

「しば漬」の色とアントシアニン色素

品川 弘子

Color of "Shibazuke" and Anthocyanin Pigments

Hiroko SHINAGAWA

はじめに

京都名産の「しば漬」は鮮やかな赤紫色と、柔かいナスの歯触り、さっぱりとした酸味やシソの香りが貴ばれている日本の伝統発酵食品の一つである¹⁾。その昔、全盛を誇った平家が源氏に滅ぼされ、一人助けられてこの地に落ちのびてきた高倉天皇の中宮建礼門院は、尼寺・寂光院で仏門に帰依し、先帝の御菩提と平家一門の冥福を祈り、悲しみの余生を送った。その時、最後まで供をしてきた阿波内侍がこの「しば漬」を献上し慰めたところ、これが大変気に入って「紫葉漬」と名付けたという。また、一説には、三千院を中興した聖応大師が創始者ともいわれている²⁾。その製

法はいたって素朴で、粗く縦に薄切りにしたナスに食塩と赤シソ（以後はシソと記載する）を混ぜ、塩漬という簡単な手法で漬けただけの漬物である。

Fig.1は著者が大原を訪ねたときに撮った「しば漬」の漬け込み最中の写真である。大原由来の漬け方は、シソを敷いた樽に食塩を振り込み、そこへ食塩と均一に混ぜ合わせた材料を漬け込んでいくが、近年は部分的に機械化されている。洗浄槽（W2.0×D2.0×H0.8 m）で水洗いしたナス（写真1）を散水装置付きベルトコンベアで頭上の高さ（2 m）まで運び（写真2）、そこで待ち受けている作業員が素早くステンレス製の Cutter 付き切断装置（写真3）に導くと、厚さ約 1 cm の薄切り状のナスが下部に設置された受け箱（W



Fig.1 Process of Shibazuke manufacture

2.0×D 2.0×H0.4m)に落下する(写真4)。直ちに食塩とシソ葉を加え(ナス80:シソ3、食塩7~8%)均一に混合し(写真5、速やかに樽に詰めて「塩ごろし」(後述)の工程に入る。重石の代わりに人が材料の上に乗って平らに踏みならしながら樽の約1/2程度まで材料を詰め込む(写真6)。順次その樽を3~4個積み重ねた上に重石をし、各樽と樽の隙間から自然に40~50%の漬け液が流出するに伴い、あく抜き、脱水、脱気を行なう(写真7)。最後に一個の樽に詰め替え、上部全体をシソで覆い食塩を振って木製の落とし蓋をし、本物の重石をして蔵の中で熟成させる(写真8)。やがて乳酸発酵して酸が生成され20日前後で食べ頃となる⁹⁾。このようにして漬けた「しば漬」はそのまま蔵出しをしなければ約1年近い保存が可能である。樽から出して日が経つと急速に味が落ちるので、50年程前までは、美味しい「しば漬」を食べるには京都大原まで出向かなければならなかったのである。ところが、昭和30年以降、ポリエチレンなどの合成樹脂小袋包装の技術発達に伴い小袋詰のしば漬が市販されるようになり、テレビ等のメディアを通し全国的な漬物として親しまれ、容易に手に入るようになったのは周知の通りである。シソの最盛期の7~8月には大原辺り一面の畑が赤いシソ畑で覆われ、「しば漬」の漬け込みが一気に行われる。大原の生産者の間では、品質の優れた「しば漬」を漬けるには、大原の朝もやの中で栽培されたシソが欠かせないと昔から言い伝えられている。ナスの紫色、シソの赤紫色は、高貴な落人をイメージさせ、そんなところにも京の都の歴史的な背景が窺える。

今日、市場で販売されている「しば漬」は、大きく分けると①「生しば漬」(昔ながらの手法でナスとシソを塩漬けし、自然に赤く発色したもの)と②「味しば漬」(一旦漬かったものをさらに調味液に漬け直したもので、キュウリ等の野菜も使用されることが多い)の二種類に分類される⁹⁾。しかし、あくまで本来の「しば漬」はナスと赤シソの葉を食塩で漬け込んだものをいい、ドイツのサワークラウト⁹⁾のように酸味の強い漬物である。

ところで、「しば漬」の鮮やかな赤紫色は材料のナスあるいはシソに由来するアントシアニン色素に起因するわけであるが、ナスとシソのいずれの色素によって染まっているのであろうか。アントシアニンとは光や熱に弱く、調理・加工・貯蔵中に速やかに退色することが知られている⁹⁾にもかかわらず、「しば漬」中では鮮やかな赤紫色を呈して安定化しているのはなぜなのか。本稿では、昔ながら自然発酵の「しば漬」の赤

紫色に焦点を当て、これらの要因について述べることにする。

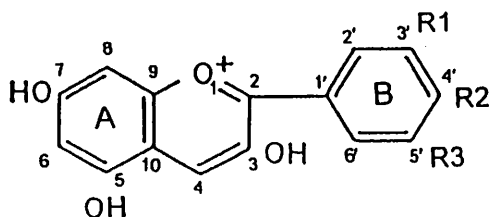
1. 漬物と「塩ごろし」

漬物は野菜を食塩で貯蔵することから始まった保存食の一つである。野菜を食塩で漬けると、まもなく野菜から漬け液がしみ出てきて、しんなりとなる。これは食塩の浸透圧の関係で、食塩水より浸透圧の低い野菜の細胞液から水分が引き出され、食塩が野菜の細胞内に浸入することにより生ずる。これを「塩ごろし」あるいは単に「ごろし」という。細胞の脱水が進むと原形質分離がおき、細胞が死滅し野菜の呼吸作用が止まり、それに伴って漬け液に野菜から糖分等の栄養成分がしみ出てくる。漬物は、これを栄養として細菌が繁殖し、酸やアルコールが生成され、さらにエステル等による風味が増して漬け上がる。重石は物理的に漬け液の上がりを早める役割を担っている。

他方、「塩ごろし」を行わない漬物も存在する。たとえば、グンドルック Gundruk やシンキ Shinki (ネパールの漬物)は全く食塩を使用せず乳酸菌の働きだけで保存する漬物である。我が国では長野県木曽谷のシンキや新潟県長岡市近郊の込み菜が古くから知られている⁷⁾。

2. アントシアニン色素とは⁸⁾

アントシアニンとは赤色を呈する花や果実の主要色素(カロチノイド、アントシアニン、ベタシアニン)の一つで、植物の細胞内の液胞中に配糖体として存在し、組織を青色~紫色~赤色に染めている色素であるが、これが天然に遊離状態で存在することはほとんどない。多くの場合、糖と結合した配糖体として存在し、これをアントシアニンと呼ぶ。糖を持たない遊離のアグリコンをアントシアニジンと呼び、また両者を含めてアントシアニンともいう。Fig.2に示したようにC₆-C₃-C₆の構造を持ち、1位の酸素が2位の酸素と共有結合し、3価となっているのが特徴で、オクソニューム構造をとっているため色が不安定になりやすい⁹⁾。B環の置換基の位置によって、橙赤色系のペラルゴニン、紅赤色系のシアニジン、紫赤色系のデルフィニジンのような代表的なアントシアニジンに分類されている。通常、A環の3位または5位、あるいは両方に糖が結合していることが多く、糖の種類としてはグルコースが最も多く、次いで、ラムノース、ガラクトースである。また、有機酸が直接あるいは糖部にエステル結合(-COO-)しているアシル化アントシアニンも多い。有機酸としては、マロン酸、桂皮酸、p-クマル酸、



Oxonium form

Fig.2 Structure of anthocyanin

コーヒー酸等がある。

アントシアニンは水溶性で、水溶液中ではpHにより色調が変化することが知られている。強酸性では安定なフラビリウムイオン（赤色）から、微酸性ないし中性ではキノン型のアンヒドロベース（紫色）と、それが水和したシュードベース（無色）の互変異性体になり、アルカリ性ではキノン型のアニオン・アルカリフェノラート（青色）まで変化する（Fig.3）¹⁰⁾。「しば漬」の着色にもpHが深く関係し乳酸発酵が進むにつれさまざまな有機酸が生成して酸性となり赤色を呈するようになる。そこで次に「しば漬」の着色に関与している有機酸組成について述べる。

3. 「しば漬」の品質と有機酸組成

「しば漬」は自然発酵によってつくするため、時には正常に漬からず、色が褐変し退色することがある。鮮やかな赤紫色を呈している正常品と、所々斑に薄い赤色を呈しているが全体として退色部分が多い異常品との有機酸組成の違いをFig.4に示した¹¹⁾。食塩濃度はいずれも4%前後で、正常品はpH3.4である。切断したナスの放置時間や食塩を加える時間など、pH以外の他の要因も考慮しなければならないが、pHが高い異常品はアントシアニンの発色を促す酸量が正常品の

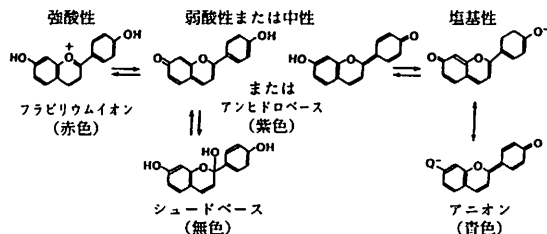


Fig.3 pHによるアントシアニンの構造変化

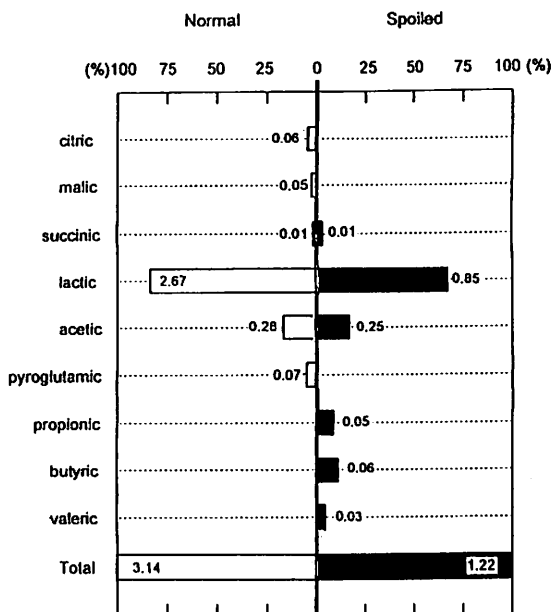


Fig.4 Organic acids content in "shibazuke" (%(w/w))

HPLC condition: Column: Shim-pack CR-101 H (8mm I.D.X 300mm L) and-101 H (8mm I.D.X 300mm L), Mobile phase: 5mM p-Toluene sulphonic Acid, Flow rate: 0.8ml/min, Column temperature: 45°C Injection: 10 μ l, Detector: Shimazu CDD-6 A

半分以下で不十分なため、赤色の濃色度が明らかに低くなり、乳酸発酵が順調に行われていないと思われる。両者とも主な有機酸は乳酸で、次いで酢酸が多いが、異常品には、プロピオン酸や酪酸、吉草酸等の低級脂肪酸が認められることから、発酵不良の原因として発酵初期に酪酸発酵の可能性が考えられる。酪酸や吉草酸は特異な不快臭を呈することは周知の通りである¹²⁾。しかし、異常品中の酢酸濃度が正常品とほぼ同じであり、酢酸は抗菌性が強いので¹³⁾、この実験に用いた異常品の保存性には大きな問題がなかったと思われる。ちなみに、調理の手法の一つである「酢洗い」は酢酸の殺菌効果をねらったものである。

一方、官能検査では、「色」に関する異常品の評価値が有意に低く、色調の良し悪しが「しば漬」の品質に大きく影響することが認められている¹¹⁾。すなわち、酸味が強く濃い赤色に染まっている「しば漬」が品質の良いものとされる。「しば漬」をきれいな赤紫色に染めている主要アントシアニン色素はナス由来の色素なのだろうか、シソ由来の色素なのだろうか。

4. 「しば漬」の主要アントシアニン色素

著者らが大原で漬けた「ミニプラントしば漬」と「市販しば漬」について、HPLCおよびLC/MSの分子イオン質量数から同定されたアントシアニン色素¹⁴⁾を相対的色素量としてFig.5に示した¹⁵⁾。いずれの「しば漬」もナス由来のナスニンの占める割合が最も高い。図中のミニプラントのSは生産者のA₁、A₂、B、Cと比べ、シソ由来のアントシアニン構成比（シアニジン-3,5-ジグルコシド、シソニン、カフェイルシアニン、マロニルシソニン等）が高いが、これはミニプラントには漬け込み工程最後に表面を覆ったシソ葉も含んでいるためである。故に、ナスニンが「しば漬」の主要アントシアニン色素であること、また、色素構成比が高いことから、ナスニンの色調が安定に保たれていることが認められる。

一方、林等¹⁶⁾により、19種の野菜・果実から抽出したアントシアニン色素を加熱および紫外線照射をしたところ、ナスアントシアニンは特に不安定であることが報告されている。これは、他の野菜・果物の構成アントシアニン数と比較してナス皮中にはほぼ単一のナスニンしか含まれていないことに起因（ナス皮の構成

アントシアニン4種類中92%がナスニン¹⁷⁾すると推察される。シソを加えずナスだけ漬けたものに赤色が観察されなかったことから、ナスアントシアニン単独では非常に不安定なことが認められる¹⁸⁾。また、不安定な他の要因として、ナスニンのシュードベースがポリフェノールオキシターゼ（PPO）によって酸化され、生成したキノンが重合して褐色に変化することも考えられる¹⁹⁾。さらに、ナスに多く含まれるクロロゲン酸もPPOで酸化され、生じたキノンがアントシアニンを酸化し、またナスニンがキノン型クロロゲン酸と電荷移動錯体を形成して暗褐色に変化する経路も考えられる²⁰⁾。この退色防止対策に昔から鉄釘や鉄ミヨウバンを用いる有効方法が知られている。鉄の効果は鉄イオンとナスニンが結合して安定な青色のメタロアントシアニンをつくるためと言われている²¹⁾。江戸時代の漬物の書物「漬物早指南」（別名「四季漬物塩嘉言」）²²⁾には川砂を「茄子塩漬」の色止めに使っていたことが記載されている。これは先人の経験的な知恵によるものと思われるが、川砂に混ざっている鉄がメタロアントシアニンとなって色止め効果をもたらしたわけである。「しば漬」の場合、カリミヨウバンは紫系、鉄ミヨウバンは青系に染まり、色止め効果は観察されたが、いずれも「しば漬」本来の赤色とはかけ離れた色調に漬かり、漬け込み時にミヨウバンを加えても「しば漬」にその効果は期待できないことが判明している²³⁾。この辺に「しば漬」の漬け込み技術の難しさが窺われるが、「しば漬」中ではナスアントシアニン色素が非常に安定化していることは事実である。その理由について次に述べることにする。

5. 「しば漬」の色調安定化因子

5-1 アントシアニン色素の安定化機構

アントシアニンの安定化に関して多くの研究が行われている^{24)~29)}。その中でも後藤氏ら²⁹⁾のスタッキングによるアントシアニン色素の安定化機構がよく知られている。Fig.6に3種のスタッキングの模型図を示した。これらはアントシアニン骨格の芳香環平面どうしの疎水結合が主な会合力となり、周囲を親水性のグルコースによって取り込まれた構造をとって安定化している。「しば漬」の場合は、シソとナスとの「同種分子間スタッキング」によって安定化していると考えられる。このことは、ナスと塩だけで漬けたものは退色してしまい、発色せずに褐変することからも容易に推測される。また、「しば漬」中では、さらに熟成に伴う乳酸の生成により強酸性溶液となるため、アントシアニン色素はフラビリウムイオン型となり赤色を呈

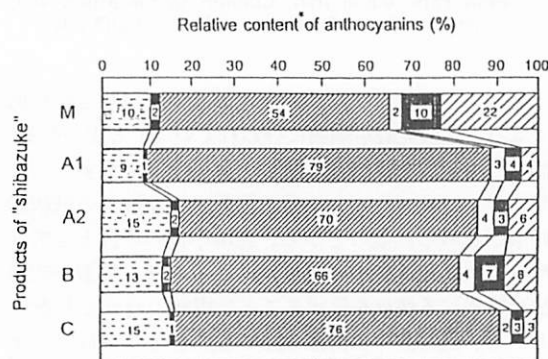


Fig.5 Relative content of various "nama-shibazuke"

■ Phenolic substance ■ Cyanidin-3,5-diglucoside
 ▨ Nasunin □ Caffeylmalonylcyanin
 ▩ Shisonin ▨ Malonylshisonin
 *(peak area) / (peak area on day 0)

M: Product matured for 20 days by the author under small-scale (just before packing)
 A₁: Product matured for 180 days by A maker (just before packing)
 A₂: Package by A maker
 B: Package by B maker
 C: Package by C maker

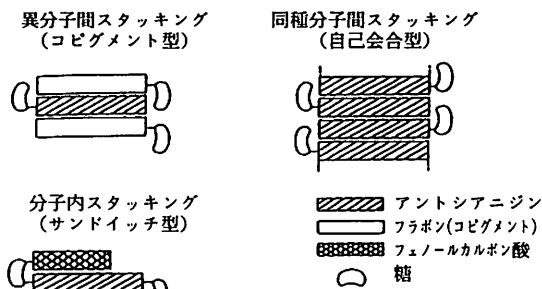


Fig.6 スタッキングによるアントシアニンの安定化機構の模型図

して⁸⁾非常に安定になると考えられる。図中のコピグメントとは、イギリスの Robinsonら²⁰⁾により、フラボン、タンニン、芳香族有機酸などのコピグメント化合物、すなわち、「補助色素」化合物と共存することによって濃色効果と安定化効果を保つ現象をいう。ナスの色止めのように金属イオンとのコピグメントによる安定化は異分子間スタッキングの一種と考えられる。

「しば漬」の色調は、主要色素であるナスニン単独では非常に不安定であることは先に述べた通りであるが、これにシソ由来の幾つかのアントシアニン色素が混合されることにより安定になっていると考えられる。すなわち、シソが加わることで「しば漬」全体の構成アントシアニン色素数が多くなるため、アントシアニン同士のスタッキングが起こり安定性を保っているといえる。さらに、著者らは「しば漬」に含まれる食塩に注目し、アントシアニン色素の発色の強さと食塩との関係を調べたので、次にそれについて述べる。

5-2 シソおよびナスアントシアニン色素に及ぼす食塩の効果

シソおよびナスから精製した各アントシアニン色素粉末を¹⁰⁾、pH3.4の緩衝液に溶解した色調変化は、食塩無添加の場合、明らかにシソの最大吸光度(E525nm)の方がナスより1.4倍高く、色素量が2倍になると発色度がさらに強くなる (Fig.7)³⁰⁾。ところが、食塩量1%以上を境にしてナスとシソの最大吸光度が逆転し、ナスに対する濃色効果が顕著に見られ、さらに色素量が2倍になると、ナスの最大吸光度は約3倍に上昇し、食塩量3%ではシソの1.4倍、食塩量5%では1.5倍の最大吸光度に相当する。「しば漬」の熟成最期のナスニンの相対的色素量がシソの総アントシアニンの1.4倍量あったことから¹⁰⁾、一般に食塩を4%前

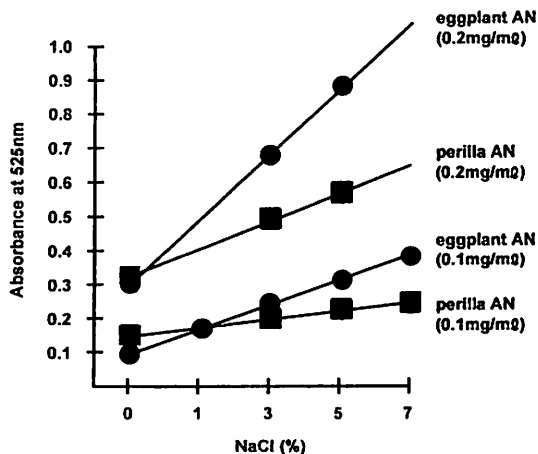


Fig.7 Effects of addition of sodium chloride for perilla and eggplant anthocyanin pigments

AN; anthocyanin pigment
NaCl(%) /Walpole buffer(pH 3.4)

後含む「しば漬」中ではナスニンが主要色素として着色を担っていることは明らかである。食塩は「しば漬」中でアントシアニンの発色・安定化の重要因子として大きな役割を果たしていると考えられる。

食塩の褐変防止については、リンゴなどの果物中のPPOによる褐変防止効果が日常的によく知られているが³¹⁾、ナスの切り口についても食塩の褐変防止効果が確認されている³²⁾。したがって、先述した異常品「しば漬」の退色の原因はpHが高いことだけではなく、食塩が適切に混合・付着されていなかったことも考えられる。食塩は漬け込み時に単に加えればよいというわけではなく、加える時期や速度等、加え方が非常に重要となる。つまり、「塩ごろし」までの工程が漬け上がった「しば漬」の色調と密接な関係を担っているといえよう。最後に、熟成中にどんな乳酸菌が「しば漬」の発色に関与しているのだろうか。

6. 「しば漬」の主要乳酸菌

6-1 乳酸菌とは

乳酸菌 (Lactic acid bacteria) は乳酸を作る細菌で、分類学的には乳酸菌の定義³³⁾による特定の性質を持ち合わせた一群の細菌の総称である。乳酸菌は糖類を唯一のエネルギー源として利用し生育する。乳酸菌によって取り込まれたグルコース ($C_6H_{12}O_6$) は、(1) $C_6H_{12}O_6 \rightarrow 2C_3H_6O_3$ (ホモ発酵) または (2) $C_6H_{12}O_6 \rightarrow C_3H_6O_3 + C_2H_5OH + CO_2$ (ヘテロ発酵) のいずれかの式に従っ

て分解され、100%または50%の乳酸 ($C_3H_5O_3$) が作られる。乳酸菌はホモ発酵またはヘテロ発酵のいずれかでグルコースを分解して乳酸を作るので「消費したグルコースに対して50%以上の乳酸を生成する」と定義される。

6-2 しば漬の熟成に関与している乳酸菌

京都大原の業者が漬けた「しば漬」の分離乳酸菌の経時変化を Fig.8 に示した。pH 値 (3.28) が最も低い20日には鮮やかな赤紫色を呈し、ホモ発酵型乳酸菌が最も多く、主要乳酸菌である *Lactobacillus plantarum* (ホモ発酵) や *Lactobacillus brevis* (ヘテロ発酵) が認められる³⁾。「しば漬」が良好に漬かるためには、20日までにこれらの菌が生成する乳酸が一定以上の酸度に高まる必要がある。これら乳酸菌は酸味成分の付与と共に pH を低下させてアントシアニン色素の赤色化および安定化のために重要な役割を担っている。

食塩は「しば漬」の色調に影響する重要因子の一つであることは既に述べたが、乳酸菌の生育にも影響を及ぼす。「しば漬」中の乳酸菌は7%食塩濃度では生育しにくい、4%以下の食塩濃度では良好に生育することが著者により認められている³⁾。グラム陰性細菌の *Pseudomonas* 属菌や *Enterobacter* 属菌は乳酸菌の増殖を抑制し、また一方では pH の低下を促進させる

が、一般に4%前後の食塩濃度はこれらの菌の増殖を阻害する変極点であることから³⁵⁾、熟成中の食塩濃度は4%近辺であることが望ましいと考えられる。漬け込み時には7~8%の食塩を加えるが、「塩ごろし」の過程で脱水されながら食塩も流れ出るため、最終的な食塩濃度は4%前後に落ち着く。近年は健康的減塩嗜好の傾向にあるため、なるべく減塩ということで2%前後の低濃度の食塩で漬け込まれる場合もあるようであるが、どうしても色や味の悪い異常品の頻度が高くなるのは否めないことが微生物学的にも裏付けられる。食塩濃度条件を4%程度にすることが、乳酸菌の環境においても、アントシアニン色素の発色と安定化においても、「しば漬」を失敗なく漬けるコツの一つといえよう^{36)~37)}。

これまでに述べた幾つかの要因は著者らの協力生産者に現在実用化され、良い成績を挙げている。

おわりに

「しば漬」は古くから感と経験に基づいて造り継がれ、いまでも人々に所望されている、酸味の強いシソ風味の赤紫色のきれいな漬物である。本稿ではその色に着目し、微生物学および化学的アプローチから、「しば漬」の独特で鮮やかな赤紫色はナス由来のナスニンという色素で染まっていることを述べたが、「しば漬」中のシソも独特な香りとナスニンの安定性に欠かせない存在である。「しば漬」の色調の安定化にはナス色素を中心にシソ色素や食塩、乳酸菌などの幾つかの要因が「しば漬」熟成中に巧みに関わり合い、その結果主要色素のナスニンが安定した赤紫色に着色するのである。最近では、発酵だけに依存しない「味しば漬」も多く出回っているが、いわゆる昔ながらの「生しば漬」は立派な“スローフード”であると言える。今後も日本の伝統発酵漬物本来の「生しば漬」として、さらなる発展を続け、後世に受け継がれていくことを願っている。

参考文献

- 1) 松野弘：新版漬物総典，食品通信社（1964）
- 2) 真下五一：味道探求名著選集・第四巻・漬物風物誌，p.87（1980）
- 3) 品川弘子，西山隆造，岡田早苗：食科工，43，5，582-585（1996）
- 4) 佐藤節夫：食の科学，180，81-85，光琳，東京（1993）
- 5) Pedersont Carl, S. and Albury Margaret N. : *Food Technol.*, 15, 8, 351（1961）

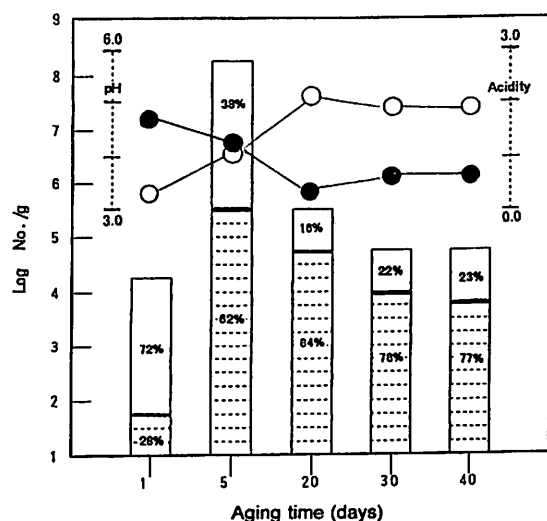


Fig.8 Number of lactic acid bacteria, distribution of homo and hetero fermentation, pH and acidity

■ : Homo fermentation □ : Hetero fermentation
● : pH ○ : Acidity

- 6) 太田英明：日食工誌, 36, 71 (1989)
- 7) 小崎道雄：学術月報・生物資源 (食糧), 34, 1, p.42 (1981)
- 8) 新・食品分析法, (社)日本食品科学工学会編纂, p.653-655, 光琳, 東京 (1996)
- 9) 木村進, 中林敏郎, 加藤博通：食の変色の化学, p.18-25, 光琳, 東京 (1995)
- 10) Brouillard, R. and Dubois, J. : *J.Am. Chem. Soc.*, 99, 5, 1359-1364 (1977)
- 11) Shinagawa, H., Nishiyama, R., Miyao, S. and Kozaki, M. : *Food Science Technology, Int, Tokyo*, 3, 2, 170-172 (1997)
- 12) 天羽幹夫, 小石川仁治：精説応用微生物学, p.65, 光生館 (1977)
- 13) 鐵本總吾：農化誌, 9, 67-75 (1932)
- 14) Shinagawa, H., Nishiyama, R., Kurimoto, K., Hayashi, K., Szuki, A., Tsukui, A. and Kozaki, M. : *J.Home Econ.JPN*, 48, 12, 1071-1076 (1996)
- 15) Shinagawa, H., Nishiyama, R., Hayashi, K., Szuki, A., Tsukui, A. and Kozaki, M. : *Stud. Rep. Teikyo Jr. College*, 11, 7-12 (1999)
- 16) Hayashi, K., Ohara, N. and Tsukui, A. : *Food Sci. Technol., Int.*, 2, 1, 30-33 (1996)
- 17) 津久井亜紀夫, 林一也： *New Food Industry*, 39, 1 (1997)
- 18) 品川弘子：昭和女子大学博士論文, p.69 (1997)
- 19) 木村進, 中林敏郎, 加藤博通：食の変色の化学, p.89, 光琳, 東京 (1995)
- 20) 中林敏郎, 並木満夫, 松下雪朗：食品の変質と成分間反応, p.31, 講談社サイエンティフィック (1990)
- 21) 林孝三編：植物色素, p.289 (1991)
- 22) 小田原屋主人著：漬物早指南 (別名「四季漬物塩嘉言」, p.18 (1836)
- 23) 品川弘子：昭和女子大学博士論文, p.72 (1997)
- 24) Robinson, G.M. and Robinson, K. : *Biochem.J.*, 25, 1687-1705 (1931)
- 25) Hayashi, K., Abe, Y. and Mitsui, S. : *Proc. Jpn. Acad.*, 34, 373-378 (1958)
- 26) Hoshino, T., Matsumoto, U., Goto, T. and Harada, N. : *Tetrahedron Lett.* 23, 433-436 (1982)
- 27) Tsukui, A., Suzuki, A., Nagayama, S. and Terahara, N. : *Nippon Shokuhin Kagaku Kaisei*, 43, 4, 113-119 (1996)
- 28) 石井智恵美, 鈴木敦子, 倉田元子, 表 美守：日食工誌, 37, 12, 43-46 (1990)
- 29) 後藤俊夫, 近藤忠雄：有機合成化学, 46, 426-435 (1988)
- 30) Shinagawa, H., Tsukui A., Hyashi K. and Kozaki, M. : *10th World Congress of Food Science and Technology*, Sydney, Australia (1999)
- 31) 木村進, 中村敏郎, 加藤博通：食品の変色の化学, p.88, 光琳, 東京 (1995)
- 32) 品川弘子：昭和女子大学博士論文, p.40 (1997)
- 33) 小崎道雄監修, 内村泰・岡田早苗著：乳酸菌実験マニュアル, 第1版, 朝倉書店, 東京 (1992)
- 34) 品川弘子：昭和女子大学博士論文, p.108 (1997)
- 35) 今井正武, 平野 進, 饗場恵美子：日農化, 57, 11, 1105 (1983)
- 36) Shinagawa, H., Tsukui, A., Hyashi, K., and Kozaki, M. : *9th World Congress of Food Science and Technology*, Budapest, Hungary (1995)
- 37) 品川弘子, 津久井亜紀夫, 鈴木敦子, 林一也, 小崎道雄：食品科学工学会第45回大会 (1998)