹⁶⁾에 따라 불용성 식이섬유 및 수용성 식이섬유를 정량하였다. 시료에 MES-Tris buffer를 가하고 heat-stable α-amylase, pro-

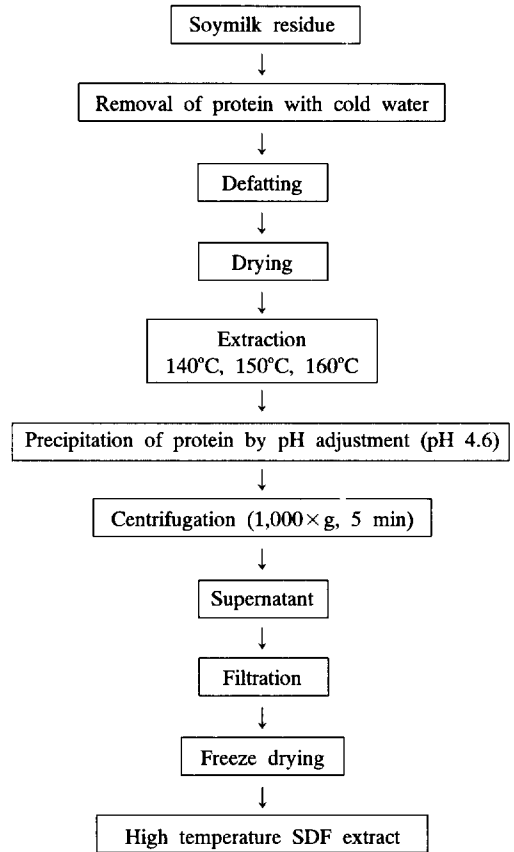


Fig. 1. Preparation of soluble dietary fiber extract from soymilk residue.

tease, amyloglucosidase로 처리 후 여과하여, 걸러진 잔사는 불용성 식이섬유 정량에, 여과액은 따로 모아 에탄올을 가하여 침전시키고 다시 여과하여 수용성 식이섬유 정량에 사용하였다. 걸러진 잔사는 건조시켜 무게를 잰 다음 525°C에서 5시간 회화시켜서 회분을 정량하고, 단백질 함량은 Kjeldahl법으로 측정하여 건조 후의 무게에서 단백질과 회분 함량을 뺀 값을 불용성 및 수용성 식이섬유 함량으로 계산하였다. 총 식이섬유 함량은 측정된 불용성 및 수용성 식이섬유 함량의 합으로 산출하였다.

두유박 고온 추출물의 성분당 분석

추출물 0.2 g에 12 M 황산 2 mL를 첨가하고 35°C에서 1시간 교반하여 cellulose를 분산시킨 후 10 mL의 증류수를 넣고 100°C 항온 수조에서 1시간 동안 교반하여 추출물의 식이섬유를 단당류 단위로 가수분해한 다음 high performance ion chromatography (HPIC)를

이용하여 성분당을 분석하였다. 펌프는 BioLC gradient pump (Dionex Co., Sunnyvale, CA, USA)를, 컬럼은 CarboPac PA1 column (Dionex Co.)을 사용하였고, 검출기는 pulsed amperometric detector (PAD, Dionex Co.)를 E1=0.05 V, E2=0.6 V, E3=-0.8 V로 전압을 걸어 사용하였다. Regeneration 용매는 200 mM NaOH, 전개 용매로는 16 mM NaOH를 사용하였다. 표준 시약으로는 fucose, rhamnose, arabinose, xylose, galactose, glucose, mannose를 사용하였으며 1%용액을 만들어 200배, 400배로 희석하여 주입하였다. 시료는 산 가수분해물을 20배 희석한 후 0.45 µm membrane filter로 여과하고 20 µL를 주입하였다.

추출물의 분자량 분포 측정

각 분석 시료의 1% (w/v) 수용액을 만들어 high performance size exclusion chromatography (HPSEC)를 이용하여 두유박 식이섬유의 분자량 분포를 추정하였다. 컬럼은 Shodex OHpak KB-803 (Showa Denco K. K., Tokyo, Japan), 검출기는 Knauer differential refractometer를 사용하였으며 0.1 M NaOH를 1 mL/min의 속도로 흘려 보냈다. Molecular weight marker로 linear dextran series (Pharmacia Biotech., Uppsala, Sweden) dextran T-2000 (분자량 2,000 kDa), T-70 (분자량 70 kDa), T-40 (분자량 40 kDa), T-10 (분자량 10 kDa)을 사용하였다.

점도 및 유동 특성 측정

농도에 따른 점도의 변화를 조사하기 위하여 대조구로서 polydextrose와 각각의 추출물을 universal buffer (pH 7.0)에 녹여 2%, 4% 및 6% (w/v)의 분산액을 만들었다. 측정하기 전 24시간 동안 4°C에서 냉장 보관하여 평형 상태가 되도록 하였다. Haake Rheotress RS100을 이용하여 z-40 rotor로 shear rate를 1 sec⁻¹에서 1,000 sec⁻¹까지 증가시키며 shear stress의 변화를 25°C에서 측정하였다.

용해도 측정

온도를 변화시키면서 각 추출물의 용해도를 측정하였다. 10% (w/v)의 농도로 각 추출물을 증류수에 녹인 후 항온 수조에 넣고 원하는 온도에서 30분간 진탕시키며 5분 간격으로 vortex mixer를 사용하여 혼합하였다. 이를 4,500×g에서 10분간 원심분리하고 상정액을 분리하여 페놀-황산법⁽¹⁷⁾을 사용하여 가용화된 식이섬유 추출물의 함량을 측정하였다.

Calcium-binding capacity의 측정

시료 0.1 g을 AOAC법에 따라 건식회화하여 내재된 칼슘 농도를 구한 후 Carmire와 Clydesdale⁽¹⁸⁾의 방법을 응용하여 칼슘 함량을 측정하였다. 내재한 칼슘을 제거하기 위해 0.5 g의 시료에 1% HCl 10 mL를 첨가하여 상온에서 3시간 동안 반응시킨 후 증류수를 1:100의 비율로 첨가하고 membrane filter (MWCO 5 kDa, SPECTRA/MESH macroporous filter, Spectrum Medical Industries, Los Angeles, CA, USA)를 사용하여 한외여과한 다음 여과액의 칼슘 농도를 구하여 내재된 칼슘 함량과의 차이로 칼슘이 제거된 시료(acid-washed sample) 중 잔존하는 칼슘 함량을 구하였다. Acid-washed sample solution 2 mL에 1 M CaCl₂ 용액 1 mL를 첨가하고 상온에서 2시간 동안 반응시켜 칼슘을 결합시킨 후 증류수를 1:100의 비율로 첨가하고 위와 동일한 방법으로 한외여과하였다. 여과액의 칼슘 농도로부터 시료에 결합된 칼슘 함량을 구하였다.

시료 중의 칼슘 농도는 inductively coupled plasma atomic absorption spectrometer (ICP-AAS: Integra XMP, GBC Scientific Equipment Pty. Ltd., Victoria, Australia)를 사용하여 측정하였다. 측정 조건은 Table 1에 나타내었다.

결과 및 고찰

수용성 식이섬유의 추출 조건

탈지 건조 두유박을 140°C, 150°C, 160°C에서 각각 pH와 열처리 시간을 달리하여 추출한 후 식이섬유를 정량하여 식이섬유의 가용화가 가장 많이 진행된 조건을 추출 최적 조건으로 잡았다. 각 온도에서 pH와 열처리 시간에 따른 추출물 중 수용성 식이섬유 함량은 Fig. 2에 나타내었다. 140°C에서의 최대 가용화 조건은 32.2%의 수용성 식이섬유 함량을 보인 가열 시간 10분, pH 7이었으며, 150°C와 160°C에서는 각각 pH 7에서 5분 가열한 조건에서 수용성 식이섬유의

Table 1. ICP-AAS conditions for determination of calcium concentration

Nebulizer	glass concentric nebulizer
Forward power	1200 W
Torch height	8.0 mm
Sample gas flow	0.40 L/min
Max. sample pressure	500 kPa
Plasma gas flow	12.00 L/min
Auxiliary gas flow	0.70 L/min
PMT voltage	750 V

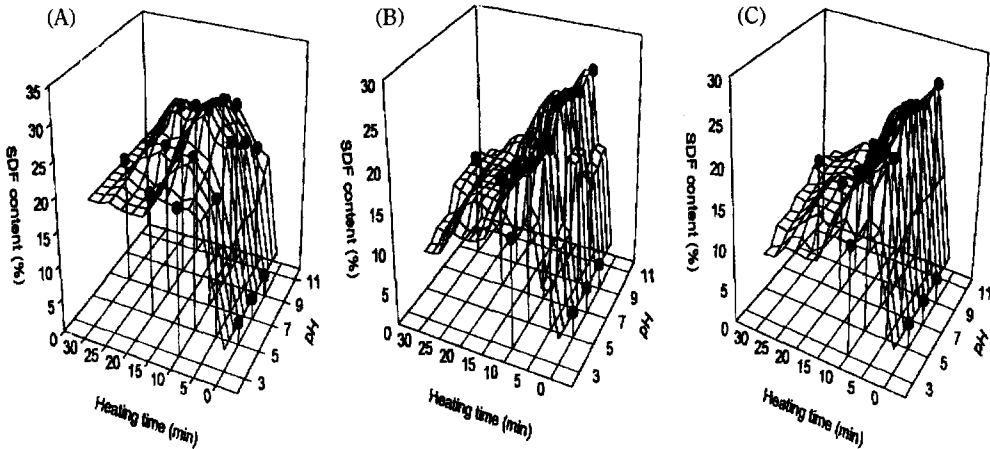


Fig. 2. Optimization of the conditions for SDF extraction from soymilk residue. A: Extraction at 140°C, B: Extraction at 150°C, C: Extraction at 160°C.

함량이 31.1%와 30.3%로 가장 많았다. 150°C나 160°C에서 추출하였을 때는 가열 시간에 따라 가용화 되는 정도에 대한 pH의 영향이 달라져 10분 이상 추출한 경우 pH 9에서 최대로 가용화되었으나, 140°C에서는 가열 시간에 관계없이 중성 pH에서 가장 많은 식이섬유 함량을 나타내었다. 140°C의 경우 pH 9, 10분간의 가열로 29.8%, 150°C 및 160°C에서는 pH 11, 5분간 처리시 각각 27.6%, 27.1%의 함량을 보여 알칼리 pH에서 추출한 경우 최대 가용화 조건에서와 큰 차이를 보이지 않았으나, 산성 영역에서는 대부분 10~20% 사이의 값을 나타내어 상대적으로 수용성 식이섬유의 함량은 훨씬 적었다. 일반적으로 열처리를 통한 식이섬유의 가용화 경향은 시료에 따라 많은 편차를 보이는 것으로 보고되어 있다⁽¹²⁾. 옥수수 식이섬유는 산 처리 또는 산-알칼리 병행 처리에 의해 수용성 식이섬유 함량이 가장 많이 증가하였으나⁽¹³⁾, cauliflower와 강낭콩⁽¹⁴⁾ 및 미강⁽¹⁵⁾ 식이섬유의 경우 산성보다 중성 조건에서 그리고 이보다 알칼리 조건에서 수용성 식이섬유가 두드러지게 증가함이 알려져 있다. 이렇게 수용성 식이섬유가 증가하고 반면에 불용성 식이섬유가 감소한 것은 가열 처리에 의해 여러 다당류 사슬간의 상호작용이 약화되고 사슬 크기가 감소되어 다당류 분자의 이동성과 물분자와의 반응성이 커져 용해도가 증가하기 때문인 것으로 보인다⁽¹³⁾. 고온 처리로써 얻은 정제하지 않은 추출물 중 수용성 식이섬유 함량은 탈지 건조 두유박의 수용성 식이섬유 함량이 3.3%인 것에 비교하면 10배 가량 증가한 것으로 고온 처리를 통한 가용화는 매우 효과적인 것으로 판단되었다.

식이섬유 함량

원심분리와 여과로써 정제한 온도별 추출물과 탈지 두유박, 탈지 저단백 두유박의 식이섬유 함량을 측정 한 결과를 Table 2에 나타내었다. 두유박 식이섬유의 대부분을 차지하는 불용성 식이섬유는 추출 과정을 통해 상당 부분 가용화되었고, 남은 부분은 원심분리와 여과를 통해 거의 제거되어 불용성 식이섬유 함량은 전체 식이섬유 중에서 1% 미만으로 나타났다. 추출 온도에 따른 추출물의 식이섬유 함량을 살펴보면, 140°C 추출물의 수용성 식이섬유 함량이 67.3%로 가장 높아 실질적인 가용화가 가장 많이 이루어졌음을 보였다. 160°C에서는 추출시 수용성 단백질 또한 많이 용출되어 단백질 함량이 높았고(29.3%) 이에 따라 전체 중량에서 식이섬유의 함량은 60%에 못 미쳤다.

두유박 고온 추출물의 당 조성

산 가수분해시킨 온도별 추출물과 표준당을 HPLC를 이용해 분석한 크로마토그램을 Fig. 3에, 표준당 크로마토그램상의 peak 면적으로부터 산출한 각 추출물

Table 2. Dietary fiber content of the soymilk residue and the partially purified extract (Unit : %¹⁾)

	IDF	SDF	TDF
Defatted soymilk residue	43.0	3.3	46.3
Low protein-defatted soymilk residue	57.4	4.4	61.8
140°C extract	0.5	67.3	67.8
150°C extract	0.3	66.2	66.5
160°C extract	0.4	54.1	54.5

¹⁾dry basis

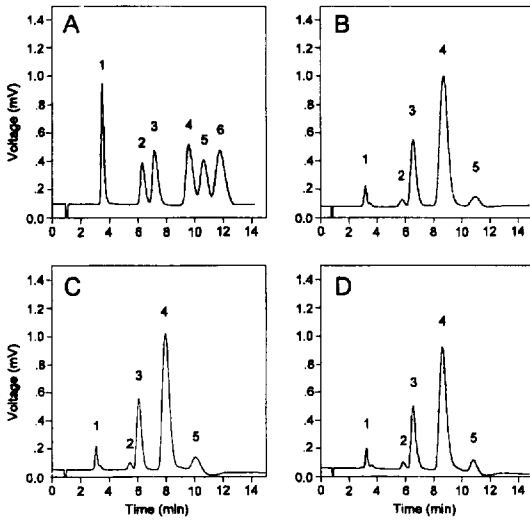


Fig. 3. HPIC chromatograms for determination of sugar composition. A: standard sugar mixture, 1: fucose+arabinose, 2: rhamnose, 3: galactose, 4: glucose, 5: xylose, 6: mannose, B: Extract at 140°C, C: Extract at 150°C, D: Extract at 160°C, 1: fucose+ arabinose, 2: rhamnose, 3: galactose, 4: glucose, 5: mannose.

의 농도를 Table 3에 나타내었다. 표준당의 크로마토그램에서 fucose와 arabinose는 분리되지 않고 하나의 peak로 나와 이들의 합을 한 성분으로 표시하였다. 분석 결과 각 온도별 추출물의 구성당의 종류와 함량은 매우 유사하여, fucose 및 arabinose, rhamnose, galactose, glucose, mannose 등을 각 온도에서 추출한 수용성 식이섬유의 구성 단당류로 확인하였는데, 이 중 glucose의 함량이 가장 많고, 다음으로 galactose가 상당 부분을 차지하고 있음을 알 수 있었다. 두유박의 불용성 식이섬유는 주로 cellulose와 hemicellulose로 구성되어 있는데⁽¹⁹⁾ 대부분의 hemicellulose는 약산 하에서 100°C 정도의 가열 처리로 비교적 쉽게 가용화되나 cellulose는 보다 격렬한 조건에서 분해된다⁽²⁰⁾. 추출물이 glucose와 galactose, arabinose 등을 많이 함유하고 있는 것은 hemicellulose가 6탄당과 5탄당 사이의

Table 3. Sugar composition of the SDF extract of soy-milk residue (Unit: mg/g dry extract)

Sugar	140°C extract	150°C extract	160°C extract
Fucose+Arabinose	22.93	22.65	19.11
Rhamnose	7.21	7.53	7.25
Galactose	79.47	77.72	70.69
Glucose	163.40	158.03	145.42
Mannose	5.84	15.16	8.23

약한 결합으로 이루어지며 무정형의 느슨한 구조를 갖고 있어, 고온 처리를 통해 물에 녹는 형태의 구조로 변하거나 사슬 길이가 짧아지기 때문이라고 생각된다. Nyman 등⁽²¹⁾은 강남콩과 Brussels sprout로부터 분리한 수용성 식이섬유를 100°C로 가열하였을 때의 단당류 조성을 조사한 결과 glucose > galactose > arabinose > mannose의 순서로 많이 함유하고 있음을 보고하여, 위 실험 결과와 경향이 일치하였다.

추출물의 분자량 분포

추출물의 분자량 분포를 조사하기 위하여 HPSEC를 이용해 얻은 크로마토그램은 Fig. 4와 같았다. Size-marker로 사용한 분자량 200만, 7만, 4만, 1만

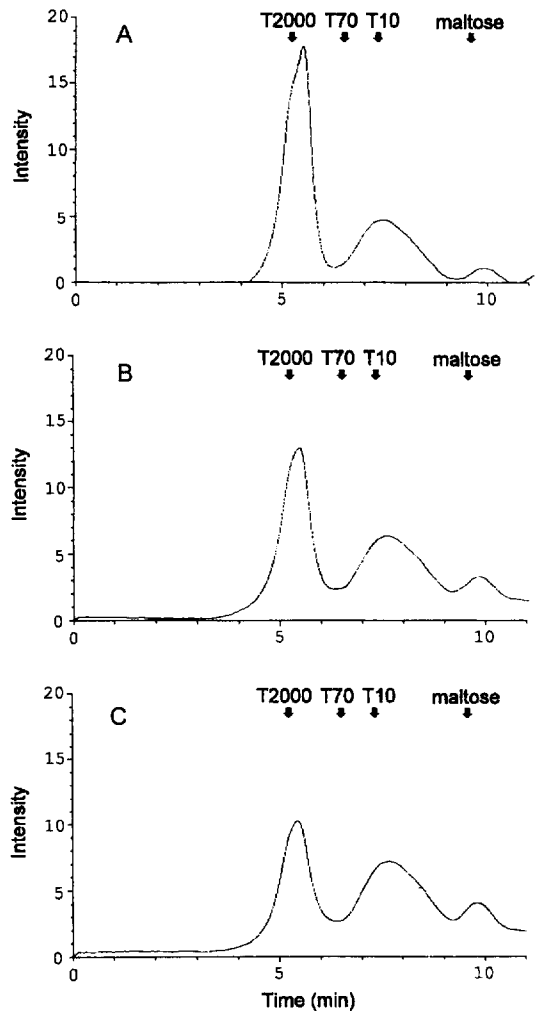


Fig. 4. Molecular weight distribution by HPSEC. A: Extract at 140°C, B: Extract at 150°C, C: Extract at 160°C.

Da의 dextran은 혼합하였을 때 명확히 분리되지 않아 각각을 따로 주입하여 peak의 정점을 평균 분자량점으로 잡았다. 그러므로 시료의 분자량은 개략적인 분포를 나타낸다. 140°C 추출물의 경우 평균 분자량이 1,150 kDa인 고분자량획분이 65.5%, 평균 분자량 9.2 kDa인 중간분자량획분이 34.0%, 360 Da 이하의 저분자량획분이 3.5%였고, 150°C 추출물은 평균 분자량 1,100 kDa의 고분자량획분이 44.3%, 평균 분자량이 7.25 kDa인 중간분자량획분이 41.9%, 360 Da 이하의 저분자량획분이 13.8%였다. 그리고 160°C 추출물의 경우 평균 분자량이 1,100 kDa인 고분자량획분이 37.0%, 평균 분자량 6.18 kDa인 중간분자량획분이 46.8%, 360 Da 이하의 저분자량획분이 16.2%로 나타나, 추출 온도가 높아질수록 고분자량획분이 줄고 중간분자량획분이 늘어났다. 따라서 추출 온도의 증가에 따라 용해성 식이섬유의 구조 변화에 따른 가용화뿐만 아니라 가수분해가 일어나 사슬 길이가 감소하여 가용화됨을 간접적으로 알 수 있었다. 특히 140°C 추출물의 경우 고분자량획분이 주를 이루는데 반해서 160°C 추출물은 40 kDa에서 5 kDa 사이의 중간획분이 두드러지게 증가하여 온도 상승에 따른 분자량 감소 추세를 뚜렷하게 볼 수 있었다. Nyman 등⁽²⁰⁾은 당근에 대한 실험에서 가열 처리를 통해 식이섬유 다당류의 글리코시드 결합이 끊어져서 저분자량획분이 증가하며 이는 가열 조건이 극심할수록 더 증가한다고 보고한 바 있다.

점도 및 유동특성

두유박 식이섬유 고온 추출물의 점도를 2%, 4% 및 6% 농도에서 측정하였는데, 전반적으로 추출 온도가 증가함에 따라 그 점도가 감소하는 경향을 나타내어 (Fig. 5), 추출 온도가 높을수록 고분자량획분이 감소한 HPSEC 결과와 일치하였다. 측정값은 추출 온도에 따라 다르나 $4.07 \times 10^3 \sim 8.28 \times 10^3$ Pa·s 범위로, 같은 농도 수준에서 $2.95 \times 10^3 \sim 3.20 \times 10^3$ Pa·s의 점도를 나타낸 polydextrose에 비해 2~3배 가량 높았으나, gum tragacanth, locust bean gum, gum karaya, guar gum 등 보다는 상당히 낮았다⁽²²⁾.

점도는 수용성 식이섬유가 특징적인 생리 활성을 나타내는 주요 원인의 하나로서, 점성을 띤 수용성 식이섬유는 glycemic response와 혈장 지질 함량에 영향을 미치며 점도가 증가할수록 그 효과는 증대된다⁽²³⁾. 한편 음료용으로는 식이섬유의 점도가 낮을수록 유리한 것으로 알려져 있고⁽¹¹⁾, 현재 시판되는 식이섬유 첨가 음료의 대부분에 polydextrose와 같은 저점도성 식

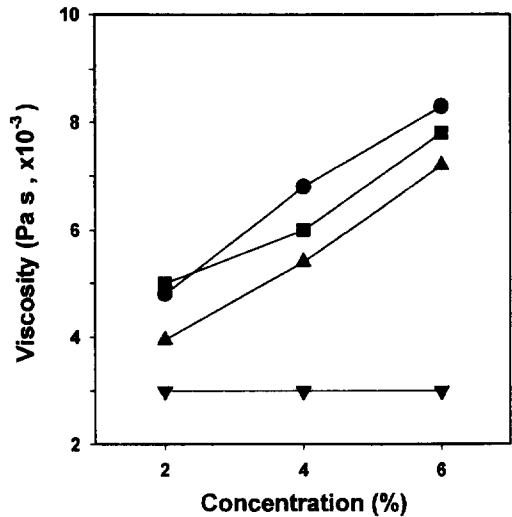


Fig. 5. Effect of concentration on the viscosity of polydextrose and SDF extract from soy milk residue. ●—●: Extract at 140°C, ■—■: Extract at 150°C, ▲—▲: Extract at 160°C, ▼—▼: Polydextrose.

이섬유 소재가 사용되고 있어 이 두유박 식이섬유 고온 추출물을 음료에 사용한다면 바람직 한 효과를 얻을 수 있을 것으로 기대된다.

각 추출물의 유동특성을 규명하기 위하여 shear rate에 따른 shear stress 변화를 측정된 결과는 Fig. 6과 같았다. Shear rate가 낮은 부분에서의 shear stress는 불안정하였으므로, 500 sec⁻¹의 shear rate부터 나타내었다. 전체적으로 볼 때 shear rate의 증가에 따라 비례적으로 shear stress가 증가하는 뉴턴 유체의 유동특성을 보였다.

용해도

두유박 추출물의 용해도는 Fig. 7에 나타낸 바와 같이 온도가 증가할수록 급격히 증가하였다. 추출물별로 살펴보면, 140°C 추출물의 용해도는 30°C, 50°C, 70°C, 90°C에서 각각 42.3%, 44.4%, 49.2%, 77.1%로 측정되어 70°C와 90°C 사이의 온도 범위에서 용해도가 급격히 증가하였으나, 150°C 및 160°C 추출물에 비해 매우 낮은 값을 나타내었다. 150°C 추출물의 용해도는 50~90°C 범위에서 온도 증가에 따라 비례적으로 증가하였다. 또한 160°C 추출물의 경우 90°C에서의 용해도가 96.2%로 추출물의 거의 대부분이 물에 녹아 가장 바람직한 용해도 특성을 보였다.

Ca-binding capacity

온도별 추출물과 polydextrose의 Ca-binding capa-

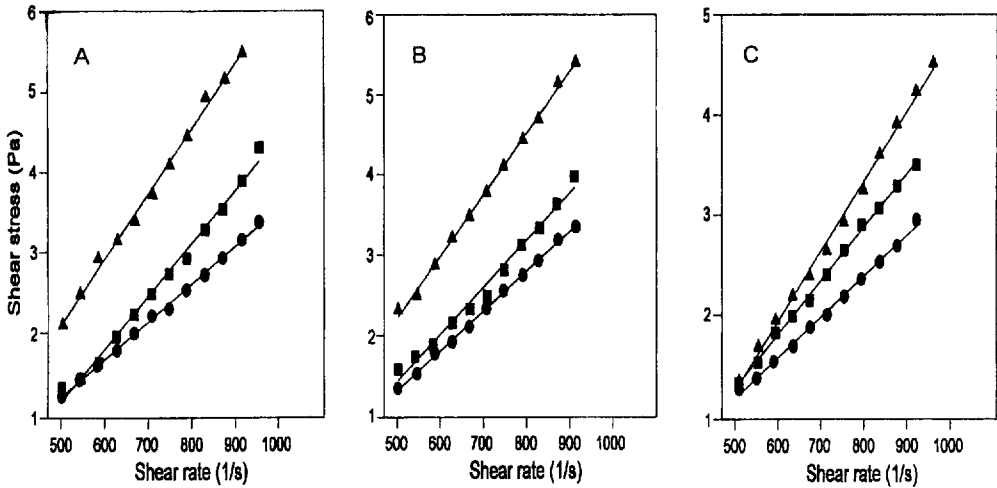


Fig. 6. Shear stress vs. shear rate of SDF extract from soymilk residue. A: Extract at 140°C, B: Extract at 150°C, C: Extract at 160°C. ●—●: 2% solution, ■—■: 4% solution, ▲—▲: 6% solution.

city를 조사하기 위해, 내재된 칼슘 농도와 산 처리 후의 칼슘 농도, 산 처리 시료에 칼슘을 흡착시킨 후의 칼슘 농도를 ICP-AAS를 이용해 측정된 결과를 Table 4에 나타내었다.

추출물에 내재된 칼슘 농도는 polydextrose에 비해 훨씬 높은 수치를 보였다. 칼슘을 흡착시킨 후의 칼슘 농도는 140°C 추출물이 가장 높았고 이어서 150°C 추출물, 160°C 추출물, polydextrose의 순으로 측정되어 앞에서 살펴본 점도 특성과 일치하는 경향을 보였다.

이러한 두유박 추출물의 Ca-binding capacity는 여러 식이섬유 소재와 거의 같은 수준이었다. 일반적으로 식이섬유는 양이온 교환성을 나타내며, 따라서 식이섬유의 섭취는 무기질 성분의 생체 이용도를 저하시킨다⁽¹⁸⁾. Thompson과 Weber⁽²⁴⁾는 cellulose와 밀기울, 쌀겨 등 여러 식이섬유원에 대한 실험에서 위장과 같은 산성 pH 조건에서는 아연, 철, 구리 등의 무기질이 이들 식이섬유 성분과 결합하지 않지만 십이지장의 pH 조건에서는 식이섬유에 결합한다는 사실을 알아냈다. 또한 Reinhold 등⁽²⁵⁾은 이미 결합된 무기질 성분은 체내로 흡수되지 못하며 대장에서 장내 세균에 의해 식이섬유에 결합된 무기질이 유리된다고 해도 대장에서 흡수되지 않는다고 하였다. 양이온 교환성은 식이섬유 소재의 종류에 따라 그 정도의 차이를 보이는데, Weber 등⁽²⁶⁾은 다양한 식이섬유 소재에 대한 분석에서 수용성 및 불용성 식이섬유 함량, hemicellulose 함량 그리고 water holding capacity 등과 Ca-binding capacity와의 상관 관계를 조사하였으나 뚜렷한 경향은 나타나지 않았다고 보고하였다. Ranhotra 등⁽²⁷⁾은 cellulose와 철분을 동시에 쥐에게 섭취시켰을 때 식이섬

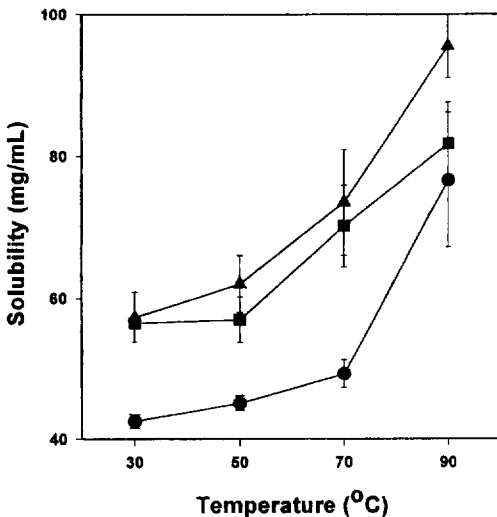


Fig. 7. Solubility of SDF extract from soymilk residue. ●—●: Extract at 140°C, ■—■: Extract at 150°C, ▲—▲: Extract at 160°C.

Table 4. Calcium-binding capacity of the SDF extract of soymilk residue

	Calcium concentration, µg/g		
	Endogenous	Acid-washed	Total bound
140°C Extract	3,200.08	154.29	22,487.07
150°C Extract	2,779.38	121.25	11,562.46
160°C Extract	2,839.26	190.26	9,738.63
Polydextrose	27.14	4.11	7,799.60

유의 저해 작용이 나타나지 않았음을 보고하여 식이 섬유 섭취에 의한 무기질 결핍 현상을 극복할수 있는 한 방법을 제시하였다.

요 약

두유박을 수용성 식이섬유의 원료로 활용하기 위하여 140°C, 150°C 및 160°C에서 각각 열처리를 통해 두유박 식이섬유의 대부분을 차지하는 불용성 식이섬유를 수용성 식이섬유로 변환시킨 후 이를 추출하여 각 추출물의 이화학적 특성을 분석하였다. 각 온도별로 pH와 열처리 시간을 달리하여 추출하였을 때 최대 가용화 조건에서 수용성 식이섬유 함량은 30.3~32.2%이었다. 두유박 식이섬유 고온 추출물의 당 조성을 HPLC로 분석한 결과 glucose > galactose > arabinose + fucose > mannose의 순으로 많이 함유되어 있었다. 추출물을 high performance size exclusion chromatography로써 평균 분자량에 따라 3가지획분으로 나누어 분석하였는데, 추출 온도가 증가함에 따라 고분자량 획분이 줄어 들고 중간분자량 획분이 증가하는 경향을 보였다. 추출물을 함유한 용액의 점도는 추출 온도의 상승에 따라 감소하였으나, pH에 따른 변화 경향은 뚜렷하지 않았다. 추출물의 용해도는 온도가 상승함에 따라 급격하게 증가하였으며 추출 온도가 높을수록 증가하는 경향을 나타내었다. Ca-binding capacity는 140°C 추출물이 다른 시료에 비해 월등히 높았다.

감사의 글

이 연구는 과학기술처 선도기술개발사업과 서울대학교 농업생명연구소재연구센터를 통한 한국과학재단 우수연구센터 지원금에 의한 것입니다.

문 헌

1. 정성수, 장호남, 박우영 : 압착 여과와 열풍에 의한 비지의 건조. 한국식품과학회지, 10, 1 (1978)
2. 김우정, 김동희, 오훈일 : 건조처리에 의해 건조된 두유 비지의 이화학적 성질에 관한 연구. 한국식품과학회지, 16, 261 (1984)
3. 손정우, 김우정, 김상순 : 건조비지 첨가에 의한 두부품질의 변화. 한국식품과학회지, 17, 101 (1985)
4. 허병석, 박우포, 김재욱 : 두유박을 이용한 보리된장 제조. 한국농화학회지, 32, 91 (1989)
5. Southgate, D.A.T.: Analysis of dietary fiber: translating concepts into practice. *Nutr. Food Sci.*, 23, 15 (1992)
6. Lanza, E. and Butrum, R.R.: A critical review of food fiber analysis and data. *J. Am. Diet. Assoc.*, 86, 732

- (1986)
7. Gordon, D.T.: Functional properties vs physiological action of total dietary fiber. *Cereal Foods World*, 34, 517 (1989)
8. Anderson, J.W., Story, L., Sieling, B. Chen, W.L., Petro, M.S. and Story, J.: Hypocholesterolemic effect of oat bran or bean intake for hypercholesterolemic men. *Am. J. Clin. Nutr.*, 40, 1146 (1984)
9. Van Horn, L.V., Parker, D.J., Emidy, L. and Stammer, J.: Serum lipid response to oat product intake with a fat-modified diet. *J. Am. Diet. Assoc.*, 86, 759 (1986)
10. Bourquin, L.D., Titgemeyer, E.C., Galeb, K.A. and Fahey, G.C.: Short-chain fatty acid production and fiber degradation by human colonic bacteria: effects of substrate and cell wall fractionation procedures. *J. Nutr.*, 122, 1508 (1992)
11. Andon, S.A.: Applications of soluble dietary fiber. *Food Technol.*, 41(1), 74 (1987)
12. Chang, M.C. and Morris, W.C.: Effect of heat treatments on chemical analysis of dietary fiber. *J. Food Sci.*, 55, 1647 (1990)
13. Ning, L., Villota, R. and Artz, W.E.: Modification of corn fiber through chemical treatments in combination with twin-screw extrusion. *Cereal Chem.*, 68, 632 (1991)
14. Brandt, L.M., Jeltema, M.A., Zabik, M.E. and Jeltema, B.D.: Effects of cooking in solutions of varying pH on the dietary fiber components of vegetables. *J. Food Sci.*, 49, 900 (1984)
15. Aoe, S., Oda, T., Tatsumi, K., Yamaguchi, M. and Ayano, Y.: Extraction of soluble dietary fibers from defatted rice bran. *Cereal Chem.*, 70, 423 (1993)
16. Prosky, L., Asp, N.-G., Furda, I., DeVries, J.W. and Schweizer, T.F.: Determination of insoluble, soluble and total dietary fiber in foods and food products.: Collaborative study. *J. AOAC Int.*, 75, 360 (1992)
17. Dubois, M., Gilles, K.A., Hamilton, J.K., Rebers, P.A. and Smith, F.: Colorimetric method for determination of sugars and related substances. *Anal. Chem.*, 28, 350 (1956)
18. 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 functions of dietary fiber. *J. Food Sci.*, 46, 548 (1981)
19. Salvin, J.L. and Marlet, J.A.: Evaluation of high performance liquid chromatography for measurement of the neutral saccharides in neutral detergent fiber. *J. Agric. Food Chem.*, 31, 467 (1983)
20. Nyman, M., Nylander, T. and Asp, N-G.: Degradation of water-soluble polysaccharides in carrots after different types of processing. *Food Chem.*, 47, 169 (1993)
21. Nyman, M., Svanberg, M. and Asp, N-G.: Molecular weight distribution and viscosity of water-soluble dietary fiber isolated from green beans, brussels sprouts and green peas following different types of processing. *J. Sci. Food Agric.*, 66, 83 (1994)
22. Sanford, P.A. and Baird, J.: Industrial utilization of polysaccharides. In *The Polysaccharides*, Aspinall, G.O. (Ed.), Academic Press, New York, Vol. 2, p.411 (1983)
23. Jenkins, D.J.A., Wolever, T.M.S., Leeds, A.R., Gassull,

- M.A., Dilawari, J.B., Goff, D.V., Metz, G.L. and Albert, K.G.M.M.: Dietary fibres, fibre analogues and glucose tolerance: importance of viscosity. *Br. Med. J.*, 1, 1392 (1978)
24. Thompson, S.A. and Weber, C.W.: Influence of pH on the binding of copper, zinc, and iron in six fiber sources. *J. Food Sci.*, 44, 752 (1979)
25. Reinhold, J.G., Faradji, B., Adadi, P. and Ismail-Beigi, F.: Decreased absorption of calcium, magnesium, zinc and phosphorus by humans due to increased fiber and phosphorus consumption as wheat bread. *J. Nutr.*, 106, 493 (1976)
26. Weber, C.W., Kohlhepp, E.A., Idouraine, A. and Ochoa, L.: Binding capacity of 18 fiber sources for calcium. *J. Agric. Food Chem.*, 41, 1931 (1993)
27. Ranhotra, G.S., Lee, C. and Gelroth, J.A.: Bioavailability of iron in some commercial variety breads. *Nutr. Rept. Intern.*, 19, 851 (1979)

(1996년 12월 27일 접수)