

제주도 남부 사계리 연안에서 삼중자망으로 어획된 어류군집 변화

고준철* · 김보연 · 한송헌 · 김민선 ·곽정현
국립수산과학원 아열대수산연구소 연구원

A variation of fish assemblage by trammel net in the coastal waters of Sagye-ri, southern Jeju Island

Jun-Cheol KO*, Bo-Yeon KIM, Song-Heon HAN, Min-Sun KIM and Jung-Hyun KWAK

Researcher, Subtropical Fisheries Research Institute, NFIS, Jeju 63068, Korea

A variation of fish assemblage in the coastal waters of Sagye-ri, southern Jeju Island was determined using samples collected by trammel net from 2012 to 2022. The total fish species caught by trammel net were identified 88 species, 46 families, 12 orders, and the number of appearance and biomass were 3,479 individuals and 883.6 kg. The annual variation of species was the highest in 2013 at 46 species and the lowest in 2021 at 30 species. The seasonal variation of species was higher in summer at 67 species and lower in winter, autumn at 47 species. The annual diversity index, evenness index, and richness index were appeared 2.42-3.00, 0.69-0.78 and 5.18-7.24 at each years. The dominance index appeared highest in 2013 and the lowest in 2018. Cluster analysis based on the number of individuals of fish was classified into two groups at the dissimilarity level of 57%, and results of SIMPROF analysis revealed significant differences in community structure among the two groups. The subtropical fishes were identified a total of 42 species (47.7%) and the number of species was higher in 2013 at 25 (54.3%) species and lower in 2018 and 2021 at each 17 (54.8~56.7%) species. The dominant species of subtropical fishes were appeared rabbit fish (*Siganus fuscescens*), scarbreast tuskfish (*Choerodon azurio*), bluestriped angelfish (*Chaetodontoplus septentrionalis*), balloon fish (*Diodon holocanthus*), and flag fish (*Goniistius zonatus*) at study sites.

Keywords: Jeju Island, Fish assemblage, Species composition, Subtropical fishes

서론

제주도 남부연안의 해저지형은 수심 변화가 크고, 가파른 수직 암반의 경사에 따라 외해수와 연안수 사이의 활발한 혼합과 지형성 용승현상에 의해 기초 생산력이

높은 것으로 알려져 있다(Pang and Kim, 1993). 제주도 남부연안의 해황에 영향을 미치는 수괴는 여름철 양자강 유출수와 마라도 및 가파도 부근 저층에서 남부연안으로 유입되는 황해저층냉수의 영향을 받아 계절별로

Received 29 February 2024; Revised 21 April 2024; Accepted 20 May 2024

*Corresponding author: kjc3410@korea.kr, Tel: +82-64-750-4375, Fax: +82-64-743-5883

Copyright © 2024 The Korean Society of Fisheries and Ocean Technology

복잡하면서 다양한 해양환경이 조성되며, 특히, 동중국해에서 북상하는 대마난류수의 직접적인 영향으로 연중 해수 온도가 높게 형성된다(Kim and Rho, 1994).

전 세계적인 기후변화로 인해 제주도 주변해역의 수온 상승은 더욱 명확해졌고, 여름철 수온 상승에 비해 겨울철 수온 상승폭이 증가함에 따라 다양한 아열대 해양생물들이 서식하는 등 아열대 해양생태계로 변화하고 있다(Jang et al., 2006; Ko et al., 2023). 또한, 제주도 주변해역으로 따뜻한 해수를 공급하는 대마난류수의 세력 확장으로 대만 및 오키나와에 서식하는 열대 및 아열대 해양생물들의 유입이 난류수에 편승되어 증가하고 있으며, 이로 인해 제주연안의 해양생물 군집 다양성이 높아지고 있다(Kim and An, 2010; Choi and Lee, 2010).

최근, 제주연안 어류군집 변화양상은 남부연안에 아열대 어류 유입 현상이 꾸준히 나타나고, 아열대성 어류의 출현빈도가 증가하여 연중 서식하는 어종들이 늘어나는 추세로 주요 서식지를 남부연안에서 북부연안으로 이동·북상하며 서식하는 것으로 나타났다(Ko et al., 2021; Ko et al., 2023). 제주도 연안에서 선행된 어류군집 연구로는 북부(북촌리)(Ko et al., 2023), 가파도(Ko et al., 2021), 제주도(Ko et al., 2015), 남부(Kim et al., 2014), 북부(Go and Shin, 1988), 남부(Choi et al., 2003; Go and Shin, 1990), 서부(Lee et al., 2009), 서귀포 문섬(Choi and Lee, 2013; Myoung, 1997) 등이었다. 그러나, 가파도 및 북촌리 연안의 어류군집 연구를 제외하면, 대부분 기후변화에 따른 해양생태계 변화 초입 시기의 단기간에 조사된 결과로 제주도 본 섬 연안 중 해양환경과 해양생물 변화가 가장 먼저 감지되는 제주도 남부연안을 대상으로 한 연구는 미비하며, 최근에 보고된 제주도 북부연안(Ko et al., 2023) 결과를 제외하면 해양환경변화에 따라 장기간에 걸친 어류군집 변화 연구는 부족하다.

따라서, 본 연구는 11년 동안의 장기간 조사로 해양환경과 삼중자망 어획조사 결과를 통해 제주도 남부연안에 서식하는 어종과 온대성·아열대성 어류 서식 실태 및 연도별, 계절별 어류군집의 변화양상을 파악하고자 하였다.

재료 및 방법

제주도 남부연안(대정읍 사계리)에 서식하는 어류군집 장기변화를 조사하기 위해 2012년부터 2022년까지 11년 동안 계절별(2, 5, 8, 11월)로 해양환경 및 자망 어획시험

조사를 실시 하였다(Fig. 1). 시험 어선은 5톤 미만의 소형 선박으로 양망기가 설치된 어선을 이용하였고, 수온 및 염분 측정은 YSI (6600-V2; YSI Incorporated, Yellow Springs, OH, USA)로 어획시험과 동시에 표층과 저층의 해수를 측정 및 기록하였다. 어획시험을 위한 어구는 삼중자망의 외망과 내망에 사용된 망지는 나일론 섬유였고, 망목은 외망 450 mm, 내망 75 mm이었다. 3중자망 어구 1쪽의 길이 35 m, 높이 2.5 m로써 총 10쪽을 사용하였다. 투망 및 양망은 조류 흐름이 약한 조금 때 오후 3~4시경에 투망하고, 다음날 오전 6~7시경 양망하였다.

삼중자망으로 어획된 어획물은 양망 중 즉시 분리시켜 아이스박스에 넣어 실험실로 이동하였다. 어획물 종 동정은 Kim et al. (2001), Masuda et al. (1992), Nakabo (1993)에 따라 분류하였고, 총 어획물에 대한 개체수 및 총중량(g)을 측정하였다. 삼중자망으로 어획된 어류 중 아열대성 어류는 선행된 연구(Ko et al., 2015; 2021), 어류 데이터 베이스(Fishbase, 2024)에 보고된 아열대성 어류, 국내 및 국외 도감을 참고하였고, 열대 및 아열대 해역인 대만과 오키나와 주변해역에 서식하는 어종으로 정의하였다. 조사해역의 연도별 군집특성을 파악하기 위하여 우점도지수는 McNaughton (1967), 종다양도지수(H')는 Shannon and Wiener (1949), 균등도지수(E)는 Pielou (1969) 및 종풍도지수(R)는 Margalef (1958)에 따라 분석하였다. 연도별 종 다양도는 K-dominance 곡선을 사용하여 분석하였고(Lambhead et al., 1983), 조사기간 동안 출현한 어종 유·무에 따른 유사도(Similarity)를 나타

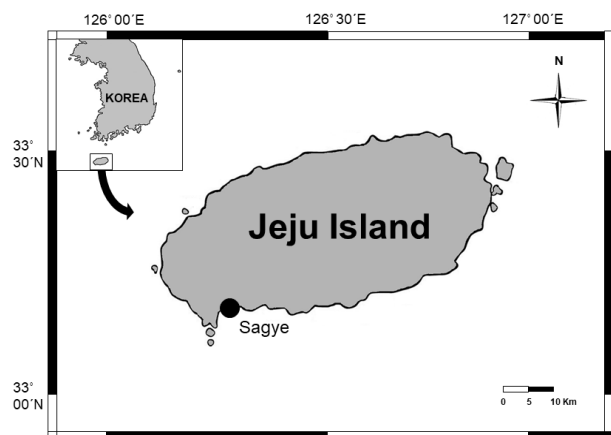


Fig. 1. A map of sampling site in Jeju Island, from 2012 to 2022.

냈다(Bray and Curtis, 1957). 군집 유사도는 그룹 간 SIMPROF (Similarity Profile) test 로 분석하였고, 그룹 간 유의차는 SIMPER (Similarity Percentage) 이용하여 비유사도(Dissimilarity) 에 기여하는 종을 각 그룹별로 추출하였다. 군집분석은 PRIMER version 6 (Clarke and Gorley, 2006)를 이용하여 결과값을 도식화하였다.

결 과

수온, 염분 변화

전체 조사기간 동안 계절별(2, 5, 8, 11월) 표·저층 평균수온은 18.6~20.2℃ 범위였다(Fig. 2). 연 평균수온은 2012년에 19.2℃, 2014년 19.7℃, 2016년 19.0℃, 2018년 18.6℃, 2019년 20.2℃, 2020년 19.4℃, 2022년 20.0℃로 2019년(20.2℃)에 가장 높았고, 2018년(18.6℃)에 가장 낮았다. 2012~2022년까지 평균수온은 19.4℃ 였고, 2012년에 비해 2022년에는 평균수온이 0.8℃ 상승하였다. 연도별 하계와 동계의 평균 수온변화는 2012~2016년에 비해 2017~2022년에 하계 0.3℃, 동계 0.3℃ 상승하였다.

표·저층 평균염분은 32.8~34.2 psu 범위였다. 연도별 평균 염분은 2012년에 33.7 psu, 2015년 32.8 psu,

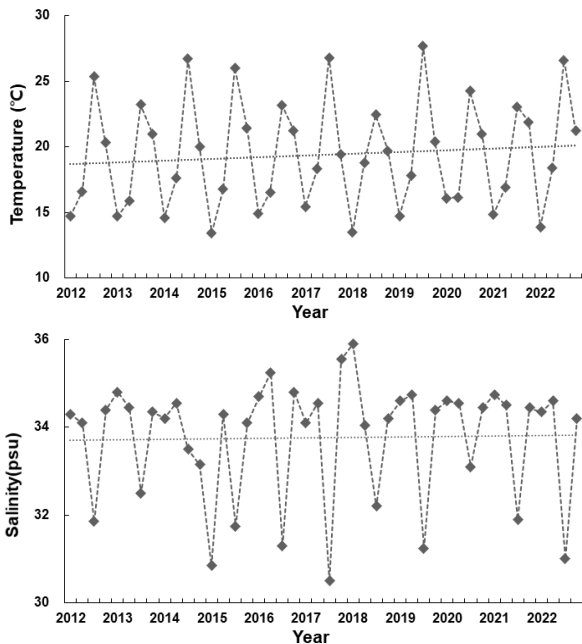


Fig. 2. Annual variations of Temperature (°C) and Salinity at study site in the coastal waters of Sagye-ri from 2012 to 2022.

2017년 33.7 psu, 2019년 33.8 psu, 2020년 34.2 psu, 2022년 33.5 psu로 2020년에 34.2 psu 로 가장 높고, 2015년(32.8 psu)에 가장 낮았다. 2012~2022년까지 평균염분은 33.8 psu 였으며, 평균 염분변화는 2012년에 비해 2022년에 0.2 psu 감소한 것으로 나타났다.

종조성 변화

조사기간 동안 어획된 어류는 총 88종, 3,479개체, 883.6 kg이었다(Fig. 3). 어획종수는 2013년 46종으로 가장 많고, 2021년 30종으로 가장 적었다. 2014년부터 2015년까지 42~43종으로 비교적 높았고, 2017년과 2018년에 31종으로 감소하였지만, 2020년에 38종으로 증가하다 2022년에 31종으로 감소하였다. 개체수는 2013년에 501개체로 가장 높았고, 2014년부터~2015년에 417~408개체로 높은 수준을 유지했지만, 2016년부터 303개체로 감소한 이후 2021년에 176개체로 가장 낮게 나타났다. 총중량은 2013년과 2015년에 각각 126.0 kg, 117.1 kg으로 높게 나타난 이후, 2016년부터 감소하여 2021년부터 2022년에 57.9 kg 이하로 가장 낮게 나타났다.

어획현황은 총 12목 46과 88종이었으며, 농어목(Perciformes) 어류가 22과 48종으로 전체 어종 중 41.4%(전중량)로 어획비율이 높았고, 다음은 쏨뱅이목(Scorpaeniformes) 어류가 5과 14종, 어획비율 20.1%, 복어목(Tetraodontiformes) 4과 10종, 어획비율 34.8% 순으로 나타났다(Appendix 1). 개체수 우점종은 쥐치(*Stephanolepis cirrhifer*) 854개체(24.5%)로 가장 많았고, 다음으로 독가시치(*Siganus fuscescens*) 369개체(10.6%), 쏨뱅이(*Sebastes marmoratus*) 310개체(8.9%), 호박돔(*Choerodon azurio*) 249개체(7.2%), 청줄돔(*Chaetodontoplus septentrionalis*) 174개체(5.0%), 볼락(*Sebastes inermis*) 157개체(5.0%)의 순으로 나타났다. 총중량 우점종은 쥐치 124.7 kg (14.1%), 호박돔 105.0 kg(11.9%), 독가시치 101.3 kg (11.5%), 쏨뱅이 61.9 kg (7.0%), 가시복(*Diodon holocanthus*) 56.0 kg(6.3%), 넙치(*Paralichthys olivaceus*) 55.6 kg (6.3%)였다.

개체수와 총중량은 2012년 293개체/97.7 kg, 2013년 501개체/126.0 kg, 2014년 408개체/94.4 kg, 2015년 417개체/117.1 kg, 2016년 303개체/83.4 kg, 2017년 230개체/67.2 kg, 2018년 328개체/76.1 kg, 2019년 299개체/64.5 kg, 2020년 261개체/62.2 kg, 2021년 176개체/37.1

kg, 2022년 263개체/57.9 kg이었다. 개체수 및 총중량은 2012~2015년까지 조사기간 초반에 비해 최근까지 감소되는 추세로 2013년에 가장 높고, 2021년에 가장 낮게 나타났다. 썸뱅이목 어류는 2013~2015년까지 8~9종으로 조사기간 중 높은 출현종수를 보였고, 이외의 시기에는 5~7종 범위로 나타났다. 농어목 어류는 2013년에 15과 26종으로 가장 높았고, 다음으로 높은 2020년 16과 22종을 제외하면 최근까지 15~19종으로 감소하였다.

조사기간 중 매년마다 출현한 종은 10종으로 출현종은 가시복, 독가시치, 범돔(*Microcanthus strigatus*), 벤자리(*Parapristipoma trilineatum*), 썸뱅이, 아홉동가리(*Goniistius zonatus*), 쥐치, 청줄돔, 호박돔, 흰점복(*Takifugu*

poecilnotus)으로 나타났다. 9년간 어획된 종은 5종이었고, 강담돔(*Oplegnathus punctatus*), 거북복(*Ostracion immaculatus*), 말쥐치(*Thamnaconus modestus*), 쭈기미(*Inimicus japonoc*), 참돔(*Pagrus major*)이었다. 8년간 어획된 종은 4종으로 볼락(*Sebastes inermis*), 씩감팽(*Scorpaenopsis cirrhosa*), 쭈글감팽(*Scorpaena miostoma*), 흰가오리(*Urolophus aurantiacus*)로 조사되었다.

연도별 우점종

본 조사해역의 최우점종은 2014년과 2021년을 제외하면 쥐치로 나타났으며, 우점지수는 2018년에 33.2로 가장 높았고, 아열대 어종은 2014년에 독가시치로 나타났다(Table 1). 차우점종은 2012년에 가시복, 2015년과 2019년부터 2020년에 독가시치, 2017년과 2018년에 호박돔으로 아열대 어종 출현이 높았으며, 이외는 쥐치, 전갱이, 볼락, 썸뱅이었다. 제3 우점종은 2013년과 2018년에 독가시치, 2014년, 2016년 및 2022년에 호박돔, 2017년에 범돔이었고, 아열대 어종 출현양상은 차우점종과 유사하였으며, 이외는 썸뱅이, 볼락, 검은볼락이었다. 제4 우점종은 2012년, 2014년, 2020년 및 2022년에 청줄돔, 2017년에 가시복이었고, 아열대 어종 중 청줄돔의 우점양상이 높았으며, 이외는 우럭볼락, 썸뱅이, 말쥐치였다. 제5 우점종은 2012년과 2015년에 호박돔, 2014년과 2019년에 가시복, 2016년과 2017년에 청줄돔, 2020년에 아홉동가리, 2021년에 독가시치, 2022년에 금줄촉수로 나타났고, 제5 우점종 중에서 2013년 썸뱅이, 2018년 볼락을 제외하고 대부분 아열대 어종으로 나타났다.

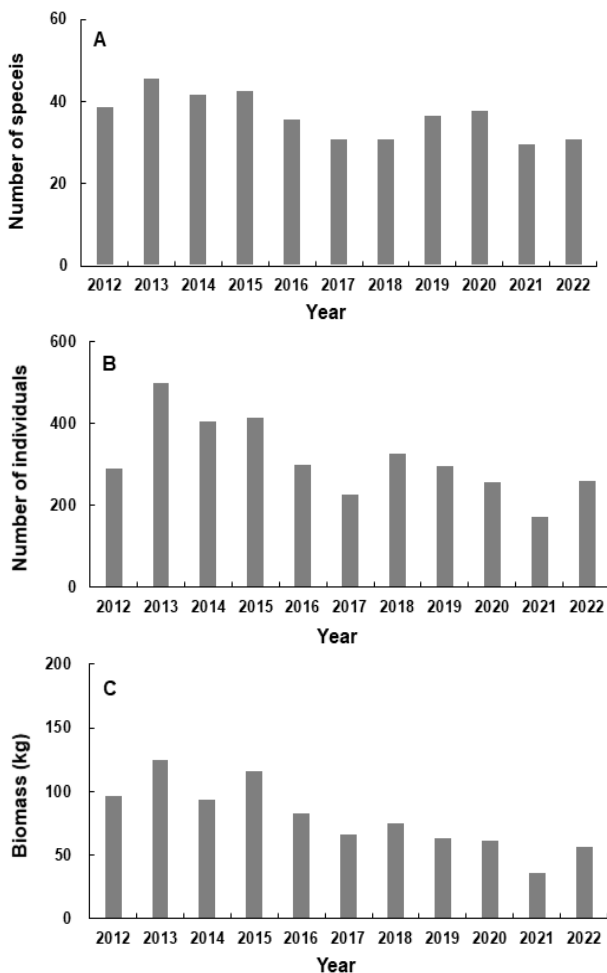


Fig. 3. Annual variations of number of species (A), number of individuals (B) and biomass (C) of the fishes collected by trammel net in the coastal waters of Sagye-ri from 2012 to 2022.

아열대 어류 현황

출현종수 기준 아열대 어류 출현현황은 조사기간 동안 총 88종이 어획되었고, 이 중 아열대 어류는 42종으로 전체의 47.7%를 차지하였다. 개체수 기준 출현현황은 총 3,479개체 중 아열대 어류는 1,521개체로 출현율의 경우 43.7%였다(Fig. 4A). 연도별 출현종수 기준 어획현황은 2012년 어획종 39종, 아열대 어류 21종(53.8%), 2019년 어획종 37종, 아열대 어류 21종(56.8%), 2022년 어획종 31종, 아열대 어류 21종(67.7%)으로 2016년 이후부터 아열대 어류 출현율이 증가하였고, 특히, 2017~2022년까지 아열대 어류 평균 출현율은 59.3%로 조사기간 초반에 비해 증가한 것으로 나타났다.

Table 1. Annual variations of dominant species and relative dominance (R·D (%)) of fishes collected by trammel net in the coastal waters of Sagye-ri from 2012 to 2022

Year	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
No. 1 dominant species	<i>Stephanolepis cirrhifer</i>	<i>Stephanolepis cirrhifer</i>	<i>Siganus fuscescens</i>	<i>Stephanolepis cirrhifer</i>	<i>Stephanolepis cirrhifer</i>	<i>Stephanolepis cirrhifer</i>	<i>Stephanolepis cirrhifer</i>	<i>Stephanolepis cirrhifer</i>	<i>Stephanolepis cirrhifer</i>	<i>Sebastiscus marmoratus</i>	<i>Stephanolepis cirrhifer</i>
R·D (%)	26.3	22.6	30.6	20.6	22.8	29.1	33.2	25.1	26.8	25.6	28.5
No. 2 dominant species	<i>Diodon holocanthus</i>	<i>Trachurus japonicus</i>	<i>Stephanolepis cirrhifer</i>	<i>Siganus fuscescens</i>	<i>Sebastes inermis</i>	<i>Choerodon azurto</i>	<i>Choerodon azurto</i>	<i>Siganus fuscescens</i>	<i>Siganus fuscescens</i>	<i>Stephanolepis cirrhifer</i>	<i>Sebastiscus marmoratus</i>
R·D (%)	10.2	8.6	16.7	12.9	12.5	16.5	10.7	18.4	10.7	25.6	15.6
No. 3 dominant species	<i>Sebastiscus marmoratus</i>	<i>Siganus fuscescens</i>	<i>Choerodon azurto</i>	<i>Sebastes inermis</i>	<i>Choerodon azurto</i>	<i>Microcanthus strigatus</i>	<i>Siganus fuscescens</i>	<i>Sebastes inermis</i>	<i>Sebastiscus marmoratus</i>	<i>Sebastes ventricosus</i>	<i>Choerodon azurto</i>
R·D (%)	8.9	7.0	7.8	8.4	9.6	7.4	10.1	8.0	10.3	6.8	7.6
No. 4 dominant species	<i>Chaetodontoplus septentrionalis</i>	<i>Sebastes hubbsi</i>	<i>Chaetodontoplus septentrionalis</i>	<i>Sebastiscus marmoratus</i>	<i>Sebastiscus marmoratus</i>	<i>Diodon holocanthus</i>	<i>Sebastiscus marmoratus</i>	<i>Sebastiscus marmoratus</i>	<i>Chaetodontoplus septentrionalis</i>	<i>Thamnaconus modestus</i>	<i>Chaetodontoplus septentrionalis</i>
R·D (%)	8.2	6.8	6.1	8.2	8.9	4.8	8.5	6.7	6.5	6.3	5.7
No. 5 dominant species	<i>Choerodon azurto</i>	<i>Sebastiscus marmoratus</i>	<i>Diodon holocanthus</i>	<i>Choerodon azurto</i>	<i>Chaetodontoplus septentrionalis</i>	<i>Chaetodontoplus septentrionalis</i>	<i>Sebastes inermis</i>	<i>Diodon holocanthus</i>	<i>Goniistius zonatus</i>	<i>Siganus fuscescens</i>	<i>Parupineus ciliatus</i>
R·D (%)	7.2	6.2	5.6	7.7	6.6	4.8	7.3	4.7	6.1	4.5	5.3

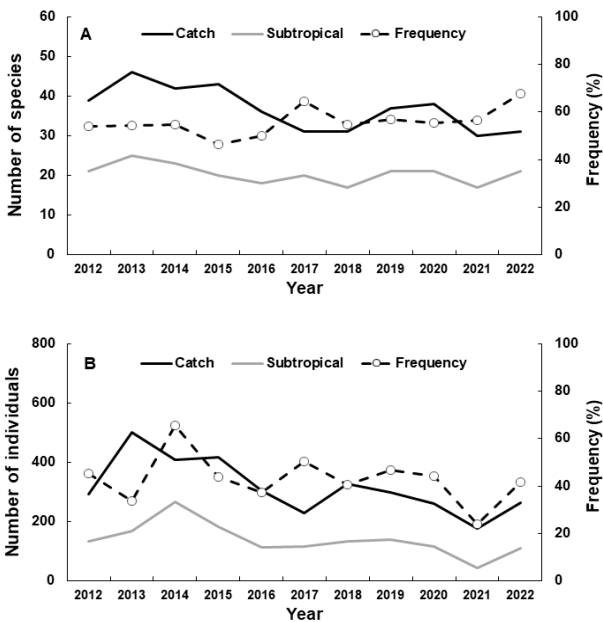


Fig. 4. Annual variations of number of species (A) and number of individuals (B) at total catch and subtropical species collected by trammel net in the coastal waters of Sagye-ri from 2012 to 2022.

연도별 아열대 어류 개체수 비율은 2012년 45.4%, 2014년 65.4%, 2016년 37.3%, 2019년 46.8%, 2022년 41.8%였다. 조사기간 중 2016년 개체수 비율이 가장 높게 나타났고, 그 이후부터 감소하였으며, 최근(2017~2022년) 아열대 어류 평균 개체수 비율은 41.3%로 조사기간 초·중반(45.1%)에 비해 감소한 것으로 나타났다(Fig. 4B). 또한, 사계리 연안에서 어획된 아열대 어류의 개체수 우점종은 독가시치, 호박돔, 청줄돔, 가시복, 아홉동가리로 연중 어획되는 어종으로 조사되었다.

군집지수 변화

우점도지수(DI)는 0.11~0.37 범위로 2013년에 가장 낮았고, 2021년에 가장 높았으며, 2020년 이후부터 0.24~0.37 범위로 조사기간 초반에 비해 높았다(Fig. 5). 종다양도지수(H')는 2.42~3.00 범위로 2021년에 낮고, 2013년에 높았으며, 2012~2016년까지 조사기간 초반에 높게 나타난 이후 2018, 2021년에 낮았지만, 2019년부터 최근까지 다시 증가하였다. 균등도지수(E')는 0.69~0.78 범위로 2013년에 가장 높고, 2014년에 가장 낮게 나타났으며, 2014, 2018 및 2021년을 제외하면 조

사기간 동안 0.75~0.78 범위로 비교적 유사한 수준을 나타냈다. 종풍도지수(R)는 5.18~7.24 범위로 2013년에 높고, 2018년에 가장 낮게 나타났으며, 2017, 2018년을 제외하면, 조사기간 초·중반까지 높게 나타난 이후 최근(2021~2022년)에 감소하였다. 군집지수 변화를 계절별로 살펴보면, 우점지수는 동계와 추계에 높고, 하계에 낮게 나타났으며, 종다양도와 균등도 및 종풍도지수는 다른 계절에 비해 하계에 가장 높았다. 또한, 종다양도, 균등도가 가장 낮은 시기는 추계였고, 종풍도는 춘계에 가장 낮았다(Fig. 6).

총중량 우점종에 대한 연도별 종 다양도 분석을 K-dominance 곡선으로 나타냈다(Fig. 7). K-dominance 곡선상 60% 이내에 포함된 종수는 2012년에 7종, 2013년 7종, 2014년 4종, 2015년 7종, 2016년 5종, 2017년 4종, 2018년 4종, 2019년 5종, 2020년 6종, 2021년 5종, 2022년 4종이었으며, 연도별 종 다양도는 2012, 2013년에 가장 높고, 2014, 2017, 2018, 2022년에 가장 낮게

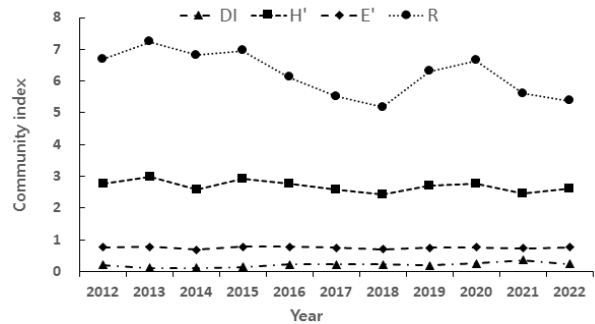


Fig. 5. Annual variations of community indices of fishes collected by trammel net in the coastal waters of Sagye-ri from 2012 to 2022.

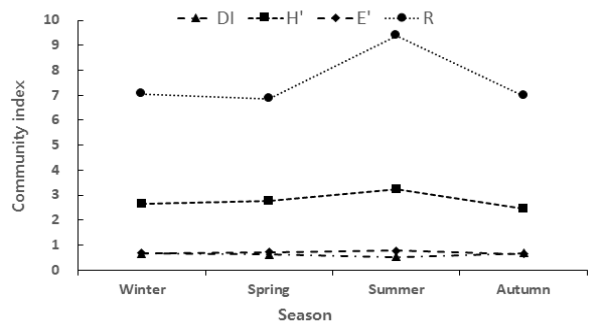


Fig. 6. Seasonal variations of community indices of fishes collected by trammel net in the coastal waters of Sagye-ri from 2012 to 2022.

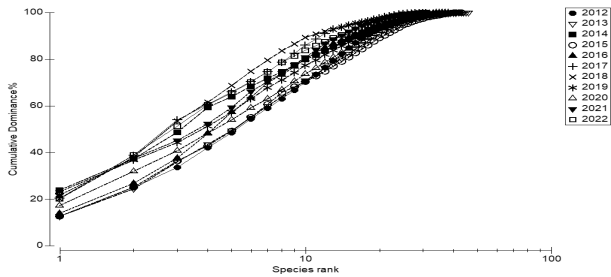


Fig. 7. K-dominance curves (x-axis logged) of total biomass of fishes collected by trammel net in the coastal waters of Sagye-ri from 2012 to 2022.

나타났다. 또한, 총중량에 대한 연도별 최상위 우점종은 2012, 2013, 2015, 2020년에 쥐치, 2014, 2019년에 독가시치, 2016, 2017, 2018, 2022년에 호박돔, 2021년에 썸뱅이로 나타났다.

군집 유사도

유사도를 분석한 결과 2개 그룹으로 그룹 A (2012~2017년) 와 그룹 B (2018~2022년)로 구분되었다 (Fig. 8). 2012~2017년까지 그룹 A의 유사도는 63%, 2018~2022년까지 그룹 B의 유사도는 62%로 나타났고, A와 B의 그룹간 유사도는 57%였다(SIMPROF test, $P < 0.05$). A와 B, 2개로 구분된 그룹간의 차이(비유사성, dissimilarity)에 기여한 종은 넙치, 독가시치, 호박돔, 볼락, 가시복으로 나타났다.

고 찰

제주도 연안 중 고수온이 출현하는 해역은 남부연안

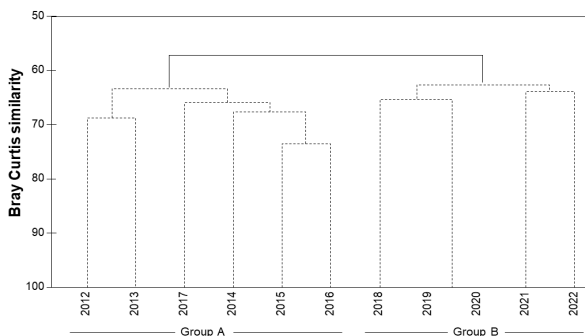


Fig. 8. Results of cluster analysis performed on Bray Curtis similarity from standardized species absence transformed data. The dotted lined indicate no significant difference among 11 years (SIMPROF test).

으로 북부지역 보다 기온이 높은 것도 요인이지만, 복사하는 대마난류수가 제주도의 지형적인 영향을 적게 받고, 직접 연안역까지 유입되는 것이 가장 큰 원인이다. 특히, 대마난류수의 분지류가 남부연안 중 모슬포 및 강정리 사이의 연안역에 가장 먼저 유입되며, 직접적으로 연안역에 접근함에 따라 제주도 연안 중 연중 수온이 가장 높게 유지되는 근본원인이다(Ko et al., 2003). 연구 기간의 전체 연평균 수온은 19.4℃였으며, 2019년에 가장 높고(20.2℃), 2018년에 가장 낮은(18.6℃)값을 제외하면 19.0~20.0℃ 범위였다. 연도별 전체 평균 수온변화는 2012~2016년(19.2℃)까지 낮았지만, 2017~2022년(19.6℃)까지 점차 높아졌다. 연평균 수온변화는 2012년 대비 2022년에 0.8℃ 상승하였고, 하계와 동계의 수온변화는 2012~2016년까지 평균 24.9℃, 14.5℃였지만, 2017~2022년까지 평균 25.2℃, 14.8℃로 나타났고, 최근, 하계와 동계의 평균수온이 2016년 이전에 비해 각각 0.3℃ 상승한 것으로 나타났다. 본 연구와 동일한 해역에서 선행된 사계리 연안의 연평균 수온은 19.3℃ (Kim et al., 2014), 제주도 4개 연안은 19.0℃ (Ko et al., 2015)였고, 조사해역보다 남쪽에 위치한 가파도의 연평균 수온은 19.1℃로 나타났다(Ko et al., 2021). 이처럼, 선행된 연구 기간에 비해 본 연구의 연평균 수온이 다소 높았고, 조사기간 초·중반(2012~2016년)보다 후반(2017~2022년)에 0.4℃ 상승한 것으로 나타났다. 한편, 본 연구와 동일한 기간에 조사된 제주 북부연안(Ko et al., 2023)의 경우 2012년 대비 2022년에 0.4℃ 상승한 것과 본 연구에서 동기 대비 0.8℃ 상승했다는 것은 제주도 본 섬 중 남쪽에 위치한 해역별 차이는 있으나, 기후변화에 의한 대마난류수 세력 확장으로 제주연안의 수온상승 추이는 해역에 관계없이 동일한 것으로 판단된다.

어획시험 결과 총 12목 46과 88종으로 조사되었고, 어획종수를 연도별로 살펴보면, 2012~2016년까지 36~46종으로 평균 41종, 2017~2022년까지 30~38종으로 평균 어획종수는 33종이었고, 조사기간 초·중반(2012~2016년)까지 어획종수가 높았지만, 조사기간 중·후반(2017~2022년)에 들어 어획 종수가 감소한 것으로 나타났다. 본 연구와 동일한 시기에 조사된 북부(북촌리) 연안의 어획종수는 95종이었고(Ko et al., 2023), 본 연구는 88종으로 북부연안에 비해 지리적 위치와 좋은 조건을 갖춘 환경임에도 어획종수는 낮게 나타났다. 이처럼, 본

연구의 어획종수 감소요인을 선행 연구결과와 비교해 보면, 북부(북촌리) 연안은 썸뱅이목 36%, 농어목 36%로 분류군별 점유율이 유사하나, 남부(사계리)연안은 썸뱅이목 20%, 농어목 41%로 온대성 어류 비율이 높은 썸뱅이목 어류는 감소한 반면, 아열대성 어류 비율이 높은 농어목 어류는 증가한 것으로 나타났다. 또한, 북부연안은 아열대 어류 출현율이 40%였지만, 본 조사해역은 48%로 아열대 어류 점유율이 남부연안에 높게 나타났다. 따라서, 조사시기 후반(2021~2022년)에 종조성이 감소한 요인은 수온 상승에 따른 온대성 어류 북상·이동과 더불어 어류군집 내 우점종 중 특정종(아열대 어류)의 종조성과 점유율이 증가함에 따라 종 다양성을 감소시키는 특성으로 판단되며, 추후 어류 군집구조 변화 요인에 대한 종합적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.

어획시험 결과 출현종수는 88종으로 제주도 연안에서 보고된 출현종수에 대해 기존 연구결과와 비교해 보면, 최근에 보고된 제주도 북부연안 95종(Ko et al., 2023)에 비해 적었지만, 제주도 북부(함덕) 연안 36종(Go and Shin, 1990), 제주도 남부(서귀포) 연안 36종(Go and Shin, 1988), 제주도 서부(차귀도) 연안 81종(Lee et al., 2009), 제주도 4개 연안 83종(Ko et al., 2015) 및 남부(가과도) 연안 50종(Ko et al., 2021)으로 본 연구의 11년간의 장기 조사는 단기간의 조사결과에 비해 높은 출현종수를 보였다. 조사기간 동안 매년 어획된 어종은 10종(가시복, 독가시치, 범돔, 벤자리, 썸뱅이, 아홉동가리, 쥐치, 청줄돔, 호박돔, 흰점복), 9년간 어획된 어종 5종(강담돔, 거북복, 말쥐치, 썩기미, 참돔), 8년간 어획된 어종 4종(볼락, 썩감팽, 주굴감팽, 흰가오리)으로 나타났다. 이들 19종은 본 조사해역을 대표하는 우점종으로 개체수가 증가하면서 제주도 남부연안의 어류 군집구조 변화에 영향을 미칠 것으로 판단된다. 한편, 계절별 종수 및 개체수 변화는 동계 47종(678개체), 춘계 48종(942개체), 하계 67종(1,134개체), 추계 47종(725개체)으로 춘계부터 증가하기 시작하여 하계에 가장 높고, 추계부터 감소하였다. 이러한 결과는 수온이 높아지는 하계에 어류의 종수 및 개체수 등이 높게 나타난다는 선행 연구들과 유사한 경향을 뒷받침 한다(Ko et al., 2015; Ko et al., 2021; Ko et al., 2023).

연도별 우점종 변화의 경우 최상위 우점종은 쥐치, 독가시치 및 썸뱅이로 이 3종은 전체 어종 중 22~33%

이상의 높은 점유율로 남부 연안의 대표 서식종이었다. 다음으로 차우점종~제 5 우점종은 최우점종 양상과 달리 다른 어종들이 연도별로 교차하면서 다양한 우점 양상을 나타냈다. 조사기간 동안 최우점종~제 5 우점종은 14종으로 이 중 아열대 어종이 7종(50.0%)을 차지하였고, 아열대 어종의 연도별 우점양상은 2014년과 2017년에 4종, 2012, 2020, 2022년에 3종으로 차우점종~제 5 우점종 중 온대성 어류에 비해 아열대 어류 우점 양상이 높게 나타났다. 제주 북부(북촌리) 연안(Ko et al., 2023) 연구에서 최우점종~제 5 우점종 중 대부분 온대성 어류가 차지하였고, 2018~2022년에 제 4~5 하위 우점종에서 아열대 어종들이 포함되었다. 이처럼, 남부연안에 아열대 어류들의 우점 양상이 높은 요인은 제주도 남방해역에서 북상하는 난류수의 직접적인 영향에 의해 연중 수온이 높고, 난류수에 편승한 어류를 포함한 다양한 해양생물들이 우선적으로 서식하는 지리적 위치로 인해 아열대 어류들의 서식밀도가 높은 것으로 판단된다.

군집지수 변화는 우점도지수(DI) 0.11~0.37, 종다양도지수(H') 2.42~3.00, 균등도지수(E') 0.69~0.78, 종풍도지수(R) 5.18~7.24 으로 우점도지수는 2021년에 가장 높았고, 종다양도지수, 균등도지수 및 종풍도지수는 2013년 가장 높게 나타났다. 2013년에 군집지수들이 가장 높게 나타난 요인은 조사기간 중 평균 수온(18.7℃)은 높지 않지만, 출현종수, 개체수 및 총중량이 조사기간 중 가장 높게 나타난 결과에 기인하였고, 반면, 우점도지수가 가장 낮은 것은 상위 우점종들의 개체수 비율이 다른 시기에 비해 가장 낮았기 때문인 것으로 판단된다. 종다양도지수는 2012~2016년까지 비교적 높은 수준을 나타냈지만, 2017년부터 출현종수의 감소로 인해 조사기간 중반부터 최근까지 종다양도지수 값이 낮게 나타났다. 한편, 본 연구의 연도별 군집지수 값은 조사시기 중반부터 감소하였는데, 군집지수에 영향을 미치는 연도별 종조성 변화 결과를 살펴보면, 2012~2016년까지 평균 출현종수, 개체수 및 총중량 값이 2017~2022년에 비해 출현종수 20%, 개체수 32%, 총중량 41%로 감소하였다. 제주 북부연안 어류군집 연구(Ko et al., 2023)에 의하면 종조성에 영향을 미치는 어류군집 특성 중 적절한 수온범위 이상의 환경이 조성되는 시기에 군집지수가 낮게 나타난다고 하였다. 이러한 결과와 유사하게 본 연구의 평균 수온은 조사시기 중·후반에 0.3℃ 증가

하였고, 특히, 조사시기 초반에 형성되지 않았던 연평균 20℃ 이상의 고수온이 2017, 2019, 2022년 3회에 걸쳐 나타난 결과에 기인하여 조사시기 중·후반에 군집지수 값이 감소한 것으로 판단된다. 또한, 계절별 군집지수 변화는 춘계부터 증가하기 시작하여 하계에 종다양도, 균등도 및 종풍도지수가 가장 높게 나타나 반면, 우점도 지수는 낮게 나타났다.

최근, 제주도 연안의 해양환경은 대마난류수의 세력 확장과 더불어 동계 수온 상승 및 다양한 아열대 해양생물의 유입으로 해양생태계 군집구조가 변화하고 있다 (Jang et al., 2006; Choi and Lee, 2010). 본 연구해역에서 아열대 어류는 총 42종으로 88종의 전체 어류 중 48% 출현율을 나타냈다. 연도별로 아열대 어류 출현율을 비교한 결과 2012~2016년까지 평균 출현율은 52%였고, 2017~2022년까지 59%로 조사기간 중·후반에 아열대 어류 출현율이 증가하였다. 계절별 아열대 어류 출현율은 동계 47%, 춘계 52%, 하계 54% 및 추계 66%로 춘계~하계에 50% 이상 높지만, 추계에는 66%로 최대 출현율을 나타냈다. 이처럼 아열대 어류 출현 결과를 기 보고된 연구들과 비교해 보면, 서부 연안 48% (Lee et al., 2009), 본 연구와 같은 해역인 사계리 연안 45% (Kim et al., 2014), 제주 4개 연안 정점 49% (Ko et al., 2015), 가파도 연안 50% (Ko et al., 2021) 및 북부 연안 40% (Ko et al., 2023)였으며, 본 연구에서는 48%로 최근에 조사된 가파도 연안에 비해 다소 낮았지만, 북부 연안보다 높게 나타났다. 이처럼 제주도 연안 중에서 남부 연안은 연중 높은 수온이 형성되는 해역으로 아열대 어류들의 생존율에 영향을 미치는 겨울철 수온이 2017년 이후부터 15℃ 내외로 나타났고, 조사기간 초반에 비해 겨울철 수온이 0.3℃ 상승함에 따라 최근 들어 출현율이 증가한 것으로 판단되며, 계절별 출현현황은 춘계~동계까지 평균 55%의 출현율을 나타내고 있어, 제주도 남부연안은 계절에 관계없이 연중 아열대 어류들의 서식밀도와 출현율이 높은 것으로 판단된다.

본 연구에서 어획종수 및 비율(전중량)이 높은 분류군은 농어목 어류로 48종(41%)을 차지하였고, 다음으로 쏨뱅이목 어류가 14종(20%), 북어목 어류가 10종(35%) 순으로 나타났다. 어류 분류군 중 농어목은 다양한 어류들로 구성되어 있고, 온대성 어류에 비해 아열대성 어류들의 비율이 높은 것으로 알려져 있다. 제주도 남부연안

은 지리적 특성상 수온이 높은 해역으로 아열대성 어류들의 우점양상이 다른 해역에 비해 높게 나타나게 되고, 선행 연구된 농어목 어류 어획비율은 가파도 58%, 제주 4개 연안 정점 43%, 서부 연안 52%, 북부 연안 36%로 본 조사의 농어목 어류는 41% 비율로 다소 낮게 나타났지만, 조사해역에서 어획된 농어목 48종 중 아열대 어류가 31종이 차지한다는 결과를 해석한다면, 제주도 남부 연안은 새로이 가입되는 아열대 어류를 비롯해 농어목 어류의 구성 비율이 열대 및 아열대 해역의 구성 비율로 변화할 가능성이 있다고 볼 수 있다.

기후변화에 따른 해양생태계 변화는 장기간의 모니터링으로 과거와 현재를 파악할 수 있고, 나아가 미래를 예측할 수 있다. 본 연구는 11년 동안의 현장 조사로 제주도 남부연안에 서식하는 어류 종조성 변화를 파악할 수 있었으며, 수온 상승 등 해양환경 및 서식처 환경 변화에 따라 어류 군집구조 내 분류군 조성 변화를 확인할 수 있었다. 이처럼, 제주도 남부연안은 해양환경 변화를 처음으로 받아들이는 공간으로써 열대 및 아열대 해역에서 유입되는 다양한 어류들에 의해 기존 온대 어류와 아열대 어류 간 서식처 경쟁은 더욱 치열할 것으로 예상된다. 따라서, 제주도 연안은 아열대 해양생태계 기반 환경으로 변화함에 따라 어류를 포함한 해양생물 생태학적 연구 방향 등도 아열대 생태연구로의 전환이 필요한 시점이라 판단된다.

결론

제주도 남부 사계리 연안 서식하는 어류의 군집구조 특성을 파악하기 위해 2012년부터 2022년까지 삼중자망을 이용하여 어획물 종조성 및 계절변화를 분석하였다. 채집된 어류는 12목, 46과, 88종이 출현하였고, 3,479개체(총중량: 883.6 kg)로 나타났다. 연도별 어획종수는 2013년에 46종으로 가장 높았고, 2021년 30종으로 가장 낮게 나타났다. 계절별 어획종수는 8월에 67종으로 가장 높았고, 2월과 11월에 47종으로 가장 낮게 나타났다. 연도별 종다양도(H'), 균등도(E') 및 풍부도(R) 지수의 범위는 각각 2.42~3.00, 0.69~0.78, 5.18~7.24로 2018년에 낮고, 2013년에 높게 나타났다. 군집분석은 개체수를 기준으로 비유사도 57%의 수준에서 두 그룹으로 분류되었고, SIMPROF 분석 결과 두 그룹 간의 군집구조에 유의한 차이가 나타났다. 아열성 어류는 총 42종, 출현

을 47.7%로 나타났으며, 연도별 어획종수는 2013년에 25종(54.3%)으로 가장 많이 어획되었고, 2018, 2021년에 17종(54.8~56.7%) 가장 적었다. 조사해역에서 어획된 아열대성 어류의 주요 우점종은 독가시치, 호박돔, 청줄돔, 가시복, 아홉동가리 등으로 나타났다.

사 사

본 연구는 국립수산물연구원 아열대수산연구소 「제주 주변 연근해어업 및 환경생태조사 R2024012」의 지원으로 수행된 연구입니다.

References

- Bray RJ 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>.
- Choi Y, Oh JK and Ra HK. 2003. Fish fauna of the southern coastal waters in Jeju-do, Korea. *Kor J Ichthyol* 15, 120-126.
- Choi Y and Lee HH. 2013. The fish fauna of little Munsom in Jeju-do, Korea. *Kor J Environ Biol* 31, 45-52.
- Choi Y and Lee HH. 2010. Redescription of the glasseye snapper *Heteropriacanthus cruentatus* (Perciformes: Priacanthidae) from the coastal waters of Jeju Island, Korea. *Kor J Ichthyol* 22, 126-128.
- Clarke KR and Gorley RN. 2006. PRIMER V6: user manual/tutorial. PRIMER-E Ltd, Plymouth, U.K, 1-190.
- Go YB and Shin HS. 1988. Species occurrence and food chain of fisheries resources, nekton, on the coast of Pukchon, Cheju Island. I. Species composition and diversity. *J Kor Fish Soc* 21, 131-138.
- Go YB and Shin HS. 1990. Species composition and diversity of fisheries resources, nekton off the coast of Hawsun, southern part of Cheju Island. *Kor J Ichthyol* 2, 36-46.
- Jang SM, Kim SS, Choi YC and Kim SG. 2006. A study of correlations between air-temperature of Jeju and SST around Jeju Island. *Kor J Mar Environ Energy* 9, 55-62.
- Kim BJ and An JH. 2010. New record of blenny *Omobranchus loxozonus* (Perciformes: Blenniidae) from Jeju Island, Korea. *Kor J Ichthyol* 22, 61-64.
- Kim IO and Rho HK. 1994. A study on China coastal water appeared in the neighbouring seas of Cheju Island, *J Kor Fish Soc* 27, 515-528.
- Kim MJ, Han SH, Kim JS, Kim BY and Song CB. 2014. Species composition and bimonthly changes of fish community in the coastal waters of Sagyeoi, Jeju Island, Korea. *Kor J Ichthyol* 3, 212-221.
- Kim YU, Myoung JG, Kim YS, Han KH, Kang CB and Kim JG. 2001. Marine fishes of Korea. Hangeul Graphics, Pusan, 1-382.
- Ko JC, Kim BY, Han SH, Kim MS, and Kwak JH. 2023. Long term variations of fish assemblage in the coastal waters Bukchon-ri, northern part of Jeju Island from 2012 to 2022. *J Kor Soc Fish Oce Tec* 59, 301-314. <https://doi.org/10.3796/KSFOT.2023.59.4.301>.
- Ko JC, Kim BY, Kim MJ, Park SE, Kim JB and Cho HK. 2015. A seasonal characteristic of marine environment and fish assemblage in the coastal waters Jeju Island, Korea from 2012 to 2013. *J Kor Fish Mar Sci Edu* 27, 327-352.
- Ko JC, Han SH, Kim BY, CHOI JH, and HWANG KS. 2021. A seasonal characteristic of fish assemblage in the coastal waters Gapa-do, Southern part of Jeju Island. *J Kor Soc Fish Oce Tec* 57, 010-024. <https://doi.org/10.3796/KSFOT.2021.57.1.010>.
- Ko JC, Kim JT, Kim SH and Rho HG. 2003. Fluctuation characteristics of temperature and salinity in coastal waters around Jeju Island, Korea. *J Kor Fish Soc* 36, 306-316.
- Lambshead PJD, Platt H M and Shaw KM. 1983. The detection of differences among assemblages of marine benthic species based on an assessment of dominance and diversity. *J Natl Hist* 17, 859-874.
- Lee SJ, Ko JC, Yoo JT, Im YJ, Kim BY and Kim JI. 2009. Species composition and seasonal variation of fish assemblage of the western coastal waters of Jeju Island, Korea. *Kor J Ichthyol* 21, 167-176.
- Masuda H, Amaoka K, Araga C, Uyeno T and Yoshino T. 1992. The fishes of the Japanese archipelago. Tokai Univ Press. Tokyo, pls 378, 1-456.
- Margalef DR. 1958. Information theory in ecology. *General systems* 3, 36-71.
- McNaughton SJ. 1967. Relationship among functional properties of California grassland. *Nature*, 216, 168-169.
- Myoung JG. 1997. The fish fauna of Munsom in Cheju-do, Korea. *Kor J Ichthyol* 9, 5-14.
- Nakabo T. 1933. Fishes of Japan with pictorial keys to the species. Tokai University Press, Tokyo, 1-1474.

Pang IC and Kim TH. 1993. Upwelling of the western coastal water in Cheju Island. Bull National University 17, 1-12.
Pielou EC. 1969. An introduction to mathematical ecology, 291-331.

Shannon CE and Wiener W. 1949. The mathematical theory of communication. University Illinois Press, Chicago, 1-125.

Appendix 1. Annual variations in species composition, number of individual and biomass (kg) of fishes collected by trammel net in the coastal waters of Sagye-ri from 2012 to 2022 (N, number of individuals; W, biomass (kg); +, subtropical fish)

Species	Years		2012		2013		2014		2015		2016		2017		2018		2019		2020		2021		2022		Total		
	N	W	N	W	N	W	N	W	N	W	N	W	N	W	N	W	N	W	N	W	N	W	N	W	N	W	
<i>Scyliorhinus torazame</i>									1	0.3															1	0.3	
<i>Narke japonica</i>																	1	0.2								1	0.2
<i>Platyrrhina sinensis</i> +	3	2.6			1	1.3	2	2.5	7	9.1								2	2.3						15	17.8	
<i>Dasyatis akajei</i> +	2	2.8	1	2.2			1	1.9			1	0.1			1	0.4									6	7.6	
<i>Urolophus aurantiacus</i>	6	2.8	2	0.8	1	0.2	3	2.0	3	1.2	7	2.9	5	2.3	1	0.5	2	0.7							30	13.2	
<i>Engraulis japonicus</i>	2	<0.1			2	<0.1	1	0.0	2	<0.1															7	0.1	
<i>Saurida undosquamis</i>														1	0.3											1	0.3
<i>Trachinocephalus myops</i>			1	0.3													2	0.8	2	0.6					5	1.6	
<i>Lophius litulon</i>	1	8.3																	1	1.0					2	9.3	
<i>Strongylura anastomella</i>					1	0.8																			1	0.8	
<i>Monocentris japonica</i> +			1	<0.1			1	<0.1	1	0.6															3	0.6	
<i>Zeus faber</i>	9	3.9	24	5.1					1	0.1			12	3.6	1	0.3			1	0.4					48	13.5	
<i>Inimicus japonocu</i>	2	0.6	3	1.3	4	1.5	3	1.3	2	1.0	1	0.4			3	1.0	4	1.3	1	0.2	1				24	9.2	
<i>Pterois lunulata</i> +			2	0.2									1	0.5								2			5	1.2	
<i>Scorpaena miostoma</i> +			4	0.3	3	0.2	6	0.5	3	0.3	6	0.5	5	0.4	1	0.1	3	0.2	1	0.1					32	2.6	
<i>Scorpaenodes littoralis</i> +	4	0.2			1	0.1					1	<0.1			1	0.1			1	0.1					8	0.5	
<i>Scorpaenopsis cirrhosa</i> +	3	1.5	3	1.3	3	1.1	5	2.2	6	2.8			1	0.6	1	0.6			1	0.3	2				25	10.9	
<i>Sebastes hubbsi</i>	14	3.1	34	6.9	12	2.7																			60	12.7	
<i>Sebastes ventricosus</i>							12	2.4	1	0.3			9	2.1	11	2.2	9	2.0	12	2.6	1				55	11.8	
<i>Sebastes inermis</i>					1	0.1	35	6.5	38	7.5	2	0.4	24	4.6	24	4.4	15	3.2	7	1.3	11				157	30.4	
<i>Sebastes pachycephalus</i>					1	0.1																			1	0.1	
<i>Sebastes marmoratus</i>	26	6.3	31	6.2	21	4.4	34	7.8	27	5.3	10	1.8	28	5.4	20	4.0	27	5.4	45	8.0	41				310	61.9	
<i>Chelidonichthys spinosus</i>	1	0.2																							1	0.2	
<i>Platycephalus indicus</i>			2	1.0	2	1.8	8	6.1	1	1.1			1	0.4			1	0.4							15	10.8	
<i>Hexagrammos otakii</i>			1	0.6																					1	0.6	
<i>Pseudobleinius percoides</i>							2	0.2																	2	0.2	
<i>Epinephelus bruneus</i> +			3	1.1	1	0.3	1	0.3	3	0.9	1	0.5			1	1.5	1	0.8							11	5.3	
<i>Epinephelus poecilonotus</i> +	1	0.2	8	2.4	2	1.2																			11	3.8	
<i>Apogon doederleini</i> +			2	<0.1							1	<0.1													3	0.1	
<i>Apogon cookii</i> +			1	<0.1																					1	<0.1	
<i>Apogon endekataenia</i> +																	1	<0.1							1	<0.1	
<i>Apogon semilineatus</i> +																						1	<0.1		1	<0.1	

Appendix 1. Continued

Species	Years		2012		2013		2014		2015		2016		2017		2018		2019		2020		2021		2022		Total	
	N	W	N	W	N	W	N	W	N	W	N	W	N	W	N	W	N	W	N	W	N	W	N	W	N	W
<i>Scombrops boops</i>																1	0.1								1	0.1
<i>Selar crumenophthalmus</i>																4	0.3								4	0.3
<i>Seriola dumerili</i> +					1	0.6	1	0.5	1	0.3	1	0.5										1			5	2.6
<i>Seriola lalandi</i>	3	4.5	1	0.5														1	0.7						5	5.6
<i>Seriola quinqueradiata</i>								3	1.3																3	1.3
<i>Trachurus japonicus</i>			43	3.3						18	0.4					1	0.0	1	<0.1	1	<0.1	5			69	3.9
<i>Gerres oyena</i>																		1	0.2						1	0.2
<i>Parapristipoma trilineatum</i> +	2	0.9	10	2.5	4	1.7	3	1.3	2	0.8	1	0.2	1	0.7	2	0.6	3	0.9	1	0.3	3				32	10.8
<i>Pagrus major</i>	1	1.8	13	7.4	11	4.1	7	2.4	4	1.2	6	2.7			1	0.6	4	1.1	1	0.2	6				54	22.4
<i>Lethrinus genivittatus</i> +	2	0.6	10	2.5	1	0.3				1	0.3														14	3.7
<i>Lethrinus haematopterus</i> +	1	0.3					1	0.3							1	0.3			1	0.6	1				5	1.6
<i>Parupeneus chrysopleuron</i> +					1	0.2																			1	0.2
<i>Parupeneus ciliatus</i> +															2	0.7	3	1.4	2	1.1	14				21	8.6
<i>Parupeneus heptacanthus</i>									1	0.3															1	0.3
<i>Parupeneus spilurus</i> +					1	0.3							1	0.2			5	1.2			1				8	2.2
<i>Pempheris japonica</i> +			2	0.1	5	0.3						3	0.2	2	0.1	2	0.1					2			16	1.0
<i>Pempheris schwenkii</i> +			1	<0.1	9	0.5	4	0.3					1	<0.1	3	0.1	1	<0.1				5			24	1.3
<i>Chaetodon wiebeli</i> +							1	0.1																	1	0.1
<i>Chaetodontoplus septentrionalis</i> +	24	3.6	27	3.4	25	3.2	20	2.7	20	2.7	11	1.6	5	0.8	8	1.1	17	2.4	2	0.4	15				174	24.5
<i>Evistias acutirostris</i> +									1	0.2															1	0.2
<i>Girella leonina</i> +	2	0.4	1	0.5			6	2.7														4			13	4.3
<i>Girella punctata</i>	3	2.1	13	4.3	2	0.6	1	0.7																	19	7.7
<i>Kyphosus vaigiensis</i> +																	1	0.3							1	0.3
<i>Microcanthus strigatus</i> +	1	0.1	3	0.2	7	0.6	2	0.2	6	0.5	17	1.3	4	0.3	9	0.9	4	0.4	3	0.3	5				61	5.4
<i>Oplegnathus fasciatus</i>	1	1.2	2	0.7	3	0.5	8	1.7	2	0.4	2	2.6					1	0.3			2				21	7.8
<i>Oplegnathus punctatus</i> +	4	0.8	1	0.3			5	1.2	1	0.7	2	0.6	14	3.1	9	2.0	2	1.1	3	1.3	11				52	13.6
<i>Goniistius quadricornis</i> +	1	0.2																							1	0.2
<i>Goniistius zonatus</i> +	10	3.5	7	2.0	8	2.7	10	2.7	4	1.5	6	2.9	4	1.1	13	3.0	16	4.7	6	2.9	11				95	30.0
<i>Ditrema temmincki</i>													1	0.1											1	0.1
<i>Chromis notata</i> +	1	<0.1	2	0.1	1	<0.1					1	<0.1				1	<0.1	2	<0.2	3				11	0.3	
<i>Choerodon azurio</i> +	21	8.4	21	9.6	32	12.7	32	14.6	29	11.7	38	13.8	35	15.3	5	2.0	10	3.5	6	1.6	20				249	105.0
<i>Halichoeres poecilopterus</i>					1	0.1																			1	0.1

Appendix 1. Continued

Species	Years																								Total	
	2012		2013		2014		2015		2016		2017		2018		2019		2020		2021		2022		N	W		
	N	W	N	W	N	W	N	W	N	W	N	W	N	W	N	W	N	W	N	W	N	W	N	W		
<i>Halichoeres tenuispinnis</i>	1	0.1																							0.1	
<i>Pseudolabrus eoethinus</i> +	1	0.1	1	0.1	2	0.1			1	0.2	1	0.1													6	0.5
<i>Pseudolabrus sieboldi</i> +	1	0.1	1	0.1	1	0.1							2	0.2	1	0.1	1	<0.1	1	<0.1					8	0.5
<i>Pteragogus flagellifer</i>			2	0.1			2	0.2	1	0.1			1	<0.1			1	<0.1							7	0.4
<i>Semicossyphus reticulatus</i>			1	1.1			1	0.7																	2	1.8
<i>Stethojulis interrupta terina</i> +																	1	<0.1							1	<0.1
<i>Siganus fuscescens</i> +	14	5.8	35	14.5	125	22.5	54	13.1	7	2.8	9	3.6	33	11.8	55	15.0	28	9.1	8	2.5	1	0.5			369	101.3
<i>Naso unicornis</i> +																							1	0.3	1	0.3
<i>Scomber japonicus</i>			10	1.0											2	0.5	1	0.1							13	1.6
<i>Scomberomorus niphonius</i>													1	0.8											1	0.8
<i>Paralichthys olivaceus</i>	2	3.0	12	14.7	1	2.2	4	7.3	8	8.8	8	12.3			2	4.9	2	2.4							39	55.6
<i>Kareius bicoloratus</i>			1	0.1			1	0.4																	2	0.4
<i>Zebrias fasciatus</i>					1	0.5																			1	0.5
<i>Paraplagusia japonica</i>					4	1.0	3	0.8	1	0.2	1	0.2	1	0.3											10	2.5
<i>Aluterus monoceros</i>							1	0.3																	1	0.3
<i>Rudarius ercodes</i> +										1	<0.2				1	0.1					1	<0.1			3	0.1
<i>Stephanolepis cirrhifer</i>	77	12.4	113	16.1	68	10.7	86	14.9	69	10.6	67	10.3	109	13.6	75	8.8	70	10.8	45	5.9	75	10.8	854	124.7		
<i>Thamnaconus modestus</i>	8	1.5	13	2.8	3	0.3	7	1.8	1	0.3			1	0.2	7	1.1	2	0.4	11	2.6	6	1.6	59	12.6		
<i>Ostracion immaculatus</i> +	5	1.1	12	1.7	10	1.7	9	1.2	7	1.4	2	0.3	3	0.7	7	1.3	4	0.8	2	0.2					61	10.4
<i>Canthigaster rivulatus</i> +										2	0.4	2	0.4	3	0.6	8	1.6				2	0.4	17	3.4		
<i>Takifugu niphobles</i>							3	0.6																	3	0.6
<i>Takifugu pardalis</i>	1	0.5									1	0.4													2	0.9
<i>Takifugu poecilonotus</i>	2	0.6	10	2.2	2	0.5	8	2.1	10	2.5	9	2.4	1	0.2	5	1.5	3	1.0	6	1.3	5	1.1	61	15.1		
<i>Diodon holocanthus</i> +	30	12.1	10	4.4	23	10.1	19	6.8	13	5.3	11	4.5	19	6.2	14	3.7	3	1.0	1	0.5	5	1.4	148	56.0		
Total	293	97.7	501	126.0	408	94.4	417	117.1	303	83.4	230	67.2	328	76.1	299	64.5	261	62.2	176	37.1	263	57.9				
Number of species	39		46		42		43		36		31		31		37		38		30		31					