

## 食物繊維のアルミニウム結合能に及ぼす pH の影響

福島正子, 佐藤理栄, 竹山恵美子\*, 松本 孝

(昭和女子大学大学院生活機構研究科, \* 昭和女子大学短期大学部)

原稿受付平成 16 年 4 月 5 日; 原稿受理平成 16 年 11 月 20 日

### Effect of Acidity on the Binding Ability of Dietary Fibers to Aluminium Ions

Masako FUKUSHIMA, Rie SATO, Emiko TAKEYAMA\* and Takashi MATSUMOTO

Graduate School, Showa Women's University Setagaya-ku, Tokyo 154-8533

\* Showa Women's Junior College, Setagaya-ku, Tokyo 154-8533

We have previously reported that dietary fibers might be able to induce aluminium excretion by their binding ability to metal ions, but the study did not consider the effect of human gastric acidity. This present study analyzes the stability of binding between Al and dietary fibers extracted from 13 kinds of food comprising vegetables, mushrooms and sea weeds under the pH 2.0 condition which represents the acidity of gastric juice. The polysaccharide composition of insoluble dietary fibers (IDF) is known to differ from that of soluble dietary fibers (SDF). We therefore examined the relationship for the binding stability between indigestible polysaccharides and aluminium. The polymers in such uronic acids as alginic acid and pectin, and mucin were found to bind with aluminium. This indicates that the binding was influenced by both physical characteristics like viscosity and chemical effects.

(Received April 5, 2004; Accepted in revised form November 20, 2004)

**Keywords:** aluminium ion アルミニウムイオン, dietary fiber 食物繊維, binding property 結合能, pH, viscosity 粘度.

#### 1. 緒 言

アルミニウムの神経毒性については、すでに多くの報告がなされてきた<sup>1)2)</sup>。最近でも多量にアルミニウムを投与すると神経細胞変性<sup>3)4)</sup>や、鉄欠乏性赤血球小球性貧血を引き起こす可能性があるなどの報告<sup>5)</sup>がみられる。

一方、実際の食生活におけるアルミニウム摂取と吸収に関する研究は少ない。著者らは、これまでアルミニウム排泄の可能性についてポリフェノールや DF (食物繊維) との結合能の点から研究してきた<sup>6)~9)</sup>。その結果、アルミニウムはポリフェノールや DF に結合しやすいことが認められた。そこで、今回はヒト胃 pH 条件下での DF とアルミニウムの結合特性について検討した。また、IDF (不溶性食物繊維) 画分と SDF (水溶性食物繊維) 画分では構成成分が異なるため、その多糖構成とアルミニウム吸着および結合 (以下結合と称する) の関係について調べた。

#### 2. 実験方法

##### (1) 試 料

任意に購入した市販のオクラ、モロヘイヤ、キャベツ、セロリー、ナス、ゴボウ、ニンジン、ダイコン、ナメコ、エリンギ、ヒジキ、ワカメ、およびアロエベラ普及会より購入したアロエから DF を Prosky 変法<sup>10)</sup>により抽出し、IDF と SDF 画分に分画した。

別に多糖類標品として、キチン、セルロース、アルギン酸、ペクチン酸、寒天、ペクチン、ムチン、グアーガム、キシラン、およびアルギン酸ナトリウムを用いた。なおアルギン酸ナトリウムは粘度の異なるもの 3 種: 和光純薬 (株) 製、アルギン酸ナトリウム: 粘度 (1 w/v%, 20℃) 各々 500~600, 300~400, 100~150 mPa·s (pH 6.0~8.0) を用いた。以下順に高, 中, 低粘度と称する。

この IDF, SDF 画分および、多糖類標品は低分子夾雑物および試薬の影響を避けるため、各食物繊維懸濁液の約 20 倍量の透析外液 (純水) で透析した。透

析外液は1日2回交換して計5~7日間継続した。その後、凍結乾燥して実験に供した。

## (2) 実験方法

### 1) 比色法によるアルミニウム結合量の測定

IDF 試料に対するアルミニウム結合量の測定は、添加したアルミニウム量と IDF に結合せずに濾液に濾過されたアルミニウム量の差から求めた。すなわち、IDF 試料 15~30 mg をコニカルピーカーに秤取し、超純水 3 ml, 4 ppm のアルミニウム標準溶液 5 ml を加えた。pH 調整の場合はここで 0.1 mol/l 塩酸を加え、37℃で1時間振とう(40回/分)した。この溶液を、ブフナーロートのテフロン製目皿上に No. 5 C の濾紙(直径7 cm)を敷き、ウィット濾過器内に設置した 50 ml 容メスフラスコ内に吸引濾過した。引き続き残渣を 0.1 mol/l 塩酸 5 ml と超純水で洗浄し、洗液を濾液に合わせた後、メスフラスコを取り出し 50 ml に定容した。濾液中のアルミニウムイオンをクロムアズロール S 吸光光度法<sup>11)</sup>により測定した。試料を添加しないものについても同様の操作を行い、空試験値として差し引き、添加したアルミニウムイオンと残留したアルミニウムイオンの差から IDF 1 g 当たりの結合量を算出した。

一方、SDF 画分の場合は 10 ppm のアルミニウムイオン 2 ml に対して、SDF 10~20 mg を含む水溶液 10 ml と超純水 3 ml を 50 ml 容メスフラスコ(2本1組として)に加え(pH を調整する場合はここで 0.1 mol/l 塩酸により調整)、37℃で1時間振とうし、DF とアルミニウムイオンを反応させた。これをエリオクロムシアニン R 吸光光度法<sup>11)</sup>により測定した。添加したアルミニウム量から IDF と同様に残留アルミニウムイオン量を差し引き SDF 1 g 当たりの結合量を求めた。

### 2) 原子吸光光度法によるアルミニウムの測定

凍結乾燥した試料 5~20 mg にアルミニウムイオン(10 ppm を 4 ml)を添加した後、0.1 mol/l 硝酸を加えて pH 3.5 または pH 2.0 に調整した。全液量を 10 ml とした後、37℃で1時間振とうし、アルミニウムイオンを結合させた。遠心分離(37℃, 20,000×g, 15分)後、上澄液 2 ml を石英試験管に取り、金属測定用濃硝酸 0.5 ml を加えて分解、乾固した。次いでこれを超純水で洗いこみ、0.3 mol/l 硝酸 8 ml を加えた後超純水で 100 ml に定容した。この溶液中のアルミニウム量を、原子吸光光度計 Z-9000 形(株)日立製作所)で、乾燥 80~120℃・30秒、灰化 630℃・30秒、

原子化 3,000℃・10秒間の条件で検量線法により定量した。最初に添加した金属イオン量と遠心分離後の溶液中に遊離している金属イオン量の差から結合量を求めた。また金属を添加せず同様に処理した DF のみのものを、空試験値として計算値から差し引いた。

### 3) 粘度の測定

アルギン酸ナトリウムの粘度の測定は、B型回転粘度計 BM-HM 形(株)東京計器)を用いて行った。金属結合量測定時と同濃度にした各アルギン酸ナトリウム溶液に 0.1 N-HNO<sub>3</sub> 1~2 ml を加え pH 4.5~2.5 に調整したのち、ローター No. 1, 回転数 60 rpm, 水温 20℃で測定した。

なお、ガラスおよびプラスチックの器具は硝酸 20%液に1夜浸漬したのち超純水で洗浄して用いた。測定はいずれも6回以上くり返し平均値±SDを求めた。

## 3. 結果および考察

### (1) DF のアルミニウム結合と pH および多糖構成の影響

#### 1) IDF 画分

Fig. 1 に pH 未調整(pH 3.5~6.5)と pH 2.0±0.2(pH 2.0 と表記)における13種の野菜および海藻類 IDF 画分のアルミニウム結合量を示した。pH 未調整の IDF では、ゴボウ、ニンジン、ワカメ、キャベツ、ヒジキで特に高いアルミニウム結合量が認められた。なかでも、ゴボウのアルミニウム結合量は高く、乾燥した IDF 画分 1 g に対して、約 2.1 mg であった。

IDF は、セルロース、ヘミセルロース、プロトペクチンなどの多糖類とリグニンで構成されている。ヘミセルロースはセルロースよりも多様性に富み構造や機能性は植物によって異なる<sup>12)</sup>。ゴボウではヘミセルロースとリグニン量が、ニンジンではヘミセルロースの含有量が特に多い<sup>13)</sup>。IDF の場合このヘミセルロースの構成糖と含有量の差がアルミニウム結合に大きく関与していると考えられる。また、リグニンはフェノール基やメトキシル基を有するプロピルベンゼン誘導体である。著者らは先の報告<sup>14)</sup>でヒドロキノン、カテコール、ピロガロールのアルミニウムイオン結合量を調べたが、その値はそれぞれ 0.00 mg/g, 0.26 mg/g, 0.29 mg/g であり、ベンゼン環につく OH 基の数およびその位置関係によってアルミニウム結合量が異なることを認めている。したがってリグニンのイオン交換能も OH 基の数や配置で大きく影響を受ける可能性が高い。ワカメやヒジキは褐藻類に分類され、乾燥物

## 食物繊維のアルミニウム結合能に及ぼす pH の影響

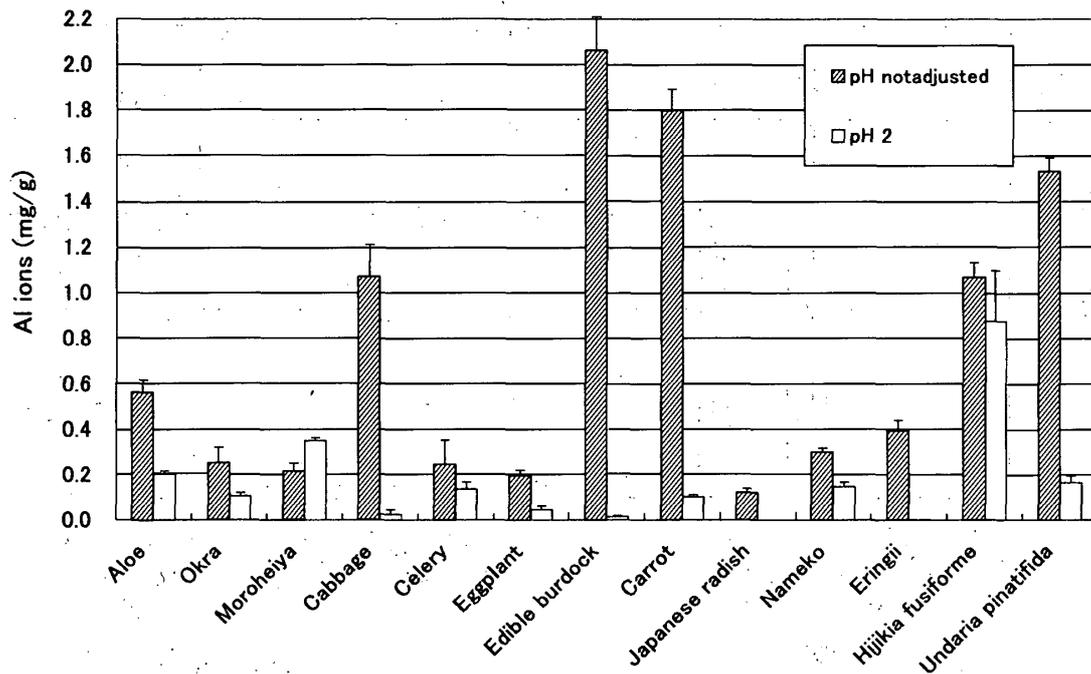


Fig. 1. Binding characteristics of aluminium ions by IDF

の40~60%は多糖類である。褐藻類乾物中の多糖は10~47%がD-マンヌロン酸とL-グルロン酸からなるアルギン酸で構成される<sup>15)16)</sup>。なお、プロトペクチンは一般にセルロース、ヘミセルロース、リグニン等と結合している。そこでDFを構成する成分で特に市販されているアルギン酸、ペクチン酸、セルロース、および比較のために寒天とキチンとのアルミニウム結合能を調べFig. 2に示した。前述のDFとは異なりpH 3.0およびpH 2.0に調整し、原子吸光により測定したものであるが、pH 3.0において不溶性多糖1g当たりのアルミニウム結合量は、アルギン酸が9.1mgで、ガラクトン酸のポリマーであるペクチン酸が6.9mgと群を抜いて高い値となった。ワカメ、ヒジキなどのアルミニウム結合量が特に高かったのは、このアルギン酸等に含まれるウロン酸によるものと考えられる<sup>17)18)</sup>。

またわずかながら硫酸基を含んでいる寒天<sup>19)</sup>では微量のアルミニウム結合が認められた。一方市販のキチンやセルロースには、アルミニウム結合はほとんど認められなかった。著者らはセルロースの場合、化学処理が施された市販品は食品から抽出したものと性状がことなることを認めている<sup>6)</sup>。

次にIDF画分のpH 2.0におけるアルミニウム結合量を調べたところ、モロヘイヤを除きいずれも著しく減少した。Hamanoら<sup>20)</sup>はトランスフェリンの場合で

はあるが、アルミニウムはアミノ基のN-lobeに、鉄はC-lobeに結合しやすかったと報告している。つまりアロエ、モロヘイヤ、オクラなどムコ多糖を含むもののアルミニウム結合には、カルボキシル基やヒドロキシ基など以外に特にアミノ基等が関与していると考えられるが、pH 2.0でのモロヘイヤのアルミニウム結合量の増加との関連性については明らかにできなかった。

一方、市販の不溶性多糖をpH 2.0にすると1g当たりのアルミニウム結合量は極めて低くなった。アルギン酸、ペクチン酸ではわずかながら他より高い値を示したが、pH 3.0に比べると結合量の低下は著しかった。

純粋なアルミニウムの場合、室温下では希塩酸や希硝酸液中で $Al^{3+}$ として存在し、その傾向はpH 3よりpH 2の方が顕著であることが知られている。食物繊維に結合したアルミニウムも胃と同様のpH 2条件下では結合力は低下し、アルミニウムイオンとして遊離しやすいことが認められた。

## 2) SDF画分

SDF画分には主として水溶性のヘミセルロース、ペクチン、植物ガムなどの粘質多糖が多く含まれる。Fig. 3に示したように、13種の食品から抽出したpH未調整(pH 3.5~6.5)におけるSDF画分のアルミニウム結合量は、粘質物を多く含むアロエ、ワカメ、オ

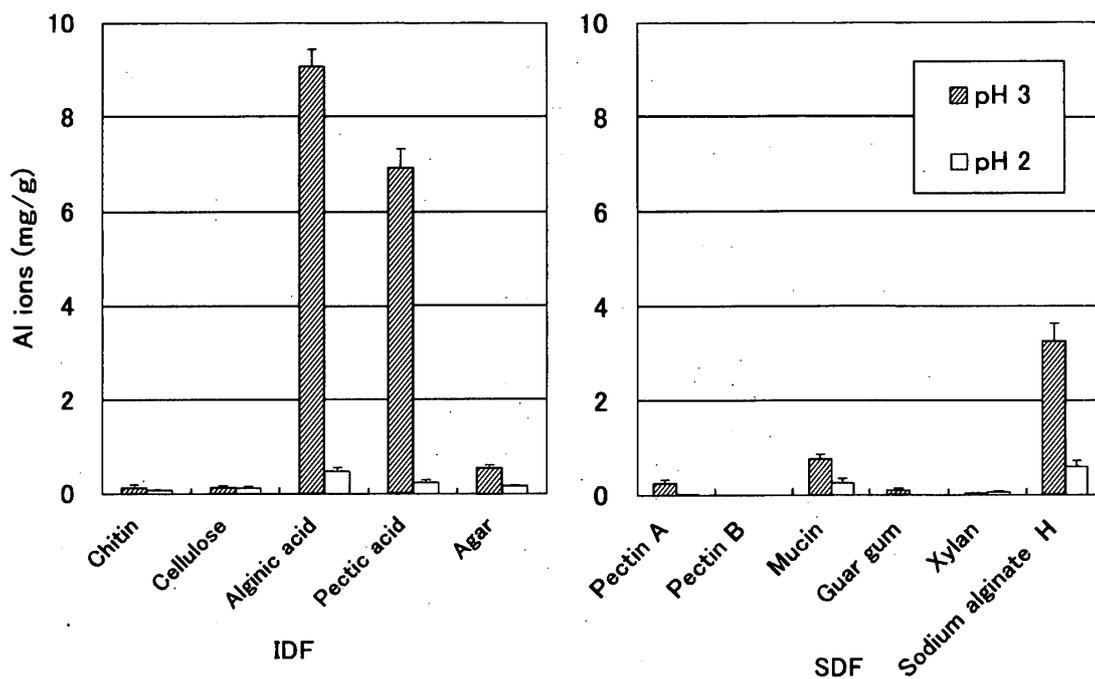


Fig. 2. Binding characteristics of aluminium ions to several polysaccharides under acidic conditions

Pectin A: 76% galacturonic acid content, 8.6% methoxy content. Pectin B: 50-70% galacturonic acid content, 3-7% methoxy content.

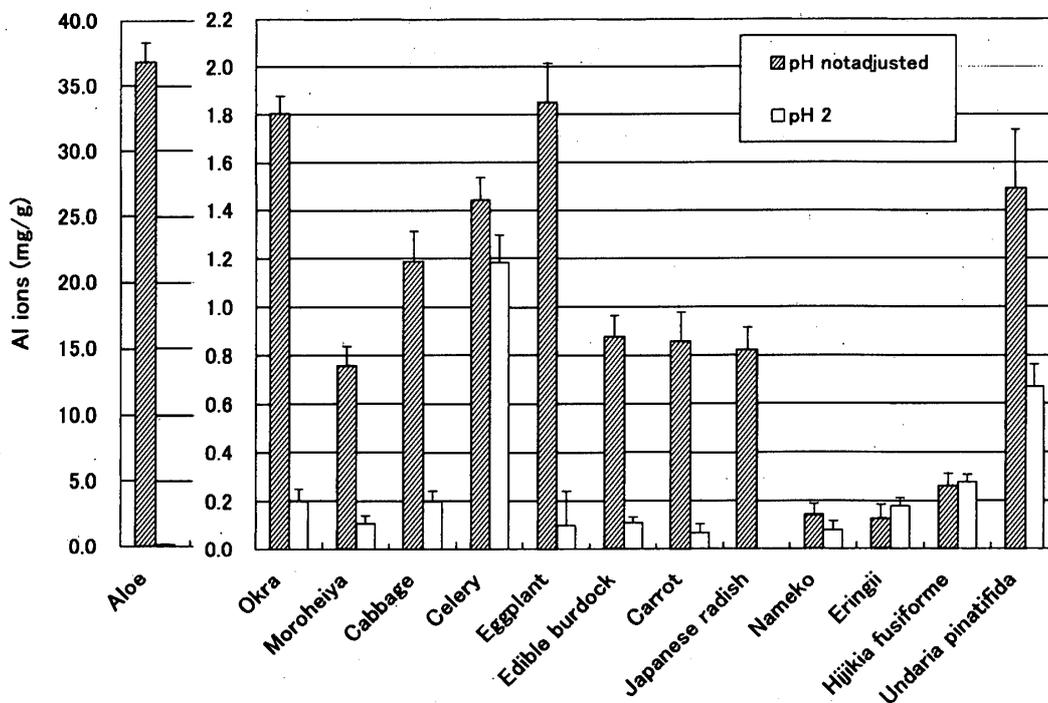


Fig. 3. Binding characteristics of aluminium ions by SDF

クラ、モロヘイヤの他ナス、セロリー、キャベツ、ゴボウ、ニンジン、ダイコンで高い値を示した。なかで

もアロエのアルミニウム結合量は極めて高かった。アロエのSDFにはガラクトタンとムコ多糖が特に多く含

## 食物繊維のアルミニウム結合能に及ぼす pH の影響

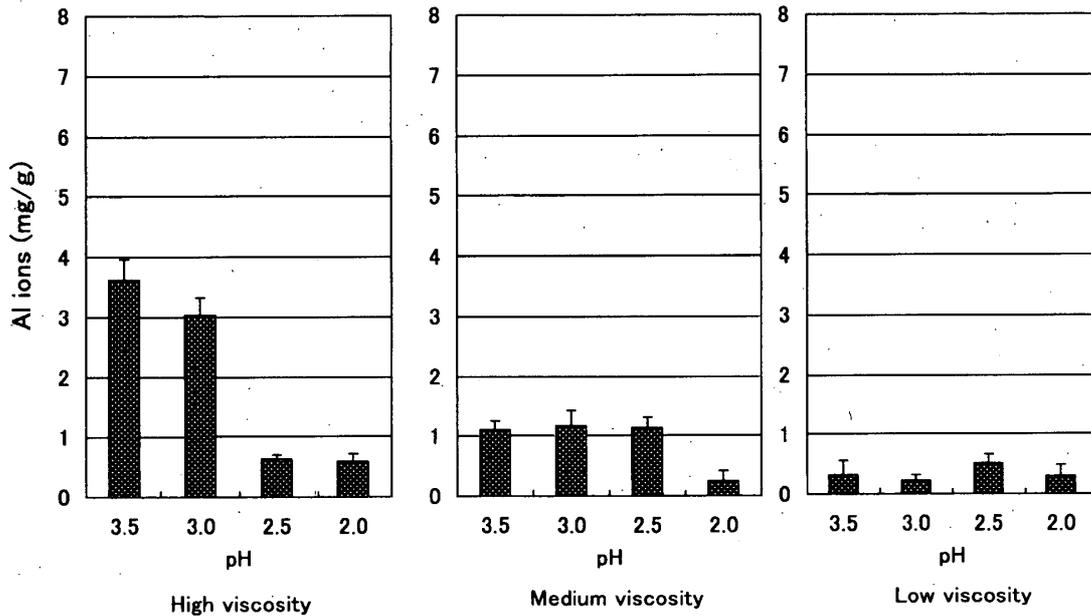


Fig. 4. Binding characteristics of aluminium ions to sodium alginate samples of differing viscosity

まれる<sup>21)22)</sup>が、ガラクトンに付加するガラクトン酸やムコ多糖を中心とした粘質物が化学的にまた物理的にアルミニウムを結合あるいは吸着したと考えられる。オクラは、ペクチンやガラクトン、アラバンなどを含むヘミセルロース等で構成されている<sup>23)24)</sup>。モロヘイヤもまたDFの2/3をグルクロン酸が占めている<sup>25)</sup>。ワカメはアルギン酸ナトリウムやフコイダンおよびヘミセルロースを、セロリーはヘミセルロースとペクチンを多く含んでいる。SDF画分のアルミニウム結合量はIDF画分同様、これらヘミセルロースとペクチンおよびアルギン酸塩含有量と密接な関係にあると考えられる。そこで市販品を用いて水溶性多糖類1g当たりのアルミニウム結合量を調べ、Fig. 2に示した。アルギン酸ナトリウムのアルミニウム結合量は3.3 mg, ムチン0.8 mg, 次いで柑橘類由来のペクチンで特に多かった。ペクチンではガラクトン酸含量の多いAが0.3 mgであったが、ガラクトン酸含量の少ないBにはアルミニウム結合は認められなかった。最もアルミニウム結合量が高かったアルギン酸ナトリウムは、水に溶解すると粘性を帯びるため物理的にアルミニウムを取り込んだ可能性が高い。ムチンは、分離精製が困難であることからその性質が明確にされていない<sup>26)</sup>が、特有の粘性を有することからアルギン酸同様物理的にアルミニウム吸着量が高くなったと考えられる。水溶性ペクチンでは、ガラクトン酸含量がアルミニウム結合量に相関した。

SDFのpH 2.0におけるアルミニウム結合量はいずれも著しく減少した。これはpH低下によりアルミニウムがイオンとして解離しやすくなったことと粘度の低下が関係していると考えられる。

## (2) DFとアルミニウム結合における粘性の影響

DFとアルミニウム結合には物理的な要因である粘性の関与が認められた。また、粘性を有するアロエやワカメSDF画分のアルミニウム結合量はpHの低下によって著しく減少した。そこで、粘度とアルミニウム結合の関係および粘度とpHの関係を、あらかじめ粘度のわかっている3種類のアルギン酸ナトリウムを用いて調べた。

Fig. 4に粘度の異なるアルギン酸ナトリウムとアルミニウム結合におけるpHの影響を示した。pH 3.5での高粘度アルギン酸ナトリウム1g当たりのアルミニウム結合量は3.6 mg, 中粘度は1.1 mg, 低粘度のものは0.3 mgであった。pH 3.0においてもpH 3.5同様、粘度の低下がアルミニウム結合量の低下につながった。一方、pH 2.5の場合、アルミニウム結合量は中粘度のもので最も高く、高粘度と低粘度のものとの間にはほとんど差が認められなかった。さらにpH 2.0においてはアルギン酸ナトリウムの粘度とアルミニウム結合量の間にはほとんど相関性が認められなかった。アルミニウム結合量に対するpHの影響は、高粘度アルギン酸ナトリウムでは大きかったが、中、低粘度では比較的小さかった。

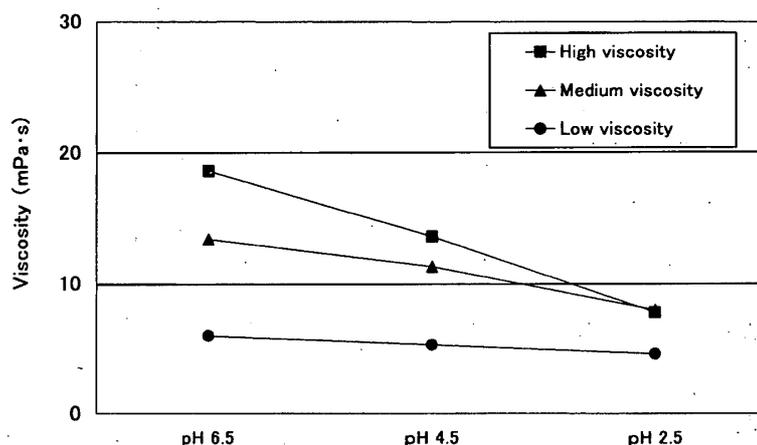


Fig. 5. Difference in viscosity of sodium alginate under differing pH conditions

次にアルギン酸ナトリウムの粘度と pH の関係を Fig. 5 に示した。pH 6.5 から 2.5 におけるアルギン酸ナトリウムは、高粘度のものでは中性付近で特に高い粘度を示していたが、pH が酸性側に傾くと粘度は著しく低下した。次いで中粘度のものの粘度が低下したが、低粘度のものの pH による粘度低下は小さかった。つまり、pH の低下による高粘度アルギン酸ナトリウムのアルミニウム結合量の低下には、粘度が関係していることは明らかである。それらに対して、低粘度アルギン酸ナトリウムでは全体的にアルミニウム結合量は低く、pH 低下による粘度およびアルミニウム結合量の影響もほとんど認められなかった。なお、いずれの粘度のアルギン酸ナトリウムでも pH 2.0 を下回ると緩やかに塊を形成し始め正確な粘度測定ができなかった。以上のことから、構成している多糖は異なるが、アロエ、オクラ等粘性を有するものの pH 低下によるアルミニウム結合量の著しい減少には、物理的要因も関与していることが示唆された。一方中粘度、低粘度のものにおいては pH 3.5~2.5 まで粘度の低下が認められたのに対しアルミニウム結合量は両者ともほとんど変化せず、粘度とアルミニウム結合に相関性は認められなかった。このことは、アルギン酸ナトリウムのアルミニウム結合が物理的なものだけでなく、化学的な結合も関与していることを示唆している。

なお、これらのアルミニウム結合量の測定に用いた発色試薬は、IDF と SDF で異なっており、アルミニウムイオンとの錯体生成力に差が生じた可能性が高い。さらに DF とアルミニウムとの結合力が弱い場合、発色試薬が DF からアルミニウムを引き抜き錯体を作る可能性がある<sup>27)</sup>。したがってこの方法で測定した値は、

実際の生体内における DF のアルミニウム結合量より低くなる可能性があるが、これらの値から平均値を求め 1 日分のアルミニウム結合量を計算した。平均的日本人のアルミニウム摂取量は、3.9 mg/日である<sup>28)</sup>が、日本人の DF 摂取量の推奨値は 20~25 g/日である。13 種の食品から抽出した IDF と SDF の合計 20 g をそれぞれ 2 対 1 の割合で摂取したと仮定すると、アルミニウム結合量は、pH 2 においてでも 3.8 mg になる。アルミニウムは摂取時に既に一部はシュウ酸やポリフェノール、珪素等と安定した化合物を形成している可能性が高い<sup>29)~31)</sup>。したがって他の金属を考慮しなければ、平均的な食事から摂取する DF はイオン化したアルミニウムを結合し排泄に導きうると考えられる。また pH 2 で DF 等と結合しなかった遊離アルミニウムも十二指腸・小腸での pH 上昇とともに一部は水酸化アルミニウムとなって沈殿、一部は食物繊維等と再結合して排泄される可能性は高まる。したがってアルミニウムの排泄量は前述の試算値よりさらに大きくなると推測されるが、食品添加物や医薬品、調理器具等から一時的に多量に摂取した場合のアルミニウムの挙動については、今後さらに検討する必要がある。

#### 4. 要約

アルミニウムの体外排泄の可能性を調べるため、ヒト胃条件下での pH における DF とアルミニウムの結合安定性について検討した。野菜および海藻、きのこ等 13 種の食品から Prosky 変法により IDF, SDF 画分を抽出し、エリオクロムシアニン法、クロマズロール S 吸光光度法、原子吸光法によりアルミニウム結合量を測定した。これらの DF はいずれもアルミニウ

## 食物繊維のアルミニウム結合能に及ぼす pH の影響

ムを結合した。粘性を有するアロエ SDF で極めて高い値を示した。また pH を 2.0 にすると、DF 画分のアルミニウム結合量はほとんどの試料で著しく低下した。次に、高、中、低粘度のアルギン酸ナトリウムの pH を酸性側にすると粘度、アルミニウム結合量ともに著しく減少した。このことからアロエ等粘性を有する DF のアルミニウム結合には、化学的結合の他、物理的吸着が関与している可能性が高いことが示唆された。

## 引用文献

- 1) Yu, P., and Oberto, G.: Alzheimer's Disease: Transgenic Mouse Models and Drug Assessment, *Pharmacol. Res.*, **42**, 107-114 (2000)
- 2) Yokel, R. A.: The Toxicology of Aluminum in the Brain: A Review, *Neuro Toxicol.*, **21**, 813-828 (2000)
- 3) Savory, J., Rao, J. K. S., Huang, Y., Letada, P. R., and Herman, M. M.: Age-Related Hippocampal Changes in Bcl-2: Bax Ratio, Oxidative Stress, Redox-Active Iron and Apoptosis Associated with Aluminum-induced Neurodegeneration: Increased Susceptibility with Aging, *Neuro Toxicol.*, **20**, 805-818 (1999)
- 4) Amador, F. C., Santos, M. S., and Oliveira, C. R.: Lipid Peroxidation Facilitates Aluminum Accumulation in Rat Brain Synaptosomes, *J. Toxicol. Environ. Health Part A*, **58**, 427-435 (1999)
- 5) Mahieu, S., del Carmen Contini, M., Gonzalez, M., Millen, N., and Elias, M. M.: Aluminum Toxicity. Hematological Effects, *Toxicol. Lett.*, **111**, 235-242 (2000)
- 6) 福島正子, 谷村顕雄: 食物繊維, ポリフェノール化合物および有機酸によるアルミニウム結合特性, *日食工誌*, **42**, 425-429 (1995)
- 7) 竹山恵美子, 横川延世, 谷村顕雄: 大豆食物繊維の加熱による多糖類および金属吸着能の変化, *食品科工誌*, **43**, 231-237 (1996)
- 8) Takeyama, E., Fukushima, M., and Tanimura, A.: Aluminium Binding Amount of Dietary Fiber Extracted from 14 Kinds of Food, *Food Sci. Technol. Res.*, **8**, 207-210 (2002)
- 9) Takeyama, E., Fukushima, M., and Tanimura, A.: Effect of Heat-Treatment on the Content and Polysaccharide Composition of Dietary Fiber, *Food Sci. Technol. Res.*, **8**, 125-130 (2002)
- 10) Prosky, L., Asp, N. G., Schweizer, T. F., DeVies, J. W., and Furda, I.: Determination of Insoluble, Soluble and Total Dietary Fiber in Foods and Food Products, Interlaboratory Study, *J. Assoc. Off. Anal. Chem.*, **71**, 1017-1023 (1988)
- 11) 無機応用比色分析編集委員会 (編): 『無機応用比色分析 1』, 共立出版, 東京, 46-51 (1973)
- 12) 辻 啓介, 森 文平: 『食物繊維の科学』, 朝倉書店, 東京, 6, 23 (1997)
- 13) 吉田 琴, 齋藤洋子: 野菜の水不溶性食物繊維の調理による変化, *家政誌*, **36**, 721-725 (1985)
- 14) 福島正子, 谷村顕雄: 食物繊維, ポリフェノール化合物および有機酸によるアルミニウム結合特性, *食品科工誌*, **42**, 425-429 (1995)
- 15) 杉田浩一, 堤 忠一, 森 雅央: 『新編 日本食品事典』, 医歯薬出版, 東京, 480 (1982)
- 16) 原田篤也, 三崎 旭 (編): 『総合多糖類科学 (下)』, 講談社サイエンティフィック, 東京, 311-312 (1974)
- 17) 大石圭一: 『海藻の科学』, 朝倉書店, 東京, 22-23, 173-174 (1993)
- 18) 吉積智司, 古賀邦正, 伊藤 汎: 『植物資源の生理活性物質ハンドブック』 (谷村顕雄監修), (株)サイエンスフォーラム, 東京, 324-330 (1998)
- 19) Debon, S. J. J., and Tester, R. F.: *In Vitro* Binding of Calcium, Iron and Zinc by Non-Starch Polysaccharides, *Food Chem.*, **73**, 401-410 (2001)
- 20) Hamano, M., Nagaoka and Maitani, T.: Binding Patterns of Co-existing Aluminium and Iron to Human Serum Transferrin Studied by HPLC-high Resolution ICP-MS, *Analyst*, **125**, 1962-1965 (2000)
- 21) 安田和男, 堂ヶ崎知格, 西島基弘: キダチアロエ, アロエベラおよびアロエアフリカーナのミトジェン活性および抗腫瘍活性, *日本食品保蔵科学会誌*, **25**, 201-207 (1999)
- 22) Dweck, A. C.: The Aloe (*Alo barbadensis* Miller), *SOFW Jahrgang*, **125**, 20-23 (1999)
- 23) 鈴木 旺, 松村 剛, 山科郁夫 (編): 『多糖生化学 I—化学編一』 (江上不二夫監修), 共立出版, 東京, 293 (1969)
- 24) 宮崎利夫 (編): 『多糖の構造と生理活性』, 朝倉書店, 東京, 106 (1990)
- 25) Otani, K., Okai, K., Yamashita, U., Yuasa, I., and Misaki, A.: Characterization of *Corchorus olitorius* (Moroheiya), *Biosci. Biotech. Biochem.*, **59**, 378-381 (1995)
- 26) 岩瀬仁勇: 『糖鎖の科学入門』, 培風館, 東京, 110-114 (1994)
- 27) 上野景平: 『入門キレート化学』, 南江堂, 東京, 69-70 (1991)
- 28) 松田りえ子: 食品中に溶出する Al の摂取実態に関する研究, 厚生科学研究事業報告書 (1996-1998)
- 29) 福島正子, 谷村顕雄: 食品のアルミニウムと人胃の pH 条件下でのイオン化, *日食工誌*, **42**, 543-547 (1995)
- 30) Stauber, J. L., Davies, C. M., Adams, M. S., Buchanan, S. J., and Florence, T. M.: Bioavailability of Aluminium in Alum-Treated Drinking Water and Food, 11th IWSA-ASPAC Regional Conference, 249-255 (1998)
- 31) Fujii, W., Kusumoto, A., Nakada, T., and Suwa, Y.: Gastrointestinal Absorption of Aluminum from Teas in Rats, *J. Food Chem. Toxicol.*, **67**, 2552-2554 (2002)