

서부인도양 해역 다랑어어업의 생태계기반 어업 위험도 평가

하영신 · 이성일¹ · 권유정*

국립수산과학원 원양자원과, ¹부경대학교 해양생산시스템관리학부

Ecosystem-based Fishery Risk Assessment of Tuna Fisheries in the Western Indian Ocean

Young Shin Ha, Sung Il Lee¹ and Youjung Kwon*

Researcher, Division of Distance Water Fisheries Resources Research, National Institute of Fisheries Science, Busan 46083, Republic of Korea

¹Professor, Division of Marine Production System Management, Pukyong National University, Busan 48513, Republic of Korea

The aim of this study was to conduct an ecosystem-based fishery risk assessment of tuna fisheries in the Western Indian Ocean. We selected gillnet, purse seine, hand line, baitboat, and longline fisheries as the target fisheries method, and selected longtail tuna (*Thunnus tonggol*), narrow-barred Spanish mackerel (*Scomberomorus commerson*), kawakawa (*Euthynnus affinis*), skipjack tuna (*Katsuwonus pelamis*), yellowfin tuna (*T. albacares*), bigeye tuna (*T. obesus*), albacore tuna (*T. alalunga*) and swordfish (*Xiphias gladius*) as the target species. The risk score for the size at the first capture in sustainability objective was high, especially, for the purse seine and baitboat fisheries using the fish aggregating devices (FADs). The risk score for the bycatch in the biodiversity objective was high for the gillnet fishery, and the gillnet fisheries using FADs showed high risks for the habitat quality objective due to the loss of the fishing gears. With regards to the socio-economic benefits objective, the risk score of the sales profits was low due to high sales of the tuna fisheries. The ecosystem risk score in the Western Indian Ocean was estimated to be moderate, although management is required for some of the indicators that have high-risk scores.

Keywords: Ecosystem, Risk assessment, Western Indian Ocean, Tuna fishery

서론

다랑어어업은 세계적으로 경제적 가치가 높은 어업 중 하나로 인도양 해역에서는 약 20억 달러의 수익을 창출하고, 그 중 약 80%가 서부인도양 해역에서 발생되고 있다(Andriamahefazafy and Kull, 2019). 인도양 해역은 눈다랑어, 황다랑어 등 열대성 다랑어(tropical tunas)의 어획량이 전 세계 어획량 508만 톤 중 약 20%를 차지하며, 특히 온대성 다랑어(temperate tunas) 및 연안성 다랑어류(neritic tunas)의 어획량이 전 세계 어획량 68만 톤 중 약 55%를 차지하여 다른 대양에 비해 높다(FAO, 2021).

인도양 해역의 다랑어 자원은 인도양다랑어위원회(Indian Ocean Tuna Commission, IOTC)에서 자원평가 및 자원관리가

이루어지고 있다. IOTC에서는 주요 다랑어류에 대한 자원상태를 개체군 수준에서 평가하고 관리해 오고 있다. 또한, IOTC는 주요 어획 대상종인 다랑어류뿐만 아니라 다랑어어업에서 부수어획되는 어종 및 우발적으로 부수어획되는 생태계 주요 종들도 자원의 상태를 평가하고 관리하고 있다. 특히, 부수어종 및 생태계 주요종들에 대해서는 생태계기반의 자원관리 접근법을 시도하고 있다(Karim et al., 2020).

생태계기반 어업 위험도 평가는 어업이 생태계에 미치는 영향을 지속성, 생물다양성, 서식처, 그리고 사회경제적 요인 등에 대해 위험도를 평가하기 때문에 기존의 개체군 수준의 자원관리보다 포괄적이고 효과적인 자원관리방안을 제시할 수 있다(Kwon et al., 2020).

본 연구에서는 인도양 해역의 주요 다랑어류에 대해 생태계

*Corresponding author: Tel: +82. 51. 720. 2325 Fax: +82. 51. 720.2337

E-mail address: kwonuj@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.2023.0449>

Korean J Fish Aquat Sci 56(4), 449-461, August 2023

Received 1 June 2023; Revised 13 July 2023; Accepted 8 August 2023

저자 직위: 하영신(인턴연구원), 이성일(교수), 권유정(해양수산연구원)

기반 어업 위험도 평가를 실시하여 자원상태를 분석하고, 생태계 차원에서 자원을 효과적으로 관리할 수 있는 방안을 제시하고자 한다.

재료 및 방법

대상생태계, 어업 및 어종

인도양 해역의 주요 다랑어류에 대한 생태계기반 어업 위험도 평가를 위해, 분석 대상 생태계, 어업 및 어종을 선정하고자 인도양 해역의 최근 10년간(2012–2021년) 해역별, 어업별, 어종별 어획량 자료를 사용하였다(IOTC, 2023a).

수산자원의 분포는 지형학 및 해양학적 특징에 의한 영향으로 생태계 경계와 일치하기 때문에 이를 기초로 관리한다(Zhang, 2002). FAO의 기준에 의하면, 인도양은 동경 80°를 기준으로 서부인도양과 동부인도양으로 구분되는데, 본 연구에서는 대상생태계를 다랑어류 어획량의 65%를 차지하는 서부인도양 해역으로 한정하여 생태계 수준에서 관리법을 제시하였다(Fig. 1) (IOTC, 2023a). 대상어업은 서부인도양에서의 어업별 어획비율을 고려하여 자망어업(gillnet fishery, 36%)과 선망어업(purse seine fishery, 31%), 외줄낚시어업(handline fishery, 14%), 채낚기어업(baitboat fishery, 9%)과 연승어업(longline fishery, 9%)으로 선정하였고, 이들의 총 어획비율은 99%이다. 그 중 자망어업은 목표종 및 어선크기에 따라 영세어업(artisanal gillnet)과 대형어업(industrial gillnet)으로 구분하

였으며, 각각의 비율은 영세어업이 70%, 대형어업이 30%이었다(IOTC, 2023a). 대상종은 어업별 목표종과 어획물의 종조성을 고려하여 선정하였다. 영세자망어업은 연안성 다랑어류인 백다랑어(longtail tuna *Thunnus tonggol*), 동갈삼치(narrow-barred Spanish mackerel *Scomberomorus commerson*) 및 점다랑어(kawakawa *Euthynnus affinis*)를 대상종으로 선정하였다(Fig. 2a). 대형자망어업, 외줄낚시어업, 채낚기어업은 열대성 다랑어인 가다랑어(skipjack tuna *Katsuwonus pelamis*)와 황다랑어(yellowfin tuna *T. albacares*) (Fig. 2b, 2d, 2e), 선망어업은 가다랑어, 황다랑어 및 눈다랑어(bigeye tuna *T. obesus*) (Fig. 2c), 그리고 연승어업은 눈다랑어, 황다랑어, 날개다랑어(albacore tuna *T. alalunga*) 및 황새치(swordfish *Xiphias gladius*)를 대상종으로 선정하였다(Fig. 2f).

따라서 본 연구에서는 서부인도양 해역 다랑어어업의 생태계기반 어업위험도를 평가하여 대상생태계에 대한 효과적인 관리 방안을 어업별, 어종별로 제시하고자 영세/대형자망어업, 선망어업, 외줄낚시어업, 채낚기어업, 연승어업 등 6개 어업에서 어획되는 가다랑어, 황다랑어, 눈다랑어, 날개다랑어, 백다랑어, 점다랑어, 동갈삼치, 황새치 등 8개 어종을 대상으로 위험도를 분석하였다(Table 1).

생태계기반 어업 위험도 평가 모델

본 연구에서는 어업이 대상생태계 및 대상종에 미치는 영향을 파악하고자 생태계기반 어업 위험도 평가(ecosystem-based

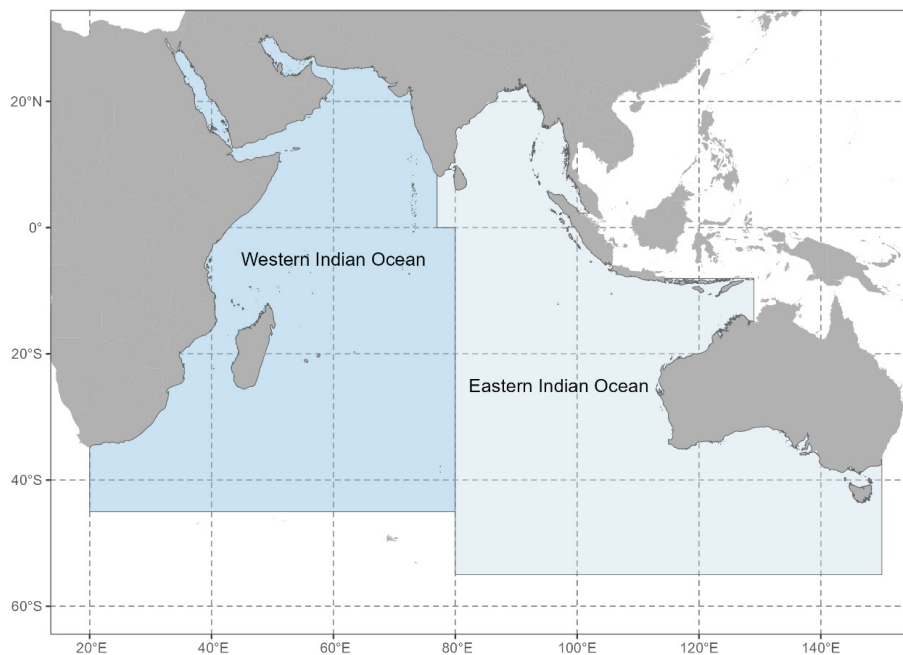


Fig. 1. Map showing Western and Eastern Indian Ocean areas designated by the FAO. Western Indian Ocean is the target ecosystem of this study. Source: <https://iotc.org/about-iotc/competence>.

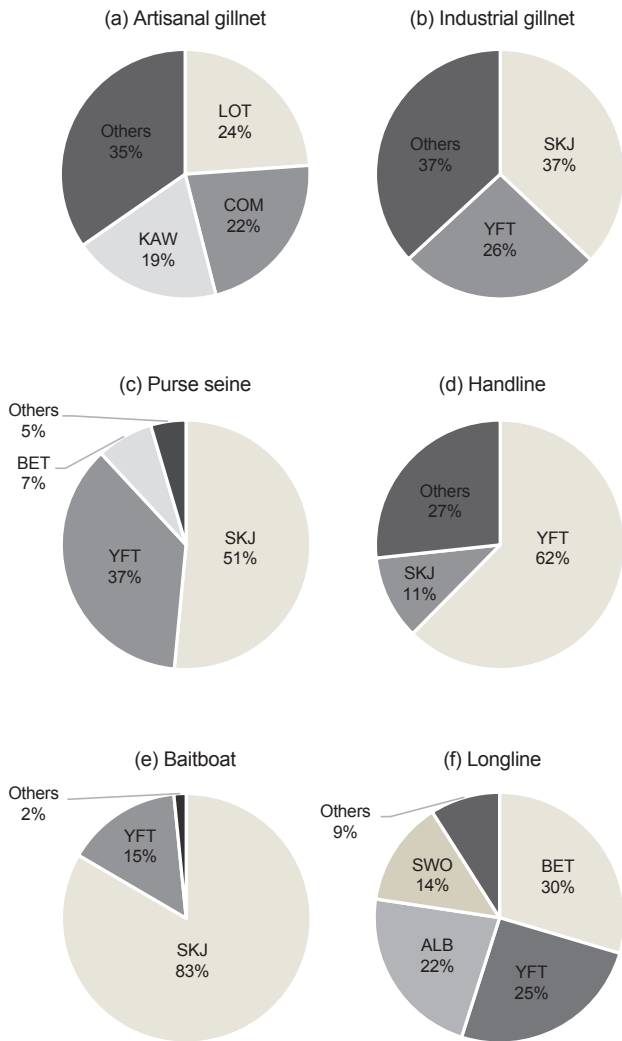


Fig. 2. The catch composition of major species by fishery in the Western Indian Ocean, 2012-2021. LOT, Longtail tuna; COM, Narrow-barred Spanish mackerel; KAW, Kawakawa; SKJ, Skipjack tuna; YFT, Yellowfin tuna; BET, Bigeye tuna; ALB, Albacore tuna; SWO, Swordfish.

Table 1. The target species and fisheries for assessing the ecosystem-based fishery risk for the Western Indian Ocean

Fishery (6)	Target species
Artisanal gillnet (3)	Longtail tuna, Narrow-barred Spanish mackerel, Kawakawa
Industrial gillnet (2)	Skipjack tuna, Yellowfin tuna
Purse seine (3)	Skipjack tuna, Yellowfin tuna, Bigeye tuna
Handline (2)	Yellowfin tuna, Skipjack tuna
Baitboat (2)	Skipjack tuna, Yellowfin tuna
Longline (4)	Bigeye tuna, Yellowfin tuna, Albacore tuna, Swordfish

fishery risk assessment, EBFA) 방법을 사용하였다(Park et al., 2013). EBFA는 지속가능성, 생물다양성, 서식처의 질, 사회경제적 편익에 대한 4가지 목표(objective)가 있으며, 각 목표별 지표(indicator)는 기준점(reference point, RP)에 따라 위험도를 0-3 사이의 값으로 평가한다. 위험도는 그 값이 작을수록 자원 및 생태계가 양호한 상태임을 의미하며, 클수록 자원 및 생태계에 대해 주의가 요구되는 상태임을 의미한다.

EBFA는 지표에 대한 위험점수(risk score, RS), 목표에 대한 위험지수(objective risk index, ORI), 종에 대한 위험지수(species risk index, SRI), 어업에 대한 위험지수(fishery risk index, FRI) 및 생태계에 대한 위험지수(ecosystem risk index, ERI)를 단계적으로 추정한다(Park et al., 2013).

지표 위험점수(RS)는 식 (1)을 사용하여 계산하였다.

$$RS_{i,sp,F} = \frac{TRP_{i,sp,F} - I_{i,sp,F}}{TRP_{i,sp,F} - LRP_{i,sp,F}} + 1 \dots\dots\dots (1)$$

여기서, i 는 지표(indicator), sp 는 어종, F 는 어업을 나타내며, TRP 는 목표기준점(target reference point), LRP 는 한계기준점(limit reference point), I 는 지표의 값(indicator value)을 나타낸다.

관리목표별 지표마다 중요도(weight, w)가 있는데, 이는 목표 달성의 중요성 등을 고려하여(Zhang et al., 2009) 부여하였다. ORI는 지표 위험점수에 중요도를 사용하여 가중 평균하였으며, 식 (2)를 사용하여 계산하였다.

$$ORI_{j,sp,F} = \frac{\sum_j w_{ij} RS_{j,sp,F}}{\sum_j w_{ij}}, j=(S,B,H,E) \dots\dots\dots (2)$$

여기서, j 는 관리목표인 지속가능성(S), 생물다양성(B), 서식처의 질(H), 사회경제적 편익(E)을 나타낸다. $w_{i,j}$ 는 관리목표 j 에 대한 지표 i 의 중요도이며, 지표의 중요도 및 자료의 신뢰성을 고려하여 가중치를 설정하였다(Table 2).

SRI, FRI 그리고 ERI는 식 (3)-(5)를 사용하여 계산하였다.

$$SRI_{sp,F} = \frac{\sum_j \lambda_j ORI_{j,sp,F}}{\sum_j \lambda_j}, j=(S,B,H,E) \dots\dots\dots (3)$$

$$FRI_F = \frac{\sum_{sp} B_{sp} SRI_{sp,F}}{\sum_{sp} B_{sp}} \dots\dots\dots (4)$$

$$ERI = \frac{\sum_F C_F FRI_F}{\sum_F C_F} \dots\dots\dots (5)$$

여기서, λ_j , B_{sp} , C_F 는 각 지수 계산에 사용된 가중치로, λ_j 는 관리목표의 중요도, B_{sp} 는 어종 sp 에 대한 자원량, 그리고 C_F 는 어업 F 에 대한 어획량이다.

Table 2. The data by objective, indicator, target and limit reference points (TRP and LRP) used for the ecosystem-based fishery risk assessment

Objective (weight)	Indicator	Weight	TRP	LRP	Data	Reference	
Sustainability (0.4)	S1	Biomass (B)	2	-	B_{MSY}^{1-3}	Stock assessment results	¹ Jamon et al. (2021)
		Spawning biomass (SB)	3	-	SB_{MSY}^{4-8}		² Zhou (2020)
			1^{1-3}		$1.3MSY^{1,2}$		³ Zhe (2022)
			2^{4-8}	$MSY^{1,2,3,4,6,7,8}$	$1.4MSY^{3,4,7,8}$		⁴ Fu (2020)
		S2	Catch (C)	1	$0.4TAC^5$		TAC^5
						⁶ Fu et al. (2022)	
						⁷ Nishida and Kitakado (2022)	
						⁸ Wang (2020)	
	S3	Size at first capture (L)	1	$L_{50\%}$	$0.5L_{50\%}$	Length at 50% maturity	¹ Darvishi et al. (2018)
							² Niamaimandi et al. (2015)
							³ Taghavi et al. (2010)
							⁴ Grande et al. (2014)
	S4	Mature rate (MR)	1	0.4	0.2	Proportion of individuals with length over $L_{50\%}$	⁵ Zue et al. (2008)
							⁶ Zue et al. (2011)
							⁷ Dhurmea et al. (2016)
							⁸ Fredou et al. (2016)
Biodiversity (0.2)	B1	Bycatch rate (BCR)	2	$0.5\overline{BCR}$	\overline{BCR}	Bycatch rate, 2012-2021	IOTC (2023a)
	B2	Diversity (DI)	1	DI	$0.5DI$	Diversity index, 2012-2019	FAO (2021)
	B3	Discard rate (DCR)	1	$0.5\overline{DCR}$	\overline{DCR}	Discard rate	FAO (2019)
Habitat quality (0.2)	H1	Habitat damage (DH)	2	DH_{target}	DH_{limit}	Previous study	Seo (2011)
	H2	Lost fishing gear (FR)	1	FR_{target}	FR_{limit}	Previous study	Gilman et al. (2021)
	H3	Discard wastes (DW)	1	$0.5\overline{DW}$	\overline{DW}	Fishing effort, 2012-2021	IOTC (2023e)
Socio-economic benefit (0.2)	E1	Ratio of profit to sales (RPS)	1	\overline{RPS}	$0.5\overline{RPS}$	Fish price per oil price, 2012-2021	IOTC (2022i, 2022j)
	E2	Employment rate (ER)	1	\overline{ER}	0	Global employment rate, 2016-2021	ILO (2023)

¹Longtail tuna. ²Narrow-barred Spanish mackerel. ³Kawakawa. ⁴Skipjack tuna. ⁵Yellowfin tuna. ⁶Bigeye tuna. ⁷Albacore tuna. ⁸Swordfish.

지속가능성

지속가능성목표는 생태계의 지속성을 장기간 유지하기 위한 것으로(Zhang, 2006), 이에 대한 지표로 자원량, 어획강도, 어획개시체장, 성어비율을 사용하였다.

자원량 지표는 IOTC의 자원평가 결과를 사용하였다(Fu, 2020; Wang, 2020; Zhou, 2020; Fu et al., 2021, 2022; Jamon et al., 2021; Nishida and Kitakado, 2022; Zhe, 2022).

어획강도의 지표인 어획량의 기준점은 어업별로 총 허용 어획량(total allowable catch, TAC)이 설정되어 있는 황다랑어는 LRP으로 TAC로 사용하였고(IOTC, 2022a), TAC가 설정되어 있지 않은 어종은 어업별 최대지속적생산량(maximum sustainable yield, MSY)을 TRP로, 황다랑어는 TRP를 0.4TAC로 설정하였다. 어업별 MSY를 산출하기 위해 최근 10년간(2012-

2021년) 어업별 어획량 비율을 사용하였다. LRP는 140% 수준으로 설정했으나, 자원상태가 양호한 가다랑어는 150% 수준, 위험한 눈다랑어는 130% 수준으로 설정하였다(IOTC, 2022b). 기준점에 대한 자료는 IOTC 자료(IOTC, 2015a)를 사용하였으며, 지표의 값은 2021년의 해역별, 어업별, 어종별 어획량 자료를 사용하였다(IOTC, 2023a).

연안성 다랑어류 중 백다랑어와 동갈삼치의 자원상태는 남획(overfished) 및 과도어획(overfishing) 상태로 점차 위험해져 어획강도의 LRP는 1.3MSY로 설정하였으며, 자원상태가 비교적 양호한 점다랑어는 LRP를 1.4MSY로 설정하였다(IOTC, 2022c).

어획개시체장의 TRP는 50% 성숙체장($L_{50\%}$), LRP는 TRP의 50% 수준으로 설정하였고(Seo, 2011), 50% 성숙체장 자료는 선행연구 결과를 사용하였다(Zhu et al., 2008, 2011; Taghavi et

al., 2010; Grande et al., 2014; Niamaimandi et al., 2015; Dhurmeea et al., 2016; Fredou et al., 2016; Darvishi et al., 2018). 재생산성의 지표인 성어비율의 TRP는 40%, LRP는 20%로 설정하였다(Seo, 2011). 어획개시체장과 성어비율의 지표에 대한 자료는 IOTC에서 제공하는 최근 10년간(2012–2021년) 해역별, 어업별, 어종별 체장분포자료를 사용하였다(IOTC, 2022d, 2022e, 2022f, 2022g, 2022h, 2023b, 2023c, 2023d).

생물다양성

생물다양성 목표는 대상생태계 내의 종과 유전적 다양성을 유지하기 위한 것으로(Zhang, 2006), 이에 대한 지표로 혼획율, 생물다양성, 폐기율을 사용하였다. 혼획(bycatch)은 어업별 목표종을 제외한 어종의 어획으로 정의하였다. LRP는 모든 어업의 혼획율의 평균값으로, 그리고 TRP는 LRP의 50% 수준으로 설정하였다. 기준점에 대한 자료는 IOTC에서 제공하는 최근 10년간(2012–2021년) 해역별, 어업별, 어종별 어획량 자료를 사용했으며, 지표의 값은 2021년의 자료를 사용하였다(IOTC, 2023a).

생물다양성의 TRP는 Shannon and Wiener (1963)의 방법으로 2012–2019년의 종 다양성지수를 생태계 단위로 계산하여 설정했으며, LRP는 TRP의 50% 수준으로 설정하였다. 기준점에 대한 자료는 대상생태계에 서식하는 모든 어종들의 다양성을 계산하기 위해 FAO에서 제공하는 최근 8년간(2012–2019년)의 해역별, 어종별, 어획량 자료를 사용했으며, 지표의 값은 사용 가능한 가장 최근의 자료인 2019년의 자료를 사용하였다(FAO, 2021). 폐기율의 LRP는 어업별 폐기율의 평균값으로 하고, TRP는 LRP의 50% 수준으로 설정하였다(Seo, 2011). 기준점 및 지표의 값에 대한 자료는 어업별로 폐기량에 대한 보고가 없는 관계로 전 세계 어업별 폐기물 연구결과(Roda et al., 2019)를 사용하였다.

서식처의 질

서식처의 질 목표는 어획이 생태계에 미치는 물리적인 영향을 줄이기 위한 것으로(Zhang, 2006), 이에 대한 지표로 서식처 훼손, 어구 유실, 어업폐기물 사용하였다.

어구유실은 선망, 자망, 연승, 외줄낚시 등 어구 유실로 인한 위험도에 대한 연구결과(Gilman et al., 2021)를 사용하였는데, 이들은 어구유실에 대한 위험도를 0-1점으로 평가했기 때문에, 이를 본 연구의 지표 위험점수(0-3점)로 환산하였다.

어업폐기물은 어획노력량에 비례한다고 가정하여 각 어업별 최근 10년간(2012–2021년) 노력량의 평균을 LRP로, TRP는 LRP의 50% 수준으로 설정하였다. 기준점 및 지표의 값에 대한 자료는 IOTC에서 제공하는 최근 10년간(2012–2021년) 어업별 노력량 자료를 사용하였다(IOTC, 2023e).

사회경제적 편익

사회경제적 편익 목표는 인간과 생태계가 공존하기 위한 것

으로(Zhang, 2006), 이에 대한 지표로 판매이윤과 고용증가율을 사용하였다.

판매이윤에 대한 자료가 없는 관계로 최근 10년간(2012–2021년) 대표 어종별 수출단가 대비 유통비의 평균을 TRP로, LRP는 TRP의 50% 수준으로 설정하였다. 기준점 및 지표의 값에 대한 자료는 IOTC에서 제공하는 어종별 수출단가와 유통비 자료를 사용하였다(IOTC, 2022i, 2022j).

고용증가율의 TRP는 최근 6년간(2016–2021년) 세계고용증가율의 평균으로, LRP는 0으로 설정하였다. 기준점의 자료는 국제노동기구(International Labour Organization, ILO)에서 제공하는 전 세계 고용증가율을 사용하였으며(ILO, 2023), 어업별로 선박에 승선하는 인원이 같다고 가정하여 어업별 조업허가 선박의 증가율을 지표의 값으로 사용하였다(IOTC, 2023f).

결과 및 고찰

지표 위험점수

지속가능성

지속가능성 목표의 지표 위험점수는 어종단위로 평가하였으며, 영세자망어업은 백다랑어, 동갈삼치 및 점다랑어에 대한 지속가능성 위험도를 평가하였다. 백다랑어와 동갈삼치의 자원량은 B_{MSY} 의 70%와 80% 수준으로 자원량 지표 위험점수(S1)는 각각 2.93과 2.60으로 매우 주의를 요하는 상태로 나타났으며(Fig. 3a1, 3a2), 점다랑어는 양호한 상태로 나타났으며(Fig. 3a3). 백다랑어의 어획량은 추정된 동 어업 MSY의 140% 수준으로 어획강도 지표(S2)는 주의를 요하는 상태로 나타났으나, 동갈삼치와 점다랑어는 지표 위험점수가 1.3 이하로 나타났으며(Fig. 3a1-3a3). 어획개시체장 지표(S3)는 세 어종 모두 주의를 요하는 상태로 나타났으나, 성어비율 지표(S4)는 모두 양호한 상태로 나타났으며(Fig. 3a1-3a3)

대형자망어업은 가다랑어 및 황다랑어에 대한 위험도를 평가하였다. 가다랑어의 산란자원량은 SB_{MSY} 의 190% 수준으로 자원이 양호한 상태였으며(Fig. 3b1), 황다랑어의 산란자원량은 SB_{MSY} 의 80% 수준으로 주의를 요하는 상태로 나타났으며(Fig. 3b2). 가다랑어의 어획량은 추정된 대형자망어업 MSY의 110% 수준으로 어획강도 지표 위험점수는 1.31이었고(Fig. 3b1), 황다랑어의 어획량은 TAC인 21천 톤의 85% 수준으로 주의를 요하는 상태이었다(Fig. 3b2). 대형자망어업에서 어획된 가다랑어의 어획개시체장은 36.5 cm로 50% 성숙체장($L_{50\%}$, 39.9 cm) (Grande et al., 2014) 보다 작아 어획개시체장의 지표 위험점수는 1.17이었고(Fig. 3b1), 황다랑어는 주의를 요하는 상태로 나타났으며(Fig. 3b2). 성어비율 지표는 가다랑어는 양호한 상태로 나타났으나(Fig. 3b1), 황다랑어는 어획된 개체 중 $L_{50\%}$ 이상의 비율이 34%로 지표 위험점수는 1.30으로 나타났으며(Fig. 3b2).

선망어업은 가다랑어, 황다랑어 및 눈다랑어에 대한 위험도

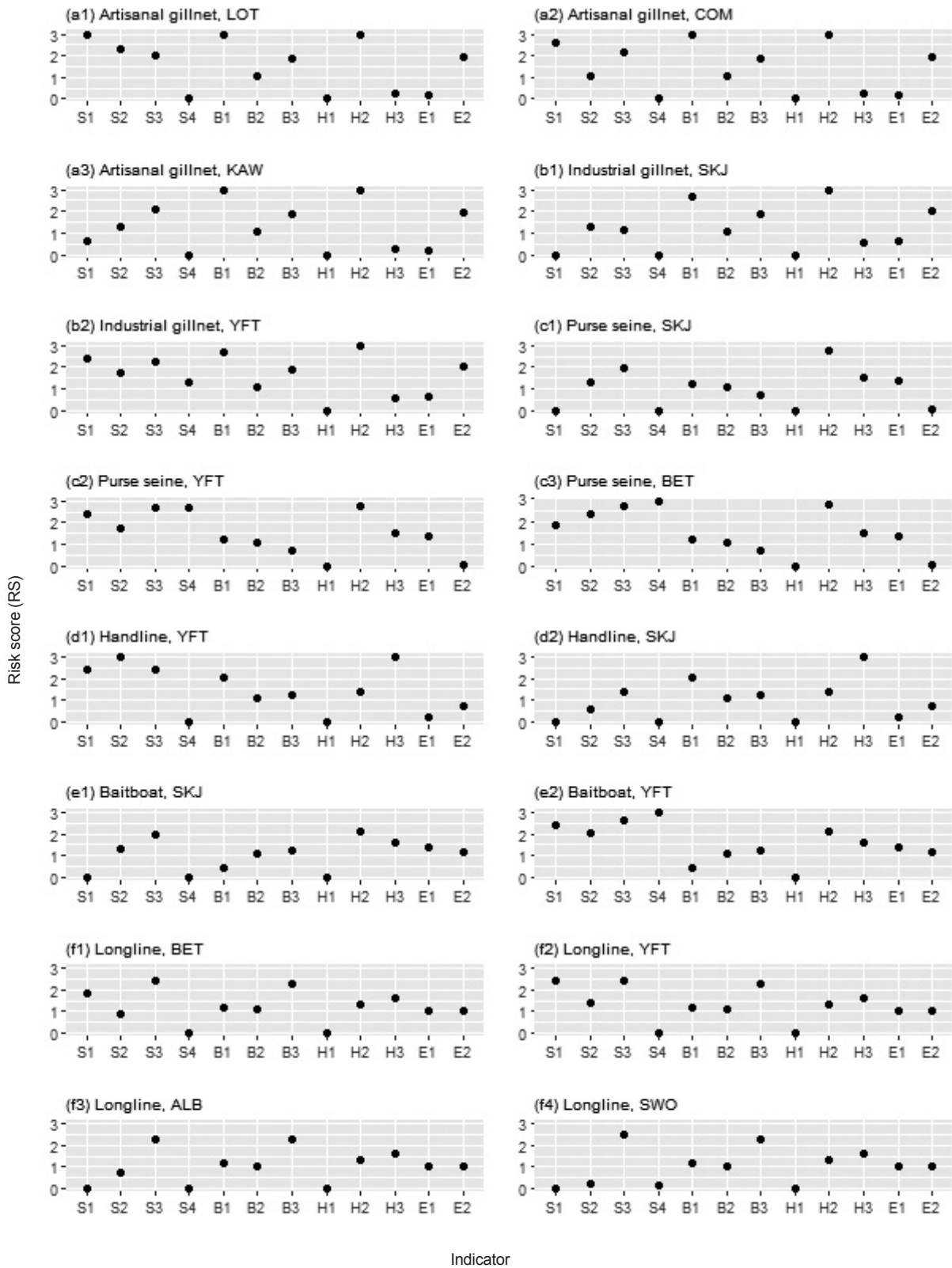


Fig. 3. Estimated risk score (RS) by fishery and species of the Western Indian Ocean. LOT, Longtail tuna; COM, Narrow-barred Spanish mackerel; KAW, Kawakawa; SKJ, Skipjack tuna; YFT, Yellowfin tuna; BET, Bigeye tuna; ALB, Albacore tuna; SWO, Swordfish.

를 평가하였다. 어종별 자원량 지표는 모든 어업에 공통으로 적용되기 때문에 동 어업의 가다랑어와 황다랑어의 자원량 지표 위험점수는 대형자망어업과 동일하다(Fig. 3c1, 3c2). 눈다랑어의 자원량 지표는 자원량이 SB_{MSY} 의 90% 수준으로 주의를 요하는 상태로 나타났다(Fig. 3c3). 가다랑어의 어획강도 지표 위험점수는 1.31로 나타났으며(Fig. 3c1), 황다랑어 어획량은 동 어업의 TAC인 14만톤의 85% 수준으로 주의를 요하는 상태였고(Fig. 3c2), 눈다랑어의 어획량이 MSY의 150% 수준으로 황다랑어보다 위험도가 높았다(Fig. 3c3). 어획개시체장 지표는 황다랑어와 눈다랑어 모두가 매우 주의를 요하는 상태로 나타났으며(Fig. 3c2, 3c3), 가다랑어는 주의를 요하는 상태이었다(Fig. 3c1). 성어비율 지표는 가다랑어는 양호한 상태(Fig. 3c1), 황다랑어와 눈다랑어는 매우 주의를 요하는 상태이었다(Fig. 3c2, 3c3).

외줄낚시어업은 황다랑어 및 가다랑어에 대한 위험도를 평가하였다. 외줄낚시어업 황다랑어의 TAC가 16천톤인데 어획량이 12만톤으로 어획강도는 매우 주의를 요하는 상태였고, 어획개시체장 지표는 주의를 요하는 상태였으며, 성어비율 지표는 양호한 상태로 나타났다(Fig. 3d1). 가다랑어의 어획개시체장의 지표 위험점수는 1.37이었고, 그 외의 지표는 모두 양호한 상태로 나타났다(Fig. 3d2).

채낚기어업은 가다랑어 및 황다랑어에 대한 위험도를 평가하였다. 채낚기어업의 가다랑어의 성어비율 지표는 양호한 상태였고, 어획강도 지표 위험점수는 1.32 이었으며, 어획개시체장 지표는 주의를 요하는 상태로 나타났다(Fig. 3e1). 황다랑어는 어획량이 11천 톤으로 TAC(1만 톤)보다 높아 지표 위험점수는 2.07로 주의를 요하는 상태였다. 황다랑어의 $L_{50\%}$ 는 113.8 cm (Zhu et al., 2008)인데, 동 어업에서 어획한 황다랑어의 어획개시체장이 21 cm로 지표 위험점수는 2.63으로 매우 주의를 요하는 상태였으며, 어획된 개체 중 $L_{50\%}$ 이상인 개체의 비율이 1% 미만으로 나타나 지표 위험점수는 2.99로 매우 주의를 요하는 상태였다(Fig. 3e2).

연승어업은 눈다랑어, 황다랑어, 날개다랑어 및 황새치에 대한 위험도를 평가하였다. 연승어업의 황새치의 어획개시체장 지표는 매우 주의를 요하는 상태였으며, 이외의 어종들은 주의를 요하는 상태로 나타났다. 성어비율 지표는 모든 어종에서 양호한 상태로 나타났다(Fig. 3f). 날개다랑어와 황새치의 자원량은 모두 SB_{MSY} 의 150% 이상으로 지표가 양호한 상태이었다(Fig. 3f3, 3f4). 황다랑어의 어획강도 지표 위험점수는 1.38이었고(Fig. 3f2), 눈다랑어, 날개다랑어 및 황새치는 양호한 상태였다(Fig. 3f1, 3f3, 3f4).

영세자망어업의 백다랑어와 외줄낚시어업 및 채낚기어업의 황다랑어의 어획강도 지표 위험점수는 높은 수준이었다. IOTC는 상업적 대형어업의 주요 어획종(가다랑어, 황다랑어 등)에 대해서만 연간 어획쿼터량을 설정하고 있고, 영세어업의 주요 종(백다랑어 등의 연안성 다랑어)에 대한 관리는 이루어지고 있

지 않다. 외줄낚시어업, 채낚기어업 등은 대부분 영세어업으로 (IOTC, 2023a) 어획량 관리 제도에서 제외되며(IOTC, 2022a), 특히, 자망어업과 외줄낚시어업의 황다랑어 어획량은 어획량을 관리하고 있는 어업의 쿼터량보다 많았다. 또한 IOTC에서는 황다랑어의 자원회복을 위해 선망은 조업 지원선(supply vessel)의 신규 도입을 제한하고 있으며, 대형자망은 대규모의 어구 사용을 금지시키고 있으나, 영세어업에 대한 관리방안은 없는 실정이다(IOTC, 2021). 따라서 영세어업의 어획량 등이 대형어업보다 높은 점을 고려할 때, 영세어업 또한 어업인의 생계 등을 고려하면서 과도한 어획이 발생하지 않도록 효과적인 관리방안이 마련되어야 할 것이다.

어획개시체장 지표는 가다랑어를 제외한 모든 어업의 모든 어종에서 위험도가 높게 평가되었다. 특히 어군유집장치(fish aggregating device, FAD)를 사용하여 조업하는 선망어업과 채낚기어업은 주요 어획종인 황다랑어와 눈다랑어의 어획개시체장 지표뿐만 아니라 성어비율 및 어획강도에 대한 지표의 위험도 역시 높았다. 이는 FAD조업이 특성 상 어군을 유집하여 조업하는 방법이기 때문에, 소형어의 혼획율이 높기 때문인 것으로 보인다(IOTC, 2022e, 2022f). 현재 IOTC에서는 소형어의 혼획 관리를 위해 FAD 설치 횟수 제한, FAD 금어기 및 금어구역 등에 대한 관리조치를 실시하고 있다(IOTC, 2023g, 2023h).

생물다양성

생물다양성의 지표 위험점수는 어업단위로 평가하였다. 각 어업별로 목표종은 상위 80% 이내의 어종임과 동시에 IOTC의 자원평가 대상종 또는 각 어업별로 상업적 가치가 높은 어종을 목표종으로 선정하였다. 혼획율 지표(B1)의 TRP는 전체어업의 평균 혼획율인 7.6%로 설정되었다. 영세자망어업과 대형자망어업의 혼획율은 각각 21.3%, 10.2%로 지표 위험점수가 거의 3으로 매우 주의를 요하는 상태이었다(Fig. 3a, 3b). 선망어업과 연승어업의 지표 위험점수는 1.2 이하로 비교적 양호한 상태였으며(Fig. 3c, 3f), 채낚기어업은 양호한 상태로(Fig. 3e), 그리고 외줄낚시어업은 주의를 요하는 상태로 나타났다(Fig. 3d).

종다양성 지표 위험점수(B2)는 대상생태계 내에서 어획되는 모든 어종의 어획량을 사용하여 생태계단위로 평가하였기 때문에, 모든 어업에 공통으로 적용되었다. 종다양성 지표 위험점수의 TRP는 2012-2019년의 종다양성지수로 3.923으로 설정되었으며, 2019년의 종다양성지수는 3.787로 나타나 지표 위험점수는 1.07로 계산되었다(Fig. 3).

폐기물 지표 위험점수(B3)는 어업단위로 각 어업별로 상대적으로 평가되었다. TRP는 Roda et al. (2019)의 연구결과에 따라 전 세계 평균 어업폐기 비율인 10.8%로 설정하였다. 어업별 평균 폐기율은 자망어업(영세, 대형 포함)이 10.1%로 지표 위험점수는 1.87로 주의를 요하는 상태(Fig. 3a, 3b), 선망어업은 3.9%로 지표는 양호한 상태(Fig. 3c), 낚시어업(외줄낚시, 채낚기어업 포함)은 비교적 양호한 상태(Fig. 3d, 3e), 그리고 연승어업은 주의를 요하는 상태로 나타났다(Fig. 3f).

IOTC에서는 혼획율이 높은 자망어업의 관리를 위해 노력량을 정확하고 세부적으로 보고하도록 하고 있으며, 어획량 정보의 표준화로 정보수집의 개선을 통해 자망어업 혼획량 추정 신뢰성을 향상시키고 있다. 그와 더불어 어구 설치 수심 변경 및 외줄낚시로의 어구 변경과 같은 조업방법 개량을 통해, 자망어업의 혼획율을 관리하고 있다(IOTC, 2022k).

선망어업, 외줄낚시어업 및 채낚기어업의 폐기율은 위험도가 낮았지만, 자망어업과 연승어업의 폐기율에 대한 위험도는 높았다. IOTC 결의안에 따라 비목표종은 가능한 한 생존 상태로 신속히 방류 하도록 권고하여(IOTC, 2019), 혼획 후 생존율을 높이도록 하고 있다. 폐기량 관리를 위해 IOTC 결의안에 따라 회원국들은 폐기량 정보를 제출하도록 권고하고 있으나(IOTC, 2015b), 그 보고율은 높지 않다(IOTC, 2022l). 과학읍 서버의 조사 및 어업인들대상 지속적인 교육을 통해 혼획율 및 폐기량 자료 수집율을 향상시켜야 한다. 또한, 비목표종에 대한 어획사망율을 줄일 수 있는 방안도 강구되어야 할 것이다.

서식처의 질

서식처의 질의 지표 위험점수 또한 생물다양성과 마찬가지로 어업단위로 평가하였다. 다랑어어업은 표층에서 유영하는 다랑어를 어획하기 때문에, 서식처 훼손도의 지표 위험점수(H1)는 모두 0으로 평가되어 양호한 상태로 나타났다(Fig. 3).

어구유실의 지표 위험점수(H2)는 자망(영세, 대형포함)어업과 FAD를 사용하는 선망어업에서 각각 3.00, 2.73으로 계산되어 매우 주의를 요하는 상태였고(Fig. 3a-3c), 고정식 FAD를 사용하는 채낚기 어업은 2.13으로 주의를 요하는 상태(Fig. 3e), 외줄낚시어업과 연승어업은 1.35으로 비교적 양호한 상태이었다(Fig. 3d, 3f).

영세자망어업과 대형자망어업의 어업폐기물 지표 위험점수(H3)는 각각 0.28, 0.55로 양호한 상태(Fig. 3a, 3b), 선망어업, 채낚기어업과 연승어업은 주의를 요하는 상태(Fig. 3c, 3e, 3f), 외줄낚시어업은 매우 주의를 요하는 상태로 나타났다(Fig. 3d).

어구 유실에 따라 어구에 내재되어 있는 독소 및 미세플라스틱이 생태계 먹이망으로 유입되며, 사용 중인 어구 및 운항 중인 선박에 직·간접적인 위험요인으로 작용될 수 있다(Gilman et al., 2021). 서부인도양 해역에서 어획비율이 높은 자망어업과 FAD를 사용하는 선망어업과 채낚기어업의 어구유실의 지표 위험도가 높게 나타나 관리가 필요한 것으로 보이며, 이를 방지하기 위해서는 폐어구에 대한 효과적인 모니터링 시스템의 구축, 친환경 어구의 개발 등이 필요하다.

사회경제적 편익

사회경제적 편익의 지표 위험점수(E1)는 어업단위로 평가하였다. 판매이익의 지표 위험점수는 유류단가(USD/barrel)당 어업별 대표어종의 판매단가(ton/USD)로 평가하였다. 자료접근성의 한계로 어업별 대표 어종을 가다랑어, 황다랑어, 눈다랑어 중 하나로 선정하고, 판매형태는 영세어업은 빙장, 그리고

대형어업은 냉동으로 가정하였다. 영세자망어업의 TRP는 131이며, 2021년의 유류비당 판매단가는 185로 지표 위험점수는 0.18로 양호한 상태로 나타났다(Fig. 3a). 대형자망어업과 외줄낚시어업은 양호한 상태였으며(Fig. 3b, 3d), 선망어업과 채낚기어업은 1.36, 연승어업은 1.02로 비교적 양호한 상태로 나타났다(Fig. 3c, 3e, 3f).

고용증가율 지표(E2)의 TRP는 6년간 전 세계 고용증가율의 평균인 0.4로, 그리고 LRP는 0으로 설정하였다. 영세자망어업과 대형자망어업의 고용증가율은 각각 0.03, 0.01미만으로 지표 위험점수는 1.91과 2.00으로 계산되어 주의를 요하는 상태였고(Fig. 3a, 3b), 선망어업과 외줄낚시어업은 양호한 상태(Fig. 3c, 3d), 그리고 채낚기어업과 연승어업은 비교적 양호한 상태로 나타났다(Fig. 3e, 3f).

국제유가의 하락에 비해 냉동상태로 판매되는 어종의 어가 하락은 상대적으로 낮았으나, 빙장상태로 판매되는 어종의 어가는 증가하여(IOTC, 2022i, 2022j), 인도양 다랑어어업의 판매이윤은 양호한 것으로 평가되었다.

목표위험지수

영세자망어업과 대형자망어업 모두가 혼획율이 높아 생물다양성 목표위험지수는 각각 2.23, 2.07으로 계산되어 주의를 요하는 상태였고, 서식처의 질에서는 0.89 이하로 양호한 상태, 사회경제적 편익에서는 1.32 이하로 비교적 양호한 상태였다. 가다랑어와 점다랑어의 지속가능성 목표위험지수는 각각 0.54와 0.93으로 양호한 상태였고, 동갈삼치, 백다랑어, 황다랑어는 주의를 요하는 상태이었다(Fig. 4a, 4b).

선망어업의 생물다양성과 서식처의 질의 목표위험지수는 1.06 이하로 비교적 양호한 상태, 사회경제적 편익은 양호한 상태였다. 가다랑어의 지속가능성 목표위험지수는 양호한 상태, 황다랑어와 눈다랑어는 각각 2.30, 2.22로 계산되어 주의를 요하는 상태로 나타났다(Fig. 4c).

외줄낚시어업의 생물다양성 목표위험지수는 주의를 요하는 상태, 서식처 훼손에서는 비교적 양호한 상태, 사회경제적 편익에서는 양호한 상태이었다. 황다랑어의 지속가능성 목표위험지수는 주의를 요하는 상태, 가다랑어는 양호한 상태로 나타났다(Fig. 4d).

채낚기어업의 목표위험지수는 생물다양성과 서식처의 질에서 양호한 상태로, 사회경제적 편익의 목표위험지수는 비교적 양호한 상태로 나타났다. 가다랑어의 지속가능성 목표위험지수는 양호한 상태였고, 황다랑어는 주의를 요하는 상태이었다(Fig. 4e).

연승어업의 목표위험지수는 서식처의 질에서 양호한 상태, 생물다양성과 사회경제적 편익에서는 비교적 양호한 상태이었다. 눈다랑어의 지속가능성 목표위험지수는 비교적 양호한 상태, 황다랑어는 주의를 요하는 상태였고, 날개다랑어와 황새치는 양호한 상태이었다(Fig. 4f).

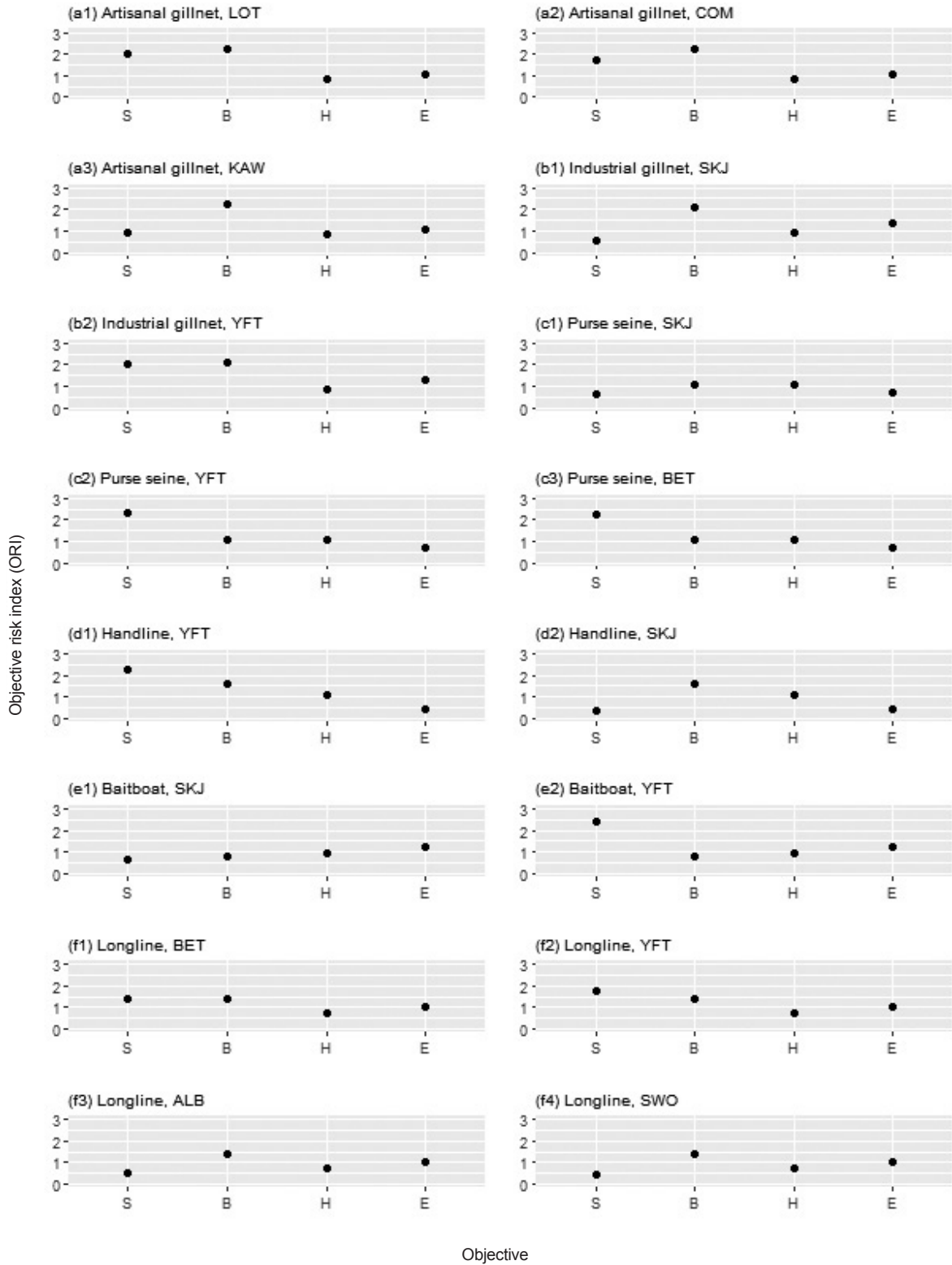


Fig. 4. Estimated objective risk index (ORI) by fishery and species of the Western Indian Ocean. S, Sustainability; B, Biodiversity; H, Habitat quality; E, Socio-economic benefit. LOT, Longtail tuna; COM, Narrow-barred Spanish mackerel; KAW, Kawakawa; SKJ, Skipjack tuna; YFT, Yellowfin tuna; BET, Bigeye tuna; ALB, Albacore tuna; SWO, Swordfish.

지속가능성 목표위험지수(ORI_S)는 자원량 지표의 가중치가 가장 크기 때문에 어종의 자원량 지표의 영향을 크게 받았다. 황다랑어는 영세자망어업을 제외한 모든 어업에서 어획되었는데, 어획강도와 성어어획 비율이 낮은 대형자망어업과 연승어업에서 상대적으로 목표위험지수가 낮게 나타났다.

생물다양성 목표위험지수(ORI_B)는 혼획율 지표의 영향을 크게 받았다. IOTC에서는 혼획율이 높은 자망어업의 관리를 위한 조치를 취하고 있지만, 연승어업 등 다른 어업의 혼획율 저감을 위한 노력이 필요해 보인다.

서식처의 질 목표위험지수(ORI_H)는 다랑어어업의 어획수심이 주로 표층이기 때문에, 대부분의 어업이 서식처 훼손에 직접적인 영향을 미치지 않아 대부분 양호한 상태로 나타났지만, 자망어업과 FAD를 사용하는 어업에서는 어구 유실로 인한 상대적 위험도가 높아 이들 어업에 대해서는 친환경 어구어법 개발 및 사용 어구에 대한 지속적인 모니터링이 필요한 것으로 보인다.

사회경제적 편익 목표위험지수(ORI_E)는 다른 목표위험지수에 비해 지표위험도가 낮았다.

중위험지수, 어업위험지수 및 생태계위험지수

영세자망어업의 백다랑어와 동갈삼치, 대형자망어업의 황다랑어의 중위험지수는 1.50 이상으로 주의를 요하는 상태이었다. 점다랑어와 가다랑어는 지속가능성 목표위험지수가 양호한 상태였으나, 혼획율 지표 위험점수가 높은 생물다양성 목표위험지수의 영향으로 1 이상이었다(Fig. 5a, 5b). 선망어업에서는 가다랑어의 중위험지수가 양호한 상태, 황다랑어는 1.48, 눈다랑어는 1.45로 계산되었다(Fig. 5c). 외줄낚시어업과 채낚기어업에서는 가다랑어는 양호한 상태였고, 황다랑어는 주의를 요하는 상태이었다(Fig. 5d, 5e). 연승어업에서는 눈다랑어와 황다랑어의 중위험지수가 1점 이상으로 계산되었으나, 다른 어업에 비해 상대적으로 위험도가 낮았으며, 날개다랑어와 황새치의 중위험지수는 양호하게 나타났다(Fig. 5f).

서부인도양 해역의 어업 위험도는 모든 어업에서 어업위험지수가 1.50 미만으로 계산되었으며, 대형자망어업이 1.42점으로 가장 높게 나타났고, 외줄낚시어업이 1.20으로 가장 낮게 나타났다. 어업 위험도를 기반으로 평가한 생태계위험지수는 1.30

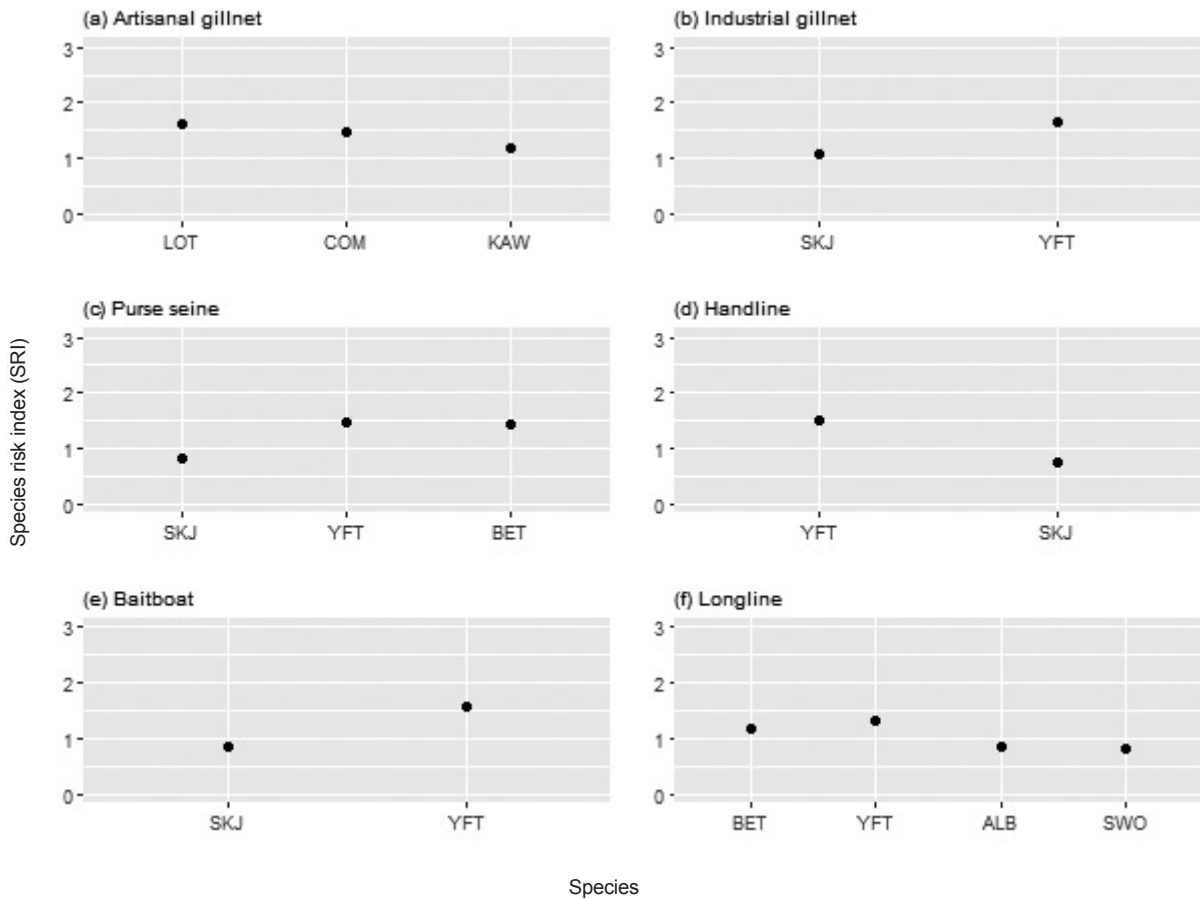


Fig. 5. Estimated species risk score (SRI) by fishery of the Western Indian Ocean. LOT, Longtail tuna; COM, Narrow-barred Spanish mackerel; KAW, Kawakawa; SKJ, Skipjack tuna; YFT, Yellowfin tuna; BET, Bigeye tuna; ALB, Albacore tuna; SWO, Swordfish.

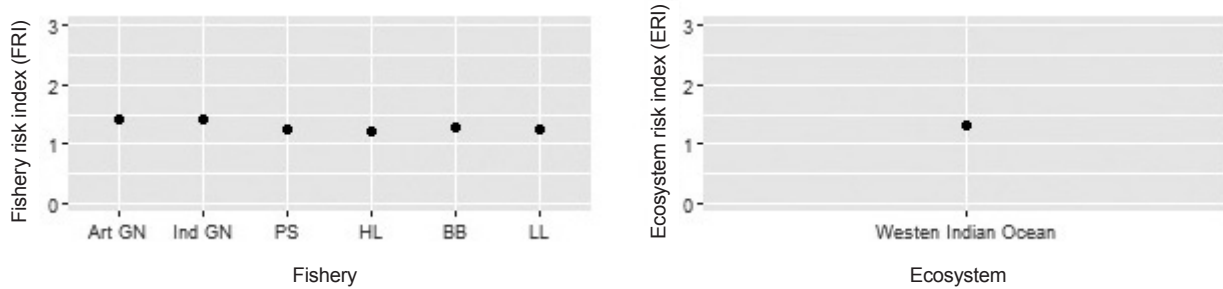


Fig. 6. Estimated fishery and ecosystem risk scores (FRI and ERI) of the Western Indian Ocean. Art GN, Artisanal gillnet; Ind GN, Industrial gillnet; PS, Purse seine; HL, Handline; BB, Baitboat; LL, Longline.

으로 계산되었다(Fig. 6).

본 연구는 주요종의 자원상태만을 평가한 기존 IOTC의 연구 방법에서 벗어나, 어업이 생태계에 미치는 영향을 다양한 지표로 분석하였다. 생태계기반 어업 위험도 평가는 대상어업별, 대상종별, 목표별 지표로 단계적으로 위험요인을 파악하기 때문에, 생태계의 특성을 고려한 효율적인 자원관리방안이 마련될 수 있다. 그러나 생태계기반 어업 위험도 평가 시 분석에 사용되는 자료의 신뢰수준 및 목표, 한계기준점 설정에 따라 평가결과가 과소 또는 과대 추정될 가능성이 있다(Kim, 2020). IOTC는 주요 종의 자원량 추정에 연령구조모델, 잉여생산량모델 등 다양한 개체군 모델을 이용하며, 결과의 신뢰도를 높이기 위해 국가별 조업자료, 읍서버 조사자료 및 과학조사 자료 등을 이용하고 있으므로, 본 연구의 지속가능성 및 생물다양성에 대한 지표 결과의 신뢰도는 높은 것으로 보인다. 그러나 사회경제적 편익의 경우, 일부 종에 대한 정보가 부족하였기 때문에 결과의 신뢰도 향상을 위해 향후 이용 가능한 다른 지표 등에 대한 연구가 지속될 필요가 있다.

사 사

본 연구는 2023년도 국립수산물과학원 수산과학연구소(R2023003)의 지원을 받아 수행된 연구입니다.

References

Andriamahefazafy M and Kull CA. 2019. Materializing the blue economy: Tuna fisheries and the theory of access in the Western Indian Ocean. *J Pol Ecol* 26, 403-424. <https://doi.org/10.2458/v26i1.23040>.

Darvishi M, Paighambari SY, Ghorbani AR and Kaymaram F. 2018. Population assessment and yield per recruit of longtail tuna (*Thunnus tonggol*) in Northern of the Persian Gulf and Oman Sea (Iran, Hormozgan Province). *Ira J Fish Sci* 17, 776-789. <https://doi.org/10.22092/ijfs.2018.116992>.

Dhurmeea Z, Zudaire I, Chassot E, Cedras M, Nikolic N, Bourjea J, West W, Appadoo C and Bodin N. 2016. Reproductive Biology of Albacore Tuna (*Thunnus alauunga*) in the West-

ern Indian ocean. *Plos One* 11, 1-22. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0168605>.

FAO (Food and Agriculture Organization). 2021. Fishery and aquaculture statistics 2019. In: *FAO Yearbook*. FAO, Rome, Italy. <https://doi.org/10.4060/cb7874t>.

Fredou FL, Fredou T, Gaertner D, Kell L, Potier M, Bach P, Travassos P, Hazin F and Menard F. 2016. Life history traits and fishery patterns of teleosts caught by the tuna longline fishery in the South Atlantic and Indian Oceans. *Fish Res* 179, 308-321. <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2016.03.013>.

Fu D. 2020. Preliminary Indian Ocean skipjack tuna stock assessment 1950-2019 (stock synthesis). IOTC Report, IOTC-2020-WPTT22-10, 1-57.

Fu D, Ijurco AU, Cardinale M, Methot R, Hoyle S and Merino G. 2021. Preliminary Indian Ocean yellowfin tuna stock assessment 1950-2020 (stock synthesis). IOTC Report, IOTC-2021-WPTT23-12, 1-98.

Fu D, Merino G and Winker H. 2022. Preliminary Indian Ocean bigeye tuna stock assessment 1950-2021 (stock synthesis). IOTC Report, IOTC-2022-WPTT24-10, 1-77.

Gilman E, Musyl M, Suuronen P, Chaloupka M, Gorgin S, Wilson J and Kuczynski B. 2021. Highest risk abandoned, lost and discarded fishing gear. *Sci Rep* 11, 7195. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-86123-3>.

Grande M, Murua H, Zudaire I, Goni N and Bodin N. 2014. Reproductive timing and reproductive capacity of the Skipjack Tuna (*Katsuwonus pelamis*) in the western Indian Ocean. *Fish Res* 156, 14-22. <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2014.04.011>.

ILO (International Labour Organization). 2023. Employment by Sex and Age (thousands) - Annual. Retrieved from https://www.ilo.org/shinyapps/bulksplorer47/?lang=en&id=EMP_TEMP_SEX_AGE_NB_A Jul 30, 2023.

IOTC (Indian Ocean Tuna Commission). 2015a. On target and limit reference points and a decision framework. IOTC Report, IOTC-2015-WPB13-INF05, 48-50.

IOTC (Indian Ocean Tuna Commission). 2015b. Mandatory statistical reporting requirements for IOTC contracting parties and cooperation non-contracting parties (CPCs). IOTC

- Report, IOTC-2015-WPDCS11-INF02, 21-23.
- IOTC (Indian Ocean Tuna Commission). 2019. On a ban on discards of bigeye tuna, skipjack tuna, yellowfin tuna and non-targeted species caught by purse seine vessels in the IOTC area of competence. IOTC Report, IOTC-2019-S23-PropD[E], 1-4.
- IOTC (Indian Ocean Tuna Commission). 2021. On an interim plan for rebuilding the Indian Ocean yellowfin tuna stock in the IOTC area of competence. IOTC Report, IOTC-2021-S25-PropF-Rev2[E], 1-10.
- IOTC (Indian Ocean Tuna Commission). 2022a. Updates on yellowfin tuna catch limits for 2022 and 2023. IOTC Report, IOTC-2022-WPDCS18-11_Rev1, 1-15.
- IOTC (Indian Ocean Tuna Commission). 2022b. Report of the 24th session of the IOTC working party on tropical tunas. IOTC Report, IOTC-2022-WPTT24-R[E], 1-53.
- IOTC (Indian Ocean Tuna Commission). 2022c. Report of the 12th session of the IOTC working party on neritic tunas. IOTC Report, IOTC-2022-WPNT12-R[E], 1-53.
- IOTC (Indian Ocean Tuna Commission). 2022d. Standardized Size-frequency Data for Skipjack Tuna (Fork Length, cm). Retrieved from <https://iotc.org/data/datasets/latest/SF/SKJ> on Dec 19, 2022.
- IOTC (Indian Ocean Tuna Commission). 2022e. Standardized Size-frequency Data for Yellowfin Tuna (Fork Length, cm). Retrieved from <https://iotc.org/data/datasets/latest/SF/YFT> on Dec 19, 2022.
- IOTC (Indian Ocean Tuna Commission). 2022f. Standardized Size-frequency Data for Bigeye Tuna (Fork Length, cm). Retrieved from <https://iotc.org/data/datasets/latest/SF/BET> on Dec 19, 2022.
- IOTC (Indian Ocean Tuna Commission). 2022g. Standardized Size-frequency Data for Albacore Tuna (Fork Length, cm). Retrieved from <https://iotc.org/data/datasets/latest/SF/ALB> on Dec 19, 2022.
- IOTC (Indian Ocean Tuna Commission). 2022h. Standardized Size-frequency Data for Swordfish (Fork Length, cm). Retrieved from <https://iotc.org/data/datasets/latest/SF/SWO> on Dec 19, 2022.
- IOTC (Indian Ocean Tuna Commission). 2022i. Monthly Time Series of Import Prices for Tuna. Retrieved from <https://iotc.org/data/datasets/latest/SD/TUNAS> on Oct 11, 2022.
- IOTC (Indian Ocean Tuna Commission). 2022j. Monthly Time Series of Crude Oil Prices. Retrieved from <https://iotc.org/data/datasets/latest/SD/FUEL> on Oct 11, 2022.
- IOTC (Indian Ocean Tuna Commission). 2022k. Developing robust multi-taxa bycatch mitigation measures for gillnets/drift nets in the Indian Ocean. IOTC Report, IOTC-2022-WPEB18-INF11, 1-38.
- IOTC (Indian Ocean Tuna Commission). 2022l. Review of the statistical data available for IOTC bycatch species. IOTC Report, IOTC-2022-WPEB18-07_Rev1.
- IOTC (Indian Ocean Tuna Commission). 2023a. Best Scientific Estimates of Nominal Catch Data by IOTC Species, Gear and Vessel Flag Reporting Country. Retrieved from <http://iotc.org/data/datasets/latest/NC/SCI> on Apr 11, 2023.
- IOTC (Indian Ocean Tuna Commission). 2023b. Standardized Size-frequency Data for Longtail Tuna. Retrieved from <https://iotc.org/data/datasets/latest/SF/LOT> on Jun 23, 2023.
- IOTC (Indian Ocean Tuna Commission). 2023c. Standardized Size-frequency Data for Narrow-barred Spanish Mackerel. Retrieved from <https://iotc.org/data/datasets/latest/SF/COM> on Jun 23, 2023.
- IOTC (Indian Ocean Tuna Commission). 2023d. Standardized Size-frequency Data for Kawakawa. Retrieved from <https://iotc.org/data/datasets/latest/SF/KAW> on Jun 23, 2023.
- IOTC (Indian Ocean Tuna Commission). 2023e. Catch and Effort by Month, Species and Gear, by Vessel Flag and Reporting Country All CE Files. Retrieved from <http://iotc.org/data/datasets/latest/CE/ALL> on Apr 24, 2023.
- IOTC (Indian Ocean Tuna Commission). 2023f. Historical Record of Authorized Vessels. Retrieved from <https://iotc.org/vessels/date> on Mar 26, 2023.
- IOTC (Indian Ocean Tuna Commission). 2023g. Sustained systematic non-compliance of drifting fish aggregating devices (dFADs) with Resolution 19/02 ‘Procedures on a Fish Aggregating Devices (FADs) Management Plan’. IOTC Report, IOTC-2023-CoC20-INF01_Rev1, 1-15.
- IOTC (Indian Ocean Tuna Commission). 2023h. Report of the 4th IOTC working group on FADs. IOTC Report, IOTC-2023-WGFAD04-R[E], 1-24.
- Jamon S, Khaing M, Noegroho T, Nootmorn P, Ramlee MA, Saleh MF, Soklim R, Thitipongtrakul W, Tung HM and Yakob PSBP. 2021. Stock and risk assessments of kawakawa (*Euthynnus affinis*) and longtail tuna (*Thunnus tonggol*) resources in the Southeast Asian waters using ASPIC. IOTC Report, IOTC-2021-WPNT11-INF01_Rev1, 1-44.
- Karim MS, Techera E and Arif AA. 2020. Ecosystem-based fisheries management and the precautionary approach in the Indian Ocean regional fisheries management organisations. Mar Poll Bull 159, 111438. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111438>.
- Kim HA. 2020. A study on the spatio-temporal IFRAME approach for fisheries assessment and forecasting. Ph.D. Dissertation. Pukyong National University, Busan, Korea.
- Kwon YJ, Lim JH, Lee MK and Lee SI. 2020. Evaluation of Korean distant water tuna fisheries in the Western and Central Pacific Ocean using ecosystem-based fishery risk assessment. J Kor Soc Fish Ocean Technol 56, 299-315. <https://doi.org/10.3796/KSFOT.2020.56.4.299>.
- Niamaimandi N, Kaymaram F, Hoolihan JP, Mohammadi GH and Fatemi SMR. 2015. Population dynamics parameters of narrow-barred spanish mackerel, *Scomberomorus commerson* (Lacépède, 1800), from commercial catch in the north-

- ern Persian Gulf. *Glob Ecol Cons* 4, 666-672. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2015.10.012>. trjfas.2011.0119.
- Nishida T and Kitakado T. 2022. Preliminary stock assessments of Indian Ocean albacore tuna using Statistical-Catch-At-Size (SCAS) (1950-2020). IOTC Report, IOTC-2022-WPTmT8(AS)-INF01_Rev1, 1-29.
- Park HW, Zhang CI, Kwon YJ, Seo YI and Oh TY. 2013. A study on the risk scoring and risk index for the ecosystem-based fisheries assessment. *J Kor Soc Fish Technol* 49, 469-482. <https://doi.org/10.3796/KSFT.2013.49.4.469>.
- Roda MAP, Gilman E, Huntington T, Kennelly SJ, Suuronen P, Chaloupka M and Medley PAH. 2019. A third assessment of global marine fisheries discards. In: *FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper No. 633*. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy, 1-78.
- Shannon CE and Weaver W. 1963. *The Mathematical Theory of Communication*. University of Illinois Press, Urbana, IN, U.S.A., 125.
- Seo YI. 2011. Ecosystem-based stock assessment and fisheries management in the southern sea of Korea. Ph. D. Dissertation, Pukyong National University, Busan, Korea, 168.
- Taghavi MSA, Hashemi SA and Kochanian P. 2010. Population biology and assessment of Kawakawa (*Euthynnus affinis*) in Coastal Waters of the Persian Gulf and Sea of Oman (Hormozgan Province). *Iran J Fish Sci* 9, 315-326.
- Wang SP. 2020. Stock assessment of swordfish (*Xiphias gladius*) in the Indian Ocean using a stock-production model incorporation covariates (ASPIC). IOTC Report, IOTC-2020-WPB18-17-Rev1, 1-16.
- Zhang CI. 2002. Prospect of ecosystem-based fisheries resource management. *J Kor Soc Fish Technol* 5, 73-90.
- Zhang CI. 2006. A study on the ecosystem-based management system for fisheries resource in Korea. *J Kor Soc Fish Technol* 42, 240-258.
- Zhang CI, Kim SA, Gunderson D, Marasco R, Lee JB, Park HW and Lee JH. 2009. An ecosystem-based fisheries assessment approach for Korean fisheries. *Fish Res* 100, 26-41. <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2008.12.002>.
- Zhe G. 2022. A preliminary stock assessment of Kawakawa (*Euthynnus affinis*) in the Indian Ocean. IOTC-2022-WPNT12-13_Rev1, 1-9.
- Zhou S. 2020. Assessment of longtail tuna, Kawakawa, and narrow-barred Spanish mackerel using optimised catch-only method. IOTC Report, IOTC-2020-WPNT10-16, 1-16.
- Zhu G, Xu L, Zhou Y and Song L. 2008. Reproductive biology of yellowfin tuna *T. albacares* in the West-Central Indian Ocean. *J Ocean Univ Chin* 7, 327-332. <http://doi.org/10.1007/s11802-008-0327-3>.
- Zhu GP, Dai XJ, Song LM and Xu LX. 2011. Size at sexual maturity of bigeye tuna *Thunnus obesus* (Perciformes: scombridae) in the tropical waters: A comparative analysis. *Turk J Fish Aqua Sci* 11, 149-156. <http://doi.org/10.4194/>