

한국과 포르투갈 이매패에서 나타나는 *Perkinsus olseni* 감염의 지역적 차이: 유병률·병리학적 특성

김영욱¹, 김승현^{1,2}, 김민수¹, 송태성¹, 이동현¹, 룡진시아¹, W.A.A.H. Kalhari¹, Andreia Cruz³,
박경일^{1,2}

¹군산대학교 해양·바이오특성화대학 수산생명의학과, ²군산대학교 해상풍력수산업연구단,
³Oceano Fresco S.A, Nazaré, Portugal

Regional Disparities in *Perkinsus olseni* Infection: Prevalence and Pathological Characteristics in Clams from Korea and Portugal

Young-Uk Kim¹, Seung-Hyeon Kim^{1,2}, Min Su Kim¹, Tae-Sung Song¹, Donghyun Lee¹,
Jinxia Long¹, W.A.A.H. Kalhari¹, Andreia Cruz³ and Kyung-Il Park^{1,2}

¹Department of Aquatic Life Medicine, College of Ocean and Bioscience, Kunsan National University, Gunsan 54150, Republic
of Korea,

²Research Institute of Fisheries Science in Offshore Wind Farms (RIFO), Kunsan National University, Gunsan 54150, Republic
of Korea,

³Oceano Fresco S.A, Nazaré, Portugal

ABSTRACT

This research investigated *Perkinsus olseni* infection patterns in clams from two geographically distinct regions: Korean Manila clams (*Ruditapes philippinarum*) and Portuguese carpet shell clams (*R. decussatus*). Specimens were collected from Gochang, Korea and Olhão, Portugal for comprehensive molecular and histopathological analysis. PCR diagnostics demonstrated a striking disparity in infection prevalence, with Korean clams exhibiting a 95.0% infection rate compared to only 33.3% in Portuguese specimens. Genetic characterization through ITS sequence analysis revealed significant phylogenetic differentiation, with Korean isolates clustering within Asian lineages while Portuguese isolates aligned with Atlantic lineages. Histopathological examinations further substantiated these regional differences, as Korean samples displayed widespread infection across multiple tissue types with pronounced inflammatory responses, whereas Portuguese samples showed only localized, mild infection restricted to gill tissue in a single specimen. These marked regional variations in infection patterns likely stem from a complex interplay of environmental factors, host-specific susceptibility differences, and pathogen virulence characteristics. This study provides critical insights into the regional epidemiology of *P. olseni* infections and emphasizes the importance of developing region-specific approaches for understanding and managing host-pathogen dynamics in marine bivalve populations.

Key words: *Perkinsus olseni*, *Ruditapes philippinarum*, *Ruditapes decussatus*, Korea, Portugal

서론

Received: June 19, 2025; Revised: June 22, 2025; Accepted:
June 30, 2025

Corresponding author: Kyung-Il Park

Tel: +82 (63) 469-1882, e-mail: kipark@kunsan.ac.kr
1225-3480/24895

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.

Perkinsus 속의 기생충은 전 세계적으로 다양한 해양 연체
동물에서 검출되고 있으며 숙주에 대한 병원성이 크고 일부 지
역에서는 높은 폐사율을 유발하기 때문에 사회·경제적 중요성
이 크다 (Villalba *et al.*, 2004; Choi and Park, 2010). 특
히 *Perkinsus* 속 중 *Perkinsus marinus*와 *P. olseni*는 세
계동물보건기구 (World Organization for Animal Health,
WOAH) 지정 질병으로 분류되어 있으며, 이들은 각각 북미의
대서양굴 (*Crassostrea virginica*) 과 유럽·아시아 지역의 바
지락류 (*Ruditapes decussatus*, *R. philippinarum*) 의 대

규모 폐사를 유발하는 것으로 알려져 있다 (Andrews, 1988; WOA, 2023).

*P. olseni*는 1980년 대 초 호주산 복족류인 전복 (*Haliotis rubra*) 에서 최초로 분리된 기생성 원생생물이며 (Lester and Davis, 1981), 이때패류에서의 감염은 1985년 유럽 고유종인 포르투갈산 carpet shell clam (*R. decussatus*) 에서 최초로 확인되었다 (Ruano, 1985). 유럽에서 발견 초기에는 *P. marinus*로 오인되었으나 (Ruano and Cachola, 1986), 전자현미경 분석을 통해 기존 종과의 형태학적 차이가 밝혀지면서, *P. atlanticus*라는 새로운 종으로 명명되었다 (Azevedo, 1989). 그러나 리보솜 RNA 유전자 (rRNA gene cluster)의 Internal Transcribed Spacer (ITS) 및 Non-Transcribed Spacer (NTS) 영역에 대한 염기서열 분석 결과, 이 종이 호주산 전복에서 분리된 *P. olseni*와 유전적으로 동일하다는 사실이 확인됨에 따라 현재는 *P. olseni*로 불리고 있다 (Goggin, 1994; Murrell *et al.*, 2002).

*P. olseni*는 숙주의 아가미, 소화맹낭, 외투막, 생식소 등 다양한 연체조직에 침투하여 조직염증, 혈구 침윤 및 결절 형성과 같은 병리조직학적 반응을 유발한다. 감염된 개체는 종종 폐각을 벌린 채로 관찰되며, 아가미 조직에서는 지름 1-2 mm 크기의 유백색 결절 (nodule) 이 육안으로 확인되기도 한다 (Hamaguchi *et al.*, 1998). 이러한 결절 내부에는 영양체 (trophozoite) 단계의 기생체가 밀집하여 분포하며, 주변 조직에서는 숙주의 혈구 (haemocyte) 가 국소적으로 침윤하는 특징적인 염증 반응이 관찰된다 (Park and Choi, 2001). 감염의 중증도에 따라 숙주의 여과 기능, 소화 및 생식 기능 저하로 이어질 수 있다 (Choi *et al.*, 2010; Lee *et al.*, 2001; Park *et al.*, 2006).

1980년대 유럽 남부에서 *P. olseni* 감염에 의한 유럽 고유종인 carpet shell clam (*R. decussatus*) 의 대규모 폐사가 보고되기 시작했다. 스페인의 Delta de l'Ebre 지역에서는 폐사율이 최대 100%에 달했으며, 포르투갈의 Ria Formosa에서는 10여년 동안 연간 50-85%에 이르는 높은 폐사율이 보고되었다 (Santmartí *et al.*, 1995; Ruano *et al.*, 2015). 이외에도 프랑스, 이탈리아 등 여러 유럽 국가에서 감염 사례가 지속적으로 확인되고 있으며 (Goggin, 1992; Arzul *et al.*, 2012; Carella *et al.*, 2023), 고유종인 carpet shell clam 이외에도 유입종인 바지락 (*R. philippinarum*) 에서의 감염 사례 또한 보고되고 있다 (Sagrìstà *et al.*, 1996; Arzul *et al.*, 2012; Pretto *et al.*, 2014).

바지락 (*R. philippinarum*) 은 동아시아가 원산종으로, 1930년대 일본에서 북미로 이식된 참굴 (*C. gigas*) 종패에 섞여 북미에 유입되었고, 이후 1970년대 미국 오리건 등 북미 태평양 해안에서 프랑스로 도입되어 유럽에 정착하였다

(Quayle, 1964; Chew, 1989; Flassch and Leborgne, 1992). 이러한 사실 때문에 유럽의 *P. olseni*에 대한 아시아 기원설이 여러 연구자들에 의해 제기되고 있다. 특히 유럽의 다양한 해역에서 분리된 *P. olseni* 균주들의 유전적 다양성이 낮고, 바지락 도입 이전까지는 이 병원체가 보고되지 않았다는 점에서 이러한 주장은 힘을 얻고 있다 (Vilela, 1951; Goggin, 1992; Cigarría *et al.*, 1997; Vilas *et al.*, 2011).

아시아 해역에서 *Perkinsus* sp. 감염이 처음 보고된 사례는 1997년으로, 당시 한국 남해안의 강진과 완도에서 채집된 바지락 (*R. philippinarum*) 에서 감염이 확인되었다 (Choi and Park, 1997). 이후 동해안을 제외한 대부분의 연안에서 높은 감염률과 감염도가 보고되었다 (Park and Choi, 2001). Park *et al.* (2005) 은 바지락에서 분리한 *Perkinsus* sp.의 DNA 염기서열을 분석한 결과, 해당 병원체가 *P. olseni*임을 확인하였다. 이후에도 바지락에서의 *P. olseni* 고 감염과 이에 따른 폐사 사례가 지속적으로 보고되고 있다 (Lee *et al.*, 2010; Nam *et al.*, 2018; Yang *et al.*, 2019; Kang *et al.*, 2024).

한국의 사례와는 반대로 1990년대 중반까지 매우 높은 *P. olseni*의 감염도와 이로 인한 숙주의 대량 폐사가 보고되었던 포르투갈의 경우 최근 연구들에 따르면 *R. decussatus*내 *P. olseni*의 감염률과 감염도가 현저히 낮아진 것이 확인되고 있으며 이 병원체에 의한 폐사에 관한보고도 없다 (Cruz *et al.*, 2020; Estevão *et al.*, 2023).

따라서 이러한 양국 간 *P. olseni* 감염 양상의 뚜렷한 차이를 비교하고, 포르투갈에서 *P. olseni*의 감염률과 감염도가 감소한 원인을 규명한다면 한국의 *P. olseni* 감염 감소와 바지락 폐사를 줄이기 위한 기술 개발에 중요한 단서를 제공할 수 있을 것으로 기대된다. 본 연구는 이를 위한 기초 연구의 일환으로 한국과 포르투갈에서 보고된 *P. olseni*의 분자적 특성과 병리조직학적 특성을 살펴보고자 수행되었다.

재료 및 방법

1. 실험 개요 및 샘플링 지역

본 연구는 한국과 포르투갈에서 채집한 시료 (*R. philippinarum*, *R. decussatus*) 의 *P. olseni* 감염 양상을 분자생물학적 및 조직병리학적 방법으로 분석하였다. 한국 시료는 전라북도 고창군 곰소만에서 채집하였으며, 포르투갈 시료의 경우 Ria Formosa 석호의 Olhão 지역에서 채집하였다 (그림 1). 채집된 시료는 아가미 조직으로부터 DNA 추출 및 PCR 분석을 통해 *P. olseni* 감염을 확인하고, 양성 시료에 대해서는 ITS 영역의 염기서열을 분석하였다. 또한 감염된 개체의 연체부 조직에 대한 조직병리학적 관찰을 수행하였다.

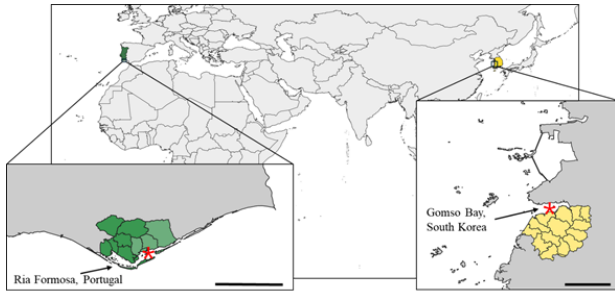


Fig. 1. Geographic locations of clam sampling sites used to assess *P. olseni* infection. Manila clams (*R. philippinarum*) were collected from Gomso Bay, Jeollabuk-do, South Korea, and *R. decussatus* from the Olhão region of the Ria Formosa in southern Portugal (Algarve). The central map illustrates the relative geographic locations of the two countries, and the enlarged insets display the precise sampling sites, indicated by red asterisks. The scale bars represent distances of 20 km on the local maps.

2. DNA 추출

시료의 육질 조직 약 25 mg에서 Qiagen DNeasy Blood & Tissue kit (QIAGEN, Germany) 를 이용하여 제조사 프로토콜에 따라 genomic DNA를 추출하였다. 추출된 DNA의 농도와 순도는 분광광도계 (Agilent BioTek Epoch 2, USA) 를 사용하여 확인하였다.

3. PCR 증폭 조건 및 반응구성

본 연구에서는 *P. olseni*를 검출하기 위해 ITS 영역내 *Perkinsus* 속 특이적인 primer와 *P. olseni* 종 특이적 primer를 각각 별도로 사용하여 PCR을 수행하였다 (Audemard *et al.*, 2004; Moss *et al.*, 2006). 각 PCR 반응은 genomic DNA 약 100 ng, 각 primer 10 pmol, GoldHotStart Taq DNA Polymerase 1 U, dNTPs 250 μM 및 1 × reaction buffer (Bioneer, South Korea) 로 구성된 총 50 μL 반응액에서 실시하였다.

Perkinsus 속의 증폭은 95°C에서 3분간 초기 변성을 수행한 후, 95°C에서 30초, 60°C에서 1분, 72°C에서 1분으로 구성된 사이클을 35회 반복하고, 72°C에서 7분간 최종 연장을 수행하였다. *P. olseni* 증폭의 경우 95°C에서 4분간 초기 변성 후, 94°C 1분, 62°C 1분, 65°C 3분으로 구성된 사이클을 40회 반복하고, 65°C에서 10분간 최종 연장 단계를 설정하였다.

4. 전기영동 및 염기서열 분석

PCR 증폭 산물은 Dyne LoadingSTAR (A750, DyneBIO) 로 염색한 1.5% agarose gel 전기영동을 통해 확인하고 UV 하에서 관찰하였다. 양성으로 확인된 증폭 산물은 정제 후 Macrogen (Korea) 에 의뢰하여 염기서열을 분석하였다. 분

석된 염기서열은 BLAST 검색을 통해 기존의 *P. olseni* 참조서열과 비교하여 종을 확인하였다.

5. 조직병리학적 검사

고창군 곰소만에서 채집한 바지락 (*R. philippinarum*) 과 포르투갈산 carpet shell clam (*R. decussatus*) 의 연체부 조직을 생식소, 소화맹낭, 외투막, 아가미, 족부를 포함하여 약 3 mm 두께로 적출하였다. 시료는 Davidson's fixative에 24시간 고정한 후, 70% 에탄올에 보관하였다. 이어 점차 농도를 높인 에탄올로 탈수한 뒤, 자일렌으로 치환하였다. 이 조직은 파라핀에 포매한 후, microtome을 이용해 4 μm 두께로 절편을 제작하고 hematoxylin-eosin (H&E) 으로 염색하였다. 제작된 조직표본은 광학현미경 (DMi8, Leica, Wetzlar, Germany) 을 이용해 관찰하였으며, 소화맹낭, 생식소, 아가미, 족부 등에서 나타나는 *P. olseni* 영양체 (trophozoites) 를 확인하였다.

결 과

1. *P. olseni* 분자생물학적 검출 결과

Perkinsus 속 특이적인 primer와 *P. olseni* 종 특이적 primer를 이용한 PCR 결과, 동일한 개체에서 감염이 확인되었다. 한국 전라북도 곰소만에서 채집한 바지락 (*R. philippinarum*) 20개체 중 19개체 (95.0%) 에서 *P. olseni* 가 확인되었으며, carpet shell clam (*R. decussatus*) 30개체 중 10개체 (33.3%) 에서 감염이 확인되어 한국산 바지락이 carpet shell clam (*R. decussatus*) 보다 약 3배 높은 유병률을 나타냈다. PCR 증폭 산물의 크기는 각각 703 bp와 450 bp로 예상 크기와 일치하였다 (그림 2).

2. 포르투갈 및 한국산 *P. olseni*의 ITS 염기서열 분석

PCR 양성으로 확인된 증폭 산물을 정제하여 염기서열을 분석한 결과, 한국산 바지락 시료 19개체와 carpet shell clam (*R. decussatus*) 시료 10개체의 염기서열을 확보하였다. NCBI BLAST을 통한 종 동정 결과, 모든 시료는 *P. olseni*로 확인되었다. 분석된 모든 서열은 기존에 보고된 *P. olseni* 참조 서열들과 높은 유사성을 나타내 종 동정의 신뢰성을 확보하였다.

한국 시료에서 확인된 *P. olseni*의 ITS 영역 서열 (703 bp) 은 한국 서해안과 남해안에서 보고된 서열들 (KX514106, KX514088, KX514122, KX514117) 과 높은 유사성을 나타냈다. 포르투갈 시료의 경우, 유럽 지역의 기보고 균주들과 높은 유사성을 나타냈으며, 특히 스페인 Galicia 지역의 *R. decussatus* (AF369970), 브라질 Rio São

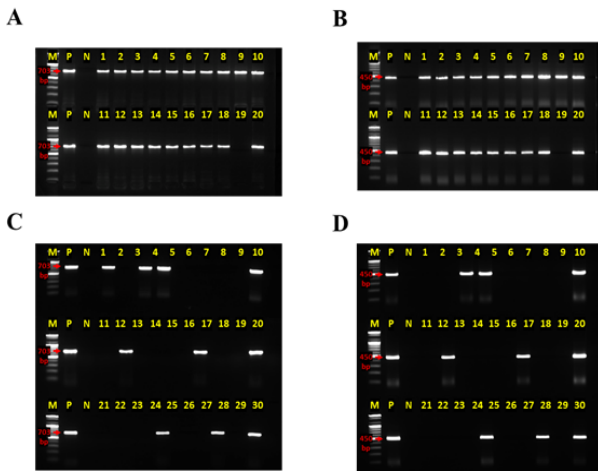


Fig.2. PCR amplification results for *P. olseni* detection in clam samples. Agarose gel electrophoresis results showing PCR amplification of *P. olseni* from *R. philippinarum* and *R. decussatus* collected in Korea and Portugal, respectively, using genus-specific and species-specific primers. (A) Korean *R. philippinarum* samples amplified with genus-specific primers; (B) Korean *R. philippinarum* samples amplified with *P. olseni*-specific primers; (C) Portuguese *R. decussatus* samples amplified with genus-specific primers; (D) Portuguese *R. decussatus* samples amplified with *P. olseni*-specific primers. M: molecular marker; P: positive control; N: negative control; lanes 1–30: individual clam samples.

Francisco, Sergipe 지역의 *C. gasar* (KJ608210) 및 아르헨티나 Beagle channel 지역의 *Mytilus chilensis* (LC656362) 에서 검출된 *P. olseni*와 100%의 유사성을 나타냈으며, 중국 칭다오산 바지락에서 검출된 *P. olseni*의 서열과는 99.8%의 유사성을 보였다 (OR533520).

3. 병리조직학적 비교

PCR을 통해 *P. olseni* 감염이 확인된 개체를 대상으로 조직병리학적 검사를 실시한 결과, 감염 시 전형적으로 나타나는 eccentric vacuoles, signet-ring structures, 그리고 trophozoites를 둘러싼 hemocyte infiltration 등의 특징적인 조직학적 소견이 한국과 포르투갈 시료 모두에서 관찰되었다.

조직병리학적 분석 결과, 한국의 바지락 모든 개체 (N = 6)에서 *P. olseni* 감염이 확인되었으며, 감염은 주로 아가미 (gill), 소화맹낭 (digestive gland), 생식소 (gonad), 족부 (foot) 조직에서 관찰되었다. 특히 아가미 및 소화맹낭에서는 모든 개체 (6/6, 100%)에서 다수의 영양체 (trophozoite)가 확인되었다. 영양체는 $12.14 \pm 0.24 \mu\text{m}$ (N = 50)의 구형 또는 타원형 형태로, 헤마톡실린에 염색된 핵을 포함하고 있었다. 족부 조직에서는 6개체 중 1개체 (16.7%)에서 감염

이 확인되었다 (그림 3).

반면, 포르투갈 *R. decussatus* 시료 (N = 6)에서는 6개체 중 단 1개체 (16.7%)의 아가미 조직에서만 감염이 확인되었고, 소수의 영양체 ($11.84 \pm 0.32 \mu\text{m}$, N = 10)가 관찰되었다. 감염은 국소적이고 경미한 수준이었으며, 소화맹낭과 외투막에서는 감염이 확인되지 않았다 (그림 3).

고 찰

본 연구에서는 한국과 포르투갈 해역에서 채집된 바지락 (*R. philippinarum*)과 carpet shell clam (*R. decussatus*)을 대상으로 *P. olseni*의 유병률, 유전자 서열 유사성, 조직병리학적 병변을 비교하였다. 그 결과, 두 지역 모두에서 *P. olseni* 감염이 확인되었으나, 감염 양상 및 병리학적 특성은 뚜렷한 차이를 보였다.

먼저, 한국 곶소만 지역에서 채집된 바지락의 *P. olseni* 유병률은 95.0%로 매우 높았던 반면, 포르투갈 Ria Formosa 지역의 carpet shell clam (*R. decussatus*)에서 확인된 *P. olseni* 유병률은 33.3%에 불과하여 지역 간 차이가 두드러졌다. 계통분석 결과에서도 두 지역에서 검출된 *P. olseni*는 서로 다른 유전적 계통군에 속하는 것으로 나타났다. 한국산 *P. olseni*는 아시아 계통군 (중국 및 한국 계열)과의 높은 유사성 (99.7–100%)이 확인되었으며, 포르투갈산 *P. olseni*는 스페인, 브라질, 아르헨티나 등 대서양 연안에서 보고된 계통군과 높은 유사성 (99.2–99.5%)을 보였다. 이는 지역에 따른 병원체 분화 가능성을 뒷받침한다 (Ye *et al.*, 2022). 그러나 흥미롭게도 포르투갈 시료에서 확인된 *P. olseni*의 염기서열이 중국 칭다오산 바지락에서 검출된 *P. olseni*의 서열과 99.8%의 유사성을 보이고 있기 때문에 이에 대한 추가 연구가 필요하다.

조직병리학적 비교에서도 숙주 내 감염 조직의 범위와 강도에서 큰 차이가 관찰되었다. 한국 바지락에서는 아가미, 소화맹낭, 생식소, 족부 등 여러 조직에 걸쳐 감염이 광범위하게 확산되어 있었으며, trophozoite의 수가 많고 병변 주변에서 혈구의 현저한 침윤이 관찰되는 등 병리학적 상호작용이 다수 관찰되었다. 특히 소화맹낭에서의 현저한 염증 반응은 조직 기능 저하와 생리적 장애를 유발할 수 있으며, 이는 Choi *et al.* (2002)이 제시한 숙주의 성장 저해 및 폐사 가능성과도 일치한다. 반면, 포르투갈 시료에서는 6개체 중 단 1개체의 아가미에서만 감염이 확인되었다. Trophozoite의 수와 크기 또한 현저히 적었으며, 조직 손상과 염증 반응도 경미하였다. 또한, 포르투갈 시료의 PCR 양성률 (33.3%)과 조직병리학적 검출률 (16.7%) 간의 차이는 분자진단 기법의 높은 민감도를 보여주는 결과로, 특히 *P. olseni* 감염의 초기 단계 또는 저장

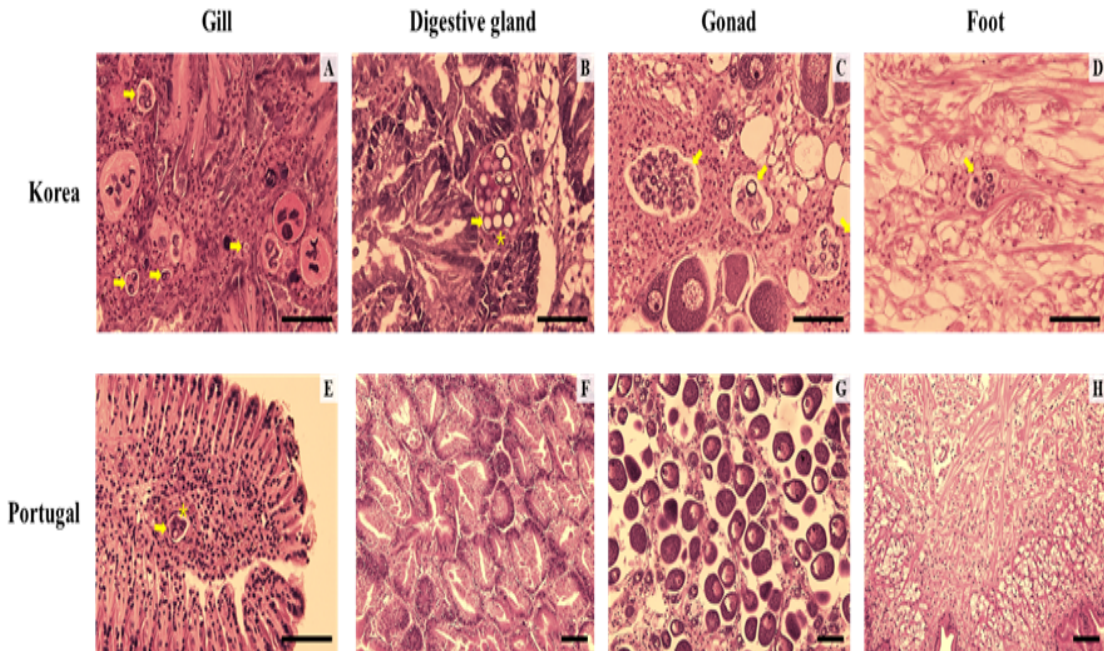


Fig. 3. Histopathological observations of *Perkinsus olseni* infection in tissues of clams from Korea (*Ruditapes philippinarum*) and Portugal (*R. decussatus*). All tissue sections were stained with hematoxylin and eosin. Korean *R. philippinarum* samples: (A) gill, (B) digestive gland, (C) gonad, and (D) foot. Portuguese *R. decussatus* samples: (E) gill, (F) digestive gland, (G) gonad, and (H) foot. Yellow arrows indicate trophozoites of *P. olseni*, and yellow asterisks indicate hemocyte infiltration observed in the tissue. *P. olseni* infection was detected in 100% of Korean clams, with extensive pathology and hemocyte infiltration in the gill and digestive gland. In contrast, only one Portuguese clam showed localized infection in the gill. Panels A-E were captured at $\times 40$ magnification; panels F-H were captured at $\times 20$ magnification. Scale bars: 60 μm .

도 감염에서 조직학적 방법만으로는 감염을 과소평가할 가능성을 시사한다 (Balseiro *et al.*, 2010).

이러한 유병률 및 감염 강도의 지역 간 차이는 환경적 조건, 숙주의 감수성, 그리고 병원체 간의 병원성 차이 등이 복합적으로 작용한 결과로 해석될 수 있다. *P. olseni*는 일반적으로 25–30°C의 수온과 25–35 psu의 염분에서 가장 활발히 증식하는 것으로 알려져 있다 (La Peyre *et al.*, 2008; Kim *et al.*, 2010; Umeda *et al.*, 2020). 한국 서해안 곰소만의 여름철 평균 수온은 24–26°C로 *P. olseni*의 최적 증식 온도 범위 (25–30°C) 에 근접하여 병원체의 활성을 촉진할 수 있다. 반면, 포르투갈 Ria Formosa 지역의 여름 수온은 20–22°C로 여전히 증식 가능한 범위에는 속하지만, 낮은 수온은 병원체의 성장 및 병원성을 제한할 가능성이 있다 (NIFS, 2023; SeaTemperature.org, 2024). 그러나 염도 측면에서는 정반대의 경향이 나타난다. 평균 염분이 약 35 psu 으로 유지되는 포르투갈 Ria Formosa의 해수 환경은 병원체의 활성에 유리한 조건이라 볼 수 있다 (Newton and Mudge, 2003). 반면, 한국 곰소만의 염분은 20–32 psu 수준으로 보고되어 (Go *et al.*, 2022), 이는 *P. olseni*의 생존과 증식이 가능한

범위에는 포함되지만, 최적 증식 조건인 25–35 psu보다는 다소 낮아 병원체의 성장률이나 병원성 발현이 제한될 가능성이 있다. 그럼에도 불구하고, 곰소만에서 더 높은 유병률이 관찰되었다는 점은 수온과 염분 등 환경적 요인 이외의 다른 요인들이 지역 간 감염 양상의 차이를 유발할 수 있음을 시사한다. 더욱이, 과거 포르투갈 Ria Formosa 지역은 *P. olseni*의 주요 감염 발생지로 보고된 바 있다 (Flye-Sainte-Marie *et al.*, 2008). 이는 현재의 낮은 감염률이 단지 환경적 조건 때문이 아니라, 숙주의 면역 반응 및 내성 수준의 차이, 또는 각 지역에 분포하는 *P. olseni* 계통군 간의 병원성 차이가 감염 강도에 결정적인 영향을 미쳤을 가능성을 시사한다 (Estevão *et al.*, 2023; Sambade *et al.*, 2025; Kim *et al.*, 2025).

Kim *et al.* (2025) 은 미국 대서양 연안과 멕시코만에서 분리된 *P. marinus* 균주들이 캐나다산 대서양굴 (*C. virginica*) 에 대해 서로 다른 병원성을 나타낸다고 보고하였다. 이는 동일 병원체 종이라도 지역에 따라 병원성이 달라질 수 있음을 보여준다. 한편, Ye *et al.* (2022) 은 중국 연안에서 채집된 *P. olseni*의 ITS 염기서열 분석을 통해 총 73개의 haplotype을 확인하였으나, 같은 연구에서 분석된 *P.*

*beihaiensis*와 *P. chesapeakei*에서는 각각 5개와 2개의 haplotype만이 확인되었다. 이 결과는 *P. olseni*가 다른 *Perkinsus* 종에 비해 유전적 다양성이 훨씬 높다는 것을 시사한다. 이러한 지역적 차이와 유전적 다양성은 병원체의 감염력이나 숙주 조직 내 증식 방식에 영향을 줄 수 있으며, 본 연구에서 확인된 포르투갈과 한국 간 *P. olseni* 감염도 차이를 설명하는 데 중요한 단서를 제공할 수 있다.

한편, Elandaloussi *et al.* (2009) 은 스페인 Ebro delta 지역의 서로 인접한 해역에서 2005년 9월부터 2006년 8월까지 *R. decussatus* 와 *R. philippinarum*의 *P. olseni*의 감염율과 감염도를 조사한 결과, 전반적으로 감염율은 두 숙주가 서로 비슷하였으나 감염도의 경우 *R. philippinarum*가 조사 대부분의 기간동안 *R. decussatus*에 비해 월등히 높았다. 그러나 조사 종료 시점엔 *R. decussatus*에서 검출된 *P. olseni*의 감염도가 *R. philippinarum*에서 검출된 *P. olseni*보다 200배 이상 증가함으로써 두 숙주 간 *P. olseni*에 대한 감염도가 반전하였다. 이러한 사실은 *P. olseni*의 감염도가 환경적 요인 및 유전적 요인과 더불어 미상의 추가적인 요인에 의해 조절될 수도 있음을 의미한다.

결론적으로, 본 연구를 통해 한국과 포르투갈의 바지락 (*R. philippinarum*) 과 carpet shell clam (*R. decussatus*) 내 *P. olseni* 감염을 검출하고 비교한 결과, 두 지역 모두에서 동일종의 병원체가 확인되었으나, 숙주종 및 지역적 차이에 따라 감염률과 감염도의 현저한 차이가 나타났다. 이러한 차이는 숙주의 면역 반응, 병원체의 유전적 계통 분화, 그리고 수온·염분 등 환경적 요인의 복합적 상호작용에 기인한 것으로 해석된다. 따라서 향후 두 지역에서 *P. olseni* 균주를 분리하여 분자생물학적 특성을 규명하고, *in vitro* 및 *in vivo* 수준에서 감염 실험 등 다양한 연구를 수행한다면, 지리적으로 격리된 두 지역에서의 *P. olseni* 감염 기작과 숙주에 대한 병리작용에 대한 이해를 넓힐 수 있을 것이다. 이를 바탕으로, 향후에는 지역별 생태적 특성과 병원체의 특성을 반영한 맞춤형 질병 관리 전략 수립에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

사 사

본 연구는 국립수산대학교 국립대학육성사업비의 지원을 받아 수행되었습니다.

REFERENCES

Andrews, J.D. (1988) Epizootiology of the disease caused by the oyster pathogen *Perkinsus marinus* and its effects on the oyster industry. *American Fisheries Society Special Publication*, **18**: 47-63.

Arzul, I., Chollet, B., Michel, J., Robert, M., Garcia, C., Joly, J.P., François, C. and Miossec, L. (2012) One *Perkinsus* species may hide another: characterization of *Perkinsus* species present in clam production areas of France. *Parasitology*, **139**(13): 1757-1771.

Audemard, C., Reece, K.S. and Bureson, E.M. (2004) Real-time PCR for the detection and quantification of the protistan parasite *Perkinsus marinus* in environmental waters. *Applied and Environmental Microbiology*, **70**(11): 6611-6618.

Azevedo, C. (1989) Fine structure of *Perkinsus atlanticus* n. sp. (Apicomplexa, Perkinsea) parasite of the clam *Ruditapes decussatus* from Portugal. *Journal of Parasitology*, **75**: 627-635.

Balseiro, P., Montes, J., Fernández Conchas, R., Novoa, B. and Figueras, A. (2010) Comparison of diagnostic techniques to detect the clam pathogen *Perkinsus olseni*. *Diseases of Aquatic Organisms*, **90**(2): 143-151.

Carella, F., Fernandez Tejedor, M., Villari, G., Andree, K.B. and De Vico, G. (2023) The endoparasite *Perkinsus olseni* affecting the Mediterranean mussels (*Mytilus galloprovincialis*) in the Italian and Spanish waters: a new possible threat for mussel aquaculture and wild animal population. *Frontiers in Marine Science*, **10**: 1116837.

Choi, K.S. and Park, K.I. (1997) Report on *Perkinsus* sp. found in the Manila clams, *Ruditapes philippinarum*, in Korea. *Journal of Aquaculture*, **10**(3): 227-237.

Choi, K.S. and Park, K.I. (2010) Review on diseases of the Manila clam, *Ruditapes philippinarum*. *Fish Pathology*, **45**(4): 166-180.

Choi, K.S., Park, K.I., Lee, K.W. and Matsuo, K. (2002) Infection intensity, prevalence, and histopathology of *Perkinsus* sp. in the Manila clam *Ruditapes philippinarum* in Isahaya Bay, Japan. *Bulletin of the Fisheries Research Agency*, **42**: 109-115.

Cigarría, J., Rodríguez, C. and Fernández, J.M. (1997) Impact of *Perkinsus* sp. on Manila clam *Ruditapes philippinarum* beds. *Diseases of Aquatic Organisms*, **29**: 117-120.

Cruz, A., da Costa, F., Fernández-Pérez, J., Nantón, A., Fernández-Boo, S., Insua, A. and Méndez, J. (2020) Genetic variability in *Ruditapes decussatus* clam combined with *Perkinsus* infection level to support founder population selection for a breeding program. *PeerJ*, **8**: e9728.

Elandaloussi, L., Carrasco, N., Roque, A., Fernández-Tejedor, M. and Furones, D. (2008) Occurrence of *Perkinsus* sp. in two clam species (*Ruditapes philippinarum* and *R. decussatus*) from the Ebro Delta, Spain. *Bulletin of the European Association of Fish Pathologists*, **28**(1): 1-9.

Estevão, J., Osório, H., Costas, B., Cruz, A. and Fernández-Boo, S. (2023) Search for new biomarkers of tolerance to *Perkinsus olseni* parasite infection in *Ruditapes decussatus* clams. *Fish and Shellfish Immunology*, **134**: 1085666.

- Flassch, J.P. and Leborgne, Y. (1992) Introduction into France of the Japanese clam *Ruditapes philippinarum*: present status of the species and its implication on aquaculture and the environment. *ICES Marine Science Symposia*, **194**: 92-96.
- Flye-Sainte-Marie, J., Soudant, P., Lambert, C., da Silva, P.M., Paillard, C. and Jean, F. (2008) Impact of *Perkinsus olseni* infection on hemocyte and physiological parameters of Manila clam *Ruditapes philippinarum*. **In**: Workshop for the Analysis of the Impact of Perkinsosis to the European Shellfish Industry, Vilanova de Arousa, Spain. pp. 119.
- Go, A., Kim, J.M., Choi, Y.N., Kim, H.S. and Cho, S.G. (2022) Seasonal variation in standing crop and salinity tolerance of *Sinocorophium homoceratum* (Yu, 1938) in Gomso Bay, west coast of Korea. *The Journal of the Korean Society for Fisheries and Marine Sciences Education*, **34**(4): 648-658.
- Goggin, C.L. (1992) Occurrence of parasites of the genus *Perkinsus* in France. *Bulletin of the European Association of Fish Pathologists*, **12**: 174-176.
- Goggin, C.L. (1994) Variation in the two internal transcribed spacers and 5.8S ribosomal RNA from five isolates of the marine parasite *Perkinsus* (Protista, Apicomplexa). *Molecular and Biochemical Parasitology*, **65**(1): 179-182.
- Hamaguchi, M., Suzuki, N., Usuki, H. and Ishioka, H. (1998) Perkinsusprotozoan infection in the short-necked clam, *Tapes* (= *Ruditapes*) *philippinarum* in Japan. *Fish Pathology*, **33**: 473-480.
- Kang, H.S., Jeong, H.D. and Choi, K.S. (2024) Monitoring the protozoan parasite *Perkinsus olseni* infection in Manila clam *Ruditapes philippinarum* in Korean waters during post-spawning period. *Korean Journal of Malacology*, **40**(4): 233-240.
- Kinne, O. (1983) Diseases of marine animals. Biologische Anstalt Helgoland, Hamburg, Germany.
- Kim, H.J., Bang, I.S. and Park, K.I. (2010) Effects of water temperature and salinity on the formation of prezoosporangia and zoosporangia of the protozoan parasite, *Perkinsus olseni*, isolated from the Manila clam *Ruditapes philippinarum* on the west coast of Korea. *Korean Journal of Malacology*, **26**(3): 211-215. [in Korean]
- Kim, S.-H., Kim, H.-J., Bathige, S.D.N.K., Kim, S.-H. and Park, K.-I. (2025) Strain-specific virulence of *Perkinsus marinus* and related species in Eastern oysters: A comprehensive analysis of immune responses and mortality. *Fish & Shellfish Immunology*, **157**: 110112.
- La Peyre, M.K., Casas, S.M., Villalba, A. and La Peyre, J.F. (2008) Determination of the effects of temperature on viability, metabolic activity and proliferation of two *Perkinsus* species, and its significance to understanding seasonal cycles of perkinsosis. *Parasitology*, **135**(4): 505-519.
- Lee, M.-K., Cho, B.-Y., Lee, S.-J., Kang, J.-Y., Jeong, H.-D., Huh, S.-H. and Huh, M.-D. (2001) Histopathological lesions of Manila clam, *Tapes philippinarum*, from Hadong and Namhae coastal areas of Korea. *Aquaculture*, **201**: 199-209.
- Lee, N.S., Hwang, J.Y., Choi, D.L. and Park, M.A. (2010) Survey of *Perkinsus olseni* infection in Manila clam, *Ruditapes philippinarum* in 2009 on the west and south coast of Korea using PCR technique. *Journal of Fish Pathology*, **23**(2): 145-153.
- Lester, R.J.G. and Davis, G.H.G. (1981) A new *Perkinsus* species (Apicomplexa, Perkinsea) from the abalone *Haliotis ruber*. *Journal of Invertebrate Pathology*, **37**: 181-187.
- Murrell, A., Kleeman, S.N., Barker, S.C. and Lester, R.J.G. (2002) Synonymy of *Perkinsus olseni* Lester & Davis, 1981 and *Perkinsus atlanticus* Azevedo, 1989 and an update on the phylogenetic position of the genus *Perkinsus*. *Bulletin of the European Association of Fish Pathologists*, **22**(4): 258-265.
- Nam, K.-W., Jeung, H.-D., Song, J.-H., Park, K.-H., Choi, K.-S. and Park, K.-I. (2018) High parasite burden increases the surfacing and mortality of the Manila clam (*Ruditapes philippinarum*) in intertidal sandy mudflats on the west coast of Korea during hot summer. *Parasites & Vectors*, **11**: 42.
- National Institute of Fisheries Science (NIFS) (2023). Annual Report on Marine Environmental Survey 2023. National Institute of Fisheries Science, Busan, Korea.
- Newton, A. and Mudge, S.M. (2003) Temperature and salinity regimes in a shallow, mesotidal lagoon, the Ria Formosa, Portugal. Estuarine, Coastal and Shelf Science, **57**: 73-85.
- Park, K.-I. and Choi, K.-S. (2001) Spatial distribution of the protozoan parasite *Perkinsus* sp. found in the Manila clams, *Ruditapes philippinarum*, in Korea. *Aquaculture*, **203**(1-2): 9-22.
- Park, K.-I., Park, J.-K., Lee, J. and Choi, K.-S. (2005) Use of molecular markers for species identification of Korean *Perkinsus* sp. isolated from Manila clams *Ruditapes philippinarum*. *Diseases of Aquatic Organisms*, **66**: 255-263.
- Park, K.-I., Figueras, A. and Choi, K.-S. (2006) Application of enzyme-linked immunosorbent assay (ELISA) for the study of reproduction in the Manila clam *Ruditapes philippinarum* (Mollusca: Bivalvia): II. Impacts of *Perkinsus olseni* on clam reproduction. *Aquaculture*, **251**: 182-191.
- Pretto, T., Zambon, M., Civettini, M., Caburlotto, G., Boffo, L., Rossetti, E. and Arcangeli, G. (2014) Massive mortality in Manila clams (*Ruditapes philippinarum*) farmed in the Lagoon of Venice caused by *Perkinsus olseni*. *Bulletin of the European Association of Fish Pathologists*, **34**(2): 43-52.
- Quayle, D.B. (1964) Distribution of introduced marine Mollusca in British Columbia waters. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada*, **21**(5): 1155-1181.
- Ruano, F.L., Batista, F.M. and Arcangeli, G. (2015) Perkinsosis in the clams *Ruditapes decussatus* and *R. philippinarum* in the Northeastern Atlantic and

- Mediterranean Sea: a review. *Journal of Invertebrate Pathology*, **100**(1): 50–53.
- Ruano, F. (1985) Mortalidade maciça em amêijoas, *Venerupis* sp., na costa Algarvia, associada à Dermocistidiose. *Primeiro Colóquio Ibérico de Ictiopatologia*, Porto. [in Portuguese]
- Ruano, F. and Cachola, R. (1986) Outbreak of a severe epizootic of *Perkinsus marinus* (Levin-78) at Ria de Faro clam's culture beds. *Proceedings of the 2nd International Colloquium on Pathology in Marine Aquaculture (PAMAQ II)*: 41–42.
- Sagristà, E., Durfort, M. and Azevedo, C. (1996) Ultrastructural study of the parasite, *Perkinsus atlanticus* (Apicomplexa), on the clam *Ruditapes philippinarum*, in the Mediterranean. *Scientia Marina*, **60**: 283–288.
- Sambade, R., Sánchez-Jerez, P., Bañón, R., Méndez, J. and Arias-Pérez, A. (2025) Signatures of selection for resistance/tolerance to *Perkinsus olseni* in grooved carpet shell clam *Ruditapes decussatus* using a population genomics approach. *Evolutionary Applications*, **18**(3): 504–518.
- Santmartí, M.M., García Valero, J., Montes, J., Pech, A. and Durfort, M. (1995) Seguimiento del protozoo *Perkinsus* sp. en las poblaciones de *Tapes decussatus* *Tapes semidecussatus* del delta del Ebro. *In*: Castelló, F. and Calderer, A. (Eds.), *Actas del V Congreso Nacional de Acuicultura*, S. Carlos de la Rápita, Spain. Universidad de Barcelona. pp. 260–265. [in Spanish]
- SeaTemperature.org (2024) Ria Formosa Water Temperature.
- Umeda, K., Yang, X., Waki, T., Yoshinaga, T. and Itoh, N. (2020) The effects of environmental and nutritional conditions on the development of *Perkinsus olseni* prezoosporangia. *Experimental Parasitology*, **209**: 107827.
- Vilas, R., Cao, A., Pardo, B.G., Fernandez, S.B., Villalba, A. and Martinez, P. (2011) Very low microsatellite polymorphism and large heterozygote deficits suggest founder effects and cryptic structure in the parasite *Perkinsus olseni*. *Infection, Genetics and Evolution*, **11**: 904–911.
- Vilela, H. (1951) Sporozoaires parasites de la palourde, *Tapes decussatus* (L.). *Revista da Faculdade de Ciências de Lisboa, 2ª Série - C*, **1**(2): 379–388. [in Portuguese]
- Villalba, A. and Navas, J.I. (1988) Occurrence of *Minchinia tapetis* and a *Perkinsus*-like parasite in cultured clams, *Ruditapes decussatus* and *R. philippinarum*, from south Atlantic coast of Spain: preliminary results. *In*: Perkins, F.O. and Cheng, T.C. (Eds.), *Abstracts, Third International Colloquium on Pathology in Marine Aquaculture*. pp. 57–58.
- Villalba, A., Reece, K.S., Ordás, M.C., Casas, S.M. and Figueras, A. (2004) Perkinsosis in molluscs: a review. *Aquatic Living Resources*, **17**(4): 411–432.
- WOAH. (2023) Report of the WOA ad hoc Group on susceptibility of mollusc species to WOA listed diseases. World Organisation for Animal Health.
- Yang, H.S., Lee, H.M. and Choi, K.S. (2019) *Perkinsus olseni* infection in juvenile and small Manila clam *Ruditapes philippinarum* on the west coast of Korea surveyed in 2008 and 2010. *Korean Journal of Malacology*, **35**(4): 291–295.
- Ye, L., Wu, L., Lu, J., Yao, T., Wang, J., Shi, S., Yu, G. and Zhao, W. (2022) Diversity and distribution of *Perkinsus* spp. along the coast of China: implications for widespread transmission of *Perkinsus* spp. in mollusks. *Frontiers in Marine Science*, **9**: 989261.