

ひじきに含まれる亜鉛の可溶化に及ぼす調理法の影響

石井智恵美・中林みどり

Effect of Cooking Methods on the Solubilization of Zinc in Hiziki, *Hizikia fusiformis*.

Chiemi Ishii · Midori Nakabayashi

亜鉛は一般的にその必要性があまり認識されておらず、我々も日常的に摂取亜鉛量を考慮に入れて食事の献立を考えることはほとんどないように思われる。亜鉛を多く含む食品は穀類、豆類、肉類、海藻類であり、アメリカの栄養所要量では1日当たり男性が15mg、女性が12mgと定められている¹⁾。我が国では米を多く摂取するため深刻な亜鉛欠乏はないとされ、科学技術庁資源調査会編の四訂日本食品標準成分表にもその項目はなく、栄養所要量も定められていない。1930～1983年までの調査では、日本人の亜鉛供給と摂取量は第二次世界大戦直後に著しく低水準となり、その後1950年代半ばまでに急速に回復し、1970年代以降は横這い状態であることが観察されている²⁾。しかしながら、国立衛生試験所の調査(1979～1982年)による日本人の亜鉛摂取量は全国平均1人1日当たり8.6～9.2mgと低い水準を示しており、特に成人女性の摂取量は6.5～7.9mgと更に低い³⁾。なかでも女子大学生の摂取量は6.5±1.4mgであったとの報告もあり、原因として摂取食品量の少ないこと、特に亜鉛含有量の高い米、肉、大豆などの摂取量が少ないことが原因としてあげられている⁴⁾。また、亜鉛の生体利用効率を決定する要因の一つとして亜鉛に対するカルシウムとフィチン酸摂取量のバランスがある⁵⁾。これは、[カルシウム] [フィチン酸] / [亜鉛] 比 (mmol/1000kcal) が、大豆・パン食で140、穀類食で110、大豆・肉食で350を超えると、亜鉛の利用効率が25%低下するというものである。また、生体内では200を超える各種の酵素の構成成分として亜鉛が必須であることが明らかになっている。

高等動物に対する亜鉛の必要性⁶⁾がラットを使って実験的に証明されたのは1934年であり、ヒトでの亜鉛欠乏症の最初の報告⁷⁾は1961年のことであった。亜鉛欠乏時にみられる障害は、成長遅延、食欲不振に伴う摂食量の低下、感覚機能の異常、皮膚障害、性機能不全等があげられるが、亜鉛の代謝は恒常性維持機構によって強く調節されている¹⁾。すなわち、摂取量が多くなれば排泄量が多くなり、逆に摂取量が少なくなれば排泄量も少なくなるものである。しかしながら、亜鉛の吸収率は通常摂食量の約30%と言われており⁸⁾、年とともに低下して65～74歳の男性では17%と報告されている⁹⁾。このため高齢者の亜鉛排泄量は若年者の4.7mgに比べ2.2mgと低く抑えられ、低い吸収量に見合った量となっているが、高齢者を中心に消化吸收機能の低下、肝機能低下などによる亜鉛欠乏症が報告されている⁸⁾⁹⁾¹⁰⁾¹¹⁾。成人に現れやすい症状としては感覚機能の異常(味盲症：味覚閾値の上昇)があげられる。

亜鉛は消化の過程で遊離のイオンとなり、低分子の有機物と錯体を形成して小腸粘膜を通過する。すなわち食品成分と結合した亜鉛は先ず可溶化される必要がある。そこで調理によってどの程度亜鉛が可溶化されるのか、調理法を変えることによって可溶化率に変化がみられるかどうか

を海藻の中でも亜鉛含有量が高く、副菜として頻繁に食卓に上っても比較的飽きのこない食品としてひじきを用いて検討した。

実験方法

1. 試料

ひじき：商品名 伊勢長ひじき
製造年月日：1994年9月1日
発売元：山城屋（大阪府守口市大宮通2-38）

2. 人工消化

(1) 試料の調製

- 1) ひじき 5gを100mlの水に30分間浸漬膨潤させた後、浸漬液と併に加熱する。加熱時間は0、5、10、20、30分とした。
- 2) ひじき 5gを100mlの水に30分間浸漬膨潤させた後、ひじきのみを取り出してサラダ油3.5mlで2分間炒める。これを再度浸漬液と併に加熱する。加熱時間は0、5、10分とした。

(2) 人工消化法

人工消化は吉田等¹²⁾の方法に従い以下のように行った。

- 1) ホモジナイズしたひじき2.5g（湿重量）を30ml遠沈管にとり、0.05N塩酸7.5mlとペプシン50mgを加える。この段階でpHは1.5となる。
- 2) 防腐剤としてアジ化ナトリウムを添加し、37°Cで4時間振とう培養する。
- 3) パンクレアチン250mgを懸濁させた1.0Mトリス塩酸緩衝液（pH8.5）を加えてpH8に調整し、37°Cで20時間振とう培養する。
- 4) ペプシン、パンクレアチン消化後は氷冷し、遠心分離（3000rpm、5分）した。得られた上澄液を亜鉛量の測定試料とした。

3. 亜鉛の定量

亜鉛の定量は衛生試験法に従い、以下のように行った。

(1) ジンコン溶液の調製

ジンコン（2-カルボキシ-2'-ヒドロキシ-5'-スルホホルマジルベンゼン）0.1gを1N水酸化ナトリウム溶液2mlに溶かし、水を加えて全量を100mlとする。

(2) 亜鉛標準溶液の調製

硫酸亜鉛（ $ZnSO_4 \cdot H_2O$ ）4.3983gを水に溶かして全量を1000mlとし、その10mlをとって、水を加えて1000mlとする。亜鉛標準溶液中1mlに0.01mgの亜鉛が含まれている。

(3) 亜鉛定量法

試料6mlを10mlのメスフラスコにとり、クラーク・ラブス混合緩衝液（0.2M、pH9.0）2mlを加えてふり混ぜた後、ジンコン溶液0.2mlを加える。このとき銅の共存による吸光度の増大を回避するため、試料にあらかじめチオ尿素0.2gを添加しておいた。これに水を加えて10mlとし、よくふり混ぜた後、その一部について吸光度（測定波長610nm：HITACHI Spectro photometer Model100-20）を測定した。また同時に亜鉛標準液0、0.5、0.75、1.0ml（チオ尿素0.2gを含む）を順次にとり、同様に操作して検量線を作成した（図1）。

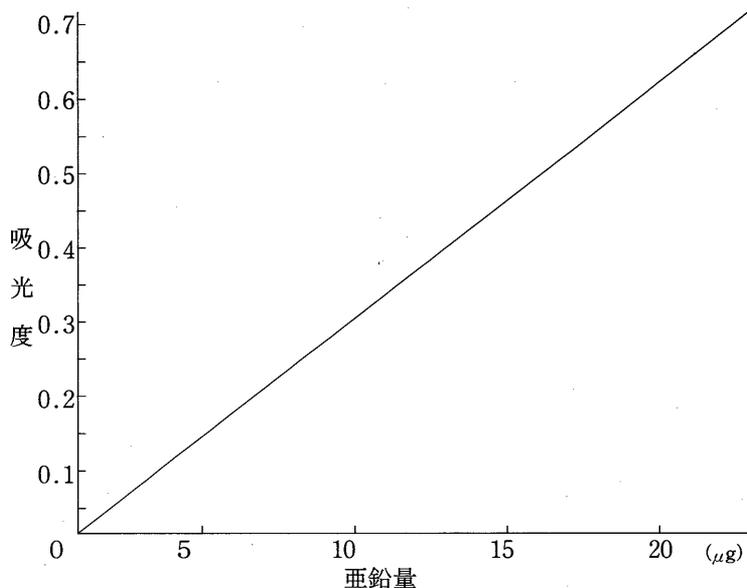


図1 亜鉛の検量線

結 果

本検討にあたり調理法は二通り設定し、実験系を単純化するために調味料は用いなかった。

(1) 「浸漬」「煮る」操作による煮汁への亜鉛の溶出

表1に示す通り、30分の浸漬により5gのひじきは18~20ml吸水したため、浸漬液量には相当の減少があった。その後の加熱による蒸発で煮汁の液量は更に減少した。煮汁中の亜鉛量は5gの乾燥ひじきから浸出、加熱溶出した亜鉛量を示しているが、単に水に浸漬しただけのものとその後加熱したものでは溶出した亜鉛量に大きな差がみられた。加熱することにより亜鉛の溶出量は3倍以上に増大するが、加熱5分、10分、20分を比較しても溶出量に大きな変化がないことから、亜鉛の溶出は加熱操作の初期の段階で生ずることが分かった。加熱30分で煮汁中の亜鉛量が減少しているのは、長時間の加熱により煮汁の量が減少しそれに伴い亜鉛濃度が高くなるため、いったん煮汁へ溶出した亜鉛が再度ひじきに浸透するのではないかと考えられる。

(2) 「浸漬」「油炒め」「煮る」操作による煮汁への亜鉛の溶出

乾燥ひじきを水にもどし、もどしたひじきを油で炒め更に煮汁で煮込むという調理法による亜鉛の溶出を検討した結果を表2に示す。煮汁中への亜鉛の溶出は、(1)の「浸漬」「煮る」操作の結果と同様、加熱の初期に生じ、加熱時間の長さによる溶出量の変化も特になかった。溶出量は(1)と比べて「油炒め」の操作の入る本調理法の方がいくぶん少ないように思われる。

(3) 「浸漬」「煮る」操作後の消化による可溶化亜鉛量

調理操作後のひじきに酵素を作用させ亜鉛の可溶化を観察した。胃における消化を想定してペプシンを加えて4時間、腸における消化を想定してパンクレアチンを加えて20時間、37℃で振とう培養した。吸光度はみて分かるように0.001~0.003と非常に小さい。これを0と考えるべきかどうかの解釈のしかたは難しいが、この数値をもとにして乾燥

試料5g中の可溶化亜鉛量を計算により求めた(表3)。その結果、酵素を働かせても亜鉛はほとんど可溶化してこなかったようである。加熱は30分まで検討したが、加熱10分以上の試料は柔らかくなりすぎ食味の低下が著しかった。

(4) 「浸漬」「油炒め」「煮る」操作後の消化による可溶化亜鉛量

「浸漬」「煮る」操作の結果と同様、吸光度は0.001~0.002と非常に小さかった(表4)。計算により求めた乾燥試料5g中の可溶化亜鉛量も非常に少なく、酵素を働かせても亜鉛は可溶化してこなかったことが分かる。油炒めしなかった(3)の試料と比べて油炒めしたこの試料は多少歯ごたえがあったが、やはり加熱10分以上は柔らかくなりすぎ食味の低下が著しかったため検討しなかった。

(5) 調理及び消化後の可溶化亜鉛の総量

表1、2、3、4の結果をまとめて乾燥試料100g当たりの結果として表5に示した。消化によりひじきから可溶化してくる亜鉛量に比べて、浸漬、加熱により溶出してくる量の多さには注目すべきものがある。

考 察

本検討はひじきの調理法を変えることで消化による亜鉛の可溶化率が変化するか否かを観察するのが目的であった。しかしながら、その結果は表5に要約されるように、ひじきに含まれる亜鉛は消化によるまでもなく調理の特に「煮る」段階でそのおおかたが可溶化した(乾燥ひじき100gに含まれる亜鉛量は約 $1.8\text{mg}^{13)}$ である)。本実験では操作上の亜鉛の損失を防ぐために浸漬液中でひじきを加熱したが、通常、ひじきの調理においては浸漬液は廃棄され新たな煮汁で煮ることになる。従って、加熱5分以降の亜鉛量から加熱0分(浸漬液)の亜鉛量を差し引いて吸収可能な亜鉛量を考える必要がある。亜鉛の吸収は主に小腸で行われるが、胃¹⁴⁾、大腸¹⁵⁾における吸収もあると言われている。調理により可溶化する亜鉛量が多いということは、胃における吸収可能な亜鉛量が多いということになる。しかし、この事はそのまま小腸、大腸における吸収可能な亜鉛量が多いということにはならない。亜鉛の可溶性にはpHの影響が大きい¹⁶⁾といわれ、pH1.5(胃)において亜鉛の可溶性²⁾が63~103%(平均83%)であったものが、pH8(腸)においては31~44%¹²⁾¹⁶⁾となり半減する。これは胃における塩酸酸性で溶解していたイオンが腸では水酸化体になって沈殿したか、可溶性結合体が不溶化したか、それまで解離していたイオンがフィチン酸のようなリガンドに結合して沈殿、不溶化したのではないかと考えられている¹²⁾。

次に胃と腸における消化によりどのくらいの亜鉛がひじきより可溶化してくるのかをみると、ほとんど可溶化してこないことが分かる。表5の消化後の可溶化亜鉛量をみると、炒める操作が入っても入らなくても乾燥ひじき100g当たり $0.02940\sim 0.07898\text{mg}$ と微量であり、加熱してひじきの組織が軟らかくなったものも、浸漬しただけで加熱していないものもめだつた変化はない。このことからペプシンもパンクレアチンもひじきの組織中に存在する亜鉛はほとんど可溶化できないと考えられる。食餌中の亜鉛が消化によって可溶化しにくいことは吉田等による陰膳方式による研究でも報告されている¹²⁾。しかしながら、ひじきの場合は繊維含有量が多いため、亜鉛が繊維と強く結合し、特に消化を受けにくい状態になっているのではないかとと思われる。

以上の結果を総合すると、ひじきに含まれている亜鉛は加熱によって可溶化し煮汁中に溶出するが、ひじきの中に残存した亜鉛は消化によってはほとんど可溶化しない。通常、ひじきを食する場合その煮汁は摂取しないことをも考え合わせると、ひじきに含まれる亜鉛はあまり利用され

ないことが分かった。ひじきだけが亜鉛を含んでいる訳ではなく、「おいしさ」とのかねあいもあるので一概には言い難いが、吸収可能な亜鉛を多く含むひじきの煮汁の利用法は考えていく価値があると思われる。

表1 調理（浸漬、煮る）によるひじきから煮汁への亜鉛の溶出量

| 加熱時間 (分) | 吸光度 | 煮汁 6 ml中の亜鉛量 (μg) | 煮汁の量 (ml) | 煮汁中の可溶化亜鉛量 (μg) |
|-------------|-------|-----------------------------------|--------------|---------------------------------|
| 0 | 0.058 | 1.856 | 80.9 | 25.025 |
| 5 | 0.317 | 10.144 | 52.9 | 89.436 |
| 10 | 0.372 | 11.904 | 44.0 | 87.296 |
| 20 | 0.520 | 16.640 | 31.3 | 86.805 |
| 30 | 0.566 | 18.096 | 18.9 | 57.003 |

表2 調理（浸漬、油炒め、煮る）によるひじきから煮汁への亜鉛の溶出量

| 加熱時間 (分) | 吸光度 | 煮汁 6 ml中の亜鉛量 (μg) | 煮汁の量 (ml) | 煮汁中の可溶化亜鉛量 (μg) |
|-------------|-------|-----------------------------------|--------------|---------------------------------|
| 0 | 0.058 | 1.840 | 82.3 | 25.239 |
| 5 | 0.304 | 9.728 | 52.5 | 85.120 |
| 10 | 0.467 | 14.944 | 33.8 | 84.185 |

表3 調理（浸漬、煮る）後の消化による可溶化亜鉛量

| 加熱時間 (分) | 吸光度 | 煮汁 6 ml中の亜鉛量 (μg) | 上澄液量 (ml) | 試料 (調理後湿重量：g) | 乾燥試料 5 g中の可溶化 亜鉛量 (μg) |
|-------------|-------|-----------------------------------|--------------|------------------|--|
| 0 | 0.002 | 0.064 | 21.2 | 23.255 | 2.104 |
| 5 | 0.002 | 0.064 | 24.6 | 25.796 | 2.708 |
| 10 | 0.001 | 0.032 | 37.3 | 25.808 | 2.054 |
| 20 | 0.002 | 0.064 | 22.9 | 25.800 | 2.521 |
| 30 | 0.003 | 0.096 | 23.9 | 25.814 | 3.949 |

表4 調理（浸漬、油炒め、煮る）後の消化による可溶化亜鉛量

| 加熱時間 (分) | 吸光度 | 煮汁 6 ml中の亜鉛量 (μg) | 上澄液量 (ml) | 試料 (調理後湿重量：g) | 乾燥試料 5 g中の可溶化 亜鉛量 (μg) |
|-------------|-------|-----------------------------------|--------------|------------------|--|
| 0 | 0.002 | 0.064 | 27.1 | 12.710 | 1.470 |
| 5 | 0.001 | 0.032 | 31.6 | 24.754 | 1.669 |
| 10 | 0.001 | 0.032 | 28.9 | 24.785 | 1.528 |

表5 調理及び消化後の可溶性亜鉛の総量

| 調理法 | 加熱時間 (分) | 煮汁中の亜鉛量 (μg /乾物100g) | 消化後の可溶性亜鉛量 (μg /乾物100g) | 総亜鉛量 (μg /乾物100g) |
|-----|-------------|-------------------------------------|--|----------------------------------|
| 浸漬 | 0 | 500.50* | 42.08 | 542.58 |
| | 5 | 1788.72 | 54.16 | 1842.88 |
| | 10 | 1745.92 | 41.08 | 1787.00 |
| 煮る | 20 | 1736.10 | 50.42 | 1786.52 |
| | 30 | 1140.06 | 78.98 | 1219.04 |
| 浸漬 | 0 | 504.78* | 29.40 | 534.18 |
| 炒め | 5 | 1702.40 | 33.38 | 1735.78 |
| 煮る | 10 | 1683.70 | 30.56 | 1714.26 |

*浸漬液中の亜鉛量

参考文献

- 1) National Research Council: Recommended Dietary Allowances (10thEd.) (1989) National Academy Press, Washington, D.C.
- 2) 小林香苗、鈴木継美: 栄食誌、**40**、233 (1987)。
- 3) 池辺克彦、田中之雄、西宗高弘、田中涼一: 食衛誌、**29**、440 (1988)。
- 4) 石田裕美、本郷哲郎、大場保、鈴木久乃、鈴木継美: 栄食誌、**41**、373、(1988)。
- 5) Morris E.R. and Ellis,R.: Biological Trace Element Res., **19**, 1077 (1989).
- 6) Todd, W.R., Elvehjem, C.A. and Hart, E.B.: Am. J.Physiol., **107**, 146 (1934).
- 7) Prasad, A.S., Halsted, J.A. and Nadimi,M.: Am. J.Med., **31**, 532 (1961).
- 8) Lynch, S.R., Finch, C.A., Mosen, E.R. and Cook, J.D.: Am. J.Clin. Nutr.,**36**,1032 (1982).
- 9) King, J.C. and Turnlund, J.R.: Zincin Human Biology pp 335 (1989), Springer-Verlag, London.
- 10) Albelt, D.G., Morita,Y. and Iseri, L.T.: Circuration, **17**, 761 (1958).
- 11) Ouchi, Y.,Tabata, E.R., Stergiopoulos, K.,Sato, F.,Hattori, A. and Orimo, H.: Arteriosclerosis, **10**, 732 (1990).
- 12) 吉田精作、仙田恭子: 栄食誌、**46**、183 (1993)。
- 13) 山口迪夫: 日本食品成分表 (1992) 医歯薬出版 (東京)。
- 14) National Research Council: 環境汚染物質の生体への影響 **17** 亜鉛 pp133 (1986)、東京化学同人 (東京)。
- 15) 和田攻: 金属と人、pp86 (1985)、朝倉書店 (東京)。
- 16) 池田小夜子: 栄養と食糧、**33**、385 (1980)。