봄과 여름철 남해안 자치어의 시·공간적 분포

문성용 · 이미희 · 정경미 · 김희용1* · 정진호

국립수산과학원 남해수산연구소. 1국립수산과학원 연근해자원과

Spatial and Temporal Distribution of Fish Larvae in the Southern Coast of Korea from Spring to Summer

Seong Yong Moon, Mi Hee Lee, Kyung Mi Jung, Heeyong Kim^{1*} and Jin Ho Jung

South Sea Fisheries Research Institute, National Institute of Fisheries Science, Yeosu 59780, Republic of Korea ¹Fisheries Resources Management Division, National Institute of Fisheries Science, Busan 46083, Republic of Korea

We investigated the community structure and performed detailed characterization of fish larvae assemblages collected from the southern coast of Korea in the spring and summer of 2021. The total abundance of fish larvae varied from 193.6 to 1.915.6 ind. 10 m⁻³. The species were distributed across 10 orders with 23 families, and 41 taxa. The dominant taxa were Gobiidae spp., Engraulis japonicus, Nibea albiflora, Sebastiscus spp., Callionymus valenciennei, Pennahia argentata, Sebastes thompsoni, Parablennius yatabei, and Platycephalus indicus. Engraulis japonicus individuals were collected from April to August and their presence contributed greatly to the total abundance of fish larvae. The total number and abundance of species peaked in early summer and the Shannon-Weaver index was in the range 0.11-1.49. Redundancy analyses revealed that the major environmental factors affecting the fish larvae assemblage differed according to the dominant taxa. Water temperature, zooplankton density, and Paracalanus parvus s. l. density were the key factors affecting the spatial and temporal distribution of fish larvae in the southern coast of Korea in spring and summer.

Keywords: Fish larvae, Environmental factors, Spatial and temporal variability, Spring and summer, Southern coast

서 론

어류 자치어의 종조성과 분포특성을 위한 산란장과 성육장의 파악은 어장에 가입하는 수산자원들의 지속가능한 이용·관리 를 위한 중요한 생물학적 지표로 이용되며(Miller and Kendall, 2009), 수산자원의 가입량 변동예측과 어업의 연간 어획량 설정·관리에 매우 중요한 정보를 제공할 수 있다(Fuiman and Werner, 2002; Takahashi and Watanabe, 2004). 아울러 해양환 경 변동의 영향을 크게 받는 어류 자치어의 분포밀도와 생존률 은 이용 가능한 어류의 생물량과 개체군의 경년 동태 파악을 위 한 지표로도 활용된다(Bulter et al., 2003; Song et al., 2019).

어류 자치어의 종조성과 시·공간적 변동은 다양한 생물학적 요인(biotic factors)과 비생물학적 요인(abiotic factors)에 의 해 영향을 받게 된다(Zhang et al., 2015). 생물학적 주요 요인

*Corresponding author: Tel: +82. 51. 720. 2280 Fax: +82. 51. 720. 2277

E-mail address: heeyongkim@korea.kr

 (\mathbf{i}) (cc) BY NC

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.

에는 산란과 부화 후 성장하면서 먹이생물의 현존량과 섭식 률(Azeiteiro et al., 2006), 비생물학적 요인에는 수온과 염분 (Houde, 1989; Blaxter, 1991; Laprise and Pepin, 1995; Wang et al., 2021), 해류, 용승 및 바람(Wu, 1989; Tzeng et al., 2002; Valencia et al., 2019) 등이 있다. 어류 자치어에 대한 연구는 어 업자원의 추세를 이해하고 산란 장소와 주기를 결정하고, 효율 적이고 지속적인 어업생산 메커니즘을 명확히 파악하기 위한 중요한 기초 자료이며, 해양생태계의 건강도 모니터링을 위한 자료로도 활용이 가능하다. 남해안은 크고 작은 만과 많은 섬들 로 이루어져 있는 리아스식 해안들로 이루어져 있으며, 쿠로시 오 해류에서 분리된 대마난류수(Lie and Cho, 1997), 대마난류 (Tsushima Warm Current) 유래로 제주도 서쪽을 통해 제주해 역으로 유입되는 제주난류수(Chang et al., 1995), 겨울철 남해 연안에서 형성되어 여름철에는 수온약층 아래에 분포하는 남

https://doi.org/10.5657/KFAS.2022.0461 Korean J Fish Aquat Sci 55(4), 461-477, August 2022

Received 15 February 2022; Revised 22 February 2022; Accepted 23 July 2022 저자 직위: 문성용(연구사), 이미희(연구원), 정경미(연구사), 김희용(연구관), 정진호(연구원)

해연안수(Choo, 2002), 황해에서 발생되어 남해안에 영향을 미 치는 황해저층냉수(Cho and Kim, 1994)들이 서로 교차하면서 해양환경이 다양하게 변화하는 해역이다(Choo, 2002; Lim et al., 2003). 또한, 기원이 서로 다른 해수들이 만나 전선역(frontal zone)이 형성되어 식물플랑크톤의 기초생산력이 증가함에 따라(Yang and Kim, 1990; Baek et al., 2010), 이들을 먹이로 하는 동물플랑크톤의 분포밀도도 높아진다(Moon et al., 2010, Oh et al., 2013). 이 때문에 어류를 포함한 다양한 생물들의 산 란·성육장으로 이용되고 있어 수산자원학적으로 가치가 높은 곳이다(Kim et al., 2005; Ko et al., 2010; Yoo et al., 2017). 하 지만, 남해안에 출현하는 어류 자치어 군집을 이해하기 위한 연 구들은 조사가 용이한 폐쇄성 내만역이나(Cha and Park, 1994; Han et al., 2002; Park et al., 2005; Huh et al., 2011; Choi et al., 2015; Moon et al., 2018), 동정이 용이한 멸치(Kim and Kang, 1992; Kim and Lo, 2001; Kim et al., 2005; Ko et al., 2010)를 중심으로 수행되어 왔다. 그러므로, 다양한 수괴로 인해 해양환 경의 변화가 다양한 남해안 전 해역을 대상으로 자치어의 시·공 간적 분포에 영향을 미치는 환경요인 파악을 위한 생태학적 연 구가 수행될 필요가 있다.

본 연구에서는 대부분의 어류들이 가입하여 산란과 성육하는 봄과 여름철의 남해안을 대상으로 자치어의 시·공간적 분포와 군집 특성에 대한 상세한 현황을 파악하여 군집에 영향을 주는 주요 분류군을 이해하고 이들의 분포에 영향을 미치는 해양 환 경요인들을 파악하고자 하였다.

재료 및 방법

국립수산과학원 수산과학조사선 탐구10호와 11호를 이용하 여 2021년 4월부터 8월까지 남해안을 대상으로 완도에서 부 산 연안까지 총30개 정점에서 해양환경 조사, 동물플랑크톤 및 어류 자치어의 채집을 실시하였다(Fig. 1). 해양환경 중 수 온과 염분은 각 정점에서 CTD (Conductivity, Temperature, Depth; Seabird 19 plus; Sea-Bird Electronics, Inc., Bellevue, WA, USA)를 사용하여 표층에서 저층까지 측정하였고, Chlorophyll-*a* (chl.-*a*) 분석을 위한 시료는 각 정점별 표층과 저층에 서 채수하였다. 채수한 해수 500 mL는 GF/F 여과지 (직경 47 mm; pore size 0.7 µm; Whatman[®], Maidstone, UK)를 사용하 여 여과하였고, 여과지는 Chl.-*a* 농도 분석을 위해 분석 시까지 냉동 보관하였다. Chl.-*a* 농도는 보관된 GF/F 여과지를 90% 아세톤 10 mL가 담긴 빛을 차단한 시험관에 넣고 12시간 경 과 후 형광분광분석기(10-AU; Tumer Designs[®]; San Jose, CA, USA)를 사용하여 측정하였다(Parsons et al., 1984).

자치어의 먹이생물로 이용되는 동물플랑크톤 채집은 요각 류의 nauplii와 copepodites를 함께 채집하기 위해 망목이 100 µm, 망구지름이 45 cm인 원추형 네트를 이용하여 각 정점에 서 수직 채집하였으며, 각 정점에서 채집된 시료는 중성포르 말린으로 최종 농도가 5%가 되도록 고정하였다. 시료의 정 량적 분석을 위해 네트 입구에 부착한 유속계(model 438115; Hydro-Bios, Altenholz, Germany)를 사용하여 여수량을 산출 하였다. 동물플랑크톤의 종조성과 출현 개체수 분석 시 시료의 양에 따라 Motoda식 부차시료기를 이용하여 시료를 분할 후, UNESCO식 계수판에 옮겨 계수하였다. 동물플랑크톤은 해부 현미경(SZ40; Olympus, Tokyo, Japan)과 광학현미경(BX51, Olympus)을 사용하여 주로 요각류를 중심으로 종 동정을 수행 하였고, 종 동정이 힘든 경우에는 상위 분류군으로 분류하여 계 수하였다. 동물플랑크톤의 종 동정과 분류 체계는 Chihara and Murano (1997)과 Boxshall and Halsey (2004)를 참고하였다.

동물플랑크톤 계수가 완료된 시료들은 유량계로 산출된 여 과해수량 값을 이용하여 동물플랑크톤의 단위체적 당 개체수 (ind. m⁻³)로 환산하였다. 동물플랑크톤 생체량(Biomass) 측정 은 미리 무게를 측정한 GF/C 여과지(직경 47 mm; pore size 1.2 µm; Whatman[®])에 여과한 시료는 60°C에서 24시간 건조시켜 건중량을 측정한 후, 유량계로 산출된 여과해수량 값을 이용하 여 단위체적당 생체량(mg m⁻³)으로 환산하였다.



Fig. 1. A map showing the fish larvae sampling stations (•) in the southern coast of Korea.

자치어 채집은 봉고네트(망구직격 60 cm, 망목크기 330 µm) 를 이용하여 정점별 수심에 따라 저층에서 표층까지 약 5-10분 간 경사 채집하였다. 채집된 시료는 현장에서 중성포르말린으 로 최종 농도가 5%가 되게 고정하여 실험실로 운반한 후 24시 간 이내에 70% 에탄올로 치환하여 종 동정 전까지 보관하였고 (Watanabe, 2010), 입체해부현미경(SZX10; Olympus)을 이용 하여 종 수준까지 동정하고 계수하였다.

자치어의 분류와 동정을 위해서 Ji et al. (2020)의 난·자치어도 감을 활용하여 몸의 모양, 주둥이의 모양, 가시 위치와 모양, 근 절수, 항문의 위치, 흑색소포의 분포, 위치 및 모양, 그리고 지느 러미 모양 등을 식별 형질로 각 분류군별 자치어의 검색키를 활 용하였으며, 채집된 자치어는 가능한 종 동정을 수행하였고, 종 동정이 힘든 경우에는 상위 분류군으로 분류하여 계수하였다. 분류체계와 학명은 FishBase (Froese and Pauly, 2022), 국명은 국가 해양수산생물종 목록집(MABIK, 2021)을 따랐다. 계수 된 시료의 출현개체수는 유량계로 산출된 여과해수량 값을 이 용하여 단위 체적당 개체수(ind. 10 m⁻³)로 환산하였다.

조사기간 동안 출현한 자치어의 군집특성을 파악하기 위해 출현개체수 자료를 근거로 종다양성지수(H) (Shannon and Weaver, 1963)와 군집분석을 수행하였다. 군집분석에 사용된 자어 분류군들은 조사시기와 종 간의 출현개체수에 의한 자 료편중과 분포를 정규화하기 위하여 로그(logx+1) 지수로 변 환하여 분석하였다. 자어 군집에 따른 정점 간 유사도 측정은 PRIMER (ver. 6.0; Biomatters, Auckland, New Zealand)를 이용하여 Bray-Curtis 유사도 지수를 바탕으로 비가중산술평 æ (unweighted pair group method with arithmetic mean, UP-GMA) 분석을 통해 계보적 군집분석(hierarchical cluster analysis)과 nMDS (non-metric multidimensional scaling) 배열법 을 수행하였다. 자어 군집의 각 그룹 간의 유의성을 검증을 위 해 one-way ANOSIM (Analysis of similarities) 분석을 실시하 였고, 군집에 영향을 주는 기여종들을 파악하기 위해 SIMPER (similarity percentage procedure) 분석을 수행하였다(Clarke and Warwick, 2001). 그리고, 자치어 주요 분류군들의 시·공 간적 분포와 환경요인과의 관계를 설명하기 위해 수온, 염분, Chl.-a 농도, 동물플랑크톤 출현개체수 분석 자료를 매개 변수 로 하여 CANOCO (version 4.5; Carus, Wageningen, Netherlands) 프로그램으로 중복분석(redundancy analysis, RDA)을 수행하였다.

결 과

수온, 염분 및 Chl.-a

수온은 표층에서 14.1-27.3°C, 저층에서 12.4-24.3°C의 범위 였으며, 수온의 월평균은 4월 15.1°C, 5월 16.5°C, 6월 20.6°C, 7 월 25.8°C, 8월 25.9°C로 나타났다(Fig. 2A). 표층 수온의 시·공 간적 분포는 봄철인 4월에 남해 동부해역을 중심으로 15°C 이



Fig. 2. Monthly variations in temperature, salinity, and chlorophyll*a* concentrations in the southern coast of Korea. A, Temperature; B, Salinity; C, Surface chlorophyll-*a*; D, Bottom chlorophyll-a. Data are mean with standard deviation indicated by error bars.

상의 수온을 보이다가 5월로 접어들면서 전 해역으로 확장되는 특징을 나타냈다. 6월에는 광양-완도(남해서부) 보다 남해도-부산(남해동부) 해역이 수온이 높았지만, 7월부터 8월에는 거 제와 부산 연안 일부 해역을 제외하면 25℃ 이상의 고수온이 형성되었다(Fig. 3). 수온이 연직분포 형성과 확산되는 시기인 4-7월까지 수심별 수온 변화를 살펴보면(Fig. 4), 4월 거제 동 부해역에서 15℃ 이상의 수온으로 전선역(frontal zone)이 형성 되었지만, 5월은 16℃ 이상으로 형성된 수온역이 표층에서 확 장되면서 전선역이 사라지고 7월은 수심 30 m 부근에서 22℃



Fig. 3. Spatial and temporal distribution of temperature and salinity in the southern coast of Korea.

이상의 수온 분포로 인해 수온약층이 형성되는 특징을 보였다. 염분은 표층에서 27.8-34.6 psu, 저층에서 31.1-34.5 psu의 범위였으며, 염분의 월 평균은 4월 34.1 psu, 5월 33.7 psu, 6월 33.3 psu, 7월 31.1, 8월 30.8 psu로 시간적으로 변동이 크게 나 타났으며(Fig. 2B), 특히, 8월의 공간분포에서는 거제와 부산 연안에서 30 psu 정도의 낮은 염분이 분포하였다(Fig. 3).

Chl.-a 농도는 표층과 저층에서 각각 평균 0.56-1.29 μg L⁻¹과

0.41-1.40 μg L⁻¹ 범위로 시기와 계절에 따라 표층과 저층간 차 이를 보였으며, 표층과 저층은 각각 8월과 4월에 가장 높았고, 6 월과 7월에 가장 낮은 농도를 나타냈다(Fig. 2C, 2D).

동물플랑크톤 출현 양상

봄과 여름철 남해안에서 출현한 동물플랑크톤은 요각류 18 속 45분류군, 지각류 3속 3종을 포함하여 총 80개 분류군이



Fig. 4. Monthly changes in vertical structure of water temperature (°C) in the southern coast of Korea.

출현하였다. 조사기간 동안 동물플랑크톤 출현개체수는 평균 5,611-11,720 ind. m⁻³ 범위였으며, 5월과 6월의 평균 출현개 체수는 각각 5,907 ind. m⁻³, 5,612 ind. m⁻³으로 4월에 비해 감 소하였지만, 7월과 8월에 다시 증가하는 양상이었다. 특히, 6 월부터 8월에는 Acartia pacifica, A. erythraea, Centropages dorsispinatus, Subeucalanus mucronatus와 같은 난수성 종들 이 간헐적으로 출현하는 특징을 보였다. 동물플랑크톤과 요각 류의 시·공간적 분포는 유사한 양상이었으며(Fig. 5), 4월부터 7월까지 남해도-부산 연안에서 높은 출현 개체수를 보였지만, 8월에는 전 연안해역에서 높게 형성되었다. 출현 분류군 중 최 우점한 Paracalanus parvus s. 1.과 Paracalanus copepodites는 4 월에 여수-부산 연안에서 높은 출현밀도를 보인 후 7월까지 유 지되다가 8월에는 거제도 동부 해역에서 높은 출현밀도를 나타 냈다(Fig. 6).

동물플랑크톤 생체량(Biomass)은 3.4-5,563 mg m³으로 계 절적적인 변동 폭이 매우 크게 나타났지만, 동물플랑크톤 출현 개체수의 변동양상과 유사한 양상을 보였다(Fig. 7A). 월별 생 체량 범위는 평균 41.6-1,086 mg m³으로 6월에 가장 낮았고, 8 월에 가장 높게 나타났으며, 모든 해역에서 요각류의 출현개체 수와 생체량이 동시에 증가하는 양상이었다.

자치어 종조성 및 시·공간적 분포

조사기간 동안 출현한 자치어는 종 수준까지 동정된 24속 28 종을 포함하여 10목, 23과, 41개 분류군이 채집되었으며(Table 1), 종 수준까지 동정된 분류군별 출현종수는 망둑어과(Gobiidae) 1종, 볼락과(Sebastidae) 3종, 참서대과(Cynoglossidae) 4 종, 쥐치과(Monacanthidae) 2종, 넙치과(Paralichthyidae) 2종 이 채집되었다. 종 수준까지 동정된 자치어들 중 주요 분류군 들은 멸치(*Engraulis japonicus*), 망둑어류(Gobiidae spp.), 수 조기(Nibea albiflora), 실양태(Callionymus valenciennei), 쏨 뱅이류(Sebastiscus spp.), 보구치(Pennahia argentata), 불볼락 (Sebastes thompsoni), 청베도라치(Parablennius yatabei), 쌍동 가리(Parapercis sexfasciata)순이었고, 과(family) 수준으로 채 집된 분류군들을 제외하면, 출현 개체수가 적은 대부분의 종은 간헐적으로 채집되었다.

자치어의 계절별 출현종수는 7-22 분류군의 범위로 5월에 가장 낮았고, 8월에 가장 높았다(Fig. 7B). 월별 전체 출현개체 수는 193.6-1,915.6 ind. 10 m³의 범위였으며, 월별 평균 출현 개체수는 6.4-63.9 ind. 10 m³의 범위로 7월에 가장 높았으며 (Fig. 7C), 특히, 이 기간에는 멸치와 망둑어류 자치어들이 높은 밀도로 출현하는 특징을 보였다(Table 1). 종 다양도 지수(*H*) 는 0.11-1.49의 범위로 출현종수가 증가했던 7월에 가장 높게 나타났다(Fig. 7D).

자치어의 시·공간적 분포 특성을 살펴보면, 4월에 고흥과 거 제연안을 중심으로 분포한 이후 5월에는 고흥연안을 제외한 해 역에서 낮은 출현밀도를 보였지만, 6월과 7월에는 여수연안에 서 부산까지 전체 자치어와 멸치 자치어의 출현밀도가 증가한 이후, 8월에는 거제도와 부산연안을 제외한 해역에서 대폭 감 소하였다(Fig. 8). 망둑어류 자치어는 남해 서부해역(완도-여 수연안)을 중심으로 분포하는 것이 특징적이었으며, 특히, 7월 에 고흥 연안에서 높게 나타났다(Fig. 9). 쏨뱅이류 자치어는 4 월에 완도-고흥 연안까지 낮은 분포밀도로 출현하였고, 5월에 는 고흥 연안의 일부 해역에서 분포밀도가 증가하는 특징을 나 타냈다(Fig. 9). 수조기 자치어는 여름철인 6월과 7월에 완도에 서 남해도까지 분포하였고, 6월에 출현개체수가 가장 높게 나타 났다(Fig. 10). 실양태 자치어는 4월을 제외한 시기에 고흥-거 제 연안까지 출현하였고 6월에는 남해도 연안의 일부 해역에 서 높은 분포밀도를 나타냈다(Fig. 10). 이외에도 출현개체수

Family	Species	April	May	June	July	August	Total
Engraulidae	Engraulis japonicus	80.8	13.1	468.4	774.3	181.4	1,518.0
Engraulidae	Engraulidae sp.				0.4		0.4
Labridae	Halichoeres poecilopterus					0.4	0.4
Labridae	Labridae sp.				0.4		0.4
Sciaenidae	Johnius grypotus				3.9	0.4	4.3
Sciaenidae	Nibea albiflora			116.4	12.5		128.9
Sciaenidae	Pennahia argentata				37.0	0.4	37.4
Sciaenidae	Sciaenidae spp.		0.1	0.7	13.6	1.2	15.6
Scorpaenidae	Scorpaenidae sp.					0.2	0.2
Blenniidae	Parablennius yatabei				14.0		14.0
Blenniidae	Omobranchus elegans					1.2	1.2
Leiognathidae	Leiognathus nuchalis			1.2	12.1	0.4	13.7
Pinguipedidae	Parapercis sexfasciata			1.4		0.3	1.7
Platycephalidae	Platycephalus indicus			3.9	2.3	0.5	6.7
Sillaginidae	Sillago japonica				0.8	0.3	1.1
Sphyraenidae	Sphyraena pinguis				1.6		1.6
Gobiidae	Odentamblyopus rubicundus				0.4		0.4
Gobiidae	Gobiidae spp.	439.9	136.9	106.4	1026.5	141.3	1,851.0
Sebastidae	Sebastes vulpes	0.2					0.2
Sebastidae	Sebastes thompsoni	17.6					17.6
Sebastidae	Sebastes inermis	2.0					2.0
Sebastidae	Sebastiscus spp.	25.7	32.3	0.3			58.3
Cynoglossidae	Cynoglossus robustus			1.6			1.6
Cynoglossidae	Cynoglossus abbreviatus	0.4					0.4
Cynoglossidae	Cynoglossus joyneri				3.5	3.5	7.0
Cynoglossidae	Cynoglossus interruptus					0.6	0.6
Cynoglossidae	Cynoglossidae sp.			0.6	0.8	3.0	4.4
Soleidae	Soleidae sp.			1.0			1.0
Paralichthyidae	Paralichthys olivaceus			0.8			0.8
Paralichthyidae	Pseudorhombus pentophthalmus				0.8		0.8
Pleuronectidae	Pleuronectidae sp.	0.2	0.1	0.3			0.6
Muraenidae	Gymnothorax minor					0.3	0.3
Apogonidae	<i>Gymnapogon</i> sp.					0.7	0.7
Trichiuridae	Trichiurus lepturus				0.2		0.2
Lophiidae	Lophius litulon		0.1				0.1
Callionymidae	Callionymus valenciennei		11.0	22.3	9.7	6.0	49.0
Monacanthidae	Rudarius ercodes					1.0	1.0
Monacanthidae	Stephanolepis cirrhifer					0.5	0.5
Monacanthidae	Monacanthidae sp.				0.8		0.8
Carangidae	Caranginae sp.					0.3	0.3
Unidentified	Unidentified larvae	0.6		5.6		5.4	11.6
Total (ind. 10 m ⁻³)		567.4	193.6	730.9	1,915.6	349.3	3,756.8

Table 1. Taxa composition and total abundance of fish larvae in the southern coast of Korea



Fig. 5. Spatial and temporal distribution of zooplankton and copepods abundance in the southern coast of Korea.

는 낮았지만 남해안의 주요 상업어종인 용서대(*Cynoglossus abbreviates*)의 자치어가 4월, 개서대(*Cynoglossus robustus*)의 자치어가 6월, 참서대(*Cynoglossus joyneri*)의 자치어가 7, 8월 에 출현하였다.

군집구조

```
남해안 자치어 출현개체수를 기반으로 nMDS 배열법으로 군
```

집분석을 수행한 결과(Fig. 11), 유사도 50%를 기준으로 4-5월 (A그룹)과 6-8월(B그룹)의 2개 그룹으로 A그룹은 망둑어류, 쏨뱅이류, 멸치 자치어, B그룹은 멸치, 망둑어류, 실양태 자치어 가 각 군집에 영향을 주는 분류군으로 확인되었다. 조사기간 동 안 계절별로 우점한 멸치, 망둑어류, 쏨뱅이류, 실양태 자치어는 각 그룹이 구분되는데 중요한 기여종으로 확인되었다(Table 2).



Fig. 6. Spatial and temporal distribution of Paracalanus parvus s. 1. and Paracalanus copepodites abundance in the southern coast of Korea.

주요 분류군과 환경요인 분석

남해안에서 출현한 자치어의 주요 분류군과 환경요인(수온, 염분, 표층과 저층 Chl.-a 농도, 동물플랑크톤 현존량과 생체 량, 주요 요각류 현존량)간의 중복분석(RDA)을 실시한 결과 (Fig. 12), 제1축과 제2축의 고유치(eigenvalue)는 각각 0.192와 0.070이었고, 제1축과 제2축의 전체 자료 분산에 대한 누적 기 여율은 23.5%이었다. 제1축과 제2축에서 환경요인에 대한 주 요 분류군들과 11개 환경요인과의 관계가 91.8%로 설명되었다 (Table 3). 중복분석 결과에서 수온, 동물플랑크톤 및 *P. parvus* s. 1.의 출현개체수가 자치어의 시·공간적 분포에 영향을 주는 환경요인으로 파악되었다(Table 4). 멸치 자치어는 동물플랑크



Fig. 7. Monthly variations in zooplankton and number of species, abundance, and species diversity index of larval fish collected in the southern coast of Korea. A, Zooplankton biomass; B, Number of species; C, Abundance; D, Species diversity (H). Data are mean with standard deviation indicated by error bars.

톤, *Paracalanus* copepodites, *Paracalanus* nauplii 출현개체수 와 양의 상관성, 넙치, 실양태, 양태 자치어는 *Oithona* copepodites, *Oithona* nauplii, *Oithona similis*와 양의 상관성을 보였을 뿐, 나머지 자치어들은 환경요인과의 상관성을 보이지 않았다.

고 찰

봄과 여름철 남해안에서 출현하는 자치어는 종 수준까지 동 정된 24속 28종을 포함하여 23과, 41개 분류군이었고, 이들의 군집은 멸치(E. japonicus)와 망둑어류(Gobiidae) 자치어를 포 함한 연안 정착성과 회유성 종들에 의해서 분포와 군집이 형성 되는 것을 확인할 수 있었으며, 특히, 멸치, 망둑어류, 쏨뱅이류 (Sebastiscus spp.) 자치어들의 분포밀도가 높은 것이 특징적이 었다. 남해안 전 해역(완도-부산 연안)에서 대상이 선행된 연 구를 찾아볼 수 없어 직접적인 비교는 어렵지만 같은 조사기간 인 4월부터 8월까지 남해 중부(고흥-남해도연안)를 대상으로 조사한 42개 분류군(Yoo et al., 2017) 보다 낮게 나타났다. 한 국 남해안과 같이 반폐쇄적 해역과 개방적인 해역들로 이루어 진 해역에 서식하는 자치어들의 종조성과 시·공간적 분포는 연 안생태계의 환경적인 특성에 의해서 결정되고, 이들의 군집 구 조는 일부 우점종과 희소종(rare species)들의 영향을 받는 것 으로 알려져 있다(Ramos et al., 2006). 또한, 자치어의 시·공 간적 분포와 서식은 해양환경 조건에 매우 민감하게 반응하고 (Shao et al., 2001), 먹이생물(Roman et al., 2019; Pepin and Penney, 2000), 수온과 염분(Houde, 1989; Laprise and Pepin, 1995; Wang et al., 2021)의 변화에 의해서 영향을 받게 된다. 특 히, 어류들이 서식하는 해역의 수온이 상승하게 되면 산란시기 가 빨라지고(Thaxton et al., 2020), 산란기간이 길어지기도 하 며(Acha et al., 2012), 알의 부화 시간 단축과 조기 성숙이 발생 하거나(Hassell et al., 2008), 산란 해역이 북상하는(Auth et al., 2018; Zhang et al., 2019) 등 자치어의 시·공간적 분포를 변화 시킬 수 있다. 남해안은 과거보다 수온이 지속적으로 상승하고 있으며(Park et al., 2019; Han and Lee, 2020), 해마다 여름철이 되면 이상 고수온이 발생하는 것으로 알려져 있다(KMA, 2017, Yoo et al., 2018).

조사기간 동안 남해안의 수온은 전형적인 계절변화를 보였 지만, 8월에 거제도 동부 일부해역을 제외한 남해안 전역에서 26℃ 이상의 고수온이 발생하면서 이 시기에 자치어의 출현종 수는 높았으나 분포밀도는 극히 낮았고, 조사기간 중 가장 우점 하였던 멸치는 분포밀도가 낮았던 5월과 8월을 제외하면 남해 도에서 부산연안을 중심으로 분포하는 특성을 나타냈다. 특히, 고수온이 발생한 8월에는 남해 연안의 일부 해역에서만 출현하 는 것이 특징적이었다. 중복분석(RDA) 결과, 남해안에서 봄과 여름철에 출현하는 자치어들의 시·공간적 분포에 영향을 주는 환경요인들은 수온, 동물플랑크톤 및 부유성 요각류인 P. parvuss. l.의 분포밀도로 확인되었다. 수온은 어류의 생리·생태 및 생활사에 영향을 주는 가장 중요한 환경요인이며(Machado et al., 2017; Santos and Severi, 2019; Wang et al., 2021), 산란과 부화 후 성장은 먹이생물인 동물플랑크톤의 현존량과 섭식률의 영향을 받게 된다(Azeiteiro et al., 2006). 본 연구에서는 조사기 간 동안 연안에 자치어들의 시·공간적 분포에 영향을 줄 수 있 는 동물플랑크톤과 P. parvus s. l.이 연안을 중심으로 높은 밀도 로 분포하였지만, 여름철 산란군들이 산란에 참여했음에도 불 구하고 연안 보다는 외해역에서 간헐적인 출현을 보여 먹이생 물의 영향 보다는 이 시기의 고수온 형성이 멸치를 포함한 자치



Fig. 8. Spatial and temporal distribution of total fish and Engraulis japonicus larvae abundance in the southern coast of Korea.

어의 발생에 제한요인으로 작용했을 가능성이 높은 것으로 판 단된다(Takasuka and Aoki, 2006; Okazaki and Nakata, 2007; Yoo et al., 2017). 남해안 자치어 군집은 4-5월과 6-8월의 유의한 두 그룹으로 구분되었는데, 이는 봄철과 여름철 산란군들에 의해 군집이 구 분되는 것으로 판단할 수 있다. 남해안 주요 출현 분류군들의 분



Fig. 9. Spatial and temporal distribution of Gobiidae spp. and Sebastiscus spp. larvae abundance in the southern coast of Korea.

포에 영향을 주는 환경요인 중, 수온과 자치어의 먹이생물인 동 물플랑크톤 및 *P. parvus* s. l.의 분포밀도가 자치어 군집 구조에 영향을 미치는 중요한 요인이었지만, 염분은 자치어의 군집 구 조에 유의한 영향을 미치지 않았다. 남해안의 대부분 해역들이 비교적 수심이 깊지 않고 수온은 계절적 변화가 있기 때문에 광 범위한 수온에 적응한 종이 우점할 수 있는데, 본 연구에서는



Fig. 10. Spatial and temporal distribution of Nibea albiflora and Callionymus valenciennei larvae abundance in the southern coast of Korea.

조사기간동안 멸치를 포함하여 망둑어류 자치어들이 우점하는 특징을 보였다. 남해안에서 주요 상업어종인 멸치는 매월 지속 적으로 출현하였는데, 특히, 수온 연직분포의 형성과 확산이 되 는 시기인 4-7월 수심별 수온을 확인한 결과에서 봄철인 4월의 대마난류의 세력확장(Choo, 2002)에 따라 거제 동부해역에서 15°C 이상의 수온으로 전선역(frontal zone)이 형성된 곳에서



Fig. 11. Non-metric multidimensional scaling (nMDS) ordinations plot of sampling stations based on zooplankton abundance in the southern coast of Korea.

멸치 자치어가 집중 출현하는 특징을 보였다. 멸치는 성장단계 에 따라 이용하는 먹이생물의 차이는 발생하지만 주로 *Calanus sinicus*, *P. parvus* s. l., *Oithona*속 요각류와 같은 부유성 요각류 들을 주 먹이생물로 이용하는데(Uotani et al., 1978; Kim et al., 2013), 본 연구의 중복분석 결과에서 멸치는 *P. parvus* s. l.와 상 관성을 보였으며, 멸치 자치어가 분포하고 있는 해역을 중심으 로 분포하고 있음을 확인할 수 있었다. 하지만, 8월에 멸치 자치 어의 먹이생물로 이용되는 *P. parvus* s. l.과 *Oithona*속 요각류가 풍부했음에도 불구하고 거제도 동부를 제외한 남해안 전역에서 26℃ 이상의 고수온이 형성되면서 멸치 자치어의 출현량이 대

Table 2. Simper list of taxa contributing mostly to similarities within the following periods, with a cut-off at 99%

Taxon	Group (average similarity)	Contribution (%)	Cumulative contribution (%)
A-group (April-May)			
Gobiidae spp.	35.99	77.88	77.88
<i>Sebastiscus</i> spp.	6.76	14.63	92.50
Engraulis japonicus	3.44	7.44	99.94
B-group (June-August)			
Engraulis japonicus	28.34	64.89	64.89
Gobiidae spp.	13.41	30.70	95.60
Callionymus valenciennei	0.79	1.81	97.41



Fig. 12. RDA biplot for environmental factors (red arrows) and dominant copepods (black arrows). Labels are: Temp, Temperature; Sal, Salinity; Chl-a, Chlorophyull-a; Z. den, Zooplankton density; P. par, *Paracalanus parvus* s. 1.; C. sinic, *Calanus sinicus*; O. simi, *Oithona similis*; O. cope, *Oithona* copepodites; O. naup, *Oithona* nauplii; E. jap, *Engraulis japonicus*; S. thom, *Sebstes thompsoni*; Se. spp, *Sebastiscus* spp.; Cy. joyp, *Cynoglossus joy-neri*; Cy. abbr, *Cynoglossus abbreviates*; Cy. robu, *Cynoglossus robustus*; Cy. sp., *Cynoglossus* sp.; Jo. Gry, *Johnius grypotus*; N. albi, *Nibea albiflora*; Pe. arg, *Pennahia argentata*; Pa. oli, *Paralich-thys olivaceus*; Pl. indi, *Platycephalus indicus*; Ce. vale, *Calliony-mus valenciennei*.

폭감소하여 거제도 인근해역에서 간헐적으로 출현하는 특성을 보였다. 이는 4-7월에 멸치가 산란할 수 있는 적수온이 형성되 면서 자치어의 출현량이 증가하였지만, 8월에는 멸치의 산란 적 수온인 15-25°C (Tsuruta, 2001) 보다 높아 결과적으로 산란밀 도가 급감하는 양상과 일치하였다(Yoo et al., 2018).

Table 3. Summary of redundancy analysis (RDA) for dominant taxa and different environmental factors in the coastal waters of Korea

	Axes-1	Axes-2	Axes-3	Axes-4
Eigenvalues	0.153	0.062	0.012	0.005
Species-environmental correlations	0.615	0.372	0.467	0.419
Cumulative percentage variance of species data	15.3	21.5	22.7	23.2
Species-environment relation	65.4	91.8	97.0	99.0
Sum of all eigenvalues		1.0	000	
Sum of all canonical eigenvalues	S	0.2	235	

	λ	F irebie	P-value	Correlation	
Environmental factors		F-value		Axis-1	Axis-2
Temperature	0.05	8.95	0.002	0.674	0.0996
Salinity	0.01	2.13	0.074	0.0530	-0.1348
Chlorophyll-a	0	0.54	0.632	0.0436	0.0250
Zooplankton density	0.11	18.4	0.002	0.4723	0.0154
Paracalanus parvus s. l.	0.05	8.68	0.004	0.3501	0.2244
Oithona similis	0	0.61	0.610	0.3131	-0.1479
Calanus sinicus	0	0.53	0.654	0.0782	-0.0836
Oithona copepodites	0.01	1.23	0.284	0.3737	-0.0337
Paracalnaus nauplii	0	0.74	0.510	0.3695	0.0324
<i>Oithona</i> nauplii	0.01	0.72	0.536	0.2528	-0.0805

Table 4. Conditional effects and correlations of environmental variables with the redundancy analysis (RDA) axes

망둑어과(Gobiidae) 자치어는 군집분석으로 구분된 각 그룹 에 멸치 다음으로 크게 기여하는 종으로 확인되었는데, 망둑어 과 어류들은 남해안의 대표적인 주거종(resident species)이지 만(Lee et al., 2000), 종 다양성이 높아 종 동정이 어렵고 국내에 서는 이들의 분포와 서식에 대한 연구들도 부족하다. 특히, 남 해안에 서식하는 망둑어류 중 도화망둑(*Amblychaeturichthys hexanema*) (Myoung et al., 2021)과 쉬쉬망둑(*Chaeturichthys stigmatias*) (Ji et al., 2020)이 봄과 여름철에 주로 출현하는 것 으로 알려져 있어 본 연구에서 출현한 망둑어류 자치어들은 이 들 두 종일 가능성이 높지만, 형태학적으로 종 동정이 어렵다는 점에서 향후 남해안에 출현하는 망둑어류들에 대한 형태적 관 찰과 함께 유전학적 분석을 통한 분자동정 정보 확보가 필요할 것으로 보인다.

수조기(N. albiflora)의 자치어는 5월 말부터 8월 초까지 수온 19-23°C 범위에서 산란하며(Takita, 1974; Kakuda and Nakai, 1981), 산란기에는 수심이 낮은 내만으로 이동하는 습성이 있 는 것으로 알려져 있다(Xianye et al., 2017). 본 연구에서도 산 란기간인 6월과 7월에 수심이 낮은 완도에서 남해도까지 분포 하였지만, 8월에는 수조기 성어가 서식하고 산란하기 적절하 지 않은 고수온이 형성되면서 조사해역에서 출현하지 않는 것 으로 판단되었다. 하지만, 여름철 고수온임에도 불구하고 쌍동 가리(P. sexfasciata), 양태(Platycephalus indicus), 보구치(P. argentata)의 자치어가 출현하는 특징을 나타냈는데, 이들 중에서 보구치(P. argentata)의 주 산란기는 6-7월로 알려져 있어(Jeon et al., 2020), 본 연구에서 8월에 출현한 치어들은 7월에 산란· 부화한 자어가 치어로 성장하여 연안에 머물렀던 개체들이 채 집된 것으로 추정된다. 또한, 분포밀도는 낮았지만 상업적으로 중요한 어종인 용서대(C. abbreviates), 개서대(C. robustus), 참 서대(C. joyneri)의 자치어가 출현하는 특징을 보였다. 이와 같 이 자치어들의 출현양상을 놓고 볼 때, 남해안은 봄과 여름철 산 란군들의 산란·성육장으로써 이용되는 중요한 해역임을 확인 할 수 있었고, 남해안 연안과 내만에서의 자치어 군집은 조사 기간 동안 우점종인 멸치를 포함하여 망둑어과, 쏨뱅이속(*Se-bastiscus*), 볼락과(Sebastidae), 민어과(Sciaenidae), 참서대과 (Cynoglossidae) 자치어들에 의해 유지되는 특성을 보이는 것 으로 판단된다.

어류의 초기생활사 단계에 관한 연구는 개체군 집단의 성장 및 가입과 환경요인 간의 관계를 설명하는데 중요한 역할을 하 게 되는데(Álvarez et al., 2012), 자치어의 시·공간적 분포 양상 에 대한 지식들은 어업자원의 효율적인 관리와 보전을 위한 필 수적인 과학적 정보를 제공하게 된다. 본 연구를 통해 봄과 여 름철 남해안 자치어의 시·공간적 분포에 영향을 주는 환경요인 들을 파악하였으며, 멸치와 같은 회유성 부어류를 포함하여 연 안 정착성 종들의 산란·성육장으로서 남해안이 매우 중요한 역 할을 담당하고 있는 점을 확인할 수 있었다. 또한, 남해안에 출 현하는 자치어의 시·공간적 분포는 수온을 포함하여 자치어들 의 먹이생물인 P. parvus s. l.과 Oithona속 요각류의 출현개체 수가 환경요인으로 작용한 것으로 추정된다. 특히, 자치어의 출 현 해역과 시기를 볼 때, 여름철 발생하는 고수온에 따라 자치어 의 시 공간적 분포와 군집에 영향을 미칠 수 있다는 것을 확인 할 수 있었다. 그러나 본 연구는 남해안에 봄철과 여름철에 출현 하는 자치어 시·공간적 분포에 영향을 미치는 환경요인들에 대 한 예비 연구로 향후 자치어 군집에 대한 추가적인 물리·생물학 적 환경요인에 대한 영향과 여름철 고수온이 발생되는 해역에 서 분포하는 난의 발생과 부화 및 자치어의 성장률과 생존률을 밝히는 연구가 필요할 것으로 판단된다.

사 사

이 연구는 2022년 국립수산과학원(수산과학연구사업 R2022 037)에 의해 수행되었습니다. 현장자료 확보를 위해 수고하셨 던 탐구10호와 11호 승조원들께 감사의 말씀을 드립니다.

References

- Acha EM, Simionato CG, Carozza C and Mianzan H. 2012. Climate-induced year-class fluctuations of whitemouth croaker *Micropogonias furnieri* (Pisces, Sciaenidae) in the Rio de la Plata estuary, Argentina-Uruguay. Fish Oceanogr 21, 58-77. https://doi.org/10.1111/j.1365-2419.2011.00609.x.
- Álvarez I, Catalán I, Jordi A, Palmer M, Sabatés A and Basterretxea G. 2012. Drivers of larval fish assemblage shift during the spring-summer transition in the coastal Mediterranean. Estuar Coast Shelf Sci 97, 127-135. https://doi. org/10.1016/j.ecss.2011.11.029.
- Auth TD, Daly EA, Brodeur RD and Fisher JL. 2018. Phenological and distributional shifts in ichthyoplankton associated with recent warming in the northeast Pacific ocean. Glob Change Biol 24, 259-272. https://doi.org/10.1111/ gcb.13872.
- Azeiteiro UM, Bacelar-Nicolau L, Resende P, Goncalves F and Pereira MJ. 2006. Larval fish distribution in shallow coastal waters off North Western Iberia (N Atlantic). Estuar Coast Shelf Sci 69, 554-566. https://doi.org/10.1016/j. ecss.2006.05.023.
- Baek SH, Shin K, Hyun B, Jang PG, Kim HS and Hwang OM. 2010. Distribution characteristics characteristics and community structure of phytoplankton in the different water mass during early summer of southern sea of Korea. Ocean Polar Res 32, 1-13. https://doi.org/10.4217/OPR.2010.32.1.001.
- Blaxter JHS. 1991. The effect of temperature on larval fishes. Neth J Zool42, 336-357. https://doi.org/10.1163/156854291X00379.
- Boxshall GA and Halsey SH. 2004. An Introduction to Copeppod Diversity. Ray Society, London, U.K., 1-966.
- Butler JL, Jacobson LD, Barnes JT and Moser HG. 2003. Biology and population dynamics of cowcod (*Sebastes levis*) in the southern California Bight. Fish Bull 101, 260-280.
- Cha SS and Park KJ. 1994. Distribution of the ichthyoplankton in Kwangyang Bay. Korean J Ichthyol 6, 60-70.
- Chang KI, Kim K, Lee SW and Shim TB. 1995. Hydrography and sub-tidal current in the Cheju strait in spring, 1983. J Korean Soc Oceanog 30, 203-205.
- Chihara M and Murano M.1997. An illustrated guide to marine plankton in Japan. Tokai University Press, Tokyo, Japan, 1-1574.
- Cho YK and Kim K. 1995. Characteristics and origin of the cold water in the South Sea of Korea in summer. J Korean Soc Oceanog 29, 414-421.
- Choi HC, Park JM and Huh SH. 2015. Spatio-temporal variation in species composition and abundance of larval fish assemblages in the Nakdong River estuary, Korea. Korean J Ichthyol 27, 104-115.
- Choo HS. 2002. The variations of oceanic conditions and the distributions of eggs and larvae of anchovy in the southern sea of Korea in summer. Korean J Fish Aquat Sic 35, 77-85.

https://doi.org/10.5657/kfas.2002.35.1.077.

- Clarke KR and Warwick RM. 2001. Change in marine communities: An approach to statistical analysis and interpretation, 2nd ed. Primer-E Ltd., Plymouth, U.K., 1-172.
- Froese R and Pauly D. 2022. FishBase. World Wide Web electronic publication, Kiel, Germany. Retrieved from http:// www.fishbase.org Jan 31, 2022.
- Fuiman LA and Werner RG. 2002. Fisheries science: the unique contributions of early life history stages. Blackwell Science. Ltd., Hoboken, NJ, U.S.A., 1-340.
- Han IS and Lee JS. 2020. Change the annual amplitude of sea surface temperature due to climate change in a recent decade around the Korean peninsula. J Kor Soc Mar Environ Saf 26, 233-241. https://doi.org/10.7837/kosomes.2020.26.3.233.
- Han KH, Shin YH and Hwang DS. 2002. Seasonal variations in species composition of ichthyoplankton off Kohung Peninsula, Korea. Korean J Ichthyol 14, 45-52.
- Hassell KL, Coutin PC and Nugegoda D. 2008. Hypoxia, low salinity and lowered temperature reduce embryo survival and hatch rates in black bream *Acanthopagrus butcheri* (Munro, 1949). J Fish Biol 72, 1623-1636. https://doi. org/10.1111/j.1095-8649.2008.01829.x.
- Houde ED. 1989. Comparative growth, mortality, and energetic of marine fish larvae: temperature and implied latitudinal effects. Fish Bull 87, 471-495.
- Huh SH, Han MI, Park JM and Baeck GW. 2011. Seasonal variation in species composition and abundance of larvae fish assemblages in the southwestern Jinhae Bay, Korea. Korean J Ichthyl 23, 37-45.
- Jeon BS, Choi JH, Im YJ, Lee HW and Kim JW. 2020. Maturity and spawning of white croaker *Pennahia argentatus* in the southern sea of Korea. Korean J Fish Aquat Sco 53, 36-42. https://doi.org/10.5657/KFAS.2020.0036.
- Ji HS, Yoo HJ, Kim JK, Kim DN, Kim ST, Kim JN, Kim HJ,Moon SY, Shin DH, Oh TY, Yoo JT, Yoon EA, Lee SK, Lee HW, Lee HB, Im YJ, Jeong JM, Choi JH and Hwang KS.2020. Fish eggs, larvae and juveniles of Korea. Hangeul Graphics, Busan, Korea, 1-442.
- Kakuda S and Nakai K. 1981. On the maturity and spawning of *Nibea albiflora*. Bull Jpn Soc Sci Fish 47, 17-25. https://doi. org/10.2331/suisan.47.17.
- Kim JI, Kim JY, Choi YK, Oh HJ and Chu EK. 2005. Distribution of the anchovy eggs associated with coastal frontal structure in southern coastal waters of Korea. Korean J Ichthyol 17, 205-216.
- Kim JY and Kang YJ. 1992. Spawning ecology of anchovy, *Engraulis japonica* in the southern waters of Korea. Bull Korean Fish Soc 25, 331-340.
- Kim JY and Lo NCH. 2001. Temporal variation of seasonality of egg production and the spawning biomass of Pacific anchovy, *Engraulis japonicus*, in the southern waters of Korea in 1983-1994. Fish Oceanogr 10, 297-310. https://doi.

org/10.1046/j.1365-2419.2001.00175.x.

- Kim MJ, Youn SH, Kim JY and Oh CW. 2013. Feeding characteristics of the Japanese anchovy, *Engraulis japonicus* according to the distribution of zooplankton in the coastal water of southern Korea. Korean J Environ Biol 31, 275-287. https://doi.org/10.11626/KJEB.2013.31.4.275.
- KMA (Korea Meteorological Administration). 2017. 2016 Abnormal Climate Report. KMA, Seoul, Korea, 1-190.
- Ko JC, Seo YI, Kim HY, Lee SK, Cha HK and Kim JI. 2010. Distribution characteristics of eggs and larvae of the anchovy *Engraulis japonica* in the Yeosu and Tongyeong coastal waters of Korea. Korean J Ichthyol 22, 256-266.
- Laprise R and Pepin P. 1995. Factors influencing the spatiotemporal occurrence of fish eggs and larvae in a northern, physically dynamic coastal environment. Mar Ecol Prog Ser 122, 73-92. https://doi.org/10.3354/meps122073.
- Lee TW, Moon HT and Huh SH. 2000. Seasonal variation in fish species composition in the sheltered shallow water off Yongwon, Jinhae in the southern coast of Korea. J Korean Fish Soc 33, 243-249.
- Lie HJ and Cho CH. 1997. Surface current fields in the eastern East China Sea. J Korean Soc Oceanogr 32, 1-7.
- Lim DI, Um IK, Jeon SK, Yoo JM and Jung HS. 2003. Physiochemical characteristics of coastal pseudo-estuarine environmental formed during the summer flood season in the south coast of Korea. J Korean Soc Oceanogr The Sea 8, 151-163.
- MABIK (Marine Biodiversity Institute of Korea). 2021. I. Vertebrate. In: National List of Marine Species. Namu Press, Seocheon, Korea, 1-138.
- Machado I, Calliari D, Denicola A and Rodríguez-Graña L. 2017. Coupling suitable prey field to in situ fish larval condition and abundance in a subtropical estuary. Estuar Coast Shelf Sci 187, 31-42. https://doi.org/10.1016/j.ecss.2016.12.021.
- Miller BS and Kendall AW. 2009. Early Life History of Marine Fishes. University of California Press, Berkeley, CA, U.S.A. 1-376. https://doi.org/10.1525/9780520943766.
- Moon SY, Lee JH, Choi JH, Ji HS, Yoo JT, Kim JN and Im YJ. 2018. Seasonal variation of larval fish community in Jinhae Bay, Korea. Korean J Environ Biol 36, 140-149. https://doi. org/10.11626/KJEB.2018.36.2.140.
- Moon SY, Oh HJ and Soh HY. 2010. Seasonal variation of zooplankton communities in the southern coastal waters of Korea. Ocean Polar Res 32, 411-426. https://doi.org/10.4217/ OPR.2010.32.4.411.
- Myoung SH, Kwak SN, Kim JK and Williamson JE. 2021. Effect of freshwater discharge from Namgang Dam on ichthyoplankton assemblage structure in Jinju Bya, Korea. Aquat Living Resour 34, 18. https://doi.org/10.1051/alr2021017.
- Oh HJ, Moon SY and Soh HY. 2013. Seasonal changes of zooplankton communities along the coast of Geumo Arichipelago, Yeosu. Korean J Environ Biol 31, 192-203. https://doi.

org/10.11626/KJEB.2013.31.3.192.

- Okazaki Y and Nakata H. 2007. Effect of the mesoscale hydrographic features on larval fish distribution across the shelf break of East China Sea. Cont Shelf Res 27, 1616-1628. https://doi.org/10.1016/j.csr.2007.01.024.
- Park KD, JG Myoung, YJ Kang and YU Kim. 2005. Seasonal variation of abundance and species composition of ichthyoplankton in the coastal water off Tongyoung, Korea. J Korean Fish Soc 38, 385-392. https://doi.org/10.5657/ kfas.2005.38.6.385.
- Park MH, Song JY, Han IS and Lee JS. 2019. A study of longterm trends of SST in the Korean seas by reconstructing historical oceanic data. J Korean Soc Mar Environ Saf 25, 881-897. https://doi.org/10.7837/kosomes.2019.25.7.881.
- Parsons TR, Maita Y and Lalli GM. 1984. A Manual of Chemical and Biological Methods for Seawater Anlysis. Pergamon Press, Oxford, U.K. 1-173. https://doi.org/10.1016/C2009-0-07774-5.
- Pepin P and Penney R. 2000. Feeding by a larval fish community: impact on zooplankton. Mar Ecol Prog Ser 204, 199-212. https://doi.org/10.3354/meps204199.
- Ramos S, Cown RK, Ré P and Bordalo AA. 2006. Temporal and spatial distributions of larval fish assemblages in the Lima estuary (Portugal). Estuar Coast Shelf Sci 66, 303-314. https://doi.org/10.1016/j.ecss.2005.09.012.
- Roman M, Brandt SB, Houde ED and Pierson JJ. 2019. Interactive effects of hypoxia and temperature on coastal pelagic zooplankton and fish. Front Mar Sci 6, 139. https://doi. org/10.3389/fmars.2019.00139.
- Santos RVS and Severi W. 2019. Dynamics of early life-history stages of fish along an estuarine gradient. Fish Oceanogr 28, 402-418. https://doi.org/10.1111/fog.12420.
- Shannon CE and W Weaver. 1963. The Mathematical Theory of Communication. The University of Illinois Press, Urbana, IL, U.S.A. 1-144.
- Shao G, Yang R and Chen K. 2001. An Identification Guide of Marine Fish Eggs from Taiwan. Institude of Zoologe Academia Sinica, Nangang, Taipei.
- Song YF, Zhang LJ and Luo XX. 2019. Spatiotemporal distribution of fish eggs and larvae in the Huanghe (Yellow) River estuary, China in 2005-2016. J Oceanol Limnol 37, 1625-1637. https://doi.org/10.1007/s00343-019-8167-0.
- Takahashi M and Watanabe Y. 2004. Staging larval and early juvenile Japanese anchovy based on the degree of guanine deposition. J Fish Biol 64, 262-267. https://doi.org/10.1111/ j.1095-8649.2004.00283.x.
- Takasuka A and Aoki I. 2006. Environmental determinants of growth rates for larval Japanese anchovy *Engraulis japonicus* in different waters. Fish Oceangr 15, 139-149. https:// doi.org/10.1111/j.1365-2419.2005.00385.x.
- Takita T. 1974. Studies on the early life history of *Nibea albiflora* (Richardson) in Ariake Sound. Bull Fac Fish Nagasaki

Univ 38, 1-55.

- Thaxton WC, Taylor JC and Asch RG. 2020. Climate-associated trends and variability in ichthyoplankton phenology from the longest continuous larval fish time series on the east coast of the United States. Mar Ecol Prog Ser 650, 269-287. https://doi.org/10.3354/meps13404.
- Tsuruta Y. 2001. Life history strategy of Japanese anchovy. Nippon Sui Gak 67, 1133-1134. https://doi.org/10.2331/suisan.67.1133.
- Tzeng WN, Wang YT and Chang CW. 2002. Spatial and temporal variations of the estuarine larval fish community on the west coast of Taiwan. Mar Freshw Res 53, 419-430. https:// doi.org/10.1071/mf01136.
- Uotani I, Izuha A and Asai K. 1978. Food habits and selective feeding of anchovy larvae (*Engraulis japonica*). Bull Jpn Soc Sci Fish 44, 427-434.
- Valencia B, Giraldo A, Rivera-Gómez M, Izquierdo V and Cuellar-Chacón A. 2019. Effects of seasonal upwelling on hydrography and mesozooplankton communities in a Pacific tropical cove off Colombia. Rev Biol Trop 67, 945-962. https://doi.org/10.15517/rbt.v67i4.35489.
- Wang Y, Liang C, Chen Z, Liu S, Zhang H and Xian W. 2021. Spring ichthyoplankton assemblage structure in the Yangtze Estuary under environmental factors. Front Mar Sci 8, 806096. https://doi.org/10.3389/fnars.2021.806096.
- Watanabe S. 2010. Morphology observation. In: Basis of Fish Ecology. Tukamoto K, ed. Koseisha, Tokyo, Japan, 73-86.
- Wu GZ. 1989. The ecological characteristics of distribution of eggs, larvae and juveniles of the *Engraulis japonicus* (temminck & schlegel) and *Anchoviella commersonii* in the Changjiang River Estuary. J Oceanol Limnol 3, 217-229.
- Xianye Z, Kejian WU and Lunyu WU. 2017. Influence of the physical environment on the migration and distribution of *Nibea albiflora* in the Yellow Sea. J Ocean Univ China 16, 87-92. https://doi.org/10.1007/s11802-017-3036-y.
- Yang HS and Kim SS. 1990. A study on sea water and ocean current in the sea adjacent to Korea peninsula. Bull Korea Fish Soc 23, 417-424.
- Yoo JT, Kim YH, Lee SH and Kim JK. 2017. Community structure of larval fish assemblage in the coastal waters of southcentral Korea during spring and summer. Korean J Ichthyol 29, 80-86.
- Yoo JT, Kim YH, Song SH and Lee SH. 2018. Characteristics of egg and larval distributions and catch changes of anchovy in relation to abnormally high sea temperature in South Sea of Korea. J Korean Soc Fish Ocean Technol 54, 262-270. https://doi.org/10.3796/KSFOT.2018.54.3.262.
- Zhang H, Xian W and Liu S. 2015. Ichthyoplankton assemblage structure of springs in the Yangtze Estuary revealed by biological and environmental visions. PeerJ 3, e1186. https:// doi.org/10.7717/peerj.1186.

Zhang H, Xian W and Liu S. 2019. Seasonal variations of the

ichthyoplankton assemblage in the Yangtze Estuary and its relationship with environmental factors. PeerJ 7, e6482. https://doi.org/10.7717/peerj.6482.