

New Food Industry

New food indust. 61 (5): 2019.

5

- 血管内皮細胞の機能不全と大豆イソフラボンの動脈硬化予防
- 食後血糖値の上昇抑制効果が期待される玄米加工素材の開発
- 未病ケア食品としての代謝中間体：スクアレンを例として
- 部分解繊セルロースの食品素材としての可能性
- クマザサ抽出液（ササヘルス[®]）の歯髄細胞へ及ぼす影響について

その透きとおった肌のヒミツは、なに？

保湿

美白

バリア機能
改善

外部試験機関にて臨床データを取得
ヒト経口摂取による試験にて、「保湿効果」、「バリア機能改善効果」
さらには「美白効果」も確認されました。

初めまして。
食べて身体の中からキレイになる、
パイナップルから生まれたセラミド。

美容素材 **パイナップルセラミド**

パインセラ

自然の恵みを選ぶ

食品営業部

丸善製薬株式会社

【東京】東京食品課 〒150-0021 東京都渋谷区恵比寿西2-6-7 TEL(03)3496-1521 FAX(03)3496-1641
【大阪】大阪食品課 〒541-0045 大阪府大阪市中央区道頓町2-6-6(塩野日生ビル6F) TEL(06)6203-6918 FAX(06)6233-3606

<http://www.maruzenpcy.co.jp>

リグナンリッチ 黒胡麻マイクロパウダー

(60メッシュ 90%バス セサミン0.8%)

「通常のすりごまより香りが広がる」
セサミンリッチな黒胡麻です。

～プロテイン飲料、菓子、スープ、トッピング等へ～

～リグナンリッチ黒ごままで栽培された～

胡麻若葉末

- 有機認定(島根産)
- 九州産(鹿児島)

※特許査定を受けました ※急性毒性、変異原性試験、ORAC値測定
※黒酢との比較でACE活性阻害作用を確認 ※「リグ菜」商標出願中

○胡麻若葉、リグナン胡麻等の情報はこちらをご覧ください。

<http://gomadensetsu.com>

胡麻の伝説

- リグナンリッチ黒胡麻ペースト
(セサミン規格値0.8%)
- リグナンリッチ黒胡麻油
(セサミン規格値1.2%)
- 発酵胡麻(ほか)
- チアシード

「胡麻若葉」のブランド名が商標登録査定を受けました。
(2017年3月末)



リグナンリッチ黒胡麻で栽培
された、胡麻若葉です。

■登録NO: 5939137



胡麻を通じて健康を科学する。
～香と機能、個性ある胡麻をお届けします～

株式会社 **わだまんサイエンス**

本社 〒604-0845 京都市中京区烏丸御池上る二条殿町546
TEL 075-222-7318 / FAX 075-222-0318
<http://www.wadaman-s.com>

原著論文

□ 血管内皮細胞の機能不全と大豆イソフラボンの動脈硬化予防
.....山形 一雄 333

□ 食後血糖値の上昇抑制効果が期待される玄米加工素材の開発
.....大木 梓織, 佐藤 千樺, 秋山 美展 343

レスター・パッカー教授追悼 代替医療としての抗酸化物質

□ 未病ケア食品としての代謝中間体：スクアレンを例として
.....小西 徹也 349

解説

□ 部分解繊セルロースの食品素材としての可能性
.....芳野 恭士 355

□ クマザサ抽出液（ササヘルス®）の歯髓細胞へ及ぼす影響について
.....増田 宜子, 横瀬 敏志, 坂上 宏 365

□ 成熟がニジマスの臓器や体成分に及ぼす影響－1. 成熟開始時
.....酒本 秀一 370

□ グルテンフリー穀物食品と飲料新解説グルテンフリーパンについて-2
.....瀬口 正晴, 竹内 美貴, 中村 智英子 383

漢方の効能

- 7) インフルエンザ, 漢方薬と腸内細菌叢

..... 肖 黎 397

随筆 伝える心・伝えられたもの

- — 「すんぎ」の里との再会—

..... 宮尾 茂雄 399

連載

- 野山の花 — 身近な山野草の食効・薬効 —

シャクヤク *Paeonia lactiflora* Pall.

(=*P. lactiflora* Pall.var. *trichocarpa* (Bunge) Stearn)

(ボタン科 Paeoniaceae)

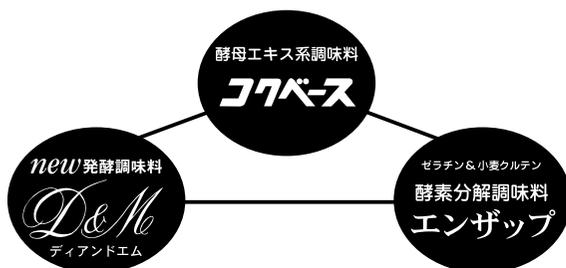
..... 白瀧 義明 406

- デンマーク通信 デンマークのチョコレート

..... Naoko Ryde Nishioka 410

おいしさと健康に真剣です。

酵素分解調味料なら
大日本明治製糖へ



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。



大日本明治製糖株式会社

食品事業部

〒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

ミルク

至高の食品がわかる

伊藤 敏敏 著

■A5版 / 156ページ ■定価：(1900円 + 税)

■発行：エヌエフアイ



本書はミルクについて平易に解説された専門書です。著者が日本大学生物資源科学部において教鞭を執られていた際に執筆し教科書として発刊していましたが、本書が教科書だけでなく広く牛乳・乳製品工場で働く技術者の再勉強にも役立つ参考書として新たに発刊いたしました。

まえがきより

世に出ている牛乳の科学や製造学の参考書の多くは、堅くて難しくすぐに頭の痛くなるような専門書か、一般読者向けの啓蒙書でも、ことさら健康的価値や機能性などばかりを取り上げたものが多く、また一方では、牛乳は体に有害であるかのごとく書かれた本までが出回る有様で、ミルクの本当の姿をじっくりと知りたい者にとっての適書が見当たりません。本書はその要求を満たすものとして、一般読者にもよく解るように、また大学の教科書としても使えるように、さらには牛乳・乳製品工場で働く技術者の再勉強にも役立つようにと考えて書いたものです。この本を通してミルクに関する理解が少しでも増えて、食材としての価値がもっと見直されることを願うものです。

第1章 ミルクの科学的特性 一秘められた力

1. ミルクは食糧として作り出される唯一の天然物
2. 牛乳、母乳その他の動物の乳はどのように違うのだろう
3. 乳はなぜ白いのだろう
4. 乳の成分の特性とそのパワー
5. 牛乳の構成成分のまとめ
6. 牛乳のアレルギー性
7. 乳児用調製粉乳はどこまで母乳の代用になるか
8. 牛乳に人の免疫力を付けられるか
9. 特定保健用食品（機能性食品）は乳の研究から生まれた
10. 牛乳はどのようにして作られるか（餌が牛乳にかわるまで）
11. 牛乳成分の含量はいつも同じなのだろうか

第2章 乳製品の知識と製造の基本原則

1. 日本ではどの位の牛乳・乳製品が食べられているのだろうか
2. 農家で搾った牛乳が工場に入るまで
3. 牛乳・乳製品の分類と規格
4. 牛乳の加熱殺菌について
5. 牛乳の均質化処理（ホモジナイズ処理）
6. 発酵乳と乳酸菌
7. チーズ
8. バター
9. アイスクリーム
10. 濃縮乳（練乳、コンデンスミルク、エバミルク）
11. 粉乳

■著者 / 伊藤 敏敏 (いとう たかとし)

◆農学博士

1937年愛媛県生まれ。東北大学大学院農学研究科修士課程修了後、1962年株式会社ニチレイ入社。1963年東北大学農学部助手。1976年同大学助教授。1989年同大学農学部教授を経て2001年日本大学生物資源科学部教授。東北大学名誉教授。

◆ご注文は FAX またはメールにて FAX:042-312-0845 info@nfi-llc.co.jp

血管内皮細胞の機能不全と 大豆イソフラボンの動脈硬化予防

山形 一雄 (YAMAGATA Kazuo) *

* 日本大学 生物資源科学部 食品生命科学科

Key Words: 血管内皮細胞 イソフラボン 大豆

要旨

血管内皮細胞は血液と直接、接している細胞で血管弛緩、凝固・線溶系、バリアー機能など多くの重要な血管機能を担う。特に血管内皮細胞から産生される一酸化窒素 (NO) は、血管平滑筋細胞に作用して弛緩反応を誘導して健康な血管内皮細胞の指標となる。しかし、血管内皮細胞の障害により健全な機能が失われると動脈硬化が誘導され、さらに死亡率の高い心筋梗塞や脳卒中の発症リスクを高める。一方、大豆の健康がヒトで示され、特に大豆に含まれるイソフラボンは、血管内皮細胞の健全性に貢献し、例えば NO 産生の増加を誘導し動脈硬化を予防することが示されている。イソフラボンは、主にマメ科植物に多く含まれるポリフェノールで、大豆にはダイゼインとゲニステインとそれら配糖体が含まれる。これらイソフラボンには共通にエストロゲンと類似した構造を有し生体で多様なエストロゲン様作用を誘発させる。また、イソフラボンは、抗酸化や抗炎症作用を有し血管傷害を守る作用を発揮する。本総説では、大豆イソフラボンの血管内皮細胞に対する作用、特に NO 産生作用などの血皮健全性や動脈硬化阻止作用などの心疾患予防に対する役割を記述する。

はじめに

血管系疾患の代表である脳卒中や心筋梗塞などは、死亡リスクが高い疾患として恐れられている。また同時に、これら疾患は、生活の質を悪化させることから大きな社会問題となっている。心血管系疾患の形成には、高血圧、肥満、脂質異常などの複数の生活習慣病や悪い食生活が関連し、いずれも動脈硬化を引き起こし心疾患系疾患のリスクを高める。特に、生活習慣病の多くは、血管内皮細胞の障害を惹起させることで動脈硬化を形成させることが判明している¹⁾。この血管内皮細胞の障害は、動脈硬化の初めに起こる変化で、可逆的な変化であることから十分、元にもどることが判明し

ている²⁾。血管内皮細胞の機能は、古くから血管弛緩、凝固・線溶系、バリアー機能などが知られ、血流や血液中の成分により強く影響を受け調節されることが知られている。一方、血管内皮細胞は、正常機能を保つため、多くの分子を自ら産生するが、最も重要な分子は血管壁の収縮と弛緩反応を調整する一酸化窒素 (NO) である。例えば、NO 産生が低下することで血管内皮細胞依存性の弛緩反応が低下して血管の緊張が高まり、同時に内皮の機能不全が誘導される。さらに、近年、血管内皮細胞の機能不全が心血管疾患の形成に関係することが臨床研究で示されている¹⁾。

大豆の摂取が虚血性心疾患や脳卒中などの心

疾患の発症リスクを低下させることが示されている³⁾。また、日本人を対象とした大規模な疫学調査で、大豆の代表的な加工食品である納豆の摂取が心血管系疾患を含め、特に脳卒中の発症リスクを低下させることが示されている⁴⁾。さらに、大豆摂取が体重、BMI および動脈硬化の形成に係るコレステロール、LDL コレステロール、HDL コレステロール、アポBの血清レベルの改善作用が示されている⁵⁾。加えて、大豆に含まれるタンパク質のLDLコレステロールの低下作用⁶⁾や、高血圧患者による実験から大豆中のイソフラボンの血圧に対する抑制作用が明らかになっている⁷⁾。また、日本人を用いたコフォート研究から、大豆イソフラボンによる心筋梗塞の発症リスクの低下作用が示されている⁸⁾。さらに、大豆イソフラボンの抗酸化作用⁹⁾や抗炎症作用¹⁰⁾が判明している。これらに加えて、納豆が、納豆キナーゼの強い線溶活性により血管内で起こる過剰な血液凝固を阻止し心血管系疾患に予防的に作用する可能性が指摘されている¹¹⁾。これら複数の作用が大豆摂取による虚血性心疾患や脳卒中などの心疾患系疾患の発症リスクを低下させるかもしれない。

表1に日本を含めた幾つかの国々の大豆、大豆食品、大豆タンパク質およびイソフラボンの摂取量を示す¹²⁾。表1から明らかなように、日本人のイソフラボン摂取量は米国人やヨーロッパ人に比べ高い。欧米に比較して日本人の低い心疾患系疾患の発症率に大豆から摂取され

たイソフラボンによる血管内皮細胞に対する予防作用が貢献している可能性が示唆される¹³⁾。大豆に含まれるイソフラボンは、主にダイゼインとゲニステインで、それぞれアグリコンおよび配糖体が存在する。さらに、ダイゼインは、体内で消化管に存在する腸内細菌によりエクオールに代謝され、エクオール産生菌の存在がヒトによって異なることも判明している¹⁴⁾。そして、ダイゼインやゲニステイン、さらには代謝産物のエクオールの心血管系疾患に対する様々な予防作用が疫学調査から示されている¹⁵⁾。加えて、血管内皮細胞を用いた研究からイソフラボンの心血管系疾患に対する阻止作用や機構が示されている¹⁶⁾。本総説において、動脈硬化の形成における血管内皮細胞の健全性の重要性と大豆イソフラボンの血管内皮細胞に対するNO産生作用など、および心血管系疾患の予防における役割を記述する。

1. 血管内皮細胞の一酸化窒素(NO)産生と心血管疾患との関係

1-1. 血管壁を構成している細胞と内皮細胞の役割

血管は、全身の組織に分布して、それぞれの臓器に栄養や酸素を供給するとともに老廃物を排除したりする大変重要な機能を担う。また、脳や心臓での血管の異常は、血管障害にとどまらず動脈硬化を誘導して直接、心筋梗塞や脳卒中などの死亡率の高い重大な疾患の発症リスクを高める。比較的太い動脈壁では内膜、中膜お

表1 日あたりの大豆および大豆食品、大豆タンパク質およびイソフラボンの消費量

国	大豆および大豆食品 (g)	大豆タンパク質 (g)	イソフラボン (g)
米 国	NA	NA	0.73-3.3
ヨーロツパ	NA	NA	0.37-4.5
菜食主義者および大豆摂取者	NA	8.42-9.25	3.2-30
中 国	23.5-135.4	2.5-10.3	6.2-75.7
日 本	50.7-102.1	6-11.3	22.6-54.3
韓 国	21.07	7.4-8.5	14.88

NA：未検討

Rizzo G, Baroni L. *Nutrients*. 2018 Jan 5;10 (1): pii: E43. の表を修正して引用した。

よび外膜の3層で構成され、内膜は、内腔に内皮細胞、基底膜および内弾性板と順に続く構造を形成している。中膜には、平滑筋細胞がエラスチンやコラーゲンなどの細胞外マトリックスとともに存在している。さらに外膜は、主にコラーゲンより構成されている¹⁷⁾。

血管の内膜に存在する血管内皮細胞は、全身で共通して血管の内腔に敷石様に単層に存在し、循環している血液と直接、接している。通常、血管内皮細胞の増殖は細胞周期の静止期にあり抑制されているが、血流の変化や血液中の様々な物質の変化などが刺激となり調節される。一方、血管内皮細胞自身から多くの分子を産生し血管機能を調節している¹⁷⁾。血管の正常な機能の発現には、血管内皮細胞の健全性の維持が重要で、逆に血管内皮細胞の機能の低下は動脈硬化の誘導し心疾患のリスクを高める。

1-2. 血管内皮細胞の機能

血管内皮細胞の機能は、血管透過性、選択的物質輸送、血管の収縮や弛緩および凝固・線溶系など血管の重要な役割を担うことが古くから知られている¹⁷⁾。例えば、血管透過性では細胞間の物質の漏れを防ぐVE-カドヘリンやクロロゲンおよびオクルジンなどの分子を発現させて血管内皮細胞と血管内皮細胞の間の接着構造やタイトジャンクション構造を形成させて血液成分が血管外に漏れ出すのを防いでいる¹⁸⁾。また、血管内皮細胞の両表面には種々の輸送体タンパク質などを発現して組織の栄養や疾患の発生に関与している¹⁹⁾。さらに、血管内皮細胞は、NO産生やエンドセリン産生などにより平滑筋の緊張を制御しており、近年、このような制御が循環器疾患以外に老化に伴い増加する加齢性黄斑変性などの形成にも関与していることが示されている²⁰⁾。また、凝固・線溶系では、血管内皮細胞から血栓を溶解する組織プラスミノゲンアクチベーター(t-PA)や、t-PAを阻害するプラスミノゲンアクチベーターインヒビター1(PAI-1)が産生されて過剰な凝固・線溶系が調節され、この

t-PAとPAI-1の発現レベルは、血管内皮細胞の障害性の指標となることが判明している²¹⁾。近年、血管内皮細胞の機能は、古典的な血管機能の維持に止まらず、他の臓器の機能に作用したりして、他の臓器で起こる疾患の形成に関わることが示され、より全身性の新たな役割の可能性が指摘されている²²⁾。

1-3. 血管内皮細胞による一酸化窒素(NO)産生調節と血管健全性の維持

血管内皮細胞から産生されるNOは、L-アルギニンを基質として内皮型NO合成酵素(eNOS)によりL-シトロリンが産生される過程で副産物として産生される。このeNOSの触媒反応において、補酵素であるフラビンやテトラヒドロバイオプテリン4(BH4)が必要とされる²³⁾。血管内皮細胞で産生されたNOは、さらに隣接する血管平滑筋に作用してcGMPの産生を促して血管平滑筋の弛緩を誘導し血管を拡張させる(図1)²⁴⁾。また、血管内皮細胞由来のNOの機能として、抗酸化、抗炎症、抗血栓などの作用により動脈硬化の形成を阻止することで血管の恒常性と健全性維持に機能していることが示されている²⁵⁾。例えば、NOによる血小板凝集に対する抑制作用や血管内皮細胞への白血球の接着および平滑筋細胞の増殖に対する抑制作用は動脈硬化の阻止と血管内皮細胞の機能不全の改善に大きく貢献している²⁶⁾。しかし、血管内皮細胞でL-アルギニンやBH4が欠乏するとNOではなくスーパーオキシドなどの活性酸素種の産生が増加して細胞障害を引き起こす原因となることが示されている^{27,28)}。つまり、NO産生の過程において、BH4はeNOSの補酵素として働きNOを産生させるが、BH4が酸化されると7,8-ジヒドロバイオプテリン(BH2)に変換され、eNOSの反応からNOでは無くスーパーオキシドが産生される(図2)²⁹⁾。このような状態を、BH4のアンカップリング(脱共役)と呼びNOの血管内皮細胞での利用率が大きく減少し酸化ストレスの原因となる。そして、このようなNO利

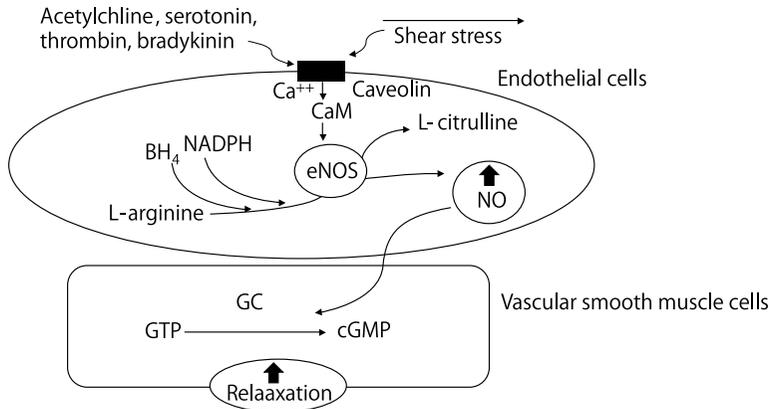


図1 血管内皮細胞における一酸化窒素の産生と血管弛緩作用

一酸化窒素は、血管内皮細胞の一酸化窒素合成酵素により L-アルギニンから産生される。いくつかの補酵素（BH4 や NADPH など）は、この反応で必要とされる。内皮型一酸化窒素合成酵素は、血管拡張を誘導するアゴニストまたは、ずれ応力に反応してカルモジュリンからカベオリンの除去の結果として活性化される。一酸化窒素は血管平滑筋細胞に拡がり、グアニル酸シクラーゼの活性化を通して細胞内サイクリック GMP を増やすことで血管を弛緩させる。eNOS；内皮型 NO 合成酵素、NO；一酸化窒素、CaM；カルモジュリン、GTP；グアノシン三リン酸、GC；グアニル酸シクラーゼ、cGMP；サイクリック GMP、NADPH；ニコチンアミドアデニンジヌクレオチドリン酸。

Tobli JE, et al.: Vasc Health Risk Manag. 8: 151-60, 2012. の図を修正して引用した。

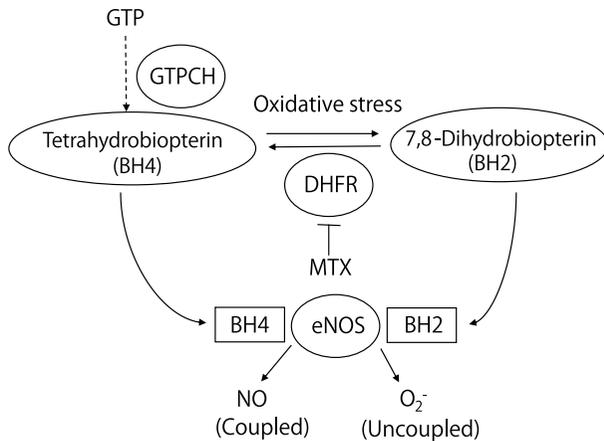


図2 eNOS による NO 産生と補酵素 BH4 のカップリング

BH4 は、GTPCH などの一連の反応で GTP から合成される。DHFR は、リサイクル経路の一部として BH2 から BH4 を再生することができる。BH4 および BH2 の eNOS に対する結合親和性は等しいが eNOS と BH4 が結合すると NO が産生されるが、BH2 が結合するとスーパーオキシドの産生が NO 産生より高まる。BH4；テトラヒドロビオプテリン、BH2；7,8-ジヒドロビオプテリン、MTX；メソトレキセート、DHFR；ジヒドロ葉酸還元酵素、eNOS；内皮型 NO 合成酵素、GTPCH；GTP シクロヒドラーゼ I。

Crabtree, et al.: Free Radic Biol Med. 2011 Jun 1; 50 (11):1639-46. の図を修正して引用した。

用率の低下が生活習慣病で誘導され、例えば、直接血圧上昇などの原因の一つと考えられている³⁰⁾。実際、NO 合成を阻害した実験から NO が動脈硬化や血圧上昇の低下に大きく関与することも示されている^{31, 32)}。

2. 大豆イソフラボンと抗酸化作用および抗炎症作用

2-1. 大豆食品に含まれるイソフラボン

イソフラボンは、フラボノイド骨格を有するポリフェノールに分類される。イソフラボンは、

Isoflavone	-R ₁	-R ₂	-R ₃
Genistein	H	OH	-
Glicitein	OCH ₃	H	-
Daizein	H	H	-
Genisin	H	OH	H
Glicitin	OCH ₃	H	H
Daidzin	H	H	H
Malonyl-genistein	H	OH	COCH ₂ COOH
Malonyl-glicitein	OCH ₃	H	COCH ₂ COOH
Malonyl-daizein	H	H	COCOCH ₂ COOH
Acetyl-genistein	H	OH	COCH ₃
Acetyl-glicitein	OCH ₃	H	COCH ₃
Acetyl-daizein	H	H	COCH ₃

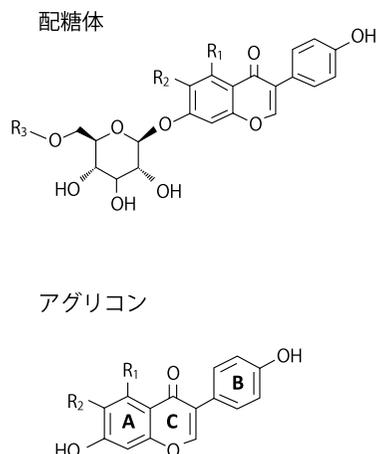


図3 イソフラボンの構造

Vitale, et al.: *Eur J Drug Metab Pharmacokinet.* 38 (1): 15-25, 2013. の図を修正して引用した。

大豆、インゲンマメ、アカツメクサ、葛（クズ）などのマメ科植物に主に含まれる。植物中のイソフラボン含量は、感染の有無や栄養素の不足などの環境的ストレスなどで合成の変化が強く調節されて変動する³³⁾。大豆に含まれているイソフラボンは、ゲニステイン、ダイドゼインとグリシテイン（O-メチル化イソフラボン）で、アグリコン型とそれらの配糖体である。特に大豆には、上記アグリコンとマロニル化配糖体が多く、アセチル化配糖体なども含め10種以上の種類が存在している^{34, 35)}。イソフラボンのアグリコンと配糖体の構造を図3に示す³⁶⁾。大豆のほとんどが加工食品で摂取されるが、加工食品でのイソフラボンの含量は加工行程で大きく変化する。これら大豆食品に含まれるイソフラボン含量を表2に示す¹²⁾。

3-2. 大豆イソフラボンの作用

(1) 抗酸化性

大豆イソフラボンのゲニステインとダイゼインおよびダイゼインの代謝産物であるエクオールの抗酸化酵素の誘導や酸化酵素を阻止作用が示されている^{9, 37)}。例えば、培養血管内皮細胞で大豆イソフラボンが過酸化水素で誘導して減少したスーパーオキシドディスムターゼ（SOD）とグルタチオンペルオキシダーゼの

表2 大豆および大豆加工食品中のイソフラボン含量

大豆および大豆加工食品	含有量 (mg/100 g)
味噌	41.45
枝豆	17.92
納豆	82.29
醤油	1.18
大豆(生)	154.53
ユバ	44.67
豆乳	0.7-10.73
テンペ	3.82
豆腐	13.1-34.78
おから	9.39
大豆油	0

Rizzo G, Baroni L. *Nutrients.* 2018 Jan 5;10 (1): pii: E43 の表を修正して引用した。

活性を逆に増加させて、同時に酸化マーカーであるマロンジアルデヒド（MDA）産生を低下させる作用が示されている³⁸⁾。このイソフラボンの抗酸化作用にNFκBを介したミトコンドリアでのアポトーシスシグナルの伝達機構が関係することが示されている。さらに、ダイゼインとエクオールがCuZn-SODとMn-SODなどの抗酸化酵素の活性と発現を誘発し、これら作用がダイゼインに比べエクオールの方が強いことが判明している³⁸⁾。さらに、エクオールは、

アポリポ蛋白質 E ノックアウトマウスにおいて高脂肪食で誘導した動脈硬化病変を低下させることが示された³⁹⁾。そして、エクオールは血清中のトリグリセリド、コレステロールと LDL コレステロールを減少させて HDL を増加させ、肝臓での脂質蓄積を低下させることも判明した。また、エクオールは、大動脈で増加する酸化ストレス状態で Nrf2 シグナル伝達経路を強く誘導させていた。これら結果から、ヒト血管内皮細胞でエクオールの動脈硬化病変に対する阻止作用が証明され、さらに Nrf2 の誘導の重要性が明らかになった。一方、閉経後のインドネシア女性 190 人に 100mg/日の大豆イソフラボンサプリメントを 6 ヶ月間摂取させるとエクオール生産者は、非参加者に比べ酸化マーカーの血清 MDA 濃度を有意に低下させることが示された。同時に、統計的に有意ではないが大豆イソフラボン摂取で VCAM-1 発現を低下させて NO 産生の誘導も促進させる事も示された。

これら結果は、ガイドゼインと代謝産物エクオールが NO 産生と抗酸化効果を誘導したりして動脈硬化を阻止する作用を有する可能性を示す⁴⁰⁾。さらに、脳卒中ラットから分離した血管内皮細胞で、アンジオテンシン II で誘導された酸化酵素のサブユニット p22phox, NADPH オキシダーゼとスーパーオキシドレベルおよびエンドセリン-1 産生をゲニステインが低下させることが示された⁴¹⁾。これら結果は、イソフラボンが代謝産物を含めて抗酸化酵素の誘導と同時に酸化酵素の発現減少などを介して酸化ストレスを低下させる可能性を示す。

(2) 抗炎症作用

炎症が動脈硬化を誘導することが知られている。また、イソフラボンが血管の炎症を阻止して動脈硬化の形成を抑制することが判明している。例えば、マウスモデルにおいて、ゲニステインが、顆粒球、単球とリンパ球に作用し抗炎症作用を発揮することが示されている¹⁰⁾。また、イソフラボン摂取させたマウスで LPS 刺激による IL-6 やメタロチオネインなどの炎症

マーカーの発現を阻止することが示されている。そして、これらイソフラボンの抗炎症作用が STAT3 の低下に関係することが明らかになっている⁴²⁾。同様、マウスにおいて、ゲニステインがガラクトサミンによって誘導されたプロスタグランジン E2 や TNF α および IL-1 β などの炎症性サイトカインの産生を抑制することが判明している⁴³⁾。

さらに、培養血管内皮細胞を用いた実験で、ゲニステインがホモシステインによって誘導された細胞死を阻止し活性酸素種 ROS 産生を低下させることが示された。そして、このゲニステインの抑制作用が血管内皮細胞で誘導された NF κ B や IL-6 および VCAM-1 などの炎症に関わる分子の低下に起因することが判明した⁴⁴⁾。加えて、ヒトの試験において大豆食品を豊富に摂取すると血清中のインターフェロン γ ⁴⁵⁾ や CRP⁴⁶⁾ などの炎症マーカー分子が減少することが報告されている。

(3) エストロゲン様作用

ゲニステインとガイドゼインは、エストロゲン活性を示すことから特に植物エストロゲンと呼ばれている³⁶⁾。植物エストロゲンは女性ホルモンのエストロゲンに構造が類似していてエストロゲン受容体と結合することでエストロゲン類似の作用を発揮する。例えば、イソフラボンがエストロゲン受容体を介して eNOS や抗酸化酵素の HO-1 の遺伝子発現を誘導することで血管障害を阻止することが明らかになっている⁴⁷⁾。また、卵巣切除したラットにおいて、大豆イソフラボンが、虚血後の再灌流で誘導される心筋傷害、心筋梗塞のサイズを低下させる作用が示された。この作用は、血管内皮細胞由来の eNOS の発現増加と活性酸素種の産生低下に起因することが明らかになっている⁴⁸⁾。一方、エストロゲン作用として、ブタを用いた実験において、ガイドゼイン投与で、卵巣の顆粒膜細胞の生殖機能を調整するエストロゲン様作用を誘導することが示された⁴⁹⁾。同様、ガイドゼインが子宮内膜症で細胞増殖と炎症を阻止する作用が示された⁵⁰⁾。

これら結果は、イソフラボンがエストロゲン様作用を発揮して種々の生殖細胞に働き女性ホルモン様作用を誘導する可能性を示す³⁶⁾。また、エストロゲン受容体の遺伝子を組み込んだヒト骨肉腫 (U2OS) によるリポーターアッセイでゲニステインのエストロゲン受容体に対する親和性が解析された⁵¹⁾。その結果、エストロゲンに比べゲニステインのエストロゲン受容体 α と β の何れも、およそ1万倍程度親和性が弱いとエストロゲン受容体に結合してエストロゲン様作用を発揮できることが明らかになっている。また、エストロゲンと同様、ゲニステインは受容体 α に比べ β の方が強い親和性を有することが判明している。イソフラボンのエストロゲンと違った作用は、上述した受容体に対する結合を介した微妙な作用の違いに起因すると推察される。

3. 大豆イソフラボンの内皮細胞の健全性に対する効果

3-1. 大豆イソフラボンの血管内皮細胞における NO 産生作用

先に記載したように卵巣切除されたラットにおいて、大豆イソフラボンは eNOS の発現を増加させるとともに活性酸素種の産生を抑えて心臓の虚血後の再灌流で誘導される心筋梗塞を阻止した⁴⁸⁾。さらに、ゲニステインは血管内皮細胞で cGMP の表現を誘発して、eNOS と AKT のリン酸化を促進する作用経路が明らかにされた⁵²⁾。これまで、酸化ストレスにより血管内皮細胞の BH4 低下によるアンカッピング状態が誘導され NO 産生が低下するとともに活性酸素が増加することが示されている^{27, 28)}。一方、ゲニステインは、酸化 LDL で誘導される血管内皮細胞における eNOS のアンカッピングをサーチュインの発現を介して阻止することが示された⁵³⁾。同時にゲニステインは、スーパーオキシドと酸化酵素 NADPH オキシダーゼ 4 (NOX4) の発現を低下させると共に BH4 の酸化を阻止して eNOS の活性化の誘導を通して NO 産生を増やすことで NO 利用率を高めるこ

とが示された。これらをまとめると、ゲニステインの作用は、NO 産生誘導とともにアンカッピングによる内皮 eNOS の生物活性の低下を防ぎ動脈硬化などの血管病変の形成を阻止する可能性が高い⁵⁴⁾。

3-2. 大豆イソフラボンの血管内皮細胞における接着分子産生に対する阻止作用

血管内皮細胞への単球の接着は、動脈硬化形成を強く促進させる初めのイベントである。すなわち、血管内皮細胞が障害されると単球が接着し、同時に炎症が惹起される。単球は、さらに血管内皮細胞下の組織へ侵入してマクロファージに分化する。マクロファージに分化すると脂質などの貪食能が高まり、脂質成分や細胞の断片などを貪食して泡沫細胞を形成させる。この血管内腔局所での泡沫細胞の形成と発生は、典型的なアテローム型の動脈硬化病変の初期病変として知られている⁵⁵⁾。これまで、炎症性サイトカイン TNF- α が、上述した血管内皮細胞の炎症を強く誘導し動脈硬化の形成を促進する因子であることが判明している⁵⁶⁾。一方、ゲニステインが TNF- α の刺激で誘導された血管内皮細胞への単球の接着を阻止する作用が多く示されている⁵⁷⁾。また、同時にゲニステインは、TNF- α で誘導される血清中の ICAM-1, VCAM-1, E-セレクトインおよび MCP-1 などの複数の接着分子と炎症マーカー IL-8 の発現を阻止する事が示された。

このゲニステインの作用は、プロテインキナーゼ A の作用に関係した経路で起こることも示されている。さらに、ゲニステインが、血管内皮細胞で、酸化-LDL で誘導して増加した E-セレクトイン、P-セレクトイン、MCP-1, IL-8, VCAM-1 と ICAM-1 の発現を阻止する事が示された⁵⁸⁾。そして、このゲニステインの作用がマイクロ RNA-155 の低下と SOCS1 の増加作用に起因することが明らかになった。また、ダイドゼインの代謝産物、7,8,4'-トリヒドロキシイソフラボンが血管内皮細胞で TNF- α で誘導された単球細胞株 THP-1 の接着を阻止す

るとともに、VCAM-1 および MCP-1 の発現を NFκB の作用を阻止することで抑制することが判明した⁵⁹⁾。

おわりに

本稿において、血管内皮細胞の機能不全における動脈硬化形成における重要性と大豆イソフラボンの血管内皮細胞の動脈硬化予防作用を示した。特に大豆イソフラボンが血管内皮細胞で抗酸化作用⁹⁾、抗炎症作用¹⁰⁾ さらには NO 産生作用⁴⁷⁾ やエストロゲン様作用⁴⁹⁾ などを發揮して血管内皮細胞の障害を阻止することで血管内皮細胞の機能不全を予防する可能性を示した。そして、ヒトを用いた検討により、これらと関連した血管内皮細胞に有用な作用を紹介

し、これらが心血管系疾患の予防に貢献する可能性が示唆されている⁴⁾。

近年、血管内皮細胞から産生された分子が全身性に働き疾病の形成を調節する可能性が示され、血管内皮細胞が血管機能以外に全身の臓器・細胞に作用して制御している可能性が指摘されている。今後、これら全身での血管内皮細胞の作用が明確になると、より新たな血管内皮細胞の役割が明瞭になると思われる。また今後、大豆イソフラボンのヒトでの検討を重ねダイゼインとゲニステインとの作用の違い、また、エクオール産生者および非産生者における大豆イソフラボンの詳細な作用特性などを明らかにしていくことが必要と思われる

引用文献

1. Godo S, Shimokawa H: Endothelial functions. *Arterioscler Thromb Vasc Biol* **37** (9): e108-e14, 2017.
2. Vanhoute PM: Endothelial dysfunction: the first step toward coronary arteriosclerosis. *Circ J* **73** (4): 595-601, 2009.
3. Yan Z, Zhang X, Li C, *et al.*: Association between consumption of soy and risk of cardiovascular disease: A meta-analysis of observational studies. *Eur J Prev Cardiol* **24** (7): 735-747, 2017.
4. Nagata C, Wada K, Tamura T, *et al.*: Dietary soy and natto intake and cardiovascular disease mortality in Japanese adults: the Takayama study. *Am J Clin Nutr* **105** (2): 426-431, 2017.
5. Ruscica M, Pavanello C, Gandini S, *et al.*: Effect of soy on metabolic syndrome and cardiovascular risk factors: a randomized controlled trial. *Eur J Nutr* **57**(2):499-511, 2018.
6. Anderson JW, Bush HM: Soy protein effects on serum lipoproteins: a quality assessment and meta-analysis of randomized, controlled studies. *J Am Coll Nutr* **30** (2): 79-91, 2011.
7. Liu XX, Li SH, Chen JZ, *et al.*: Effect of soy isoflavones on blood pressure: a meta-analysis of randomized controlled trials. *Nutr Metab Cardiovasc Dis* **22** (6): 463-470, 2012.
8. Kokubo Y, Iso H, Ishihara J, *et al.*: Association of dietary intake of soy, beans, and isoflavones with risk of cerebral and myocardial infarctions in Japanese populations: the Japan Public Health Center-based (JPHC) study cohort I. *Circulation* **116** (22): 2553-2562, 2007.
9. Rufer CE, Kulling SE: Antioxidant activity of isoflavones and their major metabolites using different in vitro assays. *J Agric Food Chem* **54** (8): 2926-2931, 2006.
10. Verdrengh M, Jonsson IM, Holmdahl R, *et al.*: Genistein as an anti-inflammatory agent. *Inflamm Res* **52** (8): 341-346, 2003.
11. Weng Y, Yao J, Sparks S, *et al.*: Nattokinase: An oral antithrombotic agent for the prevention of cardiovascular disease. *Int J Mol Sci* **18** (3): 2017.
12. Rizzo G, Baroni L: Soy, soy foods and their role in vegetarian diets. *Nutrients* **10** (1): 2018.
13. Beavers DP, Beavers KM, Miller M, *et al.*: Exposure to isoflavone-containing soy products and endothelial function: a Bayesian meta-analysis of randomized controlled trials. *Nutr Metab Cardiovasc Dis* **22** (3): 182-191, 2012.
14. Franke AA, Lai JF, Halm BM: Absorption, distribution, metabolism, and excretion of isoflavonoids after soy intake. *Arch Biochem Biophys* **559**: 24-28, 2014.

15. Gil-Izquierdo A, Penalvo JL, Gil JI, *et al.*: Soy isoflavones and cardiovascular disease epidemiological, clinical and -omics perspectives. *Curr Pharm Biotechnol* **13** (5): 624-631, 2012.
16. Toro-Funes N, Morales-Gutierrez FJ, Veciana-Nogues MT, *et al.*: The intracellular metabolism of isoflavones in endothelial cells. *Food Funct* **6** (1): 98-108, 2015.
17. 丸山征郎 郎 編集：東京，株式会社メディカルレビュー社，16-19, 1999.
18. Haseloff RF, Dithmer S, Winkler L, *et al.*: Transmembrane proteins of the tight junctions at the blood-brain barrier: structural and functional aspects. *Semin Cell Dev Biol* **38**: 16-25, 2015.
19. Di Franco A, Cantini G, Tani A, *et al.*: Sodium-dependent glucose transporters (SGLT) in human ischemic heart: A new potential pharmacological target. *Int J Cardiol* **243**: 86-90, 2017.
20. Totan Y, Koca C, Erdurmus M, *et al.*: Endothelin-1 and nitric oxide levels in exudative age-related macular degeneration. *J Ophthalmic Vis Res* **10** (2): 151-154, 2015.
21. Slavik L, Prochazkova J, Prochazka M, *et al.*: The pathophysiology of endothelial function in pregnancy and the usefulness of endothelial markers. *Biomed Pap Med Fac Univ Palacky Olomouc Czech Repub* **155** (4): 333-337, 2011.
22. Riederer M, Lechleitner M, Kofeler H, *et al.*: Reduced expression of adipose triglyceride lipase decreases arachidonic acid release and prostacyclin secretion in human aortic endothelial cells. *Arch Physiol Biochem* **123** (4): 249-253, 2017.
23. Alderton WK, Cooper CE, Knowles RG: Nitric oxide synthases: structure, function and inhibition. *Biochem J* **357** (Pt 3): 593-615, 2001.
24. Toblli JE, DiGennaro F, Giani JF, *et al.*: Nebivolol: impact on cardiac and endothelial function and clinical utility. *Vasc Health Risk Manag* **8**: 151-160, 2012.
25. Jin RC, Loscalzo J: Vascular nitric oxide: Formation and function. *J Blood Med* **2010** (1): 147-162, 2010.
26. Vallance P, Chan N: Endothelial function and nitric oxide: clinical relevance. *Heart* **85** (3): 342-350, 2001.
27. Vasquez-Vivar J, Kalyanaraman B, Martasek P, *et al.*: Superoxide generation by endothelial nitric oxide synthase: the influence of cofactors. *Proc Natl Acad Sci U S A* **95** (16): 9220-9225, 1998.
28. Chen DD, Chen LY, Xie JB, *et al.*: Tetrahydrobiopterin regulation of eNOS redox function. *Curr Pharm Des* **20** (22): 3554-3562, 2014.
29. Crabtree MJ, Hale AB, Channon KM: Dihydrofolate reductase protects endothelial nitric oxide synthase from uncoupling in tetrahydrobiopterin deficiency. *Free Radic Biol Med* **50** (11): 1639-1646, 2011.
30. Landmesser U, Dikalov S, Price SR, *et al.*: Oxidation of tetrahydrobiopterin leads to uncoupling of endothelial cell nitric oxide synthase in hypertension. *J Clin Invest* **111** (8): 1201-1209, 2003.
31. Stewart AD, Millasseau SC, Kearney MT, *et al.*: Effects of inhibition of basal nitric oxide synthesis on carotid-femoral pulse wave velocity and augmentation index in humans. *Hypertension* **42** (5): 915-918, 2003.
32. Haynes WG, Noon JP, Walker BR, *et al.*: Inhibition of nitric oxide synthesis increases blood pressure in healthy humans. *J Hypertens* **11** (12): 1375-1380, 1993.
33. Lozovaya VV, Lygin AV, Zernova OV, *et al.*: Modification of phenolic metabolism in soybean hairy roots through down regulation of chalcone synthase or isoflavone synthase. *Planta* **225** (3): 665-679, 2007.
34. 家森幸男 監修：東京，株式会社シーエムシー出版，20-28, 2014.
35. Krizova L, Dadakova K, Kasparovska J, *et al.*: Isoflavones. *Molecules* **24** (6): e1076, 2019.
36. Vitale DC, Piazza C, Melilli B, *et al.*: Isoflavones: estrogenic activity, biological effect and bioavailability. *Eur J Drug Metab Pharmacokin* **38** (1): 15-25, 2013.
37. Jin L, Zhao X, Qin Y, *et al.*: Soy isoflavones protect against H₂O₂-induced injury in human umbilical vein endothelial cells. *Mol Med Rep* **12** (3): 4476-4482, 2015.
38. Choi EJ, Kim GH: The antioxidant activity of daidzein metabolites, Odesmethylangolensin and equol, in HepG2 cells. *Mol Med Rep* **9** (1): 328-332, 2014.
39. Zhang T, Hu Q, Shi L, *et al.*: Equol attenuates atherosclerosis in apolipoprotein E-deficient mice by inhibiting endoplasmic reticulum stress via activation of Nrf2 in endothelial cells. *PLoS One* **11** (12): e0167020, 2016.
40. Pusparini, Yenny, Hidayat A: Effect of soy isoflavone supplementation on endothelial dysfunction and oxidative stress in equol-producing postmenopausal women. *Endocr Metab Immune Disord Drug Targets* **15** (1): 71-79, 2015.
41. Xu JW, Ikeda K, Yamori Y: Genistein inhibits expressions of NADPH oxidase p22phox and angiotensin II type 1 receptor in aortic endothelial cells from stroke-prone spontaneously hypertensive rats. *Hypertens Res* **27** (9):

- 675-683, 2004.
42. Paradkar PN, Blum PS, Berhow MA, *et al.*: Dietary isoflavones suppress endotoxin-induced inflammatory reaction in liver and intestine. *Cancer Lett* **215** (1): 21-28, 2004.
 43. Ganai AA, Khan AA, Malik ZA, *et al.*: Genistein modulates the expression of NF-kappaB and MAPK (p-38 and ERK1/2), thereby attenuating d-Galactosamine induced fulminant hepatic failure in Wistar rats. *Toxicol Appl Pharmacol* **283** (2): 139-146, 2015.
 44. Han S, Wu H, Li W, *et al.*: Protective effects of genistein in homocysteine-induced endothelial cell inflammatory injury. *Mol Cell Biochem* **403** (1-2): 43-49, 2015.
 45. Ferguson JF, Ryan MF, Gibney ER, *et al.*: Dietary isoflavone intake is associated with evoked responses to inflammatory cardiometabolic stimuli and improved glucose homeostasis in healthy volunteers. *Nutr Metab Cardiovasc Dis* **24** (9): 996-1003, 2014.
 46. Fanti P, Asmis R, Stephenson TJ, *et al.*: Positive effect of dietary soy in ESRD patients with systemic inflammation--correlation between blood levels of the soy isoflavones and the acute-phase reactants. *Nephrol Dial Transplant* **21** (8): 2239-2246, 2006.
 47. Mann GE, Rowlands DJ, Li FY, *et al.*: Activation of endothelial nitric oxide synthase by dietary isoflavones: role of NO in Nrf2-mediated antioxidant gene expression. *Cardiovasc Res* **75** (2): 261-274, 2007.
 48. Tang Y, Li S, Zhang P, *et al.*: Soy isoflavone protects myocardial ischemia/reperfusion injury through increasing endothelial nitric oxide synthase and decreasing oxidative stress in ovariectomized rats. *Oxid Med Cell Longev* **2016**: 5057405, 2016.
 49. Sirotkin AV, Alexa R, Kadasi A, *et al.*: The isoflavone daidzein directly affects porcine ovarian cell functions and modifies the effect of follicle-stimulating hormone. *J Anim Physiol Anim Nutr (Berl)* **101** (1): 127-135, 2017.
 50. Takaoka O, Mori T, Ito F, *et al.*: Daidzein-rich isoflavone aglycones inhibit cell growth and inflammation in endometriosis. *J Steroid Biochem Mol Biol* **181**: 125-132, 2018.
 51. Rietjens I, Lousse J, Beekmann K: The potential health effects of dietary phytoestrogens. *Br J Pharmacol* **174** (11): 1263-1280, 2017.
 52. Kuriyama S, Morio Y, Toba M, *et al.*: Genistein attenuates hypoxic pulmonary hypertension via enhanced nitric oxide signaling and the erythropoietin system. *Am J Physiol Lung Cell Mol Physiol* **306** (11): L996-L1005, 2014.
 53. Zhang HP, Zhao JH, Yu HX, *et al.*: Genistein ameliorated endothelial nitric oxidase synthase uncoupling by stimulating sirtuin-1 pathway in ox-LDL-injured HUVECs. *Environ Toxicol Pharmacol* **42**: 118-124, 2016.
 54. Li H, Forstermann U: Uncoupling of endothelial NO synthase in atherosclerosis and vascular disease. *Curr Opin Pharmacol* **13** (2): 161-167, 2013.
 55. Gimbrone MA, Jr., Garcia-Cardena G: Endothelial cell dysfunction and the pathobiology of atherosclerosis. *Circ Res* **118** (4): 620-636, 2016.
 56. Marcos-Ramiro B, Garcia-Weber D, Millan J: TNF-induced endothelial barrier disruption: beyond actin and Rho. *Thromb Haemost* **112** (6): 1088-1102, 2014.
 57. Jia Z, Babu PV, Si H, *et al.*: Genistein inhibits TNF-alpha-induced endothelial inflammation through the protein kinase pathway A and improves vascular inflammation in C57BL/6 mice. *Int J Cardiol* **168** (3): 2637-2645, 2013.
 58. Zhang H, Zhao Z, Pang X, *et al.*: Genistein protects against ox-LDL-induced inflammation through microRNA-155/SOCS1-mediated repression of NF-kB signaling pathway in HUVECs. *Inflammation* **40** (4): 1450-1459, 2017.
 59. Lee CC, Dudgeon S, Kim JH, *et al.*: A major daidzin metabolite 7,8,4'-trihydroxyisoflavone found in the plasma of soybean extract-fed rats attenuates monocyte-endothelial cell adhesion. *Food Chem* **240**: 607-614, 2018.

連絡先：山形 一雄 (Kazuo Yamagata)

日本大学生物資源科学部 食品生命学科

〒252-0880 神奈川県藤沢市亀井野 1866

電話 /Fax 0466-84-3986

メールアドレス：yamagata.kazuo @ nihon-u.ac.jp

食後血糖値の上昇抑制効果が期待される 玄米加工素材の開発

大木 梓織 (OKI Shiori)¹ 佐藤 千樺 (SATO Chika)² 秋山 美展 (AKIYAMA Yoshinobu)^{1,2}

¹ 秋田県立大学大学院 生物資源科学研究科, ² 秋田県立大学 生物資源科学部

Key Words : 難消化性処理玄米 澱粉-脂質複合体 X線回折

はじめに

近年, わが国ではライフスタイルの変化や食生活の欧米化・高齢化に伴う糖尿病などの生活習慣病の増加が懸念されている。従来はこれらの予防としてカロリーや糖質の制限を中心に行われてきた。しかしながら, 摂取する澱粉種や調理方法により食後血糖値の動態は異なっており (Goni ら¹⁾、食後血糖値の変化を示す指標であるグリセミックインデックス (GI) の活用により生活習慣病予防や健康増進が期待されている。このような背景からわれわれは食後血糖値の上昇を抑制することのできる澱粉の開発を目的に研究を行っている。

現在市場に出回る難消化性澱粉の多くは, 難消化性デキストリンや架橋澱粉などといった化学修飾によるものが多い。このような澱粉は, 食品の一括表示における食品添加物として扱われ, 「加工澱粉」としての記載が不可欠である。澱粉を低水分の状態での高温 (120℃など) に加熱する処理を湿熱処理と呼ぶ²⁾ が, 湿熱処理といった加熱処理は物理的な加工方法であるため, 食品添加物として分類されないため, 消費者受容性の高い新規難消化性澱粉の作製に有用な手法になりうると考えられている。

これまでにわれわれは, 澱粉加工食品への利用度が高い馬鈴薯澱粉を澱粉試料として, 脂肪

酸を添加・加熱するという簡便な食品加工的処理による食後血糖値上昇抑制を可能にする澱粉素材の開発を目指し研究を行ってきた。森らは馬鈴薯澱粉にパルミチン酸やリノール酸を添加することにより, 澱粉らせん構造内部に脂肪酸が侵入し, 澱粉と脂肪酸が複合体を形成することで馬鈴薯澱粉の酵素分解グリセミックインデックス (EGI) の低下, すなわち脂肪酸を添加・加熱による馬鈴薯澱粉への難消化性付与ができることを報告した³⁾。中嶋らはパルミチン酸やリノール酸の他, ラウリン酸, ミリスチン酸, ステアリン酸, オレイン酸といった脂肪酸の添加においても, 馬鈴薯澱粉に難消化性を付与し, 澱粉と複合体を形成し得る脂肪酸である澱粉内部脂肪酸量が EGI の低下に寄与することを報告している⁴⁾。

しかしながら, 馬鈴薯澱粉などの塊茎澱粉は脂質をほとんど含まないため, 澱粉への効果的な難消化性の付与には加熱の他に, 脂肪酸などの脂質の添加が必要であり, 脂質の添加によるカロリーの増加や添加時の均一混合といった課題がある。米などの穀類澱粉は2.7%程度の脂質を含み, 澱粉粒内で澱粉と複合体を形成していることが確認されている⁵⁾。澱粉中の脂質成分には外部脂質と内部脂質があるが, 内部油脂が消化性に密接に関与すると

いわれている⁶⁾。玄米全脂質の約80%の脂質が存在する米糠中の主要脂質であるトリアシलगリセロール(TG)は搗精直後より急激に分解され遊離脂肪酸が増加し⁷⁾、穀類澱粉の内部脂質の大部分が遊離脂肪酸となっている⁶⁾。玄米脂質は少なくとも9種の構成脂肪酸を含み、全脂質の主要構成脂肪酸はオレイン酸(36%)、リノール酸(34%)、パルミチン酸(24%)である⁸⁾。

本研究では、澱粉の中でも脂質含量の多い穀類である玄米を用い、玄米中に存在する脂肪酸が加熱のみで、食後血糖値や物性にどのような影響を及ぼすかについて調べた。澱粉への脂肪酸添加における難消化性獲得の要因と考えられる澱粉-脂質複合体形成時に澱粉と結合し得ると考えられる脂肪酸(以下、内部脂肪酸(IFFA))の量を定量し、内部脂肪酸量と消化率及び分子構造変化との関係を検討することで、澱粉への難消化性付与のメカニズムを解明することが本研究の目的である。

1. 試料と方法

1-1. 試料と試薬

玄米は秋田県八峰町産のあきたこまち(水分含量10%)、秋田県仁賀保産のササニシキ(水分含量13%)、秋田県鹿角産の淡雪こまち(水分含量13%)を使用した。玄米は小型ミル(大阪ケミカル株式会社:Y-308B)で粉碎後、75~250 μ mに篩別し、未加熱試料とした。その後、ステンレス製密閉容器により試料内部温度が140 $^{\circ}$ Cになるまでオイルバス中で加熱処理したものを加熱試料とした。

澱粉分解酵素はメガザイム社のブタ膵臓 α -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。脂質のメチルエステル化はSIGMA-ALDRICH社の12%(w/w)三塩化ホウ素-メタノール試薬を用いた。

1-2. EGIの測定

試料の消化性を中嶋ら⁴⁾の方法に従い測定

した。試料75mgに0.003M CaCl₂が含まれる0.1Mマレイン酸ナトリウムバッファ溶液(pH6.0)15mLを加え、100 $^{\circ}$ Cで60分加熱した。試料を37 $^{\circ}$ Cに冷却後、ブタ膵臓 α -アミラーゼを0.069U加え、インキュベートした(37 $^{\circ}$ C, 90min, 100rpm)。インキュベート中15, 30, 60, 90分で0.4mLをマイクロチューブに分取し、直ちに100 $^{\circ}$ Cで5分間加熱することで α -アミラーゼを失活させた。その後、サンプルを遠心分離(11752 \times g, 5min)し、上清0.1mLを得た。上清に0.4M酢酸ナトリウムバッファ溶液(pH4.5)0.37mLとアミログルコシダーゼ0.1U加えた後、振とうした(60 $^{\circ}$ C, 45min, 85rpm)。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。測定はパルミチン酸添加試料および無添加試料で、各試料につき3回ずつ行った。

EGIはGoniら¹⁾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標準食品である白パンの消化率を比較し、算出した。

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

EGIはGoniらが提唱した2)式を用いて算出した。

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

なお、Goniらの方法はヒトを対象とした介入試験の結果と0.9以上の高い相関が得られている。

1-3. 澱粉内部脂肪酸の定量

中嶋ら⁵⁾の方法を用いて行った。玄米中の内部脂肪酸のうち遊離型脂肪酸と脂質構成型脂肪酸に区別される⁹⁾が、本研究で難消化性に寄与すると考えられる澱粉と結合し複合体を形成し得る脂肪酸は内部遊離型脂肪酸であると考えられるため、本報では内部遊離型脂肪酸の測定について示す。試料はソックスレー抽出法

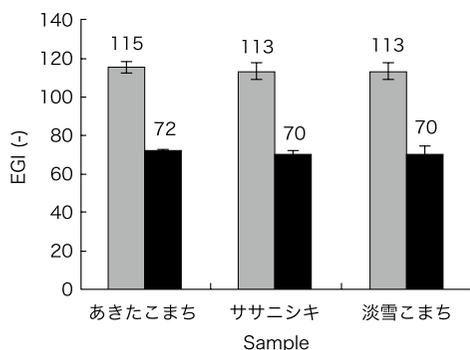


図1 各品種の生・加熱試料の EGI

■未加熱試料 ■加熱試料

各品種加熱により EGI は有意に ($p < 0.01$) 低下した。

を用い、 α -ブチルメチルエーテルにより 17 時間 85℃で還流抽出を行い、外部油分を抽出した。外部油分を除去した残渣試料を 85% メタノールにより 3 時間 75℃で還流抽出を 3 回を行い、内部脂肪酸を抽出した。抽出液の溶媒を留去し、ヘキサンで定容した。その後、12% (w/w) 三塩化ホウ素メタノール試薬により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。測定試料は未加熱試料および加熱試料を用い、各試料 3 回ずつ行った。

1-4. XRD の分析

装置は X-ray diffractometer UltraX18 (株式会社 リガク) を用いた。X 線源 Cu-K α , 管電圧 50 kV, 管電流 27 mA, 走査速度 1.2° / 分, 測定間隔 0.02°, 回折角度 $2\theta = 5.0 \sim 40.0^\circ$ の条件で X 線回折図を得た。試料は未加熱玄米および加熱玄米を用いた。測定は各試料 3 回ずつ

行った。

全ての結果の統計解析には Microsoft Excel 2010 を使用した。

2. 結果

2-1. EGI

図 1 にあきたこまち, ササニシキ, 淡雪こまの 3 品種の未加熱および加熱試料の EGI を示した。全ての品種で未加熱試料と比較して加熱試料では約 40% の EGI の低下が確認されたが、品種の違いによる EGI の有意な差は認められなかった。

2-2. 澱粉内部脂肪酸量

表 1 にあきたこまち, ササニシキ, 淡雪こまの 3 品種における未加熱及び加熱試料の内部脂肪酸量を示した。全ての品種において未加熱試料と比較した加熱試料の内部脂肪酸量 (Total) が有意に増加し ($p < 0.01$), 加熱による内部脂肪酸量の増加が確認された。品種別にみると、あきたこまちは他の 2 品種と比較すると内部脂肪酸量がやや少ない結果となった。全ての品種で加熱によりパルミチン酸・オレイン酸・リノール酸のすべての脂肪酸が有意に増加した ($p < 0.05$) が、内部脂肪酸の中でも加熱による増加率はオレイン酸 > パルミチン酸 > リノール酸の順となった。

2-3. XRD

図 2 にササニシキの未加熱および加熱試料の X 線回折図を示した。全ての品種で加熱試

表 1 各品種の未加熱試料および加熱試料の内部脂肪酸 (パルミチン酸・オレイン酸・リノール酸) 量

Sample	内部脂肪酸量 (mg)					
	あきたこまち		ササニシキ		淡雪こまち	
	未加熱	加熱	未加熱	加熱	未加熱	加熱
Palmitic acid	0.66±0.04	0.97±0.08	0.66±0.02	1.40±0.15	1.08±0.02	1.47±0.11
Oleic acid	0.52±0.03	1.03±0.02	0.51±0.05	1.39±0.07	0.64±0.06	1.46±0.11
Linoleic acid	1.00±0.05	1.39±0.03	1.08±0.04	1.85±0.14	1.57±0.03	1.83±0.15
Total	2.19±0.12	3.39±0.13	2.24±0.11	4.65±0.36	3.29±0.11	4.75±0.36

数値は平均値 ± 標準偏差 (n=3), Total はパルミチン酸・オレイン酸・リノール酸量の合計

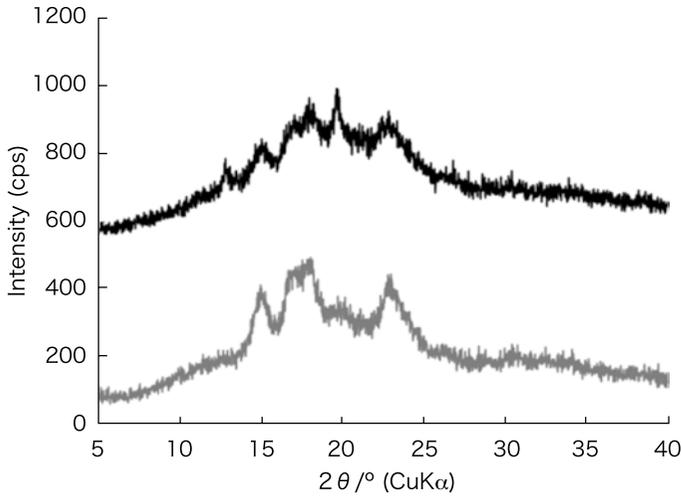


図2 ササニシキの未加熱および加熱試料 X 線回折図
 — 未加熱試料 — 加熱試料
 2θ = 13, 20° 付近のピークを下矢印(↓)で示した。

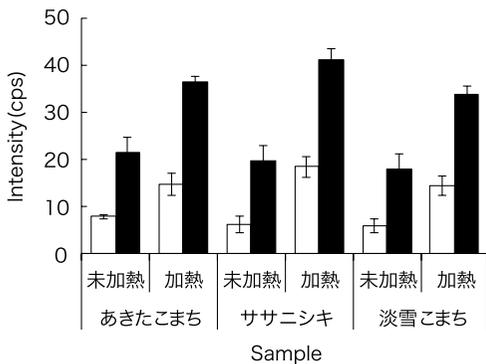


図3 玄米3品種の未加熱および加熱試料 XRD における 2θ=13, 20°C 付近のピークの
 積分強度 □ 2θ = 13° ■ 2θ = 20° 各品種 2θ = 13, 20°
 付近のピークは加熱により有意に ($p < 0.01$) 増大した。

料の結晶性が未加熱試料と比較して低下した。穀物澱粉の X 線回折パターン (A 形) の主なピークである $2\theta = 15, 17, 18, 23^\circ$ 付近のピークは全ての品種で加熱により減少した。一方、未加熱試料ではわずかに見られた $2\theta = 20^\circ$ 付近のピークは加熱により増加し、 $2\theta = 13^\circ$ 付近にも新たなピークが発現した。これらの2つのピークの強度を解析するためピークの開始と終了の回折角度を $2\theta = 13, 20^\circ$ 付近のピークをそれぞれ $2\theta = 12.0 \sim 13.5, 19.0 \sim 20.5^\circ$ に指定し、積分強度を求めた (図3)。 $2\theta = 13, 20^\circ$ の2つの

ピークは加熱により有意に増加し ($p < 0.01$)、内部脂肪酸量とこれらのピークは相関係数 0.8 以上の正の相関を示した。また、 $2\theta = 13, 20^\circ$ の結晶面の間隔を $n\lambda = 2d \sin\theta$ で表される Bragg の法則に基づき算出すると、それぞれ $0.66 \sim 0.74, 0.43 \sim 0.47 \text{ nm}$ となった

3. 考察

本実験では、脂質を多く含む穀類澱粉である玄米を澱粉試料とし、加熱のみの処理により、消化性や消化性に関与すると考えられる内部脂肪酸量および分子構造にどのような影響を及ぼすのかについて

調べた。

玄米3品種を加熱することにより、未加熱試料と比較して EGI が約 40% 低下することが確認された。この結果は同程度の水分含量である馬鈴薯澱粉 (水分含量 11%) にリノール酸 3% (w/w) 添加・加熱時の EGI の低下率と一致した。また、内部脂肪酸量においても全品種で加熱により有意に増加したが、あきたこまちの増加率が他品種と比較して小さくなった。これは内部脂肪酸量が水分含量に比例して増加すること⁵⁾から、あきたこまちの水分含量が他2品種より低いことに起因するものと考えられる。澱粉内に取り込まれる脂肪酸はその種類により選択的であるとされているが、今回の結果においては玄米中の含有量で最も多いオレイン酸が最多となり、含有量の多いリノール酸の増加量がパルミチン酸より少ないことは飽和脂肪酸が立体障害となる不飽和脂肪酸より取り込まれ易い¹⁰⁾ことが要因と推察される。内部脂肪酸量と EGI の関係を見ると (図4-A)、内部脂肪酸量は EGI の低下に伴い増加傾向にあり、両者の関係は相関係数 0.84 の負の相関を示した。さらに、XRD において加熱による結晶性の低下と $2\theta = 13, 20^\circ$ 付近のピークが有意に増加することを確認した。結晶性の低下は加熱に

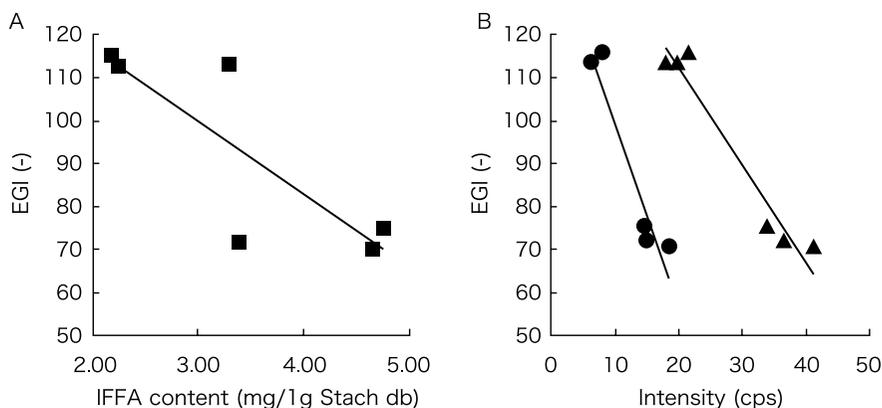


図4 内部脂肪酸 (IFFA) 量と分子構造変化が EGI に及ぼす影響

● $2\theta = 13^\circ$ ▲ $2\theta = 20^\circ$

A: 内部脂肪酸 (IFFA) 量と EGI の関係。相関係数 0.84 の負の相関を示した。

B: $2\theta = 13^\circ, 20^\circ$ のピークと EGI の関係。相関はそれぞれ $2\theta = 13^\circ$ で 0.95, $2\theta = 20^\circ$ で 0.96 の強い負の相関を示した。

よる澱粉の部分糊化による¹¹⁾ものであり、 $2\theta = 13^\circ, 20^\circ$ 付近のピークはアミロース-脂質複合体由来の構造を反映しているピークと考えられ^{11, 12)}、未加熱の状態でもわずかに存在するアミロース-脂質複合体は加熱により増加したことが示唆された。これは、加熱により澱粉粒中に脂質として存在するトリアシルグリセロールから遊離脂肪酸への分解されたことによる遊離脂肪酸の増加や、遊離脂肪酸の澱粉アミロース鎖への取り込みなどが考えられる。Amparoらは $2\theta = 13^\circ, 20^\circ$ のピークのほとんどは一重アミロースらせん構造が含まれているものと報告している¹³⁾が、玄米の分子構造上の詳細な位置の特定には今後さらなる検討が必要である。図4-BにXRDにおいて加熱により増大した $2\theta = 13^\circ, 20^\circ$ 付近のピークと EGI の関係を示した。 $2\theta = 13^\circ, 20^\circ$ のピークの強度は EGI の低下に伴い増大傾向にあり、相関係数 0.95 以上の強い負の相関を示した。

本実験において、玄米を加熱処理することで玄米中の脂質からの脂肪酸の遊離と、加熱によるアミロース-脂質複合体形成により、EGIの低下が起こった⁶⁾と示唆される。これは加熱による内部脂肪酸量の増加とXRDにおいてアミロース-脂質複合体由来と考えられる $2\theta = 13^\circ, 20^\circ$ のピークの増大に裏付けられ、馬鈴薯澱粉への脂肪酸添加・加熱による難消化性付与のメカニズム⁶⁾を支持するものとなった。従って、玄米の加熱は馬鈴薯澱粉への脂肪酸添加・加熱と同程度の難消化性の付与が可能であることが示された。

玄米を粉碎し加熱するという極めて簡易な加工処理によって難消化性を付与することができた。この玄米加工素材を原料として製造した麺、パン、スープなどの米粉加工食品は食後血糖値の上昇を抑えることのできる食品としてその実用化が期待される。

引用文献

1. Goni, I., A. Garcia-Alonso and F. Saura-Calixto.: A starch hydrolysis procedure to estimate glycemic index. *Nutr. Res.*, **17**: 427-437, 1997.
2. 不破英次, 小巻利章, 檜作進ら 編:『澱粉科学の事典』朝倉書店, 2003.
3. Mori, D., Nakashima, K., Toyoshima, R. *et al.*: Addition of fatty acids and heat treatment to reduce potato starch digestibility. *Food Science and Technology Research*, **23** (2): 339-342, 2017.
4. Nakashima, K., Oki, S., Toyoshima, R., *et al.*: Relationship between the digestion rate and internal fatty acid content of starch rendered resistant by addition of fatty acids and heat treatment. *Japan Journal of Food Engineering*, **19**(3): 185-189, 2018.
5. 山下政統: リゾリン脂質の複合体形成, オレオサイエンス, **2** (3): 137-142, 2002.
6. 藤井徹也: 澱粉の精製と加工に関する研究 - 界面活性剤による澱粉の精製ならびに澱粉中の油脂成分とその物性に対する影響について -, 澱粉科学, **19** (40): 159-168, 1972.
7. 高野克己: 米糠脂質の分解機構に関する研究, 日本食品工業学会誌, **36** (6): 519-524, 1989.
8. 藤野安彦, 間野康男: 玄米の脂質の種類と脂肪酸の組成, 栄養と食糧, **25**(6): 472-474, 1972.
9. Nishitani, N., Sato, T., and Sugano, S.: Study of analysis method of fatty acid in raw material rice. *J. Brew. Soc. Japan.*, **73**(4): 321-325, 1978.
10. 藤本滋生, 永浜伴紀, 蟹江松雄: 各植物澱粉の内部脂肪酸の比較および脂肪酸の導入, **46**(12): 613-618, 1972.
11. 高橋徹, 篠田和雄, 三浦靖ら: 加熱処理が米粉の物理化学的特性に及ぼす影響, 日本食品科学工学会誌, **49**(12): 757-764, 2002.
12. Shih, F., King, J., Daigle, K., *et al.*: Physicochemical properties of rice starch modified by hydrothermal treatments. *Cereal Chem.* **84**(5): 527-531, 2007.
13. Anparo, L.R., Berna, M.F., Elliot, P.G., *et al.*: A novel approach for calculating starch crystallinity and its correlation with double helix content: A combined XRD and NMR study. *Biopolymers*, **89**(9): 761-768, 2008.

連絡先: 秋山 美展 (Yoshinobu Akiyama)
秋田県立大学 生物資源科学部
応用生物科学科 食品科学研究室
〒010-0195 秋田市下新城野字街道端西 241-438
電話: 018-872-1586
メールアドレス: aki10396@akita-pu.ac.jp

未病ケア食品としての代謝中間体： スクアレンを例として

小西 徹也 (KONISHI Tetsuya)*

* 新潟薬科大学名誉教授， オフィス HALD 食品機能研究所

Key Words：未病ケア食品 スクアレン 生活習慣 抗酸化

Abstract

Mibyou is the concept originated about three thousand years ago in China, and was defined as a pathological condition that is not ill but is a step leading to diagnosable diseases. Therefore, Mibyou care becomes important target to attain elongation of healthy lifespan in current longevity society. Currently, the mibyou concept was renovated and classified into traditional and modern Mibyou according to the development of diagnostic technology. Based on the current definition of Mibyou, so-called functional foods need to be categorized as Mibyou care foods. Metabolic intermediate like squalene is one of the targets of study as the Mibyou care food because they are different from xenobiotics and micronutrients as food factor. Characteristic features of metabolic intermediate are discussed.

はじめに

長寿高齢化により生活習慣や老化に伴うがんやメタボリック症候群などの複合疾患の増加が健康寿命の延伸を妨げる要因となってきた。食は生活習慣病の発症と関係する重要な因子である。特に高カロリー・高脂肪の摂取に伴う肥満が動脈硬化やそれに起因する脳、心臓血管系疾患や糖尿病、認知症、がんなど高齢社会における生活の質（QOL）を阻害する疾患の引き金になるために、肥満の予防と肥満に起因する生理状態の異常であるメタボリック症候群の予防と改善が社会的に急務となっている。

1. 食べ物の役割

最近では食品の機能が1) 栄養機能，2) 感覚機能，そして3) 薬理生理的機能という3分類で論じられるようになったが，食品成分を分類すると1) 身体を作り，活動のエネルギー

を作るためのもの，2) 代謝反応をスムーズに進めるように働くもの，3) 体を整える，あるいは損傷防御や修復促進に働くものになる。1) は蛋白質，脂質，糖質の三大栄養素，2) はビタミン，ミネラルなどの微量栄養素であり，これらの不足と病気の関係が論じられて従来の不足の栄養学が発展したが，その後，食物繊維やポリフェノールなどの従来は非栄養素であった食物成分の生理的，薬理的作用の研究が進展した結果，3) の役割を持つことが明らかになり，それらは食品機能因子と呼ばれるようになっていく。最近ではこの機能因子の作用に注目した機能性食品の開発が活発に行われているが，外来異物（Xenobiotics）としての性質を持つこれらの食品因子と医薬品の作用の相同性や相異性，またその応用範囲についてはまだ大いに議論が必要である¹⁾。

食品機能因子の作用を健康維持や増進に役立てるという方向での食品開発が世界的な動きになっているが、我が国では保健機能食品制度などの法制化が先駆的に整備され、特定保健用食品など機能性成分の作用の科学的裏づけを元に食品の機能を表示できる制度も発足、最近では機能性表示食品という新たな分類も発足して機能性食品分野の拡大が加速している現状である²⁾。

2. 未病と未病ケア

健康寿命の延伸が長寿社会のニーズとして重要になっており、その点では未病という古典概念が重要である。病気でもないが完全に健康でもない、病気の入り口である未病を治すことは病気を治すことよりもっと重要であるとされる伝統中医学の概念であるが、長寿社会を迎えた現代では改めて未病ケアの重要性が再認識されている(図1)。

そのために、検査医学の進展した現在では未病の新たな定義付けも行われており、日本未病システム学会では身体不調であるが検査値では異常の見られない、従来型の未病を東洋医学的未病、検査値異常であっても日常生活に影響しないものを西洋医学的未病、後者を医療介入の必要度に応じてI期とII期に分類している(図2)³⁾。

3. 未病ケア食品

病気の治療は医薬品、予防は食品という行政的分類で進められてきた機能性表示食品という新たな食品ジャンルであるが、食品機能因子の薬理的研究の進展もあり、医薬品との境界が重

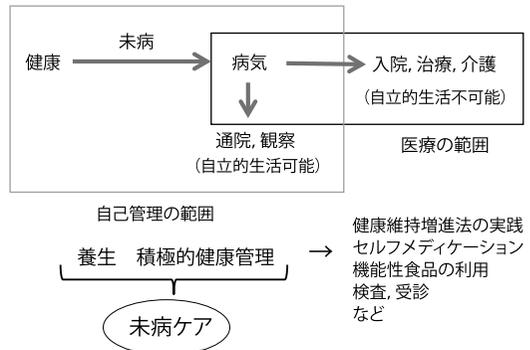


図1 未病ケアの概念

東洋医学的未病

軽微な自覚症状はあるが検査では異常が見られない状態
→痺れ, 倦怠感, 冷え, めまい, 胃もたれ, など (不定愁訴)

西洋医学的未病

自覚症状はないが検査では異常値を示す状態

I期:自己管理できる部分(M1)

II期:医療介入も必要(M2)

→肥満, 脂質異常症, 糖尿病, 高血圧症, 高尿酸血症, 無症候性脳梗塞, 未破裂脳動脈瘤, preclinical認知症, 潜在性心不全, 脂肪肝, 肝炎ウイルスキャリアー, メタボリックシンドローム, サルコペニア, 初期ガン など

図2 未病の新たな定義

- ・健康な状態で予防的に用いる。
- ・体不調で検査値異常なしに用いる。
- ・快調だが検査値に異常がある場合に用いる。



- ・健康な状態で予防的に食べる。
→抗老化, 抗酸化, 抗炎症, 抗ストレスがターゲット。
- ・体不調で検査値異常なしの場合に食べる。
→免疫, 内分泌, 神経などホメオスタシス因子がターゲット。
- ・快調だが検査値に異常がある場合に食べる。
→特定未病マーカーがターゲット。
- ・病気の治療増感, 回復促進を助ける。
→補完, 統合医療がターゲット。

広い意味の未病ケア食品例

供給メニュー:弁当, ケータリング, レストランメニュー, テイラーメイドメニューなど

機能性明らか食品:素材, 菓子, 加工品など

サプリメント形状食品:目的別未病ケア食品

統合医療用食品:治療補助, 治療回復食など

基本的には1)抗老化, 2)ホメオスタシス調整, 3)検査値異常個別対応がターゲット

図3 未病ケア食品の概念と応用範囲

未病ケア食品 1

健康人が摂取し、老化の遅延をはかり、主に東洋医学的未病の改善を図る目的、生活の質 (QOL) の向上、維持を目的に利用する食品。

(老化遅延, ホメオスタシス調整 (免疫, 神経, 内分泌を標的), 気の賦活 (脳神経系保護), 安眠, 疲労回復促進, 抗うつ, 関節, 筋肉, 運動機能維持, 美容, 精神活動賦活, 抗ストレスなど)

未病ケア食品 2

検査値異常, 日常生活可能な状態を標的に数値のコントロールと日常生活の質の維持, 向上を図るための食品。

(ガンの進行遅延, 抗メタボリック症候群 (肥満, 高脂血症, 高血圧, 高血糖, 認知症, うつ病, ストレス, 動脈硬化, 心臓血管系疾患, 腎臓機能改善, 免疫, アレルギー, 疼痛改善, フレイル改善, サルコペニア予防, 改善 など)

図 4 開発目標からみた未病ケア食品分類

なる部分が生まれてきている。そのために、制度上、医薬品の作用を持つにも関わらず、その作用を主張してはならないという中途半端な状態も生まれている。機能性食品を健康寿命の延伸という目的にかなう存在にするためには未病の新しい定義を基に未病ケア食品という新たな視点からその役割を整理する必要がある。

未病ケア食品の概念とその使い方、守備範囲は、1) 健康な状態で予防的に用いる、2) 体調不良だが検査値には異常がない場合に用いる、3) 検査値には軽度の異常が見られるが普通の生活には支障がない場合に用いるもの、さらに4) 治療の増感や病気の回復促進を助けるものに整理できる (図 3)。

1) では抗酸化、抗炎症作用をベースとした抗老化、抗ストレスなどがターゲットであり、2) は免疫、内分泌、神経など生体のホメオスタシスに関連する因子の調整がターゲットになる。3) および4) の場合には特定疾病マーカーを対象にした病状のコントロールやアジュバントの利用による治療増感、さらに病気の回復促進などがターゲットになり、現在の特定保健用食品を含めて、補完統合医療への応用をターゲットとするものが考えられる。すなわち、未病ケア食品は基本的には1) 抗老化、2) ホメオスタシス調整、3) 特定異常検査値改善が守備範囲になる。

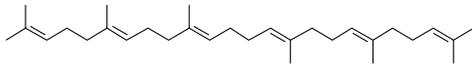
未病ケア食品の開発という観点からは以下の2分類が可能である。老化の遅延をはかり、主

に東洋医学的未病の改善を図る目的で利用するもの、生活の質 (QOL) の向上、維持を目的に利用するものなどを未病ケア食品 1 として、健康人も活用できるものである。アンチエイジング、腸内細菌叢改善、ホメオスタシス調整、抗うつ、安眠、疲労回復促進、運動機能維持 (筋肉、関節)、美容、精神活動賦活 (気力、活力増進)、抗ストレスなどが具体的な標的となる。一方、検査値異常であるが日常生活は可能である未病患者を対象に数値のコントロールと日常生活の質 (QOL) の維持、向上を図るために利用するものを未病ケア食品 2 と定義すると、未病ケア食品 2 は初期がん、抗メタボリック症候群 (肥満、高血圧、高脂血症、高血糖など)、認知症、うつ病、ストレス、動脈硬化、心臓血管系疾患、腎臓機能改善、免疫、アレルギー、疼痛、フレイル、疲労など広い範囲が応用の対象となる (図 4)。

このような分類を行うことにより機能性食品の応用が明確になり、その開発の戦略も立てやすくなると考えられる。

4. 食品機能因子としての代謝中間体

機能性食品素材に存在するフラボノイドなどの外来異物を機能性関与成分とし、その薬理・生理作用に注目した機能性食品が多く開発、上市されているが、これらは未病ケア食品 2 に該当するものである。病気予防や東洋医学的未病のケアを目的とする未病ケア食品 1 の分野ではホメオスタシスの維持や増進などが重要な標



C₃₀H₅₀ 無色（微黄色）、無臭の液体
融点 -75℃ 沸点 285℃

図5 スクアレンの構造と性質

的となる。栄養機能成分としてのビタミン、ミネラルなどの微量栄養素は栄養機能食品として現在も応用されているが、その生理的役割から未病ケア食品1の機能素材である。代謝中間体はそれらには入らないが未病ケア食品1の機能性素材として注目される。

5. スクアレン

例えば、スクアレンはコレステロール生合成の前駆体として知られる生理分子である。動物体内では図5に示す合成経路で必要に応じてメバロン酸から生合成される。C₃₀H₅₀の組成式で示されるイソプレノイドで、天然には深海ザメの肝臓に大量に含まれることからサメ (*Squalus*) に由来するスクアレンと命名されている。アマランスやオリーブなどの植物にも存在することが知られている⁴⁾。

スクアレンを前駆体として生合成されるコレステロールは生体ホメオスタシスに係るス

テロイドホルモンや、胆汁酸の合成原料であることは知られているが、HDL, LDLにより全身の分布、レベルの維持がなされていることを考えると、コレステロールの基本的な役割は、細胞膜の流動性の維持という物理的作用が基本にあると考えられる。

メバロン酸経路と呼ばれているこのコレステロール生合成経路はステロイドホルモンの供給だけでなく、その経路の中間に位置するゲラニルPP、ファルネシルPPから分岐してCoQなどのイソプレノイド側鎖を持つ生理分子の生合成や、さらに細胞分裂など細胞活動を調節するタンパク質の翻訳後修飾反応として重要なプレニル化にも関わっている⁵⁾。従って、細胞活動の根幹をなす重要なものであり、フィードバック調節などで生理的条件に対応したコントロールがなされている。スクアレンはこのゲラニルPPを前駆体として合成され、ラノステロール、コレステロールへと続く生合成経路に位置する(図6)。

6. サプリメントとしてのスクアレン

この代謝経路の中間に位置するスクアレンを体外からサプリメントとして供給した場合には単に性ホルモンやコルチコイドなどの内分泌因子の生合成に影響を与えるだけでなく、細胞分

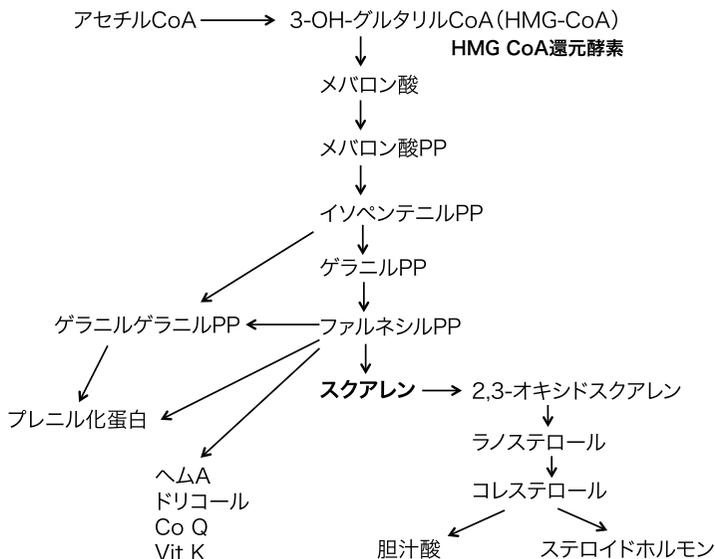


図6 コレステロールの生合成経路

裂や抗酸化ポテンシャル, エネルギー代謝など広範な生体反応が影響される可能性は高い。その意味では生体のホメオスタシスの維持, 増進を図る未病ケア食品の素材としては魅力的な性質を持っている。

一般に, サプリメントとして外部より与えられた食品機能因子を分子という観点で眺めた場合にはその化学構造の持つ生体との化学的, 物理的相互作用が生体作用の背景となる。脂溶性という観点では生体膜流動性など生体反応の場, 環境を修飾することによる間接的な作用の存在がある。一方, 化学分子としての作用には医薬品と同じリガンド-受容体相互作用に基づく直接作用と特定受容体を介さない抗酸化, ラジカル消去作用によるレドックス制御のような間接的な作用がある¹⁾。

スクアレンはその化学構造から特に脂質層への親和性が高い。したがって生体膜に対する物理的間接作用の影響が無視できないと考えられる。薬理分子のような明確な受容体が存在するか否かに関しては未だ十分解明されていないが, 間接的な作用である抗酸化活性に関してはポリフェノールなどの一般的な抗酸化剤とは異なり一重項酸素消去活性が高いという特徴があり, 皮膚へも広く分布することから皮膚の光損傷防護作用が注目されている⁶⁾。加えてステロイドやイソプレノイド代謝の中間原料としての生理的な役割を持つ点が中間代謝産物としてのスクアレンのサプリメントとしての作用の特徴になる。

スクアレンは古くからその抗がん性や滋養強壮作用が注目され, 民間薬として利用されていた素材である⁷⁾。スクアレンはHMG-CoA還元酵素を阻害することが報告されているが, その結果, 下流にあるファルネシルPPなどの合成が阻害されるために, 癌原遺伝子産物である変異したRasのプレニル化も低下し, その結果癌の増殖が抑制されるという機構が抗がん性の背景として議論されている⁸⁾。

近年, サプリメントとしてのスクアレンの作用も活発に研究が進んでおり, 抗炎症, 免疫調

整, 解毒, 鎮痛, 酸素循環促進, 殺菌など色々な作用が動物レベル, 細胞レベルで報告されている⁹⁾。これらの作用のいくつかはスクアレンの代謝中間体としての性質や物理的, 化学的性質を考えると予想されるものもあるが, 代謝中間体としての性質からその作用発現は生体の状態や用量に応じて変化することが予想される。我々も放射線作用や抗がん剤作用の増感, 染色体保護作用などアジュバントとしての応用の可能性^{10, 11, 12)}を報告しているが, サプリメントとして外部から摂取するスクアレンの適切な摂取量と観察される作用の間の関係については十分解明されているとは言えない。スクアレンは安全性が比較的高く, 0.6g/日の摂取でも目立った副作用は観察されないとされている¹³⁾が, ホメオスタシスの維持, 促進という観点からの詳細な用量の問題を含めて代謝中間体サプリメントについては未病ケアという観点からの一層の研究が待たれる。

結 語

コレステロール生合成前駆体として知られるスクアレンであるので, 外部から補給はコレステロール合成, ひいてはその先のステロイドホルモンの合成に影響を与える可能性がある。年齢とともに低下することが知られているステロイドホルモンやDHEAの合成素材としてのスクアレンの補充は, 状況に応じたステロイドホルモンなどの合成促進など外的状況に応じた生体の迅速な外界適応を助けることが予想される。スクアレンの充足はスクアレン合成前駆体のゲラニル, ファルネシルPPを介したタンパク質のプレニル化やUQ合成の促進というステロイド合成経路の分岐を促す可能性もある。結果として抗酸化ポテンシャルの増強や細胞分裂の正常化など間接的な作用に結びつく可能性が高い。スクアレンの皮膚保護作用に見られるように, スクアレン自体の構造特性から抗酸化活性はポリフェノールなどが不得意とする一重項酸素の消去に力を発揮する。細胞膜への親和性の高い点でも生体における抗酸化にはポ

リフェノールとは違った寄与が大きい。生体損傷防御の基本となる抗酸化以外に、生合成経路の比較的初期段階の代謝中間体は生体のホメオスタシスに色々な面から影響を与える可能性が高いので未病ケア食品素材としての潜在的な能力は高い。

スクアレンのような代謝中間体以外にも、現在、栄養機能食品として市販されているビタミン、ミネラルや、機能性表示食品として販売されているアミノ酸などの生体分子も未病ケア食

品1という範疇に分類されるものであり、今後その視点からの応用研究が期待される。

追記

大学紛争の名残がまだ消えずに残っていたカリフォルニア大学バークレー校のパッカー研で過ごした、刺激的で楽しい日々を思い出しながらまとめた本稿を故レスター・パッカー教授に捧げます。

参考文献

1. Konishi T: "Weak direct" and "Strong indirect" interactions are the mode of action of food factors (Review), *Funct Food Health Disease* **4**: 254-263, 2014.
2. 消費者庁 HP <https://www.fld.caa.go.jp/caaks/cssc01/>
3. 循環器病・介護予防に向けた未病ガイドライン 都島基夫監修（一社）日本未病システム学会. 2016.
4. Beltrán G, Bucheli ME, MP, *et al.*: Squalene in virgin olive oil: Screening of variability in olive cultivars, *European Journal of Lipid Science and Technology*, **118**: 1250-1253, 2015.
5. Sebt SM: Protein farnesylation: Implications for normal physiology, malignant transformation, and cancer therapy. *Cancer cell*, **7**: 297-300, 2005.
6. Ohsawa K, Watanabe T, Mtsukawa R, *et al.*: The possible role of squalene and its peroxide of the sebum in the occurrence of sunburn and protection from the damage caused by UV irradiation, *Journal of Toxicological Sciences*, **9**, 151-159, 1984.
7. Smith TH: Squalene: potential chemopreventive agent, *Expert Opinion on Investigational Drugs*, **9**: 1841-1848, 2000.
8. Newmark HL: Squalene, olive oil and cancer risk; Review and Hypothesis, *Ann NY Academy of Sciences*, **889**: 193-203, 1999.
9. Ronco AL, Stefanis ED, Squalene: a multi-task link in the crossroads of cancer and aging, *Funct Food in Health Disease*, **3**: 462-476, 2013.
10. Bhilwade HN, Tatewaki N, Nishida H, Konishi T: Squalene as Novel Food Factor. *Curr Pharm Biotechnol*. **11**: 875-880, 2010.
11. Bhilwade HN, Tatewaki N, Girdharan V, *et al.*: Modulation of doxorubicin-induced genotoxicity by squalene in Balb/c mice, *Food Funct*, **1**: 174-179, 2010.
12. Tatewaki N, Konishi T, Nakajima Y, *et al.*: Squalene inhibits ATM-dependent signaling in gamma IR-induced DNA damage responses through induction of Wip1 phosphatase. *PlosOne* DOI:10.1371 Jan 29, 2016.
13. Hamadate N, *et al.*: Vascular effects and safety of supplementation with shark liver oil in middle-aged and elderly males, *Experimental and Therapeutic Medicine*, **10**: 641-646, 2015.

連絡先：小西 徹也（Tetsuya Konishi）
新潟薬科大学名誉教授、薬学博士
オフィス HALD 食品機能研究所
E-mail: t.konishi@bg.wakwak.com
Tel: 09028462483

部分解繊セルロースの食品素材としての可能性

芳野 恭士 (YOSHINO Kyoji)*

¹ 沼津工業高等専門学校 物質工学科

Key Words：セルロース 解繊 食品 保健作用

はじめに

我々が食事の際に野菜や果実を摂取すると、それらに含まれる水溶性と不溶性の食物繊維を一緒に摂ることになる¹⁾。水溶性の食物繊維成分としてはキシログルカンのようなヘミセルロースやペクチン等が、また不溶性の食物繊維成分としてはセルロースやリグニンが知られている²⁾。このうち、水溶性の食物繊維については様々な保健作用が報告されている。一方で、不溶性の食物繊維、特に木材パルプに含まれる高い不溶性を示すセルロース繊維は、紙産業では大量に利用されてきたが、食品素材としての利用に関する検討は十分ではないと感じられる。

1. 食物繊維の保健作用

β -グルカンやペクチンのような水溶性の食物繊維は、その高い保水作用のために膨潤剤、増粘剤、糊剤、安定剤、被膜形成剤として食品に添加される。それに加えて整腸作用、糖質や脂質の吸収抑制作用、血中コレステロールの低下作用、免疫調節作用あるいは抗炎症作用といった種々の保健作用が期待できる^{3,4)}。これらの作用には、水を吸収して粘稠になった水溶性食物繊維による胃内容物の排出遅延⁵⁾、栄養素の吸収抑制⁶⁾、腸内細菌叢による発酵⁴⁾と

いった現象が関わっているものと考えられる。著者らも、オオムギ由来の可溶性 β -グルカン、黒色酵母の *Aureobasidium pullulans* 由来の水溶性プルラン、エンバク由来のキシラン、ブナシメジの水溶性多糖画分によるマウスの接触皮膚炎に対する抑制作用⁷⁻⁹⁾、花ユズやニューサマーオレンジの食物繊維を含む果実全体のペーストによるマウスのストレス性胃炎に対する抑制作用¹⁰⁾、サラシア属植物の幹によるマウスの腸管免疫系に対する賦活作用¹¹⁾をこれまでに報告してきた。

不溶性または低発酵性の食物繊維についての報告は少ないが、低発酵性粘稠性のオオバコ繊維がその物理的刺激により、ラットの盲腸および結腸粘膜のタンパク質やDNA、RNA量を増加させるという報告がある¹²⁾。著者らもグラム陰性桿菌の *Alcaligenes faecalis* 由来の不溶性カードランにより、マウスの接触皮膚炎が弱いながらも抑制されることを見出しているが⁸⁾、カニガラ由来のキトサンには同作用は認められなかった¹³⁾。

食物繊維を小麦粉等の低カロリーな代替品として、あるいは食品の物性の改良剤として利用することも考えられている。ポテトパルプからの可溶性繊維画分を使用した場合、パンやレバーペーストへの添加でよい食味が感じられる

ことが報告されている^{14,15)}。

2. セルロースの保健作用

前述のような研究に用いられてきた食物繊維の多くは、日常に摂取される機会が多い植物の特定の繊維画分やそこから分離精製された繊維である。食材として植物そのものを用いる場合には、水溶性と不溶性の様々な繊維を混合物として摂取しており、その中にはセルロースも含まれている。しかし、パルプ系食物繊維のセルロース単体はその食感の悪さから、食品材料としてはあまり使用されていない。

保健作用についても、精製されたセルロースの保水力は一般に低いため¹⁶⁾、糖などの栄養素の吸収や代謝への影響は限定的であるとされている^{17,18)}。腸管内での発酵も受けにくい¹⁹⁾。著者らの研究でも、セルロースの部分構造物であるセロヘキサオースとセロピオースにはマウスの接触皮膚炎抑制作用は認められていない²⁰⁾。一方、セルロース等のパルプ系食物繊維は不溶性のため、ゾル状物として消化管内容物の量を増加させて腸の蠕動運動を促し、腸内容物の滞留時間の短縮、腸内容物の粘稠性の抑制、便量の増加、胆汁酸の再吸収抑制、有害物質の腸内接触時間の短縮等による便通の改善や結腸がんの抑制作用が期待できるとも考えられる^{21,22)}。マウスにセルロースを投与すると、糞乾燥重量や糞中の中性デタージェント繊維量が増加するが、これには腸内細菌は関係なく消化管内容物の滞留時間の短縮も見られない²¹⁾。ラットに結晶セルロースを投与すると、消化管内容物の通過が容易になり糞中の窒素量が増加する¹⁹⁾。イヌにセルロースを投与すると、腸管が刺激されて結腸粘膜のDNA量が増加することも報告されている²³⁾。しかし、これらはいずれも強い効果ではないものと思われる。

栄養素の吸収や代謝への影響といった機能を期待してではなく、低カロリー化や食物繊維の強化のために様々な食品にセルロースを添加することも試みられてきた²⁴⁾。木材パルプセルロースや微結晶セルロースを小麦粉に添加した

パン製品では、パンの容量低下や食感のザラツキ、柔らかさの低下、生地とバターの間層不良等の問題が起こる²⁵⁾。また、トウモロコシや木材由来の繊維の添加は、ブランジェやスープの舌触りを悪くさせるが、きな粉やクッキー、バターロールではあまり食感を損なわない²⁶⁾。食品の加工面では、クッキーの保形能の向上やパン生地の伸展性の減少等の利点がある。満腹感の持続や便通の向上を感じることもある。サトウダイコンの繊維をパンや麺、コロケ、焼き菓子などに添加した場合にも、生地の伸展性や比容積の低下、食感の低下等の問題が生じる一方で、老化防止、焼き痩せ防止、歩留まりの向上、発酵阻害防止、麺離れの向上、パンク防止、鉄板離れの向上、サクサクした食感の維持、油脂の酸化防止作用、保存性の向上といった利点も報告されている²⁷⁾。

3. 加工セルロースとその保健作用

厚生労働省の「既存添加物」としては、現在、微結晶セルロース、微小繊維状セルロース、粉末セルロース等が、食品に乳化性、熱安定性あるいは増粘性を付与するための食品添加物として認められている²⁸⁾。微結晶セルロースは、加水分解処理によってマイクロフィブリルにまで微細化されることで製造され、粉末状やコロイド状のものがある。粉末セルロースは、機械的粉碎あるいは緩やかな加水分解処理と機械的粉碎の組み合わせで製造される²¹⁾。他の多くの食物繊維で見られるように、セルロースを精製するとその物理的な性質が変化することが知られている^{29,30)}。高い水結合能を示すセルロースの摂取は、元のセルロースには期待し難いブタにおける胃内容物の排出の遅延作用を示すことが報告されている¹⁷⁾。炭水化物の主要な吸収部位は十二指腸と空腸であるから^{31,32)}、胃内容物の流出の遅延はグルコースの吸収を穏やかにすることに繋がる。

セルロース添加食品の食感の低下を防止する試みとして、低重合度で低結晶度の再生セルロースを水酸化ナトリウムや硫酸に溶解したも

のを利用することで、他の食品素材との混合が容易になる¹⁵⁾。穀類や野菜、果物のパルプのようなリグノセルロースをアルカリ性下で過酸化水素溶液により処理した場合にも、吸水、軟化、膨潤の能力が増大し、パン製品に利用し易くなる²⁵⁾。ブナ材パルプをアルカリ浸漬した小麦粉様のヘミセルロース画分をエンバクと等量で混合したものは、容易にペースト状製品に加工できるものの、パン製品の成形には問題が生じる³³⁾といった報告もある。

ところで、セルロースを化学的処理や物理的処理によって4 nmのセルロースマイクロフィブリル、幅10～20 nmのセルロースマイクロフィブリル束あるいはこれが数十～数百 nmの束となったマイクロフィブリル化セルロースに解繊したものは、セルロースナノファイバー(CNF)と呼ばれている³⁴⁾。CNFには軽量性や高い硬度といった特性が知られているが、一方で大きな比表面積や高い粘性、水への高分散性が期待できることから²⁾、分散剤や乳化剤、保形剤や保湿剤としてCNFを食品に添加することが考えられる³⁵⁾。実際に食品に添加した場合、焼き菓子の割れ防止、ソフトクリーム of 溶解防止、中華麺の保形性向上と茹で時間の短縮、ハンバーグの保形性向上、振盪の不要なコロイド系飲料やドレッシングの調製、可食性マンゴーピューレフィルムの引張強度と弾性の向上や透湿率の低下³⁶⁾といったことが報告されている。また、パルプのセルロースを平均粒径1 μm以下まで微細化して水に分散させたクリーム状セルローススラリーは、その食感から低カロリーの脂肪代替物質として期待されている³⁷⁾。パルプではなく、元々食品であるナシやリンゴ²⁾、サトウダイコン³⁸⁾、温州ミカン搾汁残渣³⁹⁾やオレンジピール廃棄物⁴⁰⁾などからCNFを調製する試みも行われている。ココヤシの果汁を酢酸菌*Acetobacter xylinum*で発酵して製造するナタ・デ・ココ中のバクテリアセルロースも、CNFの一種である⁴¹⁾。

CNFは、その特性から体内で水溶性食物繊維と似た挙動を示すことが予想される。しかし、

CNFの食品としての機能性の報告は少ない。東ら⁴²⁾は、CNFに抗炎症作用があることを報告している。ポテトパルプをニホンコウジカビ*Rhizopus oryzae*で発酵したものに、アセトアミノフェン誘発の慢性肝毒性に対する抑制作用があることも報告されている⁴³⁾。

4. 部分解繊したセルロースのマウスでの糖質や脂質の吸収抑制作用

ところで、肥満は糖尿病や高脂血症、高血圧といった生活習慣病の発症と関係があると考えられ、これらの疾病はさらに重篤な動脈硬化等の循環器障害を引き起こす可能性が高い⁴⁴⁾。そのため、内臓脂肪型肥満に高血糖、高脂血症あるいは高血圧のうちの2つを併発した状態を、代謝症候群と呼んでいる⁴⁵⁾。そこで、著者らのグループは部分解繊したセルロースを用いて、糖あるいは脂質の吸収に対する抑制作用についてマウスを用いて検討してきた⁴⁶⁾。本項では、その報告の一部を紹介する。

まず、針葉樹の木材パルプを原料としてミキサーにかけ、それに微小なジルコニアビーズを加え水に分散させて湿式で振盪することによる物理的解繊処理法で、セルロースの微細化を行った。針葉樹のパルプは繊維細胞が多く、夾雑細胞が少ないとされているため⁴⁷⁾、この実験に用いた。得られたスラリーの外観と、それに含まれる繊維について走査型電子顕微鏡(SEM)とフーリエ変換赤外分光法(FT-IR)による観察と分析を行った結果を図1～3に示す。ここでは、この繊維をPartly Spread Cellulose Fibers (PSCF)と呼ぶことにする。PSCFは、SEMによる観察でマイクロサイズの繊維の一部がほどけた外観を呈していた。木材パルプをCNFにまで解繊する場合、化学的な前処理が必要と考えられるが³⁹⁾、本研究では食品に用いることへの安全性を考慮し物理的な処理のみを行った。そのため部分的な解繊に留まったが、白濁したスラリー状の液が得られたため、この繊維を実験に用いることにした。PSCFのFT-IRスペクトルは、市販の微結晶セ



図1 部分解繊セルロースのスラリーの外観

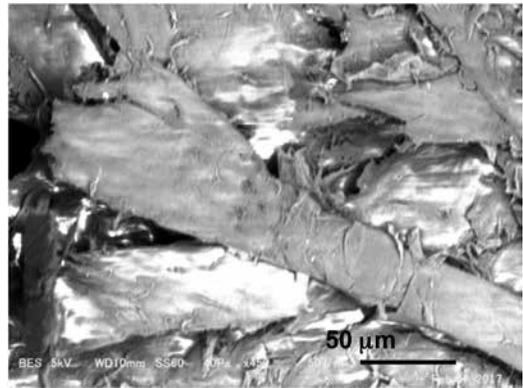


図2 部分解繊セルロースの SEM 画像

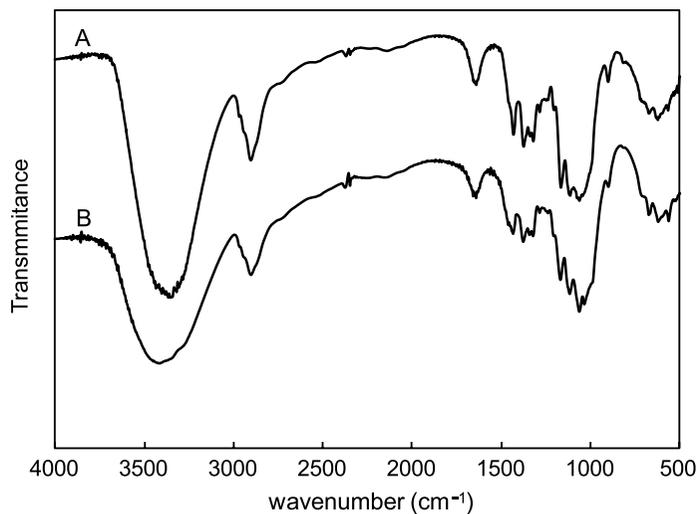


図3 部分解繊セルロースの FT-IR スペクトル
A: 部分解繊セルロース, B: 市販の微結晶セルロース (Avicel)

ルコース Avicel と同様であった。

PSCF の糖吸収抑制作用を検討するため、PSCF の 0.1%, 0.3%, 0.5% または 1.0% スラリーを 40% デンプン水溶液と 1:4 で混合し、その 5 mL を 1 群 4 匹の 4 週齢雄性 ddY 系マウスに経口投与した。PSCF 添加デンプン水溶液の代わりに、水を用いた群と水と 40% デンプン水溶液の 1:4 混液を用いた群も用意した。投与 30 分後のマウスの血糖値を測定した結果を図 4 に示す。PSCF の投与は、濃度依存性は見られなかったがいずれの濃度においても、デンプン投与後のマウスの血糖値の上昇を統計学的に有意に抑制した。

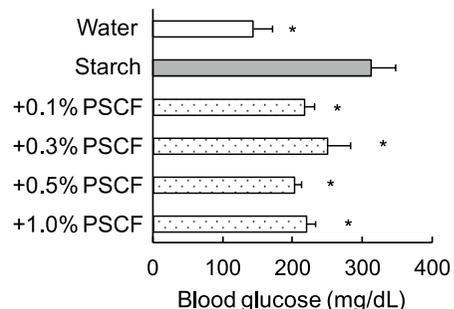


図4 デンプン投与マウスの血糖値に対する部分解繊セルロース投与の影響

平均±標準偏差. n=4. デンプン投与群との統計学的有意差 (一元配置分散分析法と Tukey の多重比較法による): * $P < 0.01$

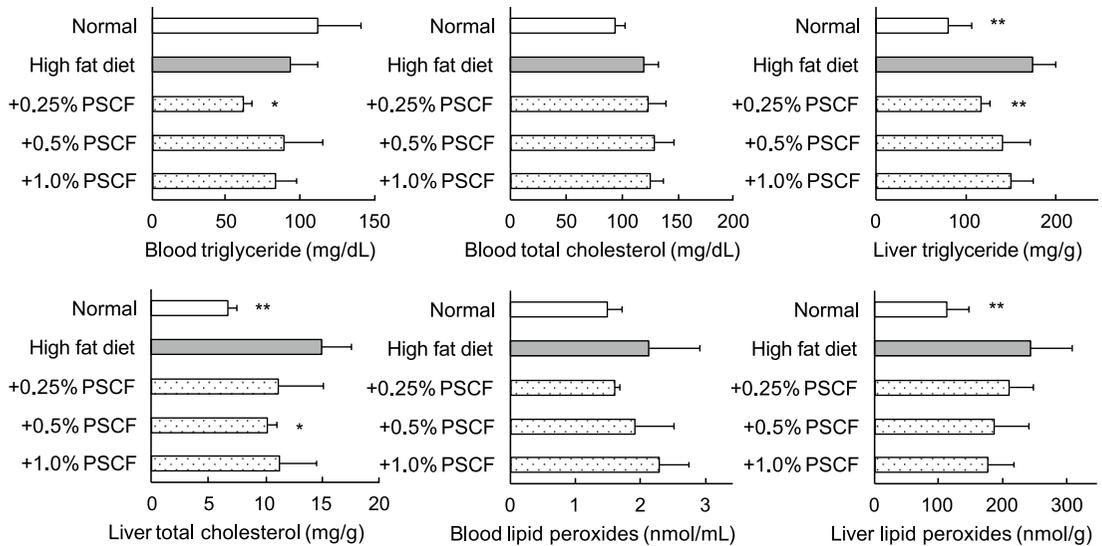


図5 高脂食摂取マウスに対する部分解繊セルロース投与の影響

平均土標準偏差 . n=4. 高脂食群との統計学的有意差
(一元配置分散分析法と Tukey の多重比較法による) : * $P < 0.05$, ** $P < 0.01$

次に、PSCF の脂質吸収抑制作用を検討するため、高脂食に 0.25%、0.5% または 1.0% となるよう PSCF を添加した飼料を、1 群 4 匹の 5 週齢雄性 ddY 系マウスに 4 日間自由摂取させた。高脂食は、マウス用標準粉末飼料の PMI-5002 (PMI Nutrition International 社製; 脂肪 5.0%、コレステロール 0.0142%) にコーン油を 15%、コレステロールを 3.0% となるように添加して調製した。PSCF 添加高脂食の代わりに、PMI-5002 を用いた群と高脂食を用いた群も用意した。4 日間飼育後のマウスの血中トリグリセリド (TG) 量、血中総コレステロール (TC) 量、肝臓 TG 量、肝臓 TC 量、血中および肝臓の過酸化脂質 (チオバルピツール酸反応性物質) レベルを測定した結果を図 5 に示す。マウスの血中 TG 量は高脂食摂取で低下したが、PSCF の同時投与はその値をさらに低下させる傾向が見られた。特に 0.25% の PSCF 添加では、統計学的に有意な低下が認められた。また、血中 TC 量は高脂食摂取で上昇したが、PSCF の同時投与の影響は見られなかった。これに対し、PSCF の投与は、高脂食摂取後のマウスの肝臓 TG 量と TC 量の上昇を抑制する傾向が見られ、

肝臓 TG 量では 0.25% の PSCF 添加で、肝臓 TC 量では 0.5% の PSCF 添加で、それぞれ統計学的に有意な抑制作用が認められた。高脂食摂取によるマウスの血中過酸化脂質レベルの上昇については、1.0% の PSCF 添加でのみ抑制する傾向が見られたが、肝臓過酸化脂質レベルの上昇については、PSCF の添加量依存的に抑制する傾向が見られ、PSCF には体内の酸化ストレスを軽減する作用も期待された。

以上の結果から、PSCF には糖と脂質の吸収を抑制する作用があるものと考えられたため、簡易なマウスの代謝症候群モデル⁴⁸⁾ に対する PSCF の影響を検討することを試みた。マウス用粉末飼料 PMI-5002 (脂肪 5.0%、コレステロール 0.0142%、シヨ糖 3.22%) に粉末ゴマ油 (日油社製 N ネオパウダー G) とコレステロール、シヨ糖を添加し、脂肪 20%、コレステロール 0.2%、シヨ糖 34.1% の飼料を調製した。この高脂質高シヨ糖食に 1.0% となるよう PSCF を添加した飼料を、1 群 5 匹の 4 週齢雄性 ddY 系マウスに 7 日間自由摂取させた。PSCF 添加高脂質高シヨ糖食の代わりに、PMI-5002 を用いた群と高脂質高シヨ糖食を用いた群も用意し

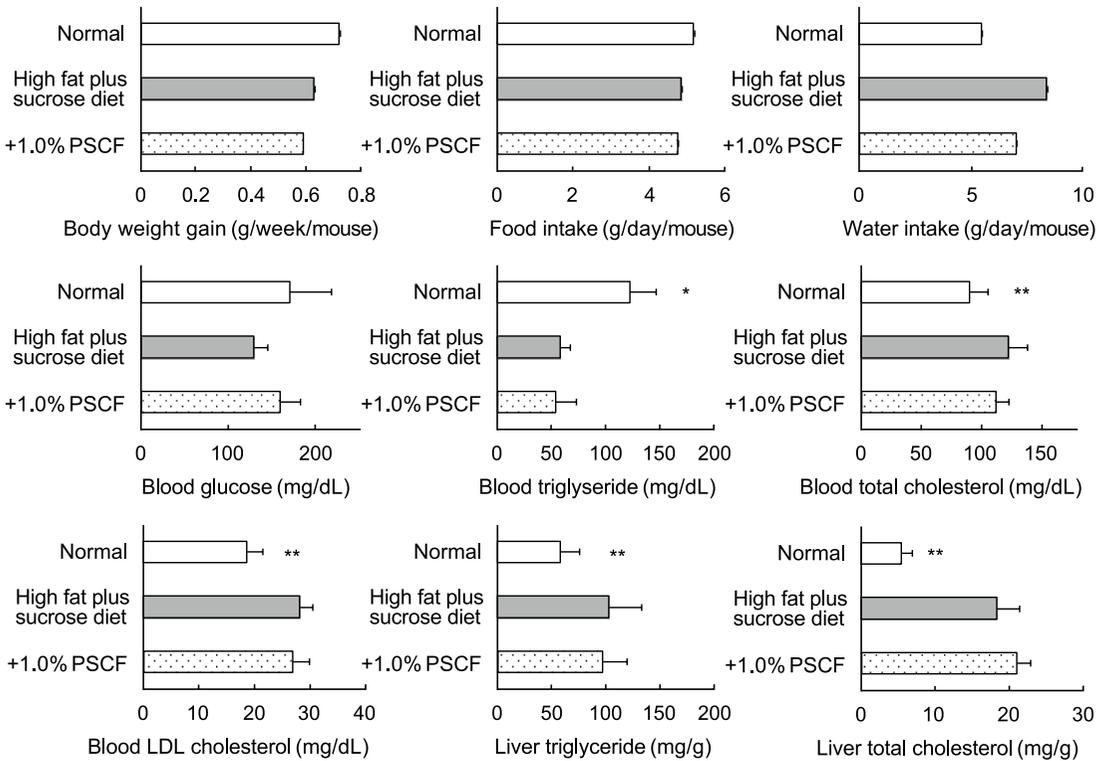


図6 高脂質高シヨ糖食摂取マウスに対する部分解繊セルロース投与の影響

平均±標準偏差. n=5. 高脂質高シヨ糖食群との統計学的有意差

(一元配置分散分析法と Tukey の多重比較法による): * $P < 0.05$, ** $P < 0.01$

た。マウス 1 匹当たりの 1 日の体重増加量，飼料摂取量および飲水量と，7 日間飼育後のマウスの血糖値，血中 TG 量，血中 TC 量，血中低比重リポタンパク質コレステロール (LDL-Cho) 量，肝臓 TG 量および肝臓 TC 量を測定した結果を図 6 に示す。マウスの体重増加量は高脂質高シヨ糖食摂取で低下する傾向があったが，飼料摂取量に群間の違いは見られなかった。飲水量は，高脂質高シヨ糖食摂取で上昇する傾向が見られた。マウスの血糖値は，高脂質高シヨ糖食摂取では低下する傾向が見られたが，PSCF の同時投与はこの低下を抑制した。血中 TG 量は高脂質高シヨ糖食摂取で低下し，PSCF の同時投与はこれに影響しなかった。一方，血中 TC 量と LDL-Cho 量はいずれも高脂質高シヨ糖食摂取で上昇し，PSCF の同時投与はこれを

僅かに抑制する傾向が見られた。肝臓 TG 量と TC 量についても，いずれも高脂質高シヨ糖食摂取で上昇したが，PSCF の同時投与は TG 量の上昇を僅かに抑制する傾向が見られたのに対し TC 量の上昇には影響しなかった。

マウスを用いたこれらの実験は，いずれも多量の糖や脂質を短期間に投与して観察を行ったものであり，その実験結果を長期に亘る食習慣等が原因で起こるものと考えられる代謝症候群にそのまま当てはめることは困難であるかもしれない。しかし，糖のみあるいは脂質のみを多量に投与した単純な実験系では，PSCF の同時投与でそれぞれの吸収が抑制される様子がより明瞭に観察された。今後，PSCF の効果を確認するには，さらに長期間での投与実験の検討が必要と考えられる。

おわりに

セルロースは植物の細胞壁成分であり、植物性食品の一部として長年摂取され続けてきたことから、十分に食経験のある素材と言える。セルロースの急性毒性としては、結晶セルロースの経口投与での50%致死量(LD₅₀値)がラットで5 g/kg 体重よりも大きいという報告がある⁴⁹⁾。変異原性は認められていない。1日に5 g/kg 体重の結晶セルロースを90日間ラットに経口投与した場合にも、体重や肉眼的な所見、血液学および血液生化学的検査、病理学的観察の結果に異常は見られない⁵⁰⁾。ヒトに関しても、1日に30 gの結晶セルロースを6週間経口摂取した男女において、膨満感と軽度の便秘の他は体重や外観、血液学および血液生化学的検査、尿検査、糞便中の細菌叢検査の結果に異常は見られなかった⁵¹⁾。CNFのように微細繊維にまで解繊されたセルロースについても、十分ではないものの北欧や北米で経口や経皮でのヒトや動物への影響が検討され始めている。

ラットにおける経口投与試験でのCNFのLD₅₀値は2 g/kg 体重よりも大きいという報告がある³⁵⁾。また、発酵CNFであるナタ・デ・ココ⁵²⁾は食品として古来より多量に食されており、その安全性や非アレルギー性などが実証されてきたことになる。前項の図5や図6の著者らの実験においても、PSCFを1.0%添加した食餌でのマウスの1日におけるPSCFの摂取量は約2 g/kg 体重に相当するが、それぞれ4日間と7日間の飼育で肉眼的な所見に異常は認められなかった。ただし、大量のセルロースを食品に用いる場合には、植物の生育地域の土壤汚染や輸入時の保存剤や農薬等の添加について注意することが必要と思われる。セルロースは、自然界で最も大量に産出される有機物であり、今後とも様々な分野で利用されることが望ましい²¹⁾。食品としての利用もその一つであり、糖化により栄養素とするだけでなく解繊等の処理による機能性食品素材としての利用も期待できるものと考えられる。

参考文献

1. N. Nishimura, Y. Taniguchi, S. Kiriya: Plasma cholesterol-lowering Effect on rats of dietary fiber extracted from immature plants. *Biosci. Biotechnol. Biochem.* **64**: 2543-2551. 2000.
2. S. Ifuku, M. Adachi, M. Morimoto, *et al.*: Fabrication of cellulose nanofibers from parenchyma cells of pears and apples. *J. Soc. Fiber Sci. Technol. Jpn.* **67**: 86-90. 2011.
3. E. Naveh, M. J. Werman, E. Sabo, *et al.*: Defatted avocado pulp reduces body weight and total hepatic fat but increases plasma cholesterol in male rats fed diets with cholesterol. *J. Nutr.* **132**: 2015-2018. 2002.
4. 谷口 肇: 機能性オリゴ糖. *medicina* **39**: 275-277. 2002.
5. I. Torsdottir, M. Alpsten, G. Holm, *et al.*: A small dose of soluble alginate-fiber affects postprandial glycemia and gastric emptying in humans with diabetes. *J. Nutr.* **121**: 795-799. 1991.
6. J. Frank, B. Sundberg, A. Kamal-Eldin, *et al.*: Yeast-leavened oat breads with high or low molecular weight β -glucan do not differ in their effects on blood concentrations of lipids, insulin, or glucose in humans. *J. Nutr.* **134**: 1384-1388. 2004.
7. K. Yoshino, N. Higashi, K. Koga: Preventive effects of acidic xylooligosaccharide on contact hypersensitivity in mice. *J. Health Sci.* **52**: 628-632. 2006.
8. 芳野恭士, 小澤浩一, 米山智亮, 他: プナシメジ多糖画分および各種グルカンのマウス接触皮膚炎抑制作用. *J. Technol. Educ.* **16**: 1-7. 2009.
9. 芳野恭士, 宮本潤基, 間部涼祐, 他: *Salacia reticulata* のマウス接触皮膚炎抑制作用. *J. Technol. Educ.* **19**: 51-61. 2012.
10. K. Yoshino, T. Nakayama, K. Sugiyama, *et al.*: Inhibitory effects of Hana-yuzu (*Citrus hanaju*) on mouse stress-induced gastritis and its antioxidative activities. *J. Technol. Educ.* **17**: 7-15. 2010.

11. 芳野恭士, 間部涼祐, 宮本潤基, 他: *Salacia reticulata* のマウス腸管免疫系に対する影響. *J. Technol. Educ.* **21**: 17-26. 2014.
12. H. Hara, K. Suzuki, S. Kobayashi, *et al.*: Fermentable property of dietary fiber may not determine cecal and colonic mucosal growth in fiber-fed rats. *J. Nutr. Biochem.* **7**: 549-554. 1996.
13. 芳野恭士, 小川健二郎, 高橋 亘, 他: オリゴ糖の抗接触過敏症作用に関する研究. *J. Technol. Educ.* **11**: 37-41. 2004.
14. K. Kaack, H. N. Lærke, A. S. Meyer: Liver pâté enriched with dietary fibre extracted from potato fibre as fat substitutes. *Eur. Food Res. Technol.* **223**: 267-272. 2006.
15. K. Kaack, L. Pedersen, H. N. Laerke, *et al.*: New potato fibre for improvement of texture and colour of wheat bread. *Eur. Food Res. Technol.* **224**: 199-207. 2006.
16. P. van Soest, P. Horvath, M. McBurney, *et al.*: Some in vitro and in vivo properties of dietary fibers from noncereal sources. *ACS Symp. Ser.* (Am. Chem. Soc.) **214**: 135-141. 1983.
17. H. N. Johansen, K. E. B. Knudsen: Effects of reducing the starch content in oat-based diets with cellulose on jejunal flow and absorption of glucose over an isolated loop of jejunum in pigs. *Br. J. Nutr.* **72**: 717-729. 1994.
18. H. N. Laerke, T. Larsen, A. S. Meyer, *et al.*: Soluble fiber extracted from potato pulp is highly fermentable but has no effect on risk markers of diabetes and cardiovascular disease in Goto-Kakizaki rats. *Nutr. Res.* **27**: 152-160. 2007.
19. I. Tetens, B. O. Eggum, G. Livesey: Effects of the type and level of dietary fibre supplements on nitrogen retention and excretion patterns. *Br. J. Nutr.* **75**: 461-469. 1996.
20. 芳野恭士: コメの保健作用. *New Food Industry* **55**: 25-33. 2013.
21. 竹久文之: マウスの糞排せつ量と消化管内滞留時間に及ぼす各種食物繊維の影響. 日本栄養・食糧学会誌 **39**: 457-464. 1986.
22. C. L. Dikeman, M. R. Murphy, G. C. Fahey, Jr.: Dietary fibers affect viscosity of solutions and simulated human gastric and small intestinal digesta. *J. Nutr.* **136**: 913-919. 2006.
23. J. E. Hallman, E. A. Wallace, E. T. Clemens, *et al.*: Colonic mucosal tissue energetics and electrolyte transport in dogs fed cellulose, beet pulp or pectin/gum arabic as their primary fiber source. *Nutr. Res.* **16**: 303-313. 1996.
24. 土谷博道: 最近の食物繊維の動向 パルプ系食物繊維の特性と応用. 食品と科学 **31**: 110-113. 1989.
25. J. M. Gould, B. K. Jasberg, L. B. Dexter, *et al.*: High-fiber, noncaloric flour substitute for baked foods. Properties of alkaline peroxide-treated lignocellulose. *Cereal Chem.* **66**: 201-205. 1989.
26. 吉田静代: 調理食品の風味に及ぼす食物繊維添加の影響. 金城学院大学論集 家政学編 **24**: 111-118. 1985.
27. 有塚 勉: ビートファイバーの特性と食品へのアプローチ. 食品と開発 **32**: 31-34. 1997.
28. 山根千弘: 食品材料としての再生セルロース. *Cellul. Commun.* **19**: 122-126. 2012.
29. J. H. Cummings: Cellulose and the human gut. *Gut* **25**: 805-810. 1984.
30. P. J. Wood, J. T. Braaten, F. W. Scott, *et al.*: Comparisons of viscous properties of oat and guar gum and the effects of these and oat bran on glycemic index. *J. Agric. Food Chem.* **38**: 753-757. 1990.
31. J. E. Keys, Jr., J. V. DeBarthe: Site and extent of carbohydrate, dry matter, energy and protein digestion and the rate of passage of grain diets in swine. *J. Anim. Sci.* **39**: 57-62. 1974.
32. K. E. B. Knudsen, B. B. Jensen, I. Hansen: Digestion of polysaccharides and other major components in the small and large intestine of pigs fed on diets consisting of oat fractions rich in β -D-glucan. *Br. J. Nutr.* **70**: 537-556. 1993.
33. J. Lenz, E. Noggler, J. Leibetseder: Die eignung von hemicellulose aus buchenholzstoff zur erhoehung des ballaststoffgehaltes von back und teigwaren. *Nahrung* **30**: 959-965. 1986.
34. 矢野浩之: セルロースナノファイバーの製造と利用. 紙パルプ技術タイムズ **54**: 29-34. 2011.
35. 小倉孝太: 最新の微細化技術と食品への応用. 食品加工技術 **34**: 43-48. 2014.
36. H. M. C. Azeredo, L. H. C. Mattoso, D. Wood, *et al.*: Nanocomposite edible films from mango puree reinforced with cellulose nanofibers. *J. Food Sci.* **74**: N31-N35. 2009.
37. 山根千弘: 環境にやさしい再生セルロース繊維. 繊維機械学会誌 **49**: 499-503. 1996.
38. E. Dinand, H. Chanzy, M. R. Vignon: Suspensions of cellulose microfibrils from sugar beet pulp. *Food Hydrocoll.* **13**: 275-283. 1999.

39. 鈴木貴明, 秀野晃大: 愛媛県におけるナノファイバー利用に関する取組について. *Cellul. Commun.* **22**: 11-14. 2015.
40. A. Hiden, K. Abe, H. Yano: Preparation using pectinase and characterization of nanofibers from orange peel waste in juice factories. *J. Food Sci.* **79**: N1218-N1224. 2014.
41. 田淵眞理, 馬場嘉信: ナタ・デ・ココが光デバイスに変身. *BIONICS* **3**: 68-70. 2006.
42. 東 和生, 大崎智弘, 柄武志, 他: 食物由来セルロースナノファイバーの抗炎症効果. セルロース学会年次大会講演要旨集 **21st**: 61. 2014.
43. 知地英征, 大前志織, 松本 恵, 他: *Rhizopus oryzae* による乳酸発酵ポテトパルプの摂取はアセトアミノフェンによる慢性肝毒性を軽減する. 日本栄養・食糧学会総会講演要旨集 **58th**: 145. 2004.
44. 小森昭二: メタボリックシンドローム患者における全血流動性規定因子と肥満の関係. 日本栄養・食糧学会誌 **59**: 97-105. 2006.
45. 河合俊英, 伊藤 裕: メタボリックシンドロームとは. *Functional Food* **1**: 18-22. 2007.
46. K. Yoshino, T. Sato, M. Takeguchi, *et al.*: Preventive effects of cellulose fibers on mouse metabolic syndrome models. *Proceedings of the 22nd Shizuoka Forum on Health and Longevity*: 131. 2018.
47. 紙パルプ技術協会: 紙パルプ製造技術シリーズ 9, 紙パルプの試験法. 紙パルプ技術協会編, p.214. 1995.
48. 丸山浩司, 新井康介, 榊山達也, 他: 高脂肪高果糖飼料飼育マウスにおける雲南百葉 (*Anredera cordifolia*) エキスの代謝症候群改善効果. 応用薬理 **87**: 21-24. 2014.
49. 黒田孝一, 野田 勉, 清水 充, 他: 天然食品添加物の変異原性および急性毒性 (第1報). 平成 61 年度大阪市立環境科学研究所報告 調査・研究年報 **49**: 33-38. 1987.
50. L. A. Kotkoskie, M. T. Butt, E. Selinger, *et al.*: Qualitative investigation of uptake of fine particle size microcrystalline cellulose following oral administration in rats. *J. Anat.* **189**: 531-535. 1996.
51. WHO Food Additive Series No.8. Microcrystalline Cellulose. The forty-ninth meeting of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives (JECFA). World Health Organization, Geneva 1975. (<http://www.inchem.org/documents/jecfa/jecmono/v08je08.htm>, 2019.1.7 取得)
52. 田淵眞理: バクテリアの産生する微細セルロース繊維の活用 ナタ・デ・ココが拓いたナノテクの新しい展開. 化学と生物 **45**: 600-601. 2007.

すべては母乳から始まった・・・
“乳”を知りたい人に必読の書。

母乳の力

母乳タンパク質に秘められた生体防御機能

私たち成人は、主食や副食により、栄養機能、感覚機能、生体調節機能を充たしています。しかし、哺乳動物の新生児は、母乳だけでこれらの機能を充たします。このことは、母乳には、生命活動に必要なすべての栄養素、嗜好性成分および生体調節成分が含まれることを意味しています。(中略)“母乳”は、“人乳”だけを意味するものではありません。哺乳動物の母親の分泌する乳すべてを意味しています。本書が、畜産物利用学、食品機能学、栄養学、食品タンパク質科学、食品免疫科学などに関心をお持ちの学生、教育者、技術者および研究者の皆様のお役にたてば、著者の存外の喜びです。(本書まえがきより)

ISBN978-4-87991-003-5 C1077

発売日：2011年9月20日

定 価：(本体2,800円+税)

判 型：A5版

頁 数：184頁

内容紹介

第1章 母乳の基礎知識

母乳で学ぶ食品の機能／母乳タンパク質の一般的性質

第2章 生体防御機能の基礎知識

哺乳動物の生体防御機能としての免疫／生体防御機能の探索法

第3章 母乳タンパク質の生体防御機能

母乳タンパク質とその消化により生じるペプチドの生体防御機能／牛乳IgGの獲得液性免疫抑制機能／パン酵母とパン酵母に特異的なヤギ乳IgGのI型アレルギー軽減作用／ウシ後期初乳の生体防御機能

第4章 牛乳タンパク質の生体防御機能に着目した食・飼料の開発の実際

カゼインホスホペプチドの粘膜IgA産生促進機能とそれに着目した飼料／牛乳IgGの感染予防機能とそれに着目した食品の開発

第5章 牛乳アレルギーとその治療乳・予防乳

牛乳アレルギー／牛乳タンパク質の抗原構造／牛乳タンパク質を原料に用いた牛乳アレルギーの治療乳・予防乳の開発の実際

母乳の力

母乳タンパク質に秘められた生体防御機能

大谷 元



食品資料研究会

著者プロフィール

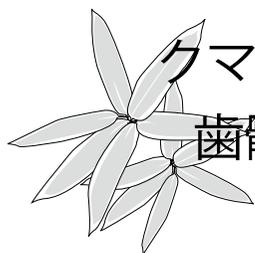
著者／大谷 元 (おおたに はじめ)

農学博士。信州大学大学院農学研究科

<受賞>

- 1981年 日本畜産学会研究奨励賞(牛乳β-ラクトグロブリンの抗原性に関する研究)
- 1987年 日本畜産学会賞(牛乳蛋白質の抗原性に関する研究)
- 2005年 日本酪農科学会賞(ミルクたんぱく質およびその部分ペプチドの免疫調節機能に関する研究)
- 2008年 日本農学賞(牛乳たんぱく質の免疫調節機能の探索と利用技術の開発)
- 2008年 読売農学賞
- 2009年 Animal Science Journal Excellent Paper Award
- 2010年 紫綬褒章

◆ご注文は FAX またはメールにて FAX:042-312-0845 info@nfi-llc.co.jp



クマザサ抽出液 (ササヘルス[®]) の 歯髄細胞へ及ぼす影響について

増田 宜子 (MASUDA Yoshiko)^{1,2} 横瀬 敏志 (YOKOSE Satoshi)¹ 坂上 宏 (SAKAGAMI Hiroshi)²

¹ 明海大学歯学部機能保存回復学講座保存治療学分野, ² 明海大学歯科医学総合研究所 M-RIO

Key Words: クマ笹抽出液 歯髄細胞 ササヘルス[®]

The effects of the *Sasa senanensis* Rehder leaf extract (Sasahealth[®]) on the rat cultured pulp cells.

Yoshiko Masuda^{1,2}, Satoshi Yokose¹, Hiroshi Sakagami²

¹ Division of Endodontics and Operative Dentistry Department of Restorative and Biomaterials Sciences Meikai University School of Dentistry, ² Meikai Research Institute of Odontology (M-RIO)

Key Words: Leaf extract (Sasahealth), pulp cells. Sasahealth

Abstract

The dental pulp is the connective tissue and located in the center of the tooth. The pulp contains odontoblasts that not only form dentin, but also interact with dental epithelium early in tooth development to initiate the formation of enamel. The pulp remains vital throughout life and is able to respond to external stimuli. Both dentin and pulp contain nociceptive nerve fibers. Autonomic nerve fibers occur only in the pulp. When needed for repair, more dentin can be laid down and new odontoblasts differentiated¹⁾. Moderate stimuli facilitate the dentin deposition of the pulp and it protects the pulp from the infection of the bacteria for caries. The applications of moderate stimuli of many kinds of medicine were used in the clinic. Calcium hydroxide is considered as the drug of main choice and mineral trioxide aggregate (MTA) is also introduced. *Sasa senanensis* Rehder (SE) (“SASA-Health”) has the adequate cytotoxic activity²⁾. This time, we used SE as a stimulus for the pulp and look for the new function of SE in the dental applications. In the pulp cell culture, various concentrations of SE were added in the culture medium, and investigated for its effect on the differentiation of pulp cells.

要約

歯髄は歯の中央を占める結合組織である。象牙芽細胞を含み外部からの刺激によって象牙質を形成するだけでなく歯の発生初期のエナメル質形成の際に上皮細胞とともに関係している。生涯を通じて生き続け外部からの刺激に対して反応し続ける。歯髄は侵害受容性の神経線維を含んでいる。歯髄には自立神経線維も含まれており修復が必要になると新たに象牙芽細胞に分化してさらに象牙質を添加していく¹⁾。歯髄へ適度な刺激を与えることによって象牙質を添加させ齶蝕などによる感染から歯髄を保護する治療法がある。歯髄への刺激には様々な有効な薬剤が用いられている。水酸化カルシウム製剤が主に用いられるがケイ酸三カルシウム、ケイ酸二カルシウムを主成分とした薬剤 (MTA[®]) もある。ササヘルス[®]は、細胞傷害作用があることが報告されている²⁾。今回、我々はササヘルス[®]の新しい機能を探索する研究の一環として培養ラット歯髄細胞への影響について様々な濃度での細胞増殖活性とアルカリホスファターゼ活性を比較検討しササヘルス[®]による歯髄細胞の象牙芽細胞様細胞への分化へ及ぼす影響について調べることにした。

Introduction

Alkaline extract of the leaves of *Sasa senanensis* Rehder (SE) (“SASA-Health”), which is a Group III over-the-counter drug in Japan, is expected to be less harmful, compared to Kampo medicines, which belong to Group II. SE is recognized as being effective in halitosis and stomatitis by oral administration. SE has shown *in vitro* antiseptic, membrane-stabilizing, anti-inflammatory, antibacterial, antiviral, anti-UV and radical-scavenging activities, and synergistic action with vitamin C³⁾. SE has been reported to show higher antiviral activity than the polymethoxy flavonoids, low-molecular polyphenols and extract of tea leaves²⁾.

Materials and Methods

Cell culture: After approval by the University Animal Care and Use Committee, Wistar male rats were used in this study. The pulp cell culture was performed according to a previous study⁴⁾. The mandibles were removed from seven male Wistar rats (5 weeks old).

The extracted teeth were scored sagittally with a sterile scissors and cracked open. The pulp tissues were carefully pulled out and cut into several pieces.

These tissue fragments were incubated at 37°C in a sterile enzyme solution containing 0.1% collagenase (117U/mg; Wako), 0.05% trypsin (1:250; Difco), and 4 mM 2Na·EDTA (Wako, Japan) in PBS. The cell populations released were cultured in a culture dish (150-mm culture

緒言

今回使用する薬剤ササヘルス®は、クマ笹の葉のアルカリ抽出液であり第三類医薬品に属する。第二類に属する漢方薬よりも副作用が少なく口腔内では口臭や口内炎に効果があると考えられている。消毒作用、抗炎症作用、抗菌作用、抗ウイルス作用、抗紫外線作用、ラジカル補足活性やビタミンCとの相乗作用が研究によって示されている³⁾。また、ポリメトキシフラボノイド類、低分子性ポリフェノール類や茶葉抽出物と比較して高い抗ウイルス活性を示すことが既に報告されている²⁾。

材料と方法

ラット歯髓細胞の培養: 5週齢の雄性 Wistar ラット7匹の下顎切歯より歯髓組織を摘出し(図1) Collagenase, trypsin, EDTA, 2Na·EDTA を含む酵素液にて細胞を分離し 5% CO₂ 条件下にて α -MEM 培地に 10% FCS を加え培養した⁴⁾。サブコンフルエントになったら 12 well へ播種した (4×10^4 /well)。

ラットの切歯は常に成長し続けており赤い歯髓(赤い部分)の中の黄色の丸で囲んだ部分は、Enamel organ と呼ばれ未分化な細胞を多く含んでいる。この部分を含めて歯髓を集めて培養する。

本研究は、明海大学実験動物倫理委員会の承認(No. C1702)を得て行われた。横瀬ら⁴⁾の方法を用いてラットの下顎骨より切歯の歯髓を取り出し Trypsin-EDTA の酵素液を作用さ

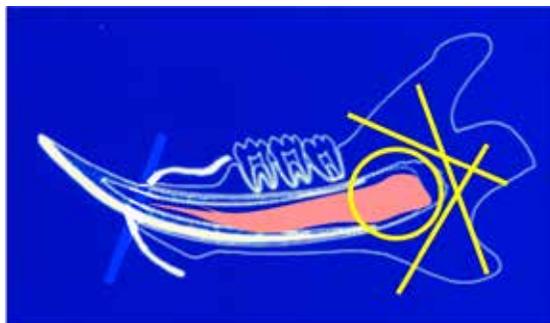


図1 ラット下顎骨 (Mandibles of rat)

dish; Falcon Labware, Lincoln Park, N.J., USA) containing α -MEM, 10% heat-inactivated fetal calf serum (FCS), and antibiotics (100 μ g/mL penicillin G, 100 IU/mL streptomycin). After having reached a subconfluent phase, the cells were removed from the dish and inoculated into 12-multiwell plates (Falcon Labware) at a density of 10^4 cell/cm² and cultured in α -MEM containing 10% heat-inactivated FCS and antibiotics. After 48h, the cells were grown in mineralizing medium (1.5 mM β -glycerophosphate, ascorbic acid (50 μ g/mL)) and different concentrations of SE (10, 5, 2.5, 1.25, 0.625, 0.3125, 0.15625%). SE was not added in the control. As the positive control for calcification, 10 mM β -glycerophosphate and ascorbic acids (50 μ g/mL) were used in the medium. For detecting the differentiation of odontoblast-like cells of pulp cells, Alkaline phosphatase (ALP) activity was determined with naphthol AS-MX phosphate (Sigma, USA).

Cytotoxicity assay of SE

Rat cultured dental pulp cells were plated in 96-well plates (2.42×10^3 cells/well, 0.1 mL/well) containing α -MEM (Gibco, Invitrogen) with 10% heat-inactivated FCS and incubated for 15 min to allow cell attachment. After 96 h, the medium was replaced with 0.1 mL fresh medium containing different concentrations of SE. Cells were further incubated for 2h. The medium was removed and cells were washed twice with fresh culture medium and then further incubated in fresh culture medium (Dulbecco's modified Eagle's medium + 10% FBS) for 48 h to determine the viable cell number by the 3-(4,5-dimethylthiazol-2-yl)-2,5-diphenyltetrazolium bromide (MTT) assay⁵⁾. The relative viable cell number was determined by reading the absorbance of the cell lysate at 560 nm using a microplate reader (Infinite F50R; TECAN, Kanagawa, Japan). Because 1% dimethyl sulfoxide (DMSO) reduced the viability by 14%, control cells were treated with the same amounts of DMSO and cell

せて細胞を分離した。培地には 10% Fetal Calf Serum (FCS) とペニシリン・ストレプトマイシン (Gibco) を含む α -MEM 培地 (Gibco) を用いた。12-well に継代した後、サブコンフルエントに達した歯髄細胞にササヘルス[®]を 10, 5, 2.5, 1.25, 0.625% となるように添加した。ササヘルス[®]を添加した well は β グリセロフォスフェート (1.5mM), アスコルビン酸を 50 μ g/mL となるように添加した。コントロールではササヘルス[®]を添加しなかった。 β グリセロフォスフェートとアスコルビン酸を添加することによって歯髄細胞を石灰化へと分化誘導する。ポジティブコントロールとして β グリセロフォスフェート (10 mM), アスコルビン酸 (50 μ g/mL) を石灰化培地として用いた。象牙芽細胞様細胞分化への影響は 14 日後に 10% 中性ホルマリンにて固定し naphthol AS-MX phosphate (Sigma, USA) を用いてアルカリフォスファターゼ染色を行い調べた。

ササヘルス[®]の細胞傷害性

歯髄細胞の増殖は MTT 法にて測定した。ラット培養歯髄細胞を 96-well plate (2.42×10^3 cells/well, 0.1 mL/well) に播いた。培地には α -MEM (Gibco, Invitrogen) に 10% のウシ胎仔血清を添加した。96 時間後培地を交換した。その際に、ササヘルス[®]を異なった濃度で培地に添加した。細胞はさらに 2 時間培養した。培地を交換し新しい培地で 2 回洗った。そして、新しい培地 (Dulbecco's modified Eagle's medium) を用い、10% のウシ胎仔血清を添加した。48 時間培養し、生細胞数を 3-(4,5-dimethylthiazol-2-yl)-2,5-diphenyltetrazolium bromide (MTT) 法により調べた⁵⁾。Dimethyl sulfoxide (DMSO) による細胞傷害性を全てのデータから差し引いた。生細胞数は、microplate reader (Infinite F50R; TECAN) によって 560 nm の吸光度を測定し調べた (n=6)。1% DMSO の添加は、生細胞数を 14% 減少させてしまうため、コントロールの細胞は同量の DMSO で処理しササヘルス[®]

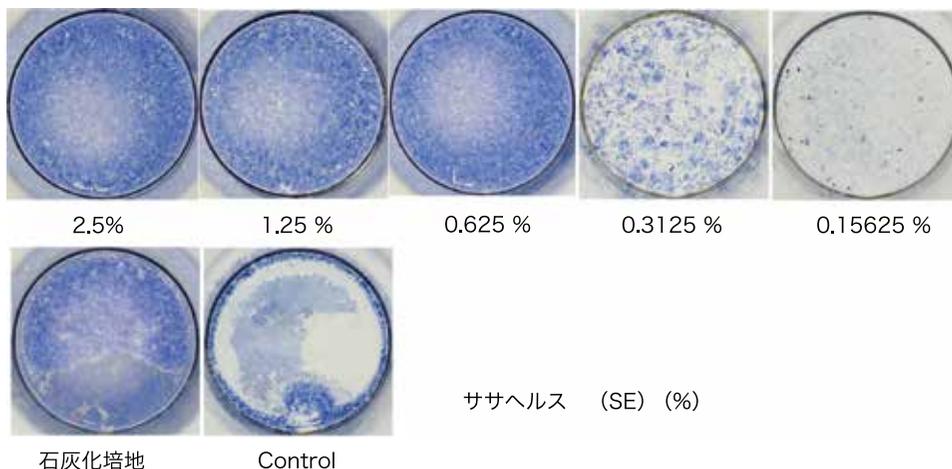


図2 アルカリフォスファターゼ染色 (ALP staining)

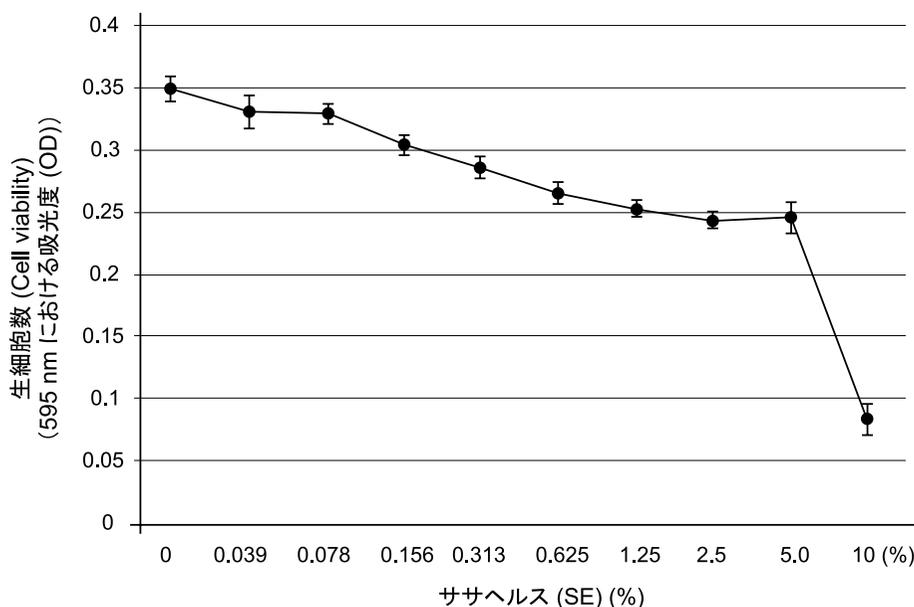


図3 FPulp cell ササヘルス MTT (参考文献6より改変)

damage induced by DMSO was subtracted from that induced by SE. The concentration of SE that reduced the viable cell number by 50% (CC₅₀) was determined from the dose-response curve. The mean CC₅₀ value was calculated from triplicate assays.

Results

Viable cells were not detected with 10, 5% concentration of SE in the culture medium. Though, ALP, an differentiate marker of odontoblast-like

による細胞傷害性から DMSO の細胞傷害性を差し引いた。細胞生存率を 50% 減少させるササヘルス®の濃度 (CC₅₀) は、用量反応曲線によって決定した。CC₅₀ 値は 3 回の測定値の平均値を用いた。

結果

ササヘルス® 10%, 5% 添加 well では細胞は生存できなかったが、2.5%, 1.25%, 0.625% ではアルカリホスファターゼ活性が認められた

cells, was prominently stained in the cells cultured with 2.5, 1.25, 0.625% of SE (Fig. 2).

SE dose-dependently enhanced the proliferation of pulp cells. The cytotoxicity was shown beyond 5% of SE. The CC_{50} values of SE was 7.54% (Fig. 3).

(図2)。2.5%で細胞が拡張し濃度が下がる毎に敷石状形態になった。ササヘルス®の濃度が低くなるに従い歯髄細胞増殖活性は増加した。

ササヘルス®は歯髄細胞に対して5%以上の濃度で細胞傷害性を示しほとんどアルカリホスファターゼ活性は認められなかった。50%細胞傷害濃度 (CC_{50}) は7.54%であった(図3)。

(考察および結論) ササヘルス®は、適度な濃度で用いると歯髄細胞のアルカリフォスファターゼ産生を促すことがわかった。歯髄細胞を象牙芽細胞様細胞へ分化させることより修復象牙質産生を促すことが示唆された。今後は、ササヘルス®を継続的に歯髄細胞に作用させるのではなく断続的に作用させるなどの工夫をして修復象牙質産生を促す薬剤としての可能性を探求したい。

参考文献

1. Torabinejad M, Walton RE and Fouad AF: Endodontics principles and practice, In: Torabinejad M, Walton RE and Fouad AF, editors: ed 5, Elsevier, Chapter 1, p 1, 2015.
2. Fukuchi K, Sakagami H, Yasui T, Kanamoto T *et al.*: ササヘルスの卓越した抗ウイルス活性. *New Food Industry* **58**:23-32. 2016.
3. Sakagami H, Sheng H, Ono K, *et al.*: Anti-Halitosis effect of toothpaste supplemented with alkaline extract of the leaves of *Sasa senanensis* rehder. *In vivo* **30**:107-111. 2016.
4. Yokose S, Kadokura H, Tajima Y, *et al.*: Establishment and characterization of a culture system for enzymatically released rat dental pulp cells. *Calcified Tissue International* **66**: 139-44. 2000.
5. Sakagami H, Uesawa Y, Ishihara M, Kagaya H, Kanamoto T, Terakubo S, Nakashima H, Takao K and Sugita Y: Quantitative structure-cytotoxicity relationship of oleoylamides. *Anticancer Res* **35**: 5341-5355, 2015.
6. 増田宜子, 坂上 宏, 門倉弘志, 山崎崇秀, 長谷川彰彦, 横瀬敏志: クマザサ歯アルカリ抽出液 (ササヘルス®) とダイオードレーザーを用いた光線力学療法による抗菌効果に関する基礎的研究. 日本歯内療法学会雑誌 第40巻 P20-25. 2019.

連絡先: 増田宜子 (Yoshiko Masuda)

明海大学歯学部機能保存回復学講座保存治療学分野

〒350-0283 埼玉県坂戸市けやき台 1-1

Tel: 049-279-2787, e-mail: yoshik@dent.meikai.ac.jp

成熟がニジマスの臓器や体成分に及ぼす影響－ 1.

成熟開始時

酒本 秀一 (SAKAMOTO Shuichi)

連絡先：email : si290347-5313@tbzt-com.ne.jp

Key Words：ニジマス カンタキサンチン 成熟 生殖腺体重比 臓器体重比 Lab 値 背肉色素量
卵巣色素量 雌雄差

前報¹⁾において数段階濃度でカンタキサンチンを添加した飼料で大きさの異なるニジマスを約3カ月間飼育し、その間定期的に魚をサンプリングして飼料へのカンタキサンチン添加が飼育成績や各臓器の状態、体成分等に及ぼす影響を調べた。結果は以下の通りであった。

- ・カンタキサンチン添加量が10mg/100g飼料以下であれば、何れの大きさのニジマスにおいても飼育成績（増重量、飼料効率、タンパク質効率）、各臓器の状態や体重比、背肉・肝臓および血漿の色素量以外の成分に影響を及ぼさない。
- ・色彩色差計による背肉の測色値（a, b）の間には $y=Ax+B$ 、x:a値、y:b値の直線関係が認められ、直線の傾きは使用する色素の種類によって異なると考えられる。なお、a値は値が大きい程赤色が強く、小さい程緑色が強いことを示し、b値は同様に黄色と青色の指標である。
- ・魚1尾当りの投与色素量と色彩色差計による測色値（a, b, a+b）の間には $y=A \ln(x)+B$ 、x:投与色素量（mg/尾）、y:a, b, a+bの対数関係が、a, b, a+b値と背肉色素量との間には $y=Ae^{(Bx)}$ 、x:a, b, a+b, y:背肉色素量（mg/100g）の指数関係が認められた。
- ・背肉の色彩色差計による測色値と色素量との相関はa値が最も強く、色彩色差計による測

色値から背肉の色素量を推測するにはa値が最も適している。

- ・魚1尾当りの投与色素量および魚体重100g当りの投与色素量と背肉色素量との間には $y=Ax+B$ 、x:投与色素量（mg/尾、mg/100g体重）、y:背肉色素量（mg/100g）の直線関係が認められた。
 - ・魚1尾当り投与色素量と背肉色素量との間に得られる直線の傾きは魚が大きくなるに従って小さくなっていたが、100g以下の魚ではそれ以上の大きさの魚より反って小さくなっていた。
 - ・血漿の色素量は長期間に渡って投与された色素の総量ではなく、調査日直前に食べた飼料の量や色素量、採血条件の違い等の影響を強く受けていた。血漿の色素含量から背肉の色素量を推測するのは危険である。
 - ・成熟開始前の雌個体では卵巣単位重量当りの色素量は投与色素量に従って高くなるが、成熟が開始されると一定量以上には増加しない。卵巣が大きくなり始めてからは、卵が大きくなることによって卵巣全体に含まれる色素の量を増やしている可能性が高い。
- 以上の結果から、魚の大きさや成熟程度によって肉色改善効果が違う事や卵巣の色素蓄積状況が異なる事が分かった。但し、前報の結果

表1 試験飼料の分析値

試験区	A	B	C	D
カロフィルレッド添加量 (%)	0.025	0.05	0.075	0.10
水分 (%)	4.83	3.72	4.04	4.23
タンパク質	46.01	46.82	46.78	47.01
脂質	5.91	5.93	5.94	6.02
炭水化物	30.48	30.91	30.35	29.15
灰分	9.90	9.93	9.87	9.89
総カロチノイド (mg/100g)	3.93	5.59	7.24	9.39

は雌雄の値を一緒にして得たもので、性別や生殖腺の発達程度の影響は不明である。

前報試験-5(開始時供試魚体重約700g)では、雌雄共に試験開始時には生殖腺は未発達であったが、後半には発達し始めていた。よって、本試験では前報試験-5の資料を個体別に整理し直し、性別や生殖腺の発達程度が前報で調べた内容にどのような影響を及ぼしているかを調べることにした。

1. 方法

試験飼料の製造法、魚の飼育条件、分析用サンプル魚の採取法や処理手順、肥満度(体重×100/尾叉長³)や各臓器体重比の求め方、背肉・肝臓の分析サンプル調製法と分析法、採血と血漿の単離および分析法、色彩色差計による背肉の測色法、飼料・背肉および卵巣の総カロチノイド含量の求め方等は前報で説明した通りである。

2. 結果

2-1. 試験飼料

試験飼料の基本配合は魚粉45.5%、白糖27.5%、脱脂大豆粕13.0%、小麦粉7.8%、グルテンミール4.0%、ビール酵母1.0%、ビタミン・ミネラル混合1.2%で、飼料へのカロフィルレッド(カンタキサンチンの10倍散でロッッシュ社製)添加量は0.025, 0.05, 0.075および0.10%の4段階とした。

表1に各飼料の分析値を示す。総カロチノイド含量以外の成分に区間差は無く、各飼料とも正しく製造されていた事が分かる。ところが総

カロチノイド含量は飼料原料由来の色素量を補正すると各飼料共理論値よりやや少なかった。水分の影響を除くため、乾物換算してカンタキサンチン添加量と乾物飼料の総カロチノイド含量との関係を求めると、両者の間には $y=0.7496x+2.135$, x : カンタキサンチン添加量 (mg/100g 飼料), y : 飼料総カロチノイド含量 (mg/100g

乾物飼料), 相関係数 $R^2=0.9946$ の殆どバラツキが無い正の直線関係が認められた。飼料へのカンタキサンチンの添加ミスによる量の違いや製造工程の不備で色素の分解が生じていたのであれば、このような直線関係にはならず、バラツキが生じるはずである。このような結果になった原因は、使用したカロフィルレッドの色素量が理論値より少なく、理論値の75%程度しかカンタキサンチンが含まれていなかったことによるのではないかと推測出来る。後日使用したカロフィルレッドの追跡調査を行ったところ、長期間室温の実験室で保存していた物を使用していたことが分かった。保存条件が悪く、色素含量が減少していたのであろう。

2-2. 臓器体重比

飼育期間(6月14日から9月6日)を通じて雌雄個体別に生殖腺体重比の変化を示したのが表2と図1である。雌雄共に試験開始時から少しずつ生殖腺が大きくなっていったが、雄では8月4日以降急に大きくなっていった。雌でも8月4日にはやや大きくなっていったが雄ほど明確ではなく、明らかに大きくなっているのが分かったのは9月6日であった。成熟がスタートする時期に雌雄差は無くても、雄の方が1カ月程度早く成熟が進むものと思われる。完全に性成熟して放精、放卵が起こる時の生殖腺体重比^{2, 3)}と9月6日の値を比べると、雌雄共に明らかに小さく、未だ性成熟の初期段階であった事が分かる。

雌雄別肥満度の変化を図2に示す。雄では1.26から1.73、雌では1.22から1.67と個体差が大きいものの、試験期間を通じて肥満度の変

表 2 生殖腺体重比の経時変化

	雄				雌				
	1	2	3	4	1	2	3	4	5
A区									
6月14日	0.18	0.11			0.46	0.48	0.50		
7月4日	0.31				0.47	0.80	0.62	0.87	
7月13日	0.83	0.52	0.14		0.47	0.71			
8月4日	2.35	3.65	3.38		1.89	1.18			
9月6日	8.65	5.06			3.49	1.79	6.76		
B区									
6月14日	0.18	0.11			0.46	0.48	0.50		
7月4日	0.40	0.39			0.81	0.66	0.51		
7月13日	1.85	0.36	0.38	0.11	1.11				
8月4日	1.95				1.10	1.42	0.97	1.41	
9月6日	7.16	6.00			1.68	3.73	2.20		
C区									
6月14日	0.18	0.11			0.46	0.48	0.50		
7月4日	0.16				0.78	0.88	0.63	0.71	
7月13日	0.41	0.14			0.83	0.78	0.92		
8月4日	3.47	0.52	3.21		0.87	0.17			
9月6日	5.17				4.17	1.94	2.98	3.98	
D区									
6月14日	0.18	0.11			0.46	0.48	0.50		
7月4日	0.45	0.84			0.62	0.50	1.04		
7月13日					1.07	0.69	1.06	0.78	0.91
8月4日	1.35	0.97	1.03		1.19	1.56			
9月6日	4.12	3.55	2.31	5.76	1.85				

化は認められず、雌雄差も無かった。図には示さないが、生殖腺体重比と肥満度の関係調べた結果でも同様であった。本試験における最大生殖腺体重比は雄約9%、雌約7%であった。この程度の生殖腺体重比では肥満度にまで影響は及ばない様である。

雌雄個別別肝臓体重比の変化を表3と図3

に示す。雌雄共個体差が大きい、全体的に雌の方が肝臓体重比は大きかったことが分かる。また、雌雄共生殖腺が未発達の時期には個体差が大きく、発達が始まると個体差が小さくなる傾向が見て取れる。雄では精巣体重比が急に大きくなる8月4日以降に肝臓体重比が小さくなる傾向があったが、雌では卵巣体重比が最も大

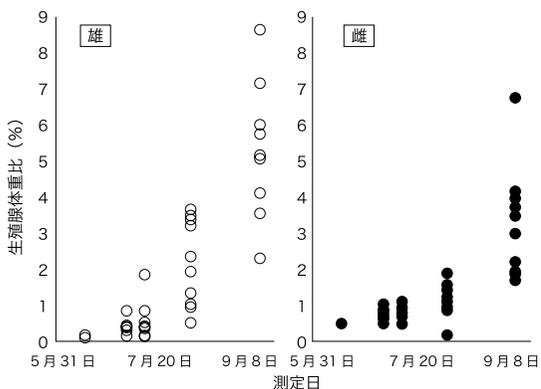


図1 生殖腺体重比の経時変化

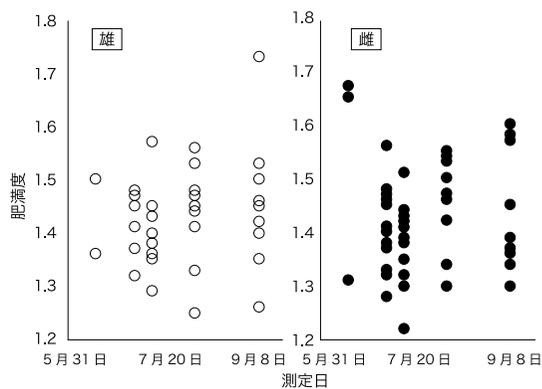


図2 肥満度の経時変化

表3 肝臓体重比の経時変化

	雄				雌				
	1	2	3	4	1	2	3	4	5
A区									
6月14日	1.02	1.27			1.46	1.21	1.28		
7月4日	1.65				1.26	1.12	1.27	0.98	
7月13日	1.24	1.19	1.25		1.37	1.18			
8月4日	1.14	1.19	1.05		1.38	1.13			
9月6日	0.97	0.87			1.27	1.13	1.70		
B区									
6月14日	1.02	1.27			1.46	1.21	1.28		
7月4日	0.88	1.13			1.31	1.18	0.92		
7月13日	0.99	1.05	1.78	1.45	1.03				
8月4日	1.03				1.26	1.47	1.29	1.14	
9月6日	0.90	0.89			1.16	1.16	1.44		
C区									
6月14日	1.02	1.27			1.46	1.21	1.28		
7月4日	1.11				1.20	1.62	1.42	1.02	
7月13日	1.10	1.36			1.26	1.16	1.32		
8月4日	1.10	1.21	1.01		1.19	1.10			
9月6日	1.05				1.38	1.49	1.33	1.40	
D区									
6月14日	1.02	1.27			1.46	1.21	1.28		
7月4日	1.14	0.84			0.89	1.31	1.04		
7月13日					1.38	1.02	1.17	1.29	1.06
8月4日	1.35	0.97	1.03		1.19	1.56			
9月6日	0.79	0.89	1.07	0.74	1.14				

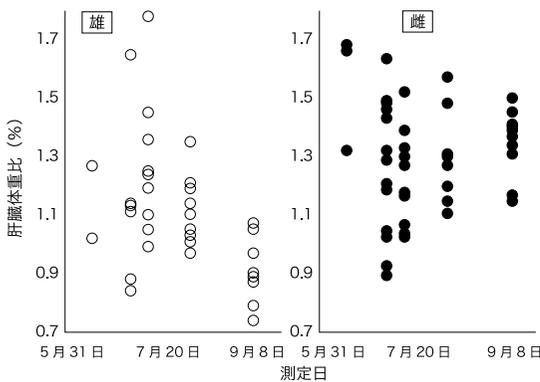


図3 肝臓体重比の経時変化

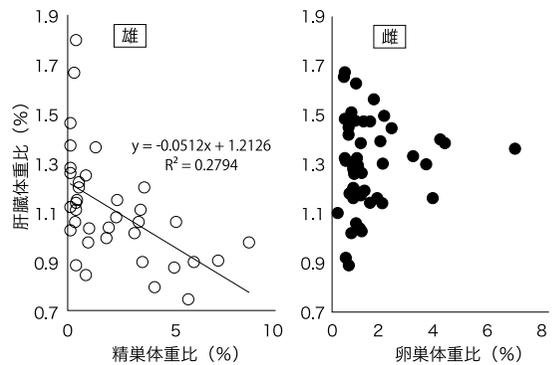


図4 生殖腺体重比と肝臓体重比

きくなっていた9月6日の値も従来の値と殆ど差が無かった。

生殖腺体重比と肝臓体重比の関係を示したのが図4である。雄では精巣体重比が大きくなる程肝臓体重比は小さくなる傾向があるものの、個体差が大きく、相関係数 (R^2) は0.2794とあまり明確な相関ではなかった。雌では卵巢体重比と肝臓体重比の間に一定の関係は認めら

れず、試験期間中略同じ値を示していた。

8月4日の精巣体重比の最大値はA区No.2の3.65%、9月6日では同じA区No.1の8.65%であった。精巣体重比が4-5%以上になると肝臓がやや小さくなり始めるのかも知れない。

卵巢体重比の最大値は9月6日A区No.3の6.76%であった。卵巢で作られるホルモン、エストラジオールは肝臓に作用して卵黄タンパク

表 4 腹腔内脂肪蓄積組織体重比の経時変化

	雄				雌				
	1	2	3	4	1	2	3	4	5
A 区									
6月14日	2.16	2.89			5.04	4.15	3.58		
7月4日	3.81				3.43	2.94	3.92	3.34	
7月13日	4.67	2.89	3.07		3.14	2.39			
8月4日	2.93	3.40	2.50		4.13	5.35			
9月6日	2.32	2.05			2.03	3.26	4.06		
B 区									
6月14日	2.16	2.89			5.04	4.15	3.58		
7月4日	2.44	5.07			5.91	5.31	3.01		
7月13日	3.87	3.21	2.32	3.36	3.55				
8月4日	2.12				2.92	5.78	2.46	2.35	
9月6日	3.80	3.59			3.94	2.43	3.81		
C 区									
6月14日	2.16	2.89			5.04	4.15	3.58		
7月4日	4.78				4.42	3.24	2.54	3.50	
7月13日	3.84	3.91			4.88	3.41	2.89		
8月4日	1.91	4.04	1.07		1.89	4.43			
9月6日	2.83				2.66	4.02	4.86	2.04	
D 区									
6月14日	2.16	2.89			5.04	4.15	3.58		
7月4日	3.03	1.29			2.79	2.61	5.11		
7月13日					5.52	2.86	3.70	7.26	4.18
8月4日	1.99	2.75	3.80		1.95	6.51			
9月6日	2.28	1.88	3.28	2.67	4.22				

質の前駆体であるビテロゲニンの合成を促進する^{4,5)}。よって、雌の肝臓は性成熟に伴って卵へ栄養成分を送り込むためにビテロゲニンを活発に合成しなくてはならない。これに伴って肝臓が肥大し、肝臓体重比が大きくなることが知られている。6.76%の卵巣体重比の個体では未だ肝臓体重比が大きくなっていなかったため、ビテロゲニンの合成は本格化していなかったものと思われる。

全期間を通じて雌の肝臓体重比が大きい傾向が認められたが、これは後述の腹腔内脂肪蓄積組織 (DL) 体重比と同様であった。卵が急速に大きくなる時期に卵黄や油球の原料として肝臓を通じて脂質が卵に送り込まなければならない。その時期食べる飼料に含まれる脂質量のみでは不足するため、生殖腺が未発達の時期から魚体に脂質を蓄積しているのではないかと推測する。肝臓の成分分析を雌雄別に行っていれば雌の肝臓体重比が大きい理由を解明出来たの

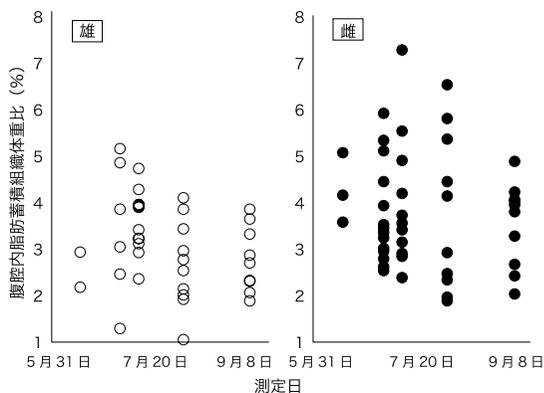


図 5 腹腔内脂肪蓄積組織体重比の経時変化

であろうが、残念ながら本試験では雌雄一緒に分析してしまった。今後生殖腺体重比と肝臓、背肉の脂質含量との関係を雌雄別に調べ、上記の推測を確認しておく必要がある。

雌雄個別腹腔内脂肪蓄積組織体重比の変化を表 4 と図 5 に示す。雌雄共試験期間中体重比の変化は無く、生殖腺体重比と DL 体重比の

表5 肝臓一般成分の経時変化

	水分	タンパク質	脂質
A区			
6月14日	74.28	16.69	4.41
7月4日	73.48	16.32	4.96
7月13日	72.02	14.90	7.90
8月4日	74.17	16.35	5.12
9月6日	75.86	17.45	3.87
B区			
6月14日	74.28	16.69	4.41
7月4日	74.54	16.36	5.62
7月13日	73.81	15.12	5.30
8月4日	74.62	16.30	4.58
9月6日	75.34	17.35	5.01
C区			
6月14日	74.28	16.69	4.41
7月4日	73.03	15.76	4.64
7月13日	74.04	15.88	5.01
8月4日	74.44	16.26	5.31
9月6日	75.83	16.86	4.35
D区			
6月14日	74.28	16.69	4.41
7月4日	75.64	15.95	3.71
7月13日	74.52	15.35	4.90
8月4日	74.61	16.63	5.29
9月6日	74.79	16.97	4.24

単位:%

間にも関係は認められなかった。但し、全期間を通じて雌のDL体重比が大きい傾向があり、その理由は上述の様に推測している。

2-3. 背肉と肝臓の一般成分

背肉、肝臓共にサンプルは雌雄一緒にしてグループ別に分析したので、雌雄差は不明である。

背肉では水分、タンパク質、脂質共グループ毎、調査日毎のバラツキが大きく、一定の傾向は認められなかった。また、水分と脂質、タンパク質との間に負の相関がある様であったが、相関係数 (R^2) は 0.14 と 0.1324 と小さかった。水分とタンパク質+脂質との間でも相関係数は 0.2596 と小さかった。生殖腺が未発達のニジマスでは、背肉成分変動の主因をなすのは脂質であり、主として飼料の脂質含量の違いによって背肉の脂質含量も変化すること、脂質含量の変化に伴って水分とタンパク質含量が相対的に変化すること、水分含量と脂質含量の間には強い負の相関 (大部分の場合相関係数 R^2 は 0.9 以

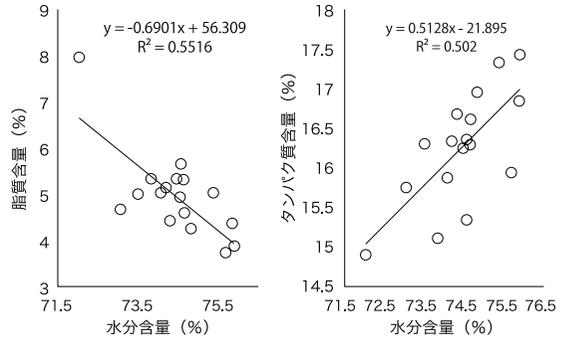


図6 肝臓の水分含量と脂質およびタンパク質含量との関係

上)があること等をこれまでの試験で明らかにした。これらの結果と本試験の結果は異なっていた。本試験における生殖腺の発達程度でも背肉成分、特に脂質含量には影響があるのかも知れない。

肝臓成分の変化を表5に示す。肝臓成分も背肉成分同様可也バラツキがあったが、飼育期間が長くなるに従って水分とタンパク質の占める割合が高くなり、脂質は少なくなる傾向が認められた。成熟が開始され、生殖腺体重比が大きくなり始めると水分とタンパク質の占める割合が増加し、脂質は減少するといえる。この結果と図3の肝臓体重比の経時変化、図4の生殖腺体重比と肝臓体重比との関係を併せ考えると、雄の肝臓成分の影響がより強く出ているのではないかと推測出来る。水分含量と脂質含量、タンパク質含量との関係を図6に示す。水分と脂質の間には負の相関、水分とタンパク質の間には正の相関が認められた。

背肉成分の変化と一緒にして考えると、この程度の生殖腺体重比、特に精巢の発達程度でも魚体の脂質含量が減少し始めている可能性がある。今後雌雄別に生殖腺体重比と背肉、肝臓の脂質含量との関係を明らかにしておく必要がある。

2-4. 血漿成分

前報で説明した様に血漿の色素含量は調査直前に食べた飼料の量や色素含量、採血条件の違い等の影響を強く受けることが分かっている。色素以外に測定したグルコース (Glu)、総タン

表6 血漿成分の経時変化

成分 単位	Glu mg/dL	TP g/dL	TG mg/dL	T.Cho mg/dL	ALP K-A.U.
A区					
6月14日	85	3.99	272	245	5.4
7月4日	84	4.50	371	299	5.9
7月13日	107	4.70	353	280	7.1
8月4日	89	4.68	459	286	9.6
9月6日	88	4.97	490	270	7.0
B区					
6月14日	85	3.99	272	245	5.4
7月4日	110	5.13	422	329	9.5
7月13日	99	4.73	391	272	6.6
8月4日	184	4.72	516	329	10.8
9月6日	119	4.88	514	256	5.4
C区					
6月14日	85	3.99	272	245	5.4
7月4日	104	4.84	437	290	9.0
7月13日	82	4.27	346	308	6.1
8月4日	201	4.32	354	266	6.9
9月6日	121	4.75	538	277	6.0
D区					
6月14日	85	3.99	272	245	5.4
7月4日	145	4.52	345	260	7.9
7月13日	101	4.90	447	268	7.2
8月4日	199	4.80	541	295	9.2
9月6日	112	4.58	487	319	8.3

パク質 (TP), トリグリセライド (TG), 総コレステロール (T.Cho) 含量やアルカリ性フォスファターゼ (ALP) 活性も同様の影響を受けている可能性がある。また、背肉、肝臓同様に血漿成分もグループ毎のプール血漿で分析したので、厳密には雌雄差は判断出来ない。但し、グループ毎の雌雄の個体数は分かっているので、雌雄何れの影響がより強かったかはある程度推測出来る。この程度の観点で分析結果 (表6) を見てみると、総タンパク質と総コレステロール、特に総タンパク質含量は雌の方が高かった可能性が高い。また、トリグリセライド含量とアルカリ性フォスファターゼ活性、特にトリグリセライド含量は雌雄共生殖腺が大きくなり始めた8月4日以降に高い値を示す様になっている事が分かる。雌雄共8月4日以降血漿のTG含量が増加していることは魚体に蓄積された脂質が消費され始めている可能性を示し、雄ではエネルギー源、雌では卵への脂質の

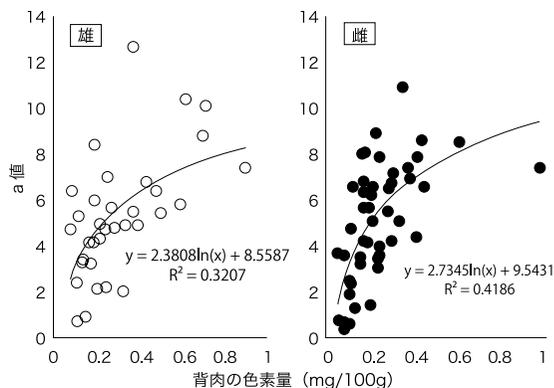


図7 背肉色素量とa値

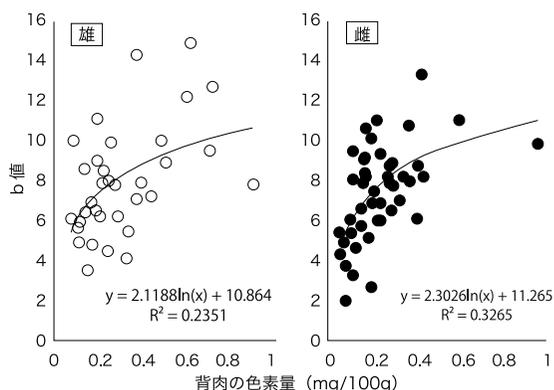


図8 背肉色素量とb値

供給源として利用されているのであろう。アルカリ性フォスファターゼ活性は魚の成長程度を反映しているものと思われる。グルコース含量は各区間、測定回次毎のバラツキが大きく、一定の傾向は認められなかった。

2-5. 色彩色差計による測色値

前報で説明した様に魚1尾当りの投与色素量が多くなるに比例して背肉の色素量も直線的に多くなっていった。背肉の色素量と色彩色差計による測色値であるa値、b値との間には、a値で $y=2.9238\ln(x) - 3.0829$, $R^2=0.9568$, b値で $y=2.5904\ln(x) + 0.5044$, $R^2=0.8268$ の対数関係が認められた。この値は雌雄で得られた値を一緒にして求めたものである。よって、雌雄の違いを明らかにするため、背肉の色素含量と色彩色差計による測色値a値、b値との関係を雌雄別に示したのが図7、8である。a値、b値

共に背肉の色素量との間に $y=A \ln(x)+B$ の対数関係が認められ、雌のバラツキが少なく、相関も強かった。また、背肉色素量と a 値あるいは b 値との間の線の傾きも雌の方が大きかった。これは雌雄で同じ背肉色素量でも雌の方が a 値、b 値共高い値を示す可能性があることを表している。雌雄で色素以外の背肉成分で違う可能性があるのは脂質（それに伴って水分、タンパク質も変化する）なので、背肉の脂質含量が色彩色差計の測色値に影響を及ぼすのかも知れない。もしそうであれば測色値から色素量を推定する場合、背肉の成分含量によって色素量が変わってくる可能性があり、注意を要する。a 値と b 値の間には $y=Ax+B$ 、傾き A が約 0.9 の直線関係があるのは前報で説明した通りで、雌雄差は認められなかった。但し、試験開始時直後の背肉色素量が少ない時期には雌雄共 a 値より b 値がやや高く、図 9 に示す様に b/a 値が

高かった。これは試験 -5 の供試魚が約 700g と大きかったので、試験開始時に既に飼料の植物性原料由来する黄色色素が多少魚体に蓄積していた事によるものと判断している。

以上の結果から、背肉成分含量の違い、特に脂質含量の違いで色素含量と測色値との関係が

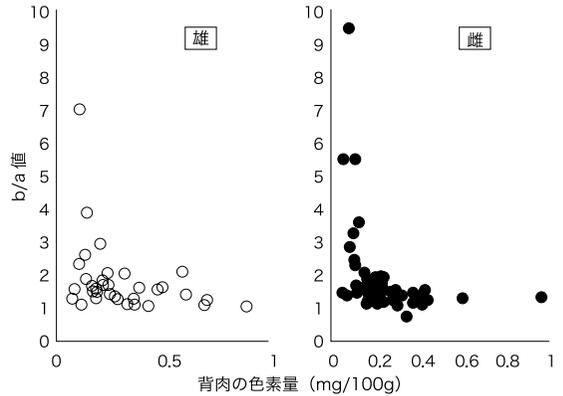


図 9 背肉色素量と b/a 値

表 7 背肉総カロチノイド含量の経時変化

	雄				雌				
	1	2	3	4	1	2	3	4	5
A 区									
6月14日	0.075	0.092			0.086	0.076	0.058		
7月4日	0.146				0.081	0.111	0.082	0.056	
7月13日	0.109	0.135	0.107		0.105	0.106			
8月4日	0.205	0.322	0.242		0.130	0.201			
9月6日	0.184	0.286			0.231	0.240	0.155		
B 区									
6月14日	0.075	0.092			0.086	0.076	0.058		
7月4日	0.077	0.139			0.109	0.075	0.052		
7月13日	0.166	0.173	0.217	0.244	0.166				
8月4日	0.274				0.277	0.206	0.292	0.284	
9月6日	0.478	0.389			0.407	0.283	0.326		
C 区									
6月14日	0.075	0.092			0.086	0.076	0.058		
7月4日	0.118				0.186	0.115	0.205	0.197	
7月13日	0.219	0.193			0.174	0.117	0.300		
8月4日	0.367	0.333	0.252		0.431	0.377			
9月6日	0.499				0.224	0.962	0.600	0.372	
D 区									
6月14日	0.075	0.092			0.086	0.076	0.058		
7月4日	0.190	0.085			0.171	0.170	0.168		
7月13日					0.241	0.174	0.292	0.162	0.211
8月4日	0.594	0.434	0.369		0.348	0.439			
9月6日	0.611	0.895	0.697	0.711	0.413				

単位: mg/100g

変化する可能性が出てきたので、測色値から色素量を推定する場合には注意を要することが分かった。今後背肉の成分含量、色素量および色彩色差計の測色値との関係を詳細に調べておく必要がある。

2-6. 背肉の色素量

各区個別背肉の総カロチノイド含量の変化を表7に示す。図には示さないが、何れの区においても雌雄共に飼育日数と背肉の総カロチノイド含量の間には $y=Ax+B$ の直線関係が認められたが、個体差が大きかった。各区飼料の色素含量は大きく違い、各区各分析回次毎のサンプル魚の大きさにも可也の個体差があった。魚が同じ量の飼料を食べたとしても単位体重当りに摂取した色素量は区やそれぞれの個体で違っていた筈である。よって、表7の値に魚1尾当りの投与色素量と体重の補正を加えて求めた体重100g当りの投与色素量と背肉色素量との関係を図10に示す。何れの区でも雌雄共に飼育期間が長くなると背肉の色素量にバラツキが大きくなる傾向が認められた。図10でもこの傾向が見て取れる。9月6日の各区魚体重100g当りの投与色素量と背肉色素量の間を調べたのが図11である。雌雄共に両者間に $y=Ax+B$ の正の相関が認められるものの、図10より相関が小さく、バラツキが大きいことが分かる。また、図10と図11を並べてみると、雌雄共図10で $y=Ax+B$ の直線から大きく外れている点は殆ど全てが9月6日の値であることが分か

る。9月6日の精巢体重比は2.31%から8.65%で、平均5.31%であった。卵巣体重比は1.68%から6.76%で、平均3.14%であった。もしこの背肉色素量のバラツキが性成熟と関係しているのであれば、雌雄共この程度の生殖腺体重比で背肉の色素量に影響が出て来ている可能性がある。

9月6日の値を除去して体重100g当りの投与色素量と背肉の色素量の間を調べると、雄では $y=0.0698x+0.0671$, $R^2=0.8323$, 雌では $y=0.0655x+0.0466$, $R^2=0.70123$ の強い相関を有する式が得られ、雌雄共生殖腺が一定レベル以下の発達程度では魚体重100g当りの投与色素量に比例して背肉の色素量も殆ど個体差無く、直線的に増加して行くことが分かる。また、線の傾きに雌雄差が殆ど無いことから、単位体重当りに与えられた色素量に対して背肉中で増える色素量に雌雄差が無いことが分かる。この様に生殖腺の発達は雌雄共に上述程度の初期段階から背肉の色素量に影響を及ぼしている可能性が高い。その指標として雄では精巢体重比が約5%、雌では卵巣体重比が約3%程度を目安にすれば良いのではないかと推測する。

前報で雌雄一緒にして全期間を通じて求めた体重100g当りの投与色素量と背肉色素量との関係は $y=0.0677x+0.0446$, $R^2=0.9676$ であった。

図10からカンタキサンチンを投与し始める前の背肉色素量は雄の方がやや多いこと、魚体重100g当りの投与色素量と背肉の色素量の間

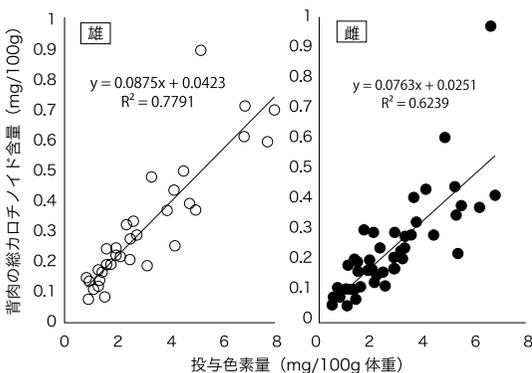


図10 体重100g当り投与色素量と背肉色素量

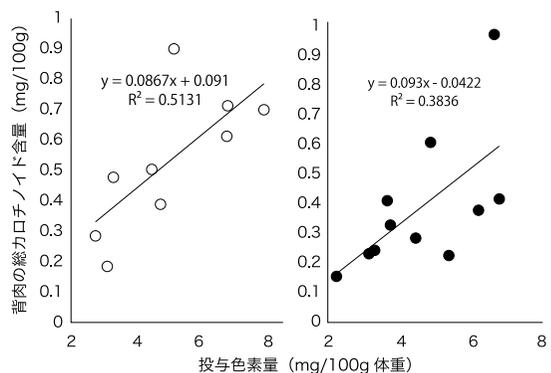


図11 9月6日の体重100g当り投与色素量と背肉色素量

で得られる直線の傾きも雄の方がやや大きいことが分かる。同じ条件で飼育されたニジマスを大きさによって三つのグループに分けると、大きい群には雄が多く、中間の群には雌雄略同数、小の群には雌が多いことはよく知られている。同じ条件で飼育しても雄の方がやや成長が良いということである。魚が大きければ当然小さい魚より食べる飼料の量が多い筈である。試験開始時に既に雄の方が背肉の色素量がやや多かったのは、雄の方がそれまでに食べた飼料の量が多く、飼料の植物性原料に由来する黄色色素がより多く背肉に蓄積していたためと思われる。これは色彩色差計による測色結果からいえる事である。また、魚1尾当りに投与した飼料の量は、それぞれの魚が実際に食べた飼料の量ではなく、単純に投与した飼料の総量を魚の尾数で割った値である。この値から魚体重を補正して体重100g当りの投与色素量が求めてあ

る。同じグループ内では大きな魚の摂餌量は小さな魚より多かったはずである。これが魚体重100g当り投与色素量と背肉色素量との関係式 $y = Ax + B$ の傾き A が雄の方がやや大きかった原因であろう。

2-7. 卵巣の色素量

前報で説明した様に卵巣が未発達の体重約300gの魚（前報試験-4）では、魚1尾当りの投与色素量（mg/尾）と卵巣色素量（mg/100g）との間に $y = 0.1704x + 0.2056$, $R^2 = 0.9795$ の非常に強い正の相関が認められた。ところが試験期間中に卵巣が発達し始めた約700gの魚（前報試験-5）では、最初は投与色素量が多くなるに従って卵巣色素量も多くなっていたが、次第に傾きが小さくなり、投与色素量が一定以上になると卵巣色素量は殆ど同じ値を示すに至っていた。この原因を明らかにするため、以下の処理を行った。

表8 単位重量当り卵巣総カロチノイド含量の経時変化

	1	2	3	4	5
A区					
6月14日	0.656	0.667	0.464		
7月4日	1.688	1.283	1.617	1.348	
7月13日	1.937	2.291			
8月4日	2.426	1.943			
9月6日	1.453	3.704	1.636		
B区					
6月14日	0.656	0.667	0.464		
7月4日	1.403	1.651	2.036		
7月13日	2.000				
8月4日	3.284	4.312	4.557	3.118	
9月6日	3.681	2.258	2.400		
C区					
6月14日	0.656	0.667	0.464		
7月4日	1.668	2.631	2.566	2.100	
7月13日	3.327	2.218	3.771		
8月4日	4.758	3.034			
9月6日	3.584	3.216	2.788	2.214	
D区					
6月14日	0.656	0.667	0.464		
7月4日	3.038	4.076	1.946		
7月13日	2.782	3.419	3.254	3.651	1.944
8月4日	3.293	6.585			
9月6日	4.877				

単位: mg/100g

表9 卵巣全体の総カロチノイド含量の経時変化

	1	2	3	4	5
A区					
6月14日	0.018	0.023	0.015		
7月4日	0.053	0.074	0.094	0.122	
7月13日	0.062	0.103			
8月4日	0.363	0.200			
9月6日	0.509	0.636	1.569		
B区					
6月14日	0.018	0.023	0.015		
7月4日	0.081	0.057	0.070		
7月13日	0.180				
8月4日	0.263	0.459	0.516	0.300	
9月6日	0.759	0.856	0.636		
C区					
6月14日	0.018	0.023	0.015		
7月4日	0.112	0.142	0.116	0.097	
7月13日	0.149	0.106	0.302		
8月4日	0.315	0.030			
9月6日	1.626	0.550	1.001	0.831	
D区					
6月14日	0.018	0.023	0.015		
7月4日	0.116	0.123	0.134		
7月13日	0.253	0.162	0.237	0.234	0.123
8月4日	0.273	0.558			
9月6日	1.008				

単位: mg/卵巣

表 10 体重 100g 当り卵巣総カロチノイド含量の経時変化

	1	2	3	4	5
A 区					
6月14日	3.18	3.23	2.40		
7月4日	7.99	10.34	9.98	11.84	
7月13日	9.10	16.51			
8月4日	45.78	22.96			
9月6日	50.70	66.32	110.73		
B 区					
6月14日	3.18	3.23	2.40		
7月4日	11.39	10.90	10.29		
7月13日	22.25				
8月4日	36.03	61.12	44.37	43.99	
9月6日	61.76	84.17	52.82		
C 区					
6月14日	3.18	3.23	2.40		
7月4日	13.02	23.20	16.36	14.95	
7月13日	27.59	17.41	34.63		
8月4日	41.39	5.25			
9月6日	149.59	62.43	83.14	88.12	
D 区					
6月14日	3.18	3.23	2.40		
7月4日	18.71	20.30	20.18		
7月13日	31.04	23.44	34.55	28.30	17.72
8月4日	35.45	72.09			
9月6日	90.32				

単位: μg/100g 体重

卵巣単位重量当たりの総カロチノイド含量の変化を表 8 に、これに各個体の卵巣重量を乗じて求めた卵巣全体の色素量を表 9 に示す。この値に更に魚体重の補正を行って体重 100g 当りの卵巣色素含量にしたのが表 10 および図 12, 13 である。個体差はあるものの飼料の色素量に拘らず体重 100g 当りの卵巣色素量の経時変化には殆ど区間差が無いことが分かる。これは飼料から供給される色素の量には関係無く、体重 100g 当りに換算すると卵巣には一定量ずつの色素が経時的に蓄積されていくことを示している。何故この様な結果になるのであろう。この様な結果になるには投与色素量が少ない区では多い区より効率良く卵巣に色素を蓄積しなければならない。それを区毎に比較したのが図 14 の魚 1 尾当りの投与色素量と卵巣全体の色素量の関係である。両者の間には $y=Ae^{(Bx)}$ の指数関係が成り立ち、飼料の色素含量が少な

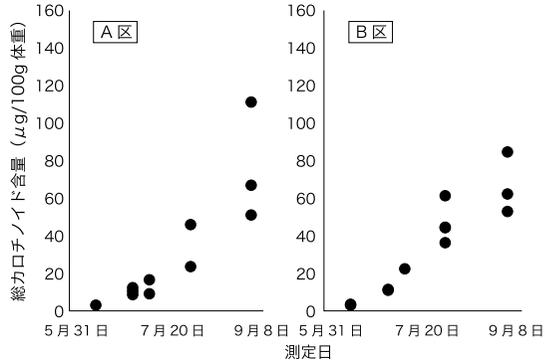


図 12 体重 100g 当りの卵巣色素量 -1

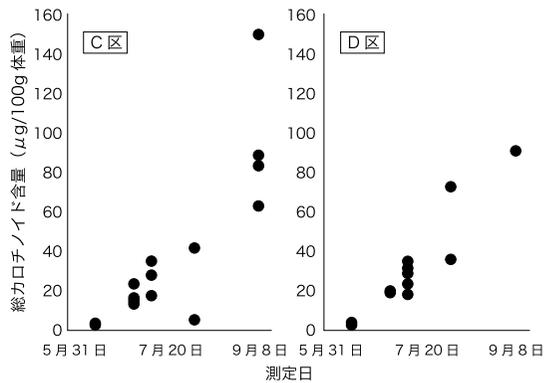


図 13 体重 100g 当りの卵巣色素量 -2

い区ほど少ない投与色素量で一定の卵巣全体の色素量に達している。この結果は飼料由来の色素は吸収量に拘らず一定量が優先的に卵に送られている事を示唆している。卵中で色

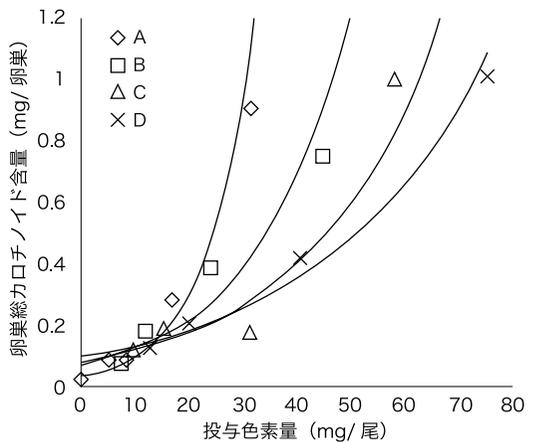


図 14 投与色素量と卵巣全体の色素量 (平均値)

表 11 体重 100g 当り, 投与色素量 10mg 当り卵巣総カロチノイド含量の経時変化

		1	2	3	4	5
A 区						
7 月	4 日	15.02	19.44	18.76	22.26	
7 月	13 日	10.83	19.65			
8 月	4 日	26.93	13.51			
9 月	6 日	16.04	20.99	35.04		
B 区						
7 月	4 日	15.03	14.39	13.58		
7 月	13 日	18.54				
8 月	4 日	14.89	25.26	18.33	18.18	
9 月	6 日	13.72	18.70	11.74		
C 区						
7 月	4 日	13.28	23.66	16.69	15.25	
7 月	13 日	17.80	11.23	22.34		
8 月	4 日	13.18	1.67			
9 月	6 日	25.66	10.71	14.26	15.11	
D 区						
7 月	4 日	14.73	15.98	15.89		
7 月	13 日	15.44	11.66	17.19	14.08	8.82
8 月	4 日	8.71	17.71			
9 月	6 日	11.95				

単位: $\mu\text{g}/100\text{g}$ 体重 / 10mg 投与色素量

素は主として油球に取り込まれ, 各組織への色素の供給源になると共に, 紫外線防御作用, 抗酸化作用, 活性酸素消去作用等の重要な役割を演じている⁶⁻¹¹⁾。卵内発生中や孵化仔稚魚等の特に代謝が活発な時期に色素は重要なのであろう。卵が完全に成熟して排卵されるまでに必要な量の色素を確保するため, 卵巣の発達程度が低い時期から優先的に卵へ色素を送っているのであろう。この様な卵の色素蓄積機構であれば, 単位体重当り一定量の色素を与えた場合, 卵巣の総色素含量は飼料の色素含量に拘らず略一定の値を示すものと推測出来る。

体重 100g 当りの卵巣色素量に投与色素量の補正を加え, 全区一緒にして体重 100g 当り 10mg の色素を与えた場合の卵巣色素量の経時変化を求めたのが表 11 と図 15 である。可也個体差が大きいものの最初のサンプリング日である 7 月 4 日から終了日の 9 月 6 日まで平均値は殆ど同じであることが分かる。

以上の結果から, 成熟がスタートしていない魚では卵巣単位重量当りの色素量は飼料由来の

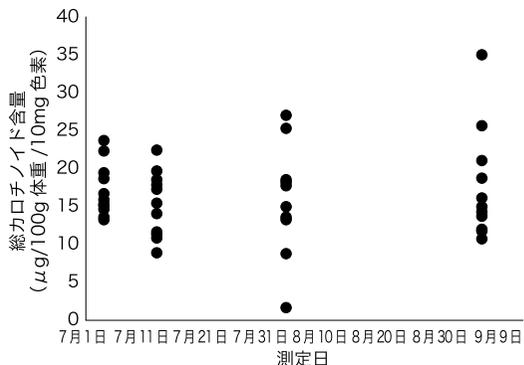


図 15 体重 100g, 投与色素量 10mg 当りの卵巣色素量

色素量に従って多くなるが, 一定量以上には増えない事, 成熟が開始されてからは卵が大きくなることによって卵巣全体に含まれる色素の量を増やしている事, 飼料から供給される色素の量に拘らず, 一定量の色素を優先的に卵に供給しているらしい事等が推測出来る。本試験では利用出来る水槽の数が限定されていたので, カンタキサンチン無添加区は設定しなかったが, もし無添加区があればより明確な結果が出ていたのではないと思われる。

3. 要約

前報試験-5の飼育後半には雌雄共に生殖腺の発達がスタートしていた。よって前報で得られた結果を個体別に整理し直し, 生殖腺の初期発達が各臓器の状態や体成分, 特に背肉や卵巣の色素量に及ぼす影響を雌雄別に調べた。得られた結果は以下の通りであった。

- ・精巣体重比が約 9%, 卵巣体重比が約 7% 程度までは肥満度に影響は及んでいない。
- ・雄では精巣体重比が大きくなる程肝臓体重比が小さくなる傾向が認められるが, 個体差が大きく, 明確ではない。雌では卵巣体重比と肝臓体重比の間に相関は認められなかった。
- ・生殖腺体重比に拘らず雌の方が肝臓体重比と腹腔内脂肪蓄積組織体重比が大きかった。
- ・背肉の色素含量と色彩色差計による測色値 (a, b, a+b) との間に雌雄でやや違いが認められた。背肉の脂質含量の違いが影響しているの

- かも知れない。
- ・ 精巣体重比が約 5%，卵巣体重比が約 3% 以下の生殖腺の発達状態であれば，体重 100g 当りの投与色素量と背肉の色素量との間には雌雄共に $y=Ax+B$ の強い正の相関が認められる。それ以上の発達状態になると個体差が大きくなり，相関が弱くなる。
 - ・ 体重 100g 当りの投与色素量と背肉の色素量との間の関係式 $y=Ax+B$ の傾き A は雄の方がやや大きかった。これは雌との摂餌量の違いに原因があるものと推測する。
 - ・ 飼料から供給される色素量には関係無く，卵巣には体重 100g 当り一定量の色素が経時的に蓄積される。
 - ・ 飼料由来の色素は吸収量に拘らず一定量が優先的に卵へ送られている。これは卵中における色素の重要性を示すものと推測する。
 - ・ 体重 100g 当り 10mg の色素を投与した場合に卵巣色素量に経時変化は認められない。

文 献

1. 酒本秀一：ニジマスの肉色改善 -5. *New Food Industry*, **59** (3): 47-60, 2017.
2. 酒本秀一：カロチノイド色素，「養殖」臨時増刊 添加商品，32-39, 2000.
3. 酒本秀一：性成熟がニジマスの魚体内カロチノイド分布に及ぼす影響. *New Food Industry*, **57** (7): 53-67, 2015.
4. 松山倫也，太田耕平：性ステロイドホルモン. 月刊海洋，**32**: 81-89, 2000.
5. 松原孝博：卵黄形成機構と卵黄の関係. 月刊海洋，**32**: 107-112, 2000.
6. 幹渉：生物活性研究の現状. 水産学シリーズ 94 海洋生物のカロテノイド - 代謝と生物活性 (幹渉編)，恒星社厚生閣，東京，80-86, 1993.
7. 清水延寿，幹渉：活性酸素消去活性. 水産学シリーズ 94 海洋生物のカロテノイド - 代謝と生物活性 (幹渉編)，恒星社厚生閣，東京，97-104, 1993.
8. 山下英次：抗酸化作用. アスタキサンチンの化学 (矢沢一良編著)，成山堂書店，東京，28-35, 2009.
9. 矢沢一良：アスタキサンチンの生理機能のトピックス. アスタキサンチンの化学 (矢沢一良編著)，成山堂書店，東京，130-138, 2009.
10. 秦正弘：淡水魚. 水産学シリーズ 25 水産動物のカロテノイド (日本水産学会編)，恒星社厚生閣，東京，60-77, 1978.
11. 北原直：サケ・マス類. 水産学シリーズ 25 水産動物のカロテノイド (日本水産学会編)，恒星社厚生閣，東京，78-89, 1978.

グルテンフリー穀物食品と飲料

新解説グルテンフリーパンについて－2

瀬口 正晴 (SEGUCHI Masaharu)^{1,2}

竹内 美貴 (TAKEUCHI Miki)³ 中村 智英子 (NAKAMURA Chieko)³

¹ 神戸女子大学, ² 日本穀物科学研究会会長, ³ 神戸女子短期大学

Key Words : グルテンフリー セリアック病

本論文「グルテンフリー穀物食品と飲料, 新解説グルテンフリーパン－1」は, “Gluten-Free Cereal Foods and Beverages” (Edited by E. K. Arendt and F.D. Bello) 2008 by Academic Press (ELSEVIER), の第13章 Gluten-free breads by E. K. Arent の一部を翻訳し紹介するものである。

パンの構成成分としての水

水はドウ形成に不可欠な成分である; 他成分を溶かし, タンパク質, 炭水化物を水和し, さらにグルテンネットワーク形成にとって必要である (Maache-Rezzoug *et al.*, 1998)。水は複雑な機能を持ち, 生化学的ポリマーの立体構造を決め, 仕込み中のいろいろな成分間の相互作用の性質に影響を与え, ドウの構造形成に寄与する (Eliasso and Larsson, 1993)。フラワードウのレオロジー的性質には不可欠のものである (Bloksma and Bushuk, 1988)。粉に水を加えると粘度は低下し, ドウの伸展性は増加する。一方, もし水の比率があまりに低いと, ドウはぼろぼろになり, 連続性はなく, はっきりと表面の素早い脱水による“クラスト”効果を示す。一般にドウのかたさの変化は5-15%の間で起こり, そのときの水分含量は粉の体積の1%で変化する (Bloksma and Bushuk, 1988)。いろいろな成分がドウ中で吸水する間, 変化ないデンプンだけはドウ中で水分含量を正確に測定できる。

水で平衡化した時, 天然デンプンはほぼ乾物重量 kg 当たり約 0.45kg の水を吸収する (Bloksma and Bushuk, 1988)。水分含量とその

分布は, クラムのソフト感, クラストのかたさ, シェルフライフと言ったテクスチャの性質を支配する (Wagner *et al.*, 2007)。水分は製パン時生じる大きな変化 (例えばデンプンの糊化) とその焼かれたパンの構造と食感に対しても重要な役割を演じる。粉に水を加えると, 粉粒の外側の層は吸水し, ネバネバした塊が見られる。攪拌を続けると水和した外側表面層に代わり, 新しい粉粒子層があらわれ, 水にさらされ, そして水和される。この連続で全ての粒子が水和され消える (Hoseny and Rogers, 1990)。幾つかの物理的, 化学的変化が粉と水のミキシング, ニーデングの間で起こる (Damodaran, 1996)。使われた引裂, 押しのかたさの力でグルテンタンパク質は水を吸収し, グルテンの一部はほどける。一部ほどけないタンパク質分子は, 疎水相互作用と SH-SS 交換反応を容易にすすめ, 糸のようなポリマーを形成する。これらの直線ポリマーは次々と, 簡単に他のものと互いに相互作用すると思われ, 多分それは水素結合, 疎水結合 w, S-S 結合, ガスをトラップ出来るようなシート状のフィルムを作る。

デンプン構造の変化, 例えば可溶性, 糊化,

あるいはフラグメンテーションは、水/デンプン比、温度、加熱程度、アミロース/アミロペクチン比、引裂力、粒子サイズ分布、添加砂糖、塩、タンパク質、脂質、あるいは他要因によって影響を受ける (Kokini *et al.*, 1992)。ドウの調製中、デンプンは約 46% まで水を吸収する (Goesaert *et al.*, 2005)。水中で加熱するとデンプン粒は糊化し、粒中で分子配列の混乱が起こる (Morris, 1994)。糊化中アミロースが粒からしみ出す。全糊化が一般にある温度域で生じる (BeMiller and Whistler, 1996)。過剰の水のあるところでデンプン粒の連続加熱をするとさらに粒は膨潤し、可溶化成分のしみだしがさらにつづき (プライマリーアミロース)、そしてついには粒の全体が崩壊する。この現象はデンプンのペースト形成に到る (BeMiller and Whistler, 1996)。水は糊化の間、可塑剤として働く。水の移動-強め効果が初めにアモロフォス域で起こり、ガラスの性質である。デンプン粒は、十分に水のあるところ (少なくとも 60%) で加熱し、特異的温度 (ガラス転移温度) に達すると、粒のプラスチックアモロフォス域は相転移をおこし、ガラス相からゴム相に変わる (BeMiller and Whistler, 1996)。上述のプロセスの間、水分子は鎖間に入り込み、鎖相互間の結合をやぶり、分離した分子間に水和層を作る。これは、鎖をゆるめもっと完全に分離し可溶化する。

ベーキング中の加熱、水分、時間の組み合わせの結果、デンプン粒は糊化し、膨潤し、少量のデンプン (主にアミロース) が内部粒相中に漏れ出る (Goesaert *et al.*, 2005)。Davidou *et al.*, (1996) は、製パン中のデンプンの膨潤と水の可塑的効果の重要性を強く述べた。冷却する間、可溶化したアミロースは連続的ネットワークを形成し、そこで膨潤し変形したデンプン粒は落ち着き、他のものと連携する。素早い老化のために、アミロースはパンの不可欠構造要因であり、初期のパン容積の決定要因である (Eliasson and Larsson, 1993)。水分含量はデンプンの老化のレベルとスピードをコントロールする (Davidou *et al.*, 1996)。パンクラム

中、老化デンプンの可溶性エネルギーの最大量が 35-45% 水分含量範囲で観察された。分析データは、クラムの粘弾性性質が合成ポリマーのそれに類似しており、クラムのかたさは水分含量が増えるとともに低下する。Biliaderis (1992, 1998) によると、水は食品中、最も大切な可塑剤である。ベーキング中吸水の増加は、パンの初期の柔らかさを強め、さらにパンのかたさを低下させた。貯蔵中、パンは次第にその新鮮さを失い老化する。老化のプロセスには幾つかの面がある; クラストはしだいにかみきりにくくなり、クラムは次第にかたくなり、弾性を失い、可溶性デンプンは低下し、水分とフレーバーは損失する (Hoseney, 1994)。Rogers *et al.*, (1988) と Davisous *et al.*, (1996) は、貯蔵中の水分含量がパンのかたくなるスピードに影響し、デンプン老化に影響すると報告した。Rogers *et al.*, (1988) は、小麦パンがかたくなるスピードは、水分含量が高い時遅れるとも述べた。一般に結論されるのは、デンプン区分中の水の移動と変化は老化プロセスの重要な要因である (Goesaert *et al.*, 2005)。すでに討論したように、ハイドロコロイドは小麦パン、グルテンフリーパンに広く利用され、これらの食品の構造、口腔内感覚、消費者納得、シェルフライフを改良した。

少量の利用 (<1%, w/w) で、パン容積を増やし、かたさを低下した (Davidou *et al.*, 1996)。水分吸収はハイドロコロイド添加で増加し、この増加の程度は添加ハイドロコロイドの構造に基づく (Rosell *et al.*, 2001; Lazaridou *et al.*, 2007)。ハイドロコロイドの存在は、デンプンの可溶化、糊化、フラグメンテーション、老化に影響する (Fanta and Christianson, 1996)。これらの効果は糊化の性質、ドウレオロジーの性質 (Rojas *et al.*, 1999) とパン老化 (Davidou *et al.*, 1996) に影響する。製パン研究の結果から、パンサンプルの水分含量はハイドロコロイドを含むとコントロールよりも極めて大きく増加する (Friend *et al.*, 1993; Rosell *et al.*, 2001; Guarda *et al.*, 2004; Barcenás and Rosell, 2005)。クラム

のかたさがハイドロコロイドを含むと低下することは、また小麦パン、グルテンフリーパンで報告された (Rosell *et al.*, 2001; Gallagher *et al.*, 2003; Sharadanant and Khan, 2003; Guarda *et al.*, 2004; Barcenas and Rosell, 2005; Lazaridou *et al.*, 2007)。Gallagher *et al.*, (2003) は水 (10 あるいは 20%) をグルテンフリー粉に加えるとパン容積がより高くなり、クラスト、クラムテクスチャのずっと柔らかくなることを観察した。McCarthy *et al.*, (2005) も、グルテンフリーパンの水分含量の増加がクラムのかたさを顕著に低下させる事を観察した。HPMC と水は、クラムグレイン構造で顕著な相互作用を示し、2.2%HPMC と 79%水分のレベルが最も良好なグルテンフリーパン品質を与えた。

Barcenas and Rosell (2005) は、小麦パンで HPMC の存在がかたさスピードを低下させ、アミロペクチンの老化を遅らせることを観察し、彼らはアミロペクチン老化の低下、パン老化の遅れが HPMC を含むパンの水分含量によるためだろうと結論した。Kobylanski *et al.*, (2004) は、示差走査熱量測定を用いて、ドウ中の水と HPMC レベルがガラス転移温度 (例えばガラス状態からゴム状態への) に大きく影響することを、さらに HPMC-水相互作用がデンプンの糊化開始温度を主にコントロールすることを観察した。

Davidou *et al.*, (1996) によると、ハイドロコロイドはパン中でパンクラムから水分の拡散と損失両方を制限することで、老化レベルに影響する。こうして水分含量とその水移動をコントロールすることが、パン容積とクラムかたさのコントロールにとってキー要因であろう。

グルテンフリーパンの栄養価の改善

穀物は食物繊維の重要源であり、西欧諸国では含まれる繊維の約 50% がこれである (Nyman *et al.*, 1989)。食物繊維の役割は線維素であり、大部分はずっと健康予防に貢献するものとされて来た。適当量の穀物、果物、野菜を入れた食事は、十分な繊維を与えるだろう。グルテンフ

リー食品には一般に強化されてなく、入っている量も十分ではないために、あるいは精製した粉やデンプンで作られているために、それらは置き換える前のグルテン含有のものと同じの栄養価レベルにはないであろう。そこでセリアック病患者にとって、生きてゆくために必要なグルテンフリー食事が果たして栄養的バランスのとれた食事かどうかを確かめると、特に食物繊維の取り込みについてははまだ不確実性が残る。

Grehn *et al.*, (2002) は、セリアック病の治療し、グルテンフリー食事をしている 49 人の大人に、栄養価と食品の取り込みの調査をした。彼らは正常の食事コントロールグループの人々と比較した時、繊維取り込みの低いことを見出した。同時に Lohiniemi *et al.*, (2000) は、平均繊維消費量が Sweden のセリアック病患者に推薦されるものより低いことを見出した。彼らのセリアック病青年期の研究で、Mariani *et al.*, (1998) は、きっちりしたグルテンフリー食事を守ることは、既に青春期の栄養的なアンバランス食事 (栄養と繊維の食物レベルは低いとわかった) をさらに悪くすると結論した。同様の発見はまた Thompson, (2000) によって示された。

グルテンフリーパンに食物繊維を強化することは、研究者チームで話題となった。研究は高繊維成分の添加がテクスチャ、ゲル化、厚み、乳化、安定化の性質をグルテンフリー食品に与えることを示した (Sharma, 1981; Dreher, 1987)。イヌリンは食物繊維含量をグルテンフリー食品に増加させる成分の 1 つである。イヌリンは $\beta(2 \rightarrow 1)$ -結合するフラクトースユニット鎖の貯蔵多糖類であり、末端にグルコース分子が来る (Leite-Toneli *et al.*, 2007)。30 万以上の野菜製品に存在する。特にチコリルート (根) (*Cichorium intybus*) は産業に使うのに適している。イヌリンは小腸で分解されず吸収されないが、そのかわり大腸で有用バクテリアで発酵される (Lopez-Molina *et al.*, 2005)。

イヌリンのいろいろな植物から抽出されたものの違いは、重合度の違いによるものであった。

機能的性質でイヌリンは加工食品中広範囲に用いられ、そこではプレバイオテックスの性質に使われている。また、脂肪代謝物として広く食品に用いられている。Silva (1996) は、例えばイヌリンとあるハイドロコロイド間の相互作用に関し報告している。著者はイヌリンとハイドロコロイドはシナージスト効果を示し、システムに顕著な粘度増加を与える。イヌリンを水溶液と混ぜた時、イヌリン粒はゲル状のネットワークを作り、その結果食品中ではクリーム状のテクスチャとスプレッド状の性質を示す。混合物は食品中簡単に应用でき、脂肪 100% にまで置き換ええる (Lopez-Molina *et al.*, 2005)。非常に僅かだが 2-3 の研究が、イヌリンのベーカリー食品への品質と栄養的性質に関するものがある。最近、Korus *et al.*, (2006) はグルテンフリーパンの品質へのプレバイオテックス範囲(イヌリン, オリゴ糖シロップ, ながみフリーチコリ粉)の影響を決めた。

これらの著者はさらに 3, 5, 8% 添加レベルを用い、パンを 48 時間貯蔵した。著者らはパン中に 5% イヌリン添加で最も良い食感を得た。5, 8% イヌリン, オリゴ糖シロップ, チコリ粉は 3 日間の貯蔵期間中、老化スピードを低下した。全体的に著者らの結論していることは、プレ

バイオテックス供給で品質の良いグルテンフリーパンを作る事が出来たことだ。使った添加物の中で、パン品質に与える最も意味ある効果は 5% イヌリン添加であり、これがパンのふくらみを増加し、クラムのかたくなるスピードをおとし、感覚レベルを改良した。Gallagher *et al.*, (2004a) の研究は、異なったレベルのイヌリンによるグルテンフリーパンの栄養的価値同様、品質へのインパクトの研究であった。これらの著者らはイヌリン添加がグルテンフリーパン品質を改良するだけでなく、パンの食物繊維が顕著に増える事も述べた。限られた研究から、グルテンフリー食品に存在する栄養的分析に同様に、グルテンフリー食品の食物繊維増加に不可欠であることを調べた。イヌリンは良好な候補であるが、しかしさらなる研究が必要で、グルテンフリー食品中に他の食物繊維源の適当なものの評価が必要である。

グルテンフリーパン生産

グルテンフリーパンの生産方法は標準の小麦パンの生産方法にくらべ、顕著に異なるものである (図 13.4)。伝統的には小麦ドウをまぜ、発酵し、分割/成型、丸め、最後に焙焼する。殆どのグルテンフリーパンはより高いレ

(A)	(B)
Weigh: Flour, Water, Salt, Fat, Yeast, Improvers	Weigh: Gluten-free flours, Water, Salt, Sugar, Hydrocolloid, Yeast
↓	↓
Mix and Rest (30-40°C, 80-90RH,15min)	Mix (2 mintes)
↓	↓
divide	Scale to 500g and place in a pan
↓	↓
Mold and pan	Proof (30°C, 85% RH) for 30 minutes
↓	↓
Proof (30°C, 85% RH)	Bake
↓	↓
Bake	Cool & Package
↓	
Cool & Package	

図 13.4 標準小麦パン製造 (A) とグルテンフリーパン開発プロセス (B) の比較

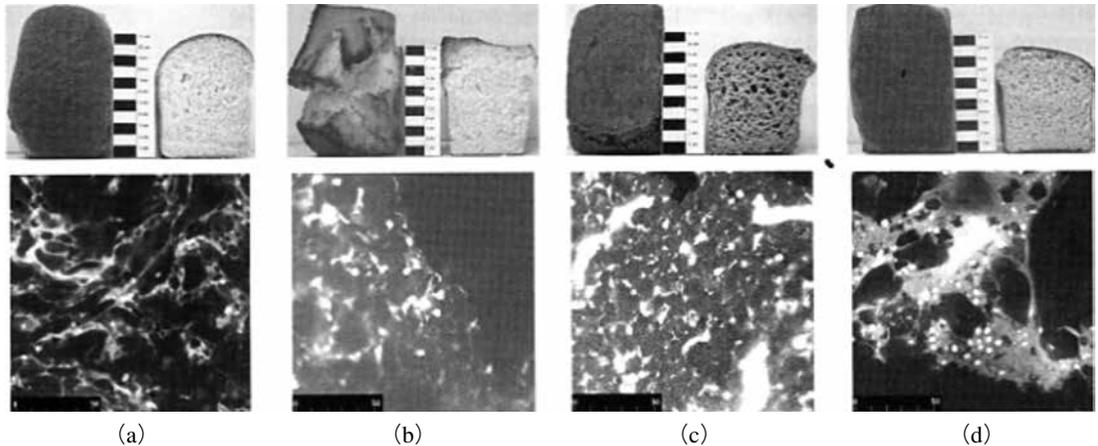


図 13.2 コントロールとしてコムギパン(a)とグルテンフリーパン[市販のグルテンフリー粉によるパン(b), ミルク無しレシピ(c), ミルク入りレシピ(d)]。

パン外観と共焦点レーザー走査型顕微鏡構造 (—; 50 μ m)

ベルの加水, そしてより流動に近い構造である。さらにそれらは攪拌, 発酵, ベーキング時間は小麦の物より反対に短い。新しいグルテンフリーパンで高品質のものの作り方が Moore *et al.*, (2004) により示され, 攪拌, 発酵, ベーキングからなるものである。この方法はグルテンフリーパンをさらにうまく研究し応用している (Moore *et al.*, 2006, 2007a, 2007b; Moore and Arendt, 2007; Schober *et al.*, 2005; Renzetti *et al.*, 2007)。同じ仕事で, Moore *et al.*, (2004) はグルテンフリーパンに乳成分を入れたもの, 入れないものをつくり, 小麦パンや小麦デンプンをベースにした市販ミックスのグルテンフリーパンと比較検討している。非乳成分グルテンフリーパンには, トウモロコシデンプン, 玄米粉, 大豆, そば粉, キサンタンガムが使われている。

乳成分の入ったグルテンフリーパンは, 玄米粉, スキンミルク粉, 全卵, ポテトデンプン, トウモロコシデンプン, 大豆粉, キサンタンガム, コンニャクガムからなる。市販の非乳パンは高体積であったが, その結果, 老化の早いパンであった。全粒穀物のコンビネーションで, 水レベルを増やしても特にその老化を遅らせることは出来なかった。しかしながらタンパク質十分量の添加量で品質の保持を改良し, 連続相の形成とフィルム様構造を示

した (図 13.2)。この連続相, フィルム様構造は, デンプン老化による変化をマスクすることができ, グルテンフリーパン品質を決める鍵となる。RSM (応答局面法) という技術は有用な技術であり, 新しい食品, 例えばグルテンフリーパンのようなものを製造するときには有用な技術である。RSM では, 成分レベルのコンビネーションの設定あるいはプロセスパラメーター (例えば時間, 温度) の組み合わせとその設定ができ, 適当な結果 (例えば色調, 体積, 受け入れ可否) を求めるためにテストされる。それはモデルを作るのにも用いられ, これらのデータは各部分の最大, 最小を求めるのに用いられた (例えば加工時の最大条件の選出とか)。RSM は, ある方法で同時にいろいろな多くのパラメーターを変え, しかしながらトライアルの最小数で製造業者に信用できるデータを与える (最小のコストと時間でインプットする)。成功した RSM の応用はいろいろな異なるタイプの小麦パンの生産で報告されている (Lee and Hosney, 1982; Malcolmson *et al.*, 1993; Clarke *et al.*, 2002; Gallagher *et al.*, 2004a; Clarke *et al.*, 2004)。

Ylimaki *et al.*, (1991) はグルテンフリーパンに RSM を使い, 3 種の米粉を用い, (いろいろな粒サイズと米くだし方の調査) 目的を持って

生産とその測定を行った。中間の粒、微細に粉碎した白色米粉、低レベルのHPMC、低レベルのCMCを用いてパンは最も小麦パンに近いものができた。同じ3種の米粉が第2番目のトライアルに用いられ、グルテンフリーイーストパンが米粉(80%)、ポテトデンプン(20%)を基本として作られた。訓練したパネリストによる官能試験を使い、RSMにより最適CMC、HPMCと水レベルを見出し、これらの成分と各異なった米粉とのコンビネーションを見出すのに使われた。湿っぽさ、凝集性、フレーバー、色、セル構造に関しては、グルテンフリーパンを中間粒米粉で作ると長粒米粉で作ったものより高度のスタンダードであることがわかった(Ylimaki *et al.*, 1991)。

つづいてToufeili *et al.*, (1994)は、RSMを応用してメチルセルロース、アラビアガム、卵アルブミンのグルテンフリーフラットパンの官能的性質への影響を調べたが、そのパンは未糊化コーンデンプンとコーン粉をベースにした仕込みで焼いたものである。メチルセルロースと卵アルブミンは、パンの官能要因を改良する大部分の成分であるとわかった。3%アラビアガム、2-4%メチルセルロース、卵アルブミンを用いた時、小麦パンに相当するグルテンフリーパンが作られた。しかしながらパンはレギュラーの小麦パンに比べ2日間以上早く老化した。RSMはDemiate *et al.*, (2000)により、キャッサバデンプンのグルテンフリーパン、ビスケット仕込みにも用いられた。もう一つ別にはSanchez *et al.*, (2002)によりRSMを用いて、コーンデンプン、キャッサバデンプン、米粉、0-0.5%大豆粉添加でグルテンフリーパンの改良テクスチャをうまく調べている。最後にSchober *et al.*, (2005)はRSMを用いてソールガムベースグルテンフリーパンへのソールガム雑種の影響を調べた。各ソールガム雑種はグルテンフリーパンの品質に相違を示し、RSMは最も良い仕込み中、ある品種の最もいいパフォーマンスを示した。

結論すると、これまでの研究は明らかに数学

的なモデル化はグルテンフリー食品の最も良いものをつくりのには上等な道具であり、RSMは最低のトライアル量で、最適の加工食品の仕込みづくりができた。

グルテンフリーパン品質の改良

Arendt *et al.*, (2002)のレビューは、殆どの市販グルテンフリーパン品質が良くないのは老化の素早い開始、乾いたクラムテクスチャと、ひどいオフフレーバーによるためであることを示した。グルテンフリーパンの老化の早いのは、主には高含量の分離デンプンによるためである(粉基本の約100%)。さらにグルテンが無いため多くの水が使われ、それがクラム硬化傾向とクラストのソフト化の原因である(Gallagher *et al.*, 2004a)。幾つかの研究が進められ、それによるとグルテンフリー穀物の範囲と酵素、タンパク質、ハイドロコロイド、あるいはまた、乳酸菌ととのコンビネーションで進められ、グルテンフリーパンの品質向上に向けられた(Aanchez *et al.*, 2002, 2004; Gallagher *et al.*, 2003, 2004a, 2004b; Moore *et al.*, 2004, 2007a, 2007b; Moore and Arendt 2007; McCarthy *et al.*, 2005; Schober *et al.*, 2005; Renzetti *et al.*, 2007)。

酵素

酵素機能の利用はベーキング産業に大きく広がっていて、例えばドウの脱色(漂白)、ドウの容積、テクスチャあるいはシェルフライの改良である(Gelinas and Lachance 1995; Sahlstrom and Brathen 1997; Grossman and De Barber 1997; Vemulappali and Hoseneey 1998; Delcros *et al.*, 1998; Corsetti *et al.*, 2000; Rosell *et al.*, 2001)。酵素は本来の材料中に存在するか、あるいは別の酵素源から添加することもできる。アミラーゼ、プロテアーゼ、ヘミセルラーゼ、リパーゼ、オキシダーゼは、ベーキング製品の品質同様、全てのベーキングプロセス面に影響すると報告されている(Hozova *et al.*, 2002)。今日まで、グルテンフリー食品へのアミラーゼの利用とそのインパクトについては殆どない。

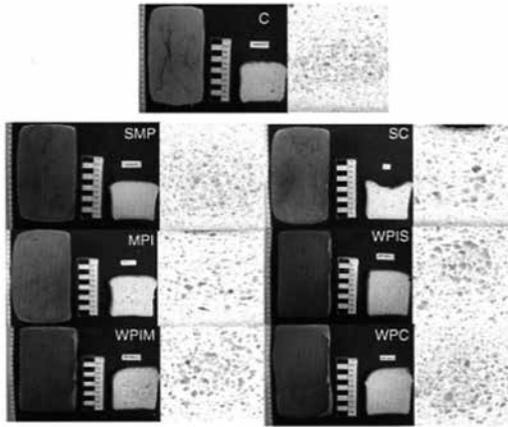


Plate 13.1 低ラクトースミルク粉のグルテンフリーパン品質への影響

コントロールパン (c), スキンミルク粉 (SMP), カゼインナトリウム (SC), 分離ミルク粉 (MPI), 分離ホエータンパク質・スプレードライ (WPIS), 分離ホエータンパク質・膜技術 (WPIM), 濃縮ホエータンパク質 (WPC)。

しかしながら Gujral *et al.*, (2003a, 2003b) は、米パンの老化を遅らせるのに *Bacillus* 種 (中間温度域安定の α -amylase とサイクロデキストリングルコシルトランスフェラーゼ (CGTase)) からの2つのデンプン分解酵素の効果について研究した。CGTase の存在は、特にアミロペクチン老化の低下と顕著な抗老化効果を示した。酵素添加による好ましいパン比容積の増加も記録された。そこでこの研究から、アミロース分解酵素はグルテンフリーパンの老化を抑えるのに効果のあることを示した。

トランスグルタミナーゼはベークト産業において比較的新しいツールとして登場した (Deiz Poza, 2002)。アミンの取り込み, クロスリンク, あるいはデアミネーションによってタンパク質を修飾することができる。クロスリンクは, リジン残基の ϵ -アミノ基がタンパク質中でアシルレセプターとして機能し ϵ - (γ -Glu) lys 結合 (isopeptide bonds) は分子間, 分子内で起こる (Ando *et al.*, 1989)。反応系にプライマリーアミンの無い時, 水分子はアクリルアセプターとして働き, グルタミン残基の脱アミノ反応に進む (Motoki and Kumazawa, 2000)。トランスグ

ルタミナーゼもタンパク質中にプライマリーアミンの取り込みを触媒できる (Folk and Chung, 1973; Folk, 1980)。トランスグルタミナーゼは, いろいろのタンパク質をリンクする力がある; 牛乳カゼインとアルブミン, 卵, 肉動物性タンパク質, 大豆タンパク質, 小麦タンパク質である。酵素はいろいろなものから得る事ができ, 例えば動物組織, 魚, 植物, あるいは微生物である (Kuraishi *et al.*, 1996)。

ベーキング用のトランスグルタミナーゼは微生物培養で得られる。酵素は小麦グルテンを活性化し (Larre *et al.*, 1998, 2000; Bauer *et al.*, 2003) 小麦ベースのクロワッサンの比容積にプラスの効果を示した (Gerrand *et al.*, 2000)。Moore *et al.*, (2006) は, トランスグルタミナーゼ (レベルを変えて) による大豆, スキムミルク, あるいは卵タンパク質のグルテンフリーパンへのインパクトの大きいことを述べた。最も目立った効果はネットワーク形成による容積の低下であった。スキムミルク粉と 10units の酵素の入ったパンは, 最もコンパクトな構造であり (Plate 13.1), 著者らはグルテンフリーパンのネットワーク形成はトランスグルタミナーゼレベルと用いたタンパク質のタイプによるもので有ると結論した。Renzetti *et al.*, (2007) は, グルテンフリー穀物の広さへのトランスグルタミナーゼのインパクトの大きさについて評価している。

顕著な増加が 10 ユニットのトランスグルタミナーゼが用いられたときに偽穀物のソバの性質や玄米粉バターで観察された。出来たソバや玄米粉パンは, 全体的な肉眼で見た様相と同様ベーキング特性の改良を示した。3次元 CLSM (共焦点走査型レーザー顕微鏡) 画像精緻図は, トランスグルタミナーゼ作用でタンパク質複合体形成が起こっていることを確定した。しかしながらトランスグルタミナーゼはトウモロコシ粉にはネガティブの効果を示し, 様相はバターの弾力性の性質を悪くする。にもかかわらず, 結果としてのパンははっきりした改良効果を示し比容積の増加, クラムかたさと

チューニング性の低下を示した。

トランスグルタミナーゼの効果はオート、ソールガム、あるいはテフのパンでは認められなかった。著者らはグルタミナーゼがグルテンフリー粉に働いて、ネットワーク形成を進め、製パン性を改良する事ができたと結論した。しかしながらタンパク質源が酵素によるインパクトを決める鍵である。

サワードウとグルテンフリーパン品質改良とその役割

ここではサワードウ利用が、グルテンフリーパンの品質をあげる興味深い変法であることを示す。サワードウ添加は、グルテン含有パンの品質改良を十分進めた方法である。パン容積改良、クラム構造改良 (Corsetti *et al.*, 2000; Clarke *et al.*, 2002; Crowley *et al.*, 2002), フレーバー (Thiele *et al.*, 2002), 栄養価 (Salovaara and Coransson 1983; Larsson and Sandberg 1991; Liljeberg and Bjorck 1994; Liljeberg *et al.*, 1995), およびモールドフリー (カビなし) シェルフライフ (Lavermicocca *et al.*, 2000, 2003; Magnusson and Schnurer 2001; Dal Bello *et al.*, 2006) をふくむポジティブな効果に関して大きなコンセンサス (同意) がある。サワードウの添加でグルテンフリーパン製造のフレーバー改良に、特に興味深い。パンフレーバーは、スターター培養のタイプによって影響を受け、特異的なフレーバーは発酵中に生じる有機酸、アミノ酸によって得られる (Barber *et al.*, 1992)。ガス保持能は主に粉の膨潤力に影響されるが、しかしデンプン粒は相対的に水に不溶で、冷水ではほんの僅かに水と水和するだけである。サワードウ発酵で粉に酸性化が起り、ある意味でグルテン機能が置き換わり、そして多糖類 (ライ麦中のペントザン) の膨潤の性質を強める。この性質はグルテンフリーパン構造に意味のあるものである。

サワードウのグルテンフリーパン品質への影響は、近年研究された (Moore *et al.*, 2007a)。発酵の間、タンパク質の分解が起こるが、この

プロセスはグルテン含有サワードウよりずっと不明である。20% サワードウの取り込みは、グルテン含有パンの最終品質への顕著な効果を示した。しかしながらグルテンフリーサワードウでは、20% レベルでグルテンフリーバターに取り込まれても、構造には全く顕著な違いは認められなかった。だが老化の開始は遅れた。顕著なこととして Moore *et al.*, (2007b) は、サワードウの添加はグルテンフリーパンの腐敗菌の成長を効果的に遅らせることができ、それによってこれらのシェルフライフを増加させたこと最近報告した。高品質グルテンフリーパンの製造にサワードウを用いる研究はまだ未熟の段階であるが、これまでの利用できるデータはサワードウがグルテンフリーパンの品質 (例えばフレーバー、シェルフライフ) をあげる魅力的な道具であることを示している。

結論

セリアック病患者用のくさび石となるその治療法は、長寿食事としてグルテン入り食品を除去した食事である。しかしながらグルテンはパン構造をつくるタンパク質として不可欠で、多くのベーキング食品の外観、クラム構造、消費者の納得には必要なものである。そこでグルテンフリー食品の分野での食品科学者、およびベーカリーにとり最大の挑戦は、高品質のグルテンフリーパンを作ることであろう。大きなマーケットリサーチの示すところは、最近のマーケットの大部分のパンは非常に貧弱な品質であるということである。小麦パンでは、グルテンがこのような広い範囲の機能を示すため、他の一成分だけで小麦粉を置き換えることはできない。もしグルテンの粘弾性性質を模倣できる、ある範囲の粉と重合化物質がグルテンフリー仕込み中に入らば、良質のグルテンフリーパンを作ることができる。グルテンフリー粉の使用範囲には、丁度一種類よりもっと多くのグルテンフリー粉を混ぜる方が、良い官能性で良いテクスチャーのパンを作るのに推薦された。グルテンフリーパンの全体的な品質を

改良するには、グルテンフリー仕込み中、ある%のデンプン量の添加が確実に必要である。もともと米、ポテト、タピオカからとられたデンプンは、小麦デンプンよりグルテンフリーデンプンであり、この目的のために用いられるべきである。

ハイドロコロイドはある程度グルテンの粘弾性を模倣することが出来るから、グルテンフリーパン製造には不可欠な成分である。これまで行われてきた研究から、キサントガム、HPMCはグルテンフリーパン仕込みには最も都合のよいハイドロコロイドであろうが、グルテンフリーシステム中、これらあるいは他のハイドロコロイドの応用研究で最も良い物を探す研究がもっと必要である。タンパク質をベースにした成分もグルテンフリーパンの改良に不可欠であり、その最も顕著なものは恐らく乳基本成分であろう；しかしながらその中でも不可欠なことは唯一低ラクトースの乳成分であるこ

とである。最も大切な成分の1つは、どんなグルテンフリー仕込み中でもそれは水であり、最も良い結果を得るため、どんな仕込みにも最も適当な水—レベル量が必要不可欠である。最近、グルテンフリーパンのテクスチャ改良研究に、酵素の利用に焦点が注がれている。他の酵素の中でも、トランスグルタミナーゼはグルテンフリーパンのテクスチャ改良を示したが、原材料に対する依存性への考慮を示した。乳酸バクテリア/グルテンフリーサワードウもグルテンフリーパン品質の改良の一つの可能性であり、特にその官能性の改良の点である。たとえグルテンフリー食品開発研究が未だ未熟であっても、研究者達はいまのマーケットのものより優れたものをつくることができ、そしてセリアック病の患者はまもなくそれらを店で利用することが出来るであろう。

文 献

1. Ahlborn, G. J., Pike, O. A., Hendrix, S. B., Hess, W. H., and Huber, C. S. (2005). Sensory, mechanical, and microscopic evaluation of staling in low-protein and gluten-free bread. *Cereal Chem.* **83**, 328-335.
2. Albert, S. and Mittal, G. S. (2002). Comparative evaluation of edible coatings to reduce the uptake in a deep fried cereal product. *Food Res. Int.* **35**, 445-458.
3. Ando, H., Adachi, M., Umeda, K. *et al.* (1989). Purification and Characteristics of novel transglutaminase derived from microorganism. *Agric. Biol. Chem.* **53**, 2613-2617.
4. Arendt, E. K., O'Brien, C. M., Schober, T. J., Gallagher, E., and Gormley, T. R. (2002). Development of gluten-free cereal products. *Farm Food* 21-27.
5. Armero, E. and Collar, C. (1996a). Anti-staling additives, flour type and sourdough process effects on functionality of wheat doughs. *J. Food Sci.* **61**, 299-303.
6. Armero, E. and Collar, C. (1996b). Anti-staling additive effects on fresh wheat bread quality. *Food Sci. Technol. Int.* **2**, 323-333.
7. Barber, B., Ortolá, C., Barber, S., and Fernández, F. (1992). Storage of packaged hite bread. III. Effects of sour dough and addition of acids on bread characteristics. *Z Lebensm Untersuch Forsch* **149**, 442-449.
8. Barcenás, M. E. and Rosell, C. M. (2006). Different approach for improving the quality and extending the shelf-life of the partially baked bread: low temperature and HPMC addition. *J. Food Eng.* **72**, 92-99.
9. Barcenás, M. E. and Rosell, C. M. (2005). Effect of HPMC addition on the microstructure, quality and aging of wheat bread. *Food Hydrocolloids* **19**, 1037-1043.
10. Barcenás, M. E. Benedito, C., and Rosell, C. M. (2004). Use of hydrocolloids as bread improvers in interrupted baking process with frozen storage. *Food Hydrocolloids* **19**, 769-774.
11. Bauer, N., Koehler, P., Wieser, H., and Schieberle, P. (2003). Studies on the effects of microbial transglutaminase on gluten proteins of wheat. *Recent Adv. Enzymes Grain Process.* 107-113.

12. Belitz, H. D. and Grosch, W. (1987). Food Chemistry. Berlin: Springer Verlag, pp. 379-388; 395-396; 403-412; 536-538.
13. Bell, D. A. (1990). Methylcellulose as a structure enhancer in bread baking. *Cereal Food World* **35**, 1001-1006.
14. BeMiller, J. N. and Whistler, R. L. (1996). Carbohydrates. In: Fennema, O. R. ed. Food Chemistry, 3rd edn. New York: Marcel Dekker, pp. 158-223.
15. Biliaderis, C. G. (1998). Structure and phase transition of starch polymers. In: Walker, R. H. ed. Polysaccharide Association of Structures in Foods. New York: Marcel Dekker, New York, pp. 57-168.
16. Biliaderis, C. G., Arvanitoyannis, T. S., Ijydoorczyk, M. S., and Prokopowich, D. J. (1997). Effect of hydrocolloids on gelatinization and structure formation in concentrated waxy maize and wheat starch gels. *Starch/Staerke* **49**, 278-283.
17. Biliaderis, C. G. (1992). Characterization of starch networks by small strain dynamic rheometry. In: Alexander, R. J. and Zobel, H. F. eds. Developments in Carbohydrate Chemistry. St. Paul, MN: American Association of Cereal Chemists, pp. 87-135.
18. Bloksma, A. W. (1990). Dough structure, dough rheology, and baking quality. *Cereal Foods World* **35**, 237-243.
19. Bloksma, A. H. and Bushuk, W. (1988). Rheology and chemistry of dough. In: Pomeranz, Y. ed. Wheat, Chemistry and Technology, Vol. II, 3rd edn. St. Paul, MN: American Association of Cereal Chemists, pp. 131-217.
20. Brouns, F. (2002). Soya isoflavones: a new and promising ingredient for the health foods sector. *Food Res. Int.* **35**, 187-193.
21. Clarke, C. I., Schober, T. J., Dockery, P., O'Sullivan, K., and Arendt, E. K. (2004). Wheat sourdough fermentation: Effects of time and acidification on fundamental rheological properties. *Cereal Chem.* **81**, 409-417.
22. Clarke, C. I., Schober, T. J., and Arendt, E. K. (2002). Effect of single strain and traditional mixed strain starter cultures on rheological properties of wheat dough and on bread quality. *Cereal Chem.* **79**, 640-647.
23. Cocup, R. O. and Sanderson, W. B. (1987). Functionality of dairy ingredients in bakery products. *Food Technol.* **41**, 86-90.
24. Codex Alimentarius Commission (2003). Draft revised standard for gluten free foods. Report of the Joint FAO/WHO Food Standards Programme Codex Alimentarius Commission, Twenty-fifth Session. Paragraphs 9 and 10 Rome.
25. Collar, C., Martinez, J. C., and Rosell, C. M. (2001). Lipid binding of fresh and stored formulated wheat breads. Relationship with dough and bread technological performance. *Food Sci. Technol. Int.* **7**, 501-510.
26. Corsetti, A., Gobetti, M., De Marco, B. *et al.* (2000). Combined effects of sourdough lactic acid bacteria and additives on bread firmness and staling. *J. Agric. Food Chem.* **48**, 3044-3051.
27. Crowley, P., Schober, T. J., Clarke, C. I., and Arendt, E. K. (2002). The effect of storage time on textural and crumb grain characteristics of sourdough wheat bread. *Eur. Food Res. Technol.* **214**, 489-496.
28. Dal Bello, F., Clarke, C. I., Ryan, L. A. M. *et al.* (2006). Improvement of the quality and shelf life of wheat bread by using the antifungal strain *Lactobacillus plantarum* FST 1. *J. Cereal Sci.* **45**, 309-318.
29. Damodaran, S. (1996). Amino acids, peptides, and proteins. In: Fennema, O. R. ed. Food Chemistry, 3rd edn. New York: Marcel Dekker, pp. 321-429.
30. Davidou, S., Le Meste, M., Debever, E., and Bekaert, D. (1996). A contribution to the study of staling of white bread: effect of water and hydrocolloid. *Food Hydrocolloids* **10**, 375-383.
31. Delcros, J. F., Rakotozafy, L., Boussard, A. (1998). Effect of mixing conditions on the behaviour of lipoxygenase, peroxidase, and catalase in wheat flour. *Cereal Chem.* **75**, 85-93.
32. Demiate, I. M., Dupuy, N., Huvenne, J. P., Cereda, M. P., and Wosiacki, G. (2000). Relationship between baking behavior of modified cassava starches and starch chemical structure by FTIR spectroscopy. *Carbohydr. Polym.* **42**, 149-158.
33. Diez Poza, O. (2002). Transglutaminase in baking applications. *Cereal Foods World* **47**, 93-95.
34. Don, C., Lichtendonk, W. J. Plijter, J. J., and Hamer, R. J. (2003a). Glutenin macropolymer: a gel formed by glutenin particles. *J. Cereal Sci.* **37**, 1-7.
35. Don, C., Lichtendonk, W. J., Plijter, J. J., and Hamer, R. J. (2003b). Understanding the link between GMP and dough: from glutenin particles in flour towards developed dough. *J. Cereal Sci.* **38**, 157-165.
36. Dreher, M. L. (1987). Handbook of Dietary Fiber: An Applied Approach. New York: Marcel Dekker.

37. Eliasson, A. -C. and Larsson, K. (1993). *Cereals in Breadmaking: A Molecular Colloidal Approach*. New York: Marcel Dekker.
38. Eliasson, A. -C. and Gudmundsson, M. (2006). Starch: physicochemical and functional aspects. In: Eliasson, A. C. ed. *Carbohydrates in Foods*. Boca Raton, FL: Taylor and Francis, pp. 391-470.
39. Every, D., Gerrard, J. A., Gilpin, M. J., Ross, M., and Newberry, M. P. (1998). Staling in starch bread; the effect of gluten additions on specific loaf volume and firming rates. *Starch/Starke* **50**, 443-446.
40. Fanta, G. F. and Christianson, D. D. (1996). Starch-hydrocolloid composites prepared by steam jet cooking. *Food Hydrocolloids* **10**, 173-178.
41. Fernández-Rivas, M. and Ballmer-Weber, B. (2007). Food allergy: current diagnosis and management. In: Mills, C., Wichers, H., and Hoffmann-Sommergruber, K. eds. *Managing Allergens in Food*. Woodhead Publish, *Food Sci. Technol. Nutr.* **1**, 3-28.
42. Folk, J. E. (1980). Transglutaminases. *Annu. Rev. Biochem.* **49**, 517-531.
43. Folk, J. E. and Chung, I. S. (1973). In: Meister, A. ed. *Advances in Enzymology*, New York: John Wiley and Sons, p.109.
44. Forde, C. G., and Delahunty, C. M. (2004). Understanding the role cross-model sensory Interactions play in food acceptability in younger and older consumers. *Food Qual. Pref.* **15**, 715-727.
45. Friend, C. P., Waniska, R. D., and Rooney, L. W. (1993). Effects of hydrocolloids on processing and qualities of wheat tortillas. *Cereal Chem.* **70**, 252-256.
46. Gallagher, E., Gormley, T. R., and Arendt, E. K. (2004a). Crust and crumb characteristics of gluten-free breads. *J. Food Eng.* **56**, 153-161.
47. Gallagher, E., Gormley, T. R., and Arendt, E. K. (2004b). Recent advances in the formulation of gluten-free cereal-based products. *Trends Food Sci. Technol.* **15**, 143-152.
48. Gallagher, E., Kunkel, A., Gormley, T. R., and Arendt, E. K. (2003). The effect of dairy and rice powder addition on loaf and crumb characteristics, and on shelf life (intermediate and long term) of gluten-free breads stored in a modified atmosphere. *Eur. J. Food Res.* **218**, 44-48.
49. Gelinas, P. and Lachance, O. (1995). Development of fermented dairy ingredients as flavour enhancers for bread. *Cereal Chem.* **72**, 17-21.
50. Gerrard, J. A., Newberry, M. P., Ross, M., Wilson, A. J., Fayle, S. E., and Kavale, S. (2000). Pastry lift and croissant volume as affected by microbial transglutaminase. *J. Food Sci.* **65**, 312-314.
51. Goesaert, H., Brijs, K., Veraverbeke, W. S., Courtin, C. H., Gebruers, K., and Delcour, J. A. (2005). Wheat flour constituents: how they impact bread quality, and how to impact their functionality. *Trends Food Sci. Technol.* **16**, 12-30.
52. Gray, J. A. and BeMiller, J. N. (2003). Bread staling: molecular basis and control. *Rev. Food Sci. Safety* **2**, 1-20.
53. Grehn, S., Fridell, K., Lilliecreutz, M., and Hallert, C. (2002). Dietary habits of Swedish adult celiac patients treated by a gluten-free diet for 10 years. *Scand. J. Nutr.* **45**, 178-182.
54. Grossman, M. V. and De Barber, B. C. (1997). Bread staling. Simultaneous effect of bacterial alpha-amylase and emulsifier on firmness and pasting properties of bread crumbs. *Arch. Latinoam. Nutr.* **47**, 229-233.
55. Guarda, A., Rosell, C. M., Benedito, C., and Galotto, M. J. (2004). Different hydrocolloids as bread improvers and antistaling agents. *Food Hydrocolloids* **18**, 241-247.
56. Gujral, H. S. and Rosell, M. C. (2004). Improvement of the breadmaking quality of rice flour by glucose oxidase. *Food Res. Int.* **37**, 75-81.
57. Gujral, H. S., Haros, M., and Rosell, C. M. (2003a). Starch hydrolysing enzymes for retarding the staling for rice bread. *Cereal Chem.* **80**, 750-754.
58. Gujral, H. S., Guardiola, I., Carbonell, J. V., and Rosell, C. A. (2003b). Effect of cyclodextrinase on dough rheology and bread quality from rice flour. *J. Agric. Food Chem.* **51**, 3814-3818.
59. Gurkin, S. (2002). Hydrocolloids — Ingredients that add flexibility to tortilla processing. *Cereal Foods World* **47**, 41-43.
60. Haque, A. and Morris, E. R. (1994). Combined use of ispaghula and HPMC to replace or augment gluten in breadmaking. *Food Res. Int.* **27**, 379-393.
61. Hosney, R. C. (1994). *Principles of Cereal Science and Technology*, 2nd edn. St. Paul, MN: American

- Association of Cereal Chemists, pp. 40, 147-148, 194-195, 197, 342-343.
62. Hosenev, R. C. and Rogers, D. E. (1990). The formation and properties of wheat flour dough. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* **29**, 73-93.
 63. Hozová, B., Jančovičová, J., Dodok, L., Buchtová, V., and Starch, L. (2002). Use of transglutaminase for improvement of quality of pastry produced by frozen-dough technology. *Czech. J. Food Sci.* **20**, 215-222.
 64. Kuraishi, C., Sakamoto, J., and Soeda, T. (1996). The usefulness of transglutaminase for food processing. *Biotechnology for Improved Foods and Flavours*, pp. 29-38.
 65. Larré, C., Denery-Papini, S., Popineau, Y., Deshayes, G., Desserme, C., and Lefebvre, J. (2000). Biochemical analysis and rheological properties of gluten modified by transglutaminase. *Cereal Chem.* **77**, 121-127.
 66. Larré, C., Deshayes, G., Lefebvre, J., and Popineau, Y. (1998). Hydrated gluten modified by transglutaminase. *Nahrung* **42**, 155-157.
 67. Larsson, H. and Eliasson, A-C. (1997). Influence of the starch granule surface on the rheological behaviour of wheat flour dough. *J. Texture Studies* **28**, 487-501.
 68. Larsson, M. and Sandberg, A. S. (1991). Phytate reduction in bread containing oat flour, oat bran or rye bran. *J. Cereal Sci.* **14**, 141-149.
 69. Laszti, R. (1995). *The Chemistry of Cereal Proteins*, 2nd edn. Boca Raton, FL: CRC Press.
 70. Lavermicocca, P., Valerio, F., and Visconti, A. (2003). Antifungal activity of henyllactic acid against moulds isolated from bakery products. *Appl. Environ. Microbiol.* **69**, 634-640.
 71. Lavermicocca, P., Valerio, F., Evidente, A., Lazzarori, S., Corsetti, A., and Gobetti, M. (2000). Purification and characterization of novel antifungal compounds from the sourdough *Lactobacillus plantarum* strain 21B. *Appl. Environ. Microbiol.* **66**, 4084-4090.
 72. Lazaridou, A., Duta, D., Papageorgiou, M., Belc, N., and Biliaderis, C. G. (2007). Effects of hydrocolloids on dough rheology and bread quality parameters in gluten-free formulations. *J. food Eng.* **79**, 1033-1047.
 73. Lee, C. C. and Hosenev, R. C. (1982). Optimization of the fat-emulsifier system and the gum-egg white-water system for a laboratory scale single stage cake mix. *Cereal Chem.* **59**, 392-352.
 74. Lee, M. H., Beak, M. H., Cha, D. S., Park, H. J., and Lim, S. T. (2002). Freeze-Thaw stabilization of sweet potato starch gel by polysaccharide gum. *Food Hydrocolloids* **16**, 345-352.
 75. Leite-Toneli, J. T. C., Mürr, F. E. X., Martinelli, P., Dal Fabbro, I. M., and Park, K. J. (2007). Optimization of a physical concentration process for inulin. *J. Food Eng.* **80**, 832-838.
 76. Liljeberg, H. G. M., Lönner, C. H., and Björck, I. M. E. (1995). Sourdough fermentation of addition of organic acids or corresponding salts to bread improves nutritional properties of starch in healthy humans. *J. Nutr.* **125**, 1503-1511.
 77. Liljeberg, H. and Björck, I. (1994). Bioavailability of starch in bread products. Postprandial glucose and insulin responses in healthy subjects and in vitro resistant starch content. *Eur. J. Clin. Nutr.* **48**, 151-163.
 78. Lindsay, M. P. and Skeritt, J. H. (1999). The glutenin macropolymer of wheat flour doughs: structure-function perspective. *Trends Food Sci. Technol.* **10**, 247-253.
 79. Lohniemi, S., Maki, M., Kaukinen, K., Laippala, P., and Collin, P. (2000). Gastrointestinal symptoms rating scale in coeliac patients on wheat starch-based gluten-free diets. *Scand. J. Gastroenterol.* **35**, 947-949.
 80. Lopez-Molina, D., Navarro-Martinez, M. D., Melgajejo, F. R., Hiner, A. N. P., Chazarro, S., and Rodriguez-Lopez, J. N. (2005). Molecular properties and prebiotic effect of inulin obtained from artichoke (*Cyanar scolymus* L.). *Phytochemistry* **66**, 1476-1484.
 81. Maache-Rezzoug, Z., Bouvier, J.-M., Allaf, K., and Patras, C. (1998). Effect of principal ingredients on rheological behaviour of biscuit dough and on quality of biscuits. *J. food Eng.* **35**, 23-42.
 82. MacRitchie, F. (1980). Studies of gluten protein from wheat flours. *Cereal Foods World* **25**, 382-385.
 83. MacRitchie, F. (1987). Evaluation of contributions from wheat protein fractions to dough mixing and breadmaking. *J. Cereal Sci.* **6**, 257-238.
 84. Magnusson, J. and Schnürer, J. (2001). *Lactobacillus coryniformis* subsp. *Coryniformis* strain Si3 produces a broad-spectrum proteinaceous antifungal compound. *Appl. Environ. Microbiol.* **67**, 1-5.
 85. Malcolmson, L. J., Matsuo, R. R., and Balshaw, R. (1993). Textural optimisation of spaghetti using response surface methodology: effects of drying temperature and durum protein level. *Cereal Chem.* **70**, 417-423.

86. Mannie, E. and Asp, E. H. (1999). Dairy ingredients in baking. *Cereal Foods World* **44**, 143-146.
87. Mariani, P., Grazia, V. M., Montouri, M. *et al.* (1998). The gluten-free diet: a nutritional risk factor for adolescents with coeliac disease. *J. Pediatr. Gastroenterol. Nutr.* **27**, 519-523.
88. McCarthy, D. F., Gallagher, E., Gormley, T. R., Schober, T. J., and Arendt, E. K. (2005). Application of response surface methodology in the development of gluten-free bread. *Cereal Chem.* **82**, 609-615.
89. Mettler, E. and Seibel, W. (1995). Optimizing of rye bread recipes containing monodiglycerides, guar gum, and carboxymethylcellulose using a maturograph and an oven rise recorder. *Cereal Chem.* **72**, 109-155.
90. Miles, M. J., Morris, V. J., Orford, P. D., and Rinr, S. G. (1985). The role of amylase and amylopectin in the gelation and retrogradation of starch. *Carbohydr. Res.* **135**, 271-281.
91. Mine, Y. (2002). Recent advances in egg protein functionality in the food system. *World's Poultry Sci. J.* **58**, 31-39.
92. Moon, M. H. and Giddings, J. C. (1993). Radid separation and measurement of particle size distribution of starch granules by sedimenation/steric Field-flow fractionation. *J. food Sci* **58**, 1166-1171.
93. Moore, M. M., Schober, T. J., Juga, B. *et al.* (2007a). Effect of lactic acid bacteria on the properties of glute-free sourdoughs, batters and quality and ultrastructure of glute-free bread. *Cereal Chem.* **84**, 357-364.
94. Moore, M. M., Dal Bello, F., and Arendt, E. K. (2007b). Sourdough fermented by *Lactobacillus plantarum* FST 1.7 improves the quality and shelf life of gluten-free bread. *Eur Food Res. J.* Online.
95. Moore, M. M. and Arendt, E. K. (2007). Fundamental study on gluten-free flours and their potential use in bread systems. Paper read at Cereal and Europe Spring Meeting, Montpellier, France.
96. Moore, M. M., Heinbockel, M., Dockery, P., Ulmer, H. M., and Arendt, E. K. (2006). Network formation in gluten-free bread with the application of transglutaminase. *Cereal Chem.* **83**, 28-36.
97. Moore, M. M., Schober, T. J., Dockery, P., and Arendt, E. K. (2004). Textural comparison of gluten-free and wheat based doughs, batters and breads. *Cereal Chem.* **81**, 567-575.
98. Morris, V. J. (1994). Starch gelation and retrogradation. *Trends Food Sci. Technol.* **1**, 2-6
99. Motoki, M. and Kumazawa, Y. (2000). Recent research trends in transglutaminase technology for food processing. *Food Sci. Technol. Res.* **6**, 151-160.
100. Murray, J. A. (1999). The widening spectrum of celiac disease. *Am. J. Clin. Nutr.* **69**, 354-363.
101. Nunes. M. H. B., Moore, M. M., and Arendt, E. K.(2007). Fundamental studies on the impact of emulsifiers and dough improvers on gluten-free bread quality. Paper read at Young Cereal Scientist workshop, Montpellier, France.
102. Nyman, M. I., Björck, I., Siljeström, M., and Asp, N. G. (1989). Dietary fibre in cereals-composition, fermentation and effect of processing. In: Proceedings from an International Symposium on Cereal Science and Technology, Lund University, pp. 40-54.
103. Ortolani, C. and Pastorello, E. A. (1997). Symptoms of food allergy and food intolerance. In: Study of Nutritional Factors in food Allergies and Food Intolerance. Luxembourg: CEC, pp. 26-45.
104. Ottenhof, M.-A. and Farhat, I. A. (2004). The effect of gluten on the retrogradation of wheat starch. *J. Cereal Sci.* **40**, 269-274.
105. Parker, R. and Ring, S. G. (2001). Aspects of the physical chemistry of starch. *J. Cereal Sci.* **34**, 1-17.
106. Pomeranz, Y. (1988). Composition and functionality of wheat flour components. In: Pomeranz, Y. ed. *Wheat Chemistry and Technology II*, 3rd edn. St. Paul, MN: American Association of Cereal Chemists, pp. 219-370.
107. Renzetti, S., Dal Bello, F., and Arendt, E. K. (2007). Impact of trasglutaminase on the microstructure, fundamental rheology and baking characteristics of batters and breads made from different glute-free flours. *J. Cereal Sci.* (in press).
108. Roger, D. E., Zeleznak, K. L., Lai, C. S., and Hosene, R. C. (1988). Effect of native lipid, shortening, and bread moisture on bread firming. *Cereal Chem.* **65**, 398-401.
109. Rojas, J. A., Rosell, C. M., and Benedito de Barber, C. (1999). Pasting properties of different flour-hydrocolloid systems. *Food Hydrocolloids* **13**, 27-33.
110. Rosell, C. M., Haros, M., Escriba, C., and Benedito De Barber, C. (2001). Experimental approach to optimise the use of alpha-amylases in breadmaking. *J. Agric. Food Chem.* **49**, 2973-2977.
111. Sahlström, S. and Brathen, E. (1997). Effects of enzyme preparations for baking, mixing time and resting time on bread quality and bread staling. *Food chem.* **58**, 75-80.

112. Salovaara, H. and Göransson, M. (1983). Nedbrytning av fytinsyra vid fränställning av surt och osyrat råggbröd. *Näringsforskning* **27**, 97-101.
113. Sanchez, H. D., Osella, C. A., and de la Torre, M. A. G. (2002). Optimisation of gluten-free bread prepared from cornstarch, rice flour and cassava starch. *J. food Sci.* **67**, 416-419.
114. Sanchez, H. D., Osella, C. A., and de la Torre, M. A. G. (2004). Use of response surface methodology to optimize gluten-free bread fortified with soy flour and dry milk. *Int. J. Food. Sci. Technol.* **10**, 5-9.
115. Schober, J. T., Messerschmidt, M., Bean, S. R., Park, S. H., and Arendt, E. K. (2005). Gluten-free bread from sorghum: quality differences among hybrids. *Cereal Chem.* **82**, 394-404.
116. Sharadanant, R. and Khan, K. (2003). Effect of hydrophilic gums on the quality of frozen dough: II Bread characteristics. *Cereal Chem.* **80**, 773-780.
118. Sharma, S. C. (1981). Gums and hydrocolloids in oil-water emulsion. *Food Technol.* **35**, 59-67.
119. Shewry, P. R. and Halford, N. G. (2002). Cereal seed storage proteins: Structures, properties and role in grain utilization. *J. Exp. Bot.* **53**, 947-958.
120. Silva, R. F. (1996). Use of inulin as a natural texture modifier. *Cereal Foods World* **41**, 792-795.
121. Sivaramakrishnan, P. H., Senge, B., and Chattopadhyay, K. P. (2004). Rheological properties of rice dough for making rice bread. *J. Food Eng.* **62**, 37-45.
122. Tester, R. F. and Debon, S. J. J. (2000). Annealing of starch-a review. *Int. J. Biol. Macromol.* **27**, 1-12.
123. Thiele, C., Gänzle, M. G., and Vogel, R. F. (2002). Contribution of sourdough lactobacilli, yeast and cereal enzymes to the generation of amino acids in dough relevant for bread flavour. *Cereal Chem.* **79**, 45-51.
124. Thompson, T. (2000). Folate, iron and dietary fibre contents of the gluten-free diet. *J. Am. Diet. Assoc.* **100**, 1389-1396.
125. Tolstoguzov, V. (1997). Thermodynamic aspects of dough formation and functionality. *Food Hydrocolloids* **11**, 181-193.
126. Toufeili, I., Dagher, S., Shadarevian, S., Noureddine, A., Sarakbi, M., and Farran, T. M. (1994). Formulation of gluten-free pocket-type flat breads: Optimization of methylcellulose, gum arabic, and egg albumen levels by response surface methodology. *Cereal Chem.* **71**, 594-601.
127. Vemulappali, V. and Hoseney, R. C. (1998). Glucose oxidase effects on gluten and water solubles. *Cereal Chem.* **75**, 859-862.
128. Veraverbeke, W. S. and Delcour, J. A. (2002). Wheat protein composition and properties of wheat glutenin in relation to breadmaking functionality. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* **42**, 179-208.
129. Wagner, M. J., Lucas, T., Le Ray, D., and Trystram, G. (2007). Water transport in bread during baking. *J. Food Eng.* **78**, 1167-1173.
130. Wang, L., Miller, R. A., and Hoseney, R. C. (1998). Effects of (1 → 3) (1 → 4) → β-D-glucan of wheat flours on breadmaking. *Cereal Chem.* **75**, 629-633.
131. Ward, F. M. and Andon, S. A. (2002). Hydrocolloids as film formers, adhesives and gelling agents for bakery and cereal products. *Cereal Food World* **47**, 52-55.
132. Williams, P. A and Phillips, A eds. Handbook of Hydrocolloids. Cambridge: Woodhead Publishing, pp. 1-19.
133. Xu, J., Bietz, J. A., and Carriere, C. J. (2007). Viscoelastic properties of wheat gliadin and glutenin suspensions. *Food Chem.* **101**, 1025-1030.
134. Ylimaki, G., Hawrysh, Z. J., Hardin, R. T., and Thomson, A. B. R. (1991). Response surface methodology in the development of rice flour yeast breads: Sensory evaluation. *J. food Sci.* **5**, 751-759.
135. Zobel, H. E. and Kulp, K. (1996). The staling mechanisms. In: Baked Goods Freshness: Technology Evaluation, and Inhibition of Staling. New York: Marcel Dekker, pp. 1-64.

連絡先：瀬口 正晴 (Masaharu Seguchi)
 Email: :gr228587@wf7.so-net.ne.jp

漢方の効能

Efficacy of traditional medicine “KAMPO”

(7) インフルエンザ，漢方薬と腸内細菌叢

肖 黎 (Li Xiao)*

Email: xiaoli@tky.ndu.ac.jp

* 日本歯科大学生命歯学部薬理学講座 (〒 102-0071 東京都千代田区富士見 1-9-20)

インフルエンザ (Influenza) は、インフルエンザウイルスを病原体とする急性の呼吸器感染症で、毎年世界中で流行がみられている¹⁾。今年も、A型インフルエンザウイルスが日本と中国で猛威を振るい、“流行警報”が発令され、重症化した患者も数多く見られた。インフルエンザは東洋医学の感冒、喘症に属する。症状に応じて、東洋医学のいくつかの証に分類され、下記の通りに漢方薬を処方できる。

1. インフルエンザ軽症

1.1. 風寒証

症状として悪寒、発熱、無汗、頭痛、背中に痛みが感じられ、舌質が淡赤、舌苔が薄白、脈浮緊の場合、葛根湯 (出典：傷寒論) (葛根 12g, 甘草 6g, 麻黄 9g, 桂皮 6g, 芍薬 6g, 生姜 3 スライス, 大棗 6 個,) の適応症である。高熱、煩躁と激しい咳がある場合、大青龍湯 (出典：傷寒論) (麻黄 12g, 杏仁 6g, 桂皮 6g, 甘草 5g, 石膏 12g, 大棗 3 個) を処方すべきである。

1.2. 風熱証

症状として発熱、汗が出る、頭脹痛、舌質が赤、舌苔が薄黄、脈浮数の場合、銀翹散 (出典：温病条弁) (金銀花 9g, 連翹 9g, 桔梗 6g, 甘草 5g, 薄荷 6g, 淡豆豉 5g, 牛蒡子 9g, 荆芥 5g) の適応症である。咳を伴う場合、桑菊飲 (出典：温病条弁) (桑叶 7.5g, 菊花 3g, 杏仁 6g, 連翹 5g, 薄荷 2.5g, 桔梗 6g, 甘草 2.5g, 芦根 6g) を投与すべきである。

2. インフルエンザ重症

肺炎や気管支炎を併発して重症化する患者に対して、次のように処方すべきである。

2.1. 痰飲化熱兼外寒表証

症状として寒気、発熱、黄色い痰、黄色い鼻汁、鼻閉、喘鳴、咳嗽、発熱、舌質が赤、舌苔が黄膩、脈数の場合、小青竜加石膏湯 (出典：傷寒論) (麻黄 9g, 半夏 9g, 乾姜 3g, 甘草 6g, 桂皮 6g, 五味子 3g, 細辛 3g, 芍薬 9g, 石膏 6g) の適応症である。

2.2. 痰熱壅肺

症状として咳、黄色い粘稠痰、口渴、气喘、胸痛、膿血を咯出する、高熱、煩燥不安、便秘。舌質は赤、舌苔は黄膩、脈は数滑の場合、麻杏甘石湯 (出典：傷寒論) (麻黄 5g, 石膏 18g, 杏仁 9g, 炙甘草 6g) 加桑白皮湯 (出典：古今醫統) (桑白皮 半夏 蘇子 杏仁 貝母 山梔 芩 連各 2.4g) の適応症である。

さらに重症化してショック症状が見られ、意識不明、呼吸困難、手足冷たく、顔色が蒼白、脈微弱の場合、「傷寒論」の四逆加人参湯の適応症である（傷寒論第 385 条：悪寒，脈微而復利，利止，亡血也，四逆加人参湯主之）。処方 は 次の通り：制附子 15g（1 時間以上先に煮る），乾姜 9g，炙甘草 9g，人参 6g。冷汗が見られたら，山萸肉 10-30g を応用すべきである。また，漢方薬を救急に用いた有名な中医である中国山西省の李可先生（1930～2013）の処方も投与可能である。李可先生が頻繁に処方した救急患者のための漢方薬は，四逆加人参湯を基礎とした破格救心湯（処方の組成は，附子 30～100～200g，乾姜 60g，炙甘草 60g，高麗人参 10～30g（別煎，服用時に一緒に飲む），山茱萸 60～120g，生竜骨粉 30g，生牡蛎粉 30g，活磁石粉 30g，麝香 0.5g（分沖服。））である。中に毒のある附子の量が非常に大きいので，少なくとも一時間以上煮るべきである。

3. 考 察

インフルエンザ重症について，2011 年に Wang らは 410 人の H₁N₁ 患者をランダム化して対象群と漢方薬治療群（麻杏石甘一銀翹散）に分けて臨床研究を行った。その結果，漢方薬の有効性が確認された²⁾。Li らは 5967 のインフルエンザ患者の治療結果を分析した結果，漢方薬単独治療群 27.8%，西洋薬単独治療群 5.1%，漢方薬と西洋薬併用治療群 67.7% の間では結果について有意な差が見られず，漢方薬が西洋薬と同等な治療効果があり，西洋薬より安価であることが分かった³⁾。

東洋医学の「肺と大腸相表裏（肺と大腸は表裏一体）」理論と腸内細菌説；腸内正常細菌叢は健康維持に非常に重要な役割を担っている。腸内の細菌叢は食物の消化と吸収，腸管運動に役立つのみならず，ビタミン合成，感染防御および免疫機能にも影響を与えることにより⁴⁾，特に呼吸器系疾患に大きな影響を与える⁵⁾。また，呼吸器系疾患も腸内細菌叢に波及する。これはまさに「肺と大腸相表裏」の科学根拠である。インフルエンザ重症肺炎について，西洋医学の治療では抗ウイルス薬と広域抗菌薬などの原因療法のほか，対症療法に用いるステロイド性抗炎症薬，去痰薬，気管支拡張剤，強心・昇圧剤などが用いられる。広域抗菌薬は原因菌を殺滅するとともに，腸内の善玉菌も大量に殺滅する。ステロイド性抗炎症薬なども腸内細菌叢に影響を及ぼす。そうすると，腸内細菌叢の乱れにより免疫機能の低下および自己治癒力の減弱が避けられず，病状の遷延あるいは悪化がしばしば見られる。それに対して，植物由来の漢方薬の多くは腸内正常細菌叢の回復に役立つ⁶⁾，患者の自然治癒力を向上させる。よって，インフルエンザに対して漢方薬の積極的な投与（単独あるいは西洋薬との併用）が病状の早期回復に期待されている。

参考文献

1. <https://www.niid.go.jp/niid/ja/kansennohanashi/219-about-flu.html> 国立感染症研究所 ホームページより
2. Wang C, Cao B, Liu QQ, Zou ZQ, Liang ZA, Gu L, Dong JP, Liang LR, Li XW, Hu K, He XS, Sun YH, An Y, Yang T, Cao ZX, Guo YM, Wen XM, Wang YG, Liu YL, Jiang LD.: Oseltamivir compared with the Chinese traditional therapy maxingshigan-yinqiaosan in the treatment of H1N1 influenza: a randomized trial. *Ann Intern Med*, **155**: 217-225, 2011.
3. Li X, Cecilia SL, Ding B, Chen B, Zhou H, Li J, Ou A, Ouyang W, Wen Z, Lu C, Gaetano M.: Clinical outcomes of influenza-like illness treated with Chinese herbal medicine: an observational study. *JTCM*, **38**:107-116, 2018.
5. Lynch SV, Pedersen O.: The Human Intestinal Microbiome in Health and Disease. *N Engl J Med*, **375**: 2369-2379, 2016.
6. Ranucci G, Buccigrossi V, de Freitas MB, Guarino A, Giannattasio A.: Early-Life Intestine Microbiota and Lung Health in Children. *J Immunol Res*; **2017**: 8450496, 2017.
7. Valdes AM, Walter J, Segal E, Spector TD.: Role of the gut microbiota in nutrition and health. *BMJ* **361**: k2179, 2018.

伝える心・伝えられたもの

—「すんき」の里との再会—

宮尾 茂雄

(東京家政大学)

初めての訪問

1983年(昭和58年)11月、恩師である当時の東京都農業試験場長の小川敏男先生とともに、長野県木曾郡王滝村を訪ねた。王滝村はJR中央線の木曾福島駅から車で40分以上離れた山間地であり、御嶽山への信仰登山の登り口として昔から賑わっていた。宿泊した「たかの湯旅館」にも白衣姿の信者の方が多数宿泊されていた¹⁾。

「すんき」は木曾御岳山の山麓、王滝、開田、三岳などで、数百年も前から代々受け継がれている全く食塩を使わずに製造される漬物である。寒さに向かうこの時期が漬け込みの最盛期であり、その作業の見学がその時の目的であった。翌日は朝から厨房で地元の方に実際に漬け込みを見せていただいた。当時は「すんき種」という漬種を使用する方法が一般的であった。前年に製造したすんきを乾燥させたもので、「すんき干し」ともいわれ、これを水に戻し、王滝蕪(おおたきかぶ)の茎葉をさっと湯通ししたものと一緒に漬け込む。漬け込みを終えたすんきは、一晩暖かい家の中に置いた後、戸外と同じ冷え込みの厳しい小屋で、発酵熟成させる。

初めて出会った時、すんきは食塩を使わない無塩の漬物であり、乳酸菌の低温発酵により作られること、冬季の保存食で前年度のすんき干を漬種に使うこと、蕪の部分ではなく、葉と茎、蕪菜を利用することなど私の常識とは異なる世界に驚かされた。ご一緒させていただいた小川先生は「貴重な塩を何とか節約して、しかもつけ物をうまくつけようと、山国で考えたとしても、何も不思議はない。それで考え出されたのが「すんき」である。」と山国の暮らしの知恵を賞賛されていた²⁾。「すんき」の柔らかい酸味は、かつお節を軽くふりかけた一品、かけそばにすんきを刻んで入れた「すんきそば」も美味しかった。小川先生にはあちらこちらと漬物紀行にお供をさせていただき、漬物の蘊蓄を教えていただいた。王滝村でのすんきとの出会いも懐かしい思い出の一つである。

三度(みたび)の訪問

その後、2010年に木曾福島で開かれた「全国発酵食品サミット2010 in 木曾」というシンポジウムで訪れたことがある。すんきをはじめ日本の発酵食品が一同に会し、すんきを使った新メニューの開発など、活気にあふれていた。「すんき達人」として表彰された開田小学校3年生によるすんき汁もとても美味しかった(写真1)。その後も行きたいと思いながら、なか



写真1 開田小学校の3年生が作ってくれたすんき汁
(「全国発酵食品サミット2010 in 木曾」)



写真2 ダム湖（御岳湖）にかかる鉄橋



写真3 五味沢様の王滝蕪畑

なか時間がとれなかった。2018年10月末になり、やっと時間がとれた。この機会に王滝村を訪れたいと思い、長野県木曾農業改良普及センターに問い合わせたところ、神戸様から直接お電話をいただいた。王滝村役場の担当者溝口様や、すんぎを作っている五味沢ミチ子様にも連絡を取っていただき、10月26日午後、王滝村を訪れることになった。

木曾福島駅まで長野県木曾農業改良普及センターの神戸様が迎えにきてくださり、さっそく王滝村に案内していただいた。ちょうど紅葉シーズンで山里は黄色や赤色の葉で明るく輝いていた。王滝川を堰きとめてできたダム湖（御岳湖）沿いの道を走り、鉄橋を渡り（写真2）、やや上り坂になるとまもなく村役場に着いた。そこで王滝村経済産業課農業振興係の溝口様にお会いした。村役場の前にも溝口様が試験的に栽培されている王滝蕪の畑があり、前日に村の方と一緒に収穫したばかりとのことだった。そこから狭い道を登ると、山の斜面に五味沢様の王滝蕪の畑があった（写真3）。

五味沢様のお話では、今年（2018年）の夏は高温が続き、雨が少なかった。その後、土砂降りになったりと天候不順のために発芽も悪く病気がでたり、虫がついたり、葉が黄色くなったりと蕪の出来があまり良くなかったそうだ。私には元氣よく成長しているように見えたが、例年に比べると今年の蕪はあまり自慢できないようなお話ぶりだった。蕪には連作障害もあり、溝口様は緑肥の利用など育て方の研究をされているそうだ。立派な葉をかき分けると根元に鮮やかな赤い蕪が見えた。当日は気温が19℃、風もなく秋の日差しは暖かく、畑を眺めながらすんぎについてお話を伺った（写真4）。

10年ほど前から漬種（すんぎ作りのスターター、元種、すんぎ種ともいう）には、前年度のすんぎやすんぎの漬け汁を冷蔵、冷凍したものを使っている。冷凍ものは解凍後少



写真4 お世話になった皆様
（右から神戸様、筆者、五味沢様、溝口様）



写真5 王滝蕪を抜く



写真6 山の水で洗う



写真7 ピカピカの蕪



写真8 蕪を切り落とす

し暖めて活性化してから使う。今は「すんき干し（前年のすんきを干して乾燥したもの）」はほとんど使わない。またズミやヤマブドウなどの山の木の実ほとんど使っていないとのことであった。「すんき干し」と「冷凍保存したすんき」を比べると、乳酸菌の数は冷凍の方が多くもわかった。ここで私は35年前の記憶と現状との違いを強く感じた。

すんきは樽や家庭によって味が違う。他の家庭で作っているすんきと合わせてみる、あるいは他所のすんきの漬け汁を混ぜると、すんきが元気になり、美味しくなることもあるそうだ。まさに生き物だ。昔は自分で食べる分しか作らなかった。今は東京にある長野県のアンテナショップ、毎年12月に東京農業大学「食と農の博物館」で開かれる「木曽の観光と物産展」（2018年は12月1~2日開催）でも販売している。また一度すんきを食べて気に入ったという消費者から電話やFAXなどで注文が入ることもある。しかし大量に漬けるのは難しいそうだ。さらに五味沢様が代表をしている「ひまわりマーケット」では、比較的年齢の高いご婦人が多いので、蕪の採取、作業所への運搬、大きな樽（100L）への漬け込みなど重くて大変だと、にこやかな笑顔でお話してくださった。

そばの畑から蕪を抜いて下さった。私も抜かせて頂いたが、根は比較的浅く、軽く引き抜くことができた（写真5）。畑のわきには山の水がホースで引かれていて、五味沢様が土を洗い落とすと（写真6）、蕪は赤色に輝いて見えた（写真7）。少し日が陰ってきたので、畑の下にある五味沢様のご自宅に伺った。玄関先で取ってきた蕪の茎葉を包丁で切り落とすと、真紅の蕪の断面は鮮やかな白色だった（写真8）。部屋の真ん中には薪ストーブがおかれていた。日中は暖かいが、日が暮れる



写真9 五味沢様のすんき

と冷え込みが厳しくストーブは欠かせないそう
だ。今年のすんきをいただきながら、お話を伺っ
た。すんきはそのままで柔らかい酸味で口当
たりがよいが、かつお節とお醤油を少しかけ
ても美味しく食べられるとすすめて下さった（写
真9）。10月17日頃漬けたもので（伺ったのは
10月24日）、ちょうど漬け込んで一週間程の
新物だった。初回の漬け込みの後、それを漬種
として数回漬け込みを繰り返すうちに乳酸菌の
活性が高まり、うま味も増してくるそうだ^{3,4)}。

また霜が降りて寒さが厳しくなると、蕪菜（茎葉）の糖度が高くなる。糖分を栄養源として乳酸発酵が活発になり、甘みと酸味のあるすんきができるという。

王滝蕪の種まきは8月末から9月10日頃までに行う。およそ2ヶ月で収穫できる。10月後半から収穫が始まるが、蕪に霜が降りるようになると、蕪も甘みを増してくるので漬け込みも忙しくなる。蕪の根の部分は落として甘酢漬などに加工する。葉は長いまま少量を束にしたものか、細切り

したものをお湯が80°C位のところに入れ、しばらく湯通しする（写真10）。茹でた葉を3、冷凍種を解凍したものを1の割合でビニール袋を敷いたポリの桶に漬け込む（写真11,12）。これをくり返し、最後に手で押し込み、袋の中の空気を押し出して口を閉じる（写真13）。漬け汁が足りない場合は、ゆで汁を少し加えてヒタヒタになるくらいにして上に重石を置く。一晩は暖かい状態に保温し（写真14）、その後はそのまま1週間くらい漬物小屋において置く。今の時期だと天然の冷蔵庫代わりだという。1週間後に、今度は今年漬けたすんきを新たな種に



写真10 蕪菜を刻んで湯通しする
（「全国発酵食品サミット2010 in 木曽」）



写真11 漬種（完成したすんき）を加える（同上）



写真12 新しい蕪菜と漬種の混ざった様子（同上）



写真13 空気を押し出してビニールの口をしぼる(同上)



写真14 新聞紙で包み保温(同上)

して、新しい茎葉を加え同じように1:3の割合で漬け込む。これを3回くらい繰り返すと、味が馴染んだ美味しいすんきができるそうだ。

すんきのこと、王滝村の暮らしなどを伺い、ずいぶんと長居をしてしまった。この辺りでは、漬物を御茶請けにして茶飲み話を楽しむそうだ。私もゆったりした時間をご一緒させていただき話も弾んで楽しかった。山里に夕暮れ時が迫っていた(写真15)。

先ほどの蕪をお土産にいただいたので、帰宅後さっそく甘酢漬を作った。生の蕪は表面が赤く、中は白いツートンカラーだが、甘酢に浸けると翌日には赤く染まりはじめ、1週間もすると、コリコリした歯ごたえの美味しい紅色の王滝蕪の甘酢漬ができた(写真16)。

その日の宿である滝旅館は、御嶽神社里宮の近くにある。里宮の大鳥居から400段ほどの階段を上がり(写真17)、御神水がそそり立つ岩盤から湧き出る本殿にお参りした(写真18, 19)。滝旅館は御嶽神社宮司が営む宿で、島崎藤村とのゆかりが深い。藤村ゆかりの展示室があり、小説、童話などの他に王滝村や木曾にちなんだ書物や写真集が置かれていた。そこに置いてあった写真集「王滝 目で見る村のあゆみ」を読ませてもらった⁵⁾。それによると、昭和30年代の村の主要な産物は、王滝蕪の甘酢漬であった。すんきは蕪漬けに使われなかった茎葉を貴重な緑色野菜として家庭用に漬け、冬の間、利用していたようにも思えた。藤村の童話には幼い頃の思い出として、秋になると



写真15 夕暮れの王滝村、広くみえる平地は王滝小中学校の校庭



写真16 王滝蕪甘酢漬



写真 17 御嶽神社里宮の石段



写真 18 御神水

年中行事のように家族と使用人総出で赤い色のかぶを漬けていたことが描かれていた⁶⁾。

2017年には「すんき」が地域の特産品をブランドとして保護する「地理的表示 (GI) 保護制度」に登録された。すんきの機能性、酸味と柔らかい甘みのすんきの味は今では地域の枠を飛び出して、無塩乳酸発酵漬物として全国的に知名度が広がっている。すんきのうま味、抗アレルギー活性やピロリ菌の発育抑制など

の機能性を生み出す乳酸菌も次々分離されている³⁾。

木曾にある在来蕪のことを伺うと、「木曾は谷ごとに文化も、言葉も違い、生育する蕪も違う」というお話だった。すんきの漬け方も地域や家庭により多少異なり、味もまた広がりがあること



写真 19 御嶽神社里宮本殿

がわかった。すんきにはまだまだ解明されていない秘密がたくさんあることを実感した。

初めて王滝村を訪れてから実に35年も経過した。当時の村の印象と再び訪れた村の佇まいは大きく変わっていた。街並みは新しくなり、風の香もどこか違った感じがした。今回の旅でごちそうになったすんきやすんきそば (写真20) は35年前のものと全く同じ味だったのだろうか、違っていただろうか。王滝の村で絶えることなく伝えられてきたすんきが、これからも長きにわたって引き継がれることを願う旅であった。



写真 20 かけそばに刻んだすんきを加えたすんきそば (同上)

謝辞

今回、王滝村のかぶ栽培ほ場を案内していただいた長野県木曾農業改良普及センター、神戸様、王滝村役場経済産業課、溝口様、ほ場を見せていただき、美味しいすんきをごちそうしていただいた「ひまわりマーケットすんきの里」代表者、五味沢ミチ子様には感謝申し上げます。

参考資料

1. 宮尾茂雄：「すんき」の里を訪ねて，*New Food Industry* **26**, No.2, (1984)
2. 小川敏男：つけ物風土記，毎日新聞社（昭和49年）
3. 木曾すんき研究会編：無塩の漬物 木曾のすんき（2014）
4. 無塩乳酸発酵 すんきの誘い 木曾おんたけ観光局（2018）
5. おうたき310 記念事業 写真集「王滝 目で見える村のあゆみ」，王滝村発行（平成9年）
6. 島崎藤村：藤村の童話4「力餅」より「かぶをつける家」，筑摩書房（1979年）

野山の花

— 身近な山野草の食効・薬効 —

城西大学薬学部 白瀧 義明 (SHIRATAKI Yoshiaki)

シャクヤク *Paeonia lactiflora* Pall. (=*P. lactiflora* Pall. var. *trichocarpa* (Bunge) Stearn) (ボタン科 Paeoniaceae)

連絡先：城西大学薬学部生薬学教室
shiratak@josai.ac.jp

風薫る5月、山裾の農家の庭などでシャクヤク（芍薬）の立派な花を見かけます。シャクヤクは高さ約60cmの多年草で、5月中旬、大形の白～紅色のボタン（牡丹）に似た花を咲かせます。本植物は中国東北部、朝鮮半島原産で、古く日本に渡来し、庭園、公園等に広く植えられ、園芸用の品種が数多くあります。茎は直立して数本そう生し、葉は互生、下部のものは2回3出複葉で、小葉は皮針形またはだ円形で、上部の葉は次第に単葉となり、葉脈、葉柄、および茎は赤味を帯び、根はやや数多く、紡錘状で肥厚しています。よく似た花をつけるボタンは、木本で「百花の王：花



写真1 シャクヤク（花）A



写真2 シャクヤク（花）B



写真3 シャクヤク（花）C

王」とよばれるのに対し、シャクヤクは草本で「花の宰相：花相」とよばれます。シャクヤクはよくボタンの台木として使用されることから鑑賞用のボタンの根は薬用のボタンピ（牡丹皮）としては不向きです。乾燥した根は、生薬名をシャクヤク（芍薬、*Paeoniae Radix*）といい、収れん、緩和、鎮痙、鎮痛作用があることから筋肉のこりの緩和、腹痛、身体疼痛、腹満、下痢、化膿性疾患等改善のため、葛根湯、芍薬甘草湯、当帰芍薬散、加味逍遙散をはじめ、多くの漢方処方に配合されます。根には変形モノテルペン配糖体の paeoniflorin, oxypaeoniflorin,



写真4 ヤマシャクヤク (花)

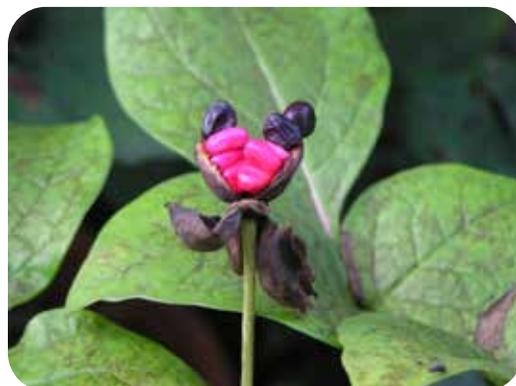


写真5 ヤマシャクヤク (果実)

benzoylpaeniflorin, albiflorin, paenimetabolin I, paeniflorigenone, 安息香酸, ガロタンニン類 (タンニンの1種で加水分解により生成するポリフェノールカルボン酸が没食子酸 (gallic acid) のみのタンニンの総称) が含まれます。生薬としては、調整法の違いにより「赤芍」と「白芍」があり、一時期、赤い花の咲くのを「赤芍」、白い花の咲くのを「白芍」としたり、野生品を「赤芍」、栽培品を「白芍」としたりしましたが、現在、日本では、外皮をつけたまま乾燥させたものを「赤芍」、外皮を取り去って乾燥させたものを「白芍」としています。



写真6 ボタン (花)

同属植物としては、ボタン *P. suffruticosa* やヤマシャクヤク *P. japonica* (環境省のレッドリストの準絶滅危惧 (NT) に指定) などがあります。美女の形容として「立てば芍薬、坐れば牡丹、歩く姿は百合の花」という都々逸とどいっがありますが、これは、植物の形容からの表現で、シャクヤクはすらりと伸びた茎の先端に花を咲かせ、ボタンは枝分かれした横向きの枝に花をつけ、まるで座っているかのように見えます。また、ユリはしなやかな茎の先にややうつむき加減に花をつけ、花が風をうけて



写真7 生薬：シャクヤク (芍薬)



写真8 生薬：ボタン皮 (牡丹皮)

揺れる様子を表したものの思われます。

(参考)

ボタンは、中国西北部原産、古くから日本でも植えられ、高さ0.5～1.8m ぐらいになる落葉低木。分枝した枝は太く有柄の葉を互生につけます。4～5月上旬、枝の先に径20cmにもなる大型の花をつけ、園芸用の品種もかなり多く、根は肥厚して太く棒状をなし、根の皮を集め乾燥したものをボタン皮(牡丹皮, Moutan Cortex)とよび、漢方では消炎性駆瘀血、通経、抗菌、排膿、鎮痛、鎮痙などの目的で、だいおうぼたんびとう 大黄牡丹皮湯、けいしぶくりょうがん 桂枝茯苓丸、はちみじょうがん 八味地黄丸、加味逍遙散等に配剤されます。成分

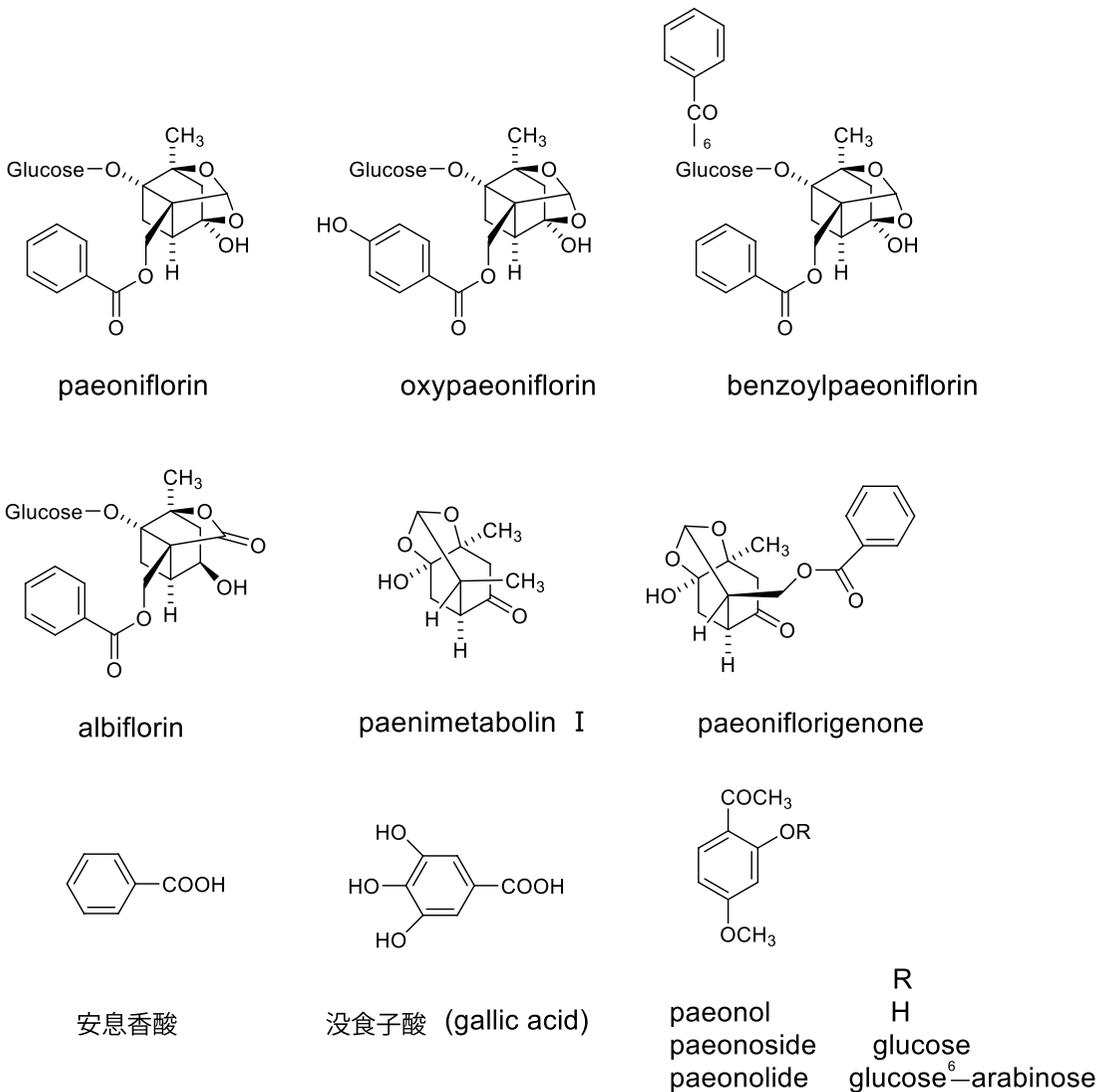
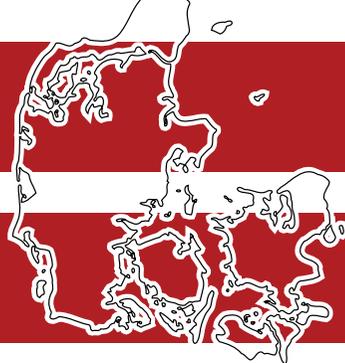


図1 成分の構造式

はフェノール化合物の paeonol およびその配糖体の paeonoside, paeonolide, モノテルペン配糖体の paeoniflorin などが知られています。ボタン科 Paeoniaceae は、ボタン属 *Paeonia* だけからなり、草本または小低木で花が大きく美しいボタンやシャクヤクを含み、アジア、南欧、北米西部に 40 種ほどが分布し、日本にはヤマシャクヤク *P. japonica* とベニバナヤマシャクヤク *P. obovata* が自生しています。葉は複葉で深い切れ込みがあり、花には雄しべが多数、雌しべが 3～5 個あります。かつては見かけのよく似たキンポウゲ目の中のキンポウゲ科に含められたこともありましたが、APG 植物分類体系ではユキノシタ目に組み込まれています。ボタンやシャクヤクは園芸用に栽培されるほか、漢方薬原料としても非常に重要な植物です。



デンマークのチョコレート

今回はデンマークのチョコレートにまつわる話を紹介したいと思います。

チョコレートといえば、日本ではアメリカのメーカーのものや、スイスのメーカーのものが主流かもしれませんが、ここデンマークでのチョコレート事情はちょっと違います。チョコレートといっても、ディスカウントスーパーで買える、安さを売りにしたチョコレートから、オーガニック（有機）とクオリティを訴求したチョコレート屋さんまで様々です。

まず、スーパーなどで買えるチョコレートを見てみると、日本のお菓子業界が多種多様なマーケティング戦略を駆使して商品開発をしているのに対し、デンマークでは定番商品が常に並んでいるという感じです。板チョコは日本と同様、ミルクチョコレート、ダークチョコレートなどがある他、キャラメル入りや、オレオ入りのチョコレートも定番です。また、ヌガーやマジパンなどをチョコレートでコーティングしたチョコ菓子も定番で、チョコレートだと思って買ったなら、マジパンが主材料で、がっかりという日本人も多くいるのではないのでしょうか（マジパンは、アーモンドと砂糖を主材料とし、デンマークではお菓子やケーキによく使われます）。また、チョコレートと同じセクションに売っているお菓子で、見た目はアーモンドをチョコレートコーティングしてあるお菓子に見えるものがあります。大抵の場合、筒状の透明の容器に入っており、コーティングも茶色から、ピンク、黄色など様々で、購買意欲を掻き立てます。しかしこれは、ラクリスパウダーがまぶしてあるお菓子のため、やや注意が必要です。チョコレートだと思ったら、ラクリスの味がたっぷりするため、なかなか食べ馴染まない、という日本人も多くいます。

さて、メーカーを見てみると、日本でもおなじみのグローバルメーカー（スイスのLindtやドイツのRitter Sport）もよく見かけますが、デンマークの地元のメーカーの製品も多く陳列されています。例えば、チョコレートで有名な、デンマークの



スーパーのチョコレート売り場



デンマークのチョコレートメーカー
Tomsのチョコレート



プレミアムチョコレートで近年人気の Peter Beier

ト菓子を取り揃えています。また、チョコレート菓子で、独自の店舗を構えているブランドもあります。例えば、Summerbird(サマーバード)は、日本の東京青山にも近年進出したデンマークのチョコレートブランドですが、デンマーク国内でも、いたるところに店舗を構え、クオリティの高いチョコレート菓子を提供しています。また、最近注目されているピーターバイヤー(Peter Beier)もプレミアムチョコレートとして、クオリティの高い、美味しい、オーガニックチョコレートで人気を

Toms(トムズ :[https:// tomsgroup.com/en/toms-products/Chocolate/](https://tomsgroup.com/en/toms-products/Chocolate/)) や、Anthon Berg(<https://tomsgroup.com/en/brand-sites/anthon-berg>, 今では Toms の傘下にある)などは、デンマークのほとんどのスーパーで手に入れることができ、誰もが知っているデンマークのチョコレートブランドです。

次に、やや高級なチョコレートのセグメントを見てみると、日本のように贈り物を頻繁にする習慣があまりないデンマークなので、デパ地下のお菓子売り場のような大きな売り場はあまりありませんが、それでもデパートなどに行くと、ちょっと高級なチョコレートやチョコレ



Summerbird の店舗, デンマークでも人気の高級ブランド

集めています。Summerbird ほどの店舗数はまだありませんが、高い価格にも関わらず、その美味しさに惹かれる顧客も多く、店舗数を近年増やしています。これらのハイエンドチョコレートは、カカオの産地にもこだわったり、手作りであることや、有機であることを訴求し、デンマーク市場での存在感を増しつつあるようです。

4月といえば、イースターの季節です。日本でも近年イースターの時期になると、卵型のデコレーションなどがデパートなどに出現しつつあります。ここデンマークでは、イースターは1週間ほどの休暇になりますが、町のあちこちに、卵型をしたチョコレート菓子が登場します。先に述べた Summerbird や Peter Beier の店舗でも、イースター関連のチョコレートを買求めることができますので、機会があれば、デンマークのイースターチョコレートをぜひ試してみるのもいいかもしれません。

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

ニューフードインダストリー 第61巻 第5号

印刷 平成 31 年 4 月 25 日
発行 令和 元年 5 月 1 日
発行人 渡邊 力
編集人 今西 和政
発行所 エヌエフアイ合同会社
〒185-0012 東京都国分寺市本町3-7-23-302
TEL:042-312-0836(代表)
FAX:042-312-0845
振込先:三井住友銀行 国分寺支店 普通2312814
多摩信用金庫 国分寺支店 普通3073817
ゆうちょ銀行 〇一九店 当座0324817

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