

식이섬유의 무기질 결합력에 관한 연구

계 수 경

경민전문대학 식품영양과

Binding of Iron and Zinc by Vegetable Fiber

Soo-Kyung Kye

Department of Food and Nutrition, Kyungmin Junior College, Euijungbu-city, Kyungkido 562-1, Korea

Abstract

Iron and zinc were bound by neutral detergent fiber(NDF) obtained from 15 kinds of vegetables being consumed commonly in Korea. Binding capacity of Fe and Zn of NDF ranged from 37.8% to 85.5% and from 8.1% to 25.5%, respectively showing higher binding capacity of Fe to NDF than of Zn. Both Fe and Zn binding capacity of NDF increased as pH increased and reached to a maximum at pH 7 in all vegetables. The amount of mineral(Fe and Zn) bound to NDF increased as mineral concentration increased.

Key words : iron, zinc, vegetable fiber, neutral detergent fiber(NDF)

서 론

최근 식이섬유는 여러가지 질병의 발생을 억제함^{1,3)}으로써 영양생리적으로 그 중요성이 인정되고 있는데 식이섬유가 인체내에서 나타내는 생리기능은 식이섬유가 지니는 물리화학적 특성에 의해 영향을 받으며⁴⁾ 그 특성 중 무기질 결합력은 다른 특성들과는 구별되는 관심분야로, Kelsay⁵⁾를 비롯한 여러 연구자들에 의하면, 식이섬유가 무기질의 흡수를 저해한다고 보고되고 있다. 식이섬유의 무기질 흡수방해 작용에 관한 연구는 1963년 인도 북부와 멕시코 지역에서 철분을 20mg/day 이상 과잉 섭취함에도 불구하고 생식선 부전 위축증(Hypogonadal Dwarfism)⁶⁾과 철분 결핍성 빈혈 (Iron Deficiency Anemia)⁷⁾이 발병하여 주민들의 섭취식품을 조사하였고 그 결과 과량의 섬유소 섭취가 원인으로 지적되면서 이에 관한 연구가 활발히 진행되기 시작하였다. Fe결핍증은 전 세계적으로 만연하는 영양 문제로⁸⁾ 섬유소가 Fe흡수의 대표적인 방해인자로 지적되고 있으며⁹⁾, 우리나라의 식사유형에서는 섬유소의 섭취가 많고 Zn함량이 많은 육류, 어류

가금류 등의 동물성 식품의 섭취가 낮음으로 인하여 Zn섭취 부족을 가져올 수 있다는 점¹⁰⁾을 고려해 볼 때 Zn과 섬유소와의 상호작용을 알아보는 것은 의미있는 일이라 사료된다. 이에 본 실험에서는 우리나라 상용 채소들을 대상으로 식이섬유와 무기질(Fe, Zn)과의 결합관계를 조사하였다.

재료 및 방법

1. 실험재료 및 시료의 조제

본 실험에서 사용한 채소는 한국인이 상용하는 야채(근채류 3종, 과채류 3종, 경채류 2종, 엽채류 7종) 15종으로, 가락동 농수산물 시장에서 신선한 것을 구입하여 사용하였으며, 붉은 고추는 건조된 상태로 구입하였다. 구입한 채소들은 가식부를 정선, 세척하여 상온에서 1일 air drying시킨 후 열풍건조기에서(100℃) 4시간 건조시켰다. 건조된 채소를 분쇄기(Janke & Kunkel GmbH u.CoKG IKA-Weak, Germany)를 이용하여 45mesh로 간 후 Van Soest and Wine¹¹⁾의 방법으로 중성세제저항섬유(Neutral detergent fiber, NDF)를 추출하여 무기질 결합력 실험을 위한 시료로 사용하였다. NDF는 총불용성 식이섬

유로서 cellulose, hemicellulose, lignin을 포함하고 있으며 NDF추출방법은 다음과 같다. 건조 시료 1 g을 500 ml 플라스크에 넣은 다음 여기에 neutral detergent 용액 (sodium lauryl sulfate 30 g, disodium EDTA 18.61 g, sodium borate decahydrate 6.81 g, anhydrous sodium phosphate dibasic 4.56 g, 2-ethoxyethanol 10 ml) 를 물 1 L에 녹인 후 H_3PO_4 로 pH를 6.9~7.1로 조절하였다) 100 ml를 실온에서 더하고 역류 냉각기를 달아 가열 장치에 연결시켰다. Sodium sulfite는 lignin fraction의 부분적 분해를 방지¹²⁾하기 위해 생략되었다. 5~10분 사이에 끓도록 열을 가하고 끓기 시작하면 거품이 생기는 것을 방지하기 위하여 열을 줄여서 끓기 시작한 후부터 60분간 가열하였다.

1G3 여과용 유리도가니에 가열시킨 용액을 흡인 여과하고 뜨거운 (90~100°C) 증류수를 사용해서 계속적으로 도가니안의 침전물을 씻어 내린 후 acetone으로 더 이상 용액이 색깔을 띠지 않을 때까지 씻어낸 다음 잔사를 모아 105°C 전기오븐에서 하룻밤 건조시킨 다음 꺼내어 desiccator에 보관하면서 실험에 사용하였다.

한편 마늘의 경우 starch가 많이 함유되어 있어서 여과단계에서 어려움이 있었으므로 NDF측정에 앞서 McQueen 등¹³⁾의 방법에 따라 시료를 Bacterial α -amylase로 처리해 주었다. 즉 시료 1 g에 30 ml의 α -amylase 용액을 넣은 후 40°C incubator에서 12 시간 incubation 시킨다. 이때 사용된 α -amylase 용액은 bacterial α -amylase(E.C.No.3.2.1.1.) 1g을 phosphate buffer(pH 7) 1 L에 녹여 조제하였다.

2. 무기질 결합력 (Mineral Binding Capacity) 측정

1) 실험 설계

Roger 등¹⁴⁾의 방법을 참고로 하여 NDF, Fe, Zn량의 비율을 일상 식생활 수준에 근사하도록 설계하였다. 한국인 총 식이섬유 섭취량은 뚜렷한 data가 없어 1 일 15 g으로 가정하고 Fe 섭취량은 국민영양 조사보고서¹⁵⁾에 따라 20mg/day를, Zn 섭취량은 한국인 평균섭취량 10mg/day¹⁶⁾를 근거로 하여 NDF 15g에 대하여 Fe 20mg, Zn 10mg을 internal standard로 설

Table 1. Experimental design of mineral binding capacity of insoluble dietary fiber(NDF) of vegetables

	NDF	Fe	Zn
Experimental design	15 g	20 mg	10 mg
Added amount in			
10ml buffer solution	15 mg	20 μ g	10 μ g
μ g/gNDF	1 g	1,333 μ g	666 μ g

계하였다. 만약 음식을 섭취후 음식물로 부터 생기는 액과 장내 분비액을 합한 전체 용액의 양이 10 L/day라고 가정한다면 식사후 사람의 소장에서 발견 될 수 있는 식이섬유와 무기질의 대략적인 비율은 Table 1 과 같다.

2) 무기질 결합력 측정

각종 채소에서 추출한 식이섬유(NDF)의 Fe 및 Zn 결합력은 Reinhold 등¹⁷⁾의 방법에 의해 측정하였으며 조건은 소장의 pH 범위인 pH 6, 체온의 범위인 37°C에서 시행되었다. 15 mg NDF를 screwcapped polyethylene tube (14 ml capacity)에 넣고 pH 6 buffer solution을 10ml 첨가한 후 무기질(Fe은 20 μ g, Zn 10 μ g)을 각각 첨가하였다. 37°C shaking incubator (21 oscillations per min)에서 90 분간 진탕한 후 10 분간 750 g에서 원심분리하였다. 잔여물 제거후 상등액을 Atomic Absorption Spectrophotometer(AAS)를 이용하여 Fe 및 Zn의 함량을 측정 하였으며 측정된 값과 식이섬유를 넣지 않은 control 값과의 차이가 식이섬유에 의해 결합된 양으로 계산 되었다.

첨가한 철분, 아연과 원자 흡광 표준용액은 1,000 ppm Fisher Certified Atomic Absorption Reference Solutions 를 사용하였고, 모든 시약은 분석용을 사용하였으며 기구는 모두 농염산으로 씻고 2 차 증류수로 세척하여 사용하였다.

사용한 원소 흡광 분석기는 Varian A.A. Model 1475로 air-acetylene (C_2H_2 -air) flame 을 사용하였고 Fe은 248.3 nm, Zn 은 213.9 nm에서 측정하였다. Lamp 는 Fe-specific hollow cathode lamp와

Zn-specific hollow cathode lamp를 사용하였다. 모든 측정은 3회 반복 하였다.

3) pH 에 따른 무기질 결합력의 변화

Camire등¹⁸⁾의 방법에 따라 pH에 따른 무기질 결합력을 pH 5, pH 6, pH 7에서 각각 조사하였으며 사용된 완충용액은 다음과 같다.

Phthalate-sodium hydroxide buffer(0.01 M pH 5.0): 0.2 M potassium acid phthalate 50 ml와 0.2 M NaOH 23.9 ml를 합하여 200 ml로 희석하였다.

Phthalate-sodium hydroxide buffer (0.1 M pH 6.0): 0.2 M potassium acid phthalate 50 ml와 0.2 M NaOH 45.5 ml를 합하여 200 ml로 희석하였다.

Tris-maleate buffer(0.1 M pH 7.0): 0.2 M tris acid maleate 50 ml와 0.2 M NaOH 48.0 ml를 합하여 200 ml로 희석하였다.

4) 무기질 농도에 따른 무기질 결합력의 변화

무기질 농도 변화에 따른 식이 섬유 무기질 결합력을 알아보기 위해 식이 섬유에 첨가된 무기질의 농도 범위를 Table 2 와 같이 하여 무기질 결합력을 측

Table 2. Range of concentrations of minerals added to fiber in 10 ml buffer solution

	15	15	15
Neutral detergent fiber(mg)	15	15	15
Iron(μ g)	10	20	30
Zinc(μ g)	10	20	30

정하였다.

결과 및 고찰

1. 원료시료 섬유의 무기질 결합력

15 가지의 원료시료에서 추출한 NDF의 Fe 및 Zn 결합력을 측정한 결과는 Table 3과 같다. NDF 1g에 결합한 Fe의 양은 433~980 μ g범위였다. 우영이 가장 높게 나타났으며, 마늘이 가장 적은 값을 나타내었는데($p < 0.05$) 같은 종류의 근채류라도 철분결합 능력에 있어서 현저한 차이가 있음을 알 수 있었다. 고추류의 경우는, 파리고추가 가장 높은 값을 나타내었으며, 그 다음이 풋고추와 붉은 고추의 순이었다. 파류에서는, 실파가 대파보다 다소 높게 나타났다. ($p < 0.05$)

Table 3. Binding of Fe and Zn by neutral detergent fiber of raw vegetables

	20 μ g Fe / 15 mg NDF		10 μ g Zn / 15 mg NDF	
	μ g / g NDF	% bound	μ g / g	NDF % bound
Chives(부추)	653	60.0 \pm 0.8 ¹⁾	63.3	9.9 \pm 0.2
Cabbage(양배추)	753	65.7 \pm 0.9	76.7	12.0 \pm 0.3
Red pepper(붉은고추)	627	54.7 \pm 0.7	65.3	10.2 \pm 0.3
Leaf lettuce(상치)	960	83.7 \pm 0.4	118.0	18.4 \pm 0.4
Water dropwort(미나리)	933	81.4 \pm 0.2	99.3	15.5 \pm 0.1
Pepper leaf(고추잎)	953	83.1 \pm 1.0	100.7	15.7 \pm 0.2
Kwari pepper(파리고추)	747	65.1 \pm 0.3	96.7	15.1 \pm 0.4
Green pepper(풋고추)	707	61.6 \pm 0.4	80.0	12.5 \pm 0.2
Welsh onion, small(실파)	673	58.7 \pm 1.1	52.0	8.1 \pm 0.1
Radish(무)	773	67.4 \pm 0.3	150.0	23.4 \pm 0.4
Radish leaf(무청)	680	59.3 \pm 0.5	102.0	16.0 \pm 0.3
Garlic(마늘)	433	37.8 \pm 0.7	70.0	10.9 \pm 1.0
Welsh onion, large(대파)	553	48.3 \pm 0.2	72.0	11.3 \pm 0.2
Edible burdock(우영)	980	85.5 \pm 0.7	163.3	25.5 \pm 0.6
Chinese cabbage(배추)	693	60.5 \pm 0.1	83.3	13.0 \pm 0.1

1) Mean \pm S. D.

이와 같은 결과로부터 고추류와 파류는 종류에 따라 철결합력이 다소 차이를 보이고 있음을 알 수 있었다.

NDF 1g에 결합한 Zn의 양은 52~163.3 μ g범위였다. 우영이 가장 높은 값을 나타내었으며, 파리고추에서 가장 낮게 나타났다. 이상의 결과로부터 우영은 Fe과 Zn에 대한 친화력이 모든 채소들 중에서 가장 높다는 것을 알 수 있다. 고추류의 Zn 결합력은 Fe의 경우에서와 유사한 결과를 보였으나 파류의 경우는 반대 현상을 보였는데 즉 대파가 실파보다 더 높은 결합력을 나타내었다. ($p < 0.05$)

본 실험의 결과, 모든 채소의 NDF는 Zn보다 Fe과 더 높은 결합력을 나타내었다. Table 3에 첨가된 무기질에 대한 결합된 무기질의 비율을 %로 표시했는데, Fe결합력은 37.8~85.5% 범위로서 첨가된 Fe의 상당량이 NDF와 결합되었음을 볼 수 있었으며, 특히 모든 채소 중 우영, 고추잎, 상치, 미나리의 경우 Fe과 결합하는 비율이 매우 높아 80% 정도였다. 그러므로 실험에 사용된 종류의 채소의 섭취량이 높을 때는 섭취된 Fe이 채소의 식이섬유와 결합되어 Fe의 흡수량이 적어질 것으로 생각되어진다. 이 등¹⁹⁾은 성장기 쥐의 Fe 흡수에 관한 식이섬유의 저해효과에 대한 연구에서 100g b.w에 대한 변으로의 Fe 배설량은 식이섬유의 섭취량이 높을수록 증가하는 경향이었다고 하였다.

한편, Zn는 8.1~25.5% 범위로 나타났는데 실파를 비롯한 부추, 붉은 고추, 마늘들은 다른 채소에 비해 Zn 결합력이 낮은 편이었다. 비록 Zn의 결합 비율이 Fe 보다 낮았지만 본 실험에 사용된 종류의 채소를 많이 섭취할 경우 섭취된 Zn의 이용성이 낮아질 가능성이 있다. 실제로 여러 연구자들^{5, 20, 21)}의 인체실험결과 과일 및 채소의 NDF가 체내에서 negative Zn balance를 유발시킨다는 것이 보고되고 있다. 그러나 식이섬유소에 대한 무기질 결합은 복잡한 기작을 거친다. 우리 소화관내에서는 소화과정중 강산에서 거의 중성에 이르기까지 매우 큰 pH 변화가 일어난다.^{22, 23)} 일반적으로, 강산상태에서는 식이섬유와 무기질이 거의 결합하지 않는 것으로 보고되고 있다.²⁴⁾ 특히, Reinhold¹⁷⁾들은 pH 4에서 전체 Fe 중 약 10% 정도만 결합한 채로 있으며, pH가 2.0보다 낮을 때는 Fe가 유리되었다고 보고하였다. 또한 식이섬유에 대한 Fe결합 비율은 EDTA, 수산, 시트르산, 그리고 여러

가지 아미노산 특히 cysteine에 의해 많이 감소한다는 보고도 있다.¹⁷⁾

그러므로 본 실험 결과, 채소의 식이 섬유와 무기질이 상당량 결합했으므로 본 실험에서 높은 무기질 결합력을 나타낸 채소들을 다량 섭취할 경우 섭취된 무기질, 특히 철의 상당부분이 이들 채소의 섬유소에 결합하여, 위산이나 철분과 섬유소의 결합을 저해하는 여러 인자들(수산, 시트르산, 아미노산)에 의해 철분이 유리되지 않는다면, 철분의 흡수, 이용이 저해될 것으로 사료된다.

2. pH에 따른 무기질 결합력의 변화

우리 소화관내에서는 소화과정 중 강산에서 거의 중성에 이르기까지 매우 큰 pH 변화가 일어나며^{22, 23)}, 일반적으로 강산 상태에서는 식이섬유와 무기질이 거의 결합하지 않는 것으로 보고²⁴⁾되고 있으므로 pH에 따른 식이섬유의 무기질 결합력의 변화를 pH 5, pH 6, pH 7의 범위에서 살펴보았다. 본 실험에서는 각 채소류 중 우리의 식탁에 가장 많이 올리는 것 즉, 엽채류-배추, 경채류-대파, 근채류-무, 과채류-푸른고추를 대상으로 실험하였다.

식이섬유와 무기질과의 결합에 관한 연구에서는, 무기질의 안정성이 매우 중요하다. 용액내의 Fe은 pH가 7.0에 가깝거나 넘으면 2가의 Fe가 용해성이 낮은 hydroxide를 형성하게 되며 물과 산소 존재하에서는, 극히 낮은 용해성을 가진 hydroxide와 철산화물로 변화되어진다.¹⁷⁾ 한편 Ismail 등²⁵⁾은 식이섬유에 의한 Zn 결합에 관한 연구에서 Zn은 $Zn(OH)_2$ 를 형성한다고 보고하였는데, 이들은 pH가 5.5에서 7.0으로 올라감에 따라 Zn hydroxide형성이 점차적으로 증가되는 경향이었다고 하였다. 그러나, 최근 우리나라에서 보고된 몇몇 문헌^{26, 27)}들은 무기질의 안정성을 전혀 고려하지 않았다. 즉 이 등²⁶⁾과 우 등²⁷⁾은 각각 쌀겨 식이 섬유 및 울무겨 식이섬유의 철분과의 결합력에 관한 연구에서 식이섬유를 포함한 완충용액에 최초로 첨가된 무기질 농도에서 진탕 후 용액에 남아있는 무기질 농도를 뺀 것을 식이섬유와 무기질과의 결합량으로 계산하였다. 이러한 문제를 해결하기 위해 본실험에서는 최초로 첨가된 무기질 농도와 control tube의 무기질 농도와의 차이를 침전된 무기질량으로 하였다.

각 pH에 따른 Fe와 Zn hydroxide의 형성 정도는 Table 4와 같다. pH가 증가함에 따라 침전율이 증가하였는데, Zn의 경우 pH가 5, 6, 7일 때 침전된 양은 각각 3, 5, 8% 였으며 Fe은 각각 10, 14, 14%로 나타났다. 그러므로 본 실험에 의하면, Zn은 실험에 사용된 전범위에서 Fe보다 더 안정하였다.

pH 변화에 따른 NDF와 Fe와 Zn의 결합력은 T-

Table 4. Precipitation percentage of mineral according to pH variation

	(%)		
	pH 5	pH 6	pH 7
Fe	10±0.21 ¹⁾	14±0.20	14±0.19 ^{b*}
Zn	3±0.09	5±0.12	7±0.11 ^c

1) Mean±S. D.

* Means followed by same letter are not significantly different at the level using Duncan's multiple range test

able 5, 6과 같다. 표에서 보는 바와 같이 NDF에 의한 Fe와 Zn 결합력은 pH가 증가함에 따라서 증가하였다. Fe와 Zn 모두 pH 7에서 최대값을 나타내었으나 Zn의 경우 pH 6과 pH 7 사이에서는 큰 차이가 없었다. 이상의 결과로부터, NDF에 의한 Fe와 Zn 결합력은 pH 의존적임을 알 수 있었다. 본 실험 결과와 유사한 경향이 쌀겨의 식이섬유에 대해 연구한 이²⁶⁾ 등의 보고에서 나타났는데, 그들의 보고에 따르면 pH 5.0과 7.0 사이에서 NDF와 Fe의 결합력이 48.98%로서 최대가 되었다고 하였다. 그러나 Berner 등²⁸⁾은 sodium alginate를 사용하였을 때, 반대의 현상을 보고하였으며 우 등²⁷⁾은 울무겨의 식이섬유에 대해서 연구하였는데, ADF와 Fe과의 결합력은 pH 5.0~7.0 범위에서 측정된 결과 pH 5.0에서 가장 높았으나 총 식이섬유의 경우는 철분과의 결합에 있어서 pH의 변화에 거의 영향을 받지 않았다고 하였다. 이상의 결과로부터 pH에 따른 식이섬유의 무기질 결합력은 식이섬유의 종류, 식이섬유 추출법 등에 따라 차이가 있음

Table 5. Effect of pH on Fe binding capacity of neutral detergent fiber of some vegetables

	20 µg Fe / 15 mg NDF		
	pH 5	pH 6	pH 7
Chinese cabbage	58.3±0.31 ^{1)a}	60.5±0.27 ^{ab}	65.1±0.16 ^b
Radish	62.3±0.57 ^{a*}	67.4±0.49 ^b	70.5±0.21 ^c
Welsh onion, large	43.2±0.19 ^a	48.3±0.11 ^b	53.7±0.61 ^c
Green pepper	56.7±0.11 ^a	61.6±0.12 ^b	66.2±0.31 ^c

1) Mean±S. D.

* Means followed by same letter are not significantly different at the level using Duncan's multiple range test.

Table 6. Effect of pH on Fe binding capacity of neutral detergent fiber of some vegetables

	10 µg Zn / 15 mg NDF		
	pH 5	pH 6	pH 7
Chinese cabbage	10.1±0.57 ^{1)a}	13.0±0.21 ^b	14.1±0.39 ^b
Radish	16.0±0.31 ^{a*}	23.4±0.27 ^b	25.9±0.18 ^b
Welsh onion, large	9.7±0.10 ^a	11.3±0.09 ^b	12.2±0.09 ^b
Green pepper	9.1±0.21 ^a	12.5±0.39 ^b	13.0±0.27 ^b

1) Mean±S. D.

* Means followed by same letter are not significantly different at the level using Duncan's multiple range test.

을 알 수 있다.

pH가 증가함에 따라 무기질 결합력이 증가하는 현상에 대해 Reinhold 등¹⁷⁾은 proton을 해리하는 glucuronic acid가 존재함으로써 일어나는 현상일 것이라고 설명하였다. Glucuronic acid의 carboxyl은 pH 7 부근에서 이온화 되는 것으로 보고되고 있으므로²⁹⁾ 이상과 같은 보고에 근거를 두고 생각해 볼 때, 본 실험 결과 pH 7에서 Zn와 NDF의 결합력이 최대가 된 것은 NDF의 성분중 특히 헤미셀룰로오스의 구성성분인 glucuronic acid에서 proton의 해리가 촉진되어 Zn이 더욱 많이 결합된 것으로 사료된다. 그러나 다른 uronic acid의 carboxyl기 및 당류의 hydroxyl기로부터도 proton이 해리될 수 있으므로 이들 성분이 관여했을 가능성도 배제할 수 없을 것으로 사료된다. 그러므로 앞으로 이에 대한 자세한 연구가 이루어져야 할 것이다.

3. 무기질 농도에 따른 무기질 결합력의 변화

Fe과 Zn의 농도를 달리하여, NDF에 의한 이들 무기질 결합력의 변화를 살펴보았다. 그 결과는 Table 7, 8과 같다.

본 연구에서는 일정한 조건하에서 일정한 양의 식이섭유에 Fe과 Zn의 농도를 각각 달리 첨가하여 실험한 결과, NDF의 무기질 결합력은 모든 시료에서 무기질 농도가 증가할수록 증가하였다. ($p < 0.05$)

그러나 시료의 종류에 따라서 농도의 변화에 의한 결합력의 증가폭이 서로 다르게 나타났다. Fe의 경우에는 양배추를 제외한 모든 시료에서 농도에 따른 결합력의 증가폭이 점차 감소되는 경향을 보였다. 즉 2 ppm의 경우 1 ppm에서 보다 평균 478 μg 높았으며, 3 ppm의 경우에는 2 ppm에서 보다 평균 376 μg 더 높았다. 농도의 변화에 따라 증가폭이 가장 큰 시료는 상치였고, 가장 적게 나타난 것은 마늘이었다. Zn에서 농도에 따른 결합력의 증가폭은 대파만 제외하고 모든 시료에서 거의 유사한 수준이었다. 대파에서 나타난 결과는 실험상의 오차로 생각된다. 상치에서는 농도변화에 의한 결합력의 증가폭이 가장 크게 나타났으며, 마늘은 가장 적게 나타났다. 전반적으로 Zn의 경우 대파를 제외한 모든 시료에서 1ppm과 3 ppm 사이의 증가율은 거의 직선으로 나타났다. Reinhold 등¹⁷⁾은 Fe의 농도가 증가함에 따라 식이섭유 1 μg 에 결합되는 Fe의 양은 증가했으며 실험에 사용된 농도 전반에 걸

Table 7. Effect of Fe concentration on Fe binding capacity of neutral detergent fiber of vegetables ($\mu\text{g/gNDF}$)

	1ppm*	2ppm*	3ppm*
Chives	207 ± 8.1 ¹⁾	653 ± 4.8	1,047 ± 3.9
Cabbage	233 ± 1.4	660 ± 9.2	1,180 ± 5.1
Red pepper	187 ± 6.0	627 ± 5.7	927 ± 2.0
Leaf lettuce	380 ± 11.1	960 ± 3.8	1,487 ± 5.2
Water dropwort	293 ± 7.0	760 ± 6.2	1,240 ± 3.1
Pepper leaf	387 ± 2.0	840 ± 2.1	1,287 ± 0.8
Kwari pepper	260 ± 6.2	807 ± 3.0	1,187 ± 4.4
Green pepper	227 ± 0.4	707 ± 4.5	1,040 ± 5.9
Welsh onion, small	160 ± 4.0	673 ± 2.9	1,013 ± 4.5
Radish	200 ± 6.2	667 ± 5.0	973 ± 8.0
Radish leaf	247 ± 5.4	767 ± 4.0	1,120 ± 2.1
Garlic	113 ± 5.1	433 ± 3.6	680 ± 2.0
Welsh onion, large	120 ± 4.2	553 ± 7.8	960 ± 1.1
Edible burdock	400 ± 6.6	947 ± 5.9	1,400 ± 1.9
Chinese cabbage	273 ± 2.0	740 ± 2.3	1,007 ± 3.2

1) Mean ± S. D.

* 1, 2, 3ppm are Fe concentration in ml test buffer solution with 1.5mg NDF.

Table 8. Effect of Zn concentration on Zn binding capacity of neutral detergent fiber of vegetables
($\mu\text{g/gNDF}$)

	1ppm*	2ppm*	3ppm*
Chives	63 \pm 5.0 ¹⁾	133 \pm 2.9	203 \pm 2.0
Cabbage	82 \pm 1.0	223 \pm 1.3	363 \pm 3.3
Red pepper	65 \pm 1.5	141 \pm 0.5	217 \pm 8.8
Leaf lettuce	118 \pm 0.3	414 \pm 4.7	710 \pm 3.7
Water dropwort	84 \pm 3.7	244 \pm 0.9	403 \pm 4.4
Pepper leaf	61 \pm 1.2	252 \pm 7.1	443 \pm 2.9
Kwari pepper	79 \pm 1.5	205 \pm 10.0	330 \pm 6.0
Green pepper	80 \pm 0.4	162 \pm 4.0	243 \pm 3.0
Welsh onion, small	52 \pm 0.2	121 \pm 5.2	190 \pm 1.1
Radish	77 \pm 1.0	120 \pm 0.8	163 \pm 1.5
Radish leaf	117 \pm 1.2	170 \pm 2.6	223 \pm 7.0
Garlic	70 \pm 1.4	83 \pm 4.3	97 \pm 2.3
Welsh onion, large	72 \pm 3.9	145 \pm 1.7	123 \pm 1.5
Edible burdock	183 \pm 5.0	377 \pm 3.7	570 \pm 4.1
Chinese cabbage	90 \pm 4.8	123 \pm 3.0	157 \pm 0.5

1) Mean \pm S. D.

* 1, 2, 3ppm are Fe concentration in ml test buffer solution with 1.5mg NDF.

쳐 증가율이 직선으로 나타났다고 하였다.

본 연구와 비교해 볼 때, 식이섬유와 무기질 사이의 결합의 특성은 실험에 사용된 시료와 무기질 종류에 따라 다르게 나타난다는 것을 알 수 있다.

본 실험결과, NDF는 실험에 사용된 모든 농도에서 Zn보다 Fe에 대해 더 큰 친화력을 가지는 것으로 나타났다. 시료의 식이섬유에 대한 Fe와 Zn의 결합력은 무기질 농도에 의해 크게 영향을 받는다는 것을 알 수 있었다. 즉, 식이섬유의 철분 및 아연 결합력은 무기질 농도가 증가함에 따라 증가하였으며 식이섬유의 급원에 따라 결합력의 차이가 있었다. 이와 같은 결과로 미루어 볼 때, 본 실험에서 사용된 식이섬유와 무기질의 농도비율 범위에서는 무기질의 농도를 증가시켜도 무기질 흡수를 저해하는 식이섬유의 작용이 제거되지 않았으므로 체내에서의 무기질 이용률을 고려해 볼 때 철분과 아연의 급원이 되는 식품들을 한번에 다량 섭취하는 것보다는 소량씩 자주 섭취하는 것이 바람직하다고 생각된다.

요 약

NDF의 철분결합력은 37.8~85.5 % 였고 아연결합력은 8.1~25.5%로 모든 채소에서 아연보다 철분이 더 많이 결합했다. NDF의 무기질(철분, 아연) 결합력은 pH가 증가함에 따라 증가했으며 pH 7에서 최대값을 나타내었다. NDF에 결합된 무기질(철분, 아연)의 양은 무기질 농도가 증가함에 따라 증가했으며 농도에 따른 증가폭은 채소종류에 따라 다양했다. 본 실험결과 한국인 상용 채소의 NDF가 철분 및 아연과 결합하며 채소의 종류에 따라 무기질 결합력에 상당한 차이가 있다는 것을 알았다. 한국에서 모든 부식의 양념 재료로 쓰이는 마늘과 파는 무기질 결합력이 다른 채소들에 비해 낮은 것으로 나타났다. 모든 채소의 NDF는 아연보다 철분과 3~4배 더 많이 결합했으므로 특히 철분과의 결합력이 높은 채소들을 다량 섭취할 경우 철분의 흡수 문제를 고려해야 할 것이다. 한편 NDF의 철분 및 아연과의 결합력은 이들 무기질의 농도를 증가시킬수록 계속 증가하였는데 본 실험에 사용된 식이섬유와 무기질의 농도 비율범위는 한국인의 섭취량에

기준을 두고 설정된 것으로, 본 실험결과 무기질의 농도를 증가시켜도 무기질 흡수를 저해하는 식이섬유의 작용이 감소되지 않고 오히려 증가했으므로 체내에서의 무기질 이용률을 고려해 볼 때 본 실험에 사용된 식이섬유와 무기질의 농도비율 범위에서는 철분과 아연의 급원이 되는 식품을 한번에 다량 섭취하는 것보다는 소량씩 자주 섭취하는 것이 바람직하다고 생각된다. 특히 철의 경우 그 항상성은 배설능력의 제한성에 의해 소장의 흡수정도로써 조절되므로 철 흡수이용의 장애인자인 섬유소의 작용은 중요하며 개발도상국을 비롯한 전세계 20% 이상의 인구가 Fe결핍성 빈혈상태이고²⁹⁾ 특히 서구 선진국들의 섬유소 섭취량의 3~4 배 이상 섭취하는 한국인들의 Fe섭취 형태가 90% 이상 식물성 식품에서 얻는다는 보고³⁰⁾들을 볼 때 채소 식이섬유의 철분결합은 빈혈질환의 원인분석의 일환으로 중요하리라 생각된다.

참고문헌

- Schneeman, B. O. : Physical and chemical properties, methods of analysis, and physiological effects, *Food Technol.*, **40**(2), 104 (1986)
- Vahouny, G. V. : Dietary fiber, lipid metabolism, and atherosclerosis, *Federation Proc.*, **41**, 2801(1982)
- Heaton, K. W., Haber, G. B. and Burroughs, L. : How fiber may prevent obesity: promotion of satiety and prevention of rebound hypoglycemia, *Am. J. Clin. Nutr.*, **31**, S280 (1978)
- Schneeman, B. O. : Soluble vs Insoluble Fiber- Different physiological responses, *Food Technol.*, **41**(1), 81(1987)
- Kelsay, J. L. : A review of research on effects of fiber intake on man, *Am. J. Clin. Nutr.*, **31**, 142(1978)
- Prasad, A. S., Miale, A., Farid, Z., Sandstead, H. H. and Darby, W. J. : Biochemical studies on dwarfism, hypogonadism and anemia, *Arch. Internal Med.*, **111**, 407(1963)
- Eastwood, M. A. and Kay, R. M. : An hypothesis for the action of fiber among the gastrointestinal tract, *Am. J. Clin. Nutr.*, **32**, 364(1979)
- 승정자 : 극미량 원소의 영양, 대우학술총서, p. 50(1984)
- Lee, K. and Garcia-Lopez, J. S. : Iron, zinc, copper and magnesium binding by cooked pinto bean neutral and acid detergent fiber, *J. Food Sci.*, **50**, 651(1985)
- 김은경, 이현옥 : 식이내 섬유소와 Zn첨가 수준이 흰쥐의 체내 Zn대사에 미치는 영향, *한국영양학회지*, **22**(6), 539-546(1989)
- Van Soest, P. J. and Wine, R. H. : Use of detergents in the analysis of fibrous feed IV. Determination of plant cell-wall constituents, *J.A.O.A.C.*, **50**(1), 50(1967)
- Roberson, J. B. and Van Soest, P. J. : Dietary fiber estimation in concentrated feedstuffs, *J. Animal Sci.*, **45**(Supp. 1), 254(1977)
- Mcqueen, R. E. and Nicholson, J. W. G. : Modification of the neutral detergent fiber procedure for cereals and vegetables by using α -amylase, *J.A.O.A.C.*, **62**(3), 676(1979)
- Roger Fernandez, M. D. and Phillips, S. F. : Component of fiber bind iron *in vitro*, *Am. J. Clin. Nutr.*, **35**, 100(1982)
- 보건사회부 : 국민 영양 조사 보고서, p. 69(1988)
- 한국인구보건원 : 한국인의 영양권장량(5차 개정판), 고문사, 서울(1989)
- 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)
- 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 fraction of dietary fiber, *J. Food Sci.*, **46**, 548(1981)
- 이명숙, 승정자 : Dietary fiber가 흰 쥐의 철분흡

- 수 억제에 미치는 영향, 한국영양학회지, 18(2), 115(1985)
20. Kelsay, J. L. and Prather, E. S. : Mineral balances of human subjects consuming spinach in a low-fiber diet and in a diet containing fruits and vegetables, *Am. J. Clin. Nutr.*, 38, 12(1983)
 21. Kelsay, J. L., Clark, W. H., Herbst, B. J. and Prather, E. S. : Response of human subjects to three levels of fiber intake from fruits and vegetables, *Fed. Proc.*, 38, 767 (1979c)
 22. Harper, H. A. : Review of physiological chemistry, 15th ed. , Lange Publishing Co., Los Altos, CA. p. 231(1975)
 23. Sturkie, P. D. : "Avian physiology," 2nd ed., Cornell Univ. Press, Ithaca, NY., p. 301 (1965)
 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. Ismail-Beigi, F., Faraji, B., and Reinhold, J. G. : Binding of zinc and iron to wheat bran their components, *Am. J. Clin. Nutr.*, 30, 1721(1977)
 26. 이희자, 변시명, 김형수 : 현미와 백미의 식이섬유에 관한 연구, 한국식품과학회지, 20(4), 576 (1988)
 27. 우자원 : 울무와 염주의 단백질, 지방 및 식이섬유의 이화학적 특성연구, 연세대학교 대학원 박사학위논문(1989)
 28. Berner, L. A. and Hood, L. F. : Iron binding by sodium alginate, *J. Food Sci.*, 48, 755 (1983)
 29. Lehninger, A. L. : Principle of Biochemistry, Worth Publishers, Inc. New York., p. 296(1982)
 30. 정혜경, 김숙희 : 한국의 도시빈곤지역과 농촌의 영양섭취 실태, 한국영양학회지, 15(4) (1982)

(1995년 9월 4일 수리)