

新規の牡蠣 (*Crassostrea gigas*) 抽出物に含まれる亜鉛のラットにおける吸収性とその体内分布 (第一報)

安部 麻美子¹⁾, 松田 芳和¹⁾, 小邨 奈未¹⁾, 福永 健治²⁾,
荒川 泰昭³⁾, 吉田 宗弘²⁾

(¹⁾日本クリニック(株)中央研究所*, (²⁾関西大学化学生命工学部食品工学研究室**, (³⁾静岡県立大学生体衛生学***)

Effect of Differences in Zinc Sources on the Absorption and Tissue Zinc Distribution in Rats Fed Diets Containing Sodium Phytate (Part 1)

Mamiko ABE¹⁾, Yoshikazu MATSUDA¹⁾, Nami KOMURA¹⁾, Kenji FUKUNAGA²⁾,
Yasuaki ARAKAWA³⁾ and Munehiro YOSHIDA²⁾

¹⁾Central Research Institute, Japan Clinic Co., Ltd.,

²⁾Laboratory of Food and Nutritional Sciences, Faculty of Chemistry, Materials and Bioengineering, Kansai University,

³⁾Department of Hygiene & Preventive Medicine, Faculty of Health Sciences, The University of Shizuoka

Summary

We previously prepared a hot water extract and a zinc-rich fraction from oyster and investigated the utilization of zinc from oysters. In the present study, a new oyster extract prepared from a mixture of the hot water extract and the zinc-rich fraction was examined in rats. In experiment 1, changes in the absorption rate and tissue distribution of zinc were examined under different level of sodium phytate administration. Five-week-old male Wistar rats were given diets containing 20 ppm of zinc as zinc sulfate for 29 days; those diets were replaced and supplemented with graded levels (0 %, 0.2 %, 0.5 %, 1.0 % or 2.0 %) of sodium phytate. The rats fed a diet higher in sodium phytate showed lower tissue zinc concentrations in several tissues. In particular, the zinc concentrations in serum, tibia, ileum and hair responded remarkably to the declination in dietary sodium phytate. There was a negative linear relationship between zinc concentrations in the tissues (serum, tibia, ileum and hair) and dietary sodium phytate level from 0 % to 1.0 %. In experiment 2, effects of differences in zinc source on the absorption and tissue distribution of zinc in rats fed a diet containing sodium phytate were examined. Five-week-old male Wistar rats were given 1.0 % sodium phytate-supplemented diet containing 20 ppm of zinc as zinc sulfate or 3 types of oyster extracts for 29 days. Differences in dietary zinc source (zinc sulfate or oyster extract) did not significantly influence zinc concentrations in serum or various other tissues. The rats fed a diet containing zinc as a new oyster extract showed slightly higher zinc concentrations in several tissues (serum, tibia and ileum) than those fed a diet containing zinc as zinc sulfate or other oyster extracts. These findings suggest that the new oyster extract has higher zinc bioavailability than zinc sulfate or other oyster extracts.

亜鉛は日本人において不足が懸念されるミネラルの一つである。ミネラルの栄養有効性は、食品の種類、食品の組み合わせなどによって変動する。また、消化吸収率に対する食事中共存成分の影響は大きい。亜鉛の吸収率は、一般に約30%といわれているが、亜鉛自身の化学形態、消化管内の共存物質、亜鉛の栄養状態によって変化するといわれている¹⁾。フィチン酸は食品中では複数種のミネラルからなる複塩を形成し、さらにタンパク質と結合し

た難溶性物質として存在しているため、亜鉛などの消化管吸収を強く阻害し食品中ミネラルの栄養有効性を低下させる成分として知られている²⁾。牡蠣 (*Crassostrea gigas*) は亜鉛を多く含む食品として知られ、亜鉛の有力な供給源として期待されている。有効成分を活用するために、様々な抽出方法を用いて、異なる性質をもつ種々の牡蠣抽出物を調製しており、商品化してきた³⁻⁵⁾。今回、牡蠣熱水抽出物と亜鉛濃縮物の混合物から、中性付近のpHで可溶

*所在地：京都市右京区太秦開日町 10-1 (〒616-8555)

**所在地：吹田市山手町 3-3-35 (〒564-8680)

***所在地：静岡市谷田 52-1 (〒422-8526)

な亜鉛を高濃度に含有する新規の抽出物を調製した。本研究では、まず、フィチン酸による亜鉛の吸収阻害の影響を確認した。続いて、硫酸亜鉛と種々の牡蠣抽出物中亜鉛の有効性をフィチン酸投与ラットを用いて、亜鉛の見かけの吸収率や亜鉛の体内分布など、フィチン酸による亜鉛吸収抑制からの回復効果を指標にして検討した。

実験方法

1. 実験動物と飼育条件

本研究では、2回の栄養試験 (Ex. 1 および 2) を実施した。Ex. 1 では、Table 1 に示す卵白アルブミンをタンパク質源とした亜鉛含量 0.6 ppm の亜鉛欠乏飼料 (オリエンタル酵母社製) に亜鉛濃度 20 ppm の硫酸亜鉛を添加した飼料を基本飼料 I とした。体重約 120~132 g の 5 週齢の Wistar 系雄ラット 30 匹を 6 匹ずつ 5 群に分け、それぞれ、基本飼料 I に 0, 0.2, 0.5, 1.0, 2.0% のフィチン

Table 1 Composition of basal zinc-deficient diet

Ingredient	%
Egg albumin	20
Dextrose	63.7
Corn oil	10
Cellulose powder + sodium phytate	2
Mineral mix ^a	3.13
Vitamin mix ^b	1.17

^a Supplied per 100 g of diet: 17.75 g of NaCl, 34.16 g of K₂HPO₄, 5.28 g of MgSO₄, 7.96 g of CaHPO₄, 31.79 g of CaCO₃, 2.91 g of Fe-Citrate, 0.084 g of KI, 0.028 g of MnSO₄·4H₂O, 0.032 g of CuSO₄·5H₂O, 0.006 g of CoCl₂·6H₂O.
^b Supplied per 100 g of diet: 85,470 IU of Vitamin A, 10,680 IU of Vitamin D₃, 940 mg of Vitamin E, 2.82 mg of Vitamin K₃, 85.5 mg of Vitamin B₁, 51.3 mg of Vitamin B₂, 34.2 mg of Vitamin B₆, 0.17 mg of Vitamin B₁₂, 34.2 mg of Biotin, 4.27 mg of Folic acid, 136.8 mg of Calcium pantothenate, 213.7 mg of Nicotinic acid, 12.8 g of Choline chloride with cellulose powder as a carrier.

酸ナトリウムをセルロースと置換して添加した飼料を投与し、自由摂取法で 29 日間飼育した。飲料水は蒸留水とした。また Ex. 2 では、飼料に添加する亜鉛源として、硫酸亜鉛 (S) および 3 種の牡蠣抽出物を用いた。牡蠣抽出物とは、牡蠣 (*Crassostrea gigas*) の熱水抽出物 (OE), OE の残渣より抽出した亜鉛濃縮物 (ZRF), OE と ZRF の混合物 (WZ) および、今回抽出した WZ から中性付近の pH で可溶性亜鉛を高濃度に含有する新規の抽出物 (NWZ) のことである。本研究ではこの中から ZRF, WZ, NWZ を亜鉛源として用いた。上記亜鉛欠乏飼料にフィチン酸ナトリウム 1.0% をセルロースと置換して添加した飼料を基本飼料 II とした。体重約 118~132 g の 5 週齢の Wistar 系雄ラット 24 匹を 6 匹ずつ 4 群に分け、それぞれ、基本飼料 II に 20 ppm の亜鉛を S, ZRF, WZ または NWZ の形態で添加した飼料を投与し、自由摂取法で 29 日間飼育した (以下それぞれ S 群, ZRF 群, WZ 群, NWZ 群と略す)。飲料水は蒸留水とした。なお、牡蠣抽出物 ZRF, WZ および NWZ のミネラル組成は Table 2 に示したとおりである。Ex. 1, 2 のいずれの実験でも、飼育開始 23~29 日目の 7 日間にわたって糞を採取して亜鉛濃度を測定し、

Table 2 Mineral compositions of oyster extracts

Minerals		ZRF	WZ	NWZ
Sodium	(g/100 g)	6.3	3.7	3.6
Calcium	(mg/100 g)	2240	210	170
Phosphorus	(mg/100 g)	4650	737	680
Potassium	(g/100 g)	0.40	2.13	1.70
Magnesium	(mg/100 g)	405	403	280
Iron	(mg/100 g)	470	14.6	10.5
Copper	(mg/100 g)	278	9.48	8.72
Zinc	(mg/100 g)	7600	150	209
Manganese	(mg/100 g)	126	5.59	5.46
Selenium	(µg/100 g)	111	193	140
Chromium	(mg/100 g)	0.42	0.07	0.08
Lithium	(µg/100 g)	70	139	100
Vanadium	(µg/100 g)	800	10	33
Cadmium	(mg/100 g)	6.46	0.14	0.19

Oyster extract was manufactured by Japan Clinic Co., Ltd.

亜鉛の見かけの吸収率を求めた。飼育期間終了後、肝臓、胸腺、脾臓、腎臓、脛骨、精巣、血清、体毛、小腸、盲腸を採取した。小腸は 8 等分し、十二指腸に相当するセグメント 1 (上部), 空腸に相当するセグメント 3 (中部), 回腸に相当するセグメント 8 (下部) を使用した。

2. ミネラルの定量

亜鉛: 体毛は、付着物を除去するため、アセトン-蒸留水-アセトンの順に洗浄した。すなわち、体毛約 0.2 g に洗浄液をそれぞれ 10 mL 加え軽く振盪し、1 時間放置後、回収という過程を順に行ったあと、風乾して試料とした。すべての試料は濃硝酸を用いて湿式灰化し、適宜、希釈後、フレイム原子吸光光度計で測定した。

銅および鉄: 血清は濃硝酸を用いて湿式灰化し、適宜希釈後、同様にフレイム原子吸光光度計で測定した。

3. 酵素活性測定

血清アルカリフォスタファラーゼ (ALP) 活性を測定した。測定にはフェニルリン酸基質法を用いた ALP カイノス (カイノス社製)⁶⁾ を使用した。

結果と考察

Ex. 1, 2 ともに、全群のラットに飼育中の様子や解剖所見において異常を認めなかった。Table 3 に、Ex. 1 における飼育期間終了後の各群ラットの体重と組織重量を示した。ラットの体重、体重増加量は飼料へのフィチン酸添加の影響を認めなかった。各群の組織重量を比較すると、盲腸は飼料中フィチン酸濃度が高くなるにしたがって、重量が増加する傾向があり、飼料中フィチン酸濃度 2.0% では 0.5% 以下に比較して、有意に大きかった。食物繊維をラットに摂取させると盲腸の肥大が生じ、盲腸内容物組成や盲腸内容物 pH の変動が生じることが報告されている⁷⁾。フィチン酸は食物繊維と同様に作用し、盲腸重量が増加したと考えられる⁸⁾。

Table 3 Body and tissue wet weights of rats fed experimental diets in Ex. 1

Tissues	Wet weight (g)				
	Dietary sodium phytate level				
	0 %	0.2 %	0.5 %	1.0 %	2.0 %
Whole body	286.0 ± 13.7 ^a	306.2 ± 16.5 ^a	305.1 ± 9.6 ^a	294.7 ± 9.7 ^a	292.4 ± 8.8 ^a
Liver	9.41 ± 0.58 ^a	10.47 ± 1.30 ^a	10.26 ± 0.70 ^a	9.79 ± 0.76 ^a	9.83 ± 0.71 ^a
Thymus	0.68 ± 0.16 ^a	0.75 ± 0.08 ^a	0.71 ± 0.03 ^a	0.78 ± 0.07 ^a	0.78 ± 0.12 ^a
Spleen	0.48 ± 0.03 ^a	0.48 ± 0.03 ^a	0.49 ± 0.03 ^a	0.49 ± 0.04 ^a	0.46 ± 0.03 ^a
Kidney	2.04 ± 0.12 ^a	2.21 ± 0.14 ^{ab}	2.18 ± 0.07 ^{ab}	2.08 ± 0.10 ^{ab}	2.23 ± 0.11 ^b
Tibia	0.46 ± 0.04 ^a	0.43 ± 0.02 ^a	0.47 ± 0.03 ^a	0.44 ± 0.02 ^a	0.44 ± 0.03 ^a
Testis	2.73 ± 0.16 ^a	2.79 ± 0.14 ^a	2.74 ± 0.17 ^a	2.73 ± 0.09 ^a	2.73 ± 0.13 ^a
Duodenum	0.91 ± 0.06 ^a	0.99 ± 0.08 ^a	0.93 ± 0.06 ^a	0.95 ± 0.07 ^a	0.92 ± 0.08 ^a
Jejunum	0.74 ± 0.05 ^a	0.83 ± 0.07 ^a	0.80 ± 0.05 ^a	0.75 ± 0.10 ^a	0.77 ± 0.08 ^a
Ileum	0.53 ± 0.04 ^a	0.52 ± 0.05 ^a	0.54 ± 0.04 ^a	0.54 ± 0.05 ^a	0.56 ± 0.06 ^a
Cecum	0.56 ± 0.06 ^a	0.61 ± 0.02 ^a	0.65 ± 0.07 ^a	0.72 ± 0.18 ^{ab}	0.85 ± 0.15 ^b

Values are means ± SD (n = 6). Values in the same row not sharing a common superscript differ significantly ($P < 0.05$).

Ex. 1において、飼料中フィチン酸濃度0, 0.2, 0.5, 1.0, 2.0%のときの亜鉛の見かけの吸収率は、それぞれ52.3, 49.2, 48.6, 41.9, 42.9%であった。飼料中フィチン酸濃度1.0%および2.0%では、0.5%以下に比較して、亜鉛の見かけの吸収率は低下する傾向が見られた。

Table 4に血清ALP活性を示した。飼料中フィチン酸濃度1.0%および2.0%のときの血清ALP活性は0%のときと比較して低い傾向を示した。血清ALP活性は亜鉛欠乏の指標になり得るという報告があることから^{9,10}、飼料

Table 4 Effect of dietary zinc on serum alkaline phosphatase activity in Ex. 1

Dietary sodium phytate level	Activity (IU/L)
0.0 %	411 ± 75
0.2 %	363 ± 35
0.5 %	403 ± 74
1.0 %	332 ± 56
2.0 %	332 ± 42

中フィチン酸濃度1.0%および2.0%のときは亜鉛不足の傾向にあったのかもしれない。

Table 5に、Ex. 1における各群ラットの組織中亜鉛濃度をまとめた。組織および血清中の亜鉛濃度は飼料中フィチン酸濃度の増加とともに低下した。肝臓、腎臓、脛骨、血清、体毛、十二指腸、空腸、回腸、盲腸の亜鉛濃度はフィチン酸濃度0%から2.0%の範囲で、有意な差が見られた。とくに脛骨、血清、体毛、回腸の亜鉛濃度は飼料中フィチン酸濃度による差が顕著に見られ、体毛はフィチン酸濃度2%まで、脛骨、血清、回腸は1%までほぼ直線的に低下していた。飼料中フィチン酸濃度と脛骨の亜鉛濃度は負の直線関係にあるといわれているように¹¹、いくつかの組織では組織中亜鉛濃度は、飼料中フィチン酸濃度を強く反映し、量依存的に低下することが認められた。

以上、飼料中フィチン酸濃度の増加とともに、亜鉛の見かけの吸収率がやや低下し、一部の組織亜鉛濃度に影響が見られたことから、フィチン酸の影響により、亜鉛

Table 5 Distribution of zinc in several tissues of rats in Ex. 1

Tissues	Tissue zinc concentration (μg/g wet weight)				
	Dietary sodium phytate level				
	0.0 %	0.2 %	0.5 %	1.0 %	2.0 %
Liver	24.7 ± 2.0 ^b	25.1 ± 1.9 ^b	23.0 ± 1.9 ^{ab}	23.4 ± 1.3 ^{ab}	21.8 ± 0.9 ^a
Thymus	21.1 ± 0.5 ^a	22.1 ± 0.7 ^a	21.7 ± 1.7 ^a	20.9 ± 1.0 ^a	20.5 ± 0.6 ^a
Spleen	42.3 ± 0.7 ^a	41.2 ± 0.7 ^a	41.1 ± 1.1 ^a	41.9 ± 0.8 ^a	40.9 ± 1.3 ^a
Kidney	27.2 ± 1.3 ^c	26.3 ± 0.6 ^c	22.2 ± 1.5 ^b	19.4 ± 0.9 ^a	18.4 ± 1.1 ^a
Tibia	149.3 ± 6.8 ^e	139.6 ± 3.2 ^d	103.4 ± 5.3 ^c	77.5 ± 7.1 ^b	60.9 ± 5.2 ^a
Testis	21.8 ± 0.5 ^a	21.7 ± 0.8 ^a	20.9 ± 1.2 ^a	20.9 ± 0.6 ^a	20.5 ± 0.4 ^a
Serum	1.73 ± 0.22 ^c	1.63 ± 0.28 ^c	1.35 ± 0.11 ^b	1.12 ± 0.11 ^{ab}	0.98 ± 0.19 ^a
Hair *	186.8 ± 1.5 ^c	180.6 ± 6.0 ^{bc}	175.0 ± 6.8 ^{bc}	165.7 ± 4.1 ^b	144.2 ± 5.3 ^a
Duodenum	23.8 ± 0.8 ^c	23.3 ± 1.2 ^c	23.0 ± 1.4 ^{bc}	21.0 ± 0.8 ^a	21.3 ± 0.8 ^{ab}
Jejunum	18.8 ± 0.9 ^c	18.6 ± 1.9 ^c	17.3 ± 1.0 ^{bc}	15.5 ± 1.9 ^{ab}	14.4 ± 0.8 ^a
Ileum	53.2 ± 1.8 ^c	50.6 ± 7.4 ^{bc}	42.2 ± 7.4 ^b	29.0 ± 4.8 ^a	26.1 ± 3.7 ^a
Cecum	22.0 ± 1.8 ^b	19.4 ± 1.0 ^a	20.0 ± 1.1 ^{ab}	20.6 ± 1.2 ^{ab}	21.9 ± 1.8 ^a

Values are means ± SD (n = 6). Values in the same row not sharing a common superscript differ significantly ($P < 0.05$).

* Unit of hair zinc concentration is μg/g dry weight.

Table 6 Concentrations of copper and iron of serum in Ex. 1 ($\mu\text{g}/\text{mL}$)

Minerals	Dietary sodium phytate level				
	0 %	0.2 %	0.5 %	1.0 %	2.0 %
Copper	1.03 \pm 0.20 ^a	1.07 \pm 0.27 ^a	1.12 \pm 0.38 ^a	1.19 \pm 0.30 ^a	1.05 \pm 0.34 ^a
Iron	2.99 \pm 0.79 ^a	3.52 \pm 0.91 ^a	2.98 \pm 0.64 ^a	2.92 \pm 0.41 ^a	2.99 \pm 0.37 ^a

Values are means \pm SD (n = 6). Values in the same row not sharing a common superscript differ significantly ($P < 0.05$).

の栄養有効性が低下することが確認できた。

Table 6 に、Ex. 1 における各群ラットの血清中銅および鉄濃度をまとめた。血清中の銅および鉄濃度には飼料中フィチン酸濃度による影響は見られなかった。フィチン酸は亜鉛などの消化管吸収を強く阻害するといわれているが^{12,13)}、本研究では飼料中の銅および鉄の濃度は標準的な濃度であり、亜鉛濃度は標準よりも低い 20 ppm であったため、銅および鉄に比較して亜鉛のほうがフィチン酸の影響を受けやすかった可能性が考えられる。

続いて行った Ex. 2 において、亜鉛の見かけの吸収率はすべての群において差は見られなかった。

Table 7 に、Ex. 1 における飼育期間終了後の各群ラットの体重と組織重量を示した。ラットの体重、体重増加量は亜鉛源による影響を認めなかった。Table 8 に血清 ALP 活性を示した。群間の差は見られなかったことから、亜鉛源による影響はなかったと考えられる。

Table 9 に、Ex. 2 における各群ラットの組織中亜鉛濃度をまとめた。血清、脛骨および回腸に相当する小腸下部の亜鉛濃度においては、NWZ 群が他群に比較して高濃度を示す傾向を認めた。Ex. 1 では、これらの組織中亜鉛濃度は飼料中フィチン酸濃度による亜鉛の有効性の低下を強く反映していた。新規の牡蠣抽出物である NWZ 中の亜鉛は、硫酸亜鉛や従来の牡蠣亜鉛抽出物に比較してフィチン酸の影響を受けにくく、吸収性が高い可能性があるかと判断した。

なお、グリシン酸亜鉛やリボ酸亜鉛は、フィチン酸の共存下で、硫酸亜鉛に比較して吸収されやすいことが報告されている^{14,15)}。NWZ 中の亜鉛の化学形態は不明であるが、これらのキレート亜鉛化合物と類似の性質を持つものかもしれない。

一方、ミネラルが消化管で吸収されるには、溶解していなければならない。しかし、ZRF に含有される亜鉛は中性付近の pH では可溶性が低く、イオンの状態で存在していないことが予想される¹⁰⁾。このために、吸収性が低くなっている可能性が考えられる。反対に、NWZ は中性付近の pH で可溶性画分であるため、亜鉛の吸収性が高い可能性があることが考えられる。

本研究では、Ex. 2 の飼料中フィチン酸濃度は、Ex. 1 における亜鉛の見かけの吸収率および組織中亜鉛濃度から 1.0% に決定し、Ex. 2 を行った。Ex. 1 では、脛骨、血清、回腸の亜鉛濃度は飼料中フィチン酸濃度 1.0% まではほぼ直線的に低下していたが、1.0% と 2.0% のあいだには、これらの組織中亜鉛濃度にそれほど大きな差は見られな

Table 7 Body and tissue wet weights of rats fed experimental diets in Ex. 2

Tissues	Wet weight (g)			
	S	ZRF	WZ	NWZ
Whole body	282.8 \pm 12.7 ^a	295.5 \pm 10.2 ^a	290.0 \pm 9.5 ^a	289.2 \pm 14.7 ^a
Liver	9.93 \pm 0.52 ^a	9.80 \pm 0.82 ^a	9.69 \pm 0.83 ^a	9.67 \pm 0.67 ^a
Thymus	0.70 \pm 0.15 ^a	0.67 \pm 0.11 ^a	0.72 \pm 0.10 ^a	0.73 \pm 0.13 ^a
Spleen	0.46 \pm 0.04 ^a	0.47 \pm 0.06 ^a	0.49 \pm 0.05 ^a	0.47 \pm 0.05 ^a
Kidney	2.06 \pm 0.13 ^a	2.01 \pm 0.09 ^a	1.95 \pm 0.09 ^a	2.01 \pm 0.08 ^a
Tibia	0.43 \pm 0.04 ^a	0.44 \pm 0.02 ^a	0.44 \pm 0.03 ^a	0.46 \pm 0.02 ^a
Testis	2.89 \pm 0.21 ^a	2.90 \pm 0.05 ^a	2.91 \pm 0.07 ^a	2.93 \pm 0.19 ^a
Duodenum	0.92 \pm 0.02 ^a	0.91 \pm 0.05 ^a	0.86 \pm 0.05 ^a	0.92 \pm 0.09 ^a
Jejunum	0.79 \pm 0.07 ^a	0.75 \pm 0.06 ^a	0.76 \pm 0.08 ^a	0.75 \pm 0.06 ^a
Ileum	0.53 \pm 0.04 ^a	0.52 \pm 0.04 ^a	0.50 \pm 0.05 ^a	0.52 \pm 0.04 ^a
Cecum	0.64 \pm 0.03 ^a	0.65 \pm 0.03 ^a	0.68 \pm 0.06 ^a	0.65 \pm 0.06 ^a

Values are means \pm SD (n = 6). Values in the same row not sharing a common superscript differ significantly ($P < 0.05$).

Table 8 Effect of dietary zinc on serum alkaline phosphatase activity in Ex. 2

Group	Activity (IU/L)
S	382 \pm 75
ZRF	333 \pm 55
WZ	338 \pm 72
NWZ	366 \pm 71

Table 9 Distribution of zinc in several tissues of rats in Ex. 2

Tissues	Tissue zinc concentration ($\mu\text{g}/\text{g}$ wet weight)			
	S	ZRF	WZ	NWZ
Liver	24.3 \pm 1.0 ^a	24.7 \pm 2.2 ^a	23.6 \pm 3.5 ^a	24.8 \pm 2.5 ^a
Thymus	18.8 \pm 1.2 ^a	18.9 \pm 3.6 ^a	19.7 \pm 0.9 ^a	19.0 \pm 0.9 ^a
Spleen	18.8 \pm 1.1 ^a	19.2 \pm 0.8 ^a	19.0 \pm 0.4 ^a	19.5 \pm 0.9 ^a
Kidney	20.8 \pm 1.0 ^a	19.7 \pm 0.3 ^a	20.0 \pm 0.7 ^a	20.3 \pm 0.6 ^a
Tibia	82.1 \pm 10.3 ^a	82.5 \pm 6.0 ^a	81.5 \pm 6.0 ^a	89.8 \pm 5.2 ^a
Testis	21.5 \pm 1.1 ^a	22.4 \pm 0.5 ^a	22.6 \pm 0.5 ^a	21.8 \pm 0.5 ^a
Serum	0.90 \pm 0.14 ^a	0.96 \pm 0.09 ^a	1.01 \pm 0.22 ^a	1.10 \pm 0.14 ^a
Hair *	160.3 \pm 5.6 ^a	152.7 \pm 5.1 ^a	152.0 \pm 4.8 ^a	160.5 \pm 6.8 ^a
Duodenum	20.1 \pm 1.8 ^a	19.1 \pm 0.9 ^a	20.0 \pm 1.1 ^a	20.0 \pm 1.4 ^a
Jejunum	17.1 \pm 1.7 ^a	16.5 \pm 0.7 ^a	17.0 \pm 1.3 ^a	17.7 \pm 1.2 ^a
Ileum	30.4 \pm 2.4 ^a	30.9 \pm 2.9 ^a	28.7 \pm 3.4 ^a	33.0 \pm 4.2 ^a
Cecum	20.1 \pm 6.3 ^a	19.7 \pm 2.2 ^a	21.7 \pm 1.5 ^a	20.4 \pm 1.3 ^a

Values are means \pm SD (n = 6). Values in the same row not sharing a common superscript differ significantly ($P < 0.05$).

* Unit of hair zinc concentration is $\mu\text{g}/\text{g}$ dry weight.

かった。つまり、フィチン酸濃度 1.0% 以上であればフィチン酸の影響はそれ以上大きく現れなかったため、もともとフィチン酸の影響を受ける最少量であって、かつ亜鉛の見かけの吸収率が低下する傾向が見られるフィチン酸

濃度 1.0% とした。飼料中フィチン酸濃度と脛骨の亜鉛濃度は負の直線関係にあることを考えると¹¹⁾、飼料中フィチン酸濃度 1.0% ではすべての亜鉛源に対するフィチン酸の影響が強すぎるために、亜鉛源による違いが見られなくなっている可能性も考えられる。したがって、飼料中フィチン酸濃度 0.5% までの条件で、再度、検討する必要があると思われる。

参考文献

- 1) King JC, Shames DM, Woodhouse LR (2000) Zinc homeostasis in humans. *J Nutr* 130: 1360S–1366S.
- 2) Lönnerdal B (2000) Dietary factor influencing zinc absorption. *J Nutr* 130: 1378S–1383S.
- 3) かき肉エキス製法特許 I 特許第 1770901 号
- 4) かき肉エキス物質製法特許 II 特許第 1813693 号
- 5) かき肉エキス W 抽出製法特許 III 特許第 3429726 号
- 6) Kind PR, King EJ (1954) Estimation of plasma phosphatase by determination of hydrolysed phenol with amino-antipyrine. *J Clin Pathol* 7: 322–326.
- 7) 奥 恒行 (1982) 食物繊維の生理作用. 「食物繊維」, 印南 敏, 桐山修八編, 第一出版社株式会社
- 8) 中原典子, 岡崎由佳子, 片山徹之 (2000) 食餌フィチン酸によるラット盲腸の肥大効果. *微量栄養素研究* 17: 59–61.
- 9) Kirchgessner M, Roth HP (1980) In “Zinc in the Environment”, ed. by Nriagu JO, Wiley, New York: pp. 71.
- 10) Rothbaum RJ, Maur PR, Farrell MK (1982) Serum alkaline phosphatase and zinc undernutrition in infants with chronic diarrhea. *Am J Clin Nutr* 35 (3): 595–598.
- 11) Zhou JR, Fordyce EJ, Raboy V, Dickinson DB, Wong MS, Burns RA, Erdman JW (1992) Reduction of phytic acid in soybean products improves zinc bioavailability in rats. *J Nutr* 122: 2466–2473.
- 12) William AH, Ross MW, Darrell RV (1982) Effect of phytic acid on the absorption, distribution, and endogenous excretion of zinc in rats. *J Nutr* 112: 941–953.
- 13) Davies NT, Nightingale R (1975) The effect of phytate on intestinal absorption and secretion of zinc, and whole-body retention of Zn, copper, iron and manganese in rats. *Br J Nutr* 34 (2): 243–258.
- 14) Schlegel P, Windisch W (2006) Bioavailability of zinc glycinate in comparison with zinc sulphate in the presence of dietary phytate in an animal model with Zn labelled rats. *J Anim Physiol Anim Nutr* 90 (5–6): 216–222.
- 15) Waler A, Krämer K, Most E, Pallauf J (2002) Zinc availability from zinc liponate and zinc sulfate in growing rats. *J Trace Elem Med Biol* 16 (3): 169–174.
- 16) 吉田宗弘, 平田 登, 木谷祥子, 松田芳和 (2002) 牡蠣から調製した亜鉛濃縮物の性質. *微量栄養素研究* 19: 43–46.