

사할린가자미(*Limanda sakhalinensis*) 자치어의 골격발달

한경호 · 이성훈 · 백정익¹ · 박재민^{2*}

전남대학교 해양기술학부, ¹국립수산과학원 수산자원연구센터, ²경상북도 토속어류산업화센터

Osteological Development of the Larvae and Juvenile in Sakhalin Sole *Limanda sakhalinensis*

Kyeong-Ho Han, Seong-Hoon Lee, Jeong-Ik Baek¹ and Jae-Min Park^{2*}

Marine Technology Undergraduate, Chonnam National University, Yeosu 59626, Korea

¹Fisheries Resources Research Center, National Institute of Fisheries Science, Tongyeong 56034, Korea

²Gyeongsangbuk-Do Native Fish Business Center, Uiseong 37366, Korea

This study is designed to observe the development of skeleton of Sakhalin sole *Limanda sakhalinensis* in order to use the findings as the basic data for the taxonomic research. As for the development of skeleton, on 20 days of the hatch when its average total length was 5.86 mm, the clavicle and the parasphenoid in the cranium were ossified. As for the jaw bone, the premaxillary and the dentary were ossified. On 28 days of hatch when its total length was 7.05 mm, 25 neural spines and 22 hemal spines were ossified and 5 fin rays appeared. On 34 days of hatch when its average total length was 8.40 mm, the end of tail was twisted by 45° and 3 hypural bones were ossified. On 48 days of hatch when its average total length was 10.1 mm, 2 actinosts below the postcleithrum were ossified. On 54 days of hatch, when the average total length was 10.4 mm, the ethmoid, prootic and exoccipital were ossified, thus completing the ossification of skeleton.

Key words: Juvenile, Larvae, *Limanda sakhalinensis*, Osteological, Skeleton

서론

가자미목 가자미과 어류는 전 세계적으로 39속 93종(Eschmeyer, 2019), 국내에는 18속 25종이 분포하는 것으로 알려져 있다(Choi, 2012). 사할린가자미는 가자미목(Pleuronectiformes) 가자미과(Pleuronectidae) 각시가자미속(*Limanda*)에 속하는 어류로 일본 북해도의 호호츠크해, 러시아 사할린섬 및 미국 알래스카 연안에 서식하고 있으며, 각시가자미속은 사할린가자미를 포함한 각시가자미(*L. aspera*), 대서양각시가자미(*L. ferruginea*), *L. limanda*, 주둥가자미(*L. proboscidea*), 층거리가자미(*L. punctatissima*) 등 6종이 있는 것으로 알려져 있다(Ji et al., 2016; Fishbase, 2019). 어류의 종자생산에 있어서 자치어 골격발달 연구는 사육 초기에 골격 이상을 확인하고, 제거하는데 필수적이며, 종의 동정뿐만 아니라 성어의 골격특성에도 중요한 자료가 될 수 있으므로 구체적이고 체계적인 연

구가 필요하다(Koumoundouros et al., 1997a, b). 가자미류의 골격에 대한 연구는 가자미아과 어류의 골격(Kim, 1973), 골격형질을 이용한 표현형적 분석(Sakamoto, 1984), 넙치(*Paralichthys olivaceus*) 자치어의 골격발달(Han and Kim, 1998), 계통분류(Cooper and Chapleau, 1998; Vinnikov et al., 2018), *Solea solea*의 두개골 형태발달(Wagemans and Vandewalle, 1999; 2001), 넙치와 강도다리(*Platichthys stellatus*) 잡종의 형태(Nam et al., 2008), 가자미과 어류 자어의 분자계통학적 연구(Roje, 2010), *Scophthalmus maximus*의 두개골 형태(Yel-nikov and Khanaychenko, 2013), 한국산 가자미과 어류 형태, 골격 및 계통분류(Shin, 2015) 등 많은 연구가 수행되었으나 사할린가자미에 대한 연구는 종묘생산(Rho et al., 1988), 난발생 과정 및 자치어 형태발달(Han et al., 2017) 등이 있을 뿐 골격에 대한 연구는 부족한 실정이다.

가자미과 어류는 성어뿐만 아니라 자연에서 채집된 자치어를

*Corresponding author: Tel: +82. 54. 830. 8821 Fax: +82. 54. 830. 8809

E-mail address: jm1090@korea.ac.kr



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.2019.0389>

Korean J Fish Aquat Sci 52(4), 389-399, August 2019

Received 10 June 2019; Revised 24 June 2019; Accepted 9 July 2019

저자 직위: 한경호(교수), 이성훈(교수), 백정익(연구원), 박재민(연구사)

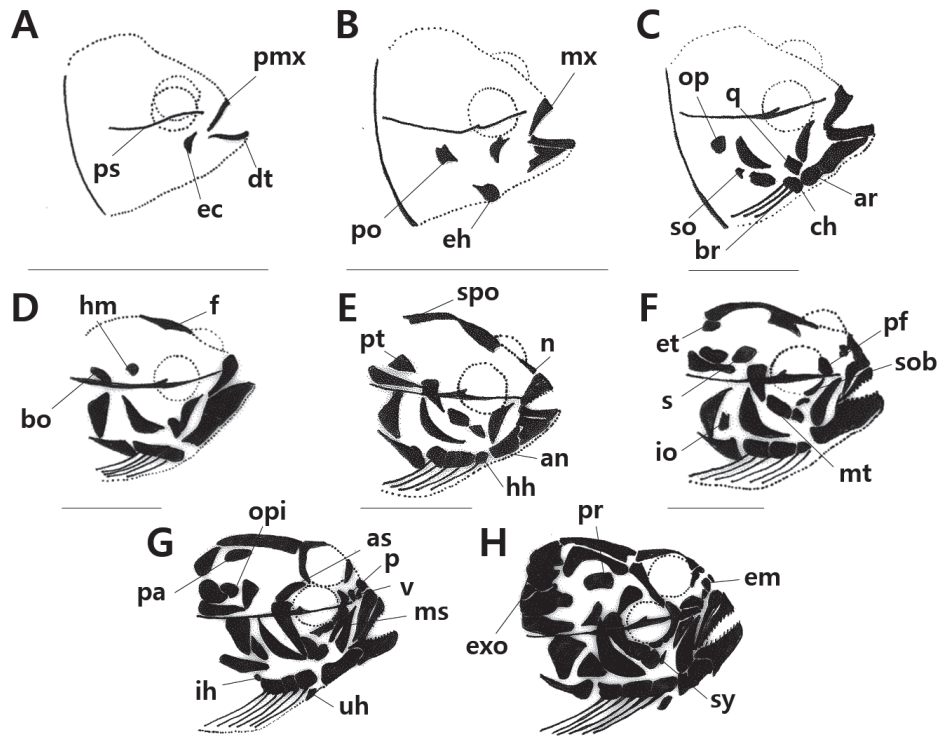


Fig. 1. Development of the cranium and visceral skeleton in sakhalin sole *Limanda sakhalinesis*. A, 6.40 mm in total length (TL); B, 7.40 mm in TL; C, 7.80 mm in TL; D, 8.90 mm in TL; E, 9.50 mm in TL; F, 12.4 mm in TL; G, 9.90 mm in TL; H, 15.8 mm in TL; ar, articular; as, alisphenoid; an, angular; bo, basioccipital; br, branchiostegal; ch, ceratohyal; dt, dentary; ec, ectopterygoid; eh, epihyal; em, ethmoid; et, epiotic; exo, exoccipital; f, frontal; hh, hypohyal; hm, hyomandibular; ih, interhyal; io, interopercle; ms, mesopterygoid; mt, metapterygoid; mx, maxillary; n, nasal; op, opercle; opi, opisthotic; p, palatine; pa, parietal; pf, prefrontal; pmx, premaxillary; po, preopercle; pr, prootic; ps, parasphenoid; pt, pterotic; q, quadrate; s, sphenotic; so, subopercle; spo, supraoccipital; sob, suborbital; sy, symplectic; uh, urohyal; v, vomer. Scale bars=1.00 mm.

동정하는데 많은 어려움이 있고, 같은 속 어류에서는 외부형태, 체색 등이 유사하여 종을 동정하는데 어려움이 있다(Byun et al., 2007). 따라서 이 연구에서는 사할린가자미의 자치어 골격 발달 과정을 관찰하여 중요생산 과정에서 나타나는 기형 및 이상골격 등을 확인하고 계통분류학적 형질의 극성을 결정하기 위한 기초자료로 제공하고자 한다.

재료 및 방법

시료확보는 Han et al. (2017)의 자치어 표본을 이용하였고, Walker and Kimmel (2007)의 이중염색법에 의해 부화 직후부터 치어기까지 총 80마리를 염색하였으며, KOH 0.1%와 glycerol 50%에 보존하였다. 염색이 완료된 자치어는 실체현미경 (SMZ800, Nikon, Japan)을 이용하여 부위별로 관찰하였고, 골격형태를 스케치하였다. 골격의 부위별 명칭은 Han and Kim (1998)에 따랐다.

결 과

두개골 및 내장골

두부의 골격은 두개골(Cranium)과 내장골(Visceral skeleton)로 이루어져 있으며, 성장에 따른 골격발달 과정은 Fig. 1, Table 1-2와 같다. 부화 후 24일째 자어는 전장 5.70-7.10 mm (평균 6.40 ± 1.04 mm, $n=10$)로 두개골을 형성하는 골격 중 최초로 부설골(parasphenoid)이 골화하기 시작하였다. 내장골은 윗턱을 지지하는 전상악골(premaxillary)이 골화하기 시작하였고, 아래턱에는 치골(dentary)이 골화하였으며, 구개부에는 외익상골(ectopterygoid)이 골화하기 시작하였다(Fig. 1A). 부화 후 30일째 자어는 전장 6.50-8.20 mm (평균 7.40 ± 1.19 mm)로 새개부에는 전새개골(preopercle)이 골화하였고, 설궁부에는 상설골(epihyal)이 골화하였으며, 내장골은 전상악골의 위쪽에 주상악골(maxillary)이 골화하였다(Fig. 1B).

부화 후 35일째 자어는 전장 7.00-8.60 mm (평균 7.80 ± 1.07

(prefrontal)이 골화하기 시작하였고, 무안측의 안하골이 골화하기 시작하였다. 새개부에는 간새개골(interopercle)이 골화하였고, 구개부에는 후익상골(metapterygoid)이 골화하였으며, 설궁부의 새조골은 6개로 증가하였다(Fig. 1F).

부화 후 53일째 자어는 전장 11.5-13.2 mm (평균 12.4 ± 1.20 mm)로 두개골에는 노정골(parietal), 익설골(alisphenoid), 서골(vomer)이 골화하였고, 구개부에서는 구개골(palatine), 방골(quadrate), 중익상골(mesopterygoid)이 골화하기 시작하였으

며, 설궁부에는 간설골(interhyal), 미설골(urohyal)이 골화하기 시작하였다(Fig. 1G).

부화 후 56일째 자어는 전장 15.0-16.6 mm (15.8 ± 1.13 mm)로 두개골에는 사골(ethmoid), 전이골(prootic), 외후두골(ex-occipital), 안하골(suborbital)이 골화하였고, 구개부에는 접속골(symplectic)이 골화하면서 두개골 및 내장골의 골격이 완성되었다(Fig. 1H).

Table 2. Development of cranium and visceral skeleton and pterygiophore in sakhalin sole *Limanda sakhalinesis*

Elements	Total length (mm)									
	6.40	7.40	7.80	8.90	9.50	9.90	12.4	15.8	18.1	22.2
Hyoid arch										
Ceratohyal			_____							
Epihyal		_____								
Hypohyal					_____					
Interhyal							_____			
Urohyal							_____			
Branchiostegal			_____							
Palate										
Palatine							_____			
Metapterygoid						_____				
Mesopterygoid							_____			
Ectopterygoid	_____									
Hyomandibular				_____						
Symplectic								_____		
Quadrate							_____			
Opercular										
Opercle			_____							
Preopercle		_____								
Subopercle			_____							
Interopercle					_____					
Pterygiophore										
Anal fin		_____								
Dorsal fin			_____							
Interhemal spine			_____							
Interneural spine			_____							

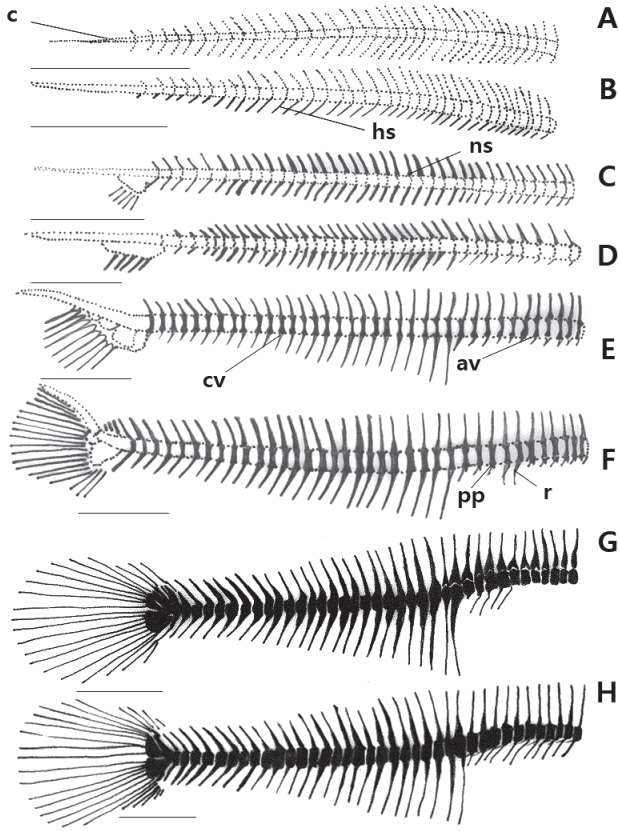


Fig. 2. Development of the vertebrae skeleton in sakhalin sole *Li-manda sakhalinesis*. A, 6.40 mm in TL; B, 7.40 mm in TL; C, 7.80 mm in TL; D, 8.90 mm in TL; E, 9.50 mm in TL; F, 9.90 mm in TL; G, 12.4 mm in TL; H, 15.8 mm in TL; av, abdominal vertebrae; c, centrum; cv, caudal vertebrae; hs, hemal spine; ns, neural spine; r, rib; pp, parapophysis. Scale bars=1.00 mm.

척추골

척추골(Vertebrae)의 골격발달 방향은 두부의 앞쪽에서부터 발달하여 꼬리 쪽을 향해 진행되었다. 발달과정은 Fig. 2 및 Table 3과 같았다. 부화 후 24일째 평균전장 6.40 mm의 자어는 추체(centrum) 이외의 골화가 진행되지 않았고(Fig. 2A), 부화 후 30일째 평균전장 7.40 mm의 자어는 6-21번째 꼬리 쪽에서 혈관극(hemal spine)이 형성되면서 골화가 시작되었다(Fig. 2B). 부화 후 35일째 평균전장 7.80 mm의 자어는 25개의 신경극(neural spine)과 22개의 혈관극이 골화하기 시작하였고, 5개의 기초가 나타나기 시작하였다(Fig. 2C). 부화 후 39일째 평균전장 8.90 mm의 자어는 33개의 신경극과 24개의 혈관극이 골화하였고, 추체의 골화는 진행되지 않았다(Fig. 2D). 부화 후 45일째 평균전장 9.50 mm의 자어는 복추골 부분 11개의 신경극과 미추골 부분에 26개의 신경극과 혈관극이 골화하였고, 척추의 말단부분이 상단부로 휘어지기 시작하였으며, 9개의 기초

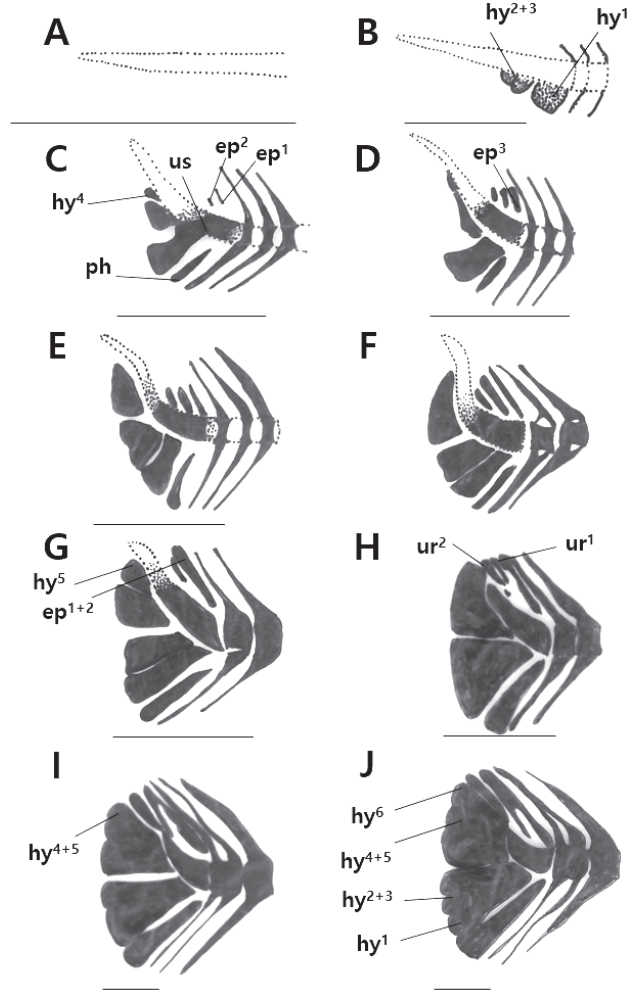


Fig. 3. Development of the caudal skeleton in sakhalin sole *Li-manda sakhalinesis*. A, 7.40 mm in TL; B, 7.80 mm in TL; C, 8.90 mm in TL; D, 9.50 mm in TL; E, 9.70 mm in TL; F, 9.90 mm in TL; G, 12.4 mm in TL; H, 15.8 mm in TL; I, 18.1 mm in TL; J, 22.2 mm in TL; ep, epiphyseal bone; hy, hypural bone; ph, parhypural bone; ur, uroneural; us, urostyle. Scale bars=1.00 mm.

가 발달하였다. 꼬리부분의 첫 번째와 두 번째의 추골을 제외하고는 모든 추골의 골화가 완료되었다(Fig. 2E). 부화 후 50일째 평균전장 9.90 mm의 자어는 11개의 복추골(abdominal vertebrae)과 26개의 미추골(caudal vertebrae)이 골화하였고, 8-11번째의 복추골 안쪽 부분에는 4쌍의 측돌기(parapophysis)와 2쌍의 늑골(rib)이 골화하였다. 꼬리 끝부분에는 미부봉상골(urostyle)이 골화하기 시작하였고, 19개의 꼬리지느러미 기초가 발달하였다(Fig. 2F). 부화 후 53일째 평균전장 12.4 mm의 자어는 복추골의 안쪽부분에 형성된 측돌기의 수가 증가하여 4-11번째 추골까지 8쌍이 발달하였고, 7-10번째 추골까지는 4개의 근골이 골화하였으며, 3개의 상근골이 골화하기 시작하여

다. 척추골 수는 미부봉상골을 포함해 11+26=37개로 꼬리지느러미의 기조 수는 21개로 발달하였다(Fig. 2G). 부화 후 56일째 평균전장 15.8 mm의 자어는 1-11번째 추골에서 11개의 근골과 8개의 상근골이 골화하였으며, 꼬리지느러미의 기조 수는 증가하여 26개로 발달하였다. 척추말단부의 추체는 신경극과 혈관극이 발달하여 뿔 모양의 형태를 나타냈으며, 척추골의 모든 골격이 완성되었다(Fig. 2H).

미골

꼬리지느러미를 지지하는 미골은 수개의 골편이 변형되면서

구성된다. 발달과정은 Fig. 3 및 Table 3과 같았다. 부화 후 30일째 평균전장 7.40 mm의 자어는 미골의 골화가 진행되지 않았고, 꼬리지느러미에는 줄기가 형성되기 시작하였다(Fig. 3A). 부화 후 35일째 평균전장 7.80 mm의 자어는 꼬리 쪽이 45°로 휘어지기 시작하였고, 3개의 하미축골(hypural bone)이 최초로 골화하기 시작하였으며, 골화가 진행되면서 두 번째와 세 번째 하미축골은 서로 융합되기 시작하였다. 미부봉상골의 첫 번째 추골은 골편 되지 않은 상태에서 발달하였다(Fig. 3B). 부화 후 39일째 평균전장 8.90 mm의 자어는 미부봉

Table 3. Development of vertebrae and caudal skeleton and pectoral girdle in sakhalin sole *Limanda sakhalinesis*

Elements	Total length (mm)										
	6.40	7.40	7.80	8.90	9.50	9.70	9.90	12.4	15.8	18.1	22.2
Vertebrae											
Centrum	_____										
Neural spine	_____										
Hemal spine	_____										
Parapophysis	_____										
Abdominal vertebrae	_____										
Caudal vertebrae	_____										
Rib	_____										
Caudal skeleton											
Urostyle	_____										
Hypural 1-6	_____										
Parhypural	_____										
Epural 1-3	_____										
Uroneural 1-2	_____										
Pectoral girdle											
Cleithrum	_____										
Supracleithrum	_____										
Ventral post cleithrum	_____										
Antero pelvic process	_____										
Scapula	_____										
Coracoid	_____										
Posttemporal	_____										
Actinost	_____										
Posterior process of pelvic	_____										

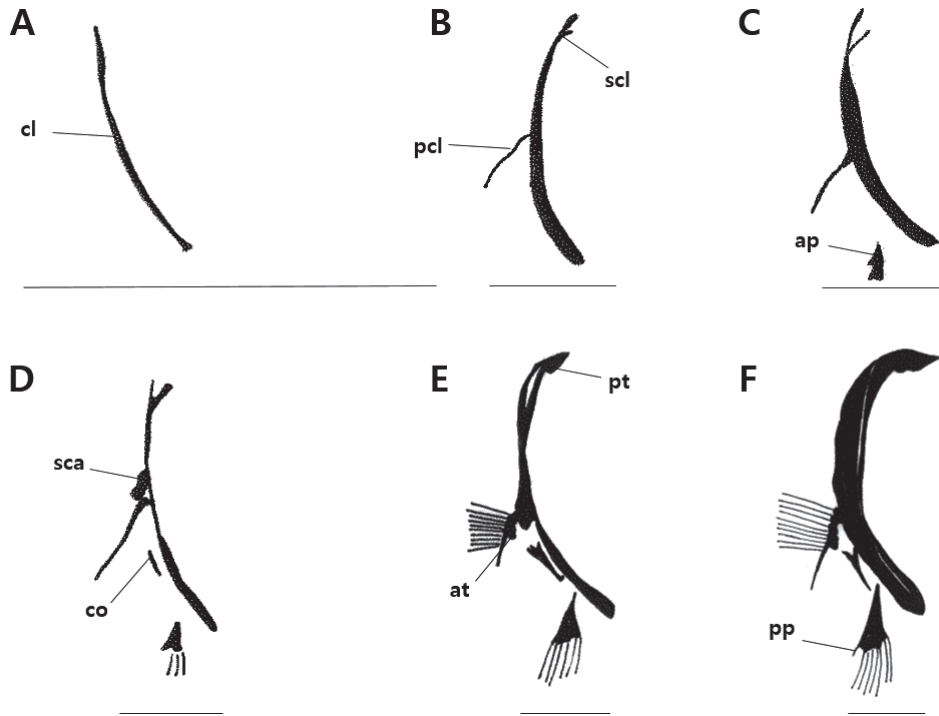


Fig. 4. Development of the pectoral girdle skeleton in sakhalin sole *Limanda sakhalinesis*. A, 6.40 mm in TL; B, 7.80 mm in TL; C, 8.90 mm in TL; D, 9.50 mm in TL; E, 9.90 mm in TL; F, 15.8 mm in TL; at, actinost; ap, antero pelvic process; cl, cleithrum; co, coracoid; pcl, postcleithrum; sca, scapula; scl, supraclavicle; pp, posterior process of the pelvic; pt, posttemporal. Scale bars=1.00 mm.

상골의 일부가 골화하기 시작하였고, 2개의 상미추골(epuhyal bone)과 준하미추골(parhypural bone)이 골화하기 시작하였으며, 1개의 하미추골이 증가하였다. 두 번째 하미추골의 중간 부분은 융합되기 시작하였다(Fig. 3C). 부화 후 45일째 평균전장 9.50 mm의 자어는 세 번째 하미추골이 움푹 패인 형태를 나타냈다(Fig. 3D). 부화 후 48일째 전장 9.52-9.88 mm (평균 9.70±0.25 mm, n=10)의 자어는 미부봉상골 골화방향 끝이 V자 형태를 띠고 있으며, 하미추골과 근접한 상태에서 골화가 진행되었다(Fig. 3E). 부화 후 50일째 평균전장 9.90 mm의 자어는 미부봉상골의 앞쪽에 위치한 첫 번째와 두 번째 추골에서 신경극과 혈관극의 기저에 1개의 구멍이 형성되었고, 신경극의 끝은 뾰족한 형태로 발달하였으며, 미부봉상골의 끝은 상단부로 더욱 휘어지면서 발달하였다(Fig. 3F). 부화 후 53일째 평균전장 12.4 mm의 자어는 미부봉상골의 골화가 진행되면서 첫 번째와 두 번째 상미추골은 겹쳐졌고, 신경극과 혈관극의 길이는 더욱 길어졌다(Fig. 3G). 부화 후 56일째 평균전장 15.8 mm의 자어는 미부봉상골 위쪽에 미신경골(uroneural)이 골화하였고, 미부봉상골 앞쪽에 골화하였던 첫 번째와 두 번째 신경극 및 혈관극은 끝 부분이 두 개로 나누어졌다(Fig. 3H). 부화 후 60일째 전장 16.8-19.4 mm (평균 18.1±1.83 mm)의 자어는 첫 번째와 두 번째 하미추골의 끝부분이 융합되고 상미추골의 길이는 길어지면서 한쪽 부분이 상대적으로 두껍게 발달하였으며, 하미

추골은 네 번째와 다섯 번째가 서로 융합되면서 미부봉상골에 비해 크게 발달하였다(Fig. 3I). 부화 후 70일째 전장 20.8-23.6 mm (평균 22.2±1.97 mm) 일 때 여섯 번째 하미추골이 골화되었고, 첫 번째 추골의 신경극과 혈관극이 두 개의 가지형태로 뚜렷하게 발달하면서 미골의 골격이 완성되었다(Fig. 3J).

견대골 및 요대골

가슴지느러미를 지지하는 견대골은 후측두골(posttemporal)에 의해 두개골과 관절하는 골격이다. 골격발달 과정은 Fig. 4 및 Table 3과 같았다. 부화 후 24일째 평균전장 6.40 mm의 자어는 최초로 쇄골이 골화하기 시작하였고(Fig. 4A), 부화 후 35일째 평균전장 7.80 mm의 자어는 쇄골의 윗부분에 상쇄골(supraclavicle)이 골화되면서 연결되었고, 중앙에는 후쇄골(ventral post cleithrum)이 골화하기 시작하였다(Fig. 4B).

부화 후 39일째 평균전장 8.90 mm의 자어는 전요대돌기(antero pelvic process)가 골화하였고(Fig. 4C), 부화 후 45일째 평균전장 9.50 mm의 자어는 후쇄골의 윗부분에 견갑골(scapula)이 골화하기 시작하였으며, 가슴지느러미(pectoral fin)에는 4개의 기초가 발달하였다. 쇄골의 뒷부분에는 오황골(coracoid)이 골화하기 시작하였으며, 배지느러미(ventral fin)에는 3개의 기초가 발달하였다(Fig. 4D). 부화 후 50일째 평균전장 9.90 mm의 자어는 후측두골과 상쇄골이 연결되었고, 후쇄골의 아

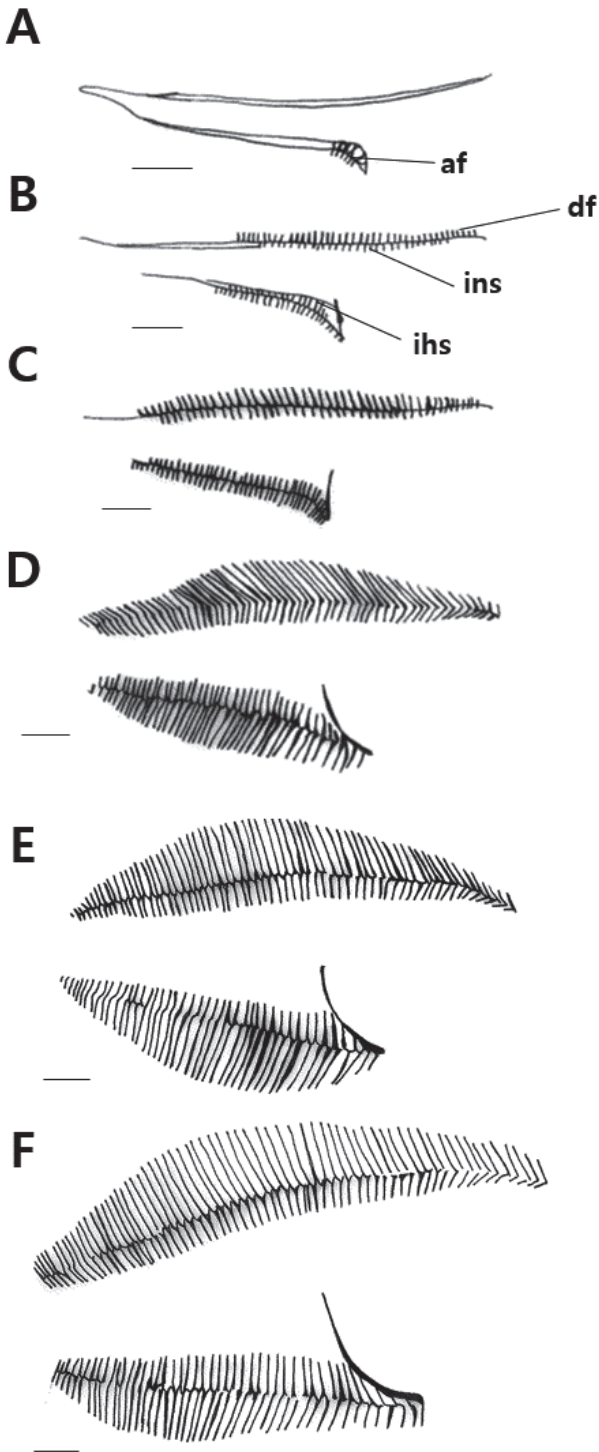


Fig. 5. Development of the pterygiophore in sakhalin sole *Limanda sakhalinesis*. A, 7.40 mm in TL; B, 7.80 mm in TL; C, 8.90 mm in TL; D, 9.50 mm in TL; E, 9.90 mm in TL; F, 15.8 mm in TL; af, anal fin; df, dorsal fin; ihs, interhemal spine; ins, interneuronal spine. Scale bars=1.0 mm.

래 부분에는 2개의 사출골(actinost)이 골화하였으며, 가슴지느러미의 기초 수는 11개, 배지느러미 5개로 증가하였다. 오혜골의 위부분은 양쪽으로 두 갈래 나누어져 발달하였고(Fig. 4E), 부화 후 56일째 평균전장 15.8 mm의 자어는 사출골이 4개로 증가하였고, 견갑골은 쇄골과 연결되면서 1개의 구멍이 형성되었으며, 후측 요대골 돌기(posterior process of the pelvic skeleton)가 골화하면서 견대골 및 요대골의 골격이 완성되었다(Fig. 4F).

지느러미 및 담기골

등지느러미와 뒷지느러미는 담기골에 의해 지지되며, 골격발달 과정은 Fig. 5 및 Table 2와 같았다. 부화 후 30일째 평균전장 7.40 mm의 자어는 6개의 뒷지느러미(anal fin)가 최초로 발달하기 시작하였고(Fig. 5A), 부화 후 35일째 평균전장 7.80 mm의 자어는 등지느러미(dorsal fin) 40개, 뒷지느러미 28개, 신경간극(interneural spine) 30개, 혈관간극(interhemal spine) 18개가 발달하기 시작하였으며, 첫 번째 혈관간극은 가장 크게 발달하였다(Fig. 5B). 부화 후 39일째 평균전장 8.90 mm의 자어는 등지느러미가 48개, 신경간극 45개, 뒷지느러미 40개, 혈관간극 38개로 증가하였다(Fig. 5C). 부화 후 45일째 평균전장 9.50 mm의 자어는 등지느러미, 뒷지느러미의 기저부가 넓게 발달하였고, 등지느러미는 58개, 신경간극 57개, 뒷지느러미 44개, 혈관간극이 43개로 증가하였다(Fig. 5D). 부화 후 50일째 평균전장 9.90 mm의 자어는 등지느러미 67개로 정수에 달하였고, 신경간극은 63개, 뒷지느러미 47개, 혈관간극이 44개로 증가하였다(Fig. 5E). 부화 후 56일째 평균전장 15.8 mm 일 때 자어는 가장 크게 발달한 첫 번째 혈관간극을 다음으로 5개의 혈관간극과 혈관간극 사이에 혈관간극이 위치하였고, 신경간극 64개, 혈관간극이 46개로 증가하면서 담기골의 골격이 완성되었다(Fig. 5F).

고 찰

사할린가자미 자치어의 골격발달은 최초 부화 후 24일째 평균전장 6.40 mm 일 때 두개골, 내장골, 척추골, 견대골 및 요대골, 부화 후 30일째 평균전장 7.40 mm 일 때 미골 및 담기골의 골화가 시작되어 부화 후 56일째 평균전장 15.8 mm 일 때 두개골 및 내장골, 척추골, 견대골 및 요대골, 담기골의 골화가 완료되었고, 부화 후 60일째 18.1 mm 일 때 미골의 골화가 완료되었으며, 부화 후 70일째 평균전장 22.2 mm 일 때 척추골을 마지막으로 골격의 골화가 완료되었다.

일반적으로 경골어류는 부화 시 골격발달에 있어 주목할 만한 변화를 나타낸다고 알려져 있으며, 농어목 어류의 경우 두개골과 지느러미의 발달이 부화 이후에 관찰되나(Matsuoka, 1985; Koumoundouros et al., 1997b, 2001a, 2001b; Fauston and Power, 1999; Sfakianakis et al., 2004, 2005), 연어과 어류는 부화 이전에 두개골과 지느러미의 골격발달이 시작한다고 알려져 있다(Kendall et al., 1984). 가자미과 어류에 속하는 사할린가

자미의 경우 부화 이후에 골격발달이 진행되어 농어목 어류의 발달양상과 유사하였다.

가자미과 어류의 특징은 두개골의 안와부가 두부 한쪽으로 위치하는 점이며, 사할린가자미는 부화 후 53일째 평균전장 9.90 mm 일 때 전액골과 액골이 결합되는데 이러한 발달양상은 안정적인 두개골의 발달을 위한 것으로 판단된다. 눈의 이동 또한 같은 시기에 이루어지는데 이는 두부골격의 뒤틀어짐으로 인해 이동되는 것으로 보여진다.

사할린가자미는 두부골격 가운데 턱을 지지하는 악골이 가장 빠르게 발달하는 것을 관찰할 수 있다. 또한 전새개골과 설이골이 연이어 골화하기 시작하는데 설이 역할을 하는 악골과 호흡과 관계되는 새개부 골격이 우선적으로 골화하는 것은 이들 중의 초기 생존율을 높이기 위한 것으로 보여진다. 가자미목 어류인 넙치(Han and Kim, 1998), *S. solea* (Wagemans and Vandewalle, 1999; 2001)에서 동일한 발달양상을 보였고, *Cynoglossus semilaevis* (Ma et al., 2019)는 부화 후 3일째 두개골의 사골, 구개부의 아래턱연골(Meckel's cartilage), 설악골, 구개골, 설궁부의 기새연골(basibranchial), 새조골 등이 골화하기 시작하였으며, *Scophthalmus maximus* (Wagemans et al., 1998)는 아래턱 연골, 구개부의 방골, 설궁부의 새조골 등이 연골 형태로 골화하기 시작하였다. 이들은 섭이기관과 관련된 골격이 우선적으로 발달하였고, 종에 따라 구개부 및 설궁부, 새개부 등 부위별 골격의 발달순서에 다소 차이가 있는 것으로 보인다.

가자미목 어류인 넙치(Okiyama, 1974)는 자어시기 두부에 일시적으로 나타나는 가시모양의 극이 변태 전반기 단계에서 뚜렷하게 나타나는데 후기자어 초기인 체장 4 mm 전후로 전새개골과 설이골 위쪽에 3개의 극이 형성되고, 최고 15개까지 발달하는데 저서생활에 정착하는 체장 15 mm 일 때 소실되었으며, *S. maximus* (Wagemans et al., 1998)는 부화 후 4일째부터 전새개골에 극이 형성되기 시작하였고, 부화 후 20일째 저서생활을 위한 변태가 일어나는 과정에서 소실된다는 점은 극의 발달이 저서생활이라는 생태적 변화에 영향을 미치는 것으로 보여진다. 반면 사할린가자미는 두부골격 발달과정 중 극의 형성이 관찰되지 않아 발달양상에 차이를 보였다.

새골은 가슴지느러미를 지지하는 골격부위 중 하나로 유연능력에 중요한 역할을 한다. 견대부 골격 중 견갑골에는 1개의 구멍이 형성되는데 Koumoundouros et al. (2001b)은 견갑골에 형성되는 구멍이 농어목 어류에서 나타나는 전형적인 형질이라고 보고하였으나 가자미목 어류인 *Bothus myriaster* (Sasaki and Yamashita, 2003)는 전장 36.2 mm 일 때 견갑골과 오웬골이 결합되어져 구멍이 관찰되었고, 사할린가자미에서도 관찰되어 농어목 어류의 전형적 형질이 아닌 것으로 보인다.

사할린가자미의 추체 골화는 부화 후 36일째 평균전장 8.55 mm 일 때부터 진행되었고, 혈관극은 추체의 중앙부분에서 최초로 발달하기 시작하여 양쪽방향으로 발달하였다. 반면 넙치(Okiyama, 1974)는 신경극과 혈관극의 발달방향이 전방에서

후방으로 진행되어 사할린가자미와 차이를 보였다.

가자미과 어류들은 미추골과 복추골의 수가 분화함에 따라 증가하는데 이는 성장능력과 척추골의 수가 밀접한 관계를 나타내고 있으며(Kim, 1973), 어류의 척추 골화는 습성과 생활방식에 의해 통제되는 것이라고 보고 있다(Mook, 1977). 꼬리지느러미를 지지하는 미골부의 발달은 사할린가자미의 경우 부화 후 35일째 평균전장 7.80 mm 일 때 시작되었고, 골화 과정 중 미부봉상골과 하미축골이 서로 결합되는 현상이 관찰되었다. 사할린가자미의 하미축골은 첫 번째 하미축골을 제외한 두 번째, 세 번째가 결합하였고, 네 번째, 다섯 번째 하미축골이 서로 결합하였으며, 여섯 번째 하미축골까지 4개(1,2+3,4+5,6)의 골편으로 나누어졌다.

가자미목 어류인 *S. maximus* (Chanet and Wagemans, 2001) 및 *Engyophrys senta* (Hensley, 1977)의 하미축골은 3개(1+2,3+4,ep+5)의 골편으로 나누어졌고, 넙치(Hosoya and Kawamura, 1998) 또한 하미축골이 3개(1+2,3+4,5)의 골편으로 이루어져 사할린가자미의 결합형태와 개수에서 차이를 보였으며, *S. maximus* (Chanet and Wagemans, 2001) 및 *E. senta* (Hensley, 1977)는 다섯 번째 하미축골이 상미축골과 결합하여 넙치(Hosoya and Kawamura, 1998)의 결합형태와 차이를 나타냈다. Amaoka (1969)의 연구 보고에 근거하여 넙치는 미부봉상골과 하미축골의 골편이 분리되어 있어 원시형, 사할린가자미는 미부봉상골과 하미축골의 골편이 결합되어 있어 분화형인 것으로 사료된다. 어류의 골격형성은 그들의 생활방식에 의해 골화가 통제되며, 이러한 생활방식의 차이는 골화되는 정도와 순서에 변화를 초래하여 자치어의 골격발달에 다양한 변화를 줄 수 있다(Mook, 1977).

사할린가자미의 지느러미 담기골 발달과정은 신경간극과 혈관간극 보다 지느러미 기조가 우선적으로 형성되었고, 등지느러미, 뒷지느러미, 배지느러미, 꼬리지느러미 및 가슴지느러미 모두 전장 9.90-12.4 mm 일 때 정수에 달한다. 반면 넙치(Okiyama, 1974; Han and Kim, 1997)는 등과 뒷, 배, 꼬리지느러미가 전장 10 mm 전후에 발달하여 사할린가자미와 유사하였지만 가슴지느러미는 전장 12.3-12.7 mm 일 때 정수에 달하여 같거나 다소 컸다. 사할린가자미는 첫 번째 혈관간극이 길게 발달하였는데 가자미목 어류인 *C. semilaevis* (Ma et al., 2019)는 부화 후 11일째부터 첫 번째 신경간극이 발달하기 시작하여 부화 후 23일째는 눈의 앞쪽까지 길게 내려와 발달양상은 유사하나 사할린가자미는 혈관간극이 길게 발달하여 차이를 보였다. *B. myriaster* (Sasaki and Yamashita, 2003)는 표준체장 38.9 mm 일 때 신경간극의 길이는 짧았으나 다른 가자미목 어류들과 달리 안구의 앞쪽 두개부의 비골 윗부분까지 위치해 있어 담기골의 위치는 종에 따라 차이를 보였다. 가자미과 어류와 넙치과 어류의 지느러미 및 담기골 발달은 저서생활로 인한 환경적 영향으로 생태적 변화가 나타나는 것으로 사료되며, 골격의 골화 시기가 종마다 차이를 나타내는 것은 형태적 변화뿐만 아니라 환

경에 대한 생태적 적응 시기가 종마다 다르기 때문이라고 생각된다. 지금까지 가자미목 어류에 대한 많은 연구가 이루어져 왔으나 육안으로 유사종 간의 외부형태 구분은 어려운 실정이다. 따라서 향후 종 동정을 위한 유사종 간의 식별, 성어의 골격이해 및 종묘생산 중 골격이상 현상 연구 등을 위해서는 가자미목 어류에 대한 분류학적 연구가 지속적으로 필요하다.

References

- Amaoka K. 1969. Studies on the sinistral flounders found in the waters around Japan: taxonomy, anatomy and phylogeny. *J Shimonoseki Univ Fish* 18, 65-340.
- Byun SG, Lee BI, Lee JH, Ku HD, Park SU, Yun SM, Hwang SY, Kim YC and Han HG. 2007. Egg development and morphological change of larvae and juveniles of the starry flounder, *Platichthys stellatus*. *Korean J Ichthyol* 19, 350-359.
- Choi EJ. 2012. Taxonomic review of the family Pleuronectidae from the adjacent waters of Korea. Ph. D. Dissertation, University of Pukyong National, Busan, Korea, 1-81.
- Chanet B and Wagemans F. 2001. Study of the development of the caudal endoskeleton of the turbot *Scophthalmus maximus* L., 1758 (Pleuronectiformes : Scophthalmidae). *Belg J Zool* 131, 63-67.
- Cooper JA and Chapleau F. 1998. Monophyly and intrarelationships of the family Pleuronectidae (Pleuronectiformes), with a revised classification. *Fish Bull*, 94, 686-726.
- Eschmeyer WN. 2019. Catalog of fishes electronic version. Retrieved from <http://researcharchive.calacademy.org/research/ichthyology/catalog/fishcatmain.asp> on May 5, 2019.
- Faustino M and Power DM. 1999. Development of the pectoral, pelvic, dorsal and anal fins in cultured sea bream. *J Fish Biol* 54, 1094-1110.
- Fishbase. 2019. Scientific names where genus equals Limanda. Retrieved from <http://fishbase.org/Nomenclature/ScientificNameSearchList.php> on May 10, 2019.
- Han KH and Kim YU. 1997. The early life history of the flounder, *Paralichthys olivaceus* I. Development of egg, larvae and juveniles. *Bull Yosu Nat'l Fish Univ* 11, 105-117.
- Han KH and Kim YU. 1998. The early life history of the flounder, *Paralichthys olivaceus* II. osteological development of larvae and juveniles. *Bull Yosu Nat'l Univ* 13, 1047-1056.
- Han KH, Na HC, Park AJ and Park JM. 2017. Egg Development and Morphological Change of Larvae and Juveniles of the Sakhalin Sole *Limanda sakhalinensis*. *Korean J Fish Aquat Sci* 50, 287-295. <https://doi.org/10.5657/KFAS.2017.0287>.
- Hensley DA. 1977. LARVAL Development of *Engyophrys senta* (Bothidae), with comments on intermuscular bones in flatfishes. *Bull Mar Sci* 27, 681-703.
- Hosoya K and Kawamura K. 1998. Skeletal formation and abnormalities in the caudal complex of the Japanese flounder, *Paralichthys olivaceus* (Temminck & Schlegel). *Bull Nat'l Res Inst Fish Sci* 12, 97-110.
- Ji HS, Kim JK and Kim BJ. 2016. Molecular phylogeny of the families pleuronectidae and poecilopsettidae (Pisces, Pleuronectiformes) from Korea, with a proposal for a new classification. *Ocean Sci J* 51, 299-304. <http://dx.doi.org/10.1007/s12601-016-0026-8>.
- Kim YU. 1973. Comparative osteology of the right eye flounders, subfamily pleuronectinae fishes. *Publ Mar Lab Pusan Fish Coll* 6, 1-38.
- Kendall AW, Ahlstrom EH and Moser HG. 1984. Early life history stages of fishes and their characters. In: HG Moser, WJ Richards, DM Cohen, MP Fahay, AW Kendall, SL Richardson (eds). *Ontogeny and systematics of fishes*. Amer Soc of Ichthyol Herp, special publication 1, 11-22.
- Koumoundouros G, Sfakianakis DG, Maingot E, Divanach P and Kentouri M. 2001a. Osteological development of the vertebral column and of the fins in *Diplodus sargus* (Teleostei: Perciformes: Sparidae). *Mar Biol* 139, 853-862. <https://doi.org/10.1007/s002270100645>.
- Koumoundouros G, Divanach P and Kentouri M. 2001b. Osteological development of *Dentex dentex* (Osteichthyes: Sparidae): dorsal, anal, paired fins and squamation. *Mar Biol* 38, 399-406. <https://doi.org/10.1007/s002270000460>.
- Koumoundouros G, Gagliardi F, Divanach P, Boglione C, Cataudella S and Kentouri M. 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, Oran G, Divanach P, Stefanakis S and Kentouri M. 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).
- Ma Q, Liu SF, Wang XX, Xiang ZL and Zhuang ZM. 2019. Skeletal development of the chondrocranium in the tongue sole *Cynoglossus semilaevis* (Pleuronectiformes: Cynoglossidae). *J Fish Bio* 94, 223-230. <https://doi.org/10.1111/jfb.13870>.
- Matsuoka M. 1985. Osteological development in the red sea bream, *Pagrus major*. *Japan J Ichthyol* 32, 35-51.
- Mook D. 1977. Larval and osteological development of the sheepshead, *Archosargus probatocephalus* (Pisces: Sparidae). *Copeia* 1977, 126-133.
- Nam MM, Byun SG, Lee BI, Lee JH and Kim YC. 2008. Morphological characteristics of the hybrids of female flounder *Paralichthys olivaceus* and male starry flounder *Platichthys stellatus*. *Korean J Ichthyol* 20, 285-290.
- Okiyama M. 1974. Studies on the early life history of a flounder, *Paralichthys olivaceus* (TEMMINCK et SCHLEGEL) II. Description of juveniles and the comparison with those of the related species. *Bull Jpn Sea Reg Lab* 25, 39-61.
- Rho YG, Park DW, Park YJ and Lee JH. 1988. The artificial

- seeding production of flatfish, *Limanda sakhalinensis* Hubbs. Bull Nat Fish Res Dev Agency 41, 75-85.
- Roje DM. 2010. Incorporating molecular phylogenetics with larval morphology while mitigating the effects of substitution saturation on phylogeny estimation: A new hypothesis of relationships for the flatfish family Pleuronectidae (Percomorpha: Pleuronectiformes). Mol Phylogenet Evol 56, 586-600. <https://doi.org/10.1016/j.ympev.2010.04.036>.
- Sasaki K and Yamashita T. 2003. Skull development in a bothid flounder, *Bothus myriaster* (Pleuronectiformes), with discussion on the homology of the "pseudomesial bar". Ichthyol Res 50, 326-332. <https://doi.org/10.1007/s10228-003-0175-5>.
- Sfakianakis DG, Koumoundouros G, Divanach P and Kentouri M. 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>.
- Sfakianakis DG, Doxa CK, Kouttouki S, Koumoundouros G, Maingot E, Divanach P and Kentouri M. 2005. Osteological development of the vertebral column and of the fins in *Diplodus puntazzo* (Cetti, 1777). Aquaculture 250, 36-46. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2005.03.042>.
- Shin LS. 2015. Morphology osteology and phylogeny on the fishes of the family in Korea. Ph. D. Dissertation, University of Chonnam National, Yeosu, Korea, 1-151.
- Sakamoto K. 1984. Interrelationships of the family Pleuronectidae (Pisces: Pleuronectiformes). Mem Fac Fish Hokkaido Univ 31, 95-215.
- Vinnikov KA, Thomson RC and Munroe TA. 2018. Revised classification of the righteye flounders (Teleostei: Pleuronectidae) based on multilocus phylogeny with complete taxon sampling. Mol Phylogenet Evol 17, 30634-6. <https://doi.org/10.1016/j.ympev.2018.03.014>.
- Wagemans F and Vandewalle P. 1999. Development of the cartilaginous skull in *Solea solea*: trends in pleuronectiforms. Ann Des Sci Nat Zool Biol Ani 20, 39-52. [https://doi.org/10.1016/S0003-4339\(99\)80007-0](https://doi.org/10.1016/S0003-4339(99)80007-0).
- Wagemans F and Vandewalle P. 2001. Development of the bony skull in common sole: brief survey of morpho-functional aspects of ossification sequence. J Fish Biol 59, 1350-1369. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.2001.tb00197>.
- Wagemans F, Focant B and Vandewalle P. 1998. Early development of the cephalic skeleton in the turbot. J Fish Biol 52, 166-204. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.1998.tb01561>.
- Walker MB and Kimmel CB. 2007. A two-color acid-free cartilage and bone stain for zebrafish larvae. Biol Histochem 82, 23-28. <https://doi.org/10.1080/10520290701333558>.
- Yelnikov DV and Khanaychenko AN. 2013. Morphological Features of Cephalic Skeleton of the Adult Black Sea Turbot (Kalkan) *Scophthalmus maximus* var. *maeotica* (Pleuronectiformes, Scophthalmidae). Vestnik Zool 47, 42-51. <http://doi.org/10.2478/vzoo-2013-0047>.