

## 第2章：食品に利用される微生物

わが国は、世界でも有数の長寿国になりましたが、一方では、人口全体の高齢化現象も急速に進行してきています。このために、老人性認知症とか、各種のガン、心臓病、糖尿病などの病気が増加し、これらの病気を予防する働きをもった健康食品をつくることが強く望まれるようになりました。その要求を満たすために、食品微生物を利用しようという研究開発が活発になってきています。

食品の製造や加工に関連して、細菌や酵母、カビなどの色々な微生物が昔から広く用いられてきました。

わが国でも、すでに古事記の中に、米を口の中でよく噛み砕いて、米の中のデンプンを唾液に含まれているデンプン分解酵素（アミラーゼ）で糖分に変え、これを、果物や身のまわりの食べ物などに棲んでいる酵母で発酵させて、酒をつくったという記載があります。そのように、古くから微生物は食品の加工に利用されてきました。例えば、清酒、焼酎、泡盛、味噌、醤油、食酢、味醂、漬物、納豆、乳酸飲料などは、そのどれもが微生物の働きを利用したものであり、微生物がいつも人々の暮らしのそば近くに棲んでいて、食生活に豊かな色とりどりを添えてくれていたのです。

例えば、北海道のアイヌの人々が身の周りの自然から必要なだけの魚や山菜を採集してくると、それをしばらくの間、石の上に置いてから食べると言われています。その間に、乳酸菌が生育して、食べ物の風味をよくしてくれるからだということが報告されています。近江の鮎鮓とか吉野の鮎鮓など、ナレ鮓も古くから同類のものがあちこちでつくられて、献上された記録が残っています。獣魚肉の発酵食品に登場する主な微生物を表2-1に示しました。

表2-1. 獣魚肉の発酵食品に登場する主な微生物\*

発酵食品	原料	主な微生物
鰹節	鰹	<i>Asp.repens</i> , <i>Asp.glaucus</i>
ナレ鮓	魚、米、野菜	<i>Lactobacillus</i>
塩辛	イカ、鰹	<i>Vibrio</i> , <i>Micrococcus</i> <i>Debaryomyces</i> , <i>Torulopsis</i> <i>Candida</i>
塩蔵ハム	ポークハム	<i>Asp. Penicillium</i>
ドライ・ソーセージ	牛、豚肉	<i>Pediococcus cerevisiae</i>

*Asp.:Aspergillus*

\*柳田：「微生物科学（生態）」（一部改変） 学会出版センター p.435（1984）

人々はこのように、発酵を利用した食品の加工を自然の生活の中で行ってきました。発酵食品の中で、最も役に立っている微生物の一つが乳酸菌です。その乳酸菌は、ヨーグルト、チーズなどの発酵スターターとして用いられており、さらに清酒、ワイン、味噌、醤油の醸造にも関わっています。近年、ある種の乳酸菌が、菌体外に抗腫瘍活性を示す多糖を生産することも明らかにされており、最近では、一般細菌でも容易に分解されやすい生分解性プラスチックの原料としてのD-乳酸の需要が求められています。

欧米でも、古くから、ビール、ブドウ酒、パン、チーズ、バター、発酵乳、野菜の漬物などに、微生物の働きが利用されてきました。将来を見据えて、微生物の働きを利用することにより、もっと多様な新素材の開発が進められていくと思います。

## 2.1 生活に利用されるカビ

私たちが良く見かけるパン、餅、ミカン等の表面に生えているカビは、約5億年前と推定されている化石から発見されています。そのカビの研究が進んだのは顕微鏡が登場した時からで、地球上でカビは微生物の約36%前後を占めており、その種類は、少なくとも10万種類ぐらいになるだろうと言われています。カビはどのような場所でもすくすくと生育しますが、そのカビが快適とする環境は、温度が30℃前後、湿度が70%以上で、やや酸性側のpH

## 2.1 生活に利用されるカビ

でよく増殖します。通常では考えにくいプラスチック、ガラス、アルミニウム等の表面にも孢子が取り付き生活をします。カビに取り付かれると毒性の成分を分泌したり、変色したり、劣化したりしてけっして印象はよくありません。カビはきわめて単純で単細胞あるいは菌糸という糸状の細胞体から構成されています。黒コウジ菌、*Aspergillus awamori*を口絵3(A)に示しました。学問的には「糸状菌」と呼んでいます。その孢子が培地に落ちると、発芽して次第にのびて糸状になります。これを菌糸と呼んでいます。菌糸はさらに枝分かれして、網状構造を呈するようになり菌糸体と呼んでいます。菌糸体は菌糸の集合したもので、これがカビの本体となっています。主なカビの色と生活場所を表2-2に示しました。

表2-2. 主なカビの色と生活場所

孢子または菌糸の色	名称（属名）	主な生活場所
白灰色	ケカビ（ <i>Mucor</i> ）	野菜・果実
紅色	ベニコウジ（ <i>Monascus</i> ）	米・餅
青緑色	青カビ（ <i>Penicillium</i> ）	壁紙・果実
橙色	アカパンカビ（ <i>Neurospora</i> ）	パン
灰色	灰色カビ（ <i>Botrytis</i> ）	ぶどう・イチゴ
白、黄、褐、黒色など多様	コウジカビ（ <i>Aspergillus</i> ）	カツオ・大豆

一般に、カビと言えば、良い印象を持ちません。風呂の壁や食べ物の表面に黒や茶色で、見た目も悪く、不衛生な印象を与えてしまい、まさにカビは嫌われ者です。しかし、その反面で、アミラーゼ（デンプンを分解する酵素）やプロテアーゼ（タンパク質を分解する酵素）などの酵素を持っているカビの多くが醤油、味噌、酒類（清酒、焼酎、泡盛）あるいは有機酸（クエン酸、コウジ酸）や抗生物質（ペニシリン）などを製造するときには欠かせない働き手であり、私たちの生活に昔から貢献してきました。主な食品酵素を生産する微生物を表2-3に示しました。

表2-3. 主な食品酵素を生産する主な微生物

酵素	用途	主な微生物の名称
$\alpha$ - アミラーゼ	水あめ	<i>Bacillus subtilis</i> <i>Aspergillus oryzae</i>
$\beta$ - アミラーゼ	麦芽糖	<i>Bacillus cereus</i>
グルコアミラーゼ	ブドウ糖	<i>Rhizopus delemar</i>
プロテアーゼ	調味料	<i>Aspergillus saitoi</i>
セルラーゼ	果汁加工	<i>Trichoderma viride</i>
ペクチナーゼ	果汁の清澄化	<i>Scletotinia libertiana</i>
グルコースイソメラーゼ	果糖	<i>Streptomyces nobilia</i>
インベルターゼ	転化糖	<i>Saccharomyces cerevisiae</i>
ラクターゼ	アイスクリーム	<i>Saccharomyces fragilis</i>
ナリンジナーゼ	ミカンの苦味除去	<i>Aspergillus niger</i>
タンナーゼ	ビールの清澄化	<i>Aspergillus niger</i>
リパーゼ	食品加工	<i>Rhizopus oryzae</i>
グルコースオキシダーゼ	グルコン酸	<i>Aspergillus niger</i>
ヘスペリジナーゼ	缶詰の沈殿除去	<i>Aspergillus niger</i>
凝乳酵素	レンネットの代替	<i>Mucor pusillus</i>

私たちの食生活に役立つ主なカビを紹介しますと、次の6つがあります。

#### (1) コウジカビ (*Aspergillus oryzae*)

このカビは自然界に広く分布し、黄緑色の胞子をつくりますので、黄緑色のカビを見つけますと、まず、コウジカビと思ってまちがいません。最適の生育温度は35℃付近です。このカビはアミラーゼをつくることで、デンプンの糖化に応用されています。また、タンパク質を加水分解するプロテアーゼやセルラーゼ（繊維質を分解する酵素）、インベルターゼ（砂糖を分解する酵素）、マルターゼ（麦芽糖を分解する酵素）などの酵素も持っていて、清酒、醤油、味噌などの製造に利用されています。それらの酵素の生成量は、カビの種類や培養条件（温度、pH、酸素の供給）によって著しく異なります。ある種のコウジカビは、「アフラトキシン」というカビ毒をつくり、肝臓ガンを引き起こすこともあると言われています。

### (2) 黒コウジカビ (*Aspergillus awamori*, *Aspergillus usami*)

このカビは、普通黒い胞子をつくりますので、黒カビと呼ばれています。このカビはクエン酸（レモンやミカンなどの酸味成分で、清涼飲料水の酸味として利用）を生産しますので、発酵法によるクエン酸の製造に使われている種類もあります。また、このカビの仲間には、アミラーゼ活性が強いので、デンプンを工業的に糖化するために使われることもあります。そういうカビのデンプン分解酵素は、デンプンからのブドウ糖の製造や麦やソバなどのデンプン原料から焼酎をつくる時に用いられる酵素として工業的に活躍しています。

### (3) 青カビ (*Penicillium notatum*)

このカビは、自然界に広く分布し、チーズの製造によく使用されています。胞子が青色なので、青カビと呼ばれ、空气中、土壤、穀類の表面等に広く分布しています。青カビの胞子に紫外線を照射することで得られた変異株は、大量のペニシリン製造に用いられています。

また、青カビの突然変異株を用いてペニシリン酸をつくらせ、これを多種類の人工合成ペニシリンにつくり変えて、近年話題の多いペニシリン耐性菌を死滅させることも開発されています。ある種の青カビは、「マイコトキシン」というカビ毒をつくり、ガンを引き起こす原因になっています。

### (4) ムコール・プシルス (*Mucor pusillus*)

1962年、有馬らは、チーズの製造に必要な凝乳酵素（ムコール・レンニン、牛乳を凝固させる活性をもつ酵素）をつくるカビ（*Rhizomucor pusillus*）を世界ではじめて土壤から発見し、1967年に名糖産業がその製品化に成功しました。これまでは雄の子牛の第四胃から凝乳酵素を取る必要があるために、たくさんの子牛がそのために死を免れなかったのですが、カビの凝乳酵素が開発されたことで、肉牛としての供給にも役立つことになりました。この酵素の需要は世界中で急速に延びており、現在、外国では、他のカビ（*Rhizomucor miehei*, *Endothia parasitica*）由来の凝乳酵素も商品化されています。

(5) 麦角菌 (*Claviceps purpurea*)

この菌は、子囊菌に属する真菌の一種で、ライ麦などに生えて麦角アルカロイドをつくります。昔、ヨーロッパでは、麦角中毒症が起って大変だったことがあります。日本ではあまり中毒のことは聞きません。麦角は不飽和ステロールの一種であるエルゴステロールを含んでおり、強い子宮収縮作用がありますことから、古くから分娩の促進や分娩時の止血などに用いています。

(6) その他のカビ

これら以外のカビを使っている産業には、グルコン酸、フマル酸、イタコン酸、乳酸、没食子酸、エイコサペンタエン酸、などの有機酸の製造や、リボフラビン（ビタミンB<sub>2</sub>）などの医薬品製造に至るまで、その利用範囲が拡大されつつあります。フマル酸やイタコン酸はプラスチック、人工漆の産業で使われていて、これらは、簡単な化学構造をしているのですが、化学合成をするのは困難であり、将来、カビの機能について研究する余地は、まだまだ多く残されていると思います。新しい利用の例では、*Ascomycetes* というカビの培養濾液から、パーオキシダーゼを採取し、これを臨床検査用の酵素として利用しています。主なカビの用途を表2-4に示しました。

表2-4. 主なカビの用途

用途	主なカビ
エイコサペンタエン酸	<i>Mortierellas</i>
クエン酸	<i>Aspergillus niger</i>
リンゴ酸	<i>Aspergillus niger</i>
ペニシリン	<i>Pennicillium notatum</i>
ナリンギナーゼ	<i>Aspergillus niger</i>
α-アミラーゼ	<i>Aspergillus oryzae</i>
タンナーゼ	<i>Aspergillus niger</i>
凝乳酵素	<i>Mucor pussillus</i>
油脂	<i>Pennicillium spinulosum</i>
コウジ酸	<i>Aspergillus oryzae</i>

### カビの毒性

カビの中には、人に障害性を示すカビ毒をつくり出すものが多く、現在知られているカビ毒は、約200種以上あると言われています。昔、輸入米による黄変米事件があり、貯蔵米に寄生するカビを中心に研究が進められ、1960年にカビに汚染されていたピーナッツからアフラトキシンが分離され、発ガン性カビ毒の研究が盛んに行われるようになって来ました。現在、よく知られているカビの毒と症状を表2-5に示しました。

表2-5. カビの毒と症状

生産菌	毒素	症状	原因食品
<i>Aspergillus flavus</i>	アフラトキシン	肝炎、肝ガン、	穀類、ピーナッツ
<i>Claviceps purpurea</i>	アルカロイド	麦角中毒、下痢、	麦類、牧草
<i>Penicillium islandicum</i>	イスランジトキシン ルテオスカイリン	肝炎、肝ガン、	米、キビ
<i>Fusarium</i>	トリコテセン系 マイコトキシン	下痢中毒、 造血機能障害	麦、 トウモロコシ

## 2.2 食品に利用される酵母

食品に利用されている酵母では、パン酵母、ワイン酵母、ビール酵母、清酒酵母などが知られています。自然界の中でも特に果樹園の土壌や果樹の葉、果皮、果汁などからは酵母が見つけられています。酵母は、糖を分解してエチルアルコールと炭酸ガスにします。炭酸ガスの発生でパンを膨らますことに利用するのがパン酵母です。また、その酵母はアルコールをつくる働きに利用したのが、世界中でつくられている各種の酒です。

酵母細胞の構成成分の50%以上を占めるのはタンパク質ですが、そのうちの85%は消化可能な性質をもっており、そのうえ重要な必須アミノ酸を含んでいるので、栄養上は、とても優良なタンパク質であるため、栄養剤や飼料として利用されています。

また、酵母の菌体の中には、ビタミンB<sub>1</sub>、B<sub>2</sub>、B<sub>6</sub>、ニコチン酸、パントテン酸、ビオチンなどのビタミン類が豊富に含まれています。さらに、種々の

## 第2章 食品に利用される微生物

酵素（インベルターゼ、マルターゼ、チマーゼ）もたくさん含まれているので、いろいろな食品産業で利用されています。

酵母の生育と発酵のための最適pHは、弱酸性（5～6）で、最適温度は25～30℃です。普通の酵母は単細胞であり、細胞の形は球形、卵形、キュウリ型などがあり、ほとんどの酵母は、出芽によって増殖することが特徴的ですが枝分かれして増えるものもあります。

酵母は、人間と類似した遺伝子を持ち、生命の基本的な仕組みが共通しているため、医療や医薬の方面でも大きく貢献ができるものと期待されています。すでに酵母を使って発現させたB型肝炎ウイルス抗原タンパク質などがつくられ、多くの人を助けています。

酵母（*Saccharomyces cerevisiae*）の集落を**口絵3(B)**に、プロビタミン（ビタミン前駆体）と呼ばれるカロテノイド色素をつくり出す赤色酵母の集落を、**口絵3(C)**に示しました。

酵母はバイオ研究の花形で、酵母と人間との関わりは、4000年以上前から続いています。色々な形があり、比較的多い卵形や球形の単細胞で生活しています。大きさは100分の1ミリ程度です。しかし、小さいながらも増殖力は、非常に強く、約1時間で2倍になり、40時間で約100億の細胞ができ、糖類やアミノ酸を好みます。現在、酵母に属するものとして、約60属500種が知られています。

### 「酒は百薬の長」という諺は事実か

「酒は百薬の長」という諺を科学的に説明する研究が行われています。熊本県立大学の奥田は、日本酒が及ぼす血管拡張作用や糖尿病の予防効果について研究しています。酒を飲むと顔色が赤くなったり、青くなったりします。この現象は血管の収縮と拡張によるものですが、酒のどのような成分がどう作用するのか解明されていませんでした。しかし、すでにエチルアルコールは、体内でアルコール脱水素酵素によりアセトアルデヒドに分解されることは知られていますので、動物実験によりアルコールが血管、特に細動脈を収縮させ、反対にアセトアルデヒドが血管を拡張させる作用があることを確認しています。これまでのアセトアルデヒドは脳内の情報伝達を阻害する恐れがある



と言われていましたが、プラスの機能もあることが見いだされました。エチルアルコールの代謝過程を図2-1に示しました。図から明らかなように、エチルアルコールは、まず、酸化酵素によって、アセトアルデヒドに変換され、つぎに肝臓の酸化酵素で酢酸に変換、最後に二酸化炭素と水に変換されます。

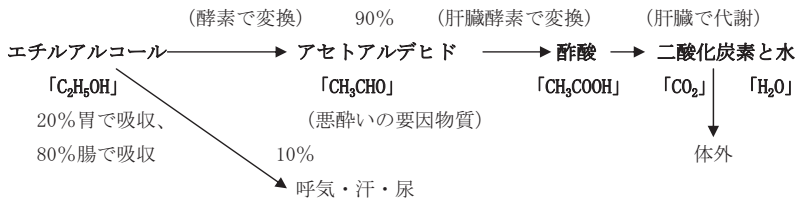


図2-1. エチルアルコールの代謝

一気に酒を飲んで顔色が青くなるのは、血中のアルコール濃度が高くなつて血管が収縮するため、ゆっくり飲めば少しずつアセトアルデヒドが血管を広げて血流をよくするため、顔が赤くなるということです。この結果はアセトアルデヒドができれば、ゆったりとくつろいで、血管を広げるような飲み方が望ましいということになります。さらに日本酒の中にアセトアルデヒド以外にも血管の拡張を促す物質があることもわかりました。それが核酸の一種のアデノシンで、アルコール酵母のRNA（遺伝子）の中に含まれています。心配ごとや睡眠不足があると身体にストレスが加わり血管が収縮します。これはノルアドレナリン（神経を興奮させる神経伝達物質）という神経ホルモンの作用によるものですが、アデノシンによってノルアドレナリンによる血管収縮を阻止する作用があることが実験の結果でわかりました。酒を飲むことにより、ストレスで収縮した血管をこれらの2つの化学物質が拡張して血が流れやすい状況をつくってくれ、私たちがストレスから開放してくれることになります。

また、日本酒には血圧を下げる作用のある物質があることがわかっています。我々の体内にあるアンギオテンシン変換酵素（ACE）は、血圧を上げるアンギオテンシンの働きを強くし、血圧を下げるキニンの働きを抑える働

## 第2章 食品に利用される微生物

きをしていますが、このACEの作用を抑えるタンパク質が日本酒には多量に含まれていますので血圧の上昇を抑えます。さらに、麴は、 $\gamma$ -アミノ酪酸という血圧上昇を抑制する物質を多くつくりだし、血圧を降下させる作用があるので、高血圧の予防に日本酒が役に立つと言われています。

年を取ると末梢神経への血液循環が悪くなります。しかし、体内に酒が入ると心臓の働きが活発になり、血液の循環が良くなり、血液を固まりにくくする働きをもつ酵素ウロキナーゼを増加させ、固まりやすくするトロポキサンチンを減少させる効果もあります。

### 寿命をのばす酵母

平成19年の簡易生命表によると、日本人の平均寿命は、男性が79.2歳、女性が86.0歳となっています。100年以上前の日本人の平均寿命は、男性42.8歳、女性44.3歳でしたので、日本は、約100年間で世界有数の長寿国になりました。寿命を延ばす要因として色々なことが考えられますが、個々の意識により、確実に健康を維持できるものとして毎日の食生活が大切と思われます。

日本人の食生活は、西洋人の食生活に比べて発酵食品（味噌、しょう油、漬物、納豆、日本酒、ワイン、ヨーグルト、ビール、チーズ、パン等）を口にすることが多いと思います。主な酵母と用途を表2-6に示しました。

表2-6. 主な酵母と用途

属名	主な用途
<i>Saccharomyces</i>	ビール、清酒、ワイン、パン酵母、乳製品
<i>Zygosaccharomyces</i>	味噌、醤油
<i>Kluyveromyces</i>	馬乳酒（クムイス）
<i>Candida</i>	<i>Candida.utilis</i> （飼料酵母）
<i>Rhodotorura</i>	油脂生産

表から明らかなように、食品に使用されている主な酵母としては、パン酵母とワイン酵母、ビール酵母、清酒酵母などが知られています。

前にも書きましたが、酵母は酵母細胞の構成成分の50%以上を占め、そのうちの85%が消化可能な性質をもった優良なタンパク質で、その他にも重要

な必須アミノ酸やビタミンB類を含んでいるので、栄養剤や飼料としても利用されています。

私たちの食卓にでてくる主な酵母を紹介しますと。

#### (1) サッカロミセス・セレビシェ (*Saccharomyces cerevisiae*)

この酵母は、イギリスでビールをつくるときに使われていて、発酵の時に泡といっしょに液の上の方にあがる性質があります。そのため上面酵母と呼ばれ、その発酵は上面発酵と呼ばれています。ドイツ、日本、アメリカなどで使用されている酵母は、発酵が終わりに近づく頃に、液の底の方に沈むので下面酵母と呼ばれ、その発酵を下面発酵と言われていますが、上面酵母と異なって、低温でも発酵力を維持できる性質を持っています。以前は、上面酵母と区別してサッカロミセス・カールスベルゲンシス (*Saccharomyces carlsbergensis*) と名づけられていましたが、現在では分類学的には、前述のセレビシェ (*cerevisiae*) と一緒だとされています。

パン酵母や糖蜜などからアルコールをつくるときの酵母は、上面酵母から選ばれたものを使用しています。原料中の糖分をアルコールに変換する能力を高めた技術が開発されてアサヒスーパードライが誕生しました。ウイスキーをつくる時は、逆にアルコールに変換する能力の弱い酵母を使うとおいしいウイスキーができると言われています。

日本酒をつくるのはセレビジュ酵母の仲間ですが、香りや味など、日本酒にはそれに適した菌株が使われます。最近、人気の出ている吟醸酒をつくる時には「吟醸香」の主成分である酢酸イソアミル、カプロン酸エチルをつくる酵素を改良した菌株を使うことで、これまで以上に華やかな香りの日本酒がつくられています。世界の酒のつくり方を表2-7に示しました。

表2-7. 世界の主な酒のつくり方\*

酒つくりの方法	酒の種類	アルコール濃度 (%)
発酵酒:		
糖から直接発酵	ワイン	14
穀物を糖化後、発酵		
麦芽による糖化	ビール	4から8

## 第2章 食品に利用される微生物

カビによる糖化	清酒	15から20
蒸留酒:		
果実酒	ブランデー	40から44
麦芽発酵液の蒸留	ウイスキー	37から44
麹により糖化した発酵液の蒸留	焼酎、泡盛	25から43

\*一鳥：「発酵食品への招待」（一部改変）、裳華房、p.34（1993）

### (2) キャンディダ・ウチリス (*Candida utilis*)

この酵母は、グルコース、ショ糖、フルクトースなどを発酵しますが、ラクトースやガラクトースは発酵しません。木材糖化液、あるいは亜硫酸パルプ廃液を栄養源としてこの酵母を培養し、得られた菌体を飼料やあるいはイノシン酸（旨味の物質）の製造原料に使います。世界の人口が急激に増加し、将来、食糧供給が重大な問題になることが予想され、人口増加の制限と同時に食糧の増産が重要な課題になってくると思われます。このことから、合成エタノールを炭素源として、*Candida utilis*の酵母を培養し、その菌体タンパク質を飼料や食品加工用としてすでに欧米では利用が始まっています。タンパク質食糧としての菌体生産のために利用されている酵母については後の章で述べます。

### 2.3 乳酸菌 (*Lactobacillus bulgaricus*) の働き

私たちの体内には、色々な細菌が棲んでいます。特に大腸にはさまざまな種類の細菌が数多く生息していますが、その中には、我々の健康を維持するために重要な働きをしている細菌が多く存在しています。年齢によって大腸に生息している菌数は異なり、特に高齢者になるほど乳酸菌が減少することもわかっています。その乳酸菌は乳酸をつくる一群の細菌を総称しています。乳酸菌は酸素のない嫌気的な条件で乳酸をつくり、醸造製品、乳製品、漬物、サイレージなどのほか、人間や動物の口腔、腸管、膣などの自然界に広く分布しています。その乳酸菌は、人間の生活と密接に関係をもち、種々の食品の製造や加工に利用されています。また、乳酸菌が体にどのような効果を及ぼすのか、当時の大阪中央病院消化器科の石川が生きた乳酸菌を用いて、大腸ガン予防のための臨床実験を厚生労働省の研究として実施していま

### 2.3 乳酸菌 (*Lactobacillus bulgaricus*) の働き

す。その研究は、大腸に前ガン病変であるポリープが複数あり、それらをすべて治療した患者約400人を対象にしています。実験方法は、患者に乳酸菌製剤を4年間服用するグループと全く服用しないグループに分けて、両者のグループのすべての患者に2年ごとに大腸内視鏡検査を行って新たなポリープの発生状況を調査しています。その結果、乳酸菌製剤を服用したグループでは、服用していないグループに比べて、異型度の強いポリープ（大腸にできたポリープが良性の腺腫なのか、あるいはガンなのかは「異型度」により判定します。）の発生が4年目で約3分の2に減少したと報告しています。異型度の強いポリープは、ガンになりやすいことから、ポリープを減らす乳酸菌製剤は、大腸ガンを減少させる可能性が高いと考えられています。

すでに先にも述べたように、自然界のどこにでもある全ての食べ物には、必ずと言ってよいほどに、乳酸菌が付着し、繁殖しています。その乳酸菌は、乳酸や芳香性のアルコールやエステルなどを生産したりしており、そのお陰で食べ物の風味がよくなります。また乳酸ができることで食べ物が酸性になるために、食品の腐敗が防がれ貯蔵にも大変役に立ちます。このように、いろいろな食べ物に生えるのは、乳酸菌が食べ物の中の糖類を分解することでエネルギーを獲得して生きているからで、その際、多量の乳酸を生成して蓄積するからです。詳しく調べるため、顕微鏡で覗いてみますと、乳酸菌は、グラム陽性の球菌、または桿菌であることがわかります。

一般に、ヨーグルトは健康によいと言われていますが、健康によい理由として、ヨーグルトに含まれている乳酸菌が人間の腸内で繁殖し、腸内の有害菌の活動を抑制するためだとも言われています。

最近では、乳酸菌はある条件下で人間の消化管を生きて通過できることが明らかになり、乳酸菌の研究が活発に行われるようになりました。また、乳酸菌の菌体や発酵生産物にも、生物学的、医学的な効果があることが明らかにされて来ています。乳酸菌の医学的な働きについては、次のようなことが知られています。

乳酸菌を毎日5週間服用した実験では、腐敗産物〔インジゴの前駆体であるインジカン（無色の水溶性物質）とフェノール類〕が減少したことから、

## 第2章 食品に利用される微生物

腸内細菌が腐敗を抑制する効果をもっていることがわかっています。腸内の有害細菌を抑え、有用細菌を増やすことによって発ガンや老化などを抑え、私たちの健康維持に役立たせることができます。

発酵乳とは、牛乳、山羊乳、馬乳などに乳酸菌や酵母、またはこれらの両者を加えて発酵させたものですが、今日では主として脱脂乳を原料とし、さらに砂糖や香料や果物を加える場合が多くなっています。ヨーグルトは、東地中海沿岸の諸国、バルカン地方、トルコなどにおいて古くから飲まれています。そのヨーグルトを研究したロシアのメチニコフは、「ブルガリアに長寿者が多いのはヨーグルトに含まれている乳酸菌の効果である」と報告し、1908年にノーベル生理学医学賞を受賞、彼の誕生日をヨーグルトの日（5月15日）としています。それ以来、世界中でヨーグルトが製造されるようになりました。わが国においても、年々、その消費が著しく増加しています。

ヨーグルトの通常の製造方法は、脱脂粉乳にヨーグルト用のスターター（*Lactobacillus bulgaricus*と*Streptococcus thermophilus*とを1:1か1:2の比で用いる）を約2.5%添加し、殺菌したビンの容器に入れて、約44℃で4時間発酵させます。酸度が約0.9%になって完全に凝固したら、10℃以下で約8時間冷却してから完成されます。

ヨーグルトの仲間であるケフィールは、コーカサス地方で創製されたもので、山羊革でつくった容器に山羊乳、牛乳を入れ、ケフィール粒（*Str. lactis*, *Str. thermophilus*, *L. acidophilus*, *L. bulgaricus*, または酵母は、*Saccharomyces cerevisiae* var. *ellipsoideus*と*Sacch. italicus*）を添加して発酵させます。これらケフィール菌の働きは、古くから便秘や下痢を防ぐ整腸作用や免疫を高める効果があると言われています。最近のマウスの実験結果では、ケフィール菌を飲ませる前と飲ませた後のガン細胞の大きさを測定した結果、飲ませたマウスはガン細胞が小さくなったと報告されています。

ヨーグルトやケフィールと同じ仲間であるクームスは、中央アジアやロシア南部で馬乳からつくられるアルコール性の発酵乳ですが、馬乳だけではなく、脱脂乳からもつくられます。製造法は、脱脂乳に2.5%のショ糖を添加し、91℃で5分間殺菌、27℃に冷却後、スターター（*L. bulgaricus*, *L.*

### 2.3 乳酸菌 (*Lactobacillus bulgaricus*) の働き

*acidophilus*と*Saccharomyces lactis*) を10 %添加、酸度が0.8%となって、凝固物が形成されるまで培養します。これを攪拌、通気して、17℃まで冷却すると液状になり、酸度が0.9%となるとビンに入れ、18℃で2時間保ち、4℃以下にして2日程度発酵させてつくります。乳製品に登場する微生物を表2-8に示しました。

表2-8. 乳製品に登場する主な微生物\*

原料	乳製品	主な微生物
牛乳	ヨーグルト	<i>Streptococcus thermophilus</i> <i>Lactobacillus bulgaricus</i>
馬乳	クーミス	<i>Lactobacillus acidophilus</i> <i>Lactobacillus bulgaricus</i> <i>Saccharomyces lactis</i>
山羊乳	ケフィール	<i>Lactobacillus bulgaricus</i> <i>Saccharomyces lactis</i> <i>Saccharomyces cerevisiae</i> Torula
凝乳	チーズ	<i>Streptococcus lactis</i> <i>Streptococcus cremoris</i> <i>Streptococcus faecalis</i> <i>Lactobacillus casei</i>

\*柳田、「微生物科学 (生態)」(一部改変)、学会出版センター、p.435 (1984)

乳酸菌でつくった発酵乳が健康にどのような効果があるのか、そのメカニズムは十分に明らかではありませんが、腸内の有用細菌が私たちの命を延ばすために何らかの作用をしているものと思われます。乳酸菌の抗ガン効果については、多くの研究者によって今もずっと研究が続けられています。

水谷らの実験では、マウスの肝ガン自然発生率は、無菌飼育条件下で30%、通常飼育条件下では70%でした。腸内細菌を定着させたマウスの肝ガン発生率は100%で、ビフィズス菌を加えると、ガン発生率は46%まで減少することが認められています。乳酸菌についても同じようなことが認められていますが、この効果のメカニズムは明らかにされていません。

現在までに報告されている乳酸菌の抗ガン作用を表2-9にまとめてみまし

## 第2章 食品に利用される微生物

た。乳酸菌には、抗ガン効果以外に免疫賦活効果（アジュバント作用によると考えられる）、感染防御効果（病原性大腸菌や緑膿菌などに対して）、抗菌作用（乳酸菌の生産する乳酸、酢酸、過酸化水素などが示す殺菌作用）、抗コレステロール作用（血中コレステロール値を低下させる）などが知られています。近年の私たちの食生活の変化や、高齢化にともなって、乳酸菌の研究と開発の重要性はこれからますます増えてくることでしょう。

表2-9. 乳酸菌の抗ガン作用\*

乳酸菌及び抽出物	腫瘍の型	実験動物	文献数
<i>L. acidophilus</i>	Chemically – induced	ハムスター	2
	Colon enzymes	人間・ラット	2
<i>L. acidophilus</i> 抽出物	Sarcoma – 180	マウス	3
<i>L. bulgaricus</i>	Ehrlich ascites lumar	マウス	2
<i>L. bulgaricus</i> 抽出物	Sarcoma – 180	マウス	5
<i>L. casei</i> 抽出物	Sarcoma – 180	マウス	2
ヨーグルト	Ehrlich ascites lumar	マウス	5
	Chemically – induced	ハムスター・ラット	2
ヨーグルト抽出物	Ehrlich ascites lumar	マウス	4

*L.*: *Lactobacillus*. \*和田、早川、「微生物」、(一部改変) 6、44 (1990)

### 2.4 納豆菌 (*Bacillus natto*) の働き

納豆は、多くの日本人の朝食で愛好されている重要なタンパク源の一つです。その納豆をつくるのに用いられているのが、枯草菌 (*Bacillus subtilis*) の仲間の納豆菌 (*Bacillus natto*) です。日本では、約1,000年もの昔から納豆が食べられてきましたが、その納豆には糸引き納豆と寺納豆があります。私たちが日常の食事の時に食べているのは糸引き納豆のことで、蒸した大豆に納豆菌を植えてつくった食品です。寺納豆とか大徳寺納豆と呼ばれているものは、塩辛納豆とも呼ばれているように、その製法は、煮た大豆に麹菌を繁殖させてから、これを塩水に浸けて放置すると、酵母と乳酸菌が繁殖し、そのために熟成して香味がつきます。この発酵の後で自然乾燥させたものです。

納豆の起源は、アフリカとか、または東南アジアとか言われますが、どち



## 2.4 納豆菌 (*Bacillus natto*) の働き

らが起源かはわかっていません。納豆によく似たものは、ネパール、タイ、中国、台湾、朝鮮半島などにも多くあります。また、アフリカにも納豆らしい「ダワダワ」と呼ばれる発酵調味食品があることが知られています。近年の遺伝子解析で、これらの納豆菌は、7,000年前には同じ祖先であったのが、その後、各地方に分散しながら、遺伝子が少しずつ変化したものと言われている。

納豆は、煮ただけの大豆に比べて消化吸収されやすいために、栄養価値の面からもすぐれていることがよく知られています。昔から、風邪の薬とか、悪酔いを防ぐとか、疲労や肩こり、肝機能の向上、結核、心臓を丈夫にする、美しい肌にするなどに効果があることが報告されていますが、それらの科学的な立証はまだ充分ではありません。

納豆菌と枯草菌は、細菌分類学上では仲間なのでよく似ています。大きな違いとしては、枯草菌は、ビオチンがなくても生育できますが、納豆菌はビオチンというビタミンがないと生育できません。納豆の特色である粘着性は、pH7.3付近の中性のときに高い値を示します。従って、酸性の調味料、たとえば酢を加えると粘性が低下することになります。納豆菌が糸を引く秘密は、菌体外に粘性物質を分泌しているからで、この粘性物質は、ポリグルタミン酸と果糖が重合した高分子のポリフラクタンです。

納豆菌が何のために、このような粘性物質を分泌しているのかは、はっきりとはわかりませんが、多分、自然環境から自分自身を守るため、また、外部から侵入するものを防ぐために粘性のある高分子物質を菌体外に分泌しているものと思われます。このことを納豆菌の生体防御機構と言っています。

最近、納豆の機能性に注目されるようになりました。いま社会的に大きな問題となっている老人性認知症は、日本では約60%が血栓性であることが知られています。その血栓を溶かすのに糸引き納豆が役に立つかもしれないと報告されています。

須見らは、市販の糸引き納豆をシャーレの中につくった人工血栓の上に置いて、37℃で18時間放置すると、納豆のまわりだけが円形に溶けるということを報告しています。

## 第2章 食品に利用される微生物

最近、血栓のある実験用の犬に、納豆から分離した納豆キナーゼを経口投与したことにより、血栓が溶けて、再び血液が流れていることが血管造影によって確認されています。納豆キナーゼを投与しなかった場合には、まったく変化がなかったことから、糸引き納豆が血栓の予防薬として注目されています。さらに老化を促進させる活性酸素（OHラジカル、スーパーオキシドアニオンラジカル、過酸化水素）の一部を消去するスーパーオキシドジスムターゼを有していると言われています。今後も機能性食品としての応用が広がっていくものと思われます。発酵食品に登場する主な微生物を表2-10に示しました。

表2-10. 発酵食品に登場する主な微生物\*

発酵食品	原料	主な微生物
醤油	大豆、小麦	<i>Asp. oryzae</i> , <i>Asp. sojae</i> <i>Ped. halophilus</i> , <i>Sac. rouxii</i> , <i>Torulopsis versatilis</i>
味噌	大豆、麦、米	<i>Asp. oryzae</i> , <i>Asp. sojae</i> <i>Ped. halophilus</i> , <i>Torulopsis versatilis</i>
納豆	大豆	<i>Bacillus subtilis</i> (natto)
浜納豆	大豆	<i>Asp.</i> , <i>Ped. halophilus</i> , <i>Sac. rouxii</i> ,
キムチ	野菜（白菜など）	<i>Lact. plantarum</i> （夏場） <i>Streptococcus mesenteroides</i> （冬場）
たくわん	大根	<i>Saccharomyces rouxii</i> , <i>Torulopsis famata</i>

*Asp.*:*Aspergillus*. *Ped.*:*Pediococcus*. *Sac.*:*Saccharomyces*. *Lact.*:*Lactobacillus*.

\*柳田友道、「微生物科学（生態）」（一部改変）、学会出版センター、p.435（1984）

### 2.5 食酢をつくる細菌（*Acetobacter*）

食酢の起源は、紀元前5,000年頃の記録にあると言われています。その頃は、おどろからつくられるワインなどから食酢がつくられたということです。食酢の効用は、調味料、防腐効果や酸によるタンパク質の変性で、鮮魚

を食酢でしめることなどに利用されています。食酢をつくる細菌は、好気性で、空気のあるところでエタノールを酸化して酢酸を生成するので酢酸菌とよばれています。

エタノールを酸化して酢酸を生成する反応を触媒する酵素は、アルコール脱水素酵素とアルデヒド脱水素酵素です。この2つの酵素とも、ピロロキノリンキノン (PQQ) を補酵素にしており、銩山のグループが、菌の細胞膜から界面活性剤を使って2つの酵素を取り出し、アルコール脱水素酵素の方を結晶化することに成功しています。PQQの分子構造を図2-2に示しました。

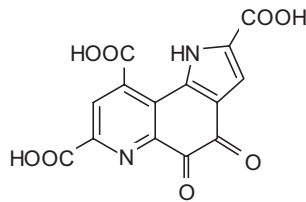


図2-2. PQQの分子構造

筆者は銩山から、「培養フラスコをよく洗浄すると菌の生育が遅く、十分に洗浄しない方が菌の生育がよかったという結果が出て、そのことにより、PQQの補酵素が必要であることがわかった」という話を聞いたことを思い出しました。後でも述べますが、酢酸発酵は、微生物によって起こることをパスツールが発表してから120年経って、ようやくその発酵にかかわっている酵素の実体が明らかにされたのでした。酢酸菌には、アルコールを酸化する能力の特に強いことで特長のある*Acetobacter*と、糖を酸化して酸にする能力のすぐれた*Gluconobacter*という細菌が存在します。前者は、ビールやワインなどの飲料がすっぽくなったものに棲んでいて、後者は、果物や花の蜜など、糖分のあるところに棲んでいます。

酢は、昔からそのまま調味料として用いられていますが、他にも魚肉や獣肉の風味をよくするために用いられてきましたことを前にも記しました。

## 第2章 食品に利用される微生物

しかしながら、最近では、ドレッシングやマヨネーズの製造に多く用いられているようになっていきます。

酢の醸造に用いている酢酸菌は、*Acetobacter*で、*Gluconobacter*も混在しています。

*Gluconobacter*は、原料の糖分からグルコン酸をたくさんつくることで、酢の風味をよくしています。果汁がアルコール発酵した後、酸っぱくなるのは、これらの酢酸菌が原因です。フランスではワイン酢、リンゴ酢を、アメリカではリンゴ酢や米酢をつくり、日本では、米酢がつくられてきました。それ故に、酢は、酒とともに大変古くから世界中にあった調味料で、酒とともに最古の発酵製品だったわけです。そして、それぞれの酢の香りは、もとの酒の香りがすることが特長です。酢をつくるには、アルコールからの生産量が多い菌が用いられます。できあがった酢には、少なくとも4%の酢酸と少量のアルコール、グリセリン、エステル、糖、塩分などが含まれています。

米酢には、酢酸、グルコン酸、乳酸以外に、コハク酸、フマル酸、クエン酸、グリコール酸等が含まれていて、リンゴ酢に比べて、全糖、全窒素、乳酸などが多く含まれています。以前、グルコン酸のよい定量法がありませんでしたので、酢の中の不揮発酸は、乳酸が最も多かったように思われていましたが、実際にはグルコン酸が断然多く、酢の風味にとってもグルコン酸は大変大切な物質であることがわかりました。また、グルコン酸は、腸内細菌のビフィズス菌の増殖を促す働きがあり、健康に役立つ成分として注目されています。酢の味や旨味にかかわりの深い成分であるアミノ酸も、酢の中にたくさん含まれており、その組成として、17種類のアミノ酸が確認されています。また、米酢には、グルタミン酸、アラニン、グリシン、ロイシン、バリン等も多く含まれ、さらに香気成分として、アルコール、有機酸、エステル、カルボニル化合物、ラクトンなどがあります。酢には、ビタミンCを安定化させる作用があることも報告されています。

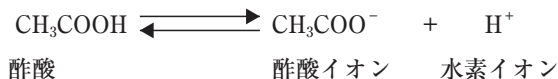
稲垣らは、酢と水の中でのビタミンCの残存量を調べていますが、水に比べると酢の中の方が、残存量が多くなっており、ビタミンCが水中で酸化さ

## 2.5 食酢をつくる細菌 (Acetobacter)

れるのは、水中の酸素や微量金属（鉄、銅イオンなど）によるものと考えられています。酢の中のビタミンCの安定化は、酢酸によってpHが下がり、酢の中の溶存酸素や微量金属によるビタミンCの酸化を防止しているからだと考えられます。また、野菜などに含まれているビタミンC酸化酵素（キュウリ、カボチャの皮などに多く含まれる）はビタミンCを容易に分解しますが、酢の中ではpHが酸性のためにビタミンC酸化酵素の活性が低下して、ビタミンCの酸化分解を防止します。酢に魚肉をつけたり、野菜の色をあざやかにしたりして、酢は料理をつくる上で大変役に立っていますが、それも酢の酸性の働きを利用しているものです。ご飯に酢を混ぜてつくる早鮎も、酸性にすることで風味をつけることと、さらに防腐の役目があります。自然界に生存している微生物の多くは、pH5～8の範囲で生活しています。しかし、酢のpHは、3～4と比較的強い酸性を示すことから、酢には強い抗菌作用があることがわかります。

近年、魚の生食による寄生虫（アニサキス幼虫）の人体への影響が大きな社会問題になっていますが、飯田らは、米酢が低濃度で短時間に寄生虫を死滅させる効果のあることを報告しています。

酢の殺菌作用は、酢酸がイオンに解離する性質（解離定数）が低いからだと考えられています。酢酸（ $\text{CH}_3\text{COOH}$ ）は、 $\text{CH}_3\text{COO}^-$ と $\text{H}^+$ に解離しますが、他の酸に比べて、そうなる割合が小さく、多くは $\text{CH}_3\text{COOH}$ のままです。



細胞膜を通過しやすいのは、イオンに解離したものよりも解離していない $\text{CH}_3\text{COOH}$ なのです。その酢酸は、ほかの酸よりも細胞の中に入りやすい性質をもっています。そして、細胞内に入ってからイオンに解離することで、解離してできた $\text{H}^+$ が殺菌効果を発揮するものと考えられます。他の酸は、イオンに解離しやすいために細胞内に入りにくいので、酢酸ほどの殺菌効果はないと言われています。酢が水虫に効くと言われているのも、同じ理由からでしょう。主な細菌類の特徴を表2-11に示しました。

表2-11. 主な細菌の特徴

主な細菌名	主な特徴
<i>Pseudomonas</i>	食品の腐敗菌 緑膿菌 植物病原菌
<i>Acetobacter</i>	食酢、グルコン酸製造菌
<i>Staphylococcus</i>	食中毒の原因菌、黄色ブドウ球菌
<i>Micrococcus</i>	食品を変色する菌（黄色、桃色）
<i>Lactobacillus</i>	ヨーグルトの製造菌、乳製品
<i>Streptococcus</i>	ヨーグルトの製造菌、乳製品
<i>Bacillus</i>	食品を腐敗する菌、納豆の生産菌
<i>Brevibacterium</i>	グルタミン酸の生産菌
<i>Vibrio</i>	魚介類の食中毒菌、コレラ菌

## 2.6 ビタミンCをつくる酢酸菌

最近、「ビタミンCがガンに効く」と言われ、非常に注目されています。1970年代にノーベル化学賞と平和賞を受賞したポーリングが、ビタミンCの栄養所用量の基準を上回る量を投与すると治療的効果があり、健康を維持できることを2冊の書物で主張しました。ところが、その直後にアメリカの「メイヨー・クリニック」という大病院からビタミンCの大量効果を否定する論文が発表され、ポーリングの研究は医学界からほとんど黙殺されていました。しかし、1980年、有名な雑誌「Nature」にブラムが、ビタミンCが黒色ガン細胞を50%低下させることを報告しました。また、2005年、アメリカのNIH（国立衛生研究所）からビタミンCを大量に投与することでガン細胞が死滅する論文が報告されたため、再びポーリングの説が注目されるようになりました。

そのビタミンCがレモンの中にあって、壊血病に有効な薬剤であることは古くから知られており、これが工業的につくられるようになったのは、1935年のことでした。ドイツのライヒシュタイン博士が開発した技術が、ビタミンCの製造工業に大きな貢献をしています。ビタミンCの製造は、大部分は合成化学の方法で行われていますが、原料のグルコースを白金触媒でL-ソルビトールに還元した後、このL-ソルビトールをD-ソルボースに酸化す

る反応だけは酢酸菌 (*Gluconobacter*) の働きに依存しています。この菌のもっているL-ソルビトール脱水素酵素が大変効率よくD-ソルボースをつくるからです。この反応をソルボース発酵と呼んでいます。

ライヒシュタインの技術は、いろいろな部分で改良を重ねて、現在でも世界中の製薬会社でビタミンCの大量生産に用いられていますが、ソルボース発酵の工程だけは、未だに世界中ですっと酢酸菌の働きを利用しているのです。ビタミンC製造法を図2-3に示しました。

飴山らは、ソルボース発酵でできたL-ソルビトール脱水素酵素が酢酸菌の細胞膜の外側（ペリプラズム側）にくっついていて、FAD（ビタミンB<sub>2</sub>の化合物）を補酵素としていることを明らかにしました。酢酸菌 (*Acetobacter*, *Gluconobacter*) は多くの糖やアルコールを酸化しますが、その酸化を触媒する酵素がすべてソルボース発酵の酵素と同様に細胞膜のペリプラズム側にあることがわかり、FADを補酵素とするものとPQQを補酵素とするものがあることを、界面活性剤を使うことで細菌からとり出して精製し、諸性質を明らかにしています。

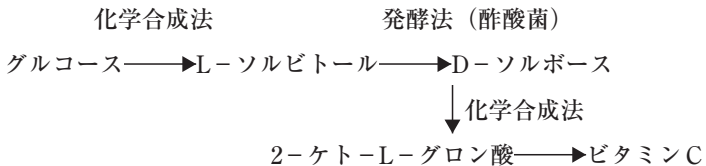


図2-3. ビタミンCの製造法（収率、約60%）

最近の研究によれば、ビタミンCを10 g 点滴すれば、口から摂取した場合に比べて、ビタミンCの血中濃度が25倍以上高くなることがわかっています。

2005年、タイ・チェンらは、試験管の中でビタミンCがどのようなメカニズムで、ガン細胞を死滅させるのか調べました。図2-4にビタミンCのガン細胞の死滅メカニズムを示しました。

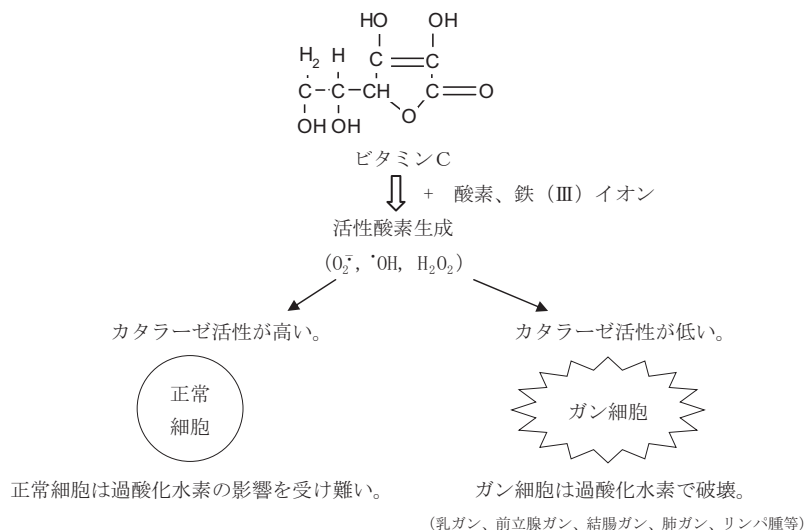


図2-4. ビタミンCのガン細胞の死滅メカニズム

## 2.7 食用キノコの働き

キノコ類は、外観では微生物の仲間ではないように見えますが、カサ裏のひだなどに、すぐには目にふれない菌糸や胞子をつくっており、分類学では担子菌類に属する微生物です。外国ではキノコに薄気味わるいイメージを持っているようですが、日本人は、キノコを食用にするだけではなくて、キノコの形を真似た菓子などもつくり、あまり悪いイメージを持っていません。しかし、キノコの食中毒は恐ろしいもので、タマゴテングタケは、食べるとおいしく感じるとのことですが、食中毒を起こし、死亡率が約40%と言われています。

微生物の分類学者によりますと、微生物学での分類は、このキノコが食べられるか食べられないか、という人々の生活に密着したところからはじまったと言われています。

毒キノコの毒成分は、環状ペプチド、アルカロイド、ヘテロ環化合物などです。アマニタ属の毒キノコについて、毒成分がどの部分に多いのかを調べ



た結果では、かさの裏側のひだ、かさ、菌柄の順に多く含まれています。

毒キノコの毒は熱に安定なので、煮ても毒を不活性化させることはできません。治療には、毒成分を早く体内から除く方法がもっともいい方法です。たとえば、水に活性炭を入れてかき混ぜたものを服用して、毒成分を活性炭に吸着させてしまう方法があります。

キノコにも毒キノコばかりではなく、有用なキノコも多く、私たちの生活の中でも、キノコは食品としてよく利用されています。現在、食べることのできるキノコとしては、マツタケ、ナメタケ、シイタケ、エノキタケ、マッシュルームなど約300種を越えるものがあり、かなりの種類のキノコがスーパーマーケットの食品売場に並んでいます。

日本では、単純に計算して、1年に1人平均約2Kgのキノコを食べていると言われていますが、日本の人々がよく食べるキノコには、シイタケ、ヒラタケ、ナメコ、エノキタケなどがあり、アメリカやヨーロッパの人たちはマッシュルームを多く食べます。マツタケの匂いを、友人のカナダ人に匂ってもらったところ、「人の尿の匂いがする」と言っていましたので、欧米人と日本人とでは、味や香りの好みが違うように思われます。

シイタケは、一般的には木材に種付けして栽培されています。このように、キノコは、木材に生えて、木材のセルロースやリグニンを分解して生活しています。キノコの木材分解には、2つのタイプがあります。一つは、セルロースを分解するセルロース分解菌（ニクウチワタケ、チズガタサルノコシカケなど）で、この菌が生えたと、木材は褐色になります。もう一つは、リグニンとセルロースを同時に分解するリグニン分解菌（マンネンタケ、ウロコタケ、ツリガネタケ、マンネンハリタケ、オクバタケ、コメバタケなど）です。この担子菌が生えたと、木材は白色になります。セルロース分解菌はシュウ酸を蓄積しますが、リグニン分解菌はシュウ酸を蓄積しません。

古くから日本や中国では、キノコ類を不老長寿の薬として珍重してきましたが、そのキノコ類の薬理的な機能の研究が活発に行われています。例えば、血液中のコレステロール低下作用のあるエリタデニンがシイタケから発見されています。また、カワラタケから得られたクレスチンは、抗悪性腫瘍

## 第2章 食品に利用される微生物

剤として製剤化され、肺ガン、消化器ガン、乳ガンなどの治療薬として、用いられています。

1988年には、姫マツタケのエルゴステロール誘導体が子宮ガンを死滅させる効果を示すことが報告されました。また、1989年には、ヤマブシタケ子実体の多糖には、免疫機能調節にもとづく抗ガン作用（胃ガン、食道ガン、肝臓ガン、皮膚ガン等）のあることが見つけられました。

さらに、1990年には、ヤマブシタケの子実体、菌糸体、培養生産物などに含まれている新規のフェノール類が、培養ガン細胞に毒性を示したことが報告されています。また、このキノコがつくる新規の脂肪酸にも、ガンの化学療法に使える可能性が見いだされています。

1989年から1991年にかけて、水野らによってサルノコシカケ科、シメジ科、ハラタケ科等に属するキノコから、顕著な抗腫瘍活性を示す $\beta$ -D-グルカン、ヘテログリカン、糖タンパク等の高分子化合物が検出されたことが報告されました。

1992年には、ヤマブシタケから分離された多糖のキシラン、グルコキシラン、ヘテロキシログルカン、および、それらのタンパク複合体には免疫調節機能としての特性があり、それらが副作用の少ないガン免疫療法剤としての開発に期待がかかっています。キノコの主な効用を表2-12に示しました。

表2-12. キノコの主な効用\*

キノコ	成分	効用
姫マツタケ	RNA複合体	抗腫瘍作用
マンネンタケ	ペプチドグリカン	血糖降下作用
マンネンタケ	糖タンパク質	血圧降下作用
フクロタケ	ボルバトキシン	強心作用
エノキタケ	フラムトキシン	強心作用
シイタケ	糖タンパク質、 $\beta$ -グルカン	抗ウイルス作用
キクラゲ	酸性多糖、ビタミンD <sub>2</sub>	抗コレステロール
各種キノコ	$\beta$ -グルカン	抗腫瘍作用
各種キノコ	テルペノイド化合物、ポリアセチレン化合物	抗菌作用

\*村尾ら、「くらしと微生物」（一部改変）、培風館、p.149（2002）

## 2.8 赤酒をつくるカビ (*Monascus*)

ベニコウジ属のカビは、紅色系の色素（モナスコルビン）を生産するために紅色を呈しています。このカビ（*Monascus*属）は、紅酒をつくるために古くから中国や台湾で利用され、現在でも紅麴は紅酒、紅乳腐などの製造原料として利用されています。ベニコウジ属のカビは、日本の米麴と似たバラ麴（バラバラとした粒状の麴）で、鮮紅色をしていて、食品の着色剤と肉類の保存剤としても広く利用されています。日本でも紅麴から有機溶媒で色素を分離し、天然着色剤として工業生産されています。分離された天然色素には、赤色、紫色、黄色系のものがあり、それらの内の6種類の化合物の構造式がわかっています。これらの色素は、紫外線に弱く、時間が経つにつれて次第に変色します。熱には安定であり、安全性も高い色素です。水には難溶性ですが、しかし、タンパク質に親和性が強く、タンパク質と結合することにより水溶性になることが報告されています。

赤酒は、米を蒸煮して、これに糖化菌、酵母、原料酒、水、それに紅麴を加えて発酵させて製造します。製造直後の酒は深紅色をしています。長期間保存していると色素は紫外線によって変化し、次第にウーロン茶に近い色になります。

一時、発ガン性があるという疑いから合成色素が使用されなくなって、天然着色剤の消費量が増加しました。現在でも、紅麴菌（*Monascus*属、カビ）の天然色素は、ハムなどの着色に利用されています。また、最近では紅麴菌の赤色系色素、または黄色系色素が、抗菌活性を示すことも報告されていますが、紅麴菌の培養液から、きわめて毒性の低いコレステロール合成阻害剤であるモナコリンKが見つけれ、この物質は欧米各国で商品化されています。今後、紅麴菌を利用した新しい機能性食品の開発や、生理活性物質の探索などの研究に、大きな期待がかかっています。

## 2.9 腸内に棲む細菌

私たちが食べたものは、腸内細菌の働きで有用なものに変わったり、有害なものがつくられたりしています。有害な場合の代表である食中毒は、厚生労働省の統計資料では、細菌性食中毒、化学物質による食中毒、自然毒によ

## 第2章 食品に利用される微生物

る食中毒の3つに大別されています。

特に、夏場に多い細菌性の食中毒は、腸炎ビブリオ、ぶどう球菌、サルモネラ菌の3種だけで食中毒の約70%を占めています。増殖するのに条件さえよければ、腸炎ビブリオの菌数は10分単位で、ぶどう球菌、サルモネラ菌は20分単位で2倍に増えます。

細菌による食中毒では、菌がつくる有害物質によって発病します。この物質は熱に強く、そのため、食べものに火を通しただけでは食中毒を防ぐ効果はありません。これらの毒素の生産は、多くの場合、プラスミドやバクテリオファージの遺伝子に支配されていることが多いと言われています。腸炎ビブリオは海水中に、サルモネラ菌は家畜に、ぶどう球菌は化膿した傷口などにいます。サルモネラ菌はグラム陰性菌の桿菌で、人や動物に病原性を示します。赤痢菌は、鞭毛をもたないところが他の腸内細菌と大きく異なるところです。主な腸内細菌の特性を表2-13に示しました。

表2-13. 主な腸内細菌の特性\*

性状	通常大腸菌	サルモネラ菌	赤痢菌
病原性（人と動物）	陰性	陽性・陰性	陽性
運動性	陽性・陰性	陽性	陰性
ガス発生（グルコース）	陽性	陽性（チフス菌を除く）	陰性
ラクトースの発酵	陽性	陰性	陰性
クエン酸の利用	陰性	陽性	陰性
インドール生成	陽性	陰性	陽性・陰性
$\beta$ -ガラクトシダーゼ	陽性	陰性	陽性・陰性

\*友枝、：「微生物学」、（一部改変）弘学出版、p.37（1981）

食中毒を予防するには、

- (1) 食物を汚さない。
- (2) 微生物をふやさない。
- (3) 加熱して微生物を殺菌。

以上の3原則を念頭に入れておくことが重要です。

最近、欧米諸国では、大腸ガンの発生率が高く、食事との因果関係が問題

になっており、腸内細菌が関係しているのではないかとわれ、大変関心が高まっています。

一人が腸内にもっている細菌は、約100種で、口から入る食品の成分や腸内の分泌物を栄養として生きています。特に腸内にいる細菌は、そこで多くの物質をつくっており、その中でも有用物質としては、ビタミンB<sub>1</sub>、ビタミンK、葉酸などのビタミン類ですが、その反面有害物質としては、発ガン性物質や細菌毒素などもつくっています。大腸菌 (*Escherichia coli* K-12) の集落を口絵3(D) に示しました。

代表的な腸内細菌である大腸菌については、健康な人の糞便1gあたりに、10万～1億程度がいます。

一般の大腸菌は、普通病原性を示しませんが、本菌が食品などに存在すると、間接的に汚染されたことになりますから、食品衛生上、病原菌汚染の可能性の指標となっています。すなわち、容易に検出される大腸菌汚染が食品衛生上の基準になり、牛乳、食品などの衛生検査に適用されています。

腸内では、有用細菌（乳酸桿菌、ビフィズス菌など）と有害細菌（ぶどう球菌、緑膿菌など）とが共存しています。また、大腸菌は、有用な面（ビタミン類の合成、消化など）と有害な面（病原性、腸内腐敗）の2面性を持っています。健康な私たちの腸内細菌は、一定のバランスを維持していますが、体に抵抗力がなくなると、胃腸炎などを起こす原因になります。しかし、腸内細菌には解毒作用もあります。例えば、大腸菌、乳酸桿菌、ビフィズス菌などには、発ガン性物質であるニトロソアミンを分解して、2級アミンや亜硝酸塩に変わり解毒します。ニトロソアミンの微生物変換を下に示しました。



また、黒く焼き過ぎた魚で見つかる発ガン性の物質として、よく知られているベンツピレン（図2-5）は、腸内細菌（大腸菌、枯草菌、*Pseudomonas* など）によって分解されることが知られています。

## 第2章 食品に利用される微生物

私たちの健康を維持するために理想的な腸内細菌の分布がわかれば、定期的に腸内細菌を検査して、種々の病気の予知と対策が可能になると考えられます。

また将来は有用な腸内細菌だけを腸内に定着させ、多くのビタミン類を腸内でつくらせたり、腸内に入った有害物質を分解させたり、あるいは病原菌を殺したりすることについても研究の発展があり、多くの人々が健康でより長生きできるような時代が来ると思われます。今後の研究に期待したいものです。

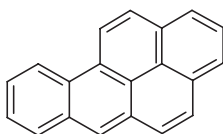


図2-5. ベンツピレンの構造

### 2.10 雪茶をつくる地衣体

地衣類は、菌類と藻類の共生体です。その地衣類は、桜の木の表面や古い墓石の表面によく見られる小さな植物で、古くから親しみがあり、通常は「木毛；コケ」と呼ばれています。最近、雪茶（ムシゴケ）は、ダイエットティーとして効果が高く人気が出てきています。その雪茶の原料は、ムシゴケ科の地衣類で、中国の雲南省チベットにある標高3,800mの厳しい環境の岩山に自生しています。原料の特徴として葉は白く、1年で約1cm以下しか成長しない貴重な植物です。原料となるこの地衣類はキノコと違って、見た目には食欲をそそるような食べ物ではありませんが、栄養が豊富で、特にビタミン類・ミネラル類などが多く含まれています。チベットの人たちは、この雪茶を飲む習慣があり、体内に蓄積された脂肪やコレステロールの分解を促進すると言われています。

雪茶の原料となるムシゴケは、ハイマツ帯の直下あたりの地上に、白色から灰白色、中空が管状で、多少屈折したミミズのような形で生育し、北半球に広く分布していますが、南半球にも生育しています。ムシゴケの地衣体を

口絵4 (D、a) に示し、ムシゴケから分離された地衣菌を口絵4 (D、b) に示しました。

口絵から明らかなように、ムシゴケの地衣体から地衣菌が分離されていることから、この菌株の培養条件や、つくり出す物質を調べ、新しい機能性物質を検索しています。

その他の地衣類は、市街地の木、石、コンクリート等から高山や南極大陸のような極地に至る所まで広く分布していて、約150種類が知られています。菌類に分類されている生物であるため、キノコ同様に、毒があるものと食用や我々の生活に役立つものがありますが、食用となるものは少ないようです。毒のある地衣類としては、オオカミをも殺すといわれ、北米や欧州に分布するオオカミゴケやコナハイマツゴケ、ケツゴケが知られており、食用になるものとしてはイワタケ、バイダイキノリ、カブトゴケモドキ、ウメノキゴケ等が知られています。また、生活に役立つものとしては、リトマスゴケが化学実験で水溶液が酸性かアルカリ性かを判別するリトマス試験紙に利用され、最近では、ウメノキゴケなどが大気汚染の指標生物として使われるなど、地衣類がつくり出している化学成分を医薬品、染料、香料、食品等に利用しようとする研究開発が盛んになってきています。

前述しましたように、地衣類は菌類と藻類という全く異なる2つの生物が共生する複合生物で、異種生物間総合作用が考えられますが、そのことは、ほとんど解明されていません。その理由としては、地衣類の培養が非常に困難であることと、培養するのに時間（2～3ヶ月以上）がかかることです。この2つの課題を克服すれば、研究はさらに進むものと思われる。

## 2.11 いろいろな物をつくる微生物

近年、従来の化石燃料からバイオマス由来エネルギーへと大転換の時代を迎え、化石燃料依存の化学産業は、微生物の生体触媒を用いた産業へと技術革新を迫られております。人は昔から身の回りの自然から、いろいろな物を採って来て、衣食住の生活に役立てて来ました。それは自然界に生育するものであることは勿論のことですが、微生物が働いて出来た生産物を利用してきたことも多くあって、特に食べものについては微生物が関与しないものが

## 第2章 食品に利用される微生物

ないくらいです。

人がそのことに気がついたのは、微生物というものの存在が意識に上ってからです。近代に入って、さらに、微生物と人間生活のかかわりの深さは、大変なものであったことがわかりました。

フランスのパスツールは、微生物が働いて自然界で有用な生産物をつくっていることを見つけ、1850年代の末に、乳酸をつくりだすために微生物の働きこそがとても大切だということをはじめて明らかにしました。人々の暮らしの中で、乳酸菌がいろいろな食べものの保存や風味をよくすることに役立っていることに人々が気づくのは、もっと後のことになります。

1858年には、酒の主な成分であるエタノールが酵母によって生産されることも、またパスツールによって明らかにされました。現在、浣腸剤として用いられているグリセリンも、酵母によってできることがわかり、さらにワインが酸っぱくなって酢ができるのも、細菌の働きであることを彼が見つけた。

パスツールは、他にもいろいろな発酵について報告しており、それ以来、多くの人たちが次々と微生物の働きでいろいろなものが生産されることを報告するようになって、微生物が人間の暮らしの中で大変役に立っていることが、ようやく人々に認められるようになりました。コッホらが人の病気が細菌によって起こることを見つけたのも、ちょうど同じ頃でした。またパスツールは、蚕の病気や狂犬病の研究でも大きな発見をしています。こうして、近代微生物学が華やかに誕生しました。

1923年になると、ファイザー社によって、カビの働きでクエン酸発酵が行われることが発表されました。

1929年には、イギリスのフレミングが、青カビからペニシリンをつくることを発見しました。その抗生物質であるペニシリンは、第2次世界大戦中に実用化され、当時のイギリス首相、チャーチルの肺炎がペニシリンによって治癒したことが世界に報じられ人々をとっても驚かせました。その頃は、肺炎はとても治しにくい病気だったのです。

カビが病気を治す薬をつくり出すことが知られたことで、微生物のすばら



しい働きが世界中の人々を驚かせました。そして、微生物の働きに人々は強く注目するようになりました。その後、アメリカのワックスマンが、当時の難病であった結核に顕著な効きめを示すストレプトマイシンを放線菌 (*Streptomyces griseus*) がつくっていることを発表し、これが実用化されました。彼はこの発明を特許にしないことで、世界中の結核患者の治療のためにとても大きな貢献をしました。今では、昔のように結核患者を見かけなくなったのもワックスマンのお陰です。

それからは、人々はゴールド・ラッシュのように新しい抗生物質を探しはじめ、多種多様の抗生物質が発見されるようになりました。また、微生物に有機物を分解させると、通常は、水と炭酸ガスにまで分解しますが、微生物を変えたり、原料の炭素源を変えたりすることで、いろいろな代謝中間体を培養液の中に蓄積したり、あるいは思ってもみなかったような新しい物質を生産することがわかってきました。そこで、それらの代謝生産物の中で、価値のあるものをつくり出すことを目的に微生物産業が発展してきました。

近年、微生物の研究者は遺伝子操作を行い、新しい機能をもった微生物に改良して、有用な代謝生産物の収量を上げる努力を行っています。

現在、微生物の多様な働きを利用して工業生産されています。主な生産物の中より、興味ぶかいものについては後で詳しく紹介することにします。

「アルコール類」細菌を使ってエタノール、ブタノール、2, 3-ブチレングライコール、アセトンなどが生産されています。また、酵母を使ってグリセリンやエタノールが生産されています。酒類などの醸造でつくられるアルコールは別として、化粧品やその他の化学製品の製造原料として用いられるアルコールの生産は、世界のどこでも大きな微生物産業として成り立っていましたが、現在では石油から化学的な方法で生産する方にかわり、石油化学工業に依存しています。しかし、原油も埋蔵量に限界がありますことから、微生物の働きを利用しながら、農産廃棄物の発酵によるアルコールの生産を工業化することを考えなければならない時代になっています。特に、次の世紀には、世界のエネルギー資源が乏しくなることが予想されますので、日本ではすでに、バイオマスの利用によるエネルギー供給が考えられています。

## 第2章 食品に利用される微生物

その場合に、セルロース原料をグルコースに分解してから、酵母でアルコールをつくる発酵法がもっとも有効なことから、世界各地ですでに実用化が進んでいるところです。そうしてつくられたアルコールをガソリンと混合して、自動車を走らせている国も多くなっています。

「有機酸類」細菌を使って乳酸、酢酸、酪酸が生産されています。また、カビを使って、リンゴ酸、クエン酸、グルコン酸、イタコン酸、コウジ酸等の工業生産が行われています。私たちは、これらの有機酸を医薬品や食品として、またエイコサペンタエン酸がグルコースから*Mortierella*菌によって合成されて、健康食品として利用されています。

「アミノ酸類」調味料のグルタミン酸の製造をはじめとして、アラニン、イソロイシン、バリン、トリプトファン、リジン、フェニルアラニン、チロシンなどのアミノ酸が、微生物の発酵法によって工業生産されています。

「ビタミン類」ビタミンB<sub>6</sub>、B<sub>12</sub>、 $\beta$ -カロチンなども、微生物を用いて生産が行われています。ビタミンCは、生産工程のほとんどが化学的な合成法によっていますが、反応工程の一部だけは、微生物の働きを利用しなければなりません。そのときには、酢酸菌が用いられています。

「酵素類」酵素の生産には、植物や動物よりも微生物の酵素を利用することが多くなっています。アミラーゼ、プロテアーゼ、ペクチナーゼ、リパーゼ、セルラーゼ、インベルターゼ、ラクターゼ、グルコースオキシダーゼ、ナリンギナーゼ、カタラーゼ、レンニン（牛乳凝固酵素）などが工業的に生産されています。

「多糖類」微生物が生産する多糖類には、デキストラン、セルロース、ブルラン、カードラン、ムタン、キサンタンガム、アルギン酸、レバン、マンナン、エルシナン、サクシノクルカンなどが、高性能ヘッドホン、保水剤、人工皮膚、化粧パット、増粘剤、粘弾性、糊などに利用されていますので、それらは工業的に生産されています。

「抗生物質」カビや放線菌のつくるペニシリン、ストレプトマイシン、テラマイシン、アクロマイシン、オーレオマイシン、クロロマイシン、テトラサイクリン、カナマイシン、トリコマイシン、マイトマイシン、ザルコマイ

シンなどの多種類の抗生物質が工業的に生産されています。また、農業用の抗生物質として、ブラストサイジンS（いもち病に用いる）、カスガマイシン（いもち病に用いる）、ポリオキシシン（黒斑病に用いる）なども多量に工業生産されています。

「制ガン性抗生物質」アクチノマイシンD（腎腫瘍）、クロマイシンA3（ガン）、マイトマイシンC（白血病、悪性腫瘍）、ブレオマイシン（扁平上皮ガン）などの制ガン性抗生物質が生産されています。セリンプロテアーゼインヒビターの制ガン性は、細胞毒性によるものではなく、細胞増殖静止作用です。近い将来、副作用の少ない制ガン剤が微生物を用いてつくられることが期待されています。

「核酸関連化合物（調味料）」カツオブシの旨味成分であるイノシン酸は、初期には魚から分離されていましたが、現在では、培養した酵母の菌体内から核酸（RNA）を取り出して、これを酵素的に分解して、イノシン酸とグアニル酸に分けて工業生産をしています。

「界面活性剤（化粧品、洗浄剤）」微生物がつくる出す界面活性剤で、バイオサーファクタントと呼ばれています。少量で強力な分散力と乳化力を持ち、生分解性も高く、安全性にも優れています。現在、枯草菌から得られたサーファクチンが市販されています。現在知られているものとして、ソホロリピット（糖脂質型）、エマルザン（高分子型）、スピクルスポル酸（脂肪酸型）などがあります。