

광합성 섬모류 *Mesodinium rubrum* MR-MAL01의 응용성 (1) 이매패류 종묘생산을 위한 먹이생물 유용성

김형섭¹ · 명금옥 · 조수근² · 이원호*

¹군산지방해양수산청, 군산대학교 해양정보과학과, ²군산대학교 해양생명과학부

Applicability of a Photosynthetic Ciliate, *Mesodinium rubrum* MR-MAL01 -Usefulness as a Live Prey Species for the Marine Aquaculture of Bivalves-

Hyung-Seop Kim¹, Geumog Myung, Soo-Gun Jo² and Wonho Yih*

Department of Oceanography, Kunsan National University, Kunsan 573-701, Korea

¹Kunsan Regional Maritime Affairs and Fisheries Office, Kunsan 573-030, Korea

²Faculty of Marine Living Resources, Kunsan National University, Kunsan 573-701, Korea

In a series of feeding experiments using the newly established the first laboratory strain of a temperate photosynthetic ciliate, *Mesodinium rubrum* MR-MAL01, direct evidence was obtained for ingestion of the cultured *M. rubrum* cells by the bivalves like the Korean scallop, *Chlamys farreri* and Manila clam, *Ruditapes philippinarum*. Each experimental Korean scallop and Manila clam removed up to 9,590 and 23,200 cells min⁻¹, respectively. Small particles almost identical to the ruptured cells of MR-MAL01 culture were observed in the gut of the experimental bivalves, although no intact *M. rubrum* cell was found. In a 28 days rearing experiment, *Isochrysis galbana* (KMCC H-2), a microalga, supported better growth of small Manila clam spat (0.46 mm in shell length) than MR-MAL01 strain. For the large Manila clam spat (0.84 mm in shell length), however, MR-MAL01 strain was a better prey item. Mass culture methods for this photosynthetic marine ciliate may be developed for use as live feed in aquaculture of the spat and broodstock of bivalve and small-mouthed fish larvae.

Keywords: Photosynthetic ciliate, Live prey, Korean scallop, Manila clam

서 론

해양 섬모류인 *Mesodinium rubrum* Lohmann 1908 (= *Myrionecta rubra* Jankowski 1976)은 정기적 또는 부정기적으로 은편모류를 섭식한 후, 이들 은편모류의 세포기관을 이용하여 광합성을 하는 chimaera 생물이다(Gustafson et al., 2000; Yih et al., 2003). 이 섬모류는 범세계종으로 세계의 여러 해역에서 적조를 일으키며(Lindholm, 1985; 1992), 특히 북극(Putt, 1990) 및 남극(Satoh and Watanabe, 1991; Stoecker et al., 1992)에서도 적조발생이 보고되고 있다. 적조발생 기간 동안의 일차생산력과 Chlorophyll-a 값은 다른 해양 식물플랑크톤 적조에 비해 높은 것으로 알려져 있고(Lindholm, 1985, Crawford, 1989), 적조를 일으키지 않더라도 해양생태계에서 일차생산자로 먹이망 및 탄소순환에 중요한 역할을 담당하고 있다(Crawford, 1989). 특히 우리나라에서는 제주도 해역에서도 계절적 우점종으로 등장하며(Yoon et

al., 1991), 주로 하구 및 부영양화된 내만에서 대발생하여 적조를 일으키고 있다(NFRDI, 1997).

M. rubrum 적조발생시 광합성과 호흡에 의해 용존산소의 변화가 극심하게 나타나(Soulsby et al., 1984; Hayes et al., 1989; Lindholm and Mork, 1990), 용존산소의 과포화 또는 부족으로 수산동물의 가스병과 질식사의 이차적인 영향을 줄 가능성이 있다(Martin et al., 2000). 세포체 분해시 수질을 악화시켜 넓은 지역에 걸쳐 다른 생물에 영향을 줄 수도 있고(Horstmann, 1981), 독성을 가진 세균이 *M. rubrum* 적조발생시 출현할 수도 있다(Romalde et al., 1990). 비록 *M. rubrum* 자체의 독성물질 배출에 의한 직접적인 피해는 없으나(Lindholm, 1992), 매우 낮은 수준의 연어류 폐사가 있었다는 보고(Martin et al., 2000)도 있다. 특히 적조가 발생된 지역에 서식하는 굴류(Clemens, 1935; Kat, 1984)와 담치류 및 가리비류(Carver et al., 1996)의 소화관이 붉은 색으로 변하기도 하였다. 그러나 *M. rubrum*은 멸치류와 같은 어류의 자치어가 직접 섭식할 수 있는 충분한 크기가 되고(Jimenez and Intriago, 1987), 다양한 해양 동물플랑크톤의

*Corresponding author: ywonho@kunsan.ac.kr

먹이로도 이용될 수 있어(Packard et al., 1978; Lindholm, 1985) 해양동물에 유용한 생물일 가능성이 있다.

Yih and Shim (1997)은 *M. rubrum*을 실험실에서 쉽게 배양·유지할 수 있다면 이 섬모류의 생물학적 특성을 활용하여 해양 생물공학적으로 다양하게 이용할 수 있는 이상적인 생물로 인식하였다. 그러나 세포막이 매우 연약하여 쉽게 파괴되므로 많은 연구자들이 이 종의 배양에 어려움을 겪었다(Crawford and Lindholm, 1997). 따라서 이 종의 기본적인 생활사, 생리·생화학적 특성 등에 대한 정보는 매우 단편적일 수 밖에 없다. 최근 남극에서 분리한 *M. rubrum* 배양체가 보고되었으나(Gustafson et al., 2000), 성장률이 매우 낮아 다양한 분야에 활용할 수 없다는 단점이 있다. 그러나 서해의 곰소만에서 채집한 시료로부터 최초의 온대역 *M. rubrum* 배양체 MR-MAL01가 확립되어 이를 이용한 다양한 연구가 진행되고 있으나(Kim, 2002; Kim et al., 2003), 지금까지 *M. rubrum* 종주를 먹이생물로 이용하기 위한 연구보고는 찾지 못했다.

본 연구에서는 서식형태가 서로 다른 비단가리비와 바지락을 대상으로 이들 이매패류가 섬모류인 *M. rubrum*을 섭식한다는 것을 직접 확인한 후, 두 종의 최대 섭식률을 측정하고, 인공 종묘생산된 바지락 치패를 대상으로 살아있는 *M. rubrum*을 장기간 지속적으로 공급하여 이 종을 먹이원으로서의 치패의 성장효과를 분석하였다. 이러한 연구를 통하여 이매패류 인공 종묘생산시 *M. rubrum* 종주를 새로운 먹이생물로 이용하기 위한 필수적인 기초자료를 확보하고자 하였다.

재료 및 방법

먹이생물로 이용된 광합성 섬모류 *Mesodinium rubrum* MR-MAL01은 서해의 곰소만에서 분리한 섬모류로, 온도 15°C, 염분 30 ppt, 광량 60 $\mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 의 항온·항광 배양실에서 f/2 배양액을 첨가하여 계대배양한 종주를 사용하였다. *M. rubrum*의 크기와 용적은 Table 1과 같다.

섭식자로서 비단가리비, *Chlamys farreri*와 바지락, *Ruditapes*

*philippinarum*을 이용하여 다음의 두 가지 실험을 실시하였다. 첫 번째 실험은 각장 3 cm 전후의 비단가리비와 바지락을 이용하여 이들의 *M. rubrum* 섭식여부 및 최대 섭식률을 계산하였고, 두 번째 실험은 바지락 치패의 크기에 따른 *M. rubrum*의 먹이효과를 확인하기 위해 수행되었다(Table 2).

첫 번째 실험에 사용된 비단가리비와 바지락(Table 2)은 전라북도 부안 연안의 패류 양식어장에서 채집하여 실험실로 옮긴 후, 20 L 수조에서 각각의 실험조건으로 2일 동안 적응시켰다. 섭식자인 비단가리비와 바지락은 실험시작 3시간 전에 1 L 플라스틱 용기에 2, 5, 10 개체를 수용하여 순응시켰고, 대조구로 섭식자를 수용하지 않고 *M. rubrum* 만을 공급하였다. 비단가리비는 15°C에서, 바지락은 20°C에서 24시간 동안 섭식실험을 하였다. 먹이생물인 *M. rubrum*의 초기농도는 비단가리비 4,000 cells ml⁻¹, 바지락 3,500 cells ml⁻¹로 하였다. 시간대별(0, 1, 2, 4, 8, 12, 24시간)로 사육용기의 해수를 수집하여 Lugol 용액으로 고정하고 먹이생물 농도를 계수하였다. 실험은 반복구로 공기를 주입하면서 실시하였고, 염분은 30 ppt로 조절하였으며, 광량 60 $\mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 조건에서 연속광으로 하였다.

이매패류가 실제로 *M. rubrum*을 섭식하였는가를 증명하기 위해 염분 30 ppt, 온도 20°C 하에서 먹이농도를 85,400 cells ml⁻¹로 하여 배양실험을 행한 후, 2시간이 경과된 다음에 비단가리비를 꺼내 소화관을 절개한 다음, 내용물을 광학현미경(Olympus BX-50)으로 관찰하였다.

두 번째 실험은 인공 종묘생산된 바지락 치패를 대상으로 하였으며(Table 3), 100 ml PE 용기를 이용하여 작은 크기의 치패(각장 0.46±0.01 mm)는 30개체, 큰 크기의 치패(각장 0.84±0.02 mm)는 20개체를 각각 수용하였다. 치패의 먹이생물은 이매패류 종묘생산시 폭넓게 이용되는 *Isochrysis galbana* (KMCC H-2)를 공급하여 *M. rubrum*과 비교하였다. 먹이생물의 실험농도는 *I. galbana*의 경우 1×10⁵ cells ml⁻¹이었고, *M. rubrum*의 경우 1×10² cells ml⁻¹, 1×10³ cells ml⁻¹, 1×10⁴ cells ml⁻¹이었다. 각각의 먹이농도 실험구에서 매일 일정량을 표본 채수하여 먹이생물을 계수한 다음, 소비된 만큼의 먹이생

Table 1. Dimension of a live prey *Mesodinium rubrum* used in the feeding experiments

Prey species	Strain name	ESD* (μm)	Cell volume* (μm^3)	Sampling locality & date
<i>Mesodinium rubrum</i>	MR-MAL01	22.0±0.04	5,996±30.0	Gomso Bay May 31, 2001

*Equivalent spherical diameter (ESD) and cell volume (mean±SE) were measured by the Coulter Multisizer II electronic particle counter (Coulter Corporation, USA).

Table 2. Maximum ingestion rates of two predators, Korean scallop, *Chlamys farreri* and Manila clam, *Ruditapes philippinarum* fed *Mesodinium rubrum* under the conditions of continuous illumination (60 $\mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$) and 30 ppt for 24 h

Bivalve predator	Shell length (mm, mean±SE)	Temperature (°C)	Initial prey density (cells ml ⁻¹)	Max. ingestion rate (cells min ⁻¹ predator ⁻¹)
Korean scallop	28.8±0.3 (N=34)*	15	4,000	9,587
Manila clam	31.9±0.3 (N=34)*	20	3,500	23,172

*N=number of bivalve predators

Table 3. Survival (%) of two different size classes of Manila clam spat fed the different species and densities of prey organisms under the conditions of continuous illumination ($60 \mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$), 20°C and 30 ppt for 28 days

Spat size (mm, mean \pm SE)	Live prey			
	<i>I. galbana</i> (1×10^5 cells ml^{-1})	<i>M. rubrum</i> (1×10^2 cells ml^{-1})	<i>M. rubrum</i> (1×10^3 cells ml^{-1})	<i>M. rubrum</i> (1×10^4 cells ml^{-1})
Small (N=30*, 0.46 \pm 0.01)	93.3	60.0	76.7	83.3
Large (N=20, 0.84 \pm 0.02)	100	100	100	100

*N=number of bivalve spat

물을 공급하여 농도를 일정하게 유지시켜 주었고, 4일 간격으로 전량 환수하였다. 섭식실험은 20°C , 30 ppt에서 28일간 광량 $60 \mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 의 연속광 조건에서 실시하였고, 공기는 주입하지 않았다. 실험종료 후 생존한 모든 개체의 각장을 측정하여 ANOVA-test를 실시하고, Duncan's multiple range test ($P < 0.05$)로 평균간의 유의성을 검정하였으며, 생존율을 계산하였다.

결 과

비단가리비 및 바지락의 섭식률

섭식자로 비단가리비를 사용한 실험에서(Fig. 1A), 1시간 후의 먹이농도는 초기 농도에 비해 2개체 수용구에서는 19.2%, 5개체 수용구에서는 73.1%, 10개체 수용구에서는 94.6%가 감

소하였다. 처음의 먹이농도가 5% 미만으로 줄었던 시간은 5개체 및 10개체 수용구에서 2시간이 경과된 후였고, 2개체 수용구에서는 8시간 후였다. 반면에 섭식자가 없는 대조구에서는 24시간 후 처음의 먹이농도에 비해 약 20%가 줄었다.

바지락을 섭식자로 사용한 실험에서(Fig. 1B), 1시간 후의 먹이농도는 2개체 수용구에서 83.9%, 5개체 수용구에서 97.5%, 10개체 수용구에서 99.5%로 비단가리비에 비해 급격히 감소하였다. 4시간 후에 모든 실험구에서 먹이생물인 *M. rubrum*이 전혀 관찰되지 않았던 반면, 섭식자가 없는 대조구에서는 24시간 후 약 20% 만이 감소하였다.

각각의 실험구에서 1시간 후에 감소된 먹이생물의 농도에서 대조구의 감소된 먹이생물 농도를 뺀 최대 섭식률을 계산하면, 비단가리비는 개체 당 $9,587 \text{ cells min}^{-1}$, 바지락은 개체 당 $23,172 \text{ cells min}^{-1}$ 로 나타났다(Table 2).

비단가리비가 먹이생물인 *M. rubrum*을 실제로 섭식하였는가를 확인하기 위한 실험에서, 처음의 *M. rubrum* 농도 $85,400 \text{ cells ml}^{-1}$ 는 20°C 에서 2시간 후에 $28,800 \text{ cells ml}^{-1}$ 로 감소하였다. 절개된 비단가리비의 아가미에서 붉은 색의 입자를 관찰할 수 있었으며, 소화관을 적출하여 현미경 하에서 관찰한 결과, 완전한 형태의 *M. rubrum*은 확인할 수 없었다. 그러나 소화관 내에 *M. rubrum*의 먹이인 은편모류 색소체와 같은 형태의 입자가 가득 차 있었으나(Fig. 2a-b), 소화관이 붉게 염색되지는 않았다. 특히 소화관 내에 있던 입자는 세포막이 매우 약한 *M. rubrum*이 슬라이드글라스 상에서 파괴되었을 때 남아 있던 색소체(Fig. 2c)와 매우 유사하게 나타나 *M. rubrum*을 직접 섭식한 것으로 판단된다.

바지락 치패의 성장 효과

인공 종묘생산된 바지락 치패를 크기에 따라 2그룹으로 나누어, *I. galbana*와 *M. rubrum*을 다양한 농도로 공급하여 28일간 실험한 결과를 Fig. 3에 나타내었다. 작은 크기의 치패 그룹(각장 0.46 mm)에서 최종 성장은 *I. galbana*를 공급한 실험구에서 각장 1.31 mm로 가장 좋았으며, *M. rubrum*을 공급한 실험구의 최종 성장에 비해 유의적인($P < 0.05$) 차이가 있었다(Fig. 3A). 그러나 먹이생물인 *M. rubrum*을 각각 다른 농도로 공급한 경우, 최종 성장은 가장 높은 농도로 공급한 실험구($1 \times 10^4 \text{ cells ml}^{-1}$)에서 0.87 mm였고, 먹이생물의 농도가 증가할 수록 성장이 증가하였다.

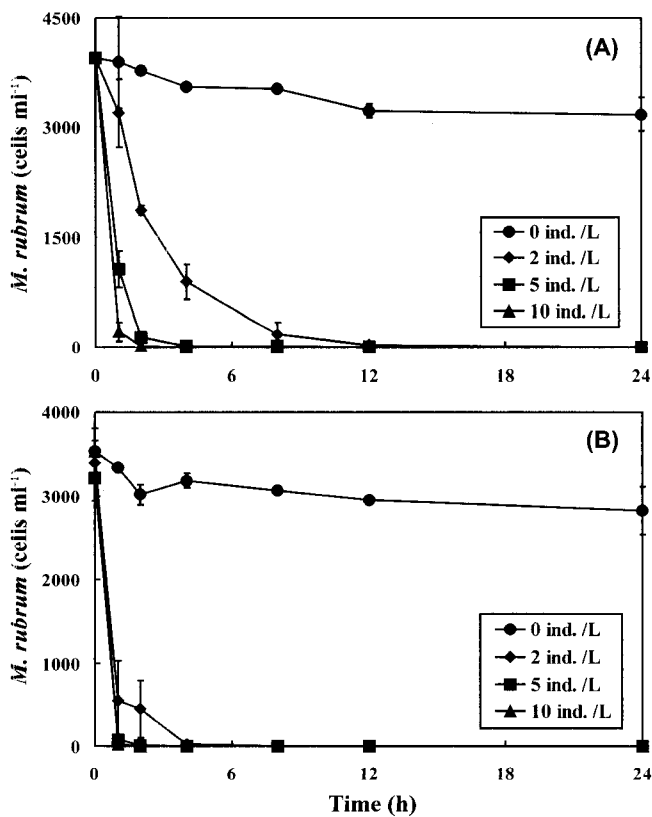


Fig. 1. Changes of *M. rubrum* prey concentrations under different predation intensities of Korean scallop (A) and Manila clam (B). Vertical lines indicate standard error (SE).

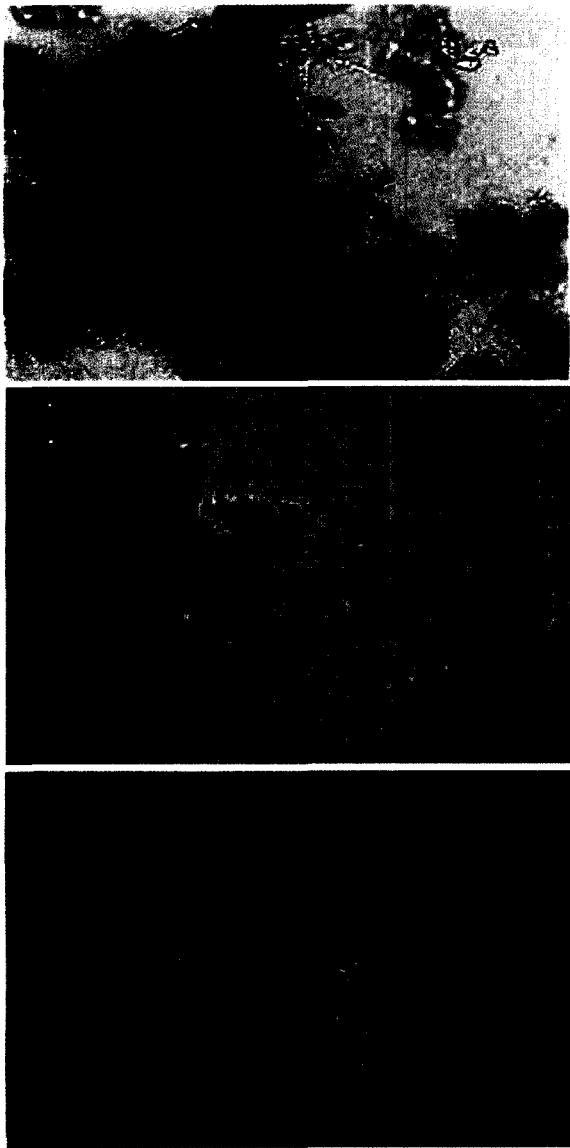


Fig. 2. Gut contents of Korean scallop fed *Mesodinium rubrum* prey (A and B) and bursted *Mesodinium rubrum* MR-MAL01 cells on a slide glass (C) are quite similar to each other (A :×100, B and C : ×400).

큰 크기의 치패 그룹(각장 0.84 mm)에서는 *M. rubrum*을 가장 높은 농도(1×10^4 cells ml⁻¹)로 공급한 실험구에서 각장 3.87 mm로 가장 좋은 성장을 보였고, 먹이생물의 농도가 감소할 수록 성장이 낮았으며, *I. galbana*를 공급한 실험구에서 각장 3.47 mm로 가장 저조한 성장을 보였다(Fig. 3B). 그러나 모든 실험구에서 최종 성장은 유의적인 차이가 없었다($P > 0.05$).

바지락 치패의 최종 생존율을 보면(Table 3), 작은 치패 그룹에서 *I. galbana*를 공급한 실험구가 가장 높은 93.3%를 보여 *M. rubrum*을 공급한 실험구에 비해 높게 나타났고, *M. rubrum*을 각각의 농도별로 공급한 실험구에서는 먹이생물의 농도가 높을 수록 높은 생존율을 나타냈다. 또한 큰 치패 그룹에서는 모든 실험구에서 치패가 전량 생존하여 100%를 기록하였다.

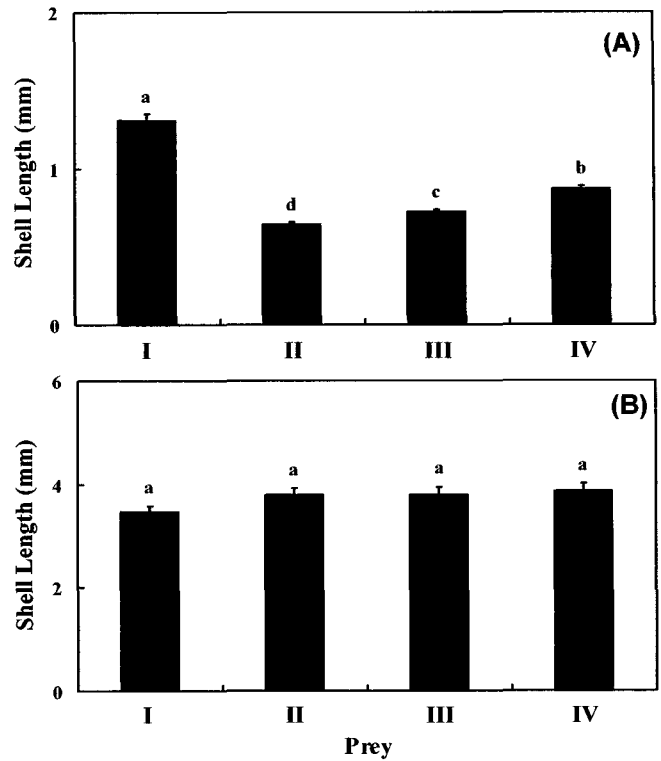


Fig. 3. Final growth of small spat (A) and large spat (B) of Manila clam under different species and densities of prey for 28 days (I: *I. galbana* 1×10^5 cells ml⁻¹, II: *M. rubrum* 1×10^2 cells ml⁻¹, III: *M. rubrum* 1×10^3 cells ml⁻¹, IV: *M. rubrum* 1×10^4 cells ml⁻¹). The values on bars with a different letter are significantly different ($P < 0.05$). Vertical lines indicate standard error (SE).

고 찰

우리나라 서해의 곰소만에서 분리한 최초의 온대역 *M. rubrum* 배양체인 MR-MAL01 (Table 1)을 이매패류 먹이생물로서의 활용 가능성을 실험하였다. 각장 3 cm 전후의 비단가리비와 바지락(Table 2)을 각각 10개체 L⁻¹로 수용하여 먹이생물로 *M. rubrum*을 공급한 결과, 1시간 후 초기농도에 비해 비단가리비 94.6%, 바지락 99.5%가 소비되어 이들 이매패류에 의해 매우 빠르게 섭식되었음을 확인하였고(Fig. 1), 1시간 후 개체당 최대 섭식률은 비단가리비 9,587 cells min⁻¹, 바지락 23,172 cells min⁻¹로 나타났다(Table 2).

Kat (1984)는 굴류에서, Carver et al. (1996)은 담치류와 가리비류에서 소화관이 붉게 변한 것은 *M. rubrum*의 섭식에 의한 것으로 판단하였다. 본 연구에서 비단가리비에 고밀도의 *M. rubrum*을 2시간 동안 공급한 후 해부하였을 때, 소화관이 붉게 변한 것은 확인하지 못하였으나 아가미에서 붉은 색 입자를 발견할 수 있었고, 소화관 내용물 중 *M. rubrum*의 색소체로 여겨지는 입자를 발견할 수 있어(Fig. 2), *M. rubrum*을 섭식한 것으로 결론지을 수 있었다. 이러한 결과는 Carver et al. (1996) 이분광광도계 및 형광현미경을 이용해 소화관을 분석한 결과와 같은 것으로, 이매패류가 *M. rubrum*을 잘 섭식할 수 있는 것

으로 여겨진다.

이매패류의 성공적인 인공 종묘생산을 위한 과제 중의 하나가 먹이생물을 안정적이고 지속적으로 공급하는 것이다. 즉, 계절에 따른 심한 온도변화 및 집중호우가 빈발하는 우리나라의 경우, 이매패류 종묘생산시 사용되는 먹이생물은 이러한 환경변화에 강할 뿐만 아니라 대량배양이 가능해야 한다. 그러나 현재 우리나라에서 이매패류 인공 종묘생산시 사용되는 먹이생물은 착편모류인 *Isochrysis galbana*와 *Pavlova lutheri*, 규조류인 *Chaetoceros calcitrans*, 녹조류인 *Nannochloropsis oculata*, 담녹조류인 *Tetraselmis suecica* 등(Na et al., 1995; Son et al., 1998; Yang et al., 2001; Lee et al., 2002)으로 주로 외국에서 분양 받아 사용하는 종이기 때문에 우리나라의 환경여건에는 잘 맞지 않는다(Park and Hur, 2000).

*M. rubrum*은 수온과 염분변화에 대한 내성이 매우 큰 종으로 수온 0~24°C 범위에서 적조를 일으킨 기록이 있고(Lindholm, 1985), Satoh and Watanabe (1991)는 남극의 수온 -1.6°C와 염분 7 ppt의 극한 환경에서도 적조발생을 관찰하였다. 또한 우리나라에서는 금강 하구역과 같이 염분의 변화가 극심한 경우에서도 관찰되었으며(Kim, 2002), 1990년부터 1996년까지 적조발생 기록을 보면 5~12월까지 적조가 발생하였고, 7월에 적조발생 빈도가 가장 많았다(NFRDI, 1997).

이러한 결과를 종합해 보면 *M. rubrum*은 수온과 염분변화에 매우 강한 종으로 판단되고, 본 연구에 이용된 *M. rubrum* MR-MAL01 strain은 염분범위 10~30 ppt에서 잘 자라며, 이중 10 ppt에서 가장 높은 생물량을 기록하였다(Myung, 2004). 또한 적조발생시 해수 단위 부피 당 일차생산량과 chlorophyll-*a* 값은 다른 해양 식물플랑크톤 종들에 비해 월등히 높은 것으로 알려져 있으므로(Lindholm, 1985; Crawford, 1989; Stoecker et al., 1991) 대량의 고농도 배양이 용이할 것으로 판단된다.

바지락 치패의 크기를 2그룹(각각 0.46±0.01 mm와 0.84±0.02 mm)으로 나누어 *I. galbana*와 *M. rubrum*을 각각 농도를 달리하여 성장을 비교한 실험에서, 작은 크기 그룹(각각 0.46±0.01 mm)에서는 *I. galbana*를 공급한 실험구가 *M. rubrum*을 공급한 실험구보다 유의적으로 성장 및 생존율이 높았던 반면, 큰 크기의 그룹(각각 0.84±0.02 mm)에서는 모든 실험구에서 성장 차이가 없었으나, *M. rubrum*의 농도가 높을 수록 성장이 좋은 것으로 나타났다(Fig. 3). 특히 작은 크기 그룹에서 치패의 흡입력이 약해 *M. rubrum*이 입수공으로부터 도피하는 것을 현미경으로 관찰하였다. 이러한 결과로 미루어볼 때, 각각 0.5 mm 이하의 바지락 치패는 *M. rubrum*을 섭식하는데 제한을 받으며, 적어도 각각 0.8 mm 이상의 치패는 섭식이 용이할 것으로 판단된다.

따라서 이매패류 인공 종묘생산시 적어도 1 mm 이하의 치패 단계까지는 기존의 크기가 작은 *I. galbana*, *P. lutheri*, *N. oculata* 등을 공급하고, 그 이상의 크기에서는 *M. rubrum*을 공급한다면 매우 효과적인 것으로 판단되므로, 기존의 이매패류 종묘생산을 위한 먹이계열에 *M. rubrum*이 새로운 먹이생물로

서 추가될 수 있을 것이다.

*M. rubrum*은 보통 길이가 15~70 µm 정도이며(Taylor et al., 1971), 계절에 따라 평균 크기가 다르다(Montagnes and Lynn, 1989). 또한 Jimenez and Intriago (1987)는 *M. rubrum*이 어류 자치어가 직접적으로 섭식할 수 있는 충분한 크기가 된다고 보고하였다. 본 연구진은 이전의 예비실험에서 넙치, *Paralichthys olivaceus*의 후기 자어와 대하, *Penaeus chinensis*의 zoea 단계에 *M. rubrum*을 먹이생물로 공급하였으나 이들이 섭식하는 것을 관찰하지 못하였다. 그러나 자어의 입 크기가 작은 쟁쟁어, *Boleophthalmus pectinirostris*와 동갈돔돔, *Hapalogenys nitens*은 *M. rubrum*을 섭식하는 것을 관찰하였다(unpublished). 따라서 입 크기가 작은 능성어, 전어, 쥐치 등의 종묘생산시 rotifer, *Brachionus plicatilis*를 공급하기 전까지 물만들기(red water)처럼 *M. rubrum*을 이용한다면(Nass et al., 1992; Reitan et al., 1993) 매우 효과적인 것이므로 이에 대한 보충적인 연구가 요구된다. 또한 *M. rubrum*의 영양분석을 통해 rotifer의 영양강화제(Merchie et al., 1995; Reitan et al., 1997)로 이용하거나, *M. rubrum* 색소체의 색소성분을 고려하여 송어류(Foss et al., 1984)와 잉어류(Matsuno et al., 1979)의 체색변화를 위한 새로운 착색제로도 활용할 수 있음을 제안한다.

요 약

최근, 곰소만에서 채집한 시료로부터 최초의 온대역산 광합성 섬모류 *Mesodinium rubrum* MR-MAL01 배양체를 분리·배양하였다. 이 섬모류를 이용하여 이매패류의 섭식실험을 수행한 결과, 비단가리비와 바지락과 같은 이매패류가 섬모류를 직접 섭식하였음을 확인하였는데, 개체 당 최대 섭식률은 비단가리비 9,590 cells min⁻¹, 바지락 23,200 cells min⁻¹으로 나타났다. 또한 비단가리비의 소화관에서 완전한 *M. rubrum* 세포를 확인하지 못했으나, 파괴된 세포로 생각되는 작은 입자들을 관찰하였다. 바지락 치패에 섬모류인 *M. rubrum*과 미소조류인 *Isochrysis galbana* (KMCC H-2)를 공급하면서 28일 동안 사육한 결과, 작은 치패 그룹(각각 0.46 mm)에서는 *I. galbana*를 공급한 실험구가 좋은 성장을 보였던 반면, 큰 치패 그룹(각각 0.84 mm)에서는 *M. rubrum*을 공급한 실험구가 *I. galbana*를 공급한 실험구에 비해 성장이 좋았다. 따라서 이 광합성 섬모류는 이매패류의 치패 및 모패와 입이 작은 자어의 먹이생물, rotifer의 영양강화제 및 어류의 천연 착색제로도 활용할 수 있는 잠재력이 있어 해양 생물공학적 활용을 위한 생물재료로서 개발 가능성을 제안한다.

사 사

본 연구는 과학기술부 지정·전라북도 후원에 의한 지역협력 센터인 군산대학교 새만금환경연구센터의 2003년도 연구비 지

원으로 수행되었으며, 실험에 많은 도움을 준 군산대학교 해양 정보과학과 김수겸 동학과 미세조류(KMCC H-2)를 제공한 한국미세조류은행 관계자분께 감사드립니다.

참고문헌

- Carver, C. E., A. L. Mallet, R. Warnock, and D. Douglas, 1996. Red-coloured digestive glands in cultured mussels and scallops: the implication of *Mesodinium rubrum*. *J. Shellfish Research*, **15**(2): 191–201.
- Clemens, W. A., 1935. Red “water-bloom” in British Columbia waters. *Nature*, **152**: 473.
- Crawford, D. W., 1989. *Mesodinium rubrum*: The phytoplankton that wasn't. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **58**: 161–174.
- Crawford, D. W. and T. Lindholm, 1997. Some observations on vertical distribution and migration of the phototrophic ciliate *Mesodinium rubrum* (*Myrionecta rubra*) in a stratified brackish inlet. *Aquatic Microb. Ecol.*, **13**: 267–274.
- Foss, P., T. Storebakken, K. Schiedt, S. Liaaen-Jensen, E. Austreng and K. Streiff, 1984. Carotenoids in diets for salmonids. I. Pigmentation of rainbow trout with the individual isomers of astaxanthin in comparison with canthaxanthin. *Aquaculture*, **41**: 213–226.
- Gustafson, D. E., D. K. Stoecker, M. D. Johnson, W. F. Van Heukelem, and K. Sneider, 2000. Cryptophyte algae are robbed of their organelles by the marine ciliate *Mesodinium rubrum*. *Nature*, **405**: 1049–1052.
- Hayes, G. C., D. A. Purdie and J. A. Williams, 1989. The distribution of ichthyoplankton in Southampton water in response to low oxygen levels produced by a *Mesodinium rubrum* bloom. *J. Fish Biology*, **34**: 811–813.
- Horstman, D. A., 1981. Reported red-water outbreaks and their effects on fauna of the west and south coasts of South Africa, 1959–1980. *Fisheries Bulletin*, Sea Fisheries Institute, Republic of South Africa, **15**: 71–88.
- Jimenez, R. and P. Intriago, 1987. Observations on blooms of *Mesodinium rubrum* in the upwelling area off Ecuador. *Oceanologica Acta, Supplementum* 1987. Proceedings of International Symposium on Equatorial Vertical Motion, Paris, 6–10. May 1985, pp. 145–154.
- Kat, M., 1984. “Red” oysters (*Ostrea edulis* L.) caused by *Mesodinium rubrum* in Lake Grevelingen. *Aquaculture*, **38**: 375–377.
- Kim, H. S., 2002. Population dynamics and environmental conditions for the continuous growth of the phototrophic ciliate, *Mesodinium rubrum* in Korean West Coast. Ph. D. thesis, Kunsan Nat'l. Univ., Kunsan, Korea, 159 pp. (in Korean)
- Kim, H. S., G. Myung, S. K. Jo and W. Yih, 2003. Absorbance spectrum for *Mesodinium rubrum* MR-MAL01, a marine photosynthetic ciliate, fed on photo-adapted cryptophyte. “The Sea” *J. of Kor. Soc. Oceanogr.*, **8**(1): 29–34. (in Korean)
- Lee, J. Y., W. K. Kim, C. S. Lee and Y. J. Park, 2002. Studies on the collection and growth of spat Surf clam, *Spisula sachalinensis* in the tank. *J. of Aquaculture*, **15**(2): 111–117. (in Korean)
- Lindholm, T., 1985. *Mesodinium rubrum*-a unique photosynthetic ciliate. *Advances in Aquatic Microbiology*, **3**: 1–48.
- Lindholm, T., 1992. *Mesodinium rubrum* - a photosynthetic ciliate. (in) *Algae and symbioses: Plants, Animals, Fungi, Virus, Interactions Explored*, (ed) W. Reisser, Biopress Limited, Bristol, pp. 501–514.
- Lindholm, T. and A. C. Mörk, 1990. Depth maxima of *Mesodinium rubrum* examples from a stratified Baltic Sea inlet. *Sarsia*, **75**: 53–64.
- Martin, J. L., F. Page, M. Dowd, M. Ringuette and M. M. LeGresley, 2000. Blooms of *Mesodinium rubrum* and resulting salmon mortalities and stress during 1998 and 1999 in the Bay of Fundy, Eastern Canada. *Harmful Algal Blooms 2000*, Proceedings of 9th International Conference on Algal Blooms, Tasmania, Australia, 6–11 Feb, 173 pp.
- Matsuno, T., S. Nagata, M. Iwahashi, T. Koike and M. Okada, 1979. Intensification of color of fancy red carp with zeaxanthin and myxoxanthophyll, major carotenoid constituents of *Spirulina*. *Nippon Suisan Gakkaishi*, **45**: 627–532 (in Japanese).
- Merchie, G., P. Lavens, Ph. Dhert, M. Dehasque, H. Nelis, A. De Leenheer and P. Sorgeloos, 1995. Variation of ascorbic acid content in different live food organisms. *Aquaculture*, **134**: 325–337.
- Montagnes, D. J. S. and D. H. Lynn, 1989. The annual cycle of *Mesodinium rubrum* in the waters surrounding the Isles of Shoals, Gulf of Maine. *J. Plankton Research*, **11**: 193–201.
- Myung, G., 2004. Ecological factors controlling the interspecific interaction between laboratory strains of *Mesodinium rubrum*, a marine photosynthetic ciliate, and its cryptophyte prey. Ph. M. thesis, Kunsan Nat'l. Univ., Kunsan, Korea, 59 pp. (in Korean)
- Na, G. H., W. G. Jeong and C. H. Cho, 1995. A study on seedling production of Jicon scallop, *Chlamys farreri*. 1. Spawning, development and rearing of larvae. *J. of Aquaculture*, **8**(4): 307–316 (in Korean).
- Nass, K. E., T. Naess and T. Harboe, 1992. Enhanced first feeding of halibut larvae (*Hippoglossus hippoglossus* L.) in green water. *Aquaculture*, **105**: 143–156.
- NFRDI, 1997. Recent red tides in Korean coastal waters. Pusan, 280 pp. (in Korean)
- Packard, T. T., D. Blasco and R. T. Barber, 1978. *Mesodinium rubrum* in the Baja California upwelling system. (in) *Upwelling Ecosystems*, (eds) Boje R. and M. tomczak, Springer-Verlag, Berlin, pp. 73–89.
- Park, J. E., S. B. Hur, 2000. Optimum culture conditions of four species of microalgae as live food from China. *J. of Aquaculture*, **13**(2): 107–117 (in Korean).
- Putt, M., 1990. Abundance, chlorophyll content and photosynthetic rates of ciliates in the Nordic Sea during summer. *Deep Sea Res.*, **37**(11): 1713–1731.
- Reitan K. I., J. R. Rainuzzo, G. Øie and Y. Olsen, 1993. Nutritional effects of algal addition in first-feeding of turbot (*Scophthalmus maximus* L.) larvae. *Aquaculture*, **118**: 257–275.
- Reitan K. I., J. R. Rainuzzo, G. Øie and Y. Olsen, 1997. A review of the nutritional effects of algae in marine fish larvae. *Aquaculture*, **155**: 207–221.

- Romalde, J. L., A. E. Toranzo and J. L. Barja, 1990. Changes in bacterial populations during red tides caused by *Mesodinium rubrum* and *Gymnodinium catenatum* in North West Coast of Spain. *J. Applied Bacteriology*, **68**: 123-132.
- Satoh, H. and K. Watanabe, 1991. A red water-bloom caused by the autotrophic ciliate, *Mesodinium rubrum*, in the austral summer in the fast ice area near Syowa Station, Antarctica with note on their photosynthetic rate. *J. Tokyo Univ. Fish.*, **78**(1): 11-17.
- Son, P. W., D. S. Ha, S. Rho, D. S. Chang, C. H. Lee and D. K. Kim, 1998. Studies on spat production of the Sun and Moon scallop, *Amusium japonicum japonicum* (GMELIN). *J. of Aquaculture*, **11**(3): 371-380 (in Korean).
- Soulsby, P. G., M. Mollowney, G. Marsh and D. Lowthion, 1984. The role of phytoplankton in the dissolved oxygen budget of a stratified estuary. *Water Science Technology*, **17**: 145-156.
- Stoecker, D. K., M. Putt, L. H. Dabis and A. E. Michaels, 1991. Photosynthetic in *Mesodinium rubrum*: species-specific measurements and comparison to community rates. *Mar. Eco. Prog. Ser.*, **73**(2-3): 245-252.
- Stoecker, D. K., K. R. Buck and M. Putt, 1992. Changes in the sea-ice brine community during the spring-summer transition, McMurdo sound, Antarctica. 1. Photosynthetic protists. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **84**(3): 265-278.
- Taylor, F. J. R., D. J. Blackburn and J. Blackburn, 1971. The red-water ciliate *Mesodinium rubrum* and its "incomplete symbionts": a review including new ultrastructural observations. *J. Fish. Res. Board. Can.*, **28**: 391-407.
- Yang, M. H., H. S. Kim, J. Y. Lee and C. H. Han, 2001. Artificial mass culture of Flat oyster larvae, *Ostrea denselamellosa*, and collection rates according to various spat collection methods. *Kor. J. Malacol.*, **17**(1): 35-44 (in Korean).
- Yih W. and J. H. Shim, 1997. The planktonic phototrophic ciliate, *Mesodinium rubrum*, as a useful organism for marine biotechnological applications. *J. Mar. Biotechnol.*, **5**: 82-85.
- Yih W., H. S. Kim, H. J. Jeong H. J., G. Myung and Y. G. Kim, 2003. Ingestion of cryptophyte cells by the marine photosynthetic ciliate *Mesodinium rubrum*. (submitted to *Aquatic Microb. Ecol.*)
- Yoon, Y. H, H. K. Rho and Y. G. Kim, 1991. Red tide organisms in the coastal waters of Cheju island, Southern Korea. *Bull. Mar. Res. Inst., Cheju Nat. Univ.*, **15**: 1-14 (in Korean).

원고접수 : 2003년 11월 5일

수정본 수리 : 2004년 4월 19일

책임편집위원 : 김남길