

# 전라남도 보성강에 서식하는 모래무지 (*Pseudogobio esocinus*) (잉어목: 모래무지과) 자치어의 골격 발달

정애리 · 한정민 · 이진 · 한경호 · 이성훈<sup>1,\*</sup>

전남대학교 수산과학과, <sup>1</sup>전남대학교 수산해양산업관광레저융합학과

**Osteological Development of Larvae and Juveniles of Pike Gudgeon *Pseudogobio esocinus* (Cypriniformes: Gobionidae) from Boseonggang River, Jeollanam-do, Korea by Ae-Ri Jung, ChongMin Han, Jin Lee, Kyeong-Ho Han and Sung-Hoon Lee<sup>1,\*</sup>** (Department of Fisheries Sciences, Chonnam National University, Yeosu 59626, Republic of Korea; <sup>1</sup>Department of Fishery, Marine, Industry, Tourism, and Leisure, Chonnam National University, Yeosu 59626, Republic of Korea)

**ABSTRACT** This study examines the osteological development of the Pike gudgeon, *Pseudogobio esocinus* in the cranial, vertebral, caudal, pelvic and pectoral girdle for the purpose of taxonomic and aquacultural studies. Adult Pike gudgeon collected from the Boseonggang River were reared at 18.5~19.5°C (average 19.0°C). At 5 days after hatching (total length (TL) 4.25 mm), the parasphenoid, dentary, centrum of vertebrae and clavicle began to ossify. At 22 days after hatching (TL 6.33 mm), 36 to 38 vertebrae had ossified. At 42 days after hatching (TL 16.71 mm), the majority of the skeleton had ossified. Pike gudgeon exhibited comparable characteristics to other fishes of Gobionidae throughout its development, although it displayed differences in some areas, such as the caudal skeleton and fin supports.

**Key words:** *Pseudogobio esocinus*, Gobionidae, fish larvae, osteology, life history

## 서론

모래무지 (*Pseudogobio esocinus*)는 잉어목(Cypriniformes) 모래무지과(Gobionidae)에 속하는 어류로 우리나라 서해와 남해로 흐르는 하천 등에 널리 서식하며, 중국과 일본에도 분포한다(Kim and Park, 2002; Tan and Armbruster, 2018; Fricke *et al.*, 2024). 머리는 길고 뾰족하며 주둥이 부분은 길고 조금 납작해진다. 입은 크고 주둥이 아래에서 열리며, 아래 쪽으로 늘어나며 입가에 눈처럼 정도의 1쌍의 수염이 있다. 아래 위 입술 기부는 매우 발달한 피질소돌기로 덮여 있다. 몸은 은색으로 등쪽은 흑갈색을 띠며 배쪽은 은백색이다. 몸 옆 가운데에는 눈보다 큰 6~7개의 반점이 일정한 간격으로 배열되어 있다(Chae *et al.*, 2019).

모래무지과는 전 세계적으로 28속 232종이 보고되어 있으며 국내에서는 모래무지속(genus *Pseudogobio*)을 포함하여 16속 33종이 보고되어 있으나 아직 Nelson *et al.* (2016)의 분류에 따라 잉어과(Cyprinidae)의 모래무지아과(Gobioninae)로 분류되어 있기도 하다(NIBR, 2023; Fricke *et al.*, 2024). 모래무지속은 Bleeker (1860)가 Temminck and Schlegel (1846)이 일본에서 채집한 *Gobio esocinus*의 모식표본을 기반으로 정립되었으며, 국내에서는 모래무지 1종만이 보고되어 있다(Tominaga and Kawase, 2019; NIBR, 2023). 하지만 모래무지는 체색과 형태의 변이가 많으며 국외의 종들은 연구를 통해 형태학적, 유전학적으로 여러 종으로 나뉘어졌고, 국내의 모래무지 역시 그 분류학적 위치에 의문이 제기되어 있는 상태이다(Nakamura, 1969; Tominaga *et al.*, 2016; Cao *et al.*, 2017; Tominaga and Kawase, 2019).

자치어기 골격 발달 양상은 경골어류에 있어 종을 분류할 수 있을 뿐만 아니라 수산학적, 양식학적 측면에서도 중요하며, 골격 발달 과정을 정확하게 이해하는 것은 기능적 발달을 판단하는 것 뿐만 아니라 어류 양식에 있어서 흔하게 발견할 수 있

저자 직위: 정애리 (대학원생), 한정민 (대학원생), 이진 (이학박사), 한경호 (교수), 이성훈 (산중교수)

\*Corresponding author: Sung-Hoon Lee Tel: 82-61-659-7191, Fax: 82-61-655-3401, E-mail: wahun@jnu.ac.kr

는 골격 기형을 사전에 탐지하는 데 필수적이다(Dunn, 1983; Blaxter, 1988; Koumoundouros *et al.*, 2000, 2002; Sfakianakis *et al.*, 2004). 때문에 자치어의 골격 발달 연구는 잉어류 안에서만 한정하더라도 다양하게 진행되어 왔다(Weisel, 1967; Vandewalle *et al.*, 1992; Cubagge and Mabee, 1996; Lee, 2001, 2004; Lederoun *et al.*, 2012, 2017; Hasanpour *et al.*, 2015; Mun *et al.*, 2019; Rachma *et al.*, 2022).

현재까지 국내에서 모래무지에 관한 연구는 분류학적 연구(Kim, 1984; Kim and Kang, 1989), 초기 생활사(Lee *et al.*, 2008), 정자(Ryu, 2006; Kim *et al.*, 2007), 생리학적인 연구(Yum and Kim, 1989; Cho and Yum, 1996, 2005; Kim *et al.*, 2003; Yum, 2019)와 해부학적 연구(Lee and Lim, 2005)가 진행되어 있으나 자치어의 골격 발달 연구는 아직 진행되지 않았다. 모래무지는 산업적으로 중요한 종은 아니지만 내수면 어업에서 어획되어 잡어의 명목으로 유통되고 있으며, 하천의 오염에 따른 종의 멸종과 자원의 감소 측면에서 연구할 가치가 있다(Lee *et al.*, 2008). 또한 새로운 양식 품종으로도 그 가치가 높기 때문에 이 연구에서는 모래무지 자치어의 골격 발달을 연구함으로써 분류학 및 양식학적 기초자료로 활용하고자 한다.

## 재료 및 방법

실험에 사용한 어미는 2022년 4월부터 5월까지 3회 전라남

도 보성군 검백면 율어리 소재의 보성강 중류에서 투망과 족대를 사용하여 총 50개체를 채집하였다(Fig. 1). 채집한 어미는 실험실로 운반하여 투명 유리 수조(30×50×30 cm)에 사용하여 자연산란을 유도하였다. 수정란과 자치어 사육 수온은 18.5~19.5°C(평균 19.0°C)를 유지하였으며 사육 용수는 매일 50%씩 환수하였다. 부화된 자치어는 부화 후 3일부터 10일까지는 Rotifer(*Branchionus plicatilis*), 부화 후 8일부터 25일까지는 *Artemia* sp., 부화 후 20일부터는 인공배합 사료를 공급하였다. 자치어의 골격 발달을 관찰하기 위하여 매일 10개체를 부화 직후부터 얼음과 2-Phenoxyethanol(DAEJUNG, Korea)을 이용하여 마취시킨 뒤 5% 중성포르말린 수용액에 고정시켜 Summers(2015)의 방법에 따라 이증염색하였다. 이후 염색된 골격을 입체해부현미경(V-12BS, Nikon, Japan)과 만능투영기(SMZ800, Nikon, Japan)를 사용하여 관찰, 스케치하였고 골격 각 부위의 명칭은 Kim(1989)을 따랐다.

## 결 과

모래무지 자치어의 성장에 따른 골격 발달을 두개골(Cranium), 내장골(Visceral Skeleton), 척추골(Vertebrae), 미골(Caudal skeleton), 견대골(Shoulder girdle), 요대골(Pelvic girdle)로 구분하여 관찰하였다(Tables 1~3).

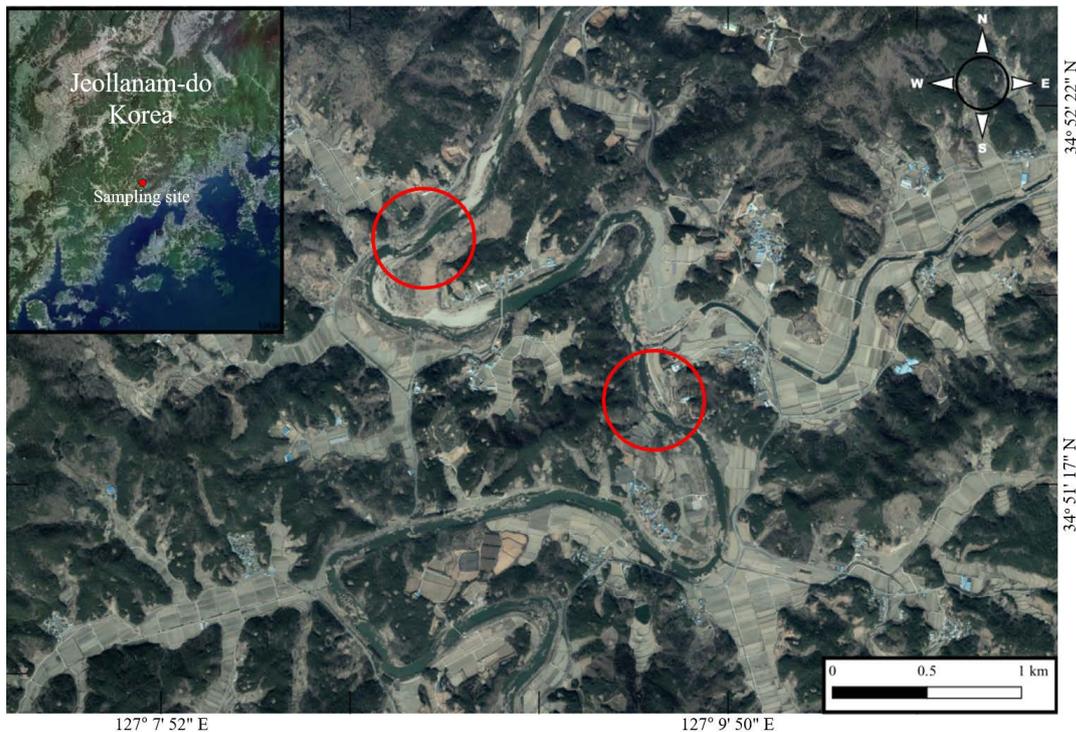


Fig. 1. Map showing the sampling area in Boseonggang River of Jeollanam-do, Boseong-gun, Gyeombaek-myeon, Yuleo-ri.



**Table 2.** The ossification process of visceral skeleton in *Pseudogobio esocinus*

Characters	Day after hatching (TL, mm)	5 (4.25)	14 (5.31)	22 (6.33)	27 (8.48)	35 (14.14)	42 (16.74)
Orbital region	Preorbital				████████████████████	████████████████████	████████████████████
	Suborbital				████████████████████	████████████████████	████████████████████
	Supraorbital					████████████████████	████████████████████
Upper jaw	Premaxillary			████████████████████	████████████████████	████████████████████	████████████████████
	Maxillary			████████████████████	████████████████████	████████████████████	████████████████████
Lower jaw	Dentary	████████████████████	████████████████████	████████████████████	████████████████████	████████████████████	████████████████████
	Articular				████████████████████	████████████████████	████████████████████
	Angular				████████████████████	████████████████████	████████████████████
Hyoid arch	Ceratohyal			████████████████████	████████████████████	████████████████████	████████████████████
	Hypohyal			████████████████████	████████████████████	████████████████████	████████████████████
	Epihyal			████████████████████	████████████████████	████████████████████	████████████████████
	Urohyal			████████████████████	████████████████████	████████████████████	████████████████████
	Interhyal			████████████████████	████████████████████	████████████████████	████████████████████
	Glossohyal				████████████████████	████████████████████	████████████████████
	Branchiostegal ray				████████████████████	████████████████████	████████████████████
	Symplectic						████████████████████
Palate	Hyomandibular			████████████████████	████████████████████	████████████████████	████████████████████
	Palatine					████████████████████	████████████████████
	Metapterygoid					████████████████████	████████████████████
	Ectopterygoid						████████████████████
	Endopterygoid						████████████████████
	Quadrate						████████████████████
Opercular	Preopercle		████████████████████	████████████████████	████████████████████	████████████████████	████████████████████
	Opercle				████████████████████	████████████████████	████████████████████
	Subopercle					████████████████████	████████████████████
	Interopercle						████████████████████

로 정수에 달하였고, 신경극과 혈관극(hemal spine)이 완성되었다. 또한 이 시기에 등지느러미를 지지하는 신경간극(interneural spine) 5개가 처음으로 골화하였고, 미부봉상골(urostyle)이 처음으로 골화하였다(Fig. 3C).

부화 후 25일째 자어는 전장이 6.89~8.52 mm (평균 8.06 mm)로 복추골의 추체에 10개의 측돌기(parapophysis)가 골화되었으며, 신경간극이 8~9개로 증가하였고, 뒷지느러미를 지지하는 3개의 혈관간극(interhemal spine)이 나타났다(Fig. 3D).

부화 후 35일째 자어는 전장 12.45~15.56 mm (평균 14.14 mm)로 등지느러미를 지지하는 신경간극이 10개로 완성되었고 뒷지느러미를 지지하는 혈관간극이 6개로 증가하였으며 배지느러미를 지지하는 혈관간극 3개가 나타났다. 요대골(pelvic

gridle)이 골화하였다. 또한 10~11개의 늑골(rib)이 나타났으며, 하미축골(hypural) 6개와 준하미축골(parhypural)이 골화하였다(Fig. 3E).

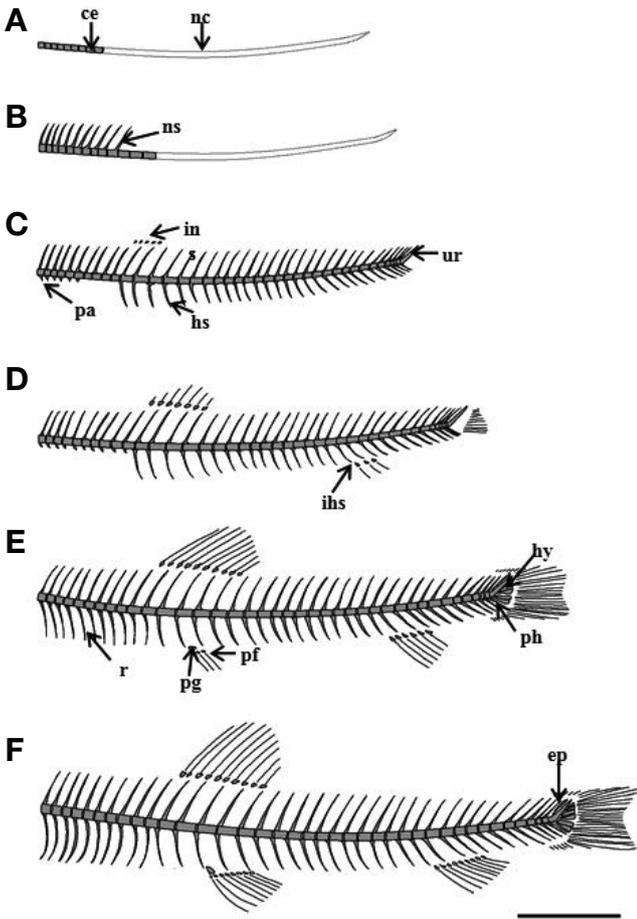
부화 후 42일째 자어는 전장 15.56~16.87 mm (평균 16.71 mm)로 미부봉상골 위쪽에 상미축골(epural)이 골화되어 미골이 완성되었으며, 척추골 역시 미부봉상골을 포함하여 10 + 29 = 39개로 완성되었다(Fig. 3F).

**3. 견대골**

가슴지느러미를 지지하는 견대골의 발달 과정은 다음과 같았다.

부화 후 5일째 자어는 전장 4.01~5.04 mm (평균 4.25 mm)로





**Fig. 3.** Ossification of the vertebrae, tail and fin supports in *Pseudogobio esocinus*. A: mean TL 4.25 mm; B: mean TL 4.52 mm; C: mean TL 6.33 mm; D: mean TL 8.06 mm; E: mean TL 14.14 mm; F: mean TL 16.74 mm. ce: centrum; ep: epural; hs: hemal spine; hy: hypural; in: interhemal spine; is: interneurial spine; nc: notochord; ns: neural spine, pa: parapophysis; pf: pelvic fin; pg: pelvic girdle; ph: parphural; r: rib; ur: urostyle. Scale bar indicates 0.50 mm.

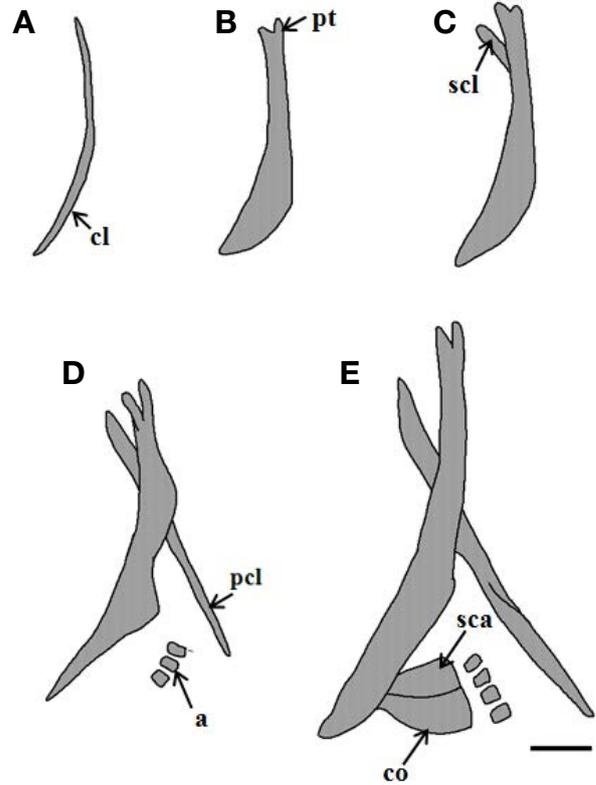
아가미 바로 뒤에 처음으로 가는 선상 모양으로 쇠골(clavicle)이 가장 먼저 골화되기 시작하였다(Fig. 4A).

부화 후 11일째 자어는 전장 4.33~4.98 mm (평균 4.52 mm)로 쇠골 위에 후측두골(posttemporal)이 처음으로 골화하였다(Fig. 4B).

부화 후 22일째 자어는 전장 5.97~6.43 mm (평균 6.33 mm)로 쇠골 바로 위에 상쇄골(supraclavicle)이 골화하였다(Fig. 4C).

부화 후 25일째 자어는 전장이 6.89~8.52 mm (평균 8.06 mm)로 쇠골 뒤 아랫부분에 후쇄골(postclavicle)과 3개의 사출골(actinost)이 골화하였다(Fig. 4D).

부화 후 35일째 자어는 전장 12.45~15.56 mm (평균 14.14 mm)로 쇠골 아랫부분에 견갑골(scapular)과 오혜골(coracoid)이 골화하였고, 사출골이 4개로 증가하여 견대골의 골화가 완성되었다(Fig. 4E).



**Fig. 4.** Ossification of the shoulder girdle bone in *Pseudogobio esocinus*. A: mean TL 4.25 mm; B: mean TL 4.52 mm; C: mean TL 6.33 mm; D: mean TL 8.06 mm; E: mean TL 14.14 mm. a: actinost; cl: clavicle; co: coracoid; pcl: postclavicle; pt: posttemporal; sca: scapular; scl: supraclavicle. Scale bar indicates 0.50 mm.

## 고찰

경골어류의 골격 발달이 시작되는 시기는 종에 따라 차이를 보인다. 연어과 어류(Hu *et al.*, 2018)와 송사리 *Oryzias latipes* (Langille and Hall, 1987)는 부화 이전에 골격 발달이 시작되었지만 모래무지는 돌고기 *Pungtungia herzi* (Lee, 2001), 감돌고기 *Pseudopungtungia nigra* (Lee, 2004), 참마자 *Hemibarbus longirostris* (Mun *et al.*, 2019), *Catostomus macrocheilus* (Weisel, 1967), *Barbus barbus* (Vandewalle *et al.*, 1992), *Danio rerio* (Cubagge and Mabee, 1996), *Labeo parvus* (Lederoun *et al.*, 2012)와 같이 부화 이후에 골격이 골화되기 시작하였다.

모래무지는 부화 후 5일 평균 전장 4.25 mm에서 부설골과 치골, 쇠골이 먼저 골화되기 시작하였다. 돌고기(Lee, 2001)는 부화 후 3일째 평균 전장 6.40 mm에서 부설골, 치골, 전상악골과 쇠골 등이 먼저 발달하였고 감돌고기(Lee, 2004)는 부화 후 3일째 평균 전장 6.74 mm일 때 부설골, 전상악골, 치골 등이 골화되기 시작하였다. *Labeo parvus* (Lederoun *et al.*, 2012)는 부화 후 4일째 평균 전장 4.8 mm에서 쇠골과 인두치(Pharyngeal teeth), 인두악(Pharyngeal jaw)이 먼저 발달하기 시작하였고, *Barbus*

*barbus* (Vandewalle *et al.*, 1992)는 부화 후 8일째 전장 10.5 mm일 때 치골과 상악골, 새개골, 새조골 1개와 후관절골 (retroarticular)이 골화하였다. 한편 참마자(Mun *et al.*, 2019)는 부화 직후 평균 전장 8.10 mm에서 액골, 부설골, 설이골, 익이골이 우선 골화되기 시작하여 부화 후 3일째 평균 전장 8.64 mm에서 새개부의 주새개골과 전새개골, 악골의 전상악골과 치골이 먼저 골화되어 발달 시기에 있어 약간의 차이가 나타났다.

경골어류의 두부 골격의 발달 양상은 부화할 때 형태가 각자 다르고, 종과 사육 조건에 따라 발달 정도가 달라지기 때문에 비교하기 어려운 점이 있으며, 심지어 같은 종 내에서도 발달 양상이 차이가 나는 경우가 있으나(Cubagge and Mabee, 1996; Lederoun *et al.*, 2012). 일반적으로 악골부와 새개부, 인두치 등 섭이와 연관이 있는 부분이 우선적으로 발달하는 양상은 같은 것으로 보아 발달 순서는 종 간에 차이가 있어도 전반적인 골격 발달은 생리적 기능과 연관이 있다고 생각된다(Kohno *et al.*, 1996).

견대골은 가슴지느러미를 지지하며 어류의 유연 능력에 도움을 준다(Mun *et al.*, 2019). 모래무지는 쇠골이 가장 먼저 발달하기 시작하여 상쇄골, 후쇄골, 사출골, 견갑골, 오혜골 순으로 골화하였고, 돌고기(Lee, 2001)와 감돌고기(Lee, 2004)는 쇠골이 가장 먼저 발달하는 것은 같았으나 상쇄골, 견갑골, 오혜골, 사출골, 후쇄골 순으로 발달하였고, 참마자(Mun *et al.*, 2019)는 부화 직후 쇠골부터 골화하기 시작하여 상후쇄골, 하후쇄골, 오혜골 순으로 골화하였다. 모래무지는 참마자와 쇠골 부위가 먼저 발달하는 것이 유사하였고, 돌고기, 감돌고기와는 약간의 차이를 보였다. 이러한 차이는 분류학적 유연관계의 차이로도 생각될 수 있지만, 잉어과인 *Rutilus caspicus* (Hasanpour *et al.*, 2015)가 쇠골, 상쇄골, 중오혜골(mesocoracoid), 사출골, 견갑골, 오혜골, 후쇄골 순으로 골화하고 *Danio rerio* (Cubagge and Mabee, 1996)는 쇠골, 상쇄골, 오혜골, 후쇄골, 견갑골, 중오혜골 순으로, 전반적으로 쇠골과 상쇄골 부분이 먼저 골화하는 것은 전부가 일치하여 계통분류학적으로 활용하기 위해서는 다른 모래무지과 어류를 포함한 잉어목 전반에 있어 골격 발달에 대한 추가적인 연구가 필요할 것으로 보인다.

모래무지는 부화 후 5일째 평균 전장 4.25 mm에서 척추골의 추체가 앞쪽에서부터 골화하기 시작하여 이후 신경간극이 골화하기 시작했고 22일째 평균 전장 6.33 mm에서 거의 정수에 달하였으며 42일째 평균 전장 평균 16.71 mm에 39개로 성체와 같은 수가 되었다(Naseka, 1996). 돌고기(Lee, 2001)는 부화 후 6일째 추체가 처음으로 앞쪽에서부터 골화하기 시작하여 신경극이 대응하는 추체보다 우선적으로 골화되었고 부화 후 27일째 평균 전장 10.8 mm에서 31개에서 부화 후 80일째 평균 전장 20.8 mm에서 38개로 증가하여 정수에 달하였다. 감돌고기(Lee, 2004)는 부화 후 7일째 평균 전장 8.06 mm에서 추체가 처음으로 앞쪽에서부터 발달하기 시작하여 신경간극이 대응하는 추

체보다 우선적으로 골화하기 시작하여 부화 후 44일째 평균 전장 14.60 mm에서 35개가 되었으며, 부화 후 78일째 평균 전장 17.58 mm에 총 39개가 되어 정수에 달하였다. 참마자(Mun *et al.*, 2019)는 부화 직후 추체가 골화하기 시작하여 부화 후 25일째 평균 전장 16.1 mm에서 35~36개로 골화가 완료되었다.

같은 모래무지과에 속하는 모래무지와 돌고기, 감돌고기, 참마자의 척추골이 완성되는 시점은 종마다 차이를 보이지만, 추체의 개수를 기준으로 볼 경우 모래무지와 돌고기, 감돌고기의 척추골 수는 38~39개로 유사하지만 참마자의 척추골 수는 35~36개로 차이를 보였다. Naseka (1996)는 모래무지과 어류의 척추골의 형태를 기준으로 돌고기와 감돌고기를 한 그룹으로, 모래무지를 다른 한 그룹으로, 그리고 참마자를 돌고기와 감돌고기에서 가장 먼 그룹으로 분류하였는데, 발달 과정에 있어서 돌고기와 감돌고기는 신경극이 추체보다 먼저 발달하였고, 모래무지는 추체가 신경극보다 우선적으로 발달하였으며, 참마자는 전체적인 신경극이 먼저 발달한 후 추체가 발달하는 차이를 보여 계통분류학적 근거가 되는 것으로 보이며, 유전계통학적 분류와도 일치하였으나(Tang *et al.*, 2011), 정확한 비교를 위해 모래무지과의 다른 종, 특히 각 유형에 속하는 종의 척추골 발달 양상을 포함한 추가적인 연구가 필요할 것으로 생각된다.

척추의 골화 방향의 경우 모래무지와 돌고기, 감돌고기, 참마자가 전부 앞쪽에서 꼬리쪽으로 순서대로 골화되었으며, 이러한 경향은 잉어과의 *Rutilus caspicus* (Hasanpour *et al.*, 2015), *Labeo parvus* (Lederoun *et al.*, 2017), *Osteochilus ittatus* (Rachma *et al.*, 2022)에서도 같게 나타났다. 조기어류의 척추골의 골화 방향은 (1) 뒤쪽에서 앞으로 (2) 앞쪽과 뒤쪽이 거의 동시에, (3) 앞쪽에서 뒤쪽으로 이루어지는 3가지의 유형이 있는데(Schultze and Arratia, 2013), 모래무지와 다른 어류들은 전부 (3) 유형에 속하여 일반적인 현생 경골어류와 같은 경향을 보였다.

지느러미를 지지하는 담기골의 경우 모래무지는 척추골의 골화가 완성된 부화 후 22일째 평균 전장 6.33 mm에서부터 신경간극부터 골화하기 시작하여 척추골이 골화한 이후에 신경간극과 혈관간극이 완전히 골화되었으며 기초보다 담기골이 먼저 골화되었다. 돌고기(Lee, 2001)는 척추골의 골화가 끝남과 동시에 신경간극과 혈관간극의 골화가 완료되었으며, 기초가 담기골보다 먼저 골화되었다. 감돌고기(Lee, 2004)는 척추골의 골화가 거의 완료된 이후 신경간극과 혈관간극이 형성되기 시작하였으며 기초가 우선 골화된 이후에 그 아래의 담기골이 형성되었다. 참마자(Mun *et al.*, 2019)는 부화 직후 추체가 발달하기 시작하여 척추골의 골화가 진행 중일 때 신경간극이 골화되기 시작하였으며 척추골과 담기골이 유사한 시기에 골화가 완료되었고, 기초가 먼저 발달한 후에 담기골이 골화하였다.

모래무지는 담기골이 우선적으로 골화된 후 기초가 골화한 반면, 돌고기, 감돌고기, 참마자는 기초가 먼저 골화된 후 담기골이 골화하여 같은 모래무지과 어류들 사이에서 차이를 보였다.

유영활동이 적은 저서성 어종의 경우 기조보다 담기골이 우선적으로 발달하는 것으로 생각되며 유영활동이 많은 어종의 경우 담기골보다 기조가 우선적으로 발달하는 것으로 추정되는데 (Park *et al.*, 2017), 다른 분류군의 어류를 비교해보면 *Rutilus caspicus* (Hasanpour *et al.*, 2015), *Labeo parvus* (Lederoun *et al.*, 2017), *Danio rerio* (Bird and Mabee, 2003), *Osteochilus vittatus* (Rachma *et al.*, 2022)에서 역시 기조가 우선 골화된 이후 담기골이 골화하였고, 저서어종인 통가리과(Amblycipitidae) 통사리 *Liobagrus obesus* (Seo *et al.*, 2018), 망둑어과(Gobiidae) 큰미끈망둑 *Luciogobius grandis* (Yun *et al.*, 2020) 역시 담기골보다 기조가 우선적으로 발달하는 것으로 보아서 모래무지가 상대적으로 독특한 특성을 가지는 것으로 생각되나, 모래무지과에 속하는 어류에서 담기골의 발달 양상에 대한 추가적인 연구와 생태학적 검토가 필요할 것으로 생각된다.

모래무지는 부화 후 22일째 평균 전장 6.33 mm에서 미부봉상골이 골화하였는데 이는 척추골이 완전히 골화된 후 이루어졌다. 돌고기(Lee, 2001)는 부화 후 17일째 평균 전장 8.0 mm에서 척추골의 골화가 완전히 이루어지기 이전에 미부봉상골의 골화가 이루어졌으며 감돌고기(Lee, 2004)는 부화 후 16일째 평균 전장 10.74 mm에서 척추골의 골화가 완전히 이루어지기 전에 미부봉상골의 골화가 시작되었으며, 참마자(Mun *et al.*, 2019)는 부화 후 12일째 평균 12.2 mm 복추골과 미추골의 골화가 시작되며 미부봉상골이 골화하였다. 미부봉상골의 발달 양상은 모래무지와 참마자, 돌고기와 감돌고기가 서로 비슷하여 척추골의 골화 양상, 형태에 따른 분류와 비슷하여 분류학적으로 의미가 있는 것으로 생각되나 모래무지과 내에서 추가적인 연구가 필요한 것으로 생각된다. 한편 잉어과에 속하는 *Rutilus caspicus* (Hasanpour *et al.*, 2015)는 척추골의 골화가 완전히 이루어진 후 미부봉상골이 골화하였고 *Labeo parvus* (Lederoun *et al.*, 2017)와 *Osteochilus vittatus* (Rachma *et al.*, 2022)는 척추골의 골화가 완전히 이루어지기 이전에 미부봉상골이 골화하여 미부봉상골의 골화 양상은 종에 따라 차이가 있는 것으로 보인다.

미골부는 꼬리지느러미를 지지하는데, 모래무지는 부화 후 35일째 평균 14.14 mm에서 하미축골 6개가 골화하였다. 돌고기(Lee, 2001)는 부화 후 27일째 평균 전장 10.8 mm에서 제1, 2 하미축골이, 부화 후 32일째 평균 전장 12.4 mm에서 제3, 4, 5 하미축골이 골화하여 5개였고, 감돌고기(Lee, 2004)는 부화 후 27일째 평균 전장 11.04 mm에서 제1, 2 하미축골이 골화하고 부화 후 44일째 평균 전장 14.60 mm에서 제3, 4, 5 하미축골이 골화하여 5개였다. 한편 참마자(Mun *et al.*, 2019)는 부화 후 6일째 5개의 하미축골이 골화하였고 부화 후 40일째에는 제1 하미축골을 제외한 제2, 3 그리고 제4, 5 하미축골이 서로 결합하면서 3개(1, 2+3, 4+5)의 골편으로 구성되었다. 모래무지는 잉어과로 분류하기도 하는데, 일반적으로 잉어과의 하미축골은 3개 또는 6개로 알려져 있으며(Fujita, 1990). 현재도 잉어과로 분

류되는 *Rutilus caspicus* (Hasanpour *et al.*, 2015), *Labeo parvus* (Lederoun *et al.*, 2017), *Osteochilus vittatus* (Rachma *et al.*, 2022) 역시 하미축골이 6개가 존재하여 모래무지와는 일치하였으나 돌고기, 감돌고기 및 참마자와 차이를 보였다. 이러한 차이는 잉어과 어류의 경우 제6 하미축골이 굉장히 작기 때문에 관찰이 어려운 경향이 있었으며, 참마자의 골격이 3개로 유합되는 현상은 현재 모래무지과에 속하는 *Biwia*속 어류의 하미축골이 3개인 것으로 알려져 있기 때문에(Fujita, 1990) 이와 연관되어 있을 것으로 보이며, 미부골격의 발달 양상이 모래무지과와 잉어과의 차이점인지는 양 분류군 모두 성체와 자치어 미부 골격 발달에 대한 추가적인 연구가 필요할 것으로 보인다.

연구 결과 모래무지는 유연종인 돌고기(Lee, 2001), 감돌고기(Lee, 2004)와는 부화 후 3~5일 정도에서 골화가 시작되고, 골화 완료 시 척추골 수가 38~39개이며, 하미축골 수가 5~6개인 점에서 유사하게 나타났으나 참마자(Mun *et al.*, 2019)는 부화 직후 골화가 시작되고, 골화 완료 시 척추골 수가 35~36개로 차이를 보이며, 하미축골이 3개로 제1 하미축골을 제외한 제2, 3 하미축골과 제4, 5 하미축골이 유합하는 점에서 차이를 보여 모래무지과 안에서도 서로 간에 차이가 나타났다. Tang *et al.* (2011)은 유전계통학적 연구에서 모래무지과를 모래무지족(Tribe Gobionini), 중고기족(Tribe Sarcocheilichthyini), 누치-몰개군(*Hemibarbus-Squalidus* Group)으로 나누고, 이 중 모래무지족, 중고기족과 누치-몰개군을 자매군으로 보았다. 모래무지는 모래무지족, 돌고기와 감돌고기는 중고기족, 참마자는 누치-몰개군에 속하여 골격 발달 양상을 통해 비교한 양상과 유전계통학적 분류가 일치하였으며, 이를 통해 최근 변화하고 있는 분류학적 위치에 기초 근거를 수집하였다고 생각되나 더 정확한 비교를 위해서는 모래무지과 어류의 골격 발달에 대한 추가적인 연구가 필요하다. 또한 이 연구를 통해 각 골편의 발달 시점과 정상적인 골격의 모습을 제시하였으나 종자생산과 양식과정에서 발생하는 기형이나 환경 조건별 발달 양상 등을 추가로 연구할 필요가 있으며, 이를 위해 모래무지와 어류의 자치어 골격 발달 연구가 지속적으로 이루어져야 할 것으로 생각된다.

## 요 약

모래무지 자치어의 골격 발달을 관찰하여 분류학적, 양식학적 연구에 활용하기 위해 두부, 척추 및 미부, 요대부와 견대부로 나누어 관찰하였다. 보성강에서 채집한 모래무지의 자치어를 18.5~19.5°C(평균 19.0°C)에서 사육하였다. 부화 후 5일째 평균 전장 4.25 mm에 부설골과 악골, 추체와 쇄골이 처음으로 골화하기 시작하여, 부화 후 22일째 평균 전장 6.33 mm에서 척추골이 36~38개가 되었고 부화 후 42일째 평균 전장 16.71 mm에서 대부분의 골격이 완성되었다. 모래무지는 발달 과정에서 다른

모래무지과 어류와 유사한 특성을 보였으나 담기골과 미골 등 일부분에서 차이를 보였다.

## 사 사

부족한 논문을 주의 깊게 살펴주시고 심사해주신 편집위원과 두 분의 심사위원께 깊은 감사의 말씀 드립니다.

## REFERENCES

- Bird, N.C. and P.M. Mabee. 2003. Developmental morphology of the axial skeleton of the zebrafish, *Danio rerio* (Ostariophysii: Cyprinidae). *Dev. Dyn.*, 228: 337-357. <https://doi.org/10.1002/dvdy.10387>.
- Blaxter, J.H.S. 1988. 1. Pattern and variety in development. In: Hoar, W.S. and D.J. Randall (eds.), *Fish physiology*. Academic Press, Massachusetts, U.S.A., pp. 1-58.
- Bleeker, P. 1860. *Conspectus systematis Cyprinorum*. *Natuurk. Tijdschr. Ned.-Indië*, 20: 421-441.
- Cao, K., Y.H. Li, H. He, M.Y. Li and C.Z. Fu. 2017. Species delimitation and phylogenetic relationships of *Pseudogobio* fishes in the subfamily Gobioninae. *Acta Hydrobiol. Sin.*, 41: 1-12.
- Chae, B.S., H.B. Song and J.Y. Park. 2019. A field guide to the freshwater fishes of Korea. LG Evergreen Foundation, Seoul, Korea, 355pp.
- Cho, S.K. and J.J. Yum. 1996. The adaptational phenotype of lactate dehydrogenase isozymes in *Pseudogobio esocinus* by the environmental variation. *J. Ind. Sci. Cheongju Univ.*, 14: 333-343.
- Cho, S.K. and J.J. Yum. 2005. Changes of activities and isozymes of lactate dehydrogenase in *Coreoperca herzi* and *Pseudogobio esocinus* acclimated to rapid increase of dissolved oxygen. *Kor. J. Life Sci.*, 15: 71-79.
- Cubbage, C.C. and P.M. Mabee. 1996. Development of the cranium and paired fins in the zebrafish *Danio rerio* (Ostariophysii, Cyprinidae). *J. Morphol.*, 229: 121-160. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-4687\(199608\)229:2<121::AID-JMOR1>3.0.CO;2-4](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-4687(199608)229:2<121::AID-JMOR1>3.0.CO;2-4).
- Dunn, J.R. 1983. The utility of developmental osteology in taxonomic and systematic studies of teleost larvae: a review. NOAA Tech. Rep., NMFS Circ. 450, Department of Commerce, Washington, D.C., USA, 19pp.
- Fricke, R., W.N. Eschmeyer and R. Van der Laan (eds). 2024. Eschmeyer's catalog of fishes: genera, species. <http://research.archive.calacademy.org/research/ichthyology/catalog/fishcatmain.asp>. accessed 15/04/2024.
- Fujita, K. 1990. The caudal skeleton of teleostean fishes. Tokai Univ. Press, Tokyo, Japan, 897pp.
- Hasanpour, S.H., S. Eagderi and B. Mojazi Amiri. 2015. Osteological development of the vertebral column, paired, dorsal and anal fins in *Rutilus caspicus*, Pravdin (1927) (Teleostei: Cyprinidae). *Caspian J. Env. Sci.*, 13: 207-219.
- Hu, J., Y. Liu, G. Yu, C.P. Yang, B.B. Shan, S.N. Liu and D.R. Sun. 2018. Osteological development of the vertebral column and caudal complex in larval and juvenile blackhead seabream, *Acanthopagrus schlegelii* (Perciformes, Sparidae) (Bleeker, 1854). *Pakistan J. Zool.*, 51: 1859-1867. <https://doi.org/10.17582/journal.pjz/2019.51.5.1859.1867>.
- Kim, I.S. 1984. The taxonomic study of gudgeons of the subfamily Gobioninae (Cyprinidae) in Korea. *Korean J. Fish. Aquat. Sci.*, 17: 436-448.
- Kim, I.S. and E.J. Kang. 1989. Comparative study on the urohyal of the subfamily Gobioninae of Korea. *Korean J. Ichthyol.*, 1: 24-34.
- Kim, I.S. and J.Y. Park. 2002. *Freshwater fishes of Korea*. KyoHak Publishing Co., Seoul.
- Kim, J.B., S.K. Kim and J.J. Yum. 2003. Changes of activities and isozymes of lactate dehydrogenase in *Pseudogobio esocinus* acclimated to acute change of temperature. *J. Ind. Sci. Cheongju Univ.*, 21: 37-44.
- Kim, K.H., D.M. Kwon, J.I. Lee and S.B. Jung. 2007. Ultrastructure of *Pseudogobio esocinus* (Teleostei, Cyprinidae) spermiogenesis and spermatozoa. *Korean J. Fish. Aquat. Sci.*, 40: 147-152.
- Kim, Y.U. 1989. *Introduction of ichthyology*. Taehwa Publishing, Busan, Korea, 270pp.
- Kohno, H., R. Ordonio-Aguilar, A. Ohno and Y. Taki. 1996. Morphological aspects of feeding and improvement in feeding ability in early stage larvae of the milkfish, *Chanos chanos*. *Ichthyol. Res.*, 43: 133-140. <https://doi.org/10.1007/BF02348236>.
- Koumoundouros, G., E. Maingot, P. Divanach and M. Kentouri. 2002. Kyphosis in reared sea bass (*Dicentrarchus labrax* L.): ontogeny and effects on mortality. *Aquaculture*, 209: 49-58.
- Koumoundouros, G., P. Divanach, and M. Kentouri. 2000. Development of the skull in *Dentex dentex* (Osteichthyes: Sparidae). *Mar. Biol.*, 136: 175-184. <https://doi.org/10.1007/s002270050020>.
- Langille, R.M. and B.K. Hall. 1987. Development of the head skeleton of the Japanese medaka, *Oryzias latipes* (Teleostei). *J. Morphol.*, 193: 135-158. <https://doi.org/10.1002/jmor.1051930203>.
- Lederoun, D., E. Montchowui, P. Laleye, P. Poncin and P. Vandewalle. 2012. Postembryonic development of the cephalic skeleton in relation to external morphological changes in *Labeo parvus* (Ostariophysii, Cyprinidae). *Cybium*, 36: 383-396.
- Lederoun, D., E. Montchowui, P. Laleye, P. Poncin and P. Vandewalle. 2017. Postembryonic development of appendicular and axial skeletons in *Labeo parvus* (Cyprinidae). *Cybium*, 41: 3-10.
- Lee, M.S. and J.W. Lim. 2005. Lens characterization of genus *Zacco* and *Pseudogobio* in Korean Fish. *Anat. Biol. Anthropol.*, 18: 69-75.
- Lee, S.H. 2001. The early life history and spawning behavior of

- Pungtungia herzi*. Dep. Fish. Sci. Graduate School Yosu Natl. Univ., Yeosu, Korea, pp. 1-31.
- Lee, S.H. 2004. Early development and reproductive ecology of *Pseudopungtungia nigra*. Master thesis. Graduate School Yosu Natl. Univ., Yeosu, Korea, pp. 1-98.
- Lee, S.H., G.N. Oh, K.S. Kim, Y.S. Oh, K.W. Kang, J.H. Hwang, B.I. Lee, W.K. Lee and K.H. Han. 2008. Embryonic and larval development of goby minnow, *Pseudogobio esocinus*. Dev. Reprod., 12: 283-288.
- Mun, S.J., J.M. Park and K.H. Han. 2019. Osteological development of larvae and juvenile of *Hemibarbus longirostris* (Cypriniformes: Cyprinidae) from Korea. Korean J. Ichthyol., 31: 214-221.
- Nakamura, M. 1969. Cyprinid fishes of Japan - studies on the life history of Cyprinid fishes of Japan -. Spec. Publ. Res. Inst. Nat. Res., No. 4, Research Institute for Natural Resources, Tokyo, Japan, 455pp.
- Naseka, A.M. 1996. Comparative study on the vertebral column in the Gobioninae (Cyprinidae, Pisces) with special reference to its systematics. Publ. Espec. Inst. Esp. Oceanogr., 21: 149-167.
- National Institute of Biological Resources (NIBR). 2023. National species list of Korea. National Institute of Biological Resource, Incheon, Korea. <https://kbr.go.kr>. accessed 15/04/2024.
- Nelson, J.S., G.C. Terry and M.V.H. Wilson. 2016. Fishes of the World. 5rd Edition. John Wiley & Sons, Inc., 707pp. <https://doi.org/10.1002/9781119174844>.
- Park, J.M., J.H. Han, S.M. Yun and K.H. Han. 2017. Early osteological development of larvae and juveniles in the Korean spotted sleeper *Odontobutis interrupta* from Korea. Korean J. Fish. Aquat. Sci., 50: 396-405.
- Rachma, S., M. Madihah and S.H. Sumarsono. 2022. Spatiotemporal profile of skeletal development in bonylip barb, *Osteochilus vittatus* (Valenciennes, 1842). Asian Fish. Sci., 35: 304-313.
- Ryu, D.S. 2006. Spermatogenesis of goby minnow (*Pseudogobio esocinus*). J. Ind. Sci., Cheongju Univ., 23: 13-17.
- Schultze, H.P. and G. Arratia. 2013. The caudal skeleton of basal teleosts, its conventions, and some of its major evolutionary novelties in a temporal dimension. In: Wilson, M.V.H. (ed.), Mesozoic Fishes 5 - Global Diversity and Evolution. Verlag Dr. Friedrich Pfeil, München, Germany, pp. 187-246.
- Seo, W.I., J.M. Park, S.H. Lee, S.M. Yoon, S.Y. Hwang and K.H. Han. 2018. Osteological development of the larvae and juvenile of bullhead torrent catfish, *Liobagrus obesus*. Dev. Reprod., 22: 9-18. <https://doi.org/10.12717/DR.2018.22.1.009>.
- 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.
- Summers, A. 2015. The Compleat guide to clearing and staining. ResearchGate Technical Report. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.3933.4249>.
- Tan, M. and J.W. Armbruster. 2018. Phylogenetic classification of extant genera of fishes of the order Cypriniformes (Teleostei: Ostariophysi). Zootaxa, 4476: 6-39. <https://doi.org/10.11646/zootaxa.4476.1.4>.
- Tang, K.L., M.K. Agnew, W.J. Chen, M. Vincent Hirt, M.E. Raley, T. Sado, L.M. Schneider, L. Yang, H.L. Bart, S. He, H. Liu, M. Miya, K. Saitoh, A.M. Simons, R.M. Wood and M.L. Mayden. 2011. Phylogeny of the gudgeons (Teleostei: Cyprinidae: Gobioninae). Mol. Phylogenet. Evol., 61: 103-124. <https://doi.org/10.1016/j.ympev.2011.05.022>.
- Temminck, C.J. and H. Schlegel. 1846. Les Goujons. In: Siebold, P.F., C.J. Temminck, H. Schlegel and W. Haan (eds.), Fauna Japonica (Pisces). Apud Auctorem, Lugduni Batavorum, Netherland, pp. 196-200.
- Tominaga, K. and S. Kawase. 2019. Two new species of *Pseudogobio* pike gudgeon (Cypriniformes: Cyprinidae: Gobioninae) from Japan, and redescription of *P. esocinus* (Temminck and Schlegel 1846). Ichthyol. Res., 66: 488-508. <https://doi.org/10.1007/s10228-019-00693-x>.
- Tominaga, K., J. Nakajima and K. Watanabe. 2016. Cryptic divergence and phylogeography of the pike gudgeon *Pseudogobio esocinus* (Teleostei: Cyprinidae): a comprehensive case of freshwater phylogeography in Japan. Ichthyol. Res., 63: 79-93.
- 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>.
- 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>.
- Yum, J.J. 2019. Metabolism of lactate dehydrogenase in tissues from *Carassius auratus* and *Pseudogobio esocinus* after two weeks of starvation. J. Ind. Sci. Cheongju Univ., 36: 1-9.
- Yum, J.J. and M.O. Kim. 1989. Biochemical properties of lactate dehydrogenase isozymes in *Pseudogobio esocinus*. J. Ind. Sci. Cheongju Univ., 7: 151-162.
- Yun, S.M., J.M. Park and K.H. Han. 2020. Osteological development of the larvae and juvenile of *Luciogobius grandis* (Pisces: Gobiidae). Dev. Reprod., 24: 125-133. <https://doi.org/10.12717/DR.2020.24.2.125>.