ISSN 1226-9999 (print)
ISSN 2287-7851 (online)

Korean J. Environ. Biol. 36(4) : 525~537 (2018) https://doi.org/10.11626/KJEB.2018.36.4.525

〈Original article〉

한국 연안에 출현하는 부유성 요각류의 종다양성과 주요 종의 분포특성

서민호 · 최서열[1] · 박은옥[2] · 정달상[3] · 서호영[1,*]

바다생태연구소㈜, [1]전남대학교 해양기술학부, [2]광주전남연구원, [3]국립한국농수산대학 수산양식학과

Species Diversity of Planktonic Copepods and Distribution Characteristics of Its Major Species in Coastal Waters of Korea

Min Ho Seo, Seo Yeol Choi[1], Eun-Ok Park[2], Dalsang Jeong[3] and Ho Young Soh[1,*]

Marine Ecology Research Center, Yeosu 59697, Republic of Korea
[1]*Faculty of Marine Technology, Chonnam National University, Yeosu 59626, Republic of Korea*
[2]*Gwangju Jeonnam Research Institute, Naju 58217, Republic of Korea*
[3]*Department of Aquaculture, Korea National College of Agriculture and Fisheries, Jeonju 54874, Republic of Korea*

Abstract - The Korean coast is divided into the West Korea Coastal zone (WKC), the South Coastal zone of Korea (SCK), the East Korea Coastal zone (EKC), and Jeju Coastal zone of Korea (JCK). Each coastal zone has different marine environment characteristics. This study analyzed zooplankton data of KOEM (Korea Environment Management Corporation) collected in the Korean coastal waters the spring and summer of 2015 and 2016. In spring, water temperature was lowest in the JCK, and gradually increased in the order of EKC, SCK, and WKC, while in summer lowest in WKC and increased in the order of EKC, SCK, and JCK. Salinity was lowest in WKC which had many rivers flowing inland, and increased in the order of SCK, EKC and JCK in spring. In summer it was lowest in JCK and increased toward WKC, SCK, and EKC. In summer, Chlorophyll-*a* concentrations were generally low, but was lowest in JCK in spring. In the study area, a total of 77 species occurred, of which 50 species did in spring and 65 species in summer. The number of species was lowest in JCK and highest in SCK in spring and summer, respectively. *Paracalanus parvus* s. l. was the most dominant species or the second dominant species in Korean coastal areas in spring, but it was predominant in summer. In addition, in spring *Acartia hongi, Calanus sinicus, Oithona similis* were predominant in WKC, *Oithona similis* and *Corycaeus affinis* in SCK, *O. similis* and *Corycaeus* sp. in EKC, *C. affinis* and *O. setigera* in JCK. In summer *Corycaeus* spp., *O. similis, A. hongi, Tortanus forcipatus* were predominant in WKC, *C. affinis, Pseudodiaptomus marinus* in SCK, *O. similis, A. omorii, Corycaeus* sp. in EKC, and *A. steueri, A. pacifica, Oithona* sp., *C. sinicus* in JCK. The copepod community in the Korean coastal areas were classified into four areas, WKC-western SCK, eastern SCK, EKC and JCK according to differences in environmental factors such as water temperature, salinity, Chl-*a* concentration, and suspended matter concentration of each coastal area.

Keywords : copepods, major species, distribution patterns, environmental factors, Korea coast

* Corresponding author: Ho Young Soh, Tel. 061-659-7147,
Fax. 061-659-7149, E-mail. hysoh@chonnam.ac.kr

ⓒ2018. Korean Society of Environmental Biology.

서 론

해양생태계를 구성하는 다양한 생물 분류군들 중 요각류는 전체 동물플랑크톤 생물량의 70%를 차지하며, 일차생산자인 식물플랑크톤에 의해 생성된 유기물을 상위단계 소비자들에게 전달하는 분류 군으로 일차소비자인 동시에 이차생산자의 역할을 담당한다(Richardson and Shoem an 2004). 또한 요각류는 운동 능력이 제한되어 그들의 군집구조와 분포 양상은 해양의 물리·화학적 조건에 따라 다르며, 분포의 양적 변동은 먹이사슬 내에서 보다 높은 영양단계 생물의 분포와 생산을 조절하는 요인이 된다(McKinnon *et al*. 2005, 2008). 또한 비교적 짧은 생활사를 가지고 있어 환경 변화에 매우 민감하게 반응하므로 연안 환경의 지표생물로 이용될 수 있다. 따라서 부유성 요각류의 분포 변화 양상은 해양생태계 변화를 파악하고 규명하는 주요 자료가 될 수 있다(Gismervik 2006).

한국 연안은 각기 다른 해양환경 특성을 나타내는 서해, 남해, 동해로 구분할 수 있다. 서해연안은 조석의 영향이 크고, 바다와 연결된 강들이 많이 위치해 있으며, 한국과 중국에서 유입되는 부영양화된 연안수 및 담수의 영향에 노출되어 있다(Lim *et al*. 2009; Seo *et al*. 2013). 또한 황해저층냉수와 한국연안수의 영향을 받는다(Kondo 1985; Lie and Cho 2016). 남해연안은 작은 만과 수많은 섬으로 구성된 전형적인 리아스식 해안지형이 잘 발달되어 있으며, 수심이 얕고 해수유동이 적으며, 계절에 따라 제주난류, 쓰시마난류와 남해 고유 연안수가 만나 전선역을 형성한다(Lie and Cho 2002, 2016). 동해연안은 서해, 남해연안과 대조적으로 조석의 영향이 적으나, 대한해협을 통해 유입되는 고온·고염의 쓰시마난류로부터 갈라진 동한난류와 동해 북부에서 유입되는 저온·저염의 북한한류의 영향을 받고 있다(Lee *et al*. 2017; Shin *et al*. 2017). 한편 남해에 속하는 제주는 쿠로시오에서 분기된 쓰시마난류와 제주난류, 그리고 여름에 남쪽으로 확장하는 황해저층냉수와 장강희석수 등이 계절별로 영향을 미친다(Ko *et al*. 2003; Lie and Cho 2016). 이러한 다양한 해류의 영향을 받는 한국해역은 해양동물플랑크톤 특히 부유성 요각류의 다양성이 매우 높게 나타난다.

Kim *et al*.(1993)은 한국 남해에서 부유성 요각류 179종이 출현함을 보고하였고, Kang and Hong (1995)은 한국 해역에서 난류성 요각류 44종의 출현을 확인하였다. 한편 2017년에 발행된 국가 해양수산생물종 목록집에 한국에 출현하는 부유성 요각류 232여종이 수록되었다(MABIK 2017). 그러나 이와는 대조적으로 요각류를 포함한 동물플랑크톤 군집 특성 연구는 한국 서해(Hwang and Choi 1993; Lim *et al*. 2009)와 동해(Hue 1967; Shim and Lee 1986; Park and Choi 1997)를 대상으로 부분적으로 이루어져 왔으며, 한국 전 연안해역을 대상으로 한 연구는 조사보고서를 제외하고는 거의 이루어지지 않았다. 따라서 본 연구는 봄과 여름에 한국 연안해역에서 출현하는 부유성 요각류의 종조성과 군집구조를 각 해역 별로 파악하고, 각 해역에서 동물플랑크톤 군집의 변화에 영향을 미친 환경요인을 파악하고자 하였다.

재료 및 방법

동물플랑크톤 조사를 2015년에 서해와 전남 고흥반도를 기준으로 남해 서쪽까지, 2016년에는 동해, 남해 동쪽, 제주 연안에서 총 120개 정점을 대상으로 봄(5월)과 여름(8월)에 실시하였다(Fig. 1). 동물플랑크톤은 원추형 네트(망목 220 μm, 망구 60 cm)를 사용하여 1 m s^{-1}의 속도로 해저 1 m 위부터 표층까지 2회 수직 채집하였다. 동물플랑크톤 출현 개체수는 네트 망구에 유속계(Model 4.8115, Hydro-Bios co.,

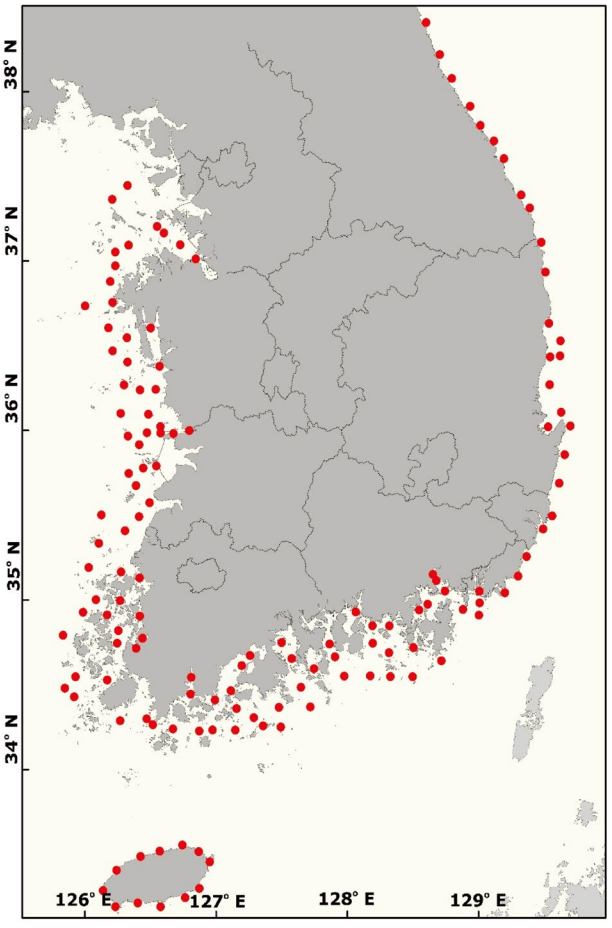

Fig. 1. Sampling stations in the study area.

Germany)를 부착하여 여과 해수량을 평가한 후, 단위 체적당 개체수(ind. m^{-3})로 환산하였다. 채집된 시료는 선상에서 중성포르말린을 사용하여 시료의 최종농도가 5~10%가 되도록 고정하였다. 동물플랑크톤 종 조성 및 출현 개체수 파악을 위해 시료의 분할이 필요한 경우 Folsom식 분할기를 사용하여 적정량을 분할한 후, UNSECO식 계수판에 옮긴 후 계수하였다. 본 연구에서는 동물플랑크톤 여러 분류군 중 가장 많은 출현 개체수를 차지하고 있는 요각류를 대상으로 분석하였다. 요각류 종 동정은 주로 해부현미경(SMX1000, Nikon, Japan)을 사용하여 실시하였으며, 요각류 종 동정을 위해 보다 세밀한 관찰이 필요할 때는 종 동정에 필요한 부속지를 해부하여 고배율 광학현미경(ECLIPSE 80i, Nikon, Japan)으로 자세히 관찰하였다. 또한 요각류 종 분포에 영향을 미치는 환경 요인을 추론하기 위해 수온과 염분, Chlorophyll-*a* (Chl-*a*)를 측정하였다. 수온과 염분은 CTD (SBE 911, Sea-Bird, US)를 사용하여 측정하였다. 요각류 먹이의 척도인 Chl-*a* 농도는 Parsons *et al*. (1984)에 따라 해수를 500 mL 채수한 후, Whatman GF/F로 여과하였으며, 여과된 필터들은 Chl-*a* 농도 추출용액인 아세톤 90% 10 mL가 담긴 차광시험관에 넣고 12시간이 지난 후 24시간 내로 Flurometer (10-AU, Turner Designs, US)를 사용하여 측정하였다. 요각류 종 동정은 Chihara and Murano (1997), Soh and Suh (2000), Ueda and Bucklin (2006) 등을 참고하였으며, 분류체계는 Boxshall and Halsey (2004)를 따랐다.

해역별 요각류의 군집 특성을 파악하기 위해서 출현 빈도가 전체 상위 1% 이상 출현한 분류군을 선택 후, 다변량 분석법인 분류법(classification)과 배열법(ordination)을 이용하여 군집분석을 실시하였다. 군집분석에 대한 분류군의 출현 개체수 자료는 조사 해역과 종 사이의 개체군 밀도차이에 의한 자료의 편중을 피하고, 대상 자료의 분포를 정규화하기 위하여 로그[log (x+1)] 지수로 변환한 자료를 이용하였다. 요각류 군집의 정점간 유사도 측정을 위해 Bray-Curtis 유사도 지수(Shannon and Wiever 1963)를 토대로 비가중 산술평균(UPGMA)에 의하여 군집화하는 계보적 집괴분석(hierarchical cluster analysis)을 시행하여 nMDS (non-metric multidimensional scaling) 배열법으로 군집분석을 수행하였다. 군집분석의 결과로 구분된 각 군집에 영향을 미치는 주요종을 파악하기 위해 SIMPER (similarity-percentages procedure) 분석을 수행하였으며(Clarke and Warwick 2001), 요각류와 환경요인 사이에 상호 관계를 파악하기 위하여 각 해역에 우점 출현한 요각류를 대상으로 정준상관분석(Canonical correspondence analysis; CCA)을 CANOCO ver. 4.5 software를 이용하여 분석하였다(ter Braak and Verdonschot 1995).

결 과

1. 연구해역의 기초환경

서해연안해역의 봄 수온의 수평분포는 12.1~23.2°C (평균 17.5°C) 범위로 정점 사이 최대 11.1°C 차이를 보였다(Fig. 2A). 영산강과 금강 하구를 중심으로 비교적 높은 수온 분포를, 태안반도와 진도 북서쪽에서 낮은 수온 분포를 보였다. 남해와 동해 연안해역은 각각 14.9~22.8°C (평균 17.2°C) 범위와 12.9~19.3°C (평균 16.5°C) 범위로 정점 사이에는 7°C 이하의 차이를 보인 반면, 제주연안해역에서는 15.6~16.1°C

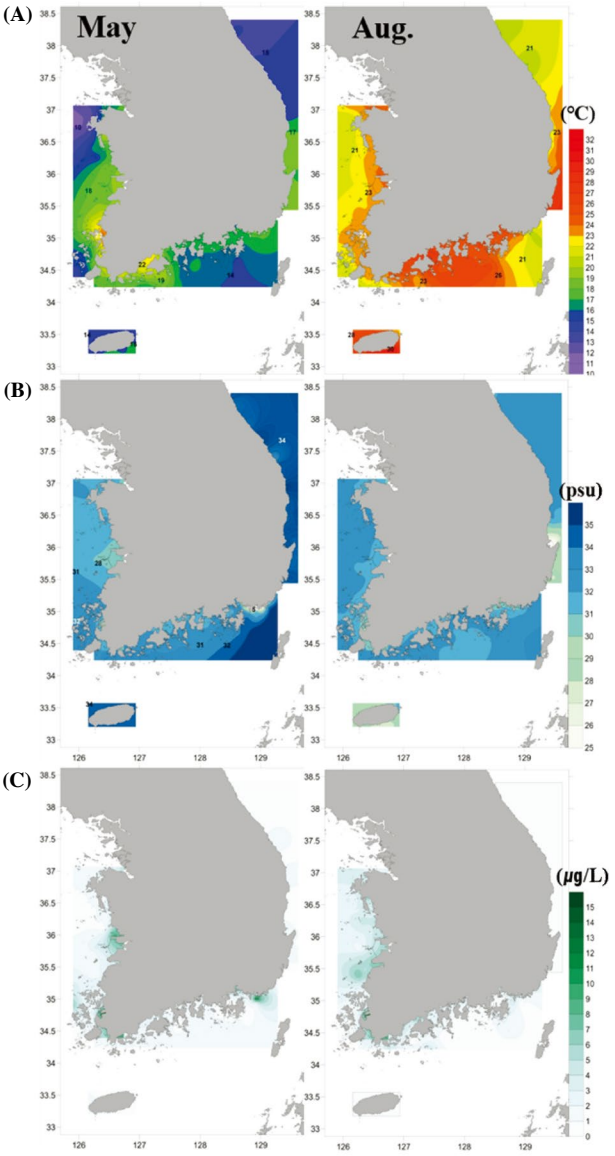

Fig. 2. Distribution of (A) temperature, (B) salinity, (C) Chl-*a* concentration in the surface layer of the study area.

(평균 15.8°C) 범위로 정점 사이 차이가 미미하였다. 여름 제주연안해역의 수평분포는 23.1~30.3°C (평균 27.2°C) 범위로 정점 사이 최대 7.2°C 차이를 보였다. 서해연안해역에서 20.8~24.7°C (평균 23.0°C) 범위로 3.9°C로 나타났다. 동해연안해역과 남해연안해역은 각각 19.9~29.4°C (평균 23.6°C) 범위와, 20.3~28.3°C (평균 24.9°C) 범위로 정점 사이에는 8°C 이상의 차이를 보였다.

봄 염분(psu)의 수평분포는 담수의 유입량이 많은 서해연안해역에서 28.9~33.2 (평균 30.6)의 범위로 정점 사이 최대 4.3 차이를 보였으며, 남해연안해역은 5.4~33.8 (평균 32.1) 범위로 낙동강 하구 정점과 다른 정점 사이에는 최대 28 이상의 차이를 보였다 (Fig. 2B). 그러나 제주연안해역과 동해연안해역은 각각 34.3~34.4 (평균 34.4)와 33.1~34.8 (평균 34.2) 범위로 정점 사이의 차이는 미미하였다. 서해연안해역은 금강하구 정점에서, 남해연안해역은 낙동강 하구 정점에서 상대적으로 낮은 염분 농도를 보였다. 여름에는 제주연안해역과 동해연안해역에서 각각 27.9~31.1 (평균 29.2)와 29.6~32.4 (평균 31.8) 범위로 봄에 비해 낮은 염분을 보였으며, 정점 사이 차이도 4 이하로 적었다. 서해연안해역은 29.6~32.4 (평균 31.8)로 봄과 거의 차이를 보이지 않았다. 남해연안해역 또한 낙동강 하구 정점을 제외하고는 29.0~33.1 (평균 32.0)의 범위로 봄과 거의 유사하였다.

봄 Chl-*a* 농도는 제주연안해역과 동해연안해역에서 각각 0.3~0.8 μg L^{-1} (평균 0.8 μg L^{-1})와 0.1~1.0 μg L^{-1} (평균 0.9 μg L^{-1}) 범위로 낮았으며, 정점 사이 차이도 1 μg L^{-1} 이하였다 (Fig. 2C). 그러나 서해연안해역에서는 0.8~13.9 μg L^{-1} (평균 2.6 μg L^{-1}) 범위로 정점간 13 μg L^{-1} 이상의 큰 차이를 보였을 뿐만 아니라, 조사해역의 연안 중 가장 높은 평균 농도를 보였다. 남해연안해역 또한 0.1~7.3 μg L^{-1} (평균 1.9 μg L^{-1}) 범위로 서해연안해역 다음으로 높은 평균 농도와 정점 사이 농도 차이를 보였다. 여름 제주연안해역과 동해연안해역에서 Chl-*a* 농도는 각각 0.3~0.8 μg L^{-1} (평균 0.6 μg L^{-1})와 0.1~1.0 μg L^{-1} (평균 0.3 μg L^{-1}) 범위로 봄에 비해 약간 감소한 반면, 서해연안해역과 남해연안해역은 각각 0.8~13.9 μg L^{-1} (평균 3.3 μg L^{-1})와 0.1~7.3 μg L^{-1} (평균 1.8 μg L^{-1}) 범위로 봄과 거의 비슷하게 나타났다. 그러나 평균 농도는 서해연안해역의 경우 봄에 비해 1.7 μg L^{-1} 높게 나타난 반면, 남해연안해역은 봄과 거의 차이가 없었다.

2. 부유성 요각류의 종 수 및 출현 개체수

연구해역에 출현한 요각류는 77종으로 봄(50종)에 비해 여름(65종)에 출현 종이 다양하였다. 봄에는 서해연안해역에서 22종, 남해연안해역에서 25종, 동해연안해역에서 13종, 제주연안해역에서 15종이 출현하였다. 여름에는 서해연안해역에서 23종, 남해연안해역에서 30종, 동해해역해역에서 26종, 제주해역에서 23종이 출현하였다 (Fig. 3A). 봄과 여름 서해연안해역에서 남해연안해역으로 갈수록 출현 종 수는 증가하였으며, 서해연안해역의 출현 종 수는 봄과 여름에 큰 변화를 보이지 않았으나, 그 밖의 연안해역에서는 크게 증가하였다.

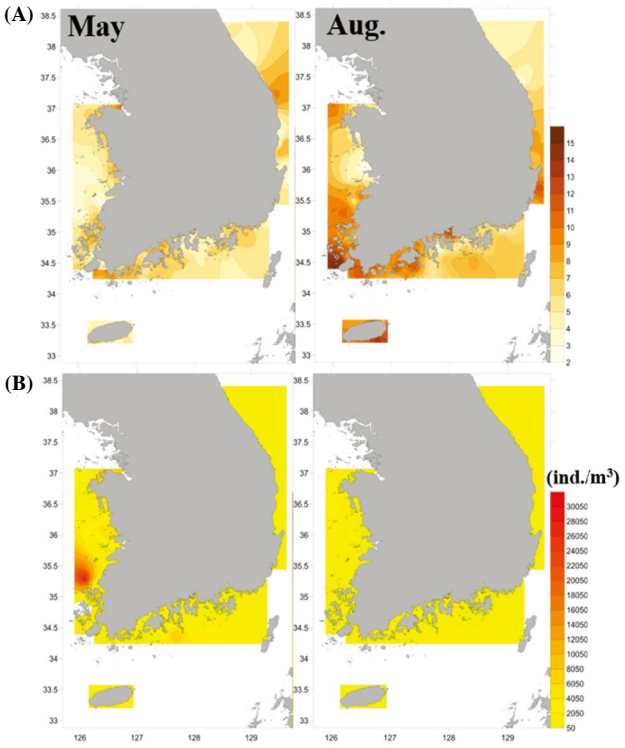

Fig. 3. Distribution of (A) the species number and (B) density of copepods in the study area.

요각류 출현 개체수는 봄에 서해연안해역에서 96~30,684 ind. m^{-3} (평균 3,625 ind. m^{-3})로 정점 사이 큰 차이를 보였다. 서해 중부해역에서 가장 낮은 출현 개체수를 보였으며, 서해남부해역에서 높은 출현 개체수를 보였다. 남해연안해역에서 336~13,190 ind. m^{-3} (평균 2,029 ind. m^{-3})로, 남해중부해역에서 낮게 나타났으며, 남해서부해역에서 높은 출현 개체수를 보였다. 동해연안해역에서는 55~1,971 ind. m^{-3} (평균 498 ind. m^{-3})로 동해중부해역에서 낮게 나타났으며, 북부해역에서 높게 나타났다. 제주연안해역에서는 404~8,119 ind. m^{-3} (평균 2,246 ind. m^{-3})로 제주북쪽해역에서 낮게 나타났으며, 남쪽해역으로 갈수록 출현 개체수는 증가하였다. 여름에 서해연안해역에서 178~4,028 ind. m^{-3} (평균 1,001 ind. m^{-3})로 나타났으며, 서해남부해역의 내만에서 낮게 나타났으며, 서해남부해역에서 높은 출현 개체수를 보였다. 남

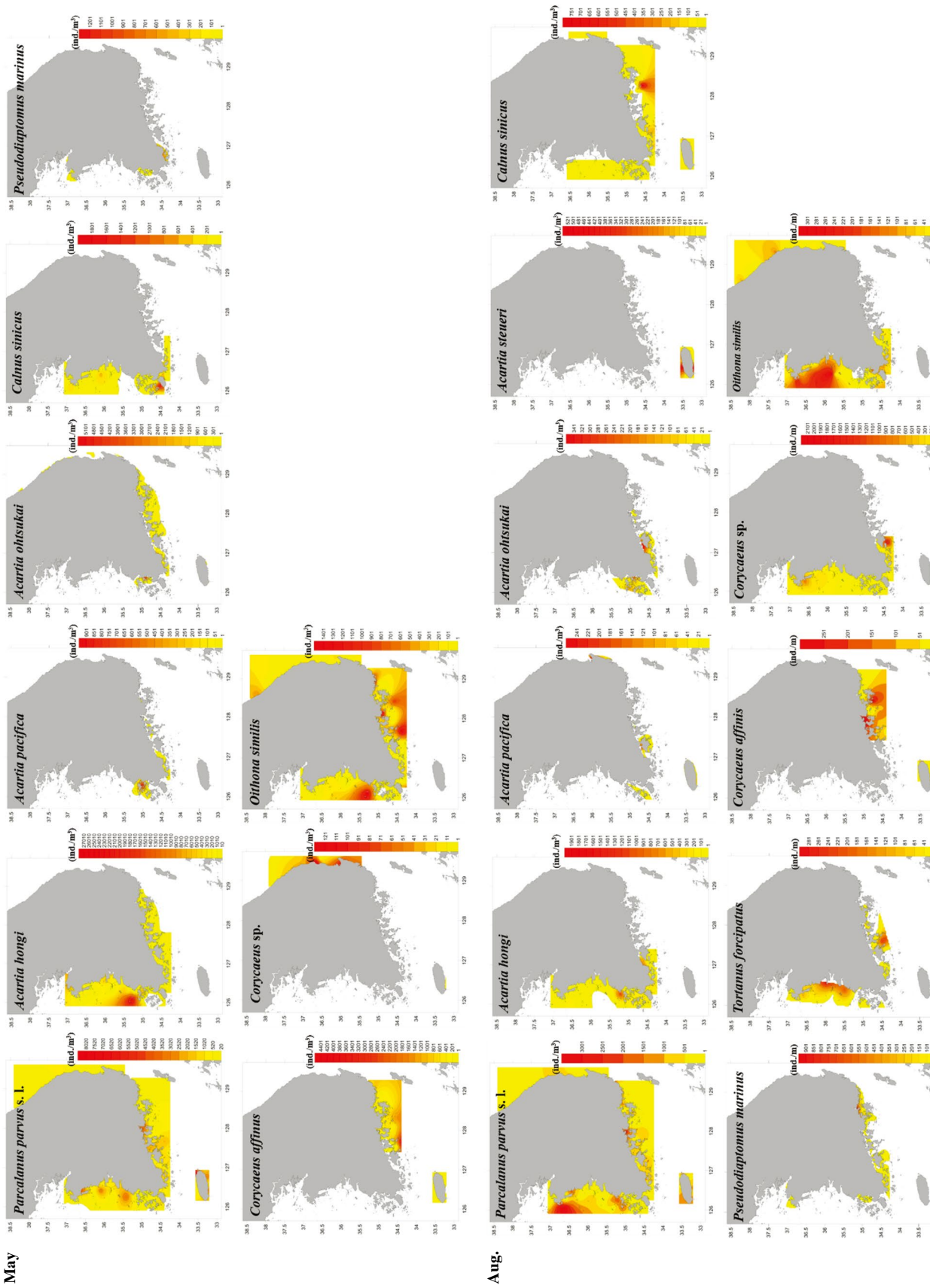

Fig. 4. Density distribution of dominant copepods in the study area.

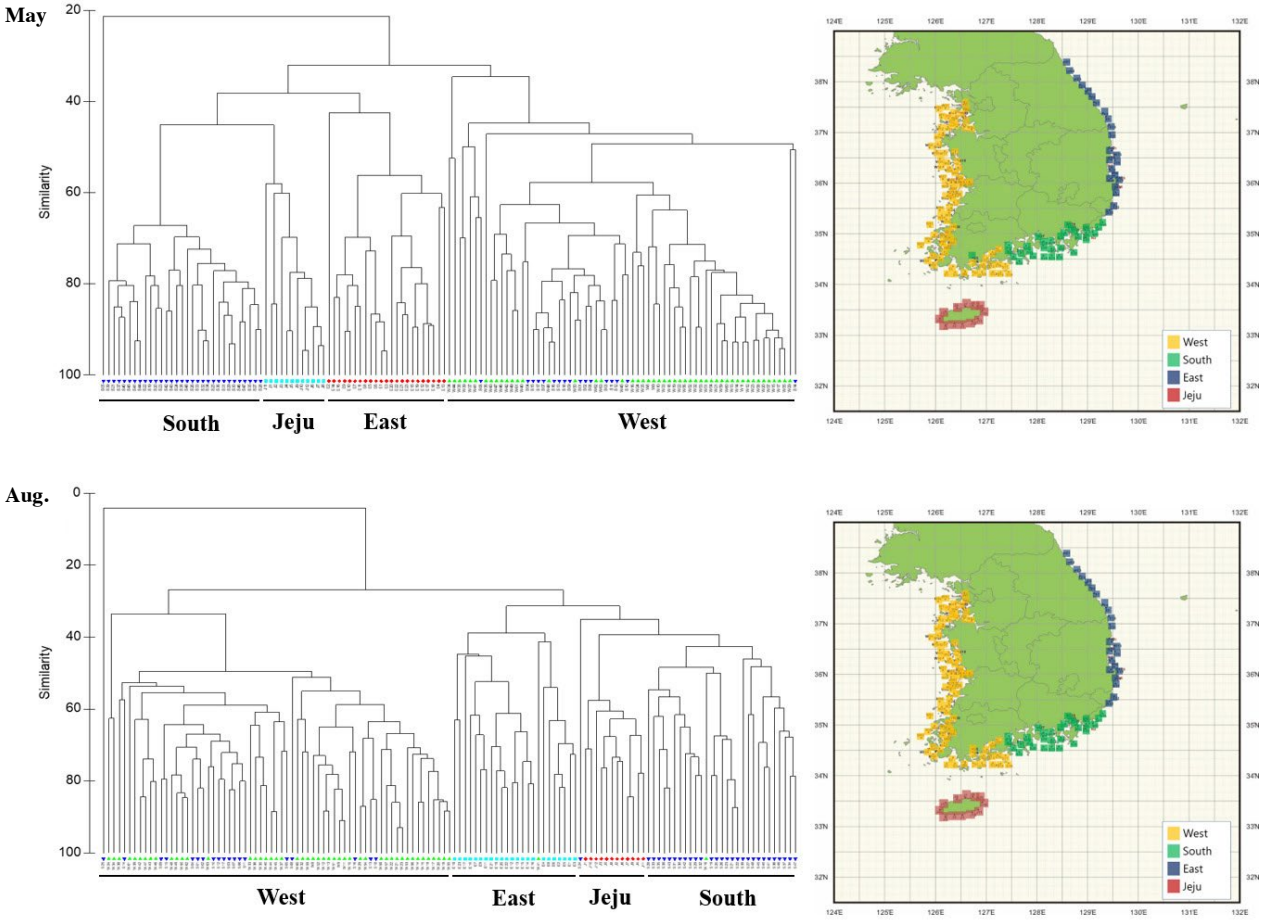

Fig. 5. Dendrogram based on Bray-Curtis similarities estimated by copepod density in the study area.

해연안해역은 54~3,864 ind. m^{-3} (평균 970 ind. m^{-3})로 남해중부해역에서 낮게 나타났으며, 서부해역에서 높게 나타났다. 동해연안해역은 54~817 ind. m^{-3} (평균 400 ind. m^{-3})로 동해중부해역에서 낮게 나타났으며, 북부해역에서 높게 나타났다. 제주연안해역은 298~18,616 ind. m^{-3} (평균 1,131 ind. m^{-3})로 제주 남동쪽해역에서 낮게 나타났으며, 제주 북쪽해역에서 높게 나타났다(Fig. 3B).

봄에 한국 연안에서 우점적으로 출현하는 요각류는 *Acartia hongi, A. ohtsukai, Paracalanus parvus* s. l., *Oithona similis* 이었다. 여름에는 이들 종 이외에 *A. omorii, A. pacifica, A. steueri, Calanus sinicus, Corycaeus affinis, Corycaeus* sp., *Pseudodaiptomus marinus, Tortanus forcipatus*이었다(Fig. 4). 전 연구해역에서 출현한 *P. parvus* s. l.는 봄에 제주연안해역에서 8,030 ind. m^{-3}로 높게 나타났으며, 여름에 서해북부해역에서 3,208 ind. m^{-3}로 높은 출현을 나타냈으나 여름으로 갈수록 출현 개체수는 감소하였다. *A. hongi*는 봄에 서해연안해역에서 남해동부해역까지 출현하였으며, 서해중부해역에서 특히 높은 출현 개체수(28,168 ind. m^{-3})를 보였다. 여름에는 봄에 비해 출현 개체수가 크게 감소하였을 뿐만 아니라, 분포 또한 남해 고흥반도 서쪽으로 제한되었다. *A. omorii*는 여름에 남해연안동부해역과 제주연안해역에서 출현하였으나, 서해연안해역과 동해연안해역에서는 출현하지 않았다. *A. steueri*는 여름에 제주연안해역에서만 출현하였다. *A. ohtsukai*는 봄에 서해연안남부해역에서 동해연안해역, 그리고 제주연안해역에서 출현하였으며, 남해연안서부 강진만에서 특히 높은 출현 개체수(6,036 ind. m^{-3})를 보였다. 여름에는 서해중부해역에서 남해 고흥반도까지 분포하였으나, 출현 개체수는 감소하였다. *A. pacifica*는 봄에 서해연안남부해역과 남해연안서부해역에서만 출현하였다. 여름에 이 종은 제주연안해역에서 258 ind. m^{-3}로 비교적 높은 출현 개체수를 보였으나, 그 밖의 지역에서는 부분적으로 소수 출현하였다. *C. sinicus*는 봄에 서해연안북부해역에서 남해연안서부해역까지 분포하였으며, 서해연안남부해역에서는 1,688 ind. m^{-3}의 높은 출현 개체수를 보였다. 여름에는 서해연안

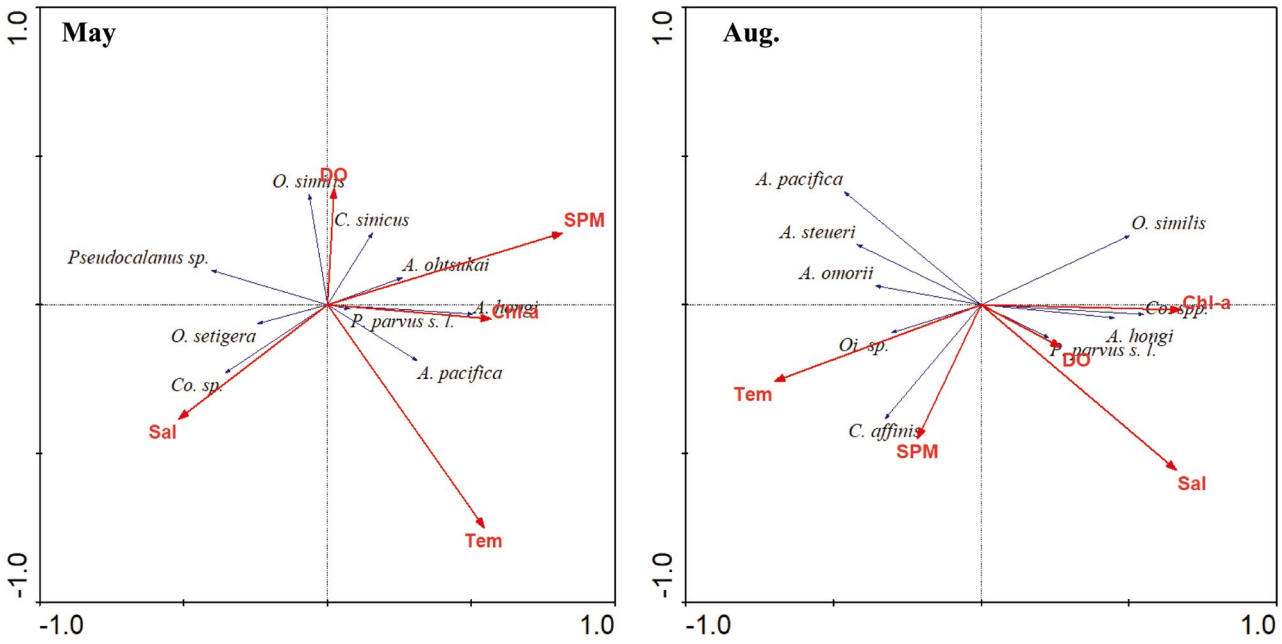

Fig. 6. Canonical Correspondence Analysis (CCA) ordination diagrams related to environmental variables (temperature, salinity, and Chl-*a* concentration) and density of dominant copepods in the study area.

북부해역에서 남해연안동부해역, 제주연안해역까지 출현하였으며, 남해연안동부해역에서는 828 ind. m^{-3}로 높은 출현 개체수를 보였다. *P. marinus*는 봄에 서해연안해역과 남해연안서부해역에서만 출현하였으며, 남해연안서부해역에서는 1,453 ind. m^{-3}로 높은 출현 개체수를 보였다. 여름에는 서해연안해역에서 동해연안해역까지 출현하였으나, 제주연안해역에서는 출현하지 않았다. *T. forcipatus*는 봄에는 출현하지 않았으며, 여름에 서해연안해역과 남해연안해역에 출현하였으며, 서해연안중부해역에서 302 ind. m^{-3}의 높은 출현개체수를 보였다. Cyclopoida에 속하는 *O. similis*는 봄에 서해연안해역에서 동해연안해역까지 출현하였으며, 남해연안동부해역에서 1,549 ind. m^{-3}로 높은 출현 개체수를 보였다. 여름의 출현 양상도 봄과 비슷하였으며, 서해연안중부해역에서 312 ind. m^{-3}로 높은 출현 개체수를 보였다. *C. affinis*는 봄과 여름에 남해연안해역과 제주연안해역에서만 출현하였으며, 남해서부해역에서 4,575 ind. m^{-3}로 높은 출현 개체수를 보였다. *Corycaeus* sp.는 봄과 여름에 동해연안해역과 제주연안해역에서만 출현하였으며, 동해연안중부해역에서 132 ind. m^{-3}로 출현 개체수가 높았다.

3. 요각류의 출현양상과 환경과의 관계

연구해역에 출현한 요각류를 대상으로 집괴분석을 실시한 결과 연구지역은 봄과 여름 모두 서해연안해역-남해연안서부해역, 남해연안동부해역, 동해연안해역, 제주연안해역의 4개 지역으로 구분되었다(Fig. 5). SIMPER 분석을 통해 기여율 5% 이상인 요각류를 살펴본 결과 봄에 서해연안해역에서 *A. hongi*, *P. parvus* s. l., *O. similis*, *C. sinicus*가, 남해연안해역에서 *P. parvus* s. l., *C. affinis*, *O. similis*, *A. ohtsukai*가, 동해연안해역에서 *P. parvus* s. l., *O. similis*, *Corycaeus* sp., *Pseudocalanus* sp.가, 제주연안해역에서 *P. parvus* s. l., *C. affinis*, *O. setigera*가 주요 종으로 나타났다. 여름에는 서해연안해역에서 *P. parvus* s. l., *Corycaeus* spp., *A. hongi*, *O. similis*가, 남해연안해역에서 *P. parvus* s. l., *C. affinis*, *Oithona* sp.가, 동해연안해역에서 *P. parvus* s. l., *O. similis*, *A. omorii*가, 제주연안해역에서 *P. parvus* s. l., *A. steueri*, *A. pacifica*, *Oithona* sp.가 중요 종으로 나타났다. 봄과 여름 모두 서해연안해역에서 Calanoida 요각류의 출현이 우세하였으나, 남해연안해역에서 동해연안해역으로 갈수록 Cyclopoida 요각류의 출현이 점차 증가하였다. 정준대응분석 결과 봄에 제1축과 2축의 고유치는 각각 0.11, 0.03으로 나타났으며, 전체 자료분산에 대한 누적기여율은 14.4%를 나타내었다. 또한 제1, 2축은 3개의 환경요인과 요각류의 관계를 83.4%를 설명하였다. 분석 결과 제1축을 기준으로 *A. hongi*는 Chl-*a* 농도와 양의 상관을 보였으며, *Pseudocalanus* sp.는 수온에 음의 상관을, *A. ohtsukai*는 염분에 음의 상관

Table 1. List of copepods that occurred in the study area in May and August, 2015 and 2016

	West		South		East		Jeju	
	May	Aug.	May	Aug.	May	Aug.	May	Aug.
Acartia hongi	○	○	○	○				
Acartia hudsonica	○		○	○				
Acartia omorii			○	○		○		○
Acartia ohtsukai	○	○	○	○	○		○	
Acrartia pacifica	○	○	○	○		○		○
Acartia danae						○		
Acartia erythraea				○		○		
Acartia steueri								○
Bestiolina coreana			○					
Calanopia thompsoni		○						
Calanus sinicus	○	○	○	○		○		○
Centropages abdominalis	○	○	○	○	○	○		
Centropages dorsispinatus	○	○		○				
Centropages furcatus								○
Centropages sp.							○	○
Centropages tenuiremis	○	○		○				
Eucalanus subcrassus					○			
Candacia bipinnata					○			
Clausocalanus furcatus			○			○		
Clausocalanus sp.								○
Euchaeta plana					○			
Eucalanus bungii								○
Euchaeta concinna								○
Euchaeta indica				○				
Euchaeta plana				○		○		
Paraeuchaeta concinna								○
Euchaeta rimana			○					
Mesocalanus tenuicornis					○	○		
Metridia pacifica					○	○		
Microsetella rosea							○	
Eurytemora affinis	○							
Labidocera acuta								○
Labidocera euchaeta	○	○	○	○				
Labidocera minuta								○
Labidocera sp.								○
Labidocera rotunda	○	○	○	○		○		
Pontella chierchiae						○		
Pseudocalanus newmani						○		
Pseudocalanus sp.					○			
Rhincalanus cornatus							○	
Saphirina sp.			○					
Temora discaudata						○		○
Temora turbinata						○		
Tortanus discaudatus					○	○		
Undinula vulgaris			○			○		○
Copilia mirabilis						○		
Paracalanus aculeatus	○	○	○	○				
Paracalanus parvus s. l.	○	○	○	○	○	○	○	○
Parvocalanus crassirostris		○						
Parvocalanus leei	○	○						
Pontella spinicauda	○							
Pseudodiaptomus marinus	○	○	○	○				
Sinocalanus tenellus	○							
Scolecithricella minor				○		○		
Tortanus derjugini	○		○					
Tortanus forcipatus		○		○				
Tortanus spinicaudatus	○	○						
Oithona atlantica		○			○	○		
Oithona plumifera	○	○	○	○				

Table 1. Continued

	West		South		East		Jeju	
	May	Aug.	May	Aug.	May	Aug.	May	Aug.
Oithona similis	○	○	○	○	○	○		
Oithona setigera							○	
Corycaeus affinis			○	○			○	○
Corycaeus longistylis							○	
Corycaeus pacificus							○	○
Corycaeus sp.					○	○	○	○
Corycaeus spp.	○	○	○	○				
Farranula concinna								○
Oncaea mediterranea							○	
Oncaea venusta							○	○
Oncaea sp.			○		○	○	○	○
Oncaea spp.			○	○				○
Monstrilla spp.		○						
Unidentified harpacticoids	○	○	○	○	○	○	○	
No. of taxa	23	23	25	30	15	26	14	23
Total abudnace(ind./m^3)	3,625±5,243	1,031±1,001	2,029±2,177	970±786	498±453	400±200	2,246±2,132	1,131±516

Table 2. Summary of Canonical Correspondence Analysis (CCA) showing relationships between dominant copepods and environmental factors in the study area

	Axes	1	2
May	Eigenvalues	0.111	0.033
	Species-environment correlations	0.605	0.523
	Cumulative percentage variance of species data	11.1	14.4
	Cumulative percentage variance of species-environment relation	64.3	83.4
	Sum of all eigenvalues	1	
	Sum of all canonical eigenvalues	0.173	
Aug.	Eigenvalues	0.185	0.037
	Species-environment correlations	0.667	0.583
	Cumulative percentage variance of species data	18.5	22.2
	Cumulative percentage variance of species-environment relation	73.7	88.3
	Sum of all eigenvalues	1	
	Sum of all canonical eigenvalues	0.252	

을 보였으며, *O. setigera*와 *Corycaeus* sp.는 염분에 양의 상관을 보였다. 하계 제1축과 2축의 고유치는 각각 0.19, 0.04로 나타났으며, 전체 자료분산에 대한 누적기여율은 22.2%를 나타냈다. 또한 제1, 2축은 환경요인과 요각류의 관계를 88.3%를 설명하였다. 분석 결과 *A. omorii*, *A. steueri*, *A. pacifica*는 수온에 양의 상관을 보였으며, *P. parvus* s. l.은 염분에 양의 상관을 보였다(Fig. 6, Table 2).

고 찰

한국에 출현하는 부유성 요각류는 총 232종으로 알려져 있으며(MABIK 2017), 이 중 연안종은 34종으로 분류된다. 본 연구해역에서 봄과 여름에 출현한 부유성 요각류는 총 77종이었으며, 이 중 연안종은 28종이었다(Table 1). 봄에는 출현한 부유성 요각류 50종 중 연안 종은 26종이었으며, 여름에는 65종 중 연안 종은 28종이었다. 본 조사에서 출현한 연안종 수는 국립생물자원관에 등록되어 있는 종 수에 비해 적었다. 이는 연구 해역의 범위, 조사 시기, 정점 수, 지역 등이 영향을 미친 것으로 판단된다. 한국에 출현하는 요각류의 종 수는 동해해역에서 가장 다양한 것으로 알려져 있으나(Seo *et al*. 2013), 본 연구에서는 남해연안해역에서 높은 출현 종 수를 보였으며, 서해연안해역에서 동해연안, 제주연안해역으로 갈수록 출현 종 수는 감소하는 현상을 보였다. 이러한 결과는 본 조사지역이 연안에 국한되어 있고, 조사정점 수 또한 서해연안과 남해연안에 편중되어 있어 각 해역의

조사정점 수가 각 연안해역의 출현 종 수 평가에 작용한 결과일 수 있다.

요각류의 출현 개체수는 여름에 비해 봄에 높게 나타났다. 요각류의 출현 개체수는 봄과 여름 Chl-*a* 농도가 낮게 나타난 동해연안해역에서 가장 낮았으며, 봄에 Chl-*a* 농도가 높게 나타난 서해연안해역에서 출현 개체수가 높게 나타났다. 이는 Chl-*a* 농도의 증감은 요각류의 개체수 변화에 밀접하게 영향을 미칠 수 있다는 기존 결과(Jhon 1965; Soh and Suh 1993; Irigoien *et al*. 2004)와 일치하였다. 그러나 여름 제주연안해역에서 낮은 Chl-*a* 농도(0.6 μg L^{-1})에도 불구하고 상대적으로 높은 출현 개체수는 제주연안해역이 포삭압, 물리적 직접현상, 식물플랑크톤의 time lag 등 다양한 요인에 의해 영향을 받는다.

본 연구에서 봄에 우점적으로 출현하는 요각류는 *Acartia hongi*, *A. ohtsukai*, *Paracalanus parvus* s. l., *Oithona similis* 이었다. 여름에는 이들 종 이외에 *A. omorii*, *A. pacifica*, *A. steueri*, *Calanus sinicus*, *Corycaeus affinis*, *Corycaeus* sp., *Pseudodaiptomus marinus*, *Tortanus forcipatus*이었다. 이 중 *P. parvus* s. l.는 한국 해역에서 연중 우점 출현하는 종으로 알려져 있다(Suh *et al*. 1991). 본 연구에서는 제주연안해역에서 가장 높은 출현을, 동해연안해역으로 갈수록 출현 개체수는 감소하였다. 또한 *A. hongi*, *A. ohtsukai*, *A. pacifca*, *A. omorii*, *A. steueri* 등 *Acartia* 속 5종이 조사해역을 달리해 우점적으로 출현하였다. *A. hongi*는 서해연안해역에서 우점적으로 출현하였으며, 그 분포는 봄에 남해동부연안해역까지 확장되었으나, 여름에는 남해서부연안 고흥반도까지로 축소되었다. 이러한 출현 양상은 한국연안수가 계절적으로 남해연안에 영향을 미치고 있음을 보여주는 간접적인 증거일 수 있다. 그러나 Kang (2011)은 인천항, 광양항, 울산항에서 이 종이 넓은 수온과 염분에서 출현하며, 선박의 평형수에 의해 이송되었을 가능성을 보고하였다. 한편 Seo (2016)는 중국 칭타오와 서해 연안에 출현하는 *A. hongi*의 유전자 분석 결과를 토대로, 과거 빙하기 해수면이 낮았을 때 단일 개체군으로 존재하다 빙하기 이후 해수면 상승으로 개체군이 팽창하는 현상과 함께 남해연안에 출현하는 잔존종으로 판단하였다. *A. ohtsukai*는 봄에 서해중부해역에서 제주연안해역까지 전 해역에서 출현하였으나, 여름에는 그 출현이 서해중부해역에서 남해 고흥반도까지 나타났다. 그러나 *A. ohtsukai*는 섬진강에서 대량의 담수가 유입되는 여름 우기 이후 광양만에서 처음 발견되었으며, 높은 수온(21.7~27.5°C)과 넓은 염분(22.42~32.97 psu) 범위에 출현하였다(Moon *et al*. 2008). 따라서 봄에 서해중부해역에서 출현은 매우 이례적인 현상일 수 있다. *A. pacifica*는 고수온기에 우리나라 전 연안에 흔하게 출현하는 종으로(Youn and Choi 2003), 여름에 전 연안에서 출현하였으며, 제주연안해역에서 높은 출현을 보였다. 이 종이 *A. ohtsukai*와 달리 고수온기 외양에서 출현하는 점을 고려할 때(Ueda and Bucklin 2006), 봄에 서해남부해역과 남해서부해역에서의 출현은 황해난류의 영향을 의미할 수 있다. *C. sinicus*는 한국, 중국, 일본에서 5월과 6월에 높은 출현 개체수를 보이며, 표층 수온이 27°C 이상일 때 수직이동 해 수온이 낮은 수층으로 이동하는 것으로 알려져 있다(Wang *et al*. 2003; Pu *et al*. 2004). 또한 표층 수온이 24°C 이상일 때 생식에 치명적인 영향을 미치는 것으로 알려져 있다(Uye *et al*. 1990). 본 연구에서는 봄에 서해북부해역에서 남해서부해역까지 출현하였으며, 여름에 서해북부해역에서 제주연안해역까지 출현하였다. 여름에 이들 지역에서의 출현은 황해저층냉수의 영향을 의미할 수 있다. 그러나 광양만의 경우 수심이 깊은 여수수도에서도 여름에 출현(Jang *et al*. 2004)하는 것으로 보아 한국 연안 수심이 깊은 곳에서 생존해 있을 가능성이 매우 높다. 한편 Cyclopoida에 속하는 *O. similis*는 봄과 여름에 서해연안해역에서 동해연안해역까지 출현하였으며, *C. affinis*는 봄과 여름에 남해연안해역과 제주연안해역에서만, *Corycaeus* sp.는 봄과 여름에 동해연안해역과 제주연안해역에서만 출현하였다. 지구온난화에 따른 수온상승으로 크기가 작은 부유성 cyclopoda 요각류의 중요성이 커져가고 있으나, 이들 종에 대한 생태생리학적인 자료는 매우 적다. 따라서 해양생태계에서 동물플랑크톤의 중요성을 보다 자세히 이해하기 위해서는 미세생물먹이사슬에서 포식자로서 중요한 생태적 위치를 차지하고 있는 Cyclopoida 요각류에 대한 더 많은 자료의 축적이 필요할 것으로 여겨진다.

연구해역에 출현한 요각류를 대상으로 집괴분석을 실시한 결과, 주요 종의 출현 특성을 반영하여 봄과 여름에 4개의 지역(서해연안해역-남해서부해역, 남해연안해역, 동해연안해역, 제주연안해역)으로 뚜렷이 구분되었으며, 한국 연안에 미치는 주요 해류 특성과 잘 일치하였다. 또한 정준 대응분석 결과 각 해역에 출현한 주요 종인 *A. hongi*는 Chl-*a* 농도와 양의 상관을 보였으며, *A. omorii*, *A. steurei*, *A. pacifica*는 수온에 양의 상관을, *Pseudocalanus* sp.는 수온에 음의 상관을, *A. ohtsukai*는 염분에 음의 상관을, *P. parvus* s. l., *O. setigera*와 *Corycaeus* sp.는 염분에 양의 상관을 보여 각 해역의 특성을 반영하여 출현 양상을 잘 뒷받침해 주고 있다. 특히 Cyclopoida에 속한 *C. affinis*, *Corycaeus* sp., *O. similis*, *O. setigera*는 서해연안해역보다는 남해와 동해, 제주연안해역에서 우점 출현하였다. Cyclopoida 요각류는 많은 자치어의 주요 먹이원이며, 화살벌레와 해파리의 먹이로 중요한 위치에 놓여있다(Wang *et al*. 2017). *Corycaeus* 속은 주로 Copepod nauplii를 섭식하는 육식성이며(Turner 1984),

Oithona 속은 아열대와 극지에서 높은 출현 개체수로 나타난다(Boltovskoy 1999). 특히 *Oithona* 속은 낮은 수온에서 높은 밀도로 출현해 수온과 밀접한 관계를 보였으며, 낮은 Chl-*a* 농도에서 높은 개체수로 나타났다(Wang *et al*. 2017). 또한 *Oithona* spp.(<0.5 mm)는 주로 나노플랑크톤을 섭식하며, *Oithona* 속의 지방산 분석 결과 규조류가 중요 먹이로 나타났다(Pond and Ward 2011). 반면, 칠레 용승해역과 남동중국해에서는 식물플랑크톤의 대량 번식에 따른 *Calanus chilensis*와 Calanoida 요각류(>1 mm)와의 먹이 경쟁에서 뒤쳐져 출현 개체수는 낮게 나타났다(Escribano *et al*. 2007; Wang *et al*. 2017). 이러한 생태적 사실들은 남해와 동해, 제주해역의 낮은 Chl-*a* 농도에서 *Oithona* 속의 우점 출현과 깊은 관련이 있을 수 있다. 그럼에도 불구하고 Calanoida 요각류에 비해 상대적으로 크기가 작아 중형동물플랑크톤 채집 시 과소 평가될 수 있으므로 주의가 필요하다(Marlowe and Miler 1975).

이와 같이 환경적 요인이나 인위적 요인은 각 해역에 출현하는 생물의 분류학적 다양성과 시공간 변화에 영향을 미친다. 이러한 요인들은 종의 특성과 다양성을 알 수 있으며(Barton *et al*. 2013), 생태계와 종간의 생태학적 역할과 다양성을 알 수 있는 좋은 지표가 될 수 있다(Diaz and Cabido 2001). 그러므로 서해연안, 남해연안해역에서 Calanoida 요각류의 우점 출현과 동해연안, 제주연안해역에서 Cyclopoida 요각류의 우점 출현은 Chl-*a* 농도와 같은 생물학적 요인에 영향을 받는 것으로 나타났다. 이러한 사실은 요각류 군집 연구에 수온, 염분과 같은 물리적인 환경요소 이외에 보다 많은 생물학적 요소에 대한 재검토가 필요함을 시사하고 있다.

적 요

각기 다른 해양 환경 특성을 보이는 서해, 남해, 동해, 제주 연안역을 대상으로 춘계(5월)와 하계(8월)에 출현한 부유성 요각류의 군집구조에 대하여 분석하였다. 봄과 여름에 출현한 부유성 요각류는 총 73종이었으며, 이 중 연안종이 28종이었다. 봄(49종)에 비해 여름(58종)에 출현 종이 다양하였다. 요각류 출현 개체수는 봄과 여름 Chl-*a* 농도가 낮게 나타난 동해연안해역에서 가장 낮았으며, 봄에 Chl-*a* 농도가 높게 나타난 서해연안해역에서 출현 개체수가 높게 나타났다. 그러나 여름에 제주연안해역에서 Chl-*a* 농도가 0.6 μg L^{-1}으로 낮게 나타났으나, 높은 출현 개체수를 보였다.

봄에 한국 연안에서 우점적으로 출현하는 요각류는 *Acartia hongi*, *A. ohtsukai*, *Paracalanus parvus* s. l., *Oithona similis*이었다. 여름에는 이들 종 이외에 *A. omorii*, *A. pacifica*, *A. steueri*, *Calanus sinicus*, *Corycaeus affinis*, *Corycaeus* sp., *Pseudodaiptomus marinus*, *Tortanus forcipatus*이었다. *Paracalanus parvus* s. l.은 봄에 조사 해역에서 최우점종 또는 차우점종으로 생태적 지위를 달리하였으나, 여름에는 전 조사해역에서 최우점종으로 출현하였다. 요각류 군집특성은 수온, 염분, Chl-*a* 농도 등의 환경 요인에 따라 서해, 남해, 동해, 제주 4구역으로 명확하게 구분되었다.

사 사

이 논문은 2018년도 정부(해양수산부)의 재원으로 해양수산과학기술진흥원 해양수산생명공학기술개발사업의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 20170431)

REFERENCES

Barton AD, AJ Pershing, E Litchman, NR Record, KF Edwards, ZV Finkel, T Kiørboe and BA Ward. 2013. The biogeography of marine plankton traits. Ecol. Lett. 16:522–534.

Boltovskoy D. 1999. Radiolaria polycystina. In South Atlantic Zooplankton, Boltovskoy D. (Ed.). Backhuys Publishers, Leiden.

Boxshall GA and SH Halsey. 2004. An Introduction to Copepod Diversity. Ray Soc. London.

Chihara M and M Murano. 1997. An Illustrated Guide to Marine Plankton in Japan. Tokai Univ. Press, Tokyo.

Clarke KR and RM Warwick. 2001. Change in marine communities and approach to statistical analysis and interpretation, 2nd ed. Primer E Ltd., Plymouth.

Dıáz S and M Cabido. 2001. Vive la difference: plant functional diversity matters to ecosystem processes. Trends Ecol. Evol. 16:646–655.

Escribano R, P Hidalgo, H González, R Giesecke, R Riquelme-Bugueño and K Manríquez. 2007. Seasonal and inter-annual variation of mesozooplankton in the coastal upwelling zone off central southern Chile. Prog. Oceanogr. 75:470–485.

Gismervik I. 2006. Top-down impact by copepods on ciliate numbers and persistence depends on copepod and ciliate species composition. J. Plankton Res. 28:499–5070.

Hue JS. 1967. Distribution of zooplankton in the adjacent sea of east Korea in August, 1965. Bull. Fish. Res. Dev. Agency 1:7–32.

Hwang HJ and JK Choi. 1993. Seasonal characteristics of zooplankton community in the mid-eastern part of the Yellow Sea. J. Oceanol. Soc. Kor. 28:24–34.

Irigoien X, J Huisman and RP Harris. 2004. Global biodiversity patterns of marine phytoplankton and zooplankton. Nature 429:863–867.

Jang MC, PG Jang, K Shin, DW Park and M Chang. 2004. Seasonal variation of zooplankton community in Gwangyang bay. Korean J. Environ. Biol. 22:11–29.

Jhon HM. 1965. Phytoplankton-zooplankton relationships in Narragansett Bay. Limnol. Oceanogr. 10:185–191.

Kang JH. 2011. The occurrence of *Acartia* species and their environmental characteristics at three ports in Korea. Ocean Sci. J. 46:219–237.

Kang YS and SY Hong. 1995. Occurrences of oceanic warm-water calanoid copepods and their relationship to hydrographic conditions in Korean water. Bull. Plan. Soc. Japan 42:29–41.

Kim YS, JM Yoo and CS Myung. 1993. A review on the copepods in the South Sea of Korea. Bull. Korean Fish. Soc. 26:266–278.

Ko JC, JT Kim, SH Kim and HK Rho. 2003. Fluctuation characteristic of temperature and salinity in coastal waters around Jeju Island. Korean J. Fish. Aquat. Sci. 36:306–316.

Kondo M. 1985. Oceanographic investigations of fishing grounds in the East China Sea and the Yellow Sea-I. Characteristics of the mean temperature and salinity distributions measured at 50 m and the near the bottom. Bull. Seikai Reg. Fish. Res. Lab. 62:19–66.

Lee CR. 2004. Vertical distribution and community properties of mesozooplankton in the East Sea. Ph. D. Thesis. Chungnam Nat. Univ. p. 163.

Lee SH, CK Kang, CL Lee and JH Kwak. 2017. Current status of the East Sea ecosystem in a changing world. Deep-Sea Res. Part II 146:101–103.

Lie JH and CH Cho. 2002. Recent advances in understanding the circulation and hydrography of the East China Sea. Fish. Oceanogr. 11:318–328.

Lie JH and CH Cho. 2016. Seasonal circulation patterns of the Yellow and East China Seas derived from satellite-tracked drifter trajectories and hydrographic observations. Prog. Oceanogr. 146:121–141.

Lim DH, WD Yoon, JY Yang and Y Lee. 2009. The seasonal fluctuation of zooplankton in the Yellow Sea. J. Korean Soc. Mar. Environ. Saf. 3:183–188.

MBIK. 2017. National list of marine species. National Marine Biodiversity Institute of Korea. p. 1017.

Marlowe CJ and CB Miller. 1975. Patterns of vertical distribution and migration of zooplankton at Ocean Station "P". Limnol. Oceanogr. 20:824–844.

McKinnon AD, S Duggan and G De'ath, 2005. Mesozooplankton dynamics in nearshore waters of the Great Barrier Reef. Estuar. Coast. Mar. Sci. 63:497–511.

McKinnon AD, S Duggan, JH Carleton and R Böttger-Schnack. 2008. Summer planktonic copepod communities of Australia's North West Cape (Indian Ocean) during the 1997–99 El Niño/La Niña. J. Plankton Res. 30:839–855.

Moon SY, S Ohtsuka, H Ueda and HY Soh. 2008. *Acartia* (Odontacartia) *ohtsukai* Ueda and Bucklin, 2006 (Copepoda, Calanoida, Acartiidae): first record of its occurrence in Korean waters and habitat segregation from its sibling species *A. pacifica* Steuer, 1915. Zootaxa 1841:61–64.

Park C and JK Choi. Zooplankton community in the front zone of the East Sea of Korea (the Sea of Japan): 1. Species list, distribution of dominant taxa, and species association. J. Kor. Fish. Soc. 30:225–238.

Pond DW and P Ward. 2011. Importance of diatoms for *Oithona* in Antarctic waters. J. Plankton Res. 33:105–118.

Pu XM, S Song and Y Bo. 2004. The combined effects of temperature and food supply on *Calanus sinicus* in the southern Yellow Sea in summer. J. Plankton Res. 26:1409–1057.

Richardson AJ and DS Schoeman. 2004. Climate impact on plankton ecosystems in the Northeast Atlantic. Science 305:1609–1612.

Seo MH. 2016. Possibility of major ports and the influx of zooplankton alien species that appear in the ballast water of Korea. Ph. D. Thesis. Chonnam Nat. Univ. p. 100.

Seo MH, KS Shin, MC Jang and HY Soh. 2013. Zooplankton community in Korea major ports. Korean J. Environ. Biol. 31:448–457.

Shannon CE and W Wiever. 1963. The Mathematical Theory of Communication. University of Illinois Press, Urbana.

Shim JH and TS Lee. 1986. Studies of the plankton in the southwestern waters of the East Sea (Sea of Japan). III. Zooplankton standing stock, composition and distribution. J. Oceanol. Soc. Korea 21:146–155.

Shin JW, J Park, JG Choi, YH Jo, JJ Kang, HT Joo and SH Lee. 2017. Variability of phytoplankton size structure in response to changes in coastal upwelling intensity in the southwestern East Sea. J. Geophys. Res-Oceans 122:10262–10274.

Soh HY and HL Suh. 1993. Seasonal fluctuation of the abundance of the planktonic copepods in Kwangyang Bay. Korean J. Environ. Biol. 11:26–34.

Soh HY and HL Suh. 2000. A new species of *Acartia* (Copepoda, Calanoida) from the Yellow Sea. J. Plankton Res. 22:321–337.

Suh HL, HY Soh and SS Cha. 1991. Salinity and distribution of zooplankton in the estuarine system of Mankyong River and Dongjin River. J. Oceanol. Soc. Korea 26:181–192.

ter Braak CJF and PFM Verdonschot. 1995. Cononical correspondence analysis and related multivariate methods in aquatic ecology. Aquat. Sci. 57:1015–1621.

Turner T. 1986. Zooplankton feeding ecology: contents of fecal pellets of the cyclopoid copepods *Oncaea venusta, Corycaeus amazonicus, Oithona plumifera*, and *O. simplex* from the North-ern Gulf of Mexico. Mar. Ecol. 7:289–302.

Ueda H and A Bucklin. 2006. *Acartia* (*Odontacaria*) *ohtsukai*, a new brackish-water calanoid copepod form Arake Bay, Japan, with a redescription of the closely related *A. pacifica* from Seto Inland Sea. Hydrobiology 506:77–91.

Uye S, C Huang and T Onbe. 1990. Ontogenic diel vertical migration of the planktonic copepod *Calanus sinicus* in the Inland Sea of Japan. Mar. Biol. 104:389–396.

Wang L, F Du, Z Wang, Y Li and J. Ning. 2017. Distribution and role of the genus *Oithona* (Copepoda: Cyclopoida) in the South China Sea. Oceanologia 107:1–11.

Wang R, Z Tao and W Ke. 2003. The Yellow Sea Cold Bottom Water–an oversummering site for *Calanus sinicus* (Copepoda, Crustacea). J. Plankton Res. 25:169–183.

Youn SH and JK Choi. 2003. Spatio-temporal distribution of zooplankton community in Kyeonggi bay, Yellow Sea. The Sea 8:243–250.

Received: 19 November 2018
Revised: 21 November 2018
Revision accepted: 22 November 2018