

New Food Industry

食品加工および資材の新知識

<http://www.newfoodindustry.com>

2015 Vol.57 No.11

11

特集 ◆大麦若葉

- 大麦若葉エキスのストレスおよび免疫機能に及ぼす影響について
- 大麦若葉搾汁粉末含有食品が女子学生の便通に及ぼす影響
- 大麦若葉末の粒度の違いが整腸、腸管免疫機能および腸内細菌叢に及ぼす影響について

連載

- これだけは知っておきたい 豆知識
- 健康食品のエビデンス 第7回 ノコギリヤシ

連載コラム

- 野山の花 – 身近な山野草の食効・薬効 –
リンドウ *Gentiana scabra* Bunge var. *buergeri* (Miq.) Maxim. (リンドウ科 Gentianaceae)
- 中国の食材 食効・薬効 秋の養生 百合根

論説

- ポリフェノールによる食肉色素ミオグロビンの新鮮色の制御
- 茶樹の水耕栽培による根の有効利用
- ビタミンCの食品品質改良機構には活性酸素が関与している I
– かまぼこを対象として
Superoxide Anion Radicals Contribute to the Beneficial Effects of Ascorbic Acid in Food I
– For Kamaboko (heat-induced fish gel) –
- 5 基本味の好ましさの分析
- 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)
- 酒たちの来た道 酒造りの文明史④

隔月連載

- 管理栄養士てるこ先生の家庭の食文化 第6回 やまとの柿あれこれ

News Release 株式会社 林原 大型新商品『ファイバリクサ™』



特 集 ◆大麦若葉

- ☐ 大麦若葉エキスのストレスおよび免疫機能に及ぼす影響について
..... 青塚 康幸 1
- ☐ 大麦若葉搾汁粉末含有食品が女子学生の便通に及ぼす影響
..... 海野 知紀, 田中 弘之, 小原 亜希子 10
- ☐ 大麦若葉末の粒度の違いが整腸, 腸管免疫機能
および腸内細菌叢に及ぼす影響について
..... 森川 琢海, 友澤 寛, 北村 整一, 鏑田 仁人, 山口 和也 17

連 載

- ☐ これだけは知っておきたい 豆知識「テアニン」
..... (一財) 食品分析開発センター SUNATEC 第一理化学検査室 22
- ☐ 健康食品のエビデンス 第7回 ノコギリヤシ
..... 濱舘 直史 24

連載コラム

- ☐ 野山の花 — 身近な山野草の食効・薬効 —
リンドウ *Gentiana scabra* Bunge var. *buergeri* (Miq.) Maxim.
(リンドウ科 Gentianaceae)
..... 白瀧 義明 26
- ☐ 中国の食材 食効・薬効 No.3 秋の養生 百合根
..... 生 宏, 坂上 宏, 白瀧 義明 28

News Release

- ☐ 水溶性食物繊維『ファイバリクサ™』, 岡山機能糖質工場・T 棟
..... 株式会社 林原 前付け 6

Contents

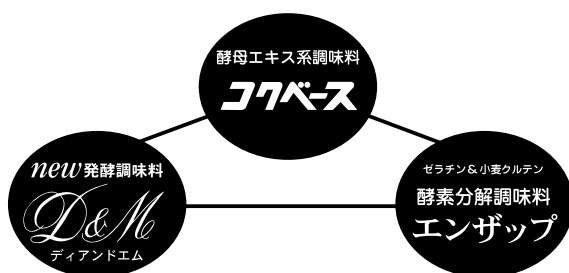
2015 年 11 月号

論 説

- ☐ ポリフェノールによる食肉色素ミオグロビンの新鮮色の制御
..... 本田沙理, 増田 晃子, 増田 俊哉 29
- ☐ 茶樹の水耕栽培による根の有効利用
..... 斎藤 貴江子 35
- ☐ ビタミン C の食品品質改良機構には活性酸素が関与している I
-かまぼこを対象として
..... 西村 公雄, 宮本 有香, 池内 沙耶香 39
- ☐ 5 基本味の好ましさの分析
..... 柳本 正勝 50
- ☐ 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 57
- ☐ 酒たちの来た道 酒造りの文明史④
..... 古賀 邦正 63
- 隔月連載 管理栄養士 てるこ先生の家庭の食文化
- ☐ 第 6 回 やまとの柿あれこれ
..... 中村 照子 78

おいしさと健康に真剣です。

酵素分解調味料なら
大日本明治製糖へ



(新発売!) 乳製品にベストマッチな調味料

コクベス
ラクティックイーストエキス
乳加工品・製パン・製菓・チーズ・バターへの
コクづけ、味や風味の底上げなど、ユニークな
特長がある乳酵母エキスです。



大日本明治製糖株式会社

食品事業部

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

大麦若葉エキスのストレスおよび免疫機能に及ぼす影響について

青塚 康幸 (AOTSUKA Yasuyuki) *

* 日本薬品開発株式会社

Key Words: 大麦若葉エキス 抗ストレス効果 自律神経系 血圧降下作用 免疫賦活

要旨

健康食品素材として使われている大麦若葉エキスは、大麦の若葉の搾汁を粉末化したものであり、栄養学的に優れているのみならず様々な生理機能性を有することが報告されている。ここではそれらの報告のうちストレスおよび免疫機能に関する研究を紹介する。大麦若葉エキスの投与により、ラットでは浸水拘束ストレス負荷により発生する胃潰瘍を抑制する効果が、またマウスでは強制水泳ストレス及び拘束ストレス負荷により生じる抑うつ様行動を抑制する効果がみられた。ヒトでは、正常高値血圧者の自律神経活動の長時間測定の結果、大麦若葉エキス摂取により、収縮期血圧及び拡張期血圧の低下、副交感神経活動及び総自律神経活動の亢進がみられた。免疫機能に関しては、大麦若葉エキス投与マウスの腹腔マクロファージで NO 産生が増強される効果がみられた。以上のことから、大麦若葉エキスは、抗ストレス効果作用ならびに自然免疫賦活作用を引き起こすことが示唆された。

はじめに

健康維持のために野菜の摂取が重要であることは一般によく認識されている。最近の疫学研究においても、野菜の摂取が心血管疾患¹⁾、血中脂質²⁾、血圧³⁾などに効果があることが明らかにされている。しかし、十分な量の野菜を摂取することはそれほど容易なことではなく、厚生労働省の平成 25 年国民健康・栄養調査によれば、1 日の野菜摂取量として 350g の目標値に対し、成人の摂取量の平均は 283.1g であり、現代においても、あらゆる世代で野菜摂取不足であるといわれている⁴⁾。

野菜の摂取の方法は多岐にわたるが、搾汁した青汁をそのまま摂取する方法は、栄養成分の吸収の面から優れた方法として古くより利用されてきた。しかし、青汁には保存性や嗜好性に

問題があり、青汁として十分量を摂取することもまた容易ではなかった。

これらの問題を解決するため、萩原は⁵⁾、栄養学的にも嗜好性にも優れ、定常的に供給できる可食性の野菜・緑葉植物を探索した結果、草丈 20 ~ 35cm の大麦若葉が最適であることを見だし、さらにその搾汁液を所定の条件で噴霧乾燥して「大麦若葉エキス」とすることで、保存性、携帯性に優れた、野菜の不足を補完するための新しい機能性食品素材を開発することに成功した。

萩原の報告以降、他の様々な緑葉植物の青汁粉末が現れているが、豊富な栄養成分を含み、青汁特有の飲みにくさも少ないため、いまだに大麦若葉は青汁素材として繁用されている。

現在市場に出回っている大麦若葉粉末は、先

述した萩原⁵⁾の開発した大麦若葉の搾汁液の粉末、いわゆる「大麦若葉エキス」と大麦若葉の乾燥葉の粉末、いわゆる「大麦若葉粉碎末」の2つに大別される。「大麦若葉エキス」は本来の青汁の製法に基づくものであり非加熱性で繊維成分を除去しているため栄養素の吸収に優れている。一方、「大麦若葉粉碎末」は加熱性であり、大麦若葉の繊維成分をそのまま含有している。

「大麦若葉エキス」は、タンパク質、アミノ酸、炭水化物、ビタミン、ミネラル、クロロフィル、酵素などを含有した生の緑葉植物に近い状態を保つように製造されたものであり、栄養面でも緑黄色野菜の補完食品としての意義をもつが¹²⁾、同時に、これまでの生理学的機能性に関する様々な研究から、「大麦若葉エキス」は、抗酸化作用^{6,7)}、抗炎症作用⁸⁾、抗高コレステロール血症作用⁹⁾、LDL酸化抑制^{10,11)}、血糖降下作用、抗血栓作用など実に多様な生理活性を有することが明らかになっている¹²⁾。

我々の健康は、本来生体がもっている恒常性を維持するシステム（ホメオスタシス）で支えられている。生体のホメオスタシスは神経系、

内分泌系、免疫系によって維持されており、それらが互いに連携しながらバランスを取っている。しかし、たとえば過度のストレス、不安、緊張、恐怖などによって自律神経系のバランスが崩れると、その影響は免疫系や内分泌系に及ぶ。ホメオスタシスの破綻が疾病を引き起こす要因とも考えられる。したがって、予防医学的には、このバランスをいかに保つかを考えることが健康維持の秘訣であるといえる。

本稿では、ホメオスタシスという観点から、大麦若葉エキスの生理学的作用のうち、とくにストレスに対する自律神経への影響、ならびに自然免疫系に及ぼす影響に焦点を当て、最近の知見を混じえて紹介する。

1. 抗ストレス効果

1.1. ラット浸水拘束ストレス誘導胃潰瘍

大竹ら¹³⁾は、ラットのストレス胃潰瘍モデルを用いて大麦若葉エキスの潰瘍抑制効果の検討を行っている。ラットに大麦若葉エキスまたはその画分を経口投与し、投与1時間後から8時間の浸水拘束ストレス負荷をかけた後、線胃部に

表1 浸水拘束ストレス誘導性のラット胃潰瘍に対する大麦若葉エキス分画の抑制作用¹³⁾

Treatment	Number of animals	Dose (mg/kg)	Ulcer index (mean $\pm$ S.E.)	Inhibition (%)	p
Control	9		27.6 $\pm$ 4.0		
GM-SD	8	500	14.2 $\pm$ 1.4	48.6	<0.025
GM-Sup	8	500	12.9 $\pm$ 2.2	53.3	<0.01
GM-Ppt	9	500	16.7 $\pm$ 1.9	39.5	<0.05
Control	7		40.6 $\pm$ 3.5		
GM-Sup	7	500	24.9 $\pm$ 2.3	38.7	<0.005
GM-P	7	500	24.1 $\pm$ 3.8	40.6	<0.01
GM-S	7	500	36.5 $\pm$ 4.0	10.1	N.S.
GM-L	7	500	17.6 $\pm$ 0.9	56.7	<0.001
Atropine sulfate	6	1	2.7 $\pm$ 1.4	93.3	<0.001
Control	10		30.5 $\pm$ 2.1		
GM-P	10	100	23.7 $\pm$ 3.0	14.8	N.S.
	10	500	14.7 $\pm$ 3.3	51.8	<0.01
GM-L	10	100	18.6 $\pm$ 3.4	39.0	<0.05
	10	500	13.1 $\pm$ 2.8	57.0	<0.01

GM-SD, 大麦若葉エキス末; GM-sup, 大麦若葉エキス水可溶性画分; GM-ppt, 大麦若葉エキスの水不溶性画分; GM-P, GM-sup の硫酸塩析沈殿; GM-L, GM-sup の硫酸塩析上清の透析外液; GM-S, GM-sup の硫酸塩析上清の透析内液. N.S. 有意差なし

発生した粘膜潰瘍の長さを測定したところ、大麦若葉エキスの摂取群では生理食塩水摂取群と比較して胃潰瘍の有意な抑制がみられた(表1)。

さらに大麦若葉エキスを水可溶性画分(GM-Sup)と水不溶性画分(GM-Ppt)に分画し活性をみたところ、両画分とも有意に抑制活性が見られたが、GM-Supにより強い活性がみとめられた。さらにGM-Supを硫酸塩析し、沈殿画分(GM-P)と上清画分に分け、さらに上清画分を透析外液(GM-L)と透析内液(GM-S)に分画し、それぞれの潰瘍抑制効果を見ると、GM-Sを除くそれぞれの画分で有意な抑制効果を示した。なかでも水溶性低分子画分GM-Lに最も強い抑制がみられた(表1)。大麦若葉エキスはラット幽門結紮潰瘍に対してほとんど抑制効果がみられなかったことから、浸水拘束ストレス潰瘍における抑制効果は、胃酸分泌抑制やペプシン活性阻害作用などのいわゆる攻撃因子に及ぼす作用ではなく、胃の運動・血流、胃粘膜の防御能などへの作用であることが示唆された。

1.2. マウス強制水泳試験

Yamaura ら¹⁴⁾は、マウスの強制水泳試験を用いて、大麦若葉エキスの抗うつ作用を検討している。

ICR系マウスをアクリル製円筒形水槽中で強制水泳させ、水泳開始から6分間における不動時間を測定した。強制水泳試験は1日1回、3日間連続行い、2日目、3日目の水泳開始1時間前に、大麦若葉エキス(400 mg/kg または 1000 mg/kg)あるいは陽性対照として抗うつ薬イミプラミン(100 mg/kg)を経口投与した。その結果、強制水泳試験を繰り返すごとに蒸留水対照群では不動時間の延長が見られるが、大麦若葉エキスの投与群では、投与2日目において、イミプラミンには及ばないものの、蒸留水対照群と比較して有意に不動時間を短縮した。この結果は、大麦若葉エキスが抗うつ作用をもつことを示唆している。

強制水泳ストレス負荷により、副腎皮質ホルモンのコルチコステロンの血中濃度が上昇することが知られているが、大麦若葉エキス投与群

ではこれを抑制する作用はほとんど見られなかった。

1.3. マウス拘束ストレス負荷試験

拘束ストレスを与えられたマウスでは抑うつ様行動として自発運動量が減少することが明らかになっていることから¹⁵⁾、Yamaura ら¹⁶⁾は同様の実験系を用いて、大麦若葉エキスの抗ストレス効果を検討している。

ICR系マウスに5日間連続して円筒形プラスチックチューブの中に3時間拘束するストレスを負荷した後、夜間の自発運動量を回転かご式自発運動量測定装置を用いて測定しストレスに対する感受性の指標とした。その結果、拘束ストレス負荷マウスでは自発運動量が減少し、ストレス負荷3日目で非ストレス負荷マウスと比較して有意な差がみられた。しかし、ストレス負荷1時間前に大麦若葉エキス(400 mg/kg または 1000 mg/kg)を投与した群では、陽性対照として用いた抗不安薬クロチアゼパム(10 mg/kg)には及ばないが、この自発運動量の減少を有意に緩和した。大麦若葉エキスの投与は、非ストレス負荷マウスの運動量そのものには影響を与えなかった。このことから、大麦若葉エキスは抗ストレス作用をもつことが示唆された。

強制水泳試験での結果と同様に、本試験でも、拘束ストレス負荷によってコルチコステロン血中濃度は上昇するが、大麦若葉エキスあるいはクロチアゼパムを投与してもコルチコステロンの濃度上昇は抑制されなかった。

一方、ストレス負荷により海馬の脳由来神経栄養因子(BDNF)の発現が低下することが知られているが¹⁷⁾、本試験の拘束ストレスにおいても海馬BDNF mRNAが有意に減少していた。この減少は、大麦若葉エキスの投与により回復傾向を示し、とくに海馬BDNF exon IVの発現でみた場合、大麦若葉エキス400 mg/kgの投与で有意に増加することが明らかとなった。

以上のことより、大麦若葉エキスの抗ストレス効果は海馬における遺伝子発現に影響を及ぼすことが示された。

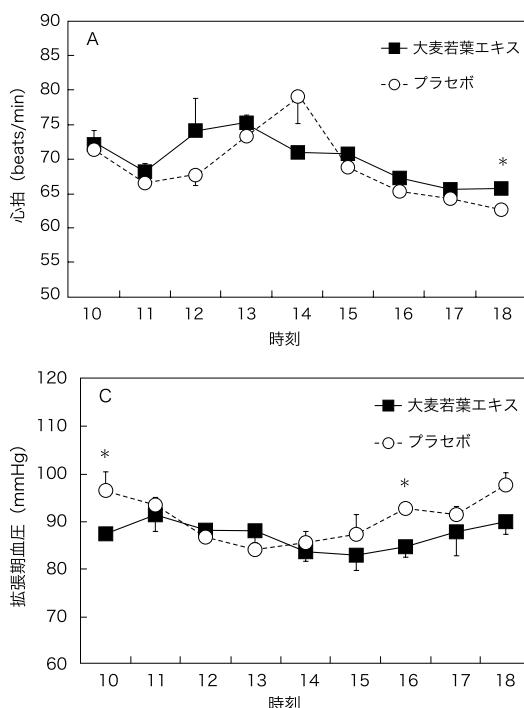


図1 心拍および血圧（収縮期血圧，拡張期血圧）の経時的变化¹⁸⁾

A, 心拍数; B, 収縮期血圧; C, 拡張期血圧 *P<0.05

2. 血圧降下作用および自律神経活動

大麦若葉エキスの摂取のヒトでの効果については，正常高値血圧者の長時間自律神経活動をみた沖田ら¹⁸⁾の報告がある。2日間の無作為化クロスオーバーデザイン二重盲検試験を実施し，被験者は，1日目に大麦若葉エキスかプラセボ（植物でんぷん）を摂取し，2日目に1日目と異なるものを摂取した。両日とも，被験者は，朝の9時に血圧ホルター心電図計を装着後，10時にオブラートに包んだ20gの大麦若葉エキスまたはプラセボのいずれかを摂取した。2

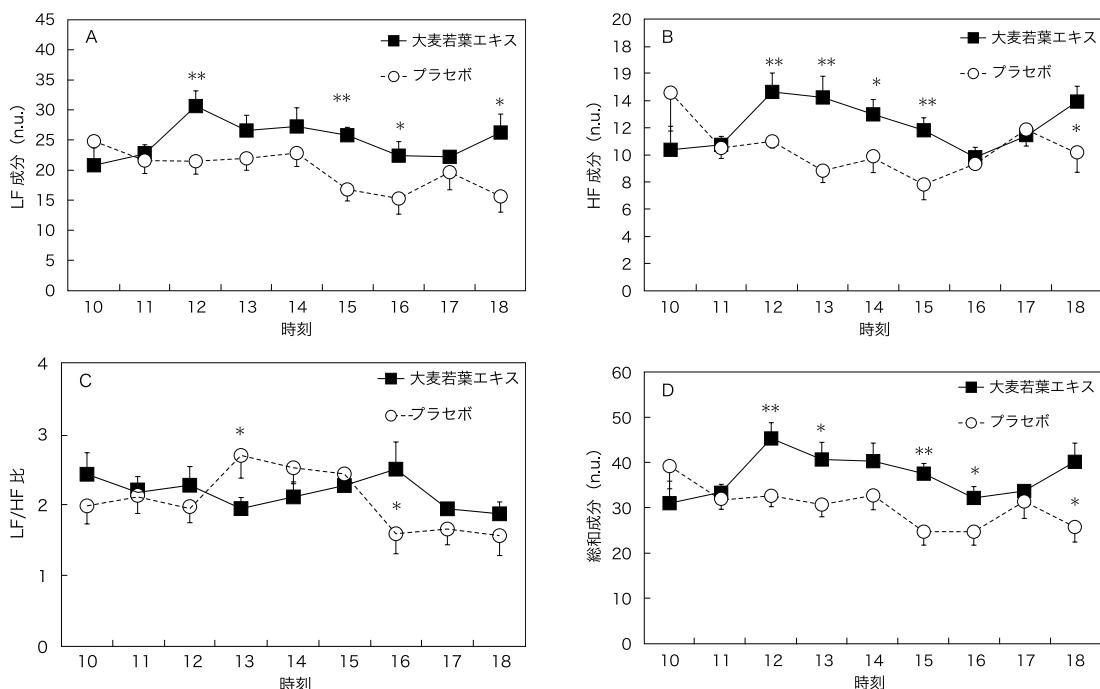


図2 心臓自律神経活動指標の経時的变化¹⁸⁾

A, LF 成分; B, HF 成分; C, LF/HF 比; D, 総和成分 *P<0.05, **P<0.01.

回目は14時に、1回目と同様の粉末を同用量摂取した。血圧は10分ごとに、心拍は一拍ごとに連続して19時まで計測を行った。

血圧の解析は、収縮期血圧及び拡張期血圧に対して1時間毎（10分ごとに測定した血圧6回分データ）の平均値を使用した。自律神経の評価には、心拍間隔（R-R間隔）の時間的変動である心拍変動（HRV）のパワースペクトル密度解析を行い、0.04～0.15Hzを低周波（LF）成分、0.15～0.4Hzを高周波（HF）成分とした。

その結果、心拍数に関しては、頻脈や除脈はみられず、大麦若葉エキスの摂取はプラセボの摂取と比較して最後の18時の点を除き有意な差はみられなかった。収縮期血圧は、プラセボ摂取に比べ大麦若葉エキスの摂取で11時、13時、15時に有意な低値を示し、また拡張期血圧も同様に、大麦若葉エキスの摂取で10時、16時に有意な低値を示した（図1）。

一方、心臓自律神経活動指標の経時的变化をみると、副交感神経の活性を示すHF成分は、大麦若葉エキス摂取で有意な高値を示した。また、交感神経活性を示すLF/HFでは有意な低値を示したが16時に有意な高値を示した。また総自律神経活動量では、14時と17時を除いて12時から13時、15時、16時、18時で有意な高値を示した（図2）。

総括すると、正常高値血圧者において大麦若

葉エキスの摂取は、プラセボ摂取と比較して、収縮期血圧及び拡張期血圧を低下させ、また、副交感神経活性および自律神経総活動量を亢進させた。

3. 免疫賦活活性

Hosokawa ら¹⁹⁾は、免疫機構なかでもマクロファージを介する自然免疫に着目し、大麦若葉エキスの摂取の効果について報告している。

C3H/He マウスに大麦若葉エキスを毎日、マウスあたり3mgを4週間または8週間経口投与した後、採取した腹腔マクロファージをLPS（大腸菌細胞膜リポ多糖）またはIFN- γ で*in vitro*で刺激し、マクロファージの産生する一酸化窒素（NO）量をGriess法で調べた（表2）。*in vitro*刺激を加えない場合、大麦若葉エキス投与マウスのマクロファージは蒸留水投与マウスのものと比較し高いNO産生を示した。とくに8週間投与したマウスで有意に増強がみられた。刺激物質存在下で大麦若葉エキス摂取の効果を見ると、LPS、IFN- γ それぞれ単独あるいはLPSとIFN- γ の共存、いずれの条件においても、大麦若葉エキス摂取のマウスで増強効果がみられ、この効果は8週間投与で顕著であった。

この増強効果の作用機序を明らかにするために、次に大麦若葉エキス水可溶性画分のマクロファージへの直接効果を調べた（表3）。

正常C3H/Heマウスの腹腔マクロファージを

表2 大麦若葉エキスを摂取したマウスの腹腔接着細胞のNO産生¹⁹⁾

実験 ¹	グループ	細胞培養中に添加した刺激物質				
		なし	LPS (10 ng/ml)	IFN-γ (0.75 ng/ml)	IFN-γ (1.5 ng/ml)	LPS (10 ng/ml) + IFN-γ(0.75 ng/ml)
		μM ²				
1	水	13.3 ± 2.0	21.9 ± 3.7	21.2 ± 3.1	26.5 ± 3.6	28.4 ± 3.3
	BLE	20.3 ± 3.3	35.9 ± 6.4	32.5 ± 3.4*	38.4 ± 4.2	43.1 ± 5.5*
2	水	8.4 ± 1.6	17.1 ± 4.2	11.9 ± 2.1	15.1 ± 2.4	23.5 ± 3.9
	BLE	15.7 ± 1.1**	31.6 ± 4.2*	21.6 ± 2.7*	25.0 ± 3.0*	40.5 ± 5.4*

¹ 実験1；3ヶ月齢C3H/He雄マウスを蒸留水投与群（n=7）と大麦若葉エキス（BLE）投与群（n=5）に分け4週間経口投与した。実験2；3ヶ月齢C3H/He雌マウスを蒸留水投与群（n=6）と大麦若葉エキス投与群（n=6）に分け8週間経口投与した。

² 刺激物質と共に培養した細胞の培養上清中のNO₂⁻濃度。値は平均±標準誤差（n=5～7）で示した。蒸留水投与群のマウスから採取した細胞の値を対照として比較した。*P<0.05, **P<0.01。

表3 大麦若葉エキス水可溶性画分の腹腔マクロファージおよびマクロファージ細胞株 RAW264.7 の NO 産生に及ぼす影響¹⁹⁾

実験 ¹	細胞	BLE-ws の濃度 % (V/V)	細胞培養中に添加した刺激物質		
			なし	LPS (10 ng/ml) μM ²	IFN-γ (1.5 ng/ml)
1	腹腔細胞	0	9.5 ± 0.4	18.2 ± 0.9	15.6 ± 0.2
		0.001	15.2 ± 1.0**	20.6 ± 0.4	23.9 ± 0.8***
		0.01	13.7 ± 1.6	19.5 ± 1.0	22.1 ± 1.5*
		0.1	17.7 ± 0.9**	22.4 ± 0.4*	26.7 ± 0.8***
2	RAW264.7	0	5.8 ± 0.1	7.1 ± 0.2	6.7 ± 0.2
		0.001	5.3 ± 0.3	8.2 ± 0.1**	6.7 ± 0.4
		0.01	6.3 ± 0.1*	10.0 ± 0.3***	7.8 ± 0.4*
		0.1	5.1 ± 0.1**	9.2 ± 0.0***	6.4 ± 0.2

¹ 2ヶ月齢 C3H/He 雌マウスの腹腔接着細胞（実験1）および RAW264.7 細胞（実験2）を LPS または IFN-γ および種々の濃度の大麦若葉エキス水可溶性画分 (BLE-ws) 存在下で刺激した。

² 表中に示した刺激物質と共に培養したときの細胞培養上清中の NO₂⁻ 濃度。値は平均±標準誤差 (n=3～4) で示した。刺激物質を加えない群を対照に比較した。 *P<0.05, **P<0.01, ***P<0.001。

培養し、各種濃度の大麦若葉エキス水可溶性画分 (BLE-ws) 共存下、LPS または IFN-γ で刺激した。BLE-ws の NO 産生増強効果は、LPS や IFN-γ の刺激がない場合でも、また共存下でも見られた。この結果は、*in vitro* での摂取実験の結果と同様であり、大麦若葉エキスをマクロファージの NO 産生を直接活性化する成分が含まれることを示唆する。

さらにマウスマクロファージ細胞株 RAW264.7 を用いて同様の実験を行ったところ、BLE-ws に NO 産生を直接増強する効果がみられた。LPS 刺激では種々の濃度の BLE-ws 添加で NO 産生の増強が見られたが、0.01% のときに最大となった。一方、IFN-γ での刺激または刺激なしの場合は、BLE-ws 0.01% のみで有意な増強活性が認められた。

以上のことから、大麦若葉エキス摂取マウスから得られた腹腔マクロファージは NO 産生能が亢進しており、さらに *in vitro* での LPS, IFN-γ 刺激に対して、蒸留水摂取マウスのマクロファージに比較し、高い NO 産生能を示した。

マクロファージの産生する NO はスーパーオキシドアニオン (O₂⁻) と反応してより強力な活性窒素分子種であるペルオキシナイトライ

ト (ONOO⁻) を作り出し、その強力な酸化力で強い抗菌作用を示す。このことから、大麦若葉エキス摂取によりマクロファージを介した自然免疫応答が亢進することが示された。

考 察

これまで述べてきたように、浸水拘束ストレス負荷ラットにおける胃潰瘍の抑制、うつ病モデルとして繁用されるマウスの強制水泳試験や拘束ストレス試験における抑うつ様行動の抑制などから、大麦若葉エキスはストレス応答を緩和するはたらきをもつことが明らかとなった。

一般に、ストレス応答には自律神経を介した経路と、内分泌系（視床下部・脳下垂体・副腎皮質）を介した経路の二つが知られているが、副腎皮質からのストレスホルモン分泌を抑制する効果は見られなかったことから、これらの効果は主に自律神経系を介したものと考えられる。

ヒトでは、正常高値血圧者の血圧・心拍変動を連続して計測した結果、大麦若葉エキスの摂取により血圧の低下ならびに副交感神経と自律神経総活動量の亢進がみとめられた。

浸水拘束ストレス抗潰瘍モデルで大麦若葉エ

キスの各画分の活性を検討したところ、様々な画分に潰瘍抑制効果がみとめられたが、とくにアミノ酸等が含まれる低分子量の画分に最も効果があった。したがって、この作用をもたらす有効成分はアミノ酸の一種である γ -アミノ酪酸 (GABA) である可能性が考えられる。実際に Harty ら²⁰⁾ は、同様のラット胃潰瘍モデルにおいて、GABA が抗潰瘍作用を示すことを報告している。その中で彼らは、抗潰瘍作用のメカニズムとして、GABA が胃感覚ニューロンを活性化し、カルシトニン遺伝子関連ペプチド (CGRP) を放出させ、さらに NO 産生を亢進することで胃粘膜血流を増大させプロスタグランジン産生を増加させるという経路が働いていると考えている。

GABA は抑制性の神経伝達物質であり、副交感神経活動の亢進や交感神経活動の低下²¹⁾、また脳波では α 波の増加および β 波の低下を引き起こすこと^{25, 26)} などからリラックス効果を持つことが知られている。また、自然発生高血圧ラットを用いた研究で交感神経末端からのノルアドレナリンの放出を抑制し降圧効果を示す²³⁾ ことが確認されており、また、この効果は腎交感神経切除により消失することから、腎交感神経末端からの神経伝達を抑制して降圧効果を示すものと考えられている²⁴⁾。

今回紹介した研究で用いた大麦若葉エキスには、他の野菜に比較し高濃度の GABA が含まれていることから¹⁸⁾、正常高値血圧者において明らかとなった大麦若葉エキスの自律神経および血圧に及ぼす効果に GABA が関与している可能性が考えられる。

また、以前の研究で、ラット大脳皮質の神経膜画分に対して ³H-フルニトラゼパム置換活性があることから、大麦若葉エキスにはベンゾジアゼピン様物質が存在することが示唆されていた。ベンゾジアゼピンはイオンチャネル型の GABA_A 受容体に結合する部位を持ち、GABA の作用を増強することで、鎮静・催眠・抗不安活性を示す物質として知られている。最近、ある種のフラボン誘導体が GABA_A 受容体のベン

ゾジアゼピン結合部位のリガンドとなることが報告されている^{27, 28)}。大麦若葉エキスにはサポナリン、ルटनाリンなどの抗酸化フラボン誘導体が多く含まれている^{6, 7)} ことから、大麦若葉エキスに含まれるベンゾジアゼピン様物質の実体は、これらのフラボン誘導体である可能性がある。大麦若葉エキスに豊富に含まれる GABA とフラボン誘導体が相乗的、複合的に働いてこれらの効果を惹起しているものと思われる。

一方、免疫反応に及ぼす大麦若葉エキスの影響を、マウス腹腔マクロファージの一酸化窒素 (NO) 産生能で評価したところ、大麦若葉エキスの摂取によりマクロファージの NO 産生が増大していることが明らかとなった。またリポ多糖類 (LPS) やサイトカイン (IFN- γ) の刺激に対する応答性も大麦若葉エキス摂取群のマクロファージで上昇していたこと、また、摂取期間が長期にわたるほど反応が増大していることが明らかとなった。この作用メカニズムは今のところ不明であるが、大麦若葉エキスの水可溶性画分で正常マウスマクロファージまたはマクロファージ細胞株を *in vitro* で刺激すると NO 産生が上昇することから、大麦若葉エキスに含まれるなんらかの成分が直接細胞に働き効果を及ぼしていることが示唆された。また予備的な結果から、大麦若葉エキス水可溶性画分のアンバーライト XAD-2 カラム吸着メタノール溶出画分によって、NO 産生反応が有意に増強されたことから、増強活性を示す成分がサポナリン、ルटनाリンなどのフラボン誘導体である可能性が考えられる。

マクロファージによって産生される NO は、スーパーオキシド (O_2^-) と反応しペルオキシナイトライト ($ONOO^-$) となり、その強力な酸化力で強い抗菌作用を示す。NO はまた、血管内皮細胞、血管平滑筋、血小板などに作用し血管拡張、降圧、血小板凝集抑制などさまざまな機能性を有する。したがって自然免疫反応の賦活という側面以外に、NO は血管拡張およびそれに伴う血流改善などを引き起こし、先述し

た血圧降下作用, 胃潰瘍抑制効果などにも寄与しているものと思われる。

まとめ

以上示したように, 大麦若葉エキスは抗ストレス効果, 副交感神経活動の亢進, 血圧降下, 自然免疫賦活といったホメオスタシス維持に深

く関わる生理的機能性をもつことが明らかとなった。大麦若葉エキスに含まれる機能性物質およびその作用メカニズムの詳細については今後さらに研究を進める必要があるが, 大麦若葉エキスは健康に資する食品素材として非常に優れたものであるといえる。

参考文献

1. Sacks, F.M., Kass, E.H. : Low blood pressure in vegetarians: effects of specific foods and nutrients. *Am. J. Clin. Nutr.* **48** (3 suppl):795-800,1988.
2. Adebawo, O., Salau, B., Ezima, E. *et al.* : Fruits and vegetables moderate lipid cardiovascular risk factor in hypertensive patients. *Lipids Health Dis.* **5**:14,2006.
3. Appel, L.J., M.P.H., M.D., Moore, T.J. *et al.* : A clinical trial of the effects of dietary patterns on blood pressure. *N.Engl.J.Med.* **336** (16) : 1117-1124,1997.
4. 平成 25 年国民健康・栄養調査結果の概要, <http://www.mhlw.go.jp/file/04-Houdouhappyou-10904750-Kenkoukyoku-Gantaisakukenkouzoushinka/0000068070.pdf>
5. 萩原義秀: 新しい麦類緑葉搾汁粉末の製法とその栄養学的研究. *食品工業* **18** (8) : 73-82,1975.
6. Ohkawa, M., Kinjo, J., Hagiwara, Y. *et al.* : Three new anti-oxidative saponarin analogs from young green barley leaves. *Chem. Pharm. Bull.* **46** (12) :1887-1890,1998.
7. 上山英夫, 青塚康幸, 大川雅史, 他: 大麦若葉から分離したルトナリンの抗酸化作用. *日食科工学会誌* **58** (4):170-172,2011.
8. 松岡隆, 関裕史, 久保田和彦, 他: 大麦の葉から得た糖蛋白分画 D1-G1 の抗炎症作用. *炎症* **3**(4): 602-604,1983.
9. 大竹英俊, 野中涼代, 澤田淑子, 他: 大麦若葉青汁成分の研究 ラットの食餌による高コレステロール血症に対する影響. *薬学雑誌* **105** (11) : 1052-1057,1985.
10. Yu, Y-M., Wu, C-H. Tseng, Y-H. *et al.* : Antioxidative and hypolipidemic effects of barley leaf essence in a rabbit model of atherosclerosis. *Jpn. J. Pharmacol.* **89** (2) : 142-148,2002.
11. Yu, Y-M., Chang, W-C., Liu, C-S. *et al.* : Effect of young barley leaf extract and adlay on plasma lipids and LDL oxidation in hyperlipidemic smokers. *Biol. Pharm. Bull.* **27** (6) : 802-805,2004.
12. 上山英夫: 大麦若葉エキスの成分と諸性質. *BIO INDUSTRY* **24** (12) : 66-76,2007.
13. 大竹英俊, 湯浅英雄, 小村千世子, 他: 大麦若葉の青汁成分の研究 抗潰瘍因子について. *薬学雑誌* **105** (11):1046-1051,1985.
14. Yamaura, K., Nakayama, N., Shimada, M. *et al.* : Antidepressant-like effects of young green barley leaf (*Hordeum vulgare* L.) in the mouse forced swimming test. *Phcog. Res.* **4** (1):22-26,2012.
15. Yamaura, K., Bi, Y., Ishiwatari, M. *et al.* : Sex differences in stress reactivity of hippocampal BDNF in mice are associated with the female preponderance of decreased locomotor activity in response to restraint stress. *Zoolog. Sci.* **30** (12):1019-1024, 2013.
16. Yamaura, K., Tanaka, R., Bi, Y. *et al.* : Protective effect of young green barley leaf (*Hordeum vulgare* L.) on restraint stress-induced decrease in hippocampal brain-derived neurotrophic factor in mice. *Phcog. Mag.* **11**:S86-S92,2015.
17. Hansson, A.C., Sommer, W., Rimondini, R. *et al.* : c-fos reduces corticosterone-mediated effects on neurotrophic factor expression in the rat hippocampal CA1 region. *J. Neurosci.* **23** (14) : 6013-6022,2003.
18. 沖田善光, 釜口桃江, 甲田勝康, 他: 正常高値血圧者に対する大麦の葉から抽出した青汁摂取による長時間自律神経活動のスペクトル推定の試み. *日未病システム会誌* **18**(2) : 46-50,2012.
19. Hosokawa, T., Aotsuka, Y., Itonaga, M. *et al.* : The nitric oxide-producing function of peritoneal cells from mice fed with a young green barley leaf extract. *J. Clin. Biochem. Nutr.* **43** (Suppl.1) : 355-358,2008.
20. Harty, R.F., Ancha, H.R., Xia, Y. *et al.* : GABAergic mechanisms of gastroprotection in the rat: role of sensory neurons, prostaglandins, and nitric oxide. *Dig. Dis. Sci.* **49** (11-12) : 1875-1881,2004.

21. Hayakawa, K., Kimura, M. Kamata, K. : Mechanism underlying γ -aminobutyric acid-induced antihypertensive effect in spontaneously hypertensive rats. *Eur. J. Pharmacol.* **438** : 107-113, 2002.
22. Hayakawa, K., Kimura, M., Yamori, Y. : Role of the renal nerves in γ -aminobutyric acid-induced antihypertensive effect in spontaneously hypertensive rats. *Eur. J. Pharmacol.* **524** : 120-125, 2005.
23. Inoue, K., Shirai, T., Ochiai, H. *et al.* : Blood-pressure-lowering effect of a novel fermented milk containing γ -aminobutyric acid (GABA) in mild hypertensives. *Eur. J. Clin. Nutr.* **57** : 490-495, 2003.
24. 藤林真美, 神谷智康, 高垣欣也, 他 : GABA 経口摂取による自律神経活動の活性化. 日栄・食糧会誌 **61** (3):129-133, 2008.
25. Abdou, A.M., Higashiguchi, S., Horie, K. *et al.* : Relaxation and immunity enhancement effects of γ -aminobutyric acid (GABA) administration in humans. *Biofactors* **26** : 201-208, 2006.
26. Okita, Y., Nakamura, H., Kouda, K. *et al.* : Effects of vegetable containing gamma-aminobutyric acid on the cardiac autonomic nervous system in healthy young people. *J. Physiol. Anthropol.* **28** : 101-107, 2009.
27. Wasowski, C., Marder, M. : Flavonoids as GABA_A receptor ligands: the whole story? *J. Exp. Pharmacol.* **4**:9-24, 2012.
28. Jäger, A. K., Saaby, L. : Flavonoids and the CNS. *Molecules* **16** (2) :1471-1485, 2011.

大麦若葉搾汁粉末含有食品が 女子学生の便通に及ぼす影響

海野 知紀 (UNNO Tomonori)¹ 田中 弘之 (TANAKA Hiroyuki)¹

小原 亜希子 (KOHARA Akiko)²

¹ 東京家政学院大学 現代生活学部 健康栄養学科

² ヤクルトヘルスフーズ株式会社 開発部

Key Words: 大麦若葉 便通 女子学生 食物繊維摂取状況

要旨

不溶性食物繊維をほとんど含まない大麦若葉搾汁粉末（青汁）を用いて，女子学生の便通に及ぼす影響を検討した。あわせて，水溶性食物繊維である難消化性デキストリンを配合した場合の大麦若葉搾汁粉末の便通改善効果に及ぼす影響についても評価を加えた。試験食として，大麦若葉搾汁粉末に難消化性デキストリンを配合した青汁 A と，大麦若葉搾汁粉末に消化性デキストリンを配合した青汁 B の 2 種類を用いた。試験は二重盲検クロスオーバー方式にて行った。一週間の前観察期の後，被験者には青汁 A または青汁 B を 2 週間摂取させた。ウォッシュアウト期を経た後，続く 2 週間は青汁 B または青汁 A を摂取させた。全被験者 67 名を，非摂取期 1 週間当たりの平均排便日数をもとに，5 日以下（排便日数が少ない群（29 名））と 5 日より多い（排便日数が多い群（38 名））に分け，層別解析を行った。その結果，排便日数の少ない群で，非摂取期に比べ青汁 A 摂取期，青汁 B 摂取期における排便日数，排便回数が有意に増加した。一方，青汁 A 摂取期と青汁 B 摂取期の間には有意差は認められなかった。全被験者並びに排便日数の多い群で解析した場合には，いずれも有意な変化は得られなかった。また，試験食の摂取により，便秘傾向者に多いといわれる「カチカチ状」の便性状の出現頻度が減少した。以上より，大麦若葉搾汁粉末を含む試験食の摂取は，排便日数の少ない被験者の排便状況を改善させる可能性が示唆され，その便通改善効果は難消化性デキストリン配合の青汁 A と消化性デキストリン配合の青汁 B とともに得られたことから，大麦若葉搾汁液固形分由来の成分による寄与が高いことが推察された。

はじめに

出穂前のオオムギ (*Hordeum vulgare* L.) の茎葉（以降，大麦若葉という）を刈り取り，これを飲用に適するように調製したものが，いわゆる「青汁」として販売されている。現在上市されている青汁には，大麦若葉を乾燥後に微粉砕したものや，大麦若葉を搾汁した後にその搾汁液を乾燥させ，粉末化したものがある。前者は不溶性食物繊維を含むことを特徴とし，後者は飲みやすさや口あたりの良さを特徴とする。

青汁は“野菜不足補う”目的で摂取されている一方，“便秘に効く”など，より具体的な機能を消費動機とする調査結果も得られている¹⁾。これまでに，大麦若葉の機能性研究が広く展開され，動物実験にて抗潰瘍作用²⁾，血中コレステロール低下作用^{3,4)}が報告されている。また，大麦若葉から採取した不溶性食物繊維をラットに投与した場合，乾燥糞重量を増加させるばかりでなく，小腸・大腸通過時間を早める作用を有することも明らかとなっている⁵⁾。さらに，

1-3. プロトコール

被験者を無作為に2群に分け、試験食の摂取期を2回設ける二重盲検クロスオーバー方式を採用した(図1)。試験は7週間で構成され、最初の1週間を非摂取期(前観察期)とし、続く2週間を第1回目の摂取期(青汁AまたはB)とした。2週間のウォッシュアウト期間を経た後、最後の2週間を第2回目の摂取期(青汁BまたはA)とした。被験者には各摂取期が始まる前に試験食を配布し、適量の水に溶解させて飲用するように指示した。牛乳は乳糖を含んでおり、排便状況に影響を及ぼす可能性が懸念されたため、牛乳に溶解させての飲用は禁じた。なお、1日のなかでの摂取時期(タイミング)については特に指定しなかった。本試験は東京家政学院大学倫理委員会の承認を得た上で実施した。

1-4. 調査項目

(1) 排便状況に関するアンケート調査

排便回数(排便日数)、便量、便性状を主たる項目とし、これらを記載するアンケート用紙を被験者に配布し、すべて自記入させた。

排便回数は、試験期間中、毎日記載させた。排便がなかった日においても「ゼロ」と記載させた。排便量については、便を採取して重量を測定することは非常に困難であることから、既報¹⁰⁾に従い、鶏卵(Mサイズ)を基準とした目安個数をそれぞれの排便時に主観的に目測させ、アンケート用紙に記入させた。便性状は、「カチカチ状」「バナナ状」「半練状」「ドロドロ状」「水状」を図示した用紙¹¹⁾を配布し、それを参考にして、それぞれの排便時に該当する便性状を記入させた。

(2) 心理的状態に関する調査(気分プロフィール検査)

心理的状態に関する調査は、市販のアンケート調査用紙(POMS 日本語版, 金子書房)を用い、摂取開始前(前観察期終了時)と第1回目の摂取期終了時、第2回目の摂取期終了時の計3回実施した。POMSとは6尺度(①緊張-不安, ②抑うつ-落ち込み, ③怒り-敵意, ④活

気, ⑤疲労, ⑥混乱)の計65項目の質問から構成され、「まったくなかった」、「少しあった」、「まあまああった」、「かなりあった」、「非常に多くあった」の選択肢から選ばせるものである。これをPOMS結果票に基づきT得点を算出し、試験開始前と試験食摂取時における過去1週間の「気分の状態」を比較した。

(3) 食物繊維摂取量の調査

それぞれの試験食の摂取開始時と摂取終了後に、簡易型自記式食事歴法質問票(BDHQ, (株)ジェンダーメディカルリサーチDHQサポートセンター))を用いて、栄養素摂取量に関する調査を行った。本試験では、便通と直接的に関連性のある食物繊維摂取量について、試験食摂取期の前後で比較した。

1-5. 統計解析

表中の値は、平均値±標準偏差で示した。排便状況に関する調査結果は、非摂取期(第1週目の前観察期と第4, 5週目のウォッシュアウト期)を合算し、これを1週間当たりに換算した。同様に、青汁A摂取期並びに青汁B摂取期においても2週間の摂取期を1週間当たりに換算した。排便日数、排便回数、及び心理的状態のスコアについてはWilcoxon符号付順位検定にて実施し、便性状ではカイ二乗検定を用いた。食物繊維摂取量は、対応のあるt検定によって実施した。なお、有意水準を5%とした。

2. 結 果

2-1. 被験者背景

試験期間中、試験の中止を申し出た者はおらず、すべての被験者が試験を完了した。試験食の遵守率はともに青汁Aと青汁Bともに98.6%であった。1名の被験者において第1回目の摂取期に4回、第2回目の摂取期に5回の摂取忘れが認められたが、それ以外は1回もしくは2回であった。

BDHQで求めた1日当たりの平均食物繊維摂取量は、第1回目の試験食摂取期の前後ではそれぞれ 9.9 ± 3.7 g, 9.5 ± 2.9 gであり、第2回目の試験食摂取期の前後ではそれぞれ $9.1 \pm$

表2 試験食の排便回数、排便回数、排便量に及ぼす影響

		人数	非摂取期 ¹⁾	青汁A摂取期 ²⁾	青汁B摂取期 ²⁾
排便回数 (回/週)	被験者全体	67	5.3 ± 1.5	5.4 ± 1.4	5.4 ± 1.4
	排便日数の少ない群 ³⁾	29	3.9 ± 1.0 ^a	4.3 ± 1.4 ^b	4.3 ± 1.1 ^b
	排便日数の多い群 ⁴⁾	38	6.3 ± 0.6	6.2 ± 1.0	6.2 ± 0.9
排便回数 (回/週)	被験者全体	67	7.0 ± 3.1	7.5 ± 3.5	7.6 ± 3.6
	排便日数の少ない群	29	4.5 ± 1.5 ^a	5.2 ± 1.9 ^b	5.4 ± 2.4 ^b
	排便日数の多い群	38	9.0 ± 2.6	9.3 ± 3.5	9.3 ± 3.5
排便量 ⁵⁾ (個/週)	被験者全体	67	14.3 ± 9.9	15.1 ± 10.6	14.4 ± 9.3
	排便日数の少ない群	29	9.5 ± 5.0	10.4 ± 5.4	10.3 ± 5.2
	排便日数の多い群	38	17.9 ± 11.1	18.7 ± 12.2	17.5 ± 10.6

平均値±標準偏差。異なるアルファベットは5%の危険率で有意差があることを示す。

¹⁾ 非摂取期3週間（前観察期、ウォッシュアウト期）を1週間当たりに換算

²⁾ 試験食摂取期2週間を1週間当たりに換算

³⁾ 非摂取期1週間当たりの排便日数が5日以下の被験者群

⁴⁾ 非摂取期1週間当たりの排便日数が5日より多い被験者群

⁵⁾ 鶏卵（Mサイズ）を指標とした1週間当たりの合計個数

2.9 g, 8.9 ± 2.6 gであり、摂取前後で有意差は観察されなかった。

2-2. 排便状況

非摂取期（前観察期とウォッシュアウト期）3週間、青汁A摂取期2週間、青汁B摂取期2週間を1週間当たりに換算した値を表2に示した。

全被験者（67名）における非摂取期の平均排便日数は5.26日/週であり、青汁A摂取期の5.37日/週、青汁B摂取期の5.40日/週と統計的な有意差は認められなかった。次に、排便日数の少ない群（非摂取期の平均排便日数が5日/週以下）と排便日数が多い群（非摂取期の平均排便日数が5日/週よりも多い）で層別解析を行った。その結果、排便日数の少ない群（29名）の非摂取期における平均排便日数（3.87日/週）は、青汁Aの摂取により4.26日/週、青汁Bの摂取により4.34日/週と、いずれも有意に増加した（それぞれ $p < 0.05$, $p < 0.01$ ）。一方、排便日数の多い群（38名）では、いずれの青汁摂取によっても有意差は観察されなかった。

排便回数と同様に、排便回数も全被験者での解析では有意差は認められなかった。次に、排便日数の少ない群で層別解析すると、非摂取期

の平均排便回数が4.47回/週であったのに対し、青汁A摂取期では5.16回/週、青汁B摂取期では5.40回/週と、いずれの試験食でも有意な排便回数の増加が観察された（どちらも $p < 0.05$ ）。

鶏卵の個数に換算した排便量は、全被験者、

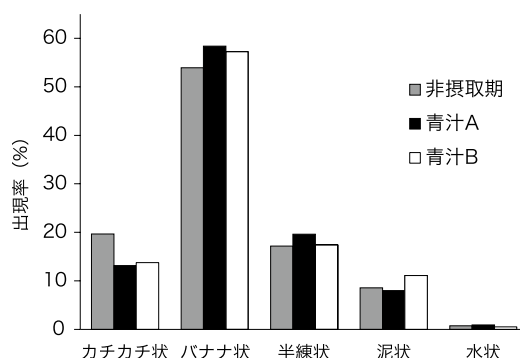


図2 大麦若葉搾汁粉末含有食品の便性状に及ぼす影響

「カチカチ状」「バナナ状」「半練状」「泥状」「水状」に関する便性状について図示した用紙を配布し、排便時に主観的に記載させた。出現率(%)は、非摂取期、青汁A摂取期、青汁B摂取期における排便回数の総数に対するそれぞれの便性状の出現割合を示している。

青汁A＝大麦若葉搾汁粉末＋難消化性デキストリン
青汁B＝大麦若葉搾汁粉末＋消化性デキストリン

排便日数の少ない群, 排便日数の多い群のいずれの場合でも, 統計的な有意差は得られなかった。

非摂取期, 青汁 A 摂取期, 青汁 B 摂取期における「カチカチ状」, 「バナナ状」, 「半練状」, 「泥状」, 「水状」の出現率を図 2 に示した。便秘傾向者に多く出現するといわれている「カチカチ状」の便性状に着目してカイ二乗検定による解析を進めたところ, 青汁 A 摂取期と青汁 B 摂取期における「カチカチ状」の出現頻度(回数)は, 非摂取期と比較して有意に低下した(それぞれ $p < 0.01$, $p < 0.05$)。

2-3. 心理的变化

「緊張－不安」の項目について, 被験者全体で解析したとき, 試験開始前と青汁 B 摂取後の間 ($p < 0.01$), 青汁 A 摂取後と青汁 B 摂取後の間 ($p < 0.05$) で有意差が得られた(表 3)。また, 排便日数の少ない群でも青汁 B の摂取は「緊張－不安」を低減させることが認められた ($p < 0.01$)。次に, 「抑うつ－落ち込み」の項目では, 被験者全体および排便日数の少ない群において, 試験開始前と比較して青汁 B 摂

取後で有意差が認められたが(いずれも $p < 0.01$), 青汁 A では有意差が得られなかった。排便日数が多い群における「活気」では, 摂取開始前と比較して青汁 A 摂取後で有意に上昇し ($p < 0.05$), 被験者全体においても「活気」のスコアが上昇する傾向が示唆されたが ($p < 0.1$), 統計学的な有意差は認められなかった。「混乱」の項目では, 排便日数の少ない群の摂取開始前と青汁 B 摂取後の間で有意に低下した ($p < 0.05$)。なお, 「怒り－敵意」, 「疲労」の項目は, すべてにおいて有意な変化は観察されなかった。

考 察

本研究では, 女子学生の日常的な排便状況に及ぼす大麦若葉搾汁粉末(青汁)の影響を検討した。あわせて, 難消化性デキストリンが配合されている試験食(青汁 A)と消化性デキストリンが配合されている試験食(青汁 B)による効果を比較することで, 大麦若葉搾汁粉末の便通改善効果に及ぼす難消化性デキストリンの影響についても検討を加えた。

表 3 大麦若葉搾汁粉末の心理的ストレスに対する影響(気分プロフィール検査)

		非摂取期	青汁 A 摂取期	青汁 B 摂取期
緊張－不安	被験者全体	51.7 ± 9.8 ^a	51.6 ± 10.2 ^a	49.3 ± 10.0 ^b
	排便日数の少ない群	53.1 ± 10.1 ^a	51.2 ± 8.5 ^{ab}	49.0 ± 9.4 ^b
	排便日数の多い群	50.6 ± 9.6	52.0 ± 11.4	49.6 ± 10.5
抑うつ－落ち込み	被験者全体	55.6 ± 11.7 ^a	54.6 ± 11.5 ^{ab}	52.8 ± 11.3 ^b
	排便日数の少ない群	56.9 ± 12.8 ^a	55.1 ± 10.0 ^{ab}	52.8 ± 10.9 ^b
	排便日数の多い群	54.7 ± 11.0	54.2 ± 2.6	52.8 ± 11.7
怒り－敵意	被験者全体	50.6 ± 10.6	50.1 ± 11.0	50.2 ± 10.6
	排便日数の少ない群	50.9 ± 10.5	50.0 ± 10.9	49.2 ± 10.0
	排便日数の多い群	50.3 ± 10.8	50.1 ± 11.3	51.0 ± 11.2
活気	被験者全体	46.2 ± 8.9	47.6 ± 9.4	47.5 ± 8.4
	排便日数の少ない群	44.2 ± 8.4	44.6 ± 9.8	45.1 ± 7.5
	排便日数の多い群	47.8 ± 9.1 ^a	49.9 ± 8.5 ^b	49.2 ± 8.7 ^{ab}
疲労	被験者全体	54.8 ± 9.9	54.3 ± 10.0	53.6 ± 10.8
	排便日数の少ない群	55.0 ± 9.7	53.1 ± 8.5	52.2 ± 10.2
	排便日数の多い群	54.6 ± 10.2	55.2 ± 11.1	54.6 ± 11.3
混乱	被験者全体	58.1 ± 10.9	57.2 ± 9.9	55.6 ± 10.1
	排便日数の少ない群	60.9 ± 12.0 ^a	57.9 ± 9.5 ^{ab}	55.8 ± 10.4 ^b
	排便日数の多い群	55.9 ± 9.5	56.7 ± 10.3	55.5 ± 10.0

平均値±標準偏差。異なるアルファベットは 5%の危険率で有意差があることを示す。

全被験者（67名）を解析対象とした場合、排便日数、排便回数とも統計的に有意な影響は得られなかった。一方で、排便日数や排便回数をもとに便秘傾向者と非便秘傾向者と明示し、層別に解析している論文が多く存在する。本研究でも既報^{11, 12)}を参考に、非摂取期（前観察期とウォッシュアウト期）の排便状況をもとに排便日数が1週間あたり5日以下の場合を排便日数の少ない群とし、それよりも大きい場合を排便日数が多い群として層別解析を行った。その結果、排便回数が少ない群において、試験食の摂取は、非摂取期と比較して排便日数、排便回数を有意に増加させた。BDHQで調査した食事由来の平均食物繊維摂取量は試験食摂取前後で有意な差は認められなかったことから、上記の便通改善効果は試験食の摂取に起因するものであると示唆された。さらに、これらの効果は難消化性デキストリンを配合した青汁Aのみでなく、消化性デキストリンを配合した青汁Bにおいても確認されたことから、試験食における便通改善作用は大麦若葉搾汁液固形分由来の成分による寄与が大きいことが推察された。なお、難消化性デキストリンは、保健の用途として「おなかの調子を整える」作用を有し、消費者庁より規格基準型特定保健用食品の関与成分として表示許可を受けている。食物繊維として3～8gが1日摂取目安量として設定されており、本試験で用いた青汁Aの食物繊維量（2.4g）では十分な相加効果が得られなかったと推察された。一方、排便日数が多い群の排便状況について、統計的に有意な変化は認められなかった。日常的に排便状況が良好な被験者において、さらに便通を刺激しなかったことは試験食の安全性の面からも重要であると考えられた。

一般的に、便秘傾向の被験者には、「カチカチ状」の便性状の出現が多いといわれる。被験者全体での「カチカチ状」の出現率は、非摂取期に19%であったのに対し、青汁A摂取期では13%、青汁B摂取期では14%へと低下し、一般的に良好な便性状といわれる「バナナ状」

の出現率は上昇した。被験者全体での「カチカチ状」の出現頻度（回数）についてカイ二乗検定を実施した結果、非摂取期と青汁A摂取期の間、非摂取期と青汁B摂取期の間において有意差が認められた。このような軟便化へシフトする傾向は排便日数が少ない群において顕著であったことから、大麦若葉搾汁粉末の便通改善効果について便の水分含有量との関連性が注目される。

便秘はその多くが基礎疾患を有さず、心理的なストレスにも影響される機能性の便秘であると理解されている。本試験では、気分や感情、情緒といった心理的ストレスの変化を定量的に扱うために、試験食の摂取前後でPOMSを用いた評価を行った。結果として、青汁Bの摂取は「抑うつ－落ち込み」を改善させることが確認された。被験者全体と排便日数が少ない群の両方において観察されたことから、排便状況の改善に伴った作用であることが推察された。さらに、試験食の摂取により、「緊張－不安」の程度も低下することが明らかとなった。このことは排便日数の多い群では認められなかったことから、排便日数の少ない群における便通改善が「緊張－不安」の程度を解消に向わせた一因であると推察された。一方で、試験食の摂取期間が終了したという解放感が心理面に影響したとも考えられることから、今後、ネガティブコントロールなどを設定することで、大麦若葉搾汁粉末による便通改善効果が心理的ストレスの程度に直接的に影響するか否かを評価する必要がある。さらに、上記の「緊張－不安」、「抑うつ－落ち込み」に関するスコアの有意な減少が青汁Bについてのみに観察されたことは現時点で不明である。今後は排便状況の改善の程度と心理的変化の相関を詳細に解析する必要がある。

本試験では、女子学生の便通に及ぼす大麦若葉搾汁粉末を含む食品の影響を検討した。その結果、非摂取期に比較して試験食の摂取によって排便日数、排便回数が有意に上昇し、その効果は大麦若葉搾汁液固形分由来の成分による可

能性が高いことが示唆された。大麦若葉の不溶性食物繊維は、「おなかの調子を整える」として特定保健用食品の表示許可を受けている¹³⁾。本試験では、青汁Bのように不溶性食物繊維をほとんど含まない試験食でも、非摂取期と比較して有意な便通改善作用を有したことから、不溶性食物繊維以外に便通改善作用を有する機能性成分の存在が示唆される。慢性的な便秘は心理的なストレスをもたらし、QOL低下の要因となることが指摘されている。食生活や運動習慣を見直すとともに、便通改善効果を有する食品を摂取することはQOLの向上の一助とな

りえる。大麦若葉搾汁粉末を「おなかの調子を整える」食品として位置付けられる可能性があるのではないかと考えている。

謝辞

本試験に参加いただいた被験者の方々に感謝致します。また、研究成果の多くは東京家政学院大学現代生活学部健康栄養学科栄養学研究室、栄養政策学研究室の皆様により行われたものであり、この場をお借りして深謝申し上げます。

参考文献

1. 朝比奈泰子, 本間秀彰, 堀 里子他: 青汁をはじめとする健康食品の使用実態・意識調査. 医療薬学 **34**(7): 644-650, 2008.
2. 大竹英俊, 湯浅英雄, 小村千世子他: 大麦若葉の青汁成分の研究. 抗潰瘍因子について. 薬学雑誌 **105**: 1046-1051, 1985.
3. 大竹英俊, 野中涼代, 澤田淑子他: 大麦若葉青汁成分の研究. ラットの食餌による高コレステロール血症に対する影響. 薬学雑誌 **105**: 1052-1057, 1985.
4. 古賀良太, 鐔田仁人, 池口主弥他: 大麦若葉末の高コレステロール血症改善作用. 日本食品科学工学会誌 **60**(1): 19-24, 2013.
5. 斎藤安弘, 齋藤正実, 山本邦男他: 大麦若葉不溶性食物繊維摂取がラットの盲腸内有機酸, 糞排泄および臓器重量に及ぼす影響. 日本栄養・食糧学会誌 **58**: 307-313, 2005.
6. 高垣欣也, 池口主弥, 有浦由紀: 女性便秘傾向者の便性に及ぼす難消化性デキストリン含有青汁粉末飲料の影響. 日本食品新素材研究会誌 **5**: 19-23, 2002.
7. 松井登, 山本邦男, 山本整他: 大麦若葉粉末の便秘傾向者の便通に及ぼす影響及び安全性の検討. 日本臨床栄養学会誌 **29**: 406-413, 2008.
8. 岸本三香子, 田中敬子: 若年女性の排便頻度と生活習慣との関連. 武庫川女子大紀要(自然科学) **56**: 121-126, 2008.
9. 横山和仁, 下光輝一, 野村忍: 診断・指導に活かすPOMS事例集. 金子書房, 2002.
10. 海野知紀, 菊地達也, 永田幸三: 健康人の排便に及ぼす難消化性デキストリン含有果汁・野菜汁混合飲料の影響. 日本食品新素材研究会誌 **6**(1): 23-27, 2003.
11. 里内美津子, 若林茂, 大隈一裕他: 難消化性デキストリンのヒト便通に及ぼす影響. 栄養学雑誌 **51**: 31-37, 1993.
12. 東幸雅, 伊藤和徳, 大木篤史他: *Lactobacillus gasseri* NY0509 および *Lactobacillus casei* NY1301 含有乳酸菌飲料の健康成人の排便および糞便内菌叢に及ぼす影響. 健康・栄養食品研究 **3**: 63-72, 2000.
13. 消費者庁ホームページ, <http://www.caa.go.jp/foods/index4.html>

大麦若葉末の粒度の違いが整腸，腸管免疫機能 および腸内細菌叢に及ぼす影響について

森川 琢海 (MORIKAWA Takumi) 友澤 寛 (TOMOZAWA Hiroshi) 北村 整一 (KITAMURA Seiichi)
鏑田 仁人 (TSUBATA Masahito) 山口 和也 (YAMAGUCHI Kazuya)

株式会社東洋新薬

Key Words: 大麦若葉 粉末 整腸 腸管免疫 腸内細菌叢 *Prevotella* 属

要旨

我々はこれまでに青汁素材の微粉碎製法を確立し、嗜好性に優れる青汁を提供してきたが、今回、大麦若葉末の生理作用として知られている整腸作用、免疫調節作用および腸内細菌叢改善作用に対して、大麦若葉末の粒度の違いに着目し比較評価を行った。粒度の異なる2種類の大麦若葉末をマウスに2週間摂取させたところ、糞便重量や盲腸内容物 pH にはほとんど違いはみられなかったものの、粒度の細かい大麦若葉末を摂取することで、腸管免疫賦活化の指標の1つである糞便中 IgA 量が増加した。また大麦若葉末の摂取により、腸内細菌叢にも変化がみられ、粒度の細かい大麦若葉末を摂取したマウスは粒度の粗いものを摂取したマウスと比較して糞便中の *Prevotella* 属の増加が認められた。本研究により、大麦若葉末の粒度が、腸管免疫機能を亢進させ、腸内細菌叢にも影響を与えることが示唆された。

はじめに

腸は、内なる外と呼ばれ、口から体内に取り入れられる様々なものに曝されている。その中には病原性の細菌なども含まれ、腸内に共生している細菌と合わせて存在する細菌は約 100 兆ともいわれている。腸内細菌叢は、腸内細菌の共生と病原菌などの排除の仕組みによりバランスが保たれ、そのバランスと腸管内の免疫機能は密接に関わりあっている¹⁾。この腸内細菌叢のバランスに影響を与えるものの一つが食事性因子である。例えば、炭水化物は腸内細菌が資化することで産生される短鎖脂肪酸により、腸管免疫機能の亢進に寄与する²⁾。一方、高脂肪食の摂取は腸内細菌叢が乱れるだけでなく、腸管免疫機能も低下することが知られている^{3,4)}。このように、腸内細菌は免疫機能の調節に重要

な役割を果たしているが、外来の食べ物によっても大きく左右される。

こういった食事性因子に影響を受ける代表的な身体症状として便秘がある。近年、便秘患者は増え、特に女性は男性の2倍近くも便秘症状を経験している^{5,6)}。慢性便秘患者は腸内細菌叢が乱れ、免疫応答も変化するという報告があり⁷⁾、便秘の解消が腸管免疫機能の維持にとって重要であることがうかがえる。そして、便秘の発症には食物繊維摂取量の不足が大きく影響する。食物繊維は非消化性のためそれ自体が便量に影響を与えるだけでなく、腸内細菌叢や腸管免疫の制御にも関わっている⁸⁾。しかし、近年食の欧米化が進み、食物繊維摂取量の不足による疾病のリスクが懸念されている⁸⁾。そのため、食物繊維摂取量の不足を解消することは現

代人にとって非常に重要である。

食物繊維摂取量の不足を補う健康食品として青汁が挙げられるが、その主原料として使用されているものが大麦若葉末である。大麦若葉末はイネ科オオムギ属に属するオオムギ (*Hordeum vulgare* L.) の出穂前の茎葉を刈り取った後、洗浄、裁断、乾燥、粗粉碎、殺菌、微粉碎など複数の工程を経て製造される緑茶様の風味を有する淡緑～濃緑色の粉末である。大麦若葉末には食物繊維が35～65%含まれ、そのほとんどが不溶性食物繊維である⁹⁾。我々はこれまでに青汁素材の微粉碎製法(特許3277181)を確立し、嗜好性に優れる青汁を提供してきた。さらに、大麦若葉末の機能性についても研究を行い、整腸作用、血糖値上昇抑制作用、血中コレステロール低下作用、大腸がん抑制作用など様々な生理機能を報告してきた¹⁰⁻¹³⁾。また、大麦若葉末由来の食物繊維を関与成分とした、便通改善作用の特定保健用食品表示許可も取得している。

このように大麦若葉末自体の機能性に着目した研究報告は我々をはじめ多くの研究者によって行われているが¹⁴⁾、素材の加工時における性状の違いによる機能性を比較した研究報告は少ない。そこで我々は、大麦若葉末の微粉碎加工時の粒度の違いが、マウスの整腸作用、腸管免疫賦活作用および腸内細菌叢にどのように影響を及ぼすかを検討した。

1. 材料および方法

1-1. 粒度の異なる大麦若葉末の調製

大麦若葉を洗浄、裁断、乾燥、粉碎し、大麦若葉末粒度粗(粒度<1mm)を得た。さらに粉碎を重ね、大麦若葉末粒度細(粒度<41.7 μ m)を得た。これらを被験物質として試験に使用した。

1-2. 試験デザイン

6日間馴化させたICRマウス(雄性、5週齢)を体重値および湿糞便重量が均一となるように1群7匹ずつ、①大麦若葉末無添加飼料群(コントロール群)、②大麦若葉末粒度細10%添加飼料群(粒度細群)および③大麦若葉末粒度粗

10%添加飼料群(粒度粗群)の3群に分けた。各試験飼料を14日間自由摂取させ、試験2日目、7日目および14日目に前日から24時間の糞便を回収した。14日目に回収した糞便は、湿重量、IgA量の測定および腸内細菌の16S rRNA遺伝子に基づいたリアルタイムPCRによる腸内細菌叢の解析を行った。また、試験14日目にマウスの盲腸内容物を回収し、盲腸内容物のpHを測定した。

1-3. 試験飼料

AIN-76精製飼料中に粒度の異なる大麦若葉末を10%となるように調製した。なお、大麦若葉末無添加飼料群は、食物繊維量を調整するためセルロースが5%含まれるAIN-76精製飼料を用いた。

1-4. 湿糞便重量および糞便中IgA量の測定

試験2日目、7日目および14日目に前日から24時間の糞便を回収し、湿糞便重量を測定した。また、試験14日目に回収した糞便を室温にて乾燥させ、乾燥後の糞便を粉碎し、10mgの糞便に対して100 μ LのPBS(-)を添加、ボルテックス後に遠心分離(4℃, 20400g, 10min)して上清を回収し、IgA測定キット(Mouse IgA ELISA Kit; Bethyl Laboratories, Inc.)にて糞便中IgA量を測定した。

1-5. 盲腸内容物pHの測定

試験14日目に回収した盲腸内容物を純水にて適宜希釈し、pHメーターにて測定した。

1-6. リアルタイムPCR

試験14日目に回収、乾燥後の糞便からDNA抽出キット(QIAamp DNA Stool Mini Kit; QIAGEN)を用いてDNAを抽出した。抽出したDNAを用いてリアルタイムPCR法により、腸内細菌叢を解析した。使用したプライマーの配列を表1に記す。

2. 結果

2-1. 湿糞便重量

回収した湿糞便の重量を図1に示す。大麦若葉末を摂取することでコントロール群と比較

表1 リアルタイム PCR に用いたプライマー

Primer		Primer 塩基配列
Total bacteria	Foward	5' -TCCTACGGGAGGCAGCAGT-3'
	Reverse	5' -GGACTACCAGGGTATCTATCCTGTT-3'
<i>Firmicutes</i> 門	Foward	5' -GGAGYATGTGGTTTAATTCGAAGCA-3'
	Reverse	5' -AGCTGACGACAACCATGCAC-3'
<i>Bacteroidetes</i> 門	Foward	5' -GGARCATGTGGTTTAATTCGATGAT-3'
	Reverse	5' -AGCTGACGACAACCATGCAG-3'
<i>Prevotella</i> 属	Foward	5' -CACRGTAACGATGGATGCC-3'
	Reverse	5' -GGTCGGGTTGCAGACC-3'

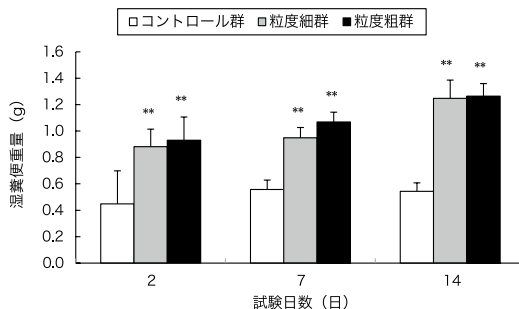


図1 湿糞便重量

各群の試験 2, 7, 14 日目の湿糞便重量を示す。平均値+SD (n=7) ** $p < 0.01$ vs コントロール群

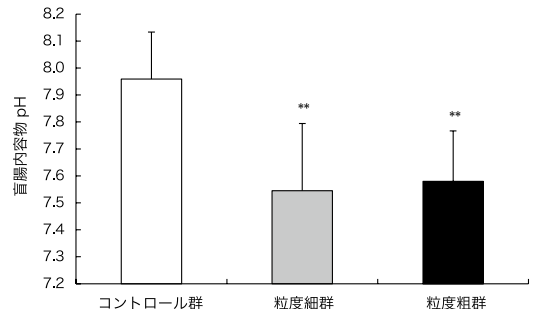


図2 盲腸内容物 pH

各群の試験 14 日目の盲腸内容物 pH を示す。平均値+SD (n=7) ** $p < 0.01$ vs コントロール群

して試験 2 日目以降から有意に湿糞便重量が増加した。一方で，粒度の違いによる湿糞便重量に差はみられなかった。

2-2. 盲腸内容物 pH

試験 14 日目のマウス盲腸内容物 pH を図 2 に示す。大麦若葉末を摂取することでコントロール群と比較して有意に盲腸内容物の pH が低下したが，粒度の違いによる盲腸内容物 pH に差はみられなかった。

2-3. 糞便中 IgA 量

試験 14 日目の糞便中 IgA 量を図 3 に示す。大麦若葉末を摂取することでコントロール群と比較して有意に糞便中 IgA 量が増加した。また粒度細群では，粒度粗群と比較しても有意に増加した。

2-4. 腸内細菌叢解析

試験 14 日目に回収した糞便からのリアルタイム PCR による腸内細菌の 16S rRNA 遺伝子の相対発現量を図 4 に示す。その結果，全群

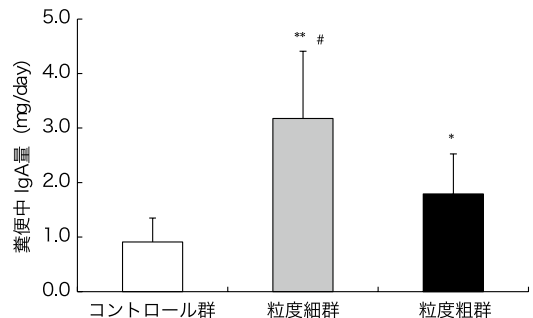


図3 糞便中 IgA 量

各群の試験 14 日目の糞便中 IgA 量を示す。平均値+SD (n=7) * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$ vs コントロール群, # $p < 0.05$ vs 粒度粗群

において総細菌数に影響を与えることなく，粒度粗群では *Firmicutes* 門の減少が認められた。また，コントロール群と比較して *Prevotella* 属が粒度細群および粒度粗群で有意に増加し，さらに粒度細群では，粒度粗群と比較しても有意な増加が認められた。

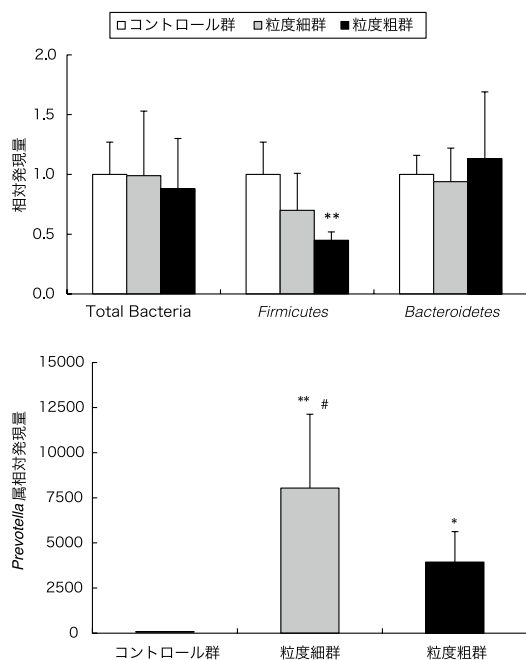


図4 腸内細菌叢の変動

各群の摂取14日目の腸内細菌叢を示す(上;総菌数および門,下;*Prevotella*属)。平均値±SD (n=7) * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$ vs コントロール群, # $p < 0.05$ vs 粒度粗群

3. 考察

大麦若葉末は食物繊維などに富み、様々な機能性を有することが知られている¹⁵⁾。大麦若葉末の粒度は、香りや食感に影響を与え、粒度が細かいほど香りも良く、舌や喉に与えるざらつき感も軽減することができる¹⁶⁾。これは大麦若葉末だけに当てはまるものではなく、他の青汁素材にもいえるものである¹⁶⁾。我々はこれまで、青汁素材の嗜好性を追求してきたが、今回は粒度と機能性との関連について検討した。

粒度の異なる大麦若葉末を10%添加し、14日間マウスに摂取させた。その結果、大麦若葉末を摂取した群で湿糞便重量の増加、盲腸内容物pHの低下、糞便中IgA量の増加および腸内細菌叢の変化が認められた。さらに粒度の細かい方が、糞便中IgA量の増加および腸内細菌叢の変化が顕著であったため、大麦若葉末の微粉碎加工は、腸管免疫賦活化および腸内細菌叢の改善において優位性があることが確認できた。

しかし、湿糞便重量においては粒度による差は確認できなかった。大麦若葉末摂取による湿糞便重量の増加は、抱水性が高い大麦若葉由来の不溶性食物繊維による嵩増し効果が影響していると考えられる¹⁷⁾。ただ抱水性にのみ着目すると、粒度の粗い方が有利である。例えば小麦ふすまを用いた試験では、粒度の粗い方が糞便重量が多く、抱水性が高いことが示されている¹⁸⁾。本試験では、湿糞便重量において粒度による差がなかったことから、粒度の細かい大麦若葉末の便通改善作用は、抱水性とは別の因子も影響を及ぼすことが示唆された。

その一方で、大麦若葉末の摂取による盲腸内容物pHの低下と糞便中IgA量の増加は、腸内細菌の資化作用の影響が大きいことが考えられた。食物繊維は腸内細菌によって短鎖脂肪酸に資化されることが知られており、さらに粒度の細かい食物繊維は表面積が増えることで腸内細菌と接する面積が広がり、粒度の粗いものよりも資化されやすいと考えられている¹⁹⁾。また、短鎖脂肪酸はIgAを増加させることが報告されており²⁰⁾、糞便中IgA量の変化は腸管免疫賦活化の指標だけでなく、腸内細菌の資化作用を見る上でも重要な情報となる。本試験では粒度の違いによる盲腸内容物pHの差は確認できなかったものの、粒度の細かい大麦若葉末の摂取により粒度の粗いものと比較して糞便中IgA量が増加した。そのため、微粉碎加工によって資化作用が強まる可能性が示された。今後盲腸内容物pHだけでなく、盲腸内容物の短鎖脂肪酸の組成比についての確認も進めていく。

本試験では大麦若葉末の摂取により、腸内細菌叢にも影響を及ぼした。その中でも*Prevotella*属の増加はコントロール群と比較して数千倍と顕著なものであり、大麦若葉末の粒度の細かい方がこの増加が大きいことがわかった。便秘になると腸内細菌叢が乱れることが知られているが、便秘患者は非便秘患者と比較して*Prevotella*属が10倍以上減少する²¹⁾。さらに*Prevotella*属は、酢酸や乳酸などの短鎖脂肪酸を産生することから²²⁾、先に述べた粒度の

細かい大麦若葉末摂取による糞便中 IgA 量の増加は、*Prevotella* 属が産生した短鎖脂肪酸も影響する可能性が考えられる。*Prevotella* 属は整腸作用，腸管免疫賦活作用の両方に優れた腸内細菌であり，大麦若葉末が腸内細菌叢の乱れを改善する一因になることが考えられる。そのため，今後は大麦若葉末と *Prevotella* 属，腸内

の短鎖脂肪酸の関係性を解明していきたい。

我々は，微粉碎加工を施すことにより嗜好性に優れる青汁素材を提供してきたが，嗜好性だけでなく，機能性にも優れることを本試験にて確認した。

嗜好性と機能性を兼ね備えた青汁素材の開発を今後も追求していく。

参考文献

- Masuda K, Sakai N, Nakamura K, *et al.*: Bactericidal activity of mouse α -defensin cryptdin-4 predominantly affects noncommensal bacteria. *J Innate Immun.* **3**: 315-26, 2011.
- Smith PM, Howitt MR, Panikov N, *et al.*: The microbial metabolites, short-chain fatty acids, regulate colonic Treg cell homeostasis. *Science.* **341**(6145): 569-73, 2013.
- Yonei Y, Yagi M, Nakamura M, *et al.*: Effects of astaxanthin on intestinal microflora in mice fed a high-fat diet. *Anti-Aging Medicine.* **10**(4): 77-91, 2013.
- Reddy BS.: Dietary fat and its relationship to large bowel cancer. *Cancer Res.* **41**: 3700-5, 1981.
- 坂元 一久：便秘（その実態・種類・診断・治療などについて）. 診療と新薬, **23**(8): 1649-1658, 1986.
- 厚生労働省：平成 25 年国民生活基礎調査の概況. 2014.
- Khalif IL, Quigley EM, Konovitch EA, *et al.*: Alterations in the colonic flora and intestinal permeability and evidence of immune activation in chronic constipation. *Dig. Liver Dis.* **37**(11):838-49, 2005.
- 食物繊維素材の市場動向. 食品と開発, **50**(1): 44-53, 2015.
- 古賀 良太, 城戸 弥生, 神谷 智康 他：大麦若葉末の便通改善作用に関与する食物繊維の可能性. 日本食品新素材研究会誌, **15**: 58-63, 2012.
- 池口 主弥, 小林 正和, 有浦 由紀 他：大麦若葉末を摂取したヒトの排便回数および便性状への影響. 日本食物繊維学会誌, **9**(1): 12-21, 2005.
- 神谷 智康, 高野 晃, 草場 宣廷 他：大麦若葉末含有粉末飲料の食後血糖値上昇抑制効果. 応用薬理, **85**(1/2): 1-6, 2013.
- 古賀 良太, 鐔田 仁人, 池口 主弥 他：大麦若葉末の高コレステロール血症改善作用. 日本食品科学工学会誌, **60**(1): 19-24, 2013.
- 片山（須川）洋子, 奥 和之, 片山 真之 他：大麦若葉末による DMH 誘発マウス大腸ガン抑制作用. 日本食物繊維学会第 16 回学術集会, 2011.
- 萩原 義秀, 萩原 秀昭, 上山 英夫：大麦若葉青汁粉末の生理機能性物質. 日本食品科学工学会誌, **48**(10): 712-725, 2001.
- 西村 明, 丸山 真二郎, 高垣 欣也：大麦若葉末のストレス潰瘍に対する予防効果. 日本未病システム学会雑誌, **8**(2): 207-9, 2002.
- 特開 2003-033151 緑葉乾燥微粉末の製造方法
- 池口 主弥, 小林 正和, 伊藤 聖 他：大麦若葉末の便通に及ぼす影響. 日本食物繊維学会第 9 回学術集会, 2004.
- Brodribb AJ, Groves C.: Effect of bran particle size on stool weight. *Gut.* **19**(1): 60-3, 1978.
- 岸田 太郎, 海老原 清：血漿脂質および盲腸内容物中有機酸濃度に及ぼすビート食物繊維の粒度ならびにゲアーガムの分子量の影響. 日本食物繊維学会誌, **2**(2): 75-82, 1998.
- Ebihara K, Tachibe M, Kaneko N, *et al.*: Hydroxypropylation of high-amylose maize starch changes digestion and fermentation-dependent parameters in rats. *J. Nutr. Sci.* **2**:e17, 2013.
- Zhu L, Liu W, Alkhoury R, *et al.*: Structural changes in the gut microbiome of constipated patients. *Physiol Genomics.* **46**(18): 679-86, 2014.
- Yousefi-Mashouf R, Eley A, Duerden BI, *et al.*: Characterisation of non-pigmented species of the genus *Prevotella* by polyacrylamide gel electrophoresis. *J. Med. Microbiol.* **37**(2): 83-90, 1992.

これだけは知っておきたい

豆 知 識

(一財) 食品分析開発センター SUNATEC
第一理化学検査室

2015年4月1日、食品表示法が施行され、あらたに機能性表示食品制度が導入されました。これまでは、食品に含有されている栄養成分の生理機能を表示できる制度は、国が個別に許可した特定保健用食品（トクホ）と、国の規格基準に適合した栄養機能食品に限られていましたが、今回新制度ができたことにより、事業者の責任において、科学的根拠に基づいた機能をもつ栄養成分（機能性成分）について、表示することが可能になりました。

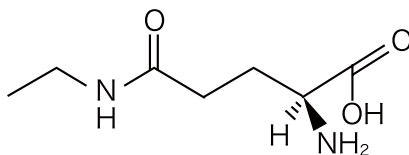
現在、様々な機能性成分が市場に出回り注目されていますが、今回は機能性成分の一つである「テアニン」についてご紹介します。

【テアニンとは】

テアニン（L-Theanine）

分子式： $C_7H_{14}N_2O_3$

構造式：



テアニンはアミノ酸の一種であり、緑茶や紅茶、特に玉露のような高級な「お茶」に多く含まれています。その含量は、お茶に含まれるアミノ酸の中で最も多く、お茶の代表的な旨み成分の1つです。お茶の主成分は、苦みの成分であるカフェイン、渋みの成分であるカテキン類、そして甘み旨みの成分であるテアニンです。テアニンは一番茶（新茶）のように初期の若い芽に多く含まれ、二番茶、三番茶と成熟した葉では極端に少なくなります。また、玉露のように日光を遮って栽培すると、テアニンからカテキンの生成が抑えられるため、茶葉中にテアニンを豊富に含んだままの状態になります。逆に言えば、高級茶ほどカテキン含量は少なくなります。よって新茶や玉露にはテアニンが多く含まれ、旨味の多い味わいとなることが報告されています。

【効果，作用】

お茶を飲むと気持ちがゆったりとして、リラックスした気分になしてくれます。お茶には神経を高揚させる働きのあるカフェインが含まれているにも関わらず、気持ちが落ち着くのは、お茶に含まれるテアニンの作用だといわれています。その原因は、カフェインとテアニンの同時摂取により、カフェインによる興奮作用が抑制されるからだといわれています。

身体の神経性支配は交感神経と副交感神経の二つの異なる神経系に支配されており、闘争心の旺盛なときは交感神経の活性度が増し、一方ゆったりとした精神状態のときには副交感神経の活性度が増すといわれています。テアニンを摂取すると、交感神経には影響がないものの、副交感神経の活性を増すことが分かって

おり、またリラックス時に発現する脳波として知られている α 波を増強することが報告されています。よって、テアニンを摂取するとリラックス状態になると考えられています。そのほかに、ストレスの低減、血圧上昇抑制作用、睡眠の質の改善や、冷え症の改善といった様々な生理機能が知られています。

【テアニンの分析方法】

テアニンは食品添加物としても使用が許可されています。食品中のテアニンを分析する方法として、現在では様々な分析方法が報告されていますが、その中の主要な方法の一つが、他のアミノ酸と同様にアミノ酸自動分析計を用いた液体クロマトグラフ法です。その他にも、トリメチルシリル化し、水素イオン化型検出器付ガスクロマトグラフ（GC-FID）で分析する方法や、細管式等速電気誘導法等の分析方法も知られています。

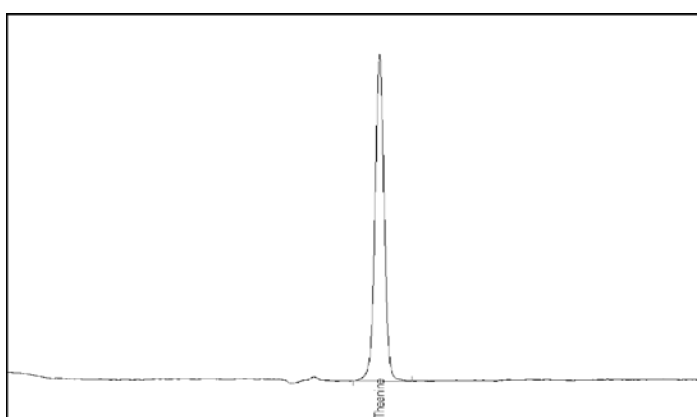


図1 アミノ酸自動分析計を用いたテアニンのクロマトグラム

【まとめ】

日常摂取する食品中には、タンパク質合成に利用される約20種類のアミノ酸以外にも多くのアミノ酸が含まれており、これらのアミノ酸は栄養効果が明確にされていないため、ほとんどは研究がされていません。その中でテアニンは様々な生理機能を有しており、さらなる研究が続けられています。今後も研究、実験によってテアニンの効果が解明されるに伴い、ますます注目があつまる成分と考えられます。

〔参考文献〕

- ・食品衛生検査指針 食品添加物編 2003
- ・第8版 食品添加物公定書

健康食品の エビデンス

第7回

濱舘 直史 / 濱舘学術事務所

ノコギリヤシ

私が初めてノコギリヤシと聞いて思い浮かべたのは「葉っぱがギザギザしたヤシかな」といったところでした。実際、この連想は正しく、ノコギリヤシの葉は1m前後にもなる大きくノコギリのようにギザギザしています。古くはこのノコギリヤシの葉を茅葺屋根として用いていたそうです。ノコギリヤシは、英語でも「ソウパルメット(Saw palmetto)」と呼ばれており、ソウはノコギリを意味し、パルメットは扇形の葉を持つ丈の低いヤシの総称ですので、和名も英名も同じ発想で名付けられています。生育地域は北米南部の海岸沿いを中心に、内陸部にも見られます。花は淡黄色で、赤黒い果実を付けます。ヤシの実是一般的に油が良く取れることで知られていますが、ノコギリヤシも油分を多く含み、その油は燃料や食用、薬用などの広い用途で使用されています。

ノコギリヤシの果実が薬用に用いられ始めたのは19世紀初めで、そのお茶が前立腺肥大症の治療に用いられ、その後は強壮剤として使用され、1960年代にはその油性成分が前立腺肥大症による排尿障害に有効とされたといわれています¹⁾。ノコギリヤシは現在、ヨーロッパで良性前立腺肥大による排尿障害などの管理に治療薬として広く用いられています。アメリカでは標準の療法にはなっていませんが、良性前立腺肥大に対する最も一般的な植物療法として知られています²⁾。また、日本でも健康食品として多くの企業が商品化していますので、薬局、テレビ、インターネットなどでご覧になった、もしくは既に利用されている方も多くいらっしゃるのではないかと思います。

ノコギリヤシの排尿機能(国際前立腺症状スコア、最大尿流動率、夜間頻尿など)に対する効果につい

ては多数の論文が報告されています³⁾。これらの試験結果は有効性を認めているものと認めていないものがあり、結果にばらつきがあります。このばらつきの原因としては用いたノコギリヤシの品質にばらつきがあることや試験デザインにばらつきがあるためと考えられます。しかしながら、多くの試験結果を統合的に解析する研究報告もされており、その有効性が認められています⁴⁻⁶⁾。このことから、ノコギリヤシは良性前立腺肥大による排尿障害に対して有効であると考えられます。

ノコギリヤシの排尿機能に対する作用機序は、5 α -reductase 阻害作用、アンドロゲン受容体遮断作用、細胞増殖抑制作用、抗炎症作用の4つによると考えられています⁷⁻⁹⁾。前立腺肥大は、テストステロンが5 α -reductase によってジヒドロテストステロンが生成され、それがアンドロゲン受容体と結合することによって進行すると考えられています。5 α -reductase 阻害作用、アンドロゲン受容体遮断作用はこの経路を減弱することが考えられます。また、細胞増殖抑制作用は直接的な作用を示し、抗炎症作用は前立腺肥大による排尿困難などの症状緩和などに役立つと考えられます。

これらの機能を示す作用本体は、遊離脂肪酸(ラウリン酸、ミリスチン酸、パルミチン酸、オレイン酸など)と植物ステロール(β -シトステロールなど)とされており、これら脂肪酸とステロールが80~95%含まれているノコギリヤシエキスが推奨されています。以上ことから考えても、様々な規格の商品が市場に出回っているため、商品選択によって効果に大きな差があることが想定できます。信頼できる管理体制で製造している商品を選ぶことが必要になるかと思います。

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。



安全性については、(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「経口で適切に摂取する場合おそらく安全と思われる。妊娠中・授乳中の摂取については、おそらく危険と思われる。ノコギリヤシは抗アンドロゲン活性及び抗エストロゲン活性を持ち、経口避妊薬やホルモン療法との併用で、それらの効果に影響を与えることがある。抗血液凝固薬や抗血小板薬との併用で、出血傾向が高まる可能性、臨床検査において、出血に関する項目に影響を与える可能性がある」と記載があります。この記載の通り、多くの臨床試験結果や食経験から適切に摂取するには安全と考えられます。ただし、エストロゲン(女性ホルモン)を弱める効果があるため妊

娠中・授乳中には適さないと考えられており、アンドロゲン(男性ホルモン)を弱める効果があることから男児の性器の正常な発達に異常を引き起こす可能性が考えられます。また、ホルモンの働きを強めたり弱めたりする薬や血液凝固に関わる薬を服用されている方は注意が必要です。ノコギリヤシは前立腺肥大の症状を緩和するが、前立腺肥大の進行を止めない可能性があるとして記載があるため¹⁰⁾、重度の排尿障害がある方に対しては前立腺癌の診断が遅れること、また、前立腺癌の治療中の方もPSA値に干渉することが考えられるため、特に重度の症状を感じられている方には、使用前に医師に相談することをお勧めします。

参考文献

- 1) 吉川敏一ら編著, 最新版 医療従事者のための サプリメント・機能性食品事典, (株)講談社, 2009年2月27日発行; 82-83.
- 2) キャサリン・E. ウルブリヒトラ編集, ハーブ&サプリメント, (株)ガイアブックス, 2014年12月20日発行; 655-672.
- 3) 藤野(隠岐)知美ら, ノコギリヤシ果実抽出液の排尿機能及び下部尿路受容体に対する作用, 日本補完代替医療学会誌, 2007; 4(2): 41-50.
- 4) Wilt TJ *et al.*, Saw palmetto extracts for treatment of benign prostatic hyperplasia: a systematic review, *JAMA*, 1998; **280**(18): 1604-1609.
- 5) Wilt TJ *et al.*, Serenoa repens for benign prostatic hyperplasia, *Cochrane Database Syst Rev*, 2000; 2: CD001423.
- 6) Boyle P *et al.*, Meta-analysis of clinical trials of permixon in the treatment of symptomatic benign prostatic hyperplasia, *Urology*, 2000; **55**(4): 533-539.
- 7) 鈴木真由美ら, ラットの排尿機能及び下部尿路受容体に対するノコギリヤシ果実抽出液の薬理作用, 日本排尿機能学会誌, 2005; **16**: 191-201.
- 8) Paubert-Braquet M *et al.*, Effect of the lipidosterolic extract of *Serenoa repens* (Permixon) and its major components on basic fibroblast growth factor-induced proliferation of cultures of human prostate biopsies, *Eur Urol*, 1998; **33**(3): 340-347.
- 9) Geavlete P *et al.*, Serenoa repens extract in the treatment of benign prostatic hyperplasia, *Ther Adv Urol*, 2011; **3**(4): 193-198.
- 10) 清水俊雄編著, 改訂増補版 機能性食品素材便覧, (株)薬事日報社, 2006年9月25日発行; 410-411.

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)

リンドウ *Gentiana scabra* Bunge var. *buergeri* (Miq.) Maxim. (リンドウ科 Gentianaceae)

秋、奥武蔵の山々を歩くと、日当たりの良い山の斜面などに薄紫色の可憐な花をつけたリンドウを見かけます。リンドウは本州、四国、九州に分布し、山地や丘陵地に生える多年草です。茎は中空で直立または斜めに立ち、草丈 20 ～ 90cm、葉は対生し、披針形で先はとがり、全縁、基部は茎を抱き、花は 9 ～ 11 月に咲き、茎の頂きまたは上部の葉腋に紫色、稀に白色の花をつけます。根と根茎はとても苦く、竜の胆のように苦いことから、生薬名を竜胆（リュウタン）と言い、昔から、民間で食欲不振、消化不良、胃酸過多、腹痛などにセンブリと同様、苦味健胃薬として使われてきました。

竜胆には、苦味健胃作用があり、唾液分泌促進とともに胃液分泌を増加し、胃腸運動を強め、消化吸收を促し、また、胆汁、胆汁分泌を促進することから、消化器の充血や炎症のほか、尿道炎、リウマチなどにも利用され、疎経活血湯（ソケイカクケツトウ）、立効散（リッコウサン）、竜胆瀉肝湯（リュウタンシャカントウ）などの漢方薬に配合されています。苦い成分は gentiopicroside (gentiopicrocin) などのセコイリドイド配糖体で、胃液分泌促進作用、胃および腸管運動促進作用があります。現在、日本薬局方収載生薬「竜胆」の基原植物には、トウリンドウ、マンシュウリンドウ、トウオヤマリンドウの 3 種が規定され、日本に自生するリンドウはトウリンドウに、また、エゾリンドウはトウ



写真1 リンドウ（花）



写真2 リュウタン（竜胆）



写真3 リンドウ（花、真上から）



写真4 ツルリンドウ（果実）



写真5 フデリンドウ（花）

オヤマリンドウに含まれるものと解釈されていますが、リンドウやエゾリンドウを基原植物とする生薬の産出量は極めて少ないそうです。

その他、つる性で花はあまり目立ちませんが、秋、真っ赤な実をつけるツルリンドウ *Tripterospermum japonicum* (Sieb. et Zucc.) Maxim. があります。子供の頃、あまりにおいしそうなので口に入れてはみたものの、味の記憶が全く残っていません。きっと、美味しくも苦くも無かったのでしょう。その他、奥武蔵の丘陵地では春、花の咲くフデリンドウなども見ることができます。

余談ですが、切り花として、よく用いられる“トルコギキョウ”は、実は北アメリカ原産のリンドウ科植物なのですが、日本に導入されたとき、花の色や形からトルコのキキョウとして紹介され、その名が付いたようです。

東北大学歯学研究科 生 宏 (Sheng Hong)
明海大学歯学部 MPL 坂上 宏 (Sakagami Hiroshi)

8月末ですが、仙台は急に肌寒い感じで、秋になったようですが、夏の暑さと冬の寒さより、過ごしやすくなります。「食欲の秋」も「養生の秋」ですね。

筆者(生宏)は中国・甘肅省蘭州市で育ちました。甘肅省は中国の西部に位置し、敦煌の莫高窟など世界遺産もあります。気候はかなり乾燥しております。そのような乾燥地域でゆり根が名産です。祖父は漢方医学に非常に興味を持っているので、小さい頃「黄帝内経(こうていだいけい)」による春に養肝、夏に養心、長夏に養脾、秋に養肺、冬に養腎という四季の養生の言葉をよく耳にしていました。ゆり根は肺を潤す効果があること今も覚えています。晩秋から冬にかけて蘭州の旬のものはゆり根です。とても甘くて、苦味は全然ありません。

秋は乾燥の季節で、漢方医学は「燥邪(そうじゃ)傷肺」という考えがあります。燥邪には、体内の潤い不足と外気の乾燥の影響による呼吸器系・皮膚系は水分代謝や体温調節機能のバランスを崩しやすく、さまざまなトラブルにつながるのです。でも、自然の恩恵は不思議ですね。秋特有の「燥邪」には予防パワーがあり、肺を潤してくれる旬の食材です。一番入手しやすいのは梨より、ゆり根は中国で今や貴重な高級食材です。なぜかという、ゆり根の栽培は大変だからです。特に甘味を持つ大きなほう。畑に植え付けするまでに3年、畑に植え付けてから更に3年間を必要とします。旬の時も高価です。昔は保存しにくいので、お土産として難しくて、近年、真空技術のおかげで、干したゆり根はよくスーパーで売られています。



百合根(ユリ根)は、ユリ属植物の鱗茎(球根)のことです。ユリは世界では100種、中国には55種ほど分布し、日本では15種ほど自生しています。百合根はたくさんの鱗片(ゆりの葉の変形)が重なりあった鱗茎の形から漢字の「百合(びゃくごう)」が当てられたと言われています。栄養豊富で、変な匂いもなく、中国では古くから食用や漢方として用いられました。甘微苦、微寒、心、肺二経に入ります。良質な澱粉、グルコマンナンを含む水溶性食物繊維、タンパク質、ビタミンC、B₁とカルシウムが多いです。漢方として主に3つの効果があります：



1. 潤肺：肺やのどを潤す効果があります。
2. 止咳：肺を潤して咳を止め、痰をとるなど。
3. 安神(鎮静作用)：アルカロイド成分も含まれて、不眠症やイライラなどの症状を緩和する働きがあります。

日本で北海道産の百合根が美味しいと聞いたことがありますが、一度も食べたことはなく、近いうちに食べたいと思います。皆さんは食べたことがありますか？

ポリフェノールによる食肉色素 ミオグロビンの新鮮色の制御

本田沙理 (HONDA Sari)¹ 増田 晃子 (MASUDA Akiko)² 増田 俊哉 (MASUDA Toshiya)³

¹ 徳島大学大学院総合科学教育部, ² 四国大学生活科学部, ³ 大阪市立大学大学院生活科学研究科

Key Words: ポリフェノール オキシミオグロビン ケルセチン 食肉色素

はじめに

食肉は、その多くが生鮮食品として流通し消費される。食肉の赤色は脂肪の色とともに、製造流通过程で食肉の品質評価の対象とされ、また、消費者にとっても食肉の赤色は新鮮度の重要な判断材料となっている¹⁾。従って食肉の新鮮さをイメージさせる赤色を維持することは、流通ならびに加工上、生鮮食品としての食肉の価値を保つための重要な要素といえよう。

ところで、食肉の赤色は、主に筋肉中に存在する色素タンパク質ミオグロビンの色に由来するとされている。ミオグロビンは、ヘムと呼ばれる2価の鉄イオンがキレートしたポルフィリン物質とグロビタンパク質の複合体である。鉄イオンは通常6配座を有するが、ミオグロビンの場合、そのうち4配座はポルフィリン窒素が、1配座はグロビンのヒスチジン残基のイミダゾール窒素が占めており、残りの一カ所には様々な物質の配座が可能となっている²⁾。

屠殺直後の食肉の色は暗赤色であり、消費者が精肉店などで通常見ることが出来る食肉の色とは異なる。食肉は酸素に触れると、いわゆるブルーミング現象によりミオグロビンの2価鉄に酸素分子が配位した鮮赤色のオキシミオグロビンに変化する。この酸素との配位はそれほど強くなく、グロビン部分の高次

構造変化などを伴うと、2価の鉄が配位酸素に電子を移動し、3価に酸化されてしまう。結果、鮮赤色のオキシミオグロビンはメトミオグロビンとなり食肉を褐変し、商品価値を低下させ、さらに脂質など他の食肉成分の酸化を誘発する原因にもなる³⁾。

ポリフェノールとは、狭義には共役関係にあるフェノール性水酸基を複数有する物質で、主に植物由来のものである。フェノール性水酸基のO-H間結合解離エネルギーは小さく、ポリフェノールはフェノキシラジカル種を生じたのち、第一段階の生成物であるキノン体へと酸化されやすい。この酸化反応においては、酸化還元の原理から周りの物質が還元されることになる。また、食品の酸敗のように成分が酸化されつつある過程では、酸化反応を遅らせる、いわゆる抗酸化性の発現につながる。なお、ポリフェノールは長年の食習慣のある植物成分であるため、安全性の高い食品機能性物質としても着目されている。

最近、我々の研究グループでは、食肉という生鮮食品の品質管理において、新鮮さを示す鮮赤色（新鮮色）の維持に安全性の高い植物成分であるポリフェノールが応用できないかと考え、検討を行っておりこれまでに得られた成果を紹介する。

1. オキシミオグロビンに対する各種ポリフェノール類の効果

ブルーミング後の鮮赤色を示すオキシミオグロビンをポリフェノールにより長期間維持することができれば、変色による食肉の品質低下問題の直接的な解決につながる。これは、ポリフェノールのオキシミオグロビンに対する抗酸化性を検証することである。ところが、一般的な食品における不飽和脂質などの酸化の抑制と異なり、オキシミオグロビンの酸化抑制では、酸化の原因となる酸素がすでに鉄イオン上に配座しているという、言わば酸化準備がされた状況下で、二価鉄イオンが三価へと酸化されることを防ぐ必要がある²⁾。

オキシミオグロビンの新鮮色変色制御実験は、市販の精製ミオグロビンから調製したオキシミオグロビンに各種ポリフェノール類を添加し、その吸光度の変化を経時的に測定することにより行った。オキシミオグロビンの変化は570 nmの吸光度変化、または582 nmと500

nmの吸光度を同時に測定して算出した濃度から評価した。オキシミオグロビンは一般的な生体内pHであるpH 7.4においては比較的安定で、酸性になるとより不安定になると言われている。そこで、pH 7.4に加えてpH 5.7での実験も行った。pH 5.7の条件で、オキシミオグロビンは37℃、2時間で50%程度減少する。その系に各種のポリフェノールおよび関連フェノールを共存させたが、オキシミオグロビンの減少を抑えたものはなかった。むしろ、いくつかのポリフェノールは減少を促進するという結果を得た。ポリフェノールによるオキシミオグロビンの減少促進効果（色調からメト化と考えられる）は、オキシミオグロビンが比較的安定なpHであるpH 7.4でも認められ、カフェ酸などが有意に減少促進効果を示す結果を得た（図1）。実際の食肉とは異なりシンプルなインビトロ系での結果ではあるが、ポリフェノールがオキシミオグロビンの酸化褐変、いわゆるメト化に促進的に働くことが判明した⁴⁾。

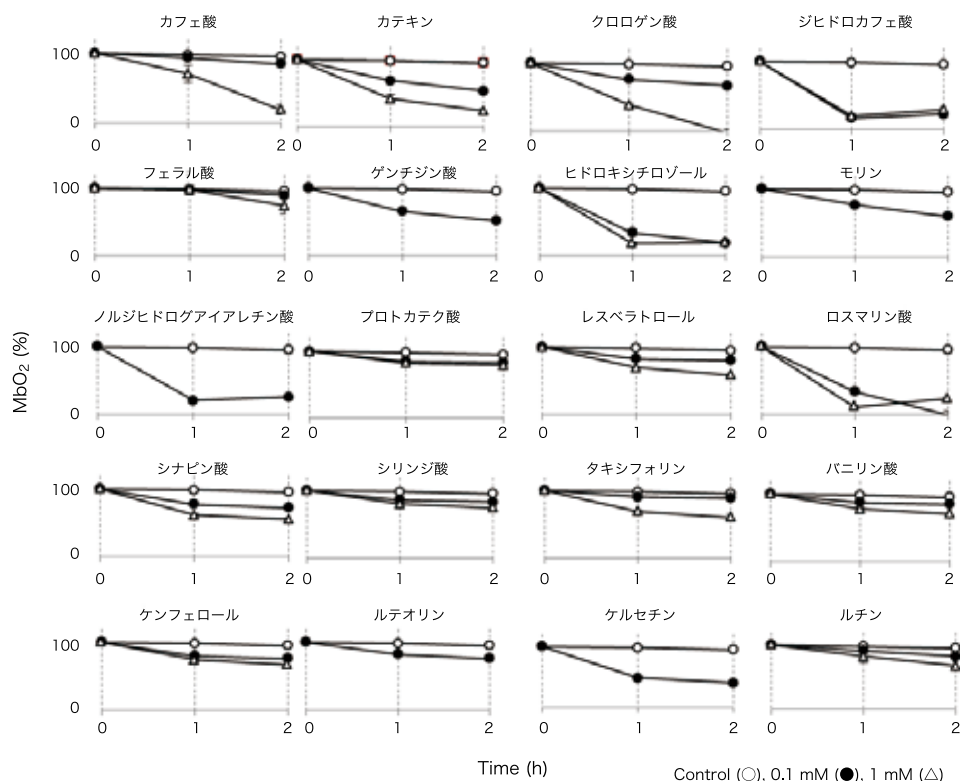


図1 ポリフェノール類のオキシミオグロビンの酸化、メト化効果 (pH 7.4)

オキシミオグロビンの酸化、いわゆるメト化による変色が確認されたポリフェノールを調べると、一般的に抗酸化性が強いとされているポリフェノールであった。ある種の抗酸化ポリフェノールは条件によっては酸化の促進、いわゆるプロオキシダント作用を有することが知られている。その一つの原因として、空気酸化されたポリフェノールが酸化還元メディエーターとして働くことがある。たとえば、ポリフェノールの空気酸化（実際には微量の遷移金属が必要と考えられる）で生じるポリフェノールキノン、対象によっては酸化剤となる。

ところで、食肉の変色は生鮮食品の品質管理上重要な問題であり、これまでも多くの研究がなされてきた。米国の Faustman らは、オキシミオグロビンのメト化を、アルデヒド、特に脂質の酸化で生じるヒドロキシノネナル類が、顕著に促進することを示している⁵⁾。その理由として、グロビンのヒスチジン残基などにアルデヒド類が反応し高次構造を変化させ、結果と

してヘム部の不安定化による鉄イオンの酸化の促進につながることを示唆している⁶⁾。ポリフェノールの酸化キノン体もアルデヒドと同じく求電子体であり、ミオグロビンに対して同様な効果があると考えられる。そこで、実験系にヒスチジンなどの塩基性アミノ酸をあらかじめ共存させることで、オキシミオグロビンの変色を防ぐことができると想定し実験を行った。結果としては、ヒスチジンやリシンの効果はそれほど大きくなかったが、システインの高い共存効果を発見するに至った。さらに、このシステインの必要量はポリフェノール量と一致し、何らかの化学反応による可能性が示唆された⁴⁾。

2. ポリフェノールによるメトミオグロビンの還元オキシミオグロビン化

抗酸化性の強いポリフェノールが、オキシミオグロビンに対してプロオキシダント的に働くことが判明した。このプロオキシダント性は、ポリフェノールが系内で酸化されることによる

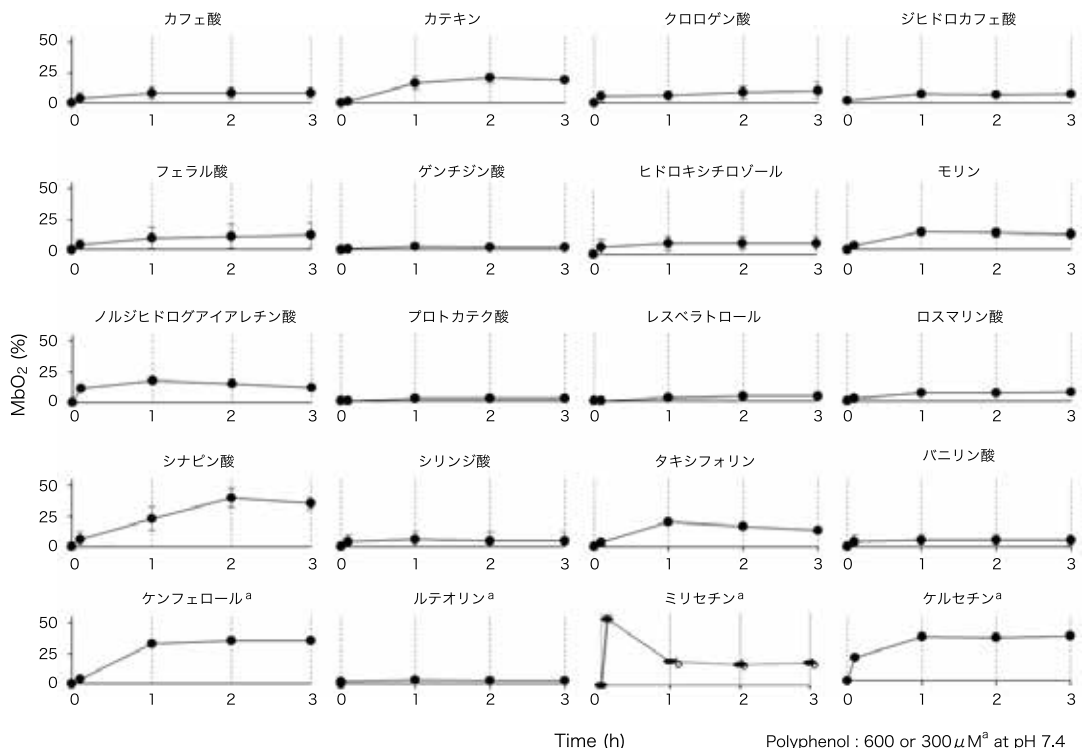


図2 ポリフェノール類によるメトミオグロビンの還元、オキシ化効果

ものと考えられる。酸化は還元と表裏一体であるので、これらのポリフェノールには強い還元力があることになる。ビタミンCには、褐色のメトミオグロビンを還元、オキシ化できることが報告されている⁷⁾。追試をしたところ、ミオグロビンの10倍モル濃度のビタミンCを用いることにより、短時間で効果的に還元、オキシ化ができたため、本用量比で各種ポリフェノールのメトミオグロビンに対する還元能を測定した(図2)。その結果、一部のポリフェノール、特にフラボノールに分類されるものに弱いながらもメトミオグロビンの還元オキシ化が認められた⁸⁾。一方で、メトミオグロビンを還元したポリフェノールは酸化されているはずである。前述の実験から、反応性の高いポリフェノールにはオキシミオグロビンの酸化促進能もあるはずであり、今回、フラボノ

ールになぜメトミオグロビンのオキシ化が認められるのか、ケルセチンを用いて反応化学的な解明を行った。

メトミオグロビンにケルセチンを加え、HPLCを用いて変化を追跡する実験を行った。経時的分析により、ケルセチンの減少とともに、新たに3種のピーク物質の生成が観察された。なお、生成物Aのピークは、生成物B及びCのピークより先行して増加し、メトミオグロビンの還元、オキシ化の時間と一致したため、ケルセチンから物質Aが生成することがメトミオグロビンの還元に主に寄与しているものと考えられた。生成物AからCまでを単離し、化学構造を同定したところ、生成物AはケルセチンのC環が酸化したものであり、生成物BとCはさらにC環部で開裂したものであった。詳細な反応機構を推定すると図3のようにな

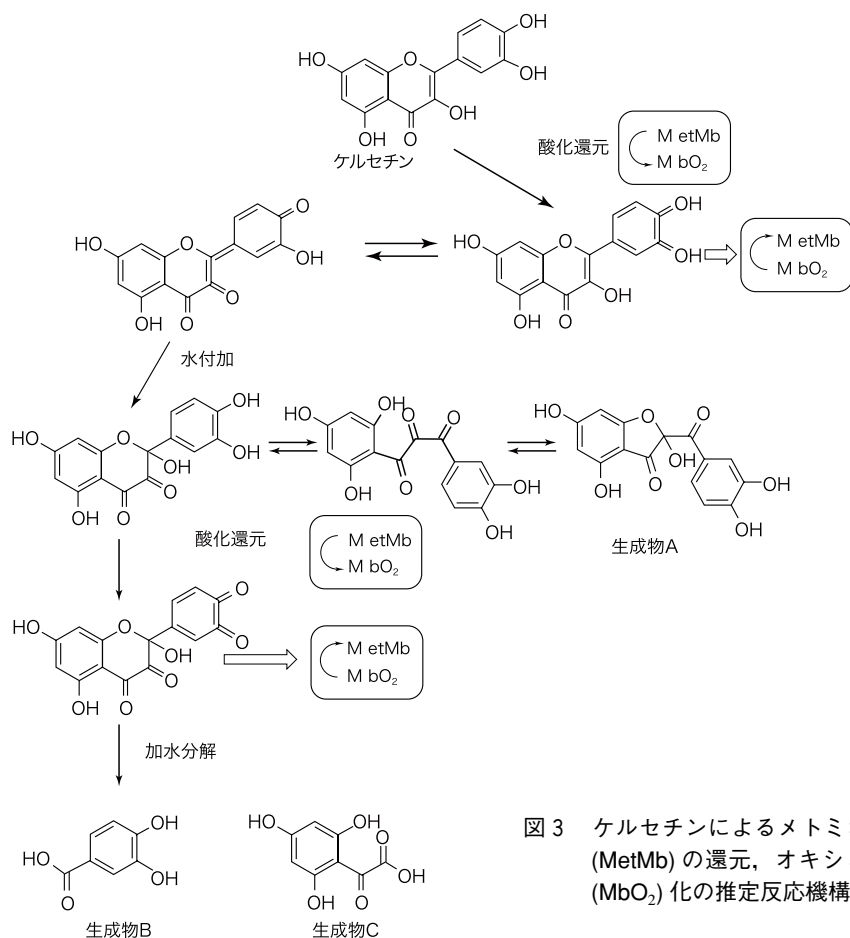


図3 ケルセチンによるメトミオグロビン (MetMb) の還元、オキシミグロビン (MbO₂) 化の推定反応機構

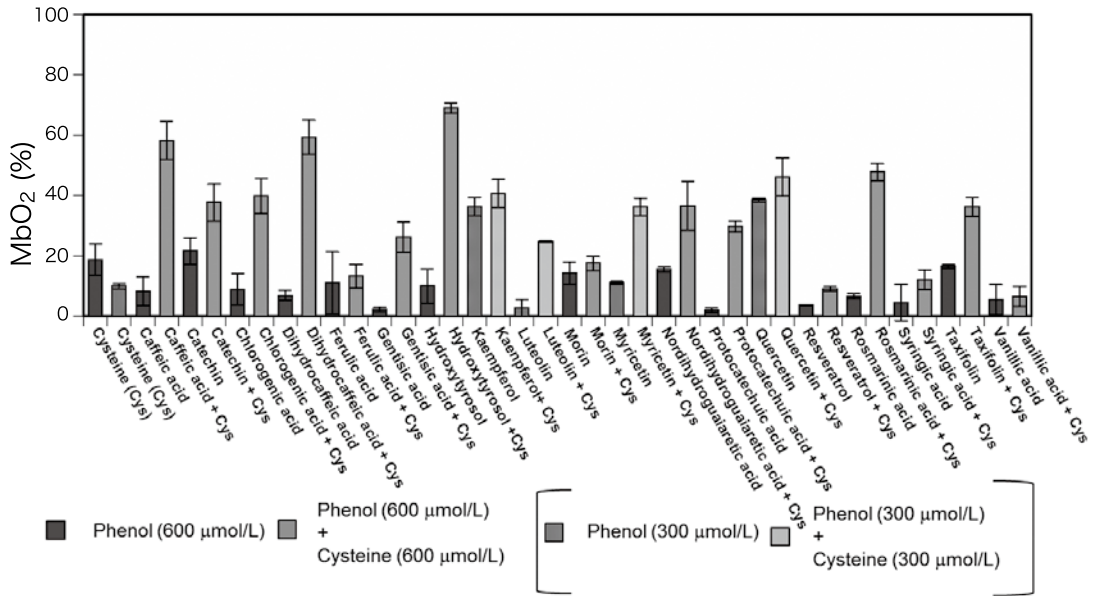


図4 システイン共存下でのポリフェノール類によるメトミオグロビンの還元、オキシ化効果

り、生成物 A は、ケルセチンの酸化反応で生じるキノン体に水が付加し、異性化したものと推定された。すなわち、ポリフェノールのキノン体がオキシミオグロビンの酸化を促進すると考えると、ケルセチンの場合は、キノン体に速やかに水の付加及び異性化がおきてフェノール基が再生されるため、プロオキシダント的にオキシミオグロビンの酸化を促進しないと考えられた。生成物 A もポリフェノール構造を有しており、メトミオグロビンの還元能を示したが、その効果はそれほど強くなかった。生成物 B と C に至っては還元能をほとんど示さなかった。従って、これらはケルセチンがメトミオグロビンを還元しながら生じる最終安定化合物である。ケルセチンが弱いながらもメトミオグロビンのオキシ化が可能なのは、その還元能と還元反応後のキノン性物質のフェノール化によるものと推定できた⁸⁾。

3. システインを用いたポリフェノールによるオキシミオグロビン生成と維持の効率化

ケルセチンなどのフラボノールに、メトミオ

グロビンの還元オキシ化能が見いだされたが、他の還元能が高いと考えられるポリフェノールに同様の機能が確認できなかったのは、還元の結果生じたポリフェノールキノンのプロオキシダント活性が除去できなかったためと考えられた。そこで、実験系にシステインを共存させて、再度メトミオグロビンに対する還元能を測定した。その結果を図4に示したが予測した通り、カフェ酸やヒドロキシチロゾールなどの還元力の高いポリフェノールにメトミオグロビンのオキシ化機能が明確に観察された⁹⁾。これは、ポリフェノールの酸化で生じるキノンにシステインのチオール基が付加することで、続くフェノールの再生が可能となったためと推定された。実際に、カフェ酸を用いて生成物を分析すると、カフェ酸にシステインが反応した物質が観測され、さらにカフェ酸-システイン量比がおおよそ1対1であると最も効率的に生成したことからも、このことが支持された。なお、反応過程でのシステインとポリフェノールの定量結果から、メトミオグロビンの還元に関わる両物質は、添加量のごく一部でしかないことも判明した。理由の一つとして、添加したシステイ

ン自身の酸化反応も同時進行してしまうことがあげられ、今後本方法を実用化する上ではこの成分間反応の効率化が望まれる。一方で、本検討の生成物であるシステインをあらかじめ導入したカフェ酸そのものにも効果的なメトミオグロビンの還元オキシ化能が確認された。加えて、このシステイン置換カフェ酸には、ほとんどオキシミオグロビンの酸化促進性がないこともわかった⁹⁾。システインなどのチオール基を有する物質は、共存によりポリフェノールのプロオキシダント作用を制御できるだけでなく、置換基効果によりポリフェノール自体のプロオキシダント的な反応の制御も可能と言えよう。

溶媒条件や α 位の置換基の構造の違いで、システインのチオール基の反応性は変化する¹⁰⁾。さらに、ポリフェノールについても、その化学構造に由来して置換可能なチオール基の数も異なることがわかっている¹¹⁾。たとえば、カフェ酸にシステインを2個以上置換す

るのは困難だが、カフェ酸の共役二重結合を還元したジヒドロカフェ酸では、3個までのシステインの置換が可能である。どのようなシステイン置換ポリフェノールが、メトミオグロビンの還元やオキシミオグロビンの維持に効果的か、現在、様々なポリフェノール-システイン複合体を用いて、ミオグロビン実験系および実際の食肉系での検討を進めている¹²⁾。今後、これらの研究結果が、ポリフェノールの化学反応性¹³⁾を有効に応用した、食肉の新鮮色維持の実用化に繋がる結果となることを期待している。

謝辞

本研究の一部は、公益財団法人三島海雲記念財団（代表 増田晃子）、ならびにJSPS 科研費（No.15K12326、代表 増田俊哉）によりました。記して感謝いたします。

参考文献

1. Issanchou, S. Consumer expectations and perceptions of meat and meat product quality. *Meat Sci.* 1996, **43**, 5-19.
2. 渡辺芳人, ヘムタンパク質・ヘム酵素, 生物無機化学 増田秀樹, 福住俊一 編著, pp. 195-229, 2005 三共出版（東京）
3. Chan, W. K. M., Faustman, C., Yin, M., Decker, E. A., Lipid oxidation induced by oxymyoglobin and metmyoglobin with involvement of H_2O_2 and superoxide anion, *Meat Sci.* 1997, **46**, 181-190.
4. Masuda, T., Inai, M., Miura, Y., Masuda, A., Yamauchi, S. Effect of polyphenols on oxymyoglobin oxidation: prooxidant activity of polyphenols in vitro and inhibition by amino acids. *J. Agric. Food Chem.* 2013, **61**, 1097-1104.
5. Faustman, C., Liebler, D. C., McClure, T. D., Sum, Q., α,β -Unsaturated aldehydes accelerate oxymyoglobin oxidation. *J. Agric. Food Chem.* 1999, **47**, 3140-3144.
6. Alderton, A. L., Faustman, C., Liebler, D. C., Hill, D. W. Induction of redox instability of bovine myoglobin by adduction with 4-hydroxy-2-nonenal. *Biochemistry* 2003, **42**, 4398-4405.
7. Tsukahara, K., Yamamoto, Y. Kinetic studies on the reduction of metmyoglobins by ascorbic acid. *J. Biochem.* 1983, **93**, 15-22.
8. Inai, M., Miura, Y., Honda, S., Masuda, A., Masuda, T. Metmyoglobin reduction by polyphenols and mechanism of the conversion of metmyoglobin to oxymyoglobin by quercetin. *J. Agric. Food Chem.* 2014, **62**, 893-901.
9. Miura, Y., Inai, M., Honda, S., Masuda, A., Masuda, T. Reducing effects of polyphenols on metmyoglobin and the in vitro regeneration of bright meat color by polyphenols in the presence of cysteine, *J. Agric. Food Chem.* 2014, **62**, 9472-9478.
10. Miura, Y., Honda, S., Masuda, A., Masuda, T. Antioxidant activities of cysteine derivatives against lipid oxidation in anhydrous media, *Biosci. Biotechnol. Biochem.* 2014, **78**, 1452-1455.
11. Fujimoto, A., Inai, M., Masuda, T. Chemical evidence for the synergistic effect of a cysteinyl thiol on the antioxidant activity of caffeic and dihydrocaffeic acid, *Food Chemistry* 2013, **138**, 1483-1492.
12. 本田沙理, 三浦ゆかり, 増田俊哉, 増田晃子, システイン置換ポリフェノールによるメトミオグロビンのオキシ化と維持研究, 日本農芸化学会 2015 年度中四国・西日本支部合同大会（松山）2015 年 9 月.
13. 本田沙理, 増田俊哉, ポリフェノール, 化学反応を基盤とする機能性物質 抗酸化反応から成分間反応まで, 化学と生物 2015, **53**, 442-448.

茶樹の水耕栽培による根の有効利用

斎藤 貴江子 (SAITO Kieko)

静岡県立大学食品栄養科学部環境生命科学科 大学院食品栄養環境生命科学研究院

Key Words：茶樹 カテキン テアニン 水耕栽培

はじめに

茶は日本を代表する農産物であり嗜好品として国内外で広く飲用されている。

葉に含まれる成分の有効性に関しては多くの研究報告があり、その主要な成分であるカテキン類の作用は、抗酸化、抗突然変異、抗がん、抗高血圧、抗動脈硬化、抗炎症、抗肥満、抗メタボリックシンドローム、抗菌、抗ウイルスなど、きわめて広範囲に及んでいる。そのため、茶葉を利用した製品やカテキンを含んだサプリメントなどが数多く市場に出回っている¹⁾。

茶葉中に最も多く含まれているアミノ酸は、グルタミン酸の誘導体であるテアニン (γ -glutamylethylamide) である。テアニンは緑茶のうま味成分として知られているが、その中枢神経系に及ぼす効果についても近年注目が集まっている。ラットなどの動物を用いた研究では、テアニンは腸管から吸収され、血液・脳関門を介して脳に取り込まれること、また、ドーパミンなどの脳内神経伝達物質の変動や記憶・学習能への影響などが明らかになっている²⁾。一方ヒトを対象とした研究からも、自律神経活動やリラクゼーションなどの情動にも影響することがわかってきた³⁾。

テアニンは根で生合成された後に茎や葉に輸送され蓄積されるが、テアニン生合成部位である茶根に関する研究やその有効利用については

あまり報告がない。茶樹は土壌栽培が一般的であるので、根の特性や生理機能についての研究に適していなかったためである。著者はここ数年にわたり茶樹の水耕栽培を行い、根の生育に良好な生育環境条件を確立した^{4,5)}。これにより、茶根を用いて茶葉よりも多量のテアニンを抽出できる可能性が示された。

本稿では、水耕栽培を用いた茶樹の根の特性について著者が得た若干の知見を紹介するとともに、水耕栽培による茶根の有効利用について提案する。

1. 茶樹の培養液による栽培

茶樹の養液栽培法は1980年代に小西ら⁶⁾によって提案されたのが嚆矢であり、その後いくつかの研究機関に引き継がれてきた。以下に我々が行っている茶樹の培養液による栽培法について概説しよう。

培養液は、一般的なホーグランド溶液の1/2濃度を基準とし、アルミニウムを含みpH4.3の酸性に調製したものを用いている(表1)。茶樹は土壌栽培による挿し木やブキタ種 (*Camellia sinensis*)、6ヶ月苗を使用し、培養液を通気して12時間日長、湿度60%、光合成光量子束密度 (PPFD) $40 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ に制御した人工気象器内で湛液式水耕栽培を行っている。

図1(A)は、水耕栽培1ヶ月後の様子である。

表1 基本養液の成分組成

Element	Chemical Formula	Concentration(ppm)
N	$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	30
	$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	10
P	KH_2PO_4	3.1
K	$\text{KH}_2\text{PO}_4, \text{K}_2\text{SO}_4$	40
Ca	$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}, \text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	30
Mg	$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	25
Fe	Fe-EDTA	0.35
B	H_3BO_3	0.1
Mn	$\text{MnSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	1
Zn	$\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	0.1
Cu	$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	0.025
Mo	$\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	0.05
Al	$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 16\text{H}_2\text{O}$	10.8

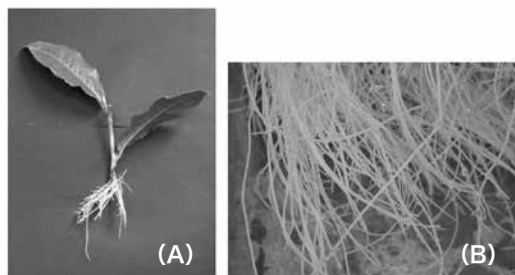


図1 水耕栽培による発根

(A) 水耕栽培1ヶ月の茶樹

(B) 水耕栽培6ヶ月後の成長が活発な根の先端

更に6ヶ月後には (B) のように活発な根に成長する。特徴的な白く細い根である。

2. 培養液中の pH と吸水量の変化

茶樹の土壌を酸性にする特性を確認するために栽培中の培養液の pH の変化を測定したところ、生育が盛んな茶樹 (A) の培養液の pH は時間とともに低下したが、根に損傷があり生育の悪い茶樹 (B) においては pH の変化が見られなかった (図2)。また、植物の生育の一つの指標になる吸水量と pH との関係調べた結果を図3に示した。pH の低下が大きいほど根からの吸水による培養液の消費量が多くなり、両者に高い相関が見られ、茶の生育が培養液の酸性化に深く関与していることが示唆された。これらの結果から、水耕栽培は根の生理特性を調べる上で有効な手法であることがわかった。

3. 培養液中の有機酸の分析

植物は多様な土壌環境に適応するために根から有機酸を分泌していることが知られている。茶樹も根から有機酸を分泌することが示唆されていることから、成長に伴って培養液が酸性化したのは有機酸の可能性が考えられた。そこで、茶に関して主要な有機酸であるリンゴ酸、酒石酸、シュウ酸、クエン酸の検出を試みた。10日間培養後、pH の低下が確認された培養液を HPLC で分析した結果、リンゴ酸、酒石酸、シュウ酸、クエン酸すべてが検

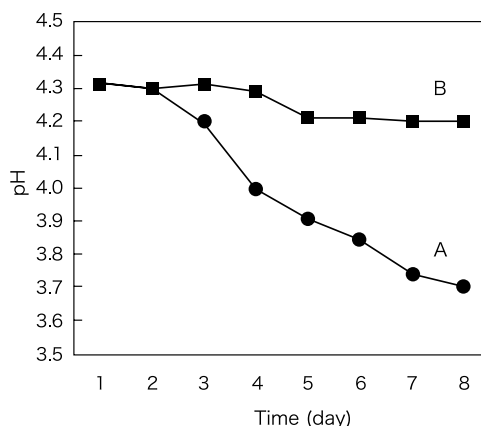


図2 培養液中の pH の変化

(A) 成長の盛んな茶樹

(B) 根に損傷があり生育の悪い茶樹

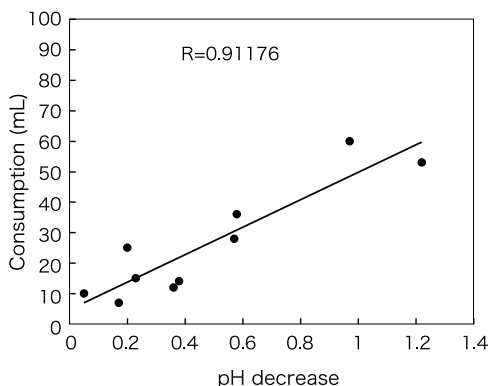


図3 培養液中の pH と吸水量の変化

表2 培養液中の有機酸

Organic acid	Incubation time(day)			
	1	4	7	10
L-Malic acid	ND	ND	ND	ND
Tartaric acid	ND	ND	ND	ND
Oxalic acid	ND	ND	ND	ND
Citric acid	ND	ND	ND	ND

ND : Not detected

出されなかった (表2)。従って、培養液の pH の低下は多くの植物が分泌するこれら有機酸によるものではないことが明らかになった。

4. アンモニア態窒素の消費量と pH の変化

植物の根圏の pH は根が吸収する陽イオンと陰イオンが量的に均衡していないことに起因していると考えられている。根が吸収するイオンの半分以上は窒素であるが、土壤中と同様に培養液中の窒素の形態にはアンモニウムイオン (NH_4^+) と硝酸イオン (NO_3^-) があり、植物がどちらを多く吸収するかによって pH が大きく変化する。すなわち、根は NH_4^+ を吸収する時は H^+ を放出して酸性化させ、逆に NO_3^- を吸収する時は H^+ を取り込んでアルカリ化させることが知られている。そこで生育しているチャ樹の培養液中のアンモニア態窒素の変化を測定した。図4に示すように培養液の pH の低下が大きいほど、アンモニア態窒素の量は減少しており、両者に高い相関が見られた。この結果か

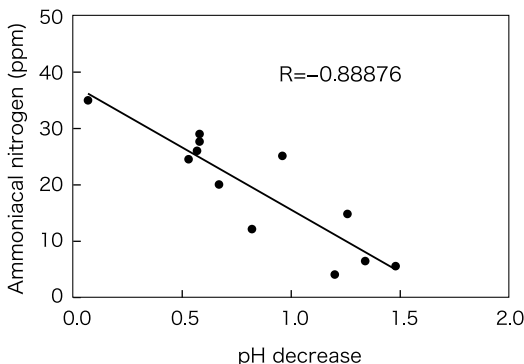


図4 アンモニウム態窒素の消費量と pH の変化

ら、培養液の酸性化には根からのアンモニウムイオンの吸収にともなう H^+ の放出による可能性が示唆された。

5. プロトンポンプ阻害剤が養液の酸性化に与える影響

そこで、培養液の pH の低下が H^+ の影響であるかどうか確認するために、プロトンポンプ阻害剤を培養液に添加し、pH がどのように変化するか検討した。原形質膜に特異的に作用するエリスロシン B 阻害剤として用いた結果を図に示した (図5)。

結果からも明らかのように、阻害剤を培養液に加えると、コントロールに比べて酸性化が抑制された。また、濃度の高い阻害剤は酸性化を強く抑制したことから、培養液中の pH の低下は NH_4^+ の吸収にともなう H^+ の放出によるものである可能性が高いことが明らかとなった。また、培養液に加えた化学成分が根の生理機能に直接作用することが確認された。

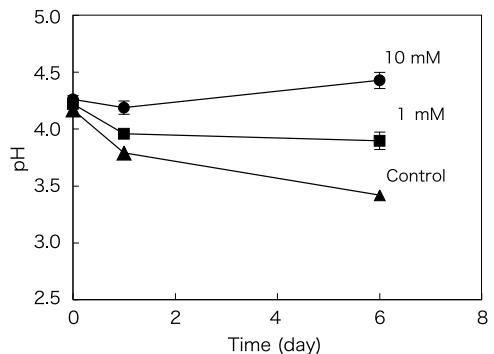


図5 プロトンポンプ阻害剤が培養液の酸性化に与える影響

表3 テアニン含有量の比較

部位	栽培方法	含有量 (g/100g) ^a
葉	土壌栽培	1.3 ± 0.61 ^b
葉	水耕栽培	1.5 ± 0.26
木化根	水耕栽培	3.3 ± 1.15
白色細根	水耕栽培	9.8 ± 1.75

^aValues represent the means ± SEM (n=3)^bMax amount when plants were shaded and cultivated.

6. 水耕栽培によるテアニン含有量

水耕栽培と土壌栽培の葉、根のテアニン含有量を比較した結果を表3に示した。茶葉に含まれるテアニン含有量は1～2%であったが、水耕栽培の白色細根には、葉と比較して非常に高い濃度のテアニンが含まれていた。このような白色細根(図1B)を土壌栽培で得ることは難しく、水耕栽培でのみ採取することができる。また水耕栽培では生育環境のコントロールが容易なことから、白色細根を大量に生産することも可能かもしれない。

まとめ

本稿では、茶樹の水耕栽培がその生育環境をコントロールして生育特性を明らかにするため

に有効な手法であり、水耕栽培によって得られた茶根には、希有なアミノ酸、テアニンを多く含むことなど、我々の最近の研究成果について紹介した。テアニンは、天然では茶(*Camellia sinensis*)とそのごく近縁種、そして特殊なキノコ(ニセイロガワリ;*Boletus badius*)にしか存在しない。天然からの抽出は困難であるため、大量に生産することが難しい。このため、サプリメントなどのテアニンは合成などによって供給されているのが現状である。茶根にはテアニンだけでなくサポニンなどの機能性成分も含まれており、生体機能性の新たな可能性が期待される。今後、水耕栽培の利点を活かして、付加価値のある茶の根を機能性食材として有効に活用する可能性が開かれている。

参考文献

1. Isemura I, Muramatsu K, Ogura I, Sugiyama K, Yamamoto M, editors. Health science of tea; 2002.
2. Yokogoshi H, Kobayashi M, Mochizuki M, Terashima, T.: Effect of theanine, gamma-glutamylethylamide, on brain monoamines and striatal dopamine release in conscious rats. *Neurochem Res.* **23**: 667–73, 1998.
3. Juneja LR, Chu DC, Okubo T, Nagato Y, Yokogoshi H.: L-Theanine - a unique amino acid of green tea and its relaxation effect in humans. *Trends Food Sci Tech.* **10**: 199–204, 1999.
4. Saito K, Ikeda M. The function of roots of tea plant (*Camellia sinensis*) cultured by a novel form of hydroponics and soil acidification. *Am J Plant Sci.* **3**: 646–48, 2012.
5. Saito, K., Furue K., Kametani, K., and Ikeda, M. Roots of Hydroponically Grown Tea (*Camellia sinensis*) Plants as a Source of a Unique Amino Acid, Theanine. *Am. J. Exp. Agr.* **4**: 125–129, 2014.
6. Konishi, S., Promotive Effects of Aluminum on Tea Plant Growth. *Japan Agr. Res.* **26**: 26–33, 1992.

ビタミン C の食品品質改良機構には 活性酸素が関与している I

かまぼこを対象として

Superoxide Anion Radicals Contribute to the Beneficial Effects of Ascorbic Acid in Food I – For Kamaboko (heat-induced fish gel) –

西村 公雄 (NISHIMURA Kimio)¹ 宮本 有香 (MIYAMOYO Yuka)²
池内 沙耶香 (IKEUCHI Sayaka)³

¹ 同志社女子大学生生活科学部

² 武庫川女子大学短期大学部

³ 茨木屋

¹ Doshisha Women's College of Liberal Arts, Faculty of Human Life and Science

² Mukogawa Women's University, Junior College Division

³ Ibarakiya Co., Ltd.

Key Words : ビタミン C 品質改良効果 スーパーオキサイドアニオンラジカル チールラジカル
SS 架橋 かまぼこ
vitamin C, beneficial effect, superoxide anion radical, thiyl radical, disulfide bridge, kamaboko
(heat-induced fish gel)

Abstract.

The beneficial effects of vitamin C (ascorbic acid) on Kamaboko (heat-induced fish gel) were investigated. It was established that these beneficial effects are brought about through the ascorbic acid-induced polymerization of the myosin heavy chain. The polymerization proceeded via a radical-radical reaction between the thiyl radicals of Cys residues generated by superoxide anion radicals, which are yielded during the oxidation of ascorbic acid.

はじめに

1939 年に Jorgensen¹⁾ が、パン生地に還元剤であるビタミン C (アスコルビン酸, 以下 AsA) を加えると、酸化剤を添加したときと同じような品質改良効果がもたらされることを発見して以来、製パン業界では、幅広く AsA を品質改良剤として用いてきた。後に、この効果は、魚のすり身においても認められ、今では、

かまぼこ業界でも AsA を使用している。パンにおける AsA の品質改良機構 (図 1) は、今日では次のように説明されている²⁾。まず、(1) パン生地に添加された AsA が酸化酵素や遷移金属の作用により、急速に酸化されデヒドロアスコルビン酸 (DHA) となる。(2) するとこの DHA が還元型グルタチオン (GSH) を酸化型グルタチオン (GSSG) に酸化する。(3)

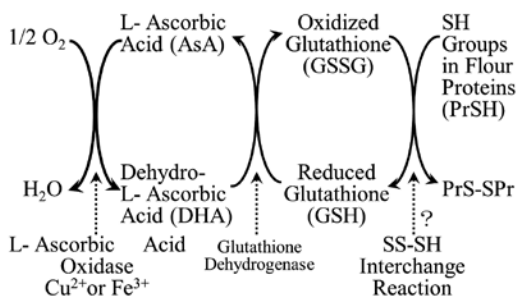


図 1 Scheme showing the improvement of dough by L-ascorbic acid (AsA)²⁾

AsA is oxidized to dehydro-L-ascorbic acid (DHA) in dough by ascorbic acid oxidase or transition metals. Reduction of DHA to AsA by glutathione dehydrogenase also results in the oxidation of reduced glutathione. This oxidation promotes the formation of disulfide bridges between flour proteins via disulfide (SS)-sulfhydryl (SH) exchange.

その結果、タンパク質上の SH 基 (Pr-SH) と GSSG との間で SH-SS 交換反応などが起こり、最終的にタンパク質間での SS 結合 (PrS-SPr) が増え、構造が密になるという機構である²⁻⁹⁾。一方、かまぼこにおける AsA の品質改良機構に関する研究は、1972 年に吉中ら¹⁰⁾ が発表したものの以外なく、漠然とパンの機構と同じであると考えられてきた。著者らは、卵白アルブミン (OVA) を用いて、AsA により図 1 の機構に準じなくても SS 結合によるタンパク質の重合化が促されることを認めた^{11, 12)}。そして最終的には、かまぼこに対する AsA の品質改良効果は、AsA より発生する活性酸素の一種であるスーパーオキシドアニオンラジカル (O_2^-) が関与する系 (図 2)¹³⁾ によることを明らかにした¹³⁻²⁰⁾。すなわち、AsA が遷移金属を還元すると遷移金属が酸化される際に、 O_2 を O_2^- に一電子還元する。この O_2^- が筋肉タンパク質であるミオシン重鎖 (MHC) 上の SH 基の H• を引き抜き $S\cdot$ が生成するとラジカル酸化により MHC 間で SS 結合ができあがるというものである。以降、この結論に至った経緯について解説する。

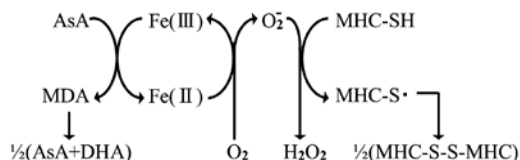


図 2 Scheme for the superoxide anion radical-dependent polymerization of the myosin heavy chain¹³⁾

Fe (III) is an example of a transition metal that catalyzes the auto-oxidation of AsA. Monodehydro-L-ascorbic acid (MDA, AsA radical), the univalently oxidized product of AsA, spontaneously disproportionates to AsA and DHA. Fe(II) generated during the auto-oxidation of AsA reduces molecular oxygen to form the superoxide anion radical (O_2^-). The resulting O_2^- removes hydrogen radicals from the SH groups on the myosin heavy chain (MHC), generating $S\cdot$. Two $S\cdot$ can then combine to form a disulfide bond.

1. AsA のスケトウダラすり身に対する効果

かまぼこは、一般には図 3 の手順で製造される²¹⁾。まず、鮮魚から採肉し、加熱時にゲル形成性を抑える水溶性成分を水さらしすることで肉から取り除く。次に、脱水、空揺り揺潰、塩揺り揺潰 (食塩を添加してから行う揺り操作)、成型 (かまぼこ板の上に揺りあがったペーストをのせる操作)、坐り (40℃くらいで 30 分ほど加熱すること)、焼き上げ (加熱) の各工程を経てかまぼこができあがる。この坐りおよび焼き上げ工程の間に、塩可溶性の筋肉タンパク質であるアクトミオシン (特にミオシン) が SS 結合や疎水結合などを通してタンパク質分子同士が結合し、ゲル構造をとることによりかまぼこになると説明されている (図 4)²²⁾。AsA を加えるとタンパク質間の結合が増加し、その結果ゲル構造が密になることにより強度が増すと考えられている。実際、0.2% となるように AsA を添加するとかまぼこのゲル強度は、2, 3 割強くなる¹⁴⁾。また、SDS-ポリアクリルアミドゲル電気泳動 (PAGE) 法による検討から、AsA を添加したすり身は、坐りおよび焼き上げ工程ともに MHC の SS 結合重合体形成

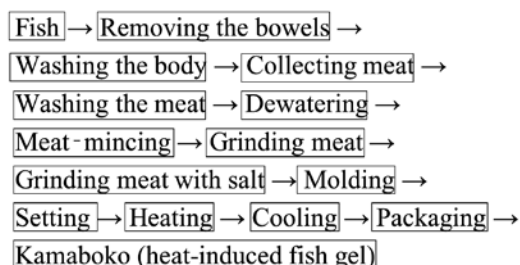


図3 Production process of Kamaboko (heat-induced fish gel)²¹⁾

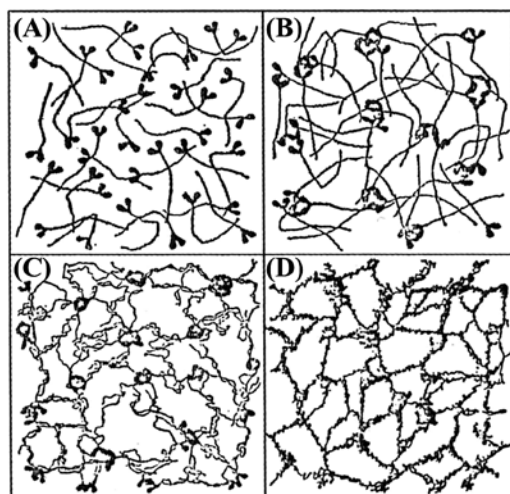


図4 Schematic showing the gelation reaction upon heating myosin molecules under standard conditions (0.6M KCl, pH 6.0)²²⁾

- (A) The state of the myosin monomer before heating. The monomer exists in a discrete state.
- (B) The state of the myosin monomer at around 43°C. Agglutination of myosin heads occurs.
- (C) The state of the myosin monomer at around 55°C. Cross linking occurs between myosin tails.
- (D) The state of the myosin monomer at 60-70°C. A network structure is formed and then gelled.

が有意に促進されていた (図5)¹³⁾。これらのことから AsA 添加によりゲル構造が密になっていることが推察された。実際、かまぼこの断面を透過電子顕微鏡により観察すると、AsA 無添加のかまぼこに比べて添加したかまぼこの方が、スムーズな構造になっていた¹⁴⁾。

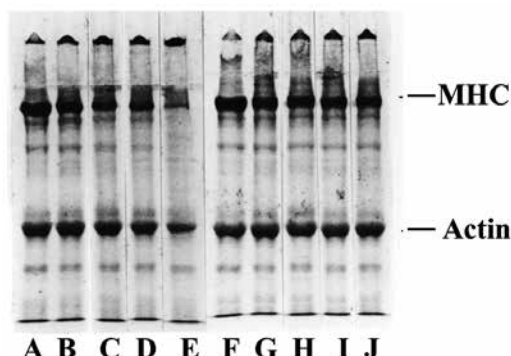


図5 Effect of AsA on proteins in surimi (fish paste) during the formation of a set or heat-induced fish gel¹³⁾

Surimi was prepared with and without 0.2% Na-AsA, from which a set or heat-induced gel was obtained and analyzed by SDS-polyacrylamide gel electrophoresis (PAGE).

A, surimi; B and C, set fish gel in the absence and presence of AsA, respectively; D and E, heat-induced fish gel in the absence and presence of AsA, respectively; F, G, H, I, and J, 2-mercaptoethanol was added to A, B, C, D, and E to give a final concentration of 10%.

Set and heat-induced fish gels were prepared by incubation for 30 min at 40 and 90°C, respectively.

2. AsA はどのようにしてゲル構造を密にするのか

それでは、何故、AsA を入れるとゲル構造が密になるのだろうか。現在、筋肉中にゲル形成性に関与する酵素としてミオシン Ca^{2+} -ATPase やトランスグルタミナーゼの存在が知られている。これらの酵素が AsA により活性化されれば、AsA が間接的にゲル構造を密にしていることになる。そこでこれらの酵素に与える AsA の効果を検討した。その結果、ミオシン Ca^{2+} -ATPase 活性は、0.2%AsA の添加により活性化されなかった¹⁴⁾。また、トランスグルタミナーゼに対しても AsA は顕著な活性化を示さなかった (表1)¹⁶⁾。このことは、AsA が直接タンパク質に働きかけて品質改良効果をもたらしていることを示している。そこで、AsA を添加すると何故 MHC の SS 結合重合体形成が促進されるのか検討を行なった。

表 1 Effect of AsA on transglutaminase activity¹⁶⁾

The activity of transglutaminase with dithiothreitol and AsA was determined by taking the activity of transglutaminase with no additive to be 100%

Additive	Relative transglutaminase activity (%)
None	100.0 ± 5.3
10 mM dithiothreitol	121.0 ± 7.2**
0.2% AsA	95.6 ± 8.1

Values are the mean ± standard deviation (n=6), those denoted with ** were significantly different from the control at $p < 0.01$.

It is known that dithiothreitol can activate transglutaminase.

3. AsA による品質改良効果への活性酸素の関与

AsA が DHA に酸化される際に、図 6 に示すように各種活性酸素が発生する²³⁻²⁵⁾。OVA への重合化促進効果では、これらの活性酸素の関与が認められた^{11, 12)}。そこで、次に、すり身に対する AsA の品質改良効果への活性酸素関与の可能性を調べた。冷凍すり身は、タンパク質の冷凍変性を抑えるためにソルビトールを含んでおり、このソルビトールは、ヒドロキシラジカル ($\text{OH}\cdot$) のスカベンジャーとしても知られている。そこで、実際に AsA によりすり身中で活性酸素が生じる可能性についてまず調べた。すり身に O_2^- により発色するニトロブルーテトラゾリウム (NBT) を加え、かまぼこ製造工程中に O_2^- が発生しているかどうかを検討した (図 7)^{15, 17)}。その結果、AsA を加えたすり身 (図 7-B) は、加えないもの (図 7-A) に比べて、40 および 90℃ で加熱中に激しく発色し、またその発色は O_2^- のスカベンジャーであるチロンにより抑えられた (図 7-C)。このことは、すり身中でも O_2^- をはじめとする活性酸素が AsA により発生していることとスカベンジャーが働くことを示していた。

次に、遷移金属による AsA の酸化 (図 6) を抑えるためにキレート剤であるジエチレントリアミン五酢酸 (DTPA) を加え、そのとき

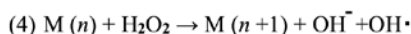
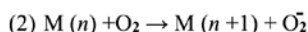
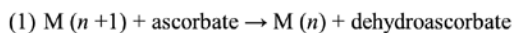


図 6 Production mechanism of active oxygen when ascorbic acid is oxidized to dehydroascorbic acid²³⁻²⁵⁾

M denotes a transition metal.

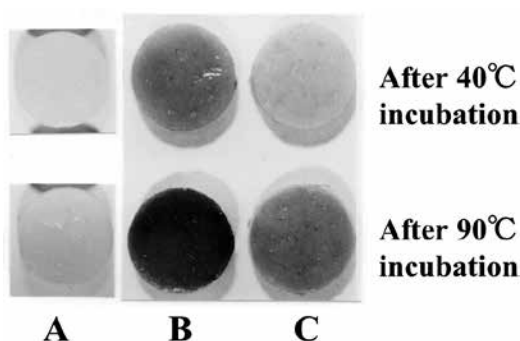


図 7 Formation of the superoxide anion radical upon addition of AsA to surimi^{15, 17)}

Surimi (fish paste) containing 3% NaCl and 100 mM nitro blue tetrazolium (NBT) (Group A), surimi with the same concentration of NaCl, NBT, and 0.2% AsA (Group B), and surimi containing the same concentration of NaCl, NBT, AsA, and 100 mM Tiron (Group C) were prepared by grinding surimi from walleye pollack. Each sample was incubated at 40 or 90°C for 10 min.

の AsA による MHC の重合化に与える影響を SDS-PAGE 法により検討した (表 2)。その結果、DTPA の添加により AsA による MHC の減少化の促進 (すなわち重合化の促進) は有意に抑えられた。また、 $\text{OH}\cdot$ のスカベンジャーである臭化カリウムは、AsA の重合化促進効果を抑制しなかったが、 O_2^- のスカベンジャーであるチロンは、有意に抑えた (表 3)。これらのことは、AsA の品質改良効果に AsA により発生した O_2^- が関与していることを示していた¹³⁾。

AsA から発生する活性酸素はタンパク質²³⁾やアミノ酸^{24, 25)}を損傷することが知られており栄養価の減少や有害な物質の発生が危惧される。そこで、すり身中で発生した O_2^- をはじめ

表 2 Effect of DTPA on the decrease of MHC by AsA ¹³⁾

Additive	Relative amount of MHC in set gel (%)
None	88.0 ± 6.2
0.2% Na-AsA	67.2 ± 9.9
0.2% AsA+10mM DTPA	87.8 ± 11.0*

Each value is the mean ± standard deviation (n=8). The amount of MHC in surimi was taken as 100%. The value denoted with * is significantly different from the sample with 0.2% Na-AsA at $p < 0.05$.

DTPA : abbreviation of diethylenetriamine pentaacetic acid, a chelating agent.

表 3 Effect of scavengers on the decrease of MHC by AsA ¹³⁾

Additive	Relative amount of MHC in set gel (%)
None	77.0 ± 21.8
0.2% Na-AsA	47.4 ± 11.3
0.2% Na-AsA + 100mM Tiron	61.6 ± 12.1*
0.2% Na-AsA + 100mM KBr	48.9 ± 10.4

Each value is the mean ± standard deviation (n=11). The amount of MHC in surimi was taken as 100%. The value denoted with * is significantly different from the sample with 0.2% Na-AsA at $p < 0.05$.

表 4 Effect of AsA on amino acid composition of gels incubated under various conditions ¹⁷⁾

Amino acid	Surimi	Incubation condition		
		40°C for 30 min	90°C for 30 min	90°C for 30 min after 40°C for 30 min
Asp	22.8	26.4	23.8	26.3
Thr	11.1	12.8	11.5	12.6
Ser	11.5	13.1	12.0	12.7
Glu	33.3	38.8	35.1	38.7
Gly	14.0	15.7	14.4	15.8
Ala	18.6	22.0	19.9	22.0
Val	13.1	15.1	13.6	15.3
Cys	1.0	1.2	1.0	0.8
Met	5.7	6.8	6.3	6.9
Ile	11.0	12.7	11.4	12.9
Leu	18.5	21.1	19.2	21.3
Tyr	5.9	6.5	6.3	7.0
Phe	6.5	7.4	6.6	7.3
Lys	4.3	4.6	4.1	4.7
His	20.2	22.8	21.0	23.0
Arg	10.6	12.1	11.8	12.2
Pro	7.5	9.0	8.1	9.8

Arbitrary value relative to a cystine value in surimi of 1. The amino acid composition is expressed as the mean of three independent measurements.

とする活性酸素がタンパク質に与える影響についても検討した。アミノ酸分析の結果、すり身中のタンパク質は、40 または 90℃の加熱を行ってもほとんど活性酸素により影響を受けていないことが判明した (表 4)¹⁷⁾。このことは、AsA がすり身中のタンパク質を損傷しない安全な品質改良剤であることを示している。

4. すり身に対する AsA 品質改良機構

以上のことから、AsA のすり身に対する品質改良機構に O_2 が関与していることは確実である。それでは、どのようにすり身のタンパク質に作用して SS 結合重合体形成を促進しているのだろうか。著者らは、 O_2 による SH 基のラジカル酸化により SS 結合重合体形成が生じ

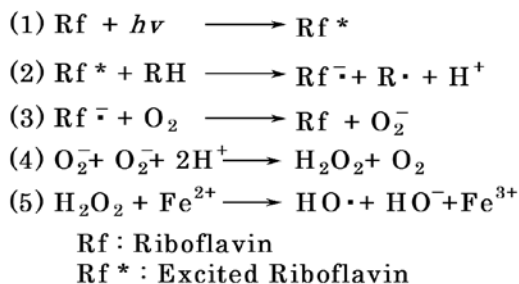


図 8 Mechanism of the production of a super oxide anion radical from riboflavin via photosensitization ²⁸⁾

るのではないかと考えた。もし、その機構により SS 結合重合体形成が進むのであれば、中間生成体として図 2 に示すように筋肉タンパク質である MHC 上に $\text{S}^{\cdot}$ が認められるはずである。しかし、たんぱく質などの高分子物質は電子スピン共鳴 (ESR) 法において発生するシグナル固有の g 値や分裂パターンにずれが生じ、結果的に得られたシグナルパターンが歪むことが知られている ²⁶⁾。ミオシン分子は分子量が約 50 万と巨大なたんぱく質であるため、ESR 法を用いた時、そのシグナルのラジカル種判定が困難となることが予想された。

しかし、著者らが行った、比較的高分子タンパク質である牛血清アルブミンを用いた同様の実験では、十分に遊離 SH 基が存在すれば、高分子タンパク質上でも $\text{S}^{\cdot}$ の検出が可能であった ²⁷⁾。

そこで、筋肉タンパク質であるミオシンをさらに精製、濃縮することで、遊離 SH 基を豊富に含有したミオシンを調製し、実験を行った。しかし、 $\text{O}_2^{\cdot-}$ の発生源として用いた AsA は還元力が強く、ESR 測定では、モノデヒドロアスコルビン酸ラジカルのシグナルしか得られなかった。そこで、AsA と同様に $\text{O}_2^{\cdot-}$ をはじめとする活性酸素を発生するリボフラビン (Rf) を用い (図 8) ²⁸⁾、MHC 上に $\text{O}_2^{\cdot-}$ より $\text{S}^{\cdot}$ が発生するか検討を行った (図 9) ²⁰⁾。

スピントラップ剤である 5,5-ジメチル-1-ピロリン-N-オキシド (DMPO) 存在下で、5.3 $\mu\text{moles/ml}$ の遊離 SH 基を含むミオシンを暗黒

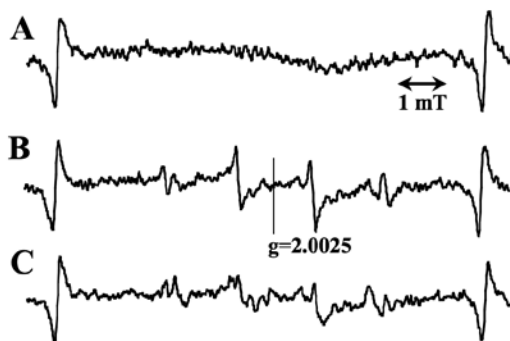


図9 Detection of thiyl radicals in myosin by 5,5-dimethyl-1-pyrroline-N-oxide (DMPO) spin-trapping electron spin resonance (ESR) spectroscopy ²⁰⁾

A mixture of 0.83 g/mL of the myosin concentrate, 1 mM diethylenetriaminepentaacetic acid, 0.4 μM riboflavin, and 75 mM DMPO in 10 mM piperazine-1,4-bis (2-ethanesulfonic acid) buffer at pH 7.0 containing 0.3 M NaCl was incubated at room temperature in the dark (A) or for 4 min under white light illumination at 325,000 lx (B), and then examined by spin-trapping ESR spectroscopy. Trace C was recorded under the same conditions as those for trace B, apart from the use of modified myosin. Instrument conditions : center field, 335.8 mT ; microwave power, 16 mW ; modulation width, 0.1 mT ; amplitude, 2000 ; sweep time, 4 min ; time constant, 0.3 s. The magnetic field strength and apparent signal intensity of the $\text{S}^{\cdot}$ adduct were calibrated using the ESR signals of Mn(II)-doped MgO powder.

下に置いてもシグナルは認められなかった (図 9-A)。が、325,000 lx の光で照射し Rf の光増感反応により発生した $\text{O}_2^{\cdot-}$ を作用させると、1 : 2 : 2 : 1 に分裂した DMPO- $\text{S}^{\cdot}$ 特有のピークに類似したものが検出された (図 9-B)。このシグナルは $g = 2.0025$ を示しシステイン上の $\text{S}^{\cdot}$ と特有のシグナル波形に類似していた (システイン上の $\text{S}^{\cdot}$ では $g = 2.0055$) ^{13, 29)}。この g 値の差は、ESR に使用したタンパク質量が多いことや、そのために粘度が高くなりシグナル波形が歪んだことによる ²⁶⁾ と考えられる。そこで、この点をさらに検討するために筆者らが GSH を用いて検出した $\text{S}^{\cdot}$ のシグナル (システイン上の $\text{S}^{\cdot}$ と同じく $g = 2.0055$) ¹⁸⁾ と図 9-B で得られたシグナルとを重ね合わせた (図 10)。その結果、シグナルの各ピークはぴったりと一致した。

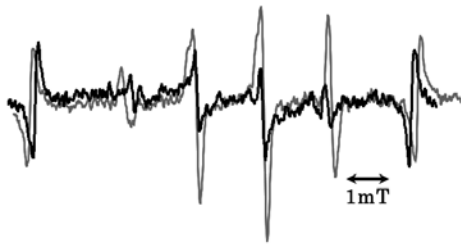


図10 Identification of a signal detected in Fig.9-B

The S• signal (gray line)¹⁸⁾ obtained using GSH (reduced glutathione) was superimposed onto the signal of myosin detected in Fig.9-B.

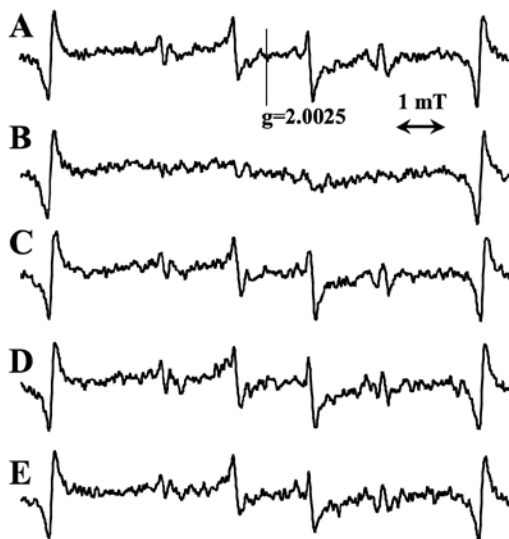


図11 Effect of enzymes on thiyl radical formation in myosin

The mixture of myosin used in the ESR experiments was incubated at room temperature for 4 min under white light illumination at 325,000 lx (A). Traces B and C were recorded under conditions identical to those of trace A, except for the respective addition of superoxide dismutase (SOD) (100 units (u)/mL) and an equivalent amount of heat-inactivated SOD. Traces D and E were recorded under the same conditions as those of trace A, except that catalase (1,200 u/mL) or an equivalent amount of heat-inactivated catalase was added, respectively. The instrument conditions were the same as those stated in Fig.9.

また、*N*-エチルマレイミドによりSH基を修飾し遊離SH基を0.2 μmoles/mlに抑えたミオシンを用いて光(325,000 lx)照射を行っても図9-B

で認められた1:2:2:1の強度で分裂するシグナルは得られずO₂のシグナル波形³⁰⁾に類似したものが検知された(図9-C)。これらのことは、図9-Bで認められたシグナルが、S•に由来するものであることを示していた。

次にO₂スカベンジャーであるスーパーオキシドディスムターゼ(SOD)(100 units/mL)の効果を検討したところ、顕著なシグナル強度の減少が認められ(図11-B)、OH•のスカベンジャーであるカタラーゼ(1,200 units/mL)の効果はシグナル強度に影響を及ぼさなかった(図11-D)。さらに、すべてのタンパク質がラジカルスカベンジャーの働きを持ち合わせている³¹⁻³³⁾ことから、加熱失活させたSOD(図11-C)およびカタラーゼ(図11-E)の効果を検討したが、発生したシグナル強度に顕著な変化は認められなかった。以上の結果より、ミオシン上にはRfの光増感反応より発生したO₂によりS•が発生していることが判明した²⁰⁾。

5. O₂はミオシンのどの部位に作用するのか

AsAによるかまぼこの品質改良機構は、図2のスキームにて進みSS結合重合体形成の促進が生じることが判明した。それでは、AsAは、ミオシン分子のどの部分に作用して重合体形成を促すのであろう。ミオシン分子の加熱による凝集反応は、図4に示すように、加熱に従いミオシン頭部同志がくっつき合い、その後尾部が絡まりだし、最終的にリジッドな網目構造を形成するとされている。そこで、ミオシン分子をキモトリプシン処理にてサブフラグメント-1(S-1)(頭部)部分とロッド(尾部)部分に分け、0.2%AsAを加え40℃で60分間保持し両部分の変化をSDS-PAGE法を用いて追跡した(図12)¹⁹⁾。その結果、AsA無添加のS-1/ロッド溶液は60分加熱しても(図12, Lane B)、未加熱のもの(図12, Lane A)とその泳動パターンにほとんど変化はなかったが、AsA添加S-1/ロッド溶液(図12, Lanes C~E)では加熱時間に伴って濃縮ゲルにも入

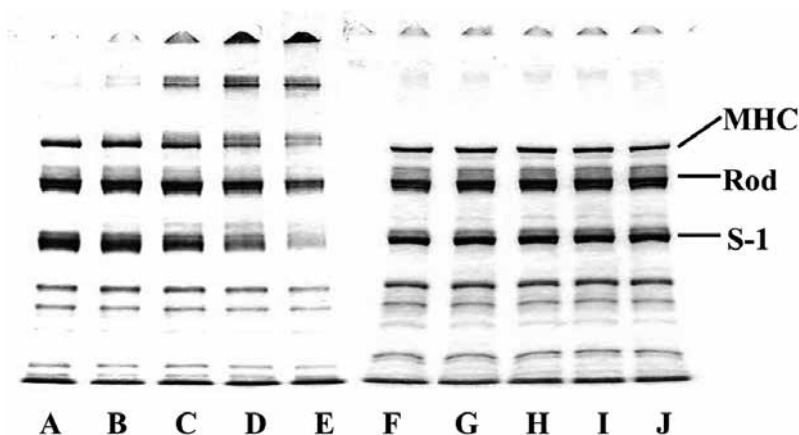


図 12 Influence of AsA on changes in protein composition during heating ¹⁹⁾

The mixture containing the S-1 (myosin head) and rod (Lane A) was heated at 40°C for 60 min (Lane B). The mixture containing the S-1 and rod, and 0.2% AsA, was also heated at 40°C for 15 (Lane C), 30 (Lane D), and 60 (Lane E) min. Lanes F-J were obtained by the addition of 2-mercaptoethanol to lanes A-E, respectively.

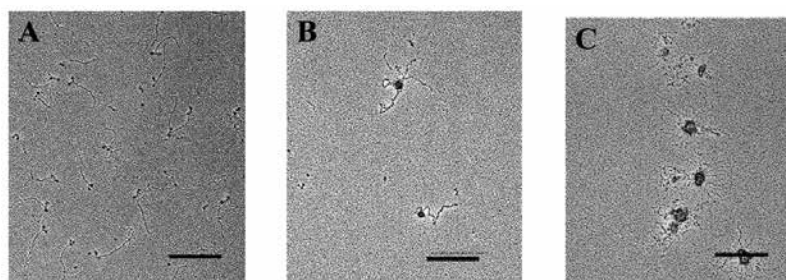


図 13 Morphological study of the heated myosin molecule by electron microscopy ¹⁹⁾

Myosin (A) was heated at 40°C for 15 min (B) ; myosin in the presence of 0.2% AsA was heated under the same conditions (C). Each myosin solution was observed by rotary shadowing. Magnification is x 40,000, and the scale bar indicates 200 nm.

りきらないような巨大高分子物質が形成され、時間の経過に伴い S-1 及びロッドのバンド濃度も減少する傾向がみられた。この巨大高分子物質は 2-メルカプトエタノールの添加によって消失し、S-1 とロッドに戻ることから (図 12, Lanes H ~ J), Lanes C ~ E で観られた巨大高分子物質は S-1 およびロッドの SS 結合重合体であることが分かった。また、S-1 のバンドは、60 分加熱によりロッドのバンドより有意に加熱前と比べて減少していた (デンシトメータの測定による、データは示さない)。このことは、

AsA の添加により、S-1 (頭部) の方が Rod (尾部) よりも早く SS 結合重合体を形成することを示していた。

さらに、40°C におけるミオシンの重合化の様子を透過型電子顕微鏡にて観察したところ (図 13) ¹⁹⁾, 未加熱のミオシン溶液 (図 13-A) では図 4-A のように単量体として存在しているミオシン分子が観察された。これを 40°C で 15 分インキュベーションすると、図 4-B で説明したような、S-1 部位でいくつかの分子が結合したミオシンの凝集体が観察されたが、ロッド

部位がからみあった像は見られなかった(図13-B)。一方, AsAを添加する(図13-C)と, この凝集体中のミオシン分子の数が増加し, 凝集体がAsA無添加のもの(図13-B)より巨大化していることが観察されたが, この時もロッド部位が寄り集まっている像は見出せなかった。このことと, SDS-PAGEの結果(図12)とを考え合わせて, AsAは図4に示すようなミオシンのゲル化過程²²⁾を速めているものと考えられた。

6. AsAがミオシンの構造に与える影響

このようなAsAによるミオシン分子間SS架橋形成促進効果は, AsAによるタンパク質の構造変化が引き金になっているのではないかと考え, 円偏光二色性を用い, AsA添加によるミオシン分子中の α -ヘリックス含量の変化を測定した。すなわち, ミオシン溶液またはAsA含有ミオシン溶液について40℃で60分イ

ンキュベーションした時の α -ヘリックス構造の全体構造に占める割合を, インキュベーション前の値と比較検討した(図14)。

AsA無含有(図14-A)および含有ミオシン(図14-B)の α -ヘリックス構造の相対量は $64.4 \pm 8.5\%$ および $63.9 \pm 13.5\%$ を示し, 両者間に有意差はなかった。一方, 40℃で60分加熱することにより, AsA無含有(図14-C)および含有ミオシン(図14-D)の α -ヘリックス構造は $37.8 \pm 5.3\%$ および $35.6 \pm 6.2\%$ となり, 両者間では有意差がなかった。しかしながら, 加熱により同じミオシン試料では有意に α -ヘリックス構造が減少した。このことは, 加熱による構造変化は生じるものの, AsAの作用による顕著なミオシンの構造変化がみられないことを示している。

以上のことから, ミオシンに対するAsAの作用機構は安田および鮫島が提唱するミオシンのゲル化機構(図4)²²⁾を, AsAがタンパク質の構造変化などをもたらすことなく, ただ物理的に西村らの提唱する機構(図2)¹³⁾によって, 分子間SS架橋形成を促進することで品質改良効果をもたらしていることが判明した。

おわりに

AsAによるかまぼこの品質改良機構(図2)は, パンにおいて提唱されている機構(図1)とは大いに異なっていた。また, 従来の酵素が関与する複雑な系(図1)よりは, AsAから派生する O_2^- が関与する品質改良機構の方が, 機構が単純で, 生じやすいように感じられる。そこで, 次の研究において, SS結合によりゲルを形成する大豆タンパク質(11Sグロブリン)を用いて, 我々のスキームでAsAの改良効果をもたらされるのか検討した。さらに, パンにおいても同様の検討を行った。

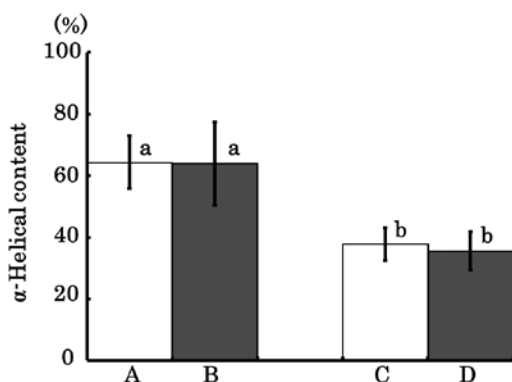


図14 Influence of AsA on changes in the α -helical content in myosin during heating¹⁹⁾

Myosin, in the absence or presence of 0.2% AsA, was heated at 40℃ for 60 min. The circular dichroism spectra of myosin before and after heating were measured at 4 and 40℃, respectively. Values A and B show the α -helical content in myosin in the absence and presence of 0.2% AsA, respectively. Values C and D indicate the α -helical content after heating in myosin in the absence and presence of 0.2% AsA, respectively. Values without common subscripts are significantly different from each other ($p < 0.01$). The bar shows the standard deviation of 3 replicates.

参考文献

1. Jorgensen, H.: Further investigations into the nature of the action of bromates and ascorbic acid on the baking strength of wheat flour. *Cereal Chem.* **16**:51-59, 1939.
2. Kuninori, T. and Nishiyama, J.: Recent advances in dough improvement with ascorbic acid and its derivatives. *Cereal Food World* **38**:554-559, 1993.
3. Kuninori, T. and Matsumoto, H.: L-Ascorbic acid oxidizing system in dough and improvement. *Cereal Chem.* **40**: 647-657, 1963.
4. Tsen, C.C.: The improving mechanism of ascorbic acid. *Cereal Chem.* **42**: 86-97, 1965.
5. Nicolas, J., Gustafsson, S. and Drapron, R.: Effects of some parameters on the kinetics of ascorbic acid destruction and dehydroascorbic acid formation in wheat flour doughs. *Lebensm.Wiss.Technol.* **13**: 308-313, 1980.
6. Sarwin, R., Laskawy, G. and Grosch, W.: Changes in the levels of glutathione and cysteine during the mixing of doughs with L-threo- and D-erythro ascorbic acid. *Cereal Chem.* **70**: 553-557, 1993.
7. Hahn, B. and Grosch, W.: Distribution of glutathione in Osborne fractions as affected by additions of ascorbic acid, reduced and oxidized glutathione. *J. Cereal. Sci.* **27**: 117-125, 1998.
8. Grosch, W. and Wieser, H.: Redox reactions in wheat dough as affected by ascorbic acid. *J. Cereal. Sci.* **29**: 1-16, 1999.
9. Koehler, P.: Effect of ascorbic acid in dough: reaction of oxidized glutathione with reactive thiol groups of wheat glutelin. *J. Agric. Food Chem.* **51**: 4954-4959, 2003.
10. Yoshinaka, R., Shiraishi, M. and Ikeda, S.: Effect of ascorbic acid on the gel formation of fish meat. *Bull. Jpn.Soc. Sci.Fish.* **38**:511-515, 1972.
11. Nishimura, K., Ohtsuru, M. and Nigota, K.: Effect of dehydroascorbic acid on ovalbumin. *J.Agric.Food Chem.* **37**: 1539-1543, 1989.
12. Nishimura, K., Ohtsuru, M. and Nigota, K.: Effect of ascorbic acid and dehydroascorbic acid on ovalbumin. *J.Agric. Food Chem.* **37**: 1544-1547, 1989.
13. Nishimura, K., Goto, M. and Mano, J.: Participation of the superoxide radical in the beneficial effect of ascorbic acid on heat-induced fish meat gel (Kamaboko). *Biosci.Biotech.Biochem.* **60**: 1966-1970, 1996.
14. Nishimura, K., Ohtsuru, M. and Nigota, K.: Mechanism of improvement effect of ascorbic acid on the thermal gelation of fish meat. *Nippon Suisan Gakkaishi.* **56**: 959-966, 1990.
15. Nishimura, K., Ohishi, N. and Tanaka, Y. *et al.*: Participation of radicals in polymerization by ascorbic acid of crude actomyosin from frozen surimi of *Alaska Pollack* during a 40 °C incubation. *Biosci.Biotech.Biochem.* **56**: 24-28, 1992.
16. Nishimura, K., Ohishi, N. and Tanaka, *et al.*: Effects of ascorbic acid on the formation process for a heat-induced gel of fish meat (Kamaboko). *Biosci.Biotech.Biochem.* **56**: 1737-1743, 1992.
17. Nishimura, K., Goto, M. and Itoh, Y.: Influence of oxygen radicals produced by ascorbic acid on amino acid composition of muscle proteins during the formation of a heat-induced gel of fish meat (Kamaboko). *Fish. Sci.* **60**: 799-800, 1994.
18. Miyamoto, Y. and Nishimura, K.: Beneficial effects of ascorbic acid on heat-induced fish gel (Kamaboko) from the superoxide anion radical. *Biosci.Biotech.Biochem.* **70**: 480-488, 2006.
19. Ikeuchi, S., Miyamoto, Y. and Katoh, T. *et al.*: Action of Ascorbic Acid on a Myosin Molecule Derived from Carp. *Biosci.Biotech.Biochem.* **71**: 2091-2094, 2007.
20. Nishimura, K., Ikeuchi, S. and Miyamoto, Y.: Occurrence of thiyl radical on a myosin derived from carp by superoxide anion radical. *Food Sci. Technol. Res.* **14**: 315-318, 2008.
21. 西村 公雄：4.4 水産練り製品，食品加工学第2版．西村 公雄，松井 徳光 編，京都，化学同人，48-51，2014.
22. 安井 勉，鮫島 邦彦：筋肉タンパク質の加熱ゲル形成，食品タンパク質の科学ーテクスチャーとレオロジー編ー．山内 文男 編，東京，食品資材研究会，117-148，1986.
23. Uchida, K. and Kawakishi, S.: Selective oxidation of tryptophan and histidine residues in protein through the copper-catalyzed autoxidation of L-ascorbic acid. *Agric.Biol.Chem.* **52**: 1529-1535, 1988.
24. Uchida, K. and Kawakishi, S.: Ascorbate-mediated specific modification of histidine-containing peptides. *J.Agric. Food Chem.* **37**: 897-901, 1989.
25. Uchida, K., Enomoto, N. and Itakura, K. *et al.*: The hydroxyl radical generated by an Iron(II)/EDTA/ascorbate system preferentially attacks tryptophan residues of the protein. *Agric.Biol.Chem.* **53**: 3285-3292, 1989.
26. 坂上 和之，東村 豊，林 徹，等々力 節子，村田 芳行，多田 幹郎：タンパク質性食品添加物の電子線殺

- 菌に関する研究. 食品照射, **34**: 30-36, 1999.
27. 宮本 有香, 西村 公雄: スーパーオキシドアニオンラジカルにより牛血清アルブミン上にチールラジカルが発生する. 日本家政学会誌, **56**: 457-462, 2005.
 28. 川岸 舜朗: 活性酸素による食品蛋白質の酸化的劣化とその分子機構. 日本食品科学工学会誌, **44**: 689-695, 1997.
 29. Saez, G., Thornally, P.J. and Hill, H.A.O. *et al.*: The production of free radicals during the autoxidation of cysteine and their effect on isolated rat hepatocytes, *Biochim. Biophys. Acta*, **719**: 24-31, 1982.
 30. Mitsuta, K., Mizuta, Y. and Hiramatsu, M. *et al.*: The application of ESR spin-trapping technique to the evaluation of SOD-like activity of biological substances. *Bull. Chem. Soc. Jp.*, **63**: 187-191, 1990.
 31. Halliwell, B. and Gutteridge JMC. in *Free Radicals in Biology and Medicine*, 3rd ed., Oxford University Press Inc., New York, 246-350, 1999.
 32. Davies, K.J.: Protein Damage and Degradation by Oxygen Radicals, *J. Biol. Chem.*, **262**: 9895-9901, 1987.
 33. Soriani, M., Pietraforte, D. and Minetti, M.: Antioxidant Potential of Anaerobic Human Plasma: Role of Serum Albumin and Thiols as Scavengers of Carbon Radicals, *Arch. Biochem. Biophys.*, **312**: 180-188, 1994.

5 基本味の好ましさの分析

柳本 正勝 (YANAGIMOTO Masakatsu) *

* 元 (独) 食品総合研究所

Key Words : 5 基本味 味記憶思い出し法 好ましさ 感知率 嗜好指数 強化影響指数

はじめに

食品の味には甘味, うま味, 酸味, 塩味, 苦味の5基本味があるとされている。これらの味の受容のされ方¹⁻³⁾, 脳への伝達と脳における情報処理^{4,5)}については精力的に研究されているが, 肝心の味がどの程度好まれているかについては, ほとんど知見が得られていない。実験科学的なアプローチでは得られる結果が限定的であるし^{6,7)}, 官能評価では食品自体が対象になってしまう⁸⁾。また一般的なアンケート調査では, 調査目的の制約から得られる知見が断片的である⁹⁻¹¹⁾。5基本味の好ましさを体系的に取り組んだような例は見当たらない。

そこで, 5基本味の好ましさを数値化しそれを比較することを目的としたアンケート調査を実施した。その結果と, その過程で各基本味が感知されている割合およびその味を強化したらもっとおいしくなるかについての知見も得ることができたので, それらについて紹介する。

1. アンケート調査の準備と実施

本アンケート調査の目的からすれば, なるべく多くの食品を対象にし, 調査対象者も十分な人数を確保しかつ性別年代別にバランスの取れたものにする必要がある。また可能ならば, 用意した料理を実際に食べて評価してもらうのが望ましい。しかしながら, 実行の可能性を考慮

する必要があるために, まず, 対象食品は表1の18食品に絞った。対象食品の選定に当たっては, はじめに5基本味を代表できるかつ一般的な食品を2つずつ選び, そのうえで, 全体として食品群に偏りがないようにかつ代表的な食品を漏らさないようにという基準で選定した8食品を追加した。次に予備調査を実施しその結果を踏まえ, 回答が難しいとされたまぐろを焼き鮭に入れ替えるなどの修正を加えた。併せて, 評価に際し混乱があるかもしれないとされた食

表1 対象とした食品の選定

選定枠	選定食品
甘味 (2)	カステラ 焼き芋
うま味 (2)	ロースハム コンソメスープ
酸味 (2)	みかん りんご
塩味 (2)	ポテトチップス 白菜の浅漬け
苦味 (2)	お茶 ビール
代表的食品 (8)	ご飯 パン とまと 豆腐 焼き鮭 ちくわ ステーキ 牛乳

表2 本質問の例

1. ご飯（米と水だけのご飯：自宅で）

	甘味	うま味	酸味	塩味	苦味	その他の味
問1. 食べる時に標記の味を感じていますか						(具体的に)
問2. その味が感じられることは好ましいですか						
問3. その味が強くなるともっとおいしくなりますか						

問1の選択肢	1:いつも感じる	2:時々感じる	(感じない味は空欄)
問2の選択肢	1:好ましい	2:どちらでもない	3:むしろ好ましくない
問3の選択肢	1:おいしくなる	2:どちらでもない	3:むしろまずくなる

品には簡単なメモを付記することにした。調査対象者は女子学生とした。ただし、地域が異なる4大学の先生に依頼して、対象者群間で大きな変動がないかを確かめることができるようにした。いずれも食品栄養課程の学生で、調査の実施時期は、2014年10月～11月である。また、料理を実際に食べて評価してもらうのが望ましいが、その料理を準備することを考えると現実的でないので、調査用紙を配布して回答者が食べた時の記憶を思い出して記入してもらった。この方法を味記憶思い出し法と呼んだ。なお、対象とする味は5基本味としたが、念のためその他の味も記入できるようにした。

作成したアンケート用紙の本質問を、ご飯の例で表2に示した。表2のご飯の後ろに（米と水だけのご飯：自宅で）と説明してあるが、他の食品でも必要に応じて説明を付けた。表2と同じ内容で18食品に対して5基本味について質問した。3つの問のうち最も重視したのは問2の「その味が感じられることは好ましいですか」であり、問1は問2を質問するのが無意味な味を除外するための予備的質問で、問3は問2で明確な結果が出ない場合に備えた補足的質問であった。なお、問3では別のところで「強くなる程度は2～3割としませう」と説明を加えた。

2. データの整理

回収できた用紙は259人分であったが、真面目に回答していない（例、記入食品数が3分の2以下、同じ数字ばかり、数字の並びが機械的）をフィルタリングの基準として該当用紙は除外したので、回答者数は181人となった。ただし、フィルタリングは用紙単位とし、採用した用紙は一部に不自然と思われる記入もあったがそのまま転記した。

結果をまとめるためには、直接参照できるようなアンケート調査が見つからなかったので、指標を設定する必要があった。問ごとに設定した指標を表3に示したが、いずれも常識的なものである。なお、感知率の計算に使う記入者数は食品毎に異なり、嗜好指数と強化影響指数の計算に使う記入者数は食品の味毎に異なる。参考までに、食品の記入者数のいちばん多かったのはご飯で181人全員が記入したので、回答者数と記入者数が一致した。逆にいちばん少なかったのはビールで、記入

表3 設定した指標

問の番号	指 標
問1:	感知率 $= \frac{(\text{いつも感じる人数} + \text{時々感じる人数}) \times 100}{\text{記入者数}}$
問2:	嗜好指数 $= \frac{(\text{好ましい人数} - \text{むしろ好ましくない人数}) \times 100}{\text{記入者数}}$
問3:	強化影響指数 $= \frac{(\text{好ましい人数} - \text{むしろ好ましくない人数}) \times 100}{\text{記入者数}}$

感知率の記入者数は食品毎に、嗜好指数と強化影響指数の記入者数は食品の味毎に異なる。

者数は113人であった。

全食品については、予め18食品のデータを合算してから指標を計算した。食品毎に味が感知されていないとみなす基準を感知者が10人以下の場合とし、該当食品は嗜好指数と強化影響指数の計算の対象外とした。ただし、全食品の計算においては18食品全てのデータを用いた。

集計にはエクセルを用い、必要な統計計算にもエクセル統計を用いた。

3. 各基本味が感知されている割合

1) 全食品での各基本味間の比較

全食品について感知されている味を感知率で比較すると、表4のいちばん下の行にあるように、高い順に甘味、うま味、塩味、酸味、苦味であった。甘味は実に61.2%も感知されているのに対し、苦味は感知率が高い食品が限られており、全体として13.9%しか感じられていなかった。各基本味間の差はいずれも顕著である。5基本味の感知率を合計すると171.5%で、つまり食品当たり平均で約1.7の味が感知され

ていることになる。

2) 各基本味の感知され方の特徴

甘味で感知率がいちばん高いのは、カステラ（100%）であった。感知率が100%というのは、他の味も含めて唯一の例であった。感知率が90%以上の食品が7品目もあり、感知率の上位5位までは甘味が占めた。いちばん感知率の低いビールでも16人（感知率14.2%）に感じられており、上述の食品毎に感知者が10人以下の味は感知されていないとみなす基準によると、甘味は全食品が感知されていたことになった。うま味も全食品が感知されていたが、感知率が高い食品は限られており、90%以上はステーキだけであった。うま味食品として採用したコンソメスープも83.7%にすぎなかった。一方、いちばん低いりんごでも14人（7.8%）に感じられていた。

塩味、酸味、苦味では、感知されていないと判定された食品が多く、それぞれに9食品、12食品、11食品もあった。参考までに、感知されていない基準を感知者が20人以下の味とすると、それぞれに11食品、14食品、14食品が

表4 各基本味が感知されている割合

食品名	甘味	うま味	塩味	酸味	苦味
ご飯	98.9	48.6	1.7	0.0	0.0
パン	97.1	27.7	47.4	5.2	0.0
焼き芋	99.4	22.5	8.1	3.8	9.4
ポテトチップス	16.9	39.8	98.8	9.0	0.6
とまと	84.5	28.0	2.4	94.6	6.5
白菜の浅漬け	25.5	51.8	91.2	63.5	8.8
豆腐	66.2	35.4	6.2	0.0	31.5
みかん	99.4	10.6	0.6	95.6	13.3
りんご	99.4	7.8	2.2	73.2	2.8
焼き鮭	21.6	73.5	70.4	1.9	4.3
ちくわ	43.7	68.2	68.9	2.0	1.3
ステーキ	29.4	90.8	30.1	1.8	4.9
ロースハム	24.3	74.0	78.1	4.7	0.0
牛乳	96.3	25.9	1.2	4.3	3.1
カステラ	100.0	10.2	4.8	0.0	3.0
コンソメスープ	23.6	83.7	89.3	7.3	0.6
お茶	33.7	30.9	0.6	3.4	88.8
ビール	14.2	13.3	0.9	7.1	97.3
全食品	61.2	41.4	33.4	21.6	13.9

数値は感知率（%）である。

該当する。塩味は感知率が98.8%のポテトチップスをはじめ、苦味・酸味に比べると多くの食品で感知されているが、感知率の低い食品も目立った。塩味物質が閾値以上に存在しても感知されない食品があると考えられる。酸味はみかん（95.6%）、とまと（94.6%）など感知率が高い食品もあるが、感知率50%以上のものが4食品にすぎなかった。そして、その他の食品の感知率は軒並み低かった。苦味は、苦味食品として採用したお茶とビール以外では全て50%以下であった。酸味の方が苦味より感知される食品が少ない結果となったが、酸味物質を含む食品が少ないというよりも、存在しても感

知されない例があるためと推定される。

5 基本味以外の味を自由記入してもらったが、渋味（全てお茶）と脂味（ステーキが中心）を 12 人が挙げたのがいちばん多く、辛味は 2 人だけであった。したがって、5 基本味に加えてこれらの味を分析の対象にする必要性は認めなかった。

4. 各基本味に対する好ましさ

1) 全食品での各基本味間の比較

18 全食品について好ましさを嗜好指数で比較すると、表 5 のいちばん下の行にあるように、うま味 (93.3)、甘味 (87.3)、塩味 (66.2)、酸味 (36.3)、苦味 (0.7)

の順序であった。上の感知率とは、甘味とうま味の順序が入れ替わっただけで、他の味は同じ順序であった。この順の差も顕著で、この順序がウイルコクソンの順位と検定によると有意であることを確認した。うま味と甘味の好ましさの比較はこれまでは曖昧にされてきたが、明確に順位を付けることができた。甘味以下の順序は、常識的な結果といえる。ただし、一般の人は塩味より酸味の方が好まれていると考えている人も多い。このように、本アンケート調査の主目的であった 5 基本味の好ましさの順位について、明快な結論を得ることができた。

酸味と苦味も嗜好指数が正の値となっていることは特筆される。これらは一般に忌避される味とされている。

2) 各基本味の好ましさの特徴

うま味は全ての食品で好ましく感じられる味である。この中でいちばん嗜好指数が高いご飯は 98.9 もあり、いちばん低い豆腐でも 80.4 もあった。特に低い方は、際立って高い値である。これは、日常用語としてのうま味ではおいしいと感じる味と理解されているためでもあろう。

表 5 各基本味の好ましさ

食品名	甘味	うま味	塩味	酸味	苦味
ご飯	92.2	98.9			
パン	91.7	89.6	46.3		
焼き芋	98.7	94.4	46.2		-46.7
ポテトチップス	64.3	95.5	82.9	13.3	
とまと	91.5	91.5		34.0	-54.5
白菜の浅漬け	77.1	93.0	69.6	42.5	-58.3
豆腐	64.0	80.4			-34.1
みかん	98.9	94.7		47.7	-58.3
りんご	98.9	92.9		38.9	
焼き鮭	77.1	94.1	69.3		
ちくわ	69.7	88.3	57.7		
ステーキ	70.8	97.3	67.3		
ロースハム	73.2	94.4	65.2		
牛乳	75.0	88.1			
カステラ	97.0	94.1			
コンソメスープ	71.4	96.0	68.6	38.5	
お茶	80.0	89.1			50.0
ビール	37.5	86.7			-7.3
全食品	87.3	93.3	66.2	36.3	0.7

1. 数値は嗜好係数である。

2. 空欄は感知者が 10 人以下であった味。

なお、ご飯のうま味の嗜好指数が僅差ながらいちばん高いことを改めて指摘しておく。甘味も一般的に好ましく感じられる味で、みかんとりんごの甘味の嗜好指数はご飯のうま味を僅かながら上回っており、全食品の味の中でいちばん高い。その一方で、ビールのように嗜好指数が 37.5 とあまり高くない食品もあった。甘味では、感知率が低い食品でその嗜好指数が低くなる傾向が指摘できた。

塩味は三番目に好まれる味であるが、嗜好指数が高いポテトチップスでも 82.9 なので、特別に高い値ではない。その一方、いちばん低い焼き芋でも 46.2 もあり、嗜好指数が低い食品はなかった。酸味は生得的に嫌われる味とされており、全体として塩味よりも嗜好指数が低いけれども、いちばん低いポテトチップスでも 13.3 と正の値を維持している。なお、みかんとりんごのような強い甘味と一緒に感じられている食品では、酸味が比較的好まれるようにみえる。

苦味では、嗜好指数が負の値の食品が並んでいる。お茶の嗜好指数だけが 50.0 と正で値も高いのであるが、それ以外では 2 番目に高いビー

ルでも負の値（－7.3）になる。嗜好指数が負の食品は他の4基本味には見当たらないので、苦味が特に嫌われる味であることが確認された。苦味の全食品の嗜好指数が低いながら正の値となっているのは、お茶の苦味の感知率が高くかつ嗜好指数も高いことに牽引されている。

5. 各基本味の強化による影響

1) 全食品での各基本味間の比較

18全食品に関し強化したらおいしくなるかについて強化影響指数で比較すると、表6のいちばん下の行にあるように、うま味、甘味、塩味、酸味、苦味の順であった。この順序は嗜好指数と全く同じである。うま味と甘味の強化影響指数は正の値で、この2つの味は現在よりも強くなることが期待されていることを意味する。一方、苦味と酸味および塩味の強化影響指数は負の値なので、現在よりも強化することは懸念されている。塩味も負の値になったことは注目される。強化影響指数でみるかぎりでは、5基本味は、うま味・甘味と塩味・酸味・苦味に二分できる。

表5の嗜好指数と比べると、強化影響指数は当然ながら5つの基本味全てで低くなっている。ただし、その減少幅は、うま味がいちばん小さく、塩味がいちばん大きかった。その結果、嗜好指数に比べると、強化影響指数ではうま味と甘味および甘味と塩味の差が大きくなり、塩味と酸味の差が小さくなった。

2) 各基本味の強化による影響の特徴

うま味は、全ての食品において強化影響指数が正の値であり、現在よりも強くなることが期待されている。強化影響指数は全体に高く、いちばん低い牛乳でも59.5もある。甘味もほとんどの食品において味が強くなるこ

とが期待されているが、うま味に比べると食品間の差が大きい。みかん、焼き芋、りんごの強化影響指数が全食品の味の上位3位を占める反面、ビールでは－12.5と負の値になった。ビールにかぎらず、加工食品の甘味は強化影響指数が全般に低いことが指摘できる。とはいえ、甘味の強化影響指数が正の値となった加工食品が多いのはむしろ意外である。加工食品では事業者が現在の製品においても最適の甘味となるよう調整しているはずである。

塩味では、強化影響指数が正の値となった食品は、ステーキと焼き芋であるが、その値はそれぞれ12.5と7.7と低い。他の7食品の強化影響指数は負の値となった。特に塩味食品として選定したポテトチップスと白菜の浅漬の両方で負の値であったのは印象的である。また、パンがいちばん低い値だったことも指摘しておく。酸味では、強化影響指数が正の値となった食品はない。りんごの強化影響指数が－17.6といちばん高く、これに次ぐのがみかんであった。逆に強化影響指数がいちばん低いのはコン

表6 各基本味を強化するとおいしくなるか

食品名	甘味	うま味	塩味	酸味	苦味
ご飯	30.7	67.0			
パン	48.8	64.6	-24.4		
焼き芋	90.6	86.1	7.7		-80.0
ポテトチップス	10.7	71.2	-15.2	-20.0	
とまと	76.8	87.2		-30.2	-81.8
白菜の浅漬	17.1	73.2	-24.0	-28.7	-83.3
豆腐	26.7	71.7			-78.0
みかん	91.1	84.2		-18.0	-75.0
りんご	88.8	78.6		-17.6	
焼き鮭	31.4	84.0	-10.5		
ちくわ	19.7	78.6	-7.7		
ステーキ	33.3	87.2	12.2		
ロースハム	17.1	81.6	-9.8		
牛乳	25.6	59.5			
カステラ	43.1	82.4			
コンソメスープ	14.3	75.2	-17.0	-46.2	
お茶	35.0	74.5			-25.3
ビール	-12.5	66.7			-60.9
全食品	51.9	77.4	-13.8	-24.9	-53.1

1. 数値は強化影響係数である。

2. 空欄は感知者が10人以下であった味。

表7 全食品での各基本味の嗜好指数の大学間差

	甘味	うま味	塩味	酸味	苦味
A大学	85.6	93.2	70.5	41.0	5.9
B大学	89.3	94.5	63.8	28.5	-9.1
C大学	85.6	92.2	64.4	41.8	-1.5
D大学	88.0	92.4	65.8	37.8	13.0
四大学全体	87.3	93.3	66.2	36.3	0.5

分散分析によると大学の要因は有意差なし。

ソメスープだった。これは記入者数が15人とデータサイズが小さいのではあるが、やや意外である。苦味も強化影響指数が正の値となった食品はなく、いちばん高いお茶でも-25.3である。強化影響指数が-80以下の食品が3つもあり、その中にとまとが含まれている。

6. 大学間での差

上で述べたように、本アンケート調査は4大学の女子学生の回答を合算している。大学間で変動が大きいかを確認したが、その一例として大学毎の全食品の嗜好指数を表7に示した。甘味とうま味は誤差の範囲内といえる。塩味、酸味、苦味ではやや差が指摘できるけれども、顕著なものではない。4大学とも好ましさの順位は全く同じであり、分散分析で大学の要因を検出することは当然できなかった。これ以外のデータをみても、大学間の差は予想していたよりも小さかった。

おわりに

5基本味の好ましさを数字で表し、その比較をするという所期の目的は達成できた。その結果、うま味は甘味より好まれること、塩味は酸味より好まれることが確認できた。この結果は、①調査対象が女子学生、②対象食品数が18、③サンプルサイズが181、④味記憶思い出し法という限界を持つが、ここで得られた味の好ましさの傾向はかなりの程度の普遍性があると信じられる。

もし本アンケート調査結果に重要な誤差を生じているとすれば、その要因は調査対象者が女

子学生だったことであろう。女子学生は一般に甘味を好み、苦味を嫌うと言われている。また、食品栄養分野の学生であったので、食塩摂取への警戒が一般の人よりも強い可能性がある。ただし、これらの事実を勘案しても、本稿で紹介した全食品についての結果に重要な影響を及ぼすことは考え難い。

甘味とうま味は、全ての食品でそれなりの感知率を示していた。このうち甘味は甘味物質による味と説明できるが、うま味はうま味物質による味では説明できない食品も含んでいる。これは、うま味が甘味と異なり、専門用語としてのうま味と日常用語としてのうま味が乖離していることを反映している。そして、本アンケート調査においては、日常用語としてのうま味が対象になったといえる。ただし、うま味について特別な教育を受けた者を対象としたアンケート調査でないかぎり、同じ結果となるはずである。また、味は専門家の研究対象である前に人々の生活に密着した感覚・知覚であり、一概に専門用語の意味が正しいとはいえない。

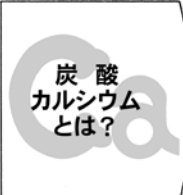
おいしい食品を創るためには、一般論として嗜好指数や強化影響指数の高い味を強化することが大切である。少なくとも生鮮食品についてはそれがいえる。加工食品についてはそれほど単純ではないであろうが、消費が減少傾向にある加工食品にあっては、特に塩味・酸味・苦味については、従来通りだと忌避されるようになっていないのかを疑う必要がある。

謝辞

本アンケート調査は、農研機構食品総合研究所の日下部裕子ユニット長・河合崇行主任研究員と共同で実施したものである。調査の実施にあたっては、中村学園大学 太田英明教授、同志社女子大学 真部真里子教授、相山女学園大学 石原健吾教授、東京農業大学 阿久澤さゆり教授の協力を得た。また、実際に回答いただいた学生の皆様に厚くお礼申し上げます。

参考文献

1. 栗原堅三：味覚・嗅覚，東京，化学同人，pp.39-74, 1990.
2. 早瀬仁美：味，調理のおいしさと科学，島田淳子，下村道子編，朝倉書店，pp.98-113, 1993.
3. 栗原堅三：味覚と健康，食と味覚の科学，和田昭，池原森男，矢野俊正編，日本学会事務センター，pp.1-25, 2004.
4. 山本隆：脳と味覚—おいしく味わう脳の仕組み—，大村裕，中川八郎編，共立出版，pp.82-123, 1996.
5. 山本隆：味を感じるしくみ，食品と味，伏木亨編，光琳，pp.87-116, 2003.
6. 山口静子：味の基本的性質，おいしさの科学，山野善正，山口静子編，朝倉書店，pp.97-118, 1994.
7. 鳥居邦夫，二宮くみ子，河野一世：おいしさの科学，調理とおいしさの科学，島田淳子，下村道子編，朝倉書店，pp.59-63, 1993.
8. 吉川秀子，上田玲子：続おいしさを計る，幸書房，pp.14-49, 2012.
9. 農林水産省・安全局消費・安全政策課：平成 19 年度食品消費モニター第 3 回定期調査結果，p.10, 2007.
10. 食生活データ総合統計年報 2004 年版：生活情報センター，p.214, 2004.
11. 食生活データ総合統計年報 2012 年版：三冬社，p.313, 2012.

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。	
 白石カルシウム株式会社 食品部：東京都千代田区岩本町 1-1-8 TEL 03-3863-8913 本社：大阪市北区同心 2-10-5 TEL 06-6358-1181	

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 ロマリンド大学栄養学部, *2 食のフロンティア塾

Key Words：地中海食，トランス脂肪酸，植物性ステロール，ファイトケミカル，イソフラボン

15章 ベジタリアン食と慢性疾患予防 に対する食事指針： 健康的な食事を目指す現在の指針 に対し、肉抜きの食事をどのよう な方法で適合させていくのか。

1. はじめに

食事習慣が、栄養状態、健康や寿命に大きく影響することは良く知られたことです。理想的な食事組成は正確にはわかっていませんが、科学の面から、健康改善に対する食事が果たす役割への関心が高まり、栄養研究者や行政担当者に対し、定期的な食事指針を国民に示すように促しています。食事への関心は、最初は、飢餓の問題や不適切な栄養に焦点が絞られていて、食事指針は、栄養状態の改善のために、肉や乳製品等の動物性食品が推奨されていました。疾病のパターンが感染や栄養不足によるものから、慢性疾患率の増加に移ってきたので、食事指針もまた、変化しました。現在の世界中の食事指針は、健康効果が高いので、植物性食品に基づく簡素なベジタリアン型食を推進しています。

植物性を基本にしたり、ベジタリアン食に関心が集まっている理由の一つは、先進国で消費されるこれらの食事が、長期にわたり望ましい効果を示すという明確な研究結果があるからです。数多くの慢性疾患による疾病率と死亡率は、非ベジタリアンよりもベジタリアンの方が低いのです。この章は、慢性疾患の1次予防と2次予防に対する食事指針や推奨に、肉のない食事とベジタリアン食がどのように適合するのかの概要を示すことにあります。事実、様々なガイドラインは、植物性が豊富な食事で、しかもベジタリアン食を取り入れることで最良な状態に到達することができます。

2. 食事指針

食事指針は、健康人に対して、健康的な食事の推進と疾病リスクを低下させるために、食事と生活習慣に関するアドバイスを提供する為にデザインされています¹⁾。食事指針は、標準1日摂取量 (RDI)、推奨1日所要量 (RDA) やフードガイドピラミッド等のフードガイド等の栄養基準とは異なっています^{3,4)}。栄養基準は、必須栄養素の平均的1日摂取量に対する参照値を

規定し、フードガイドは、様々な食品の種類や量を選択する際に、同時に栄養学的に適正な食事を提供するためのわく組を示し、食事指針は公衆衛生問題に関連する食品の摂取や成分に対するアドバイスを提供することにあります。ガイドラインは、健康増進や疾病予防に対する集団に基いた推奨であることを意図しています。

A. 概要

1. 米国のガイドライン

最初の食事指針の概念は、1世紀前に Atwater によって紹介されました。食品の供給は脂肪、肉、澱粉や砂糖が比較的過剰であると彼は当時指摘し、脂肪からのエネルギーは33%、たんぱく質からのエネルギーは15%が良いことを推奨しました⁵⁾。食事指針の新しい歴史は、米国政府が、栄養とヒトの必要量に関する上院選択委員会によって開催された聴聞会後、「米国の食事目標」を作成した1977年に主要なステップに到達しました⁶⁾。第2次世界大戦後の10年間は、飢餓の問題から、米国の主要な死因である心疾患、心臓発作、糖尿病やがん等の慢性的退行疾患のリスク因子を抑制する食事の役割に対する適正な栄養を科学者や行政担当者が考え、発展させることで特徴付けされました⁷⁾。食事目標は、これらの殺人疾病に対する食事や生活習慣の貢献度を報告し、総脂肪、飽和脂肪、総炭水化物、砂糖の添加、コレステロール、ナトリウムやたんぱく質の期待される適性摂取量を呈示しました。報告書は、提出された基準や目標についての栄養学者や科学者の反論を生み出しました。

1980年に最初に発表された、小冊子「栄養と健康：米国人にとっての食事指針」は、十分にコンセンサスが取れていて、公衆衛生にかなり大きな影響を及ぼすと考えられる「食事目標」に示された食事推奨量を促進するために、農務省と保健福祉省が協力したことを示しています⁸⁾。食事

指針は、1985年、1990年と1995年に改訂されました。近年では、2000年に第5版が発表されました¹⁾。その間、ガイドラインを保証する為に必要な証拠となる文書や基礎となる科学的研究が示され、数多くの文献や研究報告がありました。国際的な観点からすると、最も有名なのは、1) 外科医全般事務局による、「栄養と健康に関する外科医全般の報告 (The Surgeon General's Report on Nutrition and Health) (1988年)」⁹⁾ と、2) 米国科学アカデミー (NAS) による「食事と健康：慢性疾患のリスクを低下させる為の提言」(1989年)¹⁰⁾ です。表15-1は2000年の「食事と健康に関する米国人の食事指針」の推奨量を比較したものです。「食事指針」は、NASの「食事と健康」の推奨量を十分に反映していて、消費者が理解し易い言葉で表現されています。「食事指針」の内容は、簡単で正確、そして説明文式的ですが、「食事と健康」の推奨量の考え方の殆どは、ガイドラインの小冊子と「フードガイドピラミッド」の中に生かされています。

政府は、米国栄養モニタリング及び関連研究に関する法律(1990年)(PL101-445)を可決し、ガイドラインを連邦政府の栄養政策とすることを声明し、そして、農業と健康部局の長官に5年毎に(必要に応じて)見直し、改訂するように法制化しました⁵⁾。政府は、米国の公的な政策として、栄養供給計画の基盤となるものと、国民に向けた食事指針を作りました。実行をより強力に促すために、「国家の健康目標」という文章を健康推進の目標に加えました¹¹⁾。

2. 世界のガイドライン

米国だけが食事指針を発行しているのではありません。オーストラリア、カナダ、デンマーク、アイルランド、フィンランド、フランス、ドイツ、ハンガリー、インド、イスラエル、イタリア、日本、韓国、オランダ、ニュージーランド、ノルウェー、シンガポール、スウェーデ

表 15-1 米国人向けの食事ガイドライン（2000 年版）と食事と健康に関する指針

米国農務省、保健福祉省の食事ガイドライン (第5版, 2000年) ¹⁾	食事と健康の委員会、食品栄養委員会、米国学術研究会議 (食事と健康・1989) ¹⁰⁾
<フィットネスの目標> ●適正な体重目標 健全な体重: BMI 18.5 ~ 25 過体重: BMI 25 ~ 30 肥満: BMI 30 より上 ●毎日体を動かすこと 成人: 殆んど毎日, 30 分間適度の運動 児童, 若者: 殆んど毎日, 60 分間適度の運動 ●健康の基盤を確立すること 食品の選択にピラミッドガイドを採用する 様々な穀類, 特に全粒穀類を毎日摂取する 様々な果物, 野菜を毎日摂取する 安全な食べ物を摂取し続ける ●注意事項 飽和脂肪とコレステロールの少ない食事と適度な脂肪摂取を心掛ける 適度な砂糖摂取を考えた飲料や食品を心掛ける 塩分の少ない食事を心掛ける アルコール飲料は適度に ●フードガイドピラミッド パン, シリアル, 米, パスタ群 (穀類): 6 ~ 11 サービング / 日 (特に全粒穀類) 野菜群: 3 ~ 5 サービング / 日 果実群: 2 ~ 4 サービング / 日 乳, ヨーグルト, チーズ群: 2 ~ 3 サービング / 日 (無脂肪又は低脂肪が良い)	<体重> 適正な体重管理を維持する。バランスの取れた食事と運動 <脂肪摂取> 脂肪は, カロリーで 30% かそれ以下。 飽和脂肪酸は, カロリーの 10%。 不飽和脂肪酸は, カロリーの 7% ~ 10%。 食事からのコレステロールは, 300 mg/ 日未満 濃縮の魚油は控える <食品群> 毎日, 5 サービング以上の野菜, 果物, 特に, 緑黄色野菜と柑橘系果物 パン, シリアルや豆からの複合炭水化物を増やし, 砂糖は控える <たんぱく質> RDA の 2 倍未満の適度な量 アルコールは控える 清涼飲料水は, 標準的には 2 本 / 日に抑える。 妊娠中あるいは, 妊娠予定の女性はアルコール飲料は控える。 <食塩> NaCl として, 6 g かそれ以下 / 日 <最適なカルシウム摂取> <サプリメント> RDA より取り過ぎないこと フッ化物の最適な摂取

ンやイギリス等の先進国の殆どは、独自の食事指針を持っています。WHO や FAO 等の国際機関もまた、食事指針を発表しています。様々な国々の食事指針を比較したものが出版されています^{12, 13)}。WHO や米国の食事指針の研究グループによって発表されたものと同様に、多くの国の食事指針は、特に、脂肪、飽和脂肪、炭水化物や繊維の推奨に関して、かなり一致が見られます¹²⁾。

B. ベジタリアン食は食事指針に適合しているのか？

1. ベジタリアンは何を食べているのか？

ベジタリアンという称号は、食事や生活習慣

の意味合いや実践を幅広く含んだものです。この章の目的に合わせて、ベジタリアンという言葉は、肉、家禽や魚等の生の食品は含まないが、乳製品と卵は含む食事と規定します。ビーガンという言葉は、全て植物性食品から成る食事に適用されます。ベジタリアン食とビーガン食は、穀物、豆類、ナッツ、野菜や果物を重視します。植物性の豊富な食事は、植物性食品をかなりの割合で含み、肉、家禽、魚介類、卵や乳製品等の動物性食品を比較的少量含んだものです。地中海のや中東の伝統的な人々等が消費する植物性豊富な食事は、時折、ベジタリアンのような食事と称されます。

ベジタリアンの摂取パターンを正確に規定するのは困難です。まず第一に、ベジタリアン食を取り入れている個人やグループは、摂取している食品と避けているパターンが異なります。第2に、ベジタリアンを対象にした、最適な標本抽出と階層手法を用いた大規模な食事研究はありません。しかし、最近、Messina と Messina¹⁴⁾ は、1950 年代初頭からベジタリアンを対象に実施された、60 件を超す食事研究のデータを要約しました。その研究は、ベジタリアンの様々な食事スタイルや数多くの国で生活するベジタリアンを網羅しており、また、児童、青年、妊娠、授乳や高齢期等の異なる生活サイクルのそれぞれのステージでの個人の研究も示していました。非ベジタリアンに比べ、ベジタリアンは、共通して、脂肪、飽和脂肪、コレステロールの摂取が少なく、多価不飽和脂肪酸と食物繊維を多く摂っていることをこれらの研究は示しました。

ベジタリアンの主要栄養素の組成は非ベジタリアンのものとは異なるばかりでなく、また、摂取する食事パターンも異なります。ベジタリ

アン一家、児童や成人は、非ベジタリアンよりも、野菜、果物、豆類やナッツをかなり摂取します¹⁵⁻¹⁷⁾。セブンスデー・アドベンチストのベジタリアンは、同所属の非ベジタリアンよりも、全粒穀類、果物、トマト、豆類、ナッツや植物性の肉代替品を多く摂取します¹⁸⁾。

様々なベジタリアンのグループの研究から得られた知見は、一部、食事の一般化の傾向があることを示していました¹⁴⁻¹⁸⁾。表 15-2 は、ベジタリアンと植物性豊富な食事を推奨食事ガイドラインと比較しており、その栄養学的な面と食品群の質の部分を示しています。

2. ベジタリアン食、植物性食品とガイドライン

100 年以上の歴史がある現代のベジタリアンは、植物性食品は健康的であると声を高めています。それに伴い、健康的な食事についての植物性食品と動物性食品の相対比に関する科学的な知見は、食事指針の導入により顕著な変化を遂げました。ガイドラインに先立つフードガイド、栄養素の基準や食事のアドバイスは、必須栄養素の不足を予防するために動物性食品（肉や乳製品）を重視していました。ガイドラ

表 15-2 食事推奨ガイドラインと比較した、ビーガン、ベジタリアンと地中海食

食事ガイドライン	ビーガン	ベジタリアン	地中海食
総脂肪 (30 エネルギー % 以下)	↓ ⇔ ↑	↓ ⇔ ↑	↑
飽和脂肪酸 (10 エネルギー % 以下)	↓	↓	↓
1 価不飽和脂肪酸 (10 エネルギー % 以下)	⇔ 又は ↑	⇔ 又は ↑	↑
多価不飽和脂肪酸 (10 エネルギー % 以下)	⇔ 又は ↑	⇔ 又は ↑	⇔
食品からのコレステロール (300mg/ 日以下)	摂らない	↓	↓
動物性たんぱく質	摂らない	↓	↓
植物性たんぱく質	↑	↑	↑
食物繊維 (25g まで / 日)	↑	↑	↑
全粒パンとシリアル : 6 ~ 11 サービング / 日	↑	↑	⇔
果物と野菜 : 5 ~ 9 サービング / 日	↑	↑	↑
肉、鶏肉、魚、乾燥豆、卵、ナッツ : 5 ~ 7 オンス / 日			
肉、鶏肉、魚	摂らない	摂らない	↓
卵	摂らない	↓	↑
乾燥豆	↑	↑	↑
ナッツ	↑	↑	↑
乳、ヨーグルト、チーズ : 2 ~ 3 サービング / 日	摂らない	⇔ 又は	↓

↑ : 多め, ⇔ : 同等, ↓ : 少なめ

インは、国民に対し、エネルギー、脂肪、飽和脂肪、コレステロール等を少なく摂取し、複合炭水化物と繊維を多く摂るように指示しています。Marion Nestle¹⁹⁾ が明解に表現したように食べなくてよい主要な食品（砂糖、塩やアルコール以外）は、肉と乳製品で、もっと食べる必要のある食品は植物性食品です。1995年版のガイドラインは“ベジタリアン食は、「米国人にとっての食事指針」に一致しており、推奨1日所要量に適合している”との声明を出していることに注目する必要があります²⁰⁾。このことをさらに正確に表現すると、ガイドラインによって推奨されている最適な食事は、植物性食品を重視し、実質上、ベジタリアン食に類似しているということです。事実、様々な国の政府機関が共通して推進している食事推奨量は、ベジタリアンの食事パターンを大幅に取り入れることで、最良の状態で達成が可能となります。

3. 2000年のガイドライン

2000年のガイドラインは、ABCと表示される、健康の為の3つのカテゴリーがあります。

- ①運動の目的（Aim）は、健康的な体重と身体活動を重視することです。
- ②健康の基盤を作り上げる（Build）ということは、フードガイドピラミッドを推進することです。
- ③注意深く選択（Choose）するということは、伝統的なガイドラインの推奨量を反映することです。

a. 運動の目的

ガイドラインの最初のメッセージは、疾病予防のために体重調整と運動の重要性を強調する意図があります。健康的な体重の維持は、心疾患、Ⅱ型糖尿病、高血圧、心臓発作やある種のがんのリスクを低下させます。体積の多い物と低カロリー密度のものは、飽満感を促進し、過食への誘惑を低下させます。ベジタリアンは、精製したものより食物繊維が多い全粒食、特に全粒穀類を重視し

ます。平均的なBMIを比較した場合、ベジタリアンは、非ベジタリアンに比べ、平均して痩身であると、研究は一致していました。BMIが低いということは、対照群に比べ、ベジタリアンの肥満率が低いことを示しています²¹⁻²³⁾。

b. 健康の基盤を作り上げる

このメッセージは、フードガイドピラミッドを、食品選択の基本とするか、様々な植物性食品の消費を推進するためか、そして、食品の安全問題を提言するために定着させる意図があります。様々な植物性食品を多目に摂るというガイドラインは広く認知されています。果物、野菜、全粒穀類や豆類は、複合炭水化物、たんぱく質、必須脂肪酸、ビタミンやミネラル等の殆どの必須栄養素の重要な供給源です。さらに重要なことは、それらは、繊維、葉酸、ビタミンC、カロテノイドや他のファイトケミカルの特別な供給源ということです。植物性食品は、心疾患やがん等の慢性疾患の予防と強く関連していることを数多くの疫学研究が示しています^{21, 24-26)}。フードガイドピラミッドでは、最初に穀類、それから果物と野菜がもっとも多くの面積を占め、これらの食品の重要性と、ピラミッドの上部にある食品より多い量を摂る必要があることを伝えています。

食事へのアドバイスの多くは、様々な食品を摂ることを強調しています。必要な栄養素の幅広い補充は、食品の種類を増やすことで達成できると考えられます。しかし、最近では、バラエティに富んだ食事、それ自体が、過剰摂取と体重増加に繋がってしまっています²⁷⁾。2000年の「食事指針」は、植物性食品のバラエティを増やすことのみに適用し、スーパーマーケットの棚に陳列されている数多くの精製食品には適用していません。

初期の食事指針は、複合炭水化物と繊維の摂取を奨励していました。複合炭水化物という言葉は、定義が曖昧だった為に、2000年のガイ

ドラインではありません。食物繊維の摂取は、全粒パンやシリアルと同様に重視されています。ベジタリアン食は、精製した小麦粉や加工食品の代わりに、伝統的に全粒穀類や全粒食で構成されています。

c. 注意深い選択

3 番目のメッセージは、食事目標を推進する最初のメッセージの反復と、脂肪、飽和脂肪、砂糖、食塩とアルコールについての言及です。**総脂肪：**食事指針の殆どは、雑食者の食事での飽和脂肪量を減らすために総脂肪摂取を減らすことを奨励し、体重調整を推奨しています。NAS からの報告書である食事と健康は、脂肪からのカロリーを 30% かそれ以下を目標としています。食事指針は、「脂肪を減らす」「脂肪を制限する」「低脂肪を選ぶ」等の表現をしています。第 5 版の「食事指針」は、低脂肪が脂肪なしと誤解されることがないように、「中程度の脂肪」という言葉を採用しています。ベジタリアン食は本質的には低脂肪ではなく、ある程度の脂肪の摂取をするように設定されています。しかし、脂肪量が多い場合でも、ベジタリアン食は飽和脂肪は少ない量となっています。

飽和脂肪：飽和脂肪酸は、血中高コレステロール値と冠動脈心疾患リスクの増加と関連していることを多くの試験と疫学研究が示しています²⁸⁾。高コレステロール値は、アテローム性の病変と血栓を促進します。「食事と健康」は、脂肪によるカロリーは、平均して 10% かそれ以下に目標を設定し、食事指針は、飽和脂肪摂取の低下を強く推奨しています。飽和脂肪摂取が低下すればする程、併せて血中高コレステロールと低比重リポたんぱく質 (LDL) が減少します。主要な飽和脂肪源は、乳製品、卵や肉等の動物性食品に由来します。全てを植物性食品を基にした食事は、飽和脂肪は最も低いものとなりま

す。中程度の脂肪が含まれるベジタリアン食は、低脂肪か脂肪なしの乳製品を摂った場合でも、通常、飽和脂肪は 10%/ カロリー以下で、植物性食品のみの場合でも 5%/ カロリー以下です²⁹⁾。

また、食事指針は、動脈硬化を誘引するかも知れないトランス脂肪酸の摂取にも言及しています。これらは、部分水素添加した植物性油脂中に多く見られるので、ガイドラインは、水素添加していない油脂の摂取を推奨しています。

食品中のコレステロール：食事指針は、脂肪と飽和脂肪と同様に、食品からのコレステロールを減らすように推奨しています。食事と健康は、食品からのコレステロールは 300 mg/ 日を限度に設定しています。飽和脂肪のような食品からのコレステロールは、主に動物性食品やそれらを原料にした加工食品に由来します。植物性食品は、コレステロールは含まれません。

砂糖：砂糖の摂取は、歯の健康管理を除き、疾病のリスクとは直接には関係していませんが、砂糖や精製炭水化物が豊富な食品は、繊維、ビタミンやミネラルが少なくなります。米国での砂糖を添加した主要な食品は、ソフトドリンク、フルーツエイドや甘味飲料等の飲料です³⁰⁾。砂糖添加の食品は、食事での栄養素の量を置き換えてしまう傾向があります。甘味飲料ではなく、果物の摂取を重視することで添加砂糖の多くを置き換えることができます。

食塩：国民への食事指針は、疫学と臨床研究や食塩とコレステロールとの相関等からのエビデンスに基づき、塩化ナトリウム摂取を制限することを奨励しています。食塩の殆どは、加工食品から摂取しています。精製食品を最小限にし、全粒食を基にしたベジタリアン食と植物性の豊富な食事は、一般的な食事に比べ食塩量はかなり低量となっています。

<以下、次号へつづく>



酒造りの文明史④

古賀 邦正 (KOGA Kunimasa)
(一財) 自然環境研究センター

5. ワインとビール：アレクサンドロス大王、そして古代ローマ時代

前回、果実の酒ワインと穀物の酒ビールのヨーロッパへの広がりを概観し、古代ギリシアの歴史の変遷はワインの発展にどう関わったかについて述べた。今回はギリシアに続いて台頭した古代ローマの歴史の変遷とともにワインがどのように発展したか、ビールはどうであったかを見てゆきたい。ワイン・ビールの棲み分け、ワインの基本的な品質や製造法はローマ時代にはほぼ定まったと考えられており、今回は、その経緯を理解したいと思う。宜しくおつきあい下さい。

5-8. アレクサンドロス大王と酒

前4世紀後半、ギリシア北方に台頭したギリシア系マケドニアがギリシア・エジプトからインダス川流域に至る大帝國を建設したことは前回述べた。主役はアレクサンドロス（アレキサンダー）大王（在位、前336-前323年）。初陣は父フィリッポス2世（在位、前359-前336年）のもとでのアテネ・テーバイとの戦い。ギリシア諸國を支配する契機となったこの戦いで大いに戦果をあげた。20歳で王位に就くと、前334年ペルシア討伐のため東方に向かい、ペルシアに勝った後もさらに東征を続けて10年で大帝國を建設した。彼は若い時にアリストテレスから教育を受け、「高貴さ」を学んだという。その上に、勇猛果敢、しかも部下や支配した土地での人身掌握にも長けていたようであり、大変、魅力的な人物であったため後世も多くのの人々に大英雄として崇められている（図5-17（A））。

ローマ時代にもしばしばアレクサンドロス大王のことは食卓の話題にもなっていた。後1～2世紀のローマの著述家プルタルゴスの「食卓飲談集」にアレクサンドロス大王の飲酒が取り上げられている。彼が大変な酒豪であったという噂が当時でも一般に流布されていたためだ。しかし、大王はそれほど大量の酒を飲んでいただけではなく、酒を酌み交わしながら長時間をかけて友人たちと話をしていたのだとプルタルゴスは記している。一方で、アレクサンドロスの側近がつけていたという公の日録には、「一献傾けたる後、その日は眠りたもう」とか、「次の日も眠りたもう」という記録が何度も繰り返されているという。こんなだから、彼は酒好きだったが女性に関しては不熱心だったとも噂されている。大王はワインを水で薄めずに「アレクサンドロスの」と名付けられた大盃で仲間と回し飲みしたという。後2世紀、ローマの著述家アテナイオスの「食卓の賢

(A)



(B)

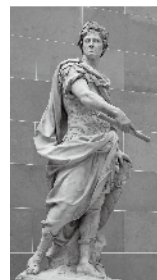


図5-17 二人の英雄 (A) アレクサンドロスと (B) カエサル

ギリシア・ローマ時代の英雄と謳われているのが、アレクサンドロス大王とカエサルそしてローマと戦ったカルタゴの将軍・ハンニバルだ。とくに、アレクサンドロスとカエサルは歴史的にも大きな役割を果たした。

人たち」の中でもアレクサンドロスの贅沢ぶりと酒豪ぶりが記されている。宴会の時には貴重な香油と薫り高いワインを床にまいて雰囲気盛り上げたということだ。

大王は大変気前もよかったようだ。東方への出陣式の際の、若い貴族の仲間との宴で、興にのったあまり自分の森林や領地をはいはいと彼らに分けてしまったという。とうとう自分自身の分がなくなってしまったので貴族の一人が大王にたずねた。「王よ、あなたには何にも残らないではないですか？」それに対してアレクサンドロスは応えた。「私には希望がある」と。かっこよすぎて真偽のほどは分からないが、いずれにしても太っ腹で、人を惹きつける度量の持ち主だったのだろう。遠征中でも行った先々で酒宴が盛り上がり、延々と続く様子が目に浮かぶし、大王への信奉者もどんどん増えていったに違いない。結局、遠征に旅立って約10年でインドに至り、前326年インダス川を渡ってさらに東に進もうとしたところ、彼に付いて来た兵士たちが「もう勘弁して下さい」と言ったためにそれ以上東進するのを止め、帰途についた。しかし、アレクサンドロスはアケドニアに戻ることはなく、ペルシア帝国の後継者としてバビロンに留まって統治した(図5-18)。

アレクサンドロスはギリシア文明とオリエント文明の融合をめざした。彼自身、ペルシア王族の女性を妻としたが、ともに戦ったギリシア人兵士にもペルシア貴族の子女との結婚を促し、帝国の運営にもペルシア人を積極的に登用したという。しかし、残念なことにアレクサンドロス大王はバビロンに戻って、数年、33歳の若さでこの世を去ってしまう。彼の死後は、旧マケドニアとギリシアの地に建国したアンティゴノス朝マケドニア、旧ペルシア領に建国したセレウコス朝シリア、そしてエジプトの地のプトレマイオス朝に分かれてしまった(図5-18)。この中で一番長く続いたのがプトレマイオス朝エジプトで、この最後の王が3大美女の一人と言われるクレオパトラ(前69-前30年)。クレオパトラは古代ローマの実力者であるカエサルやアントニウスとの出会いと確執のもと王朝の延命をはかるが、結局、ローマ帝国の政変に巻き込まれて命を落とし、王朝は途絶えてしまう。

アレクサンドロスは新たに征服した領土にアレクサンドリアという名前の都市を建設したが、中

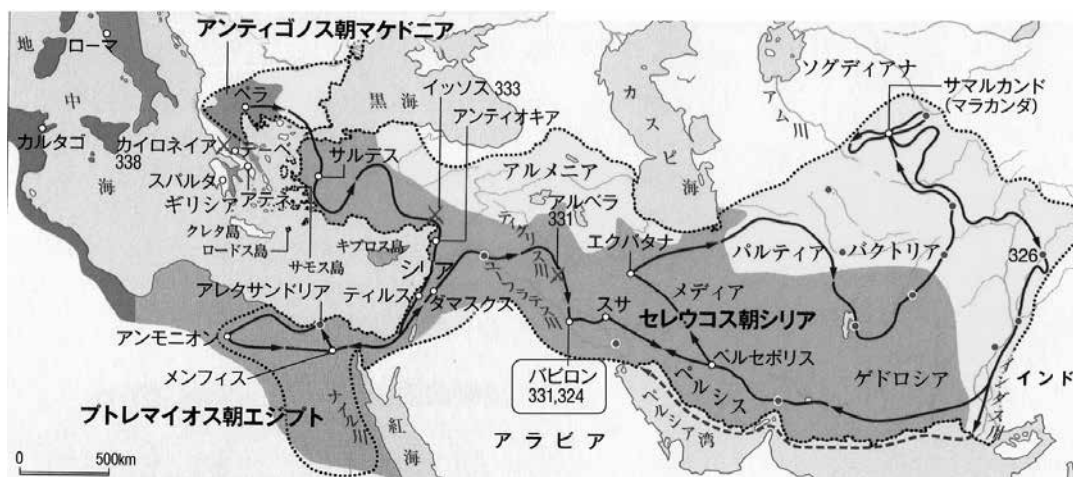


図5-18 アレクサンドロス大王の遠征と帝国(点線内)とその分裂(『世界史図録』より)

アレクサンドロス大王の進路・帰途(→)とネアルコス(大王の友人で、部下)の帰途(インダス川から航路)(-->)。ネアルコスはバビロンに戻り、大王と再会した。

尚、数字は大王の通過年(紀元前)。大王死後、記載の通りセレウコス朝シリア、アンティゴノス朝マケドニア、プトレマイオス朝マケドニアに分かれる。

でもエジプトのナイル河口に築いたアレクサンドリアは学問の中心地となり、王立研究所や大きな図書館が建設された。ここでは多くの学者が自然科学の研究に取り組んだ。幾何学を大成したユークリッド、比重・てこの原理で有名なアルキメデスなどを生んでいる。

首都バビロンが位置するメソポタミア地域は大規模灌漑の結果、塩害によって穀物の生産量が落ちてしまい、その結果、前16世紀頃から庶民の酒は穀物から造られるビールに代わってナツメヤシの酒が主流となっていた。このため帝国ではビールは影の薄い存在であり、酒豪のアレクサンドロス大王ももっぱらギリシア・シリア・エジプトで造られたワインを飲んでいて、大王はただの酒飲みではなかった。エジプトのアレクサンドリアで育った錬金術が、8世紀になって蒸留酒を生むことになるが、これが酒豪だった大王の酒造りへの貢献と言えるだろう。

5-9. 古代ローマの変遷とワイン

◆古代ローマの勃興期

ローマはイタリア（古代イタリア人）の一派であるラテン人がイタリア半島中部に建設した都市国家だ。はじめは王政だったが、前6世紀に貴族が中心となって共和制を確立した。当初は政治の要職（コンスル、元老院など）を貴族が独占していたが、国防の主力を重装歩兵の平民が担うに伴って一部の富裕な平民と従来の貴族が支配層を形成し政権を独占した。この間、平民層である中小農民を主体とする重装歩兵軍をイタリア各地に送って勢力を広げ、前3世紀前半には半島内の統一を実現した（勃興期；図5-19（A））。

建国当初のローマはワイン文化圏に属していなかったが、イタリア半島中部のエトルリア人はすでにブドウを栽培してワイン造りを行っていたためローマ人は彼らからワイン造りを学んだようだ。当時、ワインは薄めずに薬として、濃縮して甘味料として（ハチミツの代替）、また混成魚醤の素材として広く使用されていた。混成魚醤は今でいうソースのこと。（『古代の技術史（下・I）』）真面目で質素と節度を重んじた初期ローマ人はワインを飲むについても節制を旨とした。ワインは30歳にならなければ飲めず、婦人が飲むのは厳禁だったという。つまり、当時のローマは素朴ではあったが、あまり面白みがなく地味であったとも言える。アレクサンドロス大王がペルシアに勝利した後、西のイタリア半島に向かわず東のインド方面に向かったのは、イタリア半島がまだ魅力に乏しく、文化的に後進地帯であったためだろう。

◆古代ローマの海外発展期

ローマがイタリア半島を統一した頃、西地中海ではフェニキア人の植民市であるアフリカ北部のカルタゴが力をふるっていた。イタリア半島の南に位置する地中海最大の島シチリアもカルタゴの勢力範囲だった。ローマはシチリアへの出兵を契機に、カルタゴと3度の戦い（ポエニ戦争（前264～前146年））を行い、これを滅ぼした。また、前3世紀末以降、東地中海にも兵を送り、アレクサンドロス大王の死後、力を落としていたヘレニズム世界を次第に支配下に入れ、カルタゴ滅亡と同年（前146年）にマケドニア・ギリシアも征服、前1世紀後半には地中海世界の征服を完了した（図5-19（B））。

地中海世界を制覇する頃になるとワインをはじめとする贅沢品がローマの市場にもたらされるようになった。当初、地中海のワイン交易の主役は依然としてギリシアワインであり、イタリア半島に大量に輸入されてくるのはギリシアワインだけだった。しかし、ブドウ園がローマ領の半島北部へ広がるにつれてイタリア半島でのワイン生産量は増加した。また、ローマ人はギリシアの島々からブドウの樹を植樹し、ワイン造りの技術も積極的にギリシアから取り入れることによってイタリ



図 5-19 ローマ帝国の変遷 (『山川世界史』より (一部変更))

アがワイン造りの中心となっていた。そして、カルタゴ陥落の頃にはイタリア半島は世界一のワイン生産地域になった。

ローマの上流階級ではワインはギリシア式のシュンボシオンになったコンビビウムと呼ばれる酒宴で飲むことが正式とされていたが、それも次第に贅を尽くしたものになっていった。金持ちは自分の家にワイン貯蔵庫を持ち、銘柄ワインを貯蔵して楽しんでいたが、庶民はワイン商か町にある居酒屋のお世話になった。居酒屋の中にはいかがわしい連中がたむろし、売春と賭博がはびこる店もあったという。

ギリシア人同様、ローマ人も“ワインは万人が楽しむもの”と考えたが、貧富の違いによるワインの品質の差には著しいものがあり、それはギリシア人の比ではない程のこだわりがあった。高品質のワインはそれを飲む者の富と地位の高さの証であり、ワインの質の違いは社会階層の違いの象徴であった。“果物の酒”ワインがその誕生以来持っていた社会における差別化の象徴としての役割はワインの生産が増し、誰もが手に入るようになっても少しも変わるものではなかった。当時、最上級ワインはイタリア・カンパーニア地方にあるファレルヌス山の斜面で栽培したブドウから造られたワインで、ファレルヌムと呼ばれていた。とくに、斜面中腹で栽培されたブドウからの長期熟成したワインは黄金色をしており、最高級品であったとのことだ。(『世界を変えた6つの飲み物』) 一方、最下級のワインはワイン造りの後に残ったブドウの皮・種・茎の粕を再度絞って造ったワインで、香味は薄く、アルコールは低く、苦いばかりの品質で、奴隷や奴隷から自由市民になった人たちが飲んでいたという。

◆共和制の崩壊、有力者独裁への移行

ローマの対外発展を担っていたのは中小農民である。彼らは必要とあらば農作業を家族に任せて重装歩兵として遠征に加わった。従って、戦いが長く続く故郷の耕地が荒廃してしまい、その結果、疲弊して農業をやめ、流民として都市に移り住む者も多かった。彼らの土地を買い占めたのは征服地から大量に供給される奴隷を使って大規模な土地経営を行う有力者たちだった。この大土地農園はラティフンディアと呼ばれている。ラティフンディアでは主に小麦と大麦の穀物に加えてブドウ

とオリーブの果樹栽培が行われた。小麦は食用として大麦は家畜飼料用として栽培されていた。しかし、シチリア、エジプト、アフリカから安価な小麦が持ち込まれるようになるにつれて彼らは小麦の生産を犠牲にして果樹栽培を拡大した。結果としてローマは穀物をもっぱら輸入でまかなうようになり、安価な穀物の輸入はさらに中小農民に打撃を与え、彼らの離農と無産市民への転落を一層促した。この結果、平民層である中小農民を基盤とするローマ共和制は根底から崩れていった。

この危機を乗り越えようとして様々な争い・混乱が続いたが、前 60 年、従来の共和制の伝統を無視する三頭政治がカエサル（図 5-17 (B)）等によって行われるようになった。この間、カエサルは 8 年かけてガリア全土（現在のフランス・ベルギーの全土、オランダ・ドイツ・スイスの一部）を征服し、さらに、内部の争いや各地の内乱を制して独裁者の地位についたが、結局、共和制の伝統を重んじる一派に前 44 年、殺されてしまう。

カエサルは共和制から帝政への転回点に位置する人物として重要であるが、ガリア遠征によってワイン文化を西ヨーロッパに深く伝播させたことの意義も大きい。ローマ帝国分裂後、ワイン文化を支えたのはガリアを中心とする西ヨーロッパの地域の国々であり、彼のガリア遠征がその基となっているのだ。カエサルのガリア遠征の詳細については別節で述べることにする。

従来の伝統に固執する元老院を向こうにまわしてカエサルがのし上がることができた理由の一つにローマ市民の支持があった。権力者から無償で与えられる「パン（＝食糧）」と「サーカス（＝娯楽）」に慣らされていたローマ市民は、いつしかそれを与えてくれる権力者を支持するようになっていった。カエサルはそのことを見通してガリア遠征中も絶えずローマの動向を把握し、ローマ市民の歓心を買うことにも心配りをしていた。市民の「パンとサーカス」の生活の中にワインはしっかりその位置を占めていたことは想像に難くない。

この間、イタリア半島でのワイン造りは益々盛んになり、ギリシアの有力なワイン生産者は次々とイタリアに向かい、イタリアはワイン交易の中心地となった。イタリア半島でのワイン生産熱が高まるにつれてワインの消費はローマ支配地ではもちろん、その周辺部まで拡大していった。ブリテン島（ブリタ（ン）ニア）にはガリー（ガリアに住んでいる人）の主民族であるケルト人の一部が移り住んでいたが、その富裕層もビールとはちみつ酒をやめ、イタリアのワインに切り替えたというし、イタリア・ワインは南ナイルや北インドまで船で出荷されたという。（『世界を変えた 6 つの飲み物』）

◆ローマ帝政の時代

カエサルの死後、後継者オクタウィアヌス（在位、前 27 ～ 後 14 年）による独裁政治からローマは帝政期に入った。続く 1 ～ 2 世紀の五賢帝の約 200 年間は平和が続き、各地にローマ風の都市が建設され、属州民にも次第にローマ市民権が与えられていった。人々はこの繁栄を「ローマの平和」（パックス・ロマーナ）と称えた（図 5-19 (C)）。

しかし、パックス・ロマーナの時代は戦争が減り、奴隷の数は減少したため、奴隷制を基盤としたラティフンディアは成立しなくなった。そこで大土地所有者である貴族は奴隷の代わりに没落農民を小作人（コロヌス）として使うようになった（コロナートゥス）。彼らは奴隷ではなく自由人であり、ローマ市民権を持ち、財産を持つ権利や子孫に財産を贈与する権利などを有していた。コロヌスは自らの財産を殖やすために自発的に働くことが期待できたので、大土地所有者はコロヌスに土地を貸して地代を取り立てることで収益を増やすという方針に転換した。家畜（とくにウシ）は農作業での牽引利用や都市部でのミルク、チーズ、肉類のニーズがあるため、コロナートゥスではブドウ・オリーブ栽培、家畜飼料用の大麦栽培に加えて家畜飼育が行われるようになった。

この時代、高級ワインはほとんどがローマで消費された。各地で造られたワインがローマに到着すると、大きなアンフォラに入ったワインは手作業で卸売り倉庫の薄暗い地下貯蔵室へと運ばれ、巨大なかめに移し替えられた。ワインを冷やしておくために、かめは地中に埋めてあった。小売業者はここでより小さなアンフォラに小分けして、手車に乗せて狭い路地を自分の店に運んで行った。一方、ローマ市民は奴隷に空の壺をたくさん持たせて小売業者の店に買いに行かせるか、あるいは業者に定期的に届けさせた。こうしてワインはローマ市民の食卓を飾っていたが、紀元前後からイタリア・ワインの生産が衰退をしており、多くはスペイン・ワインをはじめとした海外のローマ領からのものに置き換わっていったという。『世界を変えた6つの飲み物』

◆ローマ帝国の衰退

コロナートゥスの進展の結果、比重が都市から地方へ移ることとなって帝国の基盤が崩れ始めた。しかも、2世紀後半になると北方のゲルマン人たちがローマ領内に侵入を始めて「ローマの平和」は破れ、兵士たちが自分たちに都合のよい皇帝を次々に選ぶ軍人皇帝の混乱期になり、帝国は衰退し始めることになった。4世紀はじめのコンスタンティヌス帝（在位、306～337年）は、分裂した帝国を統一した先帝の方針をさらに進め、帝国維持のため専制君主政治を確立して身分や職業の世襲制をはかった。また、都を東方のコンスタンチノーブル（ビザンティウム）に移した。しかし、結局、帝国の解体を防ぐことはできず、395年、テオドシウス帝（在位、379～395年）はその死に際して国土を東西ローマ帝国に二分した。東ローマ帝国（395～1453）はその後1000年ほど続いたが、西ローマ帝国（395～476）はゲルマン民族の大移動のさなかに滅んでしまった（図5-19（D））。

◆ローマ時代の古典文化とキリスト教の成立

ローマは文学・哲学・美術などの分野ではギリシア文化の影響が強く、独創性を発揮したとは言い難い面があるが、土木・法律・暦あるいは農業などの実用的文化・学問の領域で独自の成果をあげた。

一方、「ローマの平和」は被征服民の存在なしには成り立たず、その陰には彼らの犠牲と不満がかくされていた。このような状況のなかイエス（前4年頃～後30年頃）はユダヤ教の形式化と墮落をきびしく批判し、人の身分や貧富をこえた神の愛とその救いを説いた。ユダヤ教の指導者はイエスを捕らえて裁き、ローマ人の総督に処刑を求め、その願いを果たした。しかし、イエスの死後、その教えはキリスト教として弟子たちの布教活動によって広まり、ローマ帝国の内部に深く根をおろすようになった。帝国は布教活動を秩序を乱すものとして度々迫害したが抑えきれず、313年コンスタンティヌス帝はキリスト教を公認し、4世紀末にテオドシウス帝は国教とした。キリスト教の布教活動に伴う修道院の生活の中でワイン造り、ビール造りが行われ、そのことが技術の伝承と発展につながったことを考えると、酒造りの面からもその意義は大きい。

5-10. 古代ローマのワイン造り

ギリシア時代に培われたワイン造りの知識と技術はローマ時代にさらに磨きがかかってその基本がほぼ出来上がったと考えられる。ローマの海外発展期を境にして市民生活におけるワインの有様が大きく変わったことを前述したが、とくに第2次ポエニ戦争（前242年）以降、ワイン造りの技術的進歩は目覚ましいものがあった。以下、『古代の技術史（下・I，II）』を参考にしながら紹介することにする。

ブドウ栽培：ポエニ戦争時のカルタゴの将軍ハンニバルは再三イタリア半島を襲い、その度にブドウ園を破壊した。ローマではカルタゴ陥落後、ブドウ園を再興するにあたり農耕やブドウ栽培の

技術を集積しようという機運が盛り上がった。「植物学の祖」と呼ばれた、前4～3世紀のギリシアの哲学者テオフラトスは『植物誌』（全9巻）に栽培技術を細かく書き記しているが、ローマ人は彼の業績などを参考にしてブドウ栽培を学んだ。実際、ローマ共和制時代の政治家大カトー（前234-前149年）は前2世紀におけるブドウ栽培・醸造およびブドウ園経営についての指針をまとめているし、ローマ帝政時代の政治家で博物学者のプリニウス（後22-79年）は『博物誌』（全14巻）を著したが、その多くの部分はブドウ栽培・ワイン醸造にあてられている。その内容はギリシアのブドウ栽培を引き継いだものだったが、少しずつローマ式工夫も加えている。例えば、ブドウ樹の栽培方法に関してもギリシアでは地に這わせて栽培していたが、ローマ人はブドウ樹に支柱あるいは柵を設けて支えるようにした。

ブドウの搾汁：集荷されたブドウ果は圧搾室に運ばれて積み重ねられる。その際、自身の重みで押し出されてきた最初の果汁は高級ワイン用として丁寧に取り扱われた。つづいて踏み潰す工程の後、前回紹介した梁式などの圧搾機で押しつぶされたが、踏み潰す工程を省くこともあったようだ。さらに、水を加えて再度圧搾して、残りの果汁を搾り取った。圧搾機はギリシア時代に発明されたが、ローマ時代にも多くの改良が加えられた。ローマ時代のアレクサンドリアの工学者ヘロンやプリニウスなどが精力的に圧搾機の研究をしていたことが知られている。主に、ブドウやオリーブの大規模な圧搾には梁式圧搾機が用いられ、パピルス紙やハーブの調製などの比較的小規模な圧搾にはネジ圧搾機などが用いられた。梁式圧搾機は、ギリシア時代のものにさらに改良が加えられて石の重しを滑車で手軽に操作しながら、大量の原料を籠や網に入れたまま圧搾する方法が採られるようになった。

また、梁を引き下ろすのにテコ・ドラムの代わりにネジを用いるようになった。ネジは回す方式で床に固定され、梁の端を分岐させてネジのナットがその間に設置された。梁の下にネジに付けられたハンドルを回して、梁を押し下げる。また、石の重りを上下に操作するのにもネジを用いた改良型も開発された。ネジはギリシアでアルキメデスの頃に発明されたが、ローマ時代の前1世紀末にブドウやオリーブ用の圧搾機に使われるようになった。プリニウスは、この応用技術はこの当時のローマで見られたきわめて重要な進歩であると指摘している。前1世紀頃の人と言われるヘロンはすでに二つの型のネジ圧搾機を知っていた。ひとつは短い梁の両端に取り付けられた二つのネジが梁を押し下げる型の圧搾機。もうひとつはネジが一つしかなく、その留めネジは頑丈な支柱によって圧搾台に固定された固い梁の中に彫り込まれている型（図5-20）。

得られた果汁は篩で濾過されて広くて大きな容器に集められ、そこから重力によって溝または管を通して。大桶に流入させて発酵に供した。

発酵：発酵場では、非常に厳しい衛生上の規律が守られていたという。ワインの発酵工程も基本的にギリシアと変わらないが、ブドウ特性を考慮しつつ発酵の条件について細かく配慮している。例えば、今のナポリ周辺のカンパニア地方のブドウの発酵は屋外で白日のもとに行われた。とくに、高級ワインとされていた、糖度が高いファレルノワインは屋外で非常に短期に完全発酵した。しかし、北部のポー川流域のブドウは屋外で発酵をさせるとアルコール発酵が充分に進まないうちに

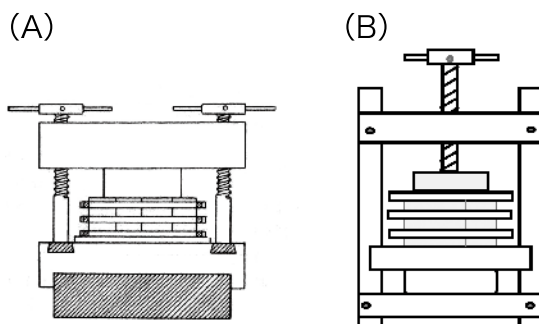


図5-20 ヘロンのネジ圧搾機 (A) 二つネジ型と (B) 一つネジ型（『古代の技術史（下・II）』より（一部変更））

酸っぱくなってしまうので屋内で発酵を行った。

発酵終了時には殺菌と発酵を十分に進める目的で発酵もろみを加熱した後、発酵桶のまま保管した。発酵もろみ（ワイン）に残糖があって空気に触れて好気状態になると酢酸発酵が進んで酸っぱくなってしまいますので、ローマ人たちはこのような後発酵が起らぬように細心の注意を払っていた。5月から7月にかけて北風が多くなり、かつ乾燥した時に発酵桶を引き出し、アンフォアラにワインを満たした。また、ワインの品質を長く保つためにワインで満たされたアンフォアラは「フマリウム」と呼ばれる最後の加熱処理が施された。

アンフォアラおよび木製樽：取引には、土製のアンフォアラが使われ、家庭用には金属製大型ブドウ酒瓶やガラス製アンフォアラも使われたが、ガラス製アンフォアラは特に高級ワインのために使われた。土製アンフォアラの容量は26Lであり、ワイン運搬船の積載量はアンフォアラ何千本積めるかで測られた。実際には、大量の運搬は通常、皮袋か木製樽で行われた。

木製樽はヨーロッパの青銅器時代後期にスイス周辺で発祥して前1世紀までには鉄製工具が登場して非常に進歩した。合わせ釘で合わせ桶板からつくられ、かつ、たがや金属輪で補強された良質の樽が、西暦の初め頃、ローマ世界に伝えられた。この樽の製作はケルト人が優秀な技術を持っていたという。ケルト人は当初、ヨーロッパ中央部にいたがゲルマニーに追われ、カエサルの時代にはすでにガリアの地に移り住んでいた。ビールを愛飲していた彼らはビール貯蔵用に木（オーク）の樽を用いていた。カエサルのガリア遠征が、ローマのワインとガリアの樽との歴史的出逢いをもたらし、まず、イタリア北部においてワインの貯蔵や運搬に使われるようになった。オーク樽は転がすのも方向を変えるのも簡単で、取り扱いに便利であった。さらに、後世、貯蔵中のワインの熟成に関してすばらしい機能を発揮し、ワインの品質向上に多に貢献したことを考えるとこの歴史的出逢いの意義はさわめて大きい。

コルク栓：フランス南部の地中海に面したリヴィエラ海岸の沖には多くの難破船とともに古代のアンフォアラが沈んでいた。引き上げられたアンフォアラの多くにはコルク栓がしてあった。コルク栓は、商標の刻印がされた、火山灰を押し固めてつくられた円版で蓋がされていたという。このアンフォアラへのコルクによる効果的な栓つけは前1世紀から始まったということだが、ワインを貯蔵するのに大いに助けとなった。

貯蔵ならびに流通容器としてガラス瓶およびコルク栓の利用が一般化するのには17世紀末から18世紀にかけてである。コルク栓とガラス瓶の利用によってワインの流通が一層活発になった。通常、ワインは瓶に詰められ、コルクで打栓された後、セラーで横置きにして貯蔵・熟成される。この工程は「瓶熟」と呼ばれており、瓶熟によって酸とアルコールによるエステル成分が生成し、タンニンが重合して、香味がまろやかになってゆく。ワインの品質は樽熟成と瓶熟成とを行うことによって一段と向上した。（『ワイン学』）ワイン入りボトルへのコルク使用はアンフォアラの栓つけへの使用の流れを受けたものと考えられるが、ワイン造りにおいて非常に大きな意味を持ったことになる。

ワインの多様化：古代ギリシアになって貴族から奴隷までワインを飲める状況になると品質・銘柄による差別化が顕著になったことは前回述べたとおりだが、ローマ時代は益々その傾向が顕著になった。プリニウスはギリシアの書物からの抜粋も含めて150種のワインの銘柄やブドウの種類を紹介し、後200年頃の散文作家アテナイオスは85種のワインの銘柄を紹介しているということだ。人気の銘柄は、奴隷を使った大規模農場のものは少なく、一つか二つの特別銘柄を造っている小規模ワイン醸造業者のものが多かったようだ。発酵を終えた高級ワインは通常3～4年保存された後、製品に種々の情報が記載されたラベルが付けられるのだが、その記載項目はブドウ収穫年・生産地・樽の口切り日・口切り人・純度・ワイン商人の名・色・ブドウ種類・瓶の番号・貯蔵者名と多岐に

わたっていたという。(『世界を変えた6つの飲み物』)

また、ワインの多様化をねらって造り方にも様々な工夫がなされていた。

- (1) 高アルコール濃度ワイン：これは、発酵前のブドウ果汁と濃縮されたブドウ果汁を混ぜ合わせた後に発酵を行うことによって得られた。
- (2) ポリフェノール添加ワイン：この操作は発酵が充分ではないワイン（多くの場合、ガリアのワイン）を置いておくとなってしまうので、それを抑える目的なのだが、木から得られたタール成分が用いられた。
- (3) ワインの透明化：すでにギリシア時代以前からワインの濾過はされていたが、濁りの原因となるワイン中のポリフェノール成分を除くために卵白処理もされるようになった。この卵白処理は、“オリ引き”と称して現在も高級赤ワインに対して用いられている手法だ。
- (4) 薬草、花、果物などの利用：薬草や花を浸漬したり、薬草や莓のエキスを配合して香りや味を改変する試みもされていた。現代の代表的な混成酒であるベルモットはこの時代にすでに造られていたのだ。

5-11. ガリア、ゲルマーニア、ヒスパニア（スペイン）とワイン、ビール

◆カエサルのガリア遠征

共和制から帝政に移行する時代のキーパーソンであったカエサルは、前58年から8年にわたって毎年ガリア遠征を行った。当時のガリアの全図を図5-21に示す。このうち、イタリア北部にあたる「ガリア・キサルピナ」は「内ガリア」と呼ばれ、ローマ人にとって身近な地域だった。一方、アルプス山脈から北に広がる、今日のフランスを中心とする地域はローマ人にとって縁の薄い「外ガリア」だった。外ガリア南部に位置するマッシリア（現マルセイユ）はギリシアの植民市だったが周辺部族の圧迫を受け、ローマに助けを求めたのを機にローマは前121年にこの地域一帯を支配下において属州（ガリア・トランスアルピナ）としていた。従って、カエサルの遠征対象は、この地域以外の外ガリアだった。

ガリアは概して、緯度が高いにもかかわらず温暖な気候だ。地理学上では西岸海洋性気候と呼ばれるもので、雨季と乾季の区別がなく、冬は偏西風や暖流の影響で一般に温和なのだ。植生では樅やブナなどの広葉樹が茂り、深い森がいくつもあった。また、肥沃な土壌で、開墾された土地では作物がよく実った。外ガリアでは大量の穀物が収穫できることにローマ人は驚いたという。(『ガリア戦記(上)』)

この当時のガリアに住んでいる人（ガリー）の主民族はケルト人。ケルト人は、前900年頃に故郷のヨーロッパ中央部から移動を始めた。西へ向かったグループは前8世紀にはガリアに入り、前7世紀には現在のスペイン、ポルトガルにまで達している。さらに、ガリーがアルプス山脈を越えて内ガリアへ入ったのは、前5世紀の初めの頃と言われている。ローマでは共和制が確立して少し経った時期にあたる前390年頃からガリーとローマ人の衝突が始まり、前295年にローマ軍がガリー連合軍を撃破して優位に立ち、前191年に内ガリアにおける支配を確立した。

周辺部族の影響を受けたため、ガリーは定着した地域によって肉体的にも日常習慣の面でもかなりの違いが見られた。北部（ガリア・ベルギガ）のガリーはゲルマニーの血、ピレネー山脈側（ガリア・アクィタニア）のガリーはヒスパニア（スペイン）原住民の血が混じっており、ケルト人としてみてもっとも純粋だったのは中央部（ガリア・ケルティカ）に住むガリーだった。

ライン川を挟んで東側はゲルマニーが住んでいた。ガリーはゲルマニーとよく似ていて、金髪・碧眼・長身で肌は白かった。髪は伸ばしたまま、後ろに垂らしていたという。性格的には、“熱し



図 5-21 カエサル遠征時のガリア全図 (『ガリア戦記 (上)』より)

やすく冷めやすい”, 単純な性格だったということだ。それは戦いぶりによく現れており, 戦いになるとガリーは猪突猛進型の勇ましい戦士であり, 勝つと天をも衝く氣勢をあげ, 負けたとたちまち意気消沈したという。ガリアには, 共同体としてガリー全体をまとめる政治的権威も機構もなく, かれらは多数の独立した部族から成り立っていた。従って, 意思統一などに関して即応性に欠けていた。

前1世紀の頃, ゲルマニーはその大半が狩猟生活を送っていたのに対し, ガリーは農耕生活を営んですでに久しかった。ガリーの農業はよく発達していて, あらゆる種類の農具がそろっていた。鋤や刈り取り機などは, 彼らが発明したものと言われる。農村では, 農園主や多数の小作人の住居, 穀物倉庫, 納屋, 家畜小屋, 荷車置き場, 集会場などが整然と配置されていたという。主要な部族は施政の中心となる数千人から数万人規模の町(城市)を持っており, この城市では実用品はもちろん, 金などを使った装飾品などの種々の産業がみられ, 専門の工房で様々な製品が作られていた。

この様な状況下でカエサルのガリア遠征が行われた。互いに拮抗・牽制しながら共存している多くの部族の中で, カエサルはローマ人に友好的な部族を味方に引き入れ, 反抗的な部族を叩き, さらにライン川を越えて侵入して来たゲルマニーの勢力を追いやることを繰り返しながらガリアを支配下に入れていった。暖かくなると遠征し, 寒くなると軍を休めて, 自らは内ガリアに戻り, 3頭会議を行って政権運営に携わり, 戦果を報告してローマ市民の歓心を買ひ, コンスルにも次に向けてのガリア遠征の了解を得る, という大変忙しいものだった。カエサルはアレクサンドロスと並び称される英雄であるが, アレクサンドロスは生まれもよく豪放磊落で, 故郷を出た後は“行け行けどんどん”, 酒豪で評判であったが, 貴族の出とはいえコンスルと民衆の了解を得ながら出世を目

指さねばならないカエサルとでは立場が大きく違っていた。また、カエサルは癲癇気質であったため、それを気遣って節食をしていたということでもあり、クレオパトラとワインを楽しむことはあったとしても酒豪とはほど遠かったと思われる。

カエサルの8年間にわたるガリア遠征の概要を表5-1に、年度ごとの遠征経路は図5-22に示している。1年目は、比較的内ガリア近くの、今のフランス中東部（ブルゴーニュ、シャンパーニュ、アルザス）からライン川上流を遠征した。2年目は、ガリア北部のゲルマニーの影響を排除する目的での遠征だった。3年目は西部の海岸沿いと北部のブリタ(ン)ニア（ブリテン島）対岸沿いの海に強い部族を平定する遠征だった。ローマによるガリア平定が進むと、ちょっかいを出すゲルマニーの部族も出てくる。4年目の遠征では、ライン川を渡ってガリア北西部に侵入してきたゲルマニー部族を打ち破り、ローマ軍に力のあることを見せつける遠征だった。5年目は、大船団を構成してブリタニアに上陸し、原住民の部族を平定した。ガリア平定が進むにつれて、それを是としない有力者も現れるようになる。この年、ライン川近くでゲルマニーにそそのかされたガリーの反乱がおき、強い抵抗にあったが、結局、鎮定した。カエサルはより大規模な反乱を予想し、6年目からはガリア全体からの徴兵を行なったが、徴兵に応じず、ゲルマニーと通じている有力者を平定し、さらに、ライン川を越えてガリーを応援しているゲルマニー部族を追いやった。7年目になると、冬営しているローマ軍の陣営や食料庫に火をつける等のゲリラ的反抗がガリア中央部で局地的に起きたため、ローマ軍は遠征を繰り返してこれを抑え込んだ。しかし、依然として反抗的な動きがあったため、8年目には冬の間に疑わしい地域に出向いて追い散らすことに成功した。こうして、全ガリアを鎮圧した一方、怀柔策を積極的にとることにより一連の敗北で疲弊していたガリアを平和裏に保つことに成功した。（『ガリア戦記（上・下）』）

ローマ軍が強かったのは兵士をよく訓練し、武器・武具が優れており、軍隊の組織化も進んでい

表5-1 カエサルのガリア遠征（『ガリア戦記（上・下）』より）

No.	年次	年	遠征内容
①	1年目	前58年	内ガリアから出発。ローヌ川に沿って北上、今のフランス中東部（ブルゴーニュ、シャンパーニュ、アルザス）を遠征。
②	2年目	前57年	フランス北部、オランダ、ベルギー地域。ゲルマニーの影響を強く受けている地域のため親ゲルマニーの部族・指導者を排除する目的の遠征。
③	3年目	前56年	西部海岸沿いの海に強い部族が反旗を翻したことによる遠征。西部での海戦に勝利した後、陸戦でも南の部族を撃退した。さらにロワール川を北上、ブリタニア対岸でブリタニア交易のための港を押さえていた部族の平定。
④	4年目	前55年	ライン川を渡ってガリア北西部に侵入したゲルマニー部族を打ち破り、さらにライン川に架橋してローマ軍を進軍させ力を誇示。ブリタニアに遠征し、民情・地勢・港湾・上陸地点などを調査、抵抗する部族を打ち破る。
⑤	5年目	前54年	大船団を構成してブリタニアに上陸、原住民の部族を平定。ライン川近くでゲルマニーにそそのかされたガリーの反乱を鎮定。
⑥	6年目	前53年	ガリア全体からの徴兵を行い、大部隊を構成。ライン川周辺で徴兵に応じず、反抗的でゲルマニーと通じている部族を平定。ライン川を越えて軍隊をゲルマニアに送り込み、ガリーを応援しているゲルマニー部族を追いやる。
⑦	7年目	前52年	冬期、カエサルが北イタリアで巡回裁判に行っている機を見計らって、ガリア中央部の反抗的な部族が局地的に反旗を翻す。ローマ軍は遠征を繰り返し、最終的にこれに勝利。
⑧	8年目	前51年	依然として反抗的な部族が同時に様々な地域で謀議を謀っていることを察知。冬の間に疑わしい地域に出向いて追い散らすことに成功。全ガリアを一応鎮圧した一方で怀柔策を積極的にとることにより、一連の敗北で疲弊していたガリアを平和裏に保つことに成功。

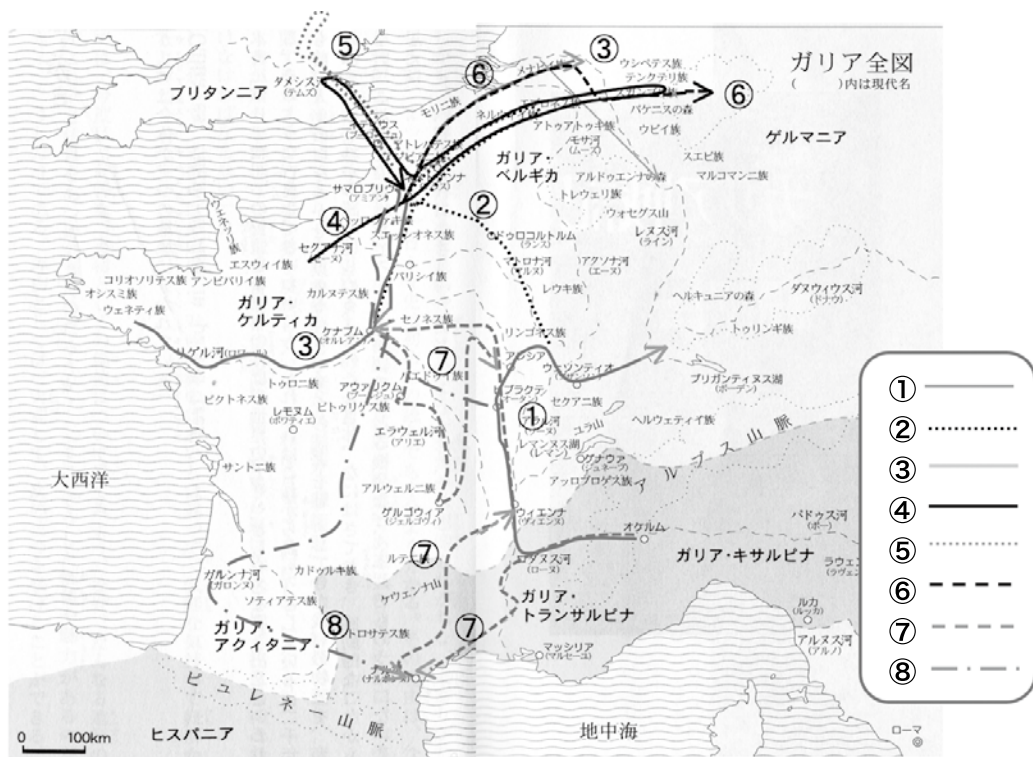


図 5-22 カエサルの遠征経路（『ガリア戦記（上・下）』より）

たこと。また、大型兵器としては石や矢などを飛ばす各種の投射機、城門・城壁をこわす破城槌・破城鉤、城を高所から攻める攻城槽などがあり、これらは当時の最先端で強力なものだった。

厳しい行軍のわりにはローマ軍の兵食は簡単なものだった。日々、粗挽きの小麦を水でこねて、それを焼いた、古代のパンが殆どであり、油やチーズなども支給されてはいたものの、わずかであったという。暑い日には、「ポスカ」と呼ばれる水割の酢を飲んでいて、体調がよいということ、カエサルも一般の兵士たちと同じ兵食を進んで摂っていたという。冬営地では兵たちもワインやビールを飲む機会があっただろうが、行軍の時期は質素な食生活だったのだ。

◆ガリアのローマ化とワイン

カエサルの遠征によってガリアはローマ文化の影響を受け、その結果ガロ・ローマ文化へとつながった。カエサルが遠征するまでは、ガリアでは南部の属州ガリア・トランサルピナをのぞいてブドウの栽培はまだ行われていなかった。もともとビールを愛飲していたが、ローマ支配になるにつれてワインに触れる機会も増え、ワインを愛好するガリイが多くなる。一壺のワインと奴隷ひとりとを交換していたということだが、多量のワインを宴会などで回し飲みして、「さすがに文明国ローマの酒よ」と言わんばかりに、その妙なる味に舌づつみを打っていたという。大量のワインが地中海沿岸からガリアへと船で輸送されていた。南仏の古都イエールの沖合で発見された当時の沈没船の中にはイタリア産のワインを入れたアンフォアが約六千個も積まれていたという。（『ガリア戦記（上）』）

カエサルの懐柔策が功を奏したのか、遠征終了後さらにローマ化が進み、後1世紀になると、ガリアで造られたワインがその地の部族の銘柄で売られるようになり、イタリア産のワインを圧迫し

始めるまでになる。ローマ皇帝はイタリア産ワイン保護を目的に、ガリアにおけるブドウ栽培を制限する政策をとった。しかし、結局、ブドウ栽培・ワイン造りはローマ皇帝にも抑え込むことはできず、ブドウ栽培がガリア全体に大きく広がっていった。2～3世紀にはブルゴーニュワインが評判となり、4世紀になるとボルドーワイン、モーゼルワインが有名になった。そうなるには、その1～2世紀前からブドウ栽培やワイン造りが行われていたと推察される。(『古代の技術史(下)』)

◆ヒスパニアとワイン

ギリシアやカルタゴの影響を受けていたヒスパニア(現、スペイン)はローマ人によって征服された時(前133年)、イベリア半島の南端にはいくつかのブドウ園があったが、多くのイベリア人たちが愛好した飲み物はハチミツ酒だった。しかし、属州になった以降にはブドウ栽培が非常に大きな発展を遂げたので品質としては2級品であったとはいえ、後1世紀には莫大な量がイタリアに輸入された。ローマの主要港だったオスティアには荷物置き倉庫が立ち並んでおり、不要な陶器の破片が山積みされていた。その山積み陶器破片が基になって、今は、高さ50mほどの丘(モンテ・テスタッチョ)となっているが、陶器破片の大部分はヒスパニアワインだったという。ヒスパニアワインは、イタリアだけではなく、ガリア、ブリタニア、ゲルマーニア(ドイツ)、さらには東洋にも輸出され、イタリア銘柄の手ごわい競争相手になっていった。

◆ゲルマーニアとビール

ローマ人は文明的に洗練されていない北方のゲルマニーや西方のガリーを軽蔑していたが、ローマの歴史家タキトゥス(55年～120年頃)が「ゲルマーニア」を著しており、興味深い。図5-23は、後1世紀のゲルマーニアの様子を示している。当時は、国やそれに伴う国境があるわけではない。狩猟採集を生活の基とするゲルマニーは、本来、自由に動き回りたいのだが、それを拒む他の民族や自然環境があることによって制限を受ける。西側のガリーとはライン川とドナウ川とで分かたれており、東側の遊牧民族(サールマティア人)などとは「相互の恐怖」と山岳で分かたれている。北側は海(現、バルト海・北海)に面しており、南側はローマが支配する北イタリアということになる。ゲルマニーは北海沿岸からユトランド半島にかけて居住している部族、今の中部ドイツに居住している部族、ライン川右岸の地方に住んでいる部族に大きく分かれる。みな外形は似ており、鋭い空色の眼、黄赤色(ブロンド)の頭髮、長大で剛強な体躯が特徴だった。しかし、剛強さは戦い(とくに勝ち戦)の時のみに発揮され、労働や作務に対しては忍耐がなく、渴きと暑熱には少しも堪えることができない、とタキトゥスは述べている。

ゲルマーニアは総体的には深い森林に覆われているか沼地が連なって荒涼としている。開墾すれば比較的豊かに農作物を得ることができるが、果樹の生育には向いていない。また、家畜はいろいろいるが、概ね小さい。

何といても、ゲルマニーは農耕牧畜に熱がない。男子の主な仕事は戦うこと。戦争のない時には時々狩猟にゆくが、多くは睡眠と飲食に耽りつつ、無為に日を過ごす。家庭、家事、田畑など、日常作業の一切を女性、老人たちにまかせ、自分はただ懶惰に暮らしている。男性はしばしば宴席に武装してでかけ、昼夜、飲み続けることもある。酒を飲むことによって心を開き、いろいろなことを話し合う。大事なことの多くは宴席で決まってしまう。

酒は大麦や小麦を発酵させたビールだが、ハチミツ酒もよく飲んでた。タキトゥスはビールのことを「いくらワインに似て品位の下がる液」と言っている。当時のローマ市民がビールを馬鹿にしていたことが窺える。ライン川やドナウ川の川岸に近いゲルマニーは琥珀と引き換えにガリア



図 5-23 紀元1世紀のゲルマーニアと諸民族（『ゲルマーニア』より）

からワインを輸入して飲んでいたという。ゲルマニーは飲酒に対して節制できなかったようだ。「もし、彼らの欲するだけを給することによって、その酒癖を欲しいままにせしめるなら、彼らは武器によるより、はるかに容易に、その悪癖によって征服されるであろう」とタキトゥスは述べている。

この当時のゲルマニーはガリーに比べて開化が遅れ、気性も生活も狩猟採取時代のそれを脱しておらず、戦いは好むところであった。南の肥沃な土地よりも短期間で得られる富、すなわち戦利品の分け前が彼らを魅了してやまなかった。勇猛果敢な部族も多くあり、度々、ローマ軍と戦っても負けずに戦い抜いた。「平時においてさえ、絶えて彼らは、穏やかに和らいだ生き方を示さないのである。彼らにはひとりとして、家や畑や、または、なにかの煩いものを持とうとしない。」と言われるように勝つことが唯一の目的、質実剛健の彼らの多くはワインを贅沢品の象徴として遠ざけたのだ。

ゲルマーニアのビール造りはエジプト式のようなビールパンから造るのではなく、麦芽を粉碎し、お湯を加えて直接、造る方法だった。もともと、ゲルマーニアには先住民としてケルト人がおり、彼らがこのプロセスでビール造りを行っており、それがゲルマニーに伝承されたのだろう。ケルト人は土地を明け渡しても、ビール造りは残していったのだ。

ケルト人のビール造りは、発芽した穀類（麦芽）を乾かした後、砕いて水と混ぜ、灼熱した石を投げ入れて温度をあげ、デンプンを糖化させた（甘くした）。このモロミを発酵させてビールを造っていた。従って、現代式のビール醸造法はケルト民族によって開発されたということが出来る。（『ビール礼賛』）

だが、ゲルマーニアではビール造りは相変わらず家庭内の女性の仕事であり、製造工程の大規模化や純粋な酵母を得る技術などの発酵技術は圧倒的にエジプトの方が進んでいた。後世、エジプトの進んだ発酵技術がゲルマーニアのビール造りに生かされて、現在のビール造りに繋がって行ったのだろう。また、この時代に、ビールを長持ちさせるために野生ホップの類をまぜることも知られていたという。

ゲルマーニアのビールについて初めて記述したのは、前4世紀の初めのギリシアの探検家であるピュティアスで、彼は現在のマルセイユからブリテン島・ゲルマーニア西部を旅行した。その探検記の中でゲルマーニアの酒にふれ、彼らはきびと麦を栽培して酒を造っていたが、この酒には穀類だけで造ったものと、一部ハチミツを加えて造ったものとがあったと書いているという。

ローマ帝国末期の背教帝ユリアヌス（在位、361-363年）はゲルマーニアのビールを飲んで、その悪口を次のように詩に託して歌ったという。（『ビール礼賛』）

ビールよ、おまえはほんとうのバックスじゃない
おまえは雄山羊のようで、とても神々の飲物とはいえない
ケルト人がおまえに代り、葡萄を捨てて穀物から酒をつくりおった
人々よ、決しておまえをデメトリオンと呼んではならない
ワインの神ディオニューソスとも呼んではならない
おまえは、小麦と悪臭に満ちた産物だ
プロミオンとは全く違ったものだわい！

なお、デメトリオンは作物・大地の神であり、ディオニューソスおよびプロミオンは酒神バックスの別名だ。古代ローマでは庶民はビールを口にしていたとも言われるが、上層階級ではビールを馬鹿にしていたことがよく分かる。古代におけるビールに対する根強い嫌悪は、イタリアやギリシアにおいては19世紀まで残ったという。

以上、ローマ時代までにワインの基本的な造り方が決まったこととローマの影響によって「ローマ化」が進んだ地域とそうでない地域が明確になったことでワイン・ビールの棲み分けがはっきりしたことが理解された。次回からは、歴史の流れの中でワインやビール造りに大きな影響を及ぼした事柄について考えていきたい。

参考文献

1. プルタルコス（柳沼 重剛編訳）：食卓談話集。岩波文庫、1987。
2. アテナイオス（柳沼 重剛編訳）：食卓の賢人たち。岩波文庫、1992。
3. 世界の歴史編集委員会 編：もういちど読む山川世界史。山川出版、2009。
4. 浅野 典夫：「なぜ？」がわかる世界史（前近代）。学研教育出版、2012。
5. トム・スタンレー（新井 崇嗣訳）：世界を変えた6つの飲み物。（株）インターシフト、2007。
6. 木村 靖二ら監修：山川詳説世界史図録。山川出版、2014。
7. フォーブス（平田寛ら監訳）：古代の技術史（下・Ⅰ）（朝倉書店、2008）
8. フォーブス（平田寛ら監訳）：古代の技術史（下・Ⅱ）（朝倉書店、2011）
9. ユリウス・カエサル（中倉 玄喜訳・解説）：ガリア戦記（上、下）。（株）PHP 研究所、2013。
10. タキトゥス（泉井 久之助訳・註）：ゲルマーニア。岩波文庫、1979。
11. ワイン学編集委員会：ワイン学。産調出版、1991。
12. 山本 幸雄：ビール礼賛。東京書房社、1973。

第 6 回

やまとの柿あれこれ

大和の里に美しい晩秋の季節を迎える頃となりました。奈良坂にひっそりと佇む般若寺境内にコスモスが咲き乱れると、斑鳩の里、竜田川の川沿いは燃えるような紅葉で辺り一面をいよいよ美しく染めていきます。その竜田川からさらに歩を進めていくと法隆寺へと辿り着きます。飛鳥時代の姿を今に伝える世界最古の木造建築、法隆寺はこの季節には一層の趣を増します。西円堂の石段近くの紅葉はそれは見事。そして八角形の殿堂、夢殿から眺める息をのむような落日。そして茜色に染まった五重塔の遠望は切ないほど美しい秋の色彩です。

柿食えば鐘が鳴るなり法隆寺（正岡子規）

里古りて柿の木持ため家のまし（松尾芭蕉）

などと詠まれているように、古くから奈良は柿の木の下として知られています。奈良の柿は赤く色づいても昼夜の温度差があるためすぐには柔らかくなりにくく、甘みが強いといわれています。刀根早生という品種は奈良県で生まれた最近人気の柿で西吉野村や五条市、御所市で多く穫れます。昔から「柿が赤くなると医者が青くなる」といわれるほど健康食材としても優れており、ビタミンCは100g中70mg含まれ、いちごと同等、温州みかんの約2倍です。大きめの柿(150～200g)なら1個食べるだけでほぼ一日分のビタミンC必要量(成人100mg)は摂取できます。他の果物には比較的少ないビタミンAも多く含まれています。

水飲むがごとく柿食う酔いの後（高浜虚子）

この句のように二日酔いに効くともいわれています。ビタミンCが肝臓の働きを助け解毒を促し、さらにカリウムをはじめミネラルも多く含んでいるからでしょう。柿なますや、柿の白和えなど酒の肴の食材として理にかなっているわけですね。さらには、柿の渋み成分であるタンニンには抗菌作用があり、その特徴を活かした郷土料理が柿の葉ずし。五条や吉野地方の家々でハレの日のごちそうとして親しまれてきた伝統料理です。柿の若葉が瑞々しく育つ夏から、赤く色づく晩秋にかけて、鯖や鮭の切り身を保存性に優れた柿の葉で包み、押しずしにする手法は海のない大和の国にとって貴重な先人の知恵でした。

人知れず山里の人々に愛されてきた、その柿の葉ずしをいち早く日本中に紹介したのは昭和を代表する作家 谷崎潤一郎氏でした。日本の伝統美を語る有名な随筆、陰翳禮讃（いんえいらいさん）に、「柿の葉ずしには東京のにぎりずしとは違った特別の味わいがある。今年の夏はこればかり食べて暮らした」など感想を書き褒め称えています。さらには、千数百年前にはすでに平城の都で食され、江戸時代に庶民に普及したといわれる奈良漬が柿の葉ずしの筈やすめとして良く合う、とも書いています。

さて、早いもので今年も残すところあと二カ月になりました。このコラムを一月から隔月連載させていただき、何とかここまでたどり着きました。書くことの難しさでそれ以上の喜びを感じた一年でした。これからも身近な食についての話題や奈良の食文化のあれこれを発信できればと思っています。次回は新年号からまた連載をさせていただきます。

中村照子（管理栄養士 理学博士）

これまでは大学で栄養学関係の教職に携わり、蚕や桑葉の栄養機能成分の研究を行う。

現在は、テルコ・ニュートリション株式会社を設立、管理栄養士国家試験サポートや各種栄養に関するコンサルタント業を中心とした活動を行っている。

この上なく愛犬ももたろうを溺愛し、毎朝一緒に野菜ジュースを飲み、散歩している。奈良市在住

URL : <http://dr-teruko-nakamura.com/>

New Food Industry へ原稿をお寄せください。

「New Food Industry」では、斯界の先生や企業の研究者の方々にご執筆をお願いしています。最近のトピックス、日頃のご研究内容の論説等を弊社へご寄稿ください。

執 筆 要 項

1. 最新の情報をもとにした、食品業界の活性化に資することを目的とした論文・解説とします。
2. 原稿の送付先および照会先は弊社とします。
3. 著作権：食品資材研究会に準じます。
4. 原稿枚数

弊社刷り上がり 1 ページ (2 段組み 1596 字) で 5 ～ 10 ページ (図表含)。長文になる場合はご相談下さい。アプリケーション (ワード・エクセル等) をご使用の場合は、字詰めの指定は必要ありません。本文はメール添付にてご提出下さい。なお、手書きの図などがありましたらお手数でもスキャニングして jpeg ファイル等でご提出願います。

◆図・写真・表にはタイトルをいれてください。

◆写真は鮮明なものに限り、印刷物などからスキャニングする場合は 300dpi 以上の解像度で保存してください。

◆引用文献は最終ページにまとめてください。

<対応ソフト>

Windows98 以降, MachintoshOS8.6 以上・Word, Excel, PowerPoint・Adobe Photoshop, Illustrator 等

4. 原稿提出方法：

本文は横書きで作成し保存したデータをメールに添付してご提出ください。図表内の文字データはテキスト入力とし、フォントのアウトライン化はしないでください。複写原稿や手書きの原稿は出来るだけ避けるようにください。原稿全体のデータ容量が 20M を超えるような場合は数回に分けてご送信ください。また、本文中の図表の位置などは欄外または本文中にご指示くださるようお願いいたします。

◆原稿提出締切日：毎月 5 日～ 10 日締め切り

◆原稿料の支払い：掲載誌発行の翌々月末日に弊社より指定の銀行口座にお振り込みいたします。
原稿料の詳細については編集部までお問い合わせください。

◆送付先：株式会社食品資材研究会 編集部宛

〒 101-0038 東京都千代田区神田美倉町 10 共同ビル新神田

◆メールによる原稿添付送信先

E-mail:newfood@newfoodindustry.com

お問い合わせ、ご質問については出来るだけメールにてご連絡くださるようお願い申し上げます。

月刊 ニューフードインダストリー

NEW FOOD INDUSTRY

定期購読の
ご案内

月刊「ニューフードインダストリー」は創刊56年の食品業界誌です。

多くの食品メーカー、技術開発部門、研究機関、全国の大学・大学院などの教育機関、図書館などでご愛読いただいております。

食の安全・健康・美に関する情報発信、新しい食品のご案内など広く情報を発信しております。

1年間の定期購読は、一括前払いで、定価の10%割引でご提供させていただいております。

本体2000円+税(送料100円)×12ヶ月

お申し込み・お問い合わせは下記 FAX かお電話で

電話：03-3254-9191 担当：村松

FAX：03-3256-9559

ニューフードインダストリー年間購読申込用紙

住所 〒

氏名

会社名・所属

電話

FAX

E-mail

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

ニューフードインダストリー 第57巻 第11号

印刷 平成 27 年 10月 25 日

発行 平成 27 年 11月 1 日

発行人 平井 朋美

編集人 今西 和政

発行所 株式会社食品資材研究会

〒101-0038 東京都千代田区神田美倉町10(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