

## 新規のカキ (*Crassostrea gigas*) 抽出物に含まれる 亜鉛の有効性の検討 (第二報)

安部 麻美子<sup>1)</sup>, 松田 芳和<sup>1)</sup>, 小邨 奈未<sup>1)</sup>, 福永 健治<sup>2)</sup>, 吉田 宗弘<sup>2)</sup>  
(<sup>1)</sup>日本クリニック(株)中央研究所\*, (<sup>2)</sup>関西大学化学生命工学部食品工学研究室\*\*)

### Bioavailability of Zinc in a Novel Oyster Extract (Part 2)

Mamiko ABE<sup>1)</sup>, Yoshikazu MATSUDA<sup>1)</sup>, Nami KOMURA<sup>1)</sup>, Kenji FUKUNAGA<sup>2)</sup> and Munehiro YOSHIDA<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>Central Research Institute, Japan Clinic Co., Ltd.,

<sup>2)</sup>Laboratory of Food and Nutritional Sciences, Faculty of Chemistry, Materials and Bioengineering, Kansai University

#### Summary

We previously prepared a new oyster extract (NWZ) from a mixture (WZ) of a hot water extract and a zinc-rich fraction obtained from oysters. In the present study, the availability of NWZ was investigated in comparison with WZ and zinc sulfate. Serum zinc concentration after a single oral zinc administration in rats was examined. Prior to the start of the experiment, ten-week-old male Wistar rats were given a zinc-deficient diet for 6 days. The rats were orally administered zinc-deficient diet suspension or one of three experimental diet suspensions containing two types of oyster extracts (NWZ and WZ) or zinc sulfate. A blood sample was taken from the caudal vein before and 1, 2 and 4 hours after the oral administration. Two hours after administration, rats that received the diet suspension containing zinc as NWZ or WZ showed a higher serum zinc concentration than those administered the diet suspension containing zinc as zinc sulfate. The area under the curve at 4 hours (AUC<sub>4</sub>) calculated from the serum zinc concentration after oral administration of NWZ was larger than that of those administered WZ or zinc sulfate. It is possible that zinc in NWZ is more absorbable in the gastrointestinal tract than the zinc in WZ or zinc sulfate. The effects of differences in zinc source on the absorption and tissue distribution of zinc were examined in rats fed a diet containing various concentrations of sodium phytate. Five-week-old male Wistar rats were given 0, 0.2 or 0.5 % sodium phytate-supplemented diets containing 20 ppm of zinc as NWZ or zinc sulfate for 29 days. The rats fed a diet higher in sodium phytate showed lower tissue zinc concentrations in the liver, kidney and tibia. The zinc concentrations in those tissues responded to a decrease in dietary sodium phytate. Differences in dietary zinc source (NWZ or zinc sulfate) did not significantly influence zinc concentrations in serum or various other tissues in rats receiving equal sodium phytate concentrations. The regression line between sodium phytate in the diet and tibial zinc concentration, the slope was obviously more gradual for rats receiving a diet containing zinc as NWZ than in those receiving zinc sulfate. It is possible that the zinc in NWZ is more resistant to the influence of sodium phytate. Zinc solubility was evaluated by pepsin-trypsin digestion *in vitro*. Zinc in NWZ diet showed higher solubility than WZ or zinc sulfate diet in pepsin-trypsin digestion. Therefore, zinc in NWZ showed higher absorbability from the gastrointestinal tract than WZ or zinc sulfate. These findings suggest that NWZ has higher zinc bioavailability than WZ or zinc sulfate.

ミネラルの栄養有効性は、食品の種類、組み合わせや食事中の共存成分によって影響を受ける。また、消化吸収率に対する食品中の共存成分の影響は大きい。亜鉛の吸収率は、一般には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<sup>1,2)</sup>。われわれは、ラットに亜鉛とその

吸収阻害物質であるフィチン酸を同時に投与したとき、組織(脛骨、血清、回腸)亜鉛濃度が飼料中フィチン酸濃度に依存して低下しており、亜鉛の栄養有効性が低下することを確認した<sup>3)</sup>。

一方、われわれはこれまでカキ(*Crassostrea gigas*)の有効成分を活用するために、カキから熱水抽出物と亜鉛濃

\*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)

縮物 (ZRF) を調製し、商品化してきた<sup>4-6)</sup>。さらに、OE と ZRF の混合物 (以下 WZ) から中性付近で可溶性亜鉛を高濃度に含有する抽出物 NWZ を調製し、その有効性について検討してきた。その結果、フィチン酸投与ラットにおいて、新規のカキ抽出物である NWZ 中の亜鉛は、従来のカキ抽出物中の亜鉛や硫酸亜鉛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ことを示唆した<sup>3)</sup>。

本研究では、種々のカキ抽出物中の亜鉛と硫酸亜鉛の有効性を、ラットにおいて種々の亜鉛を単回経口投与したときの血清亜鉛濃度の経時変化、および、4週間継続してフィチン酸と亜鉛を投与したときの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として検討を加えたので報告する。

## 実験方法

### 1. カキ抽出物

本実験で使用したカキ抽出物とは、カキの熱水抽出物とその残渣より抽出した亜鉛濃縮物 (ZRF) の混合物 (WZ) および、WZ から抽出した中性付近の pH で可溶性亜鉛を高濃度に含有する抽出物 (NWZ) の2種類の抽出物である。

### 2. 動物実験

#### 1) Ex. 1

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) で、体重 280~330 g の 10 週齢の Wistar 系雄ラットをあらかじめ 6 日間飼育した後、4 群に分けた。次に、亜鉛欠乏基本飼料に亜鉛濃度が 400 ppm になるように、亜鉛源を添加し飼料を調製した。飼料に添加する亜鉛源として、カキ抽出物である NWZ、WZ および硫酸亜鉛を用いた。なお、NWZ および WZ のミネラル組成は Table 2 に示し

たとおりである。これらの飼料を、亜鉛投与量 1 mg/kg 体重、すなわち飼料投与量 2.5 g/kg 体重になるように、蒸留水に懸濁し、各群ラットにゾンデを用いて経口投与した。コントロールは亜鉛欠乏基本飼料を蒸留水に懸濁したものを同様に経口投与したものとした。投与前と投与 1, 2, 4 時間後にラットの尾静脈から採血した。

#### 2) Ex. 2

Table 1 に示した亜鉛欠乏飼料に 0, 0.2, 0.5% のフィチン酸ナトリウムをセルロースの一部と置換して段階的に添加した 3 種の飼料を調製した。これら 3 種のフィチン酸含有亜鉛欠乏飼料に亜鉛濃度 20 ppm になるように亜鉛源を添加した。飼料に添加する亜鉛源として、カキ抽出物である NWZ および硫酸亜鉛を用いた。

体重 116~132 g の 5 週齢の Wistar 系雄ラット 36 匹を 6 匹ずつ 6 群に分け、上記 6 種の飼料を投与し、自由摂食法で 29 日間飼育した。飲料水は蒸留水とした。なお、NWZ のミネラル組成は上記 Table 2 に示したとおりである。

飼育開始 22~29 日目の 8 日間にわたって糞を採取して亜鉛濃度を測定し、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。

#### 3. *In vitro* 消化試験 (Ex. 3)

Table 1 に示した亜鉛欠乏飼料に 0, 0.25, 0.50% のフィチン酸ナトリウムをセルロースの一部と置換して段階的に添加した 3 種の飼料を調製した。これら 3 種の飼料に亜鉛濃度 200 ppm になるように亜鉛源を添加した。飼料に添加する亜鉛源としては、カキ抽出物である NWZ、WZ および硫酸亜鉛を用いた。

上記 6 種の飼料各 1 g に、200 mg のペプシンを含む 0.1 N の塩酸 100 mL を加え、37℃ で 3 時間反応させた。反応終

**Table 1** Composition of basal zinc-deficient diet

Ingredient	%
Egg albumin	20
Dextrose	63.7
Corn oil	10
Cellulose powder	2
Mineral mix <sup>a</sup>	3.13
Vitamin mix <sup>b</sup>	1.17

<sup>a</sup> Supplied per 100 g of diet: 17.75 g of NaCl, 34.16 g of K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>, 5.28 g of MgSO<sub>4</sub>, 7.96 g of CaHPO<sub>4</sub>, 31.79 g of CaCO<sub>3</sub>, 2.91 g of Fe-Citrate, 0.084 g of KI, 0.028 g of MnSO<sub>4</sub>·4H<sub>2</sub>O, 0.032 g of CuSO<sub>4</sub>·5H<sub>2</sub>O, 0.006 g of CoCl<sub>2</sub>·6H<sub>2</sub>O.

<sup>b</sup> Supplied per 100 g of diet: 85,470 IU of Vitamin A, 10,680 IU of Vitamin D<sub>3</sub>, 940 mg of Vitamin E, 2.82 mg of Vitamin K<sub>3</sub>, 85.5 mg of Vitamin B<sub>1</sub>, 51.3 mg of Vitamin B<sub>2</sub>, 34.2 mg of Vitamin B<sub>6</sub>, 0.17 mg of Vitamin B<sub>12</sub>, 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.

**Table 2** Mineral compositions of oyster extracts

Minerals	NWZ	WZ
Sodium (g/100 g)	3.6	3.7
Calcium (mg/100 g)	170	210
Phosphorus (mg/100 g)	680	737
Potassium (g/100 g)	1.70	2.13
Magnesium (mg/100 g)	280	403
Iron (mg/100 g)	10.5	14.6
Copper (mg/100 g)	8.72	9.48
Zinc (mg/100 g)	209	150
Manganese (mg/100 g)	5.46	5.59
Selenium (μg/100 g)	140	193
Chromium (mg/100 g)	0.08	0.07
Lithium (μg/100 g)	100	139
Vanadium (μg/100 g)	33	10.0
Cadmium (mg/100 g)	0.19	0.14

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

了後、1 Nの水酸化ナトリウム水溶液でpHを7.6に調整し、5 mgの結晶トリプシンを含む10 mLのトリス塩酸緩衝液(50 mM, pH 7.4)を加え、37°Cでさらに3時間反応させた。反応終了後の人工消化溶液は速やかに遠心して上清と沈殿に分離した。

#### 4. 測定

##### 1) 亜鉛の定量

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0.1 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。動物の臓器、血清、体毛および人工消化溶液とその上清は、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。なお、Ex. 1の血清亜鉛濃度の測定には、5-Br-PAPS法を用いたZn-テストワコー(和光純薬社製)<sup>7)</sup>を使用した。

##### 2) 酵素活性測定

血清アルカリフォスタファアーゼ(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)<sup>8)</sup>を使用した。

### 結果と考察

Ex. 1における亜鉛の単回経口投与後の各群ラットの血清亜鉛濃度の経時変化をFig. 1に示した。コントロール群のラットの血清亜鉛濃度は、投与直前から4時間後までの間でわずかに上下したが、ほぼ一定であった。亜鉛投与1および2時間後に、亜鉛投与群の血清亜鉛濃度を比較すると、NWZ投与群とWZ投与群が硫酸亜鉛投与群より高値を示す傾向にあった。

亜鉛投与4時間後までの後の各群ラットの血清亜鉛濃度の変化を積分した曲線下面積AUC<sub>4</sub>をTable 3に示した。血清亜鉛のAUC<sub>4</sub>は、硫酸亜鉛投与群、WZ投与群、NWZ投与群の順に大きい傾向が見られ、それぞれコントロール群の2.3, 2.5, 2.7倍であった。また、硫酸亜鉛投与群と比較して、NWZ投与群は1.2倍、WZ投与群は1.1倍であり、NWZ投与群およびWZ投与群は硫酸亜鉛投与群と比較して大きい傾向にあった。

AUCは体循環血液に入った物質質量に比例するので<sup>9)</sup>、体内に取り込まれた亜鉛量を示す指標として考えられる。したがって、NWZ中の亜鉛はWZ中の亜鉛や硫酸亜鉛と比較して、消化管において吸収されやすい可能性があると考えられる。

WZはカキの熱水抽出物と亜鉛濃縮物であるZRFとの混合物である。ZRF中の亜鉛は中性付近の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<sup>10)</sup>。このために、WZ中の亜鉛の吸収性はNWZ中の亜鉛と比較して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で可溶な画分であるため、NWZ中の亜鉛が消化管において吸収されやすくなる理由の一つ

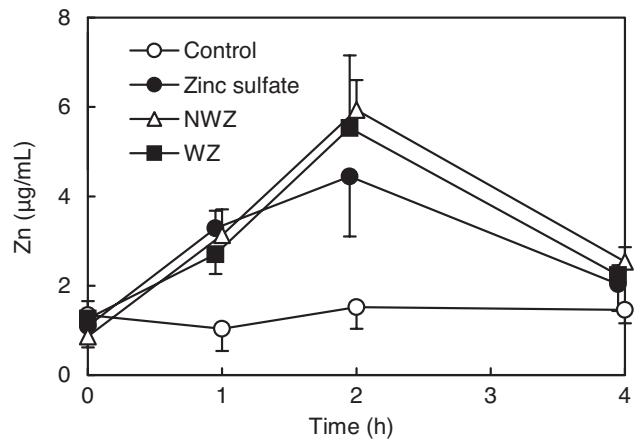


Fig. 1 Serum zinc concentration after oral administration of different zinc sources.

Table 3 The area under the curve (AUC<sub>4</sub>) of serum zinc concentration

Zinc added	AUC <sub>4</sub> (µg·h/mL)
None	5.4 ± 1.1 <sup>a</sup>
Zinc sulfate	12.5 ± 2.5 <sup>b</sup>
NWZ	14.8 ± 1.2 <sup>b</sup>
WZ	13.8 ± 2.1 <sup>b</sup>

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

として考えられた。

Table 4に、Ex. 2における飼育期間終了後の各群ラットの体重と体重100 g当たりの組織重量を示した。各群ラットの体重、体重増加量、飼料効率、体重100 g当たりの組織重量はすべての群間に差は認められず、飼料へのフィチン酸添加および亜鉛源による影響を認めなかった。また、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。

NWZを亜鉛源としたとき、飼料中フィチン酸ナトリウム濃度0, 0.2, 0.5%のときの亜鉛の見かけの吸収率は、それぞれ43.4, 37.0, 34.4%であった。同様に、硫酸亜鉛を亜鉛源としたときは、43.0, 38.8, 33.3%であった。亜鉛源の種類に関係なく、飼料中フィチン酸ナトリウム濃度が高くなるにしたがって、亜鉛の見かけの吸収率は低下する傾向が見られた。

Table 5に、Ex. 2における各群ラットの組織亜鉛濃度をまとめた。肝臓、腎臓、脛骨、血清、回腸の亜鉛濃度は、亜鉛源の種類に関わらず、飼料中フィチン酸ナトリウム濃度が高くなるにしたがって、低下する傾向が見られた。とくに、肝臓、腎臓、脛骨の亜鉛濃度は飼料へのフィチン酸ナトリウム添加による有意な影響が見られた。飼料中フィチン酸ナトリウム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の栄養有効性が低下することが確認できた。

飼料中フィチン酸ナトリウム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<sup>11)</sup>。今回の実験でも、い

**Table 4** Body and relative tissue wet weights of rats fed diets supplemented with different zinc sources and sodium phytate levels in Ex. 2

Tissue	Zinc sulfate			NWZ		
	Sodium phytate			Sodium phytate		
	0 %	0.2 %	0.5 %	0 %	0.2 %	0.5 %
Whole body (g)	292 ± 15	308 ± 3	310 ± 7	314 ± 18	302 ± 9	304 ± 19
Liver (g/100 g WB)	3.16 ± 0.17	3.60 ± 0.30	3.56 ± 0.19	3.46 ± 0.33	3.49 ± 0.25	3.52 ± 0.24
Thymus (g/100 g WB)	0.23 ± 0.03	0.25 ± 0.03	0.26 ± 0.04	0.22 ± 0.02	0.26 ± 0.02	0.26 ± 0.04
Spleen (g/100 g WB)	0.16 ± 0.01	0.16 ± 0.01	0.18 ± 0.01	0.17 ± 0.02	0.16 ± 0.01	0.17 ± 0.01
Kidney (g/100 g WB)	0.69 ± 0.01	0.69 ± 0.05	0.67 ± 0.04	0.66 ± 0.01	0.71 ± 0.06	0.71 ± 0.04
Testis (g/100 g WB)	1.01 ± 0.07	0.99 ± 0.04	1.01 ± 0.07	0.94 ± 0.03	1.00 ± 0.07	0.98 ± 0.05
Cecum (g/100 g WB)	0.21 ± 0.01	0.21 ± 0.01	0.21 ± 0.02	0.20 ± 0.02	0.22 ± 0.02	0.21 ± 0.01

**Table 5** Distribution of zinc (µg/g wet weight) in several tissues of rats supplemented with different zinc sources and sodium phytate levels in Ex. 2

Tissue	Zinc sulfate			NWZ		
	Sodium phytate			Sodium phytate		
	0 %	0.2 %	0.5 %	0 %	0.2 %	0.5 %
Liver	28.9 ± 1.9 <sup>b</sup>	26.8 ± 1.8 <sup>ab</sup>	26.0 ± 1.7 <sup>a</sup>	28.7 ± 1.8 <sup>ab</sup>	26.7 ± 2.4 <sup>ab</sup>	25.0 ± 2.8 <sup>ab</sup>
Thymus	20.4 ± 0.5 <sup>a</sup>	20.0 ± 1.0 <sup>a</sup>	19.8 ± 0.3 <sup>a</sup>	20.3 ± 0.9 <sup>a</sup>	20.1 ± 0.4 <sup>a</sup>	19.7 ± 0.5 <sup>a</sup>
Spleen	21.1 ± 1.3 <sup>a</sup>	20.0 ± 0.8 <sup>a</sup>	20.9 ± 0.7 <sup>a</sup>	20.7 ± 1.1 <sup>a</sup>	20.4 ± 0.6 <sup>a</sup>	20.9 ± 0.7 <sup>a</sup>
Kidney	27.0 ± 1.0 <sup>b</sup>	27.4 ± 1.6 <sup>b</sup>	23.6 ± 1.3 <sup>a</sup>	27.2 ± 1.6 <sup>b</sup>	26.9 ± 1.3 <sup>b</sup>	28.7 ± 1.0 <sup>a</sup>
Tibia	143 ± 11 <sup>b</sup>	138 ± 7 <sup>b</sup>	104 ± 4 <sup>a</sup>	136 ± 9 <sup>b</sup>	134 ± 6 <sup>b</sup>	116 ± 6 <sup>a</sup>
Testis	24.6 ± 0.6 <sup>a</sup>	24.5 ± 0.7 <sup>a</sup>	24.2 ± 0.6 <sup>a</sup>	24.4 ± 1.3 <sup>a</sup>	23.1 ± 1.9 <sup>a</sup>	23.4 ± 2.4 <sup>a</sup>
Serum *	1.77 ± 0.21 <sup>a</sup>	1.74 ± 0.14 <sup>a</sup>	1.64 ± 0.17 <sup>a</sup>	1.81 ± 0.14 <sup>a</sup>	1.73 ± 0.12 <sup>a</sup>	1.63 ± 0.12 <sup>a</sup>
Hair **	168 ± 9 <sup>a</sup>	169 ± 5 <sup>a</sup>	167 ± 2 <sup>a</sup>	170 ± 9 <sup>a</sup>	172 ± 5 <sup>a</sup>	170 ± 8 <sup>a</sup>
Duodenum	22.9 ± 0.7 <sup>a</sup>	25.7 ± 1.1 <sup>b</sup>	23.4 ± 0.7 <sup>a</sup>	23.6 ± 1.2 <sup>a</sup>	24.4 ± 1.1 <sup>ab</sup>	23.1 ± 1.7 <sup>a</sup>
Jejunum	21.2 ± 2.3 <sup>ab</sup>	23.2 ± 2.4 <sup>b</sup>	19.7 ± 1.1 <sup>a</sup>	20.9 ± 1.7 <sup>ab</sup>	23.1 ± 1.4 <sup>b</sup>	20.3 ± 0.5 <sup>ab</sup>
Ileum	49.5 ± 6.7 <sup>abc</sup>	61.3 ± 10.4 <sup>c</sup>	40.8 ± 6.7 <sup>a</sup>	50.5 ± 7.4 <sup>bc</sup>	53.2 ± 8.0 <sup>ab</sup>	43.7 ± 4.4 <sup>a</sup>
Cecum	21.8 ± 1.1 <sup>a</sup>	22.1 ± 2.1 <sup>a</sup>	20.9 ± 2.7 <sup>a</sup>	20.5 ± 2.9 <sup>a</sup>	22.6 ± 0.4 <sup>a</sup>	22.5 ± 2.0 <sup>a</sup>

Values are means ± SD (n=6). Values in the same row not sharing a common superscript differ significantly ( $p < 0.05$ ).  
\* unit of serum zinc µg/mL dry weight, \*\* unit of hair zinc µg/g dry weight.

くつかの組織では、組織亜鉛濃度は飼料中フィチン酸ナトリウム濃度を反映し、量依存的に低下することが認められた。NWZ 投与群と硫酸亜鉛投与群に組織亜鉛濃度の有意な差は認められなかったが、飼料中フィチン酸ナトリウム濃度と脛骨の亜鉛濃度のあいだの回帰直線の傾きは、NWZ 投与群は硫酸亜鉛投与群に比較して明らかに緩やかであり、NWZ 中の亜鉛はフィチン酸の影響を受けにくい可能性があると考えられた。

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が<sup>12,13</sup>、血清 ALP 活性は各群間に有意差は認められず、亜鉛源の種類や飼料中フィチン酸ナトリウム濃度に影響を受けてないことが確認された。

人工消化後の溶液の上清に含まれる亜鉛、すなわち可溶性亜鉛は、体内で利用可能な吸収される亜鉛であると考え、Ex. 3 における人工消化溶液中の可溶性亜鉛の割合を算出し、Table 6 に示した。NWZ 中の亜鉛は、飼料中フィチン酸ナトリウム濃度に関係なく、WZ 中の亜鉛および硫酸亜鉛に比較して、可溶性亜鉛の割合が高い傾向にあった。すなわち、可溶性亜鉛の割合は、NWZ が最も大きく、ついで WZ、硫酸亜鉛の順であり、吸収可能な亜鉛

**Table 6** Percentage of soluble zinc in pepsin-trypsin digests of experimental diets containing zinc sulfate or oyster zinc *in vitro*

Zinc added	Sodium phytate		
	0 %	0.25 %	0.50 %
Zinc sulfate	51.4	29.0	11.9
NWZ	67.6	38.1	20.1
WZ	56.2	31.5	16.5

Percentage of soluble zinc is calculated by dividing supernatant zinc amount by total zinc amount.

の割合もこの順に高いと考えられた。

本研究では、新規のカキ抽出物である NWZ 中の亜鉛の有効性を、ラットにおける単回投与試験、29 日間の投与試験および *in vitro* での人工消化試験の 3 つの方法を用いて、従来のカキ抽出物中の亜鉛や硫酸亜鉛と比較、検討した。

Ex. 1 において、NWZ を経口投与したラットの血清亜鉛濃度のピークがもっとも大きく、AUC<sub>4</sub> も大きかった。つまり、一過性に上昇した血清亜鉛濃度がもっとも高く、体循環血液中に入った亜鉛量も多かったことから、NWZ

中の亜鉛は吸収率が高いと考えた。

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<sup>14)</sup>。Ex. 2において、29日間ラットに亜鉛を連続投与することは、単回経口投与であるEx. 1を複数回繰り返したことと同義であると考えられる。このとき脛骨の亜鉛濃度がNWZ投与群で高い傾向にあったのは、Ex. 3の結果から分かるように、亜鉛を含む飼料が胃や小腸で消化され、腸管で吸収されるまでの過程において、可溶性亜鉛の割合が高く、吸収率が高い傾向にあったことが理由の一つと考えられる。フィチン酸は亜鉛などの消化管吸収を強く阻害し、有効性を低下させるといわれているように<sup>15, 16)</sup>、本研究でも、カキ抽出物中の亜鉛と硫酸亜鉛はすべてフィチン酸による吸収阻害の影響を受けたが、新規のカキ抽出物であるNWZ中の亜鉛は、従来のカキ抽出物中の亜鉛や硫酸亜鉛に比較して、フィチン酸の影響を受けにくく、吸収性が高く、有効性が高い可能性があると考えられた。

### 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) 安部麻美子, 松田芳和, 小邨奈未, 福永健治, 吉田宗弘 (2008) 新規の牡蠣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. *微量栄養素研究* 25: 46–50.
- 4) かき肉エキス製法特許 I 特許第 1770901 号
- 5) かき肉エキス物質製法特許 II 特許第 1813693 号
- 6) かき肉エキス W 抽出製法特許 III 特許第 3429726 号
- 7) Makino T, Saito M, Horiguchi D, Kina K (1982) A highly sensitive colorimetric determination of serum zinc using water-soluble pyridylazo dye. *Clin Chim Acta* 120: 127–135.
- 8) Kind PR, King EJ (1954) Estimation of plasma phosphatase by determination of hydrolysed phenol with amino-antipyrine. *J Clin Pathol* 7: 322–326.
- 9) Matthews JN, Altman DG, Campbell MJ, Royston P (1990) Analysis of serial measurements in medical research. *BMJ* 300: 230–235.
- 10) 吉田宗弘, 平田 登, 木谷祥子, 松田芳和 (2002) カキから調製した亜鉛濃縮物の性質. *微量栄養素研究* 19: 43–46.
- 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) Kirchgessner M, Roth HP (1980) Biochemical changes of hormones and metalloenzymes in zinc deficiency. in *Zinc in the Environment. Part II*, ed. by Nriagu JO, John Wiley and Sons, New York: pp. 71–103.
- 13) Rothbaum RJ, Maur PR, Farrell MK (1982) Serum alkaline phosphatase and zinc undernutrition in infants with chronic diarrhea. *Am J Clin Nutr* 35: 595–598.
- 14) Clydesdale FM (1988) Minerals: Their chemistry and fate in food. in *Trace Minerals in Food*, ed. by Smith T, Marcel Dekker Inc., New York: pp. 57–94.
- 15) 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.
- 16) 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: 243–258.