

넙치자어에 대한 cyclopoid copepod, *Paracyclops nana* 의 먹이효과

이균우
한국해양과학기술원

Food Value of Cyclopoid Copepod, *Paracyclops nana* for Flounder *Paralichthys olivaceus* Larvae

Kyun-Woo Lee

Marine Biotechnology Research Center, Korea Institute of Ocean Science & Technology

요 약 본 연구는 넙치 (*Paralichthys olivaceus*) 자어에 대한 요각류 *Paracyclops nana*의 먹이가치를 평가하기 위해 두 섭식 단계 (rotifer 섭식 단계와 *Artemia* 섭식 단계)로 나누어 각각 12일 및 16일 동안 수행되었다. Rotifer 섭식 단계 실험에서, 넙치 자어의 생존과 성장은 부화 12일째 rotifer만 공급했을 때 보다 *P. nana* (nauplii) 단독으로 공급했을 때 더 높게 나타났다. *Artemia* 섭식 단계 실험에서, 부화 30일째 넙치 자어의 성장은 *P. nana* (C4-adult) 단독 공급 실험구와 혼합 공급 (*P. nana*+*Artemia*) 실험구가 다른 실험구에 비해 높게 나타났으나 넙치 자어의 생존은 모든 실험구가 유의적인 차이를 보이지 않았다. *P. nana* nauplius와 성체(C4-adult)의 n-3 HUFA 함량은 각각 4.0%와 5.4%였다. 결과적으로, 기수산 요각류 *P. nana*는 해수어 종묘생산을 위한 초기 생먹이로 효과적인 것으로 판단된다.

Abstract This study investigated the food value of *Paracyclops nana* for flounder *Paralichthys olivaceus* larvae in two feeding stages, rotifer (for 12 days) and *Artemia* (for 16 days). In the rotifer feeding stage, survival and growth of flounder larvae in the only *P. nana* (nauplii) feeding experiment were higher than in the only rotifer feeding experiment on 12 DAH (days after hatching). In the *Artemia* feeding stage, the growth of flounder larvae in the only *P. nana* (C4-adult) feeding experiment and mixture feeding experiment (*P. nana*+*Artemia*) were higher than in other experiments on 30 DAH, but the survival of flounder larvae did not differ significantly among experiments. The n-3 HUFA contents of nauplius and C4-adult were 4.0% and 5.4%, respectively. Overall the results of this study indicate that the brackish water cyclopoid copepod, *P. nana*, is an effective live food organism for larval seedling production of marine fish.

Keywords : Copepod, *Paracyclops nana*, *Paralichthys olivaceus*, food value, live food

1. 서론

해산어류나 갑각류 양식에서 자어나 유생의 초기먹이로 사용되는 미소 생먹이는 주로 rotifer와 *Artemia*이다. 이들은 영양학적으로 해산어류에 적합하지 않다는 치명적인 단점을 지니고 있지만 확보가 용이하다는 점에서 아직까지 이들을 완벽히 대체할 수 있는 먹이가 개발되

지 못하고 있다.

대부분의 해수산 어류는 자어기에 담수어류와 달리 정상적인 성장과 발달을 위해 필수지방산으로 EPA (eicosapentaenoic acid, 20:5n-3)와 DHA (docosahexaenoic acid, 22:6n-3)같은 n-3 HUFA (highly unsaturated fatty acids)를 요구하며 해산 자어의 성공적인 생산을 위해서는 이들 지방산을 충분히 공급하는 것이 중요하다[1-2].

본 논문은 한국해양과학기술원 연구과제(PE99623)로 수행되었음.

*Corresponding Author : Kyun-Woo Lee(Korea Institute of Ocean Science & Technology)

Tel: +82-51-664-3318 email: kyunu@kiost.ac.kr

Received October 4, 2018

Revised (1st October 24, 2018, 2nd October 29, 2018)

Accepted November 2, 2018

Published November 30, 2018

이들 지방산은 자어의 성장과 생존을 향상은 물론 자어의 망막발달과 시력에 중요한 역할을 하고 어류의 색소 침착에도 영향을 미치는 것으로 보고되고 있다[3-4]. 이러한 지방산은 자연에서 해산어류의 먹이로 주로 소비되는 동물플랑크톤인 요각류에 풍부하게 존재하기 때문에 이들을 해산 자어어의 먹이로 사용하려는 연구가 현재까지 계속 이어지고 있지만 상업적 배양의 어려움으로 실효를 거두지 못하고 있는 실정이다[5-7].

이러한 상황에서, 최근 기수산 요각류인 *Paracyclopina nana*의 대량배양시도가 있었으며 비교적 고밀도의 배양이 가능한 것으로 보고된 바 있다[8-9]. 따라서 본 연구는 넙치자어의 성장 및 생존에 대한 *P. nana*의 초기 생 먹이로서의 영양학적 가치를 평가하기 위해 rotifer 및 *Artemia*와 비교 조사하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 넙치자어의 rotifer 공급단계

실험은 nauplius만 공급한 실험구(C), nauplius와 rotifer를 1:1로 공급한 실험구(CR) 및 대조구로 rotifer만 공급한 실험구(R)로 하여 3반복 실시하였다. 50 L 수조(사육수 40 L)에 넙치의 발안란을 1,200개씩 수용하였다. 2일 후 부화하였고 부화율은 92.7±5.83%였다. 이때 초기 부화자어의 크기는 전장 2.7±0.15 mm, 체폭 0.73±0.05 mm였고 건중은 0.009±0.0003 mg이었다. 사육수는 온풍기를 사용하여 18±0.5℃로 유지하였고 매우 약하게 통기하였다. 부화 5일째부터 사이폰을 사용하여 매일 바다청소 후 30%씩 환수하였다. 실험에 사용한 rotifer는 *Brachionus rotundiformis*로 15℃에서 12시간 동안 A1 Super Selco® (INVE Aquaculture)로 영양강화하였고 부화 2일째에 2 개체/mL 공급하였으며 점차 공급량을 증가시켜 2일째 10-15 개체/mL를 유지하였다. 먹이 공급 횟수는 오전 9시와 오후 6시로 나누어 1일 2회 공급하였다. *P. nana*의 먹이공급은 *P. nana*의 건중량이 *B. rotundiformis*와 비교하여 2.7배가 적었기 때문에 rotifer 공급량의 2.7배 많게 공급하였다. 부화일부터 3일 마다 넙치 자어 30마리씩 전장과 체폭을 측정하였고 실험 종료일인 부화 12일째는 넙치의 전장, 체폭과 함께 전중도 측정하였다. 넙치의 지방산 분석을 위해 500 µm sieve를 사용하여 모든 넙치를 수확한 다음 증류수로 행

군 후, -80℃에 보관하였다.

2.2 넙치자어의 *Artemia* nauplius 공급단계

실험구는 *P. nana*만 공급한 구(C), *P. nana*와 *Artemia*를 1:1로 공급한 실험구(CA), *P. nana*를 실험 1일째부터 실험 5일까지 공급하다가 *Artemia*만 실험구(CA5) 및 대조구로 *Artemia*만 공급한 실험구(A)로 하여 3반복 실시하였다. 부화 14일째 되는 넙치를 사용하여 10 L 사육수가 담긴 25 L 수조에 130마리씩 수용하였다. 사육수는 18-19℃를 유지하였고 약하게 통기하였으며 2일 마다 50%씩 환수하였다. 바닥청소는 매일 먹이 공급 직전에 실시하였으며 폐사 개체를 기록하여 생존율 계산에 사용하였다. 먹이는 *P. nana* 및 *Artemia*를 5-10 개체/mL를 유지하였고 1일 1회 공급하였다. 2일 간격으로 무작위로 5마리씩을 취하여 전장, 체폭 및 건중을 측정하였다. 실험종료 후 모든 넙치는 증류수로 행군 다음 분석을 위하여 -80℃에 보관하였다.

2.3 지방산 분석

지방산 분석은 시료를 담수로 깨끗이 세척한 후 -80℃에서 보관하였다. 이렇게 냉동된 시료를 진공 동결 건조시킨 후 지질을 추출하였다. 14% BF₃-methanol (Sigma, USA)로 지방산을 methylation 시킨 후, capillary column (HP-INNOWax, 30m × 0.32mm × 0.5 µm, USA)이 장착된 gas chromatography (Shimadzu, GC-17A, Japan)로 지방산을 분석하였다. Carrier gas는 helium (30 mL/min)을 사용하였으며, oven 온도는 170℃에서 225℃까지 1℃/min 증가시켰고, injector의 온도는 250℃, detector (FID) 온도는 270℃로 설정하였다. 지방산은 알려진 표준 지방산의 retention time과 비교하여 분석하였다[10].

2.4 데이터 분석

모든 결과는 one-way ANOVA test를 실시하였으며, 처리평균간의 유의성($P < 0.05$)은 Turkey의 다중검정법 (Turkey's multiple comparison test)으로 하였다. 모든 통계 분석은 SPSS Version 17.0(SPSS Inc, Chicago, IL, USA)을 사용하여 실시하였다.

3. 실험결과

3.1 넙치자어의 rotifer 공급단계

넙치 자어의 생존율은 *P. nana*만 공급한 실험구(C, 33%)가 rotifer만 공급한 실험구(R, 20%)보다 높게 나타났고($P<0.05$) rotifer와 *P. nana*를 1:1로 혼합 공급한 실험구(CR)는 rotifer만 공급한 실험구보다 높은 생존율을 보였지만 모든 실험구와 유의적인 차이는 보이지 않았다($P>0.05$; Fig. 1B). 넙치의 크기는 부화 12일째, 전장은 *P. nana*만 공급한 실험구 (6.3 mm), rotifer와 *P. nana*를 1:1로 혼합공급한 실험구 (5.9 mm), rotifer만 공급한 실험구 (5.5 mm) 순으로 차이를 보였으며 체폭은 rotifer만 공급한 실험구가 다른 실험구보다 작게 나타났다($P<0.05$; Fig. 1A). 부화 12일째 넙치 자어의 건중량은 *P. nana*만 공급한 실험구가 0.17 mg으로 다른 실험구보다 높게 나타났다($P<0.05$; Fig. 1A).

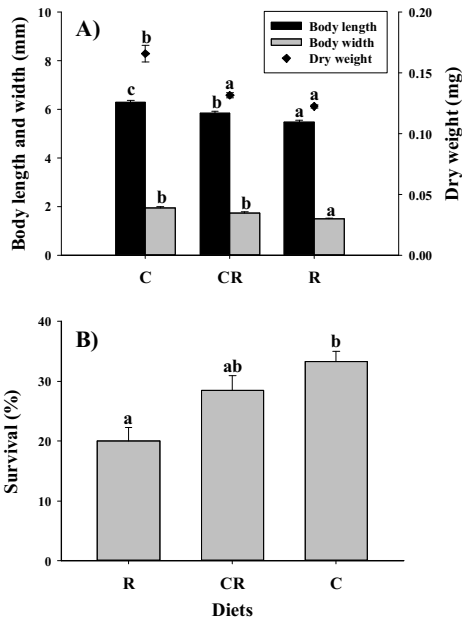


Fig. 1. Growth (A) and survival (B) of *Paralichthys olivaceus* larvae fed different diets (C, copepod 100%; CR, copepod 50% + rotifer 50%; R, rotifer 100%) on 12 DAH (days after hatching). Different letters indicate a significant difference ($P<0.05$).

3.2 넙치자어의 Artemia nauplius 공급단계

넙치의 크기(전장 및 체폭)는 실험종료일인 부화 30일째, *P. nana* 단독 공급구(C)가 16.7 mm로 가장 크게

나타났으나 *P. nana*와 *Artemia*를 혼합한 실험구(CA)와 유의적인 차이는 보이지 않았다($P>0.05$; Fig. 2). 넙치의 건중량은 부화 30일째 *P. nana* 단독 공급구와 CA 공급구가 6.6 mg으로 가장 높게 나타났다($P<0.05$; Fig. 2). 넙치의 생존율은 모든 실험구가 통계적인 차이는 보이지 않았다.

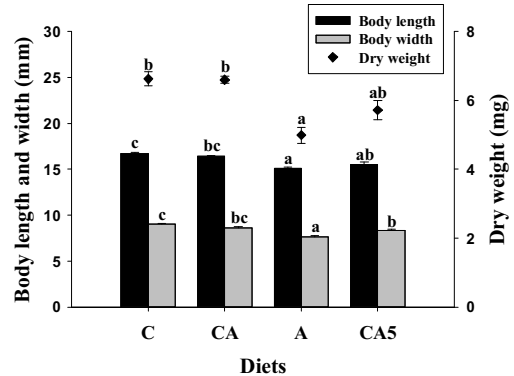


Fig. 2. Growth of *Paralichthys olivaceus* larvae fed different diets on 30 DAH (days after hatching) [C, copepod 100%; CA, copepod 50% + *Artemia* nauplius 50%; A, *Artemia* nauplius 100%; CA5, fed C from 14 DAH to 18 DAH and then A from 19 DAH] from 14 DAH to 30 DAH at *Artemia* nauplius feeding stage. Different letters indicate a significant difference ($P<0.05$).

3.3 실험에 사용한 초기 생먹이와 넙치의 지방산 조성

본 실험에서 넙치 자어의 초기 생먹이로 공급한 rotifer, *Artemia*, *P. nana*의 지방산조성에서 EPA 함량은 rotifer (8.3%)와 *Artemia* (11.1%)가 *P. nana* (nauplius: 3.4%; C4-adult: 3.2%)보다 유의적으로 높은 함량비를 보였고 DHA 함량은 *P. nana*가 rotifer와 *Artemia*보다 높게 나타났으며 특히, *P. nana*의 nauplius (21.4%)보다 성체의 DHA의 함량비(28.9%)가 더 높은 것으로 나타났다($P<0.05$). n-3 HUFA의 함량은 *P. nana* 성체가 32.1%로 가장 높았고($P<0.05$) rotifer와 *Artemia* 및 *P. nana* nauplius는 차이를 보이지 않았다($P>0.05$). DHA/EPA는 *P. nana*가 rotifer와 *Artemia*보다 유의적으로 높게 나타났다($P<0.05$; Table 1). 부화 12일 제 각 생 먹이가 공급된 넙치 자어의 지방산 조성에서 EPA와 n-3

HUFA의 함량 비율은 차이를 보이지 않았으나($P>0.05$), DHA의 함량에 있어 copepod만 단독으로 공급한 실험구가 10.8%로 rotifer 단독 실험구의 8.2%보다 높은 비율을 보였다($P<0.05$; Table 2). 부화 30일 쯤 각 생먹이가 공급된 넙치 자어의 지방산 조성에서 EPA는 *Artemia* 단독 실험구(A)와 CA5 실험구가 모두 23.2%로 CA 실험구와 *P. nana* 단독 공급구보다 높게 나타났으며($P<0.05$), *P. nana* 단독 공급구(C)가 16.2%로 가장 낮은 함량비를 보였다. DHA는 C 실험구가 12.4%로 가장 높게 나타났고 다음으로 CA 실험구가 6.8%의 함량비를 보였으며 A 실험구와 CA5 실험구는 각각 1.3%와 2.4%로 낮게 나타났다($P<0.05$). n-3 HUFA도 C 실험구가 28.7%로 다른 실험구보다 높게 나타났다($P<0.05$; Table 3).

Table 1. Fatty acids composition (% of total fatty acids) of food organisms fed to the flounder *Paralichthys olivaceus* larvae. Rotifer and *Artemia* were enriched with A1 Super Selco. Copepod nauplii and adults were cultured with *Tetraselmis suecica**

Fatty acid	Rotifer	<i>Artemia</i> nauplius	<i>Paracyclopsina nana</i>	
			Nauplius	C4-Adult
20:5n-3	8.3±0.96 ^b	11.1±0.22 ^b	3.4±1.16 ^a	3.2±0.20 ^a
22:6n-3	8.3±0.16 ^a	8.1±1.02 ^a	21.4±0.93 ^b	28.9±0.51 ^c
n-3 HUFA ¹	23.3±0.72 ^a	20.4±1.00 ^a	24.8±2.09 ^a	32.1±0.71 ^b
EPA+DHA	16.5±0.80 ^a	19.2±0.79 ^a	24.8±2.09 ^b	32.1±0.71 ^c
DHA/EPA	1.0±0.14 ^a	0.7±0.11 ^a	6.7±2.01 ^b	9.0±0.39 ^b
Total lipid	11.1±1.70 ^a	14.2±1.48 ^{ab}	18.3±0.71 ^b	18.8±0.78 ^b

¹HUFA : highly unsaturated fatty acid ($C\geq 20$).

- : trace amount (≤ 0.05).

*Values (mean±s.d. of triplication) in the same row not sharing a common superscript are significantly different ($P<0.05$).

Table 2. Fatty acids composition (% of total fatty acids) of *Paralichthys olivaceus* fed different diets on twelve days after hatching*

Fatty acid	R ²	CR ³	C ⁴
20:5n-3	8.0±0.99	8.7±0.38	8.0±0.36
22:6n-3	8.2±0.67 ^a	9.1±0.10 ^{ab}	10.8±1.16 ^c
n-3 HUFA ¹	16.2±1.65	17.8±0.47	18.9±1.51
EPA+DHA	17.1±1.65	17.8±0.47	19.2±1.40

¹HUFA : highly unsaturated fatty acid ($C\geq 20$).

- : trace amount (≤ 0.05).

²R : rotifer 100%, ³CR : copepod 50% + rotifer 50%, ⁴C : copepod 100%.

*Values (mean±s.d. of triplication) in the same row not sharing a common superscript are significantly different ($P<0.05$).

Table 3. Fatty acids composition (% of total fatty acids) of *Paralichthys olivaceus* fed different diets on 30 DAH*

Fatty acid	A ²	CA ³	C ⁴	CA5 ⁵
20:5n-3	23.2±1.13 ^c	20.0±0.41 ^b	16.2±0.27 ^a	23.2±1.25 ^c
22:6n-3	1.3±0.06 ^a	6.8±0.67 ^b	12.4±0.91 ^c	2.4±0.13 ^a
n-3HUFA ¹	24.6±1.07 ^a	27.0±0.80 ^{ab}	28.7±1.27 ^c	25.8±0.94 ^a
EPA+DHA	25.1±1.07 ^a	26.9±0.74 ^{ab}	29.1±1.17 ^c	25.6±1.18 ^a

¹HUFA ; highly unsaturated fatty acid ($C\geq 20$).

- : trace amount (≤ 0.05).

²C : copepod 100%, ³CA : copepod 50% + *Artemia* nauplius 50%, ⁴A : *Artemia* nauplius 100%, ⁵CA5 : fed C from 14 DAH (days after hatching) to 18 DAH and then A from 19 DAH.

*Values (mean±s.d. of triplication) in the same row not sharing a common superscript are significantly different ($P<0.05$).

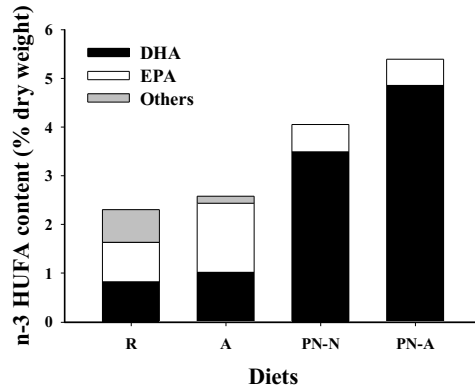


Fig. 3. n-3 HUFA contents (% dry weight) of food organisms fed to *Paralichthys olivaceus* larvae. Rotifer and *Artemia* were enriched with A1 Super Selco®. Copepod nauplii and adults were enriched with *Tetraselmis suecica*.

4. 고찰

본 실험에서 넙치 자어의 초기먹이로써 *P. nana*의 공급은 넙치의 rotifer 공급단계와 *Artemia* 공급단계 모두에서 rotifer나 *Artemia*를 공급했을 때보다 넙치의 성장에 있어 더 효과적인 것으로 나타났다. Fat snook (*Centropomus parallelus*) 자어에게 *Acartia tonsa* 등을 공급, pink snapper (*Pagrus auratus*)와 West Australian dhufish (*Glaucosoma hebraicum*)에게 *Gladioferens imparipes*를 공급 그리고 청소고기(*Elacatinus figaro*)에게 채집한 요각류를 공급한 결과 rotifer 공급구 보다 성

장과 생존이 우수한 결과를 얻었다[11-13]. 또한 West Australian 해마, *Hippocampus subelongatus*에게 *Gladioferens imparipes*를 공급, 흰동가리 *Amphiprion clarkii*에게 *Tisbe* spp.를 공급, 대구 Atlantic cod에게 채집한 요각류를 공급한 결과 rotifer와 *Artemia*를 공급했을 때 보다 성장과 생존이 더 우수한 결과를 보고한 바 있다.[2, 14-15]

초기 생먹이의 가치에 대한 잠재성 평가는 그들의 화학적 조성, 특히 지질과 지방산 함량과 관련되어있다[5]. 지방산 중 DHA는 정상적인 신경 발달과 기능에 중요하며 특히 자어의 망막발달과 시력에 중요한 역할을 하는 것으로 알려져 있다[3]. Yellowtail flounder (*Limanda ferruginea*)의 경우, DHA가 높은 먹이를 먹은 자어는 성장과 생존율이 높게 나타난 반면, DHA 함량이 매우 낮은 먹이를 먹은 자어는 성장과 생존율이 유의적으로 낮게 나타난다[4]. 본 실험에서도 *P. nana*는 DHA 비율이 20%이상으로 rotifer나 *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-adult 각각 4.0%와 5.4%로 해산어류 자어의 정상적인 성장을 위한 n-3 HUFA함량인 3-4%를 초과한 것으로 나타났다 (Fig. 3).

일반적으로 해산 어류 자어는 자연산 어란의 난황과 copepod의 극성지질 및 대부분 해산 어류 자어 자연 먹이의 DHA:EPA 비인 약 2:1인 먹이를 요구한다[1]. 본 실험에서 DHA:EPA 비는 A1 Super Selco[®]로 영양강화된 rotifer의 경우, McEvoy et al. (1998)[3]의 실험에서 0.5와 비슷한 1.0으로 낮은 수치를 보였고, *Artemia*의 경우도 McEvoy et al. (1998)[3]의 실험에서 0.7-0.8, Payne and Rippingale (2000)[2]의 실험에서 0.2와 비슷하게 0.7로 낮게 나타났다. 그러나 *P. nana*의 경우, nauplius와 C4-성체 각각 6.7과 9.0으로 매우 높게 나타났다. 일반적으로 copepod는 극성지질이 풍부한 반면 *Artemia*는 중성지질이 풍부하다. 또한 극성지질은 자어의 기초적인 소화경로에서 다른 지질의 소화를 촉진시킬 뿐 아니라 자어가 가장 쉽게 소화할 수 있다. 따라서 copepod 내의 DHA 같은 필수 지방산은 영양강화된 *Artemia* nauplius의 중성지질 내 지방산보다 자어가 더 쉽게 소화시킬 수 있다[3, 16-19]. 따라서 본 실험에서 부화 30일째 넙치의 어체에 대한 지방산조성에서 DHA

의 함량 비는 *P. nana*를 연속적으로 공급한 실험구가 6.8-12.4%로 *Artemia* 단독구 및 CA5 실험구보다 높은 함량 비를 보였다($P<0.05$). 다른 판형 물고기처럼, 넙치는 변태하는 동안 자세가 수직에서 수평형태로 돌아가며 눈이 이동하는 등 완전한 형태적 변태와 동시에 유영생활에서 저서생활로 바뀌기 때문에 서식처나 먹이섭취 조건이 완전히 바뀌게 된다[20]. 본 실험에서 넙치의 *Artemia* 단계 실험에서 공급한 *P. nana* C4-성체는 완전 부유성인 nauplius와는 달리 일부 부착하는 습성도 있다. 이 때문에 넙치 사육수조 내의 먹이 밀도의 분포는 대부분 부유성인 *Artemia*에 비해 수조바닥에도 고루 분포하였다. 따라서 넙치의 변태 시기는 유영과 착저를 번갈아 하는 시기이므로 완전 부유성인 *Artemia*를 공급한 실험구의 넙치는 *P. nana*를 공급한 실험구 보다 먹이 섭취 기회가 더 적었을 수 있으며 이 점은 *Artemia* 공급구의 성장 저해 요인이 되었을 가능성이 있는 것으로 판단된다.

5. 결론

본 실험을 종합해 보면, *P. nana*를 초기 생먹이로 이용한 넙치의 사육은 rotifer나 *Artemia*보다 성장과 생존 측면에서 더 효과적인 것으로 나타났으며 *P. nana*를 초기 생먹이로 공급 시 rotifer나 *Artemia*와 50%만 혼합하여 공급하여도 충분할 것으로 판단된다.

References

- [1] J. Sargent, L. McEvoy, A. Estevez, G. Bell, M. Bell, J. Henderson, and D. Tocher "Lipid nutrition of marine fish during early development: current status and future directions", *Aquaculture* 179, pp. 217-229. 1999. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(99\)00191-X](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(99)00191-X)
- [2] M. F. Payne, and R. J. Rippingale, "Rearing West Australian seahorse, *Hippocampus subelongatus*, juveniles on copepod nauplii and enriched *Artemia*", *Aquaculture* 188, pp. 353-361. 2000. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(00\)00349-5](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(00)00349-5)
- [3] L. A. McEvoy, T. Naess, J. G. Bell, and O. Lie, "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, pp. 237-250. 1998. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(98\)00237-3](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(98)00237-3)
- [4] L. A. Copeman, C. C. Parrish, J. A. Brown, and M. Harel, "Effects of docosahexaenoic, eicosapentaenoic,

- and arachidonic acids on the early growth, survival, lipid composition and pigmentation of yellowtail flounder (*Limanda ferruginea*): a live food enrichment experiment”, *Aquaculture* 210, pp. 285-304. 2002.
DOI: [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(01\)00849-3](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(01)00849-3)
- [5] O. O. Ajiboye, A. F. Yakubu, T. E. Adams, E. D. Olaji, and N. A. Nwogu, “A review of the use of copepods in marine fish larviculture”, *Rev Fish Biol Fisher* 21, pp. 225-246. 2011.
DOI: <https://doi.org/10.1007/s11160-010-9169-3>
- [6] E. J. Cassiano, C. L. Ohs, C. R. Weirich, N. E. Breen, and A. L. Rhyne, “Performance of larval Florida Pompano fed nauplii of the calanoid copepod *Pseudodiaptomus pelagicus*”, *N Am J Aquacult* 73, pp. 114-123. 2011.
DOI: <https://doi.org/10.1080/15222055.2011.545598>
- [7] E. J. Cassiano, C. L. Ohs, and M. A. DiMaggio, “Stress survival in larvae of Florida pompano (*Trachinotus carolinus*) fed enriched rotifers (*Brachionus plicatilis*) and nauplii of the calanoid copepod (*Pseudodiaptomus pelagicus*)”, *Isr J Aquacult-Bamid* 64 2012.
DOI: <http://hdl.handle.net/10524/31829>
- [8] K.-W. Lee and Y.-U. Choi, “Mass culture of the brackish water cyclopoid copepod *Paracyclops nana* Smirnov”, *J. Korea Acad. Industr. Coop. Soc.* 17, pp. 262-266. 2016.
DOI: <http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2016.17.8.262>
- [9] K.-W. Lee, J.-H. Kang, and H. G. Park, “Effect of food concentration on grazing, growth and fecundity of cyclopoid copepod *Paracyclops nana*”, *J. Korea Acad. Industr. Coop. Soc.* 13, pp. 5206-5210. 2012.
DOI: <http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2012.13.11.5206>
- [10] D. K. Kim, K. D. Kim, J. Y. Sec, and S. M. Lee, “Effects of dietary lipid source and level on growth performance, blood parameters and flesh quality of sub-adult Olive flounder (*Paralichthys olivaceus*)”, *Asian Austral. J. Anim.* 25, pp. 869-879. 2012.
DOI: <https://doi.org/10.5713/ajas.2011.11470>
- [11] M. V. Barroso, C. V. A. de Carvalho, R. Antoniassi, and V. R. Cerqueira, “Use of the copepod *Acartia tonsa* as the first live food for larvae of the fat snook *Centropomus parallelus*”, *Aquaculture* 388, pp. 153-158. 2013.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2013.01.022>
- [12] M. F. Payne, R. J. Rippingale, and J. J. Cleary, “Cultured copepods as food for West Australian dhufish (*Glaucosoma hebraicum*) and pink snapper (*Pagrus auratus*) larvae”, *Aquaculture* 194, pp. 137-150. 2001.
DOI: [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(00\)00513-5](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(00)00513-5)
- [13] G. D. Cortes and M. N. Tsuzuki, “Effect of different live food on survival and growth of first feeding barber goby, *Elacatinus figaro* (Sazima, Moura & Rosa 1997) larvae”, *Aquac. Res.* 43, pp. 831-834. 2012.
DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2011.02896.x>
- [14] I. Olivotto, F. Capriotti, I. Buttino, A. M. Avella, V. Vitiello, F. Maradonna, and O. Carnevali, “The use of harpacticoid copepods as live prey for *Amphiprion clarkii* larviculture: Effects on larval survival and growth”, *Aquaculture* 274, pp. 347-352. 2008.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2007.11.027>
- [15] O. Karlsen, T. van der Meeren, I. Ronnestad, A. Mangor-Jensen, T. F. Galloway, E. Kjorsvik, and K. Hamre, “Copepods enhance nutritional status, growth and development in Atlantic cod (*Gadus morhua* L.) larvae - can we identify the underlying factors?”, *PeerJ* 3 2015.
DOI: <http://dx.doi.org/10.7717/peerj.902>
- [16] M. Moren, I. Opstad, and K. Hamre, “A comparison of retinol, retinal and retinyl ester concentrations in larvae of Atlantic halibut (*Hippoglossus hippoglossus* L.) fed *Artemia* or zooplankton”, *Aquacult. Nutri.* 10, pp. 253-259. 2004.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2095.2004.00297.x>
- [17] M. Moren, T. Naess, and K. Hamre, “Conversion of beta-carotene, canthaxanthin and astaxanthin to vitamin A in Atlantic halibut (*Hippoglossus hippoglossus* L.) juveniles”, *Fish Physiology and Biochemistry* 27, pp. 71-80. 2002.
DOI: <https://doi.org/10.1023/B:FISH.0000021819.46235.12>
- [18] M. Moren, I. Opstad, M. H. G. Berntssen, J. L. Z. Infante, and K. Hamre, “An optimum level of vitamin A supplements for Atlantic halibut (*Hippoglossus hippoglossus* L.) juveniles”, *Aquaculture* 235, pp. 587-599. 2004.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2004.01.030>
- [19] R. J. Shields, J. G. Bell, F. S. Luizi, B. Gara, N. R. Bromage, and J. R. Sargent, “Natural copepods are superior to enriched *Artemia* nauplii as feed for halibut larvae (*Hippoglossus hippoglossus*) in terms of survival, pigmentation and retinal morphology: Relation to dietary essential fatty acids”, *J. Nutr.* 129, pp. 1186-1194. 1999.
DOI: <https://doi.org/10.1093/jn/129.6.1186>
- [20] S. Z. Dou, R. Masuda, M. Tanaka, and K. Tsukamoto, “Identification of factors affecting the growth and survival of the settling Japanese flounder larvae, *Paralichthys olivaceus*”, *Aquaculture* 218, pp. 309-327. 2003.
DOI: [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(02\)00531-8](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(02)00531-8)

이 권 우(Kyun-Woo Lee)

[정회원]



- 2001년 2월 : 강릉원주대학교 해양생명공학과 (이학석사)
- 2004년 2월 : 강릉원주대학교 해양생명공학과 (이학박사)
- 2013년 8월 ~ 현재 : 한국해양과학기술원 책임연구원

<관심분야>

해양생물학, 해양환경독성학