

## 해산 요각류 *Tigriopus japonicus* 개체군 성장에 미치는 착편모조의 영향

김형신, 정민민<sup>1</sup>

제주대학교 기초과학연구소, <sup>1</sup>국립수산과학원 제주수산연구소

## Evaluation of Three Species of Haptophyte Algae for the Culture of the Marine Copepod *Tigriopus japonicus*

Hyeung-Sin, Kim\* and Min-Min, Jung<sup>1</sup>

Research Institute for Basic Science, Jeju National University, Ara-1 Dong, Jeju-Si, Jeju-Do 690-756, Korea  
<sup>1</sup>Jeju Fisheries Research Institute, National Fisheries Research and Development Institute, Jeju 699-800, Korea

Three haptophyte algae, *Isochrysis galbana*, *Prymnesium parvum* and *P. patelliferum* were offered to the marine copepod *Tigriopus japonicus* as food. Growth rate of larvae, egg production, mortality and consumption rates of *T. japonicus* were measured for each of the haptophyte species offered. The growth rate of larvae, egg production and algal ingestion of *T. japonicus* fed on *P. parvum* and *P. patelliferum* were much lower than those fed on *I. galbana* and corresponding high mortality rates were also observed during the experimental period. The harmful effects observed during the present study indicate that bloom-forming haptophyte algae, *P. parvum* and *P. patelliferum* are not suitable feed species for culture of copepod, *T. japonicus*.

**Keywords:** *Isochrysis galbana*, *Prymnesium parvum*, *P. patelliferum*, *Tigriopus japonicus*, Copepod culture

### 서 론

강한 독성을 가지고 있으며 적조 원인 생물로서 알려져 있는 착편모조(haptophyte algae)에 대해서 우리나라에서는 아직 잘 알려져 있지 않지만(Kim and Jung, 2004a), *Chrysochromulina polylepis*, *Prymnesium parvum* 또는 *P. patelliferum*과 같이 독성을 가지고 있는 착편모조가 원인이 되어 발생하는 적조현상은 세계 각국에서 보고된 바 있다(Richardson, 1997; Nielsen et al., 1990; Hallegraeff, 1992; Guo et al., 1996). 물론 이들 중의 일부가 우리나라 연안 해역에서도 발견되어 최근 보고된 바 있다(Kim and Jung, 2004a; Kim and Jung, 2004b). 이들 *Prymnesium* 속 미세조류가 가지고 있는 독성물질로 알려진 prymnesin-1과 prymnesin-2 (Igarashi et al., 1996)는 *Artemia salina* (Meldahl et al., 1994) 및 어류와 쥐(Igarashi et al., 1993) 등에 대해 높은 독성을 가진다.

이 연구에서는 우리나라 대부분의 양식장에서 식물 먹이생물로 널리 이용되고 있는 착편모조의 일종인 *Isochrysis galbana*와 우리나라 연안해역에서 채집되어 제주대학교 기초과학연구

소에서 배양되고 있는 *P. parvum*과 *P. patelliferum* 등 3종의 착편모조를 연안 생태계에서 흔히 볼 수 있는 해산 요각류 *Tigriopus japonicus* (Copepod)에 먹이로 급이하면서 이들 요각류로부터 부화한 유생의 발생과정 및 재포란을 통한 *T. japonicus* 군집의 변화과정을 관찰함으로써 우리나라 연안 해역에서 관찰되는 일부 착편모조가 해양 미소 플랑크톤 생태계에 미칠 수 있는 영향을 검토하였다.

### 재료 및 방법

*I. galbana*, *P. parvum*과 *P. patelliferum* 등 3종의 착편모조를 먹이로서 단독 급이하면서 해산 요각류 *T. japonicus*의 포란한 암컷을 배양하였다. 또한 비교구로서 *T. japonicus* 배양수에 전혀 먹이를 급이하지 않고 멸균한 해수만을 첨가하여 증식을 비교하였다. 실험에 이용한 3종의 착편모조 및 *T. japonicus*는 제주대학교 기초과학연구소에서 배양을 통해 종 보존하고 있는 스트레인을 이용하였다. 실험과정에서 3일에 한번씩 *T. japonicus*의 각 유생 및 성체의 개체수와 배양도중 사망하는 개체수를 계수하는 한편 *T. japonicus*의 먹이 섭취 정도를 파악하기 위하여 먹이로서 급이한 3종 착편모조의 배양수내 잔존 세포수를 계수

\*Corresponding author: kimhyeungsin@hanmail.net

하였다. 이러한 실험 과정에서 *I. galbana*의 경우는 세포수 계수시마다 배양수내에 남아있는 세포가 전혀 없었기 때문에 매번 배양수당 동일량의 세포를 새로 첨가하였다. 그러나 *P. parvum*과 *P. patelliferum*의 경우는 반대로 배양수 자체에서 계속하여 세포가 증식하는 현상을 관찰할 수 있었으며 따라서 이들 두 종의 경우는 실험 개시 후 부가적인 세포 첨가는 실시하지 않았다. 전 실험과정은 배양 온도 20°C, 조도 1540 lx, 광주조건은 12 h light-12 h dark cycle의 조건하에서 실시하였다. 배양수는 33 ppt의 자연해수를 GF/C 필터를 이용하여 여과하고 고압 멸균한 후 사용하였다. 실험 개시시 수용한 *T. japonicus* 포란 암컷의 개체수는 5개체였으며, 배양용기는 50 ml vial을 이용하였고 배양수는 20 ml을 사용하였다. 계수는 배양수 전체의 nauplius 유생과 copepodid 유생 그리고 포란 암컷과 배양도중 사망한 암컷으로 구분하여 3일마다 15일동안 전수 계수하였고 모든 실험은 3반복 실시하였다.

### 결 과

3종의 착편모조, *I. galbana*, *P. parvum*과 *P. patelliferum*을 먹이로서 급이한 후 포란한 암컷 *T. japonicus*로부터 부화한 nauplius 및 copepodid 유생의 부화 후 개체 수 변화 양상과 포란한 암컷 개체수의 변화 양상 그리고 배양 도중 사망한 성체 암컷의 개체수를 서로 비교하였으며 각 계수일에 측정된 배양수 내의 먹이로서 급이한 3종 착편모조의 세포수 변화를 알아 보았다.

그 결과, *I. galbana*를 먹이로 급이한 경우(Fig. 1)에는 포란한 *T. japonicus* 5개체를 수용하여 시작한 배양에서 부화한 nauplius 유생의 개체수가 3일째에 평균 34.3±24 개체에서 이후 급격히 증가하여 12일째에는 최고 밀도인 266±56.3 개체에 달하였다. copepodid 유생은 6 일째부터 관찰되었으며, 그 개체수는 6일째에 평균 25±10.4 개체가 그리고 점차 증가하여 12일째에 최고 밀도인 평균 101±5 개체가 관찰되었다. 실험 시작단계에서 배양수내에 5개체의 포란 암컷을 수용하였다. 이들 포란 암컷을 대상으로 배양 기간중 재포란 여부를 관찰하였다. *I. galbana*를 먹이로 급이한 경우에는 실험 시작 단계에서 nauplius 유생이 부화되어 나온 이후에도 계속해서 재포란이 가능함으로서 실험 기간 동안 계속 포란한 암컷을 관찰할 수 있었으며, 실험이 진행된 15일간 80% 이상의 포란율을 유지하였으며, 더욱이 15일째에는 새로운 어미 개체가 가입되어 5.7±3.1 개체가 포란한 것을 확인할 수 있었다. 또한 이들 성체 암컷 중 전 실험 기간 중에 사망하는 개체는 관찰할 수 없었다.

착편모조인 *P. parvum*을 공급한 경우(Fig. 2), 부화한 nauplius 유생의 총 개체수는 3반복 실험 결과 3일째에 103~131 개체에 달했으나 거의 모든 개체가 죽어서 실험용기 바닥에 떨어져 움직이지 않았다. 살아 움직이는 개체는 3일째에 5.3±1.5 개체

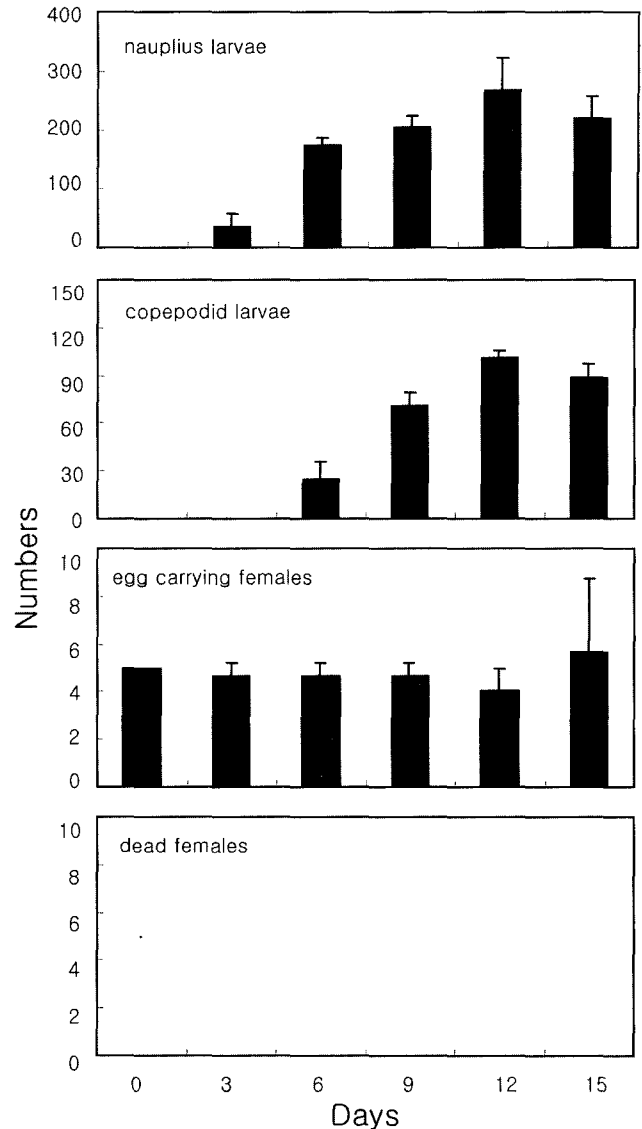


Fig. 1. Population growth of each larva stages and the individual changes of egg carrying and dead females in the *I. galbana* feeding condition.

그리고 12일째에 2±3.5 개체에 불과했으며 이들 개체들도 copepodid 유생까지 발생을 하지 못하고 죽어버렸기 때문에 15 일간의 실험 기간 동안 copepodid 유생은 관찰할 수 없었다. 포란한 암컷의 개체수 역시 처음 5개체에서 3일째부터는 평균 1±1 개체로 급격히 감소하고 15일째에는 0.7±1.2 개체였다. 이들 암컷 성체는 12일째부터 사망하는 개체가 관찰되었으며 12일째에 0.7±1.2 개체, 15일째에 1±1 개체가 각각 사망하였다.

*P. patelliferum*을 먹이로 공급한 경우(Fig. 3)에도 전술한 *P. parvum*의 경우와 유사한 결과가 나타났다. 3 일째에 nauplius 유생이 3반복 실험에서 118~135 개체가 부화하였으나 거의 죽고 살아있는 개체는 3일째에 2.7±2.9 개체에 불과했다. 물론 이들 개체 역시 정상적인 발생 과정을 거치지 못함으로서 실험 기간 중 copepodid 유생으로 발생한 개체는 전혀 관찰할 수 없

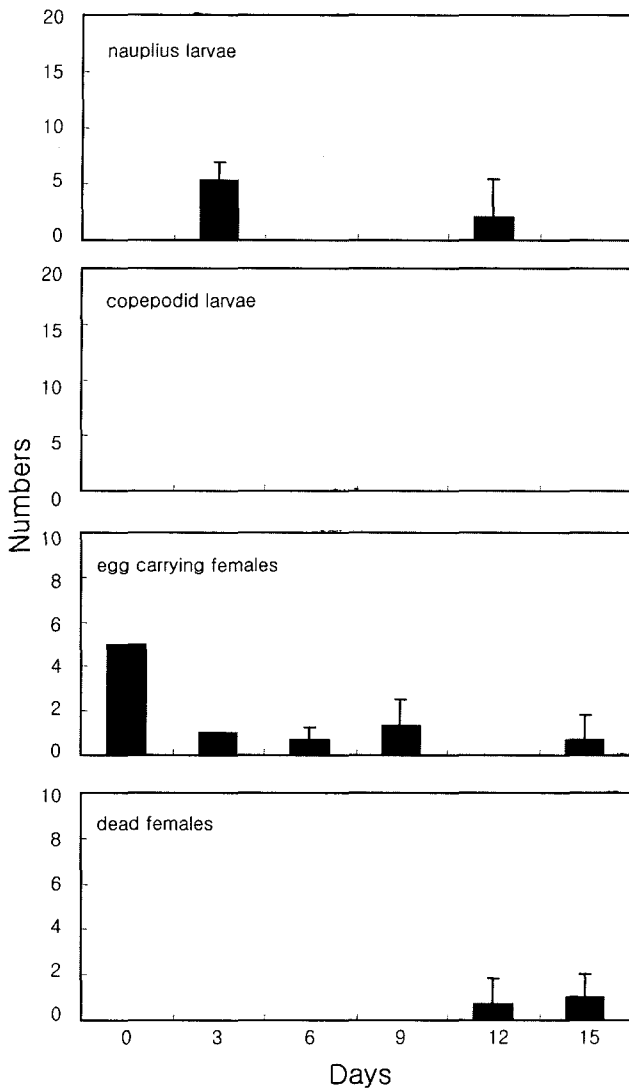


Fig. 2. Population growth of each larva stages and the individual changes of egg carrying and dead females in the *P. parvum* feeding condition.

었다. 포란한 암컷의 개체수는 처음 5개체에서 3일째에  $0.3 \pm 0.6$  개체로 급격히 감소한 이후에는 포란한 개체를 관찰할 수 없었다. 이와 달리 사망한 암컷 개체는 3일째에  $0.7 \pm 0.6$  개체, 6일째에  $3.3 \pm 1.5$  개체, 9일째에  $1 \pm 1$  개체가 관찰되었다.

비교구로서 먹이를 공급하지 않은 무급이 실험구(Fig. 4)에서는 전술한 3개의 실험구와 똑 같이 정상적인 포란을 한 암컷 성체를 실험에 이용했음에도 불구하고 부화한 nauplius 유생의 수는 3일째에  $1.3 \pm 2.3$  개체, 6일째에  $0.7 \pm 1.2$  개체에 불과했다. 그러나 *P. parvum*과 *P. patelliferum*의 경우에서와 같이 사육용기 내에서 사망한 개체를 관찰할 수는 없었다. 포란한 암컷 개체수 역시 3일째에  $2.7 \pm 2.1$  개체로 감소하였고 15일째에는 포란한 암컷을 관찰할 수 없었다. 사망한 암컷은 12일째에  $0.3 \pm 0.6$  개체가 관찰되기 시작하여 15일째에는  $0.7 \pm 0.6$  개체가 관찰되었다.

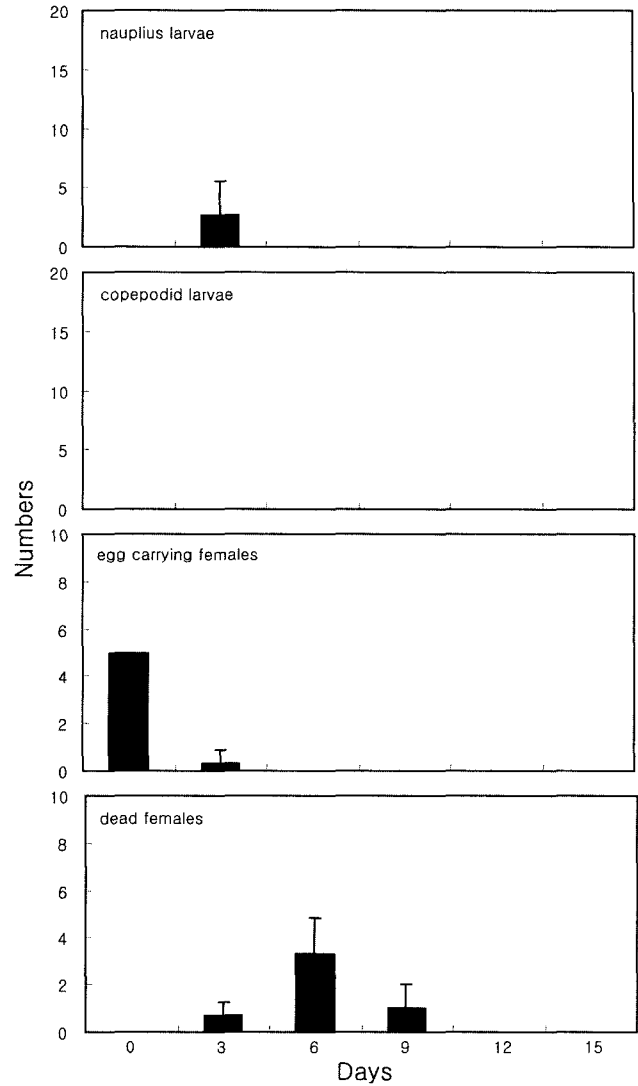


Fig. 3. Population growth of each larva stages and the individual changes of egg carrying and dead females in the *P. patelliferum* feeding condition.

먹이로 굶이한 3종류의 착편모조가 해산 요각류 *T. japonicus*에 의해 어느 정도 이용되고 있는지를 알아보기 위해 배양수 내에 남아 있는 각 미세조류의 세포수를 3일마다 계수 하였다. 그 결과(Fig. 5), *I. galbana*의 경우는 계수시 마다 남아 있는 잔존 세포수가 0으로 나타나 *I. galbana*를 3일마다 재첨가 하였다. 반면, *P. parvum*과 *P. patelliferum*의 경우는 처음 접종시의 세포수보다 점차 증가하여 *P. parvum*의 경우는 처음 접종 세포 밀도가  $3.22 \times 10^5$  cells/ml이었으나 점차 증가하여 9일째에는 최고치인  $24.16 \times 10^5$  cells/ml까지 증가하고 15일째에는  $18.36 \times 10^5$  cells/ml의 세포밀도를 나타내었다. *P. patelliferum* 또한 처음 접종 세포 밀도는  $3.52 \times 10^5$  cells/ml이었으나 점차 증가하여 9일째에  $13.84 \times 10^5$  cells/ml까지 증가한 후 15일째에는  $7.94 \times 10^5$  cells/ml의 세포밀도를 나타냈다.

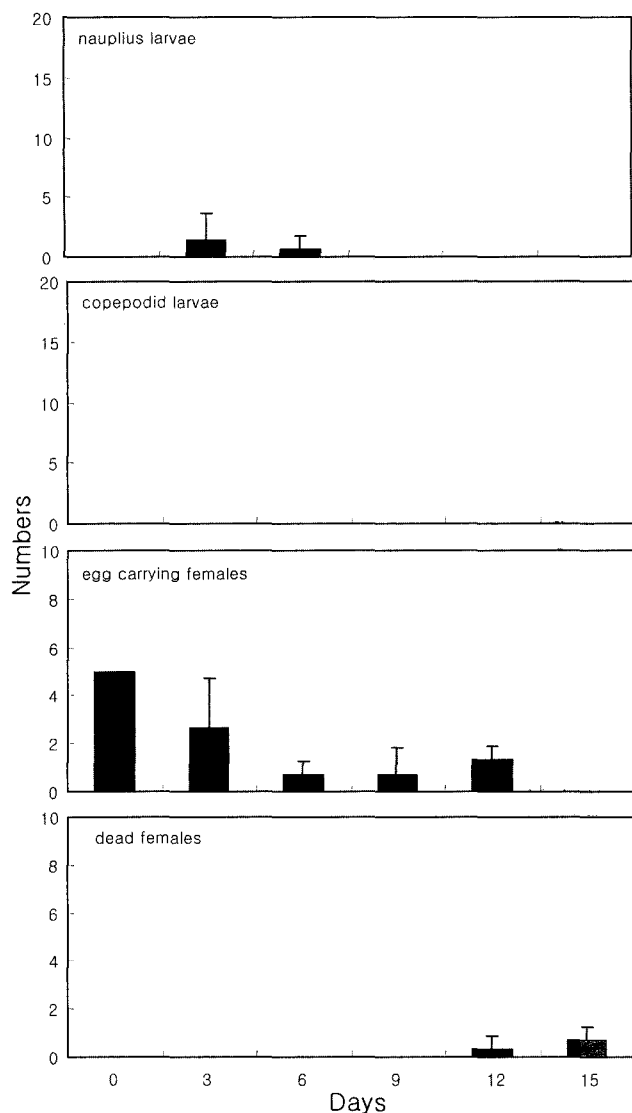


Fig. 4. Population growth of each larva stages and the individual changes of egg carrying and dead females in the no feeding condition.

### 고찰

이 연구에 이용된 3종의 착편모조 이외에도 전 세계적으로 80속 300여종의 착편모조가 알려져 있으며 대부분 종의 세포 크기가 20  $\mu\text{m}$  이하로 매우 작다(Hoek et al., 1995; Kawachi, 2000; Moestrup and Thomsen, 1995). 특히 매우 작은 크기와 영양적 측면에서의 탁월함을 인정받아 우리나라 양식 산업에서 식물 먹이생물로서 유용하게 활용되어지고 있는 *Isochrysis* 및 *Pavlova* 등은 먹이생물로서 그 가치를 인정받고 있다. 이 연구에서도 포란한 암컷으로부터 부화한 nauplius 유생은 *I. galbana*를 먹이로 급이한 경우에는 3일째에 평균  $34.3 \pm 24$  개체로 증식한 이후 급격히 그 개체수가 증가하여 12일째에  $266 \pm 56.3$  개체에 달하였다. 반면, *Isochrysis*나 *Pavlova* 등과 같은 착편모

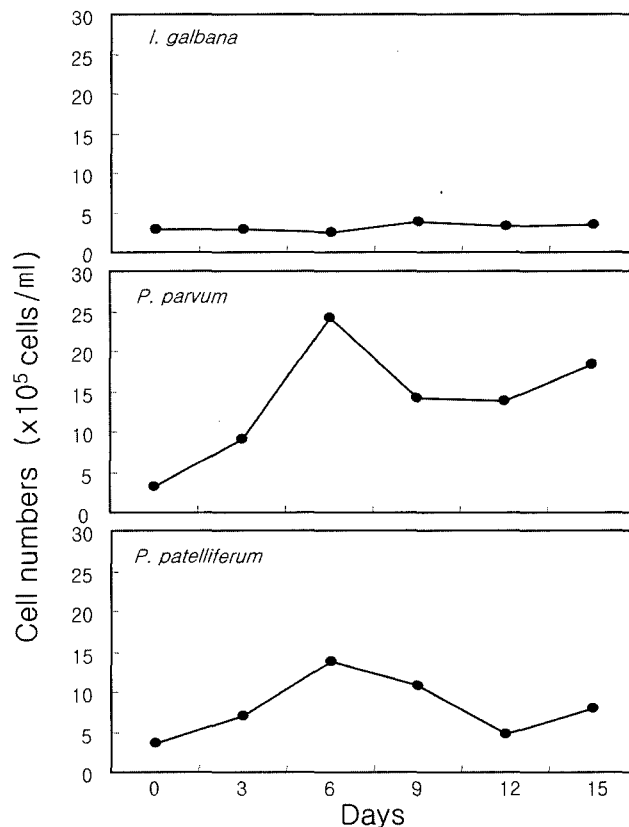


Fig. 5. The change of three haptophyte algae cell numbers for 15 days.

조임에도 불구하고 강한 독성을 가지며 적조 원인종으로도 잘 알려져 있는(Meldahl et al., 1995; Sabour et al., 2000) *P. parvum*과 *P. patelliferum*을 공급한 경우와 먹이를 공급하지 않은 무급이 실험구에서는 전 실험기간 동안에 평균 5개체 이하의 nauplius 유생만을 관찰 할 수 있었다. 더욱이 *P. parvum*과 *P. patelliferum*을 공급한 실험구의 경우에는 *I. galbana*를 먹이로 공급한 실험구에서와 비슷한 nauplius 유생의 수가 부화하였으나 거의 모든 nauplius 유생이 이미 사망하여 배양 용기 바닥에 떨어져 있었다. 그러나 먹이를 공급하지 않은 무급이 실험구에서는 포란한 암컷의 난낭에서 nauplius 유생은 부화하였으나 죽은 nauplius 개체는 전혀 관찰 할 수 없었다. 이러한 결과로 볼때 각각의 실험구별로 포란한 암컷에서 nauplius 유생은 부화하였으나 먹이로 *I. galbana*를 급이한 실험구는 정상적인 발생 및 생존이 가능하나, *P. parvum*과 *P. patelliferum*을 급이한 실험구의 nauplius 유생은 정상적인 발생은 물론 일정기간 동안의 생존마저 불가능함을 알 수 있었다. 그리고 먹이를 급이하지 않은 경우 부화한 nauplius 유생은 동일 배양수내의 성체에 의해 포식 당하였을 것으로 추정된다.

부화한 nauplius 유생이 발생단계를 거쳐 copepodid 유생으로 발생한 개체수를 살펴보면, *I. galbana*를 먹이로 급이한 경우에는 6일째에 평균  $25 \pm 10.4$  개체 그리고 점차 증가하여 12일째에 최고 밀도인 평균  $101 \pm 5$  개체가 관찰되었다. 이와는

달리 *P. parvum*과 *P. patelliferum*을 먹이로 공급한 경우와 먹이를 공급하지 않은 무급이 실험구에서는 nauplius 유생이 소수 관찰되었지만 copepodid 유생은 전혀 관찰할 수 없었다. 즉 소수이긴 하지만 관찰되었던 nauplius 유생이 정상적인 성장과 발생단계를 거치지 못하고 포식되었을 것으로 판단된다.

실험에 이용된 5개체의 포란한 암컷의 재포란율은 *I. galbana*를 먹이로 급이한 경우에는 부화와 재포란을 반복함으로써 실험 기간 내내 포란 암컷이 평균 80% 이상을 유지하였으며, 더욱이 15일째에는  $5.7 \pm 3.1$  개체가 포란함으로써 실험 시작 단계의 5개체의 포란 암컷 이외에 그들로부터 부화해 나온 유생이 성장과 발생을 통해 성체가 되어 첫 포란을 한 것을 알 수 있었다. 이와 같은 결과로 미루어 볼 때 *T. japonicus*는 착편모조의 한 종인 *I. galbana*를 성공적으로 먹이로서 이용하였음을 알 수 있었다. 그러나 *P. parvum*과 *P. patelliferum*을 먹이로 공급한 경우에는 실험 시작 당시 수용한 포란 암컷 5개체에서 3일째에 각각  $1 \pm 1$  개체 및  $0.3 \pm 0.6$  개체 이하로 재포란 개체수가 급격히 감소하였다. 그리고 전혀 먹이를 급이하지 않은 무급이 실험구의 경우도 처음 포란 암컷 5개체에서 3일째에는  $2.7 \pm 2.1$  개체 이하로 낮아지기 시작하여 15일째에는 포란한 개체가 한 마리도 없었다. 이와 같이 *P. parvum*과 *P. patelliferum*을 먹이로 공급한 경우에는 암컷 성체의 재포란이 이루어지지 않았으며 더욱이 *P. parvum*을 먹이로 급이한 경우에는 12일째부터 *P. patelliferum*을 먹이로 공급한 경우에는 그보다 빠른 3일째부터 암컷 성체의 사망을 관찰할 수 있었다. 또한 무급이 실험구에서도 12일째부터 암컷 성체의 사망이 관찰되었다. 그러나 *I. galbana*를 급이한 경우에는 15일간의 실험 기간내에 사망 개체는 관찰되지 않았다.

유독 또는 유해 식물플랑크톤과 동물플랑크톤 간에는 다양한 관계가 알려져 있다. 즉, 어떤 동물플랑크톤은 유독 식물플랑크톤을 섭이함으로써 높은 사망률을 나타내는 반면, 또 다른 종들은 그러한 유독 식물플랑크톤을 섭이하고 생존에 아무런 문제가 없는 것으로 알려져 있다(Turner and Tester, 1997). 예를 들면 *Acartia clausi*는 착편모조인 *P. patelliferum*에 의해 섭이율과 배설율이 감소하고 포란율과 재생산율이 매우 낮아지는 효과가 나타나지만 사망하는 개체는 나타나지 않는다(Nejstgaard and Solberg, 1996). *Acartia tonsa* 또한 착편모조의 한종인 *Chrysochromulina polylepis*에 의해 사망에까지는 이르지 않지만 포란율과 섭이율이 낮아진다(Nielson et al., 1990). 해산 요각류인 *Eurytemora affinis*는 *P. patelliferum*에 의해 포란율과 배설율이 낮아졌으며, *P. patelliferum*의 세포 농도가 높아지는 경우에는 *E. affinis*의 사망률 또한 높아졌다(Koski et al., 1999). 더욱이 *Prymnesium*속의 독성물질로 알려진 prymnesin-1과 prymnesin-2 (Igarashi et al., 1996)는 갑각류인 *Artemia salina* (Meldahl et al., 1994) 및 어류와 쥐(Igarashi et al., 1993) 등에 대해 높은 독성을 가진다.

적조 원인종으로서 잘 알려진 착편모조의 일종인 *Phaeocystis*

*pouchetii* 또한 어린 물고기에 대해 유해하며(Stabell et al., 1999), *P. parvum*을 N 또는 P 제한 조건에서 배양한 후 세포를 제거한 배양수만을 취하여 규조 *Thalassiosira weissflogii*, 와편모조 *Prorocentrum minimum* 및 갈색편모조 *Rhodomonas cf. baltica*의 배양수에 첨가한 결과 이들 세 미세조류의 성장이 억제됨을 알 수 있었다(Graneli and Johansson, 2003).

이 연구에서는 급이한 각기 다른 착편모조 3종이 해산 요각류 *T. japonicus*의 개체군 변화에 어떠한 영향을 미치는지 알아보는 과정에서 배양수내에 남아 있는 요각류의 먹이로 급이한 3종류의 착편모조의 세포수의 변화 양상을 알아보았다. *I. galbana*의 경우는 계수시 마다 남아있는 잔존 세포수가 0 (zero)으로 매 계수시마다 *I. galbana*를 먹이로서 재급이 하여야만 하였다. 반면, *P. parvum*과 *P. patelliferum*의 경우는 처음 접종시의 세포수보다 점차 증가하여 *P. parvum*의 경우는 9일째에  $24.16 \times 10^5$  cells/L까지 증가하였다. *P. patelliferum* 역시 9일째에  $13.84 \times 10^5$  cells/L까지 증가하였다. 이들 결과로 볼 때, *I. galbana*는 *T. japonicus*의 활발한 섭이에 의해 그 개체수가 감소한 반면 또 다른 착편모조인 *P. parvum*과 *P. patelliferum*은 *T. japonicus*의 먹이로 거의 이용되지 못하고 오히려 세포 분열에 의해 세포수가 증가함을 알 수 있었다. 이러한 결과는 전술한 바와 같이 급이한 먹이별 nauplius 및 copepodid 유생의 개체수 비교에서 *I. galbana*를 급이한 실험구에서만 nauplius 및 copepodid 유생의 개체수가 증가한 결과에서도 증명되어진다.

*T. japonicus*는 연안의 조간대에서 서식하며 채집과 배양이 용이해서 많은 연구가 이루어져 있으며(Kitajima, 1973; Lee and Taga, 1985; Lee, 1991), 규조류를 먹이로 한 대량 배양에 관한 연구(Kitajima, 1973) 및 해양 세균을 이용한 배양(Lee and Taga, 1988; Jung et al., 1998) 등에서도 알 수 있듯이 *T. japonicus*가 다양한 연구에 이용되어질 수 있는 장점은 다양한 먹이를 이용하여 배양이 용이하다는 것이다. 그러나 이 연구 결과에서 나타난 바와 같이 독성을 가진 종으로 널리 알려진 *P. parvum*과 *P. patelliferum*(Igarashi et al., 1993; Meldahl et al., 1994; Igarashi et al., 1996)을 먹이로 급이하여 *T. japonicus*를 배양하는 경우 정상적인 요각류의 개체군 성장이 어려우며 나아가 *T. japonicus*를 사망에까지 이르게 할 수 있다는 사실을 알 수 있었다.

이상의 연구결과는 이들 유독 착편모조에 의한 자연 수역에서의 적조 현상이 발생하게 되면 저차 미소생태계의 균형을 무너뜨리고 결국 해양생태계의 교란을 초래할 수 있는 가능성이 있음을 시사한다.

## 요 약

*I. galbana*, *P. parvum* 및 *P. patelliferum* 등 3종의 착편모조를 각각 먹이로서 급이하면서 각각의 먹이에 따른 해산 요각류 *T. japonicus*의 nauplius 및 copepodid 유생의 개체수 증식 양상과 재포란 암컷의 개체수 변화 양상, 그리고 배양 도중 사망

한 성체 암컷의 개체수를 서로 비교하였으며, 또한 각 계수일에 측정된 배양수내의 먹이로서 급이한 3종의 착편모조의 세포수 변화 양상을 관찰하였다. 비교구로서 먹이를 전혀 공급하지 않은 실험구의 *T. japonicus*는 고압 멸균한 자연 해수만을 이용하여 배양하였다. 실험 결과 3종의 착편모조 중 *I. galbana*를 급이한 경우에는 *T. japonicus*의 정상적인 유생 발생과 함께 적극적인 *I. galbana*의 섭이를 관찰할 수 있었으나, *P. parvum*과 *P. patelliferum*을 급이한 경우에는 갓 부화한 nauplius 유생이 거의 100% 사망하였고 암컷 성체의 재포란을 또한 거의 0 (zero)임이 관찰되었다. 더욱이 15일간의 실험기간 중에 암컷 성체의 사망을 관찰하였다. 위와 같은 일련의 실험 결과로 볼 때, 독성을 가지며 적조의 원인종으로 알려진 착편모조 *P. parvum*과 *P. patelliferum*은 요각류 *T. japonicus*에 대해서 유해함을 알 수 있었다.

## 사 사

이 연구는 2002년도 한국학술진흥재단의 지원(KRF-2002-075-C00021)에 의한 것입니다. 이에 감사드립니다.

## 참고문헌

- Graneli, E. and N. Johansson, 2003. Increase in the production of allelopathic substances by *Prymnesium parvum* cells grown under N- or P-deficient conditions. *Harmful Algae*, 2, 135–145.
- Guo, M., P. J. Harrison and F. J. R. Taylor, 1996. Fish kills related to *Prymnesium parvum* N. Carter (Haptophyta) in the People's Republic of China. *J. of Applied Phycology*, 8, 111–117.
- Hallegraeff, G. M., 1992. Harmful algal blooms in the Australian region. *Mar. Poll. Bull.*, 25, 186–190.
- Hoek, C., D. G. Mann and H. M. Jahn, 1995. *Algae*. Cambridge University Press, 640 pp.
- Igarashi, T., M. Satake and T. Yasumoto, 1996. A potent ichthyotoxin and hemolytic glycoside isolated from the red tide algae *Prymnesium parvum*. *J. of American Chemical Society*, 118, 479–480.
- Igarashi, T., Y. Oshima, M. Murata and T. Yasumoto, 1993. Chemical studies on prymnesins isolated from *Prymnesium parvum*. (in) *Harmful Marine Algal Blooms. Proceedings of the Sixth International Conference on Toxic Marine Phytoplankton*, (ed.) P. Lassus, G. Arzul, E. Erard, P. Gentien and C. Marcaillou, pp. 303–308.
- Jung, M. M., S. Rho and P. Y. Kim, 1998. Feeding of bacteria by copepod *Tigriopus japonicus*. *J. Aquacult.*, 11, 113–118.
- Kawachi, M., 2000. Haptophyte Algae. *Monthly Kaiyou*, 21, 51–56.
- Kim, H. S. and M. M. Jung, 2004a. Distribution of haptophyte algae in coastal waters of Korea. *J. Aquacult.*, 17, 133–138.
- Kim, H. S. and M. M. Jung, 2004b. Morphological characteristics of *Prymnesium patelliferum* Green, Hibberd and Pienaar (Haptophyta) from Korea. *Algae*, 19, 277–282.
- Kitajima, C., 1973. Experimental trials on mass culture of copepods. *Bull. Plankton Soc. Japan*, 20, 54–60.
- Koski, M., M. Rosenberg, M. Vittasalo, S. Tanskanen and U. Sjolund, 1999. Is *Prymnesium patelliferum* toxic for copepod?—Grazing, egg production and egestion of the calanoid copepod *Eurytemora affinis* in mixtures of “good” and “bad” food. *J. Mar. Sci.*, 56, 131–139.
- Lee, W. J., 1991. Efficiency of various microbial foods for *Tigriopus japonicus* Mori. *Bull. Kor. Fish. Soc.*, 24, 117–122.
- Lee, W. J. and N. Taga, 1985. Environmental condition and microbial survey of the tide pools densely inhabited by *Tigriopus japonicus* Mori. *Bull. Kor. Fish. Soc.*, 18, 57–62.
- Lee, W. J. and N. Taga, 1988. Investigation of marine bacteria for the food of *Tigriopus japonicus* Mori (Harpacticoida). *Bull. Korean Fish. Soc.*, 21, 50–56.
- Meldahl, A. S., B. Edvardson and F. Fonnum, 1994. Toxicity of four potentially ichthyotoxic marine phytoflagellates determined by four different test methods. *J. Toxicol. and Environm. Health*, 42, 289–301.
- Meldahl, A. S., J. Kvernstuen, G. J. Grاسبakken, B. Edvardsen and F. Fonnum, 1995. Toxic activity of *Prymnesium* spp. and *Chrysochromulina* spp. tested by different test methods. (in) Lassus, P., G. Arzul, E. Erard, P. Gentien and C. Marcaillou (ed.), *Harmful Marine Algal Blooms. Proceedings of the Sixth International Conference on Toxic Mar. Phytop.* pp. 315–320.
- Moestrup, Ø. and H. A. Thomsen, 1995. Taxonomy of toxic haptophytes (Prymnesiophytes). (in) Hallegraeff, G. M., D. M. Anderson and A. D. Cembella (ed.), *Manual on Harmful Marine Microalgae*. UNESCO, pp. 319–338.
- Nejstgaard, J. C. and P. T. Solberg, 1996. Repression of copepod feeding and fecundity by the toxic haptophyte *Prymnesium patelliferum*. *Sarsia*, 81, 339–344.
- Nielsen, T. G., T. Kiørboe and P. K. Bjørnsen, 1990. Effects of a *Chrysochromulina polylepis* subsurface bloom on the planktonic community. *Marine Ecology Progress Series*, 62, 21–35.
- Richardson, K. 1997. Harmful or exceptional phytoplankton blooms in the marine ecosystem. *Advances in Marine Biology*, 31, 302–383.
- Sabour B., M. Laudiki, B. Oudra, S. Oubraim, B. Fawzi, S. Fadlaoui, M. Chlaida and V. Vasconcelos, 2000. Blooms of *Prymnesium parvum* associated with fish mortalities in a hypereutrophic brackish lake in Morocco. *Harmful Algae News, The Intergovernmental Oceanographic Commission of UNESCO*, 21, 8–9.
- Stabell, O. B., R. T. Aanesen and H. C. Eilertsen, 1999. Toxic peculiarities of the marine alga *Phaeocystis pouchetii* detected by in vivo and in vitro bioassay methods. *Aquatic Toxicology*, 44, 279–288.
- Turner, J. T. and P. A. Tester, 1997. Toxic marine phytoplankton, zooplankton grazers, and pelagic food webs. *Limnology and Oceanography*, 42, 1203–1214.

원고접수 : 2005년 2월 11일

수정본 수리 : 2005년 4월 7일