

投与たん白質の種類と 鉄利用効果の関係

INTERRELATION OF IRON UTILIZATION AND DIETARY PROTEIN AND STARCH SOURCES.

五島孜郎・鈴木和春・菅家祐輔（東京農業大学栄養学科）

Shiro GOTO, Kazuharu SUZUKI and Yusuke KANKE

Department of Nutrition, Tokyo University of Agriculture

ABSTRACT

Present studies were performed to investigate the influence of dietary protein (casein and soy protein isolate: SPI; Fujipro R), starch (corn starch and tapioka) and iron levels on the iron and copper utilization, using 48 male albino rats of the Wistar strain, averaging 50g in the initial body weight.

1) On the iron utilization, moderate iron intake showed the higher iron retention compared with the low iron intake in rats fed each diet, however, in SPI+Tapioka fed rats there was no connection with iron intake level.

2) On the copper utilization, the rats fed low iron diet showed a tendency of increasing copper retention in all groups.

3) The rats fed low iron diet showed the low iron concentration in liver and indicated the high hepatic copper concentration in reversely.

4) SPI fed group had no effect of dietary iron level on the hemoglobin value.

FAO/WHO の報告によれば、摂取する総エネルギーに対して動物性食品由来のエネルギーの占める割合が高くなれば鉄の腸管吸収はよくなるという。ところで開発途上国では、たん白質の量的摂取はもちろんのこと、質的にも、その摂取に問題の多いことが指摘されている。そして今日、これらの国においてはたん白質源として豆類が重要視されているようである²⁾。

ところで、鉄利用に投与炭水化物の種類が影響することは知られているが³⁾、デンプンの種類による差は知られていない。

そこで本実験では動物性、植物性たん白質を用いた低たん白質食下で、デンプン源の種類および飼料中鉄レベルを変え鉄ならびに銅利用の比較検討を試みた。

実験方法

1. 実験動物および飼育条件

Wistar 系雄白ネズミ48匹（飼育開始時の体重約50g）を被験動物として用い、投与した飼料組成は Table 1 に示すように、たん白質源としてカゼインおよび（分離大豆たん白質（フジプロ R : SPI）を、デンプン源としてトウモロコシデンプン、キャッサバデンプン（タピオカ）を、そしてそれぞれの飼料に鉄源（ $\text{Fe}(\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7) \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ）の添加、無添加の8種類の試験食を調製し、この飼料にて1ヵ月間（23/V～24/VI, 1980）恒温恒湿（ $22 \pm 1^\circ\text{C}$, 60%）の動物室にて飼育した。

飼育中は一貫してステンレス製の代謝ケージに1匹ずつ入れて観察し、飼育終了前に鉄および銅の出納試験（17/VI～24/VI, 1980）を行った。飲料水は蒸留水を用い自由に摂取させた。

2. 組織の処理および鉄、銅濃度の測定

所定期間の飼育後、頸動脈より脱血死させ肝臓を速やかに摘出し鉄、銅の測定に供した。鉄、銅の測定は日立

Table 1. Composition of experimental diet (%)

Group	CC		CT		SC		ST		CC	Casein	Corn
	+	-	+	-	+	-	+	-			
Protein									CC	Casein	Corn
Casein	10	10	10	10					CT	Casein	Tapioka
Soybean (SPI)					10	10	10	10	SC	Soybean	Corn
Starch									ST	Soybean	Tapioka
Tapioka			80	80			80	80			
Corn	80	80			80	80					
Oil											
Corn	5	5	5	5	5	5	5	5			
Vit. mix. ¹	1	1	1	1	1	1	1	1			
Mineral mix. ²	4	4*	4	4*	4	4*	4	4*			

1: One gram of this mixture contained (in mg); thiamin nitrate 1.0, riboflavin 1.5, niacin amide 10.0, pyridoxine hydrochloride 1.0, folic acid 0.15, ascorbic acid 37.5, calcium pantothenate 2.5, vitamin K₄ 0.2, α -tocopherol 1.0, vitamin B₁₂ 1 γ , vitamin A 2500IU, vitamin D₂ 200IU and contained choline chloride 100mg.

2: According to A.E. Harper (*J. Nurt.*, 68, 405, 1959), but in * mark Fe(C₆H₅O₇) 6H₂O was omitted from Harper's salt.

208 型原子吸光分析装置を用い原子吸光分析法により行った。血中ヘモグロビンはシアンメトヘモグロビン法⁴⁾にて測定した。

結果と考察

1. 体重増加法

Table 2 に示すように、投与デンプンがトウモロコシあるいはタピオカ由来にかかわらず、また飼料中铁添加の有無にかかわらず、大豆たん白質（以下 SPI と記す）はカゼインに比し体重増加量は低値を示した。これは投与たん白質の質の差によるものと考え。ところで、たん白質源が SPI の時、トウモロコシデンプン投

与で飼料中铁の無添加群は添加群に比し低値を示した（ $P < 0.05$ ）が、他の群間には有意差はみられなかった。

鉄不足食は体重増加量や飼料摂取量などに影響を及ぼすといわれており⁵⁻⁸⁾、これらの報告に用いられている白ネズミの初体重は 40~50g である。本実験に用いた白ネズミの飼育開始時の初体重も、これらと同程度であるが上記のような結果は得られなかった。これはタピオカよりの鉄の混入も考えられるが不明である。本実験に用いたタピオカ（1.5mg%）はトウモロコシデンプン（0.3mg%）の約 5 倍量の鉄を有していた（鉄摂取量は Table 4 を参照）。

2. 出納成績

Table 2. Weight gain and food efficiency.

		Weight gain (g/7days)	Food efficiency*
Casein, corn starch	Fe ⁺	18.1 $\pm$ 1.1**	0.21 $\pm$ 0.07
	Fe ⁻	17.2 $\pm$ 1.4	0.22 $\pm$ 0.02
Tapioka	Fe ⁺	15.7 $\pm$ 1.7	0.18 $\pm$ 0.01
	Fe ⁻	15.4 $\pm$ 2.0	0.19 $\pm$ 0.02
Soybean, corn starch	Fe ⁺	14.1 $\pm$ 1.3 ^a	0.17 $\pm$ 0.01
	Fe ⁻	8.9 $\pm$ 1.8 ^a	0.11 $\pm$ 0.02
Tapioka	Fe ⁺	7.5 $\pm$ 0.7	0.11 $\pm$ 0.01
	Fe ⁻	6.0 $\pm$ 1.2	0.09 $\pm$ 0.02

* Weight gain/food intake

** Mean $\pm$ SE

Matching letters denote significant difference ($p < 0.05$).

Table 3. Nitrogen balance

		Intake (mg/day)	Urinary excretion (% of intake)	Retention (% of intake)
Casein, corn starch	Fe ⁺	193±5*	26.6±1.5	64.5±1.6
	Fe ⁻	170±2	25.5±1.3	65.8±1.1
Tapioka	Fe ⁺	149±9	28.4±2.5	61.3±2.8
	Fe ⁻	161±6	25.5±2.1	67.0±2.6
Soybean, corn starch	Fe ⁺	169±2	31.9±2.2 ^a	58.1±2.4 ^b
	Fe ⁻	171±6	25.8±1.3 ^a	64.4±1.4 ^b
Tapioka	Fe ⁺	118±3	37.1±1.2	50.9±1.4
	Fe ⁻	108±7	35.7±1.2	52.6±1.4

* Mean ± SE, Matching letters denote significant difference (p < 0.05).

Table 4. Iron balance

		Intake (mg/day)	Urinary excretion (% of intake)	Retention (% of intake)
Casein, corn starch	Fe ⁺	0.73±0.02*	3.1±0.4 ^a	48.5±3.5 ^b
	Fe ⁻	0.14±0.00	15.3±2.4 ^a	26.2±6.0 ^b
Tapioka	Fe ⁺	1.05±0.07	2.0±0.5 ^c	48.7±1.4
	Fe ⁻	0.44±0.02	4.1±0.6 ^c	52.4±5.2
Soybean, corn starch	Fe ⁺	0.79±0.01	1.9±0.2 ^d	31.7±1.7
	Fe ⁻	0.29±0.01	5.5±1.1 ^d	30.8±2.1
Tapioka	Fe ⁺	0.99±0.03	1.4±0.2 ^e	37.6±1.3 ^f
	Fe ⁻	0.61±0.04	4.3±1.1 ^e	53.3±2.4 ^f

* Mean ± SE

Matching letters denote significant differences,

a, p < 0.001 d, f, p < 0.01 b, c, e, p < 0.05

1) 窒素出納

Table 3 に窒素出納の成績を示した。投与デンプンの種類に関係なくカゼインは SPI に比し、概して高い体内保留を示した。

SPI 投与で、デンプン源が、トウモロコシの時に鉄添加と無添加との間に窒素の尿中排泄、体内保留の割合に差を生じた。しかしタピオカ投与では、このような関係はみられなかった。

ところで根茎デンプンは地上茎デンプンに比してたん白質の体内利用が悪くなるといわれているが⁹⁻¹³⁾、先年根茎デンプンであるタピオカが米やトウモロコシデンプンに比して、たん白質利用に遜色のないことを報告¹⁴⁾したように、本実験でもこの傾向がみられた。

2) 鉄出納

Table 4 に鉄出納の成績を示した。鉄不足食はどの群においても尿中鉄の排泄率を高めた。しかし絶対量で比較すると差はみられず、飼料中への鉄添加の有無にかかわらずほぼ同量の排泄をしている。ただし SPI-タピオ

カ群では鉄無添加食白ネズミが鉄添加食白ネズミより多く排泄している結果を得た。

体内保留は率では有意差のある群とない群がみられるが、絶対量ではどの群においても鉄無添加食白ネズミは低値を示している。しかし SPI-タピオカ食群間では鉄添加、無添加の間に差はみられない。これは大豆、タピオカ由来の鉄量の影響をうけたものと考ええる。

鉄の尿中排泄量は投与食の内容に関係なく、各群間ではほぼ同値を示すが、これを裏づける文献は見当たらない。ところで、生体が鉄を排出する能力には限界のあることが確認されており、溶血性貧血症の患者で赤血球の破壊により大量の鉄が体内に遊離されている場合でも尿中に排泄される鉄量は少ないといわれている¹⁵⁾ことから考えて、生体は吸収した鉄を強固に保持するといえよう。したがって、本実験の投与食の内容に関係なく、ほぼ同量を尿中に排泄したことには妥当性があるものと考ええる。

3) 銅出納

Table 5. Copper balance

		Intake (mg/day)	Urinary excretion (% of intake)	Retention (% of intake)
Casein, corn starch	Fe ⁺	0.35±0.01*	1.6±0.2	33.3±2.2 ^a
	Fe ⁻	0.23±0.00	1.7±0.1	11.6±3.3 ^a
Tapioka	Fe ⁺	0.31±0.02	1.2±0.1 ^b	31.6±2.3 ^c
	Fe ⁻	0.42±0.02	0.7±0.0 ^b	55.4±4.3 ^c
Soybean, corn starch	Fe ⁺	0.21±0.00	2.1±0.2	— 9.7±3.9 ^d
	Fe ⁻	0.29±0.01	1.7±0.2	27.2±1.8 ^d
Tapioka	Fe ⁺	0.16±0.00	2.0±0.1 ^e	—14.9±1.6 ^f
	Fe ⁻	0.19±0.01	1.6±0.0 ^e	7.7±1.2 ^f

* Mean ± SE

Matching letters denote significant differences,

a, p<0.01 b, c, d, f, p<0.001 e, p<0.05

Table 6. Iron and copper concentrations in liver and hemoglobin value in blood.

		Liver		Blood
		Fe	Cu	Hb
		(μg/whole dry wt.)		(g/dl)
Casein corn starch	Fe ⁺	645.1±32.5 ^a	79.9±10.4 ^b	15.0±0.7 ^c
	Fe ⁻	332.6±35.9 ^a	119.9±14.9 ^b	8.9±0.5 ^c
Tapioka	Fe ⁺	572.3±15.0 ^d	63.5±3.4 ^e	16.2±0.5 ^f
	Fe ⁻	330.2±44.6 ^d	94.4±10.1 ^e	11.9±0.5 ^f
Soybean, corn starch	Fe ⁺	605.8±35.9 ^b	108.3±9.7	15.3±0.4
	Fe ⁻	401.2±28.6 ^b	116.9±12.6	16.1±0.6
Tapioka	Fe ⁺	485.0±56.5	122.7±11.2	14.8±0.4
	Fe ⁻	410.5±14.2	95.3±4.7	14.8±0.5

* Mean ± SE

Matching letters denote significant differences,

a, c, d, g, p<0.001 b, e, f, p<0.05

Table 5 に銅出納の成績を示した。投与たん白質源に関係なくタピオカ投与は銅の尿中排泄率に影響を与え、鉄無添加食に尿中銅の排泄率低下がみられた。

銅の体内保留は率および絶対量ともにカゼイン・トウモロコシ・デンプン食群を除いて他群では鉄無添加食で高値を示した。

4) 肝中の鉄、銅濃度および Hb 値

Table 6 に示したように、肝中鉄濃度は、どの群とも鉄無添加食において明らかに低値を、あるいは低下傾向を示した。

銅濃度では逆に増加傾向を示した。ただし SPI-タピオカ食群では両者間に有意差はないが低下傾向を示した。

Hb 値についてはカゼイン投与群では鉄無添加食で低値を示したが、SPI 投与群では有意差がみられなかった。

飼料中鉄不足が肝中鉄濃度および Hb 値の減少をきたすことは多くの研究者により報告⁵⁻⁸⁾ されているが、本実験の SPI 投与群で必ずしも一致する結果の得られなかったのは、大豆そしてタピオカ由来の鉄量によるものであろう。

次に肝中銅濃度は鉄不足群が添加群に比し、特にカゼイン投与で高値を示した。これは Sourkes ら¹⁶⁾ の成績に一致している。銅が肝臓の貯蔵鉄の遊離や移動に関係することは知られており、それは銅たん白質であるセロプラスミンの作用によるものとされている。ところで、鉄不足食投与による肝中銅の貯留増大と鉄の貯留減少は、鉄の動員が必要となるにつれて必然的に銅の吸収亢進、排泄減少がおこったものか、他臓器からの移動によるものか不明である。

ところで SPI 投与では、このような様相はみられな

かった。肝中鉄濃度は投与デンプン源を問わずカゼイン-鉄無添加群より SPI-鉄無添加群の方が高値を示しており、各群の鉄添加食群にくらべれば低値であるが、本実験の期間であれば貧血状態をカバーできるのであろう。その結果、肝中銅濃度の上昇がみられなかったものと考ええる。

要 約

動物性たん白質（カゼイン）植物性たん白質（SPI）を用いたたん白質食下で、デンプンの種類（トウモロコシデンプン、タピオカ）、鉄レベルを変えて鉄および銅利用の比較を行った。用いた動物は Wistar 系雄白ネズミ 48匹である。

鉄出納は一般に飼料への鉄添加で高い体内保留量を示したが、SPI+タピオカ食群では鉄添加の有無は影響を示さなかった。

銅出納はカゼイン-トウモロコシデンプン食群を除いて鉄無添加食動物が高い体内保留を示した。

肝中の鉄、銅濃度は鉄無添加食群で肝中鉄濃度の低下が、そして銅濃度の上昇傾向がみられた。

Hb 値は SPI 投与群は飼料中鉄量の影響をうけなかった。

文 献

- 1) Joint FAO/WHO Expert Group on Requirements of Ascorbic acid, Vitamin D, Vitamin B₁₂, Folate, and Iron (1970) Report ... FAO Nutrition Meetings Report Series, No. 47; Wld Hlth Org. tech. Rep. Ser., No. 452, 1970.
- 2) 昭和54年度特定研究（文部省）“温帯、熱帯地域における生物生産の比較農学的研究”報告書、昭和55年2月。
- 3) Absorption of iron in rats (1972): *Nutr. Rev.*, 30, 47-49.
- 4) Dacie, J.V. and Lewis, S.E.: Practical Haematology 4th Ed., (1968) p. 919 Churchill, London.
- 5) Lin Wen-Ju and Kirksey, A. (1976): Effect of different levels of dietary iron on pregnancy superimposed upon growth in the rat., *J. Nutr.*, 106, 543-554.
- 6) Sirivech, S. Driskell, J. and Frieden, L.

(1977): NADH-FMN oxidoreductase activity and iron content of organs from riboflavin and iron deficient rats., *J. Nutr.*, 107, 739-745.

- 7) 菅家祐輔, 鈴木和春, 五島孜郎 (1978): ラット大動脈ヘキソサミン含有物質に及ぼす鉄欠乏性貧血の影響, 栄養学雑誌, 36, 175-179.
- 8) Hunter, J. E. (1978): Variable effects of iron status on the concentration of ferritin in rat plasma, liver and spleen., *J. Nutr.*, 108, 497-505.
- 9) Harper, A.E. and Katayama, M.C. (1953): The influence of various carbohydrates on the utilization of low protein rations by the white rat., *J. Nutr.*, 49, 261-275.
- 10) Booher, L.E., Behan, I. and McMeans, E. (1951): Biologic utilization of unmodified and modified food starches., *J. Nutr.*, 45, 75-100.
- 11) Jelinek, B., Katayama, M.C. and Harper, A.E. (1952): The inadequacy of unmodified potato starch as dietary carbohydrate for the albino rat., *Can. J. Med. Sci.*, 30, 447.
- 12) Chang, Yet-Oy (1962): Effect of carbohydrate on utilization of protein and lysine by rats., *J. Nutr.*, 78, 21-27.
- 13) Chang, Yet-Oy, Soony, C.C. and Miller, G.J. (1967): Effect of starches on protein utilization and liver lipid composition in rats., *J. Food Sci.* 32, 135-138.
- 14) Suzuki, K., Kanke, Y. and Goto, S. (1981): Effect of starches on protein and mineral utilization, *Nutr. Rept. Inter.*, 23, 645-652.
- 15) McCauce, R.A. and Widdowson, E.M. (1943): *Nature (London)*, 152, 326.
微量元素—栄養と毒性—, 日本化学会訳編, 丸善, 昭和50年.
- 16) Sourkes, T.L., Lloyd, K. and Birnbaum, H. (1968): Inverse relationship of hepatic copper and iron concentrations in rats fed deficient diets., *Can. J. Biochem.*, 46, 267-271.