

기수산 cyclopoid copepod, *Paracyclopina nana* Smirnov의 대량배양 및 먹이효율



이균우 박사
한국해양연구원 마이크로네시아 기지
Tel) 691-330-5729
E-mail) kyun@kordi.re.kr

서론

해산 copepod는 높은 영양가치로 인해 자어를 위한 최상의 먹이로 알려져 왔다. 이러한 copepod를 어류의 종묘생산 시 초기먹이로 사용했을 때 자어의 성장과 생존에 대한 여러 가지 장점으로 인해, 현재 해산양식에서 이들을 사용하기 위한 대량배양에 관한 연구가 많이 시도되고 있다. 따라서 본 연구는 기수산 cyclopoid copepod인 *Paracyclopina nana*의 대량배양을 위한 최적 조건을 규명하기 위해 실시되었다. 내부 요인으로 strain과 개체군의 선발 효과와 공식여부를 조사하였고, 외부 환경요인으로 수온, 염분, 조도, 먹이종류, 먹이량, 배양밀도 및 혼합배양의 가능성에 대해 조사하였다. 이를 바탕으로 대량배양을 시도하였고, *P. nana*의 먹이가치를 조사하기 위해 넓치 자어를 대상으로 다른 먹이생물과 비교실험을 실시하였다.

실험 및 결과

1. *P. nana*의 발달단계별 크기

*P. nana*의 발달단계에 따른 크기를 조사한 결과 (그림 1), nauplius 단계 (N1~N6)는 전장이 84~160 μ m 갑폭이 51~85 μ m였고, copepod 단계 (C1~C5)는 전장이 274~513 μ m 갑폭이 96~167 μ m의 범위를 보였으며, 성체는 전장이 수컷과 암컷 각각 508 μ m와 624 μ m로 나타났다. 특히 nauplius 1~2기는 크기가 100 μ m 이하로 초기자어기에 입이 작은 어류의 종묘생산에 적용이 가능할 것으로 판단된다. 또한 C4~성체까지는 402~624

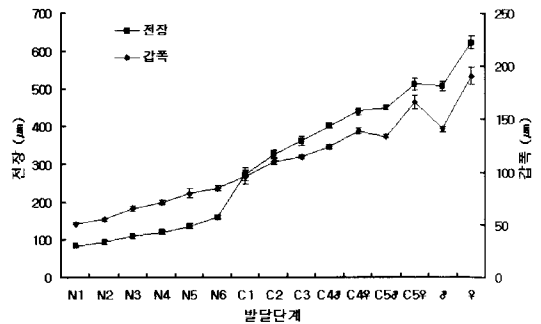


그림 1. *Paracyclopina nana*의 발달단계에 따른 크기 변화.

μm 로 *Artemia* nauplius와 크기가 비슷해 *Artemia* 대체먹이생물로써의 잠재성도 지니고 있었다.

2. *P. nana*의 대량배양을 위한 strain과 개체군 선발

*P. nana*의 대량배양에 적합한 strain을 선발하기 위한 strain별 군집배양 실험에서, 화진포와 송지호 strain의 최고밀도가 각각 71.3과 87.5 개체/mL로 다른 strain에 비해 높게 나타났다. 개체성장률은 화진포와 송지호 strain이 각각 0.129와 0.132로 가장 높았다. 부안과 태안 I strain은 0.066과 0.067로 가장 낮았다. *P. nana*의 대량배양에 적합한 개체군을 선발하기 위한 개체군 특성에 따른 군집배양실험에서, 생산력이 높은 선발개체군 I과 II의 최고밀도는 각각 114.7과 105.0개체/mL이었고, 개체성장률은 각각 0.113과 0.096으로 생산력이 낮은 선발개체군과 선발하지 않은 개체군보다 높게 나타났다. 또한 비선발 개체군의 최고밀도가 생산력이 낮은 선발개체군보다 유의적으로 높게 나타났다 (그림 2). 본 실험을 종합하여 볼 때, strain이나 개체군 선발에 대한 암컷의 생산력과 nauplius 기간이 차이를 보이

는 것으로 나타났기 때문에 *P. nana*의 대량배양을 위해서는 높은 생산력과 짧은 성숙기간을 가지는 개체군을 선발하여 배양하는 것이 더 효과적인 대량생산이 될 것으로 판단된다.

3. *P. nana*의 대량배양을 위한 최적 수온과 염분

최고밀도까지의 개체 성장률 (SGR)은 수온 28°C일때, 염분도 15‰와 20‰에서 각각 0.116과 0.111로 높게 나타났다. 20, 24, 28 및 32°C의 34‰와 32°C의 5‰에서는 nauplius가 성체까지 발달은 하였지만 더 이상 증식하지 못하고 폐사하였다 (그림 3). 따라서 *P. nana*의 대량배양을 위해서는 28°C의 15~20‰에서 배양하여야 하고, 성체 생산을 위해서는 nauplius에서 성체까지의 생존율이 가장 높은 20°C, 25‰에서 배양하는 것이 바람직할 것으로 생각된다.

4. *P. nana*의 대량배양을 위한 최적 조도

*P. nana*의 대량배양을 위한 최적 조도를 조사한 결과 (그림 4), nauplius의 성체까지의 생존율은 조도가 높을수록 낮아지는 경향을 보여 0 lux와

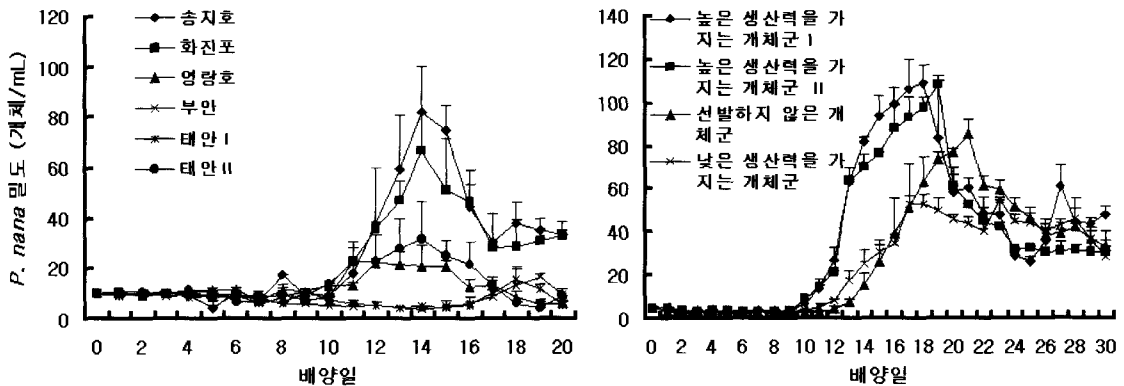


그림 2. Strain (좌) 및 개체군 (우)에 따른 군집배양 시, *Paracyclopina nana*의 성장.

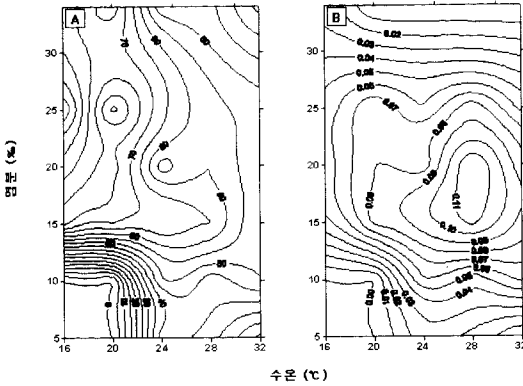


그림 3. 각 수온과 염분에 따른 *Paracyclops nana* nauplius의 C5~성체까지 생존율 (A)과 성장률 (B).

10 lux가 각각 61.7%와 51.7%로 가장 높은 생존율을 보였으며, 다음으로 100 lux가 26.7%였다. 500 lux와 1,000 lux에서의 생존율은 모두 3.3%로 다른 실험구에 비해 생존율이 매우 낮았다.

배양 7일 동안의 암컷의 일일 평균 nauplius 생산성을 비교하였을 때, 0, 10, 100 lux 실험구는 암컷 1 개체 당 일일 평균 6.2 개체를 생산하여, 500 lux와 1,000 lux 실험구의 4.4와 4.2 개체보다

높은 생산성을 보였다. 따라서 *P. nana*의 배양 시, 10 lux 이하의 낮은 조도를 유지하여 배양하는 것이 가장 유리할 것이다.

5. *P. nana*의 대량배양에 적합한 먹이 종류 및 먹이량

*P. nana*의 개체성장율은 *T. suecica* 공급구가 0.149로 *P. minimum* 공급구 보다 높게 나타났으나, *I. galbana* 공급구와는 차이를 보이지 않았다. *P. nana*의 성숙기간은 *T. suecica* 공급구가 가장 짧게 나타났고, *I. galbana*, *P. minimum* 공급구와는 차이가 없는 것으로 나타났다 (표 1). 따라서 *P. nana*의 대량배양에 적합한 먹이는 *I. galbana*와 *T. suecica*로 판단된다.

*P. nana*의 대량배양을 위한 최적 *T. suecica* 공급 농도 실험 결과 (그림 5), *T. suecica* 공급 농도에 따른 암컷의 일일 nauplius 생산은 먹이 공급량이 증가함에 따라 증가하여, 2×10^4 세포/mL 농도로 공급한 실험구가 17.9 개체로 가장 높은 nauplius 생산력을 보였으며, 3×10^4 , 4×10^4

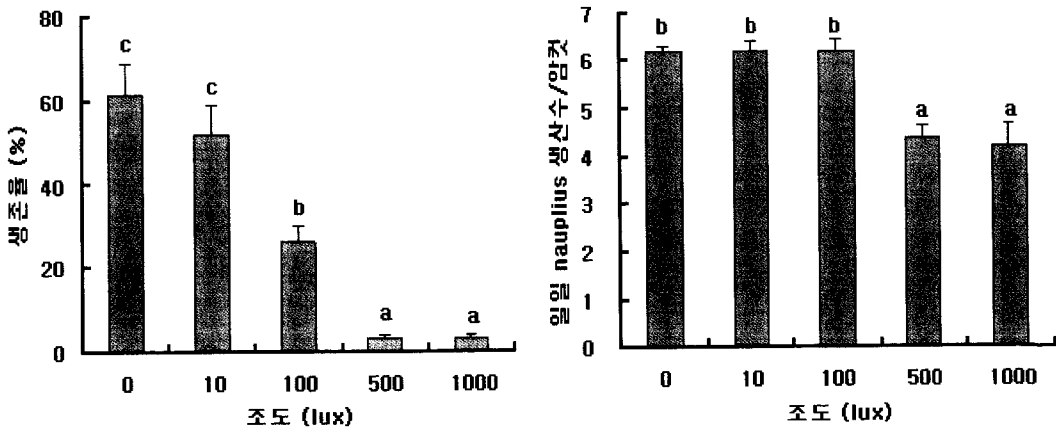


그림 4. 각 조도에 따른 *Paracyclops nana*의 nauplius에서 성체까지의 생존율 (좌)과 7일 동안 암컷 1마리당 일일 nauplius 생산수 (우).

표 1. 먹이종류에 따른 *Paracyclopina nana*의 성장과 성숙기간; *Tetraselmis suecica* (TET), *Isochrysis galbana* (ISO), *Prorocentrum minimum* (PRO)

Diets	최고밀도 (개체/mL)	성장률 (SGR)	성숙기간 (일)
TET	77.0±1.73	0.149±0.0048 ^b	7.3±0.33
ISO	79.3±5.80	0.126±0.0047 ^b	8.0±0.58
PRO	63.0±7.55	0.067±0.0067 ^a	9.0±0.00

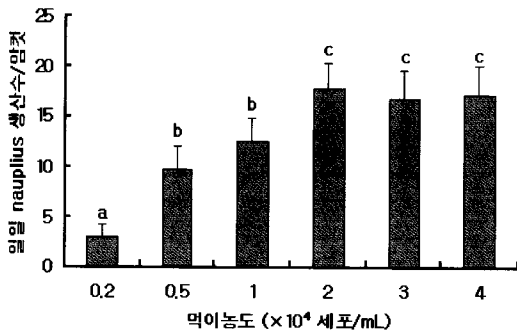


그림 5. 먹이 농도에 따른 *Paracyclopina nana* 암컷의 일일 nauplius 생산수.

세포/mL 농도로 공급한 실험구와는 차이를 보이지 않았다. 따라서 *P. nana*의 대량배양을 위한 *T. suecica* 공급밀도는 암컷의 경우 20,000 세포/mL이 가장 효율적인 먹이 공급 밀도로 생각된다.

6. *P. nana*의 대량배양을 위한 최적 배양 밀도

8 L 배양용기에서 *P. nana* 암컷의 배양 밀도에 따른 nauplius 생산량을 조사한 결과 (그림 6), 일주일 동안 암컷의 일일 평균 생산량은 배양밀도 1, 3, 5, 7 개체/mL에서 각각 0.6, 1.1, 1.7, 2.3 × 10⁵ 개체로 나타나 배양 밀도가 증가할수록 생산량이 증가하였으나, 10 개체/mL로 배양한 실험구는 1.3 × 10⁵ 개체로 7 개체/mL로 배양한 실험구보다 낮은 생산량을 보였다. 따라서 *P. nana*의

nauplius 생산 시, 가능한 암컷의 배양 밀도는 암컷 1개체 당 nauplius 생산수가 비교적 높으며 하루에 가장 많은 nauplius를 생산할 수 있는 밀도인 7 개체/mL인 것으로 판단된다. 또한 접종 밀도에 따른 *P. nana*의 생존개체는 250 개체/mL와 300 개체/mL의 밀도로 배양한 실험구가 각각 19.7%와 18.4%로 나타나, 50, 100, 150 개체/mL 실험구보다 낮은 생존율을 보였다 (그림 7). 따라서 *P. nana*의 성체 생산을 위한 nauplius의 최대 접종 밀도는 생존율이 100 개체/mL 이하와 차이를 보이지 않는 200 개체/mL까지가 가능할 것으로 판단된다.

7. *P. nana*의 대량생산

조사된 *P. nana*의 최적배양조건과 500L규모의

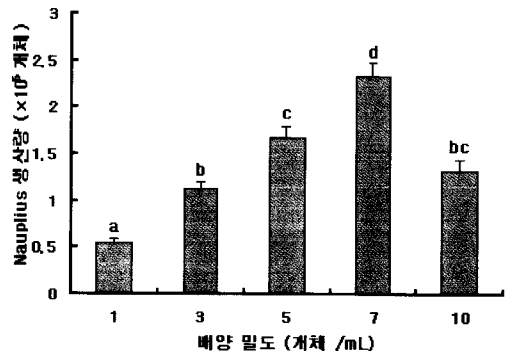


그림 6. 7일간 8L 규모에서 암컷 밀도에 따른 nauplius 생산량.

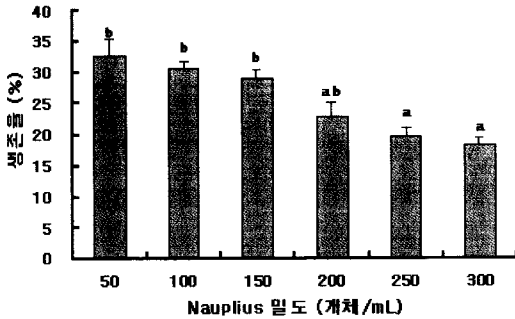


그림 7. 15일 동안 nauplius의 배양 밀도에 따른 *Paracyclopsina nana*의 생존율.

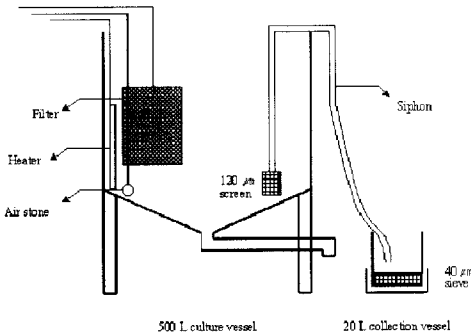


그림 8. 실험에 사용된 500L 규모의 *Paracyclopsina nana* nauplius생산 시스템 모식도.

배양 시스템 (그림 8)을 이용하여 대량 배양을 실시 하였다. 수확된 nauplius는 약 95% 이상이 N1에서 N2였으며, 15일 동안 수확된 nauplius의 일일 평균 생산량은 1, 2차 각각 6.9×10^6 , 7.2×10^6 개체였다. 배양수 내의 암컷과 포란한 암컷의 수는 시간이 경과할수록 약간 감소하는 경향을 보였으나 15일 동안 비교적 일정한 개체수를 유지하였다 (그림 9).

C4 ~ 성체의 생산은 위의 nauplius 생산 방법으로 수확된 nauplius 6×10^6 개체를 2개의 20 L 수조로 나누어 옮겨 nauplius 밀도가 150 개체/mL

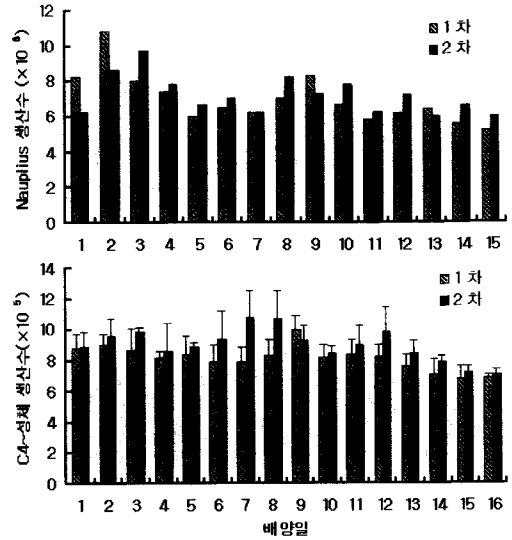


그림 9. 500L 규모 배양 시스템에서 15일간 *Paracyclopsina nana* nauplius생산 (상)과 20L 규모에서 접종후 15일 동안 배양한 C4~성체의 16일간의 생산 (하).

정도 되게 하여 수온 20°C, 염분도 25‰에서 실시하였다. Nauplius를 접종한 다음 배양 15일 후 C4 이상 성장한 copepod를 수확하였다. 수확된 copepod의 비율은 C4 ~수컷, 암컷 및 포란한 암컷이 각각 약 49%, 28% 및 18%였으며, 일일 평균 생산량은 1, 2차 각각 8.2×10^6 , 9.0×10^6 개체로 접종 개체수의 약 28.5%를 생산하였다.

또한 이때 수확된 copepod는 일일평균 약 1.7×10^6 개체였으며 mL 당 40 개체 이상으로 비교적 고밀도로 생산되었다. 이 밀도는 다른 copepod에 대한 연구보고에서 보다 월등히 높은 밀도이다. 예를 들어, Ohno and Okamura (1988)는 *Acartia tsuensis* 성체를 94 개체/L까지 배양하였고 Sun and Fleeger (1995)는 *Amphiascoides atopus*를 1,144 개체/L까지 배양하였으며 Støttrup and Norsker (1997)는 *Tisbe holothuriae*의 nauplius와 copepod를 3,333 개체/L까지 배양하였

다. 또한 Schipp et al. (1999)은 *Tisbe holothuriae*의 nauplius와 성체를 1,071 개체/L까지 배양하였으며 Payne and Rippingale (2000)은 *Gladiferens imparipes* nauplius를 878 개체/L까지 배양한 바 있다.

본 배양방법으로 하루에 *Artemia* cyst 1 캔에 해당하는 copepod의 개체수를 생산하기 위해서는 nauplius 생산 수조가 약 25 ton 규모는 되어야 하며 성장을 위한 수조는 1 t 규모가 필요하게 된다. 이러한 배양규모는 많은 배양공간을 차지하게 되며 그에 따른 시설비와 노동력 및 시간의 손실을 가져오게 된다. 그러므로 이러한 배양규모를 줄이기 위해서는 nauplius의 생존을 향상을 위한 구체적인 고밀도 배양 방법의 개발이 이루어져야 할 것으로 판단된다. 결과적으로, 본 실험에서 *P. nana*의 nauplius와 C4~성체의 일정한 생산이 가능하였으며, 어류의 먹이 섭취 단계에 따른 *P. nana* 배양 방법의 선택을 통해 양식 대상 종에 대한 연속적인 먹이 공급이 가능할 것으로 판단 된다.

8. 넙치자어에 대한 *P. nana*의 먹이효율

최초 먹이 공급단계인 *rotifer* 공급단계에서 먹이에 따른 넙치 자어의 성장과 생존을 조사한 결과 (표 2), 넙치 자어의 생존율은 *P. nana*만 공급한 실험구가 *rotifer*만 공급한 실험구보다 높게 나타났다. *Rotifer*와 *P. nana*를 1:1로 혼합 공급한

실험구는 *rotifer*만 공급한 실험구보다 높은 생존율을 보였지만 모든 실험구와 차이를 보이지 않았다. 전장은 *P. nana*만 공급한 실험구 (6.3 mm), *rotifer*와 *P. nana*를 1:1로 혼합공급한 실험구 (5.9 mm), *rotifer*만 공급한 실험구 (5.5 mm) 순으로 차이를 보였으며, 체폭은 *rotifer*만 공급한 실험구가 다른 실험구보다 작았다. 부화 12일째 넙치 자어의 건중량은 *P. nana*만 공급한 실험구가 0.17 mg으로 다른 실험구보다 높았다. 넙치자어의 *Artemia* 공급 단계에서 먹이에 따른 넙치자어의 성장과 생존을 조사한 결과 (표 3), 넙치의 전장은 부화 30일째 *P. nana* 단독 공급구가 16.7 mm로 가장 컸으며, *P. nana*와 *Artemia*를 혼합한 실험구와 차이를 보이지 않았다. 넙치의 건중량은 부화 30일째 *P. nana* 단독 공급구와 *P. nana*와 *Artemia*를 혼합한 실험구가 6.6 mg으로 가장 높게 나타났다. 넙치의 생존율은 *P. nana*와 *Artemia*를 1:1로 공급한 실험구가 62%로 가장 높게 나타났으나 차이를 보이지 않았다. 백화율은 *P. nana* 단독 공급구가 3.2%로 가장 낮았고, *P. nana*와 *Artemia*를 혼합한 실험구(8.9%)와 차이를 보이지 않았다. *Artemia* 단독 공급구는 18.2%로 가장 높은 백화율을 보였다. 따라서 *P. nana*를 초기먹이생물로 이용한 넙치의 사육은 *rotifer*나 *Artemia*보다 성장과 색소침착 측면에서 더 효과적인 것으로 나타났으며 *P. nana*를 먹이생물로 공급 시 *rotifer*나 *Artemia*와 50%만 혼합하여 공

표 2. 부화 12일째 공급 먹이에 따른 넙치자어의 생존 및 성장

Diets	생존율 (%)	전장(mm)	체폭 (mm)	건조중량 (mg)
<i>Rotifer</i> 100%	20.0±2.23 ^a	5.5±0.06 ^a	1.5±0.03 ^a	0.12±0.001 ^a
Copepod 50% + <i>Rotifer</i> 50%	28.5±2.41 ^{ab}	5.9±0.09 ^b	1.7±0.06 ^b	0.13±0.002 ^a
Copepod 100%	33.2±1.74 ^b	6.3±0.07 ^c	1.9±0.05 ^b	0.17±0.007 ^b

기획특집

표 3. 부화30일째 공급먹이에 따른 넙치자어의 생존 및 성장과 백화율

Diets	전장 (mm)	체폭 (mm)	건조중량 (mg)	생존율 (%)	백화율 (%)
Copepod 100%	16.7±0.15 ^c	9.0±0.12 ^c	6.6±0.20 ^b	58.0±3.59 ^a	3.2±1.99 ^a
Copepod 50% + <i>Artemia</i> nauplius 50%	16.4±0.12 ^b	8.6±0.12 ^{bc}	6.6±0.10 ^b	62.3±3.80 ^a	8.9±1.03 ^{ab}
<i>Artemia</i> nauplius 100%	15.1±0.18 ^a	7.7±0.13 ^a	5.0±0.23 ^a	55.1±1.03 ^a	18.2±2.00 ^c
최초 5일간 copepod만 먹인 후 <i>Artemia</i> 만 공급한 실험구	15.5±0.29 ^{ab}	8.3±0.13 ^b	5.7±0.28 ^{ab}	56.2±2.48 ^a	11.6±1.92 ^{bc}

급하여도 충분할 것으로 판단된다.

실험에 사용된 먹이생물의 지방산을 분석한 결과 (그림 10), *P. nana*는 DHA 비율이 20%이상으로 *rotifer*나 *Artemia*에 비해 상당히 높을 뿐 아니라 건조중량 당 DHA 함량도 nauplius와 C4~성체 각각 3.5%와 4.8%로 n-3 HUFA의 대부분을 차지하였다. 또한 *P. nana*의 n-3 HUFA는 nauplius와 C4~성체 각각 4.0%와 5.4%로 해산 어류 자어의 정상적인 성장을 위한 n-3 HUFA 함량이 3~4%를 초과한 것으로 나타났다.

결과적으로, 넙치자어의 생존 및 성장과 백화율

은 공급된 먹이생물의 n-3 HUFA의 함량, 특히 DHA의 함량에 크게 영향을 받는 것으로 판단된다.

결론

본 연구로 미루어 보아, 기수산 copepod인 *P. nana*는 먹이생물로서 최상의 영양 가치를 지녔을 뿐 아니라 현재 해산 어류 인공종묘생산 시 자어의 초기 먹이로 거의 독보적으로 사용되는 먹이생물인 *rotifer*와 *Artemia*를 대체할 수 있는 잠재성이 큰 것으로 생각된다. 또한 단계별 성장에 따른 크기가 다양하기 때문에 현재까지 초기 자어의 입이 작아 인공종묘생산이 어려웠던 능성어, 불바리, 자바리, 강담돔, 쥐치 등 비교적 고급 어종의 인공종묘생산에 적용할 수 있으며 이에 따른 양식어민의 소득 증대에 크게 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

참고 문헌

- 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, P. 379.

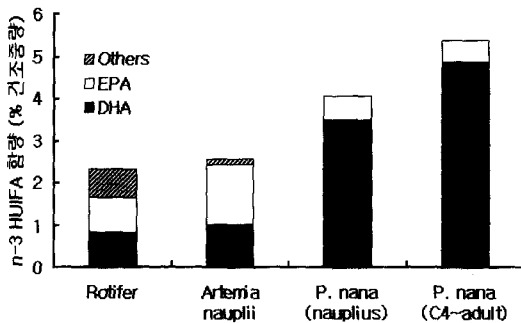


그림 10. 실험에 사용된 먹이생물의 n-3 HUFA (고도 불포화지방산) 함량. *Rotifer*와 *Artemia*는 Super Selco로 영양강화하였고 Copepod nauplius와 C4~성체는 *Tetraselmis suecica*를 공급하여 배양한 것임.

- McEvoy, L. A., T. Naess, J. G. Bell and S. Lie, 1998. Lipid and fatty acid composition of normal and malpigmented Atlantic halibut (*Hippoglossus hippoglossus*) fed enriched *Artemia*: a comparison with fry fed wild copepods. *Aquaculture*, 163, 237-250.
- Payne, M. F., and R. J. Rippingale, 2001. Intensive cultivation of the calanoid copepod *Gladiferens imparipes*. *Aquaculture*, 201, 329-342.
- Støttrup, J. G. and N. H. Norsker, 1997. Production and use of copepods in marine fish larviculture. *Aquaculture*, 155, 231-247.
- Støttrup, J. G., 2000. The elusive copepods: their production and suitability in marine aquaculture. *Aquacult. Res.*, 31, 703-711.