亜鉛欠乏ラットの組織亜鉛含量および血清アルカリ フォスファターゼ活性に及ぼすアルカリ処理 大豆タンパク質投与の影響

則 井 孝 文*, 鈴 木 博 雄**

* 宇部短期大学

** 香川大学農学部

Effect of Alkali-treated Soy Protein Diet on Tissue Zinc Content and Serum Alkaline Phosphatase Activity in Zinc-deficient Rats

Takafumi NORII* and Hiroo SUZUKI**

* Ube Junior College, Ube 755

** Department of Bioresource Science, Kagawa University, Miki-cho, Kida-gun, Kagawa 761-07

Nippon Eiyō Shokuryō Gakkaishi (*J. Jpn. Soc. Nutr. Food Sci.*) 43, 255~261 (1990)

The effects of protein quality on changes in the activity of serum alkaline phosphatase (APase, E.C. 3.1.3.1) and tissue zinc concentrations in zinc-deficient rats were determined using demineralized soy protein (DP) and alkali-treated soy protein (AP) as sources of dietary protein. When rats were fed a zinc-deficient diet, no differences in body weight gain or food intake were observed between the 10% AP and 10% DP groups. Both serum APase activity and femur zinc concentration in zinc-deficient rats were decreased more in the 10% DP group than in the 10% AP group. The rates of reduction of these parameters in zinc-deficient rats during the feeding period were higher in the 10% DP group than in the 10% AP group. Rats fed the 10% AP zinc-deficient diet survived for 49 days, whereas those fed the 10% DP zinc-deficient diet survived for 33 days. These results suggest that the nutritive value as well as the level of dietary protein might affect the zinc requirement of rats.

Key Words soy protein, alkali treatment, rat, zinc deficiency.

(Received December 15, 1989)

前報¹⁾で、亜鉛の要求量以下の摂取条件下において、20% 分離大豆タンパク質食を摂取させたラットの血清アルカリフォスファターゼ活性、血清および大腿骨の亜鉛量は10% 分離大豆タンパク質食を摂取させたラットと比較して、亜鉛の摂取量は多く成長も良好なものにもかかわらず低い値が得られることを見いだした。亜鉛欠乏条件ではこれらの測定値と寿命との関係も示され、20% タンパク質食を摂取したラットのほうが10% タンパク質食を摂取したラットよりも体内亜鉛は不足しやすく、亜鉛要求性も高くなることを指摘した。

Motsinger and Magee²⁾は亜鉛を添加しない7.5%のタンパク質飼料条件を用いて、カゼイン、小麦グルテンまたはアルファブロテインを投与した場合にはラット

の成長に対する亜鉛の投与効果を認めなかったが、乾燥卵白を投与した場合には亜鉛の投与効果を認め、飼料タンパク質のアミノ酸組成が良好なほど亜鉛の投与効果がみられたと報告している。アルファブロテインは大豆タンパク質をアルカリ処理したものであり³⁾、アルカリ処理によってタンパク質の栄養価は劣化する⁴⁾⁵⁾ことから、小麦グルテンやアルカリ処理大豆タンパク質等の栄養価の低いタンパク質摂取時にはラットの亜鉛要求性が低下することを示唆している。

20% 大豆タンパク質摂取ラットでみられた亜鉛要求性の増大もラットの栄養状態が良好になったこととの関連性も想定できることから、本研究では食餌タンパク質の栄養価と亜鉛要求性との関係を明らかにするため、アルカリ処理をして栄養価を劣化させた分離大豆タンパク質を用いて亜鉛欠乏時のラットの成長、血清アルカリ

* 〒755 宇部市文京町 5-40

** 〒761-07 香川県木田郡三木町池戸

Table 1. Composition of zinc-deficient diets.

	10% DP (%)	20% DP (%)	10% AP (%)	20% AP (%)
Demineralized soy protein (DP)	11.6	23.2	—	—
Alkali-treated soy protein (AP)	—	—	12.2	24.4
Salt mixture (—Zn) ^{a)}	4.0	4.0	4.0	4.0
Vitamin mixture ^{a)b)}	1.0	1.0	1.0	1.0
Corn oil ^{c)}	5.0	5.0	5.0	5.0
Cellulose powder	4.0	4.0	4.0	4.0
Choline chloride	0.15	0.15	0.15	0.15
Sucrose	74.25	62.65	73.65	61.45

^{a)} Harper's mixture. ^{b)} Zinc was not added to the salt mixture. ^{b)} This contained (% of mixture): thiamin·HCl, 0.059; riboflavin, 0.059; niacin, 0.294; calcium pantothenate, 0.235; pyridoxine·HCl, 0.029; menadione, 0.006; biotin, 0.001; tetrahydropteroylglutamic acid, 0.002; cyanocobalamin, 0.0002; *myo*-inositol, 1.176; ascorbic acid, 0.588; and lactose, 97.551. ^{c)} This contained (per 100 g diet): retinyl acetate, 600 IU; ergocalciferol, 60 IU; and *dl*- α -tocopheryl acetate, 10 mg.

フォスファターゼ活性, 血清および大腿骨の亜鉛量を検討し, アルカリ処理を行わない大豆タンパク質を摂取したラットの場合と比較した。

実験方法

1. 飼料タンパク質の調製

市販の分離大豆タンパク質 (フジプロ-RB, 不二製油 (株)) 300 g を脱イオン水に懸濁して 3 liter とし, 6 N 水酸化ナトリウムを用いて pH 12 に調節して 60°C で 6 時間アルカリ処理した。その後 6 N 塩酸を用いて pH 4.4 に調節し, タンパク質を沈殿させ, 沈殿を脱イオン水で十分に洗浄した後, 風乾して用いた (AP)。市販の分離大豆タンパク質には亜鉛が含まれていたため, 前報の方法¹⁾により脱塩したものを対照として実験に用いた (DP)。この処理によってそれぞれのタンパク質の亜鉛含有量は 1 ppm 以下となった。

2. 供試動物および飼育条件

3 週齢の Wistar 系雄ラット (静岡実験動物農協) をあらかじめ 20% カゼイン食を給餌して馴らした後に実験に使用した。飼育室の温度を 23°C とし, 午前 8 時から午後 8 時まで照明した。試験食は 10% (1.6% N) および 20% (3.2% N) の脱塩大豆タンパク質食 (10% DP および 20% DP 食), または 10% および 20% のアルカリ処理大豆タンパク質食 (10% AP および 20% AP 食) を用い, その組成を Table 1 に示した。亜鉛欠乏食中の亜鉛含有量はいずれも 0.4 ppm 以下であった。実験期間中は試験食および脱イオン水を自由に与えた。試験食給餌期間終了後, 午前 10 時から午前 11 時の間にエーテル麻酔したラットの心臓から採血し, 血清を分離した。また, 肝臓, 腎臓, 大腿骨および大腿骨周囲の

筋肉を取り出し分析した。

1) 実験Ⅰ. 10% DP, 20% DP, 10% AP および 20% AP 食の亜鉛欠乏食と, それぞれ塩化亜鉛を添加して亜鉛含有量を 25 ppm とした飼料を調製し, 自由にラットに与え 3 週間飼育した。

2) 実験Ⅱ. 50 匹のラットのうち 5 匹を実験開始時に解剖し, 20 匹には 10% DP-亜鉛欠乏食を, 残りの 25 匹には 10% AP-亜鉛欠乏食を自由に摂取させた。飼料投与開始後 1, 3, 14, 28, および 42 日目にそれぞれの群のラットの 5 匹ずつを解剖に供した。

3) 実験Ⅲ. 10% DP-亜鉛欠乏食を 10 匹のラットに, 10% AP-亜鉛欠乏食を 5 匹のラットにそれぞれ死亡するまで自由に摂取させた。

3. 測定項目および測定方法

血清亜鉛量の測定は, 前報¹⁾で用いた方法により処理したのちに原子吸光法 (日立原子吸光光度計, 170-10 型) で定量し, $\mu\text{g/ml}$ で表示した。飼料および大腿骨は乾式灰化法によって灰化し, 一定量の 0.3 N の硝酸に溶解して分析に用い, 値は $\mu\text{g/g}$ で表示した。大腿骨の乾燥重量は mg で表示した。軟組織は硫酸・硝酸混液による湿式分解法を用いて分解し, 亜鉛を定量して $\mu\text{g/g}$ (湿重量) で表示した。

血清のアルカリフォスファターゼ活性は, Kind-King 法²⁾を改良した和光純薬製のキット (アルカリ性フォスファ K-テスト) を用いて測定し, K-A 単位で表示した。

飼料中のタンパク質およびリンの定量は, Kjeldahl 法および Gomori 法³⁾によって行った。窒素の定量値に 6.25 を乗じてタンパク質量とした。リンの測定には, 試料を硫酸・硝酸混液で湿式分解したものを試料液とした。

Table 2. Effects of dietary levels of alkali-treated soy protein and zinc on body weight gain, food intake and tissue weights of growing rats (Exp. I).

Diets			Analysis		Body weight gain (g/3 weeks)	Food intake (g/day)	Liver (g/100 g body wt.)	Kidney (g/100 g body wt.)	Femur (mg dry wt.)
Protein	Zinc	Protein level	Protein (N × 6.25, %)	Zinc (ppm)					
DP	0 ppm	10%	10.3	<0.4	2±1.9 ^d	5.8±0.19 ^d	4.73±0.19 ^c	1.17±0.010 ^d	222±10.6 ^{c,d}
		20%	20.4	<0.4	3±2.4 ^d	5.6±0.24 ^d	5.53±0.10 ^b	1.38±0.042 ^{b,c}	203±13.0 ^d
	25 ppm	10%	10.2	23.6	38±4.4 ^b	9.5±0.74 ^b	6.28±0.12 ^a	1.07±0.031 ^e	279±10.8 ^b
		20%	20.1	22.3	102±4.5 ^a	13.2±0.60 ^a	5.98±0.14 ^a	1.06±0.021 ^e	378±12.6 ^a
AP	0 ppm	10%	10.4	<0.4	-7±1.1 ^d	5.2±0.09 ^d	6.36±0.23 ^a	1.46±0.031 ^b	182±10.6 ^e
		20%	20.8	<0.4	-7±1.5 ^d	5.4±0.06 ^d	5.22±0.17 ^b	1.56±0.042 ^a	187±10.6 ^{d,e}
	25 ppm	10%	10.2	26.1	-5±1.2 ^d	5.8±0.08 ^d	6.22±0.14 ^a	1.40±0.010 ^{b,c}	195±4.4 ^{d,e}
		20%	20.6	25.6	18±3.7 ^c	7.3±0.32 ^c	6.30±0.08 ^a	1.32±0.034 ^c	247±7.5 ^c

Mean±SEM of 5 rats. Initial body weight of rats was 60±0.3 g. Values not sharing a common superscript letter within a column are significantly different ($p<0.05$).

Table 3. Effects of dietary alkali-treated soy protein and zinc levels on serum alkaline phosphatase activities and zinc concentrations in tissues of growing rats (Exp. I).

Diets			Serum APase activity (K-A unit)	Zinc concentrations in			
Protein	Zinc	Protein level		Serum (μg/ml)	Femur (μg/g dry wt.)	Liver (μg/g wet wt.)	Kidney (μg/g wet wt.)
DP	0 ppm	10%	17.0±1.13 ^c	0.41±0.019 ^e	78±2.3 ^{d,e}	13.5±0.64 ^c	18.2±0.25 ^d
		20%	15.5±0.89 ^c	0.50±0.050 ^{d,e}	65±4.5 ^e	16.4±0.73 ^b	17.7±0.29 ^{d,e}
	25 ppm	10%	43.4±1.55 ^a	1.26±0.048 ^b	173±3.3 ^b	13.3±0.35 ^c	19.5±0.25 ^b
		20%	43.8±1.09 ^a	1.53±0.043 ^a	225±9.0 ^a	18.0±0.41 ^a	19.7±0.28 ^b
AP	0 ppm	10%	30.0±2.44 ^b	0.56±0.025 ^d	115±4.4 ^c	10.5±0.23 ^d	16.9±0.17 ^e
		20%	20.9±1.41 ^c	0.49±0.045 ^{d,e}	88±2.5 ^d	14.9±0.61 ^{b,c}	18.4±0.52 ^{c,d}
	25 ppm	10%	32.4±0.86 ^b	1.03±0.150 ^c	183±4.3 ^b	15.2±0.46 ^{b,c}	20.9±0.29 ^a
		20%	39.3±3.28 ^a	1.25±0.022 ^b	186±2.6 ^b	14.4±0.30 ^c	19.1±0.35 ^{b,c}

Mean±SEM of 5 rats. Values not sharing a common superscript letter within a column are significantly different ($p<0.05$).

実験に用いた DP には 0.82%, AP には 0.73% のリンが含まれ, 実験Ⅱで用いた 10% DP 食には, 0.41%, 10% AP 食には 0.40% のリンが含まれており飼料中の含有量に差はみられなかった。

得られた結果を分散分析し, 平均値の有意差の検定は実験Ⅰでは Newman-Keuls の方法⁹⁾, 実験Ⅱ, Ⅲでは *t*-検定によって行った。

実験結果

1. 亜鉛欠乏ラットに及ぼす飼料中のアルカリ処理大豆タンパク質の影響 (実験Ⅰ)

亜鉛欠乏条件で 10% および 20% の AP 食を摂取し

たラットの成長は 10% および 20% の DP 食を摂取したラットと同様に完全に抑制され, 亜鉛欠乏飼料を摂取したラットの飼料摂取量はいずれの群もほぼ同じであった。亜鉛を適量 (25 ppm) 含む飼料摂取条件においても 10% AP 食群の体重増加量および飼料摂取量は 10% DP 食群に比べ完全に抑制され, 20% AP 食群でやや両者の回復を認めた。10% および 20% タンパク質飼料のいずれの条件でも AP 食群は DP 食群に比べ明らかに成長量が劣り, 大腿骨重量もこの成長と同じ変化を示した (Table 2)。

Table 3 にアルカリフォスファターゼ活性および組織亜鉛量を示した。血清アルカリフォスファターゼ活性お

Table 4. Changes in body weight, food intake and tissue weights of zinc-deficient rats fed either a 10% soy protein or a 10% alkali-treated soy protein diet (Exp. II).

Protein	Analysis		Day of sacrifice (day)	Body weight (g)	Food intake (g/day)	Liver (g/100 g body wt.)	Kidney (g/100 g body wt.)	Femur (mg dry wt.)
	Protein (N × 6.25, %)	Zinc (ppm)						
—			0	73±1.5	—	6.27±0.13	1.13±0.018	163±3.1
DP	9.9	0.4	1	74±1.4	7.0±0.33	5.13±0.17	1.05±0.016	176±2.5
			3	73±1.4	7.0±0.25	5.65±0.18	1.07±0.030	193±5.4
			14	70±1.4	6.8±0.29	4.98±0.18	1.19±0.007	258±5.8
			28	65±2.1	4.7±0.12	4.80±0.09	1.23±0.058	282±7.0
AP	9.7	0.4	1	72±1.4	5.9±0.48	5.44±0.09	1.12±0.022*	172±5.4
			3	69±1.8	6.0±0.38	5.68±0.07	1.13±0.011	188±6.0
			14	59±1.8**	5.6±0.28*	5.69±0.13*	1.42±0.032**	238±8.3
			28	59±1.1*	4.8±0.14	5.67±0.10**	1.39±0.028*	266±2.8
			42	51±2.1	3.6±0.14	4.69±0.20	1.57±0.038	273±7.4

Mean±SEM of 5 rats. Initial body weight of rats was 74±0.4 g. * Significantly different from corresponding values of rats fed the DP diet ($p<0.05$). ** Significantly different from corresponding values of rats fed the DP diet ($p<0.01$).

よび大腿骨亜鉛量は10% DP-亜鉛欠乏食を摂取したラットのほうが10% AP-亜鉛欠乏食を摂取したラットに比べ低い値を示した。AP-亜鉛欠乏食摂取ラットの場合、血清アルカリフォスファターゼ活性および大腿骨亜鉛量は10% タンパク質群に比べ20% タンパク質群で有意に低下した。DP-亜鉛欠乏食摂取ラットの場合、20% タンパク質群で血清アルカリフォスファターゼ活性および大腿骨亜鉛量は10% タンパク質群に比べ低下したが、有意差は認められなかった。血清亜鉛量は、10% DP-亜鉛欠乏食を摂取したラットのほうが10% AP-亜鉛欠乏食を摂取したラットに比べ低い値を示した。

10% AP-亜鉛欠乏食を摂取したラットの肝臓亜鉛量は10% DP-亜鉛欠乏食群に比べて低く、20% AP-亜鉛欠乏食を摂取した群に比べても低い値が得られた。10% DP-亜鉛欠乏食を摂取したラットの肝臓亜鉛量も20% DP-亜鉛欠乏食群に比べて低下し、大腿骨亜鉛量で得られた傾向と逆の関係を示した。

2. 亜鉛欠乏ラットの経時変化に及ぼすアルカリ処理大豆タンパク質投与の影響 (実験II)

10% AP-亜鉛欠乏食を摂取したラットの体重は飼料投与後10日目まで減少し続け、10% DP-亜鉛欠乏食を摂取したラットに比べほぼ全期間を通じて低い体重で推移した。飼料摂取量はAP-亜鉛欠乏食を摂取したラットでやや少ない傾向がみられた (Table 4)。

両亜鉛欠乏食を摂取したラットは体重が減少したにもかかわらず、大腿骨重量は増加を続けた。14日目以後

の肝臓重量は DP-亜鉛欠乏食を摂取したラットよりも AP-亜鉛欠乏食を摂取したラットのほうが大きかった。14日目以後の腎臓重量も DP-亜鉛欠乏食を摂取したラットよりも AP-亜鉛欠乏食群のほうが大きかった (Table 4)。

DP-亜鉛欠乏食を摂取したラットの血清および大腿骨の亜鉛量はいずれも AP-亜鉛欠乏食を摂取したラットより速やかに減少した。AP-亜鉛欠乏食群の血清アルカリフォスファターゼ活性の経時変化については、飼料投与後1日目で急速に低下し、3日目までは DP-亜鉛欠乏食群に比べ低い値がみられ、その後の変化は DP-亜鉛欠乏食群に比べ明らかに小さかった (Fig. 1)。

肝臓亜鉛量は Fig. 2 に示すように両タンパク質食群とも一度減少したのち再び増加に転じた。けれど、DP-亜鉛欠乏食を摂取したラットの肝臓亜鉛量は AP-亜鉛欠乏食を摂取したラットより速やかに上昇した。飼料投与後28日目には10% DP-亜鉛欠乏食群の肝臓亜鉛量は10% AP-亜鉛欠乏食群に比べ明らかに高い値を示した。

3. 亜鉛欠乏ラットの寿命に及ぼすアルカリ処理大豆タンパク質摂取の影響 (実験III)

ラットは死亡する数日前から脱毛や疎毛などの変化が認められ、Swenerton and Hurley¹⁰⁾ によって報告されているように口のまわり、足の皮膚および眼の炎症を呈した。

Fig. 3 に示すように10% AP-亜鉛欠乏食を摂取したラットの寿命は明らかに10% DP-亜鉛欠乏食摂取ラッ

Fig. 1. Changes in serum alkaline phosphatase activity and zinc concentrations in serum and femur of zinc-deficient rats fed either a 10% soy protein or a 10% alkali-treated soy protein diet (Exp. II).

○, 10% soy protein diet ($n=5$); ●, 10% alkali-treated soy protein diet ($n=5$). * Significantly different from 10% soy protein group ($p<0.05$). ** Significantly different from 10% soy protein group ($p<0.01$).

トに比べ延長し、16 日程度の差が認められた。

考 察

タンパク質のアルカリ処理による栄養価の劣化については、亜鉛を適量 (25 ppm) 含む食餌の自由摂取条件下でアルカリ処理タンパク質を摂取したラットの成長が完全に抑制されることから確認できた。

また、タンパク質をアルカリ処理した際にはリジノアラニンが生成し³⁾¹¹⁾、リジノアラニンは亜鉛や銅などの必須の元素とキレート結合し¹²⁾、含亜鉛酵素のカルボキシペプチダーゼ活性を阻害することから¹³⁾、このような

Fig. 2. Changes in zinc content in the liver of zinc-deficient rats fed either a 10% soy protein or a 10% alkali-treated soy protein diet (Exp. II).

○, 10% soy protein diet ($n=5$); ●, 10% alkali-treated soy protein diet ($n=5$). * Significantly different from 10% soy protein group ($p<0.05$). ** Significantly different from 10% soy protein group ($p<0.01$).

Fig. 3. Survival rate of zinc-deficient rats fed either a 10% soy protein or a 10% alkali-treated soy protein diet (Exp. III).

DP, 10% soy protein diet ($n=10$); AP, 10% alkali-treated soy protein diet ($n=5$).

タンパク質を摂取すると生体での亜鉛や銅などの利用が妨害され、亜鉛の要求量が増加することも考えられたが、このことを支持する結果は得られなかった。

亜鉛欠乏ラットへの亜鉛の投与効果はアルカリ処理大豆タンパク質摂取ラットに比べて大豆タンパク質摂取ラットのほうが大きく、成長のより大きな回復がみられ、飼料タンパク質のアミノ酸組成が良好であればラットの成長に及ぼす亜鉛の投与効果がみられるとの Motsinger and Magee²⁾ の報告と一致した結果が得られた。

10% AP-亜鉛欠乏食を摂取したラットの血清アルカリフォスファターゼ活性、血清および大腿骨の亜鉛量はいずれも、10% DP-亜鉛欠乏食を摂取したラットよりも高い値を示し、さらに 20% AP-亜鉛欠乏食を摂取したラットの測定値は 10% AP-亜鉛欠乏食を摂取したラットより低かった (Table 3)。亜鉛欠乏ラットの血清アルカリフォスファターゼ活性、血清および大腿骨の亜鉛量の

低下は体内亜鉛の不足状態を示すと考えられることから¹⁾, 10% AP-亜鉛欠乏食摂取ラットよりも10% DP-亜鉛欠乏食群のほうが, また, 10% AP-亜鉛欠乏食摂取ラットよりも20% AP-亜鉛欠乏食群のほうがそれぞれ体内亜鉛はより不足状態にあることが示唆された。AP食摂取ラットの亜鉛欠乏になりがたい性質は, 10% AP-亜鉛欠乏食を与えたラットの血清および大腿骨亜鉛量, および3日目以後の血清アルカリフォスファターゼ活性の経時変化についても示され, 10% DP-亜鉛欠乏食を与えたラットの測定値でより速い減少が認められた (Fig. 1)。亜鉛欠乏ラットの寿命への影響を調べた結果, 明らかにAP食摂取群で高い生存率が得られた (Fig. 3) ことから, ラットの亜鉛要求量は摂取したタンパク質の栄養価の違いによっても影響を受け, 栄養価の高いタンパク質摂取条件下で亜鉛要求量が増加するものと思われる。

20% 前後のタンパク質飼料のほうがそれ以下の低タンパク質飼料を摂取したラットと比較して亜鉛欠乏の影響を大きく受けるが^{11)14)~16)}, タンパク質含量を40%に増量した飼料を与えた場合には, 20%のタンパク質飼料の場合と比較して差を認めていない¹⁷⁾。亜鉛欠乏ラットの亜鉛要求性の増加は摂取したタンパク質の量の増加によるというよりもむしろタンパク質の栄養状態の良好なこと (成長が速いこと) と関係があるものと思われる。

亜鉛欠乏ラットへの亜鉛の投与は大腿骨亜鉛量の回復よりもタンパク質合成活性の回復の程度が大きい¹⁸⁾。このことは, 骨よりもタンパク質合成酵素系への亜鉛の優先的利用を示唆し, Stuart ら¹⁹⁾も吸収された亜鉛はまず亜鉛酵素の存在する軟組織を満たした後に, 骨への供給がなされるため, 限界域の亜鉛摂取条件における骨の亜鉛量の変動は亜鉛の吸収利用の程度を反映しがたいことを指摘している。こうした内容は, 逆に体内における亜鉛の不足状態については骨等の優先されない組織亜鉛量の変化においてより大きく反映されることを示しており, 本実験結果とも一致している。

10% AP-亜鉛欠乏食を摂取したラットの肝臓亜鉛量 ($\mu\text{g/g}$ 湿重量) は10% DP-亜鉛欠乏食群に比べて低く, 20% AP-亜鉛欠乏食を摂取したラットの肝臓亜鉛量に比べても低い値が得られ, 血清および大腿骨亜鉛量とまったく逆の変動傾向がみられた (Table 3)。筋肉などの軟組織の亜鉛量 ($\mu\text{g/g}$ 湿重量) は亜鉛欠乏による低下が認められておらず^{20)~24)}, 本実験においても大腿骨周囲の筋肉 (データは示していない) および腎臓の亜鉛濃度については亜鉛欠乏による変化は大きくなかった。亜鉛欠乏飼料を摂取したラットの肝臓亜鉛量の経時変化については, 一度減少したのち再び増加が認められた (Fig. 2)。肝臓亜鉛総量は亜鉛欠乏飼料の摂取により減少している

ことから (データは示していない), 肝臓亜鉛量が増加したのは肝臓重量が低下したためと考えられる。けれど, 20% DP-亜鉛欠乏飼料を摂取したラットの肝臓亜鉛総量は10日目 ($56.0 \mu\text{g}$) と比較して20日目 ($63.4 \mu\text{g}$) には明らかに増加した。ラットの肝臓中の亜鉛量は亜鉛欠乏により減少する²⁰⁾²⁵⁾, 減少しない²¹⁾²⁶⁾との報告があり一致していないが, 本実験で得られた結果は飼料中のタンパク質の栄養価および量による影響のみならず, 亜鉛欠乏食摂取後のどの時点で測定したかによっても亜鉛欠乏ラットの肝臓の亜鉛量は異なることを示しており, 肝臓亜鉛量と亜鉛欠乏との関係についてはさらに検討が必要と思われる。

要 約

ラットの亜鉛要求性とタンパク質の栄養価との関係を知るため, ラットの血清アルカリフォスファターゼ活性および血清, 大腿骨, 肝臓, 腎臓, 大腿骨周囲の筋肉の亜鉛量に及ぼすアルカリ処理大豆タンパク質 (AP) 投与の影響を検討し, 以下に示す内容が明らかとなった。

- 1) 亜鉛欠乏条件の場合, 10% AP食摂取ラットの血清アルカリフォスファターゼ活性, 血清および大腿骨の亜鉛量は10%大豆タンパク質 (DP) 食摂取ラットよりも高く, 20% AP食摂取ラットよりも高い値を示した。
- 2) 亜鉛欠乏条件での10% DP食摂取ラットの血清および大腿骨の亜鉛量は, 10% AP食摂取ラットよりも速やかに低下した。
- 3) 10% AP-亜鉛欠乏食を摂取したラットの寿命は10% DP-亜鉛欠乏食摂取ラットよりも延長した。
- 4) 以上のことから, 10% AP-亜鉛欠乏食を摂取したラットは10% DP-亜鉛欠乏食を摂取したラットよりも体内亜鉛が不足しにくく, 亜鉛要求性は低いと推定された。

文 献

- 1) 則井孝文, 鈴木博雄: 栄養誌, 43, 247 (1990)
- 2) Motsinger, B.M. and Magee, A.C.: *Nutr. Rep. Int.*, 22, 581 (1980)
- 3) Woodard, J.C. and Short, D.D.: *J. Nutr.*, 103, 569 (1973)
- 4) De Groot, A.P. and Slump, P.: *J. Nutr.*, 98, 45 (1969)
- 5) Berger, J. and Possompes, B.: *Nutr. Rep. Int.*, 35, 69 (1987)
- 6) Harper, A.E.: *J. Nutr.*, 68, 405 (1959)
- 7) Kind, P.R.N. and King, E.J.: *J. Clin. Pathol.*, 7, 322 (1954)
- 8) 五島孜郎, 関 博磨: 食品分析ハンドブック (小原哲二郎, 鈴木隆雄, 岩尾裕之編), 262 (1969), 建帛社 (東京)
- 9) Snedecor, G.W. and Cochran, W.G. (畑村又良,

- 奥野忠一, 津村善郎 共訳) : 統計の方法, 246 (1972), 岩波書店 (東京)
- 10) Swenerton, H. and Hurley, L.S. : *J. Nutr.*, **95**, 8 (1968)
- 11) Bohak, Z. : *J. Biol. Chem.*, **239**, 2878 (1964)
- 12) Hayashi, R. : *J. Biol. Chem.*, **257**, 13896 (1982)
- 13) Friedman, M., Grosjean, O. and Zahnley, J.C. : *J. Agric. Food Chem.*, **33**, 208 (1985)
- 14) Chesters, J.K. and Quarterman, J. : *Br. J. Nutr.*, **24**, 1061 (1970)
- 15) Griffith, P.R. and Alexander, J.C. : *Nutr. Rep. Int.*, **6**, 9 (1972)
- 16) Son, S.M. and Magee, A.C. : *Nutr. Rep. Int.*, **35**, 191 (1987)
- 17) Chesters, J.K. and Will, M. : *Br. J. Nutr.*, **30**, 555 (1973)
- 18) Hicks, S.E. and Wallwork, J.C. : *J. Nutr.*, **117**, 1234 (1987)
- 19) Stuart, S.M., Ketelsen, S.M., Weaver, C.M. and Erdman, J.W., Jr. : *J. Nutr.*, **116**, 1423 (1986)
- 20) 柏原典雄, 丸山博隆, 山下佳子, 近藤 敏 : 栄養と食糧, **35**, 281 (1982)
- 21) Faraji, B. and Swendsid, M.E. : *J. Nutr.*, **113**, 447 (1983)
- 22) Brown, C.R., Bechtel, P.J., Forbes, R.M. and Vogel, R.S. : *Nutr. Res.*, **5**, 117 (1985)
- 23) Reinhold, J.G., Kfoury, G.A. and Thomas, T.A. : *J. Nutr.*, **92**, 173 (1967)
- 24) Prasad, A.S., Oberleas, D., Wolf, P. and Horwitz, J.P. : *J. Lab. Clin. Med.*, **73**, 486 (1969)
- 25) Boeckner, L.S. and Kies, C. : *Nutr. Rep. Int.*, **34**, 921 (1986)
- 26) Cunnane, S.C. and Horrobin, D.F. : *Proc. Soc. Exp. Biol. Med.*, **164**, 583 (1980)

(1989年12月15日受理)