

인천 연안에서 요각류 *Acartia hongii* 춘계 개체군 형성의 영향 요인

유정규* · 윤석현¹ · 최중기²
(주) 이엔씨 기술연구소
¹국립수산과학원 동해수산연구소
²인하대학교 해양학과

The Factors Controlling the Formation of Spring Population of *Acartia hongii* (Copepoda: Calanoida) in Incheon Coastal Water, Korea

J. K. YOO*, S. H. YOUN¹ AND J. K. CHOI²

Environmental Engineering and Consultant Technology Institute, Incheon 405-839, Korea
¹East Fisheries Research Institute, NFRDI, Kangnung 210-861, Korea
²Department of Oceanography, Inha University, Incheon 402-751, Korea

본 연구에서 *Acartia hongii* 춘계 개체군 형성의 영향 요인을 파악하기 위해 알 생산, 알 부화시간, 알 포식에 관한 조사가 수행되었다. 알 생산은 동계부터 춘계 사이에 높은 수준을 유지하였다. 알 생산은 수온이 7 °C 이하일 때 수온 증가에 따라 증가하였으며, 수온 7~21 °C 사이에서는 클로로필 *a* 농도와 유의한 양의 상관관계를 나타냈다. 알 부화 시간(D_e , day)은 수온(T , °C)에 따라 다음과 같은 회귀식이 얻어졌다. $D_e = 18.9(T - 0.4)^{-1.0}$. 알 부화 시간은 수온 5 °C 이하에서 급격히 길어지는 경향을 보였다. 시간차에 따른 *A. hongii*의 성장 단계별 현존량 변화의 상관관계를 보기 위해 교차상관분석(CCA)을 수행하였다. 개체군 알 생산율에 부화시간을 고려한 알 생산은 개체군 알 생산율 보다 노플리우스 현존량과 유의한 상관관계를 보였다. 이는 부화 시간도 개체군 형성에 영향 요인이 됨을 의미하며, 특히 동계에 높은 일간 알 생산율과 저수온에 대한 부화 지연으로 야기된 높은 알 현존량은 춘계 초기 노플리우스 개체군의 기원이 될 것으로 본다. 춘계 개체군 형성의 부정적인 요인으로 *Noctiluca scintillans*의 알 포식이 관찰되었다. *N. scintillans* 전체 개체수의 2.9~21.1%에서 *A. hongii* 알이 관찰되었으며, 이는 *A. hongii* 개체군 알 생산율의 1.2~49.5%에 해당한다. 결론적으로 *A. hongii* 춘계 개체군 형성에 영향 요인으로 동계 세대에 의한 지속적으로 높은 알 생산, 저수온에 따른 부화 지연 그리고 *N. scintillans*의 알 포식 등이 고려된다.

To investigate the factors controlling the spring population of *Acartia hongii*, egg production, hatching time of egg and predation pressure were measured. Egg production was maintained the superior position between winter and spring. Egg production was positively correlated with not only water temperature when water temperature was below 7 °C but also chlorophyll-*a* concentration when it was from 7 °C to 21 °C. A regressive equation of development time(D_e , day) of eggs derived from water temperature(T , °C) was obtained as $D_e = 18.9(T - 0.4)^{-1.0}$, showing longer development time at water temperature below 5 °C. In Cross Correlation Analysis(CCA) to examine the time-lag relationship among abundances of developmental stages of *A. hongii*, egg production rate calculated by multiplying population egg production rate by hatching time showed more significant correlation with nauplii abundance than population egg production rate. Therefore, it suggests that hatching time is also recognized by a factor controlling formation of population and especially, in winter, high abundance of egg derived from high daily egg production rate and delayed hatch by low water temperature become the origin of initial spring population of nauplii. Egg predation by *Noctiluca scintillans*, suggesting a negative factor in formation of *A. hongii* spring population, was observed. During spring, *A. hongii* eggs were found in 2.9~21.1% of individuals of *N. scintillans*. It was deduced that 1.2~49.5% of the eggs produced by *A. hongii* was preyed on by *N. scintillans*. In conclusion, the factors controlling spring population of *A. hongii* were regarded as high egg production by winter generation, the delayed development time of egg by low temperature, and egg predation of *N. scintillans*.

Keywords: Spring Population, Egg Production, Delayed Hatch, Egg Predation

*Corresponding author: jkyoo@ecocean.co.kr

서론

재료 및 방법

동물플랑크톤 중 요각류는 전 세계 해양에서 가장 다양한 종수를 보이며 높은 출현량을 나타낸다(Longhurst, 1985). 일차 생산자를 소비하고 어류 등 상위 단계에 에너지를 전달하는 면에서 동물플랑크톤은 해양 먹이망에서 중요한 연결자 역할을 하며, 그 중 가장 다량 출현하는 요각류가 중요한 역할을 수행한다(Raymont, 1983; Runge, 1988). 온대 연안수역에서 요각류는 계절에 따른 생식의 변화로 인해 계절적인 종 천이를 보인다(Raymont, 1983; Hirche 1992; Ianora and Buttino, 1990). 요각류는 환경 변화에 따라 개체군 유지를 위해 전략적으로 생식을 하며, 이는 알 생산으로 표현된다. 알 생산은 성체의 성장 후 성장으로 인식되며(Uye, 1980; Park and Landry, 1993), 다음 세대로의 가입에 있어 개체군 크기를 결정하는데 부화율과 함께 매우 중요한 부분을 차지한다(Halsband and Hirche, 2001; Míralto *et al.*, 2002). 따라서 산란 및 부화율에 관한 연구는 해양 환경에서 요각류의 개체군 변동을 이해하는데 필수적이라 할 수 있다(Pagano *et al.*, 2004). 요각류가 세대 유지를 위해 생산하는 알은 서로 다른 종뿐만 아니라 같은 종 내에서도 다른 형태를 보이며, 서로 다른 형태의 알은 일반적으로 휴면란과 일반란으로 구분된다(Belmonte and Puce, 1994; Chen and Marcus, 1997; Castro-Longoria and Williams, 1999). 휴면란은 단주기뿐만 아니라 장주기 생존 전략과 관련이 있으며(Uye, 1985; Marcus, 1996), 이에 따라 일시적인 부화중지와 지속적인 부화중지로 구분할 수 있다(Grice and Marcus, 1981). 전자는 부화 및 성장에 좋지 않은 환경이 형성되었을 때 일시적인 부화중단 후 호조간 시 즉각 부화하는 경우이며 후자는 세대 번식이 어려운 환경에서 생산된 알이 수년까지 지속적으로 부화가 중단되는 경우를 의미한다(Watson and Smallman, 1971; Marcus *et al.*, 1994). 알의 발달과 부화는 저수온, 산소 결핍 그리고 빛의 차단 등에 의해 중단되거나 지연된다(Uye *et al.*, 1979; Uye, 1980; Sullivan and McManus, 1986; Katajisto, 2003). 일년 중 한정적으로 출현하는 요각류는 휴면란을 통해 다음 세대의 초기 개체군을 형성한다(Naess, 1991). 그러나 연중 개체수 증가를 보이며 개체군을 유지하는 요각류는 급격한 개체군 대량 증가 현상이 나타나는 초기 기원에 대한 이해가 성체의 현존량과 지속적인 알 생산으로 이해하기 어려운 부분이 많다.

*Acartia hongii*는 인천 연안에서 연중 출현하며, 특히 춘계에 높은 개체수와 우점율을 보인다(윤과 최, 2003; Yoo, 2001). 따라서 식물플랑크톤을 섭식하는 소비자의 역할과 동시에 소형 어류나 난자치어 등 상위 영양단계 생물에게 유용한 생산자의 역할을 하기 때문에 인천 연안에서 생태학적 중요성이 매우 높은 종으로 인식되어 오고 있다(윤과 최, 2003; Yoon, 2004). 이 종의 분포수역은 서해 연안으로 한정되며, 북쪽으로 경기만(윤과 최, 2003), 남쪽으로 진도 부근(Soh and Jeong, 2003)까지 출현한다. 또한 조석 간만의 차가 크고 물리적인 환경변화가 큰 서해 연안수역에서 적응력이 탁월한 종으로 인식된다(윤과 최, 2003). *A. hongii*의 생태학적 특성에 관한 연구는 Yoo(2001)와 Yoon(2004)에 의해 인천 연안과 경기만에서 수행되어 왔다. 본 연구에서는 인천 연안에서 생태학적으로 매우 중요한 *A. hongii*의 개체군 변동을 살펴보고 춘계 개체군 대량 증가현상을 알 생산, 부화, 포식 등의 관점에서 알아보고자 한다.

조사는 인천 연안수와 해수 교환이 원활한 연안부두 근처의 한 부교에서 수행하였으며 조사 정점의 만조 시 수심은 대략 13 m였다(Fig. 1). 동물플랑크톤 및 알의 정량 채집은 1999년 1월부터 2000년 6월까지 10~15일 간격으로 만조 시에 동일하게 수행하였다. 채집은 원추형 네트(망구 45 cm, 망목 60 µm)를 이용하여 저층 바다부터 표층까지 수직 인양하였다. 채집된 시료는 채집병으로 옮긴 후 즉시 중성 포르말린으로 시료 내 최종 농도가 4~5% 되도록 고정하였다. 정량 채집 시 네트에 의해 여과된 해수의 양은 네트의 망구 면적과 수심을 곱하여 계산하였다. 정량 채집된 시료는 실험실에서 해부현미경(Olympus SZ60)과 광학현미경(Nikon, Type 104) 하에서 각 발달 단계별로 100개체가 되게 부표품(subsample)을 취하여 알, 노플리우스, 미성숙 개체, 그리고 성체를 계수하였다. 또한 포식에 대한 조사를 위해 동물플랑크톤 중 *Noctiluca scintillans*를 계수하였으며, 계수 시 고배율에서 *N. scintillans* 체내를 확인하였다.

환경 요인으로 수온, 염분 그리고 식물플랑크톤 클로로필 *a* 농도는 전체 클로로필 *a* 농도(total chlorophyll)와 크기가 20 µm 이하인 클로로필 *a* 농도(nano chlorophyll)를 구분하여 측정하였다. 수온과 염분은 현장에서 YSI-30으로 측정하였다. 클로로필 *a* 농도 측정을 위해 수심 1 m에서 해수 600 ml를 취수하여 300 ml은 여과지(Whatman, GF/C)로 여과하였으며(total), 나머지 300 ml은 20 µm 채(screen)로 여과한 후 통과된 해수를 여과하였다(nano). 여과지는 패트리디쉬에 넣은 후 빛을 차단하기 위해 호일로 감싼 후 드라이 아이스가 보관된 아이스 박스에서 냉동 보관하였다. 실험실에서 90% 아세톤에 여과지를 넣고 냉암소에서 24시간 동안 보관 후 형광 광도계(Turner design fluorometer)로 클로로필 *a* 농도를 측정하였다(Parsons *et al.*, 1984). 크기가 20 µm 이상인 식물

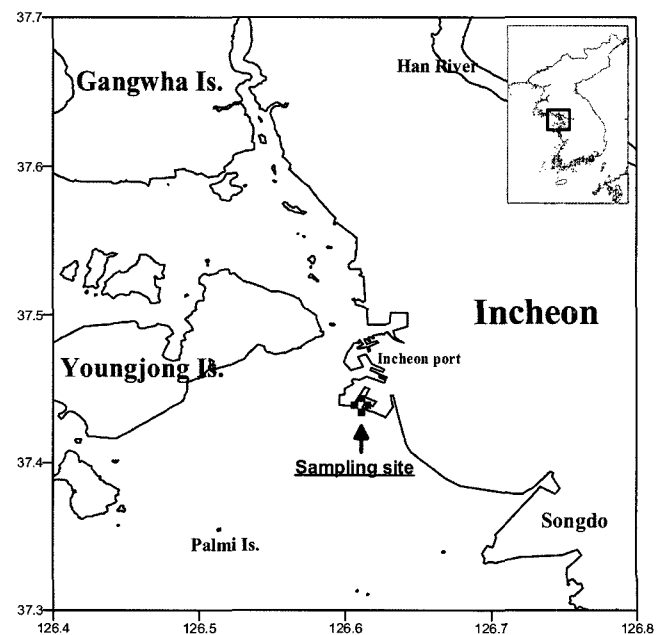


Fig. 1. Map showing the sampling site in Incheon coastal area.

플랑크톤의 클로로필 *a* 농도(net chlorophyll)는 전체 클로로필 *a* 농도와 20 μm 이하 클로로필 *a* 농도의 차로 구하였다.

알 생산 및 부화실험을 위한 *A. hongii* 성체의 채집은 망구 45 cm, 망목 200 μm 인 원추형 네트를 이용하여 수직 인양한 후 현장 해수로 채워진 투명한 1 l 채집병(PC bottle)으로 시료를 조심스럽게 옮겼다. 채집병은 현장 해수로 채워진 아이스 박스로 옮겨 한 시간 내에 실험실로 가져와 현장 해수 온도와 동일하게 맞춰진 수조 속에 보관하였다. 시료는 실험실에서 현장 해수의 온도로 맞춰진 항온 수조에서 3시간 동안 안정시킨 후 암컷 성체를 피펫으로 조심스럽게 골라내어 8~11마리씩 60 μm 채로 걸러진 해수로 채워진 1 l 시료병(PC bottle)에 넣고 회전판을 이용하여 먹이가 침전되지 않도록 회전시키며 24시간 동안 배양하였다. 24시간 후 시료병의 해수를 망목 60 μm 채로 여과한 후 채에 남아있는 성체와 알 수를 현미경으로 파악한 후 알 수를 성체 수로 나누어 일간 알 생산을 구하였다. 알의 부화 시간 측정을 위해 생산된 알을 15~60개씩 현장의 해수로 채워진 5~8개의 시료병(20 ml glass vial)에 넣은 후 현장 해수 온도로 맞춰진 항온 수조에서 배양하였다. 수온에 따른 발달 시간을 고려하여 수온별(2.5~20.8 $^{\circ}\text{C}$)로 36~196시간 범위에서 정해진 시간 간격으로 채집병을 하나씩 꺼내어 중성 포르말린으로 고정 후 노플리우스와 알을 계수하였다. 부화시간은 노플리우스 수가 실험 초기 전체 알 수의 50%를 차지하는 시간으로 정의하였다. 수온과 부화시간의 관계는 Belehrádek식(Corkett and McLaren, 1970)을 사용하여 추정하였고 그 식은 다음과 같다.

$$D_e = a(T-\alpha)^b$$

여기서 D_e (day)는 알의 부화시간, T ($^{\circ}\text{C}$)는 수온을 나타내며 a , α , b 는 최적화 상수이다. 위의 식을 \log 변환 후 $\log(T-\alpha)$ 와 $\log D_e$ 를 각각 X, Y축으로 놓고 α 를 임의로 대입하여 회귀관계가 가장 높은 α 를 취한 후 a 와 b 를 구하였다.

알 생산과 환경 요인 사이의 상관관계 분석은 Pearson correlation analysis를 이용하였다. 교차상관분석(Cross correlation analysis)에서 일간 알 생산율(daily egg production rate), 개체군 알 생산율(population egg production rate), 부화시간을 고려한 알 생산(egg production multiplying population egg production by hatching time) 그리고 수층 내 알 현존량 등과 노플리우스 현존량 사이의 시간차 상관관계를 구하였으며, 또한 노플리우스부터 미성숙 요각류 그리고 성체까지 성장 단계별 현존량 변화의 시간차 상관관계를 분석하였다. 위의 분석은 통계 패키지 프로그램 SPSS v.12.0으로 수행하였다.

결 과

환경요인

수온은 동계에 낮고 하계에 높은 전형적인 온대 수역의 변화양상을 나타냈다. 최저 온도는 2000년 2월 중순에 1.6 $^{\circ}\text{C}$ 였으며, 최고 온도는 1999년 9월 초에 25.5 $^{\circ}\text{C}$ 로 관측되었다(Fig. 2a). 수온이 5 $^{\circ}\text{C}$ 이하로 지속된 시기는 1999년 1월 중순부터 3월 말 그리고 1999년 12월 말부터 2000년 3월 중순까지였다. 염분은 큰 변화를 보이지 않다가 하계 풍수기 시 강우에 의해 17.1 psu까지 지

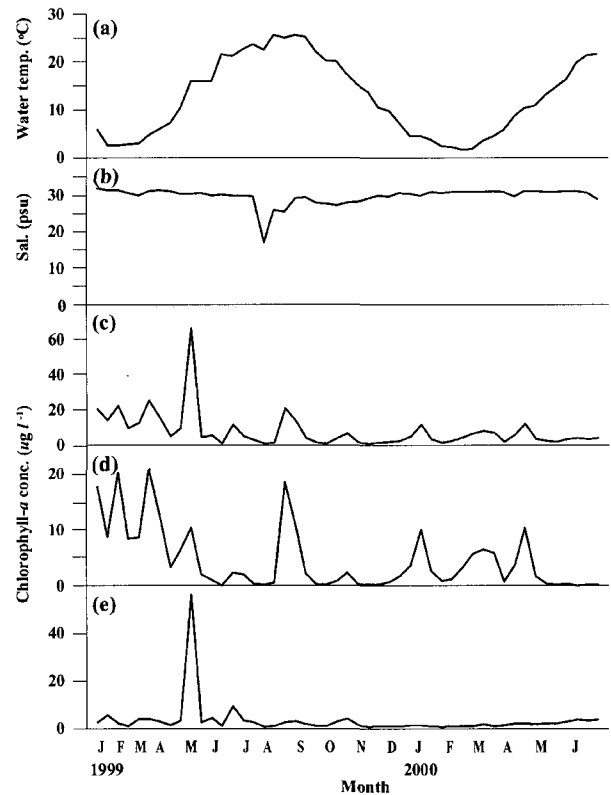


Fig. 2. Seasonal change in environmental parameters. (a) water temperature, (b) salinity, (c) total chlorophyll-*a* concentration, (d) net (>20 μm) chlorophyll-*a* concentration and (e) nano (<20 μm) chlorophyll-*a* concentration.

게 낮아지는 경향을 보였다(Fig. 2b). 1999년 1월에 31.8 psu로 가장 높았으며, 8월에 17.1 psu로 가장 낮았다. 대부분 시기에서 30 psu 이상을 보이다가 8월부터 11월까지 30 psu 이하를 나타냈다.

전체 식물플랑크톤 클로로필 *a* 농도(total)는 2000년보다 1999년에 전체적으로 높았다(Fig. 2c). 1999년 5월 중순에는 66.43 $\mu\text{g l}^{-1}$ 로 가장 높은 농도가 관측되었다. 가장 낮은 클로로필 *a* 농도는 최저 염분이 나타난 1999년 8월의 1.09 $\mu\text{g l}^{-1}$ 였다. 클로로필 *a* 농도가 10 $\mu\text{g l}^{-1}$ 이상을 보인 시기는 1999년 1월~6월, 8월, 그리고 2000년 1월과 4월이었다. 20 μm 이상의 클로로필 *a* 농도(net)는 저수온기에 전체 클로로필 *a* 농도에서 차지하는 비중이 높았으며, 5월에서 7월 사이에는 20 μm 이하의 클로로필 *a* 농도(nano)의 비중이 높았다. 20 μm 이상의 최대 클로로필 *a* 농도는 1999년 3월 말에 20.95 $\mu\text{g l}^{-1}$ 였으며, 20 μm 이하의 최대 클로로필 *a* 농도는 1999년 5월 중순에 56.03 $\mu\text{g l}^{-1}$ 였다(Fig. 2d, Fig. 2e).

출현 개체수

*Acartia hongii*의 성장 단계별 출현 개체수 변화는 Fig. 3에 나타내었다. 노플리우스는 1999년 2월부터 4월초까지 급격히 개체수가 증가하는 경향을 보였다. 2월 초에 1,121 indiv. m^{-3} 의 개체수를 보인 후 4월에 22,950 indiv. m^{-3} 로 20배 이상 크게 증가하였다. 이후 급격히 출현 개체수가 감소하여 8월에 10 indiv. m^{-3} 로 최저 개체수를 나타냈다. 10월에 일시적으로 높은 출현 개체수(27,312

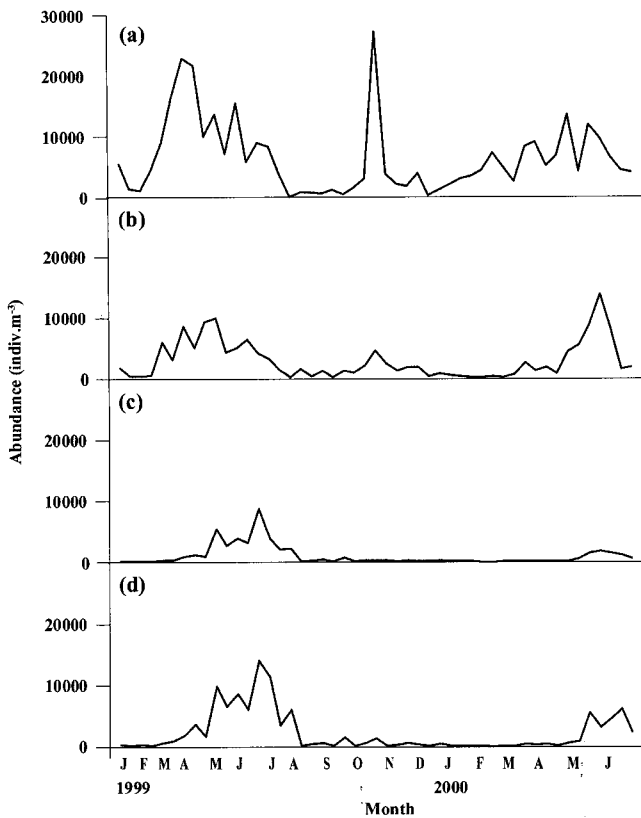


Fig. 3. Seasonal change in abundance of (a) nauplii, (b) copepodites, (c) females and (d) adults.

indiv. m⁻³)가 나타났으나 전체적으로 하계 및 추계에 출현 개체수가 낮았다. 2000년에는 1월부터 서서히 증가하기 시작하여 1999년과 같이 4월에 최대 개체수(13,647 indiv. m⁻³)를 나타냈으나 개체군 크기는 1999년과 비교해 작았다. 미성숙 개체는 노플리우스보다 늦은 2월 말부터 개체수가 증가하기 시작하였다. 최대 개체수는 2000년 5월 말에 13,927 indiv. m⁻³였으며, 최저 개체수는 8월 초에 240 indiv. m⁻³였다. 암컷 성체는 전체 성체 개체수와 유사한 변화 양상을 보였다. 암컷 및 전체 성체 개체수는 1999년 4월부터 서서히 증가하기 시작하여 6월에 최대 개체수를 나타낸 후 급격히 감소하였다. 그러나 2000년에는 5월부터 개체수 증가를 나타내기 시작하였으며, 1999년과 비교해 출현 개체수가 현저히 낮았다.

알 생산 및 알 현존량

조사 기간 동안 *A. hongii*의 암컷 성체 당 일간 알 생산율은 동계부터 춘계 사이에 높고 하계 및 추계에 낮은 뚜렷한 경향을 보였다(Fig. 4a). 1999년에는 1월부터 높은 일간 알 생산이 나타났으며, 5월말까지 5개월 간 10 eggs female⁻¹ day⁻¹ 이상 지속되는 경향을 보였다. 2000년에도 1월부터 10 eggs female⁻¹ day⁻¹ 이상 높은 일간 알 생산율을 보이면서 증가하다가 4월말에 최대 알 생산을 나타냈다. 그러나 1999년에는 5월 말까지 높은 알 생산이 지속되는 경향을 보였으나 2000년에는 4월 이후 급격히 감소하는 경향을 나타냈다. 또한 춘계 초기 개체군 형성에 중요한 역할을 할

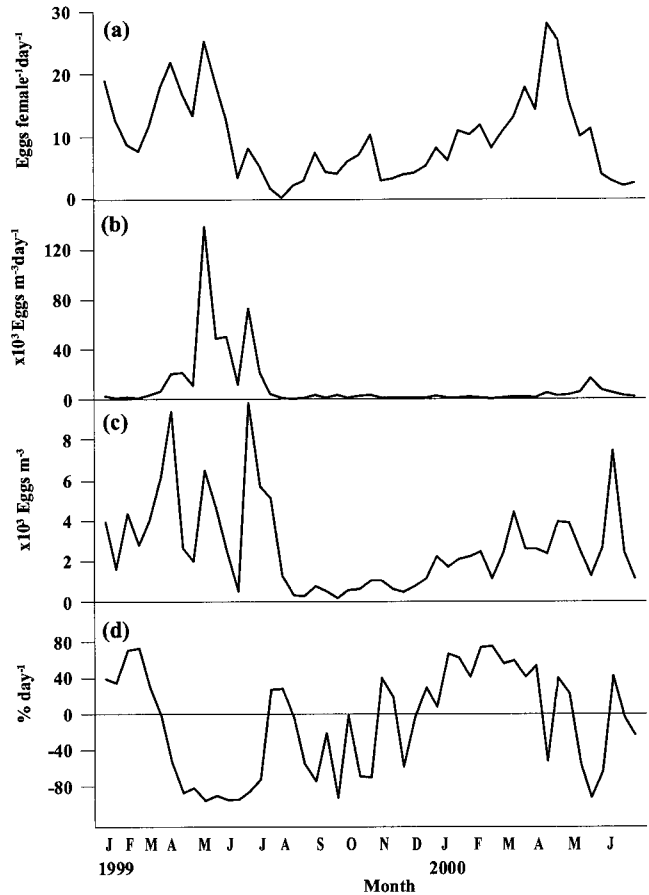


Fig. 4. Seasonal change in (a) daily egg production rate, (b) population egg production rate, (c) egg abundance in water column, and (d) relative ratio of egg abundance in water column vs. population egg production.

것으로 생각되는 수온이 5 °C 이하인 동계의 평균 일간 알 생산율을 비교해 보면 1999년에는 13.0 eggs female⁻¹ day⁻¹, 2000년에는 10.9 eggs female⁻¹ day⁻¹였다. 전체 암컷 성체에 의해 생산된 알(개체군 알 생산율)은 3월부터 증가하기 시작하여 5월에 최대량을 나타내었으며, 6월 이후 급격히 감소하였다(Fig. 4b). 2000년 암컷 성체 개체수는 1999년보다 크게 감소하여 낮은 개체군 알 생산율이 나타났다. 이는 개체군 알 생산율은 암컷 성체 현존량에 크게 의존한다는 것을 의미한다. 네트에 의해 채집된 해수 중 알은 1월부터 증가하기 시작하여 증감을 반복하며 7월까지 높은 현존량을 보였다(Fig. 4c). 특히 동계에는 낮은 성체 개체수에도 불구하고 해수 중에 높은 알 현존량을 나타내기 시작하였으며, 이와 같은 현상은 2000년에도 나타났다. 따라서 동계에는 공통적으로 수괴 내에 존재하는 알 현존량이 개체군 알 생산율보다 매우 높은 것으로 조사되었다(Fig. 4d).

부화시간 및 부화율

알의 50%가 부화된 시간을 부화시간으로 정하여 수온과의 회귀관계를 살펴보았으며, 아래와 같은 식을 얻었다(Fig. 5).

$$D_e = 18.9 (T - 0.4)^{-1.0} \quad (r^2 = 0.98, p < 0.01)$$

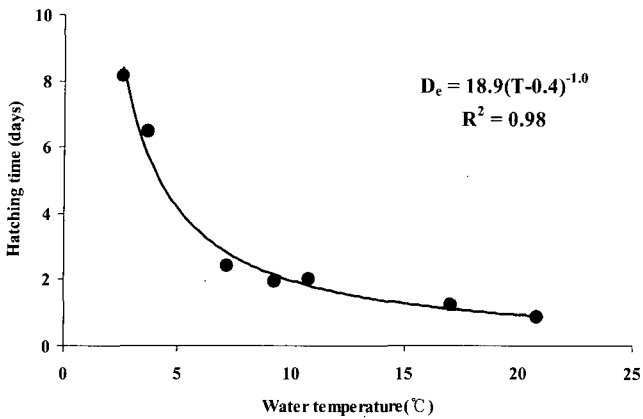


Fig. 5. Development time (day) of eggs derived from water temperature fitted with Behlradek curves.

여기서 D_e 는 부화시간(day)을 의미하며, T는 수온(°C)을 뜻한다. 부화시간은 수온증가에 따라 짧아지는 경향을 보였다.

부화율은 수온에 따라 다양하게 나타났다(Table 1). 동계에 다소 낮은 경향을 보였으며, 춘계와 추계에 높은 양상을 보였다. 그러나 시간별로 고정하는 방법을 이용하였기 때문에 시료의 부족으로 인해 정확한 부화율의 차이를 판단하기 어려웠다.

교차상관분석

교차상관분석을 통해 일간 알 생산율, 개체군 알 생산율 그리고 해수 중 알 현존량과 노플리우스 자료의 시간차 상관관계를 구하였다(Fig. 6). 또한 노플리우스와 미성숙 개체, 성체와의 시간차 관계를 살펴보았다. 개체군 알 생산율은 노플리우스와 -1, 0개월 시간차에서 유의한 상관관계를 보였다(-1개월 시간차: $r^2=0.55, p<0.01$; 0개월 시간차: $r^2=0.64, p<0.01$). 그러나 개체군 알 생산율과 노플

Table 1. Seasonal variation of egg hatching success according to water temperature.

Month	Temp. (°C)	No. of experiment (n)	Eggs/experiment	Duration of incubation (hour)	Hatching success (%)
Jan.	2.5	8	20 - 30	196	65.5
Mar.	3.7	6	15 - 35	152	33.3
Apr.	7.2	6	26 - 34	86	85.7
Jun.	17.0	4	31 - 34	56	84.8
Oct.	20.8	5	16 - 60	36	62.5
Nov.	10.5	6	25 - 30	67	70.4
Dec.	9.3	5	21 - 30	70	95.6

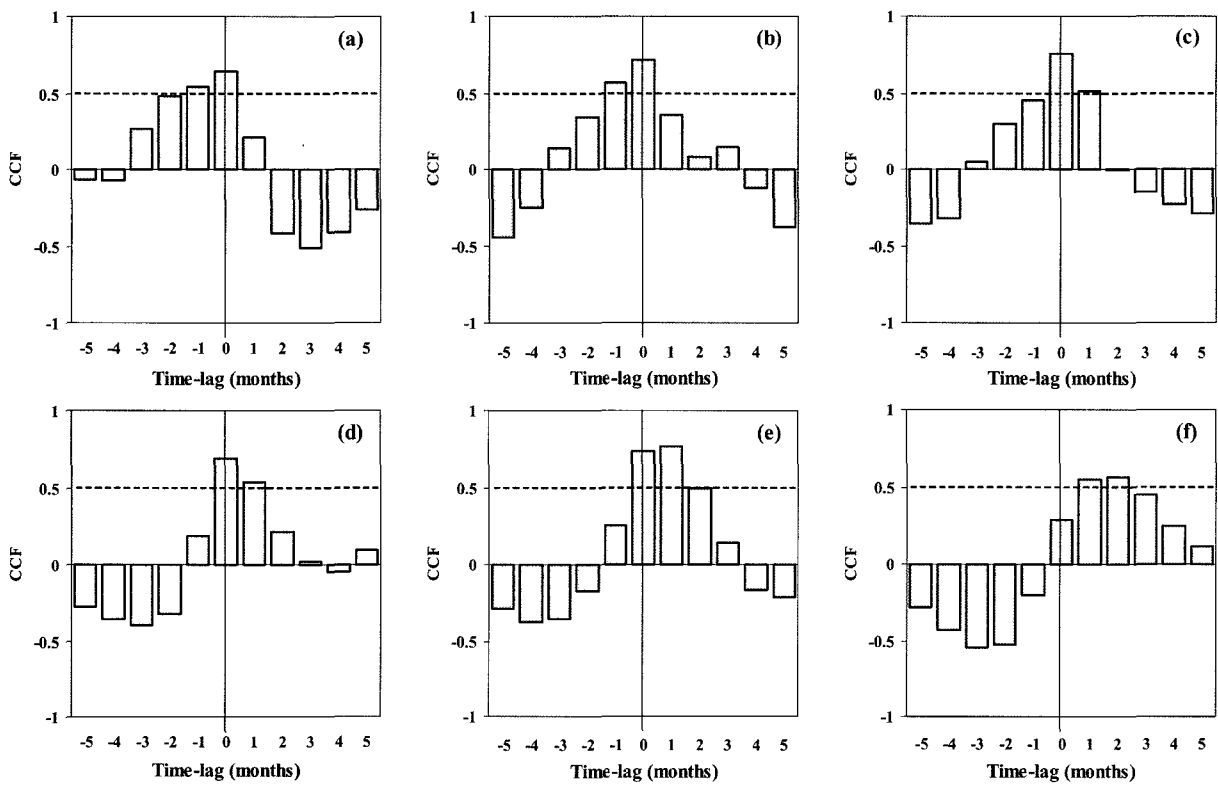


Fig. 6. Cross Correlation Analysis (CCA). Correlation coefficient (CCF) (a) for population egg production rate with nauplii, (b) for egg abundance in water column with nauplii, (c) for egg production calculated by multiplying population egg production rate by hatching time with nauplii, (d) for nauplii with copepodites, (e) for copepodites with adults, and (f) for nauplii with adults. Dotted lines indicate upper confidence limit at the 0.01 level.

리우스의 관계는 -1개월 시간차에서 유의한 상관관계로 인해 성장 단계의 현존량 변화 상 모순되는 결과가 나타났다. 이러한 결과는 해수 중에 존재하는 알 현존량과의 관계에서도 유사하였다. 개체군 알 생산율에 부화시간을 고려한 알 생산(개체군 알 생산×부화 시간)은 0, 1개월 시간차에서 노플리우스와 유의한 상관관계를 나타냈으며(1개월 시간차: $r^2=0.52, p<0.01$), 0개월에서 가장 높은 상관관계를 보였다($r^2=0.76, p<0.01$). 알에서 노플리우스의 성장 단계를 고려할 때 양의 시간차에서의 상관관계수가 유의한 결과로 판단된다. 노플리우스와 미성숙 요각류와의 관계에서는 0, 1개월 시간차에서 유의한 상관관계를 보였으며(0개월 시간차: $r^2=0.69, p<0.01$; 1개월 시간차: $r^2=0.54, p<0.01$), 미성숙 요각류와 성체의 관계에서도 0, 1개월 시간차에서 유의한 결과가 얻어졌다(0개월 시간차: $r^2=0.74, p<0.01$; 1개월 시간차: $r^2=0.77, p<0.01$). 또한 노플리우스와 성체의 경우 1, 2개월 시간차에서 유의한 상관관계를 보였다(1개월 시간차: $r^2=0.55, p<0.01$; 2개월 시간차: $r^2=0.57, p<0.01$). 따라서 부화 시간이 고려된 알부터 성체까지의 변화 양상은 1개월 이내 차이를 두고 상위 개체군 크기에 영향을 미치고 있음을 보였다.

토 의

요각류 개체군은 유전적 구조(Tepper and Bradley, 1989), 알 생산(Mullin, 1991), 성장률 변화(Davis *et al.*, 1991), 먹이(Ohman, 1985; Durbin *et al.*, 1983; Anderson and Hessen, 1995), 포식(Purcell *et al.*, 1994) 그리고 공생 관계(Kimmerer and McKinnon, 1990) 등 다양한 요인에 의해 조절된다. 온대수역에서 이러한 요인들은 계절적으로 다양한 변이를 보이며, 요각류 개체군 크기의 증감 및 세대유지에 영향을 미친다.

요각류 개체군 크기를 조절하는 주된 요인으로 알 생산은 중요하게 인식되며, 이를 조절하는 요인으로 수온과 먹이 농도는 가장 중요하게 여겨진다(강과 강, 1998; Huntley and Lopez, 1992; Park and Landry, 1993; Poulet *et al.*, 1995; Jung *et al.*, 2004). 또한 종과 서식처 및 계절에 따라 수온과 먹이 농도의 중요성은 다양하게 나타난다(Frost, 1985). 중위도 지역에서는 수온의 연변화가 심하기 때문에 알 생산을 조절하는 요인들의 독립적인 영향을 구분하는 것이 어렵다(Halsband and Hirche, 2001). 본 조사에서 *A. hongii* 암컷 성체의 일간 알 생산율은 동계 및 춘계에 높았으며, 주 영향 요인은 수온 범위에 따라 다르게 나타났다(Table 2). 전 조사 시기

에서 일간 알 생산율은 수온과 음의 상관관계를 나타냈으며($r^2=-0.48, p<0.01$), 전체 식물플랑크톤 클로로필 *a* 농도와는 양의 상관관계를 보였다($r^2=0.48, p<0.01$). 따라서 수온 및 먹이 농도가 서로 유사하게 알 생산에 영향을 미치고 있음을 알 수 있다. Jung *et al.*(2004)은 수온 범위가 11.5~25.6 °C인 일광만에서 수온이 독립적으로 *Acartia steueri* 알 생산의 변이를 설명할 수 없으며, 먹이 농도가 알 생산에 크게 반영된다고 하였다. 그러나 본 조사 수역은 수온의 연변화가 1.6~25.6 °C의 범위로 매우 크게 나타난다. 따라서 수온 범위에 따라 세부적으로 알 생산과 환경 요인과의 상관관계를 살펴보면 수온이 7 °C 이하인 4월 이전의 알 생산은 수온이 증가함에 따라 증가하는 경향을 보였다($r^2=0.64, p<0.01$). 이는 알 생산을 조절하는 주된 요인으로 수온의 중요성을 언급한 Huntley and Lopez(1992)의 결과와 부합된다. 4월~6월과 10월~12월에 수온 7~21 °C 범위에서는 크기가 20 μm 이상인 식물플랑크톤 클로로필 *a* 농도(net chlorophyll-*a*)와 유의한 양의 상관관계를 보였다($r^2=0.79, p<0.01$). 따라서 인천 연안에서 *A. hongii*의 동계 및 춘계 알 생산은 Jung *et al.*(2004)의 결과와 같이 수온 또는 먹이 농도의 독립적인 영향보다는 복합적인 영향을 받는 것으로 생각된다. 알 생산 변화 관점에서 1999년보다 2000년에 출현 개체수가 크게 감소한 원인은 동계 세대의 알 생산 차이에서 비롯된 것으로 보인다. 동계 수온을 비교해 보면 1999년에는 최저 수온이 2.6 °C 였던 데 반해 2000년에는 1.6 °C까지 관측되어 저수온에 의해 알 생산이 제한받은 것으로 생각되며, 먹이 농도로 고려될 수 있는 식물플랑크톤 클로로필 *a* 농도도 2000년에 큰 폭으로 감소하였다. 또한 개체군 알 생산율에 영향을 미치는 암컷 성체 개체수는 1월부터 3월까지 1999년에 평균 175 indiv. m⁻³, 2000년에 89 indiv. m⁻³을 보였다. 따라서 춘계 초기 개체군의 크기를 결정하는 동계 세대의 알 생산은 2000년에 저수온, 낮은 먹이 농도 그리고 암컷 성체의 낮은 개체수에 의해 춘계 개체군 크기가 1999년보다 크게 감소한 것으로 보인다.

전체 암컷 성체에 대한 개체군 알 생산율은 3월부터 증가하기 시작하여 5월에 최대값을 나타냈다. 그러나 노플리우스 증가는 2월부터 시작되어 4월에 최대 개체수를 나타냈으며, 이후 감소하는 경향을 보였다. 즉, 개체군 알 생산율과 노플리우스의 개체군 발달 단계 상 시기가 모순되는 경향을 나타냈다. 이는 춘계 초기 개체군 형성과정에서 노플리우스의 초기 개체수 증가가 동계의 성체 개체수와 알 생산만으로 이해하기 어려우며 다른 요인이 있을

Table 2. Pearson correlation coefficients between daily egg production rates and environmental parameters. *correlation coefficients are significant at the 0.05 level and **correlation coefficients are at the 0.01 level (2-tailed). Abbreviations are as follows. Temp.=water temperature (°C), Sal.=salinity (psu), t-chl.=total chlorophyll-*a* concentration (μg l⁻¹), net-chl.=net (>20 μm) chlorophyll-*a* concentration, nano-chl.=nano (<20 μm) chlorophyll-*a* concentration.

Month	Temp.	Sal.	t-chl.	net-chl.	nano-chl.
Jan. - Mar. (< 7 °C)	**0.64	*0.60	0.39	0.35	0.41
n	17	17	17	17	17
Apr.- Jun., Oct. - Dec. (7-21 °C)	** -0.44	0.28	**0.52	**0.79	*0.41
n	24	24	24	24	24
Jul. - Sep. (> 21 °C)	0.29	0.68	0.39	0.33	0.65
n	8	8	8	8	8
All surveys (1.6-25.6 °C)	** -0.48	**0.43	**0.48	**0.42	*0.35
n	49	49	49	49	49

을 시사한다. 일반적으로 이러한 경우 초기 개체군 형성은 대부분 휴면란의 존재로써 이해되는 경우가 많다. 대부분 해양 요각류의 휴면란은 북온대수역에서 관찰되고 아열대에서는 소수이고 열대에서는 존재하지 않는다(Marcus, 1996). 많은 *Acartia* 속(genus)에 대한 휴면란의 존재가 보고되기도 하였으며, 초기 개체군 형성에 큰 영향을 미친다(Uye, 1980; Uye, 1985; Viitasalo, 1992; Zhong and Xiao, 1992; Jiang et al., 2004). 요각류는 종에 따라 휴면란의 생산 유무가 결정되기도 하지만 같은 종이라도 서식 해역에 따라 휴면란의 존재 유무가 달라지기도 한다(Katajisto, 2003). 특히 전 세계 연안에서 넓게 출현하는 *Acartia* 속은 다양한 산란 양상을 보인다. 휴면란의 존재가 다수의 연구(Viitasalo, 1992; Viitasalo and Katajisto, 1994; Katajisto et al., 1998; Castro-Longoria and Williams, 1999)를 통해 밝혀진 *Acartia bifilosa*는 발틱해 북부에서 연중 출현하며 휴면란을 생산하지 않는다(Katajisto, 2003). 일반적으로 휴면란은 요각류 개체군이 소멸하기 전 짧게 생산된다(Uye, 1985). 그러나 발틱해에서 *A. bifilosa*는 연중 출현하고 개체군 크기, 특히 압컷 성체가 낮아지는 시점에서 휴면란을 생산하지 않는 것으로 조사되었다(Katajisto, 2003). 따라서 *A. hongii*도 개체군이 연중 끊어지지 않고 지속되는 특징을 보이는 것은 휴면란이 관찰된 요각류와 차이를 보이는 대목이다. Uye(1985)의 결과를 토대로 인천 연안에서 *A. hongii*가 휴면란을 생산하는 시기는 6월에서 7월 사이로 볼 수 있다. 그러나 6, 7월에는 형태적으로 다른 알이 생산되지 않았으며, 6월에 생산된 알은 84.8%의 부화 성공률을 나타냈다(Table 1). 따라서 *A. hongii*는 Katajisto(2003)의 결과와 같이 휴면란을 생산하지 않을 가능성이 있다.

A. hongii 알의 부화시간은 수온 5~7°C를 기준으로 수온 증가에 따라 큰 폭으로 짧아지는 추세를 보인다(Fig. 5). 부화 실험에서 *A. hongii* 알은 2.5°C, 3.7°C의 낮은 수온에서 부화되는 결과를 나타냈으나 추세선에 의한 부화시간이 추정되었으며, 실제 부화 성공률은 상대적으로 낮았다(Table 1). Castro-Longoria and Williams (1999)는 *A. bifilosa* 알은 저온에서 부화에 제한을 받으며, 수온 10°C 이상에서 부화한다고 한다. 또한 Viitasalo(1992)는 3°C에서 *A. bifilosa* 알은 수 개월 동안 부화를 하지 않으며, 수온이 13°C로 증가하면 80% 이상 부화한다고 하였다. 그러나 위의 결과에서 알은 휴면란으로 인식되어 일정 수온 범위에서 부화가 제한되었지만 본 연구와 Katajisto(2003)의 결과는 전 수온 범위에서 부화하며, 저수온기에는 시간 지연에 의해 부화하는 것으로 나타났다. 생산된 알은 퇴적층 환경에 따라 부화속도가 차이날 수 있으며, 특히 수온 변화에 따라 고수온기에는 대부분 빠른 부화를 하지만 저수온기에는 긴 발생 시간으로 부화가 지연될 가능성이 높다(Katajisto, 2003). Uye(1982)는 휴면란도 일반적인 알로 정의하며 부적합한 환경(저수온, 저산소, 광차단 등)에서 단지 부화가 저해된다고 하였다. 따라서 동계에 생산된 *A. hongii* 알은 부화 시간이 지연되면서 해수 중이나 퇴적층에 연속적으로 축적될 가능성이 높다. 특히 동계에 해수 중의 알 현존량이 개체군 알 생산율보다 매우 크게 나타난 결과(Fig. 4d)는 이를 뒷받침하는 증거로 제시된다. 축적된 알은 수온이 상승하면서 일시적으로 빠르게 부화하여 초기 노플리우스 개체수 증가에 기여하며, 이는 상위 발달 단계로의 가입에 중요한 기원이 될 것으로 보인다. *A. hongii* 성장 단계별 현존량 변화에 따른 교차상관분석에서 노플리우스와 미성숙 개체 그리고 미성

숙 개체와 성체는 각각 일정하게 0, 1개월 시간차에서 유의한 상관관계를 나타냈으며, 노플리우스와 성체는 1, 2개월 시간차에서 유의한 상관관계를 나타냈다(Fig. 6). 따라서 노플리우스→미성숙 개체→성체의 성장 단계 상 현존량 변화는 각각 1개월 이내의 일정한 시간차를 두고 상위 단계의 현존량 변화에 영향을 미치는 것으로 나타났다. 지중해 동부 연안수역에서 *A. clausi*의 성장 단계 및 세대 길이 측정을 위한 교차상관분석에서 *A. clausi*는 성장 단계별로 일정한 시간 간격을 두고 상위 단계의 현존량 변화에 영향을 미치는 등시간 발생을 하지 않았다(Christou and Verriopoulos, 1993). 그러나 위 결과는 1~15일의 짧은 채집 간격과 미성숙 개체의 세부적인 6개 성장 단계별 현존량 변화를 통해 얻어진 것이다. 따라서 노플리우스, 미성숙 개체 그리고 성체 등 광범위한 성장 단계의 월 평균 현존량 변화에 의해 수행된 본 결과와는 차이를 보일 수 있다. McLaren(1978)은 연안성 요각류는 대부분 등시간 발생을 한다고 제시한 바 있다. 또한 발트해에서 *A. bifilosa*는 춘계에 성장 단계 상 노플리우스부터 성체까지 대략 1개월의 일정한 간격을 두고 차례로 피크(peak)를 보인다(Viitasalo, 1992). 그러나 성장 단계별 체류 시간에 대한 논란은 여전히 많다. 따라서 이에 대한 연구는 추후에 보다 면밀히 검토되어야 할 것으로 본다. *A. hongii*는 노플리우스부터 성체까지 각각 1개월 이내 차이를 두고 유사한 변화 양상을 보인 반면에 개체군 알 생산율과 노플리우스 사이에는 -1, 0개월 시간차에서 유의한 상관관계를 보여 성장 단계의 현존량 변화 상 시기적으로 모순되는 경향을 보였다. 그러나 부화 시간을 고려한 개체군 알 생산율을 얻기 위해 부화시간과 개체군 알 생산율을 곱한 알 생산은 노플리우스와 0, 1개월 시간차에서 유의한 상관관계를 나타내었다. 이는 알부터 성체까지 일정한 시간 간격에 따라 성장 단계별 현존량이 유사하게 변하는 것을 의미한다. 따라서 알부터 성체까지 성장 단계의 현존량 변화 관점에서 부화 시간이 고려된 알 생산은 개체군 알 생산율보다 유의한 결과로 판단된다. 특히 Fig. 4d에서와 같이 동계 저수온에 의한 부화 지연은 수층 내에 알 현존량을 *A. hongii* 개체군이 생산해내는 알보다 높은 수준으로 유지하게 하며, 이는 춘계 개체군 형성에 영향을 미칠 수 있을 것으로 기대된다.

4월 이후에는 적합한 수온, 높은 먹이 농도에 따른 높은 알 생산이 *A. hongii*의 개체수를 높은 수준으로 지속시키는 긍정적인 요인이 된다. 4월 이후에는 위에서 언급한 긍정적인 요인과 더불어 부정적인 요인으로 포식에 의해 *A. hongii*의 개체수가 제한될 수 있다. 이와 같은 결과는 높은 성체 개체수와 알 생산에도 불구하고 4월 피크 이후 감소하는 노플리우스의 개체수에서 확인된다. 지속적인 개체군 가입원 공급 즉, 높은 개체군 알 생산율에도 불구하고 노플리우스의 높은 출현 개체수를 제한하는 요인이 있음을 시사한다. 이는 요각류 알을 포식하는 야광충의 춘계 대증식이 한 원인이 될 수 있다. Sekiguchi and Kato(1976)는 일본 이세 만에서 *Acartia* 속에 의해 생산된 알의 5~74%가 *N. scintillans*에 의해 포식된다고 하였고 Quevedo et al.(1999)는 스페인 칸타브리아 중부 연안에서 생산된 *Acartia clausi* 알의 73%가 *N. scintillans*에 의해 제거되어 노플리우스로의 가입에 큰 영향을 미친다고 하였다. 또한 Uye(1982)에 의하면 *N. miliaris*는 *A. clausi*와 같은 시기에 다량 출현하며 알 사망률에 큰 영향을 미친다고 하였다. 본 조사 시기에서 *N. scintillans*는 4월부터 출현하여 5월과 6월에 높은 개체

Table 3. Abundance of *Noctiluca scintillans* and *Acartia hongii* eggs observed in *N. scintillans*. Abbreviations are as follows. PE = abundance of egg predated by *N. scintillans*, PEPR=population egg production rate of *Acartia hongii*.

Year	Date	Abundance (indiv. m ⁻³)	Eggs predated (eggs m ⁻³)	PE/PEPR (%)
1999	May 12	45,371	3,816	2.8
	May 22	19,857	2,102	4.3
	Jun 1	35,015	7,394	14.8
	Jun 16	48,116	2,114	18.7
	Jun 28	6,953	890	1.2
2000	Apr 7	3,917	341	6.9
	Apr 14	16,875	1,125	47.1
	Apr 27	30,260	1,491	49.5
	May 11	11,581	1,192	21.3
	May 18	22,457	646	3.9
	May 31	9,436	304	4.2
	Jun 20	8,840	967	38.6

수를 보였으며, 이 시기는 *A. hongii*의 출현 개체수가 높은 시기이다(Table 3). 계수된 야광충의 2.9~21.1%에서 *A. hongii* 알이 관찰되었으며, 이는 같은 시기에 전체 암컷 성체에 의한 일간 개체군 알 생산율의 1.2~49.5%에 해당한다(Table 3). 포식의 연속성을 고려한다면 춘계에 *A. hongii*의 알 생산에서 더욱 큰 부분이 *N. scintillans*에 의해 제거된다는 것을 알 수 있으며, 이는 춘계 *A. hongii* 개체군 크기를 제한하는 요인이 될 것으로 판단된다.

결론적으로 춘계 *A. hongii*의 개체군 형성에 영향을 미치는 요인으로 동계의 지속적인 알 생산, 저수온에 따른 부화 지연, 포식 등을 들 수 있다. 특히 동계부터 시작되는 춘계 초기 개체군 형성 과정에서 춘계 개체수 대량 증가의 초기 단계를 형성하는 노플리우스 개체군 크기는 동계 세대의 알 생산에 일차적으로 영향을 받으며, 극 저수온에 의한 난의 부화 지연으로 수층 내 또는 퇴적물에 축적 후 수온 증가와 함께 일시적으로 초기 노플리우스 개체군에 가입되는 경향을 보일 것이다. 이는 춘계 초기 노플리우스 개체군 형성의 중요한 가입량이 되며, *A. hongii*가 춘계에 높은 밀도로 출현하는 초기 기원이 될 것이다.

참고문헌

강형구, 강용주, 1998. 한국 동해 남부 연안 일광만의 요각류 *Acartia steuerei*의 알 생산력. 한국수산학회지, **31**: 288-295.
 윤석현, 최중기, 2003. 경기만 동물플랑크톤 군집의 시공간적 분포. 한국해양학회지 바다, **8**: 243-250.
 Anderson, T. R. and D. O. Hessen, 1995. Carbon and nitrogen limitation in marine copepods? *J. Plankton Res.*, **17**: 317-331.
 Belmonte, G. and M. Puce, 1994. Morphological aspects of subitaneous and resting egg from *Acartia josephinae*(Calanoida). *Hydrobiologia*, **292**: 131-135.
 Castro-Longoria, E. and J. A. 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.
 Chen, F. and N. H. Marcus, 1997. Subitaneous, diapause, and delayed-hatching eggs of planktonic copepods from the northern Gulf of

Mexico: morphology and hatching success. *Mar. Biol.*, **127**: 587-597.
 Corkett, C. J. and I. A. McLaren, 1970. Relationships between development rate of eggs and older stages of copepods. *J. Mar. Biol. Assoc. U.K.*, **50**: 161-168.
 Christou, E. D. and G. C. Verriopoulos, 1993. Analysis of the biological cycle of *Acartia clausi* (Copepoda) in a meso-oligotrophic coastal area of the eastern Mediterranean Sea using time-series analysis. *Mar. Biol.*, **115**: 643-651.
 Davis, C. S., G. R. Flierl, P. H. Wiebe and P. J. S. Franks, 1991. Micropatchness, turbulence and recruitment in plankton. *J. Mar. Res.*, **49**: 109-151.
 Durbin, E. G., A. G. Durbin, T. J. Smayda and P. G. Verity, 1983. Food limitation of production by adult *Acartia tonsa* in Narragansett Bay, Rhode Island. *Limnol. Oceanogr.*, **28**: 1199-1213.
 Frost, B. W., 1985. Food limitation of the planktonic marine copepods *Calanus pacificus* and *Pseudocalanus* sp. in a temperate fjord. *Arch. Hydrobiol. Beih. Ergebn. Limnol.*, **21**: 1-13.
 Grice, G. D. and N. H. Marcus, 1981. Dormant eggs of marine copepods. *Oceanogr. Mar. Biol. Annu. Rev.*, **19**: 125-140.
 Halsband, C. and H. J. Hirche, 2001. Reproductive cycles of dominant calanoid copepods in the North Sea. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **209**: 219-229.
 Hirche, H. J., 1992. Egg production of *Eurytemora affinis* effect of k-strategy. *Estuar. Coast Shelf Sci.*, **35**: 395-407.
 Huntley, M. E. and M. D. Z. Lopez, 1992. Temperature dependent production of marine copepods: a global synthesis. *Am. Nat.*, **140**: 201-242.
 Ianora A. and I. Buttino, 1990. Seasonal cycles in population abundances and egg production rates in the planktonic copepods *Centropages typicus* and *Acartia clausi*. *J. Plankton Res.*, **12**: 473-481.
 Jiang, X., G. Wang and S. Li, 2004. Age, distribution and abundance of viable resting eggs of *Acartia pacifica* (Copepoda: Calanoida) in Xiamen Bay, China. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, **312**: 89-100.
 Jung, Y. H., H. G. Kang and Y. J. Kang, 2004. *In situ* egg production rate of the planktonic copepod *Acartia steuerei* in Ilkwang Bay, Southeastern coast of Korea. *J. Plankton Res.*, **26**: 1547-1553.

- Katajisto, T., 2003. Development of *Acartia bifilosa* (Copepoda: Calanoida) eggs in the northern Baltic Sea with special reference to dormancy. *J. Plankton Res.*, **25**: 357–364.
- Katajisto, T., M. Viitasalo and M. Koski, 1998. Seasonal occurrence and hatching of calanoid eggs in sediments of the northern Baltic Sea. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **163**: 133–143.
- Kimmerer, W. J. and A. D. McKinnon, 1990. High mortality in a copepod population caused by a parasitic dinoflagellate. *Mar. Biol.*, **107**: 449–452.
- Longhurst, A. R., 1985. The structure and evolution of plankton communities. *Prog. Oceanogr.*, **15**: 1–35.
- Marcus, N. H., 1996. Ecological and evolutionary significance of resting eggs in marine copepods: past, present, and future studies. *Hydrobiologia*, **320**: 141–152.
- Marcus, N. H., R. Lutz, W. Burnett and P. Cable, 1994. Age, viability, and vertical distribution of zooplankton resting eggs from an anoxic basin: evidence of an egg bank. *Limnol. Oceanogr.*, **39**: 154–158.
- McLaren, I. A., 1978. Generation lengths of some temperate marine copepods: Estimation, predation, and implication. *J. Fish. Res. Bd. Can.*, **35**: 1330–1342.
- Miralto, A., A. Ianora, I. Buttino, G. Romano, and M. D. Pinto, 2002. Egg production and hatching success in north Adriatic Sea populations of the copepod *Acartia clausi*. *Chem. Ecol.*, **18**: 117–125.
- Mullin, M. M., 1991. Relative variability of reproduction and mortality in two pelagic copepod populations. *J. Plankton Res.*, **13**: 1381–1387.
- Naess, T., 1991. Marine calanoid resting eggs in Norway: abundance and distribution of two copepod species in the sediment of an enclosed marine basin. *Mar. Biol.*, **110**: 261–266.
- Ohman, M. D., 1986. Predator-limited population growth of the copepod *Pseudodiaptomus* sp.. *J. Plankton Res.*, **8**: 673–713.
- Pagano, M. and E. Kouassi, R. Arfi, M. Bouvy and L. Saint-Jean, 2004. *In situ* spawning rate of the calanoid copepod *Acartia clausi* in a trophic lagoon (Ebrié Côte d'Ivoire): Diel variations and effects of environmental factors. *Zool. Stud.*, **43**: 244–254.
- Park, C. and M. R. Landry, 1993. Egg production by subtropical copepod *Uninula vulgaris*. *Mar. Biol.*, **117**: 415–421.
- Parsons, T. R., Y. Maita and C. M. Lalli, 1984. A manual of chemical and biological methods for seawater analysis. Pergamon Press. Oxford, 173 pp.
- Poulet, S. A., A. Ianora and M. Laabir, 1995. Towards the measurement of secondary production and recruitment in copepods. *ICES J. Mar. Sci.*, **52**: 359–368.
- Purcell, J. E., J. R. White and M. R. Roman, 1994. Predation by gelatinous zooplankton and resource limitation as potential controls of *Acartia tonsa* copepod populations in Chesapeake Bay. *Limnol. Oceanogr.*, **39**: 263–278.
- Quevedo, M., R. Gonzalez-Quiros and R. Anadon, 1999. Evidence of heavy predation by *Noctiluca scintillans* on *Acartia clausi* (Copepoda) eggs off the central Cantabrian coast (NW Spain). *Oceanol. Acta*, **22**: 127–131.
- Raymont, J. E. G., 1983. Plankton and productivity in the oceans. Vol II. Zooplankton. Pergamon Press, Oxford, 824 pp.
- Runge, J. A., 1988. Should we expect a relationship between primary production and fisheries? The role of copepod dynamics as a filter of trophic variability. *Hydrobiologia*, **167/168**: 67–71.
- Sekiguchi, H. and T. Kato, 1976. Influence of *Noctiluca*'s predation on the *Acartia* population in Ise Bay, Central Japan. *J. Oceanogr. Soc. Jpn.*, **32**: 195–198.
- Soh, H. Y. and H. G. Jeong, 2003. Spatio-temporal distribution of the Genus *Acartia* (Copepoda: Calanoida) in the Southwestern Waters of Korea. *Korean J. Environ. Biol.*, **21**: 422–427.
- Sullivan, B. K. and L. T. McManus, 1986. Factors controlling seasonal succession of the copepods *Acartia hudsonica* and *A. tonsa* in Narragansett Bay, Rhode Island: temperature and resting egg production. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **28**: 121–128.
- Tepper, B. and B. P. Bradley, 1989. Temporal changes in a natural population of copepods. *Biol. Bull., Woods Hole*, **176**: 32–40.
- 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., 1982. Population dynamics and production of *Acartia clausi* Giesbrecht (Copepoda: Calanoida) in inlet waters. *J. Exp. Mar. Ecol.*, **57**: 55–83.
- Uye, S., 1985. Resting egg production as a life history strategy of marine planktonic copepods. *Bull. Mar. Sci.*, **37**: 440–449.
- Uye, S., S. Kasahara and T. Onbe, 1979. Calanoid copepod eggs in sea-bottom muds. IV. Effects of some environmental factors on the hatching of resting eggs. *Mar. Biol.*, **51**: 151–156.
- Viitasalo, M., 1992. Calanoid resting eggs in the Baltic Sea: implications for the population dynamics of *Acartia bifilosa* (Copepoda). *Mar. Biol.*, **114**: 397–405.
- Viitasalo, M. and T. Katajisto, 1994. Mesozooplankton resting eggs in the Baltic Sea: Identification and vertical distribution in laminated and mixed sediments. *Mar. Biol.*, **120**: 455–465.
- Watson, N. H. F. and B. N. Smallman, 1971. The role of photoperiod and temperature in the induction and termination of an arrested development in two species of freshwater cyclopid copepods. *Can. J. Zool.*, **49**: 855–862.
- Yoo, J. K., 2001. A study on fluctuating egg abundance and egg production of *Acartia hongii* (Copepoda: Acartiidae) in Incheon coastal water. Ms. Thesis, Inha Univ., 61 pp.
- Yoon, S. H., 2004. Spatial and temporal distribution of zooplankton copepod *Acartia hongii* in Kyeonggi Bay, Korea. Ph.D. Thesis, Inha Univ., 306 pp.
- Zhong, X.F. and Y.C. Xiao, 1992. Resting eggs of *Acartia bifilosa* Giesbrecht and *A. pacifica* Steuer in Jiaozhou Bay. *Mar. Sci. (Qingdao)*, **5**: 55–59.

2006년 4월 20일 원고접수

2006년 7월 24일 수정본 채택

담당편집위원: 강성호