

微小藻類의 應用研究(概觀)

이 원 호

군산대학교 해양학과

Applied Researches on Microalgae(Overview)

Won-Ho YIH

Department of Oceanography, Kunsan National University,

Kunsan 573-360, Korea

Trends in the applied microalgal researches were described as those in two separate periods. During the first period (earlier than 1970), most researches were oriented to using the whole microalgal cells as feed, food, fertilizer, and agent for the treatment of organic waste water. Since early 1970's (the second period) the number of researches on the production of specific cell metabolites has grown so rapidly. Many researchers endeavored after the very expensive 'natural products' from microalgae such as vitamins, amino acids, β -carotene, phycofluor, pharmaceuticals, biologically active compounds, H_2 gas, and deuterated chemicals. On the other hand, the applied microalgal researches in Korea are still in the early stage of developments, and urgent activation of the related researches is quite important to meet the future needs in the microalgal products. Systems for the management of the microalgal clonal cultures from Korean waters should be established soon, which will support many microalgal researchers in Korea.

서 론

'微小藻類(Microalgae)'는 대개 물속에서 성장하며, 산소발생 광합성 대사기능이 있고 크기가 현미경적인 植物을 일컫는 말이다. 이 가운데는 그의 성장 환경에 따라 식물플랑크톤(물속에 떠서 사는 것), 附着 미소조류(다른 동식물이나 퇴적물입자 또는 인조물 등의 표면에 붙어 사는 것), 누스톤(대기와 수표면 사이에서 사는 것) 등의 생태적 집단들이 있어 각기 특징적인 구조와 기능을 나타낸다.

바다에서 이들 미소조류가 다른 해양생물들에게 필요한 有機物質의 거의 대부분을 생산함을 알게 된 이래(Gran, 1912), 많은 학자들이 海洋 微小藻類의 분류, 분포, 진화, 생태, 생리, 생화학 및 유전 등의 다양한 분야에 걸친 연구에 계속하고 있다.

실용적인 측면에서는 주로 미소조류의 防除(Evans, 1981)와 굴 幼生の 먹이가 되는 식물플랑크톤의 소규모 배양 등에 관한 연구(Bruce et al., 1939)를 1950년대 이전부터 시작하였으며, 이차세

계대전 이후 이들을 '미래의 식량'으로써 연구하게 되었다(Burlew, 1953). 이들 세포체(그 자체가 작은 유기물 덩어임)를 사료(Burlew, 1953)나 비료(De, 1939)로 사용하거나, 이들로부터 액체 및 기체 연료를 생산하려는 연구(Gaffron and Rubin, 1942; Golueke et al., 1957)도 있었다. 이 가운데 식량이나 기체 연료를 위한 연구는 '태양에너지 이용'(Tamiya, 1956)이라는 입장에서 추진하였다. 이와 함께 有機物 폐수의 處理에 미소조류를 이용하기 위한 연구도 이 시기에 시작하였다(Oswald et al., 1953).

1960년대에는 이들 세포체의 대량생산의 경제성에 관한 논란이 많았으나(Tamiya, 1957), 1970년대 들어서면서 부터는 이들의 소규모 배양을 통한 細胞代謝 특성물질의 이용가치와 이들 물질의 생산 가능성에 관한 연구를 많이 하게되었다. 즉, 이들의 대사 특성물질 가운데 건강식품, 식품첨가제, 향압 물질, 향생물질, 독성물질, 사료 첨가 성분, 의약품, 시약, 각종 연구용 시약 및 무공해 연료 등으로 응용할 수 있는 성분을 추출하고, 이들의 성능, 분자

구조, 생산가능성 등을 연구하게 되었다. 더 나아가 지금은 이러한 特定物質의 세포내 함량 및 생산율을 증가시키거나 특정물질의 생산을 誘導하기 위해, 여러가지 환경변조 실험(Chelf, 1990)과 遺傳子 조작기법(Owtrim and Coleman, 1987; Kirshtein et al., 1991) 등을 응용하고 있는 단계에 있다. 세포대사 특성물질의 응용연구는 미소조류의 세포체를 대량 생산하는 방식보다 單位 배양시설 當 경제성이 훨씬 높기 때문에, 실내 배양으로서도 상업성을 유지할 수 있다는 장점이 있다. 동시에 유기화학적 합성에 의존하던 일부 물질을 생물체를 통하여 얻음으로써(Mann, 1990), 생산된 천연물질(Aaronson et al., 1980)을 인간에게 적용할 경우 위험성이 상대적으로 감소한다는 잇점이 있다.

이 논문에서는 이와 같이 급변하고 있는 微小藻類의 實用的 研究 趨勢를 中心으로 그 연구의 시작이 대체로 1970년도 이전인 것과 그 이후인 것을 兩分하여 살펴보고자 한다.

1970년 이전에 시작된 微小藻類의 實用的 이용 연구

1. 굴 幼生の 養殖을 위한 미소조류의 培養

1934-1938년의 기간 중에, 직경 1.5~7.0 μ m 정도의 微細鞭毛藻類(nano-phytoflagellates) 6種을 純粹分離하여 배양한 후 이들을 굴 유생의 먹이로 이용하는 實驗에서, Bruce 等(1939)은 6종 가운데 2종(후에 *Isochrysis galbana* 및 *Pyramimonas grosii* 으로 밝혀짐)이 영양학적으로 아주 우수하다고 하였다. Korringa(1952)는 이 실험 이후의 관련된 연구 결과들을 정리하였다. 위의 두종 이외에 *Chlorella*, *Chlorococcum*, *Cryptomonas*, *Chromulina*, *Cyclotella*, *Dicrateria*, *Dunaliella*, *Hemiselmis*, *Monochrysis*, *Platymonas*, *Phaeodactylum* 屬 등의 영양학적 가치에 관한 연구도 수행되었다(Imai, 1971). 미국에서도 1960년대 중반에 굴의 생산이 1910년대에 비해 약 1/100水準으로 急落하자, 이 분야에 대한 본격적인 연구를 시작하였다(Ukeles, 1980).

최근에도 꾸준히 계속되고 있는 이러한 연구에서는(Volkman et al., 1989), 양식대상 생물의 종류도 다양해져, 二枚貝, 어류, 새우류, 동물플랑크톤 등이 포함된다. 이 중 동물플랑크톤(rotifer, copepod, cladoceran 等)은 다시 다른 양식생물의 먹이가 된다. 1980년대부터는 이미 이러한 미소조류들의 대량생산 기술과 생산단계에 관한 실질적인 연구가 수행되고 있다(De Pauw and De Leenheer,

1985).

2. 미소조류 蛋白質

食品이나 家禽의 飼料로써 연구해온 미소조류의 단백질 함량은 대부분 乾重量으로 40~70%에 이르고 있다(Becker, 1988). 미소조류를 식품으로 이용한 기록을 보면, 1512년 훨씬 이전부터 Tenochtitlán(지금의 멕시코 시티) 原住民들이 'tecuitlatl' 이라고 부르던 남조류 乾燥品 과자(Farrar, 1966)와 아프리카 Chad 원주민들의 *Spirulina platensis* 乾燥品 과자(Léonard, 1966) 등의 例가 있어, 이미 오래전부터 人類가 이를 이용해 왔음을 알 수 있다.

이차세계대전 中 Harder and von Witsch(1942)는 珪藻로부터 β -carotene과 식물성 기름을 얻을 수 있다고 제안하였고, 大戰 후에는 미래의 식량난에 대비하기 위하여, 미국 카네기 연구소의 후원으로 미국, 독일 및 일본에서 *Chlorella*의 大量培養에 관한 연구를 추진하였다(Burlew, 1953). 그러나 商業的인 대량생산 단계까지 이르지도 못하였을 뿐 아니라, 식품으로서의 安全性(Becker, 1986) 및 경제성이 적절치 못하여(Tamiya, 1957), 잠시 연구를 소홀히 하게 되었다(Burlew, 1953). 반면에 일본에서는 *Chlorella* 大量培養 時의 문제점을 적절히 해결하여, 1965년 경에는 이미 시장성 있는 대량생산 단계에 진입하였으며, 1977년에는 *Spirulina*의 생산도 시작하였다(Soeder, 1986). 대조적으로 한국에는 1977년에 단 하나의 *Chlorella* 생산 공장이 있었다(Kawaguchi, 1980). *Spirulina*는 단백질 함량이 건중량의 70%에 이르며(Becker, 1988), 최적환경 조건이 高溫, 高鹽, 高 알카리 등의 예외적인 상태이므로 다른 競爭者를 배제할 수 있고, 세포벽도 소화가 잘되는 장점이 있다. 이미 1960년에 食用可能性이 舉論되었으며(Durand-Chastel, 1980), *Spirulina* 대량생산을 위한 기초연구도 활발하다(Vonshak, 1987). 또한 멕시코는 천연환경이 특별히 유리하여 세계 최대의 *Spirulina* 生産國이 되었다(Durand-Chastel, 1980).

미소조류 이외에도 세균, 효모, 원생동물에 이르는 광범한 種類 가운데, 소위 食品 '單細胞蛋白質'(SCP, single cell protein)로 이용할 수 있는 단세포 생물들을 대량생산 하기 위한 연구를 일차세계대전 中에 독일에서 시작하였다. 이차대전 中에 독일에서는 연간 16,000톤의 'Torula' (wood sugar yeast)를 음식물에 첨가하여 식품으로 공급하였다(Bressani, 1968). 그 후 박테리아 가운데 *Escherichia coli*는 어린 쥐 및 병아리의 飼育實驗에서 훌륭한 단백질 보충제로 확인되고(Roberts, 1950,

1953), 1963년에 탄화수소(석유)를 이용하는 세균(*Pseudomonas*)의 세포 단백질을 식용으로 생산하기 위한 기초연구 논문이 발표되자(Takahashi et al., 1963), 이 분야에 여러나라에서 연구력을 집중해왔고, 그 첫번째 회의가 1967년 미국 MIT에서 있었다(Mateles and Tannenbaum, 1968).

3. 有機物廢水의 처리

유기물 폐수의 처리와 동시에 동물사료의 생산을 목표로 하는 'HRAP' (high-rate algal pond) system은 본래 캘리포니아대학의 Oswald 연구팀이 착안한 것이다(Oswald et al., 1953; Gotaas et al., 1954). 이는 미소조류의 성장에 필요한 營養成分이 풍부한 유기물폐수를 淡水 또는 海水와 섞어 만든 培養水에서 미소조류를 고속배양하는 장치이다. 이로써 수중의 산소농도는 높아지고 영양염농도(N, P 등)는 아주 낮아지게 되며(폐수 처리), 동시에 'albazod'라 불리는 '미소생물덩이' (Soeder, 1984)가 부산물로 생긴다. 그 이후 對象 폐수의 종류도 다양해져, 생활하수(Ryther et al., 1975)와 都市하수에까지(Shelef et al., 1978) 이르고 있다. Ryther 등 (1975)은 다단계 배양기법을 연구하였다. 즉, 미소조류 연못에서 성장한 세포체를 패류 양식장으로 보내 먹이로 활용하고(패류 양식장에는 다모류나 새우류 등을 함께 자라게 하여 처리수의 완벽성을 추구하였음), 패류 양식장의 排水水를 대형조류(*Chondrus*, *Ulva* 등) 배양장으로 보내어 수중의 질소영양염 농도를 평균 연안 해수중의 농도와 대차없이 처리하였다. Oswald(1988)는 이 분야의 연구를 정리하였다.

4. 藍藻類 - '생물비료'

논에서의 질소 고정자로서 藍藻類를 '생물비료'로 이용하려는 着想은 인도의 De(1939)에서 비롯되어, Watanabe 등(1951), Venkataraman(1981) 등 아시아의 학자들을 중심으로 연구되고 있으며, 필리핀에는 IRRI(International Rice Research Institute)가 있어 이에 관한 구심점으로 알려져 있다. 또한 이용되는 藍藻類의 종류도 독자적으로 질소 고정을 할 수 있는 단세포체로부터 다세포 藍藻類 및 藍藻類 공생 양치류인 *Azolla*(Moore, 1969; Boushiba, 1988)에 이르기까지 다양하다.

5. 우주탐사와 미소조류

미소조류 成長時 발생하는 산소 기체를 宇宙船이나 宇宙停車場에서 인간의 호흡을 위해 이용하

려는 연구를 1960년대에 미국과 소련에서 시작하였다(Soeder, 1986). 미국에서는 1970년대에 이러한 용도로 'algatron' 이라는 生物反應機(bioreactor)를 개발하였고(Shelef et al., 1970), 소련에서는 우주선내에서 인간의 배설물을 미소조류가 이용하고 거기서 자란 *Chlorella*를 인간이 다시 먹는 '폐쇄순환적 생물반응 장치'를 연구하였다(Soeder, 1986).

1970년 이후에 시작된 微小藻類의 實用的 이용 연구

미소조류의 실용적 연구분야에서 1970년 이후에는 세포체를 직접 이용하려는 분야의 연구 이외에, 細胞代謝 特性物質 中 유용한 성분을 추출, 분석, 생산하려는 새로운 연구가 빠른 속도로 발전해 나가고 있다.

1. 비타민(vitamins)

미소조류는 일반 식물과 마찬가지로 비타민을 요구하기도 하고(Provasoli and Carlucci, 1974) 스스로 만들어 내기도 한다. 이렇게 만들어진 비타민 가운데 경제성이 있는 종류는 비타민 B₁₂와 비타민 E (Borowitzka, 1988) 및 비타민 C (Benemann, 1989) 등이다. 현생 미소조류는 총 24,000 餘種에 달하며 이 가운데 약 500 여종이 culture collection 으로 보관되어 있으나, 경우 60 여종에서만 비타민의 함량이나 비타민 배출 여부가 보고되었을 뿐이다(Borowitzka, 1988). 이는 비타민 생산에 관련된 미소조류의 기초연구가 아직도 시작 단계에 있음을 의미한다(Carlucci and Bowes, 1970; Carlucci, 1974). 그리고 종에 따라 비타민 함량에 큰 차이가 있어, 앞으로 새로운 有望種을 選別해 내는 연구도 가치가 있다. 한 예로 *Spirulina*에는 다른 녹조류에 비해 비타민 B₁₂의 함량이 10배 정도나 높다(Becker, 1986).

2. 베타-카로틴(β -carotene)

식품 着色劑, 어류(Schiedt et al., 1985) 및 닭(Ben-Amotz et al., 1986)의 먹이 中 천연색 강화용 사료 添加物, 사육우의 건강 및 생식을 증진제(Jackson, 1981), 항암제(Suda et al., 1986) 등으로 응용할 수 있는 β -carotene은 모든 종류의 미소조류에 존재하는 副色素의 하나이다. 특별히 녹조류 中 *Dunaliella*는 배양 환경 조건이 적절하면 매우 높은

β -carotene의 함량을 보인다 (Borowitzka et al., 1984; Ben-Amotz, 1987). 현재 상업적으로 *Dunaliella*를 배양하는 회사가 濠洲, 미국 및 이스라엘 등에 5개 이상 있으며, 이미 β -carotene 제품을 판매하고 있다 (Ben-Amotz and Avron, 1989). 유전자 조작 기법(Craig and Reichelt, 1986)을 포함한 *Dunaliella salina*의 carotenoid 함량에 관한 기초연구는 아직도 계속되고 있으며(Borowitzka et al., 1990). 이와 함께 새로운 특허가 계속 발표되고 있다(Sam Ei Industries KK, 1989a-d, Gudin et al., 1989)

3. phycofluor

藍藻類 및 紅藻類의 빛 에너지 흡수 補體인 phycobilisome을 구성하는 기본단위가 되는 phycobiliprotein은 水溶性이며 藍色 또는 붉은색을 띤다. 이 phycobiliprotein은 해당 apoprotein과 prosthetic group인 색소 phycobilin으로 되어 있다. 세 종류의 phycobilin(phycocyanobilin, phycoerythrobilin 및 phycourobilin과 두 종류의 apoprotein(α , β)이 조합을 이루어 결정되는 phycobiliprotein에는 각기 광흡수 및 형광특성이 뚜렷하고 독특한 4종류가 있다 (Lee, 1989). 이들 phycobiliprotein을 특별한 생물활성 분자와 결합할 수 있는 단백질 분자와 결합시킨 합성체를 'phycofluor'라고 하며(Glazer and Stryer, 1984), 결합된 생물활성 분자가 항체일 경우 여러가지 면역학적 응용분야에 이용될 수 있다. 또한 phycofluor의 광학적 특성이 보통 쓰이고 있는 fluorescein에 비해 10배 정도 더 우수하고(Ong et al., 1984), 네 종류의 phycobiliprotein을 한광자의 입사광으로써 각각 추적할 수 있기 때문에(Waterbury et al., 1989; Wilson, 1989) 3색내지 4색의 세포 분류가 가능하다(Hardy et al., 1983). 이러한 용도로 판매되는 phycobiliprotein은 그 가격이 kg당 10,000달러 이상이다(Benemann et al., 1987). 대상 미소조류는 藍藻類 *Spirulina*, *Synechococcus*, 紅藻類 *Porphyridium cruentum* 등이며 (Ong et al., 1984; Cohen, 1986), 점차 시장규모도 확대되어 가고 있다(Allnutt and Kenneth, 1991).

4. 약제 생산 및 생물활성 물질

아직 본격적인 상품생산 단계에 있지는 않으나 현재 많은 기초연구를 진행하고 있는 분야중의 하나로서, 미소조류 세포체나 배양액 추출물을 응용하는 연구를 들 수 있다. 항비루스(Munro et al., 1987), 항박테리아(Reichelt and Borowitzka, 1984; Baker, 1984), 항곰팡이(Havorsen et al., 1984; Mu-

rakami et al., 1988), 항종양(Kobayashi et al., 1986), 항암 및 항에이즈(Munro et al., 1987; Patterson et al., 1991), 神經系統 調節(Baker, 1984; Curtin, 1985), 血壓 調節(Yamaguchi et al., 1989). 赤血球 分解(Mitsui et al., 1989; Edvardsen et al., 1990) 등의 능력에 대한 평가와 원인 물질의 분석에 관한 연구 등이 그 예이다(Moore et al., 1989). 사람의 필수지방산이며 C_{20} 화합물(prostaglandin 등)의 天然 前구물질인 arachidonic acid는 대개 동물조직(간, 부신)으로부터 생산해 왔으나, 홍조류인 *Porphyridium cruentum*의 arachidonic acid 함량이 매우 높음을 알게된 이후, prostaglandin 생산체계의 일부로서(Nippon Oils and Fats KK, 1989) *P. cruentum*의 배양을 응용할 수 있게 되었다 (Anhern et al., 1983; Nyberg and Koskimies-Soinien, 1984; Arad, 1986). 微小藻類體의 추출물 속에 발효미생물(Fingerhurt et al., 1984), 식물조직 및 세포(Maeda and Tanaka, 1984), 동물세포(Kumamoto, 1984) 등의 성장을 촉진하는 성분이 들어있어, 이에 대한 연구의 결실이 특허로 발표되었다(Daiichi Seimo KK, 1988a-c; Pentel KK, 1989a-b). 진복 및 패류의 幼生の 機能 및 定着 誘導物質인 GABA(γ -aminobutyric acid) analog(Morse and Morse, 1984)가 홍조류에 속하는 대형조류로부터 추출되었는데, 미소조류인 *Porphyridium cruentum* 역시 같은 물질을 생산하는 것으로 밝혀져 (Thepenier et al., 1988) 연구의 대상이 된다. 毒性을 갖는 규조류(Martin et al., 1990) 및 쌍편모조류의 toxin을 정제할 경우 醫療분야에 응용할 수 있음을 알게된 후 (Kao, 1966), 이에 대한 연구는 公中衛生, 독극물 對備戰術 및 의료분야에까지 확장되어 많은 연구결과가 보고되었다(Padilla et al., 1977; Curtin, 1985; Kobayashi et al., 1986; Shimizu, 1978, 1987).

5. 燃料 生産

微小藻類로부터 燃料(기체 및 액체)를 생산하는 방법에는 크게 보아 두가지가 있다. 첫번째 방법은 그 자체가 유기물 덩이인 미소조류를 혐기분해(anaerobic digestion, Golueke et al., 1957; Golueke, 1980)시켜 그로부터 메탄이나 탄화수소 등을 얻는 것이다. 두번째 방법은 미소조류의 종류와 배양환경에 따른 代謝 特性物質 가운데, 연료의 전구물질(例, glycerol, Whitesides and Elliott, 1984), 탄화수소(Benemann et al., 1986), 탄화수소(Johnson, 1988) 등을 직접 생산하는 것이다. 이 분야는 '일회용 화석연료'를 대체할 '再生産 生物燃料'로

서 많은 연구의 대상이 된다. 최근에는 대기오염을 줄이기 위한 연료대체 방법의 하나로써, '알코올 자동차'까지 등장하고 있어, 이 분야의 밝은 전망을 예시하고 있다.

6. 水素와 관련된 연구

특정한 환경조건 하에서 세포대사 특성물질로서 기체 수소를 생산하는 미소조류가 있음이 처음 입증된 이래(Gaffron and Rubin, 1942), 이를 효율 높은 청정 에너지로 활용하려는 연구가 계속되었다(Crawford, 1990). 특히 수소 가스 생산연구는 생산 수단이 단순하다는 점 이외에, 연료 사용時 無公害라는 점, 수소생산과 동시에 미소조류 세포물질이 부산물로 생긴다는 장점이 있다(Mitsui and Kumazawa, 1977). 수소 가스 생산에 있어 'cell immobilization technique' (Mosbach, 1982)을 이용하여 생산성을 크게 높인 예도 보고되었고(Phlips and Mitsui, 1986; Hall et al., 1987), 폐수 처리와 동시에 수소를 생산하려는 연구도 진행중이다(Mitsui et al., 1985; Mitusui, 1987). 최근에는 수소생성과 동시에 발생하는 산소 기체의 부정적 영향을 최소화하기 위한 연구가 세포생리학적 측면(Lee et al., 1991) 및 유전공학적 측면(Mitsui, personal communications; Spiller and Shanmugam, 1986)에서 활발히 진행되고 있다. 수소가스를 연료로 사용할 경우 그 부산물이 '물'이므로 청정 에너지일 뿐 아니라, 순발력이 극히 큰 에너지 이므로 극초음속 공주수송의 실현에 있어 필수적인 연료자원이다. 이는 단순히 초고속 여객기(Victor, 1990) 뿐 아니라, 군사목적 및 우주탐사 분야에서도 획기적인 발전을 가능케 하는 자원으로 평가된다(Winter, 1990). 重水 속에서 성장·증식할 수 있는 미소조류들을 이용하여 생산된 重水素를 포함한 화학물질(deuterated chemicals)은 고온·고압 및 산화환경에서 저항성이 매우 강하다. 이 때문에 이들은 특수목적의 윤활유, 특수 광섬유 및 핵반응으로 重水中 첨가제 등으로 응용될 수 있다(Delente, 1987). 최근 Luo 등(1991)은 단세포 남조류를 이용하여, 천연해수 또는 임의의 배양액 속에 존재하는 重水の 농도를 증가시킬 수 있는 가능성을 제시하였다.

7. 식용유 생산

Thorpe 와 Retledge(1972)는 식용 '단세포 단백질' (SCP-single cell protein)과 비교되는 말로서, 식용 '단세포 지방(SCO-single cell oil)이라는 용어를 처음 사용하였다. 그 이후 효모의 배양으로 지방을 얻으려는 분야는 이미 상업생산 단계에 이르

렀으며(Moreton and Clide, 1985), 그 외에도 식물 조직·식물세포(Tsai et al., 1982; Jones, 1984) 및 미소조류(Ben-Amotz et al., 1985; Chelf, 1990; Kyle et al., 1991)를 이용하려는 연구도 주목의 대상이 되었다. 녹조류에 속하는 *Botryococcus*(Largeau et al., 1988), *Dunaliella*(Casadeval et al., 1985) 및 홍조류의 *Porphyridium cruentum* 이외에도 羽狀 珪藻類 中 몇종(Chelf, 1990; Taguchi et al., 1987)에 대한 연구를 수행하게 되었으며, 기대되는 분야로 평가를 받고 있다(Scragg and Leathers, 1988; Roessler, 1990).

8. 기 타

미소조류의 biliprotein 및 부색소체를 추출하여 (*Chlorella* Kyogo KK, 1989; Gudín et al., 1989) 각종 天然 着色劑(사육생물—Matsuno et al., 1979; Foss et al., 1984; Spencer, 1989; Okada et al., 1991., 식품—Kato, 1977) 및 화장품(Dainippon Ink and Chemical, 1980, 1981)으로 응용하고 있으며, 대상이 되는 미소조류의 종류는 남조류 *Spirulina*, *Synechococcus* 및 녹조류 *Haematococcus* 등이다. 미소조류를 이용한 단백질의 생산단계를 넘어서서, 특정 아미노산(proline, aspartic acid, arginine 등)을 생산하기 위해(Benemann et al. 1987) 미소조류를 응용하는 연구도 활발하다. 최근에는 세포내 아미노산 생산과 관련된 효소의 기작에 관한 연구와(Palenik and Morel, 1990, 1991), 배양 중 아미노산의 종류 별 세포내 함량의 변화 요인에 관한 연구 등 심화된 연구를 수행하고 있다(Marsot et al., 1991). 대형조류로부터 추출해오던 phycocolloids (alginic acid, agar, carrageenan)의 새로운 供給源으로서 미소조류인 *Porphyridium cruentum* (Thepenier et al., 1988), *Rhodella* (Dubinsky, 1988), *Rissoella* (Mollion et al., 1988), *Dunaliella*, *Isochrysis galbana* 등을 연구함으로써, 천연자원의 채취에 의존해 오던 생산방식을 탈피할 수 있는 가능성을 찾게 되었다. 특정 미소조류의 세포 구성물질 및 배양액 중에는 凝集劑 및 吸着劑로 이용할 수 있는 것들이 있어(Zutic et al., 1981; Fattom and Shilo, 1984), 이들을 '생물기원' 응집제 및 흡착제로 개발할 수 있게 되었다(Shilo and Fattom, 1989; Lion Corp., 1989). 학술연구 및 의료분야에 활용할 수 있는 유기물로서, 특별한 종류의 방사성 동위원소(¹⁴C, ¹³C, ¹⁵N 등)로 분자내의 일정한 부분을 '라벨'시킨 유기분자를 생산하기 위해, 배양액 중에 무기물 형태로 해당 방사성 동위원소를 첨가해주는 대형조류 배양방법(Kollman et al., 1979)은 이미

개발되었다. 이 방법을 미소조류에 응용하여(Kerby et al., 1989) 단가가 매우 높은 純物質 생산할 수 있게 되었다(Delente, 1987).

에 관한 필수 材料 및 資料의 공급이 가능하게 되어, 이 분야의 빠른 발전을 뒷받침 할 수 있을 것이다.

맺 음 말

우리나라에서 미소조류를 實用的인 분야에 應用하기 위하여 실시한 최초의 연구 사례는 水産分野에서 '먹이생물'로서의 미소조류에 관한 연구일 것으로 여겨진다(Yoo, 1960, 1962, 1968, 1969). 최근에도 계속되고 있는 관련 연구에서는 윤충(Kim, 1986; Lee, 1988) 및 섬모충류(Park, 1989)의 대량 배양을 위한 먹이생물로서 이들 미소조류를 연구하고 있다(Yoo, 1984). 그러나 국내에서는 판매 단가가 매우 높은 유용생물의 仔稚漁用 사료를(Benemann et al., 1987) 아직도 독자적으로 생산하지 못하고 있는 실정이다. 食品業界에서 *Chlorella*를 식품첨가물로 응용하고 있으나 아직 '시도단계'에 불과하다. 廢水處理에 관한 연구 가운데서 미소조류를 포함한 '미소생물'을 응용하는 '생물학적 流動層'에 관한 논문이 수 편 발표되었으며(Lee and Lim, 1988; Jo, 1989), 미소조류의 세포 構成物質 가운데 特定成分을 분리하여 연구한 사례가 있으나, 아직도 체계적이고 본격적인 미소조류 실용연구의 단계에 이르지 못하는 못하였다. 쌍편모조류 수종이 생산하는 PSP(paralytic shellfish poisoning; Chang et al., 1988) 및 DSP(diarrhetic shellfish poisoning; Lee et al., 1989)의 원인독소에 관한 연구를 제외한다면, 미소조류의 대사특성 물질을 특별한 목적으로 이용하고자 하는 분야의 연구는 더욱 드문 실정이다. 따라서 대부분의 미소조류 製品 및 應用商品을 외국으로부터 수입하는 실정에 있으며, 이 분야에 큰 발전이 없는 限, 앞으로 그 수입품목의 수와 총가치는 급격히 증가할 뿐 아니라 영구적으로 對外依存 상태를 면치 못하게 될 것이다.

미소조류 應用研究 자체의 特性和 현재 우리나라 연구인력, 연구기반, 및 潛在力 등을 고려해 볼 때, 지금이 바로 미소조류의 실용적 이용분야를 힘써 개척해 나가야 할 시점인 것으로 판단된다. 그 개척의 첫 단계는 아마 각종 미소조류의 다양한 clonal culture를 채집·유지(Brand, 1990), 공급하는 역할을 맡는 clonal culture 관리소 체제를 구축하는 일 일 것이다. 이로부터 미소조류의 기초과학적 연구(藻類學, 生物海洋學, 環境學, 細胞學 등)를 위한 재료의 공급 뿐 아니라, 미소조류의 실용연구

요 약

미소조류의 응용연구 추세를 1970년을 기준으로 양분하여 조사하였다. 전반기(1970년 이전)에는 배양한 미소조류 세포체 자체를 이용하기 위한 연구가 많다. 이 때에는 유용생물의 먹이, 식용단백질, 생물비료, 유기물 폐수처리 등의 분야를 주된 연구 대상으로 삼았다. 1970년 이후(후반기)에는 미소조류 세포체의 대량생산 방식을 탈피하여, 미소조류의 세포대사 특성물질 중 유용성분을 생산하기 위한 연구가 급격히 증가하고 있다. 즉, 비타민, 아미노산, 베타 카로틴, phycofluor, 약제성분, 생물활성물질, 수소가스 및 중수소 화합물질 등 단가가 매우 높은 천연순물질의 생산을 목표로하여 연구력을 집중하는 추세이다. 국내의 관련 연구분야는 아직 초기단계에 있다고 판단된다. 미소조류 응용분야의 미래가능성으로 보아, 국내의 관련연구 수준을 시급히 향상시킬 필요가 있다. 이를 위해 국내에서 순수분리한 미소조류의 clonal culture를 관리하는 체계를 우선적으로 구축하여야 한다.

감사의 글

본 연구의 주된 부분은 저자가 한국과학재단의 1989년도 하반기 박사후 해외연수 지원대상자로 미국 플로리다주 마이애미대학교에서 연구하던 기간중에(1990. 4~1991. 12.) 이루어졌음을 밝혀 둡니다. 본 연구를 가능케 도와준 연수기관의 Larry E. Brand, Akira Mitsui 박사와 도서관(RSMAS Library) 직원들에게도 감사를 드립니다. 초고의 미흡함을 보완하여 주신 군산대학교 생물학과와의 이견형 교수님께 사의를 표합니다.

참 고 문 헌

- Aaronson, S., T. Berner and Z. Dubinsky. 1980. Microalgae as a source of chemicals and natural products. In *Algal biomass*. G. Shelef and C. J. Soeder (eds), Elsevier-North Holland.

- 575~602.
- Allnut, F. C. and S. Kenneth. 1991. Fluorescent pigments from algae. Program and Abstracts of 2nd International Marine Biotechnology Conference. Baltimore, Maryland, USA. p. 76.
- Anhern, T. U., S. Kotah and E. Sada. 1983. Arachidonic acid production by the red alga *Porphyridium cruentum*. Biotech. Bioeng. 25, 1057~1070.
- Arad, S. 1986. Biochemicals from unicellular red algae. Int. Indus. Biotechnol. 7. 281~283.
- Baker, J. T. 1984. Seaweeds in Pharmaceutical studies and applications. Hydrobiologia 116/117, 29~40.
- Becker, E. w. 1986. Nutritional properties of microalgae: potential and constraints. In CRC Handbook of microalgal mass culture. A. Richmond (ed.), CRC Press. 339~420.
- Becker, E. W. 1988. Micro-algae for human and animal consumption. In Micro-algal biotechnology. M. A. Borowitzka and L. J. Borowitzka (eds.), Cambridge University Press. 222~256.
- Ben-Amoz, A. 1987. Effect of irradiance and nutrient deficiency on the chemical composition of *Dunaliella bardawil* Ben-Amotz & Avron (Volvocales, Chlorophyceae). J. Plant Physiol. 131, 479~256.
- Ben-Amotz, A. and M. Avron. 1989. The biotechnology of mass culturing *Dunaliella* for products of commercial interests. In Algal and cyanobacterial biotechnology. R. C. Creswell, T. R. V. Rees and N. Shah (eds.), Longman Scientific Technical. 91~114.
- Ben-Amotz, A., S. Edelstein and H. Avron. 1986. Use of the beta-carotene rich alga *Dunaliella bardawil* as a source of retinol. Br. Poultry Sci. 846, 313~323.
- Ben-Amotz, A., T. C. Tornabene and W. H. Thomas. 1985. Chemical profile of selected species of microalgae with emphasis on lipids. J. Phycol. 21, 72~81.
- Benemann, J. R. 1989. The future of microalgal biotechnology. In Algal and cyanobacterial biotechnology. R. C. Creswell, T. R. V. Rees and N. Shah (eds.), Longman Scientific Technical. 317~337.
- Benemann, J. R., D. M. Tillett and J. C. Weisman. 1987. Microalgae biotechnology. Trends in Biotechnology 5, 47~53.
- Benemann, J. R., J. C. Weisman, R. P. Goebel and D. C. Augenstein. 1986. Microalgae fuel economics. In Algal biomass Technologies. W. R. Barclay and R. P. McIntosh (eds.), J. Cramer, Berlin. 176~191.
- Borowitzka, L. J., M. A. Borowitzka and T. P. Moulton. 1984. The mass culture of *Dunaliella salina* for fine chemicals: from laboratory to pilot plant. Hydrobiologia 116/117, 115~121.
- Borowitzka, M. A. 1988. Vitamins and fine chemicals from micro-algae. In Micro-algal biotechnology. M. A. Borowitzka and L. J. Borowitzka (eds.), Cambridge University Press. 154~196.
- Borowitzka, M. A., L. J. Borowitzka and D. Kessely. 1990. Effects of salinity increase on carotenoid accumulation in the green alga *Dunaliella salina*. J. Appl. Phycol. 2, 111~119.
- Boussiba, S. 1988. *Anabaena azollae* as a nitrogen biofertilizer. In Algal biotechnology. T. Stadler, J. Mollion, M. C. Verdu, Y. Karamanos, H. Morvan and D. Christiaen. (eds.), Elsevier Applied Science. 169~178.
- Brand, L. E. 1990. The isolation and culture of microalgae for biotechnological applications. In Isolation of biotechnological organisms from nature. J. Mitchell and S. Thomas (eds.), McGraw-Hill, Inc. 81~115.
- Bressani, R. 1968. The use of yeast in human foods. In Single cell protein. R. I. Mateles and S. R. Tannenbaum (eds.), The MIT Press. 90~120.
- Bruce, J. R., M. Knight and M. W. Parke. 1939. The rearing of oyster larvae on an algal diet. J. Mar. Biol. Assoc. U.K (JMBA). 24, 237~274.
- Burlew, J. S. (ed.). 1953. Algal culture-from laboratory to pilot plant. Carnegie Institution of Washington DC. 357 p.
- Carlucci, A. F. 1974. Production and utilization of dissolved vitamins by marine phytoplankton. In Effects of the ocean environment on microbial activities. R. R. Colwell and R. Y. Morita (eds.), Baltimore. University Park Press. 449~

- 456.
- Carlucci, A. F. and P. M. Bowes. 1970. Production of vitamin B₁₂, thiamine and biotin by phytoplankton. *J. Phycol.* 6, 351~357.
- Casadeval, E., D. Dif, C. Largeau, C. Gudin, D. Chaumont and O. Desanti. 1985. Studies on batch and continuous cultures of *Botryococcus braunii*. Hydrogen production in relation to physiological state, cell ultrastructure and phosphate nutrition. *Biotech. Bioeng.* 27, 286~295.
- Chang, D. S., I. S. Shin, H. R. Cho, J. H. Kim, J. H. Pyeun and Y. H. Park. 1988. Studies on distribution and detoxification of shellfish in Korea. 1. A study on the distribution of paralytic shellfish poison. *Bull. Korean Fish. Soc.*, 21, 113~126.
- Chelf, P. 1990. Environmental control of lipid and biomass production in two diatom species. *J. Appl. Phycol.* 2, 121~129.
- Chlorella Kyogo K. K. 1989. Manufacturing chlorophyceae having high astaxanthin content. Japanese Patent 1, 187, 082.
- Cohen, Z. 1986. Products from Microalgae. *In* CRC Handbook of microalgal mass culture. A. Richmond (ed.), CRC Press. 421~454.
- Craig, R. and B. Y. Reichelt. 1986. Genetic engineering in algal biotechnology. *Trends in Biotechnol.* 4, 11, 280~285.
- Crawford, M. 1990. DOE's born-again solar energy plan in its search for clean, low-cost source of power, the Department of Energy finally sees the light; R&D Programs reconstructed. *Science* 247, 1403~1404.
- Curtin, M. E. 1985. Chemicals from the sea. *Bio/Technology* 3, 34~37.
- Daiichi Seimo K. K. 1988a. Nutrient for growing laver-contains enzyme decomposed extract of marine algae to improve yield. Japanese Patent 63, 188, 336.
- 1988b. Organic fertilizer for vegetables, plants etc. -contains enzyme decomposed products of marine algae. Japanese Patent 63, 190, 792.
- 1988c. Organic fertilizer containing low molecular weight amino acid(s) etc. -comprises marine algal extract in presence of solvent containing water. Japanese Patent 63, 190, 791.
- Dainippon Ink and Chemical Inc. 1980. Production of highly purified alcoholophilic phycocyanin. Japanese Patent 80, 77, 890.
1981. Cosmetics containing water soluble phycocyanin. Japanese Patent 79, 138, 755
- De Pauw, N. and L. De Leenheer. 1985. Outdoor mass production of marine micro-algae for nursery culturing of bivalve molluscs. *Arch. Hydrobiol. Beih. Ergebn. Limnol.* 20, 139~145.
- De, P. K. 1939. The role of bluegreen algae in nitrogen fixation in rice fields. *Proc. R. Soc. London Ser. B* 127, 121~139.
- Delente, J. J. 1987. Perdeuterated chemicals from D₂O grown microalgae. *Trends in Biotechnol.* 5, 159~160.
- Dubinsky, O., Y. B. Lerental, D. Christiaen, R. Glaser, Z. Barak and S. Arad. 1988. Production and characterization of polysaccharides in the unicellular alga *Rhodella reticulata*. *In* Algal biotechnology. T. Stadler, J. Mollion, M. C. Verdus, Y. Karamanos, H. Morvan and D. Christiaen. (eds.), Elsevier Applied Science. 451~461.
- Durand-Chastel, H. 1980. Production and use of *Spirulina* in Mexico. *In* Algal biomass. G. Shlef and C. J. Soeder (eds.), Elsevier-North Holland. 51~64.
- Edwardsen, B., F. Moy and E. Paasche. 1990. Hemolytic activity in extract of *Chrysochromulina polycypis* grown at different levels of selenite and phosphate. *In* Toxic marine phytoplankton. E. Graneli, B. Sundström, L. Edler, and D. M. Anderson (eds.), 284~289.
- Evans, L. V. 1981. Marine algae and fouling: a review with particular reference to ship-fouling. *Bot. Mar.* 14, 167~171.
- Farrar W. V. 1966. Tecuitlatl: a glimpse of Aztec food industry. *Nature* 211, 341~342.
- Fattom, A. and Shilo, M. 1984. *Phormidium* J-1 bio-flocculant: production and activity. *Arch. Microbiol.* 139, 421~426.
- Fingerhurt, U., L. E. Webb and C. J. Soeder. 1984. Increased yields of *Rhizobium japonicum* by an extract of green alga, *Secnedesmus obliquus* (276-3a). *Appl. Microbiol. Biotech.* 19, 358~360.

- Foss, P., T. Storebakken, K. Schiedt, S. Liaaen-Jensen, E. Austreng and K. Streiff. 1984. Carotenoids in diets for salmonids. I. Pigmentation of rainbow trout with the individual isomers of astaxanthin in comparison with canthaxanthin. *Aquaculture* 41, 213~226.
- Gaffron, H. and J. Rubin. 1942. Fermentative and photochemical production of hydrogen in algae. *J. Gen. Physiol.* 26, 219~240.
- Glazer, A. N. and L. Stryer. 1984. Phycofluor probes. *Trends Biochem. Sci.* 8, 423~427.
- Golueke, C. G. 1980. Basic principles of anaerobic digestion. *In* Biogas and alcohol fuel production. The JG Press. Emmaus, PA, USA. 7~14.
- Golueke, C. G., W. J. Oswald and H. B. Gotaas. 1957. Anaerobic digestion of algae. *Appl. Microbiol.* 5, 47~55.
- Golueke, C. G., W. J. Oswald and H. F. Ludwig. 1954. Photosynthetic reclamation of organic wastes. *The Sci. Monthly* 79, 368~378.
- Gran, H. H. 1912. Pelagic plant life. *In* The depths of the Ocean. J. Murray and J. Hjort (eds.), Macmillan, London (reprinted as *Historia Naturalis Classica*, 37. J. Cramer, Weinheim, 1965) 370~386.
- Gudin, C., C. Jungas and J. F. Vaillant. 1989. Carotenoid production by culturing *Haematococcus pluvialis*-with control of carbon and nitrogen nutrient ratio, especially for making astaxanthin useful as fish feed additive. *World Patent* 8, 901, 977.
- Hall, D. O., M. Brouers, H. de Jong, M. A. Dela Rosa, K. K. Rao, D. J. Shi and L. W. Yang. 1987. Immobilized photosynthetic systems for the production of fuels and chemicals. *Photobiochem. Photobiophys. Suppl.* 167~180.
- Halvorsen, M. J., D. TeStrake and D. F. Martın. 1984. Effect of aponin, a substance from a green alga *Nannochloris* species on the spore germination of two fungi. *Microbios* 41, 105~113.
- Harder, R. and H. von Witsch. 1942. Über massen Kultur von Diatomeen. *Ber. Deutsche. Bot. Ges.* 60, 146~152.
- Hardy, R. R., K. Hayakawa, D. R. Parks and L. A. Herzenberg. 1983. Demonstration of B-cell maturation in X-linked immunodeficient mice by simultaneous three-color immunofluorescence. *Nature* 306, 270~272.
- Imai, T. 1971. Shallow sea aquaculture. *Koseisha Koseikaku*. 423~433. (in Japanese)
- Jackson, P. S. 1981. A note on a possible association between plasma β -carotene levels and conception rate in a group of winter-housed dairy cattle. *Animal Production* 32, 109~111.
- Jo, W. H. 1989. A study on the characteristics of water treatment and the operations about the rapid land infiltration system. Ph. D. Thesis., Jeonbuk National Univ. pp. 88 (in Korean)
- Johnson, D. A. 1988. The technology and cost of producing triglyceride liquids from microalgae for use as fuels. *In* Energy from biomass and wastes XI. D. L. Klass (ed.), IGT (Institute of Gas Technology). Chicago. 755~769.
- Jones, L. H. 1984. Novel palm oils from cloned palms. *J. Amer. Oil Chemist's Soc.* 61, 1717~1719.
- Kao, C. Y. 1966. Tetrodotoxin, saxitoxin and their significance in the study of excitation phenomena. *Pharm. Rev.* 18, 997~1049.
- Kato, T. 1977. Blue edible pigment from *Spirulina* algae. *Japaneses Patent* 77, 134, 058.
- Kawaguchi, K. 1980. Microalgae production system in Asia. *In* Algal biomass. G. Shelef and C. J. Soeder (eds.), Elsevier-North Holland. 25~33.
- Kerby, N. W., P. Rowell and W. D. P. Stewart. 1989. Biological production of radio-labelled amino acid(s) and sugars-by aerobic culture of mutant photosynthetic microorganism in medium containing labelled inorganic nutrient. *British Patent* 2206881.
- Kim, H. J. 1986. Selection and optimum environmental factors of suitable *Chlorella* species for the rotifer culture. M. F. Thesis. Fish. Univ. Pusan. pp. 53. (in Korean)
- Kirshtein, J. D., H. W. Paerl and J. Zehr. 1991. Amplification, cloning and sequencing of nifH segment from aquatic microorganisms and natural communities. *Appl. Environ. Microbiol.* 57, 2645~2650.
- Kobayashi, J., M. Ishibashi, H. Nakamura, Y. Ohizumi, T. Yamada, T. Sasaki and Y. Hirata. 1986. Amphidinolide-A, a novel antineoplastic macrolide from the marine dinoflagellate

- Amphidinium* sp. Tetrahedron Lett. 27, 5755~5758.
- Kollman, V. H., R. E. London, J. L. Hanners, C. T. Gregg and T. W. Whaley. 1979. Photosynthetic preparation of galactose-¹³C₆ and glycerol-¹³C₃ using a marine alga. J. Labelled Comp. Radiopharmac. 16, 833~842.
- Korringa, P. 1952. Recent advances in oyster biology. Quart. Rev. Biol. 27, 266~308 and 339~365.
- Kumamoto, S. 1984. Method of human cell culture: microalgae. U. S. Patent 4, 468, 460.
- Kyle, D. J., R. Gladue, S. Reeb and K. Boswell. 1991. Production and use of omega-3 designer oils from microalgae. Program and Abstracts of 2nd International Marine Biotechnology Conference. Baltimore, Maryland, USA. p. 61.
- Largeau, C., C. Bailliez, L. W. Yang, J. Frenz and E. Casadevall. 1988. Immobilization of the microalgae *Botryococcus braunii* in calcium alginate gels and in Polyurethane foams. In Algal biotechnology. T. Stadler, J. Mollion, M. C. Verdu, Y. Karamanos, H. Morvan and D. Christiaen. (eds.), Elsevier Applied Science. 245~253.
- Lee, B. H. and J. H. Lim. 1988. A study on wastewater treatment by aerobic biological fluidized bed. Bull. Nat. Fish. Univ. Pusan 28, 1, 19~26. (in Korean)
- Lee, C. K. 1988. Selection of Suitable Phyto- food organisms for the rotifer cultivation in high and low water temperature season. S. M. F. Thesis. Fish. Univ. Pusan. pp. 47(in Korean)
- Lee, J. S., T. Igarashi, S. Fraga, E. Dahl, P. Hovgaard and T. Yasumoto. 1989. Determination of diarrhetic shellfish toxins in various dinoflagellate species. J. Appl. Phycol., 1, 147~152.
- Lee, R. E. 1989. Phycology. Cambridge University Press. 645p.
- Lee, W. H., J. Agar, H. Takeyama and A. Mitsui. 1991. Resistance to high oxygen concentrations on the hydrogen photoproduction in the synchronously grown marine unicellular cyanobacterium. Program and Abstracts of 2nd International Marine Biotechnology Conference. Baltimore, Maryland, USA, p.74.
- Léonard, J. 1966. The 1964~1965 Belgian trans-saharan expedition. Nature 209, 126~128.
- Lion Corp. 1989. Adsorbents for novel metals-containing algae which are preferentially encapsulated. Japanese Patent 1,105, 133.
- Luo, Y. H., L. Steinberg, S. Suda, S. Kumazawa and A. Mitsui. 1991. Extremely low D/H ratio of photoproduced hydrogen by cyanobacteria. Plant Cell Physiol., 32, 897~900.
- Maeda, T. and K. Tanaka. 1984. Method of plant tissue and cell culture. U.S. Patent 4, 431, 738.
- Mann, J. 1990. New routes to natural products. Nature 346, p.18.
- Marsot, P., A. D. Cembella and J. C. Colombo. 1991. Intracellular and extracellular amino acid pools of the marine diatom *Phaeodactylum tricoratum* (Bacillariophyceae) grown on unenriched seawater in high-cell-density dialysis culture. J. Phycol., 27, 478~491.
- Martin, J. L., K. Haya, L. E. Burrige and D. J. Wildish. 1990. *Nitzschia Pseudodelicatissima*-a source of domoic acid in the Bay of Fundy, eastern Canada. Mar. Ecol. Prog. Ser., 67, 177~182.
- Mateles, R. I. and S. R. Tannenbaum. 1968. Preface. In Single cell protein. R. I. Mateles and S. R. Tannenbaum (eds.), The MIT Press. pp. v-vi.
- Matsuno, T., S. Nagata, M. Iwahashi, T. Koike and M. Okada. 1979. Intensification of color of fancy red carp with zeaxanthin and myxoxanthophyll, major carotenoid constituents of *Spirulina*. N. Suisan Gak. 45, 5, 627~632. (in Japanese)
- Mitsui, A. 1987. Photobiological production of hydrogen from water and waste. In Hydrogen Photo-production Workshop Proceedings. A. Seki, B. Morgan and P. Takahashi (eds.), Hawaii Natural Energy Institute Pub. 32~39.
- Mitsui, A. and S. Kumazawa. 1977. Hydrogen production by marine photosynthetic organisms as a potential energy source. In Biological solar energy conversion. A. Mitsui, S. Myachi, A. Mitsui, S. Myachi, A. San Pietro and S. Tamura (eds.), Academic Press. 23~51.
- Mitsui, A., T. Matsunaga, H. Ikemoto and B. R. Renuka. 1985. Organic and inorganic waste treatment and simultaneous photoproduction of

- hydrogen by immobilized photosynthetic bacteria. *Develop. in Indus. Microbiol.* 26, 209~222.
- Mitsui, A., D. Rosner, A. Goodman, G. Reyes-Vasquez, T. Kusumi, T. Kodama and K. Nomoto. 1989. Hemolytic toxins in marine cyanobacterium *Synechoceccus* sp. *In Red tides: biology, environmental science and toxicology.* Okaichi, Anderson and Nemoto (eds.), Elsevier Sci. Pub. Co. 367~370.
- Mollion, J., M. C. Verdus, T. Stadler, H. Morvan and S. Moreau. 1988. Evidence for beta carrageenan in *Risoella verruculosa* (Bert.) J. Ag. (Rhodophyta). The concept of hybrid molecules in carrageenan systems. *In Algal biotechnology.* T. Stadler, J. Mollion, M. C. Verdus, Y. Karamanos, H. Morvan and D. Christiaen. (eds.), Elsevier Applied Science. 463~476.
- Moore, A. W. 1969. *Azolla* biology and agronomic significance. *Bot. Rev.* 35, 17~34.
- More, R. E., T. T. Norton, G. M. L. Peterson, J. S. Nyn Derse, E. Firusawa. 1989. New antifungal, anti-neoplastic scytonycin compounds isolated from the blue-green alga *Scytonema pseudohofmanni*. U.S. Patent 4, 863, 955.
- Moreton, R. S. and P. M. Clode. 1985. Microbial desaturase enzyme inhibitors and their use in a method of producing lipids. U. K. Patent Application 840, 7195.
- Morse, A. N. C. and Mores, D. E. 1984. GABA-mimetic molecules from *Porphyra* (Rhodophyta) induces metamorphosis of *Haliotis* (Gastropoda) larva. *Hydrobiologia* 116/117, 155~157.
- Mosbach, K. 1982. Use of immobilized cells with special emphasis on the fermentation of product formed by multistep enzyme systems and coenzyme. *J. Chem. Technol. Biotechnol.* 32, 179~188.
- Munro, M. H. G., R. T. Luibrand and J. W. Blunt. 1987. The search for antiviral and anticancer compounds from marine organisms. *Bioorganic Marine Chemistry* 1, 93~176.
- Murakami, M., K. Makabe, K. Yamaguchi, S. Konosu and M. R. Walchli. 1988. Goniodonmin A, a novel polyether macrolide from the dinoflagellate *Goniodoma pseudogoniaulax*. *Tetrahedron Lett.* 29, 10, 1149~1152.
- Nippon Oils and Fats K. K. 1989. Agent for improving lipid production by fermentation. Japanese Patent 1, 160, 492.
- Nyberg, H., K. Koskimies-Soinien. 1984. The glycolipid fatty acids of *Porphyridium purpureum* cultured in the presence of detergents. *Phytochem.* 23, 751~757.
- Okada, S., W. Liao, T. Mori, K. Yamaguchi and T. Watanabe. 1991. Pigmentation of cultured striped jack reared on diets supplemented with blue-green alga *Spirulina maxima*. *N. Suisan Gak.* 57, 1403~1406.
- Ong, L. J., A. N. Glazer and J. B. Waterbur. 1984. An unusual phycoerythrin from a marine cyanobacterium. *Science* 224, 80~83.
- Oswald, W. J. 1988. Micro-algal and waste-water treatment. *In Micro-algal biotechnology.* M. A. Borwitzka and L. J. Borwitzka (eds.), Cambridge University Press. 305~328.
- Oswald, W. J., H. B. Gotaas, H. F. Ludwig and V. Lynch. 1953. algae symbiosis in oxidation ponds. III. photosynthetic oxygenation. *Sewage Ind. Wastes* 25, 692~705.
- Owtrim, G. W. and J. R. Coleman. 1987. Molecular cloning of recA-like gene from the cyanobacterium. *Anabaena variabilis*. *J. Bact.* 169. 1824~1829.
- Padilla, G. M., Y. S. Kim, M. Westerfield, E. Rauckman and J. W. Moore. 1977. Pharmacological activities of purified toxins from *Gymnodinium breve* and *Prymnesium parvum*. *In Marine natural products chemistry.* D. J. Faulkner and W. H. Fenical (eds.), NATO Confer. Ser. IV. v.1. Plenum Press. 271~284.
- Palenik, C. H. and F. M. M. Morel. 1990. Comparison of cell-surface L-amino acid oxidase from several marine phytoplankton. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 59, 195~201.
- Palenik, C. H. and F. M. M. Morel. 1991. Amine oxidases of marine phytoplankton. *Appl. Environ. Microbiol.* 57, 2440~2443.
- Park, C. H. 1989. Natural habitat and mass culture for aquaculture of the ciliate *Fabrea salina*. M. F. Thesis. Fish. Univ. Pusan. pp. 43(in Korean)
- Patterson, G. M. L., C. L. Baldwin, C. M. Bolis, F. R. Caplan, H. Karuso, L. K. Larsen, I. A. Levine. R. E. Moore, C. S. Nielson, K. D. Tschap-

- pat, G. D. Tuang, E. Furusawa, T. R. Norton and R. B. Raybourne. 1991. Antineoplastic activity of cultured blue-green algae (Cyanophyta). *J. Phycol.* 27, 530~536.
- Pentel KK. 1989a. Plant tissue culture-using medium containing extract of photosynthesising prokaryote. Japanese Patent 63, 294, 782.
- 1989b. Plant tissue culture for accelerated growth: involves culture with medium containing filtrate of photosynthetic prokaryote organism culture solution. Japanese Patent 1, 300, 891.
- Phlips, E. J. and A. Mitsui. 1986. Characterization and optimization of hydrogen production by a salt water blue-green alga *Oscillatoria* sp. Miami BG 7. II. Use of immobilization for enhancement of hydrogen production. *Int. J. Hydrogen Energy* 11, 2, 83~89.
- Provasoli, L. and A. F. Carlucci. 1974. Vitamins and growth regulation. *In* Algal physiology and biochemistry. W. D. P. Stewart (ed.), Oxford. Blackwells. 741~787.
- Reichert, J. L. and M. A. Borowitzka. 1984. Antimicrobial activity from marine algae: results of a large-scale screening programme. *Hydrobiologia* 166/117, 158~174.
- Roberts, L. P. 1950. Influence of aeration on rate of growth in culture. *Nature* 165, 494~495.
- Roberts, L. P. 1953. *Bact. coli* as a food supplement. *Nature* 172, 351~352.
- Roessler, P. G. 1990. Environmental control of glycerolipid metabolism in microalgae; commercial implication and future research direction. *J. Phycol.* 26, 393~399.
- Ryther, J. H., J. C. Goldman, C. E. Gierford, J. E. Huguenin, J. S. Wing, J. P. Clarnier, L. D. Williams and B. E. Lapointe. 1975. Physical models of integrated waste recycling-marine polyculture systems. *Aquaculture* 5, 163~177.
- Sam Ei Chemical Industries KK. 1989a. Colouring fats, oils and products containing them yellow using extract from green alga *Dunaliella salina*. Japanese Patent 1, 047, 341.
- 1989b. Dyeing confectioneries yellow using extract from green alga *Dunaliella salina*. Japanese Patent 1, 047, 346.
- 1989c. Dyeing noodle by adding *Dunaliella salina* (extract) to noodle dough. Japanese Patent 1, 047, 359.
- 1989d. Dyeing drinks yellow-comprises using either *Dunaliella salina* algal cells or extracts to drinks to dye using β -carotene. Japanese Patent 1, 047, 363.
- Schiedt, K., F. J. Leuenberger, M. Vecchi and E. Glinz. 1985. Absorption, retention and metabolic transformation of carotenoids in rainbow trout, salmon and chicken. *Pure & Applied Chemistry* 57, 685~692.
- Scragg, A. H. and R. R. Leathers. 1988. Production of fats and oils by plant and algal cell cultures. *In* Single cell oil. R. S. Moreton (ed.), Longman Scientific & Technical. 71~98.
- Shelef, G., R. Moraine and G. Oron. 1978. Photosynthetic biomass production from sewage. *Arch. Hydrobiol. Beih. Ergebn. Limnol.* 11, 281~194.
- Shelef, G., W. J. Oswald and P. H. McGauhey. 1970. Algal reactor for life support system. *J. Sanit. Eng. Div. A. Soc. Civil Eng.* 96(SAI), 91~110.
- Shilo, M. and Am. Fatto. 1989. Bioemulsifier for dispersing liquid hydrocarbon(s) in a second liquid-is a polymeric product produced by cyanobacteria. U. S. Patent 4826624.
- Shimizu, Y. 1978. Dinoflagellate toxins. *In* Marine natural products. P. J. Scheuer (ed.), 1, 1~43.
- Shimizu, Y. 1987. Dinoflagellate toxins. *In* The biology of dinoflagellates. F. J. R. Taylor (ed.), Blackwell Sci. Pub. 282~315.
- Soeder, C. J. 1984. Aquatic bioconversion of excrements in ponds. *In* Animals as waste converter. E. H. Ketelaars and B. Iwema (eds.), Pudoc Wageningen, Netherland. 130~136.
- Soeder, C. J. 1986. An historical outline of applied algology. *In* CRC Handbook of microalgal mass culture. A. Richmond (ed.), CRC Press. 25~41.
- Spencer, K. G. 1989. Pigmentation supplement comprising comminuted *Haematococcus* algae. World Patent 8, 906, 910.
- Spiller, H. and K. R. Shanmugam. 1986. Genetic modification of *Anabaena variabilis* for the enhancement of H₂ evolution. *In* Algal biomass Technologies. W. R. Barclay and R. P. McIntosh

- (eds.), J Cramer, Berlin. 3~5.
- Suda, D., J. Schwartz and C. Shklar. 1986. Inhibition of experimental oral carcinogenesis by a topical beta-carotene. *Carcinogenesis* 7, 711~715.
- Taguchi, S., J. A. Hirata and E. A. Laws. 1987. Silicate deficiency and lipid synthesis of marine diatoms. *J. Phycol.* 23, 260~267.
- Takahashi, J., K. Kobayashi, Y. Kawabata and K. Yamada. 1963. Studies on the utilization of hydrocarbons by microorganisms. Part III. production of bacterial cell form hydrocarbons. *Agric. Bio. Chem.* 27. 836~842.
- Tamiya, H. 1956. Growing *Chlorella* for food and feed. *Proc. World Symp. Appl. Solar Energy.* Phoenix. Ariz., Nov. 1955(Stanford Res. Inst. pp. 304). 231~241.
- Tamiya, H. 1957. Mass culture of algae. *A. Rev. Pl. Physiol.* 8, 309~344.
- Thepenier, C., D. Chaumont and C. Gudin. 1988. Mass culture of *Porphyridium cruentum*: a multiproduct strategy for the biomass valorisation. *In Algal biotechnology.* T. Stadler, J. Mollion, M. C. Verdus, Y. Karamanos, H. Morvan and D. Christiaen. (eds.), Elsevier Applied Science. 413~420.
- Thorpe, R. E. and C. Ratledge. 1972. Fatty acid distribution in triglycerides of yeast grown on glucose or n-alkanes. *J. Gen. Microbiol.* 72, 151~163.
- Tsai, C. H., M. C. Wen, J. E. Kinsella. 1982. Cocoa bean tissue culture: lipid composition and fatty acid metabolism. *J. Food Sci.* 47, 768~773.
- Ukeles, R. 1980. American experience in the mass culture of micro-algae for feeding larvae of the american oyster, *Crassostrea virginica*. *In Algal biomass.* G. Shelef and C. J. Soeder (eds.), Elsevier-North Holland. 287~306.
- Venkataraman, G. S. 1981. Blue-green algae: a possible remedy to nitrogen scarcity. *Current Science* 50, 253~256.
- Victor, D. G. 1990. Liquid hydrogen aircraft and the green house effect. IIASA Working paper 90~02. pp. 28
- Volkman, J. K., S. W. Jeffrey, P. D. Nichols, G. I. Rogers and C. D. Garland. 1989. Fatty acid and lipid composition of 10 species of microalgae used in mariculture. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 128, 219~240.
- Vonshak, A. 1987. Strain selection of *Spirulina* suitable for mass production. *Hydrobiologia* 151/152, 75~78.
- Watanabe, A., S. Nishigaki and C. Konishi. 1951. Effect of nitrogen-fixing blue-green algae on the growth of rice plants. *Nature* 168, 748~749.
- Waterbury, J. B., S. W. Watson, A. Glazer and L. J. Ong. 1989. New phycoerythrin(s) isolated from *Synechococcus*: useful as reagent for flow cytometry and fluorescence microscopy. U.S. Patent 4, 857, 474.
- Whitesides, G. and J. Elliott. 1984. Organic chemicals from marine sources. *In Biotechnology in the marine sciences.* R. R. Colwell, A. J. Sinskey and E. R. Pariser (eds.), John Wiley & Sons. 135~152.
- Wilson, M. 1989. Fluorescent probe incorporating carotenoids chlorophyll protein-which emits light at different wavelength from Fluorescein or phycoerythrin. Australian Patent 8, 823, 422.
- Winter, C. J. 1990. Hydrogen in high-speed air transportation. *Int. J. Hydrogen Energy* 15, 579~595.
- Yamaguchi, K., M. Murakai and T. Okino. 1989. Screening of angiotensin-converting enzyme inhibitory activities in microalgae. *J. Appl. Phycol.* 1, 271~275.
- Yoo, S. K. 1960. Studies on the food of bivalves in Yong-Ho inlet of Soo-Young bay. I. *Macrta veneriformis* Reeve. *Bull. Pusan Fish. Coll.* 3, 1~2, 43~52. (in Korean)
- Yoo, S. K. 1962. Studies on the food of vivalves in Yong-Ho inlet of Soo-Young bay. 2. *Dosinia (Phacosma) japonica* Reeve. *Fish. Coll. Pusan Nat. Univ.* 4, 1~2, 11~19. (in Korean)
- Yoo, S. K. 1968. Studies on the growth of algal food, *Cyclotella nana*, *Chaetoceros calcitrans* and *Monochrysis lutheri*. *Bull. Pusan Fish. Coll.* 8, 2, 123~126. (in Koreana)
- Yoo, S. K. 1969. Food and growth of the larvae of certain important bivalves. *Bull. Pusan Fish.*

- Coll. 9, 2, 65~87. (in Korean)
- Yoo, Y. H. 1984. The effect of light intensity and temperature on the growth of phytoplanktonic food organism, *Isochrysis galbana* (Parke). Ph. D. Thesis. Fish. Univ. Pusan pp. 62
- Zutic V., Cosovic B., Marcenko E., Bihari N. and Krsnic F. 1981. Surfactant production by marine phytoplankton. Mar. Chem. 10, 505~520.
-
- 1992년 4월 4일 접수
1992년 5월 2일 수리