

완도지역 양식전복 *Haliotis discus hannai* 의 패각 천공성 다모류 감염 변화

김진도¹, 박진서¹, 김병학¹, 원경미², 이덕찬¹

¹국립수산물연구원 남해수산연구소 양식산업과, ²국립수산물연구원 병리연구과

Variance of shell-boring polychaete infestation of farmed abalone, *Haliotis discus hannai* at Wando waters, Korea

Jin Do Kim¹, Jin Seo Park¹, Byung-Hak Kim¹, Kyoung-Mi Won² and Deok-Chan Lee¹

¹Aquaculture management Division, South Sea Fisheries Research Institute, NIFS, Yeosu 59780, Korea

²Fish Pathology Division, NIFS, Busan 46083, Korea

ABSTRACT

It is known that severe infestation of polychaetes with abalone shells can cause mortality and affect productivity. In order to obtain accurate data on polychaete infestations, we surveyed the infection rate of polychaetes in the abalone, *Haliotis discus hannai* cage farms located in Wando area. The survey included changes in infestation rates for three years, monthly and seasonal changes in infestation rates and infestation rates in the spawning field. The range of infestation rate of polychaetes against abalone for 3 years was 23.8-52.8%. In general, infestation rate increased rapidly around high temperature (around August) and peaked in autumn. The mean infestation rate of the polychaetes of the onshore farms producing abalone was 5.4%. Therefore, the rate of polydorids infestation in abalone farms in Wando-gun increased during the period of rising water temperature, and it is considered that the infestations that occur during the production of young shell may be affected.

Key words : abalone, *Haliotis discus hannai*, Polychaete, infestation rate

서 론

한국의 전복 생산은 가두리 양식이 보급된 2000년대 들어와 급격히 증가하였으며, 전복 생산량은 2000년 85 톤, 2003년 1,065 톤, 2010년 5,000 톤, 2015년 9,400 톤, 2017년 16,042 톤, 2018년 20,122 톤으로 세계에서 두번째로 많은 수준이다 (Cook, 2016; KMI 수산물센터). 완도를 포함한 전라남도의 전복 생산량은 한국 총생산량의 99%를 차지하며, 이중 완도지역이 94%를 차지하는 주요 생산지역으로 완도 인근 연안은 황해저층냉수괴 (Yellow Sea Bottom Cold

Water) 의 영향을 받는 해역으로 전복의 사육과 이들의 먹이가 되는 다시마와 미역 생산에 좋은 조건을 제공하고 있다 (Yang *et al.*, 2014).

최근 들어 완도지역을 포함한 전남권역 전복 가두리 양식장에서 폐사량이 증가하고 있다. 폐사의 원인은 매우 다양한 요인들이 원인으로 지목되고 있는데, 조밀하게 분포한 가두리 양식장과 이로 인한 조류 (潮流) 의 변화, 밀식과 적조의 번성에 의한 용존산소량 감소, 여름철 태풍의 영향, 가두리 내 및 주변의 퇴적물 침적 등의 무생물성 요인에 의한 인자와 산란기 교란에 의한 고수온기 산란과 이로 인한 스트레스, 다모류 감염에 의한 영향 등 생물성 요인에 의한 인자 등이 언급되었다 (Won *et al.*, 2013; Shin *et al.*, 2017; NIFS, 2016 & 2017).

현재까지 생물성 요인 중 병원체와 관련한 전복의 폐사는 거의 알려진 바 없을 뿐만 아니라 양식 전복에 대한 주요 병원체 [herpes-like virus of abalone (AbHV), “*Candidatus Xenohaliotis californiensis*”] 에 대하여 2014년부터 지속적으로 모니터링하고 있으나 검출된 예는 없다 (결과 제시 않음).

Received: March 15, 2019; Revised: March 22, 2019;
Accepted: March 28, 2019

Corresponding author: Deok Chan Lee

Tel: +82 (62) 690-8981, e-mail: saranghase@korea.kr
1225-3480/24724

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.

다만 Won *et al.* (2013) 은 전복 폐사와 관련하여 다모류 감염이 영향을 미칠 수 있음을 보고한 바 있다. 다모류의 심한 감염은 패류의 패각뿐만 아니라 조직에도 영향을 미치게 되는데, 성장의 저해 (Kojima & Imajima, 1982; Nel *et al.*, 1996; Handley & Bergquist, 1997; Caceres-Martinez *et al.*, 1998; Giribet & Wheeler, 2002), 호흡 형태의 변화 (Chambon *et al.*, 2007), 폐사 발생 (Lauckner, 1983; Blake, 1996) 등을 나타내어 경제적 문제를 일으키게 된다.

국내 전복 양식장에서 ‘다모류’로 불리는 천공성 수생동물은 긴털굴갯지렁이속 (genus *Polydora*) 에 속하는 환형동물로 *P. aura*, *P. haswelli*, *P. uncinata* 등이 보고 (Sato-Okcoshi *et al.*, 2012; 원 등, 2013) 된 바 있으나 전복 양식에서 다모류 감염은 패각 색깔의 (내측) 흑화에 의하여 제품의 가치를 떨어뜨려 생산성에 영향을 미침에도 불구하고 정확한 감염 상황이나 정도가 알려진 바 없으므로 대책 수립에 대한 언급조차 어려운 실정이다. 뿐만 아니라 전복 치패를 생산하는 육상수조양식장에서 다모류 감염이 이루어지고 있으며, 가두리 양식장의 감염률에도 영향을 미친다는 주장도 제기되고 있다.

그러므로 본 연구에서는 다모류의 감염 정도와 변화를 알아보기 위하여 우리나라 전복의 최대 생산지인 완도지역 가두리 양식장을 대상으로 3년여에 걸쳐 다모류 감염률을 조사하였으며, 이 자료를 바탕으로 월별 및 계절별 감염률의 변화를 확인하였을 뿐만 아니라 육상수조양식장에서 생산되는 전복 치패에서도 다모류 감염 실태를 확인하고자 하였다.

재료 및 방법

1. 패각 천공성 다모류의 감염 관찰

패각 천공성 다모류에 감염된 전복은 패각 내측면의 황 (갈) 색화 또는 흑화, 패각의 기형, 천공의 형성이 육안적으로 확인되었을 때를 기준으로 하였다. 이를 바탕으로 선별된 감염 의심 전복 패각을 롱노즈플라이어 (long nose plier), 니퍼 (nipper), 해부용 집게 등을 이용하여 조심스럽게 조각내며 다모류의 감염 여부를 확인하였다. 필요에 따라 입체현미경 (SMZ-25, Nikon) 을 이용한 관찰과 soft X-ray를 이용 조사를 수행하였다.

2. 가두리 양식장 감염률 변화 조사

완도지역에 위치한 전복 가두리 양식장의 감염률 조사는 2012년 10월부터 2015년 10월까지 월 또는 격월로 조사하였다. 이 기간 동안 102회에 걸쳐 5,037 개체의 전복을 조사하였으며, 조사 1회당 최소 11 개체에서 최대 206 개체를 무작위로 선택하여 실험실로 운반한 후 육안조사와 패각의 마쇄를 통하여 다모류의 존재를 확인하였다. 매회 조사에서 조사한 전

복 전체에 대하여 기생이 확인된 개체의 비율 (감염률) 을 확인하였으며, 이를 바탕으로 월별 및 계절별 변동을 파악하였다.

3. 치패 양식장 감염률 조사

육상의 치패 양식장에 대한 다모류 감염률을 조사하기 위하여 2015년 월에 완도지역에 위치한 18개 양식장에서 각각 30 개체씩 총 540 개체를 무작위로 채취하여 실험실로 운반하였다. 운반한 전복 치패에서 패각을 분리하여 3-7일간 공기 건조한 후 soft X-ray를 이용하여 감염을 확인하였다.

4. 통계 분석

다모류의 월별 또는 계절별 감염률의 비교는 one-way ANOVA test (Levene's F-test) 로 회귀분석한 후 t-test로 검정하였으며, 유의수준 $P < 0.05$ 이었을 때 유의차를 가지는 것으로 판단하였다.

결 과

1. 전복 패각에서의 다모류 감염 특성

다모류 성충이 확인된 전복의 패각 외측 또는 내측에는 다모류의 감촉사 (palps) 운동을 확인할 수 있으며, 내측은 황색부터 흑색에 이르는 색소의 침착이 확인되었다. 전복 패각에 다모류가 감염되었을 때 2개의 천공이 생성 (Fig. 1, A) 되며, 일부 전복 개체에서 천공 내에 살고 있던 다모류가 빠져 나가거나 죽은 것으로 판단된 경우 천공굴의 입구가 폐쇄되는 것을 확인할 수 있었다 (Fig. 1, B). 또한, 장기간에 걸쳐 다모류의 기생이 이루어진 부위의 패각 내부에 이형구조물이 형성되었는데 (Fig. 1, C; arrow) 내부에 성충이 확인되었으며, 이 구조물 내에 생활하는 성충에 의해 생산된 것으로 추정되는 유충의 무리가 천공굴의 입구 주변에 다수 기생 (Fig. 1, C; dotted arrow) 하는 것을 확인할 수 있었다.

2. 가두리 양식장 다모류 감염률의 변화

2012년 10월부터 2015년 10월까지 약 3년간 완도지역 전복 가두리양식장을 대상으로 다모류 감염 현황과 변화를 조사하였다. 조사 결과, 조사 회당 감염률 평균은 39.1% 이었으며, 월 감염률 평균은 38.4%로 유사하였다. 조사한 가두리양식장의 다모류 감염률은 0.99%로 다양한 분포를 보였으며, 월 평균감염율은 최소 28.8% (6월) 및 최대 52.4% (9월) 이었다 (Fig. 2).

조사기간 동안 다모류 감염률의 변화는 여름철에 증가하여 겨울철에 감소하는 경향을 보였다 (Fig. 2, A). 특히, 월별 변화를 확인하였을 때 7월과 8월의 평균 감염률 사이에 유의적 차이가 나타나 고수온기에 감염률의 증가가 뚜렷한 것으로 조

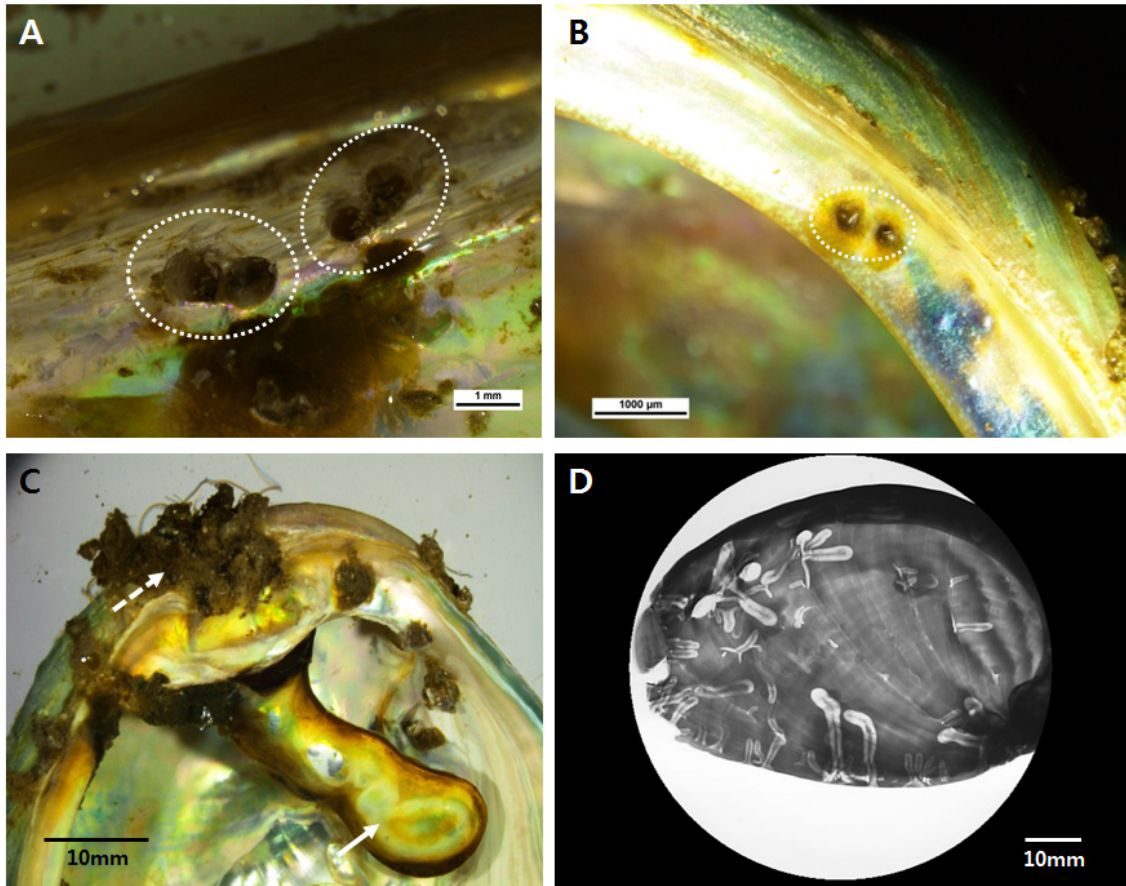


Fig. 1. Perforation of abalone shell by Polychaete-infestation (A & B), formation of heterostructure by long-term parasitism of polychaete (arrow) and infestation of early polychaete larva (dotted arrow) to shell (C), and soft X-ray image of adult shell perforation (D).

사되었다 (Fig. 2, B). 월별 평균 감염률을 계절별로 분석하였을 때 봄부터 지속적으로 높아진 감염률이 가을철에 높게 나타났으며 겨울철에 감소하였는데, 가을철 감염률과 겨울철 감염률에는 유의적인 차이를 보였다 (Fig. 2, C).

3. 치패 생산장의 다모류 감염 조사

다모류 감염 조사에 사용된 전북 치패의 각장 크기는 18.0-50.2 mm 이었다. 완도, 진도 및 해남지역에 소재한 18 개 치패 양식장 중 10개 양식장에서 다모류 감염이 확인되었으며, 조사 시료 540 개체 중 29 개체에서 감염이 확인되어 5.4%의 평균감염률 (% of average parasitism rate) 을 보

였다 (Table 1). soft X-ray로 패각을 확인하였을 때 주로 가장자리에 다모류에 의한 천공이 확인되었으나 일부 개체에서는 패각 중앙면의 며, 패각의 성장성이 단절되거나 휘는 경우도 관찰되었다. 다모류가 감염된 패각 당 보통 1개체가 확인되는 것이 일반적이었으나 최대 4개체가 감염된 경우도 관찰되었다 (Fig. 3).

고 찰

세계적으로 자연산과 양식산 전복류에서 다모류에 의한 감염과 피해에 대한 보고가 일부 있으나 정보는 매우 제한적이다

Table 1. Polychaete infestation rate of juvenile abalone farm

Farm No.	Sample No.	Sample Size (average, mm)		% of Farms with Infestation Confirmed (Farm No.)	% of Average Infestation Rate
		Shell length	Shell width		
18	540	40.8	27.5	55.5 (10)	5.4

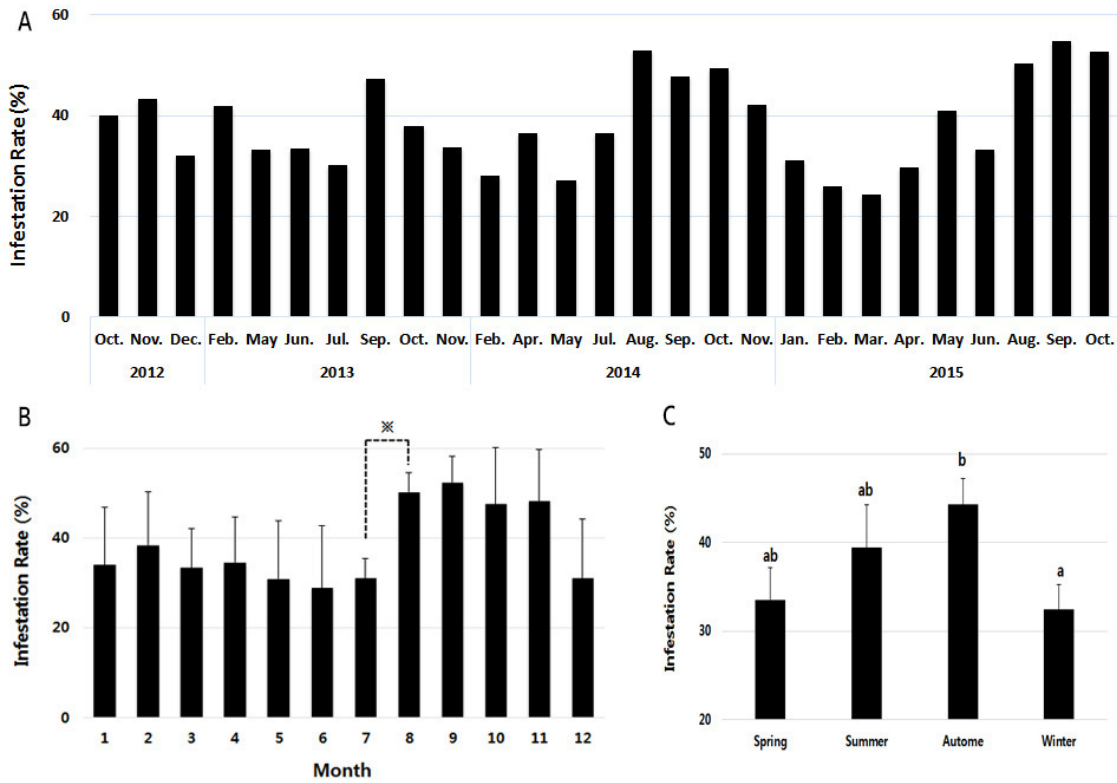


Fig. 2. Changes in Polychaete-infestation rate of abalone farms in Wando waters. **A**, change in infestation rate by year (Oct. 2012 - Oct. 2015), **B**, monthly infestation rate average, and **C**, seasonal infestation rate.

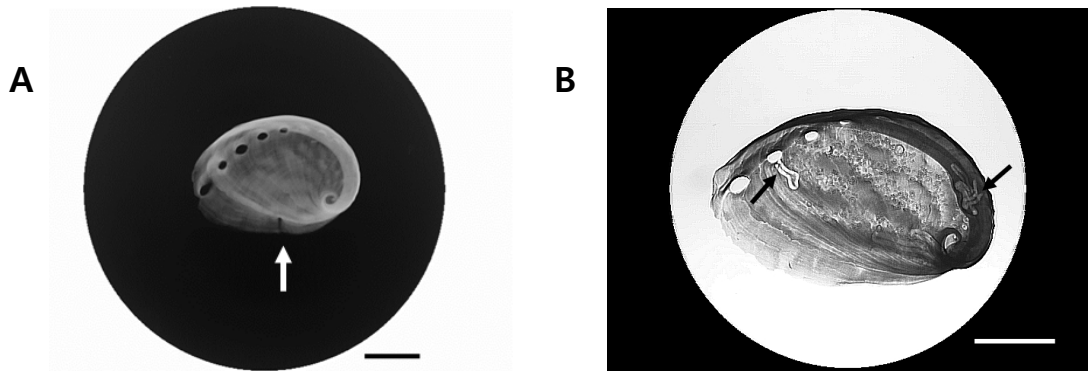


Fig 3. Soft X-ray image of the Polychaete-infestation of juvenile abalone shell (Scale bar, 10mm). **A**, Infected at the edge of shell (white arrow); **B**, Infected at the respiratory pore and lip area of shell (black arrow).

(Kojima and Imajima, 1982; Grindley *et al.*, 1998; Radashevsky and Olivares, 2005). 국내에서 자연산 및 양식산 패류에 다모류 (*Polydora* sp.) 의 감염은 전복 (*Haliotis discus hannai*) 뿐만 아니라 굴 (*Crassostrea gigas*), 진주조개 (*Pinctada fucata*), 비단가리비 (*Chlamys farreri*), 키조개 (*Atrina pectinata*), 피빨고둥 (*Rapana venosa*), 보말고둥 (*Omphalius rusticus*), 홍합 (*Mystilus coruscus*) 등에서

확인이 되었다 (Sato-Okoshi *et al.*, 2012; Won *et al.*, 2013; Yoon *et al.*, 2017). 그러나 패류에 대한 다모류의 감염 정도와 강도에 대한 문헌은 거의 없으며, 확인하기 어렵다.

우리나라에서 패류 패각에 감염되어 피해를 입히는 다모류는 다모강 (class Polychaeta), 꽃갯지렁이아강 (subclass Canalipalata), 얼굴갯지렁이목 (order Spionida), 긴얼굴갯지렁이속 (family Spionidae) 으로 분류되는 생물군으로 몸

통이 체절로 되어있고 각 체절(강모질, chaetiger)에 강모(bristle)를 다수 가지고 있으며, 홈이 있는 감촉사(grooved palps)를 이용하여 침전물이나 수중의 먹이를 취하는 해양생물로 '패각 천공성 다모류'로 표현되기도 한다 (Daro and Polk, 1973; Read, 1975; Dauer *et al.*, 1981; Sato-Okoshi and Okoshi, 1997; Won *et al.*, 2012).

전복에 다모류가 감염되면 패각 표면에 2개의 입구를 가진 구멍이 관찰되며, soft X-ray로 촬영하였을 때 'U'형의 천공과 일부 전복 패각에서 기형을 확인할 수 있었다. 감염 정도가 심할 때에는 이형 구조물을 형성하여 내장과 근육을 압박하는 경우도 관찰되었다. 심하게 감염된 패각은 감염되지 않은 패각에 비하여 쉽게 부러지거나 조각나는 경향을 보였으며, 천공된 곳을 기준으로 패각의 상층과 하층이 쉽게 분리되는 경향을 보였다. Won *et al.* (2013)도 다모류가 감염된 패각은 변형이 일어나며 감염이 심해졌을 때 패각이 쉽게 부러진다고 하였는데, 다모류의 패각 천공에 의한 영향은 가지 하락, 성장률 감소, 패각 나이가 패류의 폐사 등이 나타나 경제적 문제를 일으킨다 (Bower *et al.*, 1994; Handley and Bergquist, 1997; Leonart *et al.*, 2003; Sato-Okoshi *et al.*, 1990, 2008, 2012; Simon *et al.*, 2006).

2012년 10월부터 2015년 10월까지 약 3년여에 걸쳐 매달 또는 격월로 감염률을 조사하여 분석하였을 때 12월부터 7월에 비하여 8월 전후의 고수온기에 급격히 증가하는 경향을 보였다. 누적된 조사 결과를 바탕으로 월별 감염률로 확인하였을 때 8월에 급격한 증가 ($P < 0.05$)를 보인 후 점차 감소하는 경향을 보였고, 계절별로는 가을(9-11월)에 감염률이 높은 것으로 확인되었다 ($P < 0.05$). 다만, 8월 전후의 높은 감염률은 본 조사가 육안적 확인을 기준으로 감염 여부를 판단하였으므로 다모류 유생이 패각에 부착한 후 천공을 하여 전복 패각 내측에 황색 또는 검정색의 색소가 형성되거나 패각의 변형이 관찰되는 단계는 감염 후 어느 정도의 기간이 소요되어야 일어날 수 있으므로 수온 상승기인 3월부터 7월 사이에 감염이 이루어졌을 가능성이 매우 높다. 또한, 가을부터 출하가 이루어지기 시작하면서 겨울철 감염률이 감소하는 것으로 판단되며, 봄철 전복 출하가 많은 시기임에도 불구하고 감염률이 급격하게 떨어지지 않는 것은 이 시기에 새롭게 감염 단계로 확인되는 개체가 증가하기 때문으로 판단된다. 이러한 상황과 연계한다면 8월의 급격한 감염률 증가는 고수온기 진입으로 전복 성체의 출하가 이루어지지 않는 상황에서 감염률과 감염 강도가 높아지며 이에 대응하는 전복이 수온 상승으로 면역반응이 활성화되어 육안적으로 쉽게 관찰되는 단계에 이르기 때문으로 사료된다. 뿐만 아니라 전복 패각에 대한 월별 또는 계절별 다모류 감염률 변동에서 단일종의 패각 천공성 다모류가 관여한다고 단정할 수 없다. 본 연구에서 완도지역 전복양식장의 다

모류 감염에 대한 현미경 관찰에서 다모류의 형태, 크기, 체색, palps의 무늬 형태, 5번째 강모질의 강모 유무와 형태, notopods와 neuropods의 존재와 형태 등에서 다소 차이를 보이는 경우가 있었다 (결과 나타내지 않음). 다모류는 종에 따라 번식, 성장 속도, 수명, 수온 저항성 등이 다르며 (Kenny, 1969; Åkesson, 1976; Simonini & Prevedelli, 2003), 이에 따른 생활사 또한 비교적 다양하고 복잡하다 (Blake and Evans, 1973; Giangrande *et al.*, 1994; Prevedelli & Simonini, 2003). 그러므로 완도지역 양식 전복에서 나타나는 시기별 및 계절별 다모류 감염률의 변동 원인을 명확히 확인하기 위해서는 다모류의 종류, 분포 및 생활사에 대한 정밀한 조사가 필요할 것으로 사료된다.

2015년 5월에 18개 육상수조양식장에서 생산되는 전복 치패 540 마리에 대한 다모류 감염 조사에서 5.4%의 감염률을 확인하였다. 10개의 치패 생산장에서 생산되는 전복에서 감염이 확인된 것으로 미루어 성패뿐만 아니라 치패에서도 감염 가능성이 높음이 확인되었다. 완도지역 외에 위치한 전복 치패의 다모류 감염에서 일부 지역 치패 양식장의 감염율은 20.7%로 관찰된 경우도 있었다 (결과 나타내지 않음). 정상적인 개체에 비하여 패각 두께의 얇음, 성장선의 외곡, 홈의 발생, 형태의 이상 등을 보이는 개체의 비율이 다모류 감염률과 정확히 일치하지는 않지만 경향을 따르는 것으로 판단되므로 다모류의 감염이 치패의 정상적인 패각 성장에 영향을 미치는 것으로 보인다. 그러나 전복뿐만 아니라 어린 패류의 패각에 천공성 다모류의 감염 사례에 대한 자료는 없으며, soft X-ray 촬영을 분석한 결과, 다모류에 의한 천공은 대부분 패각의 가장자리에서 이루어지는 것을 확인하였는데 이는 수조의 바닥면과 접촉하는 부분으로 수조 바닥에 있던 다모류 유충이 전복 치패의 패각에 감염되는 것으로 사료된다. 그러므로 수조바닥의 주기적 청소와 소독은 치패 양식장에서의 다모류 감염 가능성을 낮추는 방법 중 하나로 사료된다.

패각에서의 천공은 다모류 소화선에서 산성물질을 분비하는 화학적 방법, 5번째 강모(chaetiger)를 이용한 물리적 방법, 또는 이 둘을 동시에 사용하는 방법이 알려져 있다 (Blake and Evans, 1973). 천공에 대응하여 전복은 탄산칼슘 및 콘키올린(conchiolin)을 분비하며 'blister'를 형성하여 다모류에 대한 방어를 하게 된다 (Lauckner, 1983). 이러한 상황이 반복되면 전복의 성장과 산란을 위해 사용할 에너지가 다모류 감염에 대한 방어를 위하여 지속적으로 사용되므로 패류의 건강지수를 악화시키며, 나아가서는 폐사율을 증가시키게 된다 (Kent, 1979; Bower, 1994; Yoon *et al.*, 2017). 전복은 패각을 제거하지 않은 살아있는 상태의 생물로 유통하는 비율이 매우 높은 양식 수산물이므로 다모류의 감염은 양식현장에서 전복의 성장률 감소와 폐사에 직접 또는 간접으로 관여하는 원

인체로 추정 될 뿐만 아니라 패각의 기형과 혐오스러운 먹거리로 오인되어 상품성을 떨어뜨리므로 장기적으로는 패류 양식업에 심각한 영향을 미칠 수 있다 (Kent, 1981; Bower *et al.*, 1994; Leonart *et al.*, 2003; Nie and Wang, 2004; Won *et al.*, 2013; Yoon *et al.*, 2017).

완도지역 다모류 감염률을 확인한 결과, 고수온기인 8월 전 후에 매우 높았으므로 실제 산란과 감염은 봄철부터 여름에 이르는 시기에 일어나는 것으로 판단되므로 사육관리, 특히, 가두리망과 쉘터의 정비가 이 시기에 이루어 져야 할 것으로 사료된다. 또한, 전복 치패 생산장의 사육관리와 주기적인 수조 청소 등을 통하여 감염률을 최소화하는 것이 가두리양식장에서의 감염을 줄일 수 있는 방안 중에 하나라고 생각된다. 그러므로 완도해역에서 양식되고 있는 전복의 패각 천공성 다모류에 대한 생활사 구명이 이루어져야 하며, 전복 치패 양식장에서 또는 가두리양식장에서 다모류의 감염 관리가 전복의 성장과 생존에 미치는 영향을 명확히 조사할 필요가 있을 것으로 사료된다.

요 약

전복 패각에 다모류의 심한 감염은 폐사를 일으키며 생산성에 영향을 미칠 수 있는 것으로 알려져 있다. 다모류 감염과 관련한 정확한 데이터 확보를 위하여 완도지역에 위치한 전복 가두리 양식장을 대상으로 다모류 감염률을 조사하였다. 조사 내용은 3년 동안의 감염률 변화, 월간 및 계절에 따른 감염률 변화, 치패 생산장의 감염률, 기존양식장과 이설양식장의 감염률 변화와 비교 등이었다. 3년간 전복에 대한 다모류의 감염률의 범위는 23.8-52.8% 이었다. 일반적으로 고수온기 (8월경) 를 전후하여 감염율이 급격히 증가하였으며, 가을철에 최고치를 나타내었다. 치패를 생산하는 육상 양식장의 다모류 평균 감염률은 5.4% 이었다. 완도군 소재 전복 양식장의 다모류 감염률은 수온이 오르는 시기에 증가하며, 치패 생산 과정에서 발생한 감염이 영향을 미칠 수 있을 것으로 판단된다.

사 사

본 연구는 해양수산부 양식수산물 전략품목 육성사업 및 국립수산물품질관리원 연구사업 (R2019004) 에 의해 이루어졌습니다.

REFERENCES

Åkesson, B. (1976) Temperature and life cycle in *Ophryotrocha labronica* (Polychaeta, Dorvilleidae). *Article in Ophelia*, **15**: 37-47.
 Blake, J.A. (1996) Family Spionidae Grube, 1850. Taxonomic atlas of the benthic fauna of the Santa

Maria Basin and Western Santa Barbara Channel. *The Annelida*, **6**: 186-188.
 Blake, J.A. and Evans, J.W. (1973) Polydora and related genera as borers in mollusk shells and other calcareous substrates (Polychaeta; Spionidae). *The Veliger*, **15**: 235-249.
 Bower, S.M., McGalddery, S.E. and Price, I.M. (1994) Synopsis of infectious diseases and parasites of commercially exploited shellfish. *Annual Review of Fish Disease*, **4**: 1-199.
 Caceres-Martinez, J., Marcias-Montes de Oca, P. and Vasquez-Yeomans, R. (1998) *Polydora* sp. infestation and health of the Pacific oyster *Crassostrea gigas* cultured in Baja California, NW Mexico. *Journal of Shellfish Research*, **17**: 259-264.
 Chambon, C., Legeay, A., Durrieu, G., Gonzalez, P., Ciret, P. and Massabuau, J.C. (2007) Influence of the parasite worm *Polydora* sp. on the behavior of the oyster *Crassostrea gigas*: a study of the respiratory impact and associated oxidative stress. *Marine Biology*, **152**: 329-338.
 Cook, P.A. (2016) Recent trends in worldwide abalone production. *Journal of Shellfish Research*, **35**: 581-583.
 Daro, M.H. and Polk, P. (1973) The autecology of *Polydora ciliata* along the Belgian coast. *Netherlands Journal of Sea Research*, **6**: 130-140.
 Dauer, D.M., Maybury, C.A. and Ewing, R.M. (1981) Feeding behavior and general ecology of several spionid polychaetes from the Chesapeake bay. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, **54**: 21-38.
 Giangrande, A., Iangrande, I., Geraci, S. and Belmonte, G. (1994) Life-cycle and life-history diversity in marine invertebrates and the implications in community dynamics. *Oceanography and Marine Biology: an Annual Review*, **32**: 305-333.
 Giribet, G. and Wheeler, W. (2002) On bivalve phylogeny: a high-level analysis of the Bivalvia (Mollusca) based on combined morphology and DNA sequence data. *Invertebrate Biology*, **4**: 271-324.
 Grindley, R.M., Keogh, J.A. and Friedman, C.S. (1998) Shell lesions in New Zealand *Haliotis* sp. (Mollusca, Gastropoda). *Journal of Shellfish Research*, **17**: 805-811.
 Handley, S.J. and Bergquist, P.R. (1997) Spionid polychaete infestations of intertidal pacific oysters *Crassostrea gigas* (Thunberg), Mahurangi Harbour, northern New Zealand. *Aquaculture*, **153**: 191-205.
 Kent, R.M.L. (1979) The influence of heavy infestations of *Polydora ciliata* on the flesh content of *Mytilus edulis*. *Journal of Marine Biology Association UK*, **59**: 289-297.
 Kent, R.M.L. (1981) The effect of *Polydora ciliata* on the shell strength of *Mytilus edulis*. *ICES Journal of Marine Science*, **39**: 252-255.
 Kenny, R. (1969) Temperature tolerance of the polychaete worms *Diopatra cuprea* and *Clymenella*

- torquata*. *Marine Biology*, **4**: 219-223.
- Kojima, H. and Imagima, M. (1982) Burrowing polychaetes in the shells of abalone *Haliotis diversicolor aquatilis* chiefly on the species of *Polydora*. *Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries*, **48**: 31-35.
- Lauckner, G. (1983) Diseases of mollusca bivalvia. *In*: Diseases Marine Animals, vol. II. (ed. by Kinne, O.). pp. 477-978. Biologische Anstalt Helgoland, Hamburg.
- Lleonart, M., Handlinger, J. and Powell, M. (2003) Spionid mudworm infestation of farmed abalone (*Haliotis* spp.). *Aquaculture*, **22**: 88-96.
- Nel, R., Coetzee, P.S. and Van Niekerk, G. (1996) The evaluation of two treatments to reduce mud worm (*Polydora hoplura* Claparède) infestation in commercially reared oysters (*Crassostrea gigas* Thunberg). *Aquaculture*, **141**: 31-39.
- Nie, Z. and Wang, S. (2004) The status of abalone culture in China. *Journal of Shellfish Research*, **23**: 941-945.
- NIFS (2016) Cause survey report on aquaculture damage in the South-west Coast. pp. 178-241.
- NIFS (2017) Cause survey report on aquaculture damage in the South-west Coast. pp. 119-267.
- Prevedelli, D. and Simonini, R. (2003) Life cycles in brackish habitats: adaptive strategies of some polychaetes from the Venice lagoon. *Oceanologica Acta*, **26**: 77-84.
- Radashevsky, V.I. and Olivares, C. (2005) *Polydora uncinata* (Polychaeta: Spionidae) in Chile: an accidental transportation across the Pacific. *Biological Invasions*, **7**: 489-496.
- Read, G.B. (1975) Systematics and biology of polydorid species (Polychaeta: Spionidae) from Wellington Harbour. *Journal of the Royal Society of New Zealand*, **5**: 395-419.
- Sato-Okoshi, W. and Okoshi, K. (1997) Survey of the Genera *Polydora*, *Boccardiella* and *Boccardia* (Polychaeta, Spionidae) in Barkley Sound (Vancouver Island, Canada), with Special Reference to Boring Activity. *Bulletin of Marine Science*, **60**: 482-493.
- Sato-Okoshi, W., Okoshi, K. and Shaw, J. (2008) Polydorid species (Polychaeta, Spionidae) in southwestern Australian waters with special reference to *Polydora uncinata* and *Boccardia knoxi*. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, **88**: 491-501.
- Sato-Okoshi, W., Okoshi, K., Koh, B.-S., Kim, Y.H. and Hong, J.S. (2012) Polydorid species (Polychaeta: Spionidae) associated with commercially important mollusk shells in Korean waters. *Aquaculture*, **350-353**: 82-90.
- Sato-Okoshi, W., Sugawara, Y. and Nomura, T. (1990) Reproduction on the boring polychaete *Polydora variegata* inhabiting scallops in Abashiri Bay, North Japan. *Marine Biology*, **104**: 61-66.
- Shin, Y.R., Kim, B.H., Choi, H.S., Koo, J.H., Park, J.W., Lee, D.C. and Park, J.J. (2017) A case study of damage on net cage cultured abalone in Wando, Jellanam-do by the combined effect. *Korean Journal of Malacology*, **33**: 329-336.
- Simon, C.A., Ludford, A. and Wynne, S. (2006) Spionid polychaetes infesting cultured abalone, *Haliotis midae*, in South Africa. *African Journal of Marine Science*, **28**: 167-171.
- Simonini, R. and Prevedelli, D. (2003) Effects of temperature on two Mediterranean populations of *Dinophilus gyrociliatus* (Polychaeta: Dinophilidae): I. Effects on life history and sex ratio. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, **291**: 79-93.
- Yang, H.W., Cho, Y.K., Seo, G.H., You, S.H. and Seo, J.W. (2014) Interannual variation of the southern limit in the Yellow Sea Bottom Cold Water and its causes. *Journal of Marine Systems*, **139**: 119-127.
- Yang, S.K., Cho, K.D. and Hong, C.H. (1984) On the abnormal low temperature phenomenon of the yellow sea bottom cold water in summer, 1982. *The Journal of the Oceanological Society of Korea*, **19**: 125-132.
- Yoon, J.H., Hwang, I.J., Hong, J.S. and Lim, H.J. (2017) Changes of condition index and phagocytosis activity of hemocyte in Pacific oyster, *Crassostrea gigas* by *Polydora* spp. infestation. *The Korean Journal of Malacology*, **33**: 7-12.
- 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. *Journal of Fish Pathology*, **26**: 139-148.

