総 説

微生物の作る高度不飽和脂肪酸

横 地 俊 弘

生命工学工業技術研究所 (〒305 つくば市東1-1)

Polyunsaturated Fatty Acids Production
by Microbial Cultivation

Toshihiro YOKOCHI

National Institute of Bioscience and Human-Technology
(Higashi 1-1, Tsukuba-shi, Ibaraki-ken, 〒305)

Abstract : Recent studies on the polyunsaturated fatty acid (PUFA) production by microorganisms and unicellular algae are reviewed. Lately, microbial lipid production, especially production of PUFA, difficult to obtain from plant or animal oils, has attracted general interest. However, not many researches on lipid production by microorganisms have been carried out. Industrial production of γ -linolenic acid from the *Mortierella* was already begun in Japan, as the first industrial application of "Single Cell Oil". Production of arachidonic acid and the other C_{20} -PUFAs were reported using *Mortierella alpina* and its mutants. Microbial production of docosahexaenoic acid (DHA) has been found in, *Labyrinthula*, unicellular algae, and bacteria of marine origin, their growth rate or productivity were generally low. We isolated a new strain of marine fungi, *Schizochytrium* sp. that contained high levels of DHA and $n-6$ docosapentaenoic acid. High DHA productivity was due to high growth rate, and high lipid content of the strain. This strain is a promising resource for microbial DHA production as well as study on PUFA syntheses.

Key words : microbial lipid, single cell oil, PUFA, DHA

1 はじめに

微生物による脂質生産の研究は、当初は動植物油脂に替わる新たな油脂資源の開発として1940年ころから *Lipomyces* 属などの油脂蓄積性酵母を中心に盛んに行われてきた。各種の菌類について脂肪酸組成が調べられるなかで、いくつかの属種のかびなどに高度不飽和脂肪酸 (PUFA) が含まれることが知られてきた。各種菌類における脂質含量、脂肪酸組成や脂質組成などについては、Ratledge らが詳しくまとめている¹⁾。その後、 γ -リノレン酸 (GLA)、アラキドン酸あるいはイコサペンタエン酸 (EPA) などの PUFA の生理機能が注目されるにつれ、油脂資源の開発という観点からではなく、微生物による PUFA を含む新しい油脂の開発という観点から進められてきた。各種の微生物について PUFA 資源としての観点でまとめた総説も多く出されている^{2)~5)}。PUFA の微生物生産は、その初期に取り組みられてきた GLA やアラキドン酸について、実用生産が既

に始められている。PUFA の微生物生産は、動植物油脂資源からは得にくい各種の PUFA を効率良く生産できる可能性があり、PUFA 含有油脂などの微生物によって作られるユニークな油脂は、Single Cell Oil, SCO との呼び方が与えられるようになっている。本稿では、それらを含めて各種の PUFA を産生する微生物・微細藻類の特徴を筆者らの研究結果を交えて紹介したい。

2 PUFA 産生微生物類の特徴

2.1 接合菌類

既に実用生産が始められてきた GLA やアラキドン酸生産に使われてきた微生物が接合菌類の糸状菌である。

筆者らが見いだした *Mortierella* 属菌による GLA の生産方法は、GLA の新たな供給手段として注目された⁶⁾。GLA ($C_{18:3}$, $n-6$) は、その供給源が一部の特殊な油脂に限られており通常の動植物油脂中にはほとんど存在しない脂肪酸である。各種の *Mucor* 属菌や、

Mortierella isabellina あるいは *Mortierella raman-niana* などは、脂肪酸組成での GLA 含量が 5%~30% である種が存在する^{5),7)~9)}。筆者らが使用した *M. ramanniana* IFO 8187 は、GLA 含量が 5~10% と、むしろ低い部類であるが、この菌の特徴は高い増殖性と脂質蓄積性を有することにある。例えば、グルコース濃度が 20% を越える高い濃度の培地においても増殖阻害を受けることなく良好に増殖することができ、培地 1 L 当たりの乾燥菌体重量が 80 g に達する高い菌体増殖量が得られる (Fig. 1)。また、培地組成における窒素源濃度を制限することにより、GLA を含有するトリアシルグリセロールが菌体内に蓄積され、乾燥菌体重量当たりの脂質含量が 40% 以上の高い値を得ることができた。さらに、GLA 生産性を引き上げるための種々の培養方法を検討した結果、連続培養法によってその値を約 4 倍に引き上げることができた (Fig. 2)¹⁰⁾。最近では、GLA 含量を 18% にまで増加させた変異株も得られている^{11),12)}。Choanephora 属菌、Cunninghamella 属菌などでは、20~30% の高い GLA 含量を有するものも報告されているが、菌の増殖性や GLA 含有脂質の生産性では、*M. ramanniana* より低い値となっている^{5),13)}。また、*M. ramanniana* は、*n*-デカンなどの炭化水素を炭素源として用いることにより、GLA 含量が約 30% のリン脂質(ホスファチジルコリンやホスファチジルエタノールアミン)量の増加が認められた¹⁴⁾。

アラキドン酸 ($C_{20:4}$, $n-6$) を生産する接合菌類では、*Entomophthora* 属菌、*Mortierella alpina*、*Mortierella alliacea* など高い含量を示す株が見いだされている^{5),15),16)}。清水らが見いだした *M. alpina* 1S-4 は、

Fig. 1 Effect of Initial Glucose Concentration on Cell Growth, Lipid, and GLA Production of *Mortierella ramanniana* IFO 8187.

Fig. 2 Comparison of Operational Mode in Lipid and GLA Production Rates of *M. raman-niana*.

アラキドン酸含量が全脂肪酸中の 15~70% にも達し、培地当たりのアラキドン酸生産性は 4 g/L を超える値に達している。*Mortierella* 属菌の中でのアラキドン酸産生菌は *Mortierella* 亜属に分類される菌であり、*Micromucor* 亜属に分類される *M. isabellina* や *M. ramanniana* などではアラキドン酸の産生は認められない¹⁵⁾。*M. alpina* の特徴として興味深いのは、低温 (6~20℃) での培養時にはアラキドン酸の $n-3$ 位を不飽和化する酵素が活性化し、EPA が産生されることである¹⁷⁾。これら高等生物にはみられない脂肪酸合成系路およびその生産機構の解明は今後の重要課題であろう。また、培地に添加された各種の脂肪酸あるいは油脂を菌体内に取り込むとともに、その脂肪酸を基質とする不飽和化反応も行われる^{18),19)}。例えば、培地に添加された α -リノレン酸から、 $\Delta 6$ 位の不飽和化と炭素鎖延長後の $\Delta 5$ 位の不飽和化が行われて、EPA が産生される。また、清水らは、*M. alpina* 1S-4 の $\Delta 5$ 不飽和化酵素活性を阻害するセサミンなどの培地への添加あるいは各種の不飽和化酵素欠損変異株により、ジホモ- γ -リノレン酸 ($C_{20:3}$, $n-6$)、ミード酸 ($C_{20:3}$, $n-9$) や、奇数鎖 PUFA など、従来、供給源の無かった各種の PUFA の生産方法を見いだしている^{20)~23)}。

2.2 不完全菌類

微生物による PUFA 生産の研究では、前項の接合菌類が最も注目されているが、*Aspergillus* 属菌、*Fusarium* 属菌、*Penicillium* 属菌などの不完全菌類(子囊菌類)においてもアラキドン酸を産生するものが見いだされている^{24),25)}。これらの菌は、グルコースなどの炭水化物を炭素源とした場合ではアラキドン酸は一部の極性脂質中に存在するのみで低い含量しか示さない。しかし、炭化水素あるいはミリスチン酸やパルミチン酸などの脂肪酸のナトリウム塩を単一炭素源とした培養においては、アラキドン酸含量が増加することが報告されている。脂肪酸を炭素源とした場合においては、アラキドン

酸が遊離脂肪酸の形で菌体内に著量蓄積されることに特徴がある。

2.3 卵菌類とラビリンチュラ類

卵菌類とラビリンチュラ類は、古くには真菌類の中の下等菌類として分類され、べん(鞭)毛菌類あるいは藻菌類とも呼ばれてきた生物である。近年の分類体系においては、褐藻や珪藻などが属するクロミスタ界あるいは黄色植物界に分類され²⁶⁾、褐藻や珪藻などが光合成能を獲得する以前に分化した一群であるとされている (Fig. 3)。接合菌類や担子菌類などを土壤菌類とするなら、これらの菌類の多くは、河川や海水中に生息し、水生(棲)菌類とも呼ばれる。これらの菌類の特徴は、胞子の代わりに運動性のある鞭毛を持った遊走子を介する増殖をすることで水中での生活や増殖に適応しており、鞭毛菌類の名はここからきている。これらの菌類は、多様な生活環境、例えば遊走子を介する増殖や有性的な分裂・増殖をすることなどから分類学的な研究は多く行われてきているが、PUFA 生産のみならず応用微生物的な検討は多くない。

卵菌類のなかには、アラキドン酸や EPA といった PUFA を生産する菌が多く知られている^{3), 27)}。河川に生息するこれらの菌の代表的なものにはミズカビ目の *Saprolegnia* 属菌やツユカビ目の *Pythium* 属菌があり、それらはアラキドン酸および EPA をそれぞれ 5~20% 含む脂肪酸組成を有している。これらの菌における EPA はアラキドン酸の *n*-3 位が不飽和化されることにより合成されることが報告されている²⁸⁾。また、奇数鎖の脂肪酸を炭素源とすることにより $C_{19:4}$ (*n*-5), $C_{19:5}$ (*n*-2) といった奇数鎖の PUFA が産生された²⁹⁾。これらの菌を用いての EPA 生産を目的とした培養条件が検討されているが、十分な増殖性が得られず、EPA の生産性は最大でも 400 mg/L 程度にと

どまっている^{30)~33)}。

Thraustochytrium 属などのラビリンチュラ類は、海洋環境に固有に存在するかびとして知られ、ドコサヘキサエン酸 (DHA, $C_{22:6}$, *n*-3) 含量の高い脂肪酸組成を有するものがある³⁴⁾ (Table 1)。河川に生息する *Saprolegnia* 属などの卵菌類は栄養菌糸体を作り、形態的にいわゆるかび状になるのに対して、*Thraustochytrium* 属菌は寒天平板培地上では酵母様のコロニーを作る。また、*Saprolegnia* 属が *n*-6 系のアラキドン酸と *n*-3 系の EPA を含むのに対して、*Thraustochytrium* 属菌では、それぞれ鎖長が延びて不飽和結合が 1 つ多い PUFA に相当する (*n*-6) ドコサペンタエン酸 ($C_{22:5}$) と DHA が主要な PUFA であるなどの特徴がある。(*n*-6) DPA が DHA の直接的な前駆体かどうかとも興味深い課題である。

Thraustochytrium 菌は、30~50% もの極めて高い DHA 含量を持つことから、DHA の微生物生産への利用が期待され、*T. aureum* あるいは *T. roseum* を用いた培養条件の検討がいくつか行われてきた^{35)~39)} が、DHA の生産性は、400~1000 mg/L 程度であり、DHA 生産を目的としては満足できる値は得られてこなかった。これは、これらの菌の増殖性があまり高くなく、*Mortierella* 属菌のような脂質蓄積性を持っていないために⁴⁰⁾、脂質含量が菌体当たり 20% 程度にとどまっていることに原因がある。DHA あるいは EPA の微生物生産を考えた場合に、それらの供給源として魚油が既にあるので、コスト的な面でそれと競合できるか、魚油にない特性を持った油脂を作る必要がある。*Thraustochytrium* 属菌などにみられる特徴的に高い DHA 含量は、菌の増殖性を高めることができれば、DHA 高含有油脂として魚油の DHA 濃縮精製品と比較することによりコスト面での可能性があるとともに、

Fig. 3 Typical Orders and Genera of Labyrinthulea and Oomycetidae.

Table 1 Fatty Acid Composition of Labyrinthulea.

Strain	16 : 0	18 : 0	18 : 1	18 : 2	20 : 4 (n-6)	EPA	DPA (n-6)	DHA	Ref.
<i>Thraustochytrium aureum</i>	27.1	1.3	5.7	2.1	4.8	5.9	9.5	34.1	34)
<i>T. aureum</i> ATCC 28211	17.8	—	9.6	—	13.6	0.0	6.6	46.2	35)
<i>T. aureum</i> ATCC 34304	14.5	—	9.0	0.0	11.7	6.4	10.9	47.4	35)
<i>T. roseum</i>	29.3	4.6	34.6	3.2	1.8	6.1	6.6	10.8	34)
<i>T. roseum</i> ATCC 28210	26.3	8.4	12.7	2.2	0.5	1.1	—	46.7	37)
<i>T. striatum</i> ATCC 24473	33.9	8.2	48.2	3.3	0.4	0.3	—	0.8	37)
<i>T. visurgense</i> ATCC 28208	19.2	1.0	0.0	0.0	7.3	10.5	8.6	42.8	
<i>Japonochytrium</i> sp. ATCC 28207	24.4	0.5	0.5	0.0	8.9	5.7	14.5	31.1	
<i>Schizochytrium</i> sp. SR 21	49.4	1.2	0.0	0.0	0.3	0.8	6.3	32.5	
<i>S. aggregatum</i> ATCC 28209	22.3	2.6	28.5	22.7	2.7	0.6	1.9	2.6	

DHAの単離・精製の面でのメリットがあると考えられた。

筆者らが分離した *Schizochytrium* sp. SR 21 株^{(41), (42)}は, *Thraustochytrium* 属と同様にラビリンチュラ類に属する海生菌であり, 脂肪酸組成において DHA 含量が 30~40% の高い値であるとともに, 既知の種と比較して高い増殖性と脂質蓄積性を有していた。かびや酵母において, 培地中の窒素源の量が制限されることにより脂質の蓄積量が増加することは良く知られているが, SR 21 株も同様に, 窒素源の量を調節することにより乾燥菌体重量当たりの脂質含量が 50% に達することができることを示した (Fig. 4)。

SR 21 株と *T. aureum* ATCC 34304 株のフラスコ

Fig. 4 Effect of Nitrogen Source (Ammonium Acetate) on Cell Growth, Lipid Content, and DHA Production of *Schizochytrium* sp. SR 21.

での培養結果の比較を Table 2 に示した。SR 21 株は, 高い脂質蓄積性を有する種がラビリンチュラ類の中にも存在することを初めて示したものであった。また, SR 21 株は 10% 程度のグルコース濃度の培地においても *Thraustochytrium* 属菌のような増殖阻害⁽³⁹⁾を受けることなく良好に増殖することができ, 高脂質含量菌体を高密度に培養することができた。また, DHA の生産性はジャーファーメンタにおける種々の培養条件の検討により, 従来 *Thraustochytrium* 属菌などで得られてきた値より 1 けた以上高い 15 g/L にまで達することができた⁽⁴³⁾。

2.4 バクテリア

バクテリアの構成脂肪酸としては, 飽和酸やモノエン酸が大部分を占めており, PUFA を生産する菌の存在は DHA を生産する *Vibrio* 属の菌⁽⁴⁴⁾が深海の海水や泥からも分離されるまで知られていなかった。近年では, 魚の腸内細菌から EPA あるいは DHA を生産する *Vibrio* 属や *Shewanella* 属菌などを分離したことが報告されてた^{(45)~(49)}。これらのバクテリアでは, 生産される PUFA のほとんどがリン脂質に結合した状態で生

Table 2 Comparison of *Schizochytrium* sp. SR 21 and *Thraustochytrium aureum* ATCC 34304 on Flask Culture.

Strain	SR 21	ATCC 34304
Inhibitory concentration of glucose (g/L)	100	20
Maximum cell growth (g/L-medium)	35	7
Maximum lipid content (%)	60	23
DHA content in lipid (%)	35	40
Maximum DHA productivity (g/L-medium)	4.2	0.6

産され、トリアシルグリセロールなどの中性脂質の蓄積をしないことから PUFA の生産性としてはあまり高い値は得られていない。矢澤らは *Shewanella* 属の SCRC-2738 株において、それらのなかで最も高い EPA 生産能である、250 mg/L 前後の生産性を得ている^{50),51)}。矢澤らは EPA を高く蓄積している魚の腸内細菌に EPA 生産菌が多く見いだされていることから、微細藻類の作る EPA が食物連鎖によって海産生物へ蓄積されるのとは別に、これらのバクテリアも海産生物に EPA を供給している可能性を述べている。また、これらの EPA を生産するバクテリアでは、培地中に添加された DHA などの PUFA をリン脂質の構成脂肪酸として効率よく取り組むことから、EPA と DHA を高濃度で含有するリン脂質を容易に生産できることが報告された^{52),53)}。さらに、矢澤らは EPA 生産菌の EPA 合成系遺伝子のクローニングと大腸菌での発現に成功しており⁵⁴⁾、PUFA 非生産生物での大量生産などの可能性も開けてきたことは興味深いものがある。

2.5 微細藻類

微細藻類においては PUFA を生産するものも多く、多くの種にわたって脂肪酸組成の分析が行われている⁵⁵⁾。主な特徴としては、EPA 含量の高い値は紅藻やハプト藻で、DHA 含量の高い値は渦鞭毛藻などで示されているが、属種あるいは培養条件によりその含量は大きく異なっている。

PUFA 含有油脂の生産という観点で古くから行われてきた研究としては、*Euglena* でのアラキドン酸生産の検討がある^{56),57)}。また、微細藻類における PUFA 生産能の利用は、主として PUFA を魚の稚魚の飼料であるワムシなどに供給するための手段としての利用も検討されてきた⁵⁸⁾。特に、いわゆるマリンクロレラ (*Nannochloropsis* 属) では、脂肪酸組成における EPA 含量が約 40% の高い値も得られている。各種の微細藻類における EPA や DHA 生産については、*Porphyridium* 属 (紅藻)^{59),60)}、*Phaeodactylum* 属 (珪藻)⁶¹⁾ や、*Isochrysis* 属 (ハプト藻)^{62)~64)} などでの検討が近年報告された。これらの藻類における脂質含量はあまり高くなく、それらの生産された PUFA はトリアシルグリセロールでなく糖脂質やリン脂質に蓄積されている。渦鞭毛藻類の *Crypthecodinium* 属や *Gymnodinium* 属などでは有機栄養源を用いる従属栄養条件下では DHA あるいは EPA を多く含む脂質をトリアシルグリセロールの形で蓄積される^{65),66)}。長谷川らは、*C. cohnii* を用いた DHA の生産において、酢酸の流加培養により脂質含量の高い藻体を高密度に培養できることを報告した。また、渦鞭毛藻類では、 $C_{18:5}$ ($n-3$) とした特殊な脂肪酸の産生や⁶⁷⁾、リン脂質の構成脂肪酸組成における DHA の分布⁶⁸⁾ などの報告もある。

3 おわりに

PUFA 生産という観点で各種の微生物について紹介してきた。これまで述べてきたように、PUFA を作り出す素材としての微生物は、多種多様に存在している。しかし、これらの微生物の PUFA 産生機構はそれほど明らかになっていない。今後、微生物における PUFA 産生機構の解明は、培養条件の最適化による生産性の増大のみならず、不飽和化機能の制御による新規な PUFA の生産や分子種構成を制御した機能的な脂質分子の生産方法の開発などにつながっていくと考えられる。例えば、ラビリンチュラ類や微細藻類のなかには、炭素数 22 の各種の $n-6$ 系、 $n-3$ 系 PUFA を産生するものなどがあり、従来供給手段がなかった PUFA を作り出す手段としての利用が考えられる。これらの新規な PUFA あるいはそれらを含む脂質分子は、それら自身の生理機能に興味を持たれるとともに、EPA や DHA などの生理機能をより深く理解するための比較素材としても重要である。また、筆者らが見いだした *Schizochytrium* sp. SR 21 株では、乾燥細胞重量当たりの DHA 含量は 20% を超える値にも達するが、細胞内で PUFA がどのような機構で安定に存在しているのかにも興味深いものがある。これらの研究の進展とともに、微生物の持つ PUFA 生産機能のさらなる応用的な利用が期待される。

(受付：1997 年 5 月 13 日，受理：1997 年 6 月 16 日)

文 献

- 1) C. Ratledge, S.G. Wilkinson, "Microbial lipids", Academic Press, London (1988).
- 2) W. Yongmanitchai, O.P. Ward, *Process Biochem.*, 24, 117 (1989).
- 3) S.S. Radwan, *Appl. Microbiol. Biotech.*, 35, 421 (1991).
- 4) 鈴木 修, 油化学, 41, 779 (1992).
- 5) J.P.J. Westhuizen, J.L.F. Kock, A. Botha, P.J. Botes, *System. Appl. Microbiol.*, 17, 327 (1994).
- 6) 中原東郎, 横地俊弘, 神坂 泰, 鈴木 修, 油化学, 42, 242 (1993).
- 7) 横地俊弘, 鈴木 修, 油化学, 11, 929 (1986).
- 8) 横地俊弘, 鈴木 修, 油化学, 38, 1007 (1989).
- 9) E.V. Emelyanova, *Process Biochem.*, 32, 173 (1997).
- 10) T. Yokochi, Y. Kamisaka, T. Nakahara, O. Suzuki, *J. Jpn. Oil Chem. Soc.*, 42, 893 (1993).
- 11) O. Hiruta, Y. Kamisaka, T. Yokochi, T. Futamura, H. Takebe, A. Satoh, T. Nakahara, O. Suzuki, *J. Ferment. Bioeng.*, 82, 119, (1996).
- 12) O. Hiruta, T. Futamura, H. Takebe, A. Satoh, Y. Kamisaka, T. Yokochi, T. Nakahara, O. Suzuki, *J. Ferment. Bioeng.*, 82, 366 (1996).
- 13) E.V. Emelyanova, *Process Biochem.*, 31, 431 (1996).

- 14) T. Yokochi, Y. Kamisaka, T. Nakahara, O. Suzuki, *J. Jpn. Oil Chem. Soc.*, **44**, 9 (1995).
- 15) 清水 昌, 油化学, **44**, 804 (1995).
- 16) 長畑ゆみ子, 松本幸正, 横地俊弘, 森永 力, 秋 庸裕, 重田征子, 小埜和久, 鈴木 修, 日本農芸化学会 1997 年度大会講演要旨集 p. 336 (1997).
- 17) S. Shimizu, H. Kawashima, Y. Shinmen, K. Akimoto, H. Yamada, *J. Am. Oil Chem. Soc.*, **65**, 1455 (1988).
- 18) S. Shimizu, H. Kawashima, K. Akimoto, Y. Shinmen, H. Yamada, *J. Am. Oil Chem. Soc.*, **66**, 342 (1989).
- 19) Y. Shinmen, H. Kawashima, S. Shimizu, H. Yamada, *Appl. Microbiol. Biotech.*, **38**, 301 (1992).
- 20) S. Shimizu, K. Akimoto, H. Kawashima, Y. Shinmen, H. Yamada, *J. Am. Oil Chem. Soc.*, **66**, 237 (1989).
- 21) S. Jareonkitmongkol, H. Kawashima, N. Shirasaka, S. Shimizu, H. Yamada, *Appl. Environ. Microbiol.*, **58**, 2196 (1992).
- 22) S. Jareonkitmongkol, H. Kawashima, S. Shimizu, H. Yamada, *J. Am. Oil Chem. Soc.*, **69**, 939 (1992).
- 23) S. Shimizu, H. Kawashima, K. Akimoto, Y. Shinmen, H. Yamada, *J. Am. Oil Chem. Soc.*, **68**, 254 (1991).
- 24) S.S. Radwan, R.H. Soliman, *J. Gen. Microbiol.*, **134**, 387 (1988).
- 25) H. Iizuka, T. Ohtomoto, K. Yoshida, *Eur. J. Appl. Microbiol. Biotechnol.*, **7**, 173 (1979).
- 26) T. Cavalier-Smith, *Microbiol. Rev.*, **57**, 953 (1993).
- 27) R. Shaw, *Adv. Lipid Res.*, **4**, 107 (1966).
- 28) J. Gellerman, H. Schlenk, *Biochim. Biophys. Acta*, **573**, 23 (1979).
- 29) N. Shirasaka, T. Yokochi, S. Shimizu, *Biosci. Biotech. Biochem.*, **59**, 1963 (1995).
- 30) S.R. Gandhi, J.D. Weete, *J. Gen. Microbiol.*, **137**, 1825 (1991).
- 31) J.D. Weete, S.R. Gandhi, "Industrial Applications of Single Cell Oil", *Am. Oil Chem. Soc.* (1992) p. 98.
- 32) D.J. O'Brien, M.J. Kurantz, R. Kwozack, *Appl. Microbiol. Biotech.*, **40**, 211 (1993).
- 33) N. Shirasaka, S. Shimizu, *J. Am. Oil Chem. Soc.*, **72**, 1545 (1995).
- 34) B.A. Ellenbogen, S. Aarson, S. Goldstein, M. Belsky, *Comp. Biochem. Physiol.*, **29**, 805 (1969).
- 35) P. Bajpai, P.K. Bajpai, O.P. Ward, *Appl. Microbiol. Biotech.*, **35**, 706 (1991).
- 36) P.K. Bajpai, P. Bajpai, O.P. Ward, *J. Am. Oil Chem. Soc.*, **68**, 509 (1991).
- 37) Z.Y. Li, O.P. Ward, *J. Ind. Microbiol.*, **13**, 238 (1994).
- 38) A. Singh, O.P. Ward, *J. Ind. Microbiol.*, **16**, 370 (1996).
- 39) I. Iida, T. Nakahara, T. Yokochi, Y. Kamisaka, H. Yagi, M. Yamaoka, O. Suzuki, *J. Ferm. Bioeng.*, **81**, 76 (1996).
- 40) A. Kendrick, C. Ratledge, *Lipids*, **27**, 15 (1992).
- 41) 横地俊弘, 中原東郎, 日本農芸化学会 1995 年度大会講演要旨集 p. 311 (1995).
- 42) T. Nakahara, T. Yokochi, T. Higashihara, S. Tanaka, T. Yaguchi, D. Honda, *J. Am. Oil Chem. Soc.*, **73**, 1421 (1996).
- 43) 矢口敏昭, 田中悟広, 横地俊弘, 中原東郎, 日本生物工学会平成 8 年度大会講演要旨集 p. 99 (1996).
- 44) E.F. DeLong, A.A. Yayanos, *Appl. Environ. Microbiol.*, **51**, 730 (1986).
- 45) K. Yazawa, K. Araki, N. Okazaki, K. Watanabe, C. Ishikawa, A. Inoue, N. Numao, K. Kondo, *J. Biochem.*, **103**, 5 (1988).
- 46) M. Akimoto, T. Ishii, K. Yamagaki, K. Ohtaguchi, K. Koide, K. Yazawa, *J. Am. Oil Chem. Soc.*, **67**, 911 (1990).
- 47) E. Ringo, J.P. Jostensen, R.E. Olsen, *Lipids*, **27**, 564 (1992).
- 48) Y. Yano, A. Nakayama, H. Saito, K. Ishihara, *Lipids*, **29**, 527 (1994).
- 49) 渡部和郎, 石川千夏子, 鎌田正純, 大塚伊津子, 富田美穂, 矢澤一良, 第 35 回油化学討論会講演要旨集 p. 180 (1996).
- 50) 鈴木信雄, 矢澤一良, 渡部和郎, 赤堀結花里, 石川千夏子, 近藤 聖, 高田清克, 日本水産学会誌, **58**, 323 (1992).
- 51) 渡部和郎, 矢澤一良, 油化学, **42**, 278 (1993).
- 52) S. Ando, K. Nakajima, M. Hatano, *J. Ferment. Bioeng.*, **73**, 169 (1992).
- 53) K. Watanabe, C. Ishikawa, H. Inoue, D. Chnhua, K. Yazawa, K. Kondo, *J. Am. Oil Chem. Soc.*, **71**, 325 (1994).
- 54) 矢澤一良, 山田章子, 油化学, **44**, 787 (1995).
- 55) 荒木 繁, 鹿山 光, "総合脂質科学" 恒星社厚生閣 (1989) p. 795.
- 56) 瀬戸 明, 油化学, **42**, 272 (1993).
- 57) 林 雅弘, 油化学, **42**, 265 (1993).
- 58) A. Seto, H.L. Wang, C.W. Hesseltine, *J. Am. Oil Chem. Soc.*, **61**, 892 (1984).
- 59) Z. Cohen, S. Cohen, *J. Am. Oil Chem. Soc.*, **68**, 16 (1991).
- 60) Z. Cohen, D. Shiran, I. Khozin, Y.M. Heimer, *Biochim. Biophys. Acta*, **1344**, 59 (1997).
- 61) E.M. Grima, J.A.S. Perez, F.G. Camacho, J.M.F. Sevilla, F.G.A. Fernandez, J.U. Cardona, *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, **42**, 658 (1995).
- 62) E.M. Grima, J.A.S. Perez, J.L.G. Sanchez, F.G. Camacho, D.L. Alonso, *Process Biochem.*, **27**, 299 (1992).
- 63) J.G. Burgess, K. Iwamoto, Y. Miura, H. Takano, T. Matsunaga, *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, **39**, 456 (1993).
- 64) 松永 是, 中村徳幸, 油化学, **44**, 814 (1995).
- 65) 長谷川清, 佐野美代子, 瀬戸 明, 本村敏明, 岩本浩明, 日本農芸化学会 1994 年度大会講演要旨集 p. 339 (1994).
- 66) D.J. Kyle, J. Singer, R. Gladue, S. Hoeksema, 1995 AOCs Annual Meeting Abstracts, *INFORM*, **6**, 518 (1995).
- 67) P. Mayzaud, C.A. Eaton, R.G. Ackman, *Lipids*, **11**, 858 (1976).
- 68) M.V. Bell, R.J. Henderson, *Lipids*, **25**, 115 (1990).

〔総説〕

近年における食用油脂の動向

渡 辺 力太郎

三菱商事株式会社 油脂部植物油科チーム (〒100-86 東京都千代田区丸の内 2-3-1)

最近、食糧危機を題材にした本が出版されています。近年の油脂をめぐる状況はどの様になっているのでしょうか？ 現在の油脂事情を語るにあたって、中国とパーム油ぬきに語ることはできません。中国が1994年に大量の買付けを行って以来、パーム油の価格は一段高いレベルとなって現在まで推移しています。

世界の油脂の消費量は年々増加しており、将来更に多くの油脂が必要とされている一方、耕作地の大幅な拡大は難しいものがあります。

将来的に世界の人々が必要とする生産量を達成するには、反収の増加が必要でありバイオテクノロジーは必須の技術と考えられます。

(連絡者：渡辺力太郎) Vol. 46, No. 10, 1267 (1997)

〔総説〕

微生物の作る高度不飽和脂肪酸

横 地 俊 弘

生命工学工業技術研究所 (〒305 つくば市東 1-1)

近年の微生物・微細藻類による高度不飽和脂肪酸 (PUFA) 生産に関する報告を紹介する。最近では、微生物による油脂生産は、動植物油脂から得にくい PUFA の生産方法として注目されてきた。しかし、実用生産に結びついた例はそう多くない。日本で始められた *Mortierella* 属菌による γ -リノレン酸の生産は、最初の微生物油脂の工業的生産であった。アラキドン酸ならびに各種の C20-PUFA は、*Mortierella alpina* とその変異株での生産が報告された。微生物による DHA 生産は、海洋起源のラビリンチュラ類、微細藻類、バクテリアから報告があるが、増殖性あるいは生産性が低い値である。筆者らは、DHA と *n*-6 ドコサペンタエン酸を高い含量で含む海生菌の *Schizochytrium* 属の新しい株を分離した。高い DHA 生産性は、高い増殖性と脂質蓄積性によって得られた。本菌は、高度不飽和脂肪酸合成系の検討とともに DHA の微生物生産に期待される。

(連絡者：横地 俊弘) Vol. 46, No. 10, 1275 (1997)

〔総説〕

遺伝子組換え油糧作物

山 根 精一郎

日本モンサント株式会社 (〒103 東京都中央区日本橋箱崎町 41-1 日本橋第二ビル)

遺伝子組換え技術は食糧の増産や品質の向上により、将来の人口増加に伴う食糧危機を克服するための技術である。油糧作物の領域では、農業上の改良と消費者や加工業者のニーズにあった油成分の改良があげられる。前者としては、雑草防除を簡素化する除草剤の影響を受けない作物や害虫防除を簡素化する害虫抵抗性作物が今日栽培されている。後者としては、現在のところ高ラウリン酸のナタネだけであるが、多くの研究が行われており、西暦2000年ころにはいくつかの改良された油糧作物が世に出てくると考えられる。また、除草剤ラウンドアップの影響を受けない大豆を例に食品としての安全性についても記載した。

(連絡者：山根精一郎) Vol. 46, No. 10, 1281 (1997)