亜鉛欠乏ラットによる食餌タンパク質レベルの 選択摂取

則井孝文*, 鈴木博雄**

* 宇部短期大学

** 香川大学農学部

Selective Ingestion of Dietary Protein Level in Zinc-deficient Rats

Takafumi NORII* and Hiroo SUZUKI**

* Ube College, Ube 755

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

Nippon Eiyō Shokuryō Gakkaishi (*J. Jpn. Soc. Nutr. Food Sci.*) 48, 49~56 (1995)

The effects of zinc deficiency on the responses of rats in selecting dietary protein were investigated in growing rats. Two diets of 10% and 20% demineralized soy protein were given simultaneously to rats for 11 days after feeding then with either a zinc-adequate (25 ppm Zn) or a zinc-deficient diet (≤ 0.3 ppm Zn) for 10 days. Rats in the zinc-adequate group selected the 20% protein diet more frequently than rats in the zinc-deficient group. No differences were found between zinc-adequate and zinc-deficient rats in selecting the 10% protein diet. Zinc-deficient rats showed a reduced tendency to select the 20% protein diet. When zinc-deficient rats were offered a choice between 0% and 20% protein diets, they ate preferentially the non-protein diet 9 days after presentation of the diets. Zinc-deficient rats that selectively fed on these diets survived longer than those that fed on either the 0% or 20% protein diet alone. Serum alkaline phosphatase activity and the femur zinc concentration in zinc-deficient rats were decreased to a lesser extent in the group allowed to select the diet than in the group given the 20% protein diet. These results suggest that rats may regulate their intake of dietary protein to maintain their body zinc status.

Key Words zinc deficiency, selection, dietary protein levels, zinc status.

(Received October 28, 1993)

亜鉛欠乏条件下で20%タンパク質飼料を摂取したラットは10%タンパク質飼料を摂取したラットに比べて、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濃度が速やかに低下し、生存期間も短縮されたことから、20%タンパク質飼料を摂取したラットで体内の亜鉛状態はより不足に傾いていることが示唆された¹⁾。このことは亜鉛欠乏条件下ではタンパク質摂取量の少ないラットのほうが生存に有利であることを示唆している。Reeves and O'Dell²⁾は亜鉛欠乏条件下でラットは高タンパク質飼料よりも低タンパク質飼料を多く選択するようになることを報告している。

Chesters and Will³⁾は、20%タンパク質飼料条件下では、亜鉛適量飼料群のラットと比較して亜鉛欠乏飼料群の飼料摂取量が減少したが、5%タンパク質飼料条件下では亜鉛欠乏飼料群の飼料摂取量は亜鉛適量飼料群と比べて有意な変化がないことを報告している。Griffith and Alexander⁴⁾も30%および7%タンパク質飼料を用いた実験で同様な結果を報告した。これらの内容は飼料摂取量が亜鉛欠乏群でつねに減少するのではなく、むしろ亜鉛欠乏群の飼料摂取量の減少は飼料タンパク質含有量と関係があることを示唆している。

亜鉛欠乏飼料を胃管を用いて強制投与したラットは対照群と同じ成長を続ける^{5)~7)}ことから、亜鉛欠乏飼料を自由に摂取させたラットの飼料摂取量が数日のうちに減少する^{8)~10)}のは飼料を利用できないというより、嗜好の

* 〒755 宇部市文京町5-40

** 〒761-07 香川県木田郡三木町池戸

変化¹¹⁾, 食欲の減退¹²⁾などの理由が考えられる。

本実験では, ラットの体内亜鉛状態とタンパク質摂取量との関係を調べるため亜鉛欠乏および正常状態のラットにタンパク質含量の異なる2種類の飼料を与えて選択させる実験を行った。

実験方法

分離大豆タンパク質(フジプロ-RB, 不二製油㈱)を塩酸性下(pH 4.5)で洗浄して脱塩¹³⁾し, 乾燥したのちタンパク質源として用い, 10% (1.6% N) および 20% (3.2% N) タンパク質を含む亜鉛欠乏飼料を調製した(-Zn 10% DP および -Zn 20% DP 飼料)。またこれらの飼料へ塩化亜鉛を添加して亜鉛量を 25 ppm とした飼料も調製した(+Zn 10% DP および +Zn 20% DP 飼料)。飼料組成を Table 1 に示す。亜鉛欠乏飼料中の亜鉛含有量は原子吸光法によって分析したところいずれも 0.3 ppm 以下であった。

動物は3週齢のWistar系雄ラット(㈱日本エスエルシー)を用い, 一定の体重に達するまで2~3日間20%カゼイン飼料(12 ppm Zn)と脱イオン水を自由に与えて飼育した後に実験に供した。飼育室の温度は23°Cに調節し, 08~20時に点灯した。体重および飼料摂取量の測定は毎朝行った。

実験 I. 摂取スケジュールは Fig. 1 に示すように2回に分けて実験を行った。まず, 前飼料として10% DP 亜鉛欠乏飼料および10% DP 亜鉛適量飼料を2群のラットに10日間摂取させた。その後, 各群をさらに2群に分け, 亜鉛欠乏条件下で10% DP と20% DP 飼料の2種類の飼料を同時に与えるか, または亜鉛適量の条件下で10% DP と20% DP 飼料の2種類の飼料を同時に与え, 11日間自由に選択摂取させた(実験 I-1)。また別に同様な亜鉛条件下で前飼料として20% DP 飼料を10日間摂取させた後, 2種類の飼料を選択摂取させた(実験 I-2)。

実験 II. 前飼料として, 亜鉛欠乏条件下で10% DP と20% DP 飼料の2種類の飼料を同時に与える群と, 亜鉛適量の条件下で10% DP と20% DP 飼料の2種類の飼料を同時に与える群に分け, 10日間自由に選択摂取させた。その後各群をさらに亜鉛欠乏群および亜鉛適量群の2群に分け, 10% DP と20% DP 飼料の2種類の飼料を11日間選択摂取させた(Fig. 1)。

実験 III. ラット24匹をいずれも亜鉛欠乏条件下で,

Fig. 1. Feeding schedule (Exp. I, II and III).

-Zn, zinc deficient diet (≤ 0.3 ppm); +Zn, zinc adequate diet (25 ppm).

Table 1. Composition of experimental diets.

Ingredients	20% Casein (%)	0% DP (%)	10% DP (%)	20% DP (%)
Casein	20	—	—	—
Demineralized soy protein (DP)	—	—	11.4	22.8
Salt mixture (+Zn) ^{a)}	4	—	—	—
Salt mixture (-Zn) ^{a)b)}	—	4	4	4
Vitamin mixture ^{a)}	1	1	1	1
Corn oil ^{c)}	5	5	5	5
Cellulose powder	4	4	4	4
Choline chloride	0.15	0.15	0.15	0.15
Sucrose	65.85	85.85	74.45	63.05

^{a)} Harper's mixture¹¹⁾¹²⁾. ^{b)} Zinc was not added to the salt mixture. ^{c)} This contained (per 100 g diet): retinyl acetate, 600 IU; ergocalciferol, 60 IU; and *dl*- α -tocopheryl acetate, 10 mg.

Fig. 2. Changes in food intake of rats selectively fed 10% and 20% demineralized soy protein diets with or without added zinc (Exp. I).

○, 10% DP diet; ●, 20% DP diet; —, total amount of food intake. Values are means $\pm$ SEM for 7 rats.

無タンパク質 (0% DP) 飼料単独群, 20% DP 飼料単独群および0% DPと20% DP飼料の2種類の飼料を同時に与える選択群の3群に分け, 飼料を自由に摂取させた (Fig. 1)。

ラットをエーテル麻酔下で開腹し, 心臓より採血した。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濃度は既報¹³⁾に従って定量した。

得られた結果を分散分析し, 平均値の差の検定はNewman-Keulsの方法¹⁴⁾および t -検定に行った。

結果および考察

1. 前飼料中のタンパク質レベルおよび亜鉛量が亜鉛欠乏ラットの飼料選択性に及ぼす影響 (実験 I)

高, 低タンパク質飼料の摂取量および総摂取量の変化を Fig. 2 に示す。前飼料として亜鉛欠乏および亜鉛適量の10% DP 飼料を摂取させた場合, 後半の選択1日目に

は亜鉛欠乏条件ではすでに高タンパク質飼料に比べ低タンパク質飼料を多く選択した (実験 I-1)。亜鉛欠乏および亜鉛適量の20% DP 飼料を前飼料として摂取させた後, 高, 低タンパク質飼料を選択させた場合には, 選択開始後2~3日間の摂取量, とくに亜鉛条件を前飼料と変えた群で高タンパク質飼料の摂取量に大きな変化を認めた (実験 I-2)。そこで, 初めの3日間およびその後の8日間の摂取量に分けて分散分析を行った。その結果を Table 2 に示す。20% DP 飼料を前飼料としたラットでは選択開始の3日間の低タンパク質飼料摂取量と高タンパク質飼料摂取量のいずれにも前飼料中の亜鉛量の影響を認めた。4日目以降の高タンパク質飼料の摂取量については摂取飼料中の亜鉛量の影響を認めた。10% DP 飼料を前飼料としたラットでは高タンパク質飼料の選択摂取量は摂取飼料中の亜鉛量の影響が大きかった。前飼料中のタンパク質レベルにかかわらず, 選択期間中の低タンパク質飼料の摂取量は摂取飼料中の亜鉛量の影響がみられなかったが, 選択4日目以後の高タンパク質飼料と総摂取量については摂取飼料中の亜鉛量の影響がみられた。亜鉛欠乏ラットは低タンパク質飼料を多く選択するとして Reeves and O'Dell²⁾の結果とは異なり, 20% DP 亜鉛欠乏飼料を前飼料として摂取させた後に選択させたラットは低タンパク質飼料を多く選択しなかった。亜鉛欠乏条件で高タンパク質飼料の摂取量が減少したことについては彼ら²⁾と一致した内容を示した。

亜鉛欠乏飼料を摂取したラットの飼料摂取量の低下および成長の抑制は其後の亜鉛含有飼料投与で回復し, 逆に, 亜鉛含有飼料摂取ラットの飼料摂取量と体重の増加量は其後の亜鉛欠乏飼料投与により抑制された。この傾向は低タンパク質飼料と高タンパク質飼料のいずれの飼料を前飼料とした条件でも同様に認められた (Table 2)。Table 3 に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の濃度変化を示す。亜鉛欠乏ラットにおいて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濃度が速やかに減少したラットほど生存期間も短縮されたことから, これらの測定値はラット体内亜鉛状態の指標となりうることを明らかにしている^{11,13)}。Table 3 の結果も体重の変化と同じ傾向を示し, 飼料の亜鉛条件をよく反映した変動を認めた。このことは, ラットの体内亜鉛状態が高タンパク質飼料摂取量および総摂取量と密接な関係にあることを示している。

20% DP 亜鉛適量飼料を前飼料としたラットは低タンパク質飼料に比べて高タンパク質飼料を選択したが, 10% DP 飼料を前飼料としたラットではそうではなかった (Fig. 2)。ラットの飼料タンパク質レベルの選択性は飼料中の亜鉛量²⁾のみでなく, 前飼料で用いた飼料中の

Table 2. Effect of dietary zinc levels on the food intake of rats selectively fed 10% and 20% demineralized soy protein diets with or without added zinc (Exp. I).

Dietary zinc*			Body weight		Food intake during first 3 days			Food intake during last 8 days		
0 → 10 day	10 → 21 day		10 day (g)	21 day (g)	10% DP (g/day)	20% DP (g/day)	Total (g/day)	10% DP (g/day)	20% DP (g/day)	Total (g/day)
(Exp. I-1)										
10% DP → selection										
–	–		71 ± 2.4	66 ± 2.1 ^c	6.0 ± 0.24	> 0.2 ± 0.06 ^b	6.2 ± 0.22 ^b	3.5 ± 0.67	> 1.3 ± 0.55 ^b	4.7 ± 0.22 ^c
–	+		70 ± 2.2	133 ± 4.1 ^a	3.3 ± 0.78	6.6 ± 1.62 ^a	10.0 ± 0.88 ^a	2.7 ± 0.76	< 11.5 ± 0.96 ^a	14.2 ± 0.39 ^a
+	–		76 ± 3.0	78 ± 3.0 ^c	6.6 ± 0.98	> 2.4 ± 0.93 ^{ab}	9.0 ± 0.58 ^a	4.4 ± 0.98	> 1.4 ± 0.52 ^b	5.7 ± 0.51 ^c
+	+		77 ± 2.0	116 ± 8.2 ^b	5.5 ± 1.53	4.6 ± 1.88 ^{ab}	10.1 ± 0.64 ^a	6.5 ± 1.84	4.9 ± 2.31 ^b	11.4 ± 0.57 ^b
ANOVA										
			before Zn(A)		NS	NS	<0.05	<0.05	<0.025	<0.05
			after Zn(B)		NS	<0.005	<0.001	NS	<0.001	<0.001
			A × B		NS	NS	<0.05	NS	<0.025	<0.001
(Exp. I-2)										
20% DP → selection										
–	–		68 ± 3.3 ^b	69 ± 2.5 ^d	3.7 ± 1.10 ^b	2.3 ± 0.74 ^b	5.9 ± 0.40 ^d	2.8 ± 0.95	2.6 ± 0.95 ^b	5.4 ± 0.15 ^b
–	+		70 ± 2.6 ^b	140 ± 5.6 ^b	4.9 ± 0.89 ^{ab}	5.6 ± 0.71 ^a	10.5 ± 0.53 ^c	3.1 ± 0.66	< 12.1 ± 1.08 ^a	15.3 ± 0.49 ^a
+	–		121 ± 2.6 ^a	115 ± 3.1 ^c	5.5 ± 0.38 ^{ab}	< 8.6 ± 0.54 ^a	14.1 ± 0.48 ^b	1.6 ± 0.73	< 4.8 ± 0.59 ^b	6.4 ± 0.47 ^b
+	+		126 ± 4.5 ^a	179 ± 11.5 ^a	8.1 ± 1.26 ^a	8.3 ± 1.71 ^a	16.3 ± 0.86 ^a	5.3 ± 1.49	< 11.0 ± 1.98 ^a	16.3 ± 0.93 ^a
ANOVA										
			before Zn(A)		<0.025	<0.001	<0.001	NS	NS	NS
			after Zn(B)		NS	NS	<0.001	NS	<0.001	<0.001
			A × B		NS	NS	NS	NS	NS	NS

Values (mean±SEM for 7 rats) not sharing a common superscript letter within a column are significantly different ($p < 0.05$). Initial body weights of rats were 67 g (Exp. I-1) and 72 g (Exp. I-2). > or <, significant difference in intake between 10% and 20% DP diets ($p < 0.05$) were determined by Student's *t*-test. *-, Zinc deficient diet (≤ 0.3 ppm); +, zinc adequate diet (25 ppm).

Table 3. Effects of dietary zinc levels on serum alkaline phosphatase activity and zinc concentration in serum and femur of rats (Exp. I-1, I-2).

	Day of sacrifice	Dietary zinc	Serum APase activity (K-A unit)	Serum zinc ($\mu\text{g/ml}$)	Femur zinc ($\mu\text{g/g dry wt.}$)
Exp. I-1	0 day		59.8 $\pm$ 2.77 ^a	1.71 $\pm$ 0.048 ^a	186 $\pm$ 6.0 ^a
	10 day	10% DP			
		—	34.1 $\pm$ 2.28 ^b	0.50 $\pm$ 0.031 ^d	100 $\pm$ 2.6 ^d
		+	52.1 $\pm$ 4.11 ^a	1.08 $\pm$ 0.054 ^b	176 $\pm$ 3.1 ^b
	21 day	selection			
		(— →) —	18.4 $\pm$ 2.57 ^c	0.44 $\pm$ 0.082 ^d	67 $\pm$ 0.9 ^e
		(— →) +	56.9 $\pm$ 3.01 ^a	1.27 $\pm$ 0.041 ^b	134 $\pm$ 2.8 ^c
		(+ →) —	20.0 $\pm$ 2.71 ^c	0.72 $\pm$ 0.107 ^c	105 $\pm$ 3.9 ^d
		(+ →) +	52.7 $\pm$ 2.21 ^a	1.15 $\pm$ 0.052 ^b	174 $\pm$ 2.8 ^b
Exp. I-2	0 day		71.0 $\pm$ 3.65 ^{ab}	1.60 $\pm$ 0.049 ^a	174 $\pm$ 5.1 ^a
	10 day	20% DP			
		—	26.8 $\pm$ 2.78 ^d	0.61 $\pm$ 0.074 ^d	81 $\pm$ 3.2 ^e
		+	75.0 $\pm$ 4.46 ^a	1.07 $\pm$ 0.029 ^{bc}	150 $\pm$ 1.9 ^b
	21 day	selection			
		(— →) —	23.2 $\pm$ 1.98 ^d	0.35 $\pm$ 0.043 ^e	60 $\pm$ 1.7 ^f
		(— →) +	63.2 $\pm$ 2.59 ^{bc}	0.95 $\pm$ 0.045 ^c	114 $\pm$ 2.9 ^c
		(+ →) —	24.7 $\pm$ 2.15 ^d	0.66 $\pm$ 0.091 ^d	97 $\pm$ 5.2 ^d
		(+ →) +	57.1 $\pm$ 2.14 ^c	1.17 $\pm$ 0.057 ^b	158 $\pm$ 4.8 ^b

Values (mean $\pm$ SEM for 7 rats) not sharing a common superscript letter within a column and each of the previous dietary protein levels (Exp. I-1 and I-2) are significantly different ($p < 0.05$).

亜鉛量およびタンパク質の影響を受けることを示している。

2. 前飼料として高、低タンパク質飼料を選択摂取させた後の亜鉛欠乏ラットの飼料選択性(実験 II)

前飼料タンパク質レベルの影響をなくした場合の亜鉛欠乏ラットの飼料選択性を調べた。毎日の摂取量の変化を Fig. 3 に示す。亜鉛欠乏条件で選択させるとラットは低タンパク質飼料を多く選択した。亜鉛適量条件下で選択させたラットは高タンパク質飼料の摂取量がしだいに増加した。10 日目以後亜鉛条件を変更したラットでは高タンパク質飼料の摂取量は大きく変化した。低タンパク質飼料摂取量には変化を認めなかった。Table 4 に亜鉛条件を変更した後の、3 日間とその後の 8 日間の飼料摂取量および分散分析の結果を示す。初期の 3 日間には高タンパク質飼料摂取量に前飼料中亜鉛量の影響を認めたが、4 日目以降の高タンパク質飼料の摂取量および総摂取量は摂取飼料中の亜鉛量の影響を受け、亜鉛欠乏条件で減少し、亜鉛適量条件下で著しく増加した。本実験での 10 日目以後亜鉛条件を変更したラットの飼料選択性は、実験 I の 20% DP 飼料を前飼料としたラットの結果とほぼ同様となった。

亜鉛条件を継続したラットの 10 日目以降の飼料の摂

取量および選択傾向がほぼ維持された (Fig. 3) ことはラットが高タンパク質飼料への順応に 10 日間程度を要することを示し、飼料中の亜鉛量への順応に 2~3 日を要したのと比べると遅かった。これらの事実が、実験 I において 10% DP 飼料を前飼料としたラットが高タンパク質飼料摂取への応答が少なかったことにも反映したものである。

亜鉛欠乏ラットは高タンパク質飼料の摂取量を減少させ、亜鉛の補給は高タンパク質飼料の選択性を増大させた。一方、亜鉛欠乏ラットの総摂取量の減少は、高タンパク質飼料の選択性の低下を低タンパク質飼料の増加で補うことができないことを示し、高タンパク質飼料の選択性の低下がラットのタンパク質摂取量の抑制にあるならば 10% DP 飼料もすでにタンパク質過剰飼料であることを示している。

3. 0%および20%タンパク質亜鉛欠乏飼料を与えたラットの飼料選択性および生存期間(実験 III)

亜鉛欠乏ラットが自由にタンパク質摂取量を調節できる条件を用いた。5 日間ごとの飼料摂取量の変化を Fig. 4 に示す。実験開始 8 日間は 20% DP 飼料のほうを無タンパク質飼料よりも多く選択したがその後はほとんど選択しなくなった。体重は 20% DP 飼料群、選択群、0% DP

Fig. 3. Changes in food intake of rats selectively fed 10% and 20% demineralized soy protein diets with or without added zinc (Exp. II).

○, 10% DP diet; ●, 20% DP diet; —, total amount of food intake. Values are means±SEM for 7 rats.

飼料群の順に大きかった。選択群のラットは20% DP 飼料単独群および0% DP 飼料単独群と比べて緩やかに体重が減少した。ラットの生存期間を Fig. 5 に示す。20% DP 飼料群に対して0% DP 飼料群の生存期間は有意に長く、選択群では0% DP 飼料群よりさらに延長する傾向を認めた。無タンパク質飼料を摂取したラットの亜鉛要求性は20%タンパク質飼料を摂取したラットに比べて低いことを示唆している。こうした傾向は Table 5 に示す血清アルカリフォスファターゼ活性および大腿骨亜鉛濃度の変化にも認められ、20%タンパク質飼料群より選択摂取群、さらに無タンパク質飼料群で緩やかに減少した。Chesters and Quarterman⁹⁾は無タンパク質飼料の条件で亜鉛欠乏飼料および亜鉛含有飼料を同時にラットに与えるとそれぞれ同じ量を選択するが、選択させる飼料にタンパク質が含まれると亜鉛含有飼料を選択することを報告しており、飼料選択性に対するタンパク質と亜鉛の関係は本実験結果と類似した関係を示したものと

Table 4. Effect of dietary zinc levels on the food intake of rats selectively fed 10% and 20% demineralized soy protein diets with or without added zinc (Exp. II).

Dietary zinc*	10 → 10 day	10 → 21 day	Body weight		Food intake during first 3 days			Food intake during last 8 days		
			10 day (g)	21 day (g)	10% DP (g/day)	20% DP (g/day)	Total (g/day)	10% DP (g/day)	20% DP (g/day)	Total (g/day)
ANOVA	—	—	69±2.1 ^b	64±1.7 ^c	4.0±0.87	1.3±0.58	5.3±0.34 ^b	2.2±0.51	1.9±0.50 ^b	4.1±0.18 ^b
	—	+	69±2.0 ^b	119±9.9 ^a	6.5±0.81	3.4±1.27	9.9±0.93 ^a	5.3±1.29	7.8±2.50 ^{ab}	13.1±1.33 ^a
	+	—	94±5.5 ^a	90±3.2 ^b	5.3±1.59	4.5±1.61	9.8±0.47 ^a	4.6±0.87	1.3±0.44 ^b	5.9±0.49 ^b
	+	+	94±6.0 ^a	137±11.2 ^a	4.7±1.71	7.4±2.57	12.1±0.96 ^a	5.0±1.56	8.4±2.27 ^a	13.4±0.79 ^a
ANOVA	before Zn(A)		NS	<0.05	NS	<0.001	<0.001	NS	NS	NS
	after Zn(B)		NS	NS	NS	<0.001	<0.001	NS	<0.001	<0.001
	A × B		NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS

Mean±SEM for 7 rats. Values not sharing a common superscript letter within a column are significantly different ($p < 0.05$). *, **, Zinc deficient diet (≤ 0.3 ppm); +, zinc adequate diet (25 ppm). Initial body weight of rats was 65 g. > or <, significant difference in intake between 10% and 20% DP diets ($p < 0.05$) were determined by Student's *t*-test.

いえる。しかし、亜鉛欠乏条件においてタンパク質の摂取を積極的に避けるという内容までは含んでいない。

亜鉛欠乏飼料を摂取させたラットへ亜鉛を投与すると骨の亜鉛量の回復よりもタンパク質合成酵素系の回復の程度が大きく¹⁵⁾、骨よりもタンパク質合成系への亜鉛の優先的利用が示唆され¹⁶⁾、すでに報告したように体内亜鉛の不足状態は骨などの優先されない組織において亜鉛量の変化が大き¹³⁾。摂取タンパク質量の増加は体内タンパク質合成を亢進させ、その際に要求される亜鉛量の

増加により体内亜鉛が不足することが考えられる。実際タンパク質合成が亢進される条件で大腿骨亜鉛濃度の変動は著しい¹¹⁾¹⁷⁾。

Fig. 4, 5 および Table 5 に示す結果は、亜鉛欠乏ラットがタンパク質摂取量をごくわずかに抑制することによって自己の生存をより良い方向へ導く積極的な行動であることを示している。タンパク質摂取量の減少により体内亜鉛要求量を低下させ、亜鉛欠乏下における生存をより有利にさせることも亜鉛欠乏飼料を摂取したラットの飼料摂取量が数日のうちに減少する^{8)~10)}原因の一つであると思われる。

要 約

1) 亜鉛欠乏または亜鉛適量の飼料を前飼料として10日間与えたラットに10%と20%タンパク質飼料の2種類の飼料を同時に与え、その選択性を調べた。亜鉛適量条件下で選択したラットでは20%タンパク質飼料の摂

Fig. 4. Changes in food intake of rats selectively fed non protein diet and 20% demineralized soy protein diet without added zinc (Exp. III).

□, 0% DP diet; ■, 20% DP diet. Values are means (for 1~8 rats) $\pm$ SEM (for 3~8 rats) of each diet. Food intakes were shown every 5 days.

Fig. 5. Survival rate of zinc deficient rats selectively fed non protein diet and 20% demineralized soy protein diet without added zinc (Exp. III).

....., 0% DP diet; —, 20% DP diet; —, 0% DP diet and 20% DP diet.

Table 5. Changes in alkaline phosphatase activity in serum and zinc concentration in serum and femur of rats selectively fed 0% and 20% demineralized soy protein diets without zinc (Exp. III).

Day of sacrifice	Dietary protein level	Serum APase activity (K-A unit)	Serum zinc (μ g/ml)	Femur zinc (μ g/g dry wt.)
2 day	0%	72.3 $\pm$ 3.3 ^{ab}	1.15 $\pm$ 0.055 ^a	155 $\pm$ 5.1 ^a
	20%	92.3 $\pm$ 5.5 ^a	0.27 $\pm$ 0.024 ^d	125 $\pm$ 5.2 ^{bc}
	0% and 20%	76.5 $\pm$ 4.2 ^{ab}	0.31 $\pm$ 0.039 ^d	130 $\pm$ 4.5 ^{bc}
6 day	0%	66.3 $\pm$ 6.9 ^b	0.74 $\pm$ 0.051 ^b	138 $\pm$ 2.4 ^b
	20%	38.7 $\pm$ 3.1 ^c	0.45 $\pm$ 0.061 ^{cd}	82 $\pm$ 4.1 ^d
	0% and 20%	63.6 $\pm$ 6.6 ^b	0.53 $\pm$ 0.073 ^c	89 $\pm$ 7.1 ^d
21 day	0%	66.3 $\pm$ 7.7 ^b	0.47 $\pm$ 0.028 ^{cd}	119 $\pm$ 4.2 ^c
	20%	42.0 $\pm$ 4.8 ^c	0.28 $\pm$ 0.027 ^d	46 $\pm$ 0.9 ^f
	0% and 20%	56.5 $\pm$ 9.3 ^{bc}	0.42 $\pm$ 0.067 ^{cd}	66 $\pm$ 6.3 ^e

Mean $\pm$ SEM for 5 rats. Values not sharing a common superscript letter within a column are significantly different ($p < 0.05$). Each diet contained ≤ 0.2 ppm zinc.

取量が増加し、亜鉛欠乏条件で選択したラットでは20%タンパク質飼料の摂取量が減少した。10%タンパク質飼料の選択摂取量は、前飼料中のタンパク質量、亜鉛量の影響を受けず、また摂取している飼料中の亜鉛量の影響を受けなかった。

2) 前飼料中の亜鉛量の影響は、その後の選択摂取開始3日間の飼料の摂取量についてみられたが、それ以降の摂取量は摂取している飼料中の亜鉛量の影響を受けた。

3) 0%および20%タンパク質亜鉛欠乏飼料の2種類の飼料を選択させたラットは9日目以降20%タンパク質飼料を選択せず、無タンパク質飼料をおもに選択した。その結果、それぞれの飼料を単独で摂取したラットに比べて生存期間は延長した。

4) ラットは体内亜鉛状態を維持するためにタンパク質の摂取量を調節できることが示唆された。

文 献

- 1) 則井孝文, 鈴木博雄: 栄食誌, 43, 247 (1990)
- 2) Reeves, P.G. and O'Dell, B.L.: *J. Nutr.*, 111, 375 (1981)
- 3) Chesters, J.K. and Will, M.: *Br. J. Nutr.*, 30, 555 (1973)
- 4) Griffith, P.R. and Alexander, J.C.: *Nutr. Rep. Int.*, 6, 9 (1972)
- 5) Faraji, B. and Swendseid, M.E.: *J. Nutr.*, 113, 447 (1983)
- 6) Flanagan, P.R.: *J. Nutr.*, 114, 493 (1984)
- 7) Park, J.H.Y., Grandjean, C.J., Antonson, D.L. and Vanderhoof, J.A.: *J. Nutr.*, 116, 610 (1986)
- 8) Williams, R.B. and Mills, C.F.: *Br. J. Nutr.*, 24, 989 (1970)
- 9) Chesters, J.K. and Quartermann, J.: *Br. J. Nutr.*, 24, 1061 (1970)
- 10) Swenerton, H. and Hurley, L.S.: *J. Nutr.*, 95, 8 (1968)
- 11) McConnell, S.D. and Henkin, R.I.: *J. Nutr.*, 104, 1108 (1974)
- 12) Harper, A.E.: *J. Nutr.*, 68, 405 (1959)
- 13) 則井孝文, 鈴木博雄: 栄食誌, 43, 255 (1990)
- 14) Snedecor, G.W. and Cochran, W.G.: 統計的方法 (畑村又良, 奥野忠一, 津村善郎共訳), 246 (1972), 岩波書店 (東京)
- 15) Hicks, S.E. and Wallwork, J.C.: *J. Nutr.*, 117, 1234 (1987)
- 16) Stuart, S.M., Ketelsen, S.M., Weaver, C.M. and Erdman, J.W., Jr.: *J. Nutr.*, 116, 1423 (1986)
- 17) 則井孝文, 鈴木博雄: 栄食誌, 44, 113 (1991)

(1993年10月28日受理)