

## 축제식 양식어장을 활용한 홍합 치패의 중간육성

이학빈<sup>1</sup>, 오정규<sup>2</sup>, 문재학<sup>3</sup>, 조현정<sup>1</sup>, 조수근<sup>1</sup>, 김형섭<sup>1</sup>

<sup>1</sup>군산대학교 해양생명응용과학부, <sup>2</sup>한국생태연구원(주), <sup>3</sup>전라북도 수산기술연구소

### Spat culture of the hard shelled mussel *Mytilus coruscus* in seawater pond

Hak Bin Lee<sup>1</sup>, Jeong Kyu Oh<sup>2</sup>, Jae Hak Moon<sup>3</sup>, Hyun Jeong Jo<sup>1</sup>, Soo-Gun Jo<sup>1</sup> and Hyung Seop Kim<sup>1</sup>

<sup>1</sup>School of Marine Applied Bioscience, Gunsan National University, Gunsan, 54150, Korea

<sup>2</sup>Korea Ecology Institute Co., Gunsan, 54150, Korea

<sup>3</sup>Fisheries Research Institute, Jeollabuk-do, Gochang, 56406, Korea

#### ABSTRACT

Growth and survival of the hard shelled mussel spat were investigated to confirm the possible spat culture in seawater pond from September 2014 to April 2015. Also, we measured simultaneously environmental factors including water temperature, salinity, dissolved oxygen, pH, DIN, DIP, chlorophyll a, and abundance and dominant species of phytoplankton in seawater pond every month. Ranges of water temperature and salinity were 4.0-23.4 °C and 18.8-25.2 psu, respectively, which were rather lower than the reported optimal level. Monthly measured survival rates in all the spat cages were over 90%. Concentration of chlorophyll-a and abundance of phytoplankton were very high, and dominant species phytoplankton were cryptomonads and nanoflagellates. These dominant species were considered to be good food organisms for the bivalve spat. The experimental cage stocked 100 individuals per basket (2,700 ind. m<sup>-2</sup>) hanging in bottom of seawater pond revealed the highest growth in shell height (7.63 ± 4.65 mm), but all experimental cages stocked below 200 individuals per basket (5,400 ind. m<sup>-2</sup>) did not show statistically significant difference. We may expect that seawater pond would be one of the best culture ground for bivalve spats when appropriate measures are available.

**Keywords** : *Mytilus coruscus*, spat culture, seawater pond

#### 서론

홍합 (*Mytilus coruscus*) 은 우리나라 전 연안 및 극동 아 시아에 분포하는 홍합목 (Mytiloidea) 홍합과 (Mytilidae) 의 이매패류로, 조간대에서부터 수심 10 m 이내의 외해의 영향을 받는 암반에 족사를 이용해 부착하여 서식하는 대형의 식용 이 매패류이다. 최근 홍합은 연안의 오염 및 남획으로 자원량이

급격히 감소하고 있고, 외래종인 지중해담치 (*Mytilus galloprovincialis*) 에 의해 서식처가 잠식되고 있다. 국내 자 생종이면서 고가의 품종인 홍합의 안정적인 양식기술 개발이 시급한 실정으로, 인공 종묘생산과 관련된 기술은 2000년대 초반에 이미 확보되었으나, 자연채묘의 어려움 및 인공 종묘생 산에 따른 경제성 문제 등으로 인해 현재까지 양식되고 있지 않다.

홍합의 양식과 관련된 기초 연구는 치패의 부착 (Wi *et al.*, 2005), 치패의 수온과 염분의 영향 (Shin and Wi, 2004), 성 성숙과 생식주기 (Wi *et al.*, 2003; Lee *et al.*, 2007), 비만도 산정 (Kang and Choi, 1999), 유생 사육 및 성장 (Yoo, 1969; Hur and Hur, 2000), 패각의 특성 (Je *et al.*, 1990; Liang *et al.*, 2015, Zheng *et al.*, 2015), 치패의 부착에 관 련된 바이오필름 (Wang *et al.* 2012, Yang *et al.* 2013a, Yang *et al.* 2013b, Yang *et al.* 2014b, Li *et al.* 2014a,

Received: September 24, 2016; Revised: September 27, 2016;  
Accepted: September 30, 2016

Corresponding author : Kim, Hyung Seop

Tel: +82 (63) 469-4592, e-mail: mudskip@kunsan.ac.kr  
1225-3480/24629

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.

Li *et al.* 2014b), 유생의 번태에 영향을 미치는 신경전달물질 (Yang *et al.* 2013c, Yang *et al.* 2014a) 등 우리나라와 중국을 중심으로 활발한 연구가 되고 있다.

축제식 양식어장은 바닷가에 제방을 쌓은 후 주배수 시설을 하고 이 안에 생물을 키우는 양식방법으로, 2000년대 초까지 대하 양식을 통해 높은 수익을 올렸으나, 1990년대 초부터 발생하기 시작한 새우의 바이러스성 질병이 확산됨에 따라 많은 어려움을 겪어왔다. 이후 양식 어업인들은 숭어 및 전어를 비롯한 어류의 양성 및 조피볼락 종묘생산, 꽃게 및 흰다리새우 등의 다양한 품종의 양식을 통해 수익을 어느 정도 보장받을 수 있었으나, 새우류의 지속적인 폐사, 여름철 고수온, 겨울철 동사 및 홍수 출하에 따른 가격폭락 등으로 많은 양식어장이 폐쇄되거나 방치되고 있다. 축제식 어장에서 양식시 발생하는 문제점을 해결하고 다양한 품종을 양식하기 위해 복합양식 및 월동대책 (Kang, 2007), 미세기포 발생 장치 (Kang, 2012) 및 probiotic (Ma, 2005) 을 활용한 환경개선, 어류 종묘생산 및 양성 (Bang, 2002; 2005; Jeong, 2007), 해삼 양식 (Park, 2006; Jeon, 2009), 꽃게 양식 (Jang, 2008), 패류 양식 (Song, 2006; Kim, 2014) 등에 관한 다양한 활용방안 연구가 진행되었다.

축제식 양식어장은 여름철 고수온 및 겨울철 저수온, 지역에 따라 사육해수의 주수 및 배수 제한 등의 취약점은 있으나, 이 매패류의 먹이생물인 식물플랑크톤을 손쉽게 번식시킬 수 있는 장점이 있다. 본 연구에서는 축제식 양식어장의 단점을 극복할 수 있고, 장점을 최대한 부각시킬 수 있는 방안을 모색하고자 홍합 치패의 중간 육성장으로써 가능성을 실험하였다.

## 재료 및 방법

축제식 양식장에서 홍합 치패의 성장 효과를 실험하기 위해 충청남도 서천군에 위치한 축제식 양식어장을 선정하였다. 선정된 축제식 양식어장은 서해안의 일반적인 양식어장에 비해 주수 및 배수를 위한 기간이 짧고, 담수 유입에 의한 저염 환경 등 축제식 양식장으로서 매우 불리한 조건을 갖추고 있다. 즉, 본 양식어장을 선정한 이유는 양식 조건이 매우 불리한 양식장에서 실험함으로써 실험결과를 실질적으로 활용할 수 있기 때문이다.

축제식 양식어장은 관리를 용이하게 하기 위해 가로 50 m, 세로 20 m, 높이 3 m 로 축조한 후 수심이 약 2 m 가 되도록 해수를 유입시켰다. 해수 유입시 방충망을 활용해 해수 중 포식자를 제거하였다. 홍합의 치패는 전라북도 수산기술연구소에서 당해 연도에 인공 종묘생산된 개체를 대상으로 플라스틱 바구니 (23 cm × 16 cm × 4.5 cm) 에 치패가 빠져나가지 않도록 방충망 (1 mm × 1 mm) 으로 감싼 다음, 각각 50 개체, 100 개체, 200 개체, 400 개체를 수용하고, 표층 (0.5 m) 과

저층 (2.0 m) 으로 구분하여 시설하였다. 치패는 고수온기를 피해 2014년 9월에 수용하였고, 2015년 4월까지 7개월 간 사육하였다. 실험 기간 중 사육수는 매월 전체 수량의 약 20%를 6일간 환수하였다.

실험 기간 중 매월 치패가 수용된 바구니를 수거한 후 무작위로 50개체의 각장과 각고를 측정하고, 살아있는 개체수를 헤아려 생존율을 누적하여 계산하였다. 수온, 염분, DO, pH는 현장에서 다항목수질측정기 (YSI 556, USA) 를 이용하여 측정하였으며, 영양염 분석용 시료는 1 L 를 채수하여 냉장상태로 실험실로 운반하였다. 먹이생물인 식물플랑크톤의 정량 및 정성 분석을 위해 500 ml PE병에 채수한 후 Lugol 용액으로 고정하였고, 엽록소-*a*의 함량은 500 ml 를 GF/F 여과지로 여과한 다음 24시간 동안 90% 아세톤으로 추출한 후, 형광측정기 (fluorometer, Turner Designs 10-AU) 로 형광량을 측정하여 환산하였다. 영양염 분석은 해양환경공정시험기준에 따라 분석하였으며, 용존무기질소 (DIN) 의 농도는 암모니아 질소, 아질산 질소, 질산 질소를 합하여 계산하였고, 용존무기인산 (DIP) 은 인산 인의 농도로 산정하였다.

통계처리는 실험 종료시 개체를 대상으로 SPSS 통계프로그램을 이용해 one-way ANOVA-test 를 실시하여 Duncan's multiple range test로 평균 간의 유의성을 검정하였다.

## 결 과

### 1. 축제식 어장환경

홍합 중간 육성장인 축제식 양식어장의 수온은 9월에 최대 23.4°C 이었고, 1월에 가장 낮은 약 4.0°C 를 나타냈으며, 표층과 저층의 수온 차이는 없었다 (Fig. 1). 염분은 18.8-25.2 psu 로 낮게 나타났고, 용존산소량은 6.74-12.27 mg L<sup>-1</sup> 로 수온이 15°C 이하가 되는 11월부터 3월까지 9 mg L<sup>-1</sup> 이상의 값을 나타내었으며, 10월에 가장 낮았다. 수소이온농도는 7.20-8.87의 범위로 변화 폭이 크게 나타났고, 2월부터 4월에 8.5 이상의 높은 값을 나타냈다. 암모니아 질소, 아질산 질소, 질산 질소를 합한 용존무기질소의 양은 0.21-31.48 μM 의 범위로 변화 폭이 매우 컸으며, 초기 시설시인 9월에 30 μM 이상의 값을 보였다. 인산 인으로 산정한 용존무기인은 0.005-0.998 μM 의 범위로 변화 폭이 매우 컸으며, 시설초기인 9월에 가장 높은 값을 보였다. 식물플랑크톤의 엽록소 *a* 농도는 1.49-14.92 μg L<sup>-1</sup> 의 범위로 변화 폭이 매우 크게 나타났으며, 시설초기인 9월에 해수를 유입시키면서 가장 낮은 값을 보였던 반면 12월에 가장 높게 나타났다. 식물플랑크톤의 현존량 역시 0.38-33.6 × 10<sup>3</sup> cells mL<sup>-1</sup> 로 변화 폭이 매우 컸으며, 엽록소-*a* 농도와 유사하게 9월에 가장 낮고 12월에 가장 높았다.

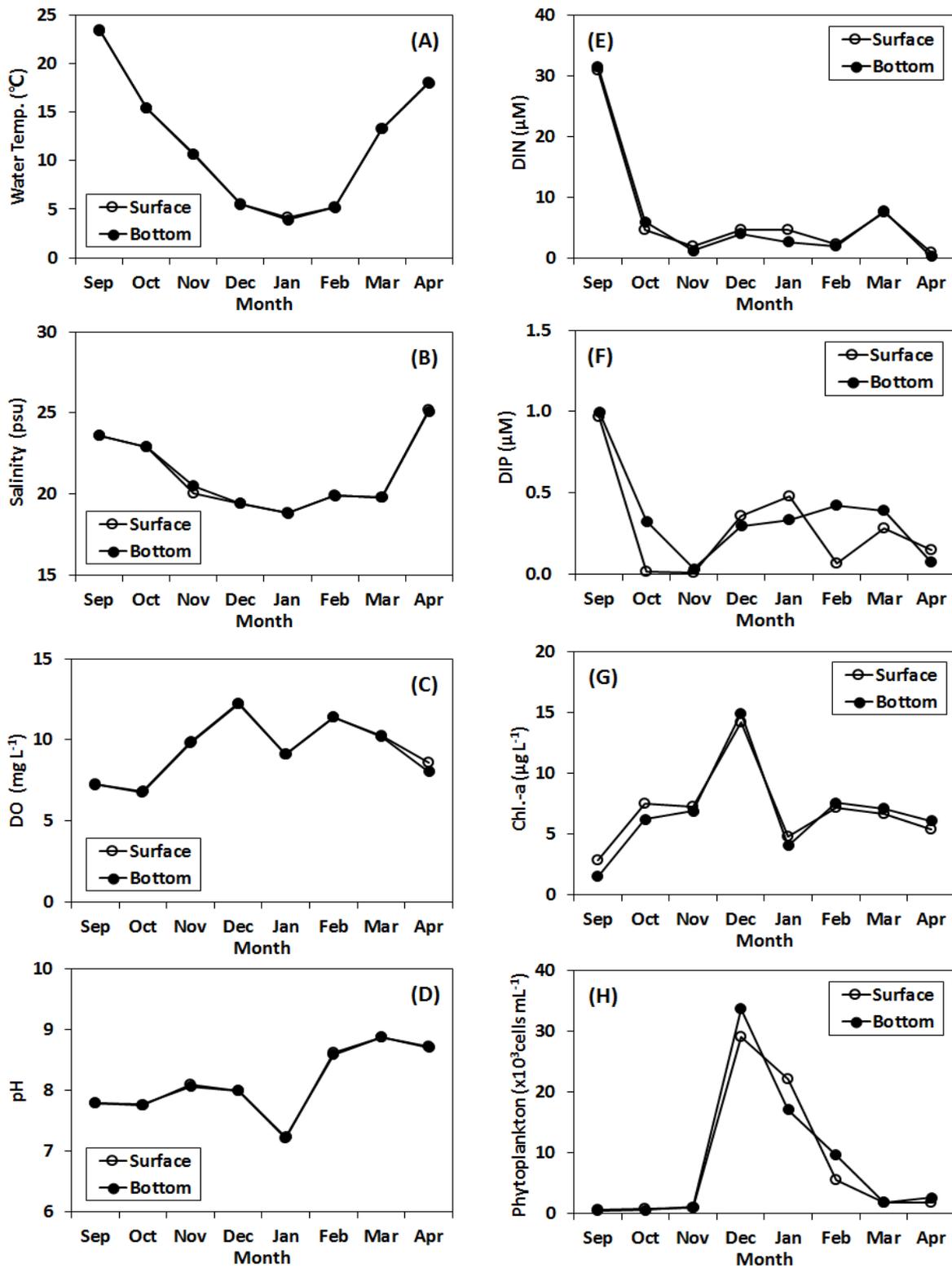


Fig. 1. Monthly variations of environmental parameters measured in seawater pond. **A:** Water temperature, **B:** Salinity, **C:** Dissolved Oxygen, **D:** pH, **E:** Dissolved Inorganic Nitrogen, **F:** Dissolved Inorganic Phosphate, **G:** Chlorophyll a, **H:** Phytoplankton abundance.

**Table 1.** Relative composition of phytoplankton dominant species in seawater pond

Month	Depth	Dominant species		Sub-dominant species	
		Species	Composition (%)	Species	Composition (%)
Sep	Surface	Cryptomonads	53.8	Nanoflagellates	40.7
	Bottom	Cryptomonads	60.8	Nanoflagellates	30.8
Oct	Surface	Nanoflagellates	67.0	Cryptomonads	25.8
	Bottom	Nanoflagellates	69.3	Cryptomonads	12.7
Nov	Surface	Cryptomonads	69.8	Nanoflagellates	16.9
	Bottom	Cryptomonads	89.0	Nanoflagellates	7.1
Dec	Surface	Nanoflagellates	99.8	Cryptomonads	0.2
	Bottom	Nanoflagellates	99.8	Cryptomonads	0.1
Jan	Surface	Nanoflagellates	99.8	Cryptomonads	0.1
	Bottom	Nanoflagellates	99.4	<i>Navicula</i> spp.	0.2
Feb	Surface	Nanoflagellates	99.3	<i>Navicula</i> spp.	0.4
	Bottom	Nanoflagellates	99.2	<i>Navicula</i> spp.	0.5
Mar	Surface	Nanoflagellates	96.7	<i>Navicula</i> spp.	0.8
	Bottom	Nanoflagellates	95.2	<i>Cylindrotheca closterium</i>	0.8
Apr	Surface	<i>Prorocentrum minimum</i>	68.3	Nanoflagellates	26.4
	Bottom	<i>Prorocentrum minimum</i>	63.5	Nanoflagellates	31.7

**Table 2.** Final growth of the hard shelled mussel spat in seawater pond (Initial Shell Height: 3.63 ± 0.81)

Depth	Density (ind. cage <sup>-1</sup> )			
	50	100	200	400
Surface	7.32 ± 1.63 <sup>a</sup>	7.13 ± 1.18 <sup>ab</sup>	6.44 ± 1.44 <sup>ab</sup>	6.08 ± 1.22 <sup>b</sup>
Bottom	7.17 ± 1.65 <sup>ab</sup>	7.63 ± 1.46 <sup>a</sup>	7.39 ± 1.61 <sup>a</sup>	6.21 ± 0.72 <sup>b</sup>

※ Different letters in same rows mean significantly different (p < 0.05).

축제식 양식어장에서 주요 우점종은 10 μm 이하의 미소플랑크톤이 주로 우점하였으며, 광학현미경으로 동정이 불가능한 은편모류 (cryptomonads) 와 미소편모조류 (nanoflagellates) 가 우점하였다 (Table 1). 그러나 봄철이 되면서 규조류인 *Navicula* spp.와 *Cylindrotheca closterium*이 우점하였고, 4월에는 와편모류인 *Prorocentrum minimum*이 가장 우점하는 종으로 나타났다.

**2. 성장 및 생존율**

축제식 양식어장에 입식한 홍합 치패의 7개월 후 최종 성장을 Table 2에 나타냈다. 가장 좋은 성장을 보인 실험구는 체롱 당 100 개체를 저층에 시설한 경우로 각고는 7.63 ± 1.46이었다. 반면 가장 낮은 성장을 보인 실험구는 표층에 체롱 당 400 개체를 수용한 실험구로 각고 6.08 ± 1.22이었다. 체롱 당 200 개체까지 수용했던 실험구 간에는 유의적인 차이가 없었으나, 고밀도 (체롱 당 400 개체) 로 수용된 실험구와는 유의

적인 차이를 보였다 (p < 0.05). 월별 성장 변화 양상을 보면, 초기 시설 후 2개월 사이에 급격한 성장을 보였으나 이후에는 성장의 변화가 크게 나타나지 않았다 (Fig. 2).

홍합 치패의 최종 생존율은 표층에서 최소 97.5%를 보였고, 저층에서 최소 93.5%를 보였다 (Fig. 3). 홍합 치패의 폐사는 표층 및 저층 모두 시설 후 2개월 사이에 나타났으며, 저층의 체롱 당 200 개체를 수용한 실험구에서 4월에 많은 폐사를 보여 급격히 낮은 생존율을 나타냈다. 대체로 저층의 체롱 당 200개체 수용 실험구를 제외하면 모든 실험구에서 95% 이상의 생존율을 보였다.

**고 찰**

이때패류 인공 종묘생산에서 부유유생 과정을 끝내고 부착하거나 바닥에 가라앉아 치패로 발생한 후 방류하거나 양성용 종묘로 사용하기 위해서는 각장 1 cm 이상의 크기로 성장시켜

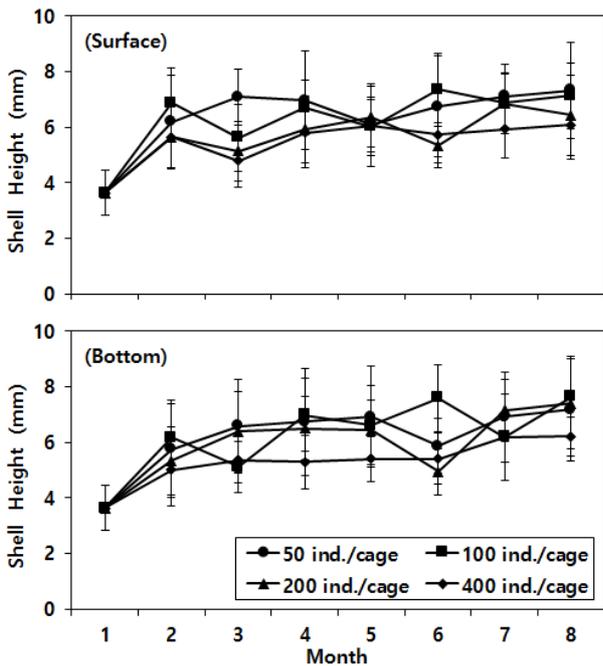


Fig. 2. Monthly variations on shell height of the hard shelled mussel spat cultured in seawater pond. Error bars indicate standard deviation.

야 한다. 이때 많은 양의 먹이생물을 필요로 하기 때문에 종묘 생산장에서는 먹이생물의 대량 배양에 따른 경비가 많이 소요된다. 보다 안정적인 종묘를 공급하기 위해서는 치패 생산 이후의 중간육성 단계를 거치게 되는데, 축제식 양식어장을 활용할 경우 다량의 먹이생물 공급에 따른 문제점을 해결할 수 있을 것으로 판단된다.

축제식 양식어장의 수온은 겨울철 약 4°C의 매우 낮은 수온을 나타냈고, 11월부터 3월까지 염분은 금강으로부터 담수방류 및 강우에 의한 영향으로 20 psu 이하로 낮은 염분을 나타냈다. Shin and Wi (2004) 은 홍합의 반수치사 수온은 27.1°C, 염분은 17.0-21.8 psu 로 수온 증가에 따라 다르게 나타난다고 보고하였다. 최대 사육수온은 실험 초기인 9월에 23.4°C로 홍합 치패의 폐사에 영향을 주지 않았는데, 30°C 이상의 고수온이 1개월 이상 지속될 경우 전량 폐사하였다(미발표 자료). 또한 낮은 수온 역시 조건대에 서식하는 홍합의 특성을 감안하면 폐사에 영향을 줄 수 없었을 것으로 판단된다. 또한, 홍합 치패는 반수치사 염분 농도에서 5개월 간 생존하였고, 대부분의 실험구에서 95% 이상의 생존율을 보였는데, 이는 낮은 수온으로 인한 제한적인 생리적 반응의 결과로 판단되나, 염분이 안정적으로 유지될 수 있는 축제식 양식어장을 선택한다면 더 좋은 결과를 기대할 수 있을 것으로 판단된다.

축제식 양식어장에서 용존산소 및 수소이온농도는 일반 해

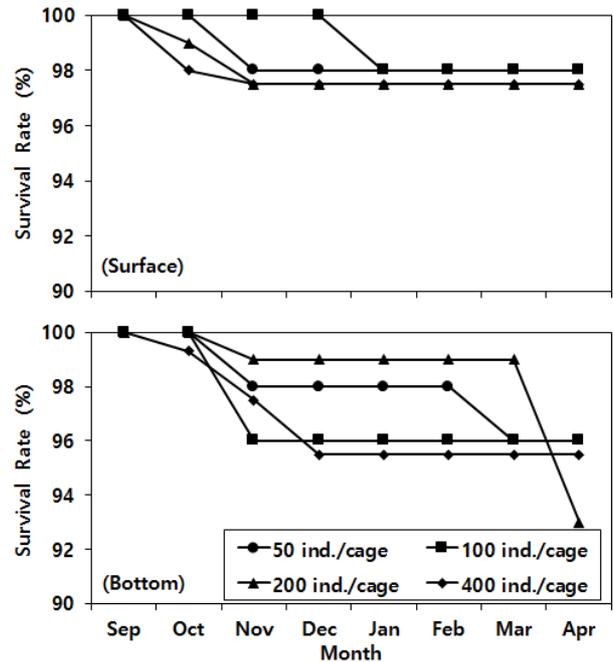


Fig. 3. Monthly variations on survival rate of the hard shelled mussel spat cultured in seawater pond. Error bars indicate standard deviation.

수에서보다 높은 값을 나타냈고, 영양염 농도는 9월에 가장 높은 값을 보였는데, 해수를 유입시키면서 양식어장 퇴적물의 교란으로 인해 높은 값을 보였던 것으로 판단된다. 이후 식물플랑크톤의 성장으로 엽록소-a 농도가 증가하면서 영양염의 농도는 일정한 값을 유지하였다. 축제식 양식어장의 영양염 환경을 분석한 Kang and Yoon (2004) 과 Jang *et al.* (2007) 의 결과와는 사료공급, 생물 사육, 환수 등의 여러 변수가 존재하기 때문에 직접적인 비교는 불가능하나, 이들 값보다 높거나 유사하게 나타났다. 식물플랑크톤의 종조성은 대부분 20 μm 이하의 미동정 은편모류나 미소플랑크톤이 우점하였고, 이들 미소플랑크톤은 치패의 좋은 먹이로 이용될 수 것으로 판단된다.

치패의 성장은 입식 후 1개월 동안 약 2배의 성장을 보인 후 낮은 수온 및 염분의 영향으로 최대 4.0 mm의 미미한 성장을 보였고, 대체로 표층보다는 저층에서 성장이 좋았으며, 밀도가 낮을수록 성장이 좋은 것으로 나타났다. 그러나 체롱 당 200 개체 (5,400 ind. m<sup>-3</sup>) 이하의 밀도로 수용하더라도 통계적으로 유의적인 차이는 없었다. 최종 생존율은 저층보다는 표층에서 높게 나타났고 95% 이상의 높은 생존율을 나타냈다. Kim (2014) 은 축제식 양식어장에 5.23 mm의 새조개 치패를 방양한 다음, 60일 후에 23.73 mm로 성장하여 18.5 mm의 성장의 증가를 보였던 반면 생존율은 19%로 낮게 나타났는데, 풍부한 먹이생물의 공급에 의한 높은 성장과 저층의 해적

생물의 포식에 의한 낮은 생존율을 지적하였다.

이와 같은 결과를 종합적으로 판단해 볼 때, 이매패류 치패의 중간육성장으로 축제식 양식어장을 활용할 수 있을 것으로 판단되므로, 여름철 고수온 및 저염분 대책 강구, 해적생물의 유입차단, 채롱에 수용할 경우 부착물의 제거 등의 적극적 관리를 통해 생산성을 향상시킬 수 있을 것이다.

## 요 약

축제식 양식어장에서 홍합 치패의 중간육성 가능성을 확인하기 위해 2014년 9월부터 2015년 4월까지 홍합 치패의 성장과 생존율을 측정하였다. 또한 수온, 염분, 용존산소, pH, 용존 무기질소 (DIN), 용존무기인 (DIP), 엽록소-*a* 및 식물플랑크톤의 현존량을 동시에 분석하였다. 수온과 염분의 범위는 각각 4.0-23.4℃, 18.8-25.2 psu 로써, 일반적으로 보고된 적정 수준보다 낮았다. 매일 측정된 홍합 치패의 생존율은 모든 실험구에서 90% 이상을 기록하였다. 엽록소-*a* 농도와 식물플랑크톤의 현존량은 높게 나타났고, 주요 우점종은 은편모류와 미소편모류이었다. 이들 우점종은 이매패류 유생의 좋은 먹이가 될 것으로 판단된다. 축제식 양식어장의 저층에 채롱 당 100 개체 (2,700 ind. m<sup>-2</sup>) 의 밀도로 수용한 실험구에서 가장 높은 성장 (7.63 ± 4.65 mm) 을 보였으나, 채롱 당 200 개체 (5,400 개체 m<sup>-2</sup>) 이하를 수용한 실험구 간에는 유의적인 차이가 없었다. 적절한 관리가 이루어진다면 축제식 양식어장은 이매패류 치패의 중간 육성을 위한 대안적 어장이라고 판단된다.

## 사 사

본 논문은 해양수산부 재원으로 한국해양과학기술진흥원 수산실용화기술개발사업 (과제번호: 312017-4) 의 지원을 받아 수행된 연구입니다.

## REFERENCES

Bang, I.C. (2002) Development of seedling production techniques of finfish from seawater pond in the west coastal area of Korea. 141pp. Final report of KIMST, MOMAF. (in Korean)

Bang, I.C. (2005) Development of seed production techniques and ecological studies of filefish (*Thamnaconus modestus*) and red seabream (*Pagrus major*) by eco-culture system. 113pp. Final report of KIMST, MOMAF. (in Korean)

Hur, Y.B., Hur, S.B. (2000) Development and growth larvae of four bivalve species. *Journal of Aquaculture*, **13**(2): 119-128. (in Korean)

Jang, I.K. (2008) Development of blue crab culture

technology. 62pp. Report of NFRDI, NFRDI. (in Korean)

Jang, I.K., Jun, J.C., Jo, G.J., Cho, Y.R., Seo, H.C., Kim, B.L., Kim, J.S. (2007) Polyculture of fleshy shrimp *Fenneropenaeus chinensis* and white shrimp *Litopenaeus vannamei* with river puffer *Takijugu obscurus* in shrimp ponds. *Journal of Aquaculture*, **20**(4): 278-288. (in Korean)

Je, J.G., Jang, C.I., Lee, S.H. (1990) Characteristics of shell morphology and distribution of 3 species belonging to genus *Mytilus* (mytilidae: bivalvia) in Korea. *Korean Journal of Malacology*, **6**(1): 22-32. (in Korean)

Jeon, J.C. (2009) Development of culture techniques for the aquaculture of sea cucumber, *Stichopus japonicus*. 59pp. Report of NFRDI, NFRDI. (in Korean)

Jeong, K.S. (2007) Development of seed production and grow-out technique of gizzard shad, *Konosirus punctatus*. 285pp. Final report of KIMST, MOMAF (in Korean)

Kang, D.H., Choi, K.S. (1999) Evaluation of methods used in the calculation of condition index using the mussel, *Mytilus coruscus* (Gould, 1861) collected from Chuja Island, Cheju, Korea. *Korean journal of malacology*, **15**(1): 57-62. (in Korean)

Kang, H.Y. (2007) Development of the technique of polyculture and winterization in earthen pond system in the western south Korea. 212pp. Final report of KIMST, MOMAF. (in Korean)

Kang, H.Y. (2012) Development of eco-friendly pond culture technique using micro bubble system. 77pp. Final report of KIMST, MOMAF. (in Korean)

Kang, Y.H., Yoon, Y.H. (2004) Nitrogen dynamics and growing of shrimp (*Fenneropenaeus chinensis*) in the high density aquaculture pond. *Journal of Korean Fisheries Society*, **37**(1): 24-32. (in Korean)

Kim, S.C. (2014) Studies on aquaculture for fishery resources enhancement and recovery of cockle, *Fulvia mutica* (Reeve). 90pp. Ph. D. thesis, Chonnam National University. (in Korean)

Lee, I.H., Chung, E.Y., Son, P.W., Shin, M.S. (2007) Reproductive ecology of the hard shelled mussel, *Mytilus coruscus* in western Korea. *Korean Journal of Malacology*, **23**(2): 199-208. (in Korean)

Li, Y.-F., Chen, Y.-R., Yang, J.-L., Bao, W.-Y., Guo, X.-P., Liang, X., Shi, Z.-T., Li, J.-L., Ding, D.-W. (2014a) Effects of substratum type on bacterial community structure in biofilms in relation to settlement of plantigrades of the mussel *Mytilus coruscus*. *International Biodeterioration & Biodegradation*, **96**:41-49.

Li, Y.-F., Guo, X.-P., Yang, J.-L., Liang, X., Bao, W.-Y., Shen, P.-J., Shi, Z.-Y., Li, J.-L. (2014b) Effects of bacterial biofilms on settlement of plantigrades of the mussel *Mytilus coruscus*. *Aquaculture*, **433**: 434-441.

Liang, J., Yu, B.-C., Bi, Y.-X., Wang, W.-D. (2015) The

- biological characteristics and growth patterns of *Mytilus coruscus* in the waters of Zhongjieshan Islands. *Chinese Journal of Ecology*, **34**(2): 471-476. (in Chinese)
- Ma, C.W. (2005) Environmental improvement and productivity elevation by using probiotics in shrimp culture ponds. 216pp. Final report of KIMST, MOMAF. (in Korean)
- Park, Y.J. (2006) Development of culture technique of sea cucumber, *Stichopus japonicus*. 147pp. Final report of KIMST, MOMAF. (in Korean)
- Shin, Y.K., Wi, C.H. (2004) Effects of temperature and salinity on survival and metabolism of the hard shelled mussel *Mytilus coruscus*, bivalve: mytilidae. *Journal of Aquaculture*, **17**(2): 103-108. (in Korean)
- Song, J.H. (2006) Studies on the management of the tidal flat aquaculture animals. 112pp. Report of NFRDI, NFRDI. (in Korean)
- Wang, C., Bao, W.-Y., Gu, Z.-Q., Li, Y.-F., Liang, X., Ling, Y., Cai, S.-L., Shen, H.-D., Yang, J.-L. (2012) Larval settlement and metamorphosis of the mussel *Mytilus coruscus* in response to natural biofilms. *Biofouling*, **28**: 249-256.
- Wi, C.H., Chang, Y.J., Lee, S.J., Hur Y.B., Lee, J.S. (2003) Sexual maturation and gametogenic cycle of the hard shelled mussel, *Mytilus coruscus* (bivalvia: mytilidae). *Journal of Aquaculture*, **16**(4): 245-251.
- Wi, C.H., Kim, H.S., Kim, J.H., Chang, Y.J., Jung, M.M. (2005) Attachment of hard shelled mussel, *Mytilus coruscus* and blue mussel, *Mytilus edulis*. *Journal of Aquaculture*, **18**(3): 142-146. (in Korean)
- Yang, J.-L., Li X., Liang, X., Bao, W.-Y., Shen, H.-D., Li, J.-L. (2014b) Effects of natural biofilms on settlement of plantigrades of the mussel *Mytilus coruscus*. *Aquaculture*, 424-425: 228-233.
- Yang, J.-L., Li, S.-H., Li, Y.-F., Liu, Z.-W., Liang, X., Bao, W.-Y., Li, J.-L. (2013c) Effects of neuroactive compounds, ions and organic solvents on larval metamorphosis of the mussel *Mytilus coruscus*. *Aquaculture*, **396-399**: 106-112.
- Yang, J.-L., Li, W.-S., Liang, X., Li, Y.-F., Chen, Y.-R., Bao, W.-Y., Li, J.-L. (2014a) Effects of adrenoceptor compounds on larval metamorphosis of the mussel *Mytilus coruscus*. *Aquaculture*, **426-427**: 282-287.
- Yang, J.-L., Li, X., Wang, C., Ling, Y., Bao, W.-Y., Shen, H.-D., Li, J.-L. (2013a) Settlement of the mussel *Mytilus coruscus* plantigrades in response to biofilms formed on low salinities. *Marine Science*, **37**(8): 107-113.
- Yang, J.-L., Shen, P.-J., Liang, X., Li, Y.-F., Bao, W.-Y., Li, J.-L. (2013b) Larval settlement and metamorphosis of the mussel *Mytilus coruscus* in response to monospecific bacterial biofilms. *Biofouling*, **29**: 247-259.
- Yoo, S.K. (1969) Culture condition and growth of larvae of the *Mytilus coruscus* Gould. *The Journal of the Oceanological Society of Korea*, **4**(1): 36-48. (in Korean)
- Zheng, X.-J., Yang, Y., Zou, L.-C., Ren, S.-Y., Liu, Z.-Y., Wang, Z.-Z. (2015) Effects of shell frame characteristics on shell weight of three species of *Mytilus* in Shengsi waters of the east China Sea. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, **46**(1): 165-172. (in Chinese)