

食品中の重金属元素 (III)

——食品中アルミニウム含量の調理条件などによる影響——

藤井 修平・中山 伸
山本 良一

はじめに

アルミニウムは、地殻中で主に不溶性のケイ酸アルミニウムや酸化アルミニウムの形で存在し、その地殻中含量は酸素・ケイ素について3番目といわれている¹⁾。歴史的にみると、アルミニウムは19世紀初頭に見いだされた元素で、当時から他の金属に比べ軽いことから注目を集め、早くから家庭で台所用品として使われてきている。現在、アルミニウムの利用は、ビール缶から航空機までの多岐にわたっており、日常生活の中で、アルミニウムと接する機会はきわめて多い。たとえば、チーズ・ビール²⁾・茶などの食品や制酸剤などの医薬品に含まれているアルミニウム、あるいは飲料水に混入しているアルミニウム、また、調理器具として使用しているアルミ製容器から溶けだしたアルミニウムなどを摂取していることが考えられる。

これまで、我々は、アルミニウム製調理器具からのアルミニウム溶出を調べ、クエン酸緩衝液、それも中性付近のpHでアルミニウムがもっとも溶出してくる事をすでに報告した³⁾。このアルミニウム製調理器具からのアルミニウムの溶出は、中性付近での溶出が高かったということから、pHというより有機酸によるアルミニウム元素の配位子形成が関係していると考えられる。

今回は、種々の有機酸および有機酸を含むハウレンソウやブドウなどの食品を用い、アルミニウム製鍋からのアルミニウム溶出に対するそれら試料の影響を検討した。

実験材料と実験方法

1. 実験材料

a) アルミニウム製鍋

第1報を報告した当時(1999年)、スーパーマーケットなどの調理器具売り場では、アルミ製調理器具が多く市販されていた。しかし、消費者のアルミニウム離れを反映しているのだろうか、最近は、売り場に並べられているのはステンレス製調理器具がほとんどで、アルミニウム製調理器具を探すことは難しくなっている。今回使用したアルミニウム製鍋は、近くのいわゆる百円ショップで見つけた物を購入し使用した。

b) 有機酸

実験に使用した有機酸は、シュウ酸・酒石酸・リンゴ酸・クエン酸で、すべて特級試薬（ナカライテスク，京都）として市販されているものを使用した。酸の水溶液は，高純度精製水に溶解し調整した。濃度はすべて5%とした。

c) 食品材料

食品材料としては，米酢（M社製）・ブドウ搾汁液・ホウレンソウ搾汁液の3種の液を使用した。ブドウ・ホウレンソウは近くのスーパーマーケットで購入した。これらの試料は，上澄み液を取るため，ジューサーを用いて搾汁した後，さらに遠沈処理（5000 rpm, 15分）を行った。そうして得た上澄み液を実験試料液とした。

2. 実験方法

アルミニウム鍋からのアルミニウム溶出に対する各試料液の影響は次のように調べた。まず，各有機酸水溶液（5%）および米酢・ブドウ搾汁液・ホウレンソウ搾汁液をそれぞれ15 ml ずつアルミニウム製の鍋にとり，事前に加熱を行っていた電熱器で2分間加熱した。放冷後，それぞれの液に含まれるアルミニウム含量を原子吸光分光法で測定した。アルミニウムの溶出実験は，三つのアルミニウム製鍋を用いて行い，得られたデータはすべて平均値と誤差で表した。また，アルミニウム製鍋で処理していない各試料液をそれぞれの実験におけるコントロールとした。

3. アルミニウムレベルの測定

アルミニウムレベルの測定は，偏光ゼーマン型原子吸光分光光度計（日立，Z-5000型）を用いフレイム分析を行った。アルミニウム分析は，アルカリ金属やアルカリ土類金属などの分析と異なり，原子化のためにより高い温度が必要となる。そのため，高温バーナーを使用し，アセチレンと笑気ガス（ N_2O ）でフレイムを作った。定量は検量線法で行った。そのため，原子吸光分析用のアルミニウム標準液（ナカライテスク，京都）を所定の濃度に調整し，検量線を作成し定量に利用した。

結果と考察

近年，これまで比較的多量に摂取しても問題がないと考えられてきたアルミニウムに大きな関心を持たれるようになってきている。それは，明確な因果関係が明らかになっているわけではないが，老人性痴呆症の一つとして話題になっているアルツハイマー病にアルミニウム関与の可能性があると指摘されたことと密接に関係している。

世界保健機構（WHO）の有害評価基準によれば，アルミニウム化合物の許容摂取量は一週間当たり7.0 mg/kg・weightと設定されている。これは，体重50 kgのヒトで考えれば，一週間当たり350 mgまでアルミニウムを摂取しても大丈夫という量になる。脳血液関門を通過

しないと考えられていたアルミニウムは、血液中の鉄結合タンパク質のトランスフェリンと結合し脳血液関門を通過することもわかってきた⁴⁾。正常なヒトの脳におけるアルミニウム濃度が0~0.6 ppmの範囲であるのに対してアルツハイマー病患者の脳におけるアルミニウム含量は正常人に比べ10~30倍高いと言われている¹⁾。統計的にはアルツハイマー病で苦しむ人の割合が65歳までで5%、80歳を越すと20%に達する⁵⁾。飲料水のアルミニウム濃度が0.11 ppmの地域では0.01 ppmの地域に比べアルツハイマー病の発病率が1.5倍高いと英国で報告された⁶⁾。

種々の食品を通して体内にアルミニウムが入ってくると考えられるが、日常的に使用する調理器具からの混入も無視できないものと考えられる。その点で、既報³⁾にあるように、調理条件によってはアルミニウム製調理器具からアルミニウムが簡単に溶出してくることがわかった。そこで、今回は、さらに種々の有機酸や実際の食品材料を用いて、アルミ鍋からのアルミニウム溶出に対する影響を検討した。その結果を表1に示す。

アルミニウム溶出に対する有機酸の影響については、用いた有機酸の中で特にシュウ酸がアルミニウムを最も溶かすことがわかった。続いて、酒石酸、リンゴ酸、クエン酸の順となったが、有意差ということで考えると、これら3種の有機酸にはアルミニウム溶出能力に大差はないものと考えられる。これら水溶液のpHはいずれも1に近い値を示しており、pHの相違が結果に反映したものではないと考えられる。シュウ酸は二座のキレート配位子としてよく知られているが、アルミニウムとの錯体形成能力の違いが関係しているのかもしれない。シュウ酸のほかに、二座キレート配位子にはエチレンジアミン、グリシナイトイオン、アセチルアセトナイトイオンなどがよく知られているが、これら物質もアルミニウム溶出に効果を持つ可能性が十分に考えられる。

同様に、米酢、ブドウ搾汁液、ホウレンソウ搾汁液のアルミニウム溶出に対する効果を測定した結果も表1に示す。米酢は酢酸を4.5%（ラベル上の表示）含む。ブドウに含まれる有機酸の主なものは酒石酸やクエン酸で、ホウレンソウはアク成分としてシュウ酸を含むことが知られている。これら搾汁液の酸度は測定していないが、それぞれの搾汁液のpHはブドウ液約5、ホウレンソウ液約7であった。アルミニウム溶出に対する効果はホウレンソウ搾汁液がもっとも高く6.21 ppmの値を示した。米酢は2.52 ppm、ブドウ搾汁液は2.69 ppmとアル

表1 アルミニウム鍋からのアルミニウム溶出に対する有機酸、食品（搾汁液）の影響。各試料液をアルミニウム鍋に入れて2分間加熱処理後、その中に含まれるアルミニウム含量を原子吸光分光法で測定
(単位：ppm)

	シュウ酸	酒石酸	リンゴ酸	クエン酸	米 酢	ブドウ搾汁液	ホウレンソウ搾汁液
	95.01	9.24	3.73	6.9	2.75	1.97	7.26
	121.15	9.08	8.45	4.15	2.54	2.17	7.99
	252.41	8.56	7.05	4.41	2.28	3.94	3.37
平均値	156.19	8.96	6.41	5.15	2.52	2.69	6.21
標準偏差	84.35	0.36	2.42	1.52	0.24	1.08	2.48

ミニウム溶出効果は同程度であった。上に述べたように、ホウレンソウにはアク成分としてシュウ酸が含まれることはよく知られている。今回、ホウレンソウ搾汁液で最も高いアルミニウムの溶出がみられたことは、含まれるシュウ酸の効果が出ているのかもしれない。使用したホウレンソウは、水耕栽培されたそのままサラダとしても使えるシュウ酸含量の低いものであった。最近では露地栽培ではなく水耕栽培したホウレンソウの人气が高く、露地栽培したホウレンソウを見つけることはできなかった。シュウ酸含量の高いホウレンソウを使えば、アルミニウムがより溶出してくるものと思われる。

今回、有機酸および食品（搾汁液）のアルミニウム溶出に対する影響を調べたところ、有機酸ではシュウ酸がもっともアルミニウムを溶け出させる能力が高いことがわかった。これは、有機酸とアルミニウムとの配位子形成能の違いを反映しているのかもしれない。また、食品（搾汁液）では、米酢・ブドウ搾汁液・ホウレンソウ搾汁液のいずれの場合もアルミニウムの溶出が見られたが、その中でもホウレンソウ搾汁液のアルミニウム溶出能が高かった。ホウレンソウ搾汁液の高いアルミニウム溶出効果は、含まれているシュウ酸と関係しているものと考えられる。

アルミニウムは硝酸以外の無機酸によく溶けることが知られている。無機酸を調理に使用することはまずないが、種々の有機酸を含んだ食品材料を調理することは日常的に行っている事である。アルミニウム製器具を使用して調理を行う場合には、有機酸の種類や含量にもよるが、アルミニウムの溶出が起これることに留意する必要があるだろう。

文 献

- 1) Fasman, G. D. and Moore, C. D. (1994) *Proc. Natl. Acad. Sci. USA.* 91: 11232-11235.
- 2) Massey, R. C. and Taylor, D. (1988) *Aluminum in food and the environment.* London: Chemistry Groups of the Royal Society of Chemistry.
- 3) 藤井修平ら (1999) 帝塚山大学短期大学部紀要 36: 191-196.
- 4) Roskams, A. J. and Connor, J. R. (1990) *Proc. Natl. Acad. Sci. USA.* 87: 9024-9027.
- 5) Claggett, M. S. (1989) Nutritional factors relevant to Alzheimer's disease. *Journal of the American Dietetic Association* 89: 392-396.
- 6) Martyn C. N. (1989) *Lancet* 1: 59-62.