

서해안 바지락 양식장의 서식환경과 서식밀도의 변화

박광재, 송재희, 최윤석, 안경호

국립수산과학원 갯벌연구소

Changes in density and culture conditions of the Manila Clam *Ruditapes philippinarum* on the West coast of Korea

Kwang-Jae Park, Jae-Hee Song, Yoon-Seok Choi and Kyoung-Ho An

Tidal Flat Research Institute, NFRDI, Kunsan 573-882, Korea

ABSTRACT

Changes in density of manila clam, *Ruditapes philippinarum* to environment, catch and recruitment were studied in a few stations (Seonjae, Seongam, Hwangdo and Padori) in the West coast area of Korea from January, 2007 to December, 2009. Water temperature, salinity, dissolved oxygen and pH in the study stations were 0.8 to 31.2 °C, 22.1 to 33.7 psu, 5.0 to 12.0 mg/L and 7.39 to 8.99, respectively. The concentrations of dissolved inorganic nitrogen, phosphate and silicate were 0.016 to 1.281 mg/L, 0.004 to 0.093 mg/L and 0.016 to 1.617 mg/L, respectively. Chlorophyll-a ranged from 0.2 to 12.1 µg/L, respectively. Substrata were mainly composed of muddy sand and very poorly sorted in Padori, muddy sand and well sorted in Seonjae and Hwangdo, gravelly muddy sand and poorly sorted in Seongam. Density was high in Seonjae and Seongam, but low in Hwangdo and Padori. In clam culture station, in which spat was naturally produced without sowing seedlings, the living density was decreased by increasing of death and a catch of shellfish, and recruitment was changed. Also, Density affected condition factor and shape of clam. Condition factor was the highest in Hwangdo, in which temperature in the winter and chlorophyll-a were high, and was the lowest in Padori. In the shape of clam, the shape in Seongam was a elongated form, but in Padori was a stunted form.

Key words: Manila clam, *Ruditapes philippinarum*, Density, Environment, Catch, Recruitment

서 론

바지락 (*Ruditapes philippinarum*) 은 아시아의 한국, 중국, 일본 등을 비롯하여 유럽의 이탈리아, 스페인, 영국 등과 미국 북서 해안의 조간대에 널리 분포하는 종이다. 바지락은 담수의 영향을 받으면서 간출시간 3-4시간 되는 곳에서부터 수심 3-4m 사이인 조간대에 주로 분포하는 유용 양식 대상종으로서 양식은 경기도 연안의 간석지에서 1910년에 시작되었다고 보고되어 있으며, 본격적인 양식은 1980년대로 알려져

있다 (Park *et al.*, 2010b, 2011).

서해안은 조석 간만의 차가 커서 넓은 갯벌이 잘 발달되어 있어 여러 종류의 패류가 서식하고 있으며, 가장 중요한 품종이 바지락이다. 우리나라 바지락 생산량은 1990년에 74,581톤으로 최고치를 나타낸 후 간척사업과 방조제 건설로 인한 서식처 감소로 지속적으로 감소하여 2002년에 25,410톤였으며, 2006년에는 봄철 대량폐사로 21,886톤으로 최저치를 보인 후 2012년에는 25,028톤을 나타내고 있다 (Ministry of oceans and fisheries, 2013). 바지락의 생산량 감소는 대규모 간척과 매립사업으로 인한 패류 서식장의 축소를 비롯하여 양식어장의 오염, 기생충 감염 (Park *et al.*, 1999; Park and Choi, 2001), 기후변화로 인한 대량폐사 (Park *et al.*, 2010c; Park *et al.*, 2013a) 때문으로 알려져 있다.

바지락에 관해서는 Choi *et al.* (2000) 와 Lee *et al.* (1999) 의 서식환경, 양식장 저질의 특성 (Cho *et al.*, 2001), 성장과 생식 (Robert *et al.*, 1993), 형태적 변이 (Kim, 1978; Yoo *et al.*, 1978; Kwon *et al.*, 1999), 유전적 구조 (An *et al.*, 2012),

Received: August 25, 2013; Accepted: September 28, 2013
Corresponding author : Kwang-Jae Park
Tel: +82 (63) 467-4350 e-mail: kparksea@korea.kr
1225-3480/24488

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.

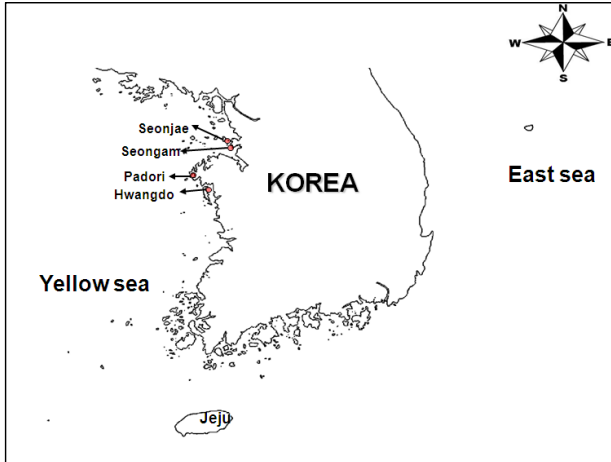


Fig. 1. Location of sampling stations in Seonjae, Seongam, Hwangdo and Padori.

Lee *et al.* (1996), Kang *et al.* (2000) 와 Park *et al.* (2010a) 의 양식밀도에 따른 성장 및 비만, 생존의 차이, 굴 폐각 저질개선 (Park *et al.*, 2011) 에 관한 선행 연구들이 있다. 바지락 양식장의 서식환경과 서식밀도, 성장의 변화에 대한 정보는 바지락 양식에서 필수적인 요소이지만 단기적인 연구가 대부분으로 장기적으로 조사한 연구사례가 많지 않다. 따라서 본 연구에서는 종패가 자연적으로 가입되어 인위적으로 씨뿌림을 하지 않는 4개 바지락 양식장에서 어떤 요인이 서식밀도를 변화시키는가를 파악하기 위하여 3년 동안 수질환경과 저질환경을 조사하고 바지락의 서식밀도를 조사하였다.

재료 및 방법

서해안의 주요한 바지락 양식장의 서식밀도의 변화를 조사하기 위하여 인천 지역에서 웅진군 선재, 경기 지역에서 안산시 선갑과 충청지역에서 태안군 황도와 파도리의 4개 지역을 선정하여 2007년 1월부터 2009년 12월까지 매월 수질과 저질의 서식환경, 바지락의 서식밀도와 성장을 조사하였다 (Fig. 1).

수질 환경을 파악하기 위하여 수온, 염분, 수소이온농도 (pH), 용존산소량 (DO) 은 다항목수질측정기 (Hydrolab MS 5, USA) 를 이용하여 현장에서 직접 측정하였으며, 질소, 인, 규소, Chlorophyll-a의 농도는 해양환경공정시험기준 (Ministry of land, transport and maritime affairs, 2010) 에 따라 분석하였다.

퇴적물 입도분석은 퇴적물 시료에 유기물이 완전히 제거될 때까지 10% 과산화수소를 첨가하였으며, 잔류하는 과산화수소수는 100℃ 이상으로 가열하여 증발시킨 후 3회 이상 증류수로 희석하여 퇴적물 내의 염분을 제거하였다. 처리된 시료는 63 μm의 표준체로 거른 후, 체에 걸린 사질 퇴적물은 건조하

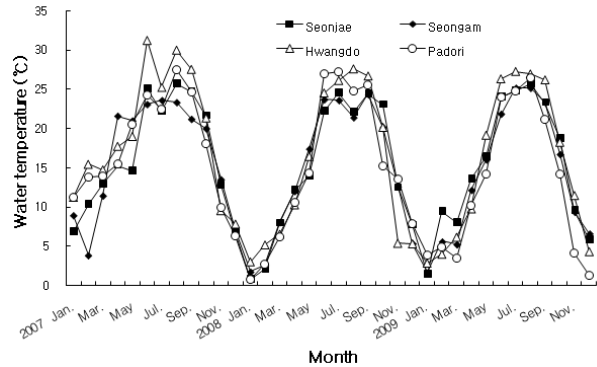


Fig. 2. Monthly variations of water temperature in the west coast of Korea.

여 표준체로 분리하여 중량을 측정하였다 (Ingram, 1971). 63 μm의 표준체를 통과한 니질 퇴적물은 확산제 (Sodium hexametaphosphate) 를 0.5% 첨가한 후 자동입도분석기 (sedi-graph 5100) 로 분석하였다. 또한, 각 입도구간별로 측정된 자료는 통계 처리하여 평균 입도와 분급도를 계산하였으며, Folk (1968) 의 분류에 따라 퇴적물의 종류를 결정하였다. 퇴적물 환경을 파악하기 위하여 산취발성황화물 (AVS), 화학적산소요구량 (COD), 강열감량 (IL), 함수율은 해양환경공정 시험기준 (Ministry of land, transport and maritime affairs, 2010) 에 따라 분석하였다.

서식밀도는 조사지역에서 50 × 50 cm (0.25 m²) 방형구를 이용하여 표층부터 바지락이 서식하지 않는 층까지 퇴적물과 바지락을 채집하여 5 mm 체로 걸러서 3회 반복하여 바지락만을 채집한 후 평균 서식밀도를 산정하였다. 채집된 바지락은 냉장 상태로 실험실로 옮긴 후 버니어캘리퍼스를 이용하여 각장, 각고, 각폭을 0.01 mm 단위까지 측정하였으며, 전중량을 측정한 후 육중량은 개각하여 습중량으로, 패각 중량은 상온에서 건조시킨 후 전자저울로 0.1 g까지 측정하였다. 이것으로부터 비만도지수 (Condition Index) 를 다음과 같은 식으로 산출하였다. 비만도 (CI) = 체조직습중량 / 패각 건중량을 사용하였다. 또한 바지락의 형태적 특성을 파악하기 위하여 각폭 / 각장 × 100이 50보다 작으면 장형, 50이상은 단형으로 구분하였다 (Choi, 1965).

결 과

서해안 바지락 양식장 4개소의 3년간 수질환경 조사에서 수온은 겨울에 낮고 여름에 높게 나타났으며, 지역별로는 황도가 높고 파도리가 낮은 경향을 보였다 (Fig. 2). 최저 수온은 2008년 1월 파도리에서 0.8 °C였으며, 최고 수온은 2007년 6월 황도에서 31.2 °C로 나타났다. 염분은 수온과는 반대로 겨울에 높고 여름에 낮은 경향을 보였다 (Fig. 3). 최저 염분은

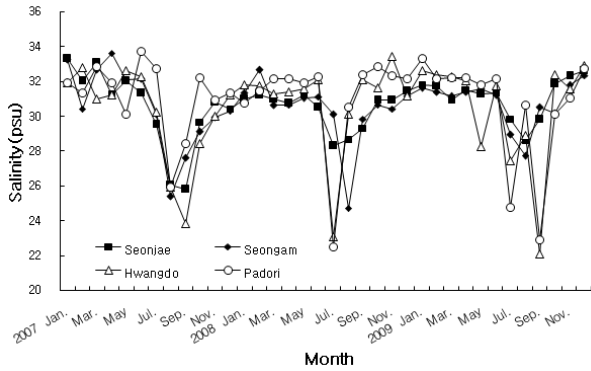


Fig. 3. Monthly variations of salinity in the west coast of Korea.

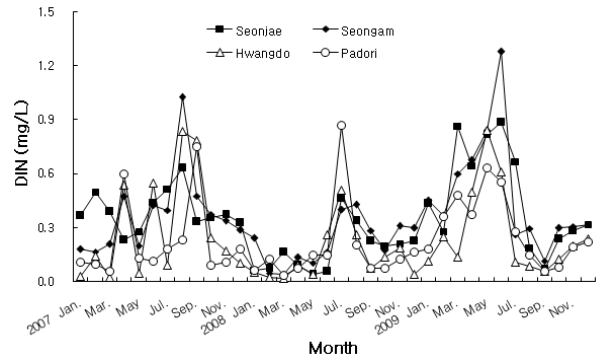


Fig. 6. Monthly variations of DIN in the west coast of Korea.

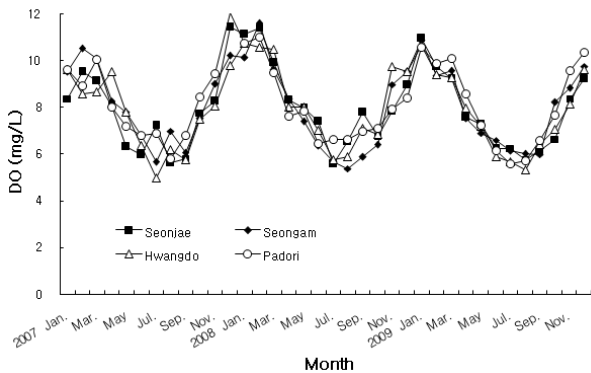


Fig. 4. Monthly variations of DO in the west coast of Korea.

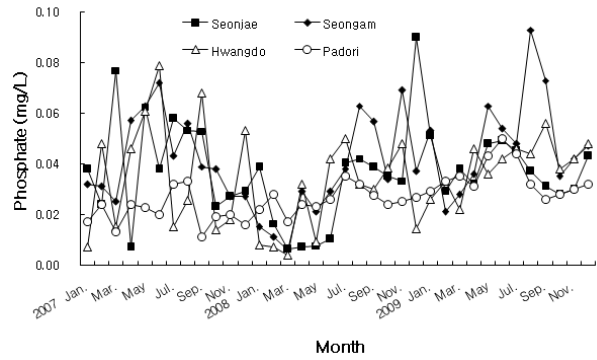


Fig. 7. Monthly variations of phosphate in the west coast of Korea.

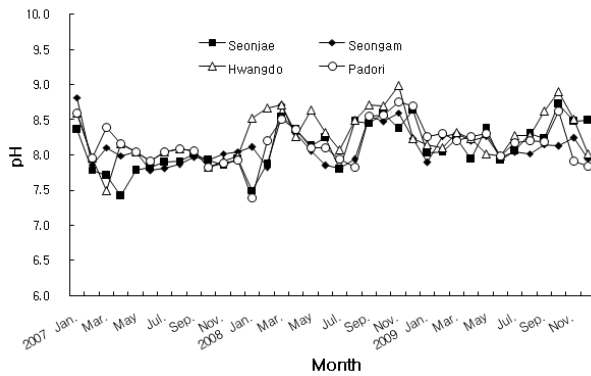


Fig. 5. Monthly variations of pH in the west coast of Korea.

2009년 9월 황도에서 22.1 psu였으며, 최고 염분은 2007년 6월 파도리에서 33.7 psu로 나타났다. 용존산소는 염분과 유사하게 겨울에 높고 여름에 낮은 경향을 보였다 (Fig. 4). 최저 용존산소는 2007년 6월 황도에서 5.0 mg/L였으며, 최고 용존산소는 2007년 12월 파도리에서 12.0 mg/L로 나타났다. 최저 pH는 2008년 1월 파도리에서 7.39였으며, 최고 pH는 2008년 11월 황도에서 8.99로 나타났다 (Fig. 5).

용존무기질소 (DIN) 는 겨울에 낮고 여름에 높은 경향을 보였다 (Fig. 6). 최저 용존무기질소는 2008년 3월 황도에서 0.016 mg/L였으며, 최고 용존무기질소는 2009년 6월 선감에서 1.281 mg/L로 나타났다. 인산염 (phosphate) 과 규산염 (silicate) 은 용존무기질소와 유사하게 겨울에 낮고 여름에 높은 경향을 보였다. 최저 인산염은 2008년 3월 황도에서 0.004 mg/L였으며, 최고 인산염은 2009년 8월 선감에서 0.093 mg/L로 나타났다 (Fig. 7). 최저 규산염은 2008년 2월 황도에서 0.016 mg/L였으며, 최고 규산염은 2009년 8월 선감에서 1.617 mg/L로 나타났다 (Fig. 8). 최저 클로로필은 2008년 12월 선감에서 0.16 $\mu\text{g/L}$ 였으며, 최고 클로로필은 2007년 1월 황도에서 12.13 $\mu\text{g/L}$ 로 나타났다 (Fig. 9).

서해안 바지락 양식장 4개소의 3년간 퇴적환경 조사에서 선재와 선감, 파도리는 역니질사로 나타났으며, 황도는 사질로 나타났다 (Table 1). 입도분석 결과 평균 입도는 경기 선감에서 1.0 ± 0.4 로 가장 컸으며, 황도는 2.2 ± 0.4 , 선재는 2.5 ± 1.1 , 파도리에서 4.0 ± 0.7 로 가장 작았다 (Fig. 10). 분급도는 충남 파도리에서 3.3 ± 0.6 으로 분급이 불량하였으며, 선감은

서해안 바지락 양식장의 서식환경과 서식밀도의 변화

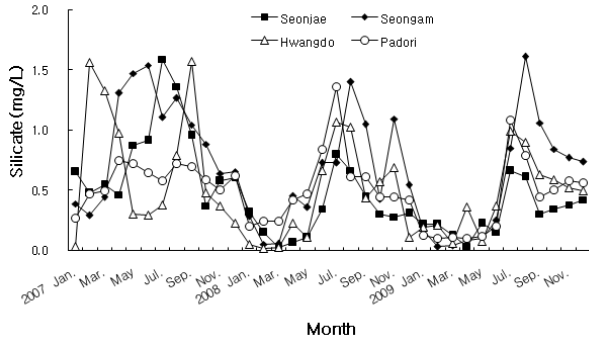


Fig. 8. Monthly variations of silicate in the west coast of Korea.

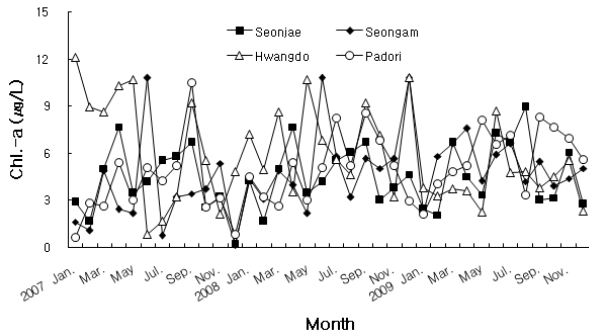


Fig. 9. Monthly variations of chlorophyll-a in the west coast of Korea.

2.7 ± 0.6 , 선재는 2.4 ± 0.5 , 황도에서는 2.2 ± 0.5 로 분급이 양호한 것으로 나타났다 (Fig. 11).

바지락 양식장 4개소의 저질환경 조사에서 황화물 (AVS) 은 겨울에 낮고 여름에 높은 경향을 보였다 (Fig. 12). 최저 황화물은 2009년 2-4월에 선감과 2009년 1월과 3월에 황도에서 0.000 mg/gdry 였으며, 최고 황화물은 2007년 8월 파도리에서 0.184 mg/gdry 로 나타났다. 지역별로는 선감이 평균 0.012 mg/gdry 로 가장 낮았으며, 선재는 0.029 mg/gdry , 황도는 0.033 mg/gdry 였고, 파도리가 0.058 mg/gdry 로 가장 높게 나타났다.

퇴적물의 화학적산소요구량 (COD) 은 겨울에 낮고 여름에 높은 경향을 보였다 (Fig. 13). 최저 화학적산소요구량은 2009년 5월에 선감에서 2.323 mg/gdry 였으며, 최고 화학적산소요

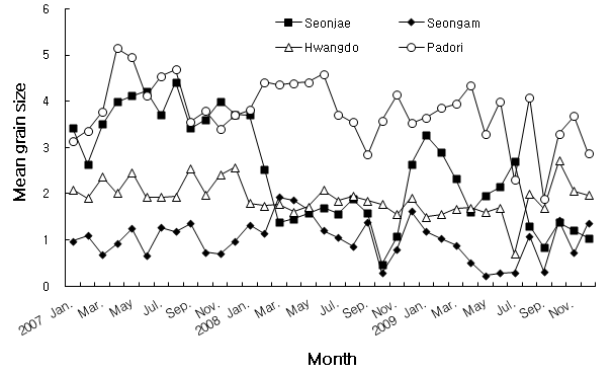


Fig. 10. Monthly variations of mean grain size in sediments in the west coast of Korea.

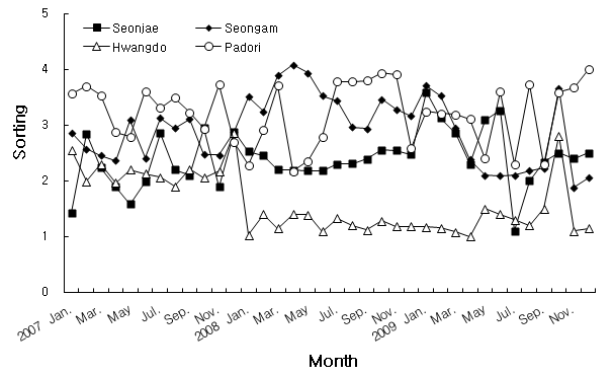


Fig. 11. Monthly variations of sorting in sediments in the west coast of Korea.

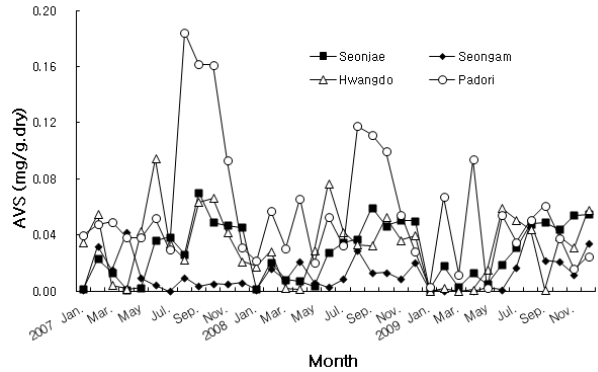


Fig. 12. Monthly variations of AVS in sediments in the west coast of Korea.

Table 1. Results of grain size analysis at manila clam beds in the west coast of Korea

Area	Mean grain size (ϕ)	Mean sorting (ϕ)	Type
Seonjae	2.5 ± 1.1	2.4 ± 0.5	gmS
Seongam	1.0 ± 0.4	2.7 ± 0.6	gmS
Hwangdo	2.2 ± 0.4	2.2 ± 0.5	S
Padori	4.0 ± 0.7	3.3 ± 0.6	gmS

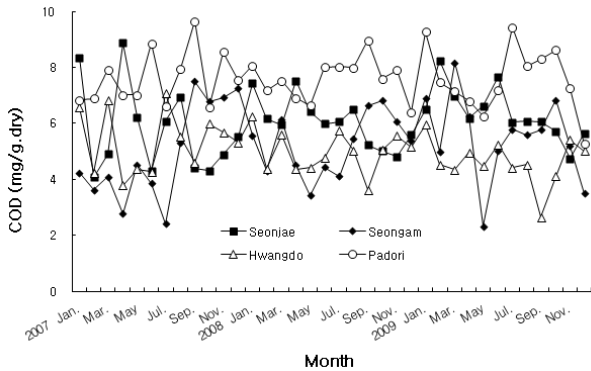


Fig. 13. Monthly variations of COD in sediments in the west coast of Korea.

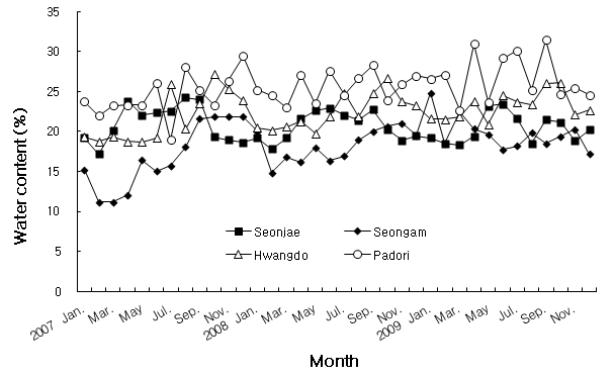


Fig. 15. Monthly variations of water content in sediments in the west coast of Korea.

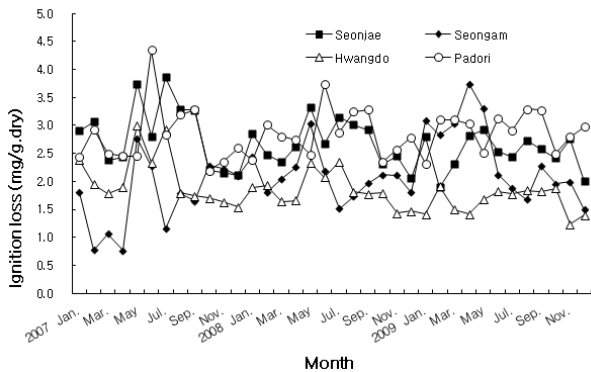


Fig. 14. Monthly variations of ignition loss in sediments in the west coast of Korea.

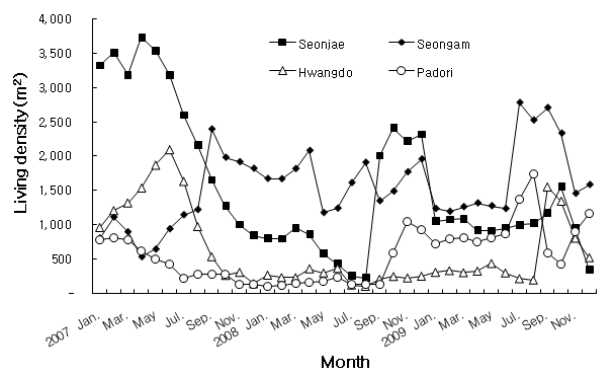


Fig. 16. Monthly variations of living density in Seonjae, Seongam, Hwangdo and Padori in the west coast of Korea.

구량은 2007년 9월 파도리에서 9.648 mg/g-dry로 나타났다. 지역별로는 황도에서 평균 4.998 mg/g-dry로 가장 낮았으며, 선감이 5.241 mg/g-dry, 선재는 6.060 mg/g-dry였고, 파도리가 7.606 mg/g-dry로 가장 높게 나타났다.

퇴적물의 강열감량 (IL) 은 겨울에 낮고 여름에 높은 경향을 보였다 (Fig. 14). 최저 강열감량은 2007년 4월에 선감에서 0.770 mg/g-dry였으며, 최고 강열감량은 2007년 6월 파도리에서 4.346 mg/g-dry로 나타났다. 지역별로는 황도에서 평균 1.850 mg/g-dry로 가장 낮았으며, 선감이 2.086 mg/g-dry, 선재는 2.684 mg/g-dry였고, 파도리가 2.857 mg/g-dry로 가장 높게 나타났다.

퇴적물에서 최저 함수율은 2007년 2월에 선감에서 11.1%였으며, 최고 함수율은 2009년 9월 파도리에서 31.5%로 나타났다 (Fig. 15). 지역별로는 선감에서 평균 18.3%로 가장 낮았으며, 선재는 20.7%, 황도에서 22.4%였고, 파도리가 25.6%로 가장 높게 나타났다.

서해안 바지락 양식장 4개소에서 3년간 매월 실시한 평균 서식밀도는 선재에서 1,825 ind./m²로 가장 많았으며, 선감은

1,468 ind./m², 황도는 660 ind./m²였으며, 파도리에서 378 ind./m²로 가장 적었다 (Fig. 16). 인천 선재는 2007년 4월에 3,732 ind./m²로 서식밀도가 가장 높았으나 지속적인 어획으로 2007년 12월에는 840 ind./m²으로 감소하였으며, 겨울철에는 어획이 없어 유지되었다가 2008년 4월에 860 ind./m²에서 지속적인 어획으로 8월에는 220 ind./m²으로 서식밀도가 가장 낮았다. 이후 2008년 9월에는 가입으로 인하여 2,004 ind./m²로 급격히 증가하였으며 12월에는 2,316 ind./m²까지 증가하였다가 어획으로 2009년 1월에는 1,052 ind./m²로 감소하였다. 2009년에는 어획을 하지 않아 10월에 1,553 ind./m²으로 증가하였다가 어획으로 12월에는 344 ind./m²로 감소하였다. 경기 선감은 2007년 3월에 900 ind./m²에서 4월에 봄철 폐사로 서식밀도가 가장 낮은 536 ind./m²을 나타내었다. 이후 가입에 의하여 점차 증가하여 9월부터 2008년 4월까지 2,000 ind./m² 내외의 서식밀도를 보였다. 2008년 4월에 봄철 폐사로 일시 감소하였다가 가입에 의하여 점차 증가하여 9월부터 2009년 4월까지 1,500 ind./m² 내외의 서식밀도

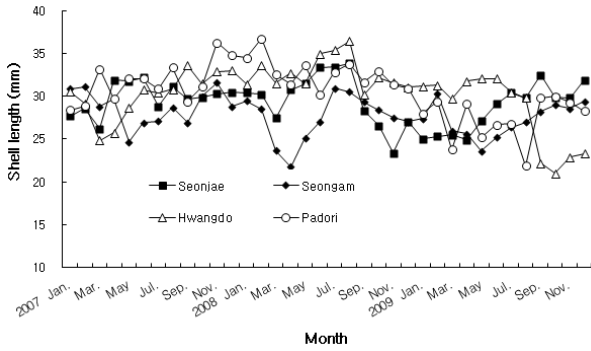


Fig. 17. Monthly variations of shell length in the west coast of Korea. Shell growth of Manila clam observed in Seonjae, Seongam, Hwangdo and Padori tidal flats.

를 보였다. 2009년 7월에는 가입에 의하여 2,782 ind./m²로 서식밀도가 가장 높았으며 어획에 의하여 11월에 1,460 ind./m²으로 감소하였다. 충남 황도는 2007년 1월에 924 ind./m²에서 가입에 의하여 점차 증가하여 6월에 2,092 ind./m²로 서식밀도가 가장 높았으나 가을철 지속적인 폐사로 2007년 12월에는 148 ind./m²로 감소하였다. 2008년에는 300 ind./m² 내외를 유지하다가 7월 어획에 의하여 8월에는 108 ind./m²로 서식밀도가 가장 낮았다가 이후 가입으로 인하여 2009년 5월에 440 ind./m²까지 증가하였다. 이후 어획에 의하여 2009년 8월에 200 ind./m²까지 감소하였다가 9월에 가입으로 인하여 1,552 ind./m²로 급격히 증가하였으며 어획으로 2009년 12월에는 524 ind./m²로 감소하였다. 충남 파도리는 2007년 2월에 816 ind./m²에서 지속적인 어획의 영향으로 2008년 1월 서식밀도가 가장 낮은 96 ind./m²을 나타내었다. 이후 150 ind./m² 내외를 유지하다가 가입에 의하여 점차 증가하여 2008년 11월부터 2009년 6월까지 1,000 ind./m² 내외의 서식밀도를 보였다. 2009년 7월에 일시적인 축양으로 서식밀도가 높아졌으나 어획으로 인하여 429 ind./m²까지 감소하였다가 가입으로 인하여 2009년 12월 1,160 ind./m²으로 증가하였다.

서해안 바지락 양식장 4개소에서 3년간 바지락의 각장 평균은 파도리에서 30.6 mm로 가장 컸으며, 황도는 30.3 mm, 선재는 29.3 mm였으며, 선감에서 27.8 mm로 가장 작았다 (Fig. 17). 전중량 평균은 각장 평균과 유사하게 파도리에서 6.3 g으로 가장 컸으며, 황도는 5.9 g, 선재는 5.3 g였으며, 선감에서 4.5 g으로 가장 작았다 (Fig. 18). 매월 측정된 바지락의 평균 각장에서 2008년 2월에 파도리에서 36.8 mm로 가장 컸으며, 2009년 10월에 황도에서 21.0 mm로 가장 작았다. 평균 전중량에서는 2008년 2월에 파도리에서 10.9 g으로 가장 컸으며, 2009년 8월에 파도리에서 2.1 g으로 가장 작았다.

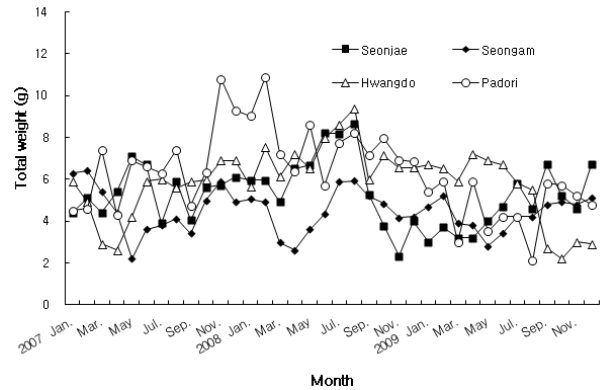


Fig. 18. Monthly variations of total weight in Manila clam recorded at Seonjae, Seongam, Hwangdo and Padori in the west coast of Korea.

인천 선재 바지락의 평균 각장은 2007년 1월부터 2008년 8월까지 27.5 mm부터 33.9 mm로 나타났으나 2008년 9월부터 종패의 대량가입으로 2009년 1월에 25.0 mm까지 감소하였다가 성장에 의하여 증가하는 양상을 보였다. 평균 중량은 평균 각장과 유사하게 2007년 1월부터 2008년 8월까지 4.0 g부터 8.7 g으로 나타났으나 2008년 9월부터 종패의 대량가입으로 2009년 1월에 3.0 g까지 감소하였다가 성장에 의하여 증가하는 양상을 보였다. 경기 선감 바지락의 평균 각장은 2007년 1월부터 4월까지 29.7 mm부터 31.1 mm로 나타났으나 4월에 발생한 폐사로 24.7 mm로 감소하였다가 이후 31.6 mm까지 성장하였으며, 2008년 4월에 발생한 폐사로 21.8 mm로 감소하였다가 30.3 mm까지 성장하였다. 2009년 4월에 발생한 폐사로 23.6 mm로 감소하였다가 29.4 mm까지 성장하였다. 평균 중량은 평균 각장과 유사하게 2007년 1월부터 4월까지 4.4 g부터 6.3 g으로 나타났으나 4월에 발생한 폐사로 2.2 g으로 감소하였다가 이후 5.9 g까지 성장하였으며, 2008년 4월에 발생한 폐사로 2.6 g으로 감소하였다가 5.9 g까지 성장하였다. 2009년 4월에 발생한 폐사로 2.8 g으로 감소하였다가 5.1 g mm까지 성장하였다. 충남 황도 바지락의 평균 각장은 2007년 1월부터 2008년 8월까지 24.9 mm부터 36.5 mm로 나타났으나 2008년 9월에 발생한 폐사로 30.2 mm로 감소하였다가 이후 32.1 mm까지 성장하였으며, 2009년 9월에 종패의 대량 가입으로 21.0 mm로 감소하였다가 23.3 mm까지 성장하였다. 평균 중량은 평균 각장과 유사하게 2007년 1월부터 2008년 8월까지 2.6 g부터 9.4 g으로 나타났으나 2008년 9월에 발생한 폐사로 6.0 g으로 감소하였다가 이후 7.2 g까지 성장하였으며, 2009년 9월에 종패의 대량 가입으로 2.2 g으로 감소하였다가 2.9 g까지 성장하였다. 충남 파도리 바지락의 평균 각장은 2007년 1월부터 2008년 10월까지 28.4 mm부터 36.8 mm로 나타났으나 2008년 10월부터 종패의 대량 가입

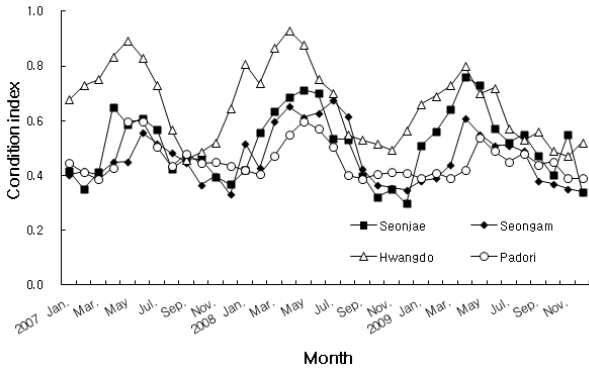


Fig. 19. Monthly mean condition index of Manila clam recorded at Seonjae, Seongam, Hwangdo and Padori in the west coast of Korea.

로 21.9 mm로 감소하였다가 28.3 mm까지 성장하였다. 평균 중량은 평균 각장과 유사하게 2007년 1월부터 2008년 10월까지 4.3 g부터 10.9 g으로 나타났으나 2008년 10월부터 종패의 대량 가입으로 2.1 g으로 감소하였다가 4.8 g까지 성장하였다.

서해안 바지락 양식장 4개소에서 바지락 비만도지수 (Condition index) 의 3년간 평균은 황도에서 0.69로 가장 높았으며, 선감은 0.52, 선재는 0.51였으며, 파도리에서 0.46으로 가장 낮았다 (Fig. 19). 바지락의 비만도지수는 여름에 높고 겨울에 낮은 경향을 보였으며, 2008년 4월에 황도에서 0.93으로 가장 컸으며, 2008년 12월에 선재에서 0.30으로 가장 작았다.

인천 선재의 바지락 비만도지수는 2007년 1월부터 3월까지 0.35-0.42였으며, 4월부터 7월까지 0.57-0.65로 증가하였다가 8월부터 2008년 1월까지 0.37-0.46으로 감소하였다. 2008년 2월부터 8월까지 0.53-0.71였으며 5월과 6월에 높게 나타났으며, 9월부터 12월까지 0.30-0.40으로 낮게 나타났다. 2009년에는 1월부터 8월까지 0.51-0.76였으며 4월과 5월에 높게 나타났으며, 9월부터 12월까지 0.34-0.55로 낮게 나타났다. 경기 선감의 바지락 비만도지수는 2007년 1월부터 5월까지 0.40-0.45였으며, 6월부터 7월까지 0.52-0.56으로 증가하였다가 8월부터 2008년 2월까지 0.33-0.52로 감소하였다. 2008년 2월부터 8월까지는 0.53-0.71였으며 5월과 6월에 높게 나타났으며, 9월부터 12월까지 0.30-0.40으로 낮게 나타났다. 2009년에는 1월부터 8월까지 0.51-0.76였으며 4월과 5월에 높게 나타났으며, 9월부터 12월까지 0.34-0.55로 낮게 나타났다. 충남 황도의 바지락 비만도지수는 2007년 1월부터 7월까지 0.68-0.89로 높았으며, 8월부터 12월까지는 0.46-0.64로 낮게 나타났다. 2008년에는 1월부터 7월까지 0.70-0.93으로 높았으며, 8월부터 12월까지는 0.49-0.56으로 낮게 나타났다. 2009년에는 1월부터 6월까지 0.66-0.80으로 높았으며, 8

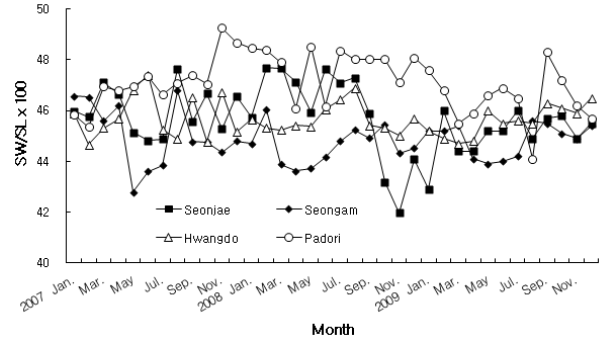


Fig. 20. Distribution of the shell width/shell length in the west coast of Korea.

월부터 12월까지 0.47-0.57로 낮게 나타났다. 충남 파도리의 바지락 비만도지수는 2007년 1월부터 4월까지 0.39-0.45였으며, 5월부터 7월까지 0.50-0.60으로 증가하였다가 8월부터 2008년 3월까지 0.41-0.48로 감소하였다. 2008년 4월부터 7월까지 0.51-0.60였으며 5월과 6월에 높게 나타났으며, 8월부터 2009년 4월까지 0.39-0.42로 낮게 나타났다. 2009년에는 5월에만 0.54로 높게 나타났으며, 6월부터 12월까지 0.39-0.49로 낮게 나타났다.

서해안 바지락 양식장 4개소의 바지락의 형태에서 3년간 평균은 선감에서 44.8로 가장 장형이었으며, 선재와 황도는 45.7, 파도리는 47.1로 가장 단형에 가까웠다 (Fig. 20). 조사 기간 동안 2008년 11월에 선재에서 42.0으로 가장 장형이었으며, 2007년 11월에 파도리에서 49.3으로 가장 단형이었다.

고 찰

본 연구에서 종패가 자연적으로 가입되어 인위적으로 씨뿌림을 하지 않는 4개 바지락 양식장에서 어떤 요인이 서식밀도를 변화시키는가를 파악하기 위하여 3년 동안 수질환경을 조사한 결과 여름철 충남 황도지역에서 다른 지역과 비교하여 고수온, 저염분, 낮은 용존산소를 제외하고 다른 지역과 다른 계절에는 폐사에 영향을 미칠 수 있는 환경요인이 관찰되지 않았다. 황도 지역은 봄철에는 폐사가 없었으나 여름철에 바지락의 대량폐사가 반복적으로 일어나는 지역으로 이러한 환경요인이 바지락의 폐사에 영향을 미치는 것으로 판단된다. 바지락은 주로 갯벌에 서식하므로 온도와 염분의 변화에 강한 것으로 알려져 있으나, 고수온과 저염분의 복합적인 영향이 바지락의 생존, 성장 및 생식 등에 주요한 영향을 미친다고 하였다 (Shin et al., 2000). 본 연구에서 2007년 7월부터 10월까지 황도의 폐사율은 7월에 6.4%, 8월에 11.6%, 9월에 48.9%, 10월에 19.3%로 누적 폐사율이 86.2%로 대량폐사가 발생하였으며, 서식밀도에서도 2007년 6월에 2,092 ind./m²에서 폐사의 결

과로 10월에 268 ind./m²로 감소하였다. 이때 수온은 8월에 30.0 °C, 9월에 27.5 °C의 고수온이 나타났으며, 염분은 8월에 25.9 psu, 9월에 23.8 psu로 저염분이 나타났다. 황도가 위치한 천수만의 안쪽은 서산 AB지구의 담수방류로 인하여 저염분 현상이 자주 관찰되는 지역으로 본 연구에서 1개월만에 측정된 염분보다는 낮은 시기가 더 있었을 것으로 판단되며, 실제로 2010년 9월에 18.4 psu가 측정되기도 하였다 (unpublished data).

바지락은 수온, 생리상태 등에 따라서 다르지만 치사 용존산소량은 대략 1 mg/L이며 (Kasuya, 2005), 빈산소수는 바지락 부유유생의 생존에 영향을 미쳐 저서로 가입되는 유생을 감소시키고 이러한 결과가 일본의 동경만과 아리아게만 바지락 자원의 감소를 가져왔다고 하였다 (Toba *et al.*, 2008; Sekiguchi and Ishii, 2003). 본 연구에서 산란기인 2007년 7월 황도에서 용존산소는 5.0 mg/L으로 낮게 나타났으며, 2008년에 바지락의 가입이 매우 적은 것으로 나타났다. 따라서 우리나라에서도 빈산소 수괴 발생에 따른 패류 유생의 생존을 비롯한 가입에 대한 연구가 필요할 것으로 판단된다.

Park *et al.*, (2010b) 은 경기만에서 클로로필-a는 겨울철에 낮았다가 봄철과 여름철에 높았으며 가을철에 감소하는 경향을 보였으며, 부유성 입자물질이 이상적으로 높은 시기에 높은 이유는 저질에 있던 저서미세조류가 부유되어 많이 채집되었기 때문이라고 하였다. 본 연구에서도 일반 수질조사 결과보다 높은 수치가 관찰되었는데 이러한 결과는 바지락 양식장이 50 cm로 노출되었을 때 채수를 하여 저질에 서식하는 저서미세조류 (Microphytobenthos) 가 부유되어 클로로필-a가 측정되었기 때문으로 판단된다. 클로로필-a는 해역 자생 유기물질 중의 하나인 식물성플랑크톤의 간접적인 양을 나타내므로 (Park *et al.*, 2013b), 향후 바지락의 먹이가 되는 식물성플랑크톤을 비롯하여 저서미세조류에 대한 많은 연구가 필요할 것으로 생각된다.

본 연구에서 바지락 양식장 4개소의 저질환경 조사에서 퇴적물의 황화물과 화학적산소요구량, 강열감량은 겨울에 낮고 여름에 높은 경향을 보였다. Park *et al.*, (2010b) 의 경기만에서는 1년간 조사로 계절변화가 잘 나타나지 않았으나 3년간을 조사한 본 연구에서는 계절적인 변화 양상을 파악할 수 있었다. 바지락 양식장의 저질환경 조사에서 충남 파도리에서 황화물, 화학적산소요구량, 강열감량, 함수율이 다른 지역과 비교하여 높게 나타났다. 파도리의 퇴적물 형태는 선재와 선감과 같은 역니질사였으나 평균입자의 크기가 가장 작고 분급도도 가장 불량한 것으로 나타났으며, 다른 곳보다 니질이 많이 쌓였기 때문으로 판단된다.

바지락 종패가 자연적으로 가입되는 본 연구의 서해안 바지락 양식장 4개소의 3년간 입도분석 결과 평균 입자의 크기는

경기 선감에서 1.0 ϕ 로 가장 컸으며, 황도는 2.2 ϕ , 선재는 2.5 ϕ , 파도리에서 4.0 ϕ 로 가장 작았다. 평균 분급도는 충남 파도리에서 3.3 ϕ 로 분급이 불량하였으며, 선감은 2.7 ϕ , 선재는 2.4 ϕ , 황도에서는 2.2 ϕ 로 분급이 양호한 것으로 나타났다. 바지락 종패가 자연적으로 가입되지 않는 경기만의 바지락 양식장 4개소의 1년간 입도분석 결과 평균 입자의 크기는 인천 내리가 0.7 ϕ 로 가장 크고 인천 외리와 경기 종현은 3.8 ϕ 이었으며, 백미리는 4.9 ϕ 로 가장 작았다. 평균 분급도는 내리에서 3.3 ϕ 로 가장 크고 백미리는 2.5 ϕ 였으며, 외리와 종현은 1.5 ϕ 내외로 작게 나타났다 (Park *et al.*, 2010b). 위의 두 결과에서 바지락 종패가 많이 생산되는 지역은 평균 입자의 크기가 1.0-4.0 ϕ , 평균 분급도는 2.2-3.3 ϕ 였으며, 바지락 종패가 적게 생산되는 지역은 평균 입자의 크기가 0.7-4.9 ϕ , 평균 분급도는 1.5-3.3 ϕ 로 나타났다. 바지락 종패가 생산되는 지역의 퇴적물 조건은 평균입도가 너무 작거나 크지 않고, 분급은 큰 입자부터 작은 입자까지 골고루 섞여 있어 불량하여야 한다. 이런 퇴적물 조건에 와류가 형성되어 바지락의 부유유생이 착저하면 종패는 많이 생산될 것으로 판단된다.

본 연구에서 서해안 바지락 양식장 4개소의 3년간 평균 서식밀도는 선재에서 1,825 ind./m², 선감은 1,468 ind./m², 황도는 660 ind./m²였으며, 파도리에서 378 ind./m²로 높은 것으로 나타났다. 그러나 경기만 4개소의 1년간 평균 서식밀도는 외리에서 347 ind./m², 백미리에서 221 ind./m²로 조금 높았으나 이것도 씨뿌림에 의한 것으로 나타났으며, 종현은 114 ind./m², 내리는 99 ind./m²로 낮은 것으로 나타났다 (Park *et al.*, 2010b). 본 연구에서 서해안 바지락 양식장 4개소는 자연적으로 종패가 많이 생산되는 곳으로 서식밀도는 바지락 종패의 가입량과 어획, 폐사에 따라 영향을 받았으며, 경기만 바지락 양식장 4개소는 자연적으로 종패가 생산되지 않거나 소량 생산되는 곳으로 서식밀도는 가입량, 씨뿌림과 어획, 폐사에 의하여 영향을 받았다 (Park *et al.*, 2010b). Lee *et al.* (1999) 은 지역에 따라 차이가 있으나 바지락의 서식에 적합한 퇴적물은 사질 니토나 역사질 니토이며 분급이 매우 불량한 퇴적물에서 바지락의 서식량이 많을 것이라 하였다. 본 연구결과에서 바지락 양식장의 서식밀도는 저질의 조성이 적당하고 분급이 불량한 양식장에서 종패의 가입이 많아 증가하였으며, 어획과 폐사에 의하여 서식밀도는 감소하는 것으로 나타났다.

본 연구에서 서해안 바지락 양식장 4개소는 자연적으로 종패가 많이 생산되는 곳으로 서식밀도가 높으면 인위적인 어획에 의하여 감소되었으며, 서식밀도가 감소되면 자연적인 종패가 가입되어 서식밀도가 다시 유지되는 현상을 나타내는 좋은 어장으로 나타났다. 어장의 서식밀도는 저질 조성, 분급도를 비롯하여 먹이의 양, 노출시간, 유생착저 환경 등에 의하여 정해져 있는 것으로 생각된다. 그러나 종패의 가입에 의한 서식밀

도의 회복은 처음 상태보다는 점차적으로 감소하는 경향을 보였다. 이러한 이유는 모패 산란군에 대한 어획의 과도, 산란 유생의 감소, 착저 유생 가입의 감소, 종패의 생존율 감소, 폐사에 의한 자원량 감소 및 어장환경의 오염, 서식처 경쟁생물의 이상적인 번식 등을 들 수 있다. 본 연구에서 조사가 이루어진 4개의 바지락 양식장은 서해안의 대표되는 양식장으로 인천 선재와 경기 선감은 2010년에 쪽이 대량으로 번식하여 바지락 자원량이 급격히 감소하였으며, 충남의 황도와 파도리는 쪽의 서식이 적어 바지락 양식장의 생산성을 유지하고 있다. 쪽의 발생으로 인한 바지락 양식장의 축소는 어업인의 소득에 큰 영향을 미치므로 쪽에 대한 다양한 연구가 필요하다.

서해안 바지락 양식장 4개소에서 바지락 비만도지수의 3년간 평균은 황도에서 0.69로 가장 높았으며, 선감은 0.52, 선재는 0.51였으며, 파도리에서 0.46으로 가장 낮았다. 바지락과 같은 이매패류는 산란기에 비만도의 값이 급격히 변화하는 것으로 알려져 있다 (Won and Hur, 1993). 바지락의 성숙상태는 먹이의 종류와 양, 염분, 수온 및 조석 등의 외부 환경요인에 좌우된다. 따라서 바지락의 생산성을 향상시키기 위하여 비만도가 낮은 바지락을 비만도가 높은 바지락으로 양식하는 기술개발이 필요하다.

요 약

서해안 4개 지역 바지락 양식장의 저질조성에 따른 바지락 형태적 특성에 관하여 조사하였다. 조사기간 동안 수온은 0.8-31.2 °C 범위로 나타났으며, 염분은 22.5-33.7 psu, 용존 산소는 4.4-12.0 mg/L, pH는 7.39-8.99였다. 질소는 0.016-1.206 mg/L, 인은 0.004-0.090 mg/L, 규소는 0.016-1.592 mg/L로 나타났다. 클로로필-a는 0.2-12.1 µg/L로 나타났다. 저질조성은 파도리는 니사질로 분류가 매우 불량하였으며, 선재와 황도는 니사질로 분류가 양호하였으며, 선감은 역니사질로 분류가 불량하였다.

서식밀도는 저질조성에 따라 선재와 선감에서 높았으며, 황도와 파도리에서 낮게 나타났다. 치패가 자연발생하여 씨뿌림이 없는 바지락 양식장에서 서식밀도는 폐사, 어획에 따라 감소하고, 전년도의 서식량에 따라 가입량은 변화하는 것으로 나타났다. 또한 서식밀도는 비만도와 바지락 형태에도 영향을 미치는 것으로 나타났다.

비만도는 겨울철 수온이 높고 먹이생물인 클로로필-a가 높았던 황도에서 가장 높게 나타났으며, 선재와 선감은 비슷하였고 파도리에서 가장 낮게 나타났다. 형태적 특성에서 선감이 가장 장형이었으며, 파도리는 단형에 가까웠다.

사 사

본 연구는 국립수산물과학원 갯벌 바지락 생산성 향상 및 쪽구제 연구 (13-AQ-58) 과제의 일환으로 추진되었습니다.

REFERENCES

- An, H.S., K.J. Park, K.C. Cho, H.S. Han and J.I. Myeong (2012) Genetic structure of Korean populations of the clam *Ruditapes philippinarum* inferred from microsatellite marker analysis. *Biochemical Systematics and Ecology*, **44**: 186-195.
- Cho, T.J., S.B. Lee and S.Y. Kim (2001) Sedimentological and hydromechanical characteristics of bed deposits for the cultivation of Manila clam, *Ruditapes philippinarum* in Gomso tidal flat. *J. Korean Fish. Soc.*, **34**: 245-253 (in Korean).
- Choi, S. (1965) On the morphological variations and special feature of the elongated and the stunted forms in the short necked clam, *Tapes japonica* in the west coast of Korea. *The Korean Journal of Zoology*, **58**: 56-63 (in Korean).
- Choi, Y.S., Y.R. Cho and C.S. Lee (2000) The relationship between environmental conditions and morphological characteristics of manila clam, *Ruditapes philippinarum* in the west coast of Korea. *Bull. Nat'l. Fish. Res. Dev. Inst. Korea*, **58**: 56-63 (in Korean).
- Folk, R. L. (1968) Petrology of sedimentary rocks Hemphill's Austin, Texas, 170pp.
- Ingram, F. L. (1971) Sieve analysis in procedures in sedimentary petrology. Ed by Carver, R. E. Wiley-Interscience, 69-94.
- Kang, K.H., J.Y. Chang and Y.H. Kim (2000) Growth comparison of short neck clams, *Tapes philippinarum* between the two culturing areas. *Korea J. of Malacol.*, **16**(1-2): 49-54 (in Korean).
- Kasuya, T. (2005) Larval abundance, distribution and size composition of the clam *Ruditapes philippinarum* in Tokyo Bay. *Bulletin of Fisheries Research Agency*, 51-58 (in Japanese).
- Kim, Y.H. (1978) Study on the morphological variation of short necked clam, *Tapes japonica* (DESHAYES). *Bull. Gunsan Fish. J. Coll.*, **12**(2): 23-26 (in Korean).
- Kwon, J.Y., J.W. Park, Y.H. Lee, J.Y. Park, Y.K. Hong and Y.J. Chang (1999) Morphological variation and genetic relationship among populations of the shortnecked clam, *Ruditapes philippinarum* collected from different habitats. *J. Fish. Sci. Tech.*, **2**(1): 98-104.
- Lee, Y.H., Y.J. Chang, H.K. Lim and G.S. Chung (1996) Comparison of growth and survival rate in shortnecked clams, *Ruditapes philippinarum* from different seedling production areas. *Journal of Aquaculture*, **9**(3): 223-232 (in Korean).
- Lee, C.S., Y.S. Choi and Y.R. Cho (1999) Stocking density and culturing environment of the manila clam (*Ruditapes philippinarum*). *Bull. Nat'l. Fish. Res. Dev. Inst. Korea*, **56**: 177-186 (in Korean).
- Ministry of land, transport and maritime affairs (2010)

- Marine environmental test method. 495pp (in Korean).
- Ministry of oceans and fisheries (2013) <http://www.fips.go.kr/>
- Park, K.I., K.S. Choi and J.W. Choi (1999) Epizootiology of Perkinsus sp. found in the Manila clam, *Ruditapes philippinarum* in Komsoe bay, Korea. *J. Korean Fish. Soc.*, **32**: 303-309 (in Korean).
- Park, K.I. and K.S. Choi (2001) Spatial distribution of the protozoan parasite Perkinsus sp. found in the Manila clam, *Ruditapes philippinarum* in Korea. *Aquaculture*, **203**: 9-22.
- Park, K.I., H.S. Yang, D.H. Kang and K.S. Choi (2010a). Density dependent growth and mortality of Manila clam, *Ruditapes philippinarum* reared in cages in Gomso-bay, Korea. *Korean J. Malacol.*, **26**: 91-95.
- Park, K.J., Y.S. Choi, S. Heo, H.W. Kang, H.S. Han and H.C. O (2010b) Report on the sediment types, environmental parameters, density and biometry of Manila clam, *Ruditapes philippinarum* in Gyeonggi Bay off the west coast of Korea. *Korean J. Malacol.*, **26**: 267-273 (in Korean).
- Park, K.J., J.H. Song, H.S. Han and H.C. O (2010c). Spring mass mortality and causes of manila Clam, *Ruditapes philippinarum* beds in the West coast of Korea. 2010 Fisheries Societies Association of Korea (FSAK) annual meeting abstract book. 39pp. (in Korean).
- Park, K.J., S.P. Yoon, J.H. Song, H.S. Han and H.C. O (2011) Improvement of Manila clam (*Ruditapes philippinarum*) habitat condition by adding crushed oyster (*Crassostrea gigas*) shells to the substratum. *Korean J. Malacol.*, **27**: 291-297 (in Korean).
- Park, K.J., H.S. Yang, H.D. Jeung and K.S. Choi (2013a) Pathologic condition of the stranded Manila clam, *Ruditapes philippinarum* by storm-originated sediment erosion in spring 2007 in Incheon Bay off the west coast of Korea. *Korean J. Malacol.*, **29**: 147-154 (in Korean).
- Park, S.K., B.Y. Kim, H.G. Choi, J.S. Oh, S.O. Chung, K.H. An and K.J. Park (2013b) Seasonal variation in species composition and biomass of micrphytobenthos at Jinsanri, Taean, Korea. *Kor. J. Fish. Aquat. Sci.*, **46**(2): 176-185 (in Korean).
- Robert, R., G. Trut and J.L. Laborde (1993) Growth, reproduction and gross biochemical composition of the Manila clam, *Ruditapes philippinarum* in the Bay of Arachon, France. *Marine biology*, **116**: 291-299.
- Sekiguchi H. and Ishii R. (2003) Drastic decreasing of annual catch yields of the manila clam in Ariake Sound, southern Japan. *Oceanogr. Jap.* 12:21-36 (in Japanese).
- Shin, Y.K, Y. Kim, E.Y. Chung and S. B. Hur (2000) Temperature and salinity tolerance of the manila clam, *Ruditapes philippinarum*. *J. Korean Fish. Soc.*, **33**(3): 213-218 (in Korean).
- Toba M., Kosemura T., Yamakawa H., Sugiura Y. and Kobayashi Y. (2008) Field and laboratory observations on the hypoxic impact on survival and distribution of short-necked clam *Ruditapes philippinarum* larvae in Tokyo Bay, *Plankton Benthos Res.*, **3**(3): 165-173.
- Won, M.S. and S.B. Hur (1993) Fatness index and spat occurrence of the shortnecked clam, *Ruditapes philippinarum*. *Journal of Aquaculture*, **6**(3): 133-146 (in Korean).
- Yoo, S.K., Y.J. Chung and H.Y. Ryu (1978) Biological studies on the propagation of important bivalves. 6. morphological characteristics of the short necked clam, *Tapes japonica*. *Bull. Nat'l. Fish. Univ. Busan Nat. Sci.*, **18**(1-2), 89-94 (in Korean).