

2016년 한국 근해 난바다곤쟁이류의 시·공간적 분포

이보람 · 박원규^{1*} · 이해원 · 최정화² · 오택윤 · 김두남³

국립수산과학원 수산자원연구센터, ¹부경대학교 자원생물학과, ²국립수산과학원 제주수산연구소, ³국립수산과학원 원양자원과

Spatio-Temporal Distribution of Euphausiids in Korean Waters in 2016

Bo Ram Lee, Wongyu Park^{1*}, Hae Won Lee, Jung Hwa Choi², Taeg Yun Oh and Doo Nam Kim³

Fisheries Resources Research Center, National Institute of Fisheries Science, Tongyeong 53064, Korea

¹Department of Marine Biology, Pukyong National University, Busan 48513, Korea

²Jeju Fisheries Research Institute, National Institute of Fisheries Science, Jeju 63068, Korea

³Division of Distant Water Fisheries Resources, National Institute of Fisheries Science, Busan 46083, Korea

The distribution and abundance of euphausiids were investigated in Korean waters in 2016. Euphausiids were sampled with a Bongo net. A CTD (Sea Bird Electronics 9 plus) measured the water temperature and salinity while sampling. Mean water temperature ranged from 4.2-31.0°C. The highest temperatures occur in September and lowest temperatures in February. The mean water salinity ranged from 27.9-34.8 psu, with the highest salinities in March and lowest in September. Euphausiid species in group W consisted of four species. Among the euphausiid species, *Euphausia pacifica* was the dominant species with peak densities in September. The *E. pacifica* from group W was distributed in the bottom cold water during summer when a thermocline was formed. Five euphausiid species occurred in group S. *E. pacifica* and *E. nana* were the dominant species. In group S, *E. nana* was located in the warm and saline Tsushima Warm Current, a branch of the influential Kuroshio Current. Five euphausiid species occurred in group E. *E. pacifica* and *T. longipes* were the dominant species. In group E, *E. pacifica* and *T. longipes* were distributed in the deep and cold waters, these species prefer low water temperatures and perform vertical migration. The distribution of euphausiids in Korean waters were highly influenced by mass water characteristics, such as temperature and salinity.

Keywords: Euphausiids, Spatio-temporal, Distribution, Korean waters

서론

난바다곤쟁이류는 모든 해양에 넓게 분포하며 동물플랑크톤 생물량을 구성하는 중요한 요소이다(Mauchline, 1980). 이들은 어류, 고래, 펭귄과 같은 상위 포식자들의 먹이원으로 해양생태계 먹이망내 에너지 흐름에 중요한 역할을 한다(Mauchline and Fisher, 1969). 일본의 동북부 해역에서 난바다곤쟁이류가 연중 높은 풍도로 출현하며(Taki, 2007), 풍치와 명태 같은 저서성 및 회유성 어종의 먹이원이 된다(Yamamura et al., 1998, 2002). 동해의 구룡포와 포항 연안에서는 평균 5,391톤의 생물량이 있는 것으로 추정되며(Kim et al., 2018), 동해의 대표적 인 어류인 기름가자미(Seong et al., 2019)와 도루묵(Kang et al., 2019)의 주요 먹이원이다. 난바다곤쟁이류의 분포는 시·공

간적으로 다양하다. 일본 동북부 연안에서는 난바다곤쟁이류의 출현이 계절과 해역에 따라 출현 밀도가 다양하였다(Taki, 2007). 황해에서 *Euphausia pacifica*의 분포와 개체군 구조가 수괴에 따라 다양하였다(Sun et al., 2011). 난바다곤쟁이류 분포의 다양성에 대한 원인은 먹이 조건, 포식자와 같은 생물학적 요인뿐만 아니라, 수온과 염분 같은 물리적 요인에 영향을 받는다(Siegel, 2005; Nicol, 2006; Vallet et al., 2011). 공간적 분포는 주로 수온에 의해 결정되며 표층 수온이 높은 계절에는 성체들이 비교적 차가운 저층에 서식한다(Sun et al., 2011). 한국의 근해는 대륙붕에서 심해까지 다양한 지형적 특성과 여러 수괴의 혼합으로 복잡한 해양학적 특성을 가진다(Jang et al., 2012). 서해는 수심이 낮고 계절적 연안수와 쿠로시오 해류의 영향으로 표층 수온이 높고 저층 수온이 낮아 일부 해역에서 저층냉수

*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.2021.0456>

Korean J Fish Aquat Sci 54(4), 456-466, August 2021

Received 25 June 2021; Revised 18 July 2021; Accepted 3 August 2021

저자 직위: 이보람(연구원), 박원규(교수), 이해원(연구사), 최정화(연구원), 오택윤(연구원), 김두남(연구원)

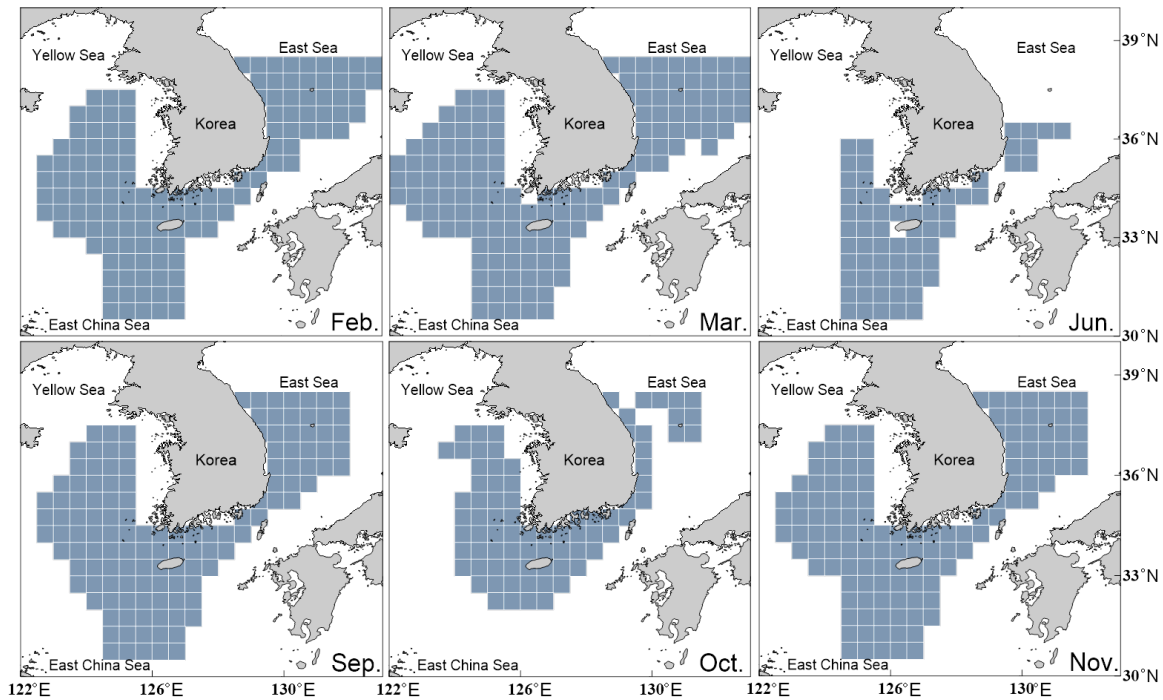


Fig. 1. Map of Euphausiids sampling stations in Korea waters in 2016.

대($<10^{\circ}\text{C}$)가 형성된다(Oh and Suh, 2006). 동해는 수심이 깊고 북한한류와 동한난류가 만나 극전선이 형성되고, 특히 하계에 연안 용승이 발생하여 냉수대가 형성된다(Oh and Suh, 2006). 남해 및 동중국해는 황해난류수, 연안수, 제주난류수 등 다양한 해양학적 특징을 가지는 수괴가 혼합되며 특히 하계에는 연안수의 유입으로 인해 저염선이 발달한다(Oh and Suh, 2006). 이러한 여러 해양학적 특성 때문에 다양한 수괴들로 나뉘어지고, 각각의 수괴에는 동물플랑크톤 수괴지표종이 존재한다(Lee et al., 2019).

난바다곤쟁이류도 한국 근해의 해양학적 특성에 따라 독특한 분포형태를 이루고 있기 때문에 이에 따른 분포 특성에 대한 이해가 필요하다. 따라서 본 연구는 한국 근해의 해양학적 특성에 따른 난바다곤쟁이류의 분포 특성을 이해함을 목적으로 한다.

재료 및 방법

시료 채집

난바다곤쟁이류는 한국 근해에서 2016년 2월, 3월, 6월, 9월, 10월 그리고 11월에 국립수산과학원 탐구 21호를 이용하여 채집되었다(Fig. 1). 망구 80 cm, 망목 330 μm 의 봉고네트를 이용하여 2 knots의 속도로 경사 예인하였다. 조사 정점의 수심이 200 m 이하일 경우에는 봉고네트를 바닥 근처에서 표층까지 예인하였고, 수심이 200 m 이상일 경우에는 최대 200 m에서 표층까지 예인하였다. 정량분석을 위해 네트 입구에 유량계(Hydro-

bios model 438115; Hydro-Bios, Kiel, Germany)를 장착하였다. 채집된 시료는 선상에서 5%의 포르말린에 1시간 고정 후 알코올로 보존하였다.

수온과 염분은 난바다곤쟁이류 채집과 동일한 정점에서 네트 채집을 하기 전에 CTD (Sea Bird Electronics 9 plus; Sea-Bird Electronics, Bellevue, WA, USA)를 이용하여 수층별로 관측하였다. 각 정점의 저층 바닥으로부터 5 m 위까지 관측하였고 수심이 200 m 이상일 경우 최대 200 m까지 관측하였다.

시료 분석

난바다곤쟁이는 입체현미경하에서 동정 및 계수하였다. 분할이 필요한 경우 Motoda 분할기(Motoda, 1959)를 이용하여 최종적으로 300-500개체를 계수한 후 단위 체적당 개체수(inds.m^{-3})로 환산하였다. 동정은 문헌(Baker et al., 1990)을 따라 가능한 중 수준까지 분류하였다.

통계분석

수온 및 염분과 우점적으로 출현하는 난바다곤쟁이류의 밀도 사이의 상관관계를 파악하기 위해 SPSS (statistical package for the social sciences; version 12.0)를 사용하여 순위상관분석(spearman rank correlation analysis)을 실시하였다. 수괴는 수온 염분 자료의 평균값을 중심으로 하여 근접한 거리에 있는 개체를 묶어서 분석하는 K-평균 군집분석(K-means clustering)을 실시하였다. 수온과 염분은 각 정점의 최대 수심에서 표층까

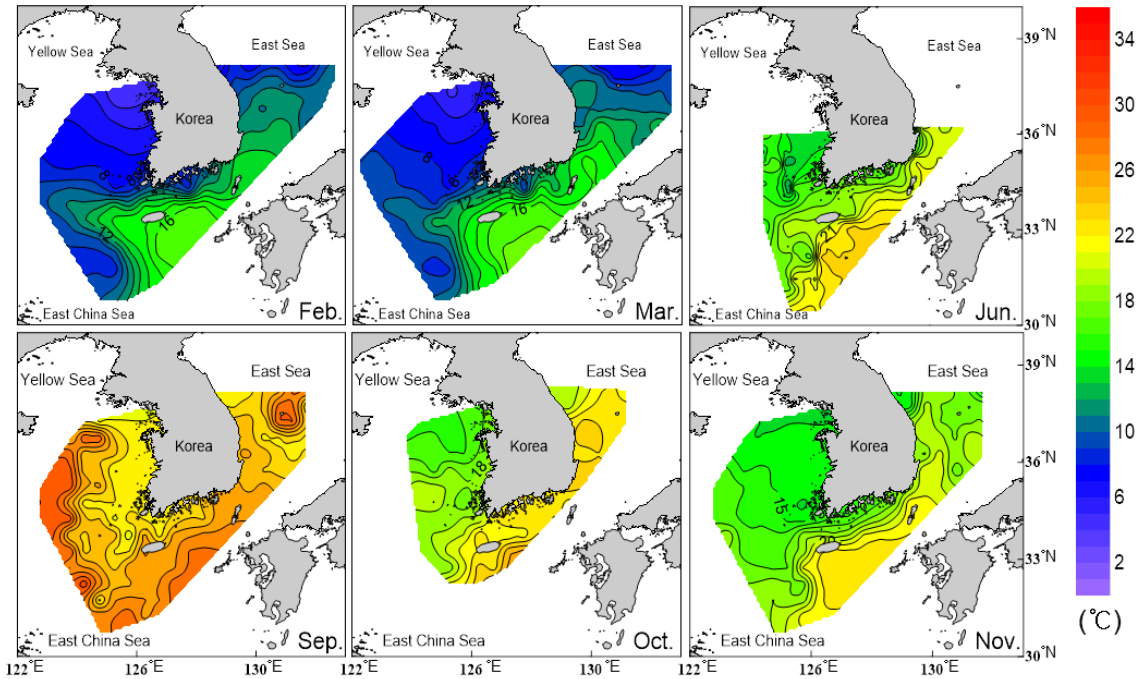


Fig. 2. Horizontal distribution of temperature at the surface layer in 2016.

지의 평균값을 이용하였다. 사전에 그룹의 개수, K에 대한 정보를 추정하기 위해 R프로그램의 NbClust함수를 이용하여 그룹수를 추정하였다(Bae and Roh, 2005).

결 과

수온과 염분

월별 표층 수온은 4.2-31.0°C의 범위였으며, 2월에 가장 낮았고, 9월에 가장 높았다(Fig. 2). 저층 수온은 0.9-23.3°C로 2월에 가장 낮았고, 10월에 가장 높았다(Fig. 3). 표층과 저층의 수온 차는 9월에 13.9°C로 가장 컸고, 2월에 2.5°C로 가장 작았다. 표층 수온은 9월을 제외하고 제주도과 대마도 해역이 조사시기마다 다른 해역보다 비교적 높았다. 동해 북부는 동해 남부보다 수온이 낮았다. 9월 서해에서는 비교적 외해 쪽의 수온이 높았다. 저층 수온은 동해가 가장 낮았고 그 다음으로는 서해, 남해 순이었다.

월별 표층 염분은 27.9-34.8 psu로 9월에 최저, 3월에 최고였다(Fig. 4). 저층 염분은 30.8-34.7 psu의 범위로 10월이 가장 낮았고 6월이 가장 높았다(Fig. 5). 표층과 저층 염분의 차이는 작았다. 2월과 3월은 표층 염분이 저층보다 높았으나, 6월부터 11월까지는 저층 염분이 표층 염분보다 높았다. 표층 염분은 9월을 제외하고 제주도, 대마도 해역 그리고 동해에서 높았고, 서해와 동중국해는 낮았다. 특히 9월은 동중국해에서 낮은 염분의 수괴가 존재하였다. 저층 염분은 표층 염분과 유사했으며, 동중국해의 염분이 가장 낮았다.

수괴의 특성

전 수심의 수온과 염분을 기준으로 수괴를 구분하였다. 월별로 수괴 그룹의 개수는 NbClust함수 분석결과 3개의 그룹으로 나뉘었다. Group W는 대부분 서해의 정점이며, 저염분인 특성을 가졌다. 월별로 유사한 특징은 없었으며, 그룹의 범위가 달랐다. 3월과 10월에는 group W의 정도 범위가 넓어지고 2월, 6월, 9월, 11월에 위도의 범위가 넓어졌다(Fig. 6).

Group S는 고염분, 고수온의 특징을 가지고 월별로 제주도 주변 정점이 그룹에 포함되며, 그 범위가 달랐다. 3월은 제주도 서쪽과 남쪽의 정점이 그룹 지어졌고 2월, 6월, 9월, 10월, 11월은 그룹의 범위가 대마도 위쪽 정점까지 확장되었다. 특히 10월에는 울릉도 해역 정점이 group S에 포함되었다(Fig. 6).

Group E는 고염분, 저수온의 특징을 가지며 동해 정점이 포함되었다. 월별로 그룹의 범위에 큰 차이가 없었으나 10월에 그룹의 범위가 축소되었다(Fig. 6).

난바다곤쟁이 출현종 수 및 개체수

한국해역에서 출현한 난바다곤쟁이의 전체 종수는 7종이었다. group S에서 6종으로 가장 많은 종이 출현하였고, group W에서는 가장 적은 4종이 출현하였다. 그룹별 평균 출현 개체수는 9.1 inds.m⁻³로 group W에서 가장 많았고, 다음으로는 group S가 8.0 inds.m⁻³, group E가 1.3 inds.m⁻³의 순이었다(Fig. 7).

Group W에서는 *Euphausia nana*, *E. pacifica*, *Pseudeuphausia latifrons* 그리고 *P. sinica*가 출현하였다(Fig. 8). *E. pacifica*는 모든 조사 시기에 출현하였다. 6월에 출현 개체수가 가장 적

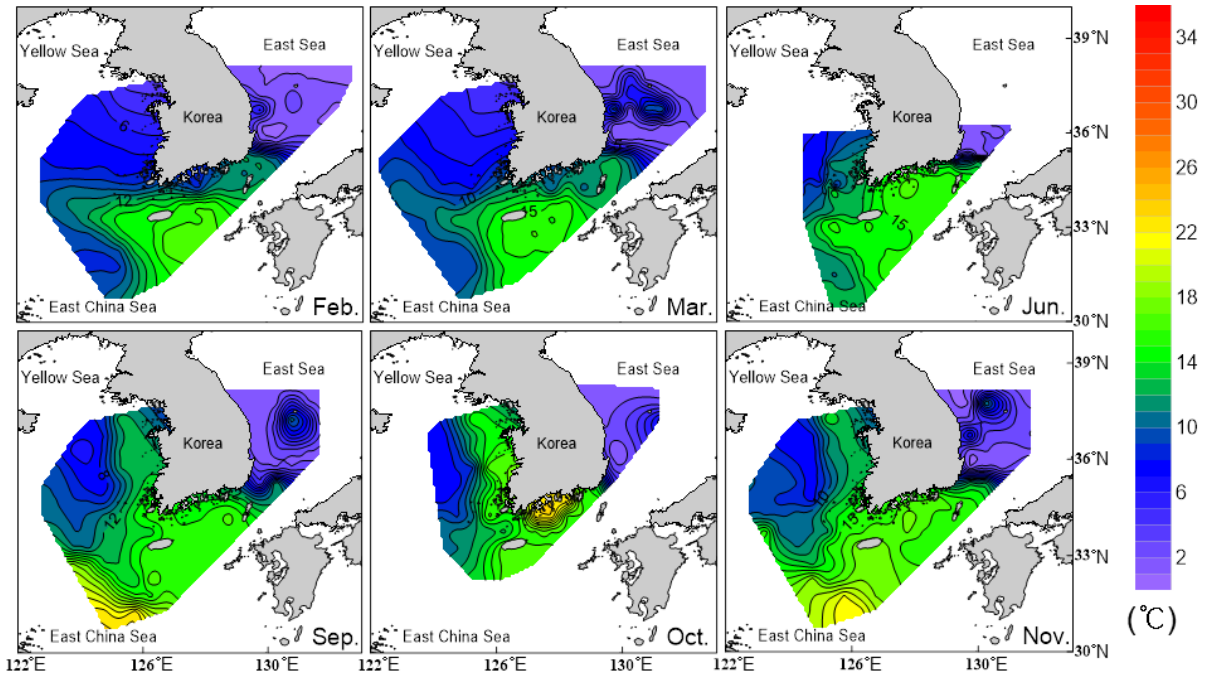


Fig. 3. Horizontal distribution of temperature at the bottom layer in 2016.

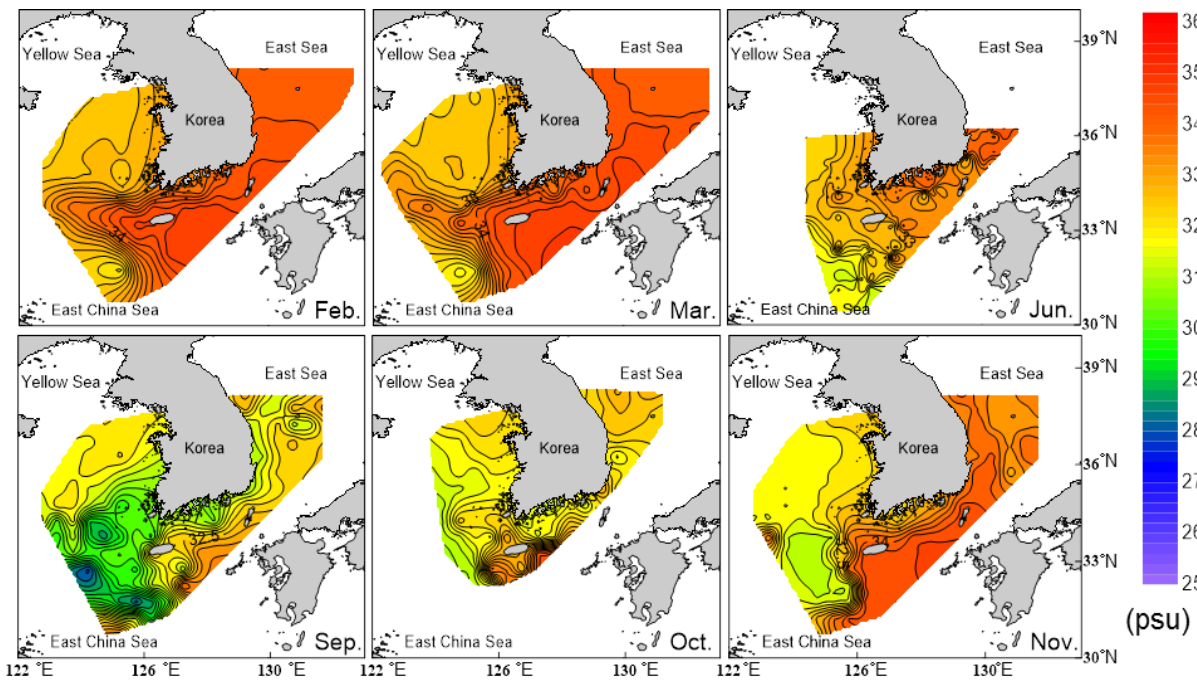


Fig. 4. Horizontal distribution of salinity at the surface layer in 2016.

었고, 9월에 가장 많았다. *E. nana*는 10월에 출현을 하지 않았고, 9월에 개체수가 가장 많았다. *P. latifrons*와 *P. sinica*는 2월에만 출현하였다.

Group S에서는 *Euphausia gibboides*, *E. nana*, *E. pacifica*, *P. latifrons*, *P. sinica* 그리고 *Stylocheiron affine*가 출현하였다(Fig. 9). *E. gibboides*는 group S에서 2월에만 출현하였다.

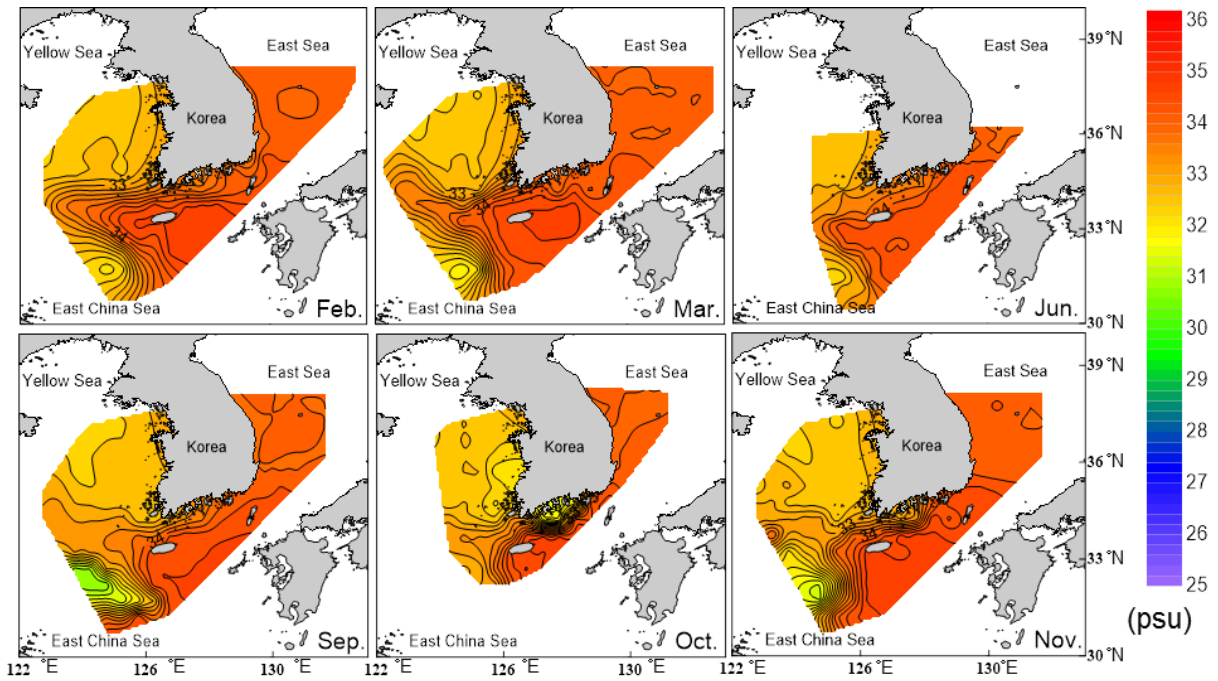


Fig. 5. Horizontal distribution of salinity at the bottom layer in 2016.

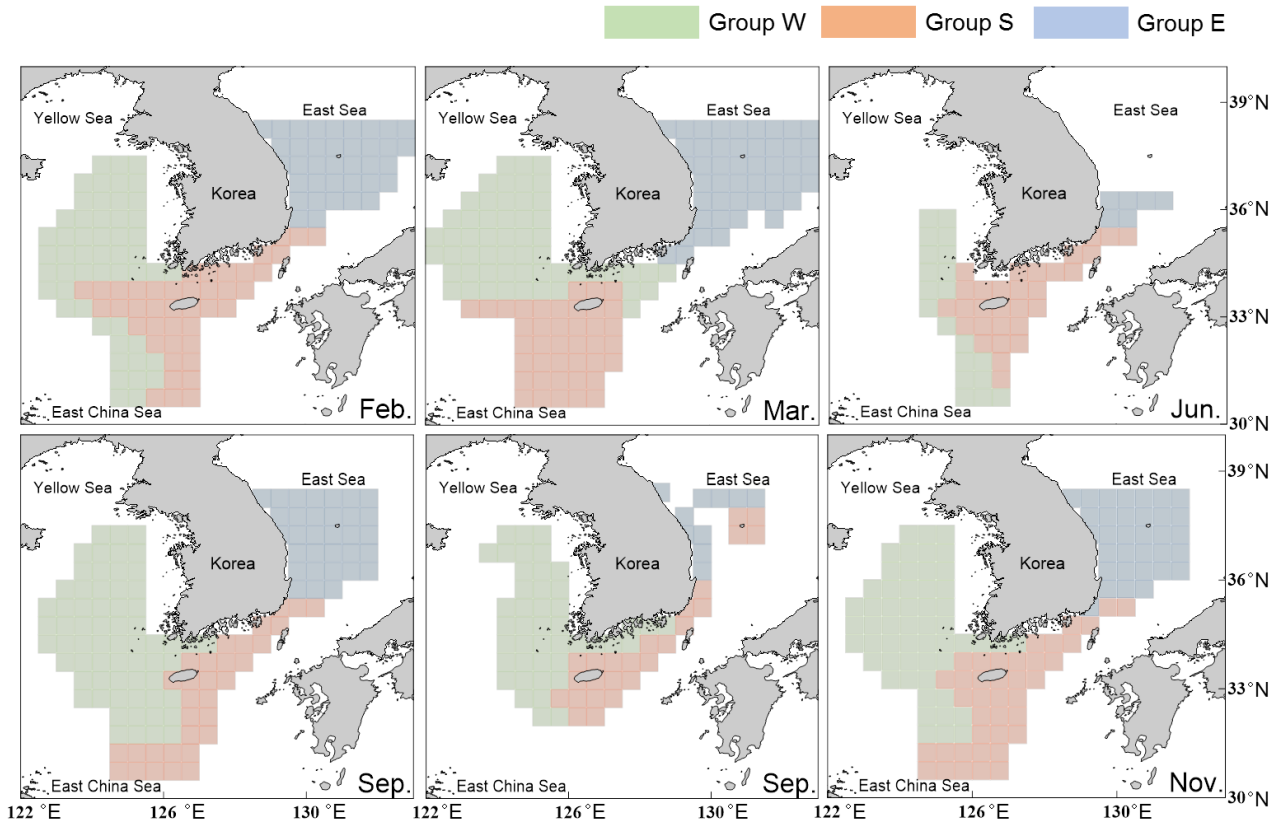


Fig. 6. Clustering of water masses by temperature and salinity in 2016.

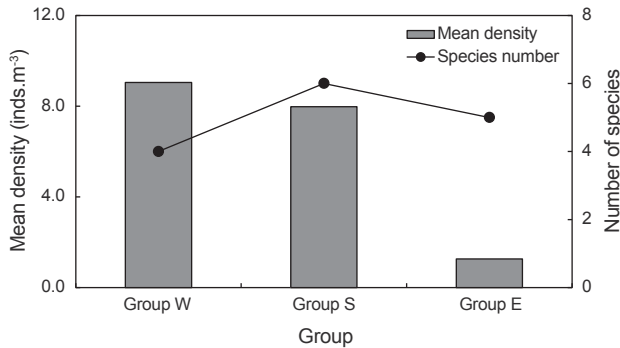


Fig. 7. Mean density (bar) and species number of euphausiids (line) in Korea waters in 2016.

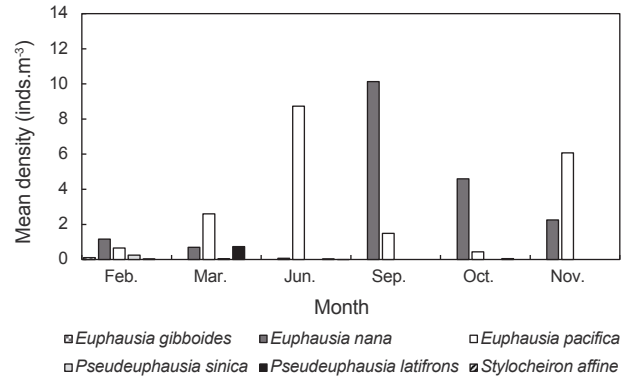


Fig. 9. Variation of mean densities of euphausiids in the group S in 2016.

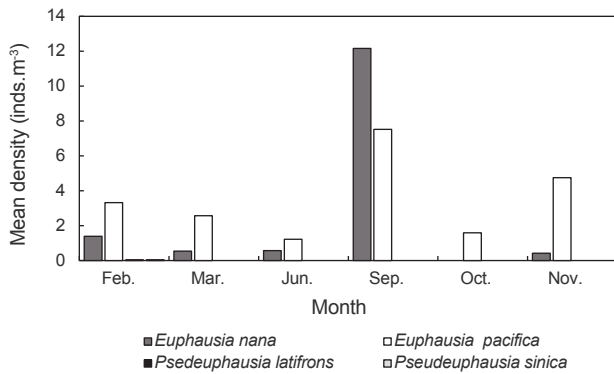


Fig. 8. Variation of mean densities of euphausiids in the group W in 2016.

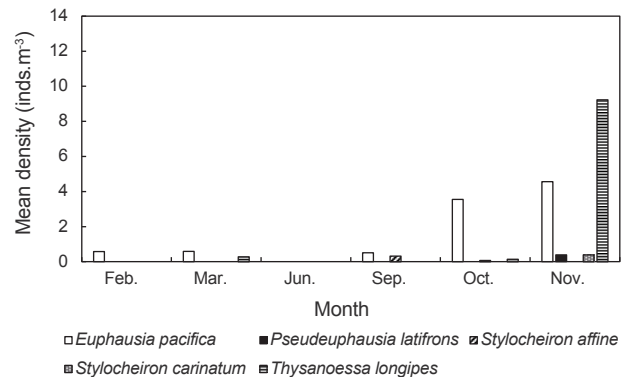


Fig. 10. Variation of mean densities of euphausiids in the group E in 2016.

*E. nana*의 개체수는 9월에 가장 많았고, 6월에 가장 적었다. *E. pacifica*는 10월에 개체수가 가장 적고, 6월에 가장 많았다. *P. latifrons*는 9월과 11월에는 출현을 하지 않았고 3월에 가장 많고, 2월에 가장 적었다. *P. sinica*는 2월과 3월에만 출현하였다. *S. affine*는 6월에만 출현하였다.

Group E은 *E. pacifica*, *P. latifrons*, *S. affine*, *Stylocheiron carinatum* 그리고 *T. longipes*가 출현하였다(Fig. 10). *E. pacifica*의 출현 개체수는 11월이 가장 많았으며, 6월을 제외하고 9월의 개체수가 가장 적었다. *P. latifrons*는 11월에만 출현하였다. *S. affine*는 9월과 10월에 출현하였다. *S. carinatum*은 group E의 11월에 출현하였다. *T. longipes*는 3월, 10월, 11월에 출현하였으며, 출현 시기 중 11월의 개체수가 가장 많았다.

우점종의 시·공간적 분포

*E. pacifica*는 3개의 그룹에서 출현하였으며, 가장 넓은 범위로 출현하였다(Fig. 11). Group W에서는 대부분의 조사 정점에서 출현하였으며, 위도 33-36°사이에서 높은 밀도로 출현하였다. 9월은 위도 33-36°, 경도 124-125°의 정점에서 출현 개체수가 높

았다. Group S에서는 제주도 북쪽 정점에는 거의 출현하지 않고, 주로 group W와 인접해 있는 정점에서 출현하였다. Group E에서는 3월과 11월에 출현 범위가 넓었다.

*E. nana*는 group W와 group E에서만 출현하였다(Fig. 12). 경도 125-129°, 위도 31-35°에서만 분포하였다. 2월에는 가장 넓은 범위에서 출현하였고, 9월은 제주도 아래의 정점에서 높은 밀도로 출현하였다. *P. latifrons*는 3개의 그룹 모두에서 출현하였다(Fig. 13). 그 중에서도 제주도 아래 경도 124-127° 위도 31-33°에서 높은 밀도로 분포하였다. 3월에 밀도가 가장 높았으며, 9월에는 출현하지 않았다. Group E에는 11월에서만 출현하였다. *T. longipes*는 저수온 고염분의 수괴인 group E에서만 출현하였다(Fig. 14). 위도 36-38°에서 분포하였으며, 2월과 9월에는 출현하지 않았다.

수괴 별 우점종과 환경 요인간의 상관관계

Group W에 우점적으로 출현하는 종은 *E. pacifica*, *E. nana*, *P. latifrons*였다. Group W에 출현하는 *E. pacifica*는 수온에 음의 상관관계($r=-0.266$, $P<0.001$)와 염분에 양의 상관관계

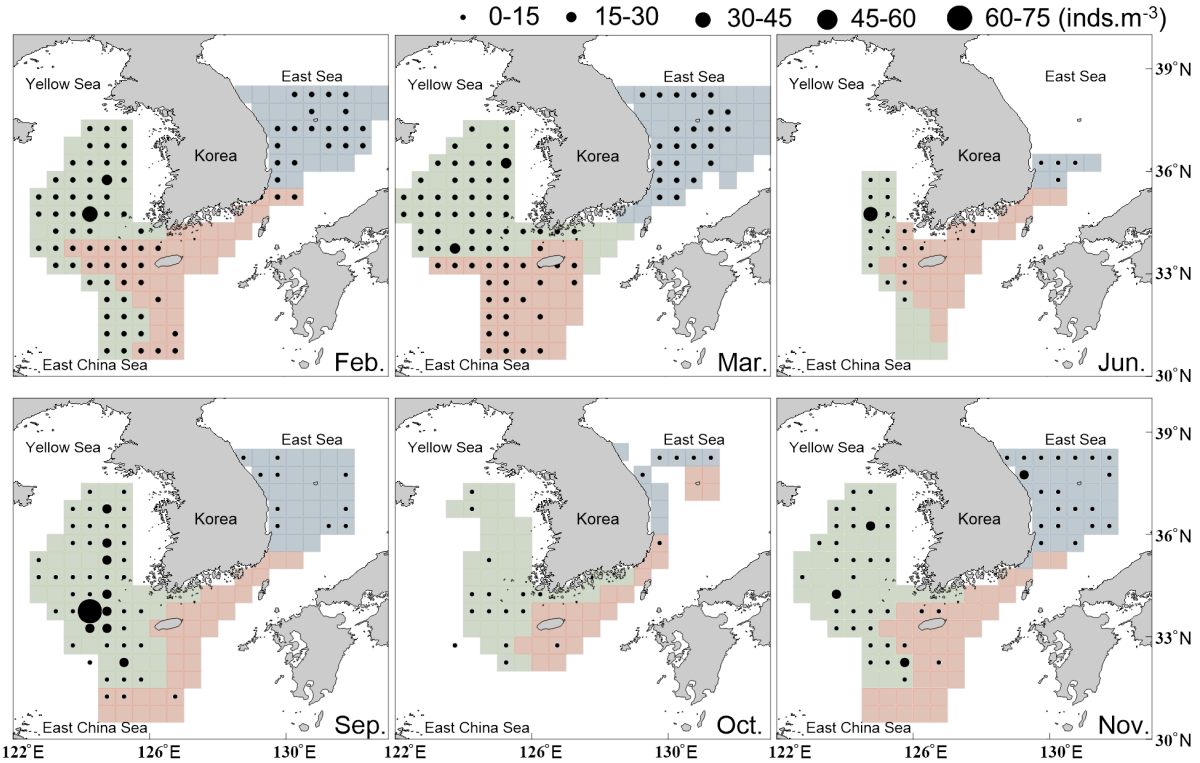


Fig. 11. Spatial distribution of *Euphausia pacifica* density (inds.m³) in 2016.

($r=0.166, P<0.001$)를 가졌다. *E. nana*는 수온에 양의 상관관계 ($r=0.164, P<0.001$)를 가졌다. *P. latifrons*는 수온과 염분에 어떠한 상관관계도 없었다(Table 1).

Group S에 우점적으로 출현하는 종은 group W와 같은 *E. pacifica*, *E. nana* 그리고 *P. latifrons*였다. Group S에 출현하는 *E. pacifica*는 수온과 염분에 각각 음의 상관관계($r=-0.347, P<0.001$), ($r=-0.260, P<0.001$)를 가졌으며 *P. latifrons* 역시 수온과 염분에 각각 음의 상관관계($r=-0.274, P<0.001$), ($r=-$

$0.206, P<0.01$)를 가졌다. *E. nana*는 수온과 염분에 상관관계가 없었다(Table 1).

Group E에서는 *E. pacifica*, *P. latifrons*, 그리고 *T. longipes*가 우점적으로 출현하였다. Group E에 출현하는 *E. pacifica*와 *P. latifrons*는 수온과 염분에 상관관계가 없었다. *T. longipes*는 수온과 염분에 각각 음의 상관관계($r=-0.178, P<0.01$), ($r=-0.226, P<0.01$)가 있었다(Table 1).

Table 1. Results of Spearman rank correlation coefficient between dominant species and environmental factors in Korea waters in 2016

Water masses	Dominant species	Temperature (°C)		Salinity (psu)	
		<i>r</i>	<i>P</i>	<i>r</i>	<i>P</i>
Group W	<i>Euphausia nana</i>	0.164	<0.01	-0.021	>0.05
	<i>Euphausia pacifica</i>	-0.266	<0.001	0.166	<0.01
	<i>Pseudeuphausia latifrons</i>	-0.075	>0.05	-0.050	>0.05
Group S	<i>Euphausia nana</i>	-0.091	>0.05	-0.035	>0.05
	<i>Euphausia pacifica</i>	-0.347	<0.001	-0.260	<0.001
	<i>Pseudeuphausia latifrons</i>	-0.274	<0.001	-0.206	<0.01
Group E	<i>Euphausia pacifica</i>	-0.081	>0.05	0.059	>0.05
	<i>Pseudeuphausia latifrons</i>	0.077	>0.05	0.090	>0.05
	<i>Thysanoessa longipes</i>	-0.226	<0.01	-0.178	<0.01

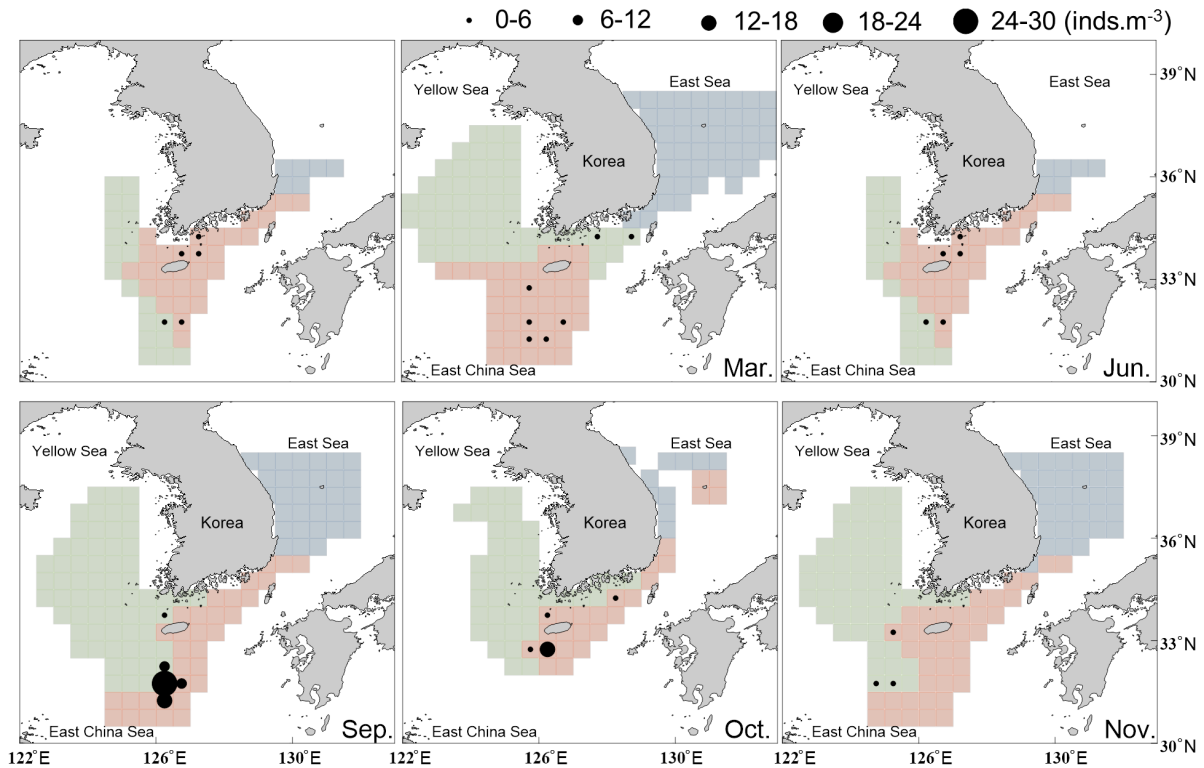


Fig. 12. Spatial distribution of *Euphausia nana* density (inds.m⁻³) in 2016.

고찰

난바다곤쟁이류의 지리학적 분포 패턴은 수괴의 특성에 의해 결정되며(Mauchline and Fisher, 1969), 특히 수온과 염분에 영향을 받아 출현종 및 풍도 변동에 영향을 미친다(Kim, 2009). 난바다곤쟁이류는 극지방에서부터 열대 해역까지 넓은 범위에 분포하며, 한국 근해에는 12종의 난바다곤쟁이류가 분포한다고 알려져 있다(Suh, 2012).

서해에 출현하는 난바다곤쟁이류는 출현 종이 다른 해역에 비해 단순하였다(Yoon et al., 2000; Yoon et al., 2006). *Euphausia pacifica*, *E. nana*, *Pseudeuphausia latifrons* (Hong, 1969), *P. sinica* (Suh, 1990) 그리고 *Stylocheiron affine* (Yoon et al., 2006)가 출현하였으며, 그 중 *E. pacifica*가 난바다곤쟁이류 군집의 97.6% 이상으로 최우점적으로 출현한다고 알려져 있다(Yoon et al., 2006). 본 연구에서도 group W의 출현종은 4종으로 이전 연구들과 비슷한 수준이었고, *E. pacifica*가 9월을 제외하고 68-100%의 출현밀도가 높았다. 이는 서해 해역인 group W가 다른 해역보다 수온의 차이가 적고, 여름철을 제외하고 수괴가 균질성을 가지기 때문에 출현종이 단순한 것으로 판단된다. 남해 및 동중국해는 8종이 출현하며(Hong, 1969), 제주도 아래 동중국해에서 *E. pacifica*, *E. nana*, *P. sinica*, *P. latifrons*가 우점적으로 출현한다고 알려져 있다(Xu and Li, 2005). *E.*

*pacifica*와 *E. nana*의 범위는 29°30'-33°N, 122-128°E로 이전 연구 결과(Xu, 2007)와 유사하며, 각각 겨울과 봄에 풍도가 높았다(Xu and Chen, 2005). 본 연구에서는 남해 및 동중국해인 group S에 *E. pacifica*와 *E. nana*가 우점 출현하였으며, *E. pacifica*와 *E. nana*의 분포 범위가 29°30'-33°N, 122-128°E로 기존의 연구결과와 유사하였다. 쿠로시오 해류의 영향을 받아 분포하는 *E. nana* (Brinton, 1962)는 group S에서 수온과 염분에 상관관계가 없었지만, 쿠로시오 해류의 영향을 받는 group S 해역에서 우점적으로 분포하는 것으로 판단된다. 또한 제주도 위쪽 지역에서는 *E. pacifica*를 포함하여 난바다곤쟁이류가 분포하지 않았으며(Fig. 11) 이러한 분포 특성은 수온 및 염분과 같은 수괴의 특성에 영향을 받는 것으로 추측할 수 있지만, 명확한 원인을 파악하기 위해서는 추가적인 연구가 수행되어야 할 것이다.

동해에 출현하는 난바다곤쟁이류는 *E. pacifica*, *Thysanoessa longipes* 그리고 *S. affine*로 알려져 있다(Hong, 1969). 동해에 출현하는 난바다곤쟁이류의 대부분이 *E. pacifica*이며(Iguchi, 2004), 동해 해역에서 넓은 범위에 분포하며 성체는 주로 가을철에 증가하였다(Dolganova and Zuenko, 2004). *T. longipes*는 동해에서만 출현하였다(Hong, 1969). 동해 해역인 Group E에서도 이전 연구결과와 동일하게 *E. pacifica*가 넓은 범위에서 출현하였으며, *T. longipes*가 출현하였다. Group E에서만 출현

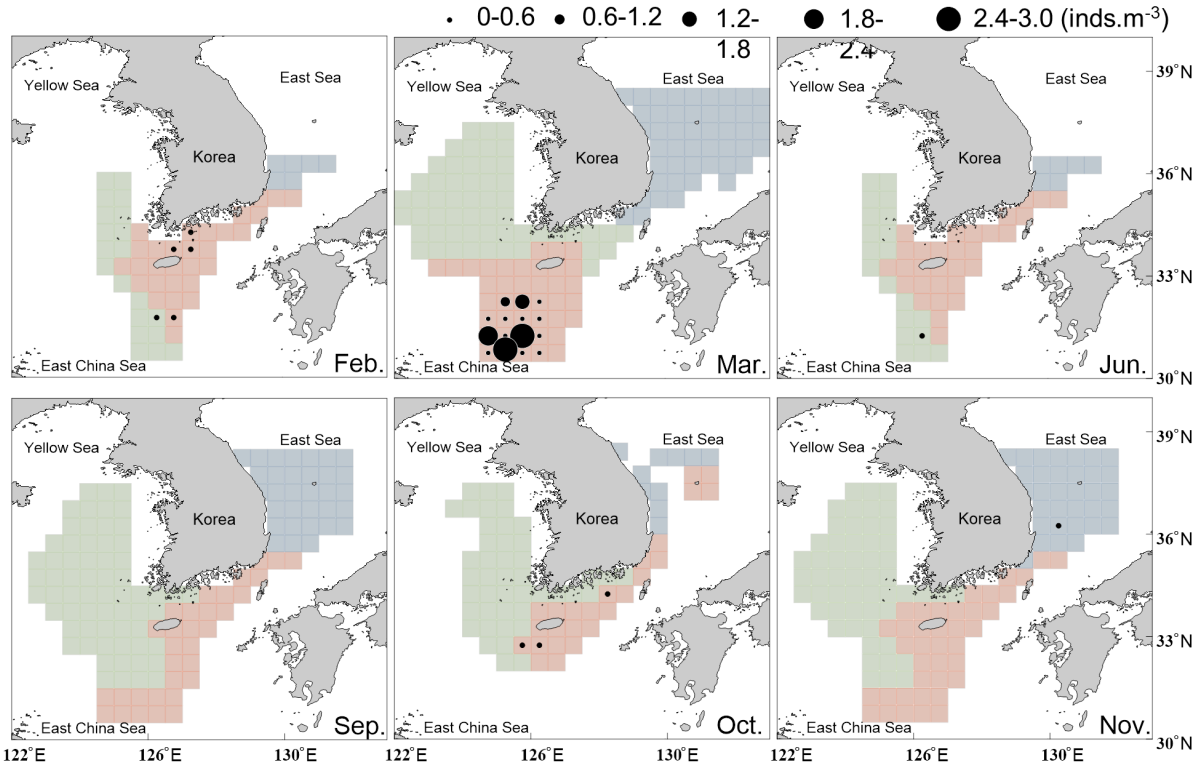


Fig. 13. Spatial distribution of *Pseudeuphausia latifrons* density (inds.m⁻³) in 2016.

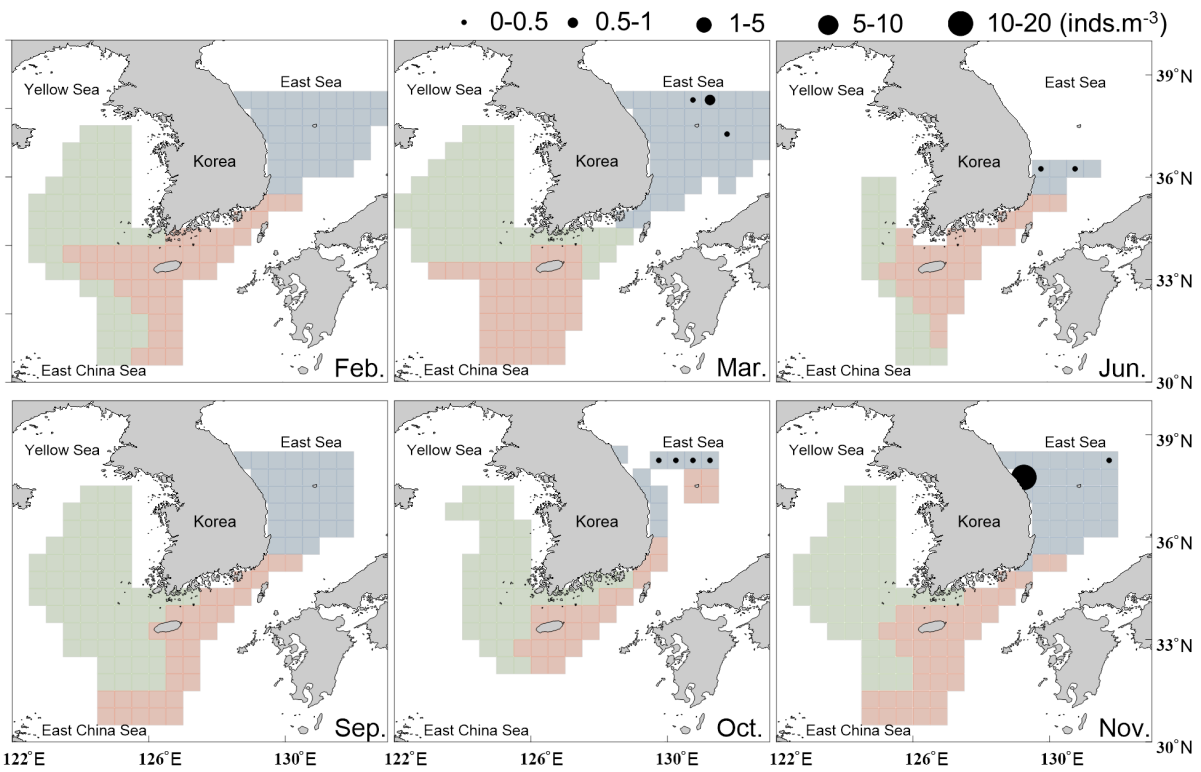


Fig. 14. Spatial distribution of *Thysanoessa longipes* density (inds.m⁻³) in 2016.

한 *T. longipes*는 수온이 낮은(<1°C) 수괴에 분포하며, 300 m까지 수직회유를 한다고 알려져 있다(Iguchi et al., 2004). 따라서 수심이 깊고 저수온의 특징을 가지는 group E에서 저수온을 선호하고 수직회유를 하는 *E. pacifica* (Liu and Sun, 2010)와 *T. longipes*가 분포하는 것으로 판단된다.

본 연구에서 수괴별 난바다곤쟁이류의 개체수와 출현종 수를 제시하였으나 채집과정에서 전 수층에 대한 정량 채집이 되지 않았을 가능성이 있다. 조사 시 수심이 깊은 동해의 경우 수심 200 m에서 경사 채집을 실시하였는데 난바다곤쟁이류는 수심이 200 m 이상의 깊은 수층에 분포하기 때문에(Taki et al., 2008) 출현종 수 및 개체수가 과소평가되었을 수 있다. 또한 서해와 남해의 경우 최대 수심의 5 m 위쪽에서 경사 채집을 실시하였으며, 수심이 낮은 남해와 서해의 경우 수온이 높은 표층을 피해 저층으로 이동한 난바다곤쟁이의 특정 수심대의 개체들이 과소평가되었을 수 있다. 정확한 정량 채집을 하기 위해서는 서식 수심 및 샘플링 방법에 대한 보안을 실시한 후 추가적인 연구가 필요하다.

사 사

이 논문은 국립수산과학 수산과학연구사업 근해어업자원조사(R2021027)의 지원을 받아 수행된 연구입니다.

References

Bae WS and Roh SW. 2005. A study on k-means clustering. *Commun Stat Appl Methods* 122, 497-508. <https://doi.org/10.5351/CKSS.2005.12.2.497>.

Baker AC, Boden BP and Brinton E. 1990. A practical guide to the Euphausiids of the world. Natural History Museum Publication, London, U.K., 96.

Brinton E. 1962. The distribution of Pacific euphausiids. *Bull Scripps Inst Oceanogr* 8, 51-269.

Dolganova NT and Zuenko YI. 2004. Seasonal and inter-annual dynamics of mesoplankton in the northwestern Japan Sea. *Prog Oceanogr* 61, 227-243. <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2004.06.008>.

Hong SY. 1969. The Euphausiid crustaceans of Korean waters. In: *The Kuroshio*. John CM, ed. UH Press, Honolulu, HI, U.S.A., 291-300.

Iguchi N. 2004. Spatial/temporal variations in zooplankton biomass and ecological characteristics of major species in the southern part of the Japan Sea, a review. *Prog Oceanogr* 61, 213-225. <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2004.06.007>.

Jang MC, Baek SH, Jang PG, Lee WJ and Shin KS. 2012. Patterns of zooplankton distribution as related to water masses in the Korea Strait during winter and summer. *Ocean Polar Res* 34, 37-51. <https://doi.org/10.4217/OPR.2012.34.1.037>.

Kang DY, Ko AR, Jeong JM and Baek GW. 2019. Diet composition of the sandfish *Arctoscopus japonicus* in the coastal wa-

ters of East Sea, Korea. *J Korean Soc Fish Ocean Technol* 55, 320-326. <https://doi.org/10.3796/KSFOT.2019.55.4.320>.

Kim HS. 2009. Ecological and physiological studies of Euphausiids in the Oyashio region, Western Subarctic Pacific. Ph.D. Dissertation, Hokkaido University, Hokkaido, Japan.

Kim PK, Han IW, Oh WS, Choi YM, Yoon SH, Lee HB and Lee KH. 2018. Biomass estimate of euphausiids *Euphausia* sp. using the two-frequency difference method. *Korean J Fish Aquat Sci* 513, 205- 312. <https://doi.org/10.5657/KFAS.2018.0305>.

Lee JY, Park W, Moon SY and Cha HK. 2019. Distribution and indicator species of zooplankton in the East Sea, Yellow Sea and northern East China Sea in winter. *J Environ Biol* 40, 871-883. [https://doi.org/10.22438/jeb/40/5\(SI\)/SI-07](https://doi.org/10.22438/jeb/40/5(SI)/SI-07).

Liu HL and Sun S. 2010. Diel vertical distribution and migration of a euphausiid *Euphausia pacifica* in the Southern Yellow Sea. *Deep Sea Res Part II Top Stud Oceanogr* 57, 594-605. <https://doi.org/10.1016/j.dsr2.2009.10.009>.

Mauchline J. 1980. The biology of mysids and euphausiids. In: *Advances in marine biology* 18. Blaxter JHS, Russell FS and Yonge M, eds. Academy Press, London, U.K., 3-369.

Mauchline J and Fisher L. 1969. The biology of euphausiids. In: *Advances in Marine Biology* 7. Russell FS and Yonge M, eds. Academy Press, London, U.K., 1-454.

Motoda S. 1959. Devices of simple plankton apparatus. *Bull Fish Sci Hokkaido Univ* 7, 73-94.

Nicol S. 2006. Krill, currents and sea ice, *Euphausia superba* and its changing environment. *Bioscience* 562, 111-120. [https://doi.org/10.1641/0006-3568\(2006\)056%5b0111:KCASIE%5d2.0.CO;2](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2006)056%5b0111:KCASIE%5d2.0.CO;2).

Oh HJ and Suh YS. 2006. Temporal and spatial characteristics of chlorophyll α distributions related to the oceanographic conditions in the Korean waters. *J Korean Assoc Geogr Info Stud* 93, 36-45.

Seong GC, Ko AR, Nam KM, Jeong JM, Kim JN and Baek GW. 2019. Diet of the Korean flounder *Glyptocephalus stelleri* in the coastal waters of the east sea of Korea. *Korean J Fish Aquat Sci* 52, 430-436. <https://doi.org/10.5657/KFAS.2019.0430>.

Siegel V. 2005. Distribution and population dynamics of *Euphausia superba*, summary of recent findings. *Polar Biol* 29, 1-22. <https://doi.org/10.1007/s00300-005-0058-5>.

Suh HL. 1990. *Pseudeuphausia sinica* euphausiacea, crustacea, a new record from the Korean waters. *Korean J Fish Aquat Sic* 23, 65-67.

Suh HL. 2012. *Stylocheiron abbreviatum* (Euphausiacea, Crustacea): A new record from the Korean waters. *Korean J Fish Aquat Sci* 15, 255-257. <https://doi.org/10.5657/FAS.2012.0255>.

Sun S, Tao S, Li C and Liu H. 2011. Spatial distribution and population structure of *Euphausia pacifica* in the Yellow Sea 2006-2007. *J Plankton Res* 33, 873-889. <https://doi.org/10.1093/plankt/fbr089>.

- org/10.1093/plankt/fbq160.
- Taki K. 2007. Seasonal changes in distribution and abundance of euphausiids in the coastal area of north-eastern Japan. *Fish Sci* 73, 522-533. <https://doi.org/10.1111/j.1444-2906.2007.01364.x>.
- Taki K, Yabuki T, Noiri Y, Hayashi T and Naganobu M. 2008. Horizontal and vertical distribution and demography of euphausiids in the Ross Sea and its adjacent waters in 2004/2005. *Polar Biol* 31, 1343-1456. <http://doi.org/10.1007/s00300-008-0472-6>.
- Vallet C, Labat HP, Smith M and Koubbi P. 2011. Interannual variations in euphausiid life stage distribution in the Dumont d'Urville Sea from 2004 to 2008. *Polar Sci* 5, 166-178. <https://doi.org/10.1016/j.polar.2011.03.006>.
- Xu ZL and Chen YQ. 2005. The dominant species of euphausiids in the East China Sea and their ecological adaptability. *Acta Ecol Sin* 25, 2227-2233.
- Xu ZL and Li C. 2005. Horizontal distribution and dominant species of heteropods in the East China Sea. *J Plankton Res* 27, 373-382. <https://doi.org/10.1093/plankt/fbi014>.
- Xu Z. 2007. Distribution patterns of pelagic euphausiids in the East China Sea. *Acta Ecol Sin* 27, 3678-3686. [https://doi.org/10.1016/S1872-2032\(07\)60081-X](https://doi.org/10.1016/S1872-2032(07)60081-X).
- Yamamura O, Honda S, Shida O and Hamatsu H. 2002. Diets of walleye pollock *Theragra chalcogramma* in the Doto area, northern Japan, ontogenetic and seasonal variations. *Mar Ecol Prog Ser* 238, 187-198. <https://doi.org/10.3354/meps238187>.
- Yamamura O, Inada T and Shimazaki K. 1998. Predation on *Euphausia pacifica* by demersal fishes, predation impact and influence of physical variability. *Mar Biol* 132, 195-208. <https://doi.org/10.1007/s002270050386>.
- Yoon WD, Cho SH, Lim D, Choi YK and Lee Y. 2000. Spatial distribution of *Euphausia pacifica* Euphausiacea, Crustacea in the Yellow Sea. *J Plankton Res* 22, 939-949. <https://doi.org/10.1093/plankt/22.5.939>.
- Yoon WD, Yang JY, Lim D, Cho SH and Park GS. 2006. Species composition and spatial distribution of euphausiids of the Yellow Sea and relationships with environmental factors. *Ocean Sci J* 41, 11-29. <https://doi.org/10.1007/BF03022402>.