

한국 동해 남부 연안 일광만의 요각류 *Acartia steueri*의 알 생산력

강형구 · 강용주
부경대학교 해양생물학과

Egg Production of the Copepod *Acartia steueri* in Ilkwang Bay, Southeastern Coast of Korea

Hyung-Ku KANG and Yong Joo KANG

Department of Marine Biology, Pukyong National University, Pusan 608-737, Korea

Egg production of *Acartia steueri* was estimated in Ilkwang Bay, located in the southeastern coast of Korea. The equation, combining fecundity, temperature and chlorophyll *a*, obtained under the laboratory experiments, was applied to the *in situ* temperature and chlorophyll *a* for the estimation of field egg production. Mean egg size was 80.52 μm . Prosome length of adult females was not correlated with egg size. Egg production of field population ranged from 0.32 to 63.32 $\mu\text{gC m}^{-3} \text{d}^{-1}$ with a mean of 13.33 $\mu\text{gC m}^{-3} \text{d}^{-1}$, which were equivalent to 7.1~1407.1 eggs $\text{m}^{-3} \text{d}^{-1}$ and 296.1 eggs $\text{m}^{-3} \text{d}^{-1}$, respectively. Fecundity of adult females ranged from 5.4 to 12.5 eggs $\text{female}^{-1} \text{d}^{-1}$ with a mean of 8 eggs $\text{female}^{-1} \text{d}^{-1}$. Specific egg production rates ranged from 0.028 to 0.117 d^{-1} with a mean of 0.064 d^{-1} . Considering the egg production (% female body carbon) as a function of temperature and chlorophyll *a* concentration, our results showed rather low fecundity, which might be underestimated. Probable cannibalism of egg by the adults were thought to be part of the reason for this low estimated fecundity.

Key words: copepods, *Acartia steueri*, egg production, temperature, chlorophyll *a*

서 론

해양에서 요각류 알 생산력은 개체군의 동태와 에너지 수지의 관점에서 볼 때, 요각류 개체군의 가입률을 평가하는 척도일 뿐만 아니라 요각류 성체 암컷의 산란량(fecundity) 또는 성장의 척도로서도 중요하다.

현장의 요각류 알 생산력에 대한 연구는 두 가지 방법으로 수행되고 있다. 첫째는, 성체를 실험실 또는 현장에서 일정 용기 안에 사육하여 현장 또는 실험실의 먹이 조건에서 알 생산력을 추정하는 방법(incubation method; Dagg, 1978; Beckman and Peterson, 1986; Checkley et al., 1992)이다. 둘째는, 현장에서 채집된 성체 암컷의 개체수, 알의 갯수, 알의 발생 시간 자료를 이용하여 계산하는 방법(egg-ratio method; Peterson, 1985; Beckman and Peterson, 1986; Checkley et al., 1992; Liang and Uye, 1996)이다. 한편, 장기간 현장 개체군의 알 생산력을 추정할 경우, 현장에서 짧은 간격의 배양 실험은 어려움이 있기 때문에, 실험실에서 경험적으로 유도한 온도 또는 먹이 농도와 알 생산력간의 관계식을 도출하여, 알 생산력 실험을 하지 않은 기간의 현장 개체군의 알 생산력을 추정하는 방법(Uye, 1981)이 사용되기도 한다.

*Acartia steueri*는 부산 외해(Kim, 1985), 마산만

에서 외양수 유입시(Yoo et al., 1991), 제주도 연안역(Go, 1987; Go et al., 1994)에 분포하고 있으며, 일본 태평양쪽 연안 및 내만(Brodsky, 1950; Tanaka, 1965; Uye, 1981)에서도 출현하고 있는 종이다. 또한, *A. steueri*는 한국의 동해 남부 연안의 일광만에서는 연중 출현하며, *Acartia*속 요각류 생체량의 약 37.5%를 점유할 정도로 *Acartia*속의 요각류 중에서 중요하다(Kang, 1997). *A. steueri* 개체군의 변동과 생산력을 추정하여, 요각류 군집 내에서 이들의 역할을 평가하기 위해서는 알 생산력에 대한 자료가 있어야 한다.

국내에서 요각류의 알 생산력에 대한 연구는 Park and Lee (1995)가 아산만의 *Calanus sinicus*를 실험실에서 배양하여 알 생산력을 연구한 결과가 있을 뿐, 아직까지 한국 연안의 요각류 알 생산력에 대한 자료는 없는 실정이다.

본 연구는 실험실에서 먹이가 충분한 조건에서 온도와 *A. steueri* 성체 암컷의 알 생산력간의 관계식을 구하고, 이 관계식을 기초로 1년간 채집된 현장의 성체 암컷의 개체수 자료, 식물플랑크톤의 현존량(엽록소 *a*) 및 수온 자료로부터 현장의 *A. steueri* 개체군의 알 생산력을 추정하는 데 그 목적이 있다.

재료 및 방법

부산광역시 기장군 일광만에서 원추형 넷트(망목: 330 μm , 망구크기: 45 cm, cod-end의 용량: 약 1 ℓ)로 주로 야간(19:00~21:00)에 수직 채집한 동물플랑크톤을 10 ℓ 플라스틱 통에 넣어서 실험실로 옮긴 후, 성숙한 *A. steuerei* 성체 암컷(두흉부내에 수란관이 잘 발달되어 있고, 수란관내에 발생과정에 있는 알을 많이 가진 성체)을 분리하였다. 분리한 성체 암컷 중에서 20~30개체를 25~30 ml의 여과해수와 배양한 두 종의 식물플랑크톤 (*Isochrysis galbana*: 1×10^5 cells ml^{-1} , *Dunaliella salina*: 2×10^4 cells ml^{-1})이 들어 있는 사육용 유리관(용량: 40 ml, 지름: 2 cm, 길이: 13 cm)에 각각 한 마리씩 넣고, 3.5, 7.4, 14.0, 17.0, 20.0, 24.0, 26.0 $^{\circ}\text{C}$ 로 조절된 배양기(광도: 약 500 lux, 12L:12D의 광주기 조건)속에서 사육하였다. 성체 채집시의 현장 수온과 실험 온도가 다를 경우, 약 3~4시간마다 3~4 $^{\circ}\text{C}$ 씩 온도 순응시켰으며, 식물플랑크톤의 침전을 막기 위하여 사육용 유리관내의 배지를 하루에 3~5회 회전시켰다.

사육이 진행되는 동안 24시간마다 입구가 넓은 스포이드를 사용하여 사육용 유리관의 바닥에 침전된 요각류 알, 배설물, 식물플랑크톤을 수거하였다. 수거된 내용물을 표본병에 넣어서 4%의 중성포르말린이 되도록 고정하였으며, Bogorov판을 사용하여 해부현미경 하에서 산란된 알이나 부화한 nauplii를 계수하였다. 알의 수거가 끝나면, 성체를 새로운 배지가 들어 있는 다른 사육용 유리관으로 옮겼으며, 이 작업을 성체가 죽을 때까지 계속하였다.

실험실에서 온도와 알 생산력간의 관계식을 도출하기 위하여, *A. steuerei* 동계군(winter population; 알 생산력 실험을 위해 현장 채집시 수온이 15 $^{\circ}\text{C}$ 이하인 계절에 채집된 성체 암컷; 본 조사에서는 1월에서 4월 중에 채집된 것)과 하계군(summer population; 현장 수온이 15 $^{\circ}\text{C}$ 보다 높은 계절에 채집된 성체 암컷; 본 조사에서는 5월에서 9월 중에 채집된 것)을 대상으로 실험실에서 과량의 먹이 조건에서 산란 실험을 시작한 지 2~5일 사이의 산란수 자료를 암컷의 탄소 무게의 백분율로 바꾼 후, 이것을 온도에 대해 표현하였다. 실험 온도가 3.5~14.0 $^{\circ}\text{C}$ 구간의 경우는 동계군의 실험실 산란수자료를 사용하였고, 15.0~24.0 $^{\circ}\text{C}$ 구간의 경우는 하계군의 실험실 산란수 자료를 사용하였다. 이렇게 산출한 식을 기초로 하여, 일본 Onagawa만의 *A. steuerei* 하계군(summer population)에 대해 조사된 실험실에서의 먹이 농도(엽록소 *a*)와 알 생산력간의 관계식(Uye, 1981)을 이용하여 온도 및 먹이

농도와 알 생산력간의 새로운 관계식을 유도하였다. 실험실에서 유도한 이 관계식으로부터 알 생산력에 대한 실험이 없었던 1991년 10월 2일부터 1992년 10월 8일까지의 현장 수온, 엽록소 *a* 양, 성체 암컷의 개체수 자료를 사용하여, 이 기간의 성체 암컷 개체수에 의한 알 생산력을 추정하였다. 성체 암컷의 개체수 자료는 일광만 내의 한 개 정점(평균 수심 6.6 m)에서 식물플랑크톤 넷트(망목크기: 60 μm , 망구크기: 24 cm)로 수직 채집한 것이다. 또한, 동일 정점에서, 현장 엽록소 *a* 농도는 표층수와 저층수의 평균 엽록소 *a* 농도, 그리고 현장 수온은 표층수와 저층수의 평균 수온을 사용하였다. 또한, *A. steuerei* 알의 무게는 직접 측정하지 않았기 때문에 동일 종에 대한 Uye (1981)의 결과인 0.045 μgC 를 사용하였다. 또한 성체 암컷의 무게는 *A. steuerei*의 길이-무게 관계식(Kang and Kang, 1997)을 이용하여 추정하였다.

결 과

1. 알의 크기와 산란 양상

실험실에서 산란한 *A. steuerei* 알은 등근 모양으로서 크기는 평균(\pm 표준편차) $80.52 \pm 2.38 \mu\text{m}$ ($n=117$)이었다. 성체 암컷의 두흉부 길이와 이 성체가 낳은 알의 크기에는 상관성이 없었다($p>0.05$, Fig. 1). 즉, 계절에 따라 성체 암컷의 길이는 차이가 있지만 산란된 알의 크기에는 유의한 차이가 없었다.

여러 사육 온도에서 가장 오랫동안 생존한 성체 암컷 한 마리가 하루 동안에 낳은 알 수는 실험 온도에 따라 많은 변동을 보였다(Fig. 2). 성체 암컷 한 마리가 죽을 때까지 낳은 알은 수온 20.0 $^{\circ}\text{C}$ 에서 467개로 가장 많았으며, 3.5 $^{\circ}\text{C}$ 에서 26개로 가장 적었다. 20.0 $^{\circ}\text{C}$ 에서의 결과를 제외하면, 산란 양상은 초기에 높은 산란량을 보이다가 점차적으로 감소하는 경향을 보였다. 또한, 성체의 사망 시기는 온도가 높을수록 빨랐으며, 보다 낮은 온도에서는 비교적 성체가 오랫동안 생존하면서 산란하는 경향을 보였다.

2. 알 생산력에 대한 온도의 영향

실험실에서 먹이가 충분한 조건에서 Bělehrádek 식(McLaren, 1963)을 기초로하여 유도한 *A. steuerei*의 온도(T , $^{\circ}\text{C}$)와 알 생산력간의 관계는 다음 식으로 표현되었다(Fig. 3).

$$F = 0.206(T - 0.5)^{1.33} \quad (r^2 = 0.695) \quad \dots\dots\dots \text{식 (1)}$$

여기서, F는 성체 암컷의 탄소량의 백분율로서 나타낸

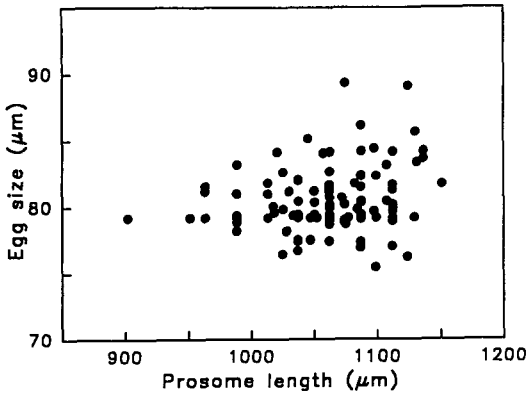


Fig. 1. *Acartia steueri*. Relationship between prosome length and egg size.

일간 알 생산력 (% female C)이다. 따라서 온도가 3.5°C에서 24.0°C까지 증가함에 따라 일간 알 생산력은 지수함수적으로 유의하게 증가하였다 ($p < 0.01$).

3. 먹이 농도를 고려한 현장 개체군의 알 생산력
현장의 먹이가 계절에 따라 변동하기 때문에 *A. steueri*의 알 생산력을 제한할 수 있다고 가정할 경우의 알 생산력은, 실험실에서 얻은 온도와 성체 암컷의 일간 알 생산력간의 관계를 나타내는 식 (1)에 먹이 농도와 성체 암컷의 알 생산력간의 관계식을 포함시켜서 구할 수 있다. 본 연구에서 현장 *A. steueri*의 먹이 농도와 성

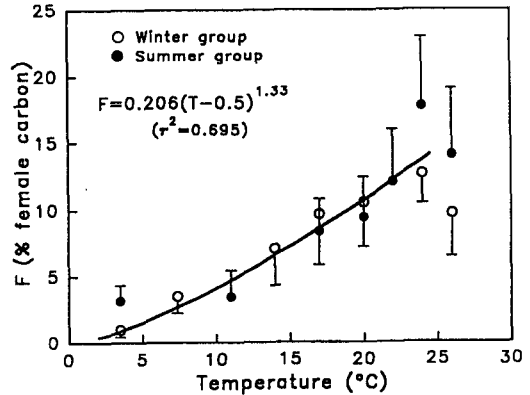


Fig. 3. *Acartia steueri*. Effect of temperature on daily egg production (F, % female body carbon) of winter and summer groups in the laboratory. The equation is derived from plots of the winter group between 3.5 and 14.0°C, and those of the summer group between 17.0 and 24.0°C. Vertical lines mean standard deviation.

체 암컷의 알 생산력간의 관계는, 일본 Onagawa만의 *A. steueri*에 대한 아래의 관계식 (Uye, 1981)과 같다고 가정하였다.

$$F = 80.0 S / (0.912 + S) \dots\dots\dots \text{식 (2)}$$

여기서, F는 성체 암컷의 일간 알 생산력 (% female C)이고, S는 엽록소 *a* 농도 (mg m^{-3})이다. 먹이가 충분

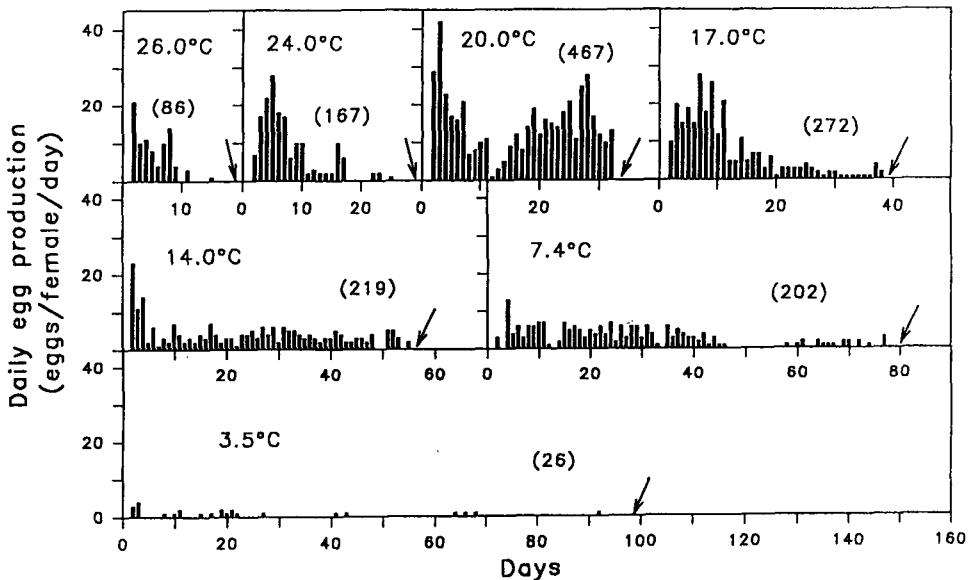


Fig. 2. *Acartia steueri*. Daily egg production of a female with maximum longevity at various temperatures with excess food in the laboratory. The parentheses mean the total eggs produced by a adult female. Arrows mean the time of death of adult female.

Table 1. *Acartia steueri*. Daily egg production at a station in Ilkwang Bay. The fecundity at temperature above 24.0°C is assumed to be equal to the rate at 24.0°C. Weight of an egg is assumed to be 0.045 µgC (Uye, 1981)

Date	Temp ¹	Chl _a ²	W _f ³	N _f ⁴	B _f ⁵	F _s ⁶	P _c ⁷	P _E ⁸	P _f ⁹
Oct. 2 (1991)	22.1	2.43	4.00	28.8	115.20	0.089	10.25	227.8	7.9
Oct. 21	17.5	2.85	5.74	1.4	8.04	0.068	0.55	12.2	8.7
Oct. 29	17.7	2.17	4.90	2.9	14.21	0.064	0.91	20.2	7.0
Nov. 13	14.2	2.20	6.93	194.4	1347.19	0.047	63.32	1407.1	7.2
Nov. 30	15.1	1.64	-	-	-	0.047	0	0	0
Dec. 14	13.2	1.13	-	-	-	0.033	0	0	0
Dec. 30	11.7	1.94	-	-	-	0.035	0	0	0
Jan. 11 (1992)	12.1	1.00	-	-	-	0.028	0	0	0
Jan. 26	11.7	1.13	-	-	-	0.028	0	0	0
Feb. 10	11.0	1.81	-	-	-	0.031	0	0	0
Feb. 24	10.2	9.04	8.27	97.2	803.84	0.038	30.55	678.9	7.0
Mar. 11	12.5	2.56	-	-	-	0.041	0	0	0
Mar. 31	14.3	3.29	5.67	20.3	115.10	0.053	6.10	135.6	6.7
Apr. 16	13.4	1.13	7.21	44.1	317.96	0.034	10.81	240.2	5.4
Apr. 29	14.7	2.28	7.51	6.5	48.82	0.050	2.44	54.2	8.3
May 10	15.2	2.61	6.46	89.7	579.46	0.054	31.29	695.3	7.8
May 24	15.8	2.49	7.23	5.3	38.32	0.057	2.18	48.4	9.1
June 9	15.6	3.86	4.88	35.4	172.75	0.062	10.71	238.0	6.7
June 21	19.6	2.61	-	-	-	0.077	0	0	0
July 7	18.9	9.32	6.22	1.1	6.84	0.090	0.62	13.8	12.5
July 15	18.2	7.48	-	-	-	0.084	0	0	0
July 25	16.5	8.38	4.75	15.8	75.05	0.074	5.55	123.3	7.8
Aug. 7	23.8	2.89	3.80	155.5	590.90	0.103	60.86	1352.4	8.7
Aug. 22	25.4	3.45	3.55	22.3	59.17	0.117	9.26	205.8	9.2
Aug. 29	23.7	6.05	4.29	2.6	11.15	0.117	1.30	28.9	11.1
Sept. 5	18.5	2.21	3.63	47.3	171.70	0.068	11.68	259.6	5.5
Sept. 15	25.6	2.08	3.83	6.3	24.13	0.104	2.51	55.8	8.9
Sept. 27	21.2	1.64	3.58	1.2	4.30	0.074	0.32	7.1	5.9
Oct. 8	20.6	3.45	4.48	13.5	60.48	0.088	5.32	118.2	8.8

- ¹ Mean temperature (°C).
- ² Mean chlorophyll a concentration (mg m⁻³).
- ³ Weight of an adult female (µgC).
- ⁴ Abundance of adult female (inds. m⁻³).
- ⁵ Biomass of adult female (µgC m⁻³).
- ⁶ Specific egg production rate (d⁻¹).
- ⁷ Egg production of population in terms of carbon content (µgC m⁻³ d⁻¹).
- ⁸ Egg production of population in terms of egg number (eggs m⁻³ d⁻¹).
- ⁹ Egg production of an adult female in terms of egg number (eggs female⁻¹ d⁻¹).

할 경우 최대 알 생산력은 온도에만 의존하고, 또한 일정량의 엽록소 *a* 양은 온도에 관계없이 최대 알 생산력의 일정량만을 지지한다고 가정하면 (Uye, 1981), 결과적으로 식 (2)에서 Michaelis-Menten 방정식 (Lehninger, 1982)의 최대반응속도 값인 80.0은 실험실에서 구한 온도와 알 생산력간의 관계를 나타내는 식 (1)과 같다고 가정할 수 있다. 따라서, 온도와 먹이 농도가 고려된 아래와 같은 성체 암컷의 일간 알 생산력 (F', % female C) 관계식이 얻어진다.

$$F' = 0.206 (T - 0.5)^{1.33} S / (0.912 + S) \dots\dots\dots \text{식 (3)}$$

여기서, T는 3.5°C에서 24.0°C사이의 온도 (°C)이고, S는 엽록소 *a* 농도 (mg m⁻³)이다.

*A. steueri*의 비알생산율 (specific egg production rate; F_s, d⁻¹)은 성체 암컷의 탄소 무게로 부터 일간 알 생산량의 절대값을 구하기 위하여 식 (3)에 100을 나누어 다음과 같은 식으로 나타낼 수 있다.

$$F_s = 0.00206 (T - 0.5)^{1.33} S / (0.912 + S) \dots\dots\dots \text{식 (4)}$$

따라서, 실험실에서 구해진 *A. steueri*의 비알생산율을 조사기간의 현장 수온과 엽록소 *a* 농도를 고려하면, 0.028~0.117 d⁻¹ (평균 0.064 d⁻¹) 범위를 보였다 (Table 1).

단, 현장 수온이 24.0°C를 초과할 경우는 24.0°C와 같다고 가정하였다.

탄소량으로 나타낸 *A. steuerei* 현장 개체군의 일간 알 생산력 (P_c , $\mu\text{gC m}^{-3} \text{d}^{-1}$)은 비알생산율에 성체 암컷의 생체량 (B_i , $\mu\text{gC m}^{-3}$)을 곱하면 다음과 같은 식으로 구해진다.

$$P_c = 0.00206 (T - 0.5)^{1.33} S B_i / (0.912 + S) \dots \text{식 (5)}$$

$$P_c = 0.00206 (T - 0.5)^{1.33} S W_i N_i / (0.912 + S) \dots \text{식 (6)}$$

여기서, T는 현장 수온 (°C), S는 현장의 엽록소 a 농도 (mg m^{-3}), W_i 는 채집시 현장 성체 암컷의 평균 무게 (μgC), N_i 는 현장의 성체 암컷의 개체수 (inds. m^{-3})이다. 일광만의 한 개 정점에서 1991년 10월 2일에서 1992년 10월 8일까지 *A. steuerei* 개체군의 알 생산력은, 성체 암컷이 채집되지 않은 계절을 제외하면 $0.32 \sim 63.32 \mu\text{gC m}^{-3} \text{d}^{-1}$ (평균 $13.33 \mu\text{gC m}^{-3} \text{d}^{-1}$) 범위였다 (Table 1).

단위 체적당 알의 수로서 나타낸 *A. steuerei* 현장 개체군의 일간 알 생산력 (P_E , $\text{eggs m}^{-3} \text{d}^{-1}$)은 식 (5) 또는 식 (6)을 알 하나의 무게 ($0.045 \mu\text{gC}$)로 나누면 얻어진다. 따라서, 일광만의 한 개 정점에서 *A. steuerei* 개체군의 알 생산력은, 성체가 채집되지 않은 계절을 제외하면 $7.1 \sim 1407.1 \text{ eggs m}^{-3} \text{d}^{-1}$ (평균 $296.1 \text{ eggs m}^{-3} \text{d}^{-1}$) 범위로서 11월과 8월에 높았고, 그 다음이 2월말과 5월초였으며, 나머지는 약 $300 \text{ eggs m}^{-3} \text{d}^{-1}$ 이하로서 계절에 따라 많은 변동을 보였다 (Fig. 4, Table 1).

알의 수로서 나타낸 현장의 *A. steuerei* 성체 암컷 한 마리의 일간 알 생산력 (P_f , $\text{eggs female}^{-1} \text{d}^{-1}$)은 P_E 를 현장의 성체 암컷의 개체수로 나누면 얻어진다. 일광만의 한 개 정점에서 *A. steuerei* 성체 암컷 한 마리의 알 생산력은, 성체 암컷이 채집되지 않은 계절을 제외하면, $5.4 \sim 12.5 \text{ eggs female}^{-1} \text{d}^{-1}$ (평균 $8.0 \text{ eggs female}^{-1} \text{d}^{-1}$) 범위였다 (Fig. 4, Table 1).

고 찰

현장에서 채집된 *Acartia hudsonica* 성체 암컷의 평균 알 생산력은 연령 분포에 따라 달라지며, 후기 연령 조성으로 갈수록 알 생산력이 감소하였다 (Durbin et al., 1992). 또한, Carlotti et al. (1997)은 *Centropages typicus*의 copepodite 5기가 동일한 먹이 조건과 온도에서 성체가 되어도 성체간 평균 알 생산력과 산란 리듬에 차이가 있음을 보고하여, 개체의 내부적인 (유전적인) 다양성이 개체의 알 생산력의 다양성과 관련이 있음을 보고하였다. 그러나, 본 연구에서는 채집시 *A. steuerei*의 두흉부내 수란관이 잘 발달되어 있고, 발생과정에 있는 알을 많이

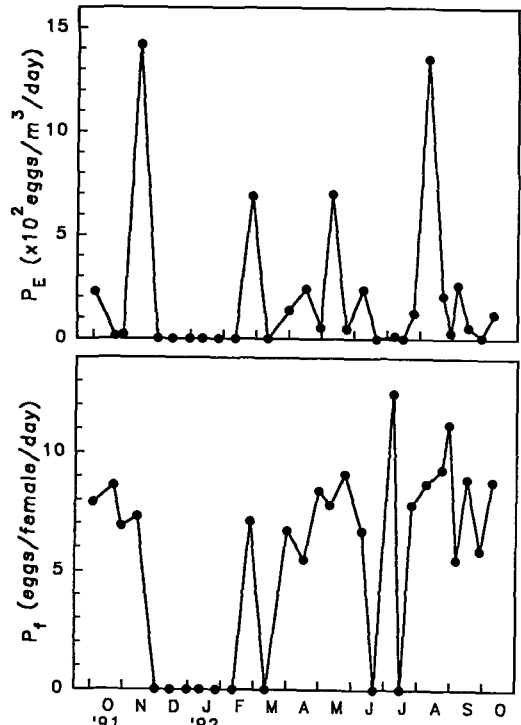


Fig. 4. *Acartia steuerei*. Seasonal variations in the egg production of population (P_E) and fecundity of an adult female (P_f) estimated in the field.

갖고 있어서 이 부분이 짙고 어둡게 보이는 건강한 성체 암컷만을 골라서 실험에 사용하였으며, 현장에서 채집한 성체 암컷의 연령에 대한 고려는 하지 않았다.

1. 알의 크기와 산란 양상

A. steuerei 암컷은 수컷으로부터 정포 (spermatopore)를 받아 난자와 결합한 수정란을 하나씩 수중으로 직접 방출하는 산란 방식을 취하고 있다 (Koga, 1984). *Acartia*속 요각류의 알의 크기는 종에 따라서 다양한데, Onagawa만의 *A. clausi*는 $74.8 \mu\text{m}$ (Uye, 1981), 일본내해 (Inland Sea of Japan)의 *A. erythraea*는 표면에 $6 \mu\text{m}$ 길이의 가시를 가지면서 크기가 $90 \mu\text{m}$ 이었고, *A. pacifica*는 표면에 $10 \mu\text{m}$ 길이의 가시를 가지며 $80 \mu\text{m}$ 이었다 (Checkley et al., 1992). 본 조사기간에 실험실에서 *A. steuerei*가 낳은 알의 평균 크기는 일본의 Onagawa만에서 채집된 동일 종의 알의 크기 ($82.9 \mu\text{m}$; Uye, 1981)보다 작은 것으로 나타났지만, 본 조사결과에서 알 크기의 변이 (표준편차 $2.38 \mu\text{m}$)를 고려한다면 차이는 없는 것 같다.

Kang (1997)은 일광만에서 여러 계절에 걸쳐서 채집한 *A. steuerei* 알의 부화시간 (D_E , day)과 온도 (T, °C)간의 관계를 $D_E = 744 (T + 3.5)^{-1.97}$ ($r^2 = 0.985$)로서 표현하였

으며, 부화성공률은 8.4~26.2°C 온도 구간에서는 평균 88.4%로서 비교적 높았고, 3.7°C와 30.0°C에서는 각각 54.2%와 31.4%로 낮았다고 보고하였다. 한편, *A. steuerei* 성체 암컷으로부터 산란된 알들은 대부분 부화를 하였으나, 예상되는 부화시간이 충분히 지나도 가끔씩 부화를 하지 않는 알이 소량 관찰되었는데 (Kang, 미발표 자료), 본 조사에서도 표면에 가시를 갖는 알 (알의 크기: $82.46 \pm 2.66 \mu\text{m}$, 표면에 $16.05 \mu\text{m}$ 길이의 많은 가시가 있음)들을 가끔씩 관찰할 수 있었으나 이 알들에 대한 계속적인 부화실험은 수행하지 않았기 때문에 이 알들이 생육불능란 (non-viable egg)인지 아니면 휴면란 (Uye, 1985)인지 확실하지 않다.

2. 알 생산력

온도와 먹이농도가 고려된 성체 암컷의 일간 알 생산력 관계식 (% female C, 식 (3))의 결과를 Onagawa만의 *A. steuerei* 하계군에 대한 알 생산력 관계식 (Uye, 1981)인 $F=0.306(T-0.5)^{1.72} S / (0.912+S)$ (여기서, T는 온도 (°C), S는 엽록소 a 농도 (mg m^{-3}))과 비교하기 위하여 임의의 온도와 엽록소 a 농도인 15°C와 3.0 mg m^{-3} 를 대입하면, 본 연구의 경우 성체 탄소 무게의 5.5%, Onagawa만의 경우는 23.3%가 된다. 또한, Onagawa만의 *A. clausi*에 대한 관계식은 동일한 온도와 엽록소 a 농도에서 성체 탄소 무게의 32.1%가 알 생산력이 된다. 따라서, 본 연구에서 동계군과 하계군을 대상으로 실험실에서 유도한 성체 암컷의 탄소 무게의 백분율로서 나타낸 일간 알 생산력은 하계군을 대상으로 하는 Onagawa만의 동일 종보다는 낮은 알 생산력을 나타내고 있다. Sekiguchi et al. (1980)는 *Acartia clausi hudsonica*에 대한 연구에서, copepodite기 동안의 무게별비성장률 (weight-specific growth rate)이 성체 암컷의 무게별비알생산율 (weight-specific egg production rate)과 비슷함을 제시한 바 있다. 본 연구에서 *A. steuerei*의 비알생산율은 현장 수온이 10.2~25.6°C 범위에서 $0.028 \sim 0.117 \text{ d}^{-1}$ (평균 0.064 d^{-1}) 범위의 변화를 보였으나 (Table 1), 19.1°C의 실험실 조건에서 측정된 *A. steuerei*의 비성장률 (Kang, 1997)은 copepodite기가 $0.141 \sim 0.274 \text{ d}^{-1}$ (평균 0.190 d^{-1}) 범위로서, 대체로 비알생산율이 비성장률보다도 낮게 나타났다. 따라서, 성체 암컷의 탄소 무게의 백분율로서 나타낸 일간 알 생산력 관계식인 식 (3)과 copepodite기 동안의 비성장률을 고려해 볼 때, 본 연구에서 추정된 *A. steuerei*의 알 생산력은 실제 잠재적인 알 생산력보다도 다소 낮게 평가되었을 가능성이 있다.

실험실 조건에서 사육 용기에 성체 암컷을 넣어서 산

란 실험을 할 경우, 채집시 현장의 성체 암컷의 밀도와 비슷한 조건에서 실험이 이루어져야 할 것이다. 그러나, Park and Lee (1995)는 아산만의 *C. sinicus*의 평균 산란량과 실험실 사육 용기내의 성체 개체수 사이에 상관관계가 없음을 보고한 바 있다. 한편, Laabir et al. (1995)는 English Channel의 서부에서 채집된 *Calanus helgolandicus*의 알 생산력이 성체 암컷 한 마리만을 사육할 경우 배양 용기의 부피 간에 유의한 차이가 없음을 보고 하였으나, 1ℓ당 성체 암컷의 밀도가 높아질수록 유의하게 알 생산력이 감소함을 보여, 높은 알 생산력을 얻기 위해서는 배양 용기의 부피가 충분해야 함을 제시하였다. 본 연구에서 사육 용기당 성체의 밀도는 약 $36 \text{ inds. } \ell^{-1}$ 로서 실제 현장의 성체 암컷의 밀도보다 높았다. 본 연구와 비슷한 배양 용기 조건에서도 *A. steuerei* 하계군의 비알생산율 (Uye, 1981)은 본 연구 결과보다도 높게 나타났다. 이것으로 보아 배양 용기에 성체 암컷 한 마리씩 넣어서 알 생산력 실험을 할 경우, 배양 용기의 크기는 알 생산력에 큰 영향을 미치지 않을 것으로 추측되며, 오히려 먹이 요인이 더 중요할 것으로 생각된다.

실험실에서 *Acartia tonsa*와 *Centropages typicus* (Dagg, 1977)는 소규모의 먹이 환경 변화에 매우 민감하여 먹이가 부족될 경우 산란량이 감소하였고, *A. clausi*와 *A. steuerei* (Uye, 1981)는 갑작스런 기아 상태에서 산란량이 급격히 감소할 수 있으며, 실험실에서 *Calanus pacificus* (Runge, 1984)는 낮은 먹이 농도와 온도에서 산란 간격이 길어지거나 낮은 알 생산력을 보였으며, *Calanus helgolandicus* (Chaudron et al., 1996)는 낮은 먹이 농도에서 알 생산력이 낮아졌다. 본 연구에서는 두 종류의 식물플랑크톤을 과량으로 공급하였지만, 비교적 높은 밀도의 먹이가 사육용 유리관의 아래쪽 부분에 모여 있는 것이 사육 실험시 관찰되기도 하였다. 그러나, 이러한 식물플랑크톤의 분포가 성체의 먹이 부족 경험과 관련이 있는지는 본 연구 결과로서는 알 수 없다.

한편, 일반적으로 요각류는 자신의 알이나 유생들을 포식할 수 있는 것으로 알려져 있다. Kiørboe et al. (1985)와 Nival et al. (1990)은 알에 대한 성체의 포식압이 작용할 경우, 찌그러진 알이나 속이 빈 껍질 상태의 알도 고려하였으며, Ayukai (1988)는 분립 (fecal pellets) 속의 찌그러진 알 껍질을 고려하여, 성체의 포식에 의한 알의 손실을 보정하였다. Ianora et al. (1995)은 실험실에서 요각류의 알 생산력을 측정할 경우, 사용하는 배양용기 내에 알을 분리하는 장치가 있어야 하고, 찌그러진 알의 수도 고려해야 함을 지적한 바 있다. 본 연구에서는 알 껍질만 있거나 찌그러진 알에 대한 고려는 하지 않았

으며, 또한, 알의 계수 과정에서 이러한 알을 쉽게 발견할 수 없었다. 한편, Laabir et al. (1995)는 *C. helgolandicus*가 실험실에서 자신의 알을 포식할 수 있으며, 그 포식의 정도는 성체의 기아 정도, 용기내 성체의 밀도, 공급된 먹이의 농도에 따라 영향을 받는다고 하였는데, 기아상태에서 먹이가 추가적으로 공급될 경우 포식 현상이 감소하였으며, 현장에서도 식물플랑크톤의 번무가 있는 동안에는 포식 현상이 감소하였음을 보고하였다. 또한, Peterson (1988)은 *Calanus marshallae*가 낮은 먹이 농도 ($300\sim650\text{ cells ml}^{-1}$)에서 24시간 동안에 자신의 알의 68%를 포식하였으나, 보다 높은 먹이 농도에서 사육될 경우 포식에 대한 어떠한 증거도 찾지 못했다고 보고한 바 있다. Uye (1981)는 실험실에서 Onagawa만의 *A. steuerei* 하계군에 대한 알 생산력 연구시, 먹이 종류는 본 연구의 것과 다르지만, 포식을 고려하지 않은 상태에서도 비교적 높은 알 생산력 결과를 얻었다.

따라서, 본 연구 결과, *A. steuerei*의 알 생산력이 낮게 평가된 이유에 대해서는 본 연구에서 고려되지 않았지만, 알 생산력에 대한 다른 연구자들의 결과를 고려하면, 자신의 알에 대한 포식이 영향을 미쳤을 것으로 판단된다.

Uye (1981)는 Onagawa만의 *A. clausi*와 *A. steuerei*에 대해 실험실에서 유도한 알 생산력 관계식으로부터 추정된 알 생산력과 현장에서 배양 실험을 통해서 측정된 알 생산력 사이에 큰 차이가 없음을 보고한 바가 있다. 그러나, 실제 현장의 먹이 종류와 먹이량은 시간에 따라 변하고 있으며, 잡식성으로 알려진 *Acartia*속 요각류의 섭식 양상 (Turner, 1984)은 매우 복잡하기 때문에 실험실에서 구한 알 생산력 관계식으로부터 추정된 알 생산력이 실제 현장의 알 생산력과 어느 정도 일치하는지는 분명하지 않다. 또한, 동일 종이라도 지역에 따라 그들의 알 생산력 양상은 다양한 것으로 알려져 있다 (Dagg, 1977; Landry, 1978; Uye, 1981; Ambler, 1985; Runge, 1985; Cabal et al., 1997). 그러나, 본 연구에서 얻어진 *A. steuerei*의 알 생산력 결과가 지역이나 시기에 따라 많은 차이가 있을 것으로 판단되나, 국내 연안성 요각류의 생산력 연구, 특히 알 생산력과 관련된 연구를 위한 기초 및 비교 자료가 될 것으로 기대된다.

요 약

한국 동해 남부 연안 일광만에서 요각류 *Acartia steuerei*의 알 생산력을 조사하였다. 실험실에서 온도 및 염류소 a 농도와 알 생산력간의 관계식을 유도한 후, 현장의 수온과 염류소 a 농도를 적용하여 현장 개체군의 알

생산력을 추정하였다. 알의 평균 크기는 $80.52\ \mu\text{m}$ 이었고, 성체 암컷의 두흉부 길이와 알의 크기간에는 유의한 상관성이 없었다. 현장 개체군의 알 생산력은 $0.32\sim63.32\ \mu\text{gC m}^{-3}\ \text{d}^{-1}$ (평균 $13.33\ \mu\text{gC m}^{-3}\ \text{d}^{-1}$)이었으며, 알의 수로 나타내면 $7.1\sim1407.1\ \text{eggs m}^{-3}\ \text{d}^{-1}$ (평균 $296.1\ \text{eggs m}^{-3}\ \text{d}^{-1}$)이었다. 암컷 한 마리당 알 생산력은 $5.4\sim12.5\ \text{eggs female}^{-1}\ \text{d}^{-1}$ (평균 $8\ \text{eggs female}^{-1}\ \text{d}^{-1}$)이었으며, 비알 생산율은 $0.028\sim0.117\ \text{d}^{-1}$ (평균 $0.064\ \text{d}^{-1}$)로 나타났다. 본 연구에서 추정된 알 생산력 (성체 암컷의 탄소 무게의 백분율)은 과소 평가된 것으로 나타났는데, 성체의 알에 대한 잠재적인 포식 가능성이 이러한 낮은 알 생산력과 관련이 있는 것으로 판단된다.

사 사

본 논문을 검토해 준 충남대학교 해양학과 박 철 교수에게 감사드립니다.

참 고 문 헌

- Ambler, J.W. 1985. Seasonal factors affecting egg production and viability of eggs of *Acartia tonsa* Dana from East Lagoon, Galveston, Texas. *Estuar. Coast. Shelf Sci.*, 20, 743~760.
- Ayukai, T. 1988. Egg production by the planktonic calanoid copepod *Acartia omorii* in Onagawa Harbor during spring-summer. *Bull. Plankton Soc. Japan*, 35, 127~132.
- Beckman, B.R. and W.T. Peterson. 1986. Egg production by *Acartia tonsa* in Long Island Sound. *J. Plankton Res.*, 8, 917~925.
- Brodsky, K.A. 1950. Calanoida of polar and far eastern seas of the U.S.S.R. *Opred. Faun SSSR*, 35, 1~442.
- Cabal, J., L.R. Harris and E.J.H. Head. 1997. Egg production rates of *Calanus finmarchicus* in the Northwest Atlantic (Labrador Sea). *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 54, 1270~1279.
- Carlotti, F., C. Rey, A. Javanshir and S. Nival. 1997. Laboratory studies on egg and faecal pellet production of *Centropages typicus*: effect of age, effect of temperature, individual variability. *J. Plankton Res.*, 19, 1143~1165.
- Chaudron, Y., S.A. Poulet, M. Laabir, A. Ianora and A. Miralto. 1996. Is hatching success of copepod eggs diatom density-dependent? *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 144, 185~193.
- Checkley, D.M., Jr, M.J. Dagg and S. Uye. 1992. Feeding, excretion and egg production by individuals and

- populations of the marine, planktonic copepods, *Acartia* spp. and *Centropages furcatus*. J. Plankton Res., 14, 71~96.
- Dagg, M. 1977. Some effects of patchy food environments on copepods. Limnol. Oceanogr., 22, 99~107.
- Dagg, M.J. 1978. Estimated, *in situ*, rates of egg production for the copepod *Centropages typicus* (Krøyer) in the New York Bight. J. Exp. Mar. Biol. Ecol., 34, 183~196.
- Durbin, E.G., A.G. Durbin and R.G. Campbell. 1992. Body size and egg production in the marine copepod *Acartia hudsonica* during a winter-spring diatom bloom in Narragansett Bay. Limnol. Oceanogr., 37, 342~360.
- Go, Y.B. 1987. Zooplankton community and biomass on the coast of Sincheon, southeastern part of Cheju Island. Bull. Mar. Res. Inst. Cheju Nat'l Univ., 11, 41~51.
- Go, Y.B., B.C. Oh, B.Y. Ko and T.J. Sohn. 1994. Seasonal fluctuation of pelagic copepods on the coast of Cheju Island, Korea. Bull. Mar. Res. Inst. Cheju Nat'l Univ., 18, 15~26 (in Korean).
- Ianora, A., S.A. Poulet and A. Miralto. 1995. A comparative study of the inhibitory effect of diatoms on the reproductive biology of the copepod *Temora stylifera*. Mar. Biol., 121, 533~539.
- Kang, H.K. 1997. Primary Production and Production of Copepod *Acartia steueri* in Ilkwang Bay, Southeast Coast of Korea. Ph.D. thesis, Pukyong Nat'l Univ., 226 pp. (in Korean).
- Kang, H.K. and Y.J. Kang. 1997. Length and weight relationship of *Acartia steueri* (Copepoda: Calanoida) in Ilkwang Bay, Korea. J. Korean Fish. Soc., 30, 906~908.
- Kim, D.Y. 1985. Taxonomical Study on Calanoid Copepod (Crustacea: Copepoda) in Korean Waters. Ph.D. thesis, Hanyang Univ., 187 pp.
- Kjørboe, T., F. Møhlenberg and H.U. Riisgård. 1985. *In situ* feeding rates of planktonic copepods: A comparison of four methods. J. Exp. Mar. Biol. Ecol., 88, 67~81.
- Koga, F. 1984. Morphology, ecology, classification and specialization of copepods nauplius. Bull. Nansei Reg. Fish. Res. Lab., 16, 95~229 (in Japanese).
- Laabir, M., S.A. Poulet and A. Ianora. 1995. Measuring production and viability of eggs in *Calanus helgolandicus*. J. Plankton Res., 17, 1125~1142.
- Landry, M.R. 1978. Population dynamics and production of a planktonic marine copepod, *Acartia clausi*, in a small temperate lagoon on San Juan Island, Washington. Int. Revue Ges. Hydrobiol., 63, 77~119.
- Lehninger, A.L. 1982. Principles of Biochemistry. Worth Publishers, Inc., New York, 1011 pp.
- Liang, D. and S. Uye. 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, 109~117.
- McLaren, I.A. 1963. Effects of temperature on growth of zooplankton and the adaptive value of vertical migration. J. Fish. Res. Bd. Can., 20, 685~727.
- Nival, S., M. Pagano and P. Nival. 1990. Laboratory study of the spawning rate of the calanoid copepod *Centropages typicus*: effect of fluctuating food concentration. J. Plankton Res., 12, 535~547.
- Park, C. and P.G. Lee. 1995. Egg production by marine copepod *Calanus sinicus* in Asan Bay, Korea. J. Korean Fish. Soc., 28, 105~113 (in Korean).
- Peterson, W.T. 1985. Abundance, age structure and *in situ* egg production rates of the copepod *Temora longicornis* in Long Island Sound. Bull. Mar. Sci., 37, 726~738.
- Peterson, W.T. 1988. Rates of egg production by the copepod *Calanus marshallae* in the laboratory and in the sea off Oregon, U.S.A. Mar. Ecol. Prog. Ser., 47, 229~237.
- Runge, J.A. 1984. Egg production of the marine, planktonic copepod, *Calanus pacificus* Brodsky: Laboratory observations. J. Exp. Mar. Biol. Ecol., 74, 53~66.
- Runge, J.A. 1985. Egg production rates of *Calanus finmarchicus* in the sea off Nova Scotia. Arch. Hydrobiol. Beith., 21, 33~40.
- Sekiguchi, H., I.A. McLaren and C.J. Corkett. 1980. Relationships between growth rate and egg production in the copepod *Acartia clausi hudsonica*. Mar. Biol., 58, 133~138.
- Tanaka, O. 1965. The pelagic copepods of Izu region, middle Japan. Systematic account. XIII. Families Parapontellidae, Acartiidae and Tortanidae. Publ. Seto Mar. Biol. Lab., 7, 379~408.
- Turner, J.F. 1984. The feeding ecology of some zooplankters that are important prey items of larval fish. NOAA Technical Report NMFS 7, 28pp.
- Uye, S. 1981. Fecundity studies of neritic calanoid copepods *Acartia clausi* Giesbrecht and *A. steueri* Smirnov: 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.
- Yoo, K.I., H.K. Hue and W.C. Lee. 1991. Taxonomical revision on the genus *Acartia* (Copepoda: Calanoida) in the Korean waters. Bull. Korean Fish. Soc., 24, 255~265 (in Korean).

1997년 6월 18일 접수

1998년 3월 11일 수리