

한국산 해마, *Hippocampus coronatus*의 출산과 초기성장

최영웅, 노 섬*, 정민민¹, 이영돈², 노경언³
제주대학교 해양생산과학부, ¹국립수산과학원,
²제주대학교 해양과환경연구소, ³한국해수관상어종묘센터

Parturition and Early Growth of Crowned Seahorse, *Hippocampus coronatus* in Korea

Young-Ung Choi, Sum Rho*, Min-Min Jung¹, Young-Don Lee² and Gyoung-Ane Noh³
Faculty of Applied Marine Science Cheju National University, Jeju 690-756, Korea
¹Jeju Fisheries Research Institute, NFRDI, Jeju 699-804, Korea
²Marine & Environmental Research Institute, Cheju National University, Jeju 695-810, Korea
³Corea, Center, Ornamental Reef fish & Aquariums, Jeju 695-803, Korea

The recent decrease in wild stocks of seahorse, *Hippocampus coronatus*, has prompted the production of the species in captivity. We here present data on the body color changes of the species according to culture conditions. This investigation examined relationship between adult body size and clutch and growth in 60 days after parturition and survival of juveniles with four fed enriched *Artemia* nauplii, copepod nauplii and copepod adult. Seahorse adults (77.77±9.84 mm, n=12) collected from Kamak Bay and Yeoja Bay from August 2003 to November 2004 gave a parturition of 6~75 juveniles (Mean, 39 juveniles/male/time) for 14 times. A day old seahorses were 14.48±1.38 mm (n=15) in standard length (SL) with 14 dorsal fin rays, 12 pectoral fin rays and 4 anal fin rays. Sixty-day old seahorses were 24.65±0.83 mm (n=4) in SL. Growth rate of seahorses was 0.18 mm/day at 24 in 60 days after parturition. When offered *Artemia* nauplii and copepod nauplii, 5 day old seahorses preferred copepod nauplii to *Artemia* nauplii with a maximum predation rate of 31 copepod nauplii/seahorse/h. However 30-day old seahorses preferred selected *Artemia* nauplii with a maximum predation rate of 14 *Artemia* nauplii/seahorse/h. Survival was highest (49%) when offered copepod nauplii together with enriched *Artemia* nauplii.

Keywords: *Hippocampus coronatus*, Parturition, Growth

서 론

해마는 Pipefish, Pipehorse 그리고 Seadragon과 함께 실고기과에 속하는 경골어류로서 전 세계적으로 32종이 분류되고 있고 이 중 70% 정도가 인도-태평양해역에 분포한다(Lourie et al., 1999a). 우리나라에는 해마(*Hippocampus coronatus*), 가시해마(*H. histrix*), 복해마(*H. kuda*), 산호해마(*H. mohnikei*) 그리고 점해마(*H. trimaculatus*) 등의 5종이 서식하고 있다(Kim and Lee, 1995). 해마는 기질에 부착할 수 있는 꼬리를 갖고 있으나 꼬리지느러미가 없고 머리는 몸통과 직각을 이루고 있으며 가슴지느러미가 높게 형성되어 있고 수컷인 경우 그 중심선을 따라 복부에는 보육낭 주머니가 있어 다른 어류와 쉽게 구분이 된다(Fritzsche, 1980). 이것들은 수컷의 보육낭에서 알을 보호하

는 습성을 갖는데 경골어류에 있어서 매우 특이한 형태이다(Herald, 1949). 보육낭은 완전히 외부환경과 폐쇄된 구조로 교미에 의해 암컷이 수컷의 보육낭에 알을 낳고 나면 수컷은 출산하기까지 수 주 동안 알을 관리하게 되며 보육낭은 수컷의 혈액을 통해서 산소공급이 되고 삼투압이 조절되는 정교한 incubator의 역할을 한다(Haresign and Shumway, 1981).

그동안 해마는 전통적인 중국 약재로서 천식, 간 기능 장애 그리고 일반적인 통증에 효능이 있는 것으로 알려져 있으며 중국을 비롯한 동남아시아에서는 약재로서의 수요가 많고 유럽과 북미에서는 관상용과 건조시켜 기념품이나 골동품 등으로 상품화하고 있다(Vincent, 1996). 최근 들어 이들의 수요가 꾸준히 증가하면서 전 세계적으로 주요서식지에서는 남획이 진행되면서 자원량이 급격히 감소하고 있다(Vincent, 1996). 또한 무차별한 개발로 서식지인 연안해역의 해조군락지 그리고 mangrove 군락지가 훼손되고 있는 점과 해마의 낮은 번식률도 자원량 감

*Corresponding author: rhosum@cheju.ac.kr

소에 한 요인으로 지적되고 있다(Foster and Vincent, 2004). 이에 따라 현재 멸종위기의 생물로 해마 10종이 지정되어 있고(IUCN, 2003) 야생해마의 포획과 상거래를 엄격히 제한하고 있다(CITES, 2002).

우리나라에 서식하고 있는 해마류는 아직 상업적으로 이용되고 있지는 않지만 임해공업단지와 대규모 주택단지의 건설, 대규모 간척, 매립 등에 따른 연안해역의 개발과 오염으로 서식지가 감소하고 있어 자원감소의 위험에 노출되어 있다. 이 연구에서는 서식환경에 따라 적색, 오렌지색, 백색 등의 화려한 체색으로 변화하는 특성을 지니고 있어(三谷, 1956), 관상용으로 가치가 높을 것으로 판단되는 *H. coronatus*의 안정적인 번식기술을 개발하기 위하여 가막만과 여자만 부근해역에서 채집한 성체를 이용하여 출산에 있어서 어미와 자어수와의 상관관계, 자치어의 성장 및 초기자어사육에 알맞은 먹이조건을 조사하였다.

재료 및 방법

채집과 운반

채집은 2003년 8월부터 2004년 11월까지 총 14회에 걸쳐 가막만과 여자만 부근해역, 4개 지점의 잘피밭에서(Fig. 1) 후릿그물을 이용하여 실시하였다. 채집에 이용된 어구는 망목 5×5 mm의 무결질망으로 제작하였으며 크기는 50×9 m였다. 채집된 개체들은 산소 포장 후 운반하여 실험실내에서 50 L 규모의 수조에서 1주일간 부화시켜 2~3주 동안 배양한 *Artemia* 성체(O.S.I, USA)와 copepod (*Tigriopus japonicus*)를 공급하면서 실험실내의 수조환경에 적응시킨 후 어미사육수조로 옮기면서 측정하였고 출산 전 어미 보육낭의 크기와 출산 후 자어수와의 관계를 조사하기 위해 임신개체별로 구분하여 tagging하였다. 측정은 디지털 카메라(Olympus, Japan)로 해마를 촬영한 후

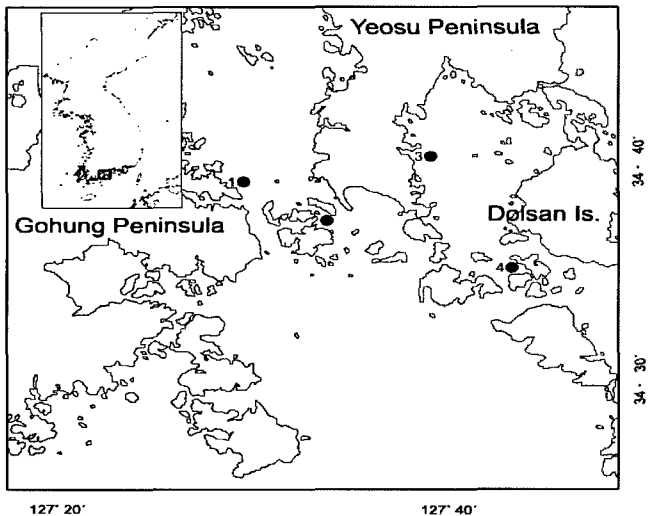


Fig. 1. A map showing the sampling station in Yeoja and Kamak Bay.

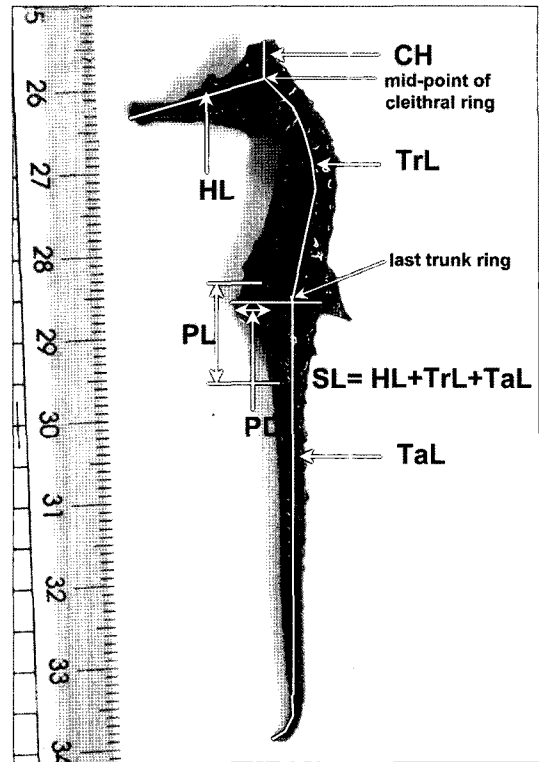


Fig. 2. Methods of measurements used in this study: TrL (trunk length); TaL (tail length); CH (coronet height); HL (head length); PL (pouch length); PD (pouch depth); SL (standard length), from Lourie et al. 1999b and Lourie, 2003.

Image Scope (Version 2.3, USA)를 이용하여 standard length (SL), pouch length (PL) 그리고 pouch depth (PD)를 0.01 mm 단위까지 측정하였고(Fig. 2, Lourie et al., 1999b; Lourie, 2003), 어미와 출산자어수와의 관계를 조사하였다. Tagging은 Woods and Martin-Smith (2004)의 방법에 의하여 Visible implant fluorescent elastomer (NMT Inc, USA)로 처리한 후 사육수조로 수용하였다.

어미관리

어미사육은 유리로 된 사각수조(50×30×28 cm)에 여과조(26×26×28 cm)를 연결한 순환여과사육시스템에서 실시하였으며 환수량은 9~10회전/일이 되도록 하였다. 연구기간 동안의 사육환경은 24.0±0.5°C, 염분 33±1.0 ppt, pH 7.78±0.42 그리고 DO 6.8±0.3 mg/L였고 광주기는 14L:10D로 조절하였다. 먹이는 출산 후 1~2일된 구피(*Lebistes reticulatus*) 치어와 부화시켜 2~3주 동안 배양한 5~7 mm 크기의 *Artemia* 성체(O.S.I, USA) 및 Blood Worms (Hicari, Japan)를 혼합 공급하였다.

출산어미와 자어수와의 관계

2003년 8월부터 2004년 11월까지 총 14회의 출산이 일어났고 출산에 참여한 어미의 체장(standard length, SL), PL 및 PD를 조사하여 어미의 크기와 출산개체수와의 상관관계를 구하였다.

치어의 성장

치어의 성장조사를 위해서 2004년 8월 5일 출산한 55개체를 모서리를 둥글게 만든 FRP 사각수조에서(0.9×0.9×0.75 m) 지수식으로 사육하였다. 사육수온은 24.0±0.5°C, 염분 33±1.0‰, pH 7.81±0.39 그리고 DO 6.5±0.4 mg/L 였고 광주기는 14L:10D로 조절하였다. 먹이는 *Isochrysis galbana* (Reed Mariculture, USA)로 24~48시간동안 영양 강화한 *Artemia* (O.S.I, USA)를 3~5 개체/ml로 공급하였으며 수조 상층부에 185~205 µm의 망목으로 제작한 사각커름망(10×10×20 cm)을 띄워서 copepod adult (*T. japonicus*)를 넣고 배양하면서 빠져나오는 copepod nauplii를 섭식할 수 있게 하였으며 밀도는 10~15 개체/ml였다. 이 때 사육수에는 수질유지와 공급한 *Artemia*와 copepod의 영양강화를 위해서 *Isochrysis galbana*를 500,000 cells/ml를 첨가하여 brown water를 조성하였고 해마자어의 부착기질로 나일론 끈을 20 cm의 크기로 자른 후 풀어서 끝을 3 cm 크기로 자른 PVC 파이프(Ø 10 mm)에 묶어서 만든 인공부착기질을 수조바닥에 5 set를 놓아주었다. 물의 환수는 매일 저면소체를 하면서 1/4을 환수하였다. 자어의 측정은 handling에 의한 스트레스를 최소화하기 위해서 5 mm단위로 표시하여 비닐 코팅한 방안지를 붙여 자체 제작한 사각 아크릴용기에(8×3×9 cm) 자어를 넣어 디지털 카메라(Olympus, Japan)로 촬영한 후, Image Scope (USA, 1999)를 이용하여 Lourie et al. (1999b)의 방법으로 각 부위를 측정(Fig. 2)하면서 60일간 SL의 성장과 함께 각 부위별 상대성장을 조사하였다.

Copepod nauplii와 Artemia nauplii 포식량

Copepod nauplii와 *Artemia* nauplii의 포식량 실험은 2004년 10월 6일에 출산한 개체 중 15마리를 대상으로 출산 후 5일과 30일째에 3000 ml 비이커에 자어 5마리를 수용하여 온도를 24±0.5로 유지하면서 오전 8시부터 20시까지 3회 반복 실시하였다. 먹이 공급방법은 24~48시간동안 영양 강화한 *Artemia* nauplii 1 개체/ml와 배양수조에서 185~205 µm 거름망으로 걸러져 나오는 성체를 분리하고 65~85 µm의 망에 걸러진 copepod nauplii를 5 개체/ml 밀도로 혼합 공급하였다. 포식량 조사는 2 시간 간격으로 1 ml 피펫으로 사육수를 5회 채취하여 copepod nauplii의 잔존량을 조사하였고 *Artemia* nauplii는 185~205 µm의 망으로 사육수를 걸러 계수한 후 평균 포식량을 조사하였다.

먹이공급방법에 따른 생존

실험은 예비시험을 거쳐 2004년 7월 27, 28일 그리고 10월 10일에 출산한 180마리를 대상으로 사각수조(50×30×28 cm)에 여과조(26×26×28 cm)를 연결한 순환여과사육시스템에 각각 15 마리씩 수용하여 실시하였다. 환수량은 3~4회전/일이 되도록 조절하였다. 실험구는 4개의 혼합먹이로 나누어서 3회 반복 실시하였다. 4개의 실험구는 A: 영양 강화한 *Artemia* nauplii 단독 급이구(7월 27, 28일 출산개체), B: 영양 강화한 *Artemia*

nauplii+copepod adult (205~235 µm) (7월 27, 28일 출산개체), C: Copepod adult (205~235 µm)+copepod nauplii (85~135 µm) (7월 27, 28일 출산개체), D: 영양 강화한 *Artemia* nauplii+copepod nauplii (85~135 µm) (7월 27일, 10월 10일 출산개체)였다. 먹이밀도는 *Artemia* nauplii, 1~2개체/ml, copepod adult, 1~2개체/ml 그리고 copepod nauplii, 15~20개체/ml를 유지시켰고 사육수는 *Isochrysis galbana*를 500,000 cells/ml를 첨가하여 brown water 조성하였으며 바닥에는 해마자어가 꼬리를 감을 수 있도록 나일론 끈으로 만든 부착기질 2 set를 놓아 주었다.

통계분석

어미크기와 자어수와의 관련성을 조사하기 위해 상관분석을 하였고 먹이생물의 포식량 조사 그리고 생존을 조사결과와 분석은 ANOVA-test를 실시하고 Duncan's multiple range test (Duncan, 1955)로 처리하여 평균간 유의성(P<0.05)을 SPSS Version 10.0 (SPSS, Michigan Avenue, Chicago, IL, USA)을 이용하여 분석하였다.

결 과

어미의 출산과 자어의 관계

어미의 출산 모습과 총 14회 동안 출산에 참가한 어미 크기와 출산 자어수를 Fig. 3과 Table 1에 나타내었다. 출산은 보통 오전 5~10시 사이에 이루어졌고 개체를 출산하는 간격은 2~8 분/10회로 불규칙하였다. 출산은 어미의 보육낭 입구가 열리면 시작되는데(Fig. 3A) 호흡수는 정상시 46~55회(평균 50.1±2.9 회/10분)였던 것이 출산이 시작되면 호흡수는 79~91회(평균 84.9±3.9/10분)로 급격히 빨라지면서 복부 압박으로 새끼를 출산시키기 위해서 몸을 상하좌우로 비트는 발작을 하였고(Fig. 3B), 5~7분 동안 꼬리를 기질에 감은 채 발작이 진행된 후 새

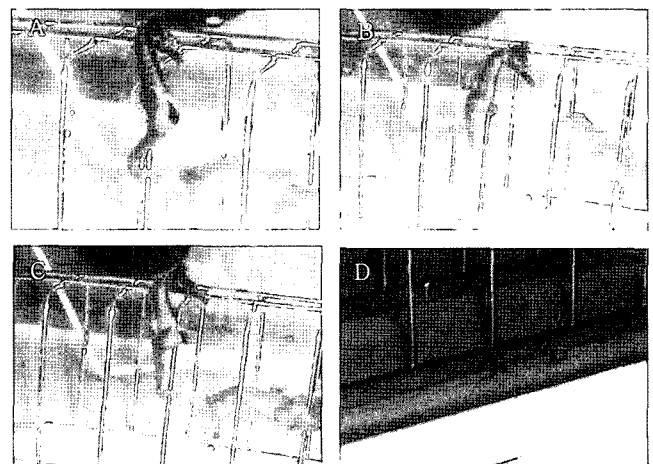


Fig. 3. Parturition of crowned seahorse, *H. coronatus*. A : Open the entrance of brood pouch, B : Start a parturition, C : Juvenile's head come out of the brood pouch, D : Juvenile after parturition.

Table 1. Correlation between size of seahorse adults and brood (*, $P < 0.05$, **, $P < 0.01$)

Number	Parturition date (2003~04)	Standard length (mm)	Pouch length (mm)	Pouch depth (mm)	Brood
1	Sep. 6	-	-	-	41
2	Nov. 26	-	-	-	6
3	Jul. 27	87.31	12.97	7.34	75
4	Jul. 27	80.77	12.86	7.24	61
5	Jul. 28	53.91	11.95	7.08	55
6	Jul. 29	84.55	7.01	6.29	35
7	Aug. 3	76.95	9.24	5.85	36
8	Aug. 5	79.00	12.83	8.40	55
9	Sep. 14	79.47	11.56	7.28	35
10	Oct. 6	84.79	10.12	5.68	12
11	Oct. 6	84.88	10.29	6.87	41
12	Oct. 10	85.37	10.08	7.05	52
13	Nov. 10	69.00	7.93	4.66	15
14	Nov. 15	67.25	10.64	5.86	24
Coefficient of correlation to clutch		0.143	0.705*	0.803**	

- No investigated

끼의 머리부터 보육낭 밖으로 내보내기 시작하였다(Fig. 3C). 이 시기에도 발작은 계속되었고 보통 보육낭이 열린 후 새끼는 1분 이내에 어미의 보육낭 밖으로 빠져나왔다(Fig. 3D). 이후 기질에 붙어 정상적인 호흡활동을 하다가 2~8분 후 다시 발작이 진행되는 출산의 과정을 반복하였다.

출산은 7~11월에 채집된 SL 53.91~87.31 mm (평균 77.76±9.84 mm, n=12)의 범위 개체들에서 이루어졌고 출산직전의 친어의 PL은 7.01~12.97 mm (평균 10.62±1.93 mm, n=12) 범위였고 PD는 4.66~8.40 mm (평균 6.63±0.98 mm, n=12) 범위였으며 총 14회 동안의 평균 출산 개체수는 38.8 ind./male였다 (Table 1).

출산 개체수는 SL과 유의한 상관이 없었으나 (Table 1, $P > 0.05$)는 PL과는 상관이 있었으며 (Table 1, $P < 0.05$) PD와는 매우 높은 유의성을 나타내었다 (Table 1, $P < 0.01$).

치어의 성장

출산 직후 자어의 SL은 11.69~15.81 mm (평균 13.69±1.29 mm, n=15)로 점 형태의 색소포가 복부를 따라 착색이 진행되고 있었으며 난황은 완전히 흡수된 상태였다. 두부에는 눈 위에 2개의 극이 눈 아래 1개의 극과 턱 밑에 1개의 극이 발달되어 있었고 눈에는 흑색소포가 진하게 착색이 되어 있었고 체륜이 희미하게 형성되고 있었다. 이 시기 자어사육수조에 설치한 부착기질을 이용하지 않고 대부분 수조 중층을 유영하고 공급한 copepod nauplii를 섭이하기 시작하였다 (Fig. 4. A, Table 2).

출산 후 1일째에는 SL은 12.28~16.72 mm (평균 14.48±1.38 mm, n=15)로 점 형태의 색소포가 뭉쳐져 오렌지색으로 착색이 진행되고 있었으며 몸통에 1, 4, 7, 10번 체륜 주변부에 다갈색 띠를 형성하고 있었다. 4번 체륜극이 다른 극보다 날카롭게 발달되어 있었으며 꼬리에는 3, 5, 9, 14, 20번 체륜 주변부에 갈색띠가 형

성되어 있었다. 이 시기 부착기질을 이용하여 꼬리를 감고 생활하기 시작하였다 (Fig. 4. B, Table 2).

출산 후 4일째에 자어의 SL은 12.68~18.00 mm (평균 14.98±1.62 mm, n=15)로 등지느러미, 가슴지느러미 그리고 뒷지느러미 줄기수가 각각 14, 12 그리고 4개로 어미의 줄기수와 동일하였고 이때 부착기질에 붙어 있다가 먹이가 빛에 의해 물려 있는 부분에 대부분의 개체가 이동하여 섭식활동을 활발히 하였다 (Fig. 4C, Table 2).

출산 후 8일째에는 SL이 12.75~18.58 mm (평균, 15.40±1.64 mm, n=15)로 성장하였고 꼬리의 3, 5, 9, 14, 20번 체륜극이 다른 극보다 날카롭게 발달되어 있었고 체색은 오렌지색에서 갈색으로 변하기 시작하였다 (Fig. 4D, Table 2).

출산 후 10일째에는 SL이 12.69~19.02 mm (평균, 15.69±1.72 mm, n=15)로 성장하였고 체륜이 뚜렷해져 몸통에 10개, 꼬리에 39개로 형성되어 있는 것을 관찰할 수 있었다 (Table 2).

출산 후 20일째 자어는 SL이 17.38~21.98 mm (평균, 18.55±1.69 mm, n=10)로 이 시기 꼬리에도 체륜이 뚜렷해지고 강하게 발달하면서 안정적으로 부착기질에 감고 있었다 (Fig. 4E, Table 2).

출산 후 30일째 자어의 SL은 17.30~21.97 mm (평균, 20.09±1.56 mm, n=10)로 성장하였으며 SL에 대한 머리길이, 몸통길이 그리고 꼬리길이의 비율이 각각 18.1%, 24.0% 그리고 57.9%를 차지하고 있었고 갈색으로 형성되어 있었던 몸통의 1, 4, 7, 10번 체륜의 띠와 꼬리의 3, 5, 9, 14, 20번 체륜의 띠는 갈색에서 회색으로 변하였다 (Fig. 4. F, Table 2).

출산 후 40일째에 SL은 18.58~23.81 mm (평균, 21.82±1.69 mm, n=10)로 성장하였고 체륜과 체륜 사이에 굴곡이 뚜렷해지고 외형상으로 성어와 완전히 비슷한 형태로 발달하였으며 관에는 skin filament가 돌아 있었고 이 시기 Snout length (SnL)는 1.20~1.87 mm (평균 1.63±0.21 mm, n=10)로 Head length (HL)의

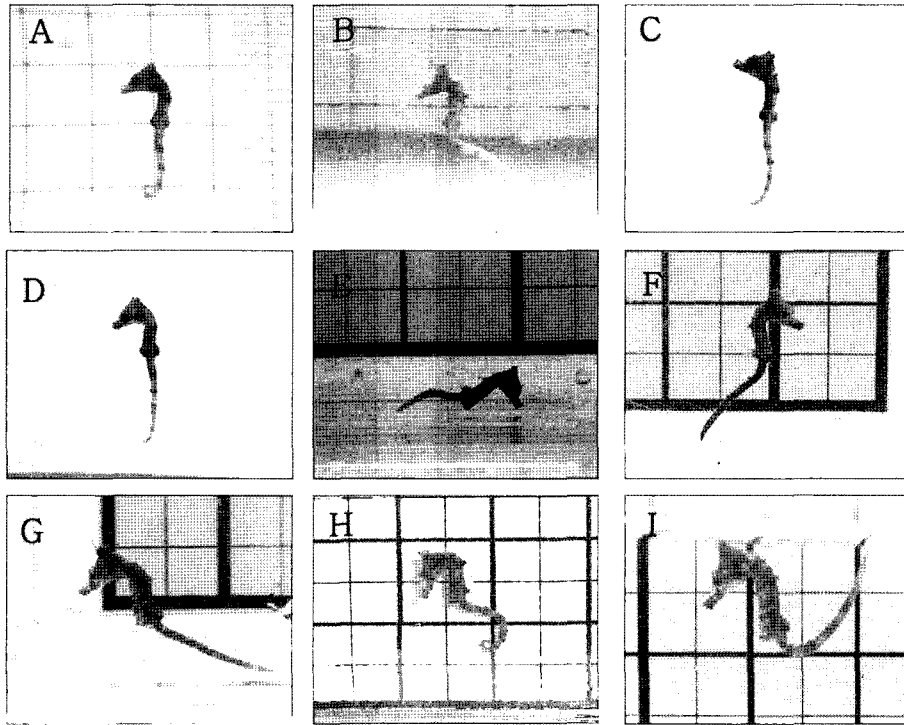


Fig. 4. Larval development of *H. coronatus* reared for 60 days after parturition. A : Directly after parturition, 13.69±1.29 (n=15) Standard length (SL), B : 1 day after parturition, 14.48±1.38 mm (n=15) SL, C : 4 days after parturition, 14.98±1.62 mm (n=15) SL, D : 8 days after parturition, 15.40±1.64 mm (n=15) SL, E : 20 days after parturition, 18.55±1.69 mm (n=10) SL, F : 30 days after parturition, 20.09±1.56 mm (n=10) SL, G : 40 days after parturition, 21.82±1.69 mm (n=10) SL, H : 50 days after parturition, 23.11±1.52 mm (n=10) SL, I : 60 days after parturition, 24.65±0.83 mm (n=4) SL.

Table 2. Growth of head length (HL), coronet height (CH), trunk length (TrL) and tail Length (TaL) in *H. coronatus* larvae during the 60 days after parturition

Age (Day)	Number of larvae	HL (mm) (Mean±SD)	CH (mm) (Mean±SD)	TrL (mm) (Mean±SD)	TaL (mm) (Mean±SD)	SL (mm) (Mean±SD)
0	15	2.54±0.20	1.40±0.20	3.68±0.64	7.48±0.96	13.69±1.29
1	15	2.70±0.39	1.36±0.36	3.29±0.43	8.49±0.95	14.48±1.38
4	15	2.61±0.29	1.21±0.10	3.38±0.46	9.00±0.96	14.98±1.62
8	15	2.74±0.25	1.38±0.23	3.46±0.45	9.21±1.04	15.40±1.64
10	15	2.74±0.38	1.53±0.19	3.81±0.51	9.13±0.94	15.69±1.72
20	10	3.21±0.47	1.69±0.29	4.68±0.94	10.67±1.10	18.55±1.69
30	10	3.63±0.15	1.82±0.28	4.83±0.59	11.63±0.84	20.09±1.56
40	10	3.84±0.48	2.15±0.38	5.62±0.32	12.37±1.32	21.82±1.69
50	10	3.94±0.41	2.36±0.29	5.91±0.40	13.26±0.98	23.11±1.52
60	4	4.35±0.05	2.46±0.05	6.33±0.27	13.96±0.53	24.65±0.83

42.5±1.3%였다(Fig. 4G, Table 2).

출산 후 50일째 자어의 SL은 19.81~24.79 mm (평균, 23.11±1.52 mm, n=10)로 몸통의 4, 7번 체륀극과 꼬리의 9번 체륀극에도 skin filament가 돌아 있었고 몸 전체적으로 체색은 오렌지색이었다(Fig. 4H, Table 2).

출산 후 60일째 자어의 SL은 23.48~25.29 mm (평균, 24.65±0.83 mm, n=4)로 주둥이는 먹이를 강하게 흡입할 수 있을 정도로 발달하였고 꼬리는 부착기질로 넣어준 나일론 끈을 휘감고 안정적으로 생활할 수 있을 만큼 발달하였으며 이 시기 유영능력이 더욱 향상되어 먹이에 민첩하게 반응하며 섭이활동을 하였다.

이 시기 SL에 대한 HL, Trunk length (TrL) 그리고 Tail length (TaL)의 비율은 각각 17.6%, 25.7% 그리고 56.7%를 차지하고 있으며 SnL는 1.76~1.88 mm (평균, 1.82±0.06 mm, n=4)로 HL/SnL 2.39±0.07 이었다(Fig. 4I, Table 2).

이상과 같이 60일 동안 해마 자어의 SL과 일령(Age)과의 관계는 다음과 같은 식으로 나타낼 수 있었고

$$\text{Standard length} = 14.18 + 0.18 \text{Age} \quad (r^2 = 0.9893)$$

일간성장률은 0.18 mm/day였다.

출산 직후부터 60일까지의 자어의 SL에 대한 HL, Coronet height

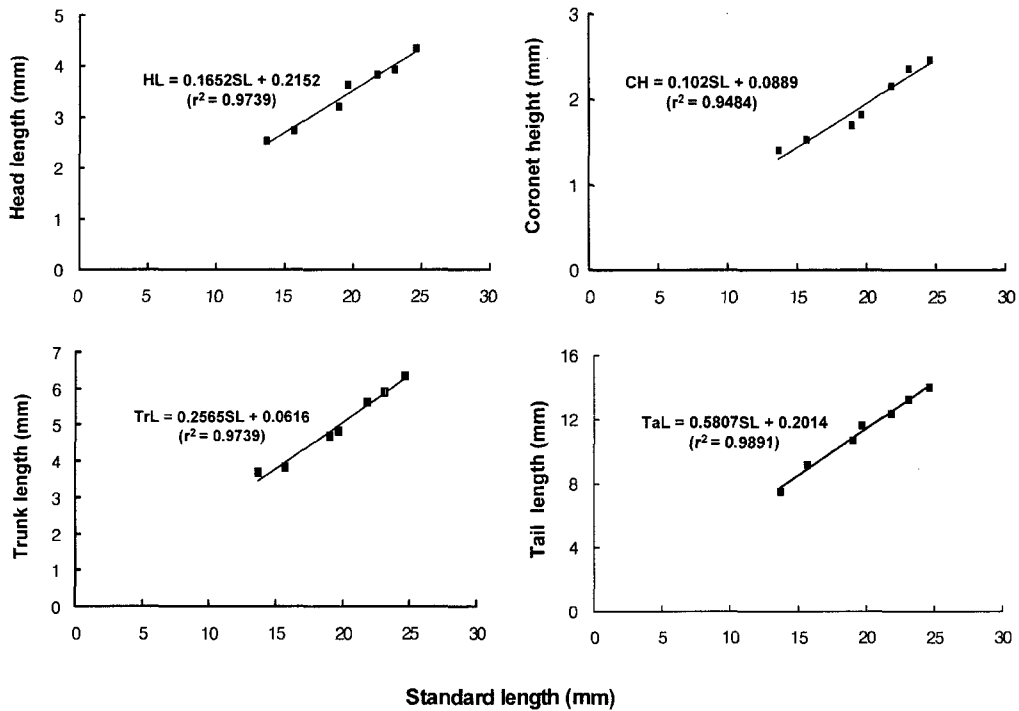


Fig. 5. Relationship between head length (HL), coronet height (CH), trunk length (TrL) and tail length (TaL) against standard length (SL) of *H. coronatus* larvae.

(CH), TrL 그리고 TaL의 상대성장은 각각 $HL=0.1652 SL+0.2152$ ($r^2=0.9739$), $CH=0.102 SL-0.0889$ ($r^2=0.9484$), $TrL=0.2565 SL-0.0616$ ($r^2=0.9793$) 그리고 $TaL=0.5807 SL-0.2014$ ($r^2=0.9891$)의 회귀 직선식으로 나타낼 수 있었다(Fig. 5).

Copepod nauplii와 Artemia nauplii 포식량

출산 후 5일째 자어를 대상으로 copepod nauplii와 Artemia nauplii의 포식량을 조사한 결과는 Fig. 6와 같다. 해마자어가 12시간 동안 섭식한 copepod 양은 254 ind./larva로 시간당 포식량은 평균 21 ind./larva/hour였고 실험시작 후 2시간동안 포

식량은 31 ind./larva/hour로 가장 많은 양을 섭식하였다($P<0.05$). *Artemia nauplii*에 대한 12 시간동안의 포식량은 31 ind./larva로 시간당 포식량은 평균 3 ind./larva/hour였고 실험시작 후 6시간동안 3 ind./larva/hour를 섭식하여 이후 6시간 보다 포식량이 많았다($P<0.05$).

출산 후 30일째 자어를 대상으로 copepod nauplii와 Artemia nauplii의 포식량을 조사한 결과는 Fig. 7와 같다. copepod nauplii에 대한 12시간 동안의 총 포식량은 62 ind./larva로 시간당 포식량은 평균 5 ind./larva/hour였고 시간대별 평균 포식량의 유의차이는 없었다($P>0.05$). Artemia nauplii에 대한 12 시간동안

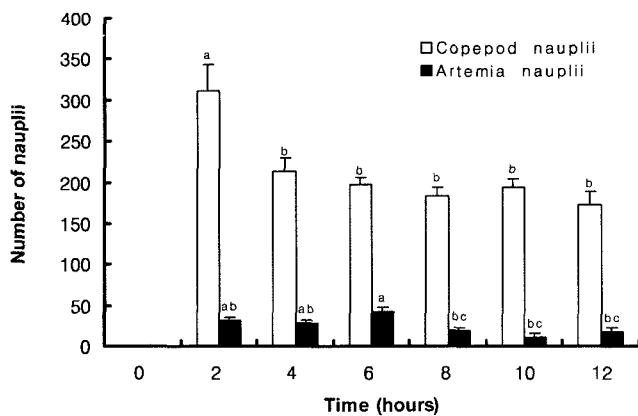


Fig. 6. Predation individuals by 5 days old seahorses (n=5) on copepod nauplii and Artemia nauplii.

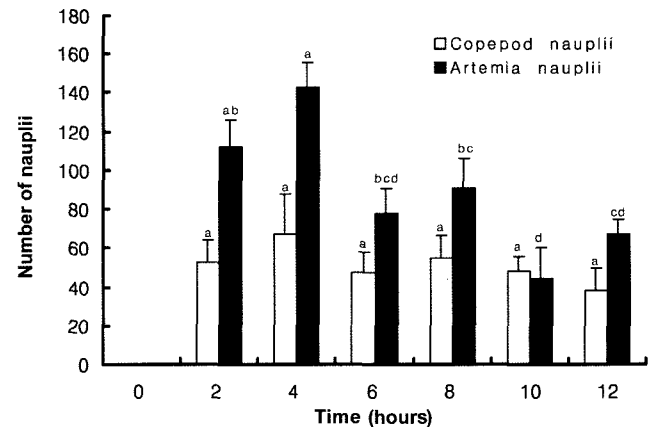


Fig. 7. Predation individuals by 30 days old seahorses (n=5) on copepod nauplii and Artemia nauplii.

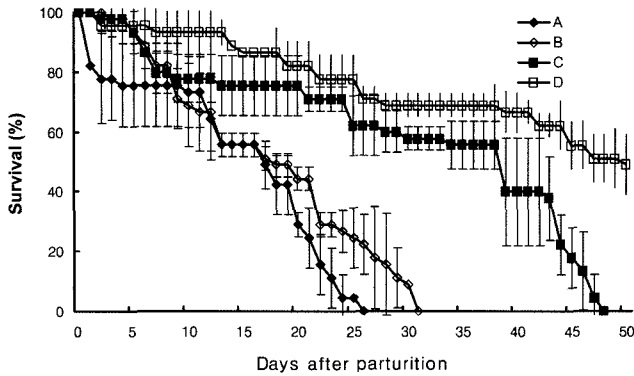


Fig. 8. Survival of juvenile seahorses reared on 4 prey patterns (mean±SD). A: *Artemia* nauplii, B: *Artemia* nauplii+copepod adult, C: Copepod adult+copepod nauplii, D: *Artemia* nauplii+copepod nauplii.

의 포식량은 107 ind./larva로 시간당 포식량은 평균 9 ind./larva/hour였고 실험시작 2~4 시간 사이에 14 ind./larva/hour로 가장 많았다($P < 0.05$).

출산 후 5일과 30일의 포식량 비교에서 copepod nauplii의 포식량은 출산 후 5일째 보다 출산 후 30일 제에는 포식량이 줄어들었고($P < 0.05$) 이와는 반대로 *Artemia* nauplii의 포식량은 출산 후 5일째 보다 출산 후 30일째에 늘어나는 경향이 있었다($P < 0.05$).

먹이 공급방법에 따른 생존율

해마 자어의 먹이 공급방법을 달리한 실험구의 생존율을 Fig. 8에 나타내었다. 각 실험구별 생존율은 출산 후 5일째 실험구 A에서 75.6%로 가장 낮았으며($P < 0.05$) B, C 그리고 D에서 각각 93.3, 93.3 그리고 95.6%로 비슷한 경향이 있었다($P > 0.05$). 부화 후 14일째, 영양강화된 *Artemia* nauplii를 공통적으로 공급한 A와 B의 생존율에 차이가 없었으며($P > 0.05$), copepod nauplii를 공통적으로 공급한 C와 D 사이에도 생존율의 차이는 없었으나($P > 0.05$) A, B 실험구와 C, D 실험구 사이에는 유의한 차이가 있었다($P < 0.05$). 이후 A와 B에서는 출산 25일과 30일째 전량 폐사하였다. 실험구 C에서는 출산 후 35부터 급격히 생존율이 저하되어 출산 후 44일째부터 D와 차이를 보이기 시작하였고($P < 0.05$) 출산 후 47일째 전량 폐사하였으나 실험구 D에서는 완만한 감소세를 보이며 출산 후 50일째에 생존율이 48.9%였다(Fig. 8).

고 찰

해마의 번식기의 시기와 기간은 위도에 따라 다양하게 나타나며 특히 빛, 온도 그리고 먹이 조건과 같은 환경적 조건의 영향을 받는다(Bye, 1984). Flat-faced seahorse, *H. trimaculatus*의 번식기는 중국해에서 3~5월에 절정기를 이루지만(Truong and Nga, 1995) 온도가 일정하게 유지되면 연중 지속이 된다

(Cai et al., 1984). 임신한 tiger tail seahorse, *H. comes*는 수온이 일정하게 유지되는 필리핀에서 1년 내내 관찰되는데 장마철인 7~9월 사이에 임신한 수컷이 가장 많이 출현을 한다(Perante et al., 2002). Big-bellied seahorse, *H. abdominalis*의 번식기는 열대해역에서 온대해역보다 길게 나타나서(Woods, 2000a) 오스트레일리아 고위도 지방에서는 1년 내내 번식기가 지속된다(Foster and Vincent, 2004). 이 실험에서 *H. coronatus*의 채집 지역에서 임신한 개체들이 출현한 7~11월은 수온이 17.8~25.1로 계절적으로 초여름에서 늦가을이고 년 중 낮의 길이가 가장 긴 시간이다. 번식기를 판단하는 데 있어서는 보다 객관적 자료가 포함되어야지만 임신개체의 출현빈도로 파악한다면 이 시기는 번식기 범위에 포함되는 것으로 생각된다.

일반적으로 경골어류에 있어서 생물학적 최소형은 개체군의 50%가 성적으로 성숙하는 시점의 크기로 정의 되지만(Froese and Pauly, 2003) 해마에 있어서는 수컷의 보육낭이 완전히 발달해 있는 크기를 성적인 성숙단계로 결정하는 방법과(Baum et al., 2003) 임신한 수컷 중에 가장 작은 것의 크기를 생물학적 최소형으로 결정하는 방법이 사용되고 있다(Foster and Vincent, 2004). 하지만 전자의 경우 *H. trimaculatus*의 경우처럼 조직학적 검정에 의한 방법과 외형상 보육낭의 상태로 판단하는 것에서 판단시점의 차이가 있어 단독적인 결과로 생리적인 성숙도를 나타내는 데는 한계가 있고(Cai et al., 1984), 후자의 경우 밀도가 낮은 해마자원의 특성과 개체군 내에서 성비의 불균형으로 짝짓기 기회를 놓칠 경우 임신개체출현 시기가 늦어져 최초 성숙시기를 판단하는데 있어서도 약간의 차이가 있다(Foster and Vincent, 2004). 이러한 문제점들을 해결하기 위해서는 야생에서 행동학적 분석과 조직적 검증이 필요하지만 많은 양의 표본이 필요하고 해마자원의 밀도가 낮아 비효율적이고 어려움이 따른다. 이에 이 실험에서는 Foster and Vincent (2004)에 의하여 최소성숙크기를 판단해보면 임신한 *H. coronatus*의 개체들의 SL은 53.91~87.31 mm (평균 77.76±9.84 mm, n=12) 범위로 그 중 가장 작은 개체의 SL이 53.91 mm로 이 실험에서 나타난 *H. coronatus*의 최초 성숙크기였다.

대부분의 해마에 있어서 1회 출산 개체수는 100~300개정도 이다(Masonjones and Lewis, 1996). 이 연구에서 평균 출산 개체수는 38.8 ind./male/time (n=14)로 출산량이 극히 적으로 것으로 알려져 있는 Dwarf seahorse, *H. zosterae*의 출산 개체수 69마리(Strawn, 1958) 보다도 적은 양을 출산하였다.

어미가 알을 보호하는 습성을 가진 어류에서, 수컷이 새끼를 보호하는 능력은 산출자어의 생존율을 결정하는데 매우 중요한 요소가 된다(Cole and Sadovy, 1995). 수컷의 보육낭에서 영양분의 공급, 산소공급, 삼투압 조절 등의 형태로 알을 관리하는 해마(Linton and Sloff, 1964; Boisseau, 1967)에 있어서 수컷 보육낭의 크기가 출산 자어수를 제한하는 지의 여부는 생산량을 결정하는데 중요한 요인이 될 것이다(Masonjones, 1997). 수컷의 출산 개체수와 SL, PL 그리고 PD와의 관계를 조사한 이

실험에서 출산 개체수는 SL과 상관이 없었고 PL 그리고 PD와 상관관계가 있었다. 다른 연구에서 *H. zostera*에서 수컷의 크기와 출산 자어수는 연관성이 있었고(Masonjones, 1997), *H. whitei*는 수컷의 크기와 보육낭의 크기가 출산 개체수와는 상관관계가 없었다(Vincent and Giles, 2003). 이 실험에 사용된 해마는 여수부근해역 4개의 지점에서 채집된 개체들로 해마 서식공간의 범위가 좁은 것을 고려해 보면, 각 지점에서 채집된 개체들이 같은 서식 공간 내에 동일개체군이라 할 수 없는 만큼 수컷과 보육낭의 크기와 출산자어수와의 관계에 규정하는데 무리가 있고, 위의 두 연구와도 세밀한 비교는 어렵다. 그러므로 해마에 있어서 수컷의 상태와 생산력과는 밀접한 연관관계가 있을 것으로 생각되지만, 서식공간의 범위를 고려한 조사가 더 뒷받침 되어야 할 것으로 판단된다.

모든 해마는 형태와 기능적 면에서 같은 구조를 갖고 외형상으로 다른 경골어류와 쉽게 구분할 수 있지만(Fritzsche, 1980) 해마 종간에 있어서도 여러 가지 분류형질들이 있는데 일반적으로 해마의 몸통에 형성되어 있는 체륜은 대부분 11개이고 꼬리에는 35 (*H. histrix*)~41개(*H. trimaculatus*)의 체륜을 갖고, 줄기수는 가슴지느러미에 13 (*H. mohnikei*)~18개(*H. histrix*) 그리고 등지느러미에 15 (*H. mohnikei*)~20개(*H. trimaculatus*)를 형성한다(Lourie et al., 1999b). 이 실험의 *H. coronatus*의 경우 몸통에는 10개가 형성되어 있어 일반적인 해마류의 체륜수보다도 적었고 꼬리에 39개의 체륜이 형성되어 있었으며 가슴지느러미와 등지느러미 줄기수도 12개와 14개로 다른 종들에 비해 적은 수의 줄기가 형성되어 있었다. 또한 분류형질 중 하나인 HL에 대한 SnL의 비율은 출산 후 60일째 41.8%였다. 출산 직후 *H. coronatus*의 SL은 11.69~15.81 (mean 13.69±1.38 mm)로 Chilka seahorse, *H. fuscus*의 7.5 mm (Vincent, 1990), Spotted seahorse, *H. kuda*의 7.0 mm (Mi et al., 1998), White's seahorse, *H. whitei*의 8.5 mm (Vincent, 1990)보다는 크고 *H. subelongatus*의 11.3 mm (Payne and Rippingale, 2000)와 비슷한 크기였으며 *H. abdominalis*의 20 mm (Young, 1926)보다는 작은 크기였다. 이후 자어는 수온 24.0±0.5에서 출산 후 60일에 SL 24.65±0.83 mm로 성장하였고 일간성장률은 0.18 mm/day 이었다. 대형종에 속하는 *H. kuda*는 수온 30 조건에서 자연에서 채집한 copepod와 amphipod등을 공급해서 출산 후 14일에 30.4 mm 그리고 42 일 동안 72.1 mm로 성장하여 일간성장률은 1.53 mm/day (Job et al., 2002)이었으며 출산 직후 SL이 16 mm인 *H. abdominalis* 경우 60 L 규모의 유리 수조에서 수온 16±0.9의 조건으로 *Isochrysis* sp.로 영양 강화한 *Artemia*를 공급하고 55 W의 형광등을 수조 측면에서 조명하여 사육한 결과 출산 후 30일 후에 SL 30.6 mm로 성장하였고 60일 후에는 43.0 mm로 성장하였다(Woods, 2000b). 이번 실험과 위의 두 실험을 비교하는 데 있어서 사육조건이 동일하지 않아 세밀한 비교는 어렵지만 이 실험의 대상종인 *H. coronatus*는 위의 두 대형종에 비해 성장률이 낮은 종의 특성을 파악할 수 있었다.

야생에서 해마의 먹이는 amphipods, copepod, mysid shrimp 그리고 caridean shrimp 등이다(Tipton and Bell, 1988). 이러한 점에서 착안하여 해마의 초기사육은 야생에서 위와 같은 동물성 플랑크톤을 채집하여 안정적으로 배양한 것들을 해마의 먹이로 공급하는 것에 비중을 두어 왔다(Payne et al., 1998). 그 중 치어의 먹이의 필요한 구성성분인 고도불포화지방산을 함유하고 있는 copepod의 경우는(Watanabe et al., 1983) 해마 치어 사육에 안정적인 먹이가 될 수 있다(Liang, 1992). 하지만 사육에 충분한 먹이의 양을 확보하기가 어렵다. 이에 *Artemia*는 원하는 양을 손쉽게 얻을 수 있는 장점이 있고, 고도불포화지방산(HUFA)으로 영양 강화하여 이용할 경우 영양적으로도 안정적인 먹이로 이용할 수 있다(Sargent et al., 1997) 이 실험에서는 *Isochrysis galbana*로 영양 강화한 *Artemia*와 제주해안의 조간대 지역에서 채집한 copepod, *Tigriopus japonicus*를 배양 공급하여 포식량을 조사한 결과 출산 후 5일째 copepod nauplii에 대한 12시간의 총 포식량은 254 ind./larva였고 섭식활동이 가장 왕성했던 시간은 시험시작 4시간으로 26 ind./larva/hour였으며 *Artemia*는 거의 섭식하지 못했다. 이는 대형종인 오스트레일리아 서부 해역의 *H. subelongatus*와 최대 포식량에 도달하는 시점이 비슷하여 섭식활동이 가장 활발한 4 시간동안의 포식량은 214 ind./larva/hour로(Payne and Rippingale, 2000) 공복 후 4시간 사이에 포식량이 최고조에 달했다. 출산 후 30일째에는 copepod nauplii에 대한 12시간의 총 포식량은 62 ind./larva였고 *Artemia*에 대한 12 시간동안의 포식량은 107 ind./larva로 성장함에 따라 *Artemia*에 대한 포식량이 늘어났다.

해마표묘생산에 있어서 부화 직후부터 몇 달간은 생존율이 매우 저조하다(Scarratt, 1995). 이것은 해마의 초기 먹이계열에 대한 정보가 부족한데 있다. 그러나 산업적 수요가 많은 종을 중심으로 상업적 규모의 양식이 성공적인 결과를 얻고 있다. 그 중 하나인 최대 35 cm까지 성장하는 초대형종인 Large-bellied seahorse, *H. abdominalis*는 *Chroomonas salina*와 *Isochrysis* sp.로 영양 강화한 *Artemia*를 공급하여 사육한 결과 출산 후 2달째 생존율이 80.4% 이었으며(Woods, 2000b) 그리고 성어의 크기가 17 cm까지 이르는 *H. kuda*는 *Acetes* sp.로 영양 강화한 *Artemia*를 공급하여 사육한 경우 출산 후 98일째 생존율이 73.3%로 향상된 결과를 얻은 바 있다(Job et al., 2002). *H. coronatus*의 초기 사육에 있어서 알맞은 먹이를 조사하기 위한 이번 실험에서 영양 강화한 *Artemia* nauplii를 단독으로 공급한 실험구와 영양 강화한 *Artemia* nauplii와 copepod adult를 혼합으로 공급한 실험구에서는 출산 후 25일과 30일째 전량 폐사하였다. 그리고 copepod adult와 copepod nauplii를 혼합 공급한 실험구에서는 47일째 전량 폐사하였으며 *Artemia* nauplii와 copepod nauplii를 혼합 공급한 실험구에서는 출산 후 50일째에 생존율이 48.9%였다. 위의 결과에서 알 수 있듯이 *H. coronatus*는 출산 후 50일까지 copepod nauplii와 영양 강화한 *Artemia* nauplii를 공급할 때 가장 향상된 생존율을 보였다(P<0.05). 이는 먹이의 영양과

습성에 관련하여, *H. coronatus* 치어사육에는 copepod nauplii의 영양적 가치가 영양 강화한 *Artemia* nauplii 보다 적합하고, 먹이의 유영습성에 있어서 copepod adult가 수조 바닥과 벽면에 주로 붙어 있어 섭식하기 어려운 데 반해 copepod nauplii의 수조 내에서 중층에서 유영하는 습성은 해마치어가 먹이를 잡아먹는데 보다 유리한 것으로 판단된다.

이상의 연구결과로 *H. coronatus*는 현재 다른 해마류에 비해 출산수가 적고 치어의 성장률이 낮으며 치어의 먹이공급에 있어서는 copepod와 *Artemia*를 이용할 경우 copepod nauplii와 영양 강화한 *Artemia* nauplii를 혼합 공급하여 향상된 결과를 얻을 수 있었다. 그러나 이번 연구에서 초기생존율을 고려한 다양한 먹이탐색이 이루어 지지 않았던 것은 아쉬웠던 점으로 금후 해마의 성장단계별로 초기생존율 향상을 고려한 적합한 먹이생물에 대한 연구가 더 진행되어야 할 것으로 생각된다.

요 약

체색의 변화가 다양하여 관찰용으로 가치가 높은 *Hippocampus coronatus*의 안정적인 번식기술을 개발하기 위하여 가막만과 여자만 부근해역의 잘피밭에서 채집 한 후 실험실에서 사육하면서 어미의 출산특성, 자치어의 성장 및 초기자어사육에 알맞은 먹이조건을 조사하였다.

7~11월에 가막만과 여자만에서 출현한 체장(SL) 53.91~87.31 mm (평균 77.76±9.84 mm, n=12) 범위의 개체들이 실험실내에서 6~75 개체(평균 39 ind./male/time)를 출산하였다. 출산 직후 자어의 크기는 11.69~15.81 mm(평균 13.7±1.3 mm, n=15)였고 몸통과 꼬리의 체륜수는 10 그리고 39개였으며 가슴지느러미, 등지느러미 그리고 뒷지느러미 줄기수는 각각 12, 14 그리고 4 개였다. 출산 후 60일에는 23.48~25.29 mm (평균, 24.65±0.83 mm, n=4)로 성장하였고 일간성장률은 0.18 mm/day였다. Copepod와 *Artemia*를 혼합 공급하여 포식량을 조사한 결과 출산 후 5일째에 copepod nauplii의 포식량은 평균 21 ind./larva/hour였고 *Artemia* nauplii의 포식량은 평균 3 ind./larva/hour로 copepod nauplii에 대한 선호도가 높았고 출산 후 30일째에는 copepod nauplii에 대한 포식량이 평균 5 ind./larva/hour, 그리고 *Artemia* nauplii의 포식량이 평균 9 ind./larva/hour로 성장함에 따라 *Artemia* nauplii에 대한 포식량이 증가하였다. 생존율을 고려한 먹이 공급방법에 있어서 *Artemia* nauplii와 copepod nauplii를 혼합 공급할 경우 생존율은 출산 후 50일에 48.9%로 향상된 결과를 얻을 수 있었다.

감사의 글

이 연구는 해양수산부 수산특정연구과제의 연구비 지원에 의해 수행된 연구결과의 일부이며 이에 깊은 감사를 드립니다.

참고문헌

- Baum, J. K., J. J. Meeuwing, and A. C. J. Vincent, 2003. Bycatch of seahorse (*Hippocampus erectus*) in a Gulf of Mexico shrimp trawl fishery. *Fish. Bull.*, 101, 721-731.
- Boisseau, J., 1967. Recherche sur le controle hormonal de l'incubation chez l'Hippocampe. *Revue Europeenne d'Endocrinologie*, 4, 197-234.
- Bye, V. J., 1984. The role of environmental factors in the timing of reproductive cycles. (in) Potts, G. W. and R. J. Wootton (ed.), *Fish Reproduction, Strategies and Tactics*, Academic Press, London. U.K. pp. 187-205.
- Cai, N., Q. Xu, F. Yu, X. Wu, and G. Sun, 1984. Studies on the reproduction of the seahorse *Hippocampus trimaculatus*. *Studia Marina Sinica*, 23, 83-93.
- CITES, 2002. Twelfth Meeting of the Conference of the Parties. Comments from the Parties and Comments and Recommendations from the Secretariat on the Proposals to Amend Appendices I and II, <http://www.cites.org>
- Cole, K. S. and Y. Sadovy, 1995. Evaluating the use of spawning success to estimate reproductive success in a Caribbean reef fish. *Journal of Fish Biology*, 47, 181-191.
- Duncan, D. B., 1955. Multiple range and multiple F tests. *Biometrics*, 11, 1-42.
- Foster, S. J. and A. C. J. Vincent, 2004. The life history and ecology of seahorses: implications for conservation and management. *Journal of Fish biology*, 65, 1-61.
- Fritzche, R. A., 1980. Revision of the eastern Pacific Syngnathidae (Pisces: Syngnathiformes) including both recent and fossil forms. *Proceedings of the California Academy of Science*, 42, 181-227.
- Froses, R. and D. Pauly, 2003. Fishbase. www.fishbase.org.
- Haresign, T. H. and S. E. Shumway, 1981. Permeability of the marsupium of the pipefish *Syngnathus fuscus* to [14C]-alpha amino isobutyric acid. *Comp. Biochem. Physiol.*, 69A, 603-604.
- Herald, E. S., 1949. Pipefishes and seahorses as food for tuna. *California Fish and Game, California*, 35, 329 pp.
- IUCN, 2003. 2003 IUCN Red List of Threatened Species. IUCN, Grand, Switzerland. <http://www.redlist.org>.
- Job, S. D., H. H. Do, J. J. Meeuwig, and H. J. Hall, 2002. Culturing the oceanic seahorse, *Hippocampus kuda*. *Aquaculture*, 214, 333-341.
- Kim, I. S. and W. O. Lee, 1995. First record of the seahorse fish, *Hippocampus trimaculatus* (Pisces: Syngnathidae) from Korea. *Kor. J. Zool.*, 38, 74-77.
- Liang, B., 1992. Research on the culture of *Hippocampus*. *J. Ocean Univ, Qingdao (Qingdao Haiyang Daoxue Xuebao)*, 22, 39-44.
- Linton, J. R. and B. L. Soloff, 1964. The physiology of the brood pouch of the male seahorse *Hippocampus erectus*. *Bulletin of Marine Science of Gulf and Caribbean*, 14, 45-61.
- Lourie, J. R., A. C. J. Vincent, and H. J. Hall, 1999a. Seahorses: An Identification Guide to their World's Species and Their Conservation. Project Seahorse, London, 214 pp.
- Lourie, S. A., J. C. Pritchard, S. P. Casey, T. S. Ky, H. J. Hall, and A. C. J. Vincent, 1999b. The taxonomy of Vietnam's exploited

- seahorses (family Syngnathidae). *Biol. J. Linn. Soc.*, 66, 231–256.
- Lourie, S., 2003. Measuring seahorses. Project Seahorse Technical Report No.4, Version 1.0 Project Seahorse. Fisheries Centre, University of British Columbia, 15 pp.
- Masonjones, H. D. and S. M. Lewis, 1996. Courtship behavior in the dwarf seahorse, *Hippocampus zosterae*. *Copeia*, 1996, 634–640.
- Masonjones, H. D., 1997. Relative parental investment of male and female dwarf seahorses, *Hippocampus zosterae*. *American Zoologist*, 37, 114 pp.
- Mi, P. T., E. S. Kornienko, and A. L. Drozdov, 1998. Embryonic and larval development of the seahorse *Hippocampus kuda*. *Russian Journal of Marine Biology*, 24, 325–329.
- Payne, M. F., R. J. Rippingale, and R. B. Longmore, 1998. Growth and survival of juvenile pipefish (*Stigmatopora argus*) fed live copepod with high and low HUFA content. *Aquaculture*, 167, 237–245.
- Payne, M. F. and R. J. Rippingale, 2000. *Hippocampus subelongatus*, juveniles on copepod nauplii and enriched *Artemia*. *Aquaculture*, 188, 352–361.
- Perante, N. C., M. G. Pajaro, J. J. Meeuwig, and A. C. J. Vincent, 2002. Biology of a seahorse species *Hippocampus comes* in the central Philippines. *Journal of Fish Biology*, 60, 821–837.
- Scarratt, A. M., 1995. Techniques for raising lined seahorses (*Hippocampus erectus*). *Aquarium Front*, 3, 24–29.
- Sargent, J. R., L. A. McEvoy, and J. G. Bell, 1997. Requirements, presentation and sources of polyunsaturated fatty acids in marine fish larval feeds. *Aquaculture*, 155, 117–128.
- Strawn, K., 1958. Life history of the pigmy seahorse, *Hippocampus zosterae* Jordan and Gilbert, at Cedar Key, Florida. *Copeia*, 1958, 16–22.
- Tipton, K. and S. S. Bell, 1988. Foraging patterns of two syngnathid fishes: importance of harpacticoid copepods. *Marine Ecology Progress Series*, 47, 31–43.
- Truong, S. K. and T. N. M. Nga, 1995. Reproduction of two species seahorses *Hippocampus histrix* and *H. trimaculatus* in Binhthuan waters. *Bao cao Khoa Hoc*, 27, 68 pp.
- Vincent, A. C. J., 1990. Reproductive Ecology of Seahorses. Ph. D. thesis, Cambridge University, U.K., 107 pp.
- Vincent, A. C. J., 1996. The International trade in Seahorses. TRAFFIC International, Cambridge, pp. 4–163.
- Vincent, A. C. J. and B. G. Giles, 2003. Correlates of reproductive success in a wild population of *Hippocampus whitei*. *Journal of Fish Biology*, 63, 344–355.
- Vincent, A. C. J., K. L. Evans, and A. D. Marsden, 2005. Home range behaviour of the monogamous Australian seahorse, *Hippocampus whitei*. *Environmental Biology of Fishes*, 72, 1–12.
- Watanabe, T., C. Kitajima, and S. Fujita, 1983. Nutritional values of live organisms used in Japan for mass propagation of fish: a review. *Aquaculture*, 34, 115–143.
- Woods, C. M. C., 2000a. Preliminary observation on breeding and rearing the seahorse *Hippocampus abdominalis* (Teleostei: Syngnathidae) in captivity. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research*, 34, 475–485.
- Woods, C. M. C., 2000b. Improving initial survival in cultured seahorses, *Hippocampus abdominalis* Lesson, 1827 (Teleostei: Syngnathidae). *Aquaculture*, 190, 377–388.
- Woods, C. M. C. and K. M. Martin-Smith, 2004. Visible implant fluorescent elastomer tagging of the big-bellied seahorse, *Hippocampus abdominalis*. *Fisheries Research*, 66, 363–371.
- Young, M. W., 1926. Marine biological notes No. 2: The spawning of the seahorse. *N. Z. Journal of Science and Technology*, 8, 284 pp.
- 三谷文夫. 1956. タツノオトシゴ (*Hippocampus coronatus* T. and S.) に見られる刑状及び色彩の個異. *動物學雜誌*, 65, 66–73.

원고접수 : 2006년 3월 23일

수정본 수리 : 2006년 5월 3일