

현미와 백미의 식이섬유에 관한 연구

이회자·변시명*·김형수**

중경공업전문대학 식품영양과, *한국과학기술원 생물공학과, **연세대학교 식생활학과

Studies on the Dietary Fiber of Brown Rice and Milled Rice

Hee-Ja Lee, Si-Myung Byun* and Hyong-Soo Kim**

Department of Food & Nutrition, Jungkyong Technical College, Daejeon

*Department of Biological Science and Technology, Advanced Institute of Science and Technology, Seoul

**Department of Food & Nutrition, Yonsei University, Seoul

Abstract

Neutral detergent fiber(NDF) were extracted from the Nampung, Milyang # 23, Whasung and Jinhung varieties of rice by neutral detergent fiber method. To determine the properties of NDF three factors were measured : water-binding capacity(WBC), Fe-binding capacity and sodium taurocholate binding with NDF. The average WBC of NDF was $5.60 \pm 0.87 \text{gH}_2\text{O/g NDF}$, and the average Fe-binding capacity ranged from 24.63% at pH 5.0 to 19.6% at pH 6.0 and 48.98% at pH 7.0. Binding of sodium taurocholate with NDF was determined in vitro using C-14 labeled sodium taurocholate at $100 \mu\text{M}$ sodium taurocholate concentrations. NDF binding of Jinhung was 27.87% while Nampung, Milyang # 23 and Whasung measured 32% each. When sodium taurocholate concentrations were raised from $40 \mu\text{M}$ to $240 \mu\text{M}$ the tendency of binding increased as the concentrations increased, but not linearly.

Key words : dietary fiber, neutral detergent fiber, water-binding capacity(WBC), Fe-binding capacity, bile salt(taurocholate) binding

서 론

우리나라 식생활에서 주식인 쌀은 1970년대 이후 다수 계 품종이 육성 보급됨에 따라 그 생산량이 크게 증가하였으며 이의 품질 향상과 증산을 위하여 많은 연구가 계속되어 왔다. 한국인의 식품 섭취 실태를 살펴보면 총 섭취량의 반이상을 백미를 비롯한 곡류로 섭취하고 있으며⁽¹⁾, 최근에는 건강증진을 위하여 백미대신 현미를 섭취함이 좋다는 주장이 일각에서 일어나고 있다.

쌀은 도정도가 높아감에 따라 양적 감소뿐만 아니라 단백질, 지방질, 무기질, 비타민 및 섬유질의 감소도 많은데 이는 이 성분들이 주로 겨층에 많이 분포되어 있기 때문이라고 한다⁽²⁾. 식사와 건강에 대한 최근의 연구는 식이섬유 특히 곡류 식이섬유의 섭취 증가가 유익하다고 보

고 되고 있으며, 곡류 식이섬유의 급원으로 우리나라에서도 보리⁽³⁾ 및 현미에 대한 관심이 높아지고 있다.

식이섬유는(dietary fiber)는 그 구성요소의 물리적인 특성에 따라 식품 및 영양적인 면으로 볼 때 다양한 기능을 갖고 있는 물질이다⁽⁴⁻⁶⁾. 식이섬유의 특성으로는 수화력⁽⁷⁾, 무기질, 지질과의 결합성^(8,9), 발효성 등을 들 수 있으며, 식물성 섬유는 bulk effect로 인해서 장을 통과하는 속도를 빠르게 한다⁽¹⁰⁾. 이러한 특성들은 식이섬유의 생리적 작용을 결정하고 있는 식이섬유의 물리적, 화학적 조성에 의하며 이 물리·화학적 특성들이 인간의 영양에서 항상성의 유지와 치유기능을 결정한다⁽⁵⁾. 따라서 식이섬유의 섭취는 악성종양을 포함한 장관의 질환⁽¹¹⁾, 동맥경화증⁽¹²⁻²²⁾, 용혈성 심장질환⁽²³⁾, 비만증⁽²⁴⁻²⁶⁾ 그리고 당뇨병⁽²⁶⁾ 같은 몇가지 질병의 만연을 억제하는 효과가 있다고 생각되어 왔다. 따라서 많은 연구자들은 식품에서 식이섬유의 함량을 측정하고자 여러가지 방법을 이용한 정량법⁽²⁷⁻²¹⁾을 개발하여 각국의 식이섬유 급원이 되는

Corresponding author: Hee-Ja Lee, Department of Food & Nutrition, Jungkyong Technical College, 155-3, Jayang-dong Dong-gu, Daejeon 300-100

식품을 대상으로 연구를 하고 있으나 식물의 연령, 품종, 추출 방법 등이 모두 추출된 물질의 특성에 영향을 미치므로 여기에는 많은 어려운 점이 남아 있고 결과도 일정하지 않은 상태이다.

우리의 상용 식품 중에도 식이섬유의 급원이 되는 것이 많으나 그 중 주식이 되는 쌀에 대한 연구가 많지 않았고⁽²²⁾ 특히 동일 품종의 시료를 현미, 백미, 겨로 분획하여 그 성분을 비교 검토한 연구는 찾아볼 수 없었다.

본 연구에서는 현미와 백미의 섬유소 급원으로서 가치와 특성을 이해하고자 neutral detergent fiber 방법을 이용한 식이섬유의 정량, 이들 식이섬유의 특성으로서 수분 결합력(water-binding capacity, WBC), 철분과의 결합력, bile salt(taurocholate)와의 결합력 등의 비교 연구를 통하여 쌀의 식이섬유 급원으로서의 활용도를 이해하고자 한다.

재료 및 방법

재료

본 연구에 사용한 쌀은 서울대학교 농과대학 실험포장(수원)에서 재배하여 1986년 11월에 수확한 것으로 다수계 장려품종(Indica형)인 남풍 및 밀양 23호와 일반계 장려품종(Japonica형)인 화성 및 진흥으로 4가지 품종이다.

각 품종별 버를 Satake-THU 35A 제현기(Satake Engineering Co., Ltd, Japan)를 이용하여 현미로 만들었다.

이 현미를 농산물 검사소 양곡실험실에서 McGill Sheller Mill(McGill sheller Co., U. S. A. 정미기 용량 600g)을 이용하여 정백율 92%로 표준 도정하여 백미로 만들었다.

실험에 사용한 시료의 수는 4가지 품종을 각각 현미, 백미, 겨로 구분하였으며 총 12가지였다.

불용성 식이섬유 정량

AACC⁽²⁷⁾ 방법으로 neutral detergent fiber (NDF)를 분리하였다. 즉 시료 1g에 실온 상태의 neutral detergent 용액 100ml(결정이 형성되었을 경우 60°C 정도의 수조에서 녹여 사용), decahydronaphthalene 2 ml 그리고 Na₂SO₃ 0.5g을 순서대로 넣는다. 5-10분 내에 끓도록 가열을 하고 불을 약하게 하여 끓는 상태로 60분간 유지하였다. 이를 8,500 x g에서 10분간 원심분리하여 상층액은 버리고 잔사에 뜨거운 증류수(100°C

300ml 정도를 가하여 원심분리하였다.

이 NDF 잔사에 α -amylase, hog amylase(EC 3.2.1.1, Sigma Chemical Co., St. Louis, MO)를 0.1M sodium phosphate 완충액, pH 7.0, (0.1M Na₂HPO₄ 30.5ml와 0.1M NaH₂PO₄ 19.5ml를 합하여 100ml로 만들)에 녹여 처리하여 잔존하는 전분을 제거하였다.

Coarse glass-frit (ASTM 40-60 μ m, 60ml) filter funnel이나 crucible에 1-3g의 고온 유리솜을 컵의 형태로 깔고 최소한 4시간 정도를 건조하여 항량을 구하였다. 여기에 α -amylase를 처리한 NDF 잔사를 흡인 여과하였다. 잔사를 500ml 정도의 뜨거운 증류수로 씻은 후 acetone 75-80ml로 씻고 110°C oven에서 하룻밤 건조시킨 후 항량을 구하였다.

% Insoluble dietary fiber=

$$\frac{(\text{wt of filter} + \text{residue}) - \text{wt of filter}}{\text{wt of original sample}} \times 100$$

Neutraldetergent 용액은 AACC법에 따라 다음과 같이 만들었다. disodium EDTA 18.16g과 Na₂B₄O₇·H₂O 6.81g에 물 150ml를 넣고 녹을 때까지 가열하였다. sodium lauryl sulfate 30g과 2-ethoxyethanol 10ml를 700ml의 뜨거운 물에 녹여 앞의 용액에 혼합하였다. H₃PO₄로 pH를 6.9-7.1로 조절하였다.

용해성 식이섬유 정량

Van Soest 방법⁽²⁴⁾을 Mongeau와 Brassard⁽²⁹⁾가 수정한 것으로 효소처리 방법을 가미하여 실시하였다.

시료 0.5g을 50ml screw cap 시험관에 넣고 (duplicate) 뜨거운 물 (95-100°C) 20ml를 넣어 섞은 후 끓는 수조에서 15분간 가열하면서 2번 흔들어 주었다. 55°C까지 냉각시킨 후 amyloglucosidase 용액(amyloglucosidase Sigma Cat. # A-9268, 15% v/v in 2.0M sodium acetate/acetic acid 완충액, pH 4.5) 2ml를 첨가하고 55°C에서 1.5시간 동안 항온처리 하였다. 이것을 수조에서 30분간 끓이면서 5분 간격으로 시험관을 흔들어 주었다. P³ crucible, porosity 10-40 μ m에 유리솜을 넣고 후라스크에 여과하고 뜨거운 물 10ml로 시험관을 씻어 여과하였다. 후라스크에 여과된 상층액에 amyloglucosidase 용액 2ml를 넣고 55°C에서 1.5시간 항온처리 하였다. 이 후라스크에 100% ethanol 4배를 넣고 실온에서 1시간 동안 방치해 두었다가 glass wool을 넣은 porosity가 10-15 μ m인 50ml medium Gooch crucible에 여과하였다. crucible을 75% eth-

anol, 재증류 acetone 으로 두 번 씻고 100°C air-forced oven 에서 하룻밤 건조시켜서 함량을 재고, 525°C 전기로에서 4시간 회화시켰다.

이것을 다시 100°C air-forced oven 에 하룻밤 놓아 두었다고 함량을 재었다.

% soluble fiber =

$$\frac{(g - \text{filter residue} - g \text{ blank})}{g \text{ sample}} \times 100$$

수분 결합력(Water-binding capacity, WBC) 측정

Robertson⁽⁷⁾ Jaugui⁽⁸³⁾ 등이 이용한 것으로 NDF 방법⁽⁷⁾으로 추출한 품종별 쌀의 식이섬유(NDF) 0.5g 을 재어 미리 함량을 구한 25ml polyethylene 원심관에 담았다. 여기에 증류수 20ml 를 넣고 1시간 동안 실온에서 equilibrate 시켰다. 이를 6,000 x g에서 15분간 원심분리 한 후 상층액을 버리고 흡수 종이에 튜브를 거꾸로 세워 30분간 물기를 빼고 이때의 무게를 재었다. 이것을 다시 냉동 건조한 후 수분을 흡수한 상태의 중량과 건조 중량과의 차이를 수분 결합력으로 계산하였다.

철분과의 결합력 측정

NDF 방법으로 추출한 시료의 식이섬유를 Camire 와 Clydesdale 방법⁽⁸⁾에 따라 철분과 결합하는 정도를 측정하였다. 시료 1.0g 을 600°C 전기로에서 4시간 회화시킨 후 회분을 conc. HCL 로 녹여 Whatman #1 여과지로 여과하여 50ml volumetric flask 에 넣고 탈이온 증류수로 채웠다.

248.3nm 에서 2.5ppm, 5.0ppm Fe 표준용액을 이용하여 시료속에 함유된 철분의 양을 ppm 단위로 측정하고 이를 다시 $\mu\text{g/g}$ 으로 환산하였다. 4종의 식이섬유를 각각 0.5mg 씩 100ml 삼각 flask 에 취하고 pH 변화에 따른 결합도의 차이를 측정하기 위해 pH 5.0, 6.0, 7.0 완충용액을 25ml 씩 첨가하였다. 여기에 250ppm Fe 저장용액 1ml 를 넣고 30°C 진탕기에서 24시간 교반하고 이것을 Whatman #1 여과지를 이용하여 Büchner 깔대기에 감압 여과하였다.

소량의 탈이온 증류수로 여러번 잔사를 씻어낸 후 잔사를 여과지와 함께 100ml kjeldahl 분해 장치에 옮기고 conc-HCL 10ml 와 몇개의 비등석을 넣고 10분간 끓였다. 가열이 끝난 뒤 식혀서 Whatman #1 여과지로 여과해서 50ml volumetric flask 에 표선까지 채웠다. 이것을 Atomic Absorption Spectrophotometer(AAS) 를 이용하여 파장 248.3nm 서 원자 흡광도를 측정하여

용해성 철분 함량을 $\mu\text{g/g}$ 로 환산하였다. 식이섬유와 결합된 철분의 양은 내인성 철분양과 첨가한 철분의 합에서 용해성 철분양을 뺀 값으로 하며 이를 총량에 대한 % 로 계산하였다.

첨가한 철분과 표준곡선은 1,000ppm Fe fisher certified atomic absorption 참조용액(20% HCL 에 용해)을 사용하였다. 모든 시약은 analytical grade 를 이용하였고, 기구는 모두 conc. -HCL 로 씻고 탈이온 증류수로 씻어 사용하였다.

이 실험에 사용된 atomic absorption spectrophotometer(AAS)는 Perkin Elmer Model 2380으로 air-acetylene(C₂H₂-air) 불꽃을 사용하였고 single slot head 를 갖고 있으며 Pt-Rd corrosion resistant nebulizer 를 사용하였다. lamp는 iron-specific hollow cathod lamp 를 사용하였다.

담즙염과의 결합

Sodium taurocholate 를 0.1M NaCl 에 녹여 만든 100 μM sodium taurocholate 5ml 에 C-14 labeled sodium taurocholate 0.05 μCi 를 혼합하였다. 여기에 NDF 시료 80mg 을 넣고 37°C 로 조절된 진탕기에서 1시간 incubation 한 후 이 중에서 3ml 를 취하여 30,000 x g에서 10분간 원심분리하였다⁽⁸¹⁾.

PPO(2,5-diphenyloxazole) 4g, POPOP(1,4-bis(5-phenyloxazol-2-yl)-benzen) 0.1g 과 toluene 1,000ml 를 혼합하여 scintillation cocktail⁽⁸⁴⁾을 만들었다. Counting vial 에 scintillation cocktail 10ml⁽⁸⁴⁾ 를 넣고 원심분리한 상층액 0.5ml 를 넣어 Beckman LS-3081 Liquid Scintillation Counter 로 자동측정하였다. 측정 횟수는 1회였으며 표준동위원소는 C-14를 사용하였다. 대조군은 같은 방법으로 NDF 를 첨가하지 않고 측정하였으며 대조군 dpm 과 시료 dpm 사이의 차이를 NDF 와의 결합으로 판단하고 이를 다시 100 μM sodium taurocholate 에 대한 값으로 환산하였다. 또한, sodium taurocholate 의 동위원소는 tauro-[carbonyl-C-14] cholic acid sodium salt(Amersham International Plc, White Lion Road Amersham Buckinghamshire England HP 79LL)로

specific activity : 56mCi/m mole 104 $\mu\text{Ci/mg}$)

molecular weight : 540

radioactive concentration : 50 $\mu\text{Ci/ml}$

이었다.

결과 및 고찰

식이섬유 함량

각 품종별 현미, 백미 및 겨에서 분리한 불용성 식이섬유, 용해성 식이섬유 이 둘을 합한 총 식이섬유 함량을 표 1에 정리하였다.

남풍, 밀양 23호, 화성 그리고 진흥 현미의 불용성 식이섬유(NDF) 함량은 각각 3.83%, 3.98%, 2.77% 그리고 3.39%로 화성 현미의 NDF 함량이 가장 낮았다. 백미는 NDF 함량이 훨씬 낮아서 0.11%-0.21% 범위였고, 겨의 NDF 함량은 매우 높아서 20.28%-23.79% 범위였다.

용해성 식이섬유 함량은 남풍 현미가 3.19%, 밀양 23호가 3.36%로 가장 높고 일반계 품종인 화성과 진흥은 용해성 식이섬유 함량이 각각 2.14%, 3.09%로 다수제에 비하여 낮았다. 백미는 남풍, 밀양 23호, 화성 그리고 진흥이 각각 3.47%, 2.26%, 3.38% 그리고 3.09%로 함량이 현미와 비슷하였다. 그러나 겨는 불용성 식이섬유와는 달리 용해성 식이섬유의 함량이 매우 낮아서 0.

41%-0.92% 범위였다.

따라서 총 식이섬유 함량은 남풍, 밀양 23호, 화성 및 진흥 현미가 각각 7.02%, 7.34%, 4.91% 그리고 6.48%로 일반계 품종의 식이섬유 함량이 다소 낮은 편이었다. 백미에서는 남풍 3.58%, 밀양 23호 2.41% 그리고 화성이 3.59%, 진흥이 3.28%로 일반계 품종의 식이섬유 함량이 다수제 품종에 비해 높았다. 겨는 남풍 22.05%, 밀양 23호 24.05%, 화성 22.15% 그리고 진흥이 21.02%로 별 차이가 없었다. 이상의 결과는 품종간에 통계적으로 유의적인 차이를 나타내지 않았다.

국내에서는 식품중에 함유된 식이섬유의 함량을 측정하는 연구는 거의 없어서 이등⁽³⁵⁾의 과일, 채소 중 식이섬유의 분석법 검토 및 함량분석에 관한 보고와 정등⁽³⁶⁾ 등의 숙성 기간에 따른 무우 김치의 텍스처와 섬유소, 헤미셀룰로오스, 펙틴질의 함량 변화에 관한 보고가 있는 정도이다.

외국에서는 식품중에 함유된 식이섬유의 측정법 개발과 정확한 함량 분석을 위해 많은 연구가 진행되고 있다. 영국에서는 Wenlock 등⁽³⁷⁾이 32종류의 빵과 8종의 밀가루, 곡류 제품 63종, 곡류가 함유된 육제품 35종에 대하여 분획방법을 이용하여 식이섬유의 함량을 측정하여 바있다. 비섬유성 다당류와 섬유소, lignin 을 각각 측정하였으며, 이의 합을 총 식이섬유로 하였다. 이들이 사용한 쌀은 장입형으로 비섬유성 다당류 함량이 2.4g/100g, 셀룰로오스가 0.1g, lignin 이 0.6g 으로 총 식이섬유량이 3.0g/100g 으로 본 실험의 남풍, 밀양 23호 백미와 유사한 값이다.

Prosky 등⁽³⁸⁾이 13개 종류의 식품을 42개 연구소에서 효소적, 중량적 평가과정을 이용하여 실시한 결과 실험실간에 결과의 차이가 컸으며, 쌀가루의 총 식이섬유 함량은 0.44%-9.83%까지 결과가 다양하였다. 한편 Bingham 등⁽³⁹⁾이 조사한 영국인이 일반 식사에서 섭취하는 식이섬유의 양은 19.9±5.3g/day 였다(1977년). Chen 등⁽⁴⁰⁾에 의하면 귀리, 옥수수, 조리한 콩이 밀이나 채소에 비해 가용성 식이섬유의 비율이 높으며, 곡류와 두류의 용해성 분획은 주로 포도당이였고 녹색 채소는 uronic acid 가 주였다고 발표했다. Baker 등⁽⁴¹⁾이 82종의 아침용 곡류에서 섬유소 함량을 측정한 결과 평균 NDF 값은 0-31%였으며 5% 이하의 섬유소를 함유한 제품이 75.3%였다. 여기에서 겨의 NDF 함량은 건물기준으로 29.0±0.26%로 본 실험결과 보다는 다소 높았다. Marlett 등⁽⁴²⁾이 NDF 방법과 Southgate 방법으로 식이섬유 함량을 비교한 보고에서는 밀겨의 식이섬유는

Table 1. Amounts of dietary fibers of brown rice, milled rice and bran (unit ; %)

Variety	Insoluble dietary fiber	Soluble dietary fiber	Total dietary fiber
Brown rice			
Nampung	3.83	3.19	7.02
Milyang #23	3.98	3.36	7.34
Whasung	2.77	2.14	4.91
Jinhung	3.39	3.09	6.48
Mean±S.D.	3.49±0.54	2.95±0.55	6.44±0.77
Milled rice			
Nampung	0.11	3.47	3.58
Milyang #23	0.15	2.26	2.41
Whasung	0.21	3.38	3.59
Jinhung	0.19	3.09	3.28
Mean±S.D.	0.17±0.04	3.05±0.55	3.22±0.56
Bran			
Nampung	21.28	0.77	22.05
Milyang #23	23.79	0.41	24.50
Whasung	21.58	0.57	22.15
Jinhung	20.28	0.92	21.02
Mean±S.D.	21.73±1.48	0.7±0.22	22.43±1.47

NDF 잔사가 $36.7 \pm 1.9\%$ 로 매우 유사한 값을 나타내었으나 본 실험결과와는 차이가 컸다. 이는 시료가 밀겨이기 때문으로 생각된다.

Schaller 등⁽⁴³⁾이 조사한 식품의 식이섬유 함량중 밀겨의 불용성 식이섬유 함량은 36.4% 였고, 쌀겨는 21.8% 로 보고되어 쌀의 불용성 식이섬유 함량은 본 실험결과와 매우 유사했다. Southgate⁽²⁷⁾가 보고한 곡류중에 함유된 식이섬유 함량에 관한 것 중 쌀의 TDF(total dietary fiber)함량은 $2.74\text{g}/100\text{g}$ 이었는데 본 실험의 밀양 23호와 비슷한 값이었다.

44종의 빵을 Van Soest의 neutral detergent 법으로 분석한 결과 NDF 함량이 흰빵은 1% , 60% 통밀빵은 4.6% , 100% 통밀빵은 7.2% 였다. 따라서 식이섬유 섭취량을 증가시키기 위해 흰빵을 식이섬유 함량이 높은 빵으로 대체하는 것이 좋은 방법으로 제안되었다. 식이섬유의 측정에서 있어서 차이를 가져오는 요인으로는 여러가지가 있다. 즉, 입자크기, pH, 측정방법 등이 중요한 요인으로 생각된다⁽⁴⁴⁾.

수분결합력(Water-binding capacity, WBC)

Robertson 등⁽⁷⁾이 이용한 원심분리 방법으로 수분 결합력을 측정할 결과는 표 2와 같다. 즉 남풍에서 추출한 식이섬유(NDF)의 WBC는 $4.59 \pm 0.63\text{g H}_2\text{O}/\text{g NDF}$ 으로 가장 낮고, 밀양 23호 식이섬유의 WBC는 $6.41 \pm 1.22\text{g H}_2\text{O}/\text{g NDF}$ 로 가장 높게 나타났다. 화성 식이섬유의 WBC가 $6.24 \pm 1.45\text{g H}_2\text{O}/\text{g NDF}$ 그리고 진흥 식이섬유의 WBC가 $5.16 \pm 1.88\text{g H}_2\text{O}/\text{g NDF}$ 로 다수 계와 일반계 사이에 통계적으로 유의성 있는 차이는 나타나지 않았다.

Table 2. Water-binding capacity of neutral detergent fiber samples by centrifugation method.

	Variety	Water-binding capacity Mean±S.D. (g H ₂ O/g NDF)
High yielding	Nampung	4.59 ± 0.63
	Milyang #23	6.41 ± 1.22
	Whasung	6.24 ± 1.45
Traditional	Jinhung	5.61 ± 1.88
	Mean±S.D.	5.60 ± 0.87

Sosulski⁽⁴⁵⁾가 밀겨의 NDF로 측정된 WBC는 $3.15\text{g H}_2\text{O}/\text{g NDF}$ 이었으며, Schaller 등⁽⁴³⁾이 쌀겨와 밀겨의 WBC는 각각 $9.7\text{g H}_2\text{O}/\text{g DF}$, $8.5\text{g H}_2\text{O}/\text{g DF}$ 로 연구자간에 차이가 컸다.

식품 또는 식이섬유 WBC의 측정은 매우 복잡한 문제로 식이섬유의 종류, 식이섬유 추출 방법, 입자크기, 측정방법, 측정전 처리 방법등에 따라 WBC 값이 차이가 큰 것으로 나타났다⁽⁴⁶⁾. 이는 WBC를 측정하기 위한 실험조건에 대하여 더 연구가 필요하다는 것을 말해 준다.

pH 변화에 따른 철분과의 결합

남풍, 밀양 23호, 화성 그리고 진흥 4품종의 겨에서 NDF 방법으로 추출한 식이섬유와 철분과의 결합정도를 측정하기 위하여 먼저 NDF 자체가 가지고 있는 철분의 함량을 AAS로 측정된 결과는 표 3과 같다.

Table 3. Endogenous iron contents of dietary fibers

	Variety	Iron ($\mu\text{g}/\text{g}$)
High yielding	Nampung	172.5
	Milyang #23	144.5
	Whasung	144.5
Traditional	Jinhung	162.5
	Mean±S.D.	156.00 ± 13.89

남풍이 $172.5\mu\text{g}/\text{g}$, 밀양 23호가 $144.5\mu\text{g}/\text{g}$, 화성이 $144.5\mu\text{g}/\text{g}$ 그리고 진흥이 $162.5\mu\text{g}/\text{g}$ 으로 품종간에 통계적인 유의차는 나타나지 않았다. 김등⁽⁴⁷⁾등이 밀양 23호 현미에서 측정된 철분의 양은 100g 당 $12.0\text{--}17.7\text{mg}$ 이었다. 이결과는 현미입내에 함유된 철분의 양이고, 본 실험은 시료의 NDF 내의 철분 함량이다. 송의 연구⁽⁴⁸⁾에서도 품종에 따라 다소 차이가 있으며, 현미 100g 당 평균 2.76mg 이 함유되어 있다고 하여 김등⁽⁴⁷⁾등의 보고와 차이가 컸다. 또한 Lee 등⁽⁴⁹⁾이 조리한 pinto bean에서 추출한 NDF의 Fe 함량은 $15.92 \pm 12.00\text{ppm}$ 이었고, ADF의 Fe 함량은 $5.31 \pm 3.25\text{ppm}$ 으로 식이섬유의 추출 방법에 따라 차이가 컸다. 4가지 시료에서 추출한 NDF에 250ppm Fe 저장용액 1ml 를 첨가하고 각 NDF와의 결합정도를 측정된 결과는 표 4와 같다.

NDF에 의한 철분의 결합정도는 pH 5.0에서는 밀양

Table 4. Percent of total iron bound by several neutral detergent fibers of rices

	Variety	Percent of total iron bound		
		pH 5.0	pH 6.0	pH 7.0
High yielding	Nampung	24.17	15.25	43.50
	Milyang #23	27.09	11.64	50.36
Traditional	Whasung	22.43	28.64	50.36
	Jinhung	24.84	23.03	51.71
Mean±S.D.		24.63±1.93	19.64±7.65	48.98±3.71

23호가 27.09%로 가장 높고, 남풍이 24.17%, 화성이 22.43% 그리고 진흥이 24.84%로 나타났으며 시료간에 통계적인 유의차는 없었다. pH 6.0에서는 다수계는 다소 결합력이 낮았고, 일반계는 pH 5.0에서와 유사한 결과를 보였다. 한편 pH 7.0에서는 pH 5.0, 6.0에서의 결합정도 보다는 훨씬 높아서 진흥이 51.71%로 가장 높았고, 밀양 23호, 화성이 50.36%, 남풍이 43.50%를 나타내었다. 이러한 결과는 Lee⁽⁴⁹⁾의 결과와도 매우 비슷하였다.

식이섬유에 의한 철분의 결합 측정에서는 철분의 안정성이 중요하다. 용액내에서 pH 가 7.0에 가깝거나 넘었을 때 불안정하다. 이때 2가 철분이 용해성이 낮은 hydroxide를 형성하게 된다⁽⁵⁰⁾. 2가 철분이 안정성이 높은 pH는 6.45±0.05로 이 pH는 소장 내용물의 pH 범위이다. 2가 상태의 철분은 NDF와 단단한 결합을 이룬다. 이때 철분의 결합량은 철분 농도, pH, 섬유소양, 입자크기, 결합 방해제의 유무와 양에 영향을 받는다^(49,50). NDF와철분과의결합은 pH4.0이하에서는 현저하게 줄어들고, pH 5.0에서 증가하기 시작하여 pH 7.0 근처에서 최고에 달한다⁽⁵⁰⁾. 이러한 경향은 본 실험결과와도 일치한다.

식이섬유에 의한 철분 결합은 낮은 농도의 ascorbic acid, citric acid, phytic acid와 EDTA에 의해 강하게 억제된다. 또한 아미노산, 인, 칼슘등은 강한 억제제이고, taurocholic acid도 중간 정도의 억제효과를 갖는다. 따라서 ascorbic acid, fruit juice, EDTA 등이 체내에서 철분 흡수를 증진시키는데 이는 식이섬유와 결합된 철분을 분리해내는 능력에 기인하는 것이다⁽⁵⁰⁾.

Camire⁽³⁰⁾등이 pH와 열처리가 무기질과 식이섬유 분획과의 결합에 미치는 영향에 관한 실험을 통해서 pH,

금속, 전처리가 결합에 현저하게 영향을 미친다고 보고하였다. 즉 끓이는 처리가 볶는 처리에 비해 금속과의 결합에 크게 영향을 미쳤으며, 금속에 따라서도 달랐고, pH에 따라서도 변화가 컸다.

담즙염과의 결합

담즙염의 주성분인 sodium taurocholate를 0.1M NaCl에 녹여 100μM sodium taurocholate 용액을 만든 후 소량의 sodium [C-14] taurocholate을 첨가하였다. 이것과 neutral detergent method로 추출한 식이섬유(NDF)와의 결합정도를 Beckman LS-3081 Liquid Scintillation Counter로 측정된 결과는 표 5와 같다.

Sodium taurocholate의 일정한 농도상태(100μM)에서 80mg의 NDF의 결합하는 정도는 남풍, 밀양 23호, 화성 및 진흥에서 추출한 NDF가 각각 32.54μM, 32.23μM, 31.42μM 그리고 27.87μM이었다. 이러한 결과는 품종이 다른 시료간에 거의 차이를 나타내지 않았다.

다음으로는 식이섬유의 일정한 농도에서 sodium taurocholate 농도를 40, 80, 120, 160, 200, 240μM로 변화시켰을 때 그 결합 정도의 변화를 표 6에 나타내었다.

모든 시료군에서 40μM-160μM까지는 결합정도가 모두 증가하는 경향을 보였으나, 남풍의 경우는 240μM에서 감소하였으며, 화성도 200μM에서 결합정도가 다소 감소하였다. 진흥은 sodium taurocholate의 농도가 증가함에 따라 계속적인 증가경향을 나타내었다.

이상의 결과에서 나타난 경향은 sodium taurocholate의 농도 증가에 따라 비례적으로 결합정도가 증가하지는 않았으며, 200μM 농도에서는 오히려 감소하

Table 5. Binding of 100μM sodium taurocholate in vitro by neutral detergent fiber samples of rices

Dietary fiber	concentration of bound sodium taurocholate(μM)
Nampung	32.54
Milyang #23	32.23
Whasung	31.42
Jinhung	27.87
Mean±S.D.	31.02±2.15

Table 6. Binding of sodium taurocholate of various concentrations by neutral detergent fibers of rices

Concentrations of sodium taurocholate (μM)	High yielding		Traditional		Mean \pm S.D.
	Nampung	Milyang #23	Whasung	Jinhung	
40	25.35	28.18	25.39	20.85	24.94 \pm 3.03
80	32.16	29.68	25.83	25.92	28.40 \pm 3.08
120	32.42	37.58	34.09	28.73	33.21 \pm 3.68
160	34.11	40.29	39.70	31.87	36.49 \pm 4.15
200	40.20	37.98	37.31	36.22	37.93 \pm 1.68
240	39.10	38.11	39.18	41.86	39.56 \pm 1.61

는 경향을 보이기도 했다.

식품 섬유에 의한 taurocholic acid sodium 염의 흡착 정도를⁽⁵¹⁾ 보면 몇 가지 식품 섬유 중 aflafa 에 의한 흡착이 $238\mu\text{g}/50\text{mg}$ 으로 식물성 섬유로 가장 높았고, 셀룰로즈 분말이 $80\mu\text{g}/50\text{mg}$ 으로 식물성 섬유로 가장 낮았다.

Eastwood 등⁽⁵²⁾이 개발한 담즙염 흡착 측정법에 의하면 겨에서 최초 흡착시의 흡착량은 51%였는데 이를 세척해서 실제로 식이섬유와 결합된 양은 28%라고 보고하였다. 다른 연구⁽⁵³⁾에서는 겨의 담즙염 흡착이 40%로 가장 높았으며, 당근은 전혀 흡착되지 않았다고 한다.

Balmer 와 ZilverSmith⁽⁵⁴⁾가 보고한바 lignin 이 23% 결합되었고, 셀룰로오르는 효과가 없었다. 여기에서는 콜레스테롤 결합이 Na-taurocholate 보다 높게 나타났다.

요 약

다수계 품종인 남풍, 밀양 23호와 일반계 품종인 화성, 진홍을 현미, 백미 그리고 겨로 구분한 12가지 시료에 대하여 불용성 식이섬유와 용해성 식이섬유로 구분하여 측정하였고 이를 합하여 총 식이섬유로 하였다. 한편 남풍, 밀양 23호, 화성 그리고 진홍 현미를 정백률 92%로 도정하는 과정에서 얻어진 겨로부터 neutral detergent fiber(NDF)를 분리하였다. 이 식이섬유의 특성을 측정하고자 수분 결합력(water-binding capacity, WBC), pH 변화에 따른 철분과의 결합정도, 담즙염과의 결합 정도를 측정하였다.

이상의 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 현미, 백미 그리고 겨의 총 식이섬유 함량은 각각 6.44%, 3.22% 그리고 22.24% 였으며, 현미는 백미에 비해 2배 정도의 식이섬유를 공급할 수 있다.

2. Neutral detergent fiber(NDF)의 특성 실험에서 수분 결합력(WBC)은 평균 $5.60 \pm 0.87\text{g H}_2\text{O}/\text{g NDF}$ 로 수분 결합력이 커서 장관에서 물이나 작은 분자들을 흡수하여 팽창하며 궁극적으로 bulk flow 에 영향을 미치게 된다.

3. 철분과의 결합력은 pH 5.0에서는 평균 24.63%, pH 6.0에서 19.64%, pH 7.0에서 48.98%로 pH 에 따른 결합정도의 차이가 컸으며, 이러한 성질로 인해서 무기질의 흡수를 저해하므로 음식물 중에 식이섬유 함량이 높을 때 무기질의 흡수문제를 고려하여야 한다.

4. 식이섬유와 담즙염과의 결합정도는 $100\mu\text{M}$ sodium taurocholate 의 농도에서 평균 $31.02 \pm 2.15\%$ 가 결합되었다. 식이섬유의 이러한 기능으로 콜레스테롤의 재 흡수와 배설에 영향을 미쳐 혈장 콜레스테롤 농도를 낮추는 효과가 있는 것으로 추정된다.

문 헌

1. 한국농촌경제연구원, 식품수급표, p.10(1985)
2. 한국식품과학회, 식품연구 문헌 총람(2) (1977)
3. 정의배, 이영순 : 랫트의 실험적 동맥경화증에 대한 β -glucan 의 예방효과, 한국식품위생회지, 1(1), 1(1986)
4. Van Soest, P.J. : Dietary fibers: Their definition and nutritional properties. *Am.J. Clin. Nutr.*, 31, S12(1978)
5. Southgate, D.A.T. : "Food and Fibre" Discussion.

- Nutr. Rev.*, **35**, 60(1976)
6. Kay, R.M. : Dietary fiber. *J. Lipid Res.*, **23**, 221(1982)
 7. Robertson, J.A. and Eastwood, M.A. : An investigation of the experimental conditions which could affect water-holding capacity of dietary fiber. *J. Sci. Food Agr.*, **32**, 819(1981)
 8. 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(1981)
 9. Kritchevsky, D. and Story, J.A. : Binding of bile salts in vitro by nonnutritive fiber. *J. Nutri.*, **104**, 462(1974)
 10. Cummings, J.H. : Nutritional implications of dietary fiber. *Am. J. Clin Nutr.*, **31**, S21 (1978)
 11. Burkitt, D.P., Walker, A.R.P. and Painter, N.S. : Dietary fiber and disease. *J. Amer. Med. Assoc.*, **229**, 1068(1974)
 12. Carroll, K.K., Hamilton, R.M., Huff, M.W., and Falcone, A.D. : Dietary fiber and cholesterol metabolism in rabbits and rats. *Am. J. Clin. Nutr.*, **31**, S 203(1978)
 13. Vahouny, G.V., Roy, T., Gallo, L.L., Story, J.A., Kritchevsky, D., Cassidy, M., Grund, B.M., and Treadwell, C.R. : Dietary fiber and lymphatic absorption of cholesterol in the rat. *Am. J. Clin. Nutr.*, **31**, S 208(1978)
 14. Vahouny, G.V. : Dietary fiber, lipid metabolism, and atherosclerosis. *Federation Proc.*, **41**, 2801(1982)
 15. Kritchevsky, D. : Fiber, lipids and atherosclerosis. *Am. J. Clin. Nutr.*, **31**, S 65 (1978)
 16. Jenkins, D.J., Leeds, A.R., Newton, C. and Cummings, J.H. : Effect of pectin, guar gum, and wheat fiber on serum-cholesterol. *Lancet*, **17**, 116(1975)
 17. Vahouny, G.V., Roy, T., Gallo, L.L., Story, J.A., Kritchevsky, D., and Cassidy, M. : Dietary fibers III. Effect of chronic intake on cholesterol absorption and metabolism in man. *Am. J. Clin. Nutr.*, **33**, 2182(1980)
 18. Tasi, A.C., Elias, J., Kelley, J.J. Lin, R.S.C. and Robson, J.R.K. : Influence of certain dietary fibers on serum and tissue cholesterol levels in rat. *J. Nutr.*, **106**, 118(1976)
 19. Kiriya, S., Okazaki, Y., and Yoshida, A. : Hypocholesterolemic effect of polysaccharides and polysaccharide-rich foodstuffs in cholesterol-fed rats. *J. Nutr.*, **97**, 382(1969)
 20. Palmer, G.H., and Dixon, D.G. : Effect of pectin on serum cholesterol levels. *Am. J. Clin. Nutr.*, **18**, 437(1966)
 21. Chen, W.J.L., and Anderson, W.J. : Effects of guar gum and wheat bran on lipid metabolism of rats. *J. Nutr.*, **109**, 1028(1979)
 22. Hamilton, R.M.G., and Carroll, K.K. : Plasma cholesterol levels in rabbits fed low fat, low cholesterol diets : Effect of dietary proteins, carbohydrates and fiber from different sources. *Atherosclerosis*, **24**, 47(1976)
 23. Trowell, H.C. : Ischemic heart disease and dietary fiber. *Am. J. Clin. Nutr.*, **25**, 926(1972)
 24. 최진호, 임채환, 김재윤, 양종순, 최재수, 변대석 : 비만치료식 개발을 위한 기초 연구, I. 식물섬유로서의 알긴산의 비만 억제효과, 한국수산학회지, **19**(4), 303(1986)
 25. Heaton, K.W., Haber, G.B., and L. Burroughs : How fiber may prevent obesity : promotion of satiety and prevention of rebound hypoglycemia. *Am. J. Clin. Nutr.*, **31**, S 280 (1978)
 26. 이서래 : 식품과 영양(농촌영양개선연수원), **5**, (1), 14(1984)
 27. Van Soest, P.J. and R.H. Wine : Use of detergents in the analysis of fibrous feeds IV. Determination of plant cell-wall constituent. *J.A.O.A.C.* **50**, 50(1967)
 28. Southgate, D.A.T. : Dietary fiber : analysis and food sources. *Am. J. Clin. Nutr.*, **31**, S 107(1978)
 29. Mongeau, R., and Brassard, R. : Determination of neutral detergent fiber, hemicellulose, cellulose and lignin in breads. *Cereal chem.*, **56**(5), 437(1979)
 30. AACC : *Approved Method of American Association of Cereal Chemists*, 8th ed., Vol. II(1983)
 31. Mongeau, R. and Brassard, R. : A rapid method for the determination of soluble and insoluble dietary fiber : Comparison with AOAC total dietary fiber procedure and Englyst's method. *J. Food Sci.*, **51**(5), 1333(1986)
 32. 신명근 : 저장중 현미의 물리화학적 특성 변화, 한국과학기술원 생물공학과 박사학위 논문 (1986)
 33. Jauregui, C.A., Regenstein, J.M. and Baker, R.C. : A simple centrifugal method for measuring expressible moisture, a water-binding property of muscle foods. *J. Food Sci.*, **46**, 1271(1981)
 34. Cooper, T.G., *Tools of biochemistry*, Wiley Inters-

- science Publication, New York (1977)
35. 이경숙, 이서래 : 과일·채소중 식이섬유의 분석법 검토 및 함량 분석, 한국식품과학회지, 19(4), 317(1987)
 36. 정귀화, 이혜수 : 숙성기간에 따른 무우 김치의 텍스처와 섬유소, 헤미셀룰로오즈, 펙틴질의 함량 변화, 한국조리과학회지, 2(2), 68(1986)
 37. Wenlock, R.W., Sivell, L.M. and Agater, I.B. : Dietary fiber fraction in cereal and cereal-containing products in Britain. *J. Sci. Food Agric.*, 36, 113(1985)
 38. Prosky, L., Asp, N.G., Furda, I., Devries, J.W., Schweizer, T.F. and Harland, B.F. : Determination of total dietary fiber in foods, food products and total diets : interlaboratory study. *J. Assoc. Off. Anal. Chem.*, 67(6), 1044(1984)
 39. Bingham S., Cummings, J.H. and McNeil, N.I. : Intakes and sources of dietary fiber in the British population. *Am. J. Clin. Nutr.*, 32, 1313(1979)
 40. Chen, W.J.L. and Anderson, J.W. : Soluble and insoluble plant fiber in selected cereals and vegetables. *Am. J. Clin. Nutr.*, 34, 1077(1981)
 41. Baker, D., and Holden, J.M. : Fiber in breakfast cereals, *J. Food Sci.*, 46, 396(1981)
 42. Marlett J.A., and Ghesters, J.G. : Measuring dietary fiber in human foods, *J. Food Sci.*, 50, 410(1985)
 43. Schaller, D. : Fiber content and structure in foods. *Am. J. Clin. Nutr.*, 31, S 99(1978)
 44. Heller, S.N., Rivers, J.M. and Hackler, L.R. : Dietary fiber ; The effect of particle size and pH on its measurement, *J. Food Sci.*, 42(2), 436(1977)
 45. Sosulski, S.W. and Cadden, A.M. : Composition and physiological properties of several sources of dietary fiber, *J. Food Sci.*, 47, 1472(1982)
 46. Dreher, M.L. : *Handbook of dietary fiber*, 174, Marcel Dekker, INC., New York (1987)
 47. Kim, S.K. and Cheigh, H.S. : Radial distribution of calcium, phosphorus, iron, thiamine and riboflavin in the degermed brown rice kernel, *Korean J. Food Sci. Technol.*, 11(2), 122(1979)
 48. 송보현 : 일반제 및 다수계 현미의 이화학적 특성에 관한 연구, -일반성분-, 한국농화학회지, 30(2), 141 (1987)
 49. Lee, K. and Garcia-Lopez, J.S. : Iron, zinc, copper and magnesium binding by cooked pimento bean(*Phaseolus vulgaris*) neutral and acid detergent fiber. *J. Food Sci.*, 50, 651(1985)
 50. Reinhold, J.G., Garcia-Lopez, J.S. and Garzon, P. : Binding of iron by fiber of wheat and maize. *Am. J. Clin. Nutr.*, 34, 1384(1981)
 51. 문범수 : 식품 섬유소의 생리작용, 국민영양, 79, 13(1986)
 52. Eastwood, M.A., Anderson, R., Mitchell, W.D., Robertson, J. and Pocock, S. : A method to measure the adsorption of bile salts to vegetable fiber of differing water holding capacity. *J. Nutr.* 106, 1429(1976)
 53. Eastwood, M.A. and Hamilton, D. : Studies on the adsorption of bile salt to non-absorbed components of diet. *Biochim. Biophys. Acta*, 152, 165(1968)
 54. Balmer, J. and Zilbersmith, D.B. : Effects of dietary roughage on cholesterol absorption, cholesterol turnover and steroid excretion in the rat. *J. Nutr.*, 104, 1319(1974)

(1988년 5월 7일 접수)