

실험실 사육에 의한 한국산 실고기과(Syngnathidae) 2종, 풀해마(*Urocampus nanus*)와 실고기(*Syngnathus schlegeli*)의 초기생활사 비교

이재환 · 김진구*

부경대학교 자원생물학과

Comparative Early Life History of Two Pipefish, *Urocampus nanus* and *Syngnathus schlegeli* (Syngnathidae) in Laboratory Culture from Korea

Jae-Hwan Lee and Jin-Koo Kim*

Department of Marine Biology, Pukyong National University, Busan 48513, Korea

This study provides a detailed morphological description of larvae obtained from *Urocampus nanus* and *Syngnathus schlegeli* male brood fish over 20 days of culture in the laboratory. In both species, mating takes place when several males each spread their brood pouch like a wing to attract a female's attention. When the female begins to swim upward, the males follow her and receive her eggs in their brood pouches. Newborn larvae of *U. nanus* and *S. schlegeli* had already completed formation of dorsal and caudal fin rays, but not of pectoral fin rays. Pectoral fin rays were completely formed 15 days after release in *S. schlegeli* and 20 days after release in *U. nanus*. The ratio of caudal fin length to standard length increased until 8 days and decreased thereafter in *S. schlegeli*, while in *U. nanus* this ratio declined continuously after hatching. The larvae of the two species were very similar in external morphology, but well distinguished by the number of dorsal fin rays (15-16 in *U. nanus* vs. 39-43 in *S. schlegeli*), the presence of a membrane under the tail (absent in *U. nanus* vs. present in *S. schlegeli*), and the presence of melanophores in the dorsal fin (present in *U. nanus* vs. absent in *S. schlegeli*). Based on this study, *U. nanus* appears to be evolutionally more similar to pipefish than to seahorse.

Keywords: Early life history, *Urocampus nanus*, *Syngnathus schlegeli*, Syngnathidae, Korea

서론

실고기목(Syngnathiformes) 실고기과(Syngnathidae) 어류는 전세계적으로 57속 298종(Nelson et al., 2016) 한국에는 8속 16종이 알려져 있다(MABIK, 2018). 실고기과 어류는 용이한 먹이 섭취 및 포식자로부터의 보호를 위해 해조류가 많은 서식처에서 생활한다(Pollard, 1984). 실고기과 어류는 위장을 위해 주변 환경과 비슷한 체색을 띠고 해조류에 쉽게 부착할 수 있도록 꼬리가 특수하게 변형되었다(Kuiter, 2009). 또한 먹이를 빠르고 정확하게 포획하기 위해 주둥이가 길고 가늘게 발달하고, 머리가 발달해 목이 생겨났다(Kuiter, 2009). 실고

기과 어류의 성어는 이러한 특징으로 주변환경에 잘 적응했지만, 자어는 주둥이나 꼬리의 형태가 완벽하지 않아 대부분 플랑크톤 생활에 의존한다(Campbell and Able, 1998; Monteiro et al., 2003; Kuiter, 2009; Sommer et al., 2012; Franz-Odenaal and Adriaens, 2014; Novelli et al., 2017). 초기생활사의 이해는 종의 생존전략과 진화 과정을 이해하는데 도움을 주며(Silva et al., 2005), 실고기(*Syngnathus schlegeli*)를 대상으로 번식(Watanabe, 1999), 체내 수정(Watanabe et al., 2000), 수컷과 자어의 크기와의 관계(Watanabe and Watanabe, 2002), 육아낭 발달(Watanabe and Watanabe, 2001), 난소의 구조와 난형성(Sogabe et al., 2013), 자치어의 형태발달(Kim et al., 1994)

*Corresponding author: Tel: +82. 51. 629. 5927 Fax: +82. 51. 629. 5931

E-mail address: taengko@hanmail.net



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

<https://doi.org/10.5657/KFAS.2020.0083>

Korean J Fish Aquat Sci 53(1), 83-89, February 2020

Received 26 December 2019; Revised 24 January 2020; Accepted 4 February 2020

저자 직위: 이재환(대학원생), 김진구(교수)

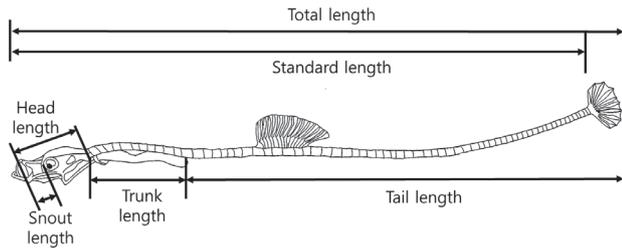


Fig. 1. Diagram showing morphometric characters of two syngnathid species larvae.

등 다양한 연구가 진행되어 왔으나, 풀해마(*Urocampus nanus*)를 대상으로 한 연구는 생식(Sogabe et al., 2012)을 제외하면 전무한 실정이다. 실고기과 어류는 IUCN (2019)에 의하면 멸종위기종, 취약종, 위기근접종 등으로 등재되어 있고, CITES (2019)에서도 국제간 거래를 제한하는 등 엄격한 종보전 대책이 수립되어 있으나, 여전히 불법어획이 성행하고 있다. 우리나라에서도 복해마(*Hippocampus kuda*), 가시해마(*Hippocampus histrix*), 점해마(*Hippocampus trimaculatus*) 등이 해양보호생물로 지정되어 포획이 금지되어 있으나, 상대적으로 연구가 많이 진행된 해마속(*Hippocampus*)에 한정되어 있다. 따라서 본 연구는 실험실에서 사육중인 풀해마, 실고기 친어에서 산출된 자어를 20일간 사육하면서 초기생활기 생존전략과 형태 특징을 비교하였다.

재료 및 방법

성어의 채집 및 사육

2019년 4월 부산광역시 남구 민락동에 위치한 잘피밭에서 족대를 이용해 실고기 성어 3개체와 풀해마 성어 3쌍을 채집하였다. 채집한 개체들은 부경대학교 어류학 실험실로 이송하여 유리수조(60×30×30cm)에 수용하였으며, 수온 17.5-18.5°C(평균 17°C), 염분 33.8-34.2 psu(평균 34 psu) 조건에서 사육하였다. 실고기 성어의 먹이로는 냉동 곤쟁이(Bio-pure, Hikari Sales Inc., Hayward, CA, USA)와 요각류(*Tigriopus* sp.)를, 풀해마 성어는 요각류(*Tigriopus* sp.)와 알테미아(*Artemia salina*) nauplius를 급여하였다.

자치어의 사육 및 관찰

풀해마와 실고기 자어는 산출한지 2시간 이내의 알테미아(*Artemia salina*) nauplius를 급여하였고, 그 외의 수조환경은 성어와 동일하게 유지하였다. 부화한 자어는 2-5일 간격으로 5개체씩 99% EtOH에 고정하였으며, 최종적으로 부경대학교 어류학실험실 어류플랑크톤포본실(PKUI)에 등록 및 보관하였다(풀해마, PKUI704-PKUI708; 실고기, PKUI709-PKUI712). 계수 및 계측은 Kuitert (2009)를 따랐으며(Fig. 1), 계측은 0.01

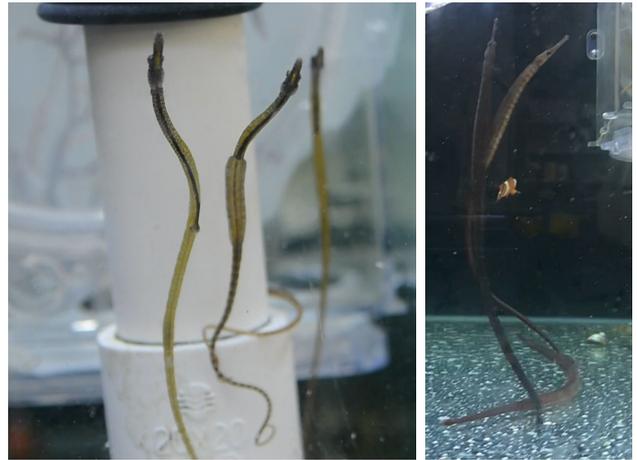


Fig. 2. Photos showing the copulatory behaviour of barbed pipefish *Urocampus nanus* (left) and seaweed pipefish *Syngnathus schlegeli* (right).

mm 단위까지 측정하였다. 등지느러미, 꼬리지느러미와 가슴지느러미는 Alizarin red S (Sigma-Aldrich, St. Louis, MO, USA) 용액으로 염색한 뒤 계수하였다. 자어의 외부형태는 입체해부현미경(Olympus SZH10, Tokyo, Japan) 하에서 관찰, 스케치하였다. 실고기과 자치어의 발달단계는 Noveli et al. (2017), 해부학적 용어는 Watanabe (1999), Kim (2006) 및 Noveli et al. (2017)을 따랐다. 전문 용어의 한국명은 Kim (1989), Kang et al. (2005) 및 Cho et al. (2019)을 참고하였다.

결 과

교미 및 출산행동

풀해마는 산란기가 되면 암컷이 전체적으로 노란색으로 체색이 변하며, 눈 옆으로 푸른빛의 점이 밝아졌다. 암컷이 물체에 꼬리를 휘감고 있으면, 여러 마리의 수컷이 날개처럼 육아낭을 펼치고 암컷의 시선을 끌었다. 그 후에 암컷이 수직으로 유영하면 수컷 풀해마도 따라서 상승하여, 암컷의 알을 육아낭으로 받았다(Fig. 2). 교미가 끝나고 2주 후에 수컷 1마리당 88마리의 자어를 출산하였다.

실고기의 경우 산란기가 되면 암컷 실고기의 산란관이 돌출되었다. 바닥에 있는 암컷 실고기를 수컷 실고기가 평행하게 다가간 후, 수컷 실고기가 머리를 암컷 실고기의 머리 아래에 넣고 머리를 들어서 암컷 실고기의 수직상승을 유도하였다. 실고기 암컷이 수직으로 상승하게 되면 수컷도 암컷을 따라 상승하였고, 서로 배쪽을 마주한채 몸을 휘감았다. 수컷이 상승하면서 육아낭을 개방하면, 암컷이 알을 수컷의 육아낭에 붙이고 포장하였다(Fig. 2). 교미 2주 후에 수컷은 1마리당 636마리의 자어를 출산하였다. 수컷 실고기는 출산이 끝나고 즉시 다른 암컷이랑

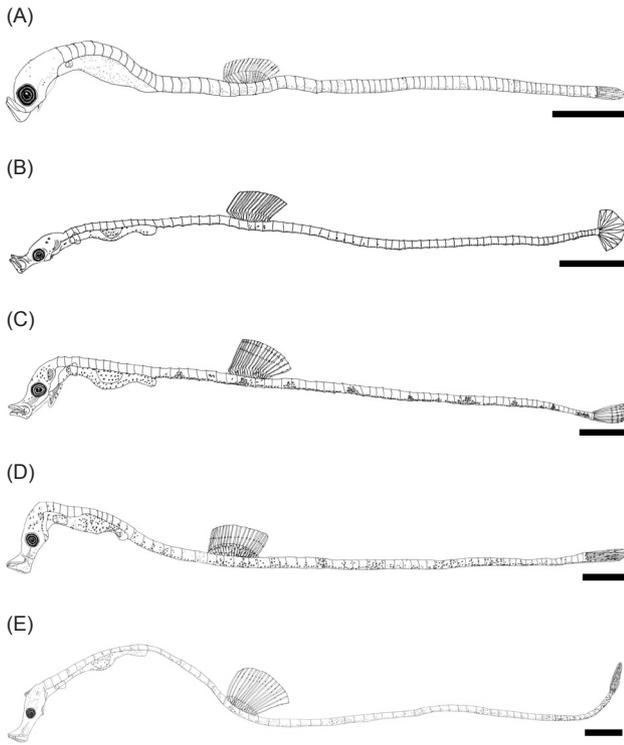


Fig. 3. Morphological development of larvae of barbed pipefish *Urocampus nanus*. A, Before release, 9.13 mm SL (PKUI704); B, After release, 8.75-10.70 mm SL (mean 9.93 mm, n=5) (PKUI705); C, 4 days after release, 10.94-12.03 mm SL (mean 11.73mm, n=5) (PKUI706); D, 15 days after release, 13.57-16.55 mm SL (mean 15.48 mm, n=5) (PKUI707); E, 20 days after release, 16.95-20.62 mm SL (mean 18.70 mm, n=5) (PKUI708). Scale bars=1.0 mm. SL, standard length.

고미를 하고, 2주 후에 다시 자어를 출산하였다.

자치어의 외부 형태 발달

폴해마

산출 직전 자어는 전장이 9.13 mm (n=1)로 배쪽에는 노란빛의 난황이 아직 남아있었고, 주둥이가 짧아서 위턱에 붙어있는 형태를 하였다. 머리는 둥근 타원형이며, 가늘고 긴 체형을 가지고 있었다. 머리는 성어와 다르게 몸체에 직각으로 굽혀졌다. 등지느러미 줄기는 16개, 꼬리지느러미 줄기는 10개로 이미 정수에 도달해 있었으며 가슴지느러미는 막상으로 아직 줄기는 분화하지 않은 상태였다. 흑색소포는 점모양으로 아래턱과 두정부, 등지느러미 기저부에 산재하였으며, 꼬리 아래쪽에 줄지어 나타났다. 또한 등지느러미에는 줄기당 흑색소포가 2개씩 점모양으로 분포하였다(Fig. 3A).

산출 직후 자어는 전장이 8.75-10.70 mm (평균 9.93 mm, n=5)로 난황이 없고 바로 먹이를 먹을 수 있게 입이 열려 있었

다. 체고는 낮고, 몸은 길고 투명했다. 주둥이는 아래턱이 위턱보다 전방으로 나와 있으며 위를 향해 열려 있었다. 아래턱의 봉합부에 각설골(ceratohyal)이 눈의 전방에 달하며, 입을 닫으면 아래로 돌출되었다. 전새개골(preopercular)과 전액골(prefrontal)에 돌기가 나타났다. 액골(frontal)의 좌, 우 상부에 작은 극이 나타났다. 흑색소포는 아래턱의 배쪽 및 아가미덮개 배쪽에 조금 나타났다. 두정부에는 별모양의 흑색소포가 2개 나타났고 등지느러미 기저부에 흑색소포가 여러 개 나타났다. 흉부의 가슴지느러미 배쪽에서 항문까지는 배쪽으로 2열, 등쪽으로 1열의 흑색소포가 타원형으로 나타났다(Fig. 3B).

산출 4일 후 자어는 전장이 10.94-12.03 mm (평균 11.73 mm, n=5)로 주둥이가 약간 길어졌다. 비공이 작은 원형으로 1개 나타났으며, 두정부가 둥근 형에서 타원형으로 바뀌었다. 액골의 좌, 우에 있던 작은 극의 크기가 좀 더 커졌으며, 액골의 상부에 액극(frontal crest)이 나타났다. 머리 쪽과 항문 쪽에 흑색소포가 더 많아졌다(Fig. 3C).

산출 15일 후 자어는 전장이 13.57-16.55 mm (평균 15.48 mm, n=5)로 두정부는 거의 평평해졌다. 주둥이는 더 길어졌으며, 비공은 원형에서 타원형으로 바뀌었다. 액극은 상부로 더 융기했으며, 막형태의 가슴지느러미는 크기가 커졌고 흑색소포는 아가미덮개 및 두개부의 뒤쪽으로 더 많이 나타났다(Fig. 3D).

산출 20일 후 자어는 전장이 16.95-20.62 mm (평균 18.70 mm, n=5)로 주둥이는 더 길고 가늘어졌으며, 액극의 가운데가 뾰족하게 융기했다. 주새개골이 나타났으며, 가슴지느러미 줄기가 7개로 완전히 분화가 종료되었다. 흑색소포는 15일 후의 자어와 유사하지만, 흑색소포가 별모양에서 둥근 점모양으로 바뀌는 점에서만 차이를 보였다. 체색은 아직 투명했으며, 성어와 다르게 해조류 등에 붙을 수 있는 꼬리의 감는 능력은 아직 없었다(Fig. 3E).

실고기

산출 직후 자어는 전장이 7.87-9.60 mm (평균 8.76 mm, n=5)로 폴해마와 유사하게 난황이 없고, 입은 먹이를 먹을 수 있게 열려 있었다. 주둥이는 거의 직각으로 위를 향해 있으며, 아래턱이 위턱보다 전방으로 나와 있었다. 머리는 성어와 다르게 몸체에 직각으로 굽혀졌다. 두정부는 평평하며, 두정부의 뒤쪽에 위치하는 왕관돌기(coronet)는 위로 약간 융기되어 있었다. 전새개골과 전액골에 돌기가 나타나고, 익이골돌기(pterotic crest)가 나타났다. 등지느러미 줄기는 39-43개 꼬리지느러미는 10개로 정수에 도달해 있으나 가슴지느러미는 아직 발달하지 않고 막으로만 존재했다. 흑색소포는 척추골 아래를 따라 시작지점부터 꼬리지느러미까지 별모양으로 산재해 있고, 등지느러미 기조부의 앞쪽에서부터 꼬리 끝까지 9개의 별모양의 흑색소포가 나타났다. 소화관의 배쪽 및 아래턱의 등쪽과 배쪽에 흑색소포가 나타났다. 항문 뒤에서부터 꼬리의 1/4지점까지 막이 있고, 꼬리지느러미에는 흑색소포가 나타나지만 등지느러미에는

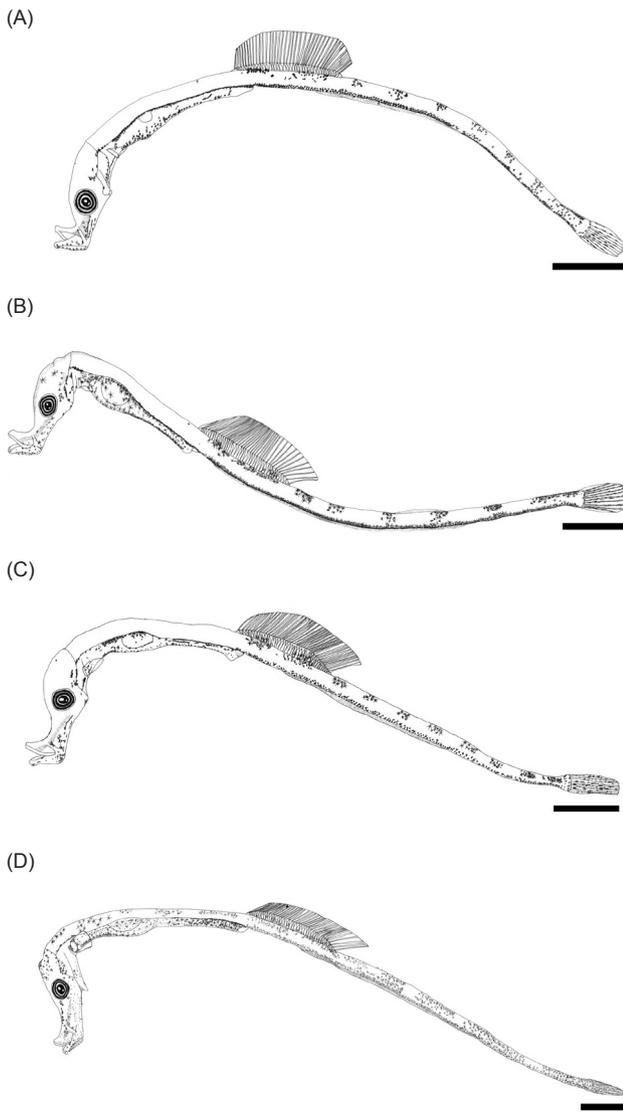


Fig. 4. Morphological development of larvae of seaweed pipefish *Syngnathus schlegeli*. A, After release, 7.87-9.60 mm SL (mean 8.76 mm, n=5) (PKUI709); B, 4 day after release, 10.94-12.03 mm SL (mean 11.73 mm, n=5) (PKUI710); C, 8 days after release, 10.07-11.13 mm SL (mean 10.52 mm, n=5) (PKUI711); D, 15 days after release. 16.44 mm SL (PKUI712). Scale bars=1.0 mm. SL, standard length.

나타나지 않았다(Fig. 4A).

산출 4일 후 자어는 전장이 10.94-12.03 mm (평균 11.73 mm, n=5)로 주둥이는 조금 더 길어지면서 위로 향했던 주둥이가 대각선 방향으로 열려 있었다. 두정부는 타원형으로 볼록해졌으며, 액골의 중앙에 1쌍의 극이 나타난다. 눈의 앞쪽에는 원형의 비공이 1개가 나타났다. 꼬리의 배쪽 가장자리를 따라 꼬리의 2/3을 덮는 얇은 막이 나타났고, 등쪽에는 꼬리지느러미 길이

정도만큼 얇은 막이 나타났다. 소화관의 등쪽에 별모양의 흑색소포가 나타나고, 뒤쪽으로 소화관을 완전히 덮었다. 아래턱의 배쪽에 나타났던 흑색소포는 더욱 진해지며, 아가미덮개에도 흑색소포가 나타났다(Fig. 4B).

산출 8일 후 자어는 전장이 10.07-11.13 mm (평균 10.52 mm, n=5)로 입의 방향은 일정하며 주둥이의 길이만 더욱 길어졌다. 상후두골(supraoccipital)과 왕관돌기의 높이가 같아지면서 서로 합쳐졌으며 꼬리의 등쪽에 있던 막은 사라졌다. 꼬리 배쪽과 소화관에 있는 흑색소포는 별모양에서 점모양으로 바뀌었으며, 아가미덮개 쪽의 흑색소포는 이전보다 더욱 진해졌다(Fig. 4C).

산출 15일 후 자어는 전장이 16.44 mm (n=1)로 주둥이가 이전보다 조금 더 길어졌다 두정부는 평평해졌으며, 가슴지느러미 줄기가 14개로 완전히 분화되었다. 주새개골이 나타났으며 꼬리의 배쪽막이 흔적처럼 남아있다. 두정부에 흑색소포가 많이 나타났으며, 몸통의 체측에도 흑색소포가 많이 나타났다. 소화관에는 그물모양의 흑색소포가 나타났으며, 주둥이의 위턱에도 나타났다. 꼬리지느러미의 기초에는 전체적으로 흑색소포가 산재해 있으며, 체색은 투명했다(Fig. 4D).

상대성장 비교

실고기와 풀해마 모두 성장함에 따라 전장은 계속 증가했으며, 산출 8일 후까지 풀해마의 평균전장(12.45 mm)이 실고기의 평균전장(10.52 mm)보다 약간 더 컸지만, 산출 15일 후에는 실고기(16.44 mm)가 풀해마(15.48 mm)보다 더 컸다. 실고기의 전장에 대한 꼬리지느러미 길이는 산출 직후(5.89%)부터 산출 6일(7.18%)까지 커졌으며 산출 6일부터 산출 8일(6.11%)까지 오히려 작아지고 산출 8일부터 산출 15일(6.04%)까지는 유지되었다. 반면에, 풀해마의 전장에 대한 꼬리지느러미 길이는 산출 직후(6.95%)부터 산출 20일(4.86%)까지 지속적으로 감소하였다. 두장에 대한 주둥이 길이는 모두 증가했으며, 산출 6일까지는 풀해마(40.33%)와 실고기(39.55%)가 비슷하지만, 산출 8일부터 실고기(44.12%)가 풀해마(42.35%)를 앞질렀다(Fig. 5).

고 찰

본 실험에서 산출 직후 풀해마는 등지느러미 16개, 꼬리지느러미 10개로 정수에 도달했으며, Sogabe et al. (2012)의 결과와 잘 일치하였다. 또한, 산출 직후 실고기는 등지느러미 39-43개, 꼬리지느러미 10개로 역시 정수에 도달했으며, Watanabe (1999), Kim et al. (1994)의 결과와 잘 일치하였다. 이처럼 산출 직후 자어의 등지느러미와 꼬리지느러미가 완성된 상태로 산출된 것은 적극적인 먹이 활동을 통해 생존율을 높이기 위한 전략으로 사료된다(Bishop et al., 2006). 산출 직후 자어는 성어와 다르게 바닥에서 쉬거나 기질에 꼬리를 감지 않고 항상 수조에 떠다녔다. 이는 자어 시기에 풀해마와 실고기 모두 플랑크톤

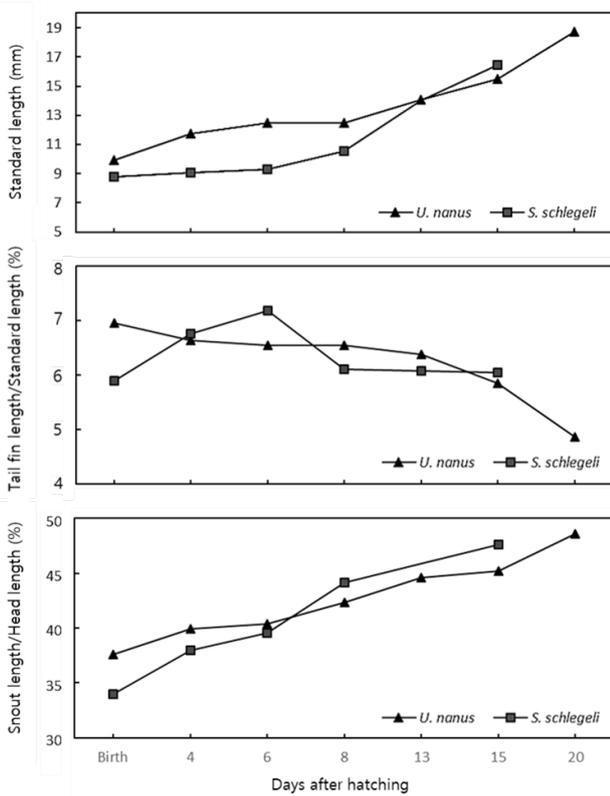


Fig. 5. Relative growth of various body parts in larvae of *Urocampus nanus* and *Syngnathus schlegelii*.

생활을 하는 것으로 생각되며, 먹이의 탐색과 새로운 서식처로 분산하기 위함으로 사료된다(Bishop et al., 2006).

두 종 모두 산출 직후에 난황이 다 흡수되고 입이 열려 있었으며, 먹이를 바로 섭취하였다. 이는 자어가 수컷의 육아낭에 있을 때 난황을 모두 흡수하고, 소화기관이 발달했음을 의미하며 취약한 자어 시기의 생존률을 높이기 위한 전략으로 보인다(Houde, 1987; Silva et al., 2006). 반면에 *Nerophis*속과 *Entelurus*속의 자어는 산출 직후, 난황이 있고 입이 열려 있지 않았다(Monteiro et al., 2003). 이는 육아낭(marsupium)을 가지는 *Syngnathus*속과 *Urocampus*속이 육아낭이 없는 *Nerophis*속과 *Entelurus*속보다 발달된 자어를 산출한다는 것을 말한다(Monteiro et al., 2003; Silva et al., 2006).

자어 시기에 폴해마와 실고기는 투명한 체색에 가늘고 긴 체형, 긴 주둥이를 가지고 있어서 형태적으로 매우 유사했지만 등지느러미 줄기수에서 실고기는 39-40개, 폴해마는 16개로 현저한 차이를 보였다(Fig. 3-4). 흑색소포는 실고기와 폴해마 모두 꼬리의 배쪽과 소화관, 주둥이에 있어서 매우 유사했지만 실고기는 등지느러미 줄기에 흑색소포가 없고 폴해마는 등지느러미 줄기 중앙에 흑색소포가 나타나 잘 구분되었다. 또한 폴해마는 꼬리 배쪽에 막이 없으나 실고기는 산출 직후부터 15일까지

지 꼬리 배쪽에 투명한 막이 확인되었는데, 산출 6일째 막이 손실된다는 Kim et al. (1994)의 연구와 차이를 보였다. 이는 개체 변이 또는 연구자의 개인적인 주관 차이에서 비롯된 것으로 사료되며, 꼬리 배쪽의 투명한 막의 역할에 대한 추후 연구가 요구된다.

폴해마와 실고기 모두 성장하면서 전장에 대한 주둥이 길이가 증가하였다(Fig. 5). 이러한 자어 시기에 주둥이의 발달은 먹이 성공률을 높여주며(Watanabe, 1999; Wittenrich et al., 2009), 유럽 베스(*Dicentrarchus labrax*)에서도 유사한 결과를 나타내었다(Gluckman et al., 1999).

실고기는 전장에 대한 꼬리지느러미 길이가 증가하다가 산출 8일째부터 감소하였고 폴해마는 산출 13일째까지 완만히 감소하다가 산출 15일째부터 급격히 줄어들었다(Fig. 5). 이는 실고기와 폴해마가 초기 자어기 동안 먹이 섭취에 대한 꼬리지느러미 의존도가 높으나(Watanabe, 1999) 치어기로 이행하면서 종별 의존도에 차이가 있을 것으로 짐작된다. 또한 폴해마의 꼬리지느러미 비율은 15일 후부터 급격히 작아졌는데, 이는 꼬리지느러미를 유영하는데 사용하는 일반적인 어류와는 달리, 성어기에 꼬리를 감고 생활하는 폴해마의 행동 특성 때문으로 사료된다. 해마속 어류는 꼬리를 감을 수 있고(Choo and Liew, 2006; Franz-Odenaal and Adriaens, 2014; Novelli et al., 2017), 대부분 성장하면서 꼬리지느러미가 사라지므로(Foster and Vincent, 2004), 폴해마와는 명확히 구분된다. Wassenbergh et al. (2011)는 해마속 어류의 머리가 말머리를 닮게 된 과정이 꼬리 감는 능력과 연관이 있을 것으로 보고 폴해마(pipehorse: 몸은 실고기와 유사하되 꼬리는 해마처럼 감을 수 있음)의 계통발생학적 위치가 실고기(pipefish)와 해마(seahorse)의 중간단계라고 제안하였다. 본 연구에서 폴해마 자치는 실고기 자치어와 외형상 유사하게 발생이 진행되었고, 다만 꼬리지느러미의 비율에서 실고기 자치어와 차이를 보였다. 또한 해마처럼 꼬리지느러미가 성장하면서 사라지지 않고, 실고기와 비슷한 형태를 띠는 점에서 해마보다 실고기에 더 가까운 것으로 사료된다. 향후 실고기, 폴해마, 해마 간의 꼬리를 감는 능력, 목을 움직이는 능력, 주둥이의 먹이 흡입 방식 등에서 차이를 이해하기 위해 추가적인 골격 및 근육 연구가 필요할 것으로 생각된다.

사 사

이 논문은 2020년도 정부(해양수산부)의 재원으로 해양수산과학기술진흥원 해양수산생명공학기술개발사업의 지원을 받아 수행된 연구입니다(No. 20170431). 논문을 세심하게 검토해 주신 세 분 심사위원께 감사드립니다.

References

Bishop CD, Erezylmaz DF, Flatt T, Georgiou CD, Hadfield

- MG, Heyland A, Hodin J, Jacobs MW, Maslakova SA, Pires A, Reitzel AM, Santagata S, Tanaka K and Youson JH. 2006. What is metamorphosis?. *Integr Comp Biol* 46, 655-661. <https://doi.org/10.1093/icb/icl004>.
- Campbell BC and Able KW. 1998. Life history characteristics of the northern pipefish, *Syngnathus fuscus* in southern New Jersey. *Estuaries* 21, 470-475.
- Cho HG, Ha DJ and Lee CR. 2019. Marine fishes of Korea national park. Korea national park research institute, Wonju, Korea, 32.
- Choo CK and Liew HC. 2006. Morphological development and allometric growth patterns in juvenile seahorse. *J Fish Biol* 69, 426-445.
- CITES (Convention on International Trade in Endangered Species of wild fauna and flora). 2019. Appendices I, II and III valid from 26 November 2019. Retrieved from www.cites.org on Dec 20, 2019.
- Foster SJ and Vincent ACJ. 2004. Life history and ecology of seahorses: Implications for conservation and management. *J Fish Biol* 65, 1-61.
- Franz-Odenaal TA and Adriaens D. 2014. Comparative developmental osteology of the seahorse skeleton reveals heterochrony amongst *Hippocampus* sp. and progressive caudal fin loss. *EvoDevo* 5, 1-12.
- Gluckman I, Huriaux F, Focant B and Vandewalle P. 1999. Post-embryonic development of the cephalic skeleton in *Dicentrarchus labrax* (Pisces, Perciformes, Serranidae). *Bull Mar Sci* 65, 11-36.
- Houde ED. 1987. Fish early life dynamics and recruitment variability. *Am Fish Soc Symp* 2, 17-29.
- IUCN (International Union for conservation of nature and Natural resources). 2019. The IUCN red list of threatened species (Version 2019-3). Retrieved from www.iucnredlist.org on Dec 20, 2019.
- Kang SH, Koh JR, Jeong SB and Kim SA. 2005. Morphological development and reproductive behavior of hedgehog seahorse *Hippocampus spinisissimus* (Teleostei: Syngnathidae). *Korean J Fish Aquat Sci* 38, 298-303.
- Kim S, Lee YH and Oh JN. 2006. Description of the post larva of star pipefish, *Halicampus punctatus* (Syngnathidae, Gasterosteiformes) first found in the southwestern east sea, Korea. *Ocean Sci J* 41, 201-205.
- Kim YU. 1989. Introduction to ichthyology. Taehwa, Busan, Korea, 42-56.
- Kim YU, Han KH and Ahn G. 1994. The egg morphology and larval development of the pipefish, *Syngnathus schelegeli* Kaup. *Korean J Ichthyol* 6, 93-98.
- Kuiter RH. 2009. Seahorses and their relatives. Aquatic Photographics, Seaford, Australia, 1-333.
- MABIK (National Marine Biodiversity Institute of Korea). 2018. National list of marine species. Namu Press, Secheon, Korea, 32-33.
- Monteiro NM, Almada VC and Vieira MN. 2003. Early life history of the pipefish *Nerophis lumbriciformis* (Pisces: Syngnathidae). *J Mar Biol Ass UK* 83, 1179-1182. <https://doi.org/10.1017/S0025315403008452h>.
- Nakabo T and Senou H. 2013. Syngnathidae. In: Fishes of Japan with pictorial keys to the species. 3rd ed. Tokai University Press, Hadano, Japan, 615-635.
- Nelson JS, Grande TC and Wilson VH. 2016. Fishes of the world, 5th edition. John Wiley and Sons Inc., New Jersey, NJ, U.S.A., 407-409.
- Novelli B, Otero-Ferrer F, Socorro JA, Caballero MJ, Segade-Botella A and Molina Dominguez L. 2017. Development of short-snouted seahorse (*Hippocampus hippocampus*, L. 1758): osteological and morphological aspects. *Fish Physiol Biochem* 43, 833-848. <https://doi.org/10.1007/s10695-017-0339-2>.
- Pollard DA. 1984. A review of ecological studies on seagrass-fish communities, with particular reference to recent studies in Australia. *Aquatic Botany* 18, 3-42. [https://doi.org/10.1016/0304-3770\(84\)90079-2](https://doi.org/10.1016/0304-3770(84)90079-2).
- Teske PR, Cherry MI and Matthee CA. 2004. The evolutionary history of seahorses (Syngnathidae: Hippocampus): molecular data suggest a West Pacific origin and two invasions of the Atlantic Ocean. *Mol Phylogenet Evol* 30, 273-286. [https://doi.org/10.1016/s1055-7903\(03\)00214-8](https://doi.org/10.1016/s1055-7903(03)00214-8).
- Silva K, Monteiro NM, Almada VC and Vieira MN. 2006. Early life history of *Syngnathus abaster*. *J Fish Biol* 68, 80-86. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.2005.00878.x>.
- Sogabe A, Kawanishi R, Takata H and Kobayashi Y. 2012. Basic reproductive biology of the barbed pipefish *Urocampus nanus* (Syngnathidae) under laboratory conditions. *Ichthyol Res* 59, 77-82. <https://doi.org/10.1007/s10228-011-0247-x>.
- Sogabe A, Mohri K and Shoji J. 2012. Reproductive seasonality of the seaweed pipefish *Syngnathus schlegeli* (Syngnathidae) in the Seto Inland Sea, Japan. *Ichthyol Res* 59, 223-229. <https://doi.org/10.1007/s10228-012-0278-y>.
- Sogabe A, Takata H and Kobayashi Y. 2013. Ovarian structure and mode of egg production in the seaweed pipefish *Syngnathus schlegeli* (Syngnathidae). *Ichthyol Res* 60, 85-88. <https://doi.org/10.1007/s10228-012-0313-z>.
- Sommer S, Whittington CM and Wilson AB. 2012. Standardised classification of pre-release development in male-brooding pipefish, seahorses, and seadragons (Family Syngnathidae). *BMC Dev Biol* 12, 39-44. <https://doi.org/10.1186/1471-213X-12-39>.
- Wassenbergh SV, Roos G and Ferry L. 2011. An adaptive explanation for the horse-like shape of seahorses. *Nat Commun* 2, 164-168. <https://doi.org/10.1038/ncomms1168>.
- Watanabe S. 1999. The role of male brood pouch in the reproduction of the seaweed pipefish, *Syngnathus schlegeli*. University of Tokyo, Tokyo, Japan, 106.
- Watanabe S, Hara M and Watanabe K. 2000. Male internal fer-

- tilization and introsperm-like sperm of the seaweed pipefish (*Syngnathus schlegeli*). *Zool Sci* 17, 759-767. <https://doi.org/10.2108/zsj.17.759>.
- Watanabe S and Watanabe Y. 2001. Brooding season, sex ratio and brood pouch development in the seaweed pipefish, *Syngnathus schlegeli*, in Otsuchi Bay, Japan. *Ichthyol Res* 48, 155-160.
- Watanabe S and Watanabe Y. 2002. Relationship between male size and newborn size in the seaweed pipefish, *Syngnathus Schlegeli*. *Environ Biol Fish* 65, 319-325.
- Wittenrich ML, Rhody NR, Turingan RG and Main KL. 2009. Coupling osteological development of the feeding apparatus with feeding performance in common snook, *Centropomus undecimalis*, larvae: identifying morphological constraints to feeding. *Aquaculture* 294, 221-227. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2009.06.006>.