

수온과 염분에 따른 5종 요각류의 성장과 생산력

이균우* · 박흥기¹

한국해양연구원 해양생물자원연구본부, ¹강릉대학교 해양생명공학부

Effects of Temperature and Salinity on Productivity and Growth of Five Copepod Species

Kyun Woo LEE* and Heum Gi PARK¹

Korea Ocean Research and Development Institute, Ansan P.O. Box 29, 425-600, Korea

¹Faculty of Marine Bioscience and Technology, Kangnung National University, Gangneung 210-702, Korea

This study investigated the productivity and growth of copepods, *Sinocalanus tenellus* 2 strains, *Paracyclopsina nana* 3 strains, *Apocyclops royi* 2 strains, *Tachidius triangularis* 1 strain and *Tigriopus* sp. 1 strain at different temperatures (24, 28 and 32°C) under 15 psu and various salinities (10, 20, 30 psu) at 28°C for an individual culture. And the mass culture was carried out to evaluate the production of these copepods in the 500 mL vessel. For an individual culture of copepod, survival period of a brood female tended to increase with the decrease of temperature, but was not significantly influenced by salinity. With an increase of temperature and a decrease of salinity, maturation period of nauplii in all species tended to decrease. Total nauplii production from a brood female at 24°C was higher than that from a brood female at either 28 or 32°C for *S. tenellus* and at 32°C than either 24 or 32°C for *A. royi* Haenam strain, but was not influenced by temperature for another copepods. And total nauplii production from a brood female at 10 and 20 psu tended to be higher than that from a brood female at 30 psu, except for *Tigriopus* sp. and *P. nana* Hwajinpo strain. Total nauplii production from a brood female was the highest in *Tigriopus* sp. (350 nauplii) at 28°C under 20 psu, followed by *A. royi* Haenam strain (187 nauplii) at 32°C under 15 psu and *P. nana* Hwajinpo strain (152 nauplii) at 24°C under 10 psu. In the mass culture of each copepod, *P. nana* was the most productive (26.6 mg dry weight) and this value was two and four times higher than productivity of *Tigriopus* sp. and *A. royi*, respectively.

Key words: Copepod, Salinity, Temperature, Individual culture, Mass culture

서 론

해산 요각류 (Copepoda)는 그들의 작은 크기뿐만 아니라 높은 영양가치로 인해 자어를 위한 최상의 먹이로 알려져 있다 (Gapasin and Duray, 2001). 초기 해산 양식 산업에 있어서 이러한 요각류의 이용은 자연 수역에서 채집하여 자어의 먹이 생물로 많이 사용하였다 (Hirano, 1966; Støttrup and Norsker, 1997). 그러나 이러한 방법은 채집 시 기생생물 및 해적생물로 인하여 사육 자어에 대한 위험성이 매우 높다 (Iwasaki, 1973). 또한 먹이 생물로 이용 가능한 요각류와 이들의 채집량 및 채집시기가 자연의 환경 요인에 영향을 많이 받기 때문에 양질의 요각류를 생산하는데 안정적이지 못한 점이 있다 (Støttrup et al., 1986). 이러한 문제점은 계획적인 해산 어류 종묘 생산을 불안정하게 하는 요인이 되기 때문에 현재 어류 종묘 생산장에서 천연 요각류를 먹이 생물로 거의 이용하고 있지 않는 실정이다. 따라서 최근 다양한 요각류를 안정적으로 생산하기 위한 인위적인 대량 배양에 관한 연구가 수행된

바 있다 (Støttrup et al., 1986; Ohno and Okamura, 1988; Ohno et al., 1990; Sun and Fleeger, 1995; Støttrup and Norsker, 1997; Schipp et al., 1999; Lipman et al., 2001; Cheng et al., 2001; Payne and Rippingale, 2001). 그러나 현재까지 어류나 갑각류의 종묘생산을 위한 먹이생물로 *Artemia* nauplius와 rotifer가 주로 사용되고 있다는 것은 지금까지 이들 두 먹이생물을 대체할 만한 요각류가 개발되지 않고 있다는 증거이며 이것은 다양한 요각류의 최적 배양 환경 요구에 관한 정보가 충분하지 않았음을 의미한다.

양식에 있어서 요각류의 배양은 안정적인 대량생산이 가능하여야 하며, 대량배양에 적합한 요각류는 높은 번식력, 짧은 세대교번, 빠른 발달과 성장률, 다양한 먹이원, 수온과 염분 같은 물리적 환경요인에 대한 넓은 내성 등의 다양한 배양조건을 만족하여야 한다 (Sun and Fleeger, 1995). 따라서 본 연구는 요각류의 대량배양 기술 개발의 일환으로 우리나라의 몇몇 기수호 및 어류 부화장에서 5종의 요각류를 채집하여 이들의 수온과 염분에 따른 nauplius 생산력, 생존 및 발달기간을 조사하고 대량배양에 적합한 요각류를 평가하였다.

*Corresponding author: kyunu@kordi.re.kr

재료 및 방법

요각류의 채집 및 순수 분리

요각류는 4곳의 기수호 (경포, 영랑호, 송지호, 화진포)와 2곳의 넓치 부화장 (해남, 완도) 및 연안 (해운대)에서 80 μm 의 식물플랑크톤 net와 500 μm 의 동물플랑크톤 net를 이용하여 채집하였다. 채집한 요각류는 순수 분리 한 후, 실험실에서 각 종을 동정하였다. 동정되어 단일 배양된 요각류는 채집 장소에 따라 strain을 구분하여 calanoid 요각류인 *Sinocalanus tenellus* 2 strains와 cyclopoid 요각류인 *Paracyclops nana* 3 strains, *Apocyclops royi* 2 strains 그리고 harpacticoid 요각류인 *Tachidius triangularis* 및 *Tigriopus* sp. 각각 1 strain으로 총 5종 9 strains이었다 (Table 1).

수온과 염분에 따른 요각류의 개체 배양

5종의 요각류를 분리하여 개체배양을 한 후, 갯 포란한 암컷 12마리를 12 well culture plate (배양수 5 mL)에 각각 접종하여 20일 동안 수온과 염분에 따른 암컷의 nauplius 총 생산개체와 일일 nauplius 생산개체 및 성체 암컷의 생존기간을 조사하였다. 또한 갯 부화한 nauplius가 성숙하여 포란하기까지의 성숙기간을 입체 현미경 하에서 조사하였으며, 모든 실험은 12회 반복하였다. 암컷 1마리당 일일 nauplius 생산개체는 Støttrup and Norsker (1997)의 식에 의해 계산되었다 [$P=(N/F)/T$] (N =부화된 nauplius의 총수; F =암컷의 수; T =암컷의 생존기간). 먹이는 *Isochrysis galbana*를 1일 1회 건조 중량으로 성체 암컷 당 0.01 mg을 공급하였으며, 매일 배양수 전체를 환수하였다.

각 요각류의 수온에 따른 성체의 nauplius 생산력, 생존기간 및 nauplius의 성숙기간에 대한 실험은 모두 5종 (9 strain)을 이용하였으며, 염분 15 psu 하에서, 수온은 24, 28, 32 $^{\circ}\text{C}$ 로 나누어 실시하였다. 또한 각 요각류의 염분에 따른 성체의 nauplius 생산력, 생존기간 및 nauplius의 성숙기간에 대한 실험은 4종 (7 strain)을 이용하였으며, 수온 28 $^{\circ}\text{C}$ 하에서 염분은 10, 20, 30 psu로 나누어 실시하였다.

각 요각류의 대량배양

대량배양에 사용한 요각류는 총 5종으로 *S. tenellus* 경포 strain, *P. nana* 화진포 strain, *A. royi* 해남 strain, *T. triangularis* 화진포 strain, *Tigriopus* sp. 해운대 strain이 각각의 배양용기에 서 종별로 배양되었다. 500 mL 비이커 (배양수 400 mL)에 부화 후 24시간이 경과하지 않은 각 요각류의 nauplius 를 5개체/mL로 접종하여 수온 28 $^{\circ}\text{C}$, 염분 15 psu에서 21일 동안 배양하였으며 약하게 폭기하면서 각각 3반복으로 배양하였다. 먹이는 *Isochrysis galbana*와 *Tetraselmis suecica*를 원심 분리하여 건조 중량으로 요각류 한 개체 당 0.01 mg을 공급하였다. 배양수는 매일 30%를 환수하였고 3일마다 전체를 환수하였다. 요각류의 계수는 매일 배양수가 고루 섞이도록 잘 혼합한 후 배양수 1 mL를 취한 후 10% 포르말린으로 시료를 고정한다. 다음 각각 3회 실시하였다. 실험 종료 시 실험구의 요각류를 40 μm sieve를 이용하여 수확한 후 24시간 동안 건조기 (60 $^{\circ}\text{C}$)에서 건조한 다음 총 요각류의 건조중량을 측정하였다.

통계 분석

실험 결과는 One-way ANOVA-test를 실시하여 Duncan's multiple range test (Duncan, 1955)로 처리한 후 평균간의 유의성 ($P<0.05$)을 SPSS program (Ver. 10.0)으로 검정하였다.

결과

수온에 따른 성체의 nauplius 생산력, 생존기간 및 nauplius의 성숙기간

수온에 따른 각 요각류 성체 암컷의 총 nauplius 생산개체, 일일 nauplius 생산개체, 생존기간 및 부화한 nauplius의 성체까지의 발달기간을 보면 (Table 2), *S. tenellus*는 경포와 화진포 strain 모두 24 $^{\circ}\text{C}$ 에서 총 nauplius 생산개체가 23.7개체와 17.8개체로 28, 32 $^{\circ}\text{C}$ 보다 유의적으로 높게 나타났고 생존기간은 32 $^{\circ}\text{C}$ 에서 경포와 화진포 strain 각각 3.3, 4.2일로 24, 28 $^{\circ}\text{C}$ 실험구보다 짧았으며 ($P<0.05$), nauplius의 성숙기간은 32 $^{\circ}\text{C}$ 에서 경포와 화진포 strain 각각 9.7, 10.4일로 수온이 높을수록

Table 1. Sources of copepod species isolated from the various areas in Korea

Order	Species	Sampling areas	Habitats (Salinity, psu)	Sampling dates
Calanoida	<i>Sinocalanus tenellus</i>	Gangwon-do Kyeongpo	Lagoon (18.0)	8 Aug., 1999
		Gangwon-do Hwajinpo	Lagoon (18.3)	4 Apr., 1999
		Gangwon-do Hwajinpo	Lagoon (3.8)	4 Apr., 1999
Cyclopoida	<i>Paracyclops nana</i>	Gangwon-do Songji lake	Lagoon (18.3)	4 Apr., 1999
		Gangwon-do Younngang lake	Lagoon (2.0)	4 Apr., 1999
		Jeollanam-do Wando	Hatchery (20)	22 Oct., 1999
Harpacticoida	<i>Apocyclops royi</i>	Jeollanam-do Haenam	Hatchery (20)	22 Oct., 1999
		<i>Tachidius triangularis</i>	Gangwon-do Hwajinpo	Lagoon (3.8)
	<i>Tigriopus</i> sp.	Busan Haeundae	Beach (32)	27 Apr., 2000

Table 2. Productivity of nauplii and survival period of brood female copepods and maturation period of the newly hatched nauplii fed on the alga *Isochrysis galbana* at the different temperatures under 15 psu

Species	Strains	Temperatures (°C)	Total nauplii production (number/female)	Daily nauplii production (number/day)	Survival period of brood female (day)	Maturation period of nauplii (day)
<i>Sinocalanus tenellus</i>	Kyeongpo	24	23.7±1.86 ^a	2.6±0.40 ^a	10.8±1.17 ^a	14.6±0.25 ^a
		28	15.6±1.82 ^b	1.7±0.26 ^a	10.4±3.72 ^a	11.3±0.25 ^b
		32	12.4±1.43 ^b	5.5±0.91 ^b	3.3±2.67 ^b	9.7±0.18 ^c
	Hwajinpo	24	17.8±2.89 ^a	2.2±0.55	10.8±1.81 ^a	14.3±0.53 ^a
		28	11.9±1.35 ^b	1.8±0.33	8.6±1.31 ^a	11.1±0.44 ^b
		32	12.4±1.43 ^b	3.5±0.92	4.2±0.53 ^b	10.4±0.18 ^b
<i>Paracyclopsina nana</i>	Hwajinpo	24	135.4±9.60	9.5±1.01	14.7±0.79 ^a	11.7±0.22 ^a
		28	129.0±9.95	11.7±1.12	11.4±0.70 ^b	8.5±0.20 ^b
		32	146.4±12.86	17.2±0.88	8.5±0.57 ^c	7.7±0.14 ^c
	Songji lake	24	91.5±6.84	8.2±0.55	11.5±0.88 ^a	10.6±0.19 ^a
		28	76.8±17.31	7.3±1.21	10.3±1.01 ^{ab}	8.4±0.22 ^b
		32	66.3±9.17	8.5±0.89	8.2±0.87 ^b	7.8±0.11 ^c
	Youngnang Lake	24	85.1±18.78	8.1±1.92	11.7±1.44 ^a	12.0±0.17 ^a
		28	85.6±13.94	9.2±1.54	9.5±0.50 ^{ab}	8.8±0.28 ^b
		32	58.7±5.93	7.4±0.94	8.5±0.47 ^b	7.5±0.23 ^c
<i>Apocyclops royi</i>	Wando	24	150.1±12.61	7.5±0.63 ^a	20.0±0.00 ^a	11.6±0.30 ^a
		28	161.7±13.59	10.9±0.69 ^b	15.0±3.40 ^b	8.7±0.19 ^b
		32	125.7±16.15	9.8±1.26 ^{ab}	13.6±3.69 ^b	7.6±0.19 ^c
	Haenam	24	107.4±10.38 ^a	6.8±0.59 ^a	16.5±1.38 ^a	12.7±0.38 ^a
		28	130.8±10.79 ^a	10.5±0.96 ^b	12.6±0.64 ^b	8.1±0.19 ^b
		32	187.1±11.21 ^b	13.7±0.90 ^c	14.2±1.16 ^{ab}	7.2±0.24 ^c
<i>Tachidius triangularis</i>	Hwajinpo	24	26.0±2.81	1.7±0.38 ^a	17.1±1.19 ^a	8.9±0.30
		28	24.2±3.69	2.8±0.34 ^{ab}	9.0±0.91 ^b	7.9±0.19
		32	17.3±2.65	3.8±0.39 ^b	4.6±0.54 ^c	-
<i>Tigriopus sp.</i>	Haeundae	24	221.9±23.02	7.7±0.88 ^a	20.0±0.00	10.7±0.89 ^a
		28	278.3±13.77	9.5±0.54 ^{ab}	20.0±0.00	9.8±0.54 ^{ab}
		32	280.0±18.33	10.2±0.70 ^b	20.0±0.00	9.7±0.70 ^b

*Values (mean±s.e. of twelve replication) in the same column at each strain with species not sharing a common superscript are significantly different (P<0.05).

-.: Not developed.

빠르게 나타나는 경향을 보였다.

*P. nana*는 화진포, 송지호, 영랑호 strain 모두 수온에 따라서 성체 암컷의 총 nauplius 생산개체가 유의적인 차이를 보이지 않았으며 (P>0.05), 생존기간은 가장 낮은 수온인 24°C에서 가장 긴 것으로 나타났다. Nauplius의 성숙기간은 수온이 높을수록 짧아져 32°C에서 3 strain 모두 약 7.6일로 가장 짧게 나타났다 (P<0.05).

*A. royi*는 완도 strain의 경우 성체 암컷의 총 nauplius 생산개체에 있어서 수온에 따른 유의적인 차이를 보이지 않았으나 (P>0.05), 해남 strain은 32°C에서 187.1개체로 24, 28°C보다 높게 나타났다 (P<0.05). 생존기간은 두 strain 모두 24°C에서 길게 나타났지만 해남 strain의 경우 28°C와 32°C가 유의적인 차이를 보이지 않았다 (P>0.05). Nauplius의 성숙기간은 수온이 높을수록 빠른 경향을 보여 32°C에서 완도와 해남 strain 각각 7.6, 7.2일로 가장 짧게 나타났다 (P<0.05).

*T. triangularis*는 성체 암컷의 총 nauplius 생산개체가 수온이 감소함에 따라 증가하는 경향을 보였지만 유의적인 차이는

없었다 (P>0.05). 성체 암컷의 생존기간은 24°C에서 17.1일로 가장 길었으며 (P<0.05), 32°C에서는 nauplius가 성숙하지 못하고 모두 폐사하였다.

*Tigriopus sp.*는 성체 암컷의 총 nauplius 생산개체가 32°C에서 280 개체로 가장 높게 나타났으나 유의적인 차이는 보이지 않았다 (P>0.05). 성체 암컷의 생존기간은 모든 실험구에서 20일 나타났고, nauplius의 성숙기간은 32°C에서 9.7일로 24°C에서 보다 짧게 나타났다 (P<0.05).

염분에 따른 성체의 nauplius 생산력, 생존기간 및 nauplius의 성숙기간

염분에 따른 각 요각류 성체 암컷의 총 nauplius 생산개체, 일일 nauplius 생산개체, 생존기간 및 부화한 nauplius의 성체까지의 발달기간을 보면 (Table 3), *S. tenellus*는 경포 strain이 30 psu에서 성체 암컷의 총 nauplius 생산개체가 5.8개체로 10, 20 psu 각각 31.7, 24.9개체보다 유의적으로 낮게 나타났으며 (P<0.05), 생존기간은 염분에 따라 차이를 보이지 않았다 (P>0.05). Nauplius의 성체까지의 발달기간은 10, 20 psu에서

Table 3. Productivity of nauplii and survival period of brood female copepods, and maturation period of newly hatched nauplii fed on the alga *Isochrysis galbana* with the different salinities under 28 °C

Species	Strains	Salinity (psu)	Total nauplii production (number/female)	Daily nauplii production (number/day)	Survival period of brood female (days)	Maturation period of nauplii (days)
<i>Sinocalanus tenellus</i>	Kyeongpo	10	31.7±5.00 ^a	2.4±0.42 ^a	15.6±1.89	10.6±0.38
		20	24.9±4.51 ^a	1.8±0.28 ^a	14.4±1.07	11.0±0.41
		30	5.8±3.34 ^b	0.4±0.25 ^b	12.6±1.30	-
	Hwajinpo	10	152.2±11.13	9.4±0.51	16.5±1.06	9.3±0.22 ^a
		20	128.1±10.43	8.4±0.73	15.6±0.87	10.1±0.43 ^a
		30	118.6±10.88	9.2±0.82	13.4±1.38	14.3±0.29 ^b
<i>Paracyclopsina nana</i>	Songji lake	10	141.6±7.60 ^a	9.9±0.59 ^a	14.7±0.82	8.9±0.19 ^a
		20	126.9±12.63 ^a	8.8±0.66 ^a	14.5±1.00	10.3±0.52 ^a
		30	91.8±12.48 ^b	6.1±0.68 ^b	14.9±0.88	17.0±0.58 ^b
	Youngnang Lake	10	126.3±7.74 ^a	8.3±0.56 ^a	15.5±0.80	10.2±0.21 ^a
		20	127.5±11.48 ^a	8.4±0.59 ^a	15.5±0.80	11.0±0.21 ^b
		30	81.8±7.05 ^b	5.7±0.29 ^b	14.1±0.87	16.0±0.37 ^c
<i>Apocyclops royi</i>	Wando	10	132.4±20.32 ^a	10.3±1.16 ^a	12.9±1.29	6.8±0.31 ^a
		20	141.4±20.11 ^a	9.4±1.03 ^a	14.7±0.57	8.2±0.23 ^b
		30	56.4±5.85 ^b	4.4±0.27 ^b	12.8±0.89	10.5±0.41 ^c
	Haenam	10	170.4±18.71 ^a	9.1±0.88 ^a	18.7±0.76	7.1±0.23 ^a
		20	105.0±10.71 ^b	5.7±0.52 ^b	18.4±0.74	8.6±0.14 ^b
		30	106.2±14.66 ^b	5.3±0.73 ^b	20.0±0.00	9.9±0.37 ^c
<i>Tigriopus sp.</i>	Haeundae	10	347.4±33.42	11.7±1.07	20.0±0.00	9.0±0.43
		20	350.1±37.54	13.7±0.96	20.0±0.00	9.6±0.43
		30	277.0±41.38	10.6±1.50	20.0±0.00	10.1±0.42

*Values (mean±s.e. of twelve replication) in the same column at each strain with species not sharing a common superscript are significantly different (P<0.05).

-: Not developed.

각각 10.6, 11.0이였으며, 30 psu에서는 nauplius가 성숙하지 못하고 모두 폐사하였다.

P. nana 화진포 strain은 성체 암컷의 총 nauplius 생산개체에 있어 염분에 따른 차이를 보이지 않았으나 (P>0.05), 송지호와 영랑호 strain은 30 psu에서 각각 91.8 개체와 81.8 개체로 다른 염분구보다 낮게 나타났다 (P<0.05). 생존기간은 화진포 strain의 경우 염분이 증가함에 따라 생존기간이 짧아지는 경향을 보였지만 모든 strain이 유의적인 차이는 보이지 않았다 (P>0.05). Nauplius의 성숙기간은 염분이 높을수록 길어지는 경향을 보여 30 psu 실험구에서 화진포, 송지호 및 영랑호 각각 14.3, 17.0 및 16.0일로 가장 길게 나타났다(P<0.05).

*A. royi*는 완도 strain의 경우, 성체 암컷의 총 nauplius 생산개체가 10, 20 psu에서 각각 132.4, 141.4 개체로 30 psu의 56.4개체보다 유의적으로 높았으며 (P<0.05), 해남 strain의 경우, 10 psu에서 170.4개체로 가장 높은 생산력을 보였다 (P<0.05). 생존기간은 두 strain 모두 염분에 따른 차이를 보이지 않았고 (P>0.05), nauplius의 성숙기간은 염분이 높아짐에 따라 길어지는 것으로 나타났다 (P<0.05).

*Tigriopus sp.*는 성체 암컷의 총 nauplius 생산개체와 nauplius의 성숙기간이 염분에 따라서 유의적인 차이를 보이지 않았으며 성체 암컷의 생존기간은 모든 염분구가 20일로 나타났다 (P>0.05).

요각류의 대량 배양

해산 요각류의 대량 배양 실험에서 요각류의 최고밀도 (Fig. 1)를 보면, *Paracyclopsina nana*가 실험종료일인 21일째 118.2개체/mL로 가장 높게 나타났으며, 다음으로 *Tigriopus sp.*와 *Apocyclops royi*가 각각 16.7개체/mL, 17.3개체/mL의 밀도를 보였고, *Sinocalanus tenellus*는 6개체/mL로 가장 낮게 나타났다.

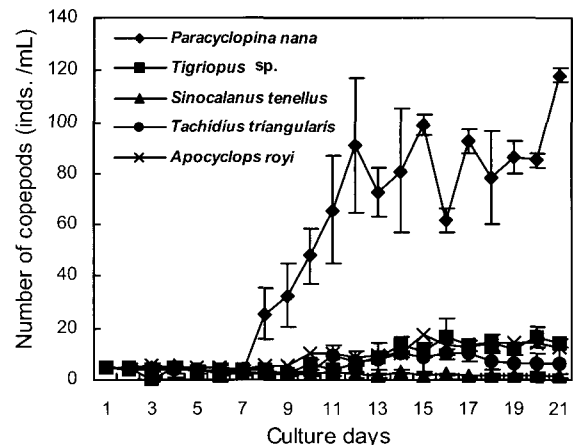


Fig. 1. Changes in population densities of four copepods at crowded culture condition.

배양 21일 후, 각 실험구의 총 요각류 건중을 측정된 결과 (Fig. 2)를 보면, *P. nana* 실험구가 26.6 mg으로 다른 실험구보다 높게 나타났으며 ($P < 0.05$), 다음으로 *Tigriopus* sp.가 13.8 mg으로 7.7 mg인 *A. royi*와 차이를 보이지 않았다 ($P > 0.05$). *S. tenellus*와 *T. triangularis*는 각각 3.8 mg과 2.0 mg으로 가장 적게 나타났다.

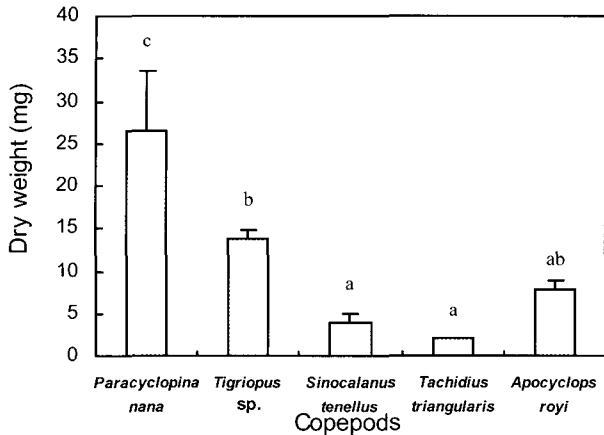


Fig. 2. Dry weight of the whole copepods of each experiment cultured at 500 mL beaker (work volume: 400 mL) during 21 days. The different superscripts are significantly difference ($P < 0.05$) by ANOVA and Duncan's multiple comparison.

고찰

본 실험에서 모든 종의 요각류 암컷 생존기간은 수온이 낮을수록 길어지는 경향을 보였다. Moore et al. (1996)은 높은 수온보다 낮은 수온에서 요각류의 생존율이 더 높게 나타난다고 보고하였으며, Hall and Burns (2001)는 *Boeckella hamata* 성체의 생존율은 높은 수온에서 해로운 결과를 가져오는 것으로 보고한 바 있다. 한편, 염분에 대한 요각류 암컷의 생존기간은 모든 실험구가 차이를 보이지 않았으며 ($P > 0.05$), 이는 본 실험에 사용한 종들이 대부분 염분변화가 심한 연안 및 호소 지역에 서식하면서 대체적으로 넓은 범위의 염분에 잘 적응된 종들이기 때문인 것으로 판단된다. 그러나 본 실험에서 *S. tenellus*의 nauplius는 30 psu에서 copepodid까지 발달하지 못하고 폐사하였는데, 탁월한 삼투 조절 능력을 지닌 *S. tenellus*가 5-30 psu의 모든 범위에서 성공적으로 발달했다는 Kimoto et al. (1986a)의 보고와 상이함을 보였다.

일반적으로 수온은 요각류의 발달에 영향을 미치는 가장 중요한 요소 중의 하나이며 (Kimoto et al., 1986a, b), 수온이 증가함에 따라 요각류의 발달속도는 빨라지는 경향을 보인다 (Kimoto et al., 1986a, b; Laabir et al., 1995; Uye, 1988; Uye and Sano, 1998; Halsband-Lenk et al., 2002). 본 실험에서도 수온이 증가함에 따라 모든 종의 요각류의 성숙기간이 짧아지는 경향을 보였고 *S. tenellus* 화진포 strain, *T. triangularis*와 *Tigriopus* sp.를 제외한 모든 종이 모든 수온구에 있어 유의적

인 차이를 보였다 ($P < 0.05$). 한편, 염분이 증가할수록 요각류의 성숙기간은 길어지는 경향을 보였으며 *Tigriopus* sp.를 제외한 모든 요각류가 염분에 대한 성숙기간의 차이를 보였다. 이것은 *Tigriopus* sp.가 다른 요각류에 비해 매우 광염성이라는 것을 알 수 있다. 또한 모든 염분구간에 대한 유의차는 *A. royi*와 *P. nana*의 영양호 strain에서만 나타나 ($P < 0.05$) 요각류의 발달에 미치는 영향이 수온보다 적은 것으로 판단된다. Nagaraj (1988, 1992)는 각각 *Eurytemora velox*와 *Eurytemora affinis*의 발달 기간이 수온과 염분에 의해 영향을 받았으며 수온이 발달에 더 영향을 미친다고 보고하였고, Kimoto et al. (1986a)은 *Sinocalanus tenellus*의 발달은 염분보다 수온에 더 큰 영향을 받는다고 보고한 바 있다.

수온은 요각류의 난 생산율에 영향을 미치는 가장 중요한 요인일 뿐 아니라 (Corkett and McLaren, 1970; Landry, 1975; Checkley, 1980; Kimoto et al., 1986a, b; Uye, 1988) 총 nauplius 생산개체와 포낭 수는 수온이 최적 수온보다 높거나 낮을 때 감소한다 (Miliou and Moraitou-Apostolopoulou, 1991). 그러나 본 실험에서는 *S. tenellus*와 *A. royi*의 해남 strain을 제외하고 모든 수온구에서 차이를 보이지 않았다 ($P > 0.05$). 이러한 결과는 본 실험에 사용된 *P. nana*, *A. royi*, *Tigriopus* sp.가 비교적 광온성임을 암시하지만 앞으로 더 넓은 실험수온구에서의 연구가 수행되어야 할 것으로 판단된다. 또한 Cheng et al. (2001)은 *A. royi*의 경우, 최적배양수온이 30°C의 고수온이라고 보고하였는데 본 실험에서 해남 strain의 경우 32°C에서 가장 높은 nauplius 생산개체를 보여 Cheng et al. (2001)의 실험과 일치하였지만 완도 strain은 수온에 따른 차이를 보이지 않았기 때문에 비록 같은 종일지라도 strain에 따라 최적 수온구간에 차이가 있는 것으로 판단된다.

한편, Lu et al. (2001)은 *S. tenellus*가 15°C, 비중 1.010 (약 14 psu)에서 최대 성장을 보인다고 보고하였다. 또한 Kimoto et al. (1986a, b)은 *S. tenellus*가 20°C에서 최대 난 생산율을 보였고 15 psu에서 일일 성장률이 가장 높았다고 보고하였다. 본 실험에서도 염분 10 psu에서 가장 높은 nauplius 생산개체를 보였으며 염분이 15 psu로 고정된 수온별 실험에서는 가장 낮은 수온인 24°C에서 가장 높은 nauplius 생산을 보였다. 그러나 본 실험에서 *S. tenellus*의 총 nauplius 생산개체는, 염분 10 psu, 수온 20.6-31.5°C의 범위에서 암컷 당 일일 평균 60개의 난을 생산하였다는 Kimoto et al. (1986b)의 결과와 비교하였을 때 매우 적은 생산량이다. 이러한 이유는 난과 난에서 부화된 nauplius가 암컷에 의해 공식되었기 때문인 것으로 판단된다. Hada (1991)는 연안의 잠식성 요각류에 의한 공식은 nauplius의 폐사율에 영향을 미칠 수 있다고 보고하였으며 Hada and Uye (1991)는 *S. tenellus*의 배양에서 nauplius는 배양 기간동안 공식에 대한 위험에 크게 노출되어있으며 이러한 공식은 이 종의 개체군 크기를 결정하는 근본적인 요인으로서 작용하는 것으로 보고한 바 있다. 일반적으로 요각류는 유충류 (tintinnid), 윤충류 (rotifer), 갑각류, 유형류 (appendicularian) 및 어류 유생

등의 여러 종류의 동물성 먹이를 섭취하는 것으로 알려져 있으며, 특히, 이들 요각류 중 해양 부유성 요각류 (*Rhincalms nasutus*, *Labidocera trispinosa*, *Acartia clausi*, *Oithona nana*, *Acartia tonsa*, *Tortania discaudatus*, *Centropages furcatus*, *Calanus pacificus*, *Oithona davisae* and *Temora longicornis*)의 공식에 대한 연구가 많이 보고되고 있다(Hada and Uye, 1991).

대부분의 요각류의 배양 시 성체 암컷의 밀집은 번식력을 감소시키는 원인이 된다 (Davis and Alatalo, 1992; Ohman and Runge, 1994; Laabir et al., 1995; Miralto et al., 1996). 본 실험의 개체배양에서 총 nauplius 생산개체가 가장 높았던 종은 *Tigriopus* sp.였고 다음으로 *A. royi*의 해남 strain으로 나타났다. 그러나 각 종별 대량배양에서 이들 두 종의 최고밀도는 *P. nana*보다 매우 낮은 개체밀도를 유지하는 경향을 보였다. 이러한 원인은 밀집의 영향으로 공식에 의한 nauplius의 폐사와 암컷 당 포낭 생산개체가 감소하거나 포낭을 가지는 시간적 간격이 늘어나는 현상 때문인 것으로 판단된다 (Miralto et al., 1996). 특히, Kahan et al. (1988)은 *Tigriopus japonicus*의 배양에 있어서 높은 개체밀도가 난낭 내의 난 발달 저해로 난의 부화시간이 길어지는 현상이 있으며, 이러한 밀집의 영향이 요각류 대량배양을 하는데 중요한 증식저해요인으로 작용할 수 있다고 보고하였다. 이러한 관점에서 볼 때, *P. nana*는 밀집에 대한 영향을 다른 요각류보다 적게 받는 것으로 판단된다.

대량배양에서 harpacticoid 요각류인 *Tigriopus* sp.의 밀도가 낮게 나타난 또 다른 원인으로 이들의 번식을 위한 공간 부족을 들 수 있다. Uhlig (1981)은 저서성 harpacticoid 요각류인 *Tisbe* sp.의 대량배양은 배양부피보다 오히려 이용 가능한 표면적에 달려있다고 보고하였다. Sun and Fleeger (1995)는 *Tisbe* sp.의 대량배양 시, 이들의 성장을 위한 공간을 확보해 주기위해 석회암 자갈을 배양수조 내에 설치해 주었고, Støttrup and Norsker (1997)는 *Tisbe holothuriae*의 대량배양에서 배양수조 내에 플라스틱 공을 채워서 배양밀도를 높인 바 있다. 따라서 본 실험에 이용된 *Tigriopus* sp.의 대량 배양 시 이들의 서식 공간을 높일 수 있는 부착기질을 넣어 주면 다소 높은 밀도가 유지될 것으로 판단된다.

지금까지 요각류의 대량배양은 harpacticoid 계통에 대하여 주로 이루어지고 있다 (Kahan et al., 1982; Uhlig, 1984; Nanton and Castell, 1998). 그러나, harpacticoid 계통의 요각류는 저서성으로 바닥 및 벽면에 부착 또는 포복하는 습성으로 인해 해산 자치어가 쉽게 먹이로서 이용하기 어려운 단점이 있다 (Kitajima, 1973; Park et al., 1998). 또한 calanoid 요각류는 부유성이고 배양환경에서 균일하게 분포하여 해산 자치어의 먹이로 적합하나 매우 낮은 밀도로 배양되어 집약적으로 대량 배양되는 상업적인 양식에 있어 먹이생물로 이용하기에 적절하지 않다 (Støttrup and Norsker, 1997). 그러나 본 실험에서 대량 배양 시 높은 개체밀도를 보인 cyclopoid 요각류인 *P. nana*는 부유성이며 배양 수조내에서 고루 분포하는 습성을

가지는 것으로 나타났다. 또한 nauplius의 경우, 그 크기가 84-160 μm 으로 다양하며 특히 입이 작은 어류자어에 공급할 수 있으며, 성체도 507-624 μm 의 크기로 *Artemia nauplius*와 비슷하기 때문에 이를 대체할 가능성이 있는 새로운 먹이생물인 것으로 판단된다.

따라서 본 실험에서 이용한 요각류 중, 종묘생산 시 먹이생물로 사용하기 위한 대량배양에 적합한 종으로 대량 배양 시 최고밀도와 생산량이 가장 높은 *P. nana* 화진포 strain이 적절할 것으로 판단되며 앞으로 이 종의 대량배양을 위한 더 많은 연구가 세부적으로 이루어져야 할 것으로 판단된다.

사 사

본 연구는 해양수산부에서 시행한 2000년도 수산특정연구 개발사업과제에 의해 수행된 연구결과이며 연구비를 지원해주신 해양수산부에 심심한 사의를 표합니다.

참 고 문 헌

- Checkley, D.M., Jr. 1980. The egg production of a marine planktonic copepod in relation to its food supply: laboratory studies. *Limnol. Oceanogr.*, 25, 430-446.
- Cheng, S.H., H.C. Chen, S.L. Chang, T.I. Chen and I.C. Liao. 2001. Study on the optimal density of mass culture in copepod *Apocyclops royi*. The 6th Asian Fisheries Forum Book of Abstracts pp. 58.
- Corkett, C.J. and I.A. McLaren. 1970. Relationships between development rate of eggs and older stages of copepods. *J. Mar. Biol. Ass. U.K.*, 50, 161-168.
- Davis, C.S. and P. Alatalo. 1992. Effects of constant and intermittent food supply on life-history parameters in a marine copepod. *Limnol. Oceanogr.*, 37, 1618-1639.
- Duncan, D.B. 1955. Multiple-range and multiple F tests. *Biometrics*, 11, 1-42.
- Gapasin, R.S.J. and M.N. Duray. 2001. Effects of DHA-enriched live food on growth, survival and incidence of opercular deformities in milkfish (*Chanos chanos*). *Aquaculture*, 193, 49-63.
- Hada, A. 1991. Effect of cannibalism on the laboratory cultured population of the brackish-water copepod *Sinocalanus tenellus*. *Bull. Plankton Soc. Japan*, 38, 43-52.
- Hada, A. and S. Uye. 1991. Cannibalistic feeding behavior of the brackish-water copepod *Sinocalanus tenellus*. *J. Plankton Res.*, 13, 155-166.
- Hall, C.J. and C.W. Burns. 2001. Effects of salinity and temperature on survival and reproduction of *Boeckella hamata* (Copepoda: Calanoida) from a periodically brackish lake. *J. Plankton Res.*, 23, 97-103.

- Halsband-Lenk, C., H. Hirche and F. Carlotti. 2002. Temperature impact on reproduction and development of congener copepod populations. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 271, 121-153.
- Hirano, R. 1966. Plankton culture and aquatic animals seedling production. *Inform. Bull. Plankton Soc. Japan*, 13, 72-75.
- Iwasaki, H. 1973. Problem in the cultivation and mass culture of marine copepods. *Bull. Plankton Soc. Japan*, 20, 72-73.
- Kahan, D., G. Uhlig, D. Schwenzer and L. Horowitz. 1982. A simple method for cultivating harpacticoid copepods and offering them to fish larvae. *Aquaculture*, 26, 303-310.
- Kahan, D., Y. Berman and T. Bar-El. 1988. Maternal inhibition of hatching at high population densities in *Tigriopus japonicus* (Copepoda, Crustacea). *Biol. Bull.*, 174, 139-144.
- Kimoto, K., S. Uye and T. Onbé. 1986a. Growth characteristics of a brackish-water calanoid copepod *Sinocalanus tenellus* in relation to temperature and salinity. *Bull. Plankton Soc. Japan*, 33, 43-57.
- Kimoto, K., S. Uye and T. Onbé. 1986b. Egg production of a brackish-water calanoid copepod *Sinocalanus tenellus* in relation to food abundance and temperature. *Bull. Plankton Soc. Japan*, 33, 133-145.
- Kitajima, C. 1973. Experimental trial on mass culture of copepods. *Bull. Plankton Soc. Japan*, 20, 54-60.
- 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. 1975. The relationship between temperature and the development of life stages of the marine copepod *Acartia clarsi* Giesbr. *Limnol. Oceanogr.*, 20, 854-858.
- Lipman, E.E., K.R. Kao and R.P. Phelps. 2001. Production of the copepod *Oithona* sp. under hatchery conditions. *Aquaculture 2001: Book of Abstracts*, pp. 379.
- Lu, K., Y. Lu, X. Lin, Z. Zheng and G. Yao. 2001. Effects of the experimental factors on filtering and grazing rates of *Sinocalanus tenellus*. *Mar. Sci./Haiyang Kexue*, 25, 44-47.
- Miliou, H. and M. Moraitou-Apostolopoulou. 1991. Combined effects of temperature and salinity on the population dynamics of *Tisbe holothuriae* Humes (Copepoda: Harpacticoida). *Arch. Hydrobiol.*, 121, 431-448.
- Miralto, A., A. Ianora, S.A. Poulet, G. Romano and M. Laabir. 1996. Is fecundity modified by crowding in the copepod *Centropages typicus*? *J. Plankton Res.*, 18, 1033-1040.
- Moore, M.V., C.L. Folt and R.S. Stemberger. 1996. Consequences of elevated temperatures for zooplankton assemblages in temperate lakes. *Arch. Hydrobiol.*, 135, 289-319.
- Nagaraj, M. 1988. Combined effects of temperature and salinity on the complete development of *Eurytemora velox* (Crustacea: Calanoidea). *Mar. Biol.*, 99, 353-358.
- Nagaraj, M. 1992. Combined effects of temperature and salinity on the development of the copepod *Eurytemora affinis*. *Aquaculture*, 103, 65-71.
- Nanton, D.A. and J.D. Castell. 1998. The effects of dietary fatty acids on the fatty acid composition of the harpacticoid copepod, *Tisbe* sp. for use as a live food for marine fish larvae. *Aquaculture*, 175, 167-181.
- Ohno, A. and Y. Okamura. 1988. Propagation of the calanoid copepod, *Acartia tsuensis*, in outdoor tanks. *Aquaculture*, 70, 39-51.
- Ohno, A., T. Takahashi and Y. Taki. 1990. Dynamics of exploited populations of the calanoid copepod, *Acartia tsuensis*. *Aquaculture*, 84, 27-39.
- Ohman, M.D. and J.A. Runge. 1994. Sustained fecundity when population resources are in short supply: Omnivory by *Calanus finmarchicus* in the Gulf of St. Lawrence. *Limnol. Oceanogr.*, 39, 21-36.
- Park, H.G., S.B. Hur and C.W. Kim. 1998. Culturing method and dietary value of benthic copepod, *Tigriopus japonicus*. *J. Aquacult.*, 11(2), 261-269. (in Korean)
- Payne, M.F., and R.J. Rippingale. 2001. Intensive cultivation of the calanoid copepod *Gladioferens imparipes*. *Aquaculture*, 201, 329-342.
- Schipp, G.R., J.M.P. Bosmans and A.J. Marshall. 1999. A method for hatchery culture of tropical calanoid copepod, *Acartia* spp.. *Aquaculture*, 174, 81-88.
- Støttrup, J.G., K. Richardson, E. Kirkegaard and N.J. Pihl. 1986. The cultivation of *Acartia tonsa* Dana for use as a live food source for marine fish larvae. *Aquaculture*, 52, 87-96.
- Støttrup, J.G. and N.H. Norsker. 1997. Production and use of copepods in marine fish larviculture. *Aquaculture*, 155, 231-247.
- Sun, B. and J.W. Fleeger. 1995. Sustained mass culture of *Amphiascoides atopus* a marine harpacticoid copepod in a recirculating system. *Aquaculture*, 136, 313-321.
- Uhlig, G. 1981. Microfaunal food organisms for mari-

culture. European Mariculture Society, Special Publication, 6, 93-115.

Uye, S. 1988. Temperature-dependent development and growth of *Calanus sinicus* (Copepoda: Calanoida) in the laboratory. *Hydrobiologia*, 167/168, 285-293.

Uye, S. and K. Sano. 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.

2004년 9월 14일 접수

2005년 2월 12일 수리