

酵母菌体食糧化の経緯と未来食品開発への一展望

The details of utilization on the yeast cells for foods and
a consideration about food development for the future

小 原 国 彦

緒 言

- 1 酵母菌体食糧化の軌跡
 - (1) 微生物学の黎明から
 - (2) 酵母菌体の成分
 - (3) 人類最初の菌体食糧を作ったドイツ
 - (4) 菌体食糧化へのメリット
 - (5) 糖質タンソ源の酵母菌体生産への研究経過
 - (6) 非糖質タンソ源培養酵母菌体の食糧化
 - ① 非糖質タンソ源とは
 - ② 炭化水素資化性酵母菌の生産
 - ③ メタノールなどをタンソ源とする酵母の生産
 - ④ 変敗油をタンソ源として生育し得る OT-65
- 2 酵母菌食糧に何が要望されるか
 - (1) 安全性
 - (2) 嗜好性
 - (3) 消化性
 - (4) 栄養性
 - (5) 生産コスト
 - (6) 有用性
 - (7) 飼料としての SCP
- 3 世界的食糧危機は果して訪れないか（新食糧危機論）
 - (1) 食糧生産と分配のアンバランス
 - (2) 異常気象の訪れ
 - (3) 耕地の消失
 - (4) 着実に増えつづける世界人口
 - (5) 急を告げるタンパク源の不足
 - (6) 食生活向上と人口増の相乗作用がもたらすもの
- 4 筆者のめざすもの
 - (1) 土から Kerosene 資化性酵母の分離と同定
 - (2) タンソ源資化のパターン
 - (3) 海洋酵母への馴致
 - (4) タンパク分離と新しい食品の開発
 - (5) 海水と変敗油からタンパク食品を
- 5 微生物をとおして行なう食品開発の未来像

あとがき

文 献

緒 言

人類は出現以来、大自然の動植物を主な食糧としつつ生活し、それは現在も基本的にはなんら変わっていない。しかし、微生物の菌体を食糧とする画期的な計画が持たれ、それが1917年に具体化されたことは、微生物菌体という新しい食糧が有史以前からの長い習慣を破ったことになる。その後、菌体利用の研究は一途に発展の道をたどっている。酵母菌体の食糧としての利用は、いかなる方向に進んでいくものなのであろうか。その背景と未来をながめながら考究してみたい。筆者は微生物菌体の食糧化こそ、飢餓を防ぎ、タンパク資源不足の現況を解決し、人類における食パターンの未来像（5章に記載）をえがく重要な基盤であると信じている。

1. 酵母菌体食糧化の軌跡

人類は有史以前から酵母菌が何であるかを知らないままに、発酵現象と発酵産物の利用を行ってきた。アルコール発酵によって泡立ちをみせる二酸化炭素の発生をみて液面をぶくぶく湧きあげるとか、引き上げるとか、持ち上げるなどの現象を意味する言葉が誘導された。それは酵母菌の呼び方をみても明らかである。酵母菌のことを英語で yeast というがこれはオランダ語の gist, ギリシャ語の zestos (湧きあがる) に由来し、またドイツ語の hefe は heben (引き上げる) に由来しており、フランス語の levure はラテン語の levere (持ち上げる) に由来したと言われている¹⁾。しかし、発酵現象は認めても誰一人として、酵母菌自体を見た者もいなければ知っている人もいなかった。このようなアルコール発酵を行なう微生物(酵母菌)が知られたのは人類の歴史からみると、まだごく近年のことと言わざるを得ない。ましてや酵母菌自体を食糧化しようとする試みに到っては、つい最近のことと言った方がよいほどである。

(1) 微生物学の黎明

Leeuwenhoek が顕微鏡の前身とも言うるものを作りあげた1677年は、微生物発見への予備段階を価値づける重要な意味をもつ年でもある。その製品は磨いて作った手製のレンズを金属の板にとりつけたもので約250倍から270倍の拡大率をもつ程度にすぎず、現代の顕微鏡とはおよそ程遠いものであるが、しかし目に見えないものまで見えるようにしたことは実に偉大な業績である。1680年に彼はビールの発酵過程にある液を観察して、この中に球形や楕円形の小さな粒状物を認め、これをロンドンのロイヤルソサイティに向けて記述報告をし、また例会で、これを発表している²⁾。これはまさしく酵母菌に相違ないと思われるが当時“微生物”の概念が全くない時代であったから、単に微小な粒子を見出したということのみにとどまってし

酵母菌体食糧化の経緯と未来食品開発への一展望

まった。1680年彼はこれを微小な *animalcules* と記している³⁾。しかし、これこそ酵母菌体に関する、観察の出発点と見做せないであろうか。(いわゆる酵母菌体がわかってくるのはこれより更に約150年後のことであるが。) 1825年の頃から Cagniard de la Tour, Kützing, Schwann らは、ビールやワインについてこれらに見出される微生物は出芽して増えていく細胞であることを見出し、その増殖の状況を継続的に観察している⁴⁾。1837年 Meyen は出芽法で増殖する微生物(酵母菌のこと)に対して *Saccharomyces* という属名をはじめて設定した⁵⁾。1839年には Schwann が酵母の内生胞子を見出している⁶⁾。同じく、1839年に de Bary は酵母菌の胞子とカビの胞子のできる袋とを比べている⁷⁾。当時このような微細な生物が自然に発生し、湧いて出てくるものなのか、親から生まれてくるものなのかについては、つまびらかでなく、いわゆる湧いて出てくるという自然発生説が大勢を占めていたが、1864年、フランスの有名な微生物学者 Pasteur は、実験研究の結果をとおして微生物の自然発生説を完全に否定し微生物学の道を開いて微生物科学が長足の進歩をみる基盤を確立した。このように微生物学の歴史は浅く、わずかに百数十年の経過をたどるのみである。1867年 Pasteur は酵母菌には発酵を行なう力と、呼吸を行なう力があって、発酵は空気をよく通すことによって抑えることが出来ることを、はやくも見出している。Ress は1868年から1870年にかけて多種類の酵母について内生胞子の存在を明らかにし、その形や発芽の状況をも明らかにして子嚢という呼び方をしている。そして胞子をつくる酵母を *Saccharomyces* 属と定義し、分類学上これを子嚢菌類に入れている⁸⁾。フランスでは1870年の頃、既にパン酵母を工業的につくっていたともいわれている。1897年に Buchner 兄弟は酵母のチマーゼのはたらきを明らかにした。なお Pasteur は酵母菌の純粋培養法を明らかにしたが、酵母形態学の開祖といわれる Hansen は Pasteur の行なった酵母純粋培養法を更に改良した。これらが後記のドイツ人による酵母人工肉の創造に役立ったことは勿論である。このようにして酵母菌の概念がとらえられ、生物学的分類の立場における地位も 確立される領域に入り、酵母菌は学問的に大きくクローズアップされてきた。1920年と1928年に Guilliermond はモノグラフを出し、特に酵母菌検索用のキーワードをつくっている。1931年には Stelling Dekker が胞子を形成する酵母菌について、はじめて分類のための基準をつくり、続いて Lodder が1934年に、そして Lodder と Diddens が1941年に胞子を形成しない酵母菌について分類のための基準をつくった。1951年にはアメリカの Wickerham が酵母の一倍体、二倍体形の存在など別の角度からの分類を試み、1952年には Lodder と Kreger-vanRij が胞子形成の酵母と胞子を形成しない酵母の両者を含めた分類の書をあらわしている。

1954年には Kudriavzev は在来と全く異なった酵母菌の分類体系を発表し、1970年に Lodder は分類学を大きく改訂し、前の1952版では165種と17変種に分類していたものを341種とするなど大改正をした。1973年には Barnett と Pankhurst が生化学的な特徴をもと

酵母菌体食糧化の経緯と未来食品開発への一展望

に新しい検索をするなど、酵母菌に関する知見がおびただしく集積されてきた。19世紀には酵母菌はすべて植物に属するものと考えていたが、この常識は酵母菌が更に広く深く研究されるに従い通用しなくなりつつあり、菌類を別の界として扱う Ainsworth の考え方へと進んでいる状態でもあり⁹⁾、従って酵母菌について最も適切に定義するには到っていない現状であるとも言い得る¹⁰⁾。

酵母菌は真核性の(eukaryoticな)生物であって、その細胞質と核は膜で仕切られ、またミトコンドリアなど膜に覆われた小器官オルガネラと、沈降係数 60S および 40S のサブユニットから成る 80S のリボゾームを持っており、代謝活性の機能分化とか調節機構をそなえた高等な微生物であって、原核性の(prokaryoticな)バクテリアとは全く異なったものである¹¹⁾¹²⁾。分子生物学の画期的な進歩に伴い、発展した生命科学・生命工学は、更に酵母菌についての深い知見を与えつつあり、またバイオテクノロジーの貢献も、新しい分野を開拓しつつあって、酵母学はまさに、これからの開けゆく領域であるとの感が深い。

(2) 酵母菌体の成分

酵母菌体の一般成分は表 1¹³⁾¹⁴⁾¹⁵⁾ に見られる如くであり、タンパク質が乾燥重量で約40～50%を占めていて、その含有率の点では肉や卵や牛乳などよりも多いことになる。なおそのアミノ酸組成も表 2¹⁶⁾ にみられるように頗る優秀で、(ただメチオニンなど含硫アミノ酸の含有量が、少ない点を考慮すべきであるが)食糧あるいは飼料として、コメ・コムギなど穀類に少ないリジンが多く、その消化吸収率もよいことを考え合せ、全く好都合なタンパク源であると言える。概括的な表現をすれば、これは質的には大豆タンパクとほぼ似通ったタンパク質であるとも云うことが出来る。このように良質の高タンパク組成であるから酵母タンパクとして人造肉製造の期待がかけられることになる。しかもそのタンパク質が、前記のように簡単な無機化合物をN源にして短時間に合成されることは、すこぶる貴重な存在である。そし

表 1 酵 母 の 菌 体 成 分 表

糖質資化性酵母 ¹³⁾ (パン酵母)100g当たり		炭化水素資化性酵母 ¹⁴⁾ SCP				
水	分	5.0g	乾	物	94.5%	95.5%
タンパク質		40.0g	粗	蛋	66.2%	60.0%
脂	質	1.6g	脂	肪	1.0%	9.0%
炭化水物	糖	42.8g	可溶性無窒素物		20.5%	19.0%
	質					
	維	2.3g	粗	織	0%	0%
灰	分	8.3g	灰	分	7.5%	6.0%
					(パラフィン)	(ガスオイル)

注) 酵母菌体にみられる核酸含有量¹⁵⁾ 対酵母乾燥菌体量%で
 RNA…3～6
 DNA…0.2～0.5
 RNA
 DNA…8～35である。

酵母菌体食糧化の経緯と未来食品開発への一展望

て培養基に糖質を用いた場合もまた非タンソ源である炭化水素、メタノール、その他を用いた場合の培養菌体においても高タンパク質である事に変わりはない。なお酵母菌体をそのまま利用する場合は、ビタミン B₁、ビタミンB₂、ナイアシン、パントテン酸、ピオチンなど多種類、多量のビタミンが含まれていてそれらのよい給源になる。なお筆者等は塩高張下に培養した場合、トコフェロールの生成をみたが、このように培養条件による成分誘導も充分考えられにる。*Torulopsis* 酵母、*Candida*

表2 SCPの amino 酸組成 (16g/N)¹⁶⁾

	Lタイプ	Gタイプ
粗 蛋 白	66.2	60.0
リ ジ ン	7.8	7.0
(メチオニン)+(シスチン)	2.5	2.9
ア ル ギ ニ ン	5.0	4.8
ヒ ス チ ジ ン	2.1	2.0
イ ソ ロ イ シ ン	5.3	4.5
ロ イ シ ン	7.8	7.0
フェニルアラニン +チロシン	8.8	7.9
ス レ オ ニ ン	5.4	4.9
ト リ プ ト フ ェ ン	1.3	1.4
バ リ ン	5.8	5.4

酵母などにもそれぞれ共通の現象がみられる。酵母菌体は、表1のように核酸を含み、その摂取過剰はプリンの摂取過剰に連なるので、脱核酸しての菌体利用が行なわれている。しかし逆に酵母菌体に核酸が多いことを利用して核酸採取の原料とし、核酸系調味料をつくっており、核酸抽出物を酵素分解して呈味成分5'イノシン酸ナトリウムなどを得ている。このようにタンパク質はもちろんのことながら利用し得るすばらしい各種の成分に満ちている。

(3) 人類最初の菌体食糧を作ったドイツ

世界を相手の大戦に破竹の勢いで進撃していた第一次大戦中のドイツは、世界的な経済封鎖の苦境下にやがて深刻な食糧不足を招き、家畜飼料もまた欠乏の不安に迫られ、やがて飼料をも食糧にまわさざるを得なくなるなど食糧危機の苦境は日増しに色濃くなっていた。時の皇帝ウイヘルム2世は、その難局打開のため、新しい食糧の開発を科学者に依頼した。その結果、酵母菌体の食糧化がホープとしてとりあげられることになった。(クロレラも対象としてとりあげられたが、これについては省略する。) このようにして世界ではじめて酵母菌体の食糧化が行なわれたのが1917年ドイツに於てである¹⁷⁾。これは人類が食糧資源として微生物菌体を用いた画期的な試みである。人間の出現が約200万年前とみられているが、その中のわずか70年前にこのように全く新しいそれまで想像もしなかった微生物菌体食糧がつくられたことになる。Kunst Fleisch (人造肉)こそ人類はじめての酵母菌体食糧であり、ドイツのこれを出発点として世界的な微生物の菌体利用がはじまってくる。酵母菌体は前記のように優秀にして、豊富なタンパク質をはじめ各種成分に富んでいる。当時ドイツは、微生物を培養する能力をもっており、マックス・デルブリュック等が、はじめて開発した野生酵母はバラ色酵母のロ

酵母菌体食糧化の経緯と未来食品開発への一展望

ーザヘーフエであり食糧化のため、この酵母を用いることになった。これは細胞内に孢子を作らない、いわゆる擬似酵母類のロドトルーラ科 (*Rhodotorulaceae*) ロドトルーラ属 (*Rhodotorula*) に属するもので、赤い色 (黄色~桃色~赤い色) の美しい酵母菌である。色がついているのは、この菌がカロチノイド色素をもっているためであり、この酵母を大量培養して、压榨酵母とすればちょうど豚肉の色と似ているので、この点からこの压榨酵母に人造肉という名がつけられた¹⁸⁾。

酵母菌をタンパク源として着目し、この菌を用いたいきさつは、次のような理由によるものである。

① 酵母菌は廃糖蜜を用いれば良好な発育をとげ好適なタンソ源であるが、これよりも安い木材糖化液には還元糖が原料に対して約65~70%も含まれている (この中にヘミセルロースからの C_5 の Pentose が約10%も含まれている) ので、これをタンソ源としてよく増殖する *Torula utilis* を用いた。当時ドイツに莫大な資源としての広葉樹林があり、その木からの糖化液が期待し得たこと及びその木からパルプをつくる場合の亜硫酸廃液にも多量の糖分が含まれるので安価に豊富に得られるこの糖分をタンソ源としての酵母菌培養が計画されたわけである。

② 亜硫酸廃液にはヘミセルロースからの五炭糖 (Pentose) が多いが、六炭糖 (Hexose) をよく資化する他の酵母菌に比べ、本菌はよく Pentose を資化し得る。一般に針葉樹の亜硫酸廃液には C_6 の Hexose が多く、広葉樹のそれには C_5 の Pentose が多いとされているが、全糖分含有量は全般に約 20~43g/l で、これはいずれも酵母菌のよいエネルギー源となり得ることを示しており、 C_6 の Hexose をよく使用できる酵母菌のなかで C_5 の Pentose をも資化し得る菌を用いた方が有利である。そのため *Torulopsis* や *Torula utilis* や *Mycotorula* が選ばれることになった。

③ *Rhodotorula* は、タンパク質含有量が多く、乾物に於ては50%の高率を示す。此の値は獣肉よりも多いことになり質的にもすぐれている。

④ 味についてみると、この菌はビール酵母などにみられるような苦味もなく美味である。

(4) 菌体食糧化のメリット

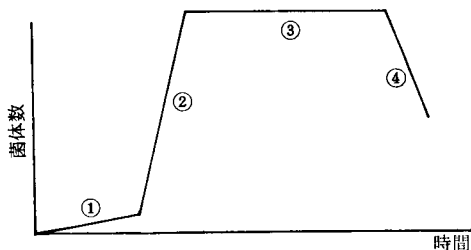


図1 微生物の生育曲線

- ① 遅滞期 (Lag phase)
- ② 対数期 (Log phase)
- ③ 停止期 (Stationary phase)
- ④ 減衰期 (Phase of decline)

酵母菌体食糧化の経緯と未来食品開発への一展望

バクテリアとか酵母菌（イースト）とかカビなど微生物の生育曲線（Growth curve）は図1に見るようなパターンを示すものであることは熟知のとおりであり、②の対数的に増殖する時点では驚くべき著量の菌体収かくが可能である。1つの微生物菌体の重さが2倍になるに要する期間は、約20分から120分が普通で、これは動物が2倍の重さになるに要する期間、植物の種実が2倍の重さになるに要する期間と全く異なるスピードであることは、微生物を食糧化する大きなメリットの一つである。このようにはやく生育する酵母を利用して、連続培養による日産何トンの収量は容易に得られることになり、しかも微生物は生育の栄養源として、エネルギー源であるタンソ源も各種の簡単な安価なものをも資化する能力をもっており、また安価な無機態チッソ化合物から、このように速やかに菌体タンパク質を合成していくことが出来ることも大きなメリットである。しかもそのタンパク質の含有率が高くアミノ酸組成もすぐれていることについては前に記したとおりである。これ以外に酵母はまたビタミン、酵素をはじめ各種成分を豊富に含んでいることも前記したが、核酸から調味料をつくり、脂質合成能の大きいものから油を至短期間に安価につくらせ製造させる希望もうまれてくる。菌体から抽出したホスホリピッドは、食品のエマルジョン化に、あるいは食品の粘度を変えるためなど多くの目的に歓迎される。多糖類は近年特に微生物多糖類として実用面から大きな期待をよせられている。更に酵母菌体から PHB (Poly-hydroxy butyrate) の製造まで可能となり、このポリエステルは耐熱性のプラスチックであり、また生物学的に分解され代謝されるという、全くユニークな Polymer でもある¹⁹⁾。

このようにみれば、酵母菌体は、成分の面からも、その生産の面からも、他の食品にくらべて、無限の期待がかけられ、今後ますます究明されるべき興味に満ちた対象であると言える。

(5) 糖質タンソ源の酵母菌体生産への研究経過

トルロプシス酵母 *Torulopsis utilis* は前記の *Rhodotorula* よりもよほど培養が容易であり、しかも増殖旺盛で菌体収量が著しくすぐれていることなどの諸点から期待をかけられ、第一次世界大戦中に注目されていたが、その大量生産と実用化への計画は果たされず第一次大戦中にドイツにおける人工肉とは、なり得なかったが第一次大戦後もこれに関する研究は続けられ、むしろ第二次世界大戦勃発（1939年）の後に役立っている。1942年ドイツは *Torulopsis* 酵母を用いた新しい食糧生産、大拡充の計画のもとに食用酵母による農作物消費節約の著明な実績をあげ、目標27,000トンに対し11,000トンを生産している。このようにドイツでは第一次世界大戦中に食用酵母の大量培養に成功し、その技術が第二次世界大戦中にも活かされて人工肉の言葉がなじまれてきた²⁰⁾。

当時イギリスも食糧危機に直面し、食用酵母についての研究がなされていたが、1943年には前記の *Torulopsis utilis* よりも更にすぐれた性状を示すメジャー酵母 *Torulopsis utilis*

酵母菌体食糧化の経緯と未来食品開発への一展望

var. major を見出し、その大量生産と食糧化をはかった。本菌は、球形、卵形、長卵形の酵母菌で、全面から出芽する。そのタンパク価も高く、食用酵母としての期待も大きい。時のチャーチル首相は食糧省に食用酵母の大量生産を要請し、1944年ジャマイカ島に大規模な本菌の生産工場を設置する計画をたて推進した。糖蜜を原料として酵母を培養し、1945年には日産10tのプラントが動いていた。(糖蜜は直接飼料にまわされかけたので培養用には向けられなくなってくる。) 1944年ドイツは食用酵母生産の大工場を国内5ヶ所に増設し、年産50,000トンの生産を計画した。そのうちのマンハイム工場は年産12,000トンの生産能力があったといわれている²¹⁾。

1944年、アメリカは食用酵母を錠剤として毎月3,000万個製造し強化食品として軍隊で使用した。1948年には St. Regis Paper Co. に於て亜硫酸パルプ排水を利用した酵母菌体の生産が行なわれた²²⁾。わが国でもこのようなパルプ酵母の生産が計画され1954年には、東洋紡績犬山工場に酵母菌体生産のため250m³の発酵槽が設置された。1957年わが国ではパルプ排水からの酵母菌の生産が日産5トンに及ぶスケールで工業化されこれが「廃液タンパク」という名のもとにさわがれた。1961年には東洋紡績と技術提携した東北パルプ秋田工場が同じく生産をはじめ、1962年には興国人絹が酵母菌の生産を開始している。1967年には山陽パルプがその生産を開始するなどわが国に於ても酵母菌体の生産は活発に行なわれるに到った。この酵母菌収量を農林統計からみれば、昭和32年(1957年)には1,500トンの生産となっており1967年には20,000トンの生産をあげている。

1974年にわが国に於ける生産量は約20,000トンの月産をあげるに到っていた²³⁾。しかし亜硫酸パルプ排水からの酵母菌についてはパルプ工場が主目的をその排水処理のため、すなわち排水中のBOD(生物化学的酸素供給量)を下げて河川・海へと排出可能にするために廃水浄化の目的で酵母を移植したものであり、副産物として酵母菌が収穫されたとも見られる。

このように廃糖蜜であるとか、木材糖化液であるとか、亜硫酸パルプ廃液であるとか、糖質をタンソ源とする食用酵母の生産が、1917年ドイツの人造肉出現以来、広く各国で研究され実用化への努力がなされつつ非常に進歩を遂げてきた。

(6) 非糖質タンソ源培養酵母菌体の食糧化

① 非糖質タンソ源とは

1960年前後から食用酵母生産にとって、またもや画期的な研究と開発が進められるに到った。それは炭化水素資化性酵母の検索と、炭化水素を唯一の炭素源とする食用酵母大量生産への発展である。それまでの常識では、酵母菌は糖を発酵し、また資化するものであった。そして石油など炭素と水素のみから成る炭化水素を酵母が資化し、実用化されるとは想像されていかなかった。すなわち在来の糖質タンソ源に対し、非糖タンソ源として、メタン、プロパン、ブタンのようなガス状炭化水素及び炭酸ガスとか、液状の石油、n-パラフィン、固体状の炭

酵母菌体食糧化の経緯と未来食品開発への一展望

化水素をはじめ、メタノール、エタノールのような低級アルコールや酢酸なども考えられるに到り、酵母に対する認識が非タンソ源の立場から大きくクローズアップされてきた。筆者は更に非糖質タンソ源として変敗油を掲げたいと思っている。

② 炭化水素資化性酵母の生産

メタンをタンソ源にした場合の資化の概要は次のように考えられている。



そしてCがどこで、細胞の合成系にとりこまれるかには、2つの系があるとされている。

フランスのパスツールにはじまる微生物研究の後継者の一人、セネーズ教授は、微生物による石油の資化に関する研究にとりこんでいた。たまたま、灯油の寒冷下における流動性確保のための脱ロウを研究していた Champagnat が1957年に、セネーズ教授を訪れ、ここに石油酵母による脱ロウの研究が開始されることになった。これはそのままに石油酵母研究をも意味することとなる²⁴⁾。石油利用のとき不都合な成分が食糧資源、石油酵母の培養源になるとはまさに一石二鳥の妙案である。

Champagnat が n-パラフィンの脱ロウを兼ねガスオイルを唯一の炭素源として微生物を培養した報告は、まさに過去の常識を一変したのものである。

さて n-パラフィンを用いて酵母を培養し菌体を得る場合、n-パラフィンを含んだガスオイルをそのまま用い、その中の n-パラフィンを菌に炭素源として資化させるガスオイル法と、ガスオイルから n-パラフィンをとり出してこれを炭素源として用いる方法とがあり、前者では酵母菌体に付着するガスオイルを溶剤処理でとりのぞく必要があり、後者では収集菌体は水洗するのみで使用に耐えるから、両者のうち、むしろ後者の方が効果的である。

1965年には、タンソ源として n-パラフィンを用いるにしてもタンソの数によってどのように酵母菌の生育が異なるかが検討されるに到っていた。筆者が Kerosene 資化性酵母を土から分離し、同定して *Candida Tropicalis* OT-65 と名づけたのも、前記の如く1965年であった。時あたかも異常な人口増に世界的食糧危機到来の危惧におののく頃であった。特にタンパク源の決定的な不足をかこつ背景をもとに、新しいパターンの食資源を求めて第1回国際 SCP 会議が開かれたのが1967年である。SCP (単細胞タンパク質 Single Cell Protein) という表現は第1回国際会議で使われた言葉であり、これは国際連合社会経済理事会に対し、その諮問機関としての科学技術開発諮問委員会から提出する書類の起草委員会の Chairman であった Carol Wilson 教授 (マサチューセッツ工科大学) がつくったものである²⁵⁾。

また1970年5月、国連の FAO, WHO, UNICEF の関係する PAG (Protein Advisory Group of United Nations System) 第17回会議では、SCP を「単細胞または簡単な構造の多細胞生物の生体タンパクのことを言う。」と定義されている。しかし SCP は字の示す如く Protein のみが用いられるのではなく、実際には複雑な成分から成る酵母菌そのものを指している場合が多い。

酵母菌体食糧化の経緯と未来食品開発への一展望

第2回の国際 SCP 会議がアメリカで開かれたのは1973年であり、1974年には地中海ラベラ岬で 1,500t 2基と 1,000t 2基の解放型の超大型発酵タンク計4基がガスオイルのエマルジョンを原料に稼動を開始した。かくて石油酵母は世界有数の石油精製基地、大精油所のひしめくところに世界最初の石油酵母が大規模に工業的に生産されることになった。わが国では、欧州のこれとは別に「石油発酵」という名目のもとに、n-パラフィンなど炭化水素からの酵母菌体生産及び、石油からのグルタミン酸、アミノ酸、クエン酸、糖類、をはじめ各種発酵生産についての研究がなされ、その技術は、イタリア、ルーマニアなどに輸出もなされた。たとえばルーマニアに於ては1974年4月に大日本インキ化学工業株式会社がルーマニア国化学工業省と合弁会社、ロニプロット社を設立し、n-パラフィンを炭素源として生育する食用酵母を年間 60,000t 生産する計画に入り、1980年7月には稼動を開始しており、経済5ヶ年計画で年産 120,000t に生産量を増大するよう指令も出されている。(但し1981年8月からはルーマニア国営のバイオプロテイン会社となり、大日本インキ化学工業からの有価技術輸出となった。)

ルーマニアは生産された SCP をすべて国内で消費し、輸入タンパク源を制限している²²⁾。また南イタリアのサリーネに鐘淵化学の技術による n-パラフィンからの食用酵母工場が年産 10,000t のプラントで出発した。これは 1,000t のタワー型培養槽10基より成る雄大なものである。

しかし石油危機以来の石油観と、石油酵母のための巨大な施設の必要が、その発展を阻害している現実も見のがすことはできない。

③ メタノールなどをタンソ源とする酵母の生産

1967年 Shukla 等は、メタノールをタンソ源として生育し得るメタノール酸化性酵母を育成した。メタノールを利用する場合の利点は次のような諸点がある。

- 1) タンソ源のコストダウン……メタンとかエタンを触媒のもとに酸化しメタノールとかエタノールをつくるがこれは酵母のタンソ源としての石油などと比較するとコストは安い。
- 2) 冷却用のコストダウンができる……アルコールは炭化水素にくらべて酸化されているため、培養管理中の酸化エネルギー生成量が少なく、したがって冷却のためのコストを節約することができる。
- 3) 水に溶けやすい……水に溶けにくい炭化水素系に対して水に溶けやすいから操作が容易である。

1968年 ICI (Imperial Chemical Industries Ltd) の農業部 (Agricultural division) は石炭、石油、天然ガスからメタノールを製造するプラントを既に設立していた。ガスをはじめ豊富な炭化水素から、酵母タンパクの生産に当たってメタンよりもメタノール、エタンよりもエタノールを使用する利点が前記のように明らかとなり、その方向に努力が重ねられるに到った。

メタノール酸化性酵母は *Pichia*, *Candida*, *Hansenula*, *Torulopsis* の各属に存在するもの

とされている。1969年、沖等、秋葉等、大亦等、緒方等、Hamer, Pantskhave. ect, Häggström はメタノール資化性菌について報告している。このように研究室での小さな培養基から、試験室の発酵槽へ、そして工場レベルでの発酵槽へと、スケールアップされてきた。

生物がメタノールをタンソ源として資化する場合、酸化の連続でエネルギーを得ていくがメタノール→ホルムアルデヒド→ギ酸→二酸化炭素のように→で示す反応を促進させる酵素は微生物群ごとに特異的であり、たとえばメタノールからホルムアルデヒド生成の反応は酵母ではアルコール酸化酵素によって酸化されている。(バクテリアでは、アルコール脱水素酵素による酸化)

メタノール資源は安価であり豊富である。ただメタノールを培地中に高濃度に使用した場合その生育阻害が大きいのでメタノール供給を効率よく行なう必要がある。

4) 変敗油をタンソ源として生育し得る *Candida tropicalis* OT-65

1965年筆者は、炭化水素を唯一のタンソ源として生育し得る微生物数種を土から分離し、その中の特定酵母を同定の結果、これを *Candida tropicalis* OT-65 と名づけたが、この酵母菌(以下酵母という)を用いて、各種変敗油をタンソ源として用い、培養したところ、植物性油脂の変敗したものについては、ほとんど例外なく著量の増殖を示した。(常温で液状の魚油には増殖しがたい。)しかし同じく植物油であっても油ごとに生育のパターンが異なることから構成脂肪酸の相異が、その原因であろうとの推測から各種脂肪酸の資化状況を検討した結果、それぞれに特性があってオレイン酸を最もよく資化し、リノール酸は、あまり資化しないことを認めた。(グリセリン部はあまり資化しなかった。)

なお、オレイン酸と他の脂肪酸など二炭素源共存下においては、そのいずれか生育の悪いタンソ源側の生育のパターンを示すことも認めて報告した。変敗油は、その捨てどころにもこまり、処理の仕方に苦勞する存在でもあり、あえて変敗油から石けんを作ることも行なわれたが、超安価のヤシ油が輸入されるに及んでその方途も採算割れとなり、もてあまされる存在である。この変敗油の生成量も相当多量にのぼるが、かかる油をタンソ源として酵母菌が生育するとなればすこぶる有効である。筆者は本菌をとおして変敗油をタンソ源とする酵母タンパクの生成に希望を燃やしている。

2. 酵母食糧に何が要望されるのか

まぜものとしての食糧資源でなく、独立した食品製造のため、酵母は、現代から未来にわたってどのような条件をみたすべきかを考究してみたい。

(1) 安全性

安全性の確保、連綿と子孫孫に到る期間食べ続けても毒性、催奇形性、発ガン性、病原性、感染症などの心配は絶対あってはならない。たとえば前記の表1に見られる如く、核

酸を多く含むことはそれなりに意味もあり、核酸系調味料の原料にはなるが、酵母菌そのものとして摂取しすぎた場合は有害の心配があり、脱核酸の必要もある。長期にわたる各種動物の継代飼育試験によって厳重なチェックを行ないテストがなされ、それぞれに無害の報告がなされなければならないし、また報告もされている。

Chanpagnat がオランダの国立研究機関に依頼した安全性試験と家畜の飼育試験の結果、異常を認めないという SCP への判定は、ますます SCP 生産への意欲をかきたてた。わが国では1969年、農林省（現農水産省）で石油酵母を飼料に使用した場合の畜産物について、安全性を検討した。なお1972年、食品衛生調査会から炭化水素酵母を飼料として使用することは安全であるとの結論が出され、12月15日、その見解が発表されるや石油タンパク使用反対の消費者運動の開始となったことは周知のとおりである。一般に安全性については、有毒成分、発症の有無その他多方面にわたる検討がされなければならない。次にその要点を例示する。

- ① マイコトキシンに関する検討
- ② アレルギー性疾患に関する検討
- ③ 真菌症（感染症）に関する検討
- ④ 発ガン性の有無
- ⑤ 催奇形性の有無
- ⑥ 培地組成（培養源）に由来する毒性物質の有無
- ⑦ 菌体成分に由来する毒性物質の有無
- ⑧ 抽出とか精製その他製造過程に由来する毒性
- ⑨ 有害物質の有無
- ⑩ 菌の種類を検討
- ⑪ その他

(2) 嗜好性

食品に於ける嗜好性の問題は、その消費を左右する重要な要素であり、この問題は動物の飼料に混入する場合にも共通するものである。石油タンパクとさわいだ頃、石油をタンソ源としてそのままに用いた場合、すなわち石油利用当初の初期段階に於ては、石油臭も残っており、家畜はこれをきらった傾向もあった。しかしタンソ源として n-パラフィンを使い、生産技術も進歩した1974年当時ではその心配は解消している。

培養に当たって使用するタンソ源の問題、酵母菌の品種の改良の問題をはじめ、培養の諸条件により、そして更には遺伝子操作によってより嗜好性に富んだ酵母菌をつくり上げるよう努力すべきである。

(3) 消化性

酵母菌体をそのまま食用とした場合、その細胞膜はかたく、消化はあまり良くないので摂取したタンパク質・アミノ酸がすべて利用されるとは限らない。しかし、これを処理し加工した場合、著しく消化率が良くなるものもある。消化率のよいものを製造するとともに、消化率のよくなる加工法を考えるべきである。ILOB での測定では SCP の消化率に関して鶏でのチッソ消化率が約85%、豚でのチッソ消化率が約90%の値が得られている。これはダイズ粕にみられる値と近似している。魚粉では鶏で90%、豚で87%となっているが、魚粉における結果と近いとすることができる。

(4) 栄養性

Single Cell Protein と呼ばれるとおり、高含有率の Protein が最も期待される成分である。しかし Protein 以外にも有用な成分が多種多量に含まれていることは周知のとおりである。酵母菌体に含まれる成分はビタミンにしてもミネラルにしても大いに期待し得る成分に満ちていることは1—(2)の酵母の菌体成分のところで述べ、また核酸の多いことも述べたが、核酸の多量摂取がプリン摂取過剰を意味し、尿酸の生成に連なることを思うとき、その事前抽出には留意しなければならない。その除去抽出のためには、たとえば酵母菌を加温し菌体の RNA 分解酵素の作用を促進し、RNA を分解させることが考えられている。68°C に数秒間保ってリボゾームを崩壊させ45~55°C に数時間保って核酸を約1.5%に減少させることも可能である²⁶⁾。ほとんどの炭化水素資化性酵母のタンパク質の特性は、比較的、大豆タンパクに似ており、魚肉タンパクにも近いとも言われ、良質で消化率もよい。

(5) 生産コスト

生産コストを検討するに当たってまずエネルギー源としてのタンソ源の問題があり、タンパク構成源としてのチッソ源の問題があげられるが無機態チッソを資化し得る微生物であるから生産コストは主としてタンソ源が問題となる。以前はタンソ源としては糖質タンソ源が用いられていたが近年、非糖質タンソ源として石油が用いられ、炭化水素が使用されるようになり価格は大幅に低減される可能性をみたが第一次オイルショックはその価値観に影響を与える結果となった。ついで、メタノールなどアルコール資化性酵母の馴致で更にコストダウンが可能になったが、筆者は廃棄に困窮している変敗油をタンソ源として使用できたので、更にコストダウンになることは当然である。その上にミネラル節約の意味と水資源節約の意味で培養液に海水利用の可能性を見出し、マリンイーストへの可能性を見出した。

(6) 有用性

現在までは酵母菌体そのままを圧搾して使用したり、乾燥して使用する場合、直接食糧に或いは飼料に「まぜもの」として用いることが考えられ、そのように利用されてきたが、菌体か

酵母菌体食糧化の経緯と未来食品開発への一展望

ら成分を抽出してタンパク質を分離し、これをタンパク源として使用し、また核酸を抽出して調味料製造の原料としたり、特に脂肪合成能の大きい Strain から油脂を抽出するなど、その有用性は頗る広い。しかも筆者は塩高張下の菌体にトコフェロール合成能のあることを見出すなど、培養条件によって、いろいろな成分をつくらせることも夢ではない。酵母菌体をそのまま食用とか飼料にすることも効果はあるが、味の点、消化の点、核酸含量が多いなどの諸点から菌体摂取量にも限界を生じてくる（水分約5%以下の乾燥菌体として1日約25g前後）。しかし特定成分抽出の後、それぞれに加工利用する場合、その難点は解消するであろう。

(7) 飼料としての SCP

SCP は人間の食糧に直ちにまわすというよりも先ず、家畜や家禽、更には養殖魚の飼料として利用される好材料である。飼料にはエネルギー給源の面と、タンパク質給源の二面があるが、特にタンパク質の面を考えると、世界的にタンパク源の不足している現在、飼料向けタンパク源についてはとてもその需要を満たし得ない現況であり、肉・卵・乳及び乳製品消費の伸びに伴ってますますタンパク源は不足し、飼料確保は重要な問題となってくる。特に養魚用の飼料は家畜への飼料に対し更にタンパク質含有量が高い必要があり、しかもアミノ酸組成が動物性タンパクに類似し、またはそれ以上に優秀なものでなければならない。そして加工、貯蔵中の脂肪その他共存する成分の影響に留意する必要もあり、特に品質の安定化について留意しなければならない。なお、需要に対して供給が十分保ち得るようなものでもなければならない。

かかる諸要素をみたまのとして SCP への期待は、ますます大きくなっていく。食生活への認識を反映して、タンパク性食品への需要は増大するばかりである。これに対応する方途として酵母タンパクに期待をかけた。前記の如く、既に自国生産の酵母菌体を飼料として用い、魚粉とか大豆とか輸入飼料を大幅に節約している国もあり、実用化の段階に入っている現在、微生物タンパクは先ず人間の食糧にというよりも優先的に、飼料として実用されることになる。しかし、そのみでとどまってはいけない。微生物菌体はドイツの人造肉が示したように人類の食糧として役立つなければならない。そしてそれは細胞のままではなく抽出物として分離した成分についてでなければならない。現在までの細胞のままの利用にとどまってはいけない。

3. 世界的食糧危機は果たして訪れないか（新食糧危機論）

飽食日本で今、食糧危機を叫んでも全くその反応は見られないのではなからうか。約20年をさかのぼれば、世界的視野に立ってみた場合その異常とまで言える急激な人口増を憂え、食糧生産の立場から、地球上に限度を越えた人類の激増で、近い将来、深刻な食糧難の到来必至

酵母菌体食糧化の経緯と未来食品開発への一展望

を認め、食糧危機到来の恐怖におののいていたものである。何年か先には世界的規模の食糧のうばいあい、暴動、混乱、餓死に直面することが予想され、その対策としては人口増の制限が第一義的な対策であるとの見解から懸命な努力がなされるなど各種対策が効を奏して一応安定化され、未来の食糧危機は去ったかの概念が固定化されてきた。しかし果して食糧危機の危惧は解消されたと言い得るであろうか。アフリカにおける無数の餓死続出はどう解釈すべきか、わが国の食糧自給率は、安心できる状態であるのか、過去に石油がしばしば供給されなかった場合の日本の混乱ぶり、オイルショックは、日本経済のすべてに波及し、また世界的な石油パニックにたち到了た事實は、未だにその後遺症がなお残っていることを考えれば、食糧問題のみは安全と言いきれるであろうか。飢餓は局地的にばかりでなく、世界的規模に直結する可能性が多分にあることを思うとき未だ安全ならずとの感が一入である。食糧危機到来の有無を現状からみると、下記諸事情により、今こそ画期的な食糧確保の方途を考えるべきであり、食糧の危機は現在すでにおこっているとの観さえおこってくる現状である。特にエネルギー補給面もさることながら現在既に世界的に大きく不足しているタンパク質の補給に優先的に焦点がそそがなければならない。食糧危機へのおそれについては次のような諸要素が考えられる。

(1) 食糧生産と分配のアンバランス

世界各国を食糧生産とその消費の面から考えると、食糧の大量生産国（供給する国）は、ごく少数の特定の国に限られ、ここから食糧自給の不可能な国々（消費の国々）に売却され援助されている現状である。しかし援助された食糧も円滑にその分配が行われてはいない。わが国はコメを除いて大きく輸入にたよっている実情である。特に飼料はほとんど全面的に輸入に依存している。分配の不調がおこれば、それは飢餓に直結することになる。世界の極地的飢餓が分配のアンバランスによる例は多い。アンバランスはパニックを招く。1984年1月に発表された国連食糧農業機関 FAO の調査によれば、アフリカの24カ国で1億5,000万人が飢えに苦しみ、2,000万人が餓死線上にあるという²⁷⁾。飢餓と飽食は背中あわせである。

(2) 異常気象の訪れ

食糧生産は現在、そのほとんどが天然の気象にたよっており、その異常は直ちに食糧不足に連なってくる。たとえばペルー沿岸でフンボルト海流の一時的な変化（更に乱獲のためともいわれる）がアンチゾビー不漁の原因となり、大豆粕の価格が4倍に暴騰し流通に支障を来した事例は耳新しく、早ばつづきに牧畜が危機に瀕したことも耳新しい。1986年アメリカの南東部ジョージア州を中心におそった早ばつは、農産物の生産に大打撃を与え、牧草も枯渇するなどの悲惨な事實は、なまなましい現況である。穀倉地帯が受けた異常気象による影響は、直ちに他に波普することになる。

(3) 耕地の消失

南極の炭酸ガス濃度の変化で解氷の異常を招き、水位の変異が起こる可能性すら、指摘されるこのごろである。水位が変われば耕地の多くは水没してしまう。耕土の流失、耕地の砂漠化も、由々しき問題である。西アフリカのマリ共和国は、砂漠化の進行のはげしいサハラ砂漠南縁部、サヘル地域であり²⁸⁾、ここでは現在一年間に 6km の速さで南下する砂漠化が進んでいる²⁹⁾。なお環境汚染は生物を直撃し、ドイツの「黒い森」といわれる森林が一部消失して山肌を露出していく最近の光景は排ガスとか汚染された大気の風下に見られる一例も、現代社会の環境汚染を示すものであり、食糧生産への警鐘でもあると思われる。

(4) 着実に増えつつける世界人口

世界人口の増加率が小さくなったと危機感が全くうすれている現在であるが、地球上にひしめく人口増の問題は果して解決されたかと判断すべきであろうか。食糧供給国に於てむしろ人口増が少なく、自給しがたい国において人口増が激しい現況ではなかろうか、これをトータルして、ながめても世界の人口は着実にふえつつげている現状である。国連人口部の人口推計は1985年中間時点における世界人口が過去1年間に7,900万人も増加していることを報じている。世界人口の年間の増加率は1.7%であり、紀元2000年には増加率が1.5%と推定されている。これでは人口問題が解消されたとはいえないことになる。農水産技術の開発、地球上耕地の拡大などで、なお当分は人口増に対応できると考えても、限度に達した時点で人口増がストップできるとの確約は無い。このままの推移で限度に達する時よりも現時点で既に、前記(1)、(2)、(3)などの理由もあって飢えにあえぐ国の多い現在、人口問題、食糧問題が解決したと云うどころか新食糧危機論がここに誕生すべきであり、また新危機論のさげられるきざしは存在している。

(5) 急を告げるタンパク源の不足

北半球の肉の消費量は数十年以前にくらべて倍増され、食習慣の推移は肉食増加の傾向をたどっている。現在既にタンパク源は欠乏を招き、タンパク質不足は世界的な視野に立つとき、深刻な問題となっている。東南アジア、アフリカに於けるタンパク補充の必要性からもタンパク資源の開発は急を要する問題である。タンパク質の不足は生育を阻害するといわれるように生命維持に不可欠である。そのタンパク質が現在既に足りないという事実は世界の食糧に既に暗いかげを投じている。

(6) 食生活向上と人口増の相乗作用がもたらすもの

食文化が進み、世界中が豊かな多様化された食生活満喫の線をたどるとき、世界人口増加と

酵母菌体食糧化の経緯と未来食品開発への一展望

各自の食内容の豊かさは必然的に食糧需要特にタンパク需要を増大し、食への希望が無限に発展していく。このような質的推移も考えあわせ、人口増との相乗作用から筆者は飽食日本と言われる中において、なおまた世界的に食糧の危機はないだろうという楽観的な流れの中で、あえて食糧問題を提起したく思っている。再び強調しておきたい。現今既に食糧危機への危険因子が介在していることを。

図2 土から炭化水素資化性菌分離の方法

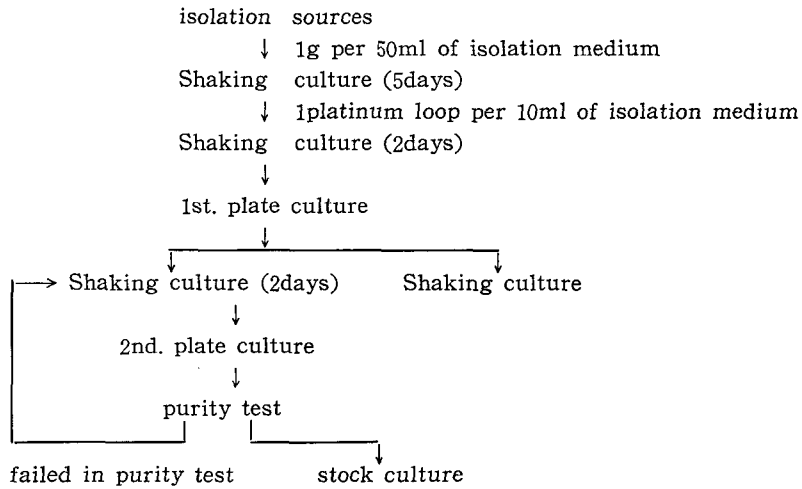


表3 分離のため用いた培地

炭化水素資化性微生物 分離用培地の組成		炭化水素資化性酵母 分離用培地の組成	
Kerosene	35.0g	NH ₄ NO ₃	4.0g
Liquid Paraffin	35.0g	KH ₂ PO ₄	4.7g
NH ₄ NO ₃	5.0g	Na ₂ HPO ₄ ·12H ₂ O	0.3g
KH ₂ PO ₄	2.5g	MgSO ₄ ·7H ₂ O	1.0g
MgSO ₄ ·7H ₂ O	1.0g	FeSO ₄ ·7H ₂ O	0.01g
Tween-20	0.5g	CaCl ₂ ·2H ₂ O	0.01g
Tap water	1.0ℓ	MnSO ₄ ·6H ₂ O	0.01g
PH	5.0	Ashed yeast extract	0.005g
		Tween 20	0.1g
		Chloramphenicol	0.02g
		Distilled water	1.000ml
		PH	5.5

4. 筆者のめざすもの

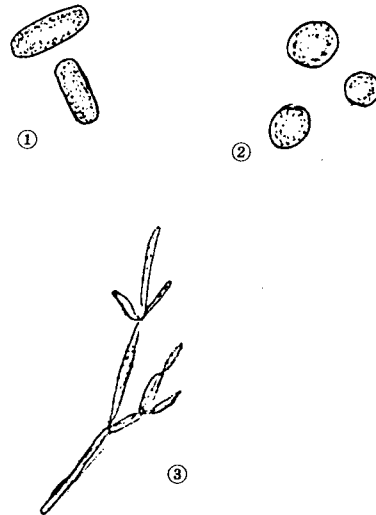
筆者による脂質資化性酵母の分離とその応用

(1) 土から Kerosene 資化性酵母の分離と同定

1965年 Kerosene を唯一のタンソ源として生育し得る微生物数種を表3の培地を用い、図2に示す方法で土から分離し、そのうちの酵母菌をとりあげて Fermentation test, Assimilation test などを行ない、同定の結果、本菌を *Candida tropicalis* OT-65と名づけた。この菌は Potato agar test を行なうと、図3にみらなるように球状のものが Mycellium 状に変化した。まさしく二形成性の (dimorphic) 菌である。この菌は頗る強健で、表4の如き組成培地によく生育し、非耐塩性の nonhalophilic な菌ではあるが、0.5M-NaCl の塩高張下にも生育し得る菌であるから、ミネラルの豊富な海水を培養液としても用い得る可能性を見出している。ここに海洋酵母 (Maline Yeast) 形成への希望もいだき得る論点がある。

表4

油脂培地の組成	
The composition of medium	
Source of carbon	0.05 mol.
Source of nitrogen	0.05 mol.
KH ₂ PO ₄	2.50 g
MgSO ₄ ·7H ₂ O	1.0 g
Tween-20	0.5 g
NaCl	0~0.5 mol.
Tap water	1.0 l
PH	5.0



Candida tropicalis OT-65の形状

- ① 土から分離直後 (精桿で光沢あり)
- ② 好条件で培養中 (まるく充実した状態)
- ③ Poteto agar のslide cultureにしたとき

図3 *Candida tropicalis* OT-65にみられる形状の変化

(2) タンソ源資化のパターン

タンソ源としてしょうゆ油、糠油、大豆油、その他各種のテンプラ油の変敗したものなどを

酵母菌体食糧化の経緯と未来食品開発への一展望

用いてもよく資化し得たが³⁰⁾、魚油であるイカナゴ油はあまり資化しなかった。なお各種油の資化には特有の形態がみられた。ついで各種脂肪酸資化の状況をみた結果、表5にみられる如く、本菌が最もよく資化し得るのはオレイン酸であり、ステアリン酸であることが判明した。タンソ数2~14の脂肪酸はあまり資化しないことなどを認め報告した³¹⁾。

なお本菌はグルコースをも資化し得るがこれはオレイン酸資化の場合にくらべ、全く低い%の資化状況である。炭素源を同時に培地中に二種類混入した場合の生育パターンは資化劣悪の側に傾いていくということも明らかになった。(このコンペティションは大量培養の時、二種類の菌を植えた場合、生育がよくなることと対比的である。)

表5 本菌のグリセリン・脂肪酸など各種C源資化の状況
(29°C, 48時間培養, 培地100ml 当たりの Packed cell volume)

Carbon sources	Carbon atoms	Growth (ml)
Acetic acid	2	0.04
Butyric acid	4	0.06
Caproic acid	6	0
Caprylic acid	8	0
Capric acid	10	0
Lauric acid	12	0
Myristic acid	14	0.04
Palmitic acid	16	0.08
Stearic acid	18	0.51
Oleic acid	18	0.78
Linoleic acid	18	0
Linolenic acid	18	0
Ethylene glycol	2	0.04
Glycerol	3	0.06
Glucose	6	0.04

(3) 海洋酵母の馴致

前記の如く土から分離した本菌は非耐塩性の菌であるが、しかしこれを0.5M-NaClの塩高張下に培養しても死滅せず、通常培地の場合に比べて各種の塩環境下では図4の如く、生育は劣るが生育は十分可能であった³²⁾。そして塩阻害をうけるパターンはタンソ源としての脂肪酸によって大いに異なり、図5にみられるように、塩阻害をうけるオレイン酸と、塩阻害をうけにくいステアリン酸の両タイプがあることが判明した³²⁾。オレイン酸タイプのグロウスカーブを塩阻害をうけにくいステアリン酸タイプに変えることができれば、海水を使用しても真水なみの生育をとげさせることができるはずである。オレイン酸タイプとステアリン酸タイプ両者における細胞のいとなみは全く異なっているはずであり、この問題の解明は、そのままに学問的に未だ解明されつくしていない耐塩機構の解明に連なる。結果的に言えば、塩阻害をう

けるオレイン酸タイプに Co-factor を用いることによりステアリン酸タイプへ誘導できれば、この問題が解決できるはずである。大胆な表現をすれば Cell yield の面から Oleic acid Type+Co-factor→Stearic acid Type となる Co-factor の解決とそのメカニズムの解

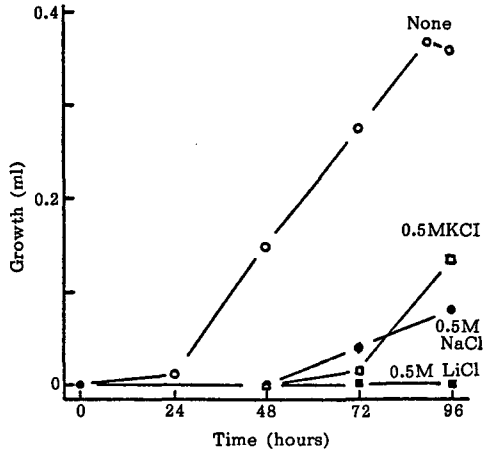


図4 オレイン酸培地にそれぞれ 0.5 Mol 濃度に NaCl, KCl, LiCl を加えた場合の各生育曲線 (29°C, 培地50ml 当たりの菌体量(ml))

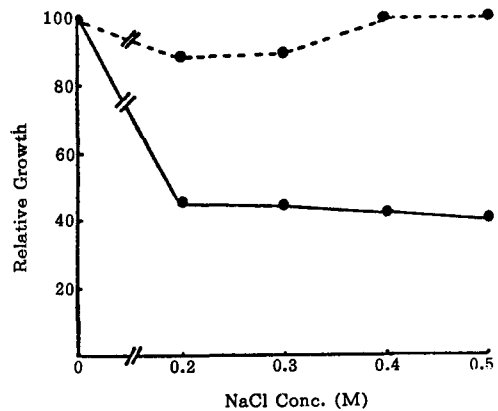


図5 NaCl 濃度がC源としてオレイン酸(実線)またはステアリン酸(点線)を用いた培地での本菌生育に及ぼす影響

表6 ビタミンB₁₂ (B₁₂), ベタイン (Be), コリン (Cho), トリメチルアミン (Tri), が塩高張下, 本菌のオレイン酸資化に及ぼす影響
濃度は, ビタミンB₁₂ 3×10⁻⁶Mol, ベタイン10⁻⁴ Mol, コリンクロライド, 10⁻⁴Mol, トリメチルアミン10⁻⁴Mol.

Add		- Na		+ Na	
		P.C.V.	$\frac{+CoF.}{-CoF.}$	P.C.V.	$\frac{+CoF.}{-CoF.}$
B ₁₂	+B ₁₂	1.444	3.70	0.250	1.24
	-B ₁₂	0.390		0.202	
Be	+Be	0.513	1.36	0.210	1.04
	-Be	0.390		0.202	
Cho.	+Cho.	0.339	0.87	0.168	0.83
	-Cho.	0.390		0.202	
Tri.	+Tri.	0.538	1.38	0.394	1.95
	-Tri.	0.390		0.202	

明が必要になり、これが耐塩機構の解明に直結する。そして海洋酵母 (Maline yeast) 創造の為には、この問題を抜きにしては進められない。筆者は表6 その他数種の有効な Co-factor を見出し^{31) 32) 33) 34)}、特にメチル基を供与し得るもの、すなわちメチルドナーが耐塩機構に大

酵母菌体食糧化の経緯と未来食品開発への一展望

きく関与することを報告した。塩環境は生体に大きな影響を与えており、たとえば菌体内脂肪酸組成も表7にみる如く塩高張により C₁₆, C₁₈ の不飽和化が想像される。また塩高張下に培養した場合、菌体内にトコフェロールの生成も認めた。更にすばらしい成分の生成も期待できるのではなかろうか。その詳細については今後の研究にまちたく思っている。

表7 塩高張が本菌の脂質組成に及ぼす影響

	+Na / -Na	
	Polar lipid	1.24
Palmitic acid	0.85	
Palmitoleic acid	2.33	
Stearic acid	0.75	
Oleic acid	1.23	
Linoleic acid	0.71	
Linolenic acid	0.36	

(4) タンパク分離と新しい食品の開発

筆者は本菌からタンパク質のみを抽出したが、抽出タンパク質から食品を作れば、これが本当の人工肉である。従来、酵母菌を圧さくして人工肉とし、また乾燥した酵母菌をませものとして食品に混入させ、これを人工肉と呼んでいた現象とは全く異なる真の意味の人工肉である。このタンパク質には、変敗油の混入もなく、純粋のタンパク質である。約70年前、人類が初めて作り出した酵母菌体集合の食品の出現以来、今日に到るまで他の食品へ菌体のまま混ぜ物として用いられるケースが多く、飼料に到っては全く混合物の域を出ていない現状である。酵母菌体を素材とする独特の食品、本式の開発は今後の大きな課題である。筆者は本菌からタンパク質を抽出し、これからの乾燥粉末を得ている。この粉末は紡糸性をみても、大豆タンパクや牛乳タンパクなどくらべて異なった性状を示すが、栄養豊かな菌体成分であり、特性にあった具体的な食品の形成について今後大きな希望をもっている。

(5) 海水と変敗油からタンパク食品を

海水をくみとってこれに若干のミネラルと変敗油を加え研究室レベルで本菌の生育をみることもできた。ここに海水と変敗油からタンパク食品へのルートが予想されたわけである。工場レベルでタンク培養により、主として海水と変敗油から酵母タンパクが生産されれば、これは処理にこまる廃油処理の効果をも兼ねた分離タンパクの生産であり、まさに一石二鳥の効果を実現されることになる。

5. 微生物をとおして行なう食品開発の未来像

狩猟時代は、ありあまる土地、広大な海、美しい河川、湖のある環境でわずかな人口が山野に食を求め動物を追い狩猟に明け暮れ、水辺に魚介を求めて生活のほとんどすべてを食糧求めについやし、場合によっては動物に殺傷されつつ食を求めたものと思われる。しかし人類が種子を播き、その生育により稔りを待つという農耕を知るに及んで安定な食生活へと入り、ゆとりある生活が展開され、人間独特の文明がひらけることとなった。コメのインド文明、コムギのメソポタミア文明、トウモロコシのマヤ文明などその土地ごとに文明が栄えた。しかしこのようにすばらしい大改革をもたらした。農耕は人口増に伴って広大な耕地と、播種から収穫まで長い日数を必要とする。また牧畜も広大な土地と飼料と飼育に相当な日数を要する。天然資源を乱獲のみの枯渇をうれえ、養殖へと傾斜していく漁業においてもまた同じである。これに比べて微生物は、わずか数時間～数日の遅滞期の後、対数的な増殖を示す対数期に入るからこの生育状況を利用すれば、前期の如く短期間で莫大な収量をあげることができる。しかも天候に左右されることもなくである。

このように速やかに生産される微生物が、その成分において畑の肉である大豆とか、動物性食品である魚肉にも近いとなれば、これこそまさに画期的な食糧であるということになる。更に微生物には無限の各種能力が期待され、培養に当たって、炭素源、チッソ源なども頗る安価な物質を与えることによっても旺盛な菌体生量を示させることができる。チッソ源の如きは、アンモニウム化合物とか場合によっては硝酸態の無機化合物まで優秀なタンパク質構成源として利用できる能力を持ちあわせている。(硝酸態のチッソを利用し得る菌とアンモニア態のチッソを利用し得る菌とでは、進化の上からとか分類の上から全く異なっているが)このような諸要素を総合すると、食糧危機、特にタンパク資源の不足を回避し得る有力な食糧が微生物であるということもできる³⁵⁾。土を離れ、海を離れた農業水産業的生産すなわちタンク培養による工業的食糧生産のパターンがここに登場してくる。微生物の産生する毒素を厳重にチェックするのは勿論ではあるが³⁶⁾。なお、リガーゼ利用や細胞融合などバイオテクノロジーへの期待も大きく開けてくる。

微生物がタンソ源やチッソ源やミネラル源などから優秀な成分をつくり上げていく過程はまだまだ解明されつくしていない。しかし日進月歩の科学は、その謎を少しずつ解明している。万能にひとしいたくましさをもった微生物が簡単な素材から複雑な成分を合成していく過程を解明し得たとき、Enzyme等の問題もあるが簡単な素材から微生物を抜きにして、成分を合成する時代へと飛躍することもできるであろう。空気と水と土から、原子エネルギーをも駆使して、オートマティックに工業レベルでの食糧生産、食品生産される時代が、遠い将来、いつの日にか訪れることを信じて疑わない。そして、その工業化への過程を、微細な酵母菌が人類

酵母菌体食糧化の経緯と未来食品開発への一展望

に教示してくれ、ヒントを与えてくれることを思うとき、無限の能力を秘めた酵母菌に大きな驚きをいだかずにはおれない。

その意味で1965年、土から分離し同定した *Candida tropicalis* OT-65 が20数年にわたって筆者に説明させてくれた数々の現象に深く感謝している。更にまた近々発表の予定であるが、本菌が変敗油の過酸化物を消去し低減させるはたらきまであることを見出し、それが Endogenous なものと Exogenous なものとあることも認め、酵母菌に想像もされなかった今一つの現象を説明することが出来た。道端の土にうずもれていた微細な生物、野生酵母が示してくれた幾多の原理、これもまた前記した未来の食糧合成への一里塚であってくれば幸いである。

あ と が き

酵母菌体利用の歴史は浅い。しかしその成分の食糧化への期待は頗る大きい。培養のあり方にも大いに期待し得る夢があり、食糧の大資源とすることができる。

農耕開始後の人類文化はすばらしいが、そのみに終始して現代に及んでいる。微生物食糧と微生物を食糧とする文化は今後の領域であろう。菌体利用とはいうものの、未だに飼料や菌体を混ぜものにする程度からぬけていない現状から成分の分離とこれを駆使した食糧づくりをめざさねばならない。そして次の段階は微生物にみられる合成のメカニズムを解明して微生物抜きのまま合成する時代が訪れるべきである。ささやかな筆者のタンソ源の試み、そしてタンパク抽出が長い長い発展の一ステップともなれば幸いである。

文 献

- 1)~10), 26) H. J. PHAFF, M. W. MILLER, and E. M. MRAK THE LIFE OF YEASTS (1978).
- 11) J. W. Deacon "Introduction to Modern Mycology" (1980)
- 12) 蓑田泰治『酵母の増殖と利用』学会出版センター (1985)
- 13) 科学技術庁資源調査会編『日本食品標準成分表の改訂に関する調査報告——四訂日本食品標準成分表——』大蔵省印刷局 (1983)
- 14), 16), 24) 『食の科学』丸の内出版, No. 24 (1975)
- 15) Kuroiwa, Y. & Horie, Y. 1955. Bull. Agr. Chem. Soc. Japan, **19**, 35
- 17), 20) 中村浩「未来の食糧」同文書院 (1976)
- 18) Delbrück. M. "Wschr Bran" 27, 375 (1910)
- 19) R. J. Margetts『発酵と工業』vol. 43, No. 5, 459 (1985)
- 21), 22), 23), 25) 『微生物タンパクの生産利用技術の現況と展望』光琳書院
- 27)~29) 『人間は何を食べてきたか』日本放送協会
- 30) Ohara, K. and M. Tamaki. 1974a. Utilization of oil by a strain of *Cadida tropicalis*. Trans. Soai Women's Sr. and Jr. College. **22**, 33-42.
- 31), 33) Ohara, K., Tamaki Miyoko and Takada, H. 1974b. Utilization of fatty acid by a strain

酵母菌体食糧化の経緯と未来食品開発への一展望

- of *Candida* under saline condition with special reference to the effect of vitamin B₁₂. Trans. Mycol. Soc. Japan, **15**, 91-97.
- 32) Ohara, K., Tamaki Miyoko, Kawahara, T. and Takada, H. 1975. Effect of gibberellic acid on growth of fatty acid utilizable yeast, a strain of *Candida tropicalis*. Trans. Mycol. Soc. Japan, **16**, 247-252.
- 34) Ohara, K., Tamaki Miyoko and Takada, H. 1976. Effect of gibberellic acid on utilization of oleic acid for growth in the presence of linoleic acid by a strain of *Candida tropicalis*. Trans. Mycol. Soc. Japan, **17**, 445-450.
- 35), 36) 食品の経緯, 小原国彦, 三和書房 (昭58)