

New Food Industry

2021
5

New food indust. 63 (5): 2021.

原著

- ◆ 日本人成人男女における精製ごま油摂取による
抗酸化効果および血流改善効果検証試験：
ランダム化プラセボ対照二重盲検並行群間比較試験

【ノート】

- ◆ シイタケ菌糸体の -20°C 凍結保存における凍結保護剤の性能評価
～単糖, 二糖, 多価アルコール類の比較～

総説

- ◆ サルコペニアとその予防としての栄養管理

研究解説

- ◆ キヌア粉の加工性の検討

第4回 ヘルスフードアカデミックサロン

- ◆ ～機能性表示食品 新ルールの傾向と対策～

New Food Industry Editorial Board

■ボードメンバー敬称略(五十音順)

大石	隆介	Ryusuke Oishi	明海大学 経済学部経済学科
岡	希太郎	Kitaro Oka	東京薬科大学
具	然和	Yeunhwa Gu	純真学園大学 放射線技術科学科
古賀	邦正	Kunimasa Koga	(一財)自然環境研究センター
齋藤	忠夫	Tadao Saito	東北大学
坂上	宏	Hiroshi Sakagami	明海大学歯科医学総合研究所(M-RIO)
史	海霞	Haixia Shi	上海交通大学医学院第九人民医院
白瀧	義明	Yoshiaki Shirataki	城西大学薬学部生薬学講座
須見	洋行	Hiroyuki Sumi	倉敷芸術科学大学
瀬口	正晴	Masaharu Seguchi	神戸女子大学, 日本穀物科学研究会会長
早田	邦康	Kuniyasu Soda	自治医科大学附属さいたま医療センター
津田	孝範	Takanori Tsuda	中部大学応用生物学部食品栄養科学科
友村	美根子	Mineko Tomomura	明海大学 総合教育センター
日比野	康英	Yauhide Hibino	城西大学大学院 薬学研究科
豊崎	俊幸	Toyosaki Toshiyuki	香蘭女子短期大学 食物栄養学科
牧	純	Jun Maki	松山大学薬学部 医療薬学科
増田	宜子	Yoshiko Masuda	松本歯科大学 歯科保存学講座
松郷	誠一	Seiichi Matsugo	金沢大学
宮尾	茂雄	Shigeo Miyao	東京家政大学大学院
山口	正義	Masayoshi Yamaguchi	University of Hawaii Cancer Center
山田	正子	Masako Yamada	東京家政学院大学 現代生活学部 食物学科
肖	黎	Li Xiao	日本歯科大学 生命歯学部薬理学講座
渡部	保夫	Yasuo Watanabe	愛媛大学大学院農学研究会



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
丸善製薬株式会社

食品営業部

【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修町 2-6-6 (堀野日生ビル 6F) TEL (06)6203-6918 FAX (06)6233-3606

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

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：2090 円（本体 1900 円）

■発行：エヌエフアイ



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か
3. 乳はなぜ白いのだろうか
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

原著

- 日本人成人男女における精製ごま油摂取による
抗酸化効果および血流改善効果検証試験：
ランダム化プラセボ対照二重盲検並行群間比較試験

瀬尾 幹子，関 圭吾，篠田 綾子，中西 智美，飯尾 晋一郎，高良 毅 343

【ノート】

- シイタケ菌糸体の-20℃凍結保存における凍結保護剤の性能評価
～単糖，二糖，多価アルコール類の比較～

富樫 巖，西脇 綾乃，村上 希生，梶 暉，鬼柳 春花，横田 喬央 360

総説

- サルコペニアとその予防としての栄養管理

窪田 倭 367

研究解説

- キヌア粉の加工性の検討

石井 和美，小林 三智子 383

連載解説

- 新解説 グルテンフリー食品中の擬似穀物の利用 2 —キノア，ソバ—

瀬口 正晴，竹内 美貴，中村 智英子 387

会告

- ◆ 第 25 回腸内細菌学会学術集会（ハイブリット開催）

第4回 ヘルスフードアカデミックサロン

■ ～機能性表示食品 新ルールの傾向と対策～

株式会社オルトメディコ 403

連載 野山の花 — 身近な山野草の食効・薬効 —

■ エゴノキ *Styrax japonica* Siebold et Zucc. (エゴノキ科 Styracaceae)

白瀧 義明 406

News Release

◆ くるみなど植物由来のオメガ3 脂肪酸を豊富に含む食生活で心筋梗塞後の死亡リスクが低下

409

◆ 住友化学と Nuritas (ニュリタス) が人工知能による生物活性ペプチド創薬に向け提携を発表

412

◆ 医療・健康・美容分野で大注目の新素材！高品質で安全性の高い「CBD アイソレート」の輸入販売を開始

413

■ 自分だけのコーヒーが作れるキット『scene』が一般販売開始！ Makuake にて目標売上の 527%を達成

414

■ 卓上 X 線回折装置 Aeris(エアリス) に透過測定機能と薄膜測定機能が搭載し 4 月より販売開始！

416

世界から、優れた「**自然の恵み**」を提供します

アンデスの母なる穀物 **キヌア**



南米アンデス原産のヒユ科アカザ亜科の雑穀です。インカ帝国の時代より食され、栄養価の高さから伝承的に「母なる穀物」として重用されてきました。食物繊維や鉄・マグネシウムなどのミネラル、すべての必須アミノ酸を含む、栄養バランスに優れたグルテンフリーの雑穀で、スーパーフードとして世界的にも注目されています。

“茹でる” “炊く” が 1 番ポピュラーな食べ方で、フクフクとした食感を楽しめます。スープ・雑炊・サラダ・雑穀米など様々な料理に使われています。

取扱い製品

◆キヌア粒

◆有機キヌア粒



大日本明治製糖株式会社 本店営業部

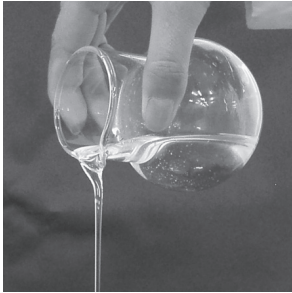
〒100-0011 東京都千代田区千代田二丁目1番1号 飯野ビルディング 10 階
電話 03-5510-1871

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

希少糖含有シロップ RSS

THE RARE SUGAR BRAND

香川発素材
—
希少糖



希少糖 は、自然界には存在量が少ない単糖で、香川大学の何森先生の研究により大量生産が可能となりました。希少糖の D- ブシコース (アルロース) や D- アルロースは、豊富な機能性を持つことから注目が集められています。ブドウ糖・果糖・希少糖をバランス良く含む 希少糖含有シロップ (商品名: RSS)、は砂糖の 9 割の甘味度で自然な甘さです。

美味い甘味料として様々な食品にご使用頂けます。

炭酸・スポーツ飲料

デザート・冷菓

ベーカリー

菓子類

惣菜

栄養ドリンク

サプリメント

健康食品

トクホ

希少糖含有シロップ RSS



でんぷん

異性化糖

ぶどう糖

果糖

D- ブシコース
(アルロース)

D- アロース

ヘルシーな理想バランス甘味料

発売元



株式会社レアスウィート 高松事務所
香川県高松市番町 1-1-5 ニッセイ高松ビル7階
TEL 087-823-1689 FAX 087-823-1691

販売者
お問合せ



松谷化学工業株式会社
兵庫県伊丹市北伊丹 5 丁目 3 番地
TEL 072-771-2010 FAX 072-771-7455

日本人成人男女における精製ごま油摂取による 抗酸化効果および血流改善効果検証試験： ランダム化プラセボ対照二重盲検並行群間比較試験

瀬尾 幹子 (SEO Mikiko)^{1*}, 関 圭吾 (SEKI Keigo)¹, 篠田 綾子 (SHINODA Ayako)¹,
中西 智美 (NAKANISHI Tomomi)¹, 飯尾 晋一郎 (IIO Shin-ichiro)², 高良 毅 (TAKARA Tsuyoshi)^{3**}

Key Words: 純白ごま油, セサミン, セサミノール, ビタミン E, トコフェロール, 血流検査, 酸化還元マーカー

The antioxidant and blood circulation-improving effects of the intake of purified sesame oil on Japanese adults: A randomized, double-blind, placebo-controlled, parallel group comparison study

Authors: Mikiko Seo^{1*}, Keigo Seki¹, Ayako Shinoda¹, Tomomi Nakanishi¹, Shin-ichiro Iio² and Tsuyoshi Takara^{3**}

***Corresponding author:** Mikiko Seo¹

Affiliated institutions:

¹ Kadoya Sesame Mills Incorporated. [8-2-8, Nishi-Gotanda, Shinagawa-ku, Tokyo, 141-0031, Japan.]

² ORTHOMEDICO Inc. [2F Sumitomo Fudosan Korakuen Bldg., 1-4-1, Koishikawa, Bunkyo-ku, Tokyo, 112-0002, Japan.]

³ Medical Corporation Seishinkai, Takara Clinic. [9F Taisei Bldg., 2-3-2, Higashi-Gotanda, Shinagawa-ku, Tokyo, 141-0022, Japan]

Key Words: pure white sesame oil, sesamin, sesaminol, vitamin E, tocopherol, blood flow test, redox marker

Objective: This study aimed to investigate the effects of “pure white sesame oil” and “vitamin E-fortified pure white sesame oil” on antioxidant effect and improving blood circulation.

Methods: We conducted a randomized, double-blind, placebo-controlled, parallel group comparison study from December 1, 2018 to March 9, 2019 on 33 healthy Japanese adult subjects with daily feelings of fatigue and cold. The subjects were randomly assigned to the “pure white sesame oil” (A) group, the “vitamin E-fortified pure white sesame oil” (B) group, or the canola oil (P) group using a computerized random number generator ($n = 11$ per group) and took 14 g of A, B, or P daily for 4 weeks. The blood flow test, redox marker, simplified oxidative stress profile, and subjective symptoms were assessed before test-food consumption (Scr) and 4 weeks after the test-food consumption started (4w).

Results: The number of subjects in the full analysis set was 11 (43.7 ± 16.6 years), 11 (46.5 ± 13.6 years), and 10 (44.8 ± 12.3 years) from groups A, B, and P, respectively. In the blood flow velocity of the blood flow test, the measured values at 4w and the amount of change values from Scr were significantly higher in the A and B groups than in the P group ($P < 0.01$). The amount of change values of the antioxidant marker, potential antioxidant, is significantly higher in the B group than in the P group ($P = 0.027$). The subjective symptom, “Tiredness remained after sleep,” of the A group significantly improved compared to the P group ($P = 0.088$) after the 4-week intervention. Furthermore, no adverse test-food consumption-related event was reported.

Conclusions: These results suggested that the consumption of “pure white sesame oil” or “vitamin E-fortified pure white sesame oil” for 4 weeks of healthy Japanese adult subjects improved blood flow velocity and redox balance because of the antioxidant and vascular endothelial function-improving effects.

Trial registration: UMIN000035083

Foundation: Kadoya Sesame Mills Incorporated

* 責任著者: 瀬尾 幹子, ** 試験責任医師: 高良 毅

¹ かどや製油株式会社 (〒141-0031 東京都品川区西五反田 8-2-8)

² 株式会社オルトメディコ (〒112-0002 東京都文京区小石川 1-4-1 住友不動産後楽園ビル 2 階)

³ 医療法人社団盛心会 タカラクリニック (〒141-0022 東京都品川区東五反田 2-3-2 タイセイビル 9 階)

抄録

目的：精製ごま油またはビタミン E 添加精製ごま油を摂取することによる抗酸化および血流改善効果を検証した。

方法：日頃冷えや疲れを感じている健常な日本人成人男女を対象に、ランダム化プラセボ対照二重盲検並行群間比較試験を 2018 年 12 月 1 日から 2019 年 3 月 9 日に実施した。試験参加者は試験食品として精製ごま油 (A)、ビタミン E 添加精製ごま油 (B) またはなたね油 (P) を摂取させる群に 11 名ずつコンピュータ乱数にて割り付け、試験食品を 1 日 14 g、4 週間継続摂取させた。試験食品の摂取前後に、血流検査、酸化還元マーカー、簡易 Oxidative stress profile、自覚症状を評価した。

結果：最終的な有効性解析対象者は Full analysis set とし、A 群が 11 名 (43.7 ± 16.6 歳)、B 群が 11 名 (46.5 ± 13.6 歳)、P 群が 10 名 (44.8 ± 12.3 歳) であった。血流検査の血流速では、摂取 4 週間後の実測値および変化量において、A 群および B 群が P 群よりも有意に高値を示した ($P < 0.01$)。抗酸化能マーカーである血中 Potential anti-oxidant (PAO) は摂取 4 週間後の変化量において、B 群が P 群よりも有意に高値を示した ($P = 0.027$)。自覚症状において、A 群は P 群と比べ、摂取 4 週間後に「寝ても疲れがとれない」の項目が改善する傾向がみられた ($P = 0.088$)。なお、試験期間を通して、試験食品の摂取に起因する有害事象は認められなかった。

結論：日頃冷えおよび疲れを感じている健常な日本人成人男女において、精製ごま油またはビタミン E を添加した精製ごま油の 4 週間摂取は、抗酸化作用や血管内皮機能改善作用により、血流速の増加や酸化還元バランスを改善させることが認められた。

事前登録

UMIN-CTR: UMIN000035083

資金提供者

かどや製油株式会社

はじめに

心疾患と脳血管疾患は、日本人の死因順位の 2 位と 4 位であり¹⁾、健康日本 21 (第二次) では、主要な生活習慣病の発症予防と重症化予防の徹底の目標項目として、脳血管疾患・虚血性心疾患の年齢調整死亡率の減少が掲げられている²⁾。脳血管疾患および虚血性心疾患の発生には血管機能の低下が関与する。血管機能の一部を担う血管内皮は生理活性物質として、一酸化窒素やプロスタグランジン₂などの血管拡張因子の他、エンドセリンやアンジオテンシン II などの血管収縮因子、血管平滑筋細胞の調整、血液凝固機能の調整、血管内皮細胞における炎症反応の調節などを産生および分泌することが明らかにされており³⁻⁵⁾、通常はこれら因子により血管機能が維持され血管トーンや血管の状態が良好に保たれている³⁾。しかし、活性酸素種 (ROS) が過多にある酸化ストレス状態に陥ると、血管内皮細胞が障害を受けるため、上記バランスが崩れることとなり、血管状態が悪化し動脈硬化が発症、さらに状態が進行すると脳血管疾患および虚血性心疾患の発症にいたる⁶⁾。そのため、抗酸化作用を示す成

分を含む食品の摂取による酸化ストレス状態の改善は、血管に関連した疾患の予防は重要な保健対策であると考えられる。

精製ごま油 (純白ごま油) またはビタミン E を配合した純白ごま油にはセサミン、セサミノールおよびビタミン E (α -トコフェロール、 γ -トコフェロール) が含まれる。セサミンは内皮型 NO 合成酵素 (eNOS) の発現上昇ならびに NADPH オキシダーゼサブユニットの発現低下を通じて血管拡張や血管組織における酸化抑制をもたらし、血管内皮機能を改善すると考えられている⁷⁾。ヒトを対象とした試験において、セサミンの摂取によりビタミン E の一種である γ -トコフェロールの血中濃度が有意に上昇することが報告されている^{8,9)}。ビタミン E の血流改善効果はこれまでに数多くの先行研究が行われており、単独摂取により有意な血管内皮機能の改善が認められている¹⁰⁾。また、セサミノールは細胞を用いた研究にて抗酸化作用を示すことが確認されている¹¹⁾。よって、精製ごま油 (純白ごま油) または、ビタミン E を配合した純白ごま油の摂取は、血管内皮機能の改善を介して血流速を増加させるこ

とが期待される。

そこで本試験では、日頃冷えおよび疲れを感じている健常な日本人成人男女を対象に、純白ごま油または、ビタミンEを配合した純白ごま油を4週間継続摂取した際の抗酸化効果および血流改善効果を検証した。

1. 対象と方法

1. 試験デザイン

本試験はランダム化プラセボ対照二重盲検並行群間試験で実施した。割付比は1:1:1であった。本試験は、医療法人社団盛心会タカラクリニック倫理委員会の承認（承認日2018年11月20日、承認番号1811-1810-KS01-01-TC）を得た後、UMIN-CTRに登録された（登録番号UMIN 000035083）。また、ヘルシンキ宣言および人を対象とする医学系研究に関する倫理指針の趣旨に則り、医学倫理に十分配慮し実施した。

2. 参加者

本試験の対象者は、日頃から冷えを感じている健常な日本人成人男女とした。試験参加にあたり次の条件を除外基準とした。

- (a) 悪性腫瘍、心不全、心筋梗塞の治療中もしくは既往歴がある者、
- (b) ペースメーカーや植え込み型除細動器を埋め込んでいる者、
- (c) 慢性疾患で治療中の者（不整脈、肝障害、腎障害、脳血管障害、リウマチ、糖尿病、脂質異常症、高血圧症、その他の慢性疾患）、
- (d) 特定保健用食品、機能性表示食品、その他の機能性が考えられる食品/飲料を日頃から摂取している者、
- (e) 医薬品（漢方薬を含む）・サプリメントを常用している者、
- (f) アレルギー（医薬品・試験食品関連食品）がある者、特にゴマアレルギーのある者、
- (g) 高度の貧血のある者（貧血の治療で医療機関に罹っている者）、
- (h) 日頃から手への医薬品（外用剤、保湿・日焼け対策のものは除く）を使用している者、
- (i) 喫煙習慣のある者、
- (j) ネイルやマニキュア、爪用オイル等を塗っている者、

- (k) 中指、薬指、小指の指先にささくれがある者、
- (l) 中指、薬指、小指の爪付近の皮膚に化膿や炎症のある者、
- (m) 中指、薬指、小指の爪の甘皮処理をしている者、
- (n) 妊娠中、授乳中、あるいは試験期間中に妊娠する意思のある者、
- (o) 同意書取得日以前の3ヶ月間において他の臨床試験に参加していた者、あるいは試験期間中に参加予定のある者、
- (p) その他、試験責任医師が本試験の対象として不適切と判断した者。

試験参加者の募集は、(株)オルトメディコ（東京都文京区）が運営するモニター募集サイトGoトロック（<https://www.go106.jp/>）で行い、試験参加を希望する者には(株)オルトメディコのオフィスにて試験内容を十分に説明し、書面にて同意を得た。試験参加者に、本試験の主宰者および資金提供者企業に所属している者は含めなかった。検査は医療法人社団盛心会タカラクリニック（東京都品川区）にて行われた。

3. 介入

本試験の介入に用いた試験食品100gあたりの原材料組成を表1に示した。試験参加者には、純白ごま油（被験食品A、かどや製油(株)製造）、ビタミンE添加純白ごま油（被験食品B、かどや製油(株)調製）あるいは市販のなたね油（プラセボ）を1日14g、朝食時に市販の食パンと共に、もしくはそのまま摂取させた。被験食品AにはビタミンEとして、 α -トコフェロールおよび γ -トコフェロールがそれぞれ14g当たり0.04mg、4.41mg含まれており、ビタミンEが添加された被験食品Bには α -トコフェロールおよび γ -トコフェロールがそれぞれ14g当たり295.40mg、142.80mg含まれている。介入期間は4週間とした。試験開始前の倫理審査時に、被験食品とプラセボは色、匂い、風味によって判別できないことが確認された。

4. 評価項目

試験スケジュールを表2に示した。有効性評価項目の測定はスクリーニング兼摂取前検査（Scr）、および摂取4週間後検査（4w）時に実施した。安全性

表 1 原材料組成

名称	形状	原材料名	容量 (%)
被験食品 A	液体	パルミチン酸	9.3
		パルミトレイン酸	0.1
		ステアリン酸	6.1
		オレイン酸	42.1
		リノール酸	42.1
		リノレン酸	0.3
		アラキジン酸	0.6
		その他	0.4
被験食品 B	液体	パルミチン酸	9.3
		パルミトレイン酸	0.1
		ステアリン酸	6.1
		オレイン酸	42.3
		リノール酸	40.9
		リノレン酸	0.4
		アラキジン酸	0.6
		その他	0.3
プラセボ	液体	パルミチン酸	3.9
		パルミトレイン酸	0.2
		ステアリン酸	1.7
		オレイン酸	63.4
		リノール酸	19.6
		リノレン酸	9.2
		アラキジン酸	0.6
		その他	1.4

被験食品 A は α -トコフェロールが 0.04 mg/14 g, γ -トコフェロールが 4.41 mg/14 g であり, 被験食品 B は α -トコフェロールが 295.40 mg/14 g, γ -トコフェロールが 142.80 mg/14 g であった。

評価項目の測定についても Scr および 4w に実施した。

(1) 主要アウトカム: 血流検査項目

医療法人社団盛心会タカラクリニックにて, 毛細血管血流スコープ GOKO Bscan-Z (GOKO 映像機器株式会社, 神奈川県川崎市) を用い, 利き手と逆の薬指 (場合によっては小指もしくは中指) を撮影した調査項目は「血流速」「鮮明度」「血管の密度」「血管の直径」「血管間の距離」「血管の長さ」「血管の形状」とした。「血管の形状」は「ヘアピン状に真っ直ぐで形のそろった血管」「ねじれて形のふぞろいな血管」「枝分かれなどで形のふぞろいな血管」「短く見える (見えにくい) 血管」の 4 段階で評価し, 「ヘアピン状に真っ直ぐで形のそろった血管」を 1, 「ねじれて形のふぞろいな血管」を 2, 「枝分かれなどで形のふぞろいな血管」を 3, 「短く見える (見えにくい) 血管」を 4 として得点化した。その他の項目は静止画像解析用ソフト CapiScopeI (KK Technology, イングランド) およびビデオ画像解析用ソフト CapiScopeII (KK Technology, イングランド) により評価した。

(2) 副次的アウトカム

(a) 酸化還元マーカー

医療法人社団盛心会タカラクリニックにて各

表 2 試験スケジュール

	説明会	スクリーニング兼 摂取前検査 (Scr)	組入	割付	試験食品の摂取 開始日 (0w)	摂取 4 週間後 検査 (4w)
登録						
適格基準による選抜	●		●			
インフォームドコンセント	●					
その他の手続き	●					
割付				●		
介入						
被験食品					←→	
プラセボ					←→	
評価						
主要アウトカム		●				●
副次的アウトカム		●				●
身体測定	●	●				●
理学検査		●				●
尿検査		●				●
末梢血液検査		●				●
問診		●				●
日誌					←→	

丸印 (●) は各項目の実施タイミングを示した。

試験参加者から静脈血を約 19 mL, 尿を約 12 mL 採取し, 血中 Diacron-reactive oxygen metabolites (d-ROM), 血中 Biological antioxidant potential (BAP), 尿中 8-hydroxy-2'-deoxyguanosine (8-OHdG), 血中 Potential anti-oxidant (PAO) を測定した。血中 d-ROM, 血中 BAP の分析は FRAS4 (株式会社ウイスマー, 東京都文京区) を用いて実施し, 尿中 8-OHdG, 血中 PAO の分析は日研ザイル株式会社 (東京都文京区) に委託した。

(b) 簡易 Oxidative stress profile (OSP)

OSP は, 尿中 8-OHdG, 血中 PAO の検査結果をもとに, 日研ザイル株式会社にて採集した尿と血清から, その成分のバランスを分析することで, 総合評価, 酸化ストレスの状態, 抗酸化能の状態が評価された。

1. 良好ゾーン (酸化ストレスは少なく, 抗酸化能が高い状態),
2. 低活性ゾーン (抗酸化能は低い, 酸化ストレスも低い),
3. 警告ゾーン (抗酸化能が高い, 酸化ストレスも高い状態),
4. 危険ゾーン (酸化ストレスが高く, 抗酸化能が低い状態)

として判断した。また, 酸化ストレスの状態および抗酸化能の状態は, 「低い」を 1, 「平均的」を 2, 「高い」を 3 と得点化して評価した。

(c) 自覚症状

リッカートスケール法を用い, 自覚症状を評価した。質問項目を「手の冷えを感じる」「足の冷えを感じる」「肩こりを感じる」「体がだるく感じる」「体が疲れやすい」「寝ても疲れがとれない」「倦怠感がある」「体調不良に陥りやすい」「口内炎がでやすい」「頭がすっきりしない」とし, 試験参加者は各項目について 1「まったくあてはまらない」, 2「ほとんどあてはまらない」, 3「あまりあてはまらない」, 4「少しあてはまる」, 5「かなりあてはまる」, 6「非常にあてはまる」の 6 段階で評価した。

(3) 安全性評価項目

安全性評価項目として, 身体測定・理学検査, 尿検査および末梢血液検査を実施した。

身体測定および理学検査では, 身長, 体重, body mass index (BMI), 体脂肪率, 体温, 収縮期血圧, 拡張期血圧, 脈拍数を測定した。身長は説明会時に測定し, BMI の算出に使用した。

また, 尿検査では, 蛋白質, ブドウ糖, ウロビリノーゲン, ビリルビン, pH, 潜血, ケトン体を測定した。各項目は, (株) LSI メディエンス (東京都千代田区) にて常法に従って測定された。

さらに, 末梢血液検査では, 血液学検査項目として, 白血球数, 赤血球数, ヘモグロビン, ヘマトクリット値, 血小板数, MCV (平均赤血球容積), MCH (平均赤血球色素量), MCHC (平均赤血球色素濃度), 白血球像 (好中球率, リンパ球率, 単球率, 好酸球率, 好塩基球率, 好中球数, リンパ球数, 単球数, 好酸球数, 好塩基球数) を測定した。血液生化学検査項目として, AST (GOT), ALT (GPT), γ -GT (γ -GTP), ALP, LD (LDH), LAP, 総ビリルビン, 直接ビリルビン, 間接ビリルビン, コリンエステラーゼ (ChE), 総蛋白, 尿素窒素, クレアチニン, 尿酸, CK, ナトリウム, カリウム, クロール, カルシウム, 無機リン, 血清鉄, 血清アミラーゼ, 総コレステロール, HDL-コレステロール, LDL-コレステロール, トリグリセリド (TG: 中性脂肪), グルコース, ヘモグロビン A1c (HbA1c: NGSP), グリコアルブミンを測定した。各項目は, (株) LSI メディエンスに委託し, 常法に従って測定された。

試験参加者の健康状態を確認するため, 来院時には問診を実施した。また, 試験参加者には, 試験食品の摂取や体調の変化などの生活状況を日誌に毎日記録させた。

5. サンプルサイズ

試験の予算で実現可能な最大限の人数として, 実施症例数は 33 名とした。

6. 選抜, ランダム化と盲検化

本試験に参加同意した参加者 45 名のうち, 33 名を本試験に組み入れた。選抜基準は, Scr 時の血流速度が相対的に低値である者であった。試験食品は, 主宰者から受託臨床試験機関に提供され, 受託臨床試験機関の試験食品発送担当者は, 試験食品の識別不能性の確認および Scr 検査のデータ入力・確認を行った後, 試験に直接関与していない割付責任者に

識別番号を伝えた。本試験における割付は年齢、性別、Scr 時の血流速を割付調整因子とした層化ランダム割付とし、割付責任者はコンピュータで生成されたランダム化リストに従って被験食品 A 群、被験食品 B 群、またはプラセボ群に 11 名ずつランダムに割り付けた。作成された割付表は、受託臨床試験機関の試験食品発送担当者にのみ提供され、試験食品発送担当者は割付表に従い試験に組み入れられた試験参加者へ試験食品を郵送にて送付した。試験食品発送後、割付表は症例および統計解析手法が固定されるまで厳重に保管された。盲検化の対象は、主宰者、試験責任医師、試験分担医師、試験食品発送担当者を含むすべての試験実施医療機関のスタッフ（試験担当責任者、実施運営責任者、モニタリング担当者、統計解析担当者・責任者など）、試験実施機関のスタッフ、倫理委員会の構成メンバー、臨床検査委託機関であり、割付表は症例および統計解析手法が固定されるまで、割り付け責任者が封緘し、保管した。

7. 統計解析

すべての統計解析は両側検定で行うものとし、有意水準は 5% に設定した。用いるソフトウェアは Windows 版の SPSS Ver. 23.0（日本アイ・ビー・エム(株)、東京都中央区）とした。

試験参加者背景について、組入対象者および解析対象者で人口統計学的に集計し、性別はカイ二乗検定、年齢、身長、非特異的 IgE は One-way ANOVA を用いて群間比較した。

有効性評価として、Scr の実測値をベースラインとし、4w 時の実測値からの差 (4w-Scr) を変化量とした。血流速、鮮明度、血管の密度、血管の直径、血管間の距離、血管の長さ、d-ROM、BAP、8-OHdG、PAO は、平均値と標準偏差で示し、One-Way ANOVA を用いて Post-hoc として群間比較した。4w 時の実測値はベースラインを共変量とした ANCOVA を用いて、Post-hoc として群間比較し、変化量は One-Way ANOVA を用いて、Post-hoc として群間比較した。血管の形状は、ヘアピン状に真っ直ぐで形のそろった血管、ねじれて形のふぞろいな血管、枝分かれなどで形のふぞろいな血管、短く見える（見えにくい）血管の 4 段階の判定を行い、各判定に該当する該当者を「1」、非該当者を「0」として、各判定の該当者または非該当者の n 数を示し、カイ二乗検定を用いて群間比較した。

簡易 OSP は、良好ゾーン（酸化ストレスは少なく、抗酸化能が高い状態。）、低活性ゾーン（抗酸化能は低いが、酸化ストレスも低い。）、警告ゾーン（抗酸化能が高いが、酸化ストレスも高い状態。）、危険ゾーン（酸化ストレスが高く、抗酸化能が低い状態。）

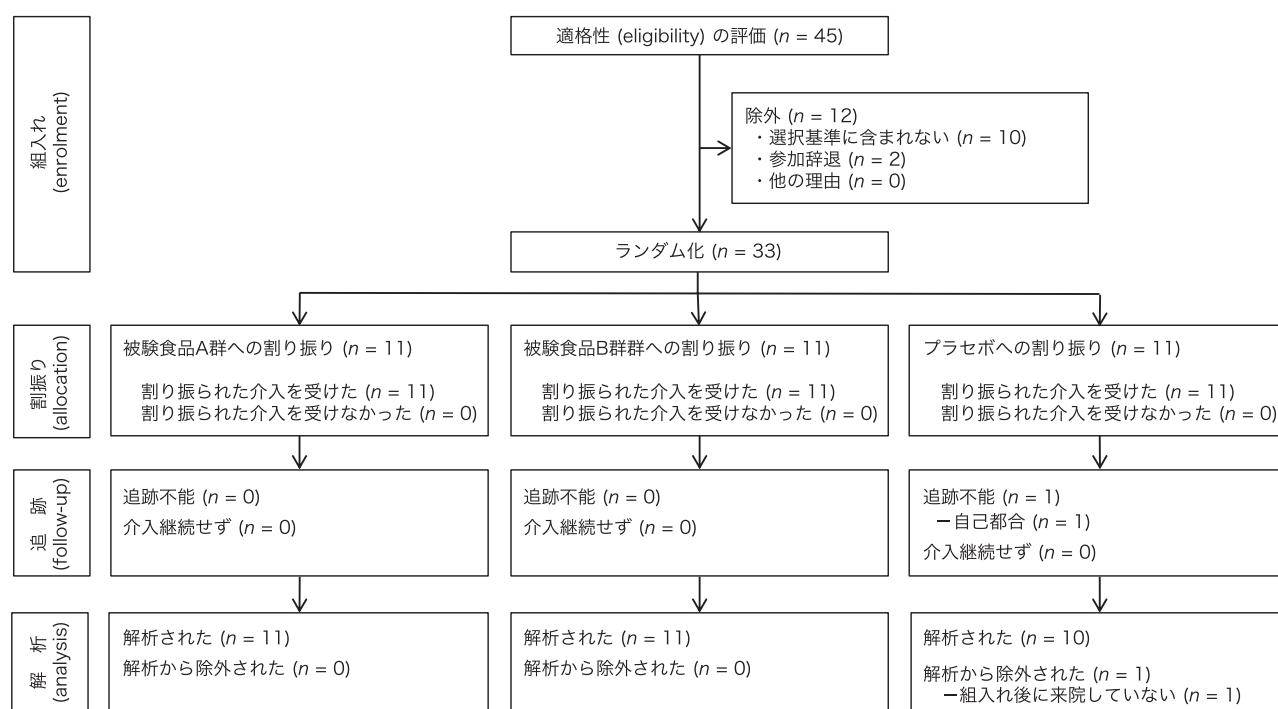


図 1 試験参加者の追跡フローチャート

の4段階の判定を行い、各判定に該当する該当者を「1」、非該当者を「0」として、各判定の該当者または非該当者の n 数を示し、カイ二乗検定を用いて群間比較した。

自覚症状の評価では、Scr および 4w の実測値を中央値と四分位範囲（第1四分位数, 第3四分位数）で示し、Mann-Whitney の U 検定を用いて群間比較した。安全性項目のうち末梢血液検査の一部と尿検査については、基準値内または基準値外に該当する n 数を示し、カイ二乗検定を用いて群間比較した。なお、比較はすべての組み合わせとし、多群、多項目により発生する多重性は考慮しなかった。

II. 結果

1. 解析対象者

図1に試験参加者の追跡フローチャートを示した。参加者の募集は2018年11月25日から12月25日の間に行い、試験期間は2018年12月1日から2019年3月9日であった。試験期間中、インフルエンザに罹患したことを理由に試験を辞退した1名を解析から除外した。最終的な解析対象者は Full Analysis Set であり、被験食品 A 群では計11名（男性3名、女性8名、 43.7 ± 16.6 歳）、被験食品 B 群では計11名（男性2名、女性9名、 46.5 ± 13.6 歳）、プラセボ群では計10名（男性2名、女性8名、 44.8 ± 12.3 歳）であった。試験参加者の背景を表

表 3-1 試験参加者の背景（性別、年齢）

検査項目	摂取前 (Scr)						P 値
	被験食品 A 群 (A)		被験食品 B 群 (B)		プラセボ群 (P)		
	男性	女性	男性	女性	男性	女性	
組入対象者 (A: $n = 11$, B: $n = 11$, P: $n = 11$)							
性別	3 (27.3%)	8 (72.7%)	2 (18.2%)	9 (81.8%)	2 (18.2%)	9 (81.8%)	1.000
— 20 代	2 (18.2%)	1 (9.1%)	0 (0.0%)	2 (18.2%)	0 (0.0%)	3 (27.3%)	-
— 30 代	0 (0.0%)	2 (18.2%)	1 (9.1%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	1 (9.1%)	-
— 40 代	0 (0.0%)	2 (18.2%)	1 (9.1%)	3 (27.3%)	1 (9.1%)	1 (9.1%)	-
— 50 代	0 (0.0%)	2 (18.2%)	0 (0.0%)	3 (27.3%)	1 (9.1%)	4 (36.4%)	-
— 60 代	0 (0.0%)	1 (9.1%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	-
— 70 代	1 (9.1%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	1 (9.1%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	-
— 80 代以上	0 (0.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	-
最大の解析対象集団 (Full analysis set) (A: $n = 11$, B: $n = 11$, P: $n = 10$)							
性別	3 (27.3%)	8 (72.7%)	2 (18.2%)	9 (81.8%)	2 (20.0%)	8 (80.0%)	1.000
— 20 代	2 (18.2%)	1 (9.1%)	0 (0.0%)	2 (18.2%)	0 (0.0%)	2 (20.0%)	-
— 30 代	0 (0.0%)	2 (18.2%)	1 (9.1%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	1 (10.0%)	-
— 40 代	0 (0.0%)	2 (18.2%)	1 (9.1%)	3 (27.3%)	1 (10.0%)	1 (10.0%)	-
— 50 代	0 (0.0%)	2 (18.2%)	0 (0.0%)	3 (27.3%)	1 (10.0%)	4 (40.0%)	-
— 60 代	0 (0.0%)	1 (9.1%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	-
— 70 代	1 (9.1%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	1 (9.1%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	-
— 80 代以上	0 (0.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	-

データは人数と全体からの割合を示した。

表 3-2 試験参加者の背景（年齢、身長、非特異的 IgE）

検査項目	摂取前 (Scr)						P 値
	被験食品 A 群 (A)		被験食品 B 群 (B)		プラセボ群 (P)		
	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	
組入対象者 (A: n = 11, B: n = 11, P: n=11)							
年齢 (歳)	43.7	16.6	46.5	13.6	43.4	12.6	0.851
身長 (cm)	164.4	6.3	161.6	9.0	160.9	7.1	0.510
非特異的 IgE (IU/mL)	128.9	190.4	348.5	535.6	133.5	121.5	0.231
最大の解析対象集団 (Full analysis set) (A: n = 11, B: n = 11, P: n=10)							
年齢 (歳)	43.7	16.6	46.5	13.6	44.8	12.3	0.898
身長 (cm)	164.4	6.3	161.6	9.0	162.0	6.4	0.622
非特異的 IgE (IU/mL)	128.9	190.4	348.5	535.6	117.8	115.8	0.223

データは平均値 (Mean) と標準偏差 (SD) で示した。

表 4-1 血流検査, 酸化還元マーカー

検査項目	単位	摂取前 (Scr)				摂取 4 週間後 (4w)				変化量 (4w - Scr)			
		被験食品 A 群 (A) (n = 11)		被験食品 B 群 (B) (n = 11)		プラセボ群 (P) (n = 10)		被験食品 A 群 (A) (n = 11)		被験食品 B 群 (B) (n = 11)		プラセボ群 (P) (n = 10)	
		Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD
血流速	μm/s	859.7	252.7	965.2	266.3	909.2	307.2	973.5	287.9	1174.8	245.3	747.5	233.1
鮮明度	-	58.1	16.2	52.5	15.4	53.6	11.9	52.0	10.3	51.4	21.0	45.7	12.7
血管の密度	本/mm ²	8.2	5.5	9.3	2.3	10.5	2.5	8.8	4.1	9.4	2.1	10.7	2.7
血管の直径	μm	17.6	4.0	16.1	4.0	14.4	3.7	19.2	5.1	15.2	3.8	15.6	2.2
血管間の距離	μm	19.2	5.8	15.0	2.7	16.5	3.6	19.5	4.8	15.6	3.8	16.6	4.8
血管の長さ	μm	585.0	172.5	437.8	104.1	458.1	78.6	578.9	174.8	481.0	122.0	470.1	86.9
d-ROM	μmol/L antioxidant power	342.2	49.5	404.5	116.4	330.6	70.1	392.7	80.4	494.3	163.5	389.3	75.9
BAP	U.CARR	2864.3	440.7	2853.6	388.5	2535.4	246.9	3201.2	465.3	3245.9	512.9	3121.8	614.8
尿中 8-OHdG	ng/mL	8.6	5.1	9.3	4.6	9.6	6.1	13.0	10.0	8.0	5.9	9.5	7.5
尿中 8-OHdG (クレアチニン補正)	ng/mL crea.	8.8	3.2	10.9	3.6	10.8	3.1	7.9	3.8	6.8	2.8	8.6	2.0
尿中クレアチニン	mg/dL	103.1	69.9	97.8	54.6	96.8	70.5	156.2	73.8	133.1	116.8	113.7	88.4
PAO	μmol/L antioxidant power	1115.5	216.6	1039.5	181.2	1128.5	168.4	1233.7	223.4	1237.8	207.0	1191.1	114.4

検査項目	単位	P 値							
		Scr				4w			
		A vs P	B vs P	A vs B	A vs P	B vs P	A vs B	A vs P	A vs B
血流速	μm/s	0.684	0.645	0.376	0.007**	<0.001**	0.123	0.009**	0.326
鮮明度	-	0.491	0.860	0.377	0.495	0.333	0.773	0.802	0.479
血管の密度	本/mm ²	0.180	0.467	0.519	0.570	0.534	0.966	0.744	0.675
血管の直径	μm	0.069	0.325	0.370	0.167	0.544	0.040*	0.824	0.190
血管間の距離	μm	0.160	0.427	0.029*	0.468	0.937	0.434	0.934	0.848
血管の長さ	μm	0.029*	0.715	0.010*	0.801	0.527	0.742	0.675	0.245
d-ROM	μmol/L antioxidant power	0.754	0.053	0.092	0.835	0.391	0.275	0.822	0.272
BAP	U.CARRng/m	0.052	0.060	0.947	0.906	0.763	0.841	0.361	0.834
尿中 8-OHdG	ng/mL	0.669	0.881	0.776	0.235	0.716	0.116	0.200	0.108
尿中 8-OHdG (クレアチニン補正)	ng/mL	0.177	0.961	0.152	0.805	0.134	0.086	0.319	0.024*
尿中クレアチニン	mg/dL	0.825	0.970	0.851	0.334	0.646	0.599	0.420	0.682
PAO	μmol/L antioxidant power	0.877	0.294	0.357	0.352	0.053	0.272	0.347	0.168

データは平均値 (Mean) と標準偏差 (SD) で示した。*: $P < 0.05$, **: $P < 0.01$

3-1, 表 3-2 に示した。群間で有意差が認められた項目はなかった。

2. 血流検査

解析結果を表 4-1, 表 4-2, 図 2-1 に示した。

Scr において, 被験食品 A 群の血管間の距離および血管の長さは被験食品 B 群と比較して有意に高値を示し (それぞれ $P = 0.029$, $P = 0.010$), 被験食品 A 群の血管の長さはプラセボ群と比較して有意に高値を示した ($P = 0.029$)。

介入後において, 被験食品 B 群はプラセボ群と比較して 4w および 4w-Scr における血流速が有意に高値を示した (いずれも $P < 0.001$)。一方で, 被

表 4-2 血流検査, 簡易 Oxidative stress profile (OSP)

検査項目	検査	被験食品 A 群 (A) (n = 11)		被験食品 B 群 (B) (n = 11)		プラセボ群 (P) (n = 10)		P 値		
		該当	非該当	該当	非該当	該当	非該当	A vs P	B vs P	A vs B
血管の形状										
ヘアピン状に真っ直ぐで	摂取前 (Scr)	7	4	5	6	6	4	1.000	0.670	0.670
形のそろった血管	摂取 4 週間後 (4w)	8	3	7	4	7	3	1.000	1.000	1.000
ねじれて形のふぞろいな血管	Scr	2	9	5	6	3	7	0.635	0.659	0.361
	4w	0	11	2	9	3	7	0.090	0.635	0.476
枝分かれなどで形のふぞろいな血管	Scr	2	9	0	11	1	9	1.000	0.476	0.476
	4w	2	9	0	11	0	10	0.476	N.A.	0.476
短く見える (見えにくい) 血管	Scr	0	11	1	10	0	10	N.A.	1.000	1.000
	4w	1	10	2	9	0	10	1.000	0.476	1.000
簡易 OSP: 総合評価										
良好	Scr	3	8	1	10	2	8	1.000	0.586	0.586
	4w	8	3	6	5	3	7	0.086	0.387	0.659
低活性	Scr	4	7	3	8	1	9	0.311	0.586	1.000
	4w	1	10	2	9	0	10	1.000	0.476	1.000
警告	Scr	3	8	3	8	4	6	0.659	0.659	1.000
	4w	2	9	3	8	4	6	0.361	0.659	1.000
危険	Scr	1	10	4	7	3	7	0.311	1.000	0.311
	4w	0	11	0	11	3	7	0.090	0.090	N.A.
簡易 OSP: 酸化ストレスの状態										
高く	Scr	3	8	7	4	6	4	0.198	1.000	0.198
	4w	2	9	1	10	4	6	0.361	0.149	1.000
平均的	Scr	5	6	1	10	2	8	0.361	0.586	0.149
	4w	2	9	2	9	3	7	0.635	0.635	1.000
低く	Scr	3	8	3	8	2	8	1.000	1.000	1.000
	4w	7	4	8	3	3	7	0.198	0.086	1.000
簡易 OSP: 抗酸化能の状態										
高く	Scr	3	8	2	9	5	5	0.387	0.183	1.000
	4w	8	3	7	4	5	5	0.387	0.670	1.000
平均的	Scr	6	5	5	6	4	6	0.670	1.000	1.000
	4w	2	9	4	7	5	5	0.183	0.670	0.635
低く	Scr	2	9	4	7	1	9	1.000	0.311	0.635
	4w	1	10	0	11	0	10	1.000	N.A.	1.000

データは人数を示した。N.A.: Not available.

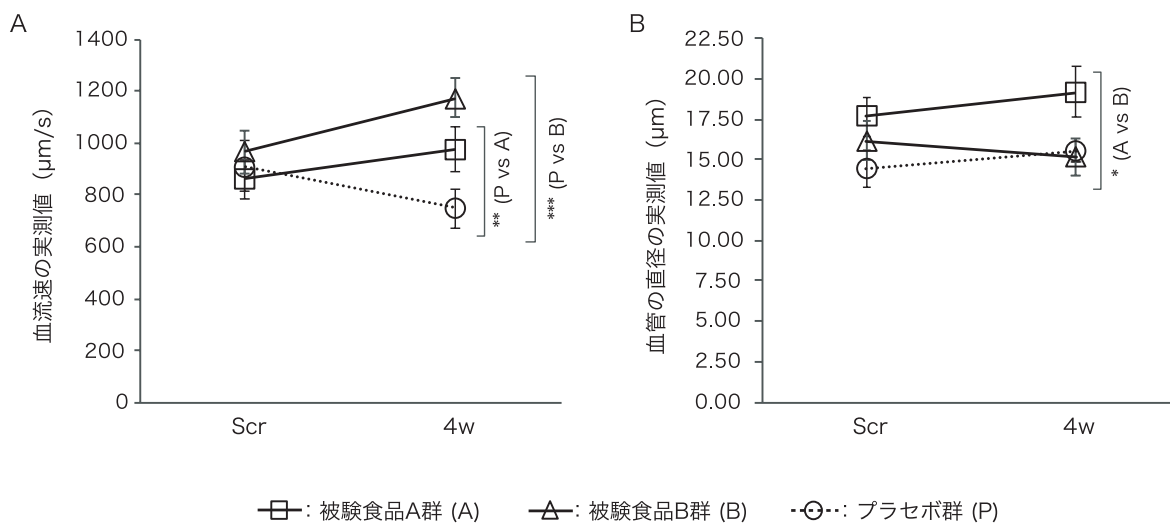


図 2-1. 血流速と血管の直径の実測値

A) 血流速, B) 血管の直径

データは平均値と標準偏差で示した。*: $P < 0.05$, **: $P < 0.01$, ***: $P < 0.001$

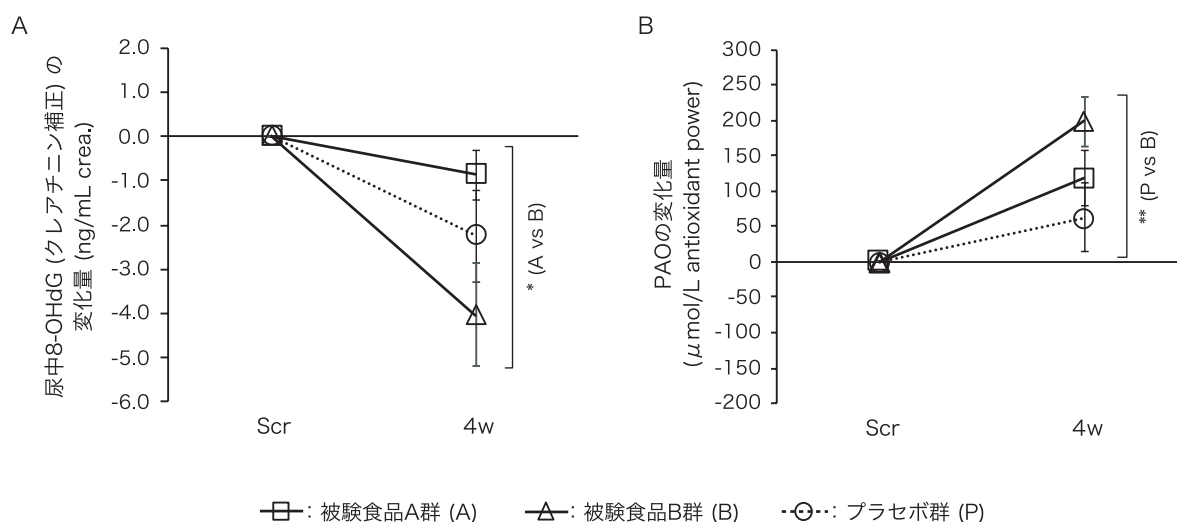


図 2-2. 尿中 8-OHdG (クレアチニン補正) と PAO の変化量

A) 尿中 8-OHdG (クレアチニン補正), B) PAO

データは平均値と標準偏差で示した。*: $P < 0.05$, **: $P < 0.01$

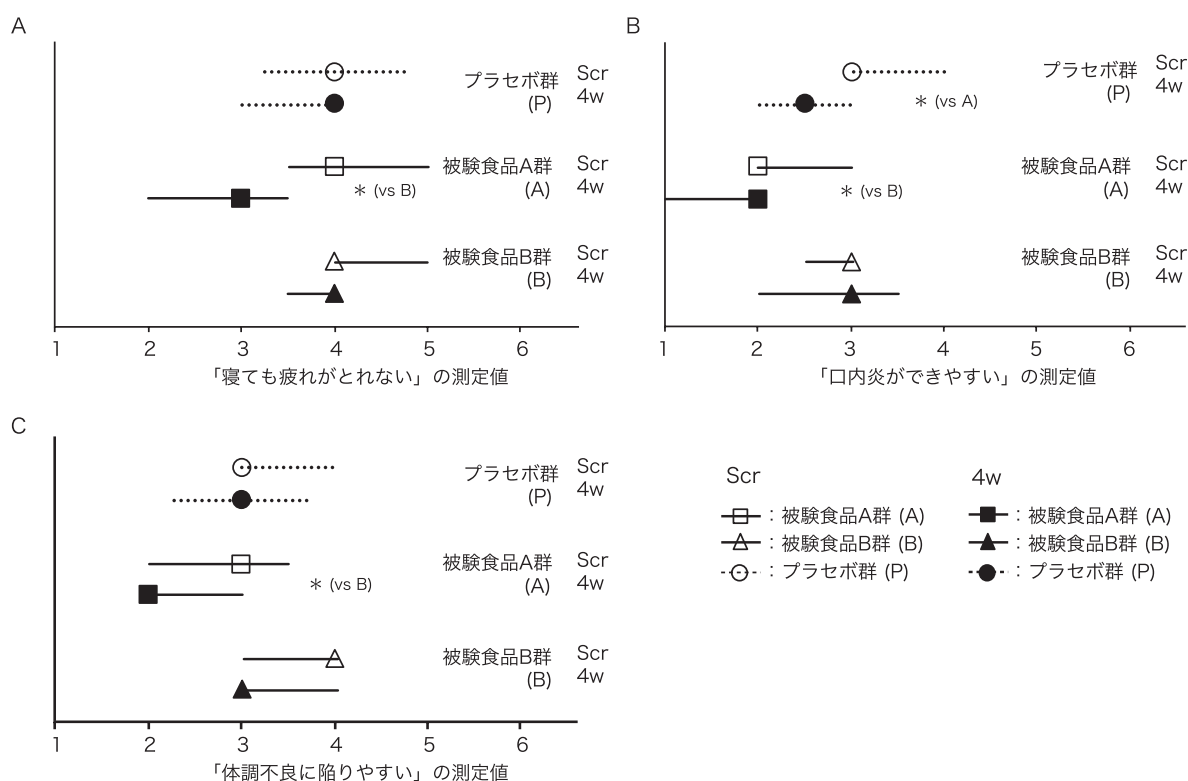


図 2-3. 自覚症状の測定値

A) 「寝ても疲れがとれない」, B) 「口内炎がでしやすい」, C) 「体調不良に陥りやすい」

データは中央値と第 1 四分位数, 第 3 四分位数で示した。*: $P < 0.05$

1: まったくあてはまらない / 2: ほとんどあてはまらない / 3: あまりあてはまらない / 4: 少しあてはまる / 5: かなりあてはまる / 6: 非常にあてはまる

験食品 A 群は被験食品 B 群と比較して, 4w における血管の直径が有意に高値を示した ($P = 0.040$)。さらに, 被験食品 A 群はプラセボ群と比較して, 4w および 4w-Scr における血流速が有意に高値を示した (それぞれ $P = 0.007$, $P = 0.009$)。

3. 抗酸化能検査

解析結果を表 4-1, 表 4-2, 図 2-2 に示した。被験食品 B 群はプラセボ群と比較して 4w-Scr における血中 PAO が有意に高値を示した ($P = 0.027$)。また, 被験食品 B 群は被験食品 A 群と比較して 4w-

表 5 身体測定・理学検査

検査項目	単位	摂取前 (Scr)						摂取 4 週間後 (4w)					
		被験食品 A 群 (A) (n = 11)		被験食品 B 群 (B) (n = 11)		プラセボ群 (P) (n = 10)		被験食品 A 群 (A) (n = 11)		被験食品 B 群 (B) (n = 11)		プラセボ群 (P) (n = 10)	
		Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD
体重	kg	57.9	8.7	53.8	10.7	53.9	7.5	57.8	8.5	53.6	11.0	54.7	7.8
BMI	kg/m ²	21.5	3.7	20.5	2.6	20.5	2.2	21.5	3.5	20.4	2.7	20.8	2.3
体脂肪率	%	21.2	8.7	21.8	4.3	20.7	6.0	20.9	8.5	21.9	4.7	20.7	4.7
収縮期血圧	mmHg	118.0	12.4	112.0	13.1	111.4	14.0	116.2	11.8	114.0	15.5	109.3	15.2
拡張期血圧	mmHg	74.3	8.7	70.1	7.6	71.0	8.7	72.3	9.4	74.8	9.5	65.7	8.7
脈拍数	bpm	73.5	11.6	70.8	8.2	73.7	10.5	71.3	6.9	76.6	9.0	72.0	11.1
体温	°C	36.4	0.3	36.3	0.3	36.4	0.3	36.2	0.4	36.3	0.5	36.2	0.4

検査項目	単位	P 値					
		Scr			4w		
		A vs P	B vs P	A vs B	A vs P	B vs P	A vs B
体重	kg	0.321	0.990	0.303	0.071	0.037*	0.775
BMI	kg/m ²	0.437	0.984	0.437	0.074	0.034*	0.723
体脂肪率	%	0.847	0.709	0.854	0.668	0.690	0.398
収縮期血圧	mmHg	0.256	0.911	0.293	0.793	0.229	0.343
拡張期血圧	mmHg	0.370	0.825	0.255	0.192	0.007**	0.131
脈拍数	bpm	0.972	0.521	0.533	0.825	0.030*	0.016*
体温	°C	0.773	0.434	0.276	0.908	0.144	0.171

データは平均値 (Mean) と標準偏差 (SD) で示した。

*: $P < 0.05$, **: $P < 0.01$

Scr における尿中 8-OHdG (クレアチニン補正) が有意に低値を示した ($P = 0.024$)。

4. 自覚症状

解析結果を図 2-3 に示した。

プラセボ群と比較して、被験食品 A 群では Scr におけるアンケート項目「口内炎がしやすい」が有意に低値を示した ($P = 0.019$)。また、被験食品 A 群は B 群と比較して、4w におけるアンケート項

目「寝ても疲れがとれない」、「体調不良に陥りやすい」、「口内炎がしやすい」が有意に低値を示した (それぞれ $P = 0.015$, $P = 0.017$, $P = 0.048$)。その他の項目に関しては、群間有意差は確認されなかった。

5. 安全性評価項目

身体測定・理学検査、尿検査、末梢血液検査の各項目の統計解析結果を表 5、表 6、表 7-1 ～表 7-3 に示した。群間で有意差が認められた項目が散見されたものの、いずれの項目も平均値は至適範囲内および基準値内で変動していた。よって、試験食品の継続摂取に伴う医学的に問題のある変化は認められなかった。

III. 考察

本試験では、日頃冷えおよび疲れを感じている一般的な日本人成人男女を対象に、純白ごま油またはピ

表 6 尿検査

項目	基準値	検査	被験食品 A 群 (A) (n = 11)		被験食品 B 群 (B) (n = 11)		プラセボ群 (P) (n = 10)		P 値		
			基準値内		基準値外		基準値内		A vs P	B vs P	A vs B
			基準値内	基準値外	基準値内	基準値外	基準値内	基準値外			
蛋白質	(－)	摂取前 (Scr)	9	2	10	1	9	1	1.000	1.000	1.000
		摂取 4 週間後 (4w)	9	2	10	1	10	0	0.476	1.000	1.000
ブドウ糖	(－)	Scr	11	0	11	0	10	0	N.A.	N.A.	N.A.
		4w	11	0	11	0	10	0	N.A.	N.A.	N.A.
ウロビリノーゲン	(±)	Scr	11	0	11	0	10	0	N.A.	N.A.	N.A.
		4w	11	0	11	0	10	0	N.A.	N.A.	N.A.
ビリルビン	(－)	Scr	11	0	11	0	10	0	N.A.	N.A.	N.A.
		4w	11	0	11	0	10	0	N.A.	N.A.	N.A.
pH	5.0-7.5	Scr	10	1	10	1	10	0	1.000	1.000	1.000
		4w	11	0	11	0	10	0	N.A.	N.A.	N.A.
潜血	(－)	Scr	10	1	8	3	10	0	1.000	0.214	0.586
		4w	9	2	10	1	9	1	1.000	1.000	1.000
ケトン体	(－)	Scr	11	0	10	1	10	0	N.A.	1.000	1.000
		4w	11	0	10	1	10	0	N.A.	1.000	1.000

データは人数を示した。N.A.: Not available.

表 7-1 末梢血液検査 (Full analysis set) 1

検査項目	基準値	単位	摂取前 (Scr)						摂取 4 週間後 (4w)					
			被験食品 A 群 (A) (n = 11)		被験食品 B 群 (B) (n = 11)		プラセボ群 (P) (n = 10)		被験食品 A 群 (A) (n = 11)		被験食品 B 群 (B) (n = 11)		プラセボ群 (P) (n = 10)	
			Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD
白血球数	3300-9000	/μL	6409.1	1803.0	5563.6	986.2	4930.0	754.3	5109.1	1323.2	5863.6	1666.9	4370.0	699.3
赤血球数	男性：430-570 女性：380-500	× 10 ⁴ /μL	453.1	39.1	446.4	38.1	437.3	27.9	454.7	42.7	450.8	39.0	431.3	20.8
ヘモグロビン	男性：13.5-17.5 女性：11.5-15.0	g/dL	13.7	1.2	13.5	1.2	13.4	0.8	13.9	1.1	13.7	1.3	13.2	0.6
ヘマトクリット	男性：39.7-52.4 女性：34.8-45.0	%	42.6	3.2	41.9	3.2	41.5	2.2	43.1	3.2	42.4	3.3	41.9	1.7
血小板数	14.0-34.0	× 10 ⁴ /μL	29.2	7.9	27.1	6.9	28.8	4.7	27.6	7.1	25.7	6.2	27.6	5.4
MCV	85-102	fL	94.2	4.4	94.1	3.9	95.2	3.0	94.9	3.9	94.3	3.6	97.2	2.8
MCH	28.0-34.0	pg	30.2	1.5	30.3	1.4	30.7	1.5	30.5	1.2	30.5	1.7	30.7	1.2
MCHC	30.2-35.1	%	32.1	0.7	32.2	0.6	32.2	0.8	32.2	1.1	32.3	0.9	31.6	0.6
好中球率	40.0-75.0	%	62.0	11.5	61.3	8.4	57.9	6.8	57.0	11.5	63.9	13.3	56.3	9.4
リンパ球率	18.0-49.0	%	29.7	9.8	30.2	7.2	34.1	7.6	32.3	7.0	28.2	11.4	35.2	8.8
単球率	2.0-10.0	%	5.2	2.0	5.3	1.6	5.0	1.1	6.6	5.2	4.9	1.6	5.7	0.9
好酸球率	0.0-8.0	%	2.8	2.8	2.6	1.7	2.3	1.4	3.5	2.7	2.5	2.4	1.9	1.2
好塩基球率	0.0-2.0	%	0.4	0.3	0.5	0.3	0.7	0.4	0.5	0.4	0.5	0.3	0.9	0.5
好中球数	-	/μL	4131.6	1939.2	3439.5	885.4	2876.5	644.1	2973.2	1082.9	3912.4	1914.4	2481.5	666.9
リンパ球数	-	/μL	1764.6	498.1	1659.0	412.1	1663.7	406.0	1607.2	384.2	1505.7	466.0	1522.3	385.3
単球数	-	/μL	308.0	54.4	285.9	64.4	245.6	56.0	306.2	150.4	279.0	78.6	245.4	38.5
好酸球数	-	/μL	181.1	194.0	150.2	105.4	111.2	67.9	193.1	188.5	137.8	125.3	81.3	51.3
好塩基球数	-	/μL	23.7	21.4	29.0	18.9	33.0	11.6	29.4	29.1	28.8	18.2	39.5	27.8
AST (GOT)	10-40	U/L	19.7	2.6	21.7	4.6	22.6	11.1	19.2	2.3	23.0	11.1	19.0	3.5
ALT (GPT)	5-45	U/L	16.2	5.3	16.6	7.0	14.4	6.0	13.6	3.7	18.5	10.8	13.5	2.5
γ-GT (γ-GTP)	男性：80 以下 女性：30 以下	U/L	20.0	7.9	16.8	4.0	26.6	29.8	19.5	9.1	16.2	4.0	25.3	26.2
ALP	100-325	U/L	182.5	43.3	182.8	42.6	190.4	58.7	174.5	40.2	173.2	47.8	183.2	54.4
LD (LDH)	120-240	U/L	172.4	18.5	188.5	26.8	188.5	28.0	169.4	10.6	193.9	38.2	174.4	28.3
LAP	男性：45-81 女性：37-61	U/L	51.6	7.5	47.0	6.2	49.5	6.1	49.6	6.4	46.8	6.3	46.8	5.6
総ビリルビン	0.2-1.2	mg/dL	0.75	0.22	0.73	0.19	0.87	0.31	0.71	0.19	0.86	0.26	0.96	0.27
直接ビリルビン	0.0-0.2	mg/dL	0.06	0.05	0.05	0.05	0.08	0.04	0.07	0.05	0.11	0.03	0.08	0.04
間接ビリルビン	0.2-1.0	mg/dL	0.68	0.21	0.68	0.16	0.79	0.30	0.64	0.17	0.75	0.24	0.88	0.26
コリンエステラーゼ (ChE)	男性：234-493 女性：200-452	U/L	288.5	58.9	305.7	56.7	286.8	77.7	280.1	58.2	315.7	52.7	285.0	71.7
総蛋白	6.7-8.3	g/dL	7.1	0.4	6.9	0.5	7.2	0.4	7.0	0.5	7.1	0.4	7.0	0.3
尿素窒素	8.0-20.0	mg/dL	13.9	4.2	13.2	2.9	14.7	4.2	13.1	3.9	12.8	3.0	13.2	3.6
クレアチニン	男性：0.61-1.04 女性：0.47-0.79	mg/dL	0.71	0.10	0.66	0.12	0.66	0.13	0.73	0.10	0.67	0.15	0.67	0.11
尿酸	男性：3.8-7.0 女性：2.5-7.0	mg/dL	4.9	1.3	4.4	1.1	4.8	1.1	5.0	1.3	4.5	1.2	4.4	0.6
CK	男性：60-270 女性：40-150	U/L	118.8	56.4	140.5	93.8	205.1	332.4	105.3	51.2	144.5	166.5	90.8	26.1
ナトリウム	137-147	mEq/L	140.1	1.4	140.7	1.4	140.5	1.4	140.2	1.3	139.5	2.3	140.2	1.9
カリウム	3.5-5.0	mEq/L	4.1	0.4	4.0	0.4	4.1	0.2	4.1	0.5	4.1	0.3	4.0	0.3
クロール	98-108	mEq/L	100.5	1.7	102.0	1.4	101.3	1.5	100.7	1.2	100.9	1.8	101.8	0.9
カルシウム	8.4-10.4	mg/dL	9.3	0.3	9.2	0.2	9.3	0.2	9.1	0.3	9.0	0.3	9.1	0.3
無機リン	2.5-4.5	mg/dL	3.5	0.4	3.4	0.4	3.6	0.4	3.4	0.3	3.3	0.3	3.3	0.4
血清鉄	男性：50-200 女性：40-180	μg/dL	90.5	24.7	102.9	65.3	88.4	26.9	93.3	28.0	93.8	58.8	130.8	36.5
血清アミラーゼ	40-122	U/L	86.0	20.2	123.7	109.8	79.5	14.4	83.7	21.0	83.7	21.7	79.6	17.6
総コレステロール	120-219	mg/dL	219.4	48.9	212.5	41.9	206.8	30.1	205.5	36.6	212.2	39.9	205.0	39.1
HDL- コレステロール	男性：40-85 女性：40-95	mg/dL	77.5	8.0	81.0	22.4	83.3	15.9	77.5	12.3	84.3	24.2	83.8	18.3
LDL- コレステロール	65-139	mg/dL	127.3	39.8	115.1	32.2	112.2	21.4	114.6	32.1	114.8	29.3	106.9	26.9
TG (中性脂肪)	30-149	mg/dL	73.5	37.9	89.5	41.6	60.7	34.4	67.6	41.3	66.6	18.3	66.9	37.2
グルコース	70-109	mg/dL	84.5	11.0	87.4	12.7	81.6	4.0	82.4	6.7	84.7	11.8	79.7	4.7
HbA1c (NGSP)	4.6-6.2	%	5.3	0.2	5.2	0.2	5.3	0.1	5.4	0.2	5.3	0.2	5.3	0.2
グリコアルブミン	12.3-16.5	%	14.0	0.7	14.9	1.6	14.4	1.4	13.8	0.8	14.3	1.2	14.0	1.0

データは平均値 (Mean) と標準偏差 (SD) で示した。*: $P < 0.05$, **: $P < 0.01$

表 7-1 末梢血液検査 (Full analysis set) 2

検査項目	基準値	単位	P 値					
			Scr			4w		
			A vs P	B vs P	A vs B	A vs P	B vs P	A vs B
白血球数	3300-9000	/ μ L	0.013*	0.266	0.132	0.885	0.030*	0.020*
赤血球数	男性: 430-570 女性: 380-500	$\times 10^4/\mu$ L	0.319	0.565	0.661	0.265	0.188	0.840
ヘモグロビン	男性: 13.5-17.5 女性: 11.5-15.0	g/dL	0.565	0.816	0.724	0.176	0.177	0.990
ヘマトクリット	男性: 39.7-52.4 女性: 34.8-45.0	%	0.415	0.775	0.585	0.595	0.733	0.841
血小板数	14.0-34.0	$\times 10^4/\mu$ L	0.887	0.574	0.472	0.833	0.731	0.891
MCV	85-102	fL	0.549	0.514	0.956	0.053	0.009**	0.431
MCH	28.0-34.0	pg	0.475	0.537	0.919	0.471	0.665	0.763
MCHC	30.2-35.1	%	0.568	0.922	0.627	0.055	0.037*	0.866
好中球率	40.0-75.0	%	0.318	0.405	0.863	0.512	0.233	0.061
リンパ球率	18.0-49.0	%	0.237	0.301	0.874	0.898	0.188	0.134
単球率	2.0-10.0	%	0.811	0.668	0.846	0.464	0.226	0.052
好酸球率	0.0-8.0	%	0.600	0.744	0.839	0.074	0.584	0.192
好塩基球率	0.0-2.0	%	0.024*	0.219	0.259	0.451	0.090	0.340
好中球数	-	/ μ L	0.035*	0.331	0.223	0.867	0.040*	0.025*
リンパ球数	-	/ μ L	0.605	0.981	0.579	0.831	0.928	0.756
単球数	-	/ μ L	0.021*	0.126	0.383	0.525	0.757	0.703
好酸球数	-	/ μ L	0.245	0.513	0.596	0.149	0.500	0.404
好塩基球数	-	/ μ L	0.246	0.610	0.499	0.894	0.417	0.489
AST (GOT)	10-40	U/L	0.351	0.775	0.504	0.822	0.183	0.258
ALT (GPT)	5-45	U/L	0.514	0.414	0.864	0.694	0.161	0.067
γ -GT (γ -GTP)	男性: 80 以下 女性: 30 以下	U/L	0.393	0.209	0.671	0.995	0.756	0.749
ALP	100-325	U/L	0.713	0.723	0.990	0.847	0.720	0.865
LD (LDH)	120-240	U/L	0.146	0.997	0.137	0.512	0.052	0.198
LAP	男性: 45-81 女性: 37-61	U/L	0.469	0.397	0.113	0.392	0.105	0.428
総ビリルビン	0.2-1.2	mg/dL	0.247	0.186	0.861	0.057	0.920	0.059
直接ビリルビン	0.0-0.2	mg/dL	0.448	0.115	0.388	0.889	0.032*	0.017*
間接ビリルビン	0.2-1.0	mg/dL	0.286	0.286	1.000	0.037*	0.453	0.147
コリンエステラーゼ (ChE)	男性: 234-493 女性: 200-452	U/L	0.954	0.508	0.536	0.391	0.078	0.010*
総蛋白	6.7-8.3	g/dL	0.936	0.223	0.242	0.772	0.128	0.198
尿素窒素	8.0-20.0	mg/dL	0.640	0.373	0.661	0.754	0.626	0.853
クレアチニン	男性: 0.61-1.04 女性: 0.47-0.79	mg/dL	0.420	0.911	0.348	0.536	0.675	0.833
尿酸	男性: 3.8-7.0 女性: 2.5-7.0	mg/dL	0.791	0.538	0.369	0.118	0.232	0.700
CK	男性: 60-270 女性: 40-150	U/L	0.322	0.457	0.797	0.712	0.237	0.397
ナトリウム	137-147	mEq/L	0.512	0.715	0.298	0.688	0.247	0.121
カリウム	3.5-5.0	mEq/L	0.895	0.278	0.328	0.426	0.371	0.905
クロール	98-108	mEq/L	0.272	0.307	0.035*	0.132	0.096	0.875
カルシウム	8.4-10.4	mg/dL	0.915	0.544	0.465	0.967	0.742	0.705
無機リン	2.5-4.5	mg/dL	0.668	0.328	0.570	0.375	0.821	0.499
血清鉄	男性: 50-200 女性: 40-180	μ g/dL	0.915	0.453	0.509	0.005**	0.001**	0.494
血清アミラーゼ	40-122	U/L	0.823	0.136	0.191	0.681	0.496	0.270
総コレステロール	120-219	mg/dL	0.493	0.757	0.698	0.283	0.763	0.161
HDL-コレステロール	男性: 40-85 女性: 40-95	mg/dL	0.426	0.753	0.619	0.938	0.425	0.371
LDL-コレステロール	65-139	mg/dL	0.295	0.839	0.384	0.611	0.436	0.194
TG (中性脂肪)	30-149	mg/dL	0.448	0.095	0.334	0.833	0.560	0.687
グルコース	70-109	mg/dL	0.523	0.202	0.505	0.628	0.394	0.688
HbA1c (NGSP)	4.6-6.2	%	0.296	0.857	0.212	0.260	0.316	0.880
グリコアルブミン	12.3-16.5	%	0.436	0.350	0.085	0.696	0.722	0.464

タミン E を配合した純白ごま油を 4 週間継続摂取した際の抗酸化および血流改善効果を検証した。

末梢の細い動脈において、機能的な収縮や動脈硬化による弾力性低下、血管の狭小化が起こると高血圧を生じる¹²⁾。また、血管における細胞の代謝異常によって活性酸素種 (ROS) の一種であるスーパーオキシドアニオンが過剰に発生すると、スーパーオキシドアニオンは血管拡張物質である一酸化窒素 (NO) と反応するため、血管における NO 量が減少し、血管内皮機能低下につながる事が知られている⁷⁾。そのため、血管内皮機能を高めるアプローチとして機能的な収縮抑制や、内皮型 NO 合成酵素 (eNOS) 発現量の増強、抗酸化物質による ROS の除去などが多くの研究で試みられている。

被験食品に含まれるセサミンは、ヒト由来血管内皮細胞を用いた実験において、NO の産生量を用量依存的に増加させ、eNOS の発現量および活性を増加させたと報告されている¹³⁾。また、同実験では血管収縮物質であるエンドセリン-1 の濃度を用量依存的に低下させ、エンドセリン変換酵素の発現量を減少させたことも確認されている¹³⁾。セサミンが示す eNOS 発現量亢進および血管弛緩については、過去に高血圧モデルラットで確認されており、セサミンは用量依存的に血管の弛緩と eNOS の発現を誘導したと報告されている⁷⁾。さらに、セサミンは ROS を発生させる NADPH オキシダーゼのサブユニットの発現量を用量依的に減少させ、eNOS の発現亢進を通じて血管拡張や血管組織における

表 7-2 男性サブグループの末梢血液検査

検査項目	基準値	単位	摂取前 (Scr)						摂取 4 週間後 (4w)						P 値			
			被験食品 A 群 (A)		被験食品 B 群 (B)		プラセボ群 (P)		被験食品 A 群 (A)		被験食品 B 群 (B)		プラセボ群 (P)		Scr		4w	
			Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	A vs P	B vs P	A vs P	B vs P
赤血球数	430-570	$\times 10^4/\mu\text{L}$	489.7	48.4	503.0	49.5	470.0	31.1	492.0	38.2	513.0	53.7	439.0	31.1	0.657	0.504	0.014*	0.011*
ヘモグロビン	13.5-17.5	g/dL	14.8	1.5	15.5	1.0	14.5	0.9	15.2	1.1	16.2	0.4	13.8	0.7	0.773	0.445	0.570	0.005**
ヘマトクリット	39.7-52.4	%	45.6	4.0	47.2	2.1	44.5	3.0	46.2	3.4	48.5	3.2	43.1	2.4	0.743	0.470	0.630	0.049*
γ -GT (γ -GTP)	80 以下	U/L	26.0	10.8	19.0	1.4	16.5	7.8	24.0	11.8	20.5	2.1	15.0	7.1	0.293	0.786	0.423	0.532
LAP	45-81	U/L	54.3	7.2	48.5	7.8	53.5	6.4	52.0	6.2	51.0	9.9	50.0	2.8	0.905	0.524	0.423	0.135
コリンエステラーゼ (ChE)	234-493	U/L	269.7	24.7	339.0	18.4	287.0	31.1	271.0	33.9	362.5	9.2	285.5	58.7	0.492	0.107	0.039*	0.940
クレアチニン	0.61-1.04	mg/dL	0.8	0.1	0.9	0.0	0.9	0.1	0.8	0.1	0.9	0.0	0.8	0.0	0.621	0.963	0.655	0.125
尿酸	3.8-7.0	mg/dL	6.1	1.2	6.4	0.8	6.5	0.1	6.3	1.2	6.6	1.2	5.1	0.3	0.695	0.921	0.774	0.027*
CK	60-270	U/L	154.7	86.4	168.0	72.1	604.0	766.5	127.3	89.0	373.5	371.2	54.5	14.8	0.275	0.326	0.972	0.279
血清鉄	50-200	$\mu\text{g/dL}$	97.7	10.2	82.0	26.9	127.0	35.4	101.7	34.3	61.0	32.5	136.5	2.1	0.241	0.126	0.503	0.315
HDL- コレステロール	40-85	mg/dL	75.3	6.7	54.0	22.6	58.5	9.2	71.7	7.8	58.0	14.1	55.5	19.1	0.232	0.748	0.149	0.602

データは平均値 (Mean) と標準偏差 (SD) で示した。*: $P < 0.05$, **: $P < 0.01$

表 7-3 女性サブグループの末梢血液検査

検査項目	基準値	単位	摂取前 (Scr)						摂取 4 週間後 (4w)						P 値			
			被験食品 A 群 (A)		被験食品 B 群 (B)		プラセボ群 (P)		被験食品 A 群 (A)		被験食品 B 群 (B)		プラセボ群 (P)		Scr		4w	
			Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	A vs P	B vs P	A vs P	B vs P
赤血球数	380-500	$\times 10^4/\mu\text{L}$	439.4	27.0	433.8	22.9	429.1	21.9	440.8	37.0	437.0	18.8	429.4	19.9	0.402	0.694	0.691	0.990
ヘモグロビン	11.5-15.0	g/dL	13.2	0.8	13.1	0.7	13.1	0.5	13.4	0.7	13.2	0.4	13.1	0.5	0.734	0.829	0.378	0.595
ヘマトクリット	34.8-45.0	%	41.5	2.3	40.7	2.0	40.8	1.3	41.9	2.3	41.1	1.2	41.6	1.5	0.477	0.954	0.704	0.365
γ -GT (γ -GTP)	30 以下	U/L	17.8	5.9	16.3	4.2	29.1	33.1	17.8	8.2	15.2	3.7	27.9	29.0	0.248	0.183	0.880	0.433
LAP	37-61	U/L	50.6	7.8	46.7	6.3	48.5	6.0	48.8	6.7	45.9	5.7	46.0	5.9	0.536	0.582	0.241	0.839
コリンエステラーゼ (ChE)	200-452	U/L	295.5	67.7	298.3	60.3	286.8	87.3	283.5	66.8	305.3	52.8	284.9	78.2	0.811	0.744	0.280	0.025*
クレアチニン	0.47-0.79	mg/dL	0.7	0.0	0.6	0.1	0.6	0.1	0.7	0.1	0.6	0.1	0.6	0.1	0.146	0.993	0.133	0.513
尿酸	2.5-7.0	mg/dL	4.5	1.1	4.0	0.6	4.3	0.7	4.5	1.1	4.1	0.6	4.3	0.6	0.785	0.418	0.279	0.625
CK	40-150	U/L	105.4	40.7	134.4	100.5	105.4	36.4	97.0	34.6	93.7	37.4	99.9	19.4	1.000	0.388	0.386	0.446
血清鉄	40-180	$\mu\text{g/dL}$	87.8	28.5	107.6	71.5	78.8	14.9	90.1	27.2	101.1	62.2	129.4	41.2	0.704	0.218	0.393	0.006**
HDL- コレステロール	40-95	mg/dL	78.3	8.7	87.0	18.5	89.5	9.8	79.6	13.4	90.1	22.3	90.9	9.7	0.106	0.704	0.192	0.635

データは平均値 (Mean) と標準偏差 (SD) で示した。*: $P < 0.05$, **: $P < 0.01$

酸化抑制を介した血管内機能の改善経路も考えられている⁷⁾。本試験では、主要アウトカムである血流検査に関して、摂取4週間後の実測値および変化量の血流速度が被験食品A群および被験食品B群においてP群よりも有意に高値を示した。また、摂取4週間後の血管の直径の実測値は、被験食品B群に対して被験食品A群の方が有意に高値を示した。したがって、セサミンが血管内皮でのNO産生を促進したほか、セサミノールとともに血管の収縮や血管組織の酸化を抑制したことで血管内皮機能を改善したと考えられる。

また、被験食品AにはビタミンEとして、 α -トコフェロールおよび γ -トコフェロールがそれぞれ14g当たり0.04mg、4.41mg含まれ、ビタミンEが添加された被験食品Bには α -トコフェロールおよび γ -トコフェロールがそれぞれ14g当たり295.40mg、142.80mg含まれる。ビタミンEにおいても、血管内皮機能の改善が確認されており¹⁰⁾、健常な日本人成人男女は200～600mg/日のビタミンEの経口摂取により、皮膚表面の血流量や皮膚温度の上昇傾向が報告されている²⁰⁾。セサミンは、肝臓においてビタミンEの異化に関与する酵素の活性を阻害し、体内のビタミンE濃度を上昇させることが細胞および動物を用いた実験で確認されている^{21,22)}。ヒトを対象とした試験において、セサミンの摂取によりビタミンEの一種である γ -トコフェロールの血中濃度が有意に上昇することが報告されている^{8,9)}。したがって、セサミンとビタミンEの同時摂取により、体内でのビタミンEの異化が抑制されたことで体内での濃度が維持され、ビタミンEにおける血管内皮機能の改善効果を高めた可能性があった。

副次的アウトカムである抗酸化能検査に関して、酸化ストレスにより上昇する尿中8-OHdG（クレアチニン補正）は、摂取4週間後の変化量において、被験食品B群は被験食品A群よりも有意に低値を示し、抗酸化能マーカーであるPAOが被験食品B群においてP群よりも有意に高値を示した。被験食品の有効成分であるセサミン、セサミノール、ビタミンEはいずれも抗酸化作用を示すことが知られている。セサミンは、ラットにおいてラジカル消去作用が確認され²³⁾、健常な成人男性およびマウスにおいて、セサミンによる脂質酸化抑制が認めら

れている^{23,24)}。セサミノールは、*in vitro*において、セサミンより弱いものの抗酸化活性を示すことが確認されている^{19,25)}。ビタミンEは親油性のラジカル消去型抗酸化剤であり、生体内では親水性の抗酸化物質であるビタミンCと協同して生体膜およびリポタンパク質内で抗酸化作用を示す²⁶⁾。ビタミンEはトコフェロールとトコトリエノールの2つに大別されるが、これらがいずれも非常に酸化されやすい化学構造であるために、抗酸化能を示すと考えられている²⁷⁾。したがって、被験食品に含まれるセサミンやセサミノール、ビタミンEが持つ抗酸化作用により、体内の酸化還元バランスが改善したと考えられる。

自覚症状においては、摂取4週間後において、「寝ても疲れがとれない」の項目では被験食品A群においてP群よりも低値を示す傾向が認められ、自覚症状が改善する兆候がみられた。一方、「寝ても疲れがとれない」「体調不良に陥りやすい」「口内炎がしやすい」が被験食品B群において被験食品A群よりも有意に高値を示しており、ビタミンE添加による自覚症状改善効果の増強は認められなかった。疲労は筋肉細胞や神経細胞の過活動による酸化により生じることから²⁸⁾、酸化還元バランスの改善は疲労の改善にもつながると考えられる。日常的に疲れを感じている健常な成人男女を対象に、セサミンおよびビタミンEを含有する食品を8週間継続摂取させた研究では、血中抗酸化マーカーは有意に改善したが、疲労、睡眠、外見に関する自覚症状では本試験と同様にP群との間に有意差が認められていない²⁹⁾。本試験では、セサミンとビタミンEの両方を含む被験食品B群でPAOがP群よりも有意に高値を示し、抗酸化能の改善が確認されたが、自覚症状ではP群との間に有意差は認められなかった。このように、酸化還元バランスの改善は疲労等に関する自覚症状の改善には直結しなかったことから、セサミンおよびビタミンEの疲労改善効果は、客観的評価と主観的評価では効果的な用量が異なる可能性が考えられる。しかし、先行研究では、40歳以上を対象としたサブグループにおいて被験食品摂取により、睡眠、外見に関する自覚症状が有意に改善し、疲労に関する自覚症状が改善する兆候が認められたことから²⁹⁾、今後対象者を中高年に限定することで被験食品による自覚する疲労感の改善効

果が認められる可能性がある。

本試験では、セサミンが血管において NO 産生を促進したほか、血管収縮物質を抑制し、セサミノールとともに血管組織の酸化を防止したことで、血管内皮機能が改善した可能性があった。加えて、セサミンがビタミン E の体内での利用能を高めたことで、ビタミン E の血流改善作用を増強し、血流速の増加が認められたと考えられる。また、セサミンやセサミノール、ビタミン E の抗酸化物質としての作用によって体内の酸化還元バランスが調整され、抗酸化能マーカーである PAO の改善が確認されたと推測される。しかし、*in vitro* もしくは *in vivo* における検証は実施していないため詳細なメカニズムの言及には至らなかった。ビタミン E は抗酸化物質ではあるものの、非ラジカルな分子に対しては効果がないことが知られている²⁶⁾。先述したスーパーオキシドアニオンはラジカルな物質であるが⁷⁾、非ラジカルな活性酸素もアテローム性動脈硬化症などの発症に関与していると考えられており、ビタミン E は酸化ストレス誘発性のすべての血管内皮機能低下に有効であるとは断定できない²⁶⁾。各成分による血流や抗酸化能の改善メカニズムは、血管における NO 産生促進、血管収縮抑制、血管組織の酸化防止によるものであることが先述した先行研究から推察されるが、各成分の機能面の特徴から明らかにすることが望ましいと考えられる。したがって、被験食品に含まれる成分がどのような活性酸素に対して抗酸化活性を示すのか検証することで、被験食品の

抗酸化作用および血流改善作用の作用機序を特定できると期待される。

結論

本試験では日頃冷えおよび疲れを感じている健康な日本人成人男女を対象に、純白ごま油またはビタミン E を配合した純白ごま油を 4 週間摂取した際の抗酸化および血流改善効果を検証した。被験食品に含まれるセサミンやセサミノール、ビタミン E の抗酸化作用や血管内皮機能改善作用により、血流速の増加や酸化還元バランスの改善が認められた。

【利益相反】

本試験は、瀬尾幹子、関圭吾、篠田綾子、中西智美の所属するかどや製油(株)が主宰し、試験の実施および論文執筆に関わるすべての費用を負担した。

飯尾晋一郎の所属は、かどや製油(株)が本試験を委託した(株)オルトメディコである。

本試験の実施はかどや製油(株)と(株)オルトメディコが共同で行った。

高良毅は、医療法人社団盛心会タカラクリニックに所属する本試験の責任医師であり、試験参加者の健康管理に当たった。

【謝辞】

本研究にご協力いただきました試験参加者、測定スタッフに感謝の意を表します。

参考文献

1. 厚生労働省：令和元年(2019)人口動態統計(確定数)の概況., https://www.mhlw.go.jp/toukei/saikin/hw/jinkou/kakutei19/dl/10_h6.pdf, cited 5 October, 2020.
2. 厚生労働省：国民の健康の増進の総合的な推進を図るための基本的な方針(健康日本21(第二次))., https://www.mhlw.go.jp/bunya/kenkou/dl/kenkounippon21_01.pdf, cited 5 October, 2020.
3. 東幸仁：閉塞性動脈硬化症と血管内皮機能. 日本脈管学会機関誌 **50**(6): 673–679, 2010.
4. Vanhoutte PM: Endothelium and control of vascular function. State of the Art lecture. *Hypertension* **13**(6_pt_2): 658–667, 1989.
5. Luscher TF: Imbalance of Endothelium-derived Relaxing and Contracting Factors: A New Concept in Hypertension? *Am. J. Hypertens.* **3**(4): 317–330, 1990.
6. 諸岡俊文, 野出孝一：血管内皮機能研究の進化. 日内会誌 **106**(4): 850–856, 2017.
7. Zhang J, Yang J, Chen G, Tang L, Li W, *et al.*: Sesamin ameliorates arterial dysfunction in spontaneously hypertensive rats via downregulation of NADPH oxidase subunits and upregulation of eNOS expression. *Acta Pharmacol. Sin.* **34**(7): 912–920, 2013.
8. Lemcke-Noröjärvi M, Kamal-Eldin A, Appelqvist L a, Dimberg LH, Ohrvall M, *et al.*: Corn and sesame oils increase serum gamma-tocopherol concentrations in healthy Swedish women. *J. Nutr.* **131**: 1195–1201, 2001.
9. Cooney R V, Custer LJ, Okinaka L, Franke AA: Effects of Dietary Sesame Seeds on Plasma Tocopherol Levels. *Nutr. Cancer* **39**(1): 66–71, 2001.
10. Ashor AW, Siervo M, Lara J, Oggioni C, Afshar S, *et al.*: Effect of vitamin C and vitamin E supplementation on endothelial function: a systematic review and meta-analysis of randomised controlled trials. *Br. J. Nutr.* **113**(8): 1182–1194, 2015.
11. Cao W, Dai M, Wang X, Yuan F, Chen F, *et al.*: Protective effect of sesaminol from *Sesamum indicum* Linn. against oxidative damage in PC12 cells. *Cell Biochem. Funct.* **31**(7): 560–565, 2013.
12. 日本臨床内科医会：わかりやすい病気のはなしシリーズ 9 高血圧. 5th ed., 日本臨床内科医会, 東京, 2018.
13. Lee C-C, Chen P-R, Lin S, Tsai S-C, Wang B-W, *et al.*: Sesamin induces nitric oxide and decreases endothelin-1 production in HUVECs: possible implications for its antihypertensive effect. *J. Hypertens.* **22**(12): 2329–38, 2004.
14. Nakano D, Kwak C-J, Fujii K, Ikemura K, Satake A, *et al.*: Sesamin metabolites induce an endothelial nitric oxide-dependent vasorelaxation through their antioxidative property-independent mechanisms: Possible involvement of the metabolites in the antihypertensive effect of sesamin. *J. Pharmacol. Exp. Ther.* **318**(1): 328–335, 2006.
15. 中野大介, 木曾良信, 松村靖夫：ゴマ由来成分の抗高血圧作用に関する研究. 大阪薬科大学紀要 **1**: 135–141, 2007.
16. Miyawaki T, Aono H, Toyoda-Ono Y, Maeda H, Kiso Y, *et al.*: Antihypertensive effects of sesamin in humans. *J. Nutr. Sci. Vitaminol.* (Tokyo). **55**(1): 87–91, 2009.
17. Nakano D, Itoh C, Ishii F, Kawanishi H, Takaoka M, *et al.*: Effects of sesamin on aortic oxidative stress and endothelial dysfunction in deoxycorticosterone acetate-salt hypertensive rats. *Biol. Pharm. Bull.* **26**(12): 1701–1705, 2003.
18. Nakano D, Itoh C, Takaoka M, Kiso Y, Tanaka T, *et al.*: Antihypertensive effect of sesamin. IV. Inhibition of vascular superoxide production by sesamin. *Biol. Pharm. Bull.* **25**(9): 1247–1249, 2002.
19. Scott R: Sesame seed lignans. PDR for Nutritional Supplements. pp.570–577, 2014.
20. 神村瑞夫：ビタミンEと皮ふ微細循環機能. ビタミン **33**(2): 166–173, 1966.
21. Sontag TJ, Parker RS: Cytochrome P450 ω -Hydroxylase pathway of tocopherol catabolism. *J. Biol. Chem.* **277**(28): 25290–25296, 2002.
22. Ikeda S, Tohyama T, Yamashita K: Dietary sesame seed and its lignans inhibit 2,7,8-Trimethyl- 2(2'-carboxyethyl)-6-hydroxychroman excretion into urine of rats fed γ -tocopherol. *J. Nutr.* **132**(5): 961–966, 2002.
23. 木曾良信：ゴマ：セサミン. ファルマシア **38**(11): 1083–1086, 2002..
24. Kiso Y, Moritani T: Antioxidative effects of sesamin during high intensity exercise. *Med. Sci. Sport. Exerc.* **35**(Supplement 1): S269, 2003.
25. Suja KP, Jayalekshmy A, Arumugan C: *In vitro* studies on antioxidant activity of lignans isolated from sesame cake extract. *J. Sci. Food Agric.* **85**(10): 1779–1783, 2005.
26. Niki E: Evidence for beneficial effects of vitamin E. *Korean J. Intern. Med.* **30**(5): 571–579, 2015.
27. 池田彩子：ビタミンEとビタミンKの代謝の相互作用. オレオサイエンス **14**(12): 539–545, 2014.
28. 渡辺恭良：疲労の科学・脳科学と抗疲労製品の開発. 日本生物学的精神医学会誌 **24**(4): 220–210, 2013.
29. Takemoto D, Yasutake Y, Tomimori N, Ono Y, Shibata H, *et al.*: Sesame lignans and vitamin E supplementation improve subjective statuses and anti-oxidative capacity in healthy humans with feelings of daily fatigue. *Glob. J. Health Sci.* **7**(6): 48–51, 2015.

【ノート】

シイタケ菌糸体の-20℃凍結保存における 凍結保護剤の性能評価 ～単糖，二糖，多価アルコール類の比較～

富樫 巖 (TOGASHI Iwao)*, 西脇 綾乃 (NISHIWAKI Ayano), 村上 希生 (MURAKAMI Kio),
梶 暉 (KAJI Hikaru), 鬼柳 春花 (KIYANAGI Haruka), 横田 喬央 (YOKOTA Takao)

Key Words : 食用菌, 菌体ディスク, 保存, 菌株, 凍結

[NOTE]

Performance evaluation of several kinds of cryoprotectants, monosaccharides, disaccharides and polyhydric alcohols for shiitake (*Lentinula edodes*) mycelia preservation at -20°C

Authors: Iwao Togashi*, Ayano Nishiwaki, Kio Murakami, Hikaru Kaji, Haruka Kiyonagi, Takao Yokota

***Corresponding author:** Iwao Togashi

Affiliated institutions:

National Institute of Technology (KOSEN), Asahikawa College,
(2-2-1-6, Shunkodai, Asahikawa City, Hokkaido, 071-8142, Japan.)

Key Words: Edible mushroom; Mycelial disk; Preservation; Strain; Freezing

Abstract

The performance of several kinds of cryoprotectants (i.e. monosaccharides, disaccharides and polyhydric alcohols) for cryopreservation of shiitake (*Lentinula edodes*) mycelia at -20°C was compared by measuring the survival rate until 20 weeks. The mycelium agar discs of four strains (ANCT-05072, NBRC 30877, NBRC 31107 and NBRC 31864) soaked in 40% (w/w) saccharide aqueous solutions (glucose, fructose, xylose, maltose, sucrose, trehalose and erythritol) or 10% (w/w) glycerol aqueous solution as cryoprotectants were incubated at 25°C for 24 h before freezing. For 20 weeks, the survival rate of the four strains was 100% only in sucrose. With glucose, fructose and maltose, the survival rate until 20 weeks was 100% in two strains. In a week, the four strains' rates were low with polyhydric alcohols (erythritol, glycerol), and were less than 100% in the erythritol aqueous solution. Hight of the ability for cryopreservation in this study condition was sucrose > glucose ≒ maltose > fructose > trehalose > xylose > glycerol > erythritol. The order of the cryoprotectants' high performance except trehalose was disaccharides > monosaccharides > polyhydric alcohols. As for the mycelial growth rate after cryopreservation of the four strains with 40% (w/w) sucrose aqueous solution for 20 weeks, there was no difference between the controls (subcultured ones). In future studies, sucrose's performance is expected.

富樫 巖 (Iwao Togashi)* (責任著者) E-mail: togashi@asahikawa-nct.ac.jp

(独) 国立高専機構 旭川工業高等専門学校 (〒 071-8142 旭川市春光台 2 条 2 丁目 1-6)

はじめに

菌体ディスク法を用いる食用菌・菌株の凍結保存では菌種・菌株・凍結保護液の組合せによる差異があるが、-20°Cでは超低温の-85°Cや液体窒素の-196°Cと比べて生存率が低く、特にシイタケ (*Lentinula edodes* (Berk.) Pegler) とヒラタケ (*Pleurotus ostreatus* (Jacq.) P. Kumm.) の-20°C凍結感受性が高い(死滅しやすい)ことが報告^{1,2)}されている。一方、著者らは食用菌・菌株の凍結保存の低コスト化を狙い、-20°Cの利用可能性を検討^{3,4)}してきた(加えて、本誌 55(1): 6-12, 2013.; 62(6): 391-398, 2020.; 63(3): 177-184, 2021. 参照)。その結果、シイタケ菌株においてグルコースやマルトースの40% (w/w) 水溶液を凍結保護液に用いると10% (w/w) グリセリン水溶液よりも生存率が改善する³⁾こと、ヒラタケ菌株と40% (w/w) グルコース水溶液の組合せにおいて25°C (または7°C) で24時間放置する前処理によって-20°C凍結保存の生存率が改善される⁴⁾こと、およびシイタケ菌株と数種類の40% (w/w) 糖水溶液の組合せにおいて25°C (または7°C) で24時間放置する前処理によって-20°C凍結保存の生存率が改善されることをそれぞれ明らかにした(本誌 63(3): 177-184, 2021. 参照)。

本研究では、凍結保護液にグルコース等の単糖、マルトース等の二糖、エリスリトール等の多価アルコール類の計8種類の水溶液を用いて-20°Cでシイタケ菌糸体を最大20週間凍結保存し、その生存率変化から単糖や二糖等の物質群別の凍結保護性能を比較した。

1. 実験方法

1-1. 供試菌株と凍結保存方法

シイタケ供試菌株にはANCT-05072 (旭川高専保存株)、NBRC 30877, NBRC 31107 およびNBRC 31864の合計4菌株を用いた。いずれもPDA培地(日本製薬製)で継代培養保存(7°C)していたものである。凍結保存に供試する菌体ディスクの作成には、直径90 mmのシャーレを使用したPDA平板培地を用いた。各供試菌株を接種後に、25°Cで14日間培養したコロニーからコルクボーラーで寒天培地ごと打ち抜くことで直径5 mmの菌体ディスクを得た。

1.5 mLのマイクロチューブ(エッペンドルフ製、以下チューブと記す)に菌体ディスク5個を入れ、

凍結保護液として高圧蒸気滅菌(121°C・15分間)した約1 mLの糖類等の各水溶液で満たした。糖類等としてはグルコース、フルクトース、キシロース(以上、単糖)、マルトース、スクロース、トレハロース(以上、二糖)、エリスリトール、グリセリン(以上、多価アルコール類)を供試した。各水溶液の濃度としてはグリセリンのみが10% (w/w)で、それ以外の7種類は40% (w/w)とした。その後、25°Cで24時間放置する前処理を施して-20°Cのフリーザーで最大20週間の凍結保存を行った。なお、前処理を行わずに凍結保存する試験区を併せて設けた。以上の操作と1-2に示す生存率の測定を2〜3回繰り返した。

1-2. 生存率と菌糸伸長量の測定方法

経時的にチューブをサンプリングして30°Cのアルミブロックに5分間差し込んで解凍し、チューブ内の菌体ディスク5個を1枚のPDA平板培地に接種した。25°C・10日間の培養を行うことで同ディスクからの菌糸再生状況を実体顕微鏡観察した。菌糸が再生して平板培地に活着した時点で生存と判断し、1組5個の菌体ディスクの活着で生存率100%とした。

スクロース水溶液を使用し、20週間凍結保存後に生存率を測定した4菌株のサンプルについては、寒天培地ごと白金鉤で切り出した接種源を新たなPDA平板培地に接種・培養した後に3か月間7°Cで保存した。その後、各菌株のコロニーからコルクボーラーで寒天培地ごと打ち抜くことで得た直径5 mmの菌体ディスクを1枚のPDA平板培地の中央部に1個接種し、25°Cでの菌糸伸長量を測定した。菌体ディスク数の反復数は3個とし、各PDA平板培地のシャーレ裏面に直交する直線を引き、菌体ディスクの縁からコロニーの先端までの4方向(半径方向)を経時的に10日間測定した(各測定データ数は12となる)。また、対照として各供試菌株の継代培養保存株のコロニーから得た菌体ディスクの菌糸伸長量も同様に測定した。

1-3. 凍結保護液の物性測定(pH, Aw, 糖度)

各凍結保護液のpH(25°C)の測定はニッコー・ハンセン社のpH計を用い、水分活性Aw(25°C)の測定はアイネクス社のポータブル水分活性

計 Pawkit を用い、および糖度 (25℃) の測定は AS ONE 社のポケット糖度計 (液体糖度計) を用いてそれぞれ行った。

2. 結果と考察

2.1. 凍結保存菌株の生存率変化

単糖、二糖、および多価アルコール類を用いた 8 種類の凍結保護液を供試し、前処理ありと前処理

なしの両条件にて最大 20 週間-20℃で凍結保存を行った供試菌株の生存率変化を表 1 に示す。表中の“100”は 2～3 回の測定で生存率 100% のみ、“≤100”は生存率が 0～100% で変動、“<100”は生存率が 0～100% 未満、“0”は生存率が 0% のみをそれぞれ示している。

表 1 の左側に示す前処理あり区において、単糖の凍結保護液の結果に注目するとキシロース水溶液

表 1 単糖、二糖、多価アルコール類の 8 種類の凍結保護液を用いた-20℃凍結保存におけるシイタケ菌株の生存率変化

凍結保護液	供試菌株	前処理あり区の生存率 (%) ^{a, b)}						前処理なし区の生存率 (%) ^{a, b)}			
		凍結期間 (週)						凍結期間 (週)			
		1-2	4	8	12	16	20	1	4	8	12
40% (w/w) グルコース 水溶液	ANCT-05072	100	100	100	100	100	100	100	100	≤100	≤100
	NBRC 30877	100	100	100	100	100	100	100	≤100	0	0
	NBRC 31107	100	100	100	100	≤100	≤100	<100	0	0	0
	NBRC 31864	100	100	100	100	≤100	≤100	≤100	<100	<100	<100
40% (w/w) フルクトース 水溶液	ANCT-05072	100	100	100	100	100	100	≤100	<100	0	0
	NBRC 30877	100	100	100	100	100	100	≤100	<100	0	0
	NBRC 31107	100	100	100	<100	0	0	<100	0	0	0
	NBRC 31864	100	≤100	≤100	≤100	≤100	≤100	<100	0	0	0
40% (w/w) キシロース 水溶液	ANCT-05072	100	100	≤100	≤100	<100	0	100	<100	0	0
	NBRC 30877	100	100	≤100	<100	<100	<100	100	<100	0	0
	NBRC 31107	100	<100	<100	<100	<100	0	<100	0	0	0
	NBRC 31864	100	100	<100	0	0	0	<100	0	0	0
40% (w/w) マルトース 水溶液	ANCT-05072	100	100	100	100	100	100	100	100	≤100	≤100
	NBRC 30877	100	100	100	100	100	≤100	100	≤100	≤100	≤100
	NBRC 31107	100	100	≤100	≤100	≤100	<100	<100	0	0	0
	NBRC 31864	100	100	100	100	100	100	100	0	0	0
40% (w/w) スクロース 水溶液	ANCT-05072	100	100	100	100	100	100	100	100	≤100	≤100
	NBRC 30877	100	100	100	100	100	100	100	100	100	≤100
	NBRC 31107	100	100	100	100	100	100	100	0	0	0
	NBRC 31864	100	100	100	100	100	100	100	≤100	≤100	<100
40% (w/w) トレハロース 水溶液	ANCT-05072	100	100	100	≤100	≤100	≤100	100	≤100	0	0
	NBRC 30877	100	100	100	≤100	≤100	≤100	100	≤100	≤100	0
	NBRC 31107	100	≤100	≤100	0	0	0	<100	0	0	0
	NBRC 31864	100	100	100	≤100	0	0	100	≤100	≤100	≤100
凍結期間 (週) →		1	2	3	5			1	2	3	5
40% (w/w) エリスリトール 水溶液	ANCT-05072	≤100	≤100	<100	0			<100	<100	0	0
	NBRC 30877	≤100	<100	0	0			0	0	0	0
	NBRC 31107	≤100	<100	0	0			<100	<100	0	0
	NBRC 31864	<100	0	0	0			0	0	0	0
凍結期間 (週) →		1	2	4	7	10		1	4	7	
10% (w/w) グリセリン 水溶液	ANCT-05072	100	100	100	0	0		100	<100	0	
	NBRC 30877	100	100	100	100	<100		100	0	0	
	NBRC 31107	100	≤100	0	0	0		0	0	0	
	NBRC 31864	100	100	<100	<100	0		0	0	0	

a) : 平板培地へ接種した 1 組 5 個の菌体ディスクの全てに菌糸活着が生じると生存率 = 100%,

b) : 2～3 回の繰返し実験結果

注) 100 : 複数回の測定で生存率 100% のみ, ≤100 : 複数回の測定で生存率が 0～100%

で変動, <100 : 複数回の測定で生存率が 0～100% 未満, 0 : 2 回の測定で生存率が 0% のみ

での生存率 100% 維持期間 (表中の 100) が 4 菌株共に 4 週間程度と短く, 20 週間後には NBRC 30877 を除く 3 菌株が生存率 0% であった。一方, グルコースとフルクトースの水溶液では, ANCT-05072 と NBRC 30877 の生存率 100% が 20 週間維持された。NBRC31107 と NBRC 31864 の生存率 100% 維持期間は, グルコースで両者 12 週間, フルクトースでそれぞれ 8 週間と 2 週間であり, グルコース水溶液の凍結保護性能が優れていた。

前処理あり区の二糖の凍結保護液では, マルトースやスクロースと比べ, トレハロース水溶液で生存率 100% 維持期間が NBRC 31107 の 2 週間から他 3 菌株の 8 週間と短かった。一方, マルトース水溶液では NBRC 30877 と NBRC 31107 を除く 2 菌株, スクロース水溶液では 4 菌株でそれぞれ 20 週間継続して生存率 100% であった。

前処理あり区の高価アルコール類では, エリスリトール水溶液の凍結保護性能が非常に低く, 供試菌株の生存率 100% を 1 週間維持することが難しかった。超低温での凍結保存や液体窒素での凍結保存において汎用される 10% (w/w) グリセリン水溶液では, -20°C での凍結保護性能が低いことが再確認された (本誌 62(6): 391-398, 2020. 参照)。生存率 100% 維持期間は菌株によって異なり, NBRC 31107 の 1 週間から NBRC 30877 の 7 週間であった。以上から, 前処理あり区の -20°C における各水溶液の凍結保護性能については, スクロース (二糖) > グルコース (単糖) ≒ マルトース (二糖) > フルクトース (単糖) > トレハロース (二糖) > キシロース (単糖) > グリセリン (多価アルコール類) > エリスリトール (多価アルコール類) の順に低下した。一部逆転しているところもあるが, 20 週間保存後の物質群別の凍結保護性能としては, ほぼ二糖 > 単糖 > 多価アルコール類の傾向がみられた。

表 1 の右側に示す前処理なし区においては, 全ての凍結保護液で生存率 100% 維持期間が顕著に短く, 1 週間後に 4 菌株が揃って 100 となったのはスクロース水溶液のみであり, 前処理の効果⁴⁾ が再確認された (本誌 63(3): 177-184, 2021. 参照)。また, スクロース水溶液では ANCT-05072 が 4 週間後, NBRC 30877 が 8 週間後まで生存率 100% を維持した。同じく二糖水溶液のマルトースとトレハロースでは NBRC 31107 を除く 3 菌株で 1 週間後の生存率

が 100% となった。多価アルコール類では 1 週間後の生存率 0% が多数観察された。以上から, 前処理なし区の -20°C における各水溶液の凍結保護性能についても二糖 > 単糖 > 多価アルコール類の順に低下する傾向がみられた。

2-2. 凍結保存菌株の菌糸再生挙動

1-2 で述べたように生存率は 25°C ・10 日間培養で測定した。この 10 日間における菌体ディスクからの菌糸再生挙動例を図 1 と図 2 に示す。図 1 は

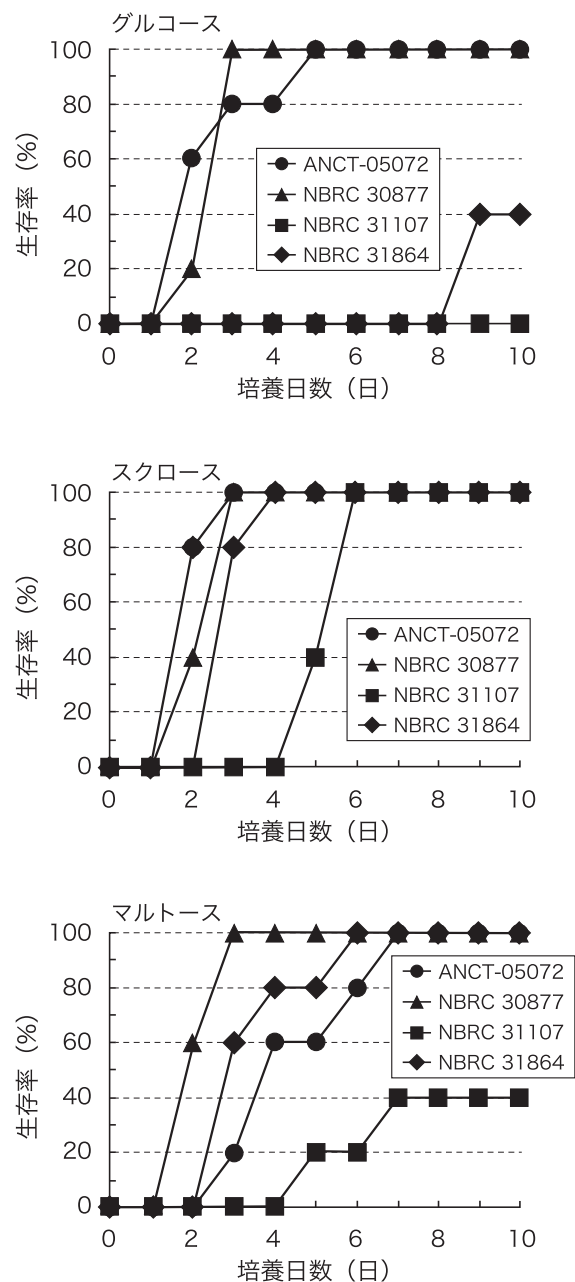


図 1 前処理あり区・20 週間凍結保存後の各菌体ディスクの菌糸再生挙動
(25°C 培養; 上: 40% (w/w) グルコース水溶液, 中: 40% (w/w) スクロース水溶液, 下: 40% (w/w) マルトース水溶液)

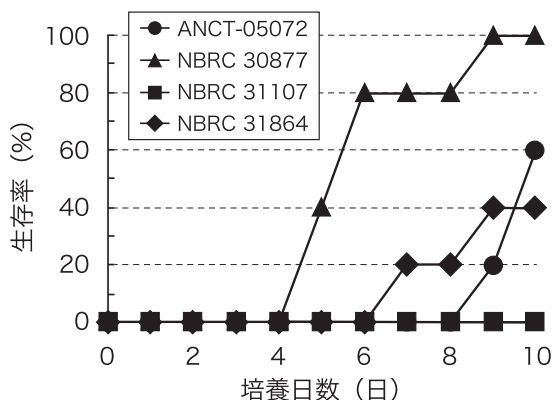


図2 前処理なし区・12週間凍結保存後の各菌体ディスクの菌糸再生挙動
(25℃培養；40% (w/w) スクロース水溶液)

前処理あり区の20週間凍結保存後のもので、上から40% (w/w) グルコース水溶液、40% (w/w) スクロース水溶液、そして40% (w/w) マルトース水溶液における各菌株の生存率の経時的変化である。図2は前処理なし区の12週間凍結保存後の40% (w/w) スクロース水溶液での生存率の経時的変化である。図1の前処理あり区では、グルコースでNBRC 31107とNBRC 31864が生存率100%に達せず、マルトースでNBRC 31107が生存率100%に達しなかった。一方、スクロースでは菌糸再生の早さに菌株による差異がみられたものの4菌株共に生存率100%に達した。前処理なし区のスクロースで生存率100%に到達したのはNBRC 30877のみで、前処理あり区と比較して生存率100%に達した菌株が少なかった。加えて、前処理なしでは菌糸活着までの誘導期間（PDA平板培地に接種した菌体ディスクから菌糸活着が確認されるまでの時間）が長くなる傾向がみられた。

全般的な傾向として、生存率が100%に達しない菌株や凍結保護液では誘導期間が長く、生存率100%が維持されている試験区では誘導期間が短くなる⁴⁾ことが再確認された（本誌62(6): 391-398, 2020.; 63(3): 177-184, 2021. 参照）。なお、未凍結の菌体ディスク（継代培養保存）では誘導期間が短く、いずれの菌株でも2日以内に生存率100%に達した。-20℃凍結後の菌体ディスクからの菌糸再生が遅れるのは、菌糸体が凍結ストレス（細胞の損傷）を受けており、解凍・培養開始後にその回復に時間を必要としているためと推察できる。前処理あり区で誘導期間（菌糸再生）が短いのは、菌体ディ

スク（栄養寒天培地と菌糸体）に取り込まれた糖分子などによって凍結ストレスが緩和された可能性が考えられる。

2-3. 20週間凍結保存菌株・再生菌糸体の菌糸伸長挙動

高濃度糖水溶液の利用と25℃・24時間の前処理、シイタケ菌株ではこれまでの-20℃凍結最長となる20週間後の菌株変異の有無を観察した。全供試菌株の生存率100%が20週間維持された前処理あり区のスクロースに注目し、各菌株の再生菌糸体の菌糸伸長挙動を25℃で測定して対照（各継代培養保存）と比較した。これまでの検討・報告¹⁻⁴⁾から、凍結・解凍直後の菌体ディスクからの菌糸伸長挙動は対照よりも誘導期間が長くなることが分かっている（本誌55(1): 6-12, 2013.; 62(6): 391-398, 2020.; 63(3): 177-184, 2021. 参照）。そこで今回は、生存率測

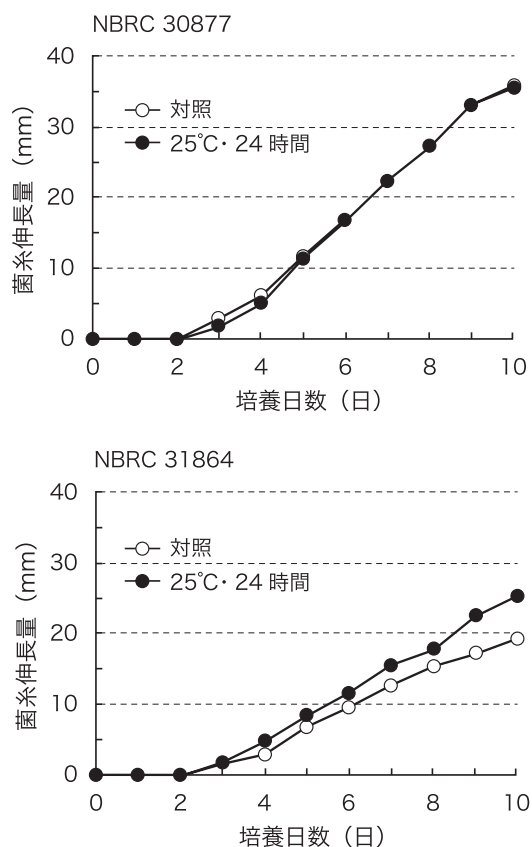


図3 40% (w/w) スクロース水溶液で-20℃・20週間凍結保存した菌体ディスクから得た再生菌糸体の菌糸伸長挙動

(25℃培養；上：NBRC 30877, 下：NBRC 31864)

注) 対照：継代培養保存株、
25℃・24時間：前処理後に凍結保存した菌体ディスクの再生菌糸体を7℃・3ヶ月間保存した菌株；各平板の反復数は3（コロニーの半径方向測定データ数12）

定後に新たな PDA 平板培地に接種・培養した再生菌糸体を 7°C で 3 ヶ月間保存し、凍結ストレスの緩和を試みた各菌株から得た菌体ディスクからの菌糸伸長挙動を測定した。一例として、図 3 に NBRC 30877 (上図) と NBRC 31864 (下図) の結果を対照と共に示す。

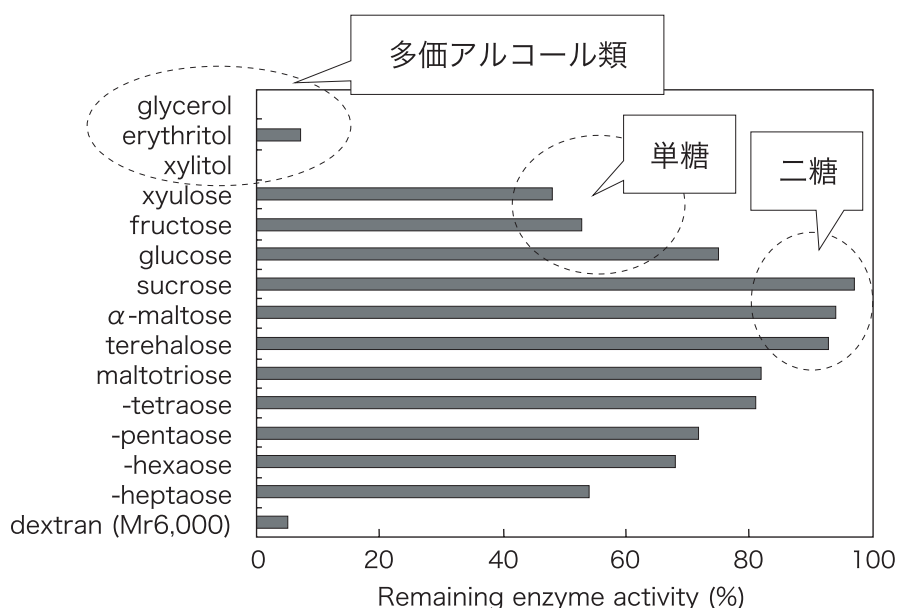
菌株によって経時的な菌糸伸長量に多少の差はあるものの、誘導期間の長さ、各グラフの傾き (菌糸成長速度) は対照と比べた差異はほぼなく、図に示していない ANCT-05072 と NBRC 31107 についても同様の挙動であった。また、いずれのコロニー外観についても対照と差異がないことから、本検討条件において凍結保存後の菌株に不可逆的な変異は生じていない可能性が高い。

おわりに

-20°C でシイタケなど食用菌の菌糸体が死滅し易い主要因としては、凍結により菌糸体の細胞の内外に氷の核が形成し、それが結晶成長し易い温度であるために物理的な細胞損傷に至る⁵⁾と考えられる。本研究では凍結保護液に高濃度糖水溶液を用いたこと、前処理操作により菌体ディスク (寒天ゲルと菌糸細胞) への各糖分子の取り込み量が増大したことにより、高浸透圧 (特に凍結中) により菌糸細胞の脱水が生じ、細胞内のガラス化や細胞内の水分子の結合水化が促進される可能性^{6,7)}がある。さらには、寒天ゲル内の氷晶成長の抑制も生じることで菌糸細胞外部からの物理的ダメージが減少し³⁾、菌糸体の生存率が改善したと推察する。

表 2 試供した凍結保護液の各物性値 (25°C)

凍結保護液	pH	Aw	Brix 糖度
40% (w/w) グルコース水溶液	4.0	0.92	41.0
40% (w/w) フルクトース水溶液	3.0	0.92	41.0
40% (w/w) キシロース水溶液	3.3	0.93	39.4
40% (w/w) マルトース水溶液	3.3	0.95	29.9
40% (w/w) スクロース水溶液	4.7	0.94	42.5
40% (w/w) トレハロース水溶液	5.3	0.95	34.6
40% (w/w) エリスリトール水溶液	5.2	0.96	26.6
10% (w/w) グリセリン水溶液	4.7	0.98	8.4



各種糖 (10 mg/mL) 共存下で凍結乾燥したときの酵素 (alkaline phosphatase from calf intestine) の残存酵素活性 (凍結操作前の酵素活性に対する相対値)。酵素濃度は 72 ng/mL。

図 4 各種糖類を安定化剤に用いたアルカリホスファターゼ水溶液の凍結乾燥後の残存酵素活性
注) 今村維克: タンパク質水溶液の凍結乾燥, 生物工学会誌, 96(3), 137-141 (2018) を一部改変した

一方、本研究で供試した各凍結保護液の保護性能には差異が認められ、ほぼ二糖>単糖>多価アルコール類の傾向がみられた。従って高濃度糖水溶液による浸透圧のみが凍結保護性能を支配したとは考え難く、各糖分子または各水溶液の何らかの違いによる影響が示唆される。供試した各凍結保護液のpH, Aw（水分活性）, Brix 糖度を表2に示す。-20℃凍結・20週間保存後の4菌株の生存率から判断した凍結保護液の性能は、スクロース>グルコース≒マルトース>フルクトース>トレハロース>キシロース>グリセリン>エリスリトールの順に低下したが、この序列を表2に示した各物性値と関連付けることは難しい。

一方、凍結乾燥した酵素の安定性を示す一例として、今村が報告した各種糖類を安定化剤に用いた凍結乾燥後のアルカリホスファターゼの残存酵

素活性⁸⁾を図4に示す（酵素濃度は72 ng/mL, 各種糖類の濃度は10 mg/mL）。凍結乾燥後の残存酵素活性維持傾向としては、高い方から二糖>単糖>多価アルコール類であり、本研究で供試した凍結保護液の保護性能との類似性がある。今村によると、凍結乾燥時のタンパク質変性（分子構造の変化）を防ぐ安定化効果は分子サイズの大きさから単糖より二糖が有効⁸⁾とされる。-20℃凍結保存時にシイタケ菌糸体の生存維持に寄与する糖類の特性、そして酵素（タンパク質）の凍結乾燥において酵素の活性維持に寄与する糖類の特性が100%一致することは考え難いが、一部に共通する特性が存在する可能性もあり興味が持たれる。今後においては、二糖のスクロースの凍結保護性能に注視してシイタケ菌株の-20℃長期凍結保存の検討を進めたい。

参考文献

1. Ohmasa M, Abe Y, Babasaki K, Hiraide M, Okabe K: Preservation of cultures of mushrooms by freezing. *Transactions of the Mycological Society of Japan* **33**(4): 467-479, 1992.
2. 大政正武：遺伝資源研究－最近の進歩(2)－栽培きのこ菌株の超低温保存法の検討－. 農業技術 **48**(2): 74-77, 1993.
3. 富樫 巖, 大谷和也, 安東敬史, 細川芽衣, 曾我 瞳, 幸田有以：シイタケ菌糸体の-20℃凍結保存における高濃度糖水溶液と寒天培地の影響. 日本菌学会会報 **57**(2): 93-98, 2016.
4. 富樫 巖, 新井 悠：-20℃凍結保存におけるヒラタケ菌糸体に対する高濃度グルコース水溶液の保護効果. 日本菌学会会報 **60**(2): 37-41, 2019.
5. 白樫 了：糖類（トレハロース）の細胞内凍結抑制？. 生産研究 **55**(2): 150-152, 2003.
6. 渡辺 信：環境問題と微生物の保存. 環境技術 **27**(7): 485-487, 1998.
7. 桑野和可：藻類の凍結保存. 日本藻類学会創立50周年記念出版・21世紀初頭の藻学の現況, 堀 輝三・大野正夫・堀口健雄共編. 山形, 日本藻類学会, 108-111, 2002.
8. 今村維克：タンパク質水溶液の凍結乾燥. 生物工学会誌 **96**(3): 137-141, 2018.

サルコペニアと その予防としての栄養管理

窪田 倭 (KUBOTA Sunao)¹

¹ 三多摩医療生活協同組合 国分寺診療所 副理事長 (総合診療科医)

Key Words: サルコペニア, EWGSOP, AWGS, フレイル, サプリメント

はじめに

我が国の高齢化のスピードは世界でも類を見ない速さで進み、2020年の65歳以上の高齢者数は3617万人で、総人口の28.4%となっている¹⁾。75歳以上の後期高齢者は1871万人、14.9%で、100歳以上の超高齢者は約8万人で0.06%を占め超高齢化社会になっている²⁾。高齢になると身体機能の低下がみられるが、特に筋肉量や筋力の低下は移動機能(歩く・走る・立つ・座るなど)の低下を招き日常生活活動に支障をきたす。さらに、社会参加にも支障をきたし孤立して悪循環に陥る。また、単純な要因にて転倒・骨折を引き起こし要介護状態となる。厚生労働省国民生活基礎調査によると、高齢による衰弱は要介護になった理由の3位(13.3%)を占めている³⁾。要介護または要支援の認定者数は年々増加し600万人を超え、その内、約86%は75歳以上の後期高齢者が占めている⁴⁾。それに伴い介護保険総額も2000年の3.6兆円から2018年は約3倍の10兆円を超えている⁵⁾。

一方、総人口は年々減少し、生産年齢の人口は1995年の8726万人のピークを経て2019年では7505万人に減少し、2040年には6000万人になると推定されている⁶⁾。2042年には高齢者数は約4000万人になると推定されていることより、高齢者の医療や介護に対する経済的、社会的負担が生産年齢者層の肩に大きく掛かることとなる。高齢者の健康維持・増進は我が国においての喫緊の課題である。

加齢による筋肉量や筋力の低下をはじめとする生理的予備能の低下は、過っては生理的現象として「年のせい」あるいは「老化」として積極的な介入はなされていなかった。しかし、高齢者人口が増加して

いる現状において、「転倒・骨折」などにより「寝たきり状態」すなわち要介護に導き、医療費増大の大きな要因となってきた。我が国において要介護になった要因について1位は認知症(18.0%)、2位は脳血管障害(16.6%)、3位は高齢による衰弱(13.3%)、4位は骨折・転倒(12.2%)と報告されている³⁾。筋肉、骨に関連した要因が25.5%を占めている。「年のせい」あるいは「老化」で済ますことができなくなり、運動・移動機能の面での病態、治療戦略そして予防などの確立が求められている。

加齢による運動・移動機能の低下の代表的な病態として、フレイル、サルコペニアそしてロコモティブシンドローム(ロコモ)が挙げられる。フレイルについては既に解説したごとく⁷⁾、フレイルとは、「加齢に伴う予備能力の低下のため、ストレスに対する回復力が低下し身体機能障害や健康障害を起こしやすい状態」と定義されている⁸⁾。具体的には、フレイルは健康障害に対する脆弱性が増加して、要介護状態に至る前段階として位置づけられ、自立障害や死亡を含む健康障害を招きやすいハイリスク状態を意味する⁸⁾。ただし、要介護状態に至る前段階ではあるが、適切な介入により健常な状態(自立できる状態)に戻る可能性が含まれている。フレイルは骨格筋量や筋力の低下に代表される身体的問題(身体的フレイル)に加えて、認知機能障害やうつ状態などの精神・心理的問題(精神・心理的フレイル)、および閉じこもりや経済的困窮などの社会的問題(社会的フレイル)を含む概念とされている⁸⁾。

サルコペニアおよびロコモはフレイルに比べてその国民認知度は低い。三者は完全に独立した疾患概念ではなく、いずれもサルコペニアという疾患概念

が中核にあることより互いに関連している。そこで、本稿においてサルコペニアについて概説し、サルコペニアと最も関連のある筋肉、そして予防としての栄養管理について解説する。なお、サルコペニアは身体的フレイルと類似の病態であり、身体的フレイルの主要因とされていることより、栄養管理の項の引用文献においてフレイルに関する文献も含まれている。

1. サルコペニアについて

1. 定義

Rosenberg は 1988 年に加齢に伴う骨格筋の機能低下をサルコペニア (Sarcopenia) と命名し、その定義を四肢骨格筋量の低下とした⁹⁾。その後、筋力の低下や歩行速度に代表される身体機能低下に筋肉量の低下が加わると、日常生活動作 (ADL: Activities of Daily Living) の低下、転倒・骨折、入院、死亡リスクが高まることより、EWGSOP (The European Working Group on Sarcopenia in Older People) は「筋量と筋力の進行性かつ全身性の減少に特徴づけられる症候群で、身体機能障害、QOL 低下、死のリスクのともなうもの」と定義づけた¹⁰⁾。我が国では「高齢期にみられる骨格筋量の減少と筋力もしくは身体機能 (歩行速度など) の低下」と定義している¹¹⁾。しかし、2018 年の EWGSOP 改訂版では、筋力の低

下は最も信頼性の高い筋機能の指標であることより筋力低下を重視し、加えて筋肉量が減少しておればサルコペニアと診断する。そして「身体機能 (歩行速度など) 低下」が加わればサルコペニアの重症と判定されるように改正された¹²⁾。2016 年には国際疾病分類 (ICD-10) の一つとして独立した疾患として認識されている。

2. 診断基準

2010 年 EWGSOP により高齢者のサルコペニアに関する診断基準が提案され広く用いられるようになった¹⁰⁾ (図 1)。2014 年にアジア人向けの診断基準が AWGS (Asian Working Group for Sarcopenia) により発表され、我が国でもこの診断基準が用いられている (図 1)¹³⁾。両診断基準も四肢骨格筋量と共に握力および歩行速度の測定がサルコペニアの診断には必須である。図 1 に示す如く最初に歩行速度と握力が測定され、いずれかが低値を示したら筋肉量を測定して低値であればサルコペニアと診断する。しかし、2018 年 EWGSOP 改訂版では歩行速度の測定はサルコペニアの診断には必須ではなく、重症度の評価に用いられることが挙げられている¹²⁾。この歩行速度の取り扱いが AWGS と異なり今後の課題とされている。

診断に必須の骨格筋量測定には、二重エネルギー

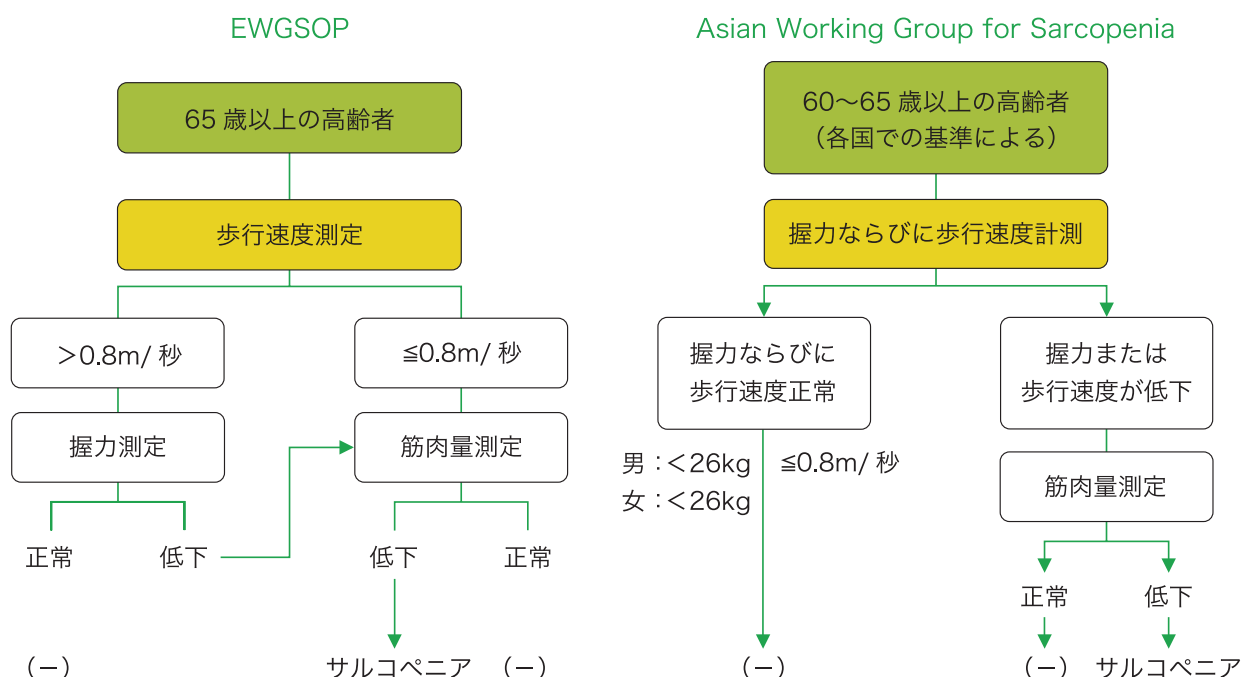


図1 EWGSOPとAWGSによるサルコペニアの診断手順

(葛谷雅文, 雨海照祥 編集: 栄養・運動で予防するサルコペニア. 医歯薬出版株式会社, 2018 年より引用)

表1 サルコペニアとフレイルの診断項目の類似点と相違点

		サルコペニア (AWGS)	フレイル
客観的測定項目	筋肉量	DXA, BIA にて測定 低筋肉量 DXA 男性< 7.0kg/m ² 女性< 5.7kg/m ² BIA 男性< 7.0kg/m ² 女性< 5.4kg/m ²	体重減少 6 か月間の体重減少 2 ~ 3kg
	筋力	握力 男性< 26kg 女性< 18kg	握力 男性< 26kg 女性< 18kg
	歩行速度	通常歩行速度 0.8m/ 秒以下	通常歩行速度 1.0m/ 秒以下
主観的測定項目	疲労感	不要	直近 2 週間での有無
	積極的な運動の有無	不要	・ 軽い運動, 体操の有無 ・ 定期的な運動, スポーツの有無

X 線吸収測定法 (DXA) と生体電気インピーダンス法 (BIA) とがある。前者はエネルギーの強さが異なる 2 種類の X 線を生体に照射し、組織を通過する際の吸収率の差から骨密度、脂肪量、除脂肪量に分けて計測する。四肢ではそのほとんどが骨量、体脂肪量、除脂肪量で構成され、除脂肪量は骨格筋量とほぼ同等とされている。この方法は骨格筋量測定の標準とされているが放射能被曝の欠点がある。後者の BIA は骨、脂肪、筋肉などの電気抵抗の差があることを利用して、生体に微弱な交流電気を流してそれぞれを測定する。正確性は DXA に比較して劣るが簡便で無侵襲である利点がある。

3. 頻度 (有病率)

我が国のサルコペニアの有病率は、AWGS を診断基準に用いた Yoshimura *et al.* は、60 歳以上の高齢者 1099 名の有病率は 8.2% (男性 8.5%, 女性 8.0%) であることを報告している¹⁴⁾。これを年代順、60 ~ 64 歳、65 ~ 69 歳、70 ~ 74 歳、75 ~ 79 歳、80 歳以上で検討すると、男性では 0.5%, 0.0%, 4.3%, 11.2%, 27.0% で、女性は 0.0%, 0.0%, 4.1%, 10.9%, 28.7% であり、男女共に年代とともに上昇するが、両者間での有意な差は見られなかった¹⁴⁾。また、Yuki *et al.* は 65 歳以上の高齢者 949 名の有病率は、全体では 8.6% (男性 9.6%, 女性 7.7%), 年代別 65 ~ 74 歳、75 ~ 84 歳、85 歳以上で検討すると、男性は 2.3%, 15.3%, 47.8% で、女性は 5.0%, 11.7%, 6.1% で、男性では年代と有病率との間に有

意の相関が見られたことを報告している¹⁵⁾。一方、EWGSOP を用いた Yoshida *et al.* の 65 歳以上の地域住民 4811 名の報告では、全体では 7.5% (男性 8.2%, 女性 6.8%) であり、年齢とともに有病率は上昇するが、80 歳以上で比較検討すると、男性は 25.0%, 女性は 12.2% で男性に高いことを報告している¹⁶⁾。

EWGSOP を診断基準に用いた全世界からの報告論文のメタ解析によると、地域高齢者の有病率は 1 ~ 29%, 長期施設入居者は 14 ~ 33% である¹⁷⁾。多くの報告では有病率は年代の上昇と共に増加するが、男女間での差はなかったと報告している。他のメタ解析によると、全世界の 60 歳以上の地域高齢者の有病率は男女とも 10% であり、筋肉量測定に BIA を用いた報告ではアジア人は、男性では欧米人の 19% に対して 10%, 女性では 20% に対して 11% と男女ともに低いことを報告している¹⁸⁾。

以上より、我が国の有病率は全体では 7.5 ~ 8.6% であり、欧米人に比較して低い傾向にある。

4. 転帰 (予後)

加齢による筋肉量、特に下肢の筋肉量の低下がサルコペニアの診断の主項目であることより、サルコペニア患者の QOL の低下や ADL および手段的日常動作 (IADL: Instrumental Activities of Daily Living) の低下が予想される。

患者自身の健康関連 QOL を測定する代表的な包括的尺度に SF-36 がある。患者の視点に立脚した健康度およびこれに伴う日常・社会的な生活機能の変化

を、計量心理学的手法により量的に測定することを目的として作成された尺度である。「身体的健康度」と「精神的健康度」の2因子と相関する8尺度（ドメイン）、すなわち、身体機能、日常役割機能（身体）、体の痛み、全体的健康感、心の健康、日常役割機能（精神）、社会生活機能、活力より構成されている¹⁹⁾。サルコペニア患者は8尺度（ドメイン）の内「身体機能」のみ^{20,21)}、あるいは「身体機能」および「全体的健康感」の尺度の低下がみられることが報告されている²²⁾。「身体機能」の得点が低いことは、「入浴または着替え活動を自力で行うことがとても難しい」ことを意味しており、「全体的健康感」の得点の低下は「健康状態がよくなく、徐々に悪くなっていく」ことを意味している。サルコペニア患者の精神的健康度は保たれてはいるが、身体的健康度は落ちていることが推測される。

Jansen *et al.* は、サルコペニア2度（骨格筋量指数（skeletal muscle index:SMI）が成人男女の平均値-2 SD 以下）の男性は、ADLの低下有の割合は18.5%、女性は38.5%と正常SMI高齢者（SMIが成人男女の平均値+1 SD）に比較して有意に高い（ $P<0.05$ ）ことを報告している²³⁾。具体的な身体活動の低下には、サルコペニア患者は正常高齢者に比較して、男性では「前屈位あるいはひざを折る（しゃがみこむ）姿勢」が困難なオッズ比（OR）は1.87（95% CI: 1.17～2.99）、女性のORは3.96（95% CI: 2.03～7.70）、さらに、女性の「10ポンドの荷物の持ち運び」が困難のORは2.58（95% CI: 1.26～5.28）、「10段の階段の昇降」の困難のORが2.02（95% CI: 1.05～3.87）、「椅子から補助なしでの立位」の困難のORは2.02（95% CI: 1.05～3.87）、「日常の家事の仕事ができない」ORは1.97（95% CI: 1.02～3.78）と健常者に対して有意に高い（ $P<0.05$ ）ことが報告されている²³⁾。我が国ではTanimoto *et al.* は、筋力と歩行機能を合わせたサルコペニア評価法では、IADLの低下の割合は男性39.0%、女性は30.6%で、ORはそれぞれ7.05（95% CI: 2.52～19.74、 $P=0.019$ ）、5.04（95% CI: 1.95～13.02、 $P=0.09$ ）とサルコペニアと有意の関連性があることを指摘している²⁴⁾。すなわち、EWGSOP改訂版で重度のサルコペニアは評価時点ですでにIADLの低下が約30%程度認められる。一方、Beaudart *et al.* のメタ解析によると、サルコペニア罹患者の追跡期間2～4年

の身体活動（ADLおよびIADL）低下のORは3.03（95% CI: 1.80～5.12）と健常者に比較して高いことより²⁵⁾、サルコペニア評価後平均44.0±10.4か月（約3.6年）（著者概算値）には日常生活に支障をきたすことが推測される。

Castillo *et al.* は4年間の追跡調査において、過去12か月以内に転倒した経験のあるサルコペニア男性罹患者は健康者に比較して約2倍高い（40.5% vs 20.2%、 $P<0.05$ ）のに対して、女性患者では相関性は認められなかったと報告している²⁶⁾。また、Cawthon *et al.* は65歳以上の地域住民（男性のみ）の5828人のうち初期調査1年後に694人（11.9%）に2回以上の転倒が見られ、健常者に比べてORは2.33（95% CI: 1.32～4.10）と報告している²⁷⁾。したがって、男性はサルコペニアと診断された1～4年後には女性に比べて転倒しやすい傾向にある。転倒の頻度が高ければ骨折、入院、死亡の頻度も高くなることが指摘されている²⁸⁾。骨折に関しては、Chalhoub *et al.* はサルコペニアと診断されかつ骨塩量低下の男性9年、女性8年の追跡調査により、あらゆる部位の骨折の起こしたハザード比（HR）はそれぞれ3.79（95% CI: 2.64～5.41）、2.27（95% CI: 1.37～3.76）であったことを報告している²⁹⁾。Yu *et al.* は10.2年間の追跡調査にて、サルコペニア男性罹患者の骨盤以外のあらゆる部位の骨折のHRは1.87（95.5% CI: 1.30～2.68）、骨盤骨折のHRは2.67（95% CI: 1.46～4.90）であるが、女性罹患者では相関性が認められなかったことを報告している³⁰⁾。以上より、骨折に関しても9～10年後には男性は骨折を、特に骨盤骨折を起こし易いことが知られる。この男性罹患者に転倒や骨折の多いことに関して、男性の年齢による筋肉量の低下が女性よりも早いこと³¹⁾が転倒しやすく、大腿部の脂肪量が女性に多いことが女性の骨盤骨折の頻度が少ない要因と推定される³²⁾。

死亡率との関係は、サルコペニアの概念が報告された早期の頃からサルコペニア罹患者に死亡率が高いことが指摘されている³³⁾。Woo *et al.* は10年後の死亡ORは男性が2.04（95% CI: 1.45～2.88）、女性は1.91（95% CI: 1.18～3.09）と報告している³⁴⁾。最近のメタ解析の報告でも、地域住民のサルコペニア患者の追跡期間3～10年の死亡ORは3.39（95% CI: 2.65～4.33）と健常者に比較して高いことが指

摘されている²⁵⁾。

サルコペニア発症後のおおよその転機は、約3.6年後に身体活動の低下、男性はその前後に転倒が起こり、その5～6年後には骨折、特に日常の動作および移動機能に最も重要な骨盤骨折が起こり、その後まもなく不幸な転機を取ることが推察される。

II. フレイルとの関係について

高齢者の生理的な衰えの中で、ある基準以下の状態を一つの病的予備軍としてとらえる概念「フレイル」がある³⁵⁾。フレイルは健康障害に対する脆弱性が増加して、要介護状態に至る前段階として位置づけられ、自立障害や死亡を含む健康障害を招きやすいハイリスク状態を意味する^{8,35)}。要介護に至る前段階ではあるが、適切な介入により健康な状態に戻る可能性が含まれている。

我が国のメタ解析による65歳以上の地域住民のフレイルの有病率は7.9% (95% CI: 6.1～9.0) であり、年齢別において65～69歳は1.9%, 70～74歳は3.8%, 75～79歳は10.0%, 80～84歳は20.4%, そして、85歳以上では35.1%となり、75歳以上になると急に増加する³⁶⁾。女性は8.1%と男性の7.6%に比較して高い傾向にある。

フレイルの身体活動 (ADL および IADL) の低下、転倒、骨折、死亡に関するリスクのメタ解析によると以下の如くである³⁷⁾。身体活動 ADL 低下のリスクの追跡調査1～8年のORは2.13 (95% CI: 1.76～2.59), 1年以内のOR 1.92 (95% CI: 1.32～2.80), 1～2年のOR 1.27 (95% CI: 1.19～1.36), 2～5年のOR 2.17 (95% CI: 1.60～2.95), 5年以上のOR 2.27 (95% CI: 1.20～4.70) である。一方、IADL 低下リスクでは追跡調査0.8～7年のORは2.73 (95% CI: 2.19～3.42), 1年以内のORは3.49 (95% CI: 2.62～4.65), 2～5年のORは2.08 (95% CI: 1.58～2.75), 5年以上のORは1.86 (95% CI: 1.62～2.12) であった。以上ORよりIADL低下は1年以内に起こり、ADL低下は5年以上におこる傾向にある。この傾向は、IADL低下が追跡期間27.4±26.4か月 (約2.3年) (著者概算値) 後に起こりやすく、ADLは48.3±8.0か月 (約4.0年) (著者概算値) 後に起こりやすいこととほぼ一致する。このことは日常生活における買い物や交通機関の利用などの運動能力を要するIADL低下が初めに起こり、その4

～5年後には家事一般の仕事、すなわちADLの低下が起こることが推察される。

転倒のリスクでは追跡調査0.8～9年のORは2.06 (95% CI: 1.28～3.34), ただし、1年以下のORは2.27 (95% CI: 1.51～3.41), 2～5年のORは1.31 (95% CI: 0.68～2.52, 5年以上のORは1.10 (95% CI: 0.72～1.67) であるが、2年以上になると予測の信頼性が低くなることを指摘している。骨折リスクの追跡調査0.8～9年のORは3.64 (95% CI: 1.53～8.67), 1年以下のORは1.69 (95% CI: 1.27～2.24), 2～5年ORは2.78 (95% CI: 1.29～5.99), 5年以上ORは1.23 (95% CI: 1.13～1.35), そして死亡リスクの追跡調査0.8～10年のORは2.34 (95% CI: 1.77～3.09), 1年以内のORは1.33 (95% CI: 1.11～1.60), 1～2年ORは2.10 (95% CI: 1.38～3.19), 2～5年ORは3.25 (95% CI: 2.14～4.94) と報告している³⁷⁾。

フレイルの転機とサルコペニアの転機を比較すると、フレイルにおいて身体活動 (ADL および IADL) の低下は40.0±6.3か月 (約3.3年) (著者概算値) 後に起こる傾向に対して、サルコペニアは44.0±10.4か月 (約3.6年) (著者概算値) とほぼ同じころに起こる傾向にある。フレイルでは、転倒リスクは発症後平均51.3±38.4か月 (約4.3年) (著者概算値) に、骨折のリスクは平均54.2±32.9か月 (約4.5年) (著者概算値) にほぼ同じ時期に起こりやすく、死亡のリスクは60.1±34.4か月後 (約5.0年) (著者概算値) に起こしやすい。サルコペニアは転倒および骨折に関しては症例数が2と少ないため評価は出来なかったが、死亡リスクは平均75.4±29.5か月 (約6.3年) (著者概算値) とフレイルに比較してやや長い傾向にある。

以上要約として、表1にはサルコペニアとフレイルの診断項目の類似点および相違点をあげた。表2にはサルコペニアとフレイルの有病率と各リスクの追跡調査期間とそのORとHRをあげた。前述したごとく、サルコペニアとフレイルとは必ずしも同一の概念ではないのでフレイルに100%サルコペニアを含んでいないことを承知の上で次のように両者は関連づけられる。サルコペニアとフレイルはともに診断後約4年に身体活動 (ADL および IADL) の低下が起こる。フレイルには歩行速度の低下が必須の診断条件であるのに対して、サルコペニアは必須

表2 サルコペニアとフレイルの有病率と各リスクの追跡期間とその OR と HR

サルコペニア		フレイル
有病率	8.2 ～ 8.6% 男性 8.5 ～ 9.6% 女性 7.7 ～ 8.0%	(※ 1) 7.9% (95% CI: 6.1 ～ 9.0%) 男性 7.6% 女性 8.1%
QOL の自己評価	身体機能低下 全体的健康感の低下	(※ 2) 生活の満足度の低下 (特に健康感)
身体活動 低下リスク	(※ 3) 追跡調査 2 ～ 4 年の OR: 3.03 44.0 ± 10.4 か月 (ADL & IADL)	(※ 1) 追跡調査 1 ～ 8 年の OR: 2.13 (ADL) (1 年以下の OR 1.92, 5 年以上の OR 2.27) 48.3 ± 8.0 か月 追跡調査 0.8 ～ 7 年の OR: 2.73 (IADL) (1 年以下の OR 3.49, 5 年以上の OR 1.86) 27.4 ± 26.4 か月
転倒リスク	(※ 4) 追跡調査 1 年の OR: 2.33 (男性のみ)	(※ 1) 追跡調査 0.8 ～ 9 年の OR: 2.06 (1 年以内の OR: 2.27, 2 ～ 5 年の OR: 1.31, 5 年以上の OR: 1.10) 51.3 ± 38.4 か月
骨折リスク	(※ 4) 追跡調査 9 年の HR: 3.79 (男性のみ) 追跡調査 10.2 年の HR: 1.87 (骨盤骨折 HR: 2.67)	(※ 1) 追跡調査 0.8 ～ 9 年の OR: 3.64 (1 年以内の OR: 1.69, 2 ～ 5 年の OR: 2.78, 5 年以上の OR: 1.23) 54.2 ± 32.9 か月
死亡リスク	(※ 3) 追跡調査 3 ～ 10 年の OR: 3.39 75.4 ± 29.5 か月	(※ 1) 追跡調査 0.8 ～ 10 年の OR: 2.34 0 ～ 1 年の OR: 1.33, 1 ～ 2 年の OR: 2.10, 2 ～ 5 年の OR: 3.25 60.1 ± 34.4 か月

下段の数字は平均追跡期間 (平均 ± SD) (著者概算値)

(※ 1) 文献 37 より作成

(※ 2) St John PD, Tyas SL, Montgomery PR. Life satisfaction and frailty in community-based older adults: cross-sectional and prospective analyses. Int Psychogeriatr. 2013 ; 25 :1709 -1716 より引用.

(※ 3) 文献 25 より作成.

(※ 4) 本文参照.

表3 骨格筋の分類

分類	肉眼的特徴	赤筋	中間筋	白筋
	収縮特性	遅筋 Type I		速筋 Type II
	収縮特性とエネルギー代謝特性	SO 線維	FOG 線維	FG 線維
生理的特徴	収縮速度	遅い	速い	最も速い
	代謝	酸化系	酸化系／解糖系	解糖系
	耐疲労性	最も高い	高い	低い

の条件ではない。したがって、フレイルはすでに歩行速度の低下があるゆえに IADL 低下が早い時期 (約 2.3 年) に起こる。一方、サルコペニア診断には歩行速度が必須の条件ではないので身体活動低下に ADL 低下が大きく占めている可能性が推察される。何故ならば、サルコペニアの ADL と IADL の

低下時期が 44.0±10.4 か月 (約 3.6 年) とフレイルの ADL のみの低下時期 48.3±8.0 か月 (約 4.0 年) (著者概算値) とがほぼ同じ時期であることよりこの推察は妥当と思われる。その可能性よりサルコペニアからフレイルへの移行は約 1 年後と推察される。フレイルになり 4 ～ 5 年後に転倒・骨折が起こり、次

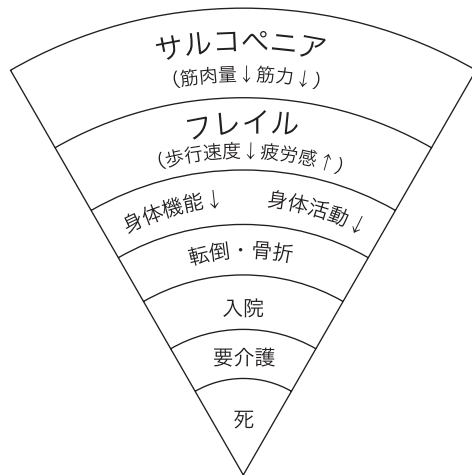


図2 サルコペニアからフレイルへ、そしてその後の経過（転機）

いで1年後には不幸な転機を取ると推測される。図2には表2をもとにしてサルコペニとフレイルの関連およびその後の経過（転機）を示した。

III. 筋肉について

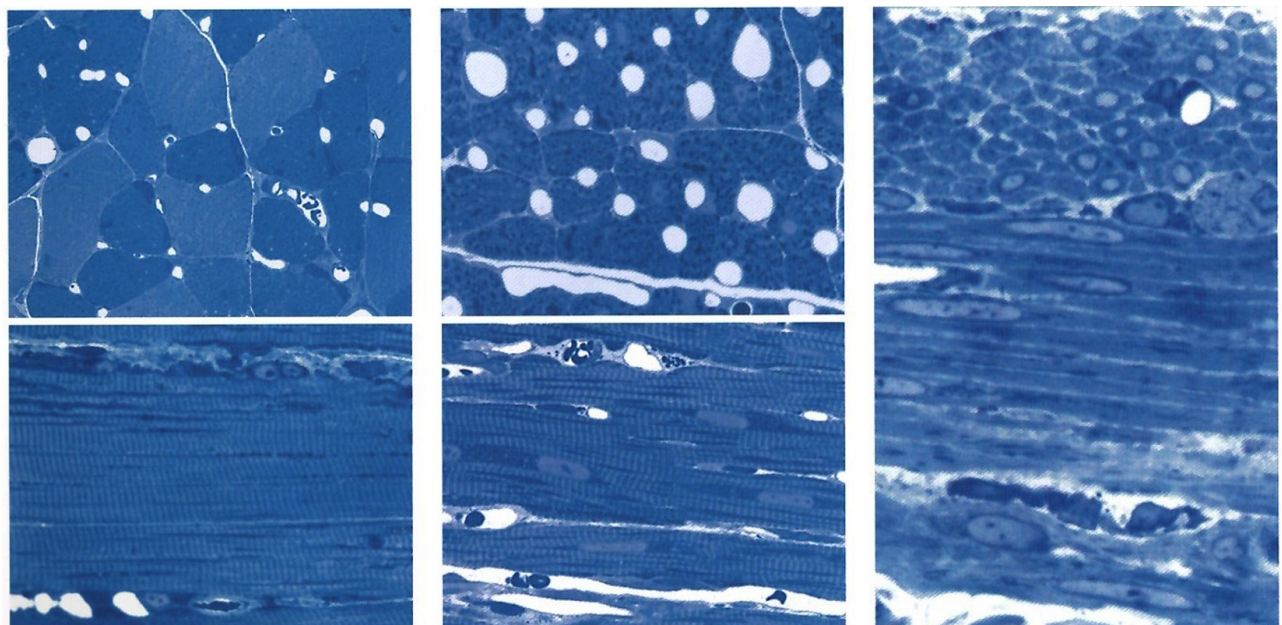
1. 一般的事項

筋（筋肉）は身体の運動にかかわる器官で、その構造と機能により3種類に分類される。第一は骨格に付着して骨格を動かしたり支えたりする骨格筋、第二は心臓の壁を構成している心筋、第三は血管や中空臓器（消化管）の壁を構成している平滑筋であ

る。一般に筋肉という場合には骨格筋を指して使われることが多い。

骨格筋と心筋には横紋（横縞）が光学顕微鏡下で見られるが、平滑筋には見られない（図3）。骨格筋は意志によって動かせるために随意筋と呼ばれ、心筋と平滑筋は意志に関係なく動くので不随意筋と呼ばれている。

骨格筋はもっぱら骨の動き（運動）に関与する筋で、体重の約40%を占めている。全身の骨格筋は名前の付いたものは222種類、そのほとんどが左右で対になっている。筋の総数は約600個ともいわれているが、正確な数は決められない³⁸⁾。骨格筋は、線維状（直径50～100μm）の筋細胞が数本から数十本が束に集まり筋線維束を形成し、筋線維（筋細胞）はさらに細い筋原線維（直径1μm）より構成されている（図4）。この筋原線維は細胞骨格に当たる筋フィラメントが規則的に配列した束で、収縮活動の源となっている。筋フィラメントには、細いフィラメント（アクチンタンパク）と、太いフィラメント（ミオシンタンパク）の2種類があり、交互に配列することにより筋線維の横縞が形成される。横縞は、単屈折性の明るいI帯（isotropic band）と複屈折性のA帯（anisotropic band）とが交互に周期的に配列されている。A帯は、太いフィラメントが



骨格筋 多核細胞で、核は細胞膜直下に偏在。

心筋 単核細胞で、核は細胞の中央に存在。細胞の両端は介在板で連結される。

平滑筋 細長い紡錘形の単核細胞。横紋は見られない。

図3 骨格筋、心筋、平滑筋の組織像（上段は横断面、下段は縦断面）
骨格筋と、心筋には横紋が見られる（文献38より引用）

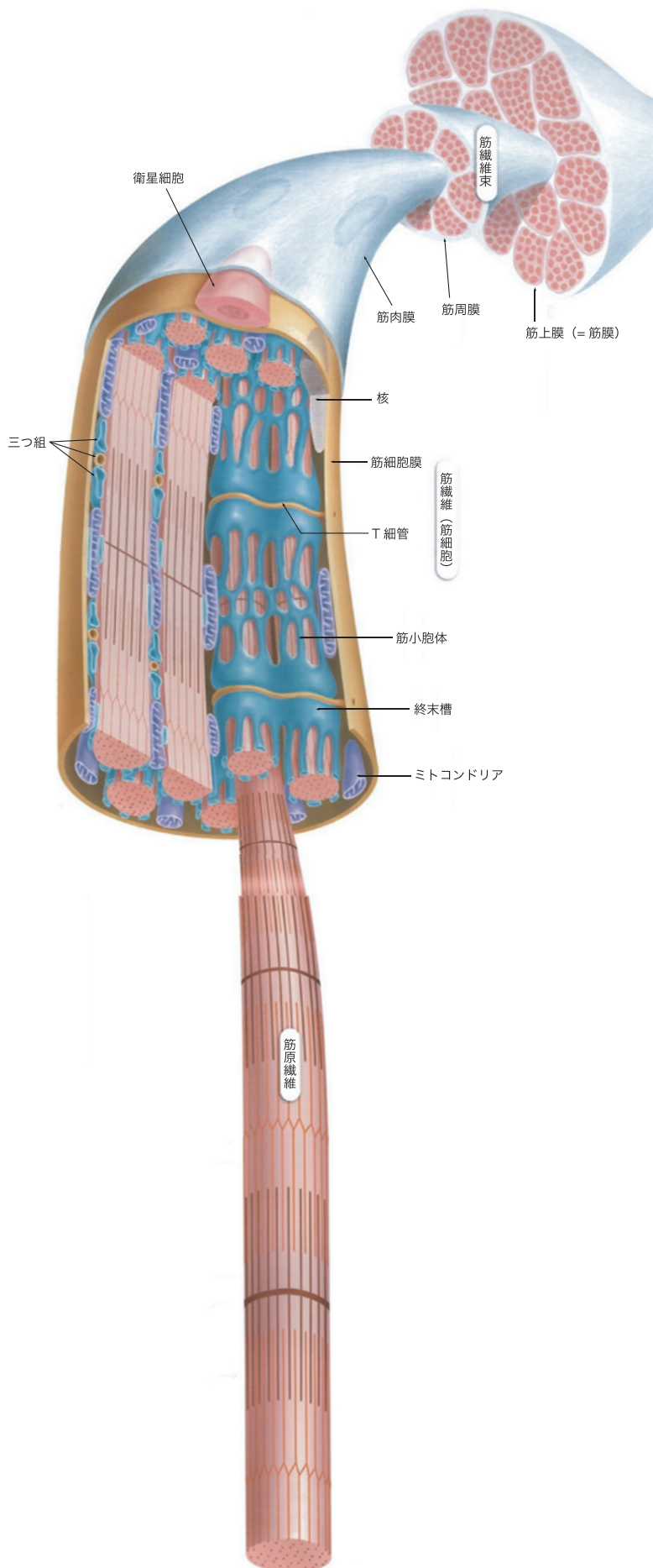


図4 骨格筋の構造 (文献 38 より改変引用)

一定間隔で配列し、その間に細いフィラメントが間に入り両フィラメントが重なり暗調を呈す。I帯は細いフィラメントのみの配列で明調を示す。I帯の中央には、暗調の細い線が仕切りのように存在しZ線と称し、Z線とZ線との1区間を筋節（サルコメア）と呼び、筋原線維の構造および収縮活動の単位となる（図5）。

骨格筋は肉眼的に赤く見える赤筋と白く見える白筋、さらにその中間の中間筋に分類される。赤筋は長時間の姿勢を維持し、緩慢な持続的な運動をする筋に多くみられ、遅筋とも呼ばれている。白筋は急速な運動や瞬発力を要する筋に見られ、速筋とも称されている。ヒトでは純粋な赤筋、白筋は少ないが、抗重力筋や下腿三頭筋の一部であるヒラメ筋が赤筋に、手の筋や大腿直筋が白筋に属する。

上述の筋の肉眼的および機能的な差異は、主にエネルギー代謝の面より起こるとされている。筋収縮のエネルギーはATPにより賄われる。したがって、運動を持続するためにはATPを常時補充しなければならない。ATPの供給源としてグルコース分解（燃焼）による方法から次の2種類がある。グルコース分解に酸素を必要としない嫌気性解糖（解糖系）と、酸素を必要とする好気性解糖系（酸化的リン酸化）である。

嫌気性解糖（解糖系）と白筋との関連性について田川は次のように述べている³⁹⁾。解糖系には11の酵素が含まれるが、これらの酵素はすべて水溶性であるので、この系が働くための特定の細胞内構造を必要としない。各酵素は十分量存在するので、ホスフォフルクトキナーゼのような鍵酵素（筋肉ではホスフォリラーゼ）を活性化するだけで全体の反応速度を簡単に高めることができる。そのため、短時間に大量のATPを必要とする骨格筋の構成する

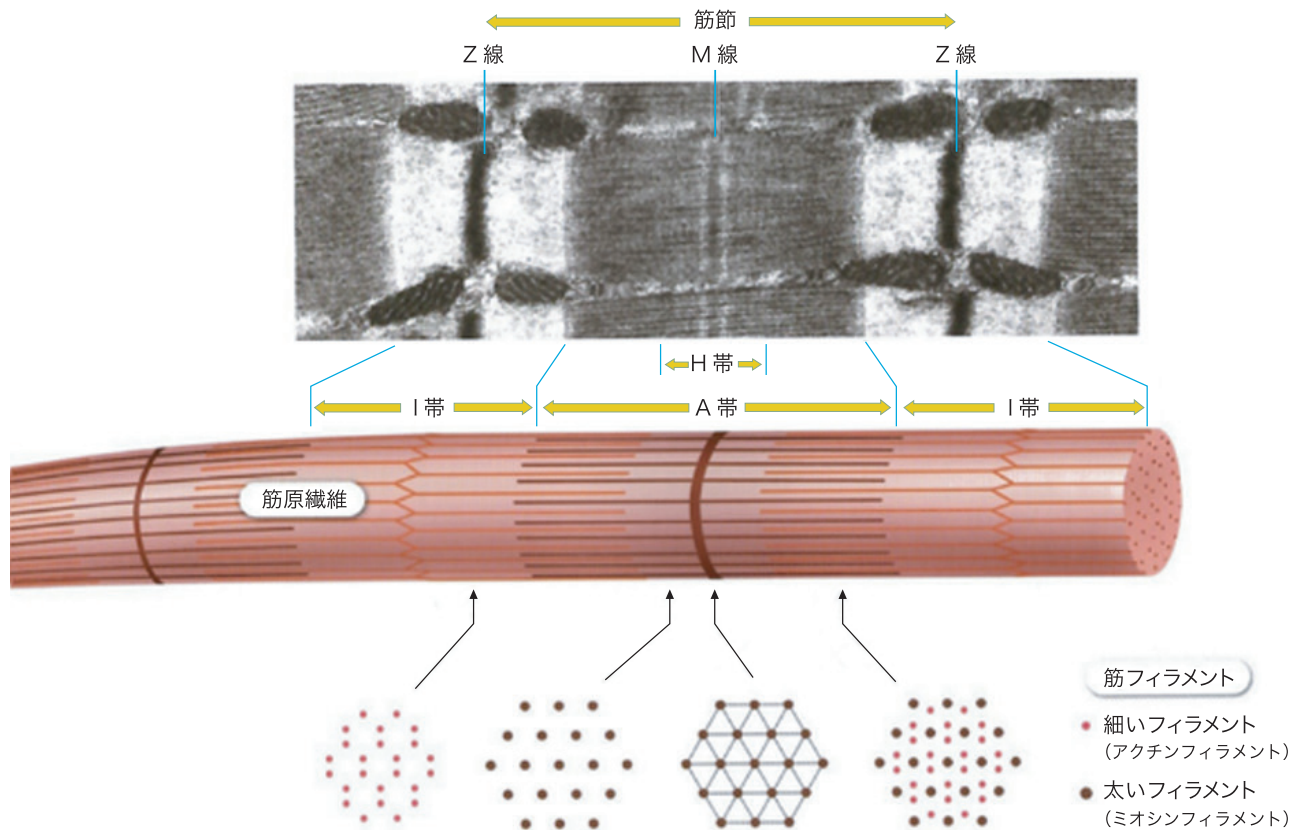


図5 筋原線維の微細構造（文献 38 より改変引用）

白筋のエネルギー供給系として、解糖系は最も重要な働きをする。しかし、解糖系での ATP 合成には大量のグルコースが必要であるうえに、その生成物として ATP と同じモル数（グリコーゲンが基質の 2/3）の乳酸が生じる。その結果、細胞内の pH が低下するために、筋肉が解糖系を作動して最大出力で運動を 1 分以上続けることはできない。また、pH の回復を待って、これを繰り返すことはできるが、やがてグリコーゲンが枯渇するので、長時間続けることはできない³⁹⁾。

白筋は酸素を取り入れて利用する機能（ミオグロビンなどの赤色色素タンパク質）を必要としないゆえに肉眼的には白色であり、細胞内のミトコンドリアの量が少ないのでその分、筋線維が多くなることによって筋力が増大する。それ故に速筋と称される。機能的には ATP の合成がグルコース 1 分子につき 2ATP しか合成されない。その少ない ATP を分解（ATPase 活性をフル活動する）して新たに利用しなければならないという自己犠牲（疲労）を強いられて耐久性が減少する。

好気性解糖系（酸化的リン酸化）はグルコースを酸素により水と炭酸ガスに完全に分解（燃焼）す

る。筋線維内には、細胞内の酸素運搬に関わるミオグロビンとミトコンドリア内のチトクローム C などの赤色の色素タンパク質により赤色を呈している。それ故に赤筋と呼ばれる。上述したごとく、解糖系（無酸素状態）ではグルコースがピルビン酸までしか分解できず、その後乳酸に分解されて血中に放出される。一方、赤筋（好気性解糖系）では細胞内小器官ミトコンドリアにおいてこのピルビン酸がさらに分解されて ATP が産生される。その結果、1 分子のグルコースから 26 分子の ATP が産生される。赤筋では ATP 合成の細胞内小器官であるミトコンドリアが細胞体積の約 30% 占めているので、その分筋線維量が減るので白筋に比べて筋力は劣る。さらに ATP 合成がミトコンドリアを経て行われるので、その分時間的に遅れる。それゆえに遅筋と称される。一方、ATP 産生能はグルコース 1 分子当たり 26 ATP と高いので持久力は高い。しかも乳酸が産生されないので筋肉の疲労は少なくなる。

以上より、グルコース代謝および収縮速度の面より筋線維を 3 種類に分類される。収縮速度が速く解糖系の酵素を多く含む FG（fast-twitch glycolytic）線維（白筋）および収縮速度が遅く

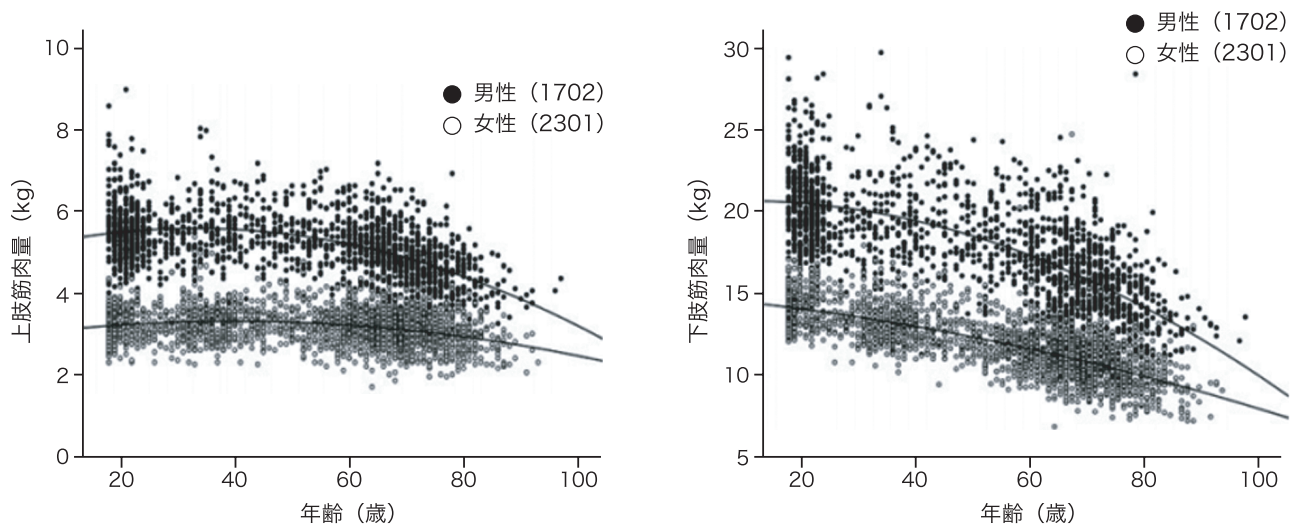


図6 上肢筋肉量および下肢筋肉量の加齢による変化（文献45より引用）

酸化リン酸化酵素を多く含むSO（slow-twitch oxidative）線維（赤筋）に分けられる。赤筋と白筋の間、すなわち酸化系と解糖系の両方のエネルギー供給能を持ち、筋力が比較的高くて疲労しにくい線維、FOG（fast-twitch oxidative glycolytic）線維、中間筋線維が存在する（表3）。

2. 加齢による変化

2-1. 筋肉量

加齢に伴い種々の生理的機能低下がみられるが、骨格筋量は成人以降徐々に進行し高齢期に顕在化する。すなわち、筋線維の太さは30～40歳代に最大に達し、以後徐々に減少する⁴⁰⁾。筋線維型別では、Type2線維（白筋）はType1線維（赤筋）に比較して委縮などの影響を受けやすく、その太さおよび占有比の加齢による減少が著名であるとされている^{41,42)}。大腿四頭筋の一つ外側広筋の筋横断面積は、50歳代では若年者に比較して約9%の減少とある程度維持されているものの、70歳代では約26%、80歳代では約43%と急速に減少する⁴³⁾。筋線維数で検討すると70歳代は約41%の減少、筋線維1本当たりの平均断面積は11%減少（Type1線維は0%、Type2線維は25%サイズの減少）していることが報告されている⁴⁴⁾。以上の報告は、15～83歳の男性43名の死体を解剖し直接評価した結果である。

骨格筋量の測定評価には、生体電気インピーダンス法（BIA）が信頼性と妥当性がDXAに比較して優れ、簡便性および非侵襲性により頻用されている。

谷本らは、日本人の18歳以上の成人の推定筋肉量の変化を20歳時と80歳時で比較検討すると、男女とも下肢筋肉量の減少が上肢や体幹の減少に比べて割合が多く、男性では30.9%、女性では28.5%の減少率であり、すべての部位で男性の方が女性よりも減少率が多いことを報告している⁴⁵⁾（図6）。海外においても同様に男性の筋肉量の減少は女性よりも顕著であることが報告されている^{46,47)}。この男性の減少率が女性に比較して多いことの要因として男性ホルモンの急激な減少によるとされている⁴⁸⁾。

加齢による筋肉量の減少は、男性ホルモンの低下、あらゆる要因により運動しない（できない）、いわゆる不活動性筋委縮に加えて、筋再生に関与する筋サテライト細胞の減少が、特に速筋で著しいことがあげられている⁴⁹⁾。

2-2. 筋力

筋力測定には握力と膝伸展力が行われている。握力は大まかには全身の筋力を、膝伸展力は下肢筋力を把握できる。握力および膝伸展力ともに年齢増加に伴い減少するが、膝伸展力の方が加齢の影響を受けやすい。握力は60歳代では20歳代に比較して約20%の低下であるのに対して、膝伸展力は約30%の低下である。85歳以上では両者とも約50%の低下を示す⁵⁰⁾。

IV. 栄養管理について

1. タンパク質の量と質および食事のパターン

摂取するたんぱく質量を増加すれば、筋タンパク

表4 食品摂取の多様性評価票（文献 57 より引用）

食品摂取の多様性評価票
普段の食事についてお伺いします。あなたは次にあげる 10 食品群を週に何日ぐらい食べますか。ここ一週間ぐらいの様子についてお伺いします。
魚介類（生鮮，加工品を問わずすべての魚介類です） 1. ほとんど毎日 2. 2 日に 1 回 3. 一週間に 1～2 回 4 ほとんど食べない
肉類（生鮮，加工品を問わずすべての魚介類です） 1. ほとんど毎日 2. 2 日に 1 回 3. 一週間に 1～2 回 4 ほとんど食べない
卵（鶏卵，うずらなどの卵で，魚の卵は含みません） 1. ほとんど毎日 2. 2 日に 1 回 3. 一週間に 1～2 回 4 ほとんど食べない
牛乳（コーヒーマル，フルーツ牛乳は除きます） 1. ほとんど毎日 2. 2 日に 1 回 3. 一週間に 1～2 回 4 ほとんど食べない
大豆・大豆製品（豆腐，納豆などの大豆を使った食品です） 1. ほとんど毎日 2. 2 日に 1 回 3. 一週間に 1～2 回 4 ほとんど食べない
緑黄色野菜類（にんじん，ほうれん草，かぼちゃ，トマトなどの色の濃い野菜です） 1. ほとんど毎日 2. 2 日に 1 回 3. 一週間に 1～2 回 4 ほとんど食べない
海藻類（生，乾物を問いません） 1. ほとんど毎日 2. 2 日に 1 回 3. 一週間に 1～2 回 4 ほとんど食べない
いも類 1. ほとんど毎日 2. 2 日に 1 回 3. 一週間に 1～2 回 4 ほとんど食べない
果物類（生鮮，缶詰を問いません。トマトは含みません。トマトは緑黄色野菜とします） 1. ほとんど毎日 2. 2 日に 1 回 3. 一週間に 1～2 回 4 ほとんど食べない
油脂類（油炒め，天ぷら，フライ，パンに塗るバターやマーガリンなど油を使う料理です） 1. ほとんど毎日 2. 2 日に 1 回 3. 一週間に 1～2 回 4 ほとんど食べない

質の合成反応はより高まる。高齢者では，体タンパク質の動的平衡の維持と骨格筋量の低下の予防（サルコペニアおよびフレイル予防）の両面より高容量かつ良質のタンパク質摂取が必要である。

Houston *et al.* は健常な高齢者男女（平均年齢 74.5 歳）において，タンパク質 0.80g/kg 体重 / 日の摂取群の 3 年後の筋肉量の減少 (-0.883 ± 0.104 kg) が 1.2g/kg 体重 / 日の摂取群 (-0.501 ± 0.106 kg) に比較して有意に高いことを報告している⁵¹⁾。タンパク質摂取量と筋肉量増加とは正の相関があることよりフレイルやサルコペニアの予防が期待される。日本人女性高齢者（平均年齢 74.7 歳）を対象とした横断研

究において，70g / 日（約 1.4g/kg 体重 / 日・著者概算値）以上のタンパク質摂取群は 63g / 日（約 1.2g/kg 体重 / 日・著者概算値）以下の摂取群に比較して，フレイル発症率が低いこと（OR: 0.66 (95% CI: 0.46 ~ 0.96)）が報告されている⁵²⁾。さらに，Beasley *et al.* は女性高齢者（65 ~ 79 歳）の 3 年間の追跡調査にて，1.2g/kg 体重 / 日の高タンパク摂取群は 1.0g/kg 体重 / 日に比較してフレイル発症率が 35% 抑制されたことを報告している⁵³⁾。一方，フレイルの高齢者女性に対して高タンパク食の摂取により骨格筋の合成 (0.38 ± 0.08 g/kgFFM / 日) が低タンパク食に比較して有意の増加 (0.32 ± 0.01 g/kgFFM / 日・

$P<0.05$)が見られる⁵⁴⁾。以上の先行研究により、高タンパク食の摂取はフレイルの予防のみならずフレイルの進行を抑えることが期待される。

タンパク質の量でなく質に関すると、動物性食品、卵、牛乳、大豆およびその加工品などは、アミノ酸スコアが100なので、これらの食品を食べることが良質なタンパク質の摂取につながる。Yamaguchi *et al.* は65歳以上の地域住民を対象とした横断研究において、良質なタンパク質の一つである魚介類を高頻度に摂取している男女、また女性においては牛乳の高摂取量群は、いずれもほとんど摂取していない群に比較してフレイル発症率が、39～31%抑制されたことを報告している⁵⁵⁾。

個々の栄養価の高い食事の摂取よりも、食事の栄養のバランスの良い、すなわち、食事の多様性がフレイルおよびサルコペニアの予防につながることに注目されている。León-Muñoz *et al.* の縦断研究（平均追跡期間3.5年）によると、地中海食の遵守率を3段階に分けて最も高い遵守率の高齢者のフレイル発症のリスクは、遵守率の最も低いものに比較して低いこと（OR 0.59 (95% CI: 0.57～0.95, $P=0.02$)）を指摘されている⁵⁶⁾。さらに魚と果物の摂取の多い高齢者はフレイル発症のリスクが低いことも指摘している。地中海食とは、地中海沿岸地域の食事様式で、魚、野菜、果物、豆類、全粒穀物、ナッツ類、チーズ、ヨーグルト、オリーブオイルなどを多く摂取し、肉類や卵を控えめにする伝統的な食事パターンである。これら多様な食品の評価指標として「食品摂取の多様性評価」が熊谷らにより開発され用いられている⁵⁷⁾。表4の10食品群の1週間の食品摂取頻度から評価する。各食品群に対して、「ほぼ毎日食べる」は1点、「2日に1回食べる」、「週に1～2回食べる」、「ほとんど食べない」は0点として、その合計点から食品摂取の多様性を評価する。この評価法を用いて Yokoyama *et al.* は、地域在住の高齢者の横断的研究において6点以上の高得点群のものは0～2の最低得点群に比較して筋肉量は多く（39.0kg vs 37.9kg, $P=0.003$ ）、握力値は高い（29.1kg vs 27.7kg, $P=0.008$ ）が、しかし、歩行速度において有意差は見られなかった（1.34 m/sec vs 1.31m/sec, $P=0.245$ ）ことを、さらに縦断研究にて7点以上の高得点群のものは0～3の最低得点群に比較して4年後の握力と歩行速度の低下 OR が共に 0.43 (95%

CI: 0.19～0.99)と有意に低い（握力 $P=0.043$ 、歩行速度 $P=0.039$ ）ことを報告している^{58,59)}。

したがって、多様な食品の摂取により栄養素の複合効果による筋量や筋力の低下を抑制し、フレイルおよびサルコペニア予防の可能が期待される。

2. サプリメント

食事として十分なタンパク質の摂取ができない高齢者の窒素源の補給法として、アミノ酸サプリメントが注目されている。

サルコペニアが顕在化している日本人高齢女性（平均年齢79歳）155人にロイシン高容量（42%）含有アミノ酸製剤を摂取させた群（6g/日、3か月間）、筋力トレーニングにバランス運動群（レジスタンストレーニング2回/1週間）、併用群、そして健康教育群の4群に分けて Kim *et al.* は検討した⁶⁰⁾。その結果、ロイシン高容量（42%）含有アミノ酸製剤を摂取させた群は、「歩行速度」の有意の増加は認められたものの、下肢筋肉量や膝伸展筋力の変化は認められなかった。しかし、これにレジスタンス運動を併用した群では健康教育群に比較して下肢筋肉量および膝伸展筋力ともに有意の増加（OR: 4.89, 95% CI: 1.89～11.27）が、認められたことを報告している⁶⁰⁾。すなわち、身体的フレイルの最大要因であるサルコペニアが顕在化している高齢者に、ロイシン高容量含有アミノ酸製剤単独摂取のサルコペニアの改善効果は不十分（OR: 1.99, 95% CI: 0.72～5.65）であるが、運動付加を併用することにより効果がみられることを示唆している。さらに、Kim *et al.* はサルコペニア肥満女性高齢者の肥満改善に、ロイシン高容量（42%）含有アミノ酸製剤に高濃度茶カテキンおよびビタミンDを加えたサプリメントの摂取の効果を検討した⁶¹⁾。その結果、サプリメント摂取単独群および運動単独群では有意の効果は認められなかったが、サプリメント摂取に運動を併用した群では下肢筋肉量の増加、歩行速度の改善、体脂肪率の減少、体幹脂肪の減少が見られた⁶¹⁾。

フレイル65名（プラセボ群81±1歳、摂取群78±1歳）に、ミルクプロテインを30g/日、6か月間、1日2回に分けて摂取したところ、骨格筋量の増加は認められなかったが、下肢伸展力の有意の増加、および椅子からの立ち上がり機能の有意の改善（ $P<0.01$ ）が、認められたことが報告されてい

る⁶²⁾。骨格筋量の増加が認められなかったことに対して、同じ著者らはフレイル 62 名に同じ条件下でレジスタント運動を週 2 回負荷した。その結果、ミルクプロテイン摂取群は骨格筋量（摂取前 47.2kg (95% CI: 43.5 ~ 50.9), 6 か月後 48.5kg (95% CI: 44.8 ~ 52.1. $P=0.006$), および体脂肪除脂肪量（摂取前 19.3kg (95% CI: 18.3 ~ 21.8), 6 か月後 21.0kg (95% CI: 19.2 ~ 22.7. $P<0.001$) とともに有意の増加を認めた⁶³⁾。

Kim *et al.* は乳脂肪球皮膜 (milk fat globule membrane (MFGM)) を 1g/日, 3 か月間摂取群と運動の併用 (1 時間の筋力強化運動と歩行機能とバランス訓練を 1 時間, 週 2 回施行) によるフレイル該当者の健常状態への移行の効果を検討した。その結果, フレイル解消率は併用群では 57.6% から 28.1% の減少率に対して, プラセボ群の 51.5% から 30.3% の減少率に比較して有意に高いこと ($P=0.032$) を報告している⁶⁴⁾。しかし, MFGM 単独群のみでは 28.1% とプラセボ群との間に有意差は認められなかった。

アミノ酸製剤と同様にプロテイン製剤の摂取と力学的負荷 (運動) との併用が, 筋力増強および筋肉量の増加をもたらすフレイルやサルコペニアの解消 (健常状態への移行) には効果があると言える。

3. ビタミン D

加齢とともに骨のミネラル成分の減少による骨密度の低下と, 微細構造の変化などを起こし骨強度が低下する。骨格筋量や筋力の低下と相まって骨折リスクが高くなる。骨折による運動機能・移動機能低下により, 骨格筋の不活動性筋萎縮をきたし寝たきり状態となる。要介護を要する原因の 12.2% を骨折・転倒が占めている⁴⁾。

ビタミン D は腸管でのカルシウムの吸収を促進し, カルシウム代謝, 骨代謝に密接にかかわる栄養素である⁶⁵⁾。さらに, ビタミン D は骨格筋細胞のビタミン D 受容体に結合することにより筋タンパク質合成を引き起こし, また, カルシウムの細胞への取り込みを増強させる^{66, 67)}。したがって, ビタミン D は筋力保持に重要な栄養素でもある。

日本人高齢者 (65 歳以上) の横断的研究において, 血中ビタミン D 濃度 (25-ヒドロキシビタミン D: (25(OH)D) の基準値を 20ng/mL に用いると, 20ng/mL

以下の女性群はそれ以上の群に比較して, 歩行速度の低下や開眼片足立ち時間の低下など身体機能低下が見られる, と同時に過去 1 年間における転倒経験 (25.8% vs 17.0%. $P=0.001$), 転倒回数 (1.7 ± 1.3 回 vs 1.4 ± 1.5 回. $P=0.006$) が有意差をもって高いことが報告されている⁶⁸⁾。さらに, この女性群を 1 年間追跡調査した結果, 20ng/mL 以下の群は 25ng/mL 群に比較して転倒回数 (OR: 1.40 (95% CI: 1.01 ~ 1.94)), および転倒再発回数 (OR: 1.47 (95% CI: 0.93 ~ 2.32)) がともに高いことを報告している⁶⁸⁾。血中ビタミン濃度は身体機能と関連性があり, かつその予測が可能であることが示唆される。

米国において 60 歳以上の地域住民 4731 人の血中 25(OH)D とフレイルとプレフレイルの有病率を検討したところ, 血中濃度 49.5nmol/L 以下の群は 84.1nmol/L 以上の群に比較して OR が 1.67 (95% CI: 1.00 ~ 2.82), 1.54 (95% CI: 1.10 ~ 2.15) とそれぞれ高いことを報告している⁷⁰⁾。さらに, 低血中 25(OH)D 濃度でフレイルの高齢者の 12.6 年後の死亡リスクの HR は, 高血中 25(OH)D 濃度でかつ健常者に比較して 2.98 (95% CI: 2.01 ~ 4.42) と高いことを指摘している⁷⁰⁾。Shardell *et al.* は 65 歳以上の地域住民の 3 年間の追跡調査にて, フレイル群における 20ng/mL 以下の低値群の死亡率は 35.2%, 高値群では 34.7% と変わらないのに対して, プレフレイルの低値群では 14.1%, 高値群の 5.2% と死亡率は高くプレフレイルの段階での治療の必要性を指摘している⁷¹⁾。

高齢者の血中 25(OH)D 濃度とフレイルや死亡リスクとの関連性より, ビタミン D 摂取のフレイルやサルコペニアの予防が期待される。閉経後の女性 (平均血中 25(OH)D 濃度 13.2 ± 3.9 ng/mL 平均年齢 61.5 ± 7.2 歳) 20 名に 25(OH)D₃ またはビタミン D 20 μ g を毎日 4 か月間服用した。その結果, 血中 25(OH)D 濃度においてビタミン D 摂取群は 31.0ng/mL の増加に対して, 25(OH)D₃ 摂取群は有意の増加 (69.5ng/mL $P<0.0001$) を示した。身体機能のうち下肢伸展力は, 25(OH)D₃ 摂取群はビタミン D 摂取群に比較して有意の改善 ($P=0.03$) が認められた。しかし, 膝屈曲力, 椅子立ち上がりテスト, timed up and go test においては 25(OH)D₃ 摂取群はビタミン D 摂取群に比較して OR 2.79 (95% CI: 1.18 ~ 6.58) と高値であったが, 有意差は認められなかつ

た⁷²⁾。ビタミンDの摂取と骨格筋機能との関連を検討したメタ解析では、筋力の向上には血中濃度が30nmol/L以下のものには効果が見られるものの、筋量の増加には寄与しないとされている⁷³⁾。したがって、低血中濃度の65歳以上の高齢者には筋力増加のサプリメントとして効果が期待できる。

おわりに

加齢に伴う生理的機能低下のうち、筋肉量および筋力の低下は何らかの対策を講じなければ自立した生活が困難になり要支援・要介護を必要とする。加齢による筋肉量および筋力の低下はサルコペニア、フレイルそしてロコモとして疾患あるいは病態として捉えられて対策が講じられている。サルコペニアおよびフレイルを有する患者の栄養および運動の介入効果は何れの診療ガイドラインにおいてもエビデンスレベルは低い評価である。それらの予防としての栄養面と運動面での介入の縦断的大規模研究がな

されていないのがその理由である。現状では個々の研究より上述した如く栄養面での介入効果が示されている。今後、栄養面や運動面での介入の縦断的大規模研究が望まれる。

高齢者において筋肉量の低下に対してタンパク質の量と質が、さらに食事内容の豊富さが、また、ビタミンDやアミノ酸などのサプリメントは効果があることが証明されている。我が国の核家族化と一人暮らしの老人人口の多さ — 令和元年版高齢社会白書⁷⁴⁾によると、65歳以上の男性約192万人(13.3%)、女性約400万人(21.1%) — の現状において、高齢者に対して三度の食事に高容量のタンパク質と良質なタンパク質、さらに食事内容の豊富さを求めることは困難である。高齢者に対して栄養面のみならず運動面でもサポートする新しい仕組みづくりと、サプリメント(アミノ酸、ビタミンDを主体とした微量元素を含む)の開発が望まれる。

参考文献

1. 総務省統計局：高齢者の人口。 <https://www.stat.go.jp/data/topics/topi1261.html>
2. 厚生労働省：健康づくり情報・基礎知識。 https://www.kenko-hyogo21.jp/health_knowledge/11447/
3. 厚生労働省：平成28年国民生活基礎調査の概況 <http://www.mhlw.go.jp/toukei/saikin/hw/k-tyosa/k-tyosa18/index.html>
4. 内閣府：平成30年版高齢社会白書(全体版)。 https://www8.cao.go.jp/kourei/whitepaper/w2018/html/zenbun/s_1_2_2.html
5. 厚生労働省：介護給付費等実態。 <http://www.mhlw.go.jp/toukei/list/45-1-b.html>
6. 総務省統計局：人口推計(2019年(令和元年)10月1日現在)。 <https://www.stat.go.jp/data/jinsui/2019np/index.html>
7. 窪田俊：フレイルとその予防としての栄養管理について。 *New Food Industry*. **62**(3): 169-179. 2020.
8. 荒井秀典 編集主幹：フレイル診療ガイド2018年版。ライフ・サイエンス出版。東京。2018.
9. Rosenberg IH. Summary comments: Epidemiologic and methodologic problems in determining nutritional status of older persons. *Am J Clin Nutr*. **50**: 1231-1233. 1989.
10. Cruz-Jentoft AJ, Baeyens JP, Bauer JM, *et al.*: Sarcopenia: European consensus on definition and diagnosis: Report of the European Working Group on Sarcopenia in Older People. *Age Ageing*. **39**: 412-423. 2010.
11. サルコペニア診療ガイドライン作成委員会編集：サルコペニア。診療ガイドライン。2017年版。ライフサイエンス出版株式会社。2019.
12. Cruz-Jentoft AJ, Bahat G, Bauer JM, *et al.*: Sarcopenia: revised European consensus on definition and diagnosis. *Age Ageing*. **48**: 16-31. 2019.
13. Chen LK, Liu LK, Woo J, *et al.*: Sarcopenia in Asia: consensus report of the Asia Working Group for Sarcopenia. *J Am Med Dir Assoc*. **15**: 95-101. 2014.
14. Yoshimura N, Muraki S, Oka H, *et al.*: Is osteoporosis a predictor for future sarcopenia or vice versa? Four-year observations between the second and third ROAD study surveys. *Osteoporos Int*. **28**: 189-199. 2017.
15. Yuki A, Ando F, Otsuka R, *et al.*: Epidemiology of sarcopenia in elderly Japanese. *J Phys Fitness Sports Med*. **4**: 111-115. 2015.
16. Yoshida D, Suzuki T, Shimada H, *et al.*: Using two different algorithms to determine the prevalence of sarcopenia. *Geriatr Gerontol Int*. **14**: 46-51. 2014.
17. Cruz-Jentoft AJ, Landi F, Schneider SM, *et al.*: Prevalence of and interventions for sarcopenia in ageing adults: A systematic review. Report of the International Sarcopenia Initiative (EWGSOP and IWGS). *Age Ageing*. **43**: 748-759. 2014.
18. Shafiee G, Keshtkar A, Soltani A, *et al.*: Prevalence of sarcopenia in the world: A systemic review and meta-analysis of general population studies. *J Diabetes Metab Disord*. 2017; **16**:21. doi 10.1186/s40200-017-0302-x
19. 池上直己, 福原俊一, 下妻晃二郎, 池田俊也：臨床のためのQOL評価ハンドブック。医学書院。2015.
20. Beaudart C, Reginster JY, Petermans J, *et al.*: Quality of life and physical components linked to sarcopenia: The SarcoPhAge study.

- Exp Gerontol.* **69**: 103 -110. 2015.
21. Rizzoli R, Reginster JY, Amal JF, *et al.*: Quality of life in sarcopenia and frailty. *Calcif Tissue Int.* **93**: 101 -120.2013.
 22. Patel HP, Syddall HE, Jameson K, *et al.*: Prevalence of sarcopenia in community-dwelling older people in the UK using the European Working Group on Older People (EWG SOP) definition: findings from the Hertfordshire Cohort Study (HCS). *Age Ageing.* **42**: 378 - 384. 2013.
 23. Janssen I, Heymsfield SB, Ross R. Low relative skeletal muscle mass (sarcopenia) in old persons is associated with functional impairment and physical disability. *J Am Geriatr Soc.* **50**: 889 - 896 2002.
 24. Tanimoto Y, Watanabe M, Sun W, *et al.*: Association between sarcopenia and higher -level functional capacity in daily living in community-dwelling elderly subjects in Japan. *Arch Gerontol Geriatr.* **55**: e9 -13. 2012.
 25. Beaudart C, Zaaria M, Pasleau F, *et al.*: Health outcomes of sarcopenia: A systemic review and Meta- Analysis. *PLOS ONE*. doi:10.1371/journal.pone.0169548, 2017.
 26. Castillo EM, Goodman-Gruen D, Kritiz-Silverstein D, *et al.*: Sarcopenia in elderly men and women. The Rancho Bernardo Study. *Am J Prev Med.* **25**: 226 - 231. 2003.
 27. Cawthon PM, Blackwell TL, Cauley J, *et al.*: An evaluation of the usefulness of consensus definitions of sarcopenia in older men: results from the observational Osteoporotic Fractures in Men (MrOS) cohort study. *Am Geriatr Soc.* **63**: 2247 - 2259. 2015
 28. Gillain S, Elbouz L, Beaudart C, *et al.*: LES CHUTES DE LA PERSONNE ÂGÉE (Falls in the elderly). *Rev Med Liege.* **69**: 258 -264. 2014.
 29. Chalhoub D, Cawthon PM, Enarud KE, *et al.*: Risk of non-spine fractures among older men and women with Sarcopenia, low bone mass, or both. *J Am Geriatr Soc.* **63**:1733 -1740. 2015.
 30. Yu R, Leung J, Woo J. Sarcopenia combined with FRAX probabilities improves fracture risk prediction in older Chinese men. *J Am Med Dir Assoc.* **15**: 918 - 923. 2014.
 31. Janssen I, Heymsfield SB, Wang ZM, Ross R. Skeletal muscle mass and distribution in 468 men and women aged 18 -88 years. *J Appl Physiol.* **89**: 81 - 88. 2000.
 32. Taaffe DR, Cauley JA, Danielso M, *et al.*: Race and sex effects on the association between muscle strength, soft tissue, and bone mineral density in healthy elders: The Health, Ageing, and Body Composition Study. *J Bone Miner Res.* **116**: 1343 -1352. 2001.
 33. Roche AF. Sarcopenia: a critical review of its measurement and health-related significance in the middle-aged and elderly. *Am J Hum Biol.* **6**: 33 - 42. 1994.
 34. Woo J, Leung J, Morley J E. Defining sarcopenia in terms of incident adverse outcomes. *J Am Med Dir Assoc.* **16**: 247 - 252. 2015.
 35. Fried LP, Tagen CM, Walston J, *et al.*: Frailty in older adults: evidence for a phenotype. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci.* **56**: M146 -156. 2001.
 36. Makizako H, Shimada H, Doi T, *et al.*: Impact of physical frailty on disability in community-dwelling older adults: A prospective cohort study. *BMJ Open.* **5**: e008462. 2015.
 37. Vermeire S, Vella-Azzopardi R, Beckwée D, *et al.*: Frailty and the Prediction of Negative Health Outcomes: A Meta-Analysis. *JAMDA.* **17**: 1163. e1-1163. e 17. 2016.
 38. 坂井建雄, 川原克雅 総編集: 人体の正常構造と機能. X 運動器. 日本医事新報社. 東京. 2017.
 39. 田川邦夫著: からだの生化学 (第2版改訂版). タカラバイオ株式会社. 2008.
 40. Moor MJ, Rbeiz JJ, Holden M, Adams R. Biometric Analysis of Normal Skeletal Muscle. *Acta Neuropathol.* **19**: 51 - 69. 1971.
 41. 朝長正徳, 万年徹, 亀山正邦. 老年者における骨格筋の変化—神経筋疾患との対比—. 日老医誌. **11**: 15 -19. 1974;
 42. Larsson L, Sjödin B, Karlson J. Histochemical and biochemical changes in human skeletal muscle with age in sedentary males, age 22 -65 years. *Acta Physiol Scand.* **103**: 31 - 39. 1987.
 43. Lexell J, Taylor CC, Sjöstrom M. What is the cause of the ageing atrophy? Total number, size, and proportion of different fiber types studied in whole vastus lateralis muscle from 15 -to 83-year-old men. *J Neurol Sci.* **84**: 275 -294. 1988;
 44. 山田陽介. 骨格筋量・サルコペニアの定義を再考する—機能的骨格筋細胞量・筋内組成に着目して—. 体力科学. **64**: 461-472. 2015.
 45. 谷本芳美, 渡邊美鈴, 河野玲, 他: 日本人筋肉量の加齢による特徴. 日老医誌. **47**: 52 - 57. 2010.
 46. Gallagher D, Visser M, DeMeersman RE, *et al.*: Appendicular skeletal muscle mass: effects of age, gender, and ethnicity. *J Appl Physiol.* **83**: 229 - 239. 1997. Epub 1997 /07 /01
 47. Forbes GB. Longitudinal changes in adult fat-free mass: influence of body weight. *Am J Clin Nutr.* **70**: 1025 -1031. 1999. Epub 1999 /12 /03
 48. Juul A, Skakkebaek NE. Androgens and the ageing male. *Hum Reprod Update.* **8**:423 -433. 2002. Epub 2002 /10 /26
 49. Verdijk LB, Koopman R, Schaart G, *et al.*: Satellite cell content is specifically reduced in type II skeletal muscle fibers in elderly. *Am J Physiol Endocrinol Metab.* **292**: E151 - 157. 2007.
 50. Lauretani F, Russo CR, Bandinelli S, *et al.*: Age-associated changes in skeletal muscles and their effect on morbidity: an operational diagnosis of sarcopenia. *J Appl Physiol.* **95**: 1851-1860. 2003.
 51. Houston DK, Nicklas BJ, Ding J, *et al.*: Dietary protein intake is associated with lean mass change in older, community-dwelling adults: the health, aging, and body composition (Heath ABC) study. *Am J Clin Nutr.* **87**:150 -155. 2008.
 52. Kobayashi S, Asakura K, Suga H, *et al.*: High protein intake is associated with low prevalence of frailty among old Japanese women: a

- multicenter cross-sectional study. *Nutr J*. **12**: 164 - 174. 2013.
53. Beasley JM, LaCrok AZ, Neuhouser ML, *et al.*: Protein intake and incident frailty in the women's health initiative observation study. *J Am Geriatr Soc*. **58**: 1063 -1071. 2010.
54. Chevalier S, Gougeon R, Nayar K, Morais JA. Frailty amplifies the effects of aging on protein in metabolism: role of protein intake. *Am J Clin Nutr*. **78**: 422 - 429. 2003.
55. Yamaguchi M, Yamada Y, Nanri H, *et al.*: Association between the frequency of protein-rich food intakes and Kihon-Cheklist frailty indices in older Japanese adults: The Kyoto-Kameoka Study. *Nutrients*. 2018; **84**. doi:10. 3390 /nu 10010084
56. León-Muñoz LM, Guallar-Castillon P, Lopez-Gacia E, *et al.*: Mediterranean diet and risk of frailty in community-dwelling older adults. *J Am Med Dir Assoc*. **15**: 899 - 903. 2014.
57. 熊谷修, 渡辺修一郎, 柴田博, 他: 地域在宅高齢者における食品摂取の多様性と高次生活機能低下の関連. 日本公衆衛生雑誌. **50**: 1117-1124. 2003;
58. Yokoyama Y, Nishi M, Murayama H, *et al.*: Association of dietary variety with body composition and physical function in community-dwelling elderly Japanese. *J Nutr Health Aging*. **20**: 691 - 696. 2016.
59. Yokoyama Y, Nishi M, Murayama H, *et al.*: Dietary variety and decline in lean mass and physical performance in community-dwelling older Japanese: A 4-year follow- up study. *J Nutr Health Aging*. **21**: 11 -16. 2017.
60. Kim HK, Suzuki T, Saito K, *et al.*: Effects of exercise and amino acid supplementation on body composition and physical function in community-dwelling elderly Japanese sarcopenic women: a randomized controlled trial. *J Am Geriatr Soc*. **60**: 16 - 23. 2012;
61. Kim H, Kim M, Kojima N, *et al.*: Exercise and nutritional supplementation on community-dwelling elderly Japanese women with sarcopenia obesity: Randomized controlled trial. *J Am Med Dir Assoc*. **17**: 1011-1019. 2016.
62. Tieland M, van de Rest O, Dirks ML, *et al.*: Protein supplementation improves physical performance in frail elderly people: a randomized, double-blind, placebo-controlled trial. *J Am Med Dir Assoc*. **13**: 720 - 726. 2012.
63. Tieland M, Dirks ML, van der Zwaluw N, *et al.*: Protein supplementation increases muscle mass gain during prolonged resistance-type exercise training in frail people: a randomized, double-blind, placebo-controlled trial. *J Am Med Dir Assoc*. **13**: 713 - 719. 2012.
64. Kim H, Suzuki T, Kim M, *et al.*: Effects of exercise and milk fat globule membrane (MFGM) supplementation on body composition physical function, and hematological parameters in community-dwelling frail Japanese women: a randomized double blind, placebo-controlled, follow-up. *Plos One*. **10**: e0116256, 2015.
65. Adams JS, Hewlston M.: Update in vitamin D. *J Clin Endocrinol Metab*. **95**: 471 - 478. 2010.
66. Ceglia L.: Vitamin D and its role in skeletal muscle. *Curr Opin Clin Nutr Metab Care*. **12**: 628 - 633. 2009.
67. Pike JW.: Closing in on vitamin D action in skeletal muscle: Early activity in muscle stem cells? *Endocrinology*. **157**: 48 - 51. 2016.
68. Suzuki T, Kwon J, Kim H, *et al.*: Low serum 25 -hydroxyvitamin D levels associated with falls in Japanese community - dwelling elderly. *J Bone Miner Res*. **23**: 1309 -1317. 2008.
69. Shimizu Y, Kim H, Yoshida H, *et al.*: Serum 25 -hydroxyvitamin D level and risk of falls in Japanese community- dwelling elderly women: a 1-year follow up study. *Osteoporos Int*. **26**: 2185 - 2192. 2015.
70. Smit E, Crespo CJ, Michael Y, *et al.*: The effect of vitamin D and frailty on mortality among non-institutionalized US older adults. *Eur J Clin Nutr*. **66**: 1024 -1028. 2012.
71. Shardell M, D'Adamo C, Alley DE, *et al.*: Serum 25 -hydroxyvitamin D, transitions between frailty states, and mortality in older adults: the Invecchiare in Chianti Study. *J Am Geriatr Soc*. **60**: 256 - 264. 2012.
72. Biscoff-Ferrari HA, Dawson-Hughes B, Stocklin E, *et al.*: Oral supplementation with 25 (OH)D₃ versus vitamin D₃: Effects of on 25 (OH) D levels, lower extremity function, blood pressure, and markers of innate immunity. *J Bone Mineral Res*. **27**: 160 -169. 2012.
73. Beaudart C, Buckinx F, Rabenda V, *et al.*: The effects of vitamin on skeletal muscle strength, muscle mass, and muscle power: systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *J Clin Endocrin Metab*. **99**: 4336 - 4345. 2014.
74. 内閣府：令和元年版高齢社会白書. <http://www8.cao.go.jp/kourei/whitepaper/w.2019/zenbunpdf/1s1s-03.pdf>

キヌア粉の加工性の検討

石井 和美 (ISHII Kazumi)^{1*}, 小林 三智子 (KOBAYASHI Michiko)¹

Key Words: キヌア粉, 用途開発, 製パン

はじめに

近年、キヌアはスーパーフードとして注目を浴びている。キヌアに含まれる豊富なミネラルだけでなく、数々の機能性成分が明らかになっているからである。キヌアは、米に混ぜ込んで炊飯する雑穀ミックスに登場することが多い。また、シリアルなどにも使用され、一般的に穀粒のまま使用されることが多い。また、茹でてサラダの具材として使用する、スープの具材にする等、工夫されてきてはいるが、日常食に使用する食材としては定着していない。キヌアに含まれるカルシウムや鉄などのミネラルは、現代人に不足しがちな代表的な栄養素であり、日常食に用いられる食材として定着しないのはとても惜しいことである。米に混ぜ込む方法は簡便なため広く普及している。しかし、米の消費量は年々減少傾向にある。総務省の家計調査によると2020年以降、一世帯当たりの年間品目別支出額はパンが米を上回り、令和2年においてはパンへの支出は米の支出の約1.4倍にまでになった¹⁾。

一方、あわ、ひえなどの雑穀は、かつては日本の主食であった。米が広く普及したために消費量も生産量も減少し、現在日本の雑穀の食料自給率は10%程度といわれている²⁾。公益財団法人日本特産農作物種苗協会の特産種苗32号(2021.1発行)の雑穀類の生産状況によると、令和元年、そばを除いた、あわ、きび、ひえなどの雑穀は岩手県が一大産地である。キヌアを生産していたのは山梨県のみ、

作付面積はわずか140a、収穫量は1tだった。したがって、現在日本で流通するキヌアはほとんどが輸入品である。キヌアは南米アンデス地方原産で、ボリビアやペルーから輸入したことが多い。日本で作付けが増加しないのは、気候など生育環境の条件も影響していると予想されるが、1つの要因として、用途が少ない点も影響しているのではないかと考えられる。また、スーパーフードとして広く話題になり、入手しにくい状況が発生してもそれは一時的なもので、生産農家の安定した収益には繋がりにくいのではないだろうか。

そこで、用途開発の1つとして、キヌア粉でパンを調製することに着目した。Fig. 1に研究のコンセプトを示した。雑穀粉の用途開発が進み、調製法の

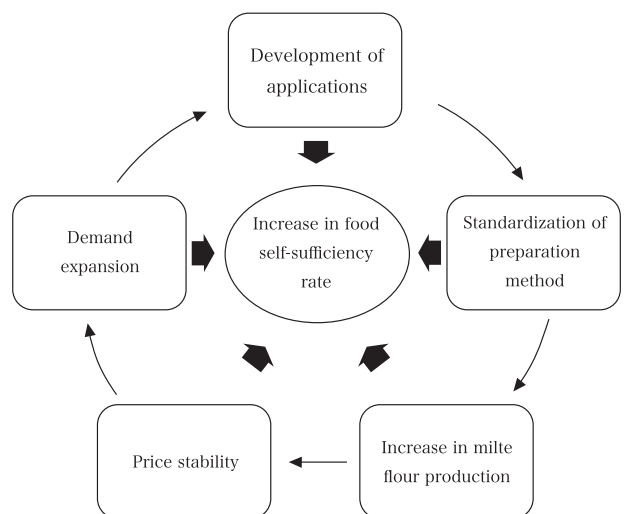


Fig. 1 Research concept

* 責任著者: 石井 和美 (Kazumi Ishii) e-mail: da18001@jumonji-u.ac.jp

十文字学園女子大学人間生活学研究科

〒352-8510 埼玉県新座市菅沢 2-1-28

標準化が図れば需要が増加し、それに伴って生産が増加する。その結果、価格が低下して安定し、さらに需要が増加する。このサイクルが回り始めれば、食料需給率の増加に寄与できるのではないかと考えている。

筆者らはこれまで、数種の雑穀粉を使用してその製パン性を検討してきた^{3,5)}。その中でもキヌアパンはクラムが良く整い、細かい気泡を保持していた。糊化特性の測定結果からは、糊化後の粘度低下が小さいため、加熱形成が良く作りやすいことが示唆された。しかし膨らみは悪く、食味には特有のえぐみがあった。そこで、まずパンの膨らみを改善することにした。膨らみが改善すれば、それに伴って食感も変化することが予想される。米粉や雑穀粉は小麦粉のようにグルテンを構成するタンパク質を含まないために膨らみが悪く、グルテンを添加して製パンすることが多い。グルテンフリーパンでは、グルテンに替えて増粘多糖類などが使用される。本稿では、メチルセルロース (MC) とヒドロキシプロピルメチルセルロース (HPMC) を使用して製パン性に与える影響を検討した。そして、最も状態が改善したパンの食味改善を試みた。その一部を紹介する。

1. キヌアパンの調製と検討項目

キヌア粉はペルー産 (辻安全食品 (株)) を使用した。パンの原材料として、グラニュー糖 (三井精糖 (株))、無塩バター (よつ葉乳業 (株))、食塩 ((公財) 塩事業センター) を使用した。増粘多糖類として MC1 種 (メトロース MCE-4000 信越化学工業 (株)) (以下 MCE-4000 と示す)、HPMC2 種 (メトロース SFE-4000, SE-50 同社製) (以下、SFE-4000, SE-50 と示す) を使用した。メトロースは、冷水に溶解し、その水溶液はある温度以上になるとゲル化、または白濁沈殿し、冷却すると元の状態に戻る性質をもつ。また、界面活性効果を示し、乳化剤としての働きも期待できる食品添加物である。製パン性の検討にはドライイースト (低糖用) (フランス産 S. I. Lesaffre) を使用した。

パンは、既報³⁾ の配合割合を基準に調製した。キヌア粉 100 g に対して、加水量 120%、グラニュー糖 5%、無塩バター 5%、食塩 1%、ドライイースト 2% で調製し、このパンをコントロールとした。各増粘多糖類は、キヌア粉の重量に対して 1.00% ~

2.00% まで段階的に添加した。まず、ボウルで雑穀粉 250 g とメトロースをホイッパーでよく攪拌して均一にした。家庭用ホームベーカリー (B-B67, (株) シー・ピー・シー) のパンケースに、水温 6°C のイオン交換水を 300 g 入れ、バター 12.5 g、グラニュー糖 12.5 g、食塩 2.5 g、キヌア粉とメトロースを攪拌したもの、ドライイースト 5 g を入れ、早焼きコース (一連の工程 1 時間 58 分) で調製した。焼成後はすぐに取り出し、室温 (25°C) で 1 時間放冷した後、測定に供した。

製パン性を客観的に検討するために、菜種法でパンのみかけの体積を測定し、比容積を算出した。また、パンのクラム中央部分を 2 cm 幅で水平に切り、その中央部分を 2 cm 角の直方体に切り出して測定試料とした。測定にはクリープメーター (レオナー RE2-3305B (株) 山電) を使用した。試料の高さの 75% まで直径 4 cm のアクリル樹脂製円盤型プランジャーで 2 回圧縮し、テクスチャー特性値を解析した。ロードセルは 20 N, 200 N を用い、圧縮速度は 1 mm/s とした。

増粘多糖類の添加量を決定後、食味の改善を図るために、紅茶の茶葉 (アールグレイ)、レモングラスの粉末を粉重量の 4.00%、6.00% 添加して食味の改善を試みた。

パンは 4 回調製して比容積、およびテクスチャーを測定し、平均値と標準偏差を求めた。統計処理ソフト (SPSS Statistics Ver.21 IBM) を使用して分散分析を実施後に一元配置分散分析を行い、Bonferroni 法による多重比較によって検定した。統計的有意水準は 5% 未満とした。

2. 増粘多糖類を添加したキヌアパンの特徴

家庭用製パン機で調製した食パンの断面写真を Fig. 2 に示す。キヌア粉に SFE-4000 と SE-50 を添加して製パンすると 0.50% ~ 2.00% のどの添加量で調製してもパンはケービングを起こした。添加量を増すとケービングは減少傾向を示したが、2.00% 添加しても改善しなかった。MCE-4000 を添加してパンを調製すると、0.50% 添加したパンはケービングを起こしたが、1.00% 以上添加すると改善した。ケービングを起こしたパンのクラムは不均一で気泡の大きさにばらつきが認められた。MCE-4000 を 1.00% 以上添加すると、パンのすだちは整っていた。

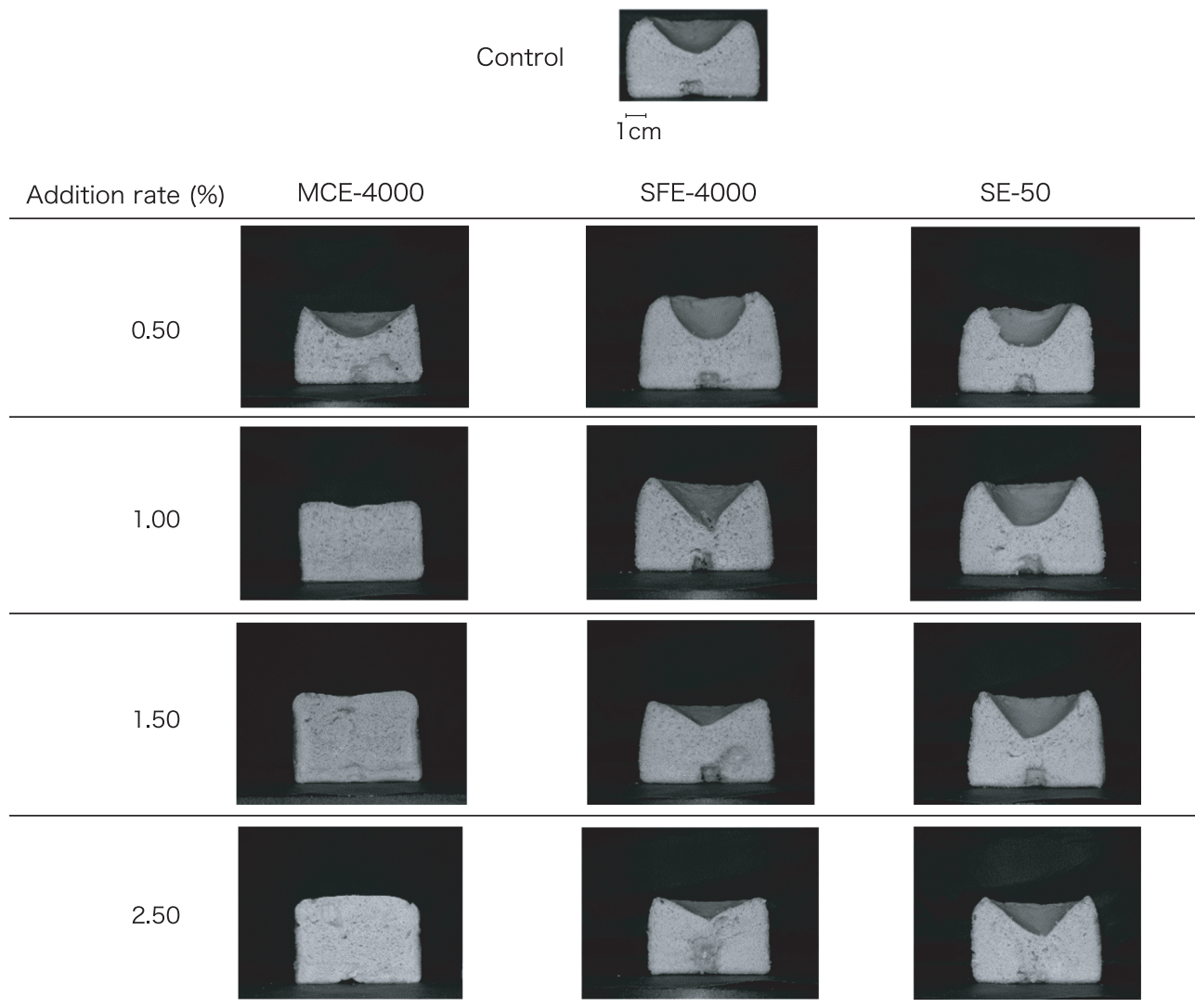


Fig. 2 Cross section images of bread prepared with Quinoa flour.

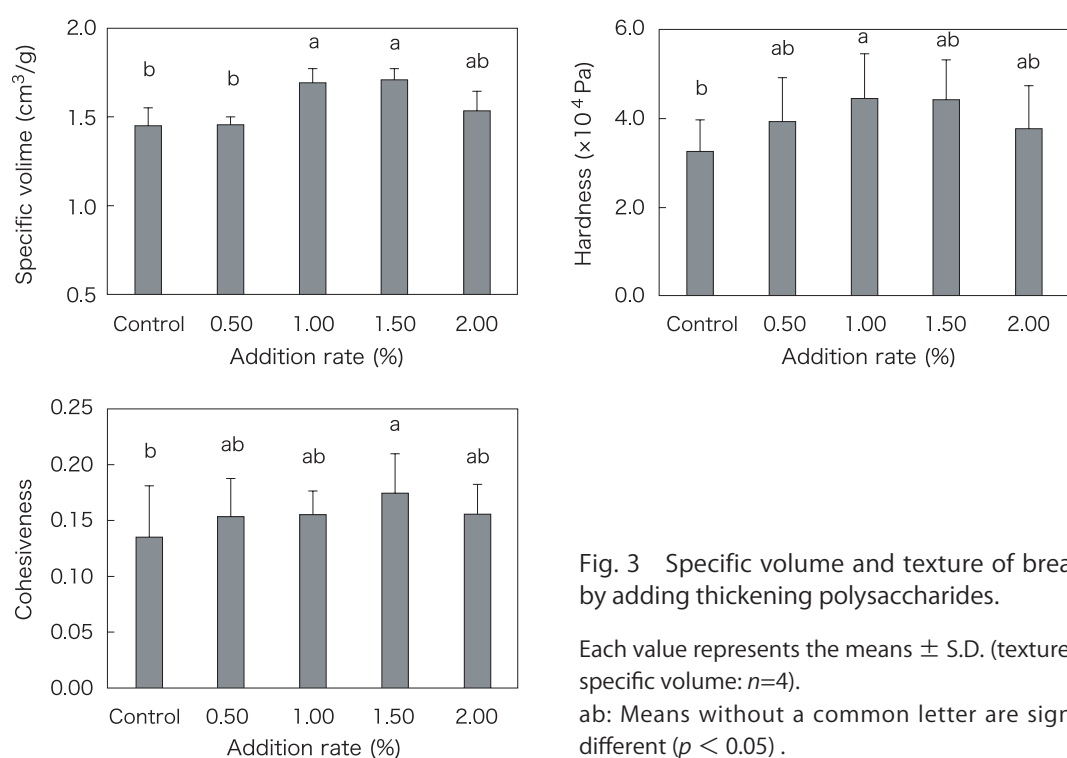


Fig. 3 Specific volume and texture of bread made by adding thickening polysaccharides.

Each value represents the means $\pm$ S.D. (texture: $n=7-17$, specific volume: $n=4$).

ab: Means without a common letter are significantly different ($p < 0.05$).

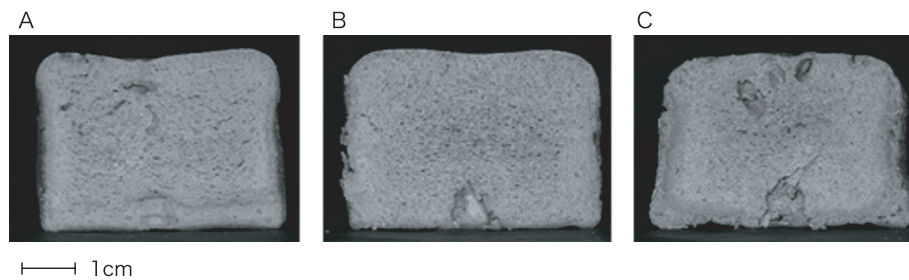


Fig. 4 Cross section images of bread made by adding lemongrass to quinoa flour.

A: Quinoa bread with MCE-4000 1.50% added., B: Bread with 4% lemongrass added to A., C: Bread with 6% lemongrass added to A.

MCE-4000 を添加したパンの比体積とテクスチャー特性値を Fig. 3 に示す。MCE-4000 を 1.00 ～ 1.50% 添加すると比容積は増加し、コントロールと比較して有意差が認められた ($p<0.05$)。クラムは MCE-4000 を 1.00% 添加するとコントロールより硬くなったが ($p<0.05$)、1.50% 添加した場合はコントロールと比較してかたさに有意差は認められなかった。また、凝集性は有意に増加した ($p<0.05$)。MCE-4000 を 1.00%, または 1.50% 添加するとクラムの状態が良く、両者を比較すると、1.50% 添加したほうが比容積も凝集性の値も大きい傾向を示し、クラムは軟らかい傾向を示した。確認のため添加量 1.25%, 1.75% でも製パン試験を実施したが、比容積は 1.50% の方が大きい傾向を示したため、総合的に判断して、MCE-4000 を 1.50% 添加したパンが最も状態が良いと考えられた。

3. キヌアパンの風味・食味改善の試み

キヌア粉で調製したパンは独特のえぐみがあり、苦味に似た後味が残る。そこで、風味と苦味をマスキングするために、MCE-4000 を 1.50% 添加したパンに、紅茶の茶葉とレモングラス粉末を添加してパンを調製した。添加量は、4.00%, および 6.00% に設定した。予備実験の結果、2.00 ～ 3.00% では風味に与える効果が少なかったため、この添加量とした。紅茶の茶葉はミルで粗くひいた状態で添加したが、製パンした場合、物性に与える影響が大きく、

改善効果を得られなかった。

レモングラス粉末を添加して調製したパンの断面写真を Fig. 4 に示す。4.00% 添加した場合、クラムに大きな変化はなかった。しかし、6.00% 添加すると、クラストとクラムの間に、気泡を含まずドウがそのまま固まった状態の部分が出現し、パン全体の形が崩れた。また、食感はゴムのようであった。レモングラスを添加すると、比容積は低下傾向を示し、かたさは増加傾向を示した。パンの食味は、レモングラスを 4.00% 添加すると、えぐみがマスキングされ後味が少し改善した。

結び

キヌア粉 100% で調製したパンは膨らみが悪く、食感はぼそぼそしていて食味も良くない。そこで、膨らみを改善することで食感も変化することを期待し、増粘多糖類を添加した。MCE-4000 を 1.50% 添加するとキヌアパンの膨らみは改善したが、クラムは軟らかくならなかった。膨らみが増して、さらにクラムが軟らかくなることも大事な要素だが、今後は、噛み応えのあるパンへの展開も視野に入れて検討していきたい。食味と風味の改善も難題である。本稿ではレモングラスの添加で風味や後味が若干改善されたが、まだ不十分である。キヌア粉は栄養価が高く、パンの付加価値を高めることも可能である。将来、おいしいキヌアパンを提供できるように、さらに検討をかさねていきたい。

文 献

1. 総務省統計局：家計調査（家計収支編）時系列データ（総世帯・単身世帯），1. 品目分類：支出金額・名目増減率・実質増減率（年），<http://www.stat.go.jp/data/kakei/longtime/soutan.html#time>
2. 大迫早苗：雑穀の利用と今後の課題，日本調理科学会誌，46: 142-143, 2013.
3. 石井和美，早川あつ美，藤井恵子：雑穀で調製したグルテンフリーパンの製パン性，日本調理科学会誌，51: 89-96, 2018.
4. 石井和美，小林三智子：ホワイトソルガムパンの加工性と嗜好性向上の検討，New Food Industry, 60: 19-25, 2018.
5. 石井和美，小林三智子：ホワイトソルガム粉で調製した生地と製パン性に関する研究，日本家政学会誌，72, 95-104, 2021.

新解説 グルテンフリー食品中の擬似穀物の利用 2 —キノア, ソバ—

瀬口 正晴 (SEGUCHI Masaharu)^{1,2}

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

Key Words: グルテンフリー, 擬似穀物, キノア, ソバ

本論文「新解説 グルテンフリー食品中の擬似穀物の利用 2—キノア, ソバ—」は“Gluten-Free Cereal Products and Beverages” (Edited by E. K. Arendt and F. D. Bello) 2008 by Academic Press (ELSEVIER) の第7章 Pseudocereals を翻訳紹介するものである。

キノア

炭水化物, デンプン

キノアの主な成分はデンプンである。しかしながらキノアのデンプン含量は、穀物中のものより低い (表 7.1)。アマランスにおけるデンプンは外胚乳中にあるが、少量は種子膜と胚にもある (Prego *et al.*, 1998)。キノアデンプンは1個の多形粒で0.63–1.8 μ m (平均 1.5 μ m) のサイズである (Atwell *et al.*, 1983; Ando *et al.*, 2002)。また、デンプン粒の複合体が見出され、そこでは14000 単一粒までは1複合体を作っている (Lorenz, 1990)。これらの複合体は球状または横長であり、タンパク質マトリックスでとり囲まれ、80 μ m 長に達する。キノアデンプンのタンパク質含量は、他の穀物デンプンより高い (Atwell *et al.*, 1983)。

2つの大部分のデンプン粒結合タンパク質は、粒結合デンプン合成酵素 I (GBSSI) で、分子マスは56 と 62 である (Lindeboom *et al.*, 2005b)。GBSSI 含量はデンプン中のアミロースの濃度とポジティブの関係がある。キノアデンプン中のアミロース含量は穀物デンプンよりずっと低く、異なった量が見出され、その範囲は3–22% である (Atwell *et al.*, 1983; Qianand Kuhn, 1999a; Tang *et al.*, 2002; Wright *et al.*, 2002; Tari *et al.*, 2003; Lindeboom *et al.*, 2005a, 2005b)。デンプンは、短鎖分子グルカンで平均分子量は 11.3×10^6 g/mol である (Praznik *et al.*, 1999)。

Tang *et al.*, (2002) は、キノアアミロペクチンのユニークな鎖長分布を見出し、それはワキシアミロペクチンに似ていて、長鎖に対する短鎖のより大きな比率である。X線分析パターンは、デンプンが典型的な“A”タイプの結晶性をもつことを示した (Qianand Kuhn, 1999a; Wright *et al.*, 2002)。

キノアデンプンは他の穀物より高い糊化温度を持ち、より高い粘度を持つ。これらの値は冷却で増加する (Atwell *et al.*, 1983; Lorenz 1990; Ruales and Nair, 1994; Schoenlechner, 1997)。さらに低アミロース含量は、高水結合能、高膨潤能、高酵素感受性、特別の冷凍解凍能、老化安定性と関係がある (Atwell *et al.*, 1983; Lorenz, 1990; Ahamed *et al.*, 1996; Qian and Kuhn, 1999a)。これらの物理的性質はアミロース含量とポジティブの関係にある (Lindboom *et al.*, 2005a)。アミロース含量内の広いバリエーションは、

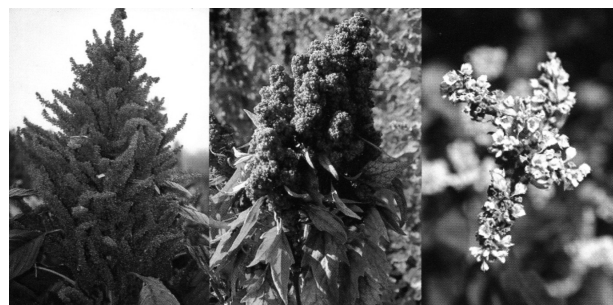


図 7.1 左から右に、アマランス (*Amaranthus cruentus*), キノア (*Chenopodium quinoa*), ソバ (*Fagopyrum esculentum*)

¹ 神戸女子大学, ² 日本穀物科学研究会前会長, ³ 神戸女子短期大学

表 7.1 アマランス *Amaranthus* spp.、キノア *Chenopodium quinoa*, ソバ *Fagopyrum esculentum* の一般組成

成分	組成 (平均値%, 範囲はカッコ内)		
	<i>Amaranthus</i> spp.	<i>Chenopodium quinoa</i>	<i>Fagopyrum esculentum</i>
Water	11.1 (9.1-12.5) ^a	12.7	14.1 (13.4-19.4)
Protein (N x 5.8)	14.6 (14.5-14.8)	13.8 (12.2-13.8)	10.9 (10.4-11.0)
Fat	8.81 (6.56-10.3)	5.04 (5.01-5.94)	2.71 (2.40-2.80)
Starch	55.1	67.35 ^b	67.2
Crude fiber	3.9-4.4 ^d	2.3 ^c	—
Dietary fiber	11.14 ^b	12.88 ^b	8.62 ^b
Minerals	3.25	3.33 (2.46-3.36)	1.59 (1.37-1.67)

From Souci *et al.* (2000).

^aThe range given in brackets represents the range from the lowest to the highest value given in the literature.

^bOwn measurements.

^cSaunders and Becker (1984).

^dBased on dry matter, Gamel *et al.* (2006a).

そのためキノアデンプンの物理的性質の違いに関係がある。

抵抗デンプン

色々な穀物、擬似穀物中の抵抗デンプン含量（老化 RS₃ 加工中に生じる）は、酵素的（AACC 法 32-40）に Milkulikova and Kraic (2006) によって測定された。キノアの値は 12.6±1.29g/kg 種子、これは他の穀物、例えば小麦（39.0±5.7g/kg）あるいはライ麦（49.0±7.3g/kg）よりも低い。RS/ 全デンプンの比率はキノアで 2.18%，小麦、ライ麦で各々 5.64%，7.01% であり比較出来る。かなり低いキノアの RS 含量の理由は、低アミロース含量のせいで、低 RS の形成のためである。

低分子量炭水化物

キノア中の遊離糖の量に関し、はっきりした結果が報告されている。Gonzalez *et al.*, (1989) は、グルコース含量 4.55%，フラクトース 2.41%，シュクロース 2.39% と報告した。シュクロースに対するグルコースの異なる比は Gross *et al.*, (1989) によると；グルコース 0.19%，シュクロース 2.79%，ラフィノース 0.15%，スタキオース 0.08%，α- ガラクトサイド 0.23%，フラクトース 0%，ベルバスコース 0% であった。また Ogungbenle (2003) は、より低い量のグルコース（0.019%）を他の糖、例えばフラクトース（0.019%），ガラクトース（0.06%），リボース（0.07%），マルトース（0.1%），D- キシロース（0.12%）と比較した。

繊維

キノア食物繊維含量（12.88%）は他の穀物に匹敵するほどであるが（表 7.1），外胚乳より胚は高含量である（Hirano and Konishi, 2003）。全食物繊維のうち可溶性繊維は僅か 13.5% である（Ranforta *et al.*, 1993）。調理とオートクレーブで可溶性繊維区分は低下し、一方不溶性区分は変化しない（Ruales and Nair, 1994）。

タンパク質

キノアのタンパク質含量は他の穀物より高く、タンパク質の品質は非常に良い（表 7.1）。

貯蔵タンパク質

キノアタンパク質は主にグロブリンとアルブミンである。種子タンパク質は、31% 水、37% 塩、0.8% アルコール、11.5% アルカリ可溶、19.7% 不溶性タンパク質区分からなる（Prakash and Pal, 1998; Ando *et al.*, 2002; Watanabe *et al.*, 2003）。各タンパク質区分のアミノ酸プロファイルは、高レベルのリジン（4.5-7.0%）を含んだバランスのとれた不可欠アミノ酸の内容を示す（Watanabe *et al.*, 2003）。キノア種子中のタンパク質の 2 つの主クラスのタンパク質は、11S（ケノボジン, chenopodin）と 2S（高システイン）タンパク質である（Bringar and Goundan, 1993; Brinegar, 1997）。11S と 2S のはっきりした構造および可溶性の特徴は、はっきりそれらの性質が違う事を示している。酸性条件下でケノボジン不溶性であるのは、他の 11S タンパク質の特徴であり、一方、キノア 2S タンパク質は高度に可溶で、多く

のシステイン残基を含んでいる。

アミノ酸

アミノ酸は 38.71g/100g タンパク質の濃度で存在し、この値は全卵タンパク質の濃度より僅かに 16% ほど低い (Drzewiecki *et al.*, 2003)。キノアタンパク質は FAO の推薦する不可欠アミノ酸のパターンに近い (Prakash and Pal, 1998)。リジンレベル (6.3%) は大豆のレベルと比べる事ができ、一方、他の典型的双子葉種子タンパク質の様にメチオニンが不足している (Ranhorta *et al.*, 1993)。しかしながら、違う結果が制限アミノ酸については報告されている。化学スコアにより芳香族アミノ酸チロシンとフェニルアラニンは、制限されるとわかったが、一方メチオニンとシステインの濃度は高い (Ruales and Nair, 1992a)。分画はキノアのアミノ酸組成に影響しないようだ (Chauhan *et al.*, 1992)。

栄養的品質

Ranhorta *et al.*, (1993) は、キノアのアミノ酸の品質を研究した。PER 値 (3.8) と C-PER 値 (2.7) は明らかにカゼインとは異なった。消化率は 84.3% でカゼイン (88.9%) よりも低かった。キノアタンパク質は 75.2 の NPU 値を持ち生物値 (BV) は 82.6 であった (Ruales and Nair, 1992a)。Chauhan *et al.*, (1999) は PER の増加を見出したがサポニン抽出後は BV の変化しないことを見出した。Ruales と Nair (1994) によると、*in vitro* では生のキノアのアミノ酸消化性はカゼインよりも低い。種子層の外側の除去は、そこにサポニンが含まれていて消化率を 7% まで改良した。消化性の増加はまた加熱処理後も見出された。さらに加熱処理は、有害物質 (例えばタンパク質阻害剤) も破壊する。構造変化もまた生じるだろう (例えば脂質—、あるいはデンプン—タンパク質複合体の低減)、それは加熱処理後のキノアタンパク質消化性の改良に関係あろう。しかしながら調理時間を永くすると改良のレベルは低下する。

アレルギーとセリアック病

キノアのアレルギーあるいはセリアック病患者への悪影響については文献上情報がない。

タンパク質の機能性

キノア粉のタンパク質可溶性は pH により、pH6.0 で最も小さく、それはパールミレット中に見られたようである (Oshodi *et al.*, 1999; Ogungbenle 2003)。しかしながら乳化能と安定性は、パールミレット、小麦よりキノアの方がベターであり、一方起泡性はより低いようだ (Oshodi *et al.*, 1999)。

酵素阻害剤

アマランス同様に、トリプシンインヒビター活性はキノアでは低く、加熱処理により不活性化する (Chauhan *et al.*, 1992)。Ruales and Nair (1992b) によると、1.36-5.04TIU/mL サンプルが見出され、それは豆中より低い。

脂質

キノア中の脂質含量は穀物中より高い。平均して 5-6% (表 7.1) の範囲で、しかしある品種ではより高い。例えば Ruales and Nair (1993a) は 9.7% の脂質含量を述べ、Pezybyski *et al.*, (1994) は 7.6% を測定した。脂質含量は外胚乳よりは胚芽中、種子表皮で高い。脂質は不飽和脂肪酸の高含量で特徴づけられ、リノール酸 (linoleic acid) は脂肪酸の 50% 以上と測定される。パルミチン酸は約 20% と測定され、オレイン酸約 8%、リノレン酸 (linolenic acid) 約 6% 以上と続く。不飽和度は 75% 以上 (Przybyski *et al.*, 1994)、あるいは Ando *et al.*, (2002) によると 87% 以上である。高ビタミン E 含量により、キノア脂質は貯蔵に安定であることが判った (Ng *et al.*, 2007)。リン脂質は全脂質の 25.2% を示した (Przybyski *et al.*, 1994)。それらはリゾフォスファチジルエタノールアミン (リゾセファリン)、フォスファチジルエタノールアミン、フォスファチジルイノシトール、フォスファチジールコリン (レシチン、それは全リン脂質の 49% を占める) である。他のリン脂質は僅かの量検知された。

ミネラル

キノア中のミネラル含量 (灰分) は、ほぼ穀物の 2 倍である (表 7.1)。成長条件はミネラル成分に影響するようである (Karyotis *et al.*, 2003)。Ca, Mg, Fe, Zn は高い量が見出される (Chauhan *et al.*, 1992; Ruales and Nair 1993a; Ando *et al.*, 2002; Kinishi *et al.*,

2004; Ogungbenle, 2003)。キノアはアマランスより高い量の K を含み Ca/P 比は 1:4.1–1:6 である (計算は Souci *et al.*, 2000; Chauhan *et al.*, 1992)。栄養学者は約 1:1.5 (Ca:P) を薦める)。サポニン除去で (機械的にあるいは洗浄で) キノアミネラル含量は大きく低下する (例えば K の 46% は減る) (Ruales and Nair 1993a; Konishi *et al.*, 2004)。

ビタミン

キノア中ビタミン含量は、これまでの穀物に見出されたものに類似している。Ruales and Nair (1993a) はキノア、小麦中でほぼ等量と述べている。キノアは、チアミン (0.4mg/100g)、葉酸 (78.1µg/100g)、ビタミン C (16.4mg/100g) の良い供給源である (Ruales and Nair, 1993a)。アマランスの様に、キノアにはリボフラビン (0.2mg/100g) が穀物以上ある。さらにキノアは、特にビタミン E の良い供給源である (Coulter and Lorenz 1990; Ruales and Nair, 1993a; Souci *et al.*, 2000)、それは油脂の安定性に貢献する。キノア種子には γ-トコフェロール (5.3mg/100g) が α-トコフェロール (2.6mg/100g) の 2 倍多い。Ruales and Nair (1993a) は、0.3mg/100g β-トコトリエノールを測定したが、いかなる α-トコトリエノールも見出せなかった。

植物化学物質

全フェノール化合物

キノア中いろいろなタンニン含量が報告され、その値は 0–500mg/100g の範囲である (Chauhan *et al.*, 1992; Ruales and Nair, 1993b)。この違いは品種と生息地の違いによるものと説明することが出来る。とにかく粒中 500mg/100g のタンニンレベルは、かなり低い。不溶性繊維中全フェルラ酸の含量を考えると、635µg 全フェルラ酸/g 不溶性繊維が報告された (Packert, 1993)。この値はアマランス中のものと同程度である。

フラボノイド

キノア中にあるポリフェノールは、主にケンペロールとケルセチングルコサイドである。2つのフラボノイドグリセロールは種子から分離された (DeSimone *et al.*, 1890)。Zhu *et al.*, (2001) はキノア中に 6 種のフラボノイドを分離し、4 種ケンペロー

ルグルコサイド、2 種ケルセチングルセロールを分離した。全て 6 成分は DPPH 試験で抗酸化活性を示した。2つのケルセチングルコシドは、存在する 4つのケンペロール 3- グルコサイドよりずっと強い活性を示した。さらに 5 種のフラボノールグルコサイドと 1 つのバニラ酸グルコシルエステルが Dini *et al.*, (2004) により見出された。

抗酸化活性

キノアはアマランスより抗酸化活性が強い (Jung *et al.*, 2006)。

サポニン

キノア (全種子) は、0.03–2.05% 間の苦味サポニンを含む (Ridout *et al.*, 1991; Chauhan *et al.*, 1992; Gee *et al.*, 1993; Ruales and Nair, 1993b; Cuadrado *et al.*, 1995)、しかしこれらの値はまだ大豆のそれに比べると低い。キノア種子中のサポニンは、オレアニン酸と 3 種の他のサポゲノール (hederagenin, phytolaccagenic acid, deoxyphtolaccagenic acid) からなる (Cuadrado *et al.*, 1995; Woldemichael and Wink, 2001)。化学的方法と光学および電子顕微鏡でキノアの果皮細胞中のサポニン体を同定した (Prado *et al.*, 1996)。球形のサポニン体は直径約 6.5µm で、4–5 個の小粒 (直径 2.2µm) が結合している。34% のサポニンは殻中に見出される (Chauhan *et al.*, 1992)。脱殻と洗浄で 72% まで含量は減る (Ruales and Nair 1993b; Gee *et al.*, 1993)。また加工でサポニンは破壊するが、含量の低下は洗浄や脱殻後に見られるほど大きくはない (Gee *et al.*, 1993)。

キノア種子中のサポニン含量を低下させるもう一つのやり方は、所謂甘い (低サポニン種) キノア種の生育によるものである。Mastebroek *et al.*, (2000) はいろいろな種のサポニン含量を調べ、苦い品種の 0.47–1.13% サポニンに比較し、甘い品種では僅か 0.02–0.04% サポニンであることを見出した。Koziol (1991) によると、もしサポニン含量が 0.11% 以下ならばその品種は甘い品種であるといえる。

フィチン酸

キノアは 0.1–1.0% のフィチン酸を含む (Chauhan *et al.*, 1992; Ruales and Nair, 1993b)。Varriano-Marston と De Francisco (1984) は、フィチン酸が

胚に集中していると述べたが、それはリン含有グロブイド介在物がこの組織に観察されたからである。しかしながら Chauhan *et al.*, (1992) ,Ruales and Nair (1993b) によると、フィチン酸は種子に不均一分布するため、研磨脱皮あるいは水抽出によっても減少しにくい。

粉の製造とその性質

小サイズンのため、キノアはふつうは全粒粉にするが、サポニンを洗浄あるいは研磨脱皮ミルして除去後に行う。異なった化学成分を有するキノア粉フラクションの製造研究は本当に少ない。サポニンは皮に集中しているので、その含量は種子の脱皮により最少にすることができる（例えば；接線研磨脱皮）(Reichert *et al.*, 1986)。Becker and Hanners (1990) は、キノアを石ミルを用いて挽き、種子の33-40% はふすま区分として除けて高研磨力を示した (Becker and Hanners 1990)。しかしながらふすま区分には外胚乳より栄養成分が高含量含まれ、またサポニン量も多かった。研究用ローラーミルが Chauhan *et al.*, (1992) により用いられ、粉区分からふすま区分を分離した。タンパク質-, 脂質-リッチのふすま区分として約40%は除外され、残った約50%はスターチリッチ粉区分となる（主に外胚乳）。キノアからのいろいろな粉区分の製造は、アマランス用と同様の道具で行った（前述部を参照, Nanka, 1998; Schoenlechner, 2001）。

さらに、技術的にローラーミルとプランシフターを結びつけたものを用いて、キノアをデンプンリッチ粉、中間区分、タンパク質リッチセモリナ区分の間で良好な分離ができた。最後に中間区分は、粉区分よりデンプン含量が高い事を示した。Caperuto *et al.*, (2000) は Senior Quadrumat Brabendermill を用いてキノア粉を作った。粒を150g/kg 水分のように前調製したブレーキプラスレダクション粉は平均粒子サイズ187.7 μ mの粉で最大の収量を得た。図らずも、粉のタンパク質含量は全粒粉で12.5%から粉では3.55%に落ちた。一方、タンパク質はリジンの点では大きくは改良せず、メチオニン、分枝鎖アミノ酸含量の増加がみられた。キノア粉のコーン粉への100g/kgという添加は、グルテンフリースパゲティを3倍に産生するまでの十分なリジン含量の改良があった。

ソバ

炭水化物, デンプン

ソバの全炭水化物含量は67-70%であり (Li and Zhang 2001; Steadman *et al.*, 2001a), そのうち54.5%はデンプンである (Steadman *et al.*, 2001a)。ソバデンプン粒は多角形でしばしば会合している。デンプン粒のサイズはかなり小さく、2-14 μ mの粒サイズ分布でその平均直径は6.5 μ mである (Acquistucci and Fornal 1997)。ソバデンプンは特徴的な成分区分を示し、そこではアミロースとアミロペクチンの比率が1:1である。この点でソバデンプンは穀物あるいは豆デンプンとは見てくれが違い、高アミロースコーンに似ている。アミロース含量はソバデンプンで46%ほどの高さが Qian *et al.*, 1998 and Soral-Smietana *et al.*, (1984a) に見出され、他の穀物デンプン同様21.1-27.4%の低い値も報告されている (Li *et al.*, 1994; Zheng and Sosulski 1998; Noda *et al.*, 1998; Qian and Kuhn, 1999b, 1999c; Yoshimoto *et al.*, 2004)。Yoshimoto *et al.*, (2004) の研究で、実際のアミロース含量は16-18%であり、見かけのアミロース含量 (26-27a%) よりも低い、それはソバアミロペクチン (2.21-2.48%) のヨード親和性が高いためである。

ソバデンプンは多量の長鎖アミロペクチンを含んでいる (Noda *et al.*, 1998; Oroznic 1999; Yoshimoto *et al.*, 2004)。長鎖区分は多く (12-14% 重量測定), しかしアミロースとアミロペクチンの短鎖 (分子の基礎に基づく) は小麦、大麦デンプンで測定されるものと類似である (Yoshimoto *et al.*, 2004)。Noda *et al.*, (1998) は、40% 以上のアミロペクチンは10-12の重合度を示し、ソバデンプンの平均重量は94900でありこれは他の穀物あるいは擬似穀物から分離されたデンプンよりもモチコーンスターチの値に近いことを示した。デンプンはX線解析典型的タイプ“A”パターンを示し、さらに結晶化度は38.3から51.3%を示す (Qian and Kuhn 1999b; Zheng *et al.*, 1998)。

一般にはソバデンプンは他の穀物デンプンより高い糊化温度ピーク、セットバック値を示す (Wei *et al.*, 1995; Zheng *et al.*, 1998), そして根茎デンプンの糊化的性質と類似である (Whisleetal 1984)。高粘度値は超分子グルカン構造で説明され (Praznik *et al.*, 1999), そしてソバデンプンは穀物デンプンよりも高い粒膨潤、ゲル化傾向

を示す (Pomeranz, 1991; Yoshimoto *et al.*, 2004)。Acquistucci and Formal (1997) は、より高い膨潤度は粒中のより弱いがより伸張結合力の大きい結果であることを示し、一方 Qian *et al.*, (1998) は、アミロース脂質複合体の存在が膨潤力と溶解性を制限するように働くことを示した。ソバデンプンの酸や α -アミラーゼ加水分解に対する増加した感受性は、コーンや小麦デンプンよりも大きいソバデンプン粒の大きなアモロフォス域のためである (Qian *et al.*, 1998)。ソバデンプンの水結合能は、109.9% で小麦やコーンデンプンより大きく、ソバデンプン粒の小さなサイズのためと説明される (Qian *et al.*, 1998)。

抵抗デンプン

生のひきわりソバには 73.5-76.0% デンプンを含み、そのうちの 33.5-37.8% は抵抗デンプンである (RS) (Skrabanja and Kreft 1998; Skrabanja *et al.*, 1998), これはソバを低グリセミックインデックス食品にデザインする興味深い材料を意味する。加工は RS の分布に影響する。熱処理 (例えば調理, あるいは 110°C への乾熱) は, RS を 7.4% 減少するが, 一方老化デンプン (RS₃) レベルは沸騰により 4 倍増加する (Skrabanja *et al.*, 1998, 2001)。RS₃ 値のソバでは 3.79% であり, 抵抗デンプン/全デンプンの比率は 6.51% と計算され, それはキノアやアマランスで見られる値より 3 倍以上大きい。これらの結果はソバにはアミロースがより多く含まれることを示す (Mikulikova and Kraic, 2006)。

繊維と D-chiro-insitol (D- チロ - イノシトール)

ソバふすまは、種子膜、胚組織を含み、製粉区分には殆どのタンパク質 (35%), 脂質 (11%), 食物繊維 (15%) の濃縮したものが来る。Bonafaccia *et al.*, (2003b) は、全食物繊維区分がソバ種子の 27.38% であると報告した。水溶性区分は特にふすま中に約 1% レベルで見出され, それはこれまで見出されたよりもより低かった (Steadman *et al.*, 2001a)。ソバふすまは、また fagopyritols (2.6%) の濃縮源であり (不消化オリゴ糖), D- チロ - イノシトールのガラクトシル誘導体であり, 非-インシュリン依存性糖尿病の治療に用いられる (Steadman *et al.*, 2000)。ひきわりソバ中の遊離 D- チロ - イノ

シトールのレベルは、20.7-41.7mg/100g の範囲である (Steadman *et al.*, 2000)。D- チロ - イノシトールは fagopyritols の形で (Horbowiec *et al.*, 1998) 主にソバ胚中に存在する。

タンパク質

貯蔵タンパク質

ソバ種子タンパク質の主な成分は塩可溶グロブリンであり、主に 13S レグミン様タンパク質区分と表される (Aubrecht and Biacs, 1999; Li and Zhang, 2001; Milisavljevic *et al.*, 2004)。マイナーの 8S ビシリン様グロブリンとともに貯蔵グロブリンは全種子タンパク質の 70% に達する (Radovic *et al.*, 1996, 1999)。8S グロブリンは全種子タンパク質の約 7% に相当する。Milisavljevic *et al.*, (2004) によると、8S グロブリンは 13S ソバレグミンよりも生化学的応用に興味深く、それは大部分のソバアレルギーとして報告されている。明らかにクロス反応は 8S 貯蔵グロブリンには見られなかった。ソバ貯蔵タンパク質の顕著な部分は 2S アルブミン区分 (全タンパク質の 18-32%) であると表明される (Radovic *et al.*, 1999)。グルテリンの寄与は小さく、プロラミンはちがった量の 0 から (Radovic *et al.*, 1999) 1.9% (Aubrecht and Biacs, 2001) あるいは 4.35% (Wei *et al.*, 2003) のタンパク質の範囲である。しかしながら、最近の結果からダッタンソバはこれまでの研究とは対照的である (Guo and Yao, 2006)。アルブミン区分は圧倒的タンパク質区分 (43.8%) で、つづいてグルテリン (14.6%), プロラミン (10.5%), グロブリン (7.82%) である。この不均一性は、研究レポート中の異なる抽出方法を用いたためか、あるいは栽培品種の違いのためと説明される。

アミノ酸

アミノ酸組成は、研究された種子の部位による (Li and Zhang, 2001)。ソバタンパク質は、小麦タンパク質と比較した時、全てのアミノ酸がより高いか類似であるが、それ以外グルタミンとプロリンはより低量である。特に制限アミノ酸リジン含量は小麦粉で見られる量よりも 2.5 倍ほど高い (Aubrecht and Biacs, 2001)。グルタミン酸、続いてアスパラギン酸、アルギニン、リジンは、最も代表的なアミノ酸である。メチオニン、システイン含量は少量なものと同

定される。しかしながら制限アミノ酸の異なる分類が報告された。最近, Wei *et al.*, (2003) は, ロイシンを第1制限アミノ酸として同定し, 続いてスレオニン, メチオニン, システイン, フェニルアラニン, チロシンと続く。これらの結果から著者はソバの栄養的価値の見地からソバは主食として用いるのに適当な食材ではないことを示し, 他の穀物粒とのコンビネーションで用いるべきと述べた。

栄養的品質

ソバのアミノ酸組成は十分バランスがとれ, 栄養的にも穀物粒よりも生物価が優れ (Pomeranz and Robbins 1972), 全タンパク質利用の面でもタンパク質値の有用の面でも優れる (Eggum *et al.*, 1980)。真の消化性は, しかしソバは小麦より低い (Eggum *et al.*, 1980)。ソバタンパク質は胆石形成を抑制し, 分離大豆タンパク質よりコレステロールレベルをより強く低下する (Kayashita *et al.*, 1995; Tomotake *et al.*, 2000, 2001)。リジン/アルギニンの比率, およびメチオニン/グリシンの比率は, 植物タンパク質がコレステロール低下効果を決める重要な要因であると十分に受け入れられる点である, しかしメカニズムはまだ十分にわかってはいない (Li and Zhang 2001)。にもかかわらず, コレステロール-低下効果はまたソバの低消化性 (<80%) さらに食物繊維様のものの含量に關与する (Ikeda *et al.*, 1991; Ikeda and Kishida, 1993; Pandya *et al.*, 1996; Kayashita *et al.*, 1997; Skrabanja *et al.*, 2000)。さらにソバタンパク質は, また乳がんを血清エストロジオールを低下しておくらせ, そして細胞増殖を低下し結腸発がんを抑制するようだ (Kayashita *et al.*, 1999; Liu *et al.*, 2001)。

アレルギーとセリアック病

Francischi *et al.*, (1994) は, ソバがセリアック病患者に有毒のプロラミンを含まないことを示した (Francischi *et al.*, 1994)。しかし Radovic *et al.*, (1999) はソバには抗栄養効果があり, たとえプロラミンが検知されなくても感受性ある患者へのアレルギー活性がある事を述べた。測定されたプロラミン含量は, ソバでは 3.8-5.2mg/100g 種子であり, 全ての 100% ソバの製品は十分グルテンフリー製品のリミット以下である (Aubrecht and Biacs, 2001) (10mg/100g 乾物, Codex Alimentarius Commission, 2000)。ソバは韓国,

日本で一般の食品アレルギーとして認められているが, しかし北アメリカではそうではない (Park *et al.*, 2000; Taylor and Hefle 2001; Tanaka *et al.*, 2002)。

ソバは, IgE を介した typeI 免疫反応に關与する食品アレルギーの高度の可能性のあることが知られている。Asthma (喘息), アレルギー鼻炎, 蕁麻疹, 欠陥浮腫は, 主な生じる症状である (Li and Zhang, 2001)。もし患者がソバ特異的 IgE 抗体レベル 1.26kUA/L, あるいはそれ以上持っている, ソバのほんの少量の摂取または吸入があるとアレルギー反応の危険性は既に存在する (Sohjin *et al.*, 2003)。Bush and Hefle (1996) は, 分子量 9-40kDa の範囲の 4 つの糖タンパク質の IgE- 結合バンドを見出した。1 つの 24kDa タンパク質は, ソバ中の主なアレルギーと同定された (Kondo *et al.*, 1996)。同じ 24kDa タンパク質が, 最近ダッタンソバ種子から分離された (Wang *et al.*, 2004)。もう 1 つ別の研究で, 24, 19, 16, および 9kDa のアレルギーがアレルギー誘発性の強い候補として同定され, 19kDa アレルギーはソバアレルギー患者への相対的特異的アレルギーとして同定された (Park *et al.*, 2000)。分子量 67-70kDa のアレルギーはすでに同定された (Li and Zhang, 2001)。一方, ソバと大豆粉アレルギーは 2 軸エクストルージョンクッキングを用いて高度の剪断力によって部分的に破壊された (Hayakawa *et al.*, 1996)。

酵素活性

幾つかの研究が, リポキシゲナーゼ, パーオキシダーゼの様な酵素活性 (Suzuki *et al.*, 2004b, 2006) を示し, あるいはフラボノール-3-グルコシダーゼ (Suzuki *et al.*, 2002, 2004a) の酵素活性がソバ粉の悪化について重要な役割を演じている事を示した。in vitro リポキシゲナーゼ活性に対するルチンの阻害効果が, Suzuki *et al.*, (2005) によって観察された。ソバはフィチン酸を含むのみならず, 2.17PU/g のフィターゼ活性 (PU) を示した。最適のソバフィターゼ活性条件は, pH5.0, 55°C である (Egli *et al.*, 2003)。

脂質

ソバの脂質は胚に集中しており, そこでふすまは最も脂質-リッチの製粉区分である。ソバ粒中で全脂質含量は 2.48% (乾物重量) で, そのうち遊離脂質は 2.41%, 結合脂質は 1.09% である。ソバ

表 7.2 全フェノール酸含量 (アルカリ, 酸加水分解後の総計)

濃度 (mg/kg mm, 全粒)	ライ麦粉	小麦粉	大麦粉	ソバ挽き割り
乾物	90	89.7	90.3	90.9
Caffeic acid	10 ± 2.0	37 ± 1.4	1.7 ± 0.13	85 ± 8.7
Ferulic acid	860 ± 71	890 ± 40	250 ± 32	12 ± 0.69
Sinapic acid	120 ± 12	63 ± 3.6	11 ± 1.7	21 ± 1.0
Protocatechuic acid	9.4 ± 1.6	nd	1.6 ± 0.15	nd
Vanillic acid	22 ± 2.8	15 ± 0.83	7.1 ± 0.83	5.3 ± 0.32
p-Coumaric acid	41 ± 2.8	37 ± 1.2	40 ± 4.9	15 ± 0.89
p-Hydroxybenzoic acid	6.8 ± 0.87	7.4 ± 0.06	3.1 ± 0.53	110 ± 14
Syringic acid	6.7 ± 0.33	13 ± 0.007	5.0 ± 0.33	nd
Ferulic acid dehydrodimers	290 ± 25	280 ± 16	130 ± 13	nd
Total	1366	1342	450	248

From Matilla *et al.* (2005).

粒中の遊離脂質の糖脂質とリン脂質は僅か 1.01 と 0.47% 各々である (Soral-Smietana *et al.*, 1984b)。トリアシルグリセライドは中性脂質区分の主要成分である。リノレン酸, オレイン酸, パルミチン酸は全脂肪酸の 88% に相当する (Mazza, 1988; Horbowicz and Obendorf, 1992)。典型的に 80% 不飽和脂肪酸と, 40% 以上の多価不飽和脂肪酸リノール酸を持つソバは栄養的には穀物粒より優れている (Steadman *et al.*, 2001a)。類似の脂肪酸組成はアマランス油, 綿実油に見られる (Jahaniaval *et al.*, 2000)。

植物ステロールは全ソバ穀粒を通じ偏在する (Li and Zhang, 2001)。胚と内胚乳組織中, 最も多いステロールは β -sitosterol であり, 全ステロールの 70% である。脂質抽出後の脱穀されたひきわり (グロート) 中のステロール含量は, 約 70mg/100g 種子が β -sitosterol, 9.5mg/100g が campesterol で, そして僅かのシグマステロールである (Horbowicz and Obendorf, 1992)。

ミネラル

ソバ粒子中のミネラル (灰分) 含量は小麦より低い (表 7.1)。しかしながらカルシウム除いてソバは, 米, ソルガム (モロコシ), ミレット (ヒエ), コーンの様な多くの穀物よりも栄養的には重要なミネラルの供給源である (Adeyeye and Ajewole, 1992)。Bonafaccia *et al.*, (2003a) は, Se, Zn, Fe, Co, Ni の元素が一般ソバと比べてダッタンソバ栽培種の方に 2-, 3- 倍高い含量であることを報告した。全体的にミネラルは, ふすまに殆ど集中していると見出された。P, K, Mg の濃度は殻の除去後増加し, 一方, Ca と Zn は殻中に蓄積しているようだ (Steadman *et al.*, 2001b)。

ソバ種子中での Se 含量を増加させる試みが行われた ; 8.5 倍の増加が葉面 Se 施肥後に観察された (セレン酸ナトリウムが 1mg/L) (Stibilj *et al.*, 2004)。

ビタミン

幾つかの穀物粒製品のビタミン含量が最近研究された (Gujska and Kuncewicz, 2005)。結果, ソバひきわり (グロート) の全葉酸含量 (30 μ g/100g) は, ライ粉 (29 μ g/100g), 大麦ひきわり (グロート) (21 μ g/100g) あるいは小麦粉 (19-20 μ g/100g) より高かった。ビタミン B₂, B₆ は, ソバ種子に存在する (Fabjan *et al.*, 2003)。全ビタミン B 含量はダッタンソバではふつうソバより高く, 一般にはビタミン B がふすまに最も多い。さらにダッタンソバふすまは約 6% のピリドキシンの 1 日当たりの治療用量を含むが, それは (葉酸とビタミン B₁₂ とともに) 血漿ホモシステインレベルの低下と, さらに冠動脈形成術後の再狭窄率の低下に効果がある (Krkoskova and Mrazova, 2005)。Watanabe *et al.*, (1998) は, 分子量 (分子マス) 42-45kDa をもつチアミン結合タンパク質を分離した。これは摂取後, この複合体はプロテアーゼで分解し, チアミンを離し, 加工食品の残存に寄与する。

植物化学物質

フェノール

全フェノール酸は, はじめアルカリ, 次に酸水解を用いて求めた (表 7.2) (Matilla *et al.*, 2005)。全フェルラ酸含量 (湿質量に基づいて) は低い (1.2mg/100g), しかし p-hydroxybenzoic acid (11.0mg/100g) caffeic acid (8.5mg/100g) 含量は他の

穀物生産物に比べ高い。最近の研究で、ソバ殻中および粉の全フェノール酸含量は夫々 30-15mg/100g 範囲であるとわかった (Gallardo *et al.*, 2006)。さらに p-coumaric acid と安息香酸の誘導体のほんの僅かがソバ製粉区分中で測定された。

ポリフェノール

一般にポリフェノールは殆どふすまに集中しており、一方、粉とグリットにはほんの少量含しか含まれない。ふすま区分は、タンニンの高濃度 (0.4g/100g 非凝縮タンニン, 1.7g/100g 凝縮タンニン) と他のポリフェノール (全ポリフェノール; 1.2g カテキン等量 /100g) から成る。明らかにふすまから殻区分を除去をすると、凝縮タンニンの 4 倍低下が起こる (Steadman *et al.*, 2001b)。ソバのホールミール区分中の全フラボノイドの含量は 2.42g/100g (湿集合) であった (Liu and Zhu 2007)。殻には 1.53g/100g 含み、一方 7.16g/100g は砕いた胚、ふすま、アリューロン層、殻の一部を含む区分中に見出された。主なフラボノイドの分子量はルチンの分子量に合致する。ダッタンソバは、フラボノイドが多く、7g/100g まで含まれている (Gu, 1999)。ルチン、ケルセチン、オリエンチン、ピテキシン、イソピテキシン、さらにイソオリエンチンは殻中に同定され、ルチン、イソピテキシンが種子中に同定された (Dietrych-Szostak and Oleszek, 1999; Kreft *et al.*, 1999; Gallardo *et al.*, 2006)。さらに Watanabe (1998) は脱殻したグロートからカテキンを分離した。フラボノールグルコサイドルチン、ケルセチン、kaempferol-3-rutinoside、および僅かの量のフラボノイドトリグルコサイドがメタノール抽出物から分離された (Tian *et al.*, 2002)。

ルチンはフラボノールケルセチンのラムノグルコシドであるが、特別に関心があるのは、多くの国々で医学用目的で用いられているからである。ルチンとフラボノイド量の異なった値が報告されている。Steadman *et al.*, (2001b) は、ルチンとケルセチンをグロート (20mg/100g) 中より主に殻中 (80-440mg/100g) で調べた。これらの値は最近の 14 ソバ品種の研究とは対象的であり、そこでは非常に低含量のルチン (0.064-0.390mg/100g) が報告されている (Suzuki *et al.*, 2005)。比較研究が行われ、普通ソバよりダッタンソバの 2 種でルチン

(810-1660mg/100g)、ケルセチン (47-90mg/100g) のより高い量が見出された (Fabjan *et al.*, 2003)。しかしながらダッタン、ふつうソバの殻中にルチンの類似量を Steadman *et al.*, (2001b) は報告している。ダッタンソバ種子の苦みは、これらのフラボノイドによるものと述べられている (Fabjan *et al.*, 2003)。これらはさらにフラボノール-3-グルコシダーゼの分離で指示され、これはルチンを加水分解し、ダッタンソバの苦みを引き起こした (Suzuki *et al.*, 2004a)。興味あることに、Mattila *et al.*, (2005) は 4.1 ± 0.41mg/100g アルケニルレゾルシノールをソバグリット (全粒) に見出した。ソバ中の含量は小麦粉中のものと同じで、アルケニルレゾルシノールの存在はこのユニークな収穫に特別の価値を与える。この成分はオート麦製品にも米、ミレット、コーン粉にも存在しない。

抗酸化活性と健康上の利益

ソバ殻から分離されたフェノール成分 (Velioglu *et al.*, 1998) とフラボノイド (Watanabe *et al.*, 1997; Watanabe 1998; Sensoy *et al.*, 2006) は抗酸化活性を有する。Oomah and Mazza (1996) はフラボノイド含量がルチンと大きく関係があるが、しかし抗酸化活性とは弱い関係であることを示した。最近 Gallardo *et al.*, (2006) は、ソバ粉の水 /80% メタノール抽出液中に 4.5, 4.4 全可溶性フェノール酸 (mg/100g) を見出した。これらの含量は僅か小麦あるいはライ麦ふすま抽出物の 1/7 であり、ソバ区分のトロロックス等価抗酸化能 (TEAC) は小麦ふすま抽出物の 1.7-2 倍であり、ライ麦ふすま抽出物の TEAC の 15 倍である。Sun and Ho (2005) は、butylated hydroxyanisole, butylated hydroxytoluene, および tertiary butylhydroquinone で抽出したソバ抽出物の抗酸化活性を、β-カロテンブリーチング法、2,2-diphenyl-β-picrylhydrazyl (DPPH) 法、および Rancimat 法を用いて比較した。ソバはいろいろな極性のある溶剤で抽出した。メタノール抽出は、β-カロテンブリーチング法で行った最も高い抗酸化活性比 (AAC) を示した、一方 Rancimat 法を用いて最も長い誘導時間が観察された。アセトン抽出物は、最も高い全フェノール類の 3.4 ± 0.1g カテキン等量 /100g を示し、DPPH 法により最も高いスクベンジング活性を示した。gallic acid 等量と

して示す TPC は、ロースト (200°C, 10 分間) がダークそば粉 (1047mg/100g) あるいは白ソバ粉 (180mg/100g) のフェノール含量に顕著な影響しない事を示し、一方抗酸化活性 (DPPH) は低下する事を示した。

フィチン酸

ソバ種子は一般に豆や穀粒以上の高いフィチン酸を持ち、しかしながら粉中身のフィチン酸含量は、非常に小麦粉のそれに似ている (Steadman *et al.*, 2001b)。フィチン酸含量は殻を除去したふすま中に最も高い (3.5-3.8g/100g)。ソバでは 60-90% のリンがフィチン酸として蓄えられる。

粉の生産とその性質

ソバ種子の製粉区分は、生の穀粒をローラーミルにかけ、粒を篩にかけ軽い粒 (主には中間部の内胚乳) とグリスト (内胚乳の固いボール) とふすま区分にするか、あるいはインパクト脱殻装置を通じて殻除去を行い、出来たひきわり (groat) をローラーミルにかけて生じた粒を篩にかけ粉とふすま区分に分けて得られる (Steadman *et al.*, 2001a)。ソバ種子の区分への製粉は、存在する組織のいろいろな比率に基づいてある区分の濃縮が起こる。精製した粉は殆ど内胚乳でデンプンに富み、一方ふすまは種子膜、胚区分からなりデンプンの量は低い (Skrabanja *et al.*, 2004; Steadman *et al.*, 2001a)。ふすまは、外胚乳 (種皮とともに)、核の残骸、それとともにアリューロン層、サブアリューロン層を含む。成熟したソバ種子中、2つのコチレドン (子葉) の外側は種子膜に付着していて、製粉の間、ひきちぎられ、ふすまとともに分離される。中心内胚乳から胚の大きな区分はふすまとともに分離され、しかし多少のソフトな胚組織はつぶれ、粉とともに分離される (Steadman *et al.*, 2001a)。湿製粉の応用で、79, 64% のデンプンとタンパク質の抽出効率で各々が得られた (Zheng *et al.*, 1998)。ソバふすまは最も栄養的には価値がある製粉区分であり、高度にタンパク質 (350g/kg)、脂質 (110g/kg)、食物繊維 (150g/kg)、ファゴピリトール (26g/kg) が集中している (Steadman *et al.*, 2000)。デンプン以外、タンパク質もソバ製品テクスチャの特徴に関係する主要な内部要因である (Ikeda *et al.*, 1997)。デンプンとタン

パク質含量の間の適当な比率選択は、特に各そば製品の製造、デザイン上重要な点である。

擬似穀物をベースにしたグルテンフリー穀物製品の生産と特徴

世界中に広がる擬似穀物を使ったグルテンフリー食品製品 (例えばパン、パスタ、クッキー) の探索が、市販の web accessible Productscan® Online Database (www.productscan.com) を使って出来る。このデータベースを使ってキノアに基づくグルテンフリー製品を見つけることは出来ない。アマランスを使った9種のグルテンフリーパン製品は北アメリカにあり、僅か3種のソバを使ったグルテンフリークッキーはヨーロッパでリスト化されている。これら3種の擬似穀物のうち、どんなものもグルテンフリーパスタに使ったものはない。殆どの研究者は擬似穀物を小麦とブレンドしてパスタあるいはパン製造を研究した。小麦ドウに含まれるレベルは、典型的には10-20%である。アマランスを用いたグルテンフリーパン製造が可能であり、アマランスの存在は栄養成分の増加 (タンパク質、繊維、微量成分の増加) が最終製品に示される (Gambus *et al.*, 2002)。Kishini *et al.*, (2007) は、アマランスベースのグルテンフリーパンを作り、そこでは鉄が強化された。グルテンフリーパンで8.5% そば粉入れたものが Moore *et al.*, (2004) により作られたが、しかしパンは貯蔵2日目に苦みがあった。Di Cagno *et al.*, (2004) は、サワードウパンの製造を目的としたがそのパンはセリアック病患者によって許容されるものである。この研究の結果、選択された乳酸菌、非毒性粉、長時間発酵の組み合わせがグルテンフリー成分 (例えば小麦デンプンあるいはオート) 中グルテンのコンタミレベルを低下する新しい手段であることを示した。グルテンフリーパスタが100% 擬似穀物粉、アマランス、キノア、あるいはソバ粉のブレンドで研究された (Drausinger 1999; Wolfrum, 1999; Schoenlechner 2001; Jurackova, 2005)。

アルブミン、乳化剤、酵素、時にキサンタンの添加は、100% 擬似穀物粉で作ったヌードルの品質を増加した。アマランスはヌードル製造には最も適しておらず、最終製品はクッキング時間、許容性の低下とともに堅さの弱いテクスチャが特徴であった。キノアヌードルは良好な凝集体であった

が、しかしより高いクッキングロスと味の低下があった。ソバはテクスチャの固さを増やし、クッキングロスを減らし、そのためヌードルのテクスチャを強めるベストのグルテンフリー材料に選ばれる。興味深いことに、3種のすべての擬似穀物粉のコンビネーションは、単一粉を用いたときのネガティブの効果を最低にするという最も長所があるようだ。ヌードルの結果、ずっと良く凝集し、良いテクスチャの固さとクッキングロスの低下を示す。さらに調理安定性は大きく増加する。乳化剤添加は、グルテンフリーのキノアパスタの品質を改良した。DATEM と sodium stearoyl-2-lactate は最も適したもので、一方レシチン添加は貧弱だけの改良効果を示す (Kovacs *et al.*, 2004)。Caperuto *et al.*, (2000) は、グルテンフリースパゲティ製造の研究をし、コーン粉とキノア粉区分 (5-15%) をブレンドし良好なスコアを消費者味パネルから引き出した。グルテンフリーマカロニは、キノアと米粉のブレンドをエクストルージョンクッキングすることで良好なものが作られた (Borges *et al.*, 2003; Ramirez *et al.*, 2003)。

ビスケットドウと製品は、キノアとソバを唯一のデンプン成分として用いることで成功した (Kuhn *et al.*, 1994)。Schober *et al.*, (2003) は 10% ソバ粉、50% 玄米粉、30% ポテトデンプン、10% ヒエフレークを使ってビスケット製品の製造研究した。出来たビスケットは構造、ドウの柔らかさ、ビスケットの厚さの点で非均一であった。さらにビスケットは、暗い表面の色と同様、水分と aw の点で高い値を示した。米ケーキマシーンを使って、ソバグリットのケーキパフリング製造条件の物理的、化学的性質が Im *et al.*, (2003) により調べられた。その結果、高比容積のケーキを得るために、高水分、高加熱温度、あるいは長い加熱時間が必要であった。どんな小麦粉も入れないで、ふつう、およびダッタンソバで作られる受けられるビスケット製造について Vombergar and Gostencnik (2005) が述べてきた。

Schoenlechner *et al.*, (2006) は、アマランス、キノア、あるいはソバでショートドウビスケットを作り、一般の豆粉添加の効果と同様に研究した。豆粉を入れるとビスケット全てクリスピーネスは増加したが、擬似穀物利用とは関わりなかった。一部アマランス粉をポップしたアマランス粉に置き換えると、出来たビスケットのテクスチャの性質は増加し

た。グラノラバー、およびミューズリーの良好な食感改良は、ポップした、あるいはエクストルードしたアマランス、キノアを用いて作ることが出来た (Wesche-Ebeling *et al.*, 1996; Schoenlechner, 1997)。ポップしたアマランスとハネーで出来た類似の加工品、allegria と呼ばれるものは、コロンブス時代以前のラテンアメリカ人により作られた。最後に擬似穀物から作る非伝統的なグルテンフリー製品には範囲があり、それは乳製品以外の飲料 (大豆飲料の様なもの)、幼児食、エクストルードあるいはポップした食品、およびこれらの擬似穀物から作れるトリテラのようなものである。しかしながらヨーロッパマーケットでのこれらの製品の重要性はこれまでは取るに足りないものであった。

結論

アマランス、キノア、ソバの好ましい化学的成分は、この章で示された。この点でアマランス、キノアの特別のタンパク質品質が指摘され、一方ソバではユニークな植物化学の濃縮、特にルチンが示された。しかしながらアマランス、キノアは永く食品生産、栄養の面で、主に小麦のために無視されて来たので、現在の知識ははまだ非常に制限がある。特にベーカリー、パスタの様な西欧タイプの食品に、擬似穀物に基づく、あるいはそれを含む食品製品の利用がほんの僅かしかないのがこの1つの理由である。より多くの食品が開発されるために、これらの3種の植物についての物理化学的および機能的性質に関して益々のより完全な研究が進まねばならない。

これら全ての擬似穀物は、いかなるセリアック病に対するプロラミンも含まず、グルテンフリー食事に含まれる。しかしながら利用できる研究データ (特にキノアに関する) は、これら3つの植物がセリアック病をもつ全ての人々にとり許容できるかどうか未だはっきり言える十分な状態ではない。更なる研究 (例えば; 動物あるいは臨床研究) が詳細な推奨事項を与えるためには必要である。セリアック病はしばしば吸収不良を起こし、そのためビタミンあるいはミネラル欠乏に陥り、そのためこれらをより重要な高品質の栄養素とする。アマランス、キノア、ソバが高度の栄養を持つもので、それらの統合はグルテンフリー食品に価値ある貢献することとなる。

References

- Abreu, M., Hernandez, M., Castillo, A., Gonzalez, I., Gonzales, J., and Brito, O. (1994). *Die Nahrung* **38**: 82-86.
- Abugoch, L. E., Martínez, E. N., and Añón, M. C. (2003). *J. Agric. Food Chem.* **51**: 4060-4065.
- Acquistucci, R. and Fornal, J. (1997). *Food/Nahrung* **41**: 281-284.
- Adeyeye, A., and Ajewole, K. (1992). *Food Chem.* **44**: 41-44.
- Ahamed, N. T., Singhal, R. S., Kulkarni, P. R., and Pal, M. (1996). *Carbohydr. Polym.* **31**: 99-103.
- Ando, H., Chen, Y. C., Tang, H., Shimizu, M., Watanabe, K., and Mitsunga, T. (2002). *Food Sci. Technol. Res.* **8**: 80-84.
- Aphalo, P., Castellani, O. F., Martinez, E. N., and Anon, M. C. (2004). *J. Agric. Food Chem.* **52**: 616-622.
- Atwell, W. A., Patrick, B. M., Johnson, L. A., and Glass, R. W. (1983). *Cereal Chem.* **60**: 9-11.
- Aubrecht, E. and Biacs, P. Á. (1999). *Acta Aliment.* **28**: 261-268.
- Aubrecht, E. and Biacs, P. Á. (2001). *Acta Aliment.* **30**: 71-80.
- Avanza, M. V., Puppo, M. C., and Anon, M. C. (2005). *Food Hydrocolloids* **19**: 889-898.
- Ayorinde, F. O., Ologunde, M. O., Nana, E. Y. et al.: (1989). *J. Am. Oil Chem. Soc. JAOCS* **66**: 1812-1814.
- Baker, L. A and Rayas-Duarte, P. (1998). *Cereal Chem.* **75**: 301-307.
- Backer, R. (1994). *Amaranth-Biology, Chemistry, and Technology*. London: CRC Press, pp.133-142.
- Becker, R. and Hanner, G. D. (1990). *Lebensm.-Wiss. U.-Technol.* **23**: 441-444.
- Becker, R., Wheeler, E. L., Lorenz, K. et al. (1981). *J. Food Sci.* **46**: 1175-1180.
- Becker, R., Irving, D. W., and Saunders, R.M. (1986). *Food Sci. Technol.* **19**: 372-374.
- Bejosano, F. P. and Corke, H. (1998). *J. Sci. Food Agric.* **76**: 100-106.
- Bejosano, F. P. and Corke, H. (1999). Sixth Symposium on Renewable Resources for the Chemical Industry, 23-25 March, 1999 Bonn, p.53.
- Berganza, B. E., Moran, A. W., Rodriguez, M. G., Coto, N. M., Santamaria, M., and Bressani, R. (2003). *Plant Foods Human Nutr.* **58**: 1-6.
- Berger, A., Monnard, I., Dionisi, F., Gumy, D., Hayes, K. C., and Lambelet, P. (2003). *Food Chem.* **81**: 119-124.
- Betschart, A. A., Wood Irving, D., Shepherd, A. D., and Saunders, R. M. (1981). *J. Food Sci.* **46**: 1181-1187.
- Bonafaccia, G., Gambelli, L., Fabjan, N., and Kreft, I. (2003a). *Food Chem.* **80**: 1-5.
- Bonafaccia, G., Marocchini, M., and Kreft, I. (2003b). *Food Chem.* **80**: 9-15.
- Borges, J. T. da S., Ramirez-Ascheri, J. L., Ramirez-Ascheri, D., Euzebio-do-Nascimento, R., and Silva-Freitas, A. (2003). *Bol. Centro Pesquisa Process. Aliment.* **21**: 303-322.
- Bossert, J. and Wahl, R. (2000). *Allergologie* **23**: 448-454.
- Breene, W. M. (1991). *Cereal Foods World* **36**: 426-430.
- Bressani, R. (1994). *Amaranth- Biology, Chemistry, and Technology*. London: CRC Press, pp.185-206.
- Bressani, R., Elias, I. G., and Garcia-Soto, A. (1989). *Plant Foods Hum. Nutr.* **39**: 223-234.
- Bressani, R., Velásquez, L., and Acevedo, E. (1990). *Amaranth News* **1**: 5-8.
- Brinegar, C. (1997). *Adv. Exp. Med. Biol.* **415**: 109-115.
- Brinegar, C. and Goundan, S. (1993). *J. Agric. Food Chem.* **41**: 182-185.
- Bruni, R., Guerrini, A., Scalia, S., Romagnoli, C., and Sacchetti, G. (2002). *Phytochem. Anal.* **13**: 257-261.
- Bucaro Segunra, M. E. and Bressani, R. (2002). *Arch. Latinoamericanos Nutr.* **52**: 167-171.
- Budin, J. T., Breene, W. M., and Putnam, D. H. (1996). *J. Am. Oil Chem. Soc. JAOCS* **73**: 475-481.
- Bunzel, M., Ralph, J., and Steinhart, H. (2005). *Mol. Nutr. Food Res.* **49**: 551-559.
- Bush, R. K. and Hefle, S. L. (1996). *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* **36**: S119-S163.
- Calzetta-Resio, A., Aguerre, R. J., and Suarez, C. (1999). *J. Food Eng.* **42**: 51-57.
- Calzetta-Resio, T. N., Tolaba, M. P., and Suarez, C. (2000). *Food Sci. Technol. Int.* **6**: 371-378.
- Caperuto, L. C., Amaya-Farfan, J., and Camargo, C. R. O. (2000). *J. Sci. Food Agric.* **81**: 95-101.
- Chaturvedi, A., Sarojini, G., and Devi, N. L. (1993). *Plant Foods Hum. Nutr.* **44**: 63-70.
- Chauhan, G. S., Eskin, N. A. M., and Tkachuk, R. (1992). *Cereal Chem.*, **69**: 85-88.
- Chauhan, G. S., Eskin, N. A. M., and Mills, P. A. (1999). *J. Food Sci. Technol.* **36**: 123-126.
- Codex Alimentarius Commission (2000). CX/NFSDN 00/4, March 2000, pp. 1-4.
- Correa, A. D., Jokl, L., and Carlsson, R. (1986). *Arch. Latinoam.* **36**: 466-476.
- Coulter, L. and Lorenz, K. (1990). *Lebensm.-Wiss. U.-Technol.* **23**: 203-207.
- Cuadrado, C., Ayet, G., Burbano, C. et al. (1995). *J. Sci. Food Agric.* **67**: 169-172.
- Czerwinski, J., Bartnikowska, E., Leontowicz, H. et al. (2004). *J. Nutr. Biochem.* **15**: 622-629.
- Dahlim, K. M. and Lorenz, K. (1993). *Food Chem.* **48**: 13-18.
- De Simone, F., Dini, A., Pizza, C., Saturnino, P., and Schettino, O. (1990). *Phytochemistry* **29**: 3690-3692.
- Di Cagno, R., Angelis, M. D., Auricchio, S. et al. (2004). *Appl. Environ. Microbiol.* **70**: 1088-1096.
- Dietrych-Szostak, D. and Oleszek, W. (1999). *J. Agric. Food Chem.* **47**: 4384-4387.
- Dini, I., Tenore, G. C., and Dini, A. (2004). *Food Chem.* **84**: 163-168.
- Dobos, G. (1992). PhD thesis, University of Natural Resources and Applied Life Sciences, Vienna, Austria.
- Dodok, L., Modhir, A. A., Halasova, G., Polacek, I., and Hozova, B. (1994). *Die Nahrung* **38**: 378-381.

- Drausinger, J. (1999). Diplomarbeit, University of Natural Resources and Applied Life Sciences, Vienna, Austria.
- Drzewiecki, J., Delgado-Licon, E., Haruenkit, R. et al. (2003). *J. Agric. Food Chem.* **51**: 7798-7804.
- Eggum, B. O., Kreft, I., and Javornik, B. (1980). *Qual. Plant. Plant Foods Hum. Nutr.* **30**: 175-179.
- Egli, I., Davidsson, L., Juillerat, M.-A., Barclay, D., and Hurrell, R. (2003). *J. Food Sci.* **68**: 1855-1859.
- Escudero, N. L., De Arellano, M. L., Luco, J. M., Giménez, M. S. and Mucciarelli, S. I. (2004). *Plant Foods Hum. Nutr.* **59**: 15-21.
- Fabian, N., Rode, J., Košir, I. J., Wang, Z., Zhang, Z., and Kreft, I. (2003). *J. Agric. Food Chem.* **51**: 6452-6455.
- Fadel, J. G., Pond, W. G., Harrold, R. L., Calvert, C. C., and Lewis, B. A. (1996). *Can. J. Anim. Sci.* **76**: 253-257.
- FAOSTAT 2006: FAO Statistics Division (2006). <http://faostat.fao.org/>, updated: January 9 2007.
- Fidantsi, A. and Doxastakis, G. (2001). *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces* **21**: 119-124.
- Francischi, M. L. P., de, Salgado, J. M., and Leitao, R. F. F. (1994). *Plant Foods Hum. Nutr.* **46**: 323-329.
- Gallardo, C., Jiménez, L., and García-Conesa, M.-T. (2006). *Food Chem.* **99**: 4585-463.
- Gambus, H., Gambus, F., and Sabat, R. (2002). *Zywnosc* **9**: 99-112.
- Gamel, T. H., Linssen, J. P., Alink, G. M., Mossallem, A. S., and Shekib, L. A. (2004). *J. Sci. Food Agric.* **84**: 1153-1158.
- Gamel, T. H., Linssen, J. P., Mesallem, A. S., Damir, A. A., and Shekib, L. A. (2005). *J. Sci. Food Agric.* **85**: 315-327.
- Gamel, T. H., Linssen, J. P., Mesallem, A. S., Damir, A. A., and Shekib, L. A. (2006a). *J. Sci. Food Agric.* **86**: 82-89.
- Gamel, T. H., Linssen, J. P., Mesallem, A. S., Damir, A. A., and Shekib, L. A. (2006b). *J. Sci. Food Agric.* **86**: 1095-1102.
- Gee, J. M., Price, K. R., Ridout, C. L., Wortley, G. M., Hurrell, R. F., and Johnson, I. T. (1993). *J. Sci. Food Agric.* **63**: 201-209.
- Gonzalez, J. A., Roldan, A., Gallardo, M., Escudero, T., and Prado, F. E. (1989). *Plant Foods Hum. Nutr.* **39**: 331-337.
- Gonzalez, R., Carrara, C., Tosi, E., Anon, M. C., and Pilosof, A. (2007). *Food Sci. Technol.* **40**: 136-143.
- Gorinstein, S., Jaramillo, N. O., Medina, O. J., Rogrigues, W. A., Tosello, G. A., and Paredes-Lopez, O. (1999). *J. Protein Chem.* **18**: 687-693.
- Gorinstein, S., Delgado-Licon, E., Pawelzik, E., Permady, H. H., Weisz, M., and Trakhtenberg, S. (2001). *J. Agric. Food Chem.* **49**: 5595-5601.
- Gorinstein, S., Pawelzik, E., Delgado-Licon, E., Haruenkit, R., Weisz, M., and Trakhtenberg, S. (2002). *J. Sci. Food Agric.* **82**: 886-891.
- Gorinstein, S., Pawelzik, E., Delgado-Licon, E. et al. (2004). *Int. J. Food Sci. Technol.* **39**: 183-189.
- Gorinstein, S., Drzewiecki, J., Delgado-Licon, E. et al. (2005). *Eur. Food Res. Technol.* **221**: 69-77.
- Grajeta, H. (1999). *Die Nahrung* **43**: 114-117.
- Gross, R., Koch, F., Malaga, I., De Miranda, A. F., Schoeneberger, H., and Trugo, L. C. (1989). *Food Chem.* **34**: 25-34.
- Gu, Y. (1999). *Cereal Feed Indust.* **7**: 19-26.
- Gujaska, E. and Kuncewicz, A. (2005). *Eur. Food Res. Technol.* **221**: 208-213.
- Guo, X. and Yao, H. (2006). *Food Chem.* **98**: 90-94.
- Guzman-Maldonado, H. and Parades-Lopez, O. (1994). *Process Biochem.* **29**: 289-293.
- Hayakawa, I., Linko, Y. Y., and Linko, P. (1996). *Lebensm.-Wiss. U.-Technol.* **29**: 395-403.
- He, H. P., Cai, Y., Sun, M., and Corke, H. (2002). *J. Agric. Food Chem.* **50**: 368-372.
- Hibi, M., Hachimura, S., Hashizume, S., Obata, T., and Kaminogawa, S. (2003). *Cytotechnology*, **43**: 33-40.
- Hirano, S. and Konishi, Y. (2003). *J. Jap. Soc. Nutr. Food Sci.* **56**: 283-289.
- Horbowicz, M. and Obendorf, R. L. (1992). *J. Agric. Food Chem.* **40**: 745-750.
- <http://www.productsan.com>, update: December **20**: 2006.
- Horbowicz, M., Brenac, P., and Obendorf, R. L. (1998). *Planta* **205**: 1-11.
- Hunjai, C., Wansoo, K., and Malshik, S. (2004). *Starch/Staerke* **56**: 469-477.
- Ikedo, K. and Kishida, M. (1993). *Fagopyrum* **13**: 21-24.
- Ikedo, K., Sakaguchi, T., Kusano, T., and Yasumoto, K. (1991). *Cereal Chem.* **68**: 424-427.
- Ikedo, K., Kishida, M., Kreft, I., and Yasumoto, K. (1997). *J. Nutr. Sci. Vitaminol.* **43**: 101-111.
- Im, J.-S., Huff, H. E., and Hsieh, F.-H. (2003). *J. Agric. Food Chem.* **51**: 659-666.
- Jahaniaval, F., Kakuda, Y., and Marcone, M. F. (2000). *J. Am. Oil Chem. Soc.* **77**: 847-852.
- Jung, K., Richter, J., Kabrodt, K., Luecke, I. M., Schellenberg, I., and Herrling, Th. (2006). *Spectrochim. Acta Part A* **63**: 846-850.
- Jurackova, K. (2005). PhD thesis, University of Natural Resources and Applied Life Sciences, Vienna.
- Karyotis, T. H., Iliadis, C., Noulas, C., and Mitsibonas, T. H. (2003). *J. Agronomy Crop Sci.* **189**: 402-408.
- Kayashita, J., Shimaoka, I., and Nakajuh, M. (1995). *Nutr. Res.* **15**: 691-698.
- Kayashita, J., Shimaoka, I., Nakajoh, M., Yamazaki, M., and Kato, N. (1997). *J. Nutr.* **127**: 1395-1400.
- Kayashita, J., Shimaoka, I., Nakajoh, M., Kishida, N., and Kato, N. (1999). *Biosci. Biotechnol. Biochem.* **63**: 1837-1839.
- Kim, H. K., Kim, M. J., Cho, H. Y., Kim, E. K., and Shin, D. H. (2006). *Cell Biochem. Funct.* **24**: 195-199.
- Kiskini, A., Argiri, K., Kalogeropoulos, M. et al. (2007). *Food Chem.* **102**: 309-316.
- Klimczak, I., Malecka, M., and Pacholek, B. (2002). *Nahrung/Food* **46**: 184-186.
- Kondo, Y., Urisu, A., Wada, E. et al. (1996). *Jap. J. Allergol.* **42**: 142-148.
- Konishi, Y., Hirano, S., Tsuboi, H., and Wada, M. (2004). *Biosci. Biotechnol. Biochem.* **68**: 231-234.
- Kovacs, E. T., Maraz-Szabo, L., and Varga, J. (2001). *Acta Aliment.* **30**: 173-187.
- Kovacs, E. T., Schoenlechner, R., and Berghofer, E. (2004). *Tecnica-Molitoria* **55**: 159-169.
- Koziol, M. J. (1991). *J. Sci. Food Agric.* **54**: 211-219.

- Kreft, S., Knapp, M., and Kreft, I. (1999). *J. Agric. Food Chem.* **47**: 4649-4652.
- Krkošková, B. and Mrázová, Z. (2005). *Food Res. Int.* **38**: 561-568.
- Kuhn, M., Noll, B., and Goetz, H. (1994). *Getreide, Mehl Brot* **48**: 56-59.
- Lara, N. and Ruales, J. (2002). *J. Sci. Food Agric.* **82**: 797-805.
- Lehmann, J. W., Putnam, D. H., and Qureshi, A. A. (1994). *Lipids* **29**: 177-181.
- Leon- Camacho, M., Garcia-Gonzalez, D. L., and Aparicio, R. (2001). *Eur. Food Res. Technol.* **213**: 349-355.
- Li, S. and Zhang, Q. H. (2001). *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* **41**: 451-464.
- Li, W., Lin, R., and Corke, H. (1997). *Cereal Chem.* **74**: 79-82.
- Lindeboom, N., Chang, P. R., Falk, K. C., and Tyler, R. T. (2005a). *Cereal Chem.* **82**: 216-222.
- Lindeboom, N., Chang, P. R., Tyler, R. T., and Chibbar, R. N. (2005b). *Cereal Chem.* **82**: 246-250.
- Liu, B. and Zhu, Y. (2007). *J. Food Eng.* **78**: 584-587.
- Liu, Z., Ishikawa, W., Huang, X. et al. (2001). *J. Nutr.* **131**: 1850-1853.
- Lorenz, K. (1990). *Starch/Staerke* **42**: 81-86.
- Lyon, C. K. and Becker, R. (1987). *J. Am. Oil Chem. Soc.* **64**: 233-236.
- Marcone, M. F. (1999). *Food Chem.* **65**: 533-554.
- Marcone, M. F. and Kakuda, Y. (1999). *Nahrung/Food* **43**: 368-373.
- Marcone, M. F., Beniac, D. R., Harauz, G., and Yada, R. Y. (1994). *J. Agric. Food Chem.* **42**: 2675-2678.
- Martinez, E. N., Castellani, O. F., and Anon, M. C. (1997). *J. Agric. Food Chem.* **45**: 3832-3839.
- Mastebroek, H. D., Limburg, H., Gilles, T., and Marvin, H. J. P. (2000). *J. Sci. Food Agric.* **80**: 152-156.
- Mattila, P., Pihlava, J.-M., and Hellström, J. (2005). *J. Agric. Food Chem.* **53**: 8290-8295.
- Matus, J., Bartok, T., Morocz-Salomon, K., and Bona, L. (2000a). *Cereal Res. Commun.* **28**: 263-270.
- Matus, J., Poka, R., Boldizsar, I., Szerdahelyi, E., and Hajos, G. (2000b). *Cereal Res. Commun.* **28**: 433-442.
- Mazza, G. (1988). *Cereal Chem.* **62**: 27-47.
- Mikulikova, D. and Kraic, J. (2006). *J. Food Nutr. Res.* **45**: 69-76.
- Milislavljević, M. D., Timotijević, G. S., Radović, R. S., Brkljačić, Konstantinovic, M. M., and Maksimović, V. R. (2004). *J. Agric. Food Chem.* **52**: 5258-5262.
- Moore, M. M., Schober, T. J., Dockery, P., and Arendt, E. K. (2004). *Cereal Chem.* **81**: 567-575.
- Morales de León Josefina, M. C., Bourges, H., and Camacho, E. (2005). *Arch. Latinoamericanos Nutr.* **55**: 172-186.
- Muchova, Z., Cukova, L., and Mucha, R. (2000). *RostlinnaVyroba* **46**: 331-336.
- Nanka, G. (1998). Herstellung und Charakterisierung von Mahlprodukten aus Pseudocerealien. Diplomarbeit, University of Natural Resources and Applied Life Sciences, Vienna, Austria.
- Ng, S. C., Anderson, A., Coker, J., and Ondrus, M. (2007). *Food Chem.* **101**: 185-192.
- Noda, T., Takahata, Y., Sato, T. et al. (1998). *Carbohydr. Polym.* **37**: 153-158.
- Ogungbenle, H. N. (2003). *Int. J. Food Sci. Nutr.* **54**: 153-158.
- Oleszek, W., Junkuszew, M., and Stochmal, A. (1999). *J. Agric. Food Chem.* **47**: 3685-3687.
- Oomah, B. D. and Mazza, G. (1996). *J. Agric. Food Chem.* **44**: 1746-1750.
- Opute, F. I. (1979). *J. Exp. Bot.* **30**: 601-606.
- Oshodi, A. A., Ogungbenle, H. N., and Oladimeji, M. O. (1999). *Int. J. Food Sci. Nutr.* **50**: 325-331.
- Packert, M. (1993). Analytik und Bedeutung gebundener aromatischer Carbonsäuren der Nahrungsfaser aus Getreide und anderer Nutzpflanzen. PhD thesis, University of Hamburg.
- Pandya, M. J., Smith, D. A., Yrwood, A., Gilroy, J., and Richardson, M. (1996). *Phytochemistry* **43**: 327-331.
- Paredes-Lopez, O., Schevenin, M. L., Hernandez-Lopez, D., and Carabez-Trejo, A. (1989). *Starch/Staerke* **41**: 205-207.
- Paredes-Lopez, O., Bello-Perez, L. A., and Lopez, M. G. (2004). *Food Chem.* **50**: 411-417.
- Park, J. W., Kang, D. B., Kim, C. W. et al. (2000). *Allergy* **55**: 1035-1041.
- Pederson, B., Kalinowski, L. S., and Eggum, B. O. (1987). *Plant Foods Hum. Nutr.* **36**: 309-324.
- Perez, E., Bahanassey, Y. A., and Breene, W. M. (1993). *Starch/Staerke* **45**: 215-220.
- Pomeranz, Y. and Robbins, G. S. (1972). *J. Agric. Food Chem.* **20**: 270-274.
- Pomeranz, Y. (1991). Carbohydrates: starch. In: Pomeranz, Y. ed. Functional Properties of Food Components. New York: Academic Press, pp. 24-78.
- Prado, F. E., Gallardo, M., and Gonzales, J. A. (1996). *Biocell* **20**: 259-264.
- Prakash, D. and Pal, M. (1998). *Int. J. Food Sci. Nutr.* **49**: 271-275.
- Praznik, W., Mundigler, N., Kogler, A., Pelzl, B., and Huber, A. (1999). *Starch/Staerke* **51**: 187-211.
- Prego, I., Maldonado, S., and Otegui, M. (1998). Seed structure and localization of reserves in Chenopodium quinoa. *Ann. Bot.* **82**: 481-488.
- Przybylski, R., Chauhan, G. S., and Eskin, N. A. M. (1994). *Food Chem.* **51**: 187-192.
- Qian, J. Y. and Kuhn, M. (1999a). *Starch/Staerke* **51**: 116-120.
- Qian, J. Y. and Kuhn, M. (1999b). *Starch/Staerke* **51**: 81-85.
- Qian, J. Y. and Kuhn, M. (1999c). *Eur. Food Res. Technol.* **209**: 277-280.
- Qian, J. Y., Rayas-Duarte, P., and Grant, L. (1998). *Cereal Chem.* **75**: 365-373.

- Qureshi, A. A., Lehmann, J. W., and Peterson, D. M. (1996). *J. Nutr.* **126**: 1972-1978.
- Radović, R. S., Maksimović, R. V., and Varkonji, I. E., (1996). *J. Agric. Food Chem.* **44**: 972-974.
- Radović, R. S., Maksimović, R. V., Brkljačić, M. J., Varkonji, I. E., and Savić, A. P. (1999). *J. Agric. Food Chem.* **47**: 1467-1470.
- Ramirez Ascheri, J. L., Silva Borges, J. T. da, Euzebio do Nascimento, R., and Ramirez Ascheri, D. P. (2003). *Alimentaria* **342**: 71-75.
- Ranhorta, G. S., Gelroth, J. A., Glaser, B. K., Lorenz, K. J., and Johnson, D. L. (1993). *Cereal Chem.* **70**: 303-305.
- Reichert, R. D., Tanarynovich, J. T., and Tyler, R. T. (1986). *Cereal Chem.* **63**: 471-475.
- Ridout, C. L., Price, K. R., DuPont, M. S., Parker, M. L., and Fenwick, G. R. (1991). *J. Sci. Food Agric.* **54**: 165-176.
- Ruales, J. and Nair, B. M. (1992a). *Plant Foods Hum. Nutr.* **42**: 1-11.
- Ruales, J. and Nair, B. M. (1992b). *Arch. Latinoamericanos Nutr.* **42**: 232-241.
- Ruales, J. and Nair, B. M. (1993a). *Food Chem.* **48**: 131-136.
- Ruales, J. and Nair, B. M. (1993b). *Food Chem.* **48**: 137-143.
- Ruales, J. and Nair, B. M. (1994). *Plant Foods Hum. Nutr.* **45**: 223-246.
- Salcedo-Chavez, B., Osuna-Castro, J. A., Guevara-Lara, F., Dominguez-Dominguez, J., and Paredes-Lopez, O. (2002). *J. Agric. Food Chem.* **50**: 6515-6520.
- Sanchez-Marroquin, A., Domingo, M. V., Maya, S., and Saldana, C. (1985a). *J. Food Sci.* **50**: 789-794.
- Sanchez-Marroquin, A., Maya, S., and Domingo, M. V. (1985b). *Arch. Latinoamericanos Nutr.* **35**: 621-630.
- Sanchez-Marroquin, A., Del Valle, F. R., Escobedo, M., Avitia, R., Maya, S., and Vega, M. (1986). *J. Food Sci.* **51**: 1231-1234.
- Saunders, R. M. and Becker, R. (1984). *Adv. Cereal Sci. Technol.* **6**: 357-396.
- Schober, T. J., O'Brien, C. M., McCharthy, D., Darnedde, A., and Arendt, E. K. (2003). *Eur. Food Res. Technol.* **216**: 369-376.
- Schoenlechner, R. (1997). Entwicklung und Charakterisierung von ConvenienceProdukten aus Amaranth und Quinoa. Diplomarbeit, University of Natural Resources and Applied Life Sciences, Vienna, Austria.
- Schoenlechner, R. (2001). Investigation of the processing aspects of the pseudocereals amaranth and quinoa. PhD thesis, University of Natural Resources and Applied Life Sciences, Vienna, Austria.
- Schoenlechner, R., Linsberger, G., Kaczyk, L., and Berghofer, E. (2006). *Ernaehrung/Nutrition* **30**: 101-107.
- Scilingo, A. A., Molina-Ortiz, S. E., Martinez, E. N., and Anon, M. C. (2002). *Food Res. Int.* **35**: 855-862.
- Segura-Nieto, M., Barba de la Rosa, A. P., and Paredes-López, O. (1994). *Amaranth-Biology, Chemistry, and Technology*. London: CRC Press, pp. 75-101.
- Segura-Nieto, M., Shewry, P. R., and Paredes-Lopez, O. (1999). *Seed Proteins*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, pp. 453-475.
- Sensoy, I., Rosen, R. T., Ho, C.-T., and Karwe, M. V. (2006). *Food Chem.* **99**: 388-393.
- Shin, D. H., Heo, H. J., Lee, Y. J., and Kim, H. K. (2004). *Br. J. Biomed. Sci.* **61**: 11-14.
- Silva-Sanchez, C., González-Castaneda, J., De León Rodriguez, A., and Barba de la Rosa, A. P. (2004). *Plant Foods Hum. Nutr.* **59**: 169-174.
- Sinagawa-García, S. R., Rascón-Cruz, Q., Valdez-Ortiz, A., Medina-Godoy, S., EscobarGutiérrez, A., and Paredes-López, O. (2004). *J. Agric. Food Chem.* **52**: 2709-2714.
- Singhal, R. S. and Kulkarni, P. R. (1990). *Starch/Stärke* **42**: 5-7.
- Skrabanja, V. and Kreft, I. (1998). *J. Agric. Food Chem.* **46**: 2020-2023.
- Skrabanja, V., Laerke, H. N., and Kreft, I. (1998). *J. Cereal Sci.* **28**: 209-214.
- Skrabanja, V., Nygaard, L. H., and Kreft, I. (2000). *Pflug. Arch. Eur. J. Physiol.* **440** (Suppl. 5): R129-R131.
- Skrabanja, V., Liljeberg, E. H. G. M., Kreft, I., and Björck, I. M. E. (2001). *J. Agric. Food Chem.* **49**: 490-496.
- Skrabanja, V., Kreft, I., Golob, T. et al. (2004). *Cereal Chem.* **81**: 172-176.
- Sohn, M. H., Lee, S. Y., and Kim, K.-E. (2003). *Allergy* **58**: 1308-1310.
- Soral-Šmietana, M., Fornal, Ł., and Fornal, J. (1984a). *Starch/Stärke* **36**: 153-158.
- Soral-Šmietana, M., Fornal, Ł., and Fornal, J. (1984b). *Die Nahrung* **28**: 438-492.
- Souci, S. W., Fachmann, W., and Kraut, H. (2000). Food Composition and Nutrition Tables. Stuttgart: Wissenschaft Verlags, Steadman, K. J., Burgoon, M. S., Schuster, R. L., Lewis, B. A., Edwardson, S. E., and Obendorf, R. L. (2000). *J. Agric. Food Chem.* **48**: 2843-2847.
- Steadman, K. J., Burgoon, M. S., Lewis, B. A., Edwardson, S. E., and Obendorf, R. L. (2001a). *J. Cereal Sci.* **33**: 271-278.
- Steadman, K. J., Burgoon, M. S., Lewis, B. A., Edwardson, S. E., and Obendorf, R. L. (2001b). *J. Sci. Food Agric.* **81**: 1049-1100.
- Stibilj, V., Kreft, I., Smrkolj, P., and Osvald, J. (2004). *Eur. Food Res. Technol.* **219**: 142-144.
- Stone, L. A., and Lorenz, K. (1984). *Starch/Stärke* **36**: 232-237.
- Sun, T. and Ho, C.-T. (2005). *Food Chem.* **90**: 743-749.
- Suzuki, T., Honda, Y., Funatsuki, W., and Nakatsuka, K. (2002). *Plant Sci.* **163**: 417-423.
- Suzuki, T., Honda, Y., Funatsuki, W., and Nakatsuka, K. (2004a). *J. Sci. Food Agric.* **84**: 1691-1694.
- Suzuki, T., Honda, Y., and Mukasa, Y. (2004b). *J. Agric. Food Chem.* **52**: 7407-7411.
- Suzuki, T., Honda, Y., Mukasa, Y. and Kim, S.-J. (2005). *J. Agric. Food Chem.* **53**: 8400-8405.
- Suzuki, T., Honda, Y., Mukasa, Y. and Kim, S.-J. (2006). *Phytochemistry* **67**: 219-224.
- Tanaka, K., Matsumoto, K., Akasawa, A. et al. (2002). *Int. Arch. Allergy Immunol.* **129**: 49-56.
- Tang, H., Watanabe, K., and Mitsunaga, T. (2002). *Carbohydr. Polym.* **49**: 13-22.

- Tari, T. A., Annapure, U. S., Singhal, R. S., and Kulkarni, P. R. (2003). *Carbohydr. Polym.* **53**: 45-51.
- Taylor, S. L. and Hefle, S. L. (2001). *Food Technol.* **55**: 68-83.
- Tian, Q., Li, D., and Patil, B. S. (2002). *Phytochem. Anal.* **13**: 251-256.
- Tomotake, H., Shimaoka, I., Kayashita, J., Yokoyama, F., Nakajoh, M., and Kato, N. (2000). *J. Nutr.* **130**: 1670-1674.
- Tomotake, H., Shimaoka, I., Kayashita, J., Yokoyama, F., Nakajoh, M., and Kato, N. (2001). *Biosci. Biotechnol. Biochem.* **65**: 1412-1414.
- Tosi, E. A., Ré, E. D., Lucero, H., and Masciarelli, R. (2001). *Food Chem.* **73**: 441-443.
- Tosi, E. A., Ré, E. D., Masciarelli, R., Sanchez, H., Osella, C., and de la Torre, M. A. (2002). *Lebensm. -Wiss. U.-Technol.* **35**: 472-475.
- Tovar, L. R., Brito, E., Takahashi, T., Miyazawa, T., Soriano, J., and Fujimoto, K. (1989). *Plant Foods Hum. Nutr.* **39**: 299-309.
- Trautwein, E. A., Van Leeuwen, A., and Ebersdobler, H. F. (1997). *Proceedings of the 2nd Workshop, COST 916*, Goeteborg, Sweden, pp. 79-81.
- Varriano-Marston, E. and DeFrancisco, A. (1984). *Food Microstructure* **3**: 165-173.
- Velioglu, Y. S., Mazza, G., Gao, L., and Oomah, B. D. (1998). *J. Agric. Food Chem.* **46**: 4113-4117.
- Vomberger, B. and Gostenčnik, D. (2005). *Acta agric. Slovenia* **85**: 397-409.
- Wang, Z., Zhang, Z., Zhao, Z., Wieslander, G., Norbäck, D., and Kreft, I. (2004). *Biosci. Biotechnol. Biochem.* **68**: 1409-1413.
- Watanabe, M. (1998). *J. Agric. Food Chem.* **46**: 839-845.
- Watanabe, M., Ohshita, Y., and Tsushida, T. (1997). *J. Agric. Food Chem.* **45**: 1039-1044.
- Watanabe, K., Shimizu, M., Adachi, T., Yoshida, T., and Mitsunaga, T. (1998). *J. Nutr. Sci. Vitaminol.* **44**: 323-328.
- Watanabe, K., Ibuki, A., Chen, Y. C., Kawamura, Y., and Mitsunaga, T. (2003). *Nippon Shokuhin Kagaku Kogaku Kaishi* **50**: 546-549.
- Wei, Y.-M., Zhang, G.-Q., and Li, Z.-X. (1995). *Nahrung/Food* **39**: 48-54.
- Wei, Y.-M., Hu, X.-Z., Zhang, G.-Q., and Ouyang, S.-H. (2003). *Nahrung/Food* **47**: 114-116.
- Wesche-Ebeling, P., Argáiz-Jamet, A., Teutli-Olvera, B., Guerra-Beltrán, J. A., and López-Malo, A. (1996). *Institute of Food Technologists Annual Meeting: Abstracts*, P. 51.
- Whistle, R. L., BeMiller, J. N., and Paschall, E. F. (1984). *Starch: Chemistry and Technology*. New York: Academic Press, p. 301.
- Wilhelm, E., Aberle, T., Burchard, W., and Landers, R. (2002). *Biomacromolecules* **3**: 17-26.
- Woldemichael, G. M. and Wink, M. (2001). *J. Agric. Food Chem.* **49**: 2327-2332.
- Wolfrum, V. (1999). *Herstellung von glutenfreien Teigwaren aus Amaranth und Quinoa*. Diplomarbeit, University of Vienna, Vienna, Austria.
- Wright, K. H., Huber, K. C., Fairbanks, D. J., and Huber, C. S. (2002). *Cereal Chem.* **79**: 715-719.
- Yanez, E., Zacarias, I., Granger, D., Vasquez, M., and Estevez, A. M. (1994). *Arch. Latinoamericanos Nutr.* **44**: 57-62.
- Yoshimoto, Y., Egashira, T., Hanashiro, I., Ohinata, H., Takase, Y., and Takada, Y. (2004). *Cereal Chem.* **81**: 515-520.
- Zheng, G. H. and Sosulski, F. W. (1998). *J. Food Sci.* **63**: 134-139.
- Zheng, G. H. and Sosulski, F. W., and Tyler, R. T. (1998). *Food Res. Int.* **30**: 493-502.
- Zhu, N., Sheng, S., Li, D., Lavoie, E. J., Karwe, M. V., Rosen, R. T., and Ho, C. T. (2001). *J. Food Lipids* **8**: 37-41.

白石カルシウムの炭酸カルシウム

炭酸
カルシウム
とは？

古くから食品に使用されている
安全性・吸収性に優れたカルシ
ウム源です。
用途も栄養強化はもちろんのこと、
練製品の弾力増強などの品質改良、
粉体の流動性向上・固結防止といった
加工助剤などその目的は多彩です。

分散性・混合性に優れたものや、飲料用として
沈殿を抑制したタイプ等、品揃えております。

一般の栄養強化には「ホワイトン」

機能を求めるならば「コロカルソ」

飲料用には、スラリー状の「カルエッセン」

詳細につきましては弊社営業担当に
お気軽にお尋ねください。



白石カルシウム株式会社

食品部：東京都千代田区岩本町1-1-8 TEL03-3863-8913
本社：大阪市北区中之島2-2-7 TEL06-6231-8265

～機能性表示食品 新ルールの傾向と対策～



株式会社オルトメディコ

本編は、2021年2月25日に文京シビックホールにて開催された『第4回 ヘルスフードアカデミックサロン』の講演内容をご紹介します。

2021年2月25日、文京シビックホールにて第4回を迎えるヘルスフードアカデミックサロンが行われた。本来は一般聴講者も迎えてのサロン開催であったが、新型コロナウイルスの感染拡大の状況を鑑みて一般聴講者の参加を中止し、サロン運営に係る株式会社オルトメディコの社員と講演を了承いただいた一部先生方による特別形式で実施することに至った。本稿では一部内容を共有することとする。

現在、機能性表示食品制度の施行から7年目に差し掛かり、届出件数は3000件を超えた。制度の活用が進み、保健用途の拡大への期待が高まる一方で、科学的根拠として不適切な事例が散見され、機能性表示食品は玉石混交の状態が続いている。行政においては様々な取り組みが行われ、2019年は特定保健用食品制度において例外的に認められていた7領域に加え、鼻目のアレルギー、中長期的または食後の血尿酸値の3領域における軽症域者データの取扱いが認められるようになった。2020年には機能性表示食品の科学的根拠や広告の適正化に向けた取組として「事後チェック指針」の運用が開始された他、初の免疫機能に関する機能性表示食品の届出受理がなされた。本サロンでは食品成分を研究するアカデミア、商品を開発・販売する企業、さらには消費者の立場から、機能性表示食品を取り巻く環境と今後の課題を議題として各立場に属する先生方一同でディスカッションをした。

食品成分を研究するアカデミアの立場として、森下竜一先生（大阪大学大学院 医学系研究科 臨床遺伝子治療学 教授）、功刀浩先生（帝京大学医学部精神神経科学講座 教授）、商品を開発・販売する企業の立場として、柿野賢一先生（有限会社健康栄養評価センター 代表取締役）、消費者の立場として、鈴木勝士先生（日本獣医生命科学大学名誉教授、一般社団法人 消費者市民社会をつくる会 / ASCON 科学者委員会 副委員長）、食品業界に精通する矢澤一良先生（早稲田大学ナノ・ライフ創新研究機構 規範科学総合研究所ヘルスフード科学部門 部門長）を座長に迎え、各立場から見えている課題を話題提供した後、機能性表示食品の今後についてディスカッションいただいた。

各先生方の話題講演とディスカッションの内容を以下にまとめた。

鈴木勝士先生からは消費者庁から公表される届出資料は現状では消費者が理解するには難しい点が挙げられ、ASCON 科学者委員会を通して消費者が届出資料を理解できるようサポートする活動を行っていること、また同時に ASCON 科学者委員会の活動は企業が適正な届出をすることを目指していることを述べていただいた。届出資料の評価を始めてここ最近で気になることは、評価に参加する企業がさほど変わっていないこと、また ASCON 科学者委員会が提出を求める資料の項目では評価が十分に行えていない可能性が見えていることも語っていただいた。現在、ASCON 科学者委員会では評価体制が向上するよう取り組みを行っているとのことであった。

次に功刀浩先生からは、心を健康にする食品として緑茶成分テアニンを中心に、うつや認知機能とテアニンの関係とともに臨床現場での応用可能性が述べられた。しかし、十分臨床で利用出来得る食品由来の機能性成分があったとしても、それを検証する臨床試験を容易に実施できない法的制度があり、臨床応用への知見収集があまり進んでいない課題も挙げていただいた。臨床現場に携わる身としてはメディカルフードという分野が発展するよう、機能性表示食品制度の整備を今後求めたいことが語られた。

森下竜一先生からは第二期健康医療戦略に合わせて直近で公表された免疫ヘルスクレームに関して解説をいただき、新規機能性関与成分で免疫ヘルスクレームの取得を目指す際の注意点を挙げていただいた。注意点としては、「機能性表示食品の届出等に関するガイドライン」に記載されているように、限られた免疫指標のデータを用いて身体全体の免疫に関する機能があると誤解を招く表現はNGとされるため、全体の免疫機能への作用機序を組み立てることであった。その他、ヘルスクレームとして珍しい「トイレに行くわずらわしさ」や「顔のむくみ感」などを表示する届出を新たに目指す場合は、上手に自覚症状の評価を用いることも重要と述べられた。

最後に柿野賢一先生からは「中小企業・小規模事業者目線からとらえた機能性表示食品の現状と今後の展望」と題した話題を提供いただいた。コロナ禍で中小企業・小規模事業者に対して強いインパクトを与えた三つの出来事として、第二期健康医療戦略



の閣議決定と免疫機能における新たな表示の実現、新領域の各種機能性表示の届出完了、事後チェック指針の発出が挙げられた。中小企業・小規模事業者としては他社との差別化を意識し、新しい他にはないヘルスクレームを表示したいために制度ギリギリのところを攻めるあまり、受理はされたものの事後チェック指針による撤回が待っている現状を「受理山と事後チェック山の間に撤回の谷」と表現されていた。機能性表示食品は十分な科学的根拠を示すことで特定保健用食品にはないヘルスクレームを立てることができる。新領域に該当するチャレンジングなヘルスクレームを目指すにあたっては、事後チェック指針を十分に意識することが大事であると締めていただいた。

全体を通して座長を行っていただいた矢澤一良先

生には、各先生後の話題提供後に行ったディスカッションの中でフレイルやサイトカインストーム、炎症などの話題を提供いただき、登壇いただいた先生方と話題に対する見解を深めていった。

約2時間にわたるサロンで話題が尽きることはなく、惜しみながらの閉会となった。本サロンの開催により消費者、事業者、臨床現場医師という三者が抱える機能性表示食品の課題が浮き彫りになり、三者が集うことでさまざまな課題解消へ向けた解決策なども伺えた。今後のヘルスフードアカデミックサロンでも機能性表示食品制度の今後の可能性を語るとともに、機能性表示食品の消費者、つまり国民の健康増進につながる情報提供を引き続き行っていきたい。

城西大学薬学部 白瀧 義明 (SHIRATAKI Yoshiaki)

エゴノキ *Styrax japonica* Siebold et Zucc. (エゴノキ科 Styracaceae)

連絡先：城西大学薬学部
shiratak@josai.ac.jp

5月の晴れた日、雑木林を散歩していると木々の間から梅に似た白い花がびっしり房状に咲いているのを見かけます。また、地面に目をやると木の下が真っ白な花で埋め尽くされている場合もあります。エゴノキの花はやや芳香のある合弁花で雄しべは10本、花冠は5片に深く裂けますが、ややつぼみ加減で咲き、清楚な感じのする花をつけることから庭木として人気があります。エゴノキは北海道～九州・沖縄まで、日本全国の雑木林に自生する落葉小高木で株立ちになることが多く、幹はスラリと伸び上がり、樹皮は赤褐色から黒褐色で縦に細かい筋がたくさん走っています。果実はサポニン^{注1)}を多く含み、口に入れるととても^{えぐ}いのでこの名がつけました。サポニンというと去痰、魚毒、溶血作用が頭に浮かびます。そのとおり果実は民間で去痰薬として使用されていましたが、用量がハッキリしないのでお勧めできません。新鮮な果実は泡立ちが良いので、洗濯の折、石鹼の代用に使用したり、川遊びの時など、子供たちが川に流して魚を獲るのに使ったりしたものです。これは果実に含まれるサポニンが魚のえら呼吸を止め呼吸麻痺になるのを利用したものです。エゴノキの果実の成分研究は古くからなされベンゾフラン化合物として egonol¹⁾が、また、サポニン・サポゲニンには barringtogenol C, barringtogenol D とよく似た構造の jegosapogenin(=21-O-tigloyl-barringtogenol C), desacyl-jegosaponin²⁾などが報告されています。若い葉の裏側や枝には星の形をした淡褐色の星状毛がたくさんありますので時間に余裕があれば、是非、観察してみてください。時々、枝



写真1 エゴノキ (花)



写真2 エゴノキ (エゴノネコアシ)

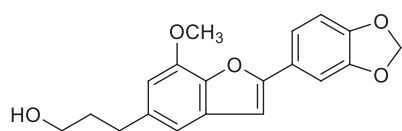
^{注1)} サポニン saponin: 疎水性のトリテルペン（もしくはステロイド）に親水性の糖が結合することで界面活性効果を示すトリテルペン（もしくはステロイド）の配糖体である。一般的に、溶血作用、魚毒活性、鎮咳・去痰作用が知られている。その非糖部（トリテルペンもしくはステロイド部分）をアグリコン aglycone, ゲニン genin, またはサポゲニン sapogenin という。生薬として有名なニンジン、カンゾウ、キキョウなどは、それぞれ、ginsenoside Rb₁（ニンジン）、ginsenoside Rg₁（ニンジン）、glycyrrhizic acid（カンゾウ）、playcodin D（キキョウ）などを含む。



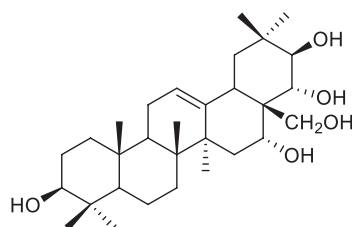
写真3 エゴノキ (果実)



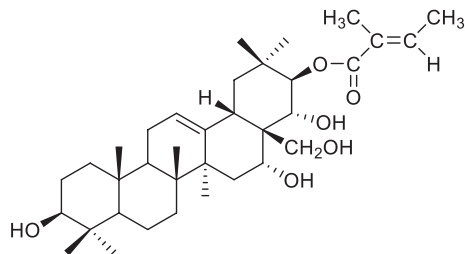
写真5 エゴノキ (成熟した果実)



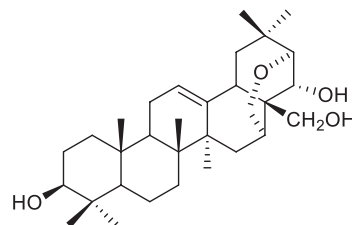
egonol



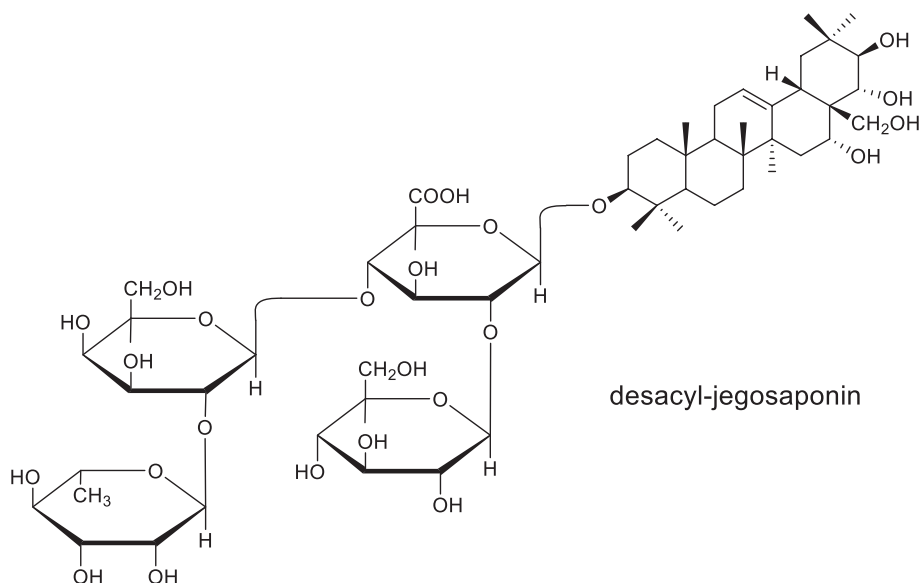
barringtogenol C



jegosapogenin



barringtogenol D



desacyl-jegosaponin

図1 成分の構造式

先に緑白色のハスの花みたいなものが付いているのを見かけますが、これはエゴノネコアシアブラムシ *Ceratovacuna nekoashi* の幼虫が冬芽に寄生してできた虫えい（虫こぶ）でエゴノネコアシとよばれるものです。なるほど、猫の足に似ています。エゴノキの材は黄白色で緻密で粘り気が強く、工作しやすいのでろくろを使ってお椀を作ったり、こけし、将棋の駒などの細工物や彫刻材、建築材などに用いられ、また、火であぶって曲げ、「背負い籠」や「輪かんじき」などに利用されます。そのため、別名をロクロギ、チシャノキともよばれます。種子は硬い殻に包まれ、鉄砲玉のような形をしていて、これをお手玉の中に入れると乾いた良い音がします。また、ヤマガラ的好物でもあります。



写真5 エゴノキ（樹皮）

局方収載の医薬品アンソッコウ（安息香）は東南アジアに分布するエゴノキと同じ仲間のアンソッコウノキ *Styrax benzoin* から得られ、その名の示すとおり、主成分として安息香酸を多く含み、防腐剤、刺激剤、くんごうりょう 薫香料として用いられています。アンソッコウにはスマトラ安息香（インドネシア産）とシャム安息香（タイ、ラオス産）があり、シャム安息香のほうが品質も良く値段も高いそうです。

その他、日本にはエゴノキの仲間としてハクウンボク（白雲木）という高さ 10 メートル以上にもなる落葉高木も自生しています。こちらは下垂する総状花序に約 20 個もの芳香を放つ白い花を付けることから茶花として人気があります。

参考文献

1. 川合眞一ら：エゴノールの研究（第 14 報）。日本化学会誌, **64**: 1213-1214, 1943.
2. Isao Kitagawa *et al.*: Saponin and Sapogenol. X. Structures of Jegosapogenin and Desacyljegosaponin obtained from Pericarps of *Styrax japonica* Sieb. et Zucc., *Chem. Pharm. Bull.*, **23**: 1520-1531, 1975.

くるみなど植物由来のオメガ3脂肪酸を 豊富に含む食生活で心筋梗塞後の死亡リスクが低下

カリフォルニア州フォルソム（2020年10月27日）—*Journal of the American College of Cardiology*（米国心臓病学会，JACC）¹⁾に掲載された最近の研究によると、脂肪を多く含む魚などの海産物に含まれるエイコサペンタエン酸（EPA）やくるみなどの植物性食品に多い α -リノレン酸（ALA）といったオメガ3脂肪酸を豊富に含む食品を日常的に摂取すると、死亡リスクの低下を始めとする、心筋梗塞患者の予後の改善につながる可能性があることがわかりました。また、ALAとEPAを併せて摂取すると効果が大きく高まることから、この2タイプのオメガ3脂肪酸には相乗効果で心臓を保護する働きが期待されています。

この観察研究はカリフォルニアくるみ協会の協力により実施されたもので、同じくJACCに掲載された「Revolution in Omega-3 Fatty Acid Research（オメガ3脂肪酸研究の革命的進歩）」²⁾と題する付随論評においても支持されています。この研究は、心臓の冠動脈の1本が閉塞するような重度の心筋梗塞を発症した患者944人を対象に実施されました。この症状は、医学的にはST上昇型急性心筋梗塞(STEMI)と呼ばれています。

心疾患は米国における主な死亡原因のひとつであり、40秒に1人が心筋梗塞を発症しています³⁾。最初の発作から5年以内に二度目の発作に見舞われた46歳以上の心筋梗塞の経験者のうち、男性は36%、女性は47%が死亡しています⁴⁾。日本では、厚生労働省の調査によると、心疾患（高血圧性のものを除く）の総患者数は173万2,000人と推計されています⁵⁾。心疾患はがんに続き2番目に多い死亡原因で、全死亡数の15.0%を占めます⁶⁾。心筋梗塞を発症した人では、発症後数年以内の再発リスクや死亡リスクが高いことも知られています⁷⁾。

この研究の主任研究者である、ホスピタルデルマール医学研究所（IMIM）およびバルセロナベータ脳研究センターのアレイス・サラ＝ヴィラ博士は、こう述べています。「現在でも多くの方が心筋梗塞を発症しており、患者さんの救命措置だけでなく発症後のQOLの維持についても研究が進んでいます。この研究の



新しい点は、ALA と EPA が患者さんの長期的な予後の改善に対して補完的に作用する可能性に光をあてたことです。サーモンやくるみ、亜麻仁などの食品から海産物由来と植物由来のオメガ3 脂肪酸を併せて摂取すると、より高い効果が期待できるのではないかと考えています。」

被験者の平均年齢は 61 歳で、78% が男性でした。入院時に採取した血液中のオメガ3 脂肪酸の濃度を測定し、心筋梗塞を発症する前に摂取したオメガ3 脂肪酸の量を正確に把握しました。そして、オメガ3 脂肪酸の血中濃度の高さと退院後 3 年以内に合併症を起こすリスクの関係を観察しました。特筆すべきは、ALA の血中濃度が高かった被験者は退院後 3 年間の死亡リスクが、死因を問わず低かったことです。また、EPA の血中濃度が高かった被験者では、心血管系の原因による死亡や再入院のリスクが低かったとの観察結果が出ています。

くるみは心臓に良い食品として知られており、コレステロール値、血圧、炎症、内皮機能や血管壁のプラーク形成などをバロメーターとした心血管系の健康とくるみの関連は、30 年以上にわたる研究により裏付けられています¹⁾。また、オメガ3 脂肪酸の一種である ALA を豊富に含むナッツはくるみだけであり、1 オンス (28g) から 2.5g の ALA 摂取が可能です。期待の持てる観察結果が出ていますが、因果関係はまだ証明されていません。EPA と ALA の両方を摂取することが実際の要因なのか、社会経済的因子や教育程度、薬物治療などの影響もあるのかどうかを結論づけるには、さらに研究を重ねる必要があります。なお、ドコサヘキサエン酸(DHA として知られる、脂肪を多く含む魚に多いオメガ3 脂肪酸の 1 種)は、この研究の対象とはなっていません。

本研究について、栄養学や動脈硬化が専門の吉田 博先生（東京慈恵会医科大学附属柏病院 副院長・東京慈恵会医科大学臨床検査医学講座 教授・大学院代謝栄養内科学 教授・一般社団法人日本未病学会 理事長）は、これまでの海産物由来のオメガ3 脂肪酸（EPA および DHA）に関する 3 つの研究を示し、EPA とくるみなどの植物由来のオメガ3 脂肪酸（ALA）について検証した本研究結果は革新的であると評価しています。

「日本の大規模介入臨床試験である JELIS（二次予防対象者が約 25%）⁸⁾ ではスタチンとの併用ながら、EPA が 1.8g/日と多く使用されています。EPA 投与群では心血管病リスクが有意に低下し、その効果は二次予防やハイリスク症例で顕著でした。また、EPA の 1 日量が 4g の欧米の研究 REDUCED-IT 研究（二次予防対象者が約 70%）では、有意な心血管病リスクの低下がみられています⁹⁾。

しかしながら、最近報告された EPA/DHA が 1 日 4g 使用された STRENGTH 研究（二次予防対象者が約 50%）では、心血管イベントリスクは低下せず、臨床試験は早期に終了しています¹⁰⁾。これらの試験では、オメガ3 脂肪酸である EPA は主に二次予防に効果的であることが示される一方で、EPA と DHA との混合では有意な効果がみられていません。そのなかで本研究では、EPA とくるみに多く含まれる ALA の双方を摂取することで、有意な二次予防効果が認められています。これはオメガ3 脂肪酸の革新的な成果といえます。」

参考文献

1. Iolanda Lazaro *et al.*: Circulating Omega-3 Fatty Acids and Incident Adverse Events in Patients With Acute Myocardial Infarction. *JACC*, 76; **18**: 2089-97, 2020. <https://www.jacc.org/doi/pdf/10.1016/j.jacc.2020.08.073>
2. Deepak L *et al.*: A Revolution in Omega-3 Fatty Acid Research. *JACC*, 76;**18**: 2098-101, 2020.
3. Heart Disease Facts, CDC, USA <https://www.cdc.gov/heartdisease/facts.htm>
4. Heart Disease and Stroke Statistics—2015 Update. *Circulation*, 131;4: e29-e322,2015. https://www.ahajournals.org/doi/10.1161/CIR.000000000000152?url_ver=Z39.88-2003&rfr_id=ori%3Arid%3Aacrossref.org&rfr_dat=cr_pub++0pubmed&
5. 厚生労働省『平成 29 年 (2017) 患者調査の概況』 <https://www.mhlw.go.jp/toukei/saikin/hw/kanja/17/index.html>
6. 厚生労働省『令和元年 (2019) 人口動態統計』 <https://www.mhlw.go.jp/toukei/saikin/hw/jinkou/kakutei19/index.html>
7. 日本循環器学会ほか『心筋梗塞二次予防に関するガイドライン (2011 年改訂版)』 https://www.j-circ.or.jp/old/guideline/pdf/JCS2011_ogawah_h.pdf
8. Yokoyama M *et al.*: Japan EPA lipid intervention study (JELIS) Investigators. Effects of eicosapentaenoic acid on major coronary events in hypercholesterolaemic patients (JELIS): a randomised open-label, blinded endpoint analysis. *Lancet*, **369**: 1090-8, 2007.
9. Bhatt DL *et al.*: REDUCE-IT Investigators. Cardiovascular Risk Reduction with Icosapent Ethyl for Hypertriglyceridemia. *N Engl J Med*, Jan 3;**380** (1):11-22, 2019.
10. Nicholls SJ *et al.*: Effect of High-Dose Omega-3 Fatty Acids vs Corn Oil on Major Adverse Cardiovascular Events in Patients at High Cardiovascular Risk: The STRENGTH Randomized Clinical Trial. *JAMA*. Dec 8; **324** (22):2268-2280, 2020.

【カリフォルニア くるみ協会について】

カリフォルニア州の約 4,800 軒のくるみ生産者と約 100 社のくるみ加工・販売業者から成る，カリフォルニア州食品農業局 (CDFA) 管轄の非営利団体です。1987 年に設立され，生産者の課徴金と米国連邦農務省からの活動資金により，各種調査・研究，輸出相手国において商品の販売を伴わない啓蒙活動を行っています。海外では日本の他に韓国，インド，トルコ，UAE，EU，ドイツ，スペイン，イギリス，カナダに代表事務所を置いています。対日活動は 1986 年にスタートし，その主な役割はカリフォルニア産くるみの需要拡大を目的とする宣伝，PR，販売促進，調査などを企画実施することであり，高品質なカリフォルニア産くるみを広めるための様々なマーケティング活動を展開しています。現在カリフォルニアくるみ産業界は世界で流通するくるみの約 2／3 を生産しています。

カリフォルニアくるみに関する健康情報，レシピ，または産業界に関する情報は，ホームページをご覧ください。

【カリフォルニア くるみ協会ホームページ】

英語 : <https://walnuts.org/>

日本語 : <https://www.californiakurumi.jp/>

【本件に関する問い合わせ】

カリフォルニア くるみ協会 日本代表事務所

TEL : 03-3221-6488

FAX : 03-3221-5960

E-mail : contact@kurumi-jp.org

URL : <https://www.californiakurumi.jp>

住友化学と Nuritas（ニュリタス）が人工知能による 生物活性ペプチド創薬に向け提携を発表

アイルランド、ダブリン、2021年4月8日 - 住友化学株式会社と Nuritas(ニュリタス)社は、増え続ける世界人口を養うのに必要な食糧生産システムの持続的支援に向け、複数年にわたる契約に調印したことを発表しました。

この非常に重要な提携関係により、Nuritas 社は、植物源から効果の高いペプチドを人工知能と DNA 分析を用いて予測・解明・検証する同社の受賞歴のある新技術プラットフォームを展開します。住友化学株式会社は同社の豊富な科学的ノウハウと応用専門知識を用いて、Nuritas 社の創業の有効性を実地試験で検証し、製造してグローバル展開します。

「住友化学株式会社と協業でできることを誇りに思います。Nuritas 社のミッションは、何十億もの命に貢献することです。これを達成するには大きな問題点に注目する必要がありますが、増え続ける世界人口を養うために十分な食糧の持続可能な生産ほど大きな課題はありません」と、Nuritas 社創設者兼最高経営責任者ノーラ・カルディは語りました。

住友化学株式会社技術・研究企画部担当執行役員 栗本 勲氏は、「住友化学は全社事業計画で医療、環境負荷低減、食糧、情報通信技術の4つを重点領域に設定しました。Nuritas 社との提携は当社の戦略重視の計画に沿うもので、当社の商品化の経験と専門知識と合わせて持続可能な食料生産ソリューションを構築し、提供していきます」と述べました。



AI と DNA 分析によるペプチド発見プラットフォームを持つ Nuritas 社（イメージ）

「世界人口は2050年にはほぼ100億に達すると予想されています」と、Nuritas 社戦略提携部門長ニール・フォスターは語ります。「地球環境を破壊せずに世界人口を養うことは業界が直面している根本的な課題であり、住友化学株式会社と提携して本ソリューションに寄与できることを嬉しく思います」

Nuritas 社は受賞歴を持つ急成長中のバイオテクノロジー・研究開発企業であり、ペプチド発見プラットフォーム機能の提供により世界から注目を集めています。

アイルランド政府商務庁アジア太平洋地域ディレクターのメアリー・キナーンは次のように述べました。「この非常にポジティブなニュースは、野心的な Nuritas 社のコミットメントとイノベーションを証明するものです。アイルランド政府商務庁は、日本の大手企業、住友化学株式会社とのパートナーシップ締結を含め、Nuritas 社の日本・アジア市場開拓の取り組みを支援できたことを誇りに思います。Nuritas 社のこの大きな進展は、洗練された技術や野心的な企業にオープンな日本において、アイルランド企業の評価をさらに高めてくれると思います。」

■住友化学株式会社について

東京に本社を置く住友化学は、日本の主要化学薬品企業の一社で、石油化学、エネルギー・機能材料、情報電子科学、健康・農業関連、医薬品の事業領域で多様な製品をグローバル展開しています。同社の2019年度連結売上収益は2.2兆円で、2020年3月31日現在の従業員数は約3万4,000人でした。詳細については、<https://www.sumitomo-chem.co.jp/> をご覧ください。

■ Nuritas(ニュリタス) 社について

Nuritas 社は自然界の分子多様性の全てを活用して現代の最大の課題を解決しています。Nuritas 社プラットフォームは、人間と動物の健康を改善するペプチド創薬を目的としています。2014 年に数学者でコンピュータ科学者のノーラ・カルディ博士が創設した Nuritas 社は、同社のパワフルな人工知能の力を活用して自然界の分子の広範なライブラリを迅速かつ正確に検索し、幅広い健康状態の管理と治療において国際水準を上回る化合物を特定しています。Nuritas 社初の医薬品である先進的な PeptAIde(TM) は、概念の商品化まで3年とかかりませんでした。ペプチドの持つ高い標的特異性を活かして、Nuritas 社のデータサイエンティストと熟練の分子生物学者らはコンピュータによる予測機能と社内実験研究、in-vivo および臨床評価を組み合わせ、クラス最初の治療薬の進歩を商品化し、人生を変える原薬や医薬品を創薬しています。

詳細については、<https://www.nuritas.com/> をご覧ください。

医療・健康・美容分野で大注目の新素材！

高品質で安全性の高い「CBD アイソレート」の輸入販売を開始

株式会社サンリードジャパントレーディング(所在地：埼玉県朝霞市、代表取締役：池田 香世子)は、高品質で安全性の高いアメリカ ネクターテック社の CBD(カンナビジオール)アイソレートを輸入販売いたします。

CBD 製品は麻から抽出されたカンナビノイド成分の一種で、医療・健康分野・美容分野などにおいて研究開発及び様々な製品化が行われています。

当社が輸入販売する CBD アイソレートに関しては、大麻ではなく麻から抽出されたもので、厚生労働省 地方厚生局 麻薬取締部の認可を受けており、大量のご発注にも対応可能となっております。

■安全性

アメリカ ネクターテック社製です。大麻ではなく、製造工場(ISO9000)から最高品質な“麻”の茎と種だけを使用した良質で高濃度な CBD となります。THC や農薬などの物質は検出されていないことを第三者機関による商品の成分分析も実施済みのため、安心・安全にご使用いただけます。

当然、当社で輸入している CBD アイソレートは厚生労働省 地方厚生局 麻薬取締部の認可を受けており、無農薬・オーガニックで安心して摂取できる品質のもので THC 成分 0.03% 以下となっております。第三者機関による商品の成分分析も実施済みで、安全な CBD の安定供給が可能です。

■ CBD とは

医療・健康分野で研究開発が進められ、特に以下の効果や症状の改善に期待されています。

【リラクゼーション効果】【不眠・抗炎症、抗菌、抗酸化作用】【鬱、抗不安効果】【鎮痛効果・癲癇(てんかん)】など、これからさらに研究が進んでいくことで、色々な効果が判明していくと考えられています。

商品化は、パイプ形式で吸うものや、オイルやクリームなど様々な形式で展開されています。たとえば、非常に流行っているサウナで使用する、ストレスの軽減や美肌効果が増加するなどの研究も進んでおり、様々なジャンルでの商品開発の可能性があると考えられています。

■ CBD の市場規模

ゴールドラッシュをもじって「グリーンラッシュ」と全世界的には言われているほどの消費拡大されており、多大な投資対象となっている市場です。市場規模は、2019 年に約 2,952 億円から 2026 年には約 9 兆 4,200 億円に成長すると予測されています。

■ 会社概要

株式会社サンリードジャパントレーディング

代表取締役：池田 香世子

所在地：〒351-0007 埼玉県朝霞市岡 1-9-13

設立：2020 年 10 月

■ 本件に関するお問い合わせ先

株式会社サンリードジャパントレーディング

代表取締役：池田 香世子

電話：048-468-6312

お問い合わせフォーム：<https://sunlead-jt.com/contact>

自分だけのコーヒーが作れるキット『scene』が一般販売開始！ Makuake にて目標売上の 527%を達成

株式会社アイトーン（本社：京都府京都市下京区、代表取締役：篠田 拓也）が運営するコーヒーブランド colon coffee roasters（コロンコーヒーロースターズ）は、2021 年 3 月 28 日より自社 EC サイトにて「カスタムブレンドキット『scene』」（以下『scene』）の一般販売を開始いたしました。

『scene』は、2020 年 12 月 17 日から 2021 年 1 月 30 日まで、クラウドファンディングサイト Makuake にて先行販売を受け付け、初日に目標金額 20 万円を達成し最終的に 184 名の方からお申し込みをいただき合計 1,055,600 円の金額を集め、目標売上の 527%を達成しております。

■ 『scene』の特徴

1. 自宅で、誰でも簡単にオリジナルのブレンドコーヒーが作れる。

この商品とお湯とペンがあれば、誰でも美味しいブレンドコーヒーが作れるキットです。ブレンド作りのワークショップをご自宅で体験していただけます。

2. パッケージにブレンド名やコーヒーの特徴パラメータが記載されて自宅に届く。

独自の風味が作れるだけでなく、自分で決めたブレンド名などがパッケージに表現されます。「お母さんありがとうブレンド」「感謝☆☆☆☆☆」といった情報をパッケージに入れることで、思い入れのあるコーヒーを作ることができます。

3. 作ったレシピは、何度でも繰り返し注文可能。

作ったレシピは一度きりでなく、何度でも注文可能です。その際の価格は colon coffee roasters の通常のラインナップと同様の 100g780 円（税込）で提供します。

4. 制作者以外の方がブレンドを購入すると売上の 10%を新型コロナウイルス緊急募金へ寄付。

レシピ ID とブレンド名があれば、再注文は誰でも可能です。つまり、SNS で自分のレシピを公開すれば、知らない方がそのブレンドを購入できるようになります。制作者以外の方がブレンドを購入された場合、制作者にマージンを支払う代わりに、公益財団法人日本ユニセフ協会の新型コロナウイルス緊急募金へ売上の 10%を寄付します。

■商品開発の背景

代表の篠田は、自分にとって最高のコーヒーとはなにかと考えた時、自身の小さい息子が一生懸命手動ミルで粉に挽いてくれたコーヒーだと気付きました。また、コロナ前から開催していた自分だけのブレンドを作るワークショップに参加してくれたお客様から、自分が作ったコーヒー豆を実家に送ったところお母様が大変喜ばれたという話を聞かせていただきました。

つまり、最高のコーヒーとは想いの込められたその人だけのものだと気づき、誰でも自分だけのコーヒーを作ることができれば、みなさんに最高のコーヒーを楽しんでいただけるのではと考え、商品開発をはじめました。コロナ禍で開催できなくなったブレンド作りのワークショップのノウハウを応用し、ご自宅で誰でも簡単にできるように作られたカスタムブレンドキット『scene』は、あなただけの特別なコーヒーを提供します。

■商品概要

商品名：カスタムブレンドキット『scene』

価 格：5,400 円 (税込・送料別)

内 容：1. コーヒー豆 6 種類 120g を含むブレンドキット一式
2. 完成品として後日発送するコーヒー豆 100g またはドリップバッグ 5 個

発売日：2021 年 3 月 28 日

購入ページ：<https://coloncoffee.theshop.jp/items/38523790>



■会社概要

会 社 名：株式会社アイトーン

代表取締役：篠田 拓也

所 在 地：京都府京都市下京区新町通松原下る富永町 107-1

事 業 内 容：コーヒー豆製造販売事業、カフェ事業、
コワーキングスペース運営事業

資 本 金：500 万円

WEB サイト：<https://colon-coffee.jp/>

卓上 X 線回折装置 Aeris(エアリス) に 透過測定機能と薄膜測定機能が搭載し 4 月より販売開始 !

スペクトリス株式会社マルバーン・パナリティカル事業部(東京都港区, 事業部長: 岩橋 明敏)は透過測定機能, 薄膜測定機能を搭載した卓上 X 線回折装置 Aeris(エアリス)を 2021 年 4 月より販売開始いたしました。
URL: <https://www.malvernpanalytical.com/jp/products/product-range/aeris-range>

卓上型 X 線回折装置 Aeris(エアリス)

【新しい Aeris の特徴】

- 1%以下の結晶相・結晶多形を検出
- 卓上機でありながら, 薄膜 X 線回折法及び透過法まで拡張可能
- 装置内部を開閉せずに試料装填, 測定が可能な安心の操作性
- 試料水平方式で脱落, 試料間コンタミネーションの不安なし

【Aeris 機能拡張の背景】

スペクトリス株式会社マルバーン・パナリティカル事業部は卓上型粉末 X 線回折装置 Aeris の販売を行ってきましたが, この度大きく機能を追加したりリニューアルモデルを発売します。具体的には, 薄膜 XRD(GIXRD) 測定の機能拡張により, 薄膜やコーティング材料の結晶性や残留応力の測定が可能になったほか, 透過率測定機能の拡張により, サンプル前処理時の配向の影響を低減し, 製剤試料のような試料でも, より正確なデータが得られるようになりました。

今回のリニューアルで, 以前は床置き型の大型装置でのみ対応していた機能が搭載できるようになりました。新しい Aeris は, 多結晶材料から高品質のデータをスループットよく提供することが出来る卓上型の多目的 X 線回折装置であり, すべての環境で使用できるように設計されています。また従来の Aeris でも定評のあったユーザフレンドリな操作性, 試料脱落, コンタミネーションの心配のない安心設計, 詳細な解析が可能な大型の床置き装置と同じ解析ソフトウェアは, 今回のリニューアルでも引き継がれています。



Aeris の蘭国プロダクトマネージャーである Wilijan Vissers は次のようにコメントしています。「粉末 XRD を打ち破る新しい Aeris を発売できることを非常に誇りに思います。新しい Aeris は, コンパクトな機器でフロアスタンドシステムのデータ品質を提供することにより, 幅広いお客様が詳細な材料分析を実行し, プロセスを最適化できるようにし, 科学のフロンティアをさらに前進させるのに役立ちます。」

【Aeris の利用シーン】

従来の照射型の粉末 X 線回折に加え、透過測定に対応したことでより幅広い種類の試料の想定に対応した、X 線回折測定を行い、薄膜 XRD 法 (GIXRD) 測定機能の搭載により、コーティングや薄膜の分析を行います。

機能範囲を拡大しても、オペレーターはさまざまなアプリケーションを簡単に切り替えることができるため、システムの設定や調整を気にすることなく、研究に集中できます。新しい Aeris を使用すると、研究者は詳細で正確なデータをより簡単かつ手頃な価格で取得できるため、製薬および薄膜を用いる電子材料、メタルコーティング層を扱う業界の小規模企業や教育機関が科学研究やプロセス開発に貢献できる可能性が広がります。

【会社概要】

会社名：スペクトリス株式会社

所在地：東京都千代田区神田司町 2-6 司町ビル

代表者：山田 英美

設 立：1980 年 7 月 30 日

U R L：https://www.spectris.co.jp/

事業内容：精密機器、精密制御機器の開発、販売、サポート

※マルバーン・パナリティカルはスペクトリスのグループ企業です。

【本リリースに関する報道お問い合わせ先】

スペクトリス株式会社マルバーン・パナリティカル事業部 マーケティング部

TEL : 078-306-3806(平日 9-17 時)

e-mail : Marketing.Japan@malvern.com

第 25 回腸内細菌学会学術集会（ハイブリット開催）

メインテーマ

人生 100 年時代と腸内フローラ

～ヒトの一生における腸内フローラと健康の関係～

■大会長：阿部 文明（森永乳業（株））

■会 期：2021 年 6 月 1 日（火）・2 日（水）

■会 場：タワーホール船堀（東京都江戸川区船堀 4-1-1）

※現地開催および web によるライブ配信予定

■事前参加登録・オンライン参加登録費：

（事前参加登録期間：2021 年 2 月 1 日（月）～5 月 20 日（木））

2/1 ～ 4/30：会員 7,000 円 一般 11,000 円 学生 1,500 円（事前登録）

5/1 ～ 5/20：会員 8,000 円 一般 12,000 円 学生 1,500 円（事前登録）

※当日参加は、会員 9,000 円 一般 13,000 円 学生 2,000 円

■大会ホームページ：<https://bifidus-fund.jp/meeting/index.shtml>

■お問い合わせ先：公益財団法人腸内細菌学会事務局

〒170-0002 東京都豊島区巣鴨 1-24-12

TEL: 03-5319-2669 FAX: 03-5978-4068 e-mail: jbf@ipec-pub.co.jp

www.newfoodindustry.com

ニューフードインダストリー 第63巻 第5号

印 刷 令和 3 年 4 月 20 日

発 行 令和 3 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

T E L : 042-312-0836 (代表)

F A X : 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 2,750円 本体2,500円 (送料120円)

e-mail: newfood@newfoodindustry.com

New Food Industry 投稿規定

1. 本誌 New Food Industry は、食品に関する原著論文、総説、ノート、解説、特集原稿、国内新製品紹介、海外レポート、随想および各種研究会会告等を掲載します。
2. 投稿原稿は、日本語または英語を標準とし、欧語は使用しないでください。

和文原著論文、総説、ノート、解説には、和文タイトル、著者名および所属機関名（所在地）、次に英文タイトル、著者名、所属機関名（所在地）をつけ、本文の前に必ず7つ以内のキーワード（英語と日本語）を加える。原著論文、総説、ノートには、400単語程度の英文 Abstract をつけます。また、総説、解説等については出来れば Graphic abstract で本文の概要を説明してください。

英文原稿には、7つ以内の英語のキーワード、末尾に、和文タイトル、著者名および所属機関名（所在地）、7つ以内の和文キーワードおよび和文要約を書き入れてください。
3. 原著論文、ノート、総説については編集委員会にて査読者を選出し査読を行います（総説は査読希望があるものについて査読をします）。また、研究解説、特集等に関しては各著者の責任において投稿いただきます。

査読される原著論文は、未発表の新規知見を含み食品科学・食品の機能性等の発展に寄与するものとし、ノートは、食品業界の発展に寄与する短報とします。総説はすでに発表されたもので新たに加筆、修正をし、食品科学の知見に基づいた機能、官能評価、開発のための価値の高い研究論文などを対象とします。また、研究論文の著者が複数の場合、その責任者（研究室長・教授）等の責任において発表し、査読希望の場合に限り査読を行います。

原稿の取扱いは、編集委員会に一任され、査読を行う原稿は、編集委員会の判断で査読者を2人以上選出し掲載可の判断がされた後、編集作業にかかります。
4. 原稿はすべて A4 ワードドキュメントに、和文は横書きで 40 字×35 行、英文の場合は 72 字×35 行を標準とします。
5. 論文の長さは、本誌印刷時に原著論文では 8～12 頁（ワード頁で 10～20）以内、ノートでは 4 頁以内とします。
6. 和文原稿はひらがな、新仮名遣いとし、物質名や学術用語などに対して欧語を用いないこと。研究に用いた機器試薬名は一般名と商標登録名、メーカー名、所在地を記載します。
7. 本文および文献中の学名やジャーナル名はイタリック、ジャーナルの巻数はボールドとします。
8. 図・写真・表並びに説明文は、別稿で提出してください。
9. 図表の挿入希望位置は、原稿欄外に指示してください。
10. 数字はすべてアラビア数字を用い、数量の単位は SI 単位を基本とする。単位および述語の略字例は次の通り。
km, m, cm, mm, L, mL, m², kg, g, mg, mol, mmol, mM, μM, pH, b.p., f.p., MW, V, A, N, M, R_f 等
11. 引用文献は、本文中での引用順に片括弧付きの上付き番号を付して記載します。
12. 引用文献リストは、本文の後に番号順にまとめて記載します。
13. 原稿の校正は、初校・再校まで著者が行い、大幅な修正、加筆は不可。三校以降は希望があれば行います。
14. 掲載された論文は、論文公開検索システム等に採択されます。掲載論文の著作権は、エヌエフアイ合同会社に帰属します。
15. 掲載された論文は、出版元の許可を得れば頒布、複製、著者 HP での公開をしてもよい。



New Food Industry

エヌエフアイ合同会社

本社：〒185-0012 東京都国分寺市本町3-7-23-302

電話 042-312-0836 FAX 042-312-0845

定価：2,750円 本体2,500円
(送料120円)

雑誌 89591-5



4910895910512
02500