総 説

食品としての石油蛋白の将来性

梶 田 淑 郎*

Prospect of Petroprotein as a Human Food

YOSHIRO MASUDA

1. 序

国連が 1969 年 6 月 22 日発表した数字によると 1967 年の世界人口は 34 億 2 千万人で 10 年前に比較して 5 億の人口増加があったと述べている。国連では 4~5 年前から飢餓追放運動を世界的に進めているが、人口の移動推移は第 1, 2 図に示したごとく産児制限の影響を考慮に入れたとしても西暦 2000 年には 60 億に達すると考えられている。

このわずか 30 年先に世界的に食糧不足時代とりわけ蛋白不足時代がおとずれようとしているが、この人口増加に対処するためには、どうしても合成蛋白の開発が急がれるわけである。世界の食糧不足地域は中共を含むアジア・アフリカ地域が主であり、これらの地域への供給を主力として石油蛋白の食品化研究が今後一層活発化することであろう。

2. 研究開発の動機と経過

この合成食糧の開発がとくに話題になり始めたのは 1963 年 6 月 19 日から 26 日ドイツのフランクフルトで開かれた第 6 回世界石油会議において当時のスタンダードオイル、ニュージャージーの N.J. ラスボン会長が“人類のための石油”と題する一般講演のなかで“とくに飢餓と栄養不良とが当面の問題となっている地方で、石油の用途のなかでもっとも将来性を期待され、またもっとも画期的なものは「石油からの蛋白」であり、この種の食物はすでに実験室で作られ試験生産の段階に入っている”と述べられてからであり、以来 7~8 年の月日が流れた本年からいよいよ具体的に企業化が推進されてゆくことになったわけである。またこの会議では始めて英国石油(プリティッシュ・ペトロリアム)の A. CHAMPAGNAT 博士らによって“濃縮蛋白質およびビタミン製造をともなう微生物利用の脱臘法について”という論文が明らかと

なった。このようにこの研究にもっとも早く着目したのは上記 2 社で、英国石油の A. CHAMPAGNAT 博士のグループは灯油中の脱臘を目的としたものであり、Standard Oil New Jersey (Esso) の GUENTHER 博士は *n*-パラフィンを原料とした人間用の蛋白質合成を目的として研究を開始したのである。

3. 食糧問題の解決のために

人口増加に伴い、蛋白質とくに高蛋白食品は量的に不十分でありまた高価である。開発途上国がこの問題を解決するために科学的、技術的に近代農業をうまく応用してこの問題を解決できると思われる。E.J. Bigwood**

第 1 図 世界の人口の増加

第 2 図 人口増加率の推移予測

* 三菱油化株式会社 (東京都千代田区丸の内 2-5-2)
Mitsubishi Petrochemical Co. Ltd., Chiyoda-ku,
Tokyo.

** E.J. Bigwood: : Problems of World Nutrition
in the future outlook to the year 2000 (1966)

は従来ある蛋白源からのみ解決することはできないとしてその報告書のなかで石油蛋白 (SCP) などの独創的な蛋白源の生産が大いに今後期待されるべきだと述べている。しかし蛋白食糧問題を解決するために考えられることは、

- (1) 産児制限による人口増加の抑制
- (2) 耕地の単位当たり収率の増加
これには肥料、殺虫剤、品種改良、機械化などのあらゆる手段を含む。
- (3) 貯蔵法および配分法の改善
- (4) 従来の蛋白源のより有効利用法
 - (i) 植物蛋白の利用
 - (ii) 魚粉蛋白の利用
- (5) 脱脂粕の利用
- (6) 石油蛋白の利用

などがあげられるわけで必ずしも石油蛋白だけにその期待をつないでいるわけではない。世界的に考えるならば、蛋白源のもっとも不足していると考えられているインドでは毎年多量のネズミによって食糧が荒されており、新蛋白資源として石油蛋白を考える以前に、貯蔵法の改良などが緊急を要するわけである。

いずれにしろこの蛋白不足に対処するために多くの政府機関がこの問題に取り組んではいるが、石油蛋白の食糧化に関する限りアメリカの MIT がこの方針に沿って組織化の努力をしているが、食用として正式に取り組んでいる加工研究所や政府の研究機関は未だないというのが現状である。

4. 石油蛋白の利点

石油蛋白について後述するごとく、世界各国でかなり長期目標で研究が進められているがそれは少くとも次に述べるような大きな利点を有するがためである。

- (1) 農業上の問題点とか天候による影響をまともにうけない。
- (2) 細胞分裂の時間が早い。
- (3) 細胞分裂が表面だけとか、太陽光線の吸収する部分とかの制約をうけない。
- (4) 動物遺伝による病気などの各種の問題が起きない。

などがあげられ、これは近代産業にとってもっとも魅力ある要素となっている。

細胞分裂が早いと述べたがその例として

Bacteria yeast	20~120 (分)
カビ、緑藻 (Algae)	2~6 (時間)
人 間	1/4~1/2 (年)

牛、豚、鶏

数日~数週間

という order で成長するので石油蛋白がいかにその成長性がよいかがわかる。石油醗酵設備が今後数年間のうちに建設されるとして、この工場における蛋白質生産速度は従来の飼料による天然のそれに比べると 2,500 倍も速い。牧場で十分成長した 500 kg の牛は 24 時間で 0.5 kg の蛋白質を合成するが、連続醗酵槽中の微生物の生細胞 500 kg は適当な炭化水素、窒素、燐、カリウム、空気を補給すれば 24 時間で、2,500 kg の微生物、つまり 1,250 kg の蛋白質を生産することが研究の結果明らかとなった。予備的な経済的研究によると、石油醗酵蛋白質は現在のフランスでは、肉の蛋白質の価格の数万分の 1 で生産されるといわれている (もちろん経済計算のベースが問題ではあるが)。

5. 石油蛋白の原料源

ここで石油蛋白の原料源についてふれてみよう。目下研究がなされているもののうちでは *n*-パラフィン、メタンおよび軽油などがあるが今後はさらに広範囲にその低廉な原料を求めて研究が行なわれることは想像にかたくない。

(1) 石油化学原料

- (i) *n*-アルカン [純度 98%, 主として *n*-パラフィン ($C_{10} \sim C_{20}$)]
- (ii) メタノール
- (iii) エタノール
- (iv) 酢酸、エチレンジアミン etc.

(2) 天然ガス (LMG, LNG)

(3) 原油 (ガスオイル、軽油、灯油)

(4) 都市からの廃棄物 (アメリカのルイジアナ州ではこれを行なっている)

(5) 農業廃棄物 (セルロースなど)

アメリカの GE 社など*

(6) 炭水化物

(4)~(6)は石油蛋白と定義することは困難であるが SCP (シングルセルプロテイン) という広義の単細胞蛋白の原料源とみなして列挙しておいた。

このうち目下注目を集めているのは *n*-パラフィンなのでこれについて若干次に述べてみよう。

a) *n*-パラフィンの供給量

いま 50 万トンの石油蛋白を作るとして、その原単位を 1:1 として換算すると、*n*-パラフィンの必要量は年間 50 万トンとなり、これは LAB 用世界全体の量を

* ACS Meeting, Sept. 7~12, 1969, (New York) Bellamy, W.D., G.E. 社。

も上回るものである。このことは今日の需要構造を一変するような構造的変化が起こることが予想され、パラフィン化学の未来は、醗酵化学工業の将来に依存しているといっても決して過言ではない。わが国においてこれを供給するとすると、 $C_{10} \sim C_{20}$ のものは灯軽油留分より抽出することがもっとも一般的であり、またこの灯軽油中の n -パラフィンの含有率を約 20% (中近東原油とインドネシアやリビア原油とでは含有率が異なる) とすると昭和44年 22 (百万 kl) 約330 万 t/y

// 45年 24 (//) 360 //

// 46年 26 (//) 390 //

となる。しかし、灯軽油から全 n -パラフィンを抽出すると、灯油の場合には **smoke point** の制限があり、家庭用燃料として適さなくなり、また、軽油の場合はセタン価に影響を及ぼして、ジーゼルエンジンの燃料にむかなくなるのでこれらを全部抽出することは実際上できない。そこで大ざっぱにみて年間 150~160 万トン程度としか考えざるを得ない。

さらに石油蛋白用にもっとも適すると思われる $C_{15} \sim C_{18}$ の量はさらにこのうちの一部であることから制限されてくるので、実際にはこれより少量しか供給できない

ことになる。また一製油所の精製能力が 10 万BPSD とすると、ここでの灯軽油処理が 13% として年間生産しうる全量は12万トン、セタン価、**smoke point** の限度を仮に $1/3$ として一製油所の生産しうる n -パラフィンは6万トン、 $C_{14} \sim C_{18}$ は軽油中からのみ抽出するとして、40% 程度として2万4千トンになるに過ぎない。すなわち鹿島石油のごとき 20 万BPSD の製油所が完成したとして5万トンの n -パラフィンを生産するのが限度だと考えられる。これでは現在、大日本インキあたりの考えている 10 万トン/年の原料供給のためには一製

第1表 石油醗酵用原料価格 (日本)

炭化水素	価 格	対称微生物
n -パラフィン	30~40 円/kg	酵母, バクテリア
天然ガス	5~6 円/ m^3 (8円/kg)	バクテリア
B-B 溜分		バクテリア
ナフサ	7~8 円/l	バクテリア
灯油	10 円/l	バクテリア, 酵母
軽油	11~12 円/l	バクテリア, 酵母
固形パラフィン

第3図 各留分中の構造別炭化水素の分布例 (API リサーチプロジェクト6)

第4図 各種原油の n -パラフィンの炭素数の分布

油所では問題があり重質油中の n -パラフィンの抽出についても考える必要が出て来るわけである。

参考のため第3図に各留分中の構造別炭化水素の分布例を、第4図には各種原油の n -パラフィンの炭素数の分布を示し、石油醗酵用原料の市価を参考のため第1表に示してある。

b) n -パラフィンの品質

n -パラフィンの品質についてはこのあと、安全性のところでも論ずるつもりであるが現在市販されているおもなものは第2表に示してある。

第2表からも理解されるごとく n -パラフィンの純度は経済的な制約もあって98%前後とされている。この残りのなかにはイソパラフィン、ナフテン、芳香族炭

化水素などが含まれており、そのなかに発ガン性物質とみられる芳香族炭化水素(3,4-ベンツピレン、メチルコラントレンなど)が混入している可能性があるともいわれ、その量によって安全性の点が問題視されているようであるが、現実には分析法に問題はあるとしても確認されていない。(後述安全性参照)

6. バクテリアか酵母か

バクテリアか酵母か、これはまた原料問題とも大きく関係する。しかし一般に酵母はバクテリアよりも粒子が大きくそれはまた集菌をより簡単にし、また低いpHで発育する。これはまた汚染の可能性を低減することにもなるわけであり、同時に酵母は必須アミノ酸リジンの含有量がより高いという利点を有している。いっぽうバクテリアは酵母に比較して蛋白含量が高く、成長速度も早く、培地がより単純であり、容易にアミノ酸組成をコントロールできるといわれている。また味の点について考えてみると酵母より美味しいのが特徴である。

以上酵母とバクテリアを比較してみると食品用としてはバクテリア菌体がよりすぐれていることが明らかである。

日本での研究は酵母に限られているが、Shell、やICIなどはより長期な視野にたつて主としてバクテリアの研究を行なっているようである。

7. 飼料か食料か

以上の菌種の撰択ともあいまって日本では目下数社が飼料用蛋白としてこの蛋白製品を開発し、技術的に問題のない点にまで到達しているが、まだ経済的な問題と毒性問題に日時を要するものと思われる。さて日本は飼料輸入国として特殊な立場にあり、また石油利用微生物の飼料化が図られようとしている背景には次のような問題が含まれている。すなわち、配合飼料の原料の1部とされていた大豆粕が人造肉として人間の食糧資源に利用されつつあることが飼料蛋白不足をさらに促進し、それに対応して石油利用微生物による新しい蛋白飼料源の補完的利用、およびさらに積極的に石油酵母を利用しようとしている。また配合飼料の原料に使用されている魚粉はかなりの部分を輸入にまち、価格が不安定であるため、石油酵母でこれを代替できれば外貨の節約にもなる。また魚介類の増養殖の飼料として、ホワイトフィッシュミールの需要が増大していて、これについても石油蛋白に期待がもてるとみられている。第5図は輸入飼料の推移を示してある。

第2表 ノルマルパラフィンの規格(市販ノルマルアルカン製品カタログより)

会 社 名	日 本 鉱 業		BRITISH PETROLEUM	ESSO	CONOCO	Phillips Petroleum	U.C.C.
品 種	Heavy N-P	Super Heavy N-P	C ₁₈₋₁₇	C ₁₀₋₁₄	Heavy N-P	TYPE I	160, 170 175, 200
Total N-P CONTENT Min. (Wt. %)	98.0	96.0	97.5	98		98	98
C 分 布 (Wt. %) Mih. { C ₁₀₋₁₂ C ₁₂₋₁₄ C ₁₄₋₁₇	95.0	94.0	C ₁₃₋₁₇ 90.0				
AROMATIC CONTENT Max (ppm)	0.1	0.1	0.01	1.5	0.1	0.5	0.5
BROMINE NUMBER Max.	0.05	0.05	0.1	0.5	0.2	0.3	
IRON CONTENT Max (ppm)	0.3	0.3	0.3		1		
SULFUR CONTENT Max. (ppm)	8	10	9	75	2	20	20
S. GRAVITY (15/4°C)	0.755~0.770	0.770~0.785	(60°F/60°F) 0.76~0.78		0.763	0.748~0.754	
POUR POINT (°C)	0	15 Max	65°F Max				
FLASH POINT (°C)	85	110	220°F		185°F		
ANILINE POINT (°C)	83~93	88~98					
BOILING RANGE (°C)	210~260	250~300					
Molecular weight					189	162~167	
Colour				Gardner 5	27	(Saybolt) 25	+30

注: 分析法は各社統一されたものではない。

第5図 輸入飼料推移 (1969)

ここでとくにもっともその利用が期待できる水産養殖についてふれておくことにしよう。

昭和43年における水産庁の配合飼料の使用量は8.5万トンでホワイトフィッシュミールの $\frac{1}{2}$ は石油蛋白で代替できるとされている。

42年の魚粉輸入量は10.6万トン(55億円), 輸入の魚粉の価格は48,000円/トン(昭和38年), 68,000円/トン(昭和41年)であり量的にもかなり問題がある。

第3表 石油酵母の組成(鐘淵化学製)

一 般 成 分 (%)		ミ ネ ラ ル (%)	
水	4.47	Ca	0.14
粗 蛋 白	50.06	P	1.60
粗 脂 肪	1.78	ア ミ ノ 酸 (%)	
粗 纖 維	3.62	アスパラギン酸	4.71
粗 灰 分	8.11	スレオニン	2.55
可溶性無窒素物	30.96	セリニン	2.36
ビ タ ミ ン (mg/100g)		グルタミン酸	6.95
B ₁	0.85	プロリン	2.21
B ₂	22.80	グリシン	2.43
B ₆	1.22	アラニン	3.05
ナイアシン	175	シスチン	0.88
コリン	0.74	バリン	2.72
ピオチン	0.012	メチオニン	0.61
葉 酸	0.10	イソロイシン	2.73
B ₁₂	0.02	ロイシン	3.47
ミ ネ ラ ル (%)		チロシン	1.65
K	1.80	フェニールアラニン	2.19
Mg	0.27	トリプトファン	0.61
Zn	0.08	リジン	3.77
Fe	0.03	ヒスチジン	1.11
		アルギニン	2.08

(東海区水産研: 田中二良)

水産庁が石油酵母を養魚飼料の蛋白源として使う試みが 43 年より始まった。コイ、ウナギ、ニジマス、ハマチなどで一般に好ましい成績を示したといわれている。44 年にはさらにアユ、マダイ、クルマエビを加えて全国 17 カ所の水産試験所で実施しているが、とくに目新しい知見はない。*

この種の実験に使用された鐘淵化学の石油蛋白の組成は、第 3 表に示しておいた。

以上日本はその特許性からとくに飼料用石油蛋白の企業化に力を注いでいるが、この環境はイギリスにおいても同等の立場であり、ゆえにイギリスでは BP や ICI, Shell などが米国勢に比較して積極的にこの問題に取り組んでいる姿は、日本のそれと類似している。しかし彼らは石油蛋白以外の非蛋白窒素素源の飼料化にも真剣に取り組んでいる。日本でも最近数社が尿素の家畜用窒素素源としての利用に力を入れていると聞いているが、石油蛋白より遙かに近い射程内にあるように思われる。アメリカでも尿素が牛の飼料として年間 30 万トン使用されていることを思えば、日本がその初期にフィードの仕方のまづさから、牛に尿毒症を起こさせて殺したという苦い経験からこの分野に臆病であるのはこの際考え直すべきであろう。以上主として飼料用の話をしてきたが、しからば食料用としてはどうか。これが実はこの文の主題ではあるのだが。

石油蛋白は簡単に将来食用として有望であるといってもそれは遙か長期的視野にたつてであって、おいそれと片付く問題ではない。人々がなぜ食料を求めるかを分析してみると大体次の 4 つの目的と考えられる。

- (1) 栄養源
- (2) エネルギー
- (3) 楽しみ (娯楽, 趣味)
- (4) ステータス (金銭的, 地位, 身分)

今一般に石油蛋白が人間の食用に適しているといわれているのは、あくまでも前者の(1)(2)についてであり、(3)(4)については全く無視されていると考えなければならない。これら項目を解決するためには次の 9 つの問題を解決しなければならない。

- (1) 栄養ということに対する教育の不足
- (2) 製造原価の問題
- (3) 輸送問題
- (4) 保存, 貯蔵の問題
- (5) 社会習慣の問題

- (6) 宗教的信念の問題
- (7) 社会地位, 身分の問題
- (8) 味
- (9) 政治上の問題

これらをひとつひとつ解決してゆくことが前述の 4 項目を満たし、同時に石油蛋白が食用として受け入れられることになるわけである。

以上 9 つの条件がわずか数年のオーダーで解決されるとはちょっと思えない。

そのためにはたゆまぬ研究開発と同時に地味な食品に対する教育, 説得という仕事が必要となってくる。もちろん石油蛋白であるという事実を隠してソーセージなどに混入するという手段を用いれば別ではあるが、長い将来の石油蛋白のために早く Market に出すということよりも、安全なしかも Market に容易に入ってゆけるものを開発してゆくべきであろう。

8. 製造上の問題点

さきに私は技術的に日本の数社が解決をみたと述べたが実際にはその詳細を知ることはできないので、当面日本を除く欧米企業が遭遇している石油蛋白製造上の問題点を考えてみよう。

- (1) 酸素の移動
- (2) 熱の移動
- (3) 石油の醗酵槽内での分散性
- (4) 細胞中に残存する原料油
- (5) 菌体の回収
- (6) 菌体膜の破壊
- (7) 純蛋白の分離

という難問が山積みしている。このうちおもなもの 2 ～ 3 つについて少し述べてみたい。

酸素の必要量は炭水化物を基質とする場合に比べて、増殖菌体量当たり従来の約 3 倍を必要とする。またその結果増殖菌体量当たりの発熱量もまた 2 倍以上になる。しかし一般に Doubling time も長いので Waldhof 型醗酵槽で充分利用できるといわれているが決して楽観は許されない。基質と酸素必要量および発熱量* は

基 質	酸素必要量	発 熱 量
	g 酸素/g 菌体	kcal/g 菌体
炭 水 化 物	1.0	3.8
α-パラフィン	3.3	7.0
メ タ ン	5.0	—

* 新飼料開発研究中間報告会

昭和 44 年 10 月 22 日～24 日 (於 彦根市)

* Wang, D. I. C.; C. E. 26, 99～168 (1968).

となる。また Generation time を短くすることによる酸素の必要量も大いに異なってくる。

Micrococcus orificans を用いたとき

(1) 2.7 倍 Generation time (最小)

7.7 *n*-パラフィン+89O₂+22 無機塩, アンモニア
etc→100 乾燥菌体+62 CO₂+26H₂O

(2) 5.3倍 Generation time (最小)

89 *n*-パラフィン+127 O₂+22無機塩, アンモニア
etc→100乾燥菌体+97 CO₂+41 H₂O

すべての Bacteria はその成長の際 高度の発熱反応で、たとえば 5,000~10,000 Btu/lb 菌体という値を示す。上の(1)式の短い Generation time のときでさえも Cooling に必要な費用は醗酵費(醗酵費とは原料代、および醗酵に要する費用と集菌費の和と考える)の 40% を示すといわれ、さらに(2)式のごときより高い Generation time のときは 60% にも達するといわれている。

次に菌体の分離と精製であるが菌体の大きさは平均で酵母が5ミクロン前後、バクテリアが1~2ミクロンで、培養液との比重差がきわめて小さいので技術的に容易な作業とはいえない。通常分離板型遠心分離機が実用的な唯一の機種であると思われるがいずれにしろ

- (1) 強力な遠心力
- (2) 脱泡機構
- (3) 接液部のサニタリー構造
- (4) 密閉構造にして、液および濃縮物の雑菌による汚染物を防ぐ
- (5) 大容量処理

などを念頭に入れて機械の選定が必要となってくる。

さらに菌体の乾燥* についても次のような問題点がある。遠心分離機による濃縮液中の固形分濃度は 10~15% で、従来の小規模の酵母培養では乾燥器として何を使用しても問題は少ないが、ドラムドライヤーでは水分蒸発能力は 20~60 kg/m²Hr であり、乾燥菌体 8 ton/Hr と仮定すると(年産6万トンとして)これの乾燥のためには 8~10 倍の水分の蒸発を必要とし、すなわち 60~80 ton/Hr でドラムドライヤーの表面積は 1200m² 以上となる。これに対し、spraydryer が建設費の面では少額で済むが動力費は割高でありまた日本の高湿度を考えると問題がさらに複雑化すると思われる。

第6図に製造工程図を記した。

9. 栄養学的問題点(安全性)

n-パラフィンの製造法について考えてみると、トッ

* 黒沢慶二; 石油と石油化学: 7月号 102 (1969)

第6図 蛋白濃縮物製造工程図 (B P 社提供)

パーでライトガスオイルからヘビーガスオイルの最低および最高沸点溜分は 200~330° にわたるが原油中のもっとも多いといわれる 3,4-ベンツピレンは沸点が470°C であるから軽油中には混入されないと思われるが必ずしも混入率0とはいえないし、また、重質油中から *n*-パラフィンをぬくとすると若干異なった現象となる。また、モレキュラシーブ(または尿素アダクト)の工程を経る

がシーブの場合は $50 \text{ \AA}$ の穴のゼオライトのなかに n -パラフィンの短径がこれ以下なので選択的に吸着される。いずれの場合でも n -パラフィンは発煙硫酸によって洗浄されるので多環の芳香族はスルホン化され発煙硫酸中に残る。4環のビレンが混入してくる可能性はあるが他の発ガのン性物質存在は考えられない。

5環化合物はとくに発ガン性が強いといわれている。

以上のごとく十分考慮された精製 n -パラフィンには発ガン性物質は混入されていないので n -パラフィンからの上記の発ガン性物質は皆無といえる。しかしアメリカの FDA では芳香族の含有量が ppb の単位で混入していれば FDA の許可はとれないという考え方に基けばまだまだ問題が残るそうである。

この安全性については 44 年 8 月下旬厚生省食品化学課は現在計画の具体化しているメーカーを呼んで意見を聞きその安全性についての疑問を投げかけたのが今日尾をひいている。また 44 年 9 月 11 日に開かれた食品衛生調査会では、石油蛋白を作る際に利用する微生物はカビなどの有毒なものをつくる可能性があり、この面からの安全性テストが必要だという意見を出した。

現在までのところ安全性のテストとしては外部の専門機関 2 か所で行なっていて、それは

(1) 大阪大学医学部ガン研究室 坂本幸哉教授

(2) 慶応大学医学部 山下久雄教授

で、前者はラットを使い慢性毒性の有無を調べ半年間実験したが異常が認められなかった。後者はマウスを使い慢性毒性のテストを行なったが異常がなかったと報告している。

以上理論的に問題がないといわれ、一部のテスト結果でも同様の見解を発表しているが、できれば 10 世代ぐらいまでの慎重な毒性試験の結果を示してほしいと思う。

10. 食用としての石油酵母のタンパク質

a) 分離

石油蛋白の場合は菌体をアルカリまたは尿素中で攪拌するとまずその粗蛋白量の 75 % が抽出され、この乳濁液から抽出粕を遠心分離で除去し、抽出液だけを集める。ある種の透過膜は小さい分子量の化合物は自由にそれを通してることができるが、タンパク質のような大きい分子はこの膜を通してできない。ゆえにセロファン袋に入れた抽出液を十分長い時間大量の水中に浸しておくと、抽出に用いたアルカリ（または尿素）や菌体から抽出された物質のなかの分子量の小さいものは取り除かれ

る。袋中に残った溶液をさらに処理して最終的にはタンパク質を沈澱させたのち乾燥させる。

b) 栄養価

石油酵母の分離タンパク質の栄養価を比較したものを第 4 表に示す。

分離タンパク質 A, B, C, はみな基準にとった全卵タンパク質の栄養価には及ばないが、大豆蛋白と比較するとまさるとも劣らない栄養価を示している。

c) 消化率

このような蛋白質が体内でうまく消化されるかどうか重要な問題であり、消化率をよくすることがタンパク質を菌体から分離することのひとつの目的であった。

第 7 図は胃のなかに存在するタンパク質分解酵素であるペプシンを用いて試験管中で行った消化試験の結果

第 4 表 石油資化性菌分離タンパク質の栄養価 (A/E¹比)

(舩田久輝氏講演より)

アミノ酸	分離タンパク質			大豆タンパク質	全卵タンパク質
	"A"	"B"	"C"		
イソロイシン	126	126	208	123	129
ロイシン	189	196	184	179	172
リジン	155	138	136	150	125
含硫アミノ酸	80	81	56	55	107
芳香族アミノ酸	185	205	242	236	195
スレオニン	106	106	82	93	99
トリプトファン	34	33	42	33	11
バリン	149	149	125	109	141
E/T 比 ²⁾	2.72	2.75	2.51	2.46	3.22
タンパク価	63	65	41	39	100

1) 総必須アミノ酸量 (g) に対する個々のアミノ酸量 (mg) の割合。

2) タンパク質中の窒素 1g に対する総必須アミノ酸量 (g) の割合。

第 7 図 ペプシンの消化試験

である。分離した蛋白質はもとの菌体に比べると非常によく分解され、その消化率は牛乳カゼインに近い値となる。このように石油酵母から取り出したタンパク質は栄養化学的な立場からも大いに有望といえるであろう。

11. 石油蛋白製造計画

以上石油蛋白についての論を進めて来たが現在既に公にこれを企業化すると述べているのは、

(1) 国内

a) 鐘淵化学：6万トン/年、兵庫県高砂工場、酵母使用。*n*-パラフィン（丸善石油と合弁、*n*-パラフィン製造会社設立）を千葉高砂間専用船でピストン輸送する予定、稼動開始 46 年 1 月以降 所要資金 50 億円

b) 大日本インキ：12万トン/年、愛知県東三河、酵母使用。*n*-パラフィン（興亜石油？）稼動開始 46 年 4 月以降、所要資金 70 億円

の両社だけであり、協和醗酵は防府に 5～6,000 トン/年程度の plant 計画をしているというのがこれ以上の規模のものについては公表されていない。両社とも醗酵槽としては 240 m³ のものが攪拌能力などから考えてもっとも適当と考えている様子で、大日本インキは 60～70 槽、鐘淵化学は 40～50 槽といわれている。

このような莫大な設備を必要とすることは事実のようであるが、連続醗酵法あるいは多段連続法などを用いて設備費の縮小を計る必要がある。

(2) 国外

a) 英国石油 (BP)

(1) グレンジマウス(スコットランド(英国))
4,000 ton/Y, *n*-パラフィン利用
稼動開始 45 年 7 月

(2) Laveria (フランス)

16,000 ton/Y, 稼動開始 46 年 6 月
新たに製造および販売を行なう新子会社を設立
建設にはフォスターウィラー社が当たる*。

12. 第5表 飼料としての石油蛋白の需要見通し

(単位: 万 t)

	46年	47年	48年	49年	50年	51年	52年	53年
配合飼料需要	1,560	1,700	1,840	2,000	2,180	2,380	2,590	2,820
石油蛋白需要	15	35	46	46	76	95	117	141
混入率	1.0	2.0	2.5	3.0	3.0	4.0	4.5	5.0

(通産省)

* European Chem. News, Oct. 24, 1969.
C&EN., Feb. 2, 1970

13. おわりに

いうまでもなく日本は世界の醗酵界をリードしている。なかんずく大手数社はその実力から考えて石油醗酵による蛋白の生産に容易に進出できると考えられるが、石油蛋白の生産に関して必ずしも優位であるとはいえない。確かに新菌種の開発や探索については難なく突破するであろうが、石油を資化するバクテリアや酵母は地球上に広く存在していてこれを見出すのは比較的容易である。現にアメリカのイリノイ大学のカロ博士は、菌種の開発はノンクレジットであるとまで明言している。時間の差はあってもあまり問題にならないという根拠に基いての発言であろう。また BP のごとくもっとも早く商業ベースのプラントを建設すると考えている会社でさえも、7割は生物工学的問題と生化学的なもので、従来の醗酵技術の応用はせいぜい3割程度であろうといっている。少なくとも飼料用として石油蛋白を考えるならばその際の勝負を決めるものは原料価格であり、この際もっとも原料として安価なものを使用した企業が初めて採算点に達するものと思われる。現在はどうかと石油蛋白が莫大なマーケットをもつ飼料業界へ進出するためには安定した品質と量を安価に供給することがこの分野の大きな課題である。

こう考えてくると、食品用石油蛋白のほうが企業としては以外に早く採算に達するかもしれない。Esso-ネッスル、フィリップス-ゼネラルミルズ、など米国石油会社が進めつつある食品会社との提携による研究開発の方向が意外と本命であることが実証される日が訪れるかもしれない。人道的な立場をも含めて石油蛋白の食品分野への進出を大いに期待しながら地道な研究開発を押し進めることを期待したい。(昭和44年7月18日、日本食品工業学会近畿支部設立総会、記念シンポジウムにて講演)

一般文献

- 1) Protein food supplement: Noyes, Development C. (1969)
- 2) Single-Cell Protein: MIT Press (1968)
- 3) Theoretical, Methodological Basis of Continuous Culture of Microorganism: Academic Press (1966)
- 4) 樹田淑郎: 石油と石油化学, 5月, 12月, (1967)
- 5) 山田浩一: 石油と石油化学, 8月 (1969)
- 6) Hydrocarbon Processing: 3月号 p. 95~112 (1969)