

한국 남해 자란만 양식 대서양해만가리비의 입식시기에 따른 패각천공수 및 오손생물의 생물량

권봉오¹, 김종성², 최진우³

¹국립군산대학교 해양생물자원학과, ²서울대학교 지구환경과학부, ³서울대학교 블루카본연구사업단

The abundance of shell-boring polychaete worms and biomass of biofouling organisms attached on a bay scallop (*Argopecten irradians*) according to the submerged times cultivated in Jaran Bay, the southern coast of Korea

Bong-Oh Kwon¹, Jong Seong Khim² and Jin-Woo Choi³

¹Department of Marine Biology, Kunsan National University, Gunsan 54150, Korea
²School of Earth & Environmental Sciences, Seoul National University, Seoul 08826, Korea
³Blue Carbon Research Center, Seoul National University, Seoul 08826, Korea

ABSTRACT

This study was conducted to get a basic information on the avoidance effects from shell-boring and biofouling on a bay scallop (*Argopecten irradians*) cultivated in Jaran Bay, located on the southern coast of Korea by applying three different submerging times from May, August, and September 2023. A significant difference in the biomass of biofoulers on the scallops was observed between the two submerging periods in August and September. The mean biomass of biofoulers attached on the shells of scallops submerged in Jaran Bay during August, 2023 was highest as 6.3 g wet/scallop corresponding to 14% of the mean scallop biomass, and decreased to 1.8 g of scallops submerged in May and 0.7 g in September. The dominant biofoulers on scallops submerged in August were barnacles and juvenile oysters, whereas scallops submerged in September were primarily fouled by juvenile barnacles, with no juvenile oysters observed. The mean number of blisters made by shell-boring worms per scallop shell was highest as 1.5 in the scallops submerged in May, but it decreased to 0.9 and 0.3 individuals from scallops submerged in Aug. and Sept., respectively. There were no significant correlations between the fresh weight of scallops and the shell-boring worms or biomass of fouling organisms during this study period. This finding is significant for the scallop cultivation industry because the growth rate of scallops submerged in September was comparable to the somatic growth rates of scallops submerged during spring and summer.

Keywords: *Argopecten irradians*, bay scallop, shell-boring, biofouling, growth, submerged time, Jaran Bay, Korea Strait

서 론

국내의 주요 패류 양식산업 대상 종인 굴, 전복, 가리비 등의 패각에 부착하는 다양한 생물과 패각을 천공하여 살고 있는 다모류가 양식생물의 성장이나 생존에 미치는 악영향에 대한 기본적인 정보가 부족한 실정이다. 패류양식에서 생물오손과 패각천공 문제는 어민들에게는 잘 알려져 있는 현상이지만 이를 현장에서 해결할 방안은 현재까지도 미흡한 실정이다.

생물오손 문제는 해양생물 양식산업에 다양한 영향을 주는 것으로 알려져 있으며 (Fitridge *et al.* 2012.; Bannister *et al.* 2019), 대표적인 생물오손 문제는 (1) 양식시설인 망에 부착하여 해수나 먹이생물의 유통을 방해하여 용존산소나 먹이 공급을 감소시키거나 (2) 양식 패류의 패각에 집적 부착한 오

Received: December 14, 2024; Revised: December 26 2024;
Accepted: December 30, 2024

Corresponding author: Jin-Woo Choi

Tel: +82 (010) 4067-8550, e-mail: choi6212@snu.ac.kr
1225-3480/24886

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.

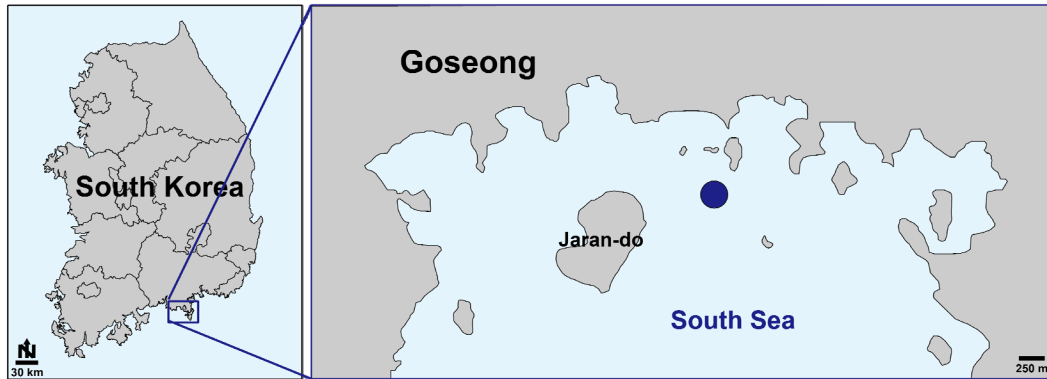


Fig. 1. Map showing the scallop farming ground and sampling site (34° 56' 04" N, 128° 14' 29" E) in Jaran Bay, southern coast of Korea.

손생물은 양식생물과 거의 유사한 섭식유형을 가지고 있어서 해수 중 먹이원에 대한 중간 경쟁을 하게 된다. 또한 (3) 고밀도 양식에서는 해수 중 용존산소의 감소로 인한 빈산소수괴 형성을 야기하여 양식생물의 대량 폐사에 이르게 하는 것에 있다고 하겠다.

이와 같이 양식 패류에 중대한 영향을 미치는 생물오손에 대한 연구는 많지 않은데, 이는 아직 현장에서 적용할 연구방법 정립이 미흡하거나, 현장 연구에 어려움이 많아서 생물오손에 대한 연구가 적다고 생각한다. 해양 패류양식에서 오손생물을 조절하는 다양한 방안 중에는 (1) 오손생물을 피하는 방법, (2) 오손생물의 제거, (3) 오손생물의 유생이 착저하는 것을 예방하는 방법 등이 있지만, 가장 친환경인 방법으로는 오손생물의 유생 착저 및 출현 시기를 피하는 방법으로 간주된다. 국외에서는 오손생물의 산란 시기를 집중 모니터링하여 부유 유생의 대량 발생시기를 피해서 양식생물을 입식하는 방안이 제안되었다 (Bullard and Shumway, 2013; Dunham and Marshall, 2012.; Holthuis *et al.* 2015; Sievers *et al.* 2019.).

국내에서 대서양해만가리비의 상업적인 양식을 시도한 연구는 동절기 생존과 성장을 조사한 Oh and Jung (1999) 에서 시작되었고, 그 후 Oh *et al.* (2005) 에 의해서 3개 지역에서의 성장을 비교하는 연구를 진행한 바가 있다. 이후 주로 남해안의 통영을 중심으로 대서양해만가리비 양식이 집중되었고, 2010년 이후에는 양식 범위를 통해 남부인 포항까지 확장하여 가리비를 양식하고 있다 (Kim *et al.* 2015). 그러나 양식 가리비의 생물오손에 대한 국내 연구는 서해 안면도 연안역에서 수하식 양식에서 채룡의 망목크기에 따른 비단가리비 성장과 생존을 조사한 연구 (Park *et al.* 2012) 외에는 아직 없는 실정이다. 한국 남해안의 가리비 양식에서 현지 양식 어민들은 가두리 내의 가리비에 오손생물이 부착함으로써 먹이 부족에 의한 성장 저해, 부착생물에 의한 상품가치의 저하 등의 피해를 잘 인지하고 있다. 따라서 생물오손에 의한 피해를

줄이고자 주요 오손생물의 산란 시기를 피해서 양식생물을 현장에 투입하는 시기를 조절하는 시도가 필요하다. 예로서 한반도 남해안에서는 굴의 산란 시기가 8월까지 일어난다는 사실로부터 가리비 투입 시기를 9월 중순 이후로 정하는 사례가 있었다. 그러나 입식 시기가 가을철로 늦추어짐으로써 성장에 불리한 현상이 나타날 수 있어서 이와 같은 투입 시기 조절의 효과에 대한 정량적인 자료확보가 필요하였다.

패각천공 문제는 전복을 포함한 고부가치 양식 패류의 가치 하락과 성장 저하, 사망률 증가 등의 문제가 있지만, 아직까지 이에 대한 뚜렷한 구제방법이 개발되지 않은 실정이다. 국내에서는 채룡 및 수하연의 패류 양식에도 불구하고 패각천공 다모류 (shell-boring polychaetes) 에 대한 감염 실태 조사는 전복을 대상으로 수행되었으나 (Won *et al.*, 2013), 천공 다모류 분류학에 치중된 연구가 일부 있을 뿐이었다 (Sato-Okoshi *et al.* 2012; Radashevsky *et al.* 2017; Lee *et al.* 2020a; Lee *et al.* 2020b; Lee *et al.* 2021). 국외에서는 패류 양식과 관련하여 패각천공 다모류에 관한 많은 연구가 있었으나 (Sato-Okoshi and Abe, 2012; Radashevsky and Migotto, 2017; Simon and Sato-Okoshi, 2015), 주로 천공하는 다모류의 종 분류에 치중되어 있었다. 최근 양식이 증가하고 있는 가리비에 대한 패각천공 실태는 아직도 정보가 없는 상태이다.

본 연구는 한국 남해안의 고성군 자란만에 위치한 대서양해만가리비 (*Argopecten irradians*) 양식장에서 2023년 5월, 8월 및 9월에 가두리에 투입한 가리비를 대상으로 2023년 10월과 11월 하순에 가리비 시료를 채집하여 투입 시기에 따른 가리비 오손생물의 생물량과 패각 천공 실태에 대한 기초자료를 얻기 위해 수행되었다.

재료 및 방법

대서양해만가리비의 시료는 경남 고성군 자란만 소재 가리



Fig. 2. Pictures showing the scallop farming ground (upper) and hauling a culture cage (middle) and scallops on the deck (lower).

비양식장 (종래에는 굴 수하연 양식장으로 사용되었음) 에서 양식업자의 협조로 현장에서 채집이 되었다 (Fig. 1). 2023년 5월경에 채롱에 넣어 해수에 투입한 가리비를 2023년 10월 30일에 채집하였고, 2023년 8월 중순과 9월 중순에 투입한 가리비 시료는 2023년 11월 23일에 채집하였다 (Fig. 2).

가리비 패각에 부착한 오손생물의 생물량과 패각천공 다모류의 개체수를 파악하기 위해서 2023년 5월과 8월에 투입한 시료는 각각 65개체와 60개체를 임의로 선별하였고, 2023년 9월에 투입한 가리비는 52개체를 현장 채롱에서 임의 선별하여 채집하였다 (Fig. 3; Fig. 4).

각 투입시기의 시료는 실험실에서 전 중량 (TW), 오손생물 제거 중량 (W), 패각 중량 (SW), 육질부 습중량 (Wet M), 육질 건조중량 (Dry M) 등은 전자저울로 측정하였고, 육질부 건

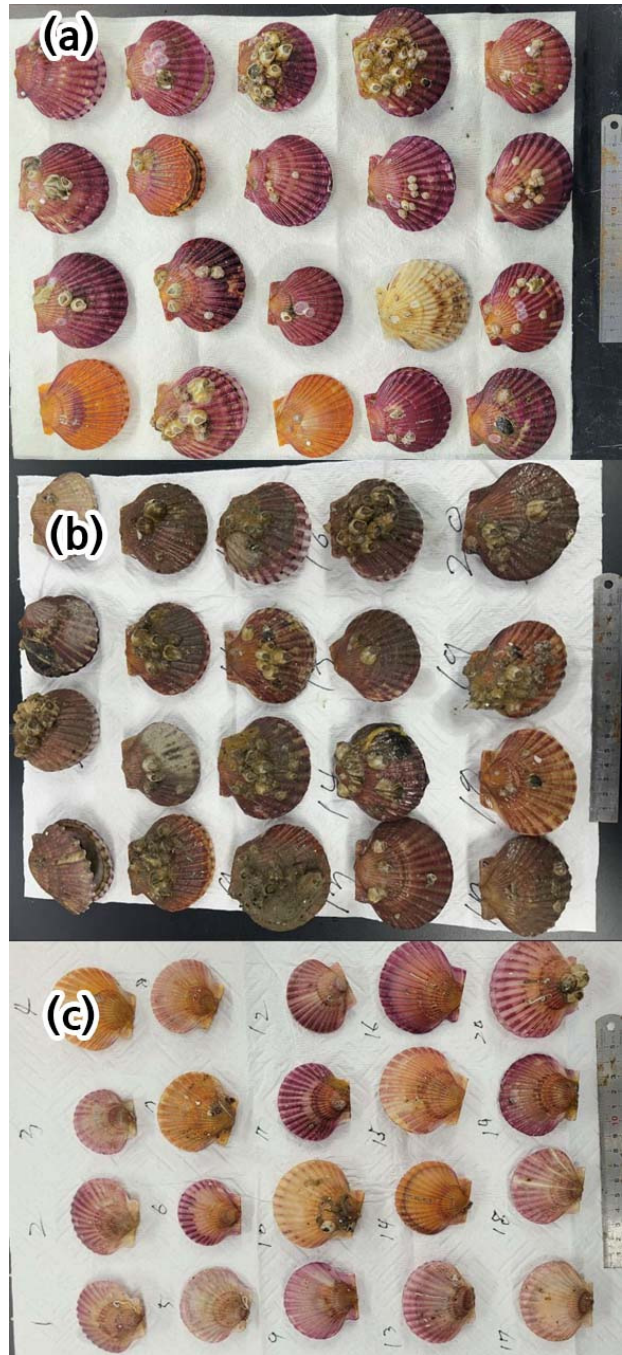


Fig. 3. Pictures showing scallops collected at the farming ground in Jaran Bay during October and November, 2023. There were some biofoulers such as barnacles and juvenile oysters on the scallop shells. (a) specimens submerged in May and harvested in October, 2023, (b) those submerged in August and harvested in November, 2023, (c) those submerged in September and harvested in November, 2023.

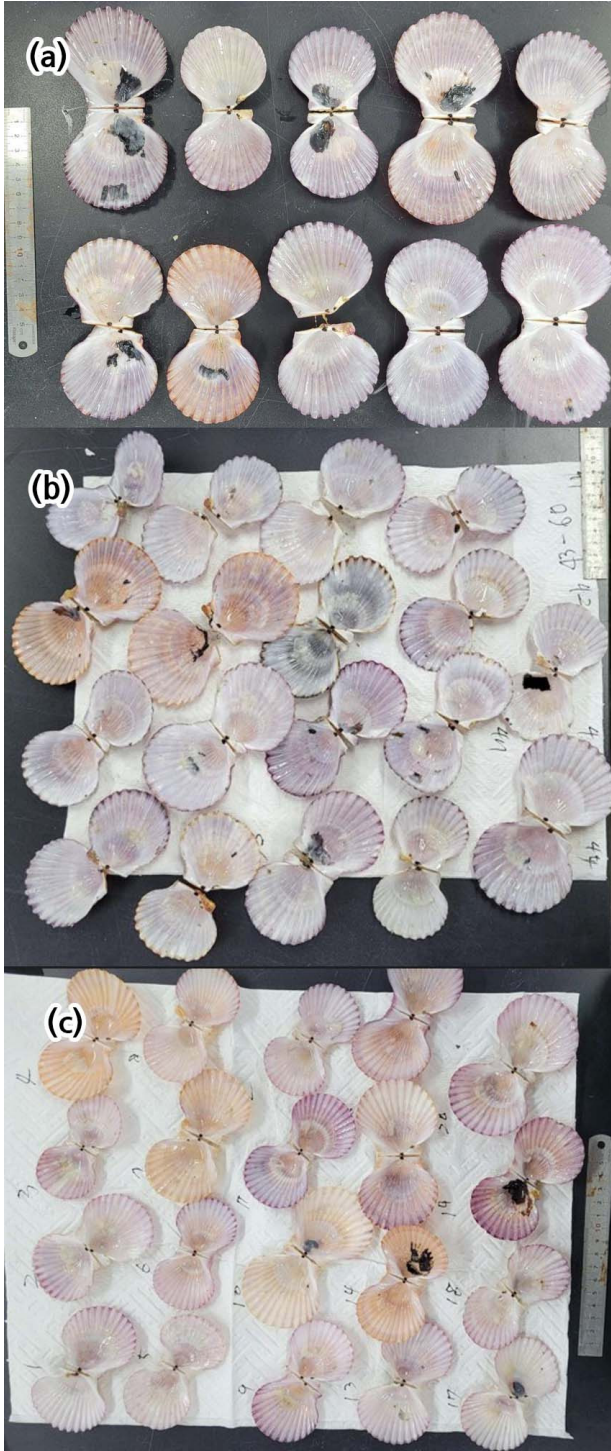


Fig. 4. Pictures showing opened scallop shells. Black colored blisters are indicating the infection evidence of shell-boring polychaetes on scallop shells submerged at three different times. (a) in May 2023, (b) in Aug. 2023, (C) in Sep. 2023.

중량은 60°C 건조기에 넣어서 2일간 말려서 측정하였다. 가리비 패각의 크기는 각정에서 패각 변두리에 이르는 각고 (shell height)를 자가 포함된 이미지 파일에서 Image J를 사용하여 길이를 측정하였다.

패각천공 다모류의 개체수 파악을 위해서는 투입 시기별 전체 시료에서 패각을 열어서 패각 내부에 보이는 천공흔적 (blister) 을 계수하였다. 서식굴 내부에 해수 중의 실트와 점토질 입자에 점액질로 만든 서관이 있어서 패각 안쪽에서 보면 검은색으로 나타나기 때문에 천공흔적을 쉽게 찾을 수 있었다. 이들의 개수를 패각천공 다모류의 개체수로 간주하였다. 양식 가리비 패각에 부착한 오손생물의 생물량과 패각 천공 다모류의 흔적이 입식 시기에 따라서 차이를 보이는지에 대한 통계분석은 자료가 정규분포를 따르지 않아서 순위에 기초한 분산분석인 Kruskal-Wallis test을 사용하여 차이를 검정하였다.

결과 및 토의

2023년 5월에 저밀도로 입식하여 5개월간 양식한 가리비의 개체당 중량 (오손생물 제거한 무게) 은 33.6 g이었고, 8월과 9월에 입식하여 11월에 어획한 가리비의 개체당 중량은 각각 43.3 g 및 17.5 g이었다 (Fig. 5). 이를 양식 기간에 따른 3개 양식 개체군의 개체당 성장률을 보면 5월, 8월 및 9월에 입식한 가리비의 월간 성장률은 각각 6.7 g/month, 14.4 g/month, 8.8 g/month였다 (Fig. 6). 2023년 8월에 입식한 양식 가리비가 성장률이 가장 높은 것으로 나타났고, 9월 입식, 5월 입식 순으로 성장률을 보였다. 2023년 8월에 입식하여 11월에 어획한 가리비는 사육 기간이 3개월에 불과하지만 6개월간 저밀도로 양식한 5월 입식 가리비에 비해 더 높은 성장율을 보였다. 한편 9월에 입식하여 11월에 어획한 2개월 양식 가리비는 양식 기간이 짧고, 먹이량이 부족할 것으로 보이는 기간에 양식하였기에 5월이나 8월에 입식한 가리비에 비해서 절반 수준의 성장을 보였다.

가리비에 부착한 오손생물의 생물량이 입식시기에 따라서 평균값에 차이를 보이는지에 대한 분산분석 결과 모든 시기에 서로 유의한 차이를 보였다 ($P < 0.001$). 2023년 8월 입식 가리비에서 6.3 g/개체로 가장 많은 오손생물이 부착하였지만 5월에 입식된 가리비에서 가장 다양한 크기의 부착생물이 부착하였고, 반면에 9월에 입식된 가리비에는 2.0 g 이하의 소형 따개비가 가장 많이 부착하였다 (Fig. 7). 그러나 부착생물의 중량이 0.7 g/개체로 5월이나 8월에 입식한 가리비에 비해서 상대적으로 매우 적은 오손생물의 생물량을 보였다. 이는 오손생물의 주 산란기인 봄과 여름을 지난 시기에 입식하여 유생의 착저를 피한 결과로 판단된다.

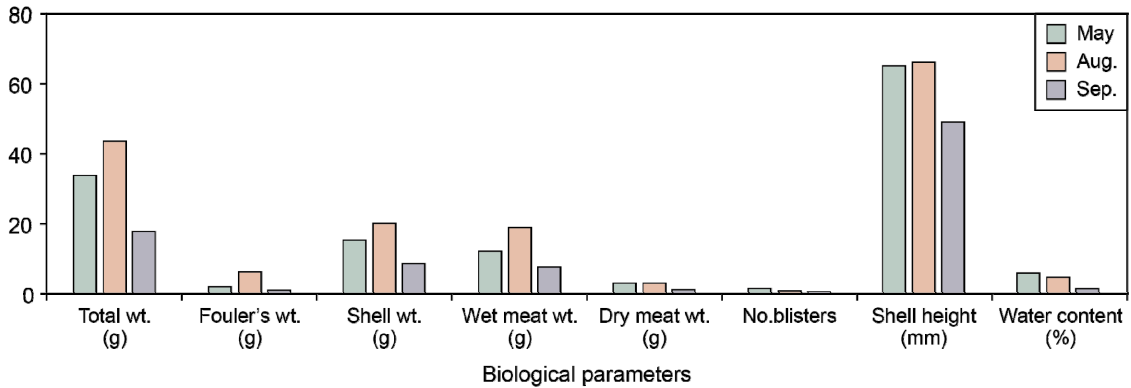


Fig. 5. Some biological measurements of a bay scallop (*Argopecten irradians*) samples cultivated at three different conditions and periods in Jaran Bay, southern coast of Korea.

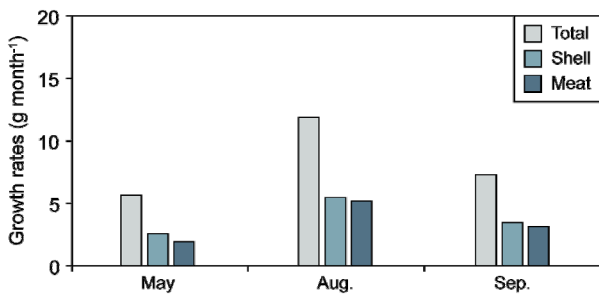


Fig. 6. Growth rates of *Argopecten irradians* according to the culture periods in the study area in 2023.

오손생물이 가리비 중량에 차지하는 비율을 보면 8월에 입식한 가리비의 경우에는 가리비 전체 중량의 14%에 이르는 비중으로 다른 시기에 입식한 가리비에 비해 월등히 많았다 (Fig. 8). 이는 부착생물의 양은 입식시기에 큰 영향을 받는 것으로 보인다. 본 연구에서 측정된 개체별 전체 습중량에서 패각 무게와 육질부 무게가 차지하는 비율은 36%에서 49%로 서로 유사한 수준을 보였으며, 이는 대략 10% 정도에 불

과한 굴에 비해서 매우 높은 비율이다 (Choi *et al.* 2023). 가리비의 전체 중량에 차지하는 각 변수들의 비율을 보면 입식 시기나 기간에 무관하게 매우 유사한 양상을 보였다 (Fig. 8). 이는 개체의 생리현상의 결과라고 생각하지만 이의 해석에는 더 많은 연구가 필요하다.

가리비가 육상에 인양되어서도 그들이 체강에 가지고 있는 해수의 양이 크기에 따라서 달랐지만, 본 연구에서는 1.3 g/개체에서 6.0 g/개체로서 전체 중량의 8-17%에 달하는 것으로 나타났다 (Fig. 5). 특히 큰 개체일수록 더 많은 양의 해수를 체강에 머금고 있는 것으로 나타났다. 이러한 사실은 어판장에서 소비자가 가리비를 구입하면 중량 대비 대략 10% 정도의 금액을 더 지출하게 될 것이다. 중간 매입자가 어민에게서 구입 시에 대략 10%의 과 중량을 요구하는 것이 현실적으로 맞는 실정이나, 최종 소비자가 구입할 경우에는 이러한 할인 효과가 없이 10% 더 비싸게 구입하게 되는 실정이다. 실제로 어민에게서 중간 구매자가 현장에서 구입하면서 중량을 10% 정도 더 요구하는 이유로는 수송 도중 폐사로 손실되는 개체를 고려한 것이라고 들었다. 그러나 실제로 소비자에게 팔 때

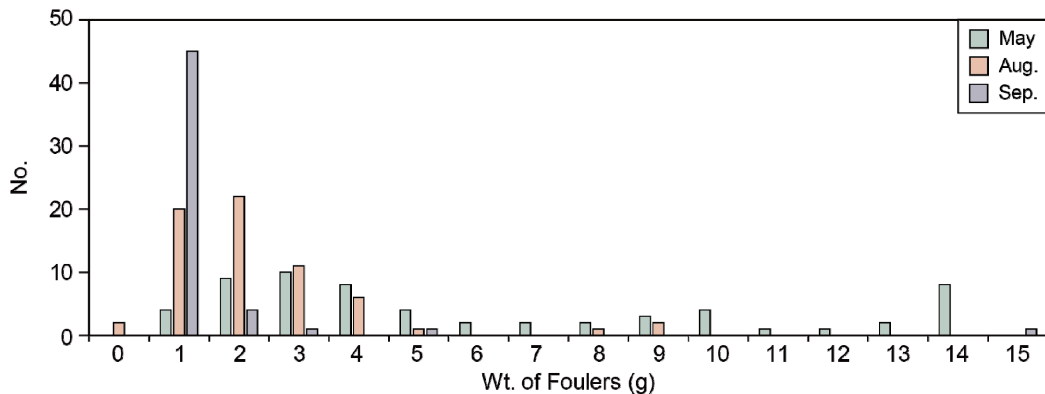


Fig. 7. Size-frequency distribution of fouling organisms attached on the shells of a bay scallop (*Argopecten irradians*) cultivated at three different conditions and periods in Jaran Bay.

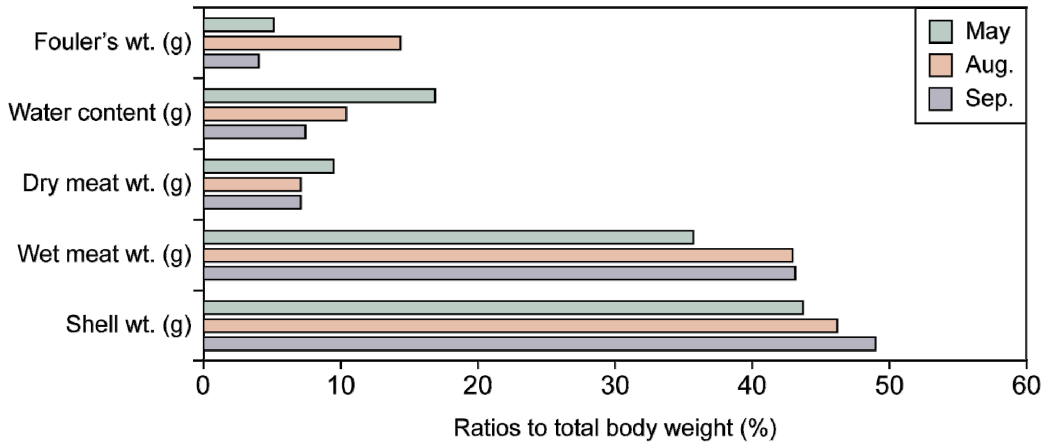


Fig. 8. The percentage of each variable to the mean total body weight of scallops cultivated at three different conditions and periods.

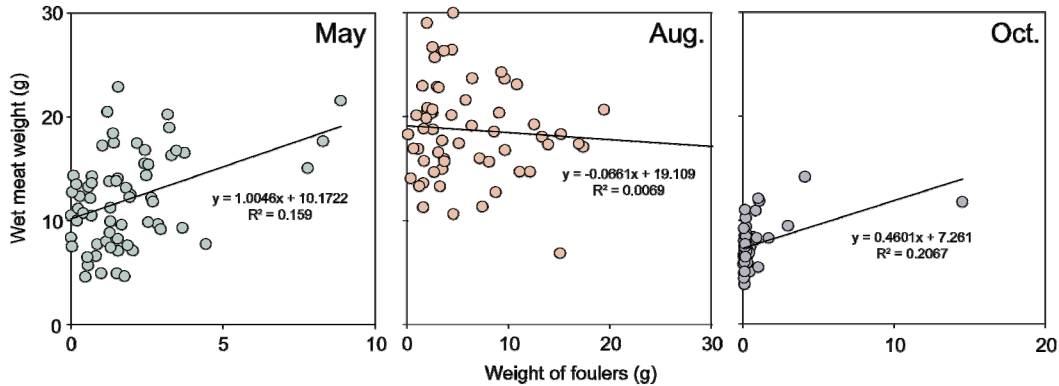


Fig. 9. The relationships between the mean wet weights of scallop meat and those of fouling organisms attached on the scallop shells submerged at three different times in Jaran Bay.

체강의 해수가 시간이 지남에 따라서 감소하여 전체 중량이 감소하는 현상이 발생하여 경험적으로 중간 구매자가 어민에게 과 중량을 요구한 것으로 생각된다. 10% 과 중량 요구에 대한 구체적인 자료가 이번 연구에서 처음으로 산출된 것으로 생각된다.

가리비의 입식시기별로 부착생물이 가리비 육질중량에 미치는 영향을 보기 위한 부착생물-육질중량 관계에서는 유의한 수준의 관계를 보이지 않았다 (Fig. 9). 부착생물에게는 부착기질의 면적이 클수록 더 많은 오손생물이 부착할 가능성이 높다는 것을 고려하면, 가입 성장에 따라서 부착생물량이 증가하는 양상을 보일 것으로 예상되었고, 실제로 본 조사에서 나타난 생물오손 현상은 가리비의 크기가 크고, 생물량이 많은 개체에서 더 많은 부착생물이 부착하고 있었다. 이는 아마도 굴 패각과 마찬가지로 가리비 패각이 오손생물의 부착기질로서 역할을 한다고 생각되었다. 수하연 율동 굴의 경우에는 굴 패각에 부착한 오손생물은 대부분 식물플랑크톤을 먹이로

취하는 여과식자 (filter feeders)로서 굴과 먹이생물에 대한 경쟁자이다 (Choi *et al.* 2023). 따라서 먹이생물의 종류가 달라지고 먹이원의 질이 저하하거나 먹이량이 부족해지면 가리비의 성장에 저해를 받게 될 것이다.

이러한 문제점을 좀 더 정확하게 이해하기 위해서는 굴에 부착한 여과식자인 유령멍게류, 군체성 멍게류, 해면동물 등의 여과물 축적을 포함한 섭식생태에 관한 정보가 필요하다. 본 연구에서는 오손생물 전체의 생물량만 측정하였기에 이러한 기능군별 역할에 대한 구체적인 정보가 부족하였으며, 향후에는 각 기능군의 생물량이나 생물다양성에 대한 정보를 확보할 필요가 있다. 한편 양식굴의 오손생물에 관한 연구로는 진해만 굴양식장의 최근 연구 (Choi *et al.* 2023) 가 있지만 현황 파악에 치중하였고, 오손생물 제거를 위한 연구는 국내에서는 아직 없다. 현지 어민들은 굴 부착 오손생물을 제거하기 위해서 70 °C의 해수로 약 15초 내외로 처리하는 방법을 많이 사용하고 있었다 (Choi, personal communication). 이러한 양식

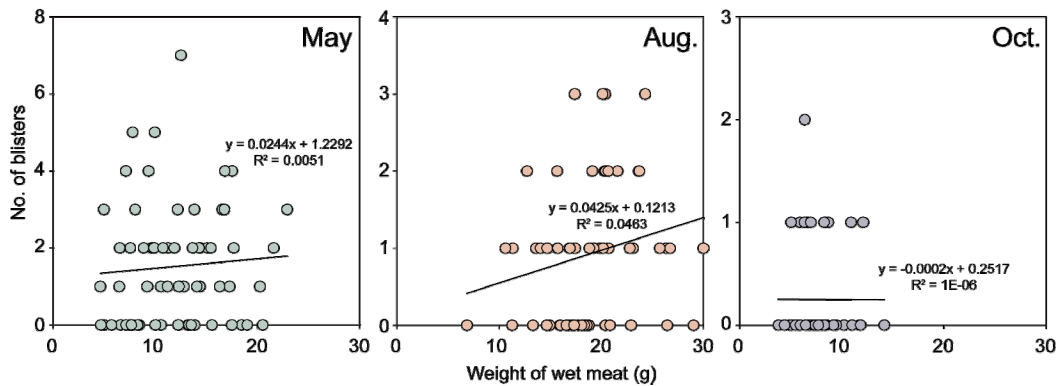


Fig. 10. The relations between the body weight and number of blisters of scallops cultivated in Jaran Bay.

굴에 부착한 오손생물을 제거하기 위한 열처리방법에 대한 효율성과 개선에 대한 실험실 및 현장 연구가 향후 필요하다.

대서양해만가리비의 입식 시기별 패각 천공다모류의 수를 보면, 8월에 입식한 가리비에서는 패각천공 다모류 수도 평균 1.51 마리/개체를 보여 5월과 9월에 입식한 가리비에 비해서 가장 높은 값을 보였으며, 통계분석 결과 5월과 8월에 입식한 가리비에서는 유의한 차이를 보이지 않았고 ($P > 0.225$), 9월에 입식한 가리비는 평균 0.25 마리/개체로서 5월과 8월에 입식한 가리비와는 천공 다모류 수에서 유의한 차이를 보였다 ($P < 0.001$). 가리비 크기와 천공 다모류의 개수에 관한 상관성에서는 유의한 결과를 보이지 않았다 (Fig. 10). 패각 천공의 경우에는 다모류의 산란생태와 관련이 있을 것으로 생각되며, 입식기간이 주요 인자로 생각된다. 즉, 긴 기간에 걸쳐서 수중에서 양식이 되면 더 많은 패각천공의 위험이 있을 것으로 보인다. 2023년 9월에 입식하여 11월에 어획된 가리비의 경우에는 가리비 개체당 0.3개의 상대적으로 적은 천공흔적을 보인 것은 이러한 연관성을 뒷받침하는 자료라고 생각한다.

한국산 패류에 천공하여 서식하는 다모류는 대략 10종으로 파악되고 있으며, 그중에서 굴과 전복 및 가리비에 흔하게 나타나는 종은 *Plydora cf. haswelli* Blake & Kudenov, 1978, *P. hoplura* Claparede (*P. uncinata* Sato-Okoshi, 1998), 1868, *P. latispinosa* Blake & Kudenov, 1978 (*P. aura* Sato-Okoshi, 1998) 등 3종으로 보인다 (Radashovsky, personal communication). 양식 패류의 패각천공 다모류 감염은 천공 다모류 중 특유의 재생산 생태와도 관련이 있을 것으로 보인다. *Polydora hoplura*의 경우 5월에는 다모류의 재생산이 일어나는 시기라서 3개 계절의 다모류 유생이 패각 내부 서식굴에 많이 발견된다. 이 종의 유생은 보통 3개 계절에서 부화하여 착저 및 가입 시기에는 17개 계절로 성장해야 하는데 약 1개월의 시간이 소요된다 (Radashovsky *et al.* 2017). 따라서 6월 중순 이후가 다모류 유생이 굴 패각에 착저하여 변태한 후 서식관을 만들고, 이후 산을 분비하여 5번

째 계절의 강모를 이용하여 패각을 천공하기 시작할 시기이다. 이후 성체의 영양 상태에 따라서 두 번째의 산란을 7월 이후에 할 것이며, 8월에는 해수 중에 많은 유생이 착저할 시기이다. 9월 이후에는 수온이 낮아지는 시기이므로 3번째 산란은 적을 것으로 예상된다. 생물오손이 없었던 제주도의 육상 가두리양식장에서 사육 중인 전복의 경우에는 전복 성체 한 개체에 수십 개체의 천공 다모류 (*Polydora hoplura*)가 서식하고 있었다 (Radashovsky *et al.*, 2017). 전복 양식과 같이 3년 정도의 장기간 양식을 할 경우에는 양식생물이 천공 다모류에 의한 감염이 심할 것으로 예상할 수 있다. 패각에 착저한 한 개체가 성체가 된 후 지속적으로 재생산을 통하여 감염 개체수를 늘려 나갈 것으로 예상되므로 첫 감염 후 어획까지의 기간이 짧을수록 천공 다모류 수는 적을 것이다. 따라서 9월에 저밀도로 입식한 대서양해만 가리비에서 천공 흔적이 적을 것으로 예상되며, 본 연구 결과는 이를 잘 설명하고 있다.

요 약

본 연구는 남해안 자란만에서 수하식 채로 양식하는 대서양해만가리비를 대상으로 패각천공 다모류의 감염과 오손생물의 부착을 경감시키기 위해서 입식시기를 3개로 달리하여 양식된 결과를 분석하였다. 저밀도 투입 시기는 2023년 5월, 8월 및 9월이었고, 수확시기는 10월과 11월이었다. 9월에 투입된 가리비에서 5월과 8월에 투입된 가리비에 비해서 유의하게 가장 적은 오손생물량과 패각천공 갯수를 보였다. 월간 성장률에서도 봄과 여름에 입식한 가리비에 비해서 유사한 값을 보였다. 패각 부착 생물량 및 패각천공 수와 가리비 성장률 간에는 유의한 상관관계를 보이지 않아서 그 영향이 적은 것으로 판단된다. 이러한 결과는 초가를 입식이 가리비의 상품 가치를 저하하는 오손생물의 부착을 피하는 친환경적인 방안으로 판단된다.

사 사

본 연구는 해양수산과학기술진흥원 (KIMST) 의 지원 (KIMST-20220526) 과 국립군산대학교 새만금 환경연구센터 의 지원으로 수행되었습니다. 본 조사의 시료 채집에 도움을 주신 고성군 자란만 가리비양식장의 윤태준 사장님에게 깊은 감사를 드립니다. 본 원고의 심사를 통해서 많은 고견을 주신 심사위원께도 감사드립니다.

REFERENCES

- Bannister, J., Sievers, M., Bush, F., Bloecher, N. (2019) Biofouling in marine aquaculture: a review of recent research and developments. *Biofouling*, **35**: 631-648.
- Barber, B.J., Blake, N.J. (1983) Growth and reproduction of the bay scallop, *Argopecten irradians* (Lamarck) at its southern distributional limit. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, **66**: 247-256.
- Bricelj, V.M., Epp, J., Malouf, R.E. (1987) Intraspecific variation in reproductive and somatic growth cycles of bay scallops *Argopecten irradians*. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **36**: 123-137.
- Bullard, S.G., Davis, C.V., Shumway, S.E. (2013) Seasonal patterns of ascidian settlement at an aquaculture facility in the Damariscotta River, Maine. *J. Shellfish Res.*, **32**: 255-264.
- Choi, J.-W., Kwon, B.-O., Kim, H.G., Khim, J.S. (2023) The impacts of shell-boring polychaete worms and biofouling organisms on the overwintering oysters cultivated in the southern coast of Korea. *Korean J. Malacol.*, **39**(2): 55-61.
- Dunham, A. and Marshall, R.D. (2012) Using stocking density modifications and novel growth medium to control shell deformities and biofouling in suspended culture of bivalves. *Aquaculture*, **324**: 234-241.
- Fitridge, I., Dempster, T., Guenther, J., de Nys, R. (2012) The impact and control of biofouling in marine aquaculture: a review. *Biofouling*, **28**: 649-669.
- Holthuis, T.D., Bergstrom, P., Lindgarth, M., Lindgarth, S. (2015) Monitoring recruitment patterns of mussels and fouling tunicates in mariculture. *J. Shellfish Res.*, **34**: 1007-1018.
- Kim, Y.D., Lee, C., Shim, J.M., Kim, G.S., Choi J.-S. and Nam, M.-M. (2015) Growth characteristics of bay scallop (*Argopecten irradians*) reared in the southern East Sea. *Korean J. Malacol.*, **31**(2): 103-112.
- Lacoste, E., Moullac, G.L., Levy, P., Guehuen, Y. and Gaertner-Mazouni, N. (2014) Biofouling development and its effect on growth and reproduction of the farmed pearl oyster *Pinctada margaritifera*. *Aquaculture*, **434**: 18-26. <http://dx.doi.org/10.1016/j.aquaculture.2014.07.012>.
- Lleonart, M., Handlinger, J. and Powell, M. (2003) Spionid mudworm infestation of farmed abalone (*Haliotis* spp.). *Aquaculture*, **221**: 85-96. doi:10.1016/S0044-8486(03)00116-9.
- Lee, S.J., Kwon, M.-G., and Lee, S.-R. (2020a) Molecular detection for abalone shell-boring species *Polydora haswelli* and *P. hoplura* (Polychaeta, Spionidae) from Korea using 18S rDNA and *cox1* markers. *Ocean Sci. J.*, **55**(3): 459-464.
- Lee, D.C., Han, J., Kim, K.-Y., Jeon, M.A., Kim, D., Park, H. and Kim, B.-H. (2020b) Full-length mitochondrial genome of the boring polychaete species, *Polydora hoplura* (Annelida) isolated from abalone, *Haliotis discus hannai* shells. *Korean J. Malacol.*, **37**(3): 85-87.
- Lee, S.J., Kim, S.M., Kwon, M.G., and Lee, S.-R. (2021) Genetic diversity of *Polydora haswelli* (Polychaeta, Spionidae) in Korean shellfish using *cox1* marker. *Korean J. Fish. Aquat. Sci.*, **54**(5): 685-690.
- Oh, B.S. and Jung, C.G. (1999) Studies on the growth of the bay scallop, *Argopecten irradians* in winter season in South Sea of Korea. *Korean J. Malacol.*, **15**(2): 71-79.
- Oh, B.S., Yang, M.-H., Jung, C.-G., Kim, Y.-S., Kim, S.-Y. and Kim, S.-Y. (2003) Comparative study on the growth of bay scallop, *Argopecten irradians*, in three rearing sites. *Korean J. Malacol.*, **19**(2): 143-152.
- Park, K.-J., Song, J.-H., Yoon, S.-P. An, K.-H., Park, Y.-J. and Song, H.-I. (2012) Effects of mesh size and material of cages on growth and survival rate of the scallop (*Chlamys farreri* Jones & Preston, 1904) cultured in hanging culture in the west coast of Korea. *Korean J. Malacol.*, **28**(2): 117-123.
- Radashevsky, V.I. and Mogotto, A.E. (2017) First report of the polychaete *Polydora hoplura* (Annelida: Spionidae) from North and South America and Asian Pacific. *Mar. Biodivers.*, **47**: 859-868. <https://doi.org/10.1007/s12526-016-0515-0>.
- Radashevsky, V.I., Choi, J.-W. and Gambi, M.C. (2017) Morphology and biology of *Polydora hoplura* Claparede, 1868 (Annelida: Spionidae). *Zootaxa*, **4282**(3): 543-555. <https://doi.org/10.11646/zootaxa.4282.3.7>.
- Sato-Okoshi, W., Okoshi, K., Koh, B.S., Kim, Y.H. and Hong, J.S. (2012) *Polydora* species (Polychaeta: Spionidae) associated with commercially important mollusk shells in Korean waters. *Aquaculture*, **350-353**: 82-90. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2012.04.013>.
- Sato-Okoshi, W. and Abe, H. (2012) Morphological and molecular sequence analysis of the harmful shell boring species of *Polydora* (Polychaeta: Spionidae) from Japan and Australia. *Aquaculture*, **368-369**: 40-47. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2012.08.046>.
- Sievers, M., Dempster, T., Keough, M.J., Fitridge, I. (2019) Methods to prevent and treat biofouling in shellfish aquaculture. *Aquaculture*, **505**: 263-270.
- Simon, C.A. and Sato-Okoshi, W. (2015) Polydorid polychaetes on farmed molluscs: distribution, spread and factors contributing to their success. *Aquat. Environ. Interact.*, **7**: 147-166.
- Won, K.M., Kim, B.H., Jin, Y.G., Park, Y.J., Son, M.H., Cho, M.Y., Park, M.A., and Park, M.W. (2013)

Infestation of the abalone *Haliotis discus hannai*, by the *Polydora* under intensive culture conditions in Korea. *J. Fish. Pathol.*, **26**: 139-148.

