

이매패류 먹이생물로 이용되는 미세조류 4종의 적정 배양환경조건

민병희, 허성범¹

부산광역시 수산자원연구소, ¹부경대학교 해양바이오신소재학과

Optimum Culture Condition on Four Species of Microalgae used as Live Food for Seedling Production of Bivalve

Byeong-Hee Min, Sung Bum Hur¹

Busan Marine Fisheries Resources Research Institute, Busan 618-814, Korea

¹Department of Marine Bio-materials and Aquaculture, Pukyong National University, Busan 608-737, Korea

ABSTRACT

In order to investigate the live food value of microalgae for efficacious rearing of larvae and spats of bivalve, we studied growth rates of four microalgal species (*Isochrysis galbana*, *Pavlova lutheri*, *Chaetoceros simplex*, *Tetraselmis tetrahele*) cultured in different environmental conditions. These include changes in temperatures (20, 25, 30 and 35 °C), salinities (20, 25, 30 and 33 psu) and light intensities (60, 100 and 140 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$). The growth rate of *I. galbana* was faster at 25 °C than that of 20 °C. At 25 °C the highest growth rate of *I. galbana* was observed at 33 psu (0.413) and the lowest at 20 psu (0.368) in 10 days of culture ($P < 0.05$). The growth rate of *I. galbana* was lower at 25 psu (0.383) than that of 30 psu and higher than that of 20 psu ($P < 0.05$). Similar temperature and salinity-dependent changes were also found in *P. lutheri* and *T. tetrahele*. *C. simplex* showed faster growth rate at 30 °C than that of 25 °C. The highest growth rate of *C. simplex* was observed at 33 psu (0.428) and the lowest at 20 psu (0.389) in 10 days of culture ($P < 0.05$). Upon exposure to the light with different intensities, all four microalgal species showed a significantly faster growth rate at 140 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ than at 100 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ($P < 0.05$).

Key words: Microalgae, Live food, Bivalve, Growth, Temperature, Salinity, Light intensity

서 론

미세조류는 중요한 수생 먹이사슬, 특히 먹이사슬의 에너지 흐름에서 생물학적인 출발점이 되므로 이매패류의 먹이로서 미세조류의 배양관리는 인공종묘생산과정에서 필연적으로 없어서는 안 될 부분이다 (De Pauw and Pruder, 1986). 이러한 이유로 지금까지 미세조류 40여종이 순수분리 되어 양식현장에서 이용되고 있다 (Hur, 2004).

이매패류 종묘생산 시 유생의 성장과 생존은 굴의 경우 난질 (Lannan *et al.*, 1980a, b; Gallager and Mann, 1986), 환경요인 (Breese and Malouf, 1977; Helm and Millican, 1977; Nell and Holliday, 1988; Robert *et al.*, 1988; His *et al.*, 1989), 사육밀도 (Min *et al.*, 1995) 등의 영향을 받으며, 유생의 생존율을 높이는 가장 중요한 요인은 먹이의 양과 질 (Wilson, 1978; Helm and Laing, 1987; Min *et al.*, 1995), 공급횟수 (Powell *et al.*, 2002) 에 따라 크게 영향을 미친다고 하였다. 먹이생물이 함유하고 있는 영양소는 미세조류의 종류, 배지, 수확시기 및 배양 환경조건에 따라 달라진다. 특히 사육대상 생물에 따른 적정 먹이생물의 선정은 대상생물의 최적 성장과 생존율을 높이는데 매우 중요하다 (Ballantine *et al.*, 1979; Brown *et al.*, 1997; Hur, 2004).

이와 같이 이매패류 종묘생산과정에서 어미성숙, 유생 및 치패사육에 필요한 먹이로 이용되고 있는 미세조류의 질적 및 양적 대량배양은 매우 중요하다. 그러나 미세조류의 대량배양은 고난도의 기술이 요구되며 배양비용이 매우 높을 뿐만 아니라

Received: March 10, 2015; Revised: March 23, 2015;
Accepted: March 30, 2015

Corresponding author : Byeong-Hee Min

Tel: +82 (51) 209-0925 e-mail: bhmin714@korea.kr
1225-3480/24564

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License with permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproducibility in any medium, provided the original work is properly cited.

많은 공간 (유생사육시설의 1/3-1/2 점유) 을 필요로 한다 (Donaldson, 1991; Hur *et al.*, 2008). 특히 미세조류의 배양원가는 미세조류의 종류와 배양방법 및 배양용기의 크기에 따라 다르나 대체적으로 상업적 이매패류 종묘생산과정에서 전체 인공종묘생산 원가의 15-85%를 점유하고 있다 (Donaldson, 1991; Benemann, 1992; Coutteau and Sorgeloos, 1992).

해양 미세조류를 배양하는데 이용 가능한 배지의 종류는 약 50여 가지가 개발되어 이용되고 있지만, 주로 *f/2*, *conwy*, *ES-medium* 등이 많이 이용되고 있고, 이용성 및 비용 절감 면에서 최근에는 농업용 비료를 이매패류 종묘생산 현장에서 대량배양용 배지원으로 많이 이용하고 있으나 대량배양 시 고 수온기 배양에 어려움을 겪고 있는 실정이다 (Enright and Newkirk, 1986; Min, 2012).

따라서 본 연구는 이매패류 종묘생산 시 먹이생물로 주로 이용하고 있는 미세조류 4종 (*Isochrysis galbana*, *Pavlova lutheri*, *Chaetoceros simplex*, *Tetraselmis tetrathele*) 을 선정하여 미세조류의 안정적인 대량배양과 세포증식을 향상시킬 수 있는 방안을 모색하기 위하여 일차적으로 미세조류의 종류별 적정 배양환경조건을 조사하였다.

재료 및 방법

이매패류 종묘생산 시 먹이생물의 안정적인 대량배양을 하기 위하여 이용된 미세조류는 부경대학교 한국해양미세조류은행 (KMMCC, Korea Marine Microalgae Culture Center) 에서 보유하고 있는 종류 중에서 이매패류 먹이생물로 주로 이용되고 있으며, 이매패류의 발생단계 및 크기 등을 고려하여 착편모조류 2종 [*Isochrysis galbana* (KMMCC-12), *Pavlova lutheri* (CCMP 1325)], 규조류 1종 [*Chaetoceros simplex* (KMMCC-723)], 담녹조류 1종 [*Tetraselmis tetrathele* (KMMCC-53)] 으로 총 4종을 선정하여 분양 받아 이용하였다 (CCMP, Provasoli-Guillard National Center for Culture of Marine Phytoplankton).

이들 4종은 Conwy 배지 (Walne, 1974) 로 20℃, 33 psu, 100 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 연속 조명 하에서 배양하였으며, 세포밀도는 hemacytometer를 사용하여 세포수를 계수하고, 성장률은 Guillard (1973) 의 방법으로 specific growth rate (SGR) 를 계산하였다 [$\text{SGR} = 3.322 \times (\text{N}_2/\text{N}_1) / (t_2 - t_1)$, (t_2, t_1 : 접종 후 배양일수, N_2, N_1 : t_2, t_1 일 때의 세포밀도)]. 단, 규조류인 *C. simplex* 배양 시에는 기본배지 외에 규산나트륨 용액 ($\text{Na}_2\text{SiO}_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$: 증류수 1 L에 100 g 용해) 을 배양수 1 L 에 1 mL를 첨가해 주었다.

수온과 염분에 따른 미세조류별 적정 성장조건을 조사하기

위하여 4종의 미세조류를 수온 20, 25, 30, 35℃와 염분 20, 25, 30, 33 psu에서 250 mL 삼각플라스크에 50×10^4 cells/mL의 세포밀도로 접종하여 10일간 성장을 측정하였다.

조도에 따른 미세조류별 적정 성장조건을 조사하기 위하여 4종의 미세조류를 60, 100, 140 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 의 조도 하에서 연속 조명하여 10일간 성장을 측정하였다.

모든 실험 결과는 One-way ANOVA test를 실시하였으며, 평균 간의 유의성 ($P < 0.05$) 은 Duncan's test (Duncan, 1955) 로 검정하였다. 통계 분석은 SPSS program을 사용하여 분석하였다.

결 과

1. 수온과 염분에 따른 미세조류의 성장

*Isochrysis galbana*를 수온과 염분을 서로 달리하여 10일간 배양한 결과는 Fig. 1과 같다. 일간 성장률은 수온이 20℃ 일 때 염분 33 psu에서 배양 10일째 0.397로 가장 높았고, 20 psu에서 0.365로 가장 낮게 나타났다 ($P < 0.05$). 염분 30 psu와 33 psu와의 성장률은 유의한 차이가 없었으며, 20 psu와 25 psu와도 유의한 차이가 없었다. 수온이 25℃일 때 *I. galbana*의 성장률은 염분 33 psu에서 0.413으로 가장 높았고, 20 psu에서 0.368로 가장 낮았다 ($P < 0.05$). 염분 30 psu와 33 psu와의 성장률은 유의한 차이가 없었고, 25 psu에서 성장률은 0.383으로 30 psu 보다 낮게 나타났으며 20 psu 보다 높은 경향을 보였다 ($P < 0.05$).

수온이 30℃일 때 *I. galbana*의 성장률은 염분 33 psu에서 0.361로 가장 높았고, 20 psu에서 0.256으로 가장 낮았다 ($P < 0.05$). 염분 30 psu와 33 psu와의 성장률은 유의한 차이가 없었고, 25 psu에서 성장률은 0.328로 30 psu 보다 낮았으며 20 psu 보다 높은 경향을 보였다 ($P < 0.05$). 수온이 35℃일

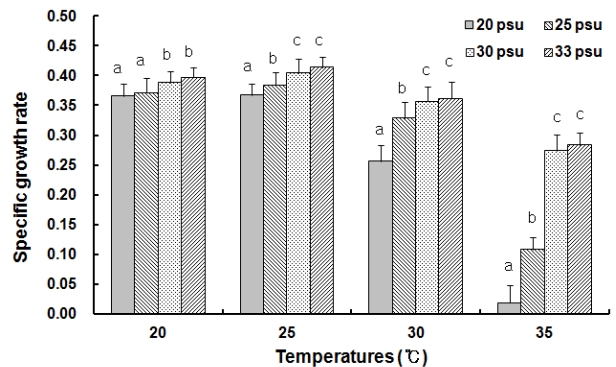


Fig. 1. Specific growth rate of *Isochrysis galbana* at different temperatures and salinities. Different letters on the bar means significantly difference ($P < 0.05$).

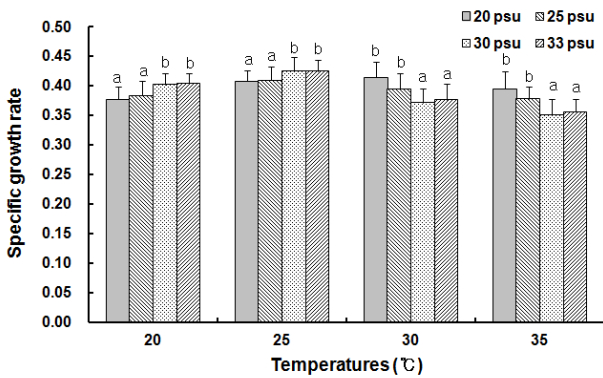


Fig. 2. Specific growth rate of *Pavlova lutheri* at different temperatures and salinities. Different letters on the bar means significantly difference ($P < 0.05$).

때 *I. galbana*의 성장률은 염분 33 psu에서 0.353으로 가장 높았고, 20 psu에서 0.019로 가장 낮았다 ($P < 0.05$). 염분 30 psu와 33 psu와의 성장률은 유의한 차이가 없었고, 염분 25 psu에서 성장률은 0.108로 30 psu 보다 낮게 나타났으며 20 psu 보다 높은 경향을 보였다 ($P < 0.05$).

*Pavlova lutheri*를 수온과 염분을 서로 달리하여 10일간 배양한 결과는 Fig. 2와 같다. 수온이 20°C일 때 일간 성장률은 염분 33 psu에서 배양 10일째 0.404로 가장 높았고, 20 psu에서 0.377로 가장 낮게 나타났다 ($P < 0.05$). 염분 30 psu와 33 psu와의 성장률은 유의한 차이가 없었으며, 20 psu와 25 psu와도 유의한 차이가 없었다. 수온이 25°C일 때 *P. lutheri*의 성장률은 염분 33 psu에서 배양 10일째 0.425로 가장 높았고, 20 psu에서 0.408로 가장 낮게 나타났다 ($P < 0.05$). 염분 30 psu와 33 psu와의 성장률은 유의한 차이가 없었으며, 20 psu와 25 psu와도 유의한 차이가 없었다. 수온이 30°C일 때 *P. lutheri*의 성장률은 염분 30 psu에서 0.371로 가장 낮았고, 20 psu에서 0.414로 가장 높게 나타났다 ($P < 0.05$). 염분 30 psu와 33 psu와는 유의한 차이가 없었으며, 25 psu에서 성장률은 0.394로 30 psu 보다 높게 나타났으나 ($P < 0.05$), 20 psu와는 유의한 차이가 없었다. 수온이 35°C일 때 *P. lutheri*의 성장률은 염분 30 psu에서 0.350으로 가장 낮았고, 20 psu에서 0.395로 가장 높게 나타났다 ($P < 0.05$). 염분 30 psu와 33 psu와는 유의한 차이가 없었으며, 25 psu에서 성장률은 0.378로 30 psu 보다 높게 나타났으나 ($P < 0.05$), 20 psu와는 유의한 차이가 없었다.

*Chaetoceros simplex*를 수온과 염분을 서로 달리하여 10일간 배양한 결과는 Fig. 3과 같다. 수온이 20°C일 때 일간 성장률은 염분 33 psu에서 배양 10일째 0.388로 가장 높았고, 20 psu에서 0.362로 가장 낮게 나타났다 ($P < 0.05$). 염분 30 psu와 33 psu와의 성장률은 유의한 차이가 없었으며, 20 psu와 25 psu와도 유의한 차이가 없었다. 수온이 25°C일 때 *C. simplex*의 성장률은 염분 33 psu에서 0.402로 가장 높았고, 20 psu에서 0.382로 가장 낮게 나타났다 ($P < 0.05$). 염분 30 psu와 33 psu와의 성장률은 유의한 차이가 없었으며, 20 psu와 25 psu와도 유의한 차이가 없었다. 수온이 30°C일 때 *C. simplex*의 성장률은 염분 33 psu에서 0.428로 가장 높았고, 20 psu에서 0.389로 가장 낮게 나타났다 ($P < 0.05$). 염분 25 psu에서 성장률은 0.414로 33 psu 보다 낮게 나타났으며 20 psu 보다 높은 경향을 보였다 ($P < 0.05$). 수온이 35°C일 때 *C. simplex*의 성장률은 염분 20 psu에서 0.341로 가장 높았고, 33 psu에서 0.319로 가장 낮게 나타났다 ($P < 0.05$). 염분 30 psu와 33 psu와의 성장률은 유의한 차이가 없었으며, 20 psu와 25 psu와도 유의한 차이가 없었다.

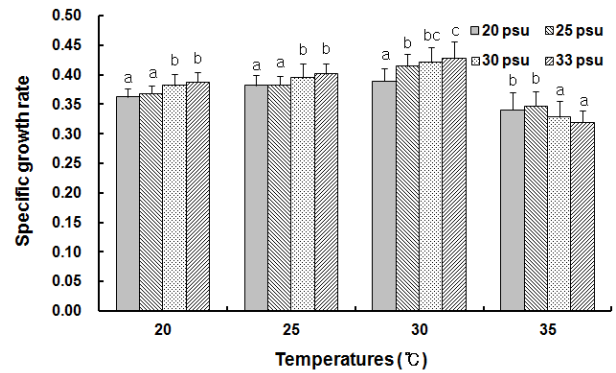


Fig. 3. Specific growth rate of *Chaetoceros simplex* at different temperatures and salinities. Different letters on the bar means significantly difference ($P < 0.05$).

*Tetraselmis tetraathele*를 수온과 염분을 서로 달리하여 10일간 배양한 결과는 Fig. 4와 같다. 수온이 20°C일 때 일간 성장률은 염분 33 psu에서 배양 10일째 0.358로 가장 높았고, 20 psu에서 0.325로 가장 낮게 나타났다 ($P < 0.05$). 염분 30 psu와 33 psu와의 성장률은 유의한 차이가 없었으며, 20 psu와 25 psu와도 유의한 차이가 없었다. 수온이 25°C일 때 *T. tetraathele*의 성장률은 염분 33 psu에서 0.375로 가장 높았고, 20 psu에서 0.355로 가장 낮게 나타났다 ($P < 0.05$). 염분 30 psu와 33 psu와의 성장률은 유의한 차이가 없었으며, 20 psu와 25 psu와도 유의한 차이가 없었다. 수온이 30°C일 때 *T. tetraathele*의 성장률은 염분 33 psu에서 0.345로 가장 높았고, 20 psu에서 0.315로 가장 낮게 나타났다 ($P < 0.05$). 염분 30 psu와 33 psu와의 성장률은 유의한 차이가 없었으며, 20 psu와 25 psu와도 유의한 차이가 없었다. 수온이 35°C일 때 *T. tetraathele*의 성장률은 염분 33 psu에서 0.315로 가장 높았고, 20 psu에서 0.275로 가장 낮게 나타났다 ($P < 0.05$). 염분 30 psu와 33 psu와의 성장률은 유의한 차이가 없었으며, 20 psu와 25 psu와도 유의한 차이가 없었다.

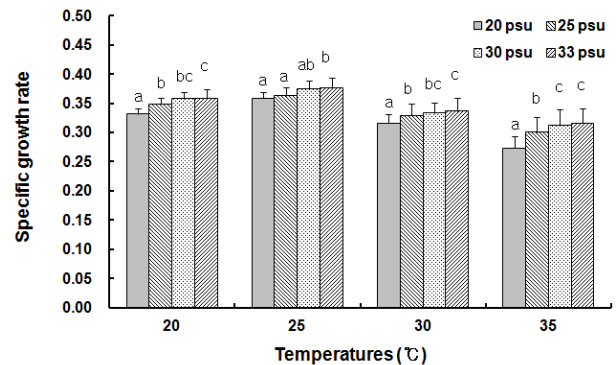


Fig. 4. Specific growth rate of *Tetraselmis tetraathele* at different temperatures and salinities. Different letters on the bar means significantly difference ($P < 0.05$).

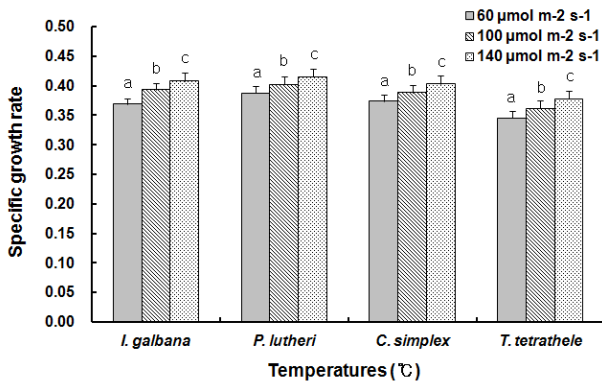


Fig. 5. Specific growth rate of four microalgal species at 20°C and 33 psu with different light intensities. Different letters on the bar means significantly difference ($P < 0.05$).

20 psu에서 0.332로 가장 낮게 나타났다 ($P < 0.05$). 염분 33 psu와 30 psu와는 유의한 차이가 없었으며, 염분 20 psu와 25 psu 간에는 유의한 차이가 없었다. 수온이 25°C일 때 *T. tetrahele*의 성장률은 염분 33 psu에서 0.413으로 가장 높았고, 20 psu에서 0.368로 가장 낮게 나타났다 ($P < 0.05$). 염분 33 psu와 30 psu와는 유의한 차이가 없었으며, 염분 25 psu에서 성장률은 0.383으로 30 psu 보다 낮게 나타났으며 20 psu 보다는 높은 경향을 보였다 ($P < 0.05$). 수온이 30°C일 때 *T. tetrahele*의 성장률은 염분 33 psu에서 0.337로 가장 높았고, 20 psu에서 0.316으로 가장 낮게 나타났다 ($P < 0.05$). 염분 33 psu와 30 psu와는 유의한 차이가 없었으며, 염분 25 psu에서 성장률은 0.329로 33 psu 보다 낮게 나타났으며 20 psu 보다는 높은 경향을 보였다 ($P < 0.05$). 수온이 35°C일 때 *T. tetrahele*의 성장률은 염분 33 psu에서 0.316으로 가장 높았고, 20 psu에서 0.273으로 가장 낮게 나타났다 ($P < 0.05$). 염분 33 psu와 30 psu와는 유의한 차이가 없었으며, 염분 25 psu에서 성장률은 0.301로 30 psu와 33 psu 보다 낮게 나타났으며 20 psu 보다는 높은 경향을 보였다 ($P < 0.05$).

2. 조도에 따른 미세조류의 성장

미세조류를 조도 (60, 100, 140 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) 를 달리하여 10일간 배양한 결과는 Fig. 5와 같다. *Isochrysis galbana*의 성장률은 배양 10일째 140 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 에서 0.408로 가장 높았고, 60 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 에서 0.369로 가장 낮게 나타났다 ($P < 0.05$). *Pavlova lutheri*의 성장률은 배양 10일째 140 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 에서 0.415로 가장 높았고, 60 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 에서 0.387로 가장 낮게 나타났다 ($P < 0.05$).

*Chaetoceros simplex*의 성장률은 배양 10일째 140 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 에서 0.403으로 가장 높았고, 60 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 에서

0.374로 가장 낮게 나타났다 ($P < 0.05$). *Tetraselmis tetrahele*의 성장률은 배양 10일째 140 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 에서 0.378로 가장 높았고, 60 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 에서 0.345로 가장 낮게 나타났다 ($P < 0.05$).

고찰

이매패류 먹이로서 이용되는 미세조류는 세포내에 함유된 영양 가치에 따라 유생의 성장, 변태 그리고 생존율에 영향을 미치게 된다. 따라서 이매패류 인공종묘생산에 유생 및 치패 사육에 이용되는 미세조류의 영양가를 결정하는 것은 매우 중요하다 (Walne, 1974; Webb and Chu, 1983; Whyte, 1987), 미세조류의 먹이가치를 결정하는 요소는 영양, 크기, 독성유무, 소화성, 부유성 및 대량배양 가능성 등이 있지만, 특히 이들 중 크기, 영양성, 소화성 및 대량배양 가능성은 생산과정에서 먹이생물의 가치를 판단하는 가장 중요한 요소이다 (Jeffrey *et al.*, 1990).

일반적으로 미세조류의 영양소 조성은 종, 배양조건, 수확시기 등에 따라 다르므로 (Webb and Chu, 1983), 본 연구에서는 이매패류의 종묘생산 시 많이 이용되고 있는 4종의 미세조류 (*Isochrysis galbana*, *Pavlova lutheri*, *Chaetoceros simplex*, *Tetraselmis tetrahele*) 에 대하여 수온, 염분 및 조도 등 배양환경에 따른 종별 성장시험을 실시하고 미세조류 종류별 적정 배양환경조건을 구명하였다.

수온, 염분 및 조도는 해양 미세조류의 성장에 중요한 영향을 미치며, 이들 미세조류의 성장률은 해양의 생산력을 결정하는 가장 큰 근본적인 요인들이다 (Admiraal, 1977). 또한 미세조류 배양에 있어서도 수온과 조도는 성장을 지배하는 가장 중요한 변수들이다 (Jitts *et al.*, 1963; Smayda, 1969; Durbin, 1974).

Kain and Fogg (1958) 은 *I. galbana*의 성장 최적수온을 20-25°C라고 하였고, Ukeles (1961) 는 이 종이 15°C에서 성장이 가장 빨랐으며, 24-25°C에서는 성장이 정체된다고 하였다. 그리고 Ryu (1987) 는 *I. galbana*를 15, 20, 25°C의 수온 및 20, 60, 120, 180 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 의 조도 조건에서 7일간 배양한 1일 단위의 세포수의 증가는 4개의 실험구 모두 25°C에서 가장 높았다. 20, 60 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 의 실험구에서는 25, 20, 15°C의 순으로 세포수의 증가가 빠르게 나타났으며, 120, 180 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 실험구에서는 20°C에서 세포의 증가가 제일 느리게 나타났고, 성장률은 조도에 따라서 크게 달라졌다고 보고하였다.

본 연구에서 수온 20, 25, 30, 35°C와 염분 20, 25, 30, 33 psu에 따른 4종 미세조류의 성장을 조사한 결과, *I. galbana*의 성장률은 20°C 보다 25°C에서 높았고 염분 30 psu와 33

psu에서 높았으며, 20 psu에서 가장 낮은 성장률을 보였다. 30°C 이상에서는 성장률이 낮게 나타났다. *I. galbana*를 배양하는 적정 배양 수온과 염분은 20-25°C, 30-33 psu이었다. 25°C에서 배양 시 배양 8일째부터 가장 높은 성장률을 보였다가 정체하였으므로 Kain and Fogg (1958) 및 Ukeles (1961)의 연구와 유사한 결과를 보였다. 그러나 위의 연구는 배양기간이 7일이었으며, 최초 접종밀도가 10^4 cells/mL로 본 연구의 배양기간 10일과 최초 접종밀도 50×10^4 cells/mL와는 차이가 있으므로 성장률에는 차이가 있지만 경향은 비슷하였다.

이매패류의 유생사육 시 *P. lutheri*는 초기 먹이생물로서 크기 및 영양가 측면에서 우수한 먹이로 알려져 있지만, 배양환경의 변화에 민감하여 안정적인 대량배양이 쉽지 않은 종이다 (Enright *et al.*, 1986).

Park (1985)은 *P. lutheri*의 성장에 미치는 조도의 영향 연구에서 28°C, $100 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 의 연속 조명에서 배양하였을 때 최대 성장은 659×10^4 cells/mL였으며, 낮은 조도일수록 성장이 저조하다고 하였다. Park (1994)은 Pavlova sp.는 23°C, 23 psu, $120 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 에서 최고의 성장을 보였고 수온과 염분이 동일하고 조도가 다소 낮은 $80 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 일 때는 764×10^4 cells/mL로 성장률은 크게 감소한다고 보고하였다. 그리고 Yun (2005)은 *P. lutheri*를 7일간 배양하였을 때 19°C, 30 psu, $120 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, Conwy 배지에서 654×10^4 cells/mL로 최고의 성장을 보였다고 하였다.

본 연구에서 *P. lutheri*는 25°C, 33 psu일 때 948.5×10^4 cells/mL의 세포밀도 (Min, 2012)로 최고의 성장을 보여 Park (1985, 1994)의 연구와 유사한 결과를 보였으나 Yun (2005)의 연구 결과 보다 높은 수온으로 나타나 차이가 있었다. 성장률은 20°C의 0.404 보다 25°C에서 0.425로 높았고 염분 30 psu와 33 psu에서 높았으며, 20 psu에서 가장 낮은 성장률을 보였다. 30°C 이상에서는 성장률이 낮게 나타났으나, 염분이 낮을수록 성장률이 높게 나타났다. *P. lutheri*의 적정 배양 수온과 염분은 각각 25°C, 30-33 psu이었다.

Kongkeo (1991)는 *Chaetoceros calcitrans*의 최적수온이 28-30°C, 최저수온이 24°C였고, 최적염분은 22-28 psu, 조도는 10,000 lux이하라고 보고하였다. Yun (2005)은 *C. simplex*를 7일간 배양 시 25°C, 20 psu, $80 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 에서 최고의 성장을 보였다. 본 연구에서 *C. simplex*는 30°C, 33 psu에서 972.5×10^4 cells/mL로 최고의 성장을 보여 Kongkeo (1991)의 연구와 일치하였으나 Yun (2005)의 연구 보다 높은 수온과 염분으로 다소 차이를 나타내었다.

*C. simplex*의 성장률은 25°C 보다 30°C에서 더 높았고, 염분 30 psu와 33 psu에서 높았으며, 20 psu에서 가장 낮은 성장률을 보였다. *C. simplex*는 30°C, 33 psu에서 성장률이

0.421과 0.428로 가장 높게 나타났다. *C. simplex*의 적정 배양 수온과 염분은 각각 25-30°C, 30-33 psu이었다.

Kim and Hur (1998)는 *Tetraselmis* sp.의 대량배양을 위한 배양환경 실험에서 성장은 수온이 24-30°C, 염분이 27-33 psu에서 빠르게 나타내었고, *T. tetrahele*는 수온 30°C, 염분 27 psu에서 112×10^4 cells/mL (성장률 0.35)로 가장 빠른 성장을 보였다고 보고하였다. 본 연구에서 *T. tetrahele*는 25°C, 33 psu에서 966.7×10^4 cells/mL (성장률 0.413)로 성장이 빠르게 나타내었으며 (Min, 2012), *T. tetrahele*를 배양하는 적정 배양 수온과 염분은 25°C, 30-33 psu로 나타나 Kim and Hur (1998)의 결과와 차이를 보였다. 이와 같은 결과는 *Tetraselmis* sp.의 배양 수온 범위를 12-32°C로 보고한 Ukeles (1961)의 결과와 유사하였다. Maddux and Raymond (1964)는 *Tetraselmis* sp.의 성장률이 23-25°C에서 가장 높았으며, 17°C이하와 29°C이상에서는 성장률이 낮았다고 보고하여 본 연구 결과와 유사하였다.

60, 100, 140 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 의 조도에서 배양한 결과, 4종의 미세조류 모두 140 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 의 조도에서 가장 높은 성장률을 보였다. 이는 조도가 높을수록 성장이 빠르다고 보고한 Park (1985, 1994)와 Kongkeo (1991)의 연구 결과와 유사한 결과를 보였다.

이와 같은 연구 결과를 바탕으로 향후 이매패류 먹이생물로서 미세조류의 안정적인 공급과 어업인들이 손쉽게 조제할 수 있고 경제적이며, 세포증식이 기존 배지에 버금갈 수 있는 배지를 개발하고, 유생의 성장과 생존율을 제고하여 이매패류 인공종묘의 생산성을 개선하기 위해서는 보다 심도 깊은 연구가 수행되어야 할 것이다.

요 약

실험에 사용된 미세조류는 이매패류 종묘생산시 유생과 치패의 먹이생물로 주로 이용되고 있는 *Isochrysis galbana*, *Pavlova lutheri*, *Chaetoceros simplex*, *Tetraselmis tetrahele* 등 4종을 선정하였으며, 배양환경으로 수온 (20, 25, 30, 35°C), 염분 (20, 25, 30, 33 psu) 그리고 조도 (60, 100, 140 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)를 서로 달리하여 4종의 미세조류에 대한 성장을 조사하였다.

*I. galbana*의 성장은 수온 20°C 보다 25°C에서 빠른 성장을 나타내었으며, 수온 25°C일 때 일간 성장률은 염분 33 psu에서 0.413으로 가장 높았고, 20 psu에서 0.368로 가장 낮게 나타났다 ($P < 0.05$). 25 psu에서 일간 성장률은 0.383으로 30 psu 보다 낮게 나타났고, 20 psu 보다 높은 경향을 보였다 ($P < 0.05$). 이와 같은 수온과 염분에 따른 미세조류의 성장률은 종별로 다소 차이는 있으나 *P. lutheri*, *T. tetrahele*에서

도 *I. galbana*의 성장과 유사한 경향을 나타내었다.

한편, *C. simplex*의 성장은 수온 25℃ 보다 30℃에서 빠른 성장을 나타내었으며, 수온 30℃에서 일간 성장률은 배양 10 일째 염분 33 psu에서 0.428로 가장 높았고, 20 psu에서 0.389로 가장 낮게 나타났다 ($P < 0.05$). 그리고 서로 다른 조도에서 배양한 미세조류 4종의 성장은 $100 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 보다 $140 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 의 조도에서 가장 빠른 성장을 나타내었다 ($P < 0.05$).

REFERENCES

- Admiraal, W. (1977) Tolerance of estuarine benthic diatoms to high concentrations of ammonia, nitrite ion, nitrate ion and orthophosphate. *Marine Biology*, **43**: 307-315.
- Ballantine, J.A., Lavis, A. and Morris, R.J. (1979) Sterols of the phytoplankton-effects of illumination and growth stage. *Phytochemistry*, **18**: 1459-1466.
- Benemann, J.R. (1992) Microalgae *Aquaculture* feeds. *Journal of Applied Phycology*, **4**: 233-245.
- Breese, W.P. and Malouf, R.E. (1977) Hatchery rearing techniques for oyster *Crassostrea rivularis* Gould. *Aquaculture*, **12**: 123-126.
- Brown, M.R., Jeffrey, S.W., Volkman, J.K. and Dunstan, G.A. (1997) Nutritional properties of microalgae for mariculture. *Aquaculture*, **151**: 315-331.
- Coutteau, P. and Sorgeloos, P. (1992) The use of algal substitutes and the requirement for live algae in hatchery and nursery rearing bivalve molluscs : an international survey. *Journal of Shellfish Research*, **11**: 467-476.
- De Pauw, N. and Pruder, G. (1986) Use and production of microalgae as food in *Aquaculture*: practices, problems and research needs. In: Bilio M, Rosenthal H and Sinderman CJ (Eds.). *Realism in Aquaculture: Achievements, Constraints, Perspectives*. European *Aquaculture* Society, Bredene, 77-106.
- Donaldson, J. (1991) Commercial production of microalgae at coast Oyster company. In: Fulks W and Main KL (Eds.). *Proceedings of US-Asia Workshop on Rotifer and Microalgae Culture*, Honolulu, Hawaii. The Oceanic Institute, HI, USA, 229-236.
- Duncan, D.B. (1955) Multiple-range and multiple F tests. *Biometrics*, **11**: 1-42.
- Durbin, E.G. (1974) Studies on the adtecology of the marine diatom *Thalassiosira nordenskoldii* Cleve: I. The influence of daylength, light intensity and temperature on growth. *Journal of Phycology*, **10**: 220-225.
- Enright, C.T., Newkirk, G.F., Craigiel, J.S. and Castell, J.D. (1986) Evaluation of phytoplankton as diets for juvenile *Ostrea edulis* L. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, **96**: 1-13.
- Gallager, S.M. and Mann, R. (1986) Growth and survival of larvae of *Mercenaria mercenaria* (L.) and *Crassostrea virginica* (Gmelin) relative to brood conditioning and lipid content of eggs. *Aquaculture*, **56**: 105-121.
- Guillard, R.R.L. (1973) Division rates. *In*: Handbook of phycological methods. Culture method and growth measurement. Stein JR. (Ed.) Cambridge University Press, Cambridge, 289-311.
- Helm, M.M. and Millican, P.F. (1977) Experiments in the hatchery rearing of Pacific oyster larvae (*Crassostrea gigas* Thunberg). *Aquaculture*, **11**: 1-12.
- Helm, M.M. and Laing, L. (1987) Preliminary observation on the nutritional value of "Tahiti *Isochrysis*" to bivalve larvae. *Aquaculture*, **62**: 281-288.
- His, E., Robert, R. and Dinet, A. (1989) Combined effects of temperature and salinity on fed and starved larvae of the Mediterranean mussel *Mytilus galloprovincialis* and the Japanese oyster *Crassostrea gigas*. *Marine Biology*, **100**: 455-463.
- Hur, Y.B. (2004) Dietary value of microalgae for larvae culture of Pacific oyster, *Crassostrea gigas*. Ph.D. thesis, Pukyong National University, 133pp.
- Hur, Y.B., Min, K.S., Kim, T.E., Lee, S.J. and Hur, S.B. (2008) Larvae growth and biochemical composition change of the Pacific oyster *Crassostrea gigas*, larvae during artificial seed production. *Journal of Aquaculture*, **21**: 203-212.
- Jeffrey, S.W., Garland, C.D. and Brown, M.R. (1990) Microalgae in Australian mariculture. *Biology of Marine Plants*. Longman Cheshire, Melbourne, 400-414.
- Jitts, H.R., Mcalister, C.D., Stephens, K. and Strickland, J.D.H. (1963) The cell division rates of some marine phytoplanktons as a function of light and temperature. *Journal of Fisheries Research Board of Canada*, **21**: 139-157.
- Kain, J.M. and Fogg, G.E. (1958) Studies one the growth of marine phytoplankton. II. *Isochrysis galbana* (Parke). *Journal of the Marine Biological Association of the U.K.*, **37**: 781-788.
- Kim, C.W. and Hur, S.B. (1998) Selection of optimum species of Tetraselmis for mass culture. *Journal of Aquaculture*, **11**: 231-240.
- Kongkeo, H. (1991) An overview of live feeds production system design in Thailand, Rotifer and Microalgae Culture systems. *Proceedings of a U.S-Asia Workshop*. Honolulu, Hawaii, January, 28-31.
- Lannan, C.J. (1980a) Broodstock management of *Crassostrea gigas*. I. Genetic and environmental variation in survival in the larval rearing system. *Aquaculture*, **21**: 323-336.
- Lannan, C.J. (1980b) Broodstock management of *Crassostrea gigas*. III. Selective breeding for improved larval survival. *Aquaculture*, **21**: 347-351.
- Maddux, W.S. and Raymond, F.J. (1964) Some interaction of temperature, light intensity and nutrient concentration during the continuous culture

- of *Nitzschia closterium* and *Tetraselmis* sp. *Limnology and Oceanography*, **9**: 79-86.
- Min, B.H. (2012) Dietary Value of Three Microalgal Species for Seedling Production of the Ark Shell *Scapharca broughtonii*, Ph.D. Thesis, Pukyong National University, 118pp.
- Min, K.S., Chang, Y.J., Park, D.W., Jung, C.G., Kim, D.H. and Kim, G.H. (1995) Studies on Rearing conditions for mass seedling production in Pacific oyster, *Crassostrea gigas*. *Bulletin of National Fisheries Research and Development Agency*, **49**: 91-111.
- Nell, J.A. and Holliday, J.E. (1988) Effects of salinity on the growth and survival of Sydney rock oyster (*Saccostrea commercialis*) and Pacific oyster (*Crassostrea gigas*) larvae and spat. *Aquaculture*, **68**: 39-44.
- Park, D.Y. (1985) The Effect of light intensity on the quantitative and qualitative growth of phytoplanktonic food organism, *Monochrysis lutheri* (Droop). *Bulletin of National Fisheries Research and Development Institute*, **39**: 73-88.
- Park, J.E. (1994) The optimum culture environment of four species of phyto-food organism. Master thesis, National Fisheries University of Busan, Busan. 34pp.
- Powell, E.N., Bochenek, E.A., Klinck, J.M. and Hoofmann, E.E. (2002) Influence of food quality and quantity on the growth and development of *Crassostrea gigas* larvae a modeling approach. *Aquaculture*, **210**: 89-117.
- Robert, R., His, E. and Dinet, A. (1988) Combined effects of temperature and salinity on fed and starved larvae of the European flat oyster *Ostrea edulis*. *Marine Biology*, **97**: 95-100.
- Ryu, H.Y. (1987) The effects of light intensity and temperature on the growth of phytoplanktonic food organism *Isochrysis galbana* (Parke). *Bulletin of National Fisheries Research and Development Institute*, **40**: 21-42.
- Smayda, T.J. (1969) Experimental observations on the influence of temperature, light and salinity on cell division of the marine diatom, *Detonula confervacea* (Cleve) Gran. *Journal of Phycology*, **5**: 150-157.
- Ukeles, R. (1961) The effect of temperature on the growth and survival of several marine algal species. *Bulletin*, **120**: 255-264.
- Walne, P.R. (1974) Culture of bivalve molluscs. Whitefriars Press Ltd., London and Tondridge, 173pp.
- Web, K.L. and Chu, F.L.E. (1983) Phytoplankton as a food source for bivalve larvae. In: Pruder, G.D., Langdon, C., Conklin, D. (Eds.), Proceedings of the 2nd International Conference of Aquaculture Nutrition: Biochemical and Physiological Approaches to Shellfish Nutrition, Louisiana State University, Baton Rouge, LA, pp. 272-291.
- Wilson, J.H. (1978) The food value of *Phaeodactylum tricornutum* Bohlin to the larvae of *Ostrea edulis* L. and *Crassostrea gigas* Thunberg. *Aquaculture*, **13**: 313-323.
- Whyte, J.N.C. (1987) Biochemical composition and energy content six species of phytoplankton used in mariculture of bivalves. *Aquaculture*, **60**: 231-241.
- Yun, H.Y. (2005) Growth of culture environment on food organism. M.S. thesis, Mokpo National University, 60pp.