

여수 연안산 삼세기 (*Hemitripterus villosus*) 자치어의 골격발달

전나영 · 박애전¹ · 이성훈² · 유태식³ · 한경호*

전남대학교 수산과학과, ¹제주특별자치도 해양수산자원연구원, ²전남대학교 수산해양산업관광레저융합학과,
³전남대학교 수산과학연구소

Osteological Development of Larvae and Juveniles of Sea Raven, *Hemitripterus villosus* in Coastal Waters off Yeosu by Na-Young Jeon, Ae-Jeon Park¹, Sung-Hoon Lee², Tae-Sik Yu³ and Kyeong-Ho Han* (Department of Fisheries Sciences, Chonnam National University, Yeosu 59626, Republic of Korea; ¹Ocean and Fisheries Research Institute, Jeju Self-Governing Province, 63629, Republic of Korea; ²Department of Fishery, Marine, Industry, Tourism, and Leisure, Chonnam National University, Yeosu 59626, Republic of Korea; ³Fisheries Science Institute, Chonnam National University, Yeosu 59626, Republic of Korea)

ABSTRACT *Hemitripterus villosus*, a promising aquaculture fish species, is facing declining stocks. This study aims to provide normative standards for skeletal development to address persistent skeletal deformities in farmed fish. Specimens utilized in the study underwent artificial insemination with captured fish, and the resulting larvae and fry were preserved in a formalin solution. The skeletal ossification process commenced immediately after hatching, affecting the parasphenoid, premaxillary, maxillary, and dentary structures at an average total length of 13.65 ± 0.71 mm ($n=5$). By sixty-five days post-hatching, ossification extended to the ethmoid and supraorbital, completing the head's development at an average total length of 21.24 ± 0.50 mm ($n=5$). Clavicle ossification occurred at seven days post-hatching, corresponding to an average total length of 14.61 ± 0.52 mm ($n=5$). At forty-four days post-hatching, the ossification of 4 actinosts took place, completing the shoulder girdle, with an average total length of 18.15 ± 0.61 mm ($n=5$). Vertebral ossification initiated at ten days post-hatching, with an average total length of 14.80 ± 0.65 mm ($n=5$). By fifty-four days post-hatching, 39 vertebral columns were ossified, reaching an average total length of 18.67 ± 0.54 mm ($n=5$). Vertebral development was complete at sixty days post-hatching, with an average total length of 20.25 ± 0.45 mm ($n=5$). This study sheds light on the skeletal development of *H. villosus*, providing valuable standards and fundamental data for understanding skeletal deformities in this species.

Key words: *Hemitripterus villosus*, fish larvae, skeletal development, osteology, life history

서 론

삼세기과(Hemitripteridae)는 썸뱅이목(Scorpaeniformes)에 속하는 분류군으로, 국내에는 삼세기(*Hemitripterus villosus*), 까치횃대(*Biepsias bilobus*), 날개횃대(*Biepsias cirrhosus*) 2속 3종이 보고되어 있다(Choi *et al.*, 2002). 그중 삼세기는 우리

나라 전 해역과 일본 중부 이북, 오키노호, 베링해 등의 북태평양의 수심 10~100 m 모랫바닥이나 갯벌 바닥에 서식하며 갑각류와 어류를 먹는 것으로 보고되었다(NIBR, 2011). 겨울 산란성 어종으로 11월부터 1월까지 얕은 수심(5~10 m)으로 이동해 산란하며(Gomelyuk and Markevich, 1986), 바위나 돌 등에 4~5개의 알 덩어리를 낳는다.

삼세기아과(Hemitripterinae)는 전 세계적으로도 분류군 수가 4속 14종(Froese and Pauly, 2023)으로 적을 뿐만 아니라 자원량 또한 많지 않다. 삼세기아과에 속하는 *Nautichthys oculofasciatus*는 국제자연보전연맹(IUCN)의 멸종 위기에 처

저자 직위: 전나영(대학원생), 박애전(연구사), 이성훈(교수), 유태식(연구교수), 한경호(교수)

*Corresponding author: Kyeong-Ho Han Tel: 82-61-659-7163, Fax: 82-61-659-7169, E-mail: aqua05@jnu.ac.kr

한 종의 보전 상태 위험도 분류 목록인 Red List에 관심 대상으로 등록되어 있는 만큼 자원 보존에 있어 중요한 아과이다. 또한, 현재 우리나라에서 삼세기의 생산량은 2012년 695 t에서 2017년 478 t, 2022년 264 t (MOF, 2023)으로 계속 감소하는 모습을 보이고 있으며, 10년 전에 비하여 절반 이상이 감소한 상황이기 때문에 생물학적 다양성 보존을 위해 삼세기에 대한 연구가 필요하다고 생각된다. 삼세기에 대한 연구로는 국내에서 산란 생태, 난발생 및 자치어 형태발달 (Park *et al.*, 2014) carbonic anhydrase I의 존재 (Kweon, 2015), 형태 및 유전변이 (Jang, 2017)가 이루어졌으며, 국외에는 난 영양분석 (Yang *et al.*, 2014), 미토콘드리아 계통 (Wang *et al.*, 2020; Shen *et al.*, 2021), 산란 (Markevich, 2000), 생물학적 특성 (Tokranov and Orlov, 2006) 등이 있다. 현재 삼세기는 양식품종 다양화와 연안어장의 어족자원 증대를 위한 지역 특성에 적합한 새로운 양식 대체 어종이며 (Kweon, 2011), 삼세기아과의 자원 보존을 위해 초기생활사에 관한 연구가 중요하다고 생각한다. 하지만 초기생활사와 관련된 최근 연구와 다양한 연구가 부족한 실정이다.

어류의 초기생활사 연구는 성장하는 동안 겪게 되는 각각의 고유 형질들의 발달과 성장도 등의 다양한 분류, 생태학적 지식 등을 제공하며 이를 토대로 종의 보존과 보호, 증식뿐만 아니라 시험 어류 등 다양한 연구에 기여하게 된다 (Song and Choi, 2000). 어류의 발생 과정 중에 드러난 많은 형질은 근연종들의 분류학적인 유연관계를 밝히는 데 중요한 자료를 제공해 주며 (Blaxter, 1974; Balon, 1985), 해산어류의 경우 생산기술을 확립하고 자연 상태에서의 자원을 파악하기 위해서는 대상 종들의 초기 발육 과정을 우선적으로 알아야 한다 (Byun *et al.*, 2009). 초기생활사 중 어류의 중요생산에 있어서 자치어기의 골격 발달 과정에 관한 관심과 정확한 지식은 사육 초기에 골격 이상을 탐지하고 제거하는 데 필수적이며 (Koumoundouros *et al.*, 1997a, 1997b), 골격 형성 과정을 파악하는 것은 다양한 골격 요소를 통한 상동성 파악에 유용한 단서를 제시함으로써 분류학적 위치에 대한 정보를 제공한다 (Peters, 1981; Fraser *et al.*, 2004; Javidan and Schilling, 2004). 경골어류의 초기 발육단계 중 형태 변화는 섭이기능과 유영능력이 발달하는 후기자어에서 치어기에 가장 크게 일어나 이 시기의 골격발달은 생활방식에 따라 골화 정도와 순서에 변화를 초래해 종마다 다양한 양상을 나타내 특징을 파악하는 데 정보를 제공한다 (Mook, 1977; Kohno *et al.*, 1983; Myoung *et al.*, 2001). 골격발달 이상은 어미관리 부족과 선천적인 기형으로 인해 초기 자어의 생존에 큰 영향을 미치고 있는 것으로 보고 있고 (NFRDI, 2014), 골격발달에 대한 연구는 최적의 양육 조건과 적절한 먹이를 파악하는 생물학적 지표로도 사용된다 (Cahu *et al.*, 2003; Lewis and Lall, 2006).

양식 어류에서 나타나는 골격 이상 현상은 전 세계의 양식

환경에서 지속해서 발생하는 문제로서 (Boglione *et al.*, 2013), 생산된 어류의 외부 형태에 영향을 끼쳐 상품 가치를 낮추거나 생존율에 영향을 주는 것으로 알려져 있다 (Gavaia *et al.*, 2002). 자세한 발생학적 지식은 발생학적 뿐만 아니라 어업 생물학적 및 양식업에서도 중요하므로 (Koumoundouros *et al.*, 1999), 새로운 양식 대체 어종인 삼세기 자치어의 골격발달 과정을 관찰하여 골격에 대한 자료를 확보하고, 분류학적 연구와 자연 및 양식 환경에서 나타나는 골격 이상 탐지에 관한 기초자료로서 활용하고자 한다.

재료 및 방법

자치어의 발육단계 및 골격발달 관찰을 위해 2015년 1~3월에 여수 돌산 연안해역에서 정치망으로 어획된 자연산 어미를 이용하여 인공수정 후 부화한 자어들을 사육하면서 관찰하였다. 사육수는 여과해수를 사용하여 매일 하루에 1/2씩 2회 환수하고 수온은 9~11°C로 유지하였으며, 나노클로롭시스 (*Nannochloropsis* sp.)를 넣어 10×10⁴ cells/mL 농도로 수색을 조절하여 물 만들기 후 지수식으로 사용하였다. 자치어는 플라스틱 사각수조 (385×250×140 mm)에 수용하였으며, 하루에 1/3씩 1회 환수하고 호스를 이용해 수조 바닥의 찌꺼기를 제거하며 관리하였다. 먹이는 초기에 rotifer (*Brachionus plicatilis*)를 급이하다 성장함에 따라 *Artemia* sp. nauplius 및 초기 배합사료 (조피볼락용 350 μm)를 혼합하여 공급하였다.

자치어는 부화 직후부터 매일 10개체씩 중성 포르말린에 고정된 뒤 Kawamura and Hosoya (1991) 염색법에 따라 이중 염색하였으며 글리세린 100%에 보존하며 골격발달을 관찰하였다. 염색된 자치어의 골격은 두개골, 내장골, 악골, 견대골, 척추골 및 미골을 중심으로 실체현미경 (Nikon SMZ-u, Japan)을 이용하여 관찰하였으며, 각 부위는 만능 투영기 (Nikon Profile Projector V-12B, Japan)를 통하여 0.01 mm까지 측정하여 스케치하였으며, 자치어 형태발달 단계는 Park *et al.* (2014)에 따랐다.

결 과

삼세기 자치어의 발육단계에 따른 골격발달은 두개부 (두개골, 내장골), 견대부, 척추골 및 미골부로 구분하여 관찰하였다.

1. 두개부 (Tables 1, 2)

부화 직후 자어 (13.65±0.71 mm, n=5)는 두개부에 긴 직사각형 모양의 부설골 (parasphenoid, PS)과 액골 (frontal, F)이

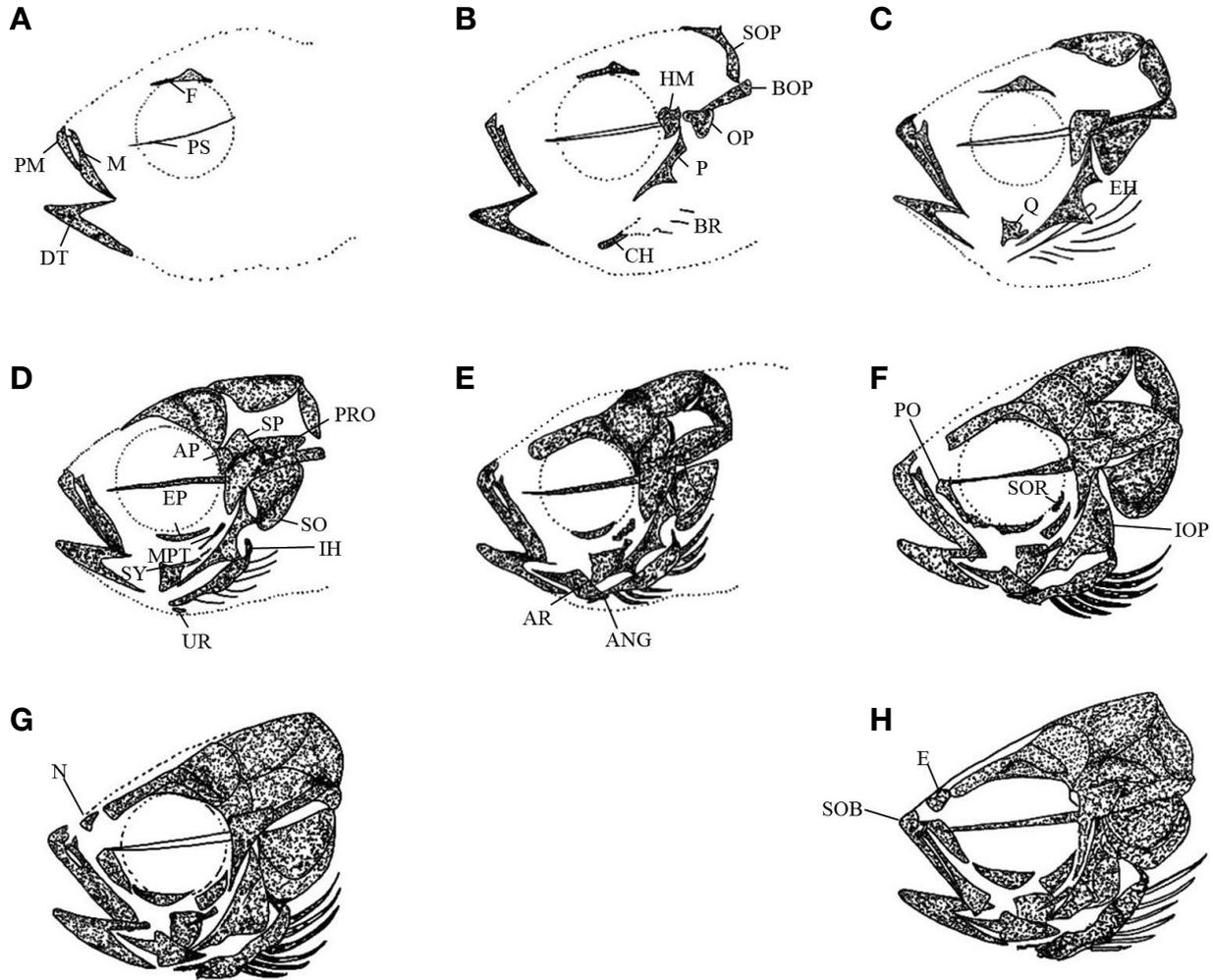


Fig. 1. Ossification of the cranium and visceral skeleton in *Hemitripterus villosus*. A: 13.60 mm; B: 13.80 mm; C: 14.41 mm; D: 14.90 mm; E: 15.07 mm; F: 17.12 mm; G: 19.12 mm; H: 21.18 mm. ANG: angular; AP: alisphenoid; AR: articular; BOP: basioccipital; BR: branchiostegal ray; CH: ceratohyal; DT: dentary; E: ethmoid; EP: endopterygoid; EH: epihyal; F: frontal; HM: hyomandibular; IH: interhyal; IOP: interopercle; M: maxillary; MPT: metapterygoid; N: nasal; OP: opercle; PS: parasphenoid; P: preopercle; PO: preorbital; PRO: prootic; PM: premaxillary; Q: quadrate; SOP: supraoccipital; SO: subopercle; SOB: supraorbital; SP: sphenotic; SY: symplectic; SOR: suborbital; UR: urohyal.

였다(Fig. 1F).

부화 56일째 후기자어(19.18 ± 0.49 mm, n=5)는 두개부에 비골(nasal, N)의 골화가 시작되었고(Fig. 1G), 부화 후 65일째 치어(21.24 ± 0.50 mm, n=5)는 두개골의 사골(ethmoid, E)과 안와골에 안상골(supraorbital, SOB)이 골화하면서 삼세기 치어 두개부의 모든 골격이 완성되었다(Fig. 1H).

2. 견대부

견대골(shoulder girdle)은 가슴지느러미를 지지하는 골격으로 수개의 막골이 부속되며, 견대부의 골격 중 상쇄골이 후측두골(posttemporal, PT)과 연결되어 두개골의 기저후두골에 관철되어진다. 부화 7일째 후기자어는 견대골에서 쇄골(clavicle, CL)이 가장 먼저 골화되기 시작하였다(Fig. 2A).

부화 15일째(15.12 ± 0.42 mm, n=5) 쇄골의 굵기가 굵어졌으며, 후측두골, 상쇄골(supraclavicle, SCL)이 골화하기 시작하였고, 쇄골의 뒤쪽에 위치한 오혜골(coracoid, CO)과 견갑골(scapula, SCA)은 서로 접촉되어 골화하였다(Fig. 2B). 부화 18일에(15.27 ± 0.52 mm, n=5)는 사출골(actinost, A) 2개와 견갑골, 상측두골(supratemporal, ST)이 골화하였으며(Fig. 2C), 부화 25일째(15.42 ± 0.33 mm, n=5)는 오혜골, 후쇄골(postclavicle, PC) 및 사출골 3개가 골화하기 시작하였다(Fig. 2D).

부화 44일째 후기자어(18.15 ± 0.61 mm, n=5)는 쇄골의 위쪽이 두터워지면서 사출골이 점점 축소되고 총 4개의 사출골이 골화되어 삼세기 견대부의 모든 골격이 완성되었다(Fig. 2E).

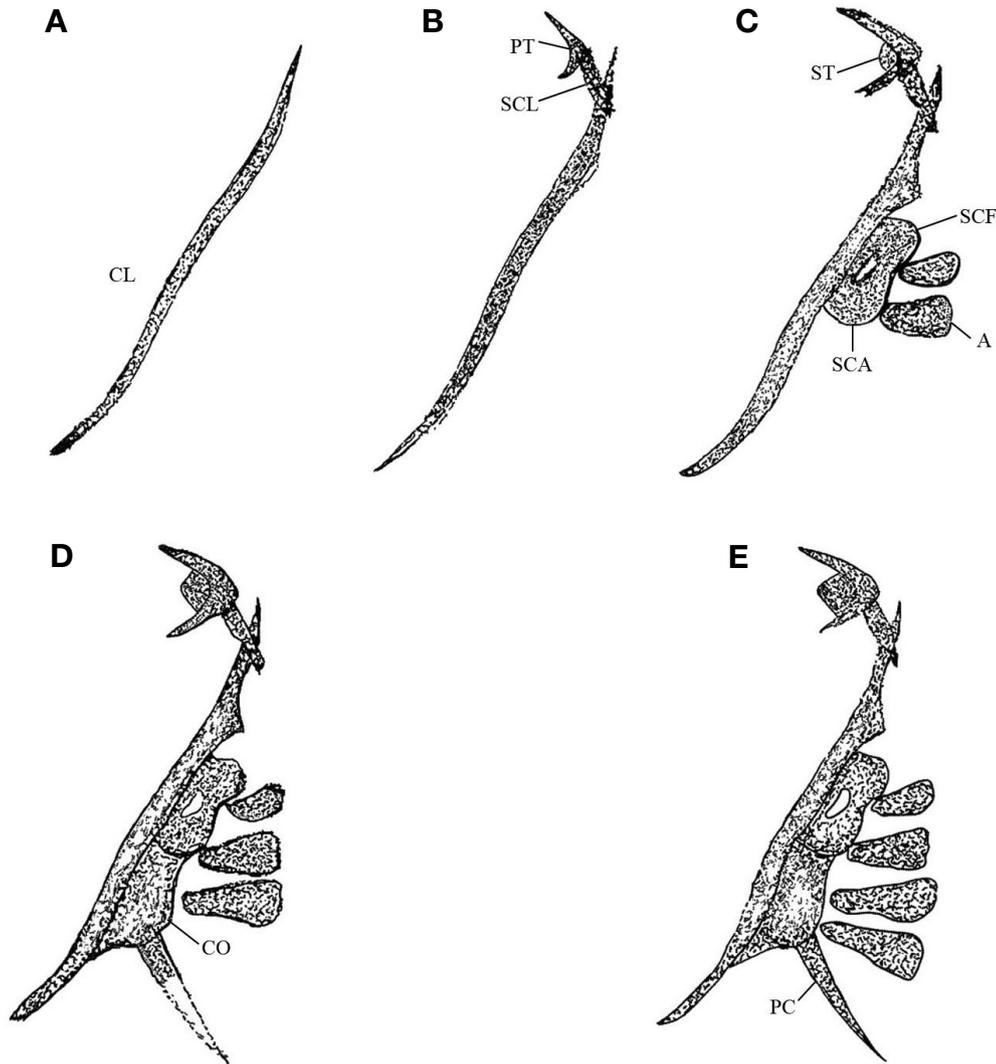


Fig. 2. Ossification of the shoulder girdle region in *Hemitripteris villosus*. A: 14.41 mm; B: 15.12 mm; C: 15.25 mm; D: 15.42 mm; E: 18.25 mm. A: actinost; CL: clavicle; CO: coracoid; PC: postclavicle; PT: posttemporal; SCA: scapula; ST: supratermporal; SCL: supraclavicle; SCF: scapular foramen.

3. 척추골, 미추골 및 요대골

어류의 척추는 두개골의 뒤끝에서 꼬리지느러미의 끝까지 뻗어 있고 몸의 중축을 이루는 연골과 경골로 된 많은 수의 추골이 1열로 줄지어 있으며, 혈관(blood vessel)과 척수(spinal cord)를 보호하는 기능을 가진다(Yun, 2008). 부화 10일째 후기자어는 복추골(abdominal vertebra) 앞쪽 신경극(neural spine, NS)의 골화를 기점으로 척추골의 골화가 시작되었으며(Fig. 3A), 부화 13일째 후기자어는 신경극은 8개로 증가하여 골화하였고 복추골은 6개가 골화하기 시작하였다(Fig. 3B).

부화 18일째 후기자어는 신경극은 13개로 증가하였고, 10개의 복추골이 골화되기 시작하였으며, 내장을 보호하는 늑골

(rib, R)과 미부봉상골(urostyle bone, UR)이 골화하기 시작하였다(Fig. 3C).

부화 26일째 후기자어(15.42±0.67 mm, n=5)는 제1등지느러미와 제2등지느러미를 지지하는 기기골(basiost, B)과 신경간극(interhaemal spine, IHS)이 각각 5개와 3개가 골화하였으며, 뒷지느러미를 지지하는 기기골과 혈관간극(interneural spine, INS)이 5~6개 골화하였다. 미부의 하미추골(hypural bone, HY) 아래 준하미추골(parhypural, PH)이 골화하였으며, 그 위에 제1, 2 하미추골이 골화하기 시작하였다. 척추골 추체(vertebral column) 26개와 신경극 29개, 늑골이 13개로 증가하였으며, 11~12번째 추체부터 3~5개의 측돌기(parapophysis, PP)가 골화하기 시작하였다(Fig. 3D).

부화 35일째 후기자어(17.15±0.89 mm, n=5)는 기기골과

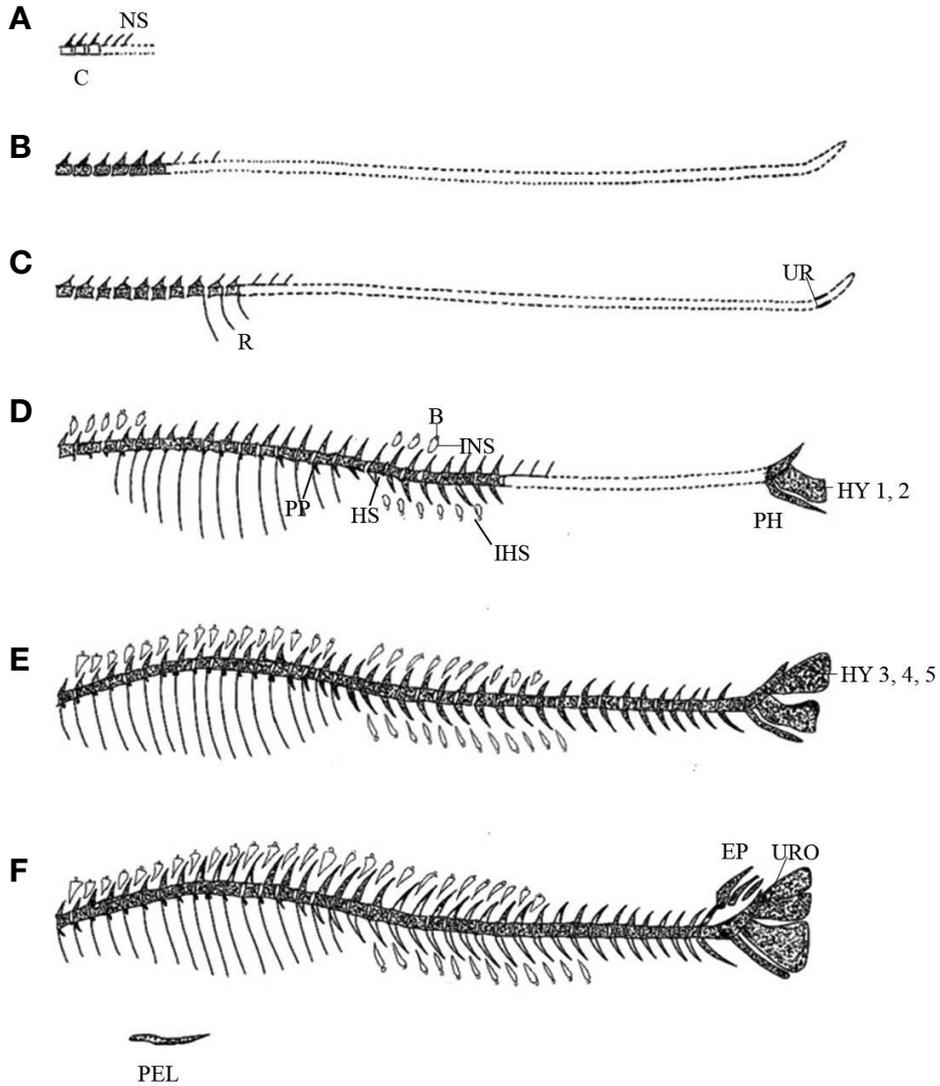


Fig. 3. Ossification of the vertebrae in *Hemitripterus villosus*. A: 15.07 mm; B: 15.25 mm; C: 15.42 mm; D: 17.15 mm; E: 18.76 mm; F: 20.25 mm. B: basiost; C: centrum; EP: epural bone; HS: hemal spine; HY: hypural bone; IHS: interhaemal spine; INS: interneural spine; NS: neural spine; PH: parhypural; PEL: pelvic girdle; PP: parapophysis; R: rib; UR: urostyle bone; URO: uroneural bone.

신경간극이 16개, 10개가 골화하였으며, 혈관간극이 12개 골화하였다. 미부에 제3, 4 하미추골이 골화하기 시작하였고, 늑골이 18개, 척추골 추체가 32개로 골화되었고 혈관극이 골화하였다(Fig. 3E).

부화 후 54일째 후기자어(18.67±0.54 mm, n=5)는 척추골 추체 39개가 골화하였고 배지느러미를 지지하는 요대골(pelvic girdle, PEL)이 골화하기 시작하였으며, 부화 60일째 후기자어(20.25±0.45 mm, n=5)에 제1등지느러미를 지지하는 기기골, 신경간극이 1개 더 골화하여 총 27개, 혈관간극이 12개 골화되어 척추골, 미추골 및 요대골의 골격이 완성되었다(Fig. 3F).

고 찰

어류는 발생 과정에서 골격발달에 유의한 변화가 나타난다(Koumoundouros *et al.*, 2001). 일반적으로 연어과 어류는 부화 이전에 골격이 발달하며, 농어목 어류는 부화 이후에 골격이 발달한다고 알려져 있다(Matsuoka, 1985; Koumoundouros *et al.*, 1997b; Faustino and Power, 1999; Sfakianakis *et al.*, 2004). 삼세기는 농어목에 속하지만(Froese and Pauly, 2023), 이 연구에서 관찰한 삼세기는 부화 이전에 전상악골, 주상악골과 치골이 골화되어 연어과 어류와 유사한 특징을 보였다.

대부분 어류는 부화 후 가장 먼저 턱을 구성하는 악골이 골화하는 특징을 나타내는데 이는 섭이와 호흡을 위해 우선적

로 골화가 일어나는 부위이다(Vandewalle *et al.*, 1997). 삼세기는 부화 전 악골이 발달하여 부화 직후부터 위턱과 아래턱 양쪽에 날카로운 이빨을 가지며, 난황이 거의 흡수된 시기 서로를 무는 모습이 나타난다(Kyushin, 1968). 이를 통해 삼세기의 강한 어식성(Antonenko *et al.*, 2010)을 볼 수 있다고 생각되며, 다른 골격에 비해 악골이 먼저 골화하는 Vandewalle *et al.* (1997)의 연구과 일치하였다.

부설골, 액골, 기저후두골, 외후두골은 먹이를 섭취하는 동안 두개골에 전달되는 충격을 막아주고(Vandewalle *et al.*, 1992), 유연하며 균형을 잡는 데에 도움을 주는 것(Weisel, 1967)으로, 쇄골은 입의 개구와 섭이 기능에 sternohyoideus muscle을 지지하며, 성장 단계에서 유연하는 데 중요하다고 알려져 있다(Wagemans and Vandewalle, 1999; Yu and Kim, 2016). 삼세기는 부화 직후 부설골과 액골이 골화하였으며, 견대부에서 가장 먼저 쇄골이 부화 7일째 골화하기 시작하였다. 솜뱅이목 어류(Kim and Han, 1991; Kim *et al.*, 1993; Kim *et al.*, 1997; Han *et al.*, 2001; Byun *et al.*, 2012)에서는 부설골, 액골 등이 쇄골과 함께 골화하는 모습을 보였으며, 졸복, *Takifugu pardalis* (Han *et al.*, 2001)과 미끈망둑, *Luciogobius guttatus* (Kim *et al.*, 1992)도 두개골을 형성하는 골과 쇄골이 함께 골화하는 공통점이 보였다. 골화 순서는 먹이, 수영, 호흡에 대한 골격 중요성에 의해 정의된다(Munehara and Shimazaki, 1991). 이에 따라 먹이를 먹는 데 있어 필요한 부분이 빨리 골화하는 특징이 나타난 것으로 보인다.

가슴지느러미를 지지하는 골격 중 하나인 견갑골에는 체공이 형성되는데 이는 농어목 어류에서 나타나는 분류학적 형질로 알려져 있다(Koumoundouros *et al.*, 2001). 하지만 농어목 뿐만 아니라 솜뱅이목에 솜뱅이, *Sebastiscus marmoratus* (Kim *et al.*, 1997), 황점볼락, *Sebastes oblongus* (Byun *et al.*, 2012), 가자미목에 속하는 사할린가자미, *Limanda sakhalinensis* (Han *et al.*, 2019)를 비롯하여 여러 분류군에서 관찰되기에 일반적인 형질로 보고 있다(Han *et al.*, 2018).

몸의 중심축을 이루는 골격인 척추골은 부화 직후엔 골화되지 않았으며 부화 10일째 14.80±0.65 mm에서 복추골 앞쪽 신경극의 골화를 시작으로 척추골 골화가 시작되었다. 성장함에 따라 미추골 쪽으로 골화가 진행되었으며, *Hemitripteris bolini* (Morgan, 2012)는 중기자어 끝 무렵 약 18 mm에서 분화하기 시작하지만, 후기자어기 약 19.5 mm가 될 때까지 골화하지 않았다. 척추골과 미골 부분 또한 유영에 관련된 부분이지만 두개부와 견대부에 비해 골화가 가장 늦게 골화가 이루어졌다. 농성어의 경우 척추골 골화의 시작이 두개골과 동일하였지만, 꺾지, *Coreoperca herzi* (Han *et al.*, 2017), 두줄망둑, *Tridentiger trigonocephalus* (Han *et al.*, 2018), 사할린가자미(Han *et al.*, 2019) 등 대부분 어류가 두개부와 견대부에 비해 척추골의 골화가 늦게 이루어졌다. 척추골과 미골부분 또

한 쇄골과 함께 유영과 관련되어 있지만 쇄골은 유영뿐만 아니라 먹이 섭취에서도 연관 있기에 더 빠른 골화가 이루어지는 것으로 생각된다. 또한 자치어 성장 단계에 있어 먹이와 호흡이 유영보다 더 중요하기에 더 빠른 골화가 이루어진 것으로 생각된다.

이 연구는 삼세기의 자치어 발육단계에 따른 골격발달 과정 연구로 두부(두개골, 내장골), 견대부, 척추골 및 미골부로 구분하여 관찰하였다. 이는 골격 기형 존재를 쉽게 식별하는 데 필요한 기본 지식을 제공하며 향후 연구에 도움이 되고자 하며, 감소하고 있는 삼세기의 자원 보존을 위해서는 삼세기와 어류의 초기생활사와 분류학적 연구가 지속해서 필요하다고 생각된다.

요 약

삼세기(*Hemitripteris villosus*)는 새로운 양식 어종으로 대두되고 있으나, 자원량이 감소하고 있으며, 양식 어종에서 지속적인 문제로 나타나는 골격 기형에 대해 삼세기의 정상적인 골격발달 기준을 제시하고자 한다. 이 연구에 사용된 시료는 어획된 어미로부터 채란된 수정란을 부화시킨 자치어를 포르말린액에 고정된 뒤 Kawamura and Hosoya (1991) 염색법에 따라 염색하여 골격발달을 관찰하였다. 부화 직후 평균전장 13.65±0.71 mm (n=5) 일 때 부설골과 주상악골, 전상악골, 치골이 골화되기 시작하였고, 부화 후 65일째 평균전장 21.24±0.50 mm (n=5) 일 때 사골과 안상골이 골화하면서 두부가 완성되었다. 견대부는 부화 7일째 평균전장 14.61±0.52 mm (n=5) 일 때 쇄골, 주새개골, 관절골이 골화하기 시작하였으며, 부화 44일째 평균전장 18.15±0.61 mm (n=5) 일 때, 4개의 사출골이 골화되어 견대부가 완성되었다. 부화 10일째 평균전장 14.80±0.65 mm (n=5) 일 때 척추골의 골화가 시작되었으며, 부화 후 54일째 평균전장 18.67±0.54 mm (n=5) 일 때 척추골 추체 39개가 골화하여, 부화 60일째 평균전장 20.25±0.45 mm (n=5) 일 때 척추골의 골격이 완성되었다. 이 연구는 삼세기 자치어의 골격발달에 대한 것으로 삼세기의 자치어 골격 기형의 기준과 기초자료 연구에 사용될 것이다.

REFERENCES

- Antonenko, D.V., O.I. Pushchina and S.F. Solomatov. 2010. Distribution and some features of biology of sea raven *Hemitripteris villosus* (Hemitripteridae) in the northwestern part of the Sea of Japan. *J. Ichthyol.*, 50: 640-649. <https://doi.org/10.1134/S0032945210080096>.
- Balon, E.K. 1985. Early life histories of fishes: New developmental,

- ecological and evolutionary perspectives. Dr. W. Junk publisher., Dordrecht, Netherlands, p. 280.
- Blaxter, J.H.S. 1974. The early life history of fish. Spring-Verlag, Berlin, Germany, p. 765.
- Boglione, C., P. Gavaia, G. Koumoundouros, E. Gisbert, M. Moren, S. Fontagné and P.E. Witten. 2013. Skeletal anomalies in reared European fish larvae and juveniles. Part 1: Normal and anomalous skeletogenic processes. *Rev. Aquac.*, 5: S99-S120. <https://doi.org/10.1111/raq.12015>.
- Byun, S.G., C.B. Kang, J.G. Myoung, B.S. Cha, K.H. Han and C.G. Jung. 2012. Early osteological development of the larvae and juveniles in *Sebastes oblongus* (Pisces: Scorpaenidae). *Korean J. Ichthyol.*, 24: 67-76.
- Byun, S.G., S.H. Lee, J.H. Hwang, K.H. Han, K.W. Kang, J.D. Kim, Y.C. Kim and B.I. Lee. 2009. Embryonic and larva development of slime flounder, *Microstomus achne*. *Dev. Reprod.*, 13: 281-289.
- Cahu, C., J.Z. Infante and T. Takeuchi. 2003. Nutritional components affecting skeletal development in fish larvae. *Aquaculture*, 227: 245-258. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(03\)00507-6](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(03)00507-6).
- Choi, Y, J.H. Kim and J.Y. Park. 2002. Marine fishes of Korea, Kyo-Hak Publishing Co., Ltd., Seoul, Korea, p. 226.
- Faustino, M. and D.M. Power. 1999. Development of the pectoral, pelvic, dorsal and anal fins in cultured sea bream. *J Fish Biol.*, 54: 1094-1110. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.1999.tb00860.x>.
- Fraser, M.R., T.A. Anderson and R. De Nys. 2004. Ontogenic development of the spine and spinal deformities in larval barramundi (*Lates calcarifer*) culture. *Aquaculture*, 242: 697-711. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2004.09.018>.
- Froese, R. and D. Pauly. 2023. FishBase. World Wide Web electronic publication. www.fishbase.org, version (10/2023).
- Gavaia, P.G., M.T. Dinis and M.L. Cancela. 2002. Osteological development and abnormalities of the vertebral column and caudal skeleton in larval and juvenile stages of hatchery-reared Senegal sole (*Solea senegalensis*). *Aquaculture*, 211: 305-323. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(02\)00167-9](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(02)00167-9).
- Gomelyuk, V.E. and A.I. Markevich. 1986. On the strength of the egg case of the sea raven, *Hemitripteris villosus* (Cottidae). *Vopr. ikhtiologii*, 25: 690-692.
- Han, K.H., J.T. Park, D.S. Jin, D.J. Yoo and J.M. Park. 2017. Osteological development of the larvae and juvenile in *Coreoperca herzi* (Perciformes: Centropomidae). *Korean J. Ichthyol.*, 29: 32-40.
- Han, K.H., S.G. Lim, G.S. Kim, C.W. Kim and D.J. Yoo. 2001. Osteological development of the larvae and juveniles of *Sebastes tertius* (Barsukov et Chen) in Korea. *Korean J. Ichthyol.*, 13: 63-68.
- Han, K.H., S.H. Lee, D.Y. Kim, W.I. Seo and J.M. Park. 2018. Osteological development of the larvae and juvenile of chameleon goby, *Tridentiger trignocephalus*. *Korean J. Ichthyol.*, 30: 137-143. <https://doi.org/10.35399/isk.30.3.2>.
- Han, K.H., S.H. Lee, J.I. Baek and J.M. Park. 2019. Osteological development of the larvae and juvenile in Sakhalin sole *Limanda sakhalinensis*. *Korean J. Fish. Aquat. Sci.*, 52: 389-399. <https://doi.org/10.5657/KFAS.2019.0389>.
- Jang, S.H. 2017. Morphological and genetic variation of sea raven, *Hemitripteris villosus* (Hemitripteridae, Pisces) from Korea. Master Thesis, Pukyong National University, Korea, p. 66.
- Javidan, Y. and T.F. Schilling. 2004. Development of cartilage and bone. *Methods Cell Biol.*, 76: 415-435. [https://doi.org/10.1016/S0091-679X\(04\)76018-5](https://doi.org/10.1016/S0091-679X(04)76018-5).
- Kawamura, K. and K. Hosoya. 1991. A modified double staining technique for making a transparent fish-skeletal specimen. *Bull. Nat'l. Res. Inst., Aquaculture*, 20: 11-18.
- Kim, Y.U. and K.H. Han. 1991. The early life history of rockfish, *Sebastes schlegeli*. *Korean J. Ichthyol.*, 3: 67-83.
- Kim, Y.U., K.H. Han and S.K. Byun. 1993. The early life history of the rockfish, *Sebastes inermis* - 2. Morphological and skeletal development of larvae and juveniles -. *Korean J. Fish. Aquat. Sci.*, 26: 465-476.
- Kim, Y.U., K.H. Han, C.B. Kang and J.H. Yu. 1992. Early life history and spawning behavior of the gobiid fish, *Luciogobius guttatus* Gill. *Korean J. Ichthyol.*, 4: 1-13.
- Kim, Y.U., K.H. Han, C.B. Kang, J.K. Kim and S.K. Byun. 1997. The early life history of the rockfish, *Sebastes marmoratus* 2. Morphology and skeletal development of larvae and juvenile. *Korean J. Ichthyol.*, 9: 186-194.
- Kohno, H., Y. Taki, Y. Ogasawara, Y. Shiroja, M. Taketomi and M. Inoue. 1983. Development of swimming and feeding functions in larval *Pagrus major*. *Japan J. Ichthyol.*, 30: 47-60. <https://doi.org/10.11369/jji1950.30.47>.
- Koumoundouros, G., F. Gagliardi, P. Divanach, C. Boglione, S. Cataudella and M. Kentouri. 1997a. Normal and abnormal osteological development of caudal fin in *Sparus aurata* L. fry. *Aquaculture*, 149: 215-226. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(96\)01443-3](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(96)01443-3).
- Koumoundouros, G., G. Oran, P. Divanach, S. Stefanakis and M. Kentouri. 1997b. The opercular complex deformity in intensive gilthead sea bream (*Spartus aurata* L.) larviculture. Moment of apparition and description. *Aquaculture*, 156: 165-177. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(97\)89294-0](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(97)89294-0).
- Koumoundouros, G., P. Divanach and M. Kentouri. 1999. Ontogeny and allometric plasticity of *Dentex dentex* (Osteichthyes: Sparidae) in rearing conditions. *Mar. Biol.*, 135: 561-572. <https://doi.org/10.1007/s002270050657>.
- Koumoundouros, G., P. Divanach and M. Kentouri. 2001. Osteological development of *Dentex dentex* (Osteichthyes: Sparidae): dorsal, anal, paired fins and squamation. *Mar. Biol.*, 138: 399-406. <https://doi.org/10.1007/s002270000460>.
- Kweon, R.E. 2011. A study of carbonic anhydrase isoenzymes in the shaggy sea raven, *Hemitripteris villosus*. Master Thesis, Chonnam National University, Korea. p. 33.
- Kweon, R.E. 2015. Presence of carbonic anhydrase i in shaggy sea

- raven, *Hemitripteris villosus*. Bull. Korean Fish. Soc., 23: 34-38.
- Kyushin, K. 1968. The embryonic development and larval stages of *Hemitripteris villosus* (Pallas). Bulletin of Fisheries Sciences, Hokkaido University, 18: 277-289.
- Lewis, L.M. and S.P. Lall. 2006. Development of the axial skeleton and skeletal abnormalities of *Atlantic halibut* (*Hippoglossus hippoglossus*) from first feeding through metamorphosis. Aquaculture, 257: 124-135. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2006.02.067>.
- Markevich, A.I. 2000. Spawning of the sea raven *Hemitripteris villosus* in Peter the Great Bay, Sea of Japan. Russ. J. Mar. Biol., 26: 283-285. <https://doi.org/10.1007/BF02759509>.
- Matsuoka, M. 1985. Osteological development in the red seabream, *Pagrus major*. Japan J Ichthyol., 32: 35-51. <https://doi.org/10.11369/jji1950.32.35>.
- MOF (Ministry of Oceans and Fisheries). Fishery production survey. <https://www.mof.go.kr/statPortal/main/portalMain.do>. accessed on Dec 30, 2023.
- Mook, D. 1977. Larval and osteological development of the sheepshead, *Archosargus probatocephalus* (Pisces: Sparidae). Coepeia, 1977: 126-133. <https://doi.org/10.2307/1443514>.
- Munehara, H. and K. Shimazaki. 1991. Embryonic development and newly hatched larvae of the little dragon sculpin *Blepsias cirrhosus*. J. Ichthyol., 38: 31-34. <https://doi.org/10.11369/jji1950.38.31>.
- Myoung, J.G., J.H. Mun, J.K. Kim, K.D. Park, C.B. Kang, Y.U. Kim and J.T. Park. 2001. Osteological development of larvae and juveniles of Korean mandarin fish, *Siniperca scherzeri* (Perciformes: Centropomidae). Kor. J. Ichthyol., 13: 129-135.
- NFRDI (National Fisheries Research & Development Institute). 2014. Technical development for the mass seedling production of sevenband grouper. Report of Nat. Fish. Res. & Devel. Ins., Korea, pp. 68-70.
- NIBR (National Institute of Biological Resources). 2011. 100 Korean Native Useful Fish Species. Report of National Institute of Biological Resources, Korea, p. 72.
- Park, A.J., K.H. Han, S.H. Lee, H.J. Kim, S.Y. Kim and I.H. Lim. 2014. Embryonic development of eggs, larvae and juveniles of the *Hemitripteris villosus*. Korean J. Ichthyol., 26: 34-41.
- Peters, K.M. 1981. Reproductive biology and developmental osteology of the Florida blenny, *Chasmodes saburrae* (Perciformes: Blenniidae). Northeast Gulf Sci., 4: 79-98. <https://doi.org/10.18785/negs.0402.02>.
- Sfakianakis, D.G., G. Koumoundouros, P. Divanach and M. Kentouri. 2004. Osteological development of the vertebral column and of the fins in *Pagellus erythrinus* (L. 1758). Temperature effect on the developmental plasticity and morphoanatomical abnormalities. Aquaculture, 232: 407-424. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2003.08.014>.
- Shen, K., H. Zhang, S. Feng, C. Wang and S. Xu. 2021. The complete mitochondrial genome of *Hemitripteris villosus* (Pallas, 1814) from Zhoushan archipelago. Mitochondrial DNA Part B Resour., 6: 2622-2623. <https://doi.org/10.1080/23802359.2021.1962763>.
- Song, H.B. and S.S. Choi. 2000. Reproductive ecology and early life history of paradise fish, *Macropodus chinensis* (Pisces: Belontiidae) in aquarium. Korean J. Limnol., 33: 282-294.
- Tokranov, A.M. and A.M. Orlov. 2006. Biological features of the sea raven *Hemitripteris villosus* (Hemitripteridae) in Pacific waters off the northern Kuril Islands and southeastern Kamchatka. J. Ichthyol., 46: 743-751. <https://doi.org/10.1134/S0032945206090062>.
- Vandewalle, P., B. Focant, F. Huriaux and M. Chardon. 1992. Early development of the cephalic skeleton of *Barbus barbus* (Teleostei, Cyprinidae). J. Fish Biol., 41: 43-62. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.1992.tb03169.x>.
- Vandewalle, P., I. Gluckmann, E. Baras, F. Huriaux and B. Focant. 1997. Postembryonic development of the cephalic region in *Heterobranchius longifilis*. J. Fish Biol., 50: 227-253. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.1997.tb01355.x>.
- Wagemans, F. and P. Vandewalle. 1999. Development of the cartilaginous skull in *Solea solea*: trends on pleuronectiforms. Ann. Sci. Nat., 1: 39-52. [https://doi.org/10.1016/S0003-4339\(99\)80007-0](https://doi.org/10.1016/S0003-4339(99)80007-0).
- Wang, M., G. Liu, Z. Wang, W. Wang and X. Li. 2020. Characterization and phylogenetic analysis of the mitochondrial genome of *Hemitripteris villosus*. Mitochondrial DNA B: Resour., 5: 1457-1458. <https://doi.org/10.1080/23802359.2020.1741458>.
- Weisel, G.F. 1967. Early ossification in the skeleton of the sucker (*Catostomus macrocheilus*) and the guppy (*Poecilia reticulata*). J. Morphol., 121: 1-18. <https://doi.org/10.1002/jmor.1051210102>.
- Yang, J.J., Z.Q. Jiang, R.T. Zuo, S.Y. Wang, S.H. Wen and H. Sun. 2014. Nutritional analysis and evaluation on eggs of *Hemitripteris villosus*. Chin. J. Anim. Nutr., 26: 1103-1110.
- Yu, H.J. and J.K. Kim. 2016. Osteological development of wild-captured larvae and a juvenile *Sebastes koreanus* (Pisces, Scorpaenoidei) from the Yellow Sea. Fish. Aquatic Sci., 19: 1-12. <https://doi.org/10.1186/s41240-016-0021-0>.
- Yun, J.W. 2008. Reproductive ecology and early development of *Platycephalus indicus*, in Korea. Doctor Thesis, Chonnam National University, Korea, p. 102.