Vol. 40(3):115–125
http://dx.doi.org/10.4217/OPR.2018.40.3.115

Ocean and Polar Research

September 2018

Article

한국 동해 남부해역에 출현하는 요각류 *Euchaeta plana*와 *Paraeuchaeta russelli*의 생산력

김가람[1,2] · 박원규[1*] · 강형구[2]

[1]부경대학교 수산과학대학 해양생물학과
(48513) 부산광역시 남구 용소로 45
[2]한국해양과학기술원 해양생태연구센터
(49111) 부산광역시 영도구 해양로 385

Production of the Copepods *Euchaeta plana* and *Paraeuchaeta russelli* in the Southeastern Sea of Korea

Garam Kim[1,2], Wongyu Park[1*], and Hyung-Ku Kang[2]

[1]Department of Marine Biology, College of Fisheries Science, Pukyong National University
Busan 48513, Korea
[2]Marine Ecosystem Research Center, KIOST
Busan 49111, Korea

Abstract : Production from copepodite IV to adult of two euchaetid species *Euchaeta plana* and *Paraeuchaeta russelli* was measured at the southeastern sea of Korea from April to November, 2014. The mean density was 2.0 ind m^{-3} for *E. plana* and 4.1 ind m^{-3} for *P. russelli*, with the high contribution of copepodite V to total density. The densities of total individuals, adult females and eggs were highest in November for both species. The mean egg production rate (EPR) was 1.7 eggs $female^{-1}$ d^{-1} for *E. plana* and 3.1 eggs $female^{-1}$ d^{-1} for *P. russelli*. Both of them showed the highest EPR in September but zero EPR in summer. The mean weight-specific EPR was 0.038 d^{-1} for *E. plana* and 0.079 d^{-1} for *P. russelli*. The mean total production rates of *E. plana* and *P. russelli* were 5.3 μg C m^{-3} d^{-1} and 17.8 μg C m^{-3} d^{-1}, respectively, with the largest production in November. The mean Production/Biomass ratio was 0.06 d^{-1} for *E. plana* and 0.07 d^{-1} for *P. russelli*, with its peak in September for both. The total production of *E. plana* and *P. russelli* was positively correlated with the density of a copepod *Oncaea venusta*, rather than chl-*a* concentration, indicating that the two copepods might be carnivores. This study evaluates the contribution of euchaetids to the copepod community in the southeastern sea of Korea.

Key words : copepods, *Euchaeta plana*, *Paraeuchaeta russelli*, egg production rate, secondary production

1. 서 론

해양생태계의 구조와 기능을 더 잘 이해하기 위해서는 주요 영양 단계의 생물량과 생산력을 측정하고, 이들의 변동을 조절하는 주요 요인들을 예측하는 것이 매우 중요하다(GLOBEC 1999). 해양의 기초생산력은 방사성동위원소, 안정동위원소, 클로로필 형광 및 해색위성영상을 이용하여 시공간적으로 해상도가 높은 자료를 실시간으로 분석할 수 있게 되었지만(Hama et al. 1983; Sathyendranath et al. 1991), 이차생산력은 측정 방법에 대한 논의가 계속

*Corresponding author. E-mail : wpark@pknu.ac.kr

되고 있으며, 기초생산력에 비해 자료가 많지 않다(Runge and Roff 2000; Kimmerer et al. 2007). 해양에서 대표적인 이차생산자인 요각류의 이차생산력은 몸 생산력(somatic production rate)과 성체 암컷의 알 생산력(egg production rate)으로 이루어진다(Runge and Roff 2000). 그 중에서 몸 생산력에는 성장률을 측정하는 방법이 많이 사용되었고(Peterson et al. 2002; Kimmerer et al. 2007), 핵산이나 단백질 또는 효소활성을 이용하는 생화학적 방법이 활용되고 있으며(Yebra et al. 2017), 여러 종과 해역에 적용 가능한 이차생산력의 경험적 모델도 제시 되었다(Hirst and Bunker 2003),

국내에서 요각류 알 생산력 연구의 경우 *Acartia* 종들과 *Calanus sinicus*, *Paracalanus parvus*에 대해 보고 되었으며(Park 1997; Shin et al. 2003; Jung et al. 2004; Youn and Choi 2007; Kang et al. 2011; Jang et al. 2013), 요각류의 총 생산력은 *Acartia* 종들과 일부 우점종에 대해 조사되었다(Kang and Kang 2005; Kang et al. 2007; 윤 등 2010). 이처럼 국내에서는 요각류 생산력 연구가 많이 이루어지지 않았고, 그 대상도 연안에서 출현하는 일부 종들에 국한되어 있다. 한편, 본 연구의 대상종인 euchaetid 요각류는 전세계에 분포하는 대형(2–12 mm)이며 육식성으로 알려져 있는 요각류로서, 이들의 생산력에 대한 연구는 매우 미비하다.

한국 동해 남부 해역은 동한난류와 북한한류의 세력 균형에 의한 연안용승으로 영양염이 공급되어 생산력이 높은 해역으로(김과 김 1983; Park and Kim 2010), 대마난류가 확장하여 대한해협을 통한 수송량이 최대가 되는 늦여름에서 초가을에 euchaetid 요각류가 많이 출현한다(국립생물자원관 2013). Euchaetid 요각류는 대형 포식자이므로 군집 내에서 소형 요각류를 섭식하여 동물플랑크톤의 분포와 밀도에 상당한 영향을 주기 때문에(Yen 1983; Øresland 1991), 동해 남부 해역의 동물플랑크톤 군집 변동을 이해하기 위해서는 euchaetid 요각류의 역할에 대한 연구가 필요하다.

본 연구는 동해 남부 해역에 출현하는 *Euchaeta plana*와 *Paraeuchaeta russelli*의 이차생산력을 측정하여 이들의 생산력 특성을 이해하는데 그 목적이 있다.

2. 재료 및 방법

동물플랑크톤 채집 및 분석

한국 동해 남부 해역의 16개 정점에서 2014년 4월부터 11월까지 매월 1회 동물플랑크톤을 채집하였다(Fig. 1). 봉고네트(망구 60 cm, 망목 333 μm)를 저층부터 표층까지 복경사 예인(oblique tow) 하였고, 채집한 시료를 선상에서 4–5% 중성 포르말린으로 고정하였다. 수온과 염분

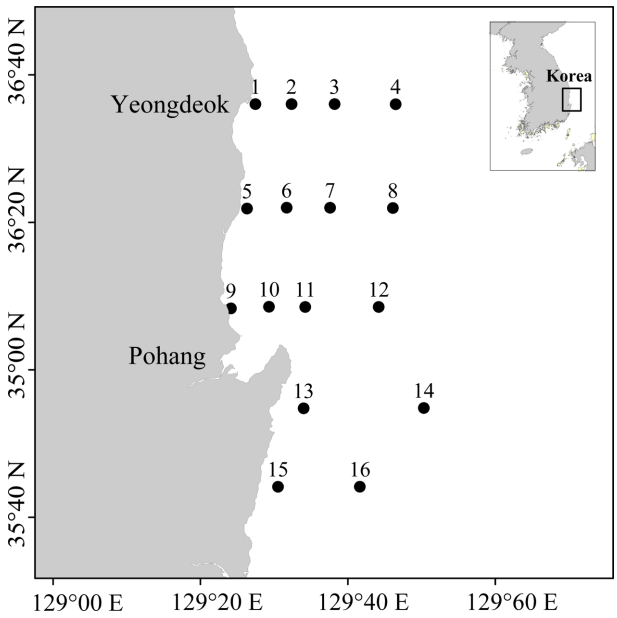

Fig. 1. Zooplankton sampling locations in the southeastern sea of Korea

은 동일한 정점에서 SBE 43(Sea-Bird Electronics 43, Sea-Bird Scientific, Bellevue, USA)으로 측정하였다. 10월과 11월에는 기기 이상으로 자료가 손실되어 국립해양조사원의 해양 관측자료를 사용하였으며, 이 때 2014년 4월부터 9월까지의 현장 자료와 국립해양조사원 관측자료에 유의한 차이가 없음을 검토하였다(Students *t*-test, $p > 0.05$). Chlorophyll-*a*(chl-*a*) 농도는 선상에서 해수 1 L를 GF/F 여과지(Whatman, Maidstone, UK)에 여과 후 엽록소를 추출하여 형광광도계(10AU, Turner Designs, San Jose, USA)로 측정하였다.

조사해역에서 출현한 euchaetid 요각류 가운데 지속적으로 많이 출현한 두 종 *Euchaeta plana*와 *Paraeuchaeta russelli*를 종 동정이 가능한 copepodite IV기(CIV)부터 V기(CV)와 성체(CVI)로 구분하여 계수하고 개체의 크기를 측정하였다. 종 동정에는 해부현미경(Wild M5, Wild Heerbrugg Ltd., Heerbrugg, Switzerland)과 광학현미경(Wild M20, Wild Heerbrugg Ltd., Heerbrugg, Switzerland)을 사용하였고, 종 구분은 문헌(Conway 2006; Jeong et al. 2011)을 따랐다. 수컷의 5흉지 발생여부와 암컷의 미절 분화 정도에 따라 CIV를 구분하였고, 수컷의 5흉지가 2마디 이상이고 암컷의 생식절이 발달중인 단계를 CV로 구분하였으며, 수컷 5흉지와 암컷 생식절이 완전히 성장한 단계를 성체로 보았다. 알 생산력 계산을 위해 알을 계수할 때에는 암컷에서 떨어져 나온 알 주머니(egg sac)에 있는 알도 계수하였다. 개체의 크기는 두흉부 길이(Prosome length)를 실체현미경(Olympus SZX10, Olympus, Tokyo,

Japan)과 영상분석프그램(Active Measure version 2.5.1, Shinhan Scientific Optics, Seoul, Korea)으로 측정하였다.

생산력 측정 및 통계분석

Euchaetid 요각류의 알 생산력(Egg production rate; EPR, eggs female^{-1} day^{-1})은 현장에서 계수된 알의 수(eggs m^{-3})를 현장의 성체 암컷의 개체수(females m^{-3})로 나눈 후 알 부화율(E, d^{-1})을 곱해준 것으로(Runge and Roff 2000), 알 부화율은 아래 계산식을 따랐으며(Hirst and Bunker 2003), 여기서 T는 현장 수온(ºC)을 나타낸다.

$$\mathrm{Log}_e E = -2.433 + 0.0877T$$

Euchaetid 요각류의 일일 총 생산력(P, μg C m^{-3} day^{-1})은 CIV와 CV의 몸 생산력(Somatic production)과 암컷의 알 생산력(Egg production)의 합으로서, 다음과 같은 식으로 계산되었다(Runge and Roff 2000; Kang et al. 2007).

$$P = \sum_{i=CIV}^{CV}(B_i \times g_i) + B_f \times g_f$$

B_i는 i발생단계의 총 생체량(μg C m^{-3})이고, B_f는 성체 암컷의 총 생체량 (μg C m^{-3})이며, 측정한 euchaetid 요각류의 두흉부 길이(PL, μm)를 아래의 길이-무게 관계식(Uye 1982)에 따라 생체량(C, μg)으로 변환하였다.

$$\log C = 2.45\ \log PL - 6.25$$

g_i는 i 발생단계의 성장률(instantaneous growth rate, day^{-1})로서 온도(T, ºC)와 생체량(C, μg)을 고려한 아래 계산식으로 구하였다(Hirst and Bunker 2003).

$$\log\ g_i = 0.0333T - 0.163\ \log C - 1.528$$

g_f는 성체 암컷의 단위 무게당 일일 알 생산력(weight-specific egg production rate; WSEPR)로서, 알의 생체량을 성체 암컷의 생체량으로 나눈 값이다. Euchaetid 요각류 알의 생체량(W_e, μg)은 성체 암컷의 생체량(W_f, μg)에서 아래 계산식에 따라 구하였다(Kiørboe and Sabatini 1995).

$$\log W_e = 0.930\ \log W_f - 1.841$$

측정된 euchaetids의 생산력과 표층 5 m의 수온과 염분, 0 m 및 10–20 m의 chl-*a* 농도와 같은 환경요인 및 소형 요각류 밀도와의 상관관계를 분석하였다. Euchaetid 요각류의 먹이가 될 가능성이 있는 소형 요각류 9종(*Acartia omorii, A. pacifica, Centeropages furcatus, Clausocalanus furcatus, Corycaeus affinis, Oithona atlantica, O. plumifera, Oncaea venusta, Paracalanus parvus*)과 그들의 유생단계(*Clausocalanus*, *Oithona, Paracalanus* copepodite)를 대상으로 하였고, 잠재 먹이원의 밀도 자료는 동일 정점의 시료를 분석하여 얻었다. 상관분석은 SYSTAT 13 program version 13.1(Systat Software Inc., Chicago, USA)으로 시행하였다.

3. 결 과

해양환경

수온은 표층에서 14.0–23.6ºC의 범위로, 4월에 가장 낮았고 9월에 가장 높았다(Fig. 2). 표층 염분은 32.1–34.4의 범위로, 8월에 가장 낮았고 5월에 가장 높았다(Fig. 2). Chl-*a*의 농도는 수심 0-1 m 내외의 표층과 SCM(Subsurface Chlorophyll Maximum)층이 형성되었을 10–20 m 수심에서 측정하였다. 표층의 chl-*a* 농도는 5월에 3.42 μg l^{-1}로 가장 높았고, 6월에 0.24 μg l^{-1}로 가장 낮았다(Fig. 2). 10–20 m 수심의 chl-*a* 농도는 7월에 3.10 μg l^{-1}로 가장 높았고, 9월에 0.58 μg l^{-1}로 가장 낮았다(Fig. 2).

*Euchaeta plana*와 *Paraeuchaeta russelli*의 개체군 변동

*E. plana*의 CIV부터 성체까지 전체 개체수는 월별로 0.7–4.3 ind m^{-3}의 범위에 평균 2.0 ind m^{-3}로, 6월에 가장 적었고 11월에 가장 높았으며, 특히 8월 이후에 비교적 출

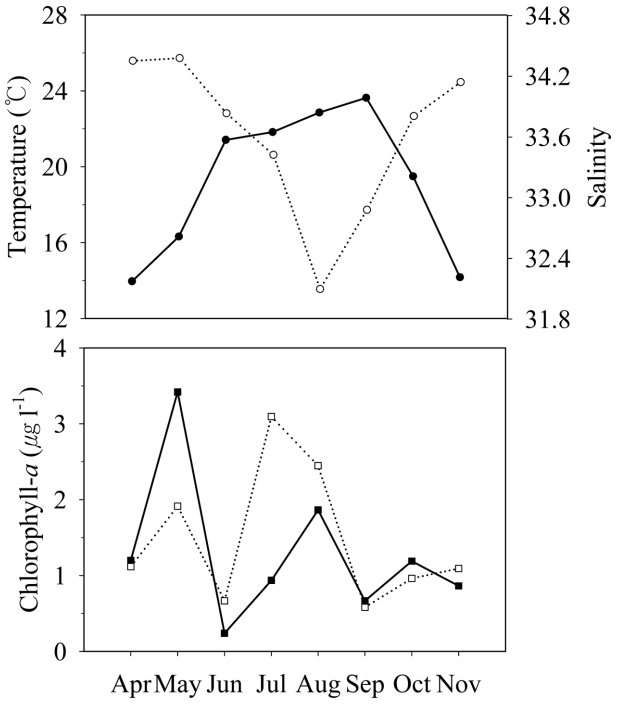

Fig. 2. Monthly variations of surface temperature (5 m; ●), surface salinity (○), surface chl-*a* (0–1 m; ■) and 10–20 m chl-*a* (□) concentrations in the southeastern sea of Korea

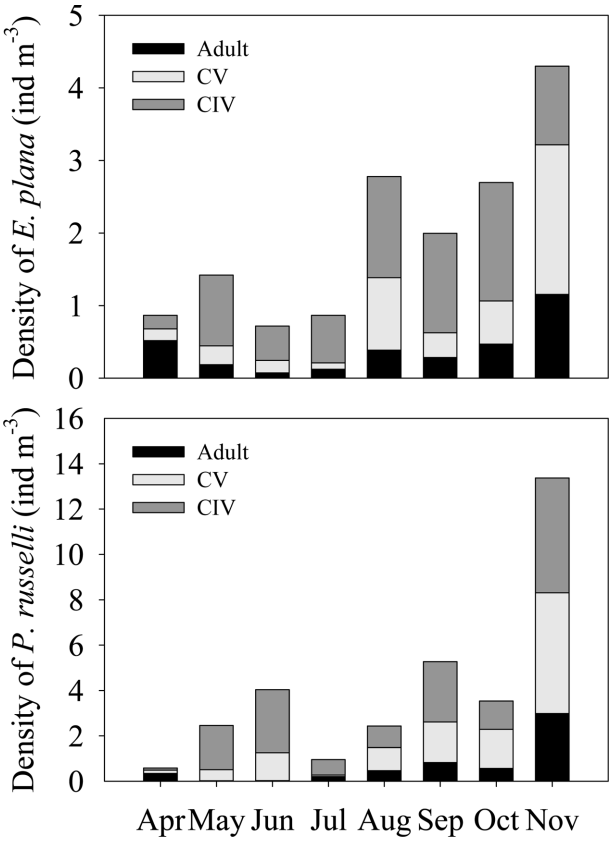

Fig. 3. Monthly changes in the densities of *Euchaeta plana* (above) and *Paraeuchaeta russelli* (below) by copepodite IV (CIV), copepodite V (CV), and adult

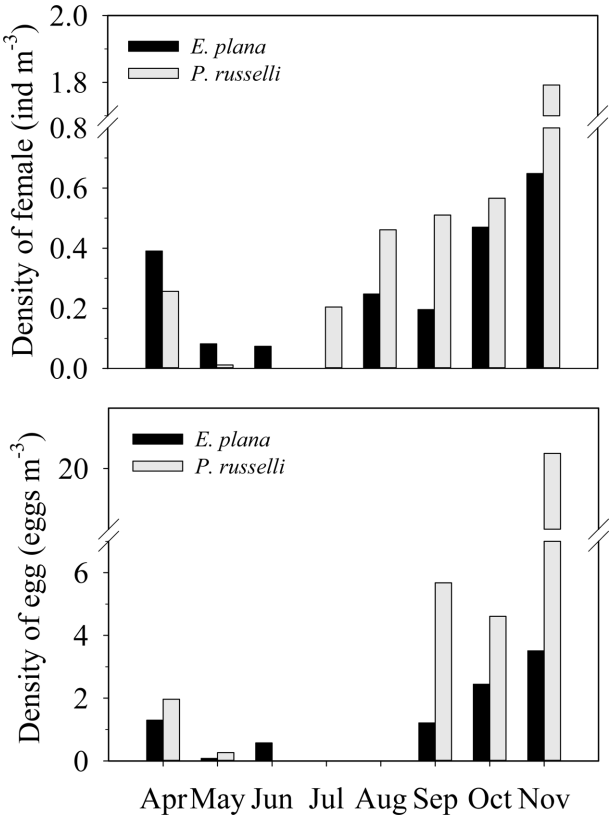

Fig. 4. Monthly variations in the densities of females (above) and eggs (below) of *Euchaeta plana* and *Paraeuchaeta russelli*. The number of eggs from detached egg sacs is included

현량이 많았다(Fig. 3). 발생단계별로 보면 CIV 개체수는 0.2–1.6 ind m^{-3}의 범위에 평균 1.0 ind m^{-3}로, 4월에 최저 10월에 최고였고, CV는 0.1–2.1 ind m^{-3}의 범위에 평균 0.6 ind m^{-3}로, 7월에 최저 11월에 최고였다. 성체(암컷과 수컷 전체)의 경우 0.1–1.2 ind m^{-3}의 범위에 평균 0.4 ind m^{-3}로, 6월에 가장 적었고 11월에 가장 많았다. 성체의 비중이 높은 4월과 CV가 많은 11월을 제외하면 대체로 CIV의 개체수가 다른 발생단계보다 높았다. *P. russelli*의 전체 개체수는 0.6–13.4 ind m^{-3}의 범위에 평균 4.1 ind m^{-3}로, 4월에 가장 적었고 11월에 가장 많았으며, 특히 11월의 개체수가 월등히 높았다(Fig. 3). 발생단계별로는 CIV의 개체수는 0.1–5.1 ind m^{-3}의 범위에 평균 1.9 ind m^{-3}로 4월에 최저 11월에 최고였고, CV는 0.1–5.3 ind m^{-3}의 범위에 평균 1.5 ind m^{-3}로, 7월에 최저 11월에 최고였다. 성체(암컷과 수컷 전체) 개체수는 0.01–3.0 ind m^{-3}의 범위에 평균 0.7 ind m^{-3}로, 5월에 가장 적었고 11월에 가장 높았다. 두 종의 월별 개체수 증감이나 단계 구성에는 차이가 있었으나, 공통적으로 11월에 출현량이 가장 많았다.

*E. plana*의 성체 암컷은 11월에 0.7 ind m^{-3}로 비교적 많이 출현하였으나, 7월에는 출현하지 않았다(Fig. 4). *E. plana*의 알(eggs)도 7, 8월에는 보이지 않았고 11월에 3.5 eggs m^{-3}로 가장 많이 발견되었다. *P. russelli*의 암컷은 11월에 1.8 ind m^{-3}로 가장 많았으나, 6월에는 출현하지 않았다. *P. russelli*의 알은 6월부터 8월까지 보이지 않았으나 11월에 20.5 eggs m^{-3}의 높은 밀도로 발견되었다. 알의 크기는 *E. plana*가 평균 239 ± 25 μm, *P. russelli*가 259 ± 12 μm로 *P. russelli*의 알이 상대적으로 더 컸다. *E. plana*와 *P. russelli* 두 종 모두 여름철에 산란량이 매우 적었고, 9월 이후 특히 11월에 많아졌다.

*E. plana*와 *P. russelli*의 생산력

*E. plana*의 CIV와 CV의 몸 생산력은 평균 4.2 μg C m^{-3} d^{-1}, 월별로 0.7–8.0 μgC m^{-3} d^{-1}의 범위로 4월에 가장 낮았고 8월에 가장 높았다(Fig. 5). *P. russelli*의 몸 생산력은 평균 11.8 μg C m^{-3} d^{-1}, 월별 0.7–27.4 μg C m^{-3} d^{-1}의 범위로 4월에 가장 낮았고 11월에 가장 높았다. *E. plana*의 알 생산력(EPR)은 평균 1.7 eggs $female^{-1}$이었고, 9월

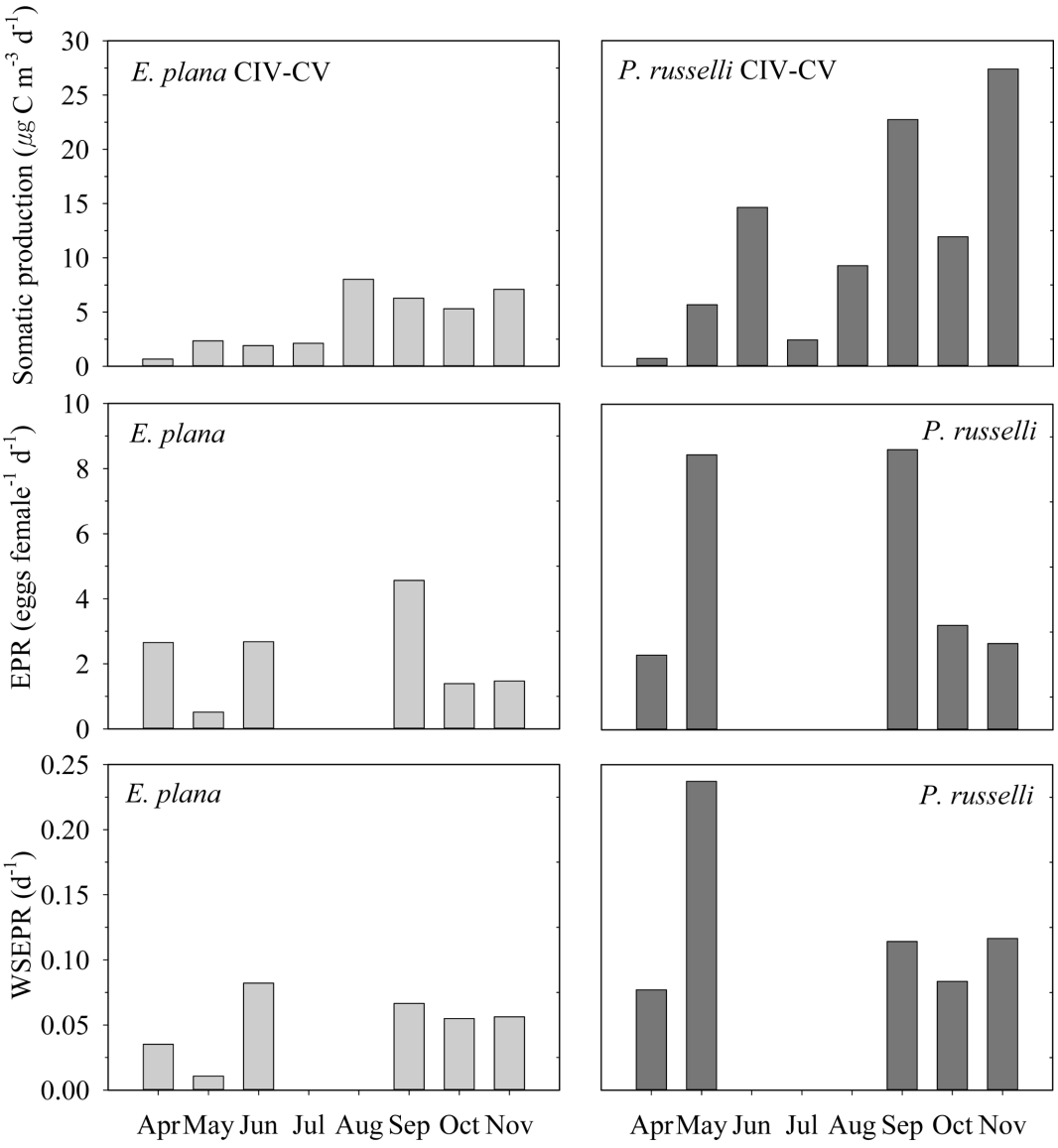

Fig. 5. Monthly changes in the somatic production (top) of copepodite IV (CIV) to copepodite V (CV), egg production rate (EPR; middle) and weight-specific egg production rate (WSEPR; bottom) of *Euchaeta plana* (left) and *Paraeuchaeta russelli* (right)

에 4.6 eggs female^{-1}로 가장 높았으나 7-8월에는 알을 발견할 수 없었다(Fig. 5). *P. russelli*는 평균 3.1 eggs female^{-1}로, *E. plana*와 마찬가지로 9월에 8.6 eggs female^{-1}로 알 생산력이 가장 높았으나 6–8월에는 알을 찾을 수 없었다. *E. plana* 성체 암컷의 단위 무게당 알 생산력(WSEPR)은 평균 0.038 d^{-1}로 6월에 0.082 d^{-1}로 최대치였고, *P. russelli*는 평균 0.079 d^{-1}로 5월에 0.237 d^{-1}로 가장 높았다(Fig. 5). 따라서 수중의 알의 개수는 11월에 가장 많았으나 암컷 한 마리당 알 생산력은 9월에 가장 높았고, 단위 무게당 알 생산력은 5월 또는 6월에 가장 높았다(Fig. 4, 5).

*E. plana*의 총 생산력은 평균 5.3 μg C m^{-3} d^{-1}이었고, 월별로는 1.8–11.0 μg C m^{-3} d^{-1}범위로 4월에 가장 낮고 11월에 가장 높았다(Fig. 6). *P. russelli*의 총 생산력은 평균 17.8 μg C m^{-3} d^{-1}이었고, 2.4–57.5 μg C m^{-3} d^{-1}의 범위로 7월에 가장 낮고 11월에 가장 높았다. 생체량의 경우, CIV부터 성체까지를 합한 *E. plana*의 월별 생체량은 평균 93.2 μg C m^{-3}으로, 월별로는 31.7–262.2 μg C m^{-3}의 범위였고, *P. russelli*는 평균 266.9 μg C m^{-3}, 월별로는 51.5–999.9 μg C m^{-3}의 범위로, 두 종 모두 7월에 가장 적고 11월에 가장 많았다. 생체량당 생산력(Production/Biomass ratio; P/B ratio)는 *E. plana*가 평균 0.06 d^{-1}으로,

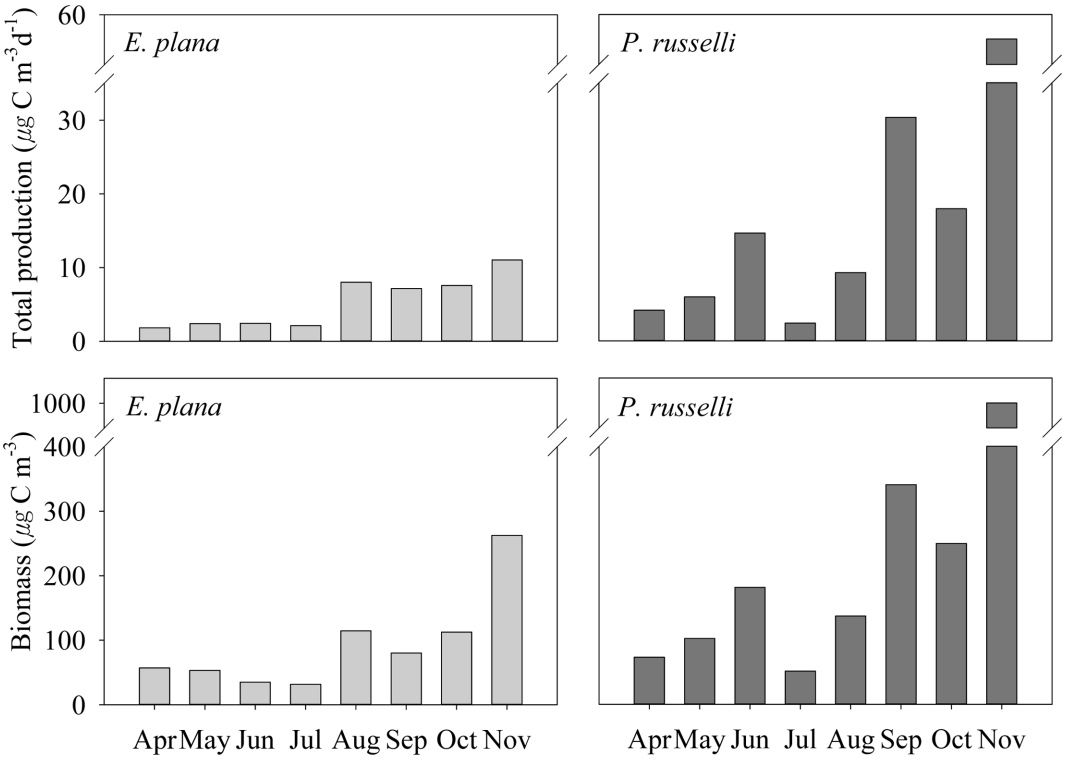

Fig. 6. Monthly variations of the total production (above) and biomass (below) of *Euchaeta plana* (left) and *Paraeuchaeta russelli* (right)

월별로는 0.03–0.09 d^{-1}의 범위로 4월에 가장 낮고 9월에 가장 높았으며, *P. russelli*는 평균 0.07 d^{-1}으로, 월별 0.05–0.09의 범위로 7월에 가장 낮고 9월에 가장 높았다.

***E. plana*와 *P. russelli*의 생산력과 환경 요인과의 관계**

*E. plana*와 *P. russelli*의 알 생산력, 성체 암컷의 단위 무게당 알 생산력, 총 생산력, P/B ratio와 수온, 염분, chl-*a* 농도, 소형 요각류 밀도 사이의 상관분석을 실시하였다. *E. plana*의 경우 P/B ratio와 표층수온($r = 0.951$, $p < 0.001$; Fig. 7), 알 생산력과 10–20 m chl-*a* 농도($r = -0.837$, $p < 0.01$), 암컷의 단위 무게당 알 생산력과 10–20 m chl-*a* 농도($r = -0.927$, $p < 0.001$; Fig. 7) 및 요각류 *Oncaea venusta*의 밀도($r = 0.862$, $p < 0.01$; Fig. 7), 총 생산력과 요각류 *Acartia pacifica*의 밀도($r = 0.783$, $p < 0.05$) 사이에 유의한 상관관계가 있었다. *P. russelli*의 경우 *E. plana*와 달리 수온, 염분, 10–20 m 수심의 chl-*a* 농도와 유의한 상관을 찾을 수 없었으나, 성체 암컷의 단위 무게당 알 생산력과 요각류 *Centropages furcatus*의 밀도($r = 0.757$, $p < 0.05$), 총 생산력과 *O. venusta*의 밀도($r = 0.794$, $p < 0.05$; Fig. 8) 및 *A. pacifica*의 밀도($r = 0.783$, $p < 0.05$) 사이에 유의한 상관관계가 있었다.

4. 고 찰

요각류의 알 생산력은 종의 생태적 특성에 따라 다르며, 같은 종이라 하더라도 서식 해역의 환경에 따라 변이가 크고(Kiørboe and Sabatini 1995), 요각류가 어떠한 산란 전략을 갖는지도 알 생산력에 크게 영향을 준다. 요각류는 생산한 알을 수중에 바로 방사하는 자유 산란형(free-spawning) 요각류(예, *Acartia, Calanus, Centropages* 등)와, 알을 가지고 다니는 알 운반형(egg-carrying) 요각류(예, *Pseudocalanus*, *Oithona*, *Oncaea* 등)로 나뉜다(Mauchline 1998). 후자의 경우 생산한 알을 담은 알 주머니(egg sac)를 생식절에 부착하여 알을 보호하기 때문에, 포란수가 적고 부화에 걸리는 시간이 길다. 반면 자유 산란형은 포란수가 많고 알이 빨리 부화하지만, 수중으로 직접 산란된 알은 사망률이 높다(Kiørboe and Sabatini 1994). 이전 연구에서도 알 운반형 요각류들의 알 생산력은 0.2–13.5 eggs $female^{-1}$의 범위였지만, 자유 산란형 요각류들의 알 생산력은 10.3–142 eggs $female^{-1}$ 의 범위로, 자유 산란형 요각류의 비교적 높은 알 생산력을 확인할 수 있었다(Table 1). 본 연구에서 *Euchaeta plana*와 *Paraeuchaeta russelli* 의 알 생산력은 이전 연구에서 발표

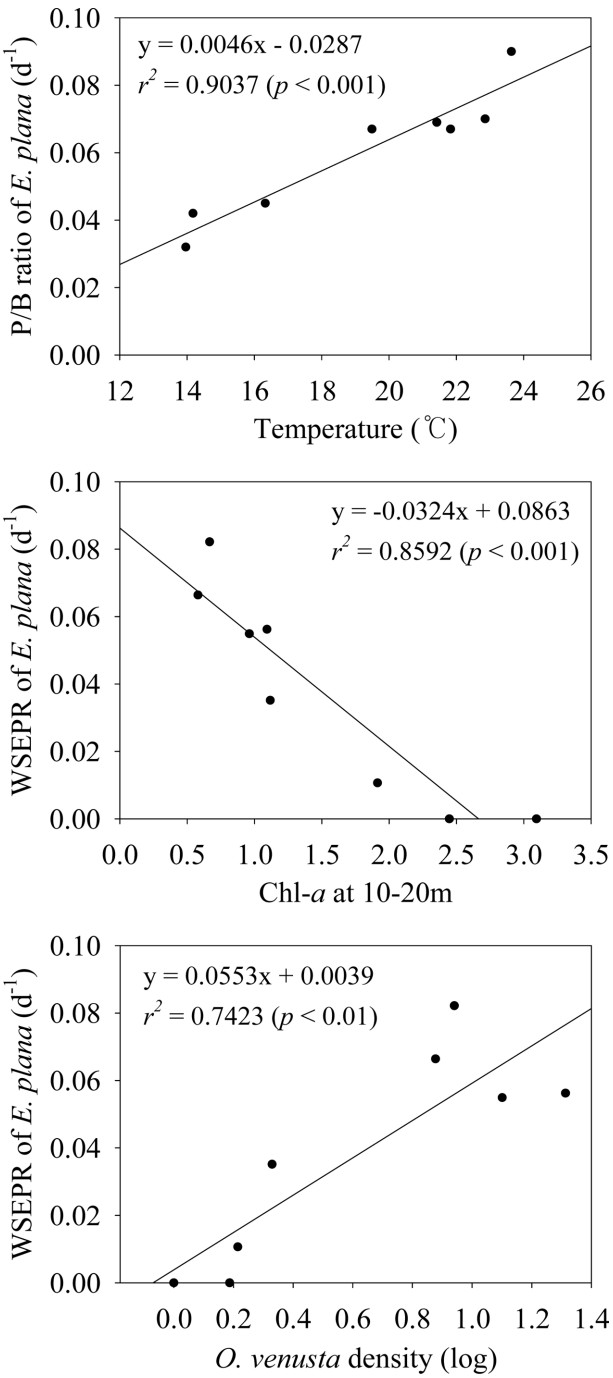

Fig. 7. The relationships between the production of *Euchaeta plana* and environmental factors: Production/Biomass ratio vs. temperature (top), weight-specific egg production rate (WSEPR) vs. chl-*a* concentration at 10–20 m (middle) and the density of *Oncaea venusta* (bottom)

된 euchaetid 종들(*E. marina*, *Euchaeta* spp., *P. norvegica*)과 비슷한 수준이었고, 다른 요각류 종들보다는 대체로 낮았는데(Table 1), 이 두 종 또한 알 운반형 요각류이기 때문에 알 생산력이 자유 산란형에 비하여 낮은 수준이었을 것이다.

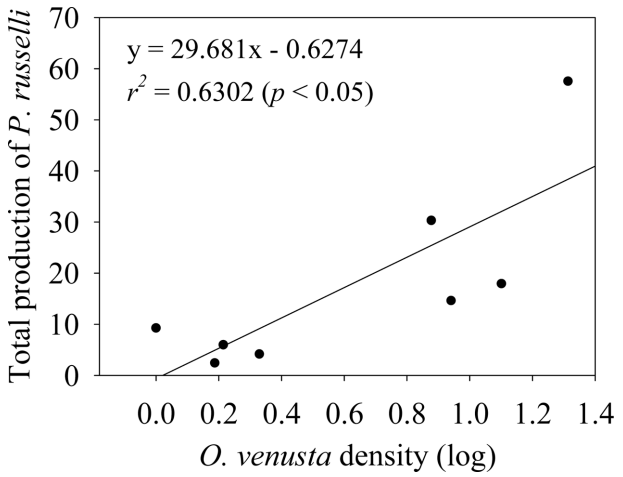

Fig. 8. The relationships between the total production of *Paraeuchaeta russelli* and the density of *Oncaea venusta*

Euchaetid 요각류와 함께 알 운반형 요각류에 속하는 *Pseudodiaptomus marinus*의 일본 내해에서 총 생산력은 51 mg C m^{-3} yr^{-1}(Liang and Uye 1997a, 1997b)이고, *Oithona davisae*의 총 생산력은 650 mg C m^{-3} yr^{-1}(Uye and Sano 1995, 1998)로서, 같은 알 운반형 요각류라 할지라도 총 생산력에 차이가 있었다. 자유 산란형인 *Calanus sinicus*와 *Centropages abdominalis*의 일본 내해에서 총 생산력은 각각 357.7 mg C m^{-3} yr^{-1}(Huang et al. 1993)과 355 mg C m^{-3} yr^{-1}(Liang et al. 1996)로 비슷한 수준이었지만, *Acartia omorii*는 일본 내해에서 총 생산력이 749 mg C m^{-3} yr^{-1}(Liang and Uye 1996)인 반면, 동해 남부 연안의 일광만에서는 33.5 mg C m^{-3} yr^{-1}(Kang et al. 2007)로서, 동일 종임에도 총 생산력에 약 20배 차이가 있었다. 두 해역에서의 *A. omorii*의 알 생산력과 P/B ratio는 비슷한 수준이었지만, 일본 내해에서 *A. omorii*의 최대 생체량이 80.5 mg C m^{-3}이었던 반면, 일광만의 최대 생체량은 2.68 mg C m^{-3}로 낮았기 때문에, 두 해역의 총 생산력의 차이는 요각류의 산란 전략이나 알 생산력보다는 현장의 요각류 생체량에 의해 야기된 것 같다. 따라서 본 연구에서 *E. plana*와 *P. russelli*의 총 생산력이 다른 요각류들에 비해 낮았던 데에는 낮은 알 생산력뿐만 아니라 낮은 생체량의 영향도 있었을 것이다.

요각류의 알 생산력은 수온(McKinnon and Ayukai 1996)과 먹이농도(Hopcroft and Roff 1998; Devreker et al. 2005)의 영향을 크게 받으며, 수온보다 먹이농도가 알 생산력에 더 결정적인 역할을 하기도 한다(Richardson and Verheye 1998; Hopkins et al. 2002). 본 연구에서 *E.*

Table 1. Previously reported egg production rate (EPR, eggs female^{-1} d^{-1}), weight specific EPR (WSEPR, d^{-1}), total production rate (PR, mg C m^{-3} yr^{-1}) and production/biomass ratio (P/B ratio, d^{-1}) of euchaetids and other copepods

Species	Temp (°C)	EPR	WSEPR	PR	P/B ratio[a]	Region	Reference
Euchaetids (egg carrying)							
Euchaeta marina	~28	3.4	·	·	·	Jamaica, West Indies	Hopcroft and Roff 1998
Euchaeta spp.	9–23	1.3 ± 0.4	·	·	·	Southern Benguela	Richardson *et al.* 2001
Paraeuchaeta norvegica	15	2.8	0.023	·	·	Loch Etive, Scotland	Hopkins 1977
E. plana	14.0–23.6	1.7	0.038	1.9[b]	0.06	Southeastern sea of Korea	This study
P. russelli	14.0–23.6	3.1	0.079	6.5[b]	0.07	Southeastern sea of Korea	This study
Egg carrying							
Pseudocalanus newmani	3–15	5–8	0.3–1.1	·	·	Hokkaido,Japan	Lee et al. 2003
Pseudodiaptomus marinus	8.9–28.2	0.2–13.5	0.003–0.22	51	0.17	Inland Sea of Japan	Liang and Uye 1997a, b
Oithona davisae	8.9–28.2	2.6–11.6	0.08–0.39	650	·	Inland Sea of Japan	Uye and Sano 1995, 1998
O. similis	15	4.5	0.100	·	·	Øresund, Denmark	Sabatini and Kiørboe 1994
Oncaea mediterranea	20	5.3–13.3	0.028	·	·	Southeastern coast of the US	Paffenhöfer 1993
Free spawning							
Acartia omorii	8.9–28.2	26–60	·	749	0.34	Inland Sea of Japan	Liang and Uye 1996
A. omorii	10.2–25.4	22–57	·	33.5	0.28	Ilkwang Bay, Korea	Kang *et al.* 2007
Calanus sinicus	·	·	·	357.7[b]	0.11–0.26	Inland Sea of Japan	Huang *et al.* 1993
C. sinicus	6–13	10.3–34.9	0.082	·	·	Yellow Sea	Kang *et al.* 2011
Centropages abdominalis	8.9–28.2	39–142	·	355	0.31	Inland Sea of Japan	Liang *et al.* 1996

[a]P/B ratio at 20°C
[b]Daily production rate was converted to annual production rate for comparison purpose

*plana*와 *P. russelli*의 생산력은 수층의 chl-*a* 농도 보다는 소형 요각류의 밀도와 양의 상관관계가 있었는데(Fig. 7, 8), 이를 통해 육식성인euchaetid 요각류의 섭식특이성을 추정할 수 있었다. Euchaetids의 위내용물 연구에 의하면, 소형 요각류가 전체 먹이 개체수의 40–99%를 차지하며, 나머지 동정되지 않은 먹이도 대부분 요각류의 잔해일 것으로 보고 되었다(Øresland 1991; Wong et al. 2012). 일반적으로 먹이가 될 수 있는지 여부를 판단하는데 가장 중요한 것은 먹이의 크기인데, 포식자 요각류 악각의 두 번째 기절(basipodal segment) 길이의 70% 내외의 두흉부 길이를 가진 피식자가 적절한 먹이가 되고, 그보다 크거나 작은 경우 먹이로 선호되지 않는다(Yen 1985). *Paraeuchaeta antarctica*의 경우 이 기절의 65%에 해당하는 두흉부 길이인 1.2 mm의 먹이를 가장 많이 포식하였고(Yen 1991), *Euchaeta concinna* 또한 기절의 65-75% 정도가 되는 크기의 먹이를 선호하였다(Wong et al. 2012). 따라서 *E. concinna*와 크기가 비슷한 *E. plana*가 포식 가능한 먹이는 두흉부 길이가 0.6–0.7 mm인 요각류일 것으로 추정된다. 본 연구에서 *E. plana*의 단위무게당 생산력은 제시된 *Oncaea venusta* 뿐만 아니라(Fig. 7), *Acartia pacifica* 성체와도 유의한 양의 상관관계를 나타냈으나($p < 0.05$), 이 종의 두흉부 길이는 0.8–1.1 mm로 *E. plana*가 포식하기에는 무리가 있는 것 같다. 또한 *A. pacifica*는 동해 남부에서 여름철에 한시적으로 출현하는 종으로(해양수산부 2013), 본 연구에서 여름철에 *E. plana*의 개체수와 생산력이 모두 낮았던 것을 고려하면, *A. pacifica*가 주요 먹이가 되었을 가능성은 낮아 보인다. 한편, *P. russelli*의 총 생산력은 *O. venusta*의 밀도와 양의 상관관계를 보였으며(Fig. 8), 또한 *Centropages furcatus*와도 유의한 양의 상관관계를 보였다($p < 0.05$). *P. russelli*는 전장이 3.5–3.9 mm로 *E. plana* 보다 평균 0.6 mm 정도 크지만, 전장이 8.4–9.9 mm에 이르는 *P. antarctica*의 선호 먹이 크기가 1.2 mm 였다는 점을 고려하면(Yen 1991), 비교적 큰 *P. russelli* 하더라도 두흉부 길이가 1 mm 내외인 *C. furcatus*를 포식하는 것은 어려울 것이다. *Oithona*나 *Corycaeus*와 같은 cyclopoid 요각류는 크기가 작을 뿐 아니라 특유의 불규칙적인 유영 방법 때문에 *P. antarctica*의 먹이로서 선호되지 않았는데(Yen 1985), 본 연구해역에서 *Oithona*가 연중 높은 밀도로 출현하였으나, *E. plana*와 *P. russelli*의 생산력과 상관관계가 없었던 것도 같은 이유일 것이다. Cyclopoida에 속하지만 euchaetids의 생산력과 상관이 있었던 *O. venusta*의 경우에는 두흉부 길이가 0.7 mm 내외로 섭식이 가능한 크기 범위에 속하며, 유영 방법 측면에서도 *Oithona*보다는 지

속적인 유영의 비중이 높고 부유물질과 같은 기질에 부착하는 경향이 있기 때문에(Hwang and Turner 1995), *E. plana*와 *P. russelli*의 잠재적인 먹이로서 적합하였을 가능성이 있다. 그러나 *O. venusta*가 *E. plana*와 *P. russelli*의 주요 먹이인지 판단하기 위해서는 섭식이나 위내용물에 대한 추가적인 연구가 필요하다.

본 연구에서는 CIV부터 성체까지 고려한 생산력을 제시하였으나 초기 발생단계의 생산력을 고려하지 않았다. 연구해역에서 조사 기간 동안 총 6종의 euchaetid 요각류들의 여러 발생단계가 혼재되어 출현하였으나, euchaetid 요각류의 발생단계별 형태에 대한 이전 연구가 없기 때문에, 형태적인 차이가 나지 않는 CI-CIII 단계 유생의 경우 종을 구분할 수 없었다. 또한 본 연구에서 사용한 채집 방법으로는 초기 유생이 정량적으로 채집되지 않았을 가능성도 있다. 본 조사에서는 연구해역의 특성상 깊은 수심(500 m 내외)까지 네트를 중복경사 예인 하였는데, 이 때 네트 막힘(clogging)을 최소화 하기 위해 330 μm의 비교적 큰 망목의 네트를 사용하였다. 동물플랑크톤의 경우 사용한 네트의 망목 크기에 따라 채집되는 요각류의 생체량과 종 조성이 크게 달라질 수 있는데(Calbet et al. 2001; Turner 2004), 본 연구에서 사용한 네트의 망목으로는 1 mm 이하인 euchaetid 요각류 초기 유생의 개체수가 과소평가 될 수 있다(Tseng et al. 2011; Makabe et al. 2012). 본 연구에서 측정한 생산력이 얼마나 과소평가 되었는지는 알 수 없으나, 보통 대형 요각류의 경우 CIV 이상의 단계가 생체량의 대부분을 차지한다는 점을 고려하면(Rey-Rassat et al. 2004; Hwang and Wong 2005), 본 연구에서 제시된 생산력은 세계적으로 생산력 연구가 빈약한 euchaetid 요각류 두 종에 대하여 연구자가 보다 현실적으로 접근하여 측정할 수 있는 생산력 값으로 평가된다.

5. 결 론

한국 동해 남부 해역에서 *E. plana*와 *P. russelli*의 4단계(CIV) 및 5단계(CV) 발생단계와 성체의 개체군 변동과 생산력을 추정한 결과, 두 종 모두 11월에 전체 개체수 및 성체 암컷 수가 가장 많았다. 두 종의 알 생산력은 9월에 가장 높았고, 총 생산력은 생체량과 마찬가지로 11월에 가장 높았다. 본 연구에서 측정한 *E. plana*와 *P. russelli*의 알 생산력과 총 생산력은 다른 요각류 종들에 비해서 대체로 낮으며, 이는 euchaetids가 알 운반형 요각류로서 자유 산란형 요각류들 보다 적은 알을 생산하고, 현장에서의 생체량도 적었기 때문이다. 연구 해역에서 *E. plana*와 *P. russelli*의 생산력은 수층의 chl-*a* 농도보다는 소형 요각류의 밀도와 유의한 양의 상관관계를 보여, 이들이 육식성 요각류임을 추정할 수 있었다. 상관관계가 있었던 소형 요각류 종들 중에서도 크기와 유영방법을 고려했을 때 *O. venusta*가 유력한 먹이원으로 보인다. 본 연구는 지금까지 보고된 적 없는 육식성 요각류 *E. plana*와 *P. russelli*의 이차생산력을 처음으로 측정하여, 요각류 생산력 연구에 필요한 지역 개체군의 이차생산력 자료를 제공하는데 그 의미가 있다.

사 사

논문을 심사해 주신 두 심사위원께 감사드립니다. 이 논문은 해양수산부 재원으로 해양수산과학기술진흥원의 지원을 받아 수행된 연구(장기해양생태계연구)입니다.

참고문헌

김철호, 김구 (1983) 한국 동해안에 출현하는 냉수괴의 특성과 기원. 한국해양학회지 **18**(1):73–83

국립생물자원관 (2013) 한국의 무척추동물: 해산 부유성 요각류 II, 제21권 28호. 국립생물자원관, 11-1480592-000652-01, 27 p

윤석현, 오광석, 정미희 (2010) 섬진강 하구역의 동물플랑크톤 군집구조와 요각류 생산력 연구. 해양환경안전학회지 **16**(4):369–379

해양수산부 (2013) 해양생태계 기본조사 동해 남부해역 기장 35.5N°~영덕 36.5N. 해양환경관리공단, 11-1192000-000002-10, 232 p

Calbet A, Garrido S, Saiz E, Alcaraz M, Duarte CM (2001) Annual zooplankton succession in coastal NW Mediterranean waters: the importance of the smaller size fractions. J Plankton Res **23**:319–331

Calbet A, Saiz E, Alcaraz M (2002) Copepod egg production in the NW Mediterranean: effects of winter environmental conditions. Mar Ecol-Prog Ser **237**:173–184

Conway DVP (2006) Identification of the copepodite developmental stages of twenty-six North Atlantic copepods. Mar Biol Assoc UK **21**:1–28

Devreker D, Souissi S, Seuront L (2005) Effects of chlorophyll concentration and temperature variation on the reproduction and survival of *Temora longicornis* (Copepoda, Calanoida) in the Eastern English Channel. J Exp Mar Bio Ecol **318**(2):145–162

GLOBEC (1999) Global Ocean Ecosystem Dynamics Implementation Plan. IGBP Report 47, pp 49–51

Hama T, Miyazaki T, Ogawa Y, Iwakuma T, Takahashi M, Otsuki A, Ichimura S (1983) Measurement of photosynthetic production of a marine phytoplankton population using a stable 13C isotope. Mar Biol **73**(1):31–36

Hirst A, Bunker A (2003) Growth of marine planktonic copepods: global rates and patterns in relation to chlorophyll *a*, temperature, and body weight. Limnol Oceanogr **48**(5):1988–2010

Hopcroft R, Roff J (1998) Zooplankton growth rates: the influence of female size and resources on egg production of tropical marine copepods. Mar Biol **132**(1):79–86

Hopkins CCE (1977) The relationship between maternal body size and clutch size, development time and egg mortality in *Euchaeta norvegica* (Copepoda: Calanoida) from Loch Etive, Scotland. J Mar Biol Assoc UK **57**(3):723–733

Huang C, Uye S, Onbe T (1993) Geographic distribution, seasonal life cycle, biomass and production of a planktonic copepod *Calarms sinicus* in the Inland Sea of Japan and its neighboring Pacific Ocean. J Plankton Res **15**(11):1229–1246

Hwang JS, Turner JT (1995) Behaviour of cyclopoid, harpacticoid, and calanoid copepods from coastal waters of Taiwan. Mar Ecol **16**(3):207–216

Hwang JS, Wong CK (2005) The China Coastal Current as a driving force for transporting *Calanus sinicus* (Copepoda: Calanoida) from its population centers to waters off Taiwan and Hong Kong during the winter northeast monsoon period. J Plankton Res **27**(2):205–210

Jang MC, Shin K, Hyun B, Lee T, Choi KH (2013) Temperature-regulated egg production rate, and seasonal and interannual variations in *Paracalanus parvus*. J Plankton Res **35**(3):1035–1045

Jeong MK, Suh HL, Soh HY (2011) Taxonomy and zoogeography of euchaetid copepods (Calanoida, Clausocalanoidea) from Korean waters, with notes on their female genital structure. Ocean Sci J **46**(2):117–132

Jung Y, Kang HK, Kang YJ (2004) *In situ* egg production rate of the planktonic copepod *Acartia steueri* in Ilkwang Bay, southeastern coast of Korea. J Plankton Res **26**(12):1547–1553

Kang HK, Kang YJ (2005) Production of *Acartia steueri* (Copepoda: Calanoida) in Ilkwang Bay, southeastern coast of Korea. J Oceanogr **61**(2):327-334

Kang HK, Kang YJ, Park C (2007) Production of *Acartia omorii* (Copepoda: Calanoida) in Ilkwang Bay, southeastern coast of Korea. J Marine Syst **67**(3-4):236–244

Kang HK, Lee CR, Choi KH (2011) Egg production rate of the copepod *Calanus sinicus* off the Korean coast of the Yellow Sea during spring. Ocean Sci J **46**(3):133–143

Kiørboe T, Sabatini M (1994) Reproductive and life cycle strategies in egg-carrying cyclopoid and free-spawning calanoid copepods. J Plankton Res **16**(10):1353–1366

Kiørboe T, Sabatini M (1995) Scaling of fecundity, growth and development in marine planktonic copepods. Mar Ecol-Prog Ser **120**(1):285–298

Kimmerer W, Hirst A, Hopcroft R, McKinnon A (2007) Estimating juvenile copepod growth rates: corrections, inter-comparisons and recommendations. Mar Ecol-Prog Ser **336**:187–202

Lee HW, Ban S, Ikeda T, Matsuishi T (2003) Effect of temperature on development, growth and reproduction in the marine copepod *Pseudocalanus newmani* at satiating food condition. J Plankton Res **25**(3):261–271

Liang D, Uye S (1996) Population dynamics and production of the planktonic copepods in a eutrophic inlet of the Inland Sea of Japan. II. *Acartia omorii*. Mar Biol **125**(1): 109–117

Liang D, Uye S (1997a) Population dynamics and production of the planktonic copepods in a eutrophic inlet of the Inland Sea of Japan. IV. *Pseudodiaptomus marinus*, the egg-carrying calanoid. Mar Biol **128**(3):415–421

Liang D, Uye S (1997b) Seasonal reproductive biology of the egg-carrying calanoid copepod *Pseudodiaptomus marinus* in a eutrophic inlet of the Inland Sea of Japan. Mar Biol **128**(3):409–414

Liang D, Uye S, Onbé T (1996) Population dynamics and production of the planktonic copepods in a eutrophic inlet of the Inland Sea of Japan. I. *Centropages abdominalis*. Mar Biol **124**(4):527–536

Makabe R, Tanimura A, Fukuchi M (2012) Comparison of mesh size effects on mesozooplankton collection efficiency in the Southern Ocean. J Plankton Res **34**(5):432–436

Mauchline J (1998) Advances in marine biology. Vol. 33. Academic Press, San Diego, 284 p

McKinnon A, Ayukai T (1996) Copepod egg production and food resources in Exmouth Gulf, Western Australia. Mar Freshwater Res **47**(4):595–603

Øresland V (1991) Feeding of the carnivorous copepod *Euchaeta antarctica* in Antarctic waters. Mar Ecol-Prog Ser **78**:41–47

Paffenhöfer GA (1993) On the ecology of marine cyclopoid copepods (Crustacea, Copepoda). J Plankton Res **15**(1): 37-55

Park C (1997) Seasonal distribution, egg production and feeding by the marine copepod *Calanus sinicus* in Asan Bay, Korea. Ocean Sci J **32**:85–92

Park K, Kim KR (2010) Unprecedented coastal upwelling in the East/Japan Sea and linkage to long-term large-scale variations. Geophys Res Lett **37**(9)

Peterson W, Gomez-Gutierrez J, Morgan CA (2002) Cross-

shelf variation in calanoid copepod production during summer 1996 off the Oregon coast, USA. Mar Biol **141**(2):353–365

Rey-Rassat C, Bonnet D, Irigoien X, Harris R, Head R, Carlotti F (2004) Secondary production of *Calanus helgolandicus* in the Western English Channel. J Exp Mar Bio Ecol **313**(1):29–46

Richardson AJ, Verheye HM (1998) The relative importance of food and temperature to copepod egg production and somatic growth in the southern Benguela upwelling system. J Plankton Res **20**(12):2379–2399

Richardson AJ, Verheye HM, Herbert V, Rogers C, Arendse LM (2001) Egg production, somatic growth and productivity of copepods in the Benguela Current system and Angola-Benguela Front: BENEFIT Marine Science. S Afr J Sci **97**(5-6):251–257

Runge J, Roff J (2000) The measurement of growth and reproductive rates ICES zooplankton methodology manual. Elsevier, pp 401–454

Sabatini M, Kiørboe T (1994) Egg production, growth and development of the cyclopoid copepod *Oithona similis*. J Plankton Res **16**(10):1329–1351

Sathyendranath S, Platt T, Horne EP, Harrison WG, Ulloa O, Outerbridge R, Hoepffner N (1991) Estimation of new production in the ocean by compound remote sensing. Nature **353**(6340):129–133

Shin K, Jang MC, Jang PK, Ju SJ, Lee TK, Chang M (2003) Influence of food quality on egg production and viability of the marine planktonic copepod *Acartia omorii*. Prog Oceanogr **57**(3–4):265–277

Tseng LC, Dahms HU, Hung JJ, Chen QC, Hwang JS (2011) Can different mesh sizes affect the results of copepod community studies? J Exp Mar Bio Ecol **398**(1–2):47–55

Turner JT (2004) The importance of small planktonic copepods and their roles in pelagic marine food webs. Zool Stud **43**(2):255–266

Uye S (1982) Length-weight relationships of important zooplankton from the Inland Sea of Japan. J Oceanog **38**(3): 149–158

Uye S, Sano K (1995) Seasonal reproductive biology of the small cyclopoid copepod *Oithona davisae* in a temperate eutrophic inlet. Mar Ecol-Prog Ser **118**(1):121–128

Uye S, Sano K (1998) Seasonal variations in biomass, growth rate and production rate of the small cyclopoid copepod *Oithona davisae* in a temperate eutrophic inlet. Mar Ecol-Prog Ser **163**:37–44

Wong CK, Yau EYW, Lie AAY (2012) The seasonal distribution, diel vertical distribution and feeding behavior of *Paraeuchaeta concinna* in the shallow subtropical coastal waters of eastern Hong Kong. Aquat Biosyst **8**(1):28

Yebra L, Kobari T, Sastri A, Gusmão F, Hernández-León S (2017) Advances in biochemical indices of zooplankton production. Advances in marine biology. Vol. 76. Academic press, San Diego, pp 157–240

Yen J (1983) Effects of prey concentration, prey size, predator life stage, predator starvation, and season on predation rates of the carnivorous copepod *Euchaeta elongata*. Mar Biol **75**(1):69–77

Yen J (1985) Selective predation by the carnivorous marine copepod *Euchaeta elongata*: laboratory measurements of predation rates verified by field observations of temporal and spatial feeding patterns. Limnol Oceanogr **30**(3):577–597

Yen J (1991) Predatory feeding behavior of an Antarctic marine copepod, *Euchaeta antarctica*. Polar Res **10**(2):433–442

Youn SH, Choi JK (2007) Egg production of the copepod *Acartia hongi* in Kyeonggi Bay, Korea. J Mar Syst **67**(3-4):217-224

국문 참고자료의 영어 표기

English translation / Romanization of references originally written in Korean

Kim CH, Kim K (1983) Characteristics and origin of the cold water mass along the east coast of Korea. J Oceanol Soc Kor **18**(1):73–83

National Institute of Biological Resources (2013) Invertebrate Fauna of Korea: Marine Planktonic Copepods II, Volume 21, Number 28. NIBR, 11-1480592-000652-01, 27 p

Youn SH, Oh GS, Chung MH (2010) Zooplankton community structure and copepod production in the Seomjin River Estuary. J Korean Soc Mar Environ **16**(4):369–379

Ministry of Oceans and Fisheries (2013) General investigation of marine ecosystem in the southeastern sea of Korea, Gijang 35.5N°~Yeongdeok 36.5N. KOEM, BSPN 11-1192000-000002-10, p 232

Received Aug. 1, 2018
Revised Sep. 14, 2018
Accepted Sep. 18, 2018