

New Food Industry

食品加工および資材の新知識

<http://www.newfoodindustry.com>

2015 Vol.57 No.6

6

論 説

- さとうきび抽出物の風味改善効果と退色抑制効果
- ブラックジンジャー・キトサン含有食品摂取による体脂肪低減効果の検討
- フグ毒が毒となるしくみ — ゾンビとフグ毒 —
- CO₂センサーを用いたγアミノ酪酸製造工程の簡便なモニタリング技術
- 更年期障害とピクノジェノール
A randomized, double-blind, placebo-controlled trial on the effect of low-dose
French maritime pine bark extract on climacteric syndrome in 170 peri-menopausal women
- 中鎖脂肪酸含有油脂 (MCT) の新たな食品機能特性
— パン焼成時にともなうメイラード反応との関係 —

隔月連載

- 組織の活性化と人材の育成
— 創る 造る 作る — より良い製品を目指すために
MONOZUKURI —In order to better products

連 載 健康食品のエビデンス 第2回

- 黒 酢

連載コラム 野山の花 — 身近な山野草の食効・薬効 —

- マムシグサ *Arisaema serratum* Dence.(Thunb.) Schott (サトイモ科 Araceae)

連 載

- ベジタリアン栄養学 歴史の潮流と科学的評価
(第4節 健康的なベジタリアン食への提言)

特別寄稿

- 酒とアロマでアンチエイジング

築地市場の魚たち

- 築地市場魚貝辞典 (イシダイ)



論 説

- ☐ さとうきび抽出物の風味改善効果と退色抑制効果
.....塩見 和世, 陸浦 美月 1
- ☐ ブラックジンジャー・キトサン含有食品摂取による
体脂肪低減効果の検討
.....三宅 康夫 7
- ☐ フグ毒が毒となるしくみ — ゾンビとフグ毒 —
.....村上 りつ子, 野口 玉雄 11
- ☐ CO₂ センサーを用いた γ アミノ酪酸製造工程の簡便なモニタリング技術
.....渡部 保夫, 河田 航貴 17
- ☐ 更年期障害とピクノジェノール
A randomized, double-blind, placebo-controlled trial on the effect of
low-dose French maritime pine bark extract on climacteric syndrome
in 170 peri-menopausal women.
.....小濱 隆文 25
- ☐ 中鎖脂肪酸含有油脂 (MCT) の新たな食品機能特性
— パン焼成時にともなうメイラード反応との関係 —
.....豊崎 俊幸 36

隔月連載

- ☐ 組織の活性化と人材育成～
— 創る 造る 作る — より良い製品を目指すために
At the time of welcoming the new academic year
.....賈 俊業 41

Contents

2015 年 6 月号

連 載 健康食品のエビデンス 第 2 回

☐ 黒 酢

..... 濱舘 直史 48

連載コラム 野山の花 — 身近な山野草の食効・薬効 —

☐ マムシグサ *Arisaema serratum* (Thunb.) Schott (サトイモ科 Araceae)

..... 白瀧 義明 50

連 載

☐ ベジタリアン栄養学 歴史の潮流と科学的評価

(第 4 節 健康的なベジタリアン食への提言)

..... ジョアン・サバテ, 訳: 山路 明俊 52

特別寄稿

☐ 酒とアロマでアンチエイジング

Drinking alcoholic beverage and sniffing aroma make us anti-aging

..... 佐藤 和恵 74

築地市場の魚たち

☐ 築地市場魚貝辞典 (インダイ)

..... 山田 和彦 77

おいしさと健康に真剣です。

酵母エキス系調味料

コクベース

new 発酵調味料

D&M

ディアンドエム

ゼラチン&小麦グルテン

酵素分解調味料

エンザップ

新発売! 乳製品にベストマッチな調味料

コクベース

ラクティックイーストエキス

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

DM

大日本明治製糖株式会社

食品事業部

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

さとうきび抽出物の風味改善効果と退色抑制効果

塩見 和世 (SHIOMI Kazuyo) 陸浦 美月 (MUTSUURA Mizuki)

三井製糖株式会社 商品開発部

Key Words : さとうきび抽出物 風味改善 退色抑制 臭み低減 酸味 魚肉臭 豆乳 抗酸化

はじめに

さとうきびは、イネ科に属する多年草で、熱帯・亜熱帯地域で広く栽培され、日本では沖縄県や奄美諸島を中心に栽培されている。主として蔗糖原料となるが、ラム酒や黒糖焼酎の原料、燃料用アルコールの原料などにも使用されている。また、沖縄ではサター（黒糖湯）として薬のない時代に民間薬とされてきた歴史もあり、さとうきびは人々の健康にも寄与してきた。さとうきび茎皮のオクタコサノールや黒糖中の抗酸化物質など、さとうきびには蔗糖以外に種々の有効成分が含有されていることが知られており、これまでさまざまな機能性が研究されている。

当社でも20年近くさとうきび中の有効成分に関する研究に取り組み、有効成分の効果の違いにより「食品用（風味改善効果）」、「消臭用（消臭効果）」、「飼料用（生理機能）」の3種類の“さとうきび抽出物”を開発し、販売してきた。また近年では「黒糖芳香回収液（マスキング・風味付与効果）」を塩野香料（株）と共同で開発し販売を始めた。何れの商品も製糖工程で発生する未利用資源の有効活用になっている。

日本人は味に敏感であり、低コスト品や異味のある機能性素材配合品においても、美味しさの追求が課題となる。この課題を解決する天然由来の風味改善素材として、食品用さとうき

び抽出物はさまざまな食品用途に採用されてきた。これまでに、さとうきび抽出物の風味改善効果は、官能により評価してきたが、より客観的なデータを取得すべく、機器分析による味改善効果の数値化にも取り組んでいる。本稿では、味認識装置である味覚センサー（（株）インテリジェントセンサーテクノロジー）を用いたさとうきび抽出物の味改善効果の評価について紹介する。

一方、美味しさの追求には見た目も重要であり、美味しそうに見える鮮やかな色の保持も商品開発における課題となる。食品用さとうきび抽出物は、さとうきび由来のポリフェノールを含有し、抗酸化力を持つことが確認されている¹⁾。本稿では、近年明らかとなった、さとうきび抽出物の抗酸化力による退色抑制効果についても紹介する。

1. 食品用さとうきび抽出物の風味改善効果²⁾

沖縄での魚や豚肉、内臓料理などの郷土料理には黒糖が利用されてきた。黒糖は甘さやコク味を与えるだけでなく、それら料理の臭みを抑え、風味を改善する効果がある。当社は、黒糖中の蔗糖以外の有効成分を抽出し、料理の臭みを抑える等の効果を持つ風味改善剤としての食品用さとうきび抽出物を開発した。

食品用さとうきび抽出物は、有効成分を抽出する際に糖分と塩分を除去するため、甘味や塩味が無く黒糖様の香りと特有の苦味を有する。使用添加量が ppm 単位と極微量のため、さとうきび抽出物自体の味や香りを感じることなく食品の風味を改善できる。食品用さとうきび抽出物には、製法とその効果の違いにより、大別すると2つの商品（さとうきび抽出物 MSX-100 及び糖蜜フレーバー MSX-1MF）がある。後述中に MSX-100(J) という表記が出てくるが、原料の原産地が異なるのみで効果は MSX-100 と同じである。表1に製品特徴を示す。

さとうきび抽出物の利用例を表2に示す。MSX-100 はさまざまな食品に使うことができ、その効果もさまざまである。代表的な例を挙げると、素材の持つ苦味・酸味・渋味などの嫌な味、発酵臭などの風味、肉や魚などの生臭さ、乾燥やレトルトなどによる加工臭、および、保存による劣化臭などを軽減し、全体的な味のバランスを整える働きを持つ。対象食品にもよるが

20～500 ppm と少ない添加量で効果を発揮する。それ以上の添加量が必要な場合は MSX-1MF の併用をお勧めする²⁾。

MSX-1MF は MSX-100 と比較して、風味改善効果が強く、一般食品に使う場合は添加量の調節が難しい。MSX-1MF は、特に異味異臭の強い健康食品素材や長期保存食品などのへの利用に適している。さらに味だけでなく臭いに対する強いマスキング効果も期待できる。添加量の目安は、50～2000 ppm である²⁾。

2. 味覚センサーでの味改善効果の評価

食品業界において味の客観的な数値化は非常に要望が高まってきている。従来、味は主観的な指標であり評価不可能といわれてきたが「味覚センサー」は生体の味認識メカニズムをモデル化した味認識装置であり、ヒトの感覚と高い相関がある^{3,4)}。そこで「味覚センサー」を用いて、さとうきび抽出物の風味改善効果のうち、香り以外の「味改善効果」について評価した。

表1 製品特徴

	さとうきび抽出物 MSX-100	糖蜜フレーバー MSX-1MF
使用対象	一般の加工食品・飲料 魚肉臭・渋み・酸味・苦味・発酵臭	健康食品・長期保存食品 異味・異臭が特に強いもの
効果	異味・異臭を低減・除去する 味を丸くする バランス良く味を調える ボディ感 UP	異味・異臭に対する高いマスキング効果
表示	さとうきび抽出物	香料

表2 さとうきび抽出物の利用例と期待される効果

分類	利用例	製品	添加量 (ppm)	期待される効果
飲料	豆乳	MSX-100	50～200	豆臭さ、青臭さの軽減
	黒酢ドリンク	MSX-100	20～500	酸味を和らげ、後味をマイルドに
果実類	グレープフルーツ	MSX-100	20～100	苦味、渋味が軽減
魚肉類	焼き魚	MSX-100	100～500	生臭さが軽減して食べやすくなる
	オージービーフ	MSX-1MF	100～500	グラス臭、肉の臭みが軽減
機能性素材	コンドロイチン	MSX-1MF	100～2000	臭いや苦味が軽減してさっぱりする
	コラーゲン	MSX-1MF	100～2000	臭いや酸味が軽減してさっぱりする
加工臭	レトルト食品	MSX-100	20～200	レトルト臭が軽減
	乾燥卵	MSX-100	50～200	乾燥臭が軽減

2-1. 味覚センサーについて^{3,4)}

味覚センサーは、塩味センサー、酸味センサー、甘味センサー、旨味センサー、苦味センサーおよび渋味センサーからなる。それぞれ各基本味に選択性が高いだけでなく、味の抑制や相互作用もヒトの感覚と同じように検知できる。表3に各センサーで定量化されている味覚項目を示す。後味（味の余韻）はセンサー表面に吸着した味物質が、センサー表面から脱離するスピードを測定することで評価している。「苦味雑味」は、苦味物質由来であるが、低濃度ではだし調味料やスープに若干含まれる苦味に由来するコク、隠し味を示し、「旨味コク」はスープやめんつゆの旨味の持続性を示すとされている。

2-2. 酸味の低減効果

食品加工において原料の持つ酸味や微量添加する日持ち向上剤由来のわずかな酸味を抑えたいというニーズは多い。さとうきび抽出物は酸味を低減する効果が確認されている。図1は食酢にMSX-100を200 ppm添加したときの官能検査による評価（n=10）結果である。MSX-100を添加することで酢の刺激的な酸味が軽減し、まろやかでさっぱりした口あたりになった。

次に、さとうきび抽出物の酸味の低減効果を味覚センサーで評価した。0.2% 酢酸溶液にMSX-100(J) 1500 ppm, 3000 ppm, 6000 ppmに相当するさとうきび抽出物（原体）を添加したサンプルを調製し測定を行った。酸味センサーで測定される酸味はさとうきび抽出物濃度に依存して低くなることが確認できた（図2）。

表3 味覚センサーで定量化されている味覚項目

味覚項目	味の特徴		センサー名
先味	酸味	クエン酸、酒石酸、酢酸が呈する味	酸味センサー
	苦味雑味	苦味物質由来で、低濃度ではコク、雑味、隠し味	苦味センサー
	渋味刺激	渋味物質由来で、低濃度で刺激味、隠し味	渋味センサー
	旨味	アミノ酸、核酸由来の出汁味	旨味センサー
	塩味	食塩のような無機塩由来の味	塩味センサー
	甘味	蔗糖、グルコース、糖アルコール	甘味センサー
後味	苦味雑味	一般食品にみられる苦味	苦味センサー
	渋味	カテキン、タンニン等が呈する味	渋味センサー
	旨味コク	持続性のある旨味	旨味センサー

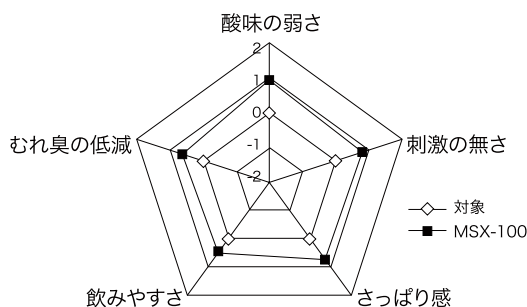


図1 食酢に対するさとうきび抽出物の風味改善効果（官能検査）

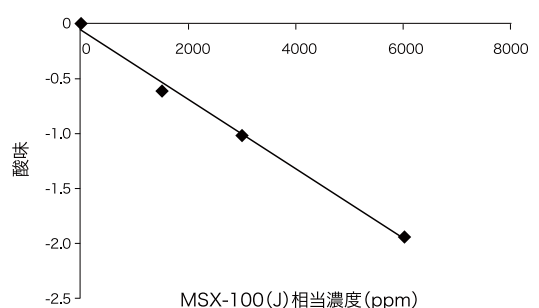


図2 酢酸溶液に対するさとうきび抽出物の味改善効果（味覚センサー）

2-3. 鯖の塩焼きに対する効果

魚は和食に欠かせない素材であり、中食・惣菜業界でも多く扱われる。一方、調理後の時間経過と共に生臭さと魚臭さが増すため、弁当や総菜などでは魚の美味しさが損なわれる問題がある。さとうきび抽出物はこの生臭さや魚臭さを軽減する効果が強い。図3に、MSX-100を500 ppm 添加した食塩水に10分間漬けてこんで焼いた「鯖の塩焼き」の風味改善効果の官能検査(n=10)の結果を示した。MSX-100を添加することで鯖の生臭さと魚臭さが軽減され、食べやすくなっている。

上記と同様に試作した鯖の塩焼きを4倍量の

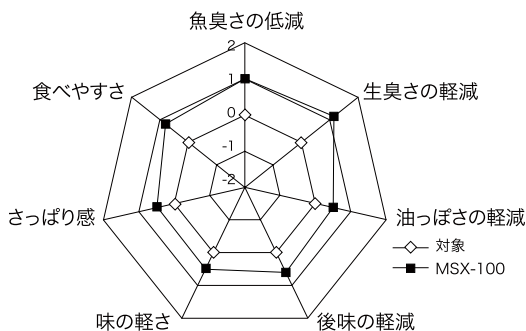


図3 鯖の塩焼きに対するさとうきび抽出物の風味改善効果（官能検査）

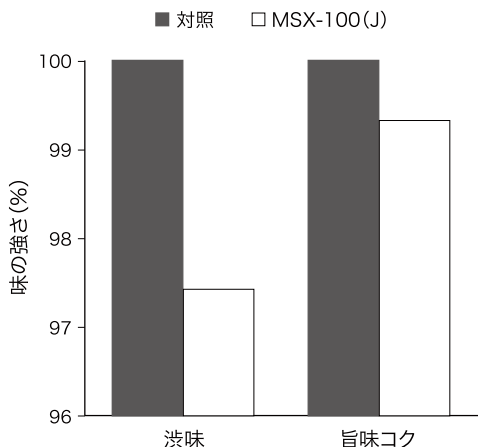


図4 鯖の塩焼きに対するさとうきび抽出物の味改善効果（味覚センサー）

純水を加えて均質化し、遠心分離した後の水層を味覚センサーで評価した結果を図4に示した。縦軸は、対照の味換算値を100%の味の強さとしたときの味の強さを示す。対照に比べ、渋味、旨味コクが低い値であった。渋味の値が低いことは、魚の臭味が軽減したことを示し、旨味コクが低い値であることは、後味が軽減したことを示すと考えられる。

2-4. MSX-100 (J) と MSX-1MF の味改善効果の違い

豆乳は、健康志向でニーズの高い素材であるが、豆臭さや青臭さが好まれない場合があり、風味改善の課題がある。図5に、MSX-100 (J)、MSX-1MFをそれぞれ200 ppm 添加した無調製豆乳を味覚センサーで評価した結果を示した。縦軸は対照の味換算値を100%の味の強さとしたときの味の強さを示す。苦味雑味は豆乳のコクや素材感、渋味は豆臭さや青臭さ、旨味コクは後味を示すと考えられる。MSX-1MFはMSX-100 (J)よりも豆臭さ・青臭さ、後味を強く軽減している。一方、MSX-100 (J)はMSX-1MFに比べ、豆臭さ・青臭さや後味の軽減は弱いですが、豆乳のコクや素材感が増加していることから、豆乳の味を引き立てながら風味を改善

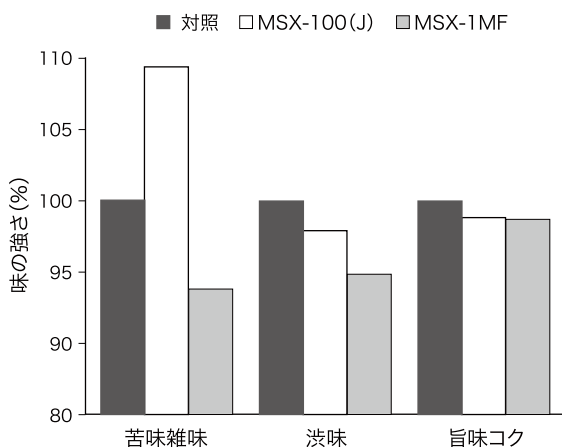


図5 豆乳に対するさとうきび抽出物の味改善効果（味覚センサー）

していると考えられる。

3. さとうきび抽出物の退色抑制効果

食品成分が酸化することにより、栄養価の低下、風味や色調の劣化が起こる。多くの天然色素は酸化により退色しやすい。カロテノイド系の色素を含むジュース、菓子および魚介類は、その色自体に商品価値があり、酸化による退色によって商品価値が下がることが多い。商品価値を維持することを目的に、退色抑制のため、抗酸化物質を配合する場合がある¹⁾。

食品用さとうきび抽出物は、さとうきび由来のポリフェノールを多く含むため抗酸化力を有しており、SOD 様活性、ラジカル消去活性等で抗酸化活性が確認されている。 β -カロテンを含むモデルジュースを用いた試験では、品温：36℃、光照射：15000ルクスの条件で6日間保存すると、この色素に特徴的な420nmの吸光がほぼなくなり、鮮やかな色彩が消えてしまう。一方、MSX-100 2500ppm、5000ppmに相当するさとうきび抽出物（原体）を添加すると、添加量が多いほど退色抑制効果がみられた（図6）¹⁾。

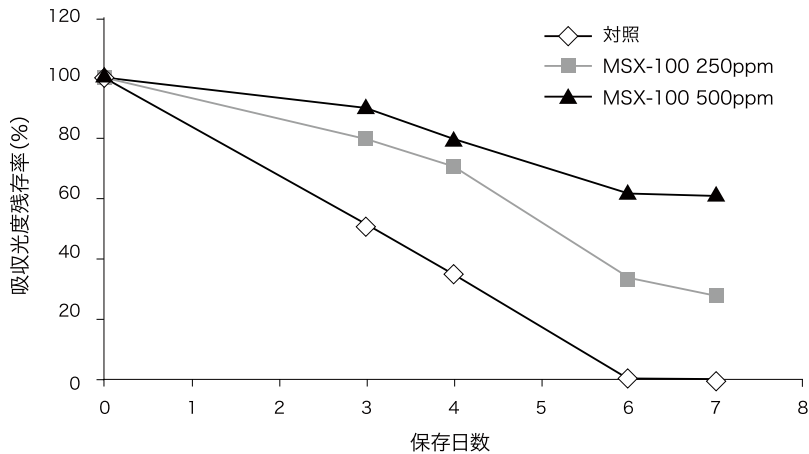


図6 さとうきび抽出物の β -カロテン退色抑制効果

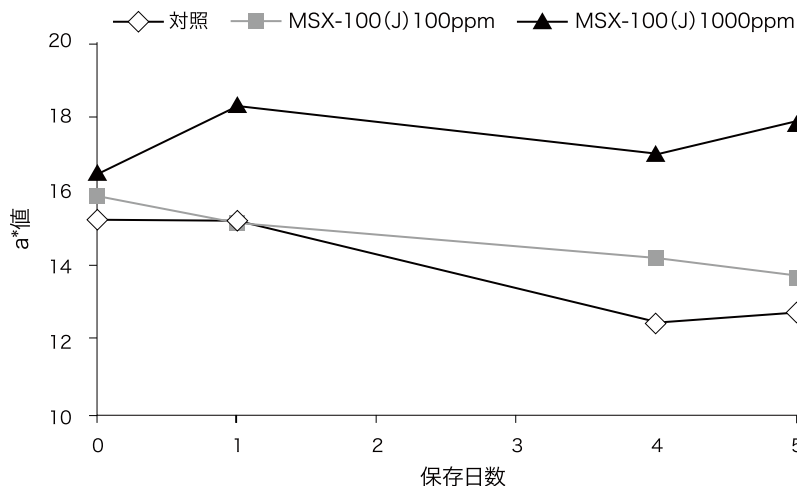


図7 さとうきび抽出物の鮭の退色抑制効果

表4 鮭の調味液の配合

	対照	MSX-100(J) 100 ppm	MSX-100(J) 1000 ppm
食塩	60g	60g	60g
水	440g	440g	440g
MSX-100(J)	—	0.05g	0.5g

次に、冷凍保存時における紅鮭の退色抑制試験を行った。表4に示した配合の調味液を調製し、紅鮭をそれぞれの調味液に漬けて5℃、20時間浸漬した。液切り後に引き続き5℃で保存を行った。紅鮭の退色抑制の評価は、鮭の切り身を色彩色差計でそれぞれの色（L*a*b*表

色系）で測定した。その結果、MSX-100(J)を1000 ppm添加した調味液に漬けた紅鮭は、赤色を示すa*値の減少が小さく、退色が抑制された（図7）。

まとめ

食品用さとうきび抽出物の味改善効果は、味覚センサーで数値化可能であった。また、カロテノイド色素に対する退色抑制効果も明らかとなった。今後、さまざまな食品の商品開発における課題解決にさとうきび抽出物が役立てられるよう、風味改善効果や退色抑制効果のメカニズムについても研究していきたい。

参考文献

1. 古家 健二：新食品素材・さとうきび抽出物の特性と抗酸化能。月刊フードケミカル，**16**(5): 62-65, 2000.
2. 手塚 裕美子：さとうきび抽出物の風味改善効果と抗酸化効果。食品と開発，**45**(12): 8-10, 2010.
3. 池崎 秀和：味覚センサーによる「味の見える化」で，食品メーカー，流通小売りと消費者を結ぶ。ジャパンフードサイエンス，**51**(9): 44-49, 2012.
4. 池崎 秀和：広がる味覚センサー利用と課題。ジャパンフードサイエンス，**45**(2): 70-75, 2006.

ブラックジンジャー・キトサン含有食品摂取による 体脂肪低減効果の検討

三宅 康夫 (MIYAKE Yasuo)

丸善製薬株式会社 総合研究所

Key Words：ブラックジンジャー キトサン 体脂肪低減 全体脂肪面積 抗肥満作用 臨床試験

要旨

ブラックジンジャー (*Kaempferia parviflora*) とキトサンの体脂肪減少効果を調べるために、12 週間の連続摂取によるヒト試験をプラセボ対照比較試験にて行った。その結果、ブラックジンジャー・キトサン含有食品（試験品）群は、全体脂肪面積において、摂取前と比較して有意に減少した。一方、プラセボ品群は有意な変化は認められなかった。体重の変化においては、試験品群が摂取 6 週後および 12 週後において摂取前と比較して有意に低下した。摂取 12 週後においては、相対値においてプラセボ品群との間に有意な差が認められた。以上の結果より、ブラックジンジャー・キトサン含有食品には、体脂肪減少、体重減少効果が認められ、肥満解消に役立つ食品であることが示された。

はじめに

生活習慣病の予防には、適切な食生活と運動が必要である。特に肥満は生活習慣病と関連が大きく、糖尿病・高血圧・高脂血症などとの関連が大きいとされている。現代の社会生活において、運動量の維持は非常に困難であり加齢とともに体脂肪の増加は避けられないことが多い。また、Wilmore らは運動のみでは約 1.6% 程度しか体重が減少しないとしている^{1,2)}。また、運動による体脂肪の燃焼には低強度で 30 分以上の運動が必要であるとされるよう²⁾に運動のみでの脂肪燃焼効果には一定の限界がある。運動時に併用することで脂肪の燃焼を助ける素材はいくつか確認されており、茶カテキンのように³⁾ 普段の日常活動時に併用することで脂肪燃焼を促進させる素材もいくつかある。

ブラックジンジャーは、タイ王国で栽培されているショウガ科バンウコン属の植物で、学名

を *Kaempferia parviflora* という。現地では、滋養強壮や関節痛の改善などに民間療法的に使用され、またお茶やワインとして利用されている。これまでの報告では、ブラックジンジャーエキスに抗酸化作用⁴⁾ や抗アレルギー作用⁵⁾、血管拡張作用⁶⁾ 等が確認されている。我々の先の研究では、ブラックジンジャーエキスに体脂肪の低減作用やエネルギー消費増加作用等の抗肥満効果が認められており⁷⁾、今回、それらの効果についてキトサンとの組み合わせによる効果を確認することを目的に、12 週間の摂取による体脂肪の低減効果についてヒト試験による検討を行った。

対象と方法

試験の対象者は、35 歳以上 55 歳未満の男女で、BMI が 25 以上 30 未満かつ腹部周囲長が男性 85 cm、女性 90 cm 以上の者で、重篤な疾

患の無い者とした。医師問診により既往歴などから試験への参加に問題が無いことを確認し、書面によりインフォームドコンセントを得て、試験参加の同意を得て実施した。また、試験計画についてオリエンタル上野健診センター倫理委員会において、倫理審査を行い、承認後、試験を実施した。選抜された被験者は、表 1 に示した試験品もしくはプラセボ品を 12 週間毎日摂取させた。評価項目は CT スキャン撮影画像を用いた FatScan 腹部脂肪量解析（全体脂肪量、内臓脂肪量、皮下脂肪量）、体重、周囲長測定（ウエスト周囲長、ヒップ周囲長、ウエスト・ヒップ比）、血液・尿検査および医師による問診である。試験デザインは、プラセボ品を対照とした無作為化比較試験であった。来院検査は摂取前、摂取 6 週間後、摂取 12 週間後の 3 回行った。試験スケジュールを図 1 に示した。

結果

試験は、試験品群 18 名（男性：10 名、女性：8 名、平均年齢 44.5 ± 5.0 歳）、プラセボ品群 18 名（男性：11 名、女性：7 名、平均年齢： 45.3 ± 5.2 歳）で実施した。被験者背景を表 2 に示した。

表 1 試験食品組成（1 日当たり）

成分名	試験品	プラセボ品
ブラックジンジャー抽出物	150mg	0mg
キトサン	300mg	0mg
リンゴ酸	100mg	0mg
ヒハツエキス	50mg	0mg
賦形剤	200mg	800mg

CT スキャン撮影画像を用いた FatScan 腹部脂肪量解析では、全体脂肪面積において、試験品群が摂取前と比較して摂取 12 週後に有意に低下した ($p<0.05$)。また、試験品群において顕著な腹部脂肪面積低下例 (ID9133) についての CT スキャン画像を図 2 に示した。一方、プラセボ品群については変化が認められず、また両群間の差は認められなかった (表 3)。

表 4 に体重および BMI の変化を示した。体重は、試験品群では摂取前と比較して摂取 6 週間後、12 週後に有意に低下したが、プラセボ品群は有意な変化は認められなかった。相対値では摂取 12 週後に群間差が認められ、試験品群がプラセボ品群よりも有意に低下した。体重の変化に伴い、BMI についても摂取 12 週後に試験品群は摂取前と比較して有意な低下を示した。相対値においても摂取 12 週後に群間差が認められ、試験品群がプラセボ品群よりも有意に低下した。周囲長測定 (表 5) では、ウエスト周囲長において試験品群は摂取 12 週後に摂取前と比較して、有意に低下した。一方、プラセボ品群では変化がなかった。ヒップ周囲長は、試験品群は摂取 12 週後に摂取前と比較して、有意に低下した。一方、プラセボ品群では摂取 6 週間後、12 週後に有意な低下を示した。ウエスト・ヒップ比は両群ともに変化がなかった。血液・尿検査および医師による問診では、試験品群の摂取前後で遊離脂肪酸や総ケトン体が増加傾向であったが、臨床上問題となる変動は認められず、両群ともに生理的変動の範囲であった。

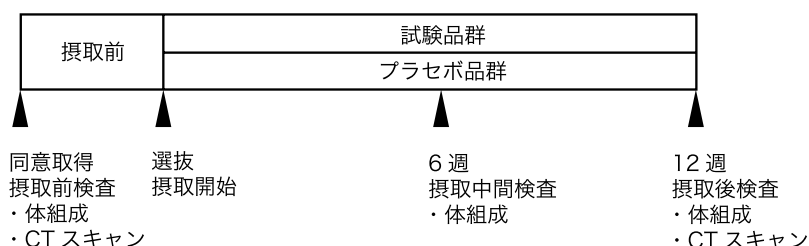


図 1 試験スケジュール

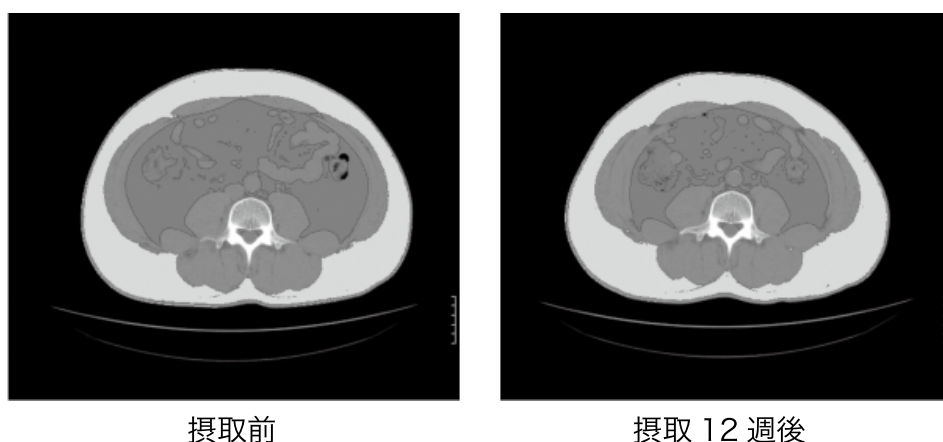


図2 顕著に腹部脂肪面積が低下した ID9133 (試験品群) の CT スキャン画像

表2 被験者背景

	全例		男性		女性	
	n	年齢	n	年齢	n	年齢
試験品	18	44.5 ± 5.0	10	45.5 ± 5.5	8	43.3 ± 4.2
プラセボ品	18	45.3 ± 5.2	11	45.2 ± 4.3	7	45.6 ± 6.7

平均値±標準偏差

表3 CT スキャン撮影画像を用いた FatScan 腹部脂肪量解析の推移

項目	群	n	摂取前	摂取 12 週後	Δ摂取 12 週後 (%)
内臓脂肪面積	試験品	18	113.4 ± 10.0	101.7 ± 8.0	92.9 ± 4.7
	プラセボ品	18	118.3 ± 10.3	111.5 ± 9.5	95.7 ± 3.6
皮下脂肪面積	試験品	18	248.3 ± 15.3	244.5 ± 15.4	98.7 ± 2.1
	プラセボ品	18	235.4 ± 16.5	238.0 ± 15.7	101.7 ± 1.3
全体脂肪面積	試験品	18	361.7 ± 12.9	346.2 ± 14.8*	95.6 ± 1.9*
	プラセボ品	18	353.7 ± 13.3	349.5 ± 13.4	98.9 ± 1.5

平均値±標準偏差

※摂取前との比較を対応のある t 検定で行った。*: $p<0.05$

表4 体組成の推移

項目	群	n	摂取前	摂取 6 週後	摂取 12 週後	Δ摂取 6 週後 (%)	Δ摂取 12 週後 (%)
体重	試験品	18	75.69 ± 1.86	75.06 ± 1.75*	74.50 ± 1.82**	99.2 ± 0.4	98.4 ± 0.5**#
	プラセボ品	18	74.11 ± 2.20	73.70 ± 2.11	73.91 ± 2.03	99.5 ± 0.4	99.8 ± 0.4
BMI	試験品	18	27.25 ± 0.33	27.04 ± 0.32	26.84 ± 0.35**	99.2 ± 0.4	98.5 ± 0.5**#
	プラセボ品	18	26.86 ± 0.35	26.71 ± 0.30	26.80 ± 0.29	99.5 ± 0.4	99.8 ± 0.4

平均値±標準偏差

※摂取前との比較を対応のある t 検定で行った。*: $p<0.05$ **: $p<0.01$

※各時点での群間比較を対応のない t 検定で行った。#: $p<0.05$

表 5 周囲長測定の変移

項目	群	n	摂取前	摂取 6 週後	摂取 12 週後	Δ摂取 6 週後 (%)	Δ摂取 12 週後 (%)
ウエスト	試験品	18	97.35 ± 1.18	96.54 ± 1.14	95.49 ± 1.30**	99.2 ± 0.4	98.1 ± 0.5**
周囲長	プラセボ品	18	95.84 ± 0.98	94.89 ± 0.98	94.92 ± 0.98	99.0 ± 0.5	99.1 ± 0.5
ヒップ	試験品	18	102.9 ± 0.9	102.2 ± 0.9	101.7 ± 1.1**	99.4 ± 0.3	98.8 ± 0.3**
周囲長	プラセボ品	18	101.9 ± 0.7	101.2 ± 0.7**	101.1 ± 0.7**	99.3 ± 0.2**	99.2 ± 0.2**
ウエスト・ヒップ比	試験品	18	0.946 ± 0.009	0.945 ± 0.008	0.939 ± 0.010	99.8 ± 0.4	99.2 ± 0.5
	プラセボ品	18	0.941 ± 0.009	0.938 ± 0.009	0.939 ± 0.009	99.7 ± 0.4	99.8 ± 0.5

平均値±標準偏差

※摂取前との比較を対応のある t 検定で行った。*: $p < 0.01$

考察

ブラックジンジャーはタイ王国での栽培が盛んなショウガ科の植物で、これまでに抗酸化能、抗肥満作用など様々な機能性が確認されている。また、キトサンは甲殻類の殻に含まれる高分子物質であるキチンを脱アセチル化して得られる多糖類であり、コレステロール上昇抑制、抗肥満、免疫賦活など様々な効能が伝承、報告されている。本試験品はこの 2 つの成分を含有することで脂肪量の減少、体重の減少という抗肥満効果が認められたと考えられる。血液生化学検査の結果からは、試験品摂取群は遊離脂肪酸や総ケトン体が増加する傾向にあった。遊離脂肪酸や総ケトン体は、エネルギー源が糖メインの糖代謝から脂肪からエネルギーを得る脂質代謝に切り替わることで増加する物質であり、試験品の摂取により、脂質燃焼が促進されたと考えられる。

以上を総括すると試験品であるブラックジンジャー・キトサン含有食品は、体脂肪抑制効果を有していることが示された。

参考文献

1. Wilmore JH.: Appetite and body composition consequent to physical activity. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, **54**(4): 415-425, 1983.
2. 平田 圭, 増田 利隆, 松本 義信他: 異なる運動実施時刻が脂肪燃焼に与える影響. 川崎医療福祉学会誌, **10**(2): 341-345, 2000.
3. Ota N, Soga S, Shimotoyodome A, *et al.*: Effects of Combination of Regular Exercise and Tea Catechins Intake on Energy Expenditure Humans, *J. Health Sci*, **51**(2): 233-236, 2005.
4. Kusirisin W, Srichairatanakool S, Lerttrakarnnon P, *et al.*: Antioxidative activity, polyphenolic content and anti-glycation effect of some Thai medicinal plants traditionally used in diabetic patients. *Med Chem.*, **5**(2):139-47, 2009.
5. Tewtrakul S, Subhadhirasakul S, Kummee S.: Anti-allergic activity of compounds from *Kaempferia parviflora*. *J Ethnopharmacol.*, **28**;116(1): 191-3, 2008.
6. Tep-Areenan P, Sawasdee P, Randall M.: Possible mechanisms of vasorelaxation for 5,7-dimethoxyflavone from *Kaempferia parviflora* in the rat aorta. *Phytother Res.*, **24**(10):1520-5, 2010.
7. Yoshino S, Kim M, Awa R, *et al.*: *Kaempferia parviflora* extract increases energy consumption through activation of BAT in mice, *Food Science and Nutrition*, **2**: 634-637, 2014.

フグ毒が毒となるしくみ

— ゾンビとフグ毒 —

村上 りつ子 (MURAKAMI Ritsuko)¹ 野口 玉雄 (NOGUCHI Tamao)²

¹ 茨城キリスト教大学

² 東京医療保健大学

Key Words : テトロドトキシン フグ 中毒 麻痺 ゾンビ (Zombie)

はじめに

フグは、猛毒をもつ魚として知られているが、わが国では、フグ料理は高級料理として珍重され、好んで食されている。しかし、世界中でフグを食べるのは、日本をはじめ、中国、台湾、韓国、シンガポール、タイなどの東南アジアの少数の国々に限られ、欧米人にとっては、日本でなぜ危険なフグが愛好されているのかは理解されにくいらしい。

ところが、日本から遠く離れた中南米の国ハイチに伝わるゾンビ伝説にはフグ毒「テトロドトキシン」の関与が疑われているという。

最近、英国 BBC のリサーチャー、次いで同国 media から、中南米ハイチで昔から言われている“死者を生き返らすゾンビパウダー”がフグ毒、といわれているが、フグ毒にはそのような作用があるのかの問い合わせが、魚介毒研究をしている著者らにあった。

フグ毒をマウスに致死量投与すると四肢の麻痺、呼吸停止、その後フグ毒投与に特徴的な症状であるしばらくの心臓の鼓動（仮死状態）が続いて死亡する。ヒトのフグ毒中毒死の場合も同様で、呼吸停止後の心臓の鼓動（仮死状態）はマウスより遥かに長い。フグ毒を使つてのハイチの熟練魔術師の“死者を生き返らす神業”そして日本で昔からフグ中毒者が人里離れた医院に無事にたどり着ければ生存できる“からく

り”もフグ毒ならばで推測してみる。

1. ハイチのゾンビ伝説

1-1. ゾンビとは

もともとゾンビはハイチで信仰される「ヴードゥー教」において、罪を犯した人間に対して行われた刑罰の一種で、「ゾンビパウダー」と呼ばれる神経毒によって、一定時間仮死状態にして、思考能力を破壊し、奴隷のような「ゾンビ」と呼ばれるものに変えるという伝承である。すなわち、「ゾンビパウダー」により仮死状態にされると、その間に脳細胞は酸欠でその機能の大半が失われ、思考のない、ただ命令に従う自発的意思のない人間＝ゾンビが作り出されるというものである。ヴードゥーの神官は、このゾンビと化した人間を奴隷として労働力として用いていたという。

その「ゾンビ」が映画に取り上げられたことから、今日では、ゾンビのイメージとしては、土葬されていた死人が突如墓場から蘇り、ぼろぼろの布きれをまとい腐りかけた肉体の残骸を引きずりながら夢遊病者のような生気のない動作で得体のしれない主人の邪悪な命令にただ従うだけの存在となっている。

ゾンビが現実に存在するということには信じがたい面もあるが、ハイチでは今でもゾンビ目撃談が数多くあるといわれる。中には、医師に

よる死亡診断書があつて埋葬もされたはずなのに、ゾンビとして生きていたという以下のような事例も報告されている。

民族生物学者、ウェイド・デイヴィス (Wade Davis) は、ハイチのゾンビに関する調査を行い、学位論文として「ゾンビ伝説」の大作を完成させたが、その著書には、ゾンビについて、以下のような記述がある。

「1962年5月2日にハイチ人農夫クレルヴィウス・ナルシスはアメリカ人の運営する慈善団体の施設で死亡したが、この死亡に関しては、二人の医師（うち一人はアメリカ人）により死亡宣告され、死亡診断書や詳細で正確な記録も残されていた。彼の遺体は8時間後に家族も立ち会い埋葬されたが、1980年になって、彼は生きた状態で保護された。彼は、土地をめぐる争いから兄の陰謀でゾンビにされ、墓から掘り起こされた後、他のゾンビ達といっしょに二年間奴隷として働かされていた。その後、主人が殺されたため開放されたが、兄を恐れて国中を16年間放浪後、兄の死を知り、村に戻った…」と話した。

これについては、本人への調査や村人や家族、医師の証言などから、本物であると結論付けられ、クレルヴィウス・ナルシスは誤って死亡と診断され、生きたまま埋葬されて、しばらくの間、棺の中で生き続けた後にゾンビ化を仕組んだものによって墓から連れ出されたと推測された。」

この事例を知ったデイビス博士は、ゾンビ化を可能とするのは薬物であると考えた。すなわち、ある薬物を適当な量だけ投与することによって、犠牲者の新陳代謝を死亡とみなされる状態にまで低下させる。だが、実際には、犠牲者はまだ生きていて、適切な時期に、正しい処方による解毒剤を投与すれば、生き返らせることができる、と考え、このようなゾンビの毒と称する粉末「ゾンビ・パウダー」の処方に関心を向けることになった。

1-2. ゾンビ・パウダー

デイビス博士はゾンビ化薬「ゾンビ・パウダー」に調合される成分としては、その生理活性から、フグ毒「テトロドトキシン」の可能性があると、考えた。すなわち、ゾンビ化を可能とさせる調合薬の条件として、犠牲者たちは少なくとも6時間、場合によっては10～12時間、地面の下で密閉された棺の中で生き続けることができ、さらに、その薬物によって引き起こされる仮死状態は腕の確かな医師でさえ誤って死亡宣告するほどのものでなければならぬが、この条件に合うものとして、テトロドトキシンを思いついた。テトロドトキシンは医師が死んだと判断するくらい、人間の代謝を低下させる。しかも身体は動かなくても意識ははっきりしているらしい、と思ったのである。

フグ毒は後述のように、マウスに致死量投与するとよちよち歩きを始め、四肢麻痺、呼吸停止が続き、フグ毒投与に特徴的な症状である5-30分間心臓が鼓動（仮死）して死亡する。

人にゾンビパウダーを投与された場合（「フグ毒中毒」）も、呼吸停止後、一見死亡したように見えるが、心臓の鼓動がマウスに比べて長時間続いて、生きておりその間に強心剤の投与などにより生き返ったようにすると推測される。ゾンビパウダーの投与量（さじ加減）や強心剤の投与時期のタイミングは長い経験を持った魔術師でなければ、できない神業であろう。

デイビス博士は日本でのフグ中毒を調べ、フグを食べて死んだと思われる人で、その葬式に棺おけの中から生き返った、というような事例がいくつもあることがわかった。

例えば、1977年の京都の事例では、40歳の男性Aがフグ中毒になり、病院に運ばれたが、間もなく呼吸が止まり脳死状態となった。人工呼吸などの処置が施されたが、呼吸停止が起こってから、Aが何の反応も起こさなかったことから、医師は“脳死”状態と判断したのである。

ところが、彼は24時間後呼吸を再開し、その後完全に回復した。いったん意識を失ったと思われたAの意識が、24時間、完全に保たれ、

医師の処置法から家族の泣き声など一部始終の様子を知っていたというのである。

これは、フグ毒で体の反射神経がマヒして、外見的反応が出来ないだけで、意識中枢は犯されていないかった、と考えられた。回復後、Aさんは「何とか意識があることを伝えたいと思った」と語っているが、医師側は、瞳孔が拡大している所見から「とても意識がある状態とは思えなかった」という。

この事例は、1978年1月19日木曜日『京都新聞』の朝刊、および2月2日『週刊新潮』に載った記事であるという。

他にも似たような事例があり、これらは、テトロドトキシンは完全なマヒ状態を引き起こし、その状態にある間は、生死の境目を見極める（フグ中毒患者の死亡判定をする）ことは、熟練した医師にとっても極めて困難であることを示している。すなわち、仮死状態と本物の死と見分けが極めて難しく、テトロドトキシンは、その犠牲者は生き埋めにされかねないような身体的状態を引き起こすことがあることから、ゾンビ現象を引き起こす薬物の候補としてテトロドトキシンが取り上げられたのである。

その後、デイビス博士は実際にゾンビパウダーを手に入れ、動物実験を行い、テトロドトキシンの存在を確認したとされたが、他の複数の研究者によって、否定的な論文が出されている。

ということで、その真偽が疑われている、ゾンビパウダー＝テトロドトキシン説であるが、フグ毒の毒性発現機構の特異性を表している点で興味深い。そこで、次にフグ毒「テトロドトキシン」について知識を整理しておくことにする。

2. フグの毒「テトロドトキシン」について

フグ毒の主な成分はテトロドトキシンである。テトロドトキシンは、化学式 $C_{11}H_{17}N_3O_8$ で、図1に示す構造式をもつ低分子のアルカロイドである。

テトロドトキシンは、ピブリオ属やシュード

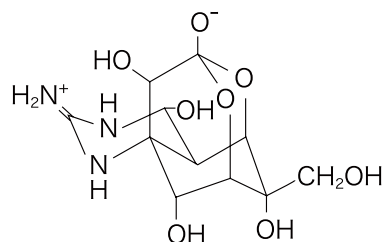


図1 テトロドトキシンの構造

モナス属などの細菌が生産するといわれ、それが餌となるヒトデ類、貝類を通して食物連鎖により体内に蓄積されると考えられている。また、テトロドトキシンは、フグ以外にも、ツムギハゼ、ヒョウモンダコ、アカハライモリ、スベスベマンジュウガニなどの幅広い生物も保有することが知られている。

テトロドトキシンは300℃以上に加熱しても分解されず、その毒性は経口摂取では青酸カリの約1000倍あり、ヒトの経口摂取による致死量は1-2mgといわれる。

3. わが国におけるフグによる食中毒発生状況

わが国では、フグ中毒による死者数は、戦後間もないころは数百人を超え、致死率も50%を超えていた。その後、死者数は、1960年前までは年間100名のオーダーであったが、現在は、医療技術が向上したためか死亡例の低下がみられている。1965年の死亡例/中毒例は88/152、1970年が33/73、1980年が15/90、1990年が1/55、2000年が0/40、と推移している。

最近の2001～2013年の中毒発生状況をみると、この間の中毒総件数は383件、患者総数は545名、死者数は24名、致死率は4.0%となっている。2008年までは、年間に約30件のフグ毒中毒が発生し、患者数は約50名で数名が死亡していたが、2009年からは発生件数の低下がみられ、10数件から20数件で推移し、死者数は2011年の1名を除いて0となっている。これらの事件の大半は釣り人や素人による家庭料理が原因で起こっている。

表1 フグによる食中毒発生状況（2001～2013年）

年次		発生件数（件）	患者数（人）	死者数（人）
2001	平成 13 年	31	52	3
2002	平成 14 年	37	56	6
2003	平成 15 年	38	50	3
2004	平成 16 年	44	61	2
2005	平成 17 年	40	49	2
2006	平成 18 年	26	33	1
2007	平成 19 年	29	44	3
2008	平成 20 年	40	56	3
2009	平成 21 年	24	50	0
2010	平成 22 年	27	34	0
2011	平成 23 年	17	21	1
2012	平成 24 年	14	18	0
2013	平成 25 年	16	21	0

厚生労働省食中毒統計より

4. フグ毒の毒性試験

フグ毒の毒性を調べる公定法としては、日本では、マウスを使う。これは、フグ組織試料から酢酸で加熱抽出した試験液をマウスに腹腔内投与し、マウスの致死時間からマウス単位ユニットに換算して毒量を測定する方法で、体重20gのマウスを30分間で死亡させる毒量を1マウス単位（MU）と定義している。組織1g当たり10マウス単位を超えるものは食用不適と判断する。このように、テトロドトキシンによりマウスがフグ毒特有の症状を示し、呼吸麻痺で死亡する致死時間により、毒性が測定される。

テトロドトキシンを投与されたマウスの症状は、投与毒量によって多少挙動が異なるが、投与毒量が多い（致死時間が非常に短い）ときは注射後静止していたのが急に忙しく動き廻るようになり、歩行がぎこちなくなる。次いで大きな呼吸をしながらよろめき歩き、最後に急に飛び上がりつつ反転し、四肢をもがきながら倒れ死亡する。最少致死量付近では、最初ほとんど異常を認めないが、そのうち四肢が麻痺し、つぎにはらばいになる。その後次第に大きな呼吸をするようになるが、次いで呼吸が止まる（フグ毒のマウス試験定量法では、呼吸停止をもって死亡と判定します）。その後5～30分程度は

心臓が動いている。死の原因は呼吸麻痺であって、解剖しても内臓には異常を認めない。

なお、マウス腹腔内投与のLD₅₀（半数致死量：Lethal Dose 50%）は10 µg/kgと報告されている。

5. ヒトの中毒症状

フグによる中毒は、消化管からの吸収が速いため、摂食後の20分程度から数時間で症状が現れる。摂取毒量が多いほど発症までの時間は短く、経過も短く、手遅れになりやすい。6時間以後に発症するものは比較的軽症で、手当も十分間に合うので死ぬことはほとんどない。また、死亡は8時間ぐらいまでで、それ以降は症状が残っていても生存するといわれている。フグ毒は、後述のように、ヒトのNaチャンネルに結合して、呼吸麻痺を起すが、この結合は可逆的で、約8時間後には離れるので、死亡がまぬがれると考えられている。中毒症状は臨床的に4段階に分けられ、意識が明瞭なまま麻痺は急速に進行する。重症になると24時間以内に呼吸困難で死亡する場合が多い。

- 第1段階：口唇部および舌端に軽い痺れが現れ、指先に痺れが起こり、歩行はおぼつかなくなる。頭痛や腹痛を伴うことがある。
- 第2段階：不完全運動麻痺が起こり、嘔吐後まもなく運動不能になり、知覚麻痺、言

語障害も顕著になる。呼吸困難を感じるようになり、血圧降下が起こる。

第3段階：全身の完全麻痺が現れ、骨格筋は弛緩し、発声はできるが言葉にならない。血圧が著しく低下し、呼吸困難となる。

第4段階：意識消失がみられ呼吸が停止する。呼吸停止後心臓はしばらく拍動を続けるが、やがて停止し死亡する。

このように、フグ毒（テトロドトキシン）による中毒は、重症の場合、運動障害から完全な運動麻痺、呼吸困難から呼吸麻痺に至って死亡する。

また、フグ毒による中毒死は呼吸麻痺による死亡であるが、意識はかなり最後まではっきりしているといわれる。呼吸停止と心停止の間にはずれがみられる。

前述の京都市の事例でみられたように、テトロドトキシンによる中毒では、意識は最後まで澄明で、周りでしゃべっていることは全て聞こえて理解できるが、運動神経麻痺のために指先一つ、目玉さえも動かせないので傍目には意識不明のように見える、と考えられ、このようなことが、ゾンビ伝説に係わる毒物としてフグ毒が取りざたされるのではないかとと思われる。また、デイヴィス博士は前述のゾンビ化されたナルシスの症状は、テトロドトキシンによる中毒症状と一致していることが多いと述べている。

以上に述べたような現象はテトロドトキシンの独特の毒性発現機構から説明できると考えられるので、以下、テトロドトキシンの毒性発現機構について述べる。

6. テトロドトキシンの毒性発現機構

テトロドトキシンは神経毒で、ターゲットは運動神経と骨格筋であり、フグ中毒とは神経や骨格筋の麻痺である。なお、骨格筋は運動神経よりも阻害性は低いといわれている。

テトロドトキシンは骨格筋や神経の細胞膜に存在する膜電位依存性ナトリウムチャンネルの入り口に結合し、ナトリウムイオンの細胞内への流入を妨げることで活動電位の発生と“伝導を

抑制し神経伝達”を遮断する。そのため、神経と筋肉の両方に麻痺をおこすのである。神経伝達とは電気的な刺激が伝わっていくことで、その電氣的刺激は細胞外のナトリウムイオンが神経細胞表面のナトリウム・チャンネルを通して細胞内へ流入し、局所的な電氣的脱分極（刺激）が次々と起こって伝わる。

テトロドトキシンは細胞の外からナトリウム・チャンネルに結合し、ナトリウム・チャンネルに結合した場合でもチャンネルのゲート機能は正常に維持されている。そのため、結合は可逆的で、テトロドトキシンが離れればチャンネルのゲートは刺激により正常に開閉する。

このように、テトロドトキシンはナトリウム・チャンネルに結合し筋肉の神経伝達を遮断するため脳死のように見えて、意識がはっきりしている場合もあり、前述の例のように、近親者の死後についての相談をすべて開けたのであろう。また、いったんナトリウム・チャンネルに結合したテトロドトキシンは時間がたつてチャンネルから離れれば、後遺症がなく回復できると考えられている。

なお、従来、人の死は、心停止、呼吸停止、瞳孔散大の3つで診断されるが、これらのうち呼吸停止と、瞳孔散大は脳死判定基準にある通り、脳の機能が停止したことを意味する。心臓の停止には、心臓疾患や外的要因による突然の心不全や、呼吸停止に続いて起こる心臓の停止などがある。

7. フグ中毒の治療

現在のところ、フグ中毒に対する効果的な治療法や解毒剤のようなものはない。しかし、人体内ではフグ毒の排出が早いので、8時間ほど生命を維持できれば、回復に向かい後遺症はないとされている。

万が一中毒が発生した時の治療には、人工呼吸により呼吸を確保し、胃洗浄、催吐、下剤投与の他、リングル、ブドウ糖の静脈注射、その他の対症療法（血圧上昇剤、呼吸促進剤）が行われる。応急処置としては、消化が進む前に一

刻も早く自ら嘔吐することが有効である。

8. フグ中毒の名医

日本には、フグ中毒の特性をあらわした、「フグ中毒の名医は山里離れたへき地にいる」という話がある。これは、前述したように、フグ中毒になった場合、治療法はないが、フグ中毒の致死時間は1時間半から8時間で、4～6時間で死ぬことが多い。8時間ほど生命を維持できれば、回復に向かい後遺症はないとされていることと関連する。すなわち、交通が不便な時代、中毒症状が出た患者を戸板に乗せ、医者のもとに向うが、運びこむのに時間がかかるへき地に医者が住んでいれば、幾里の道を運ばれるうち、運の悪い患者は死に、助かる患者だけ医者にかかることになり、運び込まれた患者はその医者の力量に関わりなく、時間と共に回復でき、そ

の医者は名医と呼ばれるようになった、ということである。

交通が不便な時代、人里離れたところにフグ中毒患者を100%治す名医がいたが、自動車で行けるようになった途端、死亡者が相次いだ、という話もある。

おわりに

フグは、食中毒が絶えず、危険な魚であるのにもかかわらず、日本人には非常に好まれて、高級料理として珍重されている。一方、その毒、テトロドトキシンは致死性が高く恐ろしい毒であるが、医療や薬理研究にも利用され、貴重なものとなっている。フグの魅力はその味とともに独特な毒性発現機構にあるのではないかと思われる。

参考文献

1. 野口 玉雄：フグはなぜ毒をもつのか。NHK ブックス，1996.
2. Journal of Toxicology Toxin Review(Special issue on Tetrodotoxin). Marcel Dekker,Inc., New York. Vol.20, Issue 1, 2001.
3. ウェイド・デイビス（樋口 幸子訳）：ゾンビ伝説―ハイチのゾンビの謎に挑む。第三書館，1998.
4. 厚生労働省自然毒リスクプロファイル：<http://www.mhlw.go.jp/topics/syokuchu/poison/>
5. 厚生労働省監修「食品衛生検査指針，理化学編 2005」，（社）日本食品衛生協会．
6. 厚生労働省食中毒統計：http://www.mhlw.go.jp/stf/seisakunitsuite/bunya/kenkou_iryuu/shokuhin/syokuchu/04.html

CO₂センサーを用いた γ アミノ酪酸製造工程の 簡便なモニタリング技術

渡部 保夫 (WATANABE Yasuo) 河田 航貴 (KAWADA Koki)

愛媛大学 農学部

Key Words : γ アミノ酪酸 二酸化炭素 CO₂センサー もち麦 グルタミン酸デカルボキシラーゼ
 γ -aminobutyric acid, carbon dioxide, CO₂ sensor, mochi barley, glutamate decarboxylase

はじめに

筆者らは、大麦類「はだか麦」の一種「もち麦」(ダイシモチ)を用いて、多機能性アミノ酸であるギャバ (GABA) を効率よく製造する技術を開発してきた。本研究では、基質である L-グルタミン酸から GABA が生成した時に副生成される CO₂ の量を安価な市販の CO₂ センサーで計測すれば、GABA 製造工程を簡単にモニタリングできること、さらにこの技術が、GABA 商品開発の分野で利用可能であることが分かったので、ご紹介する¹⁾。

1. GABA について

γ アミノ酪酸 (gamma-amino-butyric acid, GABA) は脳内では神経伝達物質であり抑制的に働き、その前駆物質 L-グルタミン酸 (Glu) は興奮性の神経伝達物質である。また、GABA は、経口摂取した時、血圧上昇抑制作用、成長ホルモン分泌促進、抗ストレス、メンタルヘルス、腎機能亢進などの機能を発揮することが知られてい

る。加えて、「ガンマロン錠」という頭部外傷障害の治療薬として、1日3g程度と高用量で多年の摂取経験があり、安全性は担保されている。しかし、GABA は、食品添加物としては認められていない。GABA の前駆物質の Glu は食品添加物として認可されているので、生物が持つ機能を利用して Glu から GABA に変換することによって製造した GABA 富化加工品を食品として利用することになる^{2,3)}。

GABA は、生物ではグルタミン酸デカルボキシラーゼ酵素の作用で Glu が脱炭酸 (脱 CO₂) されて生成される (図1)。また、GABA は、GABA アミノトランスフェラーゼとコハク酸セミアルデヒドデヒドロゲナーゼの酵素作用を経てコハク酸に変換された後、クエン酸回路で分解される (図1)。

筆者らはこれまで、各種雑穀の GABA 製造能力について検討し、六条大麦類「はだか麦」の一種、「もち麦」(ダイシモチ)に強い GABA 製造能力を発見し報告してきた⁴⁾。もち麦粒子

Corresponding author : 渡部保夫 (Yasuo Watanabe)

連絡先 : 〒790-8566 愛媛県松山市樽味3丁目5番7号

愛媛大学農学部生物資源学科応用生命化学専門教育コース

E-mail : watanabe.yasuo.mg@ehime-u.ac.jp

Tel/Fax : 089-946-9849

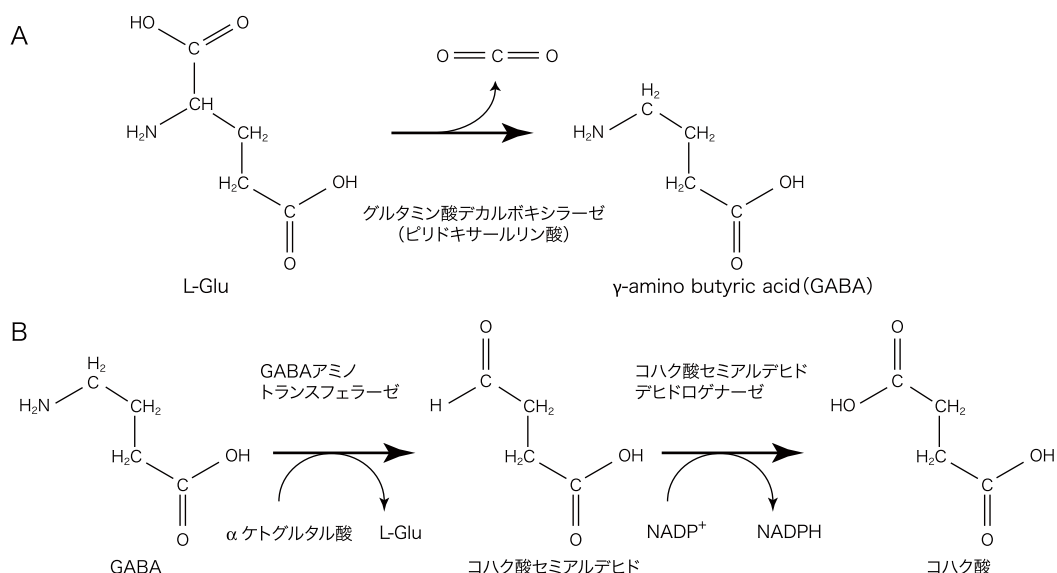


図1 GABAの代謝経路 (A: 合成経路, B: 分解経路)

は、表皮を適度に除去すること（精麦）で、その能力を発揮し、精麦処理で発生するもち麦「ヌカ」にも高いGABA製造能力が残っていることを報告した⁵⁾。この方法を使って高濃度のGABAを含む食品が、すでに製造されている。

なお、グルタミン酸デカルボキシラーゼは、活性を発現するために、ビタミンB₆の活性型（ピリドキサルリン酸、PLP）が必要であるが、精白もち麦粒子やもち麦ヌカは、この補因子の添加無しでも効率よくGABAが製造できる特徴を持っている^{4,5)}。

本報告で紹介する精白もち麦粒子やヌカを用いたGABA製造方法の最適条件は以下の通りである。添加するGlu濃度は0.5%から1%がよく、1%ではGluが多く残存する。Glu溶液のpHは4から6までの範囲が好ましく、通常pH 4.5で行われる。GABA生成反応は室温（25℃）では一晩（15時間）程度で完了する^{4,5)}。

2. CO₂について

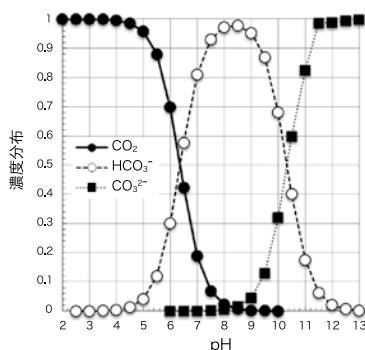
2-1. CO₂の水への溶解性

話は変わるが、炭酸飲料など炭酸ガス（CO₂ガス）が多く溶解している食品も多い。CO₂ガスの溶解性に関する物理学的な詳細について

は、専門書に譲るが、CO₂は水と化学的な相互作用により、20℃で1.7 g/L程度溶解するようであり、圧力をかければより多くのCO₂が溶解する⁶⁾。

2-2. CO₂の存在形態とpH

CO₂は水によく溶けることを述べたが、水溶液中ではCO₂の化学的な形態がpHにより異なることは、よく知られている（図2）。pH 11より高いpH領域ではCO₃²⁻、6.5から10のpH範囲ではCO₂¹⁻、pH 5以下の範囲ではCO₂の形で溶解している。酸性のpH範囲では、CO₂はガス状のCO₂の形態で溶解しているとも言えるので、他のイオン性化合物とは性質が異なっている。

図2 CO₂の存在形態とpHの関係

2-3. CO₂ の測定技術

気相の CO₂ ガスの測定は、安価な CO₂ ガスマーターが市販されており、労働環境におけるモニタリングなどに広く利用されている。一方、液相中の CO₂ ガスの測定には、CO₂ 透過性の疎水性プラスチック膜を通して液体中の CO₂ ガスが通過した後、その CO₂ 量をいろいろな方法で計測する方法を用いるようである。

本研究で使用した CO₂ ガスセンサーの測定原理は以下の通りである。液相 CO₂ 測定装置は、まず液相に含まれる CO₂ が CO₂ 透過性疎水性プラスチック膜を通過しセンサーの内部に移行される。移行した CO₂ 量を測定する装置として、筆者が調査した限りでは、IR 法、蛍光法、pH 電極法が知られている⁶⁾。本実験で使用した CO₂ センサーの原理は pH 電極法であり、Severinghaus 型電極とも呼ばれるセンサーである。水溶液中に存在する CO₂ は CO₂ 透過性膜を通過して、センサー内へ移動し、pH 電極の外側の高濃度 NaHCO₃ 溶液に溶解する。そこで、CO₂ は HCO₃⁻+H⁺ と変化し、その結果、CO₂ 濃度依存的に pH が低下する。CO₂ 濃度と pH 変化の間の相関性に基づき、溶液中の CO₂ 濃度を測定することができる。本実験では、この原理で液相の CO₂ 濃度を計測できる CO₂ センサーとして、東興化学研究所社のハンディ CO₂ ガスマーター（図 3 装置 A）と、東亜 KDD 社のポータブル CO₂ ガスマーター（図 3 装置 B）を使用した。

CO₂ は、高い pH の水溶液ではイオン型の化合物として溶解しているが、逆に pH を 5 以下に調整すれば、CO₂ ガスに変化する。この現象はセンサーの感度校正に利用できる。すなわち、

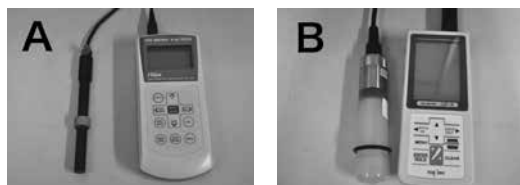


図 3 CO₂ センサー

装置 A：東興化学研究所社製：ハンディ CO₂ ガスマーター

装置 B：東亜 KDD 社製：ポータブル CO₂ ガスマーター

CO₂ ガスセンサー装置の感度校正には規定濃度の CO₂ が溶存した溶液が必要であるが、所定濃度の炭酸水素溶液に pH 調整液（酸性溶液）を添加することで規定濃度の CO₂ 濃度液を調製して感度校正を行う。

2-4. CO₂ 測定のための反応容器

使用した CO₂ ガスセンサーとそれらの電極の形状を示したが（図 3），装置 A の電極は細く、一般的な市販のフラン瓶（共栓 TS19）にフィットし、密栓して反応を行うことができる。一方、装置 B の電極は太いため、ビーカーなどを用いて反応を行うことになる。GABA 製造効率がよく CO₂ の高発生が確認できた条件で、容器の形状について検討した。精白もち麦粒を含み PLP 添加なしの 1% Glu 溶液を用いて、フラン瓶とビーカーの容器で反応した結果を図 4 に示した。形状の異なる容器を使って行った反応でも、GABA 生成量はほぼ同程度であった。フラン瓶を用いた場合は反応開始後 6 時間まで溶液中の CO₂ 濃度は上昇し、その後プラトーに達した。ビーカーを用いた場合は装置 A のセンサーと装置 B のセンサーともに、CO₂ 濃度は 10 時間で最大に達し、その後減少した。このことは、開放系では溶液中の CO₂ が高濃度になると気相への離脱が起こることを示唆していた。また、フラン瓶を用いた CO₂ 濃度のパターンは、GABA 生成のパターンとよく似ていた。これらのことから、フラン瓶（あるいは栓がで

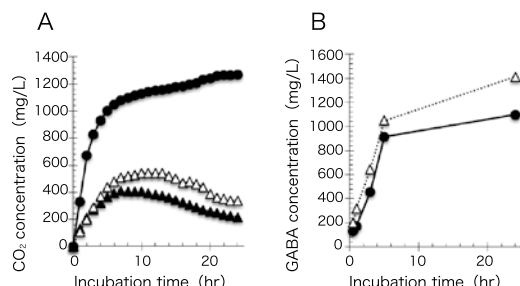


図 4 GABA 生産工程での溶液中の CO₂ 濃度の測定に対する反応容器の影響

A：CO₂ 濃度変化，PLP を含まない 1% Glu 溶液（pH 4.5）で反応した。●：フラン瓶で装置 A で測定，▲：ビーカーで装置 A で測定，△：ビーカーで装置 B で測定

B：GABA 生産量，●：フラン瓶で反応，△：ビーカーで反応

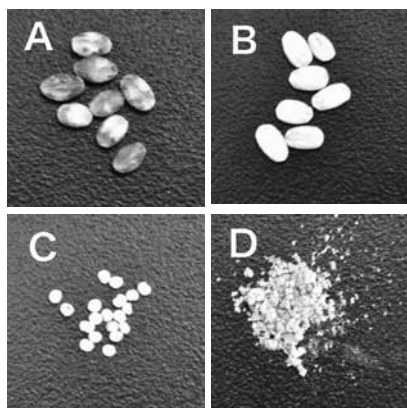


図5 使用したサンプル

A:精白もち麦粒,B:精白大麦粒,C:精白ヒエ粒,D:もち麦ヌカ

きる容器)を用いてセンサーで密栓する(装置Aのセンサーが良い)か、ガラスストッパーで栓をして反応することが、CO₂濃度をより正確に計測するために重要であることが分かった。以降の実験では、フラン瓶を用いることとした。なお、Takano⁷⁾も、CO₂ガス濃度の正確な測定には、完全な密栓の状態は必要でないが、軽く陽圧がかかるような容器が良いと報告している⁷⁾。

加えて、pH4.5の水溶液中では、ほぼ全てCO₂の形態で溶存しているので、酸性処理を行って炭酸水素イオンからCO₂に変換する必要もなく、センサー電極を挿入したまま経時的にリアルタイムでCO₂発生をモニターできることも分かった。

3. CO₂ センサーを用いたサンプル別 GABA 製造工程のモニタリング

筆者らは、大麦、特にもち性のはだか麦(「もち麦」、ダイシモチ)を用いると、Gluを基質としてGABAを高い効率で生産できることを明らかにした⁴⁾。なお、もち麦粒子は、精麦処理で表面の一部を剥ぎ、基質Gluとの接触効率を高めてやれば、効率良くGABAを生産できる⁵⁾。

本実験で使用したサンプルは、精白もち麦粒子、精白大麦粒子、精白ヒエ粒子、もち麦ヌカである(図5)。サンプル(16g)を1%(w/v)

L-Glu緩衝液(pH 4.5, 80 mL)に懸濁し、100 mL容量のフラン瓶に入れ、CO₂センサー電極を溶液に挿入後、25℃で保温し、発生したCO₂量を経時的に計測した。また、GABA生産に関係する酵素グルタミン酸デカルボキシラーゼの補因子であるPLPを添加した条件でも実験した。同時に多数のサンプルについて実験する場合は、電極を挿入せず、ガラスストッパーで密閉し、所定の時間毎にCO₂センサー電極を挿入し、CO₂量を計測した。また、所定の時間毎に反応液(溶液)の一部を採取し、溶液に等量の4%スルホサリチル酸を加え、混合後、遠心分離により除タンパクした。そのサンプル溶液中のアミノ酸量は、アミノ酸分析装置(島津社製)を用いて計測した。

30%精白したもち麦粒子と大麦粒子、ヒエ粒子、および精白で生じたもち麦ヌカをサンプルとして上記の通りGABA製造を行った結果を図6に示した。これらのサンプルにおけるGABA生産性は、「もち麦ヌカ」、「精白もち麦粒子」、「精白大麦粒子」、「精白ヒエ粒子」の順であったが、CO₂発生量(溶存CO₂濃度)についても同様であった。さらに、反応期間中のGABA生産量のパターンとCO₂発生量のパターンはよく類似していた(図6)。GABA生産性が高いサンプルでは、溶液中には多くのCO₂が発生しており、GABAが生産されないCO₂は検出されないという相関性があった。加えて、GABA生産酵素であるグルタミン酸デカルボキシラーゼの補因子であるPLPを加えた場合、4種全てのサンプルでGABAの生産性は上昇していたが、そのGABA生産量の増加に比例して、CO₂の発生量も上昇したことをCO₂センサーでモニターできた(図6)。このように、反応液の溶存CO₂濃度を、CO₂センサーを用いてモニターすることで、GABA生産量を推測することが可能であることが分かった。

3-1. GABA 生産量と CO₂ 発生量の違い

GABA生産量とCO₂発生量の関係をより詳細に解析するために、上述したサンプルについて得られたGABA生産量とCO₂発生量の結果

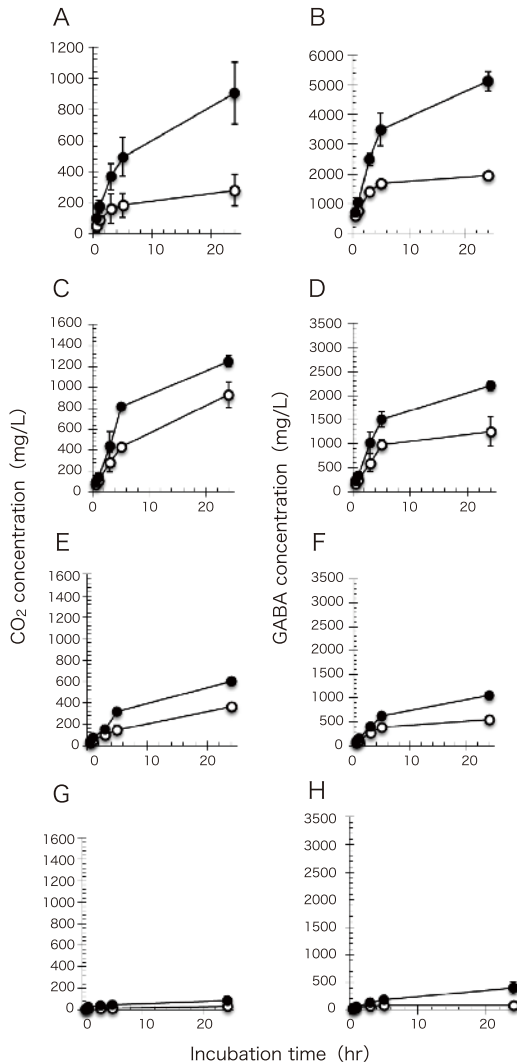


図6 GABA 製造工程中の溶液中のCO₂ 濃度とGABA 濃度の変化

A, B: もち麦ヌカ, C, D: 精白もち麦粒, E, F: 精白大麦粒, G, H: 精白ヒエ粒。

A, C, E, G: CO₂ 濃度, B, D, F, H: GABA 濃度

●: 0.2mM PLP を添加, ○: PLP を添加しない。n=4)

をモル濃度で表示し直して、それらの相関関係について、回帰分析を行った。結果を図7に示した。4種のサンプルの分析結果では、すべての相関係数(R²)は0.83から0.76と高い値を示し、両測定値の間には高い「正」の相関性が存在した。回帰式の「傾き」に注目すると、「精白もち麦粒」や「精白大麦粒」をサンプルとした場合の傾きは、0.72や0.74であっ

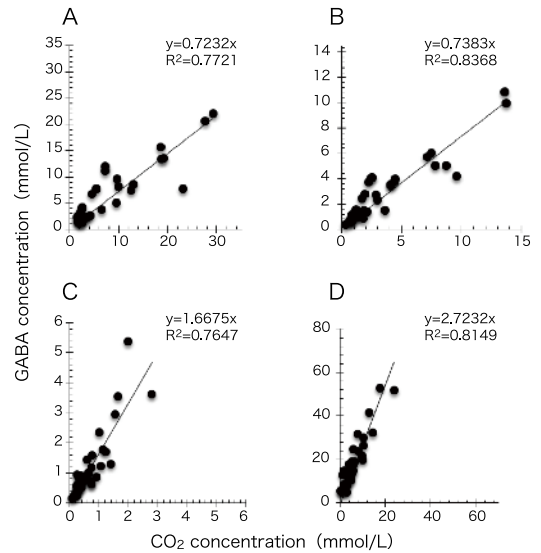


図7 CO₂ と GABA のモル濃度の回帰分析

図6のデータをモル濃度に変換し、マイクロソフトエクセルを用いて回帰分析した。

A: 精白もち麦粒, B: 精白大麦粒, C: 精白ヒエ粒, D: もち麦ヌカ

たが、「精白ヒエ粒」や「もち麦ヌカ」をサンプルとした場合は、1.67や2.72であった。1モルのCO₂が発生するなら、GABAは1モル生産されているので、それがそのまま測定できたとすると、この「傾き」は1となる。しかしながら、これらの結果は、前2者では、CO₂発生量とGABA生産量の計測のうち、GABA生産量の計測効率が悪く、後2者では、CO₂発生量の計測効率が悪いことを示している。

これら4種のサンプルについてでも、GABA生産とCO₂発生の相関関係のひとつの係数「傾き」が異なっているという結果は、GABA生産量をCO₂発生量から直接計算することはできないことを示していた。他方、GABA量を見積もりたい場合は、それぞれのサンプル毎に、いわゆる検量線のような計算式(回帰式)が必要である。言い換えると、サンプル毎に計算式を作成しておけば、CO₂発生量からGABA量を推測することもできる。

なぜ、このような現象が起こるのかについて、4種のサンプルの形状の違いに起因する可能性があり、それについては後述する。

3-2. 酸性条件下におけるもち麦粒の自己代謝(CO₂代謝発生)抑制

生物では、呼吸などの代謝（ここでは自己代謝と呼ぶ）によって CO₂ が発生する。例えば、クエン酸回路のイソクエン酸デヒドロゲナーゼ、 α ケトグルタル酸デヒドロゲナーゼである。しかし、細胞内部で発生した CO₂ はその環境の pH がほぼ中性であることから、炭酸脱水酵素の作用により炭酸水素イオンとなる。なお、本実験で用いる酵素源は、精白したもち麦種子、大麦種子やヒエ種子、精白後のヌカであるので、生育している植物細胞内のように代謝系全てが活動しているとは考えないが、 $\text{Glu} \rightarrow \text{GABA} + \text{CO}_2$ の反応以外に、CO₂ を発生する酵素反応も起こっている可能性は否定できない。そこでまず、精白もち麦粒を「水」に浸してサンプル粒から発生する CO₂ 濃度を測定すると（図 8）、反応の初期にはほとんど発生しなかったが、その後非常に多くの CO₂ が発生することが分かった。一方、水に浸した精白もち麦サンプルでは、GABA はほとんど生成していなかった（図 8）。このことは、水に浸した条件では、 $\text{Glu} \rightarrow \text{GABA} + \text{CO}_2$ の反応は生じておらず、それ以外の代謝により CO₂ が発生したことを示唆していた。

次に、いろいろな有機物を用いて pH を調節した緩衝液（pH 4.5）中で、精白もち麦粒を酵素源として CO₂ が発生するかどうかを試験した

（図 8）。なお、コントロールとして 1% Glu 溶液（pH 4.5）での CO₂ 発生と GABA 生成量も示した（図 8）。一般的に、生物により代謝可能であると考えられる、酢酸、クエン酸などの有機酸で pH を調整した場合は、pH 4.5 の環境でも、CO₂ の発生を確認したことから、これらの有機酸は精白もち麦粒に浸透し、代謝反応により分解されて CO₂ が発生したと推察された。生物により利用されない（分解されない）フタル酸の緩衝液中では、CO₂ の発生は、他の条件と比較して 1 割程度であった。

以上、「水」に浸して反応した場合（精白もち麦粒子自体に含まれている物質が分解されて発生する）の CO₂ 量に比べて、酸性環境（フタル酸溶液）では CO₂ 発生はわずかであったので、酸性の反応条件では自己代謝による CO₂ の発生は抑制されることが分かった。言い換えると、CO₂ 計測により GABA 生産をモニターする本技術では、この自己代謝の影響は小さいと結論した。

また、グルタミン酸は一般にアミノ転移酵素により、2 ケトグルタル酸に変化し、クエン酸回路で利用されるという経路が、グルタミン酸分解の一般的なルートであろう。使用した精白もち麦粒では、グルタミン酸デカルボキシラーゼは活性であるが、植物のグルタミン酸 $\rightarrow$ 2 ケトグルタル酸に関するグルタミン酸デヒドロ

ゲナーゼやその他アミノトランスフェラーゼの最適 pH が弱アルカリ性であることから⁸⁾、酸性の本反応条件ではグルタミン酸の分解によって発生する CO₂ の割合はかなり低いと考えている。また、生成した GABA は、上述の 2 つの GABA 分解酵素により、コハク酸に変化した後、クエン酸回路で代謝されるが（図 1）、植物ではコハク酸セミアルデヒドデヒドロゲナーゼの最適 pH がやはり弱アルカリ性であることなど⁹⁾、GABA の代謝に由来する CO₂ の発生も

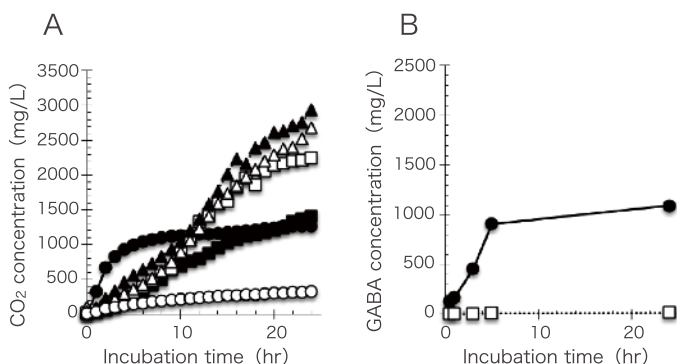


図 8 各種 pH 4.5 緩衝液中での精白もち麦粒の CO₂ 発生量

A: CO₂ 濃度変化, ●: 1% L-Glu (pH 4.5), ■: —
 △: 1% クエン酸 (pH 4.5), △: 1% 酒石酸 (pH 4.5), ○: 1% フタル酸 (pH 4.5). B: GABA 濃度変化, ●: 1% L-Glu (pH 4.5), □

小さいと考えている。

以上の結果を総合すると、本技術の反応条件で GABA を製造した場合、反応液中の CO₂ 濃度を計測する技術は、その計測値から GABA 量を見積もることができること、加えてリアルタイムで連続計測も可能であることを示しており、産業的に非常に有効な技術であると言える。

本報の主題と若干離れるが、D 型のグルタミン酸もゆっくりではあるが、代謝され、CO₂ が発生することが示された (図 8)。D 型の L 型アミノ酸へのラセミ化 (グルタミン酸ラセマー

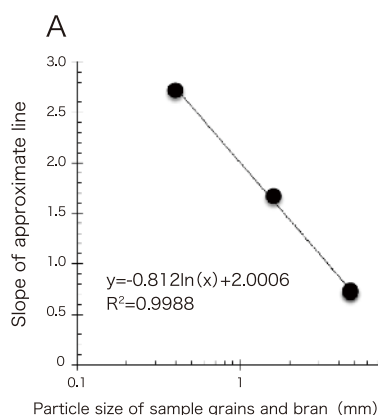


図 9 回帰式の傾きとサンプル粒サイズとの関係
図 7 の回帰分析で得られた式の傾きと、精白もち麦粒、精白大麦粒、精白ヒエ粒、もち麦ヌカの平均粒子直径 (mm) をマイクロソフトエクセルを用いて回帰分析した。

ゼ) が必要であり、この酵素が、使用した精白もち麦粒で活性であることが示唆された。しかしながら、この酵素についてほとんど研究されておらず、今後検討する必要がある。

3-3. サンプル形状の CO₂ 発生量への影響

上述した通り、GABA 生産量と CO₂ 発生量の間では、正の相関性が高いが、相関性の回帰式の「傾き」は、試験した 4 種のサンプル毎に異なっていた。4 種のサンプルを比較すると、サンプルの形状の違いに関係している可能性が推察された。そこで、4 種のサンプル粒子の平均直径と回帰式の「傾き」の間の関係を解析した。図 9 に示したように、「傾き」は、サンプル粒子の平均直径の対数値との間で「負」の相関性を見出した。サンプル粒子が小さいことは、Glu との接触効率は高いため GABA 製造効率は良い反面、サンプルの比重を同じと仮定すると、単位重量あたりのサンプルの表面積が広くなる。そのために、粒子表面と CO₂ ガスの結合が結果的に強くなり、CO₂ の遊離 (表面からの CO₂ ガスの離脱) が悪くなってしまうものと考えている。

4. カボチャによる GABA 生産のモニター

筆者らは穀類を用いて GABA を製造する技

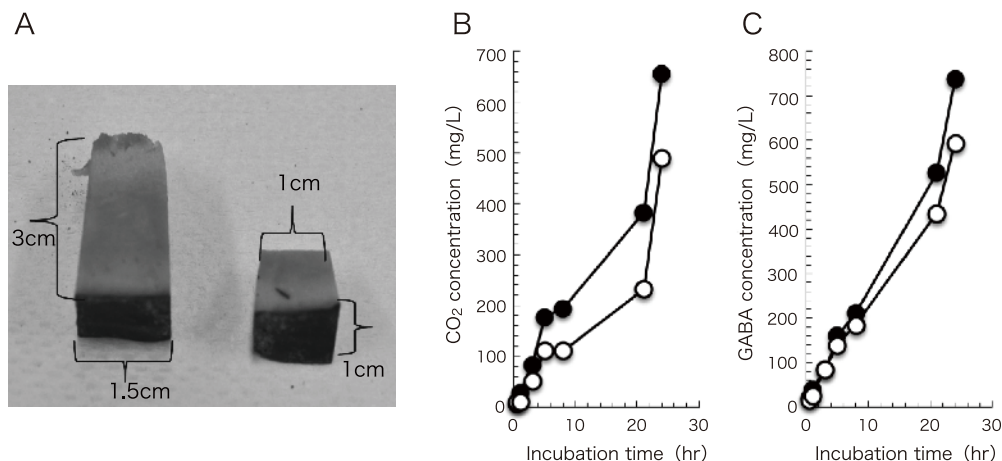


図 10 カボチャを用いた GABA 製造工程中の溶液中の CO₂ 濃度と GABA 濃度の変化

A: カボチャ切片の大きさ, B: CO₂ 濃度変化, ●: 小切片, ○: 大切片, C: GABA 濃度変化, ●: 小, ○: 大切片

術の開発を中心に研究を進めてきた。他には、カボチャ¹⁰⁾ やジャガイモ¹¹⁾ を用いて GABA を製造した報告もある。そこで、カボチャをサンプルとして GABA を製造し、その製造工程を CO₂ 発生量から CO₂ センサーを使ってモニターできるかについても検討した。その 1 例を示す。市販のカボチャを切断し、1 cm 四角に切ったもの(但し皮を含む)と、3 cm の長さで 1 cm × 1 cm 角に切ったもの(但し皮を含む)を作製した。これ(16 g)を 1% Glu 溶液(pH 4.5, 80 mL)に浸し、フラン瓶中で GABA 製造を行った。反応溶液の CO₂ 濃度と GABA 濃度を測定した(図 10)。カボチャを用いた場合でも、CO₂ 濃度と GABA 濃度のパターンはよく類似していた。大小 2 種のカボチャ切片を比較したが、この程度の大きさの違いは、GABA や CO₂ の生成に大きな影響を与えないようであった。

最後に、CO₂ センサーを利用して GABA 製造工程をモニターする本技術は、乳酸菌飲料のような高粘性の溶液や、ギャバロン茶などの溶液が存在しない条件では、CO₂ センサーによる測定は難しいであろうが、本報で紹介したような酸性の水溶液の反応条件であれば、いろいろな食材を用いた GABA 製造工程をモニターするために、本技術が利用できると考えている。

まとめ

精白もち麦(ダイシモチ)粒やもち麦ヌカを材料として、GABA を非常に効率良く製造する技術を開発してきた。しかし、その製造には 15 時間程度の反応時間が必要で、GABA 製造の成否を迅速にチェックできれば、操作の短縮や効率化につながる。GABA 製造工程を CO₂ 発生量から間接的にモニターする本技術を用いれば、その原材料が GABA 製造に利用できる良い材料かどうかを簡単に検査できる。さらに、食材の品質(GABA 生成能力)は、年度毎に異なり、保存状態良し悪しでも変化するので、本製造の前に、その品質を、スモールスケールで前もって評価する必要があるが、これには本技術が最適である。本技術に使用する装置は、非常に安価であるので、その点でも利用しやすい技術である。

[謝辞]

本研究は、平成 25 年度 JST の A-STEP 探索タイプ課題「 γ アミノ酪酸強化食品製造のための食材選択と製造工程モニタリング技術の開発」の支援を受けて実施しました。また、原材料は株式会社マエダから提供されました。ここに深謝いたします。

参考文献

1. Watanabe, Y., Kawata, K., Watanabe, S.: Monitoring technology for gamma-aminobutyric acid production in polished mochi barley grains using a carbon dioxide sensor. *J. Food Sci.* doi: 10.1111/1750-3841.12867, 2015.
2. 渡部 保夫: もち麦を用いた γ アミノ酪酸の高生産技術 (その 1). *New Food Industry* **54** (6): 27-34, 2012.
3. 渡部 保夫: もち麦を用いた γ アミノ酪酸の高生産技術 (その 2). *New Food Industry* **54** (7): 38-48, 2012.
4. 渡部 保夫, 鳥居 枝里子, 大野 一仁, 前田 耕作: もち麦粒を用いた γ アミノ酪酸の高生産技術. *日本食品科学工学会誌* **58**: 182-185, 2011.
5. 渡部 保夫, 鳥居 枝里子, 渡辺 誠也, 前田耕作: 六条大麦ヌカを用いた γ -アミノ酪酸の高生産の要因. *日本食品科学工学会誌*, **59**: 291-294, 2012.
6. 高野敏: 炭酸ガス選択性電極を用いた洗浄剤中の炭酸塩の分析. *TOA News* No.296: 5-8, 1986.
7. Takano, S., Kondoh, Y., Ohtsuka, H.: Determination of carbonates in detergents by a carbon dioxide gas selective electrode. *Anal. Chem.* **57**: 1523-1526, 1985.
8. 生化学データブック II: 日本生化学会編, 6-269, 1981.
9. Shelp, B.J., Walton, C.S., Snedden, W.A., Tuin, L.G., Oresnik, I.J., Layzell, D.B.: Gaba shunt in developing soybean seeds is associated with hypoxia. *Physiol. Plant.*, **94**: 219-228, 1995.
10. 鶴澤 昌好, 奥山 智子, 村田 真由美, 佐藤 良二, 大森 正司: γ -アミノ酪酸高含有カボチャ加工品製造とそのラット血圧上昇抑制作用. *日本食品科学工学会誌*, **49**: 573-582, 2002.
11. 野口 智紀, 中村 和哉, 古賀 秀徳: 各種処理によるジャガイモ塊茎の γ -アミノ酪酸 (GABA) の増加方法. *日本食品科学工学会誌*, **54**: 477-451, 2007.

更年期障害とピクノジェノール

A randomized, double-blind, placebo-controlled trial on the effect of low-dose French maritime pine bark extract on climacteric syndrome in 170 peri-menopausal women

小濱 隆文 (KOHAMA Takafumi)

恵寿総合病院 産婦人科

Key Words : ピクノジェノール 更年期障害 閉経期 更年期指数 WHQ クッパーマン更年期指数
Pycnogenol, Climacteric syndrome, peri-menopause, Women's Health Questionnaire, Kupperman's index

Abstract.

Objective— To evaluate the efficacy of a relatively low daily dosage of Pycnogenol French maritime pine bark extract for improvement of climacteric symptoms.

Study Design— In a double-blind, placebo-controlled study 170 peri-menopausal women were enrolled and treated with 30 mg Pycnogenol or placebo twice daily over a period of three months. Climacteric symptoms were evaluated by the Women's Health Questionnaire (WHQ) and by the Kupperman Index, accompanied by an investigation of sexual hormones and routine blood chemistry.

Results and Conclusion— Seven women dropped out of each group due to non-compliance or personal reasons, but not as a result of treatment. A significant placebo effect was apparent in this study, suggesting an improvement of a majority of the Women's Health Questionnaire (WHQ) categories. Compared to baseline Pycnogenol significantly ($p<0.05$) improved all symptoms with the exception of formication sensation and abnormal perceptions. Pycnogenol was found to be especially effective for improving vasomotor and insomnia/sleep problem symptoms which were significantly better after four and twelve weeks than with placebo ($p<0.05$). Total Kupperman's index for peri-menopausal symptom severity score decreased significantly by 56% as compared to placebo (-39%) after twelve weeks treatment ($p<0.05$). Symptom score was also significantly better already after four weeks treatment with Pycnogenol as compared to placebo. This study applying a relatively low daily dose allows for identifying those climacteric symptoms which respond particularly well to supplementation with Pycnogenol.

Corresponding author : Takafumi Kohama

Chief of Division, Department of Obstetrics and Gynecology,

Keiju Medical Center, Tomioka-chou 94, Nanao City, Ishikawa Pref.

Tel ; 81-0767-52-3211, Fax ; 81-0767-52-3218, Email ; kohama@yu.incl.ne.jp

はじめに

女性の卵巣機能は10歳前後からエストロゲン分泌が上昇し初潮を迎え、その際エストロゲン濃度は20～30歳代頃にピークとなり、40歳を超えると徐々に低下し始め、50歳頃に閉経を迎え。したがって更年期とは生殖期と非生殖期の間の移行期で年齢的には45～55歳頃をさし、卵巣機能が低下して消失する時期に相当する。更年期障害の症状は、疲労感、頭痛、頭重感、肩こり、腰痛、のぼせ（ほてり）、冷え、不眠など多彩である¹⁾。

人間のからだを維持する機能として、ホルモンの分泌をつかさどる内分泌系と、内臓や各種の分泌腺、血管などはたらきを自動的に調節する役目をはたす自律神経系の2つの系統がある。この2つの中枢は、両者とも間脳にあり、お互い影響しあっているため、卵巣機能（内分泌系）に異常がおこると、自律神経系にも異常がおこり、おのおのの支配下にある臓器のはたらきが悪くなることになり、自分の意志では調整不可能な状態となる。一般的には、更年期障害とは、更年期におこる卵巣機能の低下を契機として発症する、このような内分泌 - 自律神経系の適応障害に基づく症候群といわれている。

更年期障害の治療としては、卵巣機能の低下によって不足したホルモン（エストロゲン）を補充することは意味のあることと考えられている。しかし、自律機能系の失調としてみた場合は、中枢のある間脳の機能の回復をはかる治療が必要となり、したがって、治療には、①ホルモン療法、②薬物療法（鎮静薬の使用）、③心理療法（精神療法・説得療法）の3つの柱があるとされている。どれがいちばん必要な治療かは、各個人で効果が異なるため、ある意味試行錯誤的な決定も行われるのが現状である。

治療においてもっともたいせつなことは、閉経後の人生を快適に生活できるよう、医師が十分配慮することであろう。

ホルモン療法はホルモン補充療法ともいい、不足したホルモンを補う治療法で、医療的には

効果が最もよいとされているため、これまで治療選択肢の筆頭に挙げられてきてきた。しかしながら、生理様の出血、子宮筋腫の腫大、子宮癌の発生、消化器症状、乳房に張りや痛み、乳癌の発生²⁾、血栓症³⁾といった副作用を抱えており、極めて優れた治療とはいいがたいものである。

このようなホルモン補充療法での症状の多様性を考えるに、以下のようなホルモン作用を有さない治療も選択肢として期待される。

- 1) 自律神経調整剤；自律神経失調型の不定愁訴に使用される。精神安定剤；心身症型の愁訴がある場合に使用される。
- 2) 漢方薬；副作用のない万能薬と思っている人が非常に多いが、効かないばかりか、副作用が出ることもあり、体質や症状に適した漢方薬（人によって異なる）を選択することがたいせつである。
- 3) 心理療法；心身症型の人を対象となりますが、婦人科の医師が苦手とする分野であり、精神神経科の助けが必要となることがある。更年期障害は、精神的要素に大きく影響されるため、心理療法は重要な位置を占める。
- 4) 日常生活の注意；一般に更年期は、人間だれでも（男も女も）経験する時期であり、身体的にだけではなく、心理的・社会的にも、ライフサイクルのうえで大きな変化の生じる時期である。子どもの受験や巣立ち、夫の定年、親の介護、自分の老化の自覚、夫婦問題の深刻化など、さまざまなライフイベントがおこってきますが、これらから受けるストレスをセルフコントロールできるように、自分で努力する必要があるであろう。

1. ピクノジェノールについて

ピクノジェノールとは、フランス海岸松樹皮抽出物すなわちPINE BARK ETRACTSで、フランスのボルドー地方の海岸に生息する学名：PINUS PINASTERという松の樹皮からの抽出

物であり、ピクノジェノール（Pycnogenol：スイスのホーファー・リサーチ社の登録商標、いわゆる商品名）として、現在では世界中において広く栄養補助食品として使用されている。

フランス海岸松樹皮抽出物は、OPC（オリゴメリック プロアントシアニン）を主体とした約 40 種類の有機酸を含む生体フラボノイド複合体で、その薬理機序として、

- 1) 強力な抗酸化作用（Pharm. Pharmacol. Lett., 1994）
- 2) 抗炎症作用（同上）
- 3) 末梢血管拡張作用（Pharmacol., 1998）
- 4) 血小板凝集阻止能（U.S. PATENT 4698360）
- 5) 末梢血管抵抗減弱作用（Phlebologie, 1993）
- 6) 結合組織の補強作用（Biochemical Pharmacology, 1984）
- 7) ビタミン C の生体内作用に対する増強作用（Biochem Mol. Biol. Int., 1998）

が挙げられ、また、フランス海岸松樹皮抽出物のもつ薬理効果は多彩で、

- 1) 老人の脳血流障害の改善（Sem.Hop. Paris, 1983）
 - 2) 動脈硬化症による末梢血流障害の改善
 - 3) 血栓予防（U.S.PATENT No.5720956）
 - 4) ADHD（注意欠陥多動障害＝いわゆる、落ち着きのない子、多動児）への改善・治療効果（U.S.PATENT 5719178）
 - 5) 糖尿病性網膜症（フランスでは、医薬品として認可）
 - 6) 美肌効果
 - 7) 鎮痛作用
 - 8) 不眠の改善・治療
 - 9) こむら返りの治療
 - 10) 慢性疲労症候群：CFS（chronic fatigue syndrome）の改善・治療
 - 11) その他；足のむくみ、静脈瘤 花粉症や喘息等のアレルギー性疾患、眼精疲労、糖尿病、インフルエンザ、ガンの予防
- といったような疾患の改善・治療効果が報告されている。

また、安全性についても、過去 30 年間に渡る、

フランス、イギリス、アメリカ、ドイツ、イタリアなどの研究者によって、フランス海岸松樹皮抽出物の安全性は確認されている。

2. ピクノジェノールの歴史

このピクノジェノールの健康還元能力は、約 400 年前すでにケベックインディアンの間で難病、例えば壊血病の治療に使われていた。そのフラボノイドは、他の植物に含まれているフラボノイドとは異なり、活性の高い生体フラボノイドであり、壊血病への即効作用は、そこからまたされたのであった。その後フランス人であったマスケリ教授は、フランスに帰ってから生体フラボノイドの研究を続け、より生理活性の高い生体フラボノイドを自然界にさがし続けた。そしてついに発見されたのが、フランス南西部の海岸地帯からピレネー山脈にかけて生育している、フランス海岸松だったのである。1966 年、この松からの抽出物質は、マスケリエ教授によって、濃縮物質を配達する物質を意味する（ピクノジェノール）と名付けられた。この、フランス海岸松からの抽出物質（ピクノジェノール）は、通常のフラボノイド類よりはるかに水溶性が高く、生体への有効性の高いプロアントシアニンならびに健康還元能力効果をさらに高める多数の有機酸からなる、複雑な組成の強力な活性酸素除去抗酸化物質として世に知られるようになったのである。ピクノジェノールは、名前がつけられた直後から、水溶性で生体への吸収性が高く、その速効性、有効性の高さ、有効範囲の広さゆえ、多くの研究者に注目され、各国へ瞬く間に広がっていったのである。日本においてもようやく、婦人科疾患の治療・改善報告とともに、広く知られるようになってきた。

3. 産婦人科領域への応用

このように、ホルモン作用はほとんどないにもかかわらず、美肌効果が期待でき、むくみなどを抑え、美容によく、強い、抗酸化能、抗炎症作用が、産婦人科領域、特に、最近急増して

いる、子宮内膜症、月経困難症に対して応用できないかと、我々は以前より臨床治験を行ってきた⁴⁻⁷⁾。

今回さらに、その多彩な薬理機序（強力な抗酸化作用⁸⁾、抗炎症作用⁹⁾、末梢血管拡張作用¹⁰⁾、血小板凝集阻止能¹¹⁾、末梢血管抵抗減弱作用、結合組織の補強作用¹²⁾、ビタミンCの生体内作用に対する増強作用）がゆえ、近年、更年期障害の改善・治療を目的とした摂取が勧められており、我が国を含め諸外国で臨床治験がおこなわれている。

そこで更年期障害の症状およびホルモン療法時の副作用の多様性の中で、我々はピクノジェノールの多様な薬理作用に期待しつつ、更年期障害の治療に関する臨床試験を行った。ピクノジェノールの更年期障害に対する臨床治験は、既に台湾、イタリアにおいてなされており、極めて良好な結果を得ているが、我々はさらにピクノジェノールの一日の投与を少なした状況で、より効率的な投与を確認したものである。

3-1. 台湾での臨床治験論文内容¹³⁾

フランス海岸松樹皮エキス（ピクノジェノール）は、優れた活性酸素除去作用を有するし、この際抗酸化酵素も同時に刺激させる。この広範囲に渡る抗酸化能は、抗酸化防御機序が弱ま

ることによる様々な加齢症状を減少させる働きを有するものである。また、ピクノジェノールは、月経困難症、子宮内膜症などの婦人科的疾患に有効であることが、臨床治験で確かめられており、これらを背景に今回、強力な抗酸化物質であるピクノジェノールが更年期障害に有効かを確認するため、以下の臨床試験を行った。

方法：200名の更年期障害の患者に対し、ピクノジェノール（200 mg/日）を6ヶ月間投与し、偽薬と投与群と2重盲検法で統計的に評価した。結果：ピクノジェノール摂取により、ほとんどの更年期症状の改善（図1-1）、抗酸化指数の上昇（図1-2）、LDL/HDLの改善、血圧の低下（図1-3）が認められた。

結果：ピクノジェノールは、更年期の諸症状に改善効果を有することが示唆された。

3-2. イタリアでの臨床治験内容¹⁴⁾

ピクノジェノール（フランス海岸松樹皮エキス）の更年期障害に対する改善効果を観るため、ピクノジェノールを100 mg/日の量で38名の更年期症状を有する患者に対し8週間摂取させ、33項目の更年期症状を、32名の偽薬投与群との間で比較試験を行った。

ピクノジェノール投与による問題となる副作用はほとんど無かった（98.6%が良好）。33項

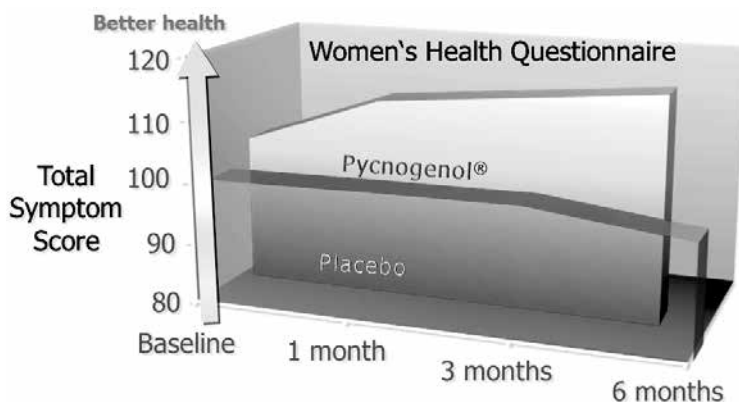


図1-1 ピクノジェノールによる更年期症状の改善（台湾での臨床治験）¹³⁾

This graph shows that the results of the high-dose Taiwan study. 200 mg very effectively improved symptoms beginning as early as one month.

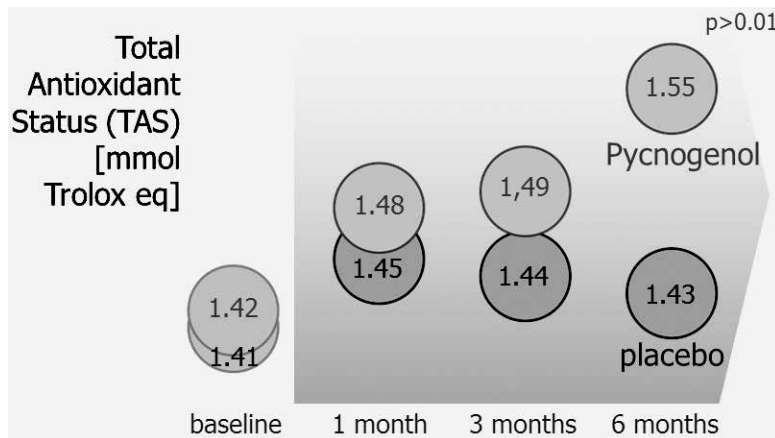


図 1-2 ピクノジェノールによる抗酸化指数の変化¹³⁾
(台湾での臨床試験)

Pycnogenol also significantly increased total antioxidant status compared to placebo in this study as well.

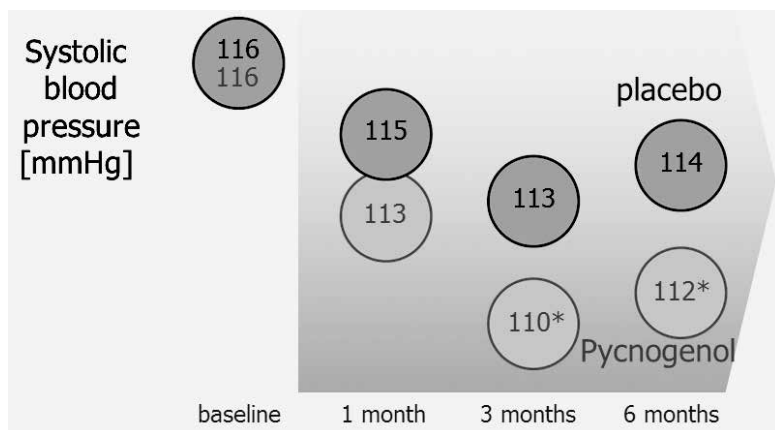


図 1-3 ピクノジェノールによる血圧の変化¹³⁾
(台湾での臨床試験)

The women taking Pycnogenol also had a significant reduction of their blood pressure helping to maintain healthy blood pressure. Many women experience an increase in blood pressure with menopause as well as an increase in heart disease risk. Pycnogenol may help maintain a healthy blood pressure as is seen here in this study.

目の更年期症状を 0（無症状）から 4（重症）の範囲で評価し、ピクノジェノールの摂取により、ほてり、夜間の発汗、気分の不安感、月経不順、性欲減退、膣乾燥感が、8 週間の投与で平均で 2.67/4 から 1.45/4（コントロール群で 2.72/4 から 2.73/4）まで有意に改善した。さらに、疲労感、睡眠障害、集中—記憶障害、めま

い、鬱状態や不穏感といった症状は、ピクノジェノール投与前より改善は認められたものの、偽薬投与群に比べ、有意な差は認められなかった。

頭痛、胸の痛み、電気が刺激されるような感覚、四肢のうずうず感、舌が焼けるような感覚や皮膚のかゆみなどの異常感覚薬、ピクノジェノール摂取 8 週間後に、投与前の基準

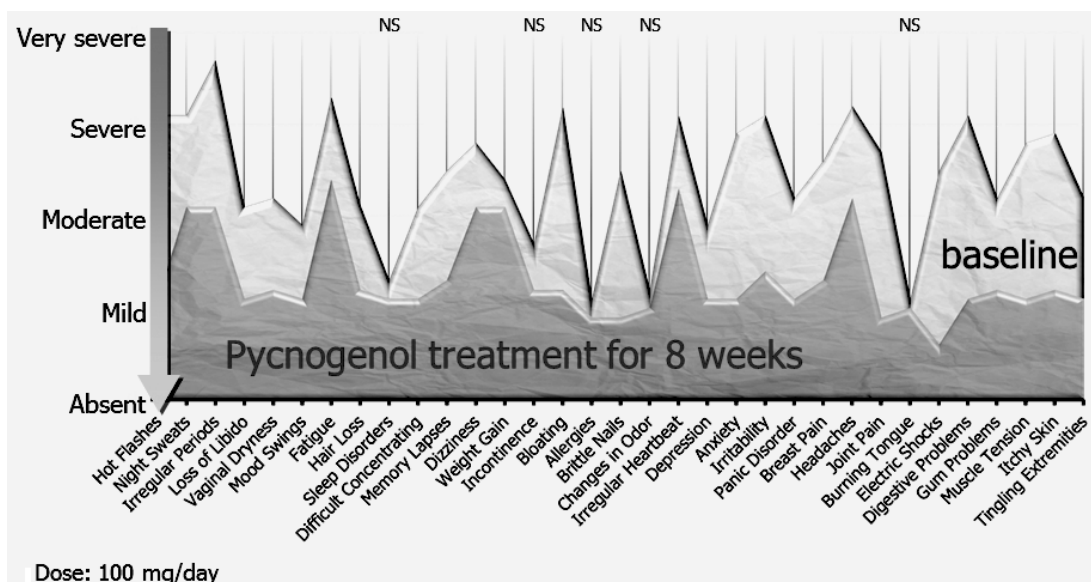


図 2-1 ピクノジェノールによる更年期症状の改善
(イタリアでの臨床試験) 投与前比較¹⁴⁾

Change in Symptom Score (Menopause Symptoms Questionnaire)

This study also found that 100 mg of Pycnogenol a day significantly relieved a wide variety of menopause symptoms in only 8 weeks. Compared to baseline scores, Pycnogenol provided significant relief in almost all symptom categories.

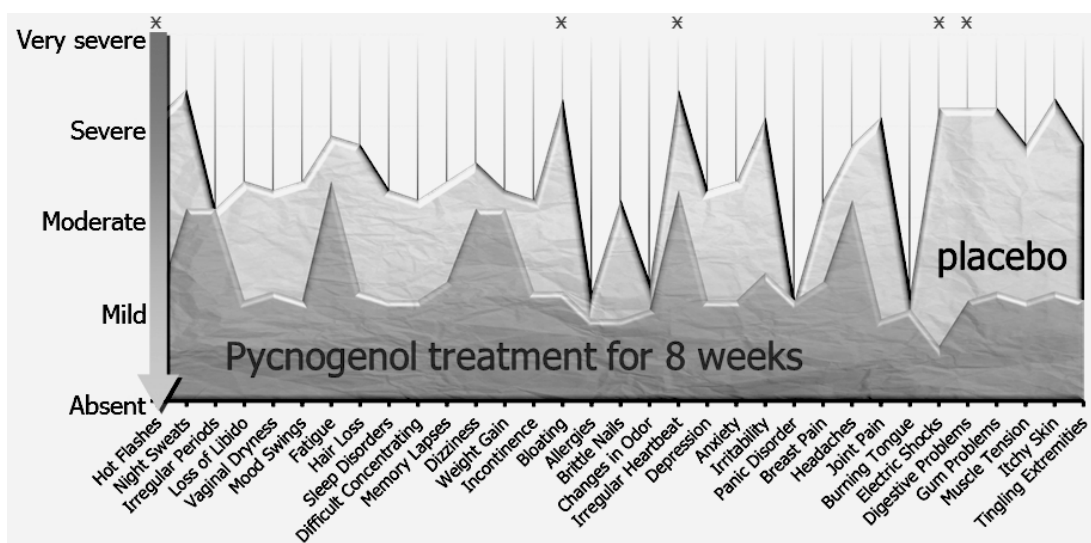


図 2-2 ピクノジェノールによる更年期症状の改善
(イタリアでの臨床試験) 偽薬との比較¹⁴⁾

Change in Symptom Score (Menopause Symptoms Questionnaire)

And compared to placebo, Pycnogenol was still shown to significantly improve a wide range of menopause symptoms in the short treatment time of 8 weeks.

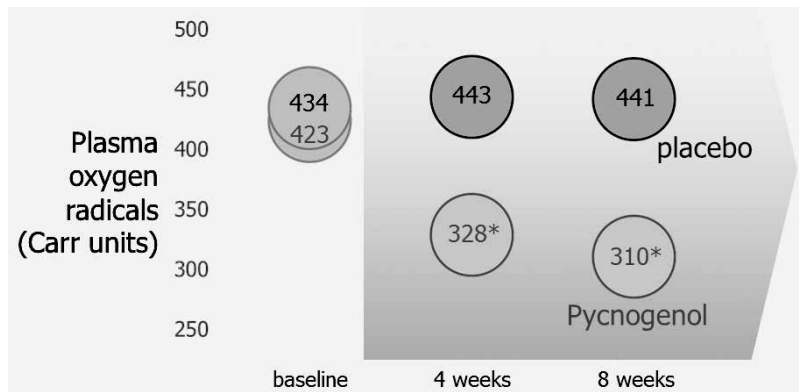


図 2-3 ピクノジェノールによる抗酸化指数の変化¹⁴⁾
(イタリアでの臨床試験)

Pycnogenol again significantly improved antioxidant status as is seen here by a significant reduction in the amount of plasma free radicals.

値に比べ改善が認められた。(図 2-1)

特に電気で刺激されるような感覚や、消化器症状におけるピクノジェノール摂取による改善は、コントロール群に比べ明らかに有意な改善が認められた。(図 2-2)

本治験で、酸化的ストレスの上昇が、毛細血管のフリーラジカル測定により認められたのであるが、この酸化的ストレスは、ピクノジェノール摂取 4 週間後 ($p<0.05$) および 8 週間後 ($p<0.022$) に有意な減少が認められてた。(図 2-3)

結論としては、この臨床試験により、ピクノジェノールは更年期の諸々の兆候や諸症状に著しい改善をもたらし、さらにこの時期の女性の酸化的ストレスを減少させることが示唆された。

3-3. 今回の日本での臨床治験内容¹⁵⁾

臨床試験は石川県七尾市の恵寿総合病院で行い、170 名の更年期の女性を対象としたランダム化二重盲検プラセボ比較臨床試験で、日本の更年期障害研究で最も多く使われる調査指標である「クッパーマン指数」を採用した。12 週間にわたり被験者がプラセボもしくは 30 mg のピクノジェノール[®]を 1 日 2 回 (60 mg/日) にわけて摂取し、調査スコアを試験開始時または

4 週間と 12 週間で比較検討した。

更年期障害の症状別の緩和効果では、投与前との比較では、ほとんどの症状に改善が認められた(表 3-1)。また、偽薬との比較では、ほてり・のぼせ、寝汗、不眠、倦怠感—疲労感という症状に対して、ピクノジェノールの改善効果が確認された (4 週間: $p=0.0031$; 12 週間: $p=0.0359$) (図 3-1, 3-2, 3-3)。

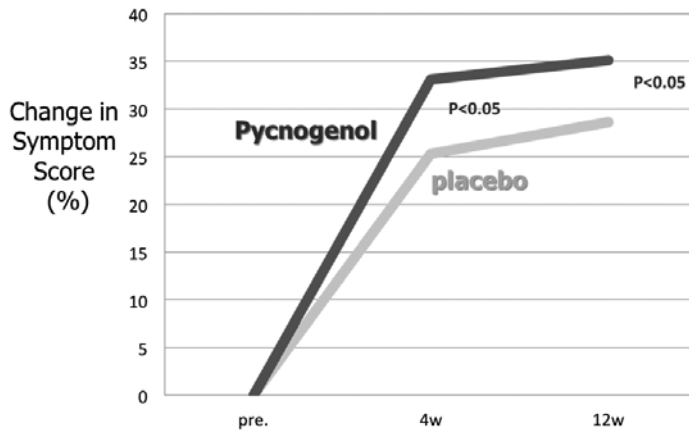
また、クッパーマン指数による、総合的な更年期障害の改善効果については、ピクノジェノール投与 4 週間後および 12 週間後に有意な改善が認められた。(図 3-4)

さらにピクノジェノール[®]またはプラセボのホルモンに対する影響の系統的な調査では、ピクノジェノール[®]またはプラセボには有意な変化は認めらなかった。(調査ホルモン: エストラジオール (E2), 卵巣刺激ホルモン (FSH), インスリン様成長因子 (IGF), IGF 結合タンパク質 3 (IGFBP-3), デヒドロエピアンドステロン (DHEA))。このことはピクノジェノール[®]がホルモンの影響せずに更年期障害症状を和らげる効果があることであり、一般的に言われている大豆や葛エキスのフィトエストロゲン系のハーブとは異なり、ピクノジェノールはホルモンの影響しない新たな代替医療となりうることを示唆するものである。

表 3-1 ピクノジェノール摂取による the Women's Health Questionnaire スコアの改善, および偽薬投与との比較¹⁵⁾

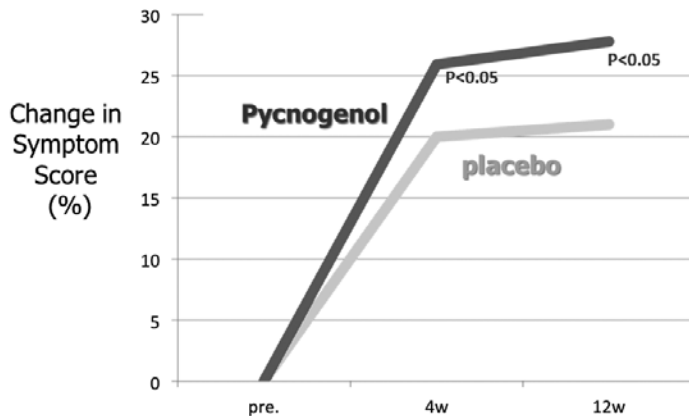
Climacteric symptom domain of WHQ	group	Relative symptom score improvement compared to baseline values			
		4 weeks	p versus placebo	12 weeks	p versus placebo
血管運動系 (4 項目)	Pycnogenol	33.1% *	0.0031	35.1% *	0.0359
	placebo	25.3% *		28.6% *	
知覚異常 (2 項目)	Pycnogenol	10.5%	0.4930	9.5%	0.1295
	placebo	11.3%		13.6%	
不眠 / 睡眠障害 (4 項目)	Pycnogenol	25.9% *	0.0106	27.8% *	0.0025
	placebo	20.0% *		21.% *	
イライラ感 (2 項目)	Pycnogenol	20.9% *	0.7527	31.6% *	0.1214
	placebo	21.3% *		22.7% *	
不安感 (3 項目)	Pycnogenol	29.5% *	0.9226	36.3% *	0.0689
	placebo	28.8% *		28.6% *	
めまい (1 項目)	Pycnogenol	19.8% *	0.4416	20.3% *	0.2057
	placebo	12.5%		10.4%	
倦怠感 (2 項目)	Pycnogenol	36.6% *	0.9712	48.7% *	0.0480
	placebo	36.9% *		39.6% *	
筋肉, 関節痛 (1 項目)	Pycnogenol	44.2% *	0.3781	54.4% *	0.1155
	placebo	41.3%		41.6%	
頭痛 (1 項目)	Pycnogenol	31.4% *	0.2505	35.4% *	0.9173
	placebo	38.8% *		36.4% *	
動悸 (1 項目)	Pycnogenol	22.1% *	0.0781	20.3% *	0.3022
	placebo	11.3%		14.3%	
蟻走感 (1 項目)	Pycnogenol	4.7%	0.8011	5.1%	0.6180
	placebo	6.3%		9.1%	
記憶力, 集中力障害 (3 項目)	Pycnogenol	22.9% *	0.6124	28.3% *	0.2409
	placebo	23.3% *		24.7% *	
月経不順 (4 項目)	Pycnogenol	25.9% *	0.5373	28.1% *	0.8446
	placebo	23.5% *		26.9% *	
性交時障害 (3 項目)	Pycnogenol	13.7% *	0.9572	15.2% *	0.5540
	placebo	15.0% *		18.2% *	
魅力度低下感 (2 項目)	Pycnogenol	18.2% *	0.5890	24.1% *	0.4320
	placebo	25.0% *		27.9% *	

* : $p < 0.05$ (compared to each baseline)



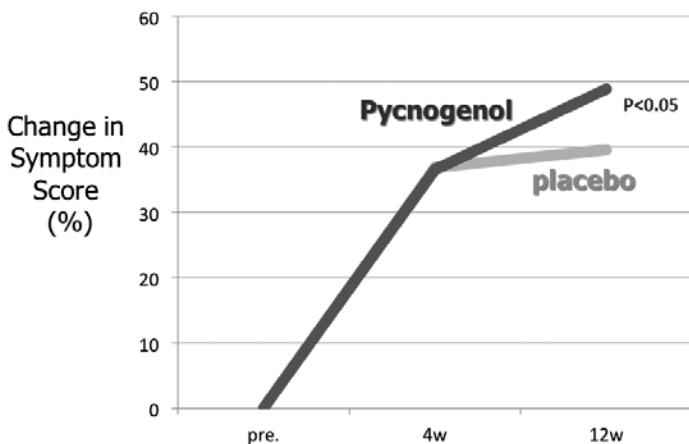
These graphs are showing the categories where improvement are seen by the treatment of Pycnogenol. The statistical analysis shows that Pycnogenol provides significant improvement versus placebo for vasomotor symptoms after both 4 and 12 weeks of treatment.

図 3-1 自律神経系の改善（ほてり、寝汗）¹⁵⁾



The statistical analysis shows that Pycnogenol provides significant improvement versus placebo for “insomnia and sleeping problems” after both 4 and 12 weeks of treatment.

図 3-2 睡眠障害の改善¹⁵⁾



The statistical analysis shows that Pycnogenol provides significant improvement versus placebo for “feeling tired and worthless” after both 4 and 12 weeks of treatment.

図 3-3 疲労感・倦怠感の改善¹⁵⁾

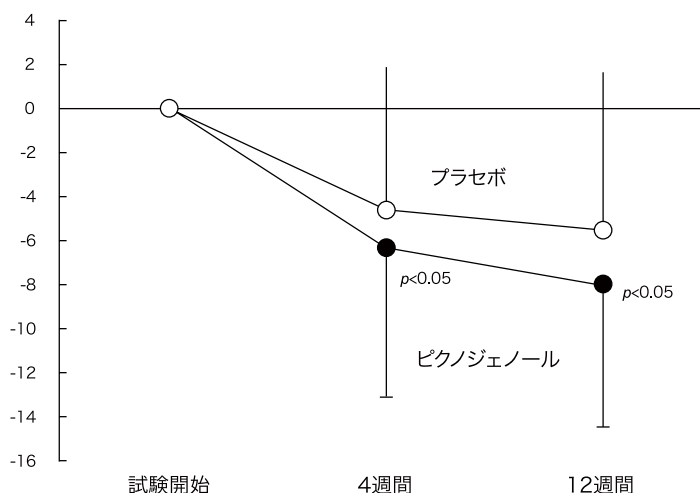


図 3-4 クッパーマン指数 総合症状スコア¹⁵⁾
(試験開始に比較の相対的変動)

This graph is showing the change of Kupperman index in this study.

The relative changes to baseline of total Kupperman index values in response to treatment with placebo (red dot) and Pycnogenol (green dot).

The Kupperman-index shows decrease at 4weeks and 12 weeks in both groups. However, even with the notably strong placebo effect seen, there was still significantly greater improvement in symptom scores in the Pycnogenol group.

まとめ

更年期障害は症状の程度に個人差があるが、重症化すると日常生活にも支障をきたすことがあり、女性にとっては重大な問題である。一方、ある一定の期間を経過すると症状は沈静化するため、管理の重要性が軽視されがちである。しかし、更年期障害はほとんどの女性が経験する症候群であるので、一般の疾患群と同様に精査・治療する必要がある。更年期障害の大きな病因の一つに卵巣機能の低下があり、治療のなかでは低下したエストロゲンを補充する HRT が極めて効果的である。しかし、その治療の際「に出現する様々な副作用は決して無視できるものではなく、他の選択肢を視野において管理すべきものである。

ピクノジェノールはその薬理効果（老人の脳血流障害の改善、動脈硬化症による末梢血流

障害の改善、血栓予防、ADHD（注意欠陥多動障害＝いわゆる、落ち着きのないう子、多動児）への改善・治療効果、糖尿病性網膜症、美肌効果、鎮痛作用、不眠の改善・治療、こむら返りの治療、慢性疲労症候群：CFS（chronic fatigue syndrome）の改善・治療、足のむくみ、静脈瘤花粉症や喘息等のアレルギー性疾患、眼精疲労、糖尿病、インフルエンザ、ガンの予防）ゆえ、世界中で広く健康食品として使用されてきた歴史がある。さらに近年我が国においても、健康食品と言った健康維持、老化防止だけではなく、臨床的に月経困難症、子宮内膜症、不妊症と言った臨床領域に効果が確認されている。さらに、これらに加え、更年期障害といった極めて多彩な症状の改善、治療に広く、これまでの臨床試験結果をもとに、ピクノジェノールが広く使用されるものと期待してやまない。

参考文献

1. 婦人科疾患の診断・治療・管理 (Diagnosis, Treatment and Management of Gynecologic Disease). 日産婦誌 **61** 卷 (7); 238-242, 2009.
2. Reeves GK, Beral V, Green J *et al.*: Hormonal therapy for menopause and breast-cancer risk by histological type: a cohort study and meta-analysis. *Lancet Oncol.* **7**(11): 910-8, 2006.
3. Grodstein F, Stampfer MJ, Goldhaber SZ *et al.*: Prospective study of exogenous hormones and risk of pulmonary embolism in women. *Lancet.* **12**;348(9033):983-7, 1996.
4. Kohama T, Suzuki N, Ohno S *et al.*: Analgesic efficacy of French maritime pine bark extract in dysmenorrhea: an open clinical trial. *J Reprod Med.* **49**(10):828-32, 2004.
5. Kohama T, Herai K, Inoue M.: Effect of French maritime pine bark extract on endometriosis as compared with leuporelin acetate. *J Reprod Med.* **52**(8):703-8, 2007.
6. Suzuki N, Uebaba K, Kohama T *et al.*: French maritime pine bark extract significantly lowers the requirement for analgesic medication in dysmenorrhea: a multicenter, randomized, double-blind, placebo-controlled study. *J Reprod Med.* **53**(5):338-46, 2008.
7. 小濱 隆文: 婦人科ホルモン療法の副作用に対する, フランス海岸松樹皮抽出物の抑制効果について (Effect of French Maritime Pine Bark Extract on Side Effects of Gynecological Hormonal). 日本補完代替医療学会誌, 第7巻 (1); 17-24, 2010.
8. Packer L, Rimbach G, Virgili F.: Antioxidant activity and biologic properties of a procyanidin-rich extract from pine (*Pinus maritima*) bark, pycnogenol. *Free Radic Biol Med.* **27**(5-6):704-24, 1999.
9. Schäfer A, Chovanová Z, Muchová J *et al.*: Inhibition of COX-1 and COX-2 activity by plasma of human volunteers after ingestion of French maritime pine bark extract (Pycnogenol). *Biomed Pharmacother.* **60**(1):5-9, 2006. Epub 2005 Oct 26.
10. Virgili F, Kobuchi H, Packer L.: Procyanidins extracted from *Pinus maritima* (Pycnogenol): scavengers of free radical species and modulators of nitrogen monoxide metabolism in activated murine RAW 264.7 macrophages. *Free Radic Biol Med.* **24**(7-8):1120-9, 1998.
11. Belcaro G, Cesarone MR, Rohdewald P *et al.*: Prevention of venous thrombosis and thrombophlebitis in long-haul flights with pycnogenol. *Clin Appl Thromb Hemost.* **10**(4):373-7, 2004.
12. Marini A, Grether-Beck S, Jaenicke T *et al.*: Pycnogenol® effects on skin elasticity and hydration coincide with increased gene expressions of collagen type I and hyaluronic acid synthase in women. *Skin Pharmacol Physiol.* **25**(2):86-92, 2012. doi: 10.1159/000335261. Epub 2012 Jan 21.
13. Yang HM, Liao MF, Zhu SY *et al.*: A randomised, double-blind, placebo-controlled trial on the effect of Pycnogenol on the climacteric syndrome in peri-menopausal women. *Acta Obstet Gynecol Scand.* **86**(8):978-85, 2007.
14. Errichi S, Bottari A, Belcaro G *et al.*: Supplementation with Pycnogenol® improves signs and symptoms of menopausal transition. *Panminerva Med.* **53**(3 Suppl 1):65-70, 2011.
15. Kohama T, Negami M.: Effect of low-dose French maritime pine bark extract on climacteric syndrome in 170 perimenopausal women: a randomized, double-blind, placebo-controlled trial. *J Reprod Med.* **58**(1-2):39-46, 2013.

中鎖脂肪酸含有油脂(MCT)の新たな食品機能特性 ー パン焼成時にともなうメイラード反応との関係 ー

豊崎 俊幸 (TOYOSAKI Toshiyuki)

香蘭女子短期大学 食物栄養学科

Key Words：中鎖脂肪酸含有油脂 (MCT) 長鎖脂肪酸含有油脂 (LCT) ショートニング バター
パン メイラード反応 AGEs 気泡分布 (空洞穴)

はじめに

油脂の主成分は、三つの脂肪酸がグリセロールに結合したトリアシルグリセロールであり、一般に中性脂肪として知られている。三つの脂肪酸は炭素数の違いから分類すると、炭素数が8～10結合した中鎖脂肪酸と炭素数が12以上結合した長鎖脂肪酸とに分類される。中鎖脂肪酸は牛乳脂肪中に約4～5%含まれる。また、母乳中にも約1～3%含まれる。植物性固体脂では、パーム核油に約7%、ヤシ油には約14%含まれている。

ところで、中鎖脂肪酸のみで構成されている中鎖脂肪酸含有油脂（以下 MCT と略す）に関しては1950年に最初に、迅速な吸収で引き起こされた吸収不良症候群の食事療法で使用されたのがきっかけで、それ以来多くの優れた報告がなされた¹⁻²²⁾。

MCTの特徴の一つとして、通常の食事に含まれている油脂（長鎖脂肪酸含有油脂；以下 LCT と略す）に比較して、消化・吸収されやすく体内で酸化分解されやすい性質を明らかにした。この現象は LCT に比較して非常に特異的であり、この効果は抗肥満作用として考えられることから、現在では特定保健用食品として様々な用途に使用されている。

MCTに関する報告のほとんどは臨床栄養学分野あるいは生化学的分野から主に追跡されて

きたが、食品科学分野からの報告は筆者が知る限りに於いてはほとんど見あたらないのが現状であることから、今後は食品科学分野からの追跡が必要不可欠である。

ところで、MCTにかかわらず食物はすべて最終的には人間が摂食する食物の生体に対する効果が *in vitro* 系で優れた結果が得られても、*in vivo* 系で優れた効果が証明されなければ全く意味をもたないものになってしまう。また、基本的に摂食するためにはその食物が美味しくなくてはならない。このような要因をすべてクリアして、初めてその食品の優れた機能特性が利用できることになる。

著者はここ数年にわたり、製パンにおける MCT の新たな食品機能特性について追跡してきた結果、興味ある知見を得た。それらの知見の中で、特にパン焼成時にともなうメイラード反応と MCT との関係については、ほとんど報告されていないのが現状であり、製パン業界に多大なる知見を提起できるものと自負している。ここでは、メイラード反応と MCT との関係について、著者が明らかにした結果について紹介する。

1. パン焼成時に誘導されるメイラード反応生成物 (AGEs) 量の変化

パン焼成時にともなうメイラード反応に

より生成する AGEs 量の変化を図 1 に示した。MCT および LCT に比較してバターおよびショートニングでは、いずれも AGEs 生成量は焼成にともなって増加傾向を示した。この結果から、添加した脂質の性状の違いが AGEs 生成量に大きな影響を有していることが確認された。すなわち、液体油よりも固体脂はメイラード反応を促進させる性質があるものと推察された。また、液体油である MCT 添加の場合、顕著に AGEs の生成量が少ないことから、おそらくメイラード反応を特異的に抑制している可能性が考えられる。

メイラード反応は、還元糖とアミノ化合物（アミノ酸、ペプチドあるいはタンパク質）を加熱すると、複雑な反応機構を辿り、最終的に AGEs が生成される。この複雑な反応に、MCT がどの段階で関与しているものかは、現時点では明らかとしていない。今後検討しなければならない課題である。

2. 気泡分布(空洞穴)の変化

焼成パンの気泡分布（空洞穴）の数を、NIH Image J 画像解析ソフトウェア（Ver. 1.45, free software）にてカウントした結果を図 2 に示した。MCT 添加パンの場合、気泡分布（空洞穴）数が 4 種類の脂質の中で最も少ないことが明らかとなった。LCT、バターおよびショートニングのいずれも大きな差異は確認できなかった。気泡分布（空洞穴）数が少ない場合、パン表面が粗くなっているため、官能検査（Data not shown）では総合評価が低いことを確認している。

3. モデル系による AGEs 生成量の変化

予め調製した AGEs の一定量を添加した生地を調製することで、添加した AGEs が生地のどのような影響を及ぼしているものか検討した。図 3 に焼成とともに生成される AGEs の変化を示した。MCT および LCT に比較してバターおよびショートニングのいずれも AGEs 生成は増加傾向を示した。なお、この結果は図 2 の結果を反映していた。

4. 気泡分布(空洞穴)の変化

モデル系で焼成したパン表面の気泡分布（空洞穴）数をカウントした結果を図 4 に示した。MCT 添加のパンでは気泡分布（空洞穴）数が、LCT、バターおよびショートニング添加パンに比較して減少した。なお、この現象は図 2 の結果を反映していた。

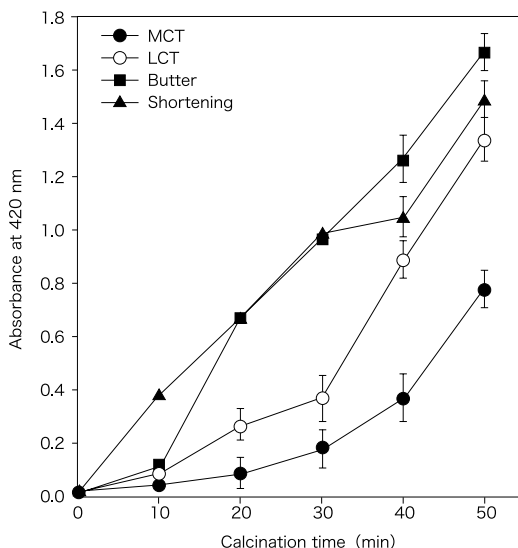


図 1 パン焼成時に誘導される AGEs 量の変化

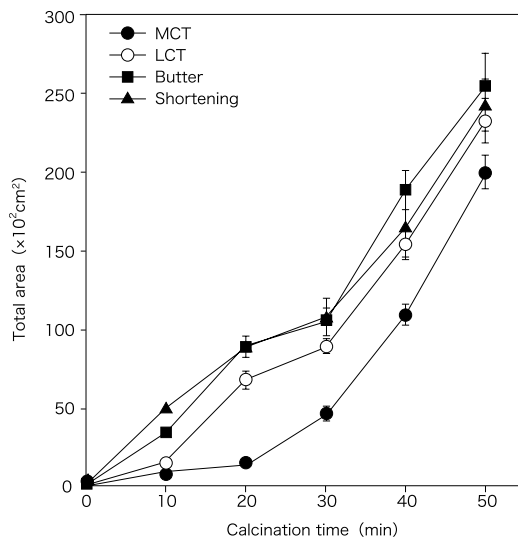


図 2 焼成パンの断面における気泡分布（空洞穴）の変化

5. 焼成時にともなう添加 AGEs の分解割合

一定量の AGEs を生地添加到後、一定時間焼成した時における AGEs の分解率を検討した。その結果を図 5 に示した。MCT および LCT 添加生地に AGEs を添加した場合、分解割合は極

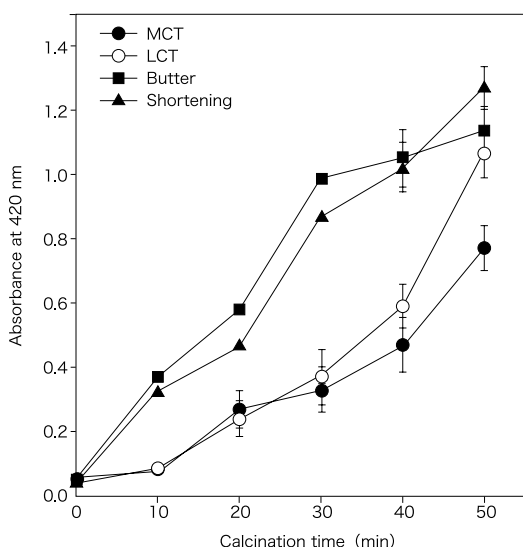


図 3 モデル系によるパン焼成時に誘導される AGEs 量の変化

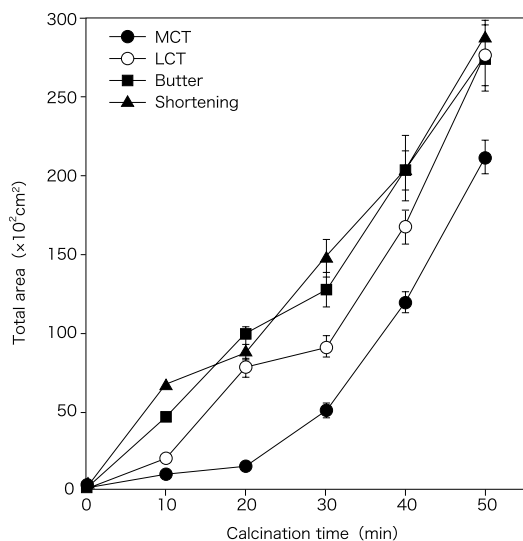


図 4 モデル系による焼成パンの断面における気泡分布（空洞穴）の変化

めて高く、特に MCT 添加生地の場合、約 90% 分解した。LCT 添加生地の場合、約 70% 分解した。一方、バターおよびショートニング添加生地の場合、いずれの場合でも AGEs の分解割合は少なく、約 20% 分解した。この現象のメカニズムに関しては今後検討しなければならないが、この段階で明らかとなったことは、添加した脂質の性状がメイラード反応に深く関与し

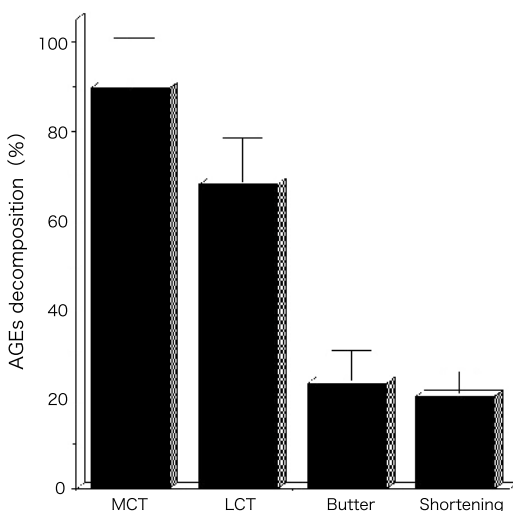


図 5 焼成時にともなう添加 AGEs の分解割合

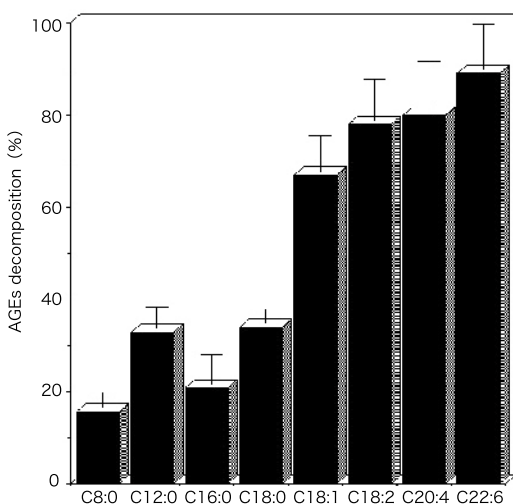


図 6 焼成時にともなう AGEs 生成量と脂肪酸との関係

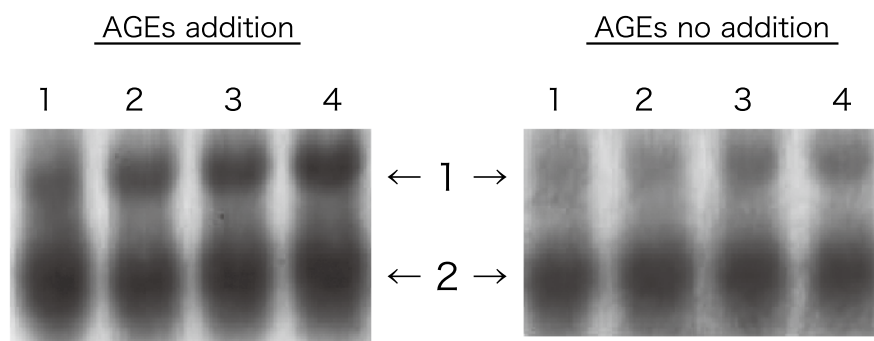


図7 グルテンの分子量に対する AGEs の影響

1 : MCT, 2 : LCT, 3 : Butter, 4 : shortening.

Band 1 : Heat-denatured gluten, Band 2 : Unmodified gluten

ている可能性が考えられたことである。

6. 焼成時にともなうAGEs生成量と脂肪酸との関係

パン焼成時にともなうメイラード反応には脂質の性状が大きく関与していることが明らかとなったことから、おそらく構成脂肪酸がメイラード反応の誘導に大きな因子として関与していることが考えられた。そこで、飽和脂肪酸と不飽和脂肪酸を用いて、生地焼成時にともなうメイラード反応による AGEs の生成量の変化について検討した。その結果を図 6 に示した。結果として、飽和脂肪酸と不飽和脂肪酸の違いが、AGEs の生成量に大きな差のあることが確認された。即ち、飽和脂肪酸の場合、焼成時にともなって生成される AGEs 量は C12:0 と C18:0 で 40% であり、C8:0 と C16:0 では約 20% であった。一方、不飽和脂肪酸の場合、種類により異なるが、AGEs の生成量は約 60-90% の生成量が確認された。さらに、不飽和度が多くなるほど AGEs の生成量は増加傾向が確認された。この結果から、少なくとも添加した脂質の性状、つまり、構成脂肪酸の種類がメイラード反応に深く関与している可能性が高いもの推察された。

7. グルテンの分子量に対するAGEsの影響

パンの美味しさを決める要因の一つとして、グルテンの形成度合いが深く関与している。そこで、AGEs がグルテンとどのような関わり合いがあるのかを分子レベルから、今回は SDS 電気泳動を用いて検討した。その結果を図 7 に示した。AGEs 添加グルテンでは、いずれの脂質でもバンド 1 が確認されたが、AGEs 無添加の場合、バンド 1 は確認できるが生成度合いがきわめて少ないことが確認された。この結果から、少なくとも、グルテン形成には AGEs が何らかの形で関与している可能性がきわめて高いと判断できた。

まとめ

中鎖脂肪酸含有油脂（MCT）の機能特性解明として、パン焼成時にともなうメイラード反応との関与について検討した。その結果、添加した脂質の性状がメイラード反応に対して何らかの形で関与していることが明らかとなった。特に MCT の場合、他の脂質と異なる現象を有していることが新たに明らかとなったことは、今後の食品科学分野あるいは製パン業界に多大なる知見を提起できたものと考えられる。今後は、脂肪酸組成とメイラード反応との関係について追跡することが必須となる。

参考文献

1. 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.
2. 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.
3. Geliebter, 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.
4. Chanez, M., B. 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.
5. 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.
6. Kritchevsky, D., & Tepper, S. A. : Influence of medium-chain triglyceride (MCT) on cholesterol metabolism in rats. *Journal of Nutrition*, **86**: 67-72, 1965.
7. 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.
8. 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.
9. Papamandjaris, A. A., Macdougall, D. E., & Jones, P. J. H.: Medium chain fatty acid metabolism and energy expenditure: obesity treatment implications. *Life Science*, **62**: 1203-1215, 1998.
10. 近藤 和雄, 谷 真理子, 白田 美香: 中鎖脂肪酸の栄養特性・作用と応用, *FOOD Style*, **21**: 69-73, 2004.
11. 竹内 弘幸: 食餌脂肪の分子種と体脂肪蓄積に関する研究. 日本栄養・食糧学会誌, **57**: 51-58, 2004.
12. 笠井 通雄: 特定保健用食品としての中鎖脂肪酸, 脂質栄養学, **15**: 55-61, 2006.
13. 青山 敏明, 笠井 通雄: 体に脂肪がつきにくい食用油脂 —ヘルシーリセッター—, *FOODS & INGREDIENTS JOURNAL OF JAPAN*, **210**: 2123-2129, 2005.
14. Noguchi, O., Takeuchi, O., Kubota, F., Tsuji, H., & Aoyama, T. : Larger diet-induced thermogenesis and less body fat accumulation in rats fed medium-chain triacylglycerols than in those fed long-chain triacylglycerols. *Journal of Nutritional Science and Vitaminology*, **48**: 524-529, 2002.
15. Kasai, M., Nosaka, N., Suzuki, Y., Takeuchi, H., Aoyama, T., Ohara, A., Harada, Y., Okazaki, M., & Kondo K.: Comparison of diets-induced thermogenesis of foods containing medium-versus long-chain triacylglycerols. *Journal of Nutritional Science and Vitaminology*, **48**: 536-540, 2002.
16. Shinohara, H., Shimada, H., Noguchi, O., Kubota, F., & Aoyama, T.: Effect of medium-chain fatty acids-containing dietary oil on hepatic fatty acid oxidation enzyme activity in rats. *Journal of Oleo Science*, **51**: 621-626, 2002.
17. Kasai, M., Maki, H., Nosaka, N., Aoyama, T., Ooyama, K., Uto, H., Okazaki, M., Igarashi, O., & Kondo, K.: Effect of medium-chain triglycerides on the postprandial triglyceride concentration in healthy men. *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry*, **67**: 46-53, 2003.
18. Kasai, M., Maki, H., Suzuki, Y., Nosaka, N., Aoyama, T., Inuzuka, H., Okazaki, M., Igarashi, O., & Kondo, K.: Effect of medium-chain triglycerides on postprandial concentrations of remnant-like particles in healthy men. *Journal of Oleo Science*, **52**: 197-204, 2003.
19. Nosaka, N., Suzuki, Y., Maki, H., Haruna, H., Ohara, A., Kasai, M., Tsuji, H., Aoyama, T., Okazaki, M., & Kondo, K. : Effects of ingestion of margarine containing medium-chain triglycerides for 4 weeks on blood parameters and postprandial thermogenesis, *Journal of Oleo Science*, **52**: 571-581, 2003.
20. Nosaka, N., Maki, H., Suzuki, Y., Haruna, H., Ohara, A., Kasai, M., Tsuji, H., Aoyama, T., Okazaki, M., Igarashi, O., & Kondo, K.: Effects of margarine containing medium-chain triacylglycerols on body fat reduction in humans. *Journal of Atherosclerosis and Thrombosis*, **10**: 290-298, 2003.
21. Suzuki, Y., Nosaka, N., Maki, H., Kasai, M., Aoyama, T., Haruna, H., Toda, T., Okazaki, M., Igarashi, O., & Kondo, K.: Effects of margarine containing medium-chain triglycerides on diet-induced thermogenesis. *Journal of Oleo Science*, **54**: 299-304, 2005.
22. Shinohara, H., Ogawa, A., Kasai, M., & Aoyama, T.: Effect of randomly interesterified triacylglycerols containing medium- and long-chain fatty acid on energy expenditure and hepatic fatty acid metabolism in rats. *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry*, **69**: 1811-1818, 2005.
23. Laemmli, U. K. : Cleavage of structural proteins during the assembly of the head of bacteriophage T4. *Nature* **227**: 680-685, 1979.

組織の活性化と人材の育成～

Improving the working environment and nurturing human resources :

—創る 造る 作る— より良い製品を目指すために

MONOZUKURI —In order to better products

賈 俊業 (JIA Junye)

株式会社大和生物研究所 品質管理室兼研究開発室

Key Words: ササヘルス・笹類植物園・縄文文化・キノコ・キノコの種菌培養・液体培養・固体培養

Abstract

「monozukuri」 is a Japanese word. The word simply means making things, but is infused with a deeper impression of skilled craftsmen pouring heart and soul into their work, striving for perfection regardless of time or cost. The word 「making」 in Japanese has a lot of meanings. I would like to introduce 3 meanings, 「create」, 「build」, 「produce」.

はじめに

日本は、「ものづくり大国」である。しかし、21世紀に入り我々を取り巻く社会環境は常に変わり続け、環境破壊、温暖化、高齢化社会、テクノロジーの進歩やグローバル化が進み、市場では厳しい競争状況が続いている。企業淘汰の現在、今を生き抜いていくために、積極的な取り組みが不可避な課題となっている。いわば文化・知識・環境総合力で時代に立ち向かうため、今一度、ものづくりの「つくる」ということを考え直してはいかがだろうか。

1. —創る— 固定概念の打破

私は前職できのこの研究に携わっていた。種菌開発および品質管理の立場で、日本の工場と中国の工場のどちらにも赴任した。そこで驚いたのは、日本と中国では工場生産きのこの種菌製造、利用形態が全く異なっていることだった。生物学では、きのこ¹⁾は植物でも動物でもない第3の生物群である「菌類」に属し、菌類としてのきのこの本体である菌糸体は、生育上のある時期に温度や湿度などの刺激を受けることで、樹上や地上に特有な形状をした「きのこ」を形成する。このようなきのこの生理特性を配慮し、これまでの自然条件下での栽培と異なり、栽培サイクルが固定されている施設空調型の工場化栽培においては、菌株の性能維持が極めて重要で、育種開発においても最優先で取り組まなければならない課題となっている。そのためには、従来のような継代培養による菌株の保存に代わって、長期間に亘って



図1 きのかの工場化栽培風景

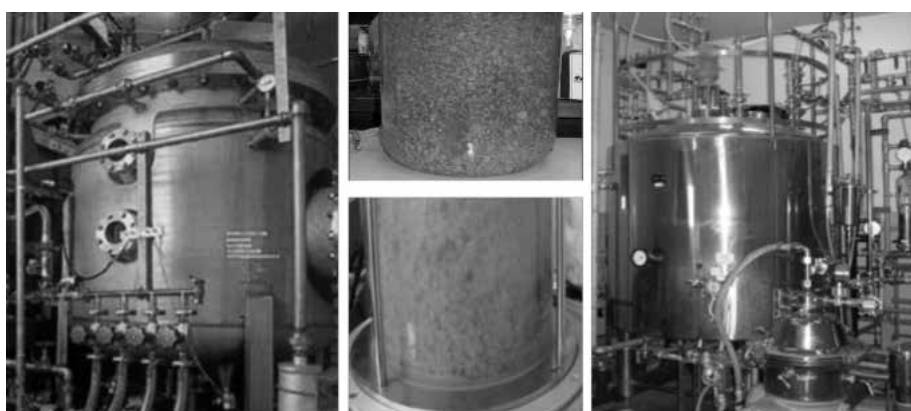


図2 きのかの液体培養風景

遺伝的性質を変化させることなく、特性を維持することが求められている²⁾。

近年、味を重視しながら、大量かつ安定した製造するために、きのこ栽培施設の大型化、設備工場システムの機械化、無人管理システムの導入、徹底した衛生管理が進み、生産効率が高まってきた。しかし隣国の工場（中国、韓国）では液体種菌がよく使われているのに対して、日本の工場では伝統的な方法である固体種菌の使用が主流である。従来、きのこの種菌には保存性がよく容易に輸送が可能である等の理由から、固体種菌が用いられている。しかし、固体種菌は長い育成期間を要し、多量の培養空間、培養容器が必要である。また、きのこ子実体製造時に、固体種菌のロット差に起因する製造ムラが発生するリスクがあることや、雑菌の混入が容易で、種菌の汚染を簡単に判別することが難しいというマイナス面があり、さらに環境汚染の問題もある。一方種菌の製造時間の大幅な短縮が可能であり、かつスケールアップが容易であるなどから、液体種菌が有利と判っても、なかなか現状を打破することが難しい。そのため、リスクの低い固体種菌に頼っているのが実情である。「液体培養は遺伝的な性質・特性維持が難しく、菌糸体が大量増殖する間に異変が起きる可能性がある」という従来の概念にとらわれているのである。

液体種菌を大量に培養するための方法としては、菌糸体より有用成分を得るため

の大量培養方法である液体深部培養法があり、培養条件等を厳密にコントロールするために機械的な攪拌、通気、温度管理を行う通気かく拌方法が用いられている^{3,4)}。私は筑波大学に研究員として在籍していたころから、藻類液体培養や実用的な食用担子菌類の液体培養⁵⁾を研究していたため、液体培養になじみがあった。しかし日本のきのこ工場では、液体培養はなじみのないものであった。

健康志向の現在社会では、年々機能性食品に対する関心が高まっている。きのこは種々の機能性成分を多く含んでいることから⁵⁾、一般的には生活習慣病等の予防に効果的な機能性食品として馴染みの食材である。液体培養により得られた菌糸は、子実体と同等かそれ以上の機能性成分が得られる一つまり、子実体をつくる過程を経ることなく必要な成分が得られるため、商品性の高いきのこの菌糸の大量培養が可能となった。したがって、きのこの液体培養は、きのこ産業の発展に大きく寄与し、また、その変革にも影響を及ぼしているといえる。

新しい技術を創るということは無から有を生み出すことだと思われている。しかし、実は完全なる無から有を創りだすことなどできない。仕入れる情報量を増やしておくことは「創る」ためには不可欠である。既存概念や固定概念にとらわれることなく、普段の生活から新しい情報を集め、新たな価値を創造していくことが必要である。これまで「ものづくり大国」を支えてきた日本の製造業は、市場の変化に伴いよりオープンに社内外とつながりながらアイデアを形にするための変化や柔軟性が求められ、ものづくりのこれからを「共創」というキーワードで考えていくことが重要である。

2. 一造る― 情報発信

笹を通して医・薬・食・農・美・住を統合し、クリーンで、健康で、美しい生活スタイルを発信するため、笹を中心とする笹類植物園、数奇屋庭園、実験圃場の3つのエリアからなる「笹離宮」が平成26年8月に長野県茅野市の上原山林間工業公園内に開園した。開設したのは、私が勤めている株式会社大和生物研究所が設立した一般財団法人蓼科笹類植物園である。園内には、国内外の笹類を中心に120種

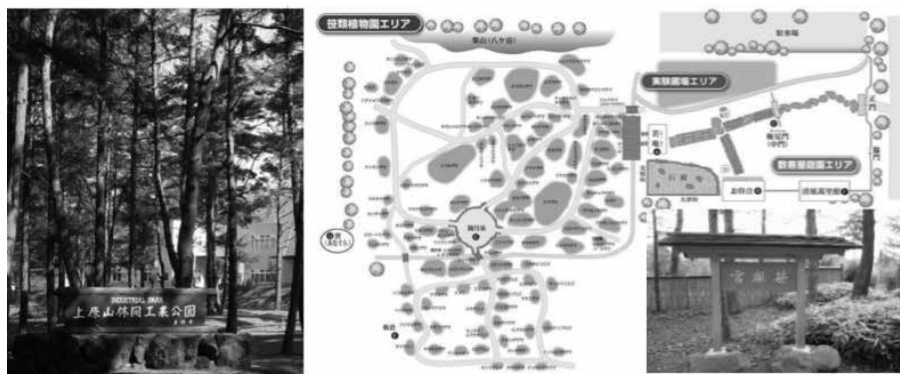


図3 蓼科笹類植物園『笹離宮』の所在地及び園内配置風景

類を超える世界最大規模の笹の仲間を植栽している⁶⁾。笹類植物園の設計・造園には竹笹類の植物園としては東洋一を誇る「富士竹類植物園」の全面的支援を受け、それぞれ役割分担し姉妹園として位置付けている。笹類植物園エリアに隣接している数奇屋庭園エリアは、桂離宮など伝統建築の移築・修復などで知られる故・安井清氏の監修によるものである。日本が誇る竹笹の文化を継承する建築物となっている。園内に笹の可能性を引き出すことを目指す実験圃場エリアは、東京農業大学や地元高校・農家の連携で、笹による地元農業の再生を図り、クマ笹を利用した土壌改良材や堆肥などの農業への利用を共同研究で行っている。

情報化社会では、インターネットが情報発信の主流となっている。しかし、実際に場所をつくって、目で見、身をもって体験しながら情報発信することも大切ではないだろうか。「笹離宮」では、単に笹類の標本植物園にとどまらず、クマ笹の未知なる可能性を引き出し、そして、笹・竹を生活に取り入れた生活スタイル、文化提案を世界に発信する。また、自然と触れ合いながら笹・竹への関心を高めてもらうと同時に地域の方々の憩いの場となる、無限に発展して開かれてゆく「共生と共創」の場所を目指して、地域文化に貢献することを目指している。

去年の10月末、株式会社ツムラの生薬本部 生薬研究所所長他2名が「笹離宮」を訪れた。ツムラでは生薬の一つとして竹筴(ちくじょ)を扱っていることから「笹離宮」に興味をもたれたとのこと。当日は園内の見学の他、「日本薬局外方生薬規格」改訂に伴う生薬サンプル調査、分析用試料の収集のため、タケ・ササ類のサンプリングも行われた。当植物園のように、一か所でこれだけ豊富にタケ・ササ類のサンプルを採取できる場所は他になく、大変感激している様子であった。その縁もあって、当社社員の5名も株式会社ツムラの茨城工場と漢方記念館の見学を行い、見学を通して、漢方の歴史とこれからの展望について、改めて学ぶことができた。まさに「笹離宮」が人と人、会社と会社を繋ぐ場所となった。

人が集うからこそ、そこにコミュニケーションが生まれる。「笹離宮」を訪れる人と話すことで、インターネットの情報発信のような一方方向のコミュニケーションではなく、複数方向に情報が交わる相互型コミュニケーションができるのである。

3. 一作る― 自然との共生

茅野市には、全国でも類稀な縄文の文化遺産が多数存在している。その文化遺産を地域の資源としてまちづくりに活かそうと茅野市は縄文プロジェクトを進めている⁷⁾。縄文プロジェクトの「自然との共生」は、当社の「自然随順(しぜんずいじゅん)」と「大和の精神」という企業理念に相通ずるものがある。「自然随順」とは、人間の幸せと健康は、自然の摂理に従うことによつてのみ実現するという考えである。「大和の精神」とは、自然との調和、人の和、生物循環という意味である。当社は地元密着型の企業として、会社と地域がそれぞれ持っている資源、知恵や経験、ネットワークを融合することで地域とのつながりや、共生・共創を深めていくことを目指している。



図4 展示商品風景

私達は茅野市縄文プロジェクト商品開発チームに参加し、笹染め商品の開発、及びクマ笹食品を含む4種の試作品製作を通して、「縄文・ハケ岳」・「笹離宮」ブランドイメージの統一を図った。試作品は、2月4～6日の3日間、東京ビッグサイトで開催された東京インターナショナル・ギフト・ショーに、茅野市商工会より出展された。この出展を通して、「縄文文化を育てたハケ岳の豊かな自然と環境を守り、育て、資源を大切に使う」という取組姿勢を世界中に発信することができた。

私たち人類は、産業革命以来信じて疑うことのなかった、より多くの地下資源を開発し、これによって得られた資源とエネルギーを基に科学技術を用いて、消費財等をより多く、より早く、より安く生み出し、これをより多く消費することこそが豊かさであり、人々が幸福感を得る根本であるというこれまでの価値観とシステムを見直す必要に迫られている。「自然随順」と「大和の精神」という当社の企業理念は「宇宙、地球、全生物規模の大いなる循環と調和の中にこそ、人間の真の健康と幸福が存在する」ことを示している。この企業理念は、株式会社大和生物研究所創業者の大泉和也氏によって提唱されたもので、まだ一般には環境意識が低かった昭和43年の創業時からあることを、私達、社員は誇りに思うべきで、21世紀の現在にこそ活かされるべき理念だと思う。

クマ笹は、国内の山林に無尽蔵にある未利用資源である。さらに、竹笹類は一般的に3年で再生するため、環境保全・持続可能な経済活動を目指すため、最適な資源の一つであると考えられる。特にクマ笹は自然界でも繁殖力が強く、群生地を間伐の要領で採集すると翌年には完全に再生する⁸⁾。当社はこの立場から、単にクマ笹などの原料から良質な医薬品や健康食品などを開発・製造するだけでなく、「自然随順」を実践して新たな創造につなげるために、次に挙げるような地球環境を守る取り組みを行なっている。

当社はこれまでの「ゼロエミッション（廃棄物ゼロ）」などの取り組みに加えて、環境マネジメントシステム「エコアクション21」を導入し、平成25年3月22日付で認証・登録を取得した。蓼科工場では、エコアクション21開始時から工程改善により、1回（1日）の水使用量を3,000L削減した。今後は製造用水の再利用に



図5 ササソフトの付加価値

チャレンジして、1日30,000Lを目指す。また二酸化炭素や廃棄物の削減など、環境への取り組みを組織的、総合的に進め、環境にやさしい経営を目指す。製造工程で排出されるクマザサの搾りかすや中間産物など、当社では「ササソフト」「ササシリカ」と言う商品名が付けられており、工場から出るものを全て製品化・資源化してゼロエミッション工場を目指して技術を開発している。その挑戦の場となっているのが、「笹離宮」内の実験圃場エリアで、東京農業大学と連携して研究を行っており、また、地元の高校、農業大学、民間の研究者と有効利用するための取り組みを続けて、クマ笹を利用した土壌改良材や堆肥などの実験研究を行い、既にキノコの菌床や地元特産のセロリやハウレンソウの栽培等に効果が確認されている。将来的には廃棄物ゼロを達成し、地元農家に還元することが目標である。企業理念である「自然随順」を実現し、真の健康を実現する更なる一步としたい。

当社は、クマ笹を中心とした素材の、様々な分野においての可能性を探るため、大学、病院との共同研究開発、国内外市場の開発にチャレンジし続ける。今まで明海大学歯学部薬理学分野の坂上宏教授との共同研究により、医薬品「ササヘルス」には、歯周病菌等に対する抗菌作用、抗炎症作用、インフルエンザウイルス、エイズウイルスに対する抗ウイルス作用、ラジカル消去作用、抗腫瘍作用、紫外線に対する細胞保護作用（抗UV作用）等が認められている⁹⁻¹⁵⁾。ササヘルスを中心としたクマ笹関連商品を生活の中に取り入れることは、生活習慣病などの改善に役立つ。さらに、一步踏み込んだ「生活に笹（竹）を取り込んだ、健康で、美しく、クリーンなライフスタイルの提案」を通して、21世紀型の新しい日本発の生活文化提案を目指している。

今後「識る」、「広める」、「産み出す」、「楽しむ」、「守る」の5つの視点を軸に、緑が輝くフィールド作りに取り組んでいき、「自然との共生・持続可能な社会」の実現を目指し、新たなものづくりの仕組みを構築したい。

おわりに

固定概念を打破し新しいものを「創る」、情報を発信する場所を「造る」、自然との共生を考えて商品を「作る」と、私にとっての「つくる」を3つ挙げた。人それぞれにとっての「つくる」はまだ多く存在すると思う。より良い製品を目指すために、21世紀社会の求める人材の資質としては、“本質を把握する知”“自他ともに感じる力”“先頭に立つ勇氣”を備え、さらに地球環境保全に貢献する「共創・共有・共生」というキーワードはものづくりに不可欠であると思う。

引用文献

- 1) 寺下隆夫：きのこの生化学と利用―注目のバイオテクノロジー，寺下隆夫編，東京，応用技術出版，5-10, 1989.
- 2) 古川久彦：きのこ学 基礎編「6章 育種」古川久彦編，共立出版株式会社，158-168, 1992.
- 3) 古川久彦：きのこ学 応用編「7章 菌糸体生産」古川久彦編，共立出版株式会社，185-193, 1992.
- 4) 吉田敏臣，寺本四郎：きのこ類の深部培養とその利用（その1）醗酵協会誌，24(7), 293-304, 1966.
- 5) 水野卓：ボケに効くガンに効く，効くキノコ 成星出版，20-32, 1999.
- 6) 大泉高明：クマ笹で気になるニオイをすっきり解消，主婦の友社，76-79, 2013.
- 7) 縄文文化：茅野市縄文プロジェクト <http://www.city.chino.lg.jp/www/contents/1000001507000/index.html>
- 8) 大泉高明：東京農大経営者フォーラム，東京農業大学，9-18, 2007.
- 9) 坂上 宏，岩本祥子，松田友彦，他：クマザサ抽出液（ササヘルス）の口内炎治療効果の可能性：培養ヒト歯肉線維芽細胞による炎症性サイトカイン産生の抑制，*New Food Industry*, **53** (7), 11-18, 2011.
- 10) Matsuta T, Sakagami H, Kitajima M, *et al.*: Anti-UV activity of alkaline extracts of the leaves of *Sasa senanensis* Rehder. *In Vivo* **25** (5), 751-755, 2011.
- 11) Matsuta T, Sakagami H, Satoh K, *et al.*: Biological activity of luteolin glycosides and triclin from *Sasa senanensis* Rehder. *In Vivo* **25** (5), 757-762, 2011.
- 12) Ono M, Kanto K, Ueki J, *et al.*: Quest for anti-inflammatory substances using IL-1 β -stimulated gingival fibroblasts. *In Vivo* **25**(5), 763-768, 2011
- 13) Sakagami H, Iwamoto S, Matsuta T, *et al.*: Comparative study of biological activity of three commercial products of bamboo leaf extract. *In Vivo* **26**, 259-264, 2012.
- 14) 坂上 宏，松田友彦，田中庄二，他：クマ笹葉エキス由来製品の開発，機能性評価及び口腔疾患への適応，*New Food Industry*, **54**(6), 11-26, 2012.
- 15) Matsuta T, Sakagami H, Sugiura T, *et al.*: Structural characterization of anti-UV components from *Sasa senanensis* Rehder extract. *In Vivo* **27**, 77-84, 2013.
- 16) Sakagami H, Amano S, Yasui T, *et al.*: Biological interaction between *Sasa senanensis* Rehder leaf extract and toothpaste ingredients. *In Vivo* **27**, 275-284, 2013.

連絡先：賈 俊業（JIA Junye）

〒391-0011

長野県茅野市玉川字原山 11400 - 1018 上原山林間工業園内
株式会社大和生物研究所 蓼科工場 品質管理室兼研究開発室室長

賈 俊業（JIA Junye）

Tel: (0266)79 - 6031 Fax: (0266)79 - 6033

e-mail: j_jia@daiwaseibutu.com

健康食品の エビデンス

濱舘 直史 / 濱舘学術事務所

第2回

黒 酢

黒酢は、糖化とアルコール発酵に加えて酸発酵を営みながら酢を造るという200年来の伝統的技術によって、今もなお鹿児島県福山町に伝わっています。原料には米、麴、水のみを使用して、発酵の全工程を薩摩焼の壺の中で行います。製造上の特徴としては、庭先や畠の中に壺を置き、自然の微生物によって発酵させることや最後に振り麴という特殊な技術を用いることが上げられます。昼間の太陽光、夜の冷気を受けて温度調整が行われながらの発酵は3ヶ月かけて進んでいき、熟成期間は通常3～6ヶ月ですが、さらに1～2年熟成させて製品とする場合もあります。麴は昔から味噌用の種麴である黄麹菌に属する *Aspergillus* を用います。麴は麴菌の繁殖によって種々の酵素を含み、主として澱粉の糖化とタンパク質の分解に関与します。壺の中では乳酸菌、酵母、酢酸菌などの増殖、減少がタイミングと量の両面において、まるで仕組まれたかのように素晴らしくフローラを形成していきます。このフローラには、酵母が266株、酢酸菌が318株など、多種の微生物が検出されることが報告されています。黒色は糖とアミノ酸によるアミノカルボニル反応によって生じ、味は酢酸分子と水分子との会合によってまろやかに変化すると考えられています。成分には普通の酢に比べてアミノ酸の中でも特に必須アミノ酸、ピタミン B₁、B₂、C が多く含まれていて、含まれるタンパク質については分子量5,000～10,000のものが60%を占めるといわれています¹⁾。

一般的に「酢」は身体に良いと言われていますが、その利用は紀元前400年もの昔からギリシャのヒポクラテスが呼吸器病、疥癬（かいせん：ダニによる皮膚感染症）、狂犬の噛み傷の処置に使用したという記録が残っています。酢の効果に対して、消化液の

分泌促進、疲労回復、糖尿病予防、肥満予防、高血圧予防、老化防止などについて、20世紀中ごろから科学的解明を目指した研究結果が動物実験を中心に報告されています²⁾。特定保健用食品として許可され市販されている商品に「本品は食酢の主成分である酢酸を含んでおり、血圧が高めの方に適した食品です。」という保健機能表示を目にしたことのある方もいるかと思います。

その中で「黒酢」特有の効果についても多数の報告があります。現在までに報告されている臨床研究結果については10報以上、動物実験を含めると50報以上の研究報告が確認できます。また、黒酢を中心とした研究に関する討議の場として、2013年に「日本黒酢研究会」が設立されました。臨床研究結果が報告されている効果は、体脂肪低減³⁾、エネルギー代謝増強⁴⁾、血圧・QOL・体質改善⁵⁾、免疫賦活⁶⁾、血流改善^{7,8)}、血中脂質改善^{9～11)}、止痒¹²⁾などがあります。その他の効果については、抗炎症^{13,14)}、骨強化^{15,16)}、鉄吸収促進¹⁷⁾などの動物実験結果が報告されています。これらの研究における被験食品を見てみると、液体の黒酢、乾燥黒酢粉末、黒酢もろみ、濃縮黒酢を含むソフトカプセルなど様々な形状をとっており、それぞれの違いについては注意深く見ていく必要があるかと思います。臨床試験の試験方法についても、二重盲検プラセボ対照比較試験、オープン試験、特殊な負荷をかけた試験など様々です。液体の黒酢を被験食品として用いる場合にプラセボの作成は困難であります。二重盲検プラセボ対照比較試験において有効性が示唆されている効果には、体脂肪低減³⁾、エネルギー代謝増強⁴⁾、血圧・QOL・体質改善⁵⁾効果が上げられます。これらの試験の被験食品は濃縮黒酢を含むソフトカプセルです。



埼玉県出身。北海道大学大学院医学研究科博士課程修了。専門分野は天然物化学、循環器薬理学、神経薬理学。健康食品会社にて研究開発部門の創設に携わり、健康食品の安全性・有効性の評価を担当。現在は濱館学術事務所を設立し、健康食品関連企業向けの学術・研究開発をサポートするコンサルタント業務を行っている。

これらの作用メカニズムについて、いくつかの研究結果が報告されています。体脂肪低減効果については、黒酢をラットに飲ませることによって脂肪吸収を抑制すること及び脂肪細胞内 PPAR γ と aP2 の mRNA 発現減少を介して脂肪細胞を小さくすることが報告されています¹⁸⁾。血圧改善効果については、マウスの肺より調整したアンジオテンシン変換酵素 (ACE) を用いた実験において、濃度依存的な ACE 阻害が確認されています¹⁹⁾。

健康食品は天然物を原料とする特性上、複数の有効成分を含むことが多く、前述のように、黒酢の中にも有機酸やペプチド・アミノ酸、糖類、ビタミン、ミネラルなどの複数の成分が含まれているため、基本的には多様な物質が複雑に作用することで、体質・体調などの表現型として表れると考えられています。しかしながら、有効成分についての研究も報告が無いわけではなく、血圧改善効果における ACE 阻害作用については、有効成分として Ile-Tyr-Pro, Phe-Phe, Gln-Leu-Pro, Asn-Pro のシペプチドまたはトリペプチドが同定されています²⁰⁾。また、血流を改善する活性の本体としてヒスタミンが同定されてい

ます²¹⁾。その他の効果を示す有効成分については、黒酢が含有する成分から作用機序を類推することは可能ではありますが、複合的な作用機序や作用本体となる主要な有効成分については研究が継続しており、さらに研究が発展することで今後新たな知見が得られ、それによってさらに黒酢の有効性を健康増進に活用できるようになることが期待されます。

安全性については、昔からの食経験や臨床研究での被験食品との因果関係がある有害事象が報告されていないことから、大きな問題は無いと考えられますが、(独)国立健康・栄養研究所の「健康食品」の安全性・有効性情報では、黒酢に含まれる酢酸は、高濃度のものを摂取すると中毒を起こす可能性がある。30% 酢酸を約 100 mL 摂取した後、激しい腹痛と嘔吐、著明な溶血尿が認められ、その後無尿、呼吸困難、播種性血管内凝固症候群になったという報告があるとされているため、大過剰な摂取は避けた方が良いでしょう。また、P-糖タンパク阻害作用が報告されていますので²²⁾、抗がん剤や強心配糖体などの P-糖タンパク基質を使用する場合には排泄スピードが遅くなり、効き目が強く出してしまう可能性がありますので注意をした方が良いでしょう。

参考文献

1. 柳田藤治, 壺酢。一酢造りの原点を探る, 化学と生物, **28**(4): 271-276, 1990
2. 柳田藤治, 酢の機能性について, 日本醸造協会誌, **85**(3): 134-141, 1990
3. Hamadate N *et al.*, Effect of a dietary supplement containing kurozu (a Japanese traditional health drink) concentrate on several obesity-related parameters in obese Japanese adults: a randomized, double-blind, placebo-controlled trial, *Functional Foods in Health and Disease*, **3**(8): 310-322, 2013
4. 濱館直史ら, 黒酢含有食品の体脂肪及びエネルギー代謝へ及ぼす影響, 日本補完代替医療学会誌, **11**(1): 67-74, 2014
5. 濱館直史ら, 黒酢含有食品による血圧, QOL, 体質への効果, 日本補完代替医療学会誌, **11**(2): 95-102, 2014
6. 長島未央子ら, 黒酢が大学生自転車競技選手の NK 細胞活性及び血球に及ぼす影響, 栄養学雑誌, **67**(3): 107-111, 2009
7. 齊藤和人ら, 黒酢の男子陸上長距離選手の全血流動性に及ぼす影響, 日本ヘモレオロジー学会誌, **7**(1): 25-31, 2004
8. 渡辺剛ら, 黒酢摂取が血液流動性改善におよぼす効果, 国士館大学体育研究所報, **20**: 1-6, 2001
9. 藤野武彦ら, 醸造酢より抽出された固形成分の血中脂質に及ぼす影響, 健康科学, **15**: 91-93, 1993
10. 藤野武彦ら, 醸造酢固形成分の血清コレステロール, 赤血球変形能に及ぼす効果, 健康科学, **12**: 139-141, 1990
11. 藤野武彦ら, 醸造酢の人体の血中脂質, 血液レオロジーに及ぼす影響, 健康科学, **10**: 85-89, 1998
12. 中島敏郎ら, くろず粕のアレルギー性疾患に対する作用 (第 1 章) 一慢性血液透析患者の掻痒症に対するくろず粕の止痒効果について一, 基礎と臨床, **25**(8): 2529-2533, 1991
13. Shimoji Y *et al.*, Extract of vinegar "Kurosu" from unpolished rice inhibits the development of colonic aberrant crypt foci induced by azoxymethane, *J Exp Clin Cancer Res*, **22**(4): S91-7, 2003
14. 長野正信ら, IgE 抗体誘発皮膚炎モデル動物に対するくろずもろみ末の有効性試験, 日本栄養・食糧学会誌, **54**: 171-173, 2001
15. 長野正信ら, 卵巣摘出骨粗鬆症モデルラットへのくろずもろみ末投与によるカルシウム吸収への影響, 薬理と治療, **29**(9): 635-641, 2001
16. 多山賢二ら, 醸造物の機能性 食酢の健康機能 カルシウム吸収促進効果, 日本醸造協会誌, **94**: 792-796, 1999
17. 氏家聡ら, 食酢がラットの鉄吸収に及ぼす影響, 日本栄養・食糧学会誌, **56**(6): 371-374, 2003
18. Tong LT *et al.*, Effects of Kurozu concentrated liquid on adipocyte size in rats, *Lipids Health Dis*, **9**: 134, 2010
19. 大南宏治ら, ラット (SHR) の血圧に及ぼすくろずの作用, 基礎と臨床, **19**(10): 5177-5181, 1985
20. 松津津喜ら, 新規ペプチド, その製造法及び用途, 特開 2001-278893
21. 山岸賢治ら, 黒酢に含まれる血流改善成分の精製及び構造解析, 日本食品科学工学会誌, **45**(9): 545-549, 1998
22. 岩尾一生ら, P-糖タンパク基質のラット消化管吸収に対する黒酢 (国内産玄米酢) の影響, 医療薬学, **37**(5): 305-309, 2011

野山の花

— 身近な山野草の食効・薬効 —

城西大学薬学部 白瀧 義明 (SHIRATAKI Yoshiaki)

マムシグサ *Arisaema serratum* (Thunb.) Schott (サトイモ科 Araceae)

なんとも不気味な感じのする植物です。4～6月頃、少し野山に入ると薄暗いスギ林の下などにヌーと生えていて幽霊でもいるような印象を受けます。その上、茎（偽茎）がまだら模様で、その様子が蝮（マムシ）に似ていることからマムシグサの名がついたそうです。秋には真っ赤な実をつけ、それがまた何とも異様な感じがします。地下の芋（球茎）はテンナンショウ（天南星）と言い、デンプン、サポニン、アミノ酸類、安息香酸、シュウ酸カルシウムなどを含み、漢方で去痰、鎮痙薬とし、民間で腫れ物、肩こり等に外用します。

テンナンショウ（天南星：*Arisaema*、マムシグサの仲間）属はコンニャク、ミズバショウ、カラスビシャク（生薬名：半夏）などと同じサトイモ科の植物で、日本では約30種（ウラシマソウ、ユキモチソウ、ムサシアブミ等）が知られていますが、変異が多くこれからも新種が発見される可能性が高いといわれています。テンナンショウ属は一般に雌雄異株とされていますが、性転換することが大きな特徴です。すなわち、本属植物は成長の度合いや栄養状態によって雄株（♂）になったり、雌株（♀）になったりしますのです。固体が小さいときは雄株で、大きくなると雌株になり、さらに何らかの原因で大きな株が小さくなると再び、雄株に戻ることが出来るという、何とも、環境適応性の高い、融通性のある性質をもっていることになります。又、花（正しくは肉穂花序を仏炎苞が包んでいる）の構造についてもテンナンショウ属は非常に巧妙な仕組みをもっています。それは「ネズミ返しがついていること」と「雄株の花にはすき間があるが、雌株の花にはすき間がない」ということです。受粉の際、キノコバエという昆虫に花粉を運んでもらうのですが、雌雄株とも花序の先端部の付属体といわれる棒状のものにネズミ返し



写真1 マムシグサ（新芽）

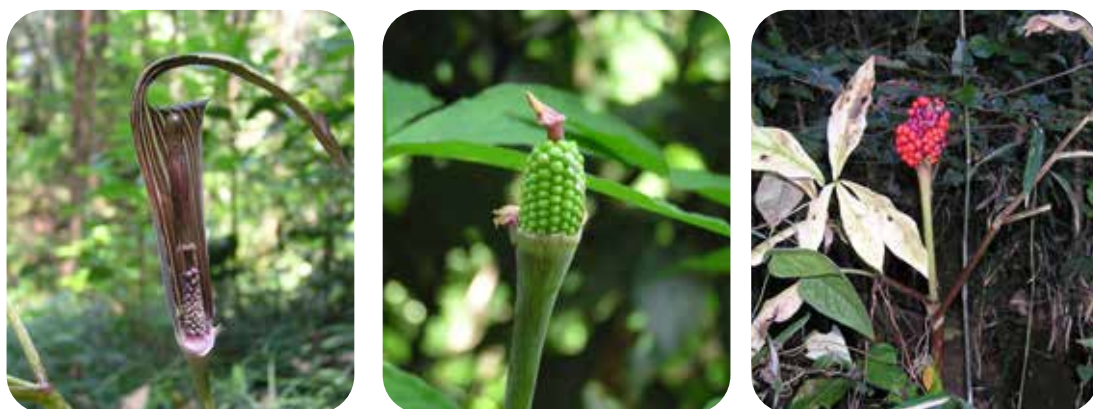


写真2 マムシグサの雌花断面（左）、未熟果実（中央）、成熟果実（右）

ついており、一度、花に入り込んだハエは花の上部からは出ることが出来ず、中で暴れ回り、たっぷりと花粉を身体につけ、ようやく花の下部のすき間から出、雌花に花粉を運びます。しかしながら、雌花にはすき間がないため、受粉という仕事を終え、用のなくなったハエは雌花の中で死んでしまいます。植物の生き残り作戦の一つでしょうが、残酷といえは残酷な話で身につまされますね。

埼玉県では、ちょっと、山へ入った田畑の畔などでよく見かけます。昨年の5月、埼玉県民の森で何十株という群落が一斉に新芽を立てている様子は何とも言えない奇妙な光景でした。

歴史の潮流と科学的評価

(第4節 健康的なベジタリアン食への提言)

ジョアン・サバテ (Joan Sabate) *1 訳：山路 明俊 (Akitoshi Yamaji) *2

*1 ロマリンダ大学栄養学部, *2 食のフロンティア塾

Key Words：ビーガン, 大豆イソフラボン, マクロビオテック食, ビタミン B₁₂

13章 ベジタリアン食の栄養問題

1. はじめに

バランスの取れたベジタリアン食は、心疾患、がんやⅡ型糖尿病のリスクを低下させる健康効果があります¹⁾。ベジタリアン食は、飽和脂肪とコレステロール摂取の低下、果物や野菜摂取の増加を推奨するのに適しています。ベジタリアン食は幅広いので、彼らの栄養状態は極めて多様です。献立がうまく出来ている場合には、伝統的ベジタリアン食の殆どは、栄養学的に適切です。厳格なマクロビオティック等のある種のベジタリアン食は複合的な栄養欠乏の問題を生じます。

西欧のベジタリアンは、主に3つに分類されます。ラクト・オボ・ベジタリアン(LOVs)、ビーガン、他のベジタリアンです。LOVsは、乳製品や卵を利用しますが、肉や魚は摂りません。セブンスデー・アドベンチスト等の多くの人は、1800年代の中頃からLOV食を摂るようになり

ました。彼らは、他のベジタリアンより、ビタミン B₁₂ とカルシウムの摂取が低いようです。

西欧の伝統的ビーガン食を取り入れている人は、幅広く、果物、穀類、ナッツ、豆類や野菜を摂りますが、肉、魚、卵や乳製品は摂りません。このことは、通常、雑食者やLOVsよりも低い飽和脂肪やコレステロール摂取に繋がっています。結果的に、ビーガンの心疾患のリスクは低いのです²⁾。ビーガン食は、ビタミン B₁₂ のサプリメントが必要以外は一般的に適切なのです。ビーガン女性は、適切な骨密度にする為にカルシウム摂取に注意する必要があることをいくつかの研究が示唆しています。このことは、カルシウムが強化された食品やサプリメントが必要ということです³⁾。

殆どのベジタリアンは気ままで不健康な食事をしていませんが、それをしている少数派がいます。最新の流行食をしているベジタリアンは、栄養的な欠乏とそれに伴う健康問題のリスクをかかえることとなります。このような食事は、伝統的なベジタリアン食に近づけたものに変更する必要があります。

マクロビオティック食を大まかにに言うと、

食品の種類は多いのですが、カルシウム等の栄養問題があるということです⁴⁾。信奉者には優れていると思われる、より厳格なマクロビオティック食は、実際は不適切なのです。果物の摂取は少なく、米以外の穀類は殆ど利用しません。たんぱく質、カロリーや他の栄養素の少ない食事です。マクロビオティック食では、児童の死亡という深刻な医学的な問題があります⁵⁾。これらの食事は、もっと、果物、多種類の穀類や十分な量の植物性たんぱく質を含む食事に改善する必要があります。

生食の幅広い摂取は、殆どの人にとって健康的です。しかし、大半を生食で占める食事は、栄養学的に適切な献立を困難にします。完全な生食は、微量栄養素の吸収が悪いので、カロリーを適切に摂っていても、3カ月で9%の体重減少を招きます⁶⁾。豆類を含めて、加工した穀類の利用を考えた献立は、栄養学的に適切になるように改善されます。

2. たんぱく質

米国成人は、45～65gのたんぱく質を摂るように推奨されています。ベジタリアンは、雑食者に比べ、たんぱく質摂取は低いのですが、一般的に、適切なカロリーと大豆や大豆製品(大豆バーガー、とうふ、豆乳、大豆ナッツ等)、他の豆類、ナッツ、種子や穀類等の多種類の食品を摂っているので、たんぱく質の摂取は適切です⁷⁾。たんぱく質要求量の増加は、豆類を多く摂ることになります。大豆製品は、9種の必須アミノ酸をバランス良く含むので、完全なたんぱく質と考えられています⁸⁾。全粒穀類や豆類等の植物性食品を組合せしたものは、適切な生物価を持つ食事たんぱく質を提供することになります。

吸収されるアミノ酸の蓄積は内因性と外因性に由来するたんぱく質の組合せによります。必

須アミノ酸を含む内因性たんぱく質は、2つの異なる供給源、消化酵素と腸管細胞から毎日消化管へと送られます。明らかなのは、毎日の食事によるたんぱく質の質は重要ですが、内因性のたんぱく質が必須アミノ酸を十分に供給するので、ぎりぎりな量ではありません。相互に補っている、種類の異なる植物性たんぱく質を一日の中で摂る必要がありますが、食事毎にとる必要はありません。このことは、食事の嗜好に柔軟性を持たせ、食事毎にバランスの取れたたんぱく質源を含むかどうかの心配を回避することになります⁹⁾。

たんぱく質は成長と組織の修復、酵素とホルモンの合成に利用されます。従って、児童は、成人よりも高い生物価を保持するために、より多くのたんぱく質が必要です。特に、ビーガン児童は、常に、豊富な豆類や大豆製品を摂る必要があります。全米科学アカデミーは、1歳以上の児童には、それぞれの年齢に合わせ、23～24gのたんぱく質を摂ることを推奨しています。典型的な米国成人は、通常、必要量よりかなり多くのたんぱく質を摂っていて、推奨量以上のたんぱく質はカルシウムの排出を増加させるので、米国人の典型的な高たんぱく質の食事は、ある種の疾病や老化に見られる腎臓機能の低下に関与する因子なのかも知れません。

3. 鉄

鉄は様々な生命維持に必要な機能を提供しています。体内鉄の2/3はヘモグロビンに含まれていますが、体内鉄全体の10%はミオグロビンにあります。ミトコンドリアにある重要な鉄含有チトクロームは、エネルギー生成を担っています。通常、ヒトの体の鉄含量は5g未満で、鉄の損失に対し細心の注意で保護し、可能な限り鉄を保存するようにしています。鉄はフェリチンとして、殆ど骨髄と肝臓に貯蔵されます。

生体の貯蔵鉄量は生体機能への目立った障害なしに、広い範囲で変化します¹⁰⁾。成人男性の貯蔵鉄は約1gですが、女性は一般的に1/2g以下です。

貯蔵鉄は閉経前女性、青年や若年児童では、低い傾向があります。これらのグループには最も高い鉄欠乏のリスクがあります。このグループの鉄吸収は、鉄に対する体からの要求によって促進されます。妊娠中の女性は、通常の女性の要求量を超えた鉄が胎児の成長のために必要となります。成長期にある児童や青年は、鉄を必要とする血流量と筋肉量が急速に拡大しています。受胎可能な女性は、月経による鉄の損失があるので、さらに多くの鉄を要求します。

A. 鉄欠乏

世界中の500万人以上の人々が鉄欠乏の貧血かも知れません¹¹⁾。この状況の主な理由は、一般的な鉄の形が吸収されにくいことにあります。さらに、第3世界では、多産による貯蔵鉄への重大な影響に加えて、マラリア、十二指腸虫や他の寄生虫感染による重篤な鉄の排出があります。

鉄欠乏は、消化管からの吸収が生体の要求を充分満たすことができない場合に起こります。鉄欠乏は、最初、貯蔵鉄が減少した時に起こり、血清フェリチン量の低下へと続きます。しかし、低フェリチン量は既知の身体的に不利益な影響を及ぼすわけではありません。鉄は、たんぱく質トランスフェリンの輸送によって組織に運ばれます。細胞による鉄の吸収能力を持つ、特殊な受容体がトランスフェリンを結合します。鉄欠乏の状態になると、鉄受容体の数が増加します。ヘモグロビン濃度が低下し、ヘマトクリット値が正常値以下に低下すると、鉄欠乏貧血が起こります¹²⁾。必要な時（妊娠中等）の鉄のサプリメントの利用や急激な成長期での適正な鉄の摂取は、鉄欠乏貧血の予防に重要な手段と

なります。

鉄欠乏は、鉄を豊富に含んだ食品をあまり摂取しない理由で鉄の吸収が低いか、鉄の吸収を阻害する物質を多く含む食事するかにより起こります。貧血は鉄の欠乏だけでなく、感染、炎症、無酸症や出血症からも起こります。鉄欠乏の結果、多くのことが起こりますが、重篤なものがあります。共通しているのは、仕事をする能力の低下、知的能力の阻害、注意力の低下、疲労し易い、高い早産リスク、低体重児の誕生、不妊や感染抵抗力低下に伴う免疫機能の障害です¹³⁻¹⁶⁾。

B. 鉄の吸収

生体は、まず最初は、鉄の吸収によって鉄のバランスを保持します。鉄の吸収は、食事に含まれる鉄の含量、化学的な構造、食品の成分や各個人の要求度に影響され、1%から40%の範囲で大きく変化します¹⁷⁾。この制御機構は、鉄欠乏や過剰を正常にすることを可能にします¹⁸⁾。

食品中に2種類の鉄のタイプがあります。ヘム鉄と非ヘム鉄です。肉や魚に含まれる鉄の半分はヘム鉄で、非ヘム鉄に比べ（通常、5～10%）一般的に良く吸収（15～35%）され、吸収が他の成分によって影響されることはない傾向にあります¹⁹⁾。腸管には、吸収を促進する特異的なヘム結合部位があるので、ヘム鉄はより効率的に吸収されます¹³⁾。乳製品や卵を含むかあるいは含んでいないベジタリアン食は非ヘム鉄のみです。非ヘム鉄の吸収性は、小腸の溶解性と貯蔵鉄に左右されます。全粒穀類、豆類やナッツに含まれるフィチン酸やポリフェノールは、非ヘム鉄を結合し易く、吸収をかなり阻害します²⁰⁾。一方、ビタミンCは吸収を促進します。75mgのビタミンCは非ヘム鉄の吸収を3～4倍にします^{19,20)}。お茶やコーヒー中のポリフェノールは、非ヘム鉄の吸収をそれ

表 13-1 植物性食品の鉄含量

	鉄 (mg)
豆類	
1/2 カップ 大豆	2.7
1/2 カップ 金時豆	1.8
1/2 カップ レンズ豆	1.6
1/2 カップ エンドウ豆	1.5
穀類とパスタ	
1 カップオートミール	1.7
1 カップ強化スパゲッティ	1.4
1 カップ玄米	0.8
1 切れの全粒パン	0.8
野菜	
1/2 カップ料理済みコラード	1
トマト中粒 1 個	0.8
1/2 カップブロッコリー	0.7
じゃがいも中粒 1 個	0.7
ナッツ、種実	
1 オンスアーモンド	1.3
1 オンスピーナッツ	1
果実、ドライフルーツ	
大きいサイズのブルーベリー, 5 個	1.7
中サイズのデーツ, 5 個	1.5
1 切れのすいか (径 15cm × 2cm)	1.5
大サイズのいちご, 10 個	1
1 オンスのレーズン	1
1 カップのオレンジジュース	1
中サイズのイチジク, 3 個	0.9
中サイズのオレンジ, 1 個	0.6

ぞれ 60% と 40% 低下させますが、ハーブ茶のポリフェノールは反対に、吸収に効果があります²²⁻²⁵⁾。フィチン酸とタンニンの多い食事は、鉄の吸収を阻害し、鉄欠乏を招くかも知れません。不発酵のチャパティとインド茶を大量に摂取した場合に考えられます^{22, 26)}。

ビタミン C は、一価の鉄よりも吸収し易い構造の二価の鉄に転換することで吸収を促進します²⁰⁾。ビタミン C は、また、一価の鉄をキレートし、溶解性と吸収力を促進します。さらに、果物や野菜に含まれる少量のクエン酸、リンゴ酸や酒石酸、ザワークラウト中の乳酸は、鉄の吸収を 2～3 倍に促進することができます^{13, 23)}。みそやテンペ等の大豆製品からの鉄吸収は、丸大豆よりも優れているようです²⁷⁾。ビタミン C の適度な量は、穀類やナツ

表 13-2 非ヘム鉄の吸収に及ぼす因子

<非ヘム鉄の吸収を促進する植物性成分>	
・	アスコルビン酸
・	クエン酸、リンゴ酸、酒石酸や他の有機酸
・	大豆発酵食品
・	その他の因子： 貯蔵鉄の少ない人 鉄含量の少ない食事 鉄の形態
<非ヘム鉄の吸収を阻害する成分>	
・	フィチン酸
・	植物性ポリフェノール
・	亜鉛サプリメントの摂取過剰
・	大豆製品
・	ふすま
・	乳、卵
・	紅茶、コーヒー
・	リン酸カルシウム

ツに含まれるフィチン酸の吸収阻害を打ち消すかも知れません^{28, 29)}。

全粒穀類、強化穀類、緑黄色野菜、果物、乾燥果実、ナッツや豆類は、ベジタリアンに対し、充分な量の鉄を供給します（表 13-1）。精製穀類からの鉄吸収率は全粒穀類の 2～3 倍ですが、全粒穀類と精製穀類の正味の吸収量は同じです。というのは、全粒パンや玄米は白パンや白米に比べ、2～3 倍鉄を含んでいるからです。同じことが大豆にも言えます。大豆からの鉄吸収率は低いにもかかわらず、鉄全体の吸収量は適正です。なぜなら、大豆は元々比較的多量の鉄を含んでいるからです^{30, 31)}。非ヘム鉄の吸収に影響する因子が表 13-2 に要約してあります。

C. ベジタリアンの鉄の状態

それでは、バランスの良いベジタリアン食の鉄の状態というのはどのようなことでしょうか。ベジタリアンは、貯蔵鉄や血清フェリチン濃度が低下する傾向がありますが、血清中の鉄やヘモグロビン濃度は、非ベジタリアンと同様であるという多くの研究が示してきました^{32, 36)}。

このことは、組み合わせの良い食事を摂るビーガンにも言えることです。牛乳は鉄の良好な供給源ではなく、また、卵中の鉄の生体利用性は低いので^{13, 20)}、LOVは、鉄の状態に関する限り、ビーガンより優れているとは言えません。英国の研究で、6カ月間かそれ以上の間、ベジタリアン食を摂った、ビーガン成人のヘモグロビン濃度は雑食者と同様で、正常値より低いヘモグロビン濃度の被験者はいませんでした³⁷⁾。バランスの良いLOVやビーガン食を摂った児童もまた、非ベジタリアン食の児童と鉄の状態は同じでした³⁸⁾。しかし、米、海草や果物から構成される制限されたマクロビオティック食を摂った児童は、共通して、鉄欠乏を示しました³⁹⁾。

要約すると、ベジタリアンの貯蔵鉄は下限ぎりぎりですが、西欧のバランスの取れたベジタリアン食を摂っているの、鉄欠乏貧血症のリスクは非ベジタリアン食と差はないようです。鉄の摂り過ぎは心疾患のリスクを増やすという人もいます⁴⁰⁾。鉄は強力な酸化促進剤で、フリーラジカルの生成を促進し、アテローム性酸化LDL粒子の生成を促進します。肉に含まれるヘム鉄の生体利用性が大きいので、非ベジタリアンは鉄を多目に吸収するようです。

4. 亜鉛

米国での亜鉛欠乏はまれですが、中東では一般的に見られます⁴¹⁾。亜鉛のU.S.RDAsは、成人男子で15 mg/日、成人女子で12 mg/日、妊娠女性で15 mg、授乳中の女性で19 mgです。亜鉛の正確な所要量は、まだ検討中で、カナダの推奨値は米国より35%低い値です。亜鉛の吸収率はかなり変動（通常、20～30%）し、摂取量が少なくても、また要求量が増えても増加しません。亜鉛は、正常な成長、発達、健全な免疫系、鋭敏な味覚機能、健全な上皮組織に

必要です。

ある種のベジタリアン食を摂っている児童の亜鉛摂取は、適切ではないかも知れません。全粒穀類、豆類やナッツはフィチン酸が多く、亜鉛を結合することが知られています。フィチン酸は亜鉛の吸収を制限し、ベジタリアン食を摂っている児童の成長や再生能力を阻害します⁴²⁾。ベジタリアン食の亜鉛の吸収は、雑食者の食事よりも効率的でないの、ベジタリアンは、亜鉛豊富な食品を選ぶことは重要です⁴³⁾。ベジタリアン食は、適正な亜鉛量になるように十分に組み立てることができます⁴⁴⁾。例えば、パン製造における発酵工程はフィチン酸に作用し分解するので、発酵パンに含まれる亜鉛の生体利用率は非発酵食品より大きくなります。その結果、亜鉛の生体利用率は改善されることになります。

ベジタリアン成人の亜鉛摂取量は雑食者より平均的に低いのですが、血清亜鉛濃度や亜鉛のバランス研究によると、彼らの亜鉛状態は適正を保持しているようです³⁵⁾。長い間、人々はベジタリアン食を取り入れることで、亜鉛の利用効率を改善しています⁴⁶⁾。ベジタリアン女性は亜鉛摂取が少ないので、男性より低い血清亜鉛濃度のリスクが高いように思えます。ベジタリアンと非ベジタリアン男性の平均亜鉛摂取量は同じで⁴⁷⁾、ベジタリアン女性の平均亜鉛摂取量は、雑食者の女性より有意に低かった（6.8 mg 対 8.4 mg）というオーストラリアの研究があります。ベジタリアン女性の亜鉛摂取量は低いのですが、平均血清亜鉛濃度は雑食者の女性とベジタリアンと同様でした。雑食者（7.8 mg）と比べたベジタリアン食（6.7 mg）を摂っている未成年女性での亜鉛摂取量はあまり違いはありませんでした⁴⁸⁾。

ベジタリアンと雑食者双方の高齢者は、亜鉛欠乏のリスクが高まっており、味覚の変化と免疫機能の低下に関係しているのかも知れませ

ん。高齢女性の研究では、ベジタリアンと雑食者双方共、低い平均亜鉛摂取量でした。(6.3 mg)³³⁾ 対照的に、オランダ高齢者の研究では、雑食者よりベジタリアンの方が低い血清亜鉛濃度でした⁴⁹⁾。

要約すると、西欧社会での臨床的な亜鉛欠乏は共通したものではありませんが、U.S. RDAsを満たす人は比較的少ないということです。成人男性のベジタリアンは、女性ベジタリアンよりも、よりRDAsに近づいているようです。一般的に、女性ベジタリアンは、雑食者の女性より亜鉛摂取量が低い傾向にあります。ベジタリアンと雑食者双方共、高齢者は亜鉛欠乏のリスクがあります。ビーガン児童と未成年者、妊娠と授乳中の女性は、亜鉛摂取を増やす必要があります。マクロビオティック食の人は、特に亜鉛摂取が低いかも知れません。LOV食の成人は、雑食者と比べ低亜鉛のリスクが大きいようには見られません⁴⁷⁾。

5. カルシウム

カルシウムの栄養所要量は、最近、高齢者の骨の健康に関する問題のために増加しています。現行のカルシウムのU.S. DRIsは年齢別で異なります。未成年者は1,300 mg/日、成人、妊娠中、授乳中の女性は1,300 mg/日、50歳以上は1,200 mg/日が推奨されています。現在、約1,000万人が骨粗鬆症で、低BMDのために1,800万人にそのリスクがあります。米国の骨粗鬆症の罹患率は、白人とアジア人で21%、スペイン系で16%、アフリカ系アメリカ人女性で10%と報告されています⁵⁰⁾。骨損失が過剰でないにしても、若いうちにBMDのピークに達していない人は、骨粗鬆症のリスクがあります⁵¹⁾。ライフサイクルの全ての段階で、骨の健康を適正に保持して置くことは、骨粗鬆症を予防する最も効果的な手段です。骨密度を適

表 13-3 カルシウムバランスに悪影響を及ぼす因子

<変更不可因子>

- ・女性
- ・早期閉経
- ・白人（非スペイン系）、又はアジア人
- ・高齢者
- ・細い骨
- ・家族歴

<変更可能因子>

- ・ビタミンD不足（日光、食事）、特に屋内の高齢者
- ・無月経
- ・エストロゲン不足
- ・体重不足
- ・座っていることの多い生活
- ・カルシウム不足
- ・ナトリウム過剰
- ・低イソフラボンの食事
- ・飲酒
- ・タバコ
- ・カフェイン
- ・たんぱく質の過剰又は過小摂取
- ・リン酸過剰の食事
- ・フィチン酸の過剰摂取
- ・マグネシウムの不足
- ・ホウ素不足

正に保持する為には、ライフサイクルを通じ、カルシウムの適正な摂取が必須条件です。しかし、望ましいBMDを保持することには、カルシウム摂取のみでなく様々な因子が関与しています（表 13-3）⁵²⁾。

A. カルシウムバランスへの食事の影響

たんぱく質が多く、果物と野菜が少ない平均的アメリカの食事は、主に硫酸塩とリン酸塩として、100 mg 当量以上/日の酸を産生することになります⁵³⁾。果物や野菜は腎臓にアルカリ性の負荷を与え、魚、肉、穀類やチーズは酸性の負荷を生成します。骨吸収の働きはこの酸を緩衝することを可能にします。腎臓は又、酸排泄作用を刺激することで酸に反応します。それゆえに、酸性たんぱく質の多い食事は過カルシウム尿症を起こし、一方、果物や野菜を加えた食事は骨再吸収を遅延させるか中止させ、

また、尿中へのカルシウム損失を低下させます⁵³⁾。年老いた腎臓は、若い腎臓程には水素イオンを排出出来ないで、高齢者はより多くの緩衝作用が必要です。このことは、高たんぱく質食事が高齢者の骨には害になることを意味しています。

高たんぱく質の摂取は、糸球ろ過率を増加させ、腎臓で再吸収されたカルシウムを減少させます⁵⁴⁾。その結果、尿中へのカルシウム排泄が増加します。カルシウムバランスは低たんぱく質食（48 g/日）の場合は、正の状態ですが、中程度あるいは高たんぱく質食の場合（95 や 142 g/日）は、負の状態になります⁵⁵⁾。高齢者が低たんぱく質食（0.8 g/kg 体重）から、高たんぱく質食（2.0 g/kg）に変更すると、尿中カルシウムは、90 mg/日から 171 mg/日に増加します⁵⁶⁾。骨を適正に保護する為には、食事の中のカルシウム（mg）/たんぱく質（g）比は少なくとも 20 対 1 又は 16 対 1 が望ましいとされてきました。少ない方の 16 対 1 を採用したとすれば、85 g/日のたんぱく質を摂取する人は、少なくとも、1,360 mg/日のカルシウムを摂る必要があります。

カルシウム排泄はカルシウム吸収よりも重要な制限因子です。それゆえに、尿中カルシウムへの損失を増加させるたんぱく質やナトリウム摂取等の食事因子は、骨の健康に負の影響を及ぼします。平均して、たんぱく質を 10 g 摂取する毎に、尿中カルシウムは約 10 mg 増加します。一方、ナトリウム 1 g ごとに、尿中カルシウムは 25 mg 増加します⁵⁸⁾。北アメリカの現在の摂取状況は、ナトリウム摂取の方がたんぱく質よりも影響が大きいようです。カルシウムバランスは長期間での微小な変化が重要になります。30 mg/日の尿中カルシウム損失増加は、11 g/年の損失で、20 年以上では 220 g となります。これは、骨全体に対し、それぞれ男性では約 20%、女性では 30% に相当します⁵³⁾。

牛乳の摂取が、正のカルシウムバランスと強い健康的な骨を保障すると考えられていますが、これは必ずしも必要とは限りません。主に乳製品からカルシウムを多く摂取し、高たんぱく質の集団で、臀部骨折が世界的に広く発生していることを Hegsted は報告しています⁵⁹⁾。Nurse's Health Study では、牛乳やカルシウムが豊富な食品を多く摂取すると中年女性の臀部や上腕骨折に対し予防効果を示すという科学的な立証はありませんでした⁶⁰⁾。2 杯/日か又はそれ以上の牛乳を飲む女性の相対リスクは、1 杯/日かそれ以下の女性に比べ、臀部骨折では 1.45、上腕骨折では 1.05 でした。

B. ベジタリアンの利点

カルシウムが豊富な食事に加え、低ナトリウム、適度なたんぱく質、適正なビタミン D、ホウ素の適正な摂取は、正のカルシウムバランスを維持し、骨粗鬆症のリスクを低下させるのを補助します。ホウ素のサプリメントを 3 mg 摂取している閉経後の女性の尿中カルシウム排泄は、サプリメントなしに比べ、約 20% 低下しました。さらに、2 倍以上のホウ素を摂取している女性の血中エストロゲン濃度は、エストロゲン代替療法を受けている女性と同程度でした⁶¹⁾。果物よりも肉や魚のホウ素含量は少ないので、ベジタリアンのホウ素摂取は適正なようです。大豆、アーモンド、ピーナッツ、レーズン、プルーンやヘーゼルナッツは高濃度のホウ素を含んでいるとの報告があります⁶²⁾。

動物性たんぱく質を含む食事とは対照的に、ベジタリアン食はカルシウム排泄を低下させる酢酸や重炭酸等の代謝を促進する陰イオンを生成します^{63,64)}。さらに、ベジタリアンは、一般の人よりも葉野菜を多く摂取しています。ブロッコリー、キャベツやレタス等の緑黄色野菜は骨代謝に重要な、かなりの量のビタミン K を含んでいます。ビタミン K の低摂取は臀部

骨折と相関があります。レタスの1サービング/日、あるいはそれ以上の摂取は、臀部骨折リスクを45%低下させることと相関があります⁶⁵⁾。

含硫アミノ酸を豊富に含む動物性たんぱく質食は、カルシウムの再吸収を低下させ、尿中カルシウムを増加させる過剰な硫酸塩イオンを生成します。ベジタリアン食に比べ、動物性たんぱく食を摂取している若年成人の純尿酸の排泄は、27 meq/日、尿中カルシウムは47 mg/日増加します⁶⁶⁾。豆類は含硫アミノ酸が少ないので、ベジタリアンでは、カルシウム損失は少ないことが期待されます。雑食者の女性(48.9 meq/24h)の滴定酸度は、ベジタリアン女性(35.3 meq/24h)より有意に高い値を示しました。食事からのカルシウム摂取は2者間では差はありませんが、雑食者の尿中カルシウム排泄は、ベジタリアンより20%高い値(3.87対3.22 nmol/24h)でした⁶⁷⁾。

Nurse's Health Studyでは、肉の摂取は、骨の健康に望ましくない影響がありました。総たんぱく質摂取については、68 g/日以下の人に比べ、95 g/日以上女性の上腕骨折のリスクが22%上昇しました。動物性たんぱく質について同様なリスク増加が見られましたが、植物性たんぱく質の摂取には相関はありませんでした。少なくとも5サービング/週の肉を摂取する女性は、1サービング/週の人に比べ、上腕骨折のリスクが23%増加しました⁶⁸⁾。たんぱく質摂取と臀部骨折の発生には相関は見られませんでした。

いくつかの横断研究で、雑食者とベジタリアンの骨密度(BMD)が比較されました。50歳以上の閉経後のLOV女性は、同量のカルシウムを摂取する非ベジタリアンの女性より、顕著に高い皮質骨密度を示しました⁶⁹⁾。この研究では、20歳と49歳の女性群にはBMDの差は見られませんでした。LOVの閉経女性は高い

皮質骨密度と相関があることを見出した研究者がいました⁷⁰⁾。

ベジタリアン食は骨の健康に予防効果があると、全ての研究が示しているわけではありません。北カロライナの5年間の前向き研究では、閉経LOVと雑食女性(平均81歳)は、同様に、年率1%の割合で^{とう}橈骨BMDを損失していました⁷¹⁾。LOVsのカルシウム摂取は、雑食者より150 mg/日少ないのです。しかし、おそらく、適度な高カルシウム摂取の為に、骨損失はカルシウム摂取には依存していませんでした。これらの老婦人のBMD維持に対する単一で最も臨床的な因子は、除脂肪体重の管理です。フロリダの閉経白人の研究では、LOVと雑食者の筋肉組織突起と皮質骨密度には差は見られませんでした。ベジタリアンでは、やや少ないカルシウム摂取でした⁷²⁾。Lloydらは、又、閉経前のベジタリアンと雑食者の女性の脊柱BMDには有意差がないことを見出しました⁷³⁾。

若年のカナダ女性の研究では、ベジタリアンの脊柱BMD(5.6%低い、 $p=0.06$)は雑食者より低い傾向があり、差はベジタリアンの低い体重から由来するように見えました⁷⁴⁾。1年間の追跡調査後、雑食者の脊柱BMDは1%上昇し、ベジタリアンでは、有意差のない0.5%の上昇でした⁷⁴⁾。高齢女性の研究で、少なくとも1件は、ベジタリアンに骨粗鬆症の高いリスクが見られました。Lauら⁷⁵⁾の研究で、臀部BMDは雑食者に比べ、ベジタリアン高齢者では有意に低いことが観察されました。

C. ビーガンの研究

LOVsのカルシウム摂取は雑食者よりは優れていますが、ビーガンのカルシウム摂取は、通常、一般の人に比べ低いのです⁷⁶⁻⁷⁸⁾。例えば、カナダのビーガン女性のカルシウム摂取は578 mg/日ですが、雑食者は950 mg、LOVは875 mgです⁷⁷⁾。ビーガン女性はカルシウム摂取が

低い傾向がありますが、ビーガン男性のカルシウム摂取は満たされており、おそらく、高いカロリー摂取によるのでしょう⁷⁸⁾。ビーガン女性のカルシウム対たんぱく質比はたった10か11で、LOVと雑食者より確実に低いのです^{77, 78)}。ビーガンの低カルシウム摂取は、低BMDのリスクを高めることになります。Dr. Marshの未報告の研究によると、ビーガンのBMDはLOVsより低いと見られています。一方、中国の老婦人の研究では、ビーガンとラクト・ベジタリアンのBMDには差がありませんでした⁷⁵⁾。さらに、Barrらは、カルシウムの1日摂取量が平均しておよそ300 mg少ないのにもかかわらず、ビーガン女性の脊柱BMDはLOVsより低くはないことを見出しました⁷⁴⁾。

台湾での研究では、長いビーガン歴の人は他のベジタリアンより低いBMDが見られました⁷⁹⁾。ビーガンとLOVs双方の平均カルシウム摂取は、400 mg/日以下でした。閉経ベジタリアンの腰骨と大腿頸部のBMDが測定されました。ビーガン歴の長い人は、腰骨骨折のリスクが高く（オッズ比2.48）、大腿頸部の骨減少症に分類されました。（OR=3.94）多変量解析では、ビーガン歴の長い人は、大腿頸部の低BMDと強い相関を示しました。カルシウム摂取が極めて低いこれらの女性では、高たんぱく質摂取は適度なBMDの増加に相関していました。明らかなことは、カルシウムとたんぱく質双方共、適度な摂取が重要ということです。ベジタリアン歴の長い老婦人にとっては、カルシウムのサプリメントがBMDの改善と骨粗鬆症のリスク低下に必要であることを研究は示唆していました。

適正な骨密度のためには、子供と大人にとって、カルシウム摂取は適正でなければなりません。ビーガンは、特に、高カルシウム食品とカルシウム強化食品を摂取し適正なカルシウム摂取に努める必要があります。カルシウム豊富な

食品が十分でない場合には、特に、白人とアジア人の女性の適正な骨密度を維持するために、カルシウムのサプリメントが必要です。

D. フィトエストロゲン

エストロゲンは、破骨細胞の活性を下方制御し、骨再吸収を制限します⁸⁰⁾。ゲニステインやダイゼイン等の大豆イソフラボンは、骨組織でエストロゲン受容体に結合してエストロゲンとして働き、骨再吸収を阻害します^{82, 83)}。合成イソフラボンのイブリフラボンは、閉経女性のエストロゲン代替物として有効に働き、骨密度の低い女性の骨密度を増加させます⁸²⁾。イブリフラボンは、脊柱、手首や大腿骨の骨粗鬆症に対し効果的で、1,000 mg/日のカルシウムで充足されるかも知れません。

最近、イソフラボン豊富な大豆たんぱく質を摂取した閉経後の女性に、脊柱の骨損失に対する予防効果が見出されました⁸⁴⁾。推骨損失への予防効果が、6カ月間、90 mg/日のイソフラボンで見られました。40 mgのイソフラボンでは効果が見られず、また、他の骨部位でも見られませんでした。イソフラボンの相当量とかなり長期間の摂取は、BMDに大きな影響があることが考えられますが、現在、この可能性に対するヒトの研究はありません。90 mgは食品から得られますが（表13-4）、より多くのイソフラボン量に達するためには、サプリメントが必要です。ゲニステインの大量投与は、プレマリンと同等かそれ以上の効力で卵巣除去ラットの骨損失を低下させることが見られました^{85, 86)}。全てのゲニステイン、ダイゼインやイブリフラボンは、骨の中のエストロゲン受容体を選択的に調節しますが、子宮と乳房には及ばないようです。これらの物質は、長期間の摂取でも、乳がん、子宮がんのリスクを増加させることはないようです⁸⁷⁾。事実、ゲニステインはヒトの乳ガン細胞の増殖を強力に阻止

表 13-4 食品中のイソフラボン含有量（ゲニステインとダイゼインの合計）

食品	イソフラボン (mg/100g)
焙煎した大豆	128
脱脂大豆フレーク	126
粉末豆乳*	109
濃縮大豆たんぱく質（水抽出）**	102
分離大豆たんぱく質	97
加工大豆	55
豆腐	28～33
大豆肉代替品	6～14***
大豆チーズ	7

* 豆乳は、イソフラボン約 25～40mg/ カップ含む。

** アルコール抽出では、13 に減少する。

*** サービング当たり

し、一方、エストロゲンはプラス、マイナス不明でした^{88, 89)}。閉経後の骨損失を緩慢にするフィトエストロゲン豊富な食品、主に大豆食品の長期摂取の効果を調べるにはさらなる研究が求められます。

E. マクロビオティック食

子供時代、低カルシウム食を続けた人は、その後の年月にも影響を及ぼすとデータは示唆しています。子供時代にマクロビオティックを続けた未成年者のオランダの研究で、その時代には高カルシウム摂取であったにもかかわらず、臀部骨密度は雑食者より 8% 低いことが見出されました⁴⁾。他のオランダの研究で、研究対象になったマクロビオティック幼児の 28% が、低カルシウムと関連したくる病の臨床的症状を有しています⁹⁰⁾。特に日光への一定の暴露がない地域では、マクロビオティック児童へのくる病のリスクが増加し、低カルシウムと低ビタミン D 摂取であることを他の研究が示しています^{91, 92)}。子供時代の低カルシウム摂取は成人での早期の骨粗鬆症になる可能性があります。児童が食べる食品の量は成人より少ないので、彼らの食品はカルシウムを強化する必要

があります。また、成人のマクロビオティック食は低カルシウム食です。マクロビオティック食を取り入れている授乳中の女性の平均カルシウム摂取量/日は、雑食者の半分以下のたった 486 mg です⁹³⁾。

F. 閉経後の女性

閉経期のエストロゲン生成の低下は、およそ 5 年に及び骨損失を促進することに関与しているので、雑食者とベジタリアン双方共カルシウム保持を最大にすることは重要です⁹⁴⁾。この 5 年間で、女性は平均して約 3%/年、骨量を損失してしまいます。閉経女性に生じる BMD の減少は、定期的な体重のかかる運動、ホルモン代替法、高容量のカルシウム補給によって減じられるかも知れません。しかし、カルシウムのサプリメントは、閉経期を越えて 5 年以上になると女性の骨損失を有意に低下させますが、閉経後の最初の 5 年間で起こる急激な筋肉組織突起の骨損失を防ぐことはないようです^{95, 96)}。

閉経後しばらく経過した女性にとっては、サプリメントはより効果的です。カルシウム摂取が 300 mg/日以下の 62～92 歳の老婦人に、800 mg のカルシウム（グルコン酸乳酸カルシウムとして）とプラシボ錠が毎日投与されました。10 カ月後、入院している人の三角形と転子間の BMD はサプリメントを摂った女性では有意に増加しましたが、脊柱と大腿付け根部の BMD には有意な変化はありませんでした⁹⁷⁾。カルシウムサプリメント女性の上皮小体ホルモン濃度は有意に低下しました。カルシウムサプリメントは、老婦人の臀部骨損失を低下させるのに有効と考えられました。

G. カルシウムの植物源

LOV と雑食者の双方には、乳製品は安定してカルシウムが摂れる供給源として知られています。低脂肪の乳製品は良好な選択肢です。な

ぜなら、乳製品を定期的に摂るとどうしても飽和脂肪とコレステロールを摂ってしまうからです。さらに、良好なカルシウムの摂取は、コラード、ケール、カルシウムを強化した朝食シリアル、カルシウムを強化した大豆飲料、カルシウムを強化したオレンジジュース、豆腐や他のカルシウム豊富な食品等を適度に摂ることで得られます（表 13-5）。豆腐のカルシウム含量は、加工法によって 20 の係数で変化します。硫酸カルシウムで沈殿した豆腐はカルシウム含量が高くなります。強化していない豆乳、ひまわりの種子やアルファルファのスプラウトはカルシウムの豊富な供給源ではありませんが、多くのベジタリアンは、皆優れた供給源と考えています。

また、カルシウムの生体利用率は考慮すべき重要な課題です。緑色植物に含まれるカルシウムは良く吸収されます。ケールのカルシウムは牛乳よりも良く吸収されます⁹⁹⁾。反対に、シュウ酸を含むほうれん草のカルシウムの生体利用

率は低いのです¹⁰⁰⁾。フィチン酸含量が低くても高くても、大豆のカルシウムは良く吸収されます。フィチン酸高含量の大豆のカルシウム吸収は牛乳の 80% で、低含量の大豆は牛乳より吸収が 10% 高いと Heaney は報告しています。

H. カルシウムサプリメント

ベジタリアンに適した最も効果的に吸収されるカルシウムは、クエン酸リンゴ酸カルシウム（カルシウム強化果実ジュース中に良く見られます）、乳酸グルコン酸カルシウム、クエン酸カルシウムや炭酸カルシウムです。カキ殻原料のカルシウムは動物性なので、ベジタリアンには適していません。骨粉を原料としたハイドロキシアパタイト・カルシウムは動物性のものを望まない人には適していません。ドロマイトや骨粉は鉛を含むので適していません¹⁰³⁾。

空腹時に摂取した場合、炭酸カルシウムはクエン酸カルシウム程吸収されません¹⁰⁴⁾。

閉経女性が食事と一緒に高濃度のクエン酸カルシウムを摂った場合には、炭酸カルシウムよりかなり良く吸収されるという結果があります¹⁰⁵⁾。閉経後、炭酸カルシウムとしてのカルシウムサプリメントの吸収力は幅広く変動します¹⁰⁶⁾。

I. 要約

ラクト・オボ・ベジタリアンは、雑食者と同様なカルシウム摂取で、カルシウム欠乏のリスク増加はないようです。適性なカルシウムは、一般的に、カルシウム豊富な食品を毎日 2～3 サービング摂ることで獲得できます。一方、特にビーガン女性と児童にとっては、カルシウム強化食品かカルシウムサプリメントを摂らないと、十分なカルシウム摂取は困難となります。閉経女性は骨粗鬆症のリスクが増加するので、カルシウム摂取には特別な注意を払う必要があります。

表 13-5 カルシウムの植物源

食品	カルシウム (mg)
糖蜜、大さじ 1.5 杯	258
飲料 (1 カップ)	
豆乳 (カルシウム強化)	160 ~ 300
オレンジジュース (カルシウム強化)	350
青汁 (1 カップ)	
加工コラード	357
加工かぶの葉	249
加工ケール	180
加工白菜	158
加工おくら	154
加工マスタードの葉	151
豆類 (1 カップ)	
熱処理枝豆	261
加工ささげ	211
とうふ (100g)	
硫酸カルシウムで固めたとうふ	683
硫酸カルシウムで処理した 一般的なとうふ	350
にがりで処理した固いとうふ	162
にがりで処理した軟らかいとうふ	111
絹ごしとうふ	31

6. ビタミン D

ビタミン D はカルシウム吸収と適正な骨の健康に重要です。ビタミン D の現行 U.S.DRIs は、年齢別で 5 ~ 15 μg (200 ~ 600 IU) です。50 歳以下は 5 μg , 51 ~ 70 歳は 10 μg , 70 歳過ぎは 15 μg です。殆どの人は、日光を十分に浴びると十分なビタミン D を作ることができます。さらに、ビタミン D 強化食品を購入することができます。これらの食品の中には、牛乳、シリアルや豆乳が含まれます。ビタミン D の代謝はあまり効率的でないので、特に施設に居る場合や日光を浴びることがない高齢者は、ビタミン D のサプリメントが必要です。晩秋、冬や早春に十分に日光を浴びることがないので、適正なビタミン D を確保できない北の緯度やある温度の緯度に住む人は、ビタミン D 欠乏になるリスクがあるかも知れません¹⁰⁷⁾。

骨折に関する 15 カ国の研究では緯度が有意な因子でした¹⁰⁸⁾。最も低い骨折率の国は、十分に日光を浴びている地域に見られ、最も高い骨折率を示した 3 つの国は全てスカンジナビアでした。フィンランドは近隣国より低い骨折率で、ビタミン D 強化食品を摂取し、近隣のスカンジナビアよりカルシウムを多く摂取していました。たんぱく質摂取が似通った国でも臀部骨折は緯度によって 2 ~ 3 倍変化し、適正なビタミン D 摂取が骨の健康には重要であることを示唆しています。メタ分析はビタミン D 強化が必要であることを示唆しています。なぜなら、ビタミン D 欠乏症はビタミン D のサプリメントがあまり普及していない国で頻繁に見られるからです¹⁰⁹⁾。

閉経の雑食女性を対象にした Boston study は、ビタミン D の 200 IU/日 摂取では 800 IU/日に比べて、大腿骨密度損失を予防するには十分でないことを示しました¹¹⁰⁾。双方共少量のカル

シウム補給が条件でした。ビタミン D の補給が多い人の臀部 BMD は 1.1% 以下で、それに比べ、摂取量の少ない群は 2.5% の損失でした。骨損失の 70% は、ビタミン D 濃度が最も低い冬か春に起こりました。サプリメントの両濃度共、体全体と脊柱の骨損失を同様に予防しました。

A. ベジタリアン研究

ベジタリアンは、ビタミン D 平均摂取量と平均血清ビタミン D 濃度が低いことを示して来ました。ビーガンのビタミン D 摂取は冬季、正常な範囲にある血中 25- ヒドロキシビタミン D と上皮小体ホルモンを保持するのは不十分であることを、フィンランド女性の研究は示しました¹¹¹⁾。LOV とビーガンの閉経女性双方共、ビタミン D の摂取は雑食者に比べ、有意に低い値でした。ビーガンの腰椎部の骨密度(BMD)は雑食者より有意に低い(12%)値で、ビーガンの脊柱 BMD は LOVs より低い傾向にありました。さらに、ビーガンの大腿頸部の BMD は低い傾向でした。ビーガンに見られる上皮小体の高いレベルは、低いビタミン D 濃度の BMD に対する負の影響を示しています。年間を通じ、ビーガンの血清ビタミン D 濃度は低めで、上皮小体ホルモンは高めにあります。北方の緯度に住むビーガンには、少なくとも冬の間、定期的なビタミン D 補給や強化が推奨されるべきであることを研究者らは結論付けました。初期のフィンランド人の研究で、ビーガン男性と女性、雑食者に比べ、血清 25- ヒドロキシビタミン D 濃度は 43% 低く、血清上皮小体ホルモンは 104% 高いことが報告されました¹¹²⁾。10 人のビーガンの中 6 人は、ビタミン D 欠乏を示す血清ビタミン D 濃度でした。ビーガンのビタミン D 平均摂取量は、たった 0.3 mcg/日でした¹¹²⁾。

ニュージーランドの研究もまた、LOVs とビーガン双方共、雑食者より有意に低いビタミン

ンD摂取であることを示しました¹¹³⁾。ビーガンのビタミンD摂取/日は、1.9 µg (76 IU) で、雑食者は平均 3.4 µg (132 IU) でした。カリフォルニアのセブンス・デー・アドベンチストの老婦人の間では、ベジタリアンのビタミンD摂取は雑食者より 16% 低いものでした³³⁾。オランダのベジタリアン高齢者（ビーガンでなく）の血清ビタミンDの濃度は、雑食者より低い値でした⁴⁹⁾。米国のマクロビオティック女性の血清 25-ヒドロキシビタミンDは雑食者に比べ、最大 50% まで低い値でした⁹³⁾。マクロビオティック食を摂取している6歳以下の児童は、ビタミンD摂取が低すぎるためにビタミンD欠乏を呈しています⁹¹⁾。

B. 要約

一般的に、ベジタリアンは雑食者よりも低いビタミンD摂取です。低濃度のビタミンDは、カルシウム吸収力の低下と相関があります。ビーガンのレベルは、DRIsよりかなり下回っていることが示されてきました。どんな気候の場合でも、ビーガンにとっては冬季や早春の間の5～10 µgのビタミンDの補給は、安全で、理にかなっていて、適切と言えます。施設にいる老人や日光を浴びることのできない人にとっては、食事に関係なく、年間を通じ、ビタミンDのサプリメントは有効と考えられます。

7. ビタミン B₁₂

ビタミン B₁₂ は、赤血球の正常な形成と神経組織の髄鞘に多く存在するスフィンゴミエリンの合成に必要です。十分なビタミン B₁₂ がないと、神経機能に変化が起こり、赤血球は未成熟な巨大赤芽球として止まり、大赤血球貧血を生じます。植物性食品には、ビタミン B₁₂ は期待できる量は天然には含まれていないので、ベジタリアン、特にビーガンは、ビタミン B₁₂ 欠乏

のリスクがあるかも知れません。しかし、ラクト・オボ・ベジタリアンは、望む量が摂取できる卵や乳製品から十分なビタミン B₁₂ を得ることができます。

A. ビタミン B₁₂ の吸収

ビタミン B₁₂ の平均吸収率は約 70% ですが、サプリメント量が多い場合には、20% 以下に低下します¹¹⁴⁾。総ビタミン B₁₂ 吸収の 5% 以下が内在性の因子なしで、腸壁を通した受動拡散によって吸収されます。ビタミン B₁₂ の 1～10 µg/日が胆汁から排出され、殆どが、腸肝循環により再吸収されます。ビタミン B₁₂ 欠乏は効率的なビタミン B₁₂ 吸収がある限り、簡単には進行しません。しかし、ビタミン吸収を中止した場合には、たった3年でビタミン B₁₂ 欠乏になるかも知れません¹¹⁵⁾。ビタミン B₁₂ 欠乏の主な原因は、十分なビタミン B₁₂ 吸収不足です。これは食品を選ぶ際に、老化、胃炎、胃の切除、回腸の切除、回腸炎や無塩酸症による内在性因子分泌不足が影響するために起こる、ビタミン B₁₂ 不足です。

60歳までに、成人の約1%が胃の萎縮が進行します。老化に伴い、胃酸濃度の低下と同様にプロテアーゼ濃度の低下もあります。その結果、ビタミン B₁₂ は付着していたたんぱく質から効率良く離れず、ビタミン B₁₂ の吸収は失われます。B₁₂ の吸収低下はまた、内因性因子生成が低下した場合でも起こります。

B. ビタミン B₁₂ 欠乏の兆候

ビタミン B₁₂ 欠乏では、血中ビタミン B₁₂ 濃度は、通常 200 pg/ml 以下の非正常値に低下します。マロン酸メチルとホモシステインの血中と尿中レベルは、これらの物質の代謝には、双方共 B₁₂ を補酵素として必要とするので、事実上の B₁₂ 欠乏まで上昇します。正常な血清マロン酸メチルとホモシステイン濃度は、それぞれ

73 ~ 271 nmol/L と 5.1 ~ 13.9 μ mol/L です¹¹⁶⁾。

B₁₂ 欠乏に見られる他の体調は、手足の知覚異常、歩行時にバランスを取る能力の欠如、過度の疲労、上下動と静止感覚の損失、非定位性障害を含む精神的障害、うつ病、情緒不安定、いらいら、記憶喪失や認知症です。傷害は、抹消神経、脊髄の靱帯や脳内での部分的で進行した脱髄によって起こります。ビタミン B₁₂ 欠乏は高齢者にかかり見られ、認識機能障害や老人病に併発している認知症の悪化と関連しています¹¹⁷⁾。

血液細胞の異常を示すことなく、神経傷害が B₁₂ 欠乏の高齢者に見られることが研究で示されてきました。ビタミン B₁₂ 欠乏で起こる精神障害を持つ患者の 1/3 の殆どに、B₁₂ 欠乏の患者に予想される貧血症と赤血球の変化がないことを研究者らは見出しました¹¹⁸⁾。B₁₂ 欠乏による神経障害はコバラミン治療が有効です。早期の診断と治療が、長期間の損傷を予防するためには重要と考えられます。B₁₂ 欠乏の明らかな高齢者を改善するには、ある者は 200 pg/ml (147 pmol/L) よりも、350 pg/ml (258 pmol/L) が正常な血清コバラミン濃度には手っ取り早い方法であるとしています¹¹⁹⁾。

血液学的異常がない神経障害が B₁₂ 欠乏には伴うというイスラエルの報告があります。5 ~ 35 歳の厳格なビーガンの 1/3 は正常値以下の血中 B₁₂ 濃度です。もっとも低い B₁₂ 濃度の 4 名は全て、筋肉痛、足の知覚異常や精神集中の困難等の神経障害の履歴がありました¹²⁰⁾。筋肉への B₁₂ 治療で、全ての人が改善を示しました。

葉酸は骨髄の働きに対し、一部、B₁₂ の代用になるので、適正な葉酸摂取は、B₁₂ 欠乏による巨大赤血球貧血症を予防するか遅延させることができます。しかし、葉酸は神経傷害を予防することはできません。巨大赤血球貧血症の B₁₂ 欠乏患者に葉酸を投与した場合には、赤血球細胞の形態を正常化する一方で、神経学的障

害を悪化させるかも知れません。神経学障害は一度起こると、回復には数週間から数カ月を要することになります。

C. ベジタリアンはリスクがある？

履歴の長いビーガンの多くは、血清 B₁₂ 濃度が低いことが報告されています¹²¹⁾。経口 B₁₂ サプリメントは血清 B₁₂ 濃度を保持し、巨大赤血球貧血症を避けることができますが、神経系への損傷は可逆的でなく、神経学的障害が治療後も数カ月間残る場合があります^{122, 123)}。マクロビオティック食の利用はビタミン B₁₂ の下限状態と関連しています。血清 B₁₂ 濃度はマクロビオティック食の進行に伴い低下することが見られ、B₁₂ の貯蔵が枯渇します¹²⁴⁾。時折、LOV に低血清 B₁₂ 濃度が見られます^{125, 126)}。低血清 B₁₂ 濃度の人の殆どは巨大赤芽球貧血症があり、経口 B₁₂ サプリメントと B₁₂ 注射で改善されます。ビーガン食に変更後、成人 LOVs の血清 B₁₂ 濃度が 2 カ月で 35% 低下した、1 件の研究がありました¹²⁷⁾。

D. ビタミン B₁₂ はどのくらい必要か？

幸運にも、ビタミン B₁₂ の要求量はおそらく、1 μ g/日を越えない微量です¹¹⁵⁾。現在の RDA は、成人と 10 代は 2 μ g/日、妊娠と授乳中の女性は約 2.5 μ g、児童は 1 μ g かそれ以下に設定されています。最小必要量は実際には設定量より低い値です。事実、1 μ g/日で効果的に貧血症のビーガンを治療でき^{128, 129)}、B₁₂ 貯蔵のない人を正常に回復することができます。ヒトの B₁₂ 欠乏は肝臓中の蓄積が大きいので、進行はゆっくりしています。成人には 3,000 μ g、幼児と児童は 30 ~ 50 μ g の蓄積があると推定されています¹³⁰⁾。動物性食品を完全に避けている人は、神経系の異常や他の B₁₂ 欠乏症状が明らかになるまでには数年が経過するかも知れません。

妊娠と授乳中の女性は、特にビーガン食を続けている場合には、適正な B₁₂ 摂取が不可欠です。妊娠後期の半分、胎児は母親から 1/5 µg/日の B₁₂ を奪い、授乳中の母親は母乳から、1/3 µg/日の B₁₂ を失います。適正な B₁₂ の摂取がない場合、特に B₁₂ サプリメントのないビーガン食を摂取している場合には、胎児の蓄積と母乳中の B₁₂ 濃度はかなり低下するかも知れません¹³¹⁾。ベジタリアンを長期間続けた母親に生まれた幼児は、明らかにビタミン B₁₂ 欠乏の高いリスクがあります。母親が欠乏の兆候を示さない場合でも、児童は母親から適正なビタミンの蓄積を受け取らないかも知れません。ビタミン B₁₂ 欠乏は 3～6 カ月齢の母乳育児で進行するかも知れません^{132, 134)}。B₁₂ 欠乏の児童は、発作、無感情、無気力、貧血や成長が遅延したり止まったりする兆候を示すかも知れません。

E. 食品中のビタミン B₁₂ 含量

ビタミン B₁₂ は動物の消化管中の細菌の働きに由来するので、牛乳、卵や肉に含まれます。ヒトの大腸中の細菌もまた、ビタミン B₁₂ を生産できます。しかし、合成は吸収部位である回腸を通過して起こるので、吸収されることができません。ビタミン B₁₂ が、発酵大豆食品（みそやテンペ）、しいたけや藻類（スピルリナや海苔）等の植物性食品に含まれることを知っているベジタリアンもいます。これらの製品は、B₁₂ の優れた供給源として健康食品店で販売されていますが、たとえ含まれたとしても、実際はごく微量なのです^{115, 135)}。それに反し、活性のない B₁₂ 同族体を含み、摂取量が少ない場合は、真のビタミン B₁₂ の吸収を妨げるかも知れません。

食品中のビタミン B₁₂ 量の標準試験法は、*Lactobacillus leichmanii* 菌を使用した古典的微生物分析法があります。この微生物は活性ビタ

ミン B₁₂（コバラミン）だけでなく、ヒトには不活性のコリン環化合物全体を測定してしまうので、食品中の B₁₂ 量はかなり多目に測定されます。この方法によって測定されたビタミン B₁₂ 活性の 80% は、不活性の B₁₂ 同族体のコリン環化合物に由来します¹¹⁵⁾。新規の放射性イムノ法はコバラミンのみを特異的に測定します。

LOV にとっては、乳製品や卵は安定的な B₁₂ の供給源です（表 13-6）。しかし、卵中のビタミン B₁₂ はコレステロールを含む卵黄中にあるので、LOV は低脂肪乳製品を B₁₂ の供給源とすることが推奨されます。B₁₂ 豊富な食品が、ベジタリアン食全体の中に取り入れられる必要があります。この事は妊娠や育児中の場合は特に重要です。ビーガンは、すぐに食べられるシリアル、強化酵母（栄養学的に考慮された処方）、強化豆乳、強化された肉の代替品等の強化食品や、ビタミン B₁₂ サプリメントの定期的利用によって、要求量を充足する必要があります。

吸収が正常とすると、5µg/日のビタミン B₁₂ サプリメントは 1～2µg/日の B₁₂ を供給します。経口 B₁₂ サプリメントを効果的にする為には、飲み込んでしまうよりも十分に噛んだ方が良いのです。コバラミンの鼻内や舌下投与の苦痛のない新規法は、副作用無く吸収を早めます。ヒドロキシコバラミンを鼻内に投与すると血清ビタミン B₁₂ の安定した増加が得られています¹³⁶⁾。

表 13-6 乳製品と卵加工品中のビタミン B₁₂ 量 (µg)

ヨーグルト (6 オンス)	1.1
乳 (8 オンス)	0.9*
カッテージチーズ (1/2 カップ)	0.7
熟成チーズ (1 オンス)	0.07 ~ 0.47
卵 (1 個)	0.8
白身の卵 (1 個)	0.02

*2% の脱脂乳又は全乳

8. リボフラビン

西欧では、ベジタリアンにとって、リボフラビンの良い供給源があるので、ベジタリアン中のリボフラビン欠乏は主要な問題点ではありませんでした。これらは、乳製品、全粒穀類、緑黄色野菜、豆類や海藻です。西欧諸国のベジタリアン成人は、一般的に、雑食者より少し低いリボフラビン摂取量ですが⁷⁷⁾、それでも、U.S.RDAs（男性で 1.3 mg、女性で 1.1 mg）を越えた摂取量です。ビーガンは、雑食者や LOVs よりリボフラビン摂取は低いとしばしば報告されていますが、一般的には適正な状態にあります⁷⁸⁾。カリフォルニアの老婦人の研究では、ラクト・ベジタリアンは、雑食者（1.36 mg/日）よりやや高いリボフラビン摂取（1.46 mg/日）との報告がありました³³⁾。10代の多くは、粗末な食事のために下限のリボフラビン摂取状態です。10代のカナダ人で軽度のラクト・ベジタリアンとセミ・ベジタリアンは、雑食者より不適切なりボフラビン摂取でした⁴⁸⁾。

9. ヨウ素

ヨウ素欠乏障害は、今日の米国では大変にまれです。しかし、ヨウ素摂取は過去2世紀に渡り実質的に低下してきていると国民栄養調査は明らかにしました。ヨウ素の U.S.RDA は 150 µg/日で、2 g のヨウ素添加食塩とケルプ錠1粒で充足できます。ヨウ素添加食塩と海藻に加え、ヨウ素の十分な量を提供できる食品は、乳製品とベーカリー製品です。乳製品企業は牛乳加工装置の洗浄にヨウ素を含む洗浄剤を使用し、パン製造企業はヨウ素を含むこね粉の安定剤を使用しています。

LOVs が、一般の人よりヨウ素欠乏の高いリスクがあるという科学的証拠はありません。

ビーガンはヨウ素摂取が少ないという数件の研究が示唆していますが、ビーガンの中にヨウ素欠乏があるという科学的証拠はありません。ビーガンの平均ヨウ素摂取は推奨値より、明らかに低いというヨーロッパの2件の研究があります^{138, 139)}。低ヨウ素摂取に加えて、ある種の食品はヨウ素の生体利用率を変化させます。ヨウ素の利用率を低下させる抗甲状腺物質が、ナッツ、アブラナ科野菜、雑穀、リマ豆、スイートポテトや大豆製品等の多くのベジタリアンが常食にしている食品に含まれています。LOV のヨウ素摂取は低いようには見えませんが、ビーガンは、不適切なヨウ素の状態にならないように、定期的にヨウ素添加食塩や海藻を取ることが賢明と言えます。

10 高齢者

37 人の老婦人の研究で、ベジタリアンは、豊富にビタミンやミネラルを摂取していると見られていました³³⁾。しかし、非ベジタリアンとベジタリアン双方共、カルシウム、亜鉛、ビタミン B₆ やビタミン E 等の鍵となる栄養素の欠乏のリスクがあります。ベジタリアンのビタミン D とビタミン B₁₂ 欠乏には有意差があるようです。ベジタリアンと非ベジタリアンの高齢者全ての栄養状態について、特に、ビタミン D、B₁₂、カルシウム、亜鉛や葉酸に注意を払い、個別に検査すべきです。ビタミン B₁₂ の検査は、小腸の萎縮による貧血や認知症、内因子の不足や無塩酸症のリスクが増加するので、特に、老人病の患者にとっては重要です。認知症のある高齢者は有意にビタミン B₁₂ 欠乏が見られます¹¹⁷⁾。

11 まとめ

ベジタリアン食は、通常、十分な量のカリウム、葉酸、マグネシウム、マンガン、銅、繊維、

ビタミン C, E, K や A (カロテノイド) を含んでいます。ベジタリアン食の組成は様々なタイプがあるので、栄養問題はそれぞれによって異なります。適切に設計されたビーガンと LOV 食は栄養学的にも問題ありません。しかし、厳格なマクロビオティック食等のベジタリアン食には、顕著な栄養学的問題が存在します。ラクト・オボ・ベジタリアンとビーガンは十分なたんぱく質を摂取する傾向があります。ベジタリアン食は生体利用率の低い非ヘム鉄ですが、バランスが良いので、鉄欠乏のリスク増大とは相関していません。ベジタリアン女性、特にビーガンは、雑食者より亜鉛摂取が少なく、おそらく低亜鉛状態の傾向にあります。しかし、ベジタリアン男性、LOV とビーガン双方の亜鉛摂取は適正のようです。ビーガン女性は亜鉛の豊富な食品の摂取を増やすべきです。

西欧諸国では、適正な骨密度の達成の為に、カルシウムを十分摂取することに関心が高まっています。ラクト・オボ・ベジタリアン食は、乳製品を定期的に摂取している場合は、カルシウム欠乏にはならないようです。ビーガン食は、十分にカルシウムを含むように適正に設計され

る必要があります。特に、白人やアジア人の女性ベジタリアンは、栄養状態を適正な状態に維持する為に、カルシウム強化食品やサプリメントを摂取する必要があるかも知れません。ベジタリアンは、日光、牛乳等のビタミン D 強化食品、多くの豆乳や朝食シリアルからビタミン D を摂取することが可能です。北方地域に住むベジタリアンは、特に、日光を浴びる時間が制限される場合には、冬の期間、ビタミン D のサプリメントを摂取した方が良いかも知れません。定期的に乳製品やビタミン B₁₂ 強化食品を摂取しているベジタリアンは、適正なビタミン B₁₂ の状態を保持しています。ビーガンは、ビタミン B₁₂ 強化食品を摂らない場合には、ビタミン B₁₂ のサプリメントを毎日摂取した方が良いかも知れません。多くのベジタリアンはヨウ素の摂取が少ないと初期の研究は示していますが、これは、ヨウ素添加食塩を日常的に使用することで改善は可能です。望ましい健康の為に、ベジタリアン高齢者は、ビタミン D とビタミン B₁₂ を十分に摂取することに、特に注意は払う必要があります。

・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 参考文献 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・

1. Messina, V.K. and Burke, K.I. Position of the American Dietetic Association: vegetarian diets. *J. Am. Diet. Assoc.*, **97**: 1317, 1997.
2. Thorogood, M., Carter, R., Benfield, L., MvPherson, K., and Mann, J.I. Plasma lipids cholesterol and Lopoprotein choleresterol concentrations in people with different diets in Britain. *Br. Med. J. (Clin. Res. ed.)*, **295**: 351, 1987.
3. Weaver, C.M., and Plawewski, K.L. Dietary calcium: adequacy of a vegetarian diet. *Am. J. Clin. Nutr.*, **59**: 1238s, 1994.
4. Parsons, T.J., van Dusseldorp, M., van der Vliet, M., van de Werken, K., Schaafsma, G., and van Staveren, W.A. Reduced bone mass in Dutch adolescents fed a macrobiotic diet in early life. *J. Bone Miner. Res.*, **12**: 1486, 1997.
5. Zmora, E., Gorodischer, R., and Bar-Ziv, J. Multiple nutritional deficiencies in infants from a strict vegetarian community. *Am. J. Dis. Child.*, **133**: 141, 1979.
6. Rauma, A.L., Nenonen, M., Helve, T., and Hanninen, O. Effect of a stricy vegan diet on energy and nutrient intakes by Finnish rheumatoid patients. *Eur. J. Clin. Nutr.*, **47**: 747, 1993.
7. Hardings, M. Nutritional studies of vegetarians. *Am. J. Clin. Nutr.*, **2**: 73, 1943.
8. Young, V.R., and Pellet, P.L. Plant protein in relation to human protein and amino acid nutrition. *Am. J. Clin. Nutr.*, **59**: 120s, 1994.
9. Messina, M., and Messina, V. *The Dietitian's Guide to Vegetarian Diets. Issues and Applications*. Aspen, Gaithersburg, 1996.
10. Dallman, P. Biochemical basis for the manifestations of iron deficiency. *Am. Rev. Nutr.*, **6**: 13, 1986.
11. DeMaeyer. The prevalence of anemia in the world. *World Health Stat. Q.*, **38**: 302, 1985.

12. Herbert, V. Recommended dietary intakes (RDI) of iron in humans. *Am. J. Clin. Nutr.*, **45**: 679, 1987.
13. Baynes, R. D., and Bothwell, T. H. Iron deficiency. *Annu. rev. nutr.*, **10**: 133, 1990.
14. Cook, J. D., and Lynch, S. R. The liabilities of iron deficiency. *Blood*, **68**: 803, 1986.
15. Dallman, P. Iron deficiency: Does it matter? *J. Int. Med.*, **226**: 367, 1989.
16. Dallman, P. Present knowledge in nutrition. In: Iron. Brown, M. (Ed), ILSI-Nutrition Foundation, Washington, D.C., 1990.
17. Charlton, R. W., and Bothwell, T. H. Iron absorption. *Annu. Rev. Med.*, **34**: 55, 1983.
18. Finch, C. A. and Cook, J. D. Iron deficiency. *Am. J. Clin. Nutr.*, **39**: 471, 1984.
19. Monsen, E. R. Iron nutrition and absorption: dietary factors which impact iron bioavailability. *J. Am. Diet. Assoc.*, **88**: 786, 1988.
20. Hallberg, L. Bioavailability of dietary iron in man. *Annu. Rev. Nutr.*, **1**: 123, 1981.
21. Cook, J. D. and Monsen, E. R. Vitamin C, the common cold, and iron absorption. *Am. J. Clin. Nutr.*, **30**: 235, 1977.
22. Disler, P. B., Lynch, S. R., Charlton, R. W., Torrance, J. D., Bothwell, T. H., Walker, R. B., and Mayet, F. The effect of tea on iron absorption. *Gut*, **16**: 193, 1975.
23. Gillooly, M., Bothwell, T. H., Torrance, J. D., Macphail, A. P., Derman, D. P., Bezwoda, W. R., Mills, W., Charlton, R. W., and Mayet, F. The effect of organic acids, Phytates and Polyphenols on the absorption of iron from vegetables. *Br. J. Nutr.*, **49**: 331, 1983.
24. Mork, T. A., Lynch, S. R., and Cook, J. D. Inhibition of food iron absorption by coffee. *Am. J. Clin. Nutr.*, **37**: 416, 1983.
25. Brune, M., Rossander, L., and Hallberg, L. Iron absorption and phenolic compounds: importance of different phenolic structures. *Eur. J. Clin. Nutr.*, **43**: 547, 1989.
26. El-Guindi, M., Lynch, S., and Cook, J. Iron absorption from fortified flat breads. *Br. J. Nutr.*, **59**: 205, 1988.
27. Macfarlane, B. J., van der Riet, W. B., Bothwell, T. H., Baynes, R. D., Siegenberg, D., Schmidt, U., Tal, A., Taylor, J. R., and Mayet, F. Effect of traditional oriental soy products on iron absorption. *Am. Clin. Nutr.*, **51**: 873, 1990.
28. Hallberg, L., Brune, M., and Rossander, L. Iron absorption in man: ascorbic acid and dose-dependent inhibition by phytate. *Am. J. Clin. Nutr.*, **49**: 140, 1989.
29. Macfarlane, B. J., Bezwoda, W. R., Bothwell, T. H., Baynes, R. D., Bothwell, J. E., Macphail, A. P., Lamparelli, R. D., and Mayet, F. Inhibitory effect of nuts on iron absorption. *Am. J. Clin. Nutr.*, **47**: 270, 1988.
30. Hallberg, L., and Rossander, L. Effect of soy protein on non-heme iron absorption in man. *Am. J. Clin. Nutr.*, **36**: 514, 1982.
31. Hallberg, L., and Rossander, L. Improvement of iron nutrition in developing countries: comparison of adding meat, soy protein, ascorbic acid, citric acid, and ferrous sulphate on iron absorption from a simple Latin American-type of meal. *Am. J. Clin. Nutr.*, **39**: 577, 1984.
32. Reddy, S., and Sanders, T. A. Haematological studies on premenopausal Indian and Caucasian vegetarians compared with Caucasian omnivores. *Br. J. Nutr.*, **64**: 331, 1990.
33. Nieman, D. C., Underwood, B. C., Sherman, K. M., Arabatzis, K., Barbosa, J. C., Johnson, M., and Shultz, T. D. Dietary status of Seventh-Adventist vegetarian and non-vegetarian elderly women. *J. Am. Diet. Assoc.*, **89**: 1763, 1989.
34. Latta, D. Iron and zinc status of vegetarian and non-vegetarian males. *Nutr. Rep. Int.*, **141**, 1984.
35. Anderson, B. M., Gibson, R. S., and Sabry, J. H. The iron and zinc status of long-term vegetarian women. *Am. J. Clin. Nutr.*, **34**: 1042, 1981.
36. Armstrong, B. K., Davis, R. E., Nicol, D. J., van Merwyk, A. J., and Larwood, C. J. Hematological, vitamin B₁₂, and folate studies on Seventh-Day Adventist vegetarians. *Am. J. Clin. Nutr.*, **27**: 712, 1974.
37. Sanders, T. A., Ellis, F. R., and Dickerson, J. W. Haematological studies on vegans. *Br. J. Nutr.*, **40**: 9, 1978.
38. Kim, Y. M. S. University of Massachusetts (1988)
39. Dwyer, J. T., Dietz, W. H., Jr., Andrews, E. M., and Suskind, R. M. Nutritional status of vegetarian children. *Am. J. Clin. Nutr.*, **35**: 204, 1982.
40. Salonen, J. T., Nyyssonen, K., Korpela, H., Tumorlehto, J., Seppanen, R., and Salonen, R. High stored iron levels are associated with excess risk of myocardial infarction in eastern Finnish men. *Circulation*, **86**: 803, 1992.
41. Prasad, A. Nutritional zinc today. *Nutr. Today*, **16**: 4, 1981.
42. North, K., and Golding, J. A. A maternal vegetarian diet in pregnancy is associated with hypospadias. The ALSPAC Study Team. Avon Longitudinal Study of Pregnancy and Childhood. *Bj. U. Int.*, **85**, 107, 2000.
43. Gibson, R. S. Content and bioavailability of trace elements in vegetarian diets. *Am. J. Clin. Nutr.*, **59**: 1223s, 1994.
44. Gibson, R. S., Donovan, U. M., and Heath, A. L. Dietary strategies to improve the iron and zinc nutrition of young women following a vegetarian diet. *Plant Foods Hum. Nutr.*, **51**: 1, 1997.

45. Hunt,J.R.,Matthys,L.A.,and Johnson,L.k. Zinc absorption, mineral balance, and blood lipids in women consuming controlled lacto-ovo-vegetarian and omnivorous diets for 8 wk. *Am.J.Clin.Nutr.*,**67**: 421, 1998.
46. Kies,C.,Young,E.,and Mcendree,L. Zinc bioavailability from vegetarian diets. In: *Nutritional Bioavailability of Zinc*, Vol.210.Inglett,G.E.(Ed),American Chemical Society,Washington,D.C.,1983.
47. Ball,M.J.,and Ackland,M.L. Zinc intake and status in Australian vegetarians: *Br.J.Nutr.*,**83**: 27, 2000.
48. Donovan,U.M.,and Gibson,R.S. Dietary intakes of adolescent females consuming vegetarian, semi-vegetarian, and omnivorous diets. *J.Adoles.Hlth.*,**18**: 292, 1996.
49. Lowik,M.R.,Schrijver,J.,Odink,J.,van den Berg,H.,and Wedel,M. Long-term effects of a vegetarian diet on the nutritional status of elderly people(Dutch Nutrition Surveillance System). *J,Am.Coll.Nutr.*,**9**: 600, 1990.
50. Looker,A.C.,Johnston,C.C.,Jr.,Wahner,H.W.,Dunn,W.I.,Calvo,M.S.,Harris,T.B.,Heyse,S.P.,and Lindsay,R.L. Prevalence of low femoral bone density in older U.S. women from NHANES III. *J.Bone Miner.Res.*,**10**: 796, 1995.
51. NIH. Osteoporosis Prevention,Diagnosis, and Therapy. Vol.2000(NIH Consensus Statement 2000,2000)
52. Graig,W.J. Nutrition and Wellness. A Vegetarian Way to Better Health. Golden Harvest Books, Berrien Springs,Michigan,1999.
53. Barzel,U.S.,and Massey,L.K. Excess dietary protein can adversely affect bone. *J.Nutr.*,**128**: 1051, 1998.
54. Massey,L.K.Does excess dietary protein adversely affect bone? Symposium overview. *J.Nutr.*,**128**: 1048, 1998.
55. LinkswillerH.M.,Zemel,M.B.,Hegsted,M.,and Schuette,S. Protein-induced hypercalcuria. *Fed.Pro.*,**40**: 2429, 1981.
56. Licatta,A.A.,Bou,E., Bartter,F.C.,and West,F. Acute effect of dietary protein on calcium metabolism in patients with osteoporosis.*J.Gerontol.*,**36**: 14, 1981.
57. Heaney,R.P. Protein intake and the calcium economy. *J.Am.Diet.Assoc.*,**93**: 1259, 1993.
58. Mcbean,L.D.,Forgac,T.,and Finn,S.C.Osteoporosis: visions for care and prevention-a conference report. *J.Am. Diet.Assoc.*,**94**: 668, 1994.
59. Hegsted,D.M. Calcium and osteoporosis.*J.Nutr.*,**116**: 2316, 1986.
60. Feskanich,D.,Willet,W.C.,Stampfer,M.J.,and Colditz,G.A. Milk,dietary calcium,and bone fracture in women: 12-year prospective study. *Am.J. Public Health*,**87**: 992, 1997.
61. Nielson,F.,Mullen,L.,and Gallagher,S. Effect of boron depletion and repletion on blood indicators of calcium status in humans fed a magnesium-low diet. *J.Trace Elem. Exp.Med.*,**3**: 45, 1990.
62. Nielsen,F.Boron-An overlooked element of potential nutritional importance. *Nutr.Today*,**23**: 4, 1988.
63. Berkellhammer,C.H.,Wood,R.J.,and Sitrin,M.D. Acetate and hypercalciuria during total parenteral nutrition. *Am.J.Clin.Nutr.*,**48**: 1482, 1988.
64. Sebasitian,A.,Harris,S.T.,Ottaway,J.H.,Todd,K.M.,and Morris,R.C. ,Jr. Improved mineral balance and skeletal metabolism in postmenopausal women treated with potassium bicarbonate [see comments]. *N.Engl.J.Med.*,**330**: 1776, 1994.
65. Feskanich,D.,Weber,P.,Willet,W.C.,Rockett,H.,Booth,S.L.,and Colditz,G.A. Vitamin K intake and hip fractures in women: a prospective study. *Am.J.Clin.Nutr.*,**69**: 74, 1999.
66. Breslau,N.A.,Brinkley,L.,Hill,K.D.,and Pak,C.Y. Relationship of animal-protein-rich diet to kidney stone formation and calcium metabolism. *J.Clin.Endocrinol.Metab.*,**66**: 140, 1988.
67. Ball,D.,and Maughan,R.J. Blood and urine acid-base status of premenopausal omnivorous and vegetarian women. *Br.J.Nutr.*,**78**: 683, 1997.
68. Feskanich,D.,Willet,W.C.,Stampfer,M.J.,and Colditz,G.A. Protein consumption and bone fractures in women. *Am.J.Epidemiol.*,**143**: 472, 1996..
69. Marsh,A.G.,Sanchez,T.V.,Midkelsen,O.,Keiser,J.,and Mayor,G. Cortical bone density of adult LOV and omnivorous women.*J.Am.Diet.Assoc.*,**76**: 148, 1980.
70. Tylavsky,F.A.,and Anderson,J.J. Dietary factors in bone health of elderly lacto-ovo-vegetarian and omnivorous women.*Am.J.Clin.Nutr.*,**48**: 842, 1988.
71. Reed,J.A.,Anderson,J.J.,Tylavsky,F.A.,and Gallagher,P.N.,Jr. Comparative changes in radial-bone density of elderly female lacto-ovo-vegetarians and omnivorous[published erratum appears in *Am.J.Clin.Nutr.*,1994,Dec; 60(6):981].*Am.J.Clin.Nutr.*,**59**: 1197s, 1994.
72. Tesar,R.,Notelovitz,M.,Shim,E.,Kauwell,G.,and Brown,J. Axial and peripheral bone density and nutrient intakes of posmenoposal vegetarian and omnivorous women.*Am.J.Clin.Nutr.*,**56**: 699, 1992.
73. Lloyd,T.,Schaeffer,J.M.,Walker,M.A.,and Demers,L.M. Urinary hormonal concentrations and spinal bone densities of premenopausal vegetarian and non-vegetarian women[published erratum appears in *Am.J.Clin.*

- Nutr.*, 1992 Nov;56(5):954]. *Am.J.Clin.Nutr.*, **54**: 1005, 1991.
74. Barr, S.I., Prior, J.C., Janelle, K.C., and Lnetle, B.C. Spinal bone mineral density in premenopausal vegetarian and non-vegetarian women. cross-sectional and prospective comparisons. *J.Am.Diet.Assoc.*, **98**: 760, 1998.
 75. Lau, E.M., Kwok, T., Woo, J., and Ho, S.C. Bone mineral density in Chinese elderly female vegetarians, vegans, lacto-vegetarians, and omnivores. *Eur.J.Clin.Nutr.*, **52**: 60, 1998.
 76. Calkins, B.M., Whittaker, D.J., Nair, P.P., rider, A.A., and Turjman, N. Diet, nutrition intake, and metabolism in populations at high and low risk for colon cancer. Nutrient intake. *Am.J.Clin.Nutr.*, **40**: 896, 1984.
 77. Janelle, K.C., and Barr, S.I. Nutrient intakes and eating behavior scores of vegetarian and non-vegetarian women. *J.Am.Diet.Assoc.*, **95**: 180, 1995.
 78. Mejia, A.M.S. Thesis, Loma Linda University, CA, 1994.
 79. Chiu, J.F., Lan, S.J., Yang, C.Y., Wang, P.W., Yao, W.J., Su, L.H., and Hsieh, C.C. Long-term vegetarian diet and bone mineral density in postmenopausal Taiwanese women. *Calcif.Tissue Int.*, **60**: 245, 1997.
 80. Eriksen, E.F., Colvard, D.S., Berg, N.J., Graham, M.L., Mann, K.G., Spelsberg, T.C., and riggs, B.L. evidence of estrogen receptors in normal human osteoblast-like cells. *Science*, **241**: 84, 1988.
 81. Stchell, K.D. Phytoestrogens: the biochemistry, physiology, and implications for human health of soy isoflavones. *Am.J.Clin.Nutr.*, **68**: 1333s, 1998.
 82. Setchell, K.D., and Cassidy, A. Dietary isoflavones: biological effects and relevance to human health. *J.Nutr.*, **129**: 758s, 1999.
 83. Arjmandi, B.H., Birnbaum, R., Goyal, N.V., Hetlinger, M.J., Juma, S., Akekel, L., Hasler, C.M., Drum, M.L., Hollis, B.W., and Kukreja, S.C. Bone-sparing effect of soy protein in ovarian hormone-deficient rats is related to its isoflavone content. *Am.J.Clin.Nutr.*, **68**: 1365s, 1998.
 84. Potter, S.M., Baum, J.A., teng, H., Stillman, R.J., Shay, N.F., and Erdman, J.W. ,Jr. Soy protein and isoflavones: their effects on blood lipids and bone density in postmenopausal women. *Am.J.Clin.Nutr.*, **68**: 1375s, 1998.
 85. Ishimi, Y., Miyaara, C., Ohmura, M., Onoe, Y., Sato, T., Uchiyama, Y., Ito, M., Wang, X., Suda, T., and Ikegami, S. Selective effects of genistein, a soybean isoflavone, on B-lymphopoiesis and bone loss caused by estrogen deficiency. *Endocrinology*, **140**: 1893, 1999.
 86. Anderson, J.J., Ambrose, W.W., and Garner, S.C. Biphasic effects of genistein on bone tissue in the ovariectomized, lactating rat model. *Proc.Soc.Exp.Bio.Med.*, **217**: 345, 1998.
 87. Guzzo, J.A. Selective estrogen receptor modulators-a new age of esrogens in cardiovascular disease? *Clin. Cardiol.*, **23**: 15, 2000.
 88. Shen, F., Xue, X., and Weber, G. Tamoxifen and genistein synergistically down-regulate signal transduction and proliferation in estrogen receptor-negative human breast carcinoma MDA-MB-435 cells. *Anticancer Res.*, **19**: 1657, 1999.
 89. Zava, D.T., and Duwe, G. Estrogenic and antiproliferative properties of genistein and other flavonoids in human breast cancer cells *in vitro*. *Nutr.Cancer.*, **27**: 31, 1997.
 90. Dagnelie, P.C., Vergote, F.J., van Staveren, W.A., van den Berg, H., Dingjan, P.G., and Hautvast, J.G. High prevalence of rickets in infants on macrobiotic diets. *Am.J.Clin.Nutr.*, **51**: 202, 1990.
 91. Dwyer, J.T., Dietz, W.H., Jr., Hass, G., and Suskind, R. Risk of nutritional rickets among vegetarian children. *Am.J.Dis. Child.*, **133**: 134, 1979.
 92. Van Staveren, W.A., Dhuyvetter, J.H., Bons, A., Zeelen, M., and Hautvast, J.G. Food consumption and height-weight status of Dutch preschool children on alternative diets. *J.Am.Diet.Assoc.*, **85**: 1579, 1985.
 93. Specker, B.L. Nutritional concerns of lactating women consuming vegetarian diets. *Am.J.Clin.Nutr.*, **59**: 1182s, 1994.
 94. Gallagher, J.C., Goldgar, D., and Moy, A. Total bone calcium in normal women: effect of age and menopause status. *J.Bone Miner.Res.*, **2**: 491, 1987.
 95. Hosking, D.J., Ross, P.D., Thompson, D.E., Wasnich, R.D., McClung, M., Bjarnason, N.H., Ravn, P., Cizza, G., Daley, M., and Yates, A.J. Evidence that increased calcium intakes does not prevent early postmenopausal bone loss. *Clin. Ther.*, **20**: 933, 1998.
 96. Dawson-Hughes, B., Dallal, G.E., Krall, E.A., Sadowski, L., Sahyoun, N., and Tannenbaum, S. A controlled trial of the effect of calcium supplementation on bone density in postmenopausal women. *N.Engl.J.Med.*, **323**: 878, 1990.
 97. Lau, E.M., Woo, J., Leung, P.C., Swaminathan, R., and Leung, D. The effects of calcium supplementation and exercise on bone density in elderly Chinese women. *Osteopor.Int.*, **2**: 168, 1992.
 98. USDA. USDA nutrient database for standard reference, release 13. Nutrient data laboratory bone page 1999.

99. Heaney,R.P.,and Weaver,C.M. Calcium absorption from kale.*Am.J.Clin.Nutr.*,**51**: 656, 1990.
100. Heaney,R.P.,Weaver,C.M.,and Recker,R.R. Calcium absorbability from spinach.*Am.J.Clin.Nutr.*,**47**: 707, 1988.
101. Weaver,C.M.,Heaney,R.P.,Teegarden,D.,and Hinders,S.M. Wheat bran abolishes the inverse relationship between calcium load size and absorption traction in women.*J.Nutr.*,**126**: 303, 1996.
102. Heaney,R.P.,Weaver,C.M.,and Fitzsimmons,M.L. Soybean phytate content:effect on calcium absorption. *Am.J.Clin.Nutr.*,**53**: 745, 1991.
103. Bourgoignie,B.P.,Evans,D.R.,Cornet,J.R.,Lingard,S.M.,and Quattone,A.J.Lead content in 70 brands of dietary calcium supplements. *Am.J.Public Health*,**83**: 1155, 1993.
104. Harvey,J.Superior calcium absorption from calcium citrate than calcium carbonate using external forearm counting. *J.Am.Coll.Nutr.*,**9**: 583, 1990.
105. Heller,H.J.,Stewart,A.,Haynes,S.,and Pak,C.Y. Pharmacokinetics of calcium absorption from two commercial calcium supplements. *J.Clin.Pharmacol.*,**39**: 1151, 1999.
106. Recker,R.R.,Bammi,A.,Barger-Lux,M.J.,and Heaney,R.P. Calcium absorbability from milk products,an imitation milk,and calcium carbonate.*Am.J.Clin.Nutr.*,**47**: 93, 1988.
107. Webb,A.R.,Kline,L.,and Holick,M.L. Influence of season and latitude on the cutaneous synthesis of vitamin D₃: exposure to winter sunlight in Boston and Edmonton will not promote vitamin D₃ synthesis in human skin.*J.Clin. Endocrinol.Metab.*,**67**: 373, 1988.
108. Abelow,B.J.,Holford,T.R.,and Insoaga,K.L. Cross-cultural association between dietary animal protein and hip fracture: a hypothesis. *Calcif.Tissue.Int.*,**50**: 14, 1992.
109. Mackenna,M.J. Differences in vitamin D status between countries in young adults and the elderly. *Am.J.Med.*,**93**: 69, 1992.
110. Dawson-Hughes,B.,Harris,S.S.,Krall,E.A.,Dallal,G.E.,Falconer,G.,and Green,C.L. Rates of bone loss in postmenopausal women randomly assigned to one of two dosages of vitamin D.*Am.J.Clin.Nutr.*,**61**: 1140, 1995.
111. Outila,T.A.,Karkkainen,M.U.,Seppanen,R.H.,and Lamberg-Allardt,C.J. Dietary intake of vitamin D in premenopausal, healthy vegans was insufficient to maintain concentrations of serum 25-hydroxyvitamin D and intact parathyroid hormone within normal ranges during the winter in Finland.*J.Am.Diet.Assoc.*,**100**: 434, 2000.
112. Lamberg-Allardt,C.,Karkkainen,M.,Seppanen,R.,and Bistrom,H. Low serum 25-hydroxyvitamin D concentrations and secondary hyperparathyroidism in middle-aged white strict vegetarians. *Am.J.Clin.Nutr.*,**58**: 684, 1993.
113. Alexander,D.,Ball,M.J.,and Mann,J. Nutrient intake and haematological status of vegetarians and age-sex-matched omnivores.*Eur.J.Clin.Nutr.*,**48**: 538, 1994
114. Herbert,V. Recommended dietary intakes(RDI) of vitamin B-₁₂ in humans.*Am.J.Clin.Nutr.*,**45**: 671, 1987.
115. Herbert,V. Vitamin B-₁₂:plant sources, requirements, and assay.*Am.J.Clin.Nutr.*,**48**: 852, 1988.
116. Kuzminski,A.M.,Del, Giacco,E.J.,Allen,R.H.,Staler,S.P.,and Lindenbaum,J. Effective treatment of cobalamin deficiency with oral cobalamin. *Blood*,**92**: 1191, 1998.
117. Kwok,T.,Tang,C.,Woo,J.,Lai,W.K.,Law,L.K.,and Pnag,C.P. Randomized trial of the effect of supplementation on the cognitive function of older people with subnormal cobalamin levels.*Int.J.GeriatrPsychiatry*,**13**: 611, 1998.
118. Lindenbaum,J.,Healton,E.B.,Savage,D.G.,Brust,J.C.,Garrett,T.J.,Podell,E.R.,Marcell,P.D.,Stabler,S.P.,and Allen,R.H. Neuropsychiatric disorders caused by cobalamin deficiency in the absence of anemia or macrocytosis. *N.Engl. J.Med.*,**318**: 1720, 1988.
119. Lindenbaum,J.,Rosenberg,I.H.,Wilson,P.W.,Stabler,S.P.,and Allen,R.H. Prevalence of cobalamin deficiency in the Framingham elderly population [see comments]. *Am.J.Clin.Nutr.*,**60**: 2, 1994.
120. Bar-Sella,P.,Rakover,Y.,and Ratner,D. Vitamin B-₁₂ and folate levels in long-term vegans. *Isr.J.Med Sci.*,**26**: 309, 1990.
121. Immerman,A. VitaminB-₁₂ status on a vegetarian diet. A critical review . *World Rev.Nutr.Diet.*,**37**: 38, 1981.
122. Campbell,M.,Lofthers,W.S.,and Gibbs,W.N. Rastafarianism and the vegans syndrome.*Br.Med.J.(Clin.Res.ed)*,**285**: 1617, 1982.
123. Jones,S.J.,Yu,Y.L.,Rudge,P.,Kriss,A.,Gilois,C.,Hirani,N.,Nijhawan,R.,Norman,P.,and Will,R. Central and peripheral SEP defects in neurologically symptomatic and asymptomatic subjects with low vitamin B-₁₂ levels. *J.Neurol.Sci.*,**82**: 55, 1987.
124. Miller,D.R.,Specker,B.L.,Ho,M.L.,and Norman,E.J. Vitamin B-₁₂ status in a macrobiotic community. *Am.J.Clin. Nutr.*,**53**: 524, 1991.
125. Ellis,F. The treatment of dietary deficiency of B-₁₂ with vegetable protein food. *Nutrition et Dieta*,**9**: 81, 1967.
126. Dong,A. Serum vitamin B-₁₂ and blood cell values in vegetarians. *Am.Nutr.Metab.*,**26**: 209, 1982.

127. Crane,M. Vitamin B-₁₂ in a group of vegans. *Am.J.Clin.Nutr.*,**48**: 927, 1988.
128. Baker,S. Evidence regarding the minimal daily requirements of dietary vitamin B-₁₂. *Am.J.clin.Nutr.*,**34**: 2423, 1981.
129. Stewart,J. Response of dietary vitamin B-₁₂ deficiency to physiological oral doses of cyanocobalamin.*Lancet*,**2**, 1970.
130. Roberts,P.D.,James,H.,Petrie,A.,Morgan,J.O.,and Hoffbrand,A.V. Vitamin B-₁₂ status in pregnancy among immigrants to Britain.*Br.Med.J.*,**3**: 67, 1973.
131. Sanders,T. Growth and development of British vegan children.*Am.J.Clin.Nutr.*,**48**: 822, 1988.
132. Davis,J. Nutritional B-₁₂ deficiency in infants. *Am.J.Dis Child.*,**135**: 566, 1981.
133. Doyle,J.,Langerin,A.,and Zipursky,A. Nutritional vitamin B-₁₂ deficiency in infancy: three case reports and a review of the literature. *Pediatr.hematol.Oncol.*,**6**: 161, 1989.
134. Specker,B.,and Miller,D. Increase urinary methymalonic acid excretion in breast fed infants of vegetarian mothers and identification of an acceptable dietary source of vitamin B-₁₂.1988.
135. Dagnelie,P.,van Staveren,W.,and van denBerg,H. Vitamin B-₁₂ from algae appears not to be available. *Am.J.Clin.Nutr.*,**53**: 695, 1991.
136. Slot,W.,Merkus,F.,and Van Deventer,S. Normalization of plasma vitamin B-₁₂ concentration by intranasal hydroxocobalamin in vitamin B-₁₂ deficient patients. *Gastroenterology*,**113**: 430, 1997.
137. Lightowler,H.J.,and Davies,G.J. Iodine intake and iodine deficiency in vegans as assessed by the duplicate-portion technique and urinary iodine excretion. *Br.J.Nutr.*,**80**: 529, 1998.
138. Draper,A.,Lewis,J.,Malhotra,N.,and Wheeler,E. The energy and nutrient intakes of different types of vegetarian: a case for supplement? [published erratum appears in *Br.J.Nutr.*,1993 Nov;70(3):812].*Br.J.Nutr.*,**69**: 3, 1993.
139. Abdulla,M.,Andersson,I.,Asp,N.G.,Berthelsen,K.,Birkhed,D.,Dencker,I.,Johansson,C.G.,Jagerstad,M.,Kolar,K.,Nair,B.M.,Nilsson-Ehle,P.,Norden,A.,Rassner,S.,Akesson,B.and Ockerman,P.A. Nutrient intake and health status of vegans. Chemical analyses of diets using the duplicate portion sampling technique.*Am.J.clin.Nutr.*,**34**: 2464, 1981.
140. USDA-IOWA State University Database on Isoflavone Content of Foods, Release 1,1-1999.(1999).

酒とアロマでアンチエイジング

Drinking alcoholic beverage and sniffing aroma make us anti-aging

佐藤 和恵 (SATO Kazue)

昭和大学医学部顕微解剖学

Department of Anatomy, School of Medicine,
Showa University, Tokyo, Japan

Key Words：ストレス・アロマセラピー・お酒・アンチエイジング

Abstract

In the recent stressful society, aroma and alcoholic beverage are essential to scavenge harmful radicals and reduce the stress, and finally make us happy.

ストレスの多い現代社会において、アロマセラピーに対する関心が高まり、病気の治療効果が期待されています。最近、アロマセラピーに興味をもち、少し研究も始めました。アロマオイル（精油）の抗酸化能については、化学的にきちんとした測定が余りなされていないので、老後のライフワークにと思っています。ラベンダーやティートリーの香りを嗅ぐと免疫活性の指標であるイムノグロブリンAが唾液中で増加します。ラベンダーは、個人の香りに対する好き嫌いに拘らず、リラクゼーション効果のある脳波のα波の出現率を高めます。また、ジャスミン、ティートリーやサンダルウッドは、その香りを好きだと感じる人にも、α波の出現率を高めます。ラベンダーは皮膚中で産生する活性酸素のみならず自然に生成される活性酸素を消去します。これらの実験事実、アロマおよびそのエキスが、紫外線による皮膚障害のみならず、皮膚の老化をも抑制する可能性を示唆しています。精油を嗅ぐことで、認知症の予防や治療になることもわかってきました。最近、「畳」（イグサ）の香りが良い効能を示すことを発見しました。イグサの匂いを嗅ぐと、体内の抗酸化能が上昇し、ストレスホルモンであるコルチゾール値が低下しました。イグサは抗菌効果もあるし、食べても嗅いでも良いのですが、畳のある家が少なくなってしまったことは淋しい限りです。老人の転倒予防には畳が良いようで、我が家も私の部屋だけは畳です。

お酒大好きですが、妹二人は全く飲めません。父親は、お酒好きの遺伝子を、私にだけ与えてくれたようです。お酒の席で、ついついこの酒はどうだとか、うちをよく言っていたせいか、最近、お酒に関する講演を頼まれることが多くなり

ました。お酒の良いところをと色々と調べて行くうちに、「アンチエイジング」にも良いのではと思うようになりました。

ワインも日本酒も皆、独特の香りを持っています。ワイン（赤、白）、日本酒、ビール（発泡酒からモルツ系まで）、焼酎等々の抗酸化能を測定したところ、焼酎には余り抗酸化能はありませんが、ワインとビールには同程度の抗酸化能があることがわかりました。ビール好きの方には、ビールは3倍多く飲めますよ！また女性の方には、ビールは、美肌効果もあり、ホップは、女性ホルモン様作用もあるので、更年期障害による肩こりにもよいですよ！など。日本酒の好きな私は、日本酒の良いところも、色々調べました。日本酒には、100種以上の有効成分があります。そして、ストレスを解く（アデノシンの血管収縮阻止）、老化を防ぐ（フェルラ酸が老化の原因の活性酸素を除去）、冷え性に効果（血管拡張作用）、みずみずしい素肌の源（保湿効果）などなどの効能があります。このように適当な量のお酒は、身体に良いことが実証されています。日本酒の好みも、私自身、少しずつ変わって来たように思います。以前は、なかなか入手困難だった「鰯祭」が好きでしたが、最近は、辛口に凝っています。同じ銘柄のお酒でも、大吟醸、純米、純米吟醸で味は変わってきます。またこれは私のうるさい持論ですが、お酒の容器で味が変わっていると思います。甘口のお酒はガラス、辛口のお酒は陶器。飲兵衛仲間は、この私のうるさを許してくれており、この酒はどちらで飲む？と聞いてくれます。

お酒は「誰と飲む」かが一番大切だと私は思っています。嫌な人とはどんな美味しいお酒も不味いものです。現在、酸化ストレス学会、アロマセラピー学会、日本抗加齢学会、ビタミン学会、油化学会等々の色々な学会に所属しているお蔭で、たくさんの飲み仲間を得ることができました。学会の懇親会では、お酒が入るとリラックスして自然と話はずみ、楽しい時を過ごすことができます。こうして出来た沢山の友人は私の財産です。何人も加齢（エイジング）を避けることはできません。エイジングの原因は酸化ストレスや免疫能の低下、細胞機能の低下などいろいろですが、平等に誰にでも訪れます。ただ、早い遅いかで、いつまでも若い人、すっかり老け込む人と色々です。いま寿命の限界は110歳～120歳と言われています。老化を遅らせ、健やかに老いることが肝要です。寝たきりの状態で長生きしても無意味です。脳の老化を遅らせるためには脳を活性化するように努力することが大切です。この年齢まで生きて来て、後は人に迷惑をかけないように、ボケないようにと心がけておりますが、これから先どうなるか予知できません。ローズマリーやレモングラスなどの精油を嗅ぐことで、認知症の予防や治療になることが判ってきました。老化を遅らせ、認知症を予防し治療するメカニズムを解明することは、今後の興味ある研究課題です。さあ、皆様、酒とアロマでアンチエイジング、コミュニケーションを！

引用文献

- 1) Satoh K.: Free Radicals and aromatherapy, *Journal of Japanese Society of Aromatherapy*, **6**(1), 28-34, 2007.
- 2) Satoh K, Niitsu Y, Shioda S. *et al.*: Antioxidative Activity of Lavender and Lemon and these Interaction, *Journal of Japanese Society of Aromatherapy*, **9**(1), 43-47, 2010.
- 3) Satoh K, Otsuka M, Shioda S. *et al.*: Antioxidative Activity of Shiikuwasha (*Citrus depressa Hayata*) Juice, *Journal of Japanese Society of Aromatherapy*, **12**(1), 20-26, 2013.
- 4) Sakagami H, Amano S, Satoh K. *et al.*: Biological interaction between *Sasa senanensis* Rehder leaf extract and toothpaste ingredient. *In Vivo* **27**: 275-284, 2013.
- 5) Satoh K, Otsuka M, Shioda S. *et al.*: Investigation of Components of Lavender (*Lavandula angustifolia*) Oil Refining by Low Temperature Vacuum Extraction Method. *Journal of Japanese Society of Aromatherapy*, **13**(1), 24-30, 2014.
- 6) Hosaka S, Otsuka M, Satoh K. *et al.*: The Comparison of Antioxidant Activity of Eucalyptus Essential oil. *Journal of Japanese Society of Aromatherapy*, **14**(1), 2015 in press

白石カルシウムの炭酸カルシウム	
	古くから食品に使用されている安全性・吸収性に優れたカルシウム源です。用途も栄養強化はもちろんのこと、練製品の弾力増強などの品質改良、粉体の流動性向上・固結防止といった加工助剤などその目的は多彩です。
分散性・混合性に優れたものや、飲料用として沈澱を抑制したタイプ等、品揃えしております。 一般の栄養強化には、「ホワイトン」 機能を求めるならば、「コロカルソ」 飲料用には、スラリー状の「カルエッセン」 詳細につきましては、弊社営業担当にお気軽にお尋ね下さい。	
	食品部：東京都千代田区岩本町 1-1-8 TEL. 03-3863-8913 本社：大阪市北区同心 2-10-5 TEL. 06-6358-1181

築地市場魚貝辞典（イシダイ）

月日はめぐり、築地にまた夏がやってくる。以前にも書いたのであるが、築地市場の水産物仲卸店舗には空調設備がない。水産物は旨味成分を多く含む反面、鮮度の低下が早い。気温が高くなればなおさらである。仲卸店舗では氷を使っているが、店舗に出せなかったものなどを保管するために、築地市場でも大きな冷蔵庫が立ち並ぶ。今回は夏の魚、石鯛を紹介する。



一分類一

イシダイはスズキ目イシダイ科イシダイ属の魚である。スズキ目は毎度おなじみの、ふつうの魚のほとんどが含まれる大所帯である。その大家族の中でも歯がオウムの嘴状になり、背鰭が体の中央より後ろまで硬いトゲで支えられ、しなやかな鰭条（きじょう）で支えられているのは後ろの方だけといった特徴で区別される。イシダイ科には、科よりも小さなくりである属はイシダイ属1つしかなく、変異の少ないグループといえるかもしれない。世界に7種、日本ではイシダイとイシガキダイの2種だけが知られている小さなグループである。イシガキダイの体型はイシダイに似ていて模様がなければ区別するのが難しいほどである。ただし模様は特徴的で、イシダイが縞模様なのに対してイシガキダイは水玉模様なので、容易に区別できる。実際、両種は近縁で、自然界でもよく雑種ができる。イシダイ科の魚はど



イシダイ

の種も沿岸にすむので、日本周辺のほか、南アフリカ、インド洋西部、オーストラリア南部、ペルーからチリと分布が限られている。

一形態一

タイ型で背が高く、やや四角張って見える。体の断面は左右から押したようにやや平たい。鱗はやや細かく取れにくい。体に比べ頭はやや小さく口先が突き出ている。歯は癒合してオウムの嘴状になる。背鰭は体の中央より後ろまで硬いトゲで支えられ、柔軟なスジ（軟条；なんじょう）で支えられているのは後方だけである。軟条の数は17から18で、近縁のイシガキダイの15から16より多くなっている。



鱗



歯

成長とともに体色が変化する。2cm ぐらいまでは全身が茶褐色であるが、徐々に体の縞模様ははっきりしてきて白と黒の太い縞模様となる。この模様から「しまだい」と呼ばれることもある。この縞模様も成長とともに薄れてしまい、体長40cmを超えると全身暗灰色で口の周囲だけが黒くなり釣り人から「くちぐろ」と呼ばれる。体長50cm以上になる。

一生態一

北海道から九州、小笠原、朝鮮半島、台湾に分布し、沿岸の岩礁にすむ。丈夫な歯を使い、ウニやフジツボ、貝類などを食べる。産卵期は4月から7月で、海面近くで産卵、受精する。卵は直径9mm前後で、浮遊性である。孵化した稚魚は、やがて流れ藻など浮遊物に寄り添うようになり、体長5cmぐらいまで過ごす。やがて沿岸の岩礁に移りすむ。1年で15cm、2年で25cm、3年で30cm、4年で40cmに成長する。およそ3年で成熟する。寿命は5年以上。夏に岩場に近い海水



流れ藻に付く稚魚

浴場に行くと、イシダイの若魚を見ることがある。流れ藻から離れたばかりぐらいの体長5cm前後の個体は好奇心が強く、また浮遊物と誤ってか人にまとわりついてくることがある。このとき体毛や皮膚などをつつかれることがあり、相手が小さい割に痛く、しつこくついてこられるとこちらから逃げ出したくなる。また、このような性格を利用して、水族館で色々な行動を見せる展示に使われることがある。

一漁業一

沿岸の岩場にすむので釣り、網に魚を絡めて取る刺網、魚の通り道を誘導して網の中に誘い込む定置網などで漁獲される。レジャーとしての釣りの対象としても人気が高く、磯釣りでイシダイを狙う人は多い。サザエなど貝を餌にするほか、場所によってはイシダタミヤドカリなど大型のヤドカリが餌として売られているところもある。養殖もさかんで、九州各地や和歌山県などでの生産が多い。天然の稚魚を漁獲して育てるほか、人工的に産卵させて育てる完全養殖も行われている。成長や身質の改善を求めて、近縁のイシガキダイと雑種が作られ、「イシガキイシダイ」や「きんだい（開発した大学の名称に由来する）」の名で呼ばれることもあるが、ほとんど見かけない。韓国や中国沿岸にも分布するので輸入される可能性もあるが、確認していない。

築地市場には活魚か鮮魚で入荷する。比較的丈夫なので活魚で入荷するものも多く、仲卸店舗の水槽を見ると、イシダイが入っているのをよく見かける。トロ箱に入って入荷する鮮魚は、店先で縞模様が目立っている。場内で見かけるものは体長30cm前後のサイズが多く、あまり大きな個体を見る機会は少ない。また、20cmを下回るような小さな個体も、使い勝手が悪いからなのか、ほとんど入荷しない。おもな産地は長崎県や千葉県、宮崎県など、温暖で岩礁の多い地域である。通年入荷するが、春から夏にかけての入荷が多くなっている。



活魚で入荷したイシダイ



活けず

一利用一

ほのかな磯の香りを楽しむため刺身や塩焼きで賞味することが多い。歯ごたえのある白身は、皮を残して刺身にすれば、皮目の旨みも味わ

える。また暑い時期には洗いにも向く。そのほか煮魚、蒸し物、フレンチやイタリアンでも見かけることがある。

春先の産卵が終わり、さかんに餌を取る夏が旬とされている。

ーエピソードー

三番叟とは何か、という問い合わせをいただいたことがある。イシダイの若魚の模様が、歌舞伎の三番叟で使われる衣装と同じことに由来する呼び名である。今でもこの名を実際に使っている地域があるのだろうか。使われなくなった名称や過去にあった出来事が、本の中だけで生き残る。それは、本の著者が前に出た本を見て書くからである。～で～と呼ばれる。現在その地域でその名前が使われていなくても、そう書かれていることが少なくない。生きた文章を書くことに務めたい。

文 献

- 1) 坂本一男：旬の魚図鑑，主婦の友社（2007）
- 2) 中坊徹次（編）：日本産魚類検索 全種の同定 第三版，東海大学出版会（2013）
- 3) 山田梅芳ほか：東シナ海・黄海の魚類誌，東海大学出版会（2007）

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

ニューフードインダストリー 第57巻 第6号

印刷 平成 27 年 5 月 25 日
発行 平成 27 年 6 月 1 日
発行人 平井 朋美
編集人 結城 ななみ
発行所 株式会社食品資材研究会
〒101-0038 東京都千代田区神田美倉町10(共同ビル新神田)
TEL:03-3254-9191(代表)
FAX:03-3256-9559
振込先:三菱東京UFJ銀行 京橋支店(普通)0070318
三井住友銀行 日本橋支店(当座)6551432
郵便振替口座 00110-6-62663
印刷所 モリモト印刷株式会社
定 価 本体2,000円 + 税 (送料100円)

email:newfood@newfoodindustry.com