

New Food Industry

2020
9

New food indust. 62 (9): 2020.

原著論文

- ◆食餌性肥満ラットにおけるピーナッツ渋皮エキスの抗肥満効果

研究解説

- ◆活性酸素種生成によるメイラード反応への関与と
それに対する中鎖脂肪酸含有油脂の効果

製品解説

- ◆食品工場用除菌剤の新たな可能性
- ◆四種の異なるもちもち食感実現のための加工澱粉の選択について

コーヒー博士のワールドニュース

- ◆手網焙煎で浅煎り, 深煎りブレンドの作り方

South Africa Communications

- ◆Alpine plants live robustly in Table Mountain

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	東京家政大学教授
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



「いただきます」を支える

豊かで潤いのある食文化と快適な生活環境の実現に貢献します。

食品分野

 食品添加物・食品素材

 寒天・ゲル化剤

 食用色素・香味

 機能性食品素材

 食品工場用サニテーション

工業薬品分野

 工業用防腐・防かび・抗菌剤

詳細はホームページまで

<https://www.taishotechnos.co.jp/>



 株式会社 **タイショー テクノス**

本社：〒103-0015 東京都中央区日本橋箱崎町36番2号

営業 TEL：東日本営業部・化学品営業部 03-3808-1444 西日本営業部 06-6223-8020



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[®]

自然の恵みを運ぶ

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(地野日生ビル6F) TEL(06)6203-6918 FAX(06)6233-3606

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

原著論文

■ 食餌性肥満ラットにおけるピーナッツ渋皮エキスの抗肥満効果

曾川 美佐子, 岡 実紗, 寺西 弘志, 上前 健太郎, 山本 正次 625

研究解説

■ 活性酸素種生成によるメイラード反応への関与と それに対する中鎖脂肪酸含有油脂の効果

豊崎 俊幸 635

製品解説 株式会社タイショーテクノス

■ 食品工場用除菌剤の新たな可能性

柳沢 俊英 641

製品解説 伊藤忠食糧株式会社

■ 四種の異なるもちもち食感実現のための加工澱粉の選択について

東川 浩 645

連載解説

■ 新解説 穀物ベースのグルテンフリー機能性飲料 (1)

瀬口 正晴, 竹内 美貴, 中村 智英子 650

コーヒー博士のワールドニュース

■ 手網焙煎で浅煎り, 深煎りブレンドの作り方

岡 希太郎 655

連載 野山の花 — 身近な山野草の食効・薬効 —

■ ガマ *Typha latifolia* L. (ガマ科: Typhaceae)

白滝 義明 664

連載 デンマーク通信

■ デンマークのシナモンパン

Naoko Ryde Nishioka 668

随想

■ 油脂を蓄積する酵母 *L. starkeyi* と向き合う

兎束 保之 671

South Africa Communications

■ Alpine plants live robustly in Table Mountain

Hiroshi Sakagami 695

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」が一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。

取扱製品

- ◆キヌア粒
- ◆有機キヌア粒

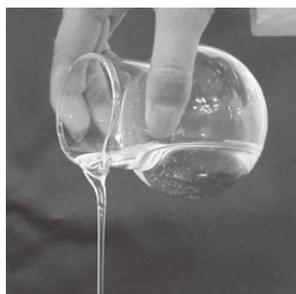


レアシュガースウィート

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-プシコースやD-アロースは、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：レアシュガースウィート）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

レアシュガースウィート



でんぷん

異性化糖

ぶどう糖

果糖

D-プシコース

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

食餌性肥満ラットにおける ピーナッツ渋皮エキスの抗肥満効果

曾川 美佐子 (SOGAWA Misako)¹ 岡 実紗 (OKA Misa)¹ 寺西 弘志 (TERANISHI Hiroshi)²
上前 健太郎 (KAMIMAE Kentaro)² 山本 正次 (YAMAMOTO Masaji)²

¹ 四国大学生生活科学部管理栄養士養成課程, ² KISCO 株式会社

Key Words: ピーナッツ渋皮エキス, ポリフェノール, 肥満ラット, 高脂肪食, 体脂肪%, 中性脂肪, 総コレステロール

Peanut skin extract reduces body weight and fat in diet-induced obese rats

Author: Misako Sogawa¹, Misa Oka¹, Hiroshi Teranishi², Kentaro Kamimae², Masaji Yamamoto²

Corresponding author: Misako Sogawai, E-mail sogawam@shikoku-u.ac.jp

¹ Training Department of Administration Dietitians, Faculty of Human Life Science, Shikoku University,

² KISCO LTD.

Key Words: Peanut skin extract, polyphenols, obese rats, high fat diet, body fat%, triacylglycerol, total cholesterol

ABSTRACT

Peanut skin extract (PSE) has previously been shown to improve type I diabetes mellitus in streptozotocin-induced diabetic rats and reduce the body weight of diet-induced obese rats during a weight-loss regimen. In this study, we examined whether administration of PSE produced an anti-obesity effect in rats concomitantly fed a high-fat diet.

Fourteen male Wistar rats (7 weeks old) were divided into two groups. The control group was fed a 25% (w/w) high-fat diet and the PSE group was fed the same diet supplemented with 1.48% of PSE for 10 weeks.

At the end of the treatment period, % body fat of the PSE group was significantly decreased compared to the control group, clearly indicating that PSE has an effect on the control of fat accumulation. In addition, it was found that PSE supplementation improved lipid metabolism, as evidenced by decreased levels of TGs and total cholesterol in the plasma and liver of the PSE group. Furthermore, PSE supplementation tended to increase % body protein. A significant increase in fecal weight was observed in the PSE group, indicating that PSE promotes bowel movement.

要 約

我々は、これまでにピーナッツ渋皮エキス（以下 PSE と略す）が、肥満や糖尿病に及ぼす影響について研究を行ってきた。今回は、高脂肪食を与えた肥満ラット作成時に、PSE 投与により抗肥満効果を示すかについて検討した。

7 週齢のウイスター系雄ラット 14 匹を 2 群に分け、1 群は対照群、もう 1 群は PSE 群とした。対照群のラットには 25% 高脂肪食を、PSE 群には 25% 高脂肪食に PSE を 1.48% 加えた食餌を 10 週間にわたり自由摂取させた。

10 週間後、PSE 群の体脂肪 % は有意な低値を示し、PSE には体脂肪蓄積を抑制する効果があることが認められた。また、PSE 群の血漿及び肝臓中の TG と総コレステロール値は低値を示したことから、PSE には高脂肪食投与時の脂質代謝を改善する効果があると考えられた。一方、PSE は、体タンパク質 % に対しては増加させる方向に働いた。糞重量は PSE 群で有意に高値を示したため PSE には排便促進効果があると考えられた。

PSE は肥満ラットの体重及び体脂肪の増加を抑え、排便促進効果を持つことから、食習慣や生活習慣の乱れによる肥満を予防する効果があることが示唆された。

連絡先: 曾川 美佐子 (Misako Sogawa) (責任著者)

四国大学 生活科学部 〒 771-1192 徳島市応神町古川字戎子野 123-1

電話: 088-665-9363, e-mail: sogawam@shikoku-u.ac.jp

はじめに

食生活の欧米化と、省力化に伴う身体活動状況の変化によってエネルギーバランスに不均衡が生じ、肥満人口が増加している。平成 30 年国民健康・栄養調査によると 20 歳以上の肥満者 (BMI が 25kg/m² 以上の者, BMI:Body Mass Index) の割合は、男性 32.2%, 女性 21.9% であり¹⁾、男性では約 3 人に 1 人が、女性では 5 人に 1 人が肥満者といっても過言ではない状況である。肥満者は、非肥満者に比べて、生活習慣病である糖尿病は約 5 倍、高血圧症は約 2.5 倍罹患しやすくなることが報告されており²⁾、肥満を防ぐことは重要である。

肥満を予防するためには、食生活の見直しや適度な運動を行うなどの生活習慣を改善することが必要になるが、長年築いてきた食習慣を変えたり、運動を新たに始めたりするのは、日常生活の中では難しいのが現状である。仮に食習慣を変えたり、運動を始めたりしたとしても、その習慣を継続させるための努力が必要であり、これも大きな問題である。このような背景から近年では、抗肥満効果を持つ成分の解明が進められてきた。特に種々のポリフェノールが注目されており、中でも緑茶に含まれるカテキンの抗肥満効果がラット³⁾、マウス⁴⁾、ヒト⁵⁾において報告されている。これを受けて、現在では消費者庁によって「体脂肪を減らすのを助けます」、「内臓脂肪が気になる方に」などという表示が許可された特定保健用食品や、同じく同庁に届出された機能性表示食品などがたくさん販売されている。

今回の研究で使用したピーナッツ渋皮エキス (peanut skin extract) は、ピーナッツ (*Arachis hypogaea* L.) の渋皮を熱水抽出した後、減圧下で濃縮乾固することによって得られたものである。PSE には、フラボノイド類のルテオリン、ルチン、イソラムネチン、ブドウの種子に含まれているプロシアニジン類、ワイン中に存在するレスベラトロールなどたくさんのポリフェノールが含まれていることが報告されている⁶⁾。このうちレスベラトロールは血液をサラサラにする効果があり、心筋梗塞などの予防のために米国でも注目されている。さらに、抗酸化作用^{7,8)}、抗アレルギー作用⁹⁾、抗 HIV 作用¹⁰⁾、抗炎症作用¹¹⁻¹⁴⁾ など種々の効能も報告されている。

我々は、これまでに PSE が 1 型糖尿病モデルラット¹⁵⁾ に及ぼす影響について検討しており、PSE に

は血糖値上昇抑制効果があり糖尿病予防に有効であることが示唆された。そこで今回は、高脂肪食投与による肥満ラット作成時に PSE を投与することにより、PSE が体重や体脂肪蓄積に及ぼす影響について検討した。本研究はちょうど青年期から壮年期にかけて体脂肪の蓄積が著しくなるヒトの肥満発症モデル実験に相当すると考えられる。

方法

1. 実験動物

1-1. ラットの飼育

6 週齢のウイスター系雄ラット 14 匹に固型飼料と水を自由に摂取させて 1 週間予備飼育をしたのち、1 群 7 匹の 2 群に分け、1 群は対照群、もう 1 群は PSE 群とした。7 週齢から対照群のラットには表 1A の基本食 100g に対してラード 24g を加えた対照食 (25% 高脂肪食) を、PSE 群には 25% 高脂肪食に PSE を 1.86g (PSE 添加濃度としては 1.48%) 加えた食餌を 10 週間にわたり自由摂取させた。各群の食餌組成は、それぞれ表 1B および表 1C に示した。10 週間の実験食投与後、ラット体重 1kg 当たりの PSE の投与量 (mg/日) を計算した。両群とも体重測定は週 3 回行った。ラットは解剖前日の 19 時に絶食させた。ラットの解剖と分析方法については以下に示す。

なお、本実験は、「実験動物の飼養および保管に関する基準」(昭和 55 年 3 月総理府告示第 6 号)、「研究機関等における動物実験の実施に関する基本指針」(平成 18 年文部科学省告示第 71 号)ならびに「実験動物の飼養および保管ならびに苦痛の軽減に関する基準」(平成 18 年 4 月環境省告示第 88 号) の遵守を基本とし、四国大学動物実験委員会における倫理審査を経て実施した。

1-2. ラットの解剖

ラットをソムノベンチル麻酔下 (共立製薬株式会社 1mg/kg 体重) で開腹し、ヘパリンナトリウム (SAJ 特級 シグマアルドリッチジャパン株式会社) 入り注射器で下大静脈より採血した。次に肝臓、腎臓、胃、筋肉 (腓腹筋)、小腸、腎周辺脂肪、副睪丸周辺脂肪および腸間膜脂肪を取り出し、重量 (小腸は長さ) を測定した。

血液は 3,000rpm で 10 分間遠心分離し、血漿を集

表1 食餌組成

A 基本食の組成

	AIN-93G 食
カゼイン	200
L-シスチン	3
ショ糖	100
コーンスターチ	529.486
セルロース	50
大豆油	70
ミネラルミックス (AIN-93G-MX)	35
ビタミンミックス (AIN-93VX)	10
重酒石酸コリン	2.5
第3ブチルヒドロキノン	0.014
合計 (g)	1,000

B 対照食の組成

	実験食の組成				
	重量	タンパク質	脂肪	炭水化物	エネルギー
	(g)				
AIN-93G 食	100	17.9	7	60.6	377
ラード	24	0	24	0	226
100 gあたり	100	14.4	25	48.9	486

C PSE 食の組成

	実験食の組成				
	重量	タンパク質	脂肪	炭水化物	エネルギー
	(g)				
AIN-93G 食	100	17.9	7	60.6	377
ラード	24	0	24	0	226
PSE	1.86	-	-	1.86	7.44
100 gあたり	100	14.2	24.6	49.6	485

PSEの添加濃度：1.48%

め、-25°Cで凍結保存した。肝臓、筋肉、脂肪組織およびカーカス（屠体）も-25°Cで凍結保存した。

2. 測定方法

2-1. 血漿成分

血漿総タンパク質、アルブミン、総コレステロール、HDL-コレステロール、TG（トリアシルグリセロール）、グルコース濃度は、富士ドライケム 3030（富士メディカルシステム株式会社）により測定を行った。

2-2. 血中インスリン濃度（ELISA 法）

レビス インスリン-ラット T（シバヤギ株式会社）を用いて行った。Benchmark Plus マイクロプレートリーダー（BLO-RAD 株式会社）で 450nm の吸光度を測定した。

2-3. 血中レプチン濃度（ELISA 法）

ラットレプチン ELISA キットワコー（和光純薬工業株式会社）を用いて行った。Benchmark Plus マイクロプレートリーダー（BLO-RAD 株式会社）で 490nm の吸光度を測定した。

2-4. 糞中脂肪量

①糞の採取

ラット解剖前 3 日間の糞を採取し、蒸留水で濯いでよくゴミを落とした。シャーレに入れて乾燥機で 105°C、24 時間乾燥させ重量を測定した。

②脂肪量の測定（熱エーテル抽出法、Exfat）

乾燥した糞をコーヒーマルで細かく粉砕し、脂肪含量の測定に用いた。糞中の脂肪量の測定は、Exfat 装置（日本ゼネラル株式会社）を用いた熱エーテル抽出法で求めた。

③消化吸収率の計算

糞中の脂肪量（粗脂肪量）と食餌からの脂肪量（摂取脂肪量）から脂肪の消化吸収率（みかけの消化吸収率）を求めた。

消化吸収率 (%) =

{ 脂肪摂取量 (g) - 粗脂肪量 (g) } ÷ 脂肪摂取量 (g) × 100
により求めた。

2-5. 肝臓および筋肉のタンパク質含量（Lowry 法¹⁶⁾）

試料 0.5g を秤量し、30% 水酸化カリウム 4.5mL を入れ、沸騰水浴中で攪拌しながら溶解させた後、Lowry 法で測定した。

2-6. 肝臓の TG および総コレステロール含量

肝臓 0.5g を秤量し、クロロホルム：メタノール (2:1) 溶液 4.5mL を入れ、冷却下で 3 分間ホモジナイザー（ultra-turrax T25）でホモジナイズした。5°C で 2 日間抽出した後、クロロホルム：メタノール (2:1) 溶液で 5mL に定容した。その後、3,000rpm、10 分間で遠心分離し、クロメタ層より 1mL 取り蒸発乾固した残渣を 5% Triton-X100（富士フィルム和光純薬株式会社）を含むイソプロパノール（和光純

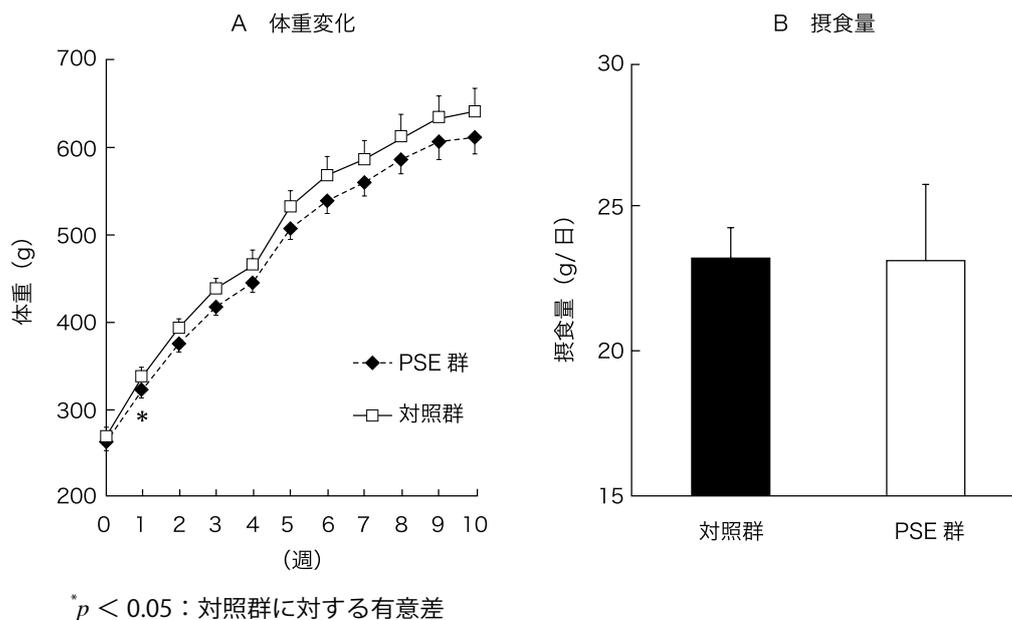


図1 PSE投与ラットの体重変化および摂食量

薬工業株式会社) 3mL に溶解し、試料溶液とした。

試料溶液中の TG 含量はトリグリセライド E- テストワコー (和光純薬工業株式会社), 総コレステロール含量はコレステロール E- テストワコー (和光純薬工業株式会社) を用いて測定した。

2-7. 体組成分析

①水分

冷凍保存したカーカスを斧で細かく砕き、重量測定後、乾燥機で 105°C, 24 時間乾燥させ、重量を測定した。乾燥前と乾燥後の重量を差し引いて水分含量とした。

②脂肪 (熱エーテル抽出法, Exfat)

乾燥カーカスをミキサーで細かく粉碎し、脂肪含量の測定に用いた。乾燥カーカス中の脂肪量の測定は、Exfat 装置 (日本ゼネラル株式会社) を用いた熱エーテル抽出法で求めた。

③その他の成分

カーカス重量から水分量と脂肪量を差し引いて求めた。

3. 統計学的分析

各測定値は、すべて平均値 ± 標準偏差で示した。群間の有意差検定は、JMP ver.13 ソフト (SAS Institute Inc.) を用いた。結果は、Student の t 検定 (対応のない) を行い、 $p < 0.05$ を有意とした。

結果

図 1A は、10 週間の実験期間における両群のラットの体重変化について示したものである。実験開始時のラットの体重は PSE 群で 262 ± 11g, 対照群で 267 ± 12g と両群において差はみられなかったが、10 週目には PSE 群では 610 ± 31g, 対照群では 639 ± 41g と有意ではないが PSE 群の体重増加が抑えられた。

図 1B は、10 週間の両群の摂食量を示しており、図に示すように両群の摂食量に全く差はみられず、両群とも約 23g/日であった。体重変化 (図 1A) と摂食量 (図 1B) と、PSE 添加濃度 (1.48%) を用いて、10 週間を通しての PSE 投与量を計算した。その結果、PSE 群のラットは PSE を平均で 1 日につき 783mg (体重 1kg 当たり) 投与されたことが分かった。

表 2 は、終体重と臓器重量について示した。終体重は、解剖時の体重を示す。また、肝臓、腎臓、胃および筋肉 (腓腹筋) の重量は、体重 100g あたりで示した。胃の重量および小腸の長さは対照群と比較して有意な差がみられなかった。しかし、PSE 群の肝臓重量は対照群と比較して有意に小さくなっており、腎臓と筋肉の重量は PSE 群で有意に大きかった。

表 3 は、体重 100g あたりの脂肪組織重量について示したものである。脂肪組織重量は、腎周辺脂肪、副睾丸周辺脂肪、腸間膜脂肪の 3 箇所について

表2 臓器重量

	例数	終体重 (g)	臓器重量 (g/100g 体重)				小腸 (cm)
			肝臓	腎臓	胃	筋肉	
対照群	7	639 ± 41	2.53 ± 0.12	0.42 ± 0.03	0.33 ± 0.04	0.41 ± 0.03	121.0 ± 4.2
PSE 群	7	610 ± 31	2.26 ± 0.15*	0.47 ± 0.04*	0.32 ± 0.02	0.46 ± 0.03*	119.9 ± 5.1

*p < 0.05 : 対照群に対する有意差

表3 脂肪組織重量

	例数	脂肪組織重量 (g/100g 体重)			
		腎周辺脂肪	副睪丸周辺脂肪	腸間膜脂肪	脂肪合計値
対照群	7	4.9 ± 0.6	4.1 ± 0.5	1.9 ± 0.3	10.9 ± 1.2
PSE 群	7	3.5 ± 0.4***	3.6 ± 0.5	1.4 ± 0.2**	8.5 ± 0.7***

p < 0.01, *p < 0.001 : 対照群に対する有意差

測定し、脂肪合計値は、3箇所脂肪の合計値となっている。その結果、PSE 群の腎周辺脂肪、腸間膜脂肪、脂肪合計値において対照群に比べて有意な低値となった。PSE 群の副睪丸周辺脂肪は対照群と比較して有意ではないが減少傾向がみられた。

図2Aは、両群の体組成について比較したものである。体脂肪%は、対照群で35.0%と高値を示したが、PSE 群では26.8%と有意な低値を示した。また、除脂肪組織である水分%と、その他%はPSE 群で対照群に比べて有意な増加がみられた。

図2Bは血中レプチン濃度について示した。血中レプチン濃度は対照群が4.55 ng/mLであるのに対し、PSE 群が3.00 ng/mLと有意に低い値を示した。

なお、血中インスリン濃度については、両群で差が見られなかった(データは示していない)。

図3Aは血漿TG値を、図3Bは血漿総コレステロール値を示した。血漿TG値は対照群が170mg/dLと高値を示したのに対して、PSE 群70mg/dLと半分以下に激減しており、有意な減少がみられた。血漿総コレステロール値も、血漿TGの結果と同様、対照群と比較してPSE 群で有意に低い結果となった。

血漿HDL-コレステロール値は、対照群と比較して、PSE 群において対照群よりもわずかに減少傾向がみられたが有意な差ではなかった(データは示していない)。また、血漿グルコース濃度も対照群と比較して有意な差はみられなかった(データは示

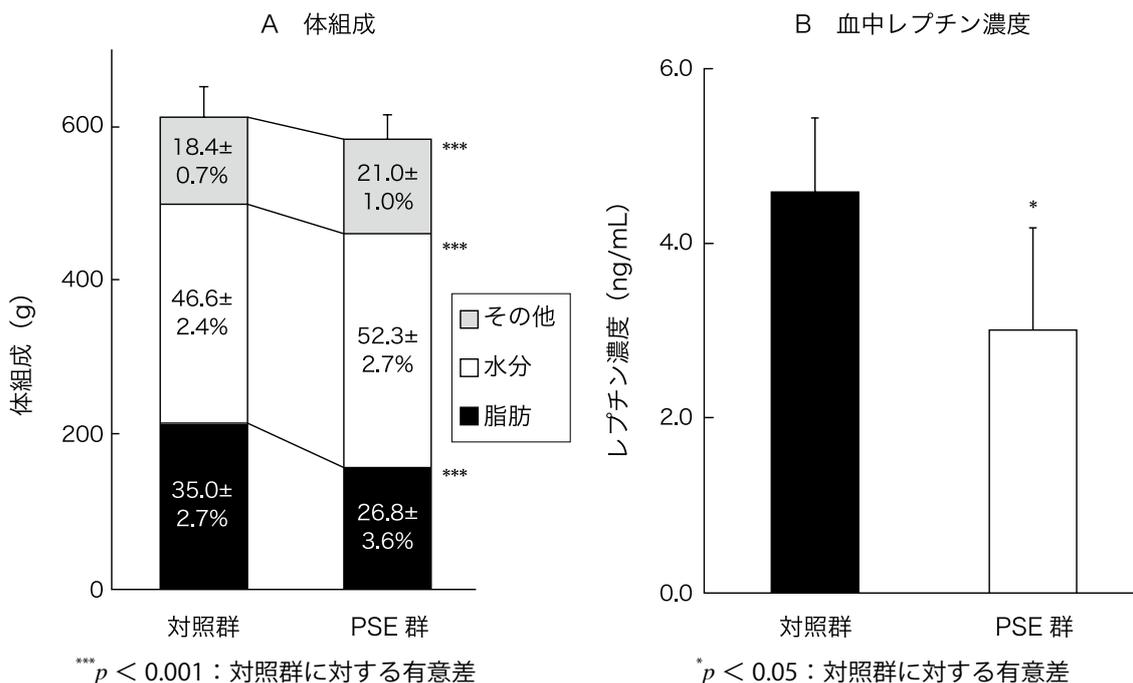


図2 PSE 投与ラットの体組成および血中レプチン濃度

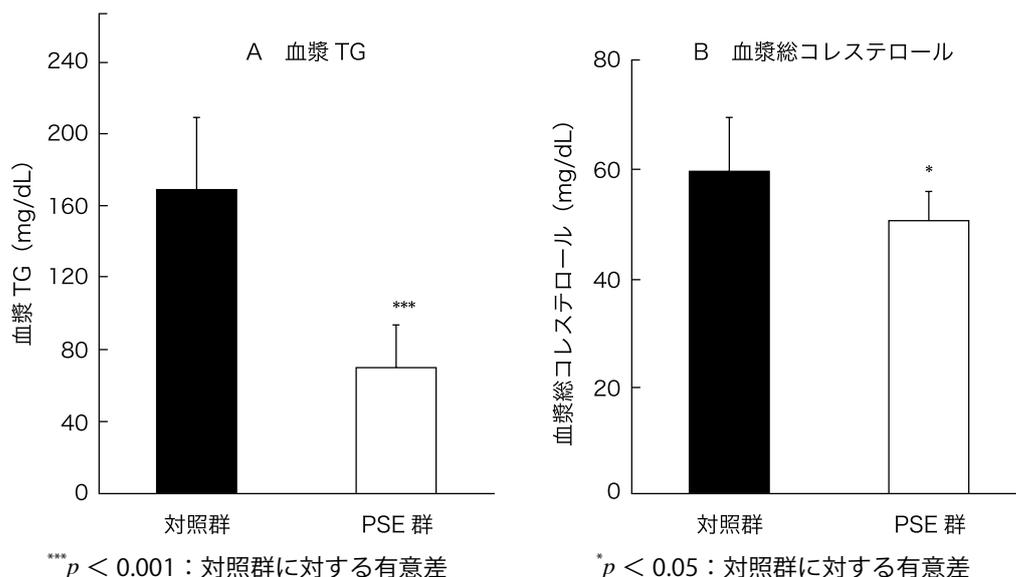


図3 PSE投与ラットの血漿TGおよび総コレステロール濃度

表4 肝臓・筋肉の分析

例数	肝臓			筋肉	
	タンパク質	TG	コレステロール	タンパク質	
	(mg/g)				
対照群	7	162.1 ± 4.4	78.4 ± 16.8	9.2 ± 1.9	163.6 ± 4.0
PSE 群	7	171.8 ± 5.4**	60.4 ± 14.2	8.2 ± 1.7	160.1 ± 2.5

** $p < 0.01$: 対照群に対する有意差

表5 脂肪の消化吸収率

例数	糞重量 A (g / 3日)	脂肪含量 B (%)	粗脂肪量 A × B ÷ 100 (g)	消化吸収率 (%)	
対照群	7	4.9 ± 0.5	5.6 ± 2.1	0.3 ± 0.1	97.5 ± 1.0
PSE 群	7	5.8 ± 0.6*	3.5 ± 0.6*	0.2 ± 0.0	98.1 ± 0.5

* $p < 0.05$: 対照群に対する有意差

していない)。血漿総タンパク質およびアルブミン濃度はともに両群間で有意な差はみられなかった(データは示していない)。

表4は肝臓1g当たりのタンパク質、TGおよびコレステロール含量、筋肉1g当たりのタンパク質含量を示している。PSE群の肝臓のタンパク質含量は、対照群と比較し、有意に高値を示した。PSE群のTGとコレステロール含量は、対照群と比較して有意な差はみられなかったが減少傾向であった。特に肝臓のTG含量は、 p 値が0.051とわずかに0.05を上回っていただけであった。筋肉のタンパク質含量は、両群で有意な差はみられなかった。

表5は脂肪の消化吸収率について示したものである。糞重量は、対照群と比較してPSE群で有意

に増加していた。しかし、糞中の脂肪含量は、対照群と比較してPSE群で有意に減少しており、粗脂肪量は差がみられなかった。その結果、脂肪の消化吸収率に明らかな差がみられなかった。

考察

ピーナッツの歴史は古く、中国では少なくとも約700年前から漢方薬として用いられており、様々な書物にピーナッツが登場している。明朝(14~15世紀にかけて栄えた中国の歴代王朝の1つ)の薬草書「滇南本草」には「ラッカセイは塩水で煮て食べると肺を潤しセキを鎮め、炒めて用いると血行をよくする。また冷えによる消化器の病気にもよい」と書かれている。本薬草書に出てくる「ラッカセイ」は、

薄皮をつけたままのものを指している¹⁷⁾。はるか昔の中国には、「ポリフェノール」の概念は無かったと考えられるが、ピーナッツの薄皮は、様々な疾病に秘薬として使われていたと想像される。

今回の研究で用いたPSEにも、ポリフェノールがたくさん含まれている¹⁵⁾。ポリフェノールは、ほとんどの植物に含有され、植物が自身を酸化ダメージから守るために作り出す物質で、その種類は数千種以上もある。全てのポリフェノールには抗酸化作用や抗炎症作用があり、また種々のポリフェノールにおいて、血糖値上昇抑制、肝機能改善、血中コレステロール上昇抑制、血圧の低下、抗肥満、虫歯予防、抗菌作用などいろいろな効果があることが知られている。中でも、赤ワインに含まれるレスベラトロールや緑茶に含まれるカテキン類などが有名である。今回の実験で用いたPSEにはレスベラトロールを多く含む。

本研究においては、PSEを含む高脂肪食を成長期のラットに10週間投与することにより、その抗肥満効果を検討した。その結果、PSE群において、顕著な体脂肪の減少効果を認めた。まず、解剖の際に取り出した脂肪組織重量においては、腎周辺脂肪および腸間膜脂肪においてPSE群で有意な低値を示した。副睾丸周辺脂肪では両群で差が見られなかったが、脂肪合計値でもPSE群で有意な低下がみられた。ラットを用いた実験での内臓脂肪とは、腸間膜脂肪など門脈系に存在する脂肪組織で、直接肝臓に流入する脂肪組織のことを指す¹⁸⁾。よって、後腹膜に存在する腎周辺脂肪や副睾丸周辺脂肪組織は、皮下脂肪に分類される。したがって、PSEを投与することにより、ラットの皮下脂肪と内臓脂肪とともに減少させる傾向にあることが分かった。また、ラットの体丸ごと(whole body)で測定した体組成からも同様の結果が得られた。対照群の体脂肪率は、35.0%と高値を示したが、PSE群においては26.8%と顕著に低値を示した。よって、10週間の25%高脂肪食投与で対照群の体脂肪は増え続けたと考えられるが、PSE群も同期間同じ高脂肪食を与えているにも関わらず、体脂肪率の増加が抑えられた。この間の摂食量は全く差がみられなかった。以上の事から、PSEには、顕著な体脂肪抑制効果があると考えられた。

次に体内の脂質代謝を検討するため、血漿および

肝臓中のTGおよび総コレステロール含量を測定した。まず血漿脂質であるが、血漿TGおよび総コレステロール値は、PSE群において有意に低い結果となった。特に対照群のTG値は170mg/dLと異常に高く、脂質異常症が疑われたが、PSE群は70mg/dLであり、高脂肪食を摂取しているにも関わらず脂質異常症を呈していないと考えられた。目視でも、対照群の血漿は白っぽく濁っていたが、PSE群の血漿はきれいに澄んでいた。肝臓については、PSE群のTGとコレステロール含量は、対照群と比較して有意な差はみられなかったが減少傾向であった。特に肝臓のTG含量は、*p*値が0.051とわずかに0.05を上回っていただけであり、もう少しで有意差がみられるところであった。表2の臓器重量の結果に示すように、PSE群の肝臓重量は対照群より有意な低値を示した。この理由として、対照群の肝臓にTGが蓄積して脂肪肝を呈したため、肝臓重量が増加したのではないかと考えられた。

以上の結果から、PSEには体脂肪の蓄積を抑制し、体内の脂質代謝も改善する働きがあることが認められた。次に、PSEが体タンパク質に及ぼす影響について検討した。まず、体組成(図2A)の結果から、その他%はPSE群で対照群に比べて有意な増加がみられた。ここで、その他%の成分としては、脂肪%と水分%以外の成分を示していることから、タンパク質とミネラルが想定される。よって、PSE群でその他%が高値を示したことより、PSE投与により体タンパク質やミネラル量は維持されたと考えられた。その他%を絶対量でも、対照群では112gと低く、PSE群は122gと有意に高値を示した。また、臓器重量の結果からも筋肉(腓腹筋)は、PSE群で対照群に比べて有意に高値を示した。また、先ほども述べたようにPSE群の肝臓重量は対照群より小さくなっていたが、その中に含まれるタンパク質含量は、PSE群で有意に多くなっていた。以上の事から、PSEは高脂肪食投与時において体タンパク質を維持させる傾向にあることが示唆された。ダイエットの素材として、体脂肪を減少させるが体タンパク質は減少させない成分が望ましいので、PSEはまさにそれに合致すると考える。

次にPSEの糖代謝に及ぼす影響であるが、血漿グルコース濃度(データは示していない)および血中インスリン濃度(データは示していない)は、両

群で全く差が見られなかった。我々が以前行った PSE の糖尿病に対する影響¹⁵⁾では、ストレプトゾトシン (STZ) を投与した糖尿病ラットの高い血糖値を PSE が有意に下げる効果を認めたが、今回の肥満ラットでは、血糖値自体が高くなかったので影響が出なかったものと考えられる。

レプチンは脂肪細胞から分泌されるアディポサイトカインであり、血中レプチン濃度は体脂肪量を鋭敏に反映する¹⁹⁾。また、レプチンは摂食抑制作用やエネルギー消費を増大させる作用を持っており²⁰⁾、非肥満者においては肥満を予防する効果を持つ²¹⁾。しかし肥満者ではレプチン抵抗性を生じ、血中レプチン濃度を増加させることが知られている¹⁹⁾。本研究においても、体脂肪量の多くなっていた対照群に比べて、PSE 群の血中レプチン濃度は有意な低値を示した。

次に今回投与した PSE の投与量であるが、10 週間の平均で 1 日当たり 783mg (体重 1kg 当たり) 投与されていた。この量については、Jalil ら²²⁾の報告と同様の値となったので、投与量は問題ないと思われる。

本研究の目的は、肥満ラットを作成していく段階すなわち、体脂肪蓄積時において、PSE は抗肥満効果を示すかについての検討であった。その結果 10 週間の PSE 投与により、有意ではないが体重増加を抑制する作用がみられ、脂肪組織重量は有意に低値を示し、体脂肪 % も顕著に低値を示した。また、血漿中の TG や総コレステロール値も PSE 投与により有意に低下し、肝臓の TG 濃度も減少したことから、PSE は抗肥満効果を有し、脂質代謝を改善する効果があると考えられた。この効果のメカニズムを探るため、脂肪のみかけの消化吸収率について検討した。糞重量が PSE 群で有意に大きくなっていたことから、PSE には排便促進効果があることがわかった。しかし、糞中に排泄された脂肪量が両群で変わらず、その結果として、脂肪の消化吸収率に両群で差がみられず、PSE による体脂肪減少のメカニズムを解明することはできなかった。Shimizu ら²³⁾および Tamura ら²⁴⁾は、ピーナッツ渋皮を投与したラットにおける糞中への脂質排泄量が、投与していないラットと比較して上昇したと報告していることから、今後再検討したいと考えている。

PSE 投与による体脂肪減少のメカニズムとして、

他には、PSE 投与によりエネルギー代謝が亢進したのではないかと考えることが考えられる。カプサイシンや緑茶エキスなどは、交感神経活動を刺激し神経末端からノルアドレナリンを放出させ、血中に放出されたノルアドレナリンは白色脂肪組織でホルモン感受性リパーゼの活性を上げることで、体脂肪分解を亢進すると考えられている²⁵⁾。今後は PSE 投与時のエネルギー代謝を測定するなど、体脂肪抑制のメカニズム解明について、さらなる研究が必要であると考えられる。

今回の研究で用いた PSE には、ポリフェノールがたくさん含まれており、我々が行った先行研究では、Folin-Ciocalteu 法で測定したところ、1g 中の PSE に 320.1mg のポリフェノールが含まれていた¹⁵⁾。量だけでなく、種類もたくさん含まれるポリフェノールのどの成分が、抗肥満効果に働いたのかということも重要である。緑茶カテキン投与により、エネルギー代謝が亢進し呼吸商も低下することは既に知られている。それは、緑茶に含まれる ECg が、脂質代謝に関与するカテコールアミンの分解酵素である Catechol-O-methyltransferase (COMT) 活性を阻害するためと報告されている²⁶⁻²⁷⁾。しかし、今回使用した PSE にはカテキン類はほとんど含まれていないため、ECg の効果とは考えにくい。カテキン類は単量体であり、標準品も市販されているため HPLC 法で測定が可能であるが、2 量体以上のポリマーになると測定が難しい。それらの成分について LC/MS 等で測定を行っている文献を参照すると、PSE に含まれるポリフェノールについては、いくつかのフラボノイド類や、心筋梗塞を予防すると言われているレスベラトロール以外は、低分子または高分子のプロシアニジン類という程度しか解明されていない²³⁾。よって、今回観察された抗肥満効果は、PSE に含まれるレスベラトロールまたはプロシアニジン類によるものと考えられたが、今後これらの成分についてさらに検討していく必要がある。

ピーナッツ渋皮エキスについては、豆菓子製造時に大量のピーナッツ渋皮 (700 トン/年) および剥皮処理廃水 (3000 トン/年) が産業廃棄物として発生するため、これらの有効利用や廃棄物処理費用の軽減などが強く求められている。近年になって、ピーナッツ渋皮にポリフェノールが多量に含まれることが報告されるようになり、これらの副産物が「未

利用資源」として、注目されるようになってきている。しかし、その生理機能を動物実験で報告したデータはほとんどみられない。よって、今回の研究で、PSEの生理機能の一端を知ることができたと考ええる。

PSEは肥満ラットの体重および体脂肪の増加を抑え、排便促進効果を持つことから、食習慣や生活習慣の乱れによる肥満を予防する効果があると考えられた。今後は、PSEに含まれる体脂肪抑制効果を持つ成分やメカニズムの解明を行うとともに、ヒトへの応用に向けて、さらに研究を進めていきたいと考ええる。

結論

- 7週齢のウイスター系雄ラット14匹を2群に分け、1群は対照群、もう1群をPSE群とした。対照群のラットには25%高脂肪食を与え、PSE群には25%高脂肪食にPSEを1.86g (PSE添加濃度としては1.48%) 加えた食餌を10週間にわたり自由摂取させた。
- 10週間の実験期終了後の体重は、PSE群が対照群より低値を示したが、有意な差ではなかった。この間の摂食量については全く差がみられなかった。
- 両群の脂肪組織重量については、腎周辺脂肪および腸間膜脂肪でPSE群の方が有意に低値を示した。また副睾丸周辺脂肪を含めた3箇所脂肪合計値でもPSE群で有意な低下がみられた。
- 体組成では、脂肪%はPSE群で有意に低値を示し、水分%とその他%についてはPSE群で有意に高値を示した。このことからPSEには体脂肪蓄積を抑制すると同時に、除脂肪組織は維持する効果があると考えられた。
- 血漿中のTGと総コレステロール値は、PSE群で有意に低下した。また、肝臓中のTGと総コレステロール量は、PSE群で有意な差はみられなかったが、低値を示した。このことから、PSEには高脂肪食投与時の脂質代謝を改善する効果があると考えられた。
- 糞重量は、対照群と比較してPSE群で有意な増加がみられたため、PSEには排便促進効果があると考えられる。しかし、脂肪の消化吸収率に差がみられなかったことから、PSEによる体脂肪減少のメカニズムの解明には至らなかった。

以上より、PSEは体脂肪蓄積時において、体重増加を抑制するだけでなく体脂肪の蓄積を顕著に抑制する効果があることが分かった。また、体脂肪蓄積の抑制と同時に体タンパク質を維持する効果や排便促進効果があること認められた。これらのことをふまえると、PSEは肥満予防に効果的な素材であると言える。しかし今回の研究では、PSEにより体脂肪が減少するメカニズムや、PSEに含まれるポリフェノールのどの成分が体脂肪減少に働いたのか解明するまでに至らなかったため、今後その点について詳細に研究を進めていきたいと考える。

参考文献

1. 厚生労働省:平成 30 年度 国民健康・栄養調査結果の概要, p11 <https://www.mhlw.go.jp/content/10900000/000635990.pdf> (2020 年 6 月 30 日)
2. からだカルテ 生活習慣病が気になる..., <https://www.karadakarute.jp/tanita/diet/metabolic.jsp> (2020 年 6 月 30 日)
3. Muramatsu K, Fukuyo M, Hara Y: Effect of green tea catechins on plasma cholesterol level in cholesterol-fed rats. *J. Nutr. Sci. Vitaminol.* **32**: 613-622,1986.
4. Meguro S, Mizuno T, Onizawa K: Effects of tea catechins on diet-induced obesity in mice. *J. Oleo Sci.* **50**: 593-598,2001.
5. Hase T, Komine Y, Meguro S, Takeda Y, Takahashi H, *et al.*: Anti-obesity effects of tea catechins in humans. *Journal of Oleo science* **50**: 599-605,2001.
6. 山本正次, 平川洋一: ピーナッツ渋皮抽出物の生理作用. *ジャパンプードサイエンス* **46**:39-43, 2007.
7. Verstraeten SV, Hammerstone JF, Keen CL: Antioxidant and membrane effects of procyanidin dimers and trimers isolated from peanut and cocoa. *J. Agric. Food Chem.* **53**: 5041-5048, 2005.
8. Lou H, Yuan H, Ma B, Ren D: Polyphenols from peanut skins and their free radical-scavenging effects. *Phytochemistry* **65**: 2391-2399, 2004.
9. 特開 2001-247428 (皮膚外用剤), 特開 2001 ~ 145757(皮膚外用剤), 特許番号 第 2975997 号 .
10. 特開平 11-246431 (抗 HIV 剤).
11. Li WG, Zhang XY, Wu XJ, Tain X:Anti-inflammatory effect and mechanism of proanthocyanidins from grape seeds. *Acta pharmacol. Sin.* **22**: 1117-1120, 2001.
12. Kalfin R, Righi A, Del Rosso A, Bagchi D, Generini S, *et al.*: Activin, a grape seed-derived proanthocyanidin extract, reduces plasma levels of oxidative stress and adhesion molecules (ICAM-1, VCAM-1 and E-selectin) in systemic sclerosis. *Free Radic. Res.* **36**: 819-825, 2002.
13. Subarnas A, Wagner H: Analgesic and anti-inflammatory activity of the proanthocyanidin shelleagueain A from Polypodium feei METT. *Phytomedicine* **7**: 401-405,2000.
14. Tatsuo T, Jinno M, Arima Y, Kawabata T, Hasegawa T, *et al.*: Anti-inflammatory and anti-melanogenic proanthocyanidin oligomers from peanut skin. *Biol. Pharm. Bull.* **35**: 909-916, 2012.
15. 曾川美佐子, 中澤彩, 吉田健一, 上前健太郎, 山本正次: ラットにおけるピーナッツ渋皮エキスの血糖値上昇抑制効果. *New Food Industry* **60**: 1-12, 2018.
16. Lowry OH, Rosebrough NJ, Farr AL, Randall RJ: Protein measurement with the folin phenol reagent. *J. Biol. Chem.* **193**: 265-275,1951.
17. 岡田研吉, 袁世華: 酢ピーナツはひざ痛, 腰痛からぜんそく, 更年期障害まで治す中国古来の秘薬. *壮快* **9**: 56-57, 1999.
18. 前田和久: 内臓脂肪は運動で減らす. 臨床栄養別冊 特定保健指導の決め手 メタボリックシンドロームを防ぐ「グッド・ダイエット」エビデンスに基づく栄養と食事: 22-31,2008.
19. 益崎裕章: 肥満症の内分泌学的解析. *日本内科学会雑誌* **100**: 2638-2645, 2011.
20. Jeffrey MF: 栄養, 体重および生理機能におけるレプチンの作用. 栄養学レビュー / 第 19 回マラボーションポジウム レプチン - 栄養における調節の主役 -. 東京, 建帛社, 1-16. 2003.
21. Houseknecht KL, Baile CA, Matteri RL, Spurlock ME: The biology of leptin: a review. *J. Anim. Sci.* **76**: 1405-1420, 1998.
22. Jalil AMM, Ismail A, Chong PP, Hamid M, Kamaruddin SHS: Effect of cocoa extract containing polyphenols and methylxanthines on biochemical parameters of obese-diabetic rats. *J. Sci. Food Agric.* **89**: 130-137, 2009.
23. Shimizu-Ibuka A, Udagawa H, Kobayashi-Hattori K, Mura K, Tokue C, *et al.*: Hypocholesterolemic effect of peanut skin and its fractions:A case record of rats fed on a high-cholesterol diet. *Biosci. Biotechnol. Biochem.* **73**: 205-208, 2009.
24. Tamura T, Inoue N, Shimizu-Ibuka A, Tadaishi M, Takita T, *et al.*: Serum cholesterol reduction by feeding a high-cholesterol diet containing a lower-molecular-weight polyphenol fraction from peanut skin. *Biosci. Biotechnol. Biochem.* **76**: 834-837,2012.
25. 山本光太郎, 北野嶺, 松岡小百合, 由井慶, 梶本修身: 複合サプリメント (ブラックジンジャーエキス, 桑の葉エキス, 緑茶エキス, キトサン, ギムネマ酸, インゲン豆エキス配合食品) 単回摂取によるエネルギー消費量, 脂肪酸化量への影響 - 無作為化二重盲検プラセボ対象クロスオーバー試験 -. *Jpn. Pharmacol. Ther.* (薬理と治療) **44**: 443-451,2016.
26. Dulloo AG, Duret C, Rohrer D, Girardier L, Mensi N, *et al.*: Efficacy of a green tea extract rich in catechin polyphenols and caffeine in increasing 24-h energy expenditure and fat oxidation in humans. *Am. J. Clin. Nutr.* **70**: 1040-1045,1999.
27. Hase T, Komine Y, Meguro S, Takeda Y, Takahashi H, *et al.*: Anti-obesity effects of tea catechins in humans. *J. Oleo Sci.* **50**: 599-605, 2001.

活性酸素種生成によるメイラード反応への関与と それに対する中鎖脂肪酸含有油脂の効果

豊崎 俊幸 (TOYOSAKI Toshiyuki)

Key Words: 中鎖脂肪酸含有油脂 (MCT), 長鎖脂肪酸含有油脂 (LCT), メイラード反応, 光照射, 活性酸素種 (ROS), スーパーオキシドディスムターゼ (SOD), スーパーオキシドアニオン (O_2^-), ヒドロキシラジカル ($\cdot OH$)

Effect of medium-chain triacylglycerols on reactive oxygen species in light-induced Maillard reaction

Corresponding author: Toshiyuki Toyosaki¹⁾ E-mail toyosaki@koran.ac.jp

¹⁾ Department of Foods and Nutrition, Koran Women's Junior College, Fukuoka, 811-1311, Japan

Key Words: Medium-chain triacylglycerols (MCT); Long-chain triacylglycerols (LCT); Maillard reaction; Irradiation; Reactive oxygen species (ROS); Superoxide dismutase (SOD); Superoxide anions (O_2^-); Hydroxy radicals ($\cdot OH$)

ABSTRACT

The primary objective of this study was to investigate the involvement of reactive oxygen species (ROS) in the induction of Maillard reaction in the presence of medium-chain triacylglycerols (MCTs). Photoirradiation was found to induce Maillard reaction in a glucose-lysine system and led to the generation of ROS. The glucose-lysine Maillard reaction was clearly inhibited by the presence of MCTs. Enhancement of this inhibitory effect by the addition of superoxide dismutase (SOD) confirmed that ROS are generated by photoirradiation and that the generated superoxide anions (O_2^-) and hydroxy radicals ($\cdot OH$) promote induction of the Maillard reaction. It is, hereby, proposed that the primary mechanism by which ROS contribute to the induction of the Maillard reaction involves the generation of $\cdot OH$ through the reaction of O_2^- and H_2O_2 (Haber-Weiss reaction).

要約

中鎖脂肪酸含有油脂 (MCT) 存在下でのメイラード反応誘導に活性酸素種が関与しているのかを確認することを主目的として研究を遂行した。その結果、グルコース-リシン系において、光照射することでメイラード反応の誘導が確認され、併せて活性酸素種が生成されていることを確認した。MCT 存在下におけるグルコース-リシン系ではメイラード反応の抑制効果が顕著に現れた。その抑制効果は SOD 添加により強く現れたことから、光照射時に活性酸素種が生成され、生成されたスーパーオキシドアニオン (O_2^-) およびヒドロキシラジカル ($\cdot OH$) によりメイラード反応の誘導が促進されている事実を確認した。活性酸素種の生成機構は主に O_2^- と過酸化水素 (H_2O_2) との反応 (Haber-Weiss reaction) によって生成されるヒドロキシラジカル ($\cdot OH$) がメイラード反応の誘導に大きく関与している可能性が高いものと推察された。

連絡先: 豊崎 俊幸 (Toshiyuki Toyosaki) (責任著者)
香蘭女子短期大学・食物栄養学科 〒811-1311 福岡市南区横手1-2-1
電話: 092-581-1538, e-mail: toyosaki@koran.ac.jp

はじめに

中鎖脂肪酸 (C 8 および C 10) のみからなる中鎖トリアシルグリセロール (MCT) は、1950 年代に急速な吸収によって引き起こされる吸収不良症候群の食事療法のために最初に使用された。それ以来、それらは広く研究されており、多数の優れた報告が発表されているが、これらのほとんどは臨床栄養学的または生化学的観点に焦点を合わせている¹⁻⁹⁾。いっぽう、食品科学の観点から行われた研究はほとんど見当たらない。メイラード反応は、パン焼成時に起こる動的反応であり¹⁰⁻¹²⁾、焼き菓子の外観に大きな影響を与えると考えられている。

筆者はすでにパン焼成時に伴うメイラード反応誘導は、中鎖脂肪酸含有油脂 (MCT) により抑制されたことを証明していることから、MCT の構成脂肪酸がメイラード反応と密接に関係していることを確認するために、種々の脂肪酸を用いて詳細に検討した結果、添加される脂肪酸の構造上の違い (不飽和度の有無や炭素数の違い) によりメイラード反応の誘導は異なることを明らかとした¹³⁾。ここで得られた結果は、パン焼成時にともなうメイラード反応の誘導であることから、その反応系が複雑であるため脂肪酸の構造上の違いのみで断定することはできないものと考えられた。そこで、反応系を単純化するためにグルコースーリシン系を用いて、照射下でのメイラード反応誘導が進行するものかを検討した結果、照射下においてもメイラード反応が誘発されたことを初めて確認した。一般にメイラード反応の誘導は、温度上昇とともに進行することは古くから知られている事実であるが、今回、我々は照射によってもメイラード反応が誘導される事実を確認することができた。なお、この現象は本研究で初めて確認された。

ここでは、グルコースーリシン系を利用して照射下でのメイラード反応誘導に脂肪酸 (不飽和度の有無や炭素数の違い) がどのような関わり合いを示すものか詳細に検討した内容を紹介する。

1. グルコースーリシン系における照射下に誘導されるメイラード反応に対する MCT の影響

グルコースーリシン系における照射下においてメイラード反応の誘導が MCT により抑制効果があ

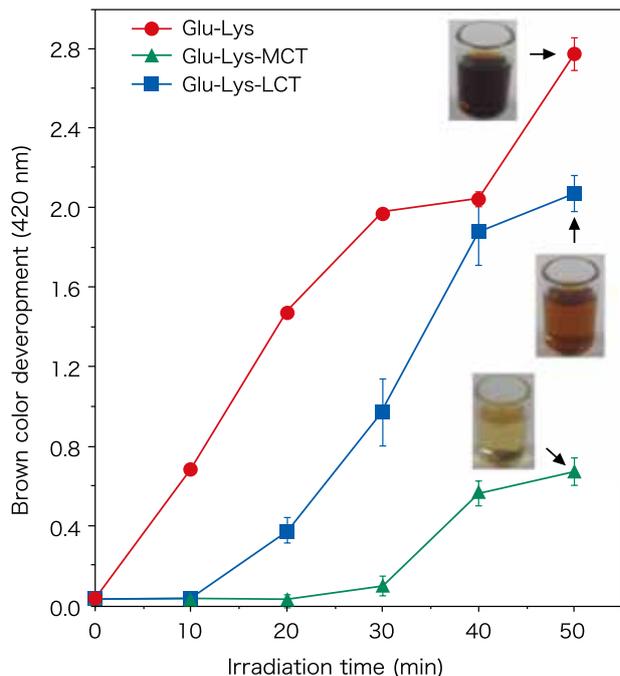


図1 グルコースーリジンモデル系での照射によるメイラード反応の誘導に対する MCT の影響

るものかを確認するために、長鎖脂肪酸含有油脂 (LCT) を比較対象に検討した結果を図 1 に示した。照射に伴っていずれの条件下でもメイラード反応は誘導されることが確認された。また、MCT あるいは LCT 存在下でのメイラード反応の誘導は、無添加と比較してメイラード反応の誘導は抑制され、MCT 添加条件下では、LCT 添加よりもメイラード反応誘導は有意な抑制効果を示した。グルコースーリシン系における照射に伴ってメイラード反応が誘導され、その誘導は MCT により抑制される事実を確認できた。

筆者は MCT によるパン焼成時に伴うメイラード反応の抑制効果を確認していることから¹³⁾、MCT によるメイラード反応は、グルコースーリシン系での照射下においても抑制効果を有している可能性が高いことが確認できた。

2. 照射下に誘導されるメイラード反応に対する各種脂肪酸の影響

メイラード反応の抑制効果は、LCT よりも MCT により強い抑制効果が確認された。この現象を誘発する原因として、構成脂肪酸が大きく関与している可能性が高いものと考えられたことから、飽和脂肪酸と不飽和脂肪酸あるいは炭素数の異なる脂肪酸を用いて検討した。本実験系では、MCT を構成す

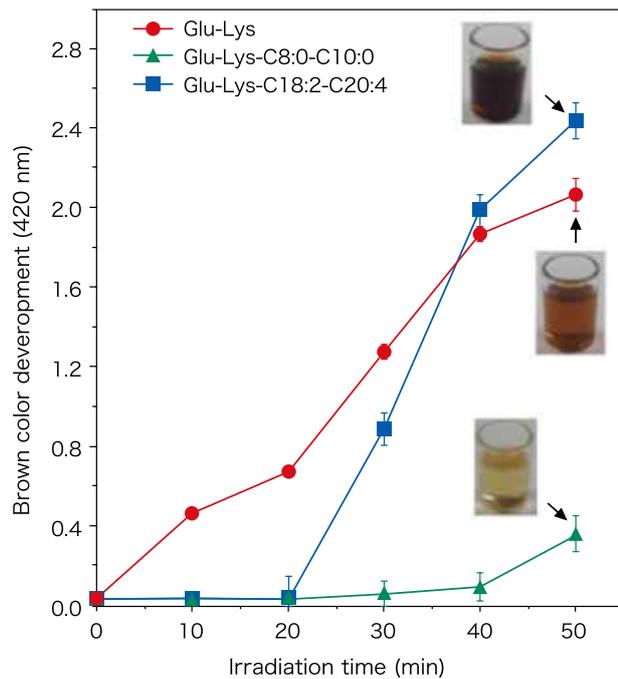


図2 照射によるメイラード反応の誘導に対する異なる脂肪酸の効果

る脂肪酸である C8:0 と C10:0 の飽和脂肪酸を用いた。比較対象として LCT を構成する脂肪酸である C18:2 と C20:4 の不飽和脂肪酸を利用した。その結果を図 2 に示した。

脂肪酸無添加の場合、メイラード反応の誘導は照射時間とともに促進された。また、長鎖脂肪酸を含む系においても照射時間 20 分から促進された。いっぽう、中鎖脂肪酸を含む系では、照射時間 40 分まではほとんどメイラード反応は誘導されず、照射約 50 分でもわずかな誘導しか確認されなかった。この実験結果から、MCT を構成している中鎖脂肪酸は照射時にメイラード反応の誘導を抑制していることが明らかとなった。

3. MCT あるいは LCT 存在下における照射に伴うメイラード反応誘導に対する活性酸素種関与の有無

グルコース-リシン系における照射下でメイラード反応の誘導が確認されたことから、照射にともなう活性酸素種が生成された可能性が高いものと考えられたことから、活性酸素がメイラード反応誘導に関与しているものかを確認するために、スーパーオキシドアニオン (O_2^-) を消去する SOD を用いて検討した結果を図 3 に示した。照射 40 分後に SOD を添加した結果、MCT および LCT いずれ

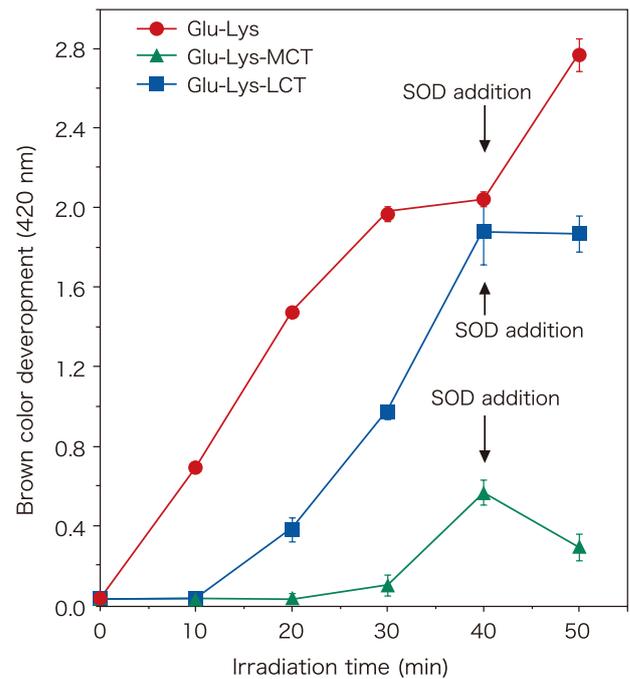


図3 MCT および LCT の存在下での照射によるメイラード反応の誘導における活性酸素種の影響

もメイラード反応の抑制効果が確認された。特に MCT 存在下ではメイラード反応の抑制効果が顕著に現れた。いっぽう、無添加の場合、SOD 添加によりメイラード反応の誘導が促進された。この結果から、照射により活性酸素が生成されることでメイラード反応の誘導が促進された可能性が高いものと推察された。

MCT と LCT とともに活性酸素が生成されていることが確認されたが、MCT あるいは LCT の構成脂肪酸の違いが活性酸素生成に大きな影響を及ぼしている可能性が高いものと考えられた、特に炭素数の違いや飽和度や不飽和度の違いが大きな影響を及ぼしている可能性があるものと考えられたことから、分子構造の異なる脂肪酸を用いて検討した。

4. 各種脂肪酸存在下における照射に伴う活性酸素の生成とメイラード反応に対する関与の有無

分子構造の異なる各種脂肪酸存在下において照射に伴って活性酸素が生成されているものかを SOD を用いて検討した結果を図 4 に示した。ここでは、照射 30 分後に SOD を添加結果、脂肪酸無添加の場合メイラード反応の誘導は促進された。いっぽう、飽和脂肪酸および不飽和脂肪酸存在下では、SOD 添加によりメイラード反応の誘導は抑制された。この結果から、脂肪酸存在下でも照射に

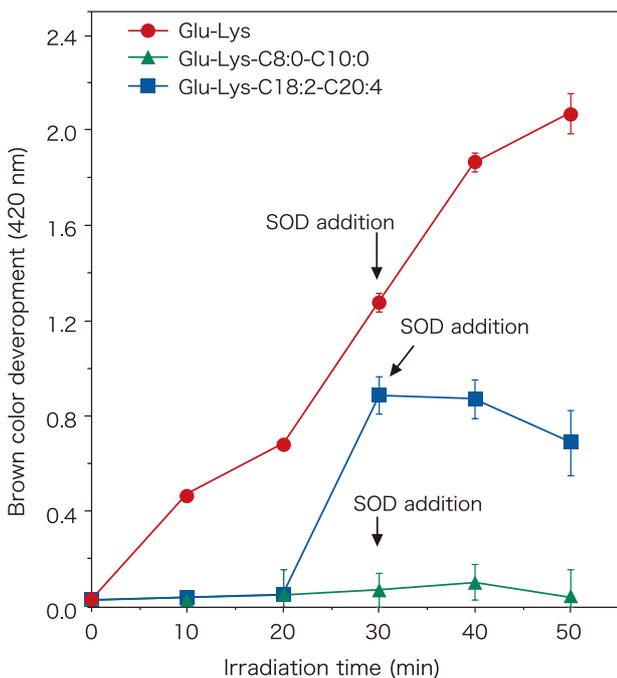


図4 各脂肪酸存在下でのメイラード反応の誘導における光照射によって生成された活性酸素種の影響

より活性酸素が生成され、併せ生成された活性酸素がメイラード反応の誘導に関与していることが確認された。

MCT存在下でのメイラード反応の誘導はLCT存在下よりも抑制効果は顕著であった。この違いの大きな要因のひとつとして、生成される活性酸素の生成量あるいは活性度合いの違いが大きく関わっていることが考えられた。そこで、生成される活性酸素種の違いがメイラード反応の抑制効果との関係について検討した。

5. MCT, LCT存在下における光照射に伴う活性酸素種関与の有無

各種活性酸素の消去剤を用いてMCTあるいはLCT存在下におけるメイラード反応の誘導にどのような活性酸素種が関与しているものかを検討した結果を表1に示した。SODによりMCTおよびLCT共にメイラード反応の誘導が抑制されたことから、 O_2^- がメイラード反応に関与していることが推察された。トリプトファン、2,5-dimethylfuran (DMF)を添加した場合、MCT存在下ではイラード反応の抑制効果は確認されなかったことから、一重項酸素 (1O_2)

はメイラード反応の誘導には関与していないものと考えられた。いっぽう、LCT存在下ではDMFによる 1O_2 消去により15%ほどメイラード反応の誘導が抑制されたことから、 1O_2 がメイラード反応の誘導に関与している可能性考えられた。これらの結果から、MCTとLCTとの活性酸素種の消去に対する化学的性状が若干ではあるが異なることが推察された。カタラーゼによりMCT存在下ではメイラード反応は促進されなかった。このことからメイラード反応に対して過酸化水素 (H_2O_2) が関与していないことが確認された。いっぽう、LCT存在下では、若干ではあるがメイラード反応の抑制が確認されたことから、少なくとも H_2O_2 によるメイラード反応の誘導に関与していることが推察された。

活性酸素種の生成機構は主にFenton reactionとHaber-Weiss reactionによるものであることから、データとして示さなかったが、メイラード反応の誘導に関与する活性酸素種として、ヒドロキシラジカル ($\cdot OH$) が関与しているものか確認した結果、 Fe^{3+} 添加によりMCT, LCTいずれもメイラード反応の誘導が抑抑されたことから、本実験系でも反応式(1)および(2)に示したメイラード反応の誘導に関与している活性酸素種として主に $\cdot OH$ が考えられた。

6. 各種脂肪酸存在下における光照射に伴う活性酸素種関与の有無

光照射時に伴って活性酸素種の関与が確認され、生成された活性酸素種がメイラード反応の誘導に関与している事実を確認できた。しかし、LCTとMCTとの違いは、活性酸素種の生成機構が異なっ

表1 グルコースーリジン系での光照射による活性酸素種の生成に対するMCTおよびLCTの影響

Quenchers	Inhibition of Maillard reaction (%)		
	Glu-Lys	Glu-Lys-MCT	Glu-Lys-MCT
None	0	0	0
Tryptophan (10mM)	0	0	0
DMF*(10mM)	3	0	15
SOD**(20μg/mL)	2	26	14
Catalase(30μg/mL)	0	1	6

Data are means of duplicate sample.

*, 2,5-dimethylfuran; **, Superoxide dismutase.

Irradiation at 10,000 kux for 60 min at 25°C

表2 グルコースーリジン系での光照射による活性酸素種の生成に対する各脂肪酸の影響

Quenchers	Inhibition of Maillard reaction (%)		
	Glu-Lys	Glu-Lys-C8:0-C10:0	Glu-Lys--C18:0-C20:4
None	0	0	0
Tryptophan (10mM)	0	0	0
DMF*(10mM)	3	0	15
SOD**(20µg/mL)	2	26	14
Catalase(30µg/mL)	0	1	6

Data are means of duplicate sample.

*, 2,5-dimethylfulan; **, Superoxide dismutase.

Irradiation at 10,000 kux for 60 min at 25°C

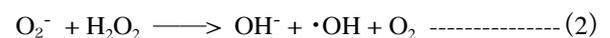
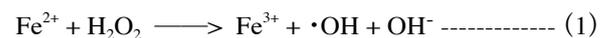
たためと推察された。この違いを確認するために、LCTとMCTの脂肪酸組成（脂肪酸の不飽和度の違い）が大きな要因として考えられ、併せメイラード反応に対する化学反応も異なっていることと考えられた。そこで、脂肪酸構造の違いにより活性酸素種生成機構に違いがあるものかを検討した。その結果を表2に示した。飽和脂肪酸存在下においてはDMF, SODおよびカタラーゼによりメイラード反応が促進されたことから、飽和脂肪酸存在下では $^1\text{O}_2$, O_2^- および H_2O_2 が生成されるが、直接的には関与していないことが考えられた。いっぽう、不飽和脂肪酸存在下では、SODカタラーゼ添加のいずれも O_2^- および H_2O_2 がメイラード反応誘導に関与していることが確認された。鉄イオン(Fe^{3+})添加により、不飽和度の高い反応系では、メイラード反応の誘導が促進されたことから、おそらく $\cdot\text{OH}$ が主に関与している可能性が高いものと推察された。

これらの結果から、グルコースーリジン系における光照射時におけるメイラード反応に種々の活性酸素種が何らかの形で関与し、活性酸素種の生成機構は構成脂肪酸の化学的性質の違いにより微妙に異なり、それに伴ってメイラード反応への関与度合いも異なっているものと推察された。

7. グルコースーリジン系における光照射時に伴う活性酸素種の生成機構とメイラード反応との関係

活性酸素種の生成機構は主にFenton reaction (1)とHaber-Weiss reaction (2)によるものであることが証明されていることから¹⁴⁾、本実験系において主としてメイラード反応の誘導に関与する活性酸素

種として、ヒドロキシラジカル($\cdot\text{OH}$)が関与していることが考えられた。そこで、本実験系においても生成される活性酸素種が主に $\cdot\text{OH}$ によるものを水溶性ヘム鉄(日本バイオコン(株))を用いて検討した。その結果、水溶性ヘム鉄溶液を添加することで、MCT, LCTいずれの系でもメイラード反応の誘導が促進されたことから、本実験系においても生成された活性酸素種としては、 $\cdot\text{OH}$ がメイラード反応の誘導に関与しているものと推察された(data not shown)。なお現実的に、本実験系での水溶性鉄は存在していないことから、おそらくHaber-Weiss reaction (2)によって生成された可能性が高いものと推察される。



まとめ

光照射下でのMCTグルコースーリジン系におけるメイラード反応は生成される活性酸素種により誘導されている可能性を示唆する結果を得た。メイラード反応誘導に関与している活性酸素種の生成機構は、Haber-Weiss reactionによる $\cdot\text{OH}$ が主に生成されている可能性が高いものと考えられた。

光照射下でのメイラード反応誘導に活性酸素種が関与している事実は本実験で初めて明らかとなった。本研究で得られた結果は、食品科学分野に多大なる知見を提起できるものと考えられる。

参考文献

1. Kritchevsky, D., & Tepper, S. A.: Influence of medium-chain triglyceride (MCT) on cholesterol metabolism in rats. *Journal of Nutrition*, **86**: 67-72. 1965.
2. Leveille, G. A., Pardini, R. S., & Tillotson, J. A.: Influence of medium-chain triglycerides on lipid metabolism in the rats. *Lipids*, **2**: 287-294. 1967.
3. Lavau, M. M., Hashim, S. A.: Effect of medium chain triglyceride on lipogenesis and body fat in the rat. *Journal of Nutrition* **108**: 613-620. 1978.
4. Gelebter, A., Torbay, N., Bracco, E. F., Hashim, S. A., & Van Italie, T. B.: Overfeeding with medium-chain triglyceride diet results in diminished deposition of fat. *American Journal of Clinical Nutrition*, **37**: 1-4. 1983.
5. Seaton, T.B., Welle, S. L., Warenk, M. K., & Campbell, R. G.: Thermic effect of medium-chain and long-chain triglycerides in man. *American Journal of Clinical Nutrition*, **44**: 630-634. 1986.
6. Ecelbarger, G. L., Lasekan, J. B., & Ney, D. M.: In vivo triglyceride secretion and hepatic and plasma lipids in rats fed medium-chain triglycerides, tripelargonin, or corn oil. *Journal of Nutritional Biochemistry*, **2**: 260-266. 1991.
7. Chanes, M., Bois-Joyeux, B., Arnaud, M. J., & Peret, J.: Metabolic effects in rats of a diet with a moderate level of medium-chain triglycerides. *Journal of Nutrition*, **121**: 585-594. 1991.
8. Kris-Etherton, P.M., & Yu, S.: Individual fatty acid effects on plasma lipids and lipoproteins: human studies. *American Journal of Clinical Nutrition*, **65**: 162-164. 1997.
9. Papamandjaris, A. A., Macdougall, D.E., & Jones, P. J. H.: Medium chain fatty acid metabolism and energy expenditure: obesity treatment implications. *Life Sciences*, **62**: 1203-1215. 1998.
10. Chi-Hao, W., Shang-Ming, H., Jer-An, L., & Gow-Chin, Y.: Inhibition of advanced glycation endproduct formation by foodstuffs. *Food Function*, **2**: 224-234. 2011.
11. Boekel van MAJS.: Formation of flavor compounds in the maillard reaction. *Biotechnology Advances*, **24**: 230-233. 2006.
12. Tareke, E., Rydberg, P., Karlsson, P., Eriksson, S., & Törnqvist, M.: Analysis of acrylamide, a carcinogen formed in heated foodstuffs. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, **50**: 4998-5006. 2002.
13. Toyosaki, T.: Effects of medium-chain triacylglycerols on Maillard reaction in bread baking. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, **98**: 3169-3174. 2018.
14. Kellogg, III E.W. & Fridovich I.: Superoxide, hydrogen peroxide, and singlet oxygen in lipid peroxidation by a xanthine oxidase system. *Journal of Biological Chemistry*, **250**: 8812-8817. 1975.

<p>白石カルシウムの炭酸カルシウム</p>	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 25%; border: 1px solid gray; padding: 5px; text-align: center;"> <p>炭酸カルシウムとは？</p> </div> <div style="width: 70%; padding: 5px;"> <p>古くから食品に使用されている安全性・吸収性に優れたカルシウム源です。用途も栄養強化はもちろんのこと、練製品の弾力増強などの品質改良、粉体の流動性向上・固結防止といった加工助剤などその目的は多彩です。</p> </div> </div> <div style="width: 70%; border: 1px solid gray; padding: 5px; margin-top: 10px;"> <p>分散性・混合性に優れたものや、飲料用として沈殿を抑制したタイプ等、品揃えております。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li style="border: 1px solid gray; padding: 2px; margin-bottom: 5px; text-align: center;">一般の栄養強化には「ホワイトン」 <li style="border: 1px solid gray; padding: 2px; margin-bottom: 5px; text-align: center;">機能を求めるならば「コロカルソ」 <li style="border: 1px solid gray; padding: 2px; margin-bottom: 5px; text-align: center;">飲料用には、スラリー状の「カルエッセン」 <p style="text-align: center; border: 1px solid gray; padding: 2px; margin-top: 5px;">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。</p> </div>
<p>白石カルシウム株式会社</p>	<p>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</p>

食品工場用除菌剤の新たな可能性

柳沢 俊英 (YANAGISAWA Toshihide)¹

Key Words: 食品工場, 除菌, ウイルス, カチオン系除菌剤, ビオサイド[®], バクトクリーン[®]

はじめに

食品工場用のサニテーション薬剤として使用される除菌剤はその名の通り、食品工場の器具・機械類、床等の除菌を目的として使用されている。除菌剤には除菌のみを目的とするものや除菌と切っても切れない洗浄を同時に行えるものがある。除菌成分として代表的な次亜塩素酸ナトリウムについても次亜塩素酸ナトリウムを主とするものと洗浄剤を配合したタイプが一般的に普及しており、食品工場においても除菌剤に洗浄性が求められる。

一方、近年においては冬季のノロウイルスの流行が二枚貝などによる食中毒由来だけにとどまらず、感染者からの二次汚染を介した感染例もあり、食品工場においてもウイルス対策を含めた作業員の衛生管理に注意が払われるようになってきている。ウイルスの場合、微生物とは異なり自己増殖しないことから、器具・機械類からの更なる食品への大量汚染の可能性は少ないと考えられるが、ノロウイルスなどは少量で発症することから、弊社においてもサニテーション薬剤のノロウイルスへの効果の問い合わせがある。

そこで本報告においては食品工場で使用される弊社カチオン系除菌剤（ビオサイド[®]、バクトクリーン[®]、ビオフォーム）のウイルスへの効力試験結果と一般的な洗浄剤と除菌洗浄剤の洗浄性の比較、改良による洗浄性の向上について報告する。

1. 除菌成分のウイルスへの効果

評価対象として食品工場用除菌剤としてよく配合されているカチオン系除菌剤である以下成分を選定し、ノロウイルスの代替として使われるネコカリシウイルスの不活性化試験を実施した。一般的にカチオン系の除菌剤はそのタンパク質変性能力から外殻にスパイクタンパクを持つエンベロープ型ウイルス（インフルエンザウイルス等）には効力が高いが、スパイクタンパクを持たないノンエンベロープ型ウイルス（ノロウイルス等）には効力が弱いとされる。

- ・ベンザルコニウムクロライド (BAC)
- ・ヘキサデシルトリメチルアンモニウムクロライド (HTAC)
- ・ジデシルジメチルアンモニウムクロライド (DDAC)
- ・ジアルキルメチルポリオキシエチレンアンモニウムプロピオネート (DMPAP)
- ・ポリヘキサメチレンビグアナイド (PHMB)
- ・1,4-ビス (3,3'- (1-デシルピリジニウム) メチルオキシ)

ブタンジプロマイド (BDBB)

(いずれの物質も化成品として製造会社から販売されているものを入手して供試。有効成分濃度はメーカー表示値。一部は10%程度のエタノールやプロピレングリコールを溶剤として含む)

尚、広く使用されている次亜塩素酸ナトリウムに

¹ 株式会社タイショーテクノス 開発部
〒103-0015 東京都中央区日本橋箱崎町36-2
TEL 03-3808-1441 e-mail : t-zhang@taishotechnos.jp

については既にその効果が多く報告されていることから、評価対象から除外した。

試験は ASTM E1052 に準じて行った。各物質ともに有効成分濃度として 1000ppm となるように調整し。ウイルスと 10 分間接触させた結果を表 1 に示す。

表 1 除菌成分のネコカリシウイルス不活性化効力

物質名	不活性化率 (%)	抗ウイルス活性値 *
BAC	50.8	0.3
HTAC	0.0	0.0
DDAC	90.6	1.0
DMPAP	89.1	1.0
PHMB	44.9	0.3
BDBB	99.9	3.1

* 抗ウイルス活性値とは被検液との接触前後のウイルス感染価の減少値を対数表示したものの

試験の結果、DDAC、DMPAP、BDBB にネコカリシウイルスを不活性化する効果が認められた。特に BDBB は他のカチオン系除菌剤に比べ、強いウイルス不活性化能を持つことが示された。次に、有効性を示した成分を配合した弊社除菌剤についても同様に試験を行った。供試した除菌剤は以下のような特徴を持つ。

・ビオサイド[®]Neo

近年開発された除菌成分 BDBB を配合した除菌剤

・バクトクリーン[®]D2

洗浄用の界面活性剤を配合した除菌洗浄剤

・バクトクリーン[®]AW

過炭酸 Na、洗浄剤を配合した除菌洗浄剤

試験は前述の方法と同様な方法で行い、各除菌剤の推奨使用濃度で接触時間は 30 分とした。試験結果を表 2 に示す。

表 2 食品工場用除菌剤のネコカリシウイルス不活性化効力

除菌剤名	不活性化率 (%)	抗ウイルス活性値
ビオサイド [®] Neo	>99.9	>3.0
バクトクリーン [®] D2	87.4	0.9
バクトクリーン [®] AW	>99.9	>3.0

試験の結果、いずれの製剤においても効果が認められ、特に BDBB を有効成分に含むビオサイド[®]Neo と DMPAP と過炭酸 Na を配合したバクトクリー

ン[®]AW においては強いウイルス不活性化力が確認された。

2. 食品工場用除菌剤の洗浄性

食品工場において製造後の設備、機械、器具、床等の洗浄と除菌は食中毒防止および腐敗クレームの防止といった意味で必須である。微生物は食品残渣等を栄養源として増殖することから、除菌のみで工場の衛生を維持することは難しい。例えば、除菌剤として次亜塩素酸ナトリウムを使用する場合には必ず洗浄、すすぎを行った後に次亜塩素酸ナトリウムでの除菌を行うことが必要である。次亜塩素酸ナトリウムと界面活性剤を配合した洗浄剤の場合、除菌剤としての有効成分である次亜塩素酸ナトリウムは汚れの分解にも作用し、除菌剤としての効果がなくなる場合がある。

2-1. こすり洗い用除菌洗浄剤の洗浄性

この様なことから、除菌と洗浄を一度に行えるものとしてカチオン系除菌成分と洗浄剤成分を配合した除菌洗浄剤が食品工場で使用されている。弊社および他メーカーにおいてもカチオン系除菌剤と非イオン界面活性剤を配合した除菌洗浄剤がラインナップされているが、一般的な洗浄剤であるアニオン系界面活性剤を主成分としたものと比べると洗浄性は劣るため、洗浄剤としての使用感が悪い。以下に市販されている中性洗剤と一般的な除菌洗浄剤（カチオン系除菌剤 + 非イオン界面活性剤の組み合わせ）の洗浄性の比較データを表 3 に示す。

表 3 中性洗剤と除菌洗浄剤の洗浄力比較 (200 倍希釈)

試験区 (主成分 **)	洗浄枚数
市販中性洗剤 A (LAS + AE)	15
市販中性洗剤 B (LAS + AE)	9
市販中性洗剤 C (AES + AO)	38
弊社除菌洗浄剤 (カチオン除菌剤 + AE)	5

** 表中の主成分略号については以下の通り。()内はイオン性

LAS:直鎖アルキルベンゼンスルホン酸ナトリウム (アニオン)
 AES:アルキルエーテル硫酸エステルナトリウム (アニオン)
 AE:ポリオキシアルキレンアルキルエーテル (ノニオン)
 AO:アルキルアミンオキシド (ノニオン)

試験はラードおよびサラダ油を一定の割合で混合し、油溶性の色素で着色した油を一定量ずつ付着させたガラスシャーレを作成し、洗浄剤および除菌洗浄剤の希釈液でスポンジを使い何枚洗浄できたかを評価方法とした。

試験結果が示す通り、油污れに対して除菌洗浄剤の洗浄性は中性洗剤に比べて劣る結果となった。この様なことから従来の除菌洗浄剤は比較的油污れの少ない食品工場での使用に限定されていた。中性洗剤に対する除菌洗浄剤の洗浄性の悪さはアニオン界面活性剤が配合できないことによるところが大きい。汚れへの吸着と汚れの剥離性はアニオン界面活性剤が優れるが、カチオン系除菌剤と合わせるとお互いがイオン結合し、水に不溶化となり、洗浄力も除菌力もなくなってしまう。この様な相性の問題からカチオン系除菌剤に配合されるのはおのずと非イオン界面活性剤となるが、非イオン界面活性剤ではなかなか良好な洗浄性は得られないのが現実である。

界面活性剤はアニオン界面活性剤、カチオン界面活性剤、ノニオン界面活性剤、両性界面活性剤にそのイオン性により大別されるがそれぞれ大別されたグループ中には親水基および親油性鎖長の長さ、重合度などにより多種多様な構造を持ったものがあり、除菌成分として使用されているカチオン系化合物の種類に比べ、メーカーラインナップもかなり豊富である。

そこで弊社では除菌能力を一定の水準を維持しつつ（場合によっては除菌能力を多少犠牲にしても）、洗浄性の向上に寄与できる界面活性剤の選定とそれらの組み合わせによる除菌洗浄剤の洗浄性能の向上を図ってきた。表4に弊社除菌洗浄剤の除菌力と洗浄力の変遷を示す。洗浄力については200倍希釈液による前述の洗浄試験により評価を行った。除菌力については一般的なMBC測定方法（最

小殺菌濃度測定法）に従い、除菌洗浄剤の希釈液に *Pseudomonas aeruginosa* (NBRC 12689) フルグロース培養菌液を混合し、10分間静置した後に液体培地に対し0.5%容積量の混合液を接種した。この培地を30°C・48時間培養し菌の生育（培地の濁り）により最小殺菌濃度を判定した。

2-2. 機械式発泡洗浄用除菌洗浄剤の洗浄性

網目状のベルトコンベアーや複雑な構造を持つ機械などの洗浄はスポンジやブラシを使った洗浄では時間と労力がかかることから機械で洗剤や除菌洗浄剤の泡を吹き付け、洗浄や除菌を行っている食品工場もある。この様な場面ではこすり洗い用の除菌洗浄剤の性能に加え、泡立ちやすすぎ時の泡切れ性能が求められる。この様な場面においても従来型の配合であるカチオン系除菌剤とノニオン界面活性剤を組み合わせた製剤の場合、アニオン界面活性剤をベースにした洗剤や次亜塩素酸ナトリウムを配合した洗剤と比べると洗浄性は大きく劣ってしまう。一方で、洗浄性に優れた次亜塩素酸ナトリウム配合洗剤の場合には汚れで塩素が分解されるため、除菌に不安が残る。

写真1は油脂を塗布したガラス板を立て、上側より各洗浄剤の泡を流し、濯ぎ、乾燥後に炭酸カルシウム末を振りかけたもの。油脂が残った部分に炭酸カルシウム末が付着する。

左側の従来型配合であるバクトクリーン®THでは泡が通過した部分にも油脂による汚れが残り、ガラス板下側では油脂による消泡作用により洗浄面積の減少がみられる。一方、泡洗浄用に開発され

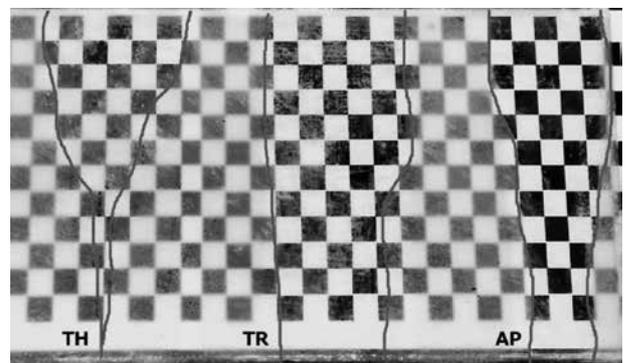


写真1 泡洗浄試験（泡が通過した部分を黒線で追加描画）

左:バクトクリーン®TH(従来型配合), 中:ピオフォームTR(複数ノニオン界面活性剤配合), 右:ピオフォームAP(カチオン系除菌剤にアニオン界面活性剤を配合)

表4 弊社除菌洗浄剤の洗浄力・除菌力の変遷

試験区	MBC (希釈倍率)	洗浄枚数
バクトクリーン® A・7	4000	5
バクトクリーン® 3・S	4000	8
バクトクリーン® MC	2000	11
バクトクリーン® D	1000	19
バクトクリーン® D1	1000	30

表中の下段ほど新しく設計された除菌洗浄剤

たバイオフォーム TR や AP では洗浄面積が下側まで確保されている。特にバイオフォーム AP ではガラス面の油脂汚れも少なく良好な洗浄性能を有することがわかる。

バイオフォーム AP は特殊なカチオン系除菌剤を使用しており、アニオン界面活性剤を配合することで推奨使用濃度での十分な除菌効力を維持している。上記の試験に供した除菌洗浄剤の *Ps. aeruginosa* に対する MBC を表 5 に示す。

表 5 泡洗浄用除菌洗浄剤の除菌効力

試験区	MBC (希釈倍率)
バクトクリーン® TH	1000
バイオフォーム TR	200
バイオフォーム AP	300

2-3. 浸け置き用除菌洗浄剤の洗浄性

前述の2つの除菌洗浄に加え、浸け置きによる除菌洗浄も一般的な方法である。普段分解しない配管内や充填機、こすり洗いでは洗にくい細かな部品類などは浸け置きや循環洗浄を行っている。このような場面においてはこすり洗いのような物理的な力が与えられないことから、次亜塩素酸ナトリウムのような酸化やアルカリによる加水分解などの化学反応が利用されるが、近年では家庭用洗濯槽クリーナーのような過炭酸ナトリウムや過酸化水素により発生する気泡による自己発泡型の洗浄剤もある。洗濯槽クリーナーにも除菌の文字が記載されているが過炭酸ナトリウムや過酸化水素による除菌効力はカチオン系除菌剤ほど強いものではなく、食品工場で除菌目的に使用するには心もとないが、洗浄性は良好である。

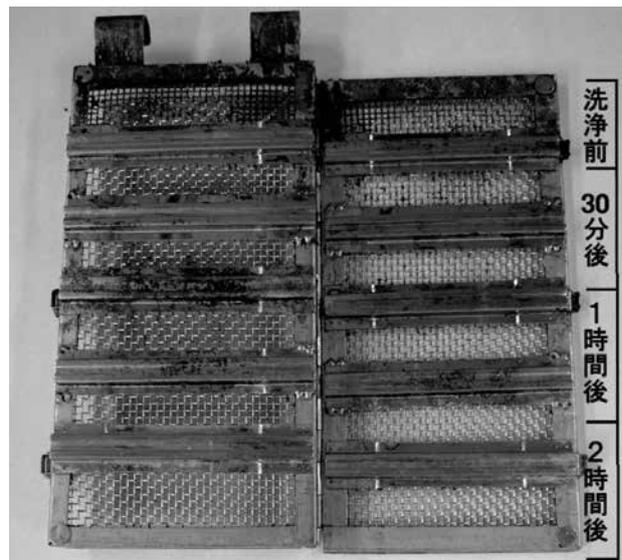


写真2 リテーナー洗浄例（時間は浸漬時間）

以下に過炭酸ナトリウムとカチオン系除菌剤を配合したバクトクリーン®AWを使用した洗浄例を示す。燻製処理後のリテーナーをバクトクリーン®AWのお湯希釈液に浸漬洗浄した結果になる（写真2）。

浸け置き時間に依り汚れの除去が進んでいくことが確認できる。因みにバクトクリーン®AWの *Ps. Aeruginosa* に対する MBC は 400 倍希釈となっており、推奨使用濃度で十分な除菌性能がある。

結び

ここまでカチオン系除菌・洗浄剤の新たな可能性としてウイルスへの効果と洗浄性の向上について述べてきたが、HACCPが義務化となり、より広い食品業種で衛生管理を求められるようになる。弊社の製剤が少しでも食品安全に寄与できることを期待する。

四種の異なるもちもち食感実現のための 加工澱粉の選択について

東川 浩 (HIGASHIKAWA Hiroshi)¹

Key Words: もちもち食感, 加工澱粉, 製麺, 製菓, 製パン, デザート

1. もちもち食感の市場での要求について

様々な食品において、もちもち食感を謳った製品が多くみられる。いまだにもちもち食感、餅を食べる文化を持つ日本人が最も好む代表的な食感であり、様々な調査結果においても幅広い世代において性別を問わず、その支持率は根強いものがある。

日本人の嗜好に合ったもちもち食感の食品が、製麺、製菓、製パン、デザート等を中心に開発されてきたが、一言にもちもち食感といえども、その食感は複合的な食感の要素から成り立っている。また、一概にもちもち食感と言っても、様々なタイプに分類されると考えられる。

本稿では、異なる種類のもちもち感を実現するための加工澱粉使用のアプローチについて、提案する。

2. 澱粉原料について

もちもち感を付与するためにタピオカ澱粉が幅広い食品用途に応用されている。タピオカの地下澱粉特有のねっとりした粘度特性、また保存安定性の高さ（冷凍解凍安定性、冷蔵安定性）故に、もちもち感が要求される多方面の加工食品に応用されている。タピオカ澱粉の糊液は、透明性も極めて高いため、最終製品の外観にもポジティブな効果を与えることができるので、汎用性が高いと言える。

他原料の澱粉についても、もちもち感付与のために有効なアプローチがある。

まず、地下茎澱粉において、最もメジャーな馬鈴

薯澱粉においては、絶対粘度が高く、テクスチャーも極めてロングであるが、ソフト感（独特の脆さがある）と老化抑制に劣るという欠点がある。

甘藷澱粉においては、馬鈴薯のような伸びはなく、ショートで硬くさくさくした食感を示す。一般的に老化耐性は良くないが、最近ではその欠点を補う改良品種も一部市場に出ている。

ワキシコーンスターチ（もち種とうもろこし澱粉）は、ソフトで伸びも悪くはないが、地下澱粉のような独特な弾力・コシはない。老化抑制効果は極めて高いので、もちもち感というよりも、ソフト感、しっとり感、くちどけ、のどごし等の要求される用途に応用される頻度が高い。

もち米澱粉は、小粒子（平均粒径は、3～5 μm程度）故に絶対粘度は低く、舌触りも良く、糊感も低い。保水性が高く老化抑制効果も高い。地上澱粉でありながら、もちもち感付与にも有効である。

これらの各種澱粉についても、もちもち感付与には有効であるが、消費者にとって非常に分かりやすいソフトで、伸びがあり、咀嚼時に団子状塊を形成するようなもちもち感を設計するには、原料的にはタピオカ澱粉が最適であると考えられる。一般的に少量添加においても効果が高く、添加率を上げればもちもち感はさらに高くなる。

また、異なる原料をブレンドすることによって、多様な要求を満足させるもちもち感の創出も可能である。

¹ 伊藤忠食糧株式会社 穀物油脂本部 食糧素材部 R&D・市場開発担当部長
TEL 03-5771-6374 e-mail : higashikawa-h@itochufsm.co.jp

3. 加工方法について

もちもち感を促進するために、まずは澱粉に保水力を高めるための親水基導入が必須である。食品用加工澱粉として認可されている親水基として、酢酸基、ヒドロキシプロピル基、リン酸基等があるが、中でもヒドロキシプロピル基がベストである。酢酸基導入によって、わらび餅状のゴムのような強い弾力を付与することも可能であるが、耐老化性が劣るという欠点がある。

したがって、本稿においては、化学基の分子量が大きく、結合力も高く、保水力改善の効果が高く、もちもち感の付与に最も効果が高いと考えられる、ヒドロキシプロピル基を導入する場合に限って議論するものとする。

タピオカ澱粉にヒドロキシプロピル基を導入することによって、その糊液は、保水力が改善し、曳糸性が高くなり（ロングテクスチャーとなる）、ソフトになって（粘性が緩くなる）ダレやすくなる。結果的に伸びが優れ、ソフトな食感となる。また、官能特性においても、加工による風味への影響がほぼ無いため、風味がシビアな幅広い用途（製菓、製パン、製麺、乳製品デザート等）にも幅広い応用が可能である。

また、ヒドロキシプロピル澱粉にリン酸架橋を加えることによって（ヒドロキシプロピル化リン酸架橋澱粉）、糊液にボディ感（コシの強さ）を付与し、曳糸性はショートになる。耐熱性・耐酸性・耐シェア性等の加工耐性も改善できる。さらには諸々の物理処理を加えることによって、糊液の特性について、さらに保水性を高めたり、弾力を向上させて剥離性

表1 各種もちもち感に寄与する加工澱粉糊液の特徴

代表製品	ソフト感	伸び	弾力	剥離性
CIT-407	++++	+++++	++	+
CIT-425	+++++	+++	+	+++
CIT-625L	++	++	+++++	++++
CIT-607L	+++	+++	+++	++

を高めたり、澱粉粒の膨潤を抑制したり、可溶化したりと、多様な物性改良が可能である。

これらの加工を組み合わせ、異なる加工度合いを施すことによって、様々な特性を有する製品の開発が可能となる。

4. もちもち感について

一般的に、咀嚼時に口内で団子状になりやすいものが、高いもちもち感を示すと考えられる。もちもち感とは、ソフト感・粘弾性・曳糸性の程度、くちどけの悪さ、剥離性の良し悪し等が、複合されることによって、様々なタイプのもちもち感が形成されると考えられる。もちもち感は、多様な種類に分類されると思われるが、加工澱粉配合によって、実現できる食感を以下の四種類に分類した。

- ①ソフトで伸びのある食感
- ②さらにソフトであるが、切れの良いショートな食感
- ③弾力が高く、保形性と剥離性に優れた食感
- ④ボディ感があり、ショートで、粘着性の高い食感

それぞれの食感の特徴を表1にまとめた。また、それぞれの澱粉製品の糊液のテクスチャーをイメー



写真1 CIT-605Lの糊液



写真2 CIT-625Lの糊液



写真3 CIT-607Lの糊液



写真4 CIT-407の糊液



写真5 CIT-425の糊液



写真6 CIT-407を使用したこし餡

ジしていただくため、10%糊液（固形分換算）を菓さじで引き上げた様子を写真1～5に示す。

5. 四種類のもちもち感をデザインするために

5-1. ソフトで伸びのある食感

CIT-407, CIT-405, CIT-403が推奨製品である。これらの加工タピオカ澱粉製品は、糊液は非常にソフトでなめらかであり、曳糸性が極めて高い。特に加工度が極めて高い、CIT-407がその効果が顕著である。それ故に、最終製品にソフトで曳きの強い、従来の加工澱粉製品に見られないような、非常にソフトで極めて高いもちもち感を付与することができる。

CIT-407をこし餡に配合した際の伸びの様子を写真6に示す。幅広い温度帯で、ソフトで伸びのあるテクスチャーを実現する。こし餡のみならず、伸びのあるテクスチャーを広範囲の食品素材（チーズ、アイスクリーム、カスタードクリーム等）に付与することができる。

適切な用途としては、調理麺（30%添加以上の高配合の系で、極めて高いもちもち感が得られる）、ベーカリー、ドーナツ（ソフトなもちもち感が得られる）、デザート（伸びのある独特なテクスチャーとなる）等である。

5-2. さらにソフトであるが、切れの良いショートな食感

CIT-425が推奨製品である。この加工タピオカ澱粉は、前項で紹介した製品の粘度をさらに緩くし、テクスチャーをショートに加工したものである。

ベーカリー製品等において、よりソフトな食感が得られ、焼成後の容量増加が可能となる。製菓・製パン等に応用すると、焼成直後のイニシャルのソフト感が非常に高く、保水性も高いため老化速度も遅くなる。また、粘度が緩く膨化能力が高いため、最終製品の容量を大きくでき、ソフトで軽く、さくさく感の高い食感が付与できるというメリットがある。本製品は、製菓（焼き菓子）、製パン等の用途における、上記の物性改良に非常に有効である。

5-3. 弾力が高く、保形性と剥離性に優れた食感

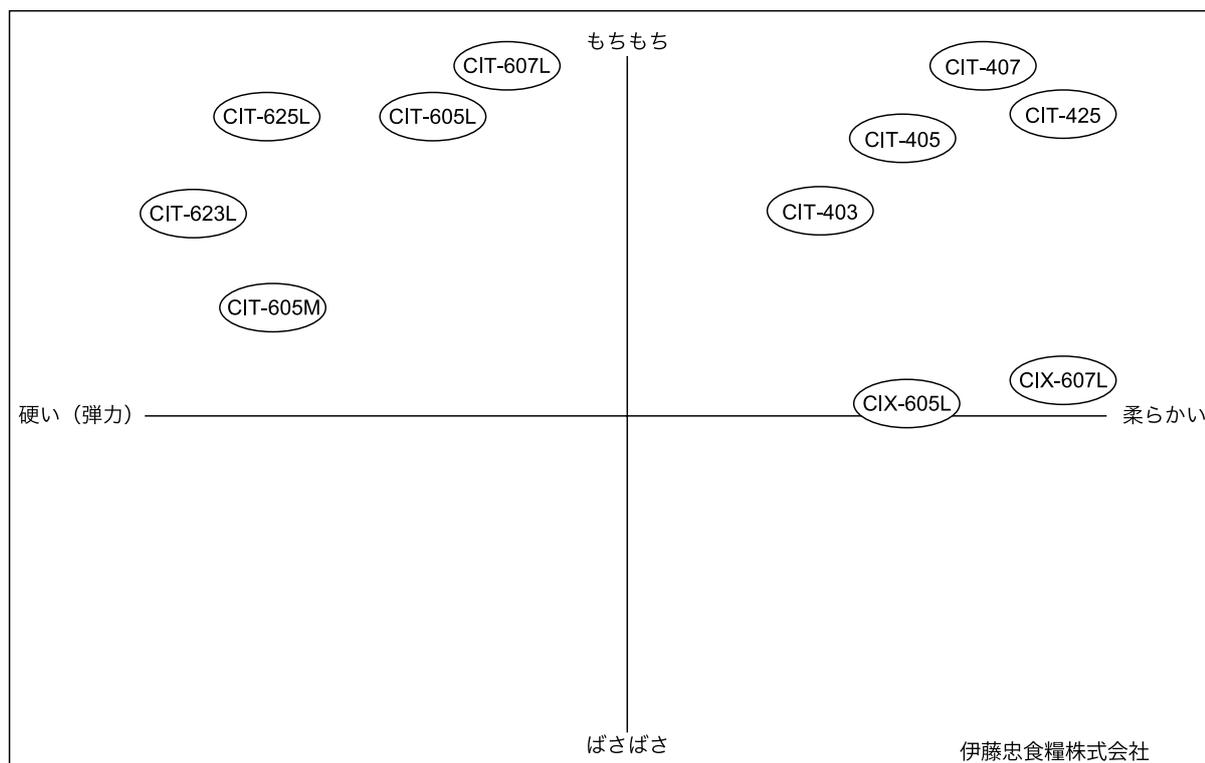
CIT-625L, CIT-623Lが推奨製品である。前者の方が保存安定性は優れるが、ゲル強度については後者の方が高い。一般的にヒドロキシプロピル澱粉、ヒドロキシプロピル化リン酸架橋澱粉の糊液は、粘性が緩くコシがなく、ダレが発生する特徴があるが、この二製品はその欠点を克服した製品である。

わらび餅の特有な弾力、保形性、歯切れのある食感を実現するため、市場ではアセチル化リン酸架橋タピオカ澱粉が幅広く利用されている。CIT-625L, CIT-623Lは、この食感にできる限り近づけることを目指し、さらにはアセチル化リン酸架橋澱粉の欠点である、老化耐性の不足（凍結解凍安定性や、冷蔵安定性）を改良したものである。

推奨の二製品は、特に水饅頭、わらび餅等の和菓子用や、プリンとした弾力のあるデザートにも適している。また、焼成後は収縮も抑制できるので製パン用にも向いている。調理麺用としても、老化抑制に優れて、コシのある歯切れのよい食感を実現することができる。麺同士の付着を抑え、ほぐれの改良

表 2 各種加工澱粉の食感と特徴の比較

製品名	食感の特徴
CIT-407	
CIT-405	ソフトで伸びのあるもちもち感, 優れた老化抑制
CIT-403	
CIT-425	極めてソフトでキレのあるもちもち感, 優れた老化抑制
CIT-607L	
CIT-605L	ボディ感がありショートで付着性の高いもちもち感, 優れた老化耐性
CIT-625L	
CIT-623L	弾力が高く保形性と剥離性に優れたもちもち感, 優れた老化抑制
CIT-607L	
CIX-605L	ソフト・しっとり・くちどけ重視の食感, 優れた老化耐性



グラフ 1 加工澱粉の食感比較 (焼菓子・デザート用途)

にも一定の効果があると考えられる。

5-4. ボディ感があり、ショートで、付着性の高い食感

CIT-607L, CIT-605L, CIT-605M がこの食感に当てはまる製品である。ボディ感があり付着性も強いことによって、咀嚼時に粘りのある独特なもちもち感を現すことができると考えられる。これらの製品は保水性も優れるが故に、冷凍解凍安定性にも優れている。ちなみに、糊液の緩慢冷凍～自然解凍（敢えて試験条件を厳しいものとした）を1サイクルとして、5サイクル繰り返した後においても、離水が全く発生せず、構造の崩れもほとんど起こらない。

顕微鏡で観察しても、澱粉粒の崩壊が見られずきれいに残っており、各種加工澱粉製品中においても、最も冷凍解凍安定性に優れていると考えられる。同時にチルド安定性にも極めて優れており、食感維持、賞味期限の延長も可能となる。

ベーキング耐性も優れており、焼成後の収縮も抑制することができる。これらの特性から、高い粘弾性とチルド安定性が要求される調理用途、もちもち感の高い製菓・製パン用途、そして各種乳製品デザートにもその効果を発揮する。

5. 各種加工澱粉の食感比較のまとめ

表 2 に各種加工澱粉の食感と特徴をまとめた。こ

ここに記載した CIX-607L, CIX-605L は、加工度の高いワキシコーンスターチ製品で、もちもち感は低いですが、老化耐性が極めて高く、しっとり感が持続し、くちどけ・のどごしが良好である。また、**グラフ1**に、焼き菓子用途、デザート用途における各種加工澱粉の食感を比較した。実際にもちもち感には様々な要素が含有されているため、二次元のグラフに落とし込むのは無理があると思われるが、各種加工澱粉製品の物性を想像いただく一助として作成した。

6. 他の澱粉との組み合わせによる相乗効果

ベーカリー用途において、保水性・吸水性の優れた冷水可溶澱粉を少量添加（2～5%程度、過剰添加するとミキシング時のベタツキが発生して作業性が低下する）することによって、加水率を上昇させることができる。加水率上昇によって、ソフト感、しっとり感が向上し、官能的にもちもち感も際立たせるような相乗効果がある。

上記の加工タピオカ澱粉各種と吸水能力が殊に優れる冷水可溶澱粉である CWS-W1（加工ワキシコーンスターチ）、RD-T1（加工タピオカ澱粉）等を同時添加した系においては、もちもち感の維持と

老化抑制において、相乗効果が期待できる。この技術を応用することによって、長期保存食品における食感改良（または、食感維持）、冷蔵のような老化を促進しやすい厳しい条件下での品質改良、さらには賞味期限の長期化によるフードロス低減にも貢献できるのではないかと考えられる。

おわりに

市場における、多様なもちもち食感改良と老化抑制の要求に応えるべく、様々なユニークな特徴を有する製品ラインアップを新規開発し、取り揃えてきた。また、冷水可溶澱粉との組み合わせによって、もちもち食感をさらに増幅できることも述べた。さらに、製品の加工度をファインチューニングしたり、異なる原料・加工方法の澱粉製品とブレンドしたり、さらにもちもち感を増幅できるような冷水可溶澱粉をブレンドしたりすることによって、多様な食感の創造が可能であると思われる。

弊社ではさらなる新たな加工澱粉製品の開発、アプリケーションの開発にも取り組んでいる。幅広い高品質の食品用途に利用していただければ、最たる喜びである。



高機能澱粉販売開始



もち

CIT-407

従来になかった高いもちもち感

CWS-W1

極めて高い保水能力

お問い合わせ

伊藤忠食糧株式会社

穀物油脂本部

〒107-0062 東京都港区南青山 1-1-1 新青山ビル西館 6F

TEL(03)5771-6374 FAX(03)5771-7243

新解説

穀物ベースのグルテンフリー機能性飲料（1）

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 穀物ベース 機能性飲料

本本論文「新解説 穀物ベースのグルテンフリー機能性飲料（1）」は“Gluten-Free Cereal Products and Beverages” (Edited by E. K. Arendt and F. D. Bello) 2008 by Academic Press (ELSEVIER) の第16章 Cereal-based gluten-free functional drinks by Kreis, Arendt, Hubner, and Zarnkovの一部を翻訳紹介するものである。

紹介

巨大な産業国（アメリカ，ヨーロッパ，日本）では，栄養と健康に対する消費者の関心が近年大きく変化した。栄養と健康のライフスタイルは，病気のリスクを減らして健康を増進するとし，健康に大きな注目を引き起こしている。これは果物，野菜，全粒食品のような食料，あるいは産業的に製造される食品で付加的健康価値をつけるものへの関心の増加にむすびついてくる。Frost and Sullivan (management consultancy, www.frost.com) の研究によると，ヨーロッパ市場における機能性飲料は1999年23.5億米ドルから2006年57.3億米ドルに成長した。機能性飲料は，他の飲料同様，一般的に簡単に利用でき，すばやく消費できるメリットがある。1980年代，健康を目標とした特別の食品と病気の危険性を回避した特別の食品の紹介のあと，「機能性食品」の考え方が日本から始まった。

一般に，機能性食品は，一般栄養価の一部が消費に適している食品と考えられ，さらに生理的に活性のある成分で健康を増進し病気の危険性を下げものを含んでいる食品と考えられる。この定義は消費者にとり長所であり，食品産業にとり改革の可能性に影響する。

しかしながら消費者は成分効果に関してそれが悪

いかあるいは間違った主張なら自らを守らねばならない。日本は機能性食品の生産において先導的役割を演じた。1991年 the Foods for Specified Health Use (FOSHU) の考え方が紹介された。食品は深く科学的に研究された後のみ，the Minister for Health and Welfare により FOSHU と見なされる。ヨーロッパでは統一性に欠けたが，しかし1995年11月，the European Commission は機能性食品科学の考え方に化学的ベースでアプローチする関連の目的の Functional Food Science in Europe (FUFOSE) を紹介した。FUFOSE の下に，最近の知られた事実が決められ，必要な付け加えるべき研究テーマがきめられた。EU10 国，10 研究グループ，54 名研究者が，ヒト生理学上もっとも重要と考えられる6フィールドに協力しそれと関係した；胃腸システム，活性酸素ラジカルからの防御，心臓欠陥システム，完全メタボリズムとメタボリズムの病気，発達，成長，分化，並びに心理的機能および行動である。その仕事の結果として，新しい食品の定義と機能が以下の様に作られた。

「食品を機能的と考える事が出来るのは，ポジティブに影響する一つあるいはいくつかの栄養価を超えて生理的機能に影響するという満足な証明した時であり，ある意味でヒトの幸福あるいは病

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

気のリスク低下と関係した時である。」

FUFOSE の結論と主義は次の理論的段階に向かった (例えば主義の応用である)。The project Process for the Assessment of Scientific Support for Claims on Foods (PASSCLAIM) は、FOFOSE プロジェクトがおこした出版物中に定義されたものからはじまり、設立された。PASSCLAIM の目的は：

- ・食べられる、あるいは飲める食品と食品成分に対し、健康に関する宣言を科学的に行うことのできる主義をもつ汎用器具を作ること；
- ・宣言した科学的実証を評価する存在スキームの批判的評価を行うこと；
- ・食事と健康の間のリンクを見るため、どのように採点者が十分にデザインされた研究を同定、検証、利用すべきか、そのための一般的批評を選択することである。

PASSCLAIM は2相に分けられる。そのプロジェクトの構造と進歩 に関する全ての論文と更なる情報は、the International Life Sciences Institute (<http://europe.ilsa.org>) より出版された。より古い定義によると、機能性飲料は“機能性食品”のカテゴリーに入り、さらに4タイプに分類される：

- ・スポーツドリンク

- ・エネルギードリンク
- ・健康ドリンク
- ・栄養強化ドリンクである。

上述の定義はこの特別のカテゴリーに完全に合致してない。

たとえ著者らが別のやり方で機能性飲料を特別に定義しても、機能性飲料は真の添加価値をもたらすためには生物学的物質を含まねばならない。特別の効果は生物学的物質による。Elmafada (1998) によると、生物学的物質とは不可欠栄養素とは別で、ヒトは生命活動の保持のために必要なもので、合成できないかあるいはできても僅か低レベルのみである。現在、生物学食品物質の6グループが知られている：

- ・2次植物物質
- ・プレバイオテック炭水化物
- ・オメガ3 脂肪酸
- ・共役リノール酸
- ・ミルクタンパク質からのペプチド類
- ・メーラード生産物である。

だが、多分もっと加えるグループは存在する。穀物、一般にイネ科 (真の草類) 例えば大麦、オート麦、トウモロコシ、米、ライ麦、ソールガム、トリテケー

表 16.1 グルテンフリー製品の承認された穀物の分類

	AFDIAG	Celiac Sprue Association	The Celiac group	St. Johns University	Association Canadienne	DZG
	France	USA	USA	USA	Canada	Germany
Amaranth		否	準備後許	準備後許		許
Buckwheat	許	否	準備後許	準備後許		許
Quinoa	許	否	準備後許	準備後許		許
Spelt	否	否	否	否	否	否
Barley	否	否	否	否	否	否
Oat	否	否	否	否	否	否
Kamut	否	否	否	否	否	否
Maize	許	許	許	許	許	許
Rice	許	許	許	許	許	許
Rispenhirse	許	否	準備後許	準備後許		
Rye	否	否	否	否	否	否
Sorghum		許	許	許		許
Triticale	否	否	否	否	否	否
Wheat	否	否	否	否	否	否

ル、エマー、アインコルン、小麦、カマト、ミレット、同様に擬似穀物のソバ、アマランス、キノアのようなものはヒト栄養に不可欠なものである。The Food and Agriculture Organization of the United Nations によると、2005年世界中で6億2千万トンの小麦が生産された。ビールあるいはクワス (kvass) のようなアルコール飲料とは別に、穀粒は主に固形食品生産用に用いられ、例えばパン、動物飼料、あるいは最近では未加工形でエネルギーの生産用に用いられる。上述の定義によると、穀物あるいは擬似穀物によるグルテンフリー飲料は広い意味で機能的飲料と考えられる。原則として“グルテンフリー”のデザインのみ、機能性飲料のはじめのベースとして考えられる可能性ある穀物を絞り込む。こうしてスタンダードの方法は変えないが、しかし未だ擬似穀物も含めてどんな種類の穀物か満場一致でよいかは決めてないが、基本的にはグルテンフリーであり、飲料用原材料として用いることができる。表 16.1 は適当な穀物（地域的違いの説明がある）を示した。

穀物あるいは擬似穀物を飲料に用いる場合は、殆どの穀類で1つの大きな特徴と関係のあることを考えることが必要だ。ほとんどの穀粒成分は高分子量を持ち、それらは水不溶性、あるいは非常にわずかに水溶性である。穀物あるいは擬似穀物の殆どは、デンプン含量が60%以上で、製粉穀物の一定量と水を混ぜると多少の高粘度ドウを作る。デンプンは糊化（温度による）するが、しかし加水分解はしない。高分子タンパク質と細胞壁多糖類は主に不溶性で残るため、飲料としての収量は不十分で、可用性部分をさらに加工するのは適当でない。穀物あるいは擬似穀物をベースにする飲料をデザインするためには次のステップ、主には既に大麦で発明されビール生産に採用されているが、を用いねばならない：

- ・ 飲料生産のための穀物あるいは擬似穀物の評価 (特異性)
- ・ 麦芽 (任意)
- ・ 製粉
- ・ 外部酵素を入れた時、入れない時の基質生産
- ・ アルコール、非アルコール発酵 (任意)
- ・ ブレンドと安定化。

(機能性) 飲料用の穀物、擬似穀物の評価

発酵同様、麦芽、基質生産の殆ど全ての標準分析、技術的ノウハウは、大麦、大麦麦芽の研究、経験に基づいている。大麦は発酵用穀物として長いこと選択され、この100年間大きな発酵への努力があつて高度に特殊化したものを作ってきた。他の穀物あるいは疑似穀物で、麦芽、基質生産物、あるいは発酵の点で最もいいものはなく、ときにその発酵プログラムは高タンパク質レベル、および低酵素活性（例えば小麦）に焦点を合わせても逆効果である。さらに収穫と取引条件の標準は大麦では滅多に起こらないほど高くなるため、いつもバッチのとりひき種類や均一性に関する信頼できる情報を得ることが可能ではない。にもかかわらず一般の飲料生産のための原材料の評価への一般的方法は、大麦からから他の穀物、疑似穀物へと応用される。分析パラメーターは以下の様である。

タンパク質含量

非常に高いタンパク質含量はある穀物（例えばライ麦、小麦）の品質属性になる。一方非常に低タンパク質含量 (<8%) の穀物がある。

例えばコメやメーズである。あるタンパク質は人栄養にとりプラスなので、高タンパク質含量は望ましいが、生産の点では高タンパク質含量は問題を引き起こす。飲料ではタンパク質含量は気泡と関係し、ポリフェノールと関連し（それはほとんどの穀物、あるいは疑似穀物で利用される）瓶詰めした飲料ではにごりが生じる。

脂肪含量

とうもろこし、オート麦、コメ胚芽の脂肪含量は小麦、大麦よりも高い。オフフレーバー、不安定飲料は、高脂肪含量の成分の利用に原因する。

発芽能力とエネルギー

発芽能力はもし粒が麦芽にされていれば少なくとも95%である。飲料のために種子品質の穀物を麦芽生産に用いることは懸命である。

穀

ほとんどの穀物は殻なしで販売される（例えば小麦、スペルト、ヒトツブコムギ）あるいは全体的に

異なった種皮を持つ（コメ，トウモロコシ，ソルガム，ミレット）。種皮の類型学は麦芽時の水の取り込みに影響し，基質生産戦略を決める（分離）。

基本的な酵素供給

大麦育種での大きな改良は，発芽とマッシング（すりつぶし）時に必要な酵素の強化である。他の穀物や疑似穀物では発酵目的が選択されていないので，酵素的バックグラウンドは知られておらずさらに必ずしも基質生産物に適しているかどうかもわからない。

粒のサイズとバッチの均一性

製粉中不均一なサイズ分布は困難さを引き起こす。小粒はより高タンパク質レベルと水保持性があり，一方麦芽化は早い。しかしながら加工性と最終の飲料品質とは予測可能性が低い。

コンタミネーション

穀粒は，昆虫の侵入，いろいろなものの混合，カビ毒の存在，あるいはひどいカビ汚染の徴候，あるいはひどい微生物のコンタミの現地の規制による殺菌剤，殺虫剤処理も同様に検査すべきである。

穀粒のサンプリングと分析は，European Brewery Convention (Van Erde,1998) the Mitteleuropäische Brautechnische Analysenkommission (MEBAK) (Anger, 2006), あるいは the International Association for Cereal Science and Technology (ICC, 2004) のような組織により一部標準化され，出版されている。

発芽と乾燥（麦芽，任意）

明確な発芽と乾燥は，穀物あるいは疑似穀物による機能飲料の成分にとって有利なものになる。主な有利な点は：

- ・加工にはクリーニング，分類があり，より加工を簡単に予測可能なものにする。
- ・デンプン，タンパク質，細胞壁多糖類の加水分解に必要な穀粒酵素が活性化されている，あるいは放出されている。
- ・ポジティブなアロマと香り成分の存在が形成され，主にメーラード反応で乾燥中に生じる。
- ・非揮発性アロマとフレーバー成分は低下する。
- ・機能性成分が高まる（フェノール成分とともに

メーラード生成物質）

・穀粒の良好な貯蔵で水分含量は低下し，より高い乾燥温度で粒表面の微生物数は低下する（例えば窯乾燥）。

全体的には標準の大麦麦芽に用いると同じ操作を用いるが，しかし各穀物あるいは疑似穀物に適さねばならない。水分含量同様，植生時間と温度はパラメーターとして考慮せねばならない。

麦芽条件を各穀物，疑似穀物に当てはめるために，微量で麦芽試験をして麦芽製法のチェックすることが賢明である。異なった各方法はすでに出版され評価されている。さらに賢明なことは，ソフトウェアのプログラムを使ってモデル計算すると，各穀物，疑似穀物のいろいろなパラメーター変化への反応が示され，結果の品質予想をすることができる (Kreis *et al.*, 2007)。

基質の生産

飲料の品質とそのドリンクに用いられる機能性成分の数は，主に原料穀粒あるいは麦芽両方からの基質生産物によって影響される。主ゴールは，できるだけ多くの基質成分として可溶化することであり，そして加水分解された多糖類やタンパク質が発酵に望まれるレベルに達するかどうかである（もし発酵もコンセプトの一部なら）。デンプンはほとんどの穀物の主要成分である。デンプンはほとんど細胞中にあり細胞壁で囲まれており，それは他の多糖類，例えばタンパク質同様β-グルカンあるいはキシランである。経済的な納得ゆく収量を得るためには細胞壁は分解せねばならない。これは外因性あるいは内因性の酵素によって成就できる。デンプンもまた糊化されねばならない。デンプンの糊化する温度は穀物，あるいは疑似穀物によっていろいろであり，しかし最低温度はほとんど60°C以上である。基本的な加工とは，潰した粒を混ぜあるいは糊化温度で麦芽化し，そして外因性酵素を加え，あるいは別に高分子量成分を内因性酵素によって好ましい程度にまで加水分解することである。異なる温度と時間プロフィールが用いられ，つぶしたものの加熱と攪拌には基本的装置が必要となる。

固形残量と可溶化成分の混合結果は，次に固相の粒子サイズ分布による異なったシステムで分離されねばならない。分離装置あるいは遠心機を用いた単

一の分離では、残渣固形分を再び溶出できないという欠点がある。lauter (桶) やマッシュフィルターのような醸造での使用システムは、水で2-3回残渣固形物を洗浄するようにデザインされていて良い基質の回収をする。分離後、基質は酵素失活させるために高温にし、あるいはボイルし、基質成分を固定化し、滅菌する。加熱処理はアロマ成分の構築や好ましくない揮発アロマ成分を低下させるような他のプラス効果がある。しかしながらいくつかの機能成分は加熱安定ではないため、より長い加熱あるいは調理時間は、最終生産物の品質/価値に影響を与えるだろう (Kreis et al., 2005)。

発酵 (任意)

用いた生産技術により、基質は発酵糖とアミノ酸に富むようになる。ここで、コントロールされた発酵が賢明なのは高カロリー含量と直接用いるものの微生物的リスクのためである。健康宣言の概念の一部から除外するのはアルコール発酵であるが、もし飲料にある量のアルコール (殆どは 0.5%vol 以上) を含んでいて、さらにアルコール飲料が宗教的理由で禁止されているならば、ほとんどの地域の規制は健康宣言の宣伝を許可していない。過去 20 年、大変優れた仕事が乳酸発酵のための微生物スクリーン

で進められてきた (ときに酢酸発酵を伴い) (Caplice and Fitzgerald, 1999; Blandino et al., 2003; Idler et al., 2005)。発酵は pH4 以下に低下とともに、顕著にカロリー含量を低下し、糖とアミノ酸の加工により微生物的安定性を増加し、さらに他の微生物の基質供給を低下させる。低 pH は飲料のタンパク質含量に大きく影響する。低 pH である穀物や疑似穀物の水溶性タンパク質の等電点に合うにつれて、これらのタンパク質は沈殿し、飲料中の濁り形成をする。もし発酵微生物が内容物の一部でないならば、それらはろ過して除去されべきである。

混合と安定性

発酵の結果、各アロマをベースとするすっぱい無地ベースとある数の機能成分が生じる。このベースは異なる混合戦略の広範囲に用いられるだろう：

- ・炭化
- ・水あるいはジュースで希釈
- ・アロマ、香りの添加
- ・特異的タンパク質の安定化。

穀物、疑似穀物をベースとする機能性ドリンクの研究分野としては未だ幼児期にあるので、これら飲料の安定性の研究だけわずか 2-3 の研究が進んでいる。

以下、次号へ

References

- Anger, H. (2006). *Band Rohstoffe*. 1. Auflage ed. Brautechnische Analysemethoden. (2006). Freising, Selbstverlag der MEBAK.
- Blandino, A., Al-Aseeri, M. E., Pandiella, S. S., Catero, D., and Webb, C. (2003). *Food Res. Int.* **36**: 527-543.
- Caplice, E. and Fitzgerald, G. F. (1999). *J. Food Microbiol.* **50**: 131-149.
- Elmafada, I. (1998). *Ernährung des Menschen*, 3rd edn, Stuttgart, p.409.
- ICC (International Association for Cereal Science and Technology) (2004). *ICC-Standards*. Wien: Internationale Gesellschaft für Getreidewissenschaft.
- Idler, F., Seidel, B., Kreis, S., Kurz, T., and Fleischer, L.-G. (2005). In: *30th EBC Congress*. Prague.
- Kreis, S., Zarnkow, M., Back, W., and Kurz, T. (2005). In: *30th EBC Congress*. Prague.
- Kreis, S., Zarnkow, M., and Back, W. (2007). In: *31th EBC Congress*. Venice. van Erde, P.(1998). *Analytica-EBC*. Nürnberg: Hans Carl.



手網焙煎で浅煎り，深煎りブレンドの作り方

東京薬科大学名誉教授 岡 希太郎

はじめに

コーヒーの人気の高まっています。最近の傾向として、以前ほど深く煎らないで、やや酸味を残した浅煎り系の人気が高まっています。健康志向の面から、「ポリフェノールのクロロゲン酸」が浅煎りコーヒーに多いということも人気の理由かもしれません。ポリフェノールの持つ抗酸化性が「美と若さのもと」になるということで、筆者は、ブレンド法特許に基づいて「クロロゲン酸」と「ニコチン酸」を多く含んだブレンドを創作し「希太郎ブレンド」を製品化しました。

1. 浅煎りのコツ

●クロロゲン酸（CGA）は焙煎するとなくなってしまう

生豆のCGA含有量は飛び抜けて大きな数値です。ロブスタ種の豆なら10gに1g近くが入っています。アラビカ種でもその半分ぐらいは入っていますから、他の野菜などとは比べ物になりません。しかし、それほど多いCGAが深く焙煎するとなくなってしまうのです。ですからCGAの健康効果にあやかるためには、出来るだけ浅煎りにしなければならないのです。しかし、そこにはもう1つ厄介な現象が起こります。

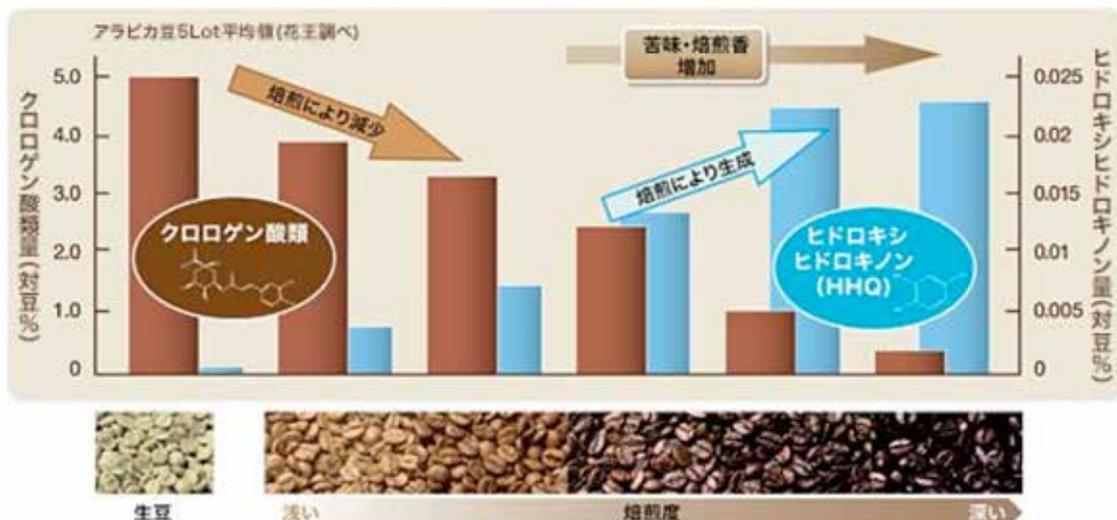


図1 コーヒー豆の焙煎による成分変化（花王食品 HP から引用）

●焙煎中にヒドロキシヒドロキノン (HHQ) ができる¹⁾

かつて花王食品の研究によれば、焙煎中に CGA が減ってくると、逆に HHQ が増えることが報告されました (図 1)。しかもこの HHQ は飲むとラジカル (活性酸素) を発生するので、CGA の抗酸化作用が打ち消されてしまうというのです²⁾。

また別の研究によれば、HHQ が CGA そのものの化学分解でできることもわかりました³⁾。この論文に載っている焙煎中の CGA の化学変化を図 2 に引用します。まず CGA が熱で 3 つに分けられ、さらに分解して小分子のポリフェノールに変わります。その中の 1 つに HHQ があるのです。このことから解ることは、図 1 の CGA と HHQ の時間変化は完全に連動して起こっているということです。

以上をまとめると、体に良い浅煎り豆の作り方が見えてきます。

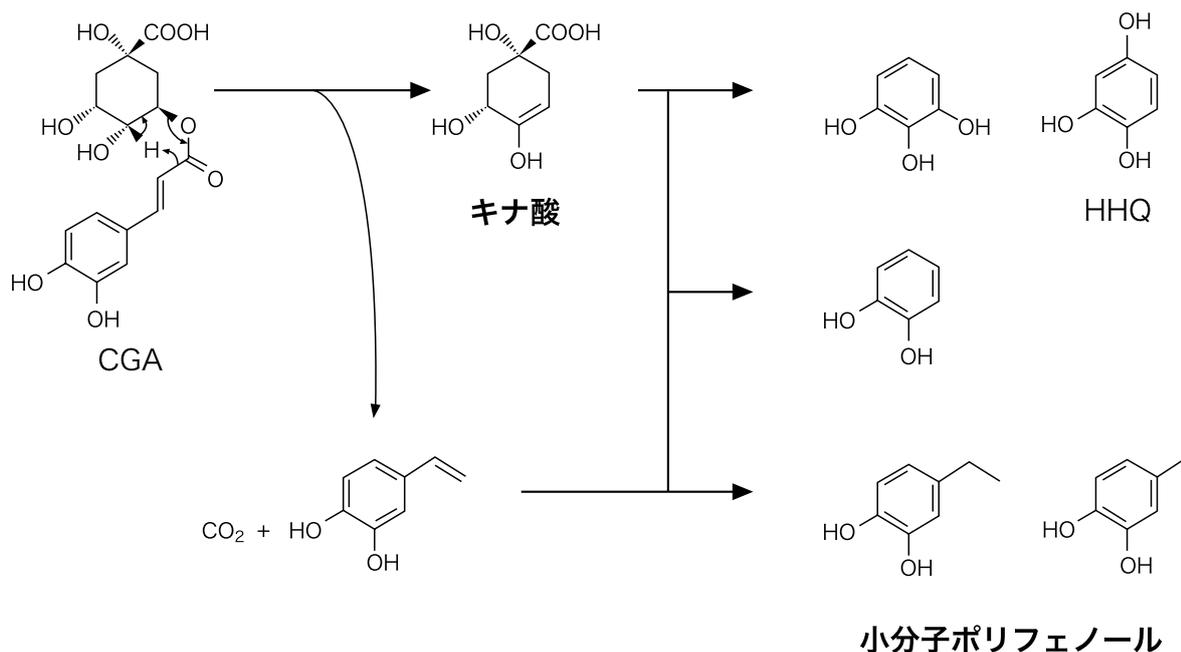


図 2 クロロゲン酸の熱分解産物

●浅煎り豆の抗酸化作用を最強にするには、生豆と同じ最大量の CGA を含み HHQ を含まない焙煎をすればよい

これを図に描いて見ましょう (図 3)。生豆を手網に入れて中火のガスバーナーにかざして加熱すると、暫くして薄黄色に色づいて、独特のナッツ臭が漂います。さらに過熱を続けると、次第に濃く色づいて、豆がはじける「パチッ」という音が聞こえてきます。第 1 ハゼ音の始まりで、このとき CGA はほとんど無傷で残っています。ここで加熱を止めることで、ポリフェノールたっぷり、HHQ がほとんどない超浅煎り豆の完成です。

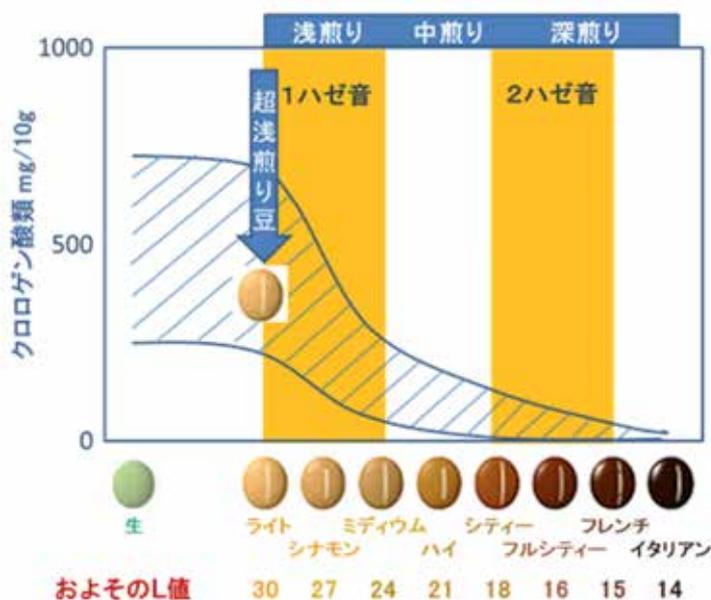


図 3 220°C焙煎中のクロロゲン酸の含有量変化

●希太郎ブレンドの超浅煎り豆は生豆に近い

量の CGA を含む超浅煎り豆である

この豆の香りとは生豆の種類によって

違ってきます。ある時は蕎麦の味，またある時はピーナッツの香りという具合に，黒褐色のコーヒーとは似ても似つかない飲み物です。ハーブ感覚で飲めるコーヒーとも言えますが，どんなコーヒーができるのかが焙煎の楽しさになるかも知れません。

2. 深煎りのコツ

「希太郎ブレンド」の目玉は，何と言ってもニコチン酸にあります。ニコチン酸の名前はタバコのニコチンを連想させるため，ビタミンの名前としては好ましくないとのことで，「ナイアシン」に改名された歴史が残っています。筆者もそろそろ呼び方を変えようと思います（以下，ナイアシン＝ニコチン酸）。ただし，ニコチン酸アミドをナイアシンと呼ぶ間違いが起こらないように気をつけなければなりません。

●ナイアシンはニコチン酸アミドではなく，ニコチン酸のことで

生豆の焙煎で，ナイアシンはトリゴネリンの熱分解でできてきます（図4）。しかし，原料のトリゴネリンの量に対してナイアシンの量は少な過ぎます。最大でも10分の1程度しかできません。少ない理由は，ナイアシンと同時にN-メチルピリジニウム（NMP）ができることです（図4）。その他の理由として，ナイアシンが高熱で昇華して揮散すること，さらなる熱分解が起こることなどもありそうです。

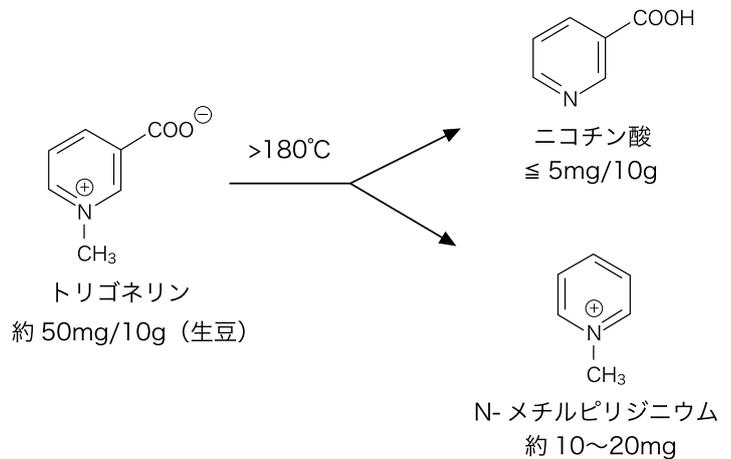


図4 トリゴネリンの熱分解

●ナイアシンを最大量に仕上げる焙煎法とは？

15年も前のことです。筆者のコーヒー初実験は「フライパンで生豆を焙煎しながら時々サンプルを抜き取ってナイアシンを分析すること」でした。データは日本特許になりましたが，何せフライパンですから再現性に欠けています。今は手網で焙煎していますが，見かねた友人の焙煎士の方が，最先端の焙煎機を使って協力してくれました。これまでに分かったことは，文献に書いてあるよりずっと低温で，150°C程度でもナイアシンはできること，2ハゼ音が終わる頃にピークを迎え，その後，煙が黙々と立つ頃には減ってしまうということです。

ナイアシンのでき方に関するこれらの知見を，前項（図3）のクロロゲン酸の変化図に描き加えました（図5）。1ハゼ音が終わる頃からナイアシンが増えはじめて，2ハゼ音が終わる頃にピークを迎えます。豆の種類や熱の掛け方によって正確に予測することは困難ですが，ハゼ音は最も確かなサインになります。しかし判断はなかなか難しいのも確かです。

他にも使えそうなサインがあります。図6は希太郎ブレンドの例示です。左端は浅煎りと深煎りの出来上がりです。この深煎りの出来上がりは2ハゼ音で判断したので

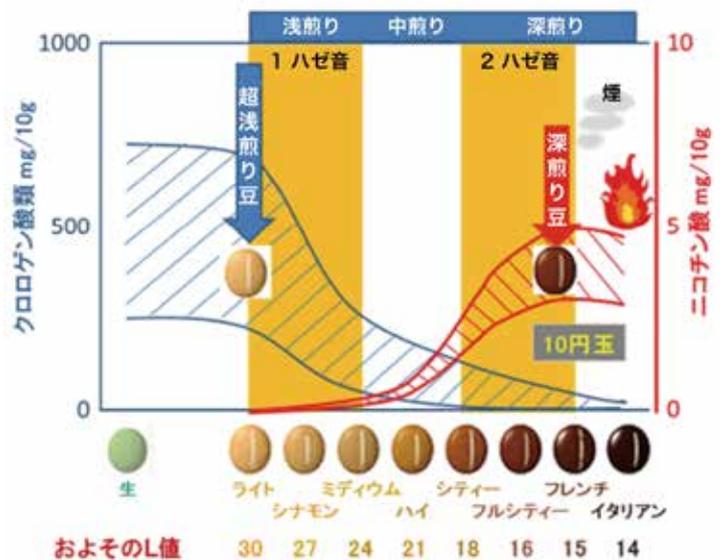


図5 220°C焙煎中のクロロゲン酸の含有量変化とニコチン酸の含有量変化



図6 希太郎ブレンドの例示

が、そのとき同時に、手網から飛び出してくる胚乳のかけらがありました（図6中）。このかけらは円形で、俗称「10円玉」と呼ばれています。乾燥した胚乳が熱ではじけて飛んだものなので、残っている豆の方には10円玉の穴が残ります（図6右）。「2ハゼがそろそろ終わりかな」と感じたとき、この10円玉が飛び出したら終わりの合図と見做すのです。

この終わりの合図に気づかずに焙煎を続けていると、煙が立ち始めて、豆の表面にオイルが染みだし、テカテカ光って見えてきます。この状態はナイアシンが昇華したり分解し始める合図です。深煎り独特のコクを求めるならいざ知らず、ナイアシン含有量の観点からは焼き過ぎになってしまいます。

●それでも焼き続ければ発火する

2ハゼ音が終わる頃から、豆の状態は秒刻みで変化します。図5にそれらの変化をまとめて示しました。手回し焙煎の達人と呼ばれる大坊勝次氏（写真1）によれば、「この頃のある一瞬に甘味を感じる豆ができる」のだそうです。氏の手回し焙煎は非常にゆっくりと焼き上げるので、筆者の手網やフライパンと比べると、ナイアシンのでき方も大分違うかもしれません。「ナイアシン含有量」に焦点を当てて焙煎の技を探ってみると、誰も知らないコーヒーの魅力が見えて来ます。



写真1 手回し焙煎の達人 大坊勝次氏

3. ブレンドのコツ

「浅煎りのコツ」と「深煎りのコツ」を書きました。では、いよいよ「ブレンドのコツ」を説明しましょう。

●希太郎ブレンドの超浅煎りと深煎りの割合は、クロロゲン酸とニコチン酸の量で決める

超浅煎り豆をブレンドする目的は、薬理的に有用な量のクロロゲン酸を摂るためです。と言っても薬ではないので正確な量は不明ですから、これまでの論文から総合的に判断するしかありません。

●超浅煎り豆には1杯10gあたり300～400mgのクロロゲン酸が入っている（自験）

花王の研究によれば、1回に150mgで血圧降下が見られるので、この量なら希太郎ブレンドに50%ブ

ブレンドすればよいこととなります。1日3杯飲むとしたら33%ブレンドすれば、1回100mg、3杯で300mg摂れるので、1日のクロロゲン酸量としては満足すべき数値です。花王のヘルシア缶コーヒーの含有量を若干上回っています。そこで数字の端数を捨てて、超浅煎りのブレンド比は30%以上ということにします。図7に希太郎ブレンド3:7の円グラフを示します。

次に、深煎り豆のニコチン酸について考えましょう。こちらはビタミンなので、1日に必要なVB3の量が定められています。男性で15mg、女性なら10mgです。ただし、VB3にはニコチン酸アミド（コーヒーにはない）もあるので、その点に配慮が必要です。

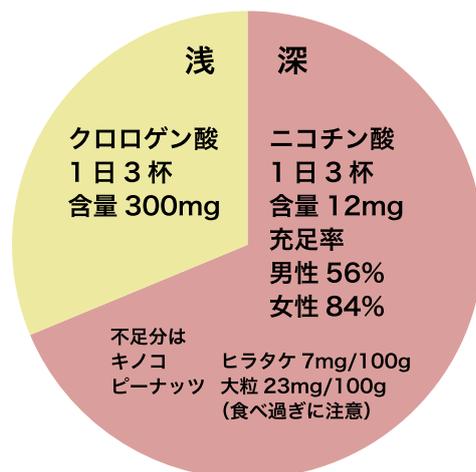


図7 希太郎ブレンド3:7の成分含有量

●深煎り豆のニコチン酸含有量は、1杯10gあたり最大5mg

しかし、これだけの量を含む焙煎はなかなかできません。筆者の経験では手網焙煎では4mgが妥当です。それでも1日3杯飲めば12mgになりますから、男性なら必要量の80%、女性なら120%に相当します。しかし、クロロゲン酸も摂るとなると、深煎りの割合は最大70%なので（図7を参照）、結局ニコチン酸の1日充足率は男性の場合56%、女性なら84%となります。つまりコーヒーだけで必要なVB₃を充足することはできません。

では、ここでコーヒーと食事との関係を復習します。ミトコンドリアを元気にするVB₃は、補酵素NADになって働きます。ニコチン酸はNAD前駆体の1つで、コーヒーの他にキノコとピーナッツとお米にも含まれています。大豆にもありますが、量はずっと少なくなります。もう1つのVB₃はニコチン酸アミドです。他にアミノ酸のトリプトファンも前駆体ですが、NADへの変換率はトリプトファン量の60分の1なので、これは無視することになります。そうすると、ニコチン酸とニコチン酸アミドの関係を、加齢現象も含めて知っておく必要がありそうです。

●コーヒーを飲まない人は、キノコとピーナッツとお米だけからニコチン酸を摂っている

NAD前駆体としてのニコチン酸摂取量は決して多くありません。それでも若い人ならVB₃欠乏症にはなりません。その訳は、NAD前駆体としてニコチン酸アミドを利用しているからです。

●若いうちなら、コーヒーを飲む人のNAD前駆体はニコチン酸とニコチン酸アミドの両方なので十分に充足している

希太郎ブレンドのニコチン酸で不足する分は、ニコチン酸アミドをたっぷり含んでいる肉と魚で賄えばよいということになるのです。問題は高齢になってからで、この場合はニコチン酸アミドはあってもないようなものなのです。

●高齢者の希太郎ブレンドは、深煎りを増やす必要があるが、クロロゲン酸とのバランスでブレンド率は70%までである

そしてニコチン酸アミドが役に立たないというならば、さらなる工夫が必要です。コーヒーの杯数を増やすことはできません。何故なら飲み過ぎは薬と同じで「諸刃の剣」になるからです。そこで考えられるのは、コーヒー以外にニコチン酸を含んでいるキノコとピーナッツと、肥らない程度のお米です（図7お米は抜いてある）。

●食用キノコは培養できるので四季を通じて食べられる

キノコは種類も豊富ですから料理のレシピを工夫すれば色々使えるし楽しめるというわけです。中でも価

格も安いヒラタケは50gで深煎り1杯に相当するので、ニコチン酸供給源としてはまたとない食材なのです。お米は含有量がまちまちです。

●大粒ピーナッツのニコチン酸含量は多いが、ピーナッツオイルの摂り過ぎには要注意:1日10粒までが無難
ピーナッツが血管を丈夫にするとのデータがあります⁴⁾。その理由として、かつてNHK総合TV「ガッテン!」がピーナッツオイルの効能として放送しました。しかしこれが大間違いであったことは明らかで、本当の理由はピーナッツに高濃度に含まれているニコチン酸が役に立っているのです⁵⁾。

以上は、クロロゲン酸とニコチン酸の比率、及び加齢に視点を置いた考察です。しかし、どんなコーヒーを飲むかについて、誰にでも当てはまる決まりはありませんし、第一に美味しくなければ飲みたくありません。

●希太郎ブレンド3:7は1つの基準に過ぎない

比率を色々に変えて自分に合った味を見つめる楽しみがあります。料理によって、体調によって、コーヒーの味が大きく変わることへの驚きも実感できます。さらに、退職して時間ができたら、自分でコーヒーを焙煎するのもお勧めです。自分の名前をつけた自慢のブレンドを他人に振舞う生活習慣が、予期せぬコーヒーの付帯効果として認知症の予防になるのです。

4. 抽出のコツ

●超浅煎りと深煎りを混ぜて挽くには、白式ミルを使うのが良い

「抽出のコツ」についてお話しする前に超浅煎り豆の挽き方についてちょっと注意することがあります。超浅煎り豆と深煎り豆の硬さには大きな差があって、一緒に混ぜてプロペラ式ミルで挽くと粒度に差が出てしまいます(図8左)。超浅煎り豆は硬くて粗く、深煎り豆は柔らかで細かくなってしまいます。ですから浅煎り豆に多いクロロゲン酸の抽出率が下がってしまいます。白式ミル(試してみたのはテスコム電機製)なら強靱な刃で擦り切るのので、硬い豆も同じように挽けるのです(図8右)。白式でも使用中に破損する製品があるので要注意です。

●抽出器具 断凸の1番は「ドリップ式」

顆粒の準備が整ったら、いよいよ抽出が始まります。抽出の道具には色々ありますが、健康に良くかつ美味しいコーヒーを淹れるにはドリップ式が1番です。ネルでも紙でも大差はありません。では何故ドリップ式が良いのかと言いますと、オイルに溶けている旨味の成分だけを抽出して、オイルにしか溶けない悪玉ジテルペンはそのままオイルに置いてくるからです。

わかり易く実験してみましょう。なるべく深く煎った豆の顆粒をカップに入れて、そこに熱湯を注ぐと大なり小なりオイルが浮いてきます。これをそのまま飲むとオイルとジテルペンと一緒に口に入ります。トルココーヒーの飲み方です。そこで、このカップの中身をペーパーフィルターに通してみると、ろ液の表面にオイルはありません。

では、最初からドリッパーを使って抽出してみましょう。ろ紙もネル(木綿)もセルロースなので大した違いはありません。目には見えませんが、オイルがろ紙やネルのセルロース繊維に絡まってそこに留まります。ゆっくりと湯を注ぐことで、



図8 希太郎ブレンドのミル効果

オイルに溶けている香りと旨味だけが湯に移って抽出されます。オイルは湯に溶けないので最後まで繊維に絡まって、そこに悪玉ジテルペンが残ります。その様子を描いて見ました (図9)。

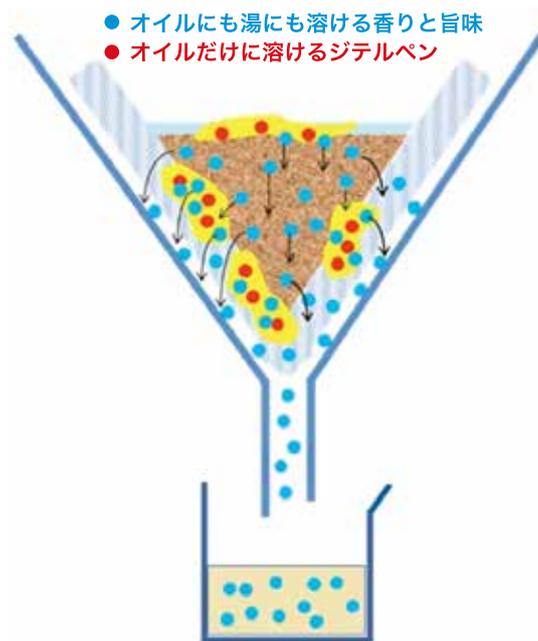


図9 ドロップ式でのジテルペンの動き

●悪玉の量は道具で変わる

抽出の道具を変えると抽出液中のジテルペンの量が変わってきます。オイル中のジテルペンにはカフェストールとカーウェオールの2つがあって、オイルと一緒に動きます。抽出液にオイルが多いと、ジテルペンの量も多いのです。図10をご覧ください。北欧の煮出しコーヒーと中東のトルココーヒーは、抽出液の表面にオイルが浮いて、ジテルペンも大量に含まれています。その量は、プランジャー、モッカ、エスプレッソの順に減少して、一番少ないのはドリップ式です。ネルのデータはありませんが、ソックコーヒーの木綿やペーパーフィルターのデータと同じ程度と思われまます。まとめると、コレステロール値に影響しない抽出法とは、ろ紙でもネルでもドリップ式に限ります。

●湯の量が少ないほど味が良く確かな効き目

では、次に健康に良い影響を及ぼす成分を抽出します。図11をご覧ください。先ずはこのグラフを描いた実験です。深煎りした焙煎豆40gを中挽きし、ペーパーフィルターに乗せて湯を注ぎます。抽出液を20mLごとに分取しながら280mLを注いで、240mL(12分画)を回収しました。分画ごとにNMRスペクトル

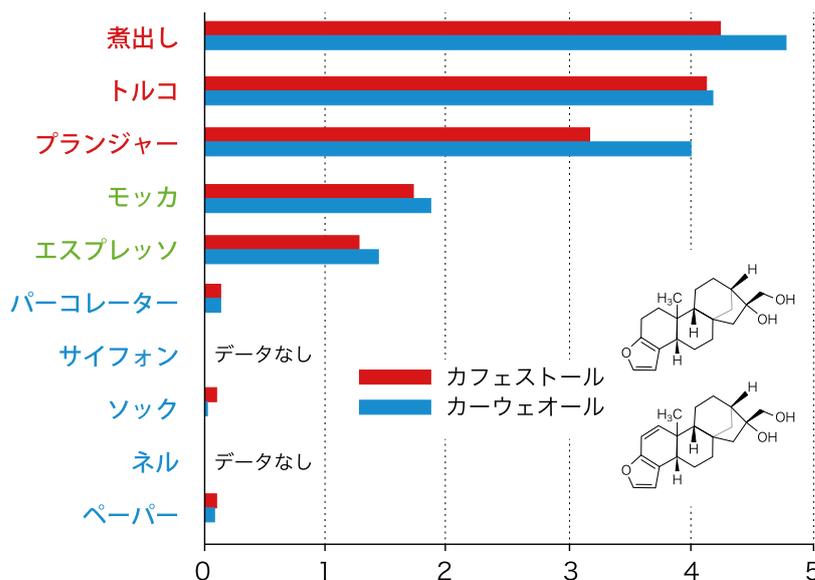


図10 抽出方法で異なるジテルペンの量 (mg/杯)

を測定して、化合物①~⑨のシグナル面積を測定し、相対的な濃度比(対数表示)として作図しました。

図11から色々なことが解ってきました。実験に使った豆は深煎りなので、クロロゲン酸は含まれていません。カフェイン②と未知の苦味/渋味⑨を除くと、その他の成分はほぼ同じような形のグラフになります。①の濃度は分画2と3で最大値で、分画7と8の間で100分の1に減りました。ほとんど(100%)が出終わったことがわかります。③と⑤~⑧も分画8までに終わっています。④は出終わってはいませんが、分画3の10分の1以下になっていました。

分画8でも出続けていたのは②のカフェインです。とは言えカフェインは主成分である上に、多く摂り過ぎると問題が発生するリスクをはらんでいます。ですから分画7または8辺りで抽出を終わらせることが、カフェインの摂り過ぎを防ぐ賢い方法と言えるのです。

では、味はどうかと言いますと、オイルに含まれている香りの成分(良い味)は、種類が多く個々の量が微量なので、NMRでは正確に分析できません。しかし、オイルにも湯にもよく溶けるので、もし図11に描

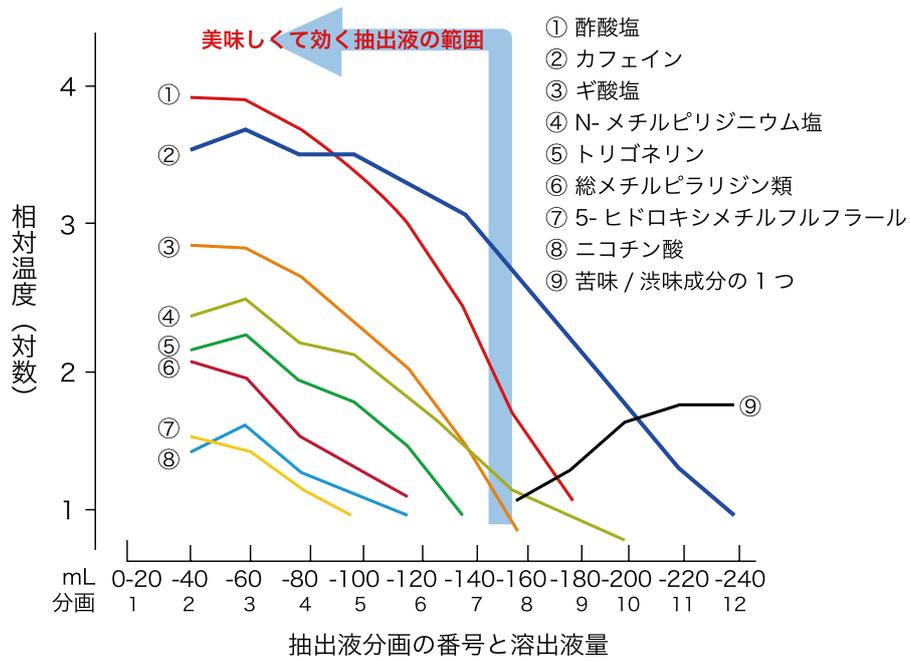


図 11 コーヒー顆粒 40 g の成分抽出曲線

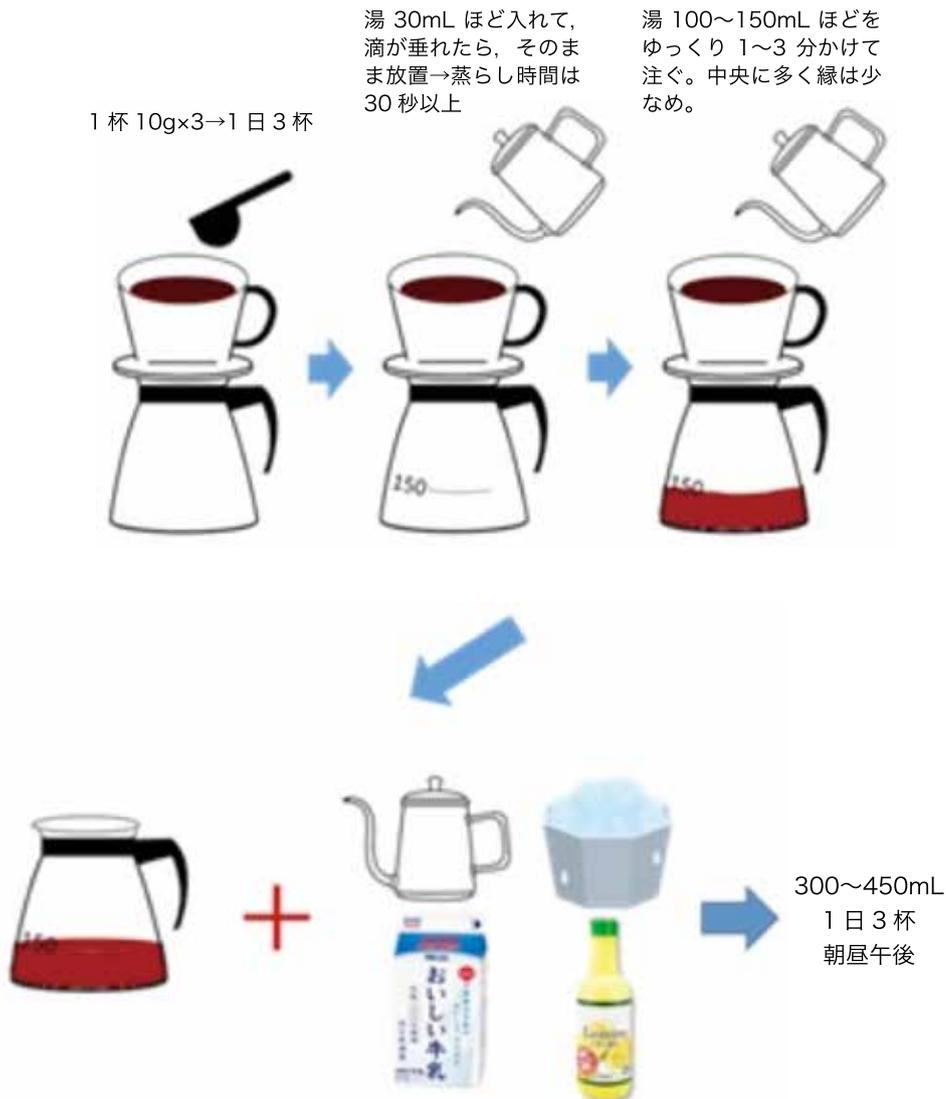


図 12 濃く淹れて薄めて飲む

けば似たような形になっていると考えられます。逆に⑨は悪い味の成分なので，湯量を減らせば抽出せずに済むのです。

文献に書かれている抽出液の感性テストによれば，ドリップ式では「最初に流れ出る溶液の味が最もよい」となっていますから，顆粒のなかではオイルに溶けている良い味の香りの成分が，最初に流れ出ているはずなのです。

以上をまとめると「良い味で効き目も確かな成分は早く流れ出してくる」。

●コーヒーは濃く淹れて薄めて飲む

浸漬法で美味しいコーヒーを淹れるには、「濃く淹れて薄めて飲む」と最初に言ったのは，日本コーヒー文化学会会員の高木誠氏でした⁶⁾。

同じことがドリップ式でも成り立ちます。ドリップ式では1杯分に当たる10gの豆の効き目の成分を抽出するのに，40mLの湯が必要です(図11を参照)。言い換えればそれ以上の湯は無駄になるどころか，不味い成分まで抽出してしまいます。流せば流すほど味は落ちてくるのです。それでは1杯の湯量が少な過ぎて物足りないというときには，40mLの抽出液を好きな量まで湯で薄めればよいのです。つまりドリップ式でも「濃く淹れて薄めて飲む」というコンセプトが成立しています。

図12をご覧ください。1日3杯のコーヒーを飲むとして，30gをドリップするときの説明です。3杯とは，薬と同じように朝・昼・夕に飲む分です。そして120ミリリットルが流れたら抽出終了ですが，ある程度の幅が出て問題はありません。ここでは我が家のドリッパーのメモリに合わせて150になっています。

●濃く淹れたコーヒーを薄めるには色々な方法がある

図12には，湯，水，牛乳，レモン汁を書きましたが，これらの他にも好き好きで選べばよいのです。ただし，もし問題があるとしたら，アルコールや甘い飲み物で薄めることは，人によっては問題です。糖尿病が怖いとか太りたくないという人は甘いものは避けるべきですし，肝臓に問題があればアルコールは避けるべきなのです。

最後に，コーヒーは至って文化的な飲みものですから，個人の好みで自分に合ったコーヒー探しをお楽しみください。

参考文献

1. ポリフェノール研究1 コーヒークロロゲン酸類：コーヒー風味成分の探求，花王食品 <https://www.kao.com/jp/nutrition/about-cga/cga05/>
2. ポリフェノール研究1 コーヒークロロゲン酸類：クロロゲン酸類の血圧改善効果，花王食品 <https://www.kao.com/jp/nutrition/about-cga/cga07/>
3. Christoph Müller, Roman Lang, Thomas Hofmann: Quantitative precursor studies on di- and trihydroxybenzene formation during coffee roasting using "in bean" model experiments and stable isotope dilution analysis, *J Agric Food Chem.* **54** (26): 10086-10091. 2006.
4. Ying Bao 1, Jiali Han, Frank B Hu, Edward L Giovannucci, Meir J Stampfer, Walter C Willett, Charles S Fuchs: Association of nut consumption with total and cause-specific mortality, *N Engl J Med.* **369** (21): 2001-2011. 2013.
5. 永井俊哉ドットコム：ピーナッツは健康に有益か <https://www.nagaitoshiya.com/ja/2017/peanuts-harvard/>
6. 高木誠のホームページ：<http://www2c.airnet.ne.jp/myty/>

城西大学薬学部 白瀧 義明 (SHIRATAKI Yoshiaki)

ガマ *Typha latifolia* L. (ガマ科: Typhaceae)

連絡先: 城西大学薬学部
shiratak@josai.ac.jp

暑かった夏が過ぎ、秋の気配が漂い始めた頃、池や沼の畔を歩いていると、まるでソーセージを串に刺したようなものを見かけます。いわゆる「ガマの穂」です。ガマ(蒲、中国名:香蒲)は、ガマ科に属する多年草の抽水植物で、北半球の温帯から熱帯の温暖な地域、さらにオーストラリアに分布し、日本では北海道・本州・四国・九州の水辺に自生しています。別名をミスクサ、ミスクサ、ミスグサ(御簾草)、キツネノ口ウソク(狐の蝋燭)ともいい、古くはカマとよばれ、その語源としてガマの葉を編んでむしろや敷物を作ったことから朝鮮語のカム(材料)に由来するとの説があります。ガマは高さ1~2m、茎は浅い水底の泥の中の根茎から直立し、葉は線形で厚く、下部は鞘状に茎を抱き、断面は三日月形、内部はスポンジ状です。花は6~8月に咲き、葉よりも高く茎を伸ばし、頂に円柱形の花穂^{かすい}をつけ、上部は黄色い花粉をまき散らす雄花穂^{ゆうかすい}、下部の緑色部は雌花穂^{し かすい}で、雌雄花穂はつながってついています。穂の上半分の雄花穂は細く、長さ7~12cm、開花時には黄色い葯が一面に出る風媒花です。花穂の下部の雌花穂は、長さ10~12cm、直径は約6mm、雄花も雌花も花びらなどはありません。花が終わると、雄花は散って軸だけが穂の上に立ち、雌花穂は茶褐色になり1.5~2cmと太く、ソーセージに似た形の「ガマの穂」になります。雌花は結実後、綿クズのような冠毛を持つ微小な果実となり、果実は、長い果柄の基部に穂綿^{ほわた}となる白い毛がつき、晩秋になると、「ガマの穂」がほぐれて風によって飛散し、水面に落ちると速やかに果実から種子が放出されて水底に沈み、そこで発芽します。種子はわずかな衝撃によって果実から飛び散ったりします。

ガマで最も有名なのは、日本最古の歴史書とされる『古事記』(712年)の中の「因幡の白兔」の説話に登場することです。『古事記』の「因幡の白兔」では、毛を



写真1 ガマ(雄花穂から花粉の出る頃)

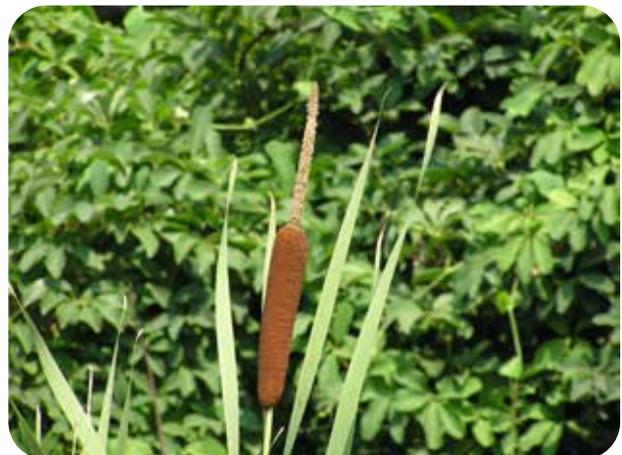


写真2 ガマ(雌花穂の熟する頃)



写真3 ヒメガマ (花)



写真4 ヒメガマ (雄花穂と雌花穂のくびれ)



写真5 ヒメガマ (花と花粉)



写真6 ほぐれたガマの穂

むしり取られた白兔に、^{おおなもちのかみ}大穴牟遲神（大己貴神、^{おおくにぬしのみこと}大国主命）が、次のように教えます。【今急往此水門，以水洗汝身，即取其水門之蒲黄，敷散而，輾轉其上者，汝身如本膚必差：今すぐ水門（河口）へ行き，真水で体を洗い，その水門の蒲の穂をとって敷き散らして，その上を転がって花粉をつければ，膚はもとのように戻り，必ず癒えるだろう。】毛をむしり取られた白兔が包まれたのは，ガマの穂綿で，また，ヒメガマ *T. domingensis* は海の近くにも生えることからガマはヒメガマではないかとの説もありますが，いずれにせよ，この話は日本最古の薬物治療のことが記されていることとなります。

ガマ，コガマ *T. orientalis*，ヒメガマの雄花穂から出る花粉は，ホオウ（蒲黄，Typhae Pollen）といい，止血作用，通経作用，利尿作用があるとして，漢方では，^{ほかいさん}蒲灰散，^{ほおうさん}蒲黄散などに配剤されます。外傷には傷面を清潔にして花粉そのままつけてもよいとされ，成分としては，フラボノイドの isorhamnetin やフラボノイド配糖体，脂肪油の palmitic acid, stearic acid など，植物ステロールの β -sitosterol，糖類として glucose, sucrose などが報告され，成分のフラボノイドは，血管を収縮させて出血を止め，脂肪油が外傷の皮膚面を覆い，空気に触れないようにすると考えられます。さて，日本には，ガマの他に草丈 1 m 位のコガマ，草丈 1.7 m ほどのやや小さいヒメガマの 3 種があります。これらは日本全土の池や沼に分布し，花期は 6～8 月，



写真7 因幡の白兔



写真8 生薬：ホオウ（蒲黄）

ガマが最も早く開花します。ガマは雌花序と雄花序が連続しており、雌花序の長さが10～20 cmと長く、コガマは、6～10cmと短めです。ヒメガマは雌花序と雄花序の間が数 cm 離れていて花茎の軸が見えます。ガマの花粉を顕微鏡で見ると、4個の花粉が正方形に1列に並んで合着しているのに対し、コガマとヒメガマは、花粉が1個ずつ単独となっています。その他、ガマは昔から、若葉を食用、葉や茎はむしろや簾の材料として使われてきました。雌花の熟したものは綿状（毛の密生した棒様のブラシ状）になり、これを穂綿ほわたとよび、火打ち石で火を付けていた時代には、穂綿に硝石をまぜて「ほくち」として用いることがありました。その他、ガマの穂を乾燥させて、蚊取り線香の代用としたり、茎、葉は、樽作りで、樽材の隙間に噛ませ、パッキンとして利用されることもありました。「蒲の穂」は「かまぼこ（蒲鉾）」の語源でもあります。昔の「かまぼこ」は現在の形とは異なり、細い竹にすり身を付けて焼いた食べ物を指し、現在の「ちくわ」にあたり

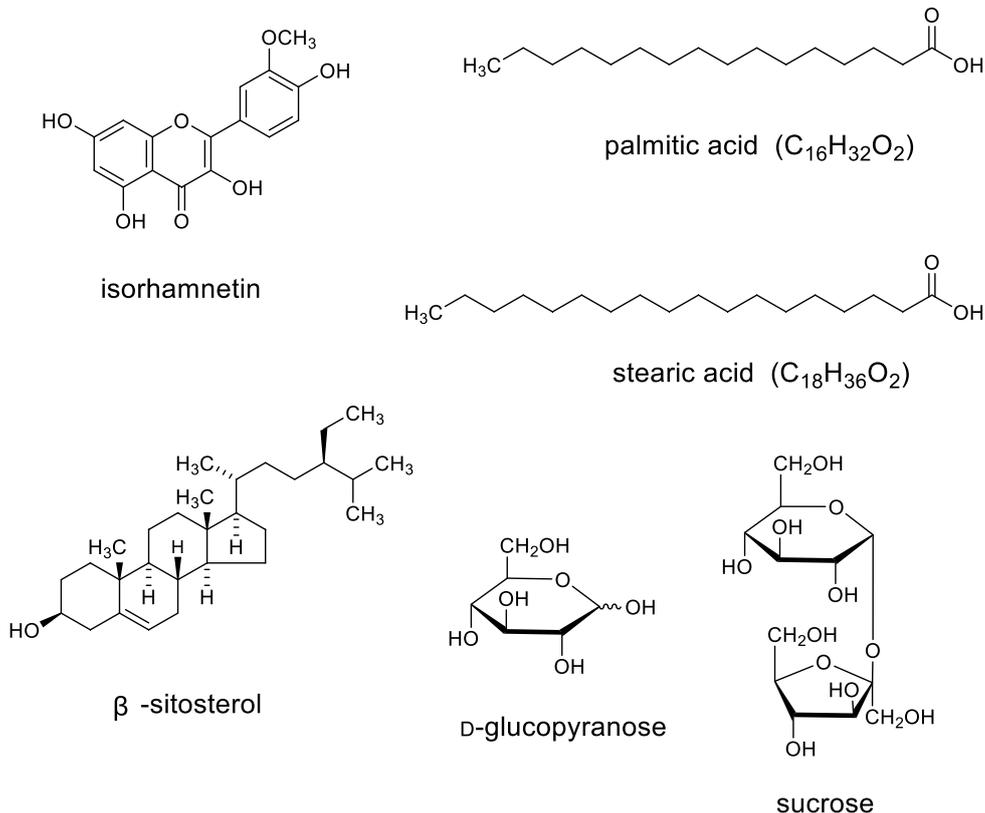


図1 成分の構造式

ます。「ちくわ」と蒲の穂は色と形が似ていて、^{ほこ}茅のように見えるガマの穂先は「がまほこ」といわれています。「蒲焼き」も、昔はウナギを開かずに、筒切りにして棒に差して焼いていたので、その形がガマの穂に似ていたことから「蒲」の字が当てられています。「布団」も元来は「蒲団」と書き、江戸時代以前は、スポンジ状の繊維質が入った丈夫で柔らかなガマの葉を編んで平らな敷物をつくったそうです。その他、ガマはニカメイガなどの蛾の幼虫の食草で、魚の産卵場所や避難場所となり、栄養塩類の除去などの水質浄化にも役立っています。

参考までに、唱歌「大黒様」を紹介しましょう。

唱歌「大黒様」

作詞：石原和三郎

作曲：田村 虎蔵

1. 大きな袋を肩にかけ 大黒様がきかかると
ここに因幡の白兔 皮をむかれて赤はだか
2. 大黒様はあわれがり きれいな水に身を洗い
蒲の穂綿にくるまれと よくよく教えてやりました
3. 大黒様の言うとおりに きれいな水に身を洗い
蒲の穂綿にくるまれば 兎は元の白兔
4. 大黒様はだれだろう 大国主のみこととて
国をひらきて世の人を たすけなされた神様よ



デンマークのシナモンパン

8月は日本では夏の真っ盛りですが、ここデンマークでは8月には夏休みもおわり、少しずつ秋めいてくる季節です。デンマークの田舎道を天気の良い日に車で走れば、収穫間近の金色に輝く畑が見られます。

さて、今回はデンマークのシナモンパンについて紹介したいと思います。シナモンパンは、デンマークの子供から大人まで幅広い層に人気の菓子パンです。日本でもシナモンロールやシナモンパンなど、パン屋さんで売っていますから珍しい品物ではないですが、ここデンマークではシナモンパンはいろいろな場面に登場するパンで、その形や味のバリエーションもさまざまです。シナモンパンは、香ばしいKanel Remance (Kanelはシナモンというデンマーク語)

というシナモンをつかったクリーム状の甘いペーストをパンにはさみ入れたり、塗ったりして焼き上げます。Kanel Remanceは、クリーム状にしたバターと、シナモン、砂糖をまぜてつくります。Kanel Remanceのレシピの一例を紹介すると、バター200グラムにつき、砂糖200グラム、シナモンパウダーを20グラムまぜます。この分量もみてもわかるように、甘くてオイリーなので、健康食材とはいえませんが、おいしいことは間違いなしです。このKanel Remanceを使えば、さまざまなシナモンパンができます。



収穫間近の小麦畑はデンマークの8月の風景

Kanel Brød (シナモンパンの意味)は、長四角のパンで、厚めにスライスしてそのまま食べても、さらにバターを塗って食べてもおいしいパンです。Kanelsnegle (シナモンカタツムリの意味)は、Kanel Remanceのたっぷり塗られた長細い生地を渦巻きのようにぐるりとまるめて焼いたものです。その上にはさらにチョコレートアイシング(チョコレートと



Kanelstang や Kanelsnegle が並ぶパン屋さん

パウダーシュガーを溶かしたもの)がまぶされているものもよくあります。Kanelstang (シナモンスティック)は、やや薄めの長い四角のパン生地の中に、Kanel Remanceとさらにバニラクリームが入ったものです。ずっしり甘いパンですが、表面には砂糖のアイシングがたっぷりと塗られてることが多いので、カロリーがとても高いパンでしょう。通常それをスライスしたものを、複数的人数で分けて食べます。朝ごはんのあとのデザートや、午後のお菓子の時間など、友人や家族、同僚との集まりにもよく登場するパンです。



Kanelnurrer は家庭で手作りできる



パン屋さんに飾られている、お洒落なシナモンロールの写真



ギフラーはスーパーで買える人気のおやつ

Kanelnurrer（シナモンくるくる巻き、というような意味）は、長い生地をぐるりとひねってまるめたもので、Kanel Remanceの黒い色とパン生地の白色が交互になったものが、さらに立体的に重なりあい、見ごたえのあるパンになります。このパンには、カルダモンパウダーが入っていることが多いため、エキゾチックなカルダモンの香りとシナモンのいい相性を楽しむことができます。

シナモンパンは家庭で手作りすることもあります。カフェやパン屋さんに売られているシナモンパンの種類の豊富さに感心しながら、いろいろなタイプを試してみるのもいいと思います。パン屋さんそれぞれに自慢のシナモンパンがあるはず。パン屋さんでは、Kanelstangなど、一人一つ食べるようなパンは、一つ20クローネくらい（350円くらい）で、Kanelstangなど、長いものをスライスして食べるような大きなものは、60クローネくらい（1000円くらい）で売っています。

また、スーパーには、シナモンパンをさらにお手頃にした商品もあります。たとえば、Gifflar（ギフラー）は、シナモンパンを一口サイズ（実際には3口くらい）にしたものです。パッケージされており、日持ちもして、手軽に持ち運べるおやつとしても便利です。通常のシナモンパン同様に甘くてずっしりしているため、数個食べればおなかがいっぱいになってしまうかもしれません。Gifflarは、デンマーク人ならだれもが知っているおやつなので、どこでも手軽に買うことができます。

このようにシナモンパンといっても、デンマークにはさまざまな種類のシナモンパンがあります。カフェやパン屋さんで、デンマークのシナモンパンのさまざまな形や味に感動しながら、自分のお気に入りのシナモンパンを見つけるのも楽しいかもしれません。

480 ページ超の大迫力！
業界第一人者が集結！
チーズ研究の必携書

チーズ研究の頭脳集結！
熟成した研究成果を、
じっくり書き上げた
問い合わせ殺到の
究極のチーズ技術書！

PDF 版いよいよ
発売!!お問合せは
エヌエフアイまで

- B5版/496ページ
- 定価:(本体4,500円+税)
- 発行:エヌエフアイ



現代チーズ学

編
集

齋藤 忠夫 東北大学大学院農学研究科
堂迫 俊一 雪印乳業株式会社 技術研究所
井越 敬司 東海大学農学部

現代チーズ学 目次

1. チーズの歴史、食文化、分類および生産	
1.1 チーズの起源と歴史	大谷 元
1.2 チーズの食文化	村山 重信
1.3 チーズの分類と名称	村山 重信
1.4 世界のチーズの生産・輸出入と消費	伊藤 晋治
2. チーズの基礎科学	
2.1 乳の成分科学	石田 光晴
2.2 チーズ製造の基本フロー	齋藤 忠夫
2.3 乳酸菌スターターの科学	宮本 拓
2.4 キモシンによる凝乳機構	阿久澤良造
2.5 チーズの熟成機構	井越 敬司
3. チーズの製造技術と衛生管理	
3.1 クリームチーズ	岩附 慧二
3.2 モッツアレラチーズ	橋本 英夫
3.3 カッテージチーズ	久米 仁司
3.4 熟成型チーズ	田中 穂積
3.5 キモシン酵素利用の現状	高見 修平
3.6 プロセスチーズ	川崎 功博
3.7 チーズの包装技術	佐々木敬卓
3.8 チーズ製造の衛生管理	柳平 修一 鈴木 明 花形 吾朗
4. チーズの機能性	
4.1 チーズの微細構造	木村 利昭
4.2 一次機能	根岸 晴夫
4.3 二次機能	井筒 雅
4.4 三次機能	堂迫 俊一
4.5 チーズとホエイに含まれるタンパク質の免疫科学	大谷 元
5. ホエイ成分の高度利用	
5.1 チーズホエイとその成分別調製技術	元島 英雅 野島 一晃
5.2 機能性オリゴ糖	浦島 匡
5.3 機能性ホエイ味噌	六車三治男
6. チーズの諸制度と知的財産権	
6.1 チーズの規格基準と表示規制	石田 洋一
6.2 チーズの知的財産権	工藤 力
7. 近未来のチーズ学	
7.1 チーズ製造技術の変遷と進歩	相澤 茂
7.2 近未来のチーズ製造技術	市橋 信夫
7.3 新しいタイプの機能性チーズの開発	松尾 光郎
7.4 スターター乳酸菌における遺伝子組替え技術の応用	佐藤 英一

お申し込み・お問い合わせは、
FAX・お電話・WEBにて

電話：042-312-0836

FAX：042-312-0845

エヌエフアイ合同会社

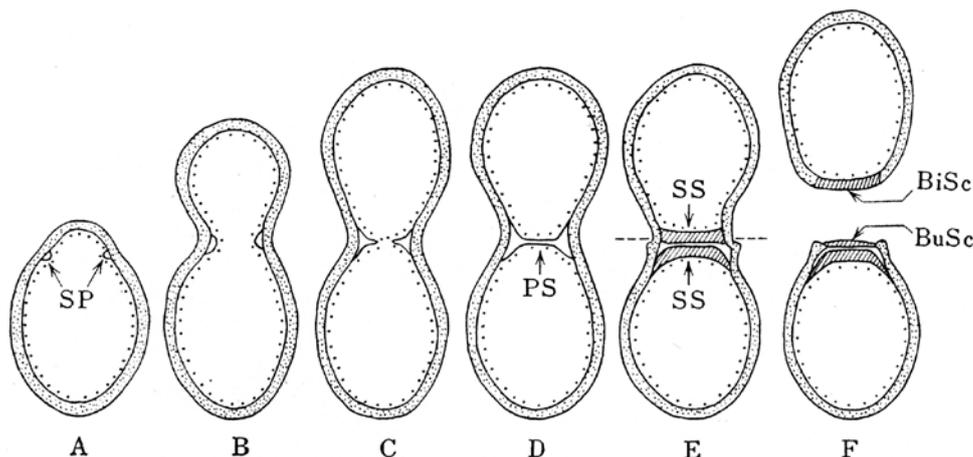


図2 酵母 (*Saccharomyces cerevisiae*) で見られる出芽増殖の模式図

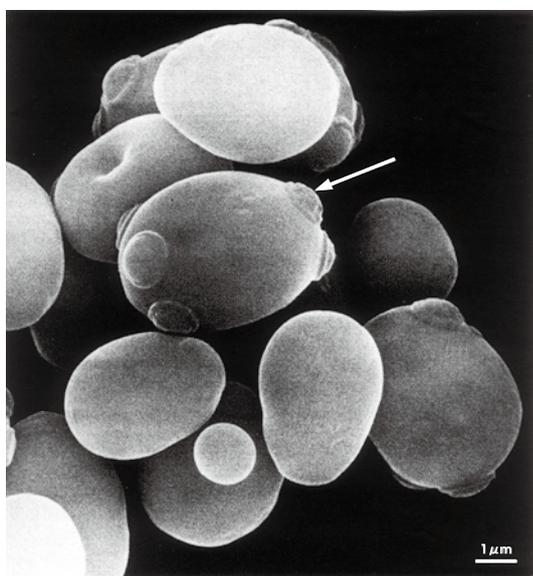


図3 酵母 (*Saccharomyces cerevisiae*) で観察される出芽痕 (←)

(柳島, 大嶋, 大隅編, 「酵母の解剖」, p8, 講談社, サイエンスティフィク, 1981 から引用)

新しい環境の中で増殖 (proliferation) を始めるが、個々の細胞に注目すると、若さに違いがある。*L. starkeyi* が所属している子囊菌系酵母の多くは、ひとつの成熟細胞の外側からふくらみを出し、それが大きく育つ経過を経て (出芽: budding) 新しい細胞として完成させる (図2)。これを出芽増殖とよんでいる。芽を出した細胞を母細胞 (mother cell), 出芽でできた新しい細胞を娘細胞 (daughter cell) と呼んでいる。出芽してきた娘細胞が成長して新しい個体として独立生活ができるようになる (成熟する) と、母細胞から分離するのが普通である。

母細胞が娘細胞を出芽させた部分には、月面のク

レーターに似た痕跡 (出芽痕: bud scar) が残り (図3), その出芽痕を避けて次の出芽がおこる。したがって一個の酵母菌体から無限に出芽できるわけではない。独立したばかりの若い酵母菌体は次々と出芽増殖できるが、既に幾つもの娘細胞を分離した酵母の出芽は緩慢になる。

2-2. *L. starkeyi* はどのような時期に油脂の蓄積を始めるか

種菌として培地に接種された酵母 *L. starkeyi* には、独立して間もない若い娘細胞と何回も出芽させて老化が進んだ母細胞が混じっている。それゆえ、培養液全体としてみれば、老若それぞれの細胞の出芽増殖速度が混合されて、酵母細胞数の増加が起こっている。

老化して出芽速度が遅くなった *L. starkeyi* の細胞は、次の出芽に必要な物質群を作る速度が衰える。そして環境が変化して全く新しい増殖の機会が訪れたときにこそ、次の出芽増殖が出来る準備をする。その準備として、細胞内部に必要な物質源とエネルギー源になる油脂を蓄積する。したがって増殖しつつある *L. starkeyi* の細胞群を顕微鏡で観察すると、個々の酵母細胞に大きさの違いがあるばかりではなく、菌体の内部に貯蔵された油脂の量、すなわち脂肪球の大きさにも相当な違いがある (図1)。

2-3. 液体培地を入れたひとつの容器内で *L. starkeyi* を増殖させる

試験管内で斜面状にした寒天培地 (スラント: slant) の表面に培養し、保存してあった *L. starkeyi*

の菌体の一部を取り出し、液体 YM 培地が入った容器に移し植え、25°C（あるいは～30°C）で好気条件（aerobic condition）にして培養したとする（図4）。

はじめのうちは植え付けられた菌体は新しい環境に置かれたので、そこへ順応するまでは増殖をせずに、周辺の栄養物を吸収して個々の細胞の大きさが増す（増殖の誘導期：lag phase）。やがて出芽増殖が始まると娘細胞が生まれ、娘細胞から独立した若

い細胞の数が増してゆくにつれて、全体としての増殖速度が高まってくる（増殖の加速期：acceleration phase）。老化した細胞と若い細胞の割合がほぼ定常状態になると、一定時間ごとに細胞数が倍増する対数増殖期（logarithmic phase 略して log phase）になる。対数増殖期では細胞数を縦軸に対数目盛りでとり、横軸に時間をとると直線になる（B）。細胞数が増えると培地に加えた栄養物質の消費が速くなるので、培地を構成した栄養成分濃度の間に不均衡が起こり、他方で細胞から排出された最終代謝生産物（排泄物）が培地の中に蓄積されてくる。このような培地組成の変化があつて、増殖速度が減衰してくる（減速期または減衰期：retardation phase）。この減速期の細胞数変化を縦軸に算術目盛りを使って表現する（A）と時間軸（横軸）に対して直線になるから、直線期ともよぶ。やがて菌体増殖はとまり、一定の培地容積当たりの細胞数は増えなくなる（定常期：stationary phase）。最後に、細胞の死滅期に至る。

この増殖特性を理解した上で、図1を見直して頂きたい。

2-4. *L.starkeyi* の細胞内脂肪球の大きさは増殖時期で変化する

前項までの記述内容で、ひとつの容器内で培養する（batch culture）と、その容器内の子囊酵母の老若の細胞比率と容器内の培地組成とが、時々刻々変化することが理解できるであろう。*L. starkeyi* の場合は、細胞内部に光学顕微鏡でも観察できるほど大きな脂肪球という特殊な小器官（図1）があるので、細胞の老齢化に伴う脂肪球の大きさの変化が特に印象的である。観察者の視覚から得た印象で表現すれば、生育の減衰期に脂肪球が大きくなる（肥大する）。この減衰期では細胞サイズも大きくなるので、細胞全体の変化が感覚的に強い印象として残る。

筆者の研究目標は、*L. starkeyi* の細胞内部に観察される脂肪球が形成・肥大する経過と機構を解析するところにある。したがって重要なのは、脂肪球の大きさ（あるいは脂肪球中に蓄積された油脂の量）を、どのような手段で数値表現できるようにするか、である。

日常の研究室活動を通して目標を達成するには、学内で自由に使用できる研究設備と、消耗品を購入する研究費、そして個性を持った何人もの実験担当

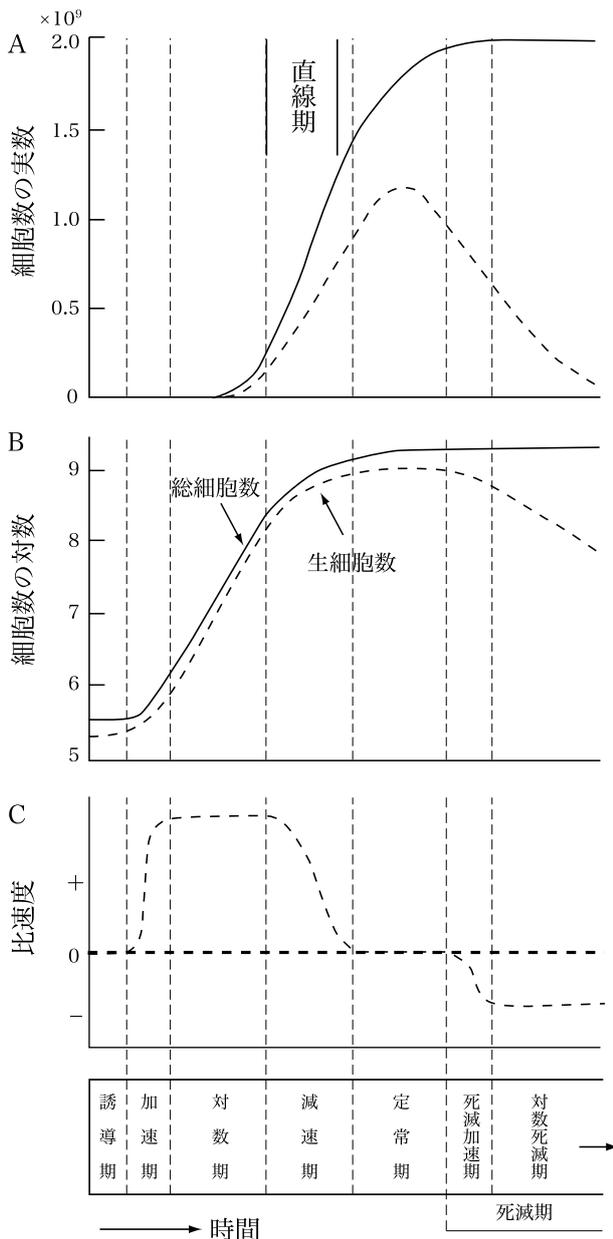


図4 液体培地中における酵母の増殖経過

- A：細胞数を算術メモリで表示
- B：細胞数を対数目盛で表示
- C：生細胞数の変化について増殖速度の時間的変化を示した曲線

（柳田友道著「微生物科学 2 生長・増殖・増殖阻害」p.242, 学会出版センター, 1981 から引用）

者を有効に使いこなしてゆくマネジメントの巧拙が大きく作用する。

3. 細胞内の脂肪球に蓄積された油脂量をどのようにして測定するか

筆者が赴任する前から、講座内では *L. starkeyi* を題材にして脂質組成の分析と、脂質を分解する酵素であるリパーゼ (lipase) 活性の検索を行っていた。特に脂質を抽出するには、大変手間が掛かる抽出—重量法を使っていた ([注 1] を参照)。脂質を分解する酵素のリパーゼ活性を測定するには、培養した菌体をグラム単位で使い、Braun 社製の homogenizer と呼ばれる大型細胞破碎装置を使っていた。

これらの方法を踏襲すれば、約 120 時間にわたる培養の全期間にわたって数時間おきに分析サンプルを採取する (sampling) 場合には、培養開始時に 10 L 単位の培養液を用意しなければならない。これでは、新しく購入した空調付きの往復型振盪培養装置を使っても、1 週間に 1 回の実験しかできないので、如何にも実験効率が悪い。できることなら、100 mL 単位で培養実験を開始し、どんなに時間間隔があいても 12 時間おきに分析サンプルを採取して、実験を終了まで導きたかった。

細胞内脂肪球の内部に蓄積された油脂量を測定する、“何か新しい実験方法”を考案しなければならなかった。

3-1. 顕微鏡に装着するマイクロメーターで測定する

光学顕微鏡を使った方ならご存知のように、対物レンズと接眼レンズの間に挿入できる、細かな物指し状の刻み目が入ったマイクロメーター (micrometer) がある。これを使うと観察物の大きさをマイクロメートル (μm) 単位で測定できる。これを使って、100 個単位の細胞の大きさと脂肪球の大きさを測定することにした。

一度測定した細胞を重複して測定するのを避ける目的で、規則正しく区画が切つてあるトーマ (Thoma) の血球計数盤 (図 5) の上へ細胞を含む培

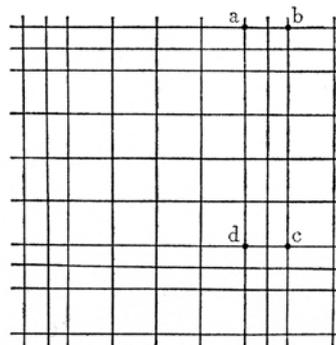
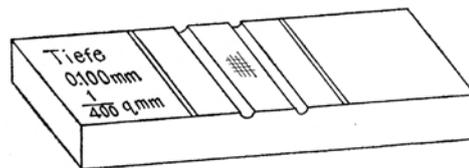


図 5 トーマ (Thoma) の血球計数盤

(飯塚廣, 後藤昭二著, 「酵母の分類同定法」, p127, 東京大学出版会, 1969 から引用)

養液を落とし、専用のカバーガラスをかけて、端から順番に 200 区画内の 800 ~ 1,200 個の細胞の大きさと、細胞内部の脂肪球の大きさを測定した。

この作業は、根気と忍耐力が必要であり、この努力によって、それまでは討論できなかった細胞の大きさと脂肪球の大きさが、細胞増殖の経過を示す生育時期 (growth phase) の進行につれてどのように変化してゆくかが明瞭になった (図 6)。

3-2. 光学的方法で測定する

水のような媒体に分散懸濁された微生物の存在密度 (一定容積中の個数) を簡便に測定する方法として、分光光度計で濁度を測定する方法がある。微生物懸濁液に平行な光が当たると、微生物に当たって光の散乱, 吸収, 屈折等がおこり, 入射光の強さに対して透過する光の強さが減衰する。その減衰度合いから微生物の存在密度を測定するのだが、懸濁する微生物の存在密度が高くなるにつれて、ひとつの微生物の陰に第二の微生物が隠れてしまう確率が高くなる (これを遮蔽効果とよぶ)。したがって平行入射光に対する透過光の減衰度は、懸濁する微生物の

[注 1: 1970 年代まで講座内で使っていた菌体総脂質抽出法—100mL 容積の三角フラスコへ湿菌体と、その 130 倍重量のガラスビーズ (3.0 ~ 3.5mm), さらに 30 倍重量のクロロホルム: メタノール = 1:1 の混液を入れて気相を窒素置換して密栓する。そのフラスコを 10℃ で 3 時間, 250 回 / 分の往復振盪をして菌体破壊と脂質抽出をし、クロロホルム層の一定量を乾燥させて重量分析する。]

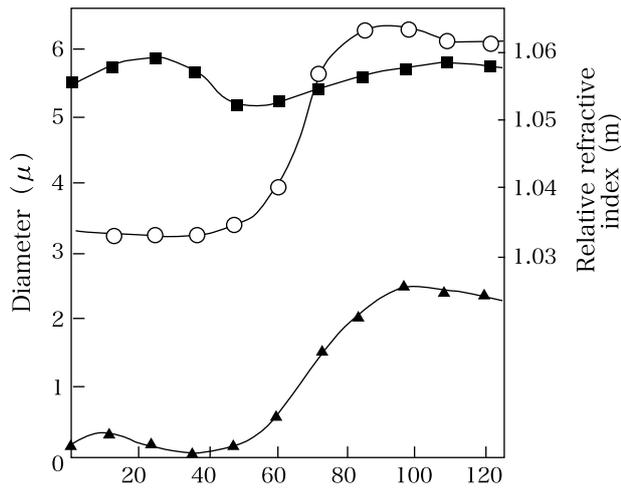


図6 培養経過に伴う相対屈折率の変化およびマイクロメーターで測定した細胞直径、脂肪球直径の経時変化との比較

マイクロメーターで測定した細胞直径 (—■—) と脂肪球直径 (—▲—) および光学的方法で測定した相対屈折率 (—○—)

存在密度が低い場合に限って、ほぼ比例すると考えなければならない。

分散される粒子が小さい (0.1 μm から 0.001 μm) コロイド系では、古くから分散粒子の性質を知る方法として、平行入射された光の吸収度、散乱度、減衰度を組み合わせた理論的解析が蓄積されている。

酵母の細胞はコロイド粒子に比べれば大きい (5 μm 前後) ので、コロイド系の理論式はそのままでは適用できない。しかし、分散粒子直径が使用する光の波長より大きい場合には、別の複雑な Hart-Montroll の理論式がある。この式を *L. starkeyi* の細胞懸濁液に適用し、スペクトルの吸収極大ピークの波長から細胞直径を測定した。さらに、遮蔽効果は分散粒子の屈折率の関数でもあるから、細胞内部の脂肪球が大きくなると変化する。遮蔽効果の変化を測定し、分散媒体である水の屈折率に対する細胞懸濁液の屈折率、つまり相対屈折率として脂肪球の大きさが測定できた (図6)。

この光学的方法を袖山政一君が確立する (袖山ら、日本農芸化学会誌 46, 495-501, 同 503-508, 1972) にあたっては、山梨大学工学部付属 無機合成研究

施設が所有していた島津マルチパーパス分光光度計 MPS - 50L を頻繁に使用させていただいた。ところが、この方法が完成した直後に、その研究施設は遠方に新研究棟が完成し、そこへ移転してしまった。その上、移転を機に分析機器室の管理体制が厳しくなったので、筆者達の日常の実験には、この分光光度計は使えなくなってしまった。

この事態は、筆者のマネジメントの悪さが招いた典型的な失敗例であった。パーソナルコンピュータという単語はまだ誕生しておらず、電卓すら普及していなかった時代であった。手回しによるタイガー計算機を駆使して袖山君が理論値を計算し、実験値を整理した作業結果が、実用化にいたる一步手前で頓挫したのである。慙愧にたえない。

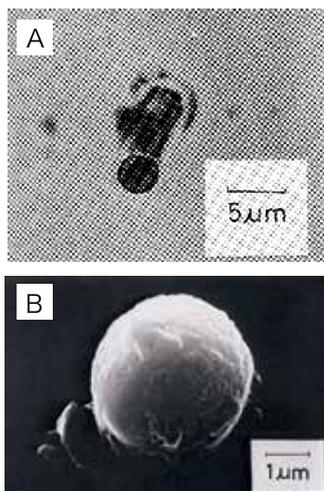
3-3. 脂肪球に蓄積されている油脂の正体を確かめる

L. starkeyi が R. L. Starkey 博士によって発見された当時から、脂肪球内に蓄積されている脂質 (水には不溶であるが、エーテルやクロロホルムのような脂肪溶媒には溶解する全ての物質を脂質と総称している) はトリアシルグリセロール (triacylglycerol : 食用油脂と化学構造が同じ化合物) であるといわれてきた。

幾つかの文献を見る限りでは、この酵母の菌体から抽出できた総脂質量は、他の酵母に比較して極めて多く、その中で最も多いのはトリアシルグリセロールである、という分析結果が記述されていた。そうした状況証拠から、脂肪球内部に蓄積されている脂質はトリアシルグリセロール ([注2] を参照) であると信じられていた。

自分が研究対象としている脂肪球と呼ぶ細胞内で油脂を蓄積する機能を持った小器官の正体に関して、そうした状況証拠だけでは満足できなかった。生命活動のひとつとして現れてくる現象を、科学の立場から取り扱おうとしているのであるから、“確かにそれ”と断定できる証拠が欲しかった。確証を得るには、*L. starkeyi* の菌体から脂肪球だけを分離し、その内容物を分析する必要があった。

[注2:一般的にはアルコール性水酸基<化学構造式でと書く>と、脂肪酸の末端にある酸性を示すカルボキシル基<-COOH>がエステル結合して中性になった化合物を指す。グリセロールはひとつの分子の中に水酸基を3個持ち、各水酸基が脂肪酸とエステル結合をした化合物は中性なので、中性脂質のひとつと表現される。生命体に含まれる貯蔵性の中性脂質の大部分は、グリセロール1分子と3分子の脂肪酸がエステル結合をしたトリアシルグリセロールと考えてよい。]



A：高浸透圧下で細胞にカタツムリの消化液を作用させたのち、低浸透圧にさらすと細胞周辺の細胞膜が破壊され、中から脂肪球が出てくる
 B：分離した脂肪球を走査型電子顕微鏡で観察して見えた多重の膜に覆われた外部構造

図7 高浸透圧下で *L. starkeyi* にカタツムリの消化液を作用させ、低浸透圧にさらして得られる脂肪球

微生物の多くは、細胞の最も外側を細胞壁 (cell wall) と呼ばれ、多糖を主成分として、柔軟性はあるが内外からの浸透圧では破壊されない網目状物質で覆われている。これを上手に取り除かない限り、細胞内部の小器官を取り出して分析するのは不可能である。上手に取り除く手段として、細胞壁を選択的に消化できる酵素が使えるれば、理想的であった。問題は、酵母の細胞壁を消化できる酵素をどのようにして手に入れるかであった。

20世紀の前半には、インドの生物学者によって、カタツムリの消化管から得られる消化液が、酵母細胞の細胞壁を消化するという報告があった。その方法を採用して酵母菌の研究をしようとする研究者が

多かったので、フランスの試薬会社が、ワイン製造の原料を生産するブドウ樹の害虫であるカタツムリから消化液を取り出して販売していた。当時の筆者の研究費としては大金をはたき、輸入して使ってみた。ところが、手元へ届くまでの輸送条件が悪かったのか、消化酵素としての活性が全く検知できなかった。

こうなったら自分達の手でカタツムリを採集し、そこから消化液を取り出すしかない、と覚悟を決めた。幾つかの失望や落胆を積み重ねながらも、活性が高い消化液の採取に成功した。それを使って、*L. starkeyi* から脂肪球を単離 (不純物が混入しない状態で分離する) できた (図7)。

単離した脂肪球から脂質を抽出し組成を分析したところ、その組成の大部分はトリアシルグリセロールであると確認できた (表1)。

この脂肪球の単離と分析実験を担当した大学院修士課程の学生 金森 武君は、カタツムリの採集で涙を飲んだことが再三であった。最終的には、甲府盆地の中で標高が最も低く、地下水位が高い地域でカタツムリを多数採取できるとわかり、それからは一瀉千里で研究を仕上げた (Uzuka ら, *J. Gen. Appl. Microbiol.*, **21**, 157-168, 1975 関連論文2)。

3-4. 試験管ミキサーと臨床検査薬を使用した比色分析法

少量の細胞を検体とし、その細胞の中に含まれているトリアシルグリセロール量を測定する簡便な新技術を開発しなければ、研究は前進しない。職場の健康管理システムのひとつに組み込まれていた人間ドックを受検した。平素の健康状態には何の心配も

表1 放射性同位元素 ¹⁴C を含んだグルコースで培養した菌体と、菌体から分離した脂肪球を、放射能を利用した組成分析の結果

		減衰期中期 中期 (70 時間)	減衰期後期 後期 (92 時間)	定常期 (133 時間)
脂質		放射能の分布 (%)		
	極性脂質	25	13	12
全細胞	トリアシルグリセロール	64	77	78
	ジアシルグリセロール	7	6	4
	非結合型脂肪酸	3	3	2
	ステロールエステル	1	1	1
脂肪球	極性脂質	4	3	2
	トリアシルグリセロール	86	86	88
	ジアシルグリセロール	6	6	5
	非結合型脂肪酸	4	5	5

なかったが、初めての経験をしてみたい、という好奇心から一泊二日のコースに申し込んだ。

コースの最後に、医師が検査項目表と、そこに記入された数値を見ながら、健康状態をどのように判断したかを説明した。各項目は特定の物質を示しており、前日に採取した血液と尿を検体にして分析していた。そこで、臨床検査用の試薬を使えば、微量のトリアシルグリセロール量を簡単に測定できることに気がついた。

残されている課題は、少量の酵母菌体をどうやって破碎して、脂肪球中のトリアシルグリセロールを細胞の外へ分散させるかに絞られた。参考になったのは、事実上使わなくなっていた Braun 社のホモゲナイザーであった。

このホモゲナイザーは、内容量が 25 mL 程度の分厚いガラス製の特殊なビン（壺）に、酵母細胞と直径 1 mm ほどのガラスビーズを入れ、左右に激しく動かす。激しい物理的衝撃でビンとガラスビーズの間に入った細胞が破碎される。ところがビンとガラスビーズの間で起こる摩擦によってビンの温度が高くなるから、液化炭酸を吹き込みながら作動させる。その液化炭酸の吹き込み加減を間違えると、ビンの中身が凍結してしまうか、手が触れられないほど高温になる。さらに、確かに酵母細胞は破碎されるが、破碎中にガラスに含まれていたアルカリ金属が溶け出して、破碎液の pH が 10 以上にまで上がってしまう。

ガラス製のビンの代わりに試験管、そしてホモゲナイザーの代わりに、どこの生物系研究室にもある試験管ミキサーを使ってみた。温度は上がらず、細胞破碎液の pH は緩衝液の使用で制御できる範囲に収まった。だが、試験管を押さえている手が長時間の振動に曝されるので、感覚が無くなってしまい、実用には至らなかった。

学生時代に所属していた教育学部の職業教育教室には工作機械が幾つかあり、それらを使ってミキサーを改造して何回かの改造を重ねたが、「これならば・・・」というほどの装置にはならなかった。

そしてある日、大洋科学社製のミックスタワー (Mix Tower) A-14 という装置が見つかった。構造は、垂直に立ち上がった塔の上端に水平な円盤が付いており、円盤の縁に試験管を挟み込む部分が 14 もある。本来の用途は試験管攪拌装置であり、電動スイッ

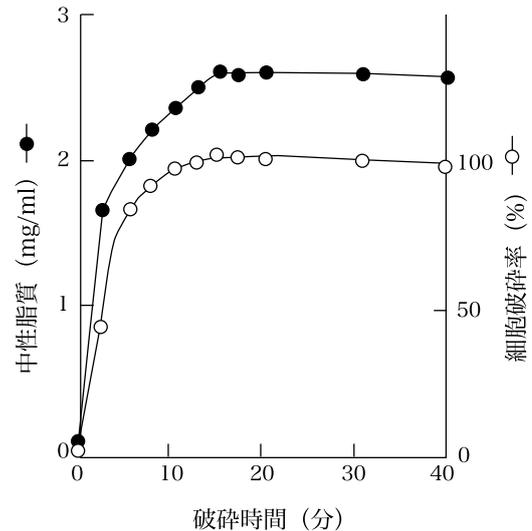


図8 Mix Tower A-14 による *L. starkeyi* の細胞破碎の進行と細胞破碎懸濁液から検出された中性脂質量

チを入れると塔が振動し、その振動が円盤部分で増幅されて試験管が激しく動いて内容物を混合する。実験室内で試験管の内容物を攪拌するという本来の目的に沿うように、装置全体はダンボール製の小型ミカン箱程度の大きさである。試験管の中にガラスビーズと酵母細胞をいれて動かせば、我々が目指していた少量の酵母細胞を破碎する目的が達成されるだろう、と容易に予想できた。

価格も手が届く範囲だったので、直ぐに購入できた。増殖しつつある *L. starkeyi* の細胞を含む培養液を 1 mL、直径 1 mm のガラスビーズ 2.5 g を試験管にとることを条件にして、細胞破碎に最適な操作条件を探し出した。細胞破碎の進行は、光学顕微鏡による細胞観察で容易に判断された。

血液の血清部分には生命活動に必要な様々な物質が溶け込んでいる。臨床検査薬はそれらの中にある特定の物質だけが定量できるように工夫されている。したがって *L. starkeyi* が増殖しつつある培地と、細胞破碎物が混合したままの状態、検体として取り扱える便利さがある。

血清中の中性脂質量を測定する臨床検査薬は、血液中のトリアシルグリセロールに何種類かの酵素を段階的に作用させ、最終的に生成した過酸化水素 (H_2O_2) を発色させるように構成されていた。この発色した色素の濃度を分光光度計で測定して、トリアシルグリセロール量の測定値とする。

破碎処理を進行させながら酵母細胞の破碎率を測定し、試験管内に懸濁している液体部分 20 μ L を検

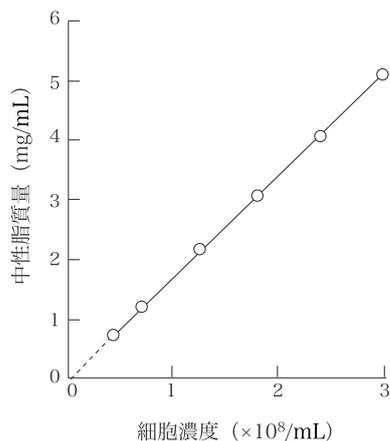


図9 破碎に用いた *L. starkeyi* の細胞量と臨床検査薬で測定した中性脂質量の関係

体として中性脂質を発色させた。発色後に遠心分離機を使って細胞の破碎断片を沈殿物として除き、上澄み部分だけを分離して発色度を測定した (図8)。

破碎に使用した菌体量を変化させて、試験管中に分散懸濁された中性脂質量との関係を調べたところ奇麗な直線関係になり、理想的な定量関係が画けた (図9)。手軽である上に正確、これ以上は望めないほど簡便な脂肪球内中性脂質の測定手段が開発できた (Naganuma ら, *Agric. Biol. Chem.*, 46 1213 ~ 1217, 1982 関連論文 2)。

完成した脂肪球内中性脂質量定量法を用い、改めて *L. starkeyi* を培養すると、菌体増殖の減衰期に中性脂質の蓄積が活発になる状況が明らかになった (図10)。

3-4. 再現性のある増殖経過を求める

菌体内脂肪球に蓄積されるトリアシルグリセロールを定量分析する手段はできた。次には、*L. starkeyi* をどのような手順で培養してゆけば、再現性のある増殖経過をたどれるかを確認し、その手順を研究室内の全ての実験者が守るべき作業基準として確定しておきたかった。

生物は与えられた環境条件に適応して生き延びようとする。この生物に共通した基本的な性質は、単細胞生物である酵母も持っている。それゆえに、*L. starkeyi* を実験材料にして研究を行う際には、誰が、何時、何処で実験をしても、同じ、あるいは極めて類似した増殖経過をたどってゆくように、培養条件を統一しておく必要があった。研究に使っている酵母は出芽増殖をするから、培養期間のどの時点をとっても、増殖が盛んな若い細胞と、増殖能力が衰

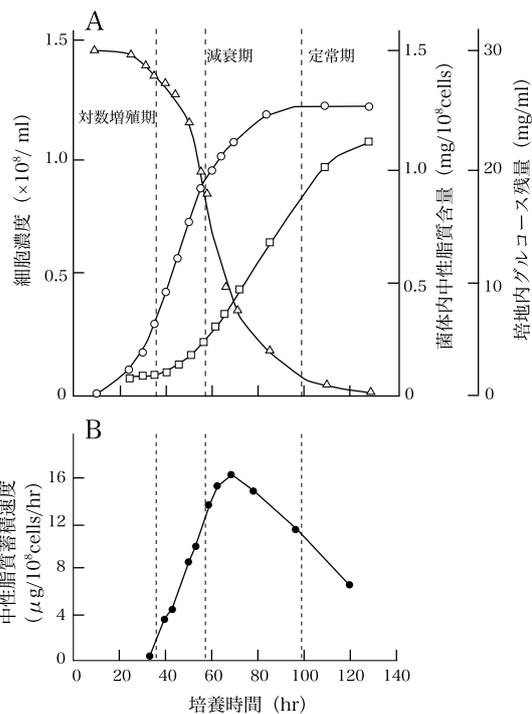


図10 *L. starkeyi* をグルコース・無機塩培地で培養したときの菌体増殖量、培地内残糖量、菌体内中性脂質蓄積量 (以上 A)、および中性脂質蓄積速度 (B)

A: 菌体増殖量 (—○—), 培地内残糖量 (—△—), 菌体内中性脂質量 (—□—)
B: 中性脂質蓄積速度 (—●—)

えつつある細胞とが混合状態にある (図4)。その混合割合を一定にした細胞群を種菌として使い、培地組成という化学環境と、温度と通気量という物理環境を一定にすれば、個々の生命現象が統合された結果として現れる菌体増殖の経過も一定となる。

YM 寒天培地の斜面上で増殖させ、冷蔵庫で保存しておいた菌体を大元の種菌とする。R.L. Starkey 博士が提案した酵母エキス 0.1% とグルコース、および数種の無機塩類を溶解させた半合成液体培地を 100 mL 入れた内容量 500 mL の振盪フラスコに大元の種菌を移植し、30°C で往復振盪 (120 回/分) して好気培養する。

菌体増殖が対数増殖期になったら、それを種菌として Wickerham の合成培地の組成を基準にして作ったグルコースと無機塩類だけの培地へ、波長 660 nm の平行光が厚さ 1 cm の液体を進むときの光の減衰度 = 濁度 (OD_{660nm}) で、0.01 になるように植え継ぐ。この合成培地の中で増殖した酵母が、OD_{660nm} の濁度で 1.0 に到達したら、雑菌が混入しない条件で遠心分離機を使って菌体だけを集める。集めた菌体を

滅菌した蒸留水と遠心機を使う洗浄を2回した後、再度上記の合成培地を使って同じ手順で培養する。OD_{660nm} の濁度で 1.0 に到達したら、研究目的に沿うように作った培地へ、OD_{660nm} で 0.01 になるように種菌として植え込む（長沼ら、日本農芸化学会誌 49, 335 ~ 340 1975）。以上の培養手順を研究室内作業基準として決定した。

この手順に従えば、増殖の誘導期と加速期が短くなり、ほぼ対数増殖期から実験ができるので、再現性がある培養実験が間違いなくできるようになった。

菌体増殖に再現性があると、酵母細胞の中で起きている生化学反応も再現性があると解釈できる。この厳密な研究室内の実験手順の完成で、次項に記述する「脂肪球内に油脂が蓄積される生化学的機構の解析」への導入部が用意された。

4. 油脂を蓄積する生化学的機構の解析

生きている *L. starkeyi* にとって、培地は外部環境である。外部環境が変化すると、その変化を受け止めた細胞内部ではどのような仕組みが働き、最終的には脂肪球の大きさの違いとなって表われてくるのか、その道筋を知りたくなる。

もう少し具体的に表現してみたい。外部環境に炭素源として与えられたグルコースは細胞内部へ取り込まれる。細胞内部では、そのグルコースを出発点にし、外部環境に応じて細胞が生活するのに必要な物質を作り出す、幾つもの生化学反応が進行する。グルコースを出発点にする幾つもの生化学反応のうち、いずれの反応が外部環境に引きずられて支配的になり、油脂の蓄積へつながるのかを、特定したいのである。

SF の世界なら細胞の中へ分け入って、何がどうなったから油脂蓄積が強化されているかを調査するところである。だが現実の世界では、遠回りではあっても、自分の希望に一步步近づく手段を採用しなければならない。細胞を破壊して、生化学反応を進行させている酵素を含む内容物（無細胞抽出液）を取り出し、試験管を模擬細胞と見立てて、その中で生化学反応を行わせるという実験手段を採用した。

状態変化（脂肪球の大きさの変化）が進行しつつある細胞群から、時間間隔をおいて群の一部（サンプル）を取り出し、取り出した細胞から無細胞抽出液を用意して、その中に含まれている酵素の活性変

化を知ろうというのである。中身の変化を正しく知るには、取り出したサンプルの細胞群を、同じ割合で破壊して無細胞抽出液にしなければ、サンプル間の比較ができない。1回の破壊に使える細胞量が少なくて間に合えば、培養している細胞群から何回もサンプルを取り出せる。それらのサンプルから得た無細胞抽出液が示す測定値が多数になり、解析の正確度を高められる。こうした状況に置かれていたから、少量の酵母細胞を破壊して酵素タンパク質を含む中身を取り出す方法の開発から着手した。

4-1. 少量の酵母細胞を破壊し、細胞中の酵素類を取り出す手段の開発

L. starkeyi が増殖中の培養液 1 mL をフラスコからサンプルとして取り出し、細胞が浮遊している培養液を Taiyo Mix Tower A-14 で処理すれば、細胞を破壊できることを既に経験していた。このときは、酵母細胞中のトリアシルグリセロール量を測定するのが目的であった。この手段を応用しようとした。

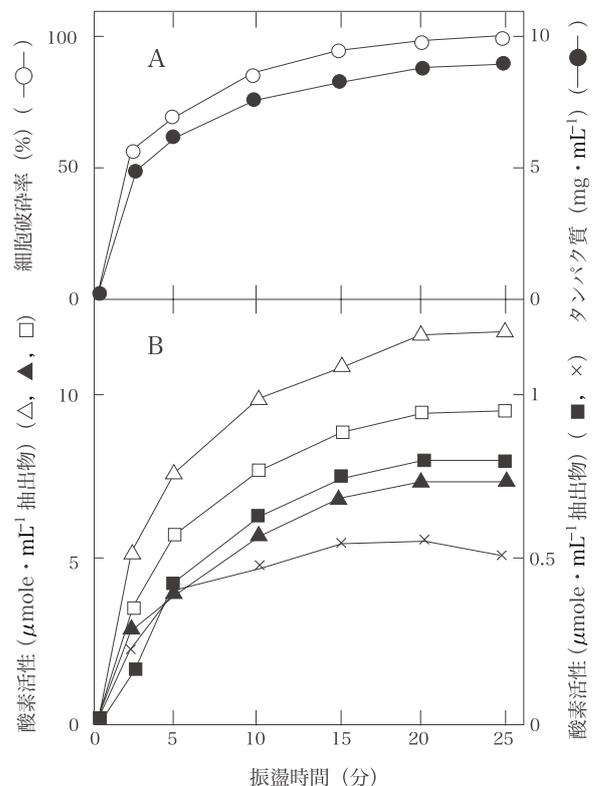


図 11 Mix Tower の運転時間に対する細胞破壊率とタンパク質溶出量

- △：グルコースリン酸イソメラーゼ
- ▲：グルコース 6-リン酸デヒドロゲナーゼ
- ：クエン酸合成酵素
- ：アコニターゼ
- ×：ATP：クエン酸開裂酵素

4.2. 酵素反応を実験できる無細胞抽出系ができた

培養しておいた *L. starkeyi* の細胞を遠心分離機で集菌し、それを 0.1M Tris/HCl 緩衝液 (pH 8.0) に再懸濁しては遠心分離をするという菌体洗浄操作を 2 度繰り返し、最終的に計算上では OD_{660nm} で 80 になる細胞懸濁液にした。この懸濁液 1 mL と直径 1.00 ~ 1.05 mm のガラスビーズ 2.5 g を試験管に加え、Taiyo Mix Tower A-14 にセットする。装置を低温環境 (断熱材で内壁を囲んだ箱に液化炭酸を吹き込む、あるいは冷蔵庫) へ入れ、2,500 rpm にして 25 分運転した。この操作により、顕微鏡で観察する限りでは細胞は 100% 破碎され、細胞から溶出したタンパク質量は最大に達した。さらに溶出タンパク質量に比例して多くの酵素活性が上昇した (図 11) (Naganuma ら *Anal. Biochem.*, **141**: 74-78, 1984)。

Mix Tower A-14 を使い、酵母 *L. starkeyi* から無細胞抽出液を作るときに、比較対照系として世界で広く使われてきたフレンチプレスと呼ばれる装置でも無細胞抽出液を作った。このフレンチプレスは、予め高圧 (~ 550 kg/cm²) をかけておいた酵母細胞懸濁液を、瞬間的に常圧へ戻すときの圧力変化で細胞を破壊する装置である。このフレンチプレスを使用すると、少なくとも *L. starkeyi* の場合は、細胞破壊率が高い範囲では、抽出液内の酵素活性が低くなってしまいう傾向が強かった (図 12)。

細胞が呼吸で得た酸素 (O₂) を使い、生体が最も使いやすい化学エネルギー分子である ATP を生み出しているのは、脱水素反応で獲得する水溶性の水素 (NADH + H⁺, あるいは FADH₂) を酸素で酸化させる過程である ([注 3] 参照)。その水溶性の水素を最も多く作り出す生化学反応は、クエン酸回路 (Citric Acid Cycle, 回路 = サイクル: cycle, 回路状になっ

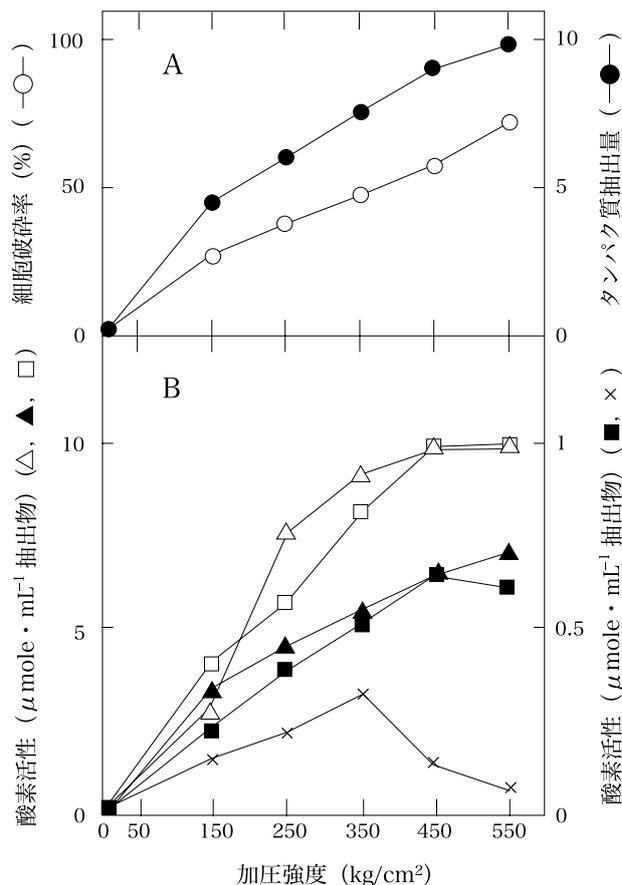
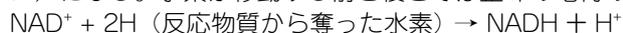


図 12 フレンチプレスで無細胞抽出系を作ったときの細胞破壊率と抽出タンパク質量 (A), および抽出タンパク質が示す数種の酵素活性 (B)

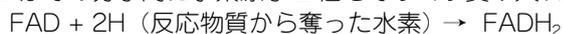
- △: グルコースリン酸イソメラーゼ
- ▲: グルコース 6-リン酸デヒドロゲナーゼ
- : クエン酸合成酵素
- : アコニターゼ
- ×: ATP:クエン酸開裂酵素

た反応の出発点になるのがクエン酸であり、クエン酸は 1 分子中に酸の性質を示すカルボキシル基 -COOH を 3 個持っているところから、トリカルボン酸サイクル Tricarboxylic Acid Cycle: TCA サイクルと

[注 3: NAD は Nicotinamide Adenine Dinucleotide の略号であり、ビタミン B 群のひとつであるナイアシン (化学名はニコチナミド) を中心にした補酵素である。この補酵素に水素が結合していないときは、正 (+) の電荷を持った NAD⁺ となっている。酵素の作用で反応物質から水素原子 2 個を奪って還元型になるときが、やや複雑である。NAD⁺ は水素の原子核 1 個と電子 2 個を分子内に収めて NADH となり、もう 1 個の水素原子は電子を失った H⁺ (プロトン) になる。水素が移動する前と後とでは正味の電荷の変化がない。



FAD はビタミン B 群のひとつであるリボフラビン (ビタミン B₂) を中心にした化学構造を持つ Flavin Adenine Dinucleotide の略号であり、これも補酵素である。水素原子 2 個の移動を仲介する点では NAD⁺ と同じ機能を果たすが、FAD はその分子内に水素原子 2 個をそっくり受け入れて FADH₂ になる。



なお補酵素とは、酵素タンパク質が持っている反応触媒としての機能を補助する、という意味を持った物質である。NAD と FAD は生体内で進行する酸化還元反応を触媒する酵素の補酵素という位置づけである。ところが、酸化還元反応で実際に水素を授受しているのは補酵素であり、酵素の方は反応環境を整える役をしている。

も呼ばれる。あるいは発見者の名前をとってクレブスのサイクルとも呼ばれる。

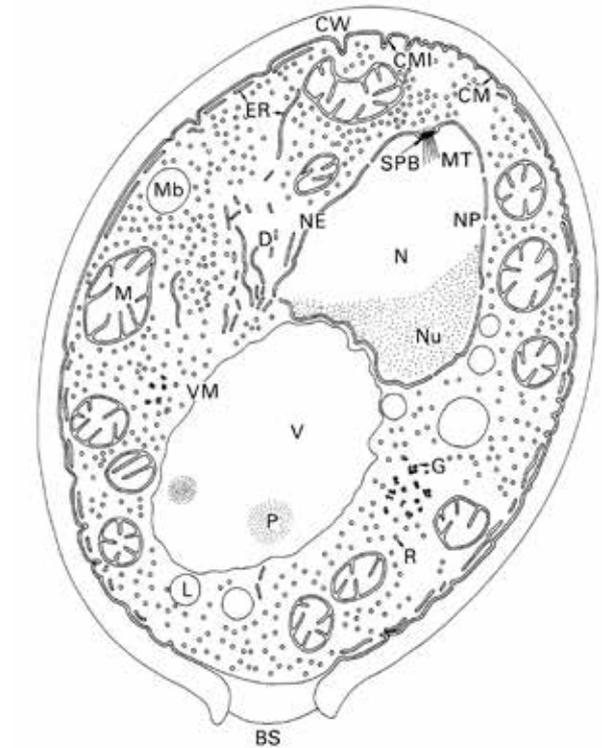
5. 酵素活性の測定から解析を進めるのに必要な周辺知識

微生物は顕微鏡でなければ観察できないほど小さな生物である。微生物という言葉にまとめられている中にも大小がある。大きさが1 μm 程度の細菌(バクテリア)は、生命の設計図といわれるDNA(deoxyribonucleic acid: 遺伝子の化学物質の本体を、大まかに集約させてはいるが、周囲と明確に区切りをつけて格納する構造、すなわち膜で囲まれた核の構造を持っていない。そこで、前核細胞(prokaryote: ギリシャ語で pro-は“前”の意味, karyon は“核”をあらわす。日本語に翻訳するときには原核細胞とも書かれる)と呼ばれる。

大きさが5 μm 前後の酵母の細胞は、細菌に比較すれば、単純計算で100倍以上(5 \times 5 \times 5=125)も大きい体積を持つ。これだけ大きければ、生命現象を発現するのに最も重要な情報の集合体であるDNAを、周囲とは明確な区切りをつける膜で覆われた核にして厳重に収納できる。動植物の細胞を含めて、大型の細胞は核を持つので、真核細胞(eukaryote: ギリシャ語で eu-は“真”をあらわす)とよばれる。真核細胞の内部構造を電子顕微鏡で観察すると、核以外にも、膜構造で周辺から区切られた幾種類かの粒子状区画(細胞小器官: organella <単数形は organelles>: オルガネラ〔注4〕を参照)がある。それらの細胞小器官が、水に溶けるタンパク質を主体とした粘度があるサイトゾル(cyto-は細胞をあらわす連結形)の中に浮遊している。

5-1. 酵母細胞は細胞小器官の間で代謝の分業を行う

人間の内蔵は、心臓、肺、胃、肝臓、腎臓等々の器官に分かれており、互いに機能は異なるが相互に調和が取れた働きをして、健全な生命体を維持している。酵母は単細胞ながら、内部には幾種類もの細胞小器官(ミトコンドリア、核、リボソーム、等々)を持ち、それぞれの小器官は機能的分業をしながら、



BS: 出芽痕, CM: 細胞膜,
CMI: 細胞膜の陥入, CW: 細胞壁,
D: デイクチオソーム, ER: 小胞体,
G: グリコーゲン, L: 脂質顆粒,
M: ミトコンドリア, Mb: マイクロボディ,
MT: 微小管, N: 核, Nu: 核小体, NE: 核膜,
NP: 核膜孔, P: ポリリン酸, R: リボソーム,
SPB: spindle pole body, V: 液胞,
VM: 液胞膜

図13 真核細胞である酵母 (*Saccharomyces cerevisiae*) 細胞の模式図

(柳島, 大嶋, 大隅編, 「酵母の解剖」, p5, 講談社, サイエンスエディック, 1981 から引用)

健全な生命体を構成している。

その区切られた幾種類かの細胞小器官の中に、ミトコンドリア(mitochondria, 単数形は mitochondrion)とよばれる比較的大きい粒子がある(図13)。このミトコンドリアはリン脂質を中心とする二層で形成された膜で二重(内膜と外膜)に囲まれており(図16参照)、その中では、クエン酸回路(TCA サイクル)と呼ばれる環状に連鎖した反応が進行する。

[注4: 細胞小器官: 大型の動物の体内で特定の機能を果たし、形態的に独立している細胞集団を器官 = organ といっており、それにならって細胞内で特定の機能を果たす区画を小器官: organella = オルガネラと名づけられた。語尾の - ella は“小さなもの”という意味を持ち、バクテリアの属名にはしばしば使われている、例 サルモネラ菌 = Salmonella: 食中毒やチフスをおこす細菌の仲間。]

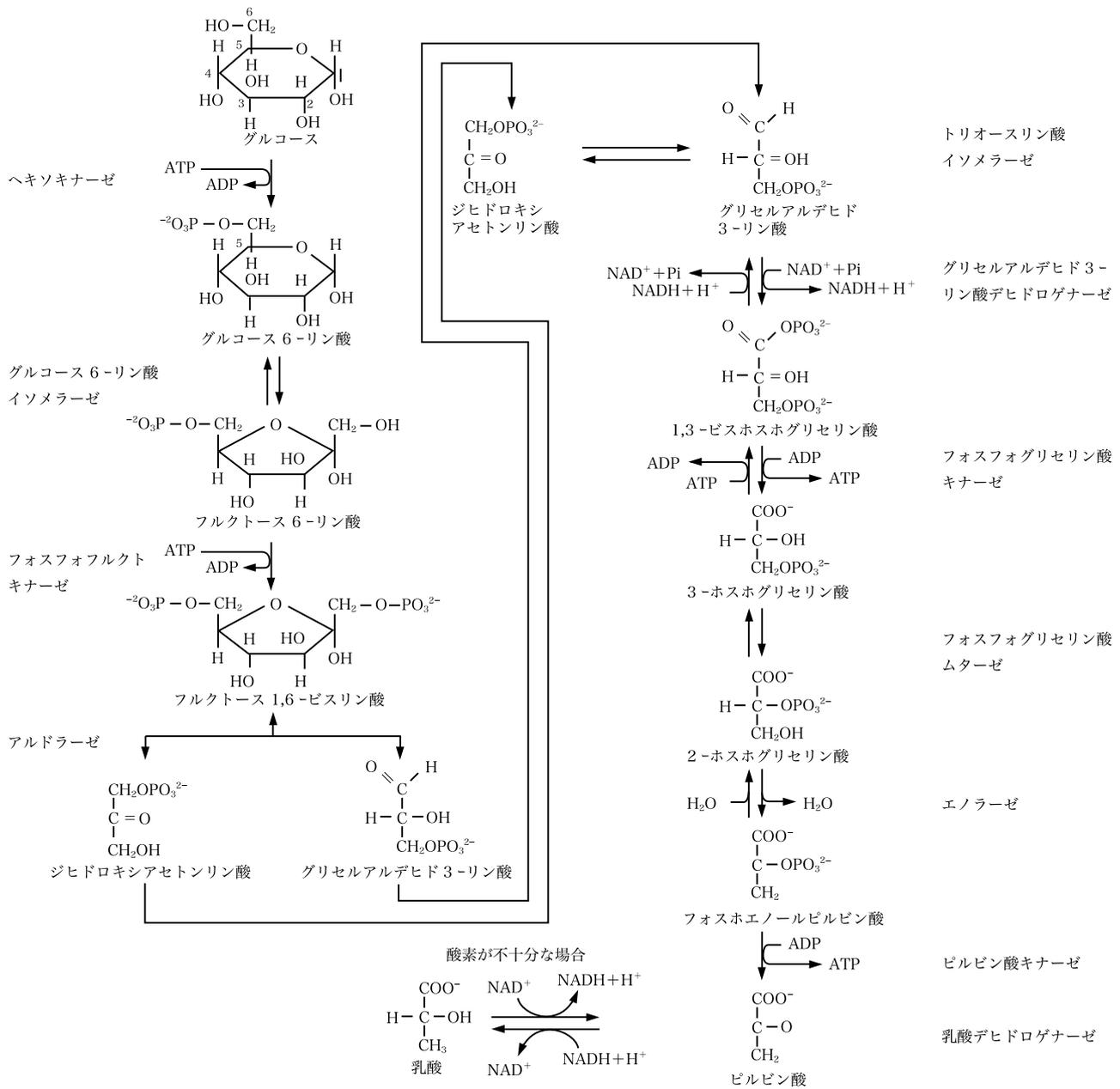


図 14 解糖系によるグルコースの分解

(杉森, 松井, 天尾, 小山共著, 「基礎からわかる生物化学」, p85, 北森出版, 2010 から引用)

この回路反応は、出発点になっているクエン酸から何段階にもわたって現れる脱水素反応（[注 5]を参照）で酸化が進む。生じた $\text{NADH}+\text{H}^+$ 、あるいは FADH_2 が後に述べる電子伝達系の最終段階で酸素によって酸化されて、大量の ATP 分子が産み出される。

5-2. 細胞中でおこる分解反応と合成反応で出入りするエネルギー

酵母細胞は外部環境から炭素源（実験室で酵母を培養する場合は主としてグルコース）を取り込み、その一部を分解・酸化して生体が最も広範囲に利用しやすい化学エネルギー物質である ATP を獲得する。エネルギー源としては利用されなかったグル

[注 5：生化学が初期段階にあった頃は、細胞の中で進行する酸化反応は、反応物質の水素を取り去る脱水素反応を進行させる脱水素酵素（dehydrogenase；de-除去する, hydrogen-水素, -ase 酵素）だけが発見されていた。その酵素の日本語名称は、かつては反応を受ける物質名に続いて脱水素酵素と記されていた。ところが、1960年代から、国際純粋および応用化学連盟（IUPAC）と国際生物学連盟（IUB）が協力し、同一の物質や反応を世界各地でバラバラの名称にしておくのは不都合であるから統一する、という動きが本格化した。その動きを受け、かつては日本で脱水素酵素と呼ばれていた酵素を、デヒドロゲナーゼとカタカナ表記するように決まった。]

コースからは、ATP のエネルギーを使って自己を形成する生体分子が生合成される。

一般に、原子と原子が結合するにはエネルギーが必要である（結合エネルギー）。その反対に、原子と原子の間の結合が切れるときには、結合に使われていた分のエネルギーが放出される。

例えば、二酸化炭素 (CO_2) や水 (H_2O) のような小さな化合物から、グルコース ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$) というやや大きな分子を作り出す植物の光合成では、光エネルギーが大量に使われる。この反応の副産物として、ガス状の酸素 (O_2) が環境（空気や水中）へ放出される。

グルコースが酸素で酸化されて二酸化炭素と水になる過程（光合成の逆反応）では、光合成のときに吸収された正味の光エネルギー量と等しい量のエネルギーが放出される。この放出されたエネルギーの40%以上をATP分子の合成に使う。エネルギー利用効率を100%にするのは、物理法則に従って不可能であり、利用できなかった残りは環境中へ熱エネルギーとして放出される。この放出されたエネルギーは、恒温動物では体温を保つのに役立っている。

同様に、炭素原子数が2個あるいは3個の小型の有機化合物から、炭素原子が16個とか18個も連結した大きな分子をつくる際には、炭素原子をつなぎ合わせるだけでも、大量のエネルギーを必要とする。

5-3. グルコース (C6 化合物) からピルビン酸 (C3 化合物) へ

外界から栄養物（例えば炭素原子6個が連結した骨格を持ったグルコース分子）を細胞内へ取り込むのは細胞の外周を囲む細胞膜である。取り込まれたグルコース分子を半分の大きさに分割し、炭素原子が3個連結したピルビン酸 (pyruvic acid) にするのは、小器官の間を埋めているサイトゾルにある酵素類が触媒となって進む解糖経路 (glycolytic pathway, あるいは単純に解糖系 :glycolysis という) である (図 14)。

この解糖系では酸素 (O_2) は全く関与しない。すなわち、解糖系を構成する諸反応は無酸素条件下で進行する。炭素数6個(C6)の化合物であるグルコースが半分に切れて2個のC3化合物になるから、その切れた炭素間結合分に相当する結合エネルギーが

放出されることになり、そのエネルギーでATP分子2個が作られる。

開裂されるのに必要な準備反応を経て、最初のC3化合物（グリセルアルデヒド3-リン酸）からピルビン酸 ($\text{C}_3\text{H}_4\text{O}_3$) に至るまでの間に、 NAD^+ が関与する脱水素反応があり、 $\text{NADH}+\text{H}^+$ ができる。この $\text{NADH}+\text{H}^+$ の還元力を使って、嫌気性（酸素の存在を嫌う性質）の細菌（バクテリア）である乳酸菌は、ピルビン酸から乳酸 ($\text{C}_3\text{H}_6\text{O}_3$) を作る。酵母（例えば *Saccharomyces cerevisiae*）は、本来は酸素を利用したい性質を持っているが、酸素が不足しているときにはアルコール発酵で生き延びようとする。アルコール発酵性の酵母は、ピルビン酸を脱炭酸（炭酸ガス = CO_2 を取り除く）してアセトアルデヒド ($\text{C}_2\text{H}_4\text{O}$) にしてから $\text{NADH}+\text{H}^+$ を使って還元し、エタノール ($\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$) にして細胞外へ放出する。

5-4. 還元反応で生体物質を生合成するには $\text{NADPH}+\text{H}^+$ が使われる

細胞の内部ではグルコースとATPさえあれば、生命活動に必要とする全ての物質を生合成できるわけではない。生命活動に必要な分子の中には、水素を分子の中へ組み込む還元反応を経なければ生合成できない化合物がある。生体の中で水素を使う反応を進めるといっても、気体の水素は使えない。生命体は全体としてみれば水を媒体とした反応系であるから、細胞内の反応には水溶性の水素が求められる。

水溶性の水素の例として、脱水素反応で生ずる $\text{NADH}+\text{H}^+$ と FADH_2 を紹介してきた。だが、これらの大半はミトコンドリアの内部で生産され、ミトコンドリア内部でATPを生産する活動に利用される。その一部を、主としてミトコンドリアの外で進行する還元反応に横流しするようなことを、細胞は積極的には行わない。ミトコンドリアの外、つまりサイトゾルでは、もっと還元反応に使いやすい水溶性の水素、すなわち $\text{NADPH}+\text{H}^+$ を調達する経路（ペントースリン酸回路）を用意した。

$\text{NADH}+\text{H}^+$ と $\text{NADPH}+\text{H}^+$ とは、化学構造が非常によく似ており、同様に記号も似ている。 NADPH の分子は、 NADH の一部にリン酸 (H_3PO_4) が1個結合した構造をしている。その1個分のリン酸をPと書き加えて明確に示し、両者を区別している。区

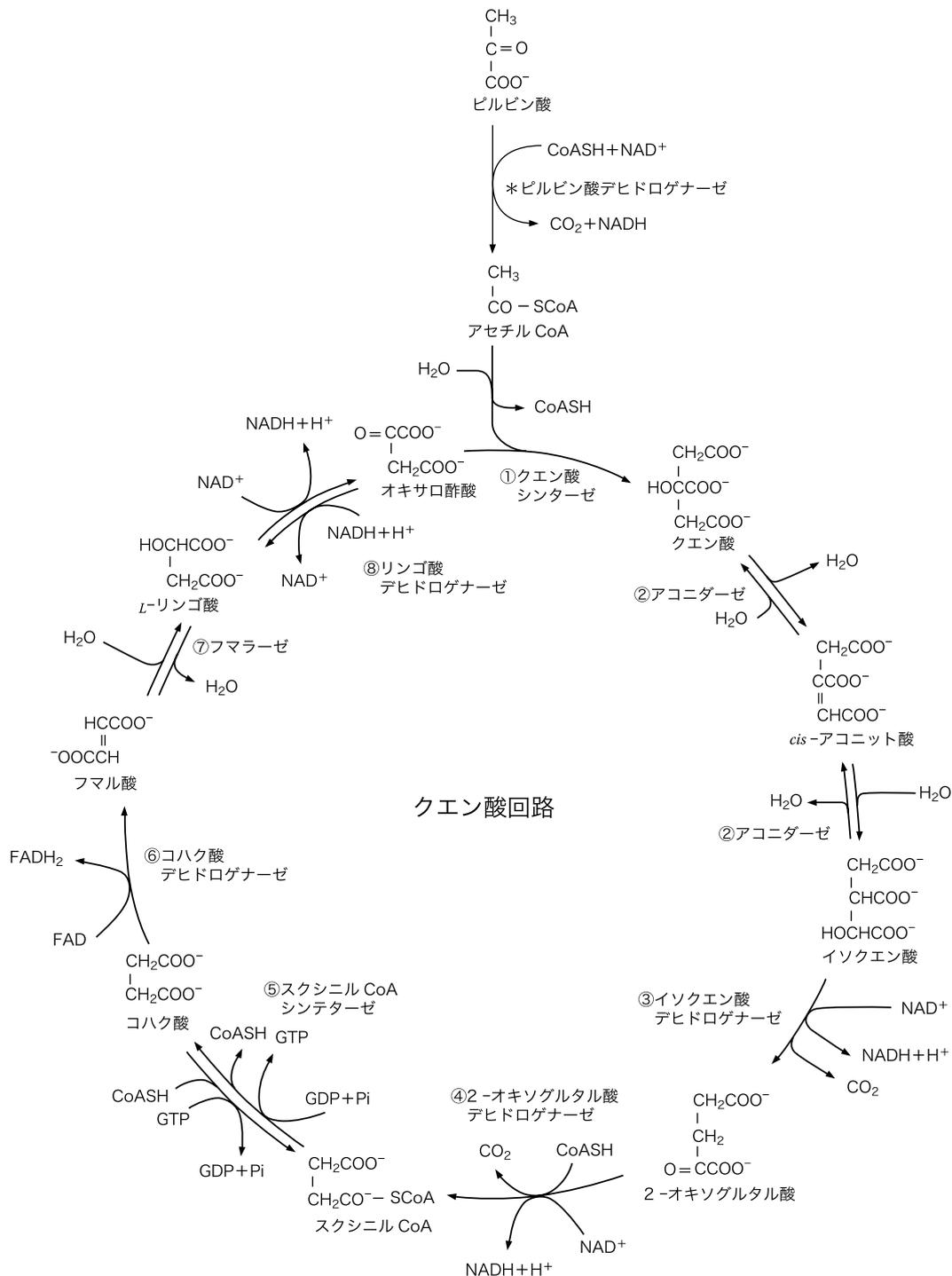


図 15 クエン酸回路 (別名 トリカルボン酸サイクル, 簡略名: TCA サイクル=クレブスのサイクル)
 (杉森, 松井, 天尾, 小山共著, 「基礎からわかる生物化学」, p90, 北森出版, 2010 から引用)

別された両者は, 生体内にあっては用途が異なるというところを, 留意しておきたい。

5-5. ピルビン酸が分解されて CO₂ と H₂O になる間に, ATP を生産する

サイトゾルでできたピルビン酸は, ミトコンドリアを囲んでいる二重の膜の内膜にあるピルビン酸トランスポーターを通過して内部へ取り込まれる。ミ

トコンドリアの中でピルビン酸がたどる粗筋を頭に入れておきたい。ピルビン酸は段階的に脱水素反応を受ける。それに引きずられて, 炭素原子は, 酸素原子と共に二酸化炭素 (CO₂) となって細胞外へ出てゆく。これがピルビン酸がたどる運命の粗筋である (図 15)。

ミトコンドリア内に入ったピルビン酸が, クエン酸回路 (トリカルボン酸サイクル=TCA サイクル)

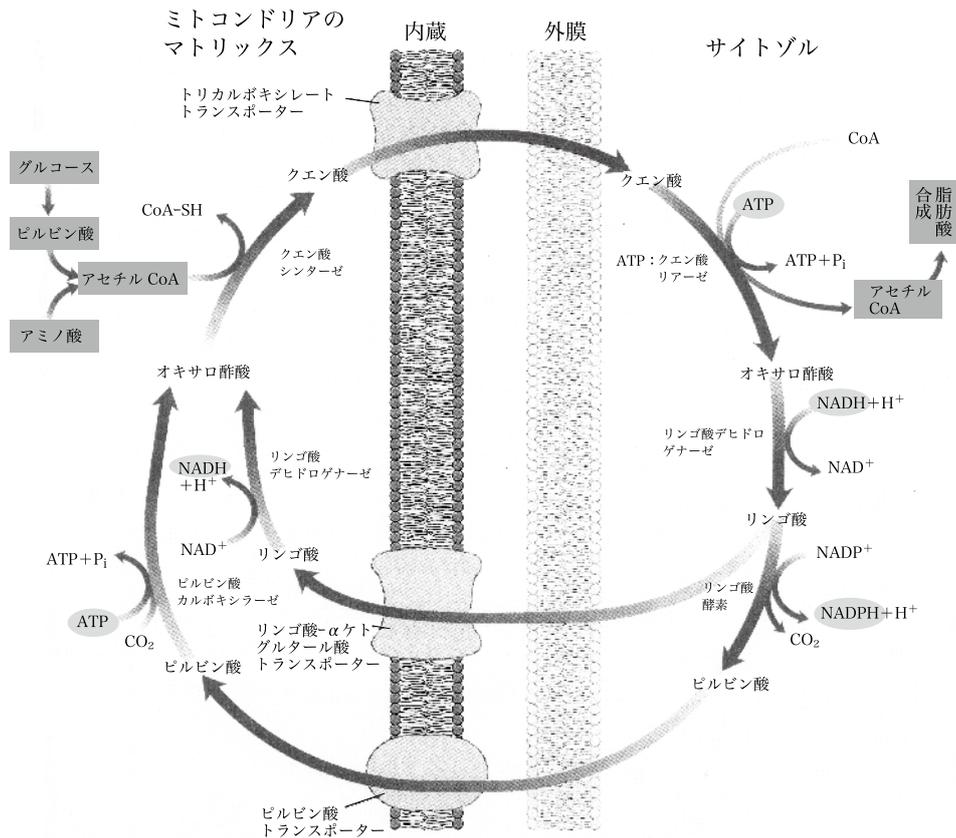


図 16 脂肪酸合成に必要なアセチル CoA, NADPH の供給経路

(山科監修, 川崎編集, 「レーニンジャーの生化学 第2版」, p821, 廣川書店, 2006 から引用)

へ組み込まれる前段階として、ピルビン酸は脱炭酸反応と NAD^+ による脱水素反応を受けて、反応性が高いアセチル CoA になる。そのアセチル CoA が、回路反応の最終産物であるオキサロ酢酸と結合してクエン酸となり、回路反応の出発物質になる。クエン酸は回路反応を進行する途中で段階的に酸化（脱水素反応）と脱炭酸反応を受けて化学構造を変化させ、ふたたびオキサロ酢酸に戻る（図 15）。

脱水素反応では、水素 (H) は $\text{NADH}+\text{H}^+$ あるいは FADH_2 という形でとらえられる。とらえられてからは、酸素 (O_2) が酸化剤となって水素を酸化するので、好氣的条件下で進む生化学反応になる。

$\text{NADH}+\text{H}^+$ あるいは FADH_2 という形でとらえられた水素 (H) を、ミトコンドリアの内膜部分では H^+ (プロトン) と電子とに分ける。電子を内膜内に埋め込まれた 3 種類の電子伝達複合体 (I, III, IV) を通過させる (電子を流す = 電流) 間に、電流が持つて

いたエネルギーを使い、 H^+ をミトコンドリアの内側から膜間腔 (内膜と外膜との中間) へと追い出す (図 16 参照)。

ミトコンドリアの内膜を挟んで、その内外にプロトン (H^+) の濃度差ができると、その濃度差を解消しようとする物理的な力が働く。その濃度差を解消しようとしてプロトンは内膜の外から内へ通じる流れ口を探し、ATP シンターゼ ([注 6] を参照) を見つける。ATP シンターゼは、その中に作られた通路をプロトンが勢いよく流れるエネルギーを利用して ADP と P_i (無機リン酸) を結合させ、ATP が合成される。

ATP シンターゼという通路を通った H^+ は、内膜の電子伝達経路を通ってきた電子、および細胞が呼吸で得た酸素 (O_2) とに結びついて、化学的に安定な水分子 (H_2O) になる。なお、 P_i と書かれているのは無機 = inorganic なリン (P), すなわちオルト

[注 6: シンターゼ (synthase) とは英語で合成を意味する単語: synthesis から作られており、合成酵素を意味している。生体内で合成反応を進行させるときに、エネルギー供給分子 (主として ATP) を消費する反応にかかわる酵素をシンテ (セ) ターゼ (synthetase), エネルギー供給分子を必要としない合成反応を進める酵素をシンターゼ (synthase) として区別している。]

リン（燐）酸（ H_3PO_4 ）あるいはそのイオン化した姿を表わしている。

5-6. タンパク質が生合成されるまでには大量の ATP が使われている

タンパク質はもっとも生物らしい物質である、といわれている。生物の中、あるいは生物の存在跡の中にしか発見できない物質であるからである。タンパク質のひとつが細胞の内部で求められると、それを生合成する目標へ向かって、核とリボソームという細胞小器官の間で繰り広げられる分業と連携がおこる。その分業と連携の間に大量の ATP が消費されることを理解しておきたい。

タンパク質の構造は、多数のアミノ酸がペプチド結合（カルボキシル基： $-COOH$ とアミノ基： $-NH_2$ の間から水分子 $\langle H_2O \rangle$ が除去されて結合形式となった構造： $-CONH-$ ）を介して直鎖状に（枝分かれせずに）多数連結した高分子構造を持っている。それゆえ、タンパク質という大きな分子を生合成するには多数の小型の分子であるアミノ酸同士の結合が必要であり、それらの結合をつくるには必ず ATP を使用する。

全てのタンパク質のアミノ酸配列順序（一次構造：primary structure）は、DNA という巨大情報分子の構造（より詳細には、DNA を構成する 4 種類ある塩基性物質の配列順序）として保存されている（〔注 7〕を参照）。酵母は真核生物であるから、DNA は核の中に保存されている。

DNA という極めて長い鎖状をした多数の情報群の中から、必要な情報部分だけをコピーとして写し取ったメッセンジャー RNA（mRNA）が、先ず核の孔から外へ運び出される。その mRNA というコ

ピーを作る段階では多数の構成分子が結合されるので、必然的に多数の ATP が使われる。この段階は DNA という核酸から、RNA（〔注 8〕を参照）という化学構造が少し異なるだけの核酸へ情報が写されるので「転写」という。

メッセンジャー RNA（mRNA）が運び出した情報に従って、リボソーム（〔注 9〕を参照）と呼ばれる小器官でタンパク質が作られる。核酸の 1 種である RNA が運んできた情報を、核酸とは全く化学構造が違うタンパク質に変換するので、この段階を「翻訳」という。

細胞内部で老朽化したり、当面は使われなくなった物質は、リソソーム（lysosome:lys-はゆるめる、分解の意味を持つ）と呼ばれる小器官で消化分解される。消化分解を受けて出てきた小分子のうち、細胞内で再利用できるものは活用され、不要なものは細胞外へ排出される。

巨大分子である DNA の生合成からはじまり、転写される mRNA の生合成、アミノ酸を連結させてタンパク質を生合成する全ての段階で使われる ATP の大半は、ミトコンドリアで作られる。このように、酵母細胞は機能別に分割した小器官を適宜有効に使い分けながら、生命の維持と増殖をしている。

5-7. トリアシルグリセロール（油脂）の生合成には膨大なエネルギーと還元力が必要

トリアシルグリセロールの分子構造は、グリセロール（グリセリン）分子を構成する 3 個の炭素原子の各々が持つ水酸基に、それぞれ脂肪酸がエステル結合をしている。グリセロール部分は、サイトゾルで働く解糖系の中で生成される物質であるジヒドロオキシアセトンリン酸（dihydroxyacetone

〔注 7: deoxyribonucleic acid の略号として DNA とよばれる。五炭糖のひとつであるリボース:ribose ($C_5H_{10}O_5$) から酸素 (oxygen) 1 原子を除去した (de-) 構造をしたデオキシリボース (deoxyribose): $C_5H_{10}O_4$ という五炭糖とリン酸が交互に結合した長い主鎖があり、その各デオキシリボース部分に 4 種類の塩基性の物質 (A, G, C, T) のいずれかがひとつが連結している構造を持つ核酸 (nucleic acid: 核の中にあり、塩基性色素で染まる酸性物質という意味) を指す。デオキシリボース、リン酸、塩基性物質が各 1 分子ずつ結合している状態をデオキシリボヌクレオチドと呼んでいるので、DNA は多数 (poly-) のデオキシリボヌクレオチドが連鎖した構造をしている。そうした化学構造に注目すると、DNA をポリデオキシリボヌクレオチドとも表現できる。〕

〔注 8: リボース (ribose) という五炭糖とリン酸が交互に結合して長い鎖状の構造を主鎖とし、リボースの中にありながら長い鎖状の構造の形成には関与していない水酸基のひとつに、4 種類 (A, G, C, U) ある塩基性化合物のいずれかが 1 個が結合した基本構造を持っている核酸。〕

〔注 9: ribosome: ribo- は 五個の炭素で構成されている糖 (ペントース) の一種であるリボースを持った核酸、即ち RNA (ribonucleic acid) を表わしている。-some は「・・体」を表わしており、ribosome は RNA とタンパク質の複合体を構成している。〕

phosphate)が、 $\text{NADH}+\text{H}^+$ で還元されてL-グリセロール3-リン酸になり、そこからトリアシルグリセロールの生合成へと進む。

サイトゾルで解糖系を経て作られたピルビン酸はミトコンドリア内に入り、脱水素反応と脱炭酸反応を伴ってCoAと結合し、アセチルCoA（〔注10〕を参照）になる。炭素原子2個のアセチルCoAを8個使ってC16の脂肪酸を生合成するのはサイトゾルである。この間に分子を大型化するので大量の結合エネルギーが必要であり、当然ながら大量のATPが使われる。アセチルCoAが準備されても、アセチル基（ $\text{CH}_3\text{-C}(=\text{O})\text{-}$ ）の部分で連鎖させて脂肪酸にまで到達させるには、もうひとつの課題がある。即ちアセチル基が持ち込んできた酸素原子を除去しなければならない。その反応を推し進めるサイトゾルでは、水素原子を与えるのに必要な大量の $\text{NADPH}+\text{H}^+$ が求められる。

大量にATPと $\text{NADPH}+\text{H}^+$ を消費して生合成された脂肪酸3個を使って、トリアシルグリセロール(油脂)を作るのであるから、生物にとって油脂を作るのは大仕事である。

5-8. アセチル CoA をミトコンドリアの内側から外側へ運び出す

脂肪酸生合成の出発物質となるアセチルCoAはミトコンドリア内で作られるので、それをどうやって脂肪酸合成の場であるサイトゾルへ運び出すかが、少々厄介である。

ミトコンドリアの外周には二重の膜構造がある。それらの膜を通過して物質が出入りするには、移動が許されるか、許されないかを厳密に区別するタンパク質の関門をくぐらなければならない。ミトコンドリア内部で生産されたアセチルCoAは、この膜にあるタンパク質の関門で移動が許されない。

そこで、一時的に変身して膜を通り抜ける。ミトコンドリア内で進行しているクエン酸サイクル

を構成する一員で、炭素原子4個で構成されているオキサロ酢酸（〔注11〕を参照）と結合し、炭素原子6個が連結したクエン酸になる。このクエン酸はトリカルボキシレートトランスポーターというタンパク質の働きで、ミトコンドリア膜を通過できる。

反応性に富んだアセチルCoAは、オキサロ酢酸と結合するときには自己の化学構造の中に持っているエネルギーを使ってしまうので、できたクエン酸は反応性が乏しい。ミトコンドリアからサイトゾルへ出たクエン酸は、再びアセチルCoAにならなければ、脂肪酸の生合成に使えない。遊離した（何かと結合していない）CoAを使ってアセチルCoAを作るには、大量のエネルギーが必要である。そこで、エネルギーに富んだATPを道連れにした解裂反応（反応の触媒になる酵素はATP:クエン酸リアーゼ、ATP:citrate lyase）を経て、アセチルCoAに戻る。

5-9. アセチル CoA をミトコンドリアから運び出した運搬役は、再びミトコンドリアへ戻らなければならない

ATP:クエン酸リアーゼが作用する解裂反応でできるのはアセチルCoAだけではなく、オキサロ酢酸もある。オキサロ酢酸は再びミトコンドリア内へ戻りたいが、ミトコンドリア膜にある関門が通過を許さない。

オキサロ酢酸がミトコンドリア内へ戻るには、もう一度変身して関門を通らなければならない。戻り道の第1段階では、オキサロ酢酸がサイトゾルにあるリンゴ酸デヒドロゲナーゼの作用で $\text{NADH}+\text{H}^+$ から水素を受け取ってリンゴ酸(malic acid)となる。

そこからの第2段階では、2本の経路が用意されている。1本目はリンゴ酸がミトコンドリアにあるリンゴ酸- α ケトグルタル酸トランスポーターの働きでミトコンドリアへ直接もどる経路。そして2本目はサイトゾルにあるリンゴ酸酵素

〔注10：アセチルCoA (acetyl CoA: $\text{CH}_3\text{CO-CoA}$ あるいは $\text{CH}_3\text{CO-S-CoA}$ と記されることが多い) とは、炭素原子2個で構成されている酢酸 (acetic acid: $\text{CH}_3\text{-COOH}$) のカルボキシル基 ($-\text{COOH}$) と、ビタミンB群のひとつであるパントテン酸を中心にした補酵素A (Coenzyme A, 略してCoA, あるいはCoASHと書かれ、分子の末端に他の分子と結合するスルフヒドリル基=チオール基: $-\text{SH}$ がある) がチオエステル結合した構造である。このアセチルCoAを構成しているチオエステル結合は、開裂すると大量にエネルギーを放出する高エネルギー結合と総称される結合のひとつなので、その部分が分解しながらアセチル基が他の化合物と結合する化学反応を起こし易い。〕

〔注11：オキサロ酢酸とは、蓼酸(しゅうさん: カタバミの葉にある炭素数2個の酸)の英語名であるoxalic acidと酢酸(acetic acid)との間で、水分子を失って結合した形式をもった化学構造をしているので付けられた名称〕

(malic enzyme) の働きで NADP^+ へ水素を与える ($\text{NADPH}+\text{H}^+$ を生産) と同時に二酸化炭素を離してピルビン酸になり、ピルビン酸がミトコンドリアの膜にあるピルビン酸トランスポーターの働きで膜を通過する経路である。

ミトコンドリア内へ戻ったピルビン酸は、ピルビン酸カルボキシラーゼの働きで、ATP を消費しながら CO_2 を結合し、オキサロ酢酸へ戻る。この2本目の経路は二酸化炭素の出入りと ATP の消費があつて無駄が多いように見えるが、サイトゾルに $\text{NADPH}+\text{H}^+$ を残してゆくの、次項で述べる脂肪酸生合成にとっては有難い置き土産である。

ミトコンドリア内でできたアセチル CoA をサイトゾルへ運び出し、その運び出し役だったオキサロ酢酸が姿を変えてサイトゾルからミトコンドリアへ戻り、ミトコンドリア内で再びオキサロ酢酸に戻る経路 (図 16) をシャトル機構と呼んでいる。

なおシャトルとは、本来は布織り機で左右へ横糸を往復させる杼 (ひ) を意味しているが、短距離間を往復する列車やバスをあらわすときにも使うようになり、現在では宇宙空間と地球を往復するスペースシャトルで馴染み深くなった単語である。

細胞内では機能の重要性に多少の疑問があるが、オキサロ酢酸がサイトゾルからミトコンドリアへ戻る第3の手だてもある。オキサロ酢酸がサイトゾルでグルタミン酸からアミノ基転移反応を受けて、アスパラギン酸になる反応である。そのアスパラギン酸はミトコンドリア内へ帰ってから、アミノ基を転移させる反応を受けてオキサロ酢酸に戻る。

5-10. アセチル CoA の反応性をさらに大きくして脂肪酸生合成に使う

真核生物では脂肪酸はサイトゾルにある脂肪酸合成酵素複合体 (多数の酵素が集合配列した集団を作り、一連の反応を効率よく進める構造体) によって、生合成される。その複合体の基本構造は、中心軸にアシルキャリアプロテイン (acyl carrier protein: ACP) があり、その周辺には機能が異なる6種の酵素群があつて、順送りに作用するように配置されている。それぞれの機能の説明から入ると記述が長くなるので、詳細を理解したい方々にとっては不満が残るかもしれないが、簡略化して説明する。

サイトゾルに出たアセチル CoA の第1の分子は、

ACP の周辺を囲む酵素群のひとつ (KS) に近づくと、CoA を離しながらアセチル基がその酵素と結合する。第2のアセチル CoA ($\text{CH}_3\text{-CO-S-CoA}=\text{H-CH}_2\text{-CO-S-CoA}$) は、脂肪酸合成酵素複合体に近づくのに先立って、ATP を消費しながら CO_2 を結合させてマロニル-CoA ($\text{HOOC-CH}_2\text{-CO-S-CoA}$) となる (途中にビオチンが介在するが、詳細は省略する)。このマロニル CoA は、CoA を離して、ACP の中心軸のように図示された部分の先端にある-SH 部分 (スルフヒドリル基) と、 $\text{HOOC-CH}_2\text{-CO-S-ACP}$ (マロニル-S-ACP) の形で結合する。

なぜ、マロニル-CoA になるような面倒な手続きを必要とするのだろうか。その理由は、KS に結合している第1のアセチル基の結合を切り離し、それを ACP に結合しているマロニル基と結合させて脂肪酸へ生長させる目的があるからである。

ひとまず ATP を消費しながらでも炭素数3個のマロニル CoA になると、マロニル CoA の2番目の炭素原子 ($-\text{CH}_2-$ の部分) は、両側をカルボニル基 ($>\text{C}=\text{O}$) に挟まれるので、一挙に反応性が高くなる。その反応性が高くなった $-\text{CH}_2-$ 部分が次の反応に生かされる。

マロニル-S-ACP (中心軸) のマロニル部分にあるメチレン基 $-\text{CH}_2-$ は、ACP と結合している反対側に付いていたカルボキシル基 (HOOC-) から CO_2 を放出しながら、周辺酵素 KS に結合していたアセチル基 (第1のアセチル CoA に由来する) を奪い取るようにして結びつける。できたのは β -ケトブチリル-ACP である。そして、第1のアセチル CoA が結合していた酵素 KS は何も持たなくなる。

ここに出てきた“ケト (keto)”という文字は、炭素原子が酸素原子と二重結合をし ($>\text{C}=\text{O}$)、さらに2個の有機原子団と結合した構造をとっていることを示している。ACP に結びついた β -ケトブチリル CoA は、ケト部分の酸素を取り去り、炭素原子の周辺に水素だけが結合した姿に還元されなければならない。その還元作用が完了する過程で、これまでは使われていなかった周辺酵素が次々と作用する。

先ずは KR が作用してこのケトン構造に $\text{NADPH}+\text{H}^+$ を消費しながら水素を与え、炭素原子の両脇を水素 (H-) と水酸基 ($-\text{OH}$) にする。次に HD が作用して水酸基になった酸素原子を、隣接す

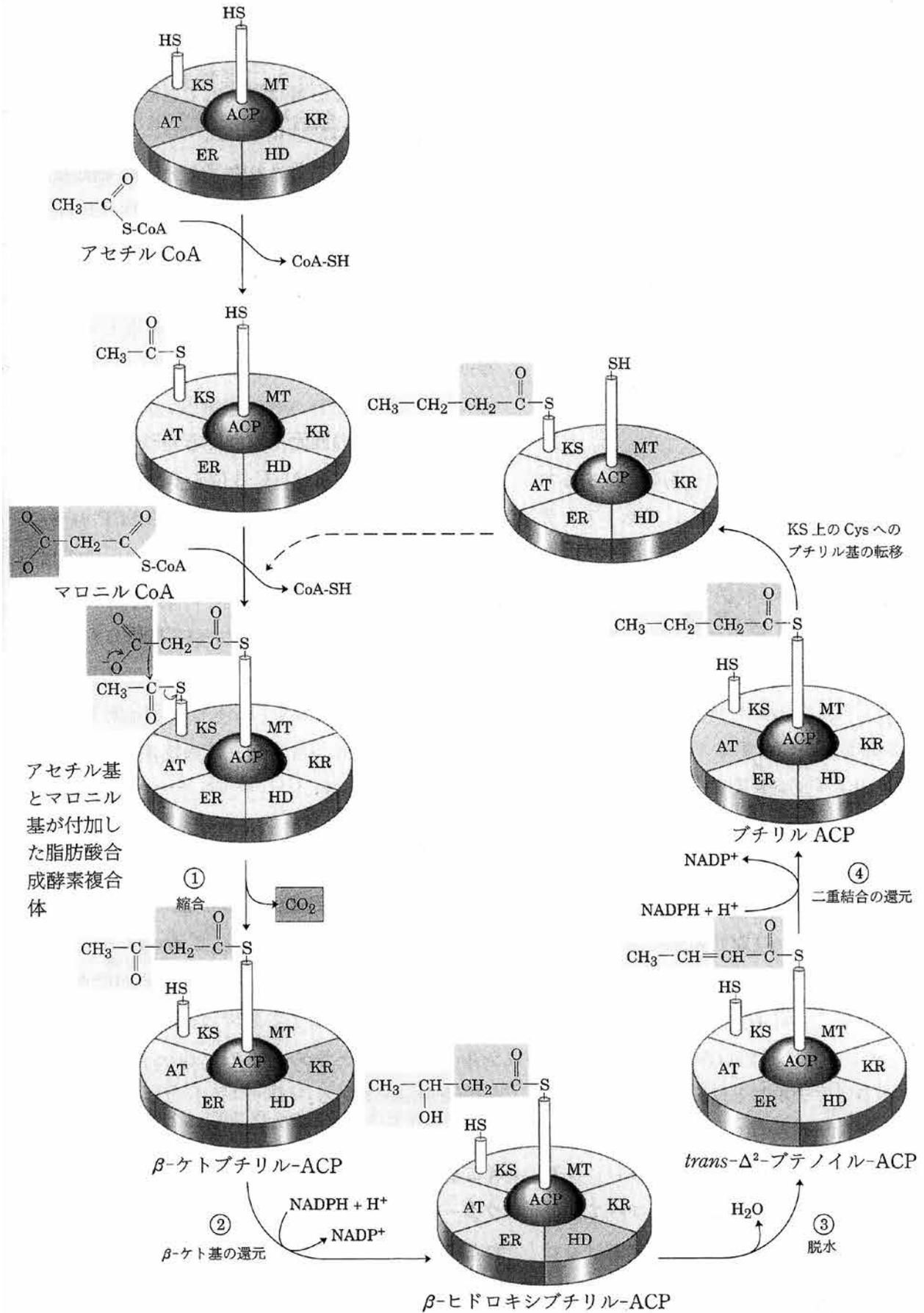


図 17 脂肪酸合成過程を示す簡略図

(山科監修, 川崎編集, 「レーニンジャーの新生化学 第2版」, p815, 廣川書店, 2006 から引用)

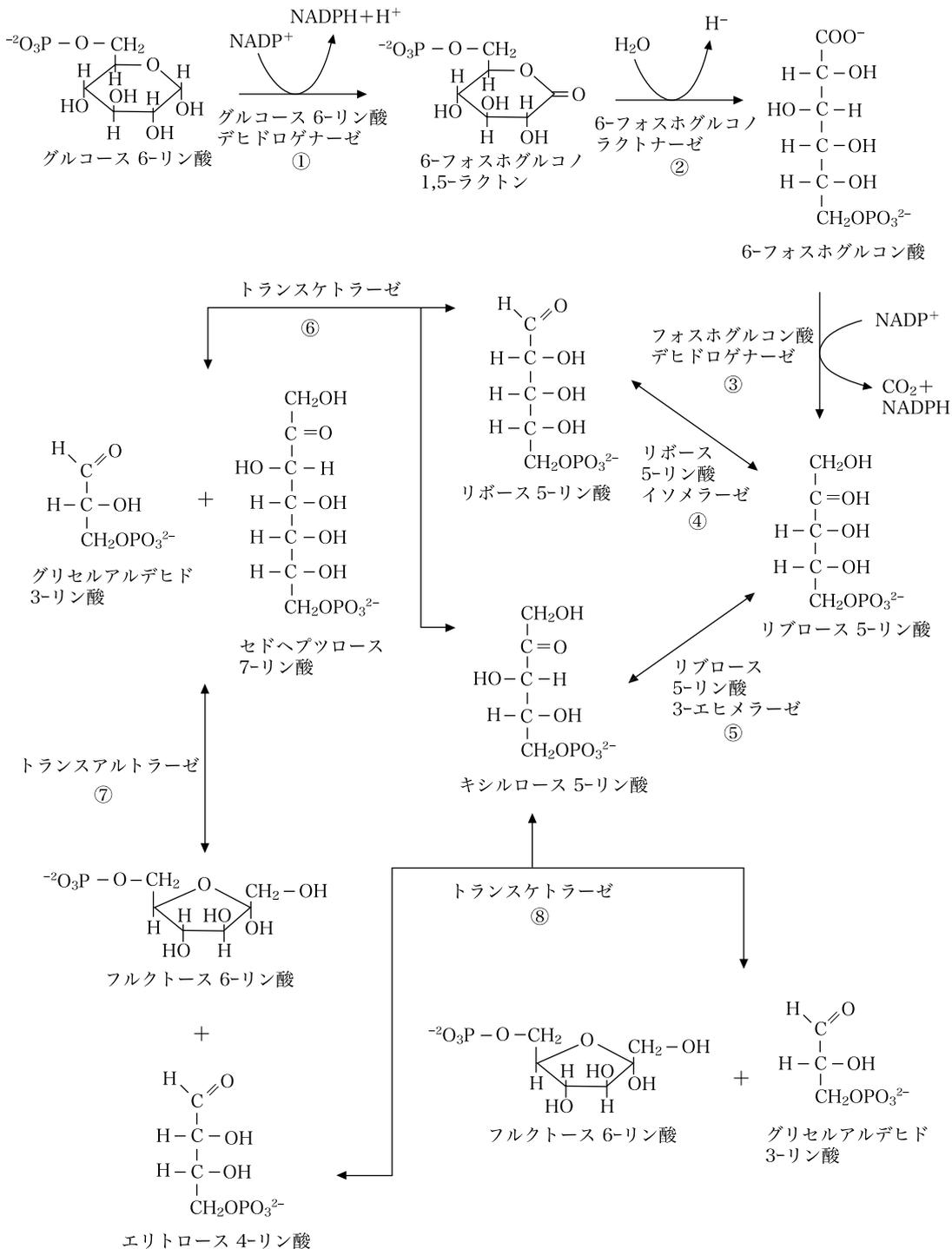


図 18 ペントースリン酸回路

(杉森, 松井, 天尾, 小山共著, 「基礎からわかる生物化学」, p100, 北森出版, 2010 から引用)

る炭素原子に結合している水素原子と一緒にし、水分子として除去する。その除去によって、隣接した2個の炭素原子間に二重結合(-HC=CH-)ができる。その不飽和結合(二重結合)部分へ水素を押し込んで(ERの働き)二重結合を解消させ(-CH₂-CH₂-),炭素原子の両脇に水素原子がついた脂肪酸の構造にする(ATの作用)。ここまでの間の2回にわたる水素を与える生化学反応は、 $\text{NADPH} + \text{H}^+$ を使って進

行する。

サイトゾルでは $\text{NADPH} + \text{H}^+$ の供給源は、先に記したリンゴ酸酵素(図16)だけではない。解糖のバイパスに相当するペントース(五炭糖)リン酸回路(図18)の導入部分からも供給される。

β -ケトブチリル CoAの β -ケト部分が完全に還元されてブチリル-S-ACPになると、ブチリル-部分(ブチル基)は、第1のアセチル CoAが結合して

いた周辺タンパク質部分 KS へ移される (AT の働き)。空白になった中心軸 (ACP-SH) は再びマロニル CoA を結合し (MT の働き)、上記と同様の諸反応を脂肪酸合成酵素複合体が繰り返して、炭素数 16 の脂肪酸になるまで生長する。

8 個のアセチル CoA から、炭素数 16 の脂肪酸であるパルミチン酸を 1 個だけ生産する間に、ATP は 23 個も消費され、14 組以上に相当する NADPH+H⁺ も消費される (オキサロ酢酸がどうゆう経路でサイトゾルからミトコンドリアへ戻るかによって数値が異なる)。これらの数字を見ただけで理解できるように、パルミチン酸 (あるいはその誘導体) 3 個をグリセロールにエステル結合させて油脂を生産するのは、細胞にとって大仕事なのである。

6. 培地を LS から CG へと変化させたときに、*L. starkeyi* の脂肪蓄積に関わる酵素群の活性はどのように変化するか

根気よく生理学実験を続けた努力の結果として開発できたのが CG (あるいは CG-P) 培地と LS

培地である。それらを、どのように使えば、*L. starkeyi* の特質である細胞内部ヘトリアシルグリセロール (油脂) を蓄積する生化学機構が明らかになるだろうか。幾つかの道筋が考えられたが、最も直接的に理解できるのは、菌体を亜鉛とマンガンが不足している LS 培地で培養している途中で、培地へ亜鉛とマンガンを追添加し、培地組成を CG (あるいは CG-P) 培地へ一挙に変換する方法であった。ただし、LS 培地はリン酸塩濃度が低いので、それを一挙に高くして CG-P 培地へ転換するには無理があった。そこで亜鉛塩とマンガン塩だけを追添加して CG 培地にした。次には、LS 培地で培養して得た菌体から採取した無細胞抽出系が示す酵素反応の場合、亜鉛イオン、マンガンイオンを与えて、酵素活性に変化が見られるかを確かめる実験であった。

細胞増殖は抑制されるが、油脂蓄積が著しく増大する LS 培地を幾つかの坂口フラスコに分けてる *L. starkeyi* を培養しておく。その培養途中で、半分のフラスコへマンガン塩と亜鉛塩の溶液を添加して、培地組成を増殖が盛んになる CG 培地へ変換させ

表 2 LS 培地中で培養を継続した菌体と、マンガン塩と亜鉛塩を追添加した培地中の菌体が示す幾つかの主要酵素の活性

通算培養時間 (hr)	90	100	100
転換後の培養時間 (hr)	0	10	10
	LS 培地	LS 培地	LS から CG へ 途中変換した培地
	活性 (基質変換量 /min/ 可溶性タンパク 1mg)		
解糖系			
ヘキソナーゼ (HK)	0.013	0.013	0.021
フォスホフルクトキナーゼ	0.056	0.054	0.052
アルドラーゼ	0.0065	0.0059	0.0079
3- フォスフォグリセリン酸キナーゼ	1.81	1.74	1.55
エノラーゼ	0.396	0.338	0.365
ペントースリン酸回路			
グルコース 6- リン酸 デヒドロゲナーゼ	0.391	0.378	0.409
6- フォスフォグルコン酸 デヒドロゲナーゼ (6-PGDH)	0.120	0.114	0.024
グリセロール合成経路			
グリセロール 3- リン酸 デヒドロゲナーゼ (GDH)	0.012	0.013	検出できず
クエン酸回路			
クエン酸シンターゼ	0.551	0.582	0.584
イソクエン酸デヒドロゲナーゼ (ICDH(NAD))	0.0083	0.0094	0.013
リンゴ酸デヒドロゲナーゼ	1.29	1.20	1.20
脂肪酸合成経路			
ATP : クエン酸解裂酵素 (ATP : CL)	0.046	0.041	0.002

た。変換した時点を基準時 (0) とした。基準時以後も LS 培地で培養を継続しておいた細胞と、培地組成を CG 培地へ変換する手続きを経てから培養を継続した細胞とを、基準時から 10 時間後に取り出して幾つかの酵素活性を比較した。その中の代表例を表 2 に示した。

解糖系をはじめとして、多くの酵素活性には変化が見られなかったが、著しく変化した酵素が 3 種類あった。ひとつはペントースリン酸経路にある 6-フォスフォグルコン酸デヒドロゲナーゼ (6-phosphogluconate dehydrogenase) である。この酵素はサイトゾルにあって、NADP⁺ を還元して NADPH+H⁺ を生み出す。次にはグリセロール 3-リン酸デヒドロゲナーゼ (glycerol 3-phosphate dehydrogenase) である。この酵素は解糖系から分岐して、グリセロールへ脂肪酸をエステル結合させる途中で働く。第 3 には ATP: クエン酸リアーゼである。ATP を道連れにしてクエン酸をアセチル CoA とオキサロ酢酸に開裂する酵素であり、その機能は先に紹介した。

LS 培地から菌体増殖が活発になる CG 培地へ転換されると、6-フォスフォグルコン酸デヒドロゲナーゼ活性は 0.114 から 0.024 へと約 5 分の 1 に低下し、グリセロール 3-リン酸デヒドロゲナーゼ活性は検出できないほど (ND: not detected) 低くなった。ATP: クエン酸 リアーゼ活性は約 20 分の 1 に低下した。

いずれをとっても、脂肪酸とトリアシルグリセロール (油脂) の生合成には不利に働く、と解釈された。したがって、LS 培地で油脂を蓄積していた *L. starkeyi* は、マンガン塩と亜鉛塩を培地へ添加されると、細胞増殖へと代謝方向が転換されることが酵素活性の変化からもわかった。

7. 無細胞抽出系にマンガン、亜鉛を加えると酵素活性が変化する

前項で述べた内容で、細胞の増殖途中で培地組成を変化させると、細胞から抽出された酵素の幾つかは、明らかに活性の変化を示した。その結果を受けて、LS 培地で培養した細胞の酵素活性を測定する試験管反応系に、外部からイオン類を加えるだけで活性が変化するだろうか、という疑問に答えようとする実験を行った。

その実験に備えて、培地組成を LS から CG へ変換する前と後の細胞から抽出した無細胞抽出液中の亜鉛およびマンガンの濃度を比較した。変換後の無細胞抽出液中の両イオンの濃度は、変換前のそれらに比べて数十倍も高かった (表 3)。亜鉛やマンガンが培地へ加えられると細胞の中へ取り込まれ、細胞中の亜鉛とマンガンの濃度変化が直接的に酵素活性を変化させるのではないかと予測させたのである。

実験に入り、LS 培地で培養しておいた *L. starkeyi* から無細胞抽出液を用意し、そのまま測定した酵素活性を基準値 (1) とした。それと比較するのは、同じ無細胞抽出液へ亜鉛イオンは ZnSO₄ · 7H₂O として 0.61mM、マンガンイオンは MnCl₂ · 4H₂O として 0.27mM になるように加え、5°C で 1 時間経過させた後に測定した酵素活性から、相対値を算出した (図 19)。両イオンの濃度は、培地組成を変換してから抽出した無細胞抽出液中に存在したのと同濃度になるようにした (Naganuma ら J.Basic Microbiol., 27 35 ~ 42 1987 ほか関連論文 2)。

解糖系のヘキソキナーゼ (hexokinase:HK)、グリセルアルデヒド 3-リン酸デヒドロゲナーゼ (glyceraldehyde 3-phosphate dehydrogenase:GAP-DH)、フォスフォグリセリン酸ムターゼ (phosphoglycerate mutase:PGM) はイオン類添加で、基準値にくらべ

表 3 LS 培地へ亜鉛塩とマンガン塩を追添加して CG 培地へ転換させる前後に抽出した無細胞抽出系中の両金属イオンの濃度

通算培養時間 (hr)	90	100	100
亜鉛塩およびマンガン塩添加後 (hr)	0	10	10
培地	LS	LS	CG
無細胞抽出系中のイオン濃度 (μM)			
亜鉛 (Zn ²⁺)	11.0	9.9	600.0
マンガン (Mn ²⁺)	3.6	3.6	260.0
無細胞抽出系中の可溶性タンパク量 (mg/mL)	10.9	10.7	9.9

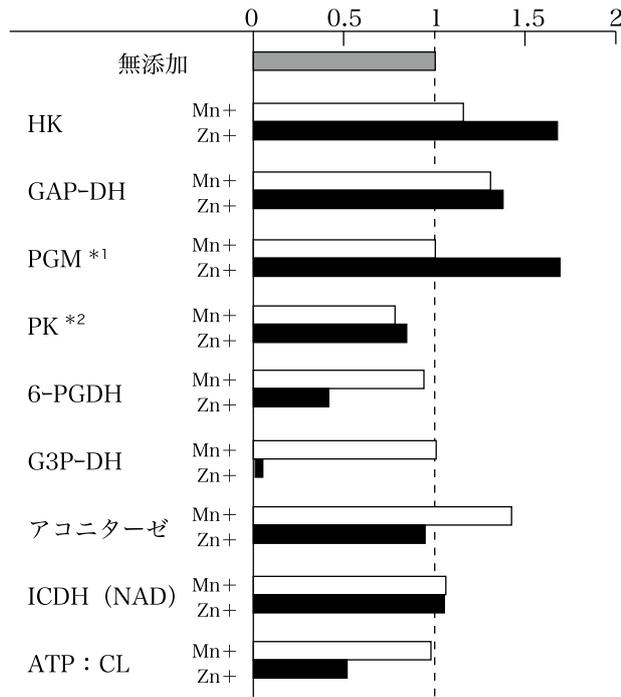


図 19 幾つかの酵素反応系に及ぼす亜鉛イオン，マンガニオン添加の影響（相対値）

GAP-DH：グリセルアルデヒド 3-リン酸デヒドロゲナーゼ

*1：phosphoglycerate mutase（フォスフォグリセリン酸ムターゼ）

*2：pyruvate kinase（ピルビン酸キナーゼ）

その他の略号は表 2 を参照

SL 培地で生育した菌体から抽出した粗酵素に，亜鉛イオンは $ZnSO_4 \cdot H_2O$ として 0.61mM，マンガニオンは $MnCl_2 \cdot 4H_2O$ として 0.27mM 加えて 5℃，1 時間経過後，酵素活性を測定した。イオン無添加区を 1 としたときの相対値で活性を示した。

て活性が上がった。これらの結果は，解糖が活発になったことを示している。

しかし，油脂（トリアシルグリセロール）の化学構造の中心に位置するグリセロール（グリセリン）を作るグリセロール 3-リン酸デヒドロゲナーゼ（glycerol 3-phosphate dehydrogenase:G3P-DH）は，亜鉛イオンを加えると著しく活性が低下した。サイトゾルでアセチル CoA を生み出す ATP: クエン酸 リアーゼ（ATP:citrate lyase）と NADPH+H+ を供給する 6-フォスフォグルコン酸デヒドロゲナーゼ（6-phosphogluconate dehydrogenase:6-PGDH）の活性は，亜鉛イオンの添加で半分程度に低下した。これらの結果は，いずれも油脂の蓄積から細胞増殖へと代謝が変化することを示していた。

グリセロール 3-リン酸デヒドロゲナーゼ（G3P-DH）の活性は，反応系に与えられる亜鉛イオンの濃度が高くなると著しく低下する，と検証した実験結果を図 20 に示した。LS 培地で培養した菌体から無細胞抽出液を作り，G3P-DH 活性測定系へ亜鉛イオンを加えると，添加量に応じて活性が低下した（図 20 左）。培地を CG にしてから無細胞抽出系を作り，その G3P-DH 活性測定系へ金属イオンを捕捉できる試薬 EDTA を添加すると，その添加量に応じて活性が上昇する結果が得られた（図 20 右）。

生活している細胞を観察対象にする生理学的培養実験，および無細胞抽出液を用いる生化学実験を行い，いずれも亜鉛イオンとマンガニオンの添加が油脂の蓄積を低減させ，細胞増殖を促進する方向へと代謝を導くことが明らかになった。

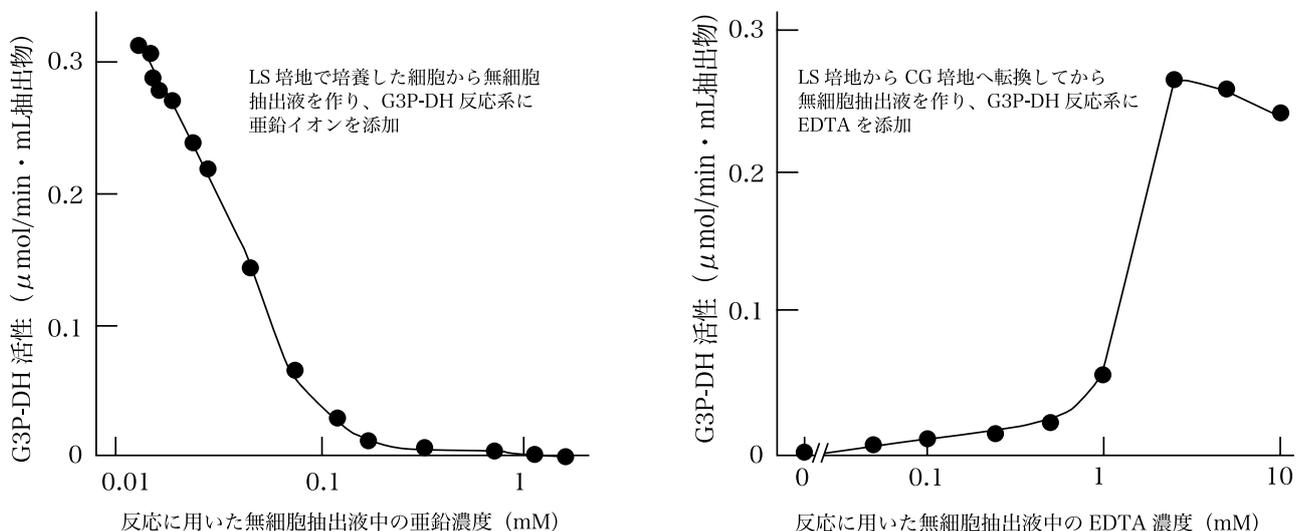


図 20 グリセロール 3-リン酸デヒドロゲナーゼ活性測定系に対する亜鉛イオン添加の影響と EDTA 添加の影響

ミルク

至高の食品がわかる

伊藤 敏敏 著

■A5版 / 156ページ ■定価：(1900円 + 税)

■発行：エヌエフアイ



本書はミルクについて平易に解説された専門書です。著者が日本大学生物資源科学部において教鞭を執られていた際に執筆し、これまで教科書として発刊していましたが、本書が教科書だけでなく広く牛乳・乳製品工場の技術者にも役立つ参考書としてエヌエフアイより発刊いたしました。

まえがきより

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

第1章 ミルクの科学的特性 一秘められた力

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

第2章 乳製品の知識と製造の基本原則

1. 日本ではどの位の牛乳・乳製品が食べられているのだろう
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

South Africa Communications

~ Alpine plants live robustly in Table Mountain

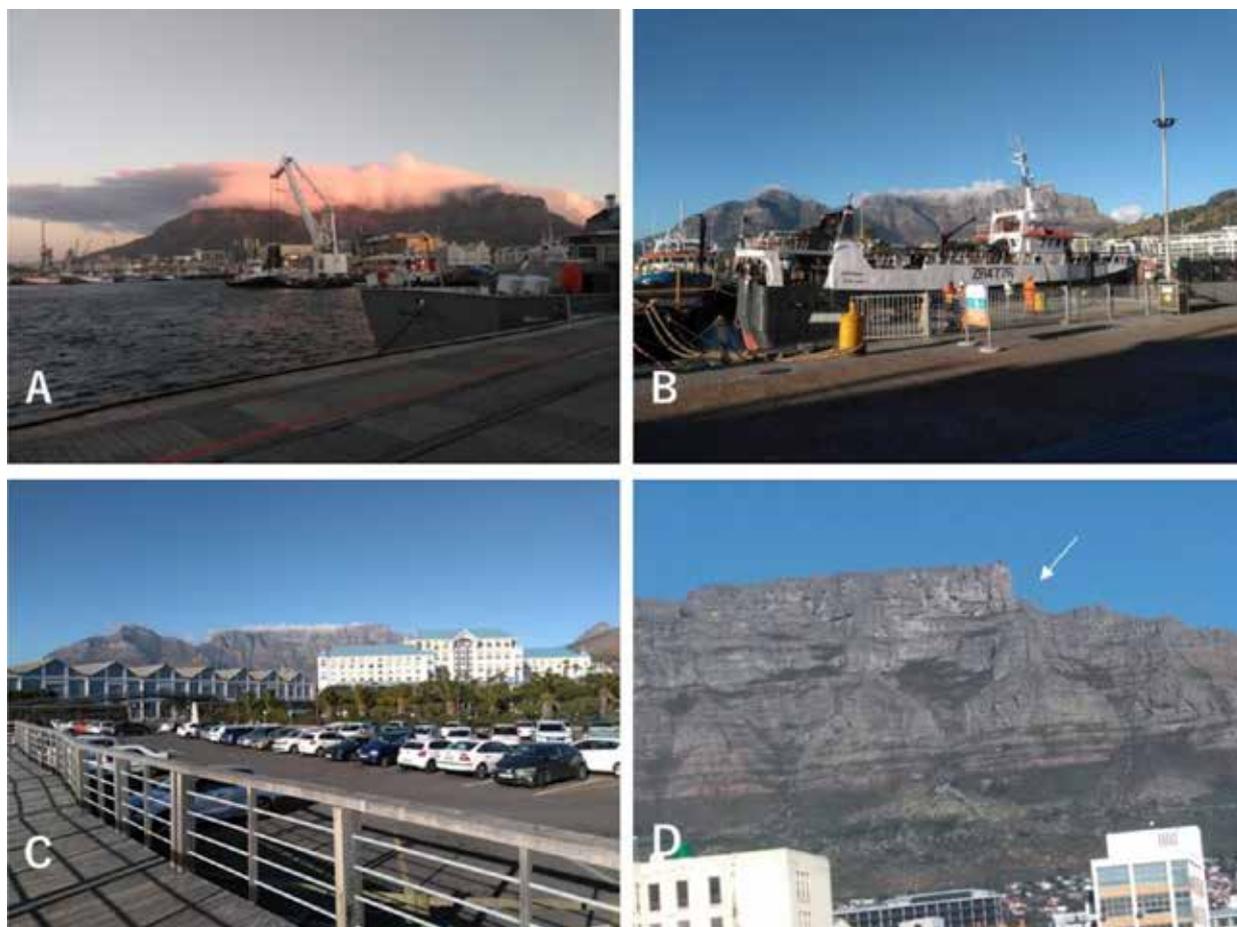
Hiroshi Sakagami¹

¹ Meikai University Research Institute of Odontology (M-RIO), Saitama, Japan

On May 2019, our group of Meikai and Asahi Universities paid a courtesy visit to Western Cape University (UWC), one of our sister universities in South Africa. We landed on Pretoria airport, where we were welcomed by honorable Mohau Pheko, the former ambassador of the Republic of South Africa to Japan. She took us to her house by her big car and entertained us with traditional South African foods. We flew to Cape Town. We visited a nursing school with deans of UWC. They kindly gave

me an opportunity to cover school cafeteria (kitchen, menu and interview with the chief chef), and lectures at the Faculty of Pharmacy. In front of me, very impressive flat-top “Table Mountain” appeared (**Picture 1**).

We can reach the top by 5 minutes ride on a rotating ropeway gondola, or by 3 to 4 hours by hard mountain walking. At the top is a flat ground measuring 100 m long and 3 km wide. Due to the strong wind, the operations of



Picture 1. Table Mountain in the evening (A), early morning (B, C) and daytime (D) (arrow: ropeway).



Picture 2. Plants in Cape Botanical Reserve protected area

the gondola (Picture 1D) was canceled, we lost a chance to reach the top of Table Mountain. Instead, we enjoyed the sightseeing in the Cape town city, and a dinner in a winery of Stellenbosch. Whenever we went, Table Mountain always welcomed us from behind (Picture 1). After returning to Japan, I learned that Table Mountain has many alpine plants that live robustly in the harsh nature.

Cape Town is known as a flower city with 3.7 million people. Table Mountain is part of the Cape Botanical Reserve, a UNESCO World Heritage Site. Table Mountain (1086 m) is the only mountain on the Cape Peninsula. Uplifted 280 million years ago, the hard sandstone at the top remained, while the soft shale at the bottom was eroded into the table-like shape that can be seen today²⁾. There are mountains with similar flat peak, but generated by different mechanism, in South Africa. The Drakensberg mountains were formed by the dissection of the continent by the upward flow of the super plume (heat flow) from the inside of the earth, the overflow of magma and then the flood-like spread of lava to make the surface strangely flat³⁾.

Proteas, the National Flower of South Africa, is grown for decor and export. A small belt of natural shrubland or heathland vegetation located in the Western Cape and

Eastern Cape provinces is called “Fynbos”. This area serves as an important role in maintaining the biome of Table Mountain as well as use in traditional medicines among the natives (Picture 2).⁴⁻⁸⁾. There are 2,800 types of flowers on the Cape Peninsula. *Strelitzia* (aka Bird of Paradise) has a strong presence even in just one blossom, but if you put it together, it becomes a stylish wedding bouquet. Although there are 7,000 endemic species in the flora distribution map, 1300 species are in bloom here in the Cape Botanical Reserve protected area (scale: about half of Honshu, Japan). Even in a hard condition on volcanic rocks, wildflowers grow well there. They seem to enjoy dancing even in strong winds. From March to April, carpets of flowers of various colors spread. Porous rocks slowly release rainwater, creating waterfalls, that are difficult to be found unless you walk about five miles. Why are they alive even though there are scanty of rivers or waterfalls?

According to Dr. John C Manning of the South African National Biodiversity Institute, the orange trumpet-like flower *Watsonia* (bugle lily) is an endemic species only in Table Mountain. They store water in a large bag-shaped leaf on the stem. In addition, *Edmondia* is tight in the stem, the leaves such as fish scales, take a little moisture, close the flowers to preserve once absorbed water²⁾. So

where does water come from? According to Dr. Frank D Eckardt, a professor of environmental geography at University of Cape Town, when high pressures protrude to parts of the land of the Cape Peninsula, and strong winds from the sea hit the table mountain, a tablecloth cloud (like a thin cloth) is formed. This cloud provides the water to flowers, thus having made them evolved over the years. This tablecloth phenomenon can be observed mostly in the summer, a few times a year²⁾.

In the morning, a thin cloud occurs on the left side of the summit, and silky smooth clouds flow through the mountain surface. A huge cloud covers the mountain surface, makes it stick, and flows like a waterfall. Edmondia and Watsonia store a glass of water on their stems and are sucked into the bag. And, they survive the dry season when there is little rain. The spring water of Table Mountain is also the cleanest one in Africa.

References

1. Sakagami H, Katsumata A, Fujiwara S, Den I, Pheko M, Malan SF, Lamson D, Bawa U, Rhoda A, Gottgens P, Osman Y and Ohtomo K. School cafeteria in the world (4) – University of the Western Cape. *New Food Industry* **61** (8) 637-647, 2019 (ISSN: 0547-0277)
2. NHK broadcast program "Great Nature" (released July 4, 2019): Phantom phenomenon! Mysterious giant cloud tablecloth ~South Africa.
3. NHK broadcast program "Great Nature" (released in May 30, 2020): One km drop: Great waterfall running down a mountain of dragons in Drakensberg mountains with Tuguera falls in South Africa
4. Ros-Santaella JL, Kadlec M and Pintus E. Pharmacological activity of honeybush (*Cyclopia intermedia*) in boar spermatozoa during semen storage and under oxidative stress. *Animals* (Basel). 2020 Mar 10;**10** (3):463. doi: 10.3390/ani10030463. PMID: 32164369
5. Stiller M. A new leafhopper genus *Discolopeus* and nine new species (*Hemiptera, Cicadellidae, Deltocephalinae*) associated with shrubs, trees and poisonous plants in South Africa. *Zootaxa* **4559** (2):201-244, 2019. doi: 10.11646/zootaxa.4559.2.1. PMID: 30791014
6. Ros-Santaella JL and Pintus E. Rooibos (*Aspalathus linearis*) extract enhances boar sperm velocity up to 96 hours of semen storage. *PLoS One*. 2017 Aug 24;**12** (8):e0183682. doi: 10.1371/journal.pone.0183682. eCollection 2017. PMID: 28837611 Free PMC article.
7. Lötter D and Maitre D. Modelling the distribution of *Aspalathus linearis* (Rooibos tea): implications of climate change for livelihoods dependent on both cultivation and harvesting from the wild. *Ecol Evol* (8):1209-1221, 2014. doi: 10.1002/ece3.985. PMID: 24834320
8. Malan AP, Knoetze R and Hugo HJ. First report of the root-knot nematode *Meloidogyne javanica* on Buchu (*Agathosma betulina*) in South Africa. *Plant Dis* **88** (5):574, 2004. doi: 10.1094/PDIS.2004.88.5.574A. PMID: 30812672

Hiroshi Sakagami
 e-mail: sakagami@dent.meikai.ac.jp
 Research map <http://researchmap.jp/read0025533/>
 Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-8001-2121>

和訳

テーブルマウンテンで逞しく生きる高山植物

坂上 宏¹¹ 明海大学歯科医学総合研究所 (M-RIO) (埼玉県坂戸市けやき台 1-1)

2019年5月、私達、明海大学と朝日大学のグループは、南アフリカ共和国にある姉妹校ウェスタンケープ大学 (UWC) を表敬訪問した。私たちは最初にプレトリア空港に着陸した。元南アフリカ共和国駐日大使のモハウフェコは、大きな車で彼女の家まで連れて行ってくれ、そこで、伝統的な南アフリカ料理で私達を楽しませてくれた。翌朝、ケープタウンに着き、UWCの学部長の方々とランチを共にし、看護学校を訪問した。彼らは私に学校の食堂 (キッチン、メニューそして主任シェフとのインタビュー) の取材、そして薬学部での講義の機会を与えてくれた。目の前には印象的な頂上が平な「テーブルマウンテン」が現れた。ロープウェイの回転ゴンドラに乗れば5分で、または歩いて登れば3~4時間で頂上に到達できる。頂上には、縦100 m × 横3 kmの平らな大地が広がっている。強風のため、ゴンドラ**写真1Dの矢印**の運航が中止され、テーブルマウンテンに行くことを断念した。その代わりに、ケープタウンの街を散歩し、ステレンボッシュのワイナリーでディナーを楽しんだ。私たちが何処に行っても、テーブルマウンテンは常に後ろから私達を歓迎してくれた (**写真1**)¹⁾。帰国後、テーブルマウンテンには、厳しい自然の中、逞しく生きる高山植物がたくさんあることを知った。

ケープタウンは、人口370万人の花の町である。テーブルマウンテンはユネスコ世界遺産に指定された、ケープ植物区系保護地域の一部であり、ケープ半島唯一の標高1086 mの山である。2億8000万年前に隆起し、上部の硬い砂岩が残り、下部の

柔らかい頁岩^{けつがん}が浸食され、現在見られるテーブル状になった²⁾。南アフリカには、形成のメカニズムは異なるが、山の頂上が平らな山が他にもある。ドラケンスバーグ山脈は、地球内部から湧き上がるスーパーブルーム (熱の流れ) の上昇気流により大陸が分裂し、マグマがあふれ出し、溶岩が洪水の様に平に広がったため、表面が不思議なほど平になったと言われている³⁾。

南アフリカの国花であるプロテアは、装飾と輸出のために栽培されている。南アフリカ共和国ウエストケープ州に帯状に分布する自然の灌木植生地域は、フィンボス (Fynbos) と呼ばれている。この地域は、テーブルマウンテンのバイオームを維持する上で重要な役割を果たしており、先住民の間で伝統的な医薬品として使用されている⁴⁻⁸⁾。ケープ半島の花は2800種類もある。ストレチア (別名、極楽鳥花、バード・オブ・パラダイス) は、1輪でも存在感は十分あるが、複数でまとめるとスタイリッシュな結婚式のブーケになる。フローラ植物分布図には、7000種の固有種があるが、ここケープ植物区保護地域は、日本の本州の半分位の広さしかないが、なんと1300種もの花が咲いている。火山性の岩の上では、植物が生育するのは大変だが、野生の花はそこでよく生育している。強風の時でも、楽しく踊っているようだ。3月から4月にかけて、様々な色彩の花の絨毯が広がる。多孔性の岩は、ゆっくりと雨水を放出し、滝を作る。それを見つけるのは容易ではない。5マイルほど歩かないと見つけれない。川や滝はないのに、どうして生きているのだろうか？

南アフリカ生物多様性研究所のジョン・マニング博士によると、オレンジ色のトランペット状の花のワトソニアは、テーブルマウンテンにしかない固有種である。茎についている袋状の大きな葉に水を貯めるそうだ。また、エドモンディアは、茎にびっしり、魚の鱗の様な葉に、僅かな水分を取り、水を吸収したら保存のため花を閉じる²⁾。それでは、水はどこからやってくるのだろうか？ケープタウン大学の環境地理学部教授のフランク・エカート博士は、高気圧が陸のケープ半島の陸の一部まで張り出し、海からの水分をたっぷり含んだ強い風がテーブルマウンテンにぶつかる時、テー

ブルクロスという（薄い布の様な）雲が、山を多い、花に水分を与える。そうして、花々は進化してきたそうだ。このテーブルクロスは、夏にだけやってくる現象であり、1年に数回しかやって来ない¹⁾。午前中、山頂の左側に薄い雲が発生し、絹のように滑らかな雲が山肌を流れる。巨大な雲が山肌を覆いつくし、張り付くようにして滝の様に流れる。エドモンディアやワトソニアは茎に一杯の水滴を貯め、袋に吸い込まれて行く。そして、雨の少ない乾季を乗り切るのである。テーブルマウンテンの湧き水は、アフリカでもっともきれいな水でもある。

連絡先：坂上 宏

〒350-0283

埼玉県坂戸市けやき台 1-1

明海大学歯科医学総合研究所教授

e-mail: sakagami@dent.meikai.ac.jp

Research map <http://researchmap.jp/read0025533/>

Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-8001-2121>



好評発売中

- A5版 / 248ページ
- 定価：(本体 3,500円+ 税)
- 発行：食品資材研究会



■ 著者 / 山口 正義 (やまぐち まさよし)

骨の健康と食因子

骨粗鬆症の予防と修復へのアプローチ

- 第1章 ホルモンと生体機能調節
- 第2章 ホルモンの細胞内への情報伝達とそのしくみ
- 第3章 カルシウム代謝とそのホルモン調節
- 第4章 骨代謝とそのホルモン調節
- 第5章 老化と骨カルシウムホメオスタシス
- 第6章 栄養性ミネラルと骨粗鬆症の予防
- 第7章 生体微量元素と骨粗鬆症の予防
- 第8章 骨粗鬆症を予防する食品由来生理活性因子
- 第9章 骨粗鬆症を予防する食品素材
- 第10章 複合食因子の骨効果と新規サプリメントの開発

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

www.newfoodindustry.com

ニューフードインダストリー 第62巻 第9号

印刷 令和 2 年 8 月 20 日
発行 令和 2 年 9 月 1 日
発行人 渡邊 力
編集人 今西 和政
発行所 エヌエフアイ合同会社
〒185-0012 東京都国分寺市本町3-7-23-302
TEL:042-312-0836(代表)
FAX:042-312-0845
振込先:三井住友銀行 国分寺支店 普通2312814
多摩信用金庫 国分寺支店 普通3073817
ゆうちょ銀行 〇一九店 当座0324817

印刷所 株式会社メイク
定価 [本体2,500円] + 税 (送料120円)

e-mail:newfood@newfoodindustry.com

New Food Industry 投稿規定

1. 本誌 New Food Industry は、食・医薬に関する原著論文、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否の判断がされた後、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, m³, kg, g, mg, mol, mmol, mM, μM, pH, b.p., f.p., MW, V, A, N, M, Rf 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: 本体2,500円 + 税
(送料120円)

雑誌 89591-8



4910895910802
02500