

입식밀도가 수평망식 굴양식 생산에 미치는 영향

조상만

군산대학교 해양생명응용과학부

Density effect on growth and cultural production of the Pacific Oyster, *Crassostrea gigas*, in tidal flat rack oyster farm

Sang-Man Cho

School of Applied Marine Biosciences, Kunsan National University, 558 Daehak-ro, Gunsan 54150, Republic of Korea.

ABSTRACT

In order to investigate the density effect on growth and cultural production in tidal flat rack oyster farm, the first experiment was carried out, in the density of 25, 50, 75 and 100 ind./bag, in November 2011. The density effect on growth was observed only after the outbreak of summer mortality, which resulted in significant decrease in the growth at high density group. To minimize the effect of summer mortality, the second experiment was carried out in the density of 25, 50, 75, 100 and 200 ind./bag in March 2012. Although there was no significant mortality, oyster in the density of 200 ind./bag showed significant decrease in shell length and total weight but not in fatness and meat weight. If stocked under the density of 200 ind./bag with 40-50 mm in shell length, oyster could reach a market-sized, and be harvested within 6-8 months. This finding suggested that a strategic approach is necessary for oyster rack culture to obtain the optimal production when determining the stocking density.

Key words: Pacific oyster, density, rack culture, growth, production

서론

이때패류 양식은 여러가지 환경요인을 고려하여 최적의 생육 조건을 능동적으로 대응하여 최대 생산을 추구하는 것이다 (Lee *et al.*, 2008; Mondol *et al.*, 2016). 어류 양식과는 달리 환경에 무한 공급되는 먹이자원을 이용하지만, 태양에너지로부터 전이되는 먹이생산 속도가 유한하므로 이러한 먹이의 생산 속도에 적합한 양식 변수를 조절하여야 한다. 양식 생산성을 결정하는 요인 중 능동적 조절 변수 중 가장 유의한 것은 밀도 변수이고, 적정 밀도에 대한 연구는 오랜 기간 이어져 왔다 (Fréchette and Bourget, 1985; Honkoop and Bayne, 2002). 이러한 입식 밀도에 대한 변수는 먹이 분배에 영향을

주게 되고(Hadley and Manzi, 1984), 나아가 성장 등에 영향을 미치게 된다(Harvey and Vincent, 1991; Vincent *et al.*, 1994).

양식 굴의 성장은 양성 기간 동안 굴이 환경으로부터 받아들인 갖가지 영양의 누적된 결과이므로 (Han and Cho, 2013), 입식 시기와 달리 입식 밀도의 차이는 누적된 개체간 경쟁의 결과가 생산으로 나타나는 것이다. 따라서 굴양식의 지속 가능한 최대생산유지를 위해서는 양식 환경의 주기적 변화 패턴 특히 기초생산력과 같은 먹이생산 능력을 이해하고 그에 적합하게 밀도를 조절하는 것이 중요하다. 기초생산력으로부터 유추한 먹이생산능력을 평가할 수도 있지만, 다양한 입식밀도 실험을 통해 최적의 밀도를 평가하는 경험적인 방법도 매우 유의미한 데이터를 제공할 수 있다. 비록 환경의 주기적 변동이 있지만, 해역의 생산성은 예측 가능한 수준에서 진동하므로 오랜 기간 누적된 경험적 방법에 의한 적정밀도는 오히려 양식 생산을 전략적으로 접근하는데 매우 유의한 결과를 제시할 수 있다.

따라서 이 연구는 전남 완도군 군외면 일원 해역의 수평망식 양식시설에 밀도를 달리하며 입식하여 굴의 성장 및 생존율을 조사하였고, 또한 여름철 대량폐사의 영향을 최소화하여 개체 굴 상품으로써 가치를 지닌 상품을 생산하는데 있어서 최적의 생산조건을 찾고자 하였다.

Received: December 10, 2020; Revised: December 22, 2020;
Accepted: December 30, 2020

Corresponding author: Sang-Man Cho

Tel: +82 (63) 469-1839, e-mail: gigas@kunsan.ac.kr
1225-3480/24770

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.

재료 및 방법

입식 밀도를 달리하며 입식한 굴의 성장 변화를 조사하기 위하여 2차에 걸친 실험을 실시하였다. 1차 실험은 통영 종묘배양장에서 생산한 각고 57.72 ± 0.51 mm, 전중 24.0 ± 1.5 g의 치패를 25, 50, 75 및 100 개체/망의 밀도로 2011년 11월에 입식하여 1년간 월별조사를 실시하였다. 한편 여름철 폐사 효과를 상쇄하고자 한, 2차 실험은 2012년 3월에 각고 57.7 ± 0.5 mm, 전중 24.0 ± 1.7 g의 치패를 25, 50, 75, 100 및 200 개체/망을 입식하였다. 각각의 치패는 입식 2-3개월전에 종묘생산하여 경남 고성군 도산면 인근 앞바다에서 수하식으로 관리하다가 물차를 이용하여 전남 완도군 군외면 영흥리 지선 연안으로 이송하여 입식하였다. 입식망은 크기 1 × 0.5 m (망목 10 mm) 의 PE망을 사용하였고, 시설 조건 및 어장의 위치는 앞선 Han and Cho (2013) 와 같다.

1차실험의 성장측정을 위해 매월 3망씩 실험실로 운반하여 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. 2차 실험은 2014년 2월 전량 수거하여 각 망별 성장 및 생존율 특성을 분석하였다 (n = 3).

각각의 데이터는 평균과 표준편차로 제시하였고, 각 밀도별 성장 비교를 위하여 각고에 대한 Bertalanffy 성장식을 산정하였다. 통계분석은 Sigmaplot (Systat Software, Inc., San Jose, CA) 을 분석하였다 (n = 3). 사용하여, 성장 및 생존율에 대한 밀도효과는 ANOVA test를 실시한 후 사후검정으로 Student-Newman-Keuls (SNK) test를 실시하였고, 밀도별 최대 생산량 추정은 선형 회귀분석을 실시하였다.

결 과

입식 이후 2012년 6월까지의 성장 차이가 나타나지 않았고 (P = 0.058), 7월이후 25 ind./bag에서 유의한 각고 성장 차이가 확인되었다 (P < 0.05). 최대 각고는 2012년 7월에 25 개체/망에서 101.5 mm로 가장 크게 나타났지만, 이후 오히려 감소하였다. 한편 다른 실험구는 모두 각고 100 mm에 도달하

지 못하였다 (Fig. 1A). 각 밀도별 각고 성장에 대한 Bertalanffy 성장식을 산정한 결과, 25 개체/망의 최대 크기가 147.4 mm로 지속적인 성장이 관찰되었지만 (Table 1), 여름철에 대형개체의 폐사가 발생함에 따라 성장의 감소세가 뚜렷하였다. 1차 실험의 전중량은 24.0-116.7 g의 범위였고, 전 실험구에서 폐사가 일어나기직전까지는 중량의 차이가 나타나지 않았다. 그러나 2013년 6월부터 유의한 성장 차이가 확인되었다 (P < 0.05). 100 개체/망의 전중량은 2013년 5월 이후 여름철 폐사가 발생함에 따라 감소하였지만, 보다 낮은 밀도의 실험구에서는 증가 추세를 유지하였다. 1차 실험결과 가을철 입식할 경우, 상품 크기인 60-100 g까지 양성하는데, 6-8개월 소요되었다 (Fig 1B). 육중량은 입식 이후 5월까지 꾸준히 증가하고 산란기를 지나면서 감소되는 패턴을 보였지만, 25 개체/망의 낮은 밀도에서는 7-8월까지 높은 육중량을 유지하는 추세였다 (Fig 1C). 한편, 비만지수는 입식 이후 지속적으로 감소하다가 1월이후 포란기를 거치며 증가하여 5월에 26.6-28.9로 가장 높았다가, 산란 이후 감소하였다. 이러한 감소 추세는 가을철 실험 종료 시까지 이어졌다 (Fig. 1D). 각 실험구별 생존율은 2013년 5월까지의 거의 변화없이 미미한 수준이었으나, 6월에 50-80%의 폐사율을 기록하여 대량폐사가 발생하였다 (Fig 1E). 그러나 실험구간 유의한 생존율의 차이는 없었다 (P > 0.05). 한편 각 밀도별 각고-전중비를 분석한 결과 밀도에 따른 유의한 차이는 인정 되지 않았다 (P > 0.05). 따라서 밀식 굴의 일반적인 특징인 상대적으로 각고가 길어지는 외형의 변이는 발생하지 않았다 (Fig. 1F).

여름철 폐사의 영향을 상쇄시키기 위하여, 2012년 3월에 입식한 2차 실험 결과, 25-100 개체/망의 각고는 78.7-92.9 mm의 범위로 유의한 차이가 없었지만, 200 개체/망은 68.2 mm로 현저한 성장 저하가 나타났다 (P = 0.041). 전중량도 25-100 개체/망까지는 54.5-66.1 g으로 유의한 성장 차이가 관찰되지 않았지만, 200 개체/망 실험구는 39.8 ± 10.2 g으로 유의한 성장 차이가 나타났다 (P = 0.048). 생존율은 88-94.8%의 범위였고, 25 개체/망과 50 개체/망 간에 유의한 차이가 확인되었지만 (P < 0.05), 총 양식생산량에 유의한 차이가 나타날 정도는 아니었다 (P > 0.05). 육중량 및 비만도는 실험구 간의 유의한 차이가 없었지만, 수확량은 밀도효과가 나타나 100 개체/망에서

Table 1. Estimated von Bertalanffy growth parameters of the oyster reared at 4 different densities for autumn stocking experiment

Groups	25 개체/망	50 개체/망	75 개체/망	100 개체/망
L_{∞}	147.4	89.0	88.8	82.6
k	0.058	0.350	0.323	0.483
t_0	-8.22	-2.08	-2.53	-1.49
P	< 0.0001	0.0003	0.0011	0.0056

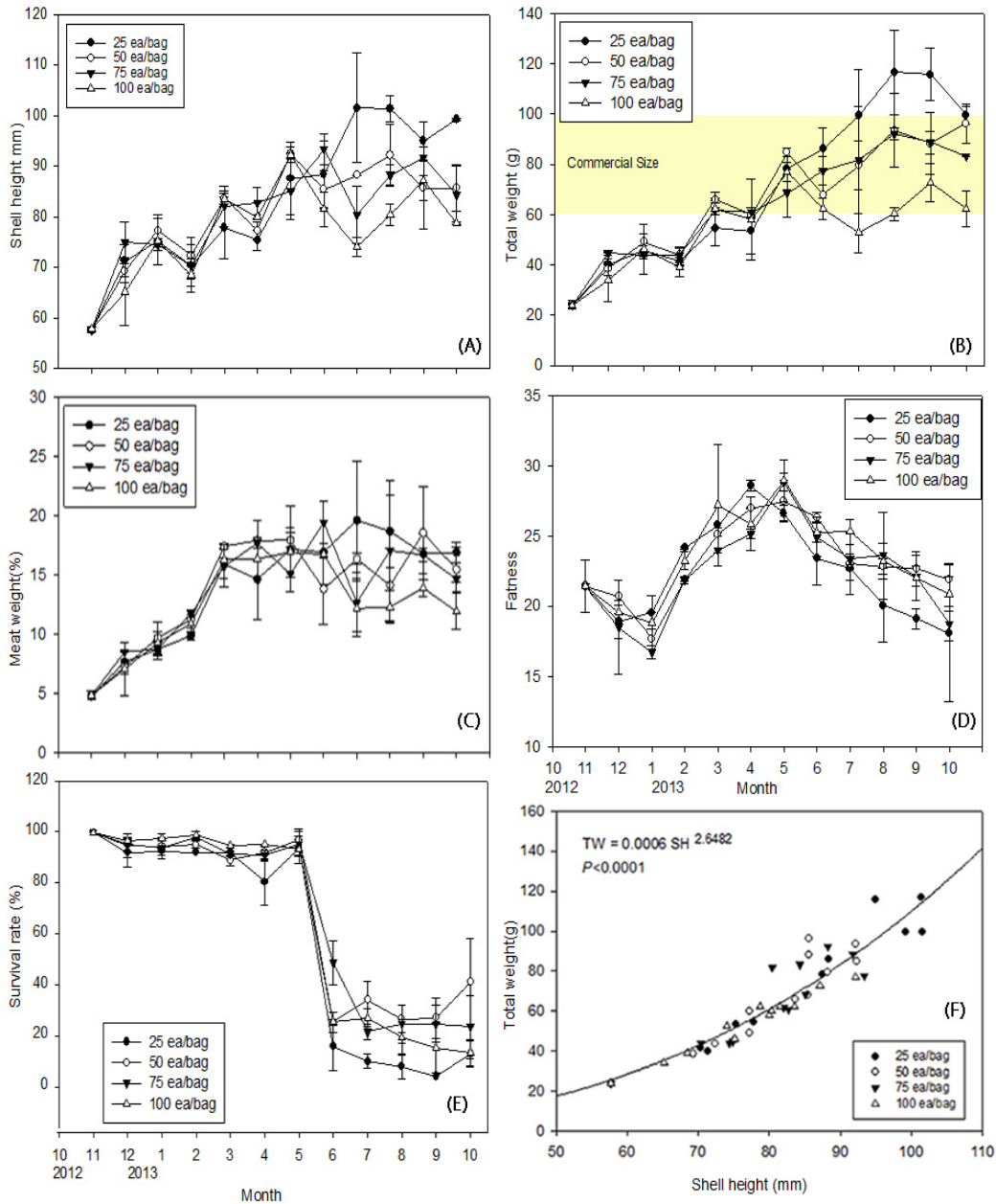


Fig. 1. Comparison of cultural performances in shell height (A), total weight (B), meat weight (C), fatness (D), survival rate (E) and shell height - total weight regression depending on 4 different stocking densities for autumn stocking experiment.

약 5.89 kg, 200 개체/망 실험구는 7.23 kg 이었다 (Fig. 2).

고찰

두 차례의 밀도실험 결과, 0.5 × 1.0 m PE망에 100개 이상의 밀도에서는 성장에 영향을 미치는 것으로 판단된다. 1차

조사에서 여름철 폐사가 발생하기 전까지는 모든 실험구에 유의한 차이가 없었지만, 수온 상승과 함께 폐사가 진행되며 성장이 오히려 감소하였다. 이러한 폐사의 효과를 상쇄시키기 위하여 (Jeong and Cho, 2020), 봄철에 입식하여 이듬해 봄에 수확을 한 2차 실험에서는 200 개체/망의 밀도에서 각장 및 전중의 유의한 성장차이가 확인되었고, 비록 높은 변량으로 통계

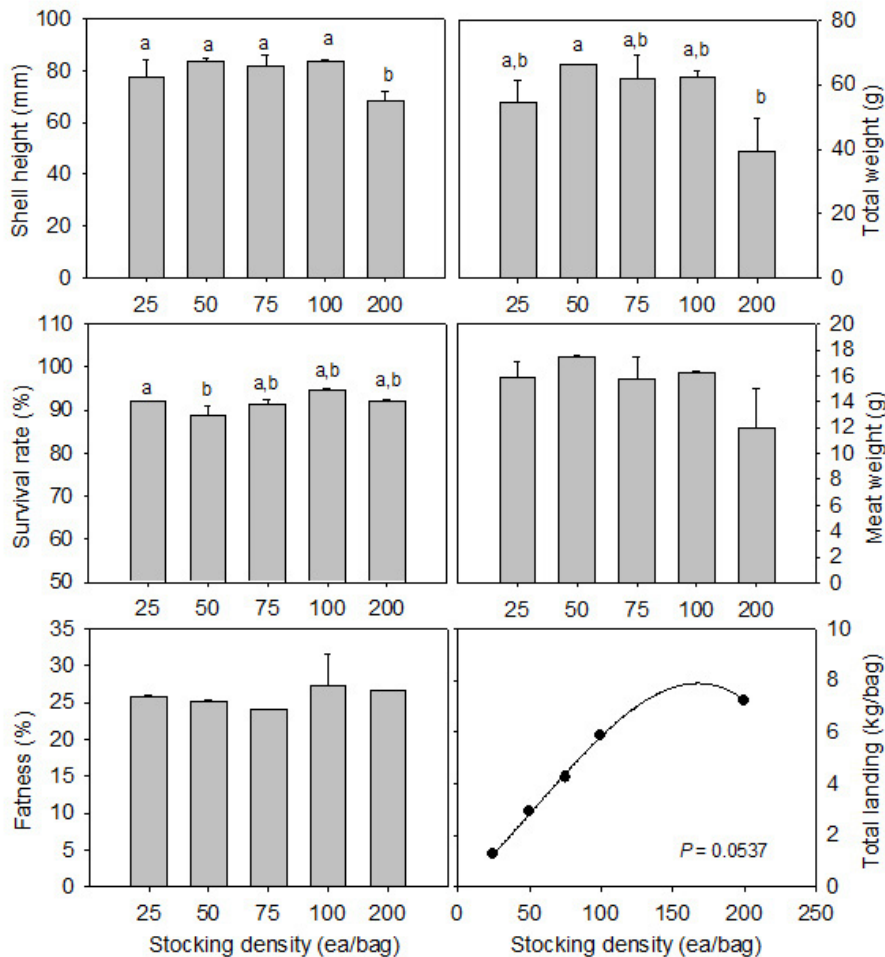


Fig. 2. Comparison of cultural performance in shell height, total weight, meat weight, survival rate, fatness and linear regression for the maximum landing depending on 5 different stocking densities for spring stocking experiment.

적 유의성이 확인되지는 않았지만, 평균 육중량도 100 개체/망의 73.6%에 불과한 밀식효과가 뚜렷하게 나타났다. Honkoop and Bayne (2002) 은 호주 Port Stephens 해역에서 다양한 밀도에서 굴을 양성한 결과 밀도에 따른 전중량의 차이는 없었지만, 육중량은 현저한 성장 차이가 있었다고 보고하며 밀식에 의한 비만도의 변화를 보고하였다.

한편, 우리 연구에서는 두 차례 실험에서 밀도에 따른 비만지수의 변화는 관찰되지 않았고, 비만지수는 주로 산란주기와 같은 계절적 변화에 민감하게 나타났다. 비만지수의 변화는 1월 이후 수온이 상승하면서 포란과 함께 증가하다가, 산란후 수온 하강과 함께 지속적으로 감소하는 특징을 나타낸다. Kim *et al.* (2013) 은 태안군 이원해역에서 양성한 굴의 비만지수를 조사한 결과, 6월에 $27.4 \pm 2.7\%$ 에서 12월에는 $13.9 \pm 4.8\%$ 로 이듬해 2월에는 $10.0 \pm 2.4\%$ 로 감소하였다고 보고하

였다. 우리 연구와 비교할 때 비만지수의 최고값에 해당하는 시기는 다소 늦고 (5월 vs. 6월), 겨울철 비만지수가 매우 크게 감소하였다. 이는 태안해역은 여름철에 국지적인 냉수현상과 겨울철 기온과 수온의 차이 등으로 인하여 (Lim *et al.*, 2008), 산란기 및 생리 적응의 차이에 의한 것으로 판단된다. (Lim *et al.*, 2008).

두 차례 실험에서 1차 실험에서 5-7월에 걸쳐 여름철 대량 폐사가 발생한 반면, 봄철에 입식한 2차 실험에서는 미미한 수준의 폐사만 발생하였다. 이는 밀도효과에 따른 폐사라기 보다는 수온과 생리적 적응성에 따른 계절성 폐사로 판단된다. 폐사는 당년생보다는 2년생에서 주로 발생하였고, 이는 주로 수온 상승기와 산란주기와 연관된 것으로 판단된다 (Jeong and Cho, 2020).

여름철 대량폐사에 대해서는 지금까지 많은 연구가 이뤄지

고 있지만, 아직 그 명확한 원인에 대한 구명을 어렵다. *C. gigas*에 잠재적 위협이 되는 Virus, Bacteria, Protozoan 등 다양한 질병원이 보고 되고 있지만 (Mann *et al.*, 1991), 우리나라에서 굴폐사에 대한 요인으로 수온, 염분 등과 같은 물리 환경적 요인 (Choi *et al.*, 1999; Mo *et al.*, 2012; Sang-Woo Park *et al.*, 2013), 오손생물에 의한 경쟁 (Choi and Kim, 1999), 병리적 요인 (Chun, 1970), 적조나 이차적 빈산소수괴에 의한 질식사 (CHO, 1979; Han *et al.*, 2013) 등이 보고되었다. 그러나 이러한 보고의 대부분은 수하식 양식에 집중되어 있어 수평망식 굴양식의 폐사원인과는 조금 다른 특성을 지니고 있다.

수평망식 굴양식은 수하식 양식과 달리 2년생 패를 양성하는 경우가 많고, 조간대에서 이뤄지는 양식의 특성상 조석주기에 따라 주기적으로 간출될 수 밖에 없다. 수하식 양식의 폐사는 산란 이후 7-9월에 피로도의 증가 및 면역력의 저하로 인하여 폐사가 발생하는 경우가 많지만(Cho and Jeong, 2005), 수평망식 양식굴의 폐사는 5-6월 산란기와 겹친다. 그러나 서해안의 경우 겨울철을 포함한 연중 발생하므로 1-2월의 한파에 간조시 노출된 굴의 일부가 동사하였을 것으로 판단된다 (Rico-Villa *et al.*, 2009), 또한 대수리나 불가사리와 같은 해적생물에 의한 피해도 예측 가능하며 우리 양식장에도 많은 수의 대수리 난을 관찰할 수 있었다. 그러나 대수리 등과 같은 육식성 권패류에 의한 폐사량을 정량화하는 것은 매우 어렵고, 밀도효과를 확인하기도 어려웠다.

서해안의 낮은 먹이가용성을 고려하면 (Cho, 2013), 과도한 밀식은 생산성에 영향을 미칠 수 있다. 우리 연구결과 굴 성장 측면에서 100 개체/망이하의 밀도에서는 성장 차이가 없었지만, 200 개체/망에서는 현저한 성장 저하가 나타났다. 즉, 개체의 형태변이 많은 굴은 육중량의 변이가 매우 커, 통계적 유의성을 찾기는 매우 어렵다. 한편, 전중량의 80%이상은 폐각의 성장에 의해 결정되므로 이러한 폐각성장을 변량을 통제할 수 있는 실험규모가 결 정되어야 한다. 한편 폐각성장을 결정하는 것은 외투엽의 생리적 작용과 환경수중 칼슘이온 가용성 등 환경수의 조 성에 영향을 받는다 (Cho and Jeong, 2011; Kang *et al.*, 2014). 최근 이슈화 되고 있는 해양산성화 등은 이러한 환 경수의 칼슘 가용성에 영향을 주어 carbonate chemistry 의 변화를 초래함으로써 폐각 성장에 영향을 주게 된다 (Gazeau *et al.*, 2011). 따라서 대부분의 밀도효과 실험에 서는 이러한 폐각중량의 변화가 가장 크게 작용하지만, 이에 대한 적정 실험규모에 대한 기준이 정립되지 않았고, 여러 가지 환경요인에 따라 유동적인 결과를 나타낼 수 있어 표준화하기 어려운 실정이다.

결 론

두차례의 밀도실험에 의한 양성실험결과, 망당 100개체 이하에서는 성장 차이가 나타나지 않았지만, 그 이상 밀도에서는 성장억제 현상이 관찰되었다. 그러나 여름철 폐사 등의 영향을 받는다면 입식밀도효과는 상쇄되므로 입식시기 조절 등의 대책이 필요하다. 한편, 전략적 양식을 위해 개체 성장을 위한 밀도와 최대 수확량을 위한 밀도가 상이하므로 해역의 먹이가용성을 고려하여 해역환 경에 맞는 맞춤형 생산 전략을 수립 할 필요가 있다.

사 사

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

REFERENCES

- Cho, C.H. (1979) Mass mortalities of oyster due to red tide in Jinhae Bay in 1978. *Korean Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, **12**: 27-33.
- Cho, S.-M. (2013) Food availability of oyster farms in Woongdo, Seosan in the western coast of Korea during summer. *The Korean Journal of Malacology*, **29**: 283-289.
- Cho, S.-M., and Jeong, W.-G. (2005) Spawning impact on lysosomal stability of the Pacific oyster, *Crassostrea gigas*. *Aquaculture*, **244**: 383-387.
- Cho, S.-M., and Jeong W.-G. (2011) Prismatic shell repairs by hemocytes in the extrapallial fluid of the Pacific oyster, *Crassostrea gigas*. *The Korean Journal of Malacology*, **27**(3): 223-228.
- Choi, S.D., and Kim, S.Y. (1999) Mass mortality of oyster, *Crassostrea gigas* in Kamak Bay. II. Fouling organisms and flatworms. *Journal of Research Institute of Industrial Technology and Regional Development*, **8**: 120-125.
- Choi, S.D., Kim, S.Y., Yang, M.H., Park, J.S., Rha, S.J., Woo, C.Y., Kim, D.Y., and Jung, D.S. (1999) Mass mortality of oyster, *Crassostrea gigas* in Kamak Bay. I. Environmental factors of oyster farming area. *Journal of Research Institute of Industrial Technology and Regional Development*, **8**: 259-266.
- Choi, S.D., Kim, S.Y., Yang, M.H., Park, J.S., Rha, S.J., Woo, C.Y., Kim, D.Y., and Jung, D.S. (1999) Mass mortality of oyster, *Crassostrea gigas* in Kamak Bay. I. Environmental factors of oyster farming area. *Journal of Research Institute of Industrial Technology and Regional Development*, **8**: 259-266.
- Chun, S.-K. (1970) Studies on the oyster diseases 1. Pathogenetic Investigation. *Korean Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, **3**: 7-18.
- Fréchette, M., and Bourget, E. (1985) Food-limited growth of *Mytilus edulis* L. in relation to the benthic

- boundary layer. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, **42**: 1166-1170.
- Galtsoff, P.S. (1926) New method to measure the rate of flow produced by the gill of oyster and other molluscs. *Science*, **63**(1626): 233-234.
- Gazeau, F., Gattuso, J. P., Greaves, M., Elderfield, H., Peene, J., Heip, C. H., and Middelburg, J. J. (2011) Effect of carbonate chemistry alteration on the early embryonic development of the Pacific oyster (*Crassostrea gigas*). *PLoS one*, **6**(8): e23010.
- Hadley, N.H., and Manzi, J.J. (1984) Growth of seed clams, *Mercenaria mercenaria*, at various densities in a commercial scale nursery system. *Aquaculture*, **36**: 369-378.
- 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 Malacol.*, **29**: 43-50.
- Han, J.C., Jo, Q., Park, Y.C., Park, T.G., Lee, D.C., and Cho, K.-C. (2013) A report on the mass summer mortalities of the farmed Pacific oysters, *Crassostrea gigas* and Bay scallops *Argopecten irradians* in the local waters of Goseong Bay, Korea. *The Korean Journal of Malacology*, **29**: 239-244.
- Harvey, M., and Vincent, B. (1991) Spatial variability of length-specific production in shell, somatic tissue and sexual products of *Macoma balthica* in the Lower St. Lawrence Estuary. I. Small and meso scale variability. *Marine ecology progress series. Oldendorf*, **75**: 55-66.
- Honkoop, P.J.C., and Bayne, B.L. (2002) Stocking density and growth of the Pacific oyster (*Crassostrea gigas*) and the Sydney rock oyster (*Saccostrea glomerata*) in Port Stephens, Australia. *Aquaculture*, **213**: 171-186.
- Jeong, W.-G. and Cho, S.-M. (2020) Growth comparison of the Pacific Oyster, *Crassostrea gigas*, between different stocking times into tidal flat rack culture system. *The Korean Journal of Malacology*, **36**: 111-116
- Kang, J.-H., Lee, S.W., and Cho, S.-M. (2014). Comparatives tudy on physicochemical characteristics of oyster shells, *Crassostrea gigas*, cultured in various waters in Korea." *The Korean Journal of Malacology*, **30**(2): 165-168.
- Lim, D.-I., Kang, M.-R., Jang, P.-G., Kim, S.-Y., Jung, H.-S., Kang, Y.-S., and Kang, Y.-S. (2006) Water quality characteristics along mid-western coastal. *Ocean and Polar Research, area of Korea*, **30**: 379-399.
- Mann, R., Burreson, E.M., and Baker, P.K. (1991) The decline of the Virginia oyster fishery in Chesapeake Bay considerations for introduction of a non-endemic species, *Crassostrea gigas* (Thunberg, 1793). *Journal of Shellfish Research*, **10**: 379.
- Mo, K.-H., Park, Y.-J., Jung, E.-Y., Kim, Y.-G., Jeong, C.-H., and Han, K.-N. (2012) Comparisons of growth and mortality of the tidal flat oyster *Crassostrea gigas* by the net bag rack culture system in two districts in western Korea. *The Korean Journal of Malacology*, **28**: 45-54.
- Monismith, S.G., Koseff, J.R., Thompson, J.K., O'Riordan, C.A., and Neff, H.M. (1990) A study of model bivalve siphonal currents. *Limnology and Oceanography*, **35**(3): 680-696.
- Rico-Villa, B., Pouvreau, S., and Robert, R. (2009) Influence of food density and temperature on ingestion, growth and settlement of Pacific oyster larvae, *Crassostrea gigas*. *Aquaculture*, **287**: 395-401.
- Park, S.-W., Kim, Y., Kim, J.-H., Chung, S.-W., and Han, K.-N. (2013) Effect of environment factors on growth and mortality of Cupped Oyster, *Crassostrea gigas*. *The Korean Journal of Malacology*, **29**: 273-281.
- Vincent, B., Joly, D., and Harvey, M. (1994) Spatial variation in growth of the bivalve *Macoma balthica* (L.) on a tidal flat: effects of environmental factors and intraspecific competition. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, **181**: 223-238.