

수온, 염분 및 먹이에 따른 기수산 cyclopoid 요각류, *Apocyclops royi*의 생산력

이균우*, 권오남¹, 박흠기¹

한국해양연구원 해양생물자원연구본부, ¹강릉대학교 해양생명공학부

Effects of Temperature, Salinity and Diet on the Productivity of the Cyclopoid Copepod, *Apocyclops royi*

Kyun-Woo Lee*, O-Nam Kwon¹ and Heum-Gi Park¹

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

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

The productivity of cyclopoid copepod, *Apocyclops royi* fed by various diets (*Isochrysis galbana*, *Tetraselmis suecica*, *Phaeodactylum tricornutum*, concentrated freshwater *Chlorella* and baker's yeast) was investigated at the different temperatures (16-36°C) with different salinities (5-34 ppt). *A. royi* was cultured in 6 ml vessels (12 wells culture plate). Total production (188 inds.) and daily production (13.4 inds.) of nauplii by *A. royi* female at 32°C were significantly higher than those of nauplii at the different temperatures ($P<0.05$). Development time from nauplii to copepodite and from nauplii to adult tended to increase with increasing water temperature up to 32. And total production (169 inds.) and daily production (9 inds.) of nauplii by *A. royi* female at 10 ppt were significantly higher than those of nauplii at the different salinities ($P<0.05$). The fastest development time from nauplii to copepodite and from nauplii to adult was observed at 10 ppt and 15 ppt, respectively ($P<0.05$). The highest total production of *A. royi* nauplii and fastest development time from nauplii to adult were obtained in females fed *Isochrysis galbana* ($P<0.05$). These results may indicate that the optimum culture temperature and salinity for *A. royi* are 32°C and 10 ppt, respectively, and *Isochrysis galbana* is one of the suitable diets for this copepod.

Keywords: Copepod, Cyclopoid, *Apocyclops royi*, Culture, Live food organism

서 론

해산 요각류는 해양 먹이사슬에서 식물 플랑크톤과 상위의 생물을 연결시켜주는 역할을 하기 때문에(Klein et al., 1990) 자연 생태계의 자치어 및 갑각류의 먹이원으로 매우 중요하다(Sun and Fleeger, 1995; Pinto et al., 2001). 이러한 해산 요각류는 다양한 크기를 가지고 있을 뿐만 아니라(Gapasin and Duray, 2001) 해산 자어의 영양적 요구, 특히 지방산 요구의 측면에서 이를 만족시킬 수 있는 높은 영양 가치를 지니고 있어 해산 자어를 위한 최상의 먹이로 알려져 왔다(Watanabe et al., 1983; Shansudin et al., 1997; Toledo et al., 1999). 그러나 해산어 중요생산 시 먹이생물로서 요각류의 사용은 자연에서 채집하는 형태로 이루어져 왔으며 이러한 채집은 중요생산의 불안정성을 초래하기 때문에 요각류의 안정적인 양적확보를 위한 인공적인 대량배양기술개발이 필요하다.

주로 요각류의 대량배양은 고밀도 배양조건에 견딜 수 있고, 배양밀도가 비교적 높은 harpacticoid에 대하여 이루어지고 있다(Kahan et al., 1982; Uhlig, 1984; Nanton and Castell, 1999). 그러나, harpacticoid 요각류는 저서성으로 바닥 및 벽면에 부착 또는 포복하는 습성으로 인해 해산 자치어가 쉽게 먹이로써 이용하기 어려운 점이 있다(Kitajima, 1973; Park et al., 1998). 이에 반하여 대부분의 calanoid와 일부 cyclopoid 요각류는 대부분 부유성으로서 해산 자치어가 비교적 쉽게 먹이로서 섭취할 수 있기 때문에 대량 배양기술에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다(Støttrup et al., 1986; Ohno and Okamura, 1988; Ohno et al., 1990; Schipp et al., 1999; Payne and Rippingale, 2000; Payne and Rippingale, 2001; Cheng et al., 2001; Lipman et al., 2001). 이들의 연구 중 cyclopoid 요각류인 *Apocyclops* 속은 대량배양의 잠재성을 가지고 있으며(Jung et al., 1999), 특히 *Apocyclops royi*와 *A. borneoensis*는 각각 grouper 및 silery black seabream 자어 시기의 *Artemia nauplius*를 대체하는 먹이생물로 가치가 높은 것으로 보고 되고있다(Su et al., 1997; Cheng

*Corresponding author: kyunu@kordi.re.kr

et al., 2001; Støttrup and McEvoy, 2003). 그러나 이들 종의 대량배양을 위한 구체적인 최적 배양 환경에 관한 자료는 미비한 실정이다.

따라서 본 연구는 우리나라에서 순수 분리한 cyclopoid, *A. royi*의 대량 배양을 위한 기초 자료를 제공하기 위해 이들의 최적 성장 조건인 수온, 염분 및 먹이를 조사하였다.

재료 및 방법

A. royi의 순수 분리

실험에 사용된 *A. royi*는 전라남도 해남 넙치 종묘시험장에서 80 µm의 식물플랑크톤 net와 500 µm의 동물플랑크톤 net를 이용하여 채집하였다. 채집한 *A. royi*는 실험실로 옮긴 후 포란한 암컷 1 마리를 분리하여 배양하였으며 강릉대학교 생물학 실험실에서 동정되었다. 종의 보관을 위해 먹이로 *Isochrysis galbana*와 *Tetraselmis suecica*를 혼합하여 공급하였으며 수온 24°C, 염분 15 ppt로 유지되는 배양기에서 배양·유지하였다.

A. royi의 수온과 염분

수온에 따른 성체의 nauplius 생산력, 생존기간 및 nauplius의 성숙기간은 수온 16, 20, 24, 28, 32, 36°C로 설정하였고 염분 15 ppt로 고정하였다. 또한 염분에 따른 성체의 nauplius 생산력, 생존기간 및 nauplius의 성숙기간은 염분 5, 10, 15, 20, 25 ppt 및 일반해수(34 ppt)로 설정하였고 수온은 28°C로 고정하였다. 이때 실험 시 조도는 1,000 lx로 24시간 연속 조명하였다.

실험은 12 wells culture plate을 이용하여 각 hole (배양수 5 ml)에 포란후 24시간이 지나지 않은 암컷 1 마리씩 총 12 마리씩을 수용하여 암컷의 수명과 nauplius 생산력을 조사하였다. Nauplius 계수는 24시간 후 배양수를 전량 환수하면서 생산된 nauplius를 계수하였으며 계수한 nauplius는 hole에서 제거하였다. 생산력은 요각류 암컷이 폐사할 때까지 생산한 nauplius의 총합으로 계산되었다. 한편 생산된 nauplius의 성숙기간을 조사하기 위해 부화 후 24시간이 지나지 않은 nauplius 1~2기 10 마리씩을 12 well culture plate (배양수 5 ml)에 수용하여 광학현미경 하에서 nauplius 1~2기에서 copepodid 1기로의 변태까지 걸린 기간과 최초 포란 시까지 걸린 기간을 기록하였다. 암컷 1 마리당 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 *I. galbana*를 원심분리(3,500 rpm, 15분)한 후 냉장 보관하면서 1일 1회 3×10^5 cells/female을 공급하였다.

A. royi의 먹이

실험에 사용된 먹이는 *I. galbana*, *T. suecica*, *Phaeodactylum tricornutum* 담수산 농축 *Chlorella* (주식회사, 대상) 및 빵 효모였다. *I. galbana*, *T. suecica*, *P. tricornutum*은 f/2 배지(Guilard and

Ryther, 1962)에서 성장시킨 후 각각 원심분리(3,500 rpm, 15분)하여 농축한 후 냉장 보관하면서 먹이로 공급하였다. 실험과정은 수온, 염분 실험과 동일한 방법으로 실시하였으며 수온과 염분은 각각 28°C, 15 ppt로 고정하였다. 먹이 공급량은 1일 1회 각 먹이의 건조 중량으로 7.3 µg을 공급하였다. 실험은 암컷이 생산한 총 nauplius 수와 일일 nauplius 수 및 생존기간, nauplius 1~2기에서 copepodid 1기로의 변태까지 걸린 기간과 최초 포란 시까지 걸린 기간은 수온, 염분 실험과 동일하게 측정하였다.

통계 분석

실험 결과는 one-way ANOVA-test를 실시하여 Duncan's multiple range test (Duncan, 1955)로 처리하여 평균 간의 차이에 대한 유의성($P<0.05$)을 SPSS program (Ver. 10.0)으로 검정하였다.

결 과

*Apocyclops royi*의 최적 수온과 염분

수온에 따른 성체의 nauplius 생산력, 생존기간 및 nauplius의 발달기간

A. royi 성체 암컷 한 마리당 총 nauplius 생산력은 수온 32°C에서 188 개체로 가장 높게 나타났고 28°C가 132 개체로 두 번째로 높게 나타났으며 수온이 감소함에 따라 생산력도 감소하는 것으로 나타났다. 그러나 36°C에서는 62 개체로 오히려 감소하여 20°C의 92 개체보다 낮게 나타났다($P<0.05$). 또한 성체 암컷 당 일일 nauplius 생산수도 총 생산수와 같은 경향을 보여 32°C에서 13.4 개체로 가장 높게 나타났고 수온이 낮을수록 감소하는 경향을 보였으나 36°C에서는 5.9개체로 다른 실험수온에 비해 낮게 나타났다($P<0.05$, Fig. 1).

*A. royi*의 부화 후 nauplius 1~2기에서 copepodid 1기까지의 발달기간은 32°C와 28°C 각각 3.5, 3.6일로 차이를 보이지 않

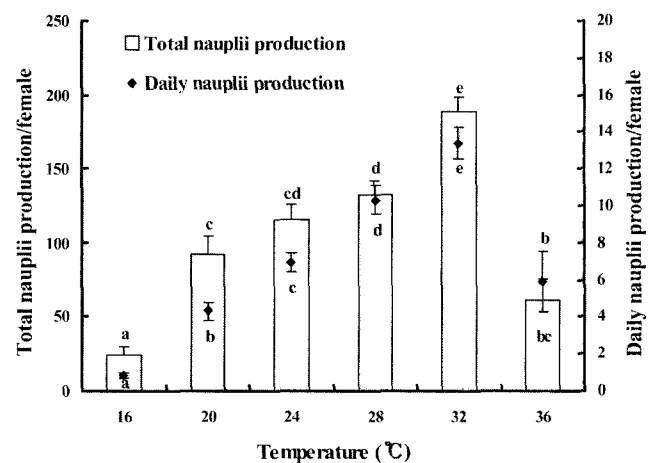


Fig. 1. Effect of temperature on the daily production and total production of nauplii of *Apocyclops royi* at 15 ppt. Vertical bars represent standard errors.

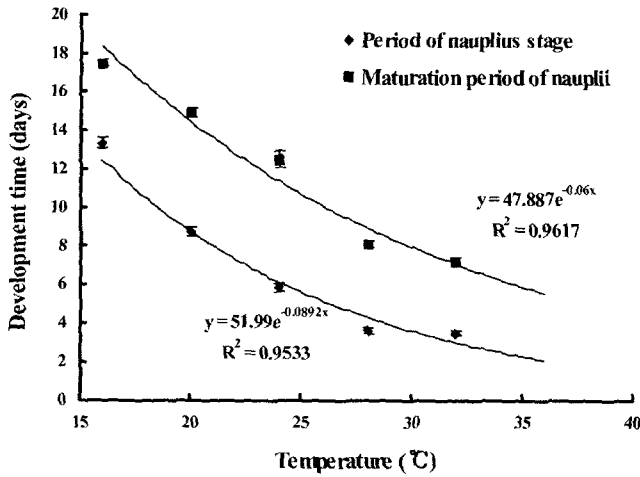


Fig. 2. Relationship between temperature and development time from nauplii to copepodite and from nauplii to adult of *Apocyclops royi* at 15 ppt. Vertical bars represent standard error.

왔고($P>0.05$), 24, 20, 16°C는 수온이 낮을수록 길게 나타났다($P<0.05$). 그러나 36°C에서는 copepodid 1기까지 발달하지 못하고 모두 폐사하였다. Nauplius 1~2기에서 최초 포란할 때까지 발달 기간은 32°C가 7.2일로 가장 빠른 발달을 보였으며 16°C에서 17.5일로 가장 길게 나타나 수온이 감소할수록 발달 기간이 느린 경향을 보였다($P<0.05$, Fig. 2).

A. royi 암컷은 16°C에서 30일로 가장 긴 수명을 보였고 36°C에서 11일로 가장 빠른 폐사를 보여 수온이 낮을수록 길게 나타났으나($P<0.05$) 28°C와 32°C는 유의적인 차이를 보이지 않았다($P>0.05$, Fig. 3).

염분에 따른 성체의 nauplius 생산력, 생존기간 및 nauplius의 성숙기간

A. royi 성체 암컷 한 마리당 총 nauplius 생산력은 염분 10 ppt에서 169 개체로 가장 높게 나타났고($P<0.05$), 다음으로 5 ppt가 122 개체로 나타났으며 15~34 ppt는 서로 유의적인 차이

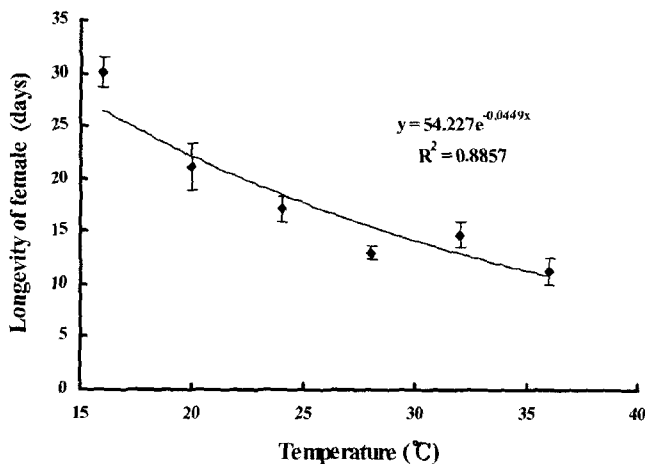


Fig. 3. Relationship between temperature and longevity of *Apocyclops royi* female at 15 ppt. Vertical bars represent standard error.

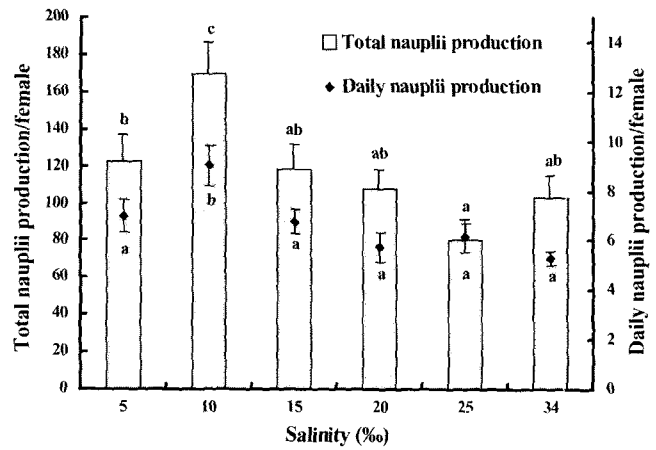


Fig. 4. Effect of salinity on the daily production and total production of nauplii of *Apocyclops royi* at 28. Vertical bars represent standard error.

를 보이지 않았다($P>0.05$). 성체 암컷당 일일 평균 nauplius 생산수는 10 ppt가 9 개체로 가장 높게 나타났고($P<0.05$) 나머지 염분 실험구는 차이를 보이지 않았다($P>0.05$, Fig. 4).

*A. royi*의 부화 후 nauplius 1~2기에서 copepodid 1기까지의 발달기간은 10 ppt에서 2.8일로 가장 짧게 나타났으나 15 ppt와는 차이를 보이지 않았고($P>0.05$) 25 ppt와 34 ppt에서 약 4일로 다른 실험구에 비해 길게 나타났다($P<0.05$). Nauplius 1~2기에서 최초 포란할 때까지 발달 기간은 10 ppt와 15 ppt가 각각 7.1일, 7.7일로 빠른 발달을 보였으며 5 ppt를 제외하고 염분이 높을수록 발달기간이 길어지는 경향을 보여 25 ppt와 34 ppt에서 각각 9.1일, 9.8일로 가장 길게 나타났다($P<0.05$, Fig. 5).

A. royi 암컷의 수명은 25 ppt에서 13.5일로 다른 실험구보다 짧았고($P<0.05$) 나머지 실험구에서는 유의적인 차이는 보이지 않았다($P>0.05$, Fig. 6).

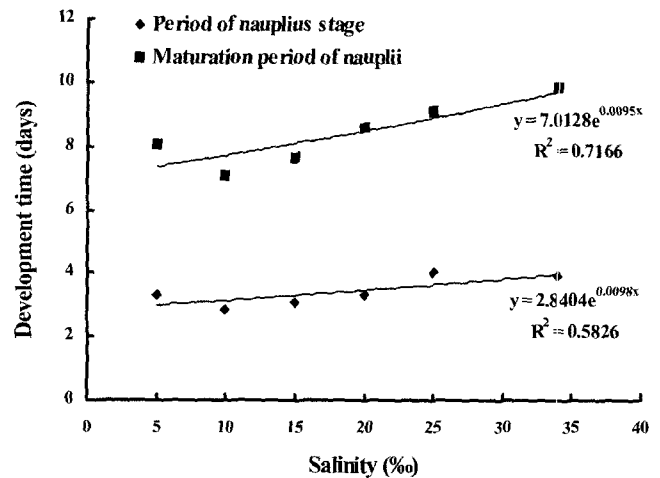


Fig. 5. Relationship between salinity and development time from nauplii to copepodite and from nauplii to adult of *Apocyclops royi* at 28. Vertical bars represent standard error.

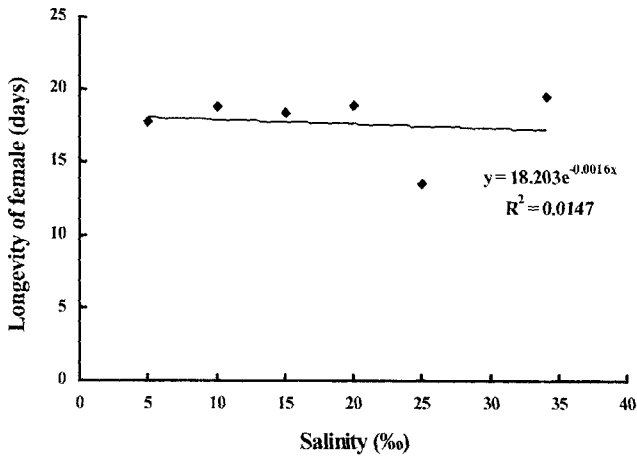


Fig. 6. Relationship between salinity and longevity of *Apocyclops royi* female at 28. Vertical bars represent standard error.

A. royi의 최적 먹이

A. royi 성체 암컷 한 마리당 총 nauplius 생산력은 *I. galbana*와 *T. suecica* 공급구가 각각 142, 127 개체로 가장 높게 나타났고, 다음으로 *P. tricorutum* 공급구가 103 개체로 나타났다. 담수산 농축 *Chlorella* 공급구는 23 개체로 가장 낮은 생산력을 보였다($P < 0.05$). 성체 암컷당 일일 평균 nauplius 생산수는 *I. galbana* 공급구가 8.2 개체로 가장 높게 나타난 반면 담수산 농축 *Chlorella* 공급구는 1.7 개체로 가장 낮은 생산력을 보였다($P < 0.05$, Fig. 7).

*A. royi*의 부화 후 nauplius 1~2기에서 copepodid 1기까지의 발달기간은 *I. galbana*, *T. suecica*, *P. tricorutum* 공급구가 각각 3.4, 3.6, 3.7일로 담수산 농축 *Chlorella*와 빵 효모 공급구보다 빠른 발달을 보였으며 빵 효모 공급구는 5.2일로 가장 느린 발달을 보였다($P < 0.05$). Nauplius 1~2기에서 최초 포란할 때

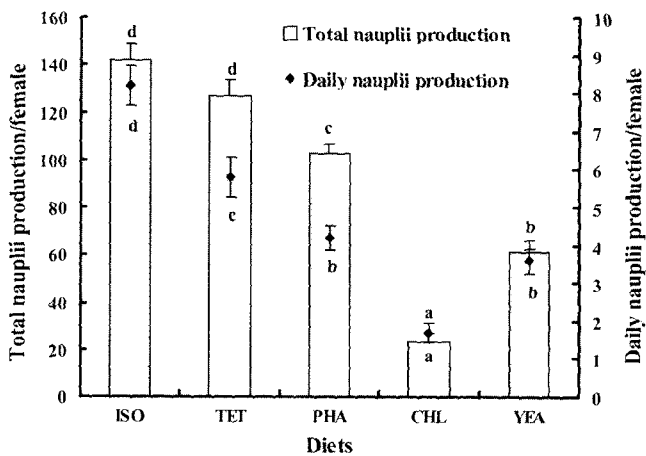


Fig. 7. Effect of diets on the daily production and total production of nauplii by *Apocyclops royi* at 28, 15 ppt (ISO, *Isochrysis galbana*; TET, *Tetraselmis suecica*; PHA, *Phaeodactylum tricorutum*; CHL, Concentrated freshwater *Chlorella*; YEA, Baker's yeast). Vertical bars represent standard error.

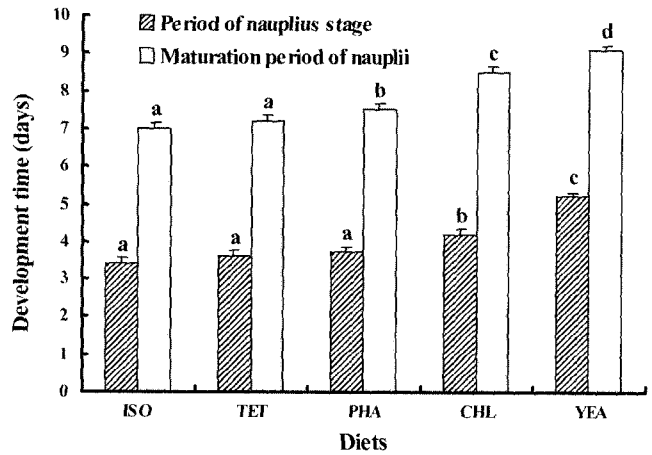


Fig. 8. Effect of various diets on the development time from nauplius to copepodite and from nauplius to adult of *Apocyclops royi* at 28, 15 ppt (ISO, *Isochrysis galbana*; TET, *Tetraselmis suecica*; PHA, *Phaeodactylum tricorutum*; CHL, Concentrated freshwater *Chlorella*; YEA, Baker's yeast). Vertical bars represent standard error.

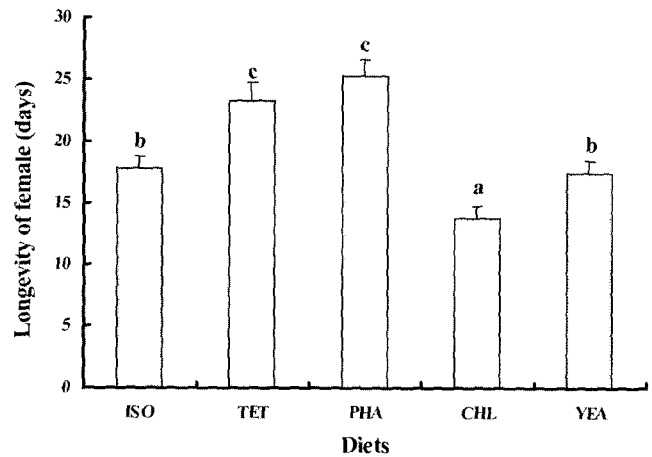


Fig. 9. Effect of various diets on longevity of *Apocyclops royi* female at 28, 15 ppt (ISO, *Isochrysis galbana*; TET, *Tetraselmis suecica*; PHA, *Phaeodactylum tricorutum*; CHL, Concentrated freshwater *Chlorella*; YEA, Baker's yeast). Vertical bars represent standard error.

까지 발달 기간은 *I. galbana*와 *T. suecica* 공급구가 각각 7.0, 7.2일로 다른 실험구에 비해 빠르게 나타났고 빵 효모 공급구는 9.1일로 가장 길게 나타났었다($P < 0.05$, Fig. 8).

A. royi 암컷의 수명은 *T. suecica*와 *P. tricorutum* 공급구가 각각 23일과 25일로 긴 수명을 보인 반면 담수산 농축 *Chlorella* 공급구는 14일로 가장 빠른 폐사를 보였다($P < 0.05$, Fig. 9).

관 의

일반적으로 수온은 요각류의 대사율과 난 생산율에 영향을 미치는 가장 중요한 요인이며(Corkett and McLaren, 1970; Landry, 1975; Checkley, 1980; Kimoto et al., 1986a; Kimoto et al., 1986b; Uye, 1988), 차선(次善)의 온도에서 소비되는 더

많은 유지에너지는 번식에 사용될 수 있는 에너지를 줄어든다(Williams and Jones, 1999). 또한 Miliou and Moraitou-Apostolopoulou (1991)는 *Tisbe holothuriae*에 의해 생산된 총 nauplius 생산 수와 포낭 수는 수온이 최적 수온보다 높거나 낮을 때 감소한다고 보고하였다. 본 연구에서 *A. royi* 성체 암컷의 총 nauplius 생산력과 성체 암컷 당 일일 nauplius 생산수가 32°C에서 가장 높은 결과를 보였고 32°C보다 높은 36°C나 그 이하의 수온에서는 수온이 감소할수록 낮아지는 경향을 보였다. 이러한 결과는 *A. royi*의 최적배양수온이 30°C의 고수온이라고 보고한 Cheng et al. (2001)의 실험과 유사함을 보였다. 따라서 *A. royi* 성체 암컷의 nauplius 최적 생산 수온은 32°C로 판단되며, 최적 수온인 32°C 보다 높거나 낮은 범위에서는 생체의 유지에 요구되는 대사에너지의 증가로 인해 암컷의 nauplius 생산력이 감소한 것으로 판단된다.

수온은 요각류의 발달에 영향을 미치는 가장 중요한 요소 중의 하나이며(Kimoto et al, 1986a; Kimoto et al, 1986b), 수온이 증가함에 따라 요각류의 발달은 증가하는 경향을 보인다(Kimoto et al, 1986a; Kimoto et al, 1986b; Laabir et al., 1995; Uye, 1988; Uye and Sano, 1998; Halsband-Lenk et al., 2002). 본 실험에서도 수온이 낮을수록 nauplius 단계에서 copepodid 단계까지와 nauplius 단계에서 성체까지의 발달 시간이 유의하게 길게 나타났다.

Payne and Rippingale (2000)은 calanoid 요각류인 *Gladioferens imparipes*가 25°C보다 20°C에서 생존율이 높게 나타났다고 보고하였다. 또한 Kang (1997)은 $ML=134.258 \times 10^{-0.03097T}$ [ML은 최대 수명(day)이고, T는 온도(°C)]와 같은 관계식에 의해 온도가 증가함에 따라 실험실에서 배양한 연안성 소형 요각류 *Acartia steueri* 성체 암컷의 최대 수명이 짧아졌다고 보고하였으며 일본 연안에서 채집되어 실험실에서 과량의 먹이조건에서 배양된 요각류 *Calanus sinicus*도 수온이 증가함에 따라 그들의 최대 수명이 짧아졌다(Uye, 1988). 본 연구에서도 *A. royi* 성체 암컷의 수명은 수온이 낮을수록 길게 나타났다.

삼투조절능력은 생태적 내성에 영향을 미치기 때문에 염분은 해양생물의 분포에 영향을 미치는 가장 중요한 요소 중의 하나이다(Cervetto et al., 1999). Cheng et al. (2001)은 *A. royi*의 성숙을 위한 최적 염분조건은 수온 30°C에서 10 또는 20 ppt라고 보고하였다. 본 연구에서는 더 넓은 범위의 염분에서 실험하였는데 *A. royi* 성체 암컷의 총 nauplius 생산력과 성체 암컷 당 일일 nauplius 생산수는 10 ppt에서 가장 높게 나타났으며 nauplius 단계에서 copepodid 단계까지와 nauplius 부화 후에서 성체까지의 발달 기간도 10 ppt에서 가장 짧게 나타나 *A. royi*의 최적 염분은 10 ppt로 판단된다. 또한 *A. royi* 성체 암컷의 총 nauplius 생산력과 성체 암컷 당 일일 nauplius 생산수는 15~34 ppt 범위에서 차이를 보이지 않았기 때문에 *A. royi*는 암컷의 nauplius 생산력에 있어서 비교적 광염성인 것으로 판단된다. 또한 염분에 대한 요각류 암컷의 생존기간도 모든 실험

구가 차이를 보이지 않았으며 염분과 암컷의 수명과의 상관관계도 매우 낮게 나타났다. 이는 *A. royi*가 염분변화가 심한 연안 및 호소지역에 서식하면서 대체적으로 넓은 범위의 염분에 잘 적응되었기 때문인 것으로 판단된다.

Nagaraj (1988), Nagaraj (1992)는 각각 *Eurytemora velox*와 *E. 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. 본 실험에서도 *A. royi*의 발달기간과 수온과의 상관관계가 발달기간과 염분과의 상관관계보다 높게 나타났다. 또한 암컷의 수명도 발달기간과 같은 경향을 보이는 것으로 나타나 암컷의 수명은 염분보다는 수온변화에 큰 영향을 받는 것으로 판단된다.

해산 요각류의 식성은 분류군에 따라 다양하게 나타난다. 일반적으로 harpacticoid 요각류는 주로 저서성 유기 퇴적물 섭취자로 박테리아, 미세조류, 해초, 조류의 얇은 막, 규조류, 다모류, 곡류, 마른 새우 및 인공사료 같은 다양한 먹이원을 효과적으로 이용할 수 있고, calanoid 요각류는 다양한 크기와 맛을 가진 먹이입자를 구분하고 선택할 수 있는 초식성 여과 섭취자이지만 대구의 난황, 요각류의 알이나 nauplius같은 회피력이 없는 먹이를 수류를 일으켜 포획하고 섭취할 수 있는 것으로 알려져 있으며 cyclopoid 요각류는 부유성 및 저서성 먹이와 심지어 nauplius나 copepodid같은 자신들의 새끼를 섭취하는 잡식성으로 간주되고 있다(Støttrup and McEvoy, 2003). Chang and Lei (1993)는 *A. royi*가 발달 초기 단계에서는 초식성이며 후기 copepodid 단계에서는 주로 육식성으로 바뀌는 것을 관찰하였다. 본 실험에서는 4 종류의 미세조류와 빵효모를 사용하였으며 *A. royi*의 암컷은 비록 먹이 종류에 따라 차이는 있었지만 실험에 사용한 모든 먹이로 번식이 가능하였고 nauplius에서 성체까지 발달도 모든 실험먹이에서 가능한 것으로 나타났다. 따라서 *A. royi*의 보다 정확한 식성을 파악하기 위해서는 곡류, 박테리아 및 동물성 먹이생물 같은 더 많은 종류의 먹이를 대상으로 한 실험이 추가적으로 이루어져야 할 것으로 판단되며 특히 대량배양에서 자신들의 난이나 nauplius에 대한 공식 가능성(Payne and Rippingale, 2001)은 대량배양에서 나쁜 영향으로 간주되기 때문에 이에 관한 연구도 필요할 것으로 사료된다.

Isochrysis galbana, *Tetraselmis suecica* 및 *Phaeodactylum tricorutum*은 DHA와 EPA 같은 지방산 함량이 비교적 높은 미세조류로 알려져 있다(Laabir et al., 2001; Lacoste et al., 2001). 일반적으로 요각류의 번식은 먹이의 생화학적 조성에 달려있으며, n-3 HUFA 특히 DHA와 EPA가 생산력과 난의 발달에 중요하게 작용한다고 보고되고 있다(Payne and Rippingale, 2000; Lacoste et al., 2001). 따라서 본 실험에서도 DHA와 EPA가 풍부한 *I. galbana*, *T. suecica* 및 *P. tricorutum* 공급구가 담수산 농축 *Chlorella*와 빵효모보다 높은 생산력과 빠른 발달을 보인 것으로 판단된다.

한편 해양 규조류는 요각류와 같은 동물플랑크톤의 번식과 성장을 위한 에너지원으로 적합하지만 *Temora stylifera* 같은 요각류는 배 발달에 해로운 영향을 미치는 것으로 알려져 있으며 (Carotenuto et al., 2002) 이러한 원인은 규조류 내 aldehyde가 요각류의 배 발달을 저해하기 때문인 것으로 알려져 있다(Miralto et al., 1999). 따라서 본 실험에서 규조류인 *P. tricornutum*의 우수한 영양성에도 불구하고 *P. tricornutum* 공급구의 *A. royi*의 nauplius 생산력에 있어 *I. galbana*와 *T. suecica* 공급구보다 유의적으로 낮은 결과를 보였던 것은 이러한 원인으로 판단된다. 그러나 성체 암컷의 수명에 있어서는 오히려 *P. tricornutum*를 공급한 실험구가 *T. suecica*를 공급한 실험구를 제외한 다른 먹이 공급 실험구에 비해 길게 나타나 *P. tricornutum*은 성체 암컷의 대사를 위한 먹이로는 오히려 적합한 것으로 판단된다.

요각류는 linolenic acid, 18:3n-3으로부터 EPA와 DHA를 합성할 수 있는 능력을 가지고 있다(Norsker and Støttrup, 1994; Desvillettes et al., 1997; Klein Breteler et al., 1999; Nanton and Castell, 1999; Lacoste et al., 2001). 그러나 본 실험에서 담수산 농축 *Chlorella*와 빵효모 공급구가 linolenic acid가 풍부함 (Maruyama et al., 1997; Lee et al., 1999)에도 불구하고 낮은 생산력과 느린 발달을 보인 것은 담수산 농축 *Chlorella*와 빵효모의 cellulose를 주성분으로 하는 두꺼운 세포벽의 소화가 원활하지 못했기 때문인 것으로 판단된다.

본 연구를 종합하여 볼 때, cyclopoid 요각류인 *A. royi*는 비록 생산력과 발달기간에는 차이가 있지만 비교적 광온, 광염성인 것으로 판단되며 본 실험에서 사용한 모든 먹이를 먹이원으로 섭취할 수 있는 것으로 보아 대량배양을 위한 충분한 잠재성이 있는 것으로 사료된다. 결론적으로 *A. royi*의 최적 대량배양을 위해서는 수온 32°C, 염분 10 ppt에서 먹이로 *I. galbana*를 공급하여야 할 것으로 판단된다.

요 약

본 연구는 *Apocyclops royi*를 양식에서 초기 먹이생물로 적용시키기 위해 이들의 대량배양을 위한 수온과 염분의 최적범위 및 최적 성장을 위한 먹이를 구명하고자 실시되었다.

A. royi 성체 암컷의 총 nauplius 생산력은 수온 32°C에서 188 개체로 가장 높게 나타났고 성체 암컷 당 일일 nauplius 생산수도 총 생산수와 같은 경향을 보여 32°C에서 13.4 개체로 가장 높게 나타났었다. Nauplius 부화 후 최초 포란할 때까지 발달 기간은 32°C가 7.2일로 가장 빠른 발달을 보였으며 수온이 감소할수록 발달기간이 느린 경향을 보였다. *A. royi* 성체 암컷의 총 nauplius 생산력은 염분 10 ppt에서 169 개체로 가장 높게 나타났고 성체 암컷 당 일일 평균 nauplius 생산수는 10 ppt가 9 개체로 가장 높게 나타났었다. Nauplius 부화 후 최초 포란할 때까지 발달 기간은 10 ppt와 15 ppt이 각각 7.1일, 7.7일로 빠른 발달을 보였으며 염분이 높을수록 발달기간이 길어지는 경향을 보

였다. *A. royi* 성체 암컷의 총 nauplius 생산력은 *I. galbana*와 *T. suecica* 공급구에서 각각 142, 127 개체로 가장 높게 나타났고, 성체 암컷 당 일일 평균 nauplius 생산수는 *I. galbana* 공급구가 8.2 개체로 가장 높게 나타났었다. Nauplius단계에서 copepodid단계까지의 발달 기간은 *I. galbana*, *T. suecica*, *P. tricornutum* 공급구가 각각 3.4, 3.6, 3.7일로 담수산 농축 *Chlorella*와 빵 효모 공급구보다 빠른 발달을 보였다.

결론적으로, cyclopoid 요각류인 *A. royi*는 대량배양의 잠재성이 있으며 최적 대량배양을 위해서는 수온 32°C, 염분 10 ppt에서 먹이로 *I. galbana*를 공급하여야 할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 해양수산부에서 시행한 2001도 수산특정연구개발사업과제에 의해 수행된 연구결과이며 연구비를 지원해 주신 해양수산부에 심심한 사의를 표합니다.

참고문헌

Carotenuto, Y., A. Ianora, I. Buttino, G. Romano and A. Miralto, 2002. Is postembryonic development in the copepod *Temora stylifera* negatively affected by diatom diets? *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 276, 49-66.

Cervetto, G., R. Gaudy and M. Pagano, 1999. Influence of salinity on the distribution of *Acartia tonsa* (Copepoda, Calanoida). *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 239, 33-45.

Chang, W. B. and C. H. Lei, 1993. Development and energy content of a brackish-water copepod, *Apocyclops royi* (Linberg) reared in a laboratory. *Bull. Inst. Zool. Acad. Sinica*, 32, 62-81.

Checkley, D. M., 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, 58 pp.

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.

Desvillettes, C., G. Bourdier and J. Breton, 1997. On the occurrence of a possible bioconversion of linolenic acid into docosahexaenoic acid by the copepod *Eucyclops serrulatus* fed on microalgae. *J. Plankton Res.*, 19, 273-278.

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.

Guillard, R. L. and J. H. Ryther, 1962. Studies for marine planktonic diatoms *Cyclotella nana* Hustedt and *Detonmule conferracea* (Cleve). *Gram. Can. J. Microbiol.*, 8, 229-239.

- 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.
- Jung, M.-M., H.-S. Kim, S. Rho, I. F. M. Rumengan and A. Hagiwara, 1999. The culture of free-swimming, copepod species *Apocyclops* sp. (Copepod: Cyclopoida) by baking yeast. *J. Aquacult.*, 12, 303–307.
- 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.
- Kang, H. K., 1997. Primary production and production of copepod *Acartia steueri* in Ilkwang Bay, Southeast Coast of Korea. Ph.D. thesis, Pukyong National University, 74–146 pp.
- Kimoto, K., S. Uye and T. Onbe, 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. Onbe, 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.
- Klein Breteler, W. C. M., N. Schogt and S. R. Gonzalez, 1990. On the role of food quality in grazing and development of life stages, and genetic change of body size during cultivation of pelagic copepods. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 135, 177–189.
- Klein Breteler, W. C. M., N. Schogt, M. Bass, S. Schouten and G. W. Kraay, 1999. Trophic upgrading of food quality by protozoans enhancing copepod growth: role of essential lipids. *Mar. Biol.*, 135, 191–198.
- Laabir M., S. A. Poulet and A. Ianora, 1995. Measuring production and viability of eggs in *Calanus helgolandicus*. *J. Plankton Res.*, 17, 1125–1142.
- Laabir, M., I. Buttino, A. Ianora, G. Kattner, S. A., Poulet, G. Romano, Y. Carotenuto and A. Miralto, 2001. Effect of specific dinoflagellate and diatom diets on gamete ultrastructure and fatty acid profiles of the copepod *Temora stylifera*. *Mar. Biol.*, 138, 1241–1250.
- Lacoste, A., S. P. Poulet, A. Cueff, G. K. Kattner, A. Ianora and M. Laabir, 2001. New evidence of the copepod maternal food effect on reproduction. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 259, 85–107.
- Landry, M. R., 1975. The relationship between temperature and the development of life stages of the marine copepod *Acartia clausi* Giesbr. *Limnol. Oceanogr.*, 20, 854–858.
- Lee, S.-M., J. K. Kim, T. J. Kim, J. G. Kim and H. G. Park, 1999. Nutritive value of *Kluyveromyces fragilis* and *Candida utilis* as feed for aquaculture. *J. Kor. Fish. Soc.*, 32, 791–797.
- 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*, 379 pp.
- Maruyama, I., T. Nakao, I. Shigeno, Y. Ando and K. Hirayama, 1997. Application of unicellular algae *Chlorella vulgaris* for the mass culture of marine rotifer *Brachionus*. *Hydrobiologia*, 358, 133–138.
- 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., G. Barone, G. Romano, S. A. Poulet, A. Ianora, G. L. Russo, I. Buttino, G. Mazzarella, M. Laabir, M. Cabrini and M. G. Giacobbe, 1999. The insidious effect of diatoms on copepod reproduction. *Nature*, 402, 173–176.
- 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, 1999. The effects of temperature and dietary fatty acid on the fatty acid composition of harpacticoid copepods, for use as a live food for marine fish larvae. *Aquaculture*, 175, 167–181.
- Norsker, N. H. and J. G. Stttrup, 1994. The importance of dietary HUFAs for fecundity and HUFA content in the harpacticoid, *Tisbe holothuriae* Humes. *Aquaculture*, 125, 155–166.
- 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.
- Park, H. G., S. B. Hur and C. W. Kim, 1998. Culturing method and dietary value of benthic copepod, *Tigriopus japonicus*. *J. Aquacult.*, 11, 261–269.
- Payne, M. F. and R. J. Rippingale, 2000. Evaluation of diets for culture of the calanoid copepod *Gladioferens imparipes*. *Aquaculture*, 187, 85–96.
- Payne, M. F., and R. J. Rippingale, 2001. Intensive cultivation of the calanoid copepod *Gladioferens imparipes*. *Aquaculture*, 201, 329–342.
- Pinto, C. S. C., L. P. Souza-Santos and P. J. P. Santos, 2001. Development and population dynamics of *Tisbe biminiensis* (Copepoda: Harpacticoida) reared on different diets. *Aquaculture*, 198, 253–267.
- 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.
- Shansudin, L., M. Yusof, A. Azis and Y. Shukri, 1997. The potential of certain indigenous copepod species as live food for commercial fish larval rearing. *Aquaculture*, 151, 351–356.
- Stttrup, 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.
- Stttrup J. G. and L. A. McEvoy, 2003. Live feeds in marine aquaculture. (in) J. G. Stttrup (ed.), *Production and Nutritional Value of Copepods*. Blackwell Science Ltd, pp. 145–205.
- Stttrup, J. G. and N. H. Norsker, 1997. Production and use of copepods in marine fish larviculture. *Aquaculture*, 155, 231–247.
- Su, H. M., M. S. Su and I. C. Liao, 1997. Collection and culture

- of live foods for aquaculture in Taiwan. *Hydrobiologia*, 358, 37–40.
- 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.
- Toledo, J. D., M. S. Golez, M. Doi and A. Ohno, 1999. Use of copepod nauplii during early feeding stage of grouper *Epinephelus coioides*. *Fish. Sci.*, 65, 390–397.
- Uhlig, G., 1984. Progress in mass cultivation of harpacticoid copepods for mariculture purposes. *Europ. Maricult. Soc.*, 8, 266–271.
- 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.
- Watanabe, T. C., S. Kitajima and S. Fujita, 1983. Nutritional values of live organisms used in Japan for mass propagation of fish: a review. *Aquaculture*, 34, 115–143.
- Williams, T. D. and M. B. Jones, 1999. Effects of temperature and food quantity on the reproduction of *Tisbe battagliai* (Copepoda: Harpacticoida). *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 236, 273–290.

원고접수 : 2004년 12월 28일

수정본 수리 : 2005년 1월 11일