

태안반도 인근해역 우점 요각류의 계절별 분포와 섭식

송혜영¹ · 이두별² · 박철*¹

¹충남대학교 해양환경과학과
²한국해양연구원 부설 극지연구소, 극지기후연구부

Seasonal Distribution of Major Copepods and Their Feeding in the Coastal Area off Taean Peninsula

HYEYOUNG SONG¹, DOOBYOUL LEE² AND CHUL PARK*¹

¹Department of Oceanography and Ocean Environmental Sciences, Chungnam National University, Daejeon 305-764, Korea
²Division of Polar Climate Research, Korea Polar Research Institute, Incheon 406-840, Korea

태안반도 인근 해역의 우점 요각류 세 종의 계절별 분포를 알아보고, 계절별 섭식률을 측정하여 이들이 식물플랑크톤 현존량에 미치는 섭식압을 파악하였다. 우점 요각류인 *Acartia hongii*, *Calanus sinicus*, *Paracalanus parvulus* s. l.는 전체 중형동물플랑크톤 개체수의 약 50%를 차지하였고 전체 요각류의 약 70%를 차지하였다. *A. hongii*는 겨울철, 봄철에 우점하였고, *C. sinicus*는 봄철에 가장 우점하였으며, *P. parvulus* s. l.는 여름철과 가을철에 우점하였다. 이들 세 요각류의 섭식률은 봄철에 가장 높았고, 섭식률이 높은 시기에 요각류 알(egg)과 유생(nauplius)의 생물량이 다른 계절에 비해 약 10배 이상 많았다. 또한, 섭식률이 높은 시기에 유생 단계의 생물량도 높게 나타나 이들의 섭식률은 재생산을 위해 증가한 것으로 여겨졌다. 이 우점 요각류 세 종이 식물플랑크톤 현존량에 미치는 섭식압은 약 5% (0.7~40.5% 범위) 정도였으며, 봄철에 가장 높았다.

Seasonal fluctuations in abundances and ingestion rates of the three major copepods, *Acartia hongii*, *Calanus sinicus* and *Paracalanus parvulus* s. l., around the Taean Peninsula were studied along with the estimation of the grazing impacts by them on phytoplankton standing stocks. These three copepods occupied about 50% of total mesozooplankton abundances and about 70% of total copepod abundances. *A. hongii* dominated in winter and spring while *C. sinicus* showed only one peak in spring. *P. parvulus* s. l. occurred dominantly in summer and fall. The ingestion rates of these three copepods were the highest in spring, when their abundances of eggs and nauplii were more than 10 times greater. Abundances of copepodites of these copepods were also very abundant at this time of high ingestion rates. These increased ingestion rates seemed to be related with reproduction. The grazing impacts by these three copepods were about 5% of the available chlorophyll *a* in the water column (with the range of 0.7 to 40.5%). The highest value was found in spring.

Keywords: Copepod, Feeding, Grazing impact, Taean Peninsula

서론

해양생태계에서 동물플랑크톤은 식물플랑크톤에 의해 생성된 물질 및 에너지를 상위 영양 단계로 전달해 주는 연결고리 역할을 한다. 동물플랑크톤의 대부분을 차지하는 요각류는 식물플랑크톤에 의해 생성된 일일 일차생산량의 약 30~40% 정도를 소비하는 것으로 알려져 있다(Bautista and Harris, 1992; Dagg, 1993; Dam et al., 1995; Hansen et al., 2000). 요각류 개체군의 크기는 각 개체의 성장과 사망, 그리고 재생산 등에 의해 영향을 받으며 성장과 재생산은 섭식에 의해 직접적인 영향을 받는다(Harris et al., 2000). 그러므로 요각류의 섭식률을 정량적으로 측정하고 이

들이 식물플랑크톤에 미치는 섭식압을 파악하는 것은 대상 해역의 하위 영양 생태계를 이해하는데 있어 필수적인 부분이다.

요각류의 섭식률을 측정하는 방법으로는 시간에 따라 감소한 식물플랑크톤 세포 수, 먹이 농도를 측정하는 방법(Frost, 1972)과 방사성 동위원소(¹⁴C, ³²P)를 이용하여 추적하는 방법(Rigler, 1961; Baars and Franz, 1984) 등이 있다. 그러나 이러한 방법은 실험실 내에서 인위적인 환경을 조성한 후 실험용기 안의 먹이량을 측정하기 때문에 자연 상태의 섭식률을 반영하는데 한계가 있다. Mackas and Bohrer (1976)에 의해 제안된 소화관의 먹이물질을 형광으로 측정하는 gut fluorescence method는 동물플랑크톤의 현장 섭식률을 파악하는 매우 유용한 방법이다. 이 방법 또한 동물플랑크톤이 섭취한 식물플랑크톤 양만을 측정할 수 있어 순수 초식동물이 아닌 경우는 한계가 있지만 1980년대 이후 많은 연구자들에 의

*Corresponding author: chulpark@cnu.ac.kr

해 널리 사용되어 왔고, 다양한 지역에서 연구결과가 축적되어 있어 사전 연구가 미흡한 지역에서는 유용하게 사용될 수 있는 장점이 있다. 요각류의 섭식에 대한 국내 연구로는 황해 및 동중국해 요각류 섭식압(신, 1997), 경기만 *Acartia hongii*의 섭식압(Seo and Choi, 2008), 아산만 해역 우점 요각류의 하루 중 섭식리듬 및 월별 섭식률 변동(이, 2010) 등이 있을 뿐 많은 정보가 축적되지 못하였다.

황해 중동부 해역에 위치한 태안반도는 복잡한 해안선과 크고 작은 만으로 이루어져 있으며, 다양한 해양 생물의 산란 및 보육장으로 중요한 역할을 하는 지역이다. 이 해역 인근에서 이루어진 과거 플랑크톤 연구로는 황과 최(1993)에 의한 동물플랑크톤 군집의 계절별 분포 특성에 대한 연구, 심과 윤(1990)에 의한 천수만에서 동물플랑크톤의 계절변화와 생산량에 대한 연구, 박(1989)에 의한 동물플랑크톤 반복 채집과 시간별 채집의 필요성에 대한 연구 등이 있지만, 동물플랑크톤의 섭식에 대한 연구는 이루어진 바 없다.

해양 생태계에서 요각류는 동물플랑크톤 중 가장 우점하는 분류군으로 황해 연안 해역의 경우 *Acartia*, *Calanus*, *Paracalanus* 속의 요각류가 대부분을 차지한다(박, 1989; 황과 최, 1993; 신, 1997). 본 연구에서는 태안반도 인근해역의 우점 요각류인 *Acartia hongii*, *Calanus sinicus*, *Paracalanus parvus* s. l.의 계절별 분포 특성을 알아보고 이들의 섭식률을 측정하여 이들 요각류가 식물플랑크톤 현존량에 미치는 현장 섭식압을 정량적으로 파악해보고자 하였다.

재료 및 방법

태안반도 인근해역의 8개 정점에서 2009년 2월, 5월, 8월, 11월 네 차례에 걸쳐 중형동물플랑크톤을 채집하였다(Fig. 1).

수온·염분 및 chlorophyll *a* 농도 측정

각 정점의 수온 및 염분은 salinometer를 이용하여 표층에서 측정하였다. 식물플랑크톤의 양적 분포는 chlorophyll *a* 농도로 파악

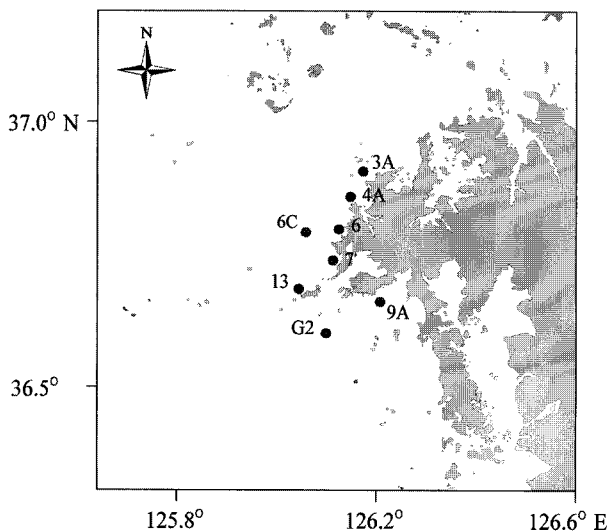


Fig. 1. Map of the sampling sites off Taean Peninsula.

하였다. Chlorophyll *a* 농도를 측정하기 위한 해수는 각 정점의 표층에서 Niskin 채수기를 이용하여 채수하였다. 채수된 해수는 직경 47 mm GF/F 여과지에 250 ml를 여과하였다. 여과된 여과지는 액체 질소를 이용하여 냉동 보관 후 실험실로 운반하였다. 실험실로 운반된 여과지는 분석 전에 90% 아세톤 8 ml를 넣어 냉암소에서 24시간 동안 추출한 후 그 상등액을 취해 Turner designs trilogy fluorometer를 이용하여 chlorophyll *a* 농도를 측정하였다(Strickland and Parsons, 1972).

중형동물플랑크톤 분포

중형동물플랑크톤은 원추형 네트(입구 직경 52 cm, 망목 크기 200 μ m)를 이용하여 사전 인양하여 채집하였다. 채집은 각 정점에서 2회 반복하여 실시하였고 분포 자료는 두 시료에서 얻은 평균값을 사용하였다. 채집된 시료는 선상에서 중성 포르말린으로 고정하였으며, 포르말린의 최종 농도는 생물량의 많고 적음에 따라 약 5~8%가 되도록 하였다. 채집된 시료는 실험실에서 Folsom 분할기를 이용하여 개체수가 1,000~1,500개체가 되도록 부차 시료를 취하여 Bogorov 계수판에 넣고 해부현미경과 광학현미경을 사용하여 가능한 낮은 단계까지 분류, 계수하였다. 계수된 개체수는 네트 입구에 부착된 유량계(flowmeter)로 여과된 해수량을 계산하여 단위 체적당 개체수(indiv. m^{-3})로 환산하였다.

우점 요각류의 섭식률 측정

섭식률 측정은 우점 요각류인 *Acartia hongii*, *Calanus sinicus*, *Paracalanus parvus* s. l.를 대상으로 이루어졌다. 섭식률 측정을 위한 시료는 각 정점에서 추가로 네트를 인양하여 채집하였다. 채집된 시료는 현장에서 즉시 여러 개의 20 ml vial에 옮긴 후 액체 질소통에 냉동 보관하여 실험실로 운반 하였다. 실험실로 운반된 시료는 약한 빛 상태에서 해부현미경(Olympus, SZX 7)을 이용하여 각 종의 암컷 성체를 선별하였다. 실험종의 크기에 따라 비교적 크기가 큰 *C. sinicus*의 경우 15 개체 내외, 크기가 작은 *A. hongii*, *P. parvus* s. l.의 경우 약 100 개체를 선별하여 petri dish에 넣고 증류수로 이물질을 빠르게 세척한 후 직경 47 mm GF/F 여과지로 옮겼다. 여과지는 15 ml centrifuge tube에 90% 아세톤 8 ml를 넣은 후 냉암소에서 24 시간 동안 추출하였다. 추출된 시료는 3000 rpm으로 5분간 원심분리한 후에 그 상등액을 취해 10% 염산 첨가 전·후의 체내 색소량(gut pigment contents)을 Turner designs trilogy fluorometer를 이용하여 측정하였다. 체내 색소량은 chlorophyll *a*와 phaeopigment의 합으로 계산하였으며 그 식은 아래와 같다(Dagg and Wyman, 1983; Dagg and Walser, 1987; Dam and Peterson, 1988; Head and Harris, 1992).

$$\text{Chlorophyll } a \text{ (ng ind}^{-1}\text{)} = \frac{k(f_0 - f_a)}{n}$$

$$\text{Phaeopigment (ng chl } a \text{ eq. ind}^{-1}\text{)} = \frac{k(Rf_0 - f_a)}{n}$$

여기서, k 는 machine calibration constant, f_0 는 산화 이전 형광량, f_a 는 산화 후 형광량, R 은 acidification ratio, n 은 요각류 개체수를 의미한다. 섭식률(ingestion rate)은 아래 식으로 계산하였다(Mackas and Bohrer, 1976; Dagg and Wyman, 1983).

$$I = G \cdot k \cdot 60$$

$$k = 0.0117 + 0.001794 \cdot T$$

여기서 G 는 gut pigment contents (ng chl a eq. ind.⁻¹), k 는 gut evacuation rate constant (min⁻¹), 그리고 T 는 수온(°C)이다.

식물플랑크톤 현존량에 미치는 현장 섭식압은 각 정점에서 측정된 섭식률 값에 암컷 요각류의 개체 밀도를 곱한 후 chlorophyll a 농도로 측정된 식물플랑크톤 현존량에 대한 비율로 환산하였다 (Morales and Harris, 1990).

결 과

계절별 수온 및 염분 분포

수온은 온대해양의 전형적인 양상을 보였다. 계절별 평균 수온은 2월에 4.4 °C, 5월에 12.4 °C, 8월에 22.7 °C, 11월에 18.2 °C였

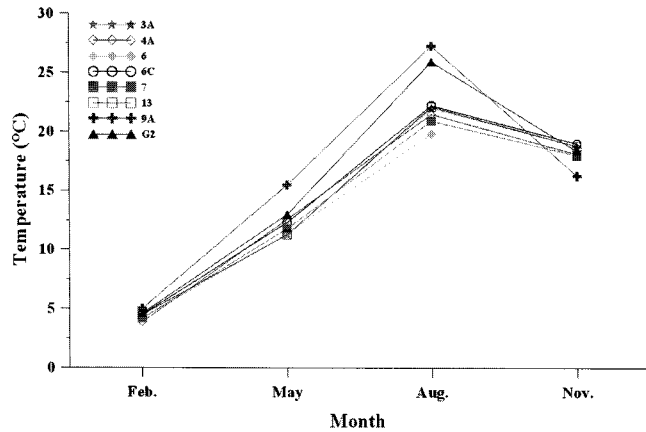


Fig. 2. Seawater temperatures in the study area.

다. 겨울철과 봄철, 가을철에는 정점별로 수온 차이가 크지 않았지만 여름철에는 약 3~5 °C 정도의 차이를 보였다(Fig. 2). 염분은

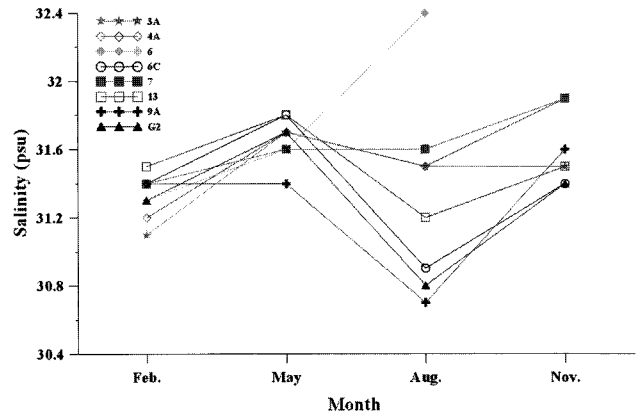


Fig. 3. Salinities in the study area.

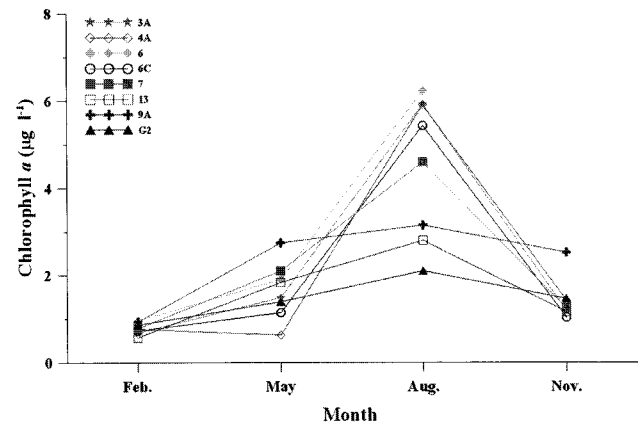


Fig. 4. Chlorophyll a concentrations in the study area.

Table 1. Abundances and compositions of major mesozooplankton in the study area. Adults and copepodites were combined in case of copepods (AA: Averaged abundance, indiv./m³; Com: Composition, %).

Taxon	Feb.		May		Aug.		Nov.	
	AA	Com	AA	Com	AA	Com	AA	Com
<i>Acartia hongii</i>	252	40	1481	45	577	17	6	1
<i>Calanus sinicus</i>	18	3	196	6	18	1	31	3
<i>Paracalanus parvus</i> s. l.	152	24	332	10	582	17	412	45
<i>Parvocalanus crassirostris</i>	91	14	5	<1			<1	<1
<i>Centropages tenuiremis</i>	1	<1	151	5	7	<1	3	<1
<i>Corycaeus affinis</i>	4	1	3	<1	329	9	202	22
<i>Oithona</i> spp.	61	10	69	2	8	<1	70	8
Copepod nauplius and eggs	13	2	412	12	36	1	9	1
<i>Podon</i> spp.			299	9	16	<1		
<i>Evadne tergestina</i>			7	<1	743	21	<1	<1
<i>Penilia schmackeri</i>					367	11	<1	<1
Decapoda larva	<1	<1	6	<1	100	3	3	<1
<i>Sagitta crassa</i>	13	2	14	<1	66	2	39	4
Bivalve larva	1	<1	8	<1	185	5	58	6
Gastropoda larva	3	<1	12	<1	53	2	20	2
Cirripedia larva	<1	<1	194	6	254	7	4	<1
<i>Oikopleura</i> spp.	<1	<1	64	2	14	<1	8	1
Some of above 17 major taxa	607	96	3252	98	3354	96	864	94
Others	26	4	65	2	130	4	52	6
Total	633	100	3317	100	3484	100	916	100

30.7~32.4 psu 범위(평균 31.5 psu)로 계절별, 정점별 차이가 매우 작았다(Fig. 3).

Chlorophyll a 농도 분포

식물플랑크톤 생체량의 척도인 chlorophyll a 농도는 조사 기간 동안 0.6~6.2 $\mu\text{g l}^{-1}$ 범위로, 겨울철 이후 증가하여 여름철에 평균 4.5 $\mu\text{g l}^{-1}$ 로 가장 높았으며 이후 감소하는 경향을 보였다. 겨울철과 봄철, 가을철에는 공간적인 차이가 작았지만, 여름철에는 북측 정점(3A, 4A, 6)에서 남측 정점(13, 9A, G2) 보다 약 3배 정도 높은 값을 보였다(Fig. 4).

우점 요각류의 계절별 분포

연구 대상해역에서 채집된 중형동물플랑크톤은 총 7개 문(Phylum)에 속하는 36개 분류군으로 구성되었으며 요각류는 14속 18개 분류군이였다. 이들 요각류 중 가장 우점한 *Acartia hongii*, *Calanus sinicus*, *Paracalanus parvus* s. l. 세 종의 개체수 합은 전체 중형동물플랑크톤 개체수의 약 50%를 차지하였다(Table 1).

최우점 요각류인 *Acartia hongii*는 전체 중형동물플랑크톤의 약 28%를 차지하였으며 성체와 유생단계 모두 봄철에 가장 많았다. 발생 단계별로는 copepodite 5기가 가장 많았고, 그 다음으로

copepodite 4, 3기 순이었다(Fig. 5, Fig. 6). *Calanus sinicus*는 봄철에 196 indiv. m^{-3} 로 가장 우점하였고 여름철에 가장 적은 개체수를 보였다. *C. sinicus* 성체와 유생단계의 개체수 또한 봄철에 가장 우점하였다. 발생 단계별 분포는 copepodite 1기의 유생이 가장 많았고 그 다음으로 copepodite 2, 3기의 유생의 출현량이 많았다(Fig. 5, Fig. 7). *Paracalanus parvus* s. l.는 봄철 이후 증가하여 여름철에 582 indiv. m^{-3} 로 가장 우점하였다. *P. parvus* s. l. 성체는 봄철부터 가을철까지 유사한 개체수를 보였으며, 유생단계의 생물량은 여름철에 가장 많았다. 발생 단계별로는 copepodite 5~3기의 유생이 많았다(Fig. 5, Fig. 8).

계절별 주요 우점 요각류의 섭식률

*Acartia hongii*의 체내 색소량은 겨울철에 0.12 ng chl a eq. ind.^{-1} 로 가장 높았고 섭식률은 봄철에 0.22 ng chl a eq. $\text{ind.}^{-1} \text{hour}^{-1}$ 로 가장 높았다(Fig. 9). 체내 색소량은 겨울철에 가장 높았으나 섭식률은 개체수가 가장 많은 봄철에 높게 나타났다. *Calanus sinicus*의 체내 색소량과 섭식률은 겨울철과 가을철에는 매우 낮은 수준이었으나 봄철에는 각각 0.99 ng chl a eq. ind.^{-1} , 2.01 ng chl a eq. $\text{ind.}^{-1} \text{hour}^{-1}$ 로 다른 계절에 비해 약 10배 정도 높았다(Fig. 10). *Paracalanus parvus* s. l.의 체내 색소량과 섭식률은 겨울철 이후 증가하여 봄

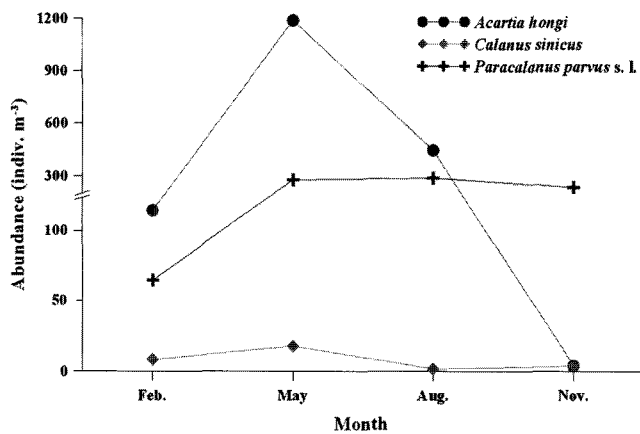


Fig. 5. Abundances of the three target copepods (indiv. m^{-3} , adults only) in the study area.

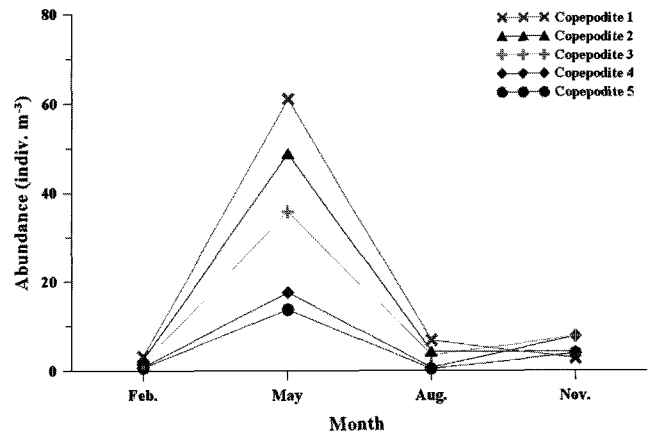


Fig. 7. Stage specific abundances of *Calanus sinicus* (indiv. m^{-3}) in the study area.

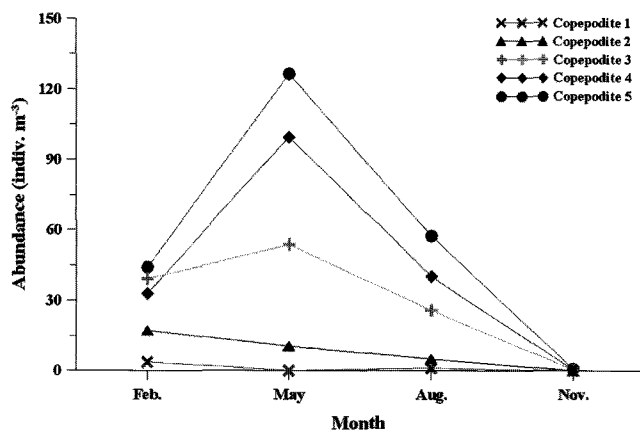


Fig. 6. Stage specific abundances of *Acartia hongii* (indiv. m^{-3}) in the study area.

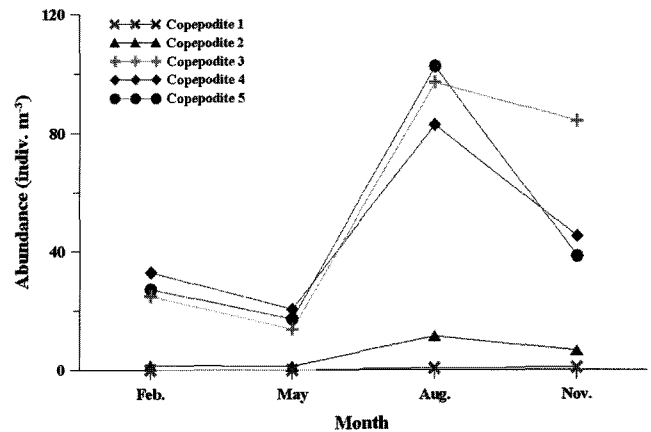


Fig. 8. Stage specific abundances of *Paracalanus parvus* s. l. (indiv. m^{-3}) in the study area.

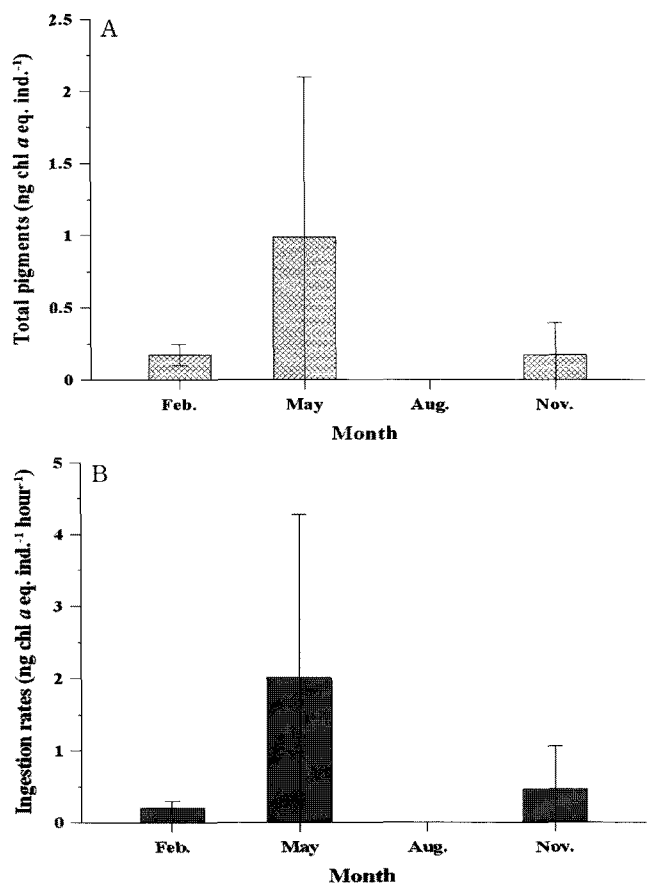
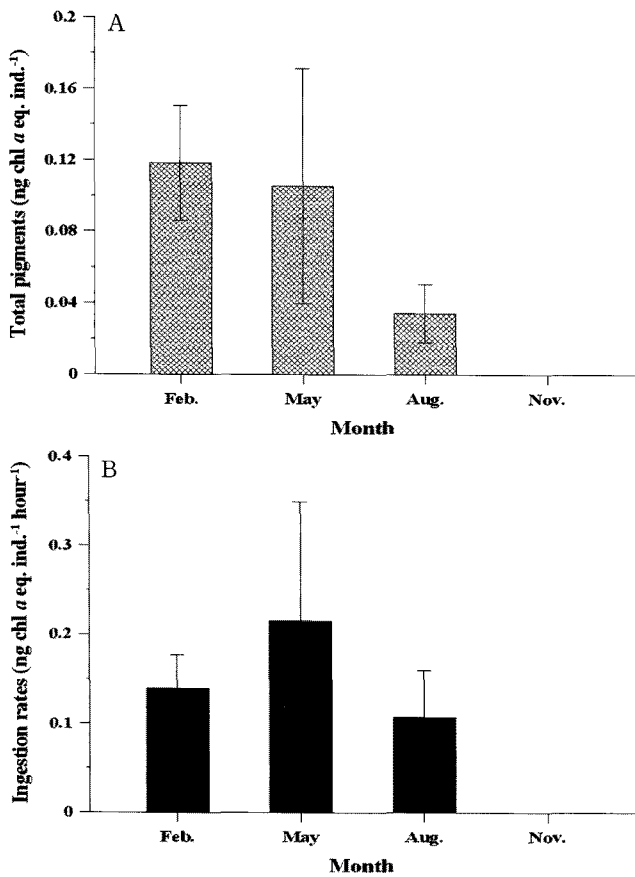


Fig. 9. Gut pigment contents (A) and ingestion rates (B) of *Acartia hongii* (female) around Taean Peninsula. Vertical bars indicate the 95% confidence levels.

Fig. 10. Gut pigment contents (A) and ingestion rates (B) of *Calanus sinicus* (female) around Taean Peninsula. Vertical bars indicate the 95% confidence levels.

철에 각각 0.09 ng chl a eq. ind.⁻¹, 0.18 ng chl a eq. ind.⁻¹ hour⁻¹로 다른 계절에 비해 약 2배 정도 높았다(Fig. 11).

토 의

우점 요각류의 계절별 분포 특성

해양 생태계에서 요각류는 동물플랑크톤 중 가장 우점하는 분류군으로(Nybakken, 1982; Raymont, 1983; Parsons *et al.*, 1984), 본 연구에서도 전체 중형동물플랑크톤 중 요각류는 여름철(45%)을 제외한 모든 계절에 약 80% 이상을 차지하였다. 이 중 *Acartia hongii*, *Calanus sinicus*, *Paracalanus parvus* s. 1. 세 종은 전체 중형동물플랑크톤의 약 50%, 전체 요각류의 약 70%를 차지하는 우점 요각류였다. 본 연구에서 이들 요각류 세 종의 계절별 분포 특성은 황해 연안 해역에서 이루어진 과거의 연구 결과와 유사하였다. 즉, *Acartia hongii*는 겨울철과 봄철에 우점하였고, *Calanus sinicus*는 봄철에 가장 우점하였으며, *Paracalanus parvus* s. 1.는 여름철과 가을철에 우점하였다(박과 이, 1995; 윤과 최, 2003; 이 등, 2006; Park *et al.*, 1991; Choi and Park, 1993; Park, 1997; Park *et al.*, 1998; Lee and Park, 2002).

이들 요각류의 분포에 영향을 주는 요인을 알아보기로 환경 요인인 수온과 먹이 농도인 chlorophyll a와 관계를 파악해 보았다(Table 2). 염분은 연중 변화가 2 psu 내외로 작았고, 본 연구 지

역인 태안반도는 인근 지역으로부터 담수의 유입이 거의 없는 지역이기 때문에 이들 요각류의 분포에 영향을 주지 않았을 것으로 판단되어 분석에서 제외하였다. 전체 중형동물플랑크톤과 *Palacalanus parvus* s. 1.는 수온이 증가함에 따라 개체수가 증가하는 경향을 보였다. 먹이 농도인 chlorophyll a 농도와도 유의한 양의 상관관계를 보여 이들의 분포에 수온과 먹이는 많은 영향을 주는 것으로 판단된다. *Acartia hongii*와 *Calanus sinicus*는 수온, chlorophyll a 농도 어느 것과도 유의한 관계를 보이지 않았다(Table 2).

연안 해역에서 동물플랑크톤 개체수가 봄철과 여름철에 증가하는 것은 같은 기간 동안 발생한 식물플랑크톤의 높은 현존량과 생산력에 의해 많은 영향을 받는다(Choi, 1991). 윤과 최(2003)는 인근해역인 경기만에서 *Acartia hongii*가 수온이 증가함에 따라 출현량이 감소한다고 하였으며, 아산만 해역에서 *A. hongii*와 *Calanus sinicus*는 수온 및 chlorophyll a 농도의 변화에 의해 많은 영향을 받는 것으로 보고되었다(이 등, 2006; 박 등, 2008; 이, 2010). 또한, 심과 윤(1990)은 태안반도 인근 해역인 천수만에서 수온과 식물플랑크톤은 동물플랑크톤의 계절변화에 많은 영향을 준다고 하였다.

빛, 수온, 염분, 수괴혼합, 먹이 조건, 상위 포식자의 포식압 등은 요각류 군집의 시공간적 분포에 많은 영향을 주는 것으로 알려져 있다(Riley, 1967; Davis, 1972; Haury *et al.*, 1992). 이 중 수온 및 염분, 먹이 농도 등은 이들의 분포와 우점시기를 결정짓

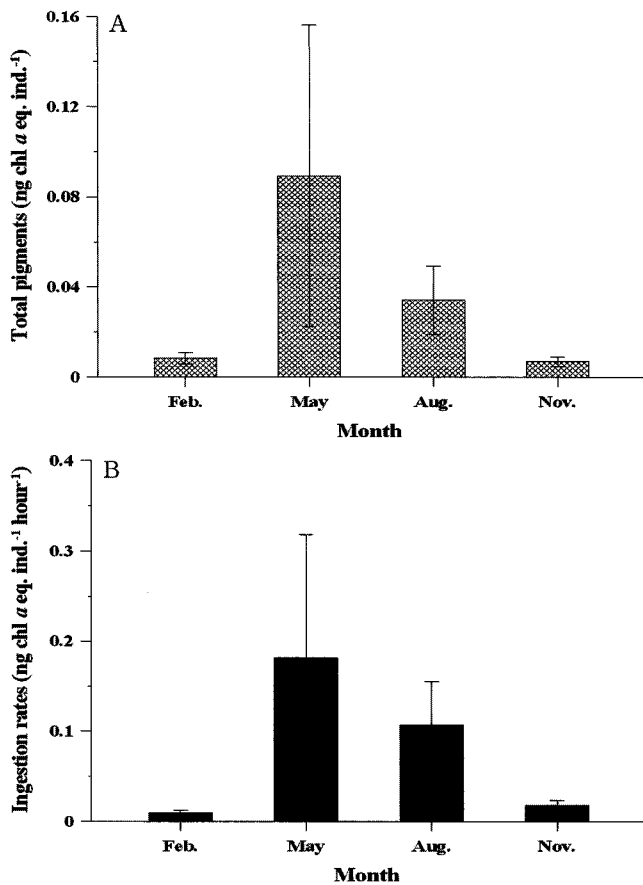


Fig. 11. Gut pigment contents (A) and ingestion rates (B) of *Paracalanus parvus* s. l. (female) around Taean Peninsula. Vertical bars indicate the 95% confidence levels.

는 주요 요인으로 작용한다. 본 연구에서 우점 요각류 중 *Paracalanus parvus* s. l.는 수온과 먹이양에 높은 상관관계를 보여 이들의 영향을 많이 받는 것으로 나타났다. *Acartia hongii*와 *Calanus sinicus*의 경우는 개체수가 수온 및 chlorophyll a 농도와 의미 있는 상관관계를 보이지 않았다. 그러나 계절에 따른 개체수 변동에 상응하는 큰 계절 변동을 보이는 환경요인이 염분보다는 수온과 식물 플랑크톤 양이라는 점에서 이들이 두 종 요각류의 계절 변동에 영향을 미치고 있을 개연성은 충분하다고 여겨진다.

주요 우점 요각류의 섭식률

수온은 요각류의 성장과 발달에 많은 영향을 주는 것으로 알려져 있다(Huntley and Lopez, 1992; Harris et al., 2000). 본 연구에서 요각류 세 종의 섭식률과 개체수는 유사한 계절 변동을 보였다. 즉, 개체수가 가장 많았던 시기에 섭식률 또한 높았다. 이 (2010)는 아산만 해역에서 월별로 요각류의 섭식률을 측정하여 수온과 섭식률 간의 관계를 파악해 본 결과, 수온이 요각류의 섭식률에 많은 영향을 준다고 하였다. Dam and Peterson (1988)은 요각류가 수온이 증가함에 따라 소화율이 빨라진다고 하였다. 본 연구에서 *Acartia hongii*의 경우 겨울철의 체내 색소량이 봄철보다 높았으나 섭식률은 봄철에 더 높게 나타났다. 이는 겨울철에 비해 봄철에 증가한 수온이 이들의 소화율을 증가시켜 섭취된 먹이의

Table 2. Correlation coefficients between the environmental factor and abundance of the target species.

Taxon	Correlation coefficients	
	Seawater temperature (°C)	Chlorophyll a concentration (µg l ⁻¹)
Total abundance	0.48*	0.38**
<i>Acartia hongii</i>		
<i>Calanus sinicus</i>		
<i>Paracalanus parvus</i> s. l.	0.63*	0.61*

Asterisks indicate the level of significance at *p<0.01, **p<0.05. Blanks indicate no significant correlations.

소화 시간을 단축하였기 때문으로 여겨진다.

요각류 개체군이 연중 특정 시기에 개체수 증가를 보이는 것은 그 시기가 서식에 알맞은 환경 조건을 갖추고 있기 때문이다. 수온과 염분 등이 요각류의 서식시기와 서식지를 결정짓는 가장 큰 요인이라면 이들 요각류 개체의 성장과 재생산은 섭식률, 먹이조건, 상위 포식자의 포식압 등에 의해 영향을 받게 된다. 요각류는 섭식률의 증가로 발생한 잉여 에너지를 성장 및 재생산 등에 이용할 것이다. 요각류의 알 생산율은 서식처의 환경에 따라 다르지만 주로 섭식량에 의해 많은 영향을 받는 것으로 알려져 있다(신과 최, 1992; 신, 1997; Uye, 1981; Roman, 1984; Runge, 1984; Stoecker and Egloff, 1987; Kleppel et al., 1991; Park and Landry, 1993; Chaudron et al., 1996). 본 연구에서 요각류의 섭식률은 *Acartia hongii*와 *Calanus sinicus*의 경우 개체수가 가장 많았던 시기(5월)에 섭식률 또한 높았다. *Paracalanus parvus* s. l.는 섭식률은 5월에 가장 높았으나 개체수 밀도는 8월에 가장 높았다. 만약 이들 요각류가 섭식률이 가장 높았던 시기에 재생산이 이루어졌다면 이들 요각류의 유생 단계 생물량 또한 이 시기에 가장 많을 것으로 여겨진다. 실제로 봄철에 요각류 유생(nauplius)과 알(eggs)은 다른 계절에 비해 약 10배 이상 많았고(412 indiv. m⁻³), 특히 정점 6C에서는 최대 1,198 indiv. m⁻³로 매우 많은 생물량을 보였다(Table 1, Fig. 12). *A. hongii*와 *C. sinicus*의 경우 섭식률이 높은 봄철에 copepodite 생물량 또한 많았으며, *P. parvus* s. l.의 섭식률은 5월에 가장 높게 나타났으나 여름철인 8월에도 높은 섭식

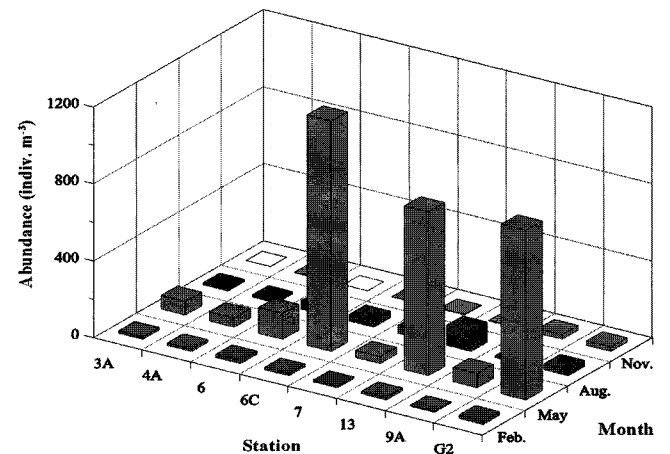


Fig. 12. Spatio-temporal abundances distribution of copepod nauplius and eggs in the study area.

를 보였고, 유생 단계의 개체수 밀도도 8월에 가장 높았다.

Youn and Choi (2007)는 태안반도와 인접한 경기만에서 *Acartia hongii*의 알 생산력에 먹이의 질과 양은 매우 중요한 요인으로 작용한다고 하였으며, 이 종의 알 생산율은 봄철에 가장 높다고 하였다. *Acartia* 속(*Acartia steueri*, *Acartia tonsa*, *Acartia clausi*)의 요각류는 수온이 15~20°C 사이일 때 알에서 부화하여 성체에 도달하는데 약 20~30일 정도 걸리는 것으로 알려져 있다(강과 강, 1998; Uye, 1980; Landry, 1983). *Calanus sinicus*는 산란지역의 환경에 따라 산란횟수에 차이는 있지만 연중 산란 가능하며 연안 지역의 경우 봄철과 가을철에 연중 2회의 주 산란시기를 갖는 것으로 알려져 있다(Chen, 1964; Lin and Li, 1984; Huang *et al.*, 1993; Park, 1997). 태안반도 인근해역인 아산만에서 *C. sinicus*의 알 생산율은 4~5월에 가장 높았으며(박과 이, 1995), Uye (1988)는 *C. sinicus*가 알에서 성체로 성장하는데 수온이 10°C 일 때 약 2개월 정도 소요되며 수온이 증가함에 따라 그 기간은 단축된다고 하였다. Sun *et al.* (2008)은 중국연안에서 *Paracalanus parvus* s. l. 가 봄부터 초가을까지 알 생산율이 높게 나타난다고 하였다. *P. parvus* s. l.는 알에서 부화하여 성체가 되는데 수온 15°C에서 약 20일이 걸리는 것으로 알려져 있다(Landry, 1983).

본 연구에서 주요 우점 요각류 세 종의 섭식률이 가장 높았던 시기와 재생산이 가장 활발한 시기는 일치한다. 이들 요각류 세 종이 재생산을 통해 알에서 성체로 성장하는데 걸리는 시간은 약 한 달 정도이다. 본 연구에서 이들 요각류의 섭식률이 특정 시기(5월, 8월)에 증가하였다는 것은 재생산을 위해 섭식률이 증가한 것으로 판단된다. 아산만 해역에서 이(2010)는 *Calanus sinicus*의 섭식률이 재생산 시기와 일치하여 증가한다고 하였다. 알 생산율은 먹이농도에 의해 많은 영향을 받는 것으로 알려져 있다(Dagg, 1977; Runge, 1984; Chaudron *et al.*, 1996). 이러한 과거의 많은 연구들에 비추어 볼 때 섭식률은 알 생산율에 많은 영향을 주는 것으로 여겨진다. 본 연구에서 섭식률이 높았던 시기에 유생단계의 생물량 또한 많은 것으로 보아 이들 요각류의 섭식률은 재생산을 위해 증가한 것으로 여겨진다.

주요 우점 요각류의 섭식압(grazing impact)

요각류가 식물플랑크톤 현존량에 미치는 현장 섭식압은 많은 환경요인에 의해 영향을 받으며, 계절마다 해역마다 다르게 나타난다(Strickler and Costello, 1996; Tan *et al.*, 2004). Bautista and Harris (1992)는 요각류가 chlorophyll *a* 현존량에 미치는 현장 섭

식압이 약 5~8% 정도라고 하였고, Pagano *et al.* (2006)은 후생동물플랑크톤의 chlorophyll *a* 현존량에 대한 포식압이 0.5~11% 정도라고 하였다. Li *et al.* (2003)은 발해만에서 요각류가 chlorophyll *a* 현존량의 약 12% 정도를 소비한다고 하였으며, 신(1997)은 황해에서 calanoid 요각류를 크기별로 구분지어 이들 요각류 그룹이 식물플랑크톤 현존량에 미치는 현장 섭식압은 약 8% 정도로 매우 낮다고 하였다. 이(2010)도 아산만 해역에서 *Acartia hongii*, *Acartia pacifica*, *Calanus sinicus*, *Paracalanus parvus* s. l. 4종의 요각류가 식물플랑크톤 현존량에 미치는 현장 섭식압은 약 0.2~30% 정도이며 이들의 섭식압은 봄철과 가을철에 높았다고 보고하였다.

본 연구에서 주요 우점 요각류 세 종이 식물플랑크톤 현존량에 미치는 섭식압은 약 0.7~40.5%로 봄철을 제외하면 약 2% 이내로 매우 낮았다(Table 3). 이는 과거의 연구에 비해 상대적으로 낮은 값이지만 본 연구에서는 전체 요각류를 대상으로 한 것이 아닌 세 종의 요각류만 포함하였기 때문으로 보인다. 요각류 세 종의 섭식률이 계절에 따라 변하지만 그 변동 폭은 개체군 밀도의 변동 폭에 비해 매우 작은 범위이며, 계절에 따른 요각류 개체군 밀도는 매우 큰 폭으로 변하였다. 이는 섭식압에 보다 많은 영향을 주는 것이 개체의 섭식률 보다 개체수 밀도임을 의미하는 것이다. 또한, 여름철에 비해 봄철에 chlorophyll *a* 농도가 낮게 나타난 것은 봄철에 이들 요각류의 섭식압(40.5%)이 매우 높았기 때문으로 해석된다.

사 사

본 연구는 한국해양과학기술진흥원의 해양환경개선기술개발사업(과제번호 20090001) 유류오염환경영향평가 및 환경복원연구(부유 및 유영생태계 모니터링)의 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

강형구, 강용주, 1998. 실험실에서 요각류 *Acartia steueri*의 성장과 발생. 한국수산학회지, 31: 842-851.
 박 철, 1989. 연안역 동물 플랑크톤 시료의 변이: 반복 채집 및 시간별 채집의 필요성. 한국해양학회지, 24: 165-171.
 박 철, 이평강, 1995. 아산만 요각류 *Calanus sinicus*의 알생산. 한국수산학회지, 28: 105-113.
 박 철, 이두별, 이창래, 양성렬, 정병관, 2008. 아산만 해역 동-춘계 대증식기의 플랑크톤 변화. 한국해양학회지, 13: 308-319.
 신경순, 1997. 황-동중국해에서 calanoid 요각류의 현장 먹이 섭취율 및 식물플랑크톤에 대한 포식압. 인하대학교 박사학위 논문. pp. 180.
 신경순, 최중기, 1992. 해양부유성 요각류인 *Calanus sinicus*와 *Acartia clausi* (*A. omorii*)의 포식행동. 한국해양학회지, 27: 11-18.
 심재형, 윤구현, 1990. 천수만 동물플랑크톤의 계절변화와 생산량. 한국해양학회지, 25: 229-239.
 윤석현, 최중기, 2003. 경기만 동물플랑크톤 군집의 시공간적 분포. 한국해양학회지, 8: 243-250.
 이두별, 2010. 아산만 해역 증형동물플랑크톤의 분포 특성과 주요 우점 요각류의 섭식. 충남대학교 박사학위 논문. pp. 211.
 이창래, 박 철, 양성렬, 신용식, 2006. 아산만 해역 증형동물플랑크톤의 시공간적 변동. 한국해양학회지, 11: 1-10.
 황학진, 최중기, 1993. 황해 중동부 해역 동물플랑크톤의 계절적

Table 3. *In situ* grazing impacts (%) of the target species.

Season	Species	<i>In situ</i> grazing impact
Winter	<i>Acartia hongii</i>	1.6
	<i>Calanus sinicus</i>	0.3
	<i>Paracalanus parvus</i> s. l.	0.1
Spring	<i>Acartia hongii</i>	36.5
	<i>Calanus sinicus</i>	1.6
	<i>Paracalanus parvus</i> s. l.	2.4
Summer	<i>Acartia hongii</i>	1.0
	<i>Paracalanus parvus</i> s. l.	0.7
Fall	<i>Calanus sinicus</i>	0.1
	<i>Paracalanus parvus</i> s. l.	0.6

- 분포 특성. 한국해양학회지, **28**: 24-34.
- Baars, M.A. and Fransz, H.G., 1984. Grazing pressure of copepods on the phytoplankton stock of the central North Sea. *Neth. J. Sea Res.*, **18**: 120-142.
- Bautista, B. and Harris, R.P., 1992. Copepod gut contents, ingestion rates and grazing impact on phytoplankton in relation to size structure of zooplankton and phytoplankton during a spring bloom. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **82**: 41-50.
- Chaudron, Y., Poulet, S.A., Laabir, M., Lanora A. and Miralto, A., 1996. Is hatching success of copepod eggs diatom density-dependent? *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **144**: 185-193.
- Chen, Q.C., 1964. A study of the breeding periods, variation in sex ratio and in size of *Calanus sinicus* Brodsky. *Oceanol. Limnol. Sinica*, **6**: 272-295.
- Choi, J.K., 1991. The influence of the tidal front on primary productivity and distribution of phytoplankton in the mid-eastern coast of Yellow Sea. *Bull. Nat. Fish. Res. Dev. Agency*, **42**: 143-168.
- Choi, K.H. and Park, C., 1993. Seasonal fluctuation of zooplankton community in Asan Bay, Korea. *J. Kor. Fish. Soc.*, **26**: 424-437.
- Dagg, M., 1977. Some effects of patchy food environments on copepods. *Limnol. Oceanogr.*, **22**: 99-107.
- Dagg, M.J., 1993. Grazing by the copepod community does not control phytoplankton in the subarctic Pacific Ocean. *Prog. Oceanogr.*, **32**: 163-183.
- Dagg, M.J. and Walser, W.E. Jr, 1987. Ingestion, gut passage, and egestion by the copepod *Neocalanus plumchrus* in the laboratory and in the Subarctic Pacific Ocean. *Limnol. Oceanogr.* **32**: 178-188.
- Dagg, M.J. and Wyman, K.D., 1983. Natural ingestion rates of the copepods *Neocalanus plumchrus* and *N. cristatus* calculated from gut contents. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **13**: 37-46.
- Dam, H.G. and Peterson, W.T., 1988. The effect of temperature on the gut clearance rate constant of planktonic copepods. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, **123**: 1-14.
- Dam, H.G., Zhang, X., Butler, M. and Roman, M.R., 1995. Mesozooplankton grazing and metabolism at the equator in the central Pacific implications for carbon and nitrogen fluxes. *Deep-Sea Res.*, **42**: 735-756.
- Davis, R.A., 1972. *Principles of Oceanography*. Addisonwesly Pub. Co., 268-269.
- Frost, B.W., 1972. Effects of size and concentration of food particles on the feeding behaviour of the marine planktonic copepod *Calanus pacificus*. *Limnol. Oceanogr.*, **17**: 805-815.
- Hansen, B.W., Hygum, B.H., Brozek, M., Jensen, F. and Rey, C., 2000. Food web interaction in a *Calanus finmarchicus* dominated pelagic ecosystem-a mesocosm study. *J. Plankton Res.*, **22**: 569-588.
- Harris, R., Wiebe, P., Lenz, J., Skjoldal, H.R. and Huntley, M., 2000. ICES zooplankton methodology manual. Elsevier Academic Press. pp. 684.
- Haury, L.R., Yamazaki, H. and Fey, C.L., 1992. Simultaneous measurements of small-scale physical dynamics and zooplankton distribution. *J. Plankton Res.*, **14**: 513-530.
- Head, E.J.H. and Harris, L.R., 1992. Chlorophyll and carotenoid transformation and destruction by *Calanus* spp. grazing on diatoms. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **86**: 229-238.
- Huang, C., Uye, S. and Onbe, T., 1993. Geographic distribution, seasonal life cycle, biomass and production of a planktonic copepod *Calanus sinicus* in the Inland Sea of Japan and its neighboring Pacific Ocean. *J. Plankton Res.*, **15**: 1229-1246.
- Huntley, M.E. and Lopez, M.D.G., 1992. Temperature-dependent production of marine copepods: a global synthesis. *Amer. Natur.*, **140**: 201-242.
- Kleppel, G.S., Holliday, D.V. and Pieper, R.E., 1991. Trophic interactions between copepods and microplankton: a question about the role of diatoms. *Limnol. Oceanogr.* **36**: 172-178.
- Landry, M.R., 1983. The development of marine calanoid copepods with comment on the isochronal rule. *Limnol. Oceanogr.*, **28**: 614-624.
- Lee, C.R. and Park, C., 2002. Long-term variation of zooplankton composition and abundance in Asan Bay, Korea: is it influence of dyke construction?. *The Yellow Sea*, **8**: 9-18.
- Li, C., Wang, R. and Sun, S., 2003. Grazing impact of copepods on phytoplankton in the Bohai Sea. *Estuar. Coast. Shelf Sci.*, **58**: 487-498.
- Lin, Y. and Li, S., 1984. A preliminary study on the life cycle of *Calanus sinicus* Brodsky in Xiamen Harbour. *J. Xiamen Univ. (Natural Sci)*, **23**: 111-117 (in chinese with English abstract).
- Mackas, D.L. and Bohrer, R., 1976. Fluorescence analysis of zooplankton gut contents and an investigation of diel feeding patterns. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, **25**: 77-85.
- Morales, C.E. and Harris, R.P., 1990. A review of the gut fluorescence method for estimating ingestion rates of planktonic herbivores. ICES, Council Meeting, pp. 12.
- Nybakken, J.W., 1982. *Marine biology and ecological approach*, Harper and Row Publ., New York, 446p.
- Pagano, M., Champalbert, G., Aka, M., Kouassi, E., Arfi, R., Got, P., Troussellier, M., N'Dour, E.H., Corbin, D. and Bouvy, M., 2006. Herbivorous and microbial grazing pathways of metazooplankton in the Senegal River Estuary (West Africa). *Estuar. Coast. Shelf Sci.*, **67**: 369-381.
- Park, C., 1997. Seasonal distribution, eggs production and feeding by Marine copepod *Calanus sinicus* in Asan Bay, Korea. *J. Oceanol. Soc. Korea.*, **32**: 85-92.
- Park, C., Choi, K.H. and Moon, C.H., 1991. Distribution of zooplankton in Asan Bay, Korea with Comments on vertical migration. *Bull. Korean Fish. Soc.*, **24**: 472-482.
- Park, C. and Landry, M.R., 1993. Egg production by the subtropical copepod *Undinula vulgaris*. *Mar. Biol.*, **117**: 415-421.
- Park, C., Lee P.G. and Lee, C.R., 1998. Seasonal variation on abundance, species occurrence and species diversity of zooplankton in Asan Bay, the Yellow Sea over the last eight years. *The Yellow Sea*, **4**: 40-48.
- Parsons, T.R., Takahashi, M. and Hargrave, B., 1984. *Biological oceanographic processes*, 3ed. Pergamon press, Oxpord, 4P.
- Raymont, J.E.G., 1983. *Plankton and productivity in the oceans*, 2nd ed. Vol. 2-zooplankton, Pergamon press, Oxford, 1-51.
- Rigler, F.H., 1961. The relation between concentration of food and feeding rate of *Daphnia magna* Straus. *Canadian J. Zool.*, **39**:

- 857–868.
- Riley, G.A., 1967. The plankton of estuaries. In: Estuaries, edited by Lauff, G.R., The Horn-Shafer Company, Baltimore, 316–326 pp.
- Roman, M.R., 1984. Utilization of detritus by the copepod *Acartia tonsa*. *Limnol. Oceanogr.* **29**: 949–959.
- Runge, J.A., 1984. Egg production of the marine, planktonic copepod, *Calanus pacificus* Brodsky: Laboratory observations. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, **74**: 53–66.
- Seo, J.H. and Choi, J.K., 2008. In situ grazing pressure of *Acartia hongii* female (Copepoda: Calanoida) on phytoplankton in Gyeonggi Bay, Korea. *The Yellow Sea*, **9**: 32–39.
- Stoecker, D.K. and Egloff, D.A., 1987. Predation by *Acartia tonsa* Dana on planktonic ciliates and rotifers. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* **110**: 53–68.
- Strickler, J.R. and Costello, J.H., 1996. Calanoid copepod behavior in turbulent flows. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **139**: 301–312.
- Strickland, J.D.H. and Parsons, T.R., 1972. A practical handbook of seawater analysis. 2nd ed. *Bull. Fish. Res. Board Can.*, **167**: 1–310.
- Sun, X.H., Sun, S., Li, C.L. and Zhang, G.T., 2008. Seasonal and spatial variation in abundance and egg production of *Palacalanus parvus* (Copepoda: Calanoida) in/out Jiaozhou Bay, China. *Estuar. Coast. Shelf Sci.*, **79**: 637–643.
- Tan, Y., Huang, L., Chen, Q. and Huang, X., 2004. Seasonal variation in zooplankton composition and grazing impact on phytoplankton standing stock in the Pearl River Estuary, China. *Continental Shelf Res.*, **24**: 1949–1968.
- Youn, S.H. and Choi, J.K., 2007. Egg production of the *Acartia hongii* in Gyeonggi Bay, Korea. *J. Mar. Syst.*, **67**: 217–224.
- 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. Japan*, **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., 1988. Temperature-dependent development and growth of *Calanus sinicus* (Copepoda: Calanoida) in the laboratory. *Hydrobiol.*, **167/168**: 285–293.

2010년 6월 28일 원고접수

2010년 9월 28일 수정본 채택

담당편집위원: 이준백