

# 고창 갯벌에서 중국산 및 충남산 바지락의 성장, 비만도 및 폐사 특성 비교

안현미, 기훈중, 정희도, 이희중, 한형균, 박광재<sup>1</sup>, 송재희

국립수산과학원 갯벌연구센터, <sup>1</sup>국립수산과학원 서해수산연구소

## Comparison of growth, condition index and mortality of manila clam (*Ruditapes philippinarum*) between originated from China (Liaoning Dandong) and Chungnam (Taeon) in Gochang tidal flats

Hyun-Mi Ahn, Hun-Jong Ki, Hee-Do Jeong, Hee-Jung Lee, Hyung-Kyun Han, Kwang-Jae Park<sup>1</sup> and Jae-Hee Song

Tidal Flat Research Center, NIFS, Kunsan 54014, Korea

<sup>1</sup>West Sea Fisheries Research Institute, NIFS, Incheon, 22383, Korea

### ABSTRACT

In this study, we transplanted Chinese (Liaoning Dandong) and Chungnam (Taeon) manila clam seeds to Gochang tidal flats in Jeonbuk province, and compared growth, mortality, and condition indices from May 2015 to August 2016. Within 2 months after transplantation, clam mortality of Chungnam and Chinese origin were  $6.9 \pm 4.3\%$ ,  $16.9 \pm 7.9 \sim 21.0 \pm 6.3\%$ , respectively. We supposed that higher mortality of Chinese manila clams might be due to higher stress and weakening of physiological functions by air-exposure and unavailability of food intake for 5 days harvesting, transportation, quarantine procedures. Unlike the local clam farmer's opinion based on their field experience, growth of Chungnam clams in shell length and total weight were a little better than Chinese without statistical significant difference ( $P > 0.05$ ). Condition indices of Chinese clams showed declining tendency after reaching a peak in May 2014, and in June 2015, respectively. Meanwhile, Chungnam clams has reached its peak of condition indices in May 2014 and in April 2015, respectively. From this result, we supposed that there might be at least one month difference in reproduction between the Chinese and Chungnam manila clams during the first-transplanted year. Because the mortality of adult clam have sharply increased from June 2015 (due to high temperature, few rainfall and spawning) in Gochang tidal flat, it would be recommendable that farmers harvest the clams before June when its shell length are larger than 40 mm. In conclusion, we could directly compare the productivity of Chinese and Chungnam manila clam at Gochang tidal flats by field experiment, and these results are also meaningful to manila clam farmers.

**Keywords:** Manila clam, Spat origin, Transplantation, Mortality, Growth, Condition index

### 서론

Received: September 11, 2016; Revised: September 13, 2016;  
Accepted: September 30, 2016

Corresponding author : Jae-Hee Song

Tel: +82 (10) 9024-9727, e-mail: jhsong0805@korea.kr  
1225-3480/24625

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.

바지락 (*Ruditapes philippinarum*) 은 이매패강 (Bivalvia), 백합과 (Family Veneridea) 에 속하는 종으로, 한국, 일본, 중국, 대만, 영국과 미국 등에 널리 분포 (Ponurovsky and Yakovlev, 1992; Lee *et al.*, 1996; Gouletquer, 197; Yoo, 1998; Min *et al.*, 2004) 하며, 우리나라에서는 서해 및 남해 연안의 담수의 영향을 어느 정도 받는 수역을 중심으로 간출시간 2-3시간 되는 곳에서부터 수십 3-4m 사이인 조간대에 주로 서식하고 있다 (Kang *et al.*, 2000; Min *et al.*, 2004; Choi *et al.*, 2011; Park *et al.*, 2013; National Fisheries Research & Development

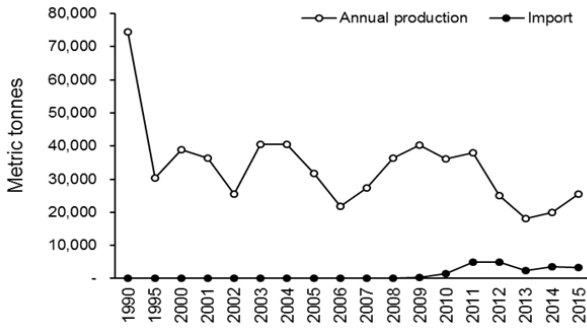


Fig. 1. Annual production and import of Chinese spats of Manila clam since 1990.

Institute (NFRDI), 2014).

국내 생산량 면에서 바지락은 양식 패류 중 굴, 홍합류 다음으로 많으며, 갯벌에서 생산되는 패류로서는 연간 생산량 면에서 수산업적으로 가장 중요한 어업자원이다 ((Ministry of Oceans and Fisheries (MOF), 2015).

우리나라 바지락 생산은 해면어업과 천해양식의 방법으로 생산되며 총 생산량은 1980년대부터 증가하여 1990년에 74,581톤으로 최고치를 기록하였다. 그러나 그 이후 생산량이 꾸준히 감소하여 2015년에는 25,517톤을 생산하였다 (Fig. 1., MOF, 2015).

이와 같은 바지락 생산 감소의 원인으로는 갯벌어장 주변의 공장 건립과 생활하수 폐기 등에 의한 갯벌어장의 오염 (Choi et al., 2013), 대규모 간척과 매립으로 인한 패류 서식장의 축소 (Chung et al., 1994; Park et al., 2011), 연안퇴적물의 지화학적 특성 변화와 중금속 등 유해물질의 축적 (Choi et al., 2013), Perkinsus olseni와 같은 바지락 기생생물에 의한 면역력 및 성장 저하, 생식소 성숙 부진에 의한 번식량 감소 (Yang et al., 2012; Kang et al., 2015), 기후 변화로 인한 대량폐사 (Park et al., 2010) 등이 제시되고 있다. 또한 2007년 충남 태안에서 발생한 허베이 스피리트 유류 유출 사고와 같은 해양오염 사고가 바지락 폐사에 영향을 주었을 것으로 보고된 바도 있다 (Park et al., 2015).

국내에서 전통적인 바지락 생산은 양식장에서 자연 발생한 치패를 주변에 분산 살포하거나, 치패가 자연적으로 발생하지 않는 곳에서는 치패 발생 작황과 구입 시세의 변동에 따라 타 지역에서 종패를 대량으로 이식하여 양식을 하고 있다 (Lee et al., 1996). 이와 같은 종패의 대량 이식은 종패 원산지와 양식 지역 자연 환경의 차이, 공기 중 운송에 따른 스트레스 등으로 인해 이식 초기에 대량 폐사의 위험성을 안고 있으며, 그 이후에도 성장 지연 및 생존률 저하, 양식 2년째 대량 폐사 발생의 원인으로 보고된 바 있다 (Lee et al., 1996).

전라북도 부안군과 고창군 사이에 위치하는 곰소만의 총 면

적은 약 100 km<sup>2</sup> 이며 이 중 약 75%가 조간대로 형성되어 있다 (Lee et al., 2012). 곰소만 내 바지락 양식 면허는 2015년에 115건, 1,039 ha 로 국내 전체의 바지락 양식 면허어장의 약 17%에 해당하며, 2011년에는 전국의 바지락 생산량 (37,929톤) 의 약 47%를 생산할 만큼 바지락 양식이 활발하다 (Korean Statistical Information Service (KOSIS), 2015). 그러나 최근 새만금 간척사업으로 인한 조류의 변화와 니질의 유입 증가 등 (Baek et al., 2013) 으로 곰소만 내 자연 종패의 자원량이 부족해짐에 따라 양식용 종패를 타 지역 혹은 중국산 수입에 의존하고 있는 실정이다. 2009년에 처음으로 354톤이 이식 승인된 중국산 바지락 종패는 2010년에는 1,563톤, 2012년에는 4,903톤까지 수입량이 급격히 증가하였다가 2015년에는 3,347톤으로 다소 감소한 바 있다 (Fig. 1., National Institute of Fisheries Science (NIFS), 2015).

현재까지 국내 바지락에 관한 연구로는 양식 환경 (Choi et al., 2000; Cho et al., 2001), 양식밀도에 따른 성장, 생식소 발달과 생존률 (Chung et al., 1994; Lee et al., 1996; Kang et al., 2000; Park et al., 2010), 비만도와 종패의 출현 (Won and Hur, 1993), 2차 생산 (Shin and Shin 1999), 번식주기 (Unddin et al., 2012), 번식량 및 유생 발달 (Lee et al., 2012), 기생 원생생물의 감염 및 급성폐사 (Choi and Park, 1997; Nam et al., 2015), P. olseni 감염이 바지락의 번식에 미치는 영향 (Kang et al., 2015), 온도와 염분 내성 (Shin et al., 2000) 등이 있다. 그러나 전북 고창지역처럼 국내산과 외국산 종패를 오랜 기간 대량 이식하여 양식하는 지역에서도 이식 초기부터 최종 생산단계에 이르기까지 바지락의 성장과 폐사, 비만도 등 양식 생산성을 평가할 수 있는 기초 연구는 미흡한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 중국산 종패와 국내 충남산 종패를 고창 갯벌에 이식하고 성장, 비만도 및 생존 특성을 비교 분석함으로써 고창지역 어업인들의 바지락 양식 전략 수립과 생산성 향상을 위한 기초 자료를 제공하고자 수행하였다.

## 재료 및 방법

### 1. 시험 양식장 조성 및 종패 이식

중국산과 충남산 바지락 종패의 성장 및 폐사 특성을 비교하기 위해, 곰소만 내에 위치하는 전북 고창군 심원면 하전리 어촌계 양식장 중 평균 간출 시간이 4-5시간이 유지되는 지점에 각각의 종패를 이식하기 위한 시험어장 (5 × 10 m, 2개) 을 조성하였다. (Fig. 2.).

중국산 바지락 종패 (이하 중국산) 는 중국 요녕성 단둥지역에서 생산된 것으로 평균 각장 26.31 ± 2.35 mm, 전중량



Fig. 2. Location of the Experimental manila clam rearing site in Gochang tidal flat.

3.29 ± 0.79 g 크기의 종패를 2014년 4월 18일에 입식하였다. 충남산 바지락 종패 (이하 충남산) 는 충남 태안군 남면 소재 당미 어촌계에서 채취된 평균 각장 17.79 ± 3.36 mm, 전중량 1.07 ± 0.61 g 의 종패를 2014년 5월 2일에 채취하여 당일 고창으로 운반하여 저온 창고에서 하룻밤 보관한 다음 5월 3일에 입식하였다. 종패 입식 밀도는 현지 어업인의 일반적인 종패 입식량인 10-40 ton/ha 수준을 감안하여 25 ton/ha 밀도가 되도록 원산지별로 각각 125 kg 씩을 입식하였다. 종패입식 후 중국산과 충청산 바지락에 대한 생태조사는 2014년 5월부터 2015년 8월까지 총 16개월간 실시하였다.

**2. 바지락의 폐사율**

원산지별 각 시험구에서 표층부터 약 10cm 까지 25 × 25 cm 크기의 방형구를 이용하여 퇴적물과 바지락을 전량 채취하고, 5 mm 체로 거른 후 남은 잔류물에서 활바지락과 사패를 계수하였다. 매일 폐사율 산정을 위한 사패는, 폐각을 벌린 채 폐사가 진행되고 있는 개체, 폐각 안쪽에 육질이 남아 있는 것, 폐사 후 육질부는 부패하고 폐각 내측의 형태와 윤기가 살아 있었을 때의 특징을 유지하고 있는 것만을 계수하였다. 폐사율 산정을 위한 바지락 채취는 각 시험구 별 3반복으로 수행하였다.

**3. 바지락의 성장 및 비만도**

바지락의 성장은 원산지별 폐사율 산정을 위해 채집된 바지락 중 임의로 100 마리씩 선택하여 크기와 무게를 측정하였다. 바지락의 크기는 Vernier caliper를 이용하여 각장 (shell length, mm), 각고 (shell height, mm), 및 각폭 (shell width, mm)을 소수점 둘째 자리 (0.01mm) 까지 측정하였고, 전중량 (total weight, g) 전자 저울을 이용하여 0.01g 단위 까지 측정하였다.

바지락의 비만도 (Condition Index, CI) 는 매일 성장도를 조사한 종패 원산지별 시료 중에서 각각 30씩 마리씩을 임의로 선택하여 분석하였다. 먼저 바지락을 개각하여 육질부와 패

각을 분리하고 90℃ 오븐에서 24시간 건조시킨 후 육질부위의 건조량 (tissue dry weight, TDW, g) 과 패각 건조량 (shell dry weight, SDW, g) 을 0.01g 까지 측정 후 다음과 같은 식으로 산출하였다.

$$CI = TDW (g) / (TDW + SDW)$$

**4. 시험 양식장 환경 요인**

해수의 염분 및 온도환경은 국립해양조사원 (Korea Hydrographic and Oceanographic Agency (KHOA), 2016) 의 해양관측 통계 자료 중 군산 외항에서 관측한 2014년 5월부터 2015년 8월까지의 수온과 염분 자료를 응용하였다. 고창에서 가까운 영광, 위도와 군산 지역에 각각 조위관측소가 위치하고 있어 1 시간 간격으로 측정이 이루어지는데, 위도의 관측자료가 없고 영광의 조위관측소는 원자력발전소와 근접하고 있어 수온 및 염분의 관측이 고창과 상이할 것으로 판단되어 군산의 관측자료를 활용하였다. 기온과 강수량은 기상청 (Korea Meteorological Administration (KMA), 2016) 에서 관측한 고창 지역의 통계자료를 응용하였다.

시험 양식장의 퇴적물 환경 특성을 평가하기 위해 바지락이 서식하는 표층으로부터의 깊이 10 cm 내의 퇴적물을 채취하여 해양환경공정시험 방법 (2010) 에 따라 퇴적물의 입도 (Grain Size), 함수율 (Water Content, WC, %), 화학적 산소요구량 (Chemical Oxygen Demand, COD, mg/g), 강열감량 (Ignition Loss, IL, %) 및 산취발성 황화물 (Acid Volatile Sulfide, AVS, mg S/g) 을 각각 분석하였다.

**5. 통계 분석**

바지락 종패의 원산지에 따른 성장, 비만도 및 폐사율의 유의차 유무는 one-way ANOVA와 t-test (IBM SPSS statistics 21) 를 실시하였으며 사후검정은 Tukey HSD test 를 이용하여 확인하였다.

**결 과**

**1. 바지락의 폐사율**

중국산 바지락은 2014년 4월 이식 후 약 2개월이 경과한 6월까지 평균 폐사율이 16.9 ± 7.921.0 ± 6.3% 로 높게 나타났으나 7월부터 2015년 5월까지 평균 0.7.8 ± 2.3% 의 비교적 낮게 유지되었고, 2015년 6월부터 8월까지의 각각 17.2 ± 8.9%, 7.0 ± 3.0%, 25.9 ± 7.1% 로 증가하였다 (Fig. 3).

충남산 바지락은 가입 초기에는 평균 6.9 ± 4.3% 의 폐사율을 보이고 2014년 7월에 18.1 ± 2.8% 로 급격히 증가하나 8월부터 이듬해 6월까지 평균 2.1 ± 0.7-9.4 ± 2.2% 의 폐사율

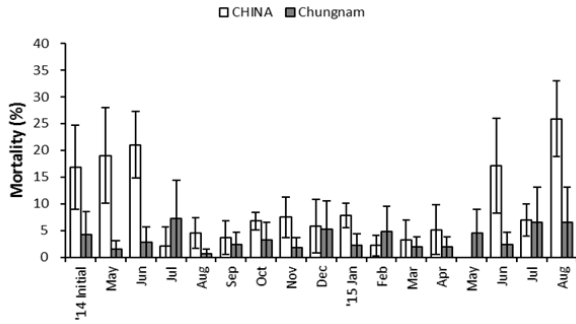


Fig. 3. Mortality rate (Mean ± SD) of Manila clam, *Ruditapes philippinarum*.

을 보이다 2015년 7월과 실험 종료 시에 각각  $13.6 \pm 6.6\%$  와  $34.1 \pm 6.5\%$  로 증가하였다 (Fig. 3).

중국산과 충남산 바지락의 폐사율은 전 실험 기간 중 가입 초기인 2014년 4월부터 6월 사이와, 2015년에는 여름이 시작 되는 6월부터 증가하였으며, 2014년 5월을 제외하고는 중국산과 충남산 바지락 폐사율의 유의적인 차이는 없는 것으로 나타났다.

## 2. 바지락의 성장

중국산 바지락은 4월 중순 처음 가입 시 평균 각장  $26.31 \pm 2.35$  mm 에서 2014년 8월에  $31.17 \pm 1.52$  mm 로 평균 5 mm 가 성장하였고 9월부터 이듬해 2월까지  $34.30-37.32$  mm 로 평균 3 mm 의 다소 완만한 성장을 보였다 (Fig. 4), 또한, 2014년 11월에는 각장 40 mm 이상인 개체가 처음으로 관찰되었고, 2015년 5월부터는 평균 각장이 40mm (평균  $40.44 \pm 2.65$  mm, 최대 각장 45.42 mm) 에 도달하였으며, 실험 종료 시점인 8월에는  $39.74 \pm 2.93$  mm (최대 각장 48.41 mm) 로 시험 기간 (약 16.5 개월) 중 평균 13 mm 의 성장을 보였다. 충남산 바지락은 가입 시 평균 각장  $17.79 \pm 3.36$  mm 에서 2014년 8월에  $31.39 \pm 1.32$  mm 로 평균 약 13 mm 의 차이를 나타내며 같은 기간 동안 중국산에 비해 빠른 성장을 보였고 9월부터 2015년 2월까지  $32.64 \pm 1.36-36.40 \pm 2.15$  mm 로 평균 약 4 mm 가 성장하였다 (Fig. 4).

각장 40 mm 이상의 개체가 관찰되는 시기는 2014년 11월로 중국산과 비슷하였고, 2015년 5월부터는 평균 각장  $39.35 \pm 2.36$  mm (최대 각장 48.85 mm) 이었으며 실험 종료 시점인 2015년 8월에는  $38.48 \pm 1.89$  mm (최대 각장 42.23 mm) 로 전 시험 기간 (약 16개월) 중 평균 약 21 mm의 성장을 보임으로써, 각장의 증가량에서는 충청산이 중국산보다 성장이 우수한 것으로 나타났다.

전중량의 성장을 조사한 결과, 중국산 바지락은 최초 가입

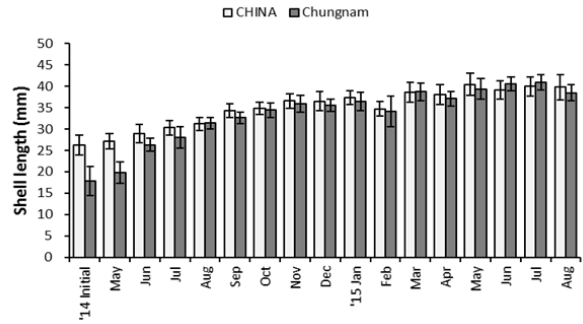


Fig. 4. Monthly change in shell length (Mean ± SD) of Manila clam, *Ruditapes philippinarum*.

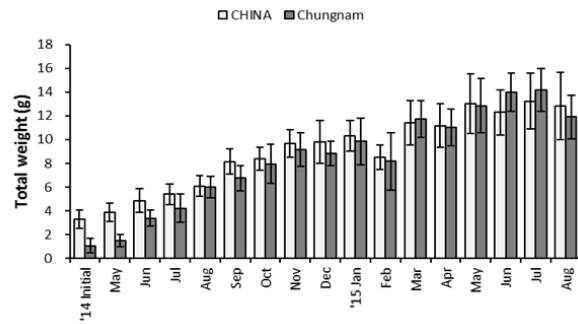


Fig. 5. Monthly changes in total weight (Mean ± SD) of Manila clam, *Ruditapes philippinarum*.

(2014년 4월) 시 평균  $3.29 \pm 0.79$  g 에서 2014년 8월에  $6.08 \pm 0.87$  g 으로 평균 약 3 g 이 성장하였고, 추위지기 전인 11월에  $9.67 \pm 1.18$  g 에서 월동 후기인 2015년 2월에는  $8.50 \pm 1.04$  g 으로 다소 감소한 결과를 보였다. 2015년 5월에 다시  $13.01 \pm 2.50$  g 까지 성장이 확인되었고, 실험 종료 시 (2015년 8월) 에는  $12.83 \pm 2.83$  g 으로서 전 실험기간 동안 평균 9.54 g 의 성장을 나타내었다 (Fig. 5).

한편, 충남산 바지락은 가입 시 평균  $1.08 \pm 0.61$ g 에서 2014년 8월에  $6.01 \pm 0.92$  g 으로 평균 약 5 g 의 빠른 성장을 하였고, 중국산과 유사하게 11월에  $9.17 \pm 1.43$  g 에서 월동후인 2015년 2월에는  $8.16 \pm 2.44$  g 으로 다소 감소를 보인 후 실험 종료 시에는 평균  $11.90 \pm 1.81$  g 으로 전 시험기간 동안 10.82 g 의 성장을 보였다. 따라서, 전중량의 증가량에서는 충청산이 중국산보다 성장이 우수한 것으로 나타났다.

그러나 통계학적으로는 중국산과 충청산 바지락의 각장의 성장에 유의적 차이는 관찰되지 않았다 ( $P > 0.05$ ). 전중량도 가입 시부터 8월까지의 충남산 바지락이 중국산에 비해 유의한 차이를 보이며 성장이 좋았으나, 9월 이후부터 실험 종료 시까지는 각장 변화와 유사하게 중국산과 충남산 바지락 사이에 유의적인 차이는 없었다 ( $P > 0.05$ ).

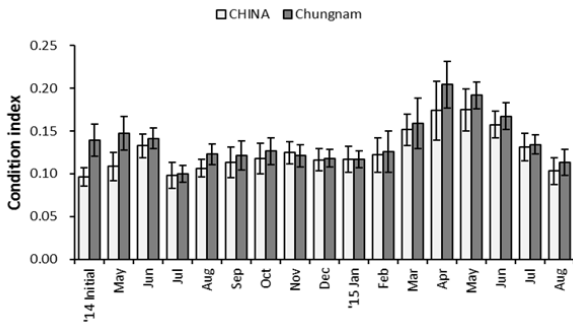


Fig. 6. Monthly changes in condition index (Mean ± SD) of Manila clam, *Ruditapes philippinarum*.

3. 비만도

바지락의 평균 비만도 지수를 매월 조사한 결과, 중국산은 2014년 4월 중순 가입 시 평균  $0.10 \pm 0.01$ 에서 6월에  $0.13 \pm 0.01$ 로 증가하고 7월에는 다시  $0.10 \pm 0.02$ 로 감소한 후 2014년 8월부터 이듬해 2월까지의 평균  $0.11 \pm 0.01$ - $0.12 \pm 0.02$ 의 수준을 유지하였다. 또한 겨울이 끝나가는 2015년 3월부터 6월 사이에는 평균  $0.15 \pm 0.02$ - $0.17 \pm 0.03$ 로 증가하였다가 7월부터는 다시 감소하는 경향을 나타내었다 (Fig. 6).

충남산 바지락의 비만도는 5월 초순 가입 시  $0.14 \pm 0.02$ 로 6월까지 비슷한 수준으로 유지하다가 중국산 바지락과 유사하게 7월에  $0.10 \pm 0.01$ 로 약간 감소하였다. 2014년 8월부터 이듬해 2월까지의 평균  $0.12 \pm 0.01$ - $0.13 \pm 0.02$ 로 약간의 증가 내지 정체하는 것으로 나타나고 7월에는  $0.13 \pm 0.01$ 로 유의하게 감소하는 결과를 보였다 (Fig. 6).

중국산 바지락과 충남산 바지락의 월별 평균 비만도 지수는 가입 시부터 2014년 5월까지 약 1개월 동안에는 유의적인 차이가 있었으나 6월 이후부터 실험 종료 시까지 비만도의 증감에 있어서 두 집단 간의 유의 차는 없는 것으로 나타났다 ( $P > 0.05$ ), 시험 기간 중 바지락의 비만도가 급격히 감소하는 시기는 충청산에 비해 중국산이 약 1개월이 늦게 나타남을 알 수 있었다 (Fig. 6).

4. 시험 양식장 환경 요인

시험기간 중 고창지역 기상대에서 관측된 월평균 기온은  $0.6$ - $25.0^{\circ}\text{C}$ 의 범위였고, 일최고기온의 월평균 값은 2015년 8월에  $29.9^{\circ}\text{C}$ 로 가장 높았고 일최저기온의 월평균 값은 2015년 1월에  $-3.6^{\circ}\text{C}$ 로 가장 낮았다 (Fig. 7).

군산외항의 조위관측소에서 관측된 수온은 월평균  $4.3$ - $27.1^{\circ}\text{C}$  범위였고, 월 최고수온은 2015년 8월에  $28.2^{\circ}\text{C}$ , 최저수온은 2월에  $3.5^{\circ}\text{C}$ 로 각각 관측되었다 (Fig. 8).

염분은 월평균  $26.1$ - $29.7$ 로 관측되었고, 최고 및 최저 염분은 모두 2015년 7월에 각각  $33.0$ ,  $21.4$ 이었다 (Fig. 9).

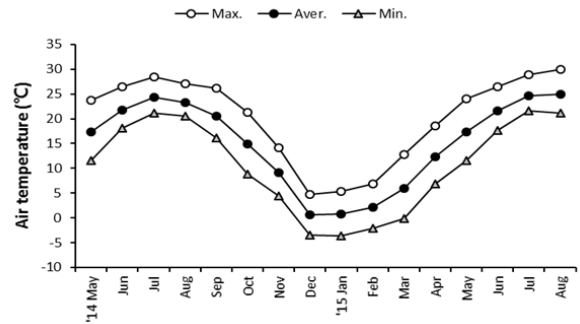


Fig. 7. Monthly variation of air temperature at Gochang.

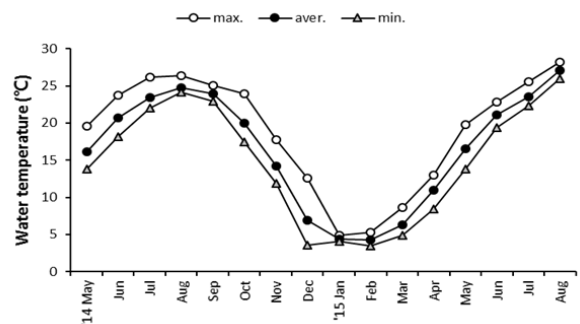


Fig. 8. Monthly variation of water temperature at Gusan outer harbor.

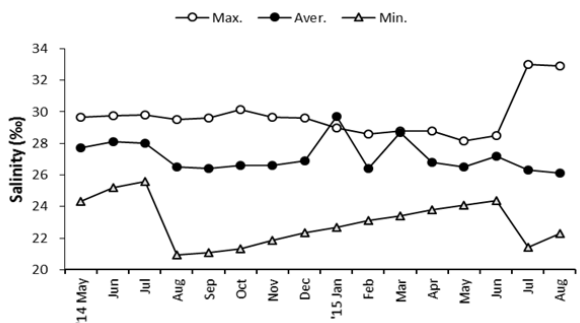


Fig. 9. Monthly variation of sea water salinity at Gusan outer harbor.

시험어장 갯벌 퇴적물의 입자크기별 조성은 겨울철에 clay의 비율이 다소 증가하는 만큼 silt의 비율이 줄어드는 결과를 보였고, 퇴적상은 모두 사질니 (sandy mud)로 계절적 변화는 크지 않았다 (Table. 1). 전 조사기간 중 퇴적물의 평균 입도는  $4.49$ - $5.88 \phi$  (평균  $5.13 \phi$ )로 silt가 가장 많고, sand와 clay 순으로 혼재된 사질니 (sandy mud)의 특징을 나타내었다. 분급도는  $1.03$ - $2.17 \phi$  (평균  $1.58 \phi$ ) 범위로 분급상태가 다소 불량한 것으로 나타났다.

함수율 (WC)은  $20$ - $30\%$  범위내에서, 강열감량 (IL)은  $1.0$ - $2.5\%$  범위내에서 충남산과 중국산 시험구에서 각각 유사

**Table 1.** Textures, statistical parameters and sediment type of experimental clam rearing site

Month	Textures (%)				Statistical parameters				Sediment type (Folk, 1968)
	Gravel	Sand	Silt	Clay	Mean (phi)	Sort (phi)	Skew	Kurt	
14' May	0.00	22.31	71.43	6.26	4.73	1.41	0.38	2.18	sM
Jun	0.00	21.58	72.51	5.91	4.80	1.25	0.39	1.50	sM
Sep	0.00	25.96	70.19	3.85	4.49	1.03	0.28	1.81	sM
Nov	0.11	17.97	73.91	8.01	5.02	1.49	0.49	1.63	sM
15' Jan	1.36	17.19	60.15	21.31	5.88	2.17	0.52	0.86	sM
Mar	0.20	12.82	69.52	17.46	5.87	1.91	0.54	1.13	sM
May	2.27	15.04	75.04	7.66	5.01	1.46	0.40	1.84	sM
Jun	1.79	28.72	57.19	12.30	5.29	1.88	0.48	1.05	sM

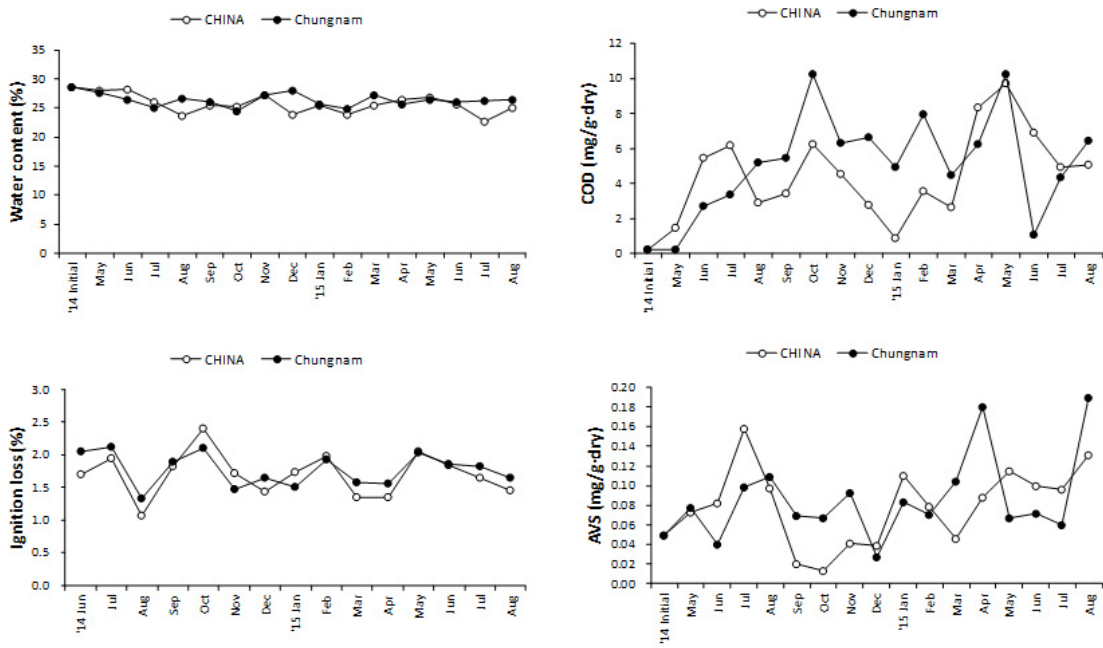
하게 변화였고, 산취발성 황화물 (AVS) 은 중국산 시험구에는 2014년 7월에, 충남산 시험구에서는 2015년 4월과 8월에 각각 일시적인 증가를 보였으나 나머지 기간에는 유사한 수준을 보이며 큰 차이가 나지 않았다 (Fig. 10). 한편 화학적 산소요구량은 중국산 시험구에서는 2014년 7월과 10월 및 2015년 4-6월에 6.2-9.7 mg/g dry weight (이하 mg/g), 충남산 시험구에서는 2014년 10월과 2015년 5월에 각각 10.25 mg/g 으로 비교적 높게 측정되었으나 양식장 오염기준인 20.0 mg/g 을 초과하지는 않았다 (Fig. 10).

**고찰**

패류에 있어서 계절적인 요인 및 환경 변화와 오염 등의 복

합적인 요인들은 생존, 성장 및 생식 등에 중요한 영향을 준다 (Shin *et al.*, 2000). 바지락의 생존과 성장에 영향을 미치는 환경 요인 중 수온은 대사작용과 활력 및 에너지 수치 등에 직접적인 영향을 미치고 (Choi *et al.*, 2014), 퇴적물의 입도 조성은 바지락의 서식과 분포에 영향을 미치는 것으로 알려진다 (Park *et al.*, 2011; Choi *et al.*, 2014). 바지락은 온도에 대한 저항성이 강해서 40℃ 의 고온에서 평균 1.5시간을 생존하고 저온에도 비교적 강하여 치사 온도가 -2℃ 이하이다 (유, 2000).

본 연구에서 인용한 국립해양조사원의 해양관측 통계자료에 의하면, 고창 지역에 인접한 군산 외항의 평균 수온은 4.3-27.1℃ 의 범위로 바지락의 서식수온 적합 범위 내에 있는 것으로 나타났다 (Fig. 8). 그리고 퇴적물의 평균입도는



**Fig. 10.** Monthly changes in geochemical characteristics of surface sediment in the sampling site.

4.49-5.88  $\theta$  로서 4  $\theta$  이상으로 세립하고, 분급도는 1.03-2.32  $\theta$  의 범위로 분급이 다소 불량한 사질니의 퇴적상으로서 곰소 만 조간대의 바지락 양식장의 저질 특성을 조사한 Cho 등 (2001) 의 연구와 유사한 결과를 나타내었다.

바지락은 상대적으로 소형개체의 경우 환경 스트레스에 민감하게 반응하며 (Kim and Kho, 2004), 국내에서 원산지별 바지락을 이식하여 생존율을 연구한 결과에 의하면 여름철 고수온에 적응하는 과정에서 폐사율이 높게 나타났다가 점차 안정되는 것으로 보고하고 있다 (Lee et al., 1996). 한국산과 일본산 참굴의 갯벌에서 양식을 위한 이식 후 순응에 대한 연구 결과에 의하면 이식 1개월 후 급격한 폐사가 나타났는데 이러한 현상은 이식 전 굴의 먹이 섭취에 의한 에너지 저장물과 양성지역의 환경 차이에 의한 스트레스 등 굴의 생리생태와 관련이 있는 것으로 보고된 바 있다 (Park et al., 2013). 또한 바지락은 노출에 의한 스트레스를 받으면 외투막에서 면역과 관련된 생체 항산화효소 (SOD, CAT 등) 의 활성이 증가하고 glutathione 이 감소하며 (Zhang et al., 2013), 흔들림에 노출 되었을 때에는 일산화질소 (NO) 의 농도가 증가함으로써 면역 반응에 부정적인 영향을 주어 스트레스로 작용할 수 있다는 보고도 있다 (Park, 2013). Jiaozhou Bay에서 1년생 바지락을 이식하였을 때 이식 후 2개월까지 높은 폐사율을 나타냈다는 연구 결과 (Ren et al., 2008) 와 같이, 본 연구에서 이식한 후 2개월 동안 중국산과 충남산 바지락 모두 초기 폐사율이 높았던 것은 가입 전 바지락의 운송 과정 중의 스트레스와 노출, 활력이 저하된 상태에서 계절적으로 수온과 기온이 높아지는 시기에 이식되었기 때문에 새로운 환경에 대한 적응력의 약화로 인하여 높은 폐사율을 나타냈을 것으로 판단된다. 바지락의 봄철 폐사에 관한 연구 (Park et al., 2010) 에서는 양식장의 수질 및 저질환경보다는 2월중의 큰 기온 변화와 3-4월의 폭풍에 의한 저질 변동이 스트레스로 작용하여 대량 폐사가 발생했을 것으로 보고하고 있으며, 조석 에너지와 바지락의 대량 폐사에 대한 연구 (Back et al., 2011) 에서는 봄철 폐사 발생시기가 3-5월로 봄철 풍향이 북서풍에서 남동풍으로 바뀌며 강한 풍속이 조석 에너지를 증가시키므로 퇴적물과 표면 마찰력이 증가하여 퇴적물 변동에 따른 안정성이 교란되어 바지락이 표층에 노출되거나 스트레스로 작용하는 원인을 제공하는 것으로 분석된 바 있다. 본 연구 중에는 이러한 기상 변화에 의한 봄철 폐사는 나타나지 않았으나 이식 후 1년이 경과한 2015년 6월부터 8월에 중국산 바지락의 폐사율이 급격히 증가하였다. Park 등 (2010a) 은 서식밀도가 높을수록 바지락의 폐사율은 높고 성장이 지연됨을 보고한 바 있고, 서식밀도와 질병 발생에는 상관관계가 깊은 것으로 보고한 바 (Ford et al., 2002) 가 있는데, 본 연구에서도 중국산과 충남산 바지락이 이식 이듬해 6월부터 폐사율이 증가한 것은 평균 각장 약 4

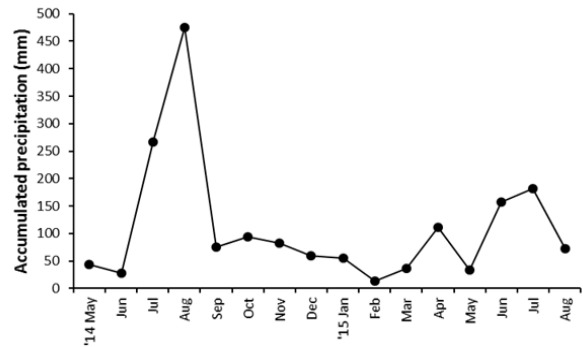


Fig. 11. Monthly accumulated precipitation at Gochang.

cm 이상으로 성장하면서 개체별로 차지하는 서식공간이 줄어들고 고밀도 서식 효과가 발생하고, 시험양식장 저질의 토양경도가 지나치게 높아 바지락이 충분히 잠입하지 못한 상태에서 저조 시 여름철 고온에 반복 노출된 결과로 추정된다. 이와 더불어 이 시기 (2015년 6-8월) 의 고창 지역의 누적 강수량은 411.0 mm 로, 같은 시기의 2014년 누적 강수량 770.1 mm 에 비해 359.1 mm 가 부족한 것으로 관측되었다 (Fig. 11).

2015년의 여름철의 강수량 감소는 육지로부터 영양염 유입의 감소, 맑은 날씨로 인한 갯벌의 고온 노출 기회 증가 등으로 먹이 섭식 활동 및 대사기능의 저하 등을 야기시켜 폐사에 영향을 주었을 것으로 생각된다. 이와 같은 결과로 볼 때 성패크기에 도달한 중국산 바지락을 가을에 채취하지 않고 부득이 월동한 경우에는 상품크기인 각장 38 mm 이상에 도달했으면 본격적인 폐사가 시작되기 전인 5월말 이전에 채취하는 것이 폐사에 의한 피해를 줄일 수 있음을 시사해 준다고 할 수 있다. 한편, 고창지역 바지락 양식어업인들은 매년 10월을 전후하여 중국산 바지락을 이식하면 약 1년을 양식한 후 이듬해 가을에 전량 채취하는 것이 일반적이며, 어장에 남은 성패는 겨울을 지나면 2월부터는 거의 모두 폐사한다고 하였는데 (Personal communication), 본 연구에서도 중국산 바지락은 겨울부터 이른 봄 (1-4월) 에 충청산에 비해 폐사율이 높은 경향을 나타내고 있어 그 원인에 대하여는 좀 더 연구가 필요할 것으로 생각된다.

본 연구에서 바지락의 성장은 가입 시 중국산 종패가 각장  $26.3 \pm 2.3$  mm, 전중량  $3.3 \pm 0.8$  g, 충남산 종패가 각장  $17.8 \pm 3.4$  mm, 전중량  $1.1 \pm 0.6$  g 으로 실험 종료 시에는 중국산 각장  $40.0 \pm 2.9$  mm, 전중량  $12.8 \pm 2.8$  g, 충남산 각장  $38.5 \pm 1.9$  mm, 전중량  $11.9 \pm 1.8$ g 으로 성장하였다. 가입 시 충남산 종패가 중국산에 비해 각장이 작았음에도 불구하고 가입 후 2014년 7월부터 실험 종료 시까지 유의적인 차이가 없었던 것으로 보아 중국산에 비해 충남산 종패의 성장이 비교적 빠른 것으로 확인되었다. 이 결과는, 국내 세 지역에서

구입한 바지락 종패를 광양만에 이식하였을 때, 가입 시 종패의 크기에 관계없이 실험 종료 시에 각장의 성장에 유의한 차이를 보이지 않으며, 가장 작았던 지역의 종패가 다른 두 지역의 바지락과 비교했을 때 성장차이가 적게 나타나는 것은 그 지역의 환경조건에 기인한다는 연구 결과 (Lee *et al.*, 1996)와 유사한 점이 있다. 본 연구에서는 어업인들이 실제 양식하는 밀도의 현장실험에서 중국산과 충청산 바지락의 성장 차이를 확인하였다는 점에 의미를 부여할 수 있을 것이다. 그럼에도 불구하고 바지락의 성장은 수질 환경 외에 저질 내 황 함유 및 금속 이온, 먹이 생물의 공급, 유기물량 등과 관련된다는 점 (Kang *et al.*, 2000; Ren *et al.*, 2008; Choi., 2014)을 감안하여 중국산과 충남산 바지락의 성장 차이의 원인에 대하여는 추후 다각적인 연구가 필요할 것으로 생각된다.

바지락의 비만도는 영양 상태 및 연중 번식주기와 밀접한 관계를 갖고 있는 것으로 보고되고 있다 (Unddin *et al.*, 2012; Park *et al.*, 2013). 바지락의 성장과 저서미세조류에 대한 연구 결과에 의하면 바지락의 비만도는 엽록소의 농도가 높은 곳이 낮은 곳에 비해 비만도가 높게 나타나 비만도와 먹이 생물의 생물량과 직접적인 관련이 있음을 보고하고 있다 (Park *et al.*, 2015). 선재도 바지락의 연중 비만도를 조사한 연구 결과에서는 7월에 가장 높게 나타나고 8월에 급격히 감소하는데 이는 산란에 의한 것으로 보고되어 있다 (Unddin *et al.*, 2012). 본 연구에서는 중국산과 충남산 바지락의 비만도가 모두 2014년 6월에 높게 나타나고 7월에 감소하였으며 2015년 2월까지 약간의 증가 내지 정체하다가 2015년 3월부터 증가하기 시작하여 2015년 4월과 5월에 가장 높게 나타나고 이후 다시 감소하는 것으로 나타났다. 이때패류는 먹을 수 있는 먹이의 종류와 양, 수온 및 염분 등의 외부 환경 요인에 따라 생식소의 성숙 상태가 변하기 때문에 생식소가 발달함에 따라 비만도가 함께 증가하게 되므로 산란기를 추정할 수 있다 (Won and Hur., 1993). 부안 곰소만 바지락의 산란 시기는 6-10월로 주 산란 시기는 7-8월, 연간 1회 산란하는 것으로 보고된 바와 같이 (Chung *et al.*, 2001) 본 연구에서 7월에 중국산 및 충남산 바지락의 비만도가 감소하는 것은 산란과 깊은 관련이 있음을 추정할 수 있다.

이상의 연구 결과를 종합해 보면 원산지가 다른 종패 (중국산, 충남산)를 동일한 어장 (고창 갯벌)에 같은 시기에 이식할 경우, 이식 초기의 일정기간 동안에는 스트레스 정도, 생리적 활성이나 생식소의 발달 등의 차이로 인해 성장과 비만도의 차이가 다소 있을 수 있지만 1년 이상 양식기간이 경과하여 그 지역의 환경에 적응한 상태에서는 종패의 원산지 차이보다는 새로운 양식지역의 환경, 먹이생물량 등 제반 환경요인에 순응하며 성장이나 비만도 등 생태적 특성이 비슷해질 것으로 생각된다. 본 연구에서와 같이 바지락의 이식 후 초기 폐사는 이식

할 때 종패의 건강 상태와 새로운 환경의 적응 여부가 가장 영향을 클 것으로 생각되므로 스트레스를 최소화할 수 있는 종패의 운송방법, 운송 중 외부의 물리적인 스트레스에 의해 나타나는 폐사 특성 등에 대한 연구가 필요할 것으로 생각된다. 이와 더불어 이식 후 양식 2년째 폐사와 이식되는 바지락 종패의 연령과의 상관성, 원산지별 건강도 등에 대하여 좀 더 면밀한 연구가 필요할 것으로 생각된다.

## 요 약

본 연구는, 고창갯벌에 가을에 이식한 중국산 종패를 1년간 양식 후 이듬해 가을에 전량 채취하지 않으면 월동중인 2월부터 죽기 시작하여 봄철에는 전량 폐사한다는 현지 어업인의 애로사항을 토대로, 고창갯벌에서 중국산과 충남산 종패를 같은 어장에 이식하여 양식시험을 실시하여 종패 차이로 인한 양식 생산성의 차이 유무를 진단하고, 차이가 있을 경우 적합한 양식관리 방안 도출을 위하여 2014년 4월부터 2015년 8월까지 수행하였다. 이식 중에 공기 중에서 약 5일의 운반과정을 거치는 중국산 종패는 이식 1개월 이내에 20% 이상의 폐사가 발생하여 초기 손실이 컸으나, 종패 산지에서 채취 후 다음날 시험 어장에 입식한 충남산 종패는 이식초기에 약 7%의 폐사가 발생하였다. 2015년에는 2014년에 비해 여름철 강수량은 감소하고 6월 중순 이후 급격한 기온 상승 등으로 인해 중국산과 충청산 모두 폐사가 급증하는 결과를 보였다. 바지락의 성장면에서는 이식초기에 장기간 절식 및 공기 중 노출 등 많은 스트레스를 받은 중국산에 비해 짧은 이식 시간 및 환경적응에 상대적으로 유리한 충청산이 이식 1년차의 성장에서 우수한 결과를 보였다. 중국산 바지락의 비만도는 시험 1년차에는 6월에 최고치에 도달 후 7월에 급격한 감소를 보인 반면 2년차에는 5월에 최고치에 도달 후 6월부터 8월 사이에 지속적으로 감소하였다. 한편, 충남산의 비만도는 시험 1년차에는 5월에, 시험 2년차에는 4월에 각각 최고치에 도달 후 감소함으로써 바지락의 비만도에 가장 큰 영향을 줄 수 있는 생식소 발달 및 산란 시기가 중국산과 충청산에 약간의 차이가 있는 것으로 나타났다. 또한, 중국산은 대개 가을에 성패를 채취하지만 부득이 월동할 경우에는 이듬해 5월까지의 채취하는 것이 폐사에 의한 손실을 줄일 수 있는 방법으로 판단된다. 한편, 고창 어업인들 사이에서는 충청산 바지락이 중국산에 비해 봄부터 가을까지 성장이나 비만도면에서 떨어진다는 의견이 지배적이었지만 본 연구에서는 산란 직후인 7월과 월동중인 12월부터 2월 사이를 제외한 나머지 기간에는 충청산이 전반적으로 우수하거나 비슷한 결과를 나타낸 점도 유의할 만하다. 본 연구는 고창갯벌의 동일지점에서 종패의 원산지 차이가 양식 생산성에 영향을 주는지를 구명하기 위하여 약 18개월간 수행되었으나 원산지



가 다른 두 지역의 바지락이 양식기간이 경과하면서 새로운 환경에 충분히 적응하는 지를 밝히기 위해서는 치폐 단계부터 성폐단계까지 최소한 3년 이상의 시험기간이 필요한 것으로 생각된다.

## 사 사

본 연구는 2016년도 국립수산물품질관리원 수산시험연구사업 (R2016004) 의 지원으로 수행된 연구이며 연구비 지원에 감사드립니다.

## REFERENCES

- Back, S.H., Park, S.U., Suh, S.H., Oh, T.G., Choi, C.W., Kim, H.J. and Kim, J.R. (2011) A study on the cause of mass mortality of *Ruditapes philippinarum* west coast. *The Journal of Fisheries Research Management*, **1**(1): 91-97.
- Baek, M.J., Lee, Y.J., Choi, K.S., Lee, W.C., Park, H.J., Kwak, J.H. and Kang, C.K. (2013) Physiological disturbance of the Manila Clam, *Ruditapes philippinarum*, by altered environmental conditions in a tidal flat on the west coast of Korea. *Marine Pollution Bulletin*, **78**: 137-145.
- Cho, T.J., Lee, S.B. and Kim, S.Y. (2001) Sedimentological and hydromechanical characteristics of bed deposits for the cultivation of Manila clam, *Ruditapes philippinarum* in Gomso tidal flat. *Korean Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, **34**: 245-253.
- Choi, K.S. and Park, K.I. (1997) Report on the Occurrence of Perkinsus sp. In the Manila clams, *Ruditapes philippinarum* in Korea. *Journal of Aquaculture*, **10**(3): 227-237.
- Choi, Y.M., Yoon, S.C., Lee, S.I., Kim, J.B., Yang, J.H., Yoon, B.S. and Park, J.H. (2011) The study of stock assessment and management implications of the Manila clam, *Ruditapes philippinarum* in Taehwa river of Ulsan. *Korean Journal of Malacology*, **27**(2): 107-114.
- Choi, Y.S., Cho, Y.R. and Lee, C.S. (2000) The relationship between environmental conditions and morphological characteristics of Manila clam, *Ruditapes philippinarum* in the west coast of Korea. *Bull. Natl. Fish. Res. Dev. Inst. Korea*, **58**: 56-63.
- Choi, Y.S., Park, K.J., Yoon, S.P., Chung, S.O., An, K.H. and Song, J.H. (2013) The Geochemical Characteristics and Environmental Factors on the Marine Shellfish Farm in Namhae-po Tidal Flat of Taean. *Korean Journal of Malacology*, **29**(1): 51-63.
- Choi, Y.S., Song, J.H., Yoon, S.P., Chung, S.O., An, K.H. and Park, K.J. (2014) The environmental characteristics and factors in the cultured Manila clam (*Ruditapes philippinarum*) at Hwangdo and Jeongsanpo of Taean in the west coast of Korea. *Korean Journal of Malacology*, **30**(2): 117-126.
- Chung, E.Y., Ryou, D.K. and Lee, J.H. (1994) Gonadal Development, Age and Growth of the Shortnecked Clam, *Ruditapes philippinaum* (Pelecypoda: Veneridae), on the Coast of Kimje, Korea. *Korean Journal of Malacology*, **10**(1): 38-54.
- Chung, E.Y., Hur, S.B., Hur, Y.B. and Lee, J.S. (2001) Gonadal Maturation and Artificial Spawning of the Manila Clam, *Ruditapes philippinarum* (Bivalvia: Veneridae), in Komso Bay, Korea. *J. Fish. Sci. Tech.*, **4**(4) : 208-218.
- Ford, S.E., Kraeuter, J.N., Barber, R.D. and Mathis, G. (2002) Aquaculture-associated factors in QPX disease of hard clams: density and seed source. *Aquaculture*, **208**: 23-38.
- Kang, H.K., Chang, J.Y. and Kim, Y.H. (2000) Growth Comparison of Short Neck Clams, *Tapes philippinarum* between the Tow Culturing Areas. *Korean Journal of Malacology*, **16**(1-2): 49-54.
- Kang, H.S., Hong, H.K., Yang, H.S., Park, K.I., Lee, T.K., Kim, Y.O. and Choi, K.S. (2015) Spatial Variation in the Reproductive Effort of Manila Clam *Ruditapes philippinarum* during Spawning and Effects of the Protozoan Parasite *Perkinsus olseni* Infection on the Reproductive Effort. *Ocean and Polar Research*, **37**(1): 49-59.
- Kim, C.W. and Kho, K.H. (2004) Effects of water temperature and salinity on dietary feeding of Manila clam (*Ruditapes philippinarum*). *Korean Journal of Environmental Biology*, **22**: 28-34.
- Korea Hydrographic and Oceanographic Agency (KHOA), 2016 <http://www.khoa.go.kr/>
- Korea Meteorological Administration (KMA). (2016) <http://web.kma.go.kr/>
- Korean Statistical Information Service (KOSIS). (2015) <http://kosis.kr/>
- Lee, H.J., Kang, H.S., Park, K.I., Mondol, M.R. and Choi, K.S. (2012a) Quantification of Reproductive Effort and Microscopic Observation on the Larval Development of Manila clam *Ruditapes philippinarum* (Adams and Reeve, 1850). *Korean Journal of Malacology*, **28**(2): 145-156.
- Lee, Y.H., Chang, Y.J., Han, K.L., and Chung, G.S. (1996) Comparison of Growth and Survival Rate in Shortnecked Clams, *Ruditapes philippinarum* from Different Seedling Production Areas. *Journal of Aquaculture*, **9**(3): 223-232.
- Lee, Y.W., Park, M.O., Yoon, J.H. and Hur, S.B. (2012b) Temporal and Spatial Variation of Microalgal Biomass and Community Structure in Seawater and Surface Sediment of the Gomso Bay as Determined by Chemotaxonomic Analysis. *Journal of the Korean Society of Oceanography*, **17**: 87-94.
- Min, D.K. (2004) Mollusks in Korea. Busan, Korea: Hanguk Graphics. 465 pp.
- Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs. (2010) Marine environmental test method, pp. 495. (in

- Korean).
- Ministry of oceans and fisheries (MOF). (2016) <http://www.fips.go.kr/>
- Nam, K.W., Jeung, H.D., Song, J.H., Choi, K.S. and Park, K.I. (2015) Dissemination of *Perkinsus olseni* is affected by the viability of *Ruditapes philippinarum*. *Korean Journal of Malacology*, **31**(4): 267-272.
- National Institute of Fisheries Science (NIFS). (2015) <http://www.nifs.go.kr/>
- Park, K.I., Yang, H.S., Kang, D.H. and Choi, K.S. (2010a) Density Dependent Growth and Mortality of Manila Clam *Ruditapes philippinarum* Reared in Cages in Gomso Bay, Korea. *Korean Journal of Malacology*, **26**(1): 91-95.
- Park, K.I. (2013a) Variation of nitric oxide concentrations in response to shaking stress in the Manila clam *Ruditapes philippinarum*. *Korean Journal of Malacology*, **29**(1): 1-6.
- Park, K.J., Song, J.H., Han, H.S. and O, H.C. (2010b) 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. pp.39.
- Park, K.J., Yoon, S.P., Song, J.H., Han, H.S. and O, H.C. (2011) Improvement of Manila Clam (*Ruditapes philippinarum*) Habitat Condition by Adding Crushed Oyster (*Crassostrea gigas*) Shells to the Substratum. *Korean Journal of Malacology*, **27**(4): 291-297.
- Park, K.J., Song, J.H., Choi, Y.S and An, K.H. (2013b) Change in density and culture condition of the Manila Clam *Ruditapes philippinarum* on the West coast of Korea. *Korean Journal of Malacology*, **29**(3): 207-216.
- Park, K.J., Yang, H.S., Jeung, H.D. and Choi, K.S. (2013c) 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 Journal of Malacology*, **29**(2): 147-154.
- Park, K.J., Kim, S.K., Kang, D.Y. and Song, J.H. (2015a) Oil spill of Herbei spirit and Change of Manila Clam, *Ruditapes philippinarum* beds in the West coast of Korea. *Korean Journal of Malacology*, **31**(3): 213-220.
- Park, S.K., Kim, B.Y., Oh, J.S., Park, K.J. and Choi, H.K. (2015b) Seasonal Variations of Microphytobenthos and Growth of *Ruditapes philippinarum* at Jeongsanpo and Hwangdo Tidal flat, Taeon, Korea. *Kor. J. Env. Ecol.*, **29**(6): 884-894.
- Park, S.W., Kim, Y., Kim, J.H., Chung, S.H. and Han, K.N. (2013d) Effect of Environment Factors on Growth and Mortality of Cupped Oyster, *Crassostrea gigas*. *Korean Journal of Malacology*, **29**(4): 273-281.
- Ponurovsky, S.K. and Yakovlev, Y.M. (1992) The reproductive biology of the Japanese littleneck, *Tapes philippinarum* (A. Adams and Reeve, 1850) (Bivalvia: Veneridae). *Journal of Shellfish Research*, **11**: 265-277.
- Ren, Y.P., Xu, B.D., Gou, Y.L., Yang, M. and Yang, J.W. (2008) Growth, mortality and reproduction of the transplanted Manila clam (*Ruditapes philippinarum* Adams & Reeve 1850) in Jiaozhou Bay. *Aquaculture Research*, **39**: 1759-1768.
- Shin, H.C. and Shin, S.H. (1999) Population Biology of Short-nacked Clam (*Ruditapes philippinarum*: Bivalvia) in Kwangyang Bay, the Southern Coast of Korea. II. Population Dynamics and Secondary Production. *Korean Journal of Malacology*, **15**(1): 31-39.
- Shin, Y.K., Kim, Y., Chung, E.Y. and Hur, S.B. (2000) Temperature and Salinity Tolerance of the Manila Clam, *Ruditapes philippinarum*. *Korean Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, **33**(3): 213-218.
- Unddin, M.J., Yang, H.S., Park, K.J., Kang, C.K., Kang, H.S. and Choi, K.S. (2012) Annual reproductive cycle and reproductive efforts of the Manila clam *Ruditapes philippinarum* in Incheon Bay off the west coast of Korea using a histology-ELISA combined assay. *Aquaculture*, **364-365**: 25-32.
- Won, M.S. and Hur, S.B. (1993) Fatness Index and Spat Occurrence of the Shortnecked clam, *Ruditapes philippinarum*. *Journal of Aquaculture*, **6**(3): 133-146.
- Yang, H.S., Park, K.I., Donaghy, L., Adhya, M. and Choi, K.S. (2012) Temporal variation of *Perkinsus olseni* infection intensity in the Manila clam *Ruditapes philippinarum* in Gomso Bay, off the west coast of Korea. *Journal of Shellfish Research*. **31**: 685-690.
- Yoo, S.G. (2000) Mariculture. Gooduk edition, Busan, P262.
- Zhang, Z.M., Wang, S.W., Huang, H.W., Gong, Z.F., Wang, X.Y., Cai, T., Jia, W.G. and Ping, X. (2013) Effects of decaboromodiphenyl ether (BDE-209) on the antioxidant enzyme activities of *Ruditapes philippinarum* mantle membrane. *Chinese Journal of Ecology*, **32**(1) : 128-128.