

식이섬유의 철분결합력에 관한 *in vitro* 연구

계 수 · 경
경민전문대학 식품영양과

Binding of Iron by Vegetable Fiber

Soo-Kyung Kye

Department of Food and Nutrition, Kyungmin Junior College

Abstract

Iron was bound to neutral detergent fiber (NDF) obtained from 15 kinds of vegetables commonly consumed in Korea. Iron binding capacity of NDF ranged from 37.83% to 85.51%, and it increased as the pH increased and reached to the maximum at pH 7 in all vegetables. The amount of Fe bound to NDF increased as the Fe concentration increased.

Key words: neutral detergent fiber, Fe binding capacity, mineral concentration

I. 서 론

최근 식이섬유는 여러 가지 질병의 발생을 억제함^{1,2)}으로써 영양 생리적으로 그 중요성이 인정되고 있는데 식이섬유가 인체내에서 나타내는 생리기능은 식이섬유가 지니는 물리화학적 특성에 의해 영향을 받으며³⁾ 그 특성 중 무기질결합력은 다른 특성들과는 구별되는 관심분야로, Kelsay⁴⁾를 비롯한 여러 연구자들에 의하면, 식이섬유가 무기질의 흡수를 저해한다고 보고되고 있다. 식이섬유의 무기질 흡수방해 작용에 관한 연구는 1963년 인도 북부와 멕시코 지역에서 철분을 20 mg/day 이상 과잉 섭취함에도 불구하고 생식선 부전 위축증(Hypogonadal Dwarfism)⁵⁾과 철분 결핍성 빈혈(Iron deficiency anemia)⁶⁾이 발병하여 주민들의 섭취식품을 조사하였고 그 결과 과량의 섬유소 섭취가 원인으로 지적되면서 이에 관한 연구가 활발히 진행되기 시작하였다. Fe 결핍증은 전 세계적으로 만연하는 영양 문제로⁷⁾ 섬유소가 Fe 흡수의 대표적인 방해인자중의 하나로 지적되고 있다⁸⁾. 이에 본 실험에서는 우리나라 상용 채소들을 대상으로 식이섬유와 Fe과의 결합관계를 조사하였다.

II. 재료 및 방법

1. 실험재료 및 시료의 조제

본 실험에서 사용한 채소는 한국인이 상용하는 채소(근채류 3종: 무, 마늘, 우엉, 과채류 3종: 붉은고추, 파리고추, 풋고추, 경채류 2종: 실파, 대파, 엽채류 7종: 부추, 양배추, 상치, 미나리, 고춧잎, 무청, 배추) 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°C) 4시간 건조시켰다. 건조된 채소를 분쇄기(Janke & Kunkel GmbH u.CoKG IKA-Weak, Germany)를 이용하여 45 mesh로 간 후 Van Soest and Wine¹⁰⁾의 방법으로 중성세제저항섬유(Neutral detergent fiber, NDF)를 추출하여 Fe 결합력 실험을 위한 시료로 사용하였다. NDF는 총불용성 식이섬유로서 cellulose, hemicellulose, lignin을 포함하고 있으며 NDF 추출방법은 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 H₃PO₄로 pH를 6.9~7.1로 조절하였다) 100 ml를 실온에서 더하고 역류 냉각기를 달아 가열 장치에 연결시켰다. Sodium sulfite는 lignin fraction의 부분적 분해를 방지¹¹⁾하기 위해 생략되었다. 5~10분 사이에 끓도록 가열하고 끓기 시작하면 거품이 생기

는 것을 방지하기 위하여 열을 줄여서 끓기 시작한 후부터 60분간 가열하였다. 1G3 여과용 유리도가니에 가열시킨 용액을 흡인 여과하고 뜨거운(90~100°C) 증류수를 사용해서 계속적으로 도가니 안의 침전물을 씻어 내린 후 acetone으로 더 이상 용액이 색깔을 띠지 않을 때까지 씻어낸 다음 잔사를 모아 105°C 전기 오븐에서 하룻밤 건조시킨 다음 꺼내어 desiccator에 보관하면서 실험에 사용하였다.

한편 마늘의 경우 전분이 많이 함유되어 있어서 여과단계에서 어려움이 있었으므로 NDF 측정에 앞서 McQueen 등¹²⁾의 방법에 따라 시료를 Bacterial α -amylase로 처리해 주었다. 즉 시료 1 g에 30 ml의 α -amylase 용액을 넣은 후 40°C incubator에서 12시간 incubation시켰다. 이때 사용된 α -amylase 용액은 bacterial α -amylase(E.C.No.3.2.1.1.) 1 g을 phosphate buffer (pH 7) 1 L에 녹여 조제하였다.

2. 철분결합력(Fe binding capacity) 측정

(1) 실험 설계

Roger 등¹³⁾의 방법을 참고로 하여 NDF와 Fe양의 비율을 일상 식생활 수준에 근사하도록 설계하였다. 한국인 총 식이섬유 섭취량은 뚜렷한 자료가 없어 1일 15 g으로 가정하고 Fe 섭취량은 국민영양 조사보고서¹⁴⁾에 따라 20 mg/day를 기준으로 하여 internal standard로 설계하였다. 만약 음식물 섭취후 음식물로부터 생기는 액과 장내분비액을 합한 전체 용액의 양이 10 L/day라고 가정한다면 식사후 사람의 소장에서 발견될 수 있는 식이섬유와 Fe의 대략적인 비율은 Table 1과 같다.

(2) 철분결합력 측정

각종 채소에서 추출한 식이섬유(NDF)의 Fe 결합력은 Reinhold 등¹⁵⁾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 10 ml 첨가한 후 Fe 20 μ g을 첨가하였다. 37°C shaking incubator(21 oscillations per min)에서 90분간 진탕한

후 10분간 750 \times g에서 원심 분리하였다. 잔여물 제거 후 상등액을 Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS)를 이용하여 Fe 함량을 측정하였으며 측정된 값과 식이섬유를 넣지 않은 control 값과의 차이가 식이섬유에 의해 결합된 양으로 계산되었다.

첨가한 철분과 원자 흡광 표준용액은 1,000 ppm Fisher Certified Atomic Absorption Reference Solutions를 사용하였고, 모든 시약은 분석용을 사용하였으며 기구는 모두 농염산으로 씻고 2차 증류수로 세척하여 사용하였다. 사용한 원소 흡광 분석기는 Varian A.A. Model 1475로 air-acetylene(C₂H₂-air) flame을 사용하였고 248.3 nm에서 측정하였다. Lamp는 Fe-specific hollow cathode lamp를 사용하였으며 모든 측정은 3회 반복하였다.

(3) pH에 따른 철분결합력의 변화

각 채소류 중 우리의 식탁에 가장 많이 올리는 것 즉, 엽채류-배추, 경채류-대파, 근채류-무, 과채류-푸른 고추를 대상으로 Camire 등¹⁶⁾의 방법에 따라 pH에 따른 철분결합력을 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) 철분농도에 따른 철분결합력의 변화

철분농도 변화에 따른 식이섬유의 철분결합력을 알아보기 위해 15 g의 식이섬유에 첨가된 철분의 농도 범위를 10, 20, 30 μ g으로 하여 철분결합력을 측정하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 원료시료섬유의 철분결합력

15가지의 원료시료에서 추출한 식이섬유의 Fe 결합력을 측정한 결과는 Table 2와 같다. 식이섬유 1 g에 결합한 Fe의 양은 433~980 μ g로서 채소의 종류에 따라 결합량이 차이가 있었다(Fig. 1). 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 경

Table 1. Experimental design of Fe binding capacity of NDF of vegetables

	NDF	Fe
Experimental design	15 g	20 mg
Added amount in 10 ml buffer solution	15 mg	20 μ g
μ g/g NDF	1 g	1333 μ g

Table 2. Binding of Fe by neutral detergent fiber of vegetables at pH 6 buffer solution

	20 µg Fe/15 mg NDF	
	µg/g NDF	% bound
Chives(부추)	653	60.02±0.81 ¹⁾
Cabbage(양배추)	753	65.71±0.92
Dried red pepper(붉은고추)	627	54.70±0.71
Leaf lettuce(상치)	960	83.74±0.44
Water dropwort(미나리)	933	81.47±0.22
Pepper leaf(고추잎)	953	83.15±1.01
Kwari pepper(파리고추)	747	65.19±0.34
Green pepper(풋고추)	707	61.62±0.40
Welsh onion, small(싹파)	673	58.78±1.15
Radish(무)	773	67.43±0.30
Radish leaf(무청)	680	59.35±0.52
Garlic(마늘)	433	37.83±0.71
Welsh onion, large(대파)	553	48.32±0.20
Edible burdock(우엉)	980	85.51±0.73
Chinese cabbage(배추)	693	60.58±0.11

¹⁾ Mean ± S.D.

우는, 파리고추가 가장 높은 값을 나타내었으며, 그 다음이 풋고추와 붉은 고추의 순이었다. 파류에서는, 싹파가 대파보다 다소 높게 나타났다($p < 0.05$). 이와 같은 결과로부터 고추류와 파류는 종류에 따라 철결합력이 다소 차이를 보이고 있음을 알 수 있었다.

첨가된 Fe에 대한 결합된 Fe의 비율이 Table 2에 %로 표시되어 있는데, Fe 결합력의 범위는 37.8~85.5%이며 대부분의 채소들의 Fe과의 결합량이 50% 이상으로 첨가된 Fe의 상당량이 식이섬유와 결합되었음을 볼 수 있다. 특히 모든 채소 중 우엉, 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 등¹⁷⁾은 성장기 쥐의 Fe 흡수에 관한 식이섬유의 저해 효과에 대한 연구에서 100 g b.w에 대한 변으로의 Fe 배설량은 식이섬유의 섭취량이 높을수록 증가하는 경향이었다고 하였다.

그러나 식이섬유소에 대한 Fe의 결합은 복잡한 기작을 거치며 우리 소화관내에서는 소화과정중 강산에서 거의 중성에 이르기까지 매우 큰 pH 변화가 일어난다^{18,19)}. 일반적으로, 강산 상태에서는 식이섬유와 Fe이 거의 결합하지 않는 것으로 보고되고 있다²⁰⁾. 또한 식이섬유에 대한 Fe 결합 비율은 EDTA, 수산, 시트르산, 그리고 여러 가지 아미노산 특히 cysteine에 의해 많이 감소한다는 보고도 있다¹⁵⁾.

그러므로 본 실험 결과, 채소의 식이 섬유와 Fe이

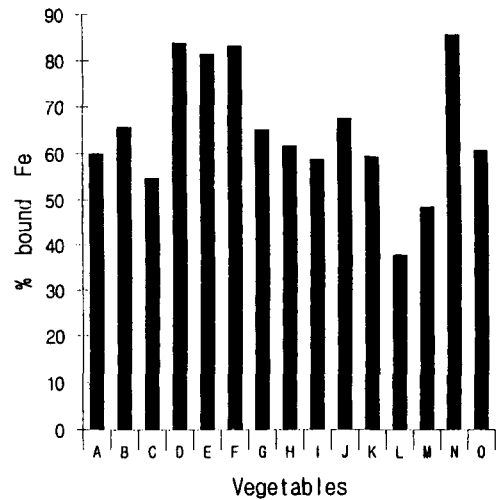


Fig. 1. Fe binding capacity of neutral detergent fiber of vegetables, at pH 6 buffer solution.

- | | |
|------------------------|--------------------|
| A : Chives | B : Cabbage |
| C : Red pepper | D : Leaf lettuce |
| E : Water dropwort | F : Pepper leaf |
| G : Kwari pepper | H : Green pepper |
| I : Welsh onion, small | J : Radish |
| K : Radish leaf | L : Garlic |
| M : Welsh onion, large | N : Edible burdock |
| O : Chinese cabbage | |

상당량 결합했으므로 본 실험에서 높은 Fe 결합력을 나타낸 채소들을 다량 섭취 할 경우 섭취된 철의 상당 부분이 이들 채소의 식이섬유에 결합하여, 철분과 식이섬유의 결합을 저해하는 여러 인자들(시트르산, 아미노산)에 의해 철분이 유리되지 않는다면, 철분의 흡수, 이용이 저하될 가능성이 있을 것으로 사료된다. 그러나 본 실험은 *in vitro* 실험으로서 이상의 결과를 인체에 직접적으로 적용시키는데 무리가 있다고 생각되므로 앞으로 *in vivo* 실험이 병행되어야 할 필요가 있다. 또한 식이섬유의 철분결합력은 식이섬유 각 구성성분들의 함량비, 구조 및 특성에 의해 영향을 받을 것으로 생각되므로 더욱 자세한 연구가 필요할 것으로 사료된다.

2. pH에 따른 철분결합력의 변화

우리 소화관내에서는 소화과정 중 강산에서 거의 중성에 이르기까지 매우 큰 pH 변화가 일어난다^{18,19)}, 일반적으로 강산 상태에서는 식이섬유와 Fe이 거의 결합하지 않는 것으로 보고²⁰⁾되고 있으므로 pH에 따른 식이섬유의 Fe 결합력의 변화를 pH 5, pH 6, pH 7의 범위에서 살펴보았다.

식이섬유와 Fe과의 결합에 관한 연구에서는 Fe의 안

정성이 매우 중요하다. 용액내의 Fe은 pH가 7.0에 가깝거나 넘으면 2가의 Fe이 용해성이 낮은 hydroxide를 형성하게 되며 물과 산소 존재 하에서는 극히 낮은 용해성을 가진 hydroxide와 철산화물로 변화되어진다¹⁹⁾. 그러나, 최근 우리 나라에서 보고된 몇몇 문헌^{21,22)}들은 Fe의 안정성을 전혀 고려하지 않았다. 즉 이 등²⁰⁾과 우 등²²⁾은 각각 쌀겨 식이섬유 및 울무겨 식이섬유의 철분과의 결합력에 관한 연구에서 식이섬유를 포함한 완충 용액에 최초로 첨가된 Fe 농도에서 진탕 후 용액에 남아있는 Fe 농도를 뺀 것을 식이섬유와 Fe과의 결합량으로 계산하였다. 이러한 문제를 해결하기 위해 본 실험에서는 최초로 첨가된 Fe 농도와 control tube의 Fe 농도와의 차이를 침전된 Fe 양으로 하였다.

각 pH에 따른 Fe hydroxide의 형성 정도는 Table 3과 같다. pH가 증가함에 따라 침전율이 증가하였는데 Fe은 각각 10.07, 14.11, 14.20%로 나타났다. 그러므로 본 실험 결과 첨가되는 Fe의 10% 이상이 식이섬유와의 결합과는 무관하게 침전되는 것을 알 수 있었다.

pH 변화에 따른 식이섬유와 Fe과의 결합력은 Table 4와 같다. 표에서 보는바와 같이 식이섬유에 의한 Fe 결합력은 pH가 증가함에 따라서 증가하였으며 pH 7에서 최대 값을 나타내었다. 이상의 결과로부터, 식이섬유에 의한 Fe 결합력은 pH 의존적임을 알 수 있었다. 본 실험 결과와 유사한 경향이 쌀겨의 식이섬유에 대해 연구한 이 등²¹⁾의 보고에서 나타났는데, 그들의 보고에 따르면 pH 5.0과 7.0 사이에서 NDF와 Fe의 결합력이 48.98%로서 최대가 되었다고 하였다. 그러나 Berner 등²³⁾은 sodium alginate를 사용하였을

때, 반대의 현상을 보고하였으며 우 등²²⁾은 울무겨의 식이섬유에 대해서 연구하였는데, ADF와 Fe과의 결합력은 pH 5.0~7.0 범위에서 측정된 결과 pH 5.0에서 가장 높았으나 총식이섬유의 경우는 철분과의 결합에 있어서 pH의 변화에 거의 영향을 받지 않았다고 하였다. 이상의 결과로부터 pH에 따른 식이섬유의 Fe 결합력은 식이섬유의 종류, 식이섬유 추출법 등에 따라 차이가 있음을 알 수 있다.

Roger 등¹³⁾은 그들의 연구에서 pH가 증가함에 따라 mucilage와 lignin의 Fe 결합력이 증가하는 원인에 대해 pH의 증가가 이들 식이섬유의 potential binding site를 활성화시키는 경향이 있는 것 같다고 추측하였다. pH가 증가함에 따라 Fe 결합력이 증가하는 현상은 앞으로 자세한 연구가 필요할 것으로 사료되나 Glucuronic acid의 carboxyl기는 pH 7 부근에서 이온화되는 것으로 보고되고 있으므로²⁴⁾ 본 실험결과 pH 7에서 Fe와 식이섬유의 결합력이 최대가 된 것은 NDF의 성분중 특히 헤미셀룰로오스의 주 구성성분 중의 하나인 glucuronic acid에서 proton의 해리가 촉진되어 Fe가 더욱 많이 결합된 것으로 사료된다. 그러나 다른 uronic acid의 carboxyl기 및 당류의 hydroxyl기로부터 proton이 해리될 수 있으므로 이들 성분이 관여했을 가능성도 배제할 수 없을 것으로 사료된다.

3. Fe 농도에 따른 Fe 결합력의 변화

일정한 조건下에서 일정한 양의 식이섬유에 Fe의

Table 3. Precipitation percentage of Fe according to pH variation (%)

	pH 5	pH 6	pH 7
Fe	10.07±0.21 ¹⁾	14.11±0.20	14.20±0.19

¹⁾ Mean ± S.D.

Table 4. Effect of pH on Fe binding capacity of neutral detergent fiber of some vegetables (% bound)

	20 µg Fe/15 mg NDF		
	pH 5	pH 6	pH 7
Chinese cabbage	58.31±0.31 ^a	60.50±0.27 ^{ab}	65.11±0.16 ^b
Radish	62.35±0.57 ^{a*}	67.42±0.49 ^b	70.51±0.21 ^c
Welsh onion, large	43.20±0.19 ^a	48.31±0.11 ^b	53.72±0.61 ^c
Green pepper	56.73±0.11 ^a	61.60±0.12 ^b	66.23±0.31 ^c

Mean ± S.D.

*Means followed by same letter are not significantly different at the 5% level.

Table 5. Effect of Fe concentration on Fe binding capacity of neutral detergent fiber of vegetables (µg/g NDF)

Fe	1 ppm*	2 ppm*	3 ppm*
Chives	207± 8.1 ¹⁾	653±4.8	1047±3.9
Cabbage	233± 1.4	753±9.2	1180±5.1
Dried red pepper	187± 6.0	627±5.7	927±2.0
Leaf lettuce	380±11.1	960±3.8	1487±5.2
Water dropwort	293± 7.0	933±6.2	1240±3.1
Pepper leaf	387± 2.0	953±2.1	1287±0.8
Kwari pepper	260± 6.2	747±3.0	1187±4.4
Green pepper	227± 0.4	707±4.5	1040±5.9
Welsh onion, small	160± 4.0	673±2.9	1013±4.5
Radish	200± 6.2	773±5.0	973±8.0
Radish leaf	247± 5.4	680±4.0	1120±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	980±5.9	1400±1.9
Chinese cabbage	273± 2.0	693±2.3	1007±3.2

¹⁾ Mean ± S.D.

*1,2,3 ppm are Fe concentration in ml test pH 6 buffer solution with 1.5 mg NDF.

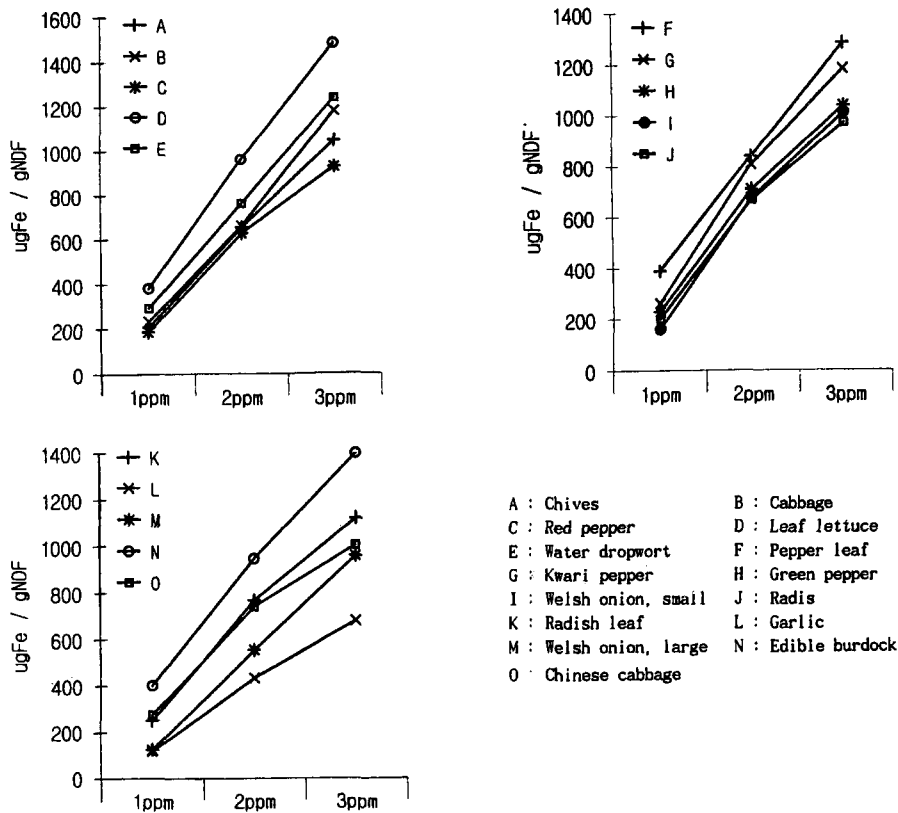


Fig. 2. Effect of Fe concentration on Fe binding capacity of neutral detergent fiber of vegetables, at pH6 buffer solution.

농도를 달리 첨가하여 식이섬유와 Fe과의 결합력을 측정할 결과, 식이섬유의 Fe 결합력은 모든 시료에서 Fe 농도가 증가할수록 증가하였다($p < 0.05$)(Table 5).

그러나 시료의 종류에 따라서 농도의 변화에 의한 결합력의 증가폭이 서로 다르게 나타났는데 농도가 증가함에 따라 결합량이 가장 큰 폭으로 증가한 시료는 상치였고, 가장 적게 나타난 것은 마늘이었다. 실험에 사용된 농도 전반에 걸쳐 결합된 철분의 증가율이 대체로 직선모양으로 나타났는데(Fig. 2) 이러한 결과는 Reinhold¹⁹⁾의 보고와 일치하고 있다.

본 실험결과, 식이섬유의 철분결합력은 Fe 농도가 증가함에 따라 증가하였는데 이와 같은 결과로 미루어 볼 때, 본 실험에서 사용된 식이섬유와 Fe의 농도 비율 범위에서는 Fe의 농도를 증가 시켜도 Fe 흡수를 저해하는 식이섬유의 작용이 제거되지 않았으므로 체내에서의 Fe 이용률을 고려해 볼 때 Fe의 급원이 되는 식품들을 한번에 다량 섭취하는 것보다는 소량씩 자주 섭취하는 것이 바람직하다고 생각된다.

IV. 요약

한국인 상용채소로부터 추출한 식이섬유는 철분과 결합하였으며 결합량은 채소의 종류에 따라 차이가 있었는데 37.83~85.51%로서 대부분은 50% 이상 결합하였다. 식이섬유의 철분결합력은 pH가 증가함에 따라 증가했으며 pH 7에서 최대 값을 나타내었다. 식이섬유에 결합된 철분의 양은 철분의 농도가 증가함에 따라 증가했으며 농도에 따른 증가폭은 채소종류에 따라 다양했다. 본 실험결과 한국인 상용 채소의 식이섬유가 철분과 상당량 결합하였으므로 특히 철분과의 결합력이 높은 채소들을 다량 섭취할 경우 철분의 흡수 문제가 야기될 가능성이 있다고 생각된다. 또한 채소의 종류에 따라 철분결합력에 상당한 차이가 있다는 것을 알았는데 한국에서 모든 부식의 양념 재료로 쓰이는 마늘과 파는 철분결합력이 다른 채소들에 비해 낮은 것으로 나타났다. 한편 식이섬유의 철분과의 결합력은 철분의 농도를 증가시킬수록 계속 증가하였

는데 본 실험에 사용된 식이섬유와 철분의 농도 비율 범위는 한국인의 섭취량에 기준을 두고 설정된 것으로, 본 실험결과 철분의 농도를 증가시켜도 철분 흡수를 저해하는 식이섬유의 작용이 감소되지 않고 오히려 증가했다. 그러므로 체내에서의 철분 이용률을 고려해 볼 때 본 실험에 사용된 식이섬유와 철분의 농도 비율 범위에서는 철분의 급원이 되는 식품을 한번에 다량 섭취하는 것보다는 소량씩 자주 섭취하는 것이 바람직할 것으로 생각되나 체내에서의 연구가 뒷받침되어야 할 것으로 생각된다. 특히 철의 경우 그 항상성은 배설능력의 제한성에 의해 소장의 흡수정도로써 조절되므로 철 흡수이용의 장애인자인 섬유소의 작용은 중요하며 전세계적으로 20% 이상의 인구가 Fe 결핍성 빈혈상태이고⁸⁾ 특히 서구 선진국들의 섬유소 섭취량의 3~4배 이상 섭취하는 한국인들의 Fe 섭취 형태가 90% 이상 식물성 식품에서 얻는다는 보고²⁵⁾를 볼 때 채소식이섬유의 철분결합은 빈혈질환의 원인분석의 일환으로 중요하리라 생각된다. 그러나 본 실험은 *in vitro* 실험으로서 이상의 결과를 인체에 직접적으로 적용시키는 데는 무리가 있다고 생각되므로 앞으로 *in vivo* 실험이 병행되어야 할 것으로 사료된다.

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, hypog-onadism 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).
- 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).
- 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 철분흡수 억제에 미치는 영향. *한국영양학회지*, **18**(2): 115 (1985).
- Harper, H.A.: Review of physiological chemistry, 15th ed., Lange Publishing Co., Los Altos, CA. p.231 (1975).
- Sturkie, P.D.: "Avian physiology," 2nd ed., Cornell Univ. Press, Ithaca, NY., p.301 (1965).
- 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).
- 이희자, 변시명, 김형수: 현미와 백미의 식이섬유에 관한 연구. *한국식품과학회지*, **20**(4): 576 (1988).
- 우자원: 울무와 영주의 단백질, 지방 및 식이섬유의 이화학적 특성연구. 연세대학교 대학원 박사학위논문 (1989).
- Berner, L.A. and Hood, L.F.: Iron binding by sodium alginate. *J. Food Sci.*, **48**: 755 (1983).
- Lehninger, A.L.: Principle of Biochemistry, WORTH PUBLISHERS, INC. New York., p.296 (1982).
- 정혜경, 김숙희: 한국의 도시민권지역과 농촌의 영양 섭취 실태. *한국영양학회지*, **15**(4) (1982).

(1997년 10월 1일 접수)