

発酵漬物における乳酸菌のはたらき

誌名	日本醸造協会誌 = Journal of the Brewing Society of Japan
ISSN	09147314
著者名	宮尾, 茂雄
発行元	日本醸造協会
巻/号	112巻6号
巻号補足	
掲載ページ	p. 386-396
発行年月	2017年6月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council
Secretariat



発酵漬物における乳酸菌のはたらき

漬物は、少なくとも1400年以上の歴史を有する日本人の食生活にとって切っても切れない食物である。その発酵漬物の製造工程においては、乳酸菌が主要な微生物として働き、漬物の旨さを形成している。数多くの種類の発酵漬物で働く乳酸菌の種類と製造工程中での変遷には驚かされるが、微生物叢の変化は、清酒の生もと同様である。これらの乳酸菌は他の醸造物でも見られる菌ではあるが、更なる研究によって、日本人、さらには世界の人々の食生活にも寄与できることを願うものである。

宮尾 茂雄

1. はじめに

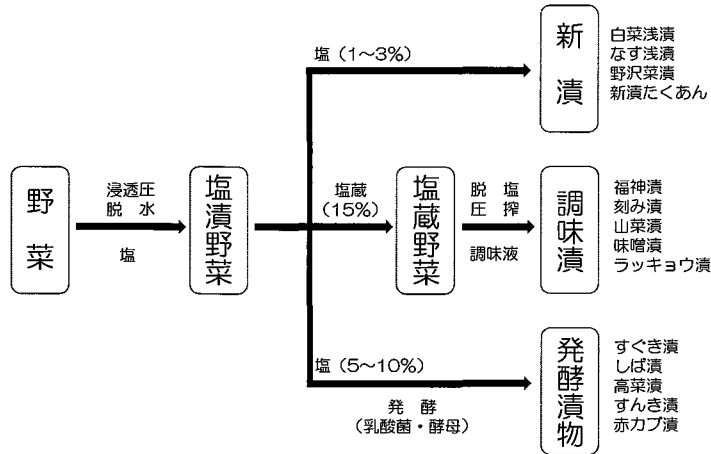
2013年、和食がユネスコ無形文化遺産に登録されたことは記憶に新しい。和食は、主食のご飯と汁の間に香の物（漬物）を置き、それにお菜が三品添えられる献立が一汁三菜の基本形とされている。このような和食の基本形が成立したのは室町時代といわれているが、漬物が作られた時代はさらに古く、記録として残っているものとしては奈良時代まで遡る。

1988年、デパートを建設するために平城京跡地の東南にあたる場所を整地した際に、長屋王（684～729年）の邸宅遺跡が発見された。邸宅跡から出土した数万点に及ぶ木簡のなかに「加須津毛瓜」（瓜の粕漬）や「醬津毛瓜」（瓜の醤油（味噌）漬）など4種類の漬物の名を墨書したものが発見された。これは日本で漬物が文字として記録された最初のものである¹⁾。したがって、漬物は少なくとも1400年以上の歴史を有しているものと考えられる。その後は、平安時代に宮中の年中行事を詳細に記録した『延喜式』に、塩漬、醬漬、糟漬など、漬物に関する記述がある。糟漬には、瓜、冬瓜、ナスなどを漬けたものの記録が残されている。ほかにには薤（にらぎ）という楡の木の花の粉末で漬けた漬物や荏裹（えつづみ）という荏胡麻（えごま）の葉に包んで味噌漬けにしたものなど、今日では見られなくなった漬物を含め、多彩な形態の漬物が記録されている。漬物が全盛期を迎えるのは江戸中期か

ら後期である。天保7年（1836年）に出版された『漬物塩嘉言』（小田原屋主人著）²⁾は、今でいう料理本の一つで、64種類の漬け方が書かれている。近年になっても、冷蔵庫が普及していない頃は、漬物はまだ保存食品であったが、低温流通が普及したことに加え、包装や保存技術が開発された結果、現在では浅漬などの低塩漬物も加わり、多彩な漬物が市場に流通するようになった。

漬物は製造法の違いによって、新漬、調味漬、発酵漬物に分けることができる（第1図）。新漬は、食塩濃度が1～3%のものでいわゆる浅漬と呼ばれるものである。白菜やキュウリの浅漬などが該当する。新漬は非加熱殺菌で低塩であることから、原料野菜の洗浄や保存状態によっては大きな影響を受ける。原料野菜の汚染状況や保存状態が好ましくない場合は、容易に微生物の増殖を許し、短期間のうちに品質低下を招くことになる。

2012年8月、北海道の高齢者施設やホテルなどで白菜浅漬を原因とする腸管出血性大腸菌O157による集団食中毒事件が発生したが、このような事件は漬物業界にとって大きなダメージを受けることになり、是が非でも避けなければならない³⁾。調味漬は、15%前後の食塩で原料野菜を漬込み、塩蔵野菜として保存しておいたものを必要な時に脱塩、圧搾し、調味液に漬けて製造するもので、代表的なものに福神漬がある。冷蔵設備の普及もあって、脱塩作業が省力化されるた



第1図 漬物の製造法

め、低塩、低温の状態下で漬原料が保存されることも多い。発酵漬物は、雑菌が生育しにくい3~10%の食塩濃度下で漬け込み、発酵を促したもので、主に乳酸菌の働きによって発酵風味が形成される。発酵にともない乳酸が生成されるので保存性も向上する。わが国で発酵漬物として良く知られているものに、すぐき漬、しば漬、赤かぶ漬、高菜漬などがある。現在、野沢菜漬、広島菜漬などは浅漬タイプのものが多く流通しているが、発酵によって製造されているものも販売されている。また、たくあん漬のなかには、伊勢たくあんのように発酵によって独特の風味を有するものもある。また、身近なものとしては、一般家庭でも良く作られている糠みそ漬がある。一方、海外では、ザワークラウト（欧米）、泡菜（パオツァイ・中国）、キムチ（韓国）、グンドルック（ネパール）、発酵ピクルスなどが知られている。

本稿では、発酵漬物における乳酸菌とそのはたらきや発酵漬物の具体例として、主な発酵漬物について述べる。

2. 発酵漬物に関する乳酸菌

発酵漬物に関する微生物学的研究は、すでに Conrad (1897年) や Butjagen (1904年) らによって行われていたが、その後、1930年に Pederson は「FLORAL CHANGES IN THE FERMENTATION OF SAUERKRAUT」⁴⁾と題した報告をおこなった。この報告によるとザワークラウトの発酵初期では *Leuconostoc* 属菌や *Enterococcus* 属菌などの乳酸球菌が主要菌群であるが、後期では *Lactobacillus* 属菌に代表される乳酸桿菌が優勢になることを明らかにしている。発酵漬物はこのように主に乳酸菌の発酵作用によって製造される漬物であるが、発酵過程で出現する主な乳酸菌の種類と特性を第1表に示した。乳酸球菌としては、*Leuconostoc* 属、*Enterococcus* 属、*Pediococcus* 属、*Tetragenococcus* 属菌、乳酸桿菌としては *Lactobacillus* 属菌が主に出現する。乳酸球菌の代表的なものの一つである *Leuc.mesenteroides* は比較的低温を好み、生育に適した温度は 21~25℃である。食塩や酸に対

第1表 発酵漬物の主要な乳酸菌⁵⁾

菌種	形状	生育温度℃	生育pH	特性
<i>Leuconostoc mesenteroides</i>	球菌	5-40	5.4-6.8	ガス生成・粘質物
<i>Enterococcus faecalis</i>	球菌	10-45	4.5-9.6	整腸作用・免疫賦活
<i>Enterococcus faecium</i>	球菌	10-45	4.5-9.6	
<i>Lactobacillus plantarum</i>	桿菌	10-45	3.5-8.2	主要菌
<i>Lactobacillus brevis</i>	桿菌	15-45	3.7-8.2	ガス生成
<i>Pediococcus acidilactici</i>	球菌	5-50	4.0-8.2	
<i>Pediococcus pentosaceus</i>	球菌	5-45	4.5-8.2	
<i>Tetragenococcus halophilus</i>	球菌	10-45	5.0-9.0	耐塩性乳酸菌

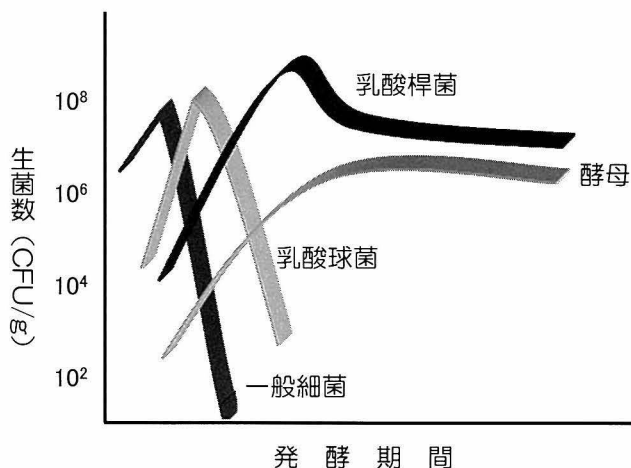
する抵抗性が比較的弱く、食塩濃度が3%以上になると増殖が抑制される傾向にある。また、pHが低下してくると生育が抑制される。*Leuc.mesenteroides*はいわゆるヘテロ型の乳酸発酵を行うので、乳酸の他に炭酸ガス、エタノールを産生する。*E.faecalis*や*E.faecium*は幅広い温度で生育できるが、最適生育温度は35℃前後である。また、それらは*Leuc.mesenteroides*に次いで食塩に対する抵抗性が低く、食塩濃度が10%程度に達すると生育が困難になる。なお、*E.faecalis*および*E.faecium*はホモ型の乳酸発酵を行うので乳酸のみを産生する。*Pediococcus*属菌の主なものは*P.pentosaceus*や*P.acidilactici*である。*Pediococcus*属菌は比較的食塩に対して抵抗性がある。したがって、10%程度の食塩濃度であれば生育可能な場合が多い。なお、*Tetragenococcus halophilus*は20%程度の食塩存在下においても生育する乳酸菌で醤油の製造環境においても分離される菌である。酸に対する抵抗性を見ると*P.pentosaceus*や*P.acidilactici*はpH4.0前後で生育するが、*T.halophilus*はpH5.0以下では生育はやや困難となる場合が多い。乳酸桿菌としては、*L.plantarum*や*L.brevis*が発酵漬物で出現することが多いが、特に、*L.plantarum*は発酵漬物中で最も重要な乳酸菌である。*L.plantarum*はホモ型の乳酸発酵を行い、乳酸を多量に生成する。いずれも乳酸球菌よりも低いpHで生育が可能なおことから、発酵漬物の製造においては、中・後期に出現し、優占種となるのが一般的である。なお、*L.brevis*は*L.planta-*

*rum*より後期に出現する傾向が見られる。*Tetragenococcus*属菌以外のいずれの乳酸菌も培地中よりも実際の漬物中の方が食塩に対する抵抗性が高くなる傾向が認められる⁵⁾。

3. 発酵漬物における微生物の消長

発酵漬物の製造過程における微生物の消長は、第2図で示すような形で推移するのが一般的であるが、原料野菜の種類、発酵温度、食塩濃度、重石、密閉度などによって影響を受ける。

発酵初期には原料野菜に付着している多種類の細菌が増殖してくる。これらの細菌は食塩濃度が低濃度の場合、一時的に $10^8/g$ 程度の菌数に達することもある。グラム陰性菌では、*Pseudomonas*, *Flavobacterium*, *Enterobacter*, *Klebsiella*属菌などが出現する。グラム陽性菌では、*Micrococcus*, *Bacillus*属菌が増殖するが多い。その他に*Corynebacterium*, *Citrobacter*, *Erwinia*属菌などの細菌の増殖がみられることもある。発酵漬物では*Micrococcus*や*Bacillus*属菌の増殖は概して遅い傾向が見られるので、発酵初期の細菌の主体をなしているのはグラム陰性菌である。通常、それらの細菌の増殖と相まって乳酸菌の増殖が始まる。発酵初期に出現してくる乳酸菌の大部分は乳酸球菌で、特に*Leuc.mesenteroides*が優勢となる場合が多い。その他には、*E.faecalis*, *E.faecium*, *P.pentosaceus*などの増殖が見られる。その結果、乳酸量は0.7~1.0%程度に達する。*Leuc.mesenteroides*はヘテロ型



第2図 発酵漬物における微生物叢の変化(模式図)

乳酸発酵を行うことから乳酸以外に酢酸、エタノール、炭酸ガス、エステル、マンニットなどを生成する。これらの生成物は発酵漬物に対し、微妙な香味を付与するものと考えられている。なお、マンニットは発酵漬物に軽い苦味を付与する。このように *Leuc.mesenteroides* を主体とする乳酸球菌によって乳酸や酢酸が生成され、pHが低下すると酸に弱い細菌は減少、死滅するようになる。このような乳酸菌の生育は、亜硝酸を生成する *Pseudomonas* 属菌や大腸菌群を死滅させるだけでなく、亜硝酸そのものを減少させるのに役立っている。

発酵中期から後期になると乳酸球菌による乳酸の生成は引き続き行われるが、同時に *L.plantarum* を主体とする乳酸桿菌が急速に増殖し始め、さらに乳酸が生成されるようになる。その結果、酸濃度が0.7～1.0%程度まで生成すると *Leuc.mesenteroides* は耐酸性が比較的弱いことから徐々に死滅するようになる。*Leuc.mesenteroides* によってつくられたマンニットは消費されるので苦味は除去される。なお、発酵後期には *L.plantarum* 以外にヘテロ乳酸発酵を行う *L.brevis* などが増殖することが多い。

発酵漬物は、我が国では、すぐき漬、しば漬、すんき、赤かぶ漬、高菜漬、たくあん、ぬかみそ漬をはじめ、多くの種類があり、海外でもザワークラウト、キムチ、発酵ピクルス、泡菜、グンドルックなど各地の風土に合わせた発酵漬物が作られている。以下、代表

的な発酵漬物について紹介する。

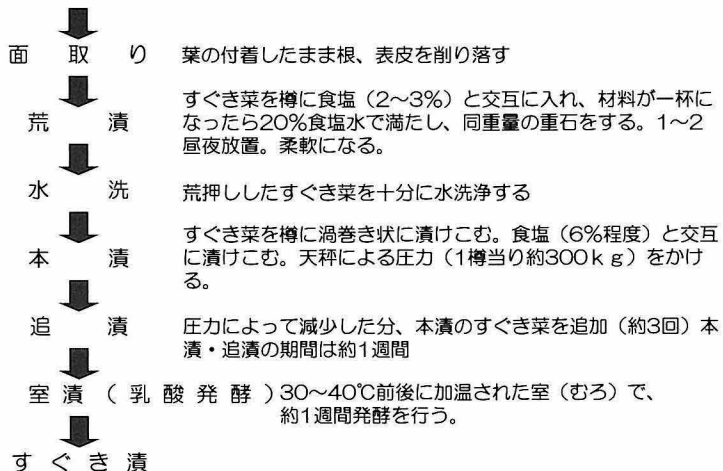
4. すぐき漬

古都、京都には千枚漬やしば漬をはじめ、歴史の重みを感じさせる伝統的な漬物が多い。このなかで、平安時代から作られている発酵漬物に「すぐき漬」^{6,7)}がある(第1写真)。すぐきは「酸茎」とも呼ばれ、京都、上賀茂神社の社家の間で栽培が始まったとされる。江戸時代には上賀茂神社の特産漬物となったが、作り方は秘密とされ味が守られてきた。明治の頃には一般の農家にも栽培が広がり、漬物として普及するようになった。すぐき漬の製造法は第3図に示すとおりで、最初に原料のすぐき菜を茎葉を付けたままの状態



第1写真 すぐき漬

すぐき菜 (酸茎菜)



第3図 すぐき漬の製造方法

で根部の表皮を削り落として形状を整える。これを面取りという。つぎにすぐき菜を樽に食塩（3%）と交互に漬け、材料が樽一杯になったら約20%の食塩水で満たし、同重量の重石で1～2昼夜漬け込む。この工程は荒漬と呼ばれ、すぐき菜を柔軟にし、次の工程である本漬で隙間なく漬け込むのを容易にしている。荒漬の後には、一旦取り出して水洗いし、余分な食塩を除いて本漬工程に入る。本漬は、水洗いしたすぐき菜を樽のなかに渦巻き状に、食塩（6%）と交互に隙間なく漬込み、天秤棒を利用して圧力をかける（第2写真）。これはすぐき漬にしか見られない独特な手法である。本漬の圧力により水分が減少し、かさが減った分、荒漬したすぐき菜を追加し漬け込んでいく。これを追漬という。本漬、追漬は約1週間行われる。本漬、追漬では強い圧力が加えられるが、これは嫌気状態を好む乳酸菌が生育するのに都合が良く、一方、カビや産膜酵母などの有害な微生物は抑制される。本漬の後には、30～40℃に保温した室（むろ）で約1週間発酵させる。これを室漬という。海外にもさまざまな発酵漬物があるが、保温状態で発酵させて作る漬物は非常に珍しい。室漬で一気に乳酸発酵が進み、酸味の利いた漬物が完成する。

すぐき漬に関する研究はいくつか行われている。古くは岩井ら⁸⁾がすぐき漬に関する微生物について研究し、*Lactobacillus*, *Streptococcus*, *Leuconostoc* 属菌が主なもので、なかでも *Lactobacillus* 属菌が主要な役割を果たしていることを報告している。また、中沢は⁹⁾すぐき漬の本漬工程から、*Streptococcus*, *Lactobacillus*, *Leuconostoc* 属菌を、室漬工程からは *Streptococcus*, *Lactobacillus*, *Pediococcus* 属菌を分離、同定している。そして、このなかで最も優勢なものは

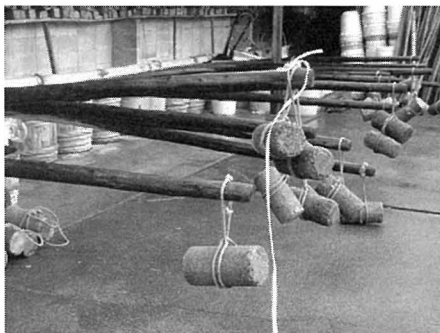
Lactobacillus plantarum であるとし、乳酸菌添加による製造を試みている。近年では、荻原ら¹⁰⁾がすぐき漬の各製造工程に関する微生物および化学的成分の詳細な研究を行い、工程が進むにつれてグラム陰性菌が減少し、室漬後は乳酸菌数が1億 CFU / g に達したことを報告している。このなかで初期に多く見られた *Pseudomonas* 属菌がしだいに減少死滅し、荒漬、本漬工程では *Microbacterium* 属菌の占める割合が高く、追漬工程では *Lactobacillus* 属が優占種となり、なかでも *L.sakei* と *L.curvutae* が多く検出されたとしている。また、室漬工程での優占種は *L.plantarum* と *L.brevis* であったと報告している。また、岸田ら¹¹⁾は、すぐき漬から分離した *L.brevis* のなかからインターフェロン産生能を上昇させる菌株を見出し、これらの菌株を用いた乳酸発酵野菜飲料が開発され広く市販されている。

5. すんき（すんき漬）

すんき（第3写真）は、長野県木曾御嶽山の周辺の王滝村、三岳村、開田高原で作られている発酵漬物で



第3写真 無塩発酵漬物 -すんき-



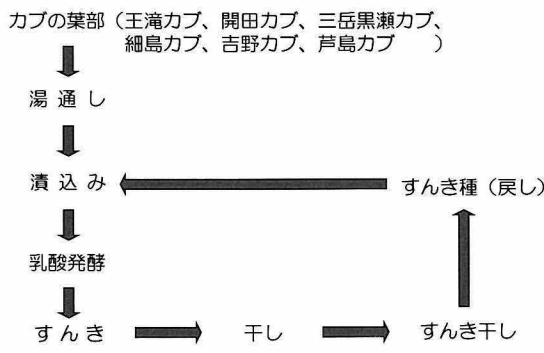
第2写真 すぐき漬の本漬工程(天秤棒を利用し、強い圧力を掛ける)



ある。すんきの特徴は、食塩をまったく使わないで作られることで、このような無塩発酵漬物は、すんきのほかには新潟県の「いぜこみ菜」あるいは「ゆでこみ菜」と呼ばれるものや福井県の「すなな漬」が知られているが¹²⁾、生産量は極めて少ない。海外では白菜を用いる中国の「酸菜（スワンツァイ）」やカラシ菜系の野菜を利用するネパールの「グンドルック」などが知られている。

1688年、松尾芭蕉一門の俳諧連句の中に芭蕉の句の「花と散る身は西念が衣きて」を受けた凡兆の句として、「木曾の酢莖に春も暮れつつ」とすんきのことが読まれた記録が残っている¹³⁾。前述のすぐき漬が「酸莖」と書かれるのに対し、すんきは「酢莖」と表記されている。すぐき漬は莖葉と根部を食塩で漬け込むが、すんきは莖葉のみを無塩で漬け込むことが大きく異なる点である。海から離れた山麓の村では、塩は大変な貴重品である。そこで冬場の塩をなかなか手にいれることのできない場所での青菜の保存食として工夫したものがすんきであったのではないかと考えている。

すんきの製造方法の概略を第4図に示した。漬込みの際に原料となるカブの葉を湯通しするのがすんき製造の特徴である。カブの葉は、そのままの形で湯通しする場合と刻んだものを湯通しする場合があるが、いずれも大鍋で沸かした湯に1～2分通してざるなどに移し変え、軽く湯切りをしてからまだ温かいうちに樽に詰めていく。詰める際は、湯通ししたカブの葉を一層詰めた後、その上に「すんき干し」を載せていく。このすんき干しとよばれるものは、前年に製造したすんきを冬の間、外気に晒して天日乾燥させたもので、



第4図 すんきの製造方法

いわばすんきを凍結乾燥させた状態になっている。すんき干しを加える方法には、乾燥したままの場合と一旦水に戻したものを使う場合がある。近年、すんきを冷凍しておき、それをすんき干しの代わりに利用することもある。なお、刻んだカブの葉を漬込む場合は、すんき干しを混ぜ込みながら漬けるのが一般的である。湯通ししたカブの葉とすんき干しを隙間なく詰めた後は、漬込み量の2倍ほどの重石をして空気を遮断し、1～2週間ほど発酵させると製品が完成する。すんきはそのまま食べることもあるが、すんきそばや味噌汁など料理に使われることの方が多い。2010年に地元の木曾町で開催された「すんきシンポジウム」では、すんきを使った「すんき汁」や「すんきそば」などが振舞われた。

すんきの製造では、すんき干しを使って発酵をおこなっていることから、すんき干しは、一種のスターターの役割を果たしているものと当初考えられていた。しかし、筆者が、すんき干しの微生物叢を調べたところ乳酸菌はほとんど生残しておらず、多くが *Bacillus* 属菌を主とする芽胞菌であった¹⁴⁾。このことは遠藤¹⁵⁾も同様な結果を報告している。

すんき干しの天日乾燥による製造過程をみると水分含量が減少するにつれて酸濃度が上昇していることから、乳酸が濃縮された状態になっているものと考えられる。また、すんき干しを漬込んだ直後のpHをみたところ、4.8前後に低下していた。したがって、すんき干しはスターターというよりもpH調整剤のように働き、漬込み当初のpHを低く抑えることで乳酸菌以外の微生物の増殖を抑制しながら発酵を進行させているものと考えられる¹⁴⁾。

すんきの微生物について最初に研究をおこなった中山¹⁶⁾は、*S.faecalis*, *Leuc.mesenteroides* を分離し、引き続きおこなった研究で *Lactobacillus* 属菌などの乳酸桿菌¹⁷⁾や *Pediococcus*, *Tetragenococcus* 属菌¹⁸⁾などの乳酸球菌の分離同定をおこなっている。近年では、すんきの主要な乳酸菌は *L.delbrueckii*, *L.fermentum*, *L.plantarum*¹⁹⁾であることが報告されている。なお、Kudoら²⁰⁾はすんきから分離した *L.delbrueckii* はすんき特有の新亜種であるとし、*L.delbrueckii* subsp.*sunki* subsp.nov.とすることを提唱しているほか、Watanabeら²¹⁾も新種として、*L.kisoensis* sp.nov., *L.otakiensis* sp.nov., *L.rapi*

sp.nov., *L.sunkii* sp.nov.を提唱している。海外の無塩発酵漬物の微生物に関する報告のなかで、Karkiら²²⁾は、ネパールのグンドルックから発酵工程中の乳酸菌として*L.plantarum*, *L.casi*.subsp.*casei*, *L.casei* subsp.*pseudoplantarum*, *L.cellobiosus*, *P.pentosaseus*を分離し、特に、*L.cellobiosus*が漬込み初期に多く、その後、*P.pentosaseus*, *L.plantarum*が優占種となることによってグンドルック特有の風味が形成されていることを報告している。

6. ザワークラウト (Sauerkraut)

ザワークラウト (Sauerkraut) は「酸っぱいキャベツ」を意味する言葉で、13世紀半ばには、すでにドイツで作られていたことが記録として残っている。英国ではサワークラウト、フランスではシュークルートと呼ばれているようにドイツの他にフランス、ポーランドなどの東欧、ロシア、アメリカ、カナダなどでも広く食されている。我が国でも一部で製造されている。

原料に用いられるキャベツの条件は、結球が硬くて葉の色は白く、糖分が多くて繊維の軟らかいものが使われる。製造の始めに「しおらし」を1週間行う。収穫直後のキャベツをそのまま細切りにすると葉も充実しているために屑が多く出る。そこで、「しおらし」を行うことによってその後の作業でキャベツからの屑の発生が少なく、切った形も細長くても良いものが得られる。「しおらし」を終えたキャベツは「芯取り」と「外葉除去」の作業が行われる。「芯取り」は芯取り機を用い機械的に行われ、芯が除去された後は包丁で外葉が除去される。次に「水洗」をし、原料キャベツを清浄にして「細切り」を行う。「細切り」は細切り機によって約2mm幅に細く切られる。つぎに「漬け込み」となる。「漬け込み」では、細く切られたキャベツに塩を良くまぶしながら漬け込んでいく。その際に用いられる食塩量は通常2～3%で、できる限り隙間がないように漬け込む。隙間があると空気が残存するためカビなどの雑菌が増殖しやすくなる。表面にプラスチック製シートを敷き、押し蓋と重石を載せ発酵が行われる。発酵は通常、発酵温度が24℃の場合は14～18日、20℃の場合は18～25日ほど行われる。なお、漬込みの際に香辛料としてディルシードやキャラウェイシードなどが多く使用されている。

ザワークラウトの発酵過程において一般的にみられ

る微生物叢の変化はつぎのとおりで、発酵初期には、原料のキャベツ、土壤、水などに付着、汚染している *Micrococcus*, *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Enterobacter* 属菌などの雑菌が増殖してくる。それと同時に乳酸菌が増殖し始める。通常発酵においては初期に出現してくる乳酸菌の大部分は乳酸球菌の *Enterococcus*, *Leuconostoc*, *Pediococcus* 属菌などである。乳酸球菌の増殖により乳酸が蓄積されpHが低下してくると酸に弱い雑菌の多くは減少、死滅し乳酸球菌が優勢となってくる。乳酸球菌の増殖に続けて増殖してくるのは乳酸桿菌の *Lactobacillus* 属菌である。乳酸桿菌の増殖によってさらに乳酸が蓄積し、pHが低下すると酸に対する抵抗性が乳酸桿菌よりも弱い乳酸球菌が次第に減少するようになり、発酵が進行するにつれてほとんど乳酸桿菌が占めるようになる。これが一般的なザワークラウトにおける微生物叢の変化である⁴⁾。

完成したザワークラウトは缶詰や瓶詰めにするのが一般的で、殺菌は1kg詰めのもので100℃、35～40分程度の条件で行われる。ザワークラウトはそのまま食べても良いが、暖めてソーセージと一緒に食べたり、シチューに入れるなどして調理用として使用されることの方が多い。

7. ピクルス

ピクルス (pickles) は野菜や果実を塩や酢に漬けたり、発酵させて作られる。ピクルスには、発酵ピクルス、塩漬ピクルス、酢漬ピクルス、甘酢漬ピクルス、混合ピクルス、刻みピクルス、辛子ピクルスなどがあるが、多くは酢に漬けたピクルスで発酵したものは比較的生産量は低い。

発酵ピクルスで主なものは、キュウリディルピクルス (Cucumber Dill Pickles) で10%以下の食塩水を用い、乳酸発酵を利用して作るものである。通常、香辛料を使って風味を付与している。香辛料には主体となるディルのほかにオールスパイス、クローブ、セイジ、タイムなどが利用される。樽の底にディルなどを敷きつめ、その上にキュウリを並べながら積み上げていく。樽の中程まで詰めたら再びディルを敷き、さらにキュウリを積み上げる。樽の上まで詰めたらもう一度ディルを敷き、その上に押し蓋を載せて軽く重石をした後、食酢 (キュウリ重量の約3%) と食塩濃度8%の食塩水をキュウリの重量に対しほぼ同量か少な

めに注ぎ入れる。その後、3～6週間ほど乳酸発酵を行わせると酸濃度は1.3%前後に達し完成する。

発酵ピクルスに関与する主要菌は *Lactobacillus plantarum* で、それ以外の乳酸菌として *Leuconostoc mesenteroides*, *Enterococcus faecalis*, *Pediococcus cerevisiae*, *Lactobacillus brevis* などに関与する。発酵中の微生物叢の変化は他の発酵漬物とはほぼ同様の菌叢変化をたどる。

8. 泡菜

泡菜（パオツァイ）は、中国四川省を中心に製造されている発酵漬物で、ダイコンやキュウリなどの野菜原料を「泡菜壇（パオツァイタン）」と呼ばれる専用の容器に食塩、砂糖、香辛料、白酒（中国の蒸留酒）、水などを混合して調製された漬液に漬け込み、乳酸発酵によって作られる（第4写真）。泡菜は中国では商品として販売されるだけでなく、飲食店や家庭でも一般的に製造されており、そのまま食べるだけでなく調理素材としても広く利用されている。泡菜に関する報告は我が国ではほとんど見当たらず、成書にわずかに紹介されているに過ぎない²³⁻²⁵⁾。

泡菜的製造に使われる壺は泡菜壇（第5写真）あるいは上水壺と呼ばれる。泡菜壇は長い歴史を経て考え出された極めて合理的な道具である。泡菜壇は酸、アルカリ、食塩に対して耐性のある陶土で出来ており、壺の内側・外側とも釉薬が塗られている。陶土製の壺は泡菜的の味を変化させないので都合が良い。壺は入口が小さく、中間部が膨れた格好をしており、口の周囲には水盤が付けてある。水盤の縁は壺の口よりも少し低い位置にある。壺の口には深皿を逆さにして蓋のよ

うに被せる。そして、この水盤に水を注ぎ入れることによって空気の流通を遮断している。壺の内部で発生したガス（主に炭酸ガス）は外部に排出されるが、外気は壺の内部に入らないように工夫がされているので、内部は徐々に嫌気状態となり、それが保たれることになる。したがって、嫌気状態を好む乳酸菌は活動が活発になる一方で、好気状態を好むカビや産膜酵母などの有害菌の生育は抑制される。また、空気の侵入が無いので外部からの微生物の侵入も防止される。泡菜壇の大きさは様々で、野菜を1kg程度しか入れることのできない家庭用のものから、一度に数百kgも入れることができる大きな壺もある。

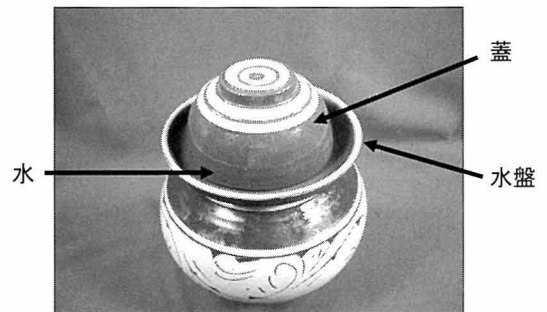
泡菜的の原料に用いられる野菜は多岐にわたるが、組織が緻密で軟化することが少ない野菜であれば、どのような野菜でも原料として利用することができる。四川省では、白菜、人参、大根、キャベツ、胡瓜などが原料野菜として利用されている。また、季節に出回る野菜を泡菜として漬けることや何種類もの野菜を混合して漬け込むことも行なわれている。副原料としては、食塩、白酒および山椒、生姜、唐辛子などの香辛料が使用される。生姜は厚さを約3～6mmの薄切りにして使用するのが一般的である。

泡菜的を製造する際は、先に漬液を調製しておく。水はミネラルを多く含む井戸水か鉱泉水を用いると泡菜的の歯切れが良くなる。軟水を用いる場合は歯切れを良くするために塩化カルシウムを0.05%になるように漬液に加えることが行われる。

泡菜的に用いられる漬液中の食塩濃度は通常4～8%である。調製した漬液は加熱し殺菌しておく。漬液はしばらく冷却した後、使用する。まだ温かいうちに野菜を入れると野菜が変敗することがある。泡菜的の品質



第4写真 泡菜製造工場(中国・四川省成都)



第5写真 泡菜壇(パオツァイタン)

を高めるために食塩水に白酒（黄酒）、赤唐辛子、香辛料を加えるのが一般的で、香辛料としては、八角、花椒（花山椒）、胡椒、陳皮などが使われる。香辛料はそれぞれ粉にし、布で包んでから壺の中に入れる。新しく調製した漬液には既に来上がった泡菜を入れ、乳酸菌を補給することによって乳酸発酵を順調に行なわせることが行われる。

泡菜の基本的な製造工程は第5図に示す通りで、3000年以上も前から製造が行われていたものと考えられている。整形した野菜原料を泡菜壇に半分ほど入れたところで布で包んだ香辛料を入れ、さらに残りの野菜を加える。壺の口から約6cmの深さのところまで漬け込んだら、野菜を圧縮して下に押し込む。これは漬液の上に浮かぶのを防ぐためである。つぎに、予め調製しておいた漬液を野菜の上まで注ぎ入れてから、野菜が浮き上がらないように小皿を野菜の上に載せる。つぎに、泡菜壇の蓋となる茶碗皿を壺の上に被せ、壺の水盤の部分に冷却した水あるいは塩水を入れる。壺を涼しい所に1～2日間置くと食塩の浸透圧作用で壺の中の野菜の容積が小さくなり、漬液の高さも下がるので、適当な量の野菜とそれに見合った漬液を加える。

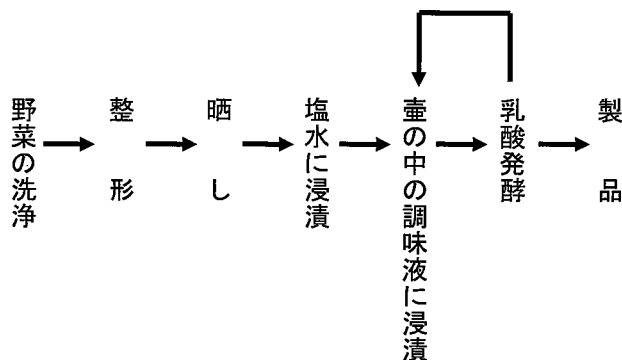
泡菜の発酵に適している時期は、野菜の種類、食塩濃度、気温などによって異なるが、夏季では、5～7日間、冬季では、12～16日間の発酵期間が必要である。原料が葉菜類の場合は発酵期間は短く、根菜類は長くかかるのが一般的である。発酵した泡菜の漬液には、*L.plantarum* や *L.brevis* を主体とした乳酸菌やその他の乳酸菌の活動の結果、生成された乳酸、酢酸、エステル類、野菜原料に由来する風味成分などが含まれているので、壺に入れたまま新しい野菜を漬け込む

ことができる。新しい野菜を漬け込むときは、2～3日間漬けるだけでおいしく食べることができる。なお、漬け込まれた野菜を取り出すときに減少した分、食塩や水、白酒などを加える。このように一旦、出来た発酵漬液は繰り返し使用されるが、その間、食塩濃度を一定に保たれるように食塩を追加する。また、香辛料も効果が持続するように適宜、古いものを取り出し、新しいものに替えることが行われる。漬液は、繰り返し使われるが、味が低下することはない。古いものでは数十年使用されている漬液もあり、我が国の糠みそ床と共通点があり、興味深い。

9. ぬかみそ漬

身近な発酵漬物にぬかみそ漬がある。工場生産よりも家庭で作られることが多い漬物である。ぬかみそ漬は、発酵、熟成されたぬか床から食塩や風味成分が漬けられた野菜に移行し、独特の香りと旨味が作り出されたものである。良好なぬか床は乳酸菌と酵母とのバランスが良く、乳酸菌は適度な酸味を生成し、酵母は特有の風味を付与する。攪拌することを怠るとぬか床の表面に産膜酵母（白カビと称することもある）やカビが増殖して味を悪くする。ぬかにはビタミンB1が豊富に含まれていることから漬物にそれらが移行し野菜よりも高い濃度になる。このように、ぬかみそ漬は栄養的にも大変優れた漬物である。

米ぬか、食塩、水を混合しただけの作り始めのぬか床には乳酸菌や酵母はほとんどいない。したがって、熟成したぬか床を得るには、ぬか床にくず野菜を入れて発酵を促進させる必要がある。熟成は乳酸菌や酵母が増殖しやすいように室温で行い、1日2回程度上下



第5図 泡菜(パオツァイ)の基本的な製造方法

第2表 ぬか床の熟成期間中における乳酸菌叢の変化²⁶⁾

熟成(日)	構成比率(%)	乳酸菌
0	乳酸球菌	50 <i>Pediococcus pentosaceus</i> <i>Streptococcus faecalis</i>
	乳酸桿菌	50 <i>Lactobacillus plantarum</i>
60	乳酸球菌	42 <i>P. halophilus</i>
	乳酸桿菌	58 <i>L. plantarum</i> <i>L. coryniformis</i> subsp. <i>L. coryniformis</i> <i>L. brevis</i>
120	乳酸球菌	23 <i>P. pentosaceus</i> <i>P. halophilus</i>
	乳酸桿菌	77 <i>L. plantarum</i> <i>L. brevis</i>

をかき混ぜる。その結果、2, 3週間ほどたつとぬか床が熟成してくる。ぬか床が熟成するまでにはつぎのような微生物叢の変化がみられる。漬け込み当初は、乳酸菌以外の *Micrococcus*, *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Alcaligenes* 属菌などが多数出現するが、発酵が進行し pH が 5.0 以下になると雑菌は減少し始め、最終的には死滅するようになる。その後、*Lactobacillus* 属の乳酸菌が優勢になってくる。特に *Lactobacillus plantarum* や *Lactobacillus brevis* などの乳酸菌で占められるようになる。その頃になるとぬか床の酸味も増し、香味も良くなるのでぬか床らしくなってくる^{26, 27)} (第2表)。その後に出現してくるのが酵母である。増殖のみられる酵母の多くは *Torulopsis* 属や *Saccharomyces* 属で芳香を付与する役割をはたしている。この段階で乳酸菌と酵母がバランス良く共存している状態となる。

10. 発酵漬物と調理

発酵漬物は、有用な乳酸菌を豊富に含有する漬物であると同時に高い調理性を有している。漬物以外でも、我が国の代表的な調味料である醤油、味噌、醸造酢のいずれもが乳酸菌や麹菌、酵母を利用した発酵食品であることからわかるように、発酵食品は調味料としての機能を有している。実際、発酵漬物は人工的に調味された漬物に比べてはるかに多くの複雑な風味成分を有しており、これが、調理・調味には必須の条件となる。

最近の漬物購入量の変化をみると、その量は徐々に減少している傾向がみられる。また、それらに連動する形で漬物企業の減少がみられる。このような中で、

我が国の漬物産業界を低下させることなく発展させていくには、新しいタイプの漬物や今までの漬物とは異なる利用法、すなわち、調理素材としての発酵野菜(調理用発酵漬物)の開発、漬物の物産化を進めるなど、新たな市場形成が、近年、強く求められている。

(東京家政大学)

引用文献

- 1) 宮尾茂雄. 漬物の歴史. 漬物入門. 東京: 日本食糧新聞社; 2000.2
- 2) 宮尾茂雄. 漬物塩嘉言と小田原屋主人. *New Food Industry*. 2015; **57** (1): 77-87
- 3) 宮尾茂雄. 浅漬け製造における食中毒菌体策. *食品と科学*. 2012; **54** (10): 16-27
- 4) Pederson, C.S. FLORAL CHANGES IN THE FERMENTATION OF SAUERKRAUT. *New York State Agr. Exp. Sta. Tech. Bull.* 1930; No.168
- 5) 宮尾茂雄. 食品微生物学ハンドブック 好井久雄ら編. 東京: 技報堂出版; 1995. 225-247
- 6) 宮尾茂雄. 日本の漬物. *Japanese J. Lactic Acid Bacteria*. 2002; **13**: 2-22
- 7) 宮尾茂雄. 発酵漬物と塩. *日本海水学会誌*. 2003; **57**: 11-16
- 8) 岩井正憲ら. 発酵食品の製造に関係する耐塩性乳酸菌(第3報) すぐきの製造に関係する乳酸菌. *発酵工学雑誌*. 1965; **43**: 791-797
- 9) 中浜敏雄. 食品加工(すぐき). 乳酸菌の研究 北原覚雄編. 東京: 東京大学出版; 1966.507-527
- 10) 荻原博和ら. すぐきの製造工程における微生物叢および化学成分の変遷. *日本食品微生物学会雑誌*. 2009; **26** (2): 98-106
- 11) Kishida, T *et al.* Enhancement of Immunological Function by *Lactobacillus brevis* subsp. *coagulans*. 基礎と臨床. 1993; **27**: 3701-3707
- 12) 前田安彦, 宮尾茂雄編. 漬物の機能と科学. 東京: 朝倉書店; 2014.122-132
- 13) 與謝野寛編. 日本古典全集 芭蕉全集後編. 東京: 日本古典全集刊行會; 1926.153
- 14) 宮尾茂雄. 「すんき干し」はスターターか?. *New Food Industry*. 1990; **32** (1): 3-5
- 15) 遠藤明仁. 醸造・発酵食品に生息する乳酸菌の特性. *Japanese J. Lactic Acid Bacteria*. 2011; **22**: 87-92

- 16) 中山大樹. 木曾のスグキの細菌に就て. 日本農芸化学会誌. 1950 ; **23** : 497-499
- 17) 中山大樹, 小池弘子. 食塩を使わない漬物「スンキ」の乳酸菌群について (第1報) 菌の分離および桿菌群の同定. 発酵工学雑誌. 1965 ; **43** : 157-164
- 18) 中山大樹, 小池弘子. 食塩を使わない漬物「スンキ」の乳酸菌群について (第2報) 球菌群の同定. 発酵工学雑誌. 1965 ; **43** : 799-806
- 19) Endo, A, Mizuno, H., Okada, S.. Monitoring the bacterial community during fermentation of *sunki*, an unsalted, fermented vegetable traditional to the Kiso area of Japan. *Letters in Applied Microbiology*. 2008; **47**: 221-226
- 20) Kudo, Y., Oki, K., Watanabe, K.. *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *sunki* subsp. nov. Isolated from *sunki*, a traditional Japanese pickle, *Int. J. Sys. Evol. Microbiol.*, 2012; **62**: 2643-2649
- 21) Watanabe, K., Fujimoto, J., Tomii Y., *et al.* *Lactobacillus kisoensis* sp.nov., *Lactobacillus otakiensis* sp.nov., *Lactobacillus rapi* sp.nov., *Lactobacillus sunkii* sp.nov. heterofermentative species isolated from *sunki*, a traditional Japanese pickle. *Int. J. Sys. Evol. Microbiol.* 2009; **59**: 754-760
- 22) Karki, T., Okada, S., Baba, T., *et al.* Studies on the Microflora of Nepalese Pickles Gundruk. *Nippon Shokuhin Kogyo Gakkaishi*. 1983; **30**: 357-367
- 23) 小川敏男: 漬物製造学, p.257, (株)光琳 (1999)
- 24) 宮尾茂雄: <改訂版> 漬物入門, p.111-113, 日本食糧新聞社 (2015)
- 25) 中国微生物学会醸造学会醬腌菜学組編: 「中国醬腌菜」, p.496, 中国商業出版社 (1991)
- 26) 今井正武・後藤昭二: 農化, **58**, 545 (1984)
- 27) 今井正武・平野 進・饗庭美恵子: 農化, **57**, 1105 (1983)