

봄과 여름철의 남해안 동물플랑크톤 시·공간적 분포와 군집 특성

문성용 · 이미희 · 정경미 · 김희용^{1*} · 정진호국립수산과학원 남해수산연구소, ¹국립수산과학원 연근해자원과

Spatial and Temporal Distribution and Characteristics of Zooplankton Communities in the Southern Coast of Korea from Spring to Summer Period

Seong Yong Moon, Mi Hee Lee, Kyung Mi Jung, Heeyong Kim^{1*} and Jin Ho Jung

South Sea Fisheries Research Institute, National Institute of Fisheries Science, Yeosu 59780, Republic of Korea

¹Fisheries Resources Management Division, National Institute of Fisheries Science, Busan 46083, Republic of Korea

The zooplankton composition, abundance, community structure, and species diversity in the major commercial fishery species spawning grounds in the southern coast of Korea were investigated in this study. A total of 80 taxa were sampled, with the mean abundance range of 5,612–11,720 ind. m⁻³ and the mean biomass range of 41.6–1,086.8 mg m⁻³. The dominant species were *Paracalanus* copepodites, *Paracalanus parvus* s. l., *Oithona* copepodites, *Paracalanus nauplii*, *Noctiluca scintillans*, *Oithona similis*, and *Ditrichocorycaeus affinis*. The species diversity indices were highest in August, suggesting that diversity is influenced by neritic and oceanic warm-water species. A cluster analysis with non-metric multidimensional scaling (nMDS) revealed three groups of zooplankton communities. The April and May samples clustered into Group A, having the highest mean total zooplankton abundance and lowest species diversity, consisting mainly of temperate species located in the middle region of the southern coast of Korea. Cluster Group B was from the early summer season (June) and contained the highest species diversity with some oceanic and neritic zooplankton species. Cluster Group C from the summer season (July and August) mainly comprised *P. parvus* s. l. and *O. similis*. The redundancy analysis (RDA) indicated that abundance is positively correlated with salinity, and chlorophyll-*a* concentrations.

Keywords: Zooplankton community, Species diversity, Environmental factors, Spring and summer, Southern coast

서론

우리나라 남해안은 반도로 형성된 작은 만과 많은 섬들로 구성되어 있는 리아스식 해안지형들이 잘 발달되어 있고, 남해 연안수와 계절에 따른 대마난류수, 황해 기원의 저층냉수가 서로 교차하면서 다양한 해양환경 특성이 보인다(Choo, 2002; Lim et al., 2003; Bae and Kim, 2012). 또한, 기초생산력이 높고 수심이 낮아 다양한 해양생물들의 산란장과 성육장으로 이용되어 수산자원학적으로 가치가 높은 해역이다(Lee et al., 1998; Kim et al., 2005; Kim et al., 2013a). 일정 해역을 대상으로 수산자원들의 산란과 성육장으로서의 역할과 기능을 파악하기 위해서

는 수온 및 염분과 같은 물리적 환경요소 뿐 아니라, 기초생산자인 식물플랑크톤을 주 먹이로 이용하면서 상위 영양단계에 유기에너지를 전달해 주는 동물플랑크톤 종조성에 대한 출현밀도와 생체량의 시·공간적인 분포 특성을 알아야 한다.

동물플랑크톤은 크기가 작고 생활사가 짧기 때문에 기후변화에 가장 잘 반응하는 분류군 중 하나로 해양생태계 변화를 감지하는 중요한 대상생물로 활용되기도 한다(Bedford et al., 2018). 그러므로 해양생태계 먹이망의 1차 생산자에서 2차 및 상위 소비자를 이어주는 영양단계에서 중간자 역할도 담당하고 있어 수산자원뿐 아니라 다양한 해양생물들의 번동을 이해하는데 중요한 생물환경요인으로 작용한다(Lobry et al., 2008;

*Corresponding author: Tel: +82. 51. 720. 2280 Fax: +82. 51. 720. 2277

E-mail address: heeyongkim@korea.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.2022.0154>

Korean J Fish Aquat Sci 55(2), 154-170, April 2022

Received 15 February 2022; Revised 11 March 2022; Accepted 30 March 2022

저자 직위: 문성용(연구사), 이미희(연구원), 정경미(연구사), 김희용(연구관), 정진호(연구원)

Hover et al., 2021). 내만과 연안 해역에서 출현하는 동물플랑크톤의 시·공간적 분포와 군집 양상은 생물학적(biotic)과 비생물학적(abiotic) 요인들에 의해 복합적으로 영향을 받는 것으로 알려져 있어(Wiafe et al., 2008; Zakaria, 2015), 남해안에 출현하는 동물플랑크톤 군집은 다양하고 복잡한 해양학적 특성의 계절적 변동 양상에 의해서 조절될 것으로 예상된다. 또한, 이러한 동물플랑크톤의 계절적 시·공간적 분포와 군집 구조는 이들을 먹이생물로 이용하는 수산자원생물들의 영양학적 가치의 계절변동에도 많은 영향을 미칠 가능성이 높다(Bedford et al., 2018).

남해안은 내만을 포함한 대부분의 해역에서 연안수와 외해 난류수의 영향으로 계절에 따라 전선역(frontal zone)을 형성하거나 혼합되어 높은 기초생산력을 보인다(Yang and Kim, 1990; Baek et al., 2010). 이에 따라 다양한 부어류들이 산란·성육장(Kim et al., 2005; Ko et al., 2010; Yoo et al., 2017)을 형성하고, 분포·회유 특성이 결정되기도 한다(Kim et al., 2013a, 2016). 게다가 멸치와 같은 소형 부어류와 자치어들의 주요 먹이생물인 동물플랑크톤 군집의 시·공간적 분포에 영향을 주기도 한다(Kang and Jeon, 1999; Moon et al., 2010; Kim et al., 2013b; Oh et al., 2013). 선행연구를 통한 남해안 동물플랑크톤의 분포 및 군집특성은 대부분의 해역에서 시·공간적인 차이를 보이며, 주로 야광충(*Noctiluca scintillans*), 연안성 요각류(neritic copepods)가 우점하는 특성을 나타낸다(Kang and Jeon, 1999; Moon et al., 2006, 2010, 2020; Oh et al., 2013; Kang and Kim, 2020). 하지만, 남해안에서 출현하는 동물플랑크톤의 군집을 이해하기 위한 연구들은 내만(Han et al., 1995; Kang et al., 1996; Moon et al., 2006, 2020)과 연안역(Park, 1973; Moon et al., 2010; Oh et al., 2013; Jeong et al., 2014; Kim et al., 2017; Kang and Kim, 2020)을 대상으로 수행되었고 남해안 전 해역을 대상으로 동물플랑크톤의 시·공간적 분포와 군집 특성 및 이에 영향을 미치는 환경요인 파악에 관한 생태학적 연

구는 부족한 실정이다. 해양생태계에서 환경요인 기반의 동물플랑크톤 군집의 시·공간적 분포와 군집 양상을 이해하는 것은 조사해역의 생물생산력을 가늠하기 위한 중요한 지표로 활용이 가능하다(Beaugrand et al., 2003).

본 연구에서는 멸치를 포함한 소형 부어류들이 남해안에 가입하여 산란·성육하는 시기인 봄과 여름철 4-8월에 집중적으로 조사하여 산란에 참여하는 소형 부어류들과 자치어들의 먹이생물로 이용되는 요각류 nauplius, copepodites 및 성체를 포함한 동물플랑크톤의 시·공간적 분포와 군집 특성을 파악하고자 하였다. 또한 이를 통해 수산자원학적으로 중요한 남해안의 생물생산력 추정을 위한 동물플랑크톤 연구 정보를 확보하는데 목적이 있다.

재료 및 방법

수질환경 및 시료 분석

해양환경 측정 및 동물플랑크톤 채집을 위해 국립수산과학원 조사선 탐구10호와 탐구11호를 이용하여 2021년 4-8월까지 남해안 서부의 완도에서 동부의 부산 연안까지 총 30개 정점에서 월 1회 조사하였다(Fig. 1). 수온과 염분은 각 정점에서 CTD SBE-19 plus (Conductivity, Temperature and Depth Sea-Bird Electronics; Sea-Bird Electronics, Inc., Washington, USA)를 사용하여 표층에서 저층까지 측정하였으며, 각 정점의 표층과 저층에서 chlorophyll-*a* (chl-*a*) 분석을 위해 채수하였다. 채수한 시료 중 500 mL는 GF/F 여과지(직경 25 mm, pore size 0.7 µm; Whatman®, Maidstone, UK)를 사용하여 여과하였고, 여과지는 chl-*a* 농도 분석을 위해 분석 시까지 냉동 보관하였다. Chl-*a* 농도는 보관된 GF/F 여과지를 90% 아세톤 10 mL가 담긴 빛을 차단한 시험관에 넣고 12시간 경과 후 형광분광분석기(10-AU; Turner Designs®, San Jose, CA, USA)를 사용하여 측정하였다(Parsons et al., 1984).

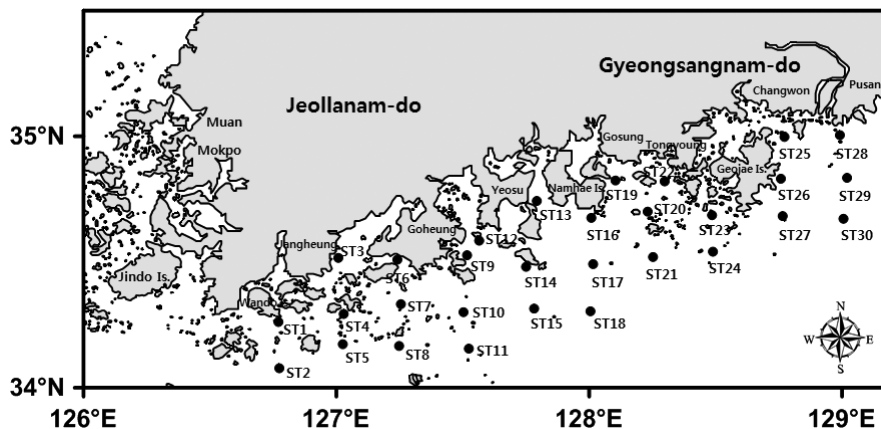


Fig. 1. A map showing of the zooplankton sampling stations (●) in the southern coast of Korea.

동물플랑크톤 채집 및 시료 분석

본 연구에서는 부어류들과 자치어들의 먹이생물로 이용되는 요각류 nauplius, copepodites 및 성체들을 함께 채집하기 위해 원추형 네트(망구직경 45 cm, 망목크기 100 μm)를 이용하여 수질환경을 조사한 정점에서 연직으로 채집한 후, 최종농도 5%가 되도록 증성포르말린으로 고정하였다. 채집된 동물플랑크톤 시료의 정량적 분석을 위하여 네트 입구에 유속계(model 438115; Hydro-Bios, Altenholz, Germany)를 부착하여 여과해수량을 산출하였다. 동물플랑크톤 시료를 분석하는 과정에서 분할이 필요할 때는 Folsom식 부차시료기를 이용하여 시료를 분할하여 UNESCO식 계수판에 옮긴 후 분류 계수하였다. 동물플랑크톤 중 동정은 해부현미경(SZ40; Olympus, Tokyo, Japan)과 광학현미경(BX51; Olympus)을 사용하여 주로 요각류를 중심으로 실시하였고, 중 동정이 어려운 분류군들은 목(order) 수준까지 분류 계수하였다. 요각류의 중 동정 시 세밀한 관찰이 필요한 경우 동정에 필요한 부속지를 해부하여 고배율 광학현미경(BX51)으로 관찰하여 최종 판별하였다. 계수된 시료는 유량계로 산출된 여과 해수량 값을 활용하여 단위체적당 개체수(ind. m^3)로 환산하였다. 동물플랑크톤의 중 동정 및 분류체계는 Chihara and Murano (1997), Boxshall and Halsey (2004), 분류군들의 유효명(valid name)은 WoRMS (2022)을 따랐다. 동물플랑크톤의 정량분석은 분류군별 출현개체수와 출현 빈도, 그리고 정점별 출현개체수로 표현하였다.

동물플랑크톤 생체량

증성포르말린으로 고정한 동물플랑크톤 시료를 약 한 달이 지난 후 미리 무게를 측정한 GF/C (직경 47 mm; Whatman®) 여과지를 사용하여 여과한 후 증류수로 여러 번 세척하여 남아 있는 해수를 제거하였다. 해수가 제거된 시료는 소형 알루미늄 접시에 담아 건조기에 넣은 후 60°C에서 24시간 건조한 후에 전자저울(BSA323S; Sartorius Co., Goettingen, Germany)을 이용하여 무게를 0.1 mg 단위까지 측정하였다. 끝으로 증성포르말린에 고정된 시료의 유기물 손실(25%)은 McLaren et al. (1989)에 따라 동물플랑크톤의 총 생체량을 계산하고 여수량으로 환산하여 정량화하였다.

동물플랑크톤 군집 및 환경요인 분석

동물플랑크톤의 종 다양성 파악을 위해 종 다양성 지수(H')를 구하였으며(Shannon and Weaver, 1963), 조사시기에 따른 군집 특성 파악을 위해 전체 출현 개체수 상위 상위 1% 이상의 출현 빈도를 보인 분류군들에 대해서 다변량분석법인 분류법(classification)과 배열법(ordination)을 이용하여 군집분석을 수행하였다. 군집분석 시 이용된 분류군별 출현 개체수는 조사시기와 종간의 개체군 밀도의 자료 편향을 피하고 정규화를 위해 로그(logx+1) 지수로 변환한 자료를 이용하였다. 동물플랑크톤 군집의 정점 간 유사도 측정을 위해 Bray-Curtis 유사

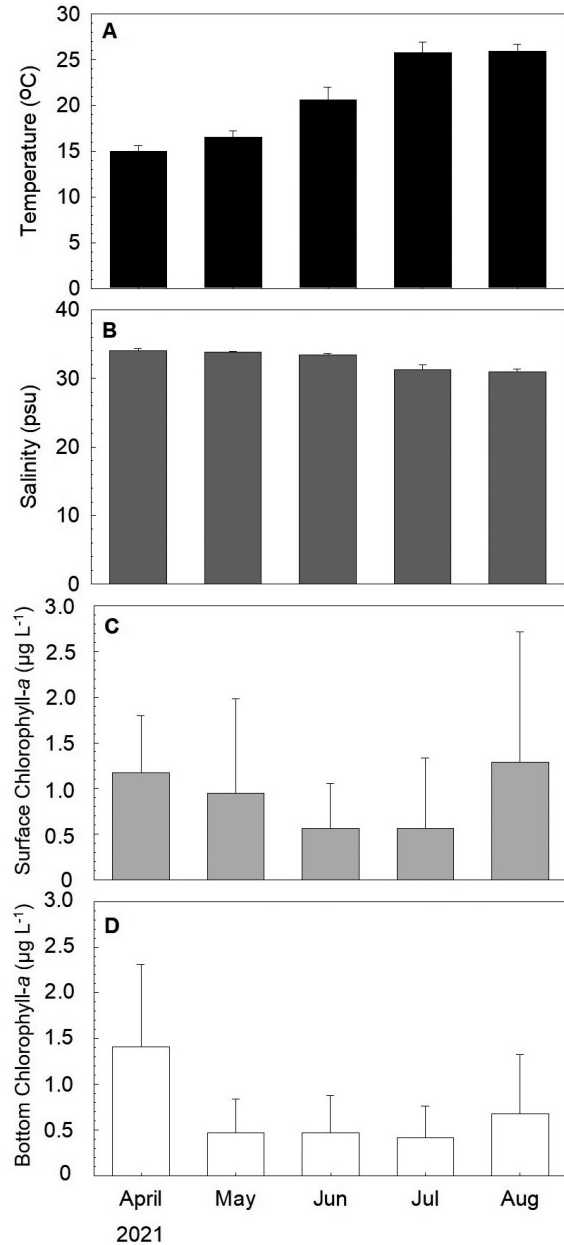


Fig. 2. Monthly variations in temperature, salinity, and chlorophyll-a concentrations in the southern coast of Korea. A, Temperature; B, Salinity; C, Surface chlorophyll-a; D, Bottom chlorophyll-a. Data are mean with standard deviation indicated by error bars.

도 지수를 바탕으로 비가중 산술평균(unweighted pair group method with arithmetic mean, UPGMA)을 이용해 군집화하는 계보적 집괴분석(hierarchical cluster analysis) 결과를 도출하고 이를 nMDS (non-metric multidimensional scaling) 배열법으로 표현하였다. 군집분석 결과에 따라 각 군집에 영향을 주는 분류군들은 SIMPER (similarity-percentages procedure) 분

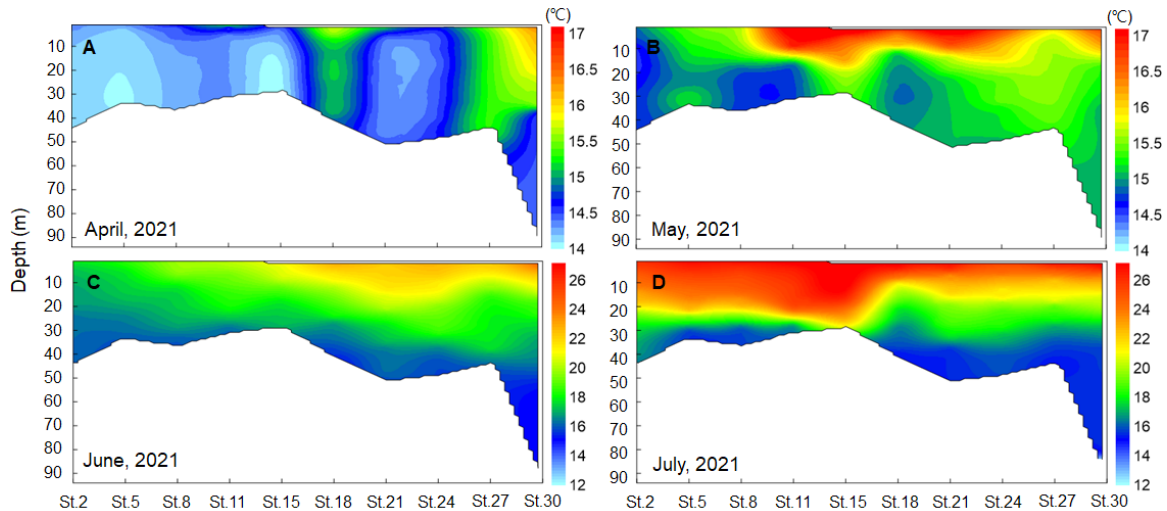


Fig. 3. Monthly changes in vertical structure of water temperature in the southern coast of Korea.

석을 위해 PRIMER (version 6) program을 이용하였다(Clarke and Gorley, 2014). 동물플랑크톤 군집에 기여하는 주요 분류군들의 시·공간적 분포와 조사한 환경요인과의 관계를 설명하기 위해 수온, 염분, chl.-a 농도 및 수심 자료를 매개 변수로 하여 CANOCO (Canonical Community Ordination; version 4.5) 프로그램을 활용하여 중복분석(redundancy analysis, RDA)을 수행하였다.

결 과

수온, 염분 및 Chlorophyll-a

조사기간 동안 수온은 14.1–27.3°C의 범위를 보였으며, 월 평균 수온은 4월 15.1°C, 5월 16.5°C, 6월 20.6°C, 7월 25.8°C, 8월 25.9°C이었다(Fig. 2A). 수온의 시·공간적 분포는 4월에는 남해 동부해역에서 15°C 이상의 수온을 보이다가 5월에는 전해역으로 확장되는 양상이었다. 6월과 8월에는 남해도-부산(남해동부) 해역이 광양-완도(남해서부) 해역보다 수온이 높았고, 8월에는 거제와 부산 연안을 제외하고 25°C 이상의 고수온을 형성하였다. 수온의 연직분포 형성과 확산되는 시기인 4–7월까지 수심별 수온을 분석한 결과(Fig. 3), 4월에 거제 동부해역에서 15°C 이상의 수온을 보이면서 전선역(frontal zone)을 형성하였지만, 5월에는 16°C 이상의 수온역이 표층에 확장되면서 전선역이 사라졌으며, 7월은 수심 30 m 부근에서 22°C 이상의 고수온대가 분포하면서 수온약층이 형성되는 특징을 보였다.

염분은 27.8–34.6 psu의 범위를 보였고, 월 평균 염분은 4월 34.1 psu, 5월 33.7 psu, 6월 33.3 psu, 7월 31.1, 8월 30.8 psu로 나타나 시간적인 변동이 크게 나타났다(Fig. 2B).

Chl.-a 농도는 표층에서 0.07–6.24 $\mu\text{g L}^{-1}$, 저층에서 0.04–4.95 $\mu\text{g L}^{-1}$, 범위로 시기에 따라 표·저층간 차이를 보였다. 월

평균 chl.-a는 각각 표층에서 평균 0.56–1.29 $\mu\text{g L}^{-1}$, 저층에서 0.41–1.40 $\mu\text{g L}^{-1}$ 범위로 시기와 계절에 따라 표·저층간 차이를 보였다(Fig. 2C, 2D).

종조성, 출현개체수, 다양도 지수 및 생체량

남해안에서 출현한 동물플랑크톤은 총 80개 분류군으로 요각류 18속 45분류군, 지각류 3속 3종이 출현하였다. 월별 출현 분류군은 48–55개 범위였으며, 평균 17–21개 분류군으로 8월에 가장 낮았고 5월에는 가장 높게 나타났다(Fig. 4A). 주요 분류군인 요각류의 월별 종조성은 23–30개의 범위로 시기별로 차이를 보였다. 조사기간 동안 출현한 동물플랑크톤 평균 출현개체수는 5,612–11,720 ind. m^{-3} 의 범위였으며(Fig. 4B), 5월과 6월의 평균 출현개체수는 각각 6,531 ind. m^{-3} , 5,612 ind. m^{-3} 로 4월보다 감소하였지만, 7월과 8월에는 증가하였다. 주요 분류군 월 평균 출현개체수를 살펴보면(Table 1), 4월부터 8월까지 지속적으로 출현한 *Paracalanus parvus* s. l.은 745–1,453 ind. m^{-3} 의 범위였다. 또한, *Paracalanus copepodites*는 825–2,487 ind. m^{-3} 로 4월에 21.2%로 가장 높은 출현비율을 보였으며, *Paracalanus nauplii*는 345–904 ind. m^{-3} 로 8월에 11%의 출현비율을 나타냈다. 야광충은 477–1,283 ind. m^{-3} 의 범위로 4월에 가장 높았다가 5월부터 감소하였지만, 8월에 다시 증가하였다. *Oithona copepodites*와 *Oithona nauplii*는 각각 514–2,332 ind. m^{-3} 와 141–901 ind. m^{-3} 범위로 계절적으로 변동 폭이 크게 나타났다. 7월과 8월에는 이매패류(Bivalve larvae)와 복족류 유생(Gastropods larvae)의 출현개체수가 크게 증가하였으며, 시기적인 차이는 보이지만 대부분 연안성 요각류가 우점하는 특징을 보였다. 특히, 6월부터 8월까지 *Acartia pacifica*, *Acartia erythraea*, *Centropages dorsispinatus*, *Subeucalanus mucronatus*와 같은 난수성 종들이 출현하였다.

Table 1. Mean abundance of the dominant taxa (inds. m⁻³)

Taxa	Mean±SD	RA (%)	Taxa	Mean±SD	RA (%)
April, 2021			May, 2021		
<i>Paracalanus</i> copepodite	2,487±2,742	21.2	<i>Paracalanus parvus</i> s. l.	1,013±854	15.5
<i>Oithona</i> copepodites	2,332±3,243	19.9	<i>Oithona</i> copepodites	973±1,571	14.9
<i>P. parvus</i> s. l.	1,356±1,121	11.6	<i>P.</i> copepodite	825±763	12.6
<i>Noctiluca scintillans</i>	1,283±4,139	10.9	<i>O.</i> nauplii	607±1,421	9.3
<i>Oithona</i> nauplii	901±1,1226	7.7	<i>Ditrichocorycaeus</i> copepodites	521±1,191	8.0
<i>Paracalanus</i> nauplii	869±976	7.4	<i>Noctiluca scintillans</i>	477±1,043	7.3
<i>Ditrichocorycaeus</i> copepodites	545±770	4.7	<i>P.</i> nauplii	345±650	5.3
<i>Oikopleura dioica</i>	300±344	2.6	<i>Ditrichocorycaeus affinis</i>	284±393	4.3
<i>Oithona similis</i>	237±342	2.0	<i>Calanoids</i> nauplii	213±437	3.3
Bivalve larvae	226±558	1.9	<i>O. similis</i>	210±357	3.2
<i>Acartia</i> copepodites	217±499	1.9	<i>Oithona davisae</i>	192±427	2.9
<i>D. affinis</i>	201±194	1.7	<i>Acartia</i> copepodites	159±230	2.4
<i>A. omorii</i>	101±192	0.9	<i>A. omorii</i>	146±242	2.2
<i>Calanus</i> copepodite	96±99	0.8	<i>Podon polyphemoides</i>	114±594	1.7
Calanoids nauplii	92±122	0.8	<i>Oikopleura dioica</i>	101±209	1.5
Other taxon	477±867	4.0	Other taxon	351±670	5.6
Total	11,720±11,008	100	Total	6,531±7,520	100
June, 2021			July, 2021		
<i>Paracalanus parvus</i> s. l.	1,307±1,355	23.3	<i>Paracalanus parvus</i> s. l.	1,453±1,735	21.4
<i>Noctiluca scintillans</i>	839±3,474	14.9	<i>P.</i> copepodite	1,099±2,311	16.2
<i>P.</i> copepodite	780±631	13.9	Bivalve larvae	1,090±3,448	16.0
<i>Oithona</i> copepodites	514±638	9.2	<i>Oithona</i> copepodites	685±1,871	10.1
<i>P.</i> nauplii	393±896	7.0	<i>Paracalanus</i> nauplii	616±1,331	9.1
<i>Oikopleura dioica</i>	330±387	5.9	<i>Oikopleura dioica</i>	368±807	5.4
<i>O. similis</i>	275±462	4.9	<i>O.</i> nauplii	212±519	3.1
<i>Ditrichocorycaeus affinis</i>	213±346	3.8	Copepodites	172±385	2.5
<i>Acartia</i> copepodites	151±418	2.7	<i>Acartia</i> nauplii	124±208	1.8
<i>O.</i> nauplii	141±229	2.5	<i>O. similis</i>	119±241	1.7
<i>Aidanosagitta crassa</i>	101±140	1.8	<i>Calanus</i> nauplii	109±362	1.6
<i>A. omorii</i>	81±100	1.4	<i>Calanoids</i> nauplii	100±268	1.5
Copepodites	65±115	1.2	<i>Ditrichocorycaeus affinis</i>	98±159	1.4
<i>Podon polyphemoides</i>	61±215	1.1	<i>Aidanosagitta crassa</i>	92±92	1.4
Cirripedia nauplii	48±141	0.9	<i>Pseudevadne tergestina</i>	53±104	0.8
Other taxon	309±767	5.5	Other taxon	409±1,019	6.0
Total	5,612±5,966	100	Total	6,799±10,734	100
August, 2021					
<i>Oithona</i> copepodites	1,700±2,539	20.6			
<i>Paracalanus</i> copepodite	1,285±1,965	15.6			
<i>P.</i> nauplii	904±2,380	11.0			
<i>P. parvus</i> s. l.	745±948	9.0			
<i>Acartia</i> nauplii	527±634	6.4			
<i>Noctiluca scintillans</i>	511±1,324	6.2			
<i>A.</i> copepodites	454±494	5.5			
Copepodites	281±506	3.4			
<i>Acartia pacifica</i>	263±312	3.2			
<i>O.</i> nauplii	257±804	3.1			
<i>Oikopleura dioica</i>	244±480	3.0			
Bivalve larvae	238±584	2.9			
<i>Adanosagitta enflata</i>	117±192	1.4			
Calanoids nauplii	112±243	1.4			
<i>Aidanosagitta crassa</i>	110±108	1.3			
Other taxon	495±1,520	6.0			
Total	8,242±11,483	100			

SD is the standard deviation and RA is the relative abundance (%).

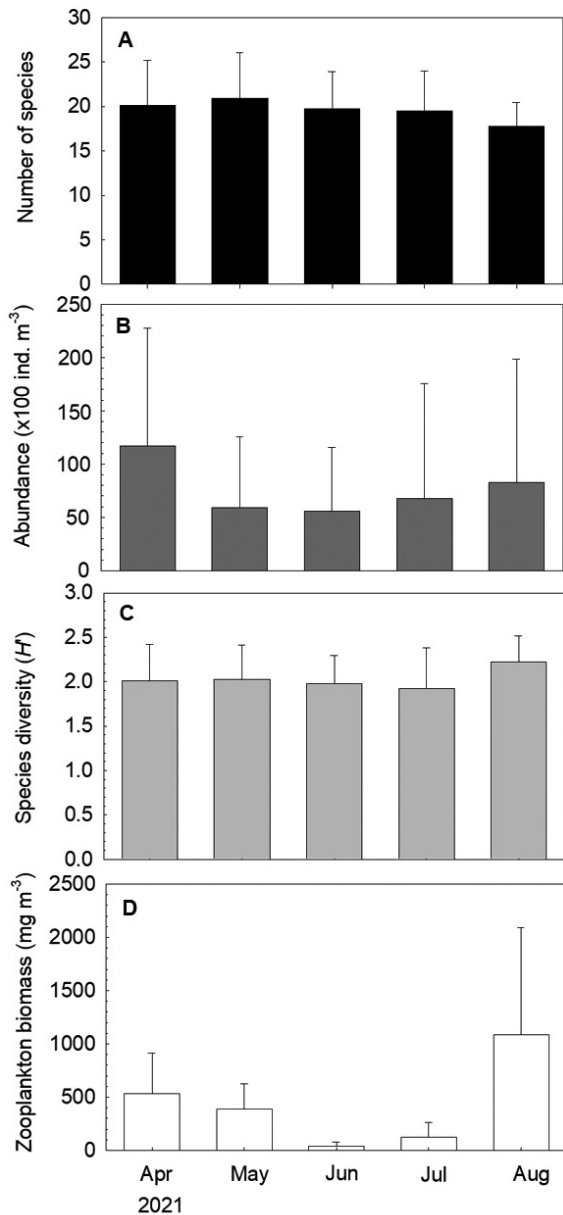


Fig. 4. Monthly variations in number of species, abundance, and species diversity index of zooplankton collected in the southern coast of Korea. Data are mean with standard deviation indicated by error bars.

동물플랑크톤의 종 다양도 지수(H')는 0.77–2.59의 범위로 시·공간적 변동이크게 나타났다(Fig. 4C). 월별 평균 종 다양도 지수는 7월에 평균 1.91로 가장 낮았으며, 8월에 평균 2.22로 가장 높게 나타났다. 동물플랑크톤 생체량(Biomass)은 동물플랑크톤 총 출현개체수 변동과 유사한 양상을 보였으며(Fig. 4D), 총 생체량은 3.4–5,563 mg m⁻³로 계절적으로 변동 폭이 매우 크게 나타났다. 생체량의 월별 평균 범위는 41.6–1,086.8 mg m⁻³

로 6월에 가장 낮았고, 8월에 가장 높게 나타났으며, 모든 해역에서 요각류의 출현개체수가 높아지면서 생체량도 함께 증가하는 양상이었다.

출현 빈도 및 시·공간적 분포 특성

동물플랑크톤 출현 빈도의 변동 양상을 살펴보면(Fig. 5), 시·공간적으로 큰 차이를 보이지만, 대부분의 정점에서 요각류의 출현 빈도가 50% 이상을 차지하여 가장 우점하였으며, 7월을 제외한 시기의 일부 정점에서는 야광충의 출현 빈도가 높게 나타나는 것이 특징적이었다. 봄철인 4월과 5월에는 남해 동부해역에서 야광충의 출현 빈도가 높았지만, 6월과 7월에는 미충류(Appendicularia)와 해파리류(Hydrozoa), 지각류(Cladocera), 연체동물 유생류(Mollusca larvae)의 출현 빈도가 증가하였다. 8월에는 야광충의 출현 빈도가 남해 서부해역에서 증가하였고, 동부해역에서는 해파리류의 출현 비율이 증가하였다.

환경요인(수온, 염분, chl.-a)에 따른 동물플랑크톤과 요각류의 시·공간적 분포 특성을 살펴보면, 수온의 경우 14.1–27.3°C 범위에서 출현하였으며, 계절에 따라 분포 수온대가 높아지는 경향을 보이지만, 상대적으로 최고 수온대 주변에 분포밀도가 높게 나타났다(Fig. 6). 염분에 따른 분포특성을 보면(Fig. 7), 4월에는 남해 동부에서 34 psu의 고염분이 형성된 해역을 중심으로 출현하였으며, 5월부터 6월에는 34 psu 이하의 범위에서 출현하였으나 7월과 8월에는 32 psu 이하의 저염분 해역에서도 출현하는 경향을 보였다(Fig. 7). 표층 chl.-a 농도는 4월의 경우 완도 연안과 남해도-부산 연안에서 증가함과 동시에 동물플랑크톤과 요각류의 출현개체수도 증가하는 양상이었다. 여름철인 6–8월에 내만 해역에서 높은 농도를 보였지만, 동물플랑크톤과 요각류는 표층 chl.-a 농도와 동물플랑크톤의 분포를 비교해 보면(Fig. 8), 동물플랑크톤과 요각류는 대부분 표층 chl.-a 농도가 3 µg L⁻¹ 이하에서 주로 출현하였다.

주요 우점 분류군인 *P. parvus* s. l.과 *P. copepodites*는 5월을 제외하면 남해중부에서 동부해역까지 출현하였으며, 8월은 거제도에서 부산 연안까지 분포밀도가 높게 형성되었다(Fig. 9). *O. similis*와 *O. copepodites*는 4월부터 8월까지 남해중부에서 동부해역에서 주로 출현하였고, 특히, *O. copepodites*는 4월부터 7월에는 남해도부터 부산 연안까지 높은 분포밀도를 형성하였다(Fig. 10).

군집 특성

남해안 동물플랑크톤 출현개체수를 기반으로 nMDS 배열법으로 군집분석을 수행한 결과(Fig. 11), 유사도 60%를 기준으로 봄철 4월과 5월이 A그룹, 6월이 B그룹, 여름철 7, 8월이 C그룹으로 모두 3개의 그룹으로 구분되었다. 각 군집에 기여하는 분류군을 파악한 결과 연안성 요각류가 대부분을 차지하였는데 (Table 2), A그룹은 *P. parvus* s. l., *O. copepodite*, *P. copepodite*, *O. nauplii*, B그룹은 *P. parvus* s. l., 야광충, *O. similis*, *Euchaeta copepodite*, C그룹에서는 *P. copepodite*, *P. parvus* s. l., *O. co-*

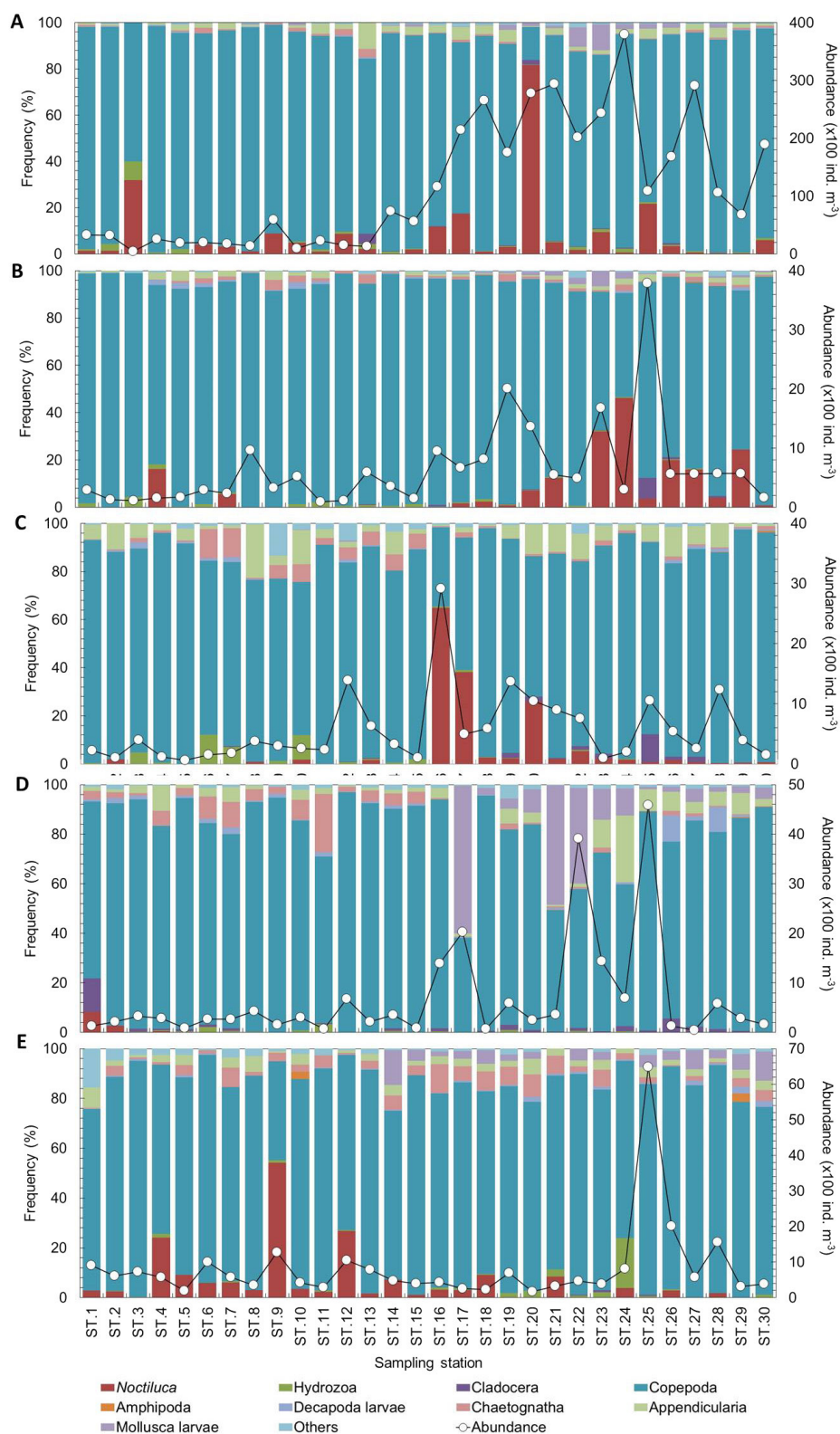


Fig. 5. Monthly variations in zooplankton abundance and taxonomic frequency of zooplankton in the southern coast of Korea. A, April. B, May; C, June; D, July; E, August 2021.

pepodites, *P. nauplii*가 각 군집에 영향을 주는 분류군이었으며, 조사기간 동안 우점한 *P. parvus* s. l.과 *O. similis*가 각 그룹이 구분되는데 중요한 종으로 확인되었다.

주요 분류군과 환경요인 분석

남해안에서 출현한 동물플랑크톤의 주요 분류군과 환경요인(수온, 염분, chl.-a, 수심)간의 중복분석(RDA)을 실시한 결과(Fig. 12), 제1축과 제2축의 고유치(eigenvalue)는 각각 0.161과 0.047이었고, 제1축과 2축의 전체 자료 분석에 대한 누적 기여율은 20.8%이었다(Table 3). 제1축과 2축에서 환경요인에 대한 주요 분류군들과 환경요인과의 관계를 91.1%로 설명하였다. 남해안의 동물플랑크톤 주요 분류군들과 환경요인간의 분석 결과, 수온은 *A. pacifica*와 양의 상관성, *Calanus sinicus*, *Acartia omorii*, *O. similis*, *Ditrichocorycaeus affinis*와 음의 상관성을 보였고, 염분은 *D. affinis*, *C. sinicus*, *A. omorii*, *O. similis*와 양의 상관성을 보였으며, chl.-a는 *O. dioica*와 양의 상관성을 보였다.

고 찰

남해안 동물플랑크톤 군집은 기대했던 것과 달리 4-6월 일부 해역에서 나타난 야광충의 출현개체수 증가를 제외하면 대부분 연안성 요각류의 시·공간적 분포에 의한 군집이 유지되는 것으로 확인되어 선행연구들과의 큰 차이점은 보이지 않았다(Moon et al., 2010; Oh et al., 2013; Kim et al., 2017; Kang and

Kim, 2020). 하지만, 여름철인 7, 8월에는 남해 동부해역(남해도-부산 연안)에서 연체동물인 복족류와 이매패류 유생의 대량 발생으로 인해 출현 빈도가 함께 증가하는 특징을 보였다. 동물플랑크톤 출현 분류군 수는 총 80개 분류군으로 요각류가 우점 분류군이었으며, 평균 출현개체수는 5,612-11,720 ind. m⁻³의 범위로 시·공간적 변동 폭이 크게 나타났다. 봄철인 4월은 연안성 요각류 *P. parvus* s. l.와 *O. similis*의 개체군 발생 증가로 인한 요각류 nauplius와 copepodites의 출현개체수가 증가하면서 전체 개체수에 영향을 준 것으로 나타났고, 특히, 이들은 남해 동부 해역에서 10,000 ind. m⁻³ 이상의 높은 출현개체수를 보였다. 여름철의 경우 낙동강 하구와 인접한 해역에서 연안성 요각류의 개체군들이 큰 폭으로 증가하여 출현개체수가 조사기간 동안 가장 높았으며, 난수성과 외양성 요각류들이 혼재하여 출현하는 특징으로 선행 연구들과 유사한 양상을 보였다(Moon et al., 2010; Oh et al., 2013; Jeong et al., 2014). 남해안 전역을 대상으로 하는 동물플랑크톤 연구 결과가 없어 공간적 비교는 어렵지만, 봄철인 4월에 거제 동부해역에서 대마난류의 세력확장(Choo, 2002; Lim et al., 2003)에 따른 수온 전선역(frontal zone)이 형성되었고, 5월부터는 남해 연안수와 만나면서 혼합되고 7월과 8월에는 전 해역에서 고수온이 형성되면서 난수성과 외양성 종들이 서로 혼재하여 출현한다는 선행 연구사례와 유사하였다(Kang and Hong, 1995; Moon et al., 2010; Oh et al., 2013; Jeong et al., 2014).

종 다양도 지수(H')는 0.77-2.59의 범위로 시·공간적으로 컸으며, 7월에 가장 낮았고, 8월에 가장 높았다. 종 다양도 지수는 해양생태계를 구성하고 있는 다양한 해양생물들의 생태학적 지표로 활용되고 있는데(Dvoretzky and Dvoretzky, 2014), 남해안에 출현하는 동물플랑크톤의 종 다양도 지수는 지리적 특성과 계절에 따른 수괴의 변동 양상, 조사해역과 정점수, 희소종(rare species)의 출현 등과 같은 다양한 요인에 의해 조절될 가능성이 높다(Huntly and Boyd, 1984; Dvoretzky and Dvoretzky, 2014). 남해안은 수많은 섬들과 반 폐쇄적인 만들로 구성되어 있어 조사해역에 따라 종 다양도 지수의 차이를 보이

Table 2. Simper list of taxa contributing mostly to similarities within the following periods, with a cut-off at 70%

Taxon	Group average similarity	Contribution (%)	Cumulative contribution (%)
A-group (April-May)			
<i>Paracalanus parvus</i> s. l.	11.10	17.02	17.02
<i>Oithona</i> copepodites	10.66	16.35	33.37
<i>P. copepodite</i>	9.04	13.86	47.23
<i>O. nauplii</i>	6.65	10.19	57.42
B-group (June)			
<i>P. parvus</i> s. l.	-	23.3	23.3
<i>Noctiluca scintillans</i>	-	13.9	37.2
<i>O. similis</i>	-	4.9	42.1
<i>Euchaeta</i> copepodite	-	3.8	45.9
C-group (July-August)			
<i>P. copepodite</i>	14.62	23.79	23.79
<i>P. parvus</i> s. l.	9.91	16.13	39.92
<i>O. copepodites</i>	9.11	14.83	54.75
<i>P. nauplii</i>	8.19	13.33	68.08

Table 3. Summary of redundancy analysis (RDA) for dominant taxa and different environmental factors in the coastal waters of Korea

	Axes-1	Axes-2	Axes-3	Axes-4
Eigenvalues	0.161	0.047	0.012	0.008
Species-environmental correlations	0.760	0.468	0.423	0.311
Cumulative percentage variance of species data	16.1	20.8	22.0	22.8
Species-environment relation	70.6	91.1	96.4	100.0
Sum of all eigenvalues	1.000			
Sum of all canonical eigenvalues	0.228			

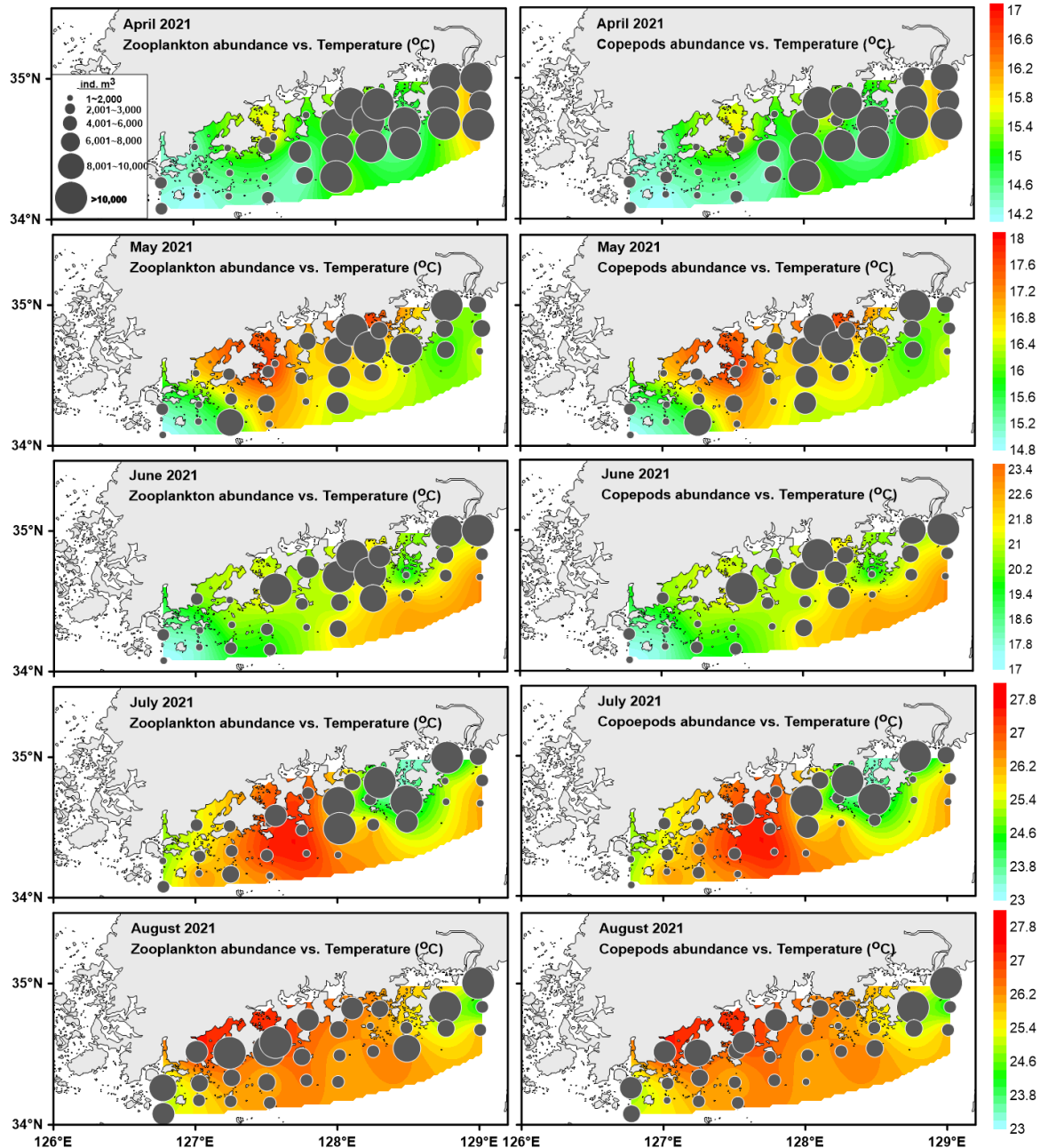


Fig. 6. Spatial and temporal distribution of zooplankton abundance and temperature in the southern coast of Korea.

게 되며(Moon et al., 2006, 2010; Oh et al., 2013), 특히, 여름철의 높은 종 다양도 지수는 야광충의 출현 빈도가 낮아지면서 연안성 요각류와 외양성 요각류의 출현 종수 증가에 기인된 결과라 볼 수 있다(Moon et al., 2010; Oh et al., 2013). 결론적으로 남해안에 출현하는 동물플랑크톤의 종 다양도의 변화는 조사해역이 개방적이고 계절적으로 다양한 수괴가 만나는 복합적인 환경특성과 채집시기가 중요한 요인으로 작용했을 가능성이 높다. 동물플랑크톤의 생체량은 해역의 생물생산력 추정

을 위한 정보로 활용되는데(Thomas and Nielsen, 1994; Reid et al., 2000), 조사기간 동안 남해안 동물플랑크톤의 총 생체량은 $3.4\text{--}5,563\text{ mg m}^{-3}$ 의 범위로 출현개체수 변동 양상과 유사한 특징을 보였지만, 시·공간적으로 변동 폭이 매우 크게 나타났다. 대부분 연안성 요각류의 개체군 발생에 따른 요각류 nauplii와 copepodites의 증가에 따라서 변동하였고, 남해 서부해역보다 남해 동부해역에서 생체량이 높은 것이 특징적이었다.

남해안 동물플랑크톤 출현빈도의 시·공간적 변동은 시기별로

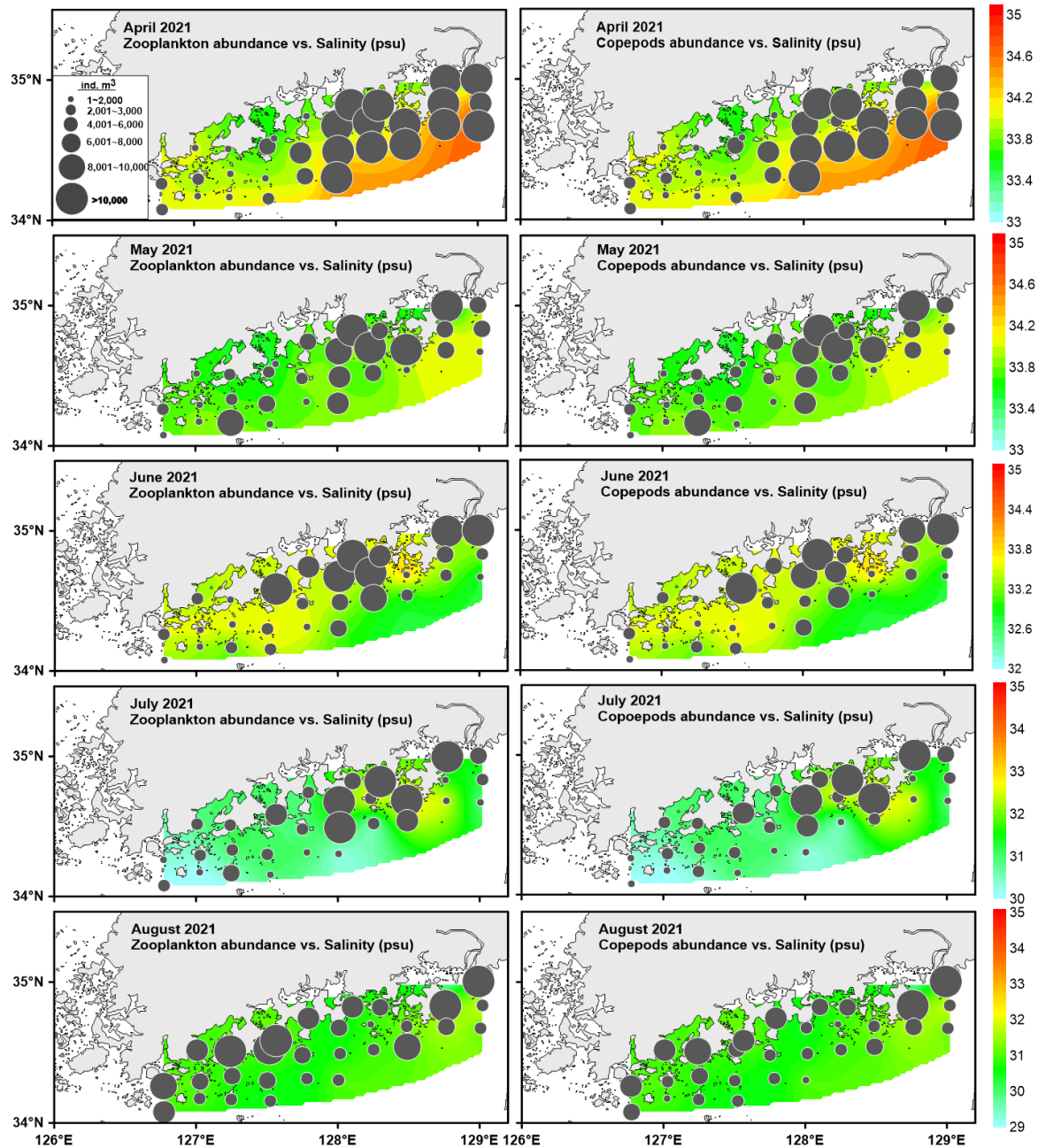


Fig. 7. Spatial and temporal distribution of zooplankton abundance and salinity in the southern coast of Korea.

큰 차이를 보이지만, 4월에 남해 동부해역을 중심으로 출현하다가 5월 이후에는 남해 서부해역으로 확산되는 특징을 보였고, 8월로 접어들면서 대부분의 해역에서 25°C 이상의 고수온이 형성되었음에도 불구하고 난수성 요각류의 출현과 발생으로 인해 남해안 전역에서 고른 분포를 보였다. 또한, 대부분의 정점들에서 요각류의 출현빈도가 50% 이상을 차지하였고, 4-6월에는 일부 정점에서 야광충의 출현빈도가 증가하는 양상이었다. 동물플랑크톤 군집은 세 그룹으로 구분되었으며, 각 그

룹에 영향을 주는 주요 기여 분류군들은 그룹에 따라 차이는 보였지만, *P. parvus* s. l., *P. copepodite*, *O. copepodites*, 야광충, *P. nauplii*, *Oikopleura dioica*, *Ditrichocorycaeus affinis*, *O. similis*로 나타났다. 특히, *P. parvus* s. l.와 *P. copepodite*는 조사 기간 동안 남해안 전역에서 출현하였고, 4-7월에는 우점 분류군으로 확인되었다. 주요 분류군들인 *P. parvus* s. l., *O. similis*, *D. affinis*는 남해안에서 연중 출현하나 시·공간적인 분포 양상이 상이하였다(Moon et al., 2006, 2010, 2020; Kang and Kim,

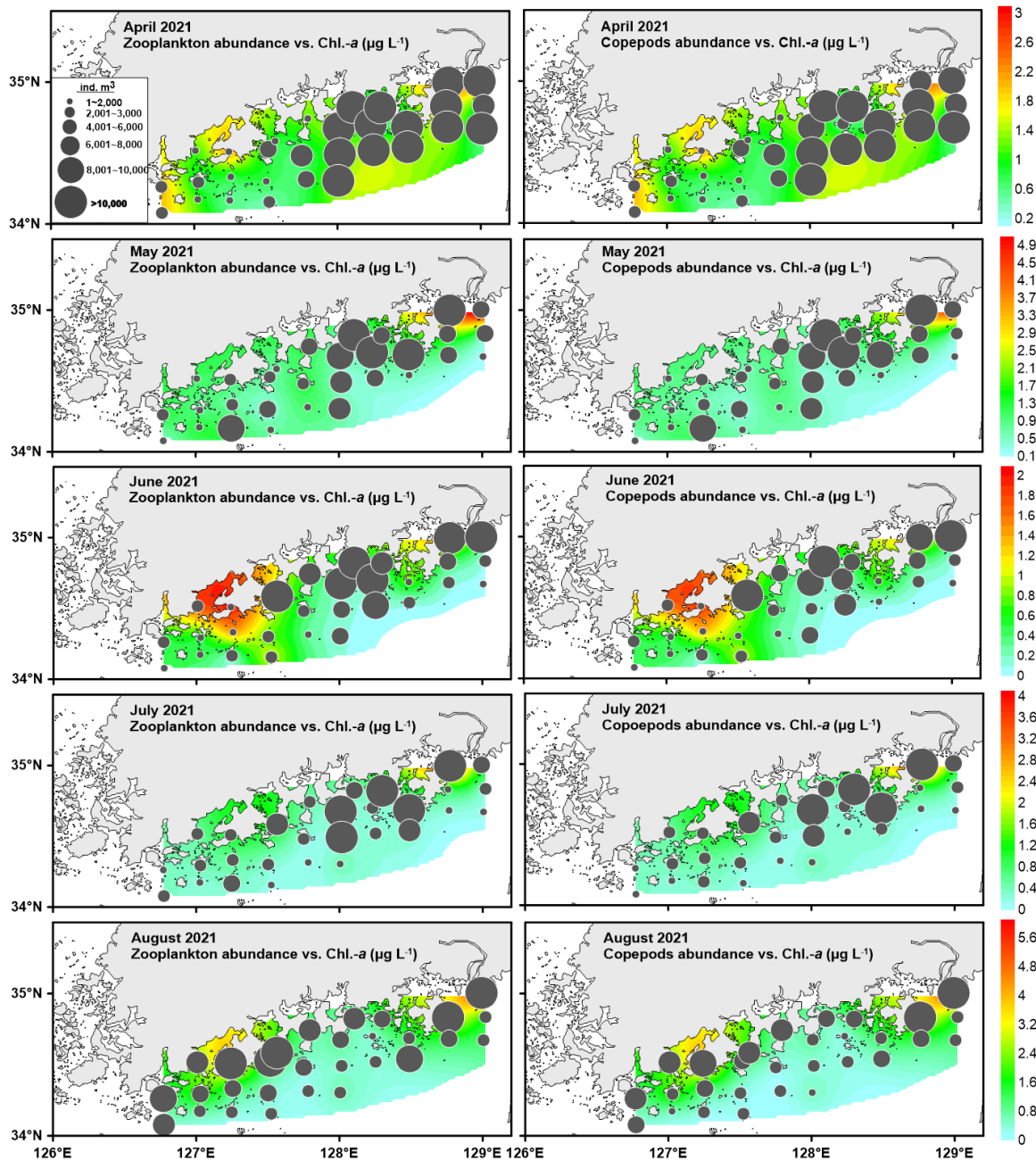


Fig. 8. Spatial and temporal distribution of zooplankton abundance and surface chlorophyll-*a* concentration in the southern coast of Korea.

2020). 선행된 연구에서 산란에 참여하는 멸치를 포함한 소형 부어류들은 *P. parvus* s. l., *O. similis*의 성체(Mitani, 1988; Kim et al., 2013b), 그리고 난에서 부화한 자치어들의 성장과 생존에 *P. parvus* s. l., *O. similis* nauplii와 copepodites가 영향을 줄 가능성이 있다(Turner, 2004; Zenitani et al., 2009; Sassa et al., 2021). 하지만, 연안 어장에서의 소형 부어류들의 가입량을 결정하는 성장과 생존은 먹이생물로 이용되는 동물플랑크톤 분류군들의 시·공간적 분포와 군집 특성에 따라 크게 영향을 받게 되

는데(Basilone et al., 2006; Yasue et al., 2010), 본 연구에서는 *P. parvus* s. l.과 *O. similis*의 시·공간적 분포는 멸치와 부어류들이 산란하고 성육하는 해역(Kim et al., 2005; Ko et al., 2010; Yoo et al., 2017)을 중심으로 분포하고 있어 향후 멸치를 포함한 소형 부어류들의 가입 메커니즘을 구명하는데 있어 중요한 생물학적 정보로 활용될 수 있을 것으로 사료된다.

전 세계의 다양한 해양환경에 분포하고, 박테리아부터 규조류, 요각류 알과 어류 알까지 다양한 먹이생물을 이용하는(Na-

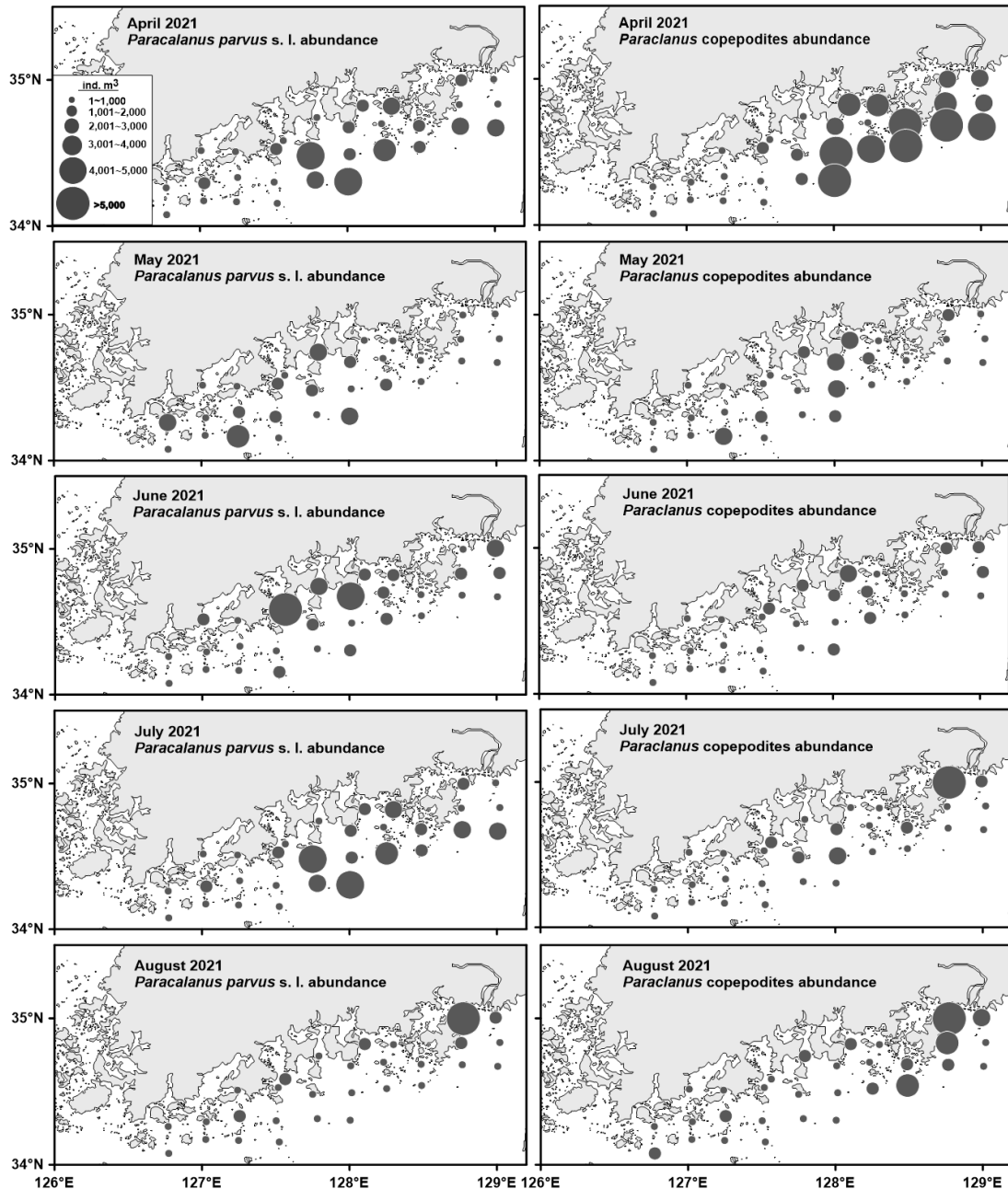


Fig. 9. Spatial and temporal distribution of *Paracalanus parvus* s. l. and *P. copepodites* in the southern coast of Korea.

kamura, 1998; Nikishina et al., 2011), 광온광염성인 야광충은 조사기간 중 7월을 제외한 4-6월과 8월에 남해 동부해역에서 출현개체수가 높았으며, B그룹(6월)만 군집 기여도가 높았지만, 같은 그룹내 요각류의 출현개체수도 높게 나타났다. 하지만, 야광충의 증가에 기여한 요인을 파악한 결과에서는 연관성이 없는 것으로 확인되었다. 이는 우리나라에서 출현하는 야광충은 수온과 염분에 대한 내성 범위가 넓기 때문이며(Yoo et al., 2006; Baek et al., 2013), 식물플랑크톤 현존량이 이들의

개체군 발생에 영향을 준다는 기존의 사례(Moon et al., 2006, 2010; Yoo et al., 2006; Baek et al., 2013), 포식률은 시간적인 차이가 발생할 수 있고(Miyaguchi et al., 2006; Piontkovski et al., 2021), 식물플랑크톤 크기별 현존량의 영향(Harrison et al., 2011; Zhang et al., 2017) 등과 같은 다양한 해양환경 요인 변화에 따라 시·공간적 분포 양상이 달라질 수 있게 때문에 향후 남해안을 대상으로 다양한 환경인자들과의 해석이 요구된다. 봄과 여름철에 출현하는 동물플랑크톤 주요 분류군들의 시·공

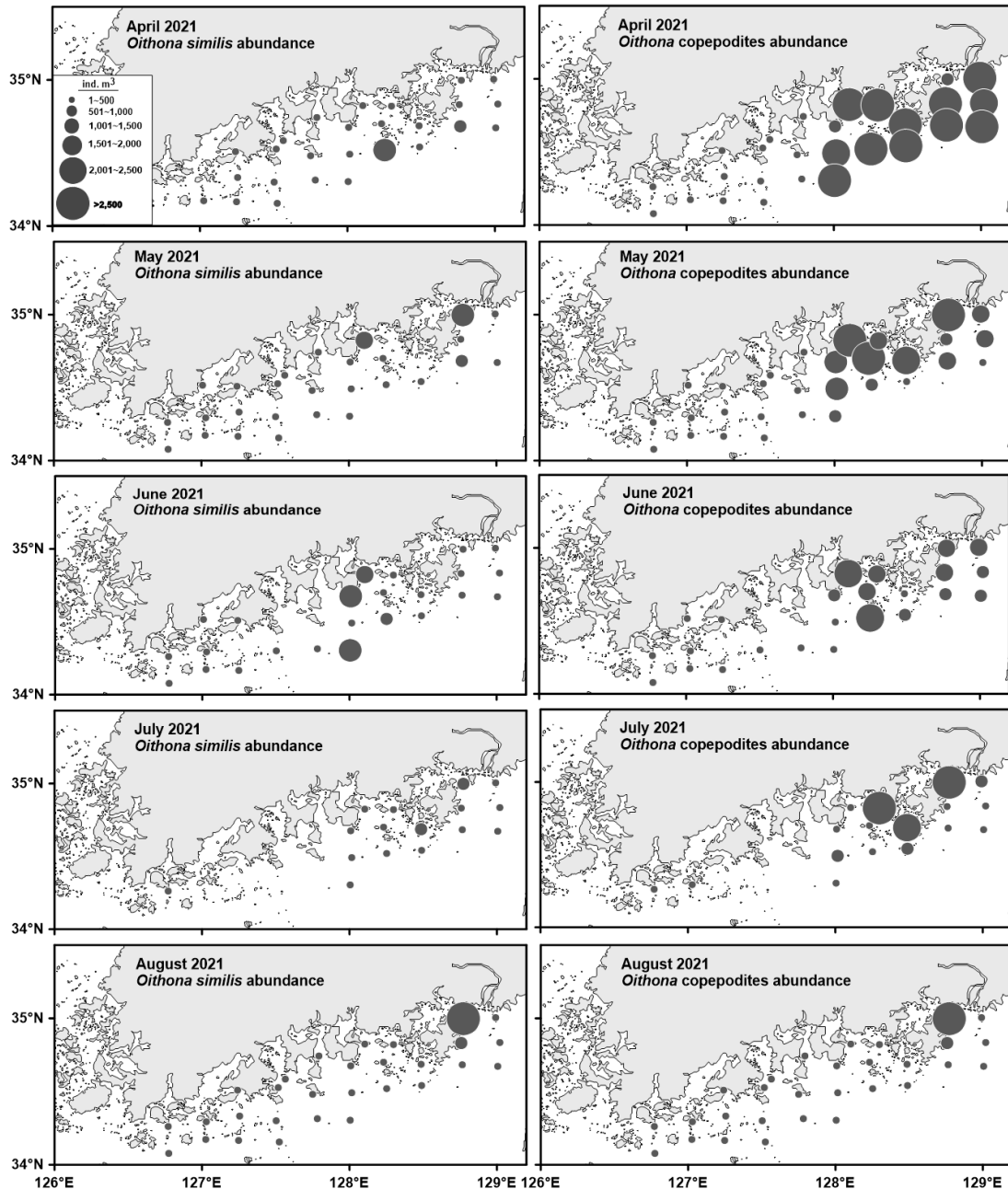


Fig. 10. Spatial and temporal distribution of *Oithona similis* and *O. copepodites* in the southern coast of Korea.

간적 분포와 군집에 영향을 미치는 환경요인들 중 염분은 *A. omorii*, *D. affinis*, *C. sinicus*. *O. similis*와 양의 상관성을 보였다. 염분은 동물플랑크톤 군집에 영향을 주는 주요 환경인자로 (Zhang et al., 2009; Moon et al., 2020), 본 연구에서는 봄철인 4월에 거제 동부해역에서 대마난류의 세력확장으로 인한 고염분을 형성했지만, 5월 이후에는 감소하기 시작하여 여름철에는 남해 전 연안에서 28–32 psu 범위의 염분 분포가 관찰되어 이들의 시·공간적인 분포에 염분이 영향을 주는 것으로 판단된다

(Kang et al., 2007; Kang, 2011; Moon et al., 2020). 봄과 여름철의 남해안 동물플랑크톤 군집에 큰 영향을 주었던 *P. parvus* s. l.는 우리나라 전 해역에서 출현하고(Moon et al., 2010; Kim et al., 2017), 중국 발해만서는 여름철에 높은 밀도로 출현하는 것으로 알려져 있는데(Sun et al., 2008), 본 연구에서도 선행 연구들과 유사한 양상이었다. 동물플랑크톤 전체 생물량의 약 70%를 차지하는 요각류들의 개체군 유지를 위해서는 먹이 생물의 양(quantity)과 질(quality)이 중요하게 작용하는 것으로

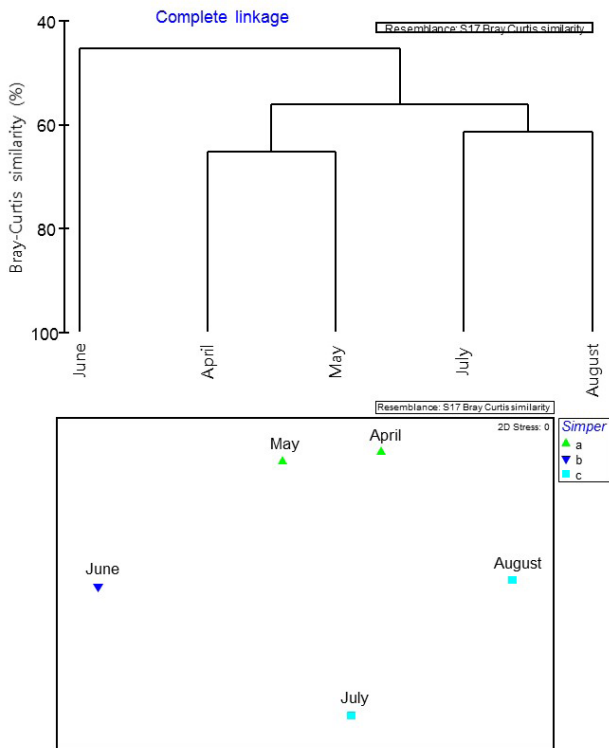


Fig. 11. Non-metric multidimensional scaling (nMDS) ordinations plot of sampling stations based on zooplankton abundance in the southern coast of Korea.

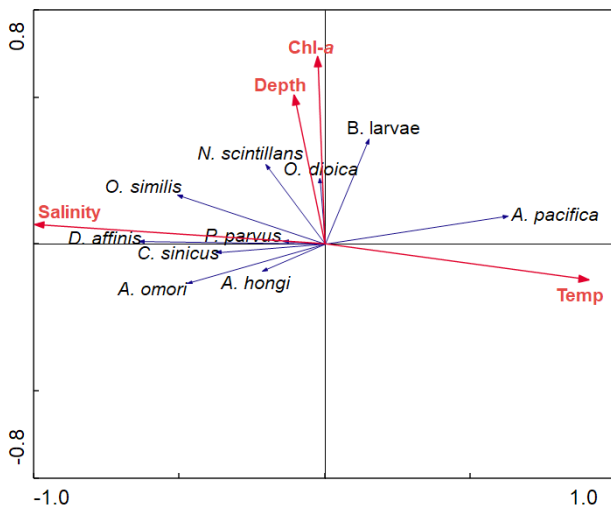


Fig. 12. RDA biplot for environmental factors (red arrows) and dominant zooplankton (black arrows). Labels are: Temp, Temperature; Depth, Water depth; Chl-a, Chlorophyll-a; *N. scintillans*, *Noctiluca scintillans*; *A. omorii*, *Acartia omorii*; *A. hongii*, *Acartia hongii*; *A. pacifica*, *Acartia pacifica*; *C. sinicus*, *Calanus sinicus*; *D. affinis*, *Ditrichocorycaeus affinis*; *P. parvus*, *Paracalanus parvus* s. l.; *O. dioica*, *Oikopleura dioica*; B. larvae, Bivalve larvae.

알려져 있지만(Vargas et al., 2010; Bi and Sommer, 2020), 봄과 여름철 남해안의 동물플랑크톤 시·공간분포와 군집에 기여하는 주요 분류군들과 chl.-a와 상관성을 보이지 않았는데 남해안은 연안수와 외해 난류의 영향으로 봄철과 여름철에 기초생산력이 높아(Yang and Kim, 1990; Baek et al., 2010), 이 시기에 출현하는 동물플랑크톤의 시·공간적 분포에 chl.-a 농도가 제한요인으로 작용하지 않았음을 의미한다.

본 연구를 통해 소형 부어류들의 가입과 산란·성숙장으로 중요한 역할을 담당하는 남해안 동물플랑크톤의 시·공간적 분포와 군집을 파악한 결과, 소형 부어류들의 주요 먹이생물인 연안성 요각류들의 개체군 발생과 유지에 의해 생체량이 조절되며, 멸치가 남해 연안으로 산란가입하기 시작하는 시기인 4월에 동물플랑크톤 현존량이 가장 높은 특징을 보였다. 이는 봄철 남해안에서 산란 후 부화된 자·치어들이 성장할 수 있는 적정 먹이생물이 높은 수준으로 유지되는 시기와 일치하고 있다(Kang and Jeon, 1999; Moon et al., 2010; Oh et al., 2013). 또한, 봄과 여름철의 해역에 따른 수온과 염분의 시·공간적 분포양상과 여름철부터 대마난류의 영향을 받기 시작하여 남해 고유 연안수와 혼합하게 되면서 연안성과 외양성 난류종들이 혼재하여 출현함에 따라 동물플랑크톤 군집이 변화하는 것을 확인하였다. 하지만, 이를 명확히 하기 위해서는 남해안에 출현하는 동물플랑크톤을 대상으로 조사기간을 늘리고 수층별 채집, 크기별 생체량 분석과 함께 이들의 시·공간분포와 군집에 영향을 주는 다양한 환경인자에 대한 조사와 분석이 요구된다.

사 사

이 연구는 2022년 국립수산물학원(수산물과학연구사업 R2022 037)에 의해 수행되었습니다.

References

- Bae SW and Kim DS. 2012. Understanding the flow properties by a numerical modeling in the south sea of Korea. J Korean Soc Mar Environ Saf 18, 295-307. <https://doi.org/10.7837/kosomes.2012.18.4.295>.
- Baek SH, Shin K, Hyun B, Jang PG, Kim HS and Hwang OM. 2010. Distribution characteristics and community structure of phytoplankton in the different water mass during early summer of southern sea of Korea. Ocean Polar Res 32, 1-13. <https://doi.org/10.4217/OPR.2010.32.1.001>.
- Baek SH, Kim DS, Choi HW and Kim OY. 2013. Hydrographical and bio-ecological characteristics of heterotrophic red tide dinoflagellate *Noctiluca scintillans* in semi-enclosed Gwangyang Bay, Korea. Korean J Environ Biol 31, 308-321. <https://doi.org/10.11626/KJEB.2013.31.4.308>.
- Basilone G, Guisande C, Partti B, Mazzola S, Cuttitta A, Bonanno A, Vergara AR and Maneiro I. 2006. Effect of habitat conditions on reproduction of the European anchovy (*Engraulis*

- encrasicolus*) in the Strait of Sicily. Fish Oceanogr 15, 271-280. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2419.2005.00391.x>.
- Beaugrand G, Reid PC, Ibañez F, Lindley JA and Edwards M. 2003. Reorganization of North Atlantic marine copepod biodiversity and climate. Science 296, 1692-1694. <https://doi.org/10.1126/science.1071329>.
- Bedford J, Johns D, Greenstreet S and McQuatters-Gollop A. 2018. Plankton as prevailing conditions: A surveillance role for plankton indicators within the Marine Strategy Framework Directive. Mar Policy 89, 109-115. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2017.12.021>.
- Bi R and Sommer U. 2020. Food quantity and quality interactions at phytoplankton-zooplankton interface: chemical and reproductive responses in a calanoid copepods. Fornt Mar Sci 7, 274. <https://doi.org/10.3389/fmars.2020.00274>.
- Boxshall GA and Halsey SH. 2004. An introduction to copepod diversity. The Ray Society, London, U.K., 966
- Chihara M and Murano M. 1997. An illustrated guide to marine plankton in Japan. Tokai University Press, Tokyo, Japan, 1574.
- Choo HS. 2002. The variations of oceanic conditions and the distributions of eggs and larvae of anchovy in the southern sea of Korea in summer. J Korean Fish Soc 35, 77-85. <https://doi.org/10.5657/kfas.2002.35.1.077>.
- Clarke KR and Gorley RN. 2014. Change in marine communities: An approach to statistical analysis and interpretation, 3rd ed. Primer-E Ltd., Plymouth, U.K.
- Dvoretzky V and Dvoretzky AG. 2014. The biodiversity of zooplankton communities of the west arctic seas. Russ J Mar Biol 40, 95-99. <https://doi.org/10.1134/S1063074014020035>.
- Han DH, Hong SY and Ma CW. 1995. Distribution of zooplankton in Deukryang Bay, Korea. J Korean Fish Soc 28, 517-532.
- Harrison PJ, Furuya K, Glibert PM, Xu J, Liu HB, Yin K, Lee JHW, Anderson DM, Gowen R, Al-Azri AR and Ho AYT. 2011. Geographical distribution of red and green *Noctiluca scintillans*. Chin J Oceanol Limnol 29, 807-831. <https://doi.org/10.1007/s00343-011-0510-z>.
- Hover BA, García-Reyes M, Batten SD, Gentemann CL and Sydeman WJ. 2021. Spatio-temporal persistence of zooplankton communities in the Gulf of Alaska. Plos One 16, e0244960. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0244960>.
- Huntly M and Boyd C. 1984. Food limited growth of marine zooplankton. Am Mat 124, 455-478.
- Jeong HG, Suh HL, Lee W and Soh HY. 2014. Seasonal variation of the neustonic zooplankton community in southern waters of Korea. Ocean Sci J 49, 167-181. <https://doi.org/10.1007/s12601-014-0017-6>.
- Kang JH. 2011. The occurrence of *Acartia* species and their environmental characteristics at three ports in Korea. <https://doi.org/10.1007/s12601-011-0018-7>.
- Kang JH and Kim M. 2020. Distributional characteristics of mesozooplankton community in Nakdong river estuary. J Korea Acad Ind Cooper Soc 21, 1-11. <https://doi.org/10.5762/KAIS.2020.21.7.1>.
- Kang JH, Kim WS, Jeong HJ, Shin K and Chang M. 2007. Why did the copepod *Calanus sinicus* increase during the 1990s in the Yellow Sea?. Mar Environ Res 63, 82-90. <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2006.05.005>.
- Kang YS and Hong SY. 1995. Occurrences of oceanic warm-water calanoid copepods and their relationship to hydrographic conditions in Korean waters. Bull Plankt Soc Japan 42, 29-41.
- Kang YS and Jeon KA. 1999. Biological and chemical characteristics and trophodynamics in the frontal zone in the southern waters of Korea. J Korean Fish Soc 32, 22-29.
- Kang YS, Park JS, Lee SS, Kim HG and Lee PY. 1996. Zooplankton community and distributions of copepods in relation to eutrophic evaluation in Chinhae Bay. J Korean Fish Soc 29, 415-430.
- Kim GR, Kang HK and Myeong JG. 2017. Seasonal and interannual variation in mesozooplankton community structure off Tongyeong, southeastern coast of Korea, from 2011 to 2014. Ocean Sci J 52, 113-125. <https://doi.org/10.1007/s12601-017-0005-8>.
- Kim HY, Song SH, Lee SK, Kim JB, Yoo JT and Chang DS. 2013a. Dominant causes on the catch fluctuation of a set net fishery in the mid-south sea of Korea. J Korean Soc Fish Ocean Technol 49, 250-260. <https://doi.org/10.3796/KSFT.2012.49.3.250>.
- Kim HY, Lim YN, Song SH and Kim YH. 2016. Understanding the migration path of Spanish mackerel *Scomberomorus niphonius* using catch distributions. Korean J Fish Aquat Sci 49, 376-384. <https://doi.org/10.5657/KFAS.2016.0376>.
- Kim JI, Kim JY, Choi YK, Oh HJ and Chu EK. 2005. Distribution of the anchovy eggs associated with coastal frontal structure in southern coastal waters of Korea. Korean J Ichthyol 17, 205-216.
- Kim MJ, Youn SH, Kim JY and Oh CW. 2013b. Feeding characteristics of the Japanese anchovy, *Engraulis japonicus* according to the distribution of zooplankton in the coastal waters of Southern Korea. Korean J Environ Biol 31, 275-287. <https://doi.org/10.11626/KJEB.2013.31.4.275>.
- Ko JC, Seo YI, Kim HY, Lee SK, Cha HK and Kim JI. 2010. Distribution characteristics of eggs and larvae of the anchovy *Engraulis japonica* in the Yeosu and Tongyeong coastal waters of Korea. Korean J Ichthyol 22, 256-266.
- Lee DJ, Kim JK and Shin HH. 1998. Investigations of the potential fisheries resources in the southern waters of Korea: Biological composition of demersal trawl catches. Bull Korean Soc Fish 34, 241-258.
- Lim DI, Um IK, Jeon SK, Yoo JM and Jung HS. 2003. Physiochemical characteristics of coastal pseudo-estuarine environmental formed during the summer flood season in the

- south coast of Korea. J Korean Soc Oceanogr The Sea 8, 151-163.
- Lobry J, David V, Pasquaud S, Lepage M, Sautour B and Rochard E. 2008. Diversity and stability of an estuarine trophic network. Mar Ecol Prog Ser 358, 13-25. <https://doi.org/10.3354/meps07294>.
- Mitani I. 1988. Food habits of Japanese anchovy in the Shirasu fishing ground within Sagami Bay. Nippon Sui Gak 54, 1859-1865. <https://doi.org/10.2331/suisan.54.1859>.
- Miyaguchi H, Fujiki T, Kikuchi T, Kuwahara VS and Toda T. 2006. Relationship between the bloom of *Noctiluca scintillans* and environmental factors in the coastal waters of Sagami Bay, Japan. J Plank Res 28, 313-324. <https://doi.org/10.1093/plankt/fbi127>.
- McLaren IA, Tremblay MJ, Corkett CJ and Roff JC. 1989. Copepod production on the Scotian Shelf based on life history analysis and laboratory rearings. Can J Fish Aqua Sci 46, 460-583. <https://doi.org/10.1139/f89-074>.
- Moon SY, Kim HY and Oh HJ. 2020. Seasonal variation of the zooplankton community of Gamak Bay, Korea. Korean J Environ Biol 38, 231-247. <https://doi.org/10.11626/KJEB.2020.38.2.231>.
- 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>.
- Moon SY, Yoon HS, Soh HY and Choi SD. 2006. Environmental factors and variation characteristics of zooplankton communities in Gamak Bay. Ocean Polar Res 28, 79-94. <https://doi.org/10.4217/OPR.2006.28.2.079>.
- Nakamura Y. 1998. Biomass, feeding and production of *Noctiluca scintillans* in the in the Seto Inland Sea, Japan. J Plank Res 20, 2213-2222. <https://doi.org/10.1093/plankt/20.11.2213>.
- Nikishina AB, Drits AV, Vasilyeva YV, Timonin AG, Solovyev KA, Ratkova TN and Sergeeva VM. 2011. Role of the *Noctiluca scintillans* population in the trophic dynamics of the Black Sea plankton over the spring period. Oceanology 51, 1029-1039. <https://doi.org/10.1134/S0001437011060129>.
- Oh HJ, Moon SY and Soh HY. 2013. Seasonal changes of zooplankton communities along the coast of Geumo archipelago, Yeosu. Korean J Environ Biol 31, 192-203. <https://doi.org/10.11626/KJEB.2013.31.3.192>.
- Park JS. 1973. Zooplankton abundance in Korean waters. J Oceanogr Soc Kor 8, 33-45.
- Parsons TR, Y Maita and GM Lalli. 1984. A manual of chemical and biological methods for seawater analysis. Pergamon Press, Oxford, U.K., 173.
- Piontkovski SA, Serikova IM, Evstigneev VP, Prusove IY, Zagorodnaya YA, Al-Hashmi KA and Al-Abri NM. 2021. Seasonal blooms of the dinoflagellate algae *Noctiluca scintillans*: Regional and global scale aspects. Reg Stud Mar Sci 44, 101771. <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2021.101771>.
- Reid PC, Battle EJV, Batten SD and Brander KM. 2000. Impacts of fisheries on plankton community structure. ICES J Mar Sci 57, 495-502. <https://doi.org/10.1006/jmsc.2000.0740>.
- Sassa C, Kitajima S and Takahashi M. 2021. Interannual variations in diet of Japanese jack mackerel (*Trachurus japonicus*) juveniles in the southwestern Sea of Japan in relation to recent growth rate. Fish Oceanogr 30, 772-786. <https://doi.org/10.1111/fog.12558>.
- Shannon CE and Weaver W. 1963. The mathematical theory of communication. University of Illinois Press, Urbana, IL, U.S.A., 360.
- Sun XH, Sun S, Li CL and Zhang GT. 2008. Seasonal and spatial variation in abundance and egg production of *Paracalanus parvus* (Copepoda: Calanoida) in/out Jiaozhou Bay, China Estuar Coast Shelf Sci 79, 637-643. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2008.06.004>.
- Thomas K and Nielsen TG. 1994. Regulation of zooplankton biomass and production in a temperate, coastal ecosystem. 1. Copepods. Limnol Oceanog 39, 493-507. <https://doi.org/10.4319/lo.1994.39.3.0493>.
- Turner JT. 2004. The importance of small planktonic copepods and their roles in pelagic marine food webs. Zool Stud 43, 255-266.
- Yang HS and Kim SS. 1990. A study on sea water and ocean current in the sea adjacent to Korea peninsula, 1. Physical processes influencing the surface distributions of chlorophyll and nutrient in the southern sea of Korea in summer. Bull Korea Fish Soc 23, 417-424.
- Yasue N, Doiuchi R, Yoshimoto and Takaueuchi T. 2010. Diet of late larval Japanese anchovy *Engraulis japonicus* in the Kii Channel, Japan. Fish Sci 76, 63-73. <https://doi.org/10.1007/s12562-009-0181-2>.
- Yoo JK, Yoon SH and Choi JK. 2006. Temporal fluctuation and ecological characteristics of *Noctiluca scintillans* (Dinophyceae) in the coastal waters of Incheon, Korea. Korean J Environ Biol 24, 372-379.
- Yoo JT, Kim YH, Lee SH and Kim JK. 2017. Community structure of larval fish assemblage in the coastal waters of south-central Korea during spring and summer. Korean J Ichthyol 29, 80-86.
- Vargas CA, Martínez RA, Escibano R and Lagos NA. 2010. Seasonal relative influence of food quantity, quality, and feeding behavior on zooplankton growth regulation in coastal food webs. J Mar Biol Assoc U K 90, 1189-1201. <https://doi.org/10.1017/S0025315409990804>.
- Wiafe G, Yaqub HB, Mensah MA and Frid CLJ. 2008. Impact of climate change on long-term zooplankton biomass in the upwelling region of the Gulf of Guinea. ICES J Mar Sci 65, 318-324. <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsn042>.
- WoRMS (World Register of Marine Species). 2022. Copepoda. Retrieved from <http://www.marinespecies.org/aphia.php?p=taxdetails&id=1080> on Jan 29, 2022.

- Zakaria HY. 2015. Lessepsian migration of zooplankton through Suez Canal and its impact on ecological system. Etyptian J Aquat Res 41, 129-144. <https://doi.org/10.1016/j.ejar.2015.04.001>.
- Zenitani H, Kono N, Tsukamoto Y and Masuda R. 2009. Effects of temperature, food availability, and body size on daily growth rate of Japanese anchovy *Engraulis japonicus* larvae in Hiuchi-nada. Fish Sci 75, 1177-1188. <https://doi.org/10.1007/s12562-009-0147-4>.
- Zhang S, Harrison PJ, Song S, Chen M, Kung HS, Lau WK, Guo C, Wu CJ, Xu J and Liu. 2017. Population dynamics of *Noctiluca scintillans* during a bloom in a semi-enclosed bay in Hong Kong. Mar Poll Bull 121, 238-248. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.06.025>.
- Zhang WC, Tang DL, Yang B, Gao SW, Sun J, Tao ZC, Sun S and Ning XR. 2009. Onshore-offshore variations of copepod community in northern South China Sea. Hydrobiologia 636, 257-269. <https://doi.org/10.1007/s10750-009-9955-x>.