

New Food Industry

New food indust. 61 (6): 2019.

6

- パン焼成時にともなうメイラード反応と脂質過酸化反応との関係
- 視覚を制限した暗闇での飲料味覚の現れ方
- 卵焼きロスを利用した新規発酵調味料の開発Ⅱ
特に醤油様調味料製造時の主原料や麹の基質としての再利用について
- 山伏茸子実体 (*Hericium erinaceum* fruit body) における
記憶力向上および認知機能改善に関する研究
- 乳酸菌が醸す発酵食品の世界
ー製造過程における乳酸菌の役割と機能ー

酸化防止剤

BB H A
 サステン乳液A
 サステン乳液T

Sustane



日揮ユニバーサル株式会社

触媒化成品営業部／東京都品川区大崎 1-6-3 日精ビル
 電話(03)5436-8470 FAX(03)3493-9125

リグナンリッチ 黒胡麻マイクロパウダー

(60メッシュ 90%パス セサミン0.8%)

「通常のすりごまより香りが広がる」
 セサミンリッチな黒胡麻です。

～プロテイン飲料、菓子、スープ、トッピング等へ～

～リグナンリッチ黒ごままで栽培された～

胡麻若葉末

●有機認定(島根産)
 ●九州産(鹿児島)

※特許査定を受けました ※急性毒性、変異原性試験、ORAC値測定
 ※黒酢との比較でACE活性阻害作用を確認 ※「リグ菜」商標出願中

○胡麻若葉、リグナン胡麻等の情報はこちらをご覧ください。

<http://gomadensetsu.com>

胡麻の伝説



胡麻を通じて健康を科学する。
 ～香と機能、個性ある胡麻をお届けします～

株式会社

わだまんサイエンス

- リグナンリッチ黒胡麻ペースト
(セサミン規格値0.8%)
- リグナンリッチ黒胡麻油
(セサミン規格値1.2%)
- 発酵胡麻ほか
- チアシード

「胡麻若葉」のブランド名が商標登録査定を受けました。
 (2017年3月末)



リグナンリッチ黒胡麻で栽培された、胡麻若葉です。

■登録NO: 5939137

本社 〒604-0845 京都市中京区烏丸御池上る二条殿町546
 TEL 075-222-7318 / FAX 075-222-0318
<http://www.wadaman-s.com>

論 説

- パン焼成時にともなうメイラード反応と脂質過酸化反応との関係
Relationship between the Maillard reaction and lipid peroxidation
in adding various fatty acids on bread baking
..... 豊崎 俊幸 413
- 視覚を制限した暗闇での飲料味覚の現れ方
Taste sensation of beverages in a darkness with restricted vision
..... 小林 茂雄, 近藤 奈々美, 大嶋 絵理奈 419
- 卵焼きロスを利用した新規発酵調味料の開発Ⅱ
特に醤油様調味料製造時の主原料や麴の基質としての再利用について
..... 山崎 聡子, 佐藤 勉, 早坂 浩史, 船津 保浩 430
- 山伏茸子実体 (*Hericium erinaceum fruit body*) における
記憶力向上および認知機能改善に関する研究
Improvement of memory and cognitive function in
Hericium erinaceum fruit body
..... 具 然和 437

研究解説

- 乳酸菌が醸す発酵食品の世界
-製造過程における乳酸菌の役割と機能-
..... 中川 智行 453

連 載

- デンマーク通信 デンマークのアルコール

..... Naoko Ryde Nishioka 460

- 野山の花 — 身近な山野草の食効・薬効 —

ウツボグサ *Prunella vulgaris* L. var. *linalacia* Nakai

(=*P. vulgaris* L. subsp. *asiatica* (Nakai) H.Hara)

(シソ科 Labiatae APG : Lamiaceae)

..... 白瀧 義明 462

解説 (連載)

- 成熟がニジマスの臓器や体成分に及ぼす影響ー 2. 発達, 完熟, 過熟

..... 酒本 秀一 465

- 新解説 グルテンフリー穀物による麦芽とビール醸造 (1)

..... 瀬口 正晴, 竹内 美貴, 中村 智英子 480

世界から、優れた「自然の恵み」を提供します

アンデスの母なる穀物 **キヌア**



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

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

◆キヌア粒
◆有機キヌア粒
◆レトルトキヌア

ミルク

至高の食品がわかる

伊藤 敏 著

■A5 版／156 ページ ■定価：(1900 円 + 税)

■発行：エヌエフアイ



本書はミルクについて平易に解説された専門書です。著者が日本大学生物資源科学部において教鞭を執られていた際に執筆し教科書として発刊していましたが、本書が教科書だけでなく広く牛乳・乳製品工場で働く技術者の再勉強にも役立つ参考書として新たに発刊いたしました。

まえがきより

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

第1章 ミルクの科学的特性 一秘められた力

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

第2章 乳製品の知識と製造の基本原理

1. 日本ではどの位の牛乳・乳製品が食べられているのだろうか
2. 農家で搾った牛乳が工場に入るまで
3. 牛乳・乳製品の分類と規格
4. 牛乳の加熱殺菌について
5. 牛乳の均質化処理（ホモジナイズ処理）
6. 発酵乳と乳酸菌
7. チーズ
8. バター
9. アイスクリーム
10. 濃縮乳（練乳、コンデンスミルク、エバミルク）
11. 粉乳

■著者／伊藤 敏 (いとう たかし)

◆農学博士

1937 年愛媛県生まれ。東北大学大学院農学研究科修士課程修了後、1962 年株式会社ニチレイ入社。1963 年東北大学農学部助手。1976 年同大学助教授。1989 年同大学農学部教授を経て 2001 年日本大学生物資源科学部教授。東北大学名誉教授。

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

パン焼成時にもなう メイラード反応と脂質過酸化反応との関係

Relationship between the Maillard reaction and lipid peroxidation in adding various fatty acids on bread baking

豊崎 俊幸 (TOYOSAKI Toshiyuki)*

* 香蘭女子短期大学・食物栄養学科

Key Words: メイラード反応 脂質過酸化反応 飽和脂肪酸 不飽和脂肪酸 製パン

Relationship between the Maillard reaction and lipid peroxidation in adding various fatty acids on bread baking

Toshiyuki Toyosaki *

¹Department of Foods and Nutrition, Koran Women's Junior College

Key Words: Maillard reaction, Lipid peroxidation, Saturated fatty acids, Unsaturated Fatty acids, Bread baking

Abstract

The Maillard reaction accompanying the baking of bread largely affects the quality of finished bread and the degree of taste. Particularly, the difference of lipids as a secondary material can be considered as one of the major factors. We examined how the differences in constituent fatty acids of lipids in secondary materials are related to Maillard reaction. Chemical differences in added fatty acids were identified to be a major factor in the induction of the Maillard reaction and lipid peroxidation in bread baking. With saturated fatty acids, a higher carbon number tended to promote the Maillard reaction induction and suppress lipid peroxidation induction. Conversely, with unsaturated fatty acids, a greater degree of unsaturation tended to suppress the Maillard reaction induction and promote lipid peroxidation induction. The present findings clarified the involvement of fatty acid carbon number and degree of unsaturation in the Maillard reaction and lipid peroxidation inductions in bread baking. This phenomenon is a novel finding for the food science field.

*To whom correspondence should be addressed.

Department of Foods and Nutrition, Koran Women's Junior College

1-2-1 Yokote Minami-ku Fukuoka, 811-1311, Japan

TEL 81-92-581-1538 E-mail: toyosaki@koran.ac.jp

要約

パン焼成時におけるメイラード反応および脂質過酸化反応の誘導は、添加された脂肪酸の化学的差異が大きな要因の一つとして関与していることが明らかとなった。すなわち飽和脂肪酸の場合、炭素数が多いほどメイラード反応の誘導は促進される傾向を示したが、脂質過酸化反応の誘導は抑制される傾向を示した。いっぽう、不飽和脂肪酸の場合、不飽和度が高いほどメイラード反応の誘導は抑制される傾向を示したが、脂質過酸化反応の誘導は促進される傾向を示した。本研究結果から、パン焼成時に伴うメイラード反応および脂質過酸化反応の誘導に、脂肪酸の炭素数および不飽和度が関与している事実を明らかとした。この現象は、食品科学分野に新たな知見を提起できるものと考えられる。

はじめに

著者は中鎖脂肪酸含有油脂（MCT）の食品科学分野での機能特性について追跡し、興味ある知見を提起してきた¹⁻⁴⁾。中鎖脂肪酸（C₈およびC₁₀）のみからなる中鎖トリアシルグリセロール（MCT）に関する研究はすでに多数の優れた研究報告がある。ただし、それらのほとんどは、生化学分野からのアプローチであり、食品学分野から追跡された研究はほとんど見当たらないのが現状である。著者が明とした研究成果のトピックスとして、MCTによる生地の発酵が促進されるという興味深い知見を見出し、併せMCTがメイラード反応の誘導を抑制することを明らかにした⁵⁾。

ところで、食品学および生化学の分野では、食品中の脂質の酸化が悪臭および潜在的に有害な化合物の形成を引き起こすことはよく知られている⁶⁻¹⁴⁾。パンの焼成中に引き起こされる脂質過酸化反応は、パンの風味や食感に大きな悪影響を及ぼすと考えられている。メイラード反応と質過酸化反応との関係を追跡することが極めて重要であるが、それに関する研究報告は見当たらない。

メイラード反応は、糖質とアミノ化合物の成分間反応であり¹⁵⁾、食品の加工、保存調理で誘発され、食品の褐変や香気生成に関与している。メイラード反応を誘発する成分としては、アミノ化合物として、アミン、アミノ酸、ペプチド、たんぱく質、核酸塩基、アミノ脂質などが知られている。カルボニル化合物としては、L-アスコルビン酸、ポリフェノール化合物あるいはステロイド化合物が報告されている¹⁶⁻²⁵⁾。メイ

ラード反応の開始段階として、アミノ基の窒素の独立電子対は、カルボニル炭素と求核反応により結合し、脱水によりイミンが生成することから反応が開始される^{9, 10)}。この反応で生成された物質が新たな反応を誘発される結果、食品の色素や香気を含める様々な生成物が、様々な経路により生成することとなる。メイラード反応は、食品加熱により、色や香りに大きな影響を与えることは既知の事実である²⁴⁾。パンの焼き色や香りは、人間の嗜好性を高めるため、加熱によるメイラード反応の誘発は食品学分野ではメリットとして考えられる。

ここでは、メイラード反応と、様々な脂肪酸を用いた製パン促進における脂質過酸化によって生成されるヒドロペルオキシドとの間の関係について若干の知見が得られたので、その内容を紹介する。

1. 各種飽和脂肪酸添加生地の焼成時に誘導されるメイラード反応と脂質過酸化反応の変化

パン生地焼成1時間までに誘導されるメイラード反応に対する飽和脂肪酸の影響について検討した結果を図1に示した。併せその時に誘導される脂質過酸化反応の変化を図2に示した。メイラード反応の誘導に対する飽和脂肪酸の影響は、添加した飽和脂肪酸の炭素数が増加するほど増加する傾向を示した。一方、その時の脂質過酸化の誘導は、真逆の結果を示した。すなわち、添加した飽和脂肪酸の炭素数が増加するほど脂質過酸化反応の誘導は抑制された結果を示した。

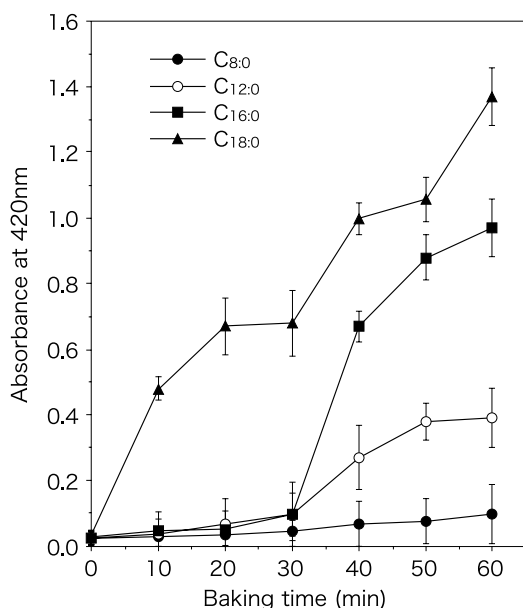


図1 各種飽和脂肪酸添加生地の焼成時に誘導されるメイラード反応の変化

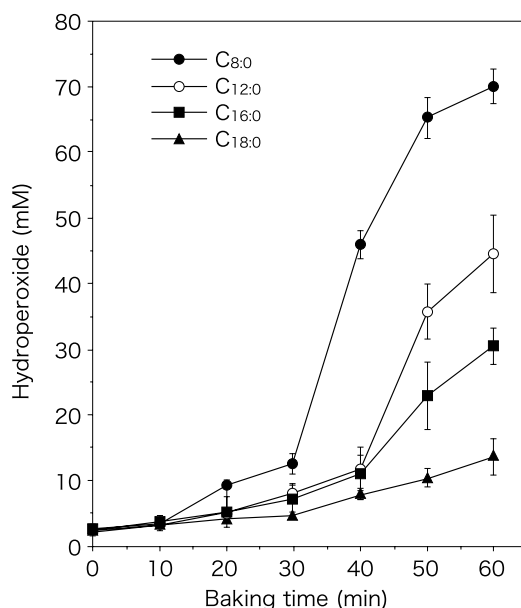


図2 各種脂肪酸添加生地の焼成時に誘導される脂質過酸化反応の変化

メイラード反応生成物は脂質過酸化反応を抑制する、いわゆる抗酸化作用を有していることは既知の事実である。本研究から得られた結果から、次のような推論が考えられる。すなわち、添加した飽和脂肪酸の炭素数が少ない脂肪酸ほどメイラード反応は促進されることで、メイラード反応生成物（主にメラノイジン）量は増加するが、生成されたメイラード反応生成物が脂質過酸化反応に対して抗酸化作用を示したため、結果として炭素数の少ない飽和脂肪酸ほど抗酸化効果が顕著に現れたもの推察される。

2. 飽和脂肪酸の炭素数の増減がメイラード反応および脂質過酸化反応に及ぼす影響

飽和脂肪酸添加生地の焼成時におけるメイラード反応と脂質過酸化反応との関係について追跡した結果を図3に示した。添加した飽和脂肪酸の炭素数の増減に対して、メイラード反応の誘導も炭素数の増減により左右され、炭素数が多くなるほどメイラード反応の誘導は促進されている。いっぽう、脂質過酸化反応の誘導

は、脂肪酸の炭素数が多くなるほど抑制される傾向を確認できた。この現象は本研究で初めて確認されたことから、今後のパン業界へ多大なる貢献ができるものと考えられる。なお、この現象のメカニズムに関しては今後詳細に検討す

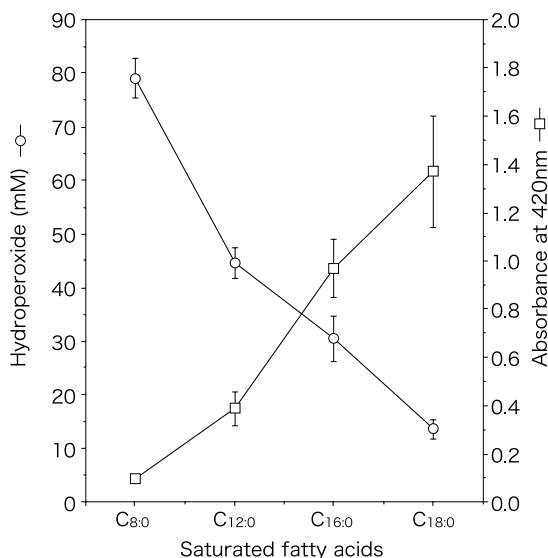


図3 飽和脂肪酸添加生地の焼成時におけるメイラード反応と脂質過酸化反応との関係

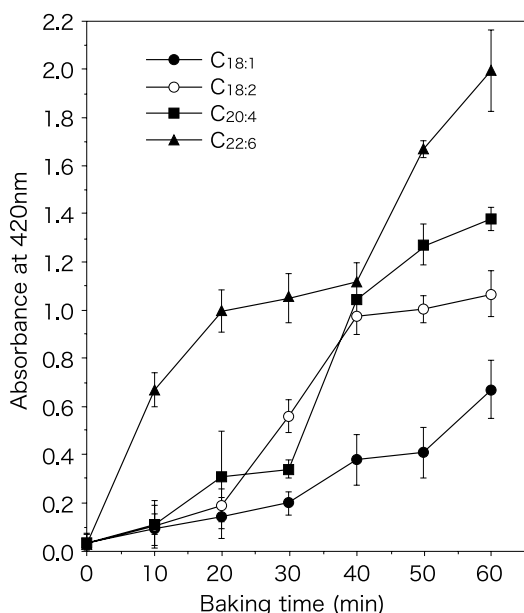


図4 各種不飽和脂肪酸添加生地焼成時に誘導されるメイラード反応の変化

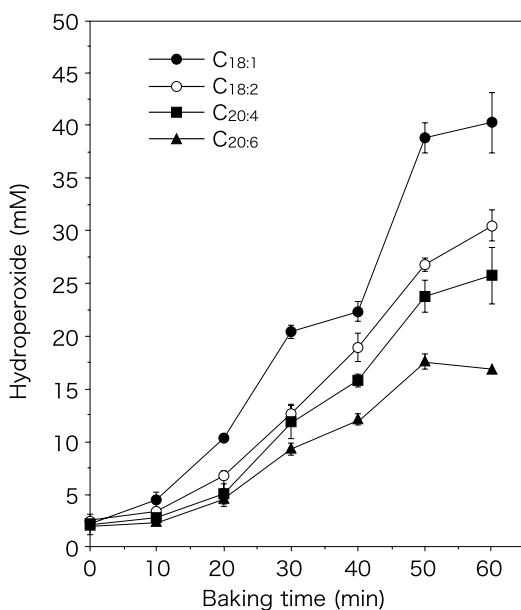


図5 各種飽和脂肪酸添加生地焼成時に誘導される脂質過酸化反応の変化

る必要がある。

3. 各種不飽和脂肪酸添加生地の焼成時に誘導されるメイラード反応と脂質過酸化反応の変化

パン生地1時間までに誘導されるメイラード反応に対する各不飽和脂肪酸の影響について検討した結果を図4に示した。併せその時の脂質過酸化反応の変化について検討した結果を図5に示した。不飽和度が増加ほどメイラード反応の誘導が増加する傾向を示した。また、その時の脂質過酸化反応の誘導は、添加した不飽和脂肪酸の不飽和度が増加するほど過酸化反応の誘導は抑制される傾向を示した。この現象は、飽和脂肪酸を用いたの結果とは全く異なる結果であった。不飽和脂肪酸の場合は、炭素数の増減よりも不飽和度の増減がメイラード反応および脂質過酸化反応の誘導を左右するメカニズムが存在しているものと考えられる。

4. 不飽和脂肪酸の不飽和度の増減がメイラード反応および脂質過酸化反応に及ぼす影響

不飽和脂肪酸添加生地の焼成時におけるメイラード反応と脂質過酸化反応との関係を図6

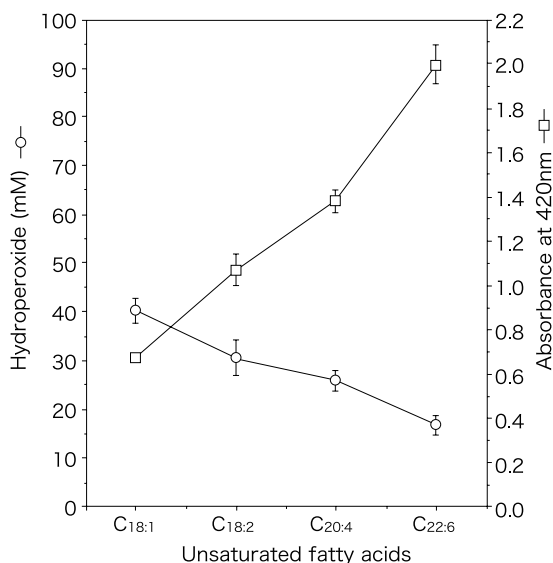


図6 不飽和脂肪酸添加生地の焼成時におけるメイラード反応と脂質過酸化反応との関係

に示した。各不飽和脂肪酸の不飽和度の増減により、メイラード反応および脂質過酸化反応の誘導が左右されることを確認できた。すなわち、不飽和脂肪酸の不飽和度が増加するほどメイラード反応の誘導は抑制される傾向が確認された。いっぽう、脂質過酸化反応の誘導は、不飽和脂肪酸の不飽和度が増加するほど促進されることが確認された。本研究でのこのような現象を明らかにしたことは、パン製造業はもとより、食品化学分野に多大なる貢献ができたものと自負できる。

まとめ

今回、各種脂肪酸の化学構造の違いがパン焼成時にかなりのウェイトで影響を及ぼしていることを確認できた。飽和脂肪酸の場合、炭素数の増減がメイラード反応および脂質過酸化反応の誘導に大きな影響を及ぼし、不飽和脂肪酸の場合は、炭素数の増減よりむしろ不飽和度の増減がメイラード反応および脂質過酸化反応の誘導を左右している事実を確認できた。この結果は、食品科学分野に多大なる貢献ができるものと考えられ、併せパン製造業に多大なる貢献ができるものと考えられる。

参考文献

1. Toyosaki, T., Sakane, Y., & Kasai, M.: Effects of medium-chain triacylglycerols (MCT) on the maillard reaction, *Journal of Food Processing and Technology*, **4**: 4. 2013.
2. Toyosaki, T., Sakane, Y., & Kasai, M.: Stress relaxation behavior of gluten and bread dough with medium-chain triacylglycerols (LCT): Comparison with long-chain triacylglycerols (LCT) and butter. *Advance Journal of Food Sciences and Technology*, **7**: 676-680. 2015.
3. Toyosaki, T., Kasai, M., Konishi, Y., & Sakane, Y.: Microstructure formation and rheological properties of bread containing medium-chain triacylglycerols (MCT) and its comparison with long-chain triacylglycerols (LCT) and butter containing bread. *African Journal of Food Science*, **9**: 342-346. 2015.
4. Toyosaki T., Kasai, M., & Sakane, Y.: Relationship between maillard reaction during bread baking and medium-chain triacylglycerols(MCTs). *Advance Journal of Food Sciences and Technology*, **12**: 498-502. 2016.
5. Toyosaki, T.: Effects of medium-chain triacylglycerols on Maillard reaction in bread baking. *Journal of he Science of Food and Agriculture*, **98**: 3169-3174. 2018.
6. Seaton, T.B., Welle, S.L., Warenk, M.K., & Campbell, R.G.: Thermic effect of medium-chain and long-chain triglycerides in man. *American Journal of Clinical Nutrition*, **44**: 630-634. 2018.
7. Lavau, M.M., & Hashim, S.A.: Effect of medium chain triglyceride on lipogenesis and body fat in the rat. *Journal of Nutrition*, **108**: 613-620. 1978.
8. Gelebert, A., Torbay, N., Bracco, E.F., Hashim, S.A., & Van Italie, T.B.: Overfeeding with medium-chain triglyceride diet results in diminished deposition of fat. *American Journal of Clinical Nutrition*, **37**: 1-4. 1983.
9. Chanez, M., Bois-Joyeux, B., Arnaud, M.J., & Peret, J.: Metabolic effects in rats of a diet with a moderate level of medium-chain triglycerides. *Journal of Nutrition*, **121**: 585-594. 1991.
10. Kris-Etherton, P.M., & Yu, S.: Individual fatty acid effects on plasma lipids and lipoproteins: human studies. *American Journal of Clinical Nutrition*, **65**: 162-164. 1997.
11. Kritchevsky, D., & Tepper, S.A.: Influence of medium-chain triglyceride (MCT) on cholesterol metabolism in rats. *Journal of Nutrition*, **86**: 67-72. 1965.
12. Leveille, G.A., Pardini, R.S., & Tillotson, J.A.: Influence of medium-chain triglycerides on lipid metabolism in the rats. *Lipids*, **2**: 287-294. 1967.
13. Ecelbarger, G.L., Lasekan, J.B., & Ney, D.M.: In vivo triglyceride secretion and hepatic and plasma lipids in rats fed medium-chain triglycerides, tripelargonin, or corn oil. *Journal of Nitritional Biochemistry*, **2**: 260-266. 1991.
14. Papamandjaris, A.A., Macdougallm D.E., & Jones, P.J.H.: Medium chain fatty acid metabolism and energy

- expenditure: obesity treatment implications. *Life Science*, **62**: 1203-1215. 1998.
15. M.A.J.S van Boekel.: Formation of flavor compounds in the maillard reaction. *Biothcnology Advances*, **24**: 230-233. 2006.
 16. Tareke, E., Rydberg, P., Karlson, P., Eriksson, S., & Törnqvist, M.: Analysis of acrylamide, a carcinogen formed in hester foodstuffs. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, **50**: 4998-5006. 2002.
 17. T. Usui.: The maillrad reaction in foods. *Journal for the Integrated Study of Dietary Habits*, **26**: 7-10. 2015.
 18. Maillard, L.C.: Action des acides amines sur les sucres; formation des melanoidines par voie methodique. *C R Acad. Sci.*, **154**: 66-68. 1912.
 19. Hodge, J.E.: Chemistr y of browning reaction in model systems. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, **1**: 928-943. 1953.
 20. Namiki, M., & Hayashi, T.: Role of sugar fragmentation in an eary stage browng of amino-carbonyl reaction of sugar with amino acid. *Agriculture and Biological Chemistry*, **50**: 1965-1970. 1986.
 21. Hayase, F., Shirahashi, Y., Machida, T., Ito, T., Usui, T., & Watanabe, H.: Chemistr y of pigments as intermediate of melanoidins, The Maillard Reaction. *New York Academy of Sciences*, **322**: 232-240. 2010.
 22. Shizuuchi, S., & Hayase, F.: Antioxidative activity of the blue pigment formed in a D-xylose-glycine reaction system. *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry*, **67**: 54-59. 2003.
 23. Shima, K., Yamada, N., Suzuki, E.-I., Harada, T.: Novel brothytaste modifier isolated from beef broth. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, **46**: 1465-1468. 1998.
 24. Ogasawara, M., Katsumata, T., & Egi, M.: Taste properties of Maillard reaction products prepared from 1000 to 5000 Da peptide. *Food Chemistry*, **99**: 600-604. 2006.
 25. Ueda, Y., Yonemitsu, M., Tsubuku, T., Sakaguchi, M., & Miyajima, R.: Flavor characteristics of glutathione in raw and cooked foodstuffs. *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry*, **61**: 1977-1980. 1997.

連絡先 : 豊崎俊幸 (Toshiyuki Toyosaki)
〒 811-1311 福岡県福岡市南区横手 1 丁目 2-1
香蘭女子短期大学・食物栄養学科
E-mail:toyosaki@koran.ac.jp
Tel:092-581-1538

視覚を制限した暗闇での飲料味覚の現れ方

Taste sensation of beverages in a darkness with restricted vision

小林 茂雄 (KOBAYASHI Shigeo)¹ 近藤 奈々美 (KONDO Nanami)¹
大嶋 絵理奈 (OSHIMA Erina)²

¹ 東京都市大学 工学部建築学科, ² みなもかラボ

Key Words : 飲料 暗所視 暗闇 美味しさ 中身情報 不確実

Taste sensation of beverages in a darkness with restricted vision

Shigeo Kobayashi^{1,*}, Nanami Kondo¹, Erina Oshima²

¹Tokyo City University, Department of Architecture, ²Minamoca Lab.

Key Words: beverage, scotopic vision, darkness, deliciousness, content information, uncertainty

Abstract

This research focused on how taste appeared at drinking in darkness under scotopic vision. An experiments was conducted to drink 13 kinds of beverages by combining the two conditions of restricting vision and notice of contents. As a result, it was found that it was difficult to hit the contents properly in a dark and unknown state, the correct answer rate was almost less than 25%. The high percentage of correct answers was high lightness and low lightness beverages. Due to the addition of visual information and contents information, sense of resistance was released and there was a tendency to feel delicious and feel the taste intensely. However, the opposite reactions tended to occur in beverages that were not good for subjects.

*To whom correspondence should be addressed.

Tokyo City University, Department of Architecture
1-28-1 tmazutsumi setagayaku Tokyo Japan 158-8557
TEL/FAX 81-3-5707-2189 E-mail skoba@tcu.ac.jp

1. 研究の背景と目的

日常生活で食事をするとき、食品が見えてかつ中身が何かを知っている状態で食べたり飲んだりすることが普通である。しかしときには、就寝前の暗い部屋でものを口にしたり、見た目だけで成分を確認せずに食品を選んで食べたりすることがある。そういう場合でも口に入れる

前に事前知識や経験によって中身を想像していることが多いだろう。想像と違った味がする場合は、飲食に戸惑ったり味覚に変化が生じたりしやすいと思われる。実際に、視覚情報から抱く食品に対する味の期待に対して現実の味の差が大きい場合には、嫌悪反応を示しやすいことが知られている¹⁾。本研究では視覚情報と中

身に関する情報が制限された場面での飲食行為に着目する。飲料を対象として、空間がほとんど見えない暗闇と内容物を知らされていない状態の二つの条件を組み合わせ、中身をどの程度正しく想像できたり、味をどのように感じたりするのかについて把握しようとする。また、視覚や内容物の情報が制限された状態から与えられた状態に変わったときに、味覚がどのように変化するのかについても把握することを目的とする。

食品の見え方が味覚に与える影響に関する既往研究では、照明の演色性や輝度色度分布が生鮮食品の好ましき²⁾や鮮度感³⁾や食欲⁴⁾に影響を与えていることが知られている。また食品の色の彩度が高くなるにつれて味が濃く感じる傾向があることや⁵⁾、特有の味や香りがあるものは色による影響を受けにくいこと⁶⁾、黄・橙・赤の飲料が紫・青・緑に比べて美味しさ評価が高いこと⁷⁾、赤系の飲料は甘さと同時に喉の渇きを満たしやすいと想定される⁸⁾などの結果が得られている。また明るさと食事摂取量との関係が調べられており、一般的には高照度であるほど過食となる傾向があり^{9) 10)}、暗闇のような場面では食事量が減るという結果¹¹⁾が得られている。ただし暗闇でも日常的に口にする馴染みのあるものは食事量が変わらなかったり¹²⁾、増加したりすることがある¹³⁾という結果も得られている。また視覚情報と内容物に関する情報の両方を制限して食事をする実験もあり¹²⁾、情報を制限した場合にも受け入れられやすい食品とそうでない食品があるという結果を得ている。ここでも馴染みのある食品の方が受け入れられやすいと示されている。

このように既往研究からは、高演色・高照度で照明されたり、食品の色彩が鮮やかであったりするとき、食品が美味しそうに見えて食事量も増す傾向にあるということが分かる。しかし視覚情報を制限した場面で食品をどのように推定し、情報の有無によって味覚がどう変化するのかという課題についてはほとんど扱われていない。また暗闇や目隠しで視覚

を制限する場合、これまでは形状や触感や匂いが異なる食品を比較対象としているが、本研究では同一形状の容器に入れた飲料を対象とする。そのため、色のわずかの差異や味覚の違いが評価に反映されやすいと思われる。また飲料は日常生活で最も頻繁に口にする飲食物であることから、深夜や並行作業時など視認状態の異なる様々な場面で摂取する機会が生じやすいという特徴がある。

2. 実験方法

視覚を制限することと飲料の中身を告知することの有無の2つの条件を組み合わせ、実際に飲んでもらう実験を行った。図1に実験手順を、表1と図2に実験で用いた13種類の飲料の情報を示す。アルコールや炭酸を含まず、低温で提供されるもので、中身や色に違いがあるものを選定した。あまり特異な飲料や苦手な人が多そうな飲料は除外している。

実験内容の教示後、テーブル面を0.01 lxとした暗所視（色の明度がわずかにわかる程度）で中身の情報を伝えない状態（以下〈暗不〉とする）の実験室に移動してもらった。20分間

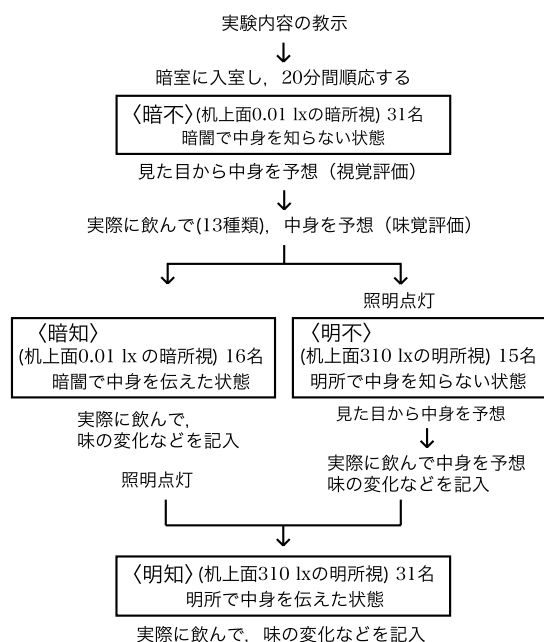


図1 実験手順

表1 使用飲料（13種類）の内容物と色彩

No.	飲料	色	商品名	メーカー	明所（机上 311.0 lx）		
					輝度 cd/m ²	色度 (x,y)	
①	リンゴ	黄 半透明	アップルジュース果汁 100%	トモエ乳業	55.5	0.516	0.450
②	グレープ	紫	グレープジュース果汁 100%	トモエ乳業	2.25	0.256	0.157
③	オレンジ	橙	オレンジジュース果汁 100%	トモエ乳業	52.0	0.529	0.455
④	アセロラ	赤 半透明	真っ赤な果実 アセロラの恵み	コーシン	35.2	0.546	0.396
⑤	グレープフルーツ	黄色	Tropicana グレープフルーツ	Tropicana	49.7	0.529	0.455
⑥	イチゴオレ	桃色	おいしいイチゴオ・レ	メイトー	58.1	0.490	0.423
⑦	野菜果実	橙	45 種類の野菜と果実	ローソンセレクト	32.4	0.585	0.404
⑧	ミルクティー	茶	午後の紅茶 ミルクティー（加糖）	KIRIN	22.2	0.516	0.427
⑨	カルピス	白	カルピスウォーター	CALPIS	78.3	0.350	0.348
⑩	スポーツドリンク	白 半透明	KIRIN LOVES SPORTS	KIRIN	88.1	0.286	0.298
⑪	レモンティー	黄 半透明	午後の紅茶 レモンティー（加糖）	KIRIN	61.5	0.517	0.449
⑫	コーヒー	黒	アイスコーヒー（微糖）	めいらく	2.23	0.520	0.323
⑬	抹茶ミルク	緑	白のひととき 抹茶ラテ	明治	58.9	0.312	0.597

暗闇の飲み物の輝度は 0.003cd/m² 以下

の暗順応後、この暗闇状態でプラスチックコップに注いだ 13 種類の飲料を提示した。最初に見ただけでそれぞれの中身を推測してもらい（視覚評価）、その後、実際に飲んで中身を再度推測してもらった（味覚評価）。また飲んだときに抵抗があったものを挙げてもらった。次に、片方のグループは暗闇のまま中身の情報を伝えて（〈暗知〉とする）飲んでもらい、飲んだときの抵抗と〈暗不〉との味の変化について記入してもらった。中身の情報は、表 1 の「飲料」

欄の項目を伝えている。

もう片方のグループは、テーブル面を 310 lx に明るくした状態（〈明不〉とする）で、視覚評価と味覚評価を行い、〈暗不〉との味の変化を記入してもらった。最後に両グループとも、視覚情報と中身の情報がある状態（〈明知〉とする）で飲んでもらい、〈暗知〉や〈明不〉からの味の変化を記入してもらった。それらが全て終了後、図 2 下の飲料パッケージを被験者に提示した。そして実験全体を通した感想を記



図2 使用飲料（上：明所での提供時 下：パッケージ）



図3 実験風景（明所）

述してもらった。条件が移るごとに被験者には目を閉じてもらい、飲料の配置を変えている。

被験者は20代の31名(男性14名,女性17名)であり,〈暗知〉を体験した被験者が16名(男性7名,女性9名),〈明不〉を体験した被験者が15名(男性7名,女性8名)である。図3に実験風景を,表2に室内表面色を示す。実験室の室温は20℃であり,飲料は約10℃で提供した。

3. 視覚制限の有無による中身の推定

表3に,中身を伝えなく〈暗不〉と〈明不〉で,視覚評価(見た目で中身を推測)と味覚評価(実際に飲んで推測)した際の正答率と判断理由を示している。

〈暗不〉の視覚評価では,中身を正しく当てることは難しく,13種類の飲料のうち11種類で正答率が25%を下回っていた。暗所視のため明度のみが不鮮明に感じられる程度であり,飲料に顔を近づけないために香りも判断材料とはならない。表1に明所での飲料の輝度・色度を示しているが,暗闇では視感度が異なり色味を感じられないため,正確な値を測定できていない。推測した判断理由にも,「透明」「濁っている」「白っぽい」「黒っぽい」など飲料の明るさや透明度が曖昧に挙げられている。比較的正答率が高かったカルピスとグレープは白と黒に近い色であり,暗闇の中でも判断しやすかったと考えられる。一方,グレープフルーツ・イチゴオレ・レモンティ・抹茶ミルクは正答率0%であり,中間的な明度を持つものであった。〈暗

表2 室内表面色

部位	素材	マンセル値	反射率(%)
床	カーペット	5PB4/3	12.0
壁	モルタルペンキ塗り	N9.5	80.7
天井	モルタルペンキ塗り	N9.5	80.7
椅子	木	10YR4/6	12.0
テーブル	綿クロス	N9	72.0
コップ	プラスチック	透明	透過率 93.0

不〉の味覚評価では,視覚評価に比べて正答率が著しく高くなり,グレープ・オレンジ・グレープフルーツ・ミルクティー・カルピス・スポーツドリンク・コーヒーでは正答率が75%以上となった。これらの飲料の特徴としては,明度に特徴があることに加えて,比較的馴染みのある飲料であることが挙げられる。また,グレープ・オレンジ・カルピス・コーヒーの判断理由には「匂いで分かった」などの記述がある。飲む際に得られる嗅覚情報によって視覚情報が補われていることが分かる。一方でアセロラと抹茶ミルクは,正答率が25%未満と低かった。表3の右に「あまり飲んだことがない」と回答がったものを挙げているが,これらは頻繁に飲まれる飲料ではないため,実際に飲んだ後も味をイメージしにくかったものと考えられる。

室内を明るくした〈明不〉の視覚評価では,9種の飲料が正答率50%以上となり,〈暗不〉の視覚評価より大幅に高くなっている。〈暗不〉の味覚評価と比較すると,高くなるものと低くなるものがあった。オレンジ・野菜果実・カルピスは正答率が75%以上あり,色の特徴を判断理由に挙げている人が多い。特徴的な色を持ちその色から推定される飲料として代表的なものではないかと考えられる。一方で,アセロラ・グレープフルーツ・レモンティ・抹茶ミルクは正答率が50%未満である。これらは飲む頻度の少ない被験者がいることとあまり鮮やかな色ではないため,味をイメージしにくかったと考えられる。グレープフルーツとレモンティは,それぞれオレンジとリンゴと間違える人が多かった。濁った黄や橙はオレンジ,透き通った黄はリンゴなど,近似した色の中でより普及

表3 飲料の正答率と判断理由

No	飲料	正答率 (%)				判断理由				主な誤回答		経験と好み					
		〈暗不〉(N=31)		〈明不〉(N=15)		〈暗不〉(N=31)		〈明不〉(N=15)		視覚評価	味覚評価	視覚評価	味覚評価	頻度少	苦手		
①	リンゴ	16	61	○	73	○	87	◎	透明	味がわかりやすい	透明の黄	予想通りの味、匂い	緑茶	紅茶			
②	グレープ	26	□	94	◎	73	○	100	◎	濃い、黒い	味が濃い、匂いでわかる	紫	甘い、見た目と匂い一致	コーヒー	分らない		
③	オレンジ	23	81	◎	87	◎	100	◎	濁ってる	甘酸っぱい、匂いでわかる	濃黄色	酸っぱい、見た目通りの味	モモ	グレープフルーツ			
④	アセロラ	3	23	40	□	87	◎	◎	透明	酸っぱい、すっきり	透明	酸っぱい、匂いと一致	お茶	リンゴ	●	●	
⑤	グレープフルーツ	0	81	◎	33	□	87	◎	白っぽい、濁ってる	苦い、酸っぱい	黄色	酸っぱい、甘酸っぱい	オレンジ	オレンジ	●	●	
⑥	イチゴオレ	0	55	○	60	○	100	◎	白い、不透明	甘い、飲んだことはある	桃色	甘い、美味しそうな色	牛乳	ヨーグルト	●		
⑦	野菜果実	10	45	□	93	◎	100	◎	濁ってる	味が薄い、酸っぱい	オレンジ	見た目と味一致、甘い	お茶	トマト	●	●	
⑧	ミルクティー	13	84	◎	73	○	87	◎	黒い、濁ってる	甘い、よく飲む	濁った茶	見た目通り、甘い	カフェオレ	カフェオレ			
⑨	カルピス	45	□	100	◎	87	◎	93	◎	濁ってる、白	甘い、匂いでわかる	白	イメージ通り、甘い	牛乳	分らない		
⑩	スポーツドリンク	16	94	◎	67	○	100	◎	透明、濁ってる	爽やか、よく飲む	濁ってる	甘い、よく飲む	水	分らない			
⑪	レモンティー	0	29	□	27	□	67	○	透明	味薄い、甘い	黄色	甘い、味が薄い	リンゴ	ストレートティー			
⑫	コーヒー	10	97	◎	53	○	100	◎	黒い、濃い	匂いが強い、苦い	黒	苦い、匂い強い	ブドウ	麦茶	●	●	
⑬	抹茶ミルク	0	3	33	□	67	○	◎	白っぽい、濁ってる	甘い、予想と違う味	黄緑	甘い、味が薄い	牛乳	牛乳	●	●	

〈暗不〉：暗闇＋中身情報なし (N31) 〈暗知〉：暗闇＋中身情報あり (N16) 〈明不〉：明所＋中身情報なし (N15) 〈明知〉：明所＋中身情報あり (N31)

正答率 75%以上：◎ 50%以上：○ 25%以上：□ ●：「頻度少（あまり飲んだことがない）」が25%以上

した飲料をイメージしやすいのではないだろうか。〈明不〉の視覚評価と〈暗不〉の味覚評価と比較すると、リング・オレンジ・アセロラ・イチゴオレ・野菜果実・抹茶ミルクは〈明不〉の視覚評価の方が正答率は高くなっている。実際に味を感じることもより色を知覚することの方が有利に働いたものと考えられる。

〈明不〉の味覚評価は、全ての飲料で50%以上の正答率であり、そのうち11種類は75%以上となった。抹茶ミルクのようなあまり身近でないものやレモンティーのような風味が強くないもの以外は、およそ中身を正しく推測できた。

本実験では同じ被験者が〈暗不〉の後に〈明不〉を体験している。飲料の配置を変えているものの、前者の経験が後者の評価に影響を与えていることは否定できない。本研究では視覚と内容物の情報を制限した状態での味覚の現れ方を第一義的な目的としているため、同一の被験者に条件を変えて提示している。しかし〈暗不〉と〈明不〉の正答率を精緻に比較するためには、独立した被験者で検討する必要がある、今後の課題となる。

4. 視覚情報と中身情報の有無による味覚変化

4-1. 飲んだときに感じた抵抗

表4に、視覚を制限した〈暗不〉と〈暗知〉で飲んだときに感じた抵抗と、〈暗不〉〈暗知〉〈明不〉〈明知〉それぞれの間での味覚の変化に関する結果を示す。また表5に、実験全体を通して感じたことの自由記述をまとめた。

表4より、視覚を制限して飲んだときに感じる抵抗は、中身を知らない〈暗不〉の方が中身を知っている〈暗知〉よりも全体的に大きくなるのが分かる。また抵抗を感じるかどうかは飲料によっても異なっている。イチゴオレ・野菜果実・コーヒー・

表4 飲む条件間での味覚の変化

No.	飲料	飲んだ時の抵抗 (%)		美味しさ変化 (%)				味の濃さの変化 (%)				その他 (%)			
		美味しくなった		不味くなった		味が濃くなった		味が薄くなった		暗		明			
		暗不	暗知	暗不	暗知	暗不	暗知	暗不	暗知	暗不	暗知	暗不	暗知	暗不	暗知
①	リング	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	0
②	グレープ	16	6	0	0	0	0	0	0	7	7	6	6	0	0
③	オレンジ	10	6	7	0	13	0	0	13	20	7	19	6	0	0
④	アセロラ	10	6	27	0	13	6	7	0	0	33	7	31	13	0
⑤	グレープフルーツ	3	13	7	0	19	6	0	0	6	27	0	38	25	0
⑥	イチゴオレ	35	19	13	0	6	6	0	0	6	7	7	19	0	0
⑦	野菜果実	29	38	13	0	31	6	7	0	6	13	0	19	6	0
⑧	ミルクティー	13	0	0	0	13	0	0	0	0	0	0	13	6	0
⑨	カルピス	10	0	7	0	6	0	0	0	0	0	0	6	6	0
⑩	スポーツドリンク	3	0	7	0	6	0	0	0	0	7	0	13	0	0
⑪	レモンティー	6	0	0	13	13	0	0	0	0	0	20	19	0	0
⑫	コーヒー	35	38	13	0	6	6	7	0	0	27	7	6	19	7
⑬	抹茶ミルク	58	44	27	0	31	6	0	0	13	20	0	44	0	0

抹茶ミルクは比較的抵抗が大きい（〈暗不〉で25%以上）のに対し、リンゴ・グレープフルーツ・スポーツドリンク・レモンティーは〈暗不〉であっても10%未満である。表5の実験後の感想などから、抵抗を感じた飲料は、黒いことや色が濁っていることに対して不安を感じたことや、予想と違った味がしたことと違和感があったことが考えられる。抵抗を感じなかった飲料は、明度が高いことや比較的あっさりした味付けであることが共通している。

一方、野菜果実・コーヒー・グレープフルーツは、〈暗不〉より〈暗知〉の方が抵抗を感じる比率が高い。これらに共通するのは苦みがあるという点である。中身を知ることによって抵抗が緩和されることよりも、見えないことで苦みに対する不安や用心する気持ちが強くなったのではないかと推測できる。表5にも暗闇で「甘いものは大丈夫だったが苦いものは抵抗があった」と示されている。

4-2. 美味しさの変化

視覚情報や中身の情報を加えていくことによって、前の条件よりも美味しく感じたか不味く感じたか（あるいは変わらなかったか）を回答してもらった。結果を表4に示している。表より、美味しくなったという回答は多く挙げられたものの、不味くなったという回答はほとんどみられなかった。

〈暗不〉→〈明不〉の比較では、9種で美味しくなったという回答があり、アセロラと抹茶ミルクは回答比率が25%を超えている。どちらも〈暗不〉の視覚評価も味覚評価も正答率が25%未満と低いものであり、視覚情報が増えたことで味をイメージしやすくなったのではないかと考えられる。〈明不〉→〈明知〉で

表5 実験後の主な自由記述（人）

中身に確信を得ることで味を鮮明に感じた（15）

- ・色が見えたり中身の想像がついてから飲むと味がより濃く感じた
- ・苦手なものは鮮明になるとより苦手に感じた
- ・中身が分かるほど安心して飲める
- ・最後の中身の発表後は「その味!」という気持ちで飲んだので、より濃く感じた など

暗闇では味が曖昧に感じた（11）

- ・暗い中では特徴的な味以外は曖昧に感じた
- ・甘い、酸っぱい程度の味の判別しづらい
- ・見た目が分からないと味の判別が難しい
- ・カルピスやミルクティーは暗闇でも味がわかりやすい など

暗闇で飲むことに迷いを感じた（8）

- ・暗闇では濁り具合しか分からないので、特に黒い飲料は不安
- ・暗闇で飲食すること自体に不安で、見えることで安心する
- ・透明のものは暗くても抵抗を感じなかった
- ・甘いものは大丈夫だったが苦いものは抵抗があった など

色が分かると美味しく感じた（8）

- ・色とのギャップがないと美味しく感じる
- ・色が見えた方が味をイメージしやすい
- ・パッケージの情報があるとさらに美味しく感じた など

個別飲料の感想（9）

- ・レモンティーのレモンは味が薄い
- ・抹茶が甘すぎる など

その他（7）

- ・ワクワクした、すごく面白い体験 など

は、美味しくなったと回答があったのはレモンティーのみである。〈明不〉の味覚評価の正答率は高く、ほとんどの飲料は既に味をイメージできているため、それ以上美味しさが変化しなかったものと考えられる。一方、レモンティーは〈明不〉の味覚評価でも正答率が67%と低かった。この飲料はレモンの風味がそれ程強いものではなかったため、内容が示されることでよりはっきりと酸味を感じられたのではないかと考えられる。

〈暗不〉→〈暗知〉では、全ての飲料で美味しくなったと回答があった。視覚情報を追加した〈明知〉よりも中身の情報を追加した〈暗知〉

の方が美味しさを感じることに効果が高かったといえる。ただし、アセロラ・イチゴオレ・コーヒーは〈暗知〉よりも〈明不〉の方が美味しくなったとの回答比率が高い。これらの飲料は中身を知っていても、はっきりと見えない中で飲むことの抵抗が大きかったのではないかと考えられる。自由記述では「中身が分かるほど安心」「見えることで安心」のように、どちらの情報も飲むときの安心感を付加することが確認できる。

不味くなったという回答は、オレンジ・アセロラ・野菜果実・コーヒー・抹茶ミルクで若干みられる。自由記述において「苦手なものは鮮明になるとより苦手に感じた」との内容が複数あり、元々好きではない飲料が情報の明確さによって否定的に働く場合もあると考えられる。**表3**より、アセロラ・野菜果実・コーヒー・抹茶ミルクは、苦手に感じている被験者が25%以上みられていることが分かる。

4-3. 味の濃さの変化

表4より、視覚情報や中身の情報が追加されることで、味が濃くなったという回答は多く挙げられたものの、味が薄くなったという回答はほとんどなかった。今回の実験では視覚を制限することで味覚がより先鋭化されるということは確認できなかった。

〈暗不〉→〈明不〉では、半数以上の飲料で味が濃くなったとの回答があった。特に、アセロラ・グレープフルーツ・コーヒーで25%以上の回答があり、グレープフルーツとコーヒーは苦味が増したという回答が多かった。視覚情報によって味がイメージされやすく、味の特徴をより強く感じられたものと考えられる。さらに中身の情報も加えた〈明知〉では、変化を感じたという回答はほとんどなかったが、レモンティーは味が濃くなったとの回答が20%あった。中身の情報によって元々薄かったレモンの風味を明確にイメージできるようになったためであると考えられる。

〈暗不〉→〈暗知〉では、全ての種類の飲料で味が濃くなったとの回答があった。特に、アセロラ・グレープフルーツ・抹茶ミルクは25%

以上の回答があり、〈暗不〉での正答率が比較的低かったものが中身の情報によって味を濃く感じやすくなったといえる。〈明不〉と〈暗知〉とを比較すると、リンゴ・グレープフルーツ・イチゴオレ・ミルクティー・レモンティー・抹茶ミルクは〈暗不〉から〈暗知〉の方が、コーヒーは〈暗不〉から〈明不〉の方が、味が濃くなったとの回答比率が10ポイント以上高くなっている。前者のように比較的正答率が低く分かりにくい飲料は、中身の情報による影響を強く受け、後者のように味が強く特徴的なものは、視覚による影響をより強く受けるのではないかと考えられる。

〈暗知〉→〈明知〉では、味が濃くなったとの回答はあまりなく、その中ではアセロラ・グレープフルーツ・コーヒーで10%以上の回答がみられた。また自由記述では、「中身について確信を得た後は味を鮮明に感じた」「暗い中では特徴的な味以外は曖昧に感じた」というものがある。想像していた味に確信を得ることで、味の濃さをより感じられるようになるのではないかと考えられる。

味覚の変化に関するその他の記述では、「思っていた味と異なった」「味の違いが認識できるようになった」という**表3**に示した正答率に関係するものや、「飲みやすくなった」「抵抗を感じなくなった」という**表4**の抵抗に関連するようなものが多かった。

5. 味覚の現れ方に関する考察

5-1. 視覚情報と味覚

本実験結果から、照明によって視覚の情報を加えたり暗闇のままで中身の情報を加えたりすると、美味しくなったり味を濃く感じたりする傾向があることが分かった。情報を得ることで中身に関する確信が生じると、味を鮮明に感じやすくなるといえる。これらの理由について、既往研究と関連付けながら考察してみたい。

人が味を推定するときには、個別の色や香りの情報から連想するボトムアップの推定と、抽象的な情報から生じた期待によるトップダウン

の推定が行われると考えられている¹⁴⁾。本実験に置き換えると、視覚情報のあることが具体的な食材などのボトムアップの推定に、中身情報のあることが「甘そう」などのトップダウンの推定に寄与しているのではないかと考えられる。暗闇条件では視覚情報が遮断されるために味の推定が起りにくい。照明によって視覚情報が追加されるか、中身情報が追加されることで、味の推定および期待の形成が進み、味の知覚が明確になったことが、味が濃くなることにつながったのではないだろうか。

また「暗不」→「明不」で「美味しくなった」という感覚の背景には、生理学的な食欲の喚起や、不安（緊張）の解消も関係していることが推測できる。既往研究では、食欲をそそる食品の写真を見ると、脳の味覚野や眼窩前野皮質という部位が活性化するという結果¹⁵⁾があり、写真を見るだけで味覚野が活性化することは、視覚情報があることで味のイメージがある程度明確になることを示唆している。「暗不」→「明不」で変化した「味が濃くなる」という感覚は、視覚情報による味覚野の活性化も関連している可能性がある。また、食品の色は、食品の初期判断において最も重要であり、最終的には食品の受け入れまたは拒絶に影響を与えていると言われている¹⁶⁾。不安や緊張に関しては、今後、皮膚コンダクタンス反応や心拍数などを計測しながら実験を行うことで定量ができる可能性がある。

さらに、香りの検出は、視覚情報があることで早くなることが知られている¹⁷⁾。照明によって色が明確になることで、香りへの感度も高まり、味が明確になったと考えられる。さらに、嗅覚情報は味覚を感じる味覚皮質の神経細胞を活性化させることも分かっている¹⁸⁾。味が濃くなった理由として、嗅覚の感受性上昇にともなう味覚皮質の活性化も考えられる。

5-2. 中身情報と味覚

本実験では、馴染みのない飲料と苦手な飲料は共通するものが多く、正答率が低かったり抵

抗を感じやすくなりやすかった。こうした飲料は情報を提供して判別しやすくすることで、受け入れられやすくなると思われる。既往研究では、食べてすぐ中身が判別しやすいクラッカーは暗闇でも受け入れられやすく、食べても何であるか判別できない「牛のエンチラーダ（メキシコ料理）」は暗闇では受け入れられにくいという結果が得られている¹²⁾。実際に食べたとしても確信が得られない場合は、味を正しく判断しにくいのではないだろうか。

味に対する中身の情報の重要性を示す既往研究として、ラベルを意図的に変更したものがある¹⁹⁾。栄養バーのパッケージに「大豆」とラベリングを行うことで、大豆が含まれていないにも関わらず、強い後味やざらざらとした質感を感じるようになることが示されている。実際の味だけでなく、情報が味の知覚を左右するというものである。本実験における苦味を持つグレープフルーツやコーヒーの苦味が増した理由や、レモン風味の分かりにくいレモンティーの風味が増した理由としても、情報を得たことの影響が考えられる。

また美味しさとは、単なる味だけではなく快・不快の判断を含む概念である。美味しさが増した理由としては、味の知覚が明確になるとともに、その飲料に対して普段から形成されている肯定評価が重なったこともあるのではないだろうか。食品や飲料に対する不確実性をどのようにして補うかが、安心して味覚を感じることに関わっているものと考えられる。

さらに苦みのある飲料が暗闇で抵抗を感じた原因として、生得的な拒否反応が働いた可能性もあると推測できる。一般的に甘みは栄養素の存在を知らせる働きがある一方、苦味は有害物の存在を示唆する働きがあるといわれている^{20) 21)}。「甘いものは大丈夫だったが苦いものは抵抗があった」という感想にも示されるように、暗闇という不確実な状態では、身を守るために苦みを本能的に避けようとするものもあるのではないだろうか。

まとめ

本研究は暗所視状態となる暗闇での飲食時の味覚の現れ方に着目した。視覚を制限することと中身の告知をすることの有無の2つの条件を組み合わせて、実際に飲料を摂取する実験を行った。得られた主な結果を以下にまとめる。

- ・暗く中身を伝えない〈暗不〉の視覚評価では、中身を正しく当てることは難しく、正答率はほぼ25%を下回った。正答率が高かったカルピスとグレープは高明度と低明度の色であり、暗所視でも判断しやすかったと考えられる。
- ・明るくした〈明不〉の視覚評価と、暗闇で実際に飲んだ〈暗不〉の味覚評価と比較すると、味覚評価の方が全体的に正答率は高くなった。ただし、アセロラ・野菜果実・抹茶ミルクは視覚評価の方が正答率が大幅に上回った。味が分かりにくかったり色に特徴があったりする飲料は、実際に味を感じることも目で知覚することの方が有利に働くと考えられる。
- ・視覚情報や中身の情報が追加されることで、美味しく感じたり味を濃く感じたりと味覚変化が生じる傾向があった。特に、アセロラ・野菜果実・抹茶ミルクなど身近でない飲み物

では情報が増えるほど美味しく感じる比率が高くなった。

- ・視覚情報や中身の情報を加えた方が飲んだ時の抵抗は小さくなる傾向にあったが、野菜果実など苦手と感じる人が多いものは、情報を得た方がむしろ抵抗感が増す場合があった。

視覚情報や中身の情報を制限することは、全般的には不安を高めたり味を感じにくくしたりするが、飲料の種類によってはその影響が小さくなることが分かった。こうした関係は、停電時などの非常時や、夜間の屋外イベントや星空観賞など何らかの視覚情報を制限された状況で飲食する際などに活かすことができるのではないかと考えられる。異なる種類の飲料を安全・安心に摂取することなどに対してである。また視覚が不自由な方への食品設計への応用も考えられる。さらに、暗く食品が見えにくい環境で食事を楽しむという機会は、特別な飲食店や屋外キャンプなどで設定されることがある^{22~24)}。そうした場合に暗さを楽しみながらも味を感じやすくしたり、食欲を喚起したり、あるいは意図的に感覚を揺さぶったりすることに活用できる可能性もあるのではないだろうか。

参考文献

1. Yeomans, M., Chambers, L., Blumenthal, H. & Blake, A.: The role of expectancy in sensory and hedonic evaluation: The case of smoked salmon ice-cream. *Food Quality and Preference*, **19** (6): pp.565-573. 2008.
2. Barbut, S.: Effects of illumination source on the appearance of fresh meat cuts. *Meat Science*, **59**: pp.187-191. 2001.
3. Wada, Y., Arce-Lopera, C., Masuda, T., Kimura, A., Dan, I., Goto, S., *et al.*: Influence of luminance distribution on the appetizingly fresh appearance of cabbage. *Appetite*, **54** (10): pp.363-368. 2010.
4. 小林茂雄：鮮やかな光色で照明された食品に対する食欲，日本建築学会環境系論文集，**74**, No.637: pp.1341-1346. 2009.
5. 西村幸泰，橋田朋子：飲度変化が味の濃さと明瞭さに与える影響，信学技報，**115**, No.495: MVE2015-69, pp.79-83. 2016.
6. 数野千恵子，渡部絵里香，藤田綾子，増尾侑子：ゼリーの色が味覚の判別に与える影響，実践女子大学生活科学部紀要 **43**: pp.1-7. 2006.
7. 奥田紫乃，荒金美幸，竹村明久，岡嶋克典：清涼飲料水の予想されるおいしさと味覚に対する色と香りの複合効果，日本官能評価学会誌，No.19: pp.99-105. 2015.
8. Clydesdale FM, Gover R, Philipsen DH, *et al.*: The effect of color on thirst quenching, sweetness, acceptability and

- flavor intensity in fruit punch flavored beverages. *J Food Qual*, **15**: pp.19-38. 1992.
9. Lyman B.: A psychology of food. More than a matter of taste., New York: Van Nostrand Reinhold Co., 1989
 10. Ross LD: Effects of manipulating the salience of food upon consumption by obese and normal eaters, in obese humans and animals [edited by S Schachter, J Rodin]. Washington D.C., Erlbaum Associates, 1974.
 11. Linne, Y., Barkeling, B., Rossner, S., & Rooth, P.: Vision and eating behavior. *Obesity Research*, **10**: pp.92-95. 2002.
 12. Wansink, B. Shimizu, M., Cardello, A. V., & Wright, A. O.: Dining in the dark: How uncertainty influences food acceptance in the absence of light. *Food Quality and Preference*, **24**: pp.209-212. 2012.
 13. Scheibehenne, B., Todd, P. M., & Wansink, B.: The Importance of visual cues for food consumption and satiety. *Appetite*, **39**: pp.341-345. 2010.
 14. Spence, C., Levitan, C., Shankar, M.U., Zampini, M.: Does food color influence taste and flavor perception in humans? *Chemosen. Percept.* **3** (1): pp.68-84. 2010.
 15. W. Kyle Simmons, Alex Martin and Lawrence W. Barsalou: Pictures of appetizing foods activate gustatory cortices for taste and reward, *Cerebral Cortex*, **15**, Issue 10: pp.1602-1608. 2005.
 16. Imram, N.: The role of visual cues in consumer perception and acceptance of a food product. *Nutrition & Food Science*, **99**: pp.224-230. 1999.
 17. Gottfried, J.A., & Dolan, R.J.: Response to smell: crossmodal integration – insights from the chemical senses. *Trends in Neuroscience* **27**: pp.123-124. 2004.
 18. R. Vincis and A. Fontanini: Associative learning changes cross-modal representations in the gustatory cortex. *eLife* Aug 30; 5. pii e16420. 2016.
 19. Wansink B, Park SB, Sonka S, Morganosky M: How soy labeling influences preference and taste. *The International Food and Agribusiness Management Review* **3**: pp.85-94. 2000.
 20. 裕哲崇, 勝川秀夫, 中島清人, 神田昇平, 但野正朗, 杉村忠敬: 食物選択の行動生理学 何を食べるかをどう選ぶか?, 岐阜歯科学会雑誌, **30**, pp.61-66. 2004.
 21. 林由佳子: 「甘い」ってどういうこと? 甘いものを食べたくなるのはなぜ?, 味のなんでも小事典, 2004.
 22. 小林茂雄, 中嶋聡, 小林美紀: 完全な暗闇での協同造形作業によるコミュニケーション効果, デザイン学研究, **61** (2): pp.103-110. 2014.
 23. 乾正雄: 夜は暗くてはいけないうか_暗さの文化論, 朝日選書, 1998.
 24. 小崎 美希, 楊 柳 青, 平手 小太郎: 飲食空間における快適な暗さに関する研究 輝度分布を考慮した定量的な把握, 日本建築学会環境系論文集, **82** (735): pp.425-433. 2017.

連絡先: 小林 茂雄 (Shigeo Kobayashi)
 東京都市大学 工学部建築学科
 〒158-8557 東京都世田谷区玉堤 1-28-1
 TEL・FAX 03-5707-2189
 E-mail skoba@tcu.ac.jp

卵焼きロスを利用した新規発酵調味料の開発Ⅱ 特に醤油様調味料製造時の主原料や 麴の基質としての再利用について

山崎 聡子 (YAMAZAKI Akiko)¹ 佐藤 勉 (SATO Tsutomu)²
早坂 浩史 (HAYASAKA Hirofumi)³ 船津 保浩 (FUNATSU Yasuhiro)^{1,4}

¹ 酪農学園大学 酪農学部 食品科学科, ² 株式会社 秋田今野商店, ³ 株式会社 味香り戦略研究所,
⁴ 酪農学園大学 農食環境学群 食と健康学類

Key Words : 卵焼きロス 麴 発酵調味料 肉醬 再利用

はじめに

近年、日本における食用に仕向けられている食品の量は年間約 8,400 万トンあり、その利用主体は大きく食品関係事業者と一般家庭に分けられる。食品関係事業者から出る廃棄物の一部は有価取引される製造副産物として肥飼料化されているが、それ以外の廃棄物と家庭から出る廃棄物を合わせ、年間約 1,700 万トンの食品廃棄物が排出されている¹⁾。これらのうち約 380 万トンは飼料化、肥料化およびエネルギーなどとして再生利用されているが、残りの約 1,300 万トンは焼却や埋め立てなどにより処分されている。また、約 1,700 万トンある廃棄物のうち、本来食べることができるのに廃棄されているもの、いわゆる「食品ロス」が年間約 500 ～ 800 万トン含まれると推計される。

また、日本の総合食料自給率は約 39% と先進国の中では最も低く、米やサツマイモを除きほとんどの食材を諸外国からの輸入に頼っている。また、世界の人口は現在約 66 億人から今世紀中に 100 億人を突破するといわれ、慢性的な食料不足が懸念されている。このような背景から、食品ロスの削減は日本だけでなく世界的に急務な課題である²⁾。

日本の食品関連事業者から食品ロスが出る理

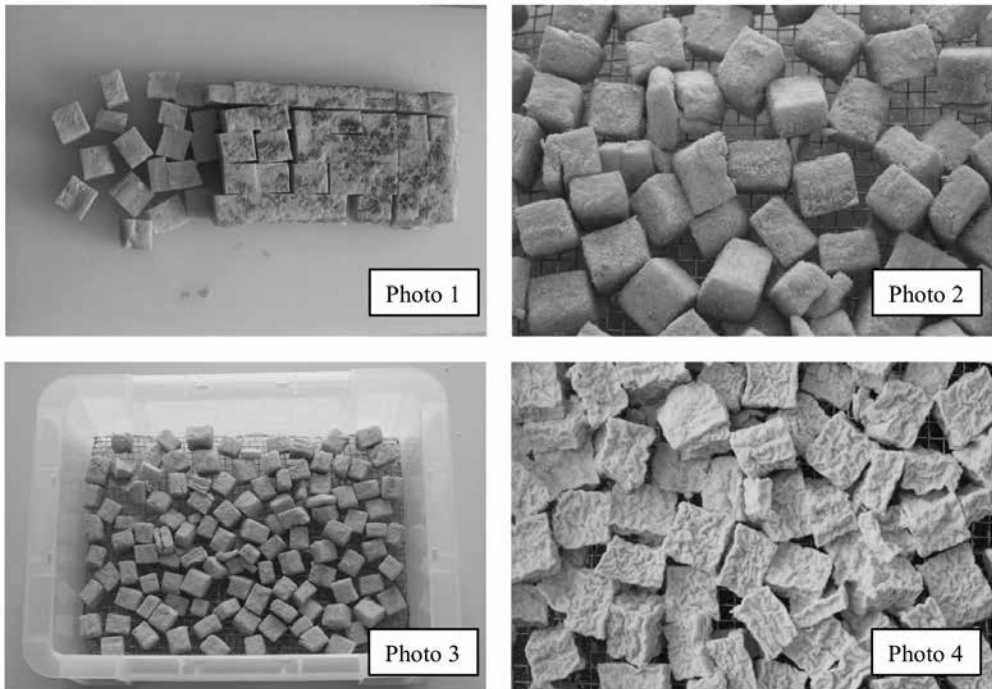
由としては、「欠品を防止するために保有するうち、期限切れなどで販売できなくなった」、「新商品販売や規格変更に合わせて店頭からの撤去(定番カット食品)」、「製造過程での印刷ミス、流通過程での汚損・破損などによる規格外品の発生」があげられる¹⁾。

食品ロスは様々な種類があるが、卵焼き製造工程でも焼き加減等の相違によりロスが発生している。しかし、その再利用に関する研究例は少ない。これまでに山崎ら³⁾は卵焼き製造ロス麴を用いて味噌を開発し、その品質を市販白こし味噌と米麴を用いて製造した試料と比較した。その結果、製品の品質は麴の基質に影響され、卵焼きロス麴の方が後 2 者に比べて色調が薄い、脂質や遊離アミノ酸が多く、官能的な風味が良好であると報じた。

本研究では卵焼き製造工程で発生した規格外品:卵焼き製造ロス(以下、卵焼きロスと略す)を発酵調味料の原料として捉え、麴を用いて発酵させ、調味料に変換させる試みを行った。すなわち、発酵法の相違による醤油様発酵調味料の品質の違いについて調査した。

1. 実験材料

本研究では、醤油の製造に用いられる市販の



卵焼き麴の製造工程

醤油麴，米麴および卵焼きロス麴（以下，卵焼き麴と略す）の3種類の麴を用いた。なお，これらの麴はそれぞれ大麦，米および卵焼きロスを基質として *Aspergillus oryzae* を接種して製造されたものである。また，主原料には卵焼きロスおよび挽肉を使用し，醤油用乳酸菌 *Tetragenococcus halophilus*（株）秋田今野商店）とスミチューム LP50（新日本科学工業（株））も使用した。

卵焼き麴の製造は下記のとおりである。まず，卵焼きロスをボイルし，1.5–2.0 cm 間隔で

カットする（Photo 1）。次に全体に満遍なく接種し，余分な種はふるい落としした（Photo 2）。種こうじには通常の醤油用を増量した種（AOK 210 株）を使用した。プラスチックバットにて 25℃で 20 時間培養後（Photo 3）に 22℃で培養し，48 時間後に出麴した（Photo 4）。なお，バットと上蓋の間にはろ紙を挿めた。

2. 各種発酵調味料の製造

卵焼きロスを包丁で細切し，Table 1 に示すよ

Table 1 各種卵焼きロス醤油の配合 (g)

	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6
卵焼きロス	675	675	675	338	338	338
食塩	225	225	225	225	225	225
醤油麴	150			150		
米麴		150			150	
卵焼き麴			150			150
鶏挽肉				338	338	338
水	443	443	443	443	443	443
スミチューム LP50	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4
合計	1494.4	1494.4	1494.4	1495.4	1495.4	1495.4

醤油用乳酸菌は Nos.1-6 の全てに 10^8 cfu/mL のレベルで仕込み時に 1 mL 添加した。

うに6種類のもろみを調製し、2 L 容のガラス瓶に入れて約 35℃で6 ヶ月間発酵させた。

3. 分析試料の調製

発酵中のもろみの一部を採取し、遠心分離 (10,000×g, 30 分) を行い、遠心分離後の上清をろ過 (No.5C, アドバンテック(株)) して得られたろ液を分析試料とした。また、6 ヶ月後の最終製品の場合は、もろみを 90℃に達するまで火入れをし、上記と同様に遠心分離後にろ過して得られたろ液を分析試料とした。

4. 発酵に伴う各種もろみの性状変化

発酵中のもろみを経時的に分取し、物理化学的性状 (液化率, pH, 全窒素分⁴⁾, 食塩分および無塩可溶性固形分⁵⁾) を調査した。その結

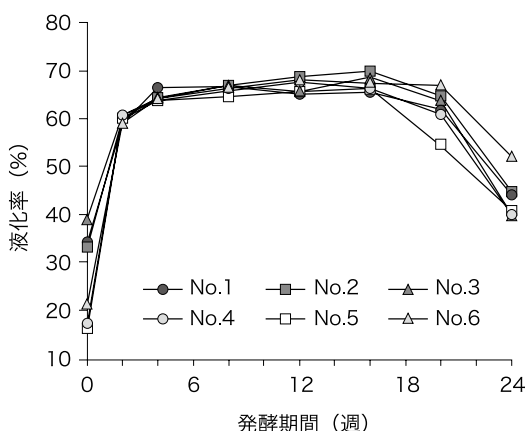


Fig.1 発酵に伴うもろみの液化率の変化

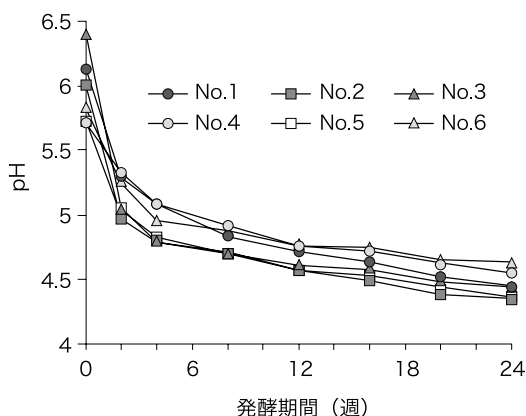


Fig.2 発酵に伴うもろみの pH の変化

果を下記に示す。

発酵中のもろみの液化率の変化を Fig.1 に示す。液化率は遠心分離前のもろみの湿重量に対する遠心ろ過後の試料の湿重量の比率 (%) から算出した。もろみの違いにより発酵開始時は液化率の値にばらつき (16 ~ 38%) が認められたが、いずれの試料も2週目までに急激に上昇し、その後6 ~ 16週は約 65 ~ 70%を維持した。しかし、発酵16週目以降をみると液化率は低下し、24週目には卵焼き麴に鶏肉を添加した試料 (No.6) で約 50%, それ以外の試料では約 40 ~ 45%の範囲であった。

発酵中のもろみの pH の変化を Fig.2 に示す。いずれの試料も発酵2週目までに大きく低下し、その後24週目まで緩やかに低下した。麴間で比較すると、2週目までに米麴を添加した試料 (Nos.2 と 4) と卵焼き麴添加試料 (No.3) が共に他の試料 (Nos.1, 5 および 6) に比べて速く低下した。また24週後はいずれの試料も 4.3 ~ 4.6 まで低下した。

発酵中のもろみの色調の変化を Figs.3 ~ 5 に示す。色調は色差計 (Spectrophotometer SA4000, 日本電色工業 (株)) を用いて透過法にて、L*, a* および b* を測定した。なお、実験に用いたセルは 2 mm×40 mm×50 mm の大きさのものである。明度を示す L* はいずれの試料

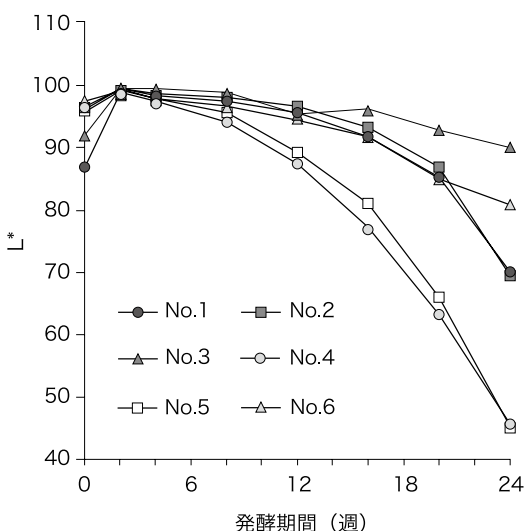


Fig.3 発酵に伴うもろみの L* の変化

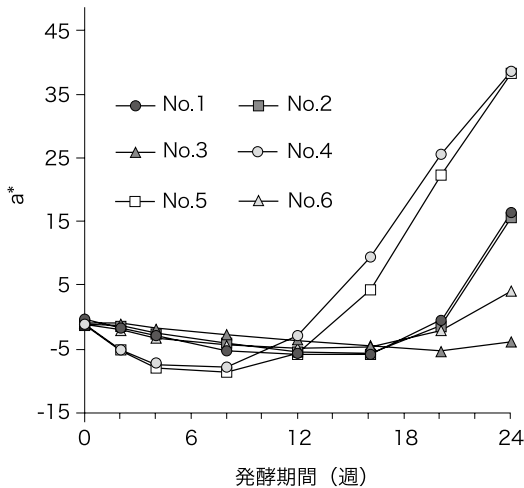
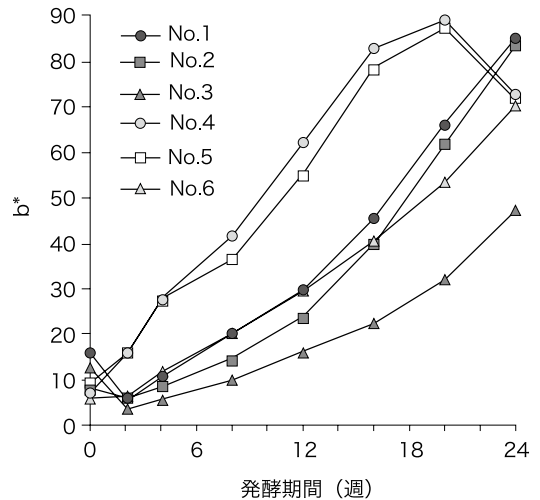
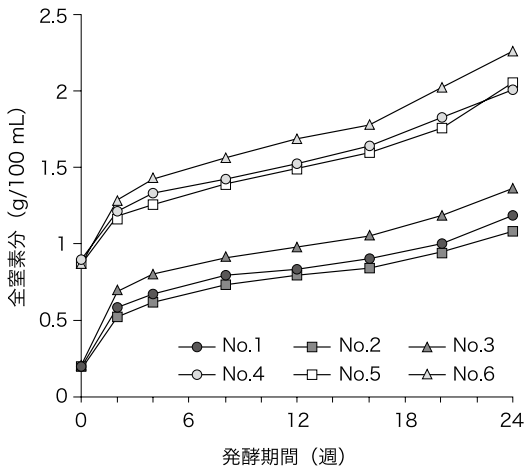
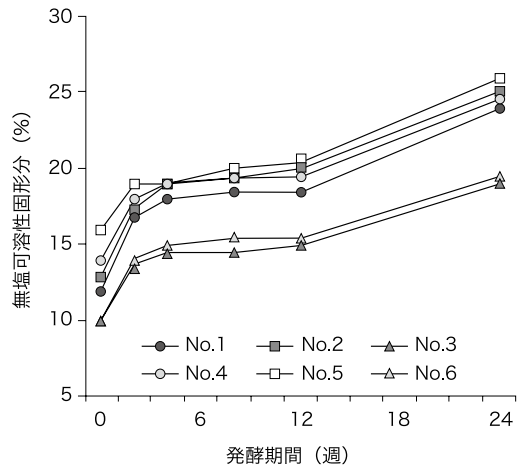
Fig.4 発酵に伴うもろみの a^* の変化Fig.5 発酵に伴うもろみの b^* の変化

Fig.6 発酵に伴うもろみの全窒素分の変化

Fig.7 発酵に伴うもろみの無塩可溶性固形分の変化
無塩可溶性固形分 = Brix - 食塩分

も発酵時間の進行とともに低下した。特にその低下度合はNos.4と5で顕著であった (Fig.3)。次に赤味度を示す a^* はNos.1と2は16週目まで緩やかに低下し、それ以降上昇した。Nos.4と5は4週目までに低下し、その後8週目まで一定に推移し、8週目から急激に上昇した。また、これらの経時的变化はNo.1はNo.2と、No.4はNo.5とそれぞれ類似していた (Fig.4)。さらに黄味度を示す b^* はNos.1と2は2週目までに低下し、その後上昇した。Nos.4と5は20週目まで大きく上昇し、その後低下した (Fig.5)。測定した色調の全てにおいてNos.1

と2, Nos.4と5で経時的变化が類似しており, Nos.3と6についてはそれらとは違った変化がみられた。

発酵中のもろみの全窒素分の変化を Fig.6 に示す。いずれの試料も発酵時間の進行とともに上昇した。麴間で比較すると卵焼き麴添加試料 (Nos.3と6) が他の麴添加区 (Nos.1, 2, 4および5) よりもそれぞれ全窒素分が高かった。また、鶏肉を添加することにより、麴の種類に関わらず全窒素分が増加し、24週目の全窒素分は鶏肉を添加しなかった試料 (Nos.1-3) では1.1~1.3 g/100 mL, 鶏肉を添加した試料 (Nos.4

Table 2 最終製品の色調と化学成分

	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6
L*	70.21	69.71	89.94	45.76	45.32	80.83
a*	16.71	15.76	-4.01	38.66	38.34	4.25
b*	85.25	83.41	47.21	72.71	71.90	70.48
pH	4.45	4.34	4.42	4.55	4.36	4.63
全窒素分 (g/100 mL)	1.19	1.09	1.37	2.02	2.06	2.27
無塩可溶性固形分 (%)	26	26	20	26	27	21

無塩可溶性固形分 (%) = Brix - 食塩分.

-6) では 2.0 ~ 2.3 g/100 mL であった。鶏肉を添加した試料はいずれも JAS 規格の大豆濃口醤油の特級クラス⁶⁾ レベル以上の値であった。

発酵中のもろみの無塩可溶性固形分の変化を Fig.7 に示す。いずれの試料も 4 週目までに急激に増加した。その後一定の値を保ち、12 週目から再び増加した。経時的変化をみると大きく 2 つのグループ (卵焼き麴を添加した試料とそれ以外) に分かれた。24 週目では卵焼き麴を添加した試料 (Nos.3 と 6) は 19%, それ以外の試料 (Nos.1, 2, 4 および 5) は 24 ~ 26% であった。これらの値はすべて JAS 規格の大豆濃口醤油の特級クラスレベル⁶⁾ 以上の値であった。

5. 最終製品の品質

最終製品の色調と化学成分を Table 2 に示す。L*, a* および b* の全てにおいて Nos.1 と 2, Nos.4 と 5 で結果が類似しており、鶏肉を加えることで明度を示す L* と黄味度を示す b* が低下、赤味度を示す a* は上昇した。これは Nos.1 と 2 に比べ、Nos.4 と 5 の方が暗く、赤味が強く、かつ黄味が弱いことを示している。Nos.3 と 6 については L* はほぼ類似していたが、a* と b* に違いがみられた。No.3 よりも No.6 の方が a* および b* が高値となり、これは鶏肉を加えることで赤味度や黄味度が増加することを示唆している。

次にいずれの試料も最終製品の pH は 4.3 ~ 4.6 まで低下した。また鶏肉の添加の有無で比較すると、醤油麴と卵焼き麴を使用した試料では鶏肉添加試料 (Nos.4 と 6) の方が添加し

ていない試料 (Nos.1 と 3) に比べて pH は高かった。しかし、米麴を使用した試料 (Nos.2 と 5) は鶏肉の添加の有無による大きな違いはみられなかった。麴の種類にかかわらず、鶏肉を加えることで全窒素分は増加した。鶏肉添加試料 (Nos.4, 5 および 6) の全窒素分は、JAS 規格で定められている濃口醤油の特級レベルの 1.5 g/100 mL よりも高い値であった。また無塩可溶性固形分をみると、いずれの試料も JAS 規格で定められている濃口醤油の特級レベルの 16% よりも高値を示す結果となった。無塩可溶性固形分の値は麴の種類による違いが大きく、醤油麴と米麴を添加した試料で約 26%, 卵焼き麴を添加した試料で約 20% であった。しかし、鶏肉の添加の有無による大きな違いは見られなかった。

味覚センサー (TS5000Z, (株)インテリジェントテクノロジー) を用いて最終製品の味わいを評価した。まず、試料を蒸留水で 10 倍希釈し、測定試料とした。次に 13 軸で得られた測定結果から分析に用いる味覚軸の選定を行った。すなわち、味推定値 < 0 は人も実際には感じにくいと判断し、甘味を候補軸より除外した。また、酸味 A については酸味を数値化するセンサーの旧タイプのものであり、現在使用している酸味 B との強い相関も特に確認できないので候補軸より除外した。さらに、にがり系苦味、苦味 / 食および渋味は試料間差が小さいので除外し、8 軸で評価した。8 軸で得られた味覚分析データを多変量解析 (主成分分析) し、得られた固有ベクトルから PC1 (横軸) のプラス方向を酸味と原料由来のクセ、マイナス方向をうま

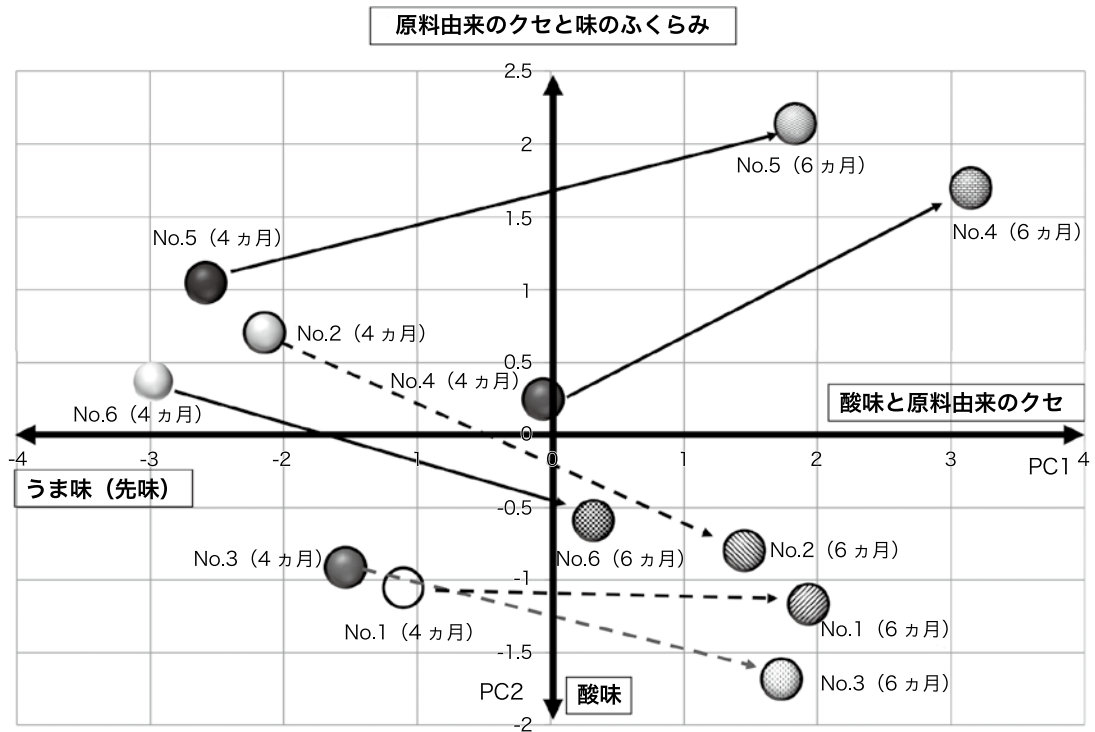


Fig.8 味覚分析で得られたデータの主成分分析図

PC1 と PC2 の寄与率はそれぞれ 71.0% と 25.3% である。

Nos.1-6 は Table 1 に示すとおりである。破線：鶏肉なし、実線：鶏肉あり。

味（先味）と表記した。また、PC2（縦軸）のプラス方向を原料由来のクセと味のふくらみ、マイナス方向を酸味と表記した。4ヶ月目と6ヶ月目の最終製品のそれぞれの主成分分析値をプロットした図を Fig.8 に示す。Nos.1-6 のいずれの試料でも4ヶ月目の試料に比べて6ヶ月目のそれで酸味や原料由来のクセが強くなる傾向がみられた。鶏肉を添加した時の6ヶ月目の卵焼き麴添加区（No.6）は原料由来のクセや味のふくらみの強さが醤油麴（No.4）および米麴添加区（No.5）と異なった。

おわりに

本研究では、醤油麴、米麴および卵焼き麴の3種類の麴を用いて醤油様調味料を製造し、発酵中のもろみの品質の変化および最終製品の品質について調査した。いずれの試料も pH は 4.3 ～ 4.6 まで低下した。色調は卵焼き麴とそ

れ以外の麴で特徴が相違した。すなわち、醤油麴と米麴を用いた試料では鶏肉の添加により発酵中の色調に変化がみられたが、卵焼き麴では大きな変化はみられなかった。また、卵焼き麴を使用した試料は醤油麴および米麴を使用した試料に比べて明るさが強く、赤味が弱いことから、卵焼き麴を使用した試料は褐変の進行が遅いと考えられる。最終製品の無塩可溶性固形分はいずれの試料も 20% を超え、高値であったが、全窒素分は鶏肉添加の有無により違いがみられ、JAS 規格の濃口醤油の特級レベルの基準と比較すると、条件を満たしていたのは鶏肉を加えた試料（Nos.4, 5 および 6）であった。中でも卵焼き麴を用いた試料（No.6）が最も全窒素分が多く、味わいのバランスについても他の麴と大きな違いは見られなかった（結果は図示せず）。したがって、食品ロスの有効活用を考えると、卵焼き麴を用いて鶏肉と卵焼きロスを

混合して発酵調味料を製造する方法が効果的であると思われた。また、35℃の発酵温度での実験では、醤油の味の味の要素で苦味雑味/食(コクとふくらみ)やうま味に着眼する場合、本研究で測定した多くの試料で6ヶ月後には酸味と原料由来のクセが強くなることから4ヶ月間で製品化しても良いと考えられた。

これまでに荘ら⁸⁾は余剰卵白液の有効利用および高付加価値化を目指して、卵白発酵調味料(たまご醤油)の開発を行った。その結果、スポンジケーキを培地として調製した麴(スポ

ンジ麴)と卵白液を食塩存在下で24時間発酵加熱させた卵白もろみは、うま味が強く、かつ甘味や卵風味を有し、色調が顕著に薄く、しかも卵アレルギーたんぱく質も消失していた。したがって、本研究で得られた製品についても卵アレルギーたんぱく質が消失している可能性があるため、今後は追跡調査する必要がある。

謝辞

本研究を遂行するにあたりご協力いただいた(株)あじかん 大道 学氏に厚く感謝します。

参考文献

1. 農林水産省 食糧産業局 バイオマス循環資源課 食品産業環境対策室：食品ロス削減に向けて～「もったいない」を取り戻そう！～. http://www.maff.go.jp/j/shokusan/recycle/syoku_loss/
2. 久保田紀久枝, 森光康次郎：株式会社 東京化学同人. スタンダード 栄養・食物シリーズ5 食品学—食品成分と機能性 (第2版). 2008.
3. 山崎聡子, 濱岡直裕, 佐藤理紗子, 石下真人, 船津保浩：卵焼きロスを利用した新規発酵調味料の開発：特に味噌製造時の麴の基質としての再利用について. *New Food Industry*, **59** (4): 25-29, 2017.
4. (社)日本食品科学工学会 新・食品分析法編集委員会：新・食品分析法. 1996.
5. 財団法人 日本醤油研究所 醤油試験法編集委員会：醤油試験法. 1990.
6. 農林水産省 JAS 規格一覧. URL: http://www.maff.go.jp/j/jas/jas_kikaku/kikaku_itiran.html
7. FAO. CODEX STAN 302-2011. STANDARD FOR FISH SAUCE, URL: http://www.fao.org/input/download/standards/11796/CXS_302e.pdf
8. 荘咲子, 上野義栄, 八田一, 成田宏史：卵白スポンジケーキを用いた麴菌の高密度培養と卵白発酵調味料(たまご醤油)の開発. *食科工*, **61** (2): 77-83, 2014.

連絡先：船津 保浩 (Yasuhiro Funatsu)
酪農学園大学農食環境学群食と健康学類
〒069-8501 江別市文京台緑町 582 番地
E-mail: funatsu@rakuno.ac.jp

山伏茸子実体 (*Hericium erinaceum* fruit body) における記憶力向上および認知機能改善に関する研究

Improvement of memory and cognitive function in *Hericium erinaceum* fruit body

具 然和 (Gu Yeunhwa)¹

¹ 純真学園大学・大学院保健医療学研究科

Key Words: 認知症 *Hericium erinaceum* fruit body 老化促進モデルマウス Morris 水迷路試験
抗酸化作用

Improvement of memory and cognitive function in *Hericium erinaceum* fruit body

Yeunhwa Gu*

*Chairperson International Affairs Department of Radiological Science,
Graduate School of Health Science, Faculty of Health Science Junshin Gakuen University

Key Words: Dementia, *Hericium erinaceum* fruit body, Senescence promoting model mouse, Morris water maze test, Antioxidant effects

Abstract

Recently in Japan, Japanese has more than 2 million people with dementia, and measures to treat dementia patients are becoming urgent modern social problems for Japan, which is aging. Dementia is roughly divided into cerebrovascular dementia (VD) and Alzheimer type dementia (AD). VD develops as a result of secondary nerve cell damage due to cerebral infarction, cerebral hemorrhage and the like. Therefore, there is a possibility that the onset can be prevented by controlling hypertension, drinking alcohol, smoking, etc., which are risk factors. On the other hand, AD is a progressive neurodegenerative disease, a decrease in acetylcholine content accompanying a decrease in choline acetyltransferase activity is recognized, and only a drug approved as a therapeutic agent is donepezil hydrochloride. It is the *Hericium erinaceum* fruit body used this research. In this study, we examined the influence of *Hericium erinaceum* fruit body substance on the brain and its effectiveness on dementia using senescence promoting model mouse (SAM mouse).

In the Morris water maze test, the arrival time to the platform was significantly delayed in the Sham control group compared to the Control group. In addition, the *Hericium erinaceum* fruit body subgroup showed a tendency to shorten the arrival time as a whole compared to the Sham control group. In the SOD-like activity measurement, the inhibition rate of the Yamabushi mushida substantive group showed a tendency to increase as compared with the Sham control group, and the luminance measurement showed a tendency to decrease the luminescence intensity. In the lipid peroxidation measurement, there was no influence in the *Hericium erinaceum* fruit body. In the serotonin concentration measurement, the serotonin concentration tended to increase in the *Hericium erinaceum* fruit body in comparison with the Sham control group.

From this study, it was recognized that ingestion of *Hericium erinaceum* fruit body entity resulted in an increase in SOD - like activity and elimination of peroxy radicals. In addition, by promoting serotonin secretion, spatial cognitive dysfunction was suppressed and learning and memory ability was improved. From the above, it is considered that the

Hericium erinaceum fruit body entity suppresses the aging of the brain and is effective for prevention and treatment of dementia.

*To whom correspondence should be addressed.

Chairperson International Affairs Department of Radiological Science,
Graduate School of Health Science, Faculty of Health Science Junshin Gakuen University
1-1-1 Chikushigaoka, Minami-ku, Fukuoka 815-8510 Japan
TEL :+81-92-554-1255
FAX : +81-92-552-2707
e-mail : gu.y@junshin-u.ac.jp

要旨

現在日本では 200 万人以上の認知症患者を抱えており、高齢化の進むわが国にとって認知症患者対策は緊急を要する現代の社会問題となっている。認知症は、脳血管性認知症 (VD) とアルツハイマー型認知症 (AD) に大別される。VD は脳梗塞、脳出血などにより二次的に神経細胞が障害を受けた結果発症する。そのため、危険因子となる高血圧や飲酒、喫煙などのコントロールにより発症を予防できる可能性がある。一方 AD は進行性神経変性疾患で、コリンアセチルトランスフェラーゼ活性の低下に伴うアセチルコリン含量の減少が認められ、治療薬として認可されている薬剤は塩酸ドネペジルのみである。

今回用いた山伏茸子実体 (*Hericium erinaceum fruit body*) である。本研究では、老化促進モデルマウス (SAM マウス) を用いて、山伏茸子実体の脳に与える影響および認知症に対する有効性について検討した。

【研究方法】

SAMR1 マウスを Control 群、SAMP8 マウスを Sham control 群、山伏茸子実体群の計 3 群とし、Control 群および Sham control 群は蒸留水を、山伏茸子実体群は山伏茸子実体を経口投与とした。摂取開始 30 日後に眼底採血を行い、得られた血清により抗酸化測定を行った。また、摂取開始 31 日後から Morris 水迷路試験を 7 日間行った。さらに、Morris 水迷路試験後の SAM マウス脳におけるセロトニン濃度および過酸化脂質濃度を測定した。

【研究結果】

Morris 水迷路試験では、Sham control 群は Control 群と比較して、プラットフォームへの到達時間が有意に遅延した。また、山伏茸子実体群は Sham control 群と比較して全体的に到達時間の短縮傾向を示した。SOD 様活性測定では山伏茸子実体群は Sham control 群と比較して阻害率の上昇傾向を示し、ルミノール測定では発光強度の減少傾向を示した。過酸化脂質測定では、山伏茸子実体による影響はみられなかった。セロトニン濃度測定では、山伏茸子実体群は Sham control 群と比較してセロトニン濃度の増加傾向を示した。

【結論】

本研究より、山伏茸子実体を摂取することで、SOD 様活性の上昇およびペルオキシラジカルが消去されることが認められた。また、セロトニン分泌が促進されたことにより、空間認知機能障害が抑制され、学習・記憶能力の向上が認められた。

以上のことから、山伏茸子実体は脳の老化を抑制し、認知症の予防および治療に対して有効であると考えられる。

はじめに

現在、厚生労働省の調査によると要介護と要支援の認定を受けた 65 歳以上の認知症患者は 200 万人にのぼり、高齢化の進むわが国にとって認知症患者対策は緊急を要する現代の社会問題となっている。

認知症は記憶力障害、思考・判断力の低下など認知機能の低下が中核を占めており、情動性の変化が周辺を占めている疾患で、脳血管性認知症 (VD) とアルツハイマー型認知症 (AD) およびこの両者が混在する混合型認知症が認知症の 8～9 割を占める。VD は脳梗塞、脳出血などの原因によって二次的に神経細胞が障害を受けた結果発症する。一方、AD は進行性神経変性疾患で未だ原因は確定されていないが、アミロイド β 蛋白 ($A\beta$) の凝集沈着による神経毒性、タウ蛋白の異常リン酸化による神経原線維変化が原因であるという説が主流となっている¹⁻⁴⁾。

VD の危険因子として、加齢、脳卒中の既往、高血圧、飲酒、喫煙などが挙げられるが、VD はこれらの危険因子のコントロールにより発症が予防できる可能性がある⁵⁻⁷⁾。

AD の症状としては、発症の初期からコリンアセチルトランスフェラーゼ (CAT) 活性の低下に伴うアセチルコリン含量の減少、認知機能の障害、記憶状態の悪化、症状が進むと、セロトニン、ノルアドレナリン、GABA などの障害も認められる。病理学的には、脳内に多数出現する老人斑、神経原線維変化、シナプス数の減少、ニューロンおよび樹状突起の変性・脱落を呈する^{8,9)}。危険因子として、加齢、遺伝子、頭部外傷、高コレステロール血症、ダウン症候群などが報告されている¹⁰⁻¹⁴⁾。

現在使用されている AD 治療薬としては、脳内でアセチルコリン分解酵素を阻害し、不足するアセチルコリンを補充して、認知機能を保持するアセチルコリンエステラーゼ阻害薬があり、わが国で軽症から中等症 AD に対して認可された薬剤は、塩酸ドネペジル (アリセプト) のみである。しかし、塩酸ドネペ

ジルは悪心、嘔吐、腹痛、下痢などの副作用を伴うとともに¹⁵⁾、その長期投与の効果には限界が示された¹⁶⁾。その他に現在検討されている薬物には抗炎症薬、抗酸化剤、エストロゲンなどがある¹⁷⁻²⁰⁾。

今回用いた山伏茸子実体は、金属マグネシウムと天然石が水素を発生させる水素豊富水である。近年、活性酸素やフリーラジカルが動脈硬化、癌、虚血後再灌流障害、白内障など、きわめて広範囲の疾患に関与することが明らかにされ、抗酸化物質による予防や治療および健康維持に強い関心が寄せられている^{21,22)}。水素ガスが活性酸素であるヒドロキシラジカルを還元し、効果的に保護するという報告もあり²³⁾、水素原子が体内発生した活性酸素と結合し、水として排泄されることで、脳の酸化を防ぐ効果が期待される。急性の酸化ストレスが引き起こされた場合の治療において、水素を溶解させた生理食塩水が用いられており、また、水素を吸引することでダイバーの減圧症の予防が可能となり、水素の良好で安全な特性が示されている²⁴⁾。

以上のことから、山伏茸子実体が脳に与える影響および認知症に対する有効性について検討した。

1. 研究方法

1-1. 研究試料および実験動物について

研究試料：山伏茸子実体は、チハヤ株式会社から提供された山伏茸子実体を使用した。

1-2. 実験動物

本研究で用いた SAM (Senescence Accelerated Mouse) は、老化促進モデルマウスである。SAM 系統マウスは、AKR/J 系統を起源とする交雑マウスから選抜交配により近交系化された、一群の関連近交系マウスである²⁵⁾。同系統が加齢するに従い現れてくる病態 (老化関連病態) の多くが、ヒトの老年性疾患のモデルになると考えられ、同系統はさまざまな老年病ならびに促進老化のモデル動物として使用されて

いる。現在までに、老化が促進し寿命が短く、老化関連病態の発症と進行の促進を示す SAMP 系 9 系統と、対照の SAMR 系 3 系統の遺伝的背景と表現形質が明らかにされている^{26,27)}。

コンベンショナル条件下での 50% 生存日数は、SAMP 系で平均 291 日で、SAMR 系の 489 日に比べて約 40% の短縮を示し、8 ヶ月齢での老化度評点は SAMP 系で平均 7.97 で、SAMR 系の 3.94 に比べて約 2 倍の高値を示す²⁷⁾。また、系統の集団としての老化指標として、初期死亡率は SAMP 系と SAMR 系の間で差はないが、ゴムペルツ係数は SAMP 系で有意に増大し (SAMR 系の 1.8 倍)、死亡率倍加時間は SAMP 系において有意な低下 (SAMR 系の 47%) を示し、SAMP 系における老化がより加速され、より早期に死亡することを裏づけている。このような SAMP 系の老化を促進する機構の 1 つとして、酸化ストレスの寄与が考えられている。脳、肝臓、水晶体、肺などの臓器において、SAMP 系は SAMR 系と比べ、高酸化状態にある²⁸⁾。また、酸化ストレスに対して高感受性状態にあるため²⁹⁾、SAM 系統は、老化機構における酸化ストレスの役割を明らかにするモデル動物の 1 つになる可能性が示唆される。

本研究では、SAMP 系の中でも特に学習・記憶能の障害^{30,31)}をきたし、この他情動障害³²⁾、免疫反応低下^{33,34)}、概日リズム異常^{35,36)}などの病態を示す SAMP8 マウスおよびその対照として使用される SAMR1 マウスを用いた。

1-3. 実験動物の飼育環境

SAMR1 マウス雄性および SAMP8 マウス雄性 (日本 SLC (株)) 6~7 週齢を飼育環境 (室温 22±3℃, 湿度 60%, 午前 7 時から 12 時間の明暗サイクル) に慣らすため、1 週間予備飼育し、その後実験を開始した。蒸留水および試料 (CE-2: 日本クレア (株)) は自由摂取とした。SAMR1 マウスを Control 群, SAMP8 マウスを Sham control 群, 山伏茸子実体群の計 3 群とし、予備飼育終了後、Control 群および Sham control 群は蒸留水を、山伏茸子実体群は予備飼育 1 週

間の後、実験終了まで毎日胃ゾンデ法による強制経口投与を行なった。投与濃度は 500mg/kg/day とした。

実験群: ① control 群, ② Sham control 群, ③山伏茸子実体投与群については上記の通りとした。また、各投与物質を上記のように略して表記した。これは以下についても同様とした。

投与方法: 予備飼育 1 週間の後、実験終了まで毎日胃ゾンデ法による強制経口投与を行なった。投与濃度は 500mg/kg/day とした。

1-4. Morris 水迷路試験

この試験法は Morris の方法に準じて行った³⁷⁾。水迷路装置は、水を張った円筒の水槽 (直径 150cm, 深さ 50cm) とマウスが回避できるためのプラットフォーム (直径 12.5cm, 高さ 15cm) から成る。プラットフォームは透明なアクリル製で、壁から 25cm 離れた所に設置した。プラットフォームを見えなくする目的で少量のスkimミルクを加え、水面下 1cm になるよう 23℃前後の水を張った。また、水槽はマウスが学習をする空間的な手掛かりとして 4 つの区域に分けた。背景を一定にし、静かな環境下で試験を行った。本試験に用いた水迷路装置を Fig.1 に示す。

1-5. 予備訓練セッション

予備訓練セッションは、訓練セッションを行う前日に 1 回行った。円形水槽の中央に、水面より数 cm 高い位置にプラットフォームを固定

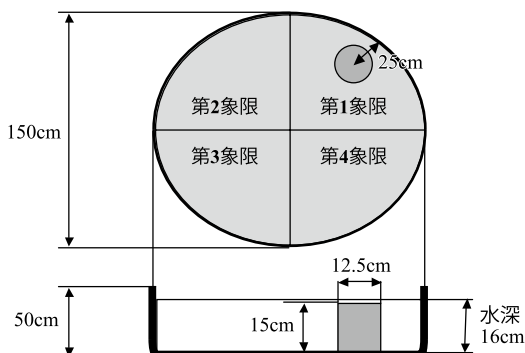


Fig.1 Morris water maze device

しておき、マウスをここに載せ最大 15 秒間泳がせた。15 秒後プラットフォームに戻るようマウスを誘導した。この操作を 1 匹につき 10 秒以上の間隔を空けて 3 回繰り返した。

1-6. 訓練セッション

訓練セッションは、1 日 2 試行を 7 日間行った。水面下 1～2cm 程度に固定したプラットフォームを第 1 象限の中央に設置した。マウスは第 2, 3, 4 象限の中央 3 点から水槽の壁面に頭を向けた状態でランダムに入水させた。入水からプラットフォームに到達するまでの潜時をデータ解析の対象とした。到達後 10 秒間放置し、その位置を記憶させた。なお、120 秒経ってもプラットフォームに到達しない場合は、強制的にプラットフォームまで移動させ、10 秒間放置しその位置を記憶させた。この場合の到達時間は 120 秒とした。この操作を各マウスで繰り返し行うが、施行毎にスタート地点を変えて行った。60～90 分のインターバルを空け、2 回目の試行を行った。

1-7. プローブテスト

訓練セッションの最終日に、プローブテストを行った。プラットフォームの位置を記録した後、それを取り除いた状態で訓練セッションと同様にマウスを入水させ、120 秒間遊泳させた。プラットフォームを置いていた第 1 象限での滞在時間および仮想プラットフォーム面積を横切った回数をデータ解析の対象とした。

1-8. 抗酸化測定

(1) SOD 様活性測定

摂取開始 30 日後に眼底採血した血液を遠心分離 (10000rpm, 10min) し、得られた血清を用いて SOD 様活性測定を行った。SOD 様活性の測定は、NBT 還元法による SOD テストワコー (和光純薬工業 (株)) のプロトコールにしたがって行った。NBT 還元法は、ニトロブルーテトラゾリウム (NO₂-TB) を用いてスーパーオキシド (O₂·-) による還元呈色が低下する程度を

阻害率として SOD 活性度を求める方法であり、抗酸化活性を定量的に測定することができる。

(2) ルミノール測定

2,2-アゾビス (2-アミジノプロパン) 二塩酸塩 (AAPH) の加温発生ラジカルとアルカリ条件下のルミノール発光を組み合わせた系を用い測定した。摂取開始 30 日後に眼底採血した血液を遠心分離 (10000rpm, 10min) し、得られた血清を用いた。血清を 0.1M PBS で 100 倍希釈し、同量の AAPH 試薬を添加混合した。試料をルミネッセンスリーダー (BLR-201, アロカ (株)) で加温 (37°C, 2min) 後、ルミノール試薬を添加し、20 秒後の発光量を測定した。

1-9. 過酸化脂質の測定

内山・三原の方法にしたがって、脳の過酸化脂質の測定を行い、TBA 値を脂質過酸化物の指標とした³⁸⁾。摘出した脳をホモジネートし、1.15% 冷 KCl 溶液を加えて 10% 組織ホモジネート試料とした (10%w/v)。10% 組織ホモジネート試料 0.5mL に 1% リン酸 3mL と 0.67% TBA 試薬 1mL を加え、混合した。その後、沸騰水浴中で 45 分間加熱した。室温まで冷却した後、n-ブタノール 4mL を加え振盪抽出した。遠心分離 (3000rpm, 10min) 後、ブタノール層 (上層) を取り、吸光度測定を行った。0.5mL の標準液 (10n mol/mL テトラエトキシプロパン・メタノール溶液) を用いて上記と同様の操作を行った。吸光度は 535nm と 520nm の 2 ケ所で測定し、その差 (A₅₃₅₋₅₂₀) を求め、過酸化物の濃度を次式で計算した。

$$\text{過酸化物濃度 (n mol/mL)} = \frac{f}{F} \times 10 \text{ n mol/mL 組織ホモジネート}$$

F: 標準試料の吸光度 (A₅₃₅₋₅₂₀)

f: 検体の吸光度 (A₅₃₅₋₅₂₀)

1-10. 脳内セロトニン濃度の測定

摘出した脳をホモジネートし、0.2N HClO₄ (10μL 0.2N HClO₄/mg of tissue) を加え超音波粉碎をした。遠心分離 (10000rpm, 2-8°C, 5

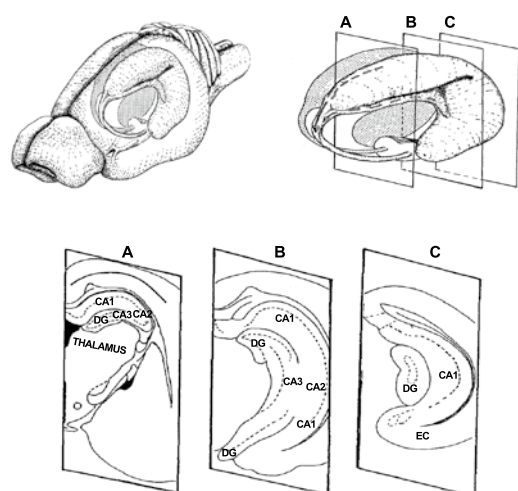


Fig.2 Line drawings showing the three-dimensional organization of the hippocampal formation in the rat brain. Three coronal sections (A, B and C) are shown at different rostrocaudal levels through the hippocampal formation. CA1 and CA3, fields of the hippocampus; EC, entorhinal cortex; DG, dentate gyrus. (David G. A, Menno P. W., The rat nervous system. Second edition, Academic Press, Inc., (1995)) .

min) 後、フィルター (0.45 μ m) で上清をろ過した。得られた上清を同量の 1N ホウ酸塩緩衝剤 (pH9.25) で中和 (pH7-8) し、遠心分離 (10000rpm, 2-8 $^{\circ}$ C, 1min) した。得られた上清から EIA Serotonin Kit (IMMUNOTECH (株)) のプロトコールにしたがってセロトニン濃度の測定を行った。

1-11. 凍結スライド標本の作製

経口投与 18 週後に各群のマウスを頸椎脱臼し、左心室生理食塩水灌流 (1mL/min) により脱血し、10 % ホルマリン溶液での灌流 (1mL/min, 15min) により固定した。脳を摘出して、10 % ホルマリン溶液で 24 時間浸漬 (4 $^{\circ}$ C) し、さらに 10 % スクロース /0.1 M PBS (4 $^{\circ}$ C) に 4 時間、20 % スクロース /0.1 M PBS に 4 時間 (4 $^{\circ}$ C)、最後に 30 % スクロース /0.1 M PBS に一晩浸漬 (4 $^{\circ}$ C) した。次に、OCT コンパウンド (凍結用包埋剤) を用いて凍結包埋し、クリオスタットで脳を 9mm に薄切し、スライドガラスに貼り付けた。その後、冷風で 1 時間以上乾燥させ、50 % EtOH に 30-60 分浸漬し、

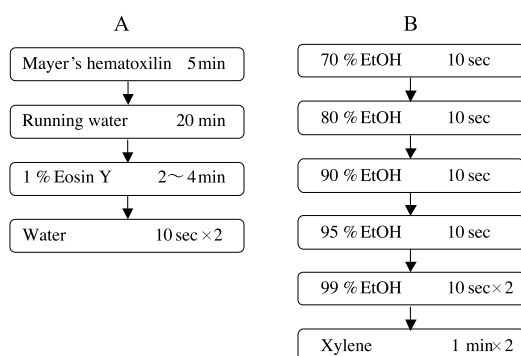


Fig. 3 Protocol of HE stain.
(A) and alcohol dehydration and penetration (B)

流水で 2-4 分洗浄した後、各染色法により組織学的検討を行った。本研究では、切片作製に際し David らのラット脳における海馬の構造を参考に行い、Fig. 2 の A 部分において薄切した。

1-12. 脳切片の染色法

(1) ヘマトキシリン・エオジン (Hematoxilin and eosin; HE) 法

HE 染色の手順を Fig. 3A に、アルコール脱水および透徹の方法を Fig. 3B に示した。各群マウス脳切片標本を作成後、マイヤーのヘマトキシリン溶液で 5 分間染色し、流水で 20 分水洗した。次に 1 % エオジン液で 2-4 分染色し、10 秒程度軽く水洗して、余分のエオジン液を洗い、この操作を 2 回繰り返した。70 %, 80 %, 90 %, 95 %, 99 % (I, II) エタノールに各 10 秒ずつ浸漬して弁色と同時に脱水を行い、キシレン I, II で透徹後、オイキットを用いて封入した。

(2) クリューバー・バレラ (Kluver-Barrera's stain; KB stain) 法

KB 染色の手順を Fig. 4 に示した。各群マウス脳切片標本を作成後、95 % エタノールに 2-5 分浸漬し、0.1 % ルクソールファスト青液で一晩 (56-60 $^{\circ}$ C) 染色した。染色後、95 % エタノールに 1-3 分浸漬し、蒸留水で 3 回、各 30 秒程度すすいだ。次に 0.05 % 炭酸リチウム水溶液に 5 分浸漬し、70 % エタノールに適宜 3 回浸

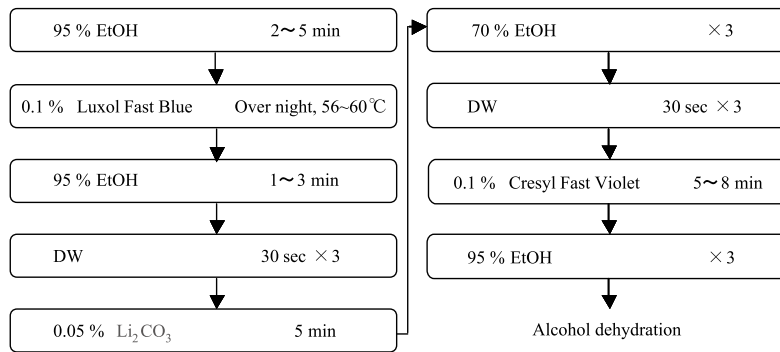


Fig. 4 Protocol of KB stain.

0.1 % Luxol Fast Blue; Luxol Fast Blue 0.5 g, 95 % EtOH 500 mL, 10 % CH₃COOH 2.5 mL

Table 1. The change of escape latency from SAM mice. Each values represent the mean $\pm$ S.E. (n=6-11)

Groups	Escape latency [sec]						
	1day	2days	3days	4days	5days	6days	7days
Control	56 $\pm$ 10	48 $\pm$ 8	50 $\pm$ 10	37 $\pm$ 9	36 $\pm$ 8	44 $\pm$ 11	46 $\pm$ 10
Sham control	101 $\pm$ 7	91 $\pm$ 10	81 $\pm$ 10	81 $\pm$ 10	80 $\pm$ 9	99 $\pm$ 8	97 $\pm$ 7
<i>Hericium erinaceum</i>	95 $\pm$ 13	91 $\pm$ 11	90 $\pm$ 13	89 $\pm$ 21	87 $\pm$ 24	88 $\pm$ 36	85 $\pm$ 11

けて目的の薄さまで調整した後、蒸留水を3回替えて、各30秒程度すすぎエタノールを完全に除去した。さらに、0.1%クレシル紫液にて5-8分染色し、95%エタノールに適宜3回浸けて目的の薄さまで調整した。染色後、70%、80%、90%、95%、99% (I, II) エタノールに各10秒ずつ浸漬して弁色と同時に脱水を行い、キシレン I, II で透徹後、オイキットを用いて封入した。

1-13. 統計

統計学的有意差検定として Dunnett 検定により、5%以下の危険率で有意になった場合を有効とした。

2. 研究結果

2-1. Morris 水迷路試験

SAM マウスの訓練セッションにおける逃避用プラットフォームへの到達時間の変化を、Table 1 に示す。Sham control 群は Control

群と比較して到達時間が有意に ($p < 0.01$) 遅延した。また、山伏茸子実体群では Sham control 群と比較して全体的に到達時間の短縮傾向が認められた。

また、プローブテストにおける第1象限での滞在時間を Fig.5A に、仮想プラットフォーム面積を横切った回数の測定結果を Fig.5B に示す。プローブテストにおける第1象限での滞在

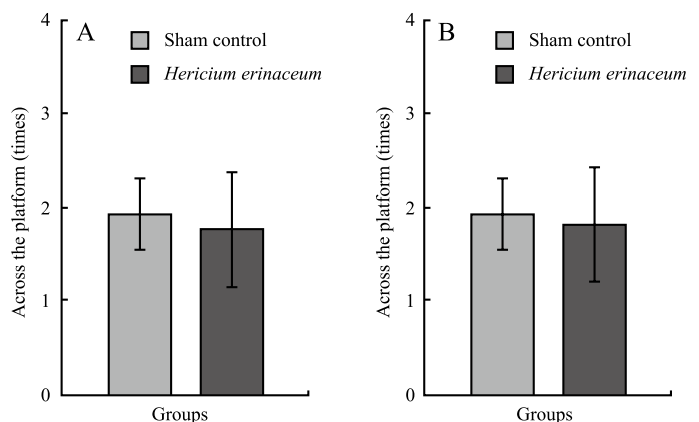


Fig.5. Probe test.

(A) The time of spent in first quadrant of the pool. Probe test. (B) The times of across the platform location. Each values represent the mean $\pm$ S.E.

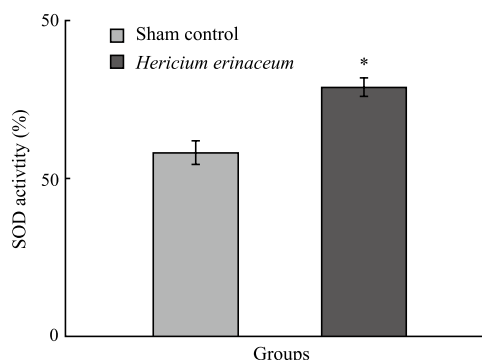


Fig.6 SOD activity. Each values represent the mean $\pm$ S.E. The bars represent standard deviation.

* Statistically significant ($p < 0.05$) from the sham control group.

時間では、Sham control 群プラットフォーム面積を横切った回数でも、Sham control 群と比較して山伏茸子実体群に増加傾向が認められた。このことから、山伏茸子実体摂取により空間認知機能の障害が抑制され、学習・記憶能力の向上が示唆される。

2-2. 抗酸化測定

(1) SOD 様活性測定

摂取開始 30 日後の SAM マウス血清における SOD 様活性測定結果を Fig.6 に示す。山伏茸子実体群は、Sham control 群と比較して高い阻害率を示した。SOD 様活性度の増加は、活性酸素 (ROS) やフリーラジカルの除去能の上昇を示すことから、山伏茸子実体摂取による抗酸化作用が示唆された。

(2) ルミノール測定

摂取開始 30 日後の SAM マウス血清におけるルミノール測定結果を Fig.7 に示す。山伏茸子実体群 (0.071 ± 0.002 K counts) は、Sham control 群 (0.063 ± 0.006 K counts) と比較して発光強度の減少を示した。発光強度の減少は、血清中に AAPH 由来のペルオキシラジカル ($\text{LOO}\cdot$) を消去する抗酸化物質の存在を示すことから、山伏茸子実体摂取による抗酸化作用が示唆された。

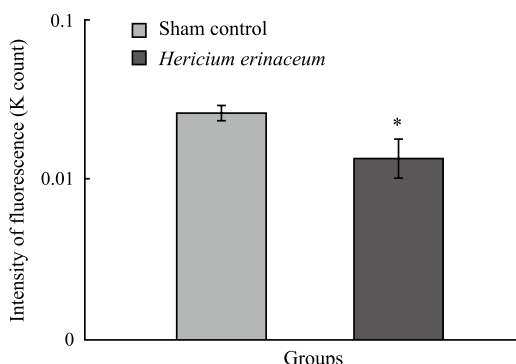


Fig.7 Blood levels of anti oxidation activity.

Each values represent the mean $\pm$ S.E. The bars represent standard deviation. * Statistically significant ($p < 0.05$) from the sham control group.

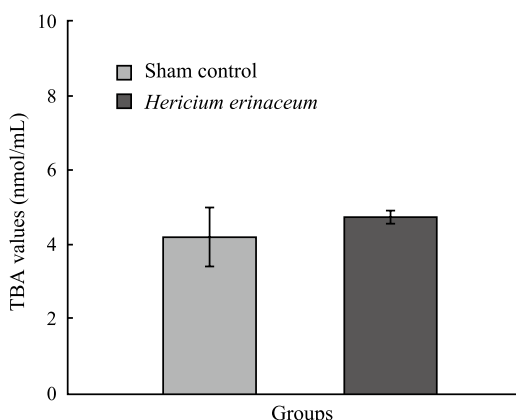


Fig.8 Effect of *Hericium erinaceum* fruit body on TBA values of SAM brain homogenates.

Each values represent the mean $\pm$ S.E.

2-3. 過酸化脂質の測定

摂取開始 40 日後の SAM マウス脳における過酸化脂質測定結果を Fig.8 に示す。TBA (チオバルビツール酸) 法により、過酸化脂質の分解で生じるマロンジアルデヒド (MDA) と TBA が縮合して生じる赤色物質を比色分析し、TBA 値の測定を行った。

山伏茸子実体群は、Sham control 群と比較して高い TBA 値を示した。このことから、今回の条件においては山伏茸子実体摂取による脂質過酸化反応に対する影響は見られなかった。

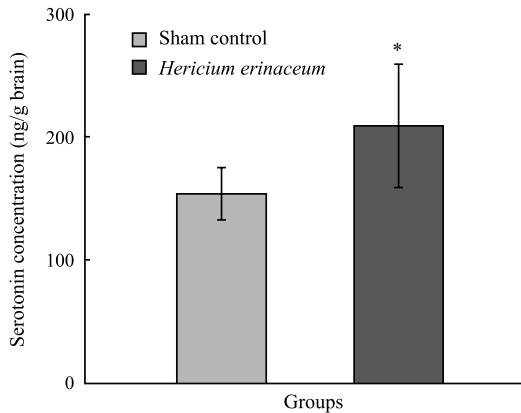


Fig.9 Serotonin concentration in SAM brain homogenates.

Each values represent the mean $\pm$ S.E. The bars represent standard deviation. * Statistically significant ($p < 0.05$) from the sham control group.

2-4. セロトニン濃度の測定

Morris 水迷路試験後の SAM マウス脳におけるセロトニン濃度測定結果を Fig.9 に示す。

山伏茸子実体群 (196.3 ± 50.2 ng/g brain) は, Sham control 群 (166.5 ± 25.7 ng/g brain) と比較して高いセロトニン濃度を示した。このことから, セロトニン分泌が促進され, 山伏茸子実体摂取による神経伝達の向上が示唆される。

2-5. 脳組織染色

(1) ヘマトキシリン・エオジン法

山伏茸子実体群の長期投与後の, 海馬における HE 染色による組織学的変化の結果を Fig.10 に示し, CA1 領域および CA3 領域の観察により組織学的変化を評価した。また, Control 群, Sham control 群, 山伏茸子実体群の組織切片を各々 A, B, C と表記し, 海馬全域は Fig. 6 に A-C, CA1 領域及び CA3 領域を A-C に示した。Control 群 (SAMR1 マウス) と比較して, Sham control 群 (SAMP8 マウス) での海馬 CA3 領域での, 錐体細胞の密度が低下していた (A2, B2)。さらに, この密度低下は CA1 領域において顕著であった (A, B)。しかし, 山伏茸子実体群では CA1 および CA3 領域において細胞密度が大きく, Control 群の海馬領域と類似した細胞密度を示すことが明らかとなった。

(2) クリューバー・バレラ法

山伏茸子実体の長期投与後の, 海馬における KB 染色による組織学的変化の結果を Fig.11 に示し, CA1 領域および CA3 領域の観察により組織学的変化を評価した。また, Control 群, Sham control 群, 山伏茸子実体群の組織切片を各々 A, B, E とした。Control 群 (SAMR1 マウス)

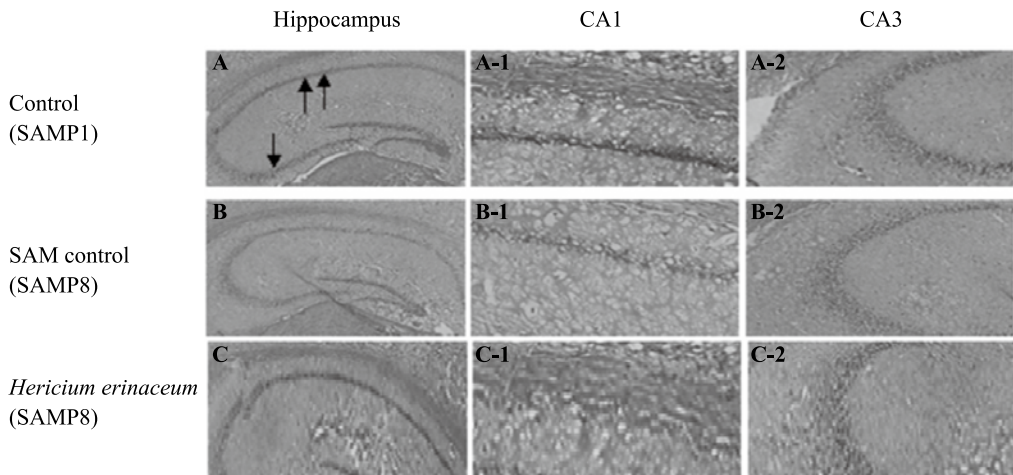


Fig.10 Histopathological alterations of the hippocampal CA1 (double arrow $\uparrow\uparrow$) and CA3 (arrow $\downarrow$) regions in 25-26 weeks-old SAM.

Microphotographs of coronal sections of the hippocampus in Control (A), Sham control *Hericium erinaceum* fruit body, were stained with hematoxylin and eosin. Bars = 40 mm (A-E), 200 mm (A1-E1), 100 mm (A2-E2)

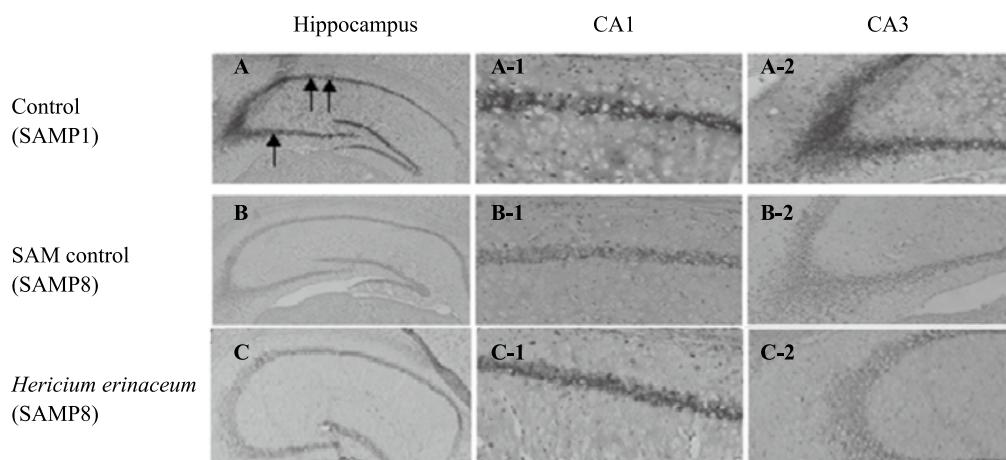


Fig.11 Histopathological alterations of the hippocampal CA1 (double arrow ↑↑) and CA3 (arrow ↑) regions in 25-26 weeks-old SAM.

Microphotographs of coronal sections of the hippocampus in Control (A), Sham control (B), *Hericium erinaceum* fruit body, were stained with Kluver-Barrera. Bars = 40 mm (A-E), 200 mm (A1-E1), 100 mm (A2-E2)

と比較すると、Sham control 群 (SAMP8 マウス) では CA1 および CA3 領域を含めた海馬全域での、錐体細胞の密度が著しく低下していることが明らかとなった (A, B)。これに対して、山伏茸子実体群では CA1 および CA3 領域において細胞密度が顕著に大きく (C)、Control 群の海馬領域と類似した細胞密度を示すことが示唆された。

3. 考察

3-1. 記憶力向上および認知機能改善

学習・記憶については、下等動物から高等動物に至るまで類似した機構が数多く存在することより、小動物を用いた学習・記憶に関する実験成果の利用価値は極めて高い。そこで本研究では、加齢に伴い学習・記憶能力の低下および低不安状態を示す SAMP8 マウス³⁶⁾ およびその比較対照群である SAMR1 マウスを用いて、学習・記憶行動のゴールデンスタンダートとして汎用されている Morris 水迷路試験を行った。この試験法は、学習・記憶行動試験の中でも空間記憶、参照記憶を見るのに適した行動評価試験である³⁷⁾。

訓練セッションにおいて、Sham control 群は

Control 群と比較してプラットフォームへの到達時間が有意に ($p<0.01$) 遅延した。このことより、正常老化系マウスである SAMR1 マウスよりも SAMP8 マウスは加齢に伴う学習・記憶能力の低下が示唆された。また、山伏茸子実体群でも Sham control 群と比較して全体的に到達時間の短縮傾向が認められた。水迷路試験では、マウスは装置周囲の空間的な手がかりにより避難場所であるプラットフォームの位置を、訓練を通じて学習記憶する。訓練セッション期間中プラットフォームの位置は常に一定であるため、長期の参照記憶を有する。このことから、山伏茸子実体摂取により空間認知機能の障害が抑制され、学習・記憶能力が向上したと考えられる。しかし、本試験では全体的に測定値にバラツキが多く見られ、標準誤差の値も大きかったことから、個体差が大きかったといえる。今後、群数を増やす等さらなる検討が必要と考えられる。

さらに、プローブテストにおける第1象限での滞在時間および仮想プラットフォーム面積を横切った回数でも、Sham control 群と比較して山伏茸子実体群に増加傾向が認められた。したがって、山伏茸子実体摂取による空間認知機能

の障害の抑制および学習・記憶能力の向上が示唆された。

以上のことから、山伏茸子実体は空間認知機能障害を改善し、認知症の主症状のひとつである学習・記憶能力の障害の予防および治療に有効であると考えられる。

3-2. 抗酸化作用

ROS は老化に深く関与していると考えられている³⁹⁾。反応性に富んだ ROS によって DNA に傷害が起こり、その蓄積が細胞の機能障害、老化、細胞死をもたらす。生体内では、 $O_2^{\cdot-}$ やヒドロキシラジカル ($HO^{\cdot}$) などさまざまな ROS が生成されるが、それに対する防御系も備わっている。防御系に関わる抗酸化物質として、SOD やカタラーゼなどの ROS を消去する酵素、アルブミンやセルロプラスミンなどの結合蛋白質、グルタチオンやビタミン C などの低分子化合物などがある。

筆者らは、*Lyophyllum Decastes* の有効成分である β グルカンが抗酸化物質としての予防と治療への応用の可能性があると報告した²³⁾。キノコの子実体においてラット肝臓ホモジネートの脂質過酸化に対する抗酸化作用が報告されている²³⁾。本研究では、 $O_2^{\cdot-}$ 分解酵素である SOD 様活性度および AAPH 由来の $LOO^{\cdot}$ とルミノール由来のセミキノンラジカル ($QH^{\cdot}$) との反応による発光強度の測定によって山伏茸子実体における抗酸化作用の検討を行った。

SOD 様活性度の測定において、山伏茸子実体群は Sham control 群と比較して SOD 様活性の上昇が認められた。これは、山伏茸子実体が生体内の SOD などさまざまなフリーラジカルを除去するラジカルスカベンジャーとして SOD 様酵素を活性化させたと考えられる^{40, 41)}。ルミノール測定において、山伏茸子実体群は Sham control 群と比較して発光強度の減少が認められた。これは、血清中に AAPH 由来の $LOO^{\cdot}$ を消去する抗酸化物質が存在することを示唆した。

以上のことから、山伏茸子実体は老化に深く関係する ROS やフリーラジカルに対する防御

効果があると考えられ、認知症の予防および治療への効果が期待される。

3-3. 抗過酸化脂質効果

本研究では、過酸化脂質の指標となる TBA 値の測定を行った。TBA 法は、過酸化脂質の分解で生じる MDA が、酸性条件下で 2 分子の TBA と縮合して生じる赤色物質を比色、または蛍光分析するものである。

過酸化脂質は、脂質が ROS を中心としたフリーラジカルによって傷害を受けた結果生じる。過酸化脂質は老化に伴って蓄積されることが知られているが、動脈硬化や糖尿病などの病態に深く関与することが報告されている。また、血管壁中の MDA 含有量や血中 MDA 濃度が加齢とともに増加することが報告されているが、Rodriguez-Martinez らは、MDA が内皮依存性の血管拡張作用を抑制すること、この作用は SOD によって解除されることを報告した⁴²⁾。これらの知見は、動脈硬化の発症と関係が深い内皮傷害の機序に過酸化脂質の血管壁への蓄積が関与している可能性を示している。AD の病態においてもフリーラジカルが関与するが⁴³⁾、 $A\beta$ がフリーラジカルの産生を介して内皮傷害を誘導することが示されている⁴⁴⁾。さらに Yagi らは、老化徴候が促進し、寿命のより短い SAMP1 マウスにおいて、寿命の長い SAMR1 マウスに比し胸部大動脈壁中の脂質過酸化物が多く存在するとともに内皮下へのマクロファージの浸潤が多数認められたことを報告した⁴⁵⁾。

本研究では、山伏茸子実体群 SAM マウス脳における TBA 値の抑制は認められなかった。前述したとおり、血清での抗酸化作用が認められたことから、今後血清における TBA 値の測定あるいは実験群の増加、投与量の検討などさらなる研究の必要があると考えられる。

3-4. 脳内セロトニン濃度

セロトニンは脳内神経伝達物質のひとつで延髄、橋、中脳に分布している。覚醒・睡眠リズム

ム、感情の安定や精神の落ち着きに関与しており、他の神経系や感情に由来するホルモンのコントロールにも関係している⁴⁶⁾。また、セロトニンは縫線核からのセロトニン作動性入力が見られ、線条体に投射しており、皮質（前頭葉）アセチルコリンの分泌と関係している。

AD 脳ではセロトニンと関係の深い縫線核、上中心核、背側被蓋核の神経細胞数が減少しており⁴⁷⁾、セロトニンやその代謝産物である5-ヒドロキシインドール酢酸 (5-HIAA) 濃度もADの脳皮質や皮質下諸核で低下する⁴⁸⁾。さらに、髄液中5-HIAA濃度もAD患者で低下していた。ADにおけるセロトニン作動系の低下は、ADの周辺症状である注意力の低下や自発性欠如といった感情機能の障害と関係するものと考えられている。また、VDにおけるセロトニンニューロン系の研究もほとんど髄液中の5-HIAAの濃度の検討でなされてきた。Smirneらは、多発梗塞性認知症 (MID) 患者において髄液中5-HIAA濃度がControl群の約58%まで減少し、有意な低下を認めたとしている⁴⁹⁾。

このことから、セロトニン濃度を測定することにより実験動物の精神状態、アセチルコリンなど他のホルモンに対する影響および認知症などについて評価することができる⁵⁰⁾。

Sham control 群と比較して山伏茸子実体群は高い値を示しており、セロトニン分泌が促進されたことによる神経伝達の向上が示唆される。このことから、低不安状態を改善させ精神状態を安定させることにより学習・記憶能力の向上を図ることが可能であると考えられる。また、セロトニン神経系が活性化されたことによるアセチルコリン分泌の促進が推定される。

以上のことから、山伏茸子実体はセロトニンの分泌を促進させ、認知症の主症状のひとつである学習・記憶能力の障害の予防および治療に有効であると考えられる。

3-5. 脳の組織学的変化

認知症の多くは神経細胞の著しい減少に起因して発症することが明らかとされ、海馬が記憶

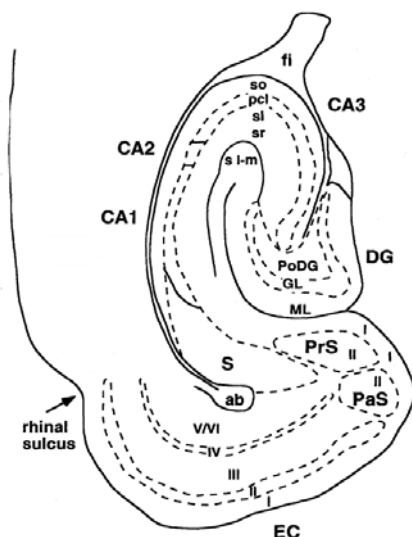


Fig.12. The accompanying line drawings indicate various regions, layers, and fiber pathways of the rat hippocampal formation.

ab, angular bundle; PaS, parasubiculum; PrS, presubiculum; ML, GL, and PoDG, molecular, granulecell, and polymorphic layers, respectively, of the dentate gyrus; so, stratum oriens; pcl, pyramidal cell layer; sl, stratum lucidum; sr, stratum radiatum (David G. A, Menno P. W., The rat nervous system. Second edition, Academic Press, Inc., (1995))

と深く関係することは動物を用いた実験例で確かめられている。海馬は歯状回、CA1、CA3、海馬台（とその下位領域）で構成されている。海馬への最も重要な入力部位は嗅内皮質であり⁹³⁾、歯状回、CA1、CA3に終止する軸索をもつニューロンが存在している。重要な空間情報は、嗅内皮質とCA1の直接結合により海馬へ入力される^{51, 52)}。Morrisは、海馬スライスの標本においてCA1の錐体細胞領域におけるNMDA受容体アンタゴニスト投与のラットにおいて水迷路試験の成績が低下することを報告した⁵³⁾。また、Riedelらは海馬抑制がすでに学習した課題の遂行を阻害することを見出しており、固定のみならず空間記憶の想起にも海馬が必要なことを示している⁹⁶⁾。さらに、10ヶ月齢のSAMR1マウスと比較してSAMP8マウスの海馬CA1領域では神経細胞が減少していることが報告されている^{54, 55)}。

本研究での組織学的変化の観察については、David らのラット脳における海馬の構造 (Fig. 12) を参考に行い、SAM マウス海馬における CA1 および CA3 領域の判定を行った。げっ歯類海馬の CA3 錐体細胞はアーチ型をしており、錐体細胞が密に詰まっていて極端に色素が濃くなっている。これに対して CA1 領域の神経細胞層は薄く、きっちり詰まっており、CA3 錐体細胞より明らかに CA1 細胞が小さいため、Fig. 10, 11 の↑↑部分を CA1 領域、↑部分を CA3 領域と判断した⁵⁶⁾。

HE 染色および KB 染色の結果、Control 群 (SAMR1 マウス) と比較して、Sham control 群 (SAMP8 マウス) での CA1 および CA3 領域を含めた海馬全域で、著しく錐体細胞の密度が低下していた。このことから、老化促進により海馬における神経細胞が減少し、空間情報の入力能が低下した結果、水迷路試験での空間認識能評価が低くなったと推察された。

一方、山伏茸子実体群での CA3 領域の細胞密度は、Sham control 群よりも増加していた。さらに CA1 領域においては各群ともに顕著な錐体細胞密度の増加が認められたことから。したがって、海馬における神経細胞（とくに CA1 領域）が活性化され、CA1 の直接結合によって水迷路試験における空間情報が海馬へ入力されることにより、空間認識能が改善される

ことが示唆された。

4. 結語

本研究において、山伏茸子実体の脳に与える影響および認知症に対する有効性について検討し、以下に示すことが確認された。

1. Morris 水迷路試験の結果より山伏茸子実体は学習・記憶能力を向上させることが認められた。
2. 抗酸化測定の結果より山伏茸子実体は SOD 様活性の上昇、またペルオキシラジカルの消去能があると認められた。
3. セロトニン濃度測定の結果より山伏茸子実体はセロトニンの分泌を促進することが認められた。
4. 組織学的変化においては、SAMR1 マウスと比較すると SAMP8 マウスでは海馬の CA1 および CA3 領域における錐体細胞密度の低下が認められた。山伏茸子実体投与では投与においては海馬 CA1 および CA3 における細胞減少が抑制されたことから、神経細胞活性化により記憶の改善効果が得られたものと考えられる。

以上のことから、山伏茸子実体は老化の抑制が示唆され、認知症の予防および治療に有効であると考えられる

参考文献

1. Hardy J., Selkoe D.J.: The amyloid hypothesis of Alzheimer's disease: progress and problems on the road to therapeutics. *Science*, **297**: 353-356.2002.
2. Selkoe D.J.: Toward a comprehensive theory for Alzheimer's disease. Hypothesis: Alzheimer's disease is caused by the cerebral accumulation and cytotoxicity of amyloid beta-protein. *Ann. N. Y. Acad. Sci.*, **924**: 17-25.2000.
3. Selkoe D.J.: Alzheimer's disease: genes, proteins, and therapy. *Physiol. Rev.*, **81**: 741-766.2001.
4. Hutton M., Lendon C.L., Rizzu P., Baker M., Froelich S., Houlden H., Pickering-Brown S., Chakraverty S., Isaacs A., Grover A., Hackett J., Adamson J., Lincoln S., Dickson D., Davies P., Petersen R.C., Stevens M., de Graaff E., Wauters E., van Baren J., Hillebrand M., Joosse M., Kwon J.M., Nowotny P., Che L.K., Norton J., Morris J.C., Reed L.A., Trojanowski J., Basun H., Lannfelt L., Neystat M., Fahn S., Dark F., Tannenberg T., Dodd P.R., Hayward N., Kwok J.B., Schofield P.R., Andreadis A., Snowden J., Craufurd D., Neary D., Owen F., Oostra B.A., Hardy J., Goate A., van Swieten J., Mann D., Lynch T., Heutink P.: Association of missense

- and 5'-splice-site mutations in tau with the inherited dementia FTDP-17. *Nature*, **393**: 702-705.1998.
5. Ueda K., Kawano H., Hasuo Y., Fujishima M., Prevalence and etiology of dementia in a Japanese community. *Stroke*, **23**: 798-803.1992.3.
6. Yoshitake T., Kiyohara Y., Kato I., Ohmura T., Iwamoto H., Nakayama K., Ohmori S., Nomiyama K., Kawano H., Ueda K.: Incidence and risk factors of vascular dementia and Alzheimer's disease in a defined elderly Japanese population: the Hisayama Study. *Neurology*, **45**: 1161-1168.1995.
7. Fujishima M., Kiyohara Y.: Incidence and risk factors of dementia in a defined elderly Japanese population: the Hisayama study. *Ann. N. Y. Acad. Sci.*, **977**: 1-8.2002.
8. YeunHwa Gu, Takenori Yamashita, Ki-Mun Kang: Dementia and memory improvement due to histological changes in the brain hippocampus and hormone secretion of brain by lecithin administration. *Journal of Junshin Gakuen University*, **3**: 73-90, 2014.
9. Gu YH, Huang CS, Inoue T, Yamashita T, Ishida T, Kang KM, Nakao A.: Drinking hydrogen water ameliorated cognitive impairment in senescence-accelerated mice. *J Clin Biochem Nutr.* **46** (3):269-276. 2010.
10. Cummings J.L., Vinters H.V., Cole G.M., Khachaturian Z.S.: Alzheimer's disease: etiologies, pathophysiology, cognitive reserve, and treatment opportunities. *Neurology*, **51**: S2-S17.1998.
11. Ma J., Yee A., Brewer H.B. Jr., Das S., Potter H.: Amyloid-associated proteins alpha 1-antichymotrypsin and apolipoprotein E promote assembly of Alzheimer beta-protein into filaments. *Nature*, **372**: 92-94.1994.
12. Horsburgh K., Cole G.M., Yang F., Savage M.J., Greenberg B.D., Gentleman S.M., Graham D.I., Nicoll J.A.: beta-amyloid (A β) 42 (43), abeta42, abeta40 and apoE immunostaining of plaques in fatal head injury. *Neuropathol. Appl. Neurobiol.*, **26**: 124-132.2000.
13. Jarvik G.P., Wijsman E.M., Kukull W.A., Schellenberg G.D., Yu C., Larson E.B.: Interactions of apolipoprotein E genotype, total cholesterol level, age, and sex in prediction of Alzheimer's disease: a case-control study. *Neurology*, **45**: 1092-1096.1995.
14. Schupf N., Kapell D., Nightingale B., Lee J.H., Mohlenhoff J., Bewley S., Ottman R., Mayeux R.: Specificity of the fivefold increase in AD in mothers of adults with Down syndrome. *Neurology*, **57**: 979-984.200.
15. Rogers S.L., Farlow M.R., Doody R.S., Mohs R., Friedhoff L.T.: A 24-week, double-blind, placebo-controlled trial of donepezil in patients with Alzheimer's disease. Donepezil Study Group. *Neurology*, **50**: 136-145.1998.
16. Courtney C., Farrell D., Gray R., Hills R., Lynch L., Sellwood E., Edwards S., Hardyman W., Raftery J., Crome P., Lendon C., Shaw H., Bentham P.: AD2000 Collaborative Group. Long-term donepezil treatment in 565 patients with Alzheimer's disease (AD2000): randomised double-blind trial. *Lancet*, **363**: 2105-2115.2004
17. Landi F., Cesari M., Onder G., Russo A., Torre S., Bernabei R.: Non-steroidal anti-inflammatory drug (NSAID) use and Alzheimer disease in community-dwelling elderly patients. *Am. J. Geriatr. Psychiatry*, **11**: 179-185.2003.
18. Sano M., Ernesto C., Thomas R.G., Klauber M.R., Schafer K., Grundman M., Woodbury P., Growdon J., Cotman C.W., Pfeiffer E., Schneider L.S., Thal L.J.: A controlled trial of selegiline, alpha-tocopherol, or both as treatment for Alzheimer's disease. The Alzheimer's Disease Cooperative Study. *N. Engl. J. Med.*, **336**: 1216-1222.1997.
19. Zandi P.P., Carlson M.C., Plassman B.L., Welsh-Bohmer K.A., Mayer L.S., Steffens D.C., Breitner J.C.: Cache County Memory Study Investigators. Hormone replacement therapy and incidence of Alzheimer disease in older women: the Cache County Study. *JAMA*, **288**: 2123-2129.2002.
20. Ohkura T., Isse K., Akazawa K., Hamamoto M., Yaoi Y., Hagino N.: Long-term estrogen replacement therapy in female patients with dementia of the Alzheimer type: 7 case reports. *Dementia*, **6**: 99-107.1995.
21. Halliwell B., Gutteridge J.M.C.: Free radicals in biology and medicine 3rd ed. Oxford, *Oxford University Press*, pp140-163, 393-430.1999.
22. Toyokuni S.: Reactive oxygen species-induced molecular damage and its application in pathology. *Pathol. Int.*, **49**: 91-102.1999.
23. Takashi Nakamura, Yuka Itokawa, Masayuki Tajima, Yuuichi Ukawa, Kwang-Ho Cho, Jung-Sook

- Choi, Torao Ishida & Yeunhwa Gu.: Radioprotective Effect of *Lyophyllum Decastes* and the Effect on Immunological Functions in Irradiated Mice. *J. Tradi. Chi. Med.* **27** (1): 70-75.2007.
24. Fontanari P., Badier M., Guillot C., Tomei C., Burnet H., Gardette B., Jammes Y.: Changes in maximal performance of inspiratory and skeletal muscles during and after the 7.1-MPa Hydra 10 record human dive. *Eur. J. Appl. Physiol.*, **81**: 325-328.2000.
 25. Takeda T., Hosokawa M., Takeshita S., Irino M., Higuchi K., Matsushita T., Tomita Y., Yasuhira K., Hamamoto H., Shimizu K., Ishii M., Yamamuro T.: A new murine model of accelerated senescence. *Mech Ageing Dev.*, **17**: 183-194.1981.
 26. Takeda T., Hosokawa M., Higuchi K.: Senescence-accelerated mouse (SAM): a novel murine model of accelerated senescence. *J. Am. Geriatr. Soc.*, **39**: 911-919.1991.
 27. Takeda T., Hosokawa M., Higuchi K.: Senescence-accelerated mouse (SAM), A novel murine model of aging. In: *The SAM Model of Senescence* (Takeda T.,ed), pp15-22, Elsevier, Amsterdam.1994.
 28. Hosokawa M., Umezawa M., Higuchi K., Takeda T.: Interventions of Senescence in SAM Mice. *J. Anti-aging Med.*, **1**: 27-37.1998.
 29. Fujisawa H., Nishikawa T., Zhu B.H., Takeda N., Jujo H., Higuchi K., Hosokawa M.: Accelerated aging of dermal fibroblast-like cells from the senescence-accelerated mouse (SAM): acceleration of changes in DNA ploidy associated with in vitro cellular aging. *J. Gerontol. A Biol. Sci. Med. Sci.*, **53**: B11-B17.1998.
 30. Yagi H., Katoh S., Akiguchi I., Takeda T.: Age-related deterioration of ability of acquisition in memory and learning in senescence accelerated mouse: SAM-P/8 as an animal model of disturbances in recent memory. *Brain Res.*, **474**: 86-93.1988.
 31. Miyamoto M., Kiyota Y., Yamazaki N., Nagaoka A., Matsuo T., Nagawa Y., Takeda T.: Age-related changes in learning and memory in the senescence-accelerated mouse (SAM). *Physiol Behav.*, **38**: 399-406.1986.
 32. Miyamoto M., Kiyota Y., Nishiyama M., Nagaoka A.: Senescence-accelerated mouse (SAM):age-related reduced anxiety-like behavior in the SAM-P/8 strain. *Physiol Behav.*, **51**: 979-985.1992.
 33. Abe Y., Yuasa M., Kajiwarra Y., Hosono M.: Defects of immune cells in the senescence-accelerated mouse: a model for learning and memory deficits in the aged. *Cell Immunol.*, **157**: 59-69.1994.
 34. Powers D.C., Morley J.E., Flood J.F.: Age-related changes in LFA-1 expression, cell adhesion, and PHA-induced proliferation by lymphocytes from senescence-accelerated mouse (SAM)-P/8 and SAM-R/1 substrains. *Cell Immunol.*, **141**: 444-456.1992.
 35. Sánchez-Barceló E.J., Megias M., Verduga R., Crespo D.: Differences between the circadian system of two strains of senescence-accelerated mice (SAM). *Physiol Behav.*, **62**: 1225-1229.1997.
 36. Miyamoto M.: Characteristics of age-related behavioral changes in senescence-accelerated mouse SAMP8 and SAMP10. *Exp. Gerontol.*, **32**: 139-148. 1997.
 37. Morris R.: Developments of water-maze procedure for studying spatial learning in the rat. *J.Neurosci. methods*, **11**: 47-60 .1984.
 38. Mihara M., Uchiyama M.: Determination of malonaldehyde precursor in tissues by thiobarbituric acid test. *Anal. Biochem.*, **86**: 271-278.1978.
 39. Gu YH, Choi HJ, Yamashita T, Kang KM, Iwasa M, Lee MJ, Lee KH, Kim CH.: Pharmaceutical production of anti-tumor and immune-potentiating *Enterococcus faecalis*-2001 β -glucans: enhanced activity of macrophage and lymphocytes in tumor-implanted mice. *Current Pharmaceutical Biotechnology*, **18** (8): 653-661.2017.
 40. Park E.C., Yoon J.B., Seong J.S., Choi K.S., Kong E.S., Kim Y.J., Park Y.M., Park E.M.: Effect of ionizing radiation on rat tissue: proteomic and biochemical analysis. *Prep. Biochem. Biotechnol.*, **36**: 19-35.2006.
 41. Gu YH, Fujimiya Y, Itokwa Y, Oshima M, J Choi JS, Miura T, Ishida T.: Tumoricidal effects of beta-glucans: mechanisms include both antioxidant activity plus enhanced systemic and topical immunity. *Nutr Cancer*, **60** (5): 685-691, 2008.
 42. Gu YH, Takagi Y, Nakamura T, Hasegawa T, Suzuki I, Oshima M, Tawaraya H, NiwanoY.: Enhancement

- of radioprotection and anti-tumor immunity by yeast-derived β -glucan in Mice. *J Med Food*, **8** (2): 154-158, 2005.
43. Benzi G., Moretti A.: Are reactive oxygen species involved in Alzheimer's disease? *Neurobiol. Aging*, **16**: 661-674.1995.
 44. Thomas T., Thomas G., McLendon C., Sutton T., Mullan M.: β -Amyloid-mediated vasoactivity and vascular endothelial damage. *Nature*, **380**: 168-171.1996.
 45. Yagi K., Komura S., Sasaguri Y., Yoshino K., Ohishi N.: Atherogenic change in the thoracic aorta of the senescence-accelerated mouse. *Atherosclerosis*, **118**: 233-236.1995.
 46. Gu YH, Park SR, Hasegawa T, Koike M.: Antihypertensive effect of *Lyophyllum decastes* Sing in spontaneously hypertensive rats. *Int J Med Mus.*, **3** (1): 103-110. 2001.
 47. Coleman P.D., Flood D.G.: Neuron numbers and dendritic extent in normal aging and Alzheimer's disease. *Neurobiol. Aging*, **8**: 521-545.1987
 48. Arai H., Kosaka K., Iizuka R.: Changes of biogenic amines and their metabolites in postmortem brains from patients with Alzheimer-type dementia. *J. Neurochem.*, **43**: 388-393.1984.
 49. Smirne S., Franceschi M., Truci G., Camerlingo M., Pirola R., Ferini-Strambi L., Bareggi S.R.: Homovanillic acid and 5-hydroxyindoleacetic acid modifications in CSF of patients with stroke and multi-infarct dementia. *Stroke*, **16**: 1003-1006.1985.
 50. Gu YH, Hasegawa T, Suzuki I, Hayashi I, Ahn KS, Twaraya H.: A study of the radioprotection effect of macroglucan (β -1-3 glucan) on fetuses of ICR mice. *J Ori Med.*, **5** (1): 63-70, 2000.
 51. McNaughton B. L., Leonard B., Chen L.: Cortical hippocampal interactions and cognitive mapping: A hypothesis based on reintegration of the parietal and inferotemporal pathways for visual processing. *Psychobiology*, **17**: 230-235.1989.
 52. Brun V. J., Otnaess M. K., Molden S., Steffenach H. A., Witter M. P., Moser M. B., Moser E. I.: Place cells and place recognition maintained by direct entorhinal-hippocampal circuitry. *Science*, **296**: 2243-2246.2002.
 53. Morris R. G. M., Anderson E., Lynch G. S., Baudry M.: Selective impairment of learning and blockade of long-term potentiation by an N-methyl-D-aspartate receptor antagonist, AP5. *Nature*, **319**: 774-776.1986.
 54. Riedel G., Micheau J., Lam A. G., Roloff E. L., Martin S. J., Bridge H., de Hoz L., Poeschel B., McCulloch J., Morris R. G.: Reversible neural inactivation reveals hippocampal participation in several memory processes. *Nat. Neurosci.*, **2**: 898-905.1999.
 55. Miyazaki H., Okuma Y., Nomura J., Nagashima K., Nomura Y.: Age-related alterations in the expression of glial cell line- derived neurotrophic factor in the senescence- accelerated mouse brain. *J. Pharmacol. Sci.*, **92**: 28-34.2003.
 56. Yuka Itokwa, Aki Kozu, Takashi Nakamura, Takashi Masubuchi, Jung-Sook Choi, Toshihiro Miura, Torao Ishida, Yeunhwa Gu.: Cerebral Hormones and Periodic Effect on Alzheimer's Syndrome in Lysolecithin. *J. Tradi. Chi. Med.* **27** (3): 212-219. 2007.

連絡先 : 具 然和

純真学園大学保健医療学部放射線技術科学科
〒 815-8510 福岡県福岡市南区筑紫丘 1 丁目 1-1
TEL :092-554-1255
e-mail : gu.y@junshin-u.ac.jp

乳酸菌が醸す発酵食品の世界

—製造過程における乳酸菌の役割と機能—

中川 智行 (NAKAGAWA Tomoyuki)*

* 岐阜大学 応用生物科学部

Key Words：乳酸菌 発酵食品 微生物叢変遷

はじめに

私たちは毎日、知ってか知らずで、様々な発酵食品を口にしている。朝食の場合、和食では大概、一杯のみそ汁から始まり、漬物を頬張りながら、納豆に醤油を垂らしてご飯を掻き込む。一方、洋食では、焼きたてのパンをかじりながら、ヨーグルトを食べる。このありふれた朝食のうち、和食では少なくとも「味噌」、「漬物」、「納豆」、「醤油」が、洋食でも「パン」、「ヨーグルト」は共に微生物の恵みである発酵食品である。また、夜が更けて晩酌を楽しむのが日課の方も多いだろう。もちろん、ビール、ワイン、日本酒などの「酒類」も発酵食品の一つであり、その肴として食する「チーズ」や「発酵サラミ」、通が好む「くさや」や「鮎寿司」などもまた発酵食品である。このように、世の中には様々な発酵食品が存在し、それを醸している微生物も多種多様である。つまり、私たちの食卓は朝から晩まで微生物の恩恵なしでは語ることができない「微生物ワールド」なのである。

もちろんこれら発酵食品は、昨日、今日のうちに、突然現れたものではなく、太古の昔から私たちの祖先が試行錯誤を繰り返すことで身につけてきた術であり、現在まで伝承してきた先人たちの英知の結晶といっても過言ではない。しかし、私たちの先祖は微生物の存在を知る由

もなく、それぞれの土地の気候風土に応じて経験的に腐敗菌の増殖を抑え、特定の有用微生物を優先的に生育させる方法を身につけてきたといえる。つまり食品の発酵とは、その発酵過程で能力を発揮させたい有用微生物たちに、いかに心地よく働いてもらうか、また発酵過程で不必要な微生物をいかに排除するか、その仕組みを構築することである。

一方、発酵食品と切ってもきれない関係にある最もポピュラーな微生物群は、現在、巷を賑わせている「乳酸菌」である。乳酸菌は「ヨーグルト」、「チーズ」だけでなく、「味噌」、「漬物」、「醤油」、ときには「パン」や「酒類」の発酵にも関与するなど、ほとんどの発酵食品の製造過程に顔を見せる発酵界のリーダー的存在ともいえよう。本稿では、この「乳酸菌」について解説し、それぞれの発酵食品の製造過程における役割と、最後に筆者らの「紀州なれずし」の発酵過程における菌叢解析の研究を紹介したい。

1. 乳酸菌とは…

近年、発酵食品のプロバイオティクスとしての機能が巷を賑わせている。特に乳酸菌では「免疫力を高め、インフルエンザを予防する働き」、「2型糖尿病の発症リスクを下げる働き」、「がんの発症リスクを下げる働き」などなど、様々

なプロバイオティクスとしての機能を持つ多様な乳酸菌株たちが見出され、それを活用した商品を私たちは手に入れることができる。このように、乳酸菌の持つプロバイオティクスとしての機能は魅力的で大変興味深く、多くの皆さんがその機能をご存知であろう。一方で、どのような微生物が乳酸菌と呼ばれているか、その分類学的な位置付けはご存知だろうか？実は、乳酸菌の位置付けは非常に単純で、嫌氣的に消費したグルコース量に対して 50% 以上の乳酸を生産するグラム陽性細菌群の総称となっている、つまり、ただ単に乳酸をたくさん作る細菌たちを乳酸菌と呼んでいるだけである。よって乳酸菌とは桿菌も球菌も含む多種多様な細菌群の総称であり、現在、その分類は 6 科 35 属にもまたがる¹⁾。

ということは、「乳酸を作る」というだけで仕分けされている乳酸菌群には多様な乳酸発酵経路が存在するのではと想像してしまう。しかし、乳酸菌による乳酸発酵経路は意外とシンプルで、大きく二つのタイプに分けられる。一つは 1 分子のグルコースから 2 分子の乳酸を生成する「ホモ乳酸発酵」、もう一つはグルコースから 1 分子の乳酸とエタノール、CO₂ を生産する「ヘテロ乳酸発酵」である（図 1）。もちろんホモ乳酸発酵の方が乳酸生成量は多く、ヘテロ乳酸菌は発酵中に CO₂ とエタノールを生産してしまうため密閉容器中での発酵には適さないなど、乳酸菌の産業利用を考える上で乳酸発酵形式は極めて重要な性質の一つといえる。

一方、近年、「植物性乳酸菌」と「動物性乳酸菌」という用語をよく耳にする。「植物性乳酸菌」とは植物から分離されやすく、植物質を

発酵する乳酸菌の総称で、逆に動物に由来する乳酸菌は「動物性乳酸菌」と呼ばれている。しかし、植物性乳酸菌はヒト腸内からも単離され、動物性乳酸菌が植物体からも単離されるなど、ただ単に分離源から乳酸菌を分類すると様々な弊害が出てきてしまう。よって学術的には「植物性乳酸菌」、「動物性乳酸菌」という分類はあまり意味をなさないとの意見もあるようだ。しかし、特定の乳酸菌種の植物との相性、ミルクとの相性は筆者も経験上、存在するように感じており、さらには植物性乳酸菌の詳細な解説を拝読するとその定義も納得できる²⁾。よって、彼らの能力をしっかりと吟味した上で上手に使いたい用語の一つである。

2. 様々な発酵食品の製造過程における乳酸菌の役割

先述のように、乳酸菌はほとんどの発酵食品の製造過程に顔を見せる発酵食品のリーダー的存在と記したが、ではこれらの発酵過程で乳酸菌が担う役割はなんなのだろうか。もちろん、それぞれの発酵食品において働く乳酸菌は異なり、その能力も千差万別である。ただ、確実にほとんど全ての発酵食品に共通する乳酸菌の役割はもちろん「乳酸の生産」である。当たり前のことではあるが、乳酸菌が主要な菌叢になることで彼らが乳酸を大量に生産する、これが発酵食品の生産段階において最も重要なステップとなっている場合が多い。乳酸は電離度が低い弱酸であり、酢酸、クエン酸などとともに食品の変敗を防止する作用があることが古くから知られてきた³⁾。酸は、非解離型の弱酸の方が解離型よりも細胞膜透過性が高いため、弱酸であ

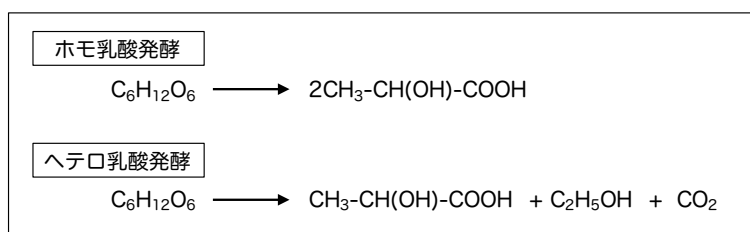


図 1 乳酸菌の乳酸発酵形式

る乳酸は強酸よりも微生物細胞内に侵入しやすく、侵入した乳酸は細胞内で H^+ イオンを放出することで強い抗菌性を示すことになる³⁾。

一方、微生物は自身がその環境で優先種になるために、抗生物質や抗菌ペプチドなど、他の生物の生育を抑制する物質を生産することがある。乳酸菌も様々な抗生物質を生産することが知られており、特に抗菌ペプチドであるバクテリオシンを生産する様々な乳酸菌種が報告されている⁴⁾。もちろん発酵食品からもバクテリオシンを生産する様々な乳酸菌株がたくさんスクリーニングされており⁵⁻⁷⁾、これら乳酸菌が発酵食品の菌叢構築に一役買っていることが推測できる⁴⁾。

つまり、これら「乳酸菌の持つ抗菌作用」が、乳酸菌に関わる全ての発酵食品に共通する一つの機能であり、発酵食品の「保存性」のほとんどはこれらの抗菌作用に由来するといえる。

3. 発酵食品の発酵過程で乳酸菌が示すリーダーシップと協調性

発酵食品に関わる微生物は多種多様であり、ほとんどの発酵食品は複合菌叢の変遷により発酵し、熟成する。つまり発酵食品では、その発酵に必要な微生物たちのみを選別し、かつ彼らを正しい順番通り発酵過程に登場させねばならない。その登場人物たち（微生物）をまとめ上げ、その方向性を示しているのが乳酸菌であるのかもしれない。以下にその例を示す。

3-1. 乳酸菌と酵母が共同で醸す発酵食品

乳酸菌が生産する乳酸やバクテリオシンは細菌に対して抗菌作用を示すが、酵母やカビなどの真菌類には比較的抗菌作用を示さない³⁾。このことは非常に重要な性質であり、様々な発酵食品において乳酸菌と酵母が共生する事例が多数ある⁸⁾。日本酒醸造では生酛造りにおいては、*Leuconostoc mesenteroides* や *Lactobacillus sakei* などの乳酸菌が乳酸を生成することで野生酵母や細菌の繁殖を抑え、清酒酵母が優占

に生育できる環境を整えているのみならず、不飽和脂肪酸を消費して酵母の環境適応に貢献している⁹⁾。また、味噌・醤油づくりでも、もろみ中で耐塩性乳酸菌 *Tetragenococcus halophilus* が優占種として生育し、その後、耐塩性酵母 *Zygosaccharomyces rouxii* が活躍するが、清酒酵母と乳酸菌のように相思相愛ではなく、両者の関係は微妙なようで、その存在バランスが醤油の風味を左右する¹⁰⁾。さらには、福山酢のもろみ中でも酵母と乳酸菌、酢酸菌が同時に存在することもあるようで、三者の絶妙な共生により伝統的な福山酢が醸されていることがわかる⁴⁾。

また、パンの製造でも乳酸菌と酵母の共生を見ることができる。欧州のパネトーネや北米のサンフランシスコサワーなど、サワーブレッドと呼ばれるものがそれに当たる。これらサワーブレッドでは、スターターに乳酸菌と酵母を用いたサワー種を用いることで、独特の風味と酸味を持った特徴的なパンが作られ、その保存性が高められる¹¹⁾。イタリア北部で作られる伝統的なパネトーネでは *Lb. sanfranciscensis* が主要乳酸菌として酵母と共発酵している^{12,13)}。

その他、ワインのマロラクティック発酵やケフィアなど、その発酵過程で乳酸菌と酵母が共生する発酵食品は多数あり、このようなことから酵母と乳酸菌の相性の良さを垣間見ることができる。この両者の良好な関係は、上述のように乳酸菌が乳酸を作ることで、比較的乳酸に強い酵母に対して居心地の良い環境を提供している上、酵母の生産するアルコールとともににより雑菌の混入を抑えている、つまり酵母と乳酸菌が共同で砦を守っていると考えられる。また、乳酸菌は栄養要求性が高く、酵母から様々な栄養素を受け取ることで共生関係を結んでいるとも考えられ⁴⁾、両者がお互いを認め合い、うまく利用し合っていると思われる。

3-2. 乳酸菌－乳酸菌の協力関係が垣間見えるヨーグルト発酵

発酵食品の発酵過程で乳酸菌が協力関係を結んでいるのは酵母だけではない、乳酸菌同士で

手を組んで発酵過程を進めているケースもある。

ヨーグルトはその典型的な例で、国連食糧農業機関・世界保健機構（FAO/WHO）により設立された国際政府間機関「コーデックス委員会」では「*Lb. delbrueckii* subsp. *bulgaricus* と *Streptococcus thermophilus* の2種類の乳酸菌の共生作用で乳を発酵させて生産したものをヨーグルトとする」と規定されている¹⁴⁾。両者をスターターとして用いた場合、非常に面白い挙動を示すことが知られている。ヨーグルトの発酵初期では、*Stc. thermophilus* のみが顕著に増殖し、その後 pH が 5.5 ～ 5.0 に低下するともう一つの乳酸菌 *Lb. bulgaricus* も増殖してくる¹⁵⁾。これは両者が共生関係にあり、*Stc. thermophilus* は *Lb. bulgaricus* にギ酸、CO₂ などを供給し、*Lb. bulgaricus* は *Stc. thermophilus* にペプチドとアミノ酸を供給することで、お互いの生育を促進している^{16, 17)}。また、近年、*Stc. thermophilus* が NADH 酸化酵素によりミルク中の溶存酸素を消費し、嫌気状態を確立することで発酵環境を整え、満を持して *Lb. bulgaricus* とヨーグルト発酵を行なっていることが分かってきた^{15, 18)}。さらに、彼らは生育に必要な物質の供給のみならず、共生の過程で生育に必要な遺伝子まで水平伝播にて交換しているようである¹⁹⁾。

このようにヨーグルト発酵における *Stc. thermophilus* と *Lb. bulgaricus* の関係は非常に親

密で、お互いなくてはならないパートナーとして共生関係を結んでいることがうかがえる。

3-3. 「紀州なれずし」の発酵過程における乳酸菌達の役割

最後に筆者たちの研究について少し触れさせていただく。筆者の出身地、和歌山県日高地方では現在でも秋祭の際、各家庭で鯖の「なれずし」を作り、それを振る舞う習慣がある。私の実家でも毎年、秋祭のシーズンに母が鯖のなれずしを仕込む。子供の頃、あの独特の風味が苦手だった思い出があるが、歳をとるとともに現在、あの味に美味しさを感じている、ヒトの味覚とは不思議なものである…。

なれずしとは、主として魚介類、ときには鳥獣肉を主材料として、それに塩と米飯を混ぜ、乳酸発酵した保存食で、主に東南アジア、東アジアに分布し、世界の他の地域では見られない独特な発酵食品である²⁰⁾。日本では、なれずしが現在の一般的な「寿司」の原型といわれ、琵琶湖の「鮒ずし」をはじめ、北海道・東北の「いずし」、加賀の「かぶらずし」、岐阜、三重、兵庫などの「鮎ずし」、紀伊半島の「なれずし」など、現在でもたくさんのなれずしが郷土料理として現存し、その発酵を支える菌叢の解析が多数行われている²¹⁻²⁴⁾。このような中、私自身、微生物屋として母の作る「鯖のなれずし」の菌叢に興味を持ち、ある時「紀州なれずし」の解

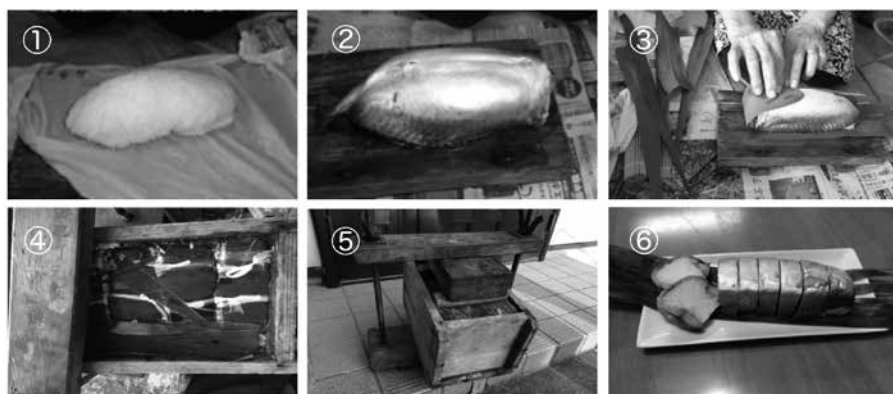


図2 紀州なれずしの製造過程

①-② 塩漬け - 塩抜きをした鯖を米飯の上にのせる、③-④ アセの葉で包み、桶に隙間なく詰める、⑤ 重石をし、5日間、室温で発酵させる、⑥ 完成品。

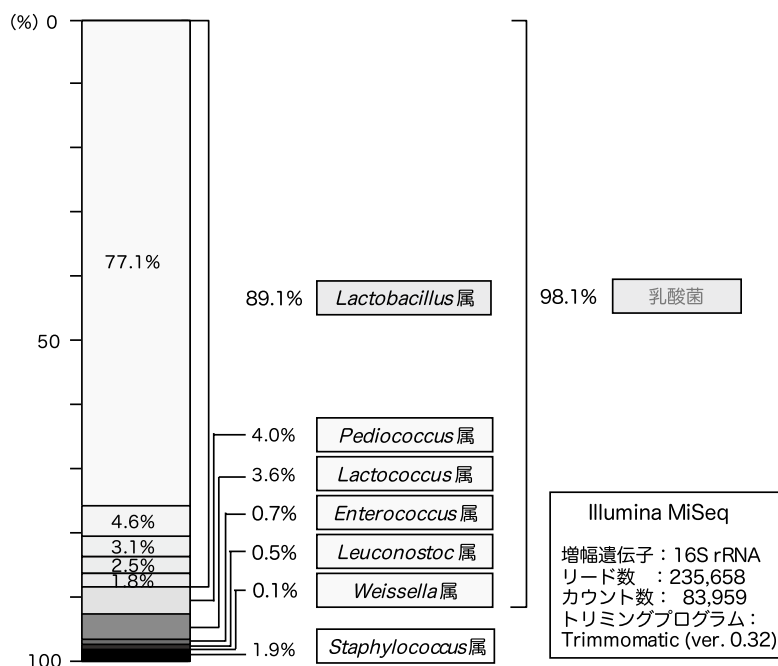


図3 紀州なれずしの発酵5日目の菌叢解析

析を行うことが私の応用微生物学者としての使命では?と感じてしまった。

紀州日高地方のなれずしの製造方法は、材料である鯖を塩漬けにし、その後、塩抜きをしたあと、米飯に乗せて、アセの葉に包んで桶に詰めて重石をする(図2)。発酵は室温で5日程度行うのが「早なれ」、10日以上発酵させるのが「本なれ」と呼ばれ、中には数十年も熟成させたなれずしもあるという。筆者の母が作るなれずしは、一般的な「早なれ」であり、その発酵過程における菌叢を16S rRNAメタゲノム解析を用いて観察した。その結果、発酵開始時には総菌数のうち乳酸菌の割合は1/4程度であったが、5日目には9割以上が乳酸菌に置き換わっており、その主要菌種は*Lb. plantarum*であった(図3)²⁵⁾。また、乳酸菌の発酵菌叢における経時変化を追跡したところ、発酵初期は乳酸球菌の*Lactococcus*属が登場し、その後、発酵が進むと乳酸桿菌の*Lactobacillus*属が顕著に増加した(未発表データ)。また、発酵初期に現れる*Lc. lactis*と発酵後期に現れる*Lb. plantarum*の混合培養を行ってみると、好気条

件下では*Lc. lactis*が優占的に生育するが、静置培養では*Lb. plantarum*が独占的に生育した(未発表データ)。つまり、なれずしの発酵においても、ヨーグルト菌叢と同じく球菌から桿菌への乳酸菌変遷が起こり、その鍵因子はどれも「酸素」のようである。

なれずしの発酵過程の解析は、まだまだ道半ばではあるが、その発酵過程を紐解くことで伝統的発酵食品の魅力を再発見できるのではと考えている。

おわりに

本稿では「乳酸菌が醸す発酵食品の世界－製造過程における乳酸菌の役割と機能－」と題して、様々な発酵食品の製造過程における乳酸菌の役割と機能を簡単に紹介した。世間では、「発酵食品は体に良い」と発酵食品を全一括りで語っているが、もちろん発酵食品の製造過程は千差万別で、そこでメインに働く微生物もまた多種多様であるので、全ての発酵食品を同じ土俵で比較することはできない。ただ、大多数の発酵食品において乳酸菌たちがそれぞれの

発酵過程をリードし、腐敗菌を排除するだけではなく、他の有用微生物たちの能力を引き出しているようである。このように発酵食品の発酵過程にもそれぞれの微生物の思惑と生き様が見え隠れし、多くの発酵食品で発酵微生物を統率し、まとめ上げている乳酸菌種の働きはとても興味深い。もちろん発酵食品のプロバイオティクスとしての機能もとても興味深いが、上記のような「発酵食品を醸す微生物たちの筋書きのあるドラマ」に目を向け、これまでの歴史で築

き上げてきた英知の結晶「発酵」を理論的に知ること、また先人たちの偉大さと発酵食品の面白さを再認識できるかもしれない。

やはり、今回も発酵食品を醸してくれる様々な微生物達に感謝しつつ、様々な蘊蓄（うんちく）を傾けながら発酵食品を肴に美味しいお酒を楽しみたいものである、もちろん微生物たちのプロバイオティクスとしての機能による「メタボからの脱出！」にも期待しつつ…。

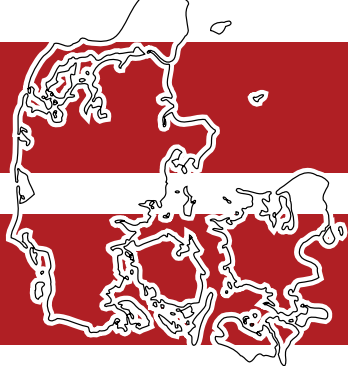
参考文献

1. 平山 洋佑, 遠藤 明仁: 乳酸菌分類の現在とビフィズス菌・乳酸菌分類小委員会が提言した新規乳酸菌種提唱のための最少基準. 腸内細菌学雑誌. **30**: 17-28. 2016.
2. 岡田 早苗: 植物性乳酸菌世界とその秘める可能性. 日本乳酸菌学会誌. **13**: 23-36. 2002.
3. 内藤 茂三: 食品工場の微生物制御への有機酸の利用技術. サナッテクメールマガジン. <http://www.mac.or.jp/mail/120401/03.shtml>. 2012.
4. 善藤 威史, 石橋 直樹, 園元 謙二: 乳酸菌バクテリオシンの探索と利用. 日本乳酸菌学会誌. **25**: 24-33. 2014.
5. Sawa N, Zendo T, Kiyofuji J, *et al.*: Identification and characterization of lactocyclicin Q, a novel cyclic bacteriocin produced by *Lactococcus* sp. strain QU 12. *Appl Environ Microbiol.* **75**: 1552-15528. 2009.
6. Masuda Y, Ono H, Kitagawa H, *et al.*: Identification and characterization of leucocyclicin Q, a novel cyclic bacteriocin produced by *Leuconostoc mesenteroides* TK41401. *Appl Environ Microbiol.* **77**: 8164-8170. 2011.
7. Kimura H, Nagano R, Matsusaki H, *et al.*: A bacteriocin of strain *Pediococcus* sp. ISK-1 isolated from Nukadoko, bed of fermented rice bran. *Biosci Biotechnol Biochem.* **61**: 1049-1051. 1997.
8. 古川 壮一, 片倉 啓雄: 乳酸菌と酵母の共存と共生. 生物工学. **90**: 188-191. 2012.
9. 溝口 晴彦: 生酏の乳酸菌叢と生酏造りの品質特性. 日本醸造協会誌. **108**: 382-388. 2013.
10. 田中 昭光: しょうゆ醸造での乳酸菌の働き. 生物工学. **85**: 196. 2007.
11. 仲田 弘明, 長谷川 秀樹, 櫻井 博章, 他: 製糖工程から分離した乳酸菌を用いたサワーブレッドの風味と防カビ性能. 日本食品科学工学会誌. **57**: 85-90. 2010.
12. Picozzi C, Bonacina G, Vigentini I, *et al.*: Genetic diversity in Italian *Lactobacillus sanfranciscensis* strains assessed by multilocus sequence typing and pulsed-field gel electrophoresis analyses. *Microbiology.* **156**: 2035-2045. 2010.
13. Maruyama Y, Okada S: Microorganisms involved in the fermentation process of panettone sourdough maintaining in Japan. *Food Preserv Sci.* **32**: 59-66. 2006.
14. 日本乳酸菌学会編: 乳酸菌とビフィズス菌のサイエンス. 京都大学学術出版会, 京都. 2010.
15. Sasaki Y, Horiuchi H, Kawashima H, *et al.*: NADH oxidase of *Streptococcus thermophilus* 1131 is required for the effective yogurt fermentation with *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* 2038. *Biosci Microbiota Food Health.* **33**: 31-40. 2014.
16. 佐々木 泰子: “乳酸菌”に魅せられて一乳酸菌研究 30 年の流れを振り返ってー日本乳酸菌学会誌. **27**: 167-175. 2016.
17. 小田 宗宏: ヨーグルトと微生物. モダンメディア. **62**: 367-374. 2016.
18. 佐々木 泰子: ヨーグルトを造る乳酸菌共生発酵研究の最近の知見. 日本乳酸菌学会誌. **26**: 109-117. 2015.
19. Liu M, Siezen RJ, Nauta A: In silico prediction of horizontal gene transfer events in *Lactobacillus bulgaricus* and *Streptococcus thermophilus* reveals protocoeoperation in yogurt manufacturing. *Appl Environ Microbiol.* **75**: 4120-

4129. 2009.
20. 石毛 直道：東アジア・東南アジアのナレズシ：魚の発酵製品の研究 (2). 国立民族学博物館研究報告. **11**: 603-668. 1986.
 21. Matsui H, Saka E, Isobe Y, *et al.*: Comparison of the bacterial community structures of *Ayu-narezushi* produced by two different manufacturers. *Biocontrol Sci.* **15**: 63-68. 2010.
 22. Matsui H, Tsuchiya R, Isobe Y, *et al.*: Analysis of bacterial community structure in *Saba-Narezushi* (*Narezushi* of *Mackerel*) by 16S rRNA gene clone library. *J Food Sci Technol.* **50**: 791-796. 2013.
 23. Koyanagi T, Kiyohara M, Matsui H, *et al.*: Pyrosequencing survey of the microbial diversity of 'narezushi', an archetype of modern Japanese *sushi*. *Lett Appl Microbiol.* **53**: 635-640. 2011.
 24. Koyanagi T, Nakagawa A, Kiyohara M, *et al.*: Pyrosequencing analysis of microbiota in *Kaburazushi*, a traditional medieval *sushi* in Japan. *Biosci Biotechnol Biochem.* **77**: 2125-2130. 2013.
 25. Nakagawa T, Kawase T, Hayakawa T: Analysis of bacterial biota determined using MiSeq sequencing and culture-based investigations in *Kishu saba-narezushi* (*mackerel narezushi*). *Food preserv Sci.* **42**: 243-246. 2016.

連絡先：中川 智行 (Tomoyuki Nakagawa)
 岐阜大学 応用生物科学部 応用生命科学課程
 〒 501-1193 岐阜市柳戸 1-1
 TEL&FAX 058-293-2927
 Email : t_nakaga@gifu-u.ac.jp

白石カルシウムの炭酸カルシウム	
	古くから食品に使用されている安全性・吸収性に優れたカルシウム源です。用途も栄養強化はもちろんのこと、練製品の弾力増強などの品質改良、粉体の流動性向上・固結防止といった加工助剤などその目的は多彩です。
分散性・混合性に優れたものや、飲料用として沈殿を抑制したタイプ等、品揃えております。 一般の栄養強化には「ホワイトン」 機能を求めるならば「コロカルソ」 飲料用には、スラリー状の「カルエッセン」 詳細につきましては弊社営業担当にお気軽にお尋ねください。	
 白石カルシウム株式会社	食品部：東京都千代田区岩本町1-1-8 TEL03-3863-8913 本社：大阪市北区中之島2-2-7 TEL06-6231-8265



デンマークのアルコール

以前、デンマークのビールにまつわる話を紹介したことがありますが、今回はアルコール全般を含めた話を紹介したいと思います。

デンマークは北欧の寒い国で、きっとアルコール消費也多そうだ。というのが一般的な見方だと思います。しかしデンマークではアルコールといってもロシアでウォッカを飲むイメージや、フランスで水より安いワインを飲むイメージとは違う、アルコール文化があります。

まず、アルコールは何歳になると飲み始めるか？についてですが、日本のようにはっきりとした年齢への認識はなく、アルコールを購入できる年齢が、アルコール解禁年齢として人々に認識されています。アルコール度数の弱いビールなどは、16歳から購入が可能で、度数の高いハードリカー類は、18歳から可能です。スーパーなど、アルコールを購入できる場所に行くと、度数16.5%以下は16歳、それ以上は18歳と書かれているのを目にします。デンマークで16歳というと、通常は中学3年生なので、中学時代からビールなどのお酒はオッケーとされる国なのです。しかし、その年齢よりも早く飲み始める青少年も多く、若年層のアルコール問題は、中学校の保護者会などでもよく議論される話題です。

さて、デンマークの日常生活でよく登場する主なアルコールについてですが、ビールは青少年にも消費される一番身近なアルコールで、スーパーなどで手軽に買うことができます（ビールの自動販売機は存在しない）。缶ビールや瓶ビールを購入する時は、その価格にPANT料金が込まれているので価格が大きく違い、注意が必要です。PANT料金というのは、飲み終わった後に、缶や瓶を



弱いお酒は16歳から、強いお酒は18歳から購入できることを示してある（スーパーのレジで）



スーパーでは手軽にビールが買える



贈り物としてのワイン



食事会，たくさんのワイングラスが並び，コース料理のそれぞれの料理にあったワインを楽しむ

リサイクル機に入れると戻ってくるお金のことです。1つの缶や瓶につき1クローネほど(16円くらい)返ってくる料金が価格に含まれて販売されています。

また、ビール以外のアルコールで主なものといえば、ワインかと思いますが、デンマーク産のワインもありますが、やはり主流ではありません。日本同様、フランスやイタリアなどヨーロッパ産のものや、南北アメリカ産などが主流です。そしてワインは、様々なシーンに欠かせません。冠婚葬祭の食事会や、贈り物としてのワイン(会社で支給されるクリスマスプレゼントにはよくワインが入っている)など、日常生活のいたるところに登場します。家でワインを日常的に飲む(毎日飲む人も少なくない)ことも珍しいことではないため、普通のスーパーでもワインの取り揃えが充実しているところが結構あります。

さらに、ビールやワイン以外では、デンマーク産のハードリカーもデンマークのアルコール文化に欠かせないお酒です。まず Gammel Dansk(ガメルダンスクと発音)は、苦味と臭みの強いアルコールで、ビターズと言われる、香辛料や薬草などを使って作られたアルコールの一種です。Gammel Dansk はデンマークを代表するハードリカーなので、空港などでもたくさん陳列されています。また、Snaps というハードリカーもデンマークを代表するお酒で、これはジャガイモを原料にして製造したお酒であるアクアビットの一種です。Gammel Dansk や Snaps は、もちろん18歳以上でないと購入できない強いお酒ですが、これらのお酒は特にパーティーには欠かせません。デンマークのパーティーは長時間に渡ることが多く、パーティーの中盤くらいからは、これらのハードリカーが登場し、終盤になるとベロベロに酔った人も続出する、という具合です。デンマーク人は、飲んで顔にあまり出ない人が多いですが(日本人のように顔が赤くなったりしない)、ハードリカーを飲み始めたら誰しも酔いが回ってパーティーを盛り上げる、ということなのかもしれません。

野山の花

— 身近な山野草の食効・薬効 —

城西大学薬学部 白瀧 義明 (SHIRATAKI Yoshiaki)

ウツボグサ *Prunella vulgaris* L. var. *linalacia* Nakai (=*P. vulgaris* L. subsp. *asiatica* (Nakai) H.Hara) (シソ科 Labiatae APG : Lamiaceae)

連絡先：城西大学薬学部生薬学教室
shiratak@josai.ac.jp

しとしと雨の降る6月、梅雨の晴れ間に野山を歩いていると道端などで紫色の小さな花を穂状に付けた草本を見かけます。これがウツボグサです。本植物は高さ約20～30cmの多年生草本で、東アジア温帯地域に分布し、日本各地の低山、野原や丘陵の道端など、日当たりのよい山野の草地に群生します。匍匐性で、高さ10～30cm、茎は4月頃に地表を這うように伸ばし、直立またはやや斜めに立ち、茎の断面は四角形、葉は披針形で対生し、全体に細かい毛が密生していますが、シソ科植物特有の芳香はありません。花期は5～7月、茎の先端に3～8cmの角ばった花穂をつけ、紫色の唇形花を穂の下から上へ順に咲かせます。花が終わる夏には花穂は暗褐色に変化し、枯れたように見えるところから夏枯草とよばれます。茎は根元から出て地面を這い、匍匐枝(ストロン)となり、その先に新しい苗ができます。和名は、円筒形の花穂の形が、その昔、武士が弓矢を入れて背中に背負った道具の鞆(鞆、笥)に似ていることに由来し、地方によっては、アブラグサ、クスリグサともよばれます。花穂を6～8月、花が終わり枯れかかる頃に採集し天日干しにしたものをカゴソウ(夏枯草 *Prunellae Spica*)といい、膀胱炎などに用いる夏枯草湯、夜に悪くなる眼球の痛みや涙のうきに用いる夏枯草散、涙のうきに用いる止涙補肝散などに配合されますが、漢方での使用はあまり多くなく、もっぱら民間で腎炎、膀胱炎、脚気などでむくみがあるときに、消炎利尿薬として用います。花穂や全草(葉や茎)の成分としてはトリテルペノイドの ursolic acid, oleanolic acid, betulinic acid, 2 α , 3 α , 24-trihydroxyolean-12-en-28-oic acid, フェノール化合物の rosmarinic acid, フラボノイドの rutin, hyperin (hyperoside), 抗 HIV 活性があるとされる多糖類の prunellin, タンニンや多量の塩化カリウムなどの無機塩類などが報告されています。塩化カリ



写真1 ウツボグサ(花) A

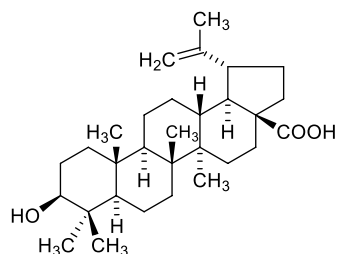
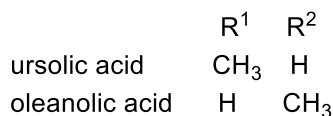
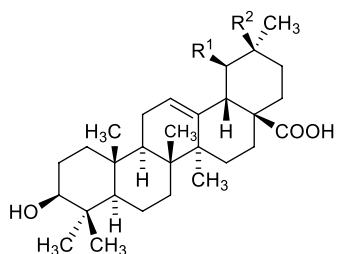


写真2 ウツボグサ(花) B

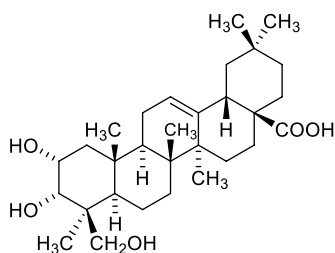


写真3 ウツボグサ (新芽)

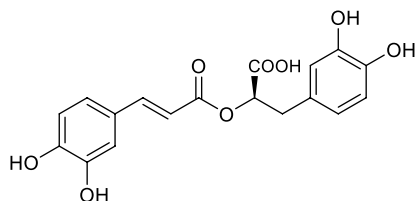
ウムなどの無機塩類には利尿作用があり、カリウムには体内の塩分（ナトリウム）を排出する作用があります。また、タンニンには消炎作用と組織細胞を引き締める収斂作用があり、煎液でうがいすることによって、口内炎、口内のはれもの、のどの痛み、扁桃炎などの腫れや痛みの緩和に役立ちます。中国では水分補給と利尿により疲労回復を促すものとして暑気払いに用い、また、ヨーロッパにおいても同属のタイリンウツボグサ *P. grandiflora* Jacq. はセルフヒール (self - heal) といい、肺病や胃腸の病に利用



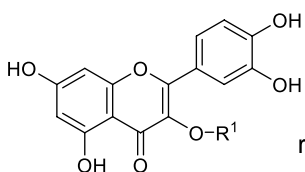
betulinic acid



2α, 3α, 24-trihydroxyolean-12-en-28-oic acid



rosmarinic acid



rutin
hyperin (hyperoside)

R¹
glucose⁶ - rhamnose¹
galactose

図1 成分の構造式



写真4 ウツボグサ（果実）A



写真5 ウツボグサ（果実）B

され、現在もハーブティとして用いられています。近縁の日本固有種に高山性のタテヤマウツボグサ *P. prunelliformis* (Maxim.) Makino があり、本植物はウツボグサのようにストロンを伸ばして新苗が誕生せず、根茎は切れずに年々、数珠のように連なって伸びていきます。



写真6 生薬：カゴソウ（夏枯草）

成熟がニジマスの臓器や体成分に及ぼす影響－ 2.

発達，完熟，過熟

酒本 秀一 (SAKAMOTO Shuichi)

連絡先：email：si290347-5313@tbz.t-com.ne.jp

Key Words：ニジマス 精巢 卵巣 成熟 放精 排卵 過熟 臓器体重比 体成分

初期体重約 700g のニジマスを 6 月 14 日から 9 月 6 日まで約 3 カ月間 4 段階のカンタキサンチンを含む飼料で飼育し，その間定期的に各区から 5 尾ずつ魚をサンプリングして成熟初期の生殖腺発達程度が臓器の状態や体成分に及ぼす影響を調べた結果を前報¹⁾で説明した。

結果は以下の通りであった。

- ・精巣体重比が 9% 以下，卵巣体重比が 7% 以下の成熟初期には未だ肥満度（体重 × 100 / 尾叉長³⁾）に影響は及ばない。
- ・雄では精巣体重比が大きくなるに従って肝臓体重比が小さくなる傾向が認められるが，個体差が大きい。雌では卵巣体重比と肝臓体重比の間に相関は認められない。
- ・生殖腺の大きさに拘らず雌の方が肝臓体重比と腹腔内脂肪蓄積組織体重比が大きい。
- ・背肉の色素量（総カロチノイド含量）と色彩色差計による測色値との関係は雌雄でやや違っている。背肉の脂質含量の違いが測色値に影響を及ぼしている可能性が有る。
- ・精巣体重比が 5%，卵巣体重比が 3% 以下であれば，体重 100g 当りの投与色素量と背肉の色素量との間に雌雄共 $Y=AX+B$ ， X ：投与色素量， Y ：背肉色素量の強い正の相関が認められる。それ以上に生殖腺が発達すると雌雄共個体差が大きくなり，相関は弱くなる。

・体重 100g 当りの投与色素量と背肉色素量との関係式 $Y=AX+B$ の傾き A は雄の方がやや大きい。これは雌雄の体重差による摂餌量の違いに起因するものと思われる。

・飼料から供給される色素量に拘らず一定量の色素が優先的に卵に送られている。これは卵における色素の重要性を示すものと思われる。

本報告では前報¹⁾の成熟初期の影響に引き続き，生殖腺がさらに発達して完熟，過熟へと進行した場合に臓器や体成分にどのような影響を及ぼすのかを調べた。また，組成の異なる 2 種類の飼料を与え，生殖腺が急速に発達する時期以降に与えた飼料がどのような効果を有するかも同時に調べた。

1. 方法

1-1. 試験区と飼料

試験区は前報¹⁾の試験から継続して飼育した A-D の 4 区である。9 月 6 日まで各区には魚粉 45.5，白糠 27.5，脱脂大豆粕 13.0，小麦粉 7.8，グルテンミール 4.0，ビタミン・ミネラル混合 1.2，ビール酵母 1.0% よりなる基本飼料にカロフィルレッド（カンタキサンチンの 10 倍散でロッシュ社製）を 0.025（A 区），0.05（B 区），0.075（C 区）および 0.10%（D 区）添加した肉色改善試験用飼料を与えていた。9 月 7 日から

表1 飼料の分析値

飼料	育成用	親魚用
水分 (%)	8.7	8.3
タンパク質	44.7	47.9
脂質	5.9	7.1
炭水化物	28.6	22.5
灰分	9.0	10.0
総カロチノイド (mg/100g)	1.627	2.688

与える飼料を変更し、A区とD区には市販のニジマス育成用飼料、B区とC区には市販の親魚用飼料を与え、翌年の1月11日まで継続して飼育した。両飼料共直径約8mmのハードペレット²⁾であった。

育成用飼料と親魚用飼料の分析値を表1に示す。育成用飼料に比べて親魚用飼料は魚粉、小麦粉、ビタミン・ミネラル混合、ビール酵母の配合割合が多く、白糖、脱脂大豆粕、グルテンミールが少ない。また、親魚用飼料にはカロフィルレッドが0.025%添加してある。この配合組成の違いが分析値に反映し、親魚用飼料の方がタンパク質、脂質および総カロチノイド含量が高く、炭水化物含量が低かった。

1-2. 飼育条件

飼育条件は肉色改善試験³⁾で報告した通りで、水槽は室内に設置された水量5KLのコンクリート製八角池、水温は14℃で一定であった。給餌は日に2回行ったが、雌雄共成熟が進行すると次第に摂餌量が減少し、最終的に摂餌しなくなる。同じ池の中には成熟段階が異なる魚が混在している。給餌量を未成熟段階の魚に合わせると食べ残し、無駄であるばかりでなく池を汚す原因にもなる。よって、摂餌状態を観察しながら手撒きでゆっくりと給餌し、食べなくなった段階で給餌を打ち切った。このため、各区の給餌量は分かるが、各個体の摂餌量は計算出来ない。

飼育期間中雌雄共に少数ながら生殖腺が未発達で今期には成熟しない個体も認められたが、

大部分の魚は完全に成熟して放精、排卵が起こり、過熟状態になった個体も多かった。

1-3. サンプルングと分析

試験期間中定期的に各区から魚を5尾ずつサンプルングし、個体別に生殖腺の状態を調べ、成熟程度が臓器の状態や体成分に及ぼす影響を調べた。サンプルング日は10月17日、11月21日、12月21日(この日は作業時間の都合上C、Dの2区のみ調査)および翌年の1月11日で、サンプルング前日には給餌しなかった。なお、本試験開始時の9月7日の値は前試験終了時である9月6日の値を流用した。

供試魚は図1の手順に従って処理した。池からタモ網で取り上げた魚はFA100(オイゲノール)で麻酔し、ヘパリン処理した10mLプラスチック注射筒を用いてキュビエ氏管から採血する。血液は個体別に3000rpmで15分間遠心分離して血漿を単離し、グルコース(Glu)、総タンパク質(TP)、トリグリセライド(TG)、総コレステロール(T.Cho)含量およびアルカリ性フォスファターゼ(ALP)活性を人血液用半自動分析計で分析した。

採血後の魚体は尾叉長と体重を測定して肥満度を求め、腹部を手で圧迫して放精、排卵の有無を確認した。放精、排卵が認められた場合には精液と卵の状態を観察した。次いで延髄を穿刺して即殺した後開腹して精巣と卵巣の状態を観察し、重さを測定して体重比を求めた。なお、排卵後の個体は腹腔内に存在する卵と卵巣を一緒にして重さを測定し、体重比を求めた。同様に肝臓と腹腔内脂肪蓄積組織も分離して観察

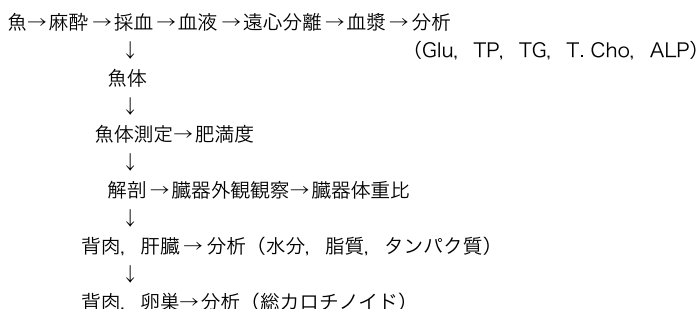


図1 魚の処理手順

し、体重比も求めた。生殖腺、肝臓および腹腔内脂肪蓄積組織以外の臓器は小さいので調べなかった。

背肉は肉色改善試験時に色素量の測定部位に決めた背鰭の後端から脂鰭の前端の下で、側線より上の部分⁴⁾を採取し、一般成分（水分、タンパク質、脂質）と色素量（総カロチノイド含量）の分析に供した。背肉の採取時には体表下の脂肪層が混入しないように注意した。なお、本試験では色彩色差計による測色は行わなかった。

一般成分の分析は雌雄共生殖腺の発達程度別に行った。即ち、雄は精巣が未発達（今期には成熟せず、次年度以降に成熟する個体）、正常（今期に成熟するが、未だ放精していない個体）、放精（既に放精している個体）に分け、雌は未発達、正常（今期に成熟するが、未だ排卵していない個体）、排卵（卵巣から腹腔内に卵が放出された直後で、受精が可能な個体）および過熟（排卵後時間が経って既に受精が不可能になっている個体）に分けて分析した。なお、雌雄共未発達個体は少なかったので、個体別に分析した。

各区雌雄別に上記の発達程度の魚から背肉を等量ずつ採取してプールし、ホモジナイズして均等にした後分析した。水分は常圧加熱乾燥法、タンパク質はケルダール法、脂質はソックスレー法で測定した。総カロチノイド含量の測定は前報³⁾に従って個体別に行った。肝臓も同様に処理したが、分析は一般成分のみとした。卵巣は総カロチノイド含量のみ測定し、排卵後の個体は卵を分析した。精巣にはカロチノイドは殆ど含まれていない^{5,6)}ので分析しなかった。

本報告では紙数の都合上魚体測定、解剖および背肉と肝臓の一般成分分析の結果のみ説明し、血漿成分と背肉、卵巣の色素含量の分析結果は次号で報告する。

2. 結果

2-1. 生殖腺の発達状態

雌雄共生殖腺の発達状態によって魚の外観、体重、臓器の状態、精液や卵の様相、体成分等

が変化することが知られている。雄では精巣が次第に大きくなり、完熟すると手で腹部を圧迫すると放精する様になる。初期は濃い精液が滲み出す感じの出方であるが、成熟が進むと次第に勢い良く出るようになる。さらに進むと精液は薄くなり、水っぽい精液が勢い良く出るようになり、最終的には水の様になって出なくなる。水っぽい精液が勢いよく出ている段階までは受精能が有る様である。精巣の外観も発達状態によって変化し、未発達時には透明〜うす赤色半透明の糸状であるが、発達途中から放精初期の精巣は真っ白で張りが有り、プリプリした感じである。放精の最盛期には色は白いが柔らかくなり、放精が長期になると次第に白い部分と半透明の部分が混在した状態になり、大きさも小さくなってコリコリした感じになる。また、場合によっては黒い斑点が生じる事も有る。この様な状態になると放精も終了である。雌では卵が正常に発達して完熟すると卵巣から腹腔内に放出される。それまで卵巣内に含まれていた卵は一個一個がバラバラになって腹腔内に溜まる。この現象を排卵と称する。排卵は卵巣の何れの部分でも同時に起こると思われている様であるが、多くの個体を調べていると卵巣の後半部は排卵しているが前半部は未だ排卵していない魚が時折見受けられる。時間的なズレがどの程度有るのかは分からないが、排卵は卵巣の後部から起こり、次第に前部へと移って行くのではないと思われる。排卵後一定期間は受精可能であるが、あまり長期間腹腔内に有ると過熟状態になり、受精出来なくなる。受精可能な時期の卵は卵膜が柔らかく、全体が均一な色をしている。過熟状態になると卵膜が硬くなり、プリプリしていて、落とすと弾むような感じに変化する。また、卵黄は中心部に集まり、外縁部は透明になる。さらに状態が進むと卵は次第に収縮して小さくなり、硬くなる。卵の成分が魚体に吸収され始めているのであろう。

生殖腺体重比の経時変化を表2と図2に示す。雄では個体差が大きいのが9月6日以降精巣体重比はあまり変化せずに完熟し、放精するに

至っている。雌でも個体差が大きい。12月21日まで卵巣は大きくなって完熟し、排卵する。養殖ニジマスの場合排卵後人為的に卵を搾出してやらないと過熟状態になり、次第に卵巣体重比は小さくなる。

成熟状態別の生殖腺体重比を図3に示す。雄では完熟して放精するに至る精巣体重比は4%から9%程度と個体差が非常に大きい。雌でも

同様に個体差が有るが13%から20%になると排卵する様になる。本試験では翌年の1月11日が最終調査日であったが、雌雄共成熟最盛期をやや過ぎた時期ではあるものの、未だ精巣が著しく退縮し、排卵された卵が吸収されて明確に小さくなる段階には至っていなかった。過熟個体の卵巣体重比が排卵個体より小さいのは、排卵個体が認められるようになってから池底に

放出された卵が存在する様になったので、卵成分の魚体への吸収と共に卵の一部が体外に放出されたことも原因の一つであろう。

以下、生殖腺の発達状態と色々な指標との関係を雌雄別に調べた結果を説明する。

2-2. 成長

雌雄別に体重の経時変化を示したのが図4である。雄は10月17日までやや大きくなっているが、それ以後殆ど成長していない。雌も11月21日まで大きくなっているが、それ以後殆ど変化していない。生殖腺体重比と体重の関係を生殖腺の発達状態別に示したのが図5である。雄は個体差が大きく、精巣体重比と体重および放精の有無との間に相関は認められない。雌は卵巣が完熟するまで体重は次第に大きくなり、排卵すると成長

表2 生殖腺体重比の経時変化

性別 魚 No.	雄				雌			
	1	2	3	4	1	2	3	4
A区								
9月6日	8.65	5.06			3.49	1.79	6.76	
10月17日	8.28	5.40	5.82		9.45	0.15		
11月21日	6.04	4.89			15.13	12.91	11.21	
12月21日								
1月11日	4.54	8.03			6.00	11.10	9.74	
B区								
9月6日	7.16	6.00			1.68	3.73	2.20	
10月17日	6.24	5.28			9.47	10.16	14.61	
11月21日	4.69	5.68	0.05		16.73	15.03		
12月21日								
1月11日	1.02	7.01	5.62		9.76	9.59		
C区								
9月6日	5.17				4.17	1.94	2.98	3.98
10月17日	4.78	5.94			13.08	10.37	11.06	
11月21日	9.09	3.54			16.35	16.04	8.72	
12月21日	4.85	5.59			3.91	14.70	15.24	
1月11日	6.34	0.04	7.75		8.12	18.39		
D区								
9月6日	4.12	3.55	2.31	5.76	1.85			
10月17日	4.18	5.79			7.68	9.67	10.09	
11月21日	0.03	4.32	0.04	4.33	17.11			
12月21日	8.12	7.66			16.32	20.08	12.59	
1月11日	4.52	6.12			0.13	5.86	6.50	

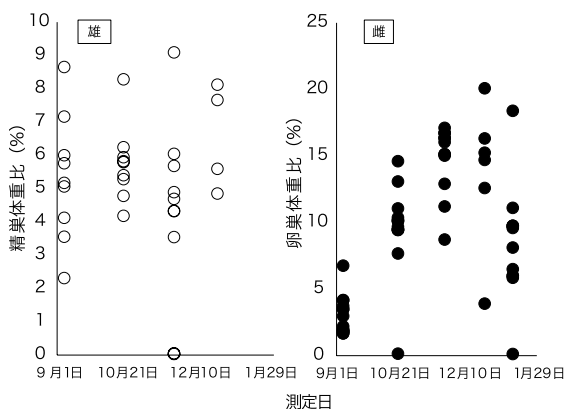


図2 生殖腺体重比の経時変化

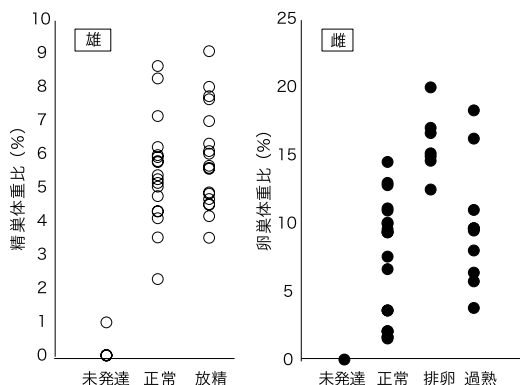


図3 生殖腺の発達状態と生殖腺体重比

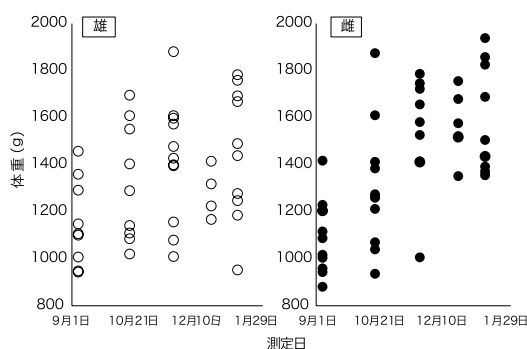


図4 体重の経時変化

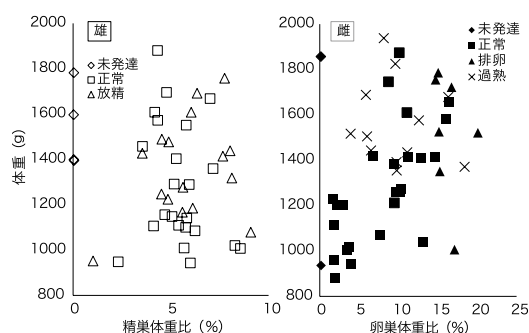


図5 生殖腺体重比と体重の関係

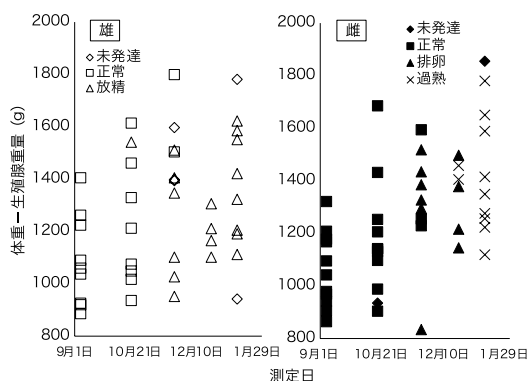


図6 (体重 - 生殖腺重量) の経時変化

は停止し、過熟になっても体重はあまり変化しない様である。

成熟が正常に進んでいる雄は10月17日以降あまり摂餌していないのではないと思われる。雌は排卵するまで体重が増えているが、この理由として排卵まで摂餌が継続して行われている事や卵巣が急激に大きくなっているために体重が増えている事等が考えられるが、体重の増え方からして摂餌が継続していると考えるのが妥当であろう。

雄は完全に成熟して放精する様になると摂餌しなくなるので体重が大きく減少するのではないかと推測していたが、殆ど減少していないのは意外であった。放精を初めて未だあまり日数が経過していなかったのであろう。放精期間が長くなって絶食期間も長くなると体重も大きく減少するのであろう⁶⁾。雌は排卵した卵を人為的に搾出していないので体重が殆ど変化してい

ないのは当然かも知れない。

成熟時の成長は生殖腺を除いた体重で比較すべきであるとも考えられるので、全体から生殖腺を差し引いた体重の経時変化を調べたのが図6である。この指標で見ても雄は10月17日以降、雌は11月21日以降殆ど変化が無く、体重の変化はやはり摂餌の有無に関係しているものと思われる。

2-3. 肥満度

表3と図7に測定日毎の個体別肥満度を雌雄別に示す。生殖腺が初期発達段階の9月6日まで雌雄で肥満度に違いが無かった¹⁾が、10月17日以降は雌の方がやや大きい傾向が認められる。また、10月17日以降雌雄共肥満度が経時的に小さくなっているが、小さくなり方に雌雄で違いは無いようである。

生殖腺体重比および成熟状態の違いと肥満度との関係を図8に示す。雄では放精に至るまでは精巣体重比と肥満度の間に相関は無く、完熟して放精する様になるとやや肥満度が小さくなる傾向が認められるが、個体差が大きく明確ではない。雌も生殖腺が未発達の段階から完熟して排卵する前までは卵巣体重比と肥満度との間に相関は認められないが、排卵すると急に肥満度は小さくなり、さらに過熟状態になって卵巣体重比が小さくなっても肥満度は排卵直後の値を維持している。この結果は肥満度の変化には生殖腺の発達状態よりも摂餌の有無の方が大きく関与している可能性を示唆している。そこで生殖腺体重比と肥満度の関係を与えた飼料の

表3 肥満度の経時変化

性別 魚 No.	雄				雌			
	1	2	3	4	1	2	3	4
A区								
9月 6日	1.42	1.50			1.30	1.39	1.36	
10月 17日	1.54	1.45	1.47		1.54	1.38		
11月 21日	1.53	1.38			1.30	1.33	1.47	
12月 21日								
1月 11日	1.16	1.32			1.11	1.13	1.30	
B区								
9月 6日	1.46	1.73			1.60	1.34	1.57	
10月 17日	1.37	1.28			1.55	1.46	1.60	
11月 21日	1.33	1.09	1.47		1.48	1.61		
12月 21日								
1月 11日	0.98	1.30	1.25		1.23	1.42		
C区								
9月 6日	1.45				1.39	1.45	1.58	1.57
10月 17日	1.60	1.57			1.64	1.50	1.50	
11月 21日	1.26	1.37			1.51	1.45	1.48	
12月 21日	1.17	1.47			1.27	1.60	1.16	
1月 11日	1.46	1.61	1.41		1.27	1.56		
D区								
9月 6日	1.26	1.40	1.53	1.35	1.37			
10月 17日	1.46	1.39			1.61	1.58	1.40	
11月 21日	1.58	1.55	1.33	1.16	1.31			
12月 21日	1.27	1.32			1.47	1.74	1.39	
1月 11日	1.25	1.11			1.56	1.31	1.31	

違い毎に調べたのが図9, 10である。雄では育成用飼料を与えたか, 親魚用飼料を与えたかに関係無く, 放精前の個体では精巣体重比と肥満度との間に相関は無かった。放精後肥満度は次第に小さくなって行く傾向が有るが, あまり明確でない。雌でも同様で, 育成用飼料を与えたか, 親魚用飼料を与えたかに関係無く, 排卵前の個体では卵巣体重比と肥満度との間に相関は認められなかった。但し, 親魚用飼料を与えた区の方が全体的に肥満度は大きかった点が雄と違っていた。排卵後卵巣体重比は次第に小さくなり, それに伴って肥満度も小さくなる様である。

雌雄共絶食期間が長くなればさらに肥満度は小さくなり, 成熟期が終了して摂餌が再開されれば次第に体力が回復して肥満度も大きくなると

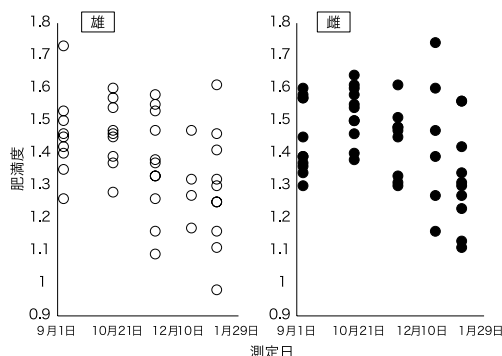


図7 肥満度の経時変化

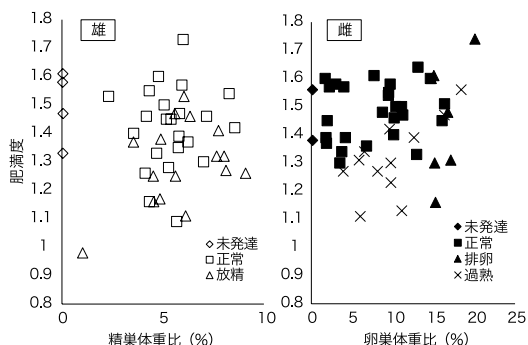


図8 生殖腺体重比と肥満度の関係

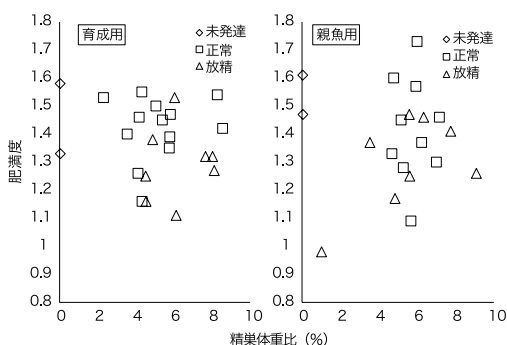


図9 肥満度に及ぼす飼料の影響 (雄)

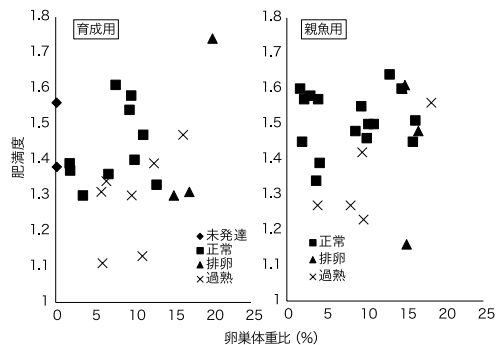


図10 肥満度に及ぼす飼料の影響 (雌)

考えられる事から、雌雄共に生殖腺の発達に伴って肥満度は時計回りの歪な円形を描く方向で変化していくのではないかと推測する。

以上の結果から、本試験条件下では肥満度に関して以下の事がいえる。

- ・雄は放精前、雌は排卵前であれば生殖腺の発達程度は肥満度に影響を及ぼさない。
- ・雄では生殖腺が急速に発達する時期以降与える飼料が肥満度に及ぼす影響は認められないが、雌では認められ、親魚用飼料を与えた魚の方が大きな肥満度を示す。これは飼料の脂質やエネルギー含量の違いに起因すると推測する。
- ・雄は雌より成熟が早く進み、早い時期から摂餌しなくなるので、与える飼料の違いが表れないのであろう。雄に親魚用飼料の投与効果を出すためには可也早い時期（9月以前）から与え始める必要が有る。
- ・雌は排卵直前まで摂餌するため、9月7日以降に親魚用飼料を与え始めても効果が認められるのであろう。
- ・放精、排卵前の個体では肥満度に雌雄で大きな違いは無い。放精、排卵が起こった後生殖腺体重比は次第に小さくなり、それに伴って肥満度も小さくなるが、小さくなり方に雌雄で大きな違いは無い。
- ・肥満度の変化は摂餌の有無や絶食期間、飼料成分等の影響を受ける。

2-4. 腹腔内脂肪蓄積組織（以下 DL と略記）

肥満度は DL の量に大きな影響を受ける。9月6日までの生殖腺の発達程度では雌雄共 DL 体重比に経時的な変化は認められず、生殖腺体重比と DL 体重比の間にも相関は認められなかった¹⁾。この時期まで体重の増加に対して同じ割合で DL の量も多くなっていたといえる。

9月6日以降の DL 体重比の経時変化を表 4 と図 11 に示す。雌雄共 9月6日以降 DL 体重

表 4 腹腔内脂肪蓄積組織体重比の経時変化

性別 魚 No.	雄				雌			
	1	2	3	4	1	2	3	4
A 区								
9月 6日	2.32	2.05			2.03	3.26	4.06	
10月 17日	3.56	2.80	1.21		4.31	3.11		
11月 21日	1.18	1.54			1.22	0.50	0.67	
12月 21日								
1月 11日	0.52	0.29			0.45	0.54	0.59	
B 区								
9月 6日	3.80	3.59			3.94	2.43	3.81	
10月 17日	3.75	1.35			1.67	2.07	1.72	
11月 21日	0.94	0.06	3.65		0.23	1.42		
12月 21日								
1月 11日	0.45	0.25	0.23		1.19	0.80		
C 区								
9月 6日	2.83				2.66	4.02	4.86	2.04
10月 17日	0.86	2.40			1.20	3.80	1.01	
11月 21日	0.12	0.17			0.09	0.34	0.67	
12月 21日	0.74	0.49			0.32	1.06	0.19	
1月 11日	0.56	4.25	0.54		0.78	0.80		
D 区								
9月 6日	2.28	1.88	3.28	2.67	4.22			
10月 17日	3.68	3.12			1.05	1.09	3.65	
11月 21日	2.17	1.42	4.68	0.54	1.84			
12月 21日	0.27	0.56			0.40	0.11	0.49	
1月 11日	0.27	0.08			2.31	1.34	0.92	

単位 : %

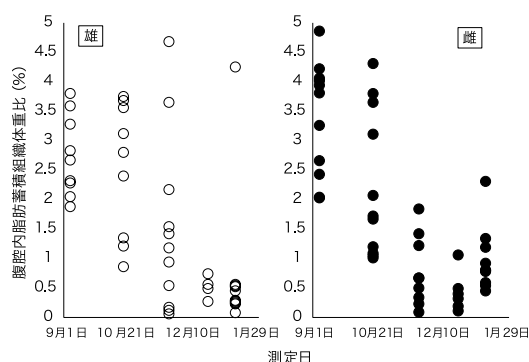


図 11 腹腔内脂肪蓄積組織体重比の経時変化

比は減少し始め、特に 10月17日以後の減少が顕著である。また、雌雄共完全に成熟して放精、排卵が起こる時期には残っている DL が少なくなっているためか、個体間のバラツキが小さくなって狭い範囲に収束する。雄では放精開始後時間が経つに従って DL 体重比は小さくなって行くが、雌では排卵後卵が過熟状態になると DL 体重比はやや大きくなり始めている。これ

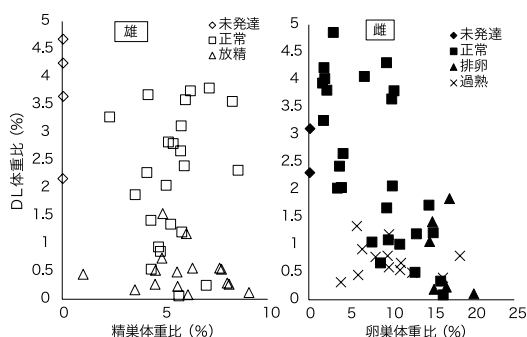


図 12 生殖腺体重比と腹腔内脂肪蓄積組織体重比の関係

は雄では放精開始後も摂餌を行わず、絶食状態が継続しているのに対し、雌では排卵後比較的短期間で摂餌する様になっているか、あるいは卵の成分が魚体に吸収され始めている事を示しているのであろう。

生殖腺体重比と DL 体重比の関係を生殖腺の発達状態別に示したのが図 12 である。雄の放精前個体では精巣体重比に対する DL 体重比は個体差が非常に大きい、放精する様になると急に値もバラツキも著しく小さくなり、さらに時期が進んで精巣が小さくなくても略同じ低い値で推移している。これは一定量の DL を維持しているのではなく、DL が殆ど無くなっている、これ以上小さくなり様がないためであろう。雌は卵巣が大きくなるに従って DL が少なくなるので DL 体重比は小さくなり、排卵された段階で最小値を示す。排卵後過熟状態になると DL はやや増える傾向が有る。

雌では卵が発達して大きくなるに従って魚体から卵へ多量の脂質を送る必要が有るので、主たる脂質の蓄積組織である DL の量が減少し、完全に卵が成熟して排卵された段階で DL 体重比が最小値を示すのは理解出来る。その後の増加は前述した摂餌の再開か、卵成分の魚体への吸収によるのであろう。雄では個体差が大きいものの放精が始まる前までは一定範囲内の DL 体重比を示しているが、放精する様になると急に著しく小さい値を示す様になるのは何故であろう。精巣(精液)に脂質は殆ど含まれていな

いので、精巣に脂質を多量に送り込む必要は無い。放精に伴って何か非常に大きなエネルギーの消費が有るのであろうか。或いは、男性ホルモンが作用して魚体の脂質を急速に分解する様な事が起こっているのであろうか。大変興味深い現象である。

DL 体重比に及ぼす飼料の影響を図 13, 14 に示す。生殖腺体重比と DL 体重比との関係に育成用飼料を与えたか、親魚用飼料を与えたかによる明らかな違いは雌雄共に認められず、雌で卵が過熟状態になった個体の DL 体重比が親魚用飼料を与えた区の方が僅かに高いのみであった。

DL 量も肥満度同様生殖腺の発達に伴って雌雄共時計回りの方向で円形を描くような変化をしている様である。

以上の結果から、DL に関して以下の事がいえる。

- ・雌雄共 9 月 6 日以降生殖腺が発達するに伴って DL 量は急速に減少し、放精、排卵時には

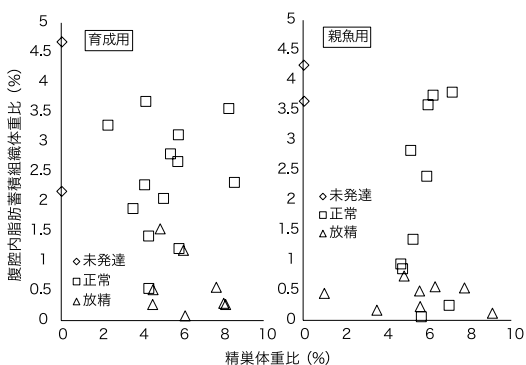


図 13 DL 体重比に及ぼす飼料の影響 (雄)

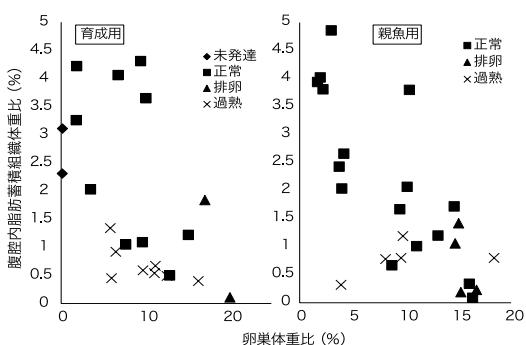


図 14 DL 体重比に及ぼす飼料の影響 (雌)

殆ど残っていない位まで減少している。

- ・雄では放精開始後も DL 量の減少が続くが、雌では排卵時に最低値を示し、その後卵が過熟になるに従って DL は増え始める。
- ・雌では卵に多量の脂質を送り込まなければならぬので、上記の現象が起こると推測出来るが、雄では絶食以外に何か脂質を急激に消費する反応が起きている可能性が有る。
- ・DL 量は雌雄共生殖腺の発達に伴って時計回りの円形を描く方向で変化している。
- ・雌雄共 9 月 6 日以降に与えた飼料が DL 量に及ぼす影響は小さい。

2-5. 肝臓

9 月 6 日までの生殖腺未発達～発達初期段階まで雌の方が肝臓は大きかったが、雌雄共個体差が著しかった。生殖腺が急速に発達し始めると雌雄共個体差が小さくなって行った。

また、雄では精巣体重比が急に大きくなる 8 月 4 日以降（精巣体重比で 4-5% 以上）になると肝臓体重比が小さくなる傾向が認められたが、雌では卵巣体重比が約 7% になった 9 月 6 日時点でも肝臓体重比は従来の値と違いが無かった¹⁾。

9 月 6 日以降の肝臓体重比の経時変化を雌雄別に表 5 と図 15 に示す。雄では 9 月 6 日から 10 月 17 日にかけて肝臓体重比は明らかに大きくなっており、それ以降 11 月 21 日まで略同じ値を示し、完熟して放精する様になるとやや小さくなった。雌も 9 月 6 日から 10 月 17 日にかけて肝臓体重比は大きくなり、それ以降排卵が起こると著しく小さな値を呈するに至っていた。排卵が起こる前まで雄よりも雌の方が明らかに肝臓体重比は大きかった。雌雄共完全に成熟して放精、排卵が起こった後の肝臓体重比は雌雄で大きな違いは認められなかった。

生殖腺体重比と肝臓体重比との関係を雌雄成

表 5 肝臓体重比の経時変化

性別 魚 No.	雄				雌			
	1	2	3	4	1	2	3	4
A 区								
9 月 6 日	0.97	0.87			1.27	1.13	1.70	
10 月 17 日	0.94	1.18	1.06		1.45	1.05		
11 月 21 日	0.89	1.11			0.69	0.64	1.51	
12 月 21 日								
1 月 11 日	1.05	0.68			1.12	0.55	0.56	
B 区								
9 月 6 日	0.90	0.89			1.16	1.16	1.44	
10 月 17 日	1.15	1.00			1.70	1.68	1.92	
11 月 21 日	0.79	1.09	1.23		0.73	0.81		
12 月 21 日								
1 月 11 日	0.58	1.32	0.69		1.07	0.86		
C 区								
9 月 6 日	1.05				1.38	1.49	1.33	1.40
10 月 17 日	1.22	1.03			1.98	1.78	1.31	
11 月 21 日	0.89	1.13			0.55	0.66	1.28	
12 月 21 日	1.11	0.87			1.13	0.57	0.64	
1 月 11 日	0.96	0.52	1.02		0.86	0.60		
D 区								
9 月 6 日	0.79	0.89	1.07	0.74	1.14			
10 月 17 日	1.05	1.29			1.55	1.66	1.69	
11 月 21 日	0.97	1.41	1.33	0.85	0.67			
12 月 21 日	0.91	0.86			0.70	0.83	0.52	
1 月 11 日	0.70	0.89			0.65	1.01	0.69	

単位 : %

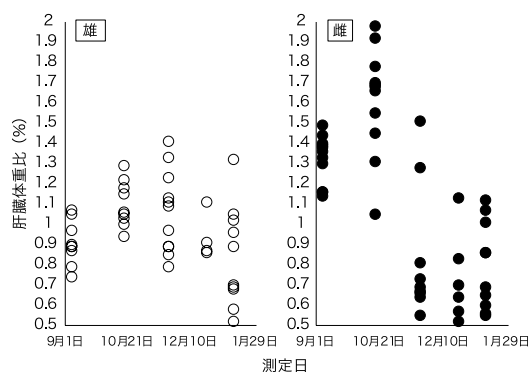


図 15 肝臓体重比の経時変化

熟度別に示したのが図 16 である。個体差が大きいものの雄では精巣の発達とは関係無く、放精する前まで肝臓体重比は略一定の範囲内に有ったが、放精が始まるとやや小さくなり、それ以降あまり大きな変化は無い。一方、雌は卵巣の発達に伴って肝臓体重比は直線的に大きくなり、排卵直前になると排卵時と同じ著しく小さい値を示す様になり、それ以降卵が過熟状態

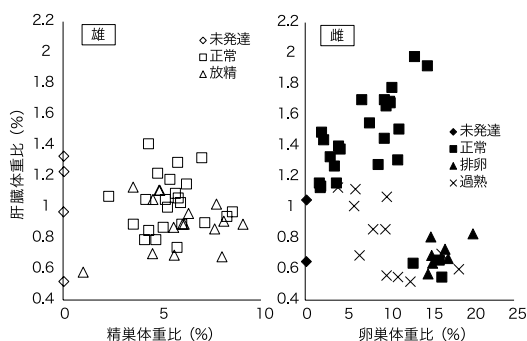


図 16 生殖腺体重比と肝臓体重比の関係

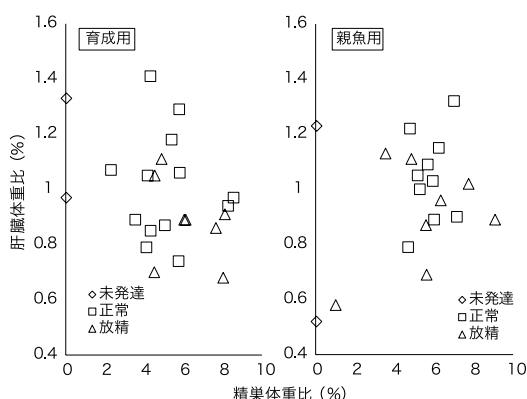


図 17 肝臓体重比に及ぼす飼料の影響 (雄)

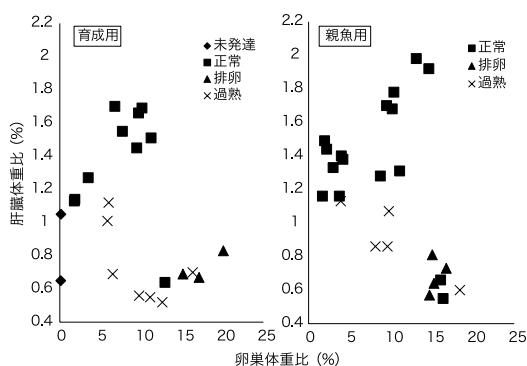


図 18 肝臓体重比に及ぼす飼料の影響 (雌)

になると肝臓体重比は次第に大きくなった。

肝臓の変化は大きさのみでなく外観や物性にも表れていた。雄では精巣の発達程度は肝臓にそれ程大きな影響を及ぼしているとは思えなかったが、雌では明らかに違いが認められた。卵巣が比較的小さな段階では肝臓は正常な色と物性をしてしたが、排卵直前になると色はやや

緑白色がかった黄土色を呈し、ブヨブヨした手触りで、明らかに膨潤している状態に変化していた。排卵直前から排卵時にかけて肝臓は急速に小さくなり、色も物性も正常な状態に戻る。

この様に肝臓体重比の変化は雄より雌の方が大きく、雌は生殖腺発達程度の影響をより強く受けることが分かった。雌では卵巣の発達に伴って卵に必要な栄養成分を多量に送り込まなければならない。この役割を肝臓で合成されるビテロゲニンが担っている。卵巣が発達し、卵巣体重比が大きくなるに従って肝臓でビテロゲニンの合成が盛んになるので肝臓が大きくなり、肝臓体重比も卵巣体重比に比例して直線的に大きくなるものと推測出来る。前報¹⁾の結果と併せ考えると、肝臓でのビテロゲニンの合成が盛んになるのは9月6日以降、卵巣体重比で約7%以上ではないかと推測出来る。卵が完全に成熟し、必要量の栄養成分が蓄積され、それ以上栄養成分を卵に送り込む必要が無くなって排卵準備が整うと肝臓でビテロゲニンを合成する必要が無くなる。それに伴って肝臓は縮小して肝臓体重比が急に小さくなるのであろう。排卵後卵が過熟になると肝臓体重比が次第に大きくなるのは、卵の成分が魚体に吸収されている事や摂餌が再開されている事が考えられるが、この結果のみでは何れが主たる原因であるかは不明である。排卵前の雌個体で雄より肝臓体重比が大きいのは、卵巣の発達に伴って卵へ栄養成分を送り込むため、脂質をはじめとする卵に必要な成分を予め肝臓も含めた魚体全体に蓄積している事にも原因が有るのであろう。

雄は精巣が発達しても放精前であれば肝臓体重比に変化は無く、精巣体重比と肝臓体重比の間に相関は認められない。これは精巣が卵巣より小さく、栄養成分も卵巣と異なり、肝臓を通じて精巣に多量の栄養成分を送り込む必要が無いためであらう。放精する様になると肝臓がやや小さくなる傾向が認められるのは、絶食期間が長くなる事も一つの原因であらう。

生殖腺体重比と肝臓体重比との関係を与えた飼料別に見たのが図 17, 18 である。雄では

表 6 肝臓成分の経時変化

	湿物			乾物	
	水分	タンパク質	脂質	タンパク質	脂質
A 区					
9月 6日	75.86	17.45	3.87	72.29	16.03
10月 17日					
♂	73.20	16.72	5.62	62.39	20.97
♀	75.15	17.56	4.48	70.66	18.03
11月 21日					
♂放精	74.85	16.86	3.44	67.04	13.68
♀正常	77.74	16.35	3.54	73.45	15.90
♀排卵	76.52	18.40	3.41	78.36	14.52
1月 11日					
♂放精	77.31	15.79	2.97	69.59	13.09
♀過熟	75.30	18.98	2.89	76.84	11.70
B 区					
9月 6日	75.34	17.35	5.01	70.36	20.32
10月 17日					
♂	72.77	15.88	5.27	58.32	19.35
♀	75.95	18.06	4.39	75.09	18.25
11月 21日					
♂未発達	73.79	15.59	6.01	59.48	22.93
♂放精	75.47	18.62	4.16	75.91	16.96
♀排卵	75.33	19.43	3.76	78.76	15.24
1月 11日					
♂正常	75.82	-	3.58	-	14.81
♂放精	79.80	14.67	2.78	72.62	13.76
♀過熟	74.54	19.33	2.92	75.92	11.47
C 区					
9月 6日	75.83	16.86	4.35	69.76	18.00
10月 17日					
♂	72.64	15.76	5.75	57.60	21.02
♀	76.41	17.61	4.17	74.65	17.68
11月 21日					
♂放精	76.07	17.54	2.95	73.30	12.33
♀正常	76.52	17.61	3.60	75.00	15.33
♀排卵	76.07	18.30	3.30	76.47	13.79
12月 21日					
♂放精	75.18	18.36	2.72	73.97	10.96
♀排卵	75.35	20.11	2.69	81.58	10.91
♀過熟	75.42	18.49	2.89	75.22	11.76
1月 11日					
♂未発達	74.18	17.87	5.29	69.21	20.49
♂放精	77.38	14.86	2.23	65.69	9.86
♀過熟	74.73	20.29	2.68	80.29	10.61
D 区					
9月 6日	74.79	16.97	4.24	67.31	16.82
10月 17日					
♂	74.21	16.68	4.34	64.68	16.83
♀	77.15	17.09	4.15	74.79	18.16
11月 21日					
♂未発達	72.43	15.76	4.99	57.16	18.10
♂未発達	74.05	15.19	4.29	58.54	16.53
♂正常	72.73	15.95	3.89	58.49	14.26
♂放精	77.20	17.36	3.66	76.14	16.05
♀排卵	76.94	-	3.86	-	16.74
12月 21日					
♂放精	74.97	15.22	2.55	60.81	10.19
♀排卵	77.10	17.79	3.34	77.69	14.59
♀過熟	75.12	20.22	2.93	81.27	11.78
1月 11日					
♂放精	77.40	16.39	3.05	72.52	13.50
♀未発達	77.74	17.53	3.33	78.75	14.96
♀過熟	75.28	19.32	3.53	78.16	14.28

単位: %

9月7日以降育成用飼料を与えても親魚用飼料を与えても精巣体重比と肝臓体重比との関係に違いは認められない。雌では排卵直前まで卵巣体重比が大きくなるに従って肝臓体重比が直線的に大きくなるのは両飼料区共同じであったが、肝臓体重比の最大値は親魚用飼料を与えた区の方が大きかった。また、卵が過熟状態になった後の肝臓体重比の増加も親魚用飼料を与えた区の方がやや早い様である。これはDLの項で述べた様に雄では精巣の発達に伴って起こる摂餌中止(絶食)による衰弱、雌では排卵後の摂餌再開や卵成分の吸収等が関係しているであろう。

生殖腺の発達程度と肝臓体重比の関係は与える飼料の違いに拘らず時計回り方向に三角～四角に近い形で変化しているのではないかと考えられる。

2-6. 肝臓の一般成分

サンプリング日毎に行った生殖腺発達程度別肝臓一般成分の分析結果を表6に示す。雄では水分含量は9月6日から10月17日にかけて減少し、それ以降増加していた。脂質含量は水分含量と全く逆の動きを示し、タンパク質含量は一貫して減少していた。雌では水分含量は9月6日から11月21日にかけて増加し、それ以降減少していた。脂質含量は一貫して減少、タンパク質含量は増加していた。

生殖腺体重比と肝臓の水分、脂質およびタンパク質含量との関係を生殖腺の発達程度別に示したのが図19, 20, 21である。雄では精巣の未発達個体と正常に発達しているが未だ放精前の個体では水分含量は少なく、放精個体は多く、水分含量で見ると明らかに2グループに分かれ、精巣体重比も含めて見ると3グループに分かれていた。雌では卵巣が発達し、排卵、過熟に至るに従って水分含量は減少し、卵巣体重比も含めて見ると4グループに分かれていたが、重なる部分が多く、違いは雄より明らかに少なかった。脂質含量は雄では水分含量と全く逆の動きを示し、精巣未発達個体と正常に発達しているが未だ放精前個体では高く、放精が始

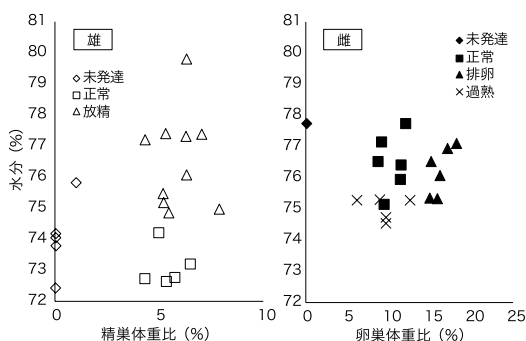


図 19 生殖腺の発達状態と肝臓水分含量の関係

まると低い値を示していた。脂質含量で見ると水分同様 2 グループ、精巣体重比も含めて見ると 3 グループに分かれていた。雌では様相が異なっており、卵巣が発達するにつれて脂質含量はやや高くなり、排卵すると低くなっていた。排卵後卵が過熟になってもそのまま低い値を維持していた。脂質含量は卵巣体重比も含めて見ると卵巣未発達、正常に発達しているが排卵前、排卵直後および過熟の 4 グループに分かれていたが、それぞれ重なる部分があり、比較的狭い範囲に分布していた。タンパク質含量は雄では精巣の発達状態とは関係無く、個体差が大きく、未発達個体と正常+放精個体に分かれているのみで、明確なグループ別は認められなかった。放精個体では特に個体差が大きかった。雌では排卵直前まで略一定の値、排卵するとやや高い値、過熟状態になるとさらに高い値を示

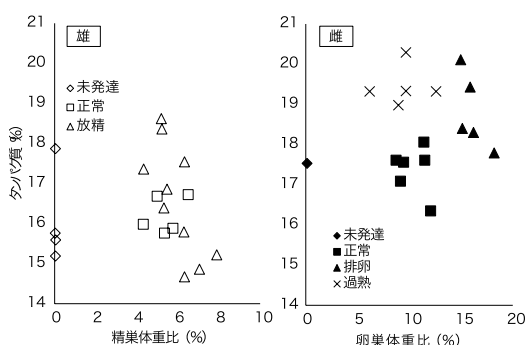


図 21 生殖腺の発達状態と肝臓タンパク質含量の関係

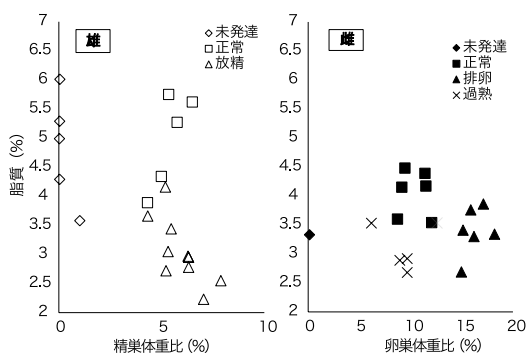


図 20 生殖腺の発達状態と肝臓脂質含量の関係

した。タンパク質含量のみで見ると未発達個体と排卵前個体、排卵直後個体、過熟個体の 3 グループ、卵巣体重比も含めて見ると 4 グループに分かれたが、排卵直後の値は他のグループの値と重なっていた。

肝臓の水分含量は生殖腺の発達に伴って雄では反時計回り、雌では時計回りの円形、脂質含量は雌雄共時計回りの円形、タンパク質含量は雌では反時計回りの円形を描く方向で変化しているといえる。但し、成分と雌雄の違いによって円形の形は大きく違っていた。

肝臓の水分含量と脂質含量の関係を示したのが図 22 である。雄では両者の間に明確な負の相関が認められたが、雌では認められなかった。これは図 19, 20 の結果と良く一致している。水分とタンパク質含量、タンパク質と脂質含量の間には明確な相関は認められなかった。

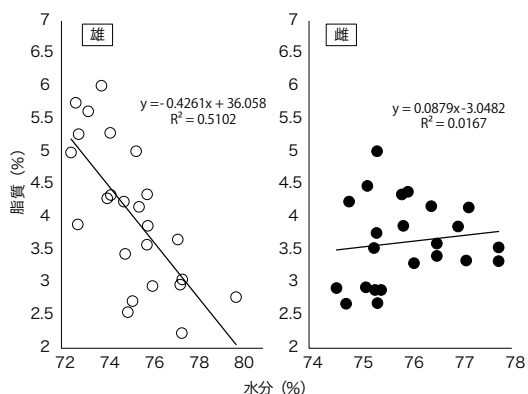


図 22 肝臓の水分と脂質の関係

前項で説明した成熟に伴う肝臓の外観や大きさの変化, 本項の成分含量の変化等から, 肝臓に関して以下の事がいえる。

- ・放精, 排卵が起こる前の肝臓の外観や大きさ

表 7 背肉成分の経時変化

	湿物			乾物	
	水分	タンパク質	脂質	タンパク質	脂質
A 区					
9月 6日	75.00	22.92	1.49	91.68	5.96
10月 17日	74.73	22.76	1.51	90.07	5.98
11月 21日					
♂放精	75.45	21.33	1.99	86.88	8.11
♀正常	75.31	22.07	1.22	89.39	4.94
♀排卵	75.15	22.21	1.47	89.38	5.92
1月 11日					
♂放精	78.94	18.92	1.08	89.84	5.13
♀過熟	76.43	20.89	1.30	88.63	5.52
B 区					
9月 6日	74.57	23.00	1.63	90.44	6.41
10月 17日	74.44	22.67	1.73	88.69	8.77
11月 21日					
♂未発達	74.88	22.72	1.86	90.45	7.40
♂放精	77.78	19.52	1.47	87.85	6.62
♀排卵	77.83	22.00	1.44	99.23	6.50
1月 11日					
♂正常	78.16	19.61	1.37	89.79	6.27
♂放精	78.22	19.46	1.45	89.35	6.66
♀過熟	76.62	21.32	1.27	91.19	5.43
C 区					
9月 6日	74.57	22.71	1.68	89.30	6.61
10月 17日	75.06	22.69	1.43	90.98	5.73
11月 21日					
♂放精	78.92	19.06	1.53	90.42	7.26
♀正常	75.00	21.78	2.14	87.12	8.56
♀排卵	76.31	21.38	1.43	90.25	6.04
12月 21日					
♂放精	79.37	18.83	0.83	91.27	4.02
♀排卵	77.25	20.51	0.89	90.15	3.91
♀過熟	77.24	19.98	0.94	87.79	4.13
1月 11日					
♂未発達	72.84	23.46	2.46	86.38	9.06
♂放精	77.63	19.86	1.94	88.78	8.67
♀過熟	76.85	20.29	0.83	87.65	3.59
D 区					
9月 6日	74.17	23.00	1.42	89.04	5.50
10月 17日	74.17	22.59	1.48	87.46	5.73
11月 21日					
♂未発達	74.51	23.22	2.18	91.09	8.55
♂未発達	73.80	23.05	2.23	87.98	8.51
♂正常	74.80	22.57	1.54	89.56	6.11
♂放精	75.97	21.15	1.86	88.01	7.74
♀排卵	75.54	21.40	1.66	87.49	6.79
12月 21日					
♂放精	78.27	19.84	1.17	91.30	5.38
♀排卵	76.99	20.79	1.06	90.35	4.61
♀過熟	76.31	21.53	0.73	90.88	3.08
1月 11日					
♂放精	79.68	18.87	0.95	92.86	4.68
♀未発達	73.82	23.03	1.70	87.97	6.49
♀過熟	78.18	20.90	1.47	95.78	6.74

単位: %

には雌雄で明らかに違いがあるが, 放精, 排卵後に大きな違いは認められなくなる。

- ・雌では卵巣の発達に伴って卵へ必要な栄養成分を送り込むため, 肝臓でビテロゲニンの合成が盛んになる事が肝臓の状態や大きさに大きく関与している。
- ・水分含量と脂質含量は雌雄共生殖腺の発達状態の違いによってグループ化が可能で, タンパク質含量は雌のみグループ化が可能である。
- ・生殖腺の発達に伴って水分含量は雄で時計回り, 雌で時計回りの方向, 脂質含量は雌雄共時計回りの方向, タンパク質含量は雌で反時計回りの方向で変化する。
- ・水分含量と脂質含量の間には雄のみで負の相関が存在する。

2-7. 背肉の一般成分

生殖腺発達程度別背肉一般成分の分析結果を表 7 に示す。生殖腺の発達程度と水分, 脂質,

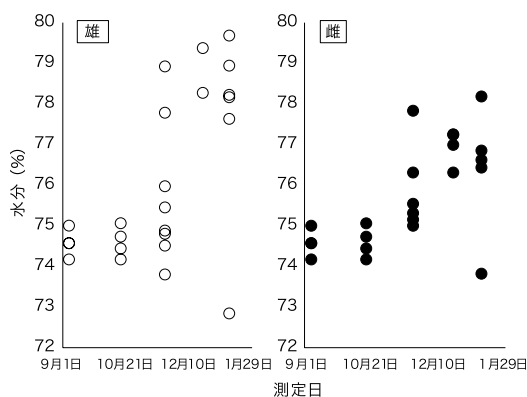


図 23 背肉水分含量の経時変化

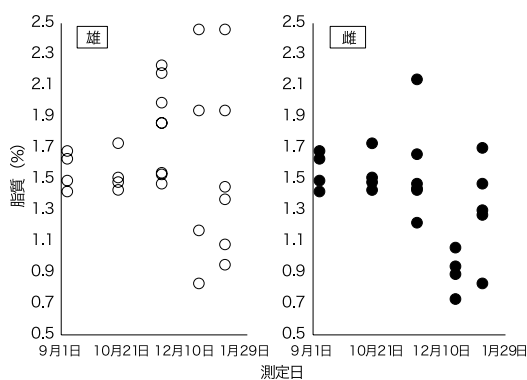


図 24 背肉脂質含量の経時変化

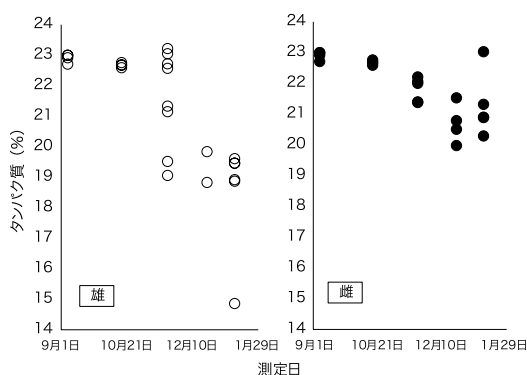


図 25 背肉タンパク質含量の経時変化

タンパク質含量との関係を調べると、水分は雌雄共生殖腺の発達に伴って反時計回り、脂質とタンパク質は時計回りの円形を描く方向で変化していた。また、雄で放精時に水分含量（図 23）が急に高くなり、脂質含量（図 24）とタンパク質含量（図 25）は急に低くなる点に特徴が有った。雌では水分含量は卵巣が発達するに従って高くなり、排卵後は過熟状態になっても略同じ高い値を示していた。脂質とタンパク質含量は卵巣の発達に伴って少しずつ低くなり、排卵時に急に低くなって最低値を示した後過熟状態になるとやや高くなった。特に脂質でその動きは明瞭であった。

ニジマスでは全組織中に占める肉部の割合は約 50% で最も大きい^{5, 6)}。よって、生殖腺の発達によって起こる成分変化の影響で最も大きいのは肉部ではないかと推測する。放精、排卵時に背肉成分の急激な変化が起こっている事は、雌雄共にこの時に急激な衰弱が生じている可能性を示唆している。特に放精開始時に大きな変化が起こっているもので、雄でより顕著な衰弱が起こっているのであろう。変化の著しさから、単なる絶食の影響のみではないように思える。雌で排卵後卵が過熟状態になると背肉成分がやや改善されるのは、摂餌の再開や卵成分の魚体への吸収等が考えられるが、卵成分吸収の影響が大きいのではないだろうか。

背肉の水分含量と脂質含量の関係を示したのが図 26 である。両者の間には雌雄共負の相関

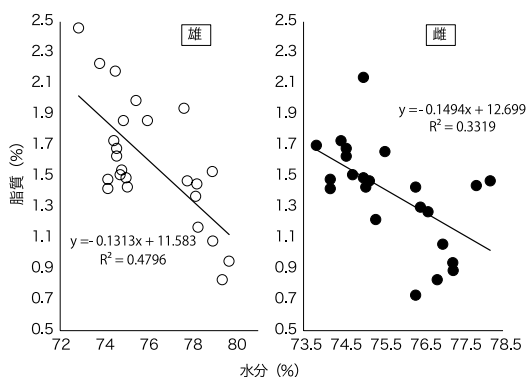


図 26 背肉の水分と脂質の関係

が認められ、雄の方が相関は強かった。水分とタンパク質、タンパク質と脂質の間には強い相関は認められなかった。

背肉の一般成分は 11 月 21 日以降しか雌雄成熟度別に分析していない事と、それぞれの分析事例が少ない事から、9 月 7 日以降与えた飼料の違いが背肉成分に及ぼした影響については論じない。9 月 6 日以降個体別に測定してある背肉の色素含量を次報で説明する項に関連して報告する。

以上の結果から、背肉の一般成分に関して以下の事がいえる。

- ・背肉の一般成分は雄では放精開始時、雌では排卵時に大きく変化し、特に雄で変化が著しい。
- ・雌雄共放精、排卵時に急激な衰弱が生じていると推測出来る。
- ・変化の激しさから、絶食による衰弱以外にも原因が有る可能性が強い。
- ・水分含量と脂質含量の間に雌雄共負の相関が有る。

3. 要約

ニジマスにおいて生殖腺が急激に発達する時期から完熟、過熟に至る各段階毎に生殖腺の発達程度が臓器や体成分に及ぼす影響を調べ、以下の結果を得た。

- ・雄が成熟して放精する様になる精巣体重比は 4-9%，雌が排卵する様になる卵巣体重比は 13-20% 程度である。

- ・体重の増加（成長）は摂餌の有無が最も強く影響しており，生殖腺が正常に発達している雄は10月17日以降，雌は11月21日以降殆ど摂餌していないのではないかとと思われる。
- ・放精，排卵前の個体では雌雄で肥満度に大きな違いは無い。放精，排卵後生殖腺体重比は小さくなり，それに伴って肥満度も小さくなるが，小さくなり方に雌雄で大きな違いは無い。
- ・雌雄共生殖腺の発達に伴って肥満度は時計回りの円を描く形で変化する。
- ・腹腔内脂肪蓄積組織の量は雌雄共生殖腺の発達に伴って急激に減少し，放精，排卵時には殆ど残っていない位まで減少している。雄では放精後も低い値を示すが，雌では排卵後卵が過熟になるとやや増え始める。これは雄は放精後も絶食状態が続くのに対し，雌は排卵後比較的短期間で摂餌するようになる事や卵成分が魚体に吸収される事等によるものと思われる。
- ・腹腔内脂肪蓄積組織の量も生殖腺の発達に伴って時計回りの円を描く形で変化する。
- ・排卵が起こるまで雌の方が明らかに雄より肝臓が大きい，放精，排卵後は雌雄で肝臓の大きさに違いは無くなる。排卵前の雌で肝臓が大きいのはビテロゲニンの合成に強く関係しているものと思われる。
- ・成熟に伴う肝臓の変化は雌で強く表れ，大きさだけでなく外観や物性も明らかに変化する。
- ・生殖腺の発達に伴って肝臓の大きさは時計回りの方向で三角から四角を描く形で変化する。
- ・生殖腺の発達程度によって雌雄共肝臓の水分，脂質およびタンパク質含量に明確な変化が認められる。水分含量は生殖腺の発達に伴って雄では反時計回り，雌では時計回りの円形，脂質含量は雌雄共時計回りの円形，タンパク質含量は雌では反時計回りの円形を描く方向で変化する。雄のタンパク質含量の変化パターンは不明確である。
- ・背肉では放精，排卵に伴って水分含量が急に高くなり，脂質とタンパク質含量が急に低くなる。変化の激しさから単なる絶食が主な原因では無い様に思える。
- ・背肉の水分含量は生殖腺の発達に伴って雌雄共反時計回り，脂質とタンパク質含量は時計回りの方向で変化する。
- ・成熟時に栄養強化した飼料の効果を出そうとすれば雄は可也早く，少なくとも9月16日以前から与え始める必要が有る。雌は排卵直前まで摂餌する様なので可也遅い時期から与えても効果が認められる可能性が有る。

文 献

1. 酒本秀一：成熟がニジマスの臓器や体成分に及ぼす影響 -1. 成熟開始時. *New Food Industry*, **61** (5): 370-382, 2019.
2. 北村佐三郎：飼料. 魚類の栄養と飼料（新水産学全集 No. 14, 荻野珍吉編），恒星社厚生閣，東京，247-306, 1980.
3. 酒本秀一：ニジマスの肉色改善 -5. *New Food Industry*, **59** (3): 47-60, 2017.
4. 酒本秀一：ニジマスの肉色改善 -2. *New Food Industry*, **57** (12): 52-61, 2015.
5. 酒本秀一：体色が異なる3種ニジマスの魚体内カロチノイド分布. *New Food Industry*, **57** (3): 28-41, 2015.
6. 酒本秀一：性成熟がニジマスの魚体内カロチノイド分布に及ぼす影響. *New Food Industry*, **57** (7): 53-67, 2015.

新解説 グルテンフリー穀物による 麦芽とビール醸造 (1)

瀬口 正晴 (SEGUCHI Masaharu)^{1,2}

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

¹ 神戸女子大学, ² 日本穀物科学研究会会長, ³ 神戸女子短期大学

Key Words: グルテンフリー グルテンフリービール

本論文「グルテンフリー穀物 食品と飲料, 新解説グルテンフリー穀物による麦芽とビール醸造 (1)」は, “Gluten-Free Cereal Products and Beverages” (Edited by E. K. Arendt and F. D. Bello) 2008 by Academic Press (ELSEVIER), の第 15 章 Malting and brewing with gluten-free cereals by B. P. N. Phiarais and E. K. Aren't 等の一部を翻訳し紹介するものである。

ビール醸造の歴史

ビール製造の技術と工夫は約 5000 年に遡ることができ, 世界の多くの地域の発掘によって証明されている。古代の醸造法の描写は古代エジプトの墓に書かれた中に見出される。ビールの記述は 2000BC のメソポタミア遺跡の記述に含まれている (Arnold, 1911)。ビールはパンとともに古代文明の食事で最も重要な食品である。さらに, 食品であるとともに, ビールは宗教的信仰, 儀式の中で中心的役割を担う (Corran, 1975)。Scythians (スキタイ), Celts (ケルト), Germanic (ゲルマン) 民族により好まれた飲料で, そこでは毎日の家庭の食事の仕事として女性により発酵の仕事が行われ, すべての文明の中でベーキング, 醸造は女性の仕事であった。醸造産業への変化はキリスト教の宗教的場所の醸造所で起こり, ビールは彼ら自身のためだけであったが他のものへの報酬ともされた (Arnold, 1911; Kunze, 1996a)。ひきつづいてそれは男性のための職業となり今日に至る (Bamforth, 2003)。

歴史的にビールは大麦からつくられるものと報告され, 1516 年のビール精製法の紹介以

来, 大麦は伝統的に主たるビール原料として用いられてきた (Arnold, 1911; Rich, 1974)。かつてから信じられたことはビールは大麦以外からは作れないということである; しかしながらよく言われたことは, 濁ったビールがソルガム (Owuama, 1997, 1999; Igyor *et al.*, 2001; Goode *et al.*, 2003; Nso *et al.*, 2003), アワ (Eneje *et al.*, 2001; Agu 1991, 1995), トウモロコシ (Ilori *et al.*, 1991; Lanares, 1992; Shephard *et al.*, 2005) の様な穀物から作られ, 熱帯においてはこれまでのビール醸造に変わる原料として価値が有ると信じられて来た。消費者の要求に答えるために, 他の穀物 (米, トウモロコシ), 擬似穀物 (ソバ, キノア, アマランス) が醸造原料として研究されたが, そこにはグルテンがないことと, 健康にプラスと思われる物質のあるためであった (Zarnkow *et al.*, 2005; Kreisz *et al.*, 2005)。

麦芽と醸造プロセスの全体像

麦芽プロセス

麦芽プロセスは穀粒中に酵素を作り, 化学成分の変化を引き起こさせる (Kunze, 1996b)。麦芽プロセスは大麦ストックの洗浄と選別し,

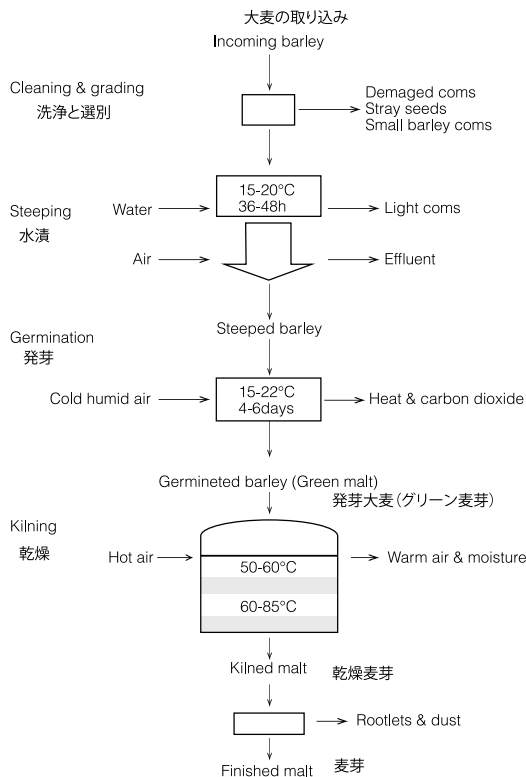


図 15.1 麦芽調製の図

粒を水に浸け、発酵させ、最後は釜で乾燥し、保存処理する (図 15.1)。

水に浸けている間に粒は水を吸い容積は増える。4-6 時間後、初めに浸けた水は捨てる。粒は大きく空気を吸い CO₂ をだす。粒の水分含量が 43-46% になった時、水に浸けることを中止する (Briggs *et al.*, 1981c)。

発酵の間、粒は十分量の水中で、ルートレット (根)、アクロオスパイア (芽) を成長させる。この成長の間、デンプン分解、細胞溶解、およびタンパク質分解酵素が形成され活性化する。これらの酵素は、すりつぶしている間、大きな分子、例えばデンプン、タンパク質、β-グルカンの様な物を本質的に分解する。強い呼吸作用の結果、水につけた粒は十分な空気が与えられ、冷えて、CO₂ が除かれる。発酵はアクロオスパイア (芽) 長がほぼ粒の長さの 2/3-3/4 になった時、普通は止められ、粒はグリーン麦芽となる (Kunze, 1996b)。

乾燥 (Kilning) の間、グリーン麦芽から水は除去される。麦芽は脆くなるまで乾燥し、安定な貯蔵物質となり、そこからは根も簡単に除去できる。乾燥 (Kilning) は麦芽の層にいろいろなスピードの暖かい乾燥空気を流して行い、温度をあげて乾燥した麦芽穀物にする。麦芽中の酵素活性は、乾燥レジメの温度、時間で非常に大きく影響を受ける (Briggs *et al.*, 1981d)。

醸造プロセス

最も重要な 2 つのビール製造プロセスとは、マッシュの間デンプンの分解で糖にして、これらの糖を発酵してアルコールと CO₂ にすることである (Kunze, 1996d)。もっとも簡単には醸造は 7 段階からなる (図 15.2)；

1. グリストミル (製粉機) 中で麦芽大麦をつぶして荒い粉にする (グリスト)。
2. マッシュタン (桶) 中に、麦芽グリストを温水と混ぜ粥状の粘性あるマッシュをつくる。麦芽酵素は、麦芽製造中調製されたもののだが、つぶした麦芽の壊れた内胚乳を最も適した温度で可溶化して、できるだけ多くの可溶抽出物とする。
3. ロータータン (桶) 中で、麦汁中の可溶化

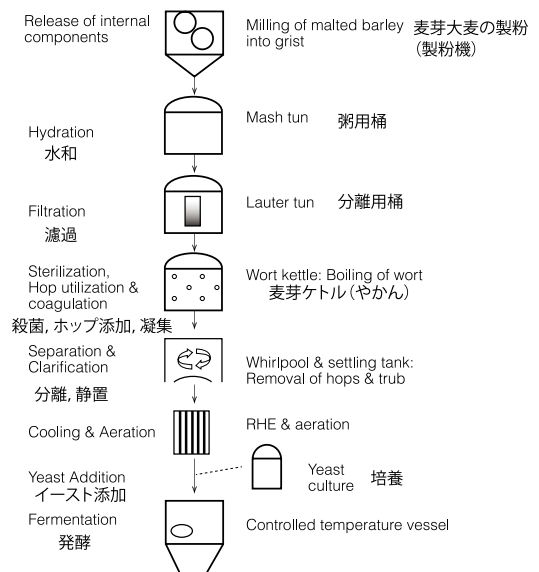


図 15.2 醸造プロセスの図

抽出物は、不溶の固形分（グレインハスク）から分離する。さらに、水をタンクの上からマッシュにスプレーして抽出液を増やす。

4. 次に麦芽ケトル（やかん）中で麦汁をホップとともに煮沸する。これで酵素活性を止め、麦汁を殺菌し、あるタンパク質を凝集し、ホップのはっきりしたフレーバー、香りを麦汁に着ける。
5. whirlpool（ジェットバス）で熱い麦汁を沈殿粒子（例えば trub）から分離する。
6. 麦汁の冷却、エアレーションを続け、そしてイースト発酵の理想的な培養液が作られる（Briggs *et al.*, 1981b; Hough, 1985b; Kunze, 1996d）。
7. イーストが次に加えられ麦汁を発酵し、存在する炭水化物はアルコールと CO₂ になる。他のイースト代謝物はフレーバー、アロマに寄与する。

熟成と精製にビールは引き継がれ、その間、ビールのフレーバー、アロマ、品質保持がすすむ。最後にビールはパックされ、普通はその後、無菌濾過あるいは殺菌が行われる（Hough 1985a; Kunze 1996c）。

グルテンフリー穀物

セリアック病のひろがりには約 100 名中 1 人と計算される（Hamer, 2005; Sollid and Khosla, 2005）。この比率はセリアック病が最も一般的な不耐性の病気と知られたものの一つであることを示す。この病気は小腸内の免疫（媒介応答）で起こるもので、グルテンが引き金になる遺伝的感受性もつ個体に起こる（Fasano and Catassi, 2001）。唯一の効果的治療法は穀物（小麦、スペルト、トリテケール、ライ麦、大麦）摂取をしっかりとさけることである。穀物にグルテンがあり、患者は生涯を通じてその摂取をさけることである（Ellis *et al.*, 1990）。

グルテンは小麦中タンパク質区分を述べるのに使う一般的用語である。グルテンタンパ

ク質は、2つの区分、それは水溶性アルコールへの可溶性により分けられるものである；可溶性グリアジンと不溶性グルテニンで全体的にはプロラミンとして知られる（Lewis, 2005）。小麦、ライ麦、大麦は全てグラスファミリー（Poaceae）のメンバーで有り、分類学的に近い関係にある。すべてこれらの穀物とそのプロラミン〔グリアジン（小麦）、ホールデン（大麦）、セカリン（ライ麦）、多分、アベニン（オート麦）〕は、セリアック病をもつ人々にとって有毒である（Kasarda, 2001）。

穀物でグルテンを含まないものには以下のものが含まれる；米（*Oryza Sativa*）、トウモロコシ（*Zea mais*）、ソルガム（*Sorghum bicolor*）、ミレット（例えば *Panicum miliaceum*, *Setaria italica*, *Pennisetum typhoideum* と *Eleusine coracana*）。他の炭水化物リッチ偽穀物はグルテンのないソバ（*Fagopyrum esculentum*）、キノア（*Chenopodium quinoa*）とアマランサス（*Amaranthus*）である（Zarnkow *et al.*, 2005）。

グルテンフリー食事の中でオート麦食品の摂取は、米国、その他の多くの国々で反対されていたが、最近の研究からセリアック病患者は全くコンタミのないオート麦を小腸絨毛に害を受ける事もなく適当量の長期摂取しても大丈夫であることがわかった（Janatuinen *et al.*, 1995; Srinivasan *et al.*, 1996; Hoffenberg *et al.*, 2000; Thompson 2001; Peraaho *et al.*, 2004）。FCA（フィンランドセリアック協会）は、グルテンフリー食事の中にオート麦を入れた（Kanerra *et al.*, 2003）。1981 年と 2000 年に World Health Organization（WHO）と Food and Agricultural Organization（FAO）から Codex スタンドールのグルテンフリー食事見直し草案がでて、所謂グルテンフリー食品は次のように発表された。それは (i) グルテンレベル 20ppm を超えないと思われる如何なるプロラミンも含まないオート麦からなる、あるいはそれで作られるもの (ii) グルテンレベル 200ppm を超えないグルテンフリーとしてきたオート麦からなるもの（Gallagher *et al.*, 2004）。にもかかわらず、多

くの業者およびオーガナイザー、例えば CSA (Celiac Sprue Association), CDF (Celiac Disease Foundation), ADA (American Dietetic Association) は、オート麦に関する添加証拠のない安全性について彼らの考えを変更する事を躊躇している (Thompson, 2000)。

最も研究されたグルテンフリー穀物の 1 つはソルガムであり、これは元々セリアック病をもつ人のためにビールを作るために用いられたのではなく、1988 年ナイジェリアの大麦芽の輸入禁止を乗り越えるために行われたものである。ソルガムに結びつくいくつか固有の問題点 (低アミラーゼ酵素活性レベル、低抽出回収量、マッシュ濾過速度が遅い) があるが (Aisen, 1988; Dale, 1990), 大麦芽からソルガム麦芽に変わる可能性を示す研究がある (Okafor and Aniche, 1980; Goode, 2001; Odiboa *et al.*, 2003; Goode *et al.*, 2003)。最近、研究の数はグルテンフリー食品の域において顕著に増加してきた (Gallagher *et al.*, 2004)。

ソバ、キノア、アマランスはグルテンフリー食に加えてよいかどうかの問題点に対し、GIG (Gluten Intolerance Group) (Seattle, Washington) と CDF (Studio City, California) の両グループは、これらの植物食品を受け入れたが、一方 CSA (Omaha, Nebraska) はそれらを受け入れないとリストに述べた (Shewry, 2002)。しかしながら CSA はこれらの穀物にグルテンが含まれてるとは実際には言わない (Thompson, 2001)。ここで最近の証拠はこれらの穀物はグルテンフリー食品の生産に用いる事ができるという結論をより強く支持している。

最近の研究は、米、トウモロコシ、ミレットやソバ、キノア、アマランスのような偽穀物と言ったグルテンフリー穀物を使った麦芽やビールの製造に焦点が絞られてきた (Bauer *et al.*, 2005; Nic Phiarais *et al.*, 2005, 2006b; Wijngaard and Arendt, 2006; Wijngaard *et al.*, 2006)。これらの研究で、一般に最も醸造に可能性の高い生材料はソバであることが別個にわかった。この理由からソバの麦芽、醸造のことがより詳細に取

り上げられた。

グルテンフリー生材料にもとずく麦芽とビールに関する研究は、ソルガムに焦点があわされたが、このレビューの目的はソルガムに変わるものとしてグルテンフリー穀物、例えば米、トウモロコシ、ミレット、そして同様に偽穀物のソバ、キノア、アマランスの利用に焦点を合わせた。

グルテンフリー穀物の麦芽

穀物

ソルガム

大麦栽培は熱帯地帯ではできないので、アフリカでのビール生産には温帯域からの大麦麦芽輸入が必要でコストがかかる (Dufour *et al.*, 1992)。ナイジェリアの 1988 年大麦麦芽輸入禁止の結果、ソルガム麦芽とトウモロコシ麦芽が伝統的アフリカ飲料の醸造用に製造された (Igyor *et al.*, 2001; Okungbowa *et al.*, 2002; Nso *et al.*, 2003; Ogbonna *et al.*, 2004)。ソルガムは、大麦芽に変わるものとして、大きな可能性を示した (Aisen 1988; Ilori *et al.*, 1991)。しかしながら醸造業者の中に、市販ビール製造時、補助的にソルガムを利用した経験者がいて、その際に次のように問題に遭遇した; 時間のかかる不完全な麦芽の糖化、困難な麦汁の分離、さらに、困難なブライトビールの濾過であった (Aisen, 1988)。にもかかわらず、味覚に関して大麦と同様の効果のあるとまでは主張されてはいないが、100% ソルガム麦芽ビールはナイジェリアや他の地域の国々で、多くの人々にビールとしての品質は受け入れられている (Aisen and Muts, 1987)。

麦芽加工はソルガムの相対的栄養価を増加し、麦芽ソルガムは、離乳期の子供用の食事の低粘度粥を作るのに用いられた (Briggs, 1998a)。しかしながら、第 1 にソルガム麦芽は Kaffir ビール類似のビール醸造に用いられた (Aiser and Muts, 1987)。1 つの重大な問題点は、普通ソルガム麦芽で醸造する実験研究結果で生じるものは、不十分な酵素レベルである事

だ。初期の研究では、ソルガム麦芽中に糖化用 β -アミラーゼが僅かあるいは全くなかったため、ソルガム麦芽使用は大型ビールの醸造用には不適切であるという間違った結論となった (Kneen, 1945, 1944)。しかしながら数名の人々は、用いたデンプン分解酵素の活性測定法が大麦用のものでソルガムのリサーチ研究には不適であったと議論した (Novellie, 1962; Okon and Uwaifo, 1984)。この考えのサポートとして Taylor and Robbins (1993) は、デンプン分解酵素力測定に異なった方法を使うとソルガム麦芽の β -アミラーゼ活性はあり、大麦麦芽の 25% 以下のレベルであると報告した。そこで著者等はソルガム中の β -アミラーゼは大麦中とは異なり活性化した可溶性の状態にあり、大麦では殆どの β -アミラーゼが不活性の結合状態で存在していると結論した。活性 β -アミラーゼレベルはソルガム、大麦両方で同一であると考えられた。

詳細な研究が最適のソルガムの麦芽加工のために行なわれた (Agu and Palmer, 1987b; Obeta *et al.*, 2000; Ogonna *et al.*, 2004)。今日までソルガムで最適の麦芽加工は 20-25°C で 8 時間水につけ、続いて 2 時間空気中におき、さらに、14 時間水に浸ける。その時水分は 34-36% で同一の温度で発芽は 120 時間行う。これは次に 24 時間 50°C で乾燥に続く (Agu and Palmer 1999; Igyor *et al.*, 2001)。ソルガム、生と麦芽は、現在広くヨーロッパタイプのラガービール醸造に広く用いられている。多くの熱帯発展途上国では経済的な理由から広く用いられている。ナイジェリアでは、既に全ての大麦麦芽が国内で生産されたソルガムに置き換えられている (Okolo, 1996)。

米

米はアルコール飲料生産に広く用いられている。アルコール飲料、例えば日本の酒、中国の shaoshinshu (焼酒)、および東南アジアの種々雑多なアルコール飲料は、主成分は米であるが、時には一種類の穀物 (米) のみで作られる (Yoshizawa and Kishi 1985)。さらに、米は

ビールのようなアルコール飲料の生産に付加物として用いられる (Cours, 1976)。ビール、酒は最もポピュラーな米ベースのアルコール飲料であり、大量に生産されている (年間、ほぼ 9×10^{10} L ビール, 15×10^8 L 酒)。醸造にともない、米には非常にナチュラルな匂いと香りが有り、適当に醸造ハウスでは、軽くてクリーンな味のビールとなる (Canales 1979)。もっと最近麦芽米で興味あるのは食品材料での利用の可能性の引き金となってきたため、遊離糖の増加、アミラーゼ含量の増加、さらに、発芽後の粘度低下のためである (Malleshi and Desikachar 1986b)、さらに、アフリカの或る地域では必要性から輸入大麦に変わるものとして関心が持たれている。さらに、発芽は、米の栄養価のレベルをあげる事が示される (Capanzana and Buckle 1997)。

初期の研究ではビールが米麦芽から醸造できる事を示した (Malleshi and Desikachar, 1986b; Okafor and Zwouno, 1990; Aniche and Palmer 1992)。これらのトライアルで California 粒米が用いられた。粒は 48-60 時間、15°C で水につけ、17.8-18.0 °C で 72 時間発芽させ、そして最後に 48 時間で乾燥するが、32.2-65.5°C の温度上昇による。これらの低い温度は粒のガラス化を抑えるためである。しかしながらできた物は酵素活性が貧弱で、生産するのに高価であり、内胚乳物質は修飾が貧弱であった。にもかかわらず、麦芽化した米に対して、クッカー中で溶液化はす早く、比較的低温度で起こる。さらに、高抽出回収よく、できた物のフレーバー、香りがこの材料を用いるとすばらしい (Briggs, 1988a)。

Okafor and Iwoouno (1990) は、麦芽した米の麦芽ロスがしばしば非常に高くなるので醸造材料としては満足のゆくものではないことを示した。米麦芽は、最終的には従来のやり方でひかれて砕かれた時、糖化が不十分で麦汁の流出はゆっくりであった。さらに、米麦芽は非常に苦くなることがわかった (Malleshi and Desikachri 1986b)。米に関する研究の不一

致性から、抽出回収量増加とフレーバー改良のために、最適の麦芽処理体制を探す強いニーズのあることが判る。

トウモロコシ

トウモロコシはメキシコの Tarahumara Indians の伝統的な Tesuino トウモロコシビールを作るのに用いられて来た (Lanares, 1992)。さらに、ホーム - 醸造の Xhosa トウモロコシビールの生産と消費は、南アフリカの伝統的なものとして広がっている (Shephard *et al.*, 2005)。醸造関連のものとして、トウモロコシはビールのアワ・ダメージング効果を制限するために胚芽除去をせねばならない。

トウモロコシは麦芽がソルガムよりもかなり少なく、報告された試験のほとんどの報告では、醸造業者の見地から不満足な結果であった (Briggs, 1998a)。この穀物の麦芽の特徴についての我々の知識は少ない。Mang and Fields (1978) の記録しているのは、或る面では、トウモロコシの発芽はその栄養価を強めることができるという。しかしながらトウモロコシデンプンの糊化温度は高いので、もしも修正したマッシング (加水) 方法を用いれば、多分ソルガム麦芽と同様、改良された抽出回収量を得る事ができるだろう (Hough, 1985b)。Singh and Bains (1984) は、麦芽作成法で、粒を 36°C で 12 時間事前に乾燥して、25°C で 40% 水分含量になるように水に浸け、25°C で 168 時間発芽させ、最終的に 45°C で 24 時間乾燥させることを推奨している。

そこでソルガムのようにトウモロコシで麦芽をつくるのに「湿と温」が必要で、そのためカビ感染の極端な広がりとなった。グリーン麦芽は、酵素活性のために低温で乾燥すべきである。増加した抽出量、酵素レベル、Kolbach 指数、および麦芽ロスが得られる。さらに、ジベレリン酸添加で α -アミラーゼ、プロテアーゼ抽出物、Kolbach 指数値を上昇させた (Singh and Bains, 1984; Malleshi and Desikachari, 1986a)。最近、上等の麦芽品質選択のための、とうもろこし品質を選ぶというはっきりした努力は行われ

ていない。

キビ

キビは小粒の熱帯性穀物の総称のグループである。不透明なビール、少なくとも実験的には透明なビールであるが、麦芽にして食品材料として利用している。キビの品種間、あるいは 1 つの品種中でも麦芽品質にかなりの違いがある (Briggs, 1998b)。初期の研究から、麦芽と醸造、さらに、キビからのラガービールの生産は可能であるが、ビールのフレーバー、色調改良にはまだ高度の研究が必要である (Eneje *et al.*, 2001; Pelembe *et al.*, 2002)。

南アフリカでは、伝統的にパールキビが麦芽、発酵に使われた。麦芽したパールキビは、粘度のない子供用 (乳児) の離乳食に用いられる (Pelembe *et al.*, 2002)。大麦、ソルガムと違い、キビ麦芽の技術については知見が少ない。パールキビ麦芽のベストの加工方法は、25°C で水に着け、1 サイクル 2 時間湿地、2 時間空気中で休ませ、全 8 時間行い、25-30°C で 72-96 時間発芽させ、最後に 50°C 24 時間の乾燥が示されている (Pelembe *et al.*, 2002)。これらの条件は、高ジアスターゼ活性、 α -、 β -アミラーゼ活性、遊離アミノ態窒素、適当な麦芽ロスを示す。ある場合には、さらに、ジベレリン酸添加で回収量を高め、酵素活性はすぐにピークに達しより高い α -アミラーゼ活性になる (Agu and Okeke, 1991)。

キビ麦芽化の限定された仕事は、主にフィンガーキビですすめられた (Chandrasekhara and Swaminathan 1953; Nout and Davies, 1987; Malleshi and Desikachari 1986a, 1986b; Nirmala and Muralikrishna, 2003)。フィイガーキビは非常に良い麦芽を作り、伝統的アフリカ不透明ビールの醸造に使われ、さらに、消化の良い液状食にも使われている。フィンガーキビ麦芽は非常に納得ゆくフレーバーと受け入れやすい味があると報告されているが、しかし短時間の貯蔵の間これらの麦芽は苦い味に変化してゆく (Malleshi and Desikachari, 1986a)。未麦芽のフィンガーキビ粒は、非常に僅かのアミラーゼ、プ

ロテアーゼ、フォスファターゼ活性ではあるが、粒が発芽がするとこれらの酵素活性はかなり増加する (Chandrasekhara and Swaminathan, 1953)。さらに、フィンガーキビは、カルシウムと食物繊維に富んでいる。Malleshi and Desikachar (1986b) は、麦芽のレジメは粒を 24 時間 25°C の水に浸け、25°C で発芽 9 時間行い、最後に 24 時間 45°C で乾燥することがすすめている。これまでの研究からパールキビとフィンガーキビ麦芽は大量タイプのビール製造に大麦置き換え価値の有る事がわかった。

オート麦

オート麦の食品利用は伝統的にオートミール、オートフレーク、朝食のセリアルである (Wilhelmson *et al.*, 2001)。天然のオート麦は可溶性食物繊維、価値のある脂肪酸の高含量、ビタミン、ミネラル、ステロール、抗酸化剤の大量精選され健康増進穀物として知られている (Peterson, 2001)。さらにオート麦は FDA (Food and Drug Administration) 承認の健康宣言によると、オートミールからの可溶性食物繊維、低飽和脂肪酸、低コレステロール食事は心臓病のリスクを低下させることが、消費者間で興味を増加させた (Anderson and Chen, 1986)。オート麦は普通好ましいナッツ臭、粒の匂いが有り、発芽はフレーバー、官能的特徴を良くするのに用いられ、それとともに金属の生化学的利用性の増加にも有効である (Lanson and Sandberg, 1995) (Heydanek and McCorrin, 1986)。

最近、オート麦麦芽はまれにしか用いられないので、利用できるデータは僅かである (Larsson and Sandberg, 1995; Peterson, 1998, 2001; Wilhelmson *et al.*, 2001)。オート麦麦芽は大麦麦芽に比べれば少量である。オート麦麦芽は、時たま多くの国の人々ためにヨーロッパ醸造家により利用されたが、その利用も今では僅かである。時にはオート麦麦芽は英国でエールビール用に用いられ、さらに、ストウトの醸造に用いられ、さらに、特別の食品成分に用いられる (Briggs *et al.*, 1981a; Little, 1994)。

Avena Sativa と *Avena byzantina* の 2 種 は、最も広く育てられたオート麦品種である (Schrickel, 1986)。しかし麦芽醸造には僅かの量しか用いられない (Little, 1994)。

主なるオート麦品種で麦芽に用いられるのは *A. Sativa* (Wilhelmson *et al.*, 2001) と、醸造用には *A. gramineae* である。研究からはっきりしたのは、デンプンはゆっくり発芽中に分解され、発芽したオート麦中のデンプン含量は未発芽オート麦よりも同じかあるいはわずかに低い (Peterson, 1998)。さらに、オート麦の発芽は、不可欠アミノ酸 (特にリジン、トリプトファン) 含量の増加を引き起こし、僅かのプロラミン含量の低下を引き起こす。 (Dalby and Tsai, 1976)。

オート麦は高金属含有の穀物であると記録されている (Anderson and Chen, 1986)。しかしながらラジオアイソトープ技術を用いた最近の研究から、オート麦粥、オート麦ふすまパンを含む朝食からの鉄、亜鉛の低レベルの人体への取り込みが示された (Sandstrom *et al.*, 1987; Rossander-Hulten *et al.*, 1990)。オート麦の高フィチン酸含量は、低フィターゼ活性とともに、低鉄吸収の説明と考えられる (Zhou and Erdman, 1995)。ここでより良好な金属利用性を得るために研究者は加工中のフィチン酸分解の適当な条件を研究し、オート麦のフィチン酸含量を低下させるための発芽条件を見出した (Larsson and Sandberg, 1995)。最適のオート麦の麦芽条件はつぎのようである ; 16°C の水に 16 時間浸け、発芽は 16°C で 144 時間行い、引き続いて 49-85°C で 22 時間乾燥する (Peterson, 1998)。巨大分子の水解の基本的知識を用い発芽粒のアミラーゼ分解活性、解糖活性、タンパク質分解活性の利用をコントロールして、オート麦麦芽から多量タイプのビールを作る事ができた。

偽穀物 (ソバ、キノア、アマランス)

ソバ

ソバは大部分の穀物とは違い Polygonaceae 属に属する交換作物である。ソバは小麦とは関係

なく、その名前は多分トライアングルの種子に基づくものであり、それはピーナッツのずっと大きい種子に似て、これが小麦のように使われる事実だ (Biacs *et al.*, 2002)。ソバ粒は、栄養価が高く、よいタンパク質源である。ソバの栄養価は、キビより高くあるいは米、小麦のような穀物よりも高い (Marshall and Pomery, 1982)。その成分は栄養・生化学的見地からも好ましく、健康保持食事によくあっている。ソバの一定の消費は、“栄養生まれの文明病”(消化不良、肥満、便秘、コレステロール、糖尿病、高血圧等)を防ぐ事ができる (Qian and Kuhn, 1999b; Li and Zhang, 2001; Prestamo *et al.*, 2003; Sun and Ho, 2005)。

ソバは殻付き殻なしの両方がある (Biacs *et al.*, 2002)、しかし最近の研究から殻なしソバの利用が殻付きのものより長所があり、それは水吸収が遅く、その結果麦芽は改良されるという物である (Wijngaard *et al.*, 2005b)。麦芽ロスに加えて、もう1つの殻無し材利用のメリットは、濾過性の改良であった。水につける時間、温度のソバモルト品質に与える効果の研究は、次の事を示した。即ち最適の水浸時間後の水分含量は 35-40% で、その時に薦められる水浸時間は、温度 10°C で 7-13 時間である (Wijngaard *et al.*, 2005a, 2005c)。この水分レベルでの麦芽ロスは受け入れられる範囲内にあり、麦芽品質は最適である。ソバ麦芽中の至適酵素活性は、ソバが 15°C で 96 時間、発芽する時に得られた (Wijngaard *et al.*, 2005b, 2006)。このとき粒は十分に修正され、しかし栄養価は消費されていない。さらに、ルチンは機能性をもつポリフェノールの1つだが、麦芽の間、顕著に増加した。

いくつかの最適条件が最近ソバ麦芽に提案された。殻なしソバを用いたソバを含め、広範囲のグルテンフリー穀物の最適麦芽条件をきめるのに、RSM (応答曲面法) が用いられた (Zarnkow *et al.*, 2005)。著者らは 96 時間の水浸時間、水分 47% の程度で、発芽時間は 19°C で 120 時間を薦めた。これらの麦芽条件はかなりバラバラであり、Wijngaard *et al.*, (2005b, 2006)、

NicPhiarais *et al.*, (2006b) が報告しており、ここでは水浸時間は僅か 10 時間で水浸の程度は 35-40% の間で発芽時間は、15°C で 95 時間が推薦された。Bauer *et al.*, (2005) は、いろいろなグルテンフリー麦芽を用いて広いフレーバー分析を行い、ソバ結晶状麦芽には強い甘い香り、モルト臭、ナッツの香りを見出し、エール生産醸造成分として用いる可能性を示した。NicPhiarais *et al.*, (2005) は、ソバ麦芽中の酵素活性への乾燥の重要性を研究した。

結論として 40°C で長く乾燥すると加水分解酵素の不活性化が起こる。多段階乾燥ステップがそこで研究され、酵素活性は乾燥プロセスの間乾燥を行う温度によって示された。ソバの酵素活性の最適レベルのためにソバ麦芽は 40°C 5 時間、50°C で 3 時間さらに、60°C で 3 時間フォローすべきであるとした (Nic Ohiarais *et al.*, 2006b)。この条件下で、最も高いレベルのアミラーゼ酵素、全可溶性窒素、遊離アミノ態窒素が観察された。得られた結果から強く示されることは、ソバは最適にまで麦芽化すると、健康保持、醸造目的に用いられるソルガム麦芽に変わるグルテンフリーとして有益である可能性を示す。

キノア

偽穀物である Chenopodiaceae 属の穀物キノアは、良好な栄養成分を持つもの、さらに、離乳食として顕著に貢献していると認識されている (Caperuto *et al.*, 2000)。キノアはリジン、メチオニンが高含量含まれていると言われている (Mahoney *et al.*, 1975)。世界中で多くの研究がキノアの農学レベルでなされてきたが (Sigstad and Garcia, 2001)、生理学的レベルあるいは麦芽、醸造面では少ない。キノア種子は *in vitro* では早い発芽といういい面があるが、土壌では非常に貧弱な発芽である (Aufhammer *et al.*, 1996)。36 時間麦芽処理すると、キノアの α -アミラーゼ活性は 4 倍に増加する (Atwell *et al.*, 1988) が、外胚乳のデンプン粒は発芽の間アミラーゼで強く分解するようには見えない (Varriano-Marston and DeFrancischi, 1984)。これ

は麦芽プロセスにとり有利ではないが、マッシング(すりつぶし)と醸造にとり多少いい所である。もし α -アミラーゼレベルが麦芽製造の間このように消費されないならば、残った酵素はマッシングプロセスに利用されるであろう。Kunze (1996d) は、マッシングの間、 α -アミラーゼが存在しないと、糖化は不完全になり低抽出の wort(麦中)になると述べた。RSM を使って、Zarnkow *et al.*, (2005) はキノアの最適の麦芽条件を探すと、水漬時間 36 時間、水分 54%、発芽温度 8°C で 144 時間であった。

麦芽化したキノア粒はまた栄養的利用性を改良した。発芽の間、フィチン酸は 35-39% まで落ち、一方鉄溶解性は生理的条件下(および生体中の鉄利用度の計測から)は 2-4 倍に増えた(Valencia *et al.*, 1999)。消費者は食品、飲み物を消費しながら、革新的なものを求めている、さらに健康に価値のあるものを求めているため、キノアの栄養的性質は麦芽と醸造目的用のやりがいのあるこれからの材料の研究をしようとしている。

アマランス

アマランスは、Amaranthaceae 属の一品種であり、ほとんど亜熱帯、熱帯域で見られる(Berghofer and Schoenlechner, 2002)。食物栄養源として価値あるこの植物は、野菜として食べられ、その種は穀物として用いられる(Irving and Becher, 1985)。文献上僅かに、現在利用できるアマランスの醸造用材料の情報があるだけである。

種子の発芽あるいは麦芽では、一般に生原料

中の内胚乳酵素を使って一部加水分解されたもの(pre-digest)、好ましい物質が合成されたもの、そして好ましくないものの破壊が進んだものが用いられる(Kunze, 1996b)。Paredes-Lopez and Mora-Escobedo (1989) は、初めてこのアマランスの技術の詳細な利用を述べた。水に漬けて 10 分後、アマランス種子は 35°C で 72 時間発芽のために放置する。発芽 48 時間後、リジン量は変化せず、72 時間後タンパク質消化性が増加するに伴ってリジンは僅かに減った。対照として Balasubramanian and Sadasivam (1989) は、12 時間アマランス種子を水に浸け、192 時間までそれらは発芽した。この条件下では 48-182 発芽時間の間、タンパク質は減少し、リジンは発芽 24 時間後 31% 増えることが観察された(Paredes-Lopez and Mora-Escobedo, 1989)。これらのモルト条件は、明らかに Zarnkow *et al.*, (2005) の報告と違うが彼は RSM を使って最適のアマランス麦芽条件を探した。これらの麦芽条件では、水に漬ける時間 36 時間、水分は 54%、発芽温度は 8°C で 168 時間とした。そのため麦芽と醸造目的ではこの Zarnkow *et al.*, の方法がアマランス麦芽を調製するのに用いるべきだとされた。

発芽前後の高級な栄養的成分のため、ソルガムに変わるアマランスの存在はグルテンフリーの興味深い原料である(Colmenara DeRuiz and Bressani, 1990)。しかしアマランスの麦芽、醸造成分としての利用にはもっと研究が必要だ。

以下、次号へつづく

連絡先: 瀬口 正晴 (Masaharu Seguchi)

Email: :gr228587@wf7.so-net.ne.jp

骨代謝研究の第一人者の渾身の一冊

好評発売中



国内はもちろん海外からも高い評価を受け、数多く賞を受け、国際人名録に登録されてきた著者が、長年研究を続けてきた骨粗鬆症の予防と修復における食因子の役割についてまとめあげた、食品研究における貴重な一冊

■A5 版

■定価：(本体 3,000 円 + 税)

■発行：食品資材研究会

- 生体機能はホルモン（内分泌因子）によってダイナミックに調節されている
- カルシウム代謝および骨代謝のホルモン調節のしくみ
- 骨代謝調節機能を発揮して、骨粗鬆症の予防と修復に役立つ食因子の知見とその周辺

亜鉛、大豆成分イソフラボンのゲニステイン、納豆に高濃度に存在しているビタミン K2（メナキノール-7）、温州ミカンに高濃度に含有されているβ-クリプトキサンチン、植物成分の各種フラボノイドおよびカロテンの中で p-ヒドロキシケイ皮酸、アカモクの成分、ワサビの葉柄成分、ミツバチ花粉など。

■著者／山口 正義（やまぐち まさよし）

◆薬学博士。米国エモリー大学医学部内分泌代謝学部門客員教授（任用）。静岡県立静岡薬科大学助手、講師、静岡県立大学薬学部講師を経て、1991 年より静岡県立大学大学院生活健康科学研究科助教授、1993 年から同教授。この間に、米国ペンシルベニア大学、テキサス大学およびテキサス大学の各医学部で在外研究に従事。2007 年から現職。
現在、New York Academy of Sciences, American Society for Bone and Mineral Research, American Society of Biochemistry and Molecular Biology の会員、日本生化学会評議員、International Journal of Molecular Medicine, Journal of Osteoporosis など国際誌 10 誌の編集委員。

骨粗鬆症の予防と修復へのアプローチ

骨の健康と食因子

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

New Food Industry

食品学術誌のご案内

◆この雑誌についてのお問合せ◆
TEL :042-312-0836

エヌエフアイ合同会社 検索

New Food Industry とは

月刊「New Food Industry」誌は、1959（昭和 34）年に創刊以来、食品業界の発展を目指す斯界の研究者ならびに教育機関の先生方などのご助言、ご協力をいただきながら歴史を歩んで参りました。これまで途絶えることなく発行を続けられたことは、我が国の食品業界における学術誌としては稀有の存在であり、今日の食品業界の発展に少なからず寄与しているものと自負しております。

年間購読料

雑誌コード：89591

前払い：1冊 2,160円（税込）×12ヵ月 10%割引 23,328円

送料【100円】×12ヵ月 1,200円 合計：24,528円

後払い：定価

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

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

ニューフードインダストリー 第61巻 第 6 号

印刷 令和 元年 5月25日

発行 令和 元年 6月 1日

発行人 渡邊 力

編集人 今西 和政

発行所 エヌエフアイ合同会社

〒185-0012 東京都国分寺市本町3-7-23-302

TEL :042-312-0836(代表)

FAX :042-312-0845

振込先:三井住友銀行 国分寺支店 普通2312814

多摩信用金庫 国分寺支店 普通3073817

ゆうちょ銀行 〇一九店 当座0324817

印刷所 株式会社メイク

定価 本体2,000円 +税 (送料100円)

e-mail:newfood@newfoodindustry.com