

# 수평망식 굴양식의 입식 시기에 따른 성장 비교

정우권<sup>1</sup>, 조상만<sup>2</sup>

<sup>1</sup>경상대학교 해양식품생명의학과, <sup>2</sup>군산대학교 해양생명응용과학부

## Growth comparison of the Pacific Oyster, *Crassostrea gigas*, between different stocking times into tidal flat rack culture system

Woo-Geon Jeong<sup>1</sup> and Sang-Man Cho<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Department of Seafood and Aquaculture Science, Gyeongsang National University, 38 Cheondaegukchi-gil, Tongyeong, 53064, Republic of Korea.

<sup>2</sup>School of Applied Marine Biosciences, Kunsan National University, 558 Daehak-ro, Gunsan 54150, Republic of Korea.

### ABSTRACT

In order to investigate the effect of stocking time on the growth performances, the oyster, in a density of 100 individuals per bag, introduced into rack culture farm on Wando tidal flat at three different time, April 2011 (APR-11), June 2012 (JUN-12) and November 2012 (NOV-12), respectively. In APR-11 and NOV-12, the growth of oysters was, with an initial size of 20 g in total weight and 3-5 cm in shell height, reached to commercial size over 80 g in total weight within 6-8 months. Regardless of stocking time, the crash season from summer mortality began in June, which difference between air and surface seawater temperature become increasing. Age or size dependent mortality was observed by 20-30% for 1-year-old oysters (APR-11), and 70-80% for 2-year-old oysters (NOV-12), respectively. Because of the stresses from transfer handling in hot summer season and direct impact of typhoons in 2012, JUN-12 did not reached to commercial size throughout the experimental period. Our data indicated that stocking time is one of the most important cultural practices for strategic approach to achieve the successful oyster farming of rack culture. In Wando, to avoid disastrous mortality, it is not recommend for 2 year old oysters to be exposed by oversummering for more growth.

**key words:** Pacific Oyster, *Crassostrea gigas*, Summer mortality, Typhoon, Growth, Wando

### 서 론

굴은 여과섭식성 이매패류로 그 성장과 생산성은 수온, 염분과 같은 무생물적 환경 요인과 먹이 가용성, 해적 및 경쟁 생물과 같은 생물적 요인 등에 의해 결정된다. 그러나 굴양식은 환경요인에 대한 능동적인 대처를 통해 최적의 생산을 추구하고자 한다 (Lee *et al.*, 2008; Mondol *et al.*, 2016). 우리나라에서 전통적인 굴수하식 양식 공정은 수온상승기에 채묘한 종

패는 당년에 수하하여 이듬해 늦겨울부터 봄철에 수확하였고, 수온하강기에 채묘한 종패는 겨울동안 단련시켜 이듬해 늦봄에 수하하여 당해년도 겨울철에 수확하는 순기를 지켜왔다. 그러나 1990년 중반 이후 인공종묘 생산기술이 확립됨에 따라 전통적 양식순기를 이미 지켜지지 않고 있으며, 인공종묘의 현장 적용성이 검증 받은 이후 인공종묘의 보급은 점차 확산 일로에 있다 (Min, 1998).

양식 굴의 성장은 양성기간 동안 굴이 환경으로부터 받아온 갖가지 영향의 누적된 결과이고, 양식 환경은 계절적 주기성을 지니고, 생물은 성장단계에 따라 에너지 요구량이나 생리적 적응 전략이 달라지므로 동일한 조건에서 양식공정의 적절성에 따라 확연한 생산성의 차이가 발생할 수 있다 (Han and Cho, 2013). 따라서 굴양식의 지속 가능한 최대생산유지하기 위해서는 양식환경의 주기적 패턴과 양식대상종의 성장단계별 적응전략을 이해하고 그에 적합하게 인위적 요인을 조절 배치하는 것이 필요하다. 굴양식은 다른 양식에 비해 생산성에 인

Received: September 10, 2020; Revised: September 21, 2020;  
Accepted: September 29, 2020

Corresponding author: Sang-Man Cho

Tel: +82 (63) 469-1839, e-mail: gigas@kunsan.ac.kr  
1225-3480/24766

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.

위적 요소가 크게 개입되지 않지만, 입식 시기와 입식 밀도 등은 양식 생산에 미치는 영향이 매우 큰 편이다 (Lee *et al.*, 2008). 빠른 성장과 높은 생존율을 통한 지속가능한 최대생산 (MSY) 을 위해서는 해역의 먹이용성에 기반한 양식 전략을 수립하고 나아가 다양한 위협요인을 회피할 수 있는 입식 전략을 수립할 필요가 있다.

이 연구는 전남 완도군 군외면 일원 해역의 수평망식 양식시설에서 입식 시기를 달리하며 참굴의 성장 및 생존율을 모니터링하여 개체굴 상품으로써 가치를 지닌 상품을 생산하는데 있어서 최적의 생산조건을 찾고자 하였다.

### 재료 및 방법

입식 시기에 따른 굴 성장 변화를 조사하기 위하여 통영 종묘배양장에서 생산한 삼베체 굴 치패를 전남 완도군 군외면 영흥리 지선 연안의 수평망식 굴양식장에 2011년 4월 (APR-11), 2012년 6월 (JUN-12) 및 2012년 11월 (NOV-12) 에 입식하였다 (Fig. 1). 각각의 치패는 입식 2-3개월전에 종묘생산하여 경남 고성군 도산면 인근 앞바다에서 수하식으로 관리하다가 완도로 이송하여 입식하였다. 이때 입식 밀도는 망당 100 개체로 하였고 (1 × 0.5 m, 망목 10 mm), 시설 조건은 앞선 Han and Cho (2013) 의 조건을 따랐다 (해수면 110 cm, 시설물 높이 60 cm 포함).

각 실험조건별 성장측정을 위해 매월 2망씩 수거하여 각장 (SL, mm), 각고 (SH, mm), 전중량 (TW, g) 및 육중량 (MW, g) 을 측정하였고, 각 망의 생존 개체를 확인하여 생존율 (%) 을 구하였다. 전중량에 대한 육중량의 비로 비만도지수를 산정하였다.

각각의 데이터는 평균과 표준편차로 제시하였고, 각 개체군별 성장 비교를 위하여 각고에 대한 Bertalanffy 성장식을 산정하였고, 분석한 항목의 평균간 유의차 분석은 Sigmaplot (Systat Software, Inc., San Jose, CA) 을 사용하여 ANOVA test를 실시한 후 그룹간 유의한 차이가 인정되면 사후검정으로 Student-Newman-Keuls (SNK) test를 실시하였다.

### 결과 및 논의

입식 시기를 달리하여 양성한 굴의 각고, 전중, 육중 성장 및 생존율 결과는 Fig. 2와 같다. 각 실험군에 입식한 종패는 통영지역에서 생산된 인공종묘로 최소 2-3개월정도 수하식으로 중간 육성하였고, 운반 중의 스트레스를 최소화하기 위하여 물차를 통해 입식하였다. 입식 크기의 영향을 최소화하기 위하여 초기 각고의 크기는 최대한 평균 간의 유의차가 없도록 조

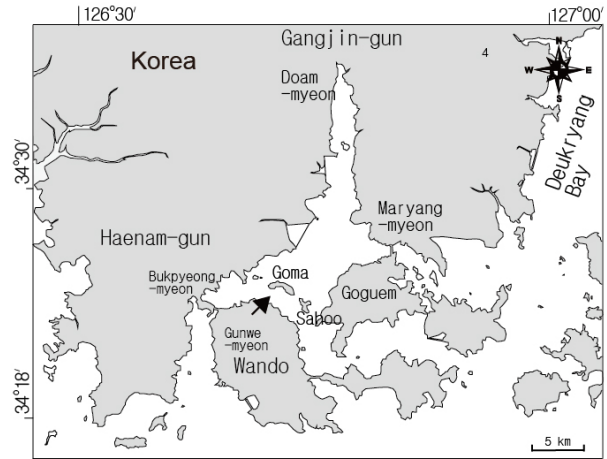


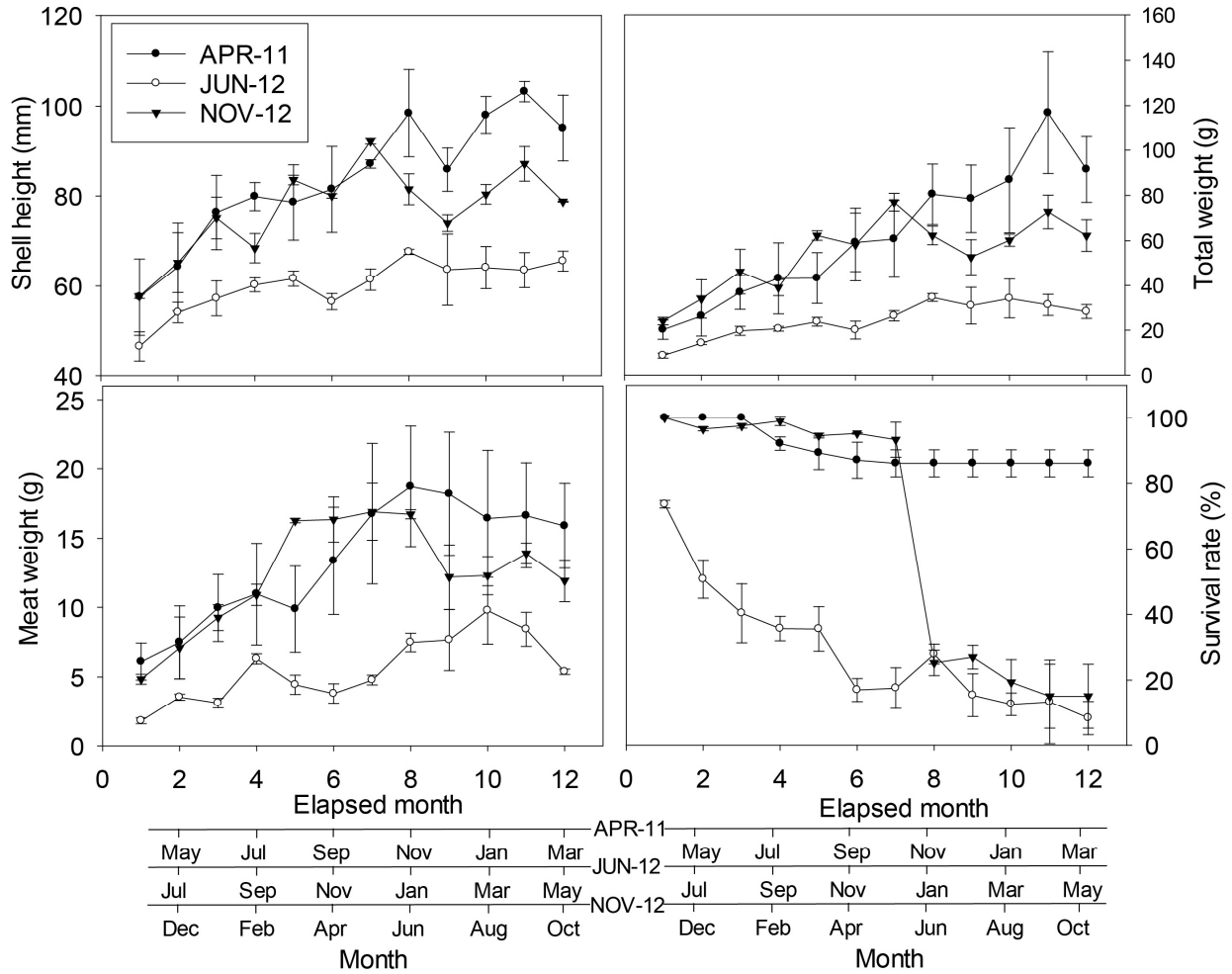
Fig. 1. Map for the oyster rack farming site for the study on Wando coast, Korea.

절하였다 (평균 46.5-57.7 mm, P = 0.195). 각 실험구별 양식 기간은 12개월이었고, 각 입식 시기에 따른 성장 및 생산성 차이를 비교하였다.

각 실험구별 각고 성장은 입식시기에 따라 큰 차이가 있어, APR-11은 입식 이후 상품크기까지 지속적으로 성장하였고, NOV-12는 7개월차까지는 지속적으로 성장하였지만, 8개월부터 여름철 폐사로 인하여 대형 개체가 폐사 되면서 평균 각고가 오히려 감소하는 경향을 보였다. 두실험구의 최대 각고 성장은 양식 11개월 차에 각각 APR-11은 103.2 ± 12.2 mm와 NOV-12는 87.1 ± 3.8 mm로 성장하였다 (P = 0.032). 한편 JUN-12는 입식이후부터 지속적인 폐사가 발생하였고, 5개월 이후부터 성장 차이가 나타났다 (P = 0.034). Bertalanffy 성장식을 산정한 각 실험구별 최대 각고는 APR-11 (106.8 mm) > NOV-12 (82.6 mm) > JUN-12 (64.7 mm) 의 순이었다 (Table 1).

각장과 달리 입식 초기 전중량은 8.7-24.0 g의 범위로 JUN-12의 입식 중량이 타 실험구에 비해 낮았다 (P = 0.023). 이는 종묘 생산이후 수하식으로 중간육성하던 시기의 환경적 차이 때문으로 JUN-12의 폐각 및 육중량의 성장이 현저하게 낮았기 때문이다 (P < 0.01). 각 실험구별 성장은 확연하게 차이가 나타나, APR-11과 NOV-12는 입식 이후 빠르게 전중량 및 육중량이 증가하는 반면 JUN-12는 성장이 현저하게 둔화되어 성장지체 현상을 나타내었다.

APR-11은 입식 이후 지속적으로 성장하여 8개월에 80 g, 11개월에 100 g을 상회하고, 육중량도 평균 18.7 g에 도달하는 등 상업적 양성이 충분히 가능한 성장 결과를 나타내었다. 한편 NOV-12는 7월까지의 평균 전중 76.9 g 및 육중 16.9 g 에 이르기까지 빠르게 성장하였지만 여름철에 대형 개체의 폐사가 발생함으로써 평균 중량이 오히려 감소하였다 (Fig. 2).



**Fig. 2.** Comparison in shell height, total weight, meat weight and survival rate of the oyster introduced into rack oyster farm at three different times.

**Table 1.** Comparison in the estimated Bertalanffy growth parameters of the oysters introduced into at three different times, respectively

Constants	APR-11	JUN-12	NOV-12
$L_{\infty}$	106.8	64.7	82.6
$k$	0.163	0.380	0.483
$t_0$	- 3.8628	- 2.4782	- 1.4188
$P$	< 0.0001	0.0002	0.0081

입식 시기에 따라 서로 다른 폐사 패턴을 나타내었다. APR-11은 입식 4개월 후인 7월부터 약 20% 정도의 폐사가 발생하였고 이후 실험말기까지 추가적인 폐사가 관찰되지 않았다. 한편 NOV-12는 입식 이후 7개월까지는 약 5%이내의 폐사율에 불과하였지만, 8개월차인 2012년 6월에는 74.7%의

폐사율을 나타내었고, 실험말기에는 생존율이 15.1%이하에 불과할 정도로 심각한 폐사가 발생하였다. 비록 실험 시기의 차이는 있지만, 두 실험군 모두 6-7월의 수온 18-22°C의 수온상승기에 발생하여 반드시 고수온과 폐사가 직결되지는 않았다. 또한 여름철 폐사는 개체크기와도 관련이 있어, 당년생 종패

(APR-11) 보다는 2년생 성체 (NOV-12) 의 폐사율이 유의하게 높았다 ( $P < 0.001$ ).

여름철 대량폐사는 높은 수온과 환경의 복합적 요인에 의한 것으로 단순히 고수온에 대한 적응 부재에 의한 것은 아니다 (Cho, 1979; Cheney, 2000; Lee *et al.*, 2008; Malham *et al.*, 2009; Kim *et al.*, 2013). 한편, MSX(Burreson *et al.*, 2000), Dermo(ICES, 2011) 및 Herpesvirus (Chaney and Gracey, 2011; Paul-Pont *et al.*, 2014) 등의 병원체 감염은 여름철 폐사를 유발하기는 하지만, 연령이나 개체 크기가 질병 민감성에 크게 영향을 주지 않고 오히려 반비례하는 것으로 보고되고 있다 (Hick *et al.*, 2018). 실제 동일 해역에서 양성된 굴의 혈구 기생충 감염여부를 조사한 결과 Apicomplexa (Jeong and Cho, 2019) 와 Haplosporidian의 감염을 확인하였지만(Cho, 2013), 여름철 폐사와 직접적 연관성은 찾을 수 없었다.

우리 연구에서 폐사가 발생하는 시기는 늦봄과 초여름에 걸쳐서 발생하였고 (Soletchnik *et al.*, 2007; Samain *et al.*, 2008), 이는 산란 이후 (Cho, 2018) 생리적으로 약해진 상태에서 (Cho and Jeong, 2005) 수온과 기온의 온도 차이 등에 의한 물리적 스트레스에 의한 결과도 크게 작용할 수 있다 (Zhang *et al.*, 2006; Lee *et al.*, 2016). 산란 및 노출에 따른 대사 비용은 개체 크기에 비례하고 (Choi *et al.*, 1993; Hofmann *et al.*, 1994), 이에 따른 물리적 스트레스 (Cho *et al.*, 2005; Li *et al.*, 2009) 및 먹이 가용성 부족 (Li *et al.*, 2009) 등은 대사능력 및 면역력 저하에 의한 폐사의 원인이 되고 있다.

한편 JUN-12 개체군은 입식 직후인 6-7월부터 약 20% 이상의 폐사가 발생하였고, 이후연구가 지속됨에 따라 매월 10% 내외의 폐사가 발생하였고, 실험종료시점에는 폐사율이 91.6%에 이르렀다 (Fig. 2). 이는 입식 당시 높은 기온 (28°C) 과 통영에서 완도까지의 장거리 이송 등으로 인한 상당한 stress를 받은 것으로 판단된다. 그러나 이후 지속적으로 폐사가 발생하는 것은 입식 이후 7월 16일에 태풍 Khanun의 직접적인 영향을 받았고, 이후에도 Tembin, Bolaven, 및 Sanba의 영향으로 지속적인 폐사가 발생하였다 (Fig. 3). 물리적 스트레스는 굴의 면역기능을 저하시키고 (Lacoste *et al.*, 2002), Vibrio 등의 병원성 세균에 대한 민감성을 높이는 것으로 보고되었다 (Lacoste *et al.*, 2001). 완도해역은 여름철이면 많은 태풍의 영향을 직간접적으로 받는 해역이고 갯벌지역에서 이뤄지는 수평망식 굴양식을 고려하면 태풍에 의한 피해여부는 완도 수평망식 굴양식의 매우 중요한 고려 요소로 판단된다.

입식 시기에 따른 육중량의 변화는 각고 성장과 거의 비슷하여 APR-11은 입식 이후 꾸준히 증가하던 육중량은 여름철로 접어드는 6월부터 육중량 증가세가 둔화되었다가 이후 지속적

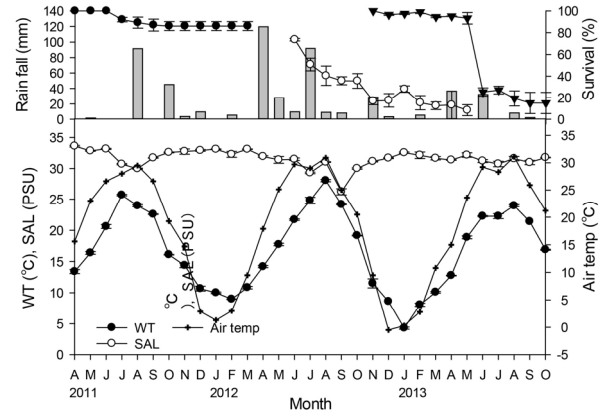


Fig. 3. Monthly variation of rainfall, survival rate, air temperature, seawater temperature and salinity in the waters around rack oyster farm on Wando coast.

으로 증가하여 실험말기까지 16-18 g 이내의 범위를 유지하였다. NOV-12는 입식 이후 5개월인 2012년 4월까지 지속적으로 증가하다가 4-7월까지 육중량이 16.3-16.9 g으로 정체하다가 7월부터 급격하게 감소하였고, 2013년 3월 이후 수온상승과 더불어 육중량의 다소간의 증가세가 나타났지만 대형개체들의 폐사로 인하여 육중량의 증가는 거의 나타나지 않았다. JUN-12는 입식 이후 수온 상승과 함께 육중량이 증가하지만, 다른 실험구에 비해 현저하게 증가속도가 느렸고, 전조사시기에 걸쳐 지속적으로 낮은 육중량 함량을 나타내었다. 육중량 성장에서 보면 완도해역에서 기대 가능한 육중량은 20 g 내외가 될 것으로 판단된다.

조사기간 중 전체 개체군의 비만지수는  $14.4 \pm 1.8$ - $30.8 \pm 1.9$ 의 범위였고, APR-11 개체군은 최초 30.3에서 여름철을 지나며 2011년 9월에는  $22.7 \pm 4.3$ 까지 감소하였다가 2011년 9월에는  $27.8 \pm 3.8$ 까지 증가하였지만, 이후 겨울철에 최저  $14.4 \pm 1.8$ 까지 감소하였다. 한편 JUN-12 개체군은 입식 이후 여름철에  $15.6 \pm 0.6$ 까지 감소하였다가 증가하여 실험말기에는  $29.2 \pm 0.7$ 까지 증가하였다. NOV-12 개체군은 입식 이후 지속적으로 감소하여 2013년 2월에는 18.8까지 감소하였고, 이후 반등하여 2013년 5월에는  $28.9 \pm 1.5$ 로 최고치를 기록하고 이후 감소하였다. 서해안의 경우보다 상대적으로 비만지수가 높았다 (Lee, 2011).

## 결론

완도해역에서 성공적인 수평망식 양식을 위해서는 봄철에 각고 3-5 cm급의 월동종묘를 입식할 경우, 육중량 18-20 g 및 약 80 g 정도가 수확시기가 될 것으로 판단되고, 이는 통상 8-10개월 정도의 양성 기간이 소요될 것으로 판단된다. 가을철

이나 여름철에 입식을 하게 되면 높은 여름철 폐사량으로 인하여 생산성이 낮으므로, 봄철 입식하여 이듬해 늦봄에 수확하는 것이 가장 효과적인 방법이다.

## 사 사

이 논문은 2017년 해아수산부 재원으로 해양수산과학기술진흥원의 지원을 받아 수행된 연구임 (갯벌참국 생산성 향상 및 오염저감을 위한 다단양식기술 개발).

## REFERENCE

- Burreson, E., Stokes, N., and Friedman, C. (2000) Increased virulence in an introduced pathogen: Haplosporidium nelsoni (MSX) in the eastern oyster *Crassostrea virginica*. *Journal of Aquatic Animal Health*, **12**: 1-8.
- Chaney, M.L., and Gracey, A.Y. (2011) Mass mortality in Pacific oysters is associated with a specific gene expression signature. *Molecular ecology*, **20**: 2942-2954.
- Cheney, D. (2000) Summer mortality of Pacific oysters, *Crassostrea gigas* (Thunberg): initial finding on multiple environmental stressors in Puget Sound, Washington, 1998. *J. Shellfish Res.*, **19**: 353-359.
- Cho, C.H. (1979) Mass mortalities of oyster due to red tide in Jinhae Bay in 1978. *Bull. Korean Fish. Soc.*, **12**: 27-33.
- Cho, S.-M. (2013) Development of cultural technique for the Pacific oyster rearing at rack culture system in mudflat, Korea. MOMAF, Gunsan.
- Cho, S.-M. (2018) Comparison of growth performance between diploid and triploid Pacific oyster, *Crassostrea gigas*, on the tidal flat in Wando, Korea. *The Korean Journal of Malacology*, **34**: 209-215.
- Cho, S.-M., and Jeong, W.-G. (2005) Spawning impact on lysosomal stability of the Pacific oyster, *Crassostrea gigas*. *Aquaculture*, **244**: 383-387.
- Choi, K.-S., Lewis, D., Powell, E., and Ray, S. (1993) Quantitative measurement of reproductive output in the American oyster, *Crassostrea virginica* (Gmelin), using an enzyme-linked immunosorbent assay (ELISA). *Aquaculture Research*, **24**: 299-322.
- Han, H.S., and Cho, S.-M. (2013) Study on Optimal Condition for Oyster Rack Culture in terms of tidal exposure and rack height in Wando Coast, Korea. *The Korean Journal of Malacology*, **29**: 43-48.
- Hick, P.M., Evans, O., Rubio, A., Dhand, N.K., and Whittington, R.J. (2018) Both age and size influence susceptibility of Pacific oysters (*Crassostrea gigas*) to disease caused by Ostreid herpesvirus-1 (OsHV-1) in replicated field and laboratory experiments. *Aquaculture*, **489**: 110-120.
- Hofmann, E.E., Klinck, J.M., Powell, E.N., Boyles, S., and Ellis, M. (1994) Modeling oyster populations II. Adult size and reproductive effort. *Journal of Shellfish Research*, **13**.
- ICES, I.c.f.t.E.o.t.S. (2011) Dermo disease of oysters caused by *Perkinsus marinus*. Revised and updated by Susan E. Ford. ICES Identification Leaflets for diseases and parasites of fish and shellfish, Leaflet No. 30, pp 5
- Jeong, W.-G., and Cho, S.-M. (2019) Parasitic infection in the Pacific oyster, *Crassostrea gigas*, reared by intertidal rack culture in Wando Coast, Korea. *Korean Journal of Malacology*, **35**: 341-346.
- Kim, C.-W., Oh, H.J., and Shin, Y.K. (2013) Effects of water temperature on the mass mortality of Pacific oyster, *Crassostrea gigas* in Gamak Bay. *Korean Journal of Malacology*, **29**: 245-250.
- Lacoste, A., Jalabert, F., Malham, S.K., Cuff, A., and Poulet, S.A. (2001) Stress and Stress-Induced Neuroendocrine Changes Increase the Susceptibility of Juvenile Oysters (*Crassostrea gigas*) to *Vibrio splendidus*. *Applied and Environmental Microbiology*, **67**: 2304-2309.
- Lacoste, A., Malham, S.K., Gélébart, F., Cuff, A., and Poulet, S.A. (2002) Stress-induced immune changes in the oyster *Crassostrea gigas*. *Developmental & Comparative Immunology*, **26**: 1-9.
- Lee, C. (2011) Comparison of growth rates between diploid oyster and triploid oyster (*Crassostrea gigas* Thunberg, 1793) using rack culture system on the tidal flat in the West Sea of Korea., Pusan, Korea.
- Lee, J.-M., Park, A.-J., Cho, S.-M., and Park, K.-D. (2008) Growth Comparison of the Pacific Oyster Spat, *Crassostrea gigas*, by Three Different Suspended Time Around Coast of Gyeongnam. *The Korean Journal of Malacology*, **24**: 109-119.
- Lee, J.-M., Park, A.-J., Cho, S.-M., and Park, K.-D. (2008) Growth comparison of the Pacific oyster spat, *Crassostrea gigas*, by Three different suspended time around Coast of Gyeongnam. *Korean Journal of Malacology*, **24**: 109-119.
- Lee, S., Kang, J.-H., and Sang-Man, C. (2016) Air-emersion thermal stress can induce the mortality in the Pacific oyster (*Crassostrea gigas*)? In: Son M-h (ed) Spring meeting of the Malacological Society of Korea in 2016. The Malacological Society of Korea, Pusan, Korea, pp O-2-2
- Li, Y., Qin, J.G., Li, X., and Benkendorff, K. (2009) Spawning-dependent stress response to food deprivation in Pacific oyster *Crassostrea gigas*. *Aquaculture*, **286**: 309-317.
- Li, Y., Qin, J.G., Li, X., and Benkendorff, K. (2009) Spawning-dependent stress responses in Pacific oysters *Crassostrea gigas*: a simulated bacterial challenge in oysters. *Aquaculture*, **293**: 164-171.
- Malham, S.K., Cotter, E., O'Keeffe, S., Lynch, S., Culloty, S.C., King, J.W., Latchford, J.W., and Beaumont, A.R. (2009) Summer mortality of the Pacific oyster, *Crassostrea gigas*, in the Irish Sea: The influence of temperature and nutrients on health and survival. *Aquaculture*, **287**: 128-138.

- Min, K.S. (1998) Studies on the commercial scale production of artificial seedling of the pacific oyster, *Crassostrea gigas*. Ph.D. Thesis, Pusan
- Mondol, M.R., Kim, C.-W., Kang, C.-K., Park, S.R., Noseworthy, R.G., and Choi, K.-S. (2016) Growth and reproduction of early grow-out hardened juvenile Pacific oysters, *Crassostrea gigas* in Gamakman Bay, off the south coast of Korea. *Aquaculture*, **463**: 224-233.
- Paul-Pont, I., Evans, O., Dhand, N.K., Rubio, A., Coad, P., and Whittington, R. (2014) Descriptive epidemiology of mass mortality due to Ostreid herpesvirus-1 (OsHV-1) in commercially farmed Pacific oysters (*Crassostrea gigas*) in the Hawkesbury River estuary, Australia. *Aquaculture*, **422**: 146-159.
- Samain, J.-F., McCombie, H., and Samain, J. (2008) Summer Mortality of Pacific Oyster *Crassostrea gigas* pp. Quae.
- Soletchnik, P., Ropert, M., Mazurié, J., Gildas Fleury, P., and Le Coz, F. (2007) Relationships between oyster mortality patterns and environmental data from monitoring databases along the coasts of France. *Aquaculture*, **271**: 384-400.
- Zhang, Z., Li, X., Vandeeper, M., and Zhao, W. (2006) Effects of water temperature and air exposure on the lysosomal membrane stability of hemocytes in pacific oysters, *Crassostrea gigas* (Thunberg). *Aquaculture*, **256**: 502-509.