

## 먹이생물 미세조류



허성범 교수  
한국양식학회 이사  
부경대학교 양식학과  
TEL)051-620-6097(ARS 23)  
E-mail) sbhur@dolphin.pknu.ac.kr

### 수산양식과 종묘생산

인간의 식량 생산을 위한 수산양식의 역사는 매우 깊다. 그러나 세계적으로 집약적인 양식 산업의 체제는 1960년대 이후 형성되었다 할 수 있다. 1996년 해조류를 포함한 세계 양식 생산량은 3천4백만 톤으로 10년전보다 2.5배가 신장되었고 2010년에는 약 4천7백만톤 이상 증가할 것으로 예측하고 있다(New 1999). 담수산 어종은 육지에서 적응되었기 때문에 사육·관리가 쉽고 사료의 단백질 요구량이 낮아 해수산 어종보다 일찍 개발되었다. 또 해수산 어류에서도 연어와 같이 담수에서 번식하는 종류가 먼저 개발되었는데 이와 같은 이유 역시, 담수에서 서식하는 어종의 인위적 번식 조절과 사육·관리가 해산어에 비하여 수월하기 때문이다.

바다의 수질 환경은 항상 일정한 항상성을 유지하므로 상대적으로 바다에서 서식하는 생물을 양식할 경우 인위적 수질 관리와 사육은 담수 생물에 비하여 까다로울 수밖에 없다. 또 바다의 무척추동물은 변태로 유생시 사망률이 높고 성장 단계에 따른 상이한 영양을 요구하며 근본적으로 육식성인 경우가 많아 고단백의 사료를 필요로

한다. 따라서 사육 관리가 까다로울 뿐 아니라 경제적인 부담이 크다.

이와 같은 이유로 바다 양식은 우선 먹이를 공급할 필요가 없고 관리가 쉬운 해조류의 양식부터 시작되었고, 그 후 해양 미세조류를 여과 섭식하는 조개류의 양식부터 발전하게 되었다. 조개류의 양식은 처음에는 자연산 치패를 수집하여 어장에 살포하는 양식 방법으로 시작되었다. 그러나 엄격히 본다면 이와 같은 양식은 바다의 환경에 의존하며 자연산의 자원을 관리하는 조방적 양식의 수준이라 할 수 있다. 한편 인간의 단백질 식생활과 깊은 관련이 있는 해산 어류와 갑각류의 양식 기술은 매우 까다로울 뿐만 아니라 동물성 사료 공급에 따른 높은 생산 단가의 문제와 고비용의 시설 문제로 식량이 부족한 후진국이나 경제력이 약한 개발 도상국에서는 쉽게 시도되지 못하는 실정이다.

어떠한 종류가 양식 산업종으로 개발되기 위해서는 일차적으로 그 생물의 인위적인 번식 조절에 의한 인공종묘 생산이 가능하여야 한다. 즉 양식하려는 종류의 원활한 종묘의 수급이 이루어지지 않으면 계획적인 양성이 불가능해지고, 이는 곧 지속적인 시장의 형성이 되지 못하여 산업

적으로 형성될 수 없다. 그 대표적인 예가 자연에서 치어를 채집하여 양식하는 방어 양식이라 할 수 있다. 이와같이 자연산 종묘에 의존할 경우 자연산 종묘의 생산량이 매년 다르므로 종묘가 적을 경우는 양성할 종묘가 적고 많을 경우는 가격의 하락이나 또는 사료의 부족으로 어려움을 겪게 된다. 그 결과 매년의 양식 생산량은 안정적이지 못해 지속적인 시장 형성이 되지 않는다. 그러므로 원활한 인위적인 종묘생산 체제의 확립은 양식 산업의 정착에 가장 중요한 필수 조건이다.

### 종묘생산과 먹이생물

미세조류는 수서 생태계의 1차 생산자로서 수계의 생물 생산력을 좌우한다. 즉 모든 수산 동물의 먹이 사슬은 미세조류를 일차 영양단계로 시작된다. 따라서 미세조류는 수산동물 양식에서도 가장 중요한 일차 먹이생물이 된다. 일반적으로 담수생물은 해양생물보다 종의 다양성이 단순하고 산업적으로도 관심이 적으며 인공종묘 생산도 비교적 수월하다. 따라서 현재까지의 먹이생물로서의 미세조류는 주로 해양 미세조류를 의미한다.

한 생물이 양식 산업의 대상 종류로 발전하기 위해서는 3단계의 개발이 가능하여야 한다. 첫째는, 살아 있는 상태로의 유지가 가능해야하고 둘째는, 먹이를 공급하며 성장을 시킬 수 있어야하며 셋째는, 인위적인 번식이 가능하여야 한다. 따라서 둘째 단계의 기술은 이미 첫단계의 기술이, 셋째 단계의 기술은 앞의 두 단계의 기술을 전제로 한다. 결국 인위적인 번식 조절 즉 인공종묘 생산이 가능하여야 안정적인 양식 산업이 가능하다.

따라서 해양 미세조류의 배양은 천해양식 동물

의 인공종묘 생산시 일차 먹이생물로서 가장 중요한 요인이 된다. 종묘생산은 친어(brood stock)의 관리와 산란된 난에서 부화된 유생과 자·치어의 사육으로 구분할 수 있다. 이때 사육의 근본적인 과제는 적합한 먹이생물의 양적 확보이며 이는 곧 해양 미세조류의 대량 배양이라 할 수 있다. 먹이가 확보되지 못한 상태에서는 유생과 자·치어 사육은 불가능 하므로 천해양식 산업에서 해양 미세조류의 대량 배양은 가장 중요한 근본과제이다. 해양 미세조류가 천해양식의 종묘생산 과정에서 먹이 생물로 이용되는 경우는 크게 두 가지로 구분할 수 있다. 먼저 동물성 먹이생물을 대량으로 배양하기 위해서 필요한 해양 미세조류의 배양과, 둘째로는 해양 미세조류 자체를 먹이로 섭취하는 초식성 무척추동물, 예를 들면 패류, 갑각류, 극피동물 등의 유생사육을 위한 해양 미세조류의 배양이다.

첫째 경우는 대표적으로 해산어류 자치어의 동물 먹이생물인 윤충(*Brachionus plicatilis*)의 배양을 위한 난노클로리스(*Nannochloris*), 클로렐라(*Chlorella*), 테트라셀미스(*Tetraselmis*) 등의 대량 배양을 예로 들 수 있고 둘째 경우는 조개류, 전복류, 새우류, 성게류, 우렁쉥이 등의 유생 사육 또는 모패 사육에 필요한 다양한 부유성 및 부착성 해양미세조류의 배양이다. 또 조개류나 우렁쉥이와 같이 평생 여과섭식하는 무척추동물에게는 항상 해양 미세조류를 먹이로 공급하여야 한다. 이와 같이 해양 미세조류의 대량 배양은 천해양식 산업에 필수 불가결한 선결 과제인 것이다.

물론 최근에는 천연 해양 미세조류를 대체 할 수 있는 배합사료를 개발하고자 노력하고 있다. 그러나 아직 미세한 해양 미세조류를 대체할 수 있는 입자의 개발은 이루어지지 않은 상태며, 설

사 이루어진다 해도 천연 상태의 먹이생물보다 질적으로 우수한 인공사료를 개발하기란 어려울 것으로 생각된다. 그러나 해양 미세조류를 대량 배양하는 것이 경제적으로 비싸고 어렵기 때문에 해양 미세조류를 부분적으로라도 대체할 수 있는 입자의 개발은 꾸준히 진행되어야 한다.

### 해양 미세조류 배양의 역사

최초의 해양 미세조류 배양은 Miquel (1892)이 해수에 무기영양염을 첨가하여 조성한 배지로 규조류를 배양하면서 시작되었다. 그러나 활발한 배양 연구는 1910년대부터 시작되었다. 대표적으로 Pringsheim (1912)은 해양 미세조류의 성장을 촉진시키기 위하여 최초로 토양 추출물을 사용하였고, 이 방법은 Schreiber (1927), F $\phi$ yn (1934) 등에 의해 계속 연구 개발되었다. Schreiber (1927)는  $\text{NaNO}_3$ 와  $\text{NaH}_2\text{PO}_4$  만을 해수에 넣어 매우 간단한 배지를 개발하였는 바 F $\phi$ yn (1934)는 이 배지에 토양 추출물을 첨가한 Erdschreiber배지를 개발함으로써 오늘날에까지 널리 사용하고 있다.

그 이후 Provasoli *et al.* (1957), Guillard and Ryther (1962), Ukeles (1971) 등은 자연 해수에 무기물을 첨가한 배지를 개발하였고 Lewin and Lewin (1960), Gold and Baren (1966), Starr (1978) 등은 자연 해수에 유기물을 첨가한 배지를, 또 Ukeles (1971)은 천일염으로 제조한 배지를 개발하여 해양 미세조류의 배양을 발전시켰다. 한편 해양 미세조류의 순수 생리화학적 연구를 목적으로 Provasoli *et al.* (1957), Droop (1962), Lewin (1966) 등은 인공 해수배지를 만들어, 비타민 요구량 등을 연구하여 해양 미세조류의 영양 요구와 생리 등을 밝히므로써 다양한 해양 미세조류

의 배양을 가능하게 하였다.

이와 같은 해양 미세조류의 배양 연구는 순수한 조류학의 발전은 물론 순수 해양생물학을 발전시키는 데도 큰 역할을 하고 있다. 해양 미세조류가 해양 생태계 먹이사슬의 1차 영양 단계이므로 해양동물의 생활사, 계통발생, 식성, 번식, 중간 특성 등에 관한 구체적인 생리, 생태 연구가 해양 미세조류의 배양을 통하여 가능하기 때문이다. 한편 양식 산업 먹이생물로 활용하기 위한 해양 미세조류의 대량 배양은 1960년대 부터로 볼 수 있다. 이는 미국 Milford Laboratory에서 조개류의 유생 사육을 위한 Loosanoff and Davis (1963), Ukeles (1971) 등에 의하여 주로 연구 되었다. 그후 윤충을 배양하기 위하여 농축 클로렐라가 개발되었고, 최근에는 타가영양 미세조류(heterotrophic algae)의 대량배양(Gladue 1991)에 이르기까지 다양한 종류의 미세조류가 먹이생물로 활발히 연구 개발되고 있다.

먹이생물의 목적 외에도 듀날리엘라(*Dunaliella*), 스피리리나(*Spirulina*)등이 건강식품과 천연 색소 이용의 목적으로 대량 배양되고 있으며 그 외에도 의약품 원료, 대체 에너지, 폐수 처리 등의 목적으로 여러 종류의 미세조류가 연구 개발 중에 있다(오 등 1998).

### 먹이생물의 조건

자연 상태에서 부화된 유생들은 여러 종류의 먹이생물 중 자기가 좋아하는 먹이를 직접 선택하여 섭취할 수 있다. 따라서 인위적으로 먹이생물을 대량 배양할 경우, 우선 유생들이 선택할 수 있는 먹이생물의 기본 조건을 갖추어야 한다. 우선 먹이생물은 유생의 입으로 쉽게 들어갈 수 있는 적당한 크기이어야 한다. 또 먹이생물의 운

동성이 너무 빨라 유생이 잡아먹기에 어려움이 있다면, 먹이생물로서 이용이 불가능 할 것이다. 소화도 잘 될 수 있어야 한다. 즉, 먹이생물의 세포벽 두께, 견고성 또는 소화 효소에 쉽게 분해될 수 있는지 등의 조건에 합당하여야 한다. 아무리 소화가 잘 된다 하더라도 영양학적으로 부적합하다면 좋은 먹이가 될 수 없으므로 칼로리와 영양가가 고르게 분포하여야 한다. 또 독성이 없고 가능하면 모양이 뾰족뾰족한 것보다는 원형이 좋고, 냄새와 색깔 등이 유생의 선호도에 적합한 것이 좋다. 그러나 이와 같은 조건들이 모두 구비되었다 할 지라도 인위적으로 배양할 경우 배양 밀도가 낮다면 경제적인 측면에서의 대량 배양이 불가능하므로 먹이생물로서의 활용이 불가능하다.

따라서, 이와같은 여러 조건들이 적당할 때 종묘 생산시 유생 사육을 위한 먹이생물로서의 이용이 가능하다. 그러면 자연 상태에서 채집한 여러 종류의 부유생물 중 우리가 원하는 먹이생물을 어떻게 개발할 것인가? 자연에서 채집한 미세조류가 모두 적합한 먹이일 수는 없다. 채집한 미세조류 중 어떤 종류가 독성이 없고, 소화, 영양가, 맛, 냄새, 배양 밀도 등이 적합한지에 대한 의문은 정확히 알 수 없다. 따라서 처음에는 현미경을 보고 사육할 유생이 쉽게 먹이로 섭취할 수 있을 정도의 크기가 적당하고 운동성이 적으며, 모양이 둥근 종류를 우선 선택하여야 한다. 또, 양식하고자 하는 생물의 유생이 부유성인 경우에는 부유성 미세조류, 부착성인 경우에는 부착성 미세조류를 선택하여야 한다.

일반적으로 부화장의 종묘 생산 과정에서 필요한 먹이생물은 부화 직후의 초기 성장 단계를 위한 먹이생물이다. 유생이 성장하여 입이 커지고

활동력이 왕성해지면 미립자 사료, 또는 자연 상태에서 채집한 크기가 큰 해양 미세조류를 직접 공급할 수도 있다. 해산 어류일 경우는 난황이 흡수된 직후, 무척추동물일 경우는 초기 부유 유생 시기의 질적 및 양적 먹이 섭취 여부가 초기 생존율에 매우 중요하다. 예를들어 조개류의 경우도 부착기 유생 단계를 지나면 바다에 직접 중간 육성하든지 아니면 자연 해수를 취수하여 자연 상태의 해양 미세조류로 직접 사육이 가능하므로 문제는 초기 유생 단계의 먹이생물이다.

일반적으로 자연 상태에서 갯 부화된 유생들은 선택적인 먹이 섭취를 하는 것이 아니라 해수중의 먹이가 입으로 자연히 흘러 들어가 섭취하게 되는 경우가 많고, 이때의 먹이는 크기가 미세한 다양한 초미소 부유생물(nanoplankton)이라 할 수 있다. 따라서 인위적으로 먹이를 공급해야 하는 부화장의 경우에 필요한 초기 먹이생물은 무척추동물일 경우 10  $\mu\text{m}$  이하의 매우 작은 미세조류일 경우가 대부분이다. 그러나 이와 같은 미세한 부유생물은 일반적으로 순수분리 하기에 어렵고 또 배양 환경 변화에 따른 성장과 폐사의 특성이 예민하여 대량 배양하기에 어려운 점이 많다.

### 새로운 먹이생물의 개발 과정

자연 상태에서 채집한 다양한 해양 미세조류는 앞에서와 같은 먹이생물로서의 조건을 고려하여 새로운 먹이생물로 개발할 수 있다. 일차적으로는 현미경을 통하여 미세조류의 크기와 모양 등의 형태학적인 사항과 운동성을 고려하여 개발 대상종으로 선택한 후 단일종으로 분리하고 무균 배양한다. 순수 분리된 종은 적합한 배양 조건 즉 온도, 염분, 조도, 수소이온 농도, 영양염 등의

## 기획특집

성장 환경 요인을 조사하여 성장율을 측정하며 지속적인 계대배양(subculture)를 통하여 종을 보존한다(그림 1).

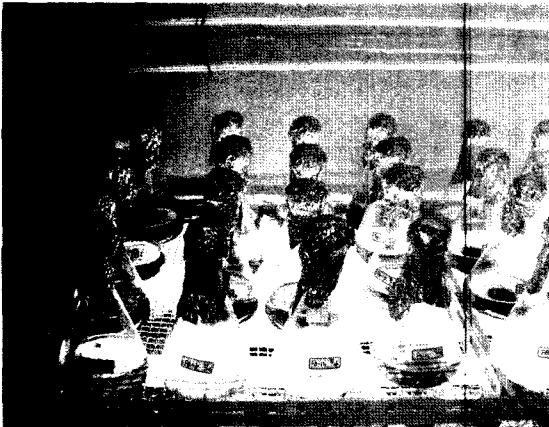


그림 1. 한국 해양 미세조류 은행의 종 보관실.

이와같이 확보된 종이 실제로 먹이생물로서 활용이 가능한지를 파악하기 위하여 먼저 고밀도 대량 배양이 가능한지를 파악하여야 한다. 그 후 대량 배양된 세포를 수확하여 아미노산, 불포화 지방산등의 주요 영양가를 분석하고, 직접 먹이로 공급해 유생과 자치어의 실제 먹이 섭취 여부와 성장 및 생존율을 확인하여야 한다. 일반적으로 독성이 있거나 냄새와 맛이 적합하지 않은 종은 유생이 섭취하지 않는 경우가 많아 비록 고밀

도 배양이 가능하다 해도 먹이생물로 개발될 수 없다. 또 먹이로 섭취하기는 하나 유생과 자치어의 성장과 생존율이 저조한 경우는, 소화율이나 영양가에 문제가 있다고 볼 수 있다.

소화가 안되는 경우는 먹이생물의 세포벽이 두텁기 때문일 경우가 많으므로, 이 경우 역시 먹이생물로는 부적합하다. 그러나 화학 조성의 면에서 다양한 필수 영양가 또는 칼로리가 낮을 경우는 부족한 영양 물질을 영양 강화 시키거나, 다른 종류의 먹이생물과 혼합하여 부분적으로 공급할 수 있으므로 먹이생물로서의 개발의 여지가 있다고 할 수 있다. 이와같은 실험 절차를 통하여 먹이 효율이 좋은 새로운 먹이생물종을 개발할 수 있다. 따라서 새로운 한 종류의 먹이생물을 개발하기 위해서는 많은 시간과 노력이 요구된다.

### 먹이생물 배양의 문제점

해양 미세조류를 먹이생물로 이용하기 위해서는 대량 배양이 가능하여야 한다. 그러나 해양 미세조류의 대량 배양은 실질적으로 경제성, 안정성, 다양성, 전문성 등의 관점에서 많은 어려움이 있다.

### 경제성

해양 미세조류는 광합성을 하므로 충분한 조도를 필요로 한다. 따라서 실내의 경우는 전기 에너지가 필요하고 옥외의 경우는 표면적이 넓은 수심 약 1~1.5 m 정도의 대형 수조가 필요하다. 이와 같은 문제점을 해결하기 위해서 발효조를 이용하여 빛이 없이 대량 배양이 가능한 타가영양(heterotrophic) 해양 미세조류의 개발을 시도하고 있다. 그러나 일반적으로 이러한 종은 종류가

다양하지 못하고 영양가가 낮아 먹이 효율이 저조하며 또 시설비가 높아, 개발이 개발될 수 있는 종류가 더욱 제한적이다.

또 먹이생물로서 활용되는 해양 미세조류가 주로 부유성 초 미소조류(nannoplankton)이므로 배양후 세포의 수확도 많은 비용이 요구된다. 이와 같은 문제점 이외에도 배양을 관리하는 인건비와 에너지 비용 등이 높아, 해양 미세조류를 대량 배양하는데는 높은 투자 비용이 문제되고 있다.

### 안정성

해양의 미세조류는 환경 요인에 따라 성장과 사멸이 급변하는 하등의 단세포 식물이다. 즉 환경이 적합하면 쉽게 최대 밀도에 이른 후 즉시 폐사하는 성장 형태를 갖고 있다. 따라서 계획적으로 대량 배양하던 것이 갑자기 폐사할 경우가 많아 종묘 생산에 차질을 초래하는 경우가 많다. 해양 미세조류는 낮은 온도에서는 성장이 매우 낮고 또 높은 온도에서는 일시에 폐사하는 예가 많다. 또 조도에 따라서도 성장이 급변하므로 온도와 조도의 복합적인 조절이 중요하다. 이와 같이 환경이 조절되는 실내의 소규모 배양에서는 큰 어려움이 없으나 대규모로 배양할 경우 자연히 옥외의 자연 환경에 의존하는 경우가 많아 이때의 안정성은 항상 문제가 되고 있다

따라서 대량 배양시 폐사될 것을 대비하여 항상 단계적인 배양을 유지하여야 하므로 이와같은 안정성의 결여는 경제적인 부담을 더욱 가중시키는 물론, 계획적인 종묘 생산에 큰 차질을 주어 양식 산업의 발전에 큰 문제로 작용하고 있다.

### 다양성

해양의 유생이나 자치어가 자연 상태에서 부화

되었다면 이들은 해양의 다양한 먹이생물을 섭취하며 성장할 수 있다 그러나 인공종묘 생산시 대량 배양이 까다로운 해양 미세조류를 여러 종을 동시에 대량 배양하기란 쉽지 않아, 유생이나 자치어에 공급할 수 있는 먹이생물은 극히 제한되어 있다. 따라서 현재의 제한된 먹이생물 종류로서는 영양적인 측면에서 편중되는 경우가 많고, 이는 종묘의 생존율과 성장에 영향을 주며 건강한 종묘의 생산에 차질을 초래하게 된다. 따라서 먹이생물을 공급할 경우 가능하면, 다양한 종류의 해양 미세조류를 배양하여 혼합 공급하는 것이 효율적이다. 그러나 근본적으로 대량 배양 자체가 가능한 해양 미세조류의 종류가 다양하지 못해, 많은 새로운 종류의 먹이생물 개발 연구가 필요하다.

### 전문성

해양 미세조류는 순수 분리에서부터 대량 배양에 이르기까지 매우 전문적인 기술과 경험을 필요로 한다. 그러나 현실적으로 현장의 양식 어민이 필요하는 해양 미세조류를 직접 분리하고 관리하면서 계획적으로 대량 배양하기란 어려울 뿐만 아니라 비생산적이다. 따라서 현장의 양식 어민들로서는 이미 대량 배양된 양식의 먹이생물을 종류별로 공급받을 수 있으면 매우 편리하고 경제적이다. 그러나 이와 같은 전문화된 산업의 육성이 아직은 부족한 실정이다.

## 먹이생물로서의 주요 해양 미세조류

### 윤충 배양을 위한 해양 미세조류

해산 어류를 종묘 생산할 경우 부화 직후의 자어에게 공급할 수 있는 동물 먹이생물로서 윤충

(*Brachionus plicatilis*)이 널리 이용되고 있다. 윤충은 원래 담수에 서식하나 염분에 대한 내성이 높아 해수에서도 배양이 가능하다. 윤충은 크기가 100-300  $\mu\text{m}$ 로 작고 영양가도 비교적 좋으며 고밀도 대량 배양이 수월하여 해산 어류의 자·치어의 먹이생물로 적합하다. 물론 능성어류(*Einephelus*)와 같이 입이 작은 해산 어류의 경우 기존의 윤충이 먹이생물로 사용되기에 적합치 않은 경우도 있으나(이·허 1998), 현재 세계적으로 개발된 초기 동물 먹이생물로서는 대표적인 종류라 할 수 있다.

윤충을 대량 배양하는데 널리 이용되는 해양 미세조류를 보면 해수산 크로렐라, 테트라셀미스(*Tetraselmis*), 난노크로리스 오큐라타(*Nannochloris oculata*), 아이소크라이시스 갈바나(*Isochrysis galbana*) 등을 들 수 있다. 또 담수산 크로렐라 불가리스(*Chlorella vulgaris*)를 이용하는 경우도 많다. 윤충은 세포벽이 두꺼운 크로렐라를 깨어 먹을 수 있는 강한 이빨이 있어, 지질과 단백질 함량이 높은 크로렐라는 윤충의 좋은 먹이생물이 된다. 담수산 크로렐라는 해수산보다 세포가 크고 성장이 높지만 반대로 고도 불포화 지방산이 적어 영양의 측면에서 해수산 크로렐라보다 못하다. 따라서 윤충의 성장을 위해서 담수산 크로렐라에 비타민 B<sub>12</sub>를 첨가하여 윤충을 배양하기도 하나, 자·치어에 공급하기 직전에는 해산 크로렐라로 2차 배양하곤 한다(Satuito and Hirayama 1989).

그러나 해수산 크로렐라의 경우 영양적으로 우수하긴 하나, 30°C 정도의 고온에서는 갑자기 폐사하므로 여름철에 대량 배양하기는 까다롭다(Hur 1991). 따라서 열대나 아열대에서는 광온성이고 광염성인 테트라셀미스를 배양하는 경우가

많다. 테트라셀미스는 세포가 약 600  $\mu\text{m}^3$ 으로 크고 배양이 수월하지만, 영양학적으로는 해수산 크로렐라보다 못하다(김·허 1998a). 특히 고도 불포화 지방산이 적어서 테트라셀미스로 배양하는 윤충을 자·치어에 공급하기 전에도 해수산 클로렐라로 2차 배양하는 경우가 많다(Fukusho et al. 1984). 크로렐라와 테트라셀미스는 비교적 배양이 수월하여 인산염과 질산염 만으로도 쉽게 배양된다. 따라서 농업용 비료를 이용하여 경제적으로 대량배양이 가능하다.

아이소클라이시스 갈바나(*Isochrysis galbana*)는 직경 약 5  $\mu\text{m}$ 의 황색 편모조류로서 단백질 함량과 지방산의 함량이 높아 먹이생물로 가장 널리 이용되는 종의 하나이다 그러나 이 종은 대량 배양의 경우 다양한 영양염을 요구하여 농업용 비료만으로는 성장이 불량하고, 또 온도나 염분에 대한 내성도 앞의 두 종에 비교하면 협소하여 옥외에서 대량 배양하기에는 까다로운 점이 많다. 즉 이 종류는 빛과 온도가 조절되는 실내에서는 대량 배양이 가능하나, 옥외에서는 까다로워서 대량 배양시 비용이 많이 드는 단점이 있다.

윤충은 식성이 매우 좋아 1개체당 하루에 약 20만 세포 이상의 크로렐라를 섭취하므로(Yamasaki et al. 1984) 크로렐라의 대량 배양을 위한 비용이 매우 높다. 따라서 윤충을 경제적으로 쉽게 대량배양하기 위하여 빵효모(*Saccharomyces cerevisiae*)를 이용할 수 있다 그러나 빵효모는 지질의 함량이 낮아 먹이 효율이 낮고 이러한 영양 결핍을 보강하기 위하여, EPA (eicosapentaenoic acid), DHA (docosahexaenoic acid)와 같은 고도 불포화 지방산의 함량이 높은 오징어유를 빵효모에 유화시켜 유지효모( $\omega$ -yeast)를 제조하여 사용하기도 한다. 그러나 유지효모는 수질 오염의 문제점

이 있고 영양적으로도 해산 크로렐라 보다 못하다. 따라서 유지효모로 배양할 경우도 최종적으로는 해산 크로렐라로 영양 보강한 후 자치어에 공급하고 있다.

**무척추동물 유생 사육을 위한 해양 미세조류**

해양 미세조류를 먹이로 섭취하는 무척추동물은 크게 두 가지로 구분할 수 있다. 첫째는 유생 시기에만 미세조류를 섭취하고 성장함에 따라 해조류를 섭취하는 전복, 성게 등의 대형 조식동물(macroalgivores)과 평생을 미세조류를 여과 섭취하는 조개류, 우렁쉥이 등의 소형 조식동물(microalgivores)을 들 수 있다. 첫째의 경우는 주로 유생이 부착성이므로 먹이도 부착성 해양 미세조류이다. 그러나 둘째의 경우는 주로 부유성인 해양 미세조류가 주 먹이생물이 된다.

부착성 미세조류는 부유성 미세조류 보다 배양이 훨씬 어렵다. 부착성 미세조류의 경우 부착 기질이 있어야 하므로, 단위 면적당 고밀도의 배양이 상대적으로 낮고 너무 많이 부착하였을 경우 자체 무게로 탈락하는 문제가 있다. 일반적으로 부착성 미세조류는 배양 초기에는 작은 크기의 부착성 미세조류가 우점하나 배양 시기가 지나면서 대형 부착 미세조류로 바뀌게 되고 또 무거워 자체 탈락하게 되므로, 부착성 먹이생물을 대량 배양하기가 훨씬 까다롭다.

이와 같은 부착성 미세조류는 주로 유수식으로 부착 기질에 자연적으로 부착하게 하는 방법인데 대표적인 전복 종묘 생산의 경우 배양 초기에는 나비큐라(*Navicula*), 니찌아(*Nitzschia*), 암포라(*Amphora*), 칼로네이스(*Caloneise*) 등의 소형 부착 규조가 발생 하나 시간이 지나면 프라지라리아(*Fragililaria*), 코시노 디스커스(*Coscinodiscus*), 리조

솔레니아(*Rhizosolenia*) 등의 대형 규조가 부착하게 된다(김 1992; 한 1994).

한편, 조개류와 같은 부유성 유생은 D상으로 성장하면서 활발히 먹이를 섭취하기 시작한다. 따라서 조개류 유생의 먹이생물로는 일반적으로 소화가 잘되고 영양가가 높은 부유성 미세조류가 좋다. 이와같은 면에서 고밀도 배양이 가능하고 지질의 함량이 높은 아이소크라이시스 갈바나, 파브로바 루테리(*Pavlova lutherili*) 등의 황색 편모조와 부유성 규조류 중 탈라씨오시라 슈도난나(*Thalassiosira psedonana*), 캐토세로스 심플렉스(*Chaetoceros simplex*) 등이 가장 널리 이용된다. 또 다양한 먹이 공급을 위하여 듀나리엘라 터티오렉타(*Dunaliella tertiolecta*) 난노크로리스 오큐라타 등의 녹조류를 혼합 공급하기도 한다. 또 위와 같은 먹이 생물들이 양적으로 충분하지 못할 경우를 대비해서 배양이 수월하고 세포의 용적이 큰 테트라셀미스를 배양하여 함께 공급하는 예가 많다.

한편, 새우류의 유생 사육시 조에아(zoea)단계에서는 해양 미세조류를 섭취하는데 대표적으로 스

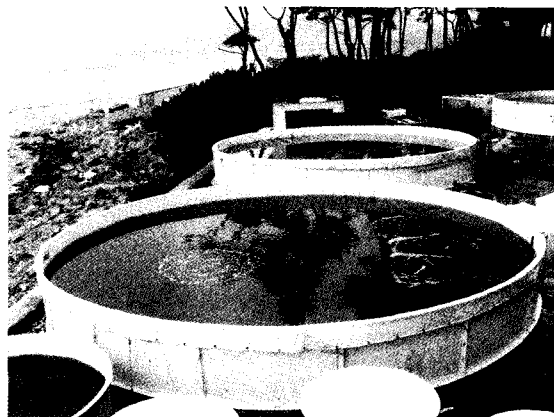


그림 2. 50 톤 규모의 옥외 chlorella 대량 배양.



## 기획특집

케레토네마 코스타툼(*Skeletonema costatum*)을 먹이생물로 공급한다. 일반적으로 해양 미세조류를 배양하는 단계는 시험관 → 1ℓ 플라스크 → 20ℓ 카보이 병(carboy bottle) → 200ℓ 원형 FRP 수조 → 1톤 수조 → 5톤 수조 → 50톤 수조의 규모로 단계적으로 배양한다. 1톤까지는 온도와 조도가 조절된 실내에서, 그 이상은 옥외의 온실이

나 노천에서 배양하는 예가 많다(그림 2). 배양시 시험관 규모로부터 소요되는 시간을 보면 20ℓ까지는 약 3주, 5톤까지는 5주, 50톤까지는 6주 정도가 소요된다. 그러나 이와 같은 배양시간은 온도, 조도, 영양염 등에 따라 크게 다르다. 양식 먹이생물의 목적으로 세계적으로 주로 대량 배양하는 해양미세조류의 현황은 표 1과 같다.

표 1. 양식 대상 종류별 주요 해양 미세조류의 배양

대표 종	해양 미세조류
윤충류 <i>Brachionus plicatilis</i>	<i>Chlorella ellipsoidea</i> <i>Chlorella. sp.</i> <i>Nannochloris oculata</i> <i>Nannochloropsis oculata</i> <i>Tetraselmis chui</i> <i>T. suecica</i> <i>T. tetrathele</i>
전복 <i>Haliotis disscus hanai</i>	<i>Caloneise sp.</i> <i>Navicula sp.</i> <i>Nitzschia sp.</i> <i>Gomphonema sp.</i>
이매패류 <i>Anadara brouthtoni</i> <i>Argopecten sp.</i> <i>Crassostrea gigas</i> <i>Pinctada fucata</i> <i>Tapes philippinarium</i> <i>Other bivalve sp.</i>	<i>Chaoceros calcitrans</i> <i>C. ceratosporum</i> <i>C. muelleri</i> <i>C. simplex</i> <i>Chlorella minutissima</i> <i>Isochrysis aff. galbana</i> <i>I. galbana</i> <i>Pavlova lutheri</i> <i>P. viridis</i> <i>Phaeodactylum tricornutum</i> <i>Skeletonema costatum</i> <i>Tetraselmis subcordiformis</i> <i>Thalassiosira psedonana</i>

표 1. 계속

대표 종	해양 미세조류
새우	
<i>Metapenaeus ensis</i>	<i>Chaetoceros calcitrans</i>
<i>Penaeus chinensis</i>	<i>C. ceratosporum</i>
<i>P. japonicus</i>	<i>Chlorella muelleri</i>
<i>P. merguensis</i>	<i>Isocshrysis galbana</i>
<i>P. monodon</i>	<i>Pavlova viridis</i>
	<i>Skeletonema costatum</i>
	<i>Spirulina platensis(dried)</i>
	<i>Tetraselmis chui</i>
	<i>Tetraselmis sp.</i>
	<i>T. tetrathele</i>
게	
<i>Portunas trituberculatus</i>	<i>Navicula hustediana</i>
	<i>Synecoccus sp.</i>

해산 무척추동물의 유생을 사육하기 위해서 여러종류의 해양 미세조류를 배양하여 공급하면 먹이 효율이 좋으므로 그림 3과 같이 황색 편모조류, 규조류, 녹조류와 대량 배양이 용이한 프라시노파이새(Prasinophyceae)의 테트라셀미스에서 한 종류씩을 택하여 대량 배양한 후 혼합하여 공급

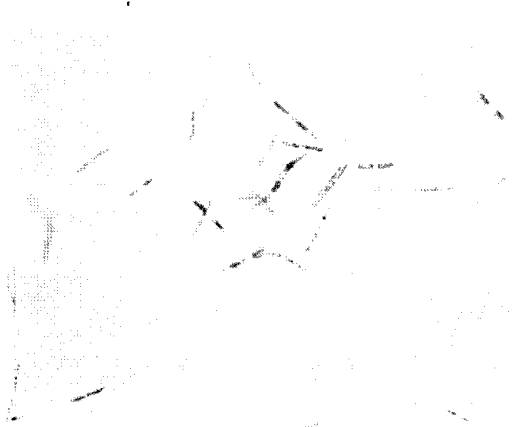


그림 3. "본문 참고".

하면 효과적이다(Hur 1997)(표 2). 대량 배양된 먹이생물의 양이 부족할 경우 소화력이 좋은 유생을 사육할 때에는 해수산 크로렐라를 부분적으로 사용할 수도 있다.

### 그린 워터(green water)를 위한 해양 미세조류의 이용

해양 무척추동물의 유생이나 어류 자·치어를 사육할 때 해양 미세조류를 사육 수조에 공급하는데 이를 그린 워터(green water)라 칭한다. 그린 워터는 먹이로서의 효과, 수질 안정으로서의 효과, 음영 효과, 자어 면역 활성화 등의 효과가 있는 것으로 알려져 있다(Cabrera, 1993). 현재 이와같은 그린 워터의 목적으로 주로 이용되는 미세조류는, 배양이 수월하고 영양염의 흡수력이 강한 해산 크로렐라(*Chlorella ellipsoidea*)가 널리 사용되고 있다.

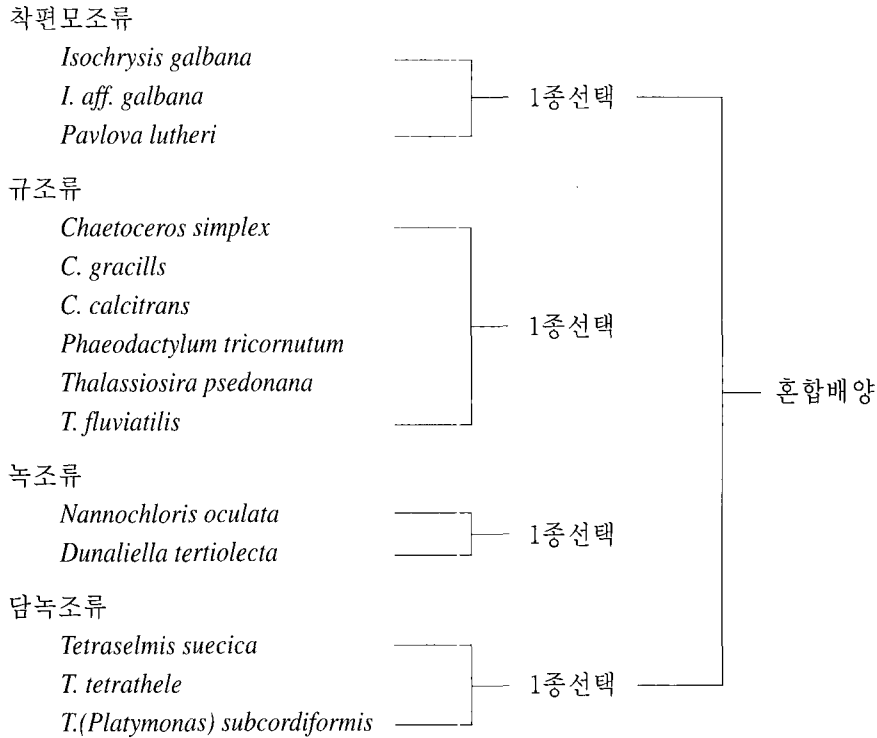


표 2. 종묘 생산에 주로 이용되는 혼합 먹이생물.

## 해양 미세조류의 대량 배양

### 대량 배양 방법

해양 미세조류를 대량 배양하기 위한 방법은 크게 환경 조절이 가능한 실내에서 발효조를 이용한 타가영양 미세조류(heterotrophic microalgae)를 배양하거나 또는 조명을 이용한 자가영양 미세조류(autotrophic microalgae)의 경우가 있다. 대부분의 타가영양 미세조류는 주로 담수산 미세조류로 크로렐라가 대표적이다. 해양 미세조류는 실내에서 인공 조명으로 20ℓ 병 또는 비닐 주머니, FRP 또는 아크릴 수조를 이용하여 1~2톤 규모까지 대량 배양한다. 작은 규모의 배양에서는

형광등을 주로 사용하나 큰 규모의 배양에서는 밝은 조도의 할로겐 전구를 사용하는 경우가 많다.

일반적으로 2톤 규모 이상의 대량 배양일 경우는 농업용 비료를 이용하는 것이 경제적이다. 이때 시비는 Schreiber (1927)배지의  $\text{NaNO}_3$  (150 mg/l),  $\text{NaH}_2\text{PO}_4$  (8.69 mg/l) 농도를 기준으로 비료의 양을 조절한다. 또 규조를 배양할 경우는 일반적으로 f/2배지(Guillard and Ryther, 1962)에서의 규산염( $\text{Na}_2\text{SiO}_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ )의 농도 30 mg/l을 기준으로 규산 비료를 이용한다. 현재 국내에서 시판되는 비료를 보면 요소 비료, 복합 비료, 규산 비료가 대부분이다. 요소 비료는 질소 46%, 복합 비료는 질소 21%, 인산 17%, 카리 27%, 규산질 비

료는 가용성 규산이 25%이므로 이들 비율을 고려하여 Schreiber (1927)와 f/2배지의 N, P, Si의 농도를 기준으로 비료량을 계산할 수 있다.

녹조류를 대량 배양할 때는 1톤 당 요소 비료 163.7g, 복합 비료 117.6g, 규조류일 경우는 위와 같은 농도의 요소와 복합 비료에 규산 비료 120g을 혼합하여 사용한다. 비료는 분쇄기로 갈아서 따뜻한 물에 용해시켜서 뿌려주면 좋으며 배양 종류에 따라 N, P, Si의 함량을 높여야 할 경우 같은 방법으로 비료의 양을 증가시킬 수 있다(허 1997). 이와같은 농업용 비료에는 주로 N, P, K, Si 등의 기본적인 영양염 뿐이므로 성장의 속도가 늦다. 따라서 빠른 성장을 시키려면 비료 이외의 Mn, Co, Cu, Zn 등의 영양염을 첨가하면 좋다.

대량 배양할 경우 접종량의 규모는 수확해야 할 시기와 양에 따라 다를 수 있다. 접종량이 많으면 빠른 시일 안에 최대 배양 밀도에 이를 수 있다. 또 접종량이 너무 적으면 성장이 늦을 뿐 아니라 다른 종류로 오염될 가능성도 있다. 수확하는 시기는 세포가 정체기 직전의 대수기에 수확하는 것이 세포의 양과 영양학적인 면에서도 좋고, 다시 접종할 목적에서도 좋다. 일반적으로 접종량은 전체 배양의 약 10% 정도면 무난하다. 또 옥외 대량 배양시 접종할 때는 맑은 날 오전에 하는 것이 좋다.

대량 배양시 빠른 세포의 성장을 위해 CO<sub>2</sub>를 공급하면 좋다. CO<sub>2</sub>는 공기와 함께 연결하여 배양조에 공급한다. CO<sub>2</sub>의 양은 공기의 약 1~2% 정도면 충분하다. CO<sub>2</sub>를 너무 많이 공급할 경우 H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>의 상태가 많아지고 이는 배양액의 pH를 산성화시키게 된다. 따라서 pH6 이하의 산성으로 떨어지면 CO<sub>2</sub>를 중단하여야 한다. CO<sub>2</sub>는 비용이 많이 들므로 필요 이상으로 사용할 필요는 없다.

공기와 CO<sub>2</sub>는 여과하여 공급하면 좋다. PVC관에 활성탄을 넣고 앞뒤를 솜이나 유리 섬유로 막고 공기를 통과시키면 간단히 여과할 수 있다.

### 연속 배양

해양 미세조류를 일시에 배양하고 일시에 수확하는 회분 배양(batch culture) 이외에도 연속 배양(continuous culture)나 반연속 배양(semi-continuous culture)를 하는 경우가 많다. 연속 배양은 배양조, 배지통, 수확통으로 구분되며 세포가 성장하면 주기적으로 일정한 양을 수확되고 일정한 양의 새로운 배지가 공급되는 시스템이다.

연속 배양은 배양조의 화학 조성을 일정하게 유지하는 방법(chemostat) 또는 탁도를 유지하는 방법(turbidostat)을 이용하는데 소규모의 배양에서는 가능하나 자가영양 해양 미세조류의 대규모 배양의 경우는 현실적으로 어렵다. 연속 배양은 지속적으로 균일한 배양 상태의 세포를 수확할 수 있는 장점이 있긴 하나 일반적으로 먹이로 사용하기 위한 해양 미세조류의 배양은 일시에 대량을 요구할 경우가 많아 소규모의 연속 배양으로는 해결하기 어려운 점이 있다. 연속 배양은 시설이 복잡하고 비용이 많이 드는 문제점도 있다. 그러나 연구실에서와 같이 소량의 먹이생물을 필요로 하는 경우는 매우 편리하게 활용될 수 있다. 연속 배양으로 계속 수확한 후 저온에서 보관하여 단시일 내에 사용할 경우에도 적당하다.

따라서 먹이생물을 동시에 많이 사용하는 부화장에서는 일단 배양과 연속 배양을 병합한 반연속 배양 방법을 많이 쓴다. 그러나 이 방법은 한 수조에서 장기간 배양하면 죽은 세포가 쌓여 원생동물이 발생할 뿐 아니라 다른 미세조류로 오염될 가능성이 있으므로 자주 배양조를 바꾸고

## 기획특집

오염되지 않도록 관리하여야 한다. 대량 배양 수조의 관리는 사용후 깨끗이 청소하고 햇빛에 충분히 말리는 방법이 가장 경제적이고 수월하다. 또 이때 밸브 또는 배관속의 찌꺼기도 충분히 세척하고 건조시키는 것이 좋다.

대량 배양시 지나치게 많은 공기를 공급하면 수질이 쉽게 산성화되므로 필요 이상의 통기는 에너지 낭비뿐만 아니라 수질 관리에도 해롭다. 통기는 전체적으로 흐름이 있을 정도로 세포가 수조 바닥에 쌓이지 않을 수준이면 충분하다. 또 종에 따라서는 연속 통기하지 않고 주기적으로 통기하여도 충분한 공기 공급이 되기도 한다. 대량 배양시 거품이 날 정도이면 공기는 줄이는 것이 좋다.

### 수확

경제적인 미세조류의 수확 방법은 대량 배양 후 가장 어려운 문제이다. 미세조류를 수확하는 방법은 크게 원심분리, 여과, 화학응집에 의한 침전 방법으로 구분할 수 있다. 원심분리나 여과 방법은 미세조류의 질적 상태를 잘 유지할 수 있으나 비용이 높고 화학응집에 의한 방법은 경제적이지 하나 미세조류의 질을 변형시키는 단점이 있다. 따라서 미세조류의 수확 방법은 사용 목적과 세포의 특성에 따라서 다르다. 스파이루리나 프라텐시스(*Spirulina platensis*)와 같이 사슬의 형태를 형성하는 남조류는 배양후 공기를 중단하면 세포가 무거워 자연히 밑으로 가라앉는다. 따라서 위의 상등액은 새로 접종하는데 사용하고 바닥의 세포는 여과 또는 원심분리 방법으로 쉽게 수확할 수 있다. 그러나 크로렐라와 같이 각 세포가 분리된 미세한 부유성 미세조류는 수확하는데, 주로 원심분리기를 사용하여야 하므로 비용

이 많이 든다.

세포가 비교적 큰 테트라셀미스 같은 종은 flow basket을 사용하면 비교적 수월하게 세포만을 수확할 수 있다. 그러나 크로렐라와 같은 미세조류는 flow basket 으로는 너무 시간이 많이 걸려서 분리기(separator)로 일단 농축 시킨 후, 최종적으로 flow basket 으로 세포를 수확하는 방법이 편리하다(그림 4). 그러나 분리기를 사용할 때 크로렐라와 같이 세포벽이 두꺼운 종류는 세포의 손상이 없지만, 세포벽이 얇거나 섬모 등이 있는 미세조류는 다소 손상될 수 있다. 옥외 대량 배양시는 여러 가지 이물질이 혼합될 수 있어 망목이 작은 망지를 대고 걸러야 한다. 분리기로 거르는 과정에서 박테리아와 같이 가볍고 미세한 생물은 주로 유출되므로 세포가 농축되면서 미세조류는 자연히 깨끗한 상태로 된다.

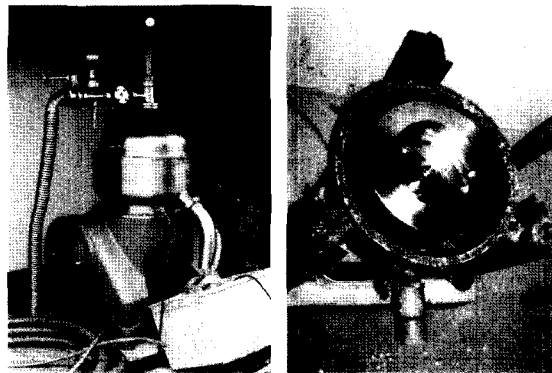


그림 4. 수확을 위한 분리기(좌)와 flow basket (우).

분리기의 종류와 미세조류의 종류 및 배양 밀도에 따라서 다르지만 일반적으로 1회 농축시 약 30% 정도의 용량이 감소된다. 따라서 1톤의 대량 배양 크로렐라를 4회 농축하면 약 6t로 농축될 수 있다(허 1997). 이외에도 공막장치(ultrafiltration membrane)를 이용해서 세포를 농축할 수도 있지

만, 미세한 종일수록 공막을 막게 되어 사용하기에 불편하다. 세포만을 수거한 미세조류는 가능하면 여과해수에 다시 풀어서 flow basket으로 다시 분리하면 더욱 좋다. 이유는 배양시 질산염이나 인산염이 세포 표면에 많이 잔류해 있어 그냥 사용하면 수조내의 질산염이나 인산염의 함량이 높아질 수 있기 때문이다.

### 대체 먹이생물

양식 종묘생산을 위하여 해양 미세조류를 대량 배양하는 것은 경제적으로 매우 비용이 높을 뿐만 아니라 안정성에도 문제가 많아 이런 문제를 해결하기 위한 여러 연구가 시도되고 있다. 효모는 해양 미세조류와 같이 크기가 작고 발효조에서 쉽게 대량 배양되므로, 질적인 문제만 해결되면 훌륭한 먹이생물로 가능하다. 현재 윤충의 경우 크로렐라 대신에 빵효모 또는 유지효모가 개발되어 크로렐라를 많은 부분 대체하고 있다. 그러나 그 외 무척추동물의 유생 먹이로는 아직 충분히 개발되지 못한 상태이다. 새우류의 경우 조예아 단계에서 스케레토네마 코스타툼 대신에 유지효모를 사용할 경우, 약 50%까지의 대체가 가능한 것으로 나타났다(김 1993). 그러나 여과 섭식을 하는 조개류 유생의 경우는 아직 효모로 대체될 가능성이 희박한 실정이다.

이와 같은 원인은 효모의 세포벽이 두꺼워 소화에 문제가 있고 또 효모 자체의 영양 특히 지질이 부족하기 때문이다. 최근에 이와 같은 문제를 해결하고자 효모의 세포벽을 제거하기 위한 생물학적 및 화학적 연구가 시도되고 있으나 아직 산업적으로 충분히 개발된 상태는 아니다.

한편 살아있는 해양 미세조류 대신에 냉동 또는 동결 건조한 해양 미세조류를 개발하여 사용

하면 살아있는 먹이생물을 사용할 때의 경제성과 안전성의 문제를 보완할 수 있다. 이와 같은 목적을 위해서는 대량 배양과 수확이 간단하고 경제적이며 영양가도 무난한 테트라셀미스가 가장 넓게 이용되고 있다. 유생의 종류에 따라서 또 사육 대상 생물의 크기에 따라서 이와 같은 냉동·동결 건조된 해양 미세조류의 먹이효율은 차이가 있다. 예를들어 참굴(*Crassostrea gigas*) 유생 같은 경우는 냉동 테트라셀미스가 살아있는 배양 상태의 테트라셀미스 보다 약 67%의 먹이 효율을 보이지만 동죽(*Macra chinensis*)에서는 약 84%, 또 바지락(*Ruditapes philippinarum*) 치폐에서는 동일한 먹이 효율을 보였다(김, 허 1998).

최근에는 해양 미세조류를 대량 배양한 후 농축시켜서 농축 먹이생물로 활용하는 예가 많다. 대표적으로 윤충 배양을 위한 농축 크로렐라를 들 수 있다. 또 조개류 유생 사육을 위한 탈라씨오시라(*Thalassiosira*) 등도 개발되었다. 이 농축 먹이생물은 매우 편리하긴 하나 장기간 보관이 어렵고 보관 기간이 길수록, 또 농축의 밀도가 높을수록 생존율이 저하되는 문제점이 있다(최 1998). 따라서 농축 미세조류는 세포벽이 두껍고 생존율이 높은 종류일 경우에 더욱 적합하다. 이와같은 농축 해양 미세조류는 보관 온도, 기간, 밀도에 따라 생존율이 다르다. 보다 장기간 보관하기 위해서 항생제를 활용하면 효과적이지만 항생제의 남용이 우려되므로 현실적으로 적용이 곤란하다. 따라서 이와같은 농축 미세조류는 장기간 보관이 어렵고 저온에서 보관하여야 하는 불편한 점이 있어, 주로 사용자의 주문에 따라 생산하는 경우가 많다.

한편 대량 배양이 수월한 종을 대상으로 대량 배양한 후 단점을 보완하여 사용하는 방법도 가

능하다. 예를 들면 크로렐라의 경우 세포벽이 두꺼워 조개류의 먹이로는 부적합한데, 이러한 단점을 해결하기 위한 연구가 시도되고 있다. 즉 크로렐라의 세포벽을 부분적으로 제거하기 위하여 크로렐라를 잘 소화시키는 윤충으로부터 세포벽을 분해시키는 효소를 분리 정제한후 유전공학적 기법으로, 효소를 대량 생산하여 크로렐라에 처리한 후 조개류의 먹이로 사용하는 방법이다 (Chun *et al.* 1997). 그러나 이러한 방법은 아직 실용화 단계에 이르지 못한채 차후 실용적인 결과가 기대된다.

또 다른 방법으로는 대량 배양이 수월한 종을 유용 유전자로 형질 전환시켜 영양학적, 생리적으로 우수한 새로운 형질의 해양 미세조류를 개발하여 이용하는 방법이다. 즉 어류나 패류로부터 성장호르몬 유전자를 비롯한 내병성, 면역 또는 영양강화에 관련하는 유용 유전자들을 분리하여 클론화하고 이들 유용 유전자들을 크로렐라나 테트라셀미스와 같이 배양이 수월한 해양 미세조류에 주입하여 형질 전환된 해양 미세조류를 먹이생물로 활용하는 방법이다. 현재 이와같은 첨단 연구도 연구중이며 곧 개발 될 수 있을 것으로 기대된다.

### 향후 연구과제

양식 산업 측면에서 먹이생물로서의 해양 미세조류는 양식 산업의 성패를 좌우하는 매우 기초적이고 실용적인 중요한 과제이다. 물론 먹이생물을 인공 사료로 대체하기 위한 노력은 지속적으로 수행되어야 한다. 근본적으로 먹이생물은 질보다는 다양한 종의 양적 확보가, 인공 사료는 양 보다 우수한 질적 확보가 관건이다.

인공 사료로 천연의 먹이생물을 완전히 대체하기란 불가능하므로, 인공 사료와 먹이생물은 동시에 연구·개발되어야 할 것이다. 따라서 해양 미세조류는 먹이생물의 차원에서 향후 지속적으로 연구되어야 한다. 먹이생물로서의 해양 미세조류의 활용은 대량 생산 체제를 전제로 하므로, 대량 생산은 그 지역 기후 특성에 의존적인 경우가 많다. 따라서 우리나라에서 가장 잘 성장할 수 있는 해양 미세조류는 우리나라 연안의 고유종이라 할 수 있다. 이와 같은 면에서 우리나라 연안의 해양 미세조류를 개발하여야 하고, 이를 이용할 수 있는 보다 많은 인프라를 구축하고 이들에게 쉽게 제공할 수 있는 국가 차원의 세계적인 은행의 발전이 매우 중요하다(허 1998).

또 해양 미세조류를 먹이생물로 이용하기 위하여 분류, 생리, 생태등의 기초 연구와 분자생물학적 및 유전공학적 연구를 통한 해양 미세조류의 첨단 생물공학 연구, 그리고 해양 미세조류의 신물질 탐색 등에 대한 화학적 연구도 중요하다. 궁극적으로 이와 같은 해양 미세조류의 향후 연구는 양식 산업의 발전 뿐만 아니라, 해양 미세조류를 활용할 수 있는 모든 기초과학 학문과 및 환경, 의약, 식품, 공업 원료 등의 산업 분야에도 적용할 수 있다. 특히 이러한 연구는 생물 다양성 협약 시대를 맞아 국내 생물산업의 국제 경쟁력 강화에 큰 기여를 할 것이므로, 활발한 연구가 기대된다.

### 참고 문헌

- 김용구, 1992. 참전복 (*Haliotis discus hannai* Ino) 종묘생산을 위한 부착성 규조류의 배양 및 먹이생물 효과. 부산수산대학교 대학원 석

- 사논문. 70 pp.
- 김철원 · 허성범. 1998a. 대량배양에 적합한 *Tetraselmis*종의 선택. 한국양식학회지 11(2): 231-240.
- 김철원 · 허성범. 1998b. 냉동 · 동결 건조된 *Tetraselmis suecica*의 먹이 효과. 한국양식학회지 11(2): 183-181.
- 김현준. 1993. 대하(*Penaeus chinensis*)종묘생산을 위한 환경요인 및 먹이생물학적연구. 부산수산대학교 대학원 박사학위논문. 171 pp.
- 오회복 · 이석준 · 김정석. 1998. 미세조류를 이용한 생물공학산업의 현황과 전망. Proceedings 한국 해양미세조류은행의 현황과 전망. 부경대학교 수산과학연구소, 부산. pp. 49-65.
- 이창규 · 허성범. 1998. 먹이생물과 수온의 붉바리 자어의 생존에 미치는 영향. 한국양식학회지 11(4): 565-572.
- 최용석. 1998. 농축 해산 *Chlorella*의 저장 방법. 부경대학교 대학원 석사학위논문. 52 pp.
- 한형균. 1994. 참전복 치패의 성장과 생존을 제고를 위한 부착성 규조류의 먹이효과. 부산수산대학교 산업대학원. 61 pp.
- 허성범. 1997. 농축 식물먹이생물 (*Chlorella*류) 개발의 산업화. 농림수산특정연구사업 최종보고서. 187 pp.
- 허성범. 1998. 한국미세조류은행의 설립과 현황. Proceedings 한국해양미세조류은행의 현황과 전망. 부경대학교 수산과학연구소, 부산. pp. 1-22.
- Cabrera T. R. 1993. The nutritional value of live feeds and egg quality on the larval growth and survival of flounder (*Paralichthys olivaceus*. Temminck et Schlegel). Ph. D. Thesis. National Fisheries University of Pusan. 193pp.
- Chun C. Z., Hur S. B. and Kim Y. T. 1997. Purification and characterization of an endoglucanase from the marine rotifers *Brachionus plicatilis*. Biochemistry and Molecular Biology International 43(2): 241-249.
- Droop M. R. 1962. Organic micronutrients. In: Lewin R. A. (ed), *Physiology and biochemistry of algae*. Academic Press, New York. pp. 149-159.
- Føyn B. 1934. Lebenszyklus, cytologie und sexualitat der chlorophyceae *Cladophora suhriana*. Hutzhing Arch. Protistenk. 83: 1-56.
- Fukusho K., Okauchi O., Nuraini S., Tsujigado A. and Watanabe T. 1984. Food value of rotifer *Brachionus plicatilis* cultured with *Tetraselmis tetrahele* for larvae of red sea bream *Pagrus major*. Bull. Hap. Soc. Sci. Fish. 50(8): 1439-1444.
- Gladue R. 1991. Heterotrophic microalgae production: potencial for application to aquaculture feeds. In: Fulks W. and Main L. K. (eds). *Rotifer and microalgae culture systems*, Proceedings of a US-Asia Workshop. The Oceanic Institute, Hawaii. pp. 275-286.
- Gold K. and Baren C. F. 1966. Growth requirements of *Gyrodinium cohnii*. J. Protozool. 13: 255-257.
- Guillard R. R. L. and Ryther J. H. 1962. Studies on marine planktonic diatoms. I. *Cyclotella nana* Hustedt and *Detonula confervacea* (Cleve) Gran. Can. J. Microbiol. 3: 229-239.
- Hur S. B. 1991. The selection of optimum phytoplankton species for rotifer culture during cold and warm seasons and their nutritional value for marine



- finfish larvae. In: Fulks W. and Main K. L. (eds). *Rotifer and microalgal culture systems*. Proc. U.S-Asia Workshop. The Oceanic. Institute, Hawaii. pp. 163-174.
- Hur S. B. 1997. Prospective in Korean aquaculture and cooperation with Canada. In: Proceedings of the first Korea-Canada joint symposium in aquatic biosciences. Institute of Fisheries Sciences, Pukyong National University, Pusan. pp. 7-27.
- Lewin J. C. 1966. Physiological studies of the boron requirement of the diatom, *Cylindrotheca fusiformis* Reimann and Lewin. *J. Exp. Bot.* 17: 473-479.
- Lewin J. C. and Lewin R. A. 1960. Auxotrophy and heterotrophy in marine littoral diatoms. *Can. J. Microbiol.* 6: 127-134.
- Loosanoff V. L. and Davis H. C. 1963. Rearing of bivalve mollusks. In: Russel F. S. (ed), *Advances in marine biology* Vol. 1, Academic Press, London. pp. 1-135.
- Miquel P. 1892. De la culture artificielle des diatomées. *Le Diatomiste* 1: 93-99.
- New M. B. 1999. Global aquaculture: Current trends and challenges for the 21st century. *World Aquaculture* 30(1): 8-13.
- Pringsheim E. G. 1912. Kulturversuche mit chlorophyll fuhrenden mikroorganismen. *Beitr. Biol. Pfl.* 11: 305-332.
- Provasoil L., McLaughlin J. J. A. and Droop M. R. 1957. The development of artificial media for marine algae. *Arch Microbiol.* 25: 392-428.
- Satuito C. and Hirayama K. 1989. Fatsoluble vitamin requirements of the rotifer *Brachionus plicatilis*. In: Maclean J., Dizon L. and Hosillos L. (eds). *The First Asian Fisheries Forum*, Manila. pp. 619-622.
- Schreiber E. 1927. Die reinkultue von marinen phytoplankton und deren bedeutunf fur die erforschung der produkton sfahigkeit des meerwassers. *Wiss Meeresunters., Abt. Helgoländ.* 16: 1-34.
- Starr R. C. 1978. The culture collection of algae at the University of Texas at Austin. *J. Phycology* 14 supplement: 47-100.
- Ukeles R. 1971. National requirements in shellfish culture. In: Price K. S. and Maurer D. L. (eds), *Proceeding of conference on artificial propagation of commercially valuable shellfish*. University of Delaware, Newyork. pp. 43-64.
- Yamasaki S., Nishihara T. and Hirata H. 1984. Influence of marine *Chlorella* density on food consumption and growth rate of rotifer, *Brachionus plicatilis*. *Mem. Fac. Fish., Kagoshima Univ.* 33(1): 57-61(in Japanese).