

食品加工および資材の新知識

# New Food Industry

*New food indust.* 60 (4): 2018.

4

- 多彩な生理活性を有する海藻アカモクの抽出素材を用いたサプリメント
- 油脂への嗜好とその健康効果
- 脂肪酸添加加熱処理を施した難消化性処理澱粉の消化率と澱粉内部脂肪酸量との関係
- 美味しいパンを作る秘訣は脂肪酸を上手く利用することにある?
- 健康商品の新たな受託製造ビジネスを目指して  
ホヤ由来プラスマローゲンを配合した腸溶性ソフトカプセルの開発
- ササヘルスによるホルメシスおよび細胞保護効果の誘導
- 機能性物質の養魚用飼料への添加効果—3.アスタキサンチン、ヌクレオチッド

論説

- 多彩な生理活性を有する海藻アカモクの抽出素材を用いたサプリメント  
..... 山口 正義 1
  
- 油脂への嗜好とその健康効果  
..... 藤田 哲 7
  
- 脂肪酸添加加熱処理を施した難消化性処理  
澱粉の消化率と澱粉内部脂肪酸量との関係  
..... 中嶋 奎太, 秋山 展美 15
  
- 美味しいパンを作る秘訣は脂肪酸を上手く利用することにある？  
..... 豊崎 俊幸 20
  
- 健康商品の新たな受託製造ビジネスを目指して  
ホヤ由来プラズマローゲンを配合した腸溶性ソフトカプセルの開発  
..... 又平 芳春, 渡邊 博文, 大川原 正喜 27

連載

- デンマーク通信 デンマークのお茶  
..... Naoko Ryde Nishioka 34
  
- 野山の花 — 身近な山野草の食効・薬効 —  
ハシリドコロ *Scopolia japonica* Maxim. (ナス科 Solanaceae)  
..... 白瀧 義明 36

### 解説

- ササヘルスによるホルメシスおよび細胞保護効果の誘導  
Induction of hormesis and cytoprotective effect by Sasahealth  
..... 坂上 宏, 友村 美根子, 増田 宜子, 岩間 聡一, 中川 美香,  
鈴木 隼人, 田中 健大, 阿部 智之, 田村 暢章, 竹島 浩,  
安井 利一, 辻まゆみ, 木内 祐二, 小口 勝司, 堀内 美咲,  
藤澤 知弘, 勝呂 まどか, 大泉 浩史, 大泉 高明 39
  
- 機能性物質の養魚用飼料への添加効果-3. アスタキサンチン, ヌクレオチッド  
..... 酒本 秀一, 海野 徹也 49
  
- 加工食品における泡構造, 多孔構造について  
..... 小谷 明司 60
  
- グルテンフリーベーカリー食品 その仕込みと加工 (3)  
..... 瀬口 正晴, 木村 万里子 65

**おいしさと健康に真剣です。**

酵母エキス系調味料

**コクベス**

セラチン&小麦グルテン

酵素分解調味料

**エンザップ**

**new**発酵調味料

*D&M*

ディアンドエム

**DM** 大日本明治製糖株式会社

食品事業部

**新発売!** 乳製品にベストマッチな調味料

**コクベス**

ラクティックイーストエキス

乳加工品・製パン・製菓・チーズ・バターへの  
コクづけ、味や風味の底上げなど、ユニークな  
特長がある乳酵母エキスです。

〒103-0027 東京都中央区日本橋1-5-3 日本橋西川ビル7F TEL (03) 3271-0755

# 多彩な生理活性を有する海藻アカモクの 抽出素材を用いたサプリメント

山口 正義 (YAMAGUCHI Masayoshi)\*

\* カリフォルニア大学ロスアンゼルス校 (UCLA) 医学部

Key Words : アカモク 骨粗鬆症 糖尿病 肥満 がん NF-κB サプリメント素材

## Supplemental application of marine algae *Sargassum horneri* component with a diverse bioactivity

Masayoshi Yamaguchi

Department of Pathology and Laboratory Medicine, David Geffen School of Medicine, University of California, Los Angeles (UCLA), CA, USA.

Correspondence: E-mail: yamamasa11555@yahoo.co.jp

### Abstract

Functional food factors may play a preventive and therapeutic role in various human diseases. We demonstrated that marine algae *Sargassum horneri* (*S. horneri*) reveals restorative effects in various types of metabolic disorder. Osteoporosis, which induces bone loss associated with aging, is widely recognized as a major public health problem. Bone loss with aging and diabetic states was prevented by the intake of bioactive component obtained from *S. horneri* extract *in vivo* stimulating osteoblastic bone formation and inhibiting osteoclastic bone resorption. Interestingly, the intake of *S. horneri* bioactive component was found to reveal preventive effects on diabetic findings with increases in serum glucose and lipid components, enhanced adipogenesis from bone marrow cells, and growth of breast cancer cells, which are related to inflammation conditions. Importantly, *S. horneri* bioactive component (less than 1000 molecular weight) was found to suppress the activation of NF-κB induced by tumor necrosis factor-α, a cytokine related to inflammation, suggesting molecular mechanism. *S. horneri* bioactive component may play a multifunctional role in the prevention and treatment of metabolic disorder. This bioactive material may be useful as a dietary supplement in keeping of health care.

[Keywords: *Sargassum horneri*, osteoporosis, diabetes, obesity, cancer, NF-κB, supplement]

## はじめに

食因子が生体機能を調節するとの知見については、食と健康に関する多岐にわたる情報を提供しつつ、健康保持ならびに疾病の予防と修復の一助として大きな役割を果たしている。筆者は、生体における骨およびカルシウム代謝の調節の仕組みの解明の研究に従事していた。骨組織は、骨塩溶解をもたらす破骨細胞の機能により古い骨を破壊し、そこに骨を造成する骨芽細胞が出現して、新しい骨組織を形成し、たえず柔軟な弾力性のある骨を保持するメカニズムを有している。これは骨の再構築 (bone remodeling) とよばれている<sup>1)</sup>。このバランスが加齢や多くの病態によって崩れると、骨量が減少し、いわゆる骨粗鬆症をもたらす。この骨疾患は、易骨折性を示し、骨折による寝たきりの原因となり、生活に支障をきたし、致死を早める。本症は近年の高齢化人口の増大に伴って年々増加しており、その予防は多くの関心がもたれていた。

そこで、筆者は、食品由来因子の骨代謝調節機能の解明とその骨粗鬆症の予防と修復に関する研究に強い関心を持ち、国内外に先駆けて遂行してきた<sup>2-4)</sup>。その過程において、筆者らは、静岡県近海 (下田市) で採取した海藻ワカメ (*Undaria pinnatifida*; ワカメ属)、アカモク (*Sargassum horneri*; ホンダワラ属)、アラメ (*Eisenia bicyclis*; アラメ属)、オオバキントキ (*Cryptonemia scmitziana*; カクレイト属)、マクサ (*Gelidium amansii*; テングサ属) および浜名湖生息のアオサを用いて、その抽出成分の骨カルシウム量に及ぼす効果について調べた<sup>5)</sup>。その結果、食用藻類の中で、アカモクの水抽出成分には強い骨カルシウム量増進効果を持病的に発揮するとの知見を見出すことに成功した (日本国特許)。

アカモクは、日本および中国の沿岸に棲息し、比較的波の穏やかな海底の岩場に、冬から春にかけて成育する。この海藻は、繁殖が著しく、漁網や船舶のスクリューに絡み、ほとんど活用されていなかった。一部の地域においては

食用に利用されていたが、多くは環境に廃棄されていた。この海藻は、コンブ、モズクやワカメが属する褐藻で、程よいヌメリと独自の歯ごたえのある食感で、おいしくて健康によい海藻として、古くから秋田、岩手、富山、能登半島などの地域では佃煮や生食として食用されていた<sup>6)</sup>。なお、アカモクには、他の海藻と比較して含有量が著しく多い栄養成分として、カロチン、ビタミンC、ビタミンB<sub>2</sub>、食物繊維、ミネラルや微量元素などが知られている<sup>6)</sup>。

その後、筆者らは、アカモク抽出成分には、骨量増進効果に加えて、糖尿病における高血糖および高脂血症を改善する効果、肥満と関連する脂肪細胞の形成を抑制する作用、さらには乳がん細胞の増殖と細胞死をもたらす作用 (米国特許) を発揮することを見出した。これらの作用発現には、アカモク成分が上記の病態の発現に重要な細胞内の情報伝達分子のNF- $\kappa$ Bの形成とその活性を抑制するメカニズム (日本国特許) に基づくことを明らかにした。このように、アカモク水抽出成分は、多岐にわたる病態を予防、改善する効果を発揮することが見だされ、健康増進に役立つ多彩な生理活性を有する漢方薬的な効用が期待された<sup>7)</sup>。

本稿においては、アカモク水抽出成分の生理活性に関する筆者らの知見を概説し、これを素材にした保健サプリメントの開発について考察する。

## 1. アカモク抽出成分は骨粗鬆症の予防と修復に役立つ

まず、各種の海藻の骨組織に及ぼす効果を明らかにするために海藻抽出成分を調製した。実験には、凍結乾燥した試料を精製蒸留水に溶解したものをを用いた<sup>6)</sup>。ワカメ、アカモク、アラメ、オオバキントキ、マクサおよびアオサの水抽出成分の水溶解液をラットに7日間連続経口投与したところ、投与量依存的に大腿骨骨幹端部組織のカルシウム量、その石灰化促進酵素アルカリ性ホスファターゼ活性およびDNA量 (骨組織中の細胞数の指標として評価している) は

有意に増加することが見出された<sup>5)</sup>。このような効果は、ラット大腿骨から得られた骨幹部と骨幹部組織を、アカモク抽出成分を含む培養液中で培養した場合にも引き起こされた<sup>8)</sup>。この作用発現には骨タンパク質合成の増進にもとづくことが示唆され、アカモク抽出成分には骨芽細胞の機能を高めて骨形成増進作用を発揮する因子の存在が明らかにされた。さらに、アカモク抽出成分は骨吸収（骨組織を溶解する破骨細胞の働きによる）を抑制する作用も発揮することが見出された。ラット大腿骨の骨幹部組織および骨幹部組織を、骨吸収促進因子である副甲状腺ホルモンやプロスタグランジン E<sub>2</sub> の存在下で培養すると、骨カルシウム量が減少した。これらの作用はアカモク抽出成分が存在するとほぼ完全に抑制された<sup>9)</sup>。このように、アカモク抽出成分には骨吸収抑制作用を発揮する因子が存在した。

なお、アカモク水抽出成分中の活性成分の同定が試みられた。アカモク水抽出成分中の活性成分の分子量を膜分画法で調べたところ、骨形成を増進する成分は分子量が1000以下の分画に存在し、骨吸収を抑制する成分は分子量が5万以上と1000以下の分画に存在することが明らかにされた<sup>10)</sup>。さらに、活性成分を分離するために、アカモク抽出液の Sephadex G-25 カラム溶出の活性分画を高速液体クロマトグラフィー (Asahipack GF-310HQ と GS-220HQ の2本つないだもの) で分離した。最終的分画には分子量約200-400に相当した新規並びに既知の数種類の物質が存在することを見出した<sup>11)</sup>。

前述のように、アカモク水抽出成分が骨形成を増進し、骨塩溶解（骨吸収）を抑制する作用を発揮することから、この素材は骨粗鬆症の予防と修復に役立つことが期待された。そこで、成長期と加齢ラットの骨成分増進効果と糖尿病性骨粗鬆症の修復効果について調べた。まず、成長期（4週齢雄性）および加齢（50週齢雌性）ラットを用いて、アカモク水抽出成分（凍結乾燥物）をラット体重100gあたりに2.5, 5および10mgを1日1回7および14日間連続経口

投与し、大腿骨の骨幹部（皮質骨）並びに骨幹部（海面骨）組織の骨成分（カルシウム、アルカリ性ホスファターゼ活性およびDNA量）の変動について調べた<sup>12)</sup>。その結果、成長期と加齢期ラットの骨幹部ならびに骨幹部組織の骨成分の全てにおいて有意な増加が見出された<sup>12)</sup>。このように、生体レベルにおいて、アカモク成分の摂取は成長期ならびに加齢期のいずれにおいても骨量増進効果をもたらすことが実証された。

糖尿病の合併症として骨粗鬆症（骨減少）がもたらされることは難治性疾患として臨床医学的に注目されている。ストレプトゾトシン (streptozotocin;STZ) を投与すると膵臓が破壊されインスリン分泌障害によりI型の糖尿病を誘発するため、糖尿病のモデル動物として使用されている。STZ投与ラットにおいては、大腿骨の骨幹部ならびに骨幹部組織の骨成分（カルシウム、アルカリ性ホスファターゼ活性およびDNA量）は有意に減少するが、これらの低下はアカモク抽出成分を14および21日間連続経口投与すると有意に抑制されることが見出された<sup>13)</sup>。アカモク抽出成分には糖尿病性骨粗鬆症の改善効果を発揮する因子が存在した。このように、アカモク抽出成分には骨粗鬆症の予防と修復に役立つ因子が存在することがわかった。

前述の知見を基礎にして、骨粗鬆症を予防・修復するアカモク水抽出物を有効成分とする新規機能性食品素材の開発がなされ<sup>6)</sup>。最終製品の素材をアカモク (*Sargassum horneri*) の名前にちなんで、ホルマックス OT<sup>®</sup> と命名された。なお、OTは、osteone（骨を意味する）の略語である。そこで、一般健康人ボランティア（男女36名、各群11-13名）において、1日1錠（ホルマックス OT 300mg含有）あるいは3錠（ホルマックス OT 900mg含有）を4あるいは8週間服用したときの、骨代謝に及ぼす効果について調べた<sup>14)</sup>。これは骨粗鬆症の臨床評価のために開発されている骨代謝マーカーの血清中濃度を測定することにより解析した。なお、ブラセボーには澱粉を錠剤にしたものを用いた。

骨代謝マーカーには、骨形成のマーカーとなる骨型アルカリ性ホスファターゼとオステオカルシン（これらは骨芽細胞が特異的に産生するタンパク質）と骨吸収マーカーの酒石酸抵抗性酸性ホスファターゼ（破骨細胞が産生するタンパク質）とI型コラーゲンの分解物N-テロペプチド（骨吸収のときに骨組織に存在するI型コラーゲンタンパク質が分解したときの特異分解物）が用いられている。ホルマックスOTを摂取すると、特に、血清骨吸収マーカーの酒石酸抵抗性酸性ホスファターゼは有意に低下することが見出され、骨吸収（骨塩溶解）が抑制されることが判明した。アカモク抽出成分の摂取は、まず骨吸収抑制効果が摂取早期に発揮され、その後に骨形成が増進され、骨量保持に役立つものと推察された。なお、一般血液生化学的検査並びに血球数は、ホルマックスを1日1および3錠の8週間摂取により有意に変動せず、毒性が認められなかった。

このように、わが国において最初に開発されたアカモク水抽出成分を粉末化した機能性素材「ホルマックスOT」(株式会社マルハチ村松)は、その効用がヒトにおいても実証され、骨粗鬆症の予防と修復に役立つサプリメントの新素材として期待された。

## 2. アカモク抽出成分は糖尿病の改善効果を有する

前述したように、膵臓が破壊されインスリン分泌障害によりI型の糖尿病を誘発するSTZを投与した糖尿病のモデルラットにおいて、体重増加抑制、血清グルコースとトリグリセライド濃度の上昇、血清カルシウム濃度上昇と無機リン濃度低下をもたらした<sup>13)</sup>。これらの糖尿病状態によってもたらされた変動は、アカモク水抽出成分を14および21日間連続経口投与することにより著しく改善された<sup>13)</sup>。この知見は、アカモク水抽出成分中には抗糖尿病作用を発揮する因子が存在し、その摂取は糖尿病状態の改善に有効であることが示唆された。なお、アカモク水抽出成分中には、糖尿病状態の改善

効果を発揮する因子と、糖尿病性骨粗鬆症を修復する因子の両方が存在するものと推察されるが、同一の因子が両方の病態の改善に関与している可能性が示唆される。

## 3. アカモク抽出成分は脂肪細胞の形成を抑制する

さらに、前述した知見に加えて、アカモク水抽出成分中の因子が骨髄細胞からの脂肪細胞の形成を抑制することが見出された<sup>14)</sup>。骨髄の幹細胞(mesenchymal stem cell)は、多能性であり、骨芽細胞、軟骨細胞、心筋細胞および脂肪細胞に分化される<sup>15-17)</sup>。骨髄の幹細胞からの脂肪細胞(adipocyte)あるいは骨芽細胞(osteoblast)のいずれの細胞に分化するのかは、骨粗鬆症の進展との関係で、多くの関心を集めている。そこで、アカモク水抽出成分(分子量3000以下)を含む培養液中で、マウスから得た骨髄細胞を培養して、脂肪細胞の形成について調べた<sup>18)</sup>。その結果、アカモク水抽出成分は、インスリンにより刺激される骨髄幹細胞からの骨芽細胞への分化を増進し、脂肪細胞の形成を抑制することが見出された<sup>18)</sup>。このように、アカモク水抽出成分は骨髄細胞から脂肪細胞への分化を抑制する作用を発現することから、インスリン作用に関連してもたらされる摂食後の肥満を制御する効果を発揮するものと推察され、興味をもたれた。

なお、肥満による骨粗鬆症の発症には成熟脂肪細胞から分泌するtumor necrosis factor (TNF)- $\alpha$ が関係することが示されている<sup>16, 17)</sup>。さらに、アカモク水抽出成分中の因子は、TNF- $\alpha$ により刺激された細胞内NF- $\kappa$ Bシグナリングの活性化による骨芽細胞の機能阻害と破骨細胞形成亢進を抑制することが見出された<sup>19)</sup>。なお、TNF- $\alpha$ は、骨髄の脂肪細胞ならびに成熟脂肪細胞において産生増大され、炎症およびインスリン抵抗性をもたらす重要な因子である。アカモク水抽出成分は、1型糖尿病状態の改善効果に加えて、肥満に関連したインスリン抵抗性を示す2型糖尿病の予防に

も役立つ可能性が示唆された。

#### 4. アカモク抽出成分は乳がん細胞の増殖を抑制する

乳がんや前立腺がんの細胞は、その80%に骨転移が引き起こされる。それに伴った骨破壊による高カルシウム血症は、患者の予後を悪化させることから、臨床医学的に古くから注目されている<sup>7)</sup>。その治療には、骨吸収をもたらす破骨細胞の機能を活性化するサイトカインのRANKL [Receptor activator of the nuclear factor kappa B (NF- $\kappa$ B) (RANK) ligand] の作用を抑制する薬剤やその抗体が活用されている<sup>19, 20)</sup>。さらに、その予防と修復に役立つ食因子はほとんど明らかにされていなかった。そこで、筆者は、アカモク成分因子が、米国において強い関心もたれている乳がんの制御に役立つかを調べた<sup>22)</sup>。

ヒト乳がん細胞 (MDA-MB-231 cell) は、エストロゲン受容体  $\alpha$ 、プロゲステロンおよび上皮成長因子受容体-2の発現を欠如しており、骨転移性があり、薬剤治療の困難なヒト乳がんのモデル細胞としてがん研究に使用されている。この細胞培養系において、アカモク水抽出成分 (分子量 3000 以下) は、ヒト乳がん細胞の増殖を抑制することが見出された<sup>21)</sup>。また、このアカモク水抽出成分は、乳がん細胞の死滅をも引き起こし、乳がん細胞の成長を強く制御することが明らかにされた<sup>21)</sup>。なお、アカモク水抽出成分は、その他のがん細胞の制御にも関与していることが推察され、がんの予防と修復に役立つ、有用な食因子であるとの知見が見出されている。

#### 5. アカモク抽出成分は、転写因子 NF- $\kappa$ B 阻害作用を発現し、その関連病態の制御に役立つ

筆者らは、前述のように、骨粗鬆症、肥満、糖尿病並びにがんの病態発現に関連している骨髄細胞、骨芽細胞、破骨細胞、脂肪細胞および乳がん細胞などの多彩な培養系において、アカ

モク水抽出成分 (分子量 3000 以下) の生理活性を調べた。アカモク水抽出成分はそれらの疾患の予防や修復に役割を果たすものと推察される<sup>7)</sup>。そこで、アカモク水抽出成分 (分子量 3000 以下) が、骨粗鬆症との関連で、サイトカイン TNF- $\alpha$  による骨芽細胞機能の抑制および RANKL による破骨細胞の活性化の制御に共通の分子メカニズムになっている転写因子 NF- $\kappa$ B の活性化を抑制することを明らかにした<sup>19)</sup>。肥満細胞が産生する TNF- $\alpha$  は、インスリンの抵抗性をもたらし、2型糖尿病の発症に重要な病態生理的因子である。さらに、この因子は炎症性疾患およびがんの発症に重要であり、多様な疾病の要因になっている。アカモク水抽出成分中の因子が転写因子 NF- $\kappa$ B の活性化を阻害する作用は、NF- $\kappa$ B の活性化が関与する多くの疾患の予防と修復に役立つ薬剤的な役割をになうことができるものと推察される。なお、前述したように、アカモク水抽出成分 (分子量 3000 以下) には、分子量が 200-400 の新規および既知の化学物質が数種類存在することを同定している<sup>11)</sup>。筆者は、これらの単独あるいは複合的な作用をもって、NF- $\kappa$ B の活性化を制御しており、この強い複合的効果の現れが、アカモクが有する多機能性の発現において、重要であると考察している。

#### おわりに

人口の高齢化に伴って多発する易骨折性を示す骨粗鬆症は寝たきりの要因になり社会的に重要な疾患として位置づけられ、その予防は重要である。興味あることに、筆者らは、食用されている多くの海藻の中で、アカモクに骨粗鬆症の予防と修復に役立つ活性因子が存在することを見出した。海藻アカモク抽出成分を粉末化した骨粗鬆症予防に役立つサプリメントとしての素材は、その効果がヒトにおいても実証され、骨粗鬆症の予防と修復に役立つものとして、その有用性が示されている。このことに端を発し、さらに、アカモク水抽出成分には、多彩な生理機能性を有していることが明らかにされ<sup>7)</sup>、骨

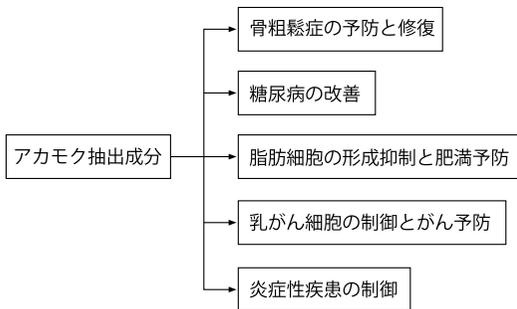


図1 アカモク抽出成分の多彩な生理活性と病態の予防と修復との関連

粗鬆症に加えて、糖尿病、肥満、がんおよび炎症性疾患などの多くの病態制御にかかわることが推察された (図1)。多彩な生理活性を有する海藻アカモク水抽出成分は、漢方薬的な効用を持ったサプリメントの素材として、その活用が期待される。

### 謝辞

アカモク成分をご恵与賜りました株式会社マルハチ村松・開発研究部の共同研究者の松本 透ならびに橋詰 昌幸 両氏に深謝申し上げます。

### 参考文献

- Raggatt LJ, Partridge NC: Cellular and molecular mechanisms of bone modeling. *J Biol Chem* 285: 25103-25108, 2010.
- 山口正義: 「骨の健康と食因子 — 骨粗鬆症の予防と修復へのアプローチ」, 食品資材研究会, 東京, 2010.
- Yamaguchi M: Nutritional Factors and Osteoporosis Prevention. Nova Science Publishers, Inc., New York, USA, 2010.
- Yamaguchi M: Biomedical Osteoporosis Treatment. Nova Science Publishers, Inc., New York, USA, 2013.
- Yamaguchi M, Hachiya S, Hiratsuka S, Suzuki T: Effect of marine algae extract on bone calcification in the femoral-metaphyseal tissues of rats: Anabolic effect of *Sargassum horneri*. *Journal of Health Science*, **47**, 533-538. 2001.
- 山口 正義, 松本 透, 保苅 義則, 橋詰 昌幸: 海藻アカモク成分の骨代謝調節機能: 骨粗鬆症を予防する新規機能性素材ホルマックス®の開発. *New Food Industry*, **50**, 1-6. 2008.
- 山口 正義: 海藻アカモク因子の多機能性とその健康増進における役割. *New Food Industry*, **58**, 1-8. 2016.
- Uchiyama S, Yamaguchi M: Stimulatory effect of *Sargassum horneri* extract on bone formation in rat femoral-diaphyseal and –metaphyseal tissues *in vitro*. *Journal of Health Science*, **48**, 148-153. 2002.
- Uchiyama S, Yamaguchi M: Inhibitory effect of marine alga *Sargassum horneri* extract on bone resorption in tissue culture *in vitro*. *Journal of Health Science*, **48**: 154-160. 2002.
- Uchiyama S, Hashizume M, Hokari Y, Nakagawa T, Igarashi A, Yamaguchi M: Characterization of active component in marine alga *Sargassum horneri* extract in stimulating bone calcification *in vitro*. *Journal of Health Science*, **50**: 634-639. 2004.
- Yamaguchi M: Marine alga *Sargassum horneri* component and bone homeostasis: Role in osteoporosis prevention. *International Journal of Food Science, Nutrition and Dietetics*, **2**, 9-14. 2013.
- Uchiyama S, Yamaguchi M: Anabolic effect of marine alga *Sargassum horneri* extract on bone components in the femoral-diaphyseal and –metaphyseal tissues of young and aged rats *in vivo*. *Journal of Health Science*, **48**: 325-330. 2002.
- Uchiyama S, Yamaguchi M: Preventive effect of marine alga *Sargassum horneri* extract on bone loss in streptozotocin-diabetic rats *in vivo*. *Journal of Health Science*, **49**, 149-155. 2003.
- Matsumoto T, Hokari Y, Hashizume M, Yamaguchi M: Effect of *Sargassum horneri* extract on circulating bone metabolic markers: Supplemental intake has an effect in health humans. *Journal of Health Science*, **54**: 50-55. 2008.
- Minguel JJ, Ericas A, Conget P: Mesenchymal stem cells. *Exp Biol Med* **226**: 507-520. 2001.
- Muruganandan S, Roman AA, Sinal CJ: Adipocyte differentiation of bone marrow-derived mesenchymal stem cells: cross talk with the osteoblastogenesis program. *Cell Mol Life Sci*, **66**: 236-253. 2009.
- Gharibi B, Abraham AA, Ham J, Evans BA: Adenosine receptor subtype expression and activation influence the differentiation of mesenchymal stem cells to osteoblasts and adipocytes. *J Bone Miner Res.*, **26**: 2112-2124. 2011.
- Yamaguchi M, Matsumoto T: Marine algae *Sargassum horneri* bioactive factor suppresses adipogenesis in mouse bone marrow culture *in vitro*. *OA Biotechnology*, **3**: 7. 2014.
- Yamaguchi M, Matsumoto T: Marine algae *Sargassum horneri* bioactive factor stimulates osteoblastogenesis and suppresses osteoclastogenesis *in vitro*. *OA Biotechnology*, **1**, 3. 2012.
- Weilbaecher KN, Guise TA, McCauley LK: Cancer to bone: a fatal attraction. *Nature Review Cancer*, **11**: 411-425. 2011.
- Yamaguchi M, Matsumoto T: Marine algae *Sargassum horneri* bioactive factor suppresses proliferation and stimulates apoptotic cell death in human breast cancer MDA-MB-231 cells *in vitro*. *Integrative Molecular Medicine*, **2**, 135-138. 2015. Doi:10.15761/IMM.1000127.

# 油脂への嗜好とその健康効果

藤田 哲 (FUJITA Satoshi)<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 藤田技術士事務所

Key Words : 油脂 6番目の味覚 飽和脂肪酸 不飽和脂肪酸 肥満 海外トレンド

## はじめに

霜降り牛肉やマグロのトロなど、適量の油脂を含有する食材は旨みを増す。元来油脂をほとんど含まない野菜などを油で揚げた天ぷらも、また大変美味である。野菜サラダにはサラダ油やマヨネーズが用いられ、トーストにはバターがぬられる。良質の水に恵まれない世界の内陸地方では、ラードなどの獣脂やバターを用いた調理が発達した。水に恵まれた日本では、古来から主に水による調理が行われ、油は夜間の光源であった。

欧米では、食用と工業用を含めた一国の油脂消費量は、その国の文明水準に比例するとされる。2011年の一人当たり植物油消費は、アメリカで42.4 kg、ドイツは68.7 kg、フランスとイタリアは50 kg弱、世界平均は22 kgであった。他方、日本人一人当たりの植物油消費は、同年に19.1 kgと世界平均以下であった。南欧の地中海沿岸地域では、人々はパンにオリーブ油を浸して食べている。なお、常温で油は液体、脂は固体の状態、合わせて油脂と称する。

## 1. 油脂は第6番目の味覚か？

ヒトの味覚について昔は、甘、辛（塩味）、酸、苦の4種とされたが、グルタミン酸ナトリウムの調味料としての普及で、5番目の味覚「旨み」が加わった。そして最近では「油脂を6番目の味

とする動きが始まり、捕らえどころの難しい6番目の味「油脂嗜好」を、「油脂の特異的な味」として何人かの研究者が提唱している。はたして油脂を6番目の味として認めるべきであろうか？

米国油化学者協会（AOCS）の *Inform* 誌によると<sup>1)</sup>、2016年に二人の学者が油脂を味とすべきと主張し<sup>2)</sup>、油脂は次の状況に合致するに違いないとした。その根拠は次の5種の状況証拠によっている。

### ① 脂肪風味を刺激する明確な物質がある

炭水化物の分解物である糖の甘味と、タンパク質の分解物であるアミノ酸の旨み刺激のように、油脂の味を呈するのは油脂分解物の脂肪酸とみられる。味蕾細胞には脂肪酸の受容体の存在が予測されており、油脂は脂肪酸の受容体によって認識され、脳に伝達されるとみられる。さらにまた唾液中のリパーゼによって、油脂の一部が分解されて脂肪酸になり、遊離脂肪酸は味蕾中に予想される受容体に結合して、以降の消化その他の生理作用が進行するとみられている。

脂肪味を刺激する食品中の遊離脂肪酸濃度はかなり低いが、味蕾細胞の受容体を刺激するには十分である。食品中の油脂の存在に関して、ヒトは脂肪酸濃度で0.1～3%（w/v）を感知で

きる<sup>3)</sup>。この遊離脂肪酸は元来食品に含まれる量であり、唾液のリパーゼによる油脂分解の脂肪酸ではない。他方、油脂の過酸化脂質の健康被害は大きい、ヒトは過酸化脂質の不快臭と風味を鋭敏に感知できる。

## ② 化学的刺激を電気信号に変える変換機構がある

考えられる限りで、もっとも明確な油脂風味の受容体は脂肪酸輸送体タンパク質のCD36で、これらはヒトの味蕾細胞上で見出されている。CD36受容体の遺伝子には変異があつて、それらは異なる脂肪への感受性に差が認められる。CD36は表面に疎水性の3個のポケットをもち、飽和及び不飽和の長鎖脂肪酸と結合して筏状の形態を作り、味蕾細胞膜内に集合するが、この作用は電気信号として脳に伝達される。不確実性が残るが、他にも脂肪風味に関与する受容体の存在が認められている。

## ③ この電気信号はニューロンによって脳の処理領域に伝達される

刺激を受けた味蕾細胞（主要な4タイプの味覚受容体をもつ）は、神経伝達物質のアセチルコリン、セロトニン、ノルエピネフリンを分泌する。これらは電気信号として神経繊維によって脳に伝達される。長鎖脂肪酸がCD36に結合すると、タイプIIIの味蕾細胞からセロトニンやノルエピネフリンなどが分泌される。

## ④ 脂肪風味の信号は他の味覚と区分して識別される

脂肪風味の知覚は長年にわたり味覚ではなく、脂肪食品のテクスチャ、匂い、外見によって起こるとされてきた。甘味などと異なり、脂肪の味覚を定義するのは難しいが、ヒトはテクスチャや匂いなどによらなくても、それらを識別できることが分かった。鼻をつまんで嗅覚を遮断した甘草酸苦旨味と脂肪味の識別では、ヒトは長鎖脂肪酸を容易に識別できた。

## ⑤ 味蕾細胞の活性化に引き続いて生理学的作用が起こる

脂肪酸と味蕾細胞の特異的受容体間には相互作用があり、この生理作用によって食品摂取と消化が影響を受ける。味蕾から脳に送られた電気刺激は、取り込まれる食品の消化のための酵素分泌を促進する。また味蕾細胞は胃腸のホルモンを分泌して消化管の機能を調節し、リパーゼ分泌など油脂消化への準備を始めるとされている。

以上のように、脂肪が6番目の味覚であることは、多くの事実と証拠によって裏付けられつつある。しかし、油脂が第6の味と確定する前に、幾つかの解決すべき疑問があるとされる。例えば、CD36などの受容体の正確な役割は何であるか？ 短鎖から中鎖、長鎖まで脂肪酸の鎖長の味覚への影響は？ 脂肪味を検知する特異的な味蕾は？ などである。しかし、何れにせよ今後5年から10年の間に、油脂の食感が第6の味であることが証明されると考えられている。

## 2. 油脂の健康効果

油脂はヒトにとって重要不可欠な栄養源であり、前述の通りヒトには油脂への食感があつて、油脂嗜好はヒトの本能として備わっているものと考えられる。人類進化の数百万年は飢餓との背中合わせの歴史でもあつた。現在も世界は9億人に近い飢餓人口を抱える一方で、過食による肥満人口が増加している。多くの国々での食料過剰摂取は、人類史上では異常な事態である。ヒトの遺伝子は生命存続のために、常に飽食することを命ずるので、運動量の少ない多くの現代人に肥満が増えるのは自然なことであろう。

油脂は食品の風味・香味を増強するので、過食を起こしやすい。油脂の熱量は植物油で9.2キロカロリー、動物脂で9.4キロカロリーと、4キロカロリーの糖質やタンパク質の2.3倍もあるので、ヒトが「肥満の原因は油脂の過食」と考えるのは当然であろう。政府は「脂肪のと

りすぎ、特に飽和脂肪のとりすぎを避け、成人での全摂取エネルギーとの比で、それが4.5～7%であることを」推奨している。農林水産省の推定では、近年は成人の飽和脂肪摂取は全摂取エネルギーの8.2%であり、摂りすぎに注意すべきとしている。しかし最近の研究結果は、これまでの脂肪、特に飽和脂肪が肥満や健康リスクであることを否定している。想像とは異なり肥満の原因はむしろ炭水化物の過剰摂取であることが分かっている。

2007年に日本の成人は、一日当たり平均で油脂を53.7g摂取しており、動物性と植物性の油脂が同量であった。政府は、全摂取エネルギーに対する油脂類の適正比率を25%とし、最低を13%としているが、54gは25%の油脂摂取量とほぼ一致していた。近年はそれが30%を超える青年層が増加しているが、政府の摂りすぎの見解とは異なり、ほとんど問題は起こらないとみられる。

油脂の摂取に関しては、それを油脂と実感できる「見える油脂」と、魚類、畜肉、豆腐などに含まれる「見えない油脂」がある。2007年の国民栄養調査では、見ると見えない油脂の摂取は同量であった。油脂は食品加工に不可欠の原料であって、食品の味覚、構造及び機能に大きな役割をもっている。

油脂の健康効果に関しては、過去の約半世紀の間に幾つかの主張がなされ、内容に変遷があった。例えば、40年前には低脂肪食が健康的とされ、高脂肪食「特に飽和脂肪は健康に有害である」とされたために、植物油や部分水素添加油（硬化油）の摂取が勧められた。しかし、ヒトの細胞膜脂質の1/2と体脂肪の1/3は、飽和脂肪で構成されている。このこともあって、近年は飽和脂肪有害説が否定されはじめており、世代の異なる消費者間には混乱が起こるのであろう。やや旧聞になるが、この間の変遷を解説したT. Tarverの論文、"A Big Fat Dispute"が2016年8月の*Food Technology*誌に掲載され、その内容などを参考に以下の小文を纏めてみた。

## 2-1. 油脂と肥満

肥満は体脂肪の過剰な蓄積で起こる。日本での肥満の定義は、  
 体重指数【(BMI) = 体重[kg] / (身長[m])<sup>2</sup>】が25以上としており、2015年の厚生労働省調査によると、肥満人口は男性で約28%、女性で約19%であった。他方世界的には、BMIが30以上を肥満とし、25以上を過体重としている。アメリカでの肥満は1980年におよそ14%であったが、現在は女性の40%と男性の35%が肥満であり、人口の2/3以上が肥満か過体重になっている。

アメリカ人の肥満原因には幾つかがあるが、1970年代の政府の栄養指針が関連しているとされた。指針の中で、油脂食品特に飽和脂肪を避け、部分水素添加油脂（硬化油）と炭水化物の摂取が勧告された。この勧告の科学的裏付けは1950～1970年の栄養及び疫学研究に基づいており、主に著名な生理学者のAncel Keysによる、有名な「7か国研究」の結果に基づいていた。Keysは、高濃度の血中コレステロール、心筋梗塞、脳卒中の原因は、高脂肪食特に飽和脂肪と、その他の生活様式によるとした。しかしこの研究は、後にその方法論と結果内容に誤りが多いことが指摘され、重要なことには疫学研究が原因を立証できなかった。にもかかわらずその後は、「食事脂肪は悪で心臓病を起こし肥満を増すが、炭水化物摂取は全てに良い」との考えが定着してしまった。そのため当時の食品工業は、減脂肪、低脂肪、無脂肪を志向したり、飽和脂肪を避けて部分水素添加の植物油（硬化油）の利用や、全乳を脱脂乳に、バターをマーガリンで代替するなどの加工を進めた。

「油脂食品は肥満、体脂肪蓄積の原因である」と人は考えやすいが、近年の研究では食品としての天然の油脂が、健康維持や体重管理に関して、炭水化物よりはるかに重要であることが示された。脂肪は主要なエネルギー源であり、多くの身体機能に必須で、欧米の生活では脂肪が必要エネルギーの半分近くを与える。脂肪組織に蓄えられた脂肪は、外的損傷から内臓を保護

し、体温を維持し、全ての細胞の構成要素でもある。また食事では、ビタミンその他の脂溶性栄養素の運び手であり、また脳の成分の60%は脂質である。

## 2-2. 生命と脂肪

脂肪は飽和、不飽和の脂肪酸とグリセロールで構成されており、全ての天然食品は一種以上の脂肪を含む。飽和脂肪はバター、チーズ、ヤシ油、卵、畜肉、鳥肉、牛乳に多く含まれる。不飽和脂肪では、一不飽和脂肪はオリーブ油、二重結合の多い多価不飽和脂肪は多くの植物油、魚類などに多く含まれる。飽和脂肪は常温で固体であり、不飽和脂肪は一不飽和と多価不飽和の脂肪酸を多く含み、常温で液状である。また液状油への水素添加で製造される別タイプの脂肪（硬化油）は、トランス脂肪酸を含み室温で固体である。飽和脂肪は化学的に安定であり、食品にテクスチャとフレーバーを与える。しかし過去に飽和脂肪が心臓病と肥満の原因とされたため、食品企業では代替物が必要になった。また不飽和脂肪がヒトの健康に適するとされたが、それらのシェルフライフは短く、レオロジー特性は多くの食品に不適であった。そこで部分水素添加で液状油を固状化（硬化油）すると、トランス脂肪酸と飽和脂肪酸ができる。トランス脂肪酸の融点は飽和脂肪酸より低いが常温で固体であり、当時は飽和脂肪より健康的と考えられたために、飽和脂肪が硬化油によって代替された。

ヒトの健康に適するとされた不飽和脂肪については、一不飽和脂肪酸の多いオリーブ油と、多価不飽和脂肪酸を多く含む大豆油、コーン油、カノーラ菜種油などの植物油がある。これらの不飽和脂肪酸は、低密度リポタンパク質（LDL: 悪玉コレステロール）を低下させ、心臓血管病を予防するとされた。

多価不飽和脂肪酸には n-3 と n-6 ( $\omega$ -3 と  $\omega$ -6) の脂肪酸があり、これらはヒトが体内で作れないので、それらの摂取は栄養上必須である。n-3 脂肪酸中で特に高鎖長で多価不飽和の

ドコサヘキサエン酸（DHA：C22：6n-3）は、魚油に含まれ脳の発達に必須であって、また心臓血管病など炎症に基づく疾病を防止する。またイコサペンタエン酸（EPA：C20：5n-3）も魚油に含まれ、ホルモン作用のあるイコサノイドの前駆体である。DHA は中枢神経系の中で神経細胞膜とシナプス中の含量が多く、脳中での含有が多い。なお図 1 に示すように、n-3 脂肪酸とはそのメチル基末端から 3 個目の炭素に二重結合があり、n-6 脂肪酸は同じく 6 個目の炭素に二重結合をもつ。

DHA と EPA は抗炎症作用があり、血圧を下げ血中脂肪を低下させ血管機能や心臓機能を改善し、また 2 型糖尿病やアルツハイマー病の予防に貢献すると考えられている。n-3 脂肪酸の  $\alpha$ -リノレン酸はエネルギー源として役立つ。ヒトは体内でこれを DHA/EPA に変換可能であるが、しかしその作用は十分ではないため、DHA/EPA は食事による摂取が必要である。

n-3 脂肪酸は皮膚、毛髪、骨格の健康を保ち、体の免疫系に作用する生物活性物質合成の基になる。また血中コレステロール濃度の低下に与り、LDL リポ蛋白質（悪玉コレステロール）濃度を低下させるが、HDL コレステロール（善玉コレステロール）濃度も下げる作用がある。n-6 脂肪酸の代表はリノール酸で、これには n-3 脂肪酸の作用はない。他の研究では、n-6 脂肪酸には炎症促進作用があり、炎症は種々の健康被害の原因で、心臓血管病や他の慢性疾患、メタボリックシンドローム、2 型糖尿病をある程度促進した。1970 年前後に一時大腸ガンの発病が増加したが、当時多量に輸入され消費された、ベニハナ（サフラワー）油中の多量なリノール酸が原因とする説があり、育種による改善がなされた。また多価不飽和脂肪酸は脂質過酸化を受けやすく、アテローム性梗塞、ガンなどの原因になる。

n-6 脂肪酸も栄養上必須であるが、適量である必要があり、ビタミンなどと同様に多量摂取では健康被害を示す。リノール酸などの n-6 脂肪酸の主要給源は植物油であって、サフラワー

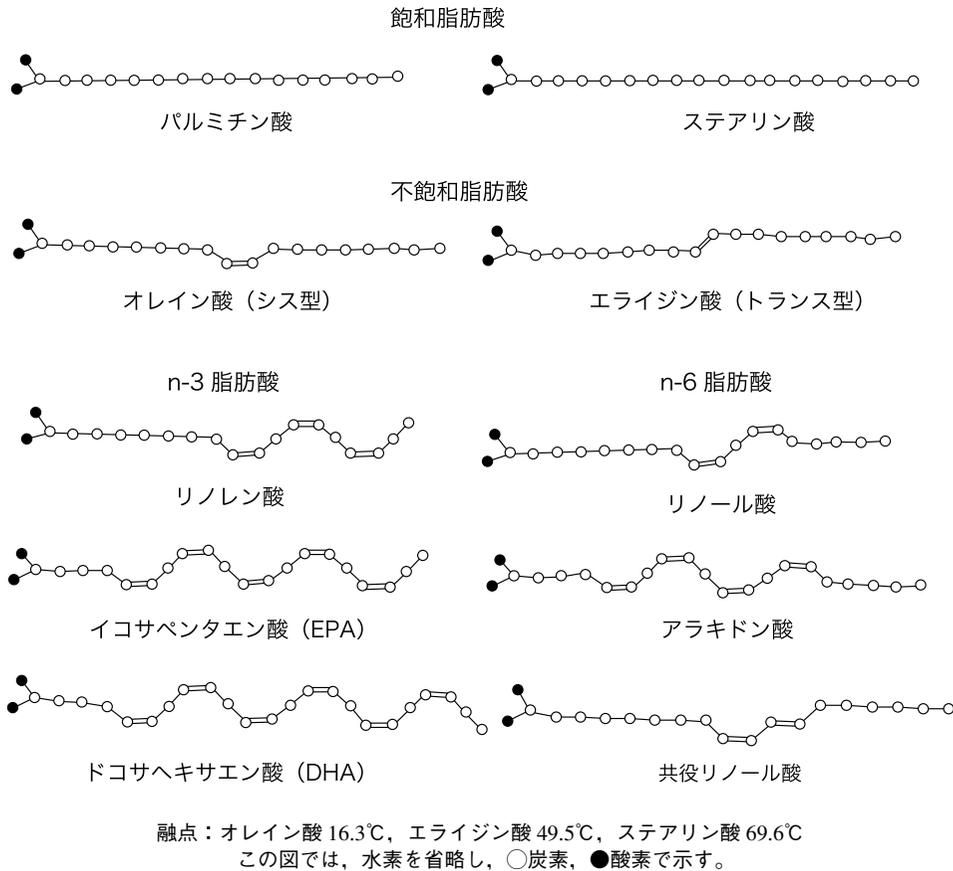


図1 脂肪酸の種類

油、ヒマワリ油、大豆油、コーン油などは多量のリノール酸を含む。身体中の n-6 酸に対する n-3 酸の比率は、n-6/n-3=1:1 ~ 5:1 が好ましいとされるが、現在、欧米で消費される主要植物油中のリノール酸含量は高く、n-6/n-3 比は 14:1 ~ 25:1 になっている。この状況は幾つかの慢性疾患の有無や、反社会的行動を含む認識や判断能力に影響するとされる<sup>4,5)</sup>。これらの油脂は部分水素添加によって、トランス脂肪酸と残余の n-6 脂肪酸とを含むことになる。

なお主要な動植物油脂の代表的な脂肪酸組成を表1に示したが、組成値はある程度の幅がある。カノーラ菜種油を除くと、日本での需要の多い植物油の n-6/n-3 比はかなり高い。しかし日本では、カノーラ菜種油の消費が植物油の 45% と最大であり、また魚類摂取が多いので、

全体的には健康問題につながりにくいであろう。

### 2-3. トランス脂肪酸の害作用対策

前述の通り数十年前には、部分水素添加油脂（硬化油）が飽和脂肪よりも健康的と考えられており、硬化油は飽和脂肪の代替として西欧社会に導入された。しかし現在は、トランス脂肪酸を含む硬化油の健康被害が明らかになっている。多くの研究結果から、トランス脂肪酸は血中の LDL 濃度を高め、常に心臓血管病リスクと関連していることが明確になった。トランス脂肪酸は牛乳や反芻動物畜肉にも含まれるが、これらのトランス脂肪酸の構造は、人工的な硬化油中のものとは異なる共役リノール酸である。この脂肪酸には炎症を下げ、ぜんそくや肥

表1 主な油脂の代表的な脂肪酸組成（全体に対する重量％）

| 炭素数:不飽和結合<br>脂肪酸の名称 | 飽和脂肪酸 (S) |       |       |      | 多価不飽和脂肪酸 (P) |             |             |             |             |
|---------------------|-----------|-------|-------|------|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
|                     | 4~14:0    | 16:0  | 18:0  | 18:1 | 18:2         | 20:4        | 18:3        | 20:5        | 22:6        |
| 油脂の種類               |           | パルミチン | ステアリン | オレイン | リノール         | アラキドン       | リノレン        | EPA         | DHA         |
|                     |           |       |       |      | <i>n</i> -6  | <i>n</i> -6 | <i>n</i> -3 | <i>n</i> -3 | <i>n</i> -3 |
| 母乳                  | 15        | 24    | 6     | 25   | 15           |             | 2           | 0.5         | 1.5         |
| 牛乳                  | 25        | 30    | 12    | 25   | 2            |             | 1           |             |             |
| 牛脂                  | 4         | 28    | 25    | 35   | 2            |             |             |             |             |
| 豚脂                  | 2         | 25    | 12    | 45   | 10           | 0.4         | 0.1         |             |             |
| 鶏脂                  | 1         | 23    | 2     | 42   | 19           | 11          | 1.3         |             |             |
| マイワシ*               | 8         | 17    | 2     | 13   | 3            | 2           | 1           | 17          | 13          |
| サケ*                 | 6         | 16    | 4     | 17   | 1            | 2           | 0.3         | 9           | 20          |
| キハダマグロ*             | 2         | 22    | 7     | 16   | 2            | 4           | 1           | 6           | 27          |
| カノーラ菜種油             |           | 4     | 2     | 64   | 19           |             | 9           |             |             |
| 大豆油                 |           | 11    | 4     | 23   | 52           |             | 8           |             |             |
| パーム油                | 1         | 45    | 5     | 39   | 9            |             | 0.3         |             |             |
| 綿実油                 | 1         | 25    | 2     | 18   | 53           |             | 0.3         |             |             |
| コーン油                |           | 12    | 2     | 28   | 57           |             | 1           |             |             |
| サフラワー油              |           | 6     | 2     | 13   | 78           |             |             |             |             |
| ひまわり油               | 1         | 7     | 5     | 19   | 68           |             | 0.5         |             |             |
| こめ油                 | 1         | 16    | 2     | 44   | 34           |             | 1           |             |             |
| やし油                 | 80        | 8     | 3     | 7    | 1            |             |             |             |             |
| ココアバター              |           | 26    | 36    | 36   | 3            |             |             |             |             |

\* 魚肉中の油脂の脂肪酸組成。

満を防止するなど幾つかの健康効果がある。

アメリカはトランス脂肪の表示を2006年から義務化し、中国、韓国、台湾、ベトナム、タイ、インドネシアなどの近隣諸国もその表示を義務化した。日本がトランス脂肪表示を義務化しなかった理由は、加工油脂製造業が硬化油利用を制限し、トランス脂肪摂取を全エネルギー摂取量の1%（一日約2g）未満に止めたためである。アメリカではトランス脂肪酸の主要原因である硬化油を、2015年5月にGRAS（一般に安全と認められる）物質から削除し、また2018年7月には加工食品から全てのトランス脂肪を排除することになっている。そこで食品製造業者は硬化油に換えて飽和脂肪を使うか、常温で固体のパーム油などの代替物を用いることになった。

### 3. 消費者の油脂選択

日本の消費者は一般に、摂取する油脂の選択にほとんど関心をもたない。しかし油脂消費量

の多い欧米の消費者には、油脂に関してどのようにすれば健康的な食事を選べるかを考える人が多い。著名な研究機関であるクレディスイス研究所による、油脂摂取に関する報告<sup>6)</sup>によると、最も公的で影響力のある組織のWHOとアメリカ心臓協会の研究では、「飽和脂肪摂取は最悪の場合でも心臓血管病リスクに関して中立である」としている。また、多数の疫学研究データをプールして解析する、二つのメタ分析研究がこの立場を支持しており、飽和脂肪は心臓血管病のリスクを増すことはなく、また全死亡原因とも関連がないとした<sup>7)</sup>。

さらにクレディスイス研究所の報告によると、「部分水素添加植物油のトランス脂肪酸は、心臓血管病リスクを高め、植物油と炭水化物の消費増加は肥満を増やす」としている。またG. D. Lawrenceは「高脂肪食は低脂肪食に比べて、体重減少と体重制御に関してより有効であり、飽和脂肪と一不飽和脂肪の摂取が有効であ

ろう」とした<sup>8)</sup>。これらの内容は、従来からの専門家の見解と相反しており、「飽和脂肪の少ない食事が健康・長寿を促進するという主張の基礎が失われつつある」。

アメリカの公衆衛生の権威は、脂肪「特に飽和脂肪」に関する既存の考えと食事指針（30年以上にわたったガイダンス）を変えることを嫌ってきた。2015～2020年の米国食事ガイドラインは、すでにコレステロールの摂取制限を勧告していない。しかし、いまだに無脂肪や低脂肪乳製品の摂取を助言しており、飽和脂肪の摂取を摂取カロリーの10%以下にすることを勧告している（アメリカ健康福祉省/農務省2015）。またこの勧告を支持し、飽和脂肪は不飽和脂肪に比べて、死因全体に対する関連が大きいとする最近の研究もあった<sup>9)</sup>。しかしこの研究では、原因が確認されていなかったが、トランス脂肪酸が顕著な健康被害を有することは確認していた。

このような状況から、英国の公衆衛生当局は脂肪摂取について再考しており、英国政府は科学勧告委員会に対し、脂肪摂取の制限勧告を改訂する必要性を諮問した（2016）。他方、このような科学的論議とは無関係に、世界の食品市場では天然に飽和脂肪を多く含有する食品、バター、チーズ、全乳、卵の消費が顕著に増加している。

#### 4. 健全な脂肪食品

バター脂は飽和脂肪を70%含み、必須栄養素に富み、脂溶性ビタミン、カルシウム、コリン、カリウムなどを含み、しかも美味である。結果として世界中で、マーガリンからより健康的なバターへの回帰が起こっている。世界最大のマーガリンメーカーであるユニリバー社によると、先進国でのマーガリン消費が急減しており、2015年にはアメリカでの販売が8.9%減少した。替わってアメリカでのバター消費は、2013～2015年の間に20%以上増加し、販売額は22億ドルから27億ドルになり、一人当たりの消費で年間2.6kgになった。また世界のバター消

費は、2010年から年率4%の増加になっている。バター消費の増加では、例えばマクドナルドでは2015年から、マフィン類やビスケットへの液状マーガリン使用を止め、バターを用いている。

日本でのバター消費は年間7.5万トン程度であり、年間一人当たりの消費は0.6kgと少ない。バターに関しては酪農保護のために、政府の売渡価格はキロ当たり千円強と高価で、市販価格は欧米の3～4倍と、特に高価な食材になっている。また現在は日本の消費者世帯では、所得格差の拡大と貧困化などが進み、そのエンゲル係数（食料費/消費支質の%）の増加は顕著である。日本のエンゲル係数は、高度成長期以降ほぼ23%で推移したが、この3年間で急増して2016年には25.8%になった。このような状況下では、食費の節約が進み家庭でのバター消費は増加しにくい。なお、比較的安価なマーガリン消費は年間22～23万トンで僅かな減少傾向にある。

消費者はより健康的な食品を求めており、アメリカでは栄養に富む全乳や乳製品の消費が増えているが、これらには体重を減らす効果はあっても肥満をもたらすことはない<sup>10)</sup>。そこで、アメリカでの全乳の消費は2016年に4.5%も増加した。アメリカでの低脂肪食志向にもかかわらず、消費者の自然食志向でピザやチーズ、全乳とバター消費は増加し、特にナチュラルチーズ消費はこの20年で40%も増加した。調査会社Mintelの予測によると、チーズの売上げが2017～2020年で20%増加し、277億ドルに達するとしている。近年のチーズとバターの売り上げ増加は著しいが、ベーコンの増加はそれほど多くなく、2013～2015年の間で5%程度であった。

この数十年間アメリカでの鶏卵消費が、その高含量のコレステロールのため減り続けた。しかし、食事性コレステロールが血中コレステロール濃度増加と、ほぼ無関係であることが理解され、卵の消費は増加している。アメリカ人一人当たり卵消費は1998年に240個であった

が、2016年には264個に増加し、2030年には300個になると期待されている。日本人の卵消費は2013年に329個と、メキシコ(347個)、マレーシア(331個)に次いで世界3位であった。卵もまた完全栄養食であり、蛋白質価も高く、ヨウ素、コリン、ビタミンDなどに富む。

### まとめ

長年にわたって過剰な油脂摂取は肥満の原因と考えられ、特に飽和脂肪の多い食品の摂取は健康被害の原因と誤解されてきた。しかし近年、飽和脂肪酸による健康リスクは否定されはじめた<sup>11)</sup>。飽和脂肪を含めた油脂類はヒトの身体にとって必須の栄養源であり、ヒトが摂取する油脂の種類と量が、健全な成長と健康維持、脳の働き、生活習慣病などに関連することが明らかにされてきた。日本では油脂の健康効果に関

して、消費者と行政、食品業界の関心は高くない。加工食品の原材料に油脂名を表示しない国は、ほぼ日本だけになっており、有害なトランス脂肪酸を含む硬化油も、単に植物油と表記される。日本の消費者の平均的な油脂摂取の現状は、健康上元来あるべき状況と大きな矛盾はないので、あまり問題にされていないが、その状況の理解は大切であろう。

元来油脂を含む食品からそれを除くと、反って過体重、肥満、二型糖尿病が劇的に増加するとされる。またヒトが過食したり、又は食事成分の飽和脂肪を、硬化油や澱粉、糖の炭水化物で置き換えると、肥満を増してさらに健康被害が増加することが示された。無脂肪や脂肪の少ない食事が健康的であると考えるのは、大きな間違いである。

### 参考文献

1. Laura Cassiday: Is fat really the sixth taste?, *Inform* 27 (4): 34-35, 2016.
2. Running, C.A., Craig, B.A., et al.: Oleogustus, the unique taste of fat. *Chem. Senses* 40: 507-516, <http://dx.doi.org/10.1093/chemse/bjvo36/>.
3. Keast, R.S.J., and Constanzo, A.: "Is fat the sixth taste primary? Evidence and implications." *Flavour* 4: 5, <http://dx.doi.org/10.1186/2044-7248-4-5>.
4. Tarver, T.: "A Diet for a Kinder Planet," *Food Technol.* 68(10): 20-29, 2014.
5. 藤田 哲: 反社会的行動と脳の栄養. *New Food Industry* 57(4): 39-46, 2015.
6. Credit Suisse Research Institute. 2015. Fat: A New Health Paradigm, Credit Suisse AG Research Institute, Zurich, Switzerland.
7. Chowdhury, R. et al.: "Association of Dietary, Circulating, and Supplement Fatty Acids With Coronary Risk: A Systematic Review and Meta-analysis" *Ann. Intern. Med.* 160(6): 398-406. 2014.
8. Lawrence, G. D.: "Dietary Fats and Health: Dietary Recommendation in the Context of Scientific Evidence." *Adv. Nutr.* 4(3): 294-302. 2013.
9. Wang, D. D., et al.: "Association of Specific Dietary Fats with Total and Cause-Specific Mortality" *JAMA Intern. Med.* July 5, doi: 10.1001/jamainternmed.2016.2417.
10. Rautiainen, S., et al.: "Dairy Consumption in Association with Weight Change and Risk of Becoming Overweight or Obese in Middle-Aged and Older Women: a Prospective Cohort Study." *Am. J. Clin. Nutr.* 103(4): 979-988, 2016.
11. 藤田 哲: 油脂と健康－飽和脂肪酸による健康リスクはない. *New Food Industry* 58(1): 6-14, 2016.

# 脂肪酸添加加熱処理を施した難消化性処理澱粉の消化率と澱粉内部脂肪酸量との関係

中嶋 奎太 (NAKASHIMA Keita)\* 秋山 展美 (AKIYAMA Yoshinobu)\*

\* 秋田県立大学大学院 生物資源科学研究科

Key Words : 食後血糖値 澱粉 - 脂質複合体 澱粉内部脂肪酸

## はじめに

澱粉に脂肪酸を添加し加熱することで食後血糖値の上昇を抑制できる可能性のある澱粉素材の開発を目指している。これまでにわれわれは、澱粉にパルミチン酸やリノール酸を添加し加熱することによって難消化性が付与されることを報告した<sup>1)</sup>。脂肪酸添加による澱粉への難消化性付与のメカニズムを解明するため、馬鈴薯澱粉に脂肪酸（ステアリン酸、オレイン酸）を添加し、加熱処理をして難消化性を付与させた澱粉の消化率と、澱粉と複合体を形成すると考えられている脂肪酸（以下、内部脂肪酸）の量との関係について調べた。澱粉消化率の測定は前述の森らの方法を用いて評価した。内部脂肪酸量は、西谷ら<sup>2)</sup>の脂肪酸分析方法を一部改変して定量した。

一般に、澱粉内にある脂質成分はエチルエーテルなどの有機溶媒で抽出される外部脂質と有機溶媒では抽出されず澱粉粒内に存在する内部脂質と区別される。内部脂質は Taylor ら<sup>3)</sup>によって初めて確認され、Mikus ら<sup>4)</sup>が、この内部脂質はアミロースらせん内に含まれていることを報告した。この澱粉分子中の内部脂質の大部分が遊離脂肪酸であることが確認されており、この内部脂肪酸は 85% 熱メタノールで繰り返し処理することで除くことができる（古川

ら<sup>5)</sup>、藤本ら<sup>6)</sup>）。また、森らは脂肪酸が澱粉と複合体を形成し、疎水領域を形成することが酵素分解グリセミックインデックス (EGI) の低下の要因であることを示し、結果として馬鈴薯澱粉にパルミチン酸やリノール酸を添加し、加熱処理を行う簡便な食品加工処理によって馬鈴薯澱粉に難消化性を付与させうることを報告している<sup>1)</sup>。

内部脂肪酸量は澱粉ドライベース 1 g あたり 4 mg までは内部脂肪酸量の増加に伴い、澱粉の消化性の指標としている酵素分解グリセミック指数 (EGI) が減少する傾向を示したが、約 4 mg/g より多くなると EGI の大きな変化は見られなかった。馬鈴薯澱粉に脂肪酸を添加して加熱処理を行うことで難消化性が付与されるが、内部脂肪酸量が約 4 mg に達すると澱粉脂肪酸複合体の形成は飽和状態になり、それ以上脂肪酸を添加しても消化率に影響がないことが示唆された。

本研究の目的は、澱粉と複合体を形成しうる内部脂肪酸を定量し、内部脂肪酸量と消化率の関係を検討することで脂肪酸添加による澱粉への難消化性付与のメカニズムを明らかにすることである。馬鈴薯澱粉にステアリン酸やオレイン酸を添加し、森らの方法を用いて難消化性付与を試みた。さらに、内部脂肪酸量を定量し

EGI と内部脂肪酸量の関係について検討した。

## 1. 試料と方法

### 1-1. 試料

馬鈴薯澱粉はカルビー(株)を使用した。ステアリン酸およびオレイン酸は和光純薬工業(株)を用いた。澱粉分解酵素としてメガザイム社のブタ膵臓  $\alpha$ -アミラーゼ (EC3.2.1.1) とアミログルコシダーゼ (AMG) (EC3.2.1.3) を用いた。脂肪酸のメチルエステル化は、SIGMA-ALDRICH 社の 12% (w/w) 3 塩化ホウ素-メタノール試薬を用いた。

### 1-2. EGI の測定

馬鈴薯澱粉の水分を 11, 15, 20% に調製した。ステアリン酸およびオレイン酸は 0, 3, 5, 7% (w/w) になるよう澱粉に添加した。脂肪酸添加澱粉試料をステンレス製の密閉容器に封入し、試料の内部温度が 140℃ に達するまでオイルバス中で加熱した。140℃ 達した後、試料を直ちに氷水中で急冷した。グルコース量は澱粉ドライベース 1 g あたりで表した。

澱粉消化率は森ら (2017) の方法を用いて行った。75 mg のサンプルに 0.003 M  $\text{CaCl}_2$  が含まれている 0.1 M マレイン酸バッファ水溶液 15 mL 加えた後懸濁液を 100℃ で 60 分加熱した。37℃ にサンプルを冷却した後、ブタ膵臓  $\alpha$ -アミラーゼ 0.069U を加え、振とう (100 rpm) しながら 37℃ で 90 分インキュベートした。0.4 mL をマイクロチューブに分取し、 $\alpha$ -アミラーゼを失活させるためにサンプルを直ちに 100℃ で 5 分間加熱した。次にサンプルを遠心分離し、(11752 × g, 5min) 上清 0.1 mL を採取した。上清に 0.4 M 酢酸ナトリウムバッファ水溶液 (pH4.5) を 0.37 mL と AMG 0.1 U を加えた後、60℃ で 45 分間振とう (85 rpm) した。グルコースはグルコースオキシダーゼ・パーオキシダーゼ法で定量した。測定は各試料につき 3 回ずつ行った。統計解析は、Microsoft Excel 2010 により *t*-検定を行った。

EGI は Goni ら<sup>7)</sup> による方法に従って算出し

た。比消化率 (Hi) は下記の 1) 式を使ってサンプルの消化率と白パン (標準食品) 消化率を比較して算出した。

$$Hi = 100 \times (\text{Sample H90}) / (\text{White bread H90}) \dots\dots 1)$$

EGI は Goni らが提案した 2 式を使って算出した。

$$EGI = 39.21 + 0.803 Hi \dots\dots 2)$$

### 1-4. 澱粉内部脂肪酸の定量

西谷ら<sup>2)</sup>の方法を一部改変して行った。西谷らの方法では内部脂肪酸、外部脂肪酸どちらも遊離型脂肪酸と脂質構成型脂肪酸に区別して分析を行っている。しかしながら、本研究で使用している馬鈴薯澱粉は脂質構成型脂肪酸がほとんど検出されなかったため、遊離型脂肪酸を内部脂肪酸または外部脂肪酸の全量とみなして実験を行った。試料はソックスレー抽出器を用い *t*-ブチルメチルエーテルで 17 時間抽出を行い、外部脂肪酸を抽出した。外部脂肪酸を抽出した残渣試料に 85% メタノールを 100 mL 加え 3 時間 75℃ での還流抽出を 3 回行い内部脂肪酸を抽出した。エバポレーターで抽出液を乾固し、ヘキサンで定容した。その後 12% (w/w) 3 塩化ホウ素-メタノール試薬を添加してメチルエステル化し、ガスクロマトグラフに供して内部脂肪酸を定量した。

また、内部脂肪酸の抽出効率を評価するために外部脂肪酸も同様に定量した。

## 2. 結果および考察

### 2-1. EGI に及ぼす水分含量、脂肪酸種および添加率の影響

図 1 に水分含量、脂肪酸種、脂肪酸添加率を変えた場合の EGI を示した。水分含量において、どちらの脂肪酸添加試料も無添加試料 (control) と比較すると、水分含量が上昇するに伴って EGI が低下傾向を示すことが確認された。脂肪酸種において、水分含量 11% で、わずかでは

あるがステアリン酸添加試料よりもオレイン酸添加試料の方が EGI のより低い低下がみられた。その他の水分含量調製澱粉は脂肪酸種による消化率の違いはみられなかった。脂肪酸添加

率において、どの水分含量調製澱粉でも脂肪酸添加率による消化率の違いは見られず、EGI 低下に寄与する脂肪酸添加率の上限は約 3% であった。無添加試料の EGI は水分含量の違いにより大きな変化が見られなかった。EGI の低下率が最も大きかったのは、水分含量 20% で脂肪酸を少なくとも 3% 添加した試料であり、無添加試料と比較して約 60% の低下を示した。

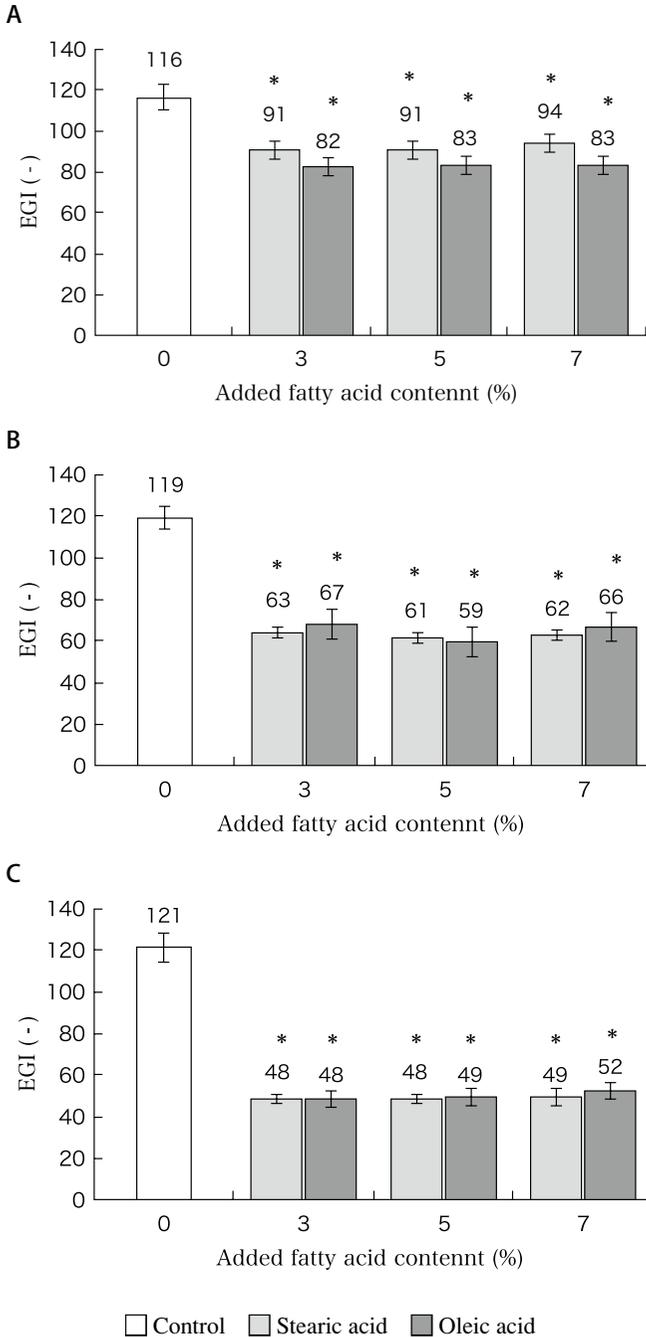


図1 馬鈴薯澱粉の水分含量、添加脂肪酸種および添加率が EGI に及ぼす影響

A: 水分 11% B: 水分 15% C: 水分 20% \*印は危険率 5% で有意

## 2-1. 澱粉内部脂肪酸量と EGI との関係

脂肪酸添加試料の内部脂肪酸量を表 1 に示した。各水分含量において、ステアリン酸添加試料の内部脂肪酸量が他の脂肪酸添加試料に比べて低い傾向を示した。その中でも水分含量 20% 調製澱粉において、同じ飽和脂肪酸であるパルミチン酸と比較すると、内部脂肪酸量が半分ほどであることが確認された。

各脂肪酸添加試料において、脂肪酸添加率による内部脂肪酸量の大きな変化は見られなかった。しかし、水分含量の増加に伴い、内部脂肪酸量も増加していることが確認された。水分含量 20% 試料において水分含量 11% 試料と比較すると約 3~4 倍内部脂肪酸量が増加していることが確認された。

内部脂肪酸量と EGI の関係を図 2 に示した。内部脂肪酸量が澱粉ドライベース 1 g あたり約 4 mg までは内部脂肪酸量の増加に伴い、EGI が低下する傾向であり、相関係数 0.9 以上の高い負の相関を示した。しかし、約 4 mg より多くなると、EGI の大きな変化は見られなかった。

## 2-2. 考察

ステアリン酸、オレイン酸の添加

表 1 脂肪酸種別の澱粉内部脂肪酸量 (水分 11, 15, 20%, 脂肪酸添加率 3, 5, 7%)

| 水分 (%)        | 内臓脂肪酸量 (mg) |           |           |           |           |           |           |            |            |
|---------------|-------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|------------|
|               | 11          |           |           | 15        |           |           | 20        |            |            |
|               | 3           | 5         | 7         | 3         | 5         | 7         | 3         | 5          | 7          |
| Palmitic acid | 1.4 ± 0.5   | 1.9 ± 0.3 | 2.0 ± 0.4 |           |           |           | 8.7 ± 0.5 | 9.0 ± 0.4  | 9.2 ± 0.3  |
| Linoleic acid | 3.7 ± 1.5   | 3.5 ± 1.0 | 1.7 ± 0.2 |           |           |           | 9.8 ± 0.5 | 10.5 ± 0.4 | 10.6 ± 0.1 |
| Stearic acid  | 1.7 ± 0.7   | 1.6 ± 0.5 | 1.7 ± 0.8 | 2.5 ± 0.1 | 2.7 ± 0.1 | 2.5 ± 0.2 | 4.2 ± 0.3 | 5.3 ± 0.5  | 6.0 ± 0.8  |
| Oleic acid    | 2.2 ± 0.3   | 2.3 ± 0.1 | 2.6 ± 0.4 | 3.1 ± 0.2 | 3.3 ± 0.2 | 4.2 ± 0.6 | 7.9 ± 0.2 | 9.6 ± 0.4  | 8.8 ± 0.6  |

数値は平均値±標準偏差 (n = 3)

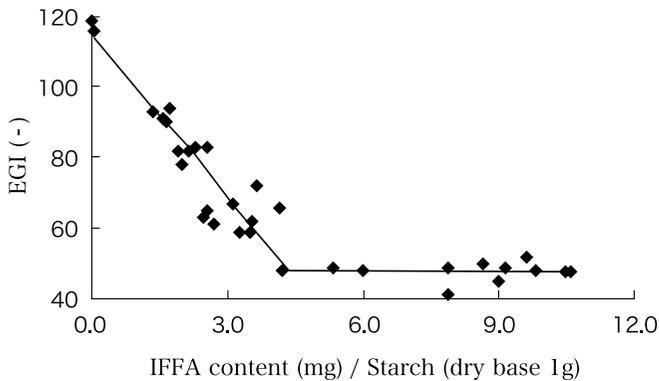


図 2 澱粉内部脂肪酸量と EGI の関係

澱粉 1g (乾物重) あたり内部脂肪酸量が約 4 mg までは EGI が低下する。

は無添加試料と比較して EGI が低下することが確認された。これらの EGI の低下はパルミチン酸とリノール酸を使用した森らの報告と同様に、澱粉と脂肪酸の複合体の形成が起因しているものだと考えられる。また、水分含量の増加に伴い、脂肪酸添加試料の EGI が減少傾向を示したとともに、内部脂肪酸量の増加が確認された。生澱粉はアミロースとアミロペクチン鎖が水素結合により規則的に集めたミセル構造を有しており、この構造には水分子が侵入できない (三浦ら, 2003)。澱粉の水分含量が増加すると加熱によってミセル構造が緩み、その緩んだ構造に脂肪酸が侵入し、より多く澱粉と脂肪酸の複合体を形成するのではないかと考えられる。澱粉と脂肪酸の複合体は糊化膨潤を抑制し酵素作用が受けにくくなるため、結果

として EGI が低下したものと考えられる。内部脂肪酸量において、各水分含量調製澱粉試料でステアリン酸の内部脂肪酸量が少ないが、EGI をみると他の脂肪酸と同等の低下を示した。アミロースと脂肪酸の複合体形成の難易は飽和脂肪酸 (C<sub>10</sub> ~ C<sub>18</sub>) では C<sub>10</sub> > C<sub>12</sub> > C<sub>16</sub> > C<sub>18</sub> であり、炭素鎖が増えると複合体形成体を作り難いが、いったん生成した複合体はより安定的であることが報告されている<sup>9)</sup>。他の飽和脂肪酸に比べステアリン酸が澱粉と複合体を形成しづらいが、形成された複合体はより安定し、消化率の低下に起因している可能性が示唆される。内部脂肪酸量と EGI の関係において、内部脂肪酸量が澱粉ドライベース 1g あたり約 4 mg までは内部脂肪酸量の増加に伴い EGI が減少傾向を示し、約 4 mg 以上は内部脂肪酸量が増加しても EGI の大きな変化は見られなかったことが確認された。これは、内部脂肪酸量が約 4 mg/g で澱粉と脂肪酸の複合体が飽和状態になり、それ以上脂肪酸を添加しても複合体は形成されず、消化率に影響がないことを示唆している。

今後は、澱粉と脂肪酸の複合体について複合体形成時における澱粉構造の物理的な変化を X 線粉末回折や示差走査熱量分析等で明らかにしていきたい。

## 引用文献

1. Daiki M, Keita N, Rumiko T, Shiori O, Haruna O, Kyoko I, Han Z, Jieyu C and Yoshinobu A : *Food Science and Technology Research*, **23** (2): 339-342, 2017.
2. Naomichi N, Tetsuro S and Seinosuke S: Study of analysis method of fatty acid in raw material rice. *J. Brew. Soc. Japan*, **73** (4): 321, 1978.
3. T. C. Taylor and J. M. Nelson: *J. Am. Chem. Soc.* , **42**, 1726, 1920., Yoshisuke M : Thermal Analysis on Gelatinization and Retrogradation of Starch. *Bulletin of Hiroshima Jogakuin University*, **53**, 79-87. 2003.
4. Mikus F. F., Hixon R.M. and Rundle R.E.: The complex of fatty acids with amylose. *J. Am. Chem. Soc.*, **68**, 1115-1123, 1946.
5. Tetsuya F and Kenkichi O: Purification of Starch by Surface Active Agents (XIII) Effects of "fat-by-hydrolysis" and Surface Active Agents on physical properties of Starch. *Journal of the Technological Society of Starch*, **40**, 595, 1962.
6. Shigeo F, Tomonori N. and Matsuo K: Characteristics of Both Embraced and Penetrated Fatty Acids of Starch Granules from Different Plant Sources (Studies on the "Fat by Hydrolysis" of the Sweet Potato Starch Part V . *Nippon Nogeikagaku Kaishi*, **46**, 12, 613-618, 1972.
7. Goni I., Garcia-Alonso A. and Saura-Calixto F.: A starch hydrolysis procedure to estimate glycemindex. *Nutr. Res.*, **17**, 427-437, 1997.
8. Yoshisuke M: Thermal Analysis on Gelatinization and Retrogradation of Starch. *Bulletin of Hiroshima Jogakuin University*, **53**, 79-87, 2003.
9. Takaoka K. and Nikuni Z: The reversion of starch-iodine color reaction caused by an enzyme. partvii. saturated fatty acids as the amylose-precipitant. *Nippon Nogeikagaku Kaishi*, **26**, 186-190, 1952.

# 美味しいパンを作る秘訣は 脂肪酸を上手く利用することにある？

豊崎 俊幸 (TOYOSAKI Toshiyuki) <sup>1</sup>

<sup>1</sup> 香蘭女子短期大学・食物栄養学科

Key Words：飽和脂肪酸 不飽和脂肪酸 メイラード反応生成物 AGEs 気泡分布 空洞穴 中鎖脂肪酸含有油脂 MCT パン

## はじめに

メイラード反応は、糖質とアミノ化合物の中間反応であり<sup>1)</sup>、食品の加工、保存調理で誘発され、食品の褐変や香気生成に関与している。メイラード反応を誘発する成分としては、アミノ化合物として、アミン、アミノ酸、ペプチド、たんぱく質、核酸塩基、アミノ脂質などが知られている。カルボニル化合物としては、L-アスコルビン酸、ポリフェノール化合物あるいはステロイド化合物が報告されている<sup>2-11)</sup>。

メイラード反応の開始段階として、アミノ基の窒素の独立電子対は、カルボニル炭素と求核反応により結合し、脱水によりイミンが生成することから反応が開始される<sup>5,6)</sup>。この反応で生成された物質が新たな反応を誘発される結果、食品の色素や香気を含める様々な生成物が、様々な経路により生成することとなる。メイラード反応は、食品加熱により、色や香りに大きな影響を与えることは既知の事実である<sup>10)</sup>。パンの焼き色や香りは、人間の嗜好性を高めるため、加熱によるメイラード反応の誘発は食品科学分野ではメリットとして考えられる。

ところで、中鎖脂肪酸のみで構成されている中鎖脂肪酸含有油脂（以下 MCT と略す）に関しては 1950 年に最初に、迅速な吸収で引き起こされた吸収不良症候群の食事療法で使用されたのがきっかけで、それ以来多くの優れた報告

がなされた<sup>12-30)</sup>。

MCT の特徴の一つとして、通常の食事に含まれている油脂（長鎖脂肪酸含有油脂）に比較して、消化・吸収されやすく体内で酸化分解されやすい性質のあることが報告されている<sup>13,14)</sup>。この現象は長鎖脂肪酸含有油脂に比較して非常に特異的であり、この効果は抗肥満作用として考えられることから、現在では特定保健用食品として様々な用途に使用されている。

MCT に関する報告のほとんどは臨床栄養学分野あるいは生化学分野から主に追跡されてきたが、食品科学分野からの報告は筆者が知る限りに於いてはほとんど見あたらないのが現状であることから、今後は食品科学分野からの追跡が必要不可欠である。

MCT にかかわらず食物はすべて最終的には人間が摂食するからである。MCT の生体に対する効果が優れていても、摂食しなくては全く意味をもたないものになってしまう。また、基本的に摂食するためにはその食物が美味しくなくてはならない。この壁をクリアしなければ MCT の優れた特性を利用できない。

ここ数年来、我々は MCT の食品科学的特性を明らかにすることを目的として、パン焼成時に誘導されるメイラード反応と MCT との関係について追跡した結果、メイラード反応生成物 (AGEs) 量が MCT により抑制されることと、

併せ添加した脂質の性状により褐変度合いに差異のあることを確認した<sup>31)</sup>。

ここで紹介する研究内容は、最終的に美味しいパンを作る手段の一つとして、焼成時に誘導されるメイラード反応を上手くコントロールすることが重要と考えた。そのためにはどのような方法があるものかを探る必要があり、今回MCT 構成脂肪酸である中鎖脂肪酸がメイラード反応に対してどのような影響を及ぼしているのかを確認するため、短鎖、中鎖および長鎖脂肪酸（飽和および不飽和脂肪酸）を用いて様々な角度から検討した結果、若干の知見が得られたので、それらの内容を紹介する。

### 1. 各種脂肪酸の違いによる AGEs 生成量の変化

脂肪酸の炭素数と不飽和度の異なる脂肪酸を添加したパン生地を焼成後、メイラード反応により生成される AGEs 量を測定した結果を図 1 に示した。この結果でのトピックスとして、飽和脂肪酸と不飽和脂肪酸には明らかに AGEs 生成量に差異が確認された。飽和脂肪酸（中鎖脂肪酸）添加パンでは、パン焼成にともなって誘発されるメイラード反応による AGEs 生成量は多くても 40% に止まった。このことから、MCT はメイラード反応を抑制する性質がある

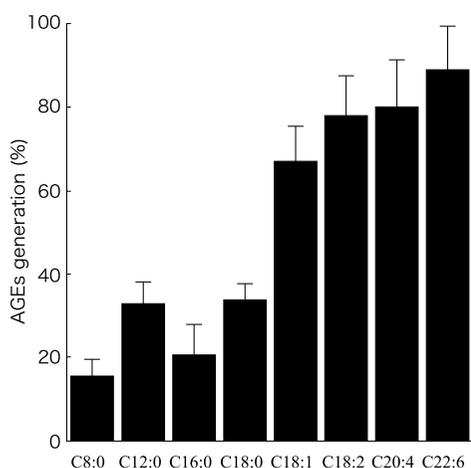


図 1 各種脂肪酸添加生地の焼成時にともなうメイラード反応による AGEs 生成量の変化

ものと推察された。いっぽう、不飽和脂肪酸では、いずれの不飽和脂肪酸でも飽和脂肪酸に比較して 2 倍以上の AGEs が生成された。また、不飽和脂肪酸の不飽和度が高くなるにともなって AGEs 生成量は増加傾向を示した。

### 2. 各種飽和および不飽和脂肪酸の違いによる AGEs 生成量の変化

パン焼成時におけるメイラード反応に対して飽和脂肪酸（中鎖脂肪酸）の炭素数の多少により変化があるものかを検討した結果を図 2 に示した。焼成とともにメイラード反応による AGEs 生成量は炭素数の増加にともない増加傾向を示した。このことは中鎖脂肪酸（C8:0 から C12:0）の違いにより AGEs 生成量が微妙に増加することを確認できた。図 3 に不飽和脂肪酸（長鎖脂肪酸）の違いによる AGEs 生成量の変化について検討した結果を示した。不飽和度が高くなるにともないメイラード反応誘導による AGEs 生成量は増加する傾向を示した。これらの結果から、中鎖飽和脂肪酸のメイラード反応に対する影響は、C8:0 から C12:0 までの中鎖飽和脂肪酸ではメイラード反応を抑制する効果のあることが確認された。また、長鎖不飽和脂肪酸の場合は、不飽和度が高くなるに

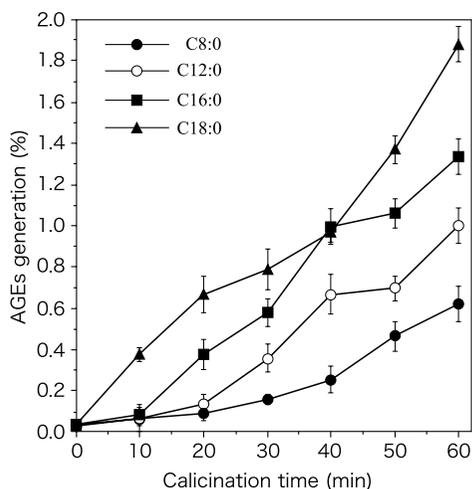


図 2 各種飽和脂肪酸添加生地の焼成時にともなうメイラード反応による AGEs 生成量の変化

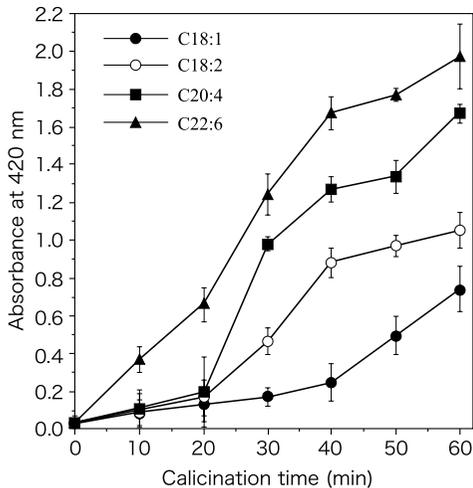


図3 各種不飽和脂肪酸添加生地の焼成時ともなうメイラード反応による AGEs 生成量の変化

ともなうメイラード反応による AGEs 生成量は増加する傾向を示したことから、不飽和度の高い脂肪酸ほどメイラード反応を促進するものと推察された。

メイラード反応は、一般に食品の非酵素的褐変反応として広く知られている。この反応により生成される褐色の色素であるメラノイジンは、食品の美味しさの指標としても知られ

ている<sup>7)</sup>。メイラード反応によって生成される AGEs は、パン焼成時の焼き色として重要な役割を担っていることから、パン業界ではパンの焼き色の調整をコントロールするために色々な工夫をしている。本研究では、脂肪酸の種類により、メイラード反応により生成される AGEs 生成量が異なっている事実を確認したことから、本研究で得られたデータは食品業界に多大なる知見を提起するものである。ただ、メイラード反応に脂肪酸がどのような化学反応を誘発しているのかは明らかとしていないことから、今後この点について追跡する必要がある。

### 3. 各種脂肪酸添加パンの気泡分布（空洞穴）変化

各種脂肪酸を添加した生地を焼成した後、パンの気泡分布（空洞穴）を測定した結果を図4、5に示した。飽和脂肪酸添加パンの気泡分布（空洞穴）を測定すると、炭素数の増加とともに気泡分布（空洞穴）が増加する傾向が確認された。気泡分布（空洞穴）が増加するパンほどきめの細かな柔らかいパンであることから、長鎖不飽和脂肪酸を利用することで口当たりのよいパンを製造することが可能であると推察された。

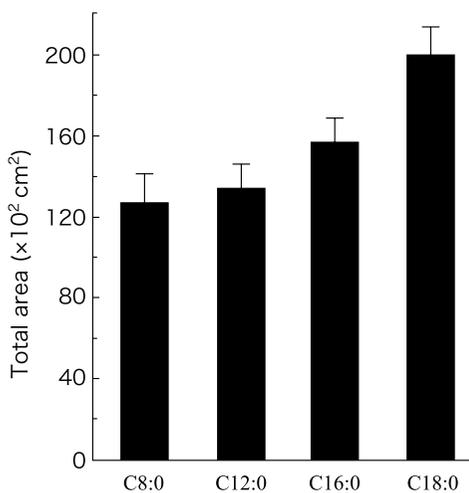


図4 各種飽和脂肪酸を添加し焼成したパンの気泡分布（空洞穴）の変化

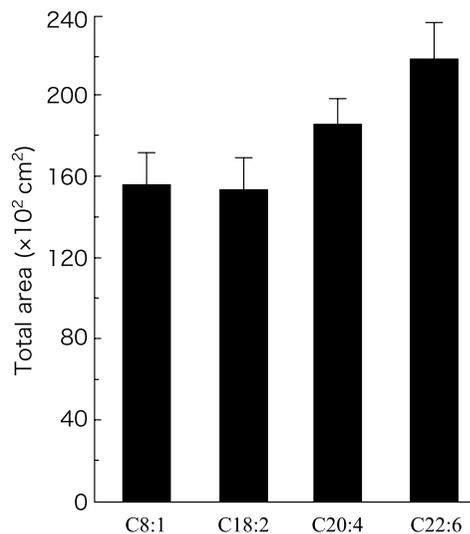


図5 各種不飽和脂肪酸を添加し焼成したパンの気泡分布（空洞穴）の変化

#### 4. 気泡分布（空洞穴）と AGEs との関係

焼成により誘導されるメイラード反応により生成される AGEs とパンの気泡分布（空洞穴）との関係を図 6 に示した。パンの気泡分布（空洞穴）は、食感の良し悪しに大きな影響を与える。気泡分布（空洞穴）が高くなるほど食感は良くなると考えられている。メイラード反応により生成された AGEs 生成量と気泡分布（空洞穴）とは正の相関が確認されたことから、焼成にともなって誘導されたメイラード反応により生成された AGEs が多くなるほどパン特有の美味しさ（物性、色や香りなど）を増強させることが推察された。

#### 5. 脂肪酸の炭素数と気泡分布（空洞穴）との関係

添加した各種脂肪酸が気泡分布（空洞穴）とどのような関係があるのかを確認した結果を図 7 に示した。脂肪酸の炭素数が増えるほどパンの気泡分布（空洞穴）も増加する傾向を示した。添加脂肪酸の炭素数が増加するほどメイラード反応により生成される AGEs が増加したことから、結果としてパンの気泡分布（空洞穴）が増加したものと考えられる。これらの結果から、MCT を構成する脂肪酸はパンの美味しさを決

める要因の一つとして利用できるものと推察され、添加する脂質の構成脂肪酸の炭素数を微妙にコントロールすることにより調整できるものと推察された。この結果は、パン製造業界に大きな知見を提起できるものと考えられる。

#### 6. 不飽和脂肪酸の不飽和度と AGEs 生成量との関係

用いた脂質の脂肪酸組成の不飽和度の多少がメイラード反応に影響するものかを確認するために、脂肪酸の不飽和度と AGEs との関係について確認した結果を図 8 に示した。脂肪酸の不飽和度と AGEs 生成量とは正の相関が確認された。このことから、添加する脂質の構成脂肪酸の不飽和度が高くなるほどメイラード反応は誘発されやすくなり、結果として AGEs が増加したものと考えられた。この現象から、脂質の構成脂肪酸として不飽和度が高い不飽和脂肪酸を利用することで、焼成するパンの美味しさを増強することができものと推察された。

#### 7. パン生地焼成時における添加 AGEs の分解割合

各種脂肪酸を添加した生地に一定量の AGEs を添加し焼成したパン中の AGEs 分解割合を図 9

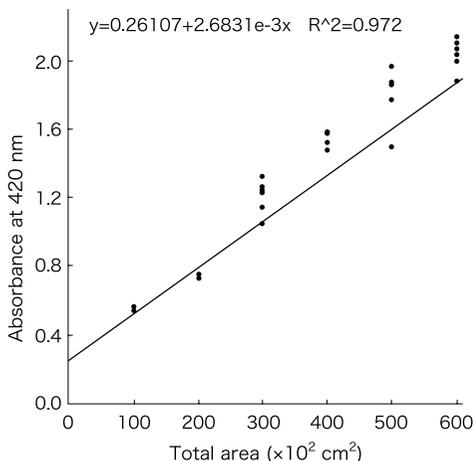


図 6 気泡分布（空洞穴）と AGEs 生成量との関係

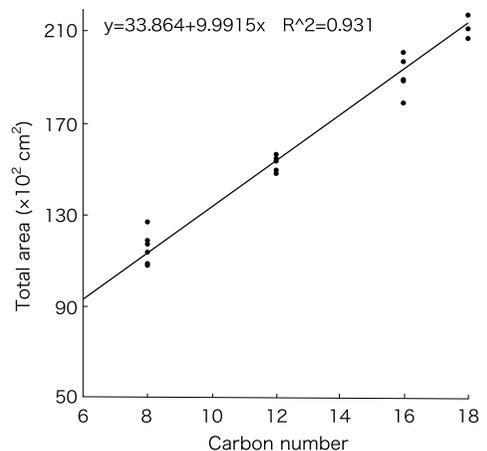


図 7 脂肪酸の炭素数と気泡分布（空洞穴）との関係

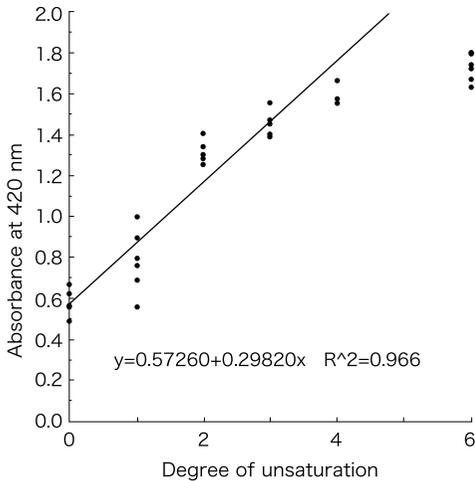


図8 脂肪酸の不飽和度と AGEs 生成量との関係

に示した。脂肪酸の炭素数および不飽和度が増加するほど AGE の分解割合は増加する傾向を示した。この結果から、図1の結果のように炭素数の増加および不飽和度数の増加がメイラード反応の誘導を左右させるが、そのいっぽうでメイラード反応により生成される AGEs の分解を促進しているものと考えられた。MCT 構成脂肪酸である中鎖脂肪酸では、焼成によるメイラード反応で生成される AGEs を分解する効果が高いため、結果として MCT はメイラード反応を抑制しているものと考えられた。

パン焼成時におけるメイラード反応は副食材の糖質とタンパク質が関与することで誘導されることは既知の事実であるが、本研究により、副食材である脂質もメイラード反応に関与していることと、併せ脂質の構成脂肪酸がメイラード反応の抑制や促進に関与している事実を明らかにできたことは、製パン業界に多大なる知見を提起できたものと考えられる。ただ、極めて複雑なメイラード反応に脂肪酸がどのような形で関与しているのかは今後検討しなければならない。

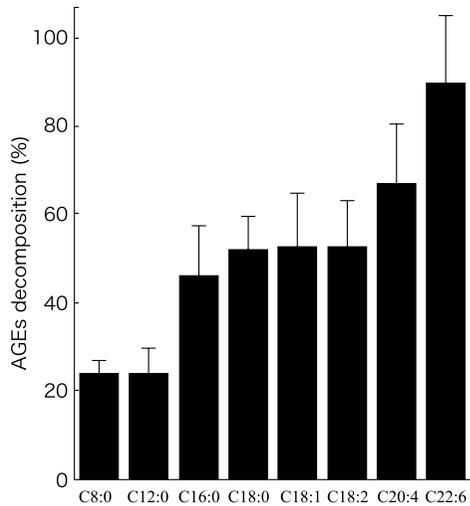


図9 各種脂肪酸添加生地焼成時にもともなう AGEs の分解割合の変化

### まとめ

メイラード反応は食品全般の化学現象として古から定説として知られている。メイラード反応により生成される多くの生成物は食品の品質（メリットおよびデメリット）に大きな影響を与える。メイラード反応は、食品の栄養性、美味しさ、安全性などに関与する普遍的な化学反応であり、アミノ基およびカルボニル化合物が起点となり、それ以外の成分はほとんど関与しないものと考えられていた。今回、我々は脂肪酸（特に中鎖脂肪酸）が関与していることを明らかとし、併せ MCT はメイラード反応を抑制することを明らかにしたことから、この結果は製パン業界に多大なる貢献ができるものと考えられる。なお、各種脂肪酸（特に中鎖脂肪酸）が複雑なメイラード反応にどのような関係（特に反応機構）があるのか検討しなければならない。

## 参考文献

1. Boekel van MAJS : Formation of flavor compounds in the maillard reaction. *Biothcnol Adv.* **24**: 230-233, 2006.
2. Tareke E, Rydberg P, Karlsson P, Eriksson S and Törnqvist M: Analysis of acrylamide, a carcinogen formed in heated foodstuffs. *J Agric Food Chem.* **50**: 4998-5006, 2002.
3. Usui T: The maillard reaction in foods. *J Integ Study Diet Habits* **26**: 7-10, 2015.
4. Maillard LC: Action des acides amines sur les sucres; formation des melanoidines par voie methodique. *C R Acad Sci.* **154**: 66-68, 1912.
5. Hodge JE: Chemistry of browning reaction in model systems. *J Agric Food Chem.* **1**: 928-943, 1953.
6. Namiki M and Hayashi T: Role of sugar fragmentation in an early stage browning of amino-carbonyl reaction of sugar with amino acid. *Agric Biol Chem.* **50**: 1965-1970, 1986.
7. Hayase F, Shirahashi Y, Machida T, Ito T, Usui T and Watanabe H: Chemistry of pigments as intermediate of melanoidins, The Maillard Reaction. *New York Acad Sci.* **322**: 232-240, 2010.
8. Shizuuchi S and Hayase F: Antioxidative activity of the blue pigment formed in a D-xylose-glycine reaction system. *Biosci Biotechnol Biochem* **67**: 54-59, 2003.
9. Shima K, Yamada N, Suzuki E and Harada T: Novel brothy taste modifier isolated from beef broth. *J Agric Food Chem.* **46**: 1465-1468, 1998.
10. Ogasawara M, Katsumata T and Egi M: Taste properties of Maillard reaction products prepared from 1000 to 5000 Da peptide. *Food Chem.* **99**: 600-604, 2006.
11. Ueda Y, Yonemitsu M, Tsubuku T, Sakaguchi M and Miyajima R: Flavor characteristics of glutathione in raw and cooked foodstuffs. *Biosci Biotechnol. Biochem* **61**: 1977-1980, 1997.
12. Seaton TB, Welle S L, Warenk M K and Campbell R G: Thermic effect of medium-chain and long-chain triglycerides in man. *Am J Clin Nutr.* **44**: 630-634, 1986.
13. Lavau M M and Hashim S A: Effect of medium chain triglyceride on lipogenesis and body fat in the rat. *J Nutr.* **108**: 613-620, 1978.
14. Geliebter A, Torbay N, Bracco EF, Hashim SA and Van Italie TB: Overfeeding with medium-chain triglyceride diet results in diminished deposition of fat. *Am J Clin Nutr.* **37**: 1-4, 1983.
15. Chanez M, Bois-Joyeux B, Arnaud MJ and Peret J: Metabolic effects in rats of a diet with a moderate level of medium-chain triglycerides. *J Nutr.* **121**: 585-594, 1991.
16. Kris-Etherton PM and Yu S: Individual fatty acid effects on plasma lipids and lipoproteins: human studies. *Am J Clin Nutr.* **65**: 162-164, 1997.
17. Kritchevsky D and Tepper SA: Influence of medium-chain triglyceride (MCT) on cholesterol metabolism in rats. *J Nutr.* **86**: 67-72, 1965.
18. Leveille GA, Pardini RS and Tillotson JA: Influence of medium-chain triglycerides on lipid metabolism in the rats. *Lipids* **2**: 287-294, 1967.
19. Ecelbarger GL, Lasekan JB and Ney DM: In vivo triglyceride secretion and hepatic and plasma lipids in rats fed medium-chain triglycerides, tripelargonin, or corn oil. *J Nutr Biochem* **2**: 260-266, 1991.
20. Papamandjaris AA, Macdougall DE and Jones PJH: Medium chain fatty acid metabolism and energy expenditure: obesity treatment implications. *Life Sci.* **62**: 1203-1215, 1998.
21. Noguchi O, Takeuchi O, Kubota F, Tsuji H and Aoyama T: Larger diet-induced thermogenesis and less body fat accumulation in rats fed medium-chain triacylglycerols than in those fed long-chain triacylglycerols. *J Nutr Sci Vitaminol* **48**: 524-529, 2002.
22. Kasai M, Nosaka N, Suzuki Y, Takeuchi H, Aoyama T, Ohara A, Harada Y, Okazaki M and Kondo K: Comparison of diets-induced thermogenesis of foods containing medium-versus long-chain triacylglycerols. *J Nutr Sci Vitaminol* **48**: 536-540, 2002.
23. Shinohara, H, Shimada, H, Noguchi, O, Kubota, F, & Aoyama, T: Effect of medium-chain fatty acids-containing dietary oil on hepatic fatty acid oxidation enzyme activity in rats. *Journal of Oleo Science* **51**, 621-626, 2002.

24. Kasai M, Maki H, Nosaka N, Aoyama T, Ooyama K, Uto H, Okazaki M, Igarashi O and Kondo K: Effect of medium-chain triglycerides on the postprandial triglyceride concentration in healthy men. *Biosci Biotechnol Biochem* **67**: 46-53, 2003.
25. Kasai M, Maki H, Suzuki Y, Nosaka N, Aoyama T, Inuzuka H, Okazaki M, Igarashi O and Kondo K: Effect of medium-chain triglycerides on postprandial concentrations of remnant-like particles in healthy men. *J Oleo Sci.* **52**: 197-204, 2003.
26. Nosaka N, Suzuki Y, Maki H, Haruna H, Ohara A, Kasai M, Tsuji H, Aoyama T, Okazaki M and Kondo K: Effects of ingestion of margarine containing medium-chain triglycerides for 4 weeks on blood parameters and postprandial thermogenesis. *J Oleo Sci.* **52**: 571-581, 2003.
27. Nosaka N, Maki H, Suzuki Y, Haruna H, Ohara A, Kasai M, Tsuji H, Aoyama T, Okazaki M, Igarashi O and Kondo K: Effects of margarine containing medium-chain triacylglycerols on body fat reduction in humans. *J Atheroscler Thromb.* **10**: 290-298, 2003.
28. Suzuki Y, Nosaka N, Maki H, Kasai M, Aoyama T, Haruna H, Toda T, Okazaki M, Igarashi O and Kondo K: Effects of margarine containing medium-chain triglycerides on diet-induced thermogenesis. *J Oleo Sci.* **54**: 299-304, 2005.
29. Shinohara H, Ogawa A, Kasai M and Aoyama T: Effect of randomly interesterified triacylglycerols containing medium- and long-chain fatty acid on energy expenditure and hepatic fatty acid metabolism in rats. *Biosci Biotechnol Biochem* **69**: 1811-1818, 2005.
30. Laemmli UK: Cleavage of structural proteins during the assembly of the head of bacteriophage T4. *Nature* **227**: 680-685, 1979.
31. Toyosaki T, Kasai M and Sakane Y: Relationship between maillard reaction during bread baking and medium-chain triacylglycerols(MCTs). *Adv J Food Sci Technol.* **12**: 498-502, 2016.

|  |  |
|--|--|
| <b>白石カルシウムの炭酸カルシウム</b>   | <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 10px; margin-right: 10px; text-align: center;">  <p><b>炭酸<br/>カルシウム<br/>とは？</b></p> </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 10px; flex-grow: 1;"> <p>古くから食品に使用されている安全性・吸収性に優れたカルシウム源です。<br/>用途も栄養強化はもちろんのこと、練製品の弾力増強などの品質改良、粉体の流動性向上・固結防止といった加工助剤などその目的は多彩です。</p> </div> </div> <div style="border: 1px solid black; border-radius: 15px; padding: 10px; margin-left: 10px;"> <p>分散性・混合性に優れたものや、飲料用として沈殿を抑制したタイプ等、品揃えております。</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 5px; text-align: center;">一般の栄養強化には「ホワイトン」</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 5px; text-align: center;">機能を求めるならば「コロカルソ」</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 5px; text-align: center;">飲料用には、スラリー状の「カルエッセン」</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center; margin-top: 10px;">詳細につきましては弊社営業担当にお気軽にお尋ねください。</div> </div> |
|  <b>白石カルシウム株式会社</b> | <p>食品部：東京都千代田区岩本町1-1-8 TEL03-3863-8913<br/>本社：大阪市北区中之島2-2-7 TEL06-6231-8265</p>  |

# 健康商品の新たな受託製造ビジネスを目指して ホヤ由来プラズマローゲンを 配合した腸溶性ソフトカプセルの開発

又平 芳春 (MATAHIRA Yoshiharu)\* 渡邊 博文 (WATANABE Hirofumi)\* 大川原 正喜 (OKAWARA Masaki)\*

\* 三生医薬株式会社

Key Words : 腸溶性ソフトカプセル製剤 プラズマローゲン アルツハイマー型認知症

## はじめに

健康食品の受託製造市場は緩やかな拡大基調を辿っており、2016年度は対前年比1.5%増の1,482億円と推定されている<sup>1)</sup>。受託製造企業各社が工場の増設、増産体制を進めており、製造受託を巡る競争が激しさを増している。取引先への提案型営業、展示会やセミナー等を通じた新規顧客の獲得に加え、競合他社との差別化策として、新たな製剤技術の提供や独自原料の展開を図る動きが見られる。当社三生医薬株式会社も、創業以来培ってきた製剤技術に加え、近年は独自の機能性食品素材の開発にも注力し、機能性製剤技術と独自素材を融合させた新たなビジネスモデルの構築を目指している。即ち、独自のマーケティングから市場の求めるヘルスベネフィットを決め、そのヘルスベネフィットを最大限に発揮できる機能性素材と製剤技術を同時開発し、機能性表示食品の届出を含めて顧客にパッケージとして提案するスキームである。

本稿ではその一例として、脳機能の維持・改善効果が期待できるホヤ由来プラズマローゲンを配合した腸溶性ソフトカプセル製剤について紹介する。

## 1. 認知症問題と脳機能関連健康食品の市場動向

内閣府の高齢社会白書によると日本の高齢者人口は増加傾向にあり、2025年には65歳以上の高齢者数は3,500万人を超え、総人口の3割を占めることが予想されている<sup>2)</sup>。高齢者人口の増加に伴い認知症患者数も増加傾向にある。2025年には約700万人にのぼるとの推計もあり<sup>3)</sup>、実に65歳以上の5人に1人が認知症を発症すると試算され、大きな社会問題となっている。認知症は現状では根本治療薬が無く、食事や生活習慣の改善、適度な運動や脳のトレーニングなどによる予防が重要とされている。このような背景の下、脳機能を対象とした健康食品の市場は年々成長しており、2016年度には166億円<sup>4)</sup>の市場が形成されている。主な配合素材はイチョウ葉由来成分とエイコサペンタエン酸 (EPA)・ドコサヘキサエン酸 (DHA) であり、両者を機能性表示食品の関与成分とした商品が、2017年12月現在で88件受理されている<sup>5)</sup>。

具体的な表示例としては、「イチョウ葉フラボノイド配糖体、イチョウ葉テルペンラクトンは、認知機能の一部である記憶（知覚・認識した物事の想起）の精度を高めることが報告されています」や、「EPA・DHAには、中高年の

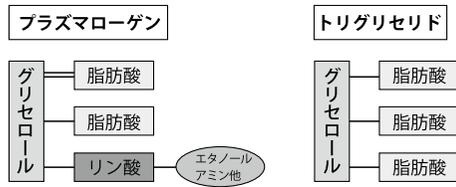


図1 プラズマローゲンとトリグリセリドの構造

方の加齢に伴い低下する、認知機能の一部である記憶力、注意力、判断力、空間認識力を維持することが報告されています」などがある。脳機能関係の機能性表示食品は、2016年度から本格的に立ち上がり、市場規模は約10億円となっている<sup>6)</sup>。今後受理済みの機能性表示食品の商品化が進むことによって市場がさらに活性化することが予想される。

## 2. プラズマローゲンとは

プラズマローゲンはリン脂質の一種でグリセリン脂質に分類される。図1にプラズマローゲンとトリグリセリドの構造を示す。魚油の成分である脂肪酸トリグリセリドと比較して、リン脂質でありsn-1位の脂肪酸がビニルエーテル結合しているという特徴がある。

プラズマローゲンは哺乳動物の脳神経細胞、心筋、リンパ球、マクロファージ等に多く含まれており、ヒトの脳に

含まれるリン脂質のうち約20%がプラズマローゲンである<sup>7,8)</sup>。ヒト血漿中のプラズマローゲンは加齢により減少し<sup>9)</sup>、また、アルツハイマー型認知症患者の脳においても減少することが報告されている<sup>10,11)</sup>。さらに、認知機能に関与する大脳皮質、並びに記憶機能に関与する海馬においても、顕著な減少が認められる(図2)など、プラズマローゲンが脳機能の維持に密接に関係していることが予想される。

## 3. プラズマローゲンとアルツハイマー型認知症

近年、プラズマローゲンの生理機能性研究が積極的に行われ、認知症への効果が明らかになってきている。宮澤らは<sup>12)</sup>、プラズマローゲンのアミロイドβタンパクの凝集抑制作用について検討し、DHA結合プラズマローゲン

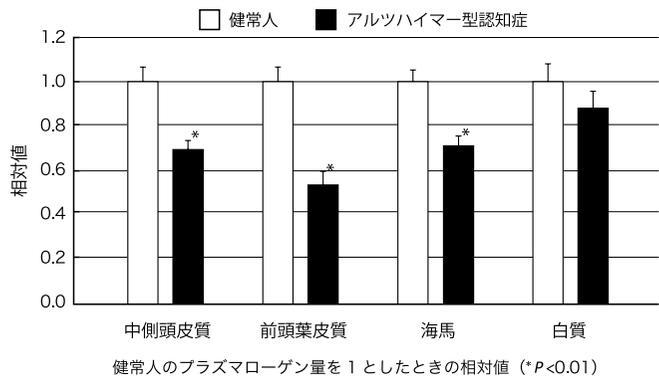


図2 アルツハイマー型認知症患者脳内のプラズマローゲン量

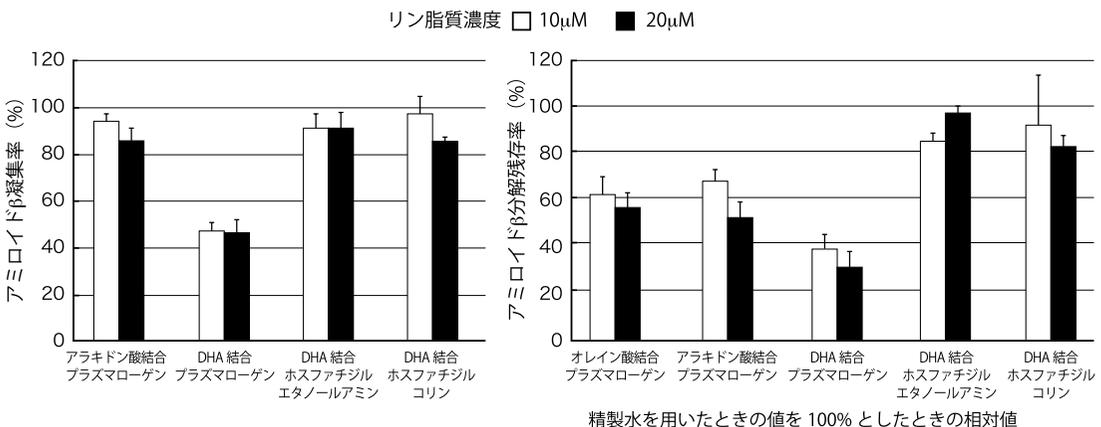


図3 プラズマローゲンのアミロイドβタンパク凝集阻害効果と分解促進効果

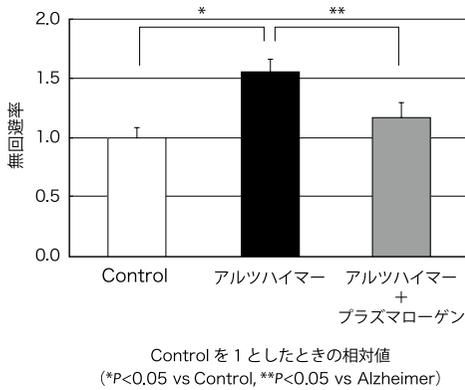


図4 アルツハイマー型モデル動物へのプラズマローゲン投与

型リン脂質が、DHA 結合ホスファチジルエタノールアミンおよびホスファチジルコリンよりも効果が高いことを報告している (図3)。アミロイドβタンパクは、アルツハイマー型認知症の原因物質として知られている。また、アミロイドβタンパクの分解促進活性に関する検討では、アラキドン酸結合プラズマローゲンと比較して、DHA 結合プラズマローゲンで効果が高いことを明らかにしている<sup>12)</sup>。さらに、宮澤は、アルツハイマー型認知症モデルラットを用いて、シャトルアボイダンス法による電流回避行動を測定することにより学習・記憶能力を評価した (図4)。プラズマローゲン経口投与により無回避率が減少し、学習機能の低下を緩和したことが推察されている<sup>13)</sup>。

#### 4. ホヤ由来プラズマローゲンの開発

プラズマローゲンは、新たな脳機能対応機能性食品素材として注目されており、これまで鶏の胸肉やホタテ由来の原料や商品が販売されていた。当社は、主に東北地方の沿岸で養殖されている海産物であるホヤに着目し、日本薬品株式会社と共同でホヤからプラズマローゲンを抽出・精製する技術を開発した。ホヤは原索動物の一種で、宮城県三陸沖を中心に養殖されている (写真1)。独特の風味をもつ食品であり、その外観から海のパイナップルとも言われる。他の海面養殖水産物に比較して病気や気候変動

に強く、原料の安定供給が可能であるとされている。ホヤの養殖はカキと同様の延縄式施設で行われている (写真2)。三陸沖で養殖されているのはほとんどがマボヤ *Halocynthia roretzi* で、採苗から約3年半で出荷用のサイズに成長する。ホヤは外殻付の生鮮出荷が主体であるが、鮮度が落ちやすいため遠隔地への流通が難し



写真1 三陸地方におけるホヤ養殖の様子

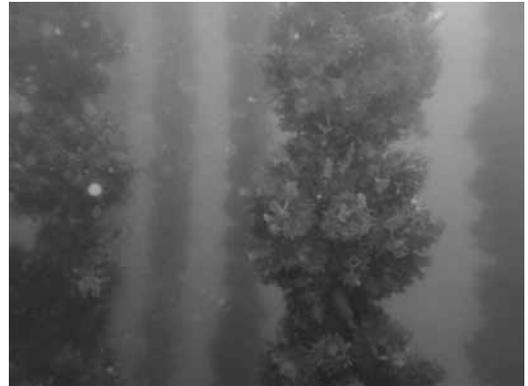


写真2 海中のホヤ養殖



写真3 ホヤ加工品

く、全国的な消費とはなっていない。最近、ボイル製品（蒸しホヤ、茹でホヤ等）、ピン詰め（塩辛、キムチ漬け等）、乾物（燻製、焼きホヤ等）などの加工品が数多く開発、販売されるようになり、ホヤの消費拡大に貢献している（写真3）。

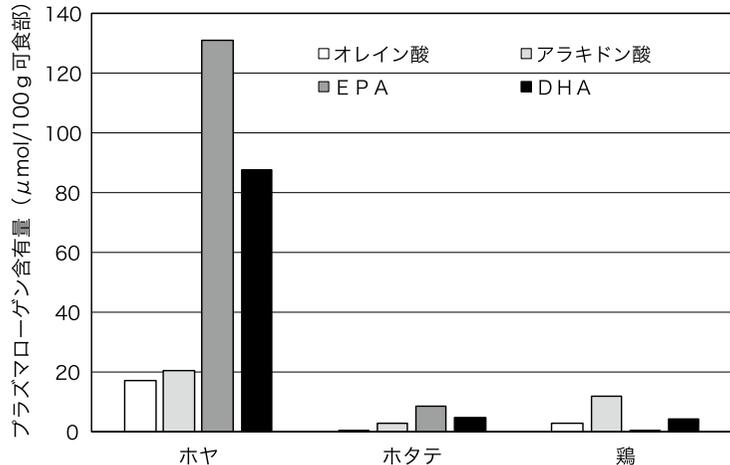
ホヤは可食部あたりのプラズマローゲン含有量が鶏胸肉やホタテの身と比較して多く、原料コスト的に有利である。また、プラズマローゲン構造中に高度不飽和脂肪酸であるEPAおよびDHAの含有割合が高いという特徴がある（図5）。

前述したように、DHA結合プラズマローゲン型リン脂質は、他の脂肪酸結合リン脂質よりもアミロイドβタンパクの分解促進活性が高いという結果も報告されており、この点でも差別化しやすい。

開発したホヤ由来プラズマローゲンオイルは、プラズマローゲンを1%以上含有する褐色から黒色のオイル状の液体で、独自製法により温度や酸素からプラズマローゲンを保護しながら製造を行っている。

### 5. ホヤ由来プラズマローゲン配合製剤の開発

プラズマローゲンは酸性条件で安定性が低いことが知られている<sup>14)</sup>。経口投与後のホヤ由来プラズマローゲンオイルの酸安定性を評価することを目的として検討を行った。ホヤ由来プラズマローゲンオイルを水、日本薬局方溶出試験第1液（pH1.2）、溶出試験第2液（pH6.8）へ添加し、120分後の残存率を評価した。水での残存量を100%としたときのプラズマローゲン残存率は、溶出試験第1液で28%、溶出試験第2液で75%であった。プラズマローゲンは様々な食品に含まれているが、食品の形態で摂取したもののうち、多くは胃で分解されてしまうことが予想される。そこで当社



測定部位：ホヤ（身十内臓）、ホタテ（身十貝ヒモ十内臓）、鶏（モモ肉）  
それぞれの脂肪酸が結合したステアリン酸結合プラズマローゲンの量として表示

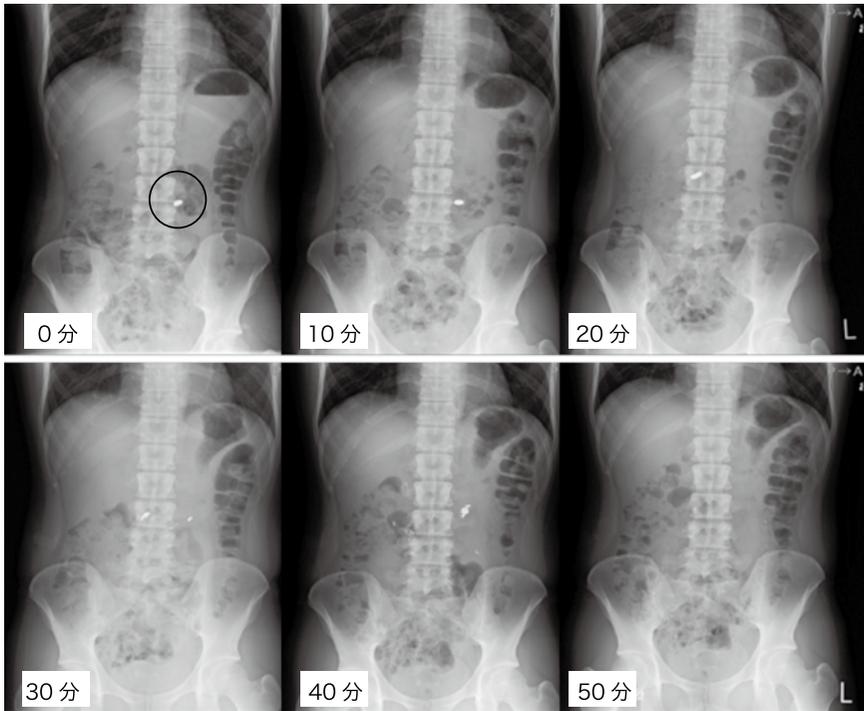
図5 各種食材に含まれる脂肪酸の比較

では原料開発と並行して、胃酸で溶けずにホヤ由来プラズマローゲンを安定な状態で腸まで届けることのできる腸溶性ソフトカプセルの開発を進めた。

ホヤ由来プラズマローゲンはオイル状の原料のため、製剤化にはソフトカプセルが適しているが、これまでのソフトカプセルで腸溶性を保持するためには内容液をカプセル等に充填した後に、とうもろこしたんぱく質などでコーティング処理が行われていた。当社では、コーティング処理を行うことなく腸溶性を付与できる、『E-カプセルクリア（ノンコート）』（以下、E-カプセルクリア）という製剤技術を開発した<sup>15)</sup>。E-カプセルクリアは、皮膚自体が腸溶性の性質を持つため、コーティング処理を必要とせず、外観の光沢も維持できる。

カプセルの崩壊性の確認は、専用の日本薬局方崩壊試験機を用いて前述の局方第1液と第2液で各々試験を行って判定している。さらに当社では臨床試験を行い、実際にヒトの消化管内でE-カプセルクリアの崩壊性を確認した<sup>16)</sup>。健康な成人男性を対象に、腸溶性を付与したE-カプセルクリア、および胃酸で溶解する胃溶

(a) 胃溶性カプセル



(b) 腸溶性カプセル (E-カプセルクリア)

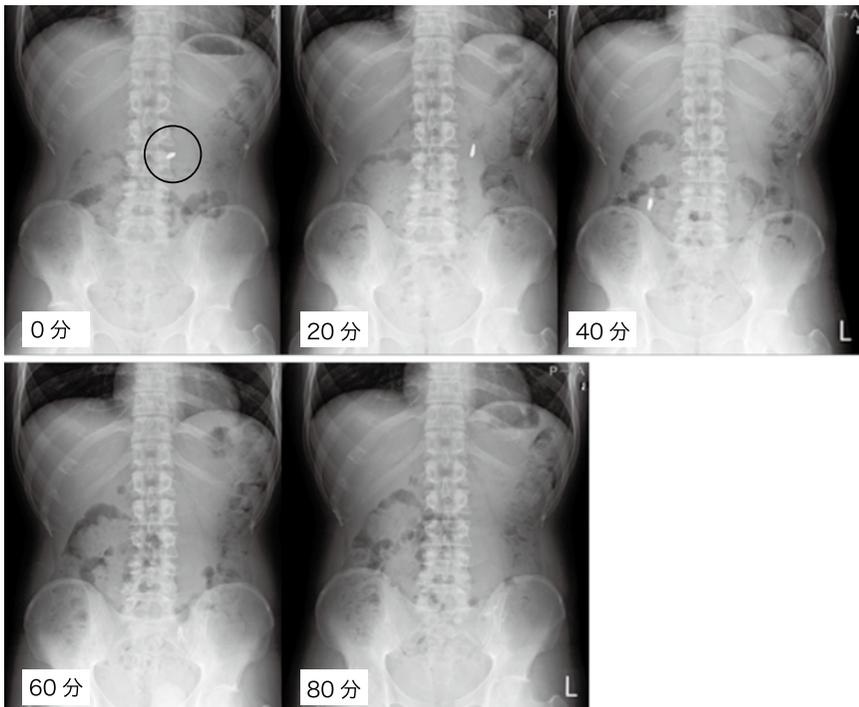


図6 腸溶性カプセルの消化管内での崩壊性試験

性カプセルに造影剤として硫酸バリウムを充填し、単回摂取時における経時的な X 線撮影により、ヒト体内におけるカプセルの挙動、および溶解部位を観測した。胃溶性カプセルは、胃に到達してから 20 分から 40 分程度で溶解するのに対し、腸溶性を付与した E-カプセルクリアは、胃では溶解せず、摂取後 40 分から 80 分の間に小腸内で溶解することが観察された (図 6)。

## 6. サプリメントの商品化と機能性表示食品への取り組み

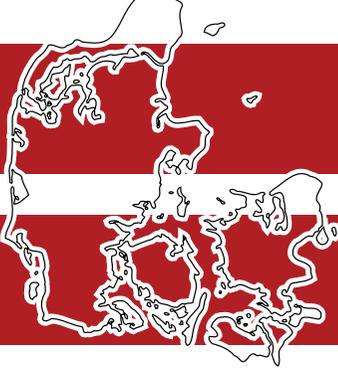
当社では、ホヤ由来プラズマローゲンを配合したサプリメントの受託製造を 2017 年初頭から開始し、既に数社から発売されている。今後マーケットを拡大するためには、機能性表示食品制度の活用が鍵となる。2017 年 12 月現在で、鶏由来プラズマローゲンを関与成分とする機能性表示食品が 3 件受理されている<sup>5)</sup>。表示しようとする機能性は、何れも「本品には鶏由来プラズマローゲンが含まれます。鶏由来プラズマローゲンには健常な中高年の方の加齢に伴い低下する認知機能の一部である、言葉、位置情報、状況などの情報の記憶力を維持する機能があります」である。当社でもホヤ由来プラズマローゲンのサプリメントで認知機能の一部である記憶力の維持効果を主要アウトカムとする臨床試験を実施中であり、2018 年前半には機能性表示食品の届出を完了する予定である。

## おわりに

当社がホヤ由来プラズマローゲン配合サプリメントを展開するもうひとつの背景として、東北支援がある。前述したように、ホヤの主要生産地は東北の三陸地方であるが、2011 年に起きた東日本大震災で三陸のホヤ養殖業は大打撃を受け、それまで 1 万 t 前後あった全国の生産量は、2011 年には 693t まで落ち込んだ<sup>17)</sup>。地元自治体、漁協、養殖業者らが協力してホヤ養殖を復興のシンボルとして復活させるための努力が実り、2014 年から水揚げが回復し、2015 年には 8,288t まで復活した。しかし、震災前まで主たる輸出先であった韓国がまだ東北産ホヤの輸入を認めておらず、水揚げしたホヤの多くを廃棄せざるを得ない状況が続いている。当社は、地元自治体や大学、地元水産加工業者、ほやほや学会（東京、田山圭子会長）などと連携し、ホヤのおいしさと健康に関する情報を発信する活動を行っている。ホヤはプラズマローゲンの他にも、抗疲労効果のあるタウリンや、貧血予防のための鉄分、味覚の維持やエネルギー代謝に関わる亜鉛、抗酸化性の高いカロテノイド類、ビタミン類なども豊富に含む健康食材であり、ホヤの健康機能を啓蒙することで、少しでも消費量の拡大に貢献し、ホヤ養殖業の振興、引いては東北支援の一助となることを期待している。

## 参考文献

1. 矢野経済研究所：2017年度版健康食品の受託製造市場，2017.
2. 内閣府：平成28年版高齢社会白書
3. 二宮利治：日本における認知症の高齢者人口の将来推計に関する研究 平成26年度 総括・分担研究報告書，2015.
4. 株式会社インテージ：健康食品・サプリメント市場実態把握レポート，2017.
5. 消費者庁ホームページ：機能性表示食品に関する情報
6. 富士経済：H・B フーズマーケティング便覧，2017.
7. 宮澤陽夫：ほや（海鞘）プラズマローゲンによる認知症予防への取り組み，日本水産学会誌 **75**(2)：309-311, 2009.
8. Yamashita S, *et al.*: Analysis of plasmalogen species in foodstuffs., *Lipids* **51**(2)：199-210, 2016.
9. Maeba R, *et al.*: Plasmalogens in human serum positively correlate with high-density lipoprotein and decrease with aging., *J Atheroscler Thromb.* **14**(1)：12-18, 2007
10. Ginsberg L, *et al.*: Disease and anatomic specificity of ethanolamine plasmalogen deficiency in Alzheimer's disease brain., *Brain Res.* **698**(1-2): 223-226, 1995
11. Guan Z, *et al.*: "Decrease and structural modifications of phosphatidylethanolamine plasmalogen in the brain with Alzheimer disease." , *J Neuropathol Exp Neurol.*, **58**(7): 740-747, 1999.
12. WO2008/093709 アミロイド蛋白質の凝集抑制および分解促進によりアミロイドーシスと関連する疾患を予防または治療するための組成物
13. 特開 2004-26803 神経細胞死予防剤
14. 原博：抗酸化脂質プラズマローゲンの吸収，*FFI JOURNAL*, **209**(6): 459-464, 2004.
15. 特開 2017-39657 腸溶性カプセル
16. 渡邊博文ら：腸溶性『E-カプセルクリア（ノンコート）』のヒト体内における溶解部位の観察，薬理と治療，**45**(8): 1345-1350, 2017.
17. 農林水産省：平成27年漁業・養殖業生産統計



## デンマークのパン屋さんのケーキ

今回はお茶（Tea）にまつわる話を紹介したいと思います。

以前にも紹介しましたが、デンマークはコーヒー消費大国で、コーヒーの一人当たりの消費量は世界でもトップレベルです。家庭でもオフィスでも、朝から夜までコーヒーは欠かせない飲み物です。そんなコーヒーに比べると、お茶（Tea）の存在感は小さくはなるものの、コーヒーと同様に、家庭でもオフィスでも、喫茶店でも色々な場面で登場します。

日本でもコーヒーは西洋からきたもので、お茶はアジア発というイメージがあると思いますが、デンマークでもその感覚は同じようにあります。また、日本では、飲み物のお茶、というと大抵は日本茶を指し、紅茶やハーブティーとは別に分類されていることも多いと思います。一方デンマークでは、CoffeeまたはTea、という分類はありますが、Teaの中には、緑茶や紅茶、ハーブティーやフラワーティーなど、あらゆるお茶が含まれています。というわけで、この記事の中では、お茶ではなく、Teaということにします。

スーパーのTea売り場には、ティーバックになっているものもあれば、Teaリーフ（お茶の葉）を缶で売っているものや、はかり売りで売っているものなど様々です。ティーバックの値段は、かなりの幅がありますが、例えば、Twiningsのティーバック20個入りで、25クローネ前後（500円）です。スーパーよりもやや高級な品物を扱うデパートなどに行くと、パリのTeaメーカー、Kusmi Teaなども多く見かけ、美味しいお茶にはお金をかける層がいることがうかがえます。デンマークでよく見かけるTeaは、紅茶か、ハーブティー、フルーツティーまたはそのブレンドが主流のようです。GreenTeaは存在するものの、日本の緑茶のような強い味（デンマーク人には、日本茶はややきつい味がするようです）はせず、くせのないさらっと飲めるタイプのGreenTeaが主流です。ハーブティーやフルーツティーには、生姜やレモン、バニラやイチゴ、カルダモンなど、様々な材料をブレンドしたものが種類も豊富に出ていますが、中でもデンマークならではの、Lakris（ラクリス）をブレンドしたお茶です。ラクリスは北欧では飴やグミによく使われる甘草の一種で、多くの日本人にとって、かなり「まずい」と感じる食



ジャスミンとアールグレイのブレンドティー



アジア的なパッケージのティーパック



Sing Tea, カタカナ表記がパッケージに入っている

われます。一つ目は、他の食品同様、オーガニックが普及しつつあることです。やや高級な Tea 専門店などでは、基本製品はオーガニックにしていることも多いですが、お手頃なスーパーで買えるティーパックにも、オーガニック製品が少なくありません。

二つ目のトレンドですが、Tea は、リラックス効果や、素敵な Tea タイム、といったイメージを訴求するケースが多く、かつ、アジア的な要素を取り入れて、人々の日常にホッと一息入れる飲料というイメージが訴求されていることが多くあります。アジア的な要素とは、例えば、コペンハーゲン市内にある Tea 専門店に行くと、そこには鉄製の茶釜がいくつも陳列されていたり、デンマークの Sing Teahus というお茶メーカーのティーパックには、アルファベット表記の下に、カタカナで名前が表記されていたりします。また、お茶やチョコレートなどを販売するデンマークのメーカーは、日本語の TeaHouse から名前をとって、店名が Chaya、であったりと、アジアのイメージをマーケティング使っていることも少なくありません。お茶に対する人々のイメージは、国によって違いますが、美味しい質の高いお茶をゆっくり飲んで、ゆっくり楽しむ、という文化は万国共通のようです。

材です。しかし、ブレンド Tea に使われている Lakris なら、他の原料とのバランスにもよりますが、そのあくの強さが薄まり、飲みやすくなっていることが多いようです。

様々な Tea がデンマークの日常生活に普及する中、近年小さなトレンドが 2 つあるように思

城西大学薬学部 白瀧 義明 (SHIRATAKI Yoshiaki)

## ハシリドコロ *Scopolia japonica* Maxim. (ナス科 Solanaceae)

4月、桜の季節が過ぎ、山々が萌黄色に色づきはじめた頃、山歩きをしていると、少し、湿り気のある林の中で小さなロート状の花を付けた草花を見かけることがあります。これが、有毒植物として有名なハシリドコロです。本植物は、別名をサワナス、オメキグサなどといい、食べると錯乱して走り回ること、また、根茎がトコロ(野老)に似ていることから名づけられました。ハシリドコロは本州・四国・九州の谷あいなどの湿った木陰などに見られる多年草で、草丈は30～60cm、早春に芽生え、茎は直立して枝分かれし、4～5月に葉腋から1個の花を下垂し、外面が暗紫色で内面が黄緑色のやや五角形の釣り鐘状の花をつけます。地上部は7月頃までに枯れてなくなってしまうですが、早春に生える新芽がフキノトウに似ていて、誤食による食中毒を起こすことがあります。見分け方は、フキノトウの苞には白い綿毛が密生していますが、ハシリドコロの芽には毛はほとんどありません。また、フキノトウの苞の中にはつぼみがたくさん詰まっていますが、ハシリドコロの芽の中は葉が重なりあっているだけでつぼみは少ないのが特徴です。

本種やその他同属植物の *Scopolia carniolica* または *S. parviflora* の根茎および根を乾燥したものは、ロートコン(莨菪根, *Scopoliae Rhizoma*)といわれ、副交感神経遮断、消化液分泌抑制、鎮痛、鎮痙などの作用があり、これらを原料とするロートエキスは、胃酸過多、胃痛、胃痙攣、胃・十二指腸潰瘍などに利用されています。成分としては全草にトロパンアルカロイドの(－)-hyoscyamine, atropine [(±)-hyoscyamine : hyoscyamine のラセミ体で、植物体内では、その多くは(－)-hyoscyamineとして存在しますが、生薬またはエキス調整の間に、(±)型の atropine に変わる], (－)-scopolamine などを含み、これらのアルカロイドはアセチルコリン



写真1 ハシリドコロ (芽)



写真2 フキノトウ



写真3 ハシリドコロ (花)



写真4 ベラドンナ (花)



写真5 ヒヨス (花)



写真6 チョウセンアサガオ (花, 八重咲き)

による神経伝達に対して強力な競合的拮抗作用を示すことから、副交感神経支配下の瞳孔括約筋を弛緩させ瞳孔を開き、大量では、大脳、なかでも運動領の興奮をきたし、神経発揚、幻覚、錯乱、狂躁状態となります。また、クマリン類の scopoletin, scopolin なども含みます。なお、中国ではロート（莨菪）はシナヒヨス *Hyoscyamus niger* var. *chinensis* をさし、ハシリドコロはトウロウトウ（東莨菪）とよばれています。本植物と同様に atropine を含む有毒植物としては、ベラドンナ *Atropa belladonna*, ヒヨス *Hyoscyamus niger*, チョウセンアサガオ



写真7 ケチョウセンアサガオ (花)

*Datura metel* などがあります。ベラドンナとはイタリア語で「美しい貴婦人」の意味で、葉のしぼり汁を点眼すると瞳孔が散大することに目を付けたルネサンス期の貴婦人たちが目を美しく見せるために使用したのが植物名の由来だそうです。また、ヒヨスもヨーロッパからアジアにかけて広く分布し atropine 製造原料として重要です (atropine はサリンの解毒剤)。チョウセンアサガオ



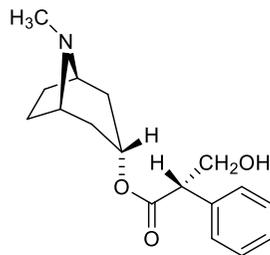
写真8 エンジェルストランペット (花)



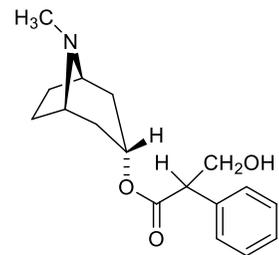
写真9 生薬：ロートコン (萹蓄根)

(<sup>まんたらげ</sup>曼荼羅華) は江戸時代中期の医師「<sup>はなおかせいしゅう</sup>華岡青洲」が、これを用いて全身麻酔薬「通仙散」をつくり、1804年、世界で初めて通仙散を使って乳がんの摘出手術に成功したことで良く知られています。

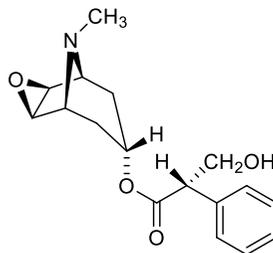
ハシリドコロについては、江戸時代後期、日本にやってきたシーボルトはロートコンがベラドンナコンと同様に眼科治療の散瞳薬として使用できることに気づき、以来、日本ではロートコンをベラドンナコンの代用として利用されるようになったのですが、当時の名眼科医、<sup>はぶげんせき</sup>土生玄碩と歴史上の大事件であった「シーボルト事件」との関わりがあります。また、ロート製薬株式会社の胃腸薬にもロートエキスを含む製品があり、これが同社の社名の由来といわれたりしていますが、実際は目薬の処方を手がけた当時の眼科医界の権威・井上豊太郎のドイツ留学時代の恩師であるミュンヘン大学教授アウグスト・フォン・ロートムンドの名前にちなむものでロートコンがロート製薬の社名の由来というわけではないそうです。ハシリドコロ同様に atropine などを含む植物にはケチョウセンアサガオ *Datura innoxia*、エンジェルストランペット (キダチチョウセンアサガオ) *Brugmansia versicolor* などがあり、観賞用として庭や公園に栽植されていますが、これらは有毒植物です。決して口に入れないでください。主な中毒症状は、嘔吐、下痢、血便、瞳孔散大、めまい、幻覚、異常興奮などで、最悪の場合は死に至ります。



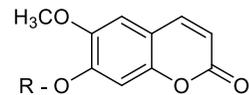
(-)-hyoscyamine



atropine



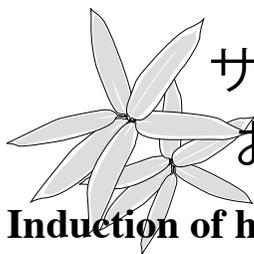
(-)-scopolamine



scopoletin R=H

scopolin R=glucose

図1 成分の構造式



# ササヘルスによるホルメシス および細胞保護効果の誘導

## Induction of hormesis and cytoprotective effect by Sasahealth

坂上 宏 (SAKAGAMI Hiroshi)<sup>1</sup> 友村 美根子 (TOMOMURA Mineko)<sup>2</sup> 増田 宜子 (MASUDA Yoshiko)<sup>2</sup> 岩間 聡一 (IWAMA Soichi)<sup>2</sup> 中川 美香 (NAKAGAWA Mika)<sup>2</sup> 鈴木 隼人 (SUZUKI Hayato)<sup>2</sup> 田中 健大 (TANAKA Kenta)<sup>2</sup> 阿部 智之 (ABE Tomoyuki)<sup>2</sup> 田村 暢章 (TAMURA Nobuaki)<sup>2</sup> 竹島 浩 (TAKESHIMA Hiroshi)<sup>2</sup> 安井 利一 (YASUI Toshikazu)<sup>2</sup> 辻まゆみ (TSUJI Mayumi)<sup>3</sup> 木内 祐二 (KIUCHI Yuji)<sup>3</sup> 小口 勝司 (OGUCHI Katsuji)<sup>3</sup> 堀内 美咲 (HORIUCHI Misaki)<sup>4</sup> 藤澤 知弘 (FUJISAWA Tomohiro)<sup>4</sup> 勝呂 まどか (SUGURO Madoka)<sup>4</sup> 大泉 浩史 (OIZUMI Hiroshi)<sup>4</sup> 大泉 高明 (OIZUMI Takaaki)<sup>4</sup>

<sup>1</sup> 明海大学歯科医学総合研究所 (M-RIO) <sup>2</sup> 明海大学歯学部 <sup>3</sup> 昭和大学医学部薬理学 <sup>4</sup> 株式会社大和生物研究所

Key Words : クマ笹葉抽出液 ササヘルス ホルメシス効果 細胞保護効果 抗癌剤毒性 神経細胞傷害

### 要約

クマ笹葉アルカリ抽出液 (ササヘルス<sup>®</sup>) は、ヒト歯肉上皮前駆細胞 (HGEP) に対するドキシソルビシンの傷害作用、分化した神経様細胞に対するアミロイド  $\beta$ -ペプチドの傷害作用を濃度依存的に抑制した。未分化神経細胞に対しては、ササヘルス<sup>®</sup> は保護効果を示したが、多くのポリフェノール類は保護効果が弱いか、無効であった。ササヘルス<sup>®</sup> による細胞保護作用の発現に、低濃度で見られる増殖促進活性 (ホルメシス効果) が関与する可能性が示唆された。

### SUMMARY

Alkaline extract of the leaves of *Sasa senanensis* Rehder (Sasahealth<sup>®</sup>) (SE) dose-dependently inhibited the doxorubicin-induced cytotoxicity against normal human gingival epithelium progenitors, and the amyloid  $\beta$ -peptide-induced cytotoxicity against differentiating neuronal precursor cells. Sasahealth<sup>®</sup> also showed the protective effect on immature neuronal cells, whereas many lower molecular polyphenols showed little or no protective effect. Growth-stimulation activity observed at lower concentration of Sasahealth<sup>®</sup> (so-called 'hormesis') may be involved in the expression of the cytoprotection effect of Sasahealth<sup>®</sup>.

### はじめに

イネ科の植物であるクマイザサ (学名 *Sasa Senanensis* Rehder) は、本邦において、北海道、本州、四国、九州の山岳地帯等に多く自生している。株式会社大和生物研究所は、クマ笹の葉を原料とした一般用医薬品「ササヘルス」(第3類医薬品)の製造・販売を一貫して行っている。また、ササヘルス製造工場には蓼科笹類植物園 (笹離宮 : <http://tateshina-sasa.com/>) が隣接されており、貴重な種を含んだ120種を超える

笹が栽培されている (図1)。

ササヘルスは、クマ笹 (クマイザサとその近縁植物) の葉より樹脂分を除去した後、含有するクロロフィル中の  $Mg^{2+}$  を、 $Fe^{2+}$  に置換して安定化した後、希水酸化ナトリウム溶液にて加熱加水分解した液を、中和して得られる。ササヘルス 100 mL には、約 5.82g の凍結乾燥粉末が含まれている。ササヘルスは、リグニン配糖体と同様に、アルカリ溶液で抽出されるため、リグニン配糖体と幾つかの共通の生物活性を示



図1 蓼科笹類植物園

す。我々は、ササヘルスの防腐作用、膜の安定化、抗炎症作用、貪食作用、ラジカル消去作用、抗酸化作用、抗菌作用、抗ウイルス作用、抗腫瘍作用、紫外線に対する細胞保護作用、ビタミンCとの相乗作用、破骨細胞成熟分化の抑制および臨床応用の可能性に関する論文を発表してきた<sup>1-27)</sup>。

今回、最近我々が発見した、ササヘルスが抗癌剤<sup>28)</sup>やアミロイドβ-ペプチド<sup>29)</sup>で誘発される細胞傷害に対する保護効果と、低濃度における細胞増殖促進作用(ホルメシス効果)について解説する。

### 1. ササヘルスは、抗がん剤による口腔ケラチノサイト傷害を軽減する

我々は、多くの抗がん剤として使用されて

いるトポイソメラーゼI阻害薬(カンプトテシン, SN-38)、トポイソメラーゼII阻害薬(エトポシド)、抗腫瘍性抗生物質(ドキシソルビシン, ダウノルビシン, マイトマイシンC)、代謝拮抗薬(メトトレキサート, フルオロウラシル)、微小管阻害薬(ドセタキセル)、アルキル化薬(メルファラン)、そして、チロシinkinase阻害薬(ゲフィチニブ)が、ヒト口腔間葉系正常細胞(歯肉線維芽細胞 HGF, 歯根膜線維芽細胞 HPLF, 歯髓細胞 HPC)と比較してヒト口腔扁平上皮がん細胞(Ca9-22, HSC-2, HSC-3, HSC-4)に対して、より強い傷害性を示すことを確認した<sup>28)</sup>。しかし、意外にも、これら全ての薬剤は、ヒト口腔上皮系正常細胞(ケラチノサイト HOK, 歯肉上皮前駆細胞 HGEP)に対して高い傷害性を示した(表1)。

表1 抗癌剤は、ヒト口腔上皮系正常細胞に対して高い細胞傷害性を有する<sup>28)</sup>。それぞれの細胞に対するCC<sub>50</sub>値の平均値の比率から腫瘍選択性(TS値)を算出した。

|          | 腫瘍選択性 (TS 値)                       |                                    |
|----------|------------------------------------|------------------------------------|
|          | CC <sub>50</sub> (間葉系正常細胞)         | CC <sub>50</sub> (上皮系正常細胞)         |
|          | vs<br>CC <sub>50</sub> (口腔扁平上皮癌細胞) | vs<br>CC <sub>50</sub> (口腔扁平上皮癌細胞) |
| カンプトテシン  | >1853                              | >33                                |
| SN-38    | >979                               | <12                                |
| ドキシソルビシン | 70                                 | 1.7                                |
| ダウノルビシン  | 55                                 | <1.5                               |
| エトポシド    | 93                                 | 0.5                                |
| マイトマイシンC | 31                                 | 0.1                                |
| メトトレキサート | >170                               | >212                               |
| フルオロウラシル | >10                                | 0.1                                |
| ドセタキセル   | >2708                              | >2.4                               |
| メルファラン   | 4                                  | 0.4                                |
| ゲフィチニブ   | 4                                  | 0.2                                |

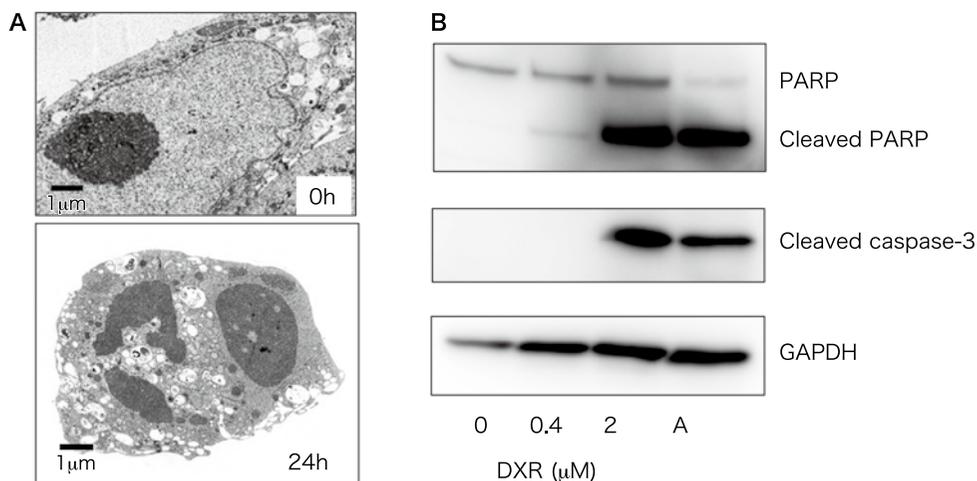


図2. ドキソルビシンは、ヒト口腔正常ケラチノサイトにアポトーシスを引き起こす<sup>28)</sup>。(A) 透過型電子顕微鏡観察、(B) ウェスタンブロット解析、AはアクチノマイシンD (陽性対照)

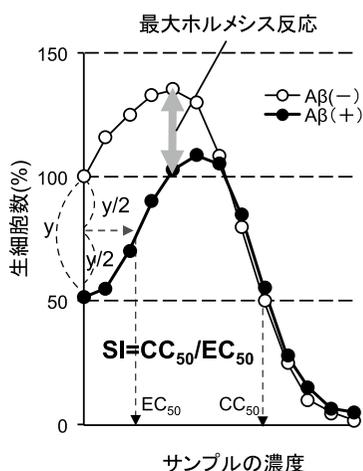


図3 ホルメシス効果の定量化<sup>30)</sup>

ドキソルビシンは、HOK にアポトーシス (微絨毛の消失, クロマチンの断片化 (A), カスパーゼの活性化 (B)) を誘導した (図2)<sup>28)</sup>。

多くの毒物や放射線は、低濃度では増殖を促進したり、特異的な薬理作用を示したりするが、高濃度では細胞傷害活性を示す。この低濃度の細胞に対する好ましい効果は、「ホルメシス」と呼ばれる。最大ホルメシス反応は、最大増殖促進率で表すことが出来る (図3)<sup>30)</sup>。

ホルメシス効果の強度は、最大増殖率で定量化できる。

ササヘルスは、HGEP の増殖を有意に促進した。この低濃度に見られる増殖促進効果 (ホルメシス効果) は最大 78.7% に達した。それに伴い、ドキソルビシンの細胞傷害活性が緩和させた (図4 A)。これに対して、ササヘルスのヒト口腔扁平上皮癌細胞に対する増殖促進活性は弱かった (最大ホルメシス効果: 14.2, 13.1, 12.5%) (図4 BCD)。この結果は、ササヘルスの効果が正常細胞に特異的に作用する可能性を示唆する。

## 2. ササヘルスは、アミロイドペプチドによる神経細胞傷害を軽減する。

### 2-1. 未分化神経細胞を用いた系:

我々は、まず、神経細胞分化の研究に多用されているラット副腎髄質褐色腫 PC12 およびヒト神経芽細胞腫 SH-SY5Y 細胞の最適な培養条件を検討した。その結果、多くの研究者が使用している DMEM + Ham's F-12 よりも、DMEM のみを用いた方が、細胞飽和密度およびアミノ酸消費量が、約 2 倍高いことを突き止めた<sup>30)</sup>。したがって、未分化細胞の培養においては、DMEM+10% FBS の系を用いることにした。

PC12 細胞および SH-SY5Y 細胞にアミノ酸残基数が 42 および 11 個のアミロイド  $\beta$ -ペプ

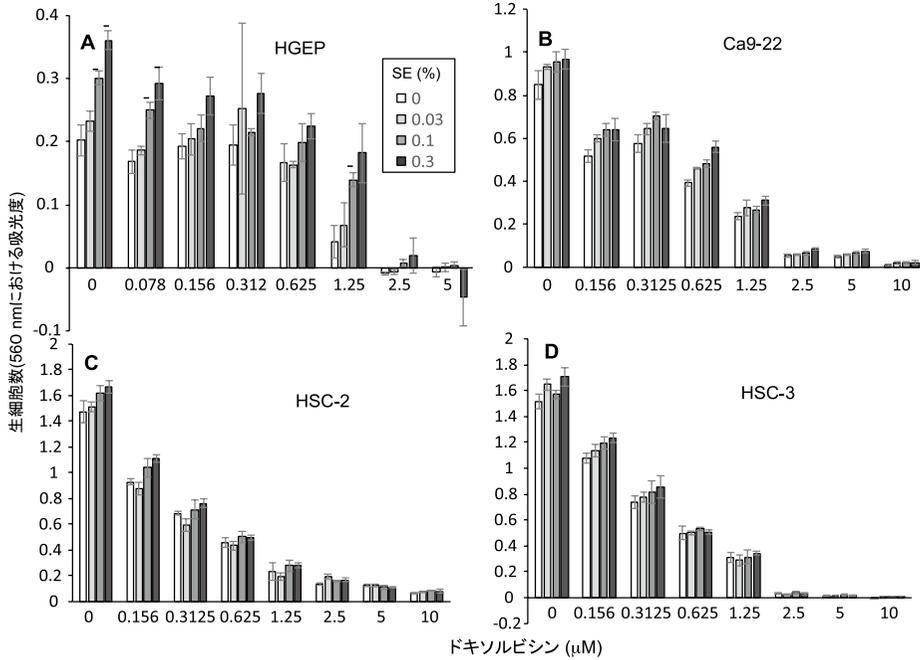


図4. ササヘルスは、ドキシソルビンによるHGEP細胞傷害を緩和する<sup>28)</sup>

細胞を48時間、0, 0.03, 0.1あるいは0.3% SEの存在下で、種々の濃度のドキシソルビンで処理した。各点は、平均値±S.D. (n=3)。\**p*<0.05。

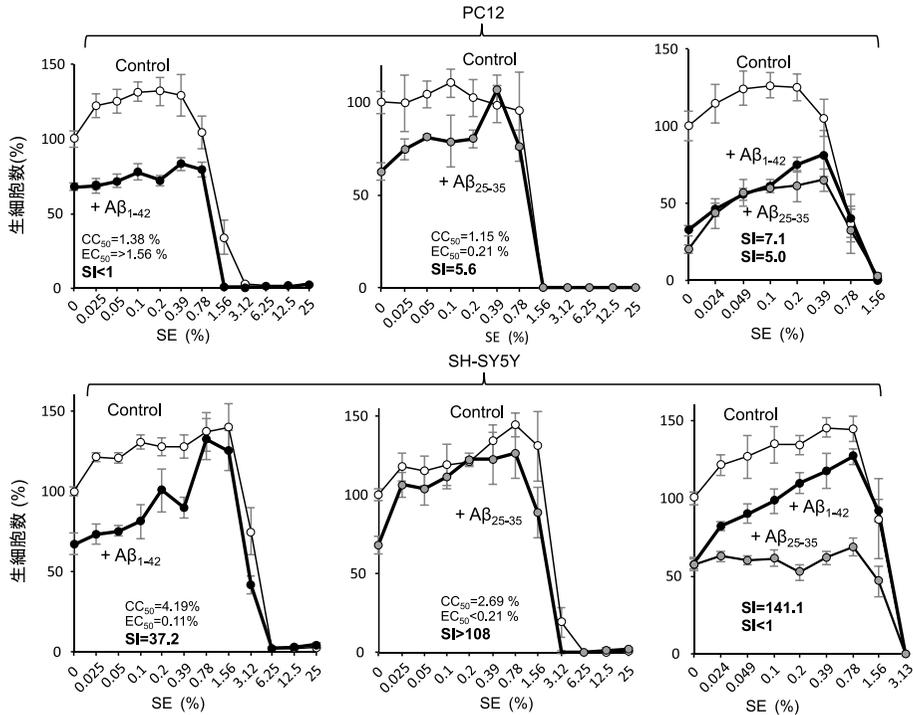


図5 ササヘルスは、アミロイドペプチドの未分化神経細胞に対する毒性を緩和する<sup>29)</sup>

細胞を24時間、400 nM Aβ<sub>1-42</sub>あるいは1600 nM Aβ<sub>25-35</sub>の存在下で、種々の濃度のササヘルス (SE) で処理し、生細胞数を測定した。各点は、平均値±S.D. (n=4)。

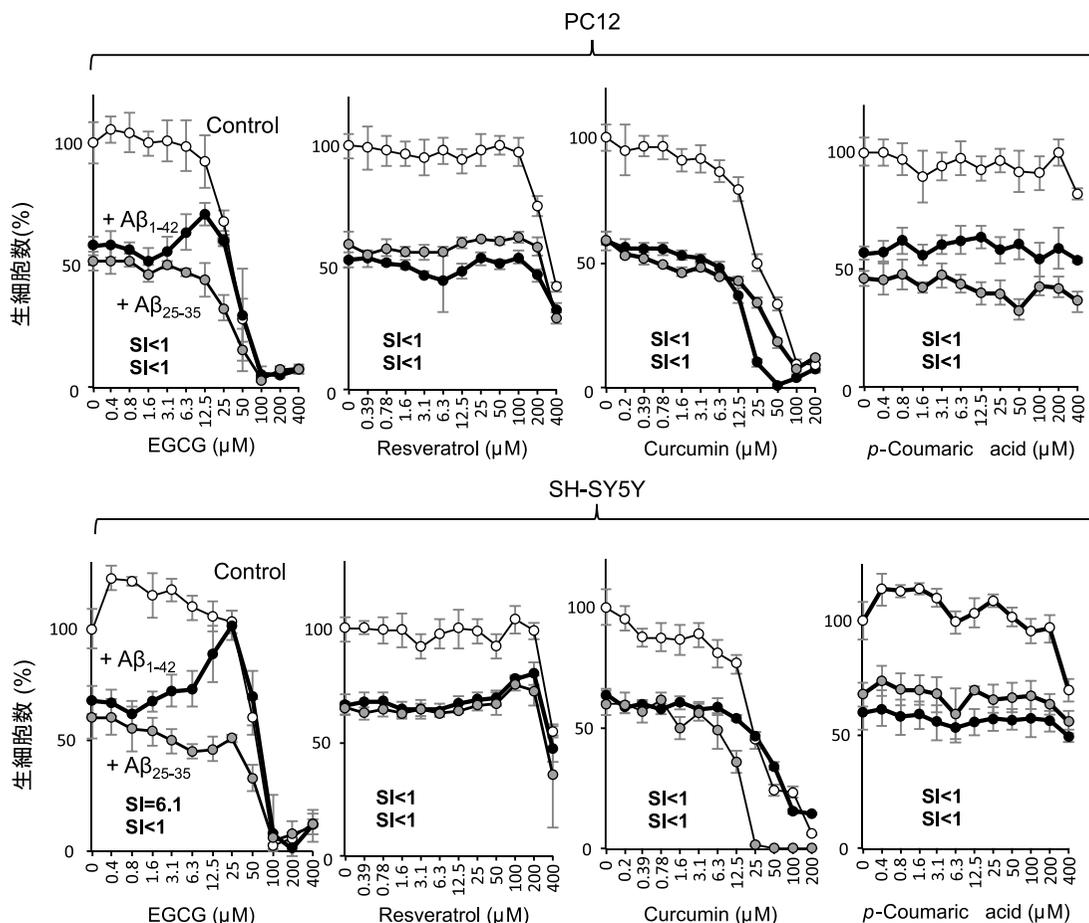


図6 各種ポリフェノール類の未分化神経細胞保護作用<sup>29)</sup> (実験条件は、図5と同じ)

チド ( $A\beta_{1-42}$ ,  $A\beta_{25-35}$ ) を添加すると、24 時間後には、生細胞数は、対照の約 50% 程度にまで減少した (図 5)。しかし、ササヘルスを添加すると、ほとんどの場合、対照まで復帰した。有効係数 (SI) は、 $<1$ , 5.6, 7.1, 5.0, 37.2,  $>108$ . 141.1,  $<1$  (平均 33.9) であった (図 5)。また、この時、ササヘルスは、低濃度において、これらの細胞の増殖を促進した。最大ホルメシス反応は、PC12 細胞に対しては、40, 44, 46% (平均 43%) であり、SH-SY5Y 細胞に対しては、6, 23% (平均 15%) であった。

これに対して、緑茶の主要成分のエピガロカテキンガレート (EGCG) (SI= $<1$ , 6.1) のアミロイド  $\beta$ -ペプチドに対する保護効果は低かった。赤ワインの主要成分のレスベラトロール

(SI $<1$ ), カレー粉の主要成分のクルクミン (SI $<1$ ) およびリグニンの前駆体でササヘルスに含まれている *p*-クマル酸 (SI $<1$ ) の保護効果は未分化細胞では観察されなかった (図 6)<sup>29)</sup>。

## 2-2. 分化した神経細胞を用いた系

PC12 細胞は、分化培地 (50 ng/mL の NGF, 1%FBS を含む DMEM 培地) で培養した。その間、3 日毎に、NGF を含む分化培地で培地交換、もしくは、分化培地を重層した。NGF 添加 5 日以降になると、細胞は神経突起を顕著に伸ばしていた (図 7)。

5 種類のプレートにおける増殖、神経細胞分化度を比較したところ、いずれのプレートにおいても、播種する時の細胞密度が低いと、増殖

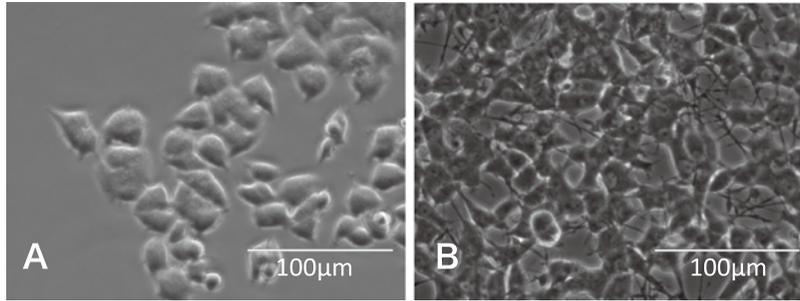


図7 NGF無添加 (A), および 59 ng/mL NGF 添加 5 日後の PC12 細胞の形態

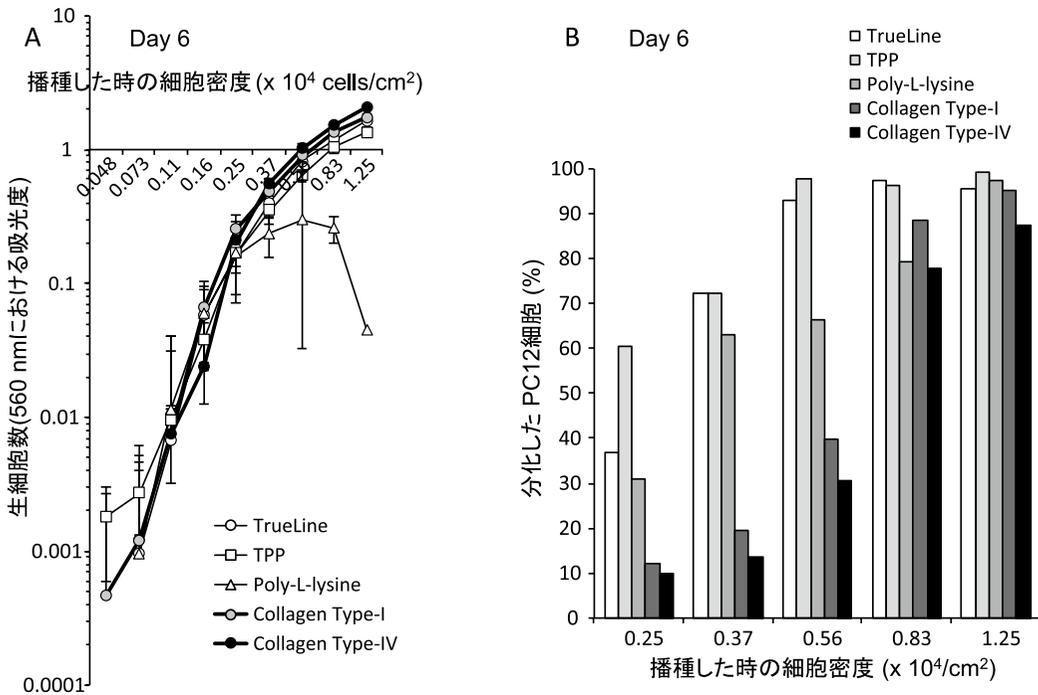


図8 PC12 細胞の NGF による分化誘導と播種した細胞密度との相関関係<sup>29)</sup>

細胞を5種類の96穴プレート、すなわち、通常のプレート (TrueLine, と TPP), ポリリジンでコートしたプレート, コラーゲンIあるいはIVでコートしたプレートに種々の密度で播種した。NGF (50 ng/mL) を添加し0~7日間、分化培地で培養した。(A) NGF 添加6日後の生細胞数。各点は、平均値±S.D. (n=6), (B) NGF 添加6日後の分化した細胞の割合。NGFにより伸長した神経突起の長さが、細胞の長径を超えた場合、「神経細胞に分化」したと判断した。各点は、100個以上の細胞を観察した。

能 (A), 分化度 (B), いずれも低くなることが判明した (図8)。また、細胞密度が高い状態では、コラーゲンでコートすることにより付着力が増大した (図8A)。この結果は、NGFで処理されたPC12細胞は、NGF以外の増殖を促進する因子を放出している可能性を示唆する。

神経細胞に分化したPC12細胞にアミロイド

$\beta$ -ペプチドを添加すると増殖が30~40%低下した。その時、ササヘルスを添加すると生細胞数が復帰した (図9)。この復帰の直線とアミロイド $\beta$ -ペプチドを含まない培地での生存曲線が平行であることは、ホルメシス効果で促進された分だけ、アミロイド $\beta$ -ペプチドによる傷害が緩和されることを示す。以上の結果は、

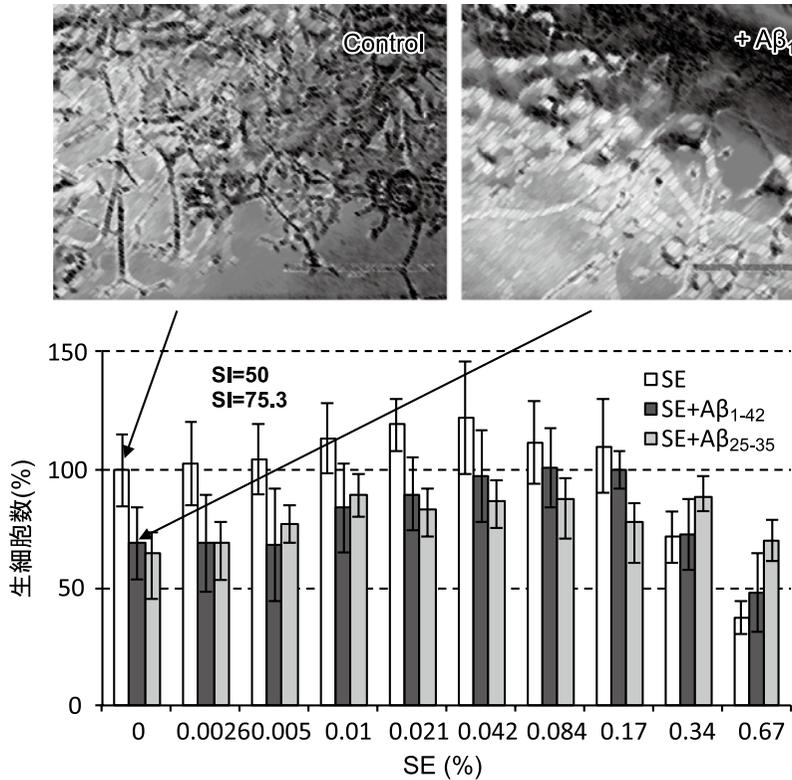


図9 ササヘルスは、アミロイドペプチドによる分化型 PC12 細胞傷害を緩和する<sup>29)</sup>  
 PC12 細胞を、コラーゲン-TypeI でコートしたプレートに播種した。50 nM NGF で分化させ、種々の濃度の SE 存在下で、添加無 (control), 20 nM Aβ<sub>1-42</sub> あるいは 833 nM Aβ<sub>25-35</sub> を添加した。各点は、平均値±S.D. (n=6)

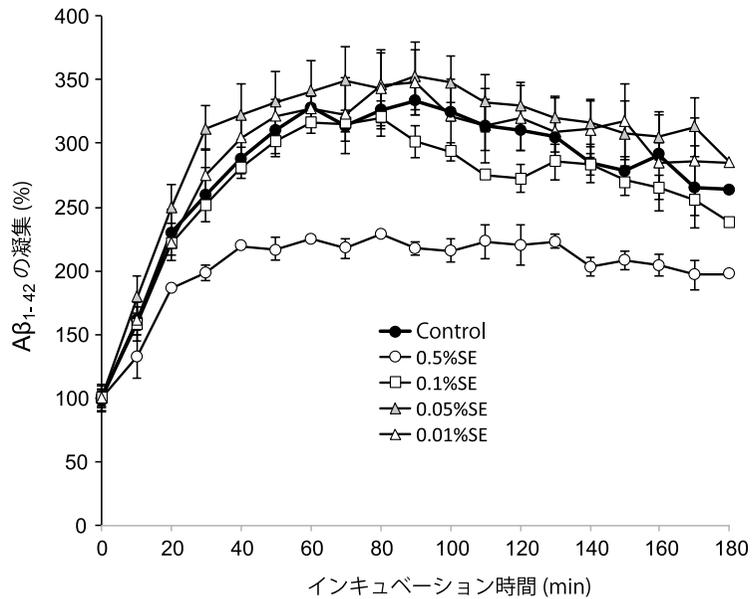


図 10 ササヘルスのアミロイドペプチド凝集に対する作用<sup>29)</sup>  
 Thioflavin を用いて 37°C 10 分後に、励起波長 440nm, 蛍光波長 485nm で測定した。各点は、平均値±S.D. (n=6)。

ササヘルスの保護効果は、ホルメシスによる可能性が高いことを示唆する。ササヘルスのアミロイドβ-ペプチド誘発性神経細胞傷害を緩和する活性が非常に高く、有効係数SI=50～75.3を与えた(図9)。

### 2-3. ササヘルスは高濃度では、アミロイドβ-ペプチドの凝集を抑制した<sup>29)</sup>。

アミロイドペプチドは、凝集すると細胞傷害活性が増加することが報告されている。そこで、ササヘルスのアミロイドペプチド凝集抑制について検討した。その結果、ササヘルス濃度が0.1%以上であれば、凝集を抑制することが判明した(図10)。しかし、凝集抑制効果を示す濃度(0.1～0.5%)は、SH-SY5Y細胞にはホルメシス効果を与えるが、PC12細胞に対する細胞傷害濃度になりに接近している。従って、ササヘルスによるアミロイドβ-ペプチド誘発性神経細胞傷害における、アミロイドβ-ペプチドの凝集抑制の関与は低いと思われる。

### 3. 今後の展望

ササヘルスは、抗癌剤による口腔正常細胞傷害、アミロイドペプチドによる神経細胞傷害に対して、いずれも保護作用を示した。その時、ホルメシス効果も観察された。この効果は、癌細胞においては、それほど大きくなかった(図2B)。ササヘルスのどの成分が効果を発揮したかを検討する必要がある。

ササヘルスは、正常細胞にホルメシス効果を誘導すること、そして、アミロイドβ-ペプチドによる傷害から正常細胞を保護することが明らかになった。この二つの現象の因果関係は不明である。ササヘルスに含まれる有効成分の同定と、作用点の解明が急務である。

また、パクリタキセルを投与された患者に高率で神経障害が惹起されることが報告されている<sup>31)</sup>。パクリタキセルを投与された分化型PC12細胞傷害と、ササヘルスの保護作用の検討も興味深い。

### 引用文献

1. 坂上宏, 渡辺悟, 横手よし子, 谷口純子, 大泉高明: クマザサ抽出液(ササヘルス)の多様な生物作用と代替医療における機能性, *New Food Industry* **50** (5): 17-24, 2008
2. Sakagami H, Amano S, Kikuchi H, Nakamura Y, Kuroshita R, Watanabe S, Satoh K, Hasegawa H, Nomura A, Kanamoto T, Terakubo S, Nakashima H, Taniguchi S and Oizumi T: Antiviral, antibacterial and vitamin C-synergized radical scavenging activity of *Sasa senanensis* Rehder extract. *In Vivo*. **22**(4): 471-476, 2008.
3. 坂上宏, 周麗, 儲慶, 王勤濤, 北嶋まどか, 大泉浩史, 大泉高明: クマザサ抽出液(ササヘルス)の抗炎症作用, *New Food Industry*, **51**(1): 27-34, 2009
4. Zhou L, Hashimoto K, Satoh K, Yokote Y, Kitajima M, Oizumi T, Oizumi H and Sakagami H: Effect of *Sasa senanensis* Rehder extract on NO and PGE<sub>2</sub> production by activated mouse macrophage-like RAW264.7 cells. *In Vivo* **23**, 773-778, 2009
5. 坂上宏, 周麗, 河野みち代, メイ・モウ・テツ, 長谷川秀夫, 田中庄二, 町野守, 天野滋, 黒下礼奈, 渡部茂, 金本大成, 寺久保繁美, 中島秀喜, 関根圭輔, 白瀧義明, 植沢芳広, 毛利公則, 儲慶, 王勤濤, 北嶋まどか, 大泉浩史, 大泉高明: クマザサ抽出液(ササヘルス)の抗炎症作用に基づく口腔環境改善効果の可能性, *New Food Industry* **52** (2): 1-10, 2010.
6. Sakagami H, Kushida T, Oizumi T, Nakashima H and Makino T: Distribution of lignin carbohydrate complex in plant kingdom and its functionality as alternative medicine. *Pharmacology & Therapeutics* **128**: 91-105, 2010.
7. Sakagami H, Zhou Li, Kawano M, Thet MM, Takana S, Machino M, Amano S, Kuroshita R, Watanabe S, Chu Q, Wang QT, Kanamoto T, Terakubo S, Nakashima H, Sekine K, Shirataki Y, Hao ZC, Uesawa Y, Mohri K, Kitajima M, Oizumi H and Oizumi T: Multiple biological complex of alkaline extract of the leaves of *Sasa senanensis* Rehder. *In Vivo* **24**: 735-744, 2010.
8. 坂上宏, 植木淳一, 島田亜希, 小野真那巳, 菅藤歌織, 若林英嗣, 南部俊之, 嶋田淳, 牧純, 山本正次,

- 北嶋まどか, 大泉浩史, 大泉高明, 牧野徹: 抗酸化剤および植物抽出液の紫外線に対する細胞保護作用, *New Food Industry* **53** (1): 11-19, 2011.
9. 坂上宏, 岩本祥子, 松田友彦, 北嶋まどか, 大泉浩史, 大泉高明: クマザサ抽出液 (ササヘルス) の口内炎治療効果の可能性: 培養ヒト歯肉線維芽細胞による炎症性サイトカイン産生の抑制 *New Food Industry* **53** (7): 11-18, 2011
  10. 松田友彦, 北嶋まどか, 大泉浩史, 大泉高明, 坂上宏: クマザサ抽出液 (ササヘルス) 及び luteolin 配糖体の紫外線に対する細胞保護効果, *New Food Industry* **53** (7): 19-25, 2011
  11. Matsuta T, Sakagami H, Kitajima M, Oizumi H and Oizumi T: Anti-UV activity of alkaline extracts of the leaves of *Sasa senanensis* Rehder. *In Vivo* **25** (5): 751-755, 2011.
  12. Matsuta T, Sakagami H, Satoh K, Kanamoto T, Terakubo S, Nakashima H, Kitajima M, Oizumi H and Oizumi T: Biological activity of luteolin glycosides and tricrin from *Sasa senanensis* Rehder. *In Vivo* **25** (5): 757-762, 2011.
  13. Ono M, Kantoh K, Ueki J, Shimada A, Wakabayashi H, Matsuta T, Sakagami H, Kumada H, Hamada N, Kitajima M, Oizumi H and Oizumi T: Quest for anti-inflammatory substances using IL-1 $\beta$ -stimulated gingival fibroblasts. *In Vivo* **25**(5): 763-768, 2011
  14. Sakagami H, Iwamoto S, Matsuta T, Satoh K, Shimada C, Kanamoto T, Terakubo S, Nakashima H, Morita Y, Ohkubo A, Tsuda T, Sunaga K, Kitajima M, Oizumi H and Oizumi T: Comparative study of biological activity of three commercial products of bamboo leaf extract. *In Vivo* **26**: 259-264, 2012.
  15. Sakagami H, Matsuta T, Satoh K, Ohtsuki S, Shimada C, Kanamoto T, Terakubo S, Nakashima H, Morita Y, Ohkubo A, Tsuda T, Sunaga K, Maki J, Sugiura T, Kitajima M, Oizumi H and Oizumi T: Biological activity of SE-10, a granulated powder of *Sasa senanensis* Rehder leaf extract. *In Vivo* **26**, 411-418, 2012.
  16. 坂上 宏, 松田友彦, 田中庄二, 町野守, 安井利一, 伊藤一芳, 北嶋まどか, 杉浦智子, 大泉浩史, 大泉高明: クマ笹葉エキス由来製品の開発, 機能性評価及び口腔疾患への適応 *New Food Industry* **54** (6): 11-26, 2012.
  17. Matsuta T, Sakagami H, Tanaka S, Machino M, Tomomura M, Tomomura A, Yasui T, Itoh K, Sugiura T, Kitajima M, Oizumi H and Oizumi T: Pilot clinical study of *Sasa senanensis* Rehder leaf extract treatment on lichenoid dysplasia. *In Vivo* **26** (6): 957-962, 2012.
  18. Matsuta T, Sakagami H, Sugiura T, Kitajima M, Oizumi H and Oizumi T: Structural characterization of anti-UV components from *Sasa senanensis* Rehder extract. *In Vivo* **27**: 77-84, 2013.
  19. Sakagami H, Matsuta T, Yasui T, Oguchi K, Kitajima M, Sugiura T, Oizumi T and Oizumi T: Chapter 8: Functional evaluation of *Sasa Makino* et *Shibata* leaf extract as group III OTC drug In: *Alternative Medicine* (eds. Sakagami H), pp171-200, InTech ISBN 980-953-307-811-8
  20. Sakagami H, Amano S, Yasui T, Satoh K, Shioda S, Kanamoto T, Terakubo S, Nakashima H, Watanabe K, Sugiura T, Kitajima M, Oizumi H and Oizumi T: Biological interaction between *Sasa senanensis* Rehder leaf extract and toothpaste ingredients. *In Vivo* **27**: 275-284, 2013
  21. 坂上宏, 大越絵実可, 松田友彦, 田中庄二, 松本勝, 安井利一, 渡邊康一, 北嶋まどか, 堀内美咲, 賈俊業, 大泉浩史, 大泉高明: 第3編企業の開発動向, 第5章, 抗ウイルス素材, 1. クマザサ葉抽出液「ササヘルス」配合歯磨剤 pp217-243 (オーラルヘルスケア機能性食品の開発と応用—アンチエイジングを目指した口腔ケアを中心に—監修: 坂上 宏 教授/明海大学) pp217-243, シーエムシー出版, 2013年12月3日
  22. Sakagami H, Sheng H, Ono K, Komine Y, Miyadai T, Terada Y, Nakada D, Tanaka S, Matsumoto M, Yasui T, Watanabe K, Junye J, Natori T, Suguro-Kitajima M, Oizumi H and Oizumi T: Anti-halitosis effect of toothpaste supplemented with alkaline extract of the leaves of *Sasa senanensis* Rehder. *In Vivo* **30** (2):107-111, 2016.
  23. Sakagami H, Sheng H, Okudaira N, Yasui T, Wakabayashi H, Jia J, Natori T, Suguro-Kitajima M, Oizumi H, Oizumi T: Prominent anti-UV activity and possible cosmetic potential of lignin-carbohydrate complex. Review. *In Vivo* **30** (4): 331-339, 2016.
  24. Sakagami H, Fukuchi K, Kanamoto T, Terakubo S, Nakashima H, Natori T, Suguro-Kitajima M, Oizumi H, Yasui T and Oizumi T: Synergism of alkaline extract of the leaves of *Sasa senanensis* Rehder and antiviral agents. *In Vivo* **30** (4): 421-426, 2016.
  25. 福地邦彦, 坂上宏, 安井利一, 金本大成, 寺久保繁美, 中島秀喜, 勝呂まどか, 名取威徳, 大泉浩史, 大泉高明: ササヘルスの卓越した抗ウイルス活性, *New Food Industry* **58** (12): 23-32, 2016

26. Tomomura M, Tomomura A, Oizumi T, Yasui T and Sakagami H: Extract of *Sasa senanensis* Rehder leaf promotes osteoblast differentiation in MC3T3-E1 cells. *J Meikai Dent Med.* **46** (2): 111-116, 2017.
27. 友村美根子, 友村明人, 大泉高明, 安井利一, 坂上宏: クマザサ葉抽出液は骨芽細胞と破骨細胞を相対的に制御することで骨形成を促進する, *New Food Industry* **59** (11): 41-45, 2017.
28. Sakagami H, Okudaira N, Masuda Y, Amano O, Yokose S, Kanda Y, Suguro M, Natori T, Oizumi H and Oizumi T: Induction of apoptosis in human oral keratinocyte by doxorubicin. *Anticancer Res* **37** (3): 1023-1029, 2017.
29. Sakagami H, Tsuji M, Tomomura M, Masuda Y, Iwama S, Nakagawa M, Suzuki H, Tanaka K, Abe T, Tamura N, Tomomura A, Yokose S, Takeshima H, Natori T, Horiuchi M, Fujisawa T, Kiuchi Y, Oguchi K, Yasui T, Oizumi H and Oizumi T: Protection of differentiating nerve cells from amyloid  $\beta$  peptide-induced injury by alkaline extract of leaves of *Sasa senanensis* Rehder. *In Vivo* **32** (2): 231-239, 2018.
30. Sakagami H, Suzuki R, Shirataki Y, Iwama S, Nakagawa M, Suzuki H, Tanaka K, Tamura N and Takeshima H: Re-evaluation of culture condition of PC12 and SH-SY5Y cells based on growth rate and amino acid consumption, *In Vivo* **31** (11): 1089-1095, 2017
31. Wozniak KM, Vornov JJ, Wu Y, Liu Y, Carozzi VA, Rodriquez-Menendez V, Ballarini E, Alberti P, Pozzi E, Semperboni S, Cook BM, Littlefield BA, Nomoto K, Condon K, Eckley S, DesJardins C, Wilson L, Jordan MA, Feinstein SC, Cavaletti G, Polydefkis M and Slusher BS: Peripheral neuropathy induced by microtubule-targeted chemotherapies: insights into acute injury and long-term recovery. *Cancer Res.* 2017 Nov 30. pii: canres.1467.2017. doi: 10.1158/0008-5472.CAN-17-1467. [Epub ahead of print]

---

連絡先

〒 350-0283

埼玉県坂戸市けやき台 1-1

明海大学歯科医学総合研究所 (M-RIO) <http://www.meikai.ac.jp/dent/m-rio.html>

坂上 宏

Tel:(049)279-2758, 2787; Fax: (049)285-5171; e-mail: sakagami@dent.meikai.ac.jp

〒 213-0012

神奈川県川崎市高津区坂戸 3-2-1 かながわサイエンスパーク内 (KSP)D 棟 8F

株式会社大和生物研究所 <http://www.daiwaseibutsu.co.jp/>

大泉高明

Tel: (044)819-2291; Fax: (044)812-7482; e-mail: takaakio@daiwaseibutsu.co.jp

# 機能性物質の養魚用飼料への添加効果－ 3. アスタキサンチン, ヌクレオチッド

酒本 秀一 (SAKAMOTO Shuichi) 海野 徹也 (UMINO Tetsuya)\*

\* 広島大学大学院生物圏科学研究科

Key Words : 機能性物質 アスタキサンチン ヌクレオチッド 養魚用飼料 アユ 飼育成績 臓器体重比 体成分 体表色 抗病性

一連の報告<sup>1,2)</sup>で養魚飼料分野での機能性物質について説明しているが、本報告ではアスタキサンチンとヌクレオチッドを添加した飼料でアユを飼育した結果について述べる。

## アスタキサンチン

アスタキサンチンは赤橙色を呈するカロテノイドの一種で、主に海産魚の筋肉や体表に多く含まれる。魚類をはじめ、動物は一般にカロテノイドを生合成出来ないので、飼餌料に含まれるカロテノイドをそのまま、あるいは他の色素に体内で転換した後各組織に蓄積して独自の色調を表している<sup>3)</sup>。

養魚飼料を中心とする水産用飼料の分野では、体表色の改善(マダイ<sup>4,5)</sup>、甲殻類<sup>4)</sup>、サケ・マス類<sup>6)</sup>、観賞魚<sup>7)</sup>)や肉色の改善(サケ・マス類<sup>6)</sup>)等に利用されている<sup>8)</sup>。

アスタキサンチンの供給源としてイサザアミ、オキアミ、エビ・カニ色素抽出油、赤色酵母、ヘマトコッカス等がこれまでに検討されてきた。何れも効果は認められるが単位色素量当たりの価格が高いのが難点で、合成アスタキサンチンの使用が認められるようになってからは合成品が用いられることが多い。

アスタキサンチンには体色改善効果以外にも

色々な効果が有ることが知られている<sup>9,10)</sup>。その中でも最も毒性の強い活性酸素である「一重項酸素」と「過酸化脂質」の除去力が強いことはよく知られている。筆者ら<sup>11,12)</sup>もアスタキサンチンが「一重項酸素」と「過酸化脂質」の除去を通じて魚の抗病性を向上させたり、メラニンの合成を抑制したりする可能性が有ることを報告した。

ここではアスタキサンチンを添加した飼料でアユを飼育した時の効果について報告する。

## 1. 材料と方法

### 1-1. 試験飼料

表1に試験飼料の組成と分析値を示す。なお、ヌクレオチッドの試験も同時に行ったので、一緒に記しておく。アスタキサンチン添加量が0, 50, 100ppmの3試験区を設定した。アスタキサンチン源には合成アスタキサンチンの散剤であるロッシュ社のカロフィルピンク(アスタキサンチン含量8%)を用いた。それぞれの飼料の基本配合は魚粉56, 小麦粉20,  $\alpha$ -澱粉10, 脱脂大豆粕9, ビタミン・ミネラル混合3, 魚油2%である。この基本配合100に対してアスタキサンチン濃度が50と100ppmになるようにカロフィルピンクを0.0625と0.125外割で添加した。

試験飼料はハードペレットクランブルとし、以下の手順で製造した。魚油以外の原料を混合し、粉砕する。少量の水を加えて混合し、小型のペレットマシンでハードペレットに成型する。棚式乾燥機内で熱風乾燥した後業務用コーヒーマルで破碎し、クランブルにする。篩を通して必要な大きさの飼料のみを集めて試験飼料とする。なお、魚油はクランブル98部に対して2部添加し、十分に混合して均一に吸着させた。

各飼料の成分組成に殆ど違いは認められなかった。

### 1-2. 飼育試験

飼育試験は広島大学大学院生物圏科学研究科構内の屋外コンクリート水槽（縦:210cm×横:100cm×水深:60cm）を各区2水槽ずつ用いて行った。供試アユは広島県太田川漁業協同組合より購入し、飼育環境に馴致させた後に選別して用いた。平均体重約9.5gの魚を各水槽に約950尾ずつ収容し、5月20日から7月10日まで50日間飼育した。給餌は日に4回行い、給餌量は飽食量の約80%とした。各区の給餌量は同じにしたが、結果の所で説明するように、水槽が深く、上部に寒冷紗の覆いをしていたために水面照度が低く、与えた飼料を全て食べていたか否かを確認出来なかったところに問題が有る。各水槽によって摂餌量が違っていた可能性が高い。水温調整は行わなかったため、飼育試験開始時の約20°Cから終了時には25°C程度まで上昇していた。

### 1-3. 調査項目

飼育試験開始時と終了時に尾数と総体重を測定し、生残率と増重量を求めた。飼育期間中の死魚は尾数と体重を記録し、増重量の補正に用いた。

飼育試験開始時に10尾、終了時に各区から10尾（各水槽から5尾）ずつサンプリングし、FA100で麻酔して体重と尾叉長を測定し、

表1 試験飼料の組成と分析値

| 供試物<br>添加量             | 対照    | アスタキサンチン |        | ヌクレオチッド |
|------------------------|-------|----------|--------|---------|
|                        |       | 50ppm    | 100ppm | 0.2%    |
| 基本配合 <sup>*1</sup>     | 100   | 100      | 100    | 100     |
| カロフィルピンク <sup>*2</sup> | 0     | 0.0625   | 0.125  |         |
| ヌクレオチッド                |       |          |        | 0.2     |
| 水分 (%)                 | 5.62  | 4.87     | 5.47   | 5.55    |
| タンパク質                  | 46.4  | 46.9     | 46.4   | 46.4    |
| 脂質                     | 8.27  | 8.11     | 7.87   | 7.82    |
| 灰分                     | 10.8  | 10.9     | 10.9   | 10.9    |
| 炭水化物                   | 27.1  | 27.2     | 27.0   | 27.4    |
| Cal/100g               | 314.3 | 314.8    | 310.2  | 310.8   |
| C/P比                   | 6.77  | 6.71     | 6.69   | 6.70    |

<sup>\*1</sup>: 魚粉 56, 小麦粉 20,  $\alpha$ -澱粉 10, 脱脂大豆粕 9, ビタミン・ミネラル混合 3, 魚油 2%。

<sup>\*2</sup>: 8%濃度合成アスタキサンチン（日本ロッシュ）

肥満度（体重×100/尾叉長<sup>3</sup>）を求めた。ヘパリン処理した0.5mLプラスチック注射筒を用いて尾柄部の脊椎骨下血管から各尾略等量ずつ採血した。血液は区毎にプールし、3000rpmで15分間遠心分離して血漿を分離し、成分分析に供した。魚体は外観を調べた後解剖し、各臓器の状態を観察すると共に重量を測定し、体重比を求めた。なお、アユの幽門垂（硬骨魚類に特有の消化器官で、胃の幽門の直後、腸の始部に有る細い盲嚢で、色々な消化酵素を分泌する。幽門垂数は魚の運動性と関係しており、活発に泳ぐアユは数が多い。幽門垂の周囲には脂肪組織が付着している。）は細くて数が多く、周囲に付着している脂肪組織を完全に分離することは不可能だったので、DL（腹腔内脂肪蓄積組織）体重比は多少の誤差を含む値として見て欲しい。内臓を取り除いた魚体から鱗、血合肉、皮下脂肪、不完全神経間棘部蓄積脂質等を混入しないように注意して各尾から等量ずつ背肉を採取し、区毎にプールして一般成分の分析に供した。

上記とは別に全魚体分析用の魚を開始時に10尾、終了時に各区から10尾ずつサンプリングし、区毎に纏めてビニール袋に入れて-20°Cで凍結保存した。冷蔵庫内で半解凍状態にして包丁で約0.5cm幅に輪切りにし、フードプロセッサを用いてペースト状態になるまで破碎

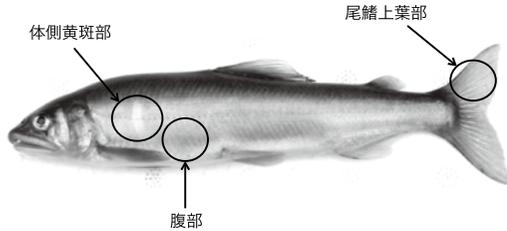


図1 色彩色差計による測色部位

する。その一部を採ってさらにホモジナイザーで均一化し、分析試料とした。この様な手順で分析試料を調製するのであるが、魚が大きくなるに従って骨、鱭、鱗等を試料内に均一に分散させるのは難しくなり、分析値に多少の誤差が生じるのはしばしば経験することである。特に灰分に誤差が生じやすい。

開始時と終了時の全魚体の分析値から求めた魚体に蓄積された栄養成分の量と、給与飼料中に含まれた栄養成分の量から、各飼料成分の魚体蓄積率を求めた。死魚の魚体成分はそれぞれの区の開始時と終了時の平均値と仮定し、魚体に蓄積された栄養成分の量を補正した。

アスタキサンチンがアユの体表色に及ぼす影響を調べるため、飼育試験終了時に各区から10尾ずつサンプリングし、図1に示す体側黄斑部、胸鰭後の腹部、尾鰭上葉部の色調を色彩色差計(MINOLTA CR-100)を用いてLab表色系で測色した。Lab表色系ではL値が大きい程明度が高い、即ち白っぽく明るい色である。a値は数値が大きい程赤味が強く、数値が小さい程緑色が強い。また、b値は数値が大きい程黄色の度合いが大きく、数値が小さい程青の度合いが大きい。色彩色差計で測色するに先立ち、体表に付着している水をペーパータオルで拭き取る。尾鰭は十分に広げて水を拭き取った。その後ラップを被せて測色するのであるが、この時に魚体とラップの間に空気を入れたり、ラップに皺を作ったりしないように注意が必要である。なお、アユは生きていた状態と凍結・解凍後では著しく色

調が変化することを経験しているため、FA-100麻酔下で測色した後同じ魚を個別別にビニール袋に入れて-20°Cで凍結保存した。後日流水下で解凍し、同じ部位を同じ方法で測色し、凍結前後の違いを調べた。

魚の抗病性を調べるために飼育試験終了時に各区から5尾ずつサンプリングし、改良ポンドサイドキットマニュアル<sup>13)</sup>に従って採血し、白血球を分離した。Tanら<sup>14)</sup>の報告に従ってNBT(Nitro blue tetrazolium)の代わりにWST-1[2-(4-iodophenyl)-3-(4-nitrophenyl)-5-(2,4-disulfophenyl)-2H-tetrazolium]を用いて無刺激時のWST-1還元能とザイモサン刺激時のポテンシャルキリング活性(PK活性)を測定した。病原菌等が体内に侵入した時には、まず白血球が取り込んで活性酸素を用いて殺菌する。この方法は正常時と異物侵入時の白血球の活性酸素産生能を調べる方法で、異物侵入時の活性酸素産生能が高い方が抗病性が高いとされる。

## 2. 結果

### 2-1. 飼育成績

飼育試験の結果を表2に示す。生残率はアスタキサンチン100ppm添加区が他区より高かった。増重量、飼料効率、タンパク質効率はアスタキサンチン添加区の方が無添加区より高かったが、50ppmと100ppm区で違いは認められなかった。

これまでにアスタキサンチンが魚の飼育成績を改善するとの報告は見当たらないことと、血漿成分の所で説明するように、今回の試験では対照区(アスタキサンチン無添加)の摂餌量が他区より少なかった可能性が高いことから、ア

表2 飼育試験の結果

| 供試物<br>添加量  | 対照   | アスタキサンチン |        | ヌクレオチッド<br>0.2% |
|-------------|------|----------|--------|-----------------|
|             |      | 50ppm    | 100ppm |                 |
| 生残率 (%)     | 81.3 | 79.4     | 87.5   | 83.1            |
| 増重量 (g)     | 2298 | 2747     | 2695   | 2714            |
| 給餌量 (g)     | 5454 | 5454     | 5454   | 5454            |
| 飼料効率 (%)    | 42.1 | 50.4     | 49.4   | 49.8            |
| タンパク質効率 (%) | 90.8 | 107.4    | 106.6  | 107.2           |

スタキサンチンと飼育成績の関係については再検討が必要である。現段階ではアスタキサンチンがアユの飼育成績を改善すると判断するには無理が有る。

## 2-2. 魚体測定と解剖

表3に結果を示す。飼育期間中に魚は大きくなり、肥満度とDL体重比も大きくなっていった。成長に伴って魚体に蓄積された脂質の量が増えていることを推測させる結果である。一方、肝臓体重比は小さくなり、内臓体重比には変化が無かった。飼育試験終了時の値をアスタキサンチン添加量との関係で見ると、何れの

表3 魚体測定と解剖の結果

| 時期<br>試験区 | 開始時  | 終了時  |       |        |      |
|-----------|------|------|-------|--------|------|
|           |      | 対照   | Ast50 | Ast100 | NT   |
| 体重 (g)    | 7.5  | 27.4 | 33.7  | 24.4   | 34.1 |
| 尾叉長 (cm)  | 9.6  | 13.6 | 14.5  | 13.2   | 14.4 |
| 肥満度       | 0.84 | 1.05 | 1.09  | 1.04   | 1.13 |
| 内臓体重比 (%) | 11.7 | 11.6 | 11.2  | 11.7   | 12.1 |
| 肝臓体重比     | 1.04 | 0.90 | 0.93  | 0.90   | 1.10 |
| DL 体重比    | 4.35 | 4.90 | 5.09  | 4.99   | 6.10 |

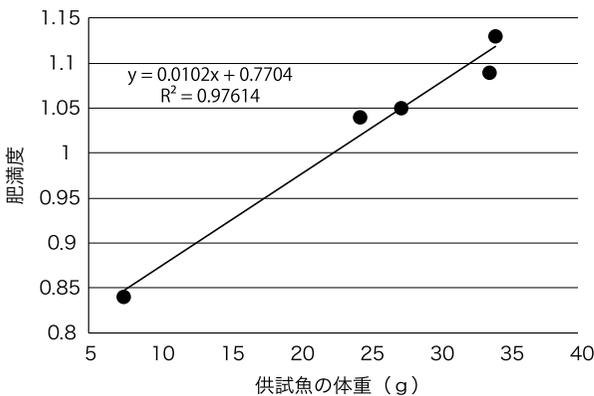


図2 供試魚の体重と肥満度の関係

表4 背肉の分析値

| 時期<br>試験区   | 開始時  | 終了時  |       |        |      |
|-------------|------|------|-------|--------|------|
|             |      | 対照   | Ast50 | Ast100 | NT   |
| 水分 (%)      | 79.0 | 78.1 | 78.1  | 77.1   | 77.3 |
| タンパク質       | 18.1 | 19.4 | 19.7  | 20.2   | 20.3 |
| 脂質          | 1.86 | 1.70 | 1.44  | 1.67   | 1.73 |
| 灰分          | 1.23 | 1.28 | 1.23  | 1.27   | 1.24 |
| タンパク質 (%乾物) | 86.2 | 88.6 | 90.0  | 88.2   | 89.4 |
| 脂質          | 8.86 | 7.76 | 6.58  | 7.29   | 7.62 |
| 灰分          | 5.86 | 5.84 | 5.62  | 5.55   | 5.46 |

指標にも大きな区間差は認められなかったが、50ppm 添加区で肥満度、肝臓体重比がやや大きく、内臓体重比がやや小さい傾向が認められた。

これまでの試験で肥満度は供試魚の大きさ(体重)と相関している場合が多いことを確認しているため、供試魚の体重と肥満度との関係を調べたのが図2である。供試魚の体重が大きい程肥満度が高くなっている。また、肥満度(x)とDL体重比(y:%)の間には $y=2.9191x+1.8988$ ,  $R^2=0.978$ の強い正の相関が認められた。これは肥満度は腹腔内に蓄積された脂質の量に影響を受けることと、肥満度やDL体重比が50ppm添加区でやや高くなっているのは、アスタキサンチン添加のためではなく、供試魚が大きかったことが原因であることを示す。アスタキサンチンの添加によって肥満度や各臓器の体重比は影響を受けないといえる。

## 2-3. 背肉成分

表4に分析結果を示す。供試魚の体重と乾物タンパク質含量の間には正の相関、体重と乾物脂質および灰分含量の間には負の相関が認められた。魚が大きくなるに従って脂質が減少し、タンパク質と灰分が増えていることになる。これは腹腔内の蓄積脂質の量とは全く逆の結果で、魚が小さいうちは背肉の脂質が多く、大きくなるに従って背肉の脂質が少なくなり、腹腔内蓄積脂質の量が多くなることを示す。

以上の結果は、背肉成分の変動の主因をなすのは脂質で、脂質含量の動きに連動してタンパク質と灰分が変化していること、背肉成分の変化を引き起こしているのは供試魚の体重であること、アスタキサンチンの添加によって背肉成分は影響を受けないこと等を示している。

## 2-4. 血漿成分

分析結果を表5に示す。区間差は小さいものの増重量が多い区ほどグルコース(Glu)含量が高い傾向を示している。Glu含量は消化吸収可能な炭

表5 血漿成分の分析値

| 供試物<br>添加量    | 対照  | アスタキサンチン |        | ヌクレオチッド<br>0.2% |
|---------------|-----|----------|--------|-----------------|
|               |     | 50ppm    | 100ppm |                 |
| Glu (mg/dL)   | 56  | 62       | 60     | 59              |
| T-Pro (g/dL)  | 4.5 | 4.7      | 4.5    | 4.9             |
| TG(mg/dL)     | 268 | 274      | 233    | 278             |
| T-Cho (mg/dL) | 560 | 646      | 434    | 496             |
| ALP (IU/L)    | 333 | 395      | 264    | 361             |

表6 全魚体の分析値

| 時期<br>試験区   | 開始時  | 終了時  |       |        |      |
|-------------|------|------|-------|--------|------|
|             |      | 対照   | Ast50 | Ast100 | NT   |
| 水分 (%)      | 72.5 | 68.9 | 67.7  | 69.5   | 68.2 |
| タンパク質       | 13.9 | 15.5 | 15.2  | 14.2   | 14.8 |
| 脂質          | 11.4 | 12.7 | 14.8  | 12.9   | 14.0 |
| 灰分          | 3.31 | 3.48 | 2.85  | 3.50   | 3.10 |
| タンパク質 (%乾物) | 50.5 | 49.8 | 47.1  | 46.6   | 46.5 |
| 脂質          | 41.5 | 40.8 | 45.8  | 42.3   | 44.0 |
| 灰分          | 12.0 | 11.2 | 8.82  | 11.5   | 9.75 |

水化物の摂取量が多い区ほど高い値を示すのが普通である<sup>15)</sup>。試験飼料の炭水化物源は同じで含量も殆ど同じである。よって、給餌量は各区同じであったが。実際に魚が食べた飼料の量は 50ppm ≥ 100ppm > 0ppm の順であった可能性が高い。摂餌量は魚の成長、飼料効率、タンパク質効率に大きな影響を及ぼす基本的なことなので、この点は再確認して明らかにしておかなければならない。

トリグリセライド (TG) と総コレステロール (T-Cho) 含量は 100ppm 添加区が著しく低く、アスタキサンチンが脂質の代謝と関係している可能性が考えられる。

総タンパク質 (T-Pro) 含量とアルカリ性フォスファターゼ (ALP) 活性には一定の傾向は認められなかった。

## 2-5. 全魚体の成分

分析結果を表6に示す。飼育期間中の成長に伴って水分が減少し、タンパク質と脂質が増加していた。供試魚の体重を測定していないので、体重との関係は検討出来ないが、飼育試験終了時にはアスタキサンチンの添加量が増えるに従ってタンパク質含量が減少していた。脂質は 50ppm > 100ppm > 0ppm の順に多かった。

この傾向は各成分を乾物換算しても変わらなかった。

脂質含量は増重量、飼料効率、タンパク質効率との間に強い正の相関が認められた。全魚体の脂質含量は肉部の脂質量と腹腔内蓄積脂質量の両者を反映する。背肉では魚が大きくなるに従って脂質が減少し、タンパク質と灰分が増えていた。一方、腹腔内蓄積脂質の量は魚が大きくなるに従って多くなっていった。よって、全魚体の脂質含量は腹腔内蓄積脂質の量をより強く反映していることが分かる。

水分と脂質、脂質と灰分の間には負の相関、脂質とタンパク質の間には正の相関が認められた。全魚体のタンパク質含量は脂質と灰分含量の両方の値を反映したと思われる。

以上の結果から、全魚体の成分組成は飼料の摂取量 (= 栄養成分の摂取量) によって魚の成長が変化することによって変わるのであって、アスタキサンチンの添加量は殆ど影響を及ぼさないのではないかと推測出来る。

魚は大きくなるに従って背肉の脂質含量が増え、脂質とタンパク質含量の間に負の相関が成り立つのが普通である。アユは全く逆であった。アユは成長に伴って腹腔内脂肪蓄積組織や不完全神経間棘部脂肪蓄積組織等の脂肪蓄積組織に蓄積する脂質量を増やし、背肉の脂質を減らす特殊な魚なのかも知れない。

## 2-6. 飼料成分の魚体蓄積率

給与した飼料に含まれる栄養成分量と魚体中に増えた栄養成分量から求めた飼料成分の魚体蓄積率を表7に示す。

表7 飼料成分の魚体蓄積率

| 供試物<br>添加量 | 対照   | アスタキサンチン |        | ヌクレオチッド<br>0.2% |
|------------|------|----------|--------|-----------------|
|            |      | 50ppm    | 100ppm |                 |
| タンパク質 (%)  | 15.0 | 17.0     | 15.3   | 16.3            |
| 脂質         | 68.8 | 102.8    | 86.1   | 97.6            |
| 灰分         | 13.9 | 12.1     | 16.4   | 13.7            |
| カロリー       | 25.1 | 34.0     | 28.8   | 31.9            |

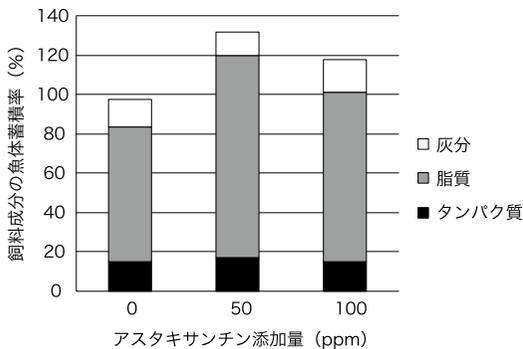


図3 アスタキサンチン添加量と飼料成分の魚体蓄積率

当然のことながら図3に示す様に魚の成長が良くて増重量が大きい区ほどタンパク質と脂質の蓄積率が高かった。特に増重量と脂質の蓄積率の間には強い正の相関が有り、魚体への脂質の蓄積量がアユの成長を大きく左右しているといっても過言ではない。しかしながら血漿のGlu含量のところで推測した様に、もし魚が実際に摂取した飼料の量が区によって異なっていたとすると結果は全く違ったものになる。摂取量と増重量は相関している筈なので、対照区(0ppm区)のタンパク質と脂質の蓄積率は図3に示されている値より高くなり、アスタキサンチン添加区と差が無くなるであろう。つまり、アスタキサンチンの添加によって飼料成分の魚体蓄積率は影響を受けないことになる。

これまでに説明した色々な指標の動きからして、対照区の摂取量が給餌量より少なかったと考えるのが最も合理的ではないかと思われる。

### 2-7. 測色結果

体側黄斑部、腹部、尾鰭上葉部の測色結果をそれぞれ表8, 9, 10に示す。凍結前には腹部のL値はアスタキサンチン添加量が多い区ほど高い傾向が認められたが、体側黄斑部と尾鰭上葉部では違いが無かった。a値は何れの部位でもアスタキサンチン添加区の方が高い値を示した。特に体側黄斑部では添加量に従って高い値を示したが、腹部と尾鰭上葉部では100ppm添加区より50ppm添加区の方が高い値を示した。b値は体側黄斑部と腹部においては添加量が多い程低い値を示したが、尾鰭上葉部では

表8 体側黄斑部の測色結果

| Ast (ppm) | 0     | 50    | 100   |
|-----------|-------|-------|-------|
| L1 (凍結前)  | 59.57 | 58.46 | 59.29 |
| L2 (解凍後)  | 70.13 | 72.85 | 71.76 |
| L2-L1     | 10.56 | 14.39 | 12.47 |
| a1 (凍結前)  | -2.52 | -1.22 | -1.14 |
| a2 (解凍後)  | -3.56 | -2.50 | -1.37 |
| a2-a1     | -1.04 | -1.28 | -0.23 |
| b1 (凍結前)  | 11.99 | 11.62 | 9.35  |
| b2 (解凍後)  | 15.06 | 15.01 | 10.62 |
| b2-b1     | 3.07  | 3.39  | 1.27  |

開始時 (解凍時) : L 72.37, a -1.54, b 7.09

表9 腹部の測色結果

| Ast (ppm) | 0     | 50    | 100   |
|-----------|-------|-------|-------|
| L1 (凍結前)  | 68.85 | 70.45 | 71.61 |
| L2 (解凍後)  | 80.47 | 80.21 | 82.87 |
| L2-L1     | 11.62 | 9.76  | 11.26 |
| a1 (凍結前)  | -1.29 | 0.32  | 0.21  |
| a2 (解凍後)  | -2.05 | -1.62 | -1.57 |
| a2-a1     | -0.76 | -1.94 | -1.78 |
| b1 (凍結前)  | 5.75  | 3.54  | 2.25  |
| b2 (解凍後)  | 3.57  | 2.41  | 1.37  |
| b2-b1     | -2.18 | -1.13 | -0.98 |

開始時 (解凍時) : L 79.83, a -1.77, b 1.71

表10 尾鰭上葉部の測色結果

| Ast (ppm) | 0     | 50    | 100   |
|-----------|-------|-------|-------|
| L1 (凍結前)  | 64.25 | 63.92 | 64.04 |
| L2 (解凍後)  | 69.92 | 75.58 | 74.72 |
| L2-L1     | 5.67  | 11.66 | 10.68 |
| a1 (凍結前)  | -0.03 | 0.33  | 0.00  |
| a2 (解凍後)  | -1.03 | -0.40 | -0.28 |
| a2-a1     | -1.00 | -0.73 | -0.28 |
| b1 (凍結前)  | 15.33 | 19.26 | 15.11 |
| b2 (解凍後)  | 16.51 | 10.06 | 8.88  |
| b2-b1     | 1.18  | -9.2  | -6.23 |

開始時 (解凍時) : L 72.92, a 0.37, b 6.17

50ppm添加区が最も高い値を示した。

凍結前と解凍後の値を比較すると、何れの部位でも解凍後の方がL値が高くなって白っぽくなっていることが分かる。a値は逆に解凍後の方が値が小さくなり、赤味が弱くなっていた。b値は部位によって動きが違い、体側黄斑部では解凍後の方が値が高くなり、黄色味が強くなっていた。一方、腹部と尾鰭上葉部では値が小さくなり、黄色味が弱くなっていた。

色素胞内の色素粒の拡散、凝集は神経支配を受

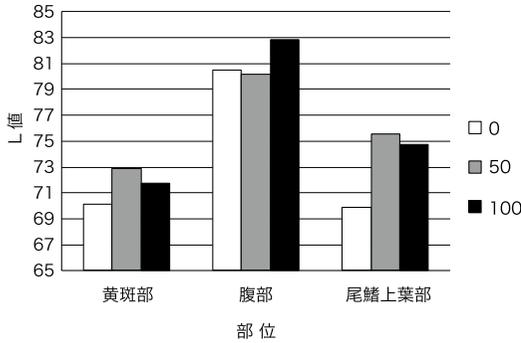


図4 アスタキサンチン添加量と部位別 L 値

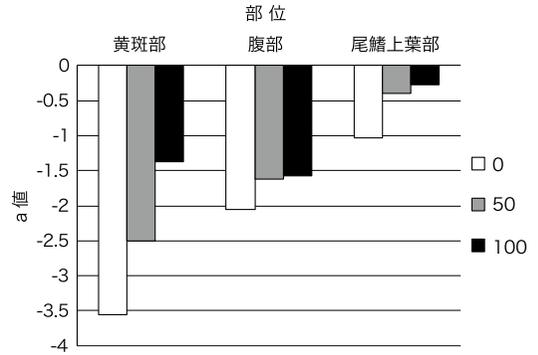


図5 アスタキサンチン添加量と部位別 a 値

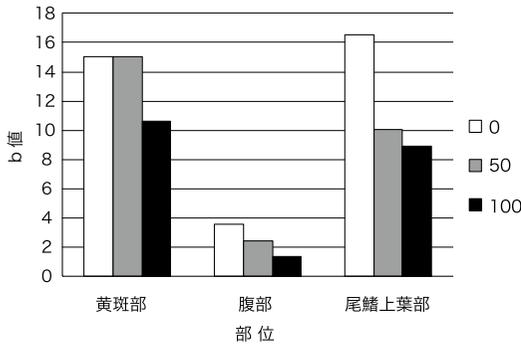


図6 アスタキサンチン添加量と部位別 b 値

け、魚の興奮状態等によって変化し、外見上の色調も変わることが知られている。よって、凍結、解凍によって色素胞が破壊され、色素粒が分散した状態の方が安定した色調を示すと思われるので、解凍後の値で各区間の比較を行った。

L 値は図4に示す様に尾鳍上葉部においてアスタキサンチン添加区の方が著しく高い値を示したが、添加量の違いによる差は認められなかった。体側黄斑部と腹部においても同様の傾向を示したが、アスタキサンチン添加区と無添加区の違いは小さかった。

a 値は図5に示す様に何れの部位においてもアスタキサンチンの添加量に従って高い値を示したが、特に体側黄斑部でハッキリしていた。アユの養殖業者で冷凍オキアミを投与して体表色、特に腹部と脂鳍の色を赤くしてブランド化して販売しているところがあったが、本試験の結果からもアスタキサンチンはアユにおいても体色を赤くする効

果を有することが分かった。但し、その効果は他の魚種で見られるより弱い様である。

b 値は図6に示す様に何れの部位においてもアスタキサンチンの添加量が増えるに従って低くなる傾向が認められた。アスタキサンチンにアユの体色を黄色くする効果は無く、逆に黄色味を弱くするようである。アスタキサンチンはアユの体内で黄色の色素に転換されないのかも知れない。

アユには付着藻類を食む食性が有る。よって飼育水槽内の付着藻類の増殖状態によって体色、特に黄色味は変化する可能性が高い。本試験の飼育水槽の上部は寒冷紗の覆いがしてあったものの、配置の問題で対照区が最も太陽光が入り易かったと思われるので、黄色味については太陽光の影響を無視出来る環境での再試験が必要かも知れない。

### 2-8. 抗病性

正常時（無刺激時）とザイモサン刺激時のWST-1還元能およびPK活性を表11に示す。正常時の還元能には区間差が無かったが、図7に示す様にザイモサン刺激時にはアスタキサンチン添加区の方が還元能が高くPK活性も高く、特に100ppm添加区は有意に高かった。こ

表11 白血球の活性酸素産生能

| 供試物<br>添加量 | 対照    | アスタキサンチン |        | ヌクレオチッド<br>0.2% |
|------------|-------|----------|--------|-----------------|
|            |       | 50ppm    | 100ppm |                 |
| 無刺激時       | 0.012 | -0.003   | 0.012  | 0.009           |
| 刺激時        | 0.062 | 0.079    | 0.351  | 0.206           |
| PK 活性      | 0.050 | 0.082    | 0.339  | 0.197           |

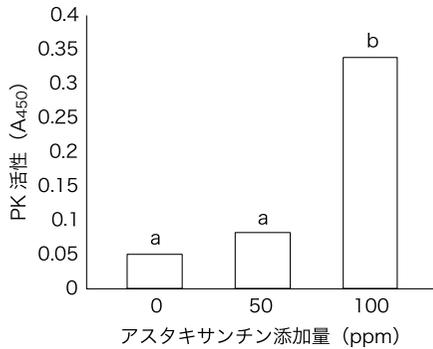


図7 アスタキサンチン添加量と白血球のPK活性

これはアスタキサンチン添加区、特に100ppm添加区の白血球の活性酸素産生能が高く、殺菌能力が高いことを示す。この結果から、アスタキサンチンはアユの抗病性を高める効果があるといえる。

### 3. 要約

- ・アスタキサンチンのアユ用飼料への添加が飼育成績、肥満度、臓器体重比、魚体成分、飼料成分の魚体蓄積率等に影響を及ぼさない可能性が高い。

- ・アスタキサンチンはアユ体表のL値とa値を高くし、b値を低くする傾向がある。特にa値は濃度依存的に高くなるが、その効果は他魚種よりも弱い様である。

- ・飼料へのアスタキサンチン100ppm添加はアユの抗病性を強くする。

## ヌクレオチッド

ヌクレオチッドが日本において水産用飼料に利用されているとの話は聞かないが、海外ではサケ・マス類の抗病性を高めるとの報告<sup>16)</sup>は出ている。著者らもヌクレオチッドがニジマス幼魚の鰭欠損症予防に対して、それ程強い効果ではないものの有効であることを確認している(未公表)。

本報告ではアユをヌクレオチッド添加飼料で飼育した時の効果について説明する。

## 1. 材料と方法

ヌクレオチッドには興人のヌクレオチッドNT(以下NTと略記)を用い、飼料への添加量はニジマスで鰭欠損症の予防効果が認められた0.2%とした。

飼料の組成と分析値は表1に示す。飼料の製造法、魚の飼育法、調査項目等はアスタキサンチン試験と同じである。但し、体表色の測定は行わなかった。

## 2. 結果

### 2-1. 飼育成績(表2)

生残率は対照区よりNT添加区の方がやや高かった。増重量、飼料効率、タンパク質効率も添加区の方が高かったが、前述の様に対照区の摂餌量が少なかった可能性が高く、NTの添加によって飼育成績が改善されると結論するのは難しい。アスタキサンチン試験区の値と比較して、NT添加によっても飼育成績の改善は無いというのが妥当なところであろう。

### 2-2. 魚体測定と解剖(表3)

NT添加区の方が対照区より肥満度、内臓体重比、肝臓体重比、DL体重比がやや大きかった。既に述べた様に肥満度とDL体重比は供試魚の体重と正の相関を有していた。よって、魚が大きい程魚体に蓄積された脂質の量が多いので、肝臓体重比とDL体重比が大きくなる。内臓体重比は肝臓体重比とDL体重比、特にDL体重比の値を大きく反映するので、内臓体重比も大きくなる。一般にDL体重比や内臓体重比が大きい魚は肥満度も高い。本試験でもこの様な図式が成り立っているのであろう。

NT添加区で肥満度や各臓器の体重比が大きかった原因はNTの添加によるのではなく、供試した魚の大きさの違いによるものと思われる。

### 2-4. 背肉成分(表4)

対照区とNT添加区で背肉の成分に大きな違いは認められなかった。NTは背肉成分に影響を及ぼさないことが分かる。

### 2-5. 血漿成分(表5)

対照区とNT添加区で飼料の成分含量に殆ど

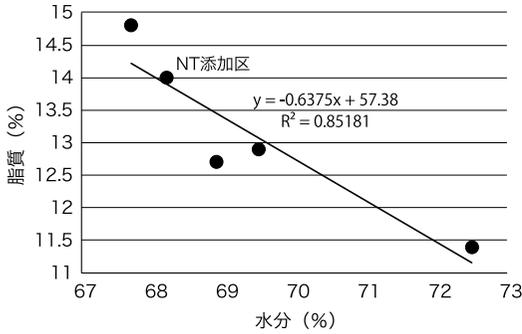


図8 全魚体の水分と脂質の関係

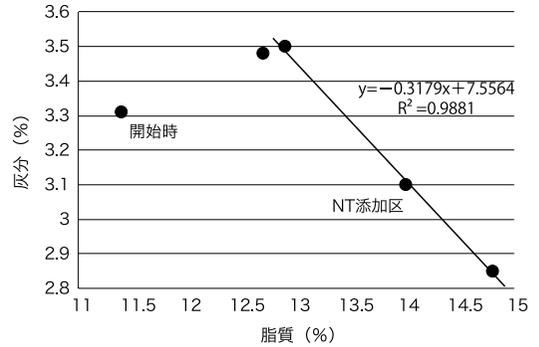


図9 全魚体の脂質と灰分の関係

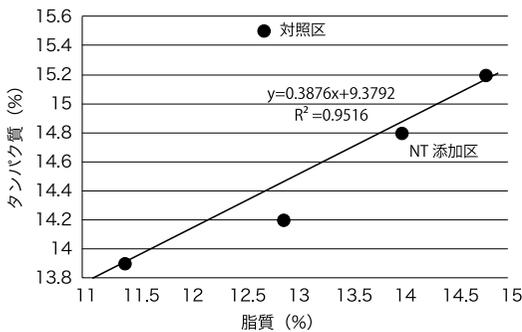


図10 全魚体の脂質とタンパク質の関係

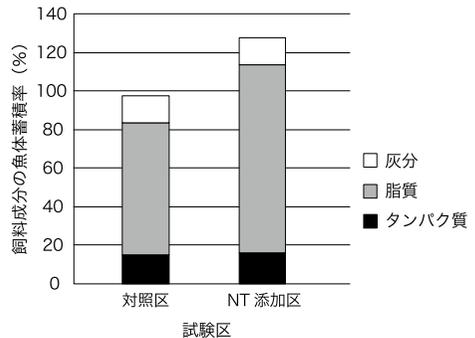


図11 ヌクレオチッド添加と飼料成分の魚体蓄積率

違いは無いのに、血漿成分はNT添加区の方がGlu, T-Pro, TG含量がやや高い値を示しており、対照区の摂餌量が少なかった可能性が高いことを示している。飼料の栄養価は両区で変わらないのに、NT添加区は対照区より摂餌量が多かったために増重量も多かったのであろう。よって、魚の成長状態の指標となるALP活性もNT添加区の方がやや高い値を示していた。

## 2-6. 全魚体の成分 (表6)

飼育試験終了時の値は湿物でも乾物でもNT添加区は対照区より脂質が多く、タンパク質と灰分が少なかった。水分と脂質(図8)、脂質と灰分(図9)の間には負の相関、脂質とタンパク質(図10)の間には正の相関が認められ、NT添加区の値もそれぞれの近似直線上に綺麗に乗っていた。これは全魚体の成分組成は飼料の摂取量の違いによって成長量に変化することによって動くのであって、NTの添加は殆ど影響を及ぼさないことを示している。

## 2-6. 飼料成分の魚体蓄積率 (表7)

図11に示す様に対照区より増重量が大きいNT添加区の方がタンパク質と脂質、特に脂質の蓄積率が高かった。飼料の栄養価が等しければ増重量は摂餌量に比例する。対照区の摂餌量はNT添加区より少なかった可能性が高いので、両区間の飼料成分の魚体蓄積率の違いはNTの添加によるものではなく、摂餌量の違いが原因である可能性が高い。対照区では摂餌量が少なかったため、タンパク質、脂質および炭水化物がエネルギー源として利用される割合が高かったため、魚体に蓄積された率が低かったのであろう。

## 2-7. 抗病性

図12に示す様にNT添加区の抗病性が高くなっており、これは過去の報告<sup>16)</sup>や著者らのニジマスでの試験結果と一致している。NTはアユの抗病性を高める作用が有ると判断しても良いであろう。

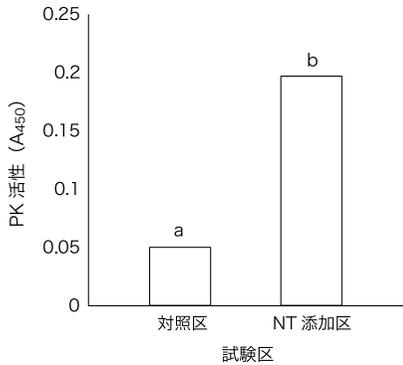


図 12 ヌクレオチッド添加と白血球の PK 活性

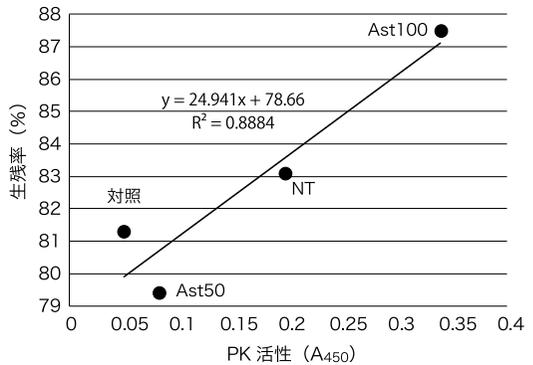


図 13 白血球の PK 活性と魚の生残率

### 3. 要約

- ・ヌクレオチッドのアユ用飼料への添加は飼育成績, 肥満度, 臓器体重比, 魚体成分組成, 飼料成分の魚体蓄積率等に影響を及ぼさない可能性が高い。
- ・ヌクレオチッドの 0.2% 添加はアユの抗病性を高める。

### 考察

摂餌量を厳密に同じにしての再試験を行って確認する必要があるが, アスタキサンチン, ヌクレオチッド共にアユの飼育成績 (成長, 飼料効率, タンパク質効率), 肥満度, 臓器体重比, 体成分組成, 飼料成分の魚体蓄積率等を改善する効果は無い可能性が高い。アスタキサンチンは体表色を明化させ, 赤味を強くする効果を有する。また, アスタキサンチン, ヌクレオチ

ド共にアユの抗病性を高める効果が有るので, 両者共アユにとって機能性物質の一種であるといっても差し支えないであろう。

図 13 に白血球のポテンシャルキリング (PK) 活性と生残率の関係を示す。PK 活性が高い程生残率が高く, 病原菌等の異物が侵入した時の白血球の活性酸素産生能が魚の生残率をある程度規定している様である。異物が侵入した時は, 最初に白血球が異物を取り込んで自身が産生した活性酸素を用いて処理する。アスタキサンチンとヌクレオチッドが活性酸素の産生能を高めているので, 抗病性が高くなっているであろう。但し, 産生される活性酸素の量が多すぎると自身を傷害する可能性も有るので, アスタキサンチンとヌクレオチッドの添加量には注意が必要である。アスタキサンチンは 100ppm, ヌクレオチッドは 0.2% 程度であれば問題ない様である。

## 文 献

1. 酒本秀一：機能性物質の養魚用飼料への添加効果-1. プロメライン, グルタチオン. *New Food Industry*, **59** (12): 77-87, 2017.
2. 酒本秀一, 山本眞司, 村田 修:機能性物質の養魚用飼料への添加効果-2. タウリン. *New Food Industry*, **60** (3): 51-61, 2018.
3. 幹 渉, 藤田孝夫:魚類のカロテノイド代謝. *化学と生物*, **23**: 640-648, 1985.
4. 今田 克:水産養殖へのカロテノイドの応用 7. マダイ・甲殻類. 水産動物のカロテノイド(水産学シリーズ 25), 日本水産学会編, 恒星社厚生閣, 東京, 108-122, 1978.
5. 酒本秀一:養殖魚の価格と品質 III -2. 外観 - マダイ. 養殖魚の価格と品質 (水産学シリーズ 78), 日本水産学会編, 恒星社厚生閣, 東京, 66-73, 1990.
6. 北村佐三郎:水産養殖へのカロテノイドの応用 9. サケ・マス類. 水産動物のカロテノイド (水産学シリーズ 25), 日本水産学会編, 恒星社厚生閣, 東京, 132-141, 1978.
7. 岩橋正雄:水産養殖へのカロテノイドの応用 8. キンギョ・ニシキゴイ. 水産動物のカロテノイド (水産学シリーズ 25), 日本水産学会編, 恒星社厚生閣, 東京, 123-131, 1978.
8. 森 徹:養殖魚の体色改善. 海洋生物のカロテノイド - 代謝と生物活性 - (水産学シリーズ 94), 日本水産学会編, 恒星社厚生閣, 東京, 59-68, 1993.
9. 矢沢一良:アスタキサンチン研究の現状と未来. 抗酸化食品研究 (食品工業 NEO, 食品工業編集部編), 光琳, 東京, 71-88, 2012.
10. 高橋和男:次世代をゆく抗酸化物質アスタキサンチンの機能研究. 抗酸化食品研究 (食品工業 NEO, 食品工業編集部編), 光琳, 東京, 89-108, 2012.
11. 酒本秀一, 糟谷健二, 海野徹也, 古澤修一:パン酵母  $\beta$ - グルカン, ブドウ皮粉砕物, ビタミン C およびビタミン E の投与で魚の抗病性が向上する理由. *New Food Industry*, **53** (8): 1-11, 2011.
12. 酒本秀一, 山本眞司, 糟谷健二, 村田 修:パン酵母  $\beta$ - グルカンとブドウ種子抽出物のヒラメ腹面黒化症抑制効果. *New Food Industry*, **53** (10): 15-26, 2011.
13. 水産資源保護協会:改良ポンドサイドキットマニュアル (平成 9 年度版). 平成 10 年度バイオディフェンス機能活用健康魚づくり技術開発事業における研究成果実績報告書 4-12, 1998.
14. A.S.Tan and M.V.Berridge: Superoxide produced by activated neutrophils efficiently reduces the tetrazolium salt, WST-1 to produce a soluble formazan: a simple colorimetric assay for measuring respiratory burst activation and screening anti-inflammatory agents. *J. Immunological Methods*, **238**: 59-68, 2000.
15. 酒本秀一:ニジマス用飼料, アユ用飼料の適切な  $\alpha$  澱粉添加量. *New Food Industry*, 投稿中
16. C.Burrells, P.D.Williams and P.F.Forno:Dietary nucleotides:a novel supplement in fish feeds 1.Effects on resistance to disease in salmonids. *Aquaculture*, **199**,159-169, 2001.

# 加工食品における泡構造, 多孔構造について

小谷 明司 (KOTANI Akiji)<sup>1</sup>

<sup>1</sup> こだま食品 顧問

Key Words : 加工食品 加工技術 固形食品 多孔構造 食感

## はじめに

本稿で泡構造は実質（ボディ）で構成された膜と、それらに区画された比較的均質な微細な空洞が連続した状態と定義する。食品のパフ『膨化』について記述した文献は目にしたと記憶するが、泡構造に注目したものはなかったと思う。多孔構造は泡構造を含むが、空洞は均質でなくてもよい。

泡構造は自然界の様々な場面に出現し生命体も利用する。銀河系星雲の集合体である星雲団が泡状に散在することは宇宙開闢プロセスの痕跡と考えられている。肺は肺胞の泡構造で表面積を稼ぎ血液中の二酸化炭素と空気の酸素との交換を効率化している。化学工業で泡構造の合成樹脂製品は断熱材、クッション材として量産される。食品加工においても泡構造は伝統的・経験的に、あるいは特性を理解したうえで利用される。

## 1. 食品加工での利用

泡状の液体食品もあるが、本稿では固形食品について考察する。固形食品における泡構造は気体を利用して形成する。多孔構造は凍結を利用する。

### 1-1. 気体の混合

一般に空気を利用する。比較的粘稠な生地を

強く攪拌して空気を分散してから加熱する方法は古くから知られていた。空気が均一、微細に生地に保持され、加熱により気泡は膨張するとともに生地が固化して固定される。菓子ではクッキー類が、水産加工食品ではハンペン、シンジョ等の例がある。

アイスクリームのオーバーランは攪拌によって微細な気泡を混入し、冷凍後の口当たりをソフト化するとともに、熱伝導度を減殺して口に含んだときの舌の急激な低温化による味覚の鈍麻を緩和する。

### 1-2. 気体の発生

気体発生による泡構造生成には三つの条件が必要となる。

- ・気体がほぼ均一に食品内部に発生する
- ・発生した気体を捕捉できる程度に生地が粘性と稠密性を有する
- ・気体の発生、または膨張速度が生地を通しての散逸速度を上回っている

気体としては水蒸気と二酸化炭素が一般的である。

#### ①水蒸気

加熱して水を急激に蒸発させる。生地内部が急激・均一に加熱される必要がある。

- ・生地が適度の厚みを有する

- ・泡構造を生成する程度に,
- ・生地にも可塑性がある(固体状であっても加熱により可塑化する場合を含む)
- ・水蒸気の発生量が生地を通しての揮散量を上回っている
- ・一気に, 十分な熱量が与えられる等の条件が必要となる。

## ②焙焼

焙焼による急激な加熱で蒸発させて膨化させる。カキ餅, 煎餅, アラレ等が例示される。生地が柔らかすぎると泡が局所的に大きくなって均一にならない。予備乾燥し生地の堅さと水蒸気発生量とのバランスを取る必要がある。泡構造の生成と乾燥とを同時に実施する場合が多い。

## ③フライ

大気圧下のフライで泡構造の形成と同時に乾燥する。フライ即席麺, ポテトチップ, 練り生地のスナック菓子製品等がある。

## ④減圧フライ

常圧フライは油温が高い(180~200°C)ので, 焦げ易い, 変色し易い, あるいは乾燥に時間のかかる肉厚の原料に減圧フライが適用される。ゲージ圧5~20mmHg, 油温80~100°C程度の条件が一般的である。野菜スナック, フルーツチップ(写真1)が例示される。

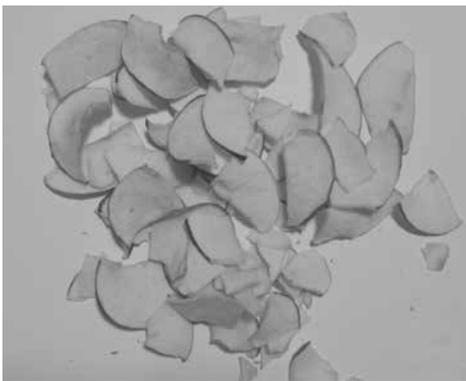


写真1 青森県弘前市の名産品 リンゴチップ

- なお, 筆者の経験として,
- ・野菜類はスライス・ボイルして減圧加圧フライするだけでは泡構造にならず, 一度凍結してから減圧フライする
  - ・人参チップで厚み1mm以下にスライスした場合には泡状化せず, 固く締まった不味なチップになる(水蒸気の揮散が速すぎ生地に圧力を及ぼせない)

## ⑤マイクロ波照射

マイクロ波は電磁波の一種であるが, 食品中にある程度の深部に侵入して水分子を振動させ内部から急激に加熱する。即席麺の具材として古くから利用されたものに乾燥タマゴがある。最近になって乾燥油揚げが普及した。調味した大豆タンパクシートの凍結乾燥品がマイクロ波照射乾燥品に置き換えられた。乾燥油揚げの肉厚から考えて, マイクロ波照射で泡状化は達成できても乾燥は不完全で, 熱風乾燥等による追乾燥が加えられているものと推察する。

## ⑥熱伝導

熱した鉄板でデンプン生地を押し挟んで泡状化・乾燥する。肉厚の薄い煎餅に利用される。

## ⑦加圧加熱

加圧下に生地を100°Cを越えて加熱し, 大気圧下に急速に放出すると内部の水分が一挙に蒸

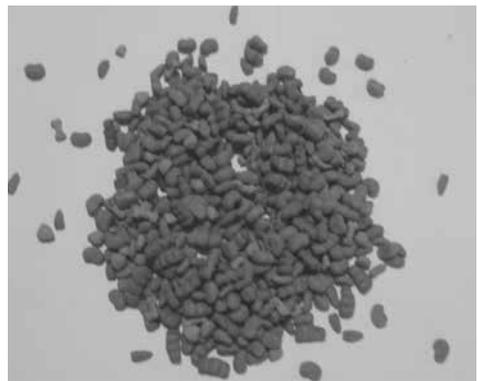


写真2 乾燥粒状ドッグフード(ヒト用のスナック類にも同様のものがある)

発して泡状化し乾燥する。ポン菓子、エクストルーダー製品（写真2）、パフガンによる乾燥人参チップ等がある。

#### ⑧二酸化炭素

生地を酵母醗酵し二酸化炭素を発生させて泡状化することは古くから知られていた。パン、中華料理の饅頭<sup>マントウ</sup>等がある。

重曹、種々の膨張剤を適量添加し加熱して二酸化炭素を発生させる方法もよく用いられる。醗酵より短時間で加工でき、泡状化の程度の制御が容易である。多種類の練り生地のフライスナック類がある。この例ではフライによる泡状化も寄与する。伝統食品には焼き麩がある。これらも泡状化と同時に乾燥する。

#### ⑨凍結の利用

食品を凍結すると氷晶生成により多孔化する。凍結では不揃いな多孔構造となる。

氷晶は純水により形成され水溶性成分は氷晶外に濃縮される。生鮮原料では水溶性成分の多くは細胞内に保持され、植物では特殊な水溶性物質は細胞内の液胞内に保持されている。細胞・液胞とも膜で隔絶しており、生鮮品の水洗いでは細胞内成分は容易には溶出しない。氷晶生成で膜構造が破壊されると解凍時にドリップとし

て流出する。凍結・解凍により食品の多孔化とともに不味な水溶性成分（苦味、えぐ味、変色成分、有毒成分等）を除去できる。凍結・解凍・脱汁してから乾燥する場合もある。

ジャガイモは南米原産だが、我々の食べるジャガイモはヨーロッパに伝播後、加熱すればそのまま食べられるような品種改良を経ている。原産種は不味な成分を含み、凍結・解凍・脱汁・乾燥したチーニョとして食用にされる。

日本の伝統食品では棒寒天、凍り豆腐がある。

#### 1-3. 凍結乾燥

凍結を利用した乾燥法として凍結乾燥法（FD）がある。FDの歴史は世界大戦と密接な関係があり、ペニシリン、輸血用血漿の乾燥に適する乾燥法として開発された。どちらも前線での負傷兵の治療に不可欠である。凍結乾燥は凍結状態の低温で乾燥するので風味劣化や成分の変性を抑制できる。ペニシリンは実に不安定な化学構造であるし、血漿タンパクは温度が上がると変性する。

氷晶は昇華により水蒸気として除去され、それらの形状がそのまま微細な空洞として残る。戦後、FDは食品に転用されインスタントコーヒーが商品化された。日本では先に噴霧乾燥製品が販売され、FDインスタントコーヒーは後

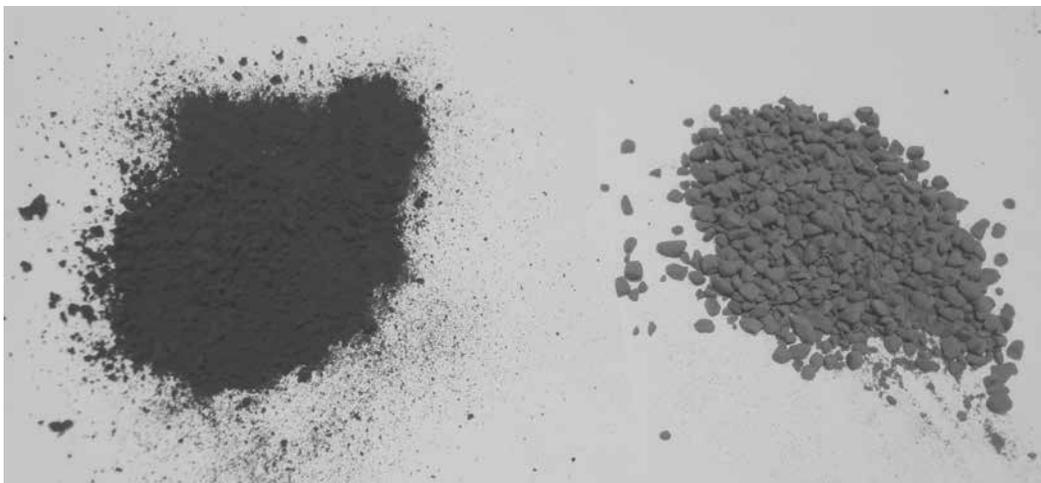


写真3 インスタントコーヒー（左：普通グレードの噴霧乾燥粉末、右：高級グレードの凍結乾燥顆粒）

に高級品として発売された(写真3)。

日本では即席麺とリンクして発展した。乾燥ネギをはじめとして、カップ即席麺の登場とともに焼き豚スライス、ムキエビ、メンマ、モヤシ等々、種々のFD具材が開発、提供された。最近では具材を包含する固形の乾燥インスタント味噌汁・スープ類が販売されている(写真4)。

## 2. 泡状化, 多孔化と食品加工

泡状化, 多孔化はどのような意味を持つのであろうか。

### 2-1. 乾燥の迅速化

理論上、乾燥速度は拡散方程式に従い被乾燥物の厚みの二乗に逆比例する。泡状化・多孔化により被乾燥物は無数の薄壁に分断される。薄壁の個々の乾燥速度は飛躍的に上がるとともに、泡状・多孔状の空洞のつながりにより効率的な水蒸気排出路が形成され、全体の乾燥速度も劇的に増大する。泡状化と同時に乾燥される例も多い。肉厚の食品で泡状化段階では完全に乾燥できず、追乾燥が必要になったとしても泡状化前に比べてはるかに迅速になる。

### 2-2. 膨化

泡状化で泡空洞の体積分の膨化が起きる。膨化によるメリットは次の通りである。

#### ①嵩の増加

食品の見掛けの嵩が増加する。「空気を売る」状態になり少量の原料で多量の包装製品を供給でき付加価値も増大する。

#### ②食感の改善

泡状化によりボディーの脆性が増大し噛み砕きやすくなる。特に菓子類、スナック類で重要な品質特性である。咀嚼力の弱い乳幼児、高齢者も食べやすくなる。ボディーに弾力性がある場合には変形応力が減少しフワッとした食感となる。

サクサクした、パリパリした、あるいはフワフワした等の多様な食感を付与することにより消費者の嗜好に合わせた加工食品の開発が可能になる。

#### ③吸水性の改善

泡構造の無数の空洞は乾燥食品を水、ないしは湯戻しする場合の導水路となり吸水性を格段に向上させる。このことは熱風乾燥食品と凍結乾燥食品との比較において顕著である。固形の乾燥即席味噌汁・スープ類で湯戻り復元の迅速性は特に重要な品質特性である。

焙煎しミルで挽いたコーヒー豆に熱湯を注ぐと泡が発生する。豆の焙煎時の泡状化は意外に一般に知られていないようである。コーヒーに含まれるポリフェノール成分が高熱を受けて脱炭酸反応を起こし、二酸化炭素を放出して泡状



写真4 固形インスタントスープ(左から、味噌汁、タマゴスープ、タイ製のエスニックスープとカレースープ)

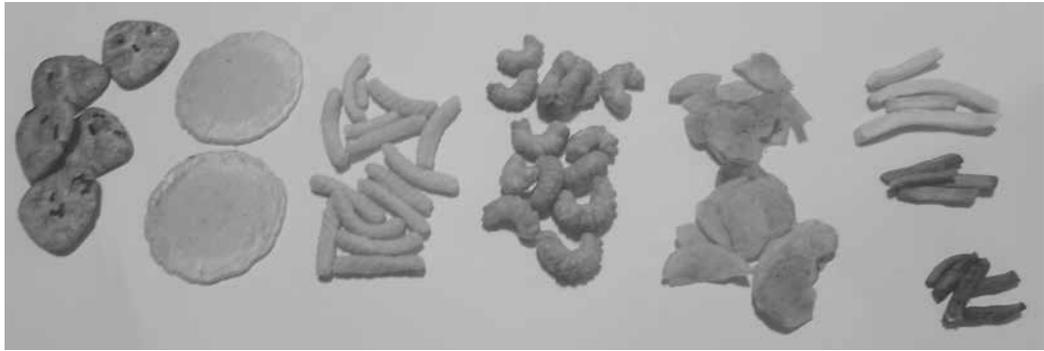


写真5 菓子類（左から、カキ餅，エビ煎餅，練り生地スナック，同左，ポテトチップ，野菜スナック（上から，ポテト，人参，サヤインゲン）

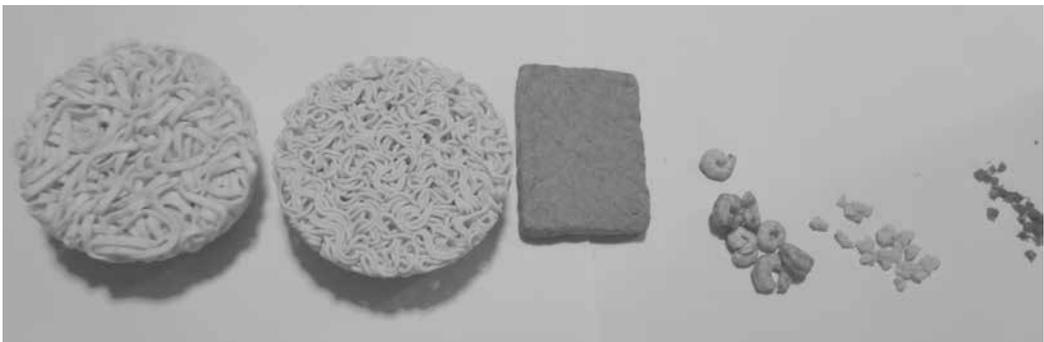


写真6 乾燥インスタント食材（左から、フライ麺，同左，乾燥油揚げ，乾燥エビ，乾燥タマゴ，乾燥人参チップ）

化する。泡構造により香りと呈味成分の速やかな抽出が可能となる。

#### ④泡状化，多孔化のデメリット

泡状化，多孔化はデメリットももたらす。吸湿・酸化の促進は泡状化・多孔化による表面積の顕著な増加による。

食品ボディーの空疎化により壊れ易さが増大する。スナック菓子類では包装を膨らませて中身の保護に配慮している。

#### おわりに

泡構造はスナック菓子類（写真5），即席食品（写真6）において広範に見られる。これらは食品産業において重要な地位を占める。泡構造・多孔構造は加工食品の重要な品質特性のひとつと思われる。

筆者は乾燥食品メーカー在籍時に減圧フライ食品，凍結乾燥食品の開発に従事する中で食品の泡構造・多孔構造の重要性をいつとはなく意識するようになった。本稿は筆者の経験・知見をベースに記述したので，参考文献は特に記載しなかったことをお断りしておく。

# グルテンフリーベーカリー食品, その仕込みと加工 (3)

瀬口 正晴 (SEGUCHI Masaharu)<sup>1,2</sup> 木村 万里子 (KIMURA Mariko)<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 神戸女子大学, <sup>2</sup> 日本穀物科学研究会会長

Key Words: グルテンフリー ベーカリー パン 小麦タンパク質

## 要約

本論文「グルテンフリーベーカリー食品, その仕込みと加工 (3)」は, 米国の穀物科学者, Jeff Casper と Bill Atwell によって書かれた本 (“Gluten-Free Baked Products” 2014 by AACC International, Inc. 3340 Pilot Knob Road St. Paul, Minnesota 55121, U.S.A.) の一部 (“Gluten-Free Bakery Product Formulation and Processing”) を翻訳し紹介するものである。グルテンフリーパン, ケーキ等について述べる。

## 仕込み

### 他のグルテンフリーベーキング製品の仕込み

これまでのクッキー, ケーキ, パンだけが, グルテンフリーマーケット上のグルテンフリー食品ではない。これまで述べたクッキー, ケーキの仕込みは, 多くの関連食品のいろいろなものの製造に応用できる。フレーバー, 粉末は, 多くのクッキーやケーキ製造に用いることができる。サトウ, 脂肪, 他成分の添加レベルを変えると, いろいろ異なったテクスチャのグルテンフリーベーカリー食品を作る事ができる。これらの操作は, 小麦粉ベースの類似各種ベーカリー食品の仕込みによく似ている。

ある簡単な例として, 表 4.5 のイエローケーキの仕込みはマフィンの仕込みをベースにしたものである。伝統的なマフィンは, ふつうケーキより砂糖, 脂肪含量が低い。ここでこれらの成分の低レベル化で, グルテンフリーイエローケーキの仕込みはマフィンのフレーバー, テクスチャの点でよく似たものになる。全てのものがでそろってくると, 最も良いものをつくるた

めの新しい仕込みをつくる実験が必要となる。

小麦加工食品の仕込み同様, 基本的なグルテンフリー食品の仕込みも他の多くの加工食品に応用される。

表 4.5 イエローケーキ仕込み<sup>a</sup>

| 成分                 | %      |
|--------------------|--------|
| タピオカデンプン           | 23.25  |
| キサンタンガム            | 0.26   |
| 粉糖                 | 29.71  |
| 脱脂乳                | 1.81   |
| 塩                  | 0.65   |
| 二重作用ベーキングパウダー      | 0.97   |
| ケーキ, アイシング用ショートニング | 15.50  |
| 冷凍全卵               | 20.67  |
| 水                  | 7.18   |
| トータル               | 100.00 |

<sup>a</sup>From (5)

表 4.6 のパンの仕込みは他の類似食品を作る

表 4.6 グルテンフリーパンの仕込み<sup>a</sup>

| 成分                       | 大豆仕込み         | ミルク仕込み        | 卵仕込み          |
|--------------------------|---------------|---------------|---------------|
| 精白米粉                     | 35            | 35            | 35            |
| ポテトデンプン                  | 30            | 30            | 30            |
| コーンフラワー                  | 22.5          | 22.5          | 22.5          |
| 大豆粉                      | 12.5          | -             | -             |
| 脱脂ミルク粉                   | -             | 12.5          | -             |
| 卵粉                       | -             | -             | 12.5          |
| 塩                        | 1.7           | 1.7           | 1.7           |
| イースト                     | 2             | 2             | 2             |
| 砂糖                       | 1             | 1             | 1             |
| キサントガム                   | 1             | 1             | 1             |
| 水                        | 105           | 105           | 105           |
| トランスグルタミナーゼ <sup>b</sup> | 0, 0.1, 1, 10 | 0, 0.1, 1, 10 | 0, 0.1, 1, 10 |
| トータル                     | 210.7         | 210.7         | 210.7         |

<sup>a</sup> (9), <sup>b</sup> U/g of protein.

のに応用された。例えば、もしその一部だけ、形だけ、さらに焼き方を工夫するなら、それはピザクラストが作れる。殆どのグルテンフリーパンドウは液状の性質のため、その形状変化にも挑戦できる。例えば、健康パンではその小麦ベースの健康パンよりずっと伸びる。初期のボール型パンを作ろうとした試みでは、より平らなパンの結果となるであろう。パン仕込みに水量を減らし、水和時間をもっとのばせば、スプレットを低下させる事ができるが、しかし全ての機能成分の完全な水和が、パン様のクラム構造、テクスチャを維持する事に重要なのである。多分、グルテンフリーパン製造はその仕込みがもっとも難しいものであり、ここでは最終ベーキング食品（例えばベーグル）の食感（かみ具合）を与えるのにグルテンが中心的役割をしているからである。グルテンのガス保持機能を他のものに置き換えた場合、用いられるハイドロコロイドではパンにグルテン同一の食感（かみ具合）を与えない。

トルティーヤは人気のあるグルテンフリーベーキング食品であり、特別に信頼のおける食品である。一般にトルティーヤはイースト発酵による膨化食品ではなく、低量の化学膨剤による膨化食品である。グルテンフリーパンの仕込

みは、トルティーヤ用に適したと同じ緩いドウ、あるいは固めのバターに合わせる。スナックバック（収縮）とその結果生じた奇形のものができる事は、本来のトルティーヤ食品の重要な問題である。グルテンフリートルティーヤドウの流れるような性質は、実際には一様なものを作る価値のある性質である。しかし、粘りはこのタイプのドウではより重要なことであり、粘ることを避けようとする注意は考える必要があるだろう。

## 加工

### グルテンフリークッキー及びバターベース食品の加工

これまでのクッキーのように、グルテンフリークッキーもいろいろなドウ成分で仕込みが行なわれ、クッキースプレッドが作られる。クッキーの仕込みのタイプ、ドウの粘りによって、これまでのクッキー加工用具、ロータリーモールド用具、ワイヤカット用具、あるいはマシンカット用具を使ったクッキー<sup>11)</sup>が、多少あるいは全く変更せずにグルテンフリークッキー仕込みで作ることができる。ベーキング時間、温度は普通小麦のものと一致した対応でベーキングできる。

グルテンフリーケーキ、マフィン、パンケーキ、その類似食品を作るバターの仕込みは、これまでの小麦粉ベースのものと一致したやり方で大丈夫である。ここでも同様にこれまでの加工用具はこれらのグルテンフリー食品を製造するのに簡単に応用される。クッキーについても、攪拌時間、ベーキング時間、ベーキング温度のパラメーターも普通これまでの加工方法と同じである。

### グルテンフリーパンの加工

仕込みのセクションで述べたように、一般に

グルテンフリーパンは非常に緩いドウ、あるいは非常に濃厚バターと類似のミックスを作る。さらに小麦ベースのパンを作る時のスタンダードプロセスであるグルテンマトリックスに進む必要はない。ここではこれまでのパン加工のような、いくつかのユニットオペレーションを応用しない。

### ミキシング

グルテンフリーパン仕込みでは成分の水和だけが必要なので、簡単に攪拌用の羽のついたミキシング道具だけで十分で、これでバター、あるいはドウをミキシングする。これまでの小麦パン製造プロセスに比べて、攪拌時間は一般に短く、オーバーミキシングしても悪くはなりにくい。第1のミキシングの目的は全ての成分に加水させ、それがパン製造のプロセスの間、確実に機能性をますようにするためである。2段階攪拌では、はじめのミキシングで機能する成分を水和させたあと、続いて粒子状のもの、あるいはパンクラム形成に機能性を示さない他の成分のミキシングが目的である。



図 4.5 Vemag ROBOT 500.(Courtesy of Reiser, Canton,MA)

### 起泡性

バターあるいはドウの移動と分割には、その間、空気泡を入れないように、あるいは大きな気室を作らないように最終のパン構造を作らねばならない。これがグルテンフリーパンの最大の弱点である。結論的には、気泡性がグルテンフリーベーキング食品の製造で、最も難しいプロセスである。泡は低圧エクストルージョン装置で作る。一般に、この装置ではミックスをいくつかのバター、ドウ部分に分けながら、ホッパーからパイプを通して、各パン容器あるいはシート中に送り込む。図 4.5 はその装置を示し、ここでドウの分割、保持、起泡を行ない、さらに適当なアタッチメントを用いて、グルテンフリーベーカリー食品加工に重要な他のいろいろなユニットオペレーションを行なう。

### 発酵

最も良い発酵は、最もよいパンクラムの品質を得るために非常に重要である。低発酵は厚いクラムを作る。高発酵は特に悪く大きな気室をクラストによく作る。発酵は十分ゆっくりとさせねばならず、攪拌の間できた泡は元々あった気室とともに膨れ、隣の気室とは合一しない。最も良い発酵条件は一般に試行錯誤の結果きめる。

### ベーキング

ベーキング温度は一般の製パンプロセスと同様だが、製パン時間は明らかに長い。大部分のグルテンフリーパンの仕込みが高デンプン含量のため、クラスト形成がこの製パン過程では簡単である。これまでの小麦パンでは生じる褐変の程度まで普通ベーキングするが、このベーキング時間の判断は効果的ではない。完全にベーキングするためにクラム構造のセットが確実にできたかどうか確かめるため、パン中心部までの全ての部分を焼くことが非常に重要だ。ベーキング不十分では重大なシュリンケージ(収縮)が起こり、側面がつぶれる。厚くて香り高い茶色のクラストが、普通最も品質良好のグルテンフリーパンである。

## 冷却とスライス

非常に重要な事は、スライスする前にグルテンフリーパンを完全に冷却する事だ。

一般に内部温度が 85°F (約 29°C) 以下にな

るまで待てば十分だ。あまり熱いとパンをスライスのあと、カットした刃をよごし、スライスしたパンをひきさき、変形させる。

## 参考文献

1. Hosene, R. C.: Leavened products. Chapter 13 in: Principles of Cereal Science and Technology, 3rd ed. AACC International, St. Paul, MN., 2010.
2. Engleson, J., and Atwell, W.: Gluten-free product development. *Cereal Foods World* **53**: 180-184, 2008.
3. AACC International. Approved Methods of Analysis, 11th ed. Method 10-05.05, Baking quality of cookie flour, final approval October 15, 1997, reapproval November 3, 1999; Method 10-90.01, Baking quality of cake flour, final approval October 8, 1976, reapproval November 3, 1999; Method 10-91.01, Use of layer cake measuring template, final approval October 15, 1997, reapproval November 3, 1999; Method 22-08.01, Measurement of alpha-amylase activity with the Rapid Visco Analyser, first approval November 8, 1995, reapproval November 3, 1999; Method 22-10.01, Measurement of alpha-amylase activity with the Amylograph, final approval May 5, 1960, reapproval November 3, 1999. AACC International, St. Paul, MN. [http://dx.doi.org/10.1094/AACCIntMethod-10-05.05\(-10-90.01; -10-91.01; -22-08.01; -2210.01\)](http://dx.doi.org/10.1094/AACCIntMethod-10-05.05(-10-90.01; -10-91.01; -22-08.01; -2210.01))
4. Shelke, K., Faubion, J., and Hosene, R. C.: The dynamics of cake baking studied by a combination of viscometry and electrical resistance oven heating. *Cereal Chem.* **67**: 575-580, 1990.
5. Atwell, W. A., Engleson, J. A., Muroski, A. R., Finnie, S. M., and Smith, S. A.: Gluten-free baked products and methods of preparation of same. U. S. patent application 20,090,092,716. 2009.
6. Cargill Inc., internal communication, used with permission
7. Engleson, J. A., Lendon, C. A., and Atwell, W. A.: System for gluten replacement in food products. U. S. patent application 20,080,038,434. 2008.
8. Engleson, J. A., Lendon, C. A., Hope, J., and Casper, J. L.: System for gluten replacement in food products. U. S. patent application 20,090,098,270. 2009.
9. Moore, M. M., Heinbockel, M., Dockery, P., Ulmer, H. M., and Arendt, E. K.: Network formation in gluten-free bread with application of transglutaminase. *Cereal Chem.* **83**: 18-36, 2006.
10. Kusunose, C., Fujii, T., and Matsumoto, H.: Role of starch granules in controlling expansion of dough during baking. *Cereal Chem.* **76**: 920-924, 1999.
11. Atwell, W. A.: Products from soft wheat flour: problems, causes, and resolutions. Pages 97-113 in: Wheat Flour. American Association of Cereal Chemists, St. Paul, MN. 2001.

<http://www.newfoodindustry.com/>

## ニューフードインダストリー 第60巻 第4号

印刷 平成 30 年 3 月 25 日  
発行 平成 30 年 4 月 1 日  
発行人 平井 朋美  
編集人 今西 和政  
発行所 株式会社食品資材研究会  
〒101-0038 東京都千代田区神田美倉町10(喜助新神田ビル3F)  
TEL:03-3254-9191(代表)  
FAX:03-3256-9559  
振込先:三菱東京UFJ銀行 京橋支店(普通)0070318  
三井住友銀行 日本橋支店(当座)6551432

印刷所 株式会社メイク  
定価 [本体2,000円] +税 (送料100円)

e-mail:newfood@newfoodindustry.com