

한국 해역에서 어획된 참조기(*Larimichthys polyactis*)의 연령과 성장 연구

김한주 · 김정년 · 손호선 · 오택윤¹ · 이정훈*

국립수산과학원, ¹전남대학교

Age and Growth of Small Yellow Croaker *Larimichthys polyactis* Using Otoliths in the Waters of Korea

Han Ju Kim, Jung Nyun Kim, Hawsun Sohn, Taeg-Yun Oh¹ and Jeong-Hoon Lee*

Fisheries Resources Research Center, National Institute of Fisheries Science (NIFS), Tongyeong 53064, Republic of Korea

¹School of Marine Technology, Chonnam National University, Yeosu 59626, Republic of Korea

The small yellow croaker *Larimichthys polyactis* is an important ecological and commercial species in the waters of Korea. Based on samples purchased monthly from a market from 2019 to 2021, except during the closed season, we analyzed the age and growth of the small yellow croaker using 894 otoliths. The total lengths of the small yellow croaker ranged from 12.0 to 38.9 cm, which is a sufficient length range for analyzing age structure and growth parameters. The translucent zone, formed during the spawning season in June, was counted as the annual mark. The estimated ages were 0–10 years, and the 38.9 cm individuals were 7 years old, while the 34.2 cm individuals were 10 years old. The highest proportion in this study (86.8%) was 0–3 years. The von Bertalanffy growth model was obtained as $L_t=41.2(1-exp^{-0.20(t+1.50)})$.

Keywords: Age determination, Growth, Small yellow croaker, *Larimichthys polyactis*, Otolith

서론

참조기는 민어과(Scienidae), 조기속(*Larimichthys*)에 속하며, 국내 서해 및 남해, 중국 연안 및 동중국해에 분포하는 저서 회유성 어종으로, 서식수층은 40–120 m이다(Xiong et al., 2017; NIFS, 2021). 한국에 출현하는 참조기의 산란기는 3–6 월로 산란장은 서해 연안해역인 연평도 및 칠산도 주변해역으로(Kim et al., 2010; Jang et al., 2020; Kang et al., 2020) 산란을 마치고 서해 외해로 회유 후 10월 하순부터 남하하여 11월부터 이듬해 2월까지 제주도 서남부에서 월동하는 것으로 알려져 있어, 제주해역부터 서해 남부해역까지가 국내 참조기의 주요 어장임을 알 수 있다(NIFS, 2021). 최근 5년간(2017–2021년) 평균 전세계 참조기 어획량은 316,106톤이며, 어획된 참조기 중 91.1%는 중국, 8.9%는 한국에서 어획되었고, 참조기는 중국과 한국에서 매우 중요한 상업종이다(FAO, 2021). 국내 참조기 어획량은 약 15년 주기로 증감을 반복하지만(KOSIS, 2023), 2012년부터 감소경향이 뚜렷해지면서 2016년에 포획금지체

장과 금어기를 설정하여 자원관리를 하고 있다. 그러나 2023년 국내 참조기의 어획량은 약 15,117톤으로 최근 15년간 가장 낮은 기록을 보이고 있다(KOSIS, 2023). 자원감소의 원인은 남획으로 지목되고 있고(Yeon et al., 2010), 이로 인해 성숙 전장의 감소 등 생태 특성의 변화가 감지되고 있기에 참조기 자원을 지속적으로 이용하기 위해서는 다양한 생물학적 특성치 기반의 자원평가 및 관리가 이루어져야한다. 참조기의 국내 연구 중 연령과 성장에 관한 연구는 Lee et al. (2000)와 Kim et al. (2006) 등이 대표적이며, 이석을 활용하여 연령사정을 수행하였다. 그러나 생물학적 특성은 시계열에 따라 다양한 요인(개체군 밀도, 해양환경 등)으로 변화함으로써(Gebremedhin et al., 2021) 현지점의 연령구조를 파악할 필요가 있다. 따라서, 이 연구에서는 참조기의 연령구조 및 성장 파라미터 정확성을 높이기 위해 조사선과 상업어선에서 어획된 시료들을 수집하여 넓은 전장 범위의 시료들을 이용하여 연구를 수행하였다. 이 연구의 결과는 참조기의 생물학적 특성과 자원평가를 위한 기초 연구자료로 활용하고자 한다.

*Corresponding author: Tel: +82. 55. 650. 2230 Fax: +82. 55. 650. 2206

E-mail address: jhoonlee@korea.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.2024.0372>

Korean J Fish Aquat Sci 57(4), 372-379, August 2024

Received 31 May 2024; Revised 2 July 2024; Accepted 30 July 2024

저자 직위: 김한주(연구사), 김정년(연구관), 손호선(연구관), 오택윤(연구관) 이정훈(연구관)

재료 및 방법

시료 수집

이 연구에 사용된 참조기는 총 894개체로, 그 중 777개체는 2019년 1월부터 2020년 12월까지 금어를 제외한 매월 우리나라 근해에서 어획한 시료를 공동어시장에서 구입하였다(Fig. 1). 2년간 참조기의 전장(total length, TL) 범위는 12.0–32.5 cm로 25 cm 이상의 체급군이 충분하지 않아 2021년 시장 구입 및 조사선 시료를 통해 116개체를 추가 분석하였고 2021년 시료의 TL 범위는 25.0–38.9 cm이다. 구입된 시료는 근해자망, 근해안강망 등으로 어획되었으며, 구입 후 실험실로 옮겨져 TL 0.1 cm, 전중(body weight, BW) 0.1 g까지 측정하였다. 추출된 이석은 이석낭과 이물질을 표면으로부터 제거한 후 50% 알코올에 담귀 보관하였다. 2019년과 2020년간 TL빈도의 차이를 확인하기 위해 K-S test (Kolmogorov-Smirnov two-sample test)를 수행하였으며, TL-BW의 관계식을 도출하기 위해 아래와 같은 식을 사용했다.

$$BW=aTL^b$$

여기서, a는 회귀곡선의 절편이며, b는 회귀계수(상수)이다.

이석표본 제작 및 연령사정

참조기의 이석은 에폭시 레진을 활용하여 몰딩 후 절단기 (Micracut 125; Meckton, Bursa, Turkey)를 사용하여 이석 핵(core)를 중심으로 300 μm 정도의 두께가 되도록 횡단면으로 절단하였다(Lee et al., 2000). 절단 후 단계별 연마(Grit 1,200, 2,500)를 통해 윤문을 선명하게 연마하여 실체현미경(Olympus SZX16; Olympus, Tokyo, Japan)를 활용해 검은 바탕에 이석 절편을 올리고 반사광을 사용하여 이석의 윤문을 관찰하였다. 윤문은 이미지분석소프트웨어(i-Solution x64; IMT i-Solution Inc., Montreal, Canada)를 사용하여 불투명대에서 투명대로 이행하는 경계를 기준으로 계수하였으며, 핵을 중심으로 윤문이 규칙적인 아래쪽 방향기준으로 윤문 판독을 하였다 (Fig. 2).

연간 이석의 윤문 형성시기와 형성 횟수 그리고 윤문이 연륜으로서 적합한지를 판단하기 위해 이석의 가장자리를 파악하였고 불투명대와 투명대의 비율을 월별로 확인하였다. 윤문 판독에 대한 주관성으로 인한 오차를 줄이기 위해 시간의 간격을 두고 2회 판독을 하였으며, 정확성을 확인하기 위해 판독간의 일치율 확인, 평균비오차(average percentage error, APE) (Beamish and Fournier, 1981), t-test를 Excel를 이용해 계산하였다. 결정된 연령과 TL을 이용하여 Age-length key를 완성하였다.

성장식 추정

연령과 실측 TL을 기반으로 성장식을 추정하였으며, 본 버



Fig.1. Sampling locations for small yellow croaker *Larimichthys polyactis* in waters of Korea from 2019 to 2021.

틀란피 성장식(von Bertalanffy growth model)을 이용하였다 (von Bertalanffy, 1938).

$$L_t=L_{\infty} [1-e^{-k(t-t_0)}]$$

여기서, L_t 는 연령이 t일 때의 TL, L_{∞} 는 이론적 최대 TL, k는 성장계수, t_0 는 TL이 0일때의 이론적 연령을 의미한다. 성장식의 매개변수 추정은 Walford 정차도법(Walford, 1946)에 의해 추정치(L_{∞} , k, t_0)를 구한 후, 그 결과를 데이터와 성장곡선 사이 오차값을 최소화 하기위해 비선형회귀분석(non-linear regression analysis) 방법으로 구하였다(Zhang, 2010).

추정된 성장계수들을 이용하여 선행연구 결과들과 성장을 비교하기 위하여 아래의 식을 사용하여 성장률 지수(growth performance index, Φ)를 계산하였다(Munro and Pauly, 1983).

$$\phi=2\log L_{\infty}+\log k$$

여기서, L_{∞} 는 이론적 최대TL, k는 성장계수를 의미한다.

결 과

전장 분포 및 전장-전중 관계

이 연구에서 사용된 참조기의 TL범위는 12.0–38.9 cm (평균 \pm SD= 20.1 \pm 4.3 cm), BW 범위는 10.8–690.5 g (평균 \pm SD= 88.2 \pm 78.7 g)였다. 2019년의 TL 범위는 12.0–32.5 cm (평균 \pm SD= 18.4 \pm 3.0 cm), BW 범위는 10.8–375.4 g (평균 \pm SD= 60.6 \pm 36.2 g)였다. 2020년의 TL 범위는 12.2–27.3 cm (평균

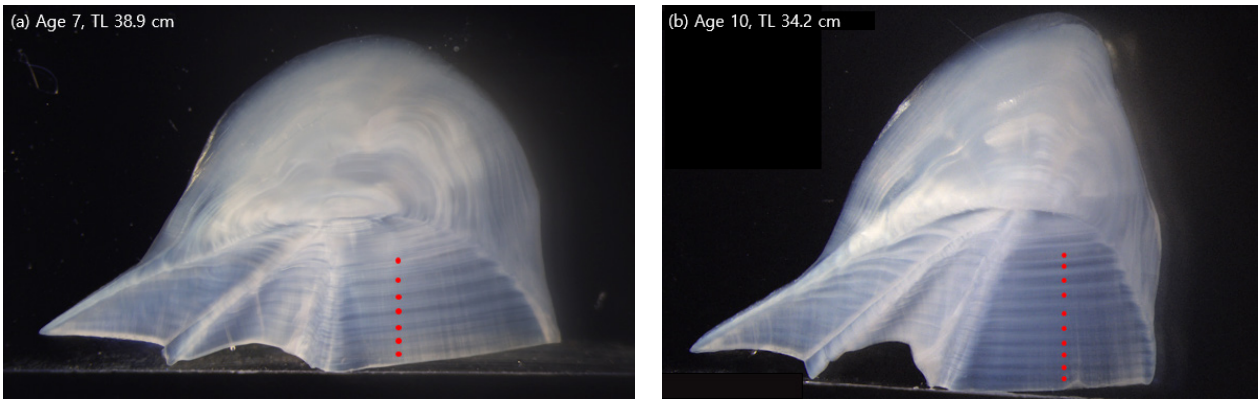


Fig. 2. Age determination of small yellow croaker *Larimichthys polyactis* using sectioned otolith. a, Age 7, total length 38.9 cm; b, Age 10, total length 34.2 cm.

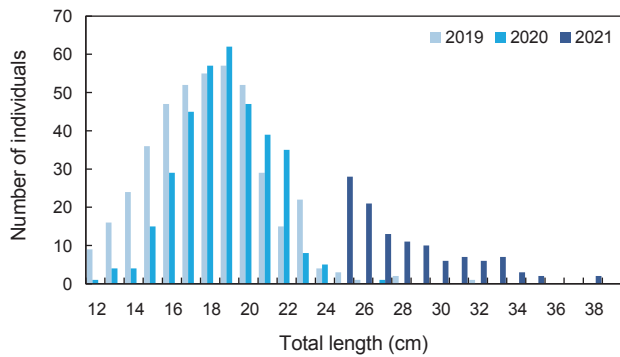


Fig. 3. Total length frequency distribution of small yellow croaker *Larimichthys polyactis* from 2019 to 2021 in waters of Korea.

\pm SD= 19.3 \pm 2.3 cm)이며, BW 범위는 13.1–193.7 g (평균 \pm SD= 67.3 \pm 26.3 g)로 나타나 2019년과 2020년의 TL빈도는 유의한 차이가 없었다(K-S test, $P>0.05$) (Fig. 3). 2021년 추가 분석된 25 cm 이상의 개체들의 TL 범위는 25.0–39.8 cm (평균 \pm SD= 28.5 \pm 4.3 cm)이며 BW 범위는 150.8–690.5 g (평균 \pm SD= 253.2 \pm 97.3 g) 나타났었다.

참조기의 TL-BW의 상대성장식은 $BW=0.0029TL^{3.3725}$ 로 추정되었으며(Fig.4), 계수 b의 값은 3과 유의한 차이가 없어 (t-test, $t=194.6$, $P>0.05$) 참조기는 TL과 BW이 동형성장(isometric growth)하는 것으로 나타났었다.

윤문 형성 및 연령 결정

이석 가장자리의 불투명대와 투명대의 비율은 금어기 5월과 7월을 제외하고 매월 분석하였다. 투명대는 6월에 3.3%로 가장 낮은 투명대 비율을 보여 윤문의 주 형성시기가 산란기인 6월에 형성되며 연간 1회 형성됨을 확인하였다(Fig. 5). 가장 낮은 불투명대 비율은 1월에 50.8%로 12월부터 2월인 겨울에 불투명대가 형성되는 것으로 확인했다. 첫번째와 두번째 윤문 판독

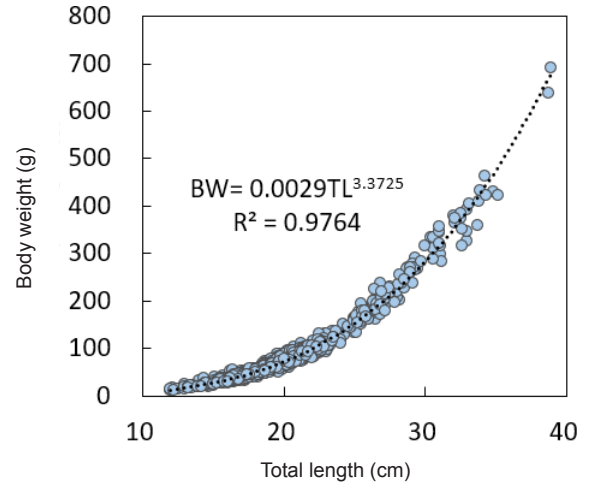


Fig. 4. Relationship between total length and body weight of small yellow croaker *Larimichthys polyactis* in waters of Korea.

은 90.9%로 높은 일치율을 보였으며 APE는 1.7%로 매우 낮았다. 또한, 통계적으로 2번의 판독 간에 유의한 차이가 없었기에 (t-test, $t=-1.16$, $P>0.05$) 두번째 윤문 판독 데이터를 기반으로 연령구조 및 성장 파라미터 추정을 수행하였다. 따라서, 이 연구에서는 투명대의 수를 연령으로 사정하였으며, 총 894개체의 연령 범위는 0–10세로 추정되었다.

연령 비율 및 연령별 전장조성(Age-length key)

2019년 연령범위는 0–5세로, 연령 비율은 0세 19.0%, 1세 31.7%, 2세 33.8%, 3세 12.0%, 4세 3.1%, 5세 0.5%로 나타났다. 2020년 연령 범위는 0–4세로, 연령 비율은 0세 7.4%, 1세 30.4%, 2세 46.6%, 3세 15.1%, 4세 0.6%로 나타났다. 2019년과 2020년 모두 2세, 1세 순으로 비율이 가장 높았으며, 2세의 평균 TL은 20.0 cm, 1세의 평균 TL은 17.3 cm였다.

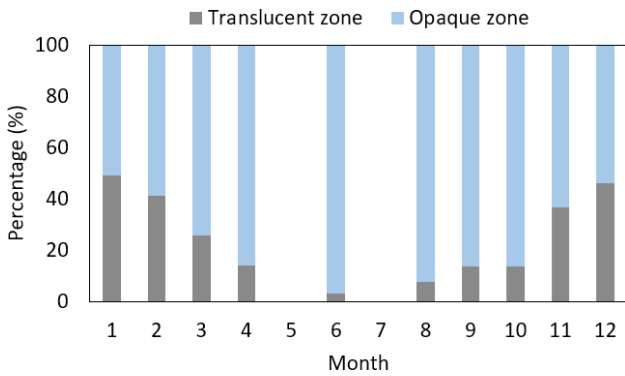


Fig. 5. Monthly proportion of edge type in otoliths of small yellow croaker *Larimichthys polyactis* in waters of Korea.

이 연구에서 사용된 894개체의 연령별 TL 조성(age-length key)는 Table 1과 같다.

성장 파라미터

참조기의 본 버틀란피 성장식은 연령별 평균 실측 TL을 기반으로 추정하였다(Fig. 6). 최대 TL (L_{∞})은 41.24 cm, 성장계수 (k)는 0.20, TL이 0일 때의 이론적 연령(t_0)은 -1.50으로 나타나 성장식은 아래와 같이 도출되었다(Fig. 7).

$$L_t = 41.24[1 - e^{-0.20(t + 1.50)}]$$

성장률 지수(Φ)는 2.53로 계산되었다. 연령별 평균 TL 및 선행연구 결과는 Table 1과 같다.

Table 1. Age-length key for small yellow croaker *Larimichthys polyactis* from 2019 to 2021 in waters of Korea

TL range (cm)	Age groups (Years)										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
12	100.0										
13	100.0										
14	75.0	25.0									
15	60.8	39.2									
16	23.7	73.7	2.6								
17	7.2	86.6	6.2								
18		55.8	44.2								
19		10.1	85.7	4.2							
20			86.9	13.1							
21			54.4	45.6							
22			44.0	56.0							
23			10.0	60.0	30.0						
24				77.8	22.2						
25				41.9	54.8	3.2					
26				18.2	72.7	9.1					
27					71.4	14.3	14.3				
28					38.5	46.2	15.4				
29					30.0	70.0					
30					83.3	16.7					
31					28.6	71.4					
32					14.3	71.4	14.3				
33					28.6	14.3	42.9	14.3			
34						33.3		33.3			33.3
35							50.0			50.0	
36											
37											
38								50.0	50.0		
N	107	242	308	119	72	31	9	3	1	1	1

TL, Total length. Values are listed as percentages and N represents the number of individuals per age group.

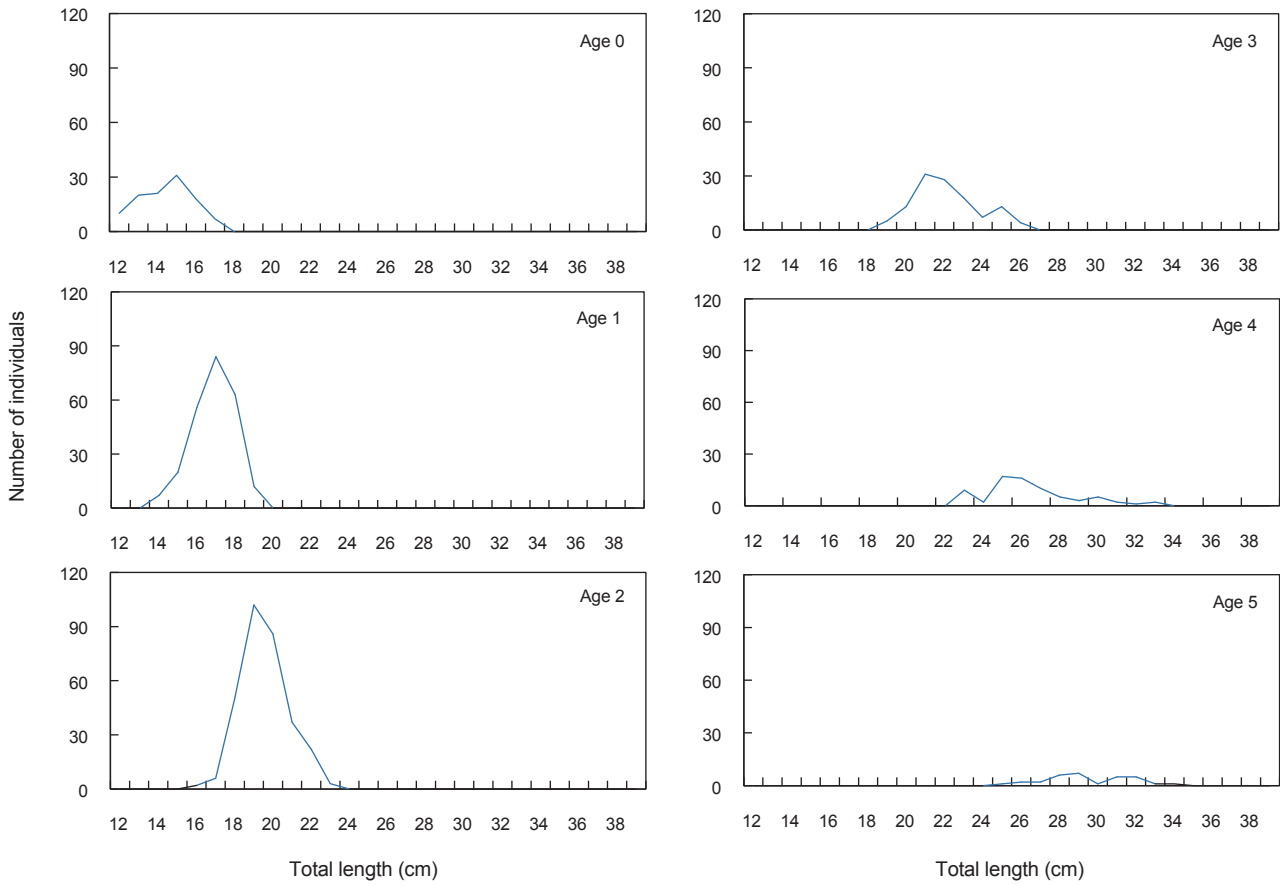


Fig. 6. Length frequency of the age of small yellow croaker *Larimichthys polyactis* in waters of Korea.

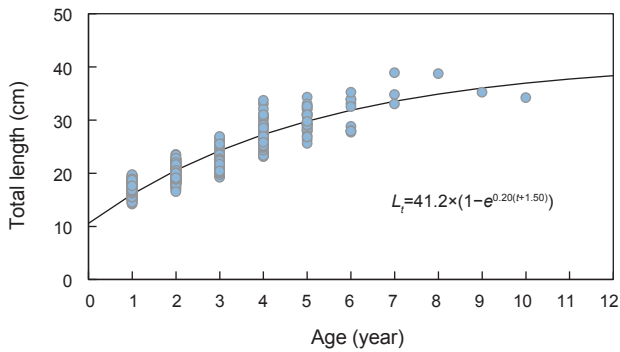


Fig. 7. Von Bertalanffy growth curves for small yellow croaker *Larimichthys polyactis* in waters of Korea. Dots are age determined individuals.

고찰

참조기는 국내 주요 수산자원으로 경제적 가치가 높아 과거 1970년대부터 주요 어획종이며 참조기의 생물학적 특성치를 파악하는 것은 매우 중요하다. 그 중 연령과 성장에 관한 생물학

적 특성은 많은 시간과 노력이 요구되지만 환경에 의해 변화되는 생태학적 특성때문에 일시적 정보로만 사용되기에 주기적인 연령연구는 필수적이다(Yeon et al., 2010). 다양한 연령형질 중 이석은 어류의 성장과 밀접한 관계가 있고 서식환경이 잘 기록되어 있어 연령과 성장을 역추정하기에 매우 적합하다(Song et al., 2023). 정확한 연령구조와 성장 파라미터를 도출하기 위해서는 넓은 TL 범위의 개체들을 확보하는 것이 매우 중요하다. 제한된 TL 범위만 확보된 경우, 성장 파라미터 추정에 오류가 발생하여 연령기반 자원평가를 수행함에 있어 자원량 추정에 오차가 발생하게 된다. 따라서, 이 연구에서는 성장 파라미터의 타당성을 위해 상업어선과 조사선에서 어획된 참조기를 이용하여 넓은 TL 범위의 개체들을 확보하였다.

참조기의 이석은 타원형으로 전처리 없이는 윤문을 판독할 수가 없다. 따라서, 이석의 핵을 중심으로 절단하여 윤문판독을 하였으며, 이 방법은 Lee et al. (2000)과 동일하다. 윤문은 핵 아래 쪽으로 일정한 간격과 규칙으로 형성되었고 명확하게 투명대와 불투명대가 구분되어 있다. 참조기의 이석은 핵에서 1세 윤문 사이 많은 위륜들이 형성되어 있으며, 뚜렷한 위륜이 하나 존재하여 1세 판독에 오차를 줄 수 있다. 참조기 이석은 높은 수온과

개체군 회유, 쿠로시오 해류 등의 환경적 영향으로 위문이 형성에 영향을 받으며(Zhang and Ye, 2021), 만 0세 기간에 겪어야 하는 외부 환경변화로 인해 잔잔한 위문들도 많이 형성되는 것으로 보인다. Song et al. (2023)은 이석의 $\delta^{18}O$ 와 $\delta^{13}C$ 를 활용한 안정동위원소 분석을 통해 만 0세기간에 뚜렷한 위문이 겨울 동안 형성되는 것을 밝혔으며, 그 다음 뚜렷한 윤문이 1년생을 대표할 수 있는 윤문으로 확인하였다. 이 연구에서 결정한 1세 윤문이 Song et al. (2023)의 연구결과와 일치함을 확인하였다.

윤문의 형성시기는 6월로, 1년에 한번 산란기에 형성되는 것으로 확인되었다. 선행연구에서도 4-5월 산란기에 윤문이 형성되는 것이 확인되어 두 연구 결과는 거의 일치했다(Lee et al., 2000). 이석의 불투명대는 물질대사율이 높아 탄소발생이 많은 여름에 형성되고, 투명대는 물질대사율이 비교적 낮은 겨울에 형성되는 것이 일반적인 현상으로(Carbonara and Follesa, 2019; Chung et al., 2019), 참조기 또한 같은 패턴을 보였다.

이 연구의 참조기 연령 범위는 1-10세(Table 2)로 10세 TL은 34.0 cm로 나타났다. 국내연구에서 보고된 참조기의 최대연령은 8세(Kim et al., 2006), 10세(Song, 1978), 11세(Lee et al., 2000), 11세(Chung, 1970)이며, 참조기의 최대수명은 10년 이상인 것으로 판단된다. 이 연구에서 도출된 이론적 최대TL은 41.2 cm, 성장계수 k는 0.2이었으며, 0-1세까지 성장이 가장 빨랐다. 1-3세까지는 L_{∞} 대비 10% 이상으로 성장하였고 4세부터 성장률이 10% 아래로 낮아지는 것을 확인할 수 있었으며, 이와 같은 성장패턴은 국내 선행연구들과 동일했다(Lee et al., 2000; Kim et al., 2006). 4-10세까지 TL 범위가 유사한 것으로 확인되었으며, 4세부터는 같은 연급군이라도 개체별 성장 차이가 크게 있는 것으로 판단된다.

국내 선행연구들의 이론적 최대 TL은 33.8 cm (Kim et al.,

2006), 34.7 cm (Chung, 1970), 37.1 cm (Lee et al., 2000), 53.6 cm (Song, 1978)였고, 이 연구는 41.2 cm로 비교적 크게 추정되었다. 참조기의 기록된 최대 TL은 44 cm로(Song, 1978), 도출된 이론적 최대 TL 중 이 연구의 결과가 가장 근접하였다. Song (1978)연구를 제외한 나머지 선행연구들은 고연령어의 시료확보가 어려워 1-3세까지의 시료 확보율이 77% 이상이었으며, 최대 TL이 33.0 cm로 작아 이론적 최대 TL이 과소 추정된 것으로 보인다. 그러나 Lee et al. (2000)과 Kim et al. (2006)의 연구는 주로 어획되는 참조기의 연령 및 성장 정보가 잘 반영되어 있어 1-3세까지의 연령별 평균 TL은 이 연구 결과와 매우 근사하였다.

2000년대 이후 수행된 연구결과들은 참조기 자원량이 풍부했던 1960-1970년대까지의 Song (1978) 연구결과와 비교하였을 때, 모든 연령별 TL이 1-2 cm 작아졌다. 이는 참조기의 성숙 체장이 지속적으로 감소하여 15 cm인 어린 개체들(만 1세)부터 산란에 참여하기 때문에 성숙과 산란에 에너지를 더 소모하여 외형적인 성장이 감소된 것으로 보인다(Kang et al., 2020; Ma et al., 2021). Yeon et al. (2010)의 연구에 따르면 2000년대 참조기 TL 조성이 1960년대에 비해 약 2-3 cm 작아졌고 어획 평균 TL은 1.2-2.3 cm 작아진 것을 확인하였다. 개체의 소형화는 긴 시간 이후에 발생하는 형질변화 및 진화인데, 1980년대 중반부터 급격히 작아진 TL조성, 소형어 어획비율의 증가 등으로 보아 남획의 영향이 참조기 소형화에 영향을 미친 것으로 생각된다(Law, 2000; Yeon et al., 2010; Shan et al., 2017).

국내 참조기는 연안에서 산란을 마친 후 서해 외해에서 성장하고 계절에 따라 회유한다(NIFS, 2021). 중국에서 부화된 참조기는 중국 연안에서 산란 후 성육과 월동을 위해 외해로 나오면서(Xiong et al., 2016) 한국 참조기 자원들과 섞일 것으로 판

Table 2. Comparison of growth parameters, growth performance indices and total length by the age with previous studies

Research country	Sample period	L	k	t ₀	0	Maximum age	Estimated total length (cm)										Author
							1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Korea	2019-2021	41.2	0.20	1.50	2.53	10	16.2	20.7	24.4	27.5	30.0	32.0	33.7	35.0	36.2	37.1	This study
Korea	2002, 2005	33.8	0.20	2.39	2.36	8	16.6	19.8	22.3	24.4	26.1	27.5	28.6	29.6			Kim et al. (2006)
Korea	1996-1997, 2000	37.1	0.20	1.88	2.44	11	16.2	20.0	23.1	25.7	27.7	29.4	30.8	32.0	32.9	33.7	Lee et al. (2000)
Korea	1966-1974	53.6	0.11	2.78	2.50	10	18.2	21.9	25.2	28.2	30.8	33.2	35.3	37.2	38.9	40.5	Song (1978)
Korea	1967-1968	34.7	0.38	0.61	2.66	11	15.9	21.8	25.9	28.7	30.6	31.9	32.8	33.4	33.8	34.1	Chung (1970)
China	2008	27.0	0.56	0.25	2.61	3	13.6	19.3	22.6								Shan et al. (2017)
China	2002-2003	23.3	0.29	1.40	2.20	5	11.7	19.8	22.3	24.4	26.1						Yan et al. (2006)
Japan	1974	39.2	0.44	0.05	2.83		15.2	23.7	29.3	32.8	35.9						Mio et al. (1975)

단된다. 그러나 중국의 선행연구에서 참조기의 이론적 최대 TL은 27 cm (Shan et al., 2017)와 23.3 cm (Yan et al., 2006)로 매우 작고 최대 연령은 3세와 5세로 보고되어 우리나라 참조기와 다른 연령구조 및 성장 패턴을 보이고 있다. 중국 논문에 기록된 최대 실측 TL은 23 cm로(Chen et al., 2000), 최대 TL이 매우 작아 한국에 서식하는 참조기와 성장을 비교하기는 어렵다. 그러나, 동중국해 및 서해에서 채집한 1975년 일본의 선행 연구에서 이론적 최대 TL은 39.2 cm (Yamada et al., 2007)로 이 연구와 유사함을 확인할 수 있었고, 이는 참조기가 20 cm 이상 성장 후 한국에 머물거나 서식지에 따라 해양환경과 먹이, 개체군 혼합, 유전적 요인 등으로 성장이 크게 달라지는 점을 고려해볼 수 있다. 참조기의 생태학적 특성은 환경 변화에 빠르게 반응하기 때문에(Yamada et al., 2007; Ma et al., 2021), 중국과 공동연구를 통해 심층적인 연구 수행을 할 필요가 있다.

이 연구의 참조기 90% 이상은 0-3세였으며, 1-2세가 주 어획 크기인 것으로 확인되었다. 현재, 참조기는 50% 성숙 TL (15 cm) 기준으로 금지체장이 설정되어 있다. 하지만 15 cm는 만 1년도 안된 어린 물고기로 확인되었고, 절반은 산란에 1회도 참여 못한 개체들이며 1세 어획비율이 높기 때문에 자원 회복은 어려울 것으로 판단된다. 따라서, 지속적으로 참조기를 이용하기 위해서는 금지체장을 2세 평균 TL인 20 cm로 상향하여 산란을 모두 1회 이상 참여한 후 어획될 수 있도록 제안하며, 97.5% 성숙 TL이 17 cm이기에(Kang et al., 2020) 산란에 참여하는 어미수 증가가 자원가입량 증가로 이어질 것이라고 보인다. 또한, 빠르게 변화하는 생물학적 특성치에 대한 지속적인 모니터링이 필요하다.

사 사

이 논문은 국립수산물학원(근해어업 자원조사, R2024001)의 지원으로 수행된 연구입니다.

References

- Beamish RJ and Fournier DA. 1981. A method for comparing the precision of a set of age determinations. *Can J Fish Aquat Sci* 38, 982-983. <https://doi.org/10.1139/f81-132>.
- Carbonara P and Follsea MC. 2019. Handbook on fish age determination: A Mediterranean experience. Studio and Review. FAO, Rome, Italy, 11-12.
- Chen F, Zhang H, Fang Z, Guo A, Jiang R, Zhu W and Zhou Y. 2000. Length-weight relationships for 15 fish species in the East China Sea mainly captured by the commercial fishery and subelemented by survey samples. *J Appl Ichthyol* 36, 536-538. <https://doi.org/10.1111/jai.14048>.
- Chung MT, Trueman CN, Godiksen JA and Grønkvær P. 2019. Otolith $\delta^{13}C$ values as a metabolic proxy: Approaches and mechanical underpinnings. *Mar Freshw Res* 70, 1747-1756. <https://doi.org/10.1071/MF18317>.
- Chung SC. 1970. Age and growth of the yellow croaker, *Pseudosciaena Manchurica* Jordan et Thompson, in the Western coastal waters of Korea. *Bull Korean Fish Soc* 3, 154-160.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 2021. Global Capture Production for Species. Retrieved from <https://www.fao.org/fishery/en/aqspecies/2362> on May 21, 2024.
- Gebremedhin S, Bruneel S, Getahun A, Anteneh W and Goethals P. 2021. Scientific methods to understand fish population dynamics and support sustainable fisheries management. *Water* 13, 574. <https://doi.org/10.3390/w13040574>.
- 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>.
- Kang H, Ma JY, Kim HJ and Kim HJ. 2020. Estimating length at sexual maturity of the small yellow croaker *Larimichthys polyactis* in the Yellow Sea of Korea using visual and GSI methods. *Korean J Fish Aquat Sci* 53, 50-56. <https://doi.org/10.5657/KFAS.2020.005>.
- Kim HK, Le MH, An CM, Kim SY, Park MS and Chang YJ. 2010. Reproductive cycle of yellow croaker *Larimichthys polyactis* in Southern waters off Korea. *Fish Sci* 76, 971-980. <https://doi.org/10.1007/s12562-010-0288-5>.
- 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.
- KOSIS (Korean Statistical Information Service). 2023. Statistic Database for Fisheries Production. Retrieved from <https://kosis.kr/index/index.do> on May 21, 2024.
- Law R. 2000. Fishing selection, and phenotypic evolution. *ICES J Mar Sci* 57, 659-668. <https://doi.org/10.1006/jmsc.2000.0731>.
- Lee MW, Zhang CI and Lee JU. 2000. Age determination and estimation of growth parameters using otoliths of small yellow croaker, *Pseudosciaena polyactis* bleeker in Korean waters. *J Korean Soc Fish Ocean Technol* 36, 222-233.
- Ma Q, Tian S, Han D, Richard K, Gao C and Liu W. 2021. Growth and maturity heterogeneity of three croaker species in the East China Sea. *Reg Stud Mar Sci* 41, 101483. <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2020.101483>.
- Munro JL and Pauly D. 1983. A simple method for comparing the growth of fishes and invertebrates. *Fishbyte* 1, 5-6.
- NIFS (National Institute of Fisheries Science). 2021. Ecology and Fishing Ground of Fisheries Resources in Korean Waters. Yemoonsa Publication Co., Busan, Korea, 279-290.
- Shan X, Li Z, Yang T, Sharifuzzaman SM, Zhang G, Jin Z and Dai F. 2017. Biological responses of small yellow croaker (*Larimichthys polyactis*) to multiple stressors: A case study in the Yellow Sea, China. *Acta Oceanol Sin* 36, 39-47. <https://doi.org/10.1007/s13131-017-1091-2>.

- Song D, Xiong Y, Jiang T, Yang J, Kang Z, Zhong X and Liu D. 2023. Isotopic evidence of population connectivity at multiple life stages for *Larimichthys polyactis* in the Southern Yellow Sea and East China Sea. *Fishes* 8, 133. <https://doi.org/10.3390/fishes8030133>.
- Song I. 1987. A Study on the Growth Equation of the Small Yellow Croaker in the Yellow Sea and East China Sea. *J Baekgyeong* 3, 117-126.
- von Bertalanffy L. 1938. A quantitative theory of organic growth (inquiries on growth laws II). *Human Biol* 10, 181-213.
- Walford LA. 1946. A new graphic method of describing the growth of animals. *Biol Bull* 90, 141-147. <https://doi.org/10.2307/1538217>.
- Xiong Y, Yang J, Jiang T, Liu H, Zhong X and Tang J. 2017. Early life history of the small yellow croaker (*Larimichthys polyactis*) in sandy ridges of the South Yellow Sea. *Mar Biol Res* 13, 993-1002. <https://doi.org/10.1080/17451000.2017.1319067>.
- Xiong Y, Zhong X, Tang J and Yang J. 2016. Migration and population structure characteristics of the small yellow croaker *Larimichthys polyactis* in the southern Yellow Sea. *Acta Oceanol Sin* 35, 34-41. <https://doi.org/10.1007/s13131-016-0844-7>.
- Yamada U, Tokimura M, Horikawa H and Nakabo T. 2007. *Fishes and Fisheries of the East China and Yellow Sea*. Tokay University Press, Kanagawa, Japan, 808-812.
- Yan L, Hu F, Ling J and Li S. F. 2006. Study on age and growth of *Larimichthys polyactis* in the East China Sea. Ocean University of China, Qingdao, China, 95-100.
- Yeon II, 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 Korean Soc Fish Ocean Technol* 46, 392-405. <https://doi.org/10.3796/KSFT.2010.46.4.392>.
- Zhang C and Ye Z. 2021. Inter-annual otolith growth pattern of adult small yellow croaker in the East China Sea and its response to environmental changes. *Environ Biol Fish* 1643-1653. <https://doi.org/10.1007/s10641-021-01192-7>.
- Zhang CI. 2010. Marine fisheries resource ecology. In: *Age and Age Estimation*. Park ME, ed. Pukyong National University Press, Busan, Korea, 189-252.