

독도 주변해역 부유성 어란과 자치어의 종조성

신의철 · 윤석진* · 김진구¹ · 최광호

국립수산과학원 독도수산연구센터, ¹부경대학교 자원생물학과

Species Composition of Ichthyoplankton off Dokdo in the East Sea

Ui Cheol Shin, Seokjin Yoon*, Jin-Koo Kim¹ and Gwangho Choi

Dokdo Fisheries Research Center, National Institute of Fisheries Science, Pohang 37709, Korea

¹Department of marine biology, Pukyong National University, Busan 48513, Korea

Ichthyoplankton (fish eggs and larvae) were seasonally collected from 2017 to 2019 to clarify whether Dokdo serves as a fish spawning and/or nursery ground. Fish eggs were identified and classified into 16 species. The dominant fish egg species were *Engraulis japonicus*, *Maurolicus japonicus*, and *Parajulis poecilepterus*. Fish larvae were identified and classified into 15 species. The dominant fish larvae species were *E. japonicus*, *M. japonicus*, and *Sebastes owstoni*. A cluster analysis similarity percentages revealed two distinct groupings according to sample location (stations) with *E. japonicus* and *M. japonicus* as the main group influencers. *E. japonicus* was the dominant species off Dokdo. The species diversity and abundance peaked in summer. The diversity index, richness index, and evenness index fluctuated seasonally. There were no predominant species variations among the years. Sedentary species such as *P. poecilepterus*, *Semicossyphus reticulatus*, and *Glyptocephalus stelleri* occurred in the inshore stations. *E. japonicus*, *M. japonicus*, and *Trachipterus trachipterus* occurred in the offshore stations. Our results show these species use Dokdo as spawning and nursery grounds.

Keyword: Ichthyoplankton, Species composition, Dokdo, East Sea

서론

독도 주변해역은 한류와 난류가 만나 조경 수역을 형성하고 독도 섬 효과를 통해 용승이 활발히 일어남에 따라 영양염이 풍부하고 플랑크톤이 번성하며, 이를 먹이로 하는 다양한 어종이 분포하고 있다(Doty and Oguri, 1956; Kang et al., 2002; Palacios, 2002; Kim et al., 2004a; Choi et al., 2009). 독도 연안에는 정착성 어종이 연중 서식하고, 난류의 영향으로 수온이 높은 상층으로는 난류성 어종이 회유하며, 수온이 낮은 수층으로는 한류성 어종이 회유한다(Myoung, 2002; NIFS, 2019).

어류의 성장단계별 생태특성을 이해하고 산란·성육장을 구명하기 위한 어란·자치어 연구가 다양한 해역에서 이루어져 왔다(Kim, 1992; Han et al., 2003; Chun et al., 2004; Huh et al., 2013). 어란과 자치어는 해양물리환경에 큰 영향을 받으며, 뚜렷한 시공간적 분포특성을 가진다(Hjort, 1926; Saville and Schnack, 1981; Huh et al., 2011). 또한, 연급군의 강도를 결

정하는 데 큰 영향을 미치므로, 수산자원의 보호와 관리를 위한 중요한 자료로써 어란·자치어 연구결과가 활용될 수 있다(Ahlstrom, 1954; Rutherford, 2002; Chun et al., 2004).

독도에서의 어란·자치어 연구는 Kim et al. (2002)와 Lee et al. (2010b)에 의해 수행되었다. Kim et al. (2002)은 1999년 9월과 2000년 5월에 독도 근해 5개 정점에서 어란·자치어 조사를 실시하였고, Lee et al. (2010b)은 2009년 여름부터 2010년 봄까지 독도 연안 4개 정점, 근해 8개 정점에서 계절별(4회) 자치어 조사를 실시하였다. 이 연구에서는 최근 독도 주변해역에 출현하는 어란과 자치어의 종조성과 시공간 분포특성을 파악하고, 독도의 산란·성육장으로써 가치를 파악하고자 한다. 기존 연구와의 차별성을 두기 위하여, 2017년부터 2019년까지 3년간 계절별 총 12회 조사를 실시하였고, 정확한 종동정을 위하여 분자생물학적 방법을 도입하였으며, 다양한 생태지수를 이용하여 군집분석을 실시하였다.

*Corresponding author: Tel: +82. 54. 724. 1020 Fax: +82. 54. 724. 1088

E-mail address: seokjinyoon@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.2021.0498>

Korean J Fish Aquat Sci 54(4), 498-507, August 2021

Received 1 July 2021; Revised 14 July 2021; Accepted 3 August 2021

저자 직위: 신의철(석사후 인턴연구원), 윤석진(연구사), 김진구(교수), 최광호(연구원)

재료 및 방법

부유성 어란과 자치어 시료는 2017-2019년 2월, 5월, 8월(단, 2019년은 9월), 11월(연 4회, 총 12회) 독도 주변 11개 정점(St. 1-11; Fig. 1)에서 채집되었다. St. 1 (수심 10 m 내외)에서는 RN60네트(망구 직경 60 cm, 망목 330 μ m)를 사용하여 표층에서 5분간 수평채집을 실시하였고, St. 2-5 (수심 100 m 내외)에서는 봉고네트(망구 직경 60 cm, 망목 330, 500 μ m)를 사용하여 표층부터 저층까지 10분간 경사채집을 실시하였으며, St. 6-11 (수심 1,000 m 이심)에서는 봉고네트로 표층부터 200 m 까지 20분간 경사채집을 실시하였다. 수심 100 m 이전의 5개 정점(St. 1-5)을 독도 연안 정점, 수심 1,000 m 이심의 6개 정점(St. 6-11)을 독도 근해 정점으로 구분하였다. 네트의 예망속도는 0.5-1.0 m/s로 유지하였고, 네트 입구에 유량계(Hydro-Bios, Altenholz, Germany)를 설치하여 네트로 여과된 해수의 양을 측정하였으며, CTD (conductivity temperature depth profiler; SBE911 plus; Sea-bird electronics, Bellevue, WA, USA)를 이용하여 수심별 수온, 염분을 측정하였다.

채집된 시료는 95% 에탄올로 고정하여 실험실로 운반 후 해부현미경(SZH-10; Olympus, Tokyo, Japan)을 이용하여 어란의 형태, 난막의 질, 후색소포의 분포, 항문의 위치, 머리의 극 발달정도, 지느러미 발달 등의 외부형태형질을 확인하였고, Kim et al. (2011)과 Okiyama (2014)를 참고하여 종 수준까지 동정하였다. 형태 동정이 불가능한 어란과 자치어는 분자생물학적 동정을 실시하였다. DNA (deoxyribonucleic acid) extraction kit (Bioneer Co., Daejeon, Korea)를 이용하여 total DNA를 추출하였고, 중합효소연쇄반응(polymerase chain reaction, PCR)은 10X PCR buffer 3 μ L, 2.5 mM dNTP 2.4 μ L, forward primer 1 μ L, reverse primer 1 μ L, Takara Taq polymerase 0.1 μ L, total DNA 3 μ L에 총 30 μ L가 될 때까지 3차 증류수를 넣고 증폭하였다. 미토콘드리아 DNA의 cytochrome c oxidase subunit I (COI) 영역은 VF2 (5'-TCA ACC AAC CAC AAA

GAC ATT GGC AC-3')와 FishR2 (5'-ACT TCA GGG TGA CCG AAG AAT CAG AA-3') primer (Ward et al., 2005)를 이용하고, 16S rRNA 영역은 16SA (5'-ATG TTT TTG ATA AAC AGG CG-3')와 16SB (5'-ACG TGA TCT GAG TTC AGA CCG G-3') primer (Palumbi et al., 2002)를 이용하여 증폭하였다. PCR 조건, DNA 정제와 염기서열 분석은 Palumbi et al. (2002)를 참고하였다. 염기서열은 ABI 3730XL DNA analyzer에서 ABI prism big dye terminator v3.1 ready reaction cycle sequencing kit (Applied Biosystems, Foster City, CA, USA)를 이용하여 얻었다. COI과 16S rRNA 염기서열의 정렬은 BioEdit (ver. 7) (Hall, 1999)의 Clustal W (Thompson et al., 1994)를 이용하여 정렬하였다. 염기서열을 비교하기 위하여 NCBI (national center for biotechnology information) genbank database에 등록된 염기서열을 이용하였고, 독도 주요 출현 어종인 흑돔(*Semicossyphus reticulatus*)의 염기서열이 NCBI genbank database에 등록되어 있지 않아서 독도에서 채집한 성어의 염기서열을 추가 등록하였다. 유전적 거리는 MEGA 5 (Tamura et al., 2011)의 pairwise distance를 Kimura-2-parameter 모델(Kimura, 1980)로 계산하였고, 근린결합수(Saitou and Nei, 1987)는 MEGA 5 (Tamura et al., 2011)에서 작성하였으며, bootstrap은 1,000번 수행하였다.

동정된 어란과 자치어는 각 분류군 별로 계수한 후 1,000 m³당 개체수(ind./1,000 m³)로 환산하였고, 봉고네트를 사용하여 채집한 경우에는 네트 한 쌍(망목 330, 500 μ m)의 자료를 평균하였다. 군집분석을 위하여 종 다양도 지수(Shannon and Wiener, 1963), 종 풍부도 지수(Margalef, 1958), 종 균등도 지수(Pielou, 1966), Bray-Curtis 유사도 지수(Bray and Curtis, 1957)를 이용하였고, 종 기여도 분석을 위하여 SIMPER (similarity percentages) 분석을 실시하였다. 군집분석과 SIMPER 분석은 primer v7 statistical package (Clarke and Gorley, 2015)를 사용하였다. 연도별 분포양상 비교를 위하여 SPSS (v18.0)에서 Kruskal-Wallis 검정을 실시하였고, 사후분석은 Mann-Whitney 검

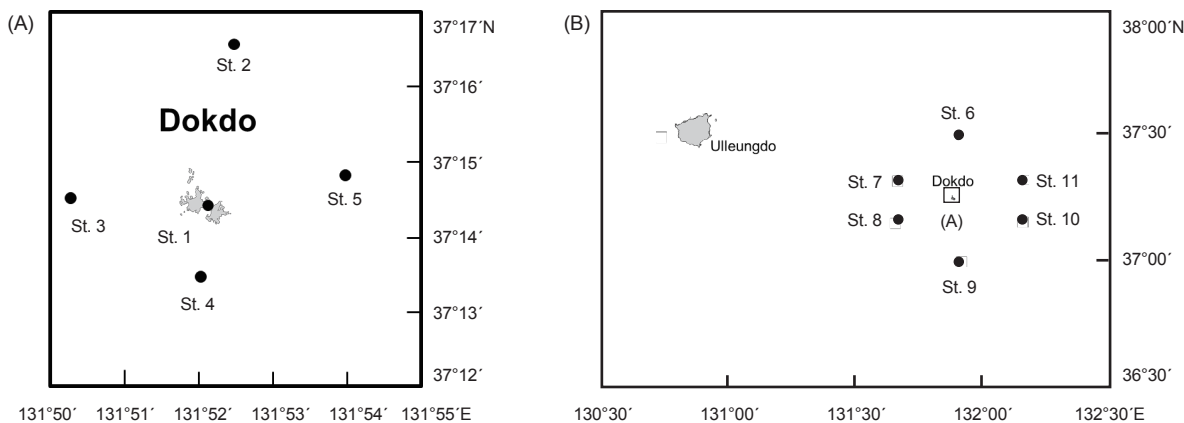


Fig. 1. Sampling stations of ichthyoplankton off Dokdo in 2017-2019. A, inshore; B, offshore.

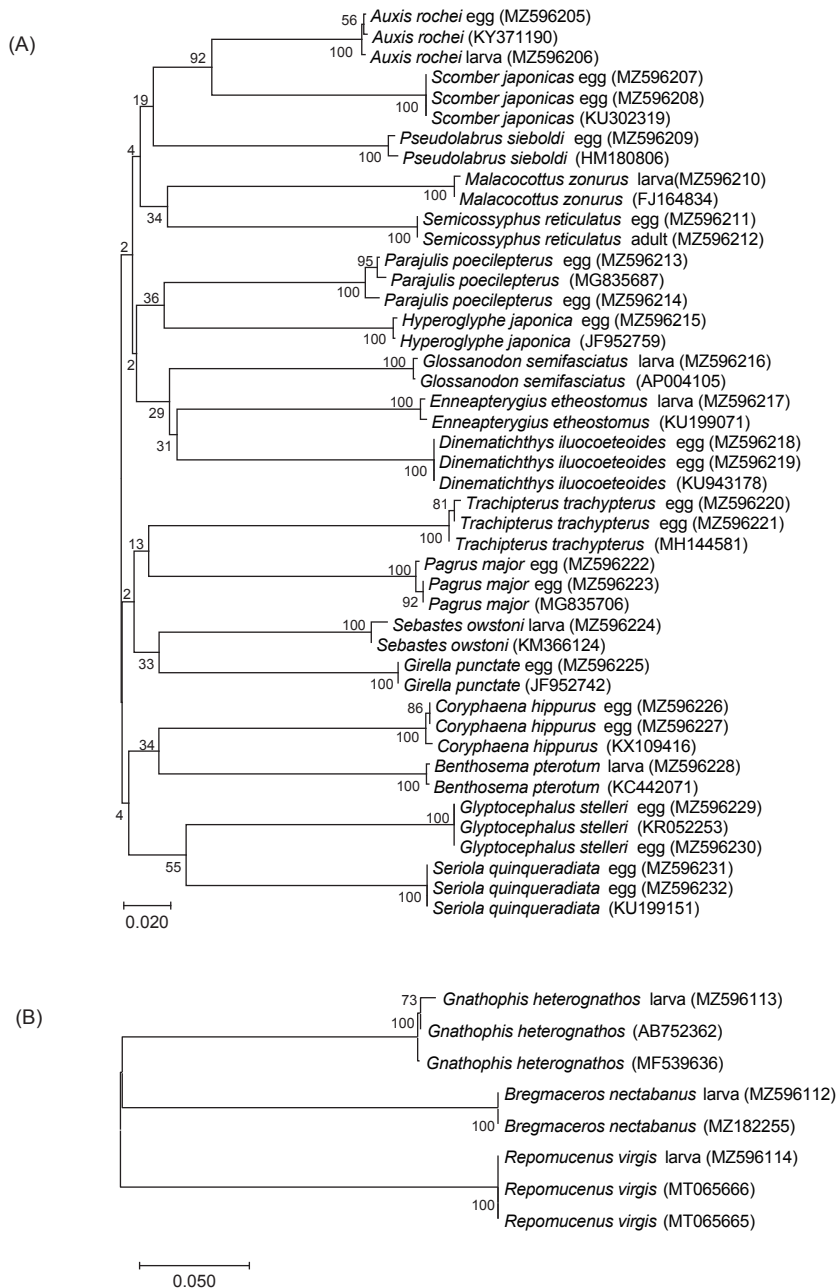


Fig. 2. Neighbor-joining tree based on partial sequences, showing the relationships among ichthyoplankton and adult fish. Numbers at branches indicate bootstrap probabilities in 1,000 bootstrap replications. Bar indicates genetic distance of 0.02. A, mtDNA COI; B, 16S ribosomal RNA.

정과 Bonferroni's method를 사용하였다.

결 과

형태적으로 동정이 불가능하였던 어란과 자치어의 분자생물학적 동정 결과, 13종의 어란과 6종의 자치어가 COI 영역(458

bp)에서 유전거리 0.001-0.015로 동정되었고, 3종의 자치어가 16S rRNA 영역(453 bp)에서 유전거리 <0.001로 동정되었다 (Fig. 2).

어란은 연안 정점(St. 1-5)에서 총 14종이 출현하였다(Table 1). 출현량은 5개 정점에서의 평균 출현량을 나타낸다. 멸치 (*Engraulis japonicus*) 어란이 8월에 대량 출현하며 총 출현량

의 77.1% (531.9 ind./1,000 m³)를 차지하며 최우점하였고, 다음으로 용치놀래기(*Parajulis poecilepterus*)와 흑돔 어란이 각각 7.8% (53.8 ind./1,000 m³), 5.9% (40.6 ind./1,000 m³)의 순으로 나타났다. 2월은 엘퉁이(*Maurolicus japonicus*) 어란만 출

현하였지만 5월부터는 고등어(*Scomber japonicus*), 방어(*Seriola quinqueradiata*), 만새기(*Coryphaena hippurus*), 몽치다래(*Auxis rochei*) 등 회유성 어종의 어란이 출현하면서 출현 종수가 증가하였다. 또한, 연안 정착성 어종인 용치놀래기, 흑돔 어란

Table 1. Seasonal variations in fish eggs and larvae composition off Dokdo in 2017-2019

(ind./1,000 m³)

	Inshore (averaged at St. 1-5 in 2017-2019)				Offshore (averaged at St. 6-11 in 2017-2019)			
	Feb	May	Aug	Nov	Feb	Jun	Aug	Nov
Eggs								
<i>Engraulis japonicus</i>			531.9				149.9	
<i>Maurolicus japonicus</i>	2.5	1.3		8.8	3.9	0.3	50.7	17.7
<i>Parajulis poecilepterus</i>			53.8				0.3	
<i>Semicossyphus reticulatus</i>		27.5	13.1					
<i>Pseudolabrus sieboldi</i>				11.8				
<i>Scomber japonicus</i>		11.0						
<i>Seriola quinqueradiata</i>		7.0						
<i>Coryphaena hippurus</i>			1.1	0.9			4.1	
<i>Pagrus major</i>		5.3						
<i>Girella punctata</i>		3.5						
<i>Dinematichthys iluocoeteoides</i>			0.4	1.6				
<i>Trachipterus trachipterus</i>				0.6	0.3	1.0		
<i>Auxis rochei</i>			0.5				0.2	
<i>Glyptocephalus stelleri</i>					0.1	0.5		
<i>Tarachipterus jacksonensis</i>							0.1	
Others			6.9				0.1	
Total eggs	2.5	55.6	607.7	23.7	4.3	1.8	205.4	17.7
Larvae								
<i>Engraulis japonicus</i>		1.8	15.1	1.9		6.2	143.4	0.6
<i>Maurolicus japonicus</i>		8.9	0.9	7.2	0.6	20.4	5.0	21.5
<i>Sebastes owstoni</i>			0.5					1.0
<i>Enneapterygius etheostomus</i>		0.8	0.7					
<i>Cololabis saira</i>								1.2
<i>Glyptocephalus stelleri</i>						0.4	0.1	
<i>Glossanodon semifasciatus</i>						0.3		
<i>Auxis rochei</i>							0.2	
<i>Gnathophip heterognathos</i>								0.2
<i>Hyperoglyphe japonica</i>						0.1		
<i>Repomucenus virgis</i>								0.1
<i>Benthoosema pterotum</i>								0.1
<i>Bregmaceros nectabanus</i>							0.1	
<i>Malacocottus zonurus</i>					0.1			
Others		0.8	0.4				0.1	
Total larvae	0.0	12.3	17.6	9.1	0.7	27.4	148.9	24.7

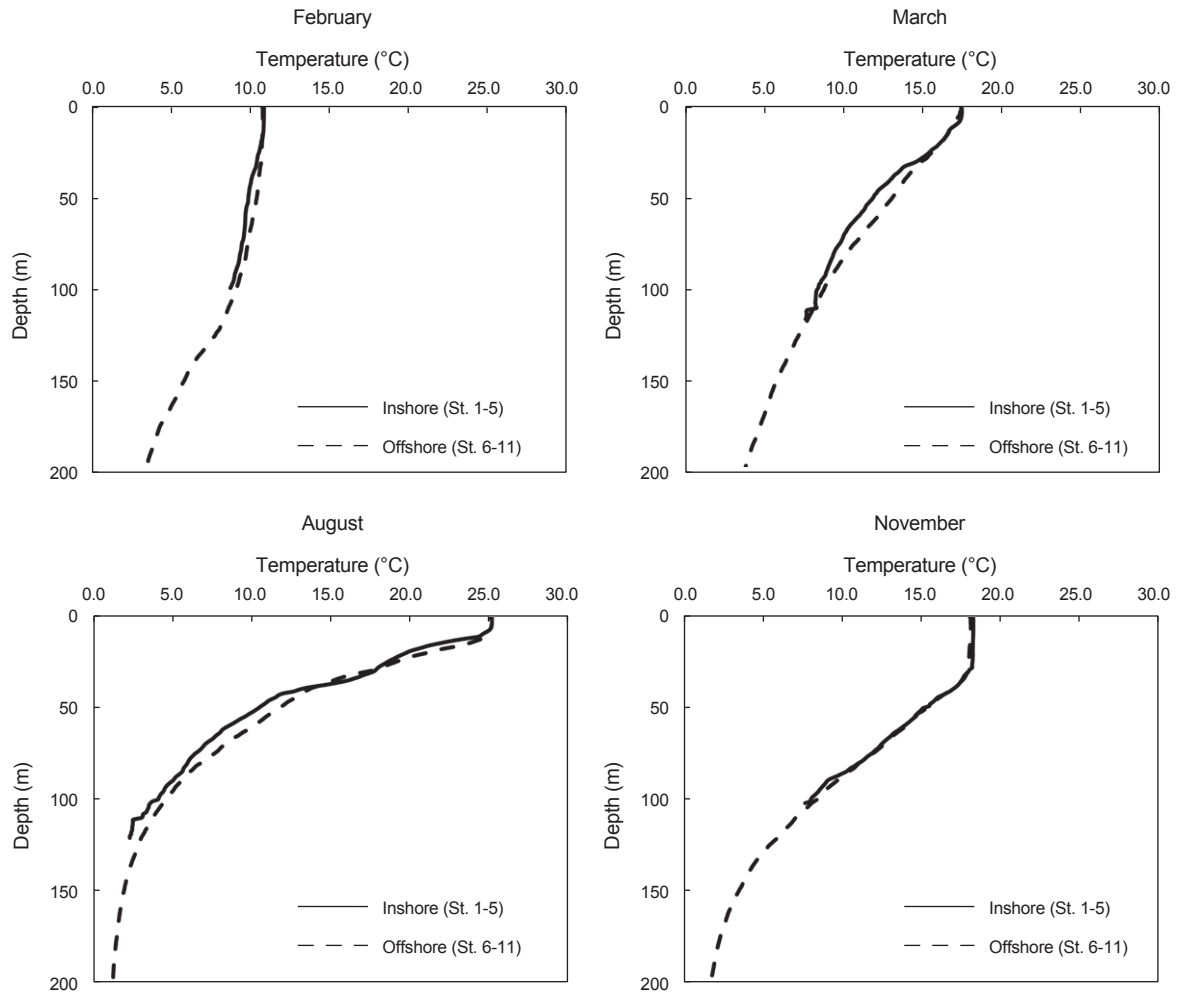


Fig. 3. Vertical distribution of water temperature averaged at inshore (St. 1-5) and offshore (St. 6-11) stations off Dokdo in 2017-2019. —, inshore; ---, offshore.

이 5월과 8월에 출현하였고 황놀래기(*Pseudolabrus sieboldi*) 어란이 11월에 출현하였다. 근해 정점(St. 6-11)에서는 총 9종 출현하였다. 멸치가 최우점하였고, 다음으로 앨통이가 연중 출현하여 31.7% (72.6 ind./1,000 m³)로 우점하였다. 연안 정점과 마찬가지로 출현량의 대부분이 8월에 집중되었다. 2월과 5월에는 심해성 어종인 *T. trachipterus*의 어란이 출현하였고 8월에는 회유성 어종인 만새기, 몽치다래가 출현하였다. 근해 정점에서 보다 연안 정점에서 출현종수와 출현량이 많았다. 연도별 어란의 분포양상은 멸치 어란을 제외하고는 유의한 차이가 없었다($P=0.071$). 멸치 어란은 2017년 8월에만 대량 출현하였다.

자치어는 연안 정점(St. 1-5)에서 총 5종 출현하였고, 멸치와 앨통이가 극우점하였다(Table 1). 5월과 8월에 가막베도라치(*Enneapterygius theostomus*)와 황불락(*Sebastes owstoni*) 자치어가 출현하였다. 근해 정점(St. 6-11)에서는 총 14종 출현하였고, 연안 정점과 마찬가지로 멸치와 앨통이가 우점하였다.

어란과 동일하게 8월에 출현량이 많았고, 연안 정점과는 달리 셋멸(*Glossanodon semifasciatus*), 은붕장어(*Gnathophis heterognathos*), 태평양 날개멸(*Bregmaceros nectabanus*) 등 난류성 어종의 자치어가 다양하게 출현하였다. 어란과는 반대로 근해 정점에서 출현종수와 출현량이 많았다. 연도별 자치어의 분포양상은 유의한 차이가 없었다($P=0.144$).

독도의 표층수온은 2월에 10.9°C로 가장 낮았고, 8월에 25.2°C로 가장 높았다(Fig. 3). 계절별 연직 수온 분포를 살펴 보면, 혼합층은 2월에 수심 100 m 부근까지 두껍게 형성되었으며, 수온약층은 8월에 수심 10 m부터 200 m까지 깊게 발달하였다. 독도의 표층염분은 5월에 34.44 psu로 가장 높았고, 8월에 33.17 psu로 가장 낮았다(Fig. 4). 계절별 연직 염분 분포를 살펴 보면, 8, 11월에는 담수 유입에 기인한 표층 염분 감소로 염분약층이 발달하였다. 연안 정점과 근해 정점간 수온과 염분의 유의미한 차이는 없었다. 표층수온과 출현량의 상관관계를 분

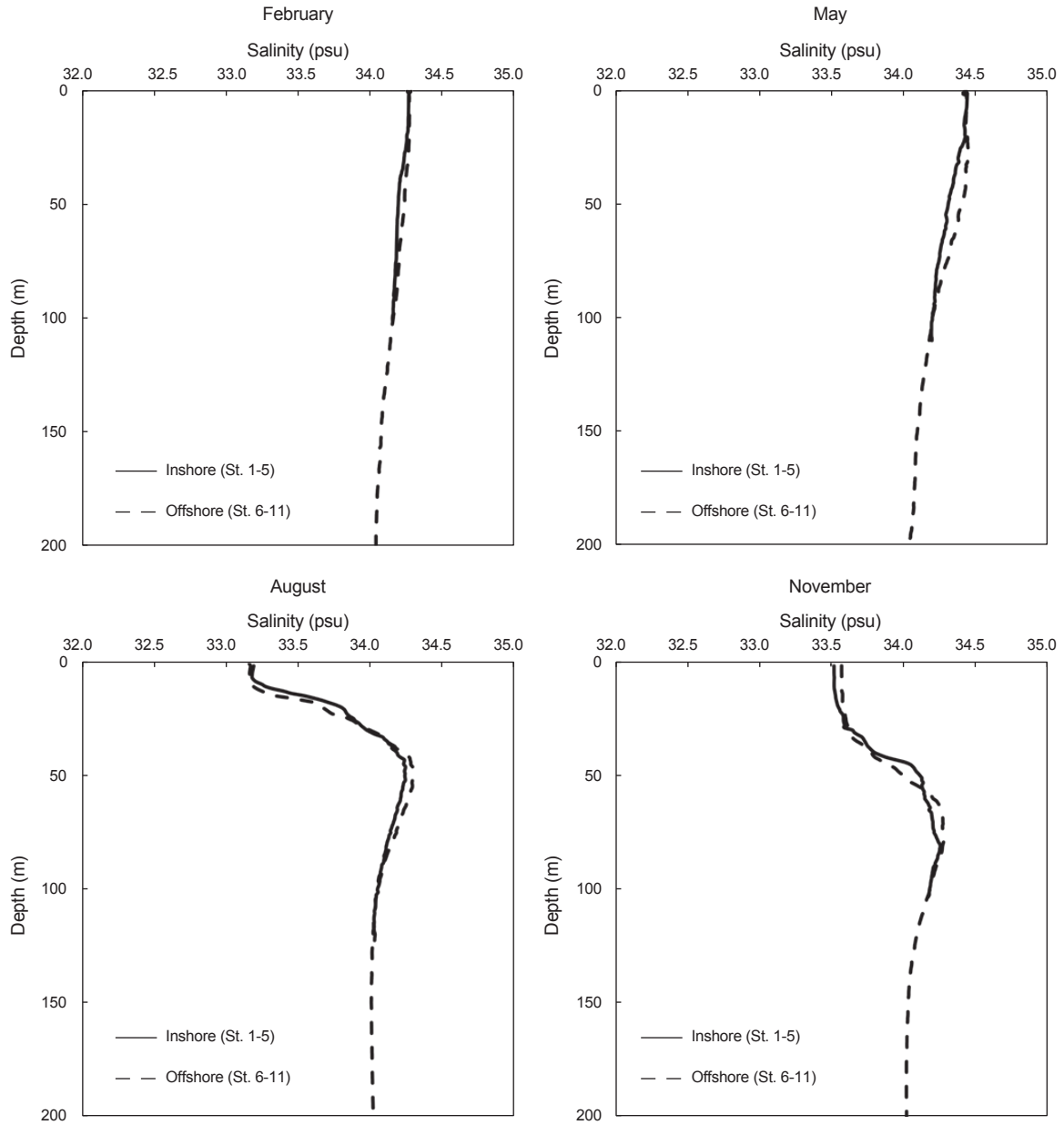


Fig. 4. Vertical distribution of salinity averaged at inshore (St. 1-5) and offshore (St. 6-11) stations off Dokdo in 2017-2019. —, inshore; ---, offshore.

석한 결과, 양의 상관관계($r=0.65$)를 보였다.

어란과 자치어의 종 다양도 지수는 근해 정점보다 연안 정점에서 높았고, 연안정점과 근해 정점 모두 5월이 높았다(Table 2). 어란의 종 풍부도 지수는 연안 정점에서 5월과 11월에 높았고, 근해 정점에서 5월에 높았다. 자치어의 종 풍부도 지수는 연안 정점에서 8월에 높았고, 근해 정점에서 11월에 높았다. 어란의 종 균등도 지수는 연안 정점과 근해 정점 모두 5월에 높았다. 자치어의 종 균등도 지수는 연안 정점과 근해 정점에서 각각 11

월과 2월에 높았다. 전반적으로 생태지수는 연안 정점에서 종 다양도 지수와 종 균등도 지수가 높았고, 근해 정점에서 종 풍부도 지수가 높았다. Bray-Curtis 유사도 지수를 살펴보면, 어란과 자치어의 군집은 유사도 25% 수준에서 A그룹의 근해 정점과 B그룹의 연안 정점으로 구분되었고(Fig. 5), SIMPER분석 결과, 그룹별 기여도가 높은 종은 A그룹에서는 만새기와 *T. trachyp-terus*였으며, B그룹에서는 황놀래기와 흑돔이었다(Table 3).

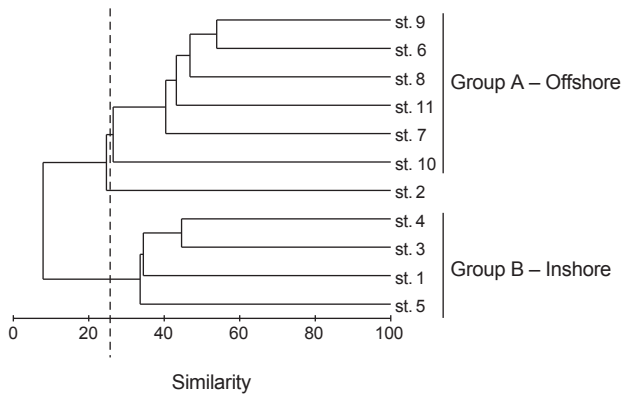


Fig. 5. Dendrogram illustrating the classification of stations off Dokdo.

고 찰

독도에서는 멸치 어란과 자치어가 최우점하였다. 남해에서는 멸치 주 산란기가 5-7월인 것으로 알려져 있는 반면(Choi and Kim, 1988), 독도에서는 멸치 어란이 8월에 대량 출현하였고, 동 시기에 동해 남부-중부해역에서도 어란 출현이 보고된 바 있으며(Kim, 1992, Han et al., 2003), 이를 바탕으로 동해에서는 멸치의 주 산란기가 여름철인 것으로 추정된다. 멸치 어란이 2017년 8월에만 출현하였고 2018년 8월에는 출현하지 않았는데, 멸치 어란 부화시간이 30시간인 것을 감안하여 조사 전 2일간 표층 수온을 살펴보면, 2017년은 25°C 내외로 산란 수온 범위(15-25°C) 내였던 반면, 2018년은 27°C 내외로 수온이 높았기 때문인 것으로 판단된다(Hayasi 1967; Yoo et al., 2018; HYCOM, 2021). 멸치 어란은 근해보다는 연안에서 출현량이 많았으며, 자치어는 근해에서 출현량이 많았다. 이는 멸치 어란이 주로 연안에 분포하며 치어기로 갈수록 근해에서 출현한다

고 보고한 Kim (1983)의 결과와 일치하였다.

독도 연안에서는 정착성 어종인 놀래기과(용치놀래기, 흑돔, 황놀래기) 어란이 멸치 다음으로 우점하였다. 흑돔(봄-여름), 용치놀래기(여름), 황놀래기(가을) 어란의 출현시기는 어종별 산란기와 일치하였다(Lee et al., 1991; Lee et al., 1992; Ochi et al., 2017). 3종의 성어는 독도 연안에서 연중 서식이 확인되었고, 산란기때 독도 연안 수온이 산란수온과 일치하여 독도 연안을 산란장으로 활발히 이용하는 것으로 판단된다(Kashiwagi et al., 1992; Lee et al., 2010a). 흑돔, 용치놀래기, 황놀래기는 우점종임에도 불구하고 어란만 출현하였다. 추후 자치어 출현을 확인하기 위해서는 계절조사에서 월별조사로 조사빈도를 늘리고 연안을 중심으로 조사정점을 추가하여 지속적인 모니터링을 해야 할 것이다. 해조류에 어란을 부착시키는 가막베도라치와 자어를 낳는 산란습성을 가진 황불락은 자치어만 출현하였다(Thresher, 1984; Wourms, 1991).

회유성 어종인 참돔(*Pagrus major*)의 어란은 5월에 독도 연안에서 출현하였다. 참돔의 주 산란기는 5-6월, 산란수온은 16.5-21.5°C로 알려져 있다(Zenitani et al., 2014; Jin et al., 2020). 독도의 5월 표층수온은 16.2-18.2°C로 산란기와 산란수온이 잘 일치하였고, 동 시기에 성어가 독도에서 서식하는 것으로 확인되었기에 독도 연안을 산란장으로 활용하는 것으로 판단된다(Lee et al., 2010a; Jin et al., 2020). 일부 난류성 어종(고등어, 방어, 몽치다래)의 어란도 출현하였으나, 남해와 동해 남부해역에서 산란한 어란이 해류를 따라 수송되어 온 것으로 보인다(Kim et al., 2019; Sassa et al., 2020).

독도 근해에서는 연안과 달리 엘통이가 우점하였다. 엘통이 어란은 조사기간 내내 출현하였으며 엘통이의 주 산란기로 알려져 있는 8월에 출현량이 가장 많았다(Kim and Kang, 1995; Cha et al., 1998). 깃비늘치(*Benthosema pterotum*), *T. trachypterus* 등 심해성 어종의 어란과 자치어도 출현하였는데 낮은 출현빈도와 적은 출현량에 비추어 볼 때 해류를 따라 수송

Table 2. Seasonal variations in ecological indices of ichthyoplankton at inshore and offshore stations off Dokdo in 2017-2019

	Inshore (St.1-5)				Offshore (St.6-11)			
	Feb	May	Aug	Nov	Feb	May	Aug	Nov
Eggs								
Number of species	1	6	7	5	3	3	7	1
Diversity index	0.00	1.42	0.49	1.11	0.36	0.98	0.68	0.00
Richness index	0.00	1.24	0.94	1.26	1.37	3.40	1.13	0.00
Evenness index	-	0.79	0.25	0.69	0.33	0.89	0.35	-
Larvae								
Number of species	0	4	5	2	2	5	6	7
Diversity index	0.00	0.87	0.60	0.51	0.41	0.69	0.17	0.57
Richness index	-	1.20	1.39	0.45	-	1.21	1.00	1.87
Evenness index	-	0.63	0.37	0.74	0.59	0.43	0.10	0.29

Table 3. SIMPER analysis identifying the contribution of each species to grouping

Group	Species	Contribution (%)	Accumulation (%)
A	<i>Coryphaena hippurus</i> egg	37.87	37.87
	<i>Trachipterus trachipterus</i> egg	34.73	72.60
	<i>Sebastes owstoni</i> larva	13.42	86.02
B	<i>Pseudolabrus sieboldi</i> egg	35.40	35.40
	<i>Semicossyphus reticulatus</i> egg	30.03	65.44
	<i>Coryphaena hippurus</i> egg	6.59	72.03

SIMPER, similarity percentages.

되었을 가능성이 높은 것으로 판단된다. 특히, *T. trachipterus* 는 동해에서 성어의 서식이 확인된 바 있으나, 독도 주변해역에서의 산란 여부는 추가적인 연구가 필요하다(Shinohara et al., 2014). 이 외에도 셋멸, 은붕장어, 태평양날개멸 등 난류성 어종의 자치어가 다양하게 출현하였으나, 이 또한 낮은 출현빈도와 적은 출현량을 보이기 때문에 해류를 따라 수송되었을 가능성을 배제할 수 없다.

이상의 결과를 바탕으로, 독도는 동해 외해에 위치하고 있음에도 불구하고 용치놀래기, 흑돔, 황놀래기, 가막베도라치, 황볼락 등 연안정착성 어종, 참돔 등 일부 회유성 어종, 멸치, 앨통이 등의 산란·성육장으로써 가치가 높은 것으로 판단된다. 출현빈도가 낮고 출현량이 적어서 산란·성육장 이용 여부가 불명확한 어종에 대해서는 시료 채집 정점과 횡수를 늘리고, 성어의 산란생태연구와 어란·자치어 수송에 관한 연구가 함께 수행되어야 할 것이다.

사 사

본 연구는 국립수산물과학원 수산과학연구사업(R2021031 독도 및 심해 생태계 수산자원 조사)으로 수행되었음.

References

Ahlstrom EH. 1954. Distribution and abundance of egg and larval populations of the pacific sardine. *Fish Bull* 56, 83-140.

Bray JR and Curtis JT. 1957. An ordination of the upland forest communities of southern Wisconsin. *Ecol Monogr* 27, 325-349. <https://doi.org/10.2307/1942268>.

Cha BY, Kim JI, Kim JY and Huh SH. 1998. Spawning ecology and feeding habits of *Maurolicus muelleri*. *Korean J Ichthyol* 10, 176-183.

Choi YM and Kim JY. 1988. Reproduction of anchovy *Engraulis japonicus* (Houttuyn) in the Southern coastal waters of Korea. *Bull Natl Fish Res Dev Agency* 41, 27-34.

Choi CG, Lee HW and Hong BK. 2009. Marine algal flora and community structure in Dokdo, East Sea, Korea. *Korean J Fish Aquat Sci* 42, 503-508. <https://doi.org/10.5657/>

kfas.2009.42.5.503.

Chun YY, Hwang SJ, Hur YH and Han KH. 2004. Characteristics of the distribution of ichthyoplankton along the eastern coast of Korea. *J Korean Soc Fish Res* 6, 33-45.

Clarke KR and Gorley RN. 2015. Getting started with primer v7: User manual/tutorial. Primer-E, Plymouth, U.K.

Doty MS and Oguri M. 1956. The island mass effect. *ICES J Mar Sci* 22, 33-37. <https://doi.org/10.1093/icesjms/22.1.33>.

Hall TA. 1999. BioEdit: a user-friendly biological sequence alignment editor and analysis program for Windows 95/98/NT. *Nucleic Acids Symp Ser* 41, 95-98.

Han KH, Hong JS, Kim YS, Jeon KA, Kim YS, Hong BK and Hwang DS. 2003. Species composition and seasonal variations of ichthyoplankton in coastal waters of Yeongil bay, Korea. *Korean J Ichthyol* 15, 87-94.

Hayasi S. 1967. A note on the biology and fishery of the Japanese anchovy *Engraulis japonica* (Houttuyn). *Rep Calif Coop Oceanic Fish Invest* 11, 44-57.

Hjort J. 1926. Fluctuations in the year classes of important food fishes. *ICES J Mar Sci* 1, 5-38. <https://doi.org/10.1093/icesjms/1.1.5>.

Huh SH, Han MI, Hwang SJ, Park JM and Baeck KW. 2011. Seasonal variation in species composition and abundance of larval fish assemblages in the southwestern Jinhae Bay, Korea. *Kor J Ichthyol* 23, 37-45.

Huh SH, Choi HC, Baeck GW, Kim HW and Park JM. 2013. Seasonal distribution of larval fishes in the central and southern surface waters of the East Sea. *Korean J Fish Aquat Sci* 46, 216-222. <https://doi.org/10.5657/KFAS.2013.0216>.

HYCOM (HYbrid Coordinate Ocean Model). 2021. GOFS 3.1 global analysis database. Retrieved from <https://tds.hycom.org/thredds/catalog.html> on Jul 20, 2021.

Jin SY, Im YJ, Choi JH, Jeong JM, Nam KM, Kim DG, Choi YJ and Baeck GW. 2020. Maturation and spawning of the red seabream *Pagrus major* in the South Sea of Korea. *Korean J Fish Aquat Sci* 53, 43-49. <https://doi.org/10.5657/KFAS.2020.0043>.

Kang JH, Kim WS and Sim JH. 2002. Species composition and abundance of zooplankton community in spring and autumn around Dokdo. *Ocean Polar Res* 24, 407-417. <https://doi.org/10.4217/OPR.2002.24.4.407>.

Kashiwagi M, Onozato S, Ogawa S, Kitagawa H, Kariya T, Hamada M, Matsuyama M and Iwai T. 1992. Spawning of wrasse, *Halichoeres poecilopterus* in a recirculating system tank. *Aquac Sci* 40, 297-301. <https://doi.org/10.1123/aquaculturesci1953.40.297>.

Kim JY. 1983. Distribution of anchovy eggs and larvae off the western and southern coasts of Korea. *Korean J Fish Aquat Sci* 16, 401-410.

Kim JY. 1992. Relationship between anchovy, *Engraulis japonica*, egg and larval density and environmental factors in the eastern waters of Korea. *Korean J Fish Aquat Sci* 25,

- 495-500.
- Kim JY and Kang YS. 1995. Vertical distribution of eggs and larvae of *Maurollicus muelleri* in the Southeastern Waters of Korea. *Korean J Ichthyol* 7, 64-70.
- Kim JK, Ryu JH, Kim S, Lee DW, Choi KH, Oh TY, Hwang KS, Kim JN, Kwun HJ, Ji HS and Oh JN. 2011. An identification guide for fish eggs, larvae and juveniles of Korea. Hangeul Graphics, Busan, Korea.
- Kim MG, Shin JG and Cha JH. 2004a. Variation of species composition of benthic algae and whitening in the coast of Dokdo island during summer. *Algae* 19, 69-78. <https://doi.org/10.4490/ALGAE.2004.19.1.069>.
- Kim S, Yoo JM and Lee EK. 2002. Species composition of fish eggs and larvae in spring and autumn around Dokdo in the East Sea of Korea. *Ocean Polar Res* 24, 443-448. <https://doi.org/10.4217/OPR.2002.24.4.443>.
- Kim SR, Kim JJ, Stockhausen WT, Kim CS, Kang SK, Cha HK, Ji HS and Baek HJ. 2019. Characteristics of the eggs and larval distribution and transport process in the early life stage of the chub mackerel *Scomber japonicus* in the Korean waters. *Korean J Fish Aquat Sci* 52, 666-684. <https://doi.org/10.5657/KFAS.2019.0666>.
- Kimura M. 1980. A simple method for estimating evolutionary rates of base substitutions through comparative studies of nucleotide sequences. *J Mol Evol* 16, 111-120.
- Lee HW, Hong BK, Sohn MH, Chun YY, Lee DW, Choi YM and Hwang KS. 2010a. Seasonal variation in species composition of fish collected by trammel net around Dokdo, East Sea of Korea. *Korean J Fish Aquat Sci* 43, 693-704. <https://doi.org/10.5657/kfas.2010.43.6.693>.
- Lee HW, Ryu JH, Hong BK, Sohn MH, Chun YY and Kim JK. 2010b. Seasonal variation of ichthyoplankton off Dokdo in the East Sea. *Korean J Fish Aquat Sci* 43, 751-755. <https://doi.org/10.5657/kfas.2010.43.6.751>.
- Lee YD, Rho HK and Lee TY. 1991. Reproductive ecology of the wrasse, *Halichoeres poecilopterus* (Temminck Schlegel). *Bull Mar Res Inst Cheju Natl Univ* 15, 93-102.
- Lee YD, An CM, Lee JJ and Lee TY. 1992. Reproductive cycle and sex reversal of *Pseudolabrus japonicus* (Houttuyn). *Bull Mar Res Inst Cheju Natl Univ* 16, 55-66.
- Margalef R. 1958. Information theory in ecology. *Gen Syst* 3, 36-71.
- Myoung JG. 2002. The fish fauna around Dokdo in the East Sea, Korea. *Ocean Polar Res* 24, 449-455. <https://doi.org/10.4217/OPR.2002.24.4.449>.
- NIFS (National Institute of Fisheries Science). 2019. Fisheries resources research on Dokdo and deep-sea ecosystem in the East Sea of Korea. Technical Report of NIFS, 2019, 487-503.
- Ochi Y, Fukui Y, Sakai Y and Hashimoto H. 2017. Age, growth and reproduction of the Asian sheepshead wrasse *Semicossyphus reticulatus* in the western Seto Inland Sea, Japan. *Ichthyol Res* 64, 415-422. <https://doi.org/10.1007/s10228-017-0575-6>.
- Okiyama M. 2014. An atlas of the early stage fishes in Japan. Tokai University Press, Tokyo, Japan.
- Palacios DM. 2002. Factors influencing the island-mass effect of the Galápagos Islands. *Geophys Res Lett* 29, 2134. <https://doi.org/10.1029/2002GL016232>.
- Palumbi S, Martin A, Romano S, McMillan WO, Stice L and Grabowski G. 2002. The simple fool's guide to PCR, ver. 2. University of Hawaii, Honolulu, HI, U.S.A.
- Pielou EC. 1966. The measurement of diversity in different types of biological collections. *J Theoret Biol* 13, 131-144. [https://doi.org/10.1016/0022-5193\(66\)90013-0](https://doi.org/10.1016/0022-5193(66)90013-0).
- Rutherford ES. 2002. Fishery management. In: *Fishery science: The unique contribution of early life stage*. Fuiman LA and Werner RG, eds. Wiley-Blackwell Ltd., Oxford, U.K., 206-221.
- Saitou N and Nei M. 1987. The neighbor-joining method: a new method for reconstructing phylogenetic trees. *Mol Biol Evol* 4, 406-425. <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.molbev.a040454>.
- Sassa C, Takahashi M, Konishi Y, Yoshimasa A and Tsukamoto Y. 2020. The rapid expansion of yellowtail *Seriola quinqueradiata* spawning ground in the East China Sea is linked to increasing recruitment and spawning stock biomass. *ICES J Mar Sci* 77, 581-592. <https://doi.org/10.1093/ices-jms/fsaa006>.
- Saville A and Schnack D. 1981. Overview-some thoughts on the current status of studies of fish eggs and larval distribution and abundance. *Rapp Pv Reun Cons Int Explor Mer* 178, 153-157.
- Shannon CE and Wiener W. 1963. The mathematical theory of communication. University Illinois Press, Urbana, IL, U.S.A.
- Shinohara G, Nakae M, Ueda Y, Kojima S and Matsuura K. 2014. Annotated checklist of deep-sea fishes of the Sea of Japan. In: *Deep-sea fauna of the Sea of Japan*. Fujita T, ed. National Museum of Nature and Science Monographs, Tokyo, Japan, 225-291.
- Tamura K, Peterson D, Peterson N, Stecher G, Nei M and Kumar S. 2011. MEGA5: Molecular evolutionary genetics analysis using maximum likelihood, evolutionary distance, and maximum parsimony methods. *Mol Biol Evol* 28, 2731-2739. <https://doi.org/10.1093/molbev/msr121>.
- Thompson JD, Higgins DG and Gibson TJ. 1994. Clustal W: improving the sensitivity of progressive multiple sequence alignment through sequence weighting, position-specific gap penalties and weight matrix choice. *Nucl Acid Res* 22, 4673-4680.
- Thresher RE. 1984. Reproduction in reef fishes. TFH Publications, Neptune City, NJ, U.S.A.
- Ward RD, Zemlac TS, Innes BH, Last PR and Hebert PDN.

2005. DNA barcoding Australia's fish species. *Philos Trans Roy Soc Land B Biol Sci* 360, 1847-1857. <https://doi.org/10.1098/rstb.2005.1716>.
- Wourms JP. 1991. Reproduction and development of *Sebastes* in the context of the evolution of piscine viviparity. *Environ Biol Fish* 30, 111-126. <https://doi.org/10.1007/BF02296882>.
- 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 the South Sea of Korea. *J Korean Soc Fish Ocean Technol* 54, 262-270. <https://doi.org/10.3796/KSFOT.2018.54.3.262>.
- Zenitani H, Onishi Y and Obata Y. 2014. Spawning grounds of red sea bream in the east Seto Inland Sea. *Fish Sci* 80, 499-504. <https://doi.org/10.1007/s12562-014-0710-5>.