

양식산 참조기(*Larimichthys polyactis*) (민어과) 자치어의 상대성장과 비늘 형성

김수빈 · 조정현¹ · 김진구*

부경대학교 해양생물학과, ¹국립수산과학원 제주수산연구소

Relative Growth and Squamation in Larvae and Juvenile of Cultured *Larimichthys polyactis* (Sciaenidae)

Soo-Been Kim, Jeong-Hyeon Cho¹ and Jin-Koo Kim*

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

¹Jeju Fisheries Research Institute, National Institute of Fisheries Science, Jeju 63610, Republic of Korea

We investigated the relative growth and squamation of larvae and juveniles of cultured *Larimichthys polyactis*. Analysis of the relative growth of larvae and juveniles showed that their preanal length, head length, eye diameter, body depth, and snout length increased with growth. There was no significant change in the relative growth. The ratio of preanus length to standard length (SL) increased rapidly until SL was approximately 12 mm, and then increased gradually. Cycloid scales first appeared on the lateral line, progressed to the abdominal cavity at 15.13 mm SL, and expanded to the occipital region, base of pectoral fin, and ventral region of the eye at 17.82 mm SL. At 18.03 mm SL, scales formed on the cheek, and those at the base of pectoral fin and in the abdominal cavity were connected to each other. At 19.06 mm SL, major part of the head was covered by scales, except near the lower jaw. Cycloid scales on the lateral line changed to ctenoid scales at the range of 31.71–32.24 mm SL, and those on the nape changed at the range of 69.02–70.84 mm SL. Our results may help to establish conservation and management strategy for *Larimichthys polyactis* aquaculture.

Keywords: *Larimichthys polyactis*, Relative growth, Squamation, Early life stage

서론

어류의 초기생활기에 형성되는 비늘은 외부로부터 몸을 보호하고 유영 시 물과의 마찰력을 감소시키도록 기능한다(Song and Kwon, 1994; Lee et al., 2010). 최초 비늘의 형성 시기, 형성 위치, 형태, 크기 및 수가 종에 따라 다르기 때문에 생태학적으로 중요한 역할을 하며, 계통분류에 사용되기도 한다(Song and Kwon, 1994). 상대성장은 개체의 전체 성장량에 대한 특정 기관의 성장량 또는 기관 대 기관의 성장을 나타내는 것으로 초기생활기 동안 종의 체형변화 및 생존에 취약한 시기의 정보를 득할 수 있다는 점에서 중요하다(Kim, 1989). 경골어류 중에서도 특히 상업종(참가자미, 노랑가자미, 범가자미, 민어, 쥐노래미, 넙치, 점농어, 참돔)을 대상으로 수행된 초기생활

기 상대성장 또는 비늘형성에 관한 연구가 다수 있다(Fukuhara and Fushimi, 1984; Fukuhara, 1985, 1986; Aritaki et al., 2000, 2001; Kang et al., 2012; Park et al., 2012; Byun et al., 2013).

참조기(*Larimichthys polyactis*)는 민어과(Sciaenidae)에 속하는 어류로서, 우리나라 서·남해, 일본 남부, 말레이, 동중국해, 대만 일대의 수심 40–200 m의 바닥이 모래나 빨린 해역에 서식하는 저서성 온대 어종이다(Lee et al., 1999; Baik et al., 2004; Li et al., 2009). 참조기는 오래전부터 우리나라에서 널리 식용으로 이용되어 온 상업적 가치가 높은 종으로 남획에 의한 자원 감소 징후가 뚜렷하여 자원 관리의 필요성이 대두되어 왔다(Kim et al., 2006; Park, 2012; Jang et al., 2020; KOSIS, 2022). 이러한 필요성에서 참조기의 자원 증대 및 양식 산업의 활성화를 위한 일환으로 참조기의 중요생산 기술이 개발 보급되기도

*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.2023.0324>

Korean J Fish Aquat Sci 56(3), 324-330, June 2023

Received 27 February 2023; Revised 11 May 2023; Accepted 10 June 2023

저자 직위: 김수빈(대학원생), 조정현(해양수산연구소), 김진구(교수)

하였다(Ahn et al., 2016).

어류는 초기생활사 단계에서 변태를 통해 형태적, 생리적, 행동적으로 많은 변화를 겪게 된다(Koumoundouros et al., 1999). 이 시기 동안 초기감모가 이루어지는데(Kim et al., 1997; Seo et al., 2007), 특히 양식 개체는 자연환경에서 생존할 수 있는 능력이 잘 갖춰지지 않아 폐사율이 높고(Mana and Kawamura, 2002; Park et al., 2012), 비정상적인 형태를 보이는 경우가 많아 이를 조기에 발견하기 위해서는 초기생활기의 상세한 형태 정보가 필수적이다(Kanazawa, 1993; Park, 2016; Han et al., 2017). 하지만 최근 우리나라에서 수행된 참조기에 관한 연구로 어란 출현 및 산란장(Jang et al., 2020), 생식년 주기(Kang et al., 2006, 2009), 식성(Kang et al., 2022), 자원평가(Zhang et al., 1991, 1992; Yeon et al., 2010; Lim et al., 2014), 연령과 성장(Kim et al., 2006) 등 다수의 연구가 이루어졌지만, 초기생활기 동안의 형태 변화에 대한 연구는 난발생 및 자치어 형태(Myoung et al., 2004), 자치어의 골격(Lee et al., 2023)을 제외

하면 전무한 실정이다. 따라서 본 연구의 목적은 양식산 참조기 종묘의 안정적인 확보 전략을 수립하기 위한 기초자료로써 초기생활기 동안의 상대성장, 비늘의 형태·형성에 관한 정보를 제공하는 데 있다.

재료 및 방법

본 연구에서 사용된 참조기 60개체[standard length (SL), 6.26–109.27 mm; 20–110 days after hatching (DAH)]는 국립수산물연구원 제주수산연구소에서 자체 생산된 개체를 이용하였다. 실험에 사용된 개체들은 부화 후 20일에서 110일까지 10일 단위로 무작위로 채집하여 5% 포르말린에 고정하였다. 측정부위로는 체장, 항문전장, 두장, 안경, 체고, 문장의 총 6개의 계측부위를 선택하였다. 버니어캘리퍼스와 현미경용 사진촬영장치(Mosaic 2.0; Fuzhou Tucsen photonics, Fuzhou, China)를 이용하여 0.01 mm 단위까지 측정하였으며, 비늘을 관찰하기 위해 Alizarin red S (Sigma-Aldrich, St. Louis, MO, USA) 용액

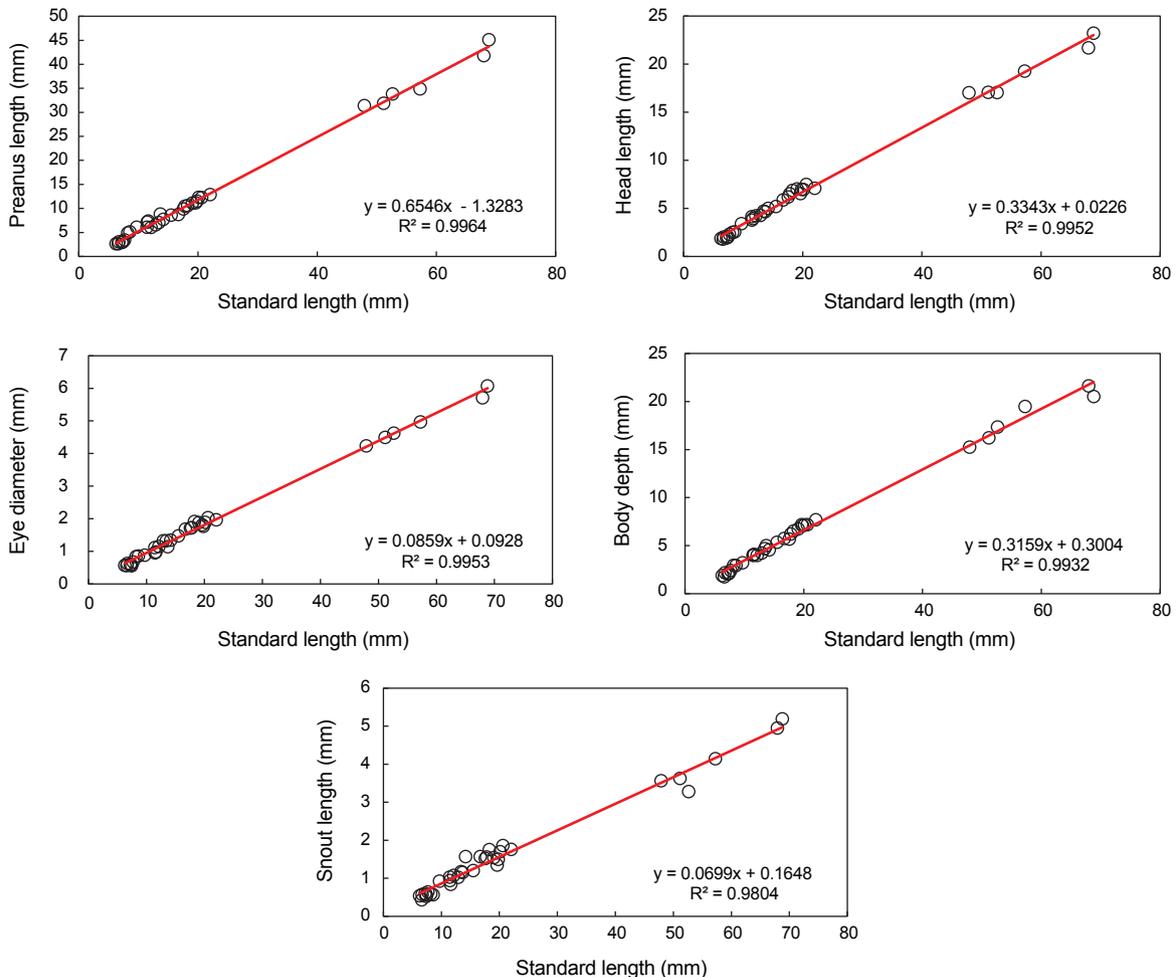


Fig. 1. Relationship between standard length and various dimensions of *Larimichthys polyactis*.

으로 염색하였다. 입체 해부현미경(SZH-16; Olympus, Tokyo, Japan)을 이용하여 외부 형태를 관찰, 스케치하였다. 두 형태형질의 상대 성장 관계를 밝히기 위해 회귀분석을 실시하였으며, 관계식은 최소자승법(least square method)으로 얻은 parameter를 이용하여 $Y=ax+b$ 의 선형회귀식으로 표시하였다.

결과 및 고찰

상대성장

체장 6.26–68.81 mm에 이르는 참조기 35개체를 대상으로 체장에 대한 항문전장, 두장, 안경, 체고, 문장의 상대 성장, 두장

에 대한 안경, 문장의 상대 성장, 체장에 대한 항문전장, 두장, 체고의 백분율, 두장에 대한 안경의 백분율을 분석하였다. 본 연구 결과, 체장에 대한 각 계측부위(항문전장, 두장, 안경, 체고, 문장)는 성장함에 따라 증가하는 양상을 보였다(Fig. 1). 두장에 대한 안경과 문장 또한 성장함에 따라 증가하는 경향을 보였다(Fig. 2). 체장에 대한 항문전장의 백분율은 부화 20일 후 체장 6.26–7.68 mm에서 평균값 41.72%로 최저치를 나타내었으며 이후 체장 12 mm 전후까지 빠르게 증가하다가 감소한 뒤 다시 서서히 증가하였다(Fig. 3). 이를 통해 성장함에 따라 항문이 몸의 뒤쪽으로 이동함을 확인할 수 있었다. 체장에 대한 체고의 백분율은 부화 60일 후 체장 20 mm 전후까지 증가하는 추세였지

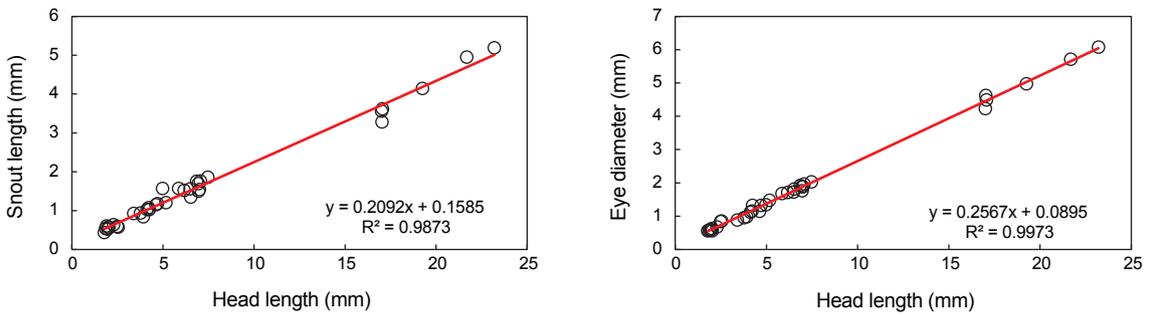


Fig. 2. Relationship between head length and various dimensions of *Larimichthys polyactis*.

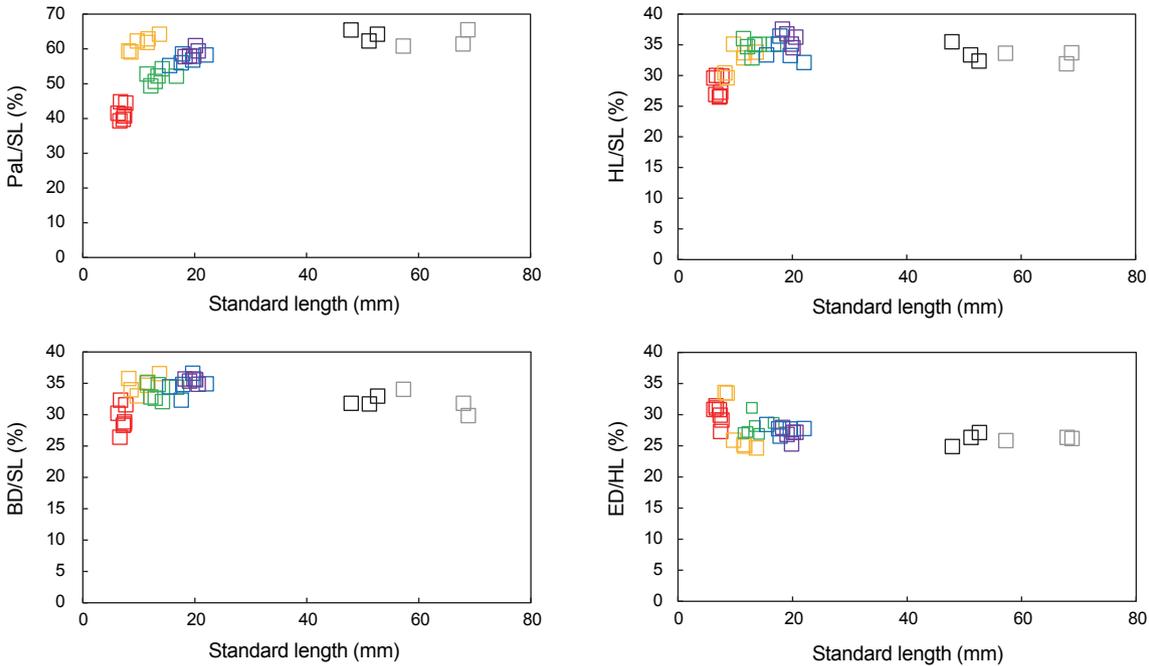


Fig. 3. Relationship between proportional measurements and SL of *Larimichthys polyactis*. Red, DAH 20 (n=7); Yellow, DAH 30 (n=6); Green, DAH 40 (n=6); Blue, DAH 50 (n=5); Purple, DAH 60 (n=5); Black, DAH 70 (n=3); Gray, DAH 80 (n=3). PaL, Preanus length; SL, Standard length; HL, Head length; BD, Body depth; DAH, Days after hatching

만, 부화 70일 후 체장 50 mm 이후로는 완만하게 감소하는 경향을 나타내었다(Fig. 3). 체장에 대한 두장의 백분율은 부화 20일 후 체장 6.26–7.68 mm에서 평균 28.13% 였으며, 부화 30일 후 체장 8.2–13.69 mm에서는 약 29.64–35.11%까지 급격한 성장을 보인 후 체장 18 mm 전후까지 증가하다가 이후 완만하게 감소하는 경향을 보였다(Fig. 3). 두장에 대한 안경의 백분율은 부화 30일 후 체장 8.2–8.59 mm 범위에서 평균 33.48%로 최고치를 나타낸 후 점차 감소하는 경향을 보였다(Fig. 3).

같은 과에 속하는 민어(*Miichthys miiuy*)의 초기생활기 동안 계측형질의 상대성장(Park et al., 2012)을 비교한 결과, 참조기와 민어 모두 두장의 백분율이 상당히 가변적인 변화를 겪다가 완만해지는 점, 그리고 안경의 백분율이 성장함에 따라 감소하는 점 등에서 유사한 경향을 보였다. 또한 참조기는 체장 6–11 mm 사이에서 체장에 대한 항문장, 두장, 체고의 백분율이 유의한 변화(Fig. 3)를 보여, 형태적 변화가 이 시기에 집중됨을 짐작할 수 있다. 특히 체장에 대한 항문장의 백분율이 성장함에 따라 급격하게 증가하였는데, 이는 섭취한 먹이의 효율적인 소화 및 흡수를 도와 생존율을 높이기 위한 전략으로 사료된다.

참조기는 선형회귀에서 변곡점이 존재하지 않았는데 ($R^2 > 0.98$), 이는 체장에 대한 각 계측부위(항문전장, 두장, 안경, 체고, 문장)의 성장이 일정한 비율임을 의미한다. 이는 다른 민어과 어류에서도 관찰되었는데, 민어의 경우 선형회귀 모델에서 전장에 대한 두장, 안경, 문장의 결정계수(R^2)가 0.9823–0.9916의 범위를 나타내었으며(Park et al., 2007), 점성어(*Sciaenops ocellatus*)는 전장에 대한 두장, 안경, 문장의 결정계수(R^2)가 0.963–0.995 범위를 나타내었다(Serafy et al., 1996).

이와 반대로 가자미과 어류는 전장에 대한 계측치의 상대성장장에서 1–3개의 변곡점이 발견되었다. 찰가자미(*Microstomus achne*)의 경우 전장에 대한 항문전장의 상대성장이 착저기에 변곡점이 형성되었으며, 범가자미(*Verasper variegatus*)와 노랑가자미(*Verasper moseri*)는 전장에 대한 상악장, 두장, 안경의 상대성장이 착저기보다 이른 시기인 척색굴곡기에 변곡점이 형성되었다(Aritaki et al., 2000, 2001; Byun et al., 2013). 가자미과 어류는 다른 어류와 달리 자치어 시기에 부유생활에서 저서생활로 이행하는 착저기를 지니며 이것과 관련으로 상대성장에 변화가 초래된 것으로 간주하였다. 예를 들면 초기생활기에 찰가자미는 먹이의 소화와 흡수를 위해, 범가자미와 노랑가자미는 먹이 탐색을 위해 상대성장에 변곡점이 발생한 것으로 추측하였다(Aritaki et al., 2000, 2001; Byun et al., 2013). 따라서 참조기의 상대성장장에서 변곡점이 발생하지 않은 것은 가자미과 어류와 달리 착저와 같은 형태생태학적 변화가 없기 때문일 것이다.

비늘 형성

체장 8.20–109.27 mm에 이르는 참조기 30개체를 대상으로 비늘 형성 부위와 형태변화를 관찰하였다. 참조기의 비늘은 몸

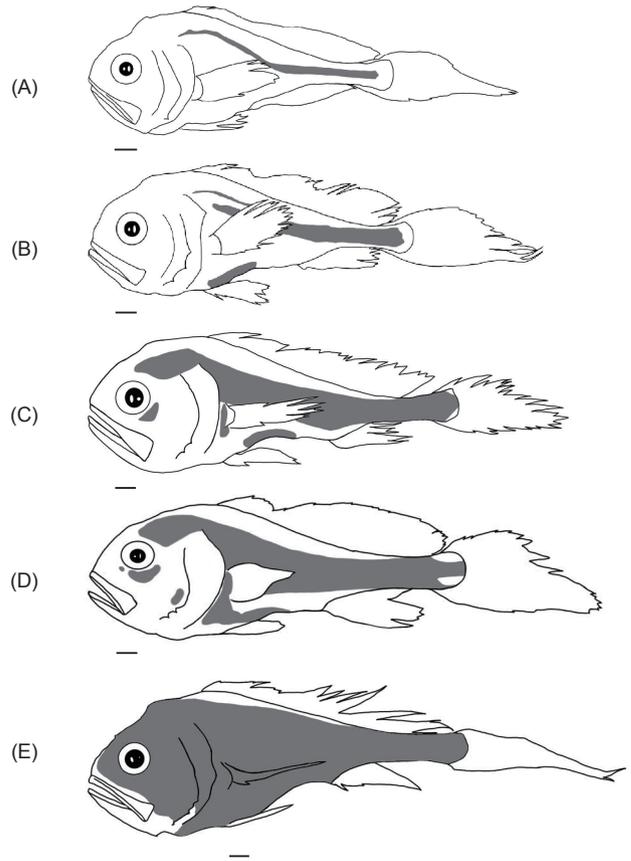


Fig. 4. Relationship between proportional measurements and SL of *Larimichthys polyactis*. A, 13.59 mm SL, DAH 30, 21°C; B, 15.13 mm, DAH 40, 21°C; C, 17.82 mm SL, DAH 50; D, 18.027 mm SL, DAH 30, 25°C; E, 19.06 mm SL, DAH 60. Scale bar=1 mm. SL, Standard length; DAH, Days after hatching.

의 측선을 따라 체장 13.59 mm (부화 후 30일, 21°C)에서 처음 발견되었다. 체장 15.13 mm (부화 후 40일, 21°C)에 달하면 측선의 비늘 분포 범위가 상하로 넓어지며, 복강 쪽과 가슴지느러미 뒤쪽 부분으로 비늘 도포가 진전된다. 체장 17.82 mm (부화 후 50일)에 달하면 비늘이 두정부, 가슴지느러미 기저부 및 눈의 후방으로 퍼져나간다. 체장 18.03 mm (부화 후 30일, 25°C)에 달하면 뺨에 비늘이 형성되며, 가슴지느러미 기저부 비늘과 복강 쪽 비늘이 서로 연결된다. 체장 19.06 mm (부화 후 60일)에 달하면 아래턱 부근을 제외하면 머리 대부분이 비늘로 덮인다(Fig. 4). 같은 과에 속하는 민어(Park et al., 2012)와 비교하면 측선에 비늘이 최초로 형성된다는 점은 동일하나, 참조기는 복강 쪽에 비늘이 먼저 형성된 후 뺨으로 진전되는 반면, 민어는 그 반대라는 점에서 잘 구분되었다. 참조기 비늘이 복강, 눈의 후방, 뺨 순서로 진전되는 점에서 오히려 점농어(Kang et al.,

2012)의 비늘 형성 순서와 유사하였다. 또한 측선을 따라 비늘이 도포된 시기를 비교하였을 때 참조기는 체장 13.59 mm이나, 민어의 전장 11.71 mm로 민어가 좀 더 빨라 중간 차이를 보였다.

많은 어류를 대상으로 수행된 비늘의 형성 시기, 부위, 과정에 관한 연구에서 종마다 다양한 양상을 나타내는 것으로 확인되었다. 비늘의 최초 형성 부위는 참돔(*Pagrus major*), *Dentex dentex*는 몸통 중간 부분에서(Fukuhara, 1985; Koumoundouros et al., 2001) 방어(*Seriola quinqueradiata*), 농어(*Lateolabrax japonicus*), 문치가자미(*Pseudopleuronectes yokohamae*), 넙치(*Paralichthys olivaceus*)는 꼬리자루에서(Fukuhara and Fushimi, 1982; Fukuhara, 1986, 1988; Fukuhara et al., 1986), 용치놀래기(*Parajulis pocilepterus*)는 주새개골(opercle) 뒤쪽에서(Kimura and Kiriya, 1993), 홍바리(*Epinephelus fasciatus*)는 가슴지느러미 기부의 상부에서 아가미뚜껑의 바깥쪽 가장 자리를 따라(Kawabe, 2000), 점농어(*Lateolabrax maculatus*)는 몸통, 꼬리자루 앞쪽 및 뒤쪽에서 각각 형성된다(Kang et al., 2012). 한편, Sire and Arnulf (1990)은 경골어류 85종을 대상으로 비늘의 최초 발생 부위를 정리하였는데, 민어과에 속하는 *Aplodinotus grunniens*와 *Cynoscion regalis* 두 종은 비늘이 꼬리자루에서 최초로 형성된다고 주장하였다. 이 외에도 민어과 어류의 비늘형성에 관해 Park et al. (2012)은 민어의 비늘이 꼬리자루에서 최초로 형성되었다고 보고하였으며, Braverman et al. (2020) 또한 *Micropogonias furnieri*를 대상으로 한 논문에서 비늘이 최초로 꼬리자루에서 형성되기 시작한다고 보고하였다. 또한 참조기와 같이 저서성 온대어류인 *Pomoxis annularis*는 꼬리자루에서 최초로 비늘이 형성되며(Siefert, 1965), 쥐노래미(*Hexagrammos otakii*)는 몸통의 앞쪽과 꼬리자루에서 형성된다(Fukuhara and Fushimi, 1984). 본 연구에서는 참조기 자치어의 샘플링 시간 간격에서 비롯된 샘플 누락으로 참조기 비늘의 최초 발생 부위를 확인하는 데 한계가 있어 다른 종과의 비교가 어려웠다. 경골어류의 경우 섭이 및 유영 능력이 발달하는 초기생활기에 형태 변화가 급격히 일어나므로 갓 비늘이 형성되는 시점의 개체를 관찰하는 데 어려움이 많은 것으로 알려져 있다(Han et al., 2017).

비늘의 형태 변화를 알아보기 위해 측선과 가슴지느러미 위쪽 목덜미 부위에서 비늘을 채취하였다. 체장 31.71 mm 이하의 개체에서는 측선비늘이 둥근비늘이었으며(Fig. 5A), 체장 32.24 mm 이상의 개체에서는 측선 비늘이 둥근비늘에서 빗비늘로 바뀌는 것이 관찰되었다(Fig. 5B). 또한 체장 69.02 mm 이하의 개체에서는 가슴지느러미 위쪽 목덜미 비늘이 둥근비늘이었으며(Fig. 5C), 체장 70.84 mm 이상의 개체에서는 둥근비늘이 빗비늘로 바뀌는 것이 관찰되었다(Fig. 5D). 측선 비늘을 목덜미 부위에서 채취한 비늘과 비교하였을 때, 둥근비늘에서 빗비늘로 일찍 바뀌는 것을 확인하였으며, 아래쪽에 감각기가 존재하는 감각공을 관찰할 수 있었다(Fig. 5). Kobayashi (1953)는 발

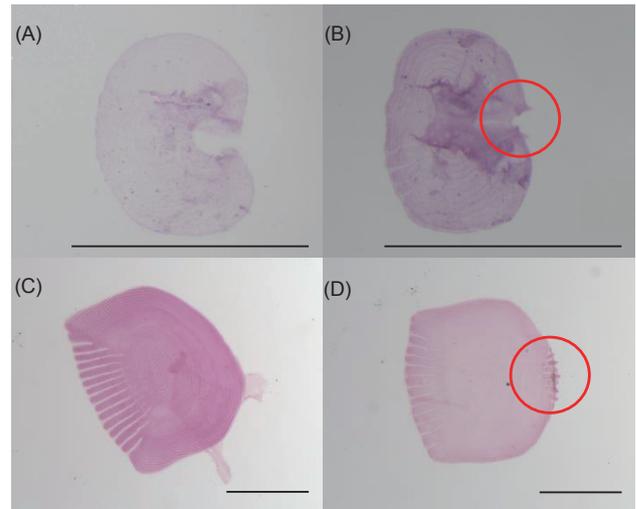


Fig. 5. Change of squamation in *Larimichthys polyactis*. A, 31.71 mm SL, DAH 80, 21°C; B, 32.24 mm SL, DAH 50, 25°C; C, 69.02 mm SL, DAH 90, 21°C; D, 70.84 mm SL, DAH 100, 21°C. Scale bar=1 mm. SL, Standard length; DAH, Days after hatching.

생학적 관점에서, 발달 초기의 빗비늘은 둥근비늘에서 시작하여 점차 발생이 진행되면서 빗비늘로 변하기에 둥근비늘을 가진 어류가 빗비늘을 가진 어류보다 더 원시적이라고 주장하였다. Spinner et al. (2019)은 *Solea solea*를 대상으로 한 비늘의 형태, 미세구조, 구성성분 및 기계적 움직임 사이의 관계 연구를 통해 저서성 어류인 *Solea solea*의 경우 해저의 암석과 산호 등에 자주 접촉할 수 밖에 없는데, 이때 둥근비늘의 경우 접촉에 의한 힘이 어류의 몸에 직접적으로 전달될 수 있지만, 빗비늘의 경우는 연한 조직이 존재하고 있어 외부의 힘을 분산시켜 몸을 보호하는 데 도움을 줄 수 있다고 하였다. 이러한 맥락에서 참조기 또한 외부로부터 몸을 보호하기 위한 수단으로서 빗비늘로 발전한 것이 아닌가 사료된다. 다만, 이번 연구에서는 비늘의 형태를 중점적으로 연구하여, 향후 비늘의 미세구조 및 구성성분에 대한 추가적인 연구가 필요하다.

초기생활기의 형태 발달에 대한 자료는 양식산 어류의 비정상적인 형태를 초기에 감지하고 제거하는데 중요한 역할을 한다(Koumoundouros et al., 2001; Park et al., 2012). 따라서 본 연구 결과는 참조기의 성공적인 양식 산업화를 위한 기초자료로 활용될 수 있다. 다만 본 연구는 인공적으로 사육한 참조기를 대상으로 이루어졌으며, 아직 자연산 참조기를 대상으로 한 상대 성장과 비늘형태·형성에 관한 연구가 없어 양식산과 자연산의 직접적인 비교는 불가능한 실정이다. 따라서 본 연구에서 밝혀지 못한 최초 비늘 형성 부위 및 비늘의 구조와 성분에 대한 추가 연구와 함께 자연산 참조기를 대상으로 한 초기생활기 형태 발달에 관한 연구가 이루어져야 할 것이다.

사 사

본 연구는 국립수산과학원 수산시험연구사업(R2023029) 및 국립해양생물자원관 ‘해양생명자원 기탁등록보존기관 운영(2023)’사업의 지원을 받아 수행되었습니다. 논문을 세심하게 검토해 주신 세분 심사위원께 감사드립니다.

References

- Ahn JY, Kim SJ, Choi CM, Park YS and Lee CH. 2016. Hearing ability of redlip croaker *Pseudosciaena polyactis* cultured in the Coastal Sea of Jeju. *J Fish Mar Sci* 28, 384-390. <https://doi.org/10.13000/JFMSE.2016.28.2.384>.
- Aritaki M, Ohta K, Hotta Y and Tanaka M. 2001. Morphological development and growth of laboratory-reared spotted halibut *Verasper variegatus*. *Nippon Suisan Gakkaishi* 67, 58-66.
- Aritaki M, Suzuki S and Watanabe K. 2000. Morphological development and growth of laboratory-reared barfin flounder *Verasper moseri*. *Nippon Suisan Gakkaishi* 66, 446-453.
- Baik CI, Cho KD, Lee CI and Choi KH. 2004. Oceanographic conditions of fishing ground of yellow croaker (*Pseudosciaena polyactis*) in Korean waters. *Korean J Fish Aquat Sci* 37, 232-248. <https://doi.org/10.5657/kfas.2004.37.3.232>.
- Braverman MS, Brown D and Acha M. 2020. Metamorphosis of whitemouth croaker *Micropogonias furnieri* (Pisces, Sciaenidae). *Mar Fish Sci* 33, 163-182. <https://doi.org/10.47193/mafis.3322020301107>.
- Byun SG, Kang CB, Han KH and Kim JK. 2013. Relative Growth of *Microstomus achne* (Pleuronectidae, PISCES) during Early Life Stage. *Korean J Fish Aquat Sci* 46, 970-972. <https://doi.org/10.5657/KFAS.2013.0970>.
- Fukuhara O. 1985. Functional morphology and behavior of early life stages of red sea bream. *Bull Japan Soc Sci Fish* 51, 731-743. <https://doi.org/10.2331/suisan.51.731>.
- Fukuhara O. 1986. Morphological and functional development of Japanese flounder in early life stage. *Bull Japan Soc Sci Fish* 52, 81-91. <https://doi.org/10.2331/suisan.52.81>.
- Fukuhara O. 1988. Morphological and functional development of larval and juvenile *Limanda yokohamae* (Pisces: Pleuronectidae) reared in the laboratory. *Mar Biol* 99, 271-281. <https://doi.org/10.1007/BF00391990>.
- Fukuhara O and Fushimi T. 1982. Development of fins and squamation in the percichthyid fish, *Lateolabrax japonicus*. *Japan J Ichthyol* 29, 173-178.
- Fukuhara O and Fushimi T. 1984. Squamation of larval greenling *Hexagrammos otakii* (Pisces: Hexagrammidae) reared in the laboratory. *Bull Japan Soc Sci Fish* 50, 759-761.
- Fukuhara O, Nakagawa T and Fukunaga T. 1986. Larval and juvenile development of yellowtail [*Seriola quinqueradiata*] reared in the laboratory. *Bull Japan Soc Sci Fish* 52, 2091-2098.
- Han KH, Park JT, Jin DS, Yoo DJ and Park JM. 2017. Osteological development of the larvae and juvenile in *Coreoperca herzi* (Perciformes: Centropomidae). *Korean J Ichthyol* 29, 32-40.
- Jang SH, Kim JK and Ryu JH. 2020. First report on the occurrence of eggs of the small yellow croaker *Larimichthys polyactis* from Chilsan-do Island, Jeollanam-do, Korea. *Korean J Fish Aquat Sci* 53, 650-655. <https://doi.org/10.5657/KFAS.2020.0650>.
- Kanazawa A. 1993. Nutritional mechanism involved in the occurrence of abnormal pigmentation in hatchery reared flatfish. *J World Aquacul Soc* 24, 162-166. <https://doi.org/10.1111/j.1749-7345.1993.tb00005.x>.
- Kang CB, Myoung JG, Kim YU and Kim HC. 2012. Early osteological development and squamation in the spotted sea bass *Lateolabrax maculatus* (Pisces: Lateolabracidae). *Korean J Fish Aquat Sci* 45, 271-282. <https://doi.org/10.5657/KFAS.2012.0271>.
- Kang DY, Jo KC, Lee JH, Kang HW, Kim GH and Kim HC. 2009. Annual reproductive cycle of Korean yellow croaker *Larimichthys polyactis*. *J Aquaculture* 22, 5-10.
- Kang DY, Jo KC, Lee JH, Kang HW, Kim HC and Kim GH. 2006. Annual reproductive cycle of wild female yellow croaker, *Larimichthys polyactis*. *J Aquaculture* 19, 188-196.
- Kang DY, Seong GC, Kim DG, Jin SY, Soh HY and Baek GW. 2022. Feeding habits of small yellow croaker, *Larimichthys polyactis* in coastal waters of Korea. *Korean J Ichthyol* 34, 201-207. <https://doi.org/10.35399/ISK.34.3.6>.
- Kawabe K. 2000. Fin development and Squamation of Blacktip Grouper, *Epinephelus fasciatus*, Reared Artificially in the Tank. *Aquacult Sci* 48, 39-46. <https://doi.org/10.11233/aquaculturesci1953.48.39>.
- Kimura S and Kiriyama T. 1993. Development of eggs, larvae and juveniles of the labrid fish, *Halichoeres poecilopterus*, reared in the laboratory. *Japan J Ichthyol* 39, 371-377. <https://doi.org/10.11369/jji1950.39.371>.
- Kim YH, Lee SK, Lee JB, Lee DW and Kim YS. 2006. Age and growth of small yellow croaker, *Larimichthys polyactis* in the south sea of Korea. *Korean J Ichthyol* 18, 45-54.
- Kim YU. 1989. Introduction of Ichthyology. Taehwa Publication Co., Busan, Korea, 165-166.
- Kim YU, Han KH, Kang CB, Kim JK and Byun SG. 1997. The early life history of the rockfish, *Sebastes marmoratus* 2. Morphology and skeletal development of larvae and juvenile. *Korean J Ichthyol* 9, 178-185.
- Kobayashi H. 1953. Comparative studies of the scales in Japanese freshwater fishes, with special reference to phylogeny and evolution. *Japan J Ichthyol* 2, 246-260. <https://doi.org/10.11369/jji1950.2.246>.
- KOSIS (Korean Statistical Information Service). 2023. Statistic database for fisheries production. Retrieved from <http://kosis.kr/index/index.do> on Jan 31, 2023.

- Koumoundouros G, Divanach P and Kentouri M. 1999. Osteological development of the vertebral column and of the caudal complex in *Dentex dentex*. J Fish Bio 54, 424-436. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.1999.tb00841.x>.
- Koumoundouros G, Divanach P and Kentouri M. 2001. Osteological development of *Dentex dentex* (Osteichthyes: Sparidae): Dorsal, anal, paired fins and squamation. Mar Biol 138, 399-406.
- Lee JH, Kim HS and Kim JK. 2010. Fisheries Biology. Pukyong Nat'l Univ Press, Busan, Korea, 11-12.
- Lee JW, Kim YU, Park YC, Moon DY, Kim JB, Kim JK, Baik CI, Yang WS, Kim YS, Kim YS, Kim SJ, Hwang DH, An HS, Jo SS, Kim TY, Oh SK, Choi DN, Kim Huh SH and Ryu JH. 1999. Fishes of the Pacific Ocean. National Fisheries Research and Development Institute, Busan, Korea, 383.
- Li JS, Lin LS and Cheng JH. 2009. Distribution characteristic of small yellow croaker (*Larimichthys polyactis* Bleeker) and its relationship with bottom water temperature and salinity in the northern East China Sea in autumn. J Fish Sci China 16, 348-355.
- Lee KH, Cho JH and Kim JK. 2023. Osteological development of larvae and juveniles of the cultured small yellow croaker *Larimichthys polyactis* (Sciaenidae). Korean J Fish Aquat Sci 56, 228-242. <https://doi.org/10.5657/KFAS.2023.0228>.
- Lim YN, Kim HY and Kim DH. 2014. Predicting changes in fishing conditions for the small yellow croaker *Larimichthys polyactis* based on expansions of the Yellow Sea bottom cold water. Korean J Fish Aquat Sci 47, 419-423. <https://doi.org/10.5657/KFAS.2014.0419>.
- Mana RR and Kawamura G. 2002. A comparative study on morphological differences in the olfactory system of red sea bream (*Pagrus major*) and black sea bream (*Acanthopagrus schlegeli*) from wild and cultured stocks. Aquaculture 209, 285-306.
- Myoung JG, Kim YU, Park YJ, Kim PK, Kim JM and Huh HT. 2004. Embryonic development, larvae and juveniles of the small yellow croaker (*Larimichthys polyactis*) reared in aquarium. Korean J Fish Sic 37, 478-484.
- Park IS, Kim YJ, Choi HJ, Oh SY, Noh CH and Lee SH. 2007. Total length estimation from head dimensions of artificially propagated brown croaker *Miichthys miuuy*. Korean J Ichthyol 19, 128-131.
- Park IS, Kim YJ, Goo IB and Kim DS. 2012. Early morphological development of the brown croaker, *Miichthys miuuy* (Basilewsky): Fin differentiation, head dimensions, and squamation. Korean J Ichthyol 24, 125-130.
- Park JM. 2012. A study on the movement of croaker fishery form change of production methods. Kor J Agricul His 11, 156-175.
- Park JY. 2016. Studies on artificially seeding production of the red spotted grouper, *Epinephelus akaara*. Ph.D. Thesis, Pukyong National University, Busan, Korea.
- Seo YS, Park ME, Kim JG and Lee SU. 2007. Egg development and juvenile growth of the Pacific cod *Gadus macrocephalus* (Korean East Sea Population). Korean J Fish Aquat Sci 40, 380-386. <https://doi.org/10.5657/kfas.2007.40.6.380>.
- Serafy JE, Schmitz CM, Capo TR, Clarke ME and Ault JS. 1996. Total length estimation of red drum from head dimensions. Prog Fish Cult 58, 289-290. [https://doi.org/10.1577/1548-8640\(1996\)058%3C0289:TLEORD%3E2.3.CO;2](https://doi.org/10.1577/1548-8640(1996)058%3C0289:TLEORD%3E2.3.CO;2).
- Siefert RE. 1965. Early scale development in the white crappie. Trans Amer Fish Soc 94, 182. [https://doi.org/10.1577/1548-8659\(1965\)94\[182:ESDITW\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1577/1548-8659(1965)94[182:ESDITW]2.0.CO;2)
- Sire JY and Arnulf I. 1990. The development of squamation in four teleostean fishes with a survey of the literature. Japan J Ichthyol 37, 133-143.
- Song HB and Kwon OK. 1994. Squamation chronology and scale morphology of the bitterling, *Acheilognathus yamatsutae* (Cyprinidae). Korean J Limnol 27, 137-144.
- Spinner M, Schaber CF, Chen SM, Geiger M, Gorb SN and Rajabi H. 2019. Mechanical behavior of ctenoid scales: Joint-like structures control the deformability of the scales in the flatfish *Solea solea* (Pleuronectiformes). Acta Biomater 92, 305-314. <https://doi.org/10.1016/j.actbio.2019.05.011>.
- Yeon IJ, Lee DW, Lee JB, Choi KH, Hong BK, Kim JI and Kim YS. 2010. Long-term changes in the small yellow croaker, *Larimichthys polyactis*, population in the Yellow and East China Seas. J Kor Soc Fish Tech 46, 392-405. <https://doi.org/10.3796/KSFT.2010.46.4.392>.
- Zhang CI, Kim YM, Yoo SJ, Kim CK and Ahn SM. 1992. A study on fluctuations in biomass of small yellow croaker, *Pseudosciaena polyactis*, off Korea. Bull Korean Fish Soc 25, 37-44.
- Zhang CI, Kim YM, Yoo SJ, Park CS, Kim SA, Kim CK and Yoon SB. 1991. Estimation of population ecological characteristics of small yellow croaker, *Pseudosciaena polyactis* off Korea. Bull Korean Fish Soc 25, 29-36.