



피조개(*Scapharca broughtonii* Schrenck) 양식시 살포시기와 환경 특성의 영향

김정배, 이상용*, 정춘구, 정창수, 손상규¹
국립수산과학원 남해수산연구소, ¹서해수산연구소

The Effects of the Spat Planting Time and Environmental Factors in the Arkshell, *Scapharca broughtonii* Schrenck Culture

Jeong-Bae Kim, Sang Yong Lee*, Choon Goo Jung, Chang Su Jung and Sang Gyu Son¹

South Sea Fisheries Research Institute, NFRDI, Yeosu 556-823, Korea
¹West Sea Fisheries Research Institute, NFRDI, Incheon 400-420, Korea

To find out the effect of the spat planting time and environmental factors in the arkshell, *Scapharca broughtonii* (Schrenck), we investigated the growth, survival rate of arkshell and habitat characteristics in Gamak Bay, Yeoja Bay and Saryang Island. We planted artificial spats of arkshell in Gamak Bay and Yeoja Bay at November 2004, and also planted domestic and Chinese natural spats in Saryang Island at March 2005. We measured growth, survival rate of arkshell, physiochemical parameters of the water mass (water temperature, salinity, dissolved oxygen, nutrients and chlorophyll *a*) and characteristics of the sediment (oxygen penetration depth, oxygen microprofiles, ignition loss and chemical oxygen demand) by monthly. The cumulative survival ratio of arkshell in Gamak Bay was the highest at December, whereas the ratio of arkshell in Yeoja Bay was recorded as 0% at October. The monthly growth rates of arkshell length in Gamak Bay and Yeoja Bay were the highest in May and the growth rate of the Korean arkshell in Saryang Island was higher than Chinese ones significantly. The high mortality (> 65%) of the arkshell in Yeoja Bay during summer probably caused by high water temperature, inflow of low salinity water, and low dissolved oxygen concentration in sediment. The concentrations of nutrient and sediment COD were considered to play an important role in the monthly survival ratio of arkshell in Gamak Bay and Saryang Island. We suggest that the growth and mortality of arkshell might be influenced to the planting time of spat and the habitat characteristics.

Keywords: Arkshell, *Scapharca broughtonii*, Survival rate, Growth, Mortality, Habitat characteristics

서 론

피조개(*Scapharca broughtonii* Schrenck, Arkshell)는 우리나라 전 연안의 내만과 내해의 비교적 깊은 수심에 서식하며, 고막류(Family Arcidae) 중에서 가장 중요한 상업종의 하나로 남해안에서 많이 양식되고 있다(Park et al., 1998). 피조개는 성패 혹은 가공상품으로 수출되는 기업화된 양식품종의 하나로 주로 고성만, 자란만, 진주만, 가막만과 득량만 등에서 양식이 성행하고 있다(Chun et al., 1991; Park et al., 2001). 피조개 양식은 1975년부터 시작되어 1986년의 생산량이 58,000여톤으로 최대를 보였으나, 1980년대 말부터 생산량이 급격히 감소한 이래, 2005년 현재 2,500여톤의 생산에 그치고 있다(오, 2006). 피조

개의 양식면적은 1981년의 경우 10,486 ha이었으나, 2004년에는 8,020 ha로 감소하였다(MOMAF, 2005). 이와 같은 피조개 양식산업의 감소는 과밀양식에 따른 대량 폐사, 장기간 연작으로 인한 양식장의 퇴적환경 악화와 종패의 수급 불균형에 따른 치패의 가격 상승이 원인인 것으로 파악되었다(Park et al., 1998).

1992년 피조개 인공종묘의 대량 생산 기술이 확립된 이후에도 종묘를 성공적으로 양성하기 위해서는 양식장 환경에 따른 양성방법과 살포시기 등의 적합성이 문제되었다(Park et al., 1998; 윤 등, 2001). 현재까지 개발된 피조개 양성방법 중 바닥 살포식은 불가사리의 포식 등 해적 생물에 의한 피해가 많을 수 있지만 대부분의 양식업자들이 선호하고 있다(Kwon and Cho, 1986). 수하식 양성방법은 바닥식 양성에 비해 성장이 빠르고 생존율이 높지만(Yoo and Park, 1978), 상품 가치가 낮고 양식 시설 설치의 번거로움 때문에 비경제적인 것으로 알려져 있다

*Corresponding author: seagrass@skku.edu

(Choi et al., 2000; 라 등, 2001).

지금까지 피조개의 양식은 3월에 치패를 바다에 살포, 양식하여 다음해 12월에 성패를 채집하였으나, 살포 후 성패 채집시의 생존율은 10% 이내로 낮았다(Kim and Yoon, 1980; Kwon and Cho, 1986). 특히, 살포된 치패는 1개월 이내에 많은 양이 폐사하며, 양식 중 폐사율 증가는 불가사리와 같은 해적 생물의 포식, 고수온과 빈영양 상태에 따른 먹이생물의 감소와 질적 변화가 원인인 것으로 조사되었다(Kim et al., 1980, Kwon and Cho, 1986; Chun et al., 1991). 또한 살포지의 이화학적 요인, 먹이 생물의 생물학적 조건뿐만 아니라 서식지 물질순환의 주요 요인들인 강우, 가뭄, 태풍과 오염원 유입에 따른 해양 변동이 피조개 초기 성장에 영향을 미치는 것으로 알려져 있다(Chun et al., 1991). 따라서 피조개의 양식과정 중 폐사율을 줄이기 위해서는 새로운 양식방법과 양식어장의 개발이 필요하다.

본 연구는 남해안 피조개의 양식장 환경 복원과 생산량을 증대시키기 위한 방안을 마련하기 위하여 살포시기와 어장환경(내해어장과 외해어장)에 따른 피조개의 성장과 폐사에 영향을 미치는 환경 요인들을 규명하고자 하였다.

재료 및 방법

연구지역

피조개 양식 생산성의 저하 원인과 계절에 따른 성장, 양식장 환경에 따른 상대적 생존비를 파악하기 위하여 남해 연안의 여자만, 가막만과 사량도 주변 양식장에서 2005년 3월부터 12월까지 피조개와 양식장의 수질 및 퇴적환경을 조사하였다(Fig. 1). 피조개 치패의 살포는 조사법으로 만조의 정조시에 가막만과 여자만에서 인공산 치패를 2004년 11월에 살포(추계살포)하였으며, 사량도에서는 중국산 인공 치패와 국내산 자연 채묘된 치패를 2005년 3월초에 살포(춘계살포)하였다. 여자만과 가막만의 조사지역은 내해어장으로 여자만의 양식장은 장도 주변의 평균 수심은 약 1.5~2.0 m인 해역에 위치하였으며, 가막만의 양

식장은 평균 수심 약 6.0 m의 중앙부에 위치하였다. 외해어장인 사량도는 연안에서 약 15 km 정도 떨어진 곳으로 양식장의 평균 수심 약 20.0 m 내외였다(Fig. 1).

채집 및 분석

양식장 환경에 따른 피조개의 성장과 생존비는 가막만과 사량도에서는 2005년 3월부터 12월까지 매월 1회씩 조사하였으나, 여자만의 경우 하계의 대량폐사에 의해 2005년 3월부터 10월까지 조사하였다. 피조개는 소형 간이 형망(길이: 50 cm 내외, 갈퀴간격: 약 12 mm, 덮그물 망목: 약 13~15 mm)으로 채집하였으며, 성장도를 파악하기 위하여 20~40 개체의 피조개 각장을 측정하여 평균(±표준에러) 하였다. 또한, 매월 채집한 전 피조개의 개체에서 살아있는 개체의 상대 생존비를 조사하였다.

피조개 양식장의 환경변화를 파악하기 위하여 여자만 5개 정점, 가막만 6개 정점과 사량도 6개 정점을 선정하여 표-저층의 수온, 염분, 용존산소(DO), PO₄-P, NH₄-N, NO₃-N, SiO₂-Si, chlorophyll *a* (Chl. *a*)를 분석하였다. 수온과 염분은 수질측정기(600XL, YSI)를 이용하여 각 정점에서 수직분포를 측정하였으며, DO는 채수기를 이용하여 표층과 저층에서 채수하여 DO병에 고정된 후 해양환경공정시험방법에 따라 분석하였다(MOMAF, 2005). 또한 채수한 표-저층수의 영양염과 Chl. *a*도 해양환경공정시험방법에 따라 분석하였다.

퇴적물 표층 시료는 2005년 3월과 8월에 각 조사정점에서 van Veen Grab (면적: 0.04 m²)으로 채집하였다. 퇴적물 공극수의 산소 농도는 회수된 그래프에 원통 투명 아크릴 코아(직경 8 cm, 길이 5 cm)로 채집하였다. 채집된 시료는 현장온도를 유지시키면서 항온 실험실로 옮긴 후 산소 미세전극(oxygen microsensor)을 사용하여 퇴적물 공극수의 용존 산소를 측정하였다(Lee et al., 2003; Hwang and Cho, 2005). 산소 미세전극은 전극 크기가 약 25 μm인 Clark type의 전극(OX 25, Unisense)을 사용하였으며, 산소 미세전극을 10 μm 해상도를 갖는 micromanipulator (MM33, Unisense)에 장착하여 수직으로 50 μm 간격으로 공극수의 산소 농도를 측정하였다. 측정할 때 전극에서 나오는 pA 범위의 전류는 picoammeter(PA2000, Unisense)와 A/D 변환기를 통해 휴대용 컴퓨터로 기록하였다. 표층퇴적물 시료의 강열감량(ignition loss, IL)과 화학적산소요구량(COD)은 해양환경공정시험방법에 따라 측정하였다. 또한 퇴적물의 입도 분석은 0~4 φ까지 습식체질하였으며, 4 φ 이상은 피펫팅법으로 분석하였다(Folk, 1974).

각 정점에서 조사된 표층과 저층 항목들의 조사시기와 장소 차이는 one-way ANOVA를 이용하여 분석하였으며, 항목들의 유의한 차이는 Tukey의 사후 분석(Post-hoc multiple comparison test)을 수행하여 조사시기와 장소에 따른 차이를 검정하였다. 각 정점에서 수질 항목들간의 관계를 규명하기 위하여 상관분석을 실시하였다. 피조개의 성장과 생존비에 따른 환경요인들과의 관계는 다중회귀분석을 수행하여 관계를 규명하였다. 통

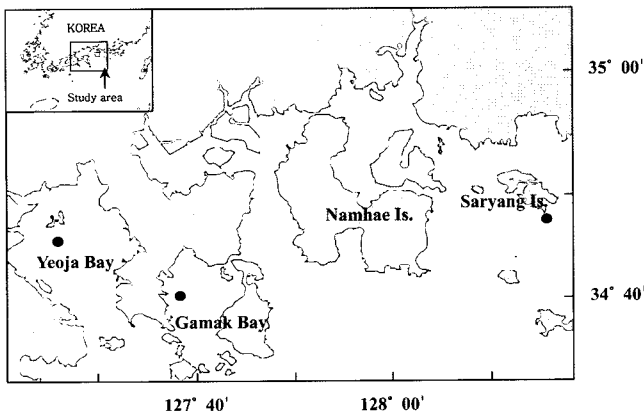


Fig. 1. A map showing sampling sites in the study area.

계적인 분석들은 SPSS 프로그램(SPSS Inc.)을 이용하였으며, 유의성은 $P < 0.05$ 수준으로 하였다.

결 과

수질 환경요인 변화

조사기간 동안 피조개 양식장의 표층과 저층 수온은 계절변화가 명확하게 나타났으며($P < 0.01$), 조사 장소에 따른 유의한 차이를 보였다 ($P < 0.01$). 피조개 양식장의 표층과 저층의 수온은 3월부터 7월까지 상승하였으며, 각각 8월과 9월에 가장 높게 나타났다(Fig. 2). 조사된 양식장의 표층과 저층의 수온을 비교하면 여자만에서 가장 높게 나타났으며, 사랑도에서 가장 낮았다($P < 0.01$). 여자만에서 표층과 저층의 수온은 유의한 차이를 보이지 않았으며($P = 0.777$), 수온은 5.7(3월)~28.1°C(8월)의 범위로 나타났다. 가막만의 경우 조사기간 동안 표층과 저층의 수온은 유의한 차이를 보이지 않았으나($P = 0.379$), 7월부터 9월까지 저층 수온이 표층 수온보다 낮았다($P = 0.001$). 가막만의 표층 수온은 7.9(3월)~27.4°C(8월) 범위였으며, 저층 수온은 6.5(3월)~25.3°C(9월)의 분포로 나타났다(Fig. 2B). 반면에 사랑도의 경우 저층 수온은 표층 수온보다 유의하게 낮았다($P = 0.014$). 사랑도의 표층 수온은 10.5(3월)~25.3°C(8월) 범위였으며, 저층 수온은 9.4(3월)~23.3°C(9월)의 분포로 조사되었다(Fig. 2C).

표층과 저층의 염분은 계절적인 변화($P < 0.01$)와 양식장에 따른 차이($P < 0.01$)가 명확하게 나타났다. 표층과 저층의 염분 차이는 사랑도($P = 0.009$)와 가막만($P = 0.008$)에서 유의하게 나타났으나, 여자만에서는 유의한 차이를 보이지 않았다($P = 0.061$). 표층과 저층의 염분은 여자만이 가장 낮았으며, 사랑도가 가장 높

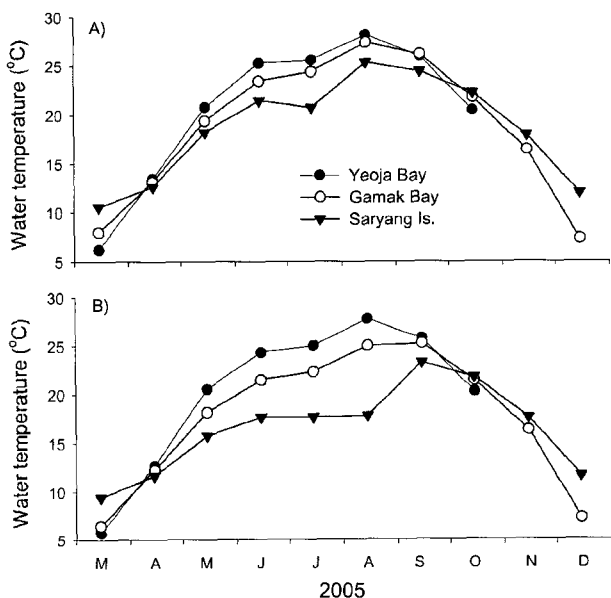


Fig. 2. Monthly variations of surface (A) and bottom (B) water temperature of arkshell, *Scapharca broughtonii* culture habitats.

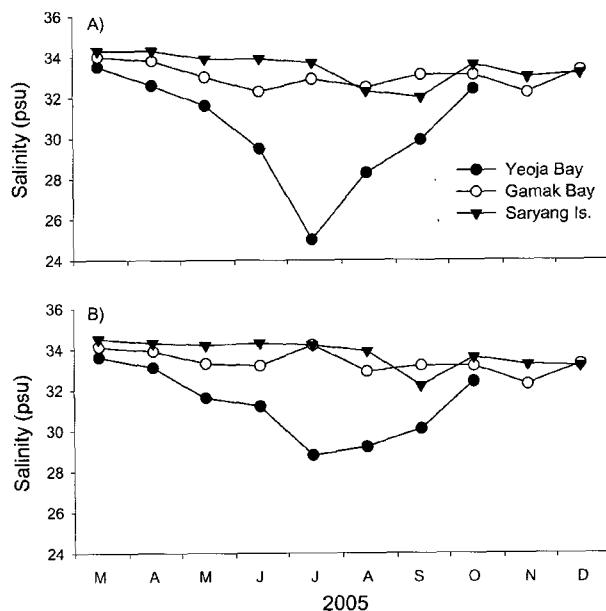


Fig. 3. Monthly variations of surface (A) and bottom (B) salinity of arkshell, *Scapharca broughtonii* culture habitats.

게 나타났다($P < 0.01$). 염분은 여자만에서는 7월, 가막만에서는 8월 그리고 사랑도에서는 9월에 가장 낮게 나타났다(Fig. 3).

3월과 8월의 피조개 양식장에서 수온과 염분의 수직분포는 Fig. 4와 같다. 여자만의 경우 조사기간 동안 표층과 저층에 성층이 나타나지 않았다(Fig. 4A). 가막만에서 수온과 염분의 수직분포는 3월에 혼합이 잘 되었으나, 8월에는 수심 2~5 m에서 밀도약층이 형성되었다(Fig. 4B). 사랑도의 경우 수온과 염분의 수직 분포는 3월에는 표층과 저층의 차이가 없이 일정하게 나타났으나, 8월의 경우 수심 5~15 m에서 강한 밀도약층이 형성되었다(Fig. 4C).

DO의 표층과 저층 농도는 가막만($P = 0.005$)과 사랑도($P < 0.01$)에서는 유의한 차이를 보였으나, 여자만에서는 차이가 없었다($P = 0.123$). 표층과 저층의 DO는 양식장($P < 0.01$)과 조사시기($P < 0.01$)에 따라 유의한 차이를 보였다(Fig. 5A, B). 여자만에서 저층 DO는 명확한 계절 변화를 보이지 않았으나, 가막만과 사랑도에서는 3월부터 감소하여 각각 8월과 9월에 가장 낮게 나타났다(Fig. 5A).

Chl. *a*의 농도는 양식장($P < 0.01$)과 조사 시기($P < 0.01$)에 따라 유의한 차이를 보였다. 표층과 저층의 Chl. *a* 농도는 사랑도($P = 0.004$)와 여자만($P = 0.015$)에서 유의한 차이를 보였으나, 가막만에서는 유의한 차이를 보이지 않았다($P = 0.147$). 양식장에 따른 Chl. *a*의 농도는 사랑도에서 가장 낮았으며, 여자만에서 가장 높게 나타났다(Fig. 5C, D). 저층의 Chl. *a* 농도는 여자만에서는 7월부터 9월까지 높게 나타났으며, 가막만에서는 7월에 높게 나타났다(Fig. 5C). 표층의 Chl. *a* 농도는 여자만에서는 7월에 가장 높았으며, 가막만에서는 8월과 10월에 높게 나타났

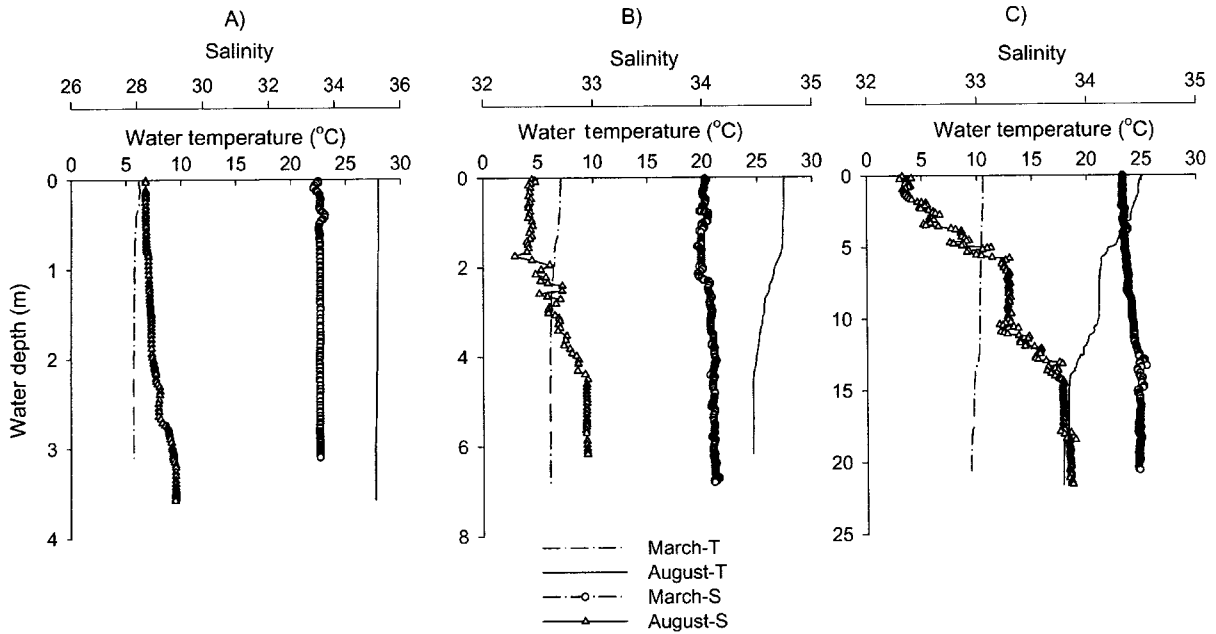


Fig. 4. Vertical profiles of water temperature and salinity in this study areas. A, Yeolja Bay; B, Gamak Bay; C, Saryang Island.

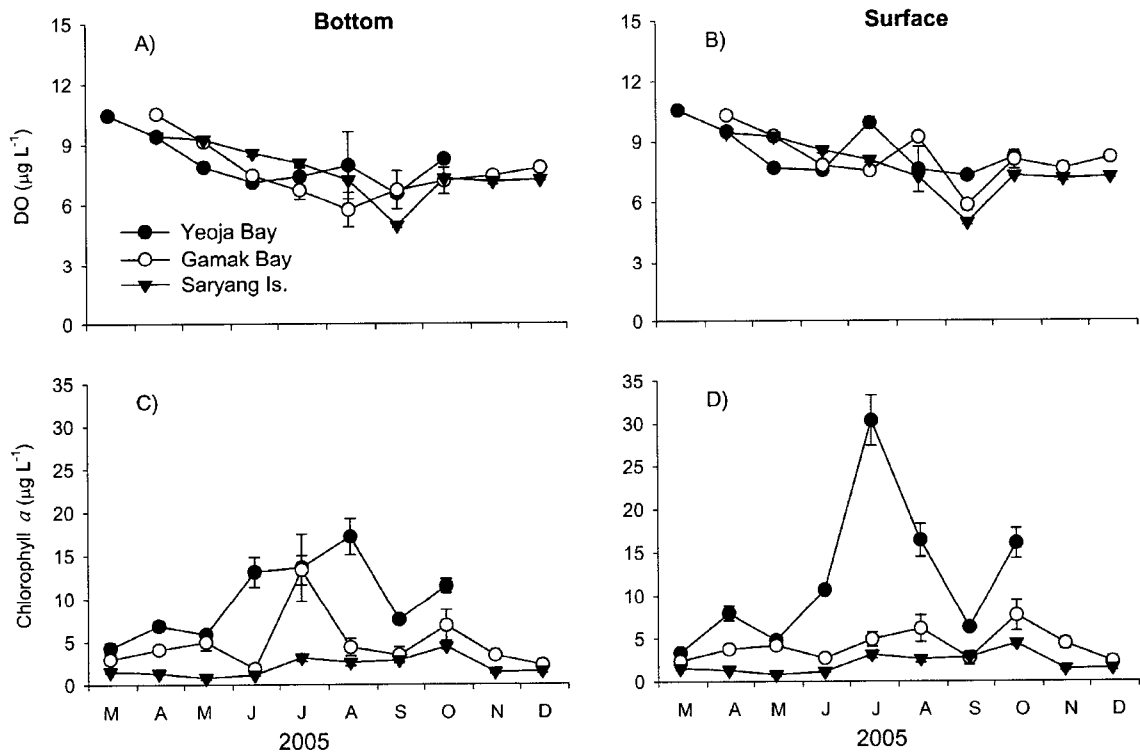


Fig. 5. Monthly variations of dissolved oxygen (A and B) and chlorophyll *a* (C and D) concentrations at arkshell, *Scapharca broughtonii* culture farms. A and C, bottom layer; B and D, surface layer.

다(Fig. 5D). 사랑도의 경우 표층과 저층의 Chl. *a* 농도는 7월부터 10월까지 다소 높게 나타났다(Fig. 5C, D).

표층과 저층의 질산염 농도는 양식장과 조사시기에 따라 유의한 차이($P < 0.05$)를 보였다. 질산염 농도는 여자만에서 가장 낮았으며, 사랑도에서 가장 높았다(Fig. 6A, B). 표층과 저층에

서 질산염 농도는 여자만($P = 0.104$)과 가막만($P = 0.464$)에서는 유의한 차이가 없었으나, 사랑도에서는 저층이 유의하게 높게 나타났다($P = 0.013$). 암모니아의 농도는 양식장에 따른 차이는 없었으나($P > 0.05$), 조사시기에 따라 유의한 차이($P < 0.01$)를 보였다(Fig. 6C, D). 표층과 저층의 암모니아 농도는 가막만($P = 0.142$)

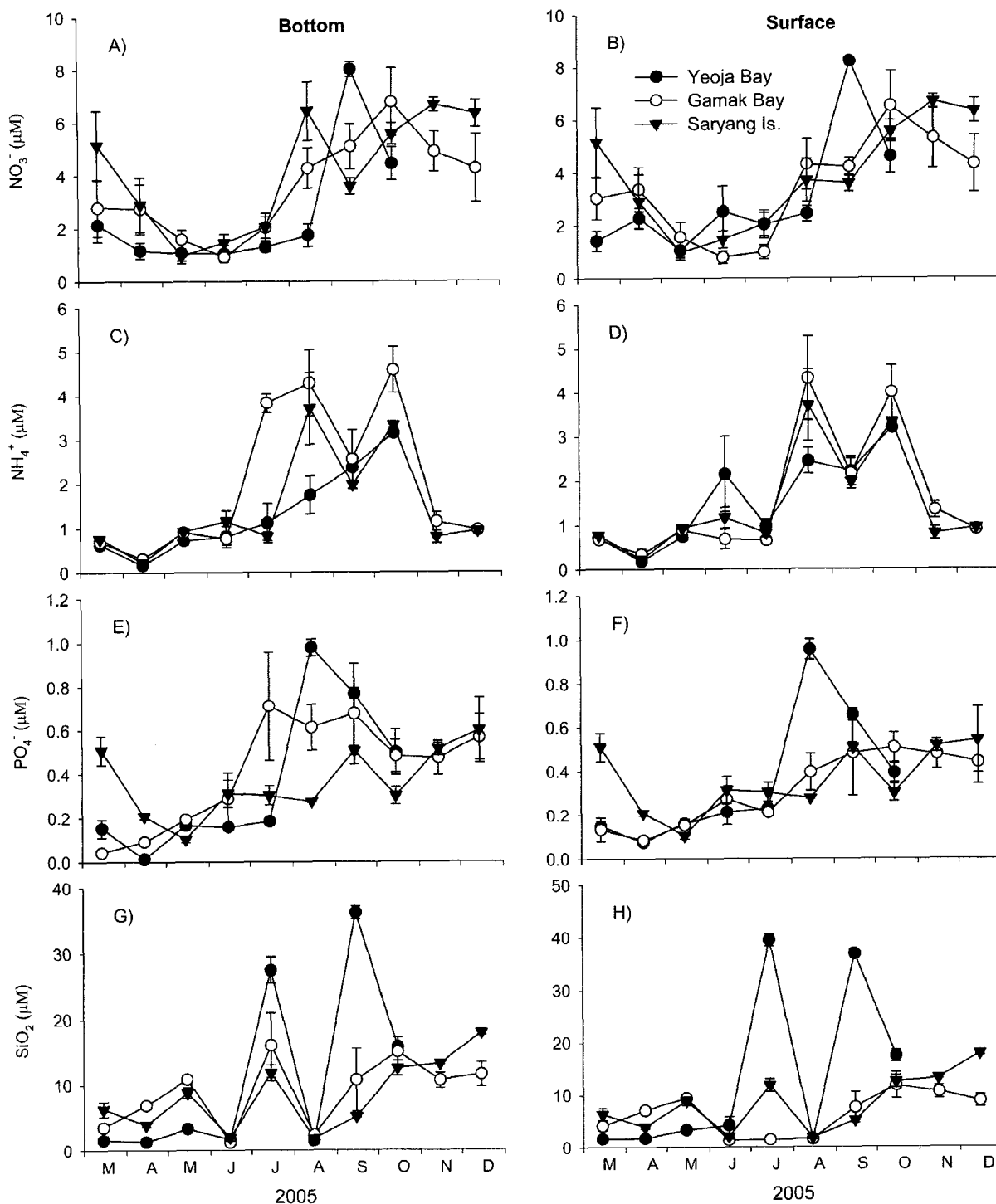


Fig. 6. Monthly variations of bottom (A, C, E and G) and surface (B, D, F and H) nutrient concentrations at arkshell, *Scapharca broughtonii* culture farms.

과 여자만($P=0.128$)에서는 유의한 차이가 없었으나, 사랑도에서는 저층이 표층보다 유의하게 높았다($P=0.031$). 인산염의 표층과 저층 농도는 조사시기에 따라 유의한 차이($P<0.01$)를 보였으며, 양식장에 따른 차이는 표층에서만 나타났다. 표층의 인산염 농도는 사랑도가 가막만보다 유의하게 높게 나타났다($P=0.008$). 가

막만과 사랑도에서 인산염 농도는 저층이 표층보다 유의하게 높았으나($P<0.05$), 여자만에서는 유의한 차이($P=0.532$)를 보이지 않았다(Fig. 6E, F). 규산염 농도는 조사시기에 따라 유의한 차이($P<0.01$)를 보였으며, 표층에서는 여자만이 가막만보다 유의하게 높게 나타났다($P<0.01$). 규산염의 농도는 Fig. 6G와 6H

에서 나타낸 바와 같이 가막만과 사량도에서 저층이 표층보다 유의하게 높았으나($P<0.01$), 여자만에서는 유의한 차이를 보이지 않았다.

퇴적환경 요인 변화

피조개 양식장의 표층 퇴적물은 7.13 (가막만) ~ 7.29 φ(여자만) 범위의 니질(silt+clay, mud) 특성을 보였다. 양식장에 따른 표층 퇴적물의 강열감량은 사량도($8.6\pm 0.3\%$)가 가막만($5.3\pm 0.2\%$)과 여자만($5.0\pm 0.3\%$) 보다 유의하게($P<0.01$) 높았다. 표층 퇴적물의 강열감량은 조사시기에 따라 유의한 차이($P<0.01$)를 보였다. 가막만에서 표층 퇴적물의 강열감량은 3월에 가장 낮았으며, 7월에 가장 높게 나타났다(Fig. 7A). 여자만과 사량도에서 퇴적물의 강열감량은 4월에 가장 낮게 나타났다(Fig. 7A).

양식장에서 표층 퇴적물의 COD는 가막만과 여자만에서는 조사시기에 따른 유의한 차이는 나타나지 않았으나(Fig. 7B), 사량도에서는 4월이 가장 높게 나타났다($P<0.01$). 양식장에 따른 표층 퇴적물의 COD 농도는 사량도(17.6 ± 1.5 mg/g)가 여자만(15.1 ± 0.9 mg/g)과 가막만(12.6 ± 1.2 mg/g)보다 유의하게 높았다($P<0.05$).

퇴적물 산소농도의 미세 수직분포에서 최대값과 산소투과 깊이는 조사시기에 따라 차이를 보였다(Fig. 8). 산소농도의 최대값은 조사시기와 양식장에 따라 차이를 보였으나, 대부분 표층에서부터 0.5 mm 이내의 깊이에서 최대 DO 농도를 보였다. 퇴적물의 DO 농도는 8월보다 3월에 높게 나타났으며(Fig. 8), 산소 투과 깊이도 8월보다 3월에 높게 나타났다(Fig. 8). 3월의 퇴적물 내 최대 용존 산소농도는 $230\sim 250\ \mu\text{mol L}^{-1}$ 범위였으나,

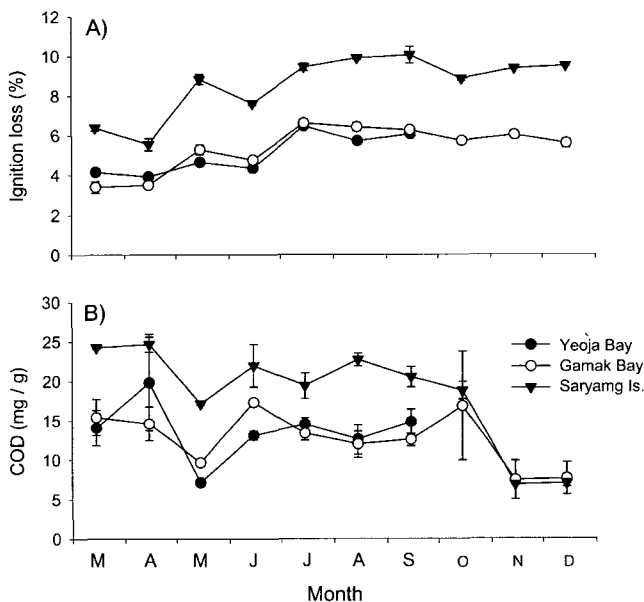


Fig. 7. Monthly changes of ignition loss (A) and chemical oxygen demand (B) of sediment in arkshell, *Scapharca broughtonii* culture farms.

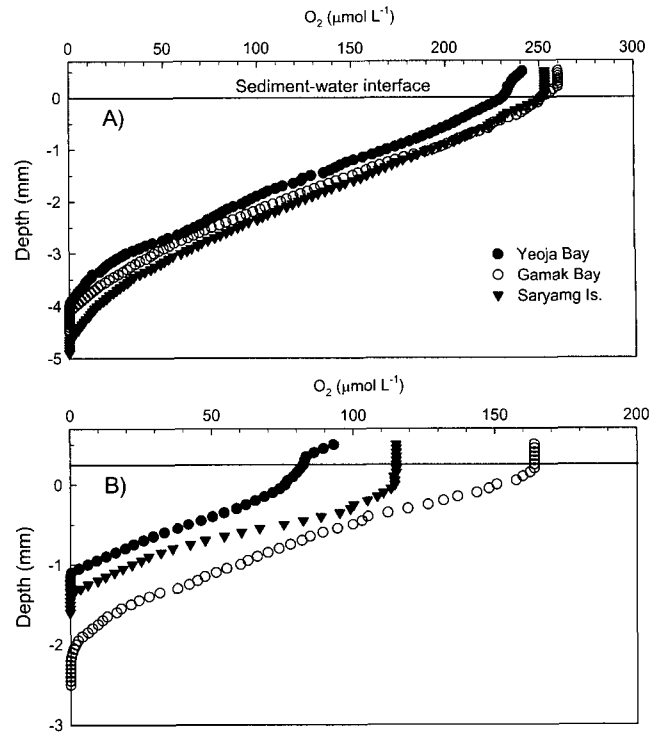


Fig. 8. Vertical profiles of oxygen concentrations in March (A) and August (B) in sediment of *Scapharca broughtonii* culture farms.

Table 1. Oxygen concentrations in bottom water ($O_{2(BW)}$) and seawater-sediment interface ($O_{2(S/W)}$), and oxygen penetration depth (L) in the surface sediments at the arkshell, *Scapharca broughtonii* culture farms. The oxygen penetration depths were estimated based on vertical profiles of oxygen concentration

Site	Month	$O_{2(BW)}$ ($\mu\text{mol L}^{-1}$)	$O_{2(S/W)}$ ($\mu\text{mol L}^{-1}$)	L (cm)
Yeolja Bay	March	241	231	0.40
	August	93	76	0.11
Gamak Bay	March	260	251	0.41
	August	164	151	0.22
Saryang Is.	March	253	252	0.47
	August	115	114	0.14

8월의 퇴적물 내 최대 용존 산소농도는 $76\sim 151\ \mu\text{mol L}^{-1}$ 범위로 나타났다(Table 1). 산소투과 깊이는 3월에 4.0~4.7 mm 범위였으나, 8월에는 1.1~2.2 mm 범위를 보였다(Table 1). 3월의 퇴적물 내 산소농도의 미세 수직분포와 산소 투과 깊이는 양식장에 따른 차이를 보이지 않았으나, 8월에는 여자만에서 퇴적물 내 산소농도와 산소 투과 깊이가 가장 낮게 나타났다(Fig. 8).

피조개의 성장과 상대 생존비

조사기간 동안 피조개의 각장은 양식장에 따라 유의한 차이를 보였으며($P<0.01$), 가막만의 피조개가 사량도의 중국산보다 성장이 우수하였다. 3월에 채집된 피조개의 각장은 사량도의 중

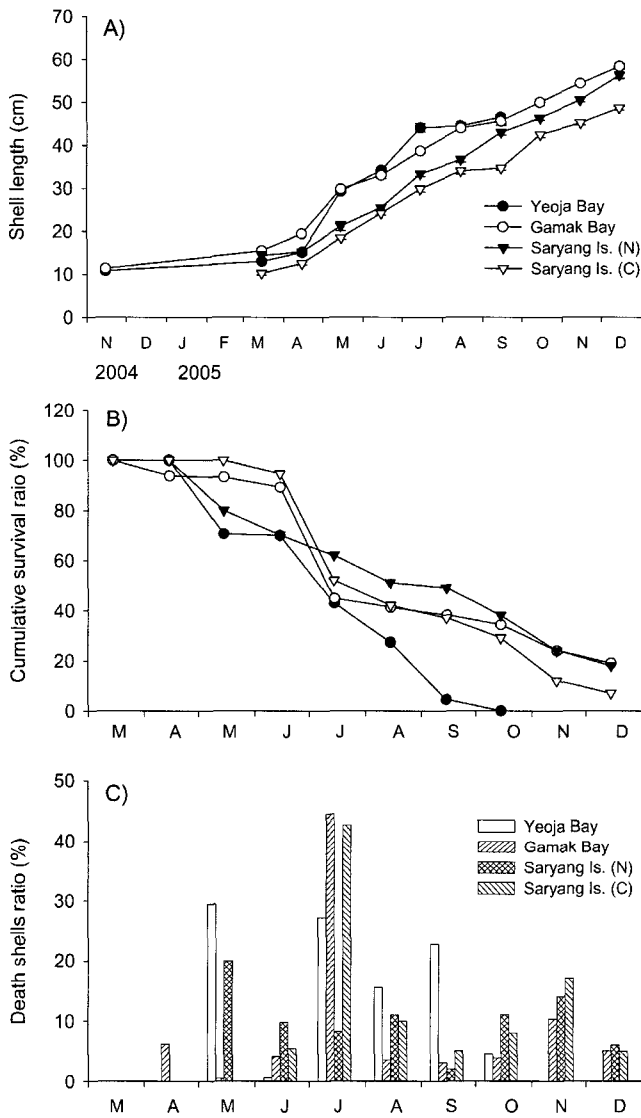


Fig. 9. Growth of shell length (A), cumulative survival rates (B) and death shell ratio (C) of arkshell, *Scapharca broughtonii* in culture farms. Saryang Is. (N), domestic natural spat; Saryang Is. (C), Chinese cultured spat.

국산 치패가 10.2±0.4 mm로 가장 작았으며, 가막만의 치패가 15.4±0.5 mm로 가장 컸다(Fig. 9A). 9월에 채집된 피조개 각장은 여자만에서 46.5±0.7 mm로 가장 컸으며, 사량도의 중국산이 34.7±0.5 mm로 가장 작았다. 조사지역에서 피조개 각장의 월간 평균 성장율은 4.6±0.7 mm이었으며, 9월의 피조개 각장은 3월보다 약 3.2배 이상 컸다(Fig. 9A). 여자만과 가막만에 살포한 피조개 각장의 월간 성장율은 5월에 각각 14.2 mm와 10.4 mm로 가장 높았으며, 사량도에 살포한 피조개는 국내산의 경우 7월에 7.83 mm, 중국산은 10월에 7.83 mm로 가장 높았다(Fig. 9A). 반면에 피조개 각장의 가장 낮은 성장율은 여자만에서는 8월(0.4 mm), 가막만에서는 9월(1.6 mm), 사량도의 국내산 피조개는 4월(0.8 mm) 그리고 중국산 피조개는 9월(0.7

mm)로 조사되었다(Fig. 9A).

여자만에서 피조개의 살아있는 개체의 누적 생존비는 6월까지 70%이었으나, 여름을 지난 10월에 전량 폐사한 것으로 나타났다(Fig. 9B). 가막만의 경우 6월까지 살아 있는 개체수의 누적 생존비는 90%이상이었으나, 7월에는 약 50%까지 감소하였다. 사량도 중국산의 경우 살아 있는 피조개는 6월까지 약 90% 이었으나, 7월에 급격히 감소하였다. 반면에 사량도의 국내산은 살아있는 개체수가 9월까지 약 50%까지 존재하였다(Fig. 9B). 12월에 살아 있는 피조개의 개체수는 사량도의 국내산과 가막만에서 약 19.0%로 높았으나, 사량도의 중국산은 7.0%로 낮게 나타났다(Fig. 9B).

피조개의 월간 폐사 개체수의 비는 여자만에서는 5월과 7월에 높게 나타났으며, 사량도의 국내산은 5월에 높았다(Fig. 9C). 가막만과 사량도의 중국산의 월간 폐사 개체수의 비는 7월에 가장 높게 나타났다(Fig. 9C). 조사기간 동안 피조개의 월간 폐사 개체수의 비는 양식어장 환경과 치패의 원산지에 따라 유의한 차이를 보였다.

양식장 환경 요인에 따른 피조개의 성장

양식장 환경에 따른 피조개의 성장, 살아 있는 개체의 누적 생존비와 저층 수질 및 표층 퇴적물의 환경요인들과 상관관계를 분석하였다(Table 2). 여자만에서 피조개의 각장은 수온, 퇴적물의 강열감량과 암모니아 농도와 높은 양의 상관관계를 보였으나, 염분과 DO와는 높은 음의 상관관계를 보였다(Table 2). 반면에 여자만 피조개의 누적 생존비는 염분과 DO는 양의 상관관계를 보였으나, 수온, 인산염, 암모니아와 퇴적물의 강열감량은 높은 음의 상관관계를 보였다.

가막만에서 피조개의 각장은 인산염, 질산염, 용존무기질소와 퇴적물의 강열감량은 유의한 양의 상관관계를 보였으나, 염분은 음의 상관성을 나타냈다(Table 2). 가막만에서 피조개의 생존비는 인산염, 질산염, 용존무기질소와 퇴적물의 강열감량에 높은 음의 상관관계를 보였다(Table 2).

사량도에서 국내산 피조개의 각장은 질산염, 용존무기질소, 규산염과 퇴적물의 강열감량과 양의 상관관계를 보였으며, 중국산 피조개의 각장은 질산염과 퇴적물의 강열감량과 양의 상관성을 보였다. 반면에 피조개의 각장은 염분과 퇴적물의 COD와는 음의 상관관계를 보였다(Table 2). 사량도의 국내산과 중국산 피조개의 누적 생존비는 염분과 퇴적물의 COD와 양의 상관관계를 보였으나, 질산염, 규산염과 퇴적물의 강열감량은 음의 상관관계를 보였다(Table 2). 조사기간 동안 각 양식장에서 피조개의 누적 생존비는 퇴적물의 강열감량과 음의 상관관계를 보였으나, 유의성 있는 환경요인은 없었다.

조사기간 동안 각 양식장 피조개의 살아 있는 개체의 누적 생존비에 영향을 미치는 환경요인들을 단계선택 다중회귀분석한 관계식은

Table 2. Pearson's correlation coefficients between growth and cumulative survival rate of arkshell and environmental factors

Site	Items	Bottom waters							Sediments		
		Temp.	Sal.	DO	PO ₄ ⁻	NO ₃ ⁻	NH ₄ ⁺	DIN	SiO ₂	COD	IL
Yeoja Bay	shell length	0.947	-0.961	-0.884			0.830				0.891
	p-value	0.001	0.001	0.008	ns	ns	0.021	ns	ns	ns	0.007
	survival rate	-0.837	0.857	0.801	-0.824		-0.957				-0.882
	p-value	0.019	0.014	0.030	0.023	ns	0.001	ns	ns	ns	0.009
Gamak Bay	shell length	ns	-0.672	ns	0.846	0.643	ns	0.075	ns	ns	0.786
	p-value	ns	0.033	ns	0.002	0.045	ns	0.012	ns	ns	0.007
	survival rate	ns	ns	ns	-0.893	-0.728	ns	-0.815	ns	ns	-0.790
	p-value	ns	ns	ns	<0.001	0.017	ns	0.004	ns	ns	0.007
Saryang Is. (Natural)	shell length	ns	-0.775	ns	ns	0.690	ns	0.790	0.650	-0.761	0.771
	p-value	ns	0.012	ns	ns	0.027	ns	0.007	0.042	0.011	0.009
	survival rate	ns	0.695	ns	ns	-0.660	ns	-0.740	-0.632	0.790	-0.789
	p-value	ns	0.026	ns	ns	0.035	ns	0.014	0.050	0.007	0.007
Saryang Is. (Culture)	shell length	ns	-0.689	ns	ns	0.660	ns	ns	ns	-0.749	0.771
	p-value	ns	0.028	ns	ns	0.038	ns	ns	ns	0.013	0.009
	survival rate	ns	0.729	ns	ns	-0.719	ns	ns	-0.635	0.712	-0.750
	p-value	ns	0.017	ns	ns	0.019	ns	ns	0.048	0.021	0.012

ns: not significant, Temp.: water temperature, Sal.: salinity, DO: dissolved oxygen, DIN: dissolved inorganic nitrogen, COD: chemical oxygen demand of surface sediment, IL: ignition loss of surface sediment.

여자만의 경우 $Y = -33.874 \times \text{NH}_4^+ + 7.158 \times \text{Salinity} - 126.66$
($r^2=0.983$, $P<0.001$)

가막만의 경우 $Y = -86.752 \times \text{PO}_4^- - 7.190 \times \text{NO}_3^- + 120.843$
($r^2=0.930$, $P<0.001$)

사랑도의 자연 채묘된 경우 $Y = 3.952 \times \text{COD} - 13.15 \times \text{NH}_4^+ + 6.10$
($r^2=0.901$, $P<0.001$)

사랑도의 중국산의 경우 $Y = -7.291 \times \text{DIN} + 21.442 \times \text{DO} + 14.312$
 $\times \text{NH}_4^+ - 2.017 \times \text{Temperature} - 56.77$
($r^2=0.983$, $P<0.001$)였다.

피조개의 누적 생존비에 영향을 미치는 환경 요인들은 양식장에 따라 차이를 보였다. 여자만의 경우 암모니아와 염분이 피조개의 생존비 감소에 영향을 미치는 주요한 요인이었으며, 가막만에서는 인산염과 질산염이 주요한 요인으로 나타났다. 사랑도에서 국내산 피조개는 퇴적물의 COD와 암모니아가 누적 생존비에 영향을 미치는 주요한 요인이었으며, 중국산은 용존 무기질소, DO, 암모니아와 수온이 생존비에 복합적으로 영향을 미치는 것으로 나타났다.

각 양식장에서 피조개의 개체 성장에 영향을 미치는 환경요인과의 관계를 파악하기 위하여 단계선택 다중회귀분석(stepwise multiple regression analysis) 한 관계식은

여자만의 경우 $Y = -7.286 \times \text{Salinity} + 258.861$ ($r^2=0.923$, $P<0.001$)

가막만의 경우 $Y = 21.737 \times \text{PO}_4^- - 14.327 \times \text{Salinity} + 2.358 \times \text{DIN} - 2.456 \times \text{NO}_3^- + 502.695$ ($r^2=0.983$, $P<0.001$)

사랑도의 자연 채묘된 경우 $Y = 2.038 \times \text{DIN} + 5.44 \times \text{IL} - 2.628$
($r^2=0.900$, $P<0.001$)

사랑도의 중국산의 경우 $Y = 5.102 \times \text{IL} + 1.716 \times \text{DIN} - 23.127$

($r^2=0.851$, $P=0.001$)였다.

각 양식장에서 피조개의 성장에 영향을 미치는 환경요인들을 다중회귀분석한 결과 여자만에서는 염분이 가장 중요한 요인으로 나타났으며, 가막만에서는 인산염, 염분, 용존무기질소와 질산염이 유의한 영향을 미치는 것으로 나타났다. 사랑도에서 자연 채묘된 피조개의 성장은 용존무기질소와 퇴적물의 강열감량이 주요한 요인으로 나타났으며, 중국산 피조개의 성장은 퇴적물의 강열감량과 용존무기질소가 영향을 미치는 복합적 요인으로 나타났다.

고 찰

여자만과 가막만은 국내에서 피조개가 양식되기 시작한 초기부터 양식장으로 이용되어왔으나(Kwon and Cho, 1986; Choi et al., 2000), 최근에는 계속되는 폐사와 치패 수급의 불안정 등으로 생산량이 매우 적은 실정이다. 지금까지 여자만과 가막만과 같은 내만(내해어장)에서 피조개 양식은 자연 순기에 따라 봄철에 살포하였으나, 2회의 하계 고수온기를 지나야 수확이 가능하기 때문에 생존율이 낮았다(Choi et al., 2000). 또한 내해어장에서 다양한 패류의 고밀도 양식은 서식공간과 먹이 경쟁으로 인한 생산성 저하를 야기 할 뿐만 아니라, 2차적으로 과밀양식에 따른 패류의 대량 폐사를 야기하여 수질오염을 유발하는 등 피조개 양식산업의 걸림돌이 되어왔다(Choi et al., 2000).

2004년 11월에 살포한 피조개는 가막만에서 약 19.0%의 누적 생존비를 보였으나, 여자만에서는 전량 폐사하였다. 여자만의 피조개 양식장 환경은 계절에 따른 저층 수온과 염분 변화

가 가막만과 유의한 차이를 보였으나, 다른 환경요인들은 유의한 차이를 보이지 않았다. 수심이 얕은 여자만의 경우 저층 수온이 여름철에는 28°C까지 상승하였으며, 염분은 7월과 8월에 담수유입의 영향으로 30.0 psu 이하로 지속되었다. 실내 생물검정 실험을 이용한 피조개의 수온 내성 생리 실험에서 27.5°C 이상의 고수온이 장기간 지속되면 폐사가 증가하는 것으로 보고되어 있다(신, 2005). 또한, 20°C 이상의 고수온 시기에 부니의 농도가 증가할수록 피조개의 폐사율이 높아지며(Chung et al., 1994), 수온 15°C에서 2~3 mg/L이하의 저산소 상태에서 2~3일만에 약 60%가 폐사하는 것으로 알려져 있다(신, 2005). 여자만에서 피조개의 누적 생존비는 DO 농도에 유의한 상관관계를 보였으며, 수온, 암모니아, 인산염과 퇴적물의 강열감량이 증가할 때 감소하였다. 또한, 여자만에서 8월의 퇴적물 내 산소의 투과 깊이와 해수-퇴적물 경계면에서 산소의 농도는 가막만보다 약 2배 정도 낮게 나타났다. 여자만의 피조개 양식장은 하계 고수온기에 담수의 유입에 의한 염분 감소, 부니의 증가, 영양염 농도의 증가, 유기물 분해에 의한 해수-퇴적물 경계면의 낮은 산소의 분포와 산소투과 깊이의 감소는 피조개 폐사에 영향을 미치는 요인들로 파악되었다. 그러나, 가을에 살포한 여자만의 피조개는 3월부터 7월까지 피조개의 각장은 지속적인 성장을 보였으며, 5월에는 최고 14.2 mm까지 성장하였다(Fig. 9A). 이러한 결과에서 여자만의 피조개 양식은 추계살포 후 하계의 수온 상승 전까지 중간양성 어장으로 이용하는 것이 유용하다고 판단된다.

가막만의 경우, 피조개 개체의 성장은 인산염과 용존무기질소 농도의 증가, 염분과 질산염 농도의 감소에 영향을 받는 것으로 나타났으며, 피조개의 폐사는 인산염과 질산염 농도의 감소가 주요한 요인으로 나타났다. 특히, 7월에 월간 폐사 비는 40% 이상으로 하계의 강력한 밀도약층에 의해 저층으로의 유기물 공급이 제한되기 때문인 것으로 판단된다.

사랑도에서 봄에 살포한 피조개의 누적 생존비는 국내산 피조개의 경우 12월까지 18%로 중국산 피조개의 7%보다 높게 나타났다(Fig. 9B). 12월에 조사된 사랑도의 국내산 피조개의 각장은 가막만의 피조개와 유사하였으며, 중국산 피조개보다 빠른 성장을 보였다(Fig. 9B). 사랑도에서 피조개의 개체 성장은 퇴적물의 강열감량과 용존무기질소의 농도에 영향을 받는 것으로 나타났다. 국내산 피조개의 누적 생존율은 퇴적물의 화학적 산소요구량과 암모니아의 농도가 주요한 요인이었으나, 중국산 피조개의 누적 생존율은 용존무기질소, DO, 암모니아의 농도와 온도에 영향을 받는 것으로 나타났다.

결론적으로 본 연구결과에서 내해어장인 가막만에서 추계살포 방법은 피조개의 하계 고수온기 대량폐사를 극복하고 피조개의 생존율을 증가시키는 것으로 나타났다. 또한 여자만의 경우 추계살포 후 하계의 수온 증가 전까지 중간 양성장으로 활용 가능하다고 판단된다. 외해어장인 사랑도 주변 해역에서는 춘계 살포한 국내산 치패가 중국산보다 성장율과 높은 생존율

을 보였으며, 앞으로 피조개의 외해 양식 어장으로로서 가능성이 높은 것으로 판단된다.

요 약

가막만, 여자만과 사랑도에서 피조개(*Scapharca broughtonii*) 치패의 살포시기와 양식장 환경에 따른 피조개의 성장과 생존율 감소 요인을 파악하였다. 피조개는 여자만과 가막만에서는 2004년 11월에 인공산 치패를 바닥식으로 살포하였으며, 사랑도에서는 2005년 3월초에 중국산과 국내산 치패를 바닥식으로 살포하였다. 살포된 피조개의 치패는 2005년 3월부터 12월까지 매월 성장과 생존율을 측정하였으며, 양식장의 수질(수온, 염분, DO, 영양염, Chl. *a*)과 퇴적물(산소투과 깊이, 미세산소분포, 강열감량과 COD) 환경을 조사하였다. 조사기간 동안 피조개의 누적 생존비는 가막만에서 가장 높았으며, 여자만에서는 대부분 폐사하였다. 피조개 개체의 성장은 여자만과 가막만에서 5월에 가장 빠른 것으로 나타났으며, 사랑도에서는 국내산이 중국산보다 빠른 성장을 보였다. 여자만에서 피조개의 높은 폐사(>65%)는 하계의 수온 상승, 저염분 수괴의 유입과 퇴적물의 낮은 DO 농도가 영향을 미치는 것으로 나타났다. 계절에 따른 가막만과 사랑도에서 피조개의 생존비는 영양염과 퇴적물의 COD 농도에 영향을 받는 것으로 나타났다. 피조개의 성장과 폐사는 양식장 환경과 살포시기에 따라 차이를 보였다.

감사의 글

이 연구는 국립수산물과학원(피조개 양식산업 복원화 연구, RP-06-ME-022)의 지원에 의해 수행되었습니다. 또한, 논문을 세심하게 검토해 주시고, 조언해 주신 익명의 심사위원님들께 진심으로 감사드립니다.

참고문헌

- Choi, S. D., Y. S. Kim, C. Y. Woo, Y. H. Lee, J. H. Jo, S. Y. Kim and K. J. Choe, 2000. Growth and survival rate of ark shells, *Scapharca broughtonii* cultured on hanging and bottom in Kamak Bay. Bull. Fish. Sci. Inst., Yosu Nat'l Univ., 9, 122-127.
- Chun, Y. Y., G. H. Na and E. J. Choi, 1991. Mass mortality of ark-shell, *Anadara broughtonii* SCHRENCK seedling with marine ecological characteristics. Bull. Kor. Fish. Soc., 24, 70-78.
- Chung, E. Y., Y. K. Shin and J. H. Lee, 1994. Effects of suspended sediment on metabolism of *Scapharca broughtonii*. Kor. J. Malacol., 10, 55-63.
- Folk, R. L., 1974. Petrology of Sedimentary Rocks. Hemphill, Austin, TX, pp. 21-52.
- Hwang, C. Y. and B. C. Cho, 2005. Measurement of net photosynthetic rates in intertidal flats of Ganghwa-gun and Incheon north harbour using oxygen microsensors. J. Kor. Soc. Oceanogr <The Sea>, 10, 31-37.

- Kim, J. D., S. C. Cheong and H. W. Kang, 1980. Studies on the artificial mass seed production of the Ark shell, *Anadara broughtonii* (SCHRENCK) (II)-on the intermediate culture of the artificial seed. Bull. Fish. Res. Dev. Agency, 25, 45-53.
- Kim, Y. and D. S. Yoon, 1980. On the spat collection of Ark shell, *Anadara broughtonii* SCHRENCK. I. Water depth for effective spat collection and effects of intermediate culture. Bull. Fish. Res. Dev. Agency, 23, 219-227.
- Kwon, W. S. and C. H. Cho, 1986. Culture of the Ark shell, *Anadara broughtonii* in Yoja Bay. Bull. Kor. Fish. Soc., 19, 375-379.
- Lee, J. S., K. H. Kim, J. Yoo, R. H. Jung and T. S. Ko., 2003. Estimation of oxygen consumption rate and organic carbon oxidation rate at the sediment/water interface of coastal sediments in the South Sea of Korea using an oxygen microsensor. J. Kor. Soc. Oceanogr. <The Sea>, 8, 392-400.
- MOMAF, 2005. Standard Methods of Marine Environment. 400 pp.
- Park, M. S., H. J. Lim and P. J. Kim, 1998. Effect of environmental factors on the growth, Glycogen and hemoglobin content of cultured Arkshell, *Scapharca broughtonii*. J. Kor. Fish. Soc., 31, 176-175.
- Park, M.S., C. Kang, and P. Lee, 2001. Reproductive cycle and biochemical composition of the ark shell *Scapharca broughtonii* (Schrenck) in a southern coast bay of Korea. J. Shellfish Research, 20, 51-59.
- Yoo, S. K. and K. Y. Park, 1978. Biological studies on arkshell culture. II. Growth of the arkshell, *Anadara broughtonii* Schrenck. Bull. Fish. Sci. Inst., Pusan Nat'l Fish. Univ., 18, 83-88.
- 라성주, 윤호섭, 김양섭, 이용환, 최상덕, 2001. 가막만에서 양식 피조개(*Scapharca broughtonii*)의 성장과 생존율, 2001년 춘계수산물관련 공동학술대회, 363 pp.
- 신윤경, 2005. 피조개 폐사에 미치는 해양환경의 영향. 패류양식산업발전을 위한 세미나, pp. 129-140.
- 오봉세, 2006. 남해안 패류양식 현황과 문제점. 패류양식산업발전을 위한 세미나, pp. 35-50.
- 윤호섭, 정형택, 박은주, 라성주, 최상덕, 2001. 고수온기 가막만 피조개(*Scapharca broughtonii*) 양식장 환경과 대량폐사, 2001년 춘계수산물관련 공동학술대회, 371 pp.

원고접수 : 2006년 9월 27일

수정본 수리 : 2006년 12월 27일