

## 하계 남해연안에 출현하는 *Acartia*속 요각류의 공간 분포

최서열, 서민호<sup>1</sup>, 신경순<sup>2</sup>, 장민철<sup>2,\*</sup>, 서호영\*

전남대학교 해양기술학부, <sup>1</sup>바다생태연구소, <sup>2</sup>한국해양과학기술원 남해연구소

## Spatial distribution of *Acartia* (Copepoda, Calanoida) species in the southern coastal waters of Korea during summer

SeoYeol Choi, Min Ho Seo<sup>1</sup>, Kyoungsoon Shin<sup>2</sup>, Min-Chul Jang<sup>2,\*</sup> and HoYoung Soh\*

Division of Marine Technology, Chonnam National University, Yeosu 59626, Republic of Korea

<sup>1</sup>Marine Ecology Research Center, Yeosu 59697, Republic of Korea

<sup>2</sup>South Sea Research Institute, KIOST, Geoje 53201, Republic of Korea

### \*Corresponding author

Min-Chul Jang  
Tel. 055-639-8511  
E-mail. mcjang@kiost.ac.kr

HoYoung Soh  
Tel. 061-659-7147  
E-mail. hysoh@jnu.ac.kr

Received: 7 March 2019

First Revised: 10 April 2019

Second Revised: 22 August 2019

Revision accepted: 23 August 2019

**Abstract:** The occurrence patterns of *Acartia* (Copepoda; Calanoida) species, *A. erythraea*, *A. hongii*, *A. hudsonica*, *A. ohtsukai*, and *A. sinjiensis*, were examined in the southern coastal waters of Korea in the summer in August 2012. The *Acartia* species had different spatial distribution according to environmental factors. *A. erythraea* showed higher density in a semi-closed bay (Gamak, Masan) where the dissolved oxygen was low ( $< 2 \text{ mg L}^{-1}$ ). *A. sinjiensis* showed a high density in a semi-closed bay when the chlorophyll-*a* concentration was  $> 2 \mu\text{g L}^{-1}$ . *A. ohtsukai* showed a high density at water temperatures  $> 26^\circ\text{C}$  and low salinity  $< 30$ . *A. hongii* and *A. hudsonica* showed at water temperatures  $< 27^\circ\text{C}$  and high dissolved oxygen ( $> 5 \text{ mg L}^{-1}$ ). These results suggest that environmental factors (temperature, salinity, dissolved oxygen, and chlorophyll-*a* concentration) may affect the spatial distribution of *Acartia* species dominant in the southern coasts of Korea in summer.

**Keywords:** acartiid species, spatial distribution, T-S diagram, environmental factors, coastal areas

## 서 론

남해 연안역은 많은 섬들과 만으로 이루어진, 전형적인 리아시스식 해안 특성을 갖는다. 또한 남해 연안은 수심이 얇고, 해수 유동이 적으며, 계절에 따라서 쓰시마난류와 남해 고유 연안수가 만나 다양한 해양환경 특성을 지닌 전선역을 형성하여 어류와 패류의 산란장 및 성육장으로 높

은 가치를 평가받고 있다 (Kim 2000; Yoon and Kim 2003). 그러나 주변 도시의 산업단지 조성과 인구집중화로 인한 산업폐수 및 생활하수 등 오염물질들이 지속적으로 유입되고, 해수교환이 비교적 원활하지 않는 일부 반 폐쇄적인 내만에서 특정시기에 부영양화가 발생하고 있다 (Lee *et al.* 1981). 이러한 환경 변화는 결국 해양생태계 먹이망에서 1차 생산자인 식물플랑크톤 종 조성과 현존량에 영향을 미

쳐, 식물플랑크톤을 먹이로 하여 상위 포식자들에게 에너지를 전달하는 중간자 역할을 하는 동물플랑크톤의 시·공간적 분포에 영향을 줄 수 있다(Frost 1972; Richardson and Shoeman 2004).

한편 동물플랑크톤 출현 개체수의 70% 이상을 차지하는 부유성 요각류는 일반적으로 해양생태계에서 물리적, 생물학적 요인에 직접적이고 민감하게 반응하기 때문에 해양 환경조건의 변화를 나타내는 지시자 역할을 한다(Beaugrand 2004; Bonnet and Frid 2004). 이 중 긴노요각목(Order Calanoida)에 속하는 *Acartia*속 요각류는 전세계적으로 약 74여 종이 보고되고 있으며(Razouls *et al.* 2018), 특히 연안이나 내만에서 높은 생물량을 보이고 있다(Kimmel and Roman 2004; Moon *et al.* 2008; Park *et al.* 2015). 국내에서는 *Acartia*속 요각류가 기수역에서 연근해 지역에 이르기까지 13종이 보고되고 있다(Yoo *et al.* 1991; Soh and Suh 2000; Moon *et al.* 2008; Soh *et al.* 2013). 이 중 *Acartia erythraea*, *A. hongii*, *A. hudsonica*, *A. ohtsukai*, *A. omorii*, *A. sinjiensis*는 계절에 따라 높은 출현 개체수를 보이며, 동시에 출현하는 경우도 있지만, 그 환경요인에 대한 차이는 다르게 나타난다(Jeffries 1962; Greenwood 1981; Ueda 1987). Ueda (1987)의 연구결과에 따르면 *Acartia*속 요각류의 시·공간적 분포는 수온, 염분, 부영양화 및 빈산소 환경과 같은 물리적 환경 요인과 먹이, 포식, 경쟁 등 생물학적 요인 또는 복합적인 요인에 의해 영향을 받는다. 그러나, *Acartia*속 요각류의 시·공간적 분포에 영향을 미치는 환경

요인은 밀접한 연관성을 가지며, 복합적으로 작용하기 때문에, 특정 환경요인만 연관시켜 분포적 특성을 설명하는 것은 어렵다(David *et al.* 2005). 따라서, 본 연구는 남해 연안에서 여름에 우점하는 *Acartia*속 요각류의 출현 양상과 공간적 분포를 살펴보고, 그들의 출현에 주요한 영향을 미치는 환경 특성을 고찰하고자 하였다.

## 재료 및 방법

남해 연안의 여름 환경 요인 측정과 동물플랑크톤 시료 채집을 위하여 목포에서 부산에 이르는 37개 정점에서 2012년 8월 1일부터 7일까지 현장 조사를 수행하였다(Fig. 1). 수온, 염분, 용존 산소는 현장에서 수질 다항목 측정기(Model 63; Xylem Inc., Yellow Springs, OH, USA)을 이용하여 측정하였다. 엽록소-*a* 농도는 Niskin 채수기를 이용하여 채수된 해수 500 mL를 GF/F 여과지(Whatman)로 여과한 후 15 mL conical tube에 넣어 냉동 보관하였고, 실험실에서 90% 아세톤 10 mL를 주입하여 24시간 동안 냉·암실에서 색소를 추출한 후 3000 rpm으로 5분간 원심 분리시켜 상등액을 취하여 형광 광도계(Turner designs 10-AU, USA)를 사용하여 측정하였다(Parsons *et al.* 1984). 이들 항목 모두는 표층과 저층의 해수를 채수한 후 수행하였다.

동물플랑크톤 시료는 원추형 네트(망구 45 cm, 망목 200  $\mu$ m)를 이용하여 저층에서 표층까지 3회 반복 수직 채집

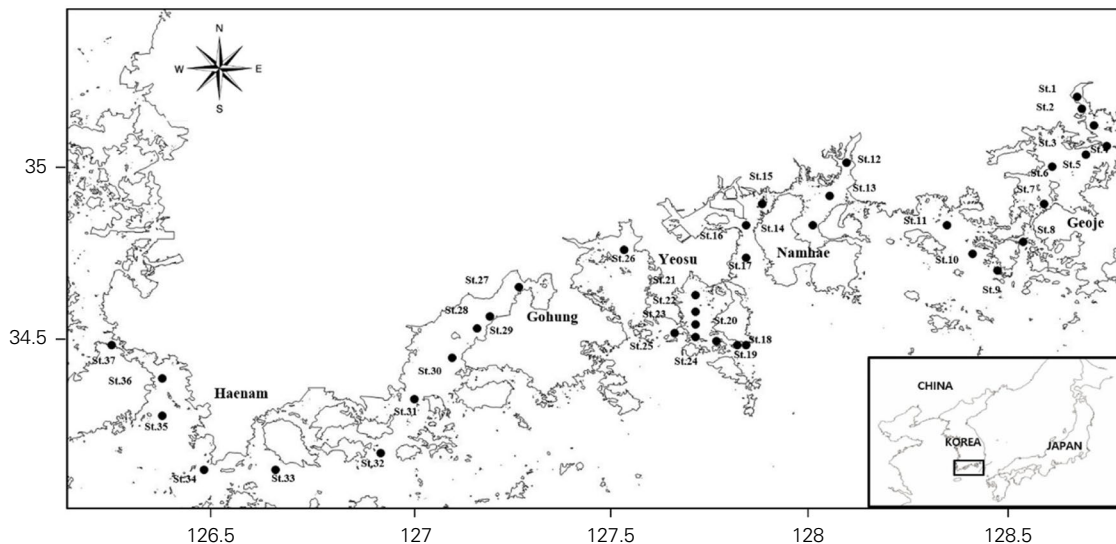


Fig. 1. Map showing the study site in the southern coastal waters of Korea.

하였다. 채집된 동물플랑크톤은 선상에서 즉시 최종농도가 5%가 되도록 중성 포르말린으로 고정하였으며, 정량분석을 위해 네트 망구에 유속계 (Hydro-Bios Model 438115, Germany)를 부착하여 여과 해수량을 측정하였다. 동물플랑크톤 시료는 우점종의 개체수가 200개체 이상 되도록 Folsom식 분할기를 이용하여 분할한 후, 5 mm 간격으로 일정하게 구획된 Bogorove 계수판에서 해부현미경 (Zeiss Stemi SV 11, Germany)을 이용하여 종 동정 후 계수하였다. 종 동정을 위해 더욱 세밀한 관찰이 필요한 경우에는 필요한 부속지를 해부하여 표본을 만든 후, 고배율 광학현미경 (Zeiss Axioskop, Germany) 하에서 자세히 관찰하였다. 계수된 시료는 유량계로 산출된 여과해수량 값을 이용하여 단위체적당 개체수 (ind.  $m^{-3}$ )로 환산하였다. 또한 *Acartia*속 요각류의 출현에 가장 영향을 크게 미치는 것으로 알려진 수온과 염분에 대한 출현 양상을 살펴보기 위해 정량 분석된 5종의 출현 개체수를 토대로 T-S diagram (Temperature-Salinity) 상에 표시하였다.

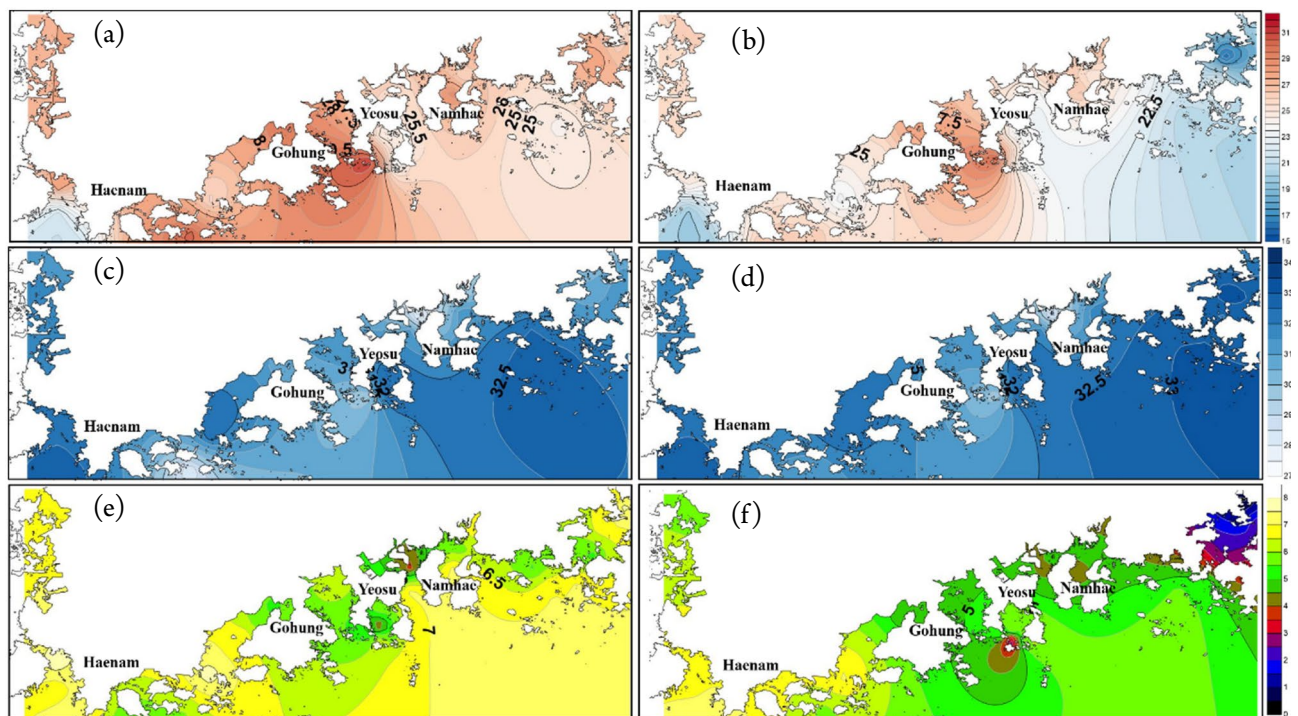
환경요인과 *Acartia*속 요각류 출현 양상과의 상호관계를 살펴보기 위해 정준대응분석 (CCA; Canonical Correspondence Analysis)을 CANOCO (version 4.5) software를 이용하

여 분석하였다 (ter Braak and Šmilauer 2002). CCA 분석법은 대상 분류군의 출현 개체수 자료를 근거로 유사성 거리를 계산하여 배열함으로써 각 분류군의 배열과 측정된 환경요인과의 상호관계를 모형을 도면화시켜 생물과 환경요인의 관계를 효과적으로 설명할 수 있는 다변량 통계분석 기법이다 (ter Braak 1986; Marques *et al.* 2006).

## 결 과

### 1. 해양 환경 특성 (수온, 염분, 용존산소, 엽록소-*a* 농도)

남해 연안의 수온은 표층과 저층에서 각각 21.9~31.1°C와 15.8~30.3°C의 범위로 진도 남동부와 거제도 남서쪽 연안에서 낮게 나타났으며, 특히 마산만에 위치한 정점 6에서 표·저층간에 12.2°C로 큰 차이를 보였다. 그러나 이외의 조사해역 정점의 표·저층간에는 평균 2.7°C로 큰 차이를 보이지 않았으나, 표층 수온의 경우 만입구에서 보다는 만내로 갈수록 높아지는 경향을 보였다 (Fig. 2). 염분은 표층과 저층에서 각각 28.0~32.7와 28.4~33.4의 범위로 마산만과 신지도 동쪽 연안에서 낮게 나타났으며, 특히 신지



**Fig. 2.** Horizontal distributions of hydrographic factors (temperature: °C, salinity, dissolved oxygen:  $mg L^{-1}$ ) in southern coastal waters of Korea. (a) Surface temperature, (b) Bottom temperature, (c) Surface salinity, (d) Bottom salinity, (e) Surface dissolved oxygen, (f) Bottom dissolved oxygen.

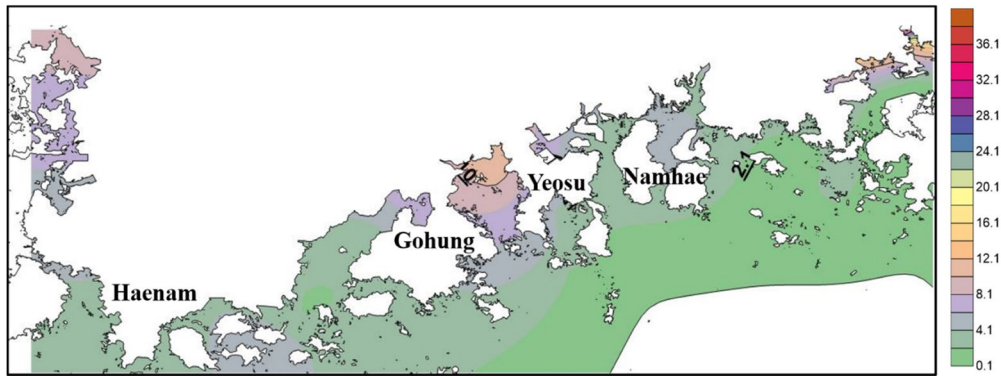


Fig. 3. Horizontal distributions of chlorophyll-*a* concentration ( $\mu\text{g L}^{-1}$ ) in the southern coastal waters of Korea.

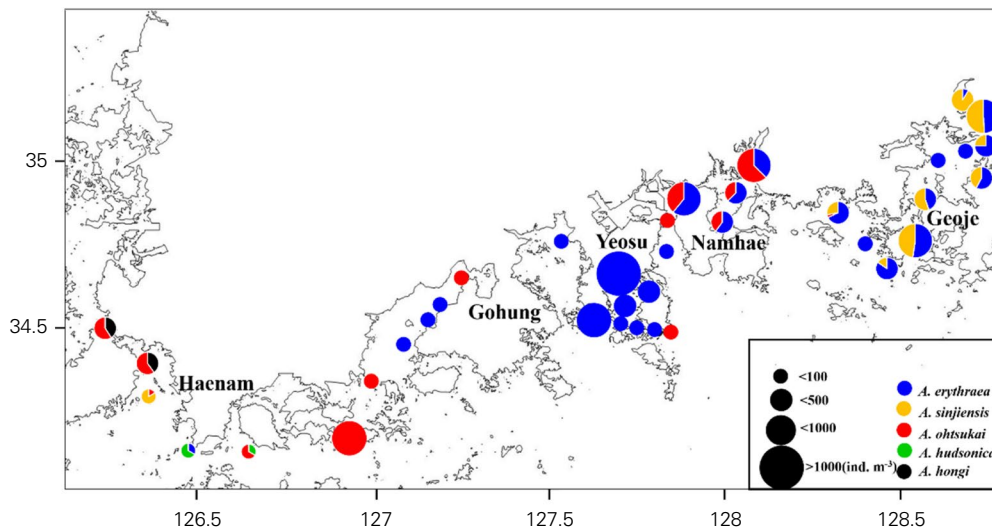


Fig. 4. The abundance of *Acartia* species present in the southern coastal waters of Korea during summer.

도 인근해역에 위치한 정점 32에서 표·저층간에 3.1로 큰 차이를 보였다. 그러나 이 외의 조사해역 정점의 표·저층 간에는 평균 0.7로 큰 차이를 보이지 않았으나, 표층 염분의 경우 마산만(St. 1), 진주만(St. 12), 여수내만(St. 15), 가막만(St. 25), 신지도 인근 해역(St. 32)에서 30 이하의 값이 관찰되었다(Fig. 2).

용존산소는 표층과 저층에서 각각  $3.7\sim 7.7\text{ mg L}^{-1}$ 와  $0.55\sim 7.1\text{ mg L}^{-1}$ 의 범위로 마산만과 가막만 내만 정점에서 낮게 나타났으며, 특히 마산만에 위치한 정점 1, 2, 3, 5에서 빈산소 수괴를 의미하는  $2\text{ mg L}^{-1}$  이하의 용존산소 농도가 확인되었다(Fig. 2).

조사해역의 엽록소-*a* 농도는  $0.4\sim 38.8\text{ }\mu\text{g L}^{-1}$ 의 범위였으며, 마산만(St. 1, 2, 3), 여자만(St. 26)의 일부 정점에서 10

$\mu\text{g L}^{-1}$  농도 이상이 관찰되었다(Fig. 3).

## 2. 공간 분포 및 T-S diagram

남해안에서 여름에 출현하는 *Acartia*속 요각류는 *A. erythraea*, *A. hongii*, *A. hudsonica*, *A. ohtsukai*, *A. sinjiensis* 총 5종이었으며, 조사해역에 따라 다른 출현 특성을 보였다. *A. erythraea*의 출현 개체수는 평균  $156\text{ ind. m}^{-3}$  ( $0\sim 1,420\text{ ind. m}^{-3}$ )의 범위로 해남 남서부에서 거제 북동쪽 연안까지 출현하였으며, 특히 가막만 내만에서 가장 높게 나타났다(Fig. 4). 고흥반도를 기점으로 남해서부해역에서 평균  $6\text{ ind. m}^{-3}$ 로 나타났으며, 남해동부해역에서 평균  $219\text{ ind. m}^{-3}$ 로 높은 개체수를 보였다. 수온과 염분의 범위는



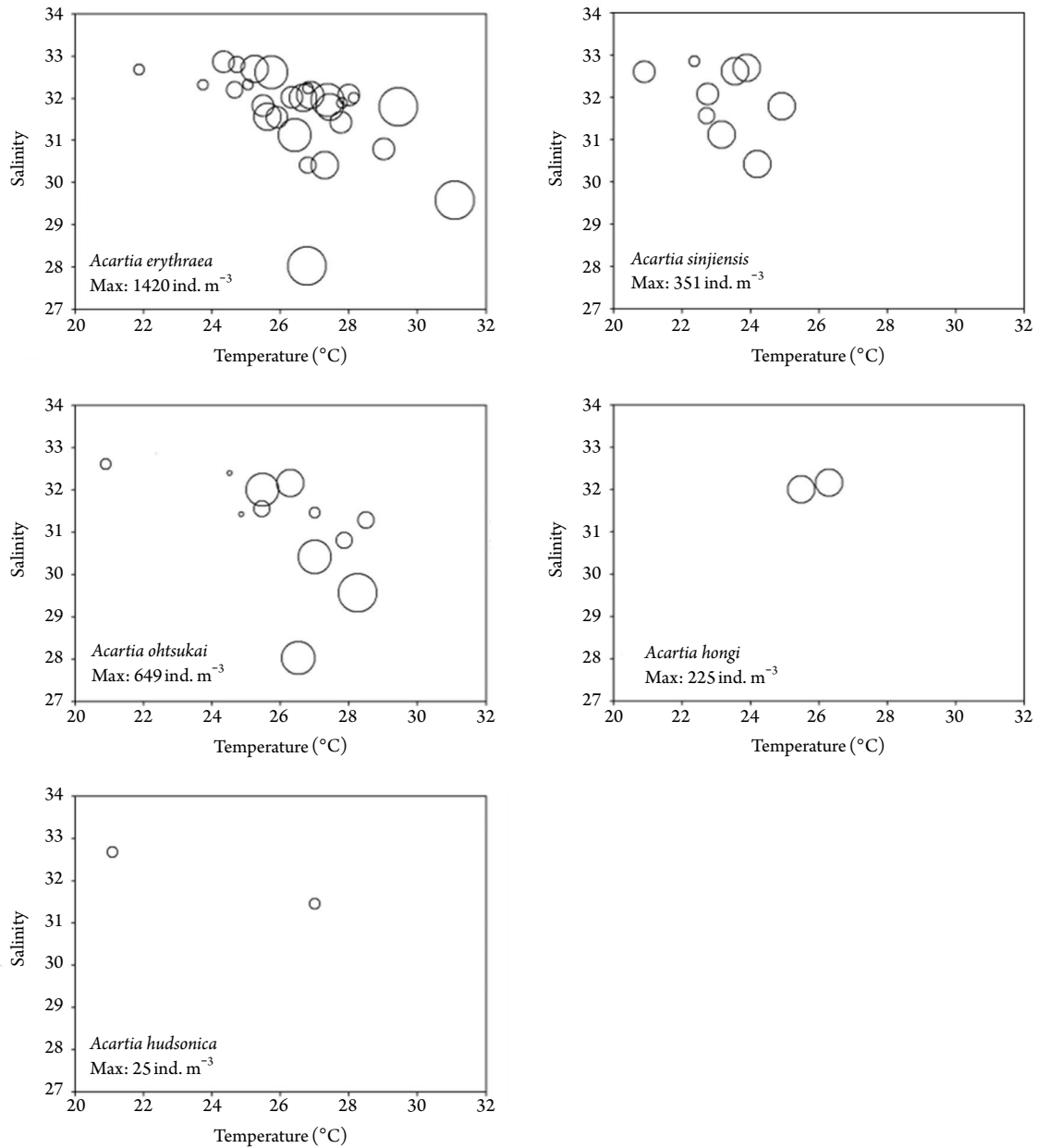


Fig. 5. The abundance-temperature-salinity diagram of *Acartia* species present in the southern coastal waters of Korea.

각각 21.1~30.7°C와 28.0~32.9의 범위로 출현하였으며, 수층의 평균 수온 28°C 미만, 염분이 31 이상의 환경에서 1,000 ind. m<sup>-3</sup> 이상의 개체수를 보였다(Fig. 5). *A. hongii*의 출현 개체수는 평균 9 ind. m<sup>-3</sup> (0~225 ind. m<sup>-3</sup>)의 범위로, 해남 북서쪽 연안에 위치한 정점 36, 37에서만 출현하였다(Fig. 4). 남해서부에서 평균 31 ind. m<sup>-3</sup>로 출현하였으며, 남해동부에서는 출현하지 않았다. 수온과 염분의 범위는 각

각 25.5~26.3°C와 32.0~32.1의 범위로 낮은 개체수를 보였다(Fig. 5). *A. hudsonica*의 출현 개체수는 평균 1 ind. m<sup>-3</sup> (0~25 ind. m<sup>-3</sup>)의 범위였으며, 해남 남쪽 연안에 위치한 정점 33, 34에서만 출현하였다(Fig. 4). 남해서부에서 평균 3 ind. m<sup>-3</sup>로 출현하였으며, 남해동부에서는 출현하지 않았다. 수온과 염분의 범위는 각각 21.1~27.0°C와 31.5~32.7의 범위로 낮은 개체수를 보였다(Fig. 5). *A. ohtsukai*의 출

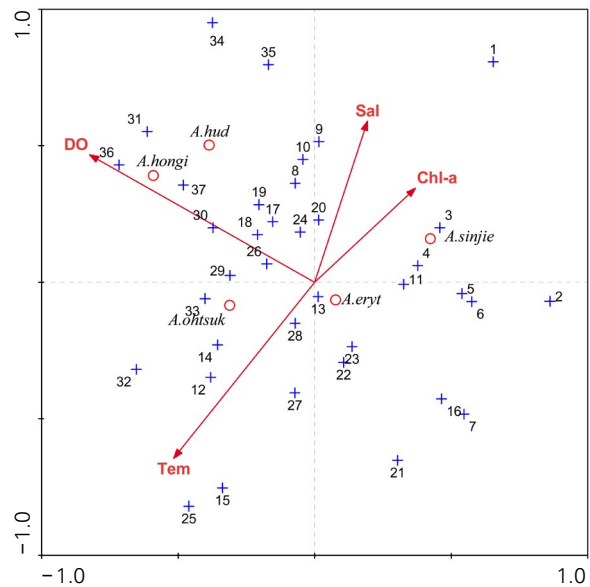
**Table 1.** Canonical correspondence analysis (CCA) of *Acartia* species and environmental factors in the southern coastal waters of Korea

	Axis-1	Axis-2	Axis-3	Axis-4
Eigenvalues	0.374	0.128	0.035	0.010
Species-environment correlations	0.747	0.587	0.327	0.139
Cumulative percentage variance of species data	19.9	26.7	28.6	29.2
Cumulative percentage variance of species-environment relation	68.4	91.7	98.2	100
Sum of all eigenvalues			1.877	
Sum of all canonical eigenvalues			0.547	

현 개체수는 평균 60 ind. m<sup>-3</sup> (0~649 ind. m<sup>-3</sup>)의 범위로 해남 북서쪽에서 남해 북동쪽 연안까지 출현하였으며, 특히 신지도 인근해역에서 가장 높게 나타났다 (Fig. 4). 남해서부에서 평균 114 ind. m<sup>-3</sup>로 출현하였으며, 남해동부에서는 37 ind. m<sup>-3</sup>로 낮은 개체수를 보였다. 수온과 염분의 범위는 각각 20.9~28.5°C와 28.0~32.7의 범위로 출현하였으며, 수층의 평균 수온 28°C 이상, 염분이 30 미만의 환경에서 640 ind. m<sup>-3</sup> 이상의 개체수를 보였다 (Fig. 5). *A. sinjiensis*의 출현 개체수는 평균 42 ind. m<sup>-3</sup> (0~352 ind. m<sup>-3</sup>)의 범위로 해남 서쪽에서 거제 북쪽 연안까지 출현하였으며, 특히 마산만 내만에서 가장 높게 나타났다 (Fig. 4). 남해서부에서 평균 7 ind. m<sup>-3</sup>로 출현하였으며, 남해동부에서는 57 ind. m<sup>-3</sup>로 낮은 개체수를 보였다. 수온과 염분의 범위는 각각 20.9~24.9°C와 30.4~32.9의 범위로 출현하였으며, 수층의 평균 수온 23°C 이상, 염분이 32 미만의 환경에서 350 ind. m<sup>-3</sup> 이상의 개체수를 보였다 (Fig. 5).

### 3. 환경요인과의 상관성

*Acartia*속 요각류 5종을 대상으로 환경요인과의 상관성을 알아보기 위해 CCA 분석을 실시하였다. 그 결과 제1축과 제2축은 각각 0.38과 0.13의 고유치를 나타냈으며, 제1, 2축의 전체 자료 분산에 대한 누적 기여율은 26.7%를 나타냈다 (Table 1). 또한 제1, 2축에서 환경요인(수온, 염분, 용존산소, 엽록소-a)이 출현한 *Acartia*속 변화의 91.7%를 설명하였다. 분석 결과 제1축을 기준으로 *A. hongii*, *A. hudsonica*, *A. ohtsukai*와 *A. erythraea*, *A. sinjiensis*가 대별되는 양상을 보였다. *A. hongii*와 *A. hudsonica*는 용존산소 값과 양의 상관성을 나타냈다. *A. erythraea*는 용존산소 값과 음의 상관성을 보였으며, *A. ohtsukai*는 수온과 양의 상관성, 엽록소-a 농도와 음의 상관성을 보였다. *A. sinjiensis*는 수온과 음의 상관성을 보였으며, 엽록소-a 농도와 양의 상관성을 보였다 (Fig. 6).



**Fig. 6.** Relationship between environmental factors and *Acartia* species present in the southern coastal waters of Korea by canonical correspondence analysis (CCA). *A. eryt*: *Acartia erythraea*, *A. ohtsuk*: *Acartia ohtsukai*, *A. sinjie*: *Acartia sinjiensis*, *A. hud*: *Acartia hudsonica*, *A. hongii*: *Acartia hongii*.

### 고찰

*Acartia*속 요각류에 대한 이전의 연구들에 따르면, 종의 적응 능력과 특정 환경조건에 대한 선호도에 의해 다른 시·공간적 분포 패턴을 보인다 (Ueda 1987; Chinnery and Williams 2004). 본 해역에서도 *Acartia*속 요각류 5종 (*A. erythraea*, *A. hongii*, *A. hudsonica*, *A. ohtsukai*, *A. sinjiensis*)은 주변 환경요인의 영향을 받아 분포양상을 달리하였으며, 고수온기에 출현하는 특징을 가진 *A. erythraea*, *A. sinjiensis*, *A. ohtsukai*, 저수온기에 출현하는 *A. hongii*, *A. hudsonica* 등이 서식지를 구분지어 분포하였다. 그러나 저수온기에 우점하는 *A. hongii*와 *A. hudsonica*의 출현이 급격하게 감소할 수 있어 특정 환경 환경요인과 연관하여 설명하는 것은 많은 어

려움이 있다. 따라서 해역의 특성을 고려한 조사시기, 포식, 경쟁 등 생태적 특성과 관련된 집중적인 연구가 필요하다.

*A. erythraea*는 전 해역에 걸쳐 고루 분포하였으며, 수온이 30°C 이상 되는 고수온에서도 출현하였다. 이는 남해 연안에서 *A. erythraea*의 수온 출현 양상에 대한 선행 연구들에서 제시하고 있는 범위와 대부분 일치하는 것으로 나타났다(Shim and Ro 1982; Moon *et al.* 2006; Moon *et al.* 2010). 또한, *A. erythraea*의 분포특성에 대해 Kim (1985)은 한국 근해에서 드물게 출현하는 종이라 보고하였고, 여수 근해와 남해안의 일부 해역에서 하계에 우점 출현한다고 보고하였다(Shim and Ro 1982; Moon *et al.* 2006; Moon *et al.* 2010). 본 연구에서는 *A. erythraea*의 출현 양상은 내만과 외만에서 높은 출현 개체수를 보여주고 있으며, 고흥 반도를 기점으로 남해 서부보다는 남해 동부연안 해역에서 높은 출현 개체수를 보였다. 이러한 출현 양상은 기존 연구와 구분되어진다(Soh *et al.* 2002; Moon *et al.* 2006; Hwang *et al.* 2011). Moon *et al.* (2010)은 *A. erythraea*가 여름에 빈산소 환경에서 내만을 중심으로 분포하다가 가을에 외만으로 분포 범위를 확장할 수 있다고 보고하였다. 본 연구에서도 *A. erythraea*의 공간적 분포 특성을 살펴보면, 남해 동부연안 해역인 마산만과 가막만에서 다른 해역보다 최대는 100배 이상 차이가 나타났으며, 이러한 해역의 경우 상대적으로 낮은 용존산소가 관찰되었다. CCA 분석 결과 또한 *A. erythraea*와 용존산소가 음의 상관성을 보였다. 일반적으로 낮은 용존산소 농도는 동물플랑크톤의 난 생산 및 부화율과 같은 재생산 활동에 영향을 주어 개체수가 낮게 나타나는 것으로 알려져 있다(Choi *et al.* 2016). 그러나 요각류는 저산소층을 피하기 위해 위로 이동한다고 알려져 있으며, 이러한 경우 알 생산에 영향을 받지 않을 수 있다(Keister and Tuttle 2013). 본 연구에서도 낮은 용존산소가 관찰되었던 마산만과 가막만에서 높은 개체수를 보이는 점으로 보아, *A. erythraea*는 저산소층을 도피 행동을 통해 세대를 유지하는 전략을 보일 것으로 판단된다. 그러나 이러한 결과들은 채집방법에 있어서 직접적인 비교는 어려운 부분이며, 결과 신뢰성을 높이기 위해서는 채집방법과 용존산소 농도에 따른 배양실험을 통하여 밝혀져야 할 것으로 사료된다.

*A. sinjiensis*는 마산만과 통영, 해남 인근해역 일부 정점에서 출현하는 것으로 나타났다. Uye *et al.* (2000)의 연구결과에 따르면 *A. sinjiensis*의 분포특성은 온대 및 아열대의 기

수역에 분포한다고 보고되었으며, *Acartia*속 요각류 개체군은 먹이, 용존산소, 온도 및 염분에 의존한다. 본 연구에서도 20.9~24.9°C 수온 범위와 30.4~32.9 염분 범위에서 출현하여 선행 연구결과와 큰 차이를 보이지 않았다(Shim and Ro 1982; Moon *et al.* 2006; Moon *et al.* 2010). CCA 분석에서 낮은 용존산소와 엽록소-*a* 농도가 높아지면서 *A. sinjiensis* 개체군 증가에 긍정적으로 작용하는 것으로 나타났다. 특히 *A. erythraea*와 혼재하여 마산만의 일부 정점에서 대량 증식하는 양상을 보였다. *Acartia*속 요각류에 대한 선행 연구에서는 먹이습성에 대한 차이가 없고, 비슷한 먹이를 섭취를 한다고 알려져 있다(Jeffries 1962). 또한 해역에 *Acartia*속 요각류 종이 동시에 출현할 경우 먹이섭취에 따른 종간 경쟁을 의미하며, 먹이가 풍부한 시기를 제외하고 내성이 강한 종이 그 해역에서 우점하게 된다(Tranter and Abraham 1971). 본 연구해역에서 엽록소-*a* 농도가 높은 마산만에서 *A. erythraea*와 혼재하여 나타나는 것은 엽록소-*a* 농도가 높은 해역에서 종간의 먹이경쟁이 감소하였기 때문으로 판단되나, 단순히 엽록소-*a* 농도 자료만 가지고 해석하기에는 무리가 있으므로 추후 식물플랑크톤 종 조성 및 현존량에 대한 조사를 통해 밝혀져야 할 것으로 사료된다.

*Acartia hongii*와 *A. hudsonica*는 해남 인근 해역 일부 정점에서 출현하였다. *A. hongii*와 *A. hudsonica*의 출현 개체수는 각각 118~225, 12~25 ind. m<sup>-3</sup>로 낮은 출현 개체수를 보였다. *A. hongii*는 주로 서해안에 연중 출현하지만 동계와 춘계에 높은 출현 개체수를 보인다(Yoo *et al.* 2006, 2010; Youn and Choi 2007). 그러나 23°C 이상의 수온에서는 내성이 약해져서 개체수가 급감하는 것으로 알려져 있다. *A. hongii*에 관한 연구는 서해안을 중심으로 연구되어서 직접적인 비교는 어렵지만(Yoo 2001; Youn and Choi 2003; Youn and Choi 2007), 본 연구해역에서 여름에 낮은 출현 개체수를 보이는 점은 수온에 대한 내성 약화가 그 원인일 수 있다(Youn and Choi 2007). 고수온 환경에서 *A. hongii* 개체수의 급감 현상은 저수온기에 출현하는 *Acartia*속에 포함된 종은 수온이 증가하면서 신진대사율이 높아지고 자연수명이 급격히 짧아진다는 연구결과와 관련이 있으며(Kimmerer and Mckinnon 1987), 또한 *A. hongii*의 개체군의 가입량을 결정하는 데 중요한 난 생산력이 수온 상승과 더불어 개체군의 개체수 감소에 영향을 미치는 것으로 판단된다(Uye 1981). CCA 분석에서 *A. hongii*는 용존산소와 양의 상관관계를 보였으며, 수온과는 음의 상관관계를 보였

다. 이러한 결과는 수온이 *A. hongii* 개체군 형성에 매우 중요한 영향을 미치는 요인임을 보여준다.

*A. hudsonica*는 겨울과 봄에 염분이 32.0 이하인 하구역과 내만역에 우점하는 종으로 알려져 있지만 (Ueda 1986; Kang *et al.* 1990), 지역에 따라서 시·공간 분포양상이 다르게 나타난다. 본 연구에서 *A. hudsonica*는 21.1~27°C 수온 범위와 31.5~32.7 염분 범위를 보인 해남반도 남쪽 연안에서 소수 출현하였다. 이러한 출현 양상은 기존 연구와 구분되어진다 (Ueda 1987; Kang *et al.* 1990). Yoo *et al.* (2010)은 *A. hudsonica*의 출현 시기를 조절하는 요인은 수온이 일차적으로 중요하지만, 하계 염분 변화에 따라 고수온에서도 출현하는 시기가 확장될 수 있다고 보고하였다. 또한, *A. hudsonica*는 세대 유지를 위한 적정 수온 이상으로 상승하면, 개체군을 유지하기 위해 휴면란을 생산한다 (Uye 1985; Castro-Longoria and Williams 1999). 대부분의 *Acartia*속 요각류는 휴면란을 생산한 후 일정 시기가 지난 후 적합한 수온이 되면 일시적으로 부화하여 개체군에 가입되는 반복적인 세대 유지 전략을 보이는 것으로 알려져 있다 (Uye 1980; Uye 1985). 본 연구에서는 이들의 휴면란이 부화하여 일시적으로 대량 증식할 수 있는 환경이 조성되면서 출현특성을 보이는 점을 생각해 볼 수 있지만 현장에서 휴면란에 대한 현장조사가 이루어지지 않아 쉽게 예측할 수 없다. CCA 분석에서 용존산소와 양의 상관관계를 보였으며 낮은 수온이 *A. hudsonica* 개체군 증가에 긍정적으로 작용하는 것으로 나타났다. 특히 수온이 낮은 외만의 일부 정점에서 출현하는 특징을 보였다. 이러한 연구 결과를 종합해 볼 때 단순히 수온의 증감이 휴면란을 자극하여 일시적으로 부화할 수 있는 환경이 조성되었을 수는 있지만 (David *et al.* 2005), 휴면란의 부화는 복합적인 요인에 영향을 받기 때문에 실험적인 연구를 통하여 밝혀져야 할 것으로 판단된다.

*A. ohtsukai*의 출현 수온 20.9~28.5°C, 염분 28~32.7 사이에서 출현하였다. 이것은 남해 연안에서 *A. ohtsukai*의 선행된 연구보다 고염에서 출현하였지만, 30 이하의 저염에서 보다 높은 개체수를 나타내는 점은 선행된 연구와 부합된다 (Moon *et al.* 2008). 일반적으로 *Acartia*속 요각류는 수온과 염분 그리고 먹이에 의해 시·공간적 분포가 결정되며, 수온 및 염분 등의 변화에 내성이 뛰어난 생태적 특징을 가지고 있는 것으로 나타났다 (Uye 1980; Uye 1985; Lakkis 1994). 또한, 동일 해역에 나타나는 *Acartia*속 요각

류는 서로 간에 직접적인 경쟁을 피하거나 감소시키기 위해 시·공간적인 분포양상을 달리하여 나타난다고 보고하였다 (Lakkis 1994). 본 연구해역에서 남해도를 지나 남해 동부지역에서 출현하지 않는 점은 이들이 같은 아속인 *A. erythraea*와 중간 경쟁에 밀렸다고 생각해 볼 수 있다. 그러나 단순히 *A. ohtsukai*의 개체군 출현 양상이 남해 서부지역에서만 출현하는 점은 주목되나, 중간 경쟁 같은 생물적인 요인 (Parsons *et al.* 1984) 뿐만 아니라, 계절에 따른 수괴 특성과 지형학적 요인 등 복합적으로 나타날 가능성이 크다 (Ueda 1987; Moon *et al.* 2008). CCA 분석에서 낮은 염분과 수온의 상승은 *A. ohtsukai* 개체군 증가에 긍정적으로 작용하는 것으로 보였으며, 특히 염분 농도가 낮은 일부 정점에서 대량 증식하는 양상을 보였다. 따라서 남해 연안에 출현하는 *A. ohtsukai*는 넓은 염분 범위에 적응하며 고온에 우점하여 출현하는 것으로 판단된다.

이상의 결과를 요약해 보면, 남해 연안을 중심으로 출현하는 *Acartia*속 요각류 5종에 영향을 주는 주요 요인은 수온, 염분, 엽록소-*a* 농도, 용존산소 등으로 나타났다. *Acartia*속 요각류의 공간 분포, 개체군 증가는 온도와 염분에 대한 내성뿐만 아니라 식물플랑크톤 양의 차이에 의해서도 조절될 수 있음을 보여주는 것으로 판단된다. 또한, 가막만과 마산만의 저층의 저산소화 현상이 발생했을 시 *Acartia*속 요각류는 저산소층을 도피하는 행동을 보이고 있을 가능성이 높을 것으로 여겨진다. 고흡반도를 기점으로 남해서쪽에서는 *A. hongii*, *A. hudsonica* 남해 동부연안에서는 *A. erythraea*, *A. sinjiensis*가 출현하였고, *A. ohtsukai*는 남해도를 지나 출현하지 않아 서식지 구분이 나타났으며, 이러한 서식지의 구분은 환경요인(수온, 염분, 용존산소, 엽록소-*a* 농도)의 영향으로 판단된다. 그러나 제한적인 환경요인과의 관계만을 가지고 *Acartia*속 요각류의 분포 특성을 단정짓는 것은 어려우며, 이러한 해석의 신뢰성을 높이기 위해서는 *Acartia*속 요각류에 대한 생리, 생태학적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.

## 적 요

2012년 8월 1일부터 7일까지 한국 남해 연안의 목포에서 부산에 이르는 37개의 정점에서 채집된 *Acartia*속 요각류의 공간 분포 양상에 대하여 분석하였다. *A. erythraea*는



용존산소가  $2 \text{ mg L}^{-1}$  이하인 반 폐쇄적인(가막만, 마산만) 만에서 높은 출현 개체수를 보였다. *A. sinjiensis*는 염류소-*a* 농도가  $2 \mu\text{g L}^{-1}$  이상인 반 폐쇄적인 만에서 높은 출현 개체수를 보였다. *A. ohtsukai*는 수온  $26^\circ\text{C}$  이상, 염분 30 이하일 때 높은 출현 개체수를 보였다. *A. hongii*, *A. hudsonica*는 수온이  $27^\circ\text{C}$  이하, 용존산소  $5 \text{ mg L}^{-1}$  이상인 해역에서 출현하였다. 이러한 결과 환경요인이 여름철 남해 연안에 출현하는 *Acartia*속 요각류의 공간적 분포에 영향을 미칠 수 있음을 시사하고 있다.

## 사 사

본 연구는 해양수산생명공학기술개발사업(20170431)의 연구와 생지화학순환 및 해양환경변동 연구(PE99712), 한국 주변 해양생태계 변동이해 및 대응기반 연구(PE99713) 지원에 의해 수행되었습니다.

## REFERENCES

- Beaugrand G. 2004. The North Sea regime shift: evidence, causes, mechanisms and consequences. *Prog. Oceanogr.* 60:245-262.
- Bonnet D and CLJ Frid. 2004. Seven copepod species considered as indicators of water mass influence and changes: results from a Northumberland coastal station. *ICES J. Mar. Sci.* 61:485-491.
- Castro-Longoria E and JA Williams. 1999. The production of subitaneous and diapause eggs: a reproductive strategy for *Acartia bifilosa* (Copepoda: Calanoida) in Southampton water, UK. *J. Plankton Res.* 21:65-84.
- Chinnery FE and JA Williams. 2004. The influence of temperature and salinity on *Acartia* (Copepoda: Calanoida) nauplii survival. *Mar. Biol.* 145:733-738.
- Choi KH, MC Jang, HH Shin, WJ Lee and KS Shin. 2016. In situ hatching success of calanoid copepod eggs in hypoxic sediments of a Coastal Bay. *J. Coast. Res.* 32:333-338.
- David V, B Sautour, P Chardy and M Leconte. 2005. Long-term changes of the zooplankton variability in a turbid environmental: The Gironde estuary (France). *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 64:171-184.
- Frost BW. 1972. Effects of size and concentration of food particles on the feeding behavior of the marine planktonic copepod *Calanus pacificus*. *Limnol. Oceanogr.* 17:805-815.
- Greenwood JG. 1981. Occurrences of congeneric pairs of *Acartia* and *Pseudodiaptomus* species (Copepoda, Calanoida) in Moreton Bay, Queensland. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 13:591-596.
- Hwang OM, KS Shin, SH Baek, WJ Lee, SA Kim and MC Jang. 2011. Annual variations in community structure of mesozooplankton by short-term sampling in Jangmok Harbor of Jinhae Bay. *Ocean Polar Res.* 33:235-253.
- Jeffries HP. 1962. Succession of two *Acartia* species in Estuaries. *Limnol. Oceanogr.* 7:354-362.
- Kang YS, SH Huh and SS Lee. 1990. Taxonomy and distribution of Corycaeidae (Copepoda: Cyclopoida) in the Korean waters in summer. *J. Oceanol. Soc. Korea* 25:49-61.
- Keister JE and LB Tuttle. 2013. Effects of bottom-layer hypoxia on spatial distributions and community structure of mesozooplankton in a sub-estuary of Puget Sound, Washington, USA. *Limnol. Oceanogr.* 58:667-680.
- Kim DS. 2000. Seasonal variation of water mass in the central coast of the Southern Sea of Korea. *Bull. Korean Soc. Fish. Tech.* 36:105-116.
- Kim DY. 1985. Taxonomical study on calanoid copepod (Crustacea: Copepoda) in Korean waters. Ph.D. Thesis. Hanyang Univ. p. 187.
- Kimmel DG and MR Roman. 2004. Long-term trends in mesozooplankton abundance in Chesapeake Bay, USA: influence of freshwater input. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 267:71-83.
- Kimmerer WJ and AD McKinnon. 1987. Growth, mortality, and secondary production of the copepod *Acartia tranteri* in West-empport Bay, Australia 1. *Limnol. Oceanogr.* 32:14-28.
- Lakkis S. 1994. Coexistence and competition within *Acartia* (Copepoda, Calanoida) congeners from Lebanese coastal water: niche overlap measurements. *Hydrobiologia* 292:481-490.
- Lee KW, GH Hong, DB Yang and SH Lee. 1981. Seawater quality and red tides in Jinhae Bay: I. Relationships between water quality parameters and red tides. *J. Oceanol. Soc. Korea* 16:43-48.
- Marques SC, UM Azeiteiro, JC Marques, JM Neto and M Pardal. 2006. Zooplankton and ichthyoplankton communities in a temperate estuary: spatial and temporal patterns. *J. Plankton Res.* 28:297-312.
- Moon SY, HJ Oh and HY Soh. 2010. Seasonal variation of zooplankton communities in the southern coastal waters of Korea. *Ocean Polar Res.* 32:411-426.
- Moon SY, HS Yoon, HY Soh and SD Choi. 2006. Environmental factors and variation characteristics of zooplankton communities in Gamak Bay. *Ocean Polar Res.* 8:79-94.
- 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* 1814:61–64.
- Park EO, HL Suh and HY Soh. 2015. Spatio-temporal distribution of *Acartia* (Copepoda: Calanoida) species along a salinity gradient in the Seomjin River estuary, South Korea. *J. Nat. Hist.* 49:2799–2812.
- Parsons TR, Y Maita and CM Lalli. 1984. *A Manual of Chemical and Biological Methods for Seawater Analysis*. Pergamon Press, Oxford. p. 173.
- Razouls C, F Bovée de, J Kouwenberg and N Desreumaux. 2005–2018. Diversity and geographic distribution of marine planktonic copepods [http://copepodes.obs-banyuls.fr/en].
- Richardson AJ and DS Shoeman. 2004. Climate impact on plankton ecosystems in the Northeast Atlantic. *Science* 306:1609–1612.
- Shim JH and I Ro. 1982. The composition and abundance distribution of zooplankton in the vicinity of Yeosu, Korea. *Proc. Coll. Nat. Sci. SNU* 7:165–183.
- Soh HY and HL Suh. 2000. A new species of *Acartia* (Copepoda, Calanoida) from the Yellow Sea. *J. Plankton Res.* 22:321–337.
- Soh HY, IT Lee, YH Yoon, SD Choi, SN Lee, MI Han and WB Lee. 2002. Species composition and occurrence patterns of zooplankton in Gamag Bay. *Korean J. Environ. Biol.* 20:118–129.
- Soh HY, SY Moon, EO Park and BAV Maran. 2013. A new species of *Acartia* subgenus *Euacartia* (Copepoda: Calanoida: Acartiidae) from Korean estuaries based on morphological and molecular evidence. *J. Crustac. Biol.* 33:718–729.
- Ter Braak CJF. 1986. Canonical correspondence analysis: a new eigenvector technique for multivariate direct gradient analysis. *Ecology* 67:1167–1179.
- Ter Braak CJF and P Šmilauer. 2002. *CANOCO reference manual and CanoDraw for windows user's guide: software for canonical community ordination (version 4.5): section on permutation methods*. Microcomputer Power Ithaca. p. 500.
- Tranter DJ and S Abraham. 1971. Coexistence of species of Acartiidae (Copepoda) in the Cochin Backwater, a monsoonal estuarine lagoon. *Mar. Biol.* 11:222–241.
- Ueda H. 1986. Taxonomic reexamination and geographic distribution of copepods known as *Acartia clausi* in Japanese coastal and inlet waters. *J. Oceanogr. Soc. Japan* 42:134–138.
- Ueda H. 1987. Temporal and spatial distribution of the two closely related *Acartia* species *A. omorii* and *A. hudsonica* (Copepoda, Calanoida) in a small inlet water of Japan. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 24:691–700.
- Uye S. 1980. Development of neritic copepods *Acartia clausi* and *A. steueri*. I. Some environmental factors affecting egg development and the nature of resting eggs. *Bull. Plankton Soc. Jpn.* 27:1–9.
- Uye S. 1981. Fecundity studies of neritic calanoid copepods *Acartia clausi* Giesbrecht and *A. steueri* Smimov: a simple empirical model of daily egg production. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 50:255–271.
- Uye S. 1985. Resting egg production as a life history strategy of marine planktonic copepods. *Bull. Mar. Sci.* 37:440–449.
- Uye S, T Shimazu, M Yamamuro, Y Ishitobi and H Kamiya. 2000. Geographic and seasonal variations in mesozooplankton abundance and biomass in relation to environmental parameters in Lake Shinji-Ohashi RiverLake Nakaumi brackish-water system, Japan. *J. Mar. Syst.* 26:193–207.
- Yoo JK. 2001. A study on fluctuating egg abundance and egg production of *Acartia hongii* (Copepoda: Acartiidae) in Incheon, coastal water. MS. Thesis. Inha Univ. p. 61.
- Yoo JK, CS Myung, JK Choi, HP Hong and ES Kim. 2010. Spatial and temporal variation of mesozooplankton community in lake Sihwa, Korea. *Ocean Polar Res.* 32:187–201.
- Yoo JK, SH Youn and JK Choi. 2006. The factors controlling the formation of spring population of *Acartia hongii* (Copepoda: Calanoida) in Incheon coastal water, Korea. *J. Korean Soc. Oceanogr.* 11:108–116.
- Yoo KI, HK Hue and WC Lee. 1991. Taxonomical revision on the genus *Acartia* Copepoda Calanoida in the Korean waters. *Bull. Korean Fish. Soc.* 24:255–265.
- Yoon YH and DG Kim. 2003. On the spatio-temporal distribution of phytoplankton community in the southwestern parts of Deukryang Bay, South Korea. *Korean J. Environ. Biol.* 21:8–17.
- Youn SH and JK Choi. 2003. Spatio-temporal distribution of zooplankton community in Kyeonggi Bay, Yellow Sea. *J. Korean Soc. Oceanogr.* 8:243–250.
- Youn SH and JK Choi. 2007. Egg production of the copepod *Acartia hongii* in Kyeonggi Bay, Korea. *J. Mar. Syst.* 67:217–224.