

機能性素材としての アルギン酸カルシウム

並木 友亮

Yusuke Namiki

株式会社キミカ

1. アルギン酸について

アルギン酸はコンブやワカメに代表される褐藻類に含まれる多糖類である。その含有量は乾燥藻体の30～60%を占め、生きた海藻の体内ではさまざまな陽イオンと塩を形成し緩やかなゼリー状態で細胞間を満たしている。波にもまれながら生育する柔軟な藻体はアルギン酸の物性によるものといわれている。

海藻から抽出されるアルギン酸類は極めて安全性の高い食品添加物として広く利用されており、JECFA (FAO/WHO 合同食品添加物専門委員会) による評価でもアルギン酸およびその塩類は「ADI(一日許容摂取量) = 特定しない」とされている。

食品添加物として利用できるアルギン酸類は、アルギン酸およびNa, K, NH₄, Caなどの塩類、そしてアルギン酸エステルの6種類である。このなかでもアルギン酸Naとアルギン酸エステルは増粘剤、安定剤、ゲル化剤などとして広く使用されている。特にアルギン酸エステルはパンに添加することで、ボリュームアップやケービング防止の効果を示し、めん類に添加することでコシの付与やゆで伸び抑制などの効果を発揮するため、物性改良剤として多くの場面で使用されている。

ポリカルボン酸であるアルギン酸は、Na⁺やK⁺など一価カチオンとは水溶性の塩を形成するが、Ca²⁺などの多価カチオンによ

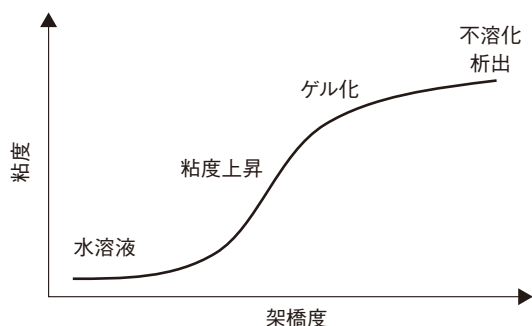


図1 架橋度の違いによる粘度変化 (イメージ図)

てカルボキシル基(COO⁻)同士がイオン架橋され不溶性の塩となる。架橋度が低いと水溶液が増粘する程度であるが、架橋度が上がるとゲルとなる(図1)。このゲルは耐熱性を有し、ゼラチンや寒天のような熱可逆性のゲル化剤とは大きく異なる特徴を持つ。

2. アルギン酸Caとは

アルギン酸Caは糖鎖同士がCaによって架橋した構造を持つアルギン酸塩である。アルギン酸Caは水に溶解しないため、それ自体は増粘効果もゲル化機能も発揮しない。従って食品添加物として利用される場面は決して多くないが、ほかのアルギン酸類のように粘度を発揮しないことから、食品のテクスチャーを変化させることなく高濃度で配合することが可能という独特の性質を持つ。

さらに、アルギン酸Naやアルギン酸Kなどと組み合わせることによって、溶液の粘度

や流動性をコントロールすることもできる。

3. アルギン酸Caの生理学的機能性

近年の研究によりアルギン酸Caには以下のような機能性があることが明らかとなってきた。

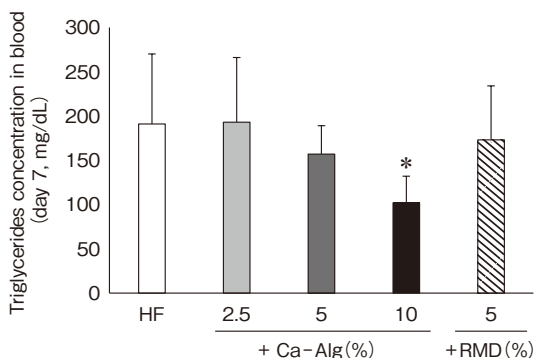
- ① 血中中性脂肪濃度の低下・脂肪蓄積の低減と体重増加の抑制作用
- ② 血中コレステロール濃度の低下作用
- ③ 食後血糖値上昇抑制作用
- ④ 放射性ストロンチウム (Sr), セシウム (Cs) の吸収抑制と体外排泄作用

本稿ではこれらについて概略を紹介する。

1) 血中中性脂肪濃度の低下・脂肪蓄積の低減と体重増加の抑制作用

日本人の主な死亡原因の一つである心疾患や脳血管疾患は、動脈硬化が原因であることが多い。これを予防するためには、血中の中性脂肪 (Triglyceride, TG) やコレステロールの濃度を低下させ、血管内への脂質やコレステロールの蓄積を抑制するとともに、体脂肪の蓄積を防ぐことが重要である。

アルギン酸CaのTGに対する影響を検証した研究¹⁾では、アルギン酸Caは高脂肪食を1週間与えたラットにおいて血中TG濃度の増加を有意に抑制することが示されている (図2)。



HF: High Fat feed (高脂肪食群), +Ca-Alg: HF+ アルギン酸Ca 添加食群, +RMD: HF+ 難消化性デキストリン (Resistant Maltodextrin: RMD) 添加食群

図2 各種餌を摂取したラットの血中TG濃度¹⁾

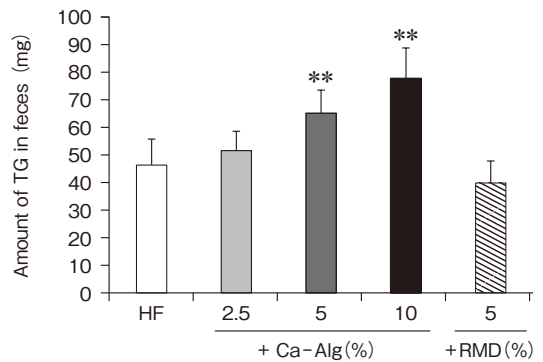


図3 各種餌を摂取したラットの糞中TG量¹⁾

アルギン酸Caを10%添加した餌を与えた群ではアルギン酸Caを与えない群 (HF群) に比べ血中TG濃度が有意に低下するとともに、糞中TGの有意な増加が確認された (図3)。これらの結果から、アルギン酸Caの摂取によりTGの吸収が抑制され、同時に排泄が促進されることが示された。なお、アルギン酸Caを含む餌を摂取したラットにおいて、体重および体脂肪量が有意に抑制されることも確認されている。

2) 血中コレステロール濃度の低下作用

TGと同様に、コレステロールに対してもアルギン酸Caの作用が検証されている²⁾。アルギン酸Naは血中コレステロールを低下させて体重増加を抑制する健康食品として既に使用されているが、アルギン酸Caでも同様のメカニズムで効果を表すことが確認されている。アルギン酸Caは摂取時には水不溶性であるが、胃 (pH: 1~3) や腸 (pH: 5~8) を通過するなかで、イオン環境により、ほかの塩に変換されると考えられる。実際にアルギン酸Caを模擬胃液に浸漬すると、わずかな時間でほぼ完全に遊離酸に変換することが明らかになっている (図4)。

先に紹介した文献²⁾では、アルギン酸Caの摂取により血中コレステロール濃度の増加を抑制することが確認された。

この試験ではコレステロールを多く含む餌 (high-Cho) および、これにアルギン酸Ca

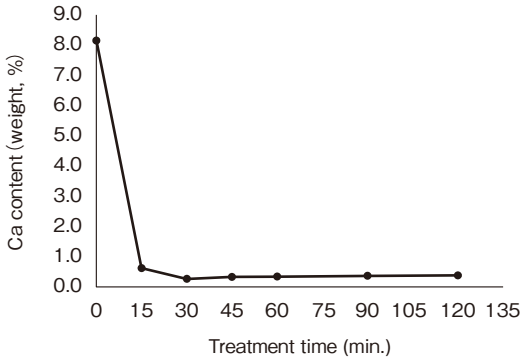


図4 アルギン酸Caを模擬胃液 (pH: 1.2) で処理した際のCa含有量の変化

を0.5～2%添加した餌を調製し、それぞれの餌をラットに2週間与えて血漿中のコレステロール濃度を測定した。その結果、アルギン酸Ca 2%含有食群において、血漿中コレステロール濃度の増加が抑制され、その効果は陽性対照として用いたコレステミド(高コレステロール血症治療薬)とほぼ同等であった(図5)。

興味深いことに、この効果にはアルギン酸Caの種類によって差があり、高分子量(Mw: 2.4×10^6)で、なおかつ構成糖としてグルロン酸を豊富(70%程度)に含むものが最も良好な結果を示した。

アルギン酸Caはアルギン酸Naとは異なり、水中で粘性が発現しないため、高分子かつ高用量でも服用しやすい。しかも、アルギン酸CaにはNaの過剰摂取による血圧上昇のリスクはない。

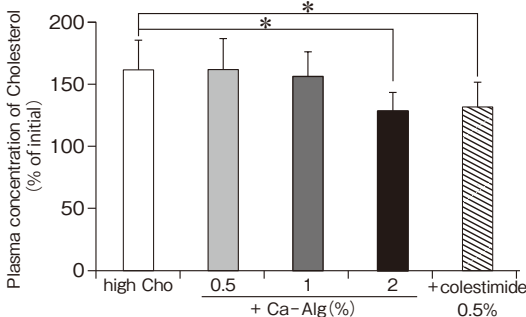


図5 ラット血漿中コレステロール濃度の変化割合²⁾

これらのことから、高分子量でグルロン酸を多く含むアルギン酸Caは、優れた機能性と安全性を兼ね備えた素材であると考えられる。

3) 食後血糖値上昇抑制機能

アルギン酸Caの機能性の一つに食後血糖値の上昇抑制機能がある³⁾。これは、デンプンを糖(グルコース)へ分解する酵素(α -グルコシダーゼ)の働きを、アルギン酸Caが阻害することによるものと考えられている。

この効果は、カレーライスを用いた試験によって確認されている⁴⁾。さらに、アルギン酸Caをめん類(うどん、日本そば、中華めん)へ添加した際の効果が臨床試験によって検証され⁵⁻⁷⁾、食後血糖値の上昇抑制効果が得られることが確認されている。

うどんにアルギン酸Caを添加した試験では、対照うどん(アルギン酸Ca未含有)、試験うどん①(アルギン酸Ca 5%含有)、試験うどん②(アルギン酸Ca 8%含有)の3種類のうどんを比較している。

この結果、アルギン酸Caを含むうどん(①および②)では、アルギン酸Caを含まないうどんと比較して有意な血糖値上昇抑制効果が認められた。この報告によれば、被験者の血糖値はうどんを喫食後およそ40分程度で最大となるが、アルギン酸Caを含むうどんを食べた被験者の血糖値は、アルギン酸Caを含まないうどんを食べた被験者に比べ有意に低いことが確認された(図6)。

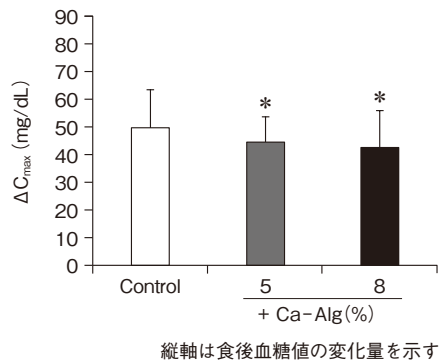


図6 食後最大血糖値の比較⁵⁾

こうしたデータに基づき、アルギン酸Caを配合した各種のめん類が、機能性表示食品としてシマダヤより「健美麺」シリーズとして販売されている。

4) 放射性Sr, Csの吸収抑制と体外排泄作用

アルギン酸NaにはSrの体外排泄作用のあることが実証されており、IAEA（国際原子力機関）の緊急時マニュアルでも、放射性Srに内部被曝した際にはアルギン酸Naの服用を推奨している⁸⁾。

アルギン酸Caにおいても、SrやCsの吸収抑制と体外排泄について検証する動物実験を行ったところ、アルギン酸CaではSrのみならずCsに対しても吸収抑制効果、体外排泄効果を有することが確認された⁹⁾。これはアルギン酸Naにはない、アルギン酸Ca特有の性能である。

4. アルギン酸Caの加工食品への応用

これまで述べてきた通り、アルギン酸Caには数々の優れた機能性が期待されており、その効果を発揮するうえで、一日あたりの推奨摂取量は3g程度を想定している。

一般的なアルギン酸Naの場合、加工食品に高配合すると強い粘りを生じるため、食味や食感を損なうことが多く、1日3gを摂取させるように加工するのは難しい。

一方、水に溶けないアルギン酸Caは、めんやパンをはじめとする小麦粉食品に配合するだけで容易に加工することができ、食味や食感にも違和感なく摂取することが可能である。

われわれはアルギン酸Caをパンに配合する処方を検討するなかで、非常に興味深い特性を見出した。アルギン酸Caを配合したパンは、生地への加水量を桁外れに（対粉90%程度に）大きく増やせることが確認されたのである。

通常の製パンにおける加水量は、対粉66%前後が一般的である。これを超過して加水すると、パンはしっとり、もっちりとした食

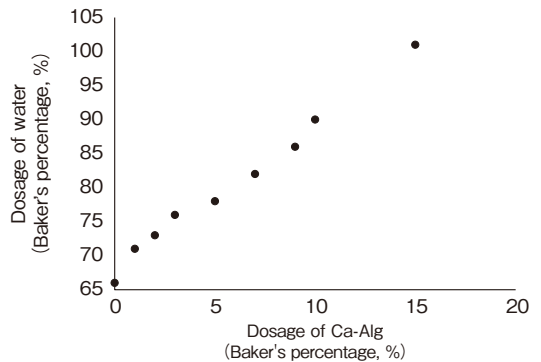
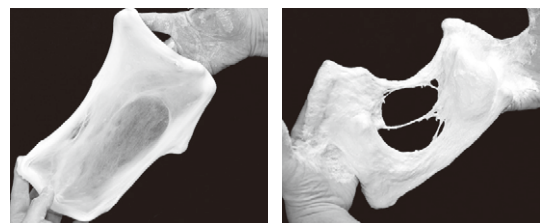


図7 アルギン酸Ca添加量と加水量の関係

感を持つようになり、いわゆる「多加水パン」とよばれる特徴的なパンになる。しかし、通常の製パン処方のまま、単に加水量を増やせば非常にべたつく生地となり、作業性の悪化や製造機器への付着、歩留まりの低下などにつながる。特に機械を使って大量生産する大手メーカーの生産ラインでは到底扱えない。

ところが、アルギン酸Caを配合したパン生地は加水を大きく増やしてもべたつかず、通常の生地と変わらない作業性となることが確認された。生地への加水量は、アルギン酸Caの添加量に比例して大きく増やせることも確認されている（図7）。

実際にアルギン酸Caを対粉9%、加水を対粉90%で製パンした際の生地の様子および焼成後の外観を図8～9に示す。対粉90%の加水は常識をはるかに越えた量であり、通常は製パンすることすらできない加水量であるが、アルギン酸Caを配合することによって良好な生地となり、焼成後もふっくらと焼き上がっている。



アルギン酸Caあり

アルギン酸Caなし

図8 アルギン酸Caの有無による生地の違い



図9 アルギン酸Ca添加パン生地を焼成したもの

5. おわりに

アルギン酸Caの生理学的機能と多加水パンへの応用例を一部紹介したが、アルギン酸Caの機能はこれにとどまるものではない。例えば、食物繊維として便通改善効果あるのはもちろんのこと、血圧上昇を防ぐ効果も期待される¹⁰⁾。

食物繊維としてアルギン酸を摂取するためには、Na塩、K塩での摂取や、海藻そのものを食べるなどの方法があるが、Naは過剰摂取が常態化しており、K含有サプリメントの服用には、高カリウム血症への配慮から十分な注意と医学的管理が必要とされる。また、海藻に含まれるヨウ素の過剰摂取は、甲状腺異常症など深刻な疾病をもたらすことが知られている。

一方でアルギン酸Caは、欠乏ミネラルであるCaの摂取不足を補うばかりでなく、高分子量、高濃度での服用に適しており、極めて安全な機能性食品素材として利用されることが期待される。

当社のアルギン酸製品は、ライフサイクルを終え海岸に漂着した海藻を原料として製造されている。

この点は持続可能な開発目標 (Sustainable Development Goals, SDGs) の観点か

ら高く評価されている。本稿の内容がアルギン酸Caを利用した食品開発を通じて人々の健康へ貢献し、さらにはSDGs達成への一助となれば幸いである。

参 考 文 献

- 1) Kasahara F *et. al.*, : Biological and Pharmaceutical Bulletin, **42** (3), 365-372 (2019)
- 2) Idota Y *et. al.*, : Biological and Pharmaceutical Bulletin, **39** (1), 62-67 (2016)
- 3) Idota Y *et. al.*, : Biological and Pharmaceutical Bulletin, **41** (9), 1362-1366 (2018)
- 4) 澤邊 昭義ら：食生活研究, **33** (2), 41-46 (2013)
- 5) Kato T *et. al.*, : Biological and Pharmaceutical Bulletin, **41** (9), 1367-1371 (2018)
- 6) 井戸田 陽子ら：薬理と治療, **46** (12), 2075-2082 (2018)
- 7) 加藤 多佳子ら：薬理と治療, **46** (12), 2083-2089 (2018)
- 8) INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY : Safety Reports Series, **47**, (2006)
- 9) Idota Y *et. al.*, : Biological and Pharmaceutical Bulletin, **36** (3), 485-91 (2013)
- 10) 辻 啓介ら：日本家政学会誌, **39** (3), 187-195 (1988)



なみき・ゆうすけ

株式会社キミカ

技術開発部 (マネジャー)

1989年生まれ、埼玉県出身。2014年株式会社キミカ入社。アルギン酸の技術開発、品質保証、商品開発などを担当。2018年～2019年 京都大学ウイルス・再生医科学研究所へ出向。2020年 技術開発部マネジャーに就任、現在に至る。