

오륙도 주변 해역 동물플랑크톤 군집의 계절적 변동

최정화 · 박원규^{1*}

부경대학교 해양수산개발국제협력연구소, ¹부경대학교 수산생명과학부 자원생물학 전공

Zooplankton Community Seasonal Variation of Around Oryuk Islands, Busan Korea

Jung Hwa Choi and Wongyu Park^{1*}

International Cooperation Institute for Ocean & Fisheries Development, Pukyong National University, Busan 48513, Republic of Korea

¹Major of Marine Biology, Division of Fisheries Life Sciences, Pukyong National University, Busan 48513, Republic of Korea

Zooplankton community and seasonal variations were investigated at four stations around the Oryuk Islands in Busan in August, October, and December 2016, and March 2017. Zooplankton was vertically collected with a 45 cm diameter, 200 μ m mesh size conical net. In the study area, 33 taxa were identified in August, 54 in October, 44 in December 2016, and 30 in March 2017. The zooplankton densities ranged from 6,754.4 ind./m³ to 20,874.1 ind./m³ in August, 2,569.8 ind./m³ to 10,028.0 ind./m³ in October, 576.2 ind./m³ to 1,520.0 ind./m³ in December 2016, and 6,419.7 ind./m³ to 10,398.2 ind./m³ in March 2017. Copepods were the most dominant taxonomic group at all stations during all seasons. The zooplankton community composition was two in August, three in October and December 2016, and one in March 2017. The dominant taxa were *Oikopleura* spp., cirripede nauplii, *Pseudoevadne tergestina*, and paracalanid copepods in August; *Oikopleura* spp. cirriped nauplius, paracalanid copepods, and *Paracalanus parvus* in October; *Paracalanus parvus*, *Ditrichocorycaeus affinis*, and paracalanid copepods in December 2016; and paracalanid copepods, calanoid copepods and *Oithona similis* in March 2017. Mesozooplankton communities showed a strong seasonality around the Oryuk Island.

Keywords: Oryuk Islands, Zooplankton community, Seasonality, Copepods

서론

동물플랑크톤은 해양생태계에서 일차생산자와 고차소비자를 연결하는 중요한 에너지 전달자이다(Kjørboe, 1997; Turner, 2004; Robert et al., 2014). 동물플랑크톤은 서식처내 환경 변화에 민감하게 반응하기 때문에 동물플랑크톤 군집의 변동은 해양생태계 내의 연쇄적 변동을 초래할 수 있다(Winder and Jassby, 2011). 따라서 동물플랑크톤의 군집의 구조와 변화는 해양에서 해양생태계의 구조와 변화를 반영하는 생태적인 지표로 활용될 수 있다(Chiba et al., 2018). 동물플랑크톤의 군집은 수온과 염분 등의 비생물화학적 요인과 식물플랑크톤의 섭이, 상위영양단계의 동물들에 의한 포식 등 생물화학적 요인에

의해 영향을 받는다(Lee et al., 2017; Zhao et al., 2022). 온대 해역에서 계절의 변화 또는 기후변화와 같은 장기적인 환경 변화는 비생물학적 요인과 생물학적 환경을 변화시키고, 나아가 동물플랑크톤 군집의 변동에 영향을 준다(Kim et al., 2024). 동물플랑크톤이 서식하는 해양생태계에서 비생물학적 요인과 생물학적 요인은 대개 독립적으로 작용하지 않고 복합적으로 작용하여 동물플랑크톤의 군집에 영향을 준다(Lee et al., 2017; Zhao et al., 2022).

오륙도는 부산 남구 연안에 위치하며, 조석 작용에 따라 다섯 개 내지 여섯 개의 섬으로 구성된다(Kim et al., 2012). 오륙도 주변 해역은 30 m 이하의 수심이며 조석 작용에 영향을 받는다. 또한 오륙도는 외해로 연결되는 개방형 해역이어서 대마 난류

*Corresponding author: Tel: +82. 51. 629. 5928 Fax: +82. 51. 629. 5931

E-mail address: wpark@pknu.ac.kr



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

<https://doi.org/10.5657/KFAS.2025.0453>

Korean J Fish Aquat Sci 58(4), 453-462, August 2025

Received 3 July 2025; Revised 17 July 2025; Accepted 25 July 2025

저자 직위: 최정화(부교수), 박원규(교수)

의 영향을 받는다(Seung et al., 2007). 대마난류는 계절적으로 변동이 크며, 계절적 변동은 대부분 수괴의 상층부에서 일어난다(Seung et al., 2007). 대마난류는 일본의 규슈와 제주에서 수송되어 오기 때문에 그 해역에 분포하는 동물플랑크톤의 분포와 관련이 있을 수 있다.

본 연구는 오륙도 주변 해역의 동물플랑크톤의 분포와 군집의 계절적 변동을 분석하고, 환경 요인들과의 관련성을 밝히는 것을 목적으로 한다.

재료 및 방법

동물플랑크톤은 2016년 8월, 10월, 12월 그리고 2017년 3월에 오륙도 주변 해역의 4개 정점(Fig. 1)에서 원추형 네트(구경 45 cm, 망목 200 μ m)를 바닥부분부터 표층까지 수직으로 채집하였다. 동물플랑크톤의 채집 시 수온, 염분, 용존 산소량 등 해양환경도 1 m 수심에서 YSI 6600 (YSI, Yellow Springs, OH, USA)를 이용하여 측정하였고, 또한 표층 해수 1 L을 채수하여 클로로필 a (Chl-a)의 양을 분석하였다.

동물플랑크톤은 투망 전 선박에서 채집지점의 수심을 파악 후, 각 정점의 바닥에서 1 m 위부터 표층까지 채집하였다. 채집 시 망구에 여수계(Hydro-Bios Co., Altenholz, Germany)를 설치하여 여수된 해수량을 측정하였다. 채집된 시료는 선상에서 즉시 70%의 에탄올로 고정 후 실험실로 운반하였다.

채집된 시료는 해부현미경(Wild M-5; Leica, Wetzlar, Germany)과 고배율 광학현미경(Olympus, Tokyo, Japan)을 이용하여 가능한한 종 수준까지 동정, 분석하였다. 시료는 미국 대기해양청(National Oceanic and Atmospheric Administration)의 프로토콜에 의해 최종적으로 300–500개체를 동정 및 계수하였다. 계수된 데이터는 측정된 여수량을 바탕으로 단위 용적당(m^3) 개체 수로 환산하였다. 동물플랑크톤의 동정은 Chihara and Murano (1997)를 참고하였다.

동물플랑크톤의 조사 시기, 정점 그리고 해양환경과의 상호 연관성을 파악하기 위해 정준대응분석(canonical correspondence analysis, CCA)을 실시하였다(Legendre and Legendre, 2012). CCA에서 이용된 해양환경 자료 및 중형동물플랑크톤 자료는 자연로그 $\log_e(X+1)$ 로 변환하였다. CCA는 MVSP (version 3.0; Kovach Computing Services, Anglesey, UK)로 수행하였다.

결 과

해양환경

전 조사기간 동안 평균 수온은 2016년 8월이 28.52°C로 가장 높았고, 2017년 3월이 12.73°C로 가장 낮았다(Fig. 2). 2016년 8월 수온의 범위는 28.43–28.62°C, 2016년 10월 수온의 범위는 20.64–21.24°C, 2016년 12월 수온의 범위는 15.20–15.77°C,

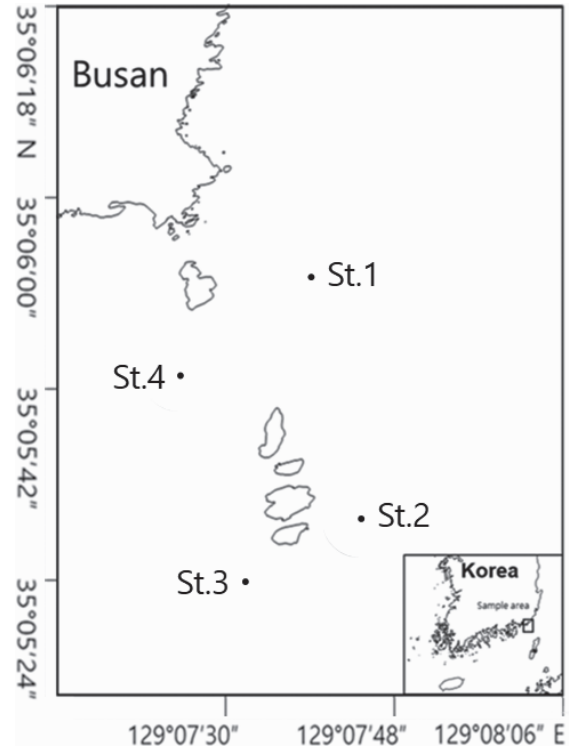


Fig. 1. Map of sampling stations around Oryuk islands.

2017년 3월 수온의 범위는 12.71–12.74°C로 나타났으며, 조사 기간 모두 정점 간 차이가 적었다.

조사 기간 중 염분 변화는 다양하였으나 정점별 염분 변화는 크지 않았다. 평균 염분은 2017년 3월 34.59 psu로 가장 높았으며, 2016년 12월 34.27 psu, 2016년 10월 22.27 psu이었고, 2016년 8월 염분이 30.17 psu로 가장 낮았다(Fig. 2). 2016년 8월 염분 범위는 30.13–30.23 psu이었고, 2016년 10월 염분은 33.12–33.38 psu이었다. 2016년 12월 염분이 34.17–34.36이었고, 2017년 3월 염분은 34.58–34.60 psu로 정점간 차이는 적었다.

전 조사기간동안 표층 용존 산소는 2017년 3월에 가장 높았고(8.63 mg/L), 그 다음으로 2016년 8월의 용존 산소가 8.19 mg/L였으며, 2016년 10월에 가장 낮은 7.17 mg/L였다(Fig. 2). 2016년 8월의 용존 산소는 8.03–8.30 mg/L였고, 2016년 10월의 용존 산소는 7.3–7.38 mg/L였다. 2016년 12월의 용존 산소는 7.30–7.38 mg/L, 2017년 3월의 용존 산소는 8.59–8.65 mg/L로 나타났으며, 전 조사기간 동안 정점간 차이가 크지 않았다.

전 조사기간 동안의 Chl-a값은 조사 시기별 정점별 차이가 컸다. 2016년 8월 Chl-a의 평균 농도는 1.045 μ g/L로 가장 높았고, 그 다음으로 2016년 10월 0.838 μ g/L이었으며, 2016년 12월과 2017년 3월의 Chl-a값은 0.623 μ g/L과 0.63 μ g/L으로 유사한 값을 보였다(Fig. 2). 2016년 8월 정점간 Chl-a농도는

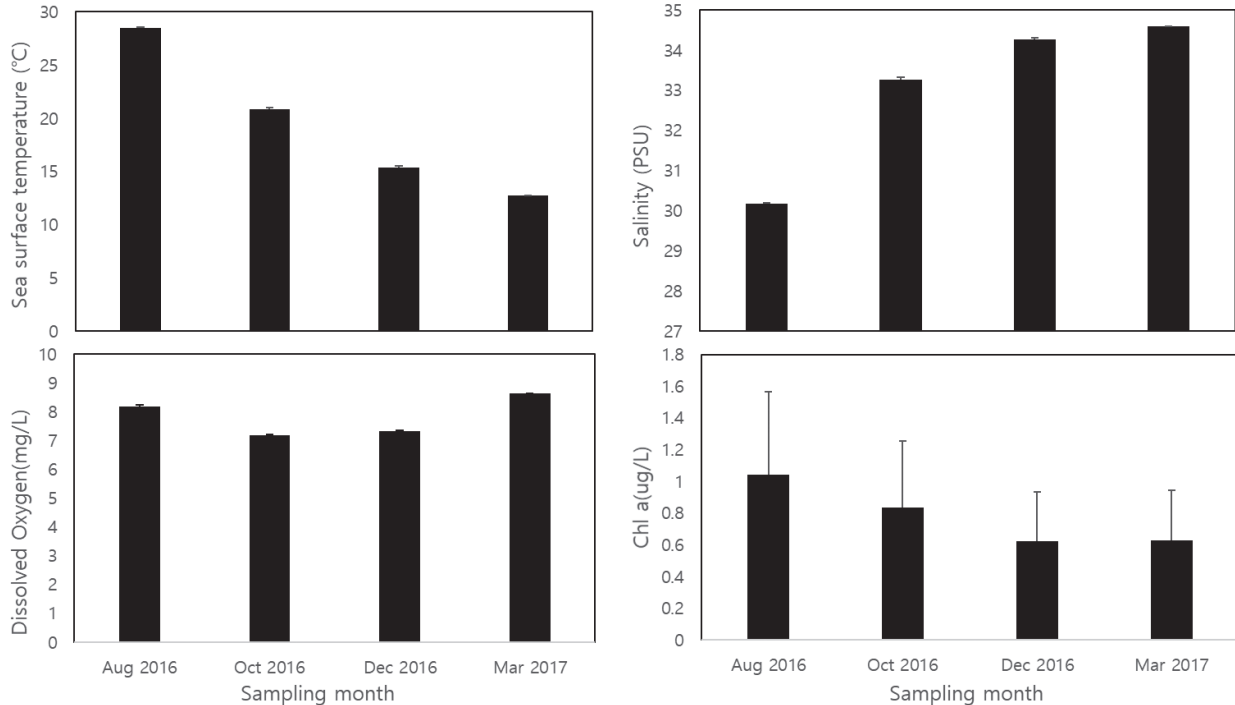


Fig. 2. Temporal variation of sea surface temperature, sea surface salinity, dissolved oxygen, Chl *a* concentration around Oryuk Islands. Error bars indicate standard errors.

0.64–2.09 $\mu\text{g/L}$ 범위, 2016년 10월의 Chl-*a*농도는 0.53–1.17 $\mu\text{g/L}$ 범위, 2016년 12월의 Chl-*a*농도는 0.06–0.91 $\mu\text{g/L}$ 범위였고, 2017년 3월의 Chl-*a*농도는 0.40–0.80 $\mu\text{g/L}$ 범위로 전 조사기간 정점간 농도 차이가 높게 나타났다.

오륙도 주변해역 동물플랑크톤

전 조사기간 동안 출현 분류군 수는 30개에서 54개로 다양하였다. 2016년 10월에 54개 분류군이 출현하여 가장 출현 분류군이 많았고, 2017년 3월과 2016년 8월의 출현 분류군수가 33개와 30개로 다른 계절에 비해 상대적으로 낮았다(Fig. 3).

전 조사기간 출현개체수는 2016년 8월에 평균 12,324.5 ind./ m^3 로 가장 많이 출현하였고, 그 다음으로 2017년 3월에 평균 8,468.8 ind./ m^3 가 출현하였고, 2016년 10월에 평균 4,976.4 ind./ m^3 가 출현하였으며, 2016년 12월에는 가장 적은 수인 1,033.5 ind./ m^3 가 출현하였다.

2016년 8월에는 정점간 출현개체수의 범위는 6,754.4 ind./ m^3 (정점 4)에서부터 20,874.1 ind./ m^3 (정점 4)까지 다양하였다(Fig. 4). 2016년 10월에는 정점 1에서 출현개체수(10,028.0 ind./ m^3)가 가장 높았으며, 그 다음으로 정점 2에서 4,070.4, 정점 4에서 3,237.3 ind./ m^3 이었으며, 정점 3에서 가장 적은 2,569.8 ind./ m^3 가 출현하였다. 2016년 12월에는 정점 4에서 1,520.0 ind./ m^3 가 출현하여 출현개체수가 가장 많았고, 정점 3에서 1,62.8 ind./ m^3 , 그리고 정점 2에서 965.1 ind./ m^3 가 출현

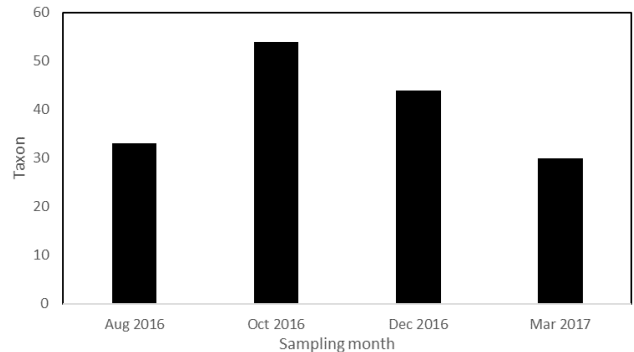


Fig. 3. Temporal variation of zooplankton taxa around Oryuk Islands.

하였다. 정점 1에서는 가장 적은 수인 576.2개체가 출현하였다. 2017년 3월에는 정점 3에서 10,398.2 ind./ m^3 가 출현하여 출현개체수가 가장 높았고, 그 다음으로 정점 1에서 9,470.8 ind./ m^3 가 출현하였다. 정점 2에서는 가장 적은 수인 6,419 ind./ m^3 가 출현하였다.

오륙도 주변 해역에서 출현한 동물플랑크톤의 출현 개체수를 바탕으로 유사도 60%로 nMDS 군집 분석을 실시하였다. 2016년 8월에는 정점 1과 정점 2, 정점 3과 정점 4 두 개의 그룹으로 형성하였다(Fig. 5). 2016년 10월에는 정점 2와 정점 4가 그룹

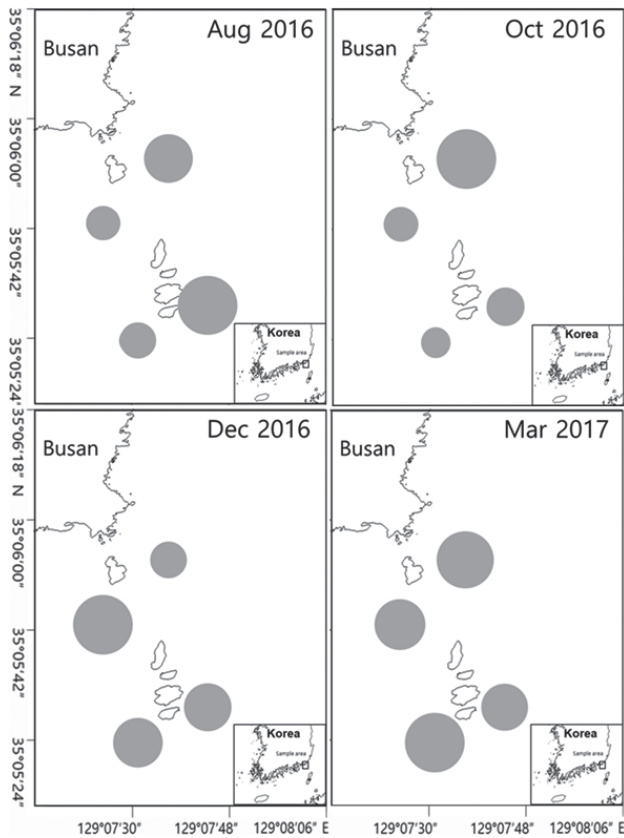


Fig. 4. Spatial distribution of zooplankton abundance (inds./m³) around Oryuk Islands.

을 형성하였으며, 2016년 12월에 정점 2와 정점 3이 그룹을 형성하였다. 2017년 3월에는 모든 정점들에서 출현한 동물플랑크톤들이 단일 그룹을 형성하였다.

동물플랑크톤 분류군 중 조사 시기별 출현 개체수의 출현율 1%이상인 주요 분류군의 출현 양상은 조사시기 별로 다양하였다(Table 1). 2016년 8월에는 *Oikopleura* spp., Cirriped nauplius가 최우점적으로 출현하였고, *Pseudeuadine tergestina*, Paracalanid spp. copepodite 등이 10%이상의 출현율을 차지하였다. Paracalanid spp. copepodite, *P. parvus* s. l., Polychaete larvae, *Penilia avirostris* 등은 3%이하의 출현율을 보였다. 이들 우점종의 구성율은 전체 출현 밀도의 91.1%를 차지하였다. 2016년 10월에는 Paracalanid spp. copepodite, *Oikopleura* spp., *P. parvus* s. l., Polychaete larvae, Copepod nauplius 등 15개 분류군이 1% 이상의 출현율을 보였고, 이 중에서 Paracalanid spp. copepodite가 최 우점적으로 출현하였다. 1% 이상의 우점율을 보인 종들의 출현율의 합은 88.1%였다. 2016년 12월에는 Paracalanid spp. copepodite, *P. parvus* s. l., *Ditrichocorycaeus affinis*, *Onchocorycaeus giesbrechti*, Copepod nauplius 등 12개 종이 1% 이상의 출현율을 보였다. 1% 이상의 출현율을 보인 분류군의 총 합은 86.3%였다. 2017년 3월에는 Paracalanid spp. copepo-

dite, *P. parvus* s. l., *Oithona similis* Calanoid spp. copepodite, *D. affinis* 등 6종이 1% 이상의 출현율을 보였고, 출현율의 총합은 83%였다.

각 조사시기 별로 1% 이상 출현한 상위 우점종을 대상으로 CCA를 실시하였다. 제1축에 대한 고유치는 2016년에 0.005 (8월), 0.087 (10월), 0.063 (12월), 2017년 3월에는 0.001이었으며, 제2축에 대한 고유치는 2016년에 0.001 (8월), 0.011 (10, 12월), 2017년에 3월에는 0.000이었다(Table 2). 제1, 2축에 대한 누적기여율은 2016년 8월부터 2017년 3월까지 76.547–97.551%를 나타냈다. 중형동물플랑크톤과 해양환경 간의 상관관계는 다양하였다(Table 2). 전체 조사시기에서 제1축과 제2축에 주로 영향을 미치는 해양환경은 다양하였다(Fig. 6). 2016년 8월은 Chl-*a*가 음의 상관관계를 보여주었으며, 2016년 10월에는 염분과 용존 산소가 정점 1에서 양의 상관관계를 보여주었고, 수온은 정점1과 2에서 음의 상관관계를 보여주었다. 2016년 12월에는 정점 2에서 수온, 염분, 용존 산소, Chl-*a*와 양의 상관관계를 보여주었다. 2017년 3월에는 수온과 양의 상관관계를 보여주었다(Fig. 6).

고 찰

한국은 온대 해역에 위치하고 있어 해양환경이 계절적인 변화를 경험한다(Kang et al., 2012). 여름 표층의 수온이 가장 높고, 그 다음으로 가을, 겨울, 봄 순으로 표층의 수온이 낮아진다(Kang et al., 2012; Choi et al., 2013). Hong et al. (1994)은 인접한 부산항의 여름 표층의 수온이 19.1–20.5°C, 가을 표층의 수온이 19.9–20.2°C, 겨울 표층의 수온은 9.7–11.0°C, 봄 표층의 수온이 16.0–17.5°C로 이번 결과와는 계절에 따라 최소 1°C (가을) 내외, 최대 4°C (겨울)의 차이를 보였다. 이 결과는 조사 해역이 수온이 높은 대마난류의 영향을 받아 주변해역보다 표층의 수온이 높았던 것으로 추정된다.

온대 해역에서는 염분도 계절에 따라 변화한다. 여름철 우기와 담수의 유입이 인접한 해역은 염분의 변화폭이 더 크다. 오륙도 연안은 다른 한국의 연안과 같이 계절적으로 북동쪽으로 흐르는 강한 대마난류의 영향을 받는 해역이다(Seung et al., 2007). 또한 인근에는 낙동강과 수영강이 위치해 있어 대마난류의 영향과 함께 담수 하천의 영향도 받는다. 담수의 유입은 여름 홍수기에는 염분을 낮추고, 겨울 갈수기에는 염분이 정상 해수의 농도에 가까워진다. 이전 조사에서도 우리나라의 다른 해역에서처럼 여름철의 염분이 가장 낮고, 가을, 겨울을 지나 봄철로 갈수록 조금씩 증가하여 겨울과 봄철에는 34 psu 이상을 나타냈다. 이 결과는 우리나라 남해에서 일반적으로 여름철에 담수의 유입에 의해 연안수의 염분이 31 psu이하이고 가을 겨울철로 가면서 염분이 33 psu이상으로 상승하는 다른 남해 해역의 연구 결과(Jeong et al., 2013)와 유사하였다.

해양에서 용존 산소는 생물의 생존을 유지하는 필수 환경요인이다. 연안에 위치한 인간의 경제활동으로 산업화 시설이 들

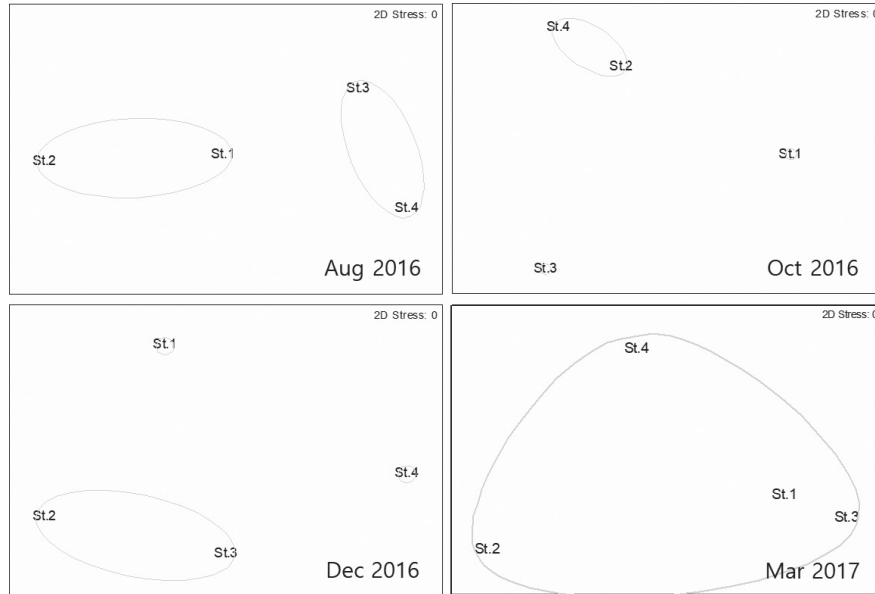


Fig. 5. nMDS analysis based on the Bray-Curtis similarity with zooplankton abundance around Oryuk Islands.

Table 1. Average abundance (Abu.: inds./m³) and composition (Com.: %) of major zooplankton around Oryuk Islands

Species	Aug 2016		Oct 2016		Dec 2016		Mar 2017	
	Abu.	Com.	Abu.	Com.	Abu.	Com.	Abu.	Com.
<i>Oikopleura</i> spp.	4,005.3	31.6	635.2	19.9	20.5	2.7	-	-
Cirriped nauplius	2,900.7	25.1	-	-	-	-	-	-
<i>Pseudevadne tergestina</i>	1,315.2	15.7	-	-	-	-	-	-
Paracalanid spp. copepodite	1,665.5	12.2	1,722.6	9.4	114.7	8.6	1,872.6	24.5
<i>Paracalanus parvus</i> s. l.	374.0	2.3	318.8	8.1	213.3	28.7	987.2	11.8
Polychaete larvae	225.3	2.2	61.5	2.0	-	-	-	-
<i>Penilia avirostris</i>	229.3	2.1	-	-	-	-	-	-
Copepod nauplius	-	-	261.3	8.0	49.9	2.3	350.4	5.0
Bivalve larvae	-	-	205.5	7.3	-	-	-	-
<i>Paracalanus aculeatus</i>	-	-	177.4	6.9	-	-	-	-
<i>Oithona similis</i>	-	-	222.2	4.0	-	-	1,034.2	12.2
<i>Oithona nana</i>	-	-	50.4	2.8	-	-	-	-
Oithonid spp. copepodite	-	-	-	-	24.1	2.1	-	-
Calanoid spp. copepodite	-	-	268.4	5.6	43.7	3.2	2,471.4	28.5
Gastropod larvae	-	-	83.2	3.5	14.3	1.9	-	-
<i>Parvocalanus crassirostris</i>	-	-	93.8	3.3	-	-	-	-
<i>Conchoecia</i> spp.	-	-	90.4	2.6	33.3	5.0	-	-
Euphausiids	-	-	76.8	2.4	-	-	-	-
Euchaetid spp. copepodite	-	-	67.4	2.3	-	-	-	-
<i>Ditrichocorycaeus affinis</i>	-	-	-	-	113.6	16.6	434.8	5.0
<i>Onchocorycaeus giesbrechti</i>	-	-	-	-	58.9	7.6	-	-
<i>Acartia omorii</i>	-	-	-	-	30.1	4.5	-	-
<i>Oncaea media</i>	-	-	-	-	28.1	3.3	-	-

Table 2. Summary of CCA for zooplankton abundance data around Oryuk Islands

CCA		2016						2017	
		August		October		December		March	
		Axis 1	Axis 2	Axis 1	Axis 2	Axis 1	Axis 2	Axis 1	Axis 2
Eigenvalues		0.005	0.001	0.087	0.011	0.063	0.011	0.001	0
Percentage		81.537	14.206	86.153	11.174	82.177	14.242	76.547	21.004
Cum. Percentage		81.537	95.743	86.153	97.326	82.177	96.419	76.547	97.551
Cum.Constr.Percentage		81.537	95.743	86.153	97.326	82.177	96.419	76.547	97.551
Spec.-env. Correlations (R)		1	1	1	1	1	1	1	1
Canonical coefficients (c)									
of environmental variable	Temperature (°C)	-0.073	-0.018	-0.407	-0.136	-1.749	2.528	1.261	0.772
of environmental variable	Salinity (psu)	-0.755	0.701	0.567	0.626	0	0	-0.242	-1.565
of environmental variable	DO (mg/L)	0	0	0	0	2.178	-1.504	0	0
of environmental variable	Chl- <i>a</i> (µg/L)	-0.823	-0.634	0.651	-0.755	0.521	-0.561	1.027	-0.885
intra-set correlations (r)									
of environmental variable	Temperature (°C)	0.676	-0.133	-0.49	-0.309	0.632	0.767	0.451	0.163
of environmental variable	Salinity (psu)	-0.62	0.784	0.672	0.632	0.716	0.475	-0.013	-0.392
of environmental variable	DO (mg/L)	0.432	-0.589	0.541	0.471	0.795	0.601	-0.626	0.432
of environmental variable	Chl- <i>a</i> (µg/L)	-0.705	-0.708	0.645	-0.744	0.718	0.064	0.417	-0.293

CCA, Canonical correspondence analysis; DO, Dissolved oxygen.

어서면서 연안은 빈산소 상태를 야기하기도 한다. 빈산소상태는 용존 산소 농도가 2–3 mg/L이하의 농도로 낮아지는 것을 말하며, 빈산소상태는 해양생태계의 심각한 위협이 되기도 한다. 오류도 해역의 용존 산소는 정상 용존 산소 농도내인 7.1–8.65 mg/L 범위에 있어 정상상태에 있는 것으로 사료된다.

온대 해역에서 Chl-*a* 농도의 계절적 변화는 해역자체의 계절성과 지형학적 영향을 받는다. 또한 한반도는 늦은 봄부터 이른 가을까지 태풍의 영향권에 있어 강한 바람에 의한 수괴 성층화가 풀어질 수 있어 Chl-*a* 농도는 변화할 수 있다. 더군다나 인근에 위치한 수영강과 낙동강 등의 담수원으로부터 영양염 공급이 이루어질 수도 있다. 담수의 유입이 많은 낙동강 하구의 5월 Chl-*a* 농도는 2.4–25.3 µg/L로 이번 조사 결과의 5에서 60배 이상 낮았고, 10월 Chl-*a* 농도는 0.8–5.7 µg/L로 유사하거나 6배 정도 낮았다(Kang and Kim, 2020). 여름철 동해에 위치한 항구들의 주변 해역의 평균 농도인 4.0 µg/L, 남해에 위치한 항구들의 평균 농도인 26.3 µg/L, 서해 항구 해역의 평균 농도인 8.6 µg/L도 낮았다(Seo et al., 2013). 남해 동부 해역의 Chl-*a*는 겨울철이 1.5 µg/L 이상이고, 식물플랑크톤의 대변무가 있는 봄철에는 3.0 µg/L에 가까웠다(Son et al., 2012). 오류도 해역은 이 해역보다도 낮은 Chl-*a* 농도를 나타내었다. 오류도 해역에서의 Chl-*a* 농도가 낮은 것은 고온, 고염, 빈영양의 대마난류의 영향을 받은 것으로 추정된다.

동물플랑크톤 군집은 해양환경의 영향을 받는다. 수온, 염도, 용존 산소, Chl-*a*는 계절에 따라 차이가 있었으나, 동일 계절에

서 정점간 차이는 크게 나타나지 않았다. 그렇지만 동물플랑크톤 군집은 계절별로 차이가 있었다. 2016년 8월에는 정점 1과 정점 2, 정점 3과 정점 4 두 개의 그룹으로 형성하였다고, *Oikopleura* spp.와 만각류 유생의 기여도가 높아 그룹화를 시킨 것으로 보인다. 2016년 10월에는 정점 2와 정점 4가 그룹을 형성하였는데 *Oikopleura* spp., Paracalanid spp. copepodite, *Paracalanus parvus*가 정점 간 출현개체수의 차이가 커 다른 정점들과 다른 그룹을 형성하였다. 2016년 12월에도 한 개의 그룹을 형성하였고, *Paracalanus parvus*와 *Ditrichocorycaeus affinis*가 다른 정점과의 구분을 한 것으로 보인다. 2017년 3월에는 4개의 정점들에서 출현한 개체수 기준으로 한그룹을 형성하였고, 정점간 출현 개체수의 차이는 유의하지 않았다.

Oikopleura spp.는 대륙붕의 연안에서 점액질의 집을 만들어 섭식을 한다. *O. dioica*는 주로 온대역에서부터 열대역까지 분포하나 *O. labradoriensis*는 냉수해역에 분포한다(Galt and Sykes, 1983). 온대와 열대 해역에서 *Oikopleura* spp.는 주로 수온이 높은 시기에 대량으로 출현하는 것으로 알려져 있고(Galt and Sykes, 1983), 가을과 겨울에 대량으로 출현한 보고도 있다(Hwang et al., 2011, Kim et al., 2015; Lee et al., 2021). 특히 Lee et al. (2021)는 *Oikopleura* spp. 대량 출현은 염분과 양의 상관관계가 있다고 기술하였다. 그렇지만 본연구에서는 4번에 걸친 조사 시기중 *Oikopleura* spp.가 대량으로 출현했던 시기가 8월로 염분은 가장 낮고 수온이 가장 낮은 시기여서, Lee et al. (2021)의 결과와는 다르다. 오히려 여름철 담수의 유입과 함께

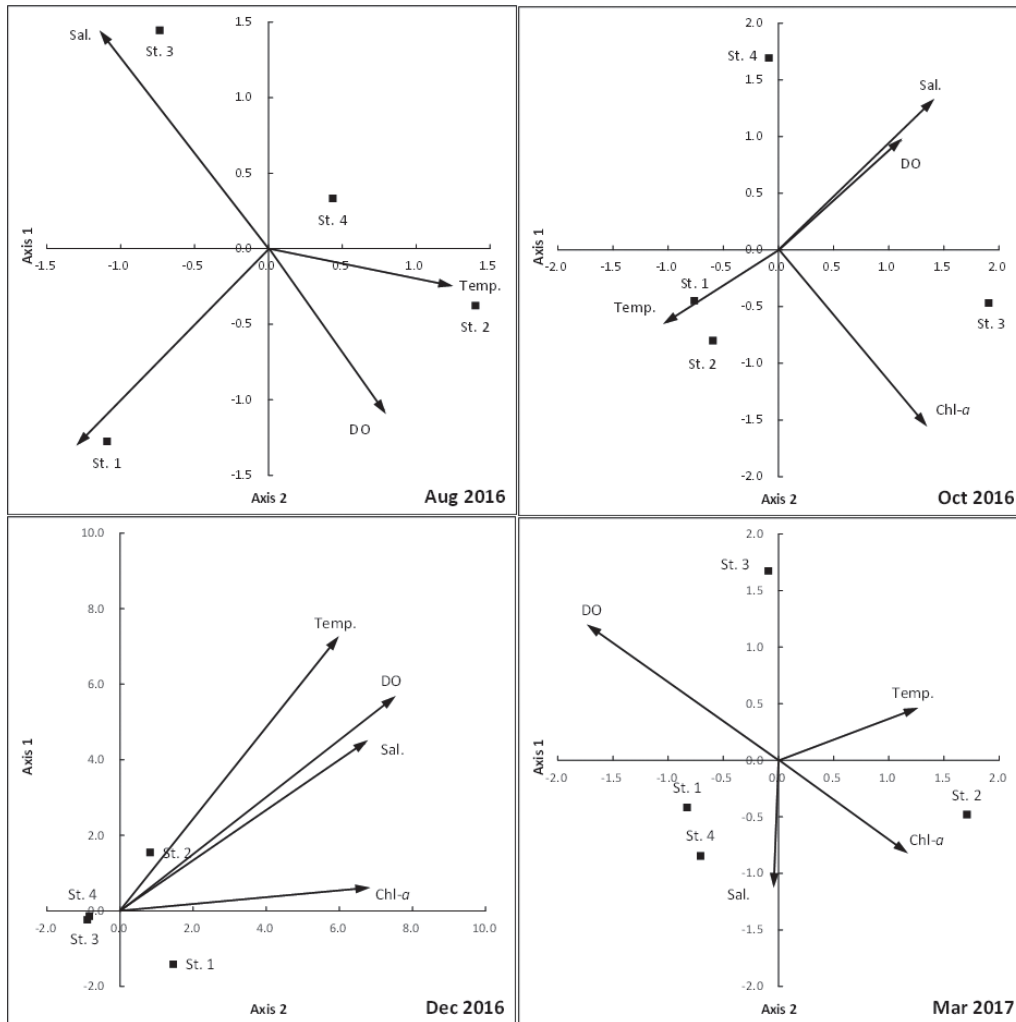


Fig. 6. Canonical correspondence analysis (CCA) biplot showing the relationship between stations and environmental variables (Temperature, Salinity, DO, and Chl-a) for zooplankton abundance data around Oryuk Islands.

유입된 영양염의 상승과 그에 따른 *Oikopleura* spp.의 먹이생물의 증가와 관련이 있을 수 있다고 판단되고, 실제로 *Oikopleura* spp.의 잠재적인 먹이가 될 수 있는 Chl-a의 농도가 가장 높았던 시기가 여름철이었다. 그러나 구체적으로 어떤 요인이 여름철 *Oikopleura* spp.의 대량 출현을 이끌었는지는 추가 조사가 필요하다.

Paracalanus parvus s.l.는 우리나라 남해와 서해 연안에서 연중 출현하는 것으로 알려져 있다(Moon et al., 2010). *P. parvus* s.l.는 서태평양에서 다른 자매종들과의 분류학적 구분이 어려웠으나 Ueda et al. (2022)에 의해 신종 *Paracalanus orientalis*로 보고되었다. 그동안 *P. parvus* s.l.로 동정된 개체들이 모두 *P. orientalis*로 간주되는 것은 무리일수도 있으나 *P. orientalis*일 가능성은 높다. *P. parvus* s.l.는 남해 연안을 중심으로 여름철 고수온 시기에 상대적으로 높은 출현량을 보여왔다(Han et

al., 1995; Moon et al., 2012). 하지만 조사결과에 따라 다른 출현 양상을 보이기도 했다. 남해 연안에서는 여름철에 출현량이 가장 낮았으며, 겨울철에 가장 높았다(Soh et al., 2002; Moon et al., 2010). 서해 연안에서는 여름에 출현량이 가장 높았고, 겨울철에 가장 낮았다(Moon et al., 2012). *P. parvus* s.l.는 넓은 수온과 염분 범위에서 분포하므로 수온이나 염분이 *P. parvus* s.l.의 대량 증식과 소멸을 결정짓는 요소가 아닐 수 있다. 따라서 먹이조건, 포식과 같은 다른 환경과의 복합적인 관계를 살펴볼 필요가 있다.

한반도 연안에는 *Acartia*속 12종이 출현하는 것으로 되어있고, 조사 해역과 인접한 울산과 부산을 포함한 경남 연안에는 *Acartia omorii*를 포함한 6종이 출현한다(Park et al., 1990; Hong et al., 1994). *A. omorii*는 년중 내내 출현하며 특히 겨울과 봄에 출현밀도가 높은 것으로 보고되었다(Hong et al., 1994;

Hwang et al., 2011; Choi et al., 2024). *A. hongii*는 남해의 동쪽 해역에서 여름에 출현하며(Kang, 2011), *A. erythraea*와 *A. pacifica*는 부산, 울산, 진해 등의 해역에서 늦은 여름과 가을에 출현하며(Kang and Kang, 2005; Kang, 2011), *A. hudsonica*는 부산과 울산 해역에 겨울과 봄에 주로 출현하며(Hong et al., 1994; Kang, 2011), *A. steueri*는 가장 일광만에서는 년중 출현하나, 부산과 거제 장목항에서는 겨울과 봄에 주로 출현하는 것으로 보고되어왔다(Hwang et al., 2011; Choi et al., 2024). 본 조사에서는 2016년 8월과 10월에 *A. omorii*, *A. pacifica*와 Acartidae copepodites가 전체 출현개체수의 1%미만으로 출현하였고, 2016년 12월에 *A. omorii*가 전체 출현개체수의 1% 이상을 차지하였다. 2017년 3월에는 *A. hudsonica*가 출현하여 전반적으로 다른 연구결과와 유사한 출현양상을 보였다.

오륙도 해역에서 만각류는 조무래기따개비(*Chthamalus challenger*), *Balanus glandula*, 흰따개비(*Balanus improvisus*), *Balanus nubilus*, 팔각따개비(*Octomeris sulcata*) 등을 포함하여 11종 이상이 출현하는 것으로 알려져 있다(Choi et al., 2015). 만각류 유생은 월 평균 1–715 inds.m³ 범위로 출현하였으며, 동물플랑크톤 월평균 출현 개체수의 0.02–4.1%를 차지하는 것으로 알려져있다(Choi et al., 2015). 전체 만각류 유생 중 *Chthamalus challenger*, *Balanus glandula*, *B. improvisus*, *B. nubilus* and *Octomeris sulcata*가 전체의 70.1%를 차지하였다. 오륙도 인근 해역에서 매월 가장 많은 만각류 유생이 출현한 월은 9월이었고, 그 이후로 급격히 감소하였으며(Choi et al., 2015), 거제 장목만에서도 유사하게 출현하였다(Hwang et al., 2011). 이번조사에서도 만각류 유생은 2016년 8월에 가장 많이 출현하여 Choi et al. (2015)와 유사한 결과를 나타내었다. 다른 연구에서처럼 만각류 유생은 가장 수온이 높은 계절에 가장 많은 유생을 생산하는 것으로 추정되었다.

지각류는 연안이나 기수역에서 염분이 낮고 먹이조건이 좋아지면 동시에 유생을 생산하는 것으로 알려져 있다(Uye et al., 2000). 마산만에서는 8월과 9월에 다수 *Penilia avirostris*가 출현하였고, *Pseudevadne tergestina*는 소수의 개체만이 출현하였으며(Soh and Choi, 2004), 진해만에서 *P. tergestina*와 *P. avirostris*는 다른 시기에 비해 여름에 많은 개체가 출현하였다(Yoo and Kim, 1987). 이번 조사 해역에서 *P. tergestina*는 2016년 8월에 대량으로 출현하였고, *P. avirostris* 같은 시기에만 높은 풍도로 출현하였다. 일반적으로 지각류는 환경이 좋아지면 단성생식으로 폭발적으로 개체군을 증가시킨다(Longhurst and Seibert, 1972; Egloff et al., 1997)는 선행 연구들과 유사한 특성을 나타냈다.

Oithona 속 종들은 대부분 연안에 높은 밀도로 출현하며 짧은 생활사를 갖는 것으로 알려져 있다(Uye and Sano, 1995; Nielsen et al., 2002). 생활사가 짧기때문에 해양환경의 변화시 개체군의 소멸과 증가는 짧은 시간에 이루어질 수 있고, 온대 해역처럼 계절간 수온의 변화가 많은 시 개체군의 변동이 빨리 진

행될 수 있다. 오륙도 해역에서는 *Oithona similis*와 *O. nana*가 출현하였는데 모두 단기적으로 출현하고 여러 계절동안 지속적으로 출현하지 않았다. 하지만 선행연구에서는 환경과 개체군 변동과의 관계를 구명하지 어렵다고 하였고, 단순한 수온이나 염분 등의 단순한 요인에 의한 기작이 아닌 한가지 요인에 의해서도 발달 기간, 생식기간, 부화시간 다양한 요인들이 복합적으로 작용하기 때문일 것이라고 추정하였다(Shin, 2013). 따라서 더 다양한 분석이 따라야 할 것으로 판단된다.

사 사

이 논문은 국립부경대학교 자율창의학술연구비(2023년)에 의하여 연구되었음.

References

- Chiba S, Batten S, Martin CS, Ivory S, Miloslavich P and Weatherdon LW. 2018. Zooplankton monitoring to contribute towards addressing global biodiversity conservation challenges. J Plankton Res 40, 509-518. <https://doi.org/10.1093/plankt/fby030>.
- Chihara M and Murano M. 1997. An Illustrated Guide to Marine Plankton in Japan. Tokai University Press, Tokyo, 1-1574.
- Choi CH, Jung SW, Yun SM, Kim SH and Park JG. 2013. Changes in phytoplankton communities and environmental factors in Saemangeum Artificial Lake, South Korea between 2006 and 2009. Korean J Environ Biol 31, 213-224. <https://doi.org/10.11626/KJEB.2013.31.3.213>.
- Choi JW, Kang JH and Park W. 2015. Monthly variations of cirriped larvae near Oryuk Islets off Busan, Korea. Korean J Environ Biol 33, 230-239. <https://doi.org/10.11626/KJEB.2015.33.2.230>.
- Choi SY, Lee EH, Jang MC, Seo MH and Soh HY. 2024. Ecological implications and seasonal variability of grazing by marine copepods on phytoplankton: Comparison between *Acartia omorii* and *A. steueri* in Jangmok Bay, Korea. Mar Biol 171, 125. <https://doi.org/10.1007/s00227-024-04431-4>.
- Egloff DA, Fofonoff PW and Onbe T. 1997. Reproductive biology of marine cladocerans. Adv Mar Biol 31, 79-167. [https://doi.org/10.1016/S0065-2881\(08\)60222-9](https://doi.org/10.1016/S0065-2881(08)60222-9).
- Galt CP and Sykes PF. 1983. Sites of bioluminescence in the appendicularians *Oikopleura dioica* and *O. labradoriensis* (Urochordata: Larvacea). Mar Biol 77, 155-159. <https://doi.org/10.1007/BF00396313>.
- Han DH, Hong SY and Ma CW. 1995. Distribution of zooplankton in Deukryang Bay, Korea. J Korean Fish Soc 28, 517-532.
- Hong SY, Ma CW and Kang YS. 1994. Distribution of copepod indicator species and zooplankton communities in Pusan Harbor, Korea. J Korean Soc Oceanogr 29, 132-144.
- Hwang OM, Shin K, Baek SH, Lee WJ, Kim S and Jang MC.

2011. Annual variations in community structure of mesozooplankton by short-term sampling in Jangmok Harbor of Jinhae Bay. *Ocean Polar Res* 33, 235-253. <https://doi.org/10.4217/OPR.2011.33.3.235>.
- Jeong DH, Shin HH, Jung SW and Lim DI. 2013. Variations and characters of water quality during flood and dry seasons in the eastern coast of South Sea, Korea. *Korean J Environ Biol* 31, 19-36. <https://doi.org/10.11626/KJEB.2013.31.1.019>.
- Kang HK and Kang YJ. 2005. Production of *Acartia steueri* (Copepoda: Calanoida) in Ilkwang Bay, Southeastern Coast of Korea. *J Oceanogr* 61, 327-334. <https://doi.org/10.1007/s10872-005-0043-1>.
- Kang JH and Kim MJ. 2020. Distributional characteristics of mesozooplankton community in Nakdong river estuary. *J Korea Acad Ind Soc* 21, 1-11. <https://doi.org/10.5762/KAIS.2020.21.7.1>.
- Kang JH. 2011. The occurrence of *Acartia* species and their environmental characteristics at three ports in Korea. *Ocean Sci J* 46, 219-237. <https://doi.org/10.1007/s12601-011-0018-7>.
- Kang Y, Jung S, Zuenko Y, Choi I and Dolganova N. 2012. Regional differences in the response of mesozooplankton to oceanographic regime shifts in the northeast Asian marginal seas. *Prog Oceanogr* 97-100, 120-134. <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2011.11.012>.
- Kim G, Park W, Choi DH and Kang HK. 2024. Seasonal variation in the mesozooplankton community structure and indicator species of the Yellow Sea. *Reg Stud Mar Sci* 73, 103454. <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2024.103454>.
- Kim HY, Kim BK, Kim EK, Kim CD, Jeong JB and Lee CR. 2015. Spatial and temporal distribution of mesozooplankton communities in Hallyeohaesang National Park and South Eastern Sea of Korea in 2014. *J Nation Park Res* 6, 91-102.
- Kim JY, Kim JN and Choi JH. 2012. Seasonal variation of species composition in marine organisms at Oryukdo in the southeastern waters off Korea. *J Fish Mar Sci Edu* 24, 781-792. <https://doi.org/10.13000/JFMSE.2012.24.6.781>.
- Kjørboe T. 1997. Population regulation and role of mesozooplankton in shaping marine pelagic food webs. *Hydrobiologia* 363, 13-27. <https://doi.org/10.1023/A:100317372175>.
- Lee EH, Seo MH, Yoon YH, Choi SD and Soh HY. 2017. Environmental factors affecting zooplankton community in Gwangyang Bay. *Korean J Environ Biol* 35, 631-639. <https://doi.org/10.11626/KJEB.2017.35.4.631>.
- Lee YJ, Lee JH and Kim Y. 2021. Seasonal variation of zooplankton community structure in southern sea of Korea. *Korean J Fish Aquat Sci* 54, 445-455. <https://doi.org/10.5657/KFAS.2021.0445>.
- Legendre P and Legendre LFJ. 2012. Numerical Ecology. Elsevier Science, 661-672.
- Longhurst AR and Seibert DLR. 1972. Oceanic distribution of *Evadne* in the Eastern Pacific (Cladocera). *Crustaceana* 22, 239-248.
- Moon SY, Seo MH, Shin YS and Soh HY. 2012. Seasonal variation of mesozooplankton communities in the semi-enclosed MuanBay, Korea. *Ocean Polar Res* 34, 1-18. <https://doi.org/10.4217/OPR.2012.34.1.001>.
- Moon SY, Oh HJ and Soh HY. 2010. Seasonal variation of zooplankton communities in the southern coastal waters of Korea. *Ocean Polar Res* 32, 411-426. <https://doi.org/10.4217/OPR.2010.32.4.411>.
- Nielsen TG, Möller EF, Satapoomin S, Ringuette M and Hopcroft RR. 2002. Egg hatching rate of the cyclopoid copepod *Oithona similis* in arctic and temperate waters. *Mar Ecol Prog Ser* 236, 301-306. <https://doi.org/10.3354/meps236301>.
- Park JS, Lee SS, Kang YS, Lee BD and Huh SH. 1990. The distribution of copepods and chaetognaths in the southern waters of Korea and their relationship to the characteristics of water masses. *Bull Korean Fish Soc* 23, 245-252.
- Robert D, Murphy HM, Jenkins GP and Fortier L. 2014. Poor taxonomical knowledge of larval fish prey preference is impeding our ability to assess the existence of a "critical period" driving year-class strength. *ICES J Mar Sci* 71, 2042-2052. <http://doi.org/10.1093/icesjms/fst198>.
- Seo MH, Shin K, Jang MC and Soh HY. 2013. Occurrence patterns of zooplankton present in ports of Korea during Summer. *Korean J Environ Biol* 31, 448-457. <https://doi.org/10.11626/KJEB.2013.31.4.448>.
- Seung YH, Kim YJ and Yoon JH. 2007. Seasonal characteristics of the Tsushima Current in the Tsushima/Korea Strait obtained by a fine resolution numerical model. *Cont Shelf Res* 27, 117-133. <https://doi.org/10.1016/j.csr.2006.09.005>.
- Shin M. 2013. Changes of zooplankton community and population dynamics of *Oithona similis* Claus (Copepoda: Cyclopoida) near Oryuk islets off Busan, South Korea. M.S. Thesis. Pukyong National University, Busan, Korea, 59.
- Soh HY and Choi SD. 2004. Species composition and occurrence patterns of zooplankton in Jinhae Bay. *Korean J Environ Biol* 22, 43-56.
- Soh HY, Lee IT, Yoon YH, Choi SD, Lee SN, Han MI, Kim BS, Kang YH and Lee WB. 2002. Species composition and occurrence patterns of zooplankton in Gamag Bay. *Korean J Environ Biol* 20, 118-129.
- Son YB, Ryu JH, Noh JH, Ju SJ and Kim SH. 2012. Climatological variability of satellite-derived sea surface temperature and chlorophyll in the South Sea of Korea and East China Sea. *Ocean Polar Res* 34, 201-218. <https://doi.org/10.4217/OPR.2012.34.2.201>.
- Turner JT. 2004. The importance of small planktonic copepods and their roles in pelagic marine food webs. *Zool Stud* 43, 255-266.
- Ueda H, Itoh H, Hirai J and Hidaka K. 2022. *Paracalanus orientalis* n. sp. (Copepoda, Calanoida), formerly referred to as

- P. parvus* in Japanese coastal waters. Plankton Benthos Res 17, 221-230. <https://doi.org/10.3800/pbr.17.221>.
- Uye S, Nagano N and Shimazu T. 2000. Abundance, biomass, production and trophic roles of micro- and net-zooplankton in Ise Bay, Central Japan, in Winter. J Oceanogr 56, 389-398. <https://doi.org/10.1023/A:1011172221257>.
- Uye SI and Sano K. 1995. Seasonal reproductive biology of the small cyclopoid copepod *Oithona davisae* in a temperate eutrophic inlet. Mar Ecol Prog Ser 118, 121-128. <https://doi.org/10.3354/meps>.
- Winder M and Jassby AD. 2011. Shifts in zooplankton community structure: Implications for food web processes in the upper San Francisco estuary. Estuar Coast 34, 675-690. <https://doi.org/10.1007/s12237-010-9342-x>.
- Yoo KI and Kim SH. 1987. Seasonal distribution of marine Cladocerans in Chinhae Bay, Korea. J Oceanol Soc Korea 22, 80-86.
- Zhao W, Dai L, Chen X, Wu Y, Sun Y and Zhu L. 2022. Characteristics of zooplankton community structure and its relationship with environmental factors in the South Yellow Sea. Mar Poll Bull 176, 113471. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2022.113471>.