

New Food Industry

食品加工および資材の新知識

<http://www.newfoodindustry.com>

2012 Vol.54 No.7

7

論 説

- 乳酸菌が産生するポリリン酸による腸管保護作用
- 亜鉛-プロトポルフィリン：安全な食肉色素開発のための基礎的研究
- ホタテガイ中腸腺からのカドミウム除去方法の開発
- フォトセンサと画像処理技術を活用したエダマメ用高精度選別機械の開発
- もち麦を用いた γ アミノ酪酸の高生産技術 (その2)
- 人体への寄生虫感染を警戒すべき食材 (7)
— 無鉤条虫の感染源となりうるもの —
- ニジマスで *Flavobacterium* 属細菌の被害を軽減する方法- 2
- 冷凍食品市場に新カテゴリーを創造した驚くべきヒット食品
— 『大きな大きな焼きおにぎり』日本水産株式会社 —
- 多糖類ハイドロゲルの熱的及びレオロジー的性質に
影響を与える架橋領域を考察する (2)

連 載

- 築地市場魚貝辞典 (イサキ)
- “葉膳” の知恵 (68)

会 告

- 日本社会薬学会 第31年会
- 第39回食品の物性に関するシンポジウム

新製品のご紹介

- ユニテックフーズ株式会社 新製品のご紹介 2点



論 説

- ☐ 乳酸菌が産生するポリリン酸による腸管保護作用
..... 瀬川 修一 1
- ☐ 亜鉛 - プロトポルフィリン：
安全な食肉色素開発のための基礎的研究
..... 竹谷 茂, CHAU Tuan Thanh 7
- ☐ ホタテガイ中腸腺からのカドミウム除去方法の開発
..... 齊藤 貴之, 中居 久明 16
- ☐ フォトセンサと画像処理技術を活用した
エダマメ用高精度選別機械の開発
..... 片平 光彦, 張 樹槐, 田村 晃, 大泉 隆弘, 夏賀 元康 21
- ☐ もち麦を用いた γ アミノ酪酸の高生産技術 (その 2)
..... 渡部 保夫 38
- ☐ 人体への寄生虫感染を警戒すべき食材 (7)
- 無鉤条虫の感染源となりうるもの -
..... 牧 純, 関谷 洋志, 渡辺 真衣, 玉井 栄治, 坂上 宏 45
- ☐ ニジマスで *Flavobacterium* 属細菌の被害を軽減する方法 - 2
..... 酒本 秀一 49

Contents

2012 年 7 月号

- ☐ 冷凍食品市場に新カテゴリーを創造した驚くべきヒット食品
－『大きな大きな焼きおにぎり』日本水産株式会社－
..... 田形 暁作 59
- ☐ 多糖類ハイドロゲルの熱的及びレオロジー的性質に
影響を与える架橋領域を考察する (2)
..... 渡瀬 峰男 68

連 載

- ☐ 築地市場魚貝辞典 (イサキ)
..... 山田 和彦 81
- ☐ “薬膳”の知恵 (68)
..... 荒 勝俊 85

会告

- ☐ 日本社会薬学会 第31年会91
- ☐ 第39回 食品の物性に関するシンポジウム92

新製品ご紹介 ユニテックフーズ株式会社

- ☐ アラビアガム「アラガム」、抗コレステロール素材「ベネコール®」94

おいしさと健康に真剣です。

酵母エキス系調味料
コクベース

new発酵調味料
D&M
ディアンドエム

ゼラチン&小麦グルテン
酵素分解調味料
エンザップ

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

DM **大日本明治製糖株式会社**
食品事業部

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

乳酸菌が産生するポリリン酸による腸管保護作用

瀬川 修一 *

* SEGAWA Shuuichi (サッポロビール株式会社 価値創造フロンティア研究所)

Key Words : プロバイオティクス・乳酸菌・ポリリン酸・HSP27・抗炎症作用・サイトカイン・腸管・マウス・実験・*Lactobacillus brevis* SBC8803

はじめに

ヒトの腸管には多くの腸内細菌が存在しており、バランスの取れた腸内細菌叢の形成は宿主であるヒトに多くの健康効果をもたらすことが報告されている。とりわけ、乳酸菌などのプロバイオティクスはディフェンシンなどの抗菌物質の産生促進、腸管免疫系の調節作用および腸管のバリア機能の増強などの効果を発揮することが既に知られている¹⁻³⁾。プロバイオティクスによるこれらの効果はそれが産生する生理活性物質によってもたらされると考えられるが、現状では、そのような生理活性物質に関する報告は非常に少ない。これまでに、*Bacillus subtilis* が産生するペントペプチドが腸管上皮細胞において p38 MAPK と Akt シグナルを活性化することにより細胞保護作用を発揮すること⁴⁾、*Lactobacillus rhamnosus* GG が産生する可溶性タンパク質の p75 および p40 が Akt シグナルを活性化することで炎症性サイトカインにより誘発される腸管上皮細胞のアポトーシスを抑制することが報告されている⁵⁾。

我々は既にサッポロビール社により分離された *Lactobacillus brevis* SBC8803 株の加熱殺菌菌体がマウスの小腸を用いた実験により細胞保護作用を有する誘導性熱ショックタンパク質の発

現を誘導し、小腸への酸化ストレスによる腸管バリア機能の低下を抑制することを既に報告した⁶⁾。そこで、我々はプロバイオティクスによる腸管保護作用に着目し、*L. brevis* SBC8803 株の培養液から生理活性物質を分離・精製し、その化合物を明らかにすることを目的として研究を行った。

L. brevis SBC8803 培養液による腸管上皮細胞 Caco2/bbe 株における誘導性熱ショックタンパク質 HSP27 の誘導

腸管上皮細胞株である Caco2/bbe 株における誘導性熱ショックタンパク質である HSP27 の発現を指標として、乳酸菌の培養液から腸管保護作用を有する生理活性物質の分離・精製を行った。HSP27 はアポトーシスの抑制や NF- κ B 経路の活性化抑制などの生理作用が既に報告されている^{7,8)}。常発現タンパク質である HSC70 に対する HSP27 の発現比により乳酸菌培養液による HSP27 誘導能を評価した。培養液による HSP27 の誘導は乳酸菌の培養時間により変化し、培養 12 時間後の培養液に強い HSP27 誘導活性が認められた (図 1)。この培養液を各種分子量カットのメンブレンを透過させその HSP27 誘導能を調べたところ、5kDa お

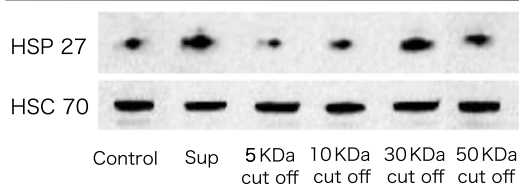
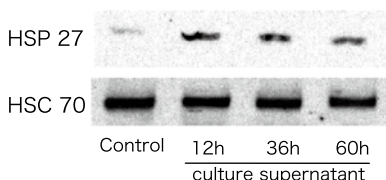
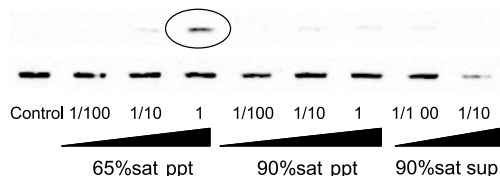
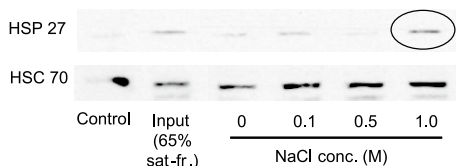
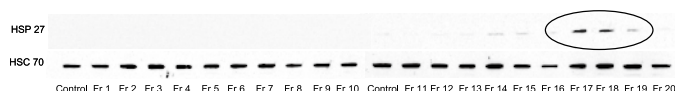
L. brevis SBC8803 培養液による HSP27 の誘導HSP27 誘導における乳酸菌培養時間の影響

図1 *L. brevis* SBC8803 培養液による Caco2/bbc からの HSP27 の誘導

硫安沈殿画分によるHSP27の誘導DEAE分離画分によるHSP27の誘導ゲルろ過分離画分によるHSP27の誘導HPLC chromatogram

Column: Shodex PROTEIN KW800 (300mm × 8mm)
Buffer: 20mM Phosphate buffer (pH6.5)
Flow rate: 1.0 ml/min, Detection: absorbance at 220 nm

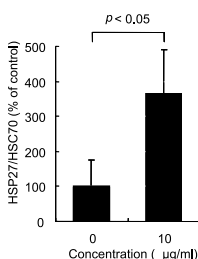
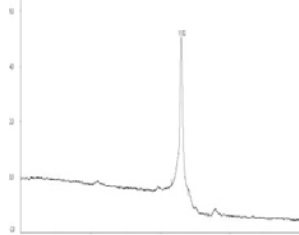


図2 *L. brevis* SBC8803 培養液からの HSP27 誘導物質の分離

よび 10kDa 以上を排除するメンブレン透過液では, HSP27 誘導活性が消失したのに対して, 30kDa および 50kDa 以上を排除するメンブレン透過液には HSP27 誘導活性が認められた (図 1)。この結果から, 培養液に含まれる HSP27 誘導物質は分子量 10kDa 以上の高分子物質であることが示唆された。先にも述べたように, プロバイオティクスから分離された細胞保護作用物質としてペプチドやタンパク質が既に報告されていたことから, *L. brevis* SBC8803 が産生する HSP27 誘導物質もタンパク質であると想定して分離を行った。硫安分画, 陰イオン交換クロマトグラフィ, ゲルろ過による分離を

経て, HPLC により最終的にシングルピークを取得し, この物質は HSP27 を誘導することを確認した (図 2)。

2. *L. brevis* SBC8803 培養液から得られた HSP27 誘導物質の同定

L. brevis SBC8803 培養液に含まれる HSP27 誘導物質はタンパク質であると想定して培養液からの分離を行ったが, 最終的に得られたピークは酸加水分解後のアミノ酸濃度は検出限界以下であった。このことから, HSP27 誘導物質はタンパク質以外の物質であると考えられた。そこでこの成分の元素組成を調べたところ, リンと酸素が多く検出された。高分子量であることを考えるとこの HSP27 誘導物質はポリリン酸であると推察した。そこで, 酸加水分解後にリン酸量をモリブデンブルー法により測定したところ, そのリン酸含量は 90% 以上であった (表 1)。

表 1 HSP27 誘導物質の酸加水分解後のリン酸含量

	Conc.	abs 750nm	Total P conc.
HSP27-inducible fraction	1.00	0.034	0.92
	10.00	0.345	
	5.00	0.225	
Phosphoric acid standard	2.50	0.092	
	1.25	0.063	
	0.63	0.032	
	0.31	0.017	
Blank		0.001	
	(mg/ml)		(mg/ml)

Phosphoric acid concentration was measured by Mo-Blue method.

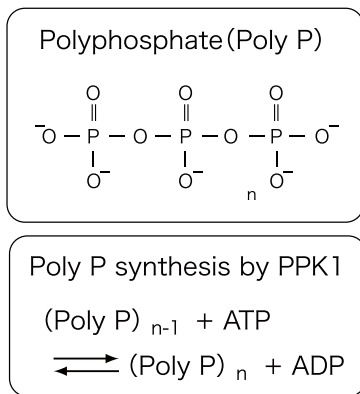


図 3 ポリリン酸の化学構造と PPK によるポリリン酸合成

ポリリン酸はポリリン酸キナーゼ (PPK) によって ATP から合成されることは既に報告されている (図 3)。よって PPK を用いて合成したポリリン酸の HSP27 誘導能について調べたところ、濃度依存的に HSP27 の誘導が認められた (図 4)。PPK による反応は可逆であることから、反応系に ADP を大量に添加することによりポリリン酸を分解することができる。そこで、乳酸菌培養液から得られた HSP27 誘導物質に ADP 存在下で PPK により反応させたところ、その HSP27 誘導能の低下が認められた。これらの結果から、乳酸菌が産生するポリリン酸が HSP27 を誘導することが強く示唆された (図 5)。

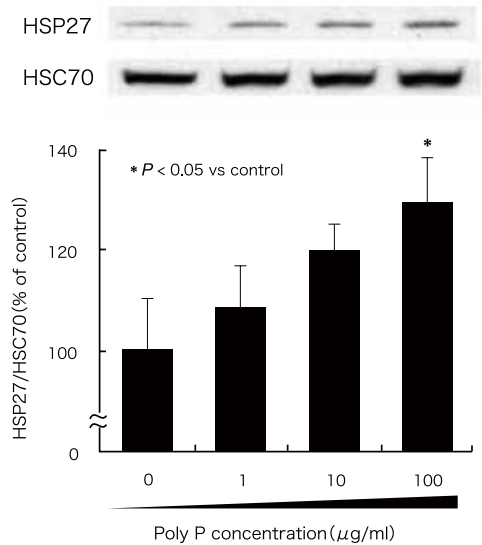
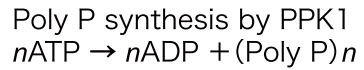


図 4 PPK により合成した Poly P による HSP27 の誘導

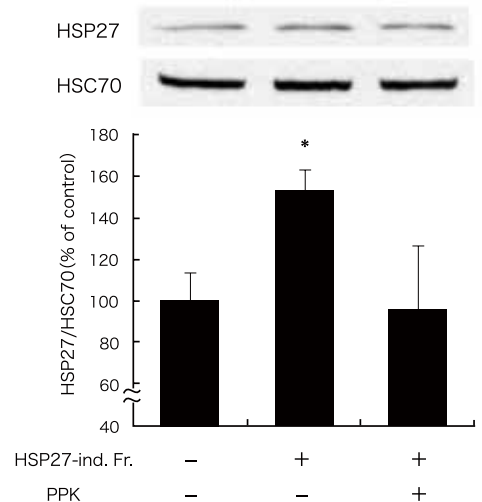
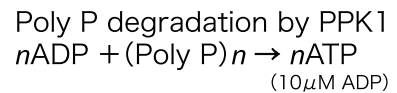


図 5 PPK による HSP27 誘導物質の Poly P 分解による HSP27 出現

3. ポリリン酸による腸管バリア機能の増強作用

乳酸菌培養液から生理活性物質として同定されたポリリン酸の腸管保護作用をマウス小腸を用いた腸管バリア機能によって評価した。マウスから小腸を摘出したのち6等分し、片方の端を外科用糸で縛ったのち、サンプルを腸管内に注入した。サンプルを充填した小腸をRPMI1640培地に入れ、37℃、5%CO₂下で2時間静置した。その後、腸管内容物を取り除いた

のち、トリチウム標識したマンニトールと酸化刺激としてモノクロアミンを添加したRPMI培地を腸管内に充填した。腸管のバリア機能が低下するとトリチウム標識マンニトールの腸管内から外側への透過が起こる。経時的に腸管外に漏出したトリチウム量を測定することにより腸管バリア機能の評価した(図6)。マウス小腸はモノクロアミンによる酸化ストレスによりマンニトール漏出量の増加が認められたが、10 µg/mlのポリリン酸はマンニトール漏出を有意に抑制した(図7)。

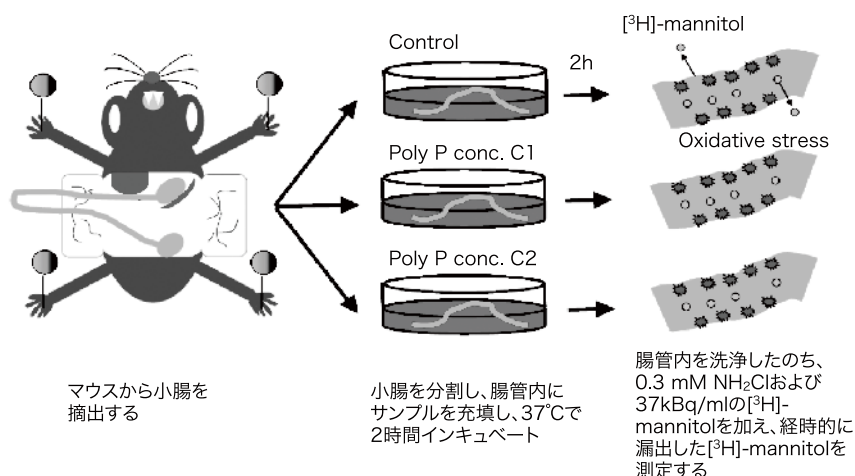


図6 マンニトール透過試験による腸管バリア機能の評価

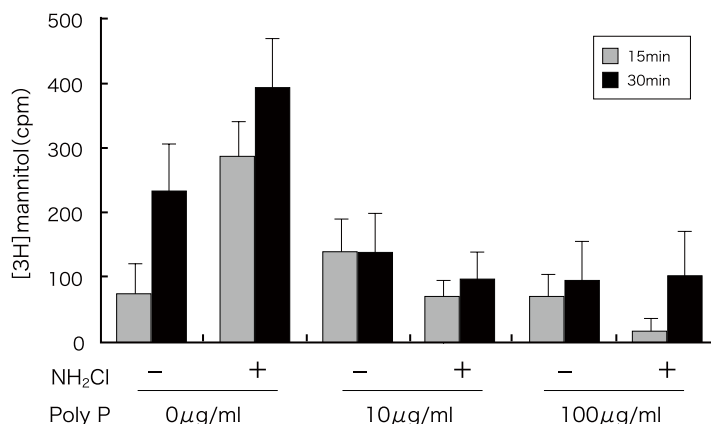


図7 ポリリン酸による腸管バリア機能の強化

4. デキストラン硫酸ナトリウム投与マウスに対するポリリン酸の効果

ポリリン酸はマウス小腸を用いたマンニトール透過試験において腸管バリア機能を有意に増強したことから、炎症性腸疾患モデルとしてよく利用されているデキストラン硫酸ナトリウム(DSS)投与マウスに対するポリリン酸の効果

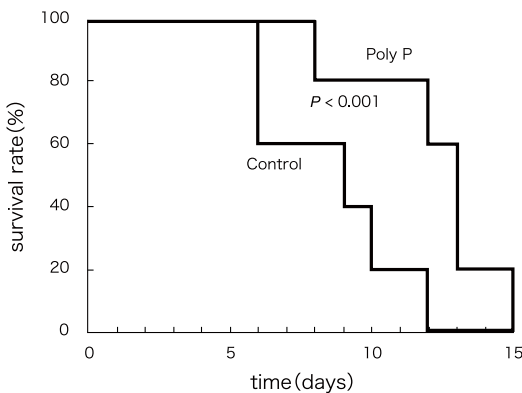


図8 4%DSS投与マウス生存率に対するポリリン酸の効果

について検討を行った。雄性の C57BL/6 マウスに 4%DSS を自由摂取させた。ポリリン酸は 10 $\mu\text{g}/100 \mu\text{l}$ となるように緩衝液に溶解し、毎日注射によりマウスに投与した。10 μg のポリリン酸の注射投与は 4%DSS 投与マウスの生存率を有意に延長した (図 8)。また、3%DSS をマウスに 1 週間投与したのち、マウス大腸を摘出し、サイトカイン発現量を測定した。その結果、10 μg のポリリン酸の注射投与は炎症性サイトカインである IL-1 β や IL-6 の産生を有意に抑制した (図 9)。

おわりに

乳酸菌 *L. brevis* SBC8803 の培養液から腸管上皮細胞 Caco2/bbe 株からの HSP27 の誘導を指標として生理活性物質を分離した結果、ポリリン酸を同定した。ポリリン酸はマウス小腸を用いたマンニトール透過試験およびデキストラン硫酸ナトリウム投与マウスの腸管炎症を抑制したことから、乳酸菌のプロバイオティク

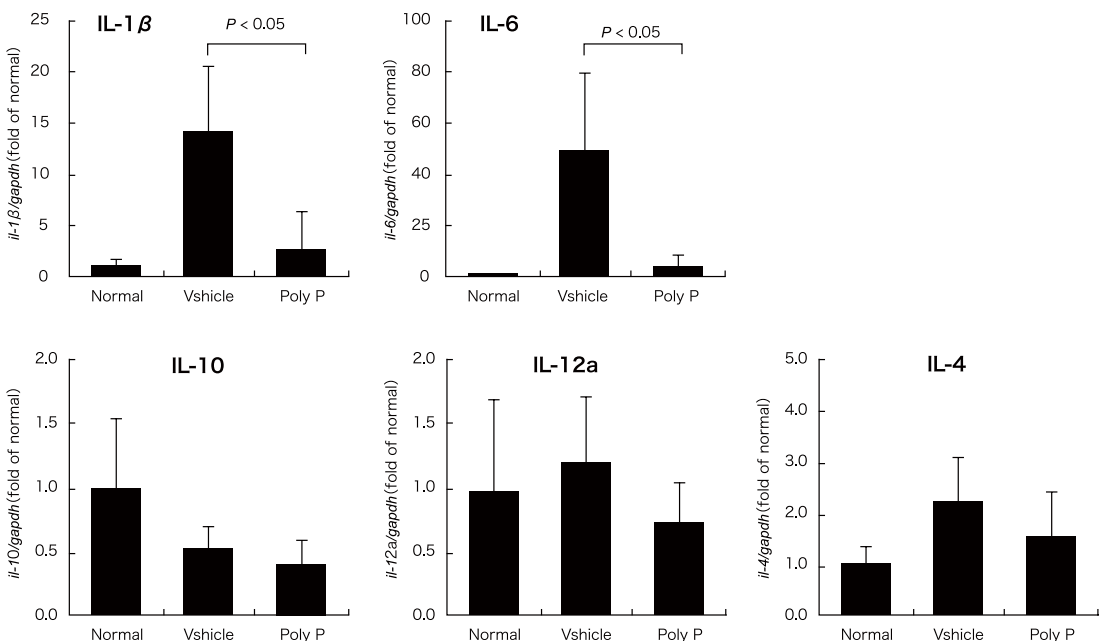


図9 3%DSS投与マウス大腸における各種サイトカイン mRNA 発現量

ス機能を発揮する生理活性物質の一つであると考えられる。ポリリン酸キナーゼは *L. brevis* SBC8803 株以外の多くのプロバイオティクスや腸内細菌も保持していると考えられるた

め、これらから産生されるポリリン酸は腸管の恒常性維持に寄与する物質の一つではないかと推察している。

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

- 1) Ayabe T, Satchell DP, Wilson CL, Parks WC, Selsted ME, Ouellette AJ. Secretion of microbicidal α -defensins by intestinal Paneth cells in response to bacteria. *Nat Immunol.* **1**:113-118, 2000.
- 2) Belkaid Y, Oldenhove G. Tuning microenvironments: induction of regulatory T cells by dendritic cells. *Immunity.* **29**:362-371, 2008.
- 3) Zyrek AA, Cichon C, Helms S, Enders C, Sonnenborn U, Schmidt MA. Molecular mechanisms underlying the probiotic effects of *Escherichia coli* Nissle 1917 involve ZO-2 and PKC ζ redistribution resulting in tight junction and epithelial barrier repair. *Cell Microbiol.* **9**:804-816, 2007.
- 4) Fujiya M, Musch MW, Nakagawa Y, Hu S, Alverdy J, Kohgo Y, Schneewind O, Jabri B, Chang EB. The *Bacillus subtilis* quorum-sensing molecule CSF contributes to intestinal homeostasis via OCTN2, a host cell membrane transporter. *Cell Host Microbe.* **1**:299-308, 2007.
- 5) Yan F, Cao H, Cover TL, Whitehead R, Washington MK, Polk DB. Soluble proteins produced by probiotic bacteria regulate intestinal epithelial cell survival and growth. *Gastroenterology.* **132**:562-575, 2007.
- 6) Ueno N, Fujiya M, Segawa S, Nata T, Moriichi K, Tanabe H, Mizukami Y, Kobayashi N, Ito K, Kohgo Y. Heat-killed body of lactobacillus brevis SBC8803 ameliorates intestinal injury in a murine model of colitis by enhancing the intestinal barrier function. *Inflamm Bowel Dis.* **17**(11):2235-2250, 2011.
- 7) Bruey JM, Ducasse C, Bonniaud P, Ravagnan L, Susin SA, Diaz-Latoud C, Gurbuxani S, Arrigo AP, Kroemer G, Solary E, Garrido C. Hsp27 negatively regulates cell death by interacting with cytochrome c. *Nat Cell Biol.* **2**: 645-652, 2000.
- 8) Park KJ, Gaynor RB, Kwak YT. Heat shock protein 27 association with the I κ B kinase complex regulates tumor necrosis factor α -induced NF- κ B activation. *J Biol Chem.* **278**: 35272-35278, 2003.

亜鉛－プロトポルフィリン： 安全な食肉色素開発のための基礎的研究

竹谷 茂^{*1} CHAU Tuan Thanh^{*2}

^{*1} TAKETANI Shigeru, ^{*2} CHAU Tuan Thanh (京都工芸繊維大学 応用生物学部門)

Key Words：亜鉛－プロトポルフィリン・加工肉・豚肉・生ハム・色素・安全性

はじめに

食肉製品にとって肉の色は食欲が増すと言う意味で、大変重要な因子である。肉や肉加工品での赤味は、ミオグロビン、ヘモグロビンやチトクロームの他、骨髓中のヘム蛋白質に由来する。その中でもミオグロビンは肉色素の主成分である。この自然色を保つために、動物の屠殺後の保存方法、期間や加工方法について種々の研究がなされて来た。結局、ミオグロビンの生色を保つためには、何らかの化合物を用いてミオグロビン内の鉄に配位させて、酸素付加を妨害する方法が取られている。デオキシミオグロビンの鉄は二価で鮮やかな赤紫色を呈するが、酸素が付加することでオキシミオグロビンになって赤色に変わり、さらに酸化が進むとメトミオグロビンの茶褐色を呈するようになる。また、ミオグロビンはCO、CO₂、NO₂等のガスと反応しても安定な赤黒色になることが知られており、スモークした肉加工品のくすんだ色はカルボキシミオグロビンの色である。普通一般にハムと言われるものはボヘミア系ハムと言われる物でニトロソミオグロビンが主な色素源である。ニトロソミオグロビンは安定で、NOが加熱下でミオグロビンに配位して生成される。食肉加工時の加熱と亜硝酸塩処理は、明るい赤色を

もたらすのみならずバクテリアの繁殖を防ぐ効果ももたらすが、一方、発癌物質ニトロソアミンが加熱によって生じる危険性があり、消費者にとって食の安全性から疑問視されている^{1, 2)}。一方、生ハムと呼ばれる肉加工品の赤色は亜鉛－プロトポルフィリン (Zn-PP) である。Zn-PPを主成分とする生ハムは天然物質であることも手伝って安全な食品と言える。しかし、その生産には長い時間を必要としてヘム中の金属中心の生成の過程は謎であり、Zn-PPの生産の促進や関連性のある色素化合物の生成などの種々の研究がなされて来た。

生ハムは地中海地方で古くから作られ、色々な国で多く消費されて来た。世界中では、それぞれの生産地でその商標が守られており、地中海地方、北ヨーロッパ、アメリカそして中国である。特に、スペインのイベリアとセラノ地方の高級ハムがあり、南フランスのコルシカ島とイタリアのパルマハムでいずれも半年から二年間もの長い間を費やして作られている。過去には、冬の寒い時期を選んで11月の終わり頃に作られたようであるが、現代では、豚モモ肉の表面を塩揉みして2-3週間低温において、3ヶ月間の乾燥を経て、さらに半年から2年間の熟成期間を費やして季

節を問わず作られている³⁾。

近年、国内外のグループが、塩のみを使用して加工されるパルマハムの色に目を向けて研究を行って、生ハムの色素の性質の向上を図ることや赤色物質の生成の機構を明らかにすることが試みてられてきた。その中で、若松ら（北大）が初めてパルマハムの赤色が Zn-PP であることを突き止めた。しかし、Zn-PP がどのようなメカニズムで出来てくるかは謎であった⁴⁾。研究の初期には、赤紫色の Zn-PP は細菌が生産すると考えられた。その後、(1) Zn-PP は非酵素的に作られる。(2) プロトポルフィリノーゲンがプロトポルフィリンに酸化されたのち亜鉛イオンが反応する。(3) ヘム鉄から Zn-PP が生成する 3 つの説が出された。我々は、長年ヘム代謝やヘム合成の中間体が蓄積する遺伝病であるポルフィリア症患者の分子変異の研究を行って来たが、食肉組織での Zn-PP 生成の問題の研究を半信半疑で 2005 年から始めた。

1. ヘム合成経路

哺乳動物のヘム合成はミトコンドリアの内膜マトリックス側にある 5-アミノレブリン酸合成酵素 (ALAS) によって TCA 回路の中間体サクシニル-CoA とグリシンの縮合反応で ALA が生成することから始まる (図 1)。ALAS はヘム合成の律速酵素で、非赤血球型の ALAS1

と赤血球型の ALAS2 のふたつのアイソザイムがある。ALA は一旦細胞質で出て 2 番目の ALA 脱水酵素 (ALAD) でポルフォビリノーゲン (PBG) になり、更に 3 段階の酵素反応でコプロポルフィリノーゲン (Copro'gen) が生成する。Copro'gen は再びミトコンドリアに入り、膜空間に局在するコプロポルフィリノーゲンオキシダーゼ (CPOX) で、酸化的に脱炭酸されてプロトポルフィリノーゲンになり、プロトポルフィリノーゲンオキシダーゼ (PPOX) によって酸化されてプロトポルフィリンになる。ヘム合成の最終段階ではミトコンドリア内膜酵素のフェロケラターゼ (FECH) がプロトポルフィリンに二価鉄を挿入する反応を触媒する。生成したヘムはミトコンドリアのヘム蛋白質の補欠分子族として利用されたり、細胞質に運ばれてミオグロビンやカタラーゼなどのヘム蛋白質として使われる。その後、ヘムは小胞体にあるヘムオキシゲナーゼによって分解されることが知られている。これらの一連のヘム合成の酵素反応は不可逆的に進むことが知られていた。我々は 1981 年に、世界で初めてラット肝臓のミトコンドリアから FECH を単離してその性質について詳細に調べた⁵⁾。反応は中性以上の pH で進行して、pH 7.8-8.0 で最も高い活性を示した。FECH はプロトポルフィリンに二価鉄を導入する反応以外にも基質としては種々の人工ポルフィリンや亜鉛、コバルトおよびニッケル等

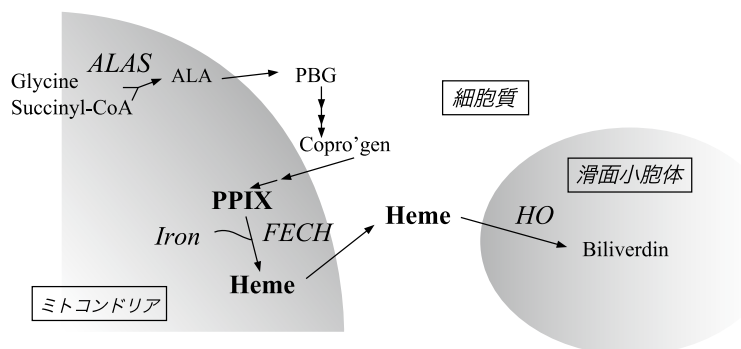


図 1 哺乳動物のヘム代謝経路

の二価金属イオンを基質とすることが分った。また、脂肪酸を初めとする種々の脂質の存在下で FECH 活性は顕著に増加した。これと平行して脂肪酸存在下ではヘムや Zn-PP が効率良く非酵素的に作られることも見いだした⁶⁾。また、ミトコンドリアの三価鉄還元酵素と FECH によるヘム合成のカップリングについても明らかにした。このような一連の研究から、ヒトやマウス FECH の遺伝子構造の解明やヒトの遺伝性疾患ポルフィリア症患者の FECH の分子変異の同定に至った。

真核細胞のヘム合成の初発段階はミトコンドリアで起こり、一旦経路は細胞質に出て、再びミトコンドリアに戻って最終段階の鉄利用はミトコンドリア内膜で起こる。ヘムの合成系がミトコンドリアに戻る理由は、二価鉄の供給にあると考えられる。ヘム合成に必要な豊富な鉄イオンの供給および鉄還元系は呼吸鎖を有するミトコンドリアのみが役割を果たせる。生命では亜鉛と鉄が最も多い金属イオンであり、赤い血液を持つ哺乳動物では両物質はほぼ同量であるので下等動物では亜鉛の方が豊富に含まれることになる。生体では、細胞やミトコンドリアでの鉄イオンの利用は厳格にコントロールされており、亜鉛イオンがポルフィリンに導入されることはほとんどない。また、たとえ Zn-PP が生体内で生成しても、酸化還元力がなくヘム蛋白質として機能することは全くない⁷⁾。わずかに、鉛中毒患者の血液中には Zn-PP が増加することが知られている。これは鉛イオンが鉄代謝異常を引き起こしミトコンドリア内で鉄欠乏になると、豊富な亜鉛が利用されるようになると言われている。一方、試験管内では亜鉛イオンが酵素的にも非酵素的に簡単にポルフィリン環に挿入されることが知られている。従って、死んだ組織では厳密な鉄代謝の秩序が破壊されたために豊富で利用し易い亜鉛イオンを使うようになったのではないかと考えられた。当初、

死細胞の中や凍結融解された組織では、蛋白質合成は起こらず、ミトコンドリア等の細胞内小器官も全く機能しないと考えていたが、林（筑波大学）は著書「ミトコンドリア・ミステリー」の中で、死んで1ヶ月以上経った細胞の中でもミトコンドリアは生きており、死んだ細胞からミトコンドリアを取り出すと再び働くようになるとミトコンドリアの生命での独立性を述べている⁸⁾。従ってブタ腿肉を用いて長い時間をかけて生成する Zn-PP は、このような死細胞でのミトコンドリアの寿命の長さに関係するとも考えられた。

2. Zn-PP 反応と FECH の同定

我々が Zn-PP の生成の研究を始める以前から、ブタ肝臓や筋肉の懸濁液をインキュベートすると Zn-PP が生成する結果が、国内外から報告されていた⁹⁾。そこで我々もマウスやニワトリ肝臓の懸濁液の中での Zn-PP の生成の有無を調べた。その結果、ツンベルグ管を用いて嫌気条件（減圧）下 37 度で、インキュベートすると少量ながら、Zn-PP と同じ蛍光スペクトルを有する化合物の生成を検出した。抽出液の HPLC 分析を行って、Zn-PP 標準品に一致する時間に蛍光物質の出現を確かめた（図2）。また反応液に金属キレーターの EDTA を添加するとプロトポルフィリンが生成した。従って Zn-PP の生成はヘム鉄の脱鉄が起って、まずプロトポルフィリンが生成することが分った。バクテリアや酵母を始めとして種々の生物種を用いて脱鉄反応を行わせた所、程度には違いがあるが、用いた全ての生物材料がプロトポルフィリンを生成する能力を有することが分った。そこで、最も活性の強いマウス肝臓懸濁液を用いて、ヘム鉄—脱鉄酵素の精製を試みた。まず本活性はミトコンドリアに局在することを確認した後、ミトコンドリア膜からコール酸ナトリウ

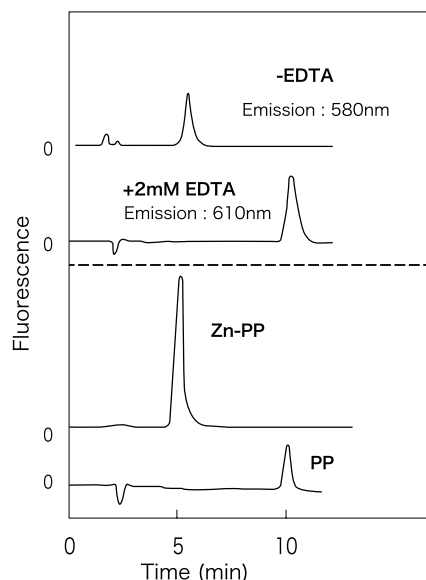


図2 マウス肝臓懸濁液の嫌気条件での反応生成物のHPLC分析

EDTA (2 mM) 存在・非存在下での反応生成物をエタノール・アセトン抽出液をHPLC { カラム: C-18: (4.6 x 150 mm), 溶液: 15% Ammonium acetate (1M) / methanol } で分析した (上)。標準 Zn-PP; Protoporphyrin (下), Excitation: 400 nm.

ム (1%) を用いて可溶化して、さらに塩析や数種類のカラムクロマトグラフィーを用いた。精製の途中で、基質の添加が必要になり、ヘミンと亜鉛イオンを添加した。しかしクロマトグラフィーを始めると再び活性が全く検出できなくなったが、NADHとメトヘモグロビン還元酵素とも呼ばれるNADH-チトクロムb5還元酵素(b5R)を加えて基質のヘミンを還元すると活性の回復が見られた。種々のクロマトグラフィーを重ねると活性が極端に弱くなったが、

約200倍に精製した標品をSDS-ポリアクリルアミドゲル電気泳動(SDS-PAGE)を行った所、10種類程度の蛋白質が検出された。これらのそれぞれについてTOF-MS分析を行った。その結果、分子量4万位の蛋白質にFECHに見合う分析結果を得た¹⁰⁾。そこで、ヒトや大腸菌のリコンビナントFECHを用いて逆反応を確かめた所、ヘム鉄-脱鉄反応ならびに亜鉛を添加することでZn-PPへの変換反応をFECHが有することが分り、FECHは不可逆的に鉄や2価金属イオンをポルフィリン環に挿入するだけでなく、ヘム鉄を脱鉄する可逆反応を司ることが分った。またこれらの結果から、以前に揚げた生ハムでのZn-PPの生成は(3)の仮説に当てはまることが強く示唆された(図3)。ヘミンからZn-PP変換反応の性質について詳細に検討した結果、NADHとb5Rの添加もしくは還元剤のアスコルビン酸やグルタチオンなどが必要であることや、嫌気条件でのみ反応が進行することが分った。また反応はpH5.5付近で最もよく進み、鉄や亜鉛イオンをポルフィリン環に挿入する至適pHの7.8-8.0とは異なることが分った。これは鉄とポルフィリン環との結合はpHが低下すると弱くなることによると考えられる。また、反応温度は45度付近の比較的高い温度が有効であり、生ハムの製造工程の室温付近とは異なる結果を得た。基質としてヘミンの代わりにミオグロビンやヘモグロビンを用いてもZn-PPへの変換は起こることがわかった。しかし、反応の効率は低く、加えたヘミンの数%のみがZn-PPに変換されたにすぎなかった。

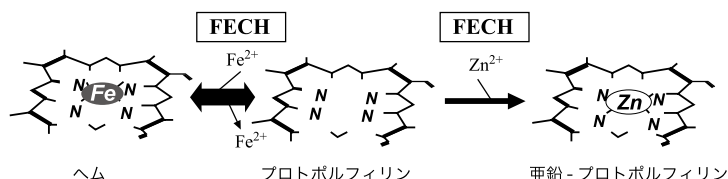


図3 FECHの可逆的反応

3. Zn-PP 生成の向上

変換の効率を改善するために、最初に試みたことは反応効率の高い酵素を探すことであった。反応の至適温度が 45 度であり、食肉を処理する実用化には比較的高温が使用可能なので、好熱菌 FECH が熱に安定である可能性があるので *Thermus thermophilus* ゲノムから FECH DNA を単離して大腸菌に発現させて Zn-PP の生成を調べたが、予想に反して好熱菌 FECH は活性が低く 45-50 度で反応させても高効率での変換は認められなかった。また、生ハムに含まれる好塩菌の一種 *Halomonas elongata* の FECH についても反応の性質を調べたが、満足の行く結果は得られなかった。生肉の塩処理による促進効果については、終濃度 1M NaCl を加えて反応させると 1.3 倍位活性は増加したが、大きな効果を得ることは出来なかった。また 10 mM NaNO₂ を添加すると阻害傾向を示した。そこで、豚肉での FECH による性質を調べるために、豚肝臓と腿肉（筋肉）での FECH 活性を調べた所、腿肉での活性は肝臓のそれよりも低く、また腿肉には脂肪分が豊富であり、脂肪酸などの種々の脂質が FECH 金属挿入反応を著しく活性化することを考えると腿肉の脂質が生ハムの Zn-PP 生成の鍵を握っているのではないかと考えられる。次に豚 FECH の性質が他の哺乳動物のそれらと異なる独特なことも考えられたので、豚 FECH cDNA を単離して性質を調べた。アミノ酸配列を他の動物と比較するとウシのそれとは 91%、ヒトとは 85% の高い相同性があり、動物 FECH の特徴であるカルボキシル基末端付近に鉄-イオウクラスターを形成するためのシステイン残基が保存されていた¹¹⁾。反応の速度論的な解析を行った所、正反応の kcat は逆反応のそれの約 12 倍におよびヘム合成に偏っていることがわかり、変

換反応ではヘム鉄の脱鉄が律速段階になり、生成したプロトポルフィリンへの亜鉛イオンの挿入は簡単且つ迅速に起きることが考えられる。亜鉛イオンの挿入反応の至適 pH は 8 付近であり、生肉中の pH 6 付近では活性は低いが、脱鉄反応速度の遅いことが、金属イオンの挿入を容易にすると考えられる。いずれにしても豚 FECH の性質はヒト酵素のそれに似ており、高い Zn-PP の変換をするまでには至らなかった。

そこで、より高い反応効率を得るための条件検討を行った。種々の試みを行った結果、還元剤として用いるアスコルビン酸の濃度を増加させると高い反応効率を得ることが分かった。ミオグロビン-ヘム鉄の還元には 1-2 mM で充分であるが、図 4 に示すように、濃度を増加させると Zn-PP 生成量が増加して 6-8 mM の場合に最も高値を示した。システインでも同様の値を示したが、グルタチオンや NADH-b5R では低値しか示さなかった。次に、リコンビナント FECH の検討を行った。遺伝子組み換え酵素を食品加工に用いることは、食の安全性を求める本題から外れるが、モデル実験としての他生物酵素を用いることを試みた。前述したようにバクテリア由来の FECH は活性が低く、用いた反応系には適していなかった。豚やマウスを始めとする哺乳動物由来の FECH は鉄-イオウクラスターを有するが故に、活性が不安定で、安定剤のグリセロールを加えて低温に保存しても 1 日で 20% 位に低下する。そこで、鉄-硫黄クラスターを持たない微生物や植物の FECH のリコンビナント酵素の使用を試みた。その結果、酵母 FECH は比較的活性が高く冷蔵庫で 1 ヶ月放置しても、半分位の活性を有することで最も有効であると考えた。そこで、ミオグロビンを基質に用いて酵母 FECH による脱鉄もしくは Zn-PP 生成反応を行った所、30 度の嫌気条件下でアスコルビン酸 (8 mM) を存在させるとミオグロビンの半分以上から Zn-PP を生

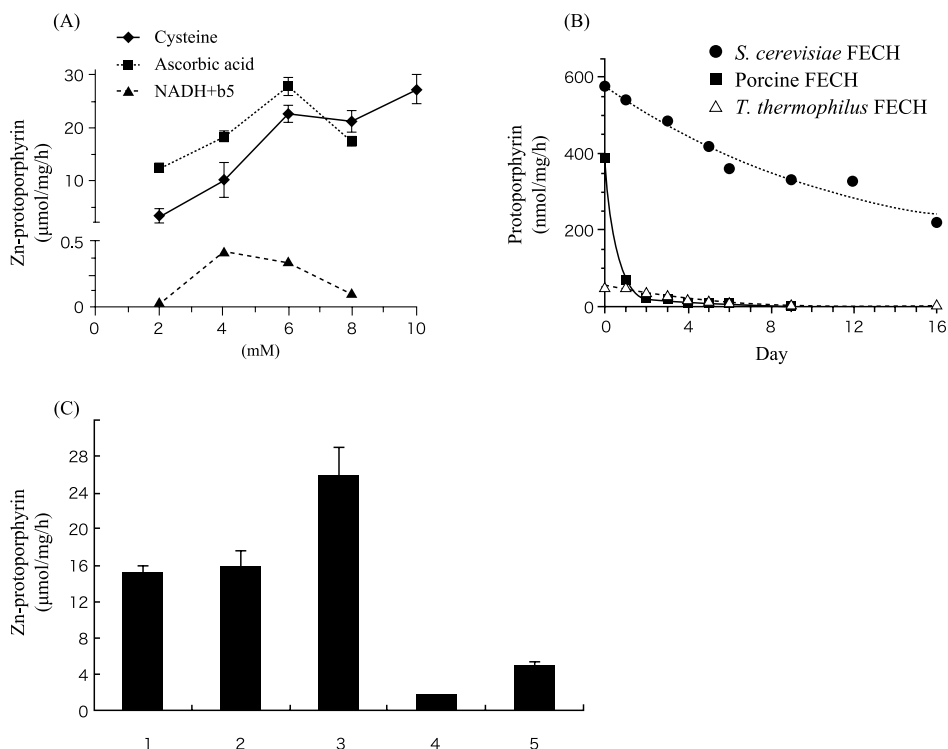


図4 (A) FECH による Zn-PP 生成反応の還元剤の効果
(B) ブタ、酵母および好熱菌の FECH 活性の安定性 (4 度で保存) の比較
(C) マウス (1)、ブタ (2)、酵母 (3)、好熱菌 (4) および好塩菌 (5) FECH によるミオグロビンから Zn-PP の生成の比較

成させることができた¹²⁾。また、生成の経時変化を調べた所、反応開始後 24 時間まで放物線様の曲線を示した。以上のように酵母 FECH を用いて、比較的短時間で高い変換活性を得た。一方で、ブタ FECH を用いて同様にミオグロビン-ヘム鉄から Zn-PP が生成する過程についても調べたところ、酵母 FECH の場合の 40% で、バクテリアでは 30% 程度であった。

4. 肉片内での Zn-PP の生成

豚生肉 (1g) を用いて、Zn-PP の生成を試みた。肉片を pH6.5 のリン酸緩衝液に入れて終濃度 8 mM アスコルビン酸を加えて 100 μM 亜鉛イオンと精製した酵母 FECH (0.3 μg) を加えて減圧窒素置換を入念に行って 30 度、24 時間

のインキュベートを行った。肉片を含む反応液に 50% エタノール/アセトンを加えて、強く攪拌してヘム類を抽出した。抽出液を石英セルに入れて紫外線を照射した所ピンク色を呈し、リコンビナント FECH を添加した場合には無添加の場合と比較して明らかに Zn-PP の量が増えた。また酵母 FECH はブタ FECH よりも顕著な効果が認められた。肉片を用いた場合は亜鉛添加した場合と無添加の場合の生成量には殆ど差がなかったが、アスコルビン酸添加では無添加の 1.3 倍の生成量を得た。また、この条件 1M NaCl 存在下でインキュベーションを試みたが生成量に変化は認められなかった。これらの結果、1g の肉片を用いた時にも、酵母 FECH を加えることで、Zn-PP 量の増加を認めた。そこで、肉中のヘムからの変換効率を調べた結果、

約 75% のヘムが Zn-PP に変わった(図 5)。また、反応の中間体であるプロトポルフィリン量は全体の 1% 以下であった。さらに、反応の容量を増やして 14-15g の豚肉片を用いて酵母 FECH (1 μ g) とアスコルビン酸を含む溶液 (1 ml) を注射器に入れて数箇所注射したあとよく揉んだ。これを真空デシケーターに入れて嫌気減圧下 30 度で 24 時間インキュベートして、紫外線照射すると肉片がピンク色を呈し、Zn-PP の生成を認めた。アセトン・エタノール抽出を行って、ヘム・Zn-PP の定量を行った。図 6 に示すように Zn-PP (65-70%)、プロトポルフィリン (15%) およびヘム (15-20%) であった¹³⁾。FECH 無添加の場合でも同様な条件で 15-20% のヘムが Zn-PP に変換した。従って、酵母リコンビナント FECH を用いることでほぼ 1 日の反応で、亜鉛添加を行うことなく生ハムの Zn-PP 含量と同様に変換させることができた。

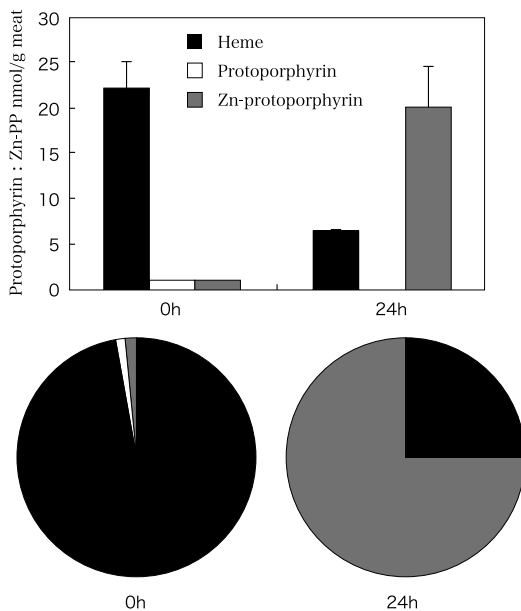


図 5 ブタ肉片 (1g)、酵母 FECH、アスコルビン酸 (8mM) をリン酸緩衝液 (pH6.5) 中で嫌気条件 30 度 24 時間反応させた時の反応前後のヘムの減少と Zn-PP の増加 (上)；反応前後のヘム、プロトポルフィリン、Zn-PP 組成 (下)

5. 今後の展開

Zn-PP を生成させるに当たって、嫌気・減圧下でリコンビナント FECH を用いて変換効率を上げることができた。従って、Zn-PP 生成はミオグロビン-ヘムが弱い酸性条件で、蛋白質と解離した還元型ヘムに FECH が作用して脱鉄を行ってプロトポルフィリンが生成して、直ちに豊富な亜鉛イオンがそのまま導入されて Zn-PP が産生されることが分かった。反応のさらなる効率化はリコンビナント FECH を増量することで達成できると考えられるが、我国では遺伝子操作食品の生産に対して高いハードルがあり、食の安全性の探求として新しく開発されようとする Zn-PP 生成に遺伝子操作を用いることは新たな問題を生むものである。酵母の FECH 含量は極めて低く、分離精製することには大変困難である。乾燥酵母からミトコンドリアを得て酵素源として用いることで、比較的簡単に Zn-PP を産生させることが出来る。哺乳動物の FECH はミトコンドリア膜から可溶化すると極端に不安定になるが、ミトコンドリア調製段階では比較的安定である。従って、ブタやウシ肝臓ミトコンドリアを生肉に加えると反応

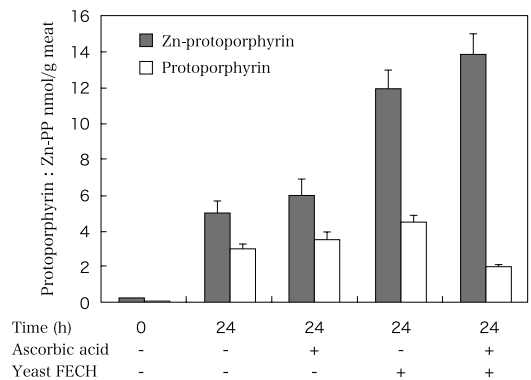


図 6 ブタ肉片 (15g) に酵母 FECH とアスコルビン酸 (±) を加えて嫌気条件で 30 度 24 時間反応させた場合の Zn-PP の生成

を高めることが可能になる。

ミオグロビンは細胞質に存在しているが、FECHはミトコンドリア内膜に局在している。従って、生細胞ではFECHが直接ミオグロビンと接触する機会はないと考えられる。FECHがZn-PP生成を触媒する場所については、未だ特定できない。我々は、一部のFECHはミトコンドリア外膜にも局在することを明らかにしたが¹⁴⁾、これがZn-PPの生成に関係するかどうかは不明である。一方、生ハムの製造には1年以上の長時間の日数を必要とし、Zn-PP生成も製造開始後1ヶ月位から増加仕始めることが報告されている¹⁵⁾。このZn-PP生成のタイムラグは、新鮮な組織よりもむしろプロテアーゼやリパーゼによって生体膜が破壊されて初めてFECHとミオグロビンの接触が可能になることに原因があるとも考えられる。従って、組織の破壊がZn-PP生成を早めると考える。

未だ同定されていないZn-PPを有する生物種の探索や脱鉄反応を優先的に行うFECHを単離することによって、さらにZn-PP生成を促進させることが可能になる。実際、生ハムには好塩菌を始めとする何種類かの微生物が生息しており、これらがZn-PP生成や独特の香りを作り出すとも言われており微生物由来の酵素や化合物の関与についても今後検討する必要がある。従って、本報では、Zn-PP生成の基本的な機構の解明を示したに過ぎず、まだまだ工夫

されるべき問題が多い。

おわりに

FECHの脱鉄反応は、細胞外だけでなく生細胞内でも機能することを示唆する結果を得た。ヘムからプロトポルフィリンを産生して再びヘムを合成する意義はヘム蛋白質—ヘムの再利用とも考えられ、今後さらに検討する課題である。一方、リコンビナントFECHを用いたZn-PPの生成の解明について食肉加工の新しい色素を生み出すことや生ハムの製造工程の短縮化に繋がる等をヨーロッパの研究者と話し合った時のコメントに、また日本人が生ハムのイミテーションを作っていることを考えていると言われたことがあることが忘れられない。ヨーロッパの古典的な考え方と誇りは計り知れないものがあるが、我々もまた、単なる人工的産物を作るための考え方を捨てて、新しい天然物をヘム鉄に配位させるなどの食の安全性をより考慮した食色素の開発への努力の必要性を感じる。

謝辞

本研究を行うに当たり、多くの助言を頂きました伊藤ハム株式会社中央研究所の沼田正寛所長ならびに上林裕史氏に深く御礼申し上げます。また本研究の一部はうま味研究会の研究助成によって行われた。

..... 参考文献

- 1) Moller, J. K. S. and Skibsted L. H. (2002). Nitric Oxide and Myoglobins. *Chem. Rev.* **102**(4): 1167-1178, 2002.
- 2) Santarelli, R.L., Vendeuvre J.-L., Naud, N., *et al.* Meat processing and colon carcinogenesis: cooked, nitrite-treated, and oxidized high-hemecured meat promotes mucin-depleted foci in rats. *Cancer Prev. Res.* **3**(7), 852-864, 2010.
- 3) Toldrá, F. and Aristoy, M. C. Dry-Cured Ham. *Handbook of Meat Processing*. Hoboken, NJ, Wiley-Blackwell: 351-362, 2010.
- 4) Wakamatsu, J., Nishimura, T., Hattori, A. Establishment of a model experiment system to elucidate the mechanism by which Zn-protoporphyrin IX is formed in nitrite-free dry-cured ham. *Meat Sci.* **68**(2): 313-317, 2004.
- 5) Taketani, S. and Tokunaga, R. Rat liver ferrochelatase. Purification, properties, and stimulation by fatty acids. *J. Biol. Chem.* **256**(24): 12748-12753, 1981.
- 6) Taketani, S. and Tokunaga, R. Non-enzymatic heme formation in the presence of fatty acids and thiol reductants. *Biochim. Biophys. Acta.* **798**(2): 226-230, 1984.
- 7) Taketani, S. "Aquisition, mobilization and utilization of cellular iron and heme : endless findings and growing evidence of tight regulation. *Tohoku J. Exp. Med.* **205**(4): 297-318, 2005.
- 8) 林純一, ミトコンドリア ミステリー Blue Backs 講談社, 東京, 2002.
- 9) Wakamatsu, J.-i., Okui J., Hayashi, N., *et al.* Zn protoporphyrin IX is formed not from heme but from protoporphyrin IX. *Meat Sci.* **77**(4): 580-586, 2007.
- 10) Taketani, S., Ishigaki, M., Kitajima S. *et al.* Heme synthase (ferrochelatase) catalyzes the removal of iron from heme and demetalation of metalloporphyrins. *Biochemistry* **46**(51): 15054-15061, 2007.
- 11) Taketani, S. Molecular and genetic characterization of ferrochelatase. *Tohoku J. Exp. Med.* **171**: 1-20, 1993.
- 12) Chau, T. T., Ishigaki, M., Taketani, S. *et al.* Porcine Ferrochelatase: The Relationship between Iron-Removal Reaction and the Conversion of Heme to Zn-Protoporphyrin. *Biosci. Biotechnol. Biochem.* **74**(7): 1415-1420, 2010.
- 13) Chau T. T., Ishigaki, M., Taketani, S. *et al.* Ferrochelatase Catalyzes the Formation of Zn-protoporphyrin of Dry-Cured Ham via the Conversion Reaction from Heme in Meat. *Agric. Food Chem.* **59**, 12238-12245, 2011.
- 14) Sakaino, M., Ishigaki, M., Taketani, S., *et al.* Dual mitochondrial localization and different roles of the reversible reaction of mammalian ferrochelatase. *FEBS J.* **276**(19): 5559-5570, 2009.
- 15) Adamsen, C.E., Møller, J.K., Parolari, G., *et at.* Changes in Zn-porphyrin and proteinous pigments in italian dry-cured ham during processing and maturation. *Meat Sci.* **74**(2):373-379, 2006.

ホタテガイ中腸腺からのカドミウム除去方法の開発

齊藤 貴之^{*1} 中居 久明^{*2}

^{*1}SAITO Takayuki (八戸工業高等専門学校 物質工学科), ^{*2}NAKAI Hisaaki (青森県産業技術センター)

Key Words：ホタテガイ・中腸腺・カドミウム・イオン交換樹脂

はじめに

青森県におけるホタテガイ (*Patinopecten yessoensis*) の生産量は、8～10万トン/年であり、生産額は100億円/年である¹⁻²⁾。また、青森県のホタテガイは、養殖が95%で、加工による出荷が80%以上となっている。ホタテガイで食用となるのは貝柱であり、その他は廃棄物となる。加工に伴う廃棄物は、貝殻5万トン/年、内臓系廃棄物3万トン/年であり、生産量の約80%が廃棄物となっている。廃棄物の中で、図1に示す中腸腺はEPA(エイコサペンタエン酸)やDHA(ドコサヘキサエン酸)など有価物を豊富に含み、その潜在的価値は非常に高い。しかしながら、高濃度のカドミウム

(乾燥重量当り最大100ppm)も蓄積しているため有効利用されず、青森県では全量が焼却廃棄処分されているのが現状である。廃棄される中腸腺は約8,000トン/年であり、処理費用は約3億円/年にも達する。近年の燃料費高騰に伴う処理費用の増大は、ホタテガイ生産の利益を押し下げており、中腸腺の有効利用法の開発が望まれている。

中腸腺の有効利用法の開発では、作田ら³⁻⁴⁾は硫酸処理により中腸腺のカドミウムイオンを溶出させ、電解処理によりカドミウムを回収する方法を開発した(電解法)。電解法は連続的にカドミウム除去できる画期的な方法で、大型装置で中腸腺を大量処理できる特徴があり、北海道では実用化もされた。一方で、電極にホタテガイの脂肪成分などの有機物が付着したり、処理中に有用成分が消失したりするなどの問題から、処理装置は継続して稼働することがなかった。また、北海道に比べ生産量が1/4程度の青森県では、漁港毎に小規模に処理する場合が想定されるため、電解法は電力を多大に消費することから不向きであった。

青森県でも中腸腺の有効利用法が研究され、イミノ二酢酸型のイオン交換樹脂を用いたカドミウム除去法が進められている(イオン交換法)⁵⁻⁶⁾。イオン交換法では電解法より低電

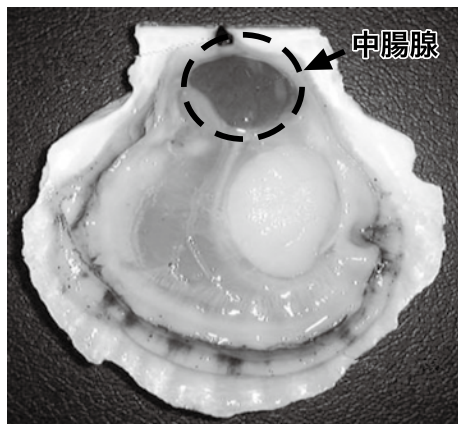


図1 ホタテガイ外観

力で処理でき、小規模な装置にできる利点がある。しかしながら中腸腺を粉碎するため、粉碎物による捕集材の不活性化やそれに伴う捕集材再生工程の増加という問題があった。さらに、これまでは水分を含んだままの中腸腺を使用していたため処理前や処理中に腐敗する問題もあり、何らかの対策が必要であった。

本研究グループでも、中腸腺の有効利用法の開発として、超臨界二酸化炭素を利用した EPA・DHA の精製⁷⁾ およびイオン交換法による中腸腺からのカドミウム除去法の開発^{6, 8)}を行っている。本稿では、イオン交換法による中腸腺からのカドミウム除去法の開発の一例を紹介する。

1. グラフト重合捕集材による除去

(1) 実験方法

中腸腺は、青森県はたて貝廃棄物処理協同組合より入手し、前処理として 90℃で、24 hr 乾燥させた。中腸腺中のカドミウム初濃度は、後述する湿式熱分解と高周波誘導結合プラズマ (ICP) 発光分析により求めた。中腸腺中のカドミウム初濃度は採取時期により変化するが、本実験に用いた試料では 30 個の平均で 20 ppm であった。捕集材は、日本原子力開発機構高崎量子応用研究所において開発されたイミノ二酢酸型グラフト重合捕集材を使用した。内容積 9.4 mL ($\phi 1.0$ cm $\times$ 12 cm) のカラムに捕集材 4.8 g を充填しカドミウム捕集カラムとした。捕集材量は、乾燥中腸腺 30 g 中のカドミウムを理論上全て吸着できる量とした。

中腸腺中のカドミウムイオンは、酸処理により溶出する。本研究では、処理後の中腸腺を食用として利用することを想定し、有機酸であるリンゴ酸を使用した。処理液は 0.10 mol/L リンゴ酸溶液 300 mL、乾燥中腸腺量は、30、20、15 g とした。すなわち溶液体積に対する中腸腺

質量の比を固液比とし、それぞれ 1/10、1/15、1/20 g/mL に調整した。処理温度は 40、50、60℃とし、溶液の循環速度は 11.8、25.0、38.8 mL/min と装置運転の下限、上限および両者のほぼ中間の値に設定した。

恒温槽中のリンゴ酸溶液に所定量の乾燥中腸腺を入れ、溶液はカラムを通して循環させた。各々の条件において、一定時間ごとに中腸腺 3 個 (約 1.0 g) と溶液 5.0 mL を取り出し、どちらも完全に乾燥させた。中腸腺は乾燥後、乳鉢で粉碎した。次に濃硝酸と過塩素酸または濃硫酸を用いた湿式熱分解により中腸腺および溶液中の有機物を完全に分解させた。続いて、蒸留水を加えてイオン類を溶解し、イオン濃度分析用試料を調製した。最後に ICP 発光分析装置により分析試料中のカドミウム量を測定し、中腸腺および溶液中のカドミウム量を求めた。各々の条件における中腸腺および溶液中のカドミウム量を経時測定し、カドミウム除去に及ぼす固液比、処理温度、循環速度の影響を調べた。同一条件の測定を 3 回繰返し、各条件におけるカドミウム量は平均値として表した。

(2) 結果および考察

図 2 は実験開始時の固液比 1/20 g/mL、60℃における循環速度に対する中腸腺のカドミウム

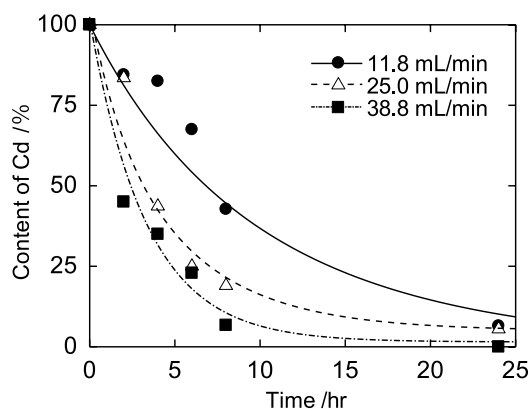


図 2 循環速度に対する中腸腺中のカドミウム濃度の経時変化

濃度の経時変化である。どの循環速度においても時間の経過と共に中腸腺のカドミウム濃度は減少し、カドミウム除去が進行していた。また 11.8 mL/min に比べて、25.0 mL/min と 38.8 mL/min では単位時間あたりのカドミウム濃度減少量は増大していた。最終的に 24 hr 後のカドミウム濃度は、それぞれ 6.5 % (11.8 mL/min), 5.5 % (25.0 mL/min), 0.0 % (38.8 mL/min) となった。ここで、カドミウム濃度は初濃度に対する百分率とした。特に 38.8 mL/min では 3 回の実験で中腸腺のカドミウム濃度は常に 0.0 % となり、カドミウムは完全に除去できることがわかった。一方、溶液循環時の溶液中のカドミウム濃度は、常に 0.1 mg/L 以下であった。本実験と同様の循環法で無乾燥の中腸腺を用いた場合でも、溶液中のカドミウム濃度は 48 hr 後において 0.07 mg/L であり、破過前の捕集材は高い吸着能を持つことが示されていることから⁹⁾、溶液の循環により溶出したカドミウムイオンはほぼ完全に捕集材に吸着していることが示唆された。

他の固液比で試験した結果でも、循環速度の増加に伴い単位時間あたりの中腸腺中のカドミウム濃度減少量は増大し、溶液中のカドミウム濃度は常に 0.1 mg/L 以下であった。よって、循環速度が大きいほどカドミウム除去率が高いことがわかった。また本実験における温度・pH 範囲において捕集材へのカドミウム吸着の分配係数は約 700 であり⁵⁾、溶液中のカドミウム濃度が低く保たれていることから、中腸腺からのカドミウム除去速度はカドミウム溶出が律速になっていると示唆される。

図 2 の結果より、24 hr 後には中腸腺のカドミウム濃度が 0.0 % となる条件があることから、中腸腺のカドミウム除去には 24 hr の処理で十分と考えられる。電解法でも酸処理と電解によるカドミウムの析出を同時に行い、24 hr で約 98 % のカドミウムを除去できると報告さ

れている⁴⁾。また、無乾燥試料を用いたイオン交換法でも条件は異なるが 50 °C、固液比 1/5 g/mL、循環速度 42.4 mL/min において 24 hr 後に 98 % 以下のカドミウム除去率を達成している⁵⁾。そこで本実験でも同様に 24 hr 後に 98 % 以上のカドミウムを除去できる条件を決定することとした。

各因子の影響を評価するため、循環速度・温度・固液比のいずれかを固定し、他の因子を変化させた際の 24 hr 後における中腸腺中のカドミウム濃度を比較した。循環速度以外の因子では、温度は高く、固液比は小さいほどカドミウム除去率が良かったことから、各因子は、それぞれ最もカドミウム除去率の良い値、すなわち循環速度 38.8 mL/min (図 3)、温度 60 °C (図 4)、固液比 1/20 g/mL (図 5)、で固定した。図 3 では、全ての条件で 13.7% 以下であり、温度を上げる、または固液比を高くするほどカドミウム濃度は低下した。特に 50 °C 以上の高温では固液比に関わらず 1.5% 以下となった。この条件ではカドミウム除去率が 98 % 以上であり、電解法および無乾燥試料のイオン交換法のカドミウム除去率と同等である⁴⁻⁵⁾。

つづいて図 4 および図 5 ではそれぞれ、固液比に関わらず循環速度 38.8 mL/min および 50 °C

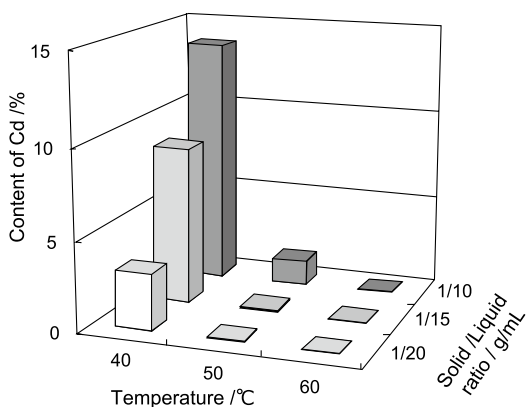


図 3 循環速度 38.8 mL/min における中腸腺中のカドミウム除去に及ぼす各因子の影響

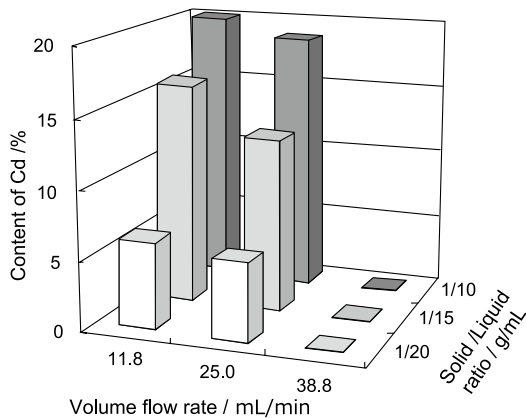


図4 温度 60℃における中腸腺中のカドミウム除去に及ぼす各因子の影響

以上において、カドミウム除去率が 98 % 以上となった。よって、98 % 以上のカドミウム除去率を達成するには、循環速度 38.8 mL/min, 50 °C 以上の条件が必須であり、他の循環速度や 40 °C の条件では固液比を調整しても不十分であることがわかった。装置の規模や運転コストを考慮すれば、循環速度 38.8 mL/min, 温度 50 °C とすると、固液比は溶液体積の少ない 1/10 g/mL が本実験条件範囲内での最適条件といえる。

さらに本除去法では 24 hr 後において捕集材に変色はあるものの不純物の蓄積はなかった。無乾燥試料のイオン交換法では、捕集材が不活性化し繰返し使用ができなかったが、本除去法では捕集材は 3 回までは繰返し使用できた。よって 24 hr 処理で同様のカドミウム除去率を達成できる本除去法は無乾燥試料のイオン交換法より優位な方法といえる。食品中のカドミウム濃度は食品衛生法、飼料安全法、肥料取締法においてそれぞれ 0.9 (米類), 2.5, 5.0 ppm 以下と定められている。本研究で得られた結果より、循環速度を 38.8 mL/min とすれば 50 °C で処理することにより、電解法と同様のカドミウム除去率を達成でき、中腸腺は肥料や飼料への利用が可能となる。

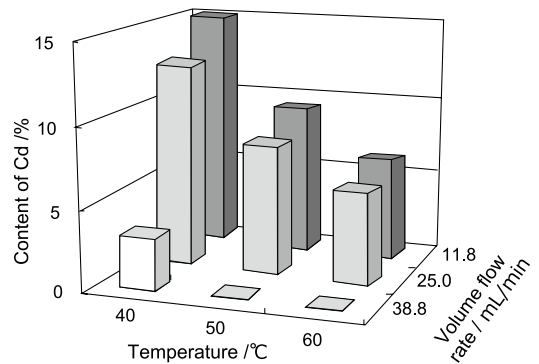


図5 固液比 1/20 g/mL における中腸腺中のカドミウム除去に及ぼす各因子の影響

一方で、生の中腸腺とは異なり、乾燥させた中腸腺ではカドミウム除去中に中腸腺の腐敗は見られなかったが、50 °C, 24 hr の処理では時間経過と共に微生物の繁殖により中腸腺の品質が劣化することも考えられ、処理時間の短縮が要求される。また、捕集材を繰返し使用するほど処理費用は低く抑えられるため、捕集材の再生方法の最適化が必須である。今後、処理時間の短縮と捕集材の再生方法の最適化により、中腸腺処理装置としての実用化は十分可能であると期待される。

まとめ

本稿では、イオン交換樹脂のグラフト重合捕集材を用いたホタテガイ中腸腺からカドミウム除去法の開発について紹介した。乾燥したホタテガイ中腸腺を用いた場合では、捕集材への有機物の蓄積が少なく、中腸腺の腐敗も見られなかったため、効率よくカドミウムを除去できることを示した。一方で、処理温度が高温になるほどカドミウム除去効率は良くなるが、50 °C の場合でも 24hr の処理時間を必要とした。高温かつ長時間処理では微生物の繁殖により中腸腺の品質が劣化することも想定されるため、短時間の処理が望まれる。現在、短時間のカドミウ

ム除去法の構築を目指して、イオン交換法と電解法を組み合わせたカドミウム除去法の開発を進めている。

以上、ホタテガイ中腸腺の有効利用法の開発として、イオン交換樹脂を利用したカドミウム

除去法の開発に関する研究を紹介したが、本方法は他の魚貝類にも応用できカドミウム以外の有害金属にも適用が可能である。今後も人々の安全な食生活に貢献できるよう研究を進めていく予定である。

・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 文 献 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・

- 1) 青森県農林水産部, 平成 22 年度 図説農林水産業の動向, pp.64, 青森県, (2011).
- 2) 青森県農林水産部, 平成 22 年度 統計資料, pp.92, 青森県, (2011).
- 3) 作田庸一, 富田恵一, 藤島勝美, ホタテガイ副産物の処理・利用技術に関する研究開発 (第 3 報) - 中腸腺からのカドミウム除去-, 北海道立工業試験場報告, **292**, 9-12 (1993).
- 4) 作田庸一, 富田恵一, 若杉郷臣, 藤島勝美, ホタテガイ副産物の処理・利用技術に関する研究開発 (第 5 報) - 電解法による重金属除去技術の基礎的研究 -, 北海道立工業試験場報告, **294**, 41-45 (1995).
- 5) 中居久明, 瀬古典明, 玉田正男, 天間毅, 小熊正臣, ホタテ貝加工残渣の有効利用に関する研究 - ボイルされたホタテ貝中腸腺からのカドミウム除去-, 日本イオン交換学会誌, **15**, 10-15 (2004).
- 6) 中居久明, 天間毅, 玉田正男, 齊藤貴之, 澤村利洋, 本間哲雄, 佐藤康士, ほたてがいうろからカドミウムを除去する装置の開発, 産業技術連携推進会議東北北海道地域部会研究論文集, **6**, 45-48 (2007).
- 7) 齊藤貴之, 超臨界二酸化炭素を用いたホタテガイ内蔵からの EPA および DHA エチルの精製, *New Food Industry*, **52** (6), 9-16 (2010).
- 8) 齊藤貴之, 古川崇博, 蒲田博隆, 玉田正男, 中居久明, ホタテガイ (*Patinopecten yessoensis*) 中腸腺からのイオン交換法を用いたカドミウム回収方法の検討, 日本水産学会誌, **74**, 216-218 (2008).
- 9) 中居久明, 上野桂, 天間毅, 玉田正男, 澤村利洋, 齊藤貴之, 本間哲雄, 佐藤康士, ホタテ貝加工残渣の有効利用システムの開発, 平成 16 年度版青森県工業総合研究センター事業報告書, pp. 175-180, 青森県, (2006).

フォトセンサと画像処理技術を活用した エダマメ用高精度選別機械の開発

片平 光彦^{*1} 張 樹槐^{*2} 田村 晃^{*3} 大泉 隆弘^{*4} 夏賀 元康^{*5}

^{*1} KATAHIRA Mitsuhiro, ^{*5} NATSUGA Motoyasu (山形大学 農学部), ^{*2} ZHANG Shu-Huai (弘前大学),

^{*3} TAMURA Akira (秋田県農林水産技術センター), ^{*4} OHIZUMI Takahiro (株式会社山本製作所)

Key Words: エダマメ・選別・画像処理・工業用機械・作業効率・精度・開発・実験

はじめに

エダマメの生産は、播種作業や防除作業を中心に大豆用機械の利用が進み、作業能率の改善や湿害回避による収量の増加が顕著である。その一方で、エダマメの作業体系では、中耕作業や収穫調製作業での作業能率が低く、栽培面積の拡大による収益増加が困難な現状にある。これに対し、中耕作業では、作業能率がロータリカルチベータの1.7～1.9倍に改善するディスク式中耕機が開発されるなど、課題の解決が図られている¹⁾。収穫作業では、エダマメ株の抜き取りを行う歩行収穫機や収穫脱莢を同時に行うエダマメハーベスタの開発が進み、中耕作業と同様に作業能率の改善が進んでいる²⁾。

中耕と収穫作業の高能率化が進む一方で、エダマメの調製作業は脱莢、洗浄、粗選別、精選別、袋詰め of 各作業が個別に行われている。エダマメは、収穫直後から糖やグルタミン酸の低下が始まるため、これらの調製作業を迅速に行う必要がある。しかし、精選別作業は人手で莢の傷害や子実の熟度を確認しながら良品と不良品に分類するため、作業時間が10aあたり48時間と調製作業の中で最も長く、早期予冷による品質保持に大きな障害となっている。精選別作業の能率を高めるには、高能率な選別機の導入が

不可欠であるが、エダマメ用の選別機開発は、これまで画像処理を用いた選別機^{3,4)}やエダマメの全面撮像⁵⁾などの選別手法を中心とした研究段階に止まっており、生産現地への普及が進んでいない。その理由として、エダマメは果樹や果菜類と異なり等級数が少なく、明確な選別項目や選別基準が示されていないため、機械選別に必要な傷害の類型化や定量化が明らかになっていない。

そこで、本報は選別時間が現在の約20%に相当する10aあたり8時間、選別率が0.6以下となるエダマメ選別機を開発するため、以下の研究を行った。最初に、エダマメの選別基準を明確にするため、エダマメに発生した機械的損傷を類型化し、消費者に対するアンケート調査から選別が必要な傷害とその程度を明らかにした。次いで、前記したエダマメの選別基準と画像処理による傷害検出方法、および透過画像を利用した子実熟度検出方法⁶⁾を用いたエダマメ選別機を試作し、作業能率と選別精度を調査した。最後に、試作機を改良した実用規模のエダマメ選別機を開発し、生産現地で作業能率と選別精度を調査した。

1. 試験方法

(1) 主要傷害の分類と選別基準の策定

1) 試験材料

収穫時期とエダマメ莢の傷害に対する試験は、2005年と2006年に秋田県農林水産技術センターで栽培したエダマメ（品種：錦秋，秘伝）を用いた。収穫は、錦秋が開花後41～54日，秘伝が開花後54日に手作業で行った。収穫したエダマメは、農家で一般的に行われている体系に従い、自動脱莢機（マツモト，KX-Ⅲ型）で脱莢した後，振動式の選別機（マツモト，GS-4型）で粗選別を行った。

選別したエダマメに対する調査は、2006年に秋田県A地域の生産者がA品と規格外に手選別したエダマメ（品種：秘伝，調査莢数714個，全質量1894g）を用いた。なお，A品については，参考として同じ生産者の他品種（中生種，中晩生種）と東京都の太田市場から他産地の製品（1試験区あたり平均調査莢数410個，平均全質量1295g）を購入して調査した。

2) 調製方法

粗選別したエダマメは，秋田県仙北地域の出荷規格を参考にA品（病虫害の被害やその他傷害のない，1莢に2粒以上に充実した莢），B品（形状，光沢が劣り，汚れや傷がやや混入している莢），規格外（1粒莢，奇形莢，病虫害莢，裂莢，割莢）に手選別した。また，出荷規格別に分類したエダマメは，脱莢時に発生したと判断される機械的損傷を特徴別に再分類した。

3) 調査項目と試験の構成

a. 傷害の時期別発生程度

エダマメに対する収穫時期別の出荷規格構成割合については，開花後41日を収穫適前期（調査莢数1941個，全質量7779g），49日を収穫適期（調査莢数2523個，全質量9711g），54日を収穫適期後（調査莢数1818個，全質量7008g）

として調査した。なお，収穫時期別の調査は，試験地域で一般的に栽培されている錦秋に対して行った。秘伝は，開花後54日の収穫適期（調査莢数1023個，全質量3392g）に実施した。各試験区では，各出荷規格と機械的損傷にそれぞれ分類し，質量基準で構成割合を算出した。

なお，エダマメは図1に示すとおり，莢の各部位を顎，縫合線（腹部，背部），花柱，莢の中心を胴と呼称する。

b. 莢に含まれる傷害の分類

生産者が選別したA品と規格外のエダマメは，病害や虫害で莢に変色部を有した傷害（以下，病虫害），莢に未熟な子実を含む傷害（以下，子実熟度），変形した莢や1粒莢を含む傷害（以下，形状），脱莢時に機械的損傷を受けた莢（以下，機械的損傷）に分類し，それぞれ質量基準で構成割合を算出した。

c. 傷害に対する消費者の意向調査

傷害に対する消費者の意向調査は，病虫害と機械的損傷を受けたエダマメに対して行った。

病虫害は，発生程度が異なる5個のエダマメを目視により選抜してデジタルカメラ（320万画素）で撮影し，片平の方法⁷⁾で抽出した莢全体（ S_a ）と傷害部（ S_b ）の画素数を計測して両者の面積比率（ $\%: S_b/S_a$ ）を算出した。それらのエダマメは，図2に示すとおり任意に並べて写真を撮影し，それを秋田県内の消費者（12名）に示して購入可能な傷害程度について対面法で聞き取り調査を行い，許容率とその標準偏差を算出した。

機械的損傷に関して，傷害別に類型化した莢

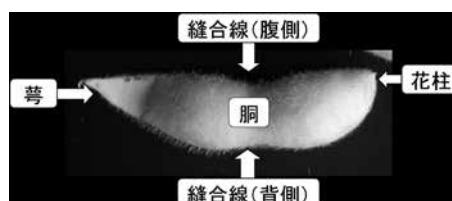


図1 エダマメ莢の名称

をそれぞれ3莢抽出し、それを1袋にまとめたサンプルを消費者に示し、購入の可否を対面法で聞き取り調査を行い、許容率とその標準偏差を算出した。

(2) エダマメ選別機の試作

1) 試験場所と供試材料

エダマメの選別試験は、2007年に山形県鶴岡市と秋田県大仙市の生産者調製作業場、株式会社山本製作所で行った。

供試材料は、山形県鶴岡市（品種：庄内3号；中生）と秋田県大仙市（品種：あきた香り五葉；中晩生，秘伝；晩生）の生産者が栽培したエダマメ，秋田県農林水産技術センターで栽培したエダマメ（品種：秘伝；晩生）を用いた。収穫したエダマメ莢は，定置式脱莢機（ミツワ，KX-D2V2）で脱莢し，選別機（ミツワ，GS-4SD）で粗選別を行った。なお，粗選別を行った秘伝の一部は，収穫適期以降での選別試験に使用するため， -50°C に設定した冷凍庫で保存した。使用した各品種の形状の平均値を表1に示す。

2) 試作エダマメ選別機の概要

株式会社山本製作所で試作したエダマメ選別機（以下，試作機と呼称）を図3に示す。試作機は，エダマメ莢を搬送する第1，第2ベルトコンベア（ベルト幅：300mm）と整列搬送機構，検出部，制御部，分離部で構成し，長さ1700mm，幅500mm，高さ1500mmの形状である。なお，ベルトコンベアは，第1と第2の間

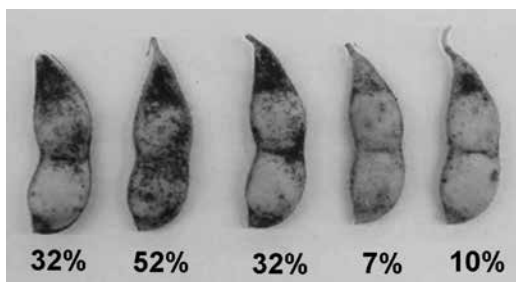


図2 エダマメと傷害の面積比率

に速度差（第1<第2）を付けて配置し，エダマメ莢の引き離しを行った。

a. 整列搬送機構の概要

エダマメ莢を精度良く選別するには，種々の方法を駆使して表1に示すエダマメ莢の長辺部分を搬送方向と平行な状態で一莢ずつ検出部に投入することが必要である⁵⁾。試作機には，エダマメ莢の姿勢を安定させるため，これまでの知見に加えて整列ロール，整列回転体，搬送路で構成する整列搬送機構を考案して組み込んだ⁸⁾。整列搬送機構の概要を図4と図5に示す。

整列ロールは，全周に柔軟性を有した軟質ポリエチレン素材を巻き付けた長さ300mm，直径28mmのもので，エダマメ莢との接触面がベルトコンベアの進行方向と逆向きに回転する。

整列回転体は，四三酸化鉄皮膜で表面処理した直径25mm，幅8mmの鉄製円柱2枚の間にニトリルゴム製の整列棒（ $\phi 3$ ，長さ60mm）4本を取り付けたもので，整列ロールと同じ向きに回転する。試作機には，この整列回転体をベルトコンベアの幅方向に任意の間隔で5～8個配置した。

搬送路は，高さ16mmのステンレス製(SUS430)素材の搬送ガイドをベルトコンベア内に50mm幅と35mm幅に設置し，合計4条を作成した。搬送路の幅は，エダマメ莢の搬送姿勢を段階的に修正するため，差を付けて設定した。

表1 供試品種の形状

項目		長辺 (mm)	短辺 (mm)	厚さ (mm)
供試品種	1粒莢	31 (3)	13 (1)	8 (1)
	2粒莢	42 (3)	13 (1)	8 (1)
	3粒莢	49 (2)	13 (1)	8 (1)
庄内3号	1粒莢	—	—	—
	2粒莢	60 (3)	15 (1)	10 (1)
	3粒莢	67 (4)	15 (1)	10 (1)
あきた 香り五葉	1粒莢	46 (2)	14 (1)	9 (1)
	2粒莢	64 (4)	16 (1)	11 (1)
	3粒莢	73 (4)	16 (1)	11 (1)

注1：() 内数値は標準偏差

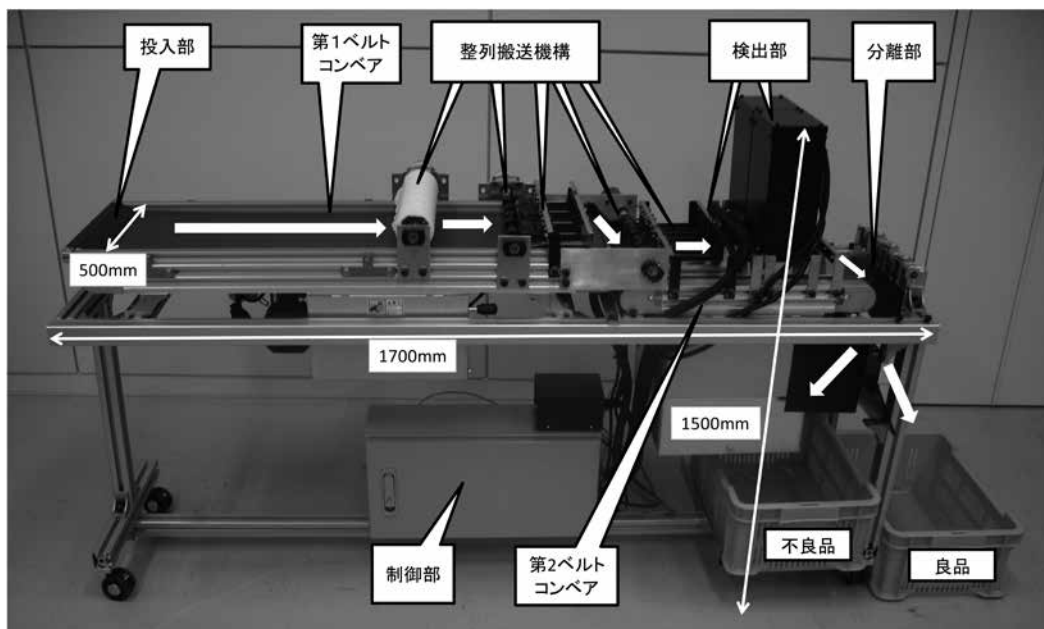


図3 試作エダマメ選別機

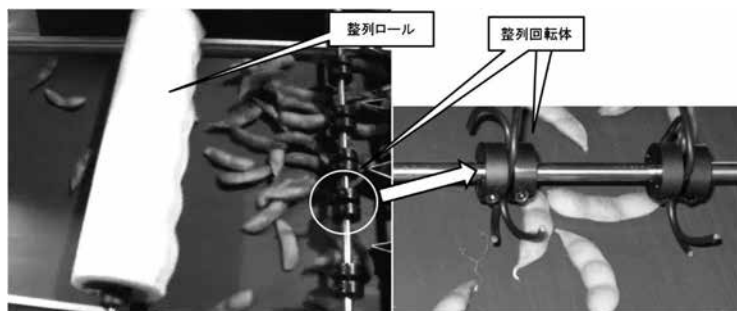


図4 整列用ロールと整列回転体

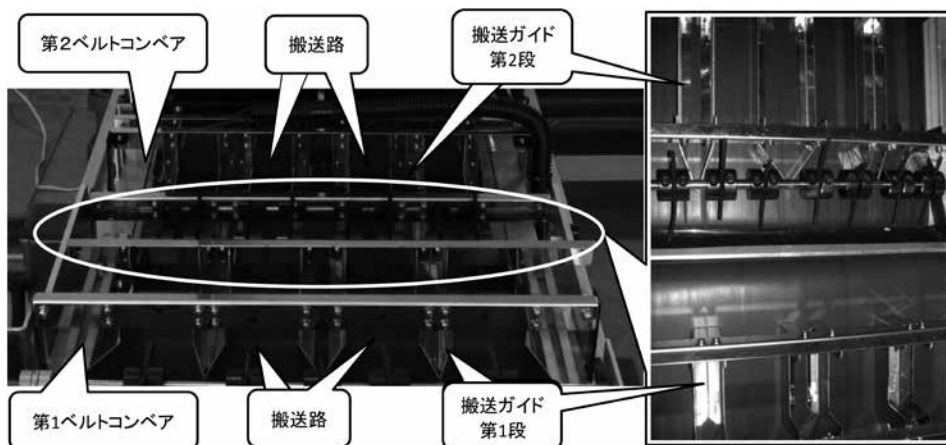


図5 搬送ガイドと搬送路の配置

b. 検出部の概要

検出部は、第2ベルトコンベアの端に子実熟度検出部、傷害検出部の順序で設置した⁹⁾。両検出部の模式図を図6に示す。

子実熟度の計測は、アナログ出力型ファイバーセンサ (azbil, HPX-MA, 出力範囲: 1 ~ 5V, 応答時間: 1 ~ 50ms) に取り付けられた光ファイバー (azbil, HPF-T021T, スクリーン幅: 15mm) で行い、第2ベルトコンベア内の搬送ガイド端に投光部と受光部を設置した。ファイバーセンサは、投光部と受光部の間をエダマメ莢が通過した際に変化する光量を検出し、それをアナログ信号として出力する。

傷害検出部は、照明2台と1台の CCD カメラ (ワテック, WAT-250D, 有効画素数: 768 × 494, 解像度: 450TV 本) の全周を黑色鉄製のカメラボックスで被覆した。傷害検出部は、第2ベルトコンベア上方に2基配置し、CCD カメラ1台で2本の搬送路から運ばれるエダマメ莢の撮像を行った。

c. 制御部と分離部の概要

ファイバーセンサと CCD カメラは、画像判別装置 (ルネサス北日本セミコンダクタ, NVP-935N, OS; μITORON) とシーケンサ (Panasonic, FPG-C32T, 制御 I/O 点数 32 点) で構成した制御部に接続されており、そこで得られた情報の処理を行い、良品と不良品に判定した。

分離部は、図7に示す4枚の選別板で構成した。エダマメ莢は、第2ベルトコンベア端から分離部に放擲され、良品判定莢の場合は選別板を通過して良品判定側に落下する。不良品判定の場合は、選別板がモータの動力で第2ベルトコンベア側に一定角度で動作し、不良品判定側へ強制的に落下させる。

d. 選別手順

エダマメ莢の子実熟度の判定手順を図8に示す。エダマメ莢は、出力電圧情報を基にエダマメ莢長辺部の長さ L_p と子実部の長さ L_s を取得し、両者の比率 α (L_p/L_s) を計算する。計算した比率 α は、良品莢と不良品莢を用いた予備

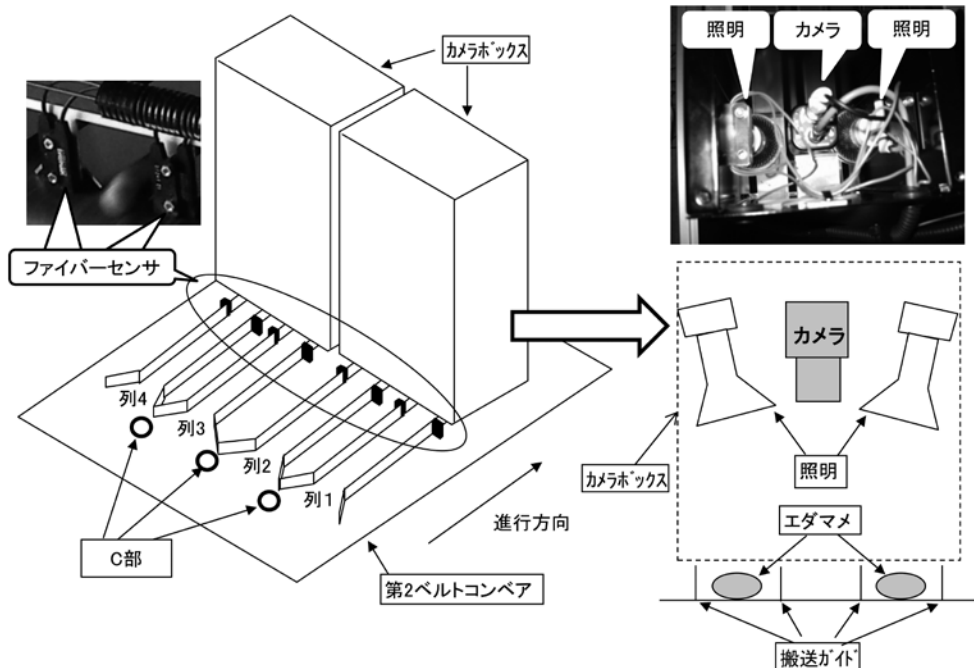


図6 子実熟度検出部と傷害検出部の配置

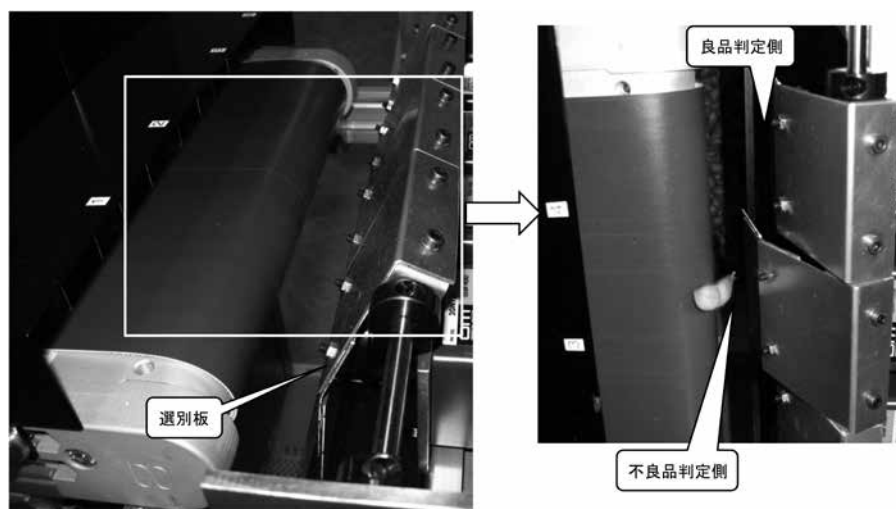


図7 分離部の配置

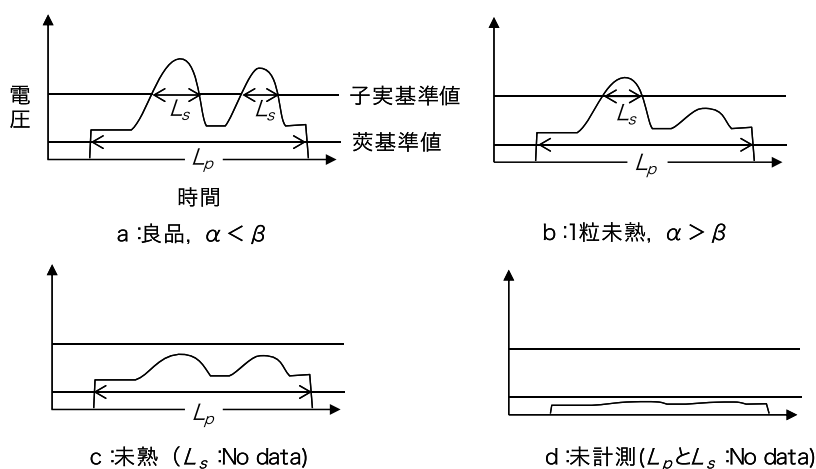


図8 子実熟度検出部での判定手順

試験で基準値 β を設定し、図 8a に示すように $\alpha < \beta$ の場合に良品判定、図 8b に示すように $\alpha > \beta$ の場合に子実の一部未熟による不良品判定、図 8c に示す L_p が計測状態で L_s が計測できない状態を全子実の未熟による不良品判定とした。なお、図 8d に示す L_p と L_s が未計測の状態では、エダマメ莢が通過していないと判断した。

エダマメ莢の変色系傷害は、試作機に搭載した CCD カメラで通過する全てのエダマメ莢を撮像して画像処理を行い、莢部と傷害部の画素

数を計測して莢面積と傷害面積を算出した。算出した各面積は、既報で報告した基準で A 品に該当する良品莢とそれ以外の不良品莢に判別する。ただし、試作機は、傷害検出部で CCD カメラ側を向いたエダマメ莢の面のみを撮像し、第 2 ベルトコンベアのベルト面を向いたエダマメ莢の撮像を行っていない。

3) 試験項目

a. 作業能率

作業能率は、調製後のエダマメ莢 15kg を無作為に 5kg 抽出して試作機に投入し、投入から

選別終了までの時間の計測を行い、単位時間あたりの選別量 (kg/h) を算出した。

b. 選別精度

投入されたエダマメ莢 ($W:g$) は、試作機で良品 ($W_g:g$) と不良品 ($W_f:g$) に判定される。判定されたエダマメ莢は、 W_g と W_f ごとに手作業で以下の9種類に分類した。分類項目は、前報で選別が必要と判断した変色を伴う擦り傷のI型 (P_{f1}) と莢割れのII・V型 (P_{f2}) に該当する機械的損傷の傷害、虫害 (P_{f3})、黄化 (P_{f4})、しみ (P_{f5}) に該当する変色系の傷害、1粒 (P_{f6})、未熟 (P_{f7})、奇形莢 (P_{f8}) に該当する形状と子実熟度系の傷害で構成される不良品莢 (ΣP_f)、厚さ9mm以上に子実が充実した2粒莢と3粒莢に該当する良品莢 (P_g) である。

ここで、 W_g に含まれる P_g を $W_g P_g$ 、 ΣP_f を $W_g \Sigma P_f$ とし、 W_f に含まれる P_g を $W_f P_g$ 、 ΣP_f を $W_f \Sigma P_f$ とした場合、

$$W_g = W_g P_g + W_g \Sigma P_f \quad (1)$$

$$W_f = W_f P_g + W_f \Sigma P_f \quad (2)$$

$$W = W_g + W_f \quad (3)$$

の関係にある。そこで、選別精度は、ニュートン効率で示される選別率 (η) で表し、良品莢に対する回収率 (η_a) と不良品莢に対する回収率 (η_b) から (4) ~ (6) 式で算出した。

$$\eta_a = W_g P_g / (W_g P_g + W_f P_g) \quad (4)$$

$$\eta_b = W_f \Sigma P_f / (W_g \Sigma P_f + W_f \Sigma P_f) \quad (5)$$

$$\eta = \eta_a + \eta_b - 1 \quad (6)$$

また、分類された不良品莢については、子実熟度検出部の回収率 (η_s) と傷害検出部の回収率 (η_i) を (7) ~ (8) 式で算出した。

$$\eta_s = (W_f P_{f6} + W_f P_{f7} + W_f P_{f8}) / (W_g P_{f6} + W_f P_{f6} + W_g P_{f7} + W_f P_{f7} + W_g P_{f8} + W_f P_{f8}) \quad (7)$$

$$\eta_i = (W_f P_{f1} + W_f P_{f2} + W_f P_{f3} + W_f P_{f4} + W_f P_{f5}) / (W_g P_{f1} + W_f P_{f1} + W_g P_{f2} + W_f P_{f2} + W_g P_{f3} + W_f P_{f3} + W_g P_{f4} + W_f P_{f4} + W_g P_{f5} + W_f P_{f5}) \quad (8)$$

また、 W_g に対する $W_g P_g$ と $W_g P_{f1} \sim W_g P_{f8}$ 、 W_f に対する $W_f P_g$ と $W_f P_{f1} \sim W_f P_{f8}$ の割合 (%) を算出し、良品と不良品に選別された莢の構成を求めた。

c. 試験区の構成

作業能率は、秋田県内の生産者による手選別を対照に、(2) - 1) の項に示す各品種を用いて調査した。

作業精度は、中生の庄内3号から晩生の秘伝までの各品種で調査した。なお、作業精度は、生産現場での実態を把握するため、生産者が手選別した莢についても調査を行った。

(3) 市販型エダマメ選別機の性能評価

1) 試験場所と供試材料

エダマメの選別実験は、2010年9月に山形大学農学部と秋田県横手市の生産者調製作業場で行った。

供試材料は、山形県農業総合研究センターで栽培したエダマメ (品種：庄内3号；中生)、秋田県横手市の生産者が栽培したエダマメ (品種：雪音；中晩生)、山形大学農学部高坂農場で栽培したエダマメ (品種：秘伝；晩生) を用いた。

2) 市販型エダマメ選別機の概要

株式会社山本製作所と共同で開発した市販型エダマメ選別機 (以下、開発機と呼称) を図9に示す。開発機は、供給部から投入されるエダマメ莢を5条に分離しながら整列搬送する搬送用傾斜コンベア、傾斜コンベアの搬送速度との間に速度差をつけて莢の引き離しを行う搬送部、莢の形を光電センサで検出する形状検出部、莢の病虫害による傷害を検出する変色検出部、エアで良品と不良品に分類する選別部で構成した。

3) 整列搬送機構の概要

開発機は、エダマメ莢の姿勢を安定させるため、試作機と異なりベルトに搬送枠を形成した傾斜コンベアにエダマメ莢を投入し、傾斜角と整列回転体で搬送枠 (幅：16mm、長さ：

70mm) 内に一莢ずつ組み込む構造にした。エダマメ莢の分離は、傾斜コンベアと搬送部コンベアの間に速度差を付けて行った。

4) 検出部の概要

検出部は、エダマメ搬送部コンベアの先端に子実熟度検出部、傷害検出部の順序で設置した。子実熟度の計測は、アナログ出力型ファイバーセンサ (azbil, HPX-MA) に取り付けた光ファイバー (azbil, HPF-T021T) で行った。

傷害検出部は、ラインセンサ (山本製作所, CLX-502DF, 分解能: 水平 0.15mm, 垂直方向: 0.25mm) 2 基をベルトコンベア先端に相対するように配置し、落下するエダマメ莢の全周を撮像した。ファイバーセンサとラインセンサは、画像判別装置 (山本製作所, CLX-502DF) とシーケンサ (Panasonic, FPG-C32T) で構成した制御部に接続されており、そこで得られた情報の処理を行い良品と不良品に判定し、不良品判定莢を選別部のエアエジェクタで分離した。

5) 選別手順

エダマメ莢の子実熟度の判定は、前項で開発した手順を踏襲した。

エダマメ莢の変色系傷害は、傷害検出部でエダマメ莢を撮像し、画像処理で抽出した変色部の面積をセンサの感度 (Lv1 ~ 30) で調整した。センサ感度は図 10 に示すとおり、エダマメの食品サンプル莢を用いて面積別に判定率を算出した。

6) 作業能率と選別精度

作業能率は、脱莢と粗選別した後のエダマメ莢を無作為に 4kg 抽出して試作機に投入し、投入から選別終了までの時間の計測を行い、単位時間あたりの選別量 (kg/h) を算出した。

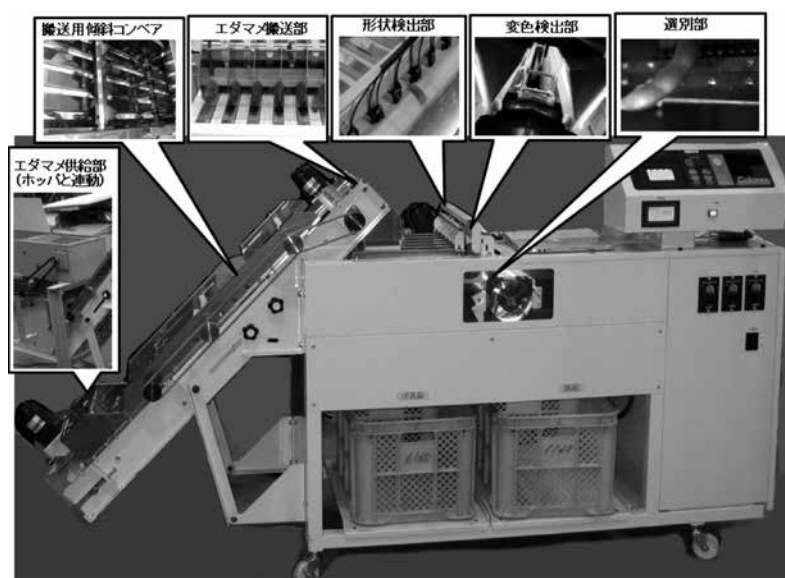
選別精度は、前記した式を用い、良品莢の回収率 (η_a)、不良品莢の回収率 (η_b)、選別率 (η)、子実熟度検出部の回収率 (η_s)、傷害検出部の回収率 (η_i) を算出した。

2. 試験結果と考察

(1) 収穫時期別での傷害の発生程度と特徴

1) 傷害の発生程度

異なる時期に収穫したエダマメの出荷規格別と機械的損傷の構成割合を表 2 に示す。



形状	全 幅 (mm)	2160
	奥行き (mm)	570
	高 さ (mm)	1190
質 量 (kg)	150	
電 源 (V)	100	
選 別 条 数	5	
備考	別途, 1.5kW 級のエアコンプレッサが必要	

図 9 開発したエダマメ選別機と主要諸元

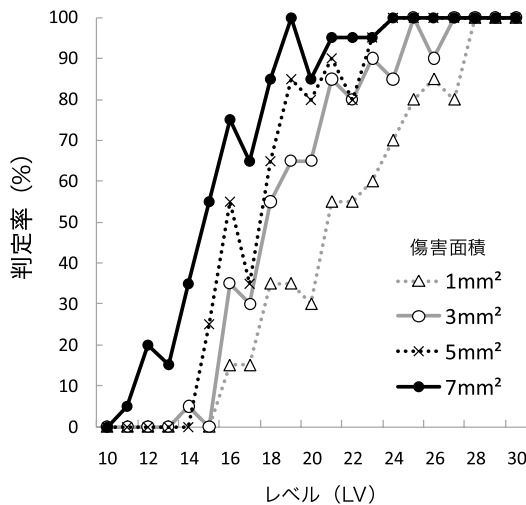


図 10 変色系傷害検出部の判定レベル

錦秋の A 品割合は、収穫適期前が 58%，収穫適期が 65%，収穫適期後が 33% であった。同品種で規格外品の割合は、収穫適期前が 27%，収穫適期が 19%，収穫適期後が 52% であった。収穫適期の秘伝は A 品が 35%，規格外品が 39% であった。また、A 品に占める機械的損傷は、錦秋が 11～15%，秘伝が 6% であった。

エダマメは、生育に従い莢の長さや幅が同時に最大となるが、子実熟度は莢の厚さや硬さと連動して成熟期近くまで増加し続けるため¹⁰⁾、収穫までの期間が短いほど未熟莢が多くなり、長いほど過熟莢が増加する。また、収穫の遅れは、エダマメの莢に対して過熟による黄化や最終防除から収穫までの日数が長期化するため、

病虫害による傷害が多発する。その結果、収穫適期の前後に収穫したエダマメは、規格外品の構成割合が増加した。

機械的損傷に関して考察すると、使用した自動脱莢機は、柔軟板製のこぎ歯が 2 枚取り付けられた回転式こぎ胴を上下 2 段に配置し、その間隙にエダマメ株を通過させてこぎ歯の打撃で脱莢するため¹¹⁾、莢幅が厚い収穫適期後ではこぎ歯との接触が多くなり、機械的損傷を多くしたものと推測される。

エダマメは、適期以外に収穫すると傷害を含む規格外品の構成割合が高くなるため、生産地に対して適期収穫の普及指導が不可欠である。その上で、適期収穫したエダマメは、粗選別後に回収した莢から病虫害や形状による傷害を受けた錦秋で 19%，秘伝で 39% の莢を規格外品、さらに A 品と B 品に含まれる錦秋で 17%，秘伝で 6% (A 品のみ) の機械的損傷を選別する必要がある。

2) 機械的損傷の分類

機械的損傷は、エダマメ莢の表面に擦傷を受けた損傷 (I 型)、莢の顎部や胴部が折れた損傷 (II 型)、莢の腹部と背部の縫合線がとれた損傷 (III 型)、顎部が裂けた損傷 (IV 型)、莢の割れや表皮が剥がれた損傷 (V 型) に類型化した。類型化した I～V 型の傷害を図 11 に示す。

表 2 で A 品に選別したエダマメに含まれる機械的損傷 I～V 型の分布を表 3 に示す。錦

表 2 収穫時期別の出荷規格と機械的損傷の構成割合

品種・収穫日	分類項目	A 品 (%)		B 品 (%)		規格外品 (%)		小計	
		全莢	損傷莢	全莢	損傷莢	全莢	損傷莢	全莢	損傷莢
錦秋	収穫適期前 (41 日)	58	13	15	2	27 (2)	3	100	18
	収穫適期 (49 日)	65	15	16	2	19 (0)	2	100	19
	収穫適期後 (54 日)	33	11	15	5	52 (0)	11	100	27
秘伝	収穫適期 (54 日)	35	6	20	-	39 (1)	-	100	6

注 1：錦秋（開花日，7 月 28 日），秘伝（開花日，8 月 17 日）

注 2：収穫期後の（内数字は，開花後の日数）

注 3：規格外品の（）内数字は，2 粒以上の子実が未熟な莢の割合

注 4：損傷莢は機械的損傷を受けた莢の割合を示す

秋に最も多く含まれる機械的損傷は、収穫適期前でⅠ型の71%、収穫適期でⅣ型の36%、収穫適期後でⅠ型の50%であった。Ⅱ型とⅤ型は、収穫時期に係わらず2～5%と発生割合が低かった。Ⅲ型は、収穫適期以降で適期前よりも12～16%増加した。収穫適期での機械的損傷Ⅰ～Ⅴ型の分布は、秘伝もほぼ同様であった。

機械的損傷は、Ⅰ型がエダマメの莢に対するこぎ歯の柔軟材やエダマメ株の茎葉との擦れ、Ⅱ型とⅤ型が莢に対するこぎ歯の柔軟材による外的衝撃、Ⅲ型とⅣ型が脱莢時に顎部と果枝が容易に分離しなかった場合に発生した。エダマメは、開花後15日以降から莢の硬さが増加して繊維が切れにくくなる¹²⁾。すなわち、収穫適期前では、開花後の経過日数が短く表皮が収穫適期よりも柔らかいため、Ⅰ型に該当する莢

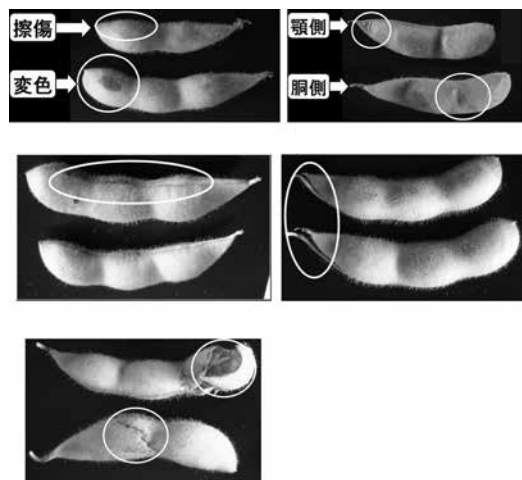


図11 機械的損傷の分類

への擦傷が増加した。収穫適期から適期後では、繊維が切れにくくなることから果枝との分離性が低下するため、Ⅲ型とⅣ型の損傷が増加したと考えられる。なお、収穫適期後でのⅠ型の増加は、子実熟度の高まりで莢幅が厚くなるため、こぎ歯と莢の接触面積が拡大して擦傷を増加したと思われる。

(2) 傷害の構成と選別基準

1) 主要傷害の構成

秋田県A地域の生産者が規格外品に選別したエダマメに含まれる各傷害の構成割合を図12に示す。規格外品には、子実熟度が55%、病虫害が6%、形状が10%、機械的損傷が9%（Ⅱ型とⅤ型が5%）であった。

生産者がA品と選別した製品に含まれる各傷害の構成割合を表4に示す。製品には、機械的損傷が11～29%（Ⅱ型とⅤ型が2～6%）と最も多く含まれ、次いで病虫害が6～19%、形状が1～9%、子実熟度が0%であった。

生産者の調製作業は、脱莢、粗選別、洗浄、精選別、袋詰め、箱詰めの各工程で行われてお

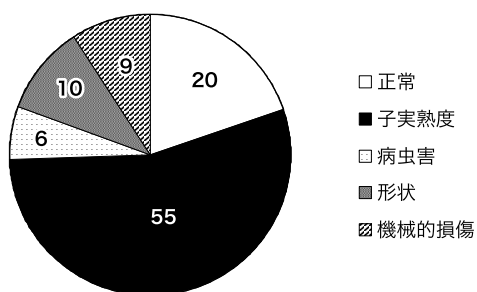


図12 規格外品に含まれる傷害の構成割合

表3 機械的損傷の構成割合

分類項目		機械的損傷				
		I	II	III	IV	V
品種・収穫日	収穫適期前 (41日)	71	3	6	16	3
	錦秋 収穫適期 (49日)	33	5	22	36	4
	収穫適期後 (54日)	50	5	18	26	2
秘伝 収穫適期 (54日)		23	13	18	34	12

注1：単位，%

注2：A品に含まれる機械的損傷を分類した。

り¹³⁾、計画出荷の必要性から時間的な制約が大きい。精選別作業は、良品出荷のため熟練した作業が求められ、各工程の中で最も多くの作業時間を要する。また、精選別の作業者は、単純作業が連続するため精神的疲労が大きい。その結果、精選別の作業者は、傷害として認識しやすい要素として形状、子実熟度、大きな変色部を有する病虫害、機械的損傷Ⅱ型、Ⅴ型を中心とした選別になったと考えられる。機械的損傷のうちⅢ型、Ⅳ型と変色のないⅠ型、微少な病虫害による傷害は、傷害の認識に時間を要するため見逃されることが多くなり、製品に混入する割合が増加した。以上から、エダマメを機械的に選別するには、現在生産者が行っている傷害の分類項目を基に、消費者が許容できる範囲以上にある微少な傷害の検出精度を強化することが機械の導入にあたり必要な条件となる。

2) 傷害に対する消費者評価

傷害の面積比率が異なるエダマメを用い、消

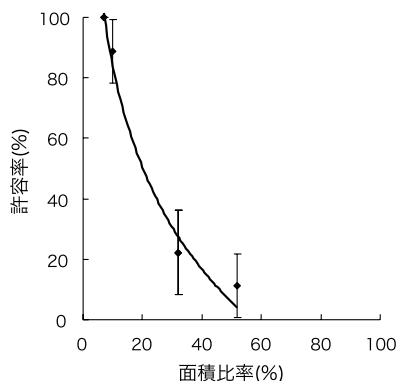


図 13 傷害の面積比率に対する消費者の購入許容率

費者に対して行った聞き取り調査の結果（調査人数 12 名、有効回答人数 9 名）を図 13 に示す。消費者は、エダマメの莢に占める傷害の面積比率 (x) が増加するほど購入に対する許容率 (y) が低下し、 $y = -48.6 \ln(x) + 196.0$ で回帰された ($R^2=0.98$)。この回帰式は、面積比率を基に許容率を推定し、傷害に対する選別基準の策定に利用する。

機械的損傷別の消費者評価（調査人数 12 名、有効回答人数 12 名）を図 14 に示す。消費者は、エダマメの莢に変色があるⅠ型、中心部に割れや折れがあるⅡ型とⅤ型の損傷に対して許容率が 0～42% となり、莢に変色がないⅠ型、Ⅲ型とⅣ型の損傷に対して許容率が 67～100% であった。

消費者は、病虫害で変色した傷害の割合が高まるほど嫌悪感が強まるため、購入に対する

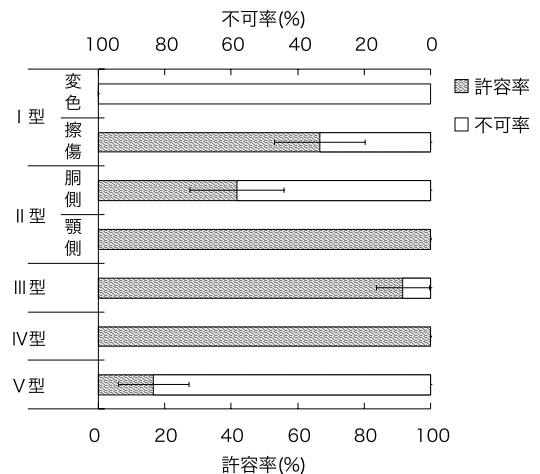


図 14 機械的損傷に対する消費者の購入許容率

表 4 出荷品に含まれる傷害の構成割合

調査区	項目	正常	子実熟度	病虫害	形状	機械的損傷				
						I	II	III	IV	V
A 産地 (晩生：秘伝)		80	0	6	1	1	5	2	4	1
A 産地 (中生)		73	0	11	1	4	2	2	4	2
A 産地 (中晩生)		69	0	18	1	0	3	4	2	2
B 産地		49	0	14	9	5	2	11	9	2
C 産地		56	0	19	7	5	1	5	6	1

注：単位，%

許容率が面積比率 0～10% で 84% 以上, 10～15% で 64% 以上, 25% 以上で 40% 以下と推定できる。

機械的損傷は, エダマメの莢に対して明確な変色, 中央部の割れや折れが生じることで, 病虫害による損傷と同様に外観品質に対する嫌悪感が強まるため, 購買の許容率が低下した。また, 消費者は, エダマメの莢から子実が見えることを嫌い, 莢が変色しない程度の擦傷を許容する傾向にあるため, 変色のないⅠ型, 子実が露出しない顎側のⅡ型, Ⅲ型, Ⅳ型の傷害を受けたエダマメについて購入に影響を与えないと判断できた。

3) エダマメの選別基準と方法

エダマメの機械選別に適用する方法と選別基準を図 15 に示す。

エダマメの選別は, 形状, 子実熟度, 変色を伴う傷害 (病虫害, 機械的損傷Ⅰ型, Ⅱ型, Ⅴ型) について実施する。なお, 変色を伴わないⅠ型, 子実が露出しない顎側のⅡ型, Ⅲ型とⅣ型の機械的損傷は, 消費者の購買意識に与える影響が少ないため, 前記の選別項目から除外した。

形状は, 慣行の選別基準に従い 1 粒莢と奇形莢を規格外に選別する。子実熟度は, エダマメの莢に含まれる全ての子実が充実しているもの

を正常, 莢に含まれる子実が 1 粒だけ未熟な 2 粒と 3 粒莢を B 品, 中央の子実が未熟な 3 粒莢と 2 粒以上の子実が未熟な莢を規格外品に選別する。形状と子実熟度で正常と選別したエダマメは, 病虫害や機械的損傷Ⅰ型, Ⅱ型, Ⅴ型で生じた変色部の面積比率を基に 0～10% を A 品, 10～15% を B 品, 15% 以上を規格外品に選別する。なお, 子実熟度で B 品判定したエダマメは, エダマメの莢と変色部の面積比率 0～15% を B 品, 15% 以上を規格外に選別する。

(3) 試作したエダマメ選別機の作業能率と作業精度

1) 作業能率

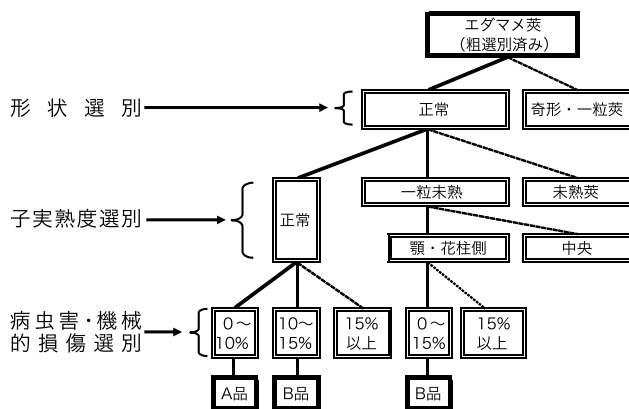
手選別と試作機の作業能率を表 5 に示す。作業能率は, 22kg/h～61kg/h まで変化し, 平均 40kg/h であった。これまで調査を行った秋田県内のエダマメ生産農家では, 精選別の作

表 5 試作機の作業能率

項目 試験区	作業能率 (kg/h)	倍率
手選別	12	—
試作機	40 (18)	3.3

注 1: 倍率は, 各試験区の作業能率 / 手選別の作業能率で算出

注 2: () 内数値は, 標準偏差を示す。



注 1: 点線方向は全て規格外に選別する。
注 2: 病虫害・機械的損傷選別での数値は, 傷害の面積比率を示す。

図 15 エダマメ選別手順

業能率が12kg/hであり、試作機の利用で作業能率が1.8～5.1倍に向上した。

2) 作業精度

試作機の選別精度を表6、 W_g と W_f に含まれるエダマメ莢の構成を図16と図17、実証農家が手選別で良品判定したエダマメ莢の構成を図18にそれぞれ示す。各品種で行った選別試験の平均値は、 η が0.11、 η_a が0.76、 η_b が0.35、 η_s が0.36、 η_i が0.35であった。エダマメ莢の構成では、 W_g に W_gP_g が63～80%、 W_f に $W_f \Sigma P_f$ が30～40%含まれていた。なお、手選別した良品判定莢には、 P_g が62～79%含まれていた。

試作機は、良品（743莢）と不良品（619莢）に分類したエダマメ莢（品種：秘伝）を1莢ずつ投入した場合、 η が0.51、 η_a が0.78、 η_b が0.73、 η_s が0.80、 η_i が0.66であった。1莢投入時での η_s の低下理由は、検出部通過時でのエダマメ莢の姿勢にある。すなわち、3粒莢の中で莢の湾曲が大きいエダマメ莢は、その縫合線部分が搬送ガイドと接触して搬送路内で傾き、ファイバーセンサの光電エリア内を傾いた状態で通過するため、形状を正確に認識できないことがあった。1莢投入時での η_i の低下は、撮像時に照明の影響で投影された子実部の影に対する誤検知や、傾斜した状態で搬送されたエダマメ莢の撮像範囲が通常より縮小し、撮像領域以外に存在する傷害の検出が不足したことが原因と考えられる。

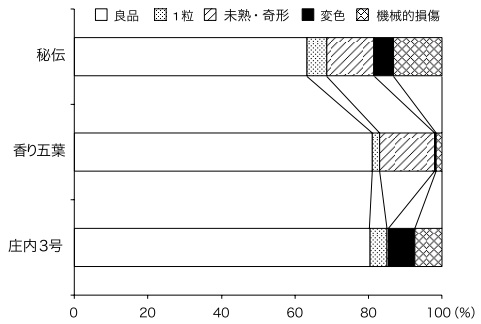


図16 良品判定に含まれるエダマメ莢の構成割合

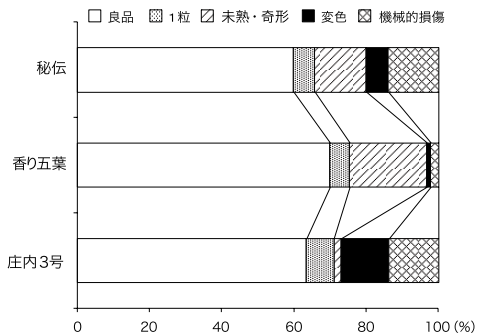


図17 不良品判定に含まれるエダマメ莢の構成割合

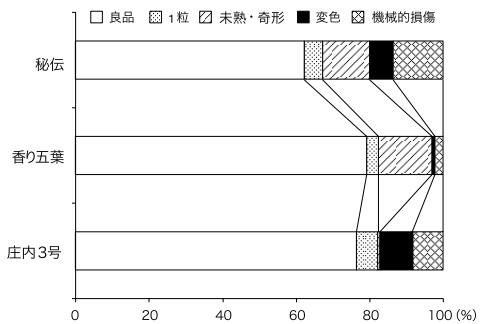


図18 手選別での良品判定に含まれるエダマメ莢の構成割合

表6 試作機の選別精度

項目	η	η_a	η_b	η_s	η_i	良品率率 (%)
供試品種						
庄内3号	0.19	0.75	0.44	0.44	0.44	75
あきた香り五葉	0.12	0.77	0.36	0.37	0.35	78
秘伝	0.03	0.77	0.26	0.28	0.26	62
秘伝 (1莢投入)	0.51	0.78	0.73	0.80	0.66	55
秘伝 (手選別)	0.59	0.73	0.86	—	—	44

注1：良品率率= P_g/W

注2：手選別は2006年に秋田県大仙市の生産者が行った結果から算出した参考値

現地試験では、これらの誤差要因に加え、品種によるエダマメ莢形状の違いがエダマメ莢の引き離しに影響を与えるため、 η_s と η_i が更に低下する方向で変動した。すなわち、長辺の短い庄内3号では、ベルトコンベアの段差と速度差を利用した莢の引き離しが良好であったため、 η_s の精度が他品種よりも高くなり、良品判定に含まれる不良品莢の中で未熟・奇形に該当する莢の割合が少なかった。あきた香り五葉と秘伝では、莢の長辺が庄内3号よりも長いため、ベルトコンベアの段差部でのエダマメ莢の引き離しが不十分となり、長辺が長くなるほど η_s の精度を低下した。また、庄内3号と秘伝は、図16と図17に示すとおり莢表面に発生する変色系傷害が多いため、撮像範囲外に含まれる傷害も必然的に多くなり、良品判定に含まれる変色系傷害の割合が高まった。ただし、庄内3号は莢両面に傷害が分布したが、秘伝では莢片面が特異的に変色する傷害が散見されたため良品への誤認量が多くなり、両者の η_i に0.18の差が生じた。

以上から、 η は搬送路内の検出部付近でのエダマメ莢の搬送姿勢に加えて、エダマメ莢の長辺部長さによる引き離し程度の違い、品種ごとの傷害量の違いが検出部の精度を低下させたため、1莢投入時と比較して平均値で0.40下回った。ただし、試作機の η_a は、良品莢率の変動に係わらず0.75～0.77と高い水準を確保しており、かつ W_g に含まれる W_gP_g の割合も手選別とほぼ等しいことから、良品莢の判定に関しては手選別と同等といえる。

(4) 開発機の作業能率と作業精度

1) 作業能率

開発機の作業能率を図19に示す。開発機の作業能率は、中生の庄内3号で36kg/h、中晩生の雪音で41kg/h、晩生の秘伝で46kg/hであった。雪音を生産したエダマメ農家では、精選別の作業能率が最大で14kg/h、最小で6.0kg/hで

あったため、試作機の利用で作業能率が2.5～7.6倍に向上した。

開発機に投入されたエダマメ莢は、傾斜コンベアと整列回転体で重なり of 除去と整列が可能であった。しかし、エダマメ莢は、品種によって莢の長辺長が変化するため、ベルトに配置した搬送枠に対して早生品種で複数の莢が入り込む現象、中晩生と晩生種で莢が枠に入り込まない現象が散見された。搬送枠で固定できない莢は、莢の引き離しや搬送姿勢の乱れを誘発することが多く、その場合5条に設定した搬送路内を封鎖して後続のエダマメ莢を搬送路内で滞留させるため、作業能率の低下に繋がった。

2) 作業精度

開発機の η を図20、 η_a と η_b を図21と図22、 η_s と η_i を図23と図24、手選別と機械選別した良品判定側と不良品判定側に含まれるエダマメ莢の構成を図25と図26にそれぞれ示す。

各品種を開発機に連続供給した場合の選別実験では、 η_a が0.09～0.35、 η_b が0.30～0.87、 η_c が0.47～0.79、 η_s が0.48～0.79、 η_i が0.44～0.79であった。エダマメ莢の構成は、 W_gP_g が52%、 W_fP_g が17%であった。手選別では、 η_a が0.64、 η_b が0.92、 η_c が0.72、 η_s が0.65、 η_i が0.76

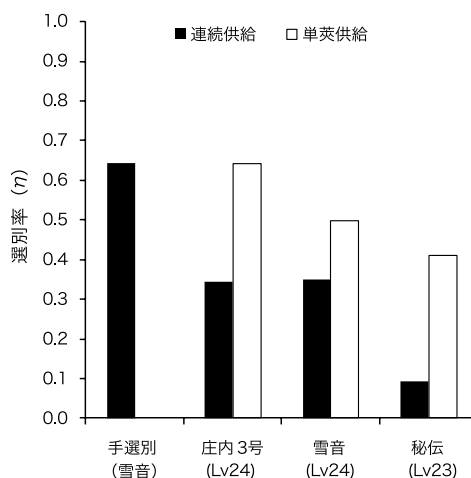


図19 開発機での品種別作業能率

であった。エダマメ莢の構成は、 $W_g P_g$ が 64%、 $W_f P_g$ が 6% であった。

なお、開発機は、エダマメ莢を 1 莢ずつ投入した単莢供給の場合、 η が 0.41 ~ 0.64、 η_a が 0.50 ~ 0.98、 η_b が 0.67 ~ 0.91、 η_s が 0.68 ~ 0.89、 η_i が 0.55 ~ 0.95 であった。開発機の選別精度は、連続供給時で手選別よりも選別率が 0.29 ~ 0.55 低下したが、単莢供給時では 0.00 ~ 0.24 の差となり、手選別と同等の精度を有した。また、単莢供給時での各検出部の判定精度はいずれも手選別と同等であり、エダマメの選別に有効であることを示している。なお、秘伝での選別率の低下は、天候の影響で良品率が 12% と低かったため、図 21 に示すように良品回収

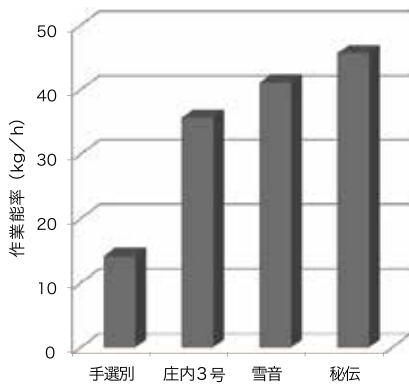


図 20 開発機の作業精度 (η : 選別率)

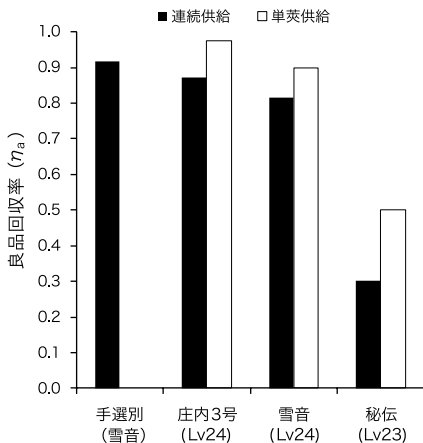


図 21 選別率の内訳 (η_a : 良品回収率)

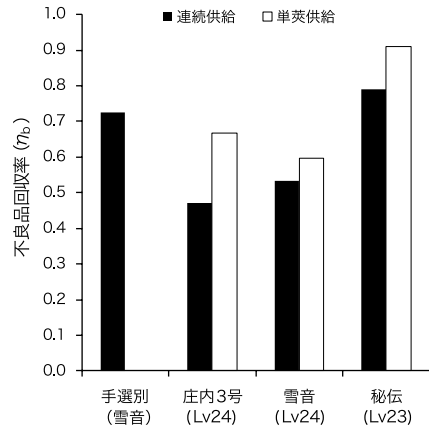


図 22 選別率の内訳 (η_b : 不良品回収率)

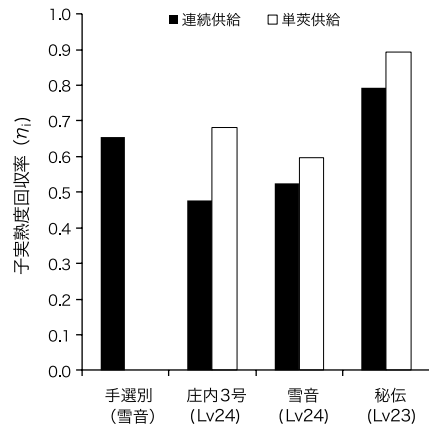


図 23 子実熟度系傷害検出部の判定精度 (η_s)

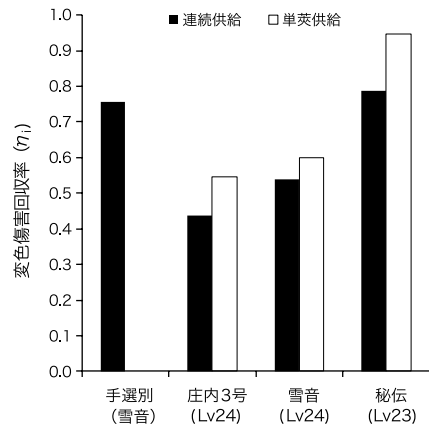


図 24 変色系傷害検出部の判定精度 (η_i)

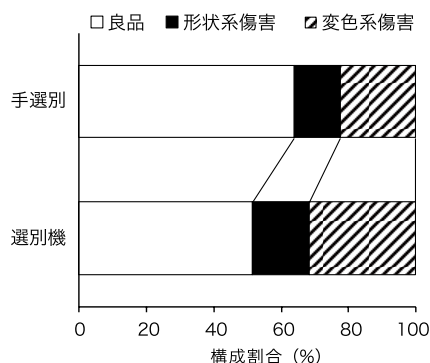


図 25 良品判定側のエダマメ莢構成割合 (雪音)

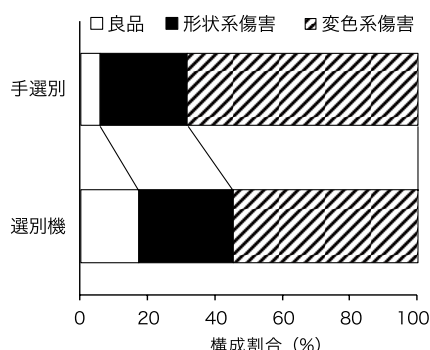


図 26 不良品判定側のエダマメ莢構成割合 (雪音)

率を低下したことが原因である。すなわち、選別率の低下は、連続供給時でのエダマメ莢の引き離しや搬送姿勢の乱れに起因したものであるため、整列搬送機構を改善し、良品判定に含まれる不良品判定莢の割合を手選別並みに高めることで実用レベルの精度を得ることができる。

3. 結論

以上から、エダマメ調製作業を効率化するために、以下の結論を得た。

- (1) 適期に収穫したエダマメは、脱莢された莢の 36～45% に対して選別の必要があり、そのうち自動脱莢機による機械的損傷が 6～15% 含まれる。
- (2) 機械的損傷は、発生する症状によって I～V 型に類型化し、収穫適期前で I 型、収穫

適期で IV 型、収穫適期後で I 型の発生が多かった。

- (3) 選別が必要な傷害は、形状、子実熟度、病虫害、機械的損傷である。
- (4) 消費者は、エダマメ莢に占める傷害の面積比率が 10% 以下である場合、購入に際し 84% 以上の許容率を示した。
- (5) 消費者は、購入に際して変色を伴う I 型、胴部に生じる II 型、V 型の機械的損傷に対して 0～42%、変色部のない擦傷を持つ I 型、顎側に生じる II 型、III 型と IV 型の機械的損傷に対して 67～100% の許容率を示した。
- (6) エダマメは、形状、子実熟度、変色部を有する病虫害と I 型、II 型、V 型の機械的損傷による傷害に対して選別を実施する。形状と子実熟度で正常と判定した莢は、傷害部分とエダマメ莢の面積比率を基準に 10% 未満を A 品、10～15% を B 品、15% 以上を規格外品に分類する。子実熟度で B 品に判定した莢は、面積比率 0～15% を B 品、15% 以上を規格外に分類する。
- (7) 試作したエダマメ選別機は、速度の異なる 2 基のベルトコンベアと整列機構、検出部、制御部、分離部で構成し、長さ 1700mm、幅 500mm、高さ 1500mm の形状である。
- (8) 試作機の整列搬送機構は、整列ロール、各ベルトコンベア上に整列回転体と搬送路をそれぞれ配置することでエダマメ莢の搬送姿勢が安定し、作業能率が最大で手選別の 5.1 倍に向上した。
- (9) エダマメ莢の子実熟度は、ファイバーセンサでエダマメ莢長辺の長さ L_p と子実部の長さ L_s を計測して両者の比率 α を計算し、予め設定した基準値 β との比較で良品莢と不良品莢に判定する。
- (10) エダマメ莢に発生する変色系の傷害は、搬送されるエダマメの莢部と傷害部を

CCD カメラで撮像し、得られた画像の画素数を基に莢面積と傷害面積を算出して判定する。

- (11) 試作機は、エダマメ莢を1莢ずつ投入した場合に η が0.51, η_a が0.78, η_b が0.73であった。
- (12) 生産現地での選別試験では、エダマメ莢の搬送状態や傷害検出範囲の低下で η の平均値が0.11となり、1莢投入時から0.40下回った。ただし、良品莢の判定は、良品莢に対する回収率 η_a が0.76、良品判定に含まれる W_gP_g の割合が63～81%となり、手選別と同等であった。
- (13) 市販型エダマメ選別機の作業能率は36～46kg/h、手選別の2.5～7.6倍であった。
- (14) 選別精度を示す選別率は0.09～0.35となり、手選別と比較して0.29～0.55低下した。しかし、単莢供給時での選別率は0.41～0.64

となり、手選別と同等であった。

- (15) 連続供給時での良品莢と不良品の回収率は、0.30～0.87と0.47～0.79であった。なお、単莢供給時での“虫害”や“しみ”などの変色傷害検出率は0.55～0.95, “1粒”や“未熟”などの形状傷害検出率は0.68～0.89となり、手選別と同等であった。

[謝辞]

本研究は、農林水産省の平成17年度農林水産研究高度化事業で得られた成果を中心に構成した。本研究の実施にあたり、秋田県農林水産技術センターの皆様、山形県農業総合研究センターの後藤克典主任研究員、前株式会社山本製作所の後藤恒義氏、国立大学法人山形大学の生産機械システム学講座の諸氏に多大な協力をいただいた。関係各位に対し謝意を表す。

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

- 1) 後藤隆志, 手島司, 藤井幸人, *et al.*: ディスク式中耕培土機の作業特性と大豆栽培への影響 (第1報). 農業機械学会誌 **74**(2): 123-130, 2012.
- 2) 片平光彦: エダマメ高能率収穫調製技術の開発. 機械化農業 **3092**: 12-16, 2009.
- 3) 佐々木豊, 鈴木正吐, 陳山鵬, *et al.*: マシンビジョンによる枝豆の知的選別機の開発. 農業機械学会誌 **62**(6): 92-97, 2000.
- 4) 徳田勝, 山本博昭, 川村恒夫, *et al.*: 特産大豆丹波黒枝豆の選別に関する研究 (第1報). 農業機械学会誌 **64**(4): 68-75, 2002.
- 5) 片平光彦, 嶋田浩: エダマメ莢の全面撮像技術の開発. 農業施設 **37**(3): 139-144, 2006.
- 6) 張樹槐, 片平光彦, 大泉隆弘, *et al.*: 透過画像によるエダマメ欠粒莢の評価方法. 農業機械学会誌 **71**(3): 115-117, 2009.
- 7) 片平光彦: エダマメ自動選別機の開発 (第1報). 農業機械学会東北支部報 **49**: 27-30, 2002.
- 8) 2009-190827: 姿勢調整機構
- 9) 2009-189936: 莢果判別構造
- 10) 由田宏一, 野村文雄, 後藤寛治: ダイズにおける個体内の開花時期と子実生産 (第1報). 日本作物学会記事 **52**(4): 555-561, 1983.
- 11) 1995-107954: エダマメ自動脱莢機
- 12) 昆野昇晨: 子実の発育と登熟. 畑作全書 - マメ類編 -. 農文協編. 東京, 89-92, 1981.
- 13) 片平光彦, 泉誠, 舩谷雅弘: エダマメ収穫調製作業の効率化技術. 農業機械学会東北支部報 **47**: 47-50, 2000.

もち麦を用いた γ アミノ酪酸の高生産技術（その2）

Method for Producing Extracts Containing a High Concentration of γ -amino Butyric Acid (GABA) with Bran of Mochi Barley

渡部 保夫 *

* WATANABE Yasuo (愛媛大学農学部)

Key Words : モチ麦ヌカ, γ -アミノ酪酸 (GABA), グルタミン酸脱炭酸酵素, ギャバエキス麦
Key Words : bran of mochi barley, gamma-amino butyric acid, GABA, glutamate decarboxylase, GABA extracts

はじめに

いろいろな効能をもついろいろな機能性保健食品が開発されてきたが、これからも機能性食品の産業は発展し続けるであろうし、新規な機能性物質の探索も大学や公設研究所などで活発に行われており、新たな機能性食品も生まれてくるであろう。

一方で、特定の機能性物質を含有する、あるいは強化した食品をいろいろな食材を使って開発して、より一層利用しやすくするアプローチも重要であると考えます。筆者は、これまで、血圧上昇抑制作用^{1,2)}や腎臓機能改善作用³⁾、成長ホルモン分泌促進⁴⁾、精神安定化、リラックス作用⁵⁾が期待され、特定保健用食品においても既に利用されている機能性物質である γ -アミノ酪酸 (GABA) を、いろいろな食材で製造する研究を行ってきた。麦類での GABA 生産については、従来から行われてきたが、前報で示したように筆者らのモチ麦を用いた方法は、非常に効率がよく、高い収量を達成でき

た^{6,7)}。現在、GABA モチ麦粉を用いて新しい商品の開発が検討されている。この機能性食材（大麦類のモチ麦）の場合、GABA の効能に加え、 β -グルカン（食物繊維）^{8,9)}とアントシアニン（抗酸化物質）の機能を併せ持っていることは、保健・健康に寄与できる新規な食材として大いに期待される。

前報の研究で GABA 製造に用いたモチ麦は、精白処理をした精麦モチ麦「粒」であったが^{6,7)}、精白処理で生じる残渣である「ヌカ」にも GABA を生産する活性が含まれることが容易に推察できる。そこで「モチ麦ヌカ」を用いて GABA エキス（液体製品）を製造したので、研究内容を紹介したい。ここで、GABA やモチ麦については、前報⁷⁾を参考にさせていただきたい。本研究の一部は別に学術論文にまとめているので参照していただきたい¹²⁾。

Corresponding author: 渡部保夫 (Yasuo Watanabe)

連絡先 : 〒790-8566 愛媛県松山市樽味3丁目5番7号

愛媛大学農学部生物資源学科応用生命化学教育専門コース

E-mail : watanabe@agr.ehime-u.ac.jp

Tel/Fax : 089-946-9849

1. モチ麦「ヌカ」を用いた γ アミノ酪酸 (GABA) の製造法

γ アミノ酪酸 (GABA) はグルタミン酸脱炭酸酵素 (GAD) の作用によりグルタミン酸 (Glu) から作られ¹⁰⁾, モチ麦など穀類ではその表皮に酵素は多く含まれると考えられる。一方, 麦類ではでんぷん質の利用の効率を高めるために, 表皮を精白除去して利用する方法が古くから取られてきた。従って, 精白して残渣として本来廃棄される「ヌカ」に GABA 生産酵素の多くが分布すると推測できるので, 原料である Glu と, ヌカ, 水を混合して GABA を製造することにした。なお, 使用したモチ麦ヌカは, 精麦装置を用いてモチ麦粒を 15% 程度精白した残渣とした (図 1 左)。前報で報告した筆者らの研究では^{6,7)}, 精白したモチ麦粒を 0.5% 程度の Glu 溶液 (pH 約 4) に浸漬して 6 時間程度, その後水切りし, さらに室温 (25℃) で一晚 (15 時間程度) 保温して GABA を製造した。

ヌカを用いる GABA 製造法もこの技術を準用するが, 25g のモチ麦ヌカを 100mL の Glu 溶液と混合し, 25℃で一晚保温した。ヌカ混合液を遠心分離 (1,000 × g, 10 分間) して上澄みを回収した (図 1 右)。上澄みと等量の 4% スルホサリチル酸と混合して除タンパクした後, アミノ酸分析のサンプルとした。アミノ酸分析法については前報⁷⁾に記した。



図 1 モチ麦「ヌカ」と GABA モチ麦エキス

2. もち麦ヌカを用いた GABA の生産の最適化

2-1 pH の影響

モチ麦ヌカと混合する Glu 溶液の pH を調節して, GABA 生産性を調べた (図 2)。最適 pH は 4 であった。精麦モチ麦粒を用いた GABA 生産における最適 pH の結果^{6,7)}と比較すると, 粒の場合は pH 6 から 9 の範囲の活性が若干高く維持されていた。ヌカの酵素よりも, 粒に付着している酵素の方が pH の影響を受けないことになるが, 明確な理由は不明である。ともあれ, ヌカの最適 pH から考えると, モチ麦ヌカを材料として GABA を製造する場合は, より正確に pH を 4 に調節する必要がある。

2-2 グルタミン酸濃度の影響

Glu 溶液浸漬法を用いて精白モチ麦粒で GABA を製造した場合, Glu 濃度の最適は 1% であり 0.5% では GABA 生産量が若干低かったが, ヌカを酵素源として GABA を製造した場合 (図 3), 0.5% と 1% ではほぼ同程度の生産性を示した。使用する原料の経済面を考慮しても, モチ麦ヌカを材料とする場合, 0.5% の濃度が適当であることが分かった。しかし, 以降

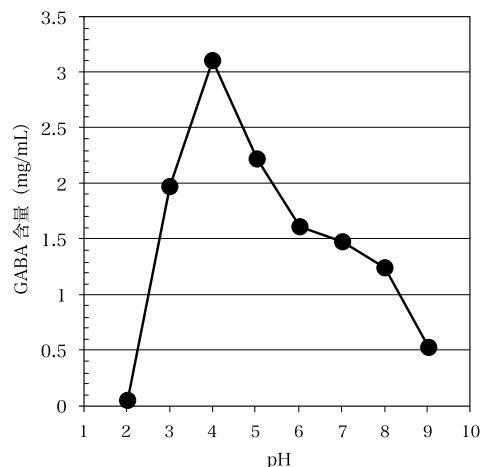


図 2 モチ麦ヌカを用いた GABA 生産に対する Glu 溶液の pH の効果

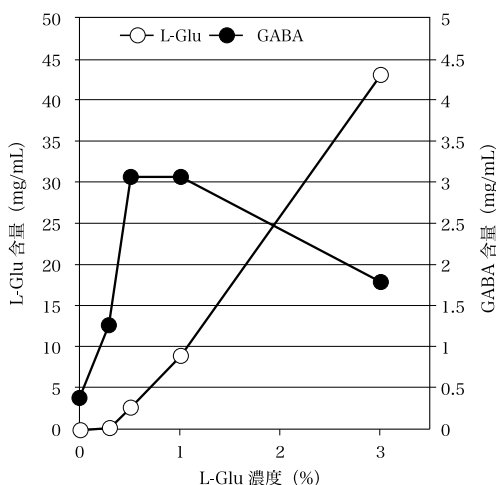


図3 モチ麦ヌカを用いた GABA 生産に対する Glu 濃度の効果

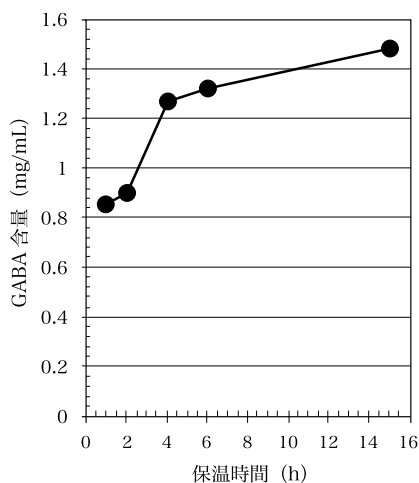


図4 モチ麦ヌカを用いた GABA 生産に対する保温時間の効果

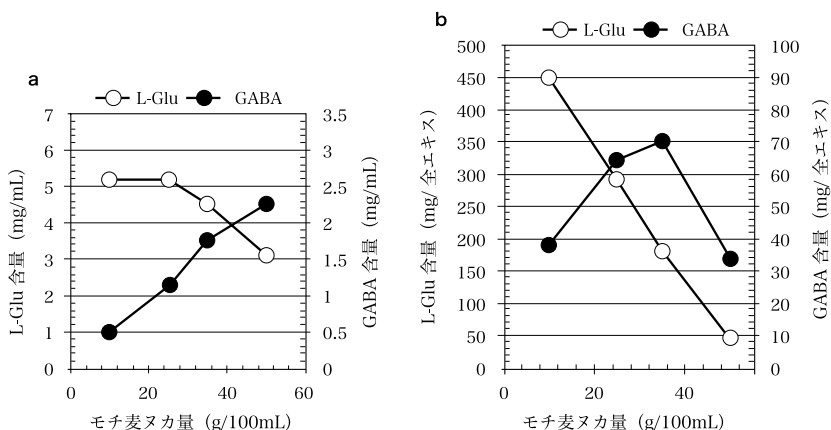


図5 モチ麦ヌカを用いた GABA 生産に対するヌカと Glu 溶液の混合比率の効果

の実験では十分量の Glu 存在下で試験するために 1% の Glu 溶液を用いた。

2-3 保温時間の影響

モチ麦ヌカと Glu 溶液との混合物を室温 (25℃) で保温して、ヌカに含まれるグルタミン酸脱炭酸酵素 (GAD) の作用で GABA を生産するが、この保温時間の影響について検討した (図4)。4～6 時間保温することで GABA 生産量は急激に増加し、一晚 (15 時間) 保温でも減少することなく GABA は生産された。Glu 溶液の調製やヌカとの混合などの操作を含めて 1 日の工程で GABA モチ麦エキスを製造できることが分かった。後述するように、ヌカには多く雑菌が共存しているので、酵素反応を行う温度で保温すると、雑菌も増殖することになる。したがって、製造工程をできる限り短くすることも重要である。なお、以降の実験は、1%Glu 溶液 (pH 4.0) を用いて 25℃ で 15 時間 (一晚) 保温の条件で行うこととした。

2-4 ヌカとグルタミン酸溶液の混合比率の影響

これまでの実験では、モチ麦ヌカ 25g と Glu 溶液 (pH 4.0) 100mL を混合して行った。混合比率を変え、ヌカ量を多くすれば得られる GABA 量は増加すると考えられたので、両者の混合比率について検討した。Glu 溶液 100mL

にヌカを 10g, 25g, 35g, 50g を加え、GABA の生産量を測定した (図5)。遠心分離によって回収した上澄み (エキス) mL 当たりの GABA 量で表示すると、図 5a に示したようにヌカ量に依存して増加した。しかし、エキス全量に

換算すると、図 5b に示したように 35g ヌカの場合が最高であり、50g ヌカを加えると著しく GABA 量は低下した。遠心分離の後に回収できたエキス容量を計測すると、10g から 50g ヌカの場合で、それぞれ、75mL, 56mL, 40mL, 15mL であった。すなわち、50g ヌカを用いて GABA エキスを製造すると GABA 量が低下するのは、回収されるエキス容量が著しく低下するためであった。以上を総合して、高濃度の GABA を含むエキスを調製したい場合は Glu 溶液 100mL 当たり 50g まで添加して作製すればよいが、回収率を考慮すると最も現実的な混合比率は、100mL 当たり 25g から 35g 程度であった。

2-5 攪拌の影響

モチ麦ヌカは Glu 溶液と混合し放置しておくで沈殿するため、攪拌すれば酵素反応は促進されると考えた。上記の混合割合ではスターラーを使って攪拌できなかったため、ヌカ少量で 25℃で一晩攪拌した。しかしながら、攪拌の効果は認められなかった。長時間反応したため攪拌の効果が現れなかったとも考えられたので、3 時間と 6 時間の短時間反応で検討したが、攪拌の効果はなかった。

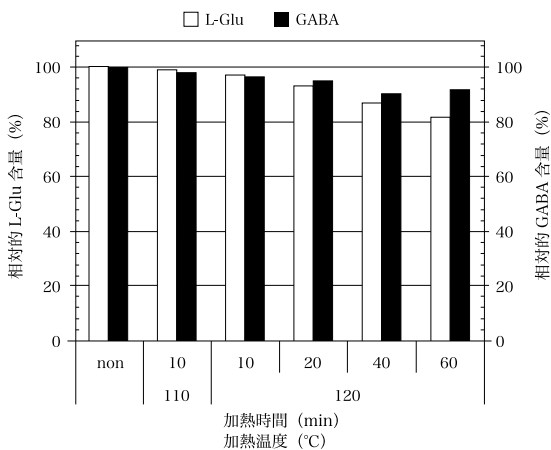


図 6 GABA モチ麦エキスの GABA 含量に対する加熱処理の影響

2-6 GABA モチ麦エキスの加熱殺菌による GABA 含量の変化

上述の方法で作製した高濃度の GABA を含む「エキス」は、ヌカや空气中に存在する雑菌に汚染されており、そのまま室温で放置した時、発泡を伴う腐敗が起こった。そこで、エキスを殺菌するために加熱処理することとした。図 6 に示した条件で加熱した後、残存する GABA 量を測定した。120℃ 60 分のオートクレーブによっても GABA は 90% 程度残存し、ほとんど分解されないことが分かった。また、前報で述べたように⁷⁾、GABA は微生物により消費されることが知られているので、殺菌処理は品質の安定化においても重要であると言える。

以上の結果より、モチ麦ヌカを用いて GABA エキスを製造するため、次のような条件を決定した。0.5% から 1% の濃度の Glu 溶液 (pH 4.0) 100mL とモチ麦ヌカ 35g の割合で混合し、25℃で一晩 (15 時間) 保温して Glu → GABA に変換する。遠心分離により上澄みを回収し、加熱による殺菌処理を施し製品とする。

3. ヌカに含まれるグルタミン酸脱炭酸酵素 (GAD) と補因子 (PLP) との関係

いろいろな麦類のヌカについて、GABA 生産性を検討した (図 7)。モチ麦ヌカに加えて、ハダカ麦ヌカ、二条大麦 (ビール大麦) ヌカ、小麦フスマを用いて上記した同一条件で GABA を生産したところ、ハダカ麦ヌカでも高い GABA 生産性を確認した。ハダカ麦は、モチ麦と同じ六条大麦に分類されることから¹¹⁾、六条大麦ヌカには高い GABA 生産能、すなわち GAD 活性が含まれると推察された。しかしながら、精白した精麦ハダカ麦粒を使って、前報⁷⁾で示した Glu 溶液浸漬法で GABA 生産した場合、ほとんど GABA が生産されなかった (結果は示さない)。ハダカ麦にはモチ麦と

同程度に GAD が含まれているが、GAD の多くが精白によってヌカとして離脱しやすいことが原因であると推測している。他方、二条大麦ヌカや小麦フスマでは GABA 生産性はかなり低かった。その理由を明らかにするために、以下の実験を行った。

GAD の酵素活性には、補因子としてピリドキサルリン酸（活性型ビタミン B₆、PLP）を必要とする¹⁰⁾。そこで、PLP を添加した場合の GABA 生産性を検討した（図 8）。1mmol/L と 3mmol/L の濃度で PLP を Glu 溶液（pH 4）

に添加した場合、試験したほとんどのヌカ（フスマ）試料ではほぼ同程度の GABA 生産を確認した。このことから、試験した試料にはほぼ同程度の GAD 酵素が含まれていると推察した。PLP を添加しない場合、小麦と二条大麦では GABA の生産性は低かった。この結果は図 7 に示した結果と同様であった。これらの結果から、小麦や二条大麦で GABA 生産性が低い理由は、PLP の存在量が少ないためであると考えている。他方、六条大麦では PLP 含量が高いものと考えられた。PLP 含量の測定により追認する必要があるが、GABA 生産性を考える場合、PLP の含量も重要ファクターであることが示唆された。

PLP は GAD 酵素の補欠分子族である¹⁰⁾。なお、PLP などの補因子が活性に必要な酵素の場合、その因子がなく活性を示さないタイプの酵素をアポ型と呼び、活性を示すタイプをホロ型と称している。従って、モチ麦やハダカ麦のヌカの GAD 酵素はホロ型の割合が、他と比較して高いと言える。

PLP は現在、我が国では食品添加物として認可されていない。PLP を Glu と一緒に加えて GABA を生産する研究は各種の食材において

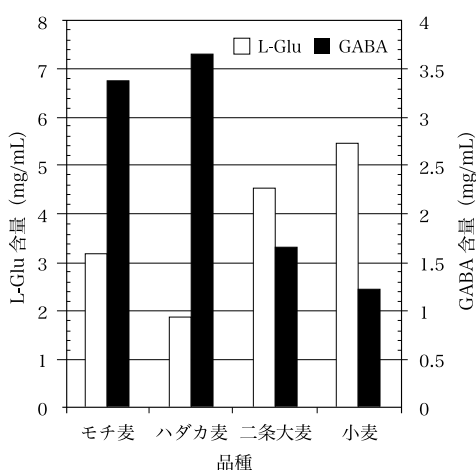


図 7 いろいろな麦類のヌカ（フスマ）を用いた GABA 生産性

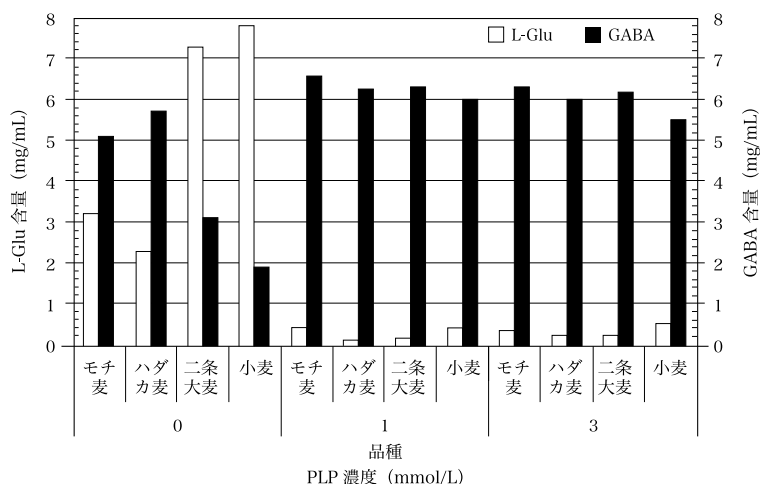


図 8 いろいろな麦類ヌカ（フスマ）の GABA 生産性に対する PLP の効果

行われており、その意味で GABA 富化はめずらしい現象ではない。しかし、ここで我々が強調したいことは、今回発見した材料である「モチ麦粒」や「六条大麦（ハダカ麦やモチ麦）ヌカ」は、食品衛生法に抵触する化合物を添加することなく、高い効率で GABA を生産できる食材なのである。

4. GABA もち麦エキスをを用いた GABA 強化パンの製造

研究室レベルであるが、ホームベーカリー（パナソニック社製）を用いて GABA 強化パンを作製し、膨張率と GABA 含量の消長を試験した。レシピは装置指定のモノを用いた。加える水の一部（20mL）を GABA モチ麦エキスを交換した。前報で報告した GABA モチ麦粉を使用した GABA 強化パンの場合は、モチ麦にはグルテンが含まれていないため膨張性が悪かったが⁷⁾、GABA モチ麦エキスを添加して GABA を強化したパンは、通常のレシピで作製したパンと違いはなかった（図 9）。GABA モチ麦

粉を添加して作製した GABA 強化パンはモチ麦粉に由来するモチモチ感があったが、GABA エキスを添加して作製したモノは通常のレシピで作製したパンと味覚などにおいてほとんど違いはなかった。

GABA モチ麦エキスを添加して作製したパンにおける GABA の消長について試験した結果を図 10 に示した。パンの部位別の GABA 残存率は、このホームベーカリーの指定する早焼きコース（発酵時間 1 時間）では中心部：約 75%，外側：約 50%，ソフトコース（発酵時間 3 時間）では中心部：約 60%，外側：約 40% であった。酵母が関係する発酵時間が長くなると GABA の減少割合が大きくなったことから、パン酵母が GABA を資化していることを再確認した。従って、この結果の減少率を加味して最初に多めに添加しておけば、GABA 強化パンを製造することができることになる。なお、GABA モチ麦エキスを加えずにレシピ通りに作製したノーマルパンの GABA 含量は僅かであり、エキスを加えることで GABA を強化することができた。



図 9 GABA 強化パン（右側）

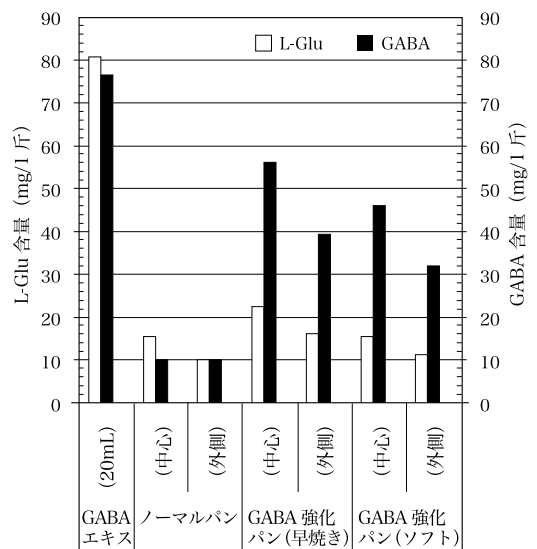


図 10 GABA 強化パンの部位別 GABA 含量変化

おわりに

本実験で確立した「モチ麦ヌカを用いた GABA 高生産技術」をまとめると次のようになる。0.5% から 1% の濃度で pH を 4 に調節した Glu 溶液 100mL 当たり 25g から 35g のモチ麦ヌカを混合し、25℃で一晩（15 時間程度）保温した後、遠心分離して上澄みを回収する。製造した GABA エキスをオートクレーブにより殺菌して製品とする。

いろいろな麦のヌカ（フスマ）を用いて GABA 生産性を試験したところ、モチ麦やハダカ麦のヌカの GABA 生産では、活性型ビタミン B₆（PLP）に対する依存性が低かった。したがって、これらのヌカのグルタミン酸脱炭酸酵素がホロ型であるため、食品添加物として認可されていない PLP を加えなくても GABA が高い効率で生産されることが分かった。

GABA モチ麦エキスを小麦粉に添加してパンを製造する時、酵母発酵による減少分を加味

して GABA を添加すれば、GABA を十分量含有する「GABA 強化パン」を製造できた。今後、GABA モチ麦エキスの利用法に関して、液体であるという利点を活用してどのような GABA 強化食品の製造が可能であるか、方向性を提案していきたい。

〔謝辞〕

本研究を実施するにあたり研究材料および資金を提供していただいた共同研究企業でもある（株）マエダの前田耕作社長に感謝いたします。本研究成果は鳥居枝里子氏をはじめ愛媛大学農学部応用生命化学専門教育コース生化学教育分野の学生諸氏の協力によるものであります。ここに深謝いたします。さらに、本研究は愛媛県「起業化シーズ育成支援事業」、愛媛大学「産学連携促進事業」、（財）エリザベス・アーノルド富士財団「平成 22 年度並びに平成 23 年度学術研究助成金」など多くの支援を受け実施いたしました。ここに改めて感謝の意を表します。

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

- 1) Inoue, K., Shirai, T., Ochiai, H., Kasao, M., Hayakawa, K., Kimura, M., and Sansawa, H. : 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).
- 2) Hayakawa, K., Kimura, M., Kasaha, K., Matsumoto, K., Sansawa, H. and Yamori, Y. : Effect of a γ -aminobutyric acid-enriched dairy product on the blood pressure of spontaneously hypertensive and normotensive Wistar-Kyoto rats. *Br. J. Nutr.* **92**, 411-417 (2004).
- 3) Kim, H.Y., Yokozawa, T., Nakagawa, T. and Sasaki, S. : Protective effect of γ -aminobutyric acid against glycerol-induced acute renal failure in rats. *Food Chem. Toxicol.*, **42**, 2009-2014 (2004).
- 4) Kimura, M., Hayakawa, K. and Sansawa, H. : Involvement of γ -aminobutyric acid (GABA) B receptors in the hypotensive effect of systemically administered GABA in spontaneously hypertensive rats. *Jpn. J. Pharmacol.*, **89**, 388-394 (2002).
- 5) 岡田忠司, 杉下朋子, 村上太郎, 村井弘通, 三枝貴代, 堀野俊郎, 小野田明彦, 梶本修身, 高橋励, 高橋丈夫 : γ -アミノ酪酸蓄積脱脂コメ胚芽の経口投与における更年期障害及び初老期精神障害に対する効果. 日本食品科学工学会誌, **47**, 596-603 (2000).
- 6) 渡部保夫, 鳥居枝里子, 大野一仁, 前田耕作 : モチ麦粒を用いた γ アミノ酪酸の高生産技術. 日本食品科学工学会誌, **58**, 182-185 (2011).
- 7) 渡部保夫 : モチ麦を用いた γ アミノ酪酸の高生産技術 (その 1) . *New Food Industry* (in press) .
- 8) FDA News Release, FDA finalizes health claim associating consumption of barley product with reduction of risk of Coronary Heart Disease. (May 19, 2006). <http://www.fda.gov/NewsEvents/Newsroom/PressAnnouncements/2006/ucml108657.htm>
- 9) 大麦食品推進協議会, トピックス「FDA 大麦食品ヘルスクレームの第一人者が語る大麦食品の健康価値」, <http://www.oh-mugi.com/topics/topics060602.html>.
- 10) 今堀和友, 山川民夫 (監修) : 生化学辞典第 2 版, 東京化学同人, p. 70 (1990).
- 11) 諸橋敬子, 秋本隆司, 山田進 : 県産モチ種大麦の性状及び麦飯・大麦麺への利用. 新潟食研, **29**, 21-25 (1994).
- 12) 渡部保夫, 鳥居枝里子, 渡辺誠也, 前田耕作 : 六条大麦ヌカを用いた γ -アミノ酪酸の高生産の要因. 日本食品科学工学会誌, **59**, 291-294 (2012).

人体への寄生虫感染を警戒すべき食材 (7)

—^{む こうじょうちゅう}無鉤条虫の感染源となりうるもの—

牧 純^{*1} 関谷 洋志^{*1} 渡辺 真衣^{*1} 玉井 栄治^{*1} 坂上 宏^{*2}

^{*1} MAKI Jun, SEKIYA Hiroshi, WATANABE Mai, TAMAI Eiji (松山大学薬学部感染症学)

^{*2} SAKAGAMI Hiroshi (明海大学歯学部病態診断治療学講座薬理学分野)

Key Words：牛肉・条虫・無鉤条虫

Summary

Jun Maki¹⁾, Hiroshi Sekiya¹⁾, Mai Watanabe¹⁾, Eiji Tamai¹⁾ and Hiroshi Sakagami²⁾

¹⁾ Department of Infectious Diseases, College of Pharmaceutical Sciences, Matsuyama University

²⁾ Division of Pharmacology, Department of Diagnostic and Therapeutic Sciences, Meikai University School of Dentistry : Food that needs precautionary awareness for the infection in human body---Prevention from the infection with the beef tapeworm, *Taenia saginata*.

This paper describes the infection of man with the beef tapeworm, *Taenia saginata* (*Taeniarhynchus saginatus*). Through the ingestion of raw beef including the rare steak, man gets infected with the larval cestode that becomes the adult worm in the intestine. The adult worm has their segments split and excreted out of the anus. The segment contains eggs, which are often detected on the perianal skin. The excreted segments on the grass containing eggs are ingested by grazing cows and oxen where the hatched larvae parasitize in the muscles. These larvae are infective to man. Thus, the life cycle of this parasite is maintained in the intermediate hosts (the cow and ox) and the final host (man). Although it is nowadays rare for the life cycle to be maintained in Japan, we have to be watchful and careful not to be infected following eating raw beef imported from the poorly hygienic areas. This attention belongs to the first prevention of the infectious disease. The second one is to recognize the syndromes such as the aches of the abdomen and diarrhea. The infected patients are advised to look at the segments moving on the surface of the feces excreted. These findings and notice, together with the specimen submitted to the clinician, will lead to the identification of the parasite. Chemotherapeutic strategy has nowadays been established. Praziquantel is highly effective in the elimination of the parasites.

要約

衛生状態の芳しくないといわれる国々のみならず、現代の日本においても牛肉の生食により大きな条虫（真田虫、サナダムシ）の1種、無鉤条虫に感染することがある。この条虫はヒトの腸管で成虫になると、数メートルどころか、時に10メートルにも達する。内部に虫卵を含む虫体の一部が肛門より排出され、牧草を食むウシ（これが中間宿主）に入って、筋肉内で幼虫となる。このような牛肉をヒトが生食すると感染し、腸管の中で成虫となる。この一部（いわゆる体節）が、毎日のように肛門でちぎれて排出される。このような生活誌を考えると、感染の一次予防には牛肉の生食を慎むことが絶対的に重要である。牛肉の生食歴と肛門よりちぎり出た体節の様子（糞塊上で動いている）を担当医に伝え、出来ればその体節を持参することが二次予防（早期発見、早期治療）の要となる。駆虫薬には現在では優れた効果のあるプラジカンテルが投与される。

緒 論

現代の日本のように、衛生状態のよいとされる時代になっても、国内で食材から寄生虫に感染することは決して稀でない。感染症の未然防止のためには、当然ながら情報と知見を收集整理しておくことが極めて大切である。まず一般に、食品による寄生虫感染で、国内で見出されるものを分類すると次のようになる。

国内での感染—

①国内産食品、②輸入食品

海外での感染—

③邦人の帰国、④感染している外国人の入国

今回は、海外のみならず、現代の日本においても牛肉の生食により感染することがある大きな条虫（真田虫、サナダムシ）の1種、無鉤条虫に注目する。この条虫は、①は稀としても、②～④は十分考えるものである。感染の一次予防、二次予防の要諦をなす情報を收集整理したので記載する。

1. 材料・方法

無鉤条虫に関する文献、教科書、成書、著作論文、学会発表等を最大限調査した^{1～16)}。戦後の寄生虫学の教科書（主として医学部で使用のもの）にとりわけ注目し、最大公約数的なまとめをめざした。ただし今回、分類・形態学の記載については割愛した。最近では特に、臨床系の寄生虫学会の発表に注目した。

2. 結果・考察

地歴的メモ：本虫の感染の有無は、肉食に関する思想と切っても切り離せない関係にある。肉食禁止令が天武天皇の時代（7世紀後半、本著者註）に出されているが³⁾、肉食が行われていたからこそ禁止令の措置にいたったわけで、それまでこの寄生虫の感染がある程度は見られ

たと想像される。しかも野獣を食べることは当時禁止されなかった³⁾ので、例えば山間部などでこの条虫の感染があったとしても不思議でない。ともあれ時代が下るとともに、日本では肉食の生活習慣は次第に下火となる³⁾。当時、条虫（サナダムシ）は“寸白虫”とよばれていた。それは主としてサケマスから感染する広節裂頭条虫であったと推測される⁴⁾。

仏教の掟が以前にも増して強大となった江戸時代、一部の人々に関する例外は別として（ヤマクジラと称してイノシシの肉を食することはあった、本論文著者註）肉食を慎んだ日本人が無鉤条虫に感染することはかなり稀であったと想像される。実際文献資料を探した限り、症例が出てこなかった。これに対し、サケマスの生食で感染する広節裂頭条虫で江戸時代のものと考えられる記録は残っている。患者の肛門より虫体を引きずり出している様子が絵図で示されている⁶⁾。これは無鉤条虫ではない。

西洋文化が疾風怒涛のように流れ込んできた明治維新後は、それまであまり知られていなかった寄生虫症とも出会うことになる。この無鉤条虫もそのひとつである。無鉤条虫が牛肉の生食で感染することを確定したのはドイツの寄生虫学者ロイクカルト（Leuckart）で、1862年のことであった²⁾。

夏目漱石著『坊ちゃん』に、“生で牛肉を食べると条虫が湧くぞ”とのくだりがある。以前は“寸白虫”と呼ばれ、現代の日本でも日常会話でサナダムシ（真田虫）なる呼称が普通であるが、漱石は小説の中で学術語“条虫”を用いたことになる。牛肉を食べることも“条虫”もさぞかしハイカラな響きがあったであろう。

あの小説から1世紀以上たった今日、アジア、アフリカ、ラテンアメリカの諸地域は言うに及ばず、現代の日本においても牛肉の生食により無鉤条虫に感染し、成虫がヒトの腸管に寄生することがある。京都府立医科大学医動物学教室

では1980年～2003年にかけて20例の無鉤条虫症例を経験している¹⁵⁾。

世界的にみて、近縁の有鉤条虫よりも本条虫の感染者の方が多いといわれるが、国や地域で見ると食習慣や宗教がかかわるので、一概にはいいがたい。一般に、この条虫は回教徒に多いとされる⁴⁾。ヒンズー教徒の多いインドは牛肉の消費量が極めて少ないことから、この条虫の感染者も極めて少ないと推測される。しかし、インド国内にも少数派ながら他の信者、例えばキリスト教徒や仏教徒もおり、牛肉を食べるとか食べないといった食習慣との関連で、感染症対策を講ずることもまた大切なことである。

生活誌・感染源：牛肉の生食により無鉤条虫の幼虫（専門用語でシスティセルクス *cysticercus* という）がヒトに経口感染して、腸管で成虫となる。ヒトの糞便とともに出された虫卵を含む虫体の一部（体節）が、例えば牧草などと一緒に中間宿主であるウシに入って、その筋肉内で幼虫となる。これは現在の日本では稀であるが、衛生状態のよくない国と地域では十分ありうることである。システィセルクス (*cysticercus*) と呼ばれるその幼虫は、牛肉の生食によりヒトに感染する。感染源は牛肉の生が多くを占めるが、ウシと近縁の動物たちの肉も危険と考えるべきである⁶⁾。教科書により長さの記載は異なるが、ヒトの腸管で3～6メートル⁶⁾の成虫となると、毎日のように体節がちぎれて排出される。それが糞塊の上を動いている。これは下記の診断に役立つ。

この成虫の頭部に鉤状構造がないことから、「無鉤条虫」と命名されている。これに対してそれがある種は「有鉤条虫」で、病理・診断などに関して、「無鉤条虫」と大いに異なるので、改めて述べる。

症状：寄生部位からして下痢、腹痛、不快感などの消化器系の症状が目立つ。肛門部の不快感・掻痒感倦怠感、悪心¹⁶⁾にも注目しておく

べきである。

診断：牛肉の生食歴と、肛門よりちぎり出た体節の様子（例えば糞塊の上を動いているか否か）を担当医に伝え、出来ればその体節を持参することが二次予防（早期診断、早期治療）の要となる。爪の甲の大きさぐらいの虫体として、個々ばらばらになったものが糞塊の上を動いている¹⁶⁾。

牛肉を生食したことがあったか否かを明確にすることは、診断において根本的に極めて大切なことである。

虫卵の臨床検査では、糞便そのものの検査よりは、肛門周囲セロファンテープ法による検査が行われる。肛門からはみ出した体節が座った際に肛門周囲に押し付けられて、虫卵がそこに付着する。その虫卵をセロファンテープ（現在幼稚園、保育園などの子供たちを対象に行われる蟯虫検査に用いられるもの）に付着させて顕微鏡観察する。ただし虫卵そのものでは、近縁の有鉤条虫のそれとは区別が困難であるので、排出された体節の形態観察で同定が可能となる。極めて専門的な内容となるが、受胎体節と呼ばれる体節の子宮に墨汁を注射針で注入して虫体の中の“枝分かれ”を見る。片側に20本ないし24本の“枝分かれ”が認められれば無鉤条虫である。もし、その数がその半分程度（10～12本）であれば有鉤条虫と判断される。

治療：駆虫薬として、現在では優れた効果のあるプラジカンテルが投与される。頭節がもし腸管内に残っていると、そこからまた伸長する。頭節も駆出されたか否かの確認も大切である。しかし何匹寄生しているかは不明なので、これだけで安心はできない。

予防：一次予防には、牛肉の生食を慎むことが絶対的に重要である。日本国内における地方料理“牛のたたき”も、生肉かそれに近いものであれば、極めて危険と思っていたほうが無難である。ウシ筋肉における幼虫はその心筋、舌

筋、横隔膜などによく見出される¹⁶⁾。どのような場合であれ、牛肉の生食は絶対にすべきでない。本虫の感染回避のためには、これは論議の余地なくタブーである。ビフテキのレアも感染の危険を伴う。しっかりと熱の通った料理なら感染の危険はない。－10℃で10日以上冷凍

した牛肉では、本幼虫の感染性は損なわれているので安全といえる⁶⁾。海外旅行時の飲食では、ナマモノに対して特段の注意を払うべきである。飲酒で気の緩んだ時とか、仲間と変に勇気を出して食べた時が危ない。

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

- 1) 小泉 丹：『人体寄生虫』（第2刷発行）岩波全書 164，岩波書店（東京）（1953）
- 2) Faust EC, Russel PF and Jung RC: Craig & Faustus' Clinical Parasitology 8th ed. Lea & Febiger (Philadelphia), (1970)
- 3) 橋本直樹：知っておきたい日本の食文化—その1 日本の食文化の伝統, *New Food Industry*, **54** (2), 49～54, (2012)
- 4) 岡部浩洋著：“無鉤条虫”，日本における寄生虫学の研究第1巻，目黒寄生虫館，（1971）
- 5) 宮崎一郎著：無鉤条虫症『図説人畜共通寄生虫症』九州大学出版会（福岡）（1988）
- 6) 吉田幸雄・有園直樹：『図説人体寄生虫学』第8版，南山堂，東京（2011）
- 7) 松林久吉編集，横川宗雄：『人体寄生虫学ハンドブック』，朝倉書店，東京，（1972）
- 8) 佐々学：『人体病害動物学—その基礎・予防・臨床・治療』医学書院，東京，（1975）
- 9) 稲臣成一：横川吸虫『臨床寄生虫学』（大鶴正満編集）南江堂，東京（1978）
- 10) 柳沢十四男，井上義郷，中野健司：『寄生虫・衛生動物・実験動物』講談社サイエンティフィク，講談社，東京（1983）
- 11) 勝部泰次著：『本邦における人獣共通寄生虫症』（林滋生編集代表）“食品衛生と人獣共通寄生虫症”文永堂，東京（1983）
- 12) 保阪幸男著：“横川吸虫”『新医寄生虫学』（鈴木了司，安羅岡一男，柳沢十四男編）第一出版，東京（1988）
- 13) 山根洋右：『NEW 寄生虫病学』（小島莊明編集）無鉤条虫症，南江堂（東京），（1993）
- 14) 伊藤洋一：『医療技術者のための医動物学』講談社サイエンティフィク，講談社，東京，（1995）
- 15) 塩田恒三，山田 稔，内川隆一，手越達也，吉田幸雄，有園直樹：広節 / 日本海裂頭条虫および無鉤条虫症の疫学的動向，第14回日本臨床寄生虫学会（長崎）プログラム・抄録集 p.22, (2003)
- 16) 村上一，勝部泰次，影井 昇，丸山 務：『人畜共通伝染病』，近代出版（東京），（1982）

ニジマスで *Flavobacterium* 属細菌の 被害を軽減する方法 - 2

酒本 秀一

SAKAMOTO Shuichi

Key Words: ニジマス・*Flavobacterium*・給餌率・魚の系統・鰭欠損症

前報¹⁾においてニジマスの鰭欠損症の発生に及ぼす要因として飼育密度と通水量を検討し、以下の結果を得た。

飼育密度: 飼育密度が高いほど鰭欠損症の発生率が高く、その症状も重い。また、高密度になるほど飼料成分の魚体蓄積率が低くなり、その結果として魚の成長と飼料効率が悪くなる。更に、高密度になるほど体表が黒っぽくなる。鰭欠損症は稚魚でも成魚でも発症、悪化する。

通水量: 通水量が多くなるに従って鰭欠損症の発生率が低くなり、その症状も軽くなる。また、通水量が多い区の方が飼料成分の魚体蓄積率が高くなり、その結果として魚の成長と飼料効率が良くなる。

本試験では上記の要因以外に鰭欠損症の発生に影響を及ぼす可能性がある給餌率と魚の系統について検討した。

給餌率

杉本ら²⁾はウナギの養殖池において *Flavobacterium* 属細菌は食べこぼしや食べ残した飼料の表面で増殖していることを報告している。池中の残餌や糞の量に影響を及ぼす要因の一つに給餌率がある。給餌率が高い、つまり餌

を与える量が多ければ当然残餌や糞も多くなる。また、餌を食べる量が *Flavobacterium* 属細菌の感染と関係しているのではないかと推測させる現象に以下の2点がある。

①魚粉の配合率が低く、摂餌性が悪い飼料でニジマス稚魚を飼育すると鰭欠損症の発生率が高く、傷んだ鰭から *Flavobacterium* 属細菌が分離される。

②ニジマス成魚の出荷に備えて餌止めを行い、狭い池に収容しておくと、翌日には背鰭がやや白っぽくなり、2日目には肉眼で明らかに白くなっているのが分かる。鰭欠損症の初期症状と思われる。

この様に、鰭欠損症の発生には給餌率（餌を与える量）が関係している可能性が高いので、本試験では給餌率と鰭欠損症の関係を調べた。

試験は魚の大きさと飼育密度を変えて2回行った。

試験 -1. 供試魚: 0.48g/尾, 飼育密度: 200尾/水槽

ニジマスの鰭欠損症は1g以下の稚魚でも発生することと、魚の飼育密度は200尾/水槽以下が好ましいことがこれまでの試験で分かっている。よって、試験-1では0.48gの稚魚を用い、

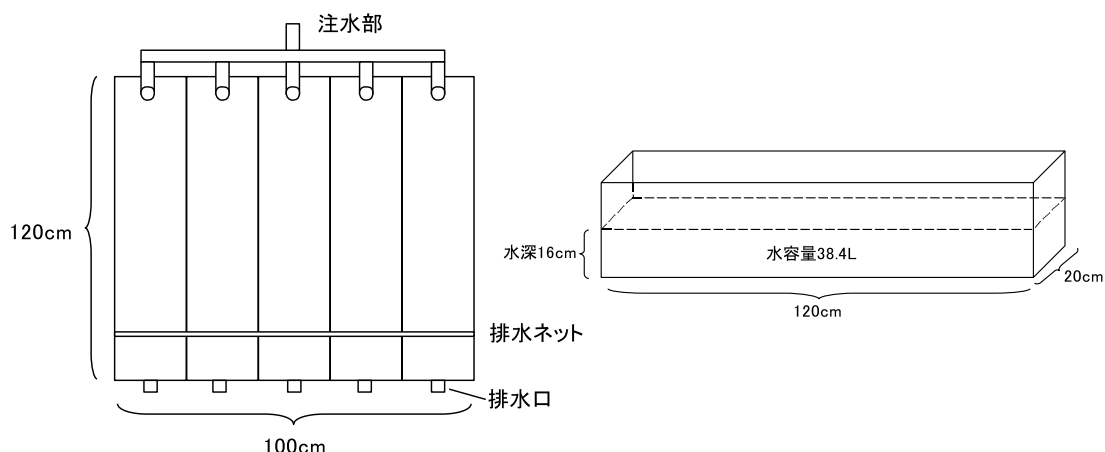


図1 試験水槽の構造

1 水槽当たりの収容尾数を 200 尾として試験を行うことにした。

1. 方法

1-1. 飼育条件

供試魚：0.48g/尾。水槽：図1に示す塩ビ製5連水路型水槽で、1水槽当たりの水量は38.4L。魚の収容密度：200尾/水槽。水温：14℃。通水量：9.4L/分。飼料：市販のニジマス稚魚用で、成分は水分7.3%，タンパク質49.3%，脂質11.8%，灰分11.6%，炭水化物20.1%である。給餌率：改変ライトリッツ給餌率を100%とする。この量に対し、飽食量（170%に相当）、改変ライトリッツ給餌率そのまま（100%）、その3/4（75%）、1/2（50%）、1/4（25%）の5区を設定し、それぞれをA-E区とした。飼育期間：6月17日から8月24日の約2カ月間。

1-2. 鰭の状態観察

飼育試験開始時（6月17日）に100尾、7月21日に各区から10尾ずつサンプリングしてオイゲノール（FA-100：大日本製薬製）で麻酔し、実体顕微鏡下で各鰭の状態を観察した。また、飼育試験終了時（8月24日）に各区から100尾ずつサンプリングし、同様に処理した。

鰭の無くなり方は以下の過程を辿る。最初

に鰭の先端部から中央部にかけて粘液状物質（*Flavobacterium* 属細菌ではないかと推測しているが、未確認）が付着する。次に鰭の軟条間鰭膜が溶けて裂け、軟条が剥き出しになる。剥き出しになった軟条が折れ、鰭がやや小さくなる。この過程を繰り返すことによって最終的に鰭は殆ど無くなり、明確な鰭欠損症を呈する。更に悪化すると肉の部分まで溶けて、背部に穴開き症状を呈するに至る。

鰭欠損症の程度を示す指標として、全く鰭が欠損していない場合を正常、正常な鰭の面積の0-30%が欠損している場合を軽症、>30-70%を中症、>70-100%を重症と便宜的に決めた。

1-3. 分析

飼料は飼料分析法に従って分析した。今回は魚体成分の分析は行わなかった。

2. 結果

2-1. 鰭の状態

飼育試験開始時に鰭欠損症を呈している魚は認められなかった。7月21日に各区から10尾ずつサンプリングした魚の観察結果を表1に示す。給餌率が低い（給餌量が少ない）区ほど鰭欠損症の発生率が高く、その症状も重度であった。但し、最も給餌率が低いE区（25%）はB

表 1 背鰭の状態 (7月21日)

試験区	A	B	C	D	E
給餌率 (%) 飽食 (170)	100	100	75	50	25
正常 (%)	100	30	-	-	-
軽症	-	70	10	-	-
中症	-	-	30	40	70
重症	-	-	60	60	30

表 2 鰭の異常を示す魚の率 (終了時)

試験区	A	B	C	D	E
背鰭	-	96	99	100	100
尾鰭	1	9	33	49	24
胸鰭	1	45	84	81	84
腹鰭	-	6	7	6	6
尻鰭	-	6	51	52	18

表 3 背鰭の状態 (終了時)

試験区	A	B	C	D	E
正常 (%)	100	4	1	-	-
軽症	-	61	9	3	31
中症	-	27	21	5	41
重症	-	8	69	92	28

区 (100%) と C 区 (75%) の中間値を示した。

終了時に各区 100 尾の全鰭を観察した結果を表 2 に示す。全ての鰭で給餌率が低い区ほど鰭欠損症の発生率が高い傾向が認められるが、尾鰭と尻鰭では E 区 (25%) の値は B 区 (100%) と C 区 (75%) の中間を示した。また、鰭の種類によって鰭欠損症の発生し易さが違うことも分かった。最も傷みやすいのが背鰭と胸鰭、次いで尻鰭と尾鰭で、最も傷みにくいのが腹鰭であった。鰭の種類によって何故このような違いが生じるのかは現段階では分からないが、何らかの理由が有るのであろう。

終了時の背鰭の状態を表 3 に示す。給餌率が低い区ほど鰭欠損症の程度が重くなるのは明らかであるが、E 区 (25%) は B 区 (100%) と C 区 (75%) の中間の

状態であった。

この様に E 区は最も給餌率が低いにも拘らず鰭欠損症の程度はそれ程酷くなかった。この理由を考えてみると、次項で示すように E 区の魚は給餌量が少ないので殆ど成長していないことと関係が有るのではないかとと思われる。飼育試験終了時の水 1L 当たりの魚の量は A 区: 27.1g, B 区: 17.4g, C 区: 14.4g, D 区: 10.0g, E 区: 5.7g で、E 区は他区より著しく少ない。E 区では前報で説明した飼育密度の影響が出ているのではないかと考えられる。

2-2. 生残率, 成長, 飼料効率

飼育結果を表 4 と図 2, 3, 4 に示す。給餌率が高い区ほど生残率が高い傾向が有る。E 区 (25%) で著しく生残率が低いが、これは餌不足で体力が弱い魚は摂餌競争に負けて摂餌出来ず、餓死した可能性がある。魚の成長 (増重量) は当然給餌率が高い (餌を食べた量が多い) 区ほど良いが、E 区でも少ないながらも成長はしていた。飼料効率は給餌率が 75-50% の区で高

表 4 飼育結果

試験区	A	B	C	D	E
生残率 (%)	99.0	97.5	96.0	95.5	81.0
増重量 (g)	966.5	587.6	471.8	301.3	142.0
給餌量 (g)	917	540	405	270	135
飼料効率 (%)	105	109	117	112	105

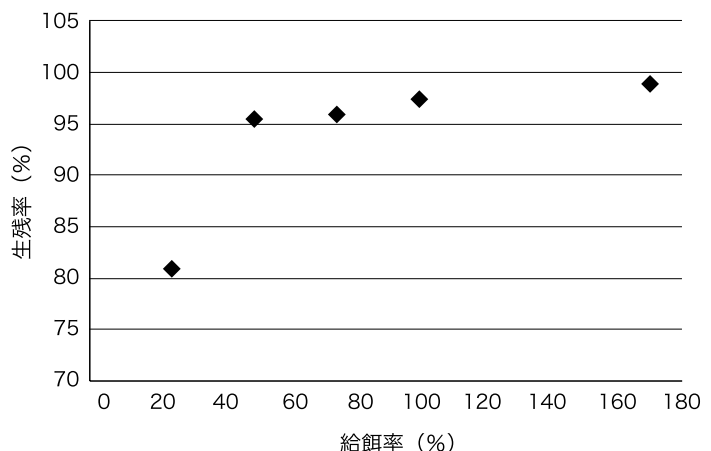


図 2 給餌率と生残率の関係

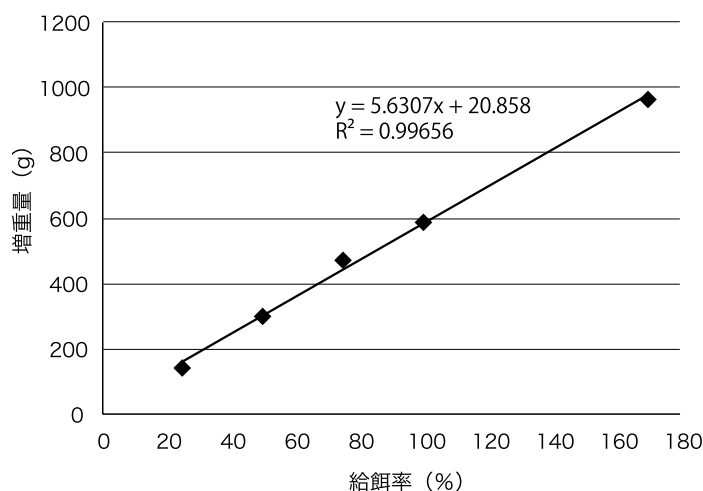


図3 給餌率と増重量の関係

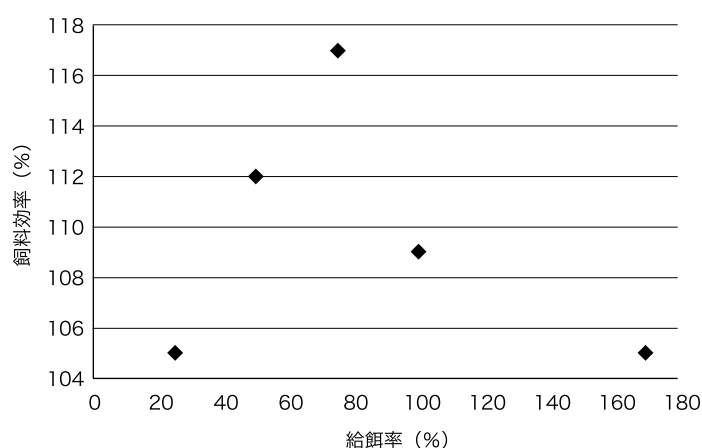


図4 給餌率と飼料効率の関係

い。25%区も飽食区(170%)と同じ値であった。魚では、あまりに摂餌量が多いと飼料の栄養成分が十分に消化・吸収されないまま押し出されるように排泄されることと、摂餌量が少ないと消化管内の滞留時間が長く、十分に消化・吸収されてから排泄されることが知られている。つまり、やや低めの給餌率の方が飼料効率は良くなる訳である。本試験の結果は従来の知見と良く一致している。

試験-2. 供試魚: 1.2g/尾, 飼育密度: 400尾/水槽

試験-1で給餌率を低くするに従って鰭欠損

症の発生率が高くなり、その症状も重くなる傾向が認められた。しかしながら、最も給餌率が低いE区(25%)ではC区(75%)とD区(50%)より症状が軽かった。これはE区(25%)は摂餌量が少ないので魚の成長が遅く、単位水量当たりの魚の量が少ないことの影響、つまり給餌率以外に飼育密度の影響も出ている可能性があると推定した。よって本試験では、供試魚に試験-1より大きな稚魚を用い、飼育密度も試験-1の200尾/水槽から400尾/水槽に増やして再度試験を行い、推定の妥当性を検討した。

1. 方法

1-1. 飼育条件

供試魚: 1.2g/尾。魚の飼育密度: 400尾/水槽。飼育期間: 7月22日から8月24日の約1カ月間。今回は魚の成長による飼育密度が高くなりすぎることによる影響が出ないように飼育期間を試

験-1より短くした。その他の条件は試験-1と同じ。

1-2. 鰭の状態観察

飼育試験開始時(7月22日)に100尾、8月8日に各区から10尾ずつサンプリングして鰭の状態を観察した。また、終了時(8月24日)に各区から100尾ずつサンプリングし、同様に鰭の状態を観察した。なお、今回は背鰭のみを調べた。

2. 結果

飼育試験開始時に背鰭の異常を呈した魚は認められなかった。8月8日の観察結果を表5に

表5 背鰭の状態 (8月8日)

試験区	A	B	C	D	E
正常 (%)	100	100	30	-	-
軽症	-	-	60	60	20
中症	-	-	10	40	80
重症	-	-	-	-	-

表6 背鰭の状態 (終了時)

試験区	A	B	C	D	E
正常 (%)	100	98	-	-	-
軽症	-	2	5	-	-
中症	-	-	17	3	-
重症	-	-	78	97	100

示す。略2週間の短期間でも明確な傾向が認められ、給餌率が低い区ほど鰭欠損症の発生率が高く、しかもその症状が重度であった。

終了時の結果を表6に示す。8月8日の傾向がより明確になっている。給餌率が低い区ほど鰭欠損症の発生率が高く、その症状も重い。

以上の結果から、試験-1のE区(25%)の値は魚の増重量が少ないことによって飼育密度が低かったことによる影響も含まれていたと考ええる。試験-2の結果が本来の給餌率の影響を示しているものと思われる。

3. 試験-1, 2の要約

給餌率が低くて摂餌量が少ない区ほど鰭欠損症の発生率が高く、しかもその症状が重度であった。試験-1, 2の結果から、給餌率は現行の改変ライトリッツ給餌率以上の率にした方が良いと思われる。

鰭の種類によって鰭欠損症になり易さが全然違うことが分かった。最も傷みやすいのが背鰭と胸鰭で、次いで尻鰭と尾鰭、腹鰭が最も傷みにくかった。何故このような結果になるのか現段階では不明であるが、数度試験を行ってもこの傾向はほぼ同じであるので、再現性は有るものと考ええる。

鰭のうちで最も観察しやすいのは背鰭と尾鰭であるが、鋭敏度からして背鰭を調べて指標とす

るのが良いであろう。

4. 試験-1, 2の考察

給餌率が高いほど摂餌量も多くなるので残餌や糞も多くなり、水槽は汚れる。このような状況下で *Flavobacterium* 属細菌が増殖し、鰭欠損症が発生し易くなると思われるのに何故か給餌率が低く、摂餌量が少ない区ほど鰭欠損症の発生率が高く、その症状も酷かった。逆に給餌率が最も高い飽食区では全く鰭欠損症は発生しなかった。この結果は、水槽内での *Flavobacterium* 属細菌の増殖が鰭欠損症発生の主たる要因ではないことを示しているものと思われる。残餌や糞の増加による *Flavobacterium* 属細菌の増殖より、餌不足によるストレスの方がニジマス稚魚に与える影響が大きいのであろう。常時餌が不足している状態においては、給餌時に魚が密集して餌を取り合い、傷つけあったりする可能性が高い。傷つくとその部分は体表の粘液が剥がれているので、*Flavobacterium* 属細菌の感染門戸となる。また、摂餌量が不足することによって魚の体力が落ち、免疫力も低下していることなども考えられる。

現在の給餌率は飼料の効率が良く、池があまり汚れないこと等を重視し、養殖を行う人の都合で決められたものであり、魚の立場に立って決められた数値ではない。また、かなり昔に決められた数値なので、魚の健康面や免疫的な問題についてまで考慮されているとは思えない。これは当時の知識と技術力からして、仕方のないことである。近年の飼料製造技術の進歩によって、飼料の物性も昔とは大きく違って来ているし、栄養面でも色々な工夫が凝らされ、改善されて来ている。そろそろ従来の給餌率を見直す時期ではないかと考える。

鰭欠損症が稚魚の段階で発生して鰭の一部あるいは殆どが無くなってしまうと、魚が大きくなっても元に戻らないようなので、餌付け・稚

魚段階では十分量（飽食量）の給餌を行うべきである。未だ魚が小さいので、飽食量与えても飼料の量はそれほど多くなり、経済的にも大きな負担になるとは思えない。

魚も含め、動物の飼育を業とする人の中には、まず子供の腹を作る（十分量の餌を与えることによって腸管を発達させ、多くの餌を食べられるようにし、食べた餌を効率よく消化・吸収出来るようにする）のが何よりも大事であるという人が居るが、適切な指摘なのかも知れない。

給餌率が高いとどうしても食べこぼしや食べ残しが多くなってしまい、無駄になる飼料が多くなる。また、過剰量の給餌を行うと飼料は十分に消化・吸収されないまま排泄されることが知られている。従って、ある程度給餌率が低い区の飼料効率が高いのは、無駄になる飼料が少ないことと、食べた飼料の消化管内滞留時間が長く、消化・吸収が十分に行われ、効率良く飼料成分が魚体に蓄積されるからであろう。

飼料効率が良いことと、魚が受けているストレスや健康状態は別と考えた方が良さそうである。

魚の系統

ニジマス養殖業者の間では、鰭が無くなり易い系統の魚と無くなり難い系統の魚があると云われている。もし本当に系統の違いによって鰭の無くなり方に違いが有るのであれば、鰭欠損症の発生は魚の遺伝形質が関与している可能性がある。つまり、*Flavobacterium* 属細菌に対する抵抗力のある魚を育種によって作出できる可能性が有ることになる。

本試験では前報の飼育密度試験に供した魚とは系統が違う魚を用い、前報と同じ条件で飼育密度試験を行い、魚の系統によって鰭欠損症の

発生率に違いが有るか否かを調べた。なお、前報の試験で用いた魚をⅠ系統、本試験で用いた魚をⅡ系統とする。Ⅰ系統の魚は成魚になるまで比較的綺麗に各鰭が残っている魚を3代交配させたもので、現場では鰭が綺麗な系統と云われている。Ⅱ系統の魚は何も手を加えていない普通のニジマスである。Ⅰ系統の詳しい試験結果は前報¹⁾を参照して頂きたい。ここではⅡ系統の魚との比較検討に必要な部分のみⅠ系統の魚の結果も示す。

1. 方法

1-1. 飼育条件

供試魚:1.5g/尾（Ⅰ系統の供試魚は1.7g/尾で、ほぼ同じ大きさ）。試験水槽:図1の水槽で、Ⅰ系統の魚の試験に用いたのと同じ水槽。魚の飼育密度:前報と同じ50, 100, 200, 400及び800尾/水槽で、順にA-E区とする。水温:14℃。通水量:9.4L/分。飼料:市販のニジマス稚魚用で、前報と同じ種類の飼料であるが、ロットは違う。成分は水分7.3%, タンパク質48.5%, 脂質11.6%, 灰分11.8%, 炭水化物21.7%である。給餌率:改変ライトリッツ給餌率。給餌回数:2回/日(午前中1回, 午後1回)。飼育期間:5月15日から7月21日の約2カ月間。

以上の様に、供試魚の系統、飼料の製造ロット、試験時期が前報と違うだけで、それ以外の飼育条件は両試験共ほぼ同じである。

1-2. 鰭の状態観察

開始時(5月15日)に100尾、6月16日に各区から10尾ずつサンプリングし、鰭の状態を観察した。また、飼育試験終了時(7月21日)にA区とB区は残りの魚全て(A区:40尾, B区:90尾)、C-E区はそれぞれ100尾ずつサンプリングして同様に観察した。観察法と鰭欠損症の程度の判断基準は前報と同じである。

1-3. 分析

飼料、魚体共に前報と同じ方法で分析した。

表7 飼育試験終了時の鰭の状態（Ⅱ系統）

試験区	A	B	C	D	E
飼育密度（尾/水槽）	50	100	200	400	800
全鰭正常（%）	42.5	9.1	-	-	-
鰭異常魚	57.5	90.9	100	100	100
背鰭					
正常（%）	50.0	15.9	-	-	-
軽症	32.5	36.4	5	-	13
中症	17.5	29.5	35	20	53
重症	-	18.2	60	80	34

表8 飼育試験終了時の鰭の状態（Ⅰ系統）

試験区	A	B	C	D	E
飼育密度（尾/水槽）	50	100	200	400	800
全鰭正常（%）	100	77.8	23	2	-
鰭異常魚	-	22.2	77	98	100
背鰭					
正常（%）	100	82.2	69	48	33
軽症	-	17.8	29	48	62
中症	-	-	2	2	3
重症	-	-	-	2	2

表9 飼育試験終了時の鰭異常魚率

Ⅰ系統					
試験区	A	B	C	D	E
背鰭	-	17.8	31	52	67
胸鰭	-	-	1	42	35
腹鰭	-	-	1	1	1
尻鰭	-	0.1	42	80	98
尾鰭	-	6.7	60	91	100
Ⅱ系統					
試験区	A	B	C	D	E
背鰭	50.0	84.1	100	100	100
胸鰭	-	15.9	12	66	68
腹鰭	-	-	12	13	68
尻鰭	12.5	19.3	37	46	66
尾鰭	10.0	38.6	71	95	90

2. 結果

2-1. 鰭の状態

飼育試験開始時には各鰭に異常は認められなかった。

6月16日に各区10尾で行った鰭の観察結果は以下の通りである。背鰭に絞って説明する。A区は全て正常である。B区は10尾中5尾の

背鰭先端部分がやや白っぽくなり、鰭欠損症の極初期であると思われる。C区は10尾とも背鰭に粘液状物質が付着し、鰭膜先端部が溶け、軟条の先端部が飛び出し、ササラ状に見える。D区は10尾とも鰭膜の溶解が可也進行している。E区はD区を更に酷くした状態。

飼育密度が高い区ほど鰭欠損症の発生率が高く、その症状も重いのは前報と同じであるが、Ⅱ系統の魚の方が進行が速い様である。

終了時の観察結果を表7に、前報のⅠ系統の魚の結果を表8に示す。Ⅱ系統の魚も飼育密度が高くなるに従って鰭欠損症の発生率が高くなり、症状が重い個体が増えるのは

Ⅰ系統の魚と同じであるが、その数値は全く違う。Ⅰ系統ではA区（50尾/水槽）では全ての魚が全鰭正常であったのに、Ⅱ系統では60%近くの魚が何れかの鰭に異常を呈していた。また、異常の程度もⅡ系統の方が重度であった。Ⅰ系統の魚の方が鰭欠損症に対して抵抗力が有ると云える。

両系統の魚の飼育試験終了時の各鰭の異常魚率を表9に示す。この表のみでは症状の程度は分からないが、数字が大きい区ほど症状も重いと見て頂ければ良い。Ⅱ系統の魚はいずれの鰭もⅠ系統の魚より鰭欠損症を発症し易いようである。特に背鰭、胸鰭、腹鰭が弱い傾向が有る。尻鰭のみはⅠ系統よりも発症し易いものの重症化しにくい傾向が有る。

鰭欠損症の発生率のみで判断すると、Ⅰ系統の魚は200尾/水槽、Ⅱ系統の魚は50尾/水槽以下の飼育密度にすべきであると云える。

2-2. 生残率、成長、飼料効率

飼育結果を表10と図5、6に示す。生残率は各区間で大きな違いは認められなかった。Ⅰ

表 10 飼育結果

試験区	A	B	C	D	E
生残率 (%)	100	100	94.0	97.0	97.9
増重量 (g)	337.9	674.4	1324.5	2476.8	4703.6
給餌量 (g)	293	585	1170	2340	4680
飼料効率 (%)	115	115	113	106	101

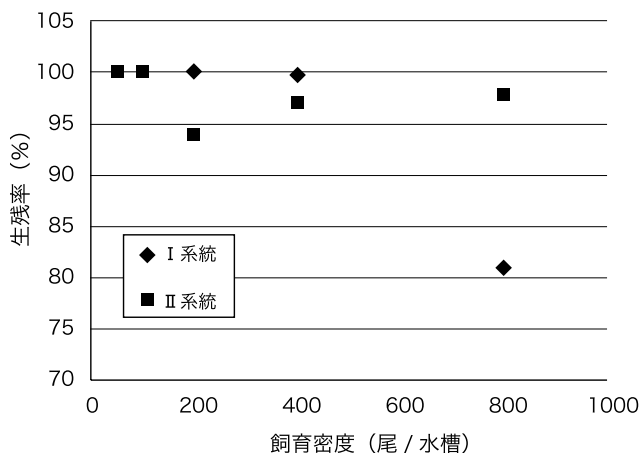


図 5 魚の系統の違いによる飼育密度と生残率の関係

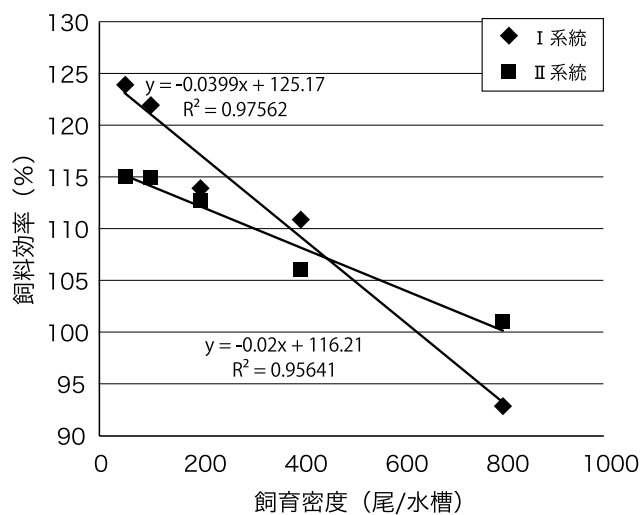


図 6 魚の系統の違いによる飼育密度と飼料効率の関係

表 11 魚体成分

時期	開始時	終了時				
試験区		A	B	C	D	E
水分 (%)	79.3	74.5	74.7	75.0	74.9	75.3
タンパク質	13.8	14.8	14.7	14.5	14.6	14.5
脂質	4.6	9.0	8.9	8.6	8.7	8.6
灰分	2.3	2.1	2.2	2.2	2.4	2.3

系統の魚は E 区 (800 尾 / 水槽) で生残率が明らかに他区より低くなっていたが、II 系統の魚では他区と同等であった。II 系統の魚は高密度飼育に強いのかも知れない。成長と飼料効率が高密度になるにつれて低くなるのは両系統とも同じであるが、II 系統の方が低くなり方が穏やかである。これも II 系統の魚の方が高密度飼育に強いことを示しているのかも知れない。

2-3. 魚体成分

表 11 に分析結果を示す。飼育密度が高い区の方が水分と灰分が多く、タンパク質と脂質が少ない傾向が認められるのは I 系統の魚の結果と同じである。終了時における C 区 (200 尾 / 水槽) 以上の飼育密度区の脂質含量は、I 系統で C 区 : 8.0%, D 区 (400 尾 / 水槽) : 8.1%, E 区 (800 尾 / 水槽) : 8.1% なので、明らかに II 系統の魚の方が値が高い。この結果からも II 系統の魚の方が高密度飼育に強いことが推測出来る。

2-4. 飼料成分の魚体蓄積率

飼料として与えられたタンパク質、脂質、灰分が魚体に蓄積された率を表 12 と図 7, 8 に示す。高密度になるに従ってタンパク質と脂質の蓄積率が低くなるのは両系統で同じであるが、低くなり方が II 系統の方が穏やかである。これも II 系統の魚の方が高密度飼育に強いことを反映しているのかも知れない。

3. 要約

飼育密度が高くなるに従って鰭欠損症の発生率が高くなり、その症状も重くなるのは I 系統も II 系統も同じで

表 12 飼料成分の魚体蓄積率

試験区	A	B	C	D	E
タンパク質 (%)	35.6	35.4	34.0	32.4	30.5
脂質	96.7	96.6	92.3	87.7	83.2
灰分	19.8	20.8	21.3	21.4	19.2

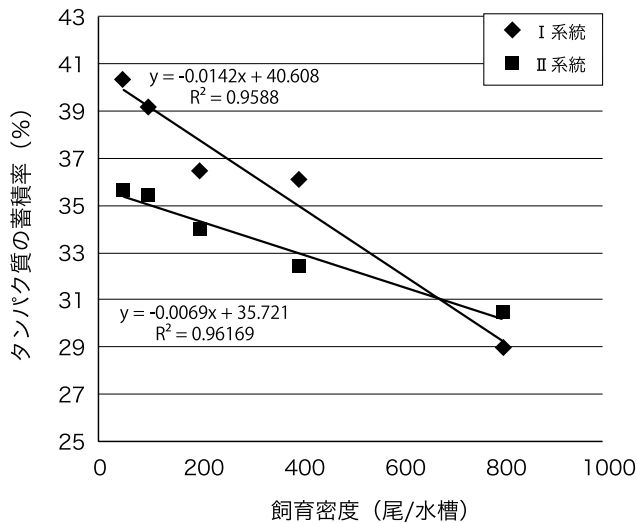


図 7 魚の系統の違いによる飼料成分の魚体蓄積率

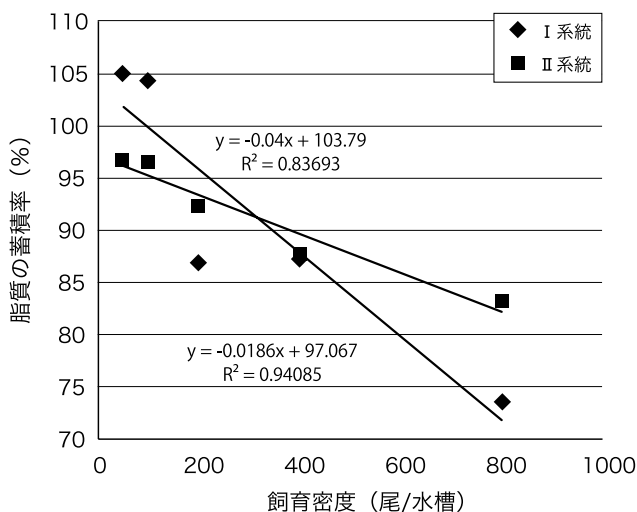


図 8 魚の系統の違いによる飼料成分の魚体蓄積率

あったが、明らかにⅡ系統の魚の方が鰭欠損症を発症し易いことと、系統によって鰭欠損症になり易い鰭に違いが有る可能性が示された。

Ⅱ系統の魚は鰭欠損症には弱いが、高密度飼育に強いようである。高密度飼育に対する耐性は何を指標とするかによって大きく結果が違う

ことが明らかになった。

I 系統の魚では鰭欠損症の発生率、飼育結果、魚体成分、飼料成分の魚体蓄積率のいずれから判断しても 200 尾 / 水槽以下の飼育密度が適切であった。Ⅱ系統の魚では鰭欠損症の発生率から判断すると 50 尾 / 水槽以下、飼育結果、魚体成分、飼料成分の魚体蓄積率からは判断しづらいが、敢えて云えば 400 尾 / 水槽以下の飼育密度が適切であった。この様に指標によって結果が大きく違った。

4. 考察

魚の系統によって鰭欠損症の発生率が違い、単純に成魚になるまで鰭が残っている率の高い魚を 3 代交配しただけの I 系統の魚の方が明らかに鰭欠損症の発生率が低く、その症状も軽かった。これは I 系統の魚の方が体表粘液が剥がれ難いだけなのかもしれないが、育種によって *Flavobacterium* 属細菌に感染しにくい魚を作出出来る可能性を示している。現代の育種技術を用いれば、単なる選抜育種によるよりも可也短時間で効率良く良質な魚が作出出来るのではないだろうか。

まとめ

今回の試験結果からニジマスで *Flavobacterium* 属細菌の被害を軽減する方法として、「①魚の飼育密度を低くする。②通水量を多くする。③給餌率を現在の給餌率より高くし、可能であれば稚魚期には飽食量とする。④ *Flavobacterium* 属細菌の感染に対する抵抗力が強い系統の魚を選択して飼育する。」などが考えられる。この他に、稚魚の

段階で浮上性が強い飼料を与えると、摂餌時に魚が密集してぶつかり合って鰭欠損症になり易いと云う養殖業者も居る。これは十分有り得ることなので、餌付け・稚魚の間は適切な沈降性を持つ飼料を用いることも大切なかも知れない。

既報³⁾の結果も合わせると、更に「⑤稚魚の再生産には *Flavobacterium* 属細菌に感染していない親魚を用いる。⑥ブドウ種子抽出物、パン酵母由来 β -1,3/1,6- グルカン (MacroGard)、ビタミン C、ビタミン Eなどを強化した飼料を用いる。⑦池底に残餌や糞が滞留しないような池の構造にし、水の流れを工夫する。⑧池も含めた飼育環境の消毒をキチンと行う。」などの方法もある。

これらの方法を全て行おうとすれば経費が掛かりすぎて養殖事業として成り立たないのは明らかである。費用が掛からない方法を幾つか選択し、組み合わせて実施するのが妥当であろう。

今すぐにと云っても無理であろうが、現在の養殖形態でも *Flavobacterium* 属細菌に感染しにくい魚を作出するのが最も良い方法であろう。それが出来るまでは、各自が自分の池にあった色々な方法を組み合わせて対応していくしかないであろう。

改めて整理すると何れも極当然の結果であるようにも思えるが、今までキチンと整理されていなかったのも事実である。少しでも生産者のお役にたてれば幸いである。

・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 文 献 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・

1. 酒本秀一：ニジマスで *Flavobacterium* 属細菌の被害を軽減する方法－1. *New Food Industry*, **54**(6), 51-62 (2012)
2. 杉本昇, 柏木哲, 松田敏生：養殖ウナギのカラムナリス病と配合飼料との関連について. 日本水産学会誌, **47**(6), 719-725 (1981)
3. 酒本秀一, 糟谷健二：魚類の細菌感染症に対するブドウ種子抽出物と β -1,3/1,6- グルカンの予防効果. *New Food Industry*, **53**(7), 26-40 (2011)

冷凍食品市場に新カテゴリーを創造した驚くべきヒット食品

— 『大きな大きな焼きおにぎり』 日本水産株式会社 —

田形 暁作*

*TAGATA Yoshinari (TAGATA 食品企画・開発)

Key Words：大きな大きな焼きおにぎり・ヒット商品・商品開発・ブランド化・マーケティング戦略

はじめに

日本水産株式会社（以後、ニッスイと記載）は1911年（明治44年）、前身の田村汽船漁業部が下関でトロール漁業を始めて以来、2011年で創業100周年を迎えた。ニッスイは「海洋資源は世界至る処でこれを求め、できるだけ新鮮な状態で貯え、世界市場にいわば水道の鉄管を引き、需要に応じて市価の調整を図りつつこれを配給する。水産物も配給上の無駄を排してできるだけ安価に配給を図り、その間一切不当な利益を要求すべきではない」という思いを創業以来、継承してきた。

ニッスイは、この創業時の志を未来へ発信するために、「日本水産百年史」、「日本水産魚譜」を刊行し、「ニッスイパイオニア館」を開設した。また、次の100年を支える研究開発拠点として、八王子に「東京イノベーションセンター」を設立した。2011年3月末現在で資本金237億円、主な事業は水産事業、食品事業、ファイン事業、物流事業の4事業からなる。2011年度の売上高は、5380億円、営業利益は95億円であった。また、従業員は11,172人（連結）である。今回紹介する『大きな大きな焼きおにぎり』は食品事業のなかで冷凍食品のロングセラー商品である。

1. 国内の家庭用冷凍食品市場の推移について

国内の家庭用冷凍食品市場の成長要因として高度経済成長の後押しを受け、冷蔵庫、特に、300リットル以上の冷凍庫付き大型冷蔵庫の普及と電子レンジの一般家庭への普及、また、大手スーパーマーケット（SM）の多店舗展開などが考えられる。もちろん、消費者に支持される冷凍商品が開発されたことは当然である。図1に冷凍食品国内生産量と冷蔵庫、電子レンジの世帯普及推移を示した。

冷蔵庫は1960年以前から普及し始め、1980年以前にはほぼ全家庭に普及した。その後、300リットル以上の大型冷蔵庫への買い替えに繋がっていき、大型冷蔵庫は、現在では、全家庭のほぼ80%弱にまで普及している。また、電子レンジは1970年頃から普及し始め、1980年には約40%、1990年には約70%強、2000年には約95%の世帯に普及した。フライ類以外の冷凍食品市場も電子レンジの普及とともに成長し、1970年には数万トンの生産量であったが、1980年には約20万トン、1990年には約50万トン、2000年には約90万トンまで成長した。調理冷凍食品の1世帯当たりの年間支出金

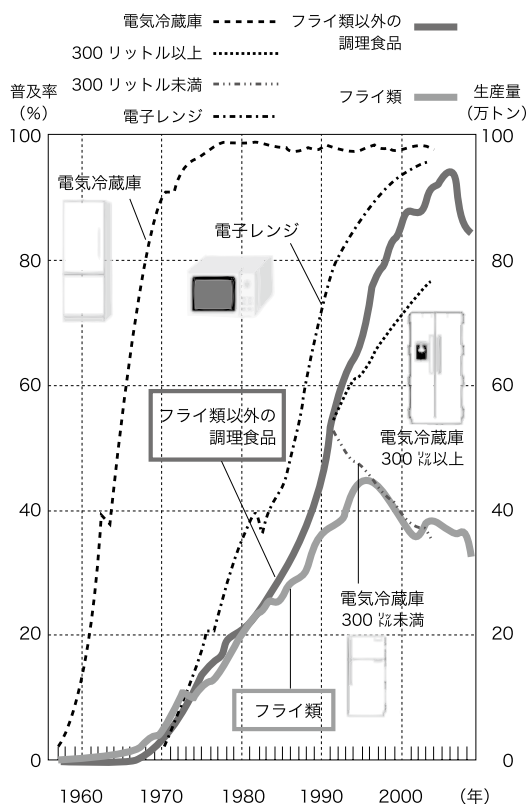


図1 冷凍食品国内生産量と冷蔵庫、電子レンジの世帯普及推移

社団法人日本冷凍食品協会 内閣府「消費動向年報」
(電気冷蔵庫と電子レンジの普及調査は2004年終了)

額(2人以上世帯)を図2に示した。(家計調査年報 平成22年度)

1980年は1,808円、その後、順調に増加し、1990年には2,908円、2010年には5,432円になった。この金額は生うどん+生そば3,691円、カップめん3,351円、スナック菓子4,050円より多い。また、表1には年齢別の1世帯当たりの年間購入金額を示した。40代が最も購入金額が多く、次に、50代、30代の順である。20代はほぼ平均と同額であるが、60代、70歳以上では少なくなる。20代は子供も小さく調理冷

表1 冷凍調理食品の1世帯当たりの年齢別支出金額(2人以上世帯)

	世帯平均に対する	
	年間支出金額 (円)	世帯平均対比 (%)
世帯平均	5,432	100
～29歳	5,555	102
30歳～39歳	6,521	120
40歳～49歳	9,588	177
50歳～59歳	6,966	128
60歳～69歳	3,302	61
70歳～	1,986	37

出所；家計調査年報 平成22年度

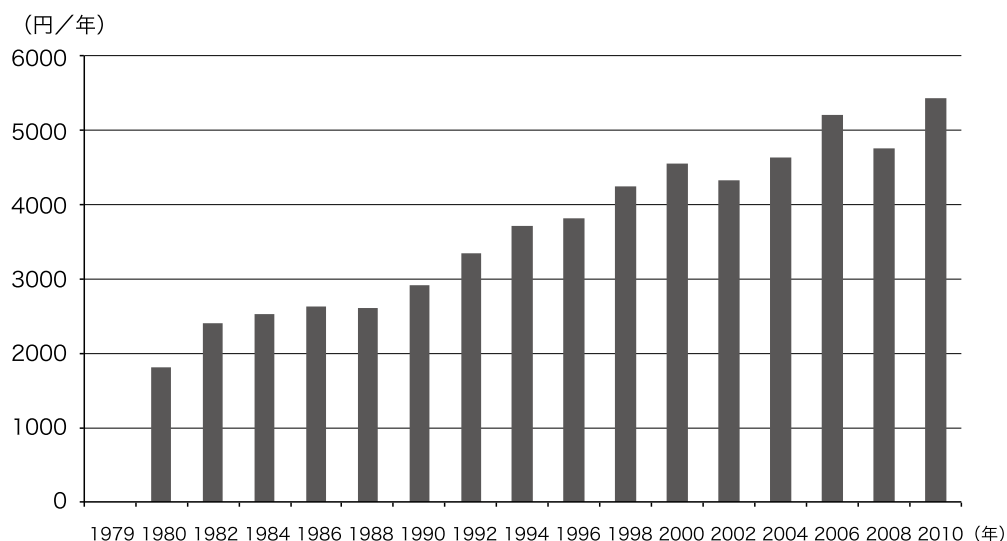


図2 冷凍調理食品の1世帯当たりの年間購入金額(2人以上世帯) 出所；家計調査年報 平成22年

表2 冷凍調理食品の1世帯当たりの収入別支出金額(2人以上世帯)

世帯平均 (万円)	世帯平均に対する	
	年間支出金額 (円)	世帯平均対比 (%)
	5,432	100
～ 345	3,092	57
345 ～ 463	3,775	69
463 ～ 617	5,760	106
617 ～ 858	7,268	134
858 ～	7,265	134

出所；家計調査年報 平成22年度

表3 表2のうち勤労者の収入別支出金額(2人以上世帯)

世帯平均 (万円)	世帯平均に対する	
	年間支出金額 (円)	世帯平均対比 (%)
	7,450	100
～ 433	6,064	81
433 ～ 574	6,835	92
574 ～ 723	8,244	111
723 ～ 942	7,967	107
942 ～	8,142	109

出所；家計調査年報 平成22年度

凍食品を食べる機会が少ないが、30代、40代、50代になると子供と本人の弁当、昼食をはじめ、夕食などにも出現してくると推察する。60代、70歳以上になると弁当はなくなり、食事を自宅で作る時間も十分あり、食事の好みも50歳以下とは異なることが推察される。表2には収入別の購入金額を示した。収入が増えるに伴い購入金額が増えてくる。617万円以上になると年間当たりの購入金額は約7,280円であり、平均の134%である。恐らく、40代以上の世帯が多いのではないかと推察される。

さらに、そのうちの勤労世帯について年間の収入別に冷凍調理食品の購入金額を表3に示した。どの世帯も平均の年間5,432円よりも多い。年収574万円以上の世帯では購入金額に差はない。

2. ニススイの冷凍食品事業の歩み

ニススイ冷凍食品事業の歩みは表4に示した。ニススイが初めて家庭用調理冷凍食品を発売したのは1959年である。第1号の商品は「茶わんむし」であった。茶わんむしは家庭で作るのが難しいメニューであるが、同品は加熱

表4 冷凍食品事業の歩み

1959	家庭用調理冷凍食品第1号「茶わんむし」発売	
1967	「チビッコロッケ」発売	
1979	「家庭用いか天ぷら」がヒット	
1986	スナックシリーズ「COOK FOR ME」発売	
1987	具付き冷凍麺「ちゃんぽん」発売	
1989	家庭用冷凍食品として初めて「焼きおにぎり」発売	
1992	「えびの包み揚げ」発売	
1994	「えびの包み揚げ」パリ国際見本市で金賞受賞(シアルドール)	
1995	ワンフローズン「白身魚フライ」発売	
1997	家庭用の弁当商材にセバレートトレイ採用、「ほしいぶんだけ」がヒット	
1998	ワンフローズン「とりのから揚げ」を家庭用に	
1999	業界初「自然解凍」で食べられる「おべんとうに便利」シリーズの「ひじきの煮つけ」発売	
2001	自然解凍で食べられる冷凍食品「おべんとうに便利」シリーズがサンケイリビング新聞社「第8回助かりました大賞」食品部門銅賞を受賞	
2004	「おべんとうに便利」シリーズ34回食品産業技術功労賞受賞	
2005	「おべんとうに便利 4種のおかず」発売	
2006	「おべんとうに便利 3種のおかず」発売	
2007	調理にエネルギーのかからないエコ調理として「自然解凍でおいしい!」にシリーズ刷新	

(蒸煮)するだけで簡単に食べられ、かつ、保存もできるという冷凍食品のメリットを最大限にいかした商品であった。冷凍食品は高度経済成長の波に乗り、一般家庭に急速に浸透していった。1967年に発売した「チビッココロケ」が、従来の小判型を俵型という新しい形状にしたことが受け入れられ大ヒット商品となった。家庭用「いか天ぷら」なども大ヒット商品となった。

ニッスイは常に生活者の視点に立って冷凍食品を開発してきた。時代背景をとらえ、長年にわたり蓄積してきた独自の技術と開発力により、数々の新しいカテゴリーを生み出してきた。特に、1980年代後半以降、ニッスイが提案してきた冷凍食品の多くは、新たな需要、カテゴリーを創造し、冷凍食品市場を牽引してきた。

1989年に発売された『焼きおにぎり』(1994年に商品名を『大きな大きな焼きおにぎり』に変更)は画期的な商品となった。焼きおにぎりは手軽なメニューであるが、家庭で作る

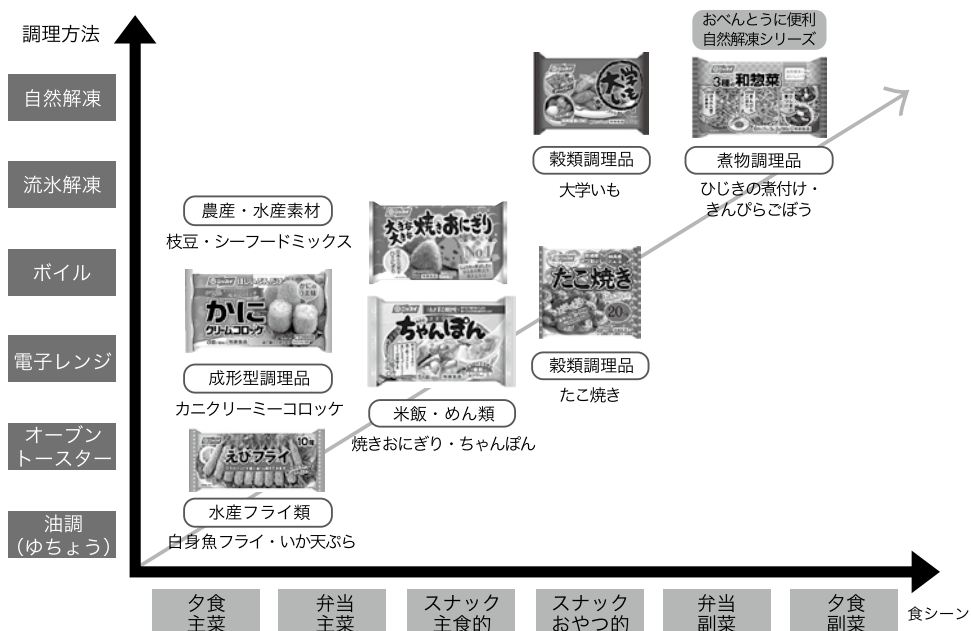
のは意外と手間がかかる。それが電子レンジで加熱するだけで、スナック感覚で簡単に味わえるようになった。米飯のカテゴリーといえはピラフ類が中心だった市場に、新しいカテゴリーを確立し、冷凍食品業界に大きなインパクトを与えた。

3. 家庭用冷凍食品のマップ

ニッスイは家庭用冷凍食品に調理法と食シーンという2つの軸による冷凍食品の開発ロードマップを早くから頭に描いていた(表5参照)。

家庭用冷凍食品の調理方法は蒸す、油で揚げる(油ちょう)からスタートし、オーブントースター、電子レンジへとより進化してきた。そして、究極の調理法がニッスイが考え出した“自然解凍”である。一方、食シーンとメニューでは魚のフライやコロケといった夕食のおかずが中心だったが、次第に、スナックや米飯、麺メニュー、さらに、お弁当商材へと広がっていった。

表5 家庭用冷凍食品のマップ



4.『大きな大きな焼きおにぎり』の開発

ニッスイは1959年に家庭用冷凍食品市場に「茶わんむし」で参入した。それから30年後の1989年（平成元年）『焼きおにぎり』を発売した。



発売当初の写真

当時、冷凍食品は惣菜類から進化した新しいカテゴリーとして米飯類や麺類、スナック類が発売されるようになっていた。そんな中、一見手軽そうなメニューだが家庭で作ると意外と手間がかかる「焼きおにぎり」を開発・発売することとなった。

発売当初、営業は苦労した。「焼きおにぎり」はそれまでに冷凍食品にないアイテムであったため、売り場に置いてもらえなかった。置いていただいても価格設定が8個入り480円と高価であったこともあり、なかなか売上実績は上がらなかった。他にはない商品であり、また店頭販促など営業努力が実り、ようやく商品の手軽さやコンセプトが知られるようになると爆発的に売れるようになっていった。その陰には開発部署やマーケティング部署のたゆまない地道な努力があった。おいしく食べられる形状、押しつぶさずふっくらした食感を出す方法・米の種類やブレンド方法、香ばしく焼きあげるためのしょうゆの種類やブレンド方法など、試行錯誤を重ねた。中でも焼き具合は難関であった。焼きちくわや焼き魚などの生産で培ってきた、“焼く”ことに関するノウハウを活用してクリアした。

1994年は規格をそれまでの70gから80gに変更、6個入りとして名称を『大きな大きな焼きおにぎり』とした。また2008年には、冷凍庫に保管しにくいというお客様の声に対応して商品形状をスリムタイプに変更した。商品コンセプトは電子レンジで温めても、①家庭で焼いたこんがりした焼き色、②しょうゆの香ばしい風味、③中はふっくらの3点である。

- (1) しょうゆの香ばしさと、コクのあるまろやかな味わいを実現したしょうゆのブレンド技術

『大きな大きな焼きおにぎり』に深い味わいをつけるため、しょうゆを見直し、たまりしょうゆに、香り、色、味すべてに優れた二段仕込みのしょうゆをブレンドしている。さらに、よりしょうゆの香ばしい味とコクを出すために、一度乾燥させた粉末醤油を加え、パッケージを開けたときからしょうゆの香ばしい香りが楽しめるように工夫をした。

- (2) 「おにぎりの中まで味がしみ込んでいる」のがニッスイならではの！

焼きおにぎりの中まで香ばしい味わいを楽しめるよう『大きな大きな焼きおにぎり』は米を炊き上げるときから味付けをしている。成型後、おにぎりを焼く前に表面にしょうゆを重ね塗りしている。そうすることにより、焼きおにぎりの表面にこんがりとしたツヤ、焼き色が生まれ、しょうゆの香ばしさをいっそう引き立ててくれる。さらに、より香ばしさを極めるために、焼きの温度にもこだわった。そこには、焼きちくわや焼き魚などの「焼くことのノウハウ」を蓄積したニッスイならではの技術力が活かされている。

- (3) 加熱してもくずれない！中はふっくらのヒミツはお米のブレンド

電子レンジで温めても、米粒やおにぎりの形がくずれず、ふっくらとした「炊きたて」のような形、味わいが再現できるよう、焼き

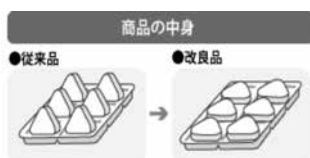
おにぎりの形、水分量を研究し、商品開発に活かしている。焼きおにぎりの味そのものを決める素材のひとつ、米。食べたときにやわらかく、ペチャッとししない、米粒感のあるバランスの良い食感に仕上げ、発売から20年以上お客様に愛され続けている陰には、毎年実施しているブラッシュアップのたゆまぬ努力がある。



『大きな大きな焼きおにぎり』のパッケージ

スリムトレーの開発

『大きな大きな焼きおにぎり』の課題として、家庭の冷凍庫に保存するとき、かさばらないパッケージをとという要望がお客様から多く寄せられていた。これに応え、2008年秋、スリムトレーを開発、リニューアル発売した。保存時は焼きおにぎりを横に、レンジで調理する時はトレーに焼きおにぎりを立てる。



●立てる位置をわかりやすく！

焼きおにぎりを温めるときに「立てる」ように、スリムトレーに溝を付けた。立てることにより水蒸気が滞留せずに表面はこんがり、中はふっくら、よりおいしく温めることができる。さらに、トレーのどの位置にたてるかをわかりやすくお伝えするため、トレーの底面に「ここにたてる」と明記した。



●レンジ加熱中に、転倒しにくいトレーに！

「レンジ加熱中に転倒しやすい」という問題を解決するため、トレーの中央に焼きおにぎりを立ててもらう仕組みにした。広いトレーの中で、焼きおにぎりをしっかり支えるように設計しているので、レンジ加熱中も転倒しにくくなった。

●水蒸気の出口を作って、外はこんがり、中はふっくら！

「水蒸気がトレーにこもってしまう」という問題点については、水蒸気の出口を作ることにした。ところが、出口が小さいと水蒸気がうまく抜けず、大きいと今度は強度に問題がでくるため、「出口の大きさ」を決めるのに非常に苦労をした。設計とテストを繰り返した結果、焼きおにぎりをしっかりキープし、水蒸気がうまく抜けるスリムトレーが誕生した。スリムトレー商品は当初、販売から商品の見た目のボリューム感がダウンしているので売り上げがダウンするのではないかと心配の声が聞かれた。このため、九州地区で先行テスト販売をした。結果は、売り上げは落ちなかった。むしろ、メリットとして冷凍庫に保管しやすいという声があった。キャッチコピーとして、トレーは調理器具、トレーに立ててレンジするとカリッとすると、ということを伝えていった。

ニッスイ焼きおにぎりの歴史を表6にまとめとして記した。

表6 ニッスイ焼きおにぎりの歴史



- 89 「Cook For Me」シリーズとして発売。電子レンジ調理
- 91 春 バリエーション展開：みそ、鮭（既にプレーン、山菜、シラス発売済）
- 92 秋 バリエーション展開：明太子、たらこ、高菜
- 93 秋 パッケージリニューアル：アイテム整理 プレーンと鮭のみに集約
- 94 春 「大きな大きな焼きおにぎり」シリーズへ。
- 96 春 醤油の味にこだわり香ばしく。丸みのある形容に。トレーごとレンジ調理可能に
- 97 春 （五目焼きおにぎり発売）
- 98 春 （海苔巻きおにぎり発売）
- 98 秋 （海苔巻きおにぎり発売）
- 00 秋 コシヒカリと丸大豆醤油使用。コピー：お米がふっくら、しっかりしています
- 01 秋 パッケージリニューアル。切り離しトレー採用。（発芽玄米焼きおにぎり発売）
- 02 秋 たまり醤油使用で風味アップ
- 04 秋 国産にがり塩使用、風味をまるやかにリニューアル
- 06 春 たまり醤油に熟成醤油をブレンドして香ばしく更に深い味わいにリニューアル
- 07 秋 2段仕込み醤油をブレンドしてまるやかでこくのある風味豊かな味わいにリニューアル
- 08 秋 スリムパックへ変更。たまりしょうゆと濃厚な2段仕込み醤油をブレンド
- 09 秋 発売20周年企画。コシヒカリ+ひとめぼれブレンド（期間限定）。木樽仕込天然醸造しょうゆを加える。
- 10 秋 米の配合変更を実施。「コシヒカリ」と「はえぬき」を使用し、米粒感をアップ。



5. 『大きな大きな焼きおにぎり』の市場動向と売上シェアアップ

ニッスイと他社はシェア争いで拮抗していたが、2005年にトップシェアを獲得し、それ以後、現在までトップシェアを維持し続けている。おにぎり市場は2003年頃から市場規模が縮小してきた。対前年比で5%ダウンであった。2009年消費者調査を実施したところ、冷凍食品を購入する人は50%にのぼり、このうちの30%が「焼きおにぎり」購入者であった。全体の15%であり、焼きおにぎりの認知度が低いことが明らかになった。さらに、「冷凍おにぎり」の購入者は子供のおやつとして買っていることがわかった。このことから、子供にターゲットを絞り、冷凍食品売り場に子供や母親を立ち寄らせるために、『大きな大きな焼きおにぎり』のマスコットキャラクター「やき おにお」を誕生させ、その関連グッズを開発し、店頭で「やき



「やき おにお」の着ぐるみを使った販促活動

おにお」着ぐるみを登場させたり、関連グッズを店頭で手渡すなどして、『大きな大きな焼きおにぎり』の認知度を上げるマーケティングを展開した。

店頭でお客様に試食していただき、“おいしいかどうか”を確認したところ、“おいしい”

という声をたくさん頂いた。商品力はあることが確認できたので、今後は販売力・マーケティング力で顧客に情報発信をし、さらなる市場の掘り起しとシェアアップを目指していく。今後の大きな目標としてはニッスイの家庭用冷凍食品売上の中で、約 12% を獲得していきたい。

6. 『大きな大きな焼きおにぎり』をターゲット、TPO と 5P にのっとり説明

当面の目標は現在販売している約 9,000 万食を 1 億食にすることである。

新商品を開発し、その商品がお客様の手元に届くために、筆者は新商品開発 5P をチェック用に使用している (図 4)。

まず第一に「Product」ありきである。「Product」には商品コンセプト、商品仕様、ネーミングなどを決定しなければならない。

第二は「Package」である。包装仕様、デザインなどを決定しなければならない。

第三は「Price」である。「Price」は販売、事業化に最も重要と考えている。

第四は「Place」である。『Target』の属性を定め、お客様に届けるにはどのチャネルが良いのか。量販店なのか、CVS なのか、専門店な

のか、ドラッグストアなのか、それとも通販なのか。色々なチャネルがあるので選択と集中が必要になる。

第五は「Promotion」である。店頭プロモーション、媒体プロモーションなど費用がかかるので効果的なメディアミックスが重要である。

最後に 5P ではないが、『Target』がある。全ての 5P は『Target』を明確にした後のことである。「Product」は『Target』が明確にならないと決まらないはずである。技術先行型の新商品は兎角『Target』を忘れて技術開発に自己満足する傾向がある。顧客あつての新商品であることは最重要である。

この考えに基づき、『大きな大きな焼きおにぎり』の開発から現在までを整理してみる。ニッスイの焼きおにぎりは 1989 年、国内で初めて発売された。1989 年は高度成長期であり、家庭には冷凍食品にとって必須の電化製品である大型冷蔵庫、電子レンジが普及していた。また、消費者の間には、簡単・便利というニーズが生まれてきた。このような時代背景に後押しされて、食べたいけれど、手間のかかる料理であった焼きおにぎりは、食べたい時に簡単に食べられる身近な商品として市場に受け入れられていった。

『Package』は発売当初はサイズインプレッションなどを考慮し、縦に入れた包装仕様であったが、その後、容器の改良をし、コンパクトで包材を少なくし、コスト面でも無駄を省いた画期的な商品に改良された。

『Promotion』では、焼きおにぎり全体の市場規模低下の原因を調査し、購入者は母親であるが、主に食べているのが子供であることを明確にし、マーケティングも子供をターゲットにした戦略に変更した。現在、『大きな大きな焼きおにぎり』はトップシェアを誇り、年間 9,000 万食を販売している。

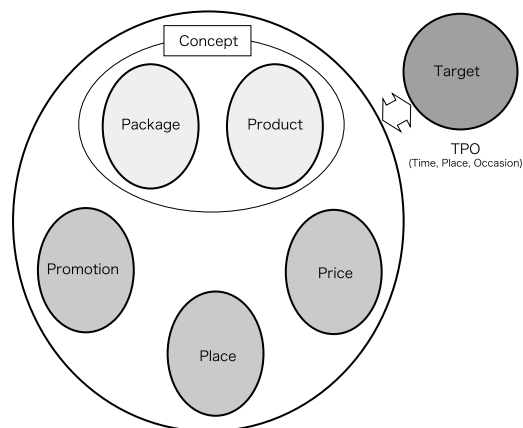


図 4 商品開発 5P；開発品はユーザーの手元に届く仕組みになっているか

おわりに

『大きな大きな焼きおにぎり』はニッスイの家庭用冷凍食品事業の商品群の中でも、重要な商品の一つになった。筆者としては、さらに購買力が旺盛になってくる60歳代以上をター

ゲットにした商品を開発されてはどうかと思う。60歳以上の消費者の健康、若々しさに貢献できるような商品を開発し、年間1億食販売を実現してほしい。

白石カルシウムの炭酸カルシウム

炭酸
カルシウム
とは？

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

分散性・混合性に優れたものや、飲料用として沈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

多糖類ハイドロゲルの熱的及びレオロジー的性質 に影響を与える架橋領域を考察する (2)

渡瀬 峰男*

* WATASE Mineo (食品ゲル研究所)

Key Words: 熱可逆性ゲル・2重らせん構造・ゲル-ゾル転移・テクスチャー・レオロジー的性質・熱的性質

7. 測定結果

(1) アガロース (AG) ゲルの融解温度 T_m (○印)、吸熱エンタルピー ΔH (●印) および動的粘弾性 E' と重量平均分子量 M_w の関係、測定結果

図2から明らかなように T_m , ΔH および E' の値は M_w の増加とともに急激に増大する。

M_w が約 16×10^4 付近以上では、 T_m , ΔH および M_w の増加する傾向が緩慢になる。 M_w が約 16×10^4 以下では、 M_w の低下とともに溶解度が増大し、 M_w が約 5×10^4 以下では急激に溶解度が増加する⁹⁾。 M_w が 5×10^4 以下ではウォーターバス中で50wt%以上でも溶解が可能である。これらの M_w の領域内では結晶性の高い固体で、寒天ゲル特有のラバーライク

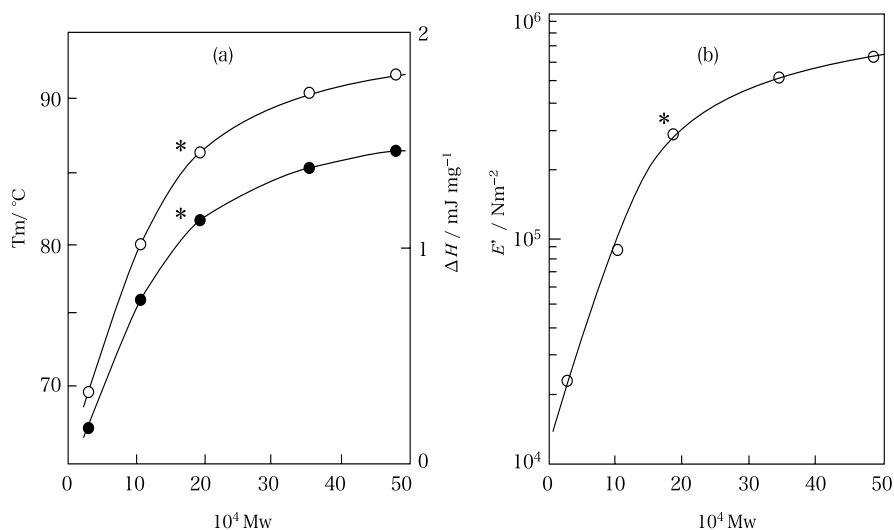


図2 アガロースゲルのゲル-ゾル転移温度 T_m , 吸熱エンタルピー ΔH および動的弾性率 E' と分子量の影響 (a), T_m : ○印, ΔH : ●印

(解説) アガロースゲルの T_m , ΔH および E' は分子量に影響される。その影響は、分子量が約 16×10^4 以上になると緩慢になる。(図中の*印は臨界点)

の性質はみられない⁹⁾。

これは、AG が極端に低分子量のためにゲルの結晶性と非晶性の一定の均衡関係がくずれ、短い2重らせん分子が水素結合して架橋領域を形成することがエネルギー的に安定であるため、AG ゲルの結晶性と非晶性の均衡関係は前者の方向に移動する。しかし、AG ゲル濃度が20% 以上になるとAG ゲルが形成するのに必要な“自由な”水分子（通常の水分子）が減少する。これは、AG ゲル濃度が低いうちは、水溶液中でAG 分子はランダムコイルを取るよりも2重らせん（一部は3重らせん）構造をとり分子鎖間で凝集し架橋領域（ミセル）を形成した方が安定であると考えられる。即ち、固体（結晶化）への性質の方向に向かうことがエネルギー的に安定であると考えられる。Mw の増加とともに結晶性の高いAG ゲルからAG ゲル特有の性質、即ちAG ゲルの結晶性と非晶性の一定の均衡関係からなるラバーライクなゲルへと進行する。

この場合、AG ゲル中に十分な“自由な”水分子が存在していることが条件である。その結

果、AG 分子の水溶液中での限界溶解度は低下していく。これらの変化は貯蔵弾性率 G' （または動的弾性率 E' ）と角速度（または周波数）、損失弾性率 G'' （または E'' ）と角速度、さらに損失正接 $\tan \delta$ と角速度の関係などから明らかになる。 G' (E')、 G'' (E'') および $\tan \delta$ の値、さらに応力の速さとともに変化する勾配などから得られる知見でAG ゲルの結晶性と非晶性の一定の均衡関係や架橋領域（微結晶またはミセル）の状態などが定性的に判断できる。これらは、寒天やカラギーナンのような典型的な熱可逆性ゲルの架橋領域を形成する2次結合が主として水素結合などからなることが明らかにされているから、両者の2重らせん分子鎖間の凝集力の差異が、電解基の種類、量および配位の仕方によって、分子鎖間の一定の距離（硫酸基間の反撥力と水酸基の凝集力の一定の均衡関係）が決まる。この距離の差異がAG ゲルとカラギーナンゲルでレオロジー的性質および熱的性質の差異として出現する。

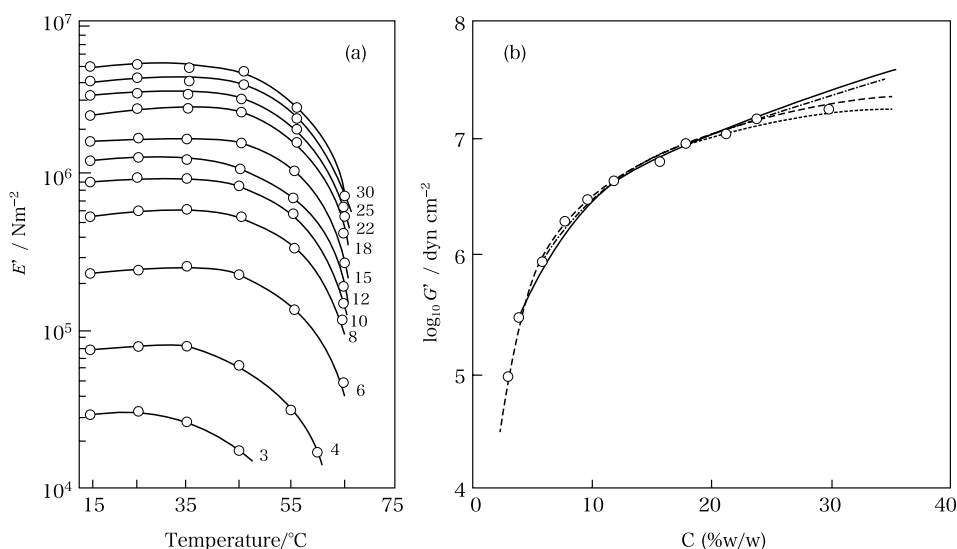


図3 超低分子量アガロースゲルの E' の温度依存性、および貯蔵弾性率 G' とAG ゲル濃度の関係

(a) の数字はアガロースゲル濃度 wt% を示す。(b): -----; $f=3$, ---; $f=25$, ---; $f=100$, ———; $f=1000$ (解説) Clark と Ross-Murphy はカスケード理論から架橋領域からでてくる分子鎖の数 f を計算すると、この分子量における濃度範囲 (3 ~ 30wt%) では $f=25$ である。

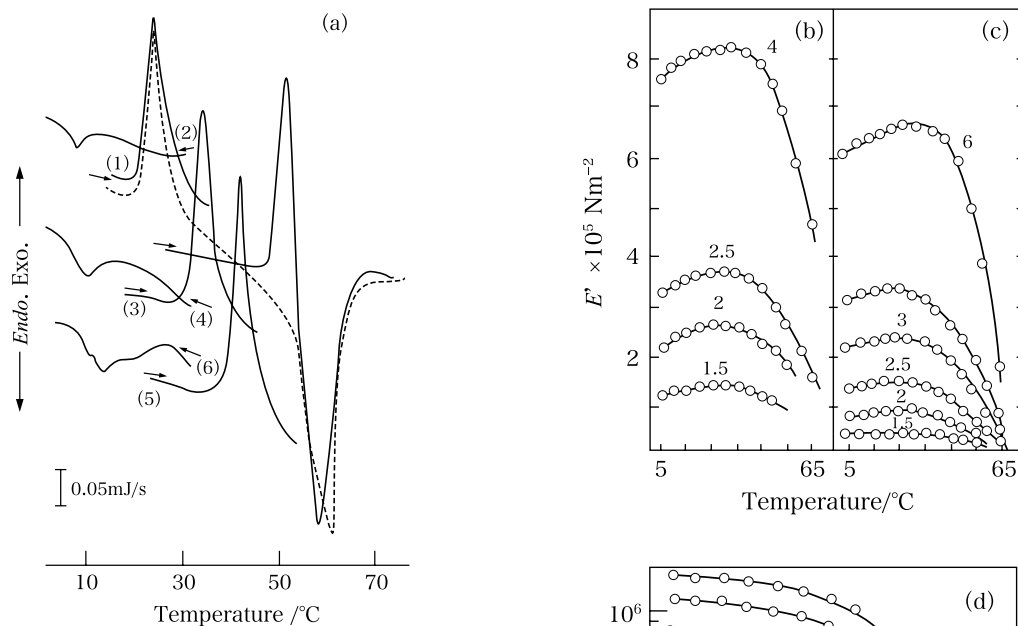


図4 種々の濃度における分子量が異なる低分子量アガロースゲル (b)(c) と κ -カラギーナンゲル (d) における動的弾性率の温度依存性および 4wt% に κ -カラギーナンゲルの昇温 DSC 測定においてゲルの融解過程時における発熱ピークの反復とゲル中の自由水の関係

図4における数字はゲル濃度 wt% を示す。

(解説) (a) 3,6-AnG 含量の高い AG ゲルや κ -カラギーナンゲルは昇温 DSC 測定においてゲルの融解過程時に鋭い発熱ピークが出現する。この温度範囲内で昇温と降温を反復すると、発熱ピークは高温側に向かって移動し、やがてゲルは融解 (T_m) する。この現象はゲル中の自由水の存在下で再結晶化とみられる。(b), (c) AG ゲルで約 35℃ まで温度の上昇につれて E' が増大する。いわゆるエントロピー弾性を示す。両者の側鎖基の種類より 2 重らせん分子の凝集力の差が主たる要因であると考えられる。

(2) 超低分子量 AG ゲルの広汎な濃度における動的弾性率と温度の関係、ゲル濃度の弾性率に対する濃度依存^{9, 25, 33 ~ 39)}

AG の M_w が約 3.6×10^4 (イ) および約 7.0×10^4 (ロ) について E' の温度依存性を図3 および図4 に示す。(イ) に AG はウォーターバス中で約 50wt% まで溶解することができる。図3 は AG ゲル濃度が 3wt% ~ 30wt% である。AG ゲル濃度が約 6wt% 以上では、温度が約 45℃ まで僅かであるが温度の上昇とともに E' が増加する。即ち、エントロピー弾性を示

す。その後、 E' は温度の増加とともに急激に低下する。同様に、 M_w の異なる AG ゲルについて E' の温度依存性を図4 (b) および (c) に示す。

両者のゲルのエントロピー弾性を詳細に調べるために E' のスケールを変えて測定した。その結果、両者ともに低温領域では、かなり低濃度でも温度の増加とともに E' の増加がはっきりとする。両者の分子量の僅かな差異で E' は大きく変化する。これらの M_w 分子でもエントロピー弾性を示すことは、低温領域では、低

濃度 AG ゲルの場合、結晶性と非晶性の均衡関係が保持されていることがわかる。このような挙動が出現したのは以下のように考察できる。超低分子量 AG ゲルでも濃度が低い場合はゲル化機構は変わらない。しかし、ある濃度以上では AG ゲル形成に必要な“自由な”水分子が失われると、AG のゲル化機構が変化する。AG ゲルに“自由な”水分子が存在し、AG ゲルを形成することができるコンホメーションが取れる濃度までは温度上昇とともに AG ゲルはエントロピー弾性を示す。

ゲルの弾性率の濃度依存性は古くから研究されてきた。弾性率とゲル濃度の間には次式が成立する。

$$G=KC^n$$

ただし、 G はゲル弾性率、 C は濃度、 K, n は定数である。溶質濃度が高い場合には、 n がほぼ 2 乗に等しいような場合が多く見られるため、弾性率の濃度依存性は 2 乗則と呼ばれてきた。溶質の濃度が低い場合は、 n がほぼ 4 乗に等しい。Hermans 理論を修正して Clark と Ross-Murphy はカスケード理論^{33, 35~39)}から f (架橋領域から出てくる分子鎖の数) を計算した。 $M_w 3.6 \times 10^4$ の AG ゲル 3 ~ 30% の濃度範囲の AG ゲルから求めた f は 25 である^{35, 39)} (図 3 における E' の温度依存性および G' と濃度参照)。

この式から出された f が 25 であると報告された。この AG ゲル濃度範囲は 30% まだが“自由な”水分子の存在が認められる。しかし、 f の値はあくまで M_w が超低分子量の場合である。低分子量の場合、水溶液中で AG 分子がゲル化する場合、2 重らせん構造 (主として 2 重らせん構造) をとることがエネルギーに安定である。しかし、3,6-AnG 含量が約 30% 以下であるが、高濃度になるにつれて“自由な”水は減少する AG ゲルがエネルギー的に 2 重らせん構造をとる方向に移動しても“自由な”水分子の減少で溶解する限界がある。これらが超

低分子量 AG ゲル特有の硬くて脆い性質を示すと考えられる。 M_w が約 16×10^4 以上の場合、寒天ゲル特有のゲルを形成するが、この場合、AG ゲル濃度が 3 ~ 4% が溶解の限界であり、この場合、 f を正確に求めることが困難になると考えられる。

上記の低分子量 AG の超濃厚ゲルの水の状態について DSC 測定²⁵⁾ によって行った。約 16×10^4 以上の AG 分子量ではゲル中の水はほとんどが“自由な”水であると考えられる。超低分子量の AG ゲルは約 40wt% を境として 2 重らせん分子の形成に必要な“自由な”水が減少する。40wt% ~ 60wt% までの超濃厚 AG ゲル中の水の状態を調べるために低温 DSC 測定を行った。液体窒素を用いて室温から -120℃まで急速降温し、0.5 ~ 3℃/min の割合で昇温すると、急激な発熱ピーク T_{cc} が出現し、その後、吸熱ピーク T_m が出現する。

これらについて、ほぼ同じ分子量のゼラチンゲルについても同様の測定を行うと、 T_{cc} の発熱ピークは AG ゲルに比べて非常に小さい。このことから AG ゲルが結晶性の高いゲルであることがわかる。-120℃から昇温すると -45 ~ -30℃付近でベースラインから吸熱側へずれ始め、-7 ~ -1℃付近で鋭い発熱ピークが出現後、直ちに凍結したバルク水の融解に伴う鋭い吸熱ピーク T_m が出現する。 T_m は昇温速度にあまり依存せず、ほぼ 0℃である。-45 ~ -30℃付近のベースラインからのずれ始める温度は昇温速度の増加に伴い高温側へ移動することから、一次の相転移ではなくガラス転移温度 T_g であると考えられる。さらに、-7 ~ -1℃付近の鋭い発熱ピークは低温結晶化 (Cold Crystallization) に起因するものと考えられる。これは、ガラス転移温度以上の温度で AG-水系の分子運動が活発になり、融解する前に最も安定な構造をとろうとして再配列するためとに出現するとみられる。

以上のように超濃厚 AG ゲルの動的弾性測定および低温 DSC 測定から非常に結晶性の高い AG ゲルであることが明らかである。超濃厚 AG がゲル形成するときまず、D-Gal と 3,6-An-L-G は水溶液中でエネルギー的に安定な方向として主として 2 重らせん構造をとり、これらの分子が凝集して D-Gal と 3,6-An-L-G 分子鎖中の多くの OH 基間で水素結合をして架橋領域（またはミセルか微結晶ともいう）を作り、次に一部(D-Gal と 3,6-An-L-G が同じ割合でない) 架橋領域をとれない分子で超濃厚 AG ゲルを作る。この超濃厚 AG ゲルは濃度の増加とともに固体の性質の方向へと移動すると考えられる。その結果、超濃厚 AG ゲルの性質は非常に硬くて脆い。

(3) κ -, ι - および λ - カラギーナゲルの動的粘弾性

カラギーナンは伊豆産の *Chondrus* 属および *Eucheuma* 属から抽出した。カラギーナンのゲル形成能に与える 3,6-AnG 含量の多い順に κ 型、 ι 型および λ 型に分類される (図 5 参照)。カラギーナンは直鎖状のガラクトタンでガラクトースは 3,6-An-D-G や 2,4 あるいは C₆ 位の位置が硫酸エステル化されている。 κ 型、 ι 型および λ 型の順に 3,6-An-D-G 含量が減少するが、硫酸基含量は逆に増加する。上記の海藻から抽出した 3 種のカラギーナン試料から分析した 3,6-An-D-G 含量および硫酸基含量を表 1 に示す。

前者の増加は D-Gal と 3,6-An-D-G の繰り返しの度合いを高める要因である。D-Gal と 3,6-An-D-G の繰り返しの度合いが高まれば、水溶液中でエネルギー的に安定な（不逆的な方向に進む）2 重らせん（一部、3 重らせんになるともいわれている）構造が増加する。2 重らせん分子は凝集して分子鎖間結合（主として水素結合）により架橋領域が形成される。架橋領域は、(1) D-Gal と 3,6-An-D-G の交互の繰

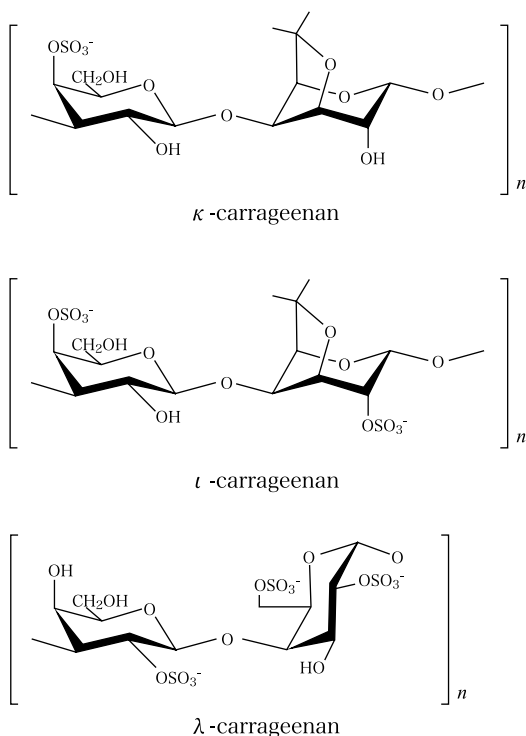


図 5 κ -, ι - および λ - カラギーナンの構造
(解説) κ - および ι - カラギーナンは水溶液中でゲルを形成するが、 λ - カラギーナンはアルカリ処理をしてもゲルを形成しない。これは、繊維軸に対する硫酸基の配位の仕方より脱エステル化が異なるため、2 重らせん形成に影響されることが主要因と考えられる。

表 1 λ -, ι - および κ - カラギーナン試料の 3,6- アンヒドロ-D- ガラクトースおよび硫酸基含量

	硫黄含量 (%)	3,6- アンヒドロ-D- ガラクトース (%)
λ - カラギーナン	9.9	15.1
ι - カラギーナン	7.9	31.8
κ - カラギーナン	6.1	35.1

り返しの度合い。(2) カラギーナン分子の硫酸基の量と配位の仕方（配位の仕方；繊維軸に対してアキシアルかエクアトリアルか）、(3) 分子量に影響され则认为られる。従って、3,6-An-D-G が増加し、硫酸基含量が減少すれば形成能が高められる。これら 3 種の 2wt% カラギーナゲルについて、25℃における貯蔵弾性率 $\log G'$ および損失正接 $\tan \delta (=G''/G')$

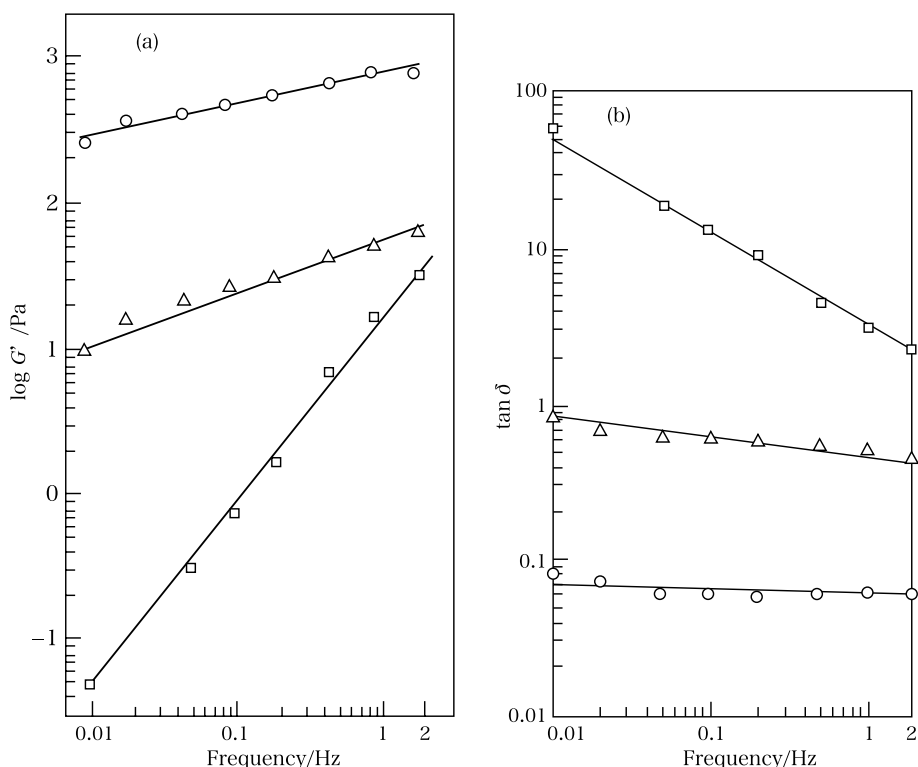


図6 κ -、 ι -および λ -カラギーナンの G' および $\tan \delta$ と周波数の影響

図中の記号；○： κ 型，△： ι 型，□： λ 型

(解説) G' および $\tan \delta$ の周波数依存性は線型性が成立する。その勾配は分子中の D-Gal と 3,6-AnG の繰り返しの度合いに関係している。これらの傾斜はゲル形成能をもつ多糖類の化学構造に関係している。

と周波数（または角速度）の関係を図6に示す。 κ 型、 ι 型および λ 型カラギーナンゲルの $\log G'$ は応力の速さ（または角速度および周波数の増加）と、ともに線型的に増大する。その傾向は λ 型 $>$ ι 型 $>$ κ 型になった。特に、 ι 型と λ 型の差異は大きい、 ι 型と κ 型の差異は少ない。この差異は λ 型がゾル状態であるが、 κ 型および ι 型はゲル状態であることが主たる要因である。次に $\tan \delta$ は応力の速さとともに減少する。その傾向は G' の場合に類似する。

すでに記述したが $\tan \delta > 1$ の場合は、その測定試料は粘性成分に対して弾性成分が小さい。即ち、ゾル状態にあることを意味している。 $\tan \delta > 1$ であれば、その測定試料は粘性成分に対して弾性成分が大きい。即ちゲル状態である

ことを意味している。従って、 $\tan \delta$ が 0.1 以下になるにつれてゲルは硬くなっていく。これらをテクスチャー表現語で表せば、 $\tan \delta > 1$ ではドロドロやベトベト等で表現される。 $1 > \tan \delta > 0.1$ の範囲内では滑らか、ツルツル等（舌触りがよい・喉越しがよい）で表現される。 $\tan \delta < 0.1$ では硬い、歯ごたえがある等で表現される。図6の結果から、テクスチャー表現語で表せば、 κ 型は弾力性に富んでおり、やや硬い。 ι 型は舌触りがよく、また喉越しがよい。 λ 型は付着性があり、ベトベトしているなどで表現される。

主観的評価としてのテクスチャー表現後は種々の要因により変わるので信頼性や再現性が損なわれることがあるため、上記のデータ

の場合は、筆者の官能評価であることを記述しておく。これら主観的な官能評価で表せば客観的な評価としての機器測定的重要性が認識される。なぜならば前者は個体差、体調や集中力の欠如などに影響される欠点があるが、後者は再現性の高いデータが得られるからである。従って、機器測定をするときには、原料から試料精製法、さらに測定法などをできるだけ明確にすることも重要となる。これらから得られたデータは品質管理にとっても極めて重要であると考えられる。

最後に、3種のデータについてゲルの架橋領域との関連性について記述する。一般に、熱可

逆性ハイドロゲルの結晶性と非晶性の一定の均衡関係は、 T_m の方向に温度を上げいくと均衡関係が後者の方向に、逆に、 T_g の方向に温度を下げていくと、その均衡関係は前者の方向に移動する。同濃度における T_m および T_g はハイドロゲルの架橋領域の形成の仕方（架橋領域の2次結合は水素結合か疎水相互作用からなるからである）で決まってくる。従って、上記の動的粘弾性測定を明確にするために、次に κ -及び ι -カラギーナンゲルのDSC測定を行いゲル・ゾル転移温度 T_m 、吸熱エンタルピー ΔH および1モルあたりの反応熱 ΔH_m の値からゲルの架橋領域を考察する。

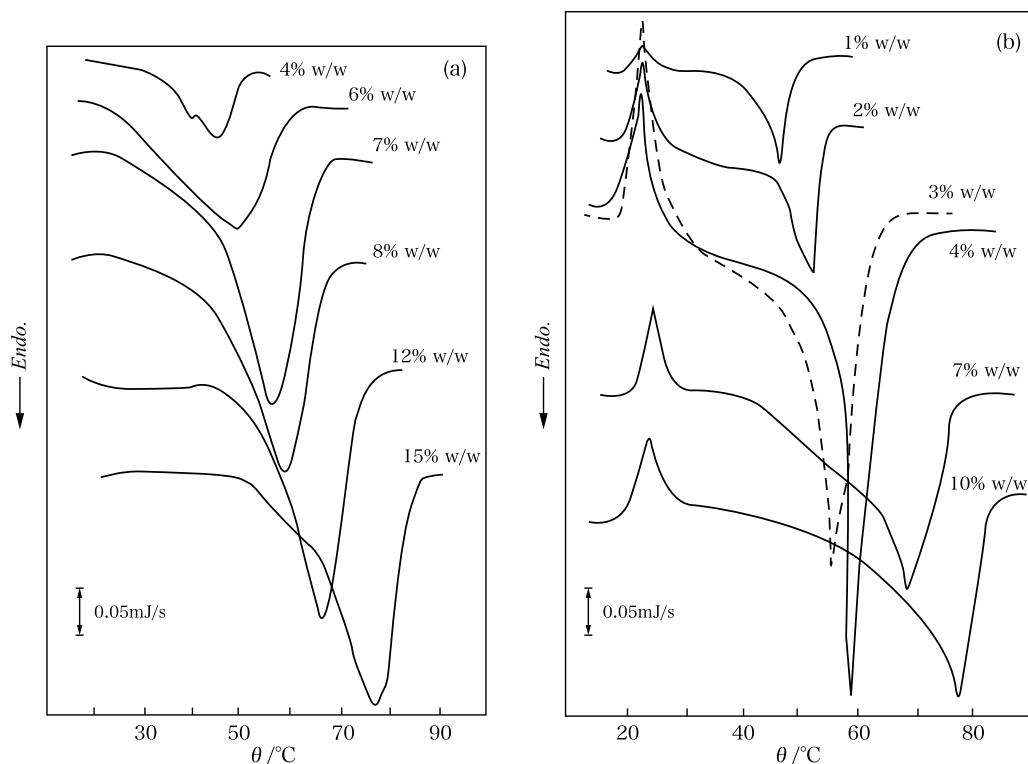


図7 種々の濃度における ι -およびアルカリ処理型 κ -カラギーナンゲルの昇温DSC曲線

図中の数字はゲル濃度wt%を示す。

(解説) 温度の上昇によって得られるゲル・ゾル転移温度 T_m はゲル濃度の増加とともに増大する。その傾向はアルカリ処理型 κ -カラギーナン<アルカリ無処理型 κ -カラギーナン< ι -カラギーナンの順になる。融解過程における吸熱エンタルピー ΔH は上記と逆の傾向を示す。さらに両者のゲルの融解開始時に発生する発熱ピークは ι -カラギーナンゲルは出現しない。これらは両者の2重らせん分子鎖の凝集力の差異で生ずるゲルの結晶性の出現を通じて説明される。

表2 カラギーナン試料の3次元網目構造を形成に影響する硫酸基含量
および 1mol/L における反応熱 ΔH_m

	硫黄含量 (%)	$-\Delta H_m/\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$
アルカリ処理型 κ -カラギーナン	5.14	61
無処理型 κ -カラギーナン	6.40	53
ι -カラギーナン	9.64	33

(4) アルカリ処理型 κ -カラギーナンゲル、アルカリ無処理型 κ -カラギーナンゲルおよび ι -カラギーナンゲルの昇温 DSC 測定

アルカリ前処理すると κ -カラギーナンのゲル-ゾル転移温度 T_m 、吸熱エンタルピー ΔH および 1mol あたりの反応熱 ΔH_m がどのように変化するかはゲルの架橋領域を研究するのに重要である。ここではアルカリ前処理型 κ -カラギーナン、アルカリ無処理型 κ -カラギーナンおよび ι -カラギーナンのゲル濃度に対する T_m 、 ΔH および ΔH_m からカラギーナンゲルの架橋領域を考察する(図7および図4(a)参照)。なお、 λ -カラギーナンはゾル状態のため使用しなかった。表2は3種のカラギーナンの硫酸基含量と1モルあたりの反応熱 ΔH_m である。Log C と $1/T_m$ の間に線型性が成立する場合は、Eldridge-Frerry の式から ΔH_m が求められる。

$$\log C = \Delta H_m / RT_m + \text{const.}$$

3種の硫酸基含量および ΔH_m を表2に示す。表3から明らかなようにアルカリ処理をしていくと、硫酸基含量は徐々に減少していくが、減少量は予想した量より少ない。しかし、3,6-An-D-G 含量は増加している。アルカリ処理で C_6 位の硫酸基は第1級アルコールの形で、さらにアキシアルに配位しているのでアルカリ処理で 3,6-An-D-G を形成し易いが、繊維軸に対してエクアトリアルに配位した硫酸基は脱エステル化し難いとみられる。脱エステル化し難い硫酸基は水溶液中で2重らせん構造の形成を阻害するとみられる。3,6-An-D-G 含量および2重らせん構造の増加は架橋領域形成の促進作用をするとみられる。しかし、アルカリ処理

表3 カラギーナンゲル濃度に対するゲル・ゾル転移温度 T_m および吸熱エンタルピー ΔH

アルカリ前処理した κ -カラギーナン		
ゲル濃度 /wt%	$T_m/^\circ\text{C}$	$\Delta H/\text{mJ}\cdot\text{mg}^{-1}$
1	47.2	0.47
2	51.4	1.22
3	55.1	2.80
4	59.0	3.42
7	68.8	2.85
8	72.4	2.92
10	77.0	2.81
κ -カラギーナン		
ゲル濃度 /wt%	$T_m/^\circ\text{C}$	$\Delta H/\text{mJ}\cdot\text{mg}^{-1}$
2	46.4	1.09
3	51.9	2.39
4	55.5	3.29
6	64.0	2.78
8	70.0	2.66
12	78.3	2.57
ι -カラギーナン		
ゲル濃度 /wt%	$T_m/^\circ\text{C}$	$\Delta H/\text{mJ}\cdot\text{mg}^{-1}$
4	42.1	0.70
6	47.6	2.30
8	54.0	3.10
12	68.5	2.09
15	78.6	1.96

により前者は増加したが後者の影響は少ないと考えられる。アルカリ処理による脱エステル化は硫酸基の配位の仕方などでかなりの差異が生じる。

κ -カラギーナンの場合、アルカリ処理型と無処理型の場合における T_m 、硫酸基含量と ΔH_m の差異は主として 3,6-An-D-G の生成を通じて生じたとみられる。従って、D-Gal と 3,6-An-D-G の交互の繰り返りかえりの度合いはゲルの架橋領域に最も大きく影響を与えられ、ゲルの架橋領域を形成する2重らせん

分子鎖間の距離は分子鎖の硫酸基および水酸基の配位の仕方である。前者は分子鎖間の凝集力を阻害するのに対して後者は前者とは逆の働きをする。これらの影響で2重らせん分子は一定の距離で水素結合をして架橋領域を形成すると考えられる。従って、硫酸基含量や水酸基含量が変われば分子鎖間の凝集力や架橋点の数密度も変化する。表2および表3の T_m および ΔH を比較すると、アルカリ処理型およびアルカリ無処理型 κ -カラギーナンではゲル濃度が4wt%まで、 ι -カラギーナンではゲル濃度が8wt%まで、ほぼ一定の割合で増加している。しかし、それ以上の濃度では、ゲル濃度の増加とともに T_m の増加する傾向は大きくなるが、 ΔH は逆に減少していく。

これらは、明らかにゲル中のカラギーナン分子のコンフォーメーションの変化であり（吸熱ピークの変化）、この原因は“自由な”水分子の減少によるカラギーナン分子のコンフォーメーション変化が起因していると考えられる。図7におけるアルカリ処理型カラギーナンの4wt%ゲルの昇温DSC曲線においてゲルの融解過程に入るときに鋭い発熱ピークが出現する。さらに、 T_m および ΔH も大きい。そこで、AGゲルと貯蔵弾性率 G' の温度依存性を比較した。これらは、ゲルの架橋領域に影響を与えられ。その結果を、図4(a)～(d)に示す。なお、図4(b)(c)は低分子量AGでGPCから求めた M_w は 4×10^4 以下である。

一方、アルカリ処理型カラギーナンの M_w は約 28×10^4 である。さらに、ゲル形成能に与える3,6-AnGは両者ともほぼ同じ値であり、AGの硫酸基密度は0.003 (mol/C₆H₁₀O₅)、アルカリ処理型 κ -カラギーナンはS含量は5.14%である。

図4(a)から明らかなようにアルカリ処理型 κ -カラギーナン4wt%ゲルのとき最大値を示す。この吸熱ピークから、これ以上の濃度で

は、ゲル中の“自由な”水の存在が減少し、その結果、ゲル形成能に影響を与えたと考えられる。図4(b)は融解過程に入るときにゲルの結晶性の再配列が生じ、この操作を反復していくと、発熱ピークはやや大きくなって高温側に移動し、やがてゲルは融解過程に入り、 T_m が出現する。この減少もゲル中の“自由な”水分子の存在を通じて記述できる。これらは、ゲル濃度を、さらに増加すると出現しなくなる。図4(b)(c)と(d)を比較すると、AGゲルは5℃から約35℃まで温度の増加とともにゲル濃度に無関係に動的弾性率 E' は増大する。しかし、アルカリ処理型 κ -カラギーナンゲルは温度の増加とともに E' は徐々に減少する。両者の差異は、ここではD-Galと3,6-AnGの交互の繰り返しの影響ではなく。

両者が水溶液中でエネルギー的に安定な、主として2重らせん構造（一部3重らせん構造など）をとり、2重らせん分子鎖が凝集するまで

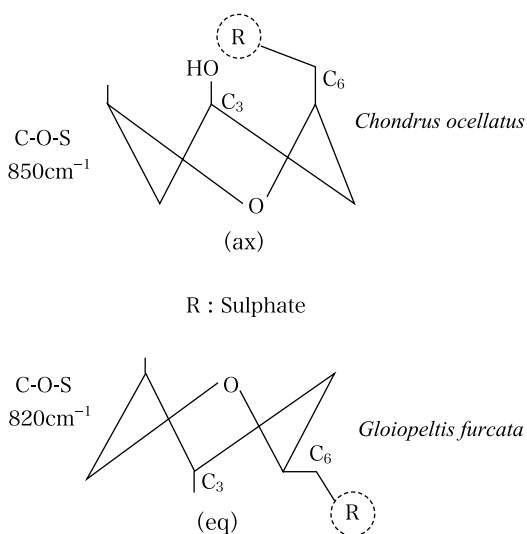


図8 λ -カラギーナンとフノランのC₆位の硫酸基の配位

(解説) 両者の3,6-AnG含量はほぼ同じ値であるが、アルカリ処理で前者は3,6-AnGを形成するが後者は3,6-AnGは形成できない。この差異が G' および $\tan \delta$ の周波数依存性に出現する⁴⁰⁾。

は類似するが、2重らせん分子鎖間の距離が異なるため2次結合である水素結合による凝集力に差異がでる。即ち、カラギーナンの場合、硫酸基間の反発作用で分子鎖間の凝集は弱められるのに対して、AGゲルは多くのOH基間で強力な2重らせん分子の凝集力により架橋点の数

密度も増加し、非常に安定な架橋領域が形成される。両者の架橋領域は主として水素結合の数密度から現れた分子鎖間の凝集力の差異を通じて出現した。これらはゲルの T_m または T_g （ゾル-ゲル転移温度）で明らかである（図2（a）および図7参照）。

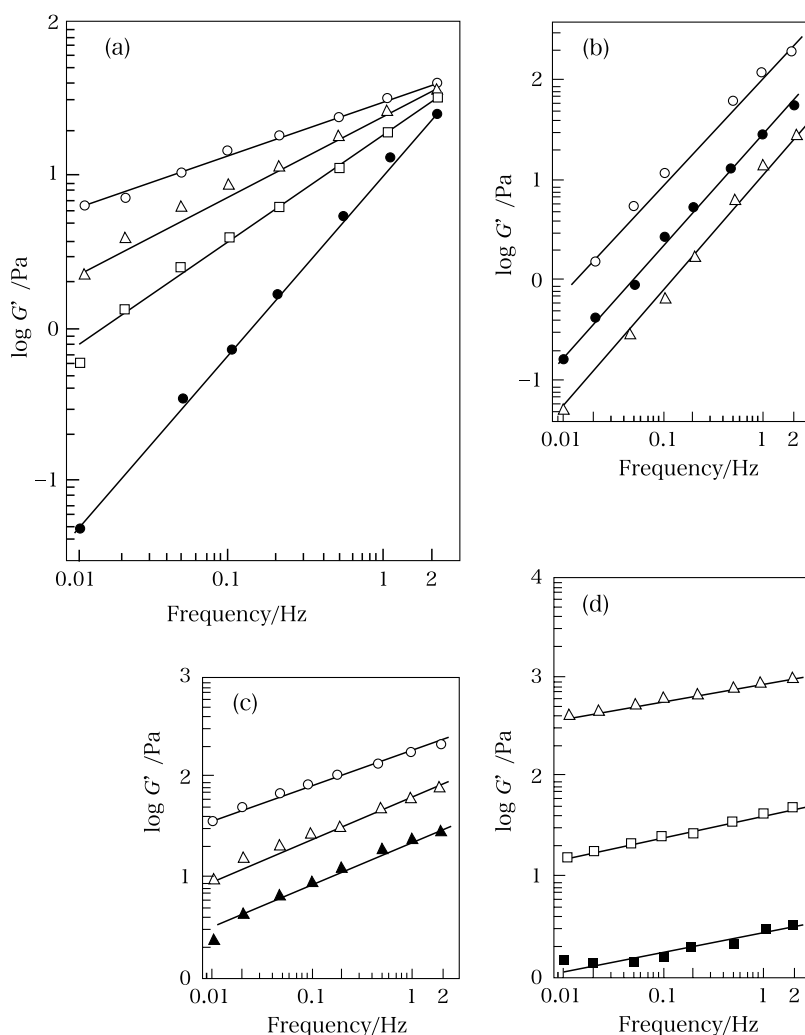


図9 (a) λ -カラギーナン水溶液のアルカリ処理時間に対する G' の周波数依存性
図中の記号はアルカリ処理時間を表す。●:0hr, □:4hr, △:6hr, ○:8hr

(b) λ -カラギーナン (c) ι -カラギーナン (d) κ -カラギーナン

図中の記号はそれぞれの濃度 wt% を表す。■:0.7, □:1, △:1.5, △:2, ●:2.5, ○:3

(解説) アルカリ処理による3,6-AnGの増加は G' の周波数依存性に対する勾配を緩慢にする。これは、D-Galと3,6-AnGの交互の繰り返しの度合いを高めることで、2重らせん分子の凝集力および架橋点の数密度を高めて、架橋領域を補強する。しかし、 κ -, ι -および λ -カラギーナンともに、 G' の周波数に対する勾配は濃度に関係ない。これは、濃度の増加につれて架橋点の数密度は増加するため G' は増加するが、 G' と G'' の割合は変わらないから、その勾配もゲル濃度には影響されない。この結果は非常に興味深い

表4 λ -カラギーナンおよびフクフノリのアルカリ処理時間と 3,6- アンヒドロ -D- ガラクトース (3,6-AnG) 含量の関係

λ - カラギーナン *1	3,6-AnG 含量 (%)
試料 1: アルカリ処理時間; 0hr	15.0
試料 2: アルカリ処理時間; 4hr	25.5
試料 3: アルカリ処理時間; 6hr	27.4
試料 4: アルカリ処理時間; 8hr	28.8
フクロノリ *2	3,6-AnG 含量 (%)
試料 1: アルカリ処理時間; 0hr	15.7
試料 2: アルカリ処理時間; 4hr	16.1
試料 3: アルカリ処理時間; 8hr	16.0

(5) λ -カラギーナンおよびフノランの動的粘弾性測定, アルカリ処理による C₆ 位の硫酸基の脱エステル化に伴う架橋領域の影響⁴⁰⁾

λ -カラギーナン分子およびフノラン分子中に含有する 3,6-AnG 含量は約 15% 程度である。両者の性質はゾル状態であるが C₆ 位の位置の硫酸基が前者はアキシアルに、後者はエクアトリアルに配位 (図 8 参照) しているのでアルカリ処理をすると、前者は 3,6-An-L-G を形成するが、後者は 3,6-An-D-G を形成しない。両者のアルカリ処理時間と 3,6-AnG 含量の関係を表 4 に示す。3,6-AnG の定量は図 6 と同様に吸光度と 3,6-AnG 含量の検量線を作成し、FT-IR スペクトル分析によって定量した。

λ -カラギーナン分子の加水分解を防ぐために還元剤として水素化ホウ素ナトリウムを加え、一昼夜放置後、NaOH 水溶液を加えた。処理時間を変えて 4 種の試料を作製した。処理後、過剰なアルカリを塩酸で中和した。その後、塩除去するために限外ろ過をし、廃液の伝導度が純水の伝導度になるまで行い、凍結乾燥を反復して試料を得た。 λ -カラギーナンの C₆ 位に配位した硫酸基は 850cm⁻¹ に吸収が出現する。この硫酸基は比較的、脱エステル化され易い。従って、ある程度までは脱エステル化して 3,6-AnG を生成するが、繊維軸に対してエクアトリアルに配位した多くの硫酸基は脱エステル化されず

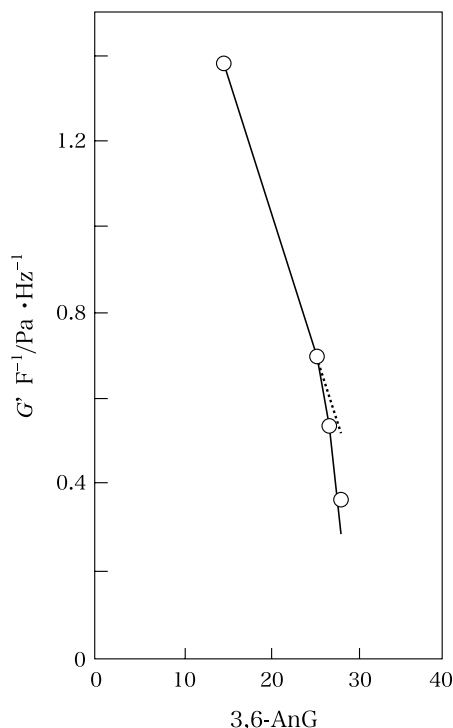


図10 λ -カラギーナンのアルカリ処理による G' の周波数に対する勾配 ($G' F-1$) と 3,6-AnG 含量の関係

(解説) アルカリ処理による脱エステル化は硫酸基が第 1 級アルコールなどで配位しているか、あるいは繊維軸に対してアキシアルかエクアトリアルに配位しているかで脱エステル化のし易さが変わると考えられる。 λ -カラギーナンの場合、アルカリ無処理の 3,6-AnG 含量は約 15%、処理後が約 25% の範囲である。その後、ほとんど変化がみられない。その結果、脱エステル化しない硫酸基が沢山残っている。前者の増加はゲル形成能を高めるが (図 10(a) を参照)、後者は 2 重らせん分子の形成を阻害する。その結果、前者の D-Gal と 3,6-AnG の交互の反復の不足、後者の 2 重らせん構造の阻害の 2 つの要因がゲル形成でなかったとみられる。

に残る。脱エステル化は第 1 級か第 2 級アルコールの型か、繊維軸に対してアキシアルかエクアトリアルかに配位しただけで、脱エステル化が相違する。

上述したように C₆ 位のアキシアルに配位した硫酸基は脱エステル化されて 3,6-An-L-G を生成するため、D-Gal と 3,6-An-L-G の繰り返しの度合いは増加する。それ故に貯蔵弾性率 G' の周

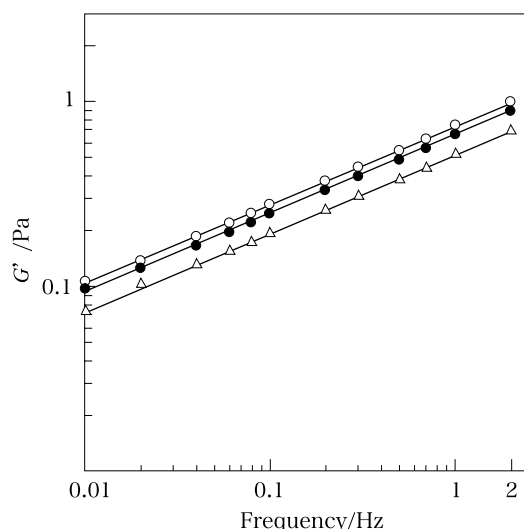


図 11 フノランのアルカリ処理による G' の周波数依存性

アルカリ処理時間 /hr, ○:0hr, ●:4hr, △:8hr
(解説) アルカリ処理時間とともにフノラン分子中の硫酸基含量はほとんど変化しない(表4を参照)。しかし、アルカリ処理時間とともに G' の周波数に対する勾配は変化しないが、 G' の値は低下する。この原因は、フノラン分子が徐々に加水分解されて分子量が減少することを通じて出現したと見られる。分子量が低下してもフノランゾルの化学構造が変わらなければ勾配は変わらない。

波数に対する勾配は徐々に緩慢になる(図9(a)参照)。従って、 G' と周波数 F との間に、 G' の周波数に対する勾配から $G'F^{-1}$ で表される。

脱エステル化による 3,6-AnG 含量が生成すると、 G' の周波数に対する勾配も変化する。両者は一定の関係が成立すると考えられる。そこで、図10に縦軸 $G'F^{-1}$ を取り、横軸に 3,6-AnG 含量をとって両者の関係を調べた。図10から明らかなように 3,6-AnG ガラクトース含量が

約 25% あたりまでアルカリ処理時間と 3,6-AnG 含量の生成に比例するが、3,6-AnG 含量が 25% を越すと上記の関連性はなくなる。このことから硫酸基の脱エステルの仕方がわかる。3,6-AnG 含量が 30% 以上生成できないとゲルは成型できない。 λ -カラギーナンゾルの性質はアルカリ処理によってゲル化する方向に進むが 3,6-AnG のみの生成では限界がある。 λ -カラギーナン分子の多くの硫酸基のなかで配位の仕方脱エステル化されにくい硫酸基が水溶液中で分子の 2 重らせん構造を阻害していることが主たる要因と見られる。

図9の(d)は κ 型、(c)は ι 型、(b)は λ 型カラギーナンである。3者が共通しているのは、ゲル濃度が変わっても G' の周波数に対する勾配は変化しない。即ち、ゲル濃度(またはゾル濃度)が増加すると強い結合の数密度(単位体積あたりの数)が増加するが、ゲルにおける G' と G'' の一定の均衡関係はほとんど変わらないことを意味している。

フノリ粘質物は 3,6-AnG 含量が λ -カラギーナンとはほぼ同じであるが、C₆位の位置の硫酸基がエクアトリアルに配位しているのでアルカリ処理をしても 3,6-AnG が生成しない。アルカリ処理を続けると G' の周波数に対する勾配は変わらず僅かに減少することからフノリ水溶液のゾルの性質に変化はなく、加水分解によって分子量が僅かに減少したことを通じて E' の値が減少したが、フノランの化学構造に変化がないので勾配は変わらない。

. 文 献

- 1) IFT Committee on Sensory Evaluations: *Food Technol.*, **18**, 1135 (1964)
- 2) M. Watase, K. Arakawa, *Bull. Chem. Soc. Japan*, **40**, 472(1967); 41, 1830 (1968).
- 3) M. Watase, K. Nishinari, *Rheol. Acta*, **20**, 220(1980); **20**, 155(1981)
- 4) M. Watase, K. Nishinari, *Gums and Stabilisers for the Food Industry*, 3 (eds.) G.O. Phillips, D.J. Wedlock and P.A. Williams 185 (1986) ; 535 (1986) Elsevier Appl. Sci.
- 5) M. Watase, K. Nishinari, *Food Hydrocolloids*, **7**, 449 (1993)
- 6) M. Watase, K. Nishinari, *J. Texture Stud.*, **12**, 447 (1981)
- 7) M. Watase, K. Nishinari, *Biorheology*, **20**, 495 (1983)
- 8) K. Nishinari, M. Watase, *Carbohydr. Polym.*, **3**, 39(1983)
- 9) M. Watase, K. Nishinari, *Makromol. Chem.*, **185**, 2663 (1985); **187**, 1177 (1987)
- 10) D.A. Rees, *Advance in Carbohydr. Chem. and Biochem.*, (eds) M.L. Wolfrom, P.S. Tipson, Academic Press, New York 267(1969)
- 11) D.A. Rees, British Food Manufacturing Industries Research Association, Symp. Proc. London, 7 (1972)
- 12) S. Arnott, W.E. Scott, D.A. Rees, C.G.A. McNab, *J. Mol. Biol.*, **90**, 253 (1974)
- 13) T.A. Bryce, A.H. Clark, D.A. Rees, D.S. Reid, *Eur. J. Biol.*, **122**, 63 (1982)
- 14) T.A. Bryce, A. Makinon, E.R. Morris, D.A. Rees, D. Thom, *J. Chem. Soc. Faraday Disc.*, **57**, 221 (1974)
- 15) E.R. Morris, D.A. Rees, G. Robinson, *J. Mol. Biol.*, **138**, 349 (1980)
- 16) S.T. Bayley, *Biochim. Biophys. Acta*, **17**, 194 (1955)
- 17) S. Paoletti, O. Smidsrod, H. Grasdalen, *Biopolymers*, **23**, 1771(1984)
- 18) M. Watase, K. Nishinari, *J. Texture Stud.*, **12**, 427 (1981)
- 19) M. Watase, K. Nishinari, *Rheol. Acta*, **21**, 318 (1982); **22**, 918 (1983)
- 20) M. Watase, K. Nishinari, *Colloid Polym. Sci.*, **260**, 971(1982)
- 21) M. Watase, K. Nishinari, *Biorheology*, **20**, 495 (1983)
- 22) M. Watase, K. Nishinari, *Gums & Stabilisers for Food Industry 2* (ed.) G. O. Phillips, Elsevier Appl. Sci.,
- 23) M. Watase, K. Nishinari, *Food Hydrocolloids*, **1**, 25 (1986)
- 24) M. Watase, K. Nishinari, *Polym. J.*, **18**, 1017(1986); **20**, 1125(1988)
- 25) M. Watase, K. Nishinari, H. Hatakeyama, *Food Hydrocolloids*, **2**, 427 (1988)
- 26) M. Watase, K. Nishinari, *Carbohydr. Polym.*, **11**, 55 (1989)
- 27) M. Watase, K. Nishinari, P.A. Williams, G.O. Phillips, *J. Agric. Food Chem.*, **38**, 1181(1989)
- 28) M. Watase, K. Nishinari, *Thermochica Acta*, **206**, 163 (1992)
- 29) M. Watase, K. Nishinari, *Polymeri Gels and Networks, Gels-Fundamentals and Intelligent Applications, The Society of polymer Sci., Japan* **57** (1993)
- 30) M. Watase, *The Polymer Materials Encyclopedia*, CPC Press Inc., USA (ed) J.C. Salamone **40** (1996)
- 31) M. Watase, K. Nishinari, *Food Hydrocolloids*, **7**, 449 (1993)
- 32) 渡瀬峰男, 赤羽徹, 荒川弘, 日本化学会誌 1975, (9) P.1564
- 33) A.H. Clark, S.B. Ross-Murphy, *Adv. Polym. Sci.*, **83**, 57 (1987)
- 34) D.J. Oakenfull, *J. Food Sci.*, **49**, 1103 (1984)
- 35) A.H. Clark, S.B. Ross-Murphy, *Brit. Polymer J.*, **17**, 164 (1985)
- 36) A.H. Clark, M.J. Gidley, R.K. Richardson, S.B. Ross-Murphy, *Macromolecules* **22**, 346(1989)
- 37) M. Watase, K. Nishinari, A.H. Clark, S.B. Ross-Murphy, *Macromolecules*, **22**, 1196 (1989)
- 38) M. Gordon, S.B. Ross-Murphy, *Pure Appl. Chem.*, **43**, 1 (1975)
- 39) A.H. Clark, K. Nishinari, S.B. Ross-Murphy, M. Watase, *Macromol. Symp.*, **93**, 187 (1995)
- 40) M. Watase, T. Aihara, K. Nishinari, *Hydrocolloids, Physical Chemistry and Industrial Application of Gels, Polysaccharides and Proteins*, (ed) K. Nishinari, P.215 (2000), Elsevier, Amsterdam-Lausanne-New York-Oxford-Shannon-Singapore-Tokyo.
- 41) K. Nishinari, M. Watase, M. Rinaudo, M. Milas, *Food Hydrocolloids*, **10**, 277 (1996)

築地市場魚貝辞典（イサキ）

梅雨というと、6月。五月晴れの日々が終わり、真夏の焼け付く太陽が顔を出す前のことと思っていた。ところが今年はゴールデンウィーク前から雨の日が多いような気がする。梅雨の築地市場。大屋根がかかっているので、仲卸店舗を歩くのには苦勞しない。ただ湿気は屋根だけでは防げないので、長い通路を歩き回って魚を見ていると汗ばんでくる。大きなマグロを乗せた大八車を弾いている人は、玉の汗。ご苦勞様である。真夏の場合も暑いには厚いが、やはり梅雨時がいちばん不快指数が高いように思う。食品衛生上も気を使う日々が続く。そんなうっとうしい時期には、さっぱりした魚がお勧めである。今回はイサキを紹介する。



イサキ

—分類—

イサキを分類学的に表すとスズキ目 - イサキ科 - イサキ属 - イサキとなる。簡単にいうとふつうの魚（スズキ目）のうち、体がやや細長く、大きな歯がなく、上唇の後に連続する溝の部分が滑らかで、ほほの部分が広く鱗に覆われる仲間（イサキ科）で、下顎にヒゲがなく、眼と吻（鼻先）がほぼ直線状に並ぶ魚ということになる。イサキ科は世界でおよそ17属、150種が知られている大きなグループである。最古の化石は始新生（およそ4000万年前）から見つかっているので、魚としては比較的新しいグループといえるだろうか。いずれも沿岸の浅い海にすみ、一部は淡水にも見られる。このうち日本には5属20種が分布するだけである。

さらに、築地をはじめ一般に流通するのはイサキのほか、コショウダイ、コロダイぐらいなので、どちらかというとマイナーな仲間という感じがする。イサキ属は世界に5種が知られているが、4種はヨーロッ

パから西アフリカに分布し、アジアに分布するのはイサキ1種のみである。なお、シマイサキは“イサキ”と名前が付くがイサキ科ではなく、別のグループのシマイサキ科になる。



シマイサキ

一形態一

体はやや細長く体の厚みは少ない。頭はやや小さく、そのためか眼が大きく見える。口はやや小さく、筒状に前に突き出すことができる。背鰭は1つで頭の後方から尾鰭の付け根近くまで連続する。前半は棘状の硬い骨で支えられ、後半は柔軟性のある鰭条(なんじょう; ひれすじ)で支えられている。尾鰭は中心あたりの軟条が短いため、上下端よりくぼんで見える。鱗は細かくはがれにくい。



イサキ幼魚



突き出した口

体色は白く、背中から側面にかけて体に沿った3本の太い帯がある。この帯は緑色がかった褐色で、成長とともに不明瞭になり、体長20cmを超えたものは背中から側面が暗い緑褐色になるものが多い。背鰭と尾鰭は暗色、胸鰭と腹鰭、臀鰭は黄色い。体長は40cmを超える。



細かな鱗

一生態一

宮城県、新潟県から南シナ海に分布する。主に暖流の流れる岸近くの岩礁に住む。群れを作り、小魚や浮遊性の小動物などを食べる。大きな回遊はしないが、水温の高い時期は水深25mまでの浅場に分布し、水温が低くなる冬場は水深50m付近に移動する。産卵期は6月から8月で、ペアを作り夜間に産卵する。卵は直径0.2mmの浮遊性卵を生む。毎年産卵し、成長とともに産卵数も増加する。1歳魚では3万粒であるが、7歳魚では94万粒となる。およそ28時間で孵化し、1ヶ月で約

1cm に成長し、岸近くや内湾に移動する。体長 5cm ぐらいまでは浅い場所で群れているのを見ることができが、成長とともにやや深い場所へ移動する。1 年で 12cm, 2 年で 18cm, 3 年で 22cm, 4 年で 25cm になる。寿命は 6 年以上。



群れるイサキの稚魚

一漁業一

イサキは遊泳性の魚なので、魚の通り道に網を張り袋状の網に魚を誘い込む定置網、釣り、魚を絡め取る刺網（さしあみ）、魚の群れを網で囲い込む旋網（まきあみ）などで漁獲される。また手軽に釣れるので、レジャーとしての釣りの対象としても人気がある。



鮮魚で入荷

一部の地域で釣ったイサキを生簀（いけす）に入れ一時的な蓄養が行われているが、稚魚から育てる養殖は行われていないと思われる。

輸入は中国と韓国からで、鮮魚で輸入されていた。香港から黄色みの強い大きなイサキが香港から入荷したこともある。最近は輸入のものを見かけることがほとんどない。

築地市場には主に鮮魚、または活魚で入荷する。長崎県、福岡県、山口県、高知県が主産地である。伊豆諸島から入荷するイサキは、他の産地のものと比べて体色が黒ずみ細身であるので、目に付きやすい。ほぼ周年入荷しているが、5 月から 8 月の入荷が多く、6 月がピークとなっている。

一利用一

身は白身であるが、血合いが幅広く覆っているので、赤っぽく見える。やや磯臭さがあるが、それを好む人も多い。大きなものほど旨味が増すように思われる。新鮮なものは刺身、皮を残し皮だけをさっとあぶったものも香ばしい。定番は塩焼きであろう。暑い時期、さっぱりとした中にも旨味のある塩焼きは、食欲をそそる。酢橘などを一搾りすれば、風味が増す。そのほか、煮つけや唐揚げなどにもされる。小さいものはすり身や練り製品に利用される。イサキの産卵期は 6 月から 8 月なので、産卵を控え栄養を蓄えている初夏が旬といえるだろうか。その時期を表す名称として「梅雨いさき」とか「麦わらいさき」

と呼ばれることがある。

ーエピソードー イサキの名称は、もともと東京での呼び名であった。「いさぎ」と呼ぶこともある。静岡で「こしため」、高知で「いせぎ」、長崎で「いっさき」、宮崎で「はんさこ」などと呼ばれていたようである。現在では情報網の発達によって地方でもイサキ方が通りの良い所がほとんどかもしれない。イサキの由来は磯が訛った「いさ」と魚を意味する「き」からという説がある。漢字では、伊佐木や伊佐幾と書かれることが多い。しかし古文書にその名の由来が書かれているものはないので、真相は不明である。学名は *Parapristipoma trilineatum* という。Parapristipoma はイサキ属を表し、イサキ属の trilinearum という種類であることを示している。Trilineatum は英語で言えば three lines となり、体にある3本の帯を示している。この名前を付けたのは Thunberg（ツンベルクまたはツンベリー）というスウェーデン人で、1775年（安政4年）に長崎の出島に医師として赴任した。日本の滞在は1年で、その間、第10代将軍の徳川家治に謁見もしている。帰国後、その間に集めた植物や動物の標本を研究し、学名を付けた。イサキはその一つで、日本の魚のうち、学術的に研究されたもっとも早い時期のものの一つとなった。

1990年代の後半、徳島県でのイサキの産卵期は5月から7月で、他の地域より早くなっていることが確認された。徳島県沿岸では、それ以前より平均海水温が2℃上昇していて、それに伴って産卵期が早くなっていると考えられた。このままでは将来“梅雨いさき”は、過去の名称だけになってしまうかもしれない。身近な魚に現れた地球温暖化の兆しとして、気をつけていく必要があるように思う。

文 献

- 1) 石川皓章：海の魚大図鑑，日東書院本社（2010）
- 2) 上野輝彌・坂本一男：新版 魚の分類の図鑑，東海大学出版会（2005）
- 3) 河野 博（監）：東京湾の魚類，平凡社（2011）
- 4) 田中茂穂・阿部宗明：有用魚類千種一正編一，森北出版株式会社（1954）
- 5) 中坊徹次（編・著）：日本産魚類検索 全種の同定 第2版，東海大学出版会（2000）
- 6) 山田梅芳・時村宗春・堀川博史・中坊徹次：東シナ海・黄海の魚類誌，東海大学出版会（2007）



“薬膳”の知恵 (68)

Key Words : 薬膳 ■ 食養生 ■ ダイエット ■ 養生療法

荒 勝俊*

最近、中国においても食生活のリズムの乱れや劣質化によって肥満が増えている。体質によって太る理由は様々だが、中医学的には4つのタイプに分かれる。

中医学的には、ダイエットは個人個人の体質を見極め、中医学の理論に基づき身体のバランスを整えることで行われている。我々の体は本来、その人の一番理想的なバランスを自然に保つ様にできており、生活の乱れやストレスによって、そのバランスが崩れてくると、気・血・水の流れが悪くなり、余分な物が体内に溜まって太ると考えている。中医学におけるダイエットの考え方は、体重を減らすのではなく、体のバランスを整えることを目的とする。

中医学では人体を一つの有機的統一体と考え、人体の構成要素である気・血・津液のバランスを改善させる事でその人が本来もっている臓器の機能を回復させ、身体の内を整え、無理の無い自然なダイエットが可能と考えている。

そこで、中医学の基礎概念である陰陽五行学説に基づき、健康管理や病気治療のために食材

の持つ様々な機能を組み合わせて作った“薬膳料理”を食す事で人が本来もっている臓器の機能を回復させ、身体の内を整える事で自然とダイエット効果が得られると考えている。



1. 中医学におけるダイエット



中医学的に、ダイエットに関係の深い臓は、脾胃・肝・腎・大腸である。

脾胃は、中医学的にはエネルギーを作り出す場所で、脾は筋肉を司るので、脾の機能が弱くなると脂肪が付き易くなり、太り易いと言われている。肝は、気の流れをスムーズに流す機能があり、ストレス等で肝の疏泄機能が悪くなると、“気滞”を引き起こす。腎は津液代謝に関係が深く、腎の機能が悪くなると、体内の汚れた水分の排泄が悪くなって体内に溜まるため、浮腫が出やすく冷えやすくなる。また、老廃物を排出する大腸の機能が悪くなると老廃物が出なくなり、これも太る原因となる。

こうした太る原因は、中医学的に4つのタイ

* ARA Katsutoshi (技術士, 国際薬膳師, 漢方アドバイザー (JACDS), 薬草ガーデンマスター (JGS), 中国茶アドバイザー, 日本茶インストラクター (NIA), 中級評茶員, アロマセラピスト)

ブに分類される。

1-1. 気虚型

下半身が太り、上半身が痩せているのが特徴で、外見から見ると下腹部がポッコリして、お尻が下がっている。また、あまり食べないのに痩せないといった特徴がある。筋肉が少ないので、体がたるみやすく、また基礎代謝が悪いので水分が体に溜まり易い。

体力が無いので、激しい運動は控えて、散歩や太極拳などで気を養う事が肝要。冷たいものを飲食はせず、しっかり三度の食事を摂る。エネルギーを補い消化を促進する山芋・豆類、代謝を高める唐辛子・生姜・大蒜といった香辛料を上手に活用すると良い。

1-2. 気滞型

リバウンドし易く、体重の増減が激しい。浮腫み易く、食欲にむらがある。気が滞って血や水の動きも悪くなり風船の様に張った感じの太り方をする。

気滞型は、どこでも気軽にできるストレッチや太極拳などで気の流れを良くする事が肝要。食材としては、オレンジやグレープフルーツなどの柑橘類、セージ・セロリ・パセリ・ジャスミンといったハーブ香草類は気の流れを良くするので、積極的に摂ると良い。

1-3. 湿熱型

全体的に太った、がっしりした体型で、胸が厚く腕も太いタイプ。食べ物をうまく利用できず、溜め込んでしまう体質。食欲旺盛で早食いが多い湿熱タイプは、体のなかに余分なエネルギーと水分が溜まっている状態である。

苦瓜・瓜・胡瓜・トマトなど、水分代謝を良くし、体を冷やす食材を積極的に摂ると良い。また、活発に体を動かしてエネルギーを発散する運動が良い。

1-4. 瘀血型

背中や腕など、上半身も太く、見た目より体

重がある。血中コレステロールや中性脂肪が高く、血流が滞ってドロドロしているタイプである。

全身の血の流れを改善し、体の冷えをとる必要がある。またストレッチや太極拳で、特に腰から下の下半身を鍛えると良い。

冷たいものの飲食は控え、体を温めるニンニク・ラッキョウ・しょうが・ねぎ・かつおといった食材を温かい状態で摂ると良い。



2. ダイエットと養生療法



1) 耳針療法

耳針療法は、1957年にフランスのNogierが耳鍼法を提案し、ドイツの鍼灸雑誌にこの新しい治療体系を発表したのが最初である。その後中国において独自の研究が進み、Nogierとは異なる耳鍼療法が誕生し、その後急速に発展した。耳針療法は、耳介上の反応点（耳ツボ）を探し出して、耳ツボを刺激して病気を予防し、治療する方法である。『黄帝内経』に記載されている。

『黄帝内経』には、「耳は一つの孤立した器官ではなく、全身体の各部および経絡・五臓六腑と密接な関連を持っている」と述べている。耳介は、弾性軟骨と少量の脂肪および結合組織から構成されており、耳介に分布する神経には、脳神経の三叉神経の耳介側頭神経・顔面神経の後耳介枝・迷走神経と舌咽神経の混合枝、頸髄第2・第3脊髄神経の大耳介神経と小後頭神経などがある。これら神経は各臓腑・器官の運動と感覚をつかさどり、この療法はからだの生理的なバランスを整える作用がある。福岡大医学部の向野らは、肥満耳針療法の有効性を試験し、耳甲介腔肺領域における低電気抵抗点（皮電点）とそうでない部分の点における効果を比較した結果、皮電点刺激でより顕著な食欲抑制効果を認め、しかも水代謝が影響を受ける事を明らか

気虚			気滞		
 豆類	 唐辛子	 生姜	 オレンジ	 蜜柑	 金柑
 山芋	 大蒜	 山椒	 セロリ	 ジャスミン	
湿熱			瘀血		
 苦瓜	 胡瓜	 トマト	 大蒜	 葱	 生姜
 冬瓜			 カツオ	 らっきょう	

図1 ダイエットの食養生

にした。

2) 灸療法

灸療法は、約三千年前に中国の揚子江（北方地方）において発祥したと言われている。我が国へは、奈良時代の大宝律令に国家の医療として確立され、江戸時代に「弘法大師が持ち帰った灸法」として新たな流行となり、現在も各地に弘法の灸と呼ばれて伝わっており、盛んになった。

灸の種類は、透熱灸、地熱灸、間接灸の三つに分類される。透熱灸は、米粒大かその半分くらいの大きさのもぐさをピラミッド状にひねり、ツボにのせる。線香で火をつけ、もぐさが燃え尽きてから取り除く。地熱灸は、透熱灸と同じ要領で点火し、燃え尽きる直前、熱さを感じた瞬間に指で押し消す。透熱灸よりも刺激がやわらかい。間接灸は、皮膚ともぐさの間に生姜や大蒜などの薄片や味噌、塩、湿紙などを置

いて行う方法で、不妊症や慢性病、冷え性にとっても良い。

灸の効果は、①火傷毒ヒストキシリンによる排毒作用、②傷刺激による新陳代の促進、③火傷反応による免疫力の増進、④新生血管による血行の恒常的回復、⑤経穴による自律神経の反応、といった作用により、新陳代謝を向上させ、痩せ易い身体を作り上げる効果を有する。

もぐさの原料はヨモギである。ヨモギはキク科ヨモギ属の植物で、学名はアルテミシアと呼ばれ、ギリシャ神話で健康の守護神とうたわれた女神アルテミスの名から名付けられた。ヨモギは体を温め、胆汁分泌促進、食欲増進、止血、冷えによる腹痛、胸焼け、下痢、便秘、鼻血、血尿、痔等に効果を有する生薬でもある。ヨモギは、日本各地の山里などに自生する植物で、葉裏に銀白色の綿毛と毛茸（葉裏の白い糸、T字形をしているのでT字毛とも呼ばれる）が

でき、この綿毛と毛茸が黄金色の“もぐさ”になる。有効成分はチネオールである。もぐさ作りは、5月ころの若葉を採り、天日で良く干して、からからに乾燥したものをよくもんで腺毛を集めて作る。灸は白血球が増えて血の巡りがよくなり、保温にもよいとされる。もぐさを皮膚の上で燃やし温熱刺激を与える事で、古来より疾病の治療に用いられてきた。

【中国・上海事情⑩】

上海交通大学・医学部の調査によると、上海の学齢児童の過体重率は、13.3%。肥満率は6.5%と、世界的な水準を超えていると伝えた。これは、“子供はたくさん食べて太っているくらいが健康で良い”といった祖父母達の固定観念によるもので、幼少時からとにかく好きだけ食べさせる。また、子供同士が公園で友達と一緒に遊ぶといった光景を見る事もあまり無い。こうした中、上海ではダイエットを目的に減肥茶から緑豆まで各種ダイエット食品の売り上げが急上昇し、スポーツジムも急増し、鍼やカッピング（吸い玉）療法などで減量しようと中医病院に足を運ぶ人々が驚くほど増えている。こうした状況から、上海市針灸経絡研究所では、針灸を使ったダイエットの指針となるガイドラインを制定し、安全な施術の実施を提言している。これまでの研究から、針灸によりカロリーの消費を高め、代謝作用から脂肪の分解を高めることが可能なことが分かっており、体に比較的や

さしいダイエットと考えられている。また、上海市静安区にある小学校では、「健康飲食」の授業が取り入れられており、教材として『本草綱目』が使われており、身近な植物や食物の知識を高め、自分自身の健康を保つ意識を深める狙いがあるという。

今回は灸を題材にした“強情灸”を紹介する。元々は上方落語の『やいと丁稚』の演目。得意にしたのは5代目古今亭志ん生や5代目柳家小さんの十八番で、江戸っ子の強情っぱりなところや、負け惜しみややせ我慢という、いかにも「武士は食わねど…」の町らしい江戸っ子気質が伝わってくる。

【強情灸】

江戸っ子は強情っぱりで、負け惜しみの強い人が多く居るものです。

熊：おい、辰やないかい。

辰：あ、熊か・・・

熊：ボォ〜ツとした顔して、どうしたんだ？

辰：実は灸を据えに今行ってきたんや。

熊：灸か。おかしい按摩するぐらいやったら、灸の方が良く効くて事言うからな。それでどうした？

辰：このお灸は凄まじく熱いので評判なんだよ。気の弱い奴なんかな、一つ据えただけで『ギャー』なんて天井突き破って飛んで行ったと噂もあるぐらいだから。

余りにも熱すぎるので、せっかく来た人が怖気づいて帰ってしまうぐらいだが、それでも『効く』という評判のおかげで店の前は長蛇の列。仕方が無いから、番号札を配って据えてもらっているらしい。

辰：俺が受け取ったのが『への36番』。行列のどん尻との事で、これじゃ日が暮れちまうから帰ろうかと思ったらヨ、先に並んでいた綺麗



図2 鍼灸治療院

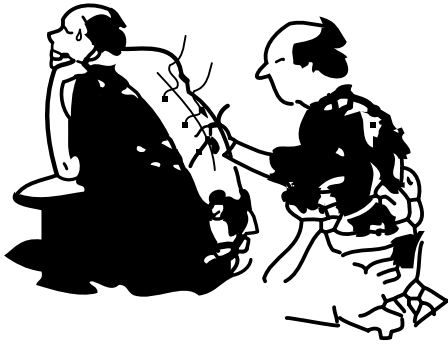


図3 強情鍼

なお嬢さんが、先客が熱がってるんで心配なので番号を変わってくれと頼まれて・・・

「ようござんす」と喜んで代わりましたとも。早速治療所に入ると回りの者が、この人は大丈夫だろうかという顔をして俺を見るものだから、あぐらをかいて背中を出して待っていた。灸師：うちの灸は熱いですよ。大丈夫ですか？頭にきたから、上半身裸になるや

辰：たかが灸だろう。背中で焚き火をする訳じゃあるまいし。どの位するんだ？

灸師：片側16ヶ所、両側32ヶ所に灸をやります。

灸を36箇所据えろと言われ、なおも意気がつて、

辰：それっきりか。全部いっぺんにやって貰おう。

灸師：本当に良いんですか。

辰：俺の身体だ。やってくれ。

と言ったが、本当にはやらないだろうと思っていたら、さようでございますかと言って、正直に32並べて火を付け始めた。慣れているから早い早い早い・・・

あっという間に身体中から煙が上がってくる。不動明王が火炎を背負っているみたいになっちまったが、ここで逃げたらカチカチ山の狸が火を背負って飛び出したみたいだ。

我慢して唸っていたら、店にいた奴らがみんな寄ってきて、「この人こそ本当の江戸っ子だ。」とか、「神様の化身でしょう」などと感心してやがんで、外に逃げ出す訳にも行けなかった、と得意顔。

それだけなら良かったが、順番を譲ってくれた娘がニッコリ笑って、「まあ、この人はなんて男らしいのかしら。こんな人が我が夫だったら・・・」なんて思っているに違いないなどと、自慢話が色気づいてくるものだから、

熊：やい、豆粒みたいな灸をスエたぐらいで、熱いの熱くねえのって、笑わせるんじゃないや。冗談じゃない。俺が江戸っ子の灸のすえ方を見せてやる。

と言って、腕にモグサを山の様に積み上げた。みんなの心配をよそに、炭火でそれに火を点けた。

熊：見てみろ、煙が出て浅間山の噴火のようだ。これだけじゃない、うちわで扇ぐ。まるで蒲焼きのようだろう。石川五右衛門の釜ゆでを知っているか。油が煮えたぎった中でニコッと笑って、辞世の句を残したんだぞ。八百屋お七を知ってるか。火あぶりになったのに一言も悲鳴をあげなかったんだぞ。こんな事で熱いと言えるか！

だんだんと声の調子がうわすってきたが、

熊：八百屋お七を見ろ。石川五右衛門を・・・。わー、う～～、わあ～、

腕を押さえて悲鳴を上げ始めた。

とうとう辛抱たまらずもぐさを払い落とし、

熊：ああ、涼しい。

と意地を張る熊に、意地悪く声をかける。

辰：五右衛門がどうしたって？

熊：俺は熱くないが、五右衛門はさぞかし熱かったろう。

*****◀

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

- 1) 中医学の基礎 平馬直樹・兵頭明・路京華・劉公望監訳 東洋学術出版社
- 2) やさしい中医学入門 関口善太著 東洋学術出版社
- 3) 中医診断学ノート 内山恵子著 東洋学術出版社
- 4) 東洋医学の基本 後藤修司監修 日本実業出版社
- 5) 薬膳と中医学 徳井教孝・三成由美・張再良・郭忻共著 建帛社
- 6) 全訳中医診断学 王憶勤主編 たにぐち書店
- 7) 漢方アドバイザー養成講座テキスト 漢方に関する基礎知識編 第二巻 JACDS
- 8) 中国茶譜 宛曉春主編 中国林業出版社
- 9) 中国茶図鑑 工藤佳治, 俞向紅著 文藝春秋
- 10) 皇帝内経 養生図典 海豚出版社
- 11) 一天一道養生茶 上海科学普及出版社
- 12) 中国針灸学概要 上海中医学院出版
- 13) 針灸治療必携 上海市針灸研究所編
- 14) 全日本鍼灸学会雑誌 33 巻 3 号 279-284, 向野義人ら

白石カルシウムの炭酸カルシウム

炭酸
カルシウム
とは？

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

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

一般の栄養強化には、「ホワイトン」

機能を求めるならば、「コロカルソ」

飲料用には、スラリー状の「カルエッセン」

詳細につきましては、弊社営業担当に
お気軽にお尋ね下さい。

 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

会 告

日本社会薬学会 第31年会

テーマ：「新たな社会薬学の発展と展望」

日 時：2012年9月15日（土）・16日（日）

場 所：鈴鹿医療科学大学 白子キャンパス

1. 年会長講演：「超高齢社会におけるがん予防と薬剤師の役割」

鈴鹿医療科学大学 薬学部長 川西 正祐 先生

2. シンポジウム

①「『健康食品』と薬剤師～薬剤師は『健康食品』にどう向き合うか～」

オーガナイザー：中村幹雄（鈴鹿医療科学大学薬学部薬学科 客員教授）

②「安全性情報を、どう評価しどう伝えるべきか」

オーガナイザー：山本美智子（鈴鹿医療科学大学薬学部 教授）

③「6年制薬学教育 — 「薬剤師教育」の現状と課題」

オーガナイザー：鈴木匡（実務実習東海地区調整機構 委員長）

④「多職種連携の推進のために」

オーガナイザー：網岡克雄（金城学院大学薬学部 教授）

3. 教育講演：「薬剤師が取り組むフィジカルアセスメント CDTM 実践への戦略的アプローチ」

一般社団法人 在宅療養支援薬局研究会 理事長 狭間 研至 先生

4. 市民公開講座：

特別講演1 「患者のためのジェネリック医薬品」

講師：名古屋市立大学大学院医学研究科臨床薬理学 教授

/名古屋市立大学病院薬剤部長 医学博士 木村 和哲 先生

特別講演2 「ジェネリック医薬品の製剤技術と品質—なによりも患者さんのために—」

講師：沢井製薬株式会社 技術部長 薬学博士 山原 弘 先生

年会長 川西 正祐（鈴鹿医療科学大学 薬学部長）

年会事務局連絡先

鈴鹿医療科学大学薬学部

〒513-8670 三重県鈴鹿市南玉垣町 3500 番地 3

TEL/FAX : 059-368-3920

Email : shayak31 @ suzuka-u.ac.jp 1.

<http://www.suzuka-u.ac.jp/information/access.html>

会 告

第 39 回 食品の物性に関するシンポジウム

日 時：2012 年 8 月 27 日（月）および 28 日（火）

場 所：酪農学園大学（江別市文教台緑町）札幌から快速で 10 分、普通で 25 分 大森駅下車、徒歩
約 10 分

主 催：食品の物性に関するシンポジウム運営委員会

プログラム

8 月 27 日

13：30 ～ 14：30 特別講演 酪農学園大で行った種々の食品のレオロジー測定法を中心にして—
..... 中村邦男（酪農学園大学元教授）

14：30 ～ 15：10 コメ澱粉の物性・構造と高度利用
..... 阿久澤さゆり（東京農業大学）

15：10 ～ 15：20 休憩

15：20 ～ 16：00 β -ラクトグロブリンの自己組織化によるアミロイド線維形成とその物性
..... 佐々木直樹（北海道大学大学院先端生命科学研究院）

16：00 ～ 16：40 水酸化ナトリウム水溶液から調製した食材としてのセルロースとその物性
..... 宮本 ひとみ（横浜国立大学・JSPS 特別研究員）

16：40 ～ 17：20 抹茶の粒度と物性評価
..... 沢村信一（株式会社伊藤園中央研究所）

18：30 ～ 懇親会（詳細はウエブページをご覧ください）

8 月 28 日

10：00 ～ 10：40 高圧力下で冷凍したゲル状食品の物性と微細構造
..... 寺本あい（関東学院大学）

10：40 ～ 11：20 混合多糖ゲルの物性と分子運動性
..... 松川真吾（東京海洋大学）

- 11:20 ~ 12:00 ハッショウマメの調理特性
..... 飯島久美子 (お茶の水女子大学)
- 12:00 ~ 13:00 昼食休憩
- 13:00 ~ 13:40 調理における沸騰を表す用語・表現の言語間の比較
..... 福留奈美 (お茶の水女子大学)
- 13:40 ~ 14:20 凍結保存中の食品内の氷結晶の成長
..... 萩原知明 (東京海洋大学)
- 14:20 ~ 15:00 ゼリー状食品の摂食過程の解析
..... 石原清香 (三栄源エフ・エフ・アイ株式会社)
- 15:00 ~ 15:10 休憩
- 15:10 ~ 15:50 嚥下機能の脳機能イメージング：最近の動向と NIRS 計測による取り組み
..... ○ 岡本 雅子, 山脇 正永¹⁾ (帯広畜産大学・京都府立医科大学¹⁾)
- 15:50 ~ 16:30 食品の物性が摂食・嚥下機能に及ぼす影響について
..... 越野 寿 (北海道医療大学)

シンポジウム参加費：一般 事前申込 6,000 円、当日申込 8,000 円

学生 事前申込 3,000 円、当日申込 4,000 円

懇親会参加費 (予定)：ウェブページをご覧ください。

シンポジウム及び懇親会への参加の事前申込は下記ウェブページでお願いします (プログラムもご確認いただけます)。シンポジウムの事前申込はシンポジウム開催 10 日前の 8 月 17 日 (金) 17 時まで受け付けています。懇親会の事前申込については、ウェブページにて詳細をご案内いたします。

ウェブページ：<http://bussei-symposium.main.jp/>

その他お問い合わせ

香川大農 合谷祥一

Tel.&Fax. 087-891-3103

E-mail: gohtahni@ag.kagawa-u.ac.jp

京大院農 松村康生

Tel. 0774-38-3745, Fax. 0774-38-3746

E-mail: matsumur@kais.kyoto-u.ac.jp

ユニテックフーズ株式会社 新製品のご紹介 2点

アラビアガム「アラガム」シリーズ発売

ユニテックフーズ株式会社は、ドライテック社（Drytech 社・インド）製アラビアガム、ブランド名「アラガム」シリーズの販売を開始いたします。

弊社はペクチン、カラギナン、メチルセルロースなどの増粘多糖類を取り扱っており、今回アラビアガムをラインナップに加えることにより、より広い分野での物性・食感改良に対するサービスの充実を目指します。また、既存の取扱原料と組合せた新しい利用法も開発し提案してまいります。

《ドライテック社について》

ドライテック社は世界最大級のスプレードライ設備を有し、幅広い製品群を供給しています。オートメーション化された工程で、厳しい品質管理・衛生管理のもと、食品原料の他、医薬用原料などの製造を行っています。インドにおいてアラビアガムは伝統生薬として利用されてきた歴史があり、大量に消費されています。ドライテック社は、インドでのアラビアガム産業においてトップクラスの品質と供給量を誇っています。ドライテック社は収穫の変動などのリスクを分散するため、原料原産地（ナイジェリアやスーダンなど）の複数の有力な現地集荷元と提携し、品質・量ともに安定した供給体制を構築しています。

《「アラガム」シリーズについて》

「アラガム」には、乳化力が優れたセネガル種由来品と一般用途のセヤル種由来品があります。「アラガム」シリーズの最大の特徴は、原料段階で人と機械による厳格な選別を行うことで、透明性と色調の優れた高純度品の提供を可能にした点です。ラインナップとしては、異なる色調、異なる粒度の製品を揃えています。

《アラガムシリーズの応用》

アラビアガムは、増粘の他、その特性から様々な用途に利用することができます。「アラガム」シリーズは、用途に合わせてタイプを選択することができます。

効果と主なアプリケーション

- ・ 乳化効果：香料，飲料
- ・ コーティング：タブレット，チョコレート，ナッツ類
- ・ 結着性向上：タブレット，シリアルバーの水飴代替
- ・ 付着性向上：スナック用シーズニング
- ・ 食物繊維源：飲料，機能的食品

抗コレステロール素材「ベネコール®」発売について

ユニテックフーズ株式会社は、ライジオ社（RAISIO 社・フィンランド）の植物ステロール素材、ブランド名「ベネコール®」（BENECOL®）の販売を開始いたします。

メタボリックシンドロームやコレステロールについての人々の関心は高まってきています。ベネコール®は、このような背景の中で食生活を通じてこれらの改善に役立つ素材と考えています。より多くの食シーンでこの素材が利用できるよう、弊社のアプリケーション開発機能を生かし、他の増粘多糖類との組合せも含め、食べやすくおいしい食品での応用を提案してまいります。

《ライジオ社について》

ライジオ社は、フィンランドで小麦製造業として 1939 年に設立されました。現在ライジオ社は、飼料などの業務用製品と複数のブランドを持つ家庭用製品を販売する 2 つの部門を持っています。1989 年同社は、コレステロールの低減効果が確認される植物ステロール類として最初の素材を開発し、この素材を利用したマーガリンをベネコール®ブランドとして 1995 年に発売しました。ライジオ社は、栄養とライフサイエンス事業のさらなる拡大を目指しています。

《ベネコール®について》

ベネコール®はライジオ社が開発した大豆由来の植物ステノールエステルで、日本を含む世界各国で特許を取得しています。優れたコレステロール低減効果を持ち、他の植物ステロールや植物ステノールエステルと比較しても高い効果があります。60 以上の臨床試験のデータを有し、各国でその安全性と効果が認められています。30 ヶ国以上で販売され 120 の製品で採用されているベネコール®は植物ステロール類のトップブランドとなっています。

《ベネコール®の応用》

ベネコール®は、油脂タイプと粉末タイプの 2 品があり、用途に合わせて選択することができます。ヨーロッパではドリンクヨーグルトとマーガリン製品に多く利用されています。

主なアプリケーション

- ・マーガリン、スプレッド
- ・ヨーグルト、ドリンクヨーグルト
- ・パン、焼菓子、シリアルバー
- ・ドレッシング、マヨネーズ風調味料
- ・サプリメント

お問合せ：ユニテックフーズ株式会社
〒103-0001 東京都中央区日本橋小伝馬町 14-4
TEL 03-3639-2071（代表） FAX 03-3662-4789

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54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。

年間購読料：**23,760**円（送料・税込）

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54巻 第7号

印刷 平成 24 年 6 月 25 日

発行 平成 24 年 7 月 1 日

発行人 宇田 守孝

編集人 村松 右一

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 株式会社アイエムアート

定価 2,100円(本体2,000円+税)(送料100円)

email:info@newfoodindustry.com