

Dietary Fiber 가 흰쥐의 철분흡수억제에 미치는 영향

李 名 璦・昇 正 子

숙명여자대학교 가정대학 식품영양학과

The Inhibitory Effect of Dietary Fiber on Iron Absorption in Growing Rats

Myoung Sook Lee · Chong Ja Sung

Dept. of Food Science & Nutrition, Sook Myung Women's Univ.

= ABSTRACT =

This study was undertaken to make comparative study on the effect of kinds(Cellulose, Agar) & contents(2.5%, 5%, 10%) of the dietary fiber with the normal Fe intakes(66ppm) on the Fe metabolism in rats during the four weeks of growth period. Sixty-four male rats of wistar strain weighing $76.2 \pm 2.5g$ were randomly designed to one of the 8 groups. All the groups received basal diet with 9% casein and no ascorbic acid. The results obtained are summarized following

- 1) Feed consumption per 100g b.w. & body weight gain in normal Fe intake groups tended to be higher than Fe deficient groups, but, there was no significant difference among the 8 groups.

However, body weight gain & feed consumption in cellulose groups were significantly higher than agar groups in all the levels tested. ($P < 0.01$).

- 2) Fecal Fe excretion per 100g b.w. increased significantly with increase in dietary fiber during the four weeks, but there was no significant increase in fecal weight per 100g b.w. & urinary Fe excretion.

- 3) Hemoglobin concentration & hematocrit decreased slightly in SFe-10% up with SFe-C group after fourth weeks, but, the difference was not significant.

- 4) In cellulose groups, serum-Fe remarkably decreased & TIBC increased with increase in the levels of cellulose during the fourth weeks. In agar groups, serum-Fe & TIBC tended to decrease with increased dietary fiber intake. Therefore, at high intakes of both fibers, the levels of transferrin saturation were similar to that of DFe group.

- 5) Contents of Fe in liver, kidney & spleen increased significantly only in 10% agar diet. The remaining 7 groups did not differ significantly. It may imply agar affect in Fe utilization from storage in rats.

In conclusion, inhibitory effect of dietary fiber on Fe absorption depended upon the kinds & level of consumption. Results from the present study shows the effects of purified dietary fiber on Fe absorption in gastrointestinal tract and it may be different from those of dietary fibers consumed as a part of complex diet.

접수일자: 1985년 5월 17일

서 론

미량 원소중 Fe 대사의 특징은 거의 특이계열내에서 반응하며, 정상조건에서 섭취된 Fe의 흡수율은 10% 정도로 매우 낮고 뇨중 배설량이 극히 적으므로 생체내에서 계속적인 재배달 회로를 갖는 것이다¹⁾. 즉 Fe의 항상성은 배설능력의 제한성에 의해 소장의 흡수정도로써 조절되므로 Fe 흡수이용 장애인자로 알려진 phytate²⁾, oxalate³⁾ tannin⁴⁾, egg⁵⁾, Ca와 P의 식이함량비율⁶⁾, lactose, sucrose, glucose, starch 등의 당질함량⁷⁾과 dietary fiber 등의 기전연구가 활발히 진행되어 왔다.

1820년대 영양학적으로 가치없는 물질로 정의되었던 dietary fiber는 최근, 혈중 Triglycerides와 cholesterol의 농도를 저하시키는 역할로 심장 및 순환기계 질환의 예방⁸⁾, glucose homeostasis의 기능⁹⁾, GI tract에 대한 기능¹⁰⁾ 등 생체내 유용한 측면으로 잘 알려져 있다. 그러나 영양소와 보조인자들에 대한 흡수 방해 작용에 관한 연구는 1963년, 인도북부와 멕시코 지역에서 Fe 20mg/day 이상 과잉섭취에도 불구하고 생식선 부전 위축증(Hypogonadal Dwarfism)¹⁷⁾과 Fe 결핍성 빈혈(Iron Deficiency Anemia)¹²⁾이 유행하여 거주민들의 식이조성을 조사한 결과, 과량의 fiber 섭취가 지적되면서 본격화되었다.

한동안, 밀기울에 함유된 phytates가 Fe 흡수억제요인으로 알려졌으나¹³⁾¹⁴⁾, endogeneous phytase나 산 추출방법으로 phytates를 제거한 밀기울(dephgtnized bran)이 Fe 배설을 감소시키지 못함으로써 결국 phytate가설이 부정되었으며¹⁵⁾¹⁶⁾¹⁷⁾, 좀더 다른 요인으로서 wheat starch, amino acid 조성, 다른 종류의 fiber 등의 연구가 진전되게 되었다. 그후, Bremner¹⁸⁾, Bjorn-Rasmussen¹⁹⁾, Cummings²⁰⁾, Reinhold 등²¹⁾은 소장에서 흡수되지 않는 fiber와 2가 ion 흡착에 관한 연구에서 흡수억제에 대한 연구결과를 보여 주었다. 이때, 영양학적 측면에서 중요한 점은 fiber의 mineral 흡수 저해작용은 식이내 무기질의 함량증가로써 저지할 수 없다는 것이다.

본 연구에서는 정상 Fe 섭취상태(66ppm)에서 정제 fiber인 cellulose와 Agar 2.5%를 대조군으로 하고 이들을 5%, 10%로 식이에 증가시켜 섭취시켰을때 4주 동안의 흰쥐의 성장과정과 Hb, Hct, Serum-Fe, TIBC Transferrin saturation %, Fe 배설 및 저장철 농도를 측정하여 Fe 결핍군(6ppm)과 비교함으로써 fiber의 물리화학적 기능이 전반적으로 Fe 대사에 미치는 영향

을 보고자 하였다.

이는 개발도상국을 비롯한 전세계 20% 이상의 인구가 Fe 결핍성 빈혈상태²²⁾이며 특히 서구 선진국들의 fiber 섭취량의 3~4 배이상 섭취하는 한국인들의 Fe 섭취 형태가 90% 이상 식물성 식품에서 얻는다는 보고²³⁾들을 볼 때 빈혈질환의 원인분석의 일환으로 중요하리라 생각된다.

실험재료 및 방법

본 실험은 1984년 7월 21일 부터 9월 30일에 걸쳐 실시하였다.

1) 실험동물의 사육

젓펜 Wistar 중 수컷 흰쥐 64마리를 정상조건에서 Individual stainless metabolic cage (Okazaki Sanyo Co., MR-10L 15, Japan)에 각각 2마리씩 5일간 9% casein basal diet로 적응 사육시킨 후 평균체중이 76.2±2.5g인 쥐들을 체중에 따라 Randomized complete block design으로 8마리씩 8군으로 나누어 4주간 Table 1과 같은 식이로 사육하였다. 물론 체중류수로 식이와 함께 ad libitum으로 섭취하도록 하고 사용된 쥐장 및 모든 기구는 0.4% EDTA로 세척하여 무기질 오염을 방지하였다.

2) 식이조성

Table 1에 나타난 8군의 실험식은 정상 fiber 섭취수준인 2.5% 상태에서 Fe standard 66ppm과 deficient 6ppm으로 달리한 4군을 control group으로 하고, 나머지 4군은 정상 Fe 요구량으로 균일하게 한 상태에서 fiber를 5%, 10%로 증가시킨 experimental group이다. Fiber의 급원은 화학적 구조의 영향을 고려하여 carboxyl기와 sulfate-ester group을 소유한 수용성인 Agar와 N.D.F(Neutral defergent fiber)로 불수용성인 cellulose를 선택하였고 fiber가 증가된 양만큼 Basal diet의 corn starch와 대체시켰다²⁴⁾. 또한 Fe 흡수에 영향을 줄수있는 단백질은 9%로 제한하고, ascorbic acid는 제외시켰다. Casein은 15% EDTA로 무기질 제거과정을 거쳐 사용하였고 Fe수준은 mineral Mix.의 ferric citrate로 조정하였다²⁵⁾.

3) 영양 생화학적 측정

(1) 성장 실험

매주 한번씩 같은 시간에 쥐의 체중을 측정하여 체중증가량(body weight gain)을 계산하고, 성장에 의

Table 1. Composition of experimental diets

Experimental groups		Level of Ingredients added							
		Control groups				Experimental groups			
		SFe-C 2.5% Cel.	SFe-C 2.5% Ag.	DFe-C 2.5% Cel.	DFe-C 2.5% Ag.	SFe-5% 5% Cel.	SFe-10% 10% Cel.	SF-5% 5% Ag.	SFe-10% 10% Ag.
Fe ¹⁾	mg/kg	66.0	66.0	6.0	6.0	66.0	66.0	66.0	66.0
Fiber source									
cellulose ²⁾		2.5	.	2.5	.	5.0	10.0	.	.
Agar ³⁾		.	2.5	.	2.5	.	.	5.0	10.0
Constarch ⁴⁾	%	57.5	57.5	57.5	57.5	55.0	50.0	55.0	50.0
Casein ⁵⁾	%	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0
Sucrose	%	22.0	22.0	22.0	22.0	22.0	22.0	22.0	22.0
Corn-oil	%	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0
Mineral mix. ⁶⁾	%	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0
Vitamin mix. ⁷⁾	%	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	4.0	1.0	1.0
		100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

SFe-C (standard Fe, 2.5% fiber; control diets) SFe-5% (standard Fe, 5.0% fiber)
 DFe-C (deficient Fe, 2.5% fiber; control diets) SFe-10% (standard Fe, 10.0% fiber)
 Cel (Cellulose) Ag (Agar)

- 1) Ferric citrate·6H₂O, level of 66ppm & 6ppm were determined upon the National Research Council, Washington (NRC).
- 2) Alpha-Cellulose, Sigma, Chem. Co., U.S.A.
- 3) Agar powder, Junsei, Chem. Co., Japan
- 4) The following percent of cornstarch were substituted at the different levels for an equal weight of Dietary fiber.
- 5) Junsei, Chem. Co., Japan.
- 6) g/kg mineral mixture: CaCO₃, 300.0; K₂HPO₄, 322.5; MgSO₄·7H₂O, 102.0; Ca (H₂PO₄)₂·2H₂O, 75.0; NaCl, 167.5; FeC₂H₃O₇·6H₂O, 2; KI, 0.8; ZnCl₂, 1.6; CuSO₄·5H₂O, 0.59; MnSO₄·H₂O, 5.0.
- 7) 1. Vit. A,D. Mix. (mg/ml corn-oil): Vit. A, 0.1; Vit. D, 0.01.
 2. Vit. E,K. Mix. (g/2ml corn-oil): Vit. E, 5.0; menadion, 0.2.
 3. Water-Soluble Vit. Mix. (mg/kg diet): Choline chloride, 200; Thiamine hydrochloride, 10.0, Riboflavin, 20.0; Nicotinic acid, 120.0; Pyridoxine, 10.0; Calcium pantothenate, 100.0; Biotin, 0.05; Folic acid, 4.0, Inositol, 500.0; Para-aminobenzoic acid, 100.0.
 4. Vit B₁₂ Solution; Vit. B₁₂ 5mg/500ml deionized water.

한 사료섭취량의 증가를 고려하여 매일 측정된 사료섭취량 (Feed Intake) 을 체중 100g 당 섭취량으로 환산하였으며 단위식이 섭취량에 대한 체중 증가량 즉 사료효율 (Feed efficiency ratio) 을 계산하였다.

(2) 변, 뇨 및 각종 장기의 Fe 함량 분석

① 시료의 분해; 매주 같은 시간에 채취한 변과 4주 후 희생시켜 해부한 간, 신장, 비장은 중량측정후 -20℃에 보관하였다가 105±5℃ drying oven 에서 완전 건조후 1g 을 건식회화시키고 뇨는 매주 같은 시간에 채취하여 1ml 를 습식회화시켜 100ml 탈이온수로 희석하여 시험용액으로 사용하였다.

② 측정; 전처리된 시험용액을 Thompson-Blanch-flow 법²⁶⁾에 의해 Atomic absorption spectrophotometer 248.3nm에서 정량하였다. Fe 분석에 사용된 모

든 기구는 0.5N HCl 용액에 담근후 탈이온수로 헹구어 완전 건조후 사용하였다.

(3) 혈액 성분 분석법

희생 24시간전 절식시킨 후, ethyl ether 로 마취시켜 cardiac puncture methods로 혈액을 채취하여 Hb, Hct 를 측정하고 20,000 rpm에서 30분간 냉동고속 원심분리시켜 얻은 혈청으로 기타분석에 사용하였다.

① Hematocrit; Microhematocrit 법²⁷⁾에 의해 packed red cell volume 의 백분율을 구한다.

② Hemoglobin; Cyanmethemoglobin 법²⁸⁾으로 Drabkin용액 5ml 에 20μ ml 의 혈액을 가하여 spectrophotometer 545nm에서 비색정량하였다.

③ Serum Fe; 혈청 0.5ml 에 Fe-B-test Kit(Wako, Japan) 의 시약을 이용하여 단백질변성 과정후, Fe 를

Table 2. Feed intake, body weight gain and feed efficiency (FER) of growing rats fed experimental diets supplemented with different levels of Cellulose & Agar during the four weeks

Group Period	Cellulose diets				Agar diets			
	SFe-C	SFe-5%	SFe-10%	DFe-C	SFe-C	SFe-5%	SFe-10%	DFe-C
	Weekly average feed intake (g/100g b.w/day)							
1 Week	22.88 ± 0.68 *	22.39 ± 1.18	21.27 ± 0.45	20.37 ± 1.05	23.25 ± 1.03	20.03 ± 1.81	24.60 ± 2.08	23.42 ± 1.87
2 Week	24.42 ± 0.43	25.69 ± 0.63	24.64 ± 1.40	20.12 ± 0.81	22.04 ± 0.82	23.04 ± 1.73	24.34 ± 1.44	20.06 ± 0.86
3 Week	24.35 ± 0.52	24.20 ± 0.20	24.80 ± 0.96	21.26 ± 1.17	22.04 ± 0.96	23.37 ± 1.76	24.17 ± 0.54	20.56 ± 1.58
4 Week	19.44 ± 0.97 **	20.78 ± 0.58 **	22.50 ± 0.96	20.97 ± 0.82	19.45 ± 1.03	21.97 ± 0.98 *	21.37 ± 0.42 *	19.23 ± 1.88
	Body weight gain (g/week)							
1 Week	10.90 ± 0.37 b ¹⁾	11.95 ± 0.55 b	6.03 ± 0.33 a	4.14 ± 0.24	13.46 ± 0.35 b	6.20 ± 0.48 a	9.48 ± 0.94 a	2.55 ± 0.30
2 Week	15.65 ± 0.65 * b	15.20 ± 0.35 * b	21.35 ± 0.10 ** c	11.85 ± 0.37	21.55 ± 1.05 * c	9.53 ± 0.02 * a	20.40 ± 0.85 ** ab	15.45 ± 0.14
3 Week	38.18 ± 0.98 ** bc	41.88 ± 0.54 ** c	41.95 ± 1.23 ** c	12.78 ± 0.76	32.45 ± 1.04 * b	19.28 ± 0.74 a	37.98 ± 1.29 ** bc	14.73 ± 1.12
4 Week	38.35 ± 1.30 a	47.88 ± 2.42 b	38.30 ± 1.74 a	11.15 ± 1.39	31.33 ± 0.84 a	34.60 ± 1.64 a	31.88 ± 0.91 * a	15.08 ± 1.82
	Feed efficiency ratio (gain/feed)							
1 Week	0.18 ± 0.01 N.S. ²⁾	0.17 ± 0.00	0.18 ± 0.02	0.14 ± 0.01	0.24 ± 0.01	0.14 ± 0.01	0.22 ± 0.02	0.07 ± 0.01
2 Week	0.28 ± 0.01	0.29 ± 0.02	0.23 ± 0.01	0.21 ± 0.00	0.34 ± 0.03	0.19 ± 0.01	0.22 ± 0.01	0.24 ± 0.02
3 Week	0.32 ± 0.01 b ¹⁾	0.32 ± 0.01 * b	0.32 ± 0.01 b	0.21 ± 0.01	0.28 ± 0.02 a	0.24 ± 0.01 * a	0.31 ± 0.02 * a	0.17 ± 0.02
4 Week	0.29 ± 0.01 a	0.33 ± 0.02 b	0.27 ± 0.01 a	0.13 ± 0.03	0.29 ± 0.01 a	0.30 ± 0.02 * a	0.24 ± 0.01 a	0.17 ± 0.02

Mean ± S.E. (FER: Mean ± S.D.). P < 0.05 within the same column by student's t-test.
 * Weekly significant different at P < 0.01 within the same column by student's t-test.
 ** Weekly significant different at P < 0.01 within the horizontal row except Df-C value were significantly different at P < 0.05 by Tukey's test.
 1) Values with different alphabet within the horizontal row except Df-C value were significantly different at P < 0.05 by Tukey's test.
 2) Not significant at P < 0.05 level by Tukey's test.

유리시켜 Fe⁺⁺ 와 Bathophenanthrolin 의 적색반응²⁹⁾으로 spectrophotometer (Hitachi 650~40) 535nm 에서 혈청, Fe standard시약, 증류수의 흡광도를 측정하여 다음과 같이 계산하였다.

$$\text{Serum-Fe 함량} = \frac{(E_S - E_{SB}) - E_B}{(E_T - E_B)} \times 200$$

($\mu\text{g}/100\text{ml}$)

E_S : 검체 (혈청) 흡광도

E_{SB} : 검체 맹검 흡광도

E_B : 시약 맹검 흡광도

E_T : 표준 흡광도

④ TIBC (Total iron binding capacity); Fe - test kit (Wako, Japan) 의 시약을 사용하여 혈청 0.5ml 에 과잉 FeCl₂ 용액을 넣어 transferrin 에 완전포화시킨 후, 잔여 Fe⁺⁺⁺ 를 Magnesium carbonate 에 흡착시켜 원심분리하는 Ramsay methods³⁰⁾ 로서 상청액 0.5ml 에 serum-Fe 방법과 동일하게 하여 다음과 같이 계산하였다.

$$\text{Total iron binding capacity} = \frac{(E_S - E_{SB}) - E_B}{E_T - E_B} \times 800$$

(TIBC: $\mu\text{g}/100\text{ml}$)

E_S : 검체 (상청액) 흡광도

E_{SB} : 검체 맹검 흡광도

E_B : 시약 맹검 흡광도

E_T : 표준 흡광도

⑤ Transferrin saturation % : TIBC 에 대한 serum-Fe 의 백분율이다.

$$\text{Transferrin saturation} = \frac{\text{Serum-Fe} (\mu\text{g}/100\text{ml})}{\text{TIBC} (\mu\text{g}/100\text{ml})} \times 100$$

(%)

4) 통계처리

각 item 에 따라 주간변화는 student's t-test 를 하였고, fiber 함량에 따른 2.5%, 5%, 10% 간에는 F-test 를 하여 증감의 유의적인 차를 보았으며, 전 group 간의 유의성검증은 Tukey's procedure³¹⁾ 을 적용하였다.

실험결과 및 고찰

1) 성장결과 및 동물의관상의 변화

Table 2 에서 보는바와 같이 전반적으로 3주까지 성장이 증가하다가 4주후 정체 혹은 감소하였으며, 식이의 cellulose, Agar 함량수준이 증가할 수록 전체체중

과 사료섭취량이 증가하였으나 사료효율은 서로 다른 양상을 보였다. 이는 water holding capacity 가 높은 fiber 의 함량이 증가할 수록 식이섭취량이 감소한다는 논문³²⁾³³⁾ 과는 대조적으로 fiber 종류나 또는 다른 변수들³⁴⁾ 이 작용할 것으로 생각된다. DFe 군은 SFe군에 비해 최종체중이 60g 이상 미달되는 극심한 성장장애를 보여, Cusack, Standish³⁵⁾³⁶⁾ 의 주장과 일치하였으며, 실험식이 1주동안의 DFe 군은 Fe결핍성 빈혈의 증상인 대변중에 잠혈현상³⁷⁾ 이 나타나다가 2주후 사라졌으나, 점점 약해져서 식이의 Fe수준을 6ppm 으로 4주이상 실험할 경우 사망율이 높을 것으로 보여졌다(이는 4주이상 실시된 예비실험에서 거의 상당수가 죽은 것을 고려한 것임).

2) 변량과 변, 뇨의 Fe 배설 함량

Fiber 섭취수준이 2.5%, 5%, 10%로 증가됨에 따라 건조되기 전과 후의 변무게가 모두 증가하여 Morgan³⁹⁾ Williams & Olmsted 의 주장³⁸⁾ 과 같이 수분뿐만 아니라 다른 고형성분도 증가하였으며, Cellulose, Agar 모두 SFe-10% 군이 fecal-Fe excretion 이 증가하여 Fe 흡수율이 낮음을 보여주었는데, 증가폭은 Agar diets 가 더 크게 나타났다 (Table 3, Fig. 1 참조). 이는 각기 다른 종류의 fiber 10%를 1, 5, 21 주간 섭취시켜 Ca, Fe, Zn, Cu, Mn, Co 의 흡수상태를 조사한 Harmuth-Hoene 의 실험⁴⁰⁾ 에서 Agar 가 Fe 흡수억제 영향력이 제일 크게 나타난 사실과 일치한다. 뇨중의 Fe 배설량도 격주로 증감을 반복하다가 4주째 fiber 함량이 증가할 수록 배설량도 증가하였다.

3) Hb, Hct, Serum-Fe, TIBC, Transferrin saturation

혈액 분석치는 Table 4 에 나타나 있다. Hb 와 Hct 는 fiber 2.5%만이 12~13g/100ml, 40~42% 의 정상수준을 유지하며, SFe-5%, SFe-10% 로 fiber 함량이 증가할 수록 감소하는 경향이 있으나, DFe 군의 빈혈 수준에는 미치지 않았다.

혈액의 Fe 함량수준은 「Fe pool」로써 Fe 화합물의 합성 혹은 재합성의 표본인 serum-Fe 와 이용가능한 Fe 의 척도인 Transferrin saturation 으로 알수 있었는데, Fig. 2 에서 보는바와 같이 DFe-C 군은 SFe-C 군에 비해 serum-Fe 와 Transferrin saturation 이 현저히 저하되어 Cusack 의 결과³⁵⁾ 와 일치하며 cellulose 군은 식이 cellulose 함량이 증가할 수록 serum-Fe 는 감소하고 TIBC 와 UIBC 가 증가한 반면, Agar 군은 serum-Fe 와 TIBC 가 동시에 감소하여 빈혈척도의 원

Table 3. Fecal weight, iron contents of feces and urine during the experimental period in growing rats

Group	Cellulose diets				Agar diets			
	SFe-C	SFe-5%	SFe-10%	DFe-C	SFe-C	SFe-5%	SFe-10%	DFe-C
	Fecal weight (g/100g b.w)							
1 Week	1.18±0.05 [#] a	2.44±0.05 c	3.11±0.19 d	1.28±0.07	1.43±0.07 ab	1.96±0.10 b	2.14±0.24 bc	1.26±0.06
2 Week	1.32±0.07 ^{**} a	2.89±0.05 [*] bc	3.33±0.18 [*] c	1.35±0.07	1.73±0.07 [*] ab	2.48±0.15 ^{**} bc	4.95±0.35 ^{**} d	1.36±0.07 [*]
3 Week	1.33±0.08 a	2.64±0.13 c	3.43±0.19 d	1.32±0.08	1.36±0.09 [*] b	2.49±0.15 b	4.71±0.20 e	1.33±0.07
4 Week	1.15±0.08 a	2.17±0.07 ^{**} bc	2.99±0.23 [*] c	1.22±0.05 [*]	1.19±0.10 [*] a	2.14±0.12 [*] b	3.95±0.29 d	1.24±0.06 [*]
	Iron contents of (mg/kg)							
1 Week	2.24±0.07 a ¹⁾	1.86±0.12 a	2.41±0.14 a	1.43±0.09	2.81±0.12 a	3.03±0.09 a	6.46±0.16 b	2.08±0.17
2 Week	3.11±0.20 N.S. ²⁾	2.41±0.08	3.07±0.14 ^{**}	1.68±0.08	3.14±0.02	3.82±0.09 ^{**}	7.94±0.19	2.35±0.20
3 Week	3.61±0.12 a	2.51±0.14 ab	3.22±0.18 ab	2.29±0.07	3.37±0.04 ab	4.64±0.27 b	10.07±0.41 ^{**} c	2.39±0.12
4 Week	4.27±0.09 a	4.37±0.19 a	6.12±0.38 ab	3.62±0.26 [*]	4.42±0.01 a	6.83±0.39 b	12.64±0.26 [*] c	3.39±0.10
	Iron contents of urine (mg/kg)							
1 Week	0.71±0.06 N.S. ²⁾	0.73±0.02	0.67±0.04	0.71±0.00	0.63±0.09	0.58±0.04	0.69±0.03	0.72±0.05
2 Week	0.50±0.06 a ¹⁾	1.03±0.07 a ¹⁾	0.82±0.09 b	0.89±0.04	0.19±0.11 [*] c	0.48±0.06 a	0.82±0.07 b	0.46±0.04
3 Week	0.76±0.07 ab	0.58±0.05 ab	0.60±0.06 a	0.72±0.06	0.51±0.03 [*] a	0.82±0.09 b	0.63±0.10 a	0.68±0.01
4 Week	2.22±0.24 ^{**} b	2.36±0.24 b	0.23±0.23 ^{**} c	1.17±0.10 [*]	1.29±0.22 [*] a	1.72±0.08 [*] ab	2.39±0.22 ^{**} bc	1.00±0.09 [*]

Mean±S.E.

* Weekly significant different at P<0.05 within the same column by Student's t-test.

** Weekly significant different at P<0.01 within the same column by Student's t-test.

1) Values with different alphabet within the horizontal row except DFe-C value were significantly different at P<0.05 by Tukey's test.

2) Not significant.

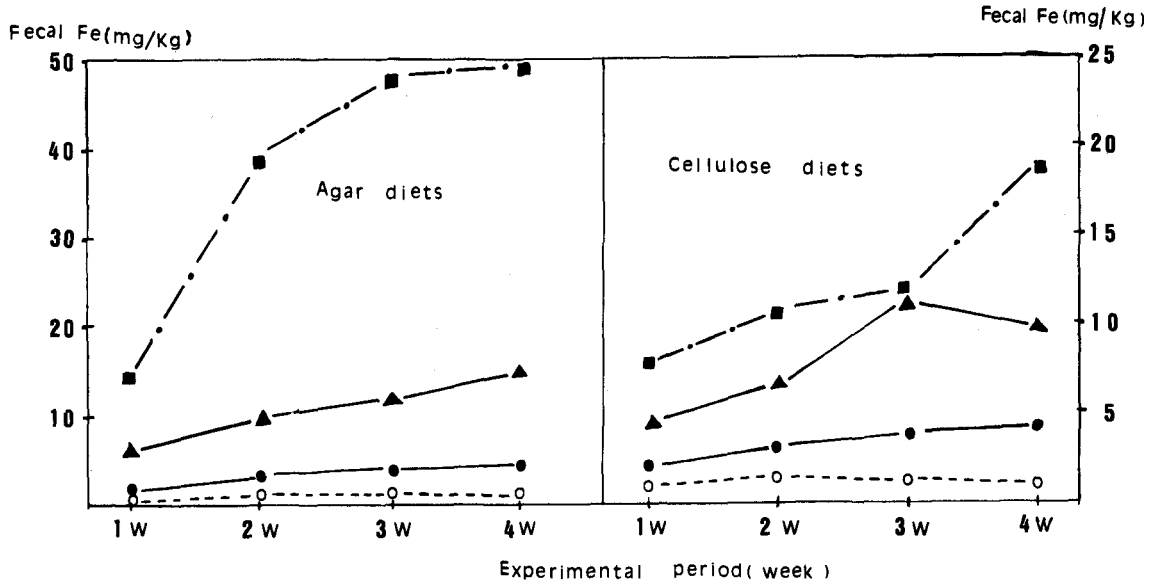


Fig. 1. Effect of fiber on total fecal Fe excretion during the experimental period

●—● : SFe-C diets, (Fiber 2.5%, Fe 66ppm) ○---○ : DFe-C diets, (Fiber 2.5%, Fe 6ppm)
 ▲—▲ : SFe-5% diets (Fiber 5%, Fe 66ppm) ■---■ : SFe-10% diets, (Fiber 10%, Fe 66ppm)

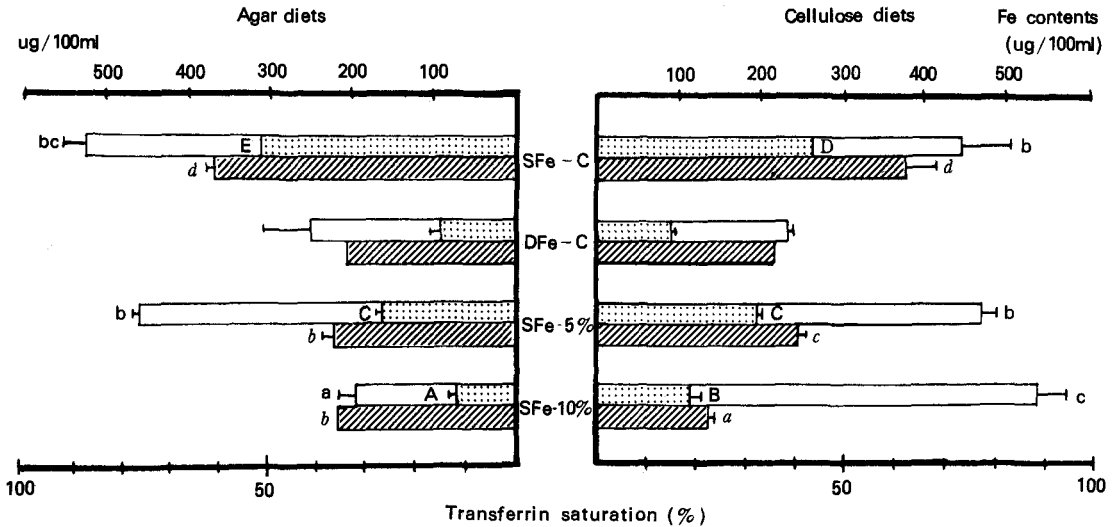


Fig. 2. Effect of fiber on Serum-Fe, TIBC, Transferrin saturation in rats. ; [stippled]: TIBC, [hatched]: Serum-Fe, [hatched]: Transferrin saturation. Data are given mean±SD. Values in the same experimental period not sharing superscripts are significantly different at $P < 0.05$ by Tukey's test without DFe-C value.

Table 4. Effect of dietary fiber on Ht, Hb, Serum-Fe, TIBC and transferrin saturation in rat

	Cellulose diets				Agar diets			
	SFe-C	SFe-5%	SFe-10%	DFe-C	SFe-C	SFe-5%	SFe-10%	DFe-C
Hematocrit, %	40.95±0.29 a ¹⁾	38.50±0.04 a	36.63±0.45 a	31.10±0.22	42.08±0.680 b	40.10±0.88a	39.95±0.38 a	34.48±0.27
Hemoglobin, g/100ml	12.58±0.12 N.S. ²⁾	12.63±0.93	12.03±0.78	6.50±0.03	12.90±0.16	12.60±0.74	11.20±0.24	88.90±0.59
Serum-Fe, ug/100ml	252.69±1.23 d	182.33±4.31 c	104.12±2.50 b	81.36±1.75	311.11±4.61 e	165.30±4.19c	71.24±2.42 a	81.32±8.34
Total iron-binding Capacity, ug/100ml	441.47±29.30 b	467.68±5.36 b	530.30±14.52c	236.87±1.26	521.21±1190 c	461.13±4.29b	197.30±10.70 a	249.50±28.86
Transferrin Saturation, %	61.37±3.91 d	39.02±0.94 c	21.43±0.65 a	34.31±0.29	60.07±0.94 d	35.98±1.09b	36.10±0.70 b	33.72±0.91

1) Values with different alphabet within the horizontal row except DF-C value were significantly different at $P < 0.05$ by Tukey's test.
 2) Not significant.

인분석에는 서로 다른 양상을 보이나²²⁾, cellulose, Ager SFe-C군의 Transferrin saturation이 61.37%와 60.07%인데 반해, SFe-10%일 경우 21.43%와 36.01%로 현저히 저하되어 DFe의 수치에 이르러 결국, fiber 5%, 10% 모두가 현저한 Fe결핍증세를 보였다.

4) 간, 신장, 비장의 Fe 함량

DFe-C군과 SFe-C군간의 비교에서는 Fe수준이 증가할수록 간, 신장의 조직내 Fe 농도가 증가하지만, Table 5에서와 같이 전 group간의 비교에서는 Agar 10%만이, 간, 비장에서 유의적으로 증가된 축적량을 보여 Serum-Fe가 감소된 것과는 상반된 현상을 나타냈다. 이러한 실험결과는 첫째, 혈청내 Transferrin saturation이 fiber 함량의 증가에 따라 낮아진 것을 고려한다면 fiber가 Fe 이용성을 저하시켜 축적상태가 누적된 것으로 볼수 있으나, 4주라는 실험기간으로 판단하기는 어려우며 둘째, Conrad의 이론⁴¹⁾에 근거하여 9% casein식이(저단백식이)가 erythropoiesis의 현저한 감소를 초래하여 Hb형성과 Transferrin saturation을 제한하여 결과적으로 간의 Fe 흡수를 촉진시켰을 가능성이 있는 것으로 보인다. 이와같은 원인으로 fiber가 Serum-Fe의 Transferrin binding Fe를 감소 시킴으로써 저장 Fe의 이용율을 저하시킨것으로 생각된다.

본 실험에서는 정제 fiber를 사용하여 Fe 흡착배설 기전을 살펴보고자 하였는데 Methylcellulose에 의한 Zn 흡착력이 carboxylation에 의해 증가한다는 Land 등의 보고⁴²⁾에서 carboxyl기가 ion-exchange과정에서 hydroxyl group과 유사한 기능을 갖고 있음을 알 수 있으며, acidic sugar group(mannuronic acid or glucuronic acid)을 갖는 fiber는 cation-binding capacity의 기능이 있는 것으로 보아지며, 본 실험의 Agar 또한 agarose(β -6-galactose)와 agarpectin(galactose agarose의 sulfate-ester group와 glucuronic acid)으로 구성되어 neutral polysaccharides사이의 전체의 5~10% 정도의 S-S결합이 2가 ion을 흡착하여 흡수를 저해하는 것으로 보인다.⁴⁰⁾⁴³⁾⁴⁴⁾

즉, 첫째, hydroxyl group와 같은 ion-exchange group의 함유로 생체내 이용불가능한 Fe를 형성하며(Unavailable iron),

둘째, polysaccharides gel의 점액성에 의한 확산항의 비특이적인 감소현상이 일어나며,

셋째, Gel filtration으로 인하여 다당류의 기공내 담속이온의 침착현상의 발생과

Table 5. Effect of dietary fiber on the levels of iron in liver, kidney and spleen in rat (mg/kg)

Group	Cellulose diets				Agar diets			
	SFe-C	SFe-5%	SFe-10%	DFe-C	SFe-C	SFe-5%	SFe-10%	DFe-C
Liver-Fe	3.09±0.19#	a) 2.41±0.15 a	3.06±0.48 a	0.88±0.29	2.59±0.18 a	3.02±0.44 a	4.78±0.28 b	1.23±0.09
Kidney-Fe	2.18±0.13 N.S. ²⁾	1.45±0.17	2.19±0.07	0.75±0.17	2.36±0.27	1.85±0.16	2.35±0.15	0.44±0.13
Spleen-Fe	1.88±0.14	a 1.96±0.15 a	1.74±0.11 a	1.59±0.07	1.75±0.78 a	1.63±0.16 a	2.30±0.14 b	1.15±0.08

Mean±S.D.

1) Values within the horizontal row except DFe-C value were not by the same letter different at P<0.05 by Tukey's test.

2) Not significant at P<0.05 level by Tukey's test.

넷째, 장 (gut) 의 통과시간 단축으로 소화액과 함께 분비되는 내생무기질의 재흡수 혹은 식이무기질의 정상흡수를 저해하며,

다섯째, 내생무기질 분비물 (endogeneous mineral secretion) 의 총량증가와 극미량원소를 함유하는 microbial cell mass가 gut wall secretion시 손실되는 것. 등으로 해석되어진다.

요약 및 제언

1) 3주까지 fiber 함량이 증가할 수록 체중 100g 당 사료섭취량, 사료효율이 증가하다가 4주후 SFe-10% 군이 유의적으로 감소하였고, Agar 군보다 cellulose 군의 성장결과가 좋은 편이다. DFe-C군은 SFe-C 군에 비해 최종체중이 60g 이상 미달되었고, 사료섭취량, 사료효율의 저하와 실험식이 1주동안 대변중의 잠혈현상이 나타났다.

2) 4주동안의 변량 (g/100g b.w.) 과 변, 뇨중의 Fe 배설량은 fiber 함량이 증가할수록 계속 증가하였는데, Agar SFe-10% 군의 Fe 배설량이 cellulose SFe-10% 군보다 현저히 증가하였다.

3) 혈액조사에서 Hb와 Hct는 fiber 함량이 증가할수록 감소하였으나, DFe-C군의 빈혈수치에는 미치지 않았으며, Serum-Fe 농도는 SFe-C에 비해 fiber 함량이 증가할수록 유의적으로 감소하였고, Transferrin saturation%도 cellulose, Agar SFe-10% 군 모두가 DFe-C군보다 감소 혹은 유사한 결과로써 현저한 Fe 결핍상태에 이르렀다.

4) 조직내 Fe 농도는 DFe-C군이 SFe-C군보다 간 신장내 Fe 농도가 감소하였고, fiber 함량이 증가할수록 간, 비장의 Fe 농도는 증가하였으나, Agar SFe-10% 군을 제외하고는 차이가 없었다.

전반적으로 SFe-agar 군이 SFe-cellulose군보다 변의 Fe 배설량, 혈청 Transferrin saturation, 장기간 Fe 이용율등의 감소정도가 큰 것은 fiber의 기능이 fiber의 종류 Fe 섭취량, Fe 흡수조건 뿐만아니라 본 논문에서 논의되지 않은 조건인 pH, 소장부위와 저장조건 Fe와 fiber의 결합억제인자, 다른 영양소의 간접적인 영향등 외적요인의 기여도에 따라 다를 수 있을 것으로 생각되어진다. 즉, 정제 fiber의 결과가 fiber 함유 식품, N.D.F., A.D.F., water-soluble-fiber, water-insoluble-fiber 등의 결과와 일괄적으로 일치할 수 없으며, 특히, Serum-Fe와 TIBC가 species, 혈액 채취시간, diurnal rhythm⁴⁵⁾에 따라 다른 특이성을 갖는 것등을 고려하여 다양한 조건에서 다수의 fiber의 흡착기전 및 장기간 변화연구가 계속되었으면 한다.

REFERENCES

- 1) Harper, H.A., V.W. Rodwell & P.A. Mayes: *Review of physiological chemistry, 17th ed., Lange Medical Publications, p.584, 1979.*
- 2) Hunter, J.E.: *Iron availability & Absorption in rats fed sodium phytate. J. Nutr. 111: 841-847, 1981.*
- 3) Cook, J.D. & E.R. Monsen: *Food iron absorption in human subjects; Comparison of the effect of animal proteins on nonheme iron absorption Am. J. Clin. Nutr. 29: 859, 1976.*
- 4) Cook, J.D. & E.R. Monsen: *Food iron absorption in human subjects; Use of a semisynthetic diet to study absorption of nonheme iron. Am. J. Clin. Nutr. 28: 1289-1295, 1975.*
- 5) Miller, J. & L.S. McNeal: *Bioavailability of egg*

- yolk iron measured by hemoglobin regeneration in anemic rats. *J. Nutr.* 113:115-123, 1983.
- 6) Imoue, G. & R. Suzue: *Practical approaches to eradicoation of subclinical iron deficiency U. S. Japan Cooperative medical sciences program Tokyo, Japan, p.84, 1982.*
- 7) Amine, E.K. & D.M. Hegsted: *Effect of Diet on Iron Absorption in Iron-deficient rats.* *J. Nutr.* 101: 927-936, 1971.
- 8) Marianne Stass-Wolthuis, F.F. Hugo & Albers: *Influence of dietary fiber from vegetables and fruits, bran or citrus pectin on serum lipids, colonic function.* *Am. J. Clin. Nutr.* 33:1745-1756, 1980.
- 9) Jenkins, D.J.A., Leeds, A.R., Ciassull, M. A., Cochet, B. & K.G.M.M. Alberti: *Decrease in post prandial insulin and glucosz concentration by guar and pectin.* *Ann. Intern. Med.*, 86: 20, 1977.
- 10) 승정자: *Dietary fiber*의 영양학적인 고찰. 숙명여자대학교 생활과학연구소 논문집, 제1집, 1982.
- 11) Prasad, A.S., A. Miale, Z. Farid, H.H. Sandstead, & W.J. Darby: *Biochemical studies on dwarfism, hypogonadism and anemia.* *Arch. Internal Med* 111: 407, 1963.
- 12) Eastwood, M.A. & Kay R.M.: *An hypothesis for the action of fiber among the gastrointestinal tract* *Am. J. Clin. Nutr.* 32: 364-367, 1979.
- 13) Reinhold, J.G.: *Phytate concentration of leavened and unleavened Iranian breads.* *Ecol. Food. Nutr.* 1: 187, 1972.
- 14) McCance, R.M., Edgecombe, C.N. & Widdowson E.M.: *Phytic acid and Fe absorption.* *Lancet* 2: 126-128, 1943.
- 15) Callender, S.T., & G.T. Warner: *Fe absorption from bread.* *Am. J. Clin. Nutr.* 21: 1170, 1968.
- 16) Cook, J.D.: V. Minnich, C.V. Moore, A. Rasmussen W.B. Bradley & C.A. Finch: *Absorption of fortification Fe in bread.* *Am. J. Clin. Nutr.* 26: 861, 1973.
- 17) Cowen, J.W., Esfahani, M., Salji, J.P., Azzam, S.A.: *Effect of phytate of Fe absorption.* *J. Nutr.* 90: 423-427, 1966.
- 18) Bremner, I.: *The nature of trace element binding in herbage and gut contents in; Trace element Metabolism in Animals, Livingston, Edinburgh, p.366-369, 1970.*
- 19) Bjorn-Rasmussen E.: *Feabsorption from wheat bread.* *Nut. Metabol.* 16: 101-110, 1974.
- 20) Cummings, J.H., Southgate, D.A.T., Branch W.J. Jivraj, T. & Hill, M.T.: *The effect of pectin in human gut & its effect on calcium absorption and lage bowel function.* *Br. J. Nutr.* 41:477-485, 1979.
- 21) Reinhold, J.G., Ismail-Beigi, F., Faraji, B.: *Fiber of the maize tortilla.* *Am. J. Clin. Nutr.* 32:1326-1329, 1970.
- 22) 승정자: 극미량 원소의 영양. 대우학술총서, p.50, 1984.
- 23) 정혜경 · 김숙희: 한국의 도시빈곤지역과 농촌의 영양섭취 실태, 한국영양학회지, 제15권, 4호, 1982.
- 24) AIN Standards for nutritional studies report: *J. Nutr.* 107: 1340-1348, 1977.
- 25) N.R.C: *Nutrient requirement of Laboratory animals, 3rd, ed. Vol 10, NRC, Washington, D.C., 1978.*
- 26) Thompson, R.H. & Blanchflower, W.J.: *Lab. Parc.* 20: 859, 1971.
- 27) Bauer, J.D., Ackermann, P.G. and Toro G.: *Clinical Laboratory methods, p.255, The C.V. Mosby Co., Saint Louis, 1977.*
- 28) 김상열 · 정윤섭: 임상병리 검사법, 연세대 출판부, 1983.
- 29) D.H. Jung & A.D. Parekh: *A Semi-micromethod for the Determination of serum iron and iron-binding capacity without Deproteinization,* *Am. J. Clin. Path.* 54: 813-817, 1970.
- 30) R. Askevold & O.D. Vellar, Scaud: *J. Clin. Lab. Invest.*, 20: 122-128, 1967.
- 31) Steel, R.G. & J.H. Torrie: *Principles of procedure of statistics.* New York, 1960.
- 32) Hove, E.L. & King S.: *Effect of pectin & cellulose on growth, Feed efficiency & protein utilization.* *J. Nutr.* 109:1274-1278, 1979.
- 33) Viola, S., Zimmerman, G. & Mokady, S.: *Effect of pectin & algin upon protein utilization.* *Nutr. Rep. Int.* 1: 367-375, 1970.
- 34) Vahouny, G.V., D. Kritchevsky: *Dietary fiber in Health & Disease, Plenum press, New York, 1982.*

- 35) Cusack, R.P. & W.D. Brown: *J. Nutr.* 86: 383-393, 1965.
- 36) Stabdish, J.F., C.B. Ammerman, A.Z. Palmer & C.F., Simpson: *J. Anim. Sci.* 33: 171-178, 1971.
- 37) 이두봉 · 차상덕: *Diagnosis of Anemia*. 한국외과학 (*J. of RIMSK*) 4 (4): 7-9, 1972.
- 38) Williams, R.D., & Olmsted, H.W.: *The effect of cellulose, hemicellulose, lignin on the weight of the stool.* *Br. J. Nutr.* 11: 433-449, 1936.
- 39) Morgan, B., M. Heald, S.D. Atkin & J. Green: *Dietary fiber & sterol metabolism the rat.* *Br. J. Nutr.* 32: 447-455, 1974.
- 40) A.E. Elisabeth, Harmuth-Hoene & R. Schelenz: *Effect of dietary fiber of mineral absorption in growing rats.* *J. Nutr.* 110: 1174, 1980.
- 41) Conard, M.E., Foy, A.L., Williams, H.L. & Knospe, W.H.: *Am J. Physiol.*, 213:(3): 557-565, 1967.
- 42) Land, J.A., Briggs, G.M.: *Fiber in human nutrition* New York, Plenum press, p151-169, 1976.
- 43) Dennis T. Gordon & Lucia, S. Cha: *Relation of components in wheat bran & spinach to iron bioavailability in the anemic rats.* *J. Nutr.* 114: 526, 1984.
- 44) Piet, J. AAR, George, C. Fahey, Steven C. Ricke, Susan, E. Allen & Lancy, L.: *Effect of dietary fibers on mineral status of chicks.* *J. Nutr.* 113: 653-661, 1983.
- 45) Underwood, E.J.: *Trace elements in human & animal Nutrition* Academic Press, Inc. p.16, 1977.