

자연혼합배양에 의한 초기 먹이생물의 종 조성 변화

정민민* · 오봉세¹ · 구학동² · 이창훈 · 양문호 · 문태석² · 김삼연 · 김형신³

국립수산과학원 제주수산연구소

¹국립수산과학원 남해수산연구소

²국립수산과학원 남해수산연구소 남해특성화연구센터

³제주대학교 기초과학연구소

Variations of Species Composition of Early Feeding Organisms Through Nature Mixed Culture

MIN-MIN JUNG*, BONG-SAE OH¹, HAG-DONG KU², CHANG-HOON LEE, MOON-HO YANG, TAE-SEOK MOON²,
SAM-YEON KIM AND HYEUNG-SIN KIM³

*Jeju Fisheries Research Institute, NFRDI, Jeju-do 690-192, Korea

¹South Sea Fisheries Research Institute, NFRDI, Jeollanam-do 556-823, Korea

²South Sea Mariculture Research Center, NFRDI, Gyeongsangnam-do 668-821, Korea

³Research Institute Basic Science, Cheju National University, Jeju-do 690-756, Korea

본 연구에서는 자연혼합배양(nature mixed culture)이라는 기법을 이용하여 해수관상어를 사육하는데 성공하였고 자연혼합배양수조에서 해수관상어의 자어는 정상적으로 성장하고 생존 가능하였다. 자연혼합배양수조에 출현한 플랑크톤성 미소생물은 모두 34종이었으며 그 중에는 *Detonula pumila*, *Nitzschia* sp., *Fragilaria oceanica*, *Chaetoceros curvisetus*, *Stephanodiscus* sp., *Chaetoceros decipiens*, *Chaetoceros* sp., *Thalassiosira rotula*, *Eucampia zodiacus*, *Diploneis splendica*, *Nitzschia longissima*, *Surirella cuneata*, *Asterionella glacialis*, *Nitzschia* spp., *Chaetoceros debile*, *Thalassionema nitzschioides*, *Nitzschia closterium*, *Skeletonema costatum*과 *Licmophora* sp.와 같은 규조류가 19종, *Euglena* sp., *Gonyaulax* sp., *Pyramimonas* sp., *Proto-peridinium* sp., *Eutreptia* sp., *Parapedinella* sp., unidentified micro-flagellate, *Gyrodinium* sp., *Scrippsiella trochoidea*, *Gymnodinium sanguineum*, *Chrysochromulina* sp., *Gymnodinium* sp., *Prorocentrum triestinum*과 *Micromonas* sp.와 같은 편모조류가 14종 그리고 1종의 섬모충으로서 *Mesodinium rubrum*가 관찰되었다. 한편, 미소생물 중 중에서 편모조류의 한종인 *Chrysochromulina* sp.는 사육기간 동안 우점하였는데 이와 같은 결과는 배양 개시 후 10일째부터 지속적이고 안정적으로 유지 가능하였다.

We were successfully reared young marine ornamental larva fish in a unique process of microalgae blooming culture tank. The marine fish larva was grown and survived in this method. Generally, we called this method as natural mixed culture. Observed planktonic microalgae were 34 species with 19 diatoms (*Detonula pumila*, *Nitzschia* sp., *Fragilaria oceanica*, *Chaetoceros curvisetus*, *Stephanodiscus* sp., *Chaetoceros decipiens*, *Chaetoceros* sp., *Thalassiosira rotula*, *Eucampia zodiacus*, *Diploneis splendica*, *Nitzschia longissima*, *Surirella cuneata*, *Asterionella glacialis*, *Nitzschia* spp., *Chaetoceros debile*, *Thalassionema nitzschioides*, *Nitzschia closterium*, *Skeletonema costatum* and *Licmophora* sp.), 14 flagellates (*Euglena* sp., *Gonyaulax* sp., *Pyramimonas* sp., *Proto-peridinium* sp., *Eutreptia* sp., *Parapedinella* sp., unidentified micro-flagellate, *Gyrodinium* sp., *Scrippsiella trochoidea*, *Gymnodinium sanguineum*, *Chrysochromulina* sp., *Gymnodinium* sp., *Prorocentrum triestinum* and *Micromonas* sp.) and 1 ciliate (*Mesodinium rubrum*) in this culture tank. Dominant microalgae were *Chrysochromulina* sp. during the larval rearing periods. Blooming condition maintained continuously and stably from 10 to 60 days in this microcosm.

Keywords: *Chrysochromulina*, live food organism, microalgae, microcosm, natural mixed culture

서 론

해수어류의 인공번식생산과정에서 초기 먹이로 사용되는 플랑크톤은 크게 식물플랑크톤과 동물플랑크톤으로 구분되며 거의 대부분의 경우 식물플랑크톤의 배양은 동물플랑크톤을 배양, 증식시키기 위한 목적으로 이용된다. 그리고 해수어류의 초기자어는 이렇게 배양된 동물플랑크톤을 먹이로 사용한다(노와 정, 2007; 정과 노, 1999). 이처럼 전 세계의 관련 시설에서는 로티퍼(rotifer)와 알테미아(*Artemia*) 그리고 일부 코페포다(Copepod)를 이와 같은 용도로 이용하고 있다(Fujita 1973; Fukusho *et al.* 1985; Lubzens *et al.* 1989; Teshima *et al.* 1981; Yoshimura *et al.* 1996; 정 등, 1998; 정과 노, 1998; 정 등, 1999. 정 등, 1999).

전 세계의 인위적인 시설에서 널리 이용되는 대표적인 먹이플랑크톤(동물먹이생물) 중 코페포다류(Copepoda)를 제외한 나머지 로티퍼와 알테미아는 해양생태계에서 먹이로서 초기 자어에게 피식 당할 수 있는 가능성은 매우 희박하다. 왜냐하면 로티퍼는 원래 담수 기원의 동물플랑크톤으로 해양에서는 열대의 기수역이나 염분이 비교적 낮은 육상의 염호에 존재하기 때문에 해양에서 태어난 어린 해수어는 로티퍼를 먹이로 이용할 수 있는 기회가 거의 없으며, 알테미아 역시 일반적으로 해수어가 살 수 없는 고염분의 염호에 서식하는 생물이다(Austin and Allen, 1982). 즉, 먹이생물로 이용되는 동물플랑크톤 중 코페포다류를 제외하면 현재 전 세계적으로 해수어류의 인공번식과정에서 이용되는 로티퍼와 알테미아와 같은 동물먹이생물은 해양에서 태어난 어류 초기 자어의 먹이생물이 될 수 없다. 그리고 해양의 자연 생태계에서 먹이생물로 이용되는 코페포다 역시 유영 속도가 빠르고 크기가 커서 태어난 해수어의 초기 자어가 먹이생물로 적극적으로 이용하기에는 어려움이 많을 것으로 예상된다.

그렇다면 실제 해양에서 태어난 수많은 종류 그리고 엄청난 개체수의 해수어는 어떤 먹이생물을 먹이로 이용하면서 초기의 기아 상태를 극복하는 것일까? 이러한 의문점에 대하여 Graham(1991)과 Paran *et al.*(1991)은 해양에 존재하는 미세조류의 한 무리인 편모조류(flagellates)가 먹이생물 생태계에서 할 수 있는 역할(Maeda 1985)에 주목을 하여야 한다고 하였다.

한편, 최근 인위적으로 이루어지는 해수어의 인공번식과정에서 로티퍼나 알테미아 그리고 코페포다로는 사육되어지지 않는 어종에 대한 도전이 이루어지고 있으며 이 과정에서 이 연구에서 실시한 자연혼합배양 방법이 이루어지고 있는데 보통 현장에서는 물만들기(Mulmandeulgi)라는 용어로 불리기도 한다.

자연혼합배양 방법은 아직 방법이 완전히 정립되어 있지 않으며, 일부 연구자나 현장의 어민들에 의하여 개별적으로 이루어지고 있을 뿐이다. 자연혼합배양의 기본적인 방법은 자연해수를 인간이 관리 가능한 육상의 배양수조에 양수한다. 그리고 갓 태어난 어린 해수어가 먹이로서 이용 가능하도록 다양한 종류의 식물, 동물플랑크톤과 같은 미소생물의 증식을 도모한다. 자연혼합배양은 인위적으로 시비하거나 자연 발생시킨 미소생물이 갓 태어난 어린 해수어의 먹이가 되도록 하는 방법이다. 즉, 자연의 기초 생산력을 인위적인 시설에서 체현하는 방법이라고 설명할 수 있다.

본 연구에서는 자연에서 이루어지는 먹이생물 미소생태계의 구조를 이해하기 위한 기초 자료로 활용하고자 자연혼합배양 기법

을 도입하여 육상의 인위적인 시설에서 재연하고자 하였으며 이 과정에서 출현하는 미소생물이 해산어류의 먹이생물로 이용될 수 있도록 하기 위하여 관찰된 미세조류의 종을 분류하고 종 조성을 조사하였다.

재료 및 방법

실험에 사용된 육상수조는 가로 530 cm, 세로 425 cm 높이 130 cm의 대형 콘크리트 수조이며 수조의 크기는 약 30 m³이었고 수량은 수조의 70% 수준을 유지하였다. 유리 온실 내에 투과되는 자연 채광을 그대로 이용하였으며 18 °C 전후의 실내 자연 수온조건 하에서 배양하였다. 해수는 고압모래여과기를 통과한 자연해수를 바로 사용하였고 미세조류의 발생과 증식을 도모하기 위한 사비를 목적으로 시판용 배합사료 10 g/m³을 배양수조에 첨가하였다. 첨가한 배합사료의 성분 구성은 단백질 55% 이상, 지질 9% 이상, 탄수화물 1.9% 미만 그리고 수분 8% 미만으로 주요 성분은 어분, 식물성 단백질, 어유, 비타민, 미네랄 등이 함유되어 있었다.

출현하는 미세조류를 포함한 미소생물의 종 분류는 Kim(1999)과 Kim(2008)의 방법으로 편모조류를 분류하고 Yamaji(1984)의 방법으로 규조류를 분류하였다. 출현종의 관찰은 10일간에 걸쳐서 이루어졌는데 그 이유는 수차례의 반복 시험 결과 10일째 이후에는 거의 안정된 생물상이 유지되었으며 실제 현장에서도 이 방법은 10일 정도까지 활용되며 이후에는 기존 개발된 먹이생물(로티퍼와 알테미아)로 구성된 급이계열을 활용하기 때문이다. 관찰된 미소생물은 각 종별로 구분하여 계수하였다.

결 과

실험 과정에서 관찰된 미소생물상은 크게 미세조류에 속하는 편모조류와 규조류 그리고 미세조류에는 포함되지 않는 섬모충류의 3그룹으로 구분 가능하였으며, 관찰된 미소생물은 규조류 19종, 편모조류 14종, 섬모충류 1종으로 전부 34종이었다.

관찰된 미세조류는 규조류가 *Detonula pumila*, *Nitzschia* sp., *Fragilaria oceanica*, *Chaetoceros curvisetus*, *Stephanodiscus* sp., *Chaetoceros decipiens*, *Chaetoceros* sp., *Thalassiosira rotula*, *Eucampia zoodiacus*, *Diploneis splendica*, *Nitzschia longissima*, *Surirella cuneata*, *Asterionella glacialis*, *Nitzschia* spp., *Chaetoceros debile*, *Thalassionema nitzschioides*, *Nitzschia closterium*, *Skeletonema costatum*, *Licmophora* sp.의 19종, 편모조류가 *Euglena* sp., *Gonyaulax* sp., *Pyramimonas* sp., *Protopteridinium* sp., *Eutreptia* sp., *Parapedinella* sp., 동일한 한 종으로 판단되는 unidentified micro-flagellate, *Gyrodinium* sp., *Scrippsiella trochoidea*, *Gymnodinium sanguineum*, *Chrysochromulina* sp., *Gymnodinium* sp., *Prorocentrum triestinum*, *Micromonas* sp.의 14종이었다. 그리고 배양 개시 9일째부터 출현이 관찰된 원생동물은 섬모충인 *Mesodinium rubrum*의 1종이었다.

배양개시일인 0일째에 관찰된 미소생물은 3종이었으나 2일째부터는 급속도로 증가하기 시작하여 9일이 관찰되었고 3일째에는 14종, 4일째에는 17종이 관찰되었다. 그러나 5일째부터 7일째까지의 출현 미소생물의 종수는 점차 감소하여 최고 12종에서 최소 9종이 관찰되었다(Fig. 1). 그리고 8일째 이후부터는 안정적인 경향

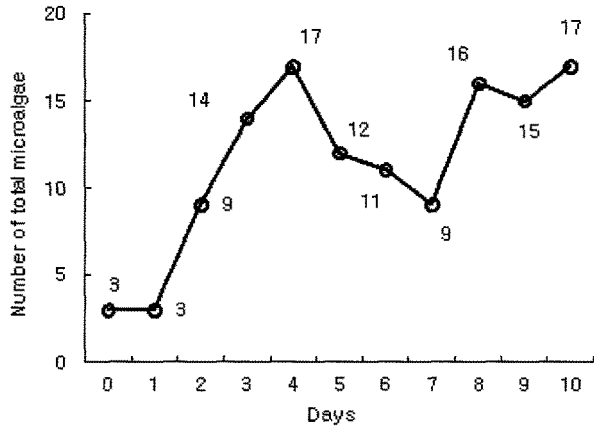


Fig. 1. Variation of species composition of microalgae in nature mixed culture.

을 보이며 10일째 이후에는 2개월 이상에 걸쳐서 15-17종이 지속적으로 유지되었다.

한편, 배양수조에서 관찰된 미소생물은 규조류, 편모조류, 섬모

충류였지만 그 중에서 가장 안정적인 증식 패턴을 보이면서 지속적으로 종을 유지하고 세포 수도 안정적으로 유지되어 자연에서 어린 해수어가 먹이생물로서 이용 가능성이 높거나 이용할 수 있는 미소생물은 편모조류로 판단되었다. 편모조류는 배양개시일인 0일째에 1종이 출현하였지만 3일째 이후부터는 매우 안정적인 종 조성이 관찰되었으며 이러한 종 조성 경향은 2개월 이상 지속적으로 유지 가능하였다(Fig. 2A). 그러나 규조류의 경우에는 10일 동안의 관찰 기간 중 매우 복잡하고 불안정적인 종 조성 과정을 보였는데 이처럼 불안정적인 규조류의 종 조성 과정은 배양 개시 후 10일경 편모조류의 종 조성이 안정되면서부터는 전체 미소생태계내에서 주요한 역할을 담당하지 못하였다(Fig. 2B). 한편, 섬모충은 배양 개시 후 9일째에 1종이 출현하였지만 10일째 이후에 바로 사라졌다(Fig. 2C).

관찰된 미소생물 중 규조류, 편모조류 그리고 섬모충류의 세포 수 변화를 비교한 결과에서는 전체 미소생물의 세포 수 변동을 좌우하는 무리는 편모조류와 규조류였으며 그 중에서도 규조류는 전체 미소생물의 세포 수 변동에 미치는 영향이 매우 미미하였으나 편모조류는 전체 미소생물의 세포 수가 바로 편모조류의 세포 수

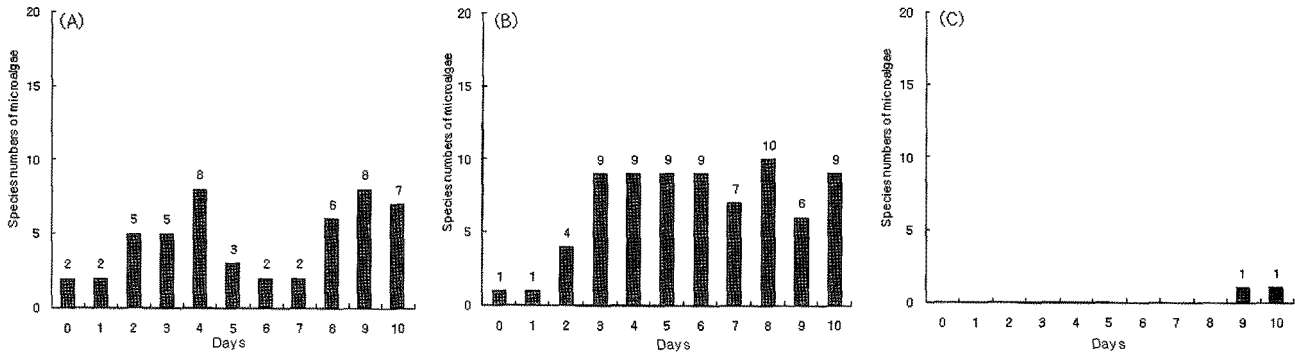


Fig. 2. Variation of species numbers of microalgae: flagellates (A), diatoms (B) and ciliates (C) in nature mixed culture.

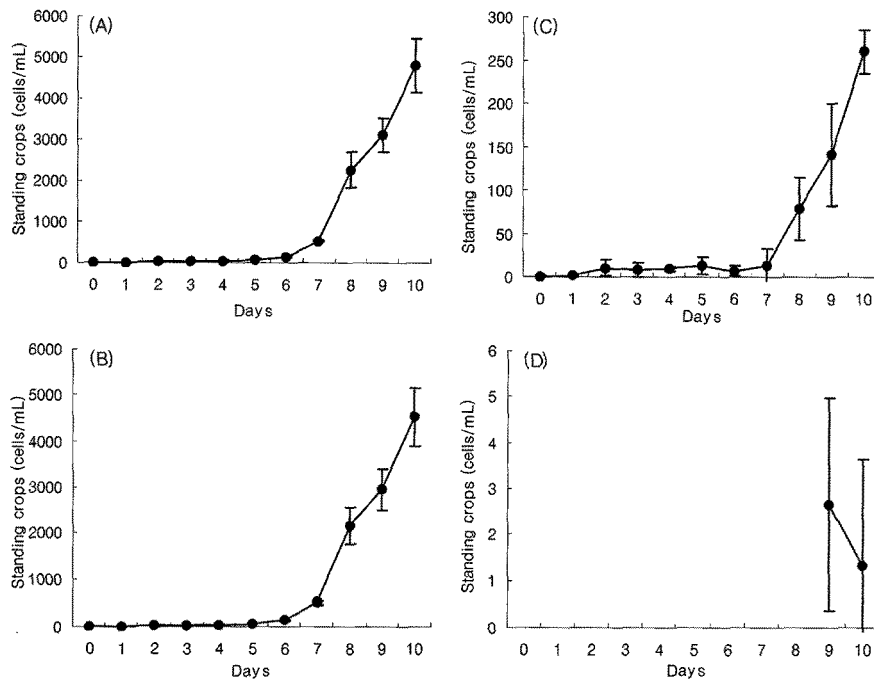


Fig. 3. Variation of standing crops of microalgae: total microalgae (A), flagellates (B), diatoms (C) and ciliate (D) in nature mixed culture.

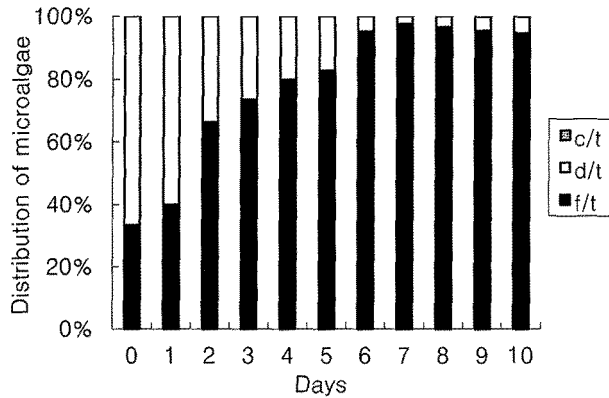


Fig. 4. Distribution of microalgae in nature mixed culture: ciliate (c/t), diatoms (d/t) and flagellates (f/t).

가 될 정도로 매우 큰 영향을 주었다(Fig. 3A-D). 자연혼합배양 수조에서 관찰된 미세조류는 배양개시 후 7일째부터 편모조류와 규조류 모두 급속도로 증가하기 시작하였는데 배양 개시 후 10일째 관찰된 미소생물의 총 세포 수는 $4,798 \pm 649$ cells/mL이었다(Fig. 3A). 한편 배양 개시 후 10일째의 편모조류는 $4,537 \pm 629$ cells/mL(Fig. 3B), 규조류는 260 ± 24 cells/mL(Fig. 3C)이고 섬모충류는 1.3 ± 2.3 cells/mL(Fig. 3D)이었다. 그리고 10일째 이후에도 계속 편모조류가 60일째까지 지속적이고 안정적으로 종 수와 세포 수를 유지하였다.

관찰된 규조류, 편모조류, 섬모충류의 우점율을 알아보기 위하여 배양일별로 각 무리의 출현 비율을 나타낸 결과에서도 배양 개시 후 6일째 이후부터는 편모조류가 전체 출현종의 대부분을 차지하였다. 한편 규조류는 배양 개시부터 관찰되었지만 배양 개시 후 6일째부터는 그 증식 세력이 매우 약해졌다. 섬모충류도 배양 개시 후 9일째에 2.6 ± 2.6 cells/mL가 나타난 후 10일째 이후부터는 관찰되지 않았다(Fig. 4).

그 중에서 출현한 편모조류의 종별 종 조성을 구체적으로 살펴 보면, *Euglena* sp.는 배양 개시 후 0일째부터 출현하여 3일째 15 ± 8 cells/mL로 증식 후 소멸하였으며(Table 1), *Gonyaulax* sp.는 배양

개시 후 2일째부터 출현하여 10일 동안 13 ± 6 cells/mL 이하의 미미한 출현이 관찰되었고(Table 1), *Pyramimonas* sp.도 배양 개시 후 2일째부터 출현하여 16 ± 18 cells/mL의 적은 개체 수가 관찰되었다(Table 1). *Protoperidinium* sp.은 배양개시 후 2일째부터 5일째까지 매우 적은 수가 관찰되었고(Table 1), *Eutreptia* sp.도 배양 개시 후 3일째와 4일째 잠시 관찰되었다(Table 1). 그러나 *Parapedinella* sp.(Table 1)와 동일종으로 판단되지만 크기가 3으로 너무 작아 분류하지 못한 micro-flagellate (Table 1) 그리고 *Gyrodinium* sp.(Table 1)의 경우에는 각각 최고밀도가 40 ± 2 cells/mL, 125 ± 22 cells/mL, 45 ± 12 cells/mL가 관찰되면서 미미하게 종을 유지하였다. 그리고 *Scrippsiella trochoidea*(Table 1)와 *Gymnodinium sanguineum*(Table 1)는 일시적으로만 관찰되었다.

이번 연구에서 가장 우점종으로 관찰된 편모조류의 한 종인 *Chrysochromulina* sp.는 배양 개시 후 4일째부터 관찰되기 시작하여 매우 빠른 속도로 증가하면서 배양 개시 후 10일째에는 $4,339 \pm 601$ cells/mL까지 증식하였다(Table 1). 하지만 관찰된 *Gymnodinium* spp.(Table 1)과 *Prorocentrum triestinum*(Table 1) 그리고 *Micromonas* sp.(Table 1)의 증식은 *Chrysochromulina* sp.에 비교하여 매우 낮았는데 우점종으로 관찰된 *Chrysochromulina* sp.는 배양 개시 후 4일째 4.3%의 우점종으로 출현하기 시작하여 6일째에는 50.2%로 급격하게 증식력이 높아지고 8일째 이후부터 2개월 이상 90% 이상의 우점율을 계속 유지하였다(Table 1).

관찰된 규조류의 종별 종 조성을 살펴보면 편모조류의 *Chrysochromulina* sp.처럼 지속적이고 안정적인 출현 양상을 보이는 종은 관찰할 수 없었다. 10일 동안의 매우 짧은 기간 중에도 규조류의 종별 종 조성은 매우 복잡하게 출현과 소멸을 반복하였다(Table 2).

고 찰

해양에서는 미소 먹이생물 군집(community)이 전체 먹이생물 구조의 기반을 지지하고 있으며 그 구성원은 세균, 원생동물 그리고 미세조류 등으로 해양에서 태어난 어린 물고기가 먹을 수 있는 먹이생물 환경을 만드는 기본이 되고 있다(前田, 1988). 한편,

Table 1. Standing crops (cells/mL) of flagellates on each culture days

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<i>Euglena</i> sp.	0.3 ± 0.5	0.6 ± 1.1	17.3 ± 2.5	15.0 ± 8.7							
<i>Gonyaulax</i> sp.			1.3 ± 2.3	1.6 ± 1.1	1.0 ± 1.0	3.3 ± 3.0	4.6 ± 1.1	13.3 ± 6.1	13.3 ± 4.6		6.6 ± 4.6
<i>Pyramimonas</i> sp.			0.6 ± 1.1	1.0 ± 1.0	0.6 ± 1.1	0.6 ± 1.1	0.6 ± 1.1	4.0 ± 6.9	12.0 ± 17.4	16.0 ± 18.3	1.3 ± 2.3
<i>Protoperidinium</i> sp.			0.3 ± 0.5	3.3 ± 1.1	1.3 ± 2.3	2.0 ± 2.0					1.3 ± 2.3
<i>Eutreptia</i> sp.				3.0 ± 2.6	0.3 ± 0.5						
<i>Parapedinella</i> sp.				1.6 ± 2.8	28.6 ± 12.7	40 ± 2.0	32 ± 2.0	2.0 ± 2.0			5.3 ± 4.6
unidentified micro-flagellates				0.6 ± 0.5	0.3 ± 0.5	6.6 ± 1.1	22 ± 8.7	76.6 ± 31.3	125.3 ± 22.0	110.6 ± 12.2	120 ± 21.1
<i>Gyrodinium</i> spp.				0.3 ± 0.5	0.3 ± 0.5	0.6 ± 1.1	3.3 ± 4.1	7.3 ± 8.0	8.0 ± 4.0	21.3 ± 4.6	45.3 ± 12.8
<i>Scrippsiella trochoidea</i>				0.3 ± 0.5		0.6 ± 1.1	0.6 ± 1.1		1.3 ± 2.3		
<i>Gymnodinium sanguineum</i>				0.3 ± 0.5	0.3 ± 0.5				1.3 ± 2.3		
<i>Chrysochromulina</i> sp.					2.0 ± 0.2	6.6 ± 1.1	75.3 ± 7.0	409.3 ± 72.5	1990.6 ± 366.1	2794.6 ± 444.4	4338.6 ± 601.9
<i>Gymnodinium</i> spp.						4.0 ± 3.4	2.0 ± 3.4	8.0 ± 4.0	14.6 ± 9.2	18.6 ± 8.3	17.3 ± 4.6
<i>Prorocentrum triestinum</i>									2.6 ± 2.3		1.3 ± 2.3
<i>Micromonas</i> sp.									1.3 ± 2.3	1.3 ± 2.3	

Table 2. Standing crops (cells/mL) of diatoms on each culture days

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<i>Detonula pumila</i>	0.3±0.5	0.6±0.5	1.6±2.0	3.6±4.7	2.3±1.5	6.0±5.2				9.3±16.1	
<i>Nitzschia</i> sp.	0.3±0.5					1.3±2.3		2.6±2.3			46.6±16.1
<i>Fragilaria oceanica</i>		0.3±0.5	0.3±0.5		1.6±0.5						
<i>Chaetoceros curvisetus</i>			5.6±5.5		1.0±1.7						
<i>Stephanodiscus</i> sp.			2.0±3.4								
<i>Chaetoceros decipiens</i>			0.3±0.5	2.0±3.4					1.3±2.3		
<i>Chaetoceros</i> spp.				1.6±2.8	1.0±1.7						
<i>Thalassiosira rotula</i>				1.0±1.7	2.0±2.0		2.6±2.3				1.3±2.3
<i>Eucampia zodiacus</i>			0.3±0.5				4.6±8.0		13.3±6.1	10.6±8.3	14.6±4.6
<i>Diploneis splendida</i>					0.6±0.5						
<i>Nitzschia longissima</i>					0.3±0.5						
<i>Surirella cuneata</i>					0.3±0.5						
<i>Asterionella glacialis</i>								10.6±18.4			
<i>Nitzschia</i> spp.									30.6±6.1	57.3±32.3	
<i>Chaetoceros debile</i>									22.6±39.2	6.6±11.5	24±14.4
<i>Thalassionema nitzschioides</i>									6.6±11.5	26.6±22.7	140±24.3
<i>Nitzschia closterium</i>									4.0±0	17.3±4.6	24±12.0
<i>Skeletonema costatum</i>										12±14.4	9.3±8.3
<i>Licmophora</i> sp.										1.3±2.3	

해수어의 인공번식과정에서 이루어지고 있는 자연혼합배양 기법은 앞에서 설명한 바와 같이 자연에서 관찰 가능한 미소 먹이생물 군집을 육상 수조에서 재현하는 방법이라고 할 수 있다(Hagiwara et al. 1995; Jung et al. 1997).

이 연구에서는 지금까지 개발된 기술로는 인간이 인위적으로 사육 가능한 어종이 한정될 수밖에 없기 때문에 그 기술 수준을 보다 향상시키기 위한 목적으로 자연에서 이루어지고 있는 현상을 육상의 사육시설에서 인위적으로 재연하여 보았다.

썬뱅이나 조피볼락과 같이 어미로부터 자어의 형태로 출산하는 소수의 난태생어를 제외하고 해양에 존재하는 대부분의 난생어류 초기 자어는 먹이를 먹기 전까지 난황을 흡수하면서 생존에 필요한 영양분을 공급 받는다(노와 정, 2007; 현과 노, 1996; 고와 노, 1996). 그리고 난황 흡수기가 끝나기 전에 항문과 입이 열리고 먹이를 먹게 된다. 하지만 이들 난생어류 초기 자어의 대부분은 스스로 먹이를 먹을 수 있는 능력이 거의 없다. 에너지로서 활용 가능한 먹이가 난황 흡수기가 종료되기 전에 우연히 입에 들어오게 되면 그 자어는 자연계에서 생존율이 높아질 수 있지만 그런 기회를 얻지 못한 개체는 성장이 정지되거나 심한 경우 폐사에 이르게 된다.

이처럼 자연계에 형성되어 있는 먹이생물 생태계의 단점을 보완하여 개발된 것이 양식산업의 중요생산과정에서 지금 활용되고 있는 로티퍼를 이용한 해산 초기 자어의 중요생산 기술이다. 많은 연구자의 노력으로 자연의 생존 환경에 비교하면 고밀도의 자어 사육기술과 먹이(로티퍼) 공급 환경을 조성할 수 있는 기술이 확립되면서 해수어 초기 자어가 먹이를 섭취하지 못하여 발생될 수 있는 대량폐사현상을 억제하면서 양식산업의 기반이 되는 대량번식이 가능하게 되었다.

그러나 인간이 인위적으로 번식 가능한 해수어의 종류는 한정되어 있으며, 자연에 존재하는 다양한 종류의 어류에 대해서는 아

직 뚜렷한 성과가 없는 것이 사실이다. 그 이유로는 현재 기술 개발된 로티퍼→알테미아→일부 코페포다→배합사료와 같은 먹이생물 급이 계열은 인간이 조합한 기술이며 더욱이 동물먹이생물로 주로 이용되는 로티퍼와 알테미아는 해양의 먹이생물 미소생태계에서는 거의 존재하지 않기 때문이다.

결국 해양에서 태어난 해수어류의 초기 자어는 로티퍼와 알테미아가 아닌 다른 먹이생물을 초기 자어 단계에서 이용할 것으로 판단되는데 그 중에서 널리 알려진 코페포다의 경우에도 스스로 유영이 가능하고 먹이 탐색 능력이 갖추어진 후기 자어에게는 섭이 가능한 좋은 먹이가 될 수 있지만 앞에서 설명한 것처럼 능동적으로 섭이 행동이 불가능한 해산어의 초기 자어가 코페포다를 먹이생물로 섭이하여 자연 생태계에서 성장, 생존할 수 있는 가능성은 매우 낮다.

그러나 해양에서 태어나 생존, 성장하고 인간에게 어획되는 다양한 종류의 어류는 분명히 어떤 먹이생물을 초기 성장 단계에서 이용하고 있을 것이다. 지금까지 해양에 존재하는 식물/동물플랑크톤의 연구는 주로 규조류와 코페포다에 치중되었는데 그 이유는 플랑크톤 네트를 사용하여 채집하고 고정액으로 처리 보관하는 과정에서 비교적 쉽게 시료를 얻을 수 있었기 때문이다. 반면에 해양에 존재하는 플랑크톤의 대부분을 차지하면서도 플랑크톤 네트로 채집하고 고정액으로 고정하여 현미경으로 검경하는 과정에서 소실되어 없어지는 편모조류에 대한 연구는 비교적 활발하게 연구가 이루어지지 못하였다.

해양의 저차 먹이생태계에서 편모조류는 보다 하등하거나 작은 크기의 입자에 해당하는 세균이나 미세조류를 먹이로 이용하여 증식한다. 그리고 이렇게 증식한 편모조류는 원생동물의 한 분류군이나 미세조류의 한 분류군으로 구분되고 해양에서는 코페포다류와 같은 동물플랑크톤의 먹이가 되는 것으로 알려져 있다.

한편, 수산양식 과정에서 먹이생물로 이용되고 있는 편모조류는

Tetraselmis, *Isochrysis*, *Monochrysis*와 같은 종류에 한정되어 있었다. 지금까지 해양 편모조류는 일반적으로 해산어류와 같은 수산동물의 먹이생물로는 이용할 수 없는 것으로 알려져 있으며 더욱이 이 연구에서 관찰된 편모조류 중에는 해양에서 적조를 일으키는 원인생물도 포함되어 있으며, 그 중에서 *Gonyaulax*, *Scrippsiella trochoidea*, *Gymnodinium sanguineum* 등과 같은 출현종은 유독성 또는 유해성 적조생물로 알려져 있기도 하다(Kim, 1999). 뿐만 아니라 자연혼합 배양수조에서 관찰된 규조류 중에서도 *Chaetoceros curvisetus*, *Chaetoceros decipiens*, *Thalassiosira rotula*, *Chaetoceros debile*와 같은 종류 또한 적조를 일으켜 피해를 일으키는 종으로 알려져 있다. 그리고 배양기간 중 유일하게 관찰된 섬모충의 한 종인 *Mesodinium rubrum*도 적조를 일으키는 사례가 보고되어 있는데 광합성을 통하여 증식하는 이 종은 우리나라의 연안, 내만 그리고 기수역에서 적조를 일으킨 사례가 있으며 그 밀도는 최고 51,000 cells/mL까지 증식한 것으로 보고되어 있고(Yoo et al., 1998), 외국에서도 400-2,400 cells/mL의 높은 밀도로 적조를 일으키기도 하였다(Garcia et al., 1993). 더불어 적조 원인생물로 널리 알려진 편모조류의 *Gonyaulax*와 규조류의 *Chaetoceros curvisetus*, *Chaetoceros debile*의 경우에도 자연혼합배양 기간 중 지속적으로 출현이 관찰되었다. 이처럼 많은 종류의 적조 원인생물이 자연혼합배양 수조에서 관찰되었지만 함께 사육되어지는 해수어류에게는 유해한 피해를 유발하지는 않았다. 그 이유는 우점종으로 관찰된 *Chrysochromulina* sp.를 제외한 모든 출현종의 밀도가 매우 낮았고 출현 기간도 매우 짧았기 때문인 것으로 판단된다.

이 연구에서 소개한 방법으로 배양된 먹이생물은 지금까지 인간이 인공번식하지 못한 해수관상어류의 인공번식을 가능하게 하였다. 특히 자연혼합 배양과정에서 출현하는 편모조류를 중심으로 하는 다양한 종류의 미소생물은 지금까지 풀지 못한 문제점을 해결할 수 있다고 사료된다.

그것은 지금까지 해수어 초기 자어의 동물먹이생물로 이용되고 있는 로티퍼나 알테미아 보다 더 작은 크기의 미소생물이 다양하게 출현한다는 것인데 이 연구에서 관찰된 편모조류의 크기는 *Euglena* sp가 20-40 μ m, *Gonyaulax* sp가 25-80 μ m, *Pyramimonas* sp가 80 μ m 전후, *Protoperidinium* sp가 20 μ m 이하, *Eutreptia* sp.는 20-40 μ m, 5 μ m 전후의 동정이 불가능한 micro-flagellate, 20-100 μ m 크기의 *Gyrodinium* sp., 20-40 μ m 크기의 *Scrippsiella trochoidea*, 60 μ m 크기 전후의 *Gymnodinium sanguineum*, 10 μ m 이하 크기의 *Chrysochromulina* sp., 80 μ m 전후의 *Gymnodinium* sp., 20 μ m 크기 전후의 *Prorocentrum triestinum* 그리고 크기 3 μ m 정도의 *Micromonas* sp.와 같다. 이처럼 해수어의 초기 먹이생물로서 100 μ m 이하 특히 40 μ m에서 80 μ m 크기의 미소생물이 배양 기간 중 풍부하게 관찰 가능하게 된 것은 먹이생물의 새로운 급이 계열 개발에 매우 중요한 기초 자료가 될 수 있을 것으로 판단된다. 한편, 관찰된 1 종의 섬모충 *Mesodinium rubrum*의 크기는 35-45 μ m 범위였다.

그러나 자연혼합배양 과정에서 관찰되는 편모조류는 대부분이 해양에서는 적조를 일으키는 원인생물이기도 한데 적조를 일으키는 원인생물이라고 하여 바다에서 태어난 해수어의 부화자어와 같은 어린 개체가 먹이생물로 이용하지 않을 것이라고 단정 짓기는 매우 어렵다. 이를 뒷받침할 수 있는 연구 결과로서 Rodriguez(1987)

에 의하여 이루어진 실험은 매우 의미 있는 결과를 보여주고 있다. Rodriguez(1987)는 적조를 일으키고 해양생물을 폐사시키는 편모조류의 한 종인 53 μ m 크기의 *Gymnodinium splendens*를 초기 동물먹이생물로 이용하여 부화 직후 첫 먹이를 섭취하여야 하는 단계에서 입이 작은 것으로 널리 알려진 바리과 어류의 한 종인 붉바리, red spotted grouper (*Epinephelus akaara*)의 인공번식을 시도하였다. 그 결과, 8일째 *G. splendens*만을 급이한 사육구에서 붉바리의 생존율은 44%로 무급이 사육구의 생존율 6%, 로티퍼 단독 급이 사육구의 생존율 14%보다는 훨씬 높은 생존율이 관찰되었으며, 로티퍼와 *G. splendens*를 혼합 급이한 사육구의 생존율 43%와 비교하여도 매우 높은 생존율 향상 효과를 얻을 수 있었다. 뿐만 아니라 먹이생물로서 사용하기 위하여 배양한 적조 원인생물 *G. splendens*는 배양 개시 후 8일에서 11일째에 4,600-6,800 cells/mL의 높은 밀도로 배양이 가능하여 먹이생물로 이용할 수 있음을 충분히 입증하였다.

한편, 高橋와 松井(1972)는 꽃게(*Portunus trituberculatus*) 유생 사육을 위한 자연혼합배양을 위하여 바지락 액, 간장 제조 후 부산물 그리고 식물플랑크톤 배양액 등을 자연혼합 배양수조에 첨가하기도 하였다. 이 자연혼합배양 기법은 1% 수준에 불과하였던 꽃게의 생존율을 50.6%까지 향상시키기도 하였다. 그리고 어류의 인공번식과정에서도 이 자연혼합배양 기법은 활용 가능성이 있음이 입증되었는데 황(1999)은 독가시치의 인공번식을 성공하였다. 하지만 황(1999)의 연구를 포함 대부분의 관련 연구에서는 자연혼합 배양수조에 출현하는 미소생물이 어떤 종류이며, 그 배양 생태계는 어떤 종 조성 과정을 거치는지 구명할 수 없었다.

이 연구 결과, 자연혼합 배양 과정에서 관찰된 미소생물은 모두 34종으로 크게 편모조류, 규조류 그리고 섬모충으로 구분 가능하였다. 아울러 배양 기간 중 우점종은 계속 편모조류의 한 종인 *Chrysochromulina* sp.로 분류되었으며 이 종은 열대산호초 생태계에서 중요한 생태적 역할을 수행하는 파랑돔에게 섭취된 후 덩어리의 형태로 소화관에서 관찰되기도 하였다. 그러나 자연혼합 배양 과정에서 출현한 *Chaetoceros*, *Thalassiosira*, *Eucampia*, *Nitzschia*, *Thalassionema*, *Skeletonema*, *Licmophora* 등과 같은 19종의 규조류는 먹이생물로 거의 이용되고 있지 않음이 소화관 현미경 관찰을 통하여 확인되었다.

더욱이 이 연구에서 이루어진 자연혼합배양 기법은 배양 개시 후 10일 이후부터는 안정적인 종 조성 양상이 관찰되었으며 이처럼 안정된 종 조성의 밀도는 배양 개시 후 60일째까지도 안정적으로 지속 가능하여 해수어의 인공번식과정에서 먹이생물이 갖추어야 하는 먹이생물의 지속 배양과 안정 배양의 조건을 충족하기도 하였다. 결론적으로 이와 같은 연구 결과는 앞으로 기존의 먹이생물 급이 계열로는 인공번식이 불가능 하였던 다양한 해수어류에 적용 가능하리라 판단되며 해양의 먹이생물(Live food organism) 미소생태계(Microcosm)의 구조와 역할을 이해하는데 매우 유효한 기초자료가 될 수 있을 것이다.

사 사

이 연구는 국립수산과학원(관상생물 양식기술 개발 중 파랑돔류 양식기술 개발, RP-2009-AQ-020)의 지원에 의해 운영되었습니다.

참고문헌

- 고환봉, 노섭, 1996. 자주복, *Takifugu rubripes*의 난 및 자치어의 저염분 내성. 한국양식학회지, **9**: 43-55.
- 노섭, 정민민, 2007. 먹이생물학. 도서출판 온누리, 한국 256 pp.
- 정민민, 노섭, 김필연, 1998. 로티퍼, *Brachionus rotundiformis* 배양수조에 혼재된 *Artemia* sp.가 로티퍼의 증식에 미치는 영향. 한국양식학회지, **11**: 91-97.
- 정민민, 노섭, 1998. 로티퍼, *Brachionus rotundiformis*와 코페포다, *Apocyclops* sp.의 혼합배양. 한국양식학회지, **11**: 449-455.
- 정민민, 노섭, 1999. 로티퍼, *Brachionus plicatilis* O. F. Muller 급이밀도에 따른 넙치, *Paralichthys olivaceus* Temminck et Schlegel 자어의 전장, 건중량 그리고 생존율의 비교. 제주대학교 해양연구소 연구논문집, **23**: 23-28.
- 정민민, 김형신, 노섭, I.F.M. Rumengan, A. Hagiwara, 1999. 빵이스트를 먹이로 이용한 부유성 코페포다, *Apocyclops* sp. (copepod: cyclopoida)의 배양. 한국양식학회지, **12**: 303-307.
- 현충훈, 노섭, 1996. 조피볼락, *Sebastes schlegelii*의 초기성장애 관한 연구. 한국양식학회지, **9**: 25-42.
- 황형규, 1999. 흰점독가시치, *Siganus canaliculatus*(Park)의 양식 생물학적 연구. 제주대학교 대학원 박사 학위 논문, 제주대학교, 한국, 144 pp.
- Austin B. and A. Allen, 1982. Microbiology of laboratory-hatched brine shrimp (*Artemia*). Aquaculture, **26**: 369-383.
- Fujita S., 1973. Importance of zooplankton mass culture in producing marine fish seed for fish farming. Bull. Plank. Soc. Japan, **20**: 49-53.
- Fukusho K., M. Okauchii, H. Tanaka, P. Kraisingdecha, S.I. Wahyuni and T. Watanabe, 1985. Food value of the small S-strain of a rotifer *Brachionus plicatilis* cultured with *Tetraselmis tetrathele* for larvae of black sea bream, *Acanthopagrus shlegelii*. Bull. Natl. Res. Inst. Aquaculture, **8**: 5-13.
- Garcia C.A.E., D.A. Purdie and I.S. Robinson, 1993. Mapping a bloom of the photosynthetic ciliate *Mesodinium rubrum* in an estuary from airborne thematic mapper data. Estuarine Coastal and Shelf Science, **37**: 287-298.
- Graham J.M., 1991. Symposium introductory remarks: a brief history of aquatic microbial ecology. J. Protozool., **38**: 66-69.
- Hagiwara A., M.-M. Jung, T. Sato and K. Hirayama, 1995. Interspecific relations between marine rotifer *Brachionus rotundiformis* and zooplankton species contaminating in the rotifer mass culture tank. Fisheries Science, **61**: 623-627.
- Jung M.-M., A. Hagiwara and K. Hirayama, 1997. Interspecific interactions in the rotifer microcosm. Hydrobiologia, **358**: 121-126.
- Kim H.-S., 1999. Eutrophication process of costal waters recorded in dinoflagellate cyst assemblages. Ph. D. thesis, Nagasaki University, Nagasaki, Japan, 92 pp.
- Kim H.-S., 2008. Atlas of Flagellates. Jeju Net, Korea, 107 pp.
- Lubzens E., A. Tandler and G. Minkoff, 1989. Rotifers as food in aquaculture. Hydrobiologia, **186/187**: 387-400.
- Maeda M., 1985. An outline of ecological studies on ciliated protozoa in the aquatic environment. La mer, **23**: 89-96.
- Paran N., Z. Dubinsky and T. Berman, 1991. Interaction between mixotrophic flagellates and bacteria in the aquatic ecosystems. Symbiosis, **10**: 219-231.
- Rodriguez E.M., 1987. Use of dinoflagellate *Gymnodinium splendens* as a live food source for initial larval feeding of small mouthed marine finfish. Ms. thesis, Nagasaki University, Nagasaki, Japan, 44 pp.
- Teshima S, A. Kanazawa and M. Sakamoto, 1981. Attempt to culture the rotifers with micro encapsulated diets. Bull. Japanese Soc. Sci. Fish., **47**: 1575-1578.
- Yamaji I., 1984. Illustrations of the marine plankton of Japan. Hoikusha. Pub. co. Ltd., Japan, 537 pp.
- Yoshimura K., A. Hagiwara, T. Yoshimatsu and C. Kitajima, 1996. Culture technology of marine rotifers and the implications for intensive culture of marine fish in Japan. Mar. Freshwater Res., **47**: 217-222.
- Yoo J.S., J.H. Lee and Y. Fukuyo, 1998. Red tide organism: ciliate *Mesodinium rubrum*(Lohmann) Hamburger et Buddenbrock. Algae, **13**: 143-149.
- 高橋伊勢雄・松井芳房, 1972. ガザミの種苗生産に關する研究. 1. 有機性懸濁物を利用した高密度飼育について. 兵庫水試報, **12**: 41-46.
- 前田昌調, 1988. 微生物食物連鎖と水産増養殖. 海洋科學, **20**: 24-28.

2009년 10월 2일 원고접수

2010년 2월 23일 수정본 채택

담당편집위원: 이준백