

混合渔业视角下舟山渔场几种渔具管理策略对经济物种产量及生物群落影响评估

赵函磊 王洋 张畅 王迎宾

ASSESSMENT OF SEVERAL FISHING GEAR MANAGEMENT STRATEGIES ON ECONOMIC SPECIES YIELD AND BIOCOMMUNITY IN ZHOUSHAN FISHING GROUND FROM THE PERSPECTIVE OF MIXED FISHERIES

ZHAO Han-Lei, WANG Yang, ZHANG Chang, WANG Ying-Bin

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.7541/2025.2024.0351>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

稳定同位素质量平衡混合模型的性能评估

STABLE ISOTOPE MIXING MODEL EVALUATION: QUANTIFYING THE QUALITY OF PREDICTIONS

水生生物学报. 2022, 46(3): 427–438 <https://doi.org/10.7541/2022.2020.253>

庙岛群岛毗邻海域底层渔业生物群落拓扑结构及其关键种

TOPOLOGICAL STRUCTURE AND KEYSTONE SPECIES OF BOTTOM FISHERY COMMUNITIES IN THE SEA ADJACENT TO MIAODAO ARCHIPELAGO

水生生物学报. 2023, 47(9): 1464–1475 <https://doi.org/10.7541/2023.2022.0427>

富营养化和渔业生产对保安湖沉水植物群落演替的影响

IMPACTS OF EUTROPHICATION AND FISHERY PRODUCTION ON THE SUCCESSION OF SUBMERGED MACROPHYTES IN BAO' AN LAKE

水生生物学报. 2023, 47(11): 1769–1777 <https://doi.org/10.7541/2023.2022.0390>

稻鱼共作对水稻产量效应的Meta分析

EFFECTS OF RICE–FISH COCULTURE ON RICE YIELD: A META–ANALYSIS

水生生物学报. 2022, 46(12): 1924–1931 <https://doi.org/10.7541/2023.2022.0288>

基于RS与水动力模型的鄱阳湖草洲产卵型鱼类潜在产卵场识别

IDENTIFICATION OF POTENTIAL SPAWNING GROUNDS OF FISH SPAWNING ON GRASSLANDS IN POYANG LAKE BASED ON RS AND HYDRODYNAMIC MODEL

水生生物学报. 2023, 47(3): 389–398 <https://doi.org/10.7541/2022.2022.0398>



关注微信公众号，获得更多资讯信息

doi: 10.7541/2025.2024.0351

CSTR: 32229.14.SSSWXB.2024.0351

混合渔业视角下舟山渔场几种渔具管理策略对经济物种产量及生物群落影响评估

赵函磊¹ 王洋² 张畅¹ 王迎宾^{1,3}

(1. 浙江海洋大学水产学院, 舟山 316022; 2. 舟山市海洋经济发展局, 舟山 316022; 3. 浙江省海洋水产研究所, 舟山 316022)

摘要: 为了探究混合渔业中不同捕捞渔具捕捞努力量变化对渔业活动经济效益及生态效益带来的潜在影响, 研究根据2022年在舟山渔场作业的4种渔船的渔捞日志数据, 构建舟山渔场质量谱模型(Size Spectrum Model, SSM), 评估了混合渔业中各作业方式捕捞变化对各物种产量、生物量和生物群落结构的影响。研究通过对13种渔具管理场景进行模拟, 分析不同场景下各物种产量的年际变化趋势, 并结合群落总生物量、大型鱼类指数、平均体重、平均最大体重和质量谱斜率5种群落生态指标监测群落对不同捕捞活动水平的响应。结果显示: (1)当拖网捕捞努力量下降时, 群落总生物量、平均体重及大型鱼类资源量明显上升, 银鲳(*Pampus argenteus*)、黑鲷(*Lophomus setigerus*)和大黄鱼(*Larimichthys crocea*)资源量有所回升, 黑鲷和大黄鱼产量显著提高; (2)张网捕捞努力量下降会使群落总生物量有所上升, 海鳗(*Muraenesox* spp.)、棘头梅童(*Collichthys lucidus*)和带鱼(*Trichiurus lepturus*)资源量有所回升, 海鳗产量显著提高。相反, 当张网捕捞努力量上升时, 棘头梅童生物量资源及产量逐年下降; (3)当拖虾网捕捞努力量下降时, 总产量及群落总生物量有所下降, 管鞭虾(*Solenocera* spp.)和大黄鱼资源量有所回升。而当拖虾网捕捞努力量上升, 总产量及群落总生物量有所上升; (4)刺网捕捞努力量变化对于渔业产量、生物量及群落结构影响较小。研究结果对于保护舟山渔场各经济物种资源可持续利用及制定可行和更有效的渔业管理策略提供参考。

关键词: 混合渔业; 舟山渔场; 质量谱模型; 捕捞努力量; 渔业产量

中图分类号: S937.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3207(2025)04-042514-13



混合渔业是指在捕捞活动中单个渔具同时捕获多个渔种或单个渔种被多种渔具所捕获的现象。这一现象在全球范围内普遍存在, 并给单一类管理模式带来挑战。传统的渔业管理方式通常从单一物种的角度进行管理, 并将单个物种作为单独的管理单元进行处理^[1]。这种传统方法假设单一物种单独受到捕捞死亡率的影响, 忽略了生态系统中各物种间复杂的动态影响^[2]。多目标物种的捕捞和多种作业渔具的投入是混合渔业产生的主要原因^[3]。多物种和多渔具的复杂结合导致了混合渔业中产生技术层面和生物层面的相互作用, 使其有别于单一物种渔业^[4]。作为全球范围内最主要的渔业类型, 将混合渔业视为许多单物种渔业的简单累加

的传统管理方法可能无法实现管理目标^[5]。随着海洋渔业资源的过度捕捞和衰退现象, 关于混合渔业管理方法的研究受到国内外学者的广泛关注。

目前许多渔业管理目标是通过控制捕捞努力量投入来达到的, 关于捕捞努力量控制对渔业管理的潜在影响受到广泛关注, 例如Paloma等^[6]基于多物种和多渔具的生物经济模型对捕捞努力量管理的备选方案进行了测试, 揭示了不同渔具捕捞努力量组合下对地中海西部渔业的潜在影响; Ben-Hasan等^[7]基于渔业案例分析了虾蟹等无脊椎渔业对于捕捞努力量变化的响应; Momoko等^[8]基于广义线性混合模型分析了捕捞努力量变化对于围网渔业的影响; Liu等^[9]通过构建双物种生物经济模型

收稿日期: 2024-09-11; 修订日期: 2024-10-28

基金项目: 舟山市科技局重点项目(2022C41003)资助 [Supported by the Key Project of Zhoushan Science and Technology Bureau (2022C41003)]

作者简介: 赵函磊(1999—), 男, 硕士研究生; 主要从事海洋渔业生态可持续利用研究。E-mail: zhaohanlay@sina.com

通信作者: 王迎宾(1979—), 教授, 博士; 主要从事渔业资源评估与管理研究。E-mail: ybwang@zjou.edu.cn

评估了不同捕捞努力量下对于实现保护混合渔业中低丰度物种目标的可行性。

在渔船进行捕捞作业时,不同渔具对不同物种存在选择性偏好,形成“作业渔具-捕捞物种”的对应现象。这种现象主要是由于渔具结构、渔民捕鱼经验造成的。伴随作业方式的捕捞努力量变化,目标物种捕捞死亡系数也随之改变。不同渔具在进行捕捞作业时,会改变目标物种的资源量,导致其他相关物种资源量发生改变,进而改变鱼类群落结构。因此在混合渔业中探索并合理分配不同渔具的捕捞努力量投入,对于维持渔业可持续利用有着重要意义,直接影响着混合渔业产量和混合渔业中生物群落的结构和功能。由于生态系统复杂的种间关系,传统的单物种评估模型很难真实地反映不同捕捞压力下渔业产量和生态系统的整体动态。而生态系统模型有效地弥补了这一不足,因此生态系统模型构建越来越被认为是渔业管理的一个重要组成部分^[10]。

质量谱模型在构建海洋鱼类群落方面的功能十分强大,并支持对受捕捞影响的海洋生态系统进行建模^[11]。该模型充分考虑到基于个体大小的建模物种间的捕食竞争关系^[12]和不同渔具捕捞压力作用下对于各物种的影响。质量谱模型提供了一个评价各种管理措施和进行权衡的框架,被广泛地应用于各类管理场景的模拟研究,便于评估渔业活动对生态系统结构的影响和管理策略的有效性^[13,14],有效支撑基于生态系统的渔业管理(Ecosystem-based fisheries management, EBFM)^[15]。有关利用SSM模型进行渔业管理策略的模拟和评估的研究在国内外均有报道:基于SSM评估渔业当前的开发状态^[16];通过SSM评估不同捕捞策略下对鱼类群落或生态系统的影响^[17,18];利用SSM探索新的渔业管理方法的可行性及潜在影响^[19,20]。现有文献来看,SSM模型在渔业管理中的应用主要集中于单渔具捕捞努力量变化对于渔业的影响,而在以混合渔业为特征的渔场中存在多种作业方式,通过SSM模拟多渔具捕捞努力量变化的管理策略对渔业的影响鲜有研究。

舟山渔场是我国最大的近海渔场,渔场区域内作业渔具多样化,包括拖网、张网、桁杆拖虾网、刺网、笼壶、钓具等,渔场内作业目标多样化,属于典型的混合渔业。随着舟山渔场的加剧捕捞,低值杂鱼在渔获物产量中所占比例越来越高,在某些月份作业时拖网渔船捕获的杂鱼甚至占总渔获的80%^[21]。近年来,捕获的鱼类种类逐渐老化和早熟,渔获物的营养级别也呈现下降走势,渔业资源正在向食物链水平较低、生命周期较短的物种发展^[22]。

本研究通过2022年度舟山市4种主要作业类型的商业渔船在舟山渔场的作业动态,以渔捞日志数据为基础,分离出舟山渔场作业区内“渔具-物种”之间的对应关系。基于生态系统的渔业管理理念构建“多渔具-多物种”SSM模型,根据渔场建设和管理的实际需要,通过总产量(Total yield)指标模拟分析不同渔具捕捞努力量变化或组合变化对各经济物种产量的影响。并通过群落总生物量(Biomass)^[23]、大型鱼类指数(Large fish index, LFI)^[24]、平均体重(Mean weight, MW)^[25]、平均最大体重(Max mean weight, MMW)^[26]和质量谱斜率(slope)^[27] 5种生态指标,分析不同渔具管理模式对舟山渔场生态系统中鱼类群落生物量及其结构的动态变化。本研究旨在阐明不同渔具作业动态变化对舟山渔场混合渔业影响,以期为进一步优化舟山渔场作业船队结构和混合渔业资源可持续利用提供科学参考。

1 区域概况与方法

1.1 研究区域

舟山渔场(图1)地处杭州湾以东,长江口东南的浙江东北部,北接长江口渔场,南临鱼山渔场,东临舟外渔场,海域处于29°30'N—31°00'N, 120°30'E—125°00'E,面积约5.3万km²。

1.2 数据来源及内容

本研究使用舟山渔场作业日志数据,来源为2022年商业样本渔船。渔船种类和数量分别为8艘单拖渔船、21艘张网渔船、42艘桁杆拖虾网渔船、23艘刺网渔船。作业日志主要记录船名、单次航程起止时间、作业渔区、单次航程总产量与

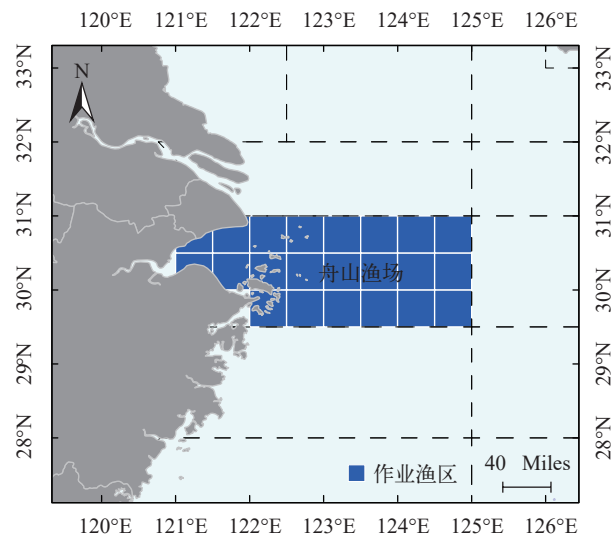


图1 舟山渔场及捕捞作业渔区

Fig. 1 Zhoushan fishing ground and fishing operation area

各种类分产量。日志包含了29种舟山渔场高产量经济物种, 包括鱼类、虾蟹类、头足类和副渔获物, 副渔获物指渔获产量较少、体型较小且难以鉴定的幼杂鱼。

1.3 质量谱模型

质量谱模型由Andseren和Beyer等共同开发并不断完善^[19], 包括三个子模型: 群落模型、基于特征的模型和多物种模型。该模型将不同质量的各物种的种群动态量化为个体生长发育和死亡率的函数^[28]。模型中各物种的生长发育依赖于对参与建模的其他物种及背景资源的捕食。每个物种由特定的生活史特征驱动而表现出不同的变化模式, 包括生长、捕食、死亡率和繁殖^[12, 29]。质量谱模型具体过程及数学方程^[12]见表1。本研究所调用的质量谱模型版本为mizer 2.4.1, 相关模型代码可从

<https://github.com/sizespectrum/mizer>下载。

1.4 物种选择及模型构建

基于渔业统计年鉴和渔捞日志的SSM模型构建方法^[30, 31], 本研究在舟山渔场建模物种选择方面遵循了以下原则: 包括渔场主要经济目标物种、包含关键生态种、各物种间存在相互捕食关系、纳入副渔获物种。基于以上原则将渔捞日志中总渔获量近70%的15个物种或物种组纳入SSM模型构建中(表2)。其中副渔获物是将许多具有一系列生活史参数的未鉴定物种归为一类, 以“副渔获物种”的形式纳入模型分析^[30]。根据相关文献资料对15个物种的生物学参数(生长、捕食、繁殖和死亡率等)进行估算。

物种参数 a 、 b 来源于体长体重关系方程 $W=aL^b$, K_{vb} 来源于Von Bertalanffy生长方程, a 、 b 、 K_{vb}

表1 质量谱模型方程总结

Tab. 1 Summary of equations in the multispecies size-spectrum model

过程 Process	子过程(符号) Sub-process (symbol)	方程 Equation
相遇及消耗 Encounter and consumption	摄食选择性Prey size selection (ϕ)	$\phi_i\left(\frac{w_p}{w}\right) = \exp\left[-\left(\ln\left(\frac{w}{w_p\beta_i}\right)\right)^2 / (2\sigma_i^2)\right]$ (1)
	食物相遇概率Encountered food (E)	$E_i(w) = V_i(w) \sum_j \theta_j \int N_j(w) \phi\left(\frac{w_p}{w}\right) w_p dw_p$ (2)
	体积搜索率Volumetric search rate (V)	$V_i(w) = \left[\frac{f_0 h \beta^{2-\lambda}}{(1-f_0) \sqrt{2\pi\kappa\sigma}}\right] w^q$ (3)
	摄食水平 Feeding level (f)	$f_i(w) = \frac{E_i(w)}{E_i(w) + I_{\max,i}(w)}$ (4)
	最大消耗速率Maximum consumption rate (I)	$I_{\max,i}(w) = h w^n$ (5)
生长及繁殖 Growth and production	生长Somatic growth (g_i)	$g_i(w) = (\alpha f_i(w) I_{\max,i}(w) - k_s w^p) (1 - \psi_i(w))$ (6)
	繁殖能量Energy for reproduction (g_r)	$g_r(w) = (\alpha f(w) I_{\max} - k_s w^p) \psi(w)$ (7)
	成熟Maturation (ψ)	$\psi_i(w) = \left[1 + \left(\frac{w}{w_{\text{mat}}}\right)^{-10}\right]^{-1} \left(\frac{w}{W}\right)^{1-n}$ (8)
	补充量Recruitment (R)	$R_i = \frac{R_{\text{ep}}}{R_{\text{ep}} + R_{\max,i}}$ (9)
	产卵量Egg production (R_{ep})	$R_{\text{ep}} = \frac{\varepsilon}{2w_0} \int N(w) g_r(w) dw$ (10)
死亡Mortality	被捕食死亡率Predation mortality (μ_p)	$\mu_{p,i}(w) = \sum_j \int \phi_j\left(\frac{w_p}{w}\right) (-f_j(w)) V_j(w) \theta_j N_j(w) dw$ (11)
	捕捞死亡率Fishing mortality (F)	$F_i(w) = SS_i(w) Q_i E$ (12)
	背景死亡率Background mortality (μ_b)	$\mu_{b,i} = Z_0 w^{n-1}$ (13)
背景资源Background	背景承载力Carrying capacity (κ)	$\kappa(w) = \kappa_r w^{-\lambda}$ (14)
	资源动态Resources dynamics	$\frac{\partial N_r(w)}{\partial t} = r_0 w^{n-1} [\kappa(w) - N_r(w)] - \mu_{p,i}(w) N_r(w)$ (15)

注: 各式中 i 为物种; t 为时间; w 为重量, w_0 为后代重量; σ 为选择宽度; SS 为物种选择性大小; Q 为捕捞能力; E 为捕捞努力量; α 为同化效率, 使用默认值0.6; f_0 为初始摄食水平; h 为最大消耗常数, 使用默认值40 g¹⁻ⁿ/year; k_s 为标准代谢系数, 使用默认值4 g^{1-p}/year; ε 为后代生产效率, 使用默认值1; n 为最大消耗指数, 使用默认值2/3; q 为体积搜索速率指数, 使用默认值0.8; p 为标准代谢指数, 使用默认值0.75; Z_0 为背景死亡率的因子, 使用默认值0.6; λ 为资源谱指数, 值为 $2-n+q$; r_0 为资源谱生产力, 使用默认值4 g^{1-p}/year

Note: i represent species; t represent time; w represent the weight, w_0 represent the weight of the offspring; σ represent the selection width; SS represent the selective size of species; Q represent fishing capacity; E represent fishing effort; α represent assimilation efficiency, using the default value 0.6; f_0 represent the initial feeding level; h indicates the maximum consumption constant, using the default value 40 g^{1-p}/year; k_s represent the coefficient of standard metabolic, and the default value represent 4 g^{1-p}/year; ε represent the efficiency of offspring production, using the default value 1; n represent the exponent of maximum consumption, using the default value 2/3; q represent the volumetric search rate, using the default value of 0.8; p represent the exponent of standard metabolism, using the default value of 0.75; Z_0 represent the factor for background mortality, using the default value of 0.6; λ represent the exponent of resource spectrum, the value represent $2-n+q$; r_0 represent the resource productivity, using the default value 4 g^{1-p}/year

从东海区相关文献和Fishbase中收集,当东海区生活史数据缺乏时则从临近水域或与东海区平均水温相似的海域进行估计^[30]。 β 值即捕食者对被捕食者大小的偏好比(PPMR),通过捕食者的重量与被捕食者的重量之间的比率进行量化^[17], β 值的设定参考鱼类食性及 β 值的研究^[32]:肉食性物种的 β 值较低,设定为100;杂食性物种 β 值设定为500;浮游食性物种 β 值较高,设定为1000,再根据fishbase中各物种的食物组信息进行具体调整,其中高值反映了鱼类达到成熟期后对生态系统中的浮游动物和底栖无脊椎动物资源具有更强的依赖性^[33]。由于大部分物种均缺乏选择宽度 σ ,因此统一设定为1.3^[34]。本研究中物种的特异性选择函数使用刀刃曲线^[35],各物种选择性大小SS通过“LIME”包进行计算^[28, 36]。可捕系数 Q 设定为1,代表物种可被选择的个体将在捕捞作业下被有效捕获^[17],同时更好地将渔具捕捞努力量传递给捕捞死亡率^[34]。物种间相互作用矩阵表示各物种间的相互重叠概率^[37],由于数据的局限性无法量化物种间的相遇概率,研究采用均匀分布假设^[30]。 $Yield_{observed}$ 指舟山渔场各物种观测年产量,基于作业渔船总数线性回归估算得到。 $Gear$ 即捕获物种的主要渔具,基于作业日志中各渔具主要捕获种类确定的。模型拟合过程中各渔具初始捕捞努力量设定为1,代表当前捕捞现状。

1.5 模型校准及拟合度验证

模型校准通过调整Kappa及 R_{max} 两个参数实现,这两个参数对于校准当前捕捞死亡率下特定产

量、各种类稳定的生物量及群落中合理的背景资源至关重要。Kappa为背景资源量,决定了模型运行过程中各过程的背景值动态变化趋势,基于模型默认值并结合产量、生物量变化进行调整。 R_{max} 决定了预测产量趋势和大小^[30],通过使用nlminb函数最小化对数化预测产量和对数化观测产量作为目标函数来拟合观测产量确定^[31]。

模型拟合度通过SSM模型plotYieldObserved-VsModel函数中拟合度指标TRE及模型精度评价指标RMSE进行评价。

TRE (Total Relative Error), 即拟合总相对误差:

$$TRE = \sum_i |1 - ratio_i|$$

式中, $ratio_i$ 是物种 i 的模型预测产量与观测产量之比, 低值则代表高预测精度。

RMSE (Root Mean Square Error), 即均方根误差, 在模型中表示为:

RMSE =

$$\left[\frac{\sum_{i=1}^{15} (\log_{10} Yield_{predict} - \log_{10} Yield_{observed})^2}{15} \right]^{1/2}$$

式中, $Yield_{predict}$ 为模型预测产量, $Yield_{observed}$ 为用于模型校准的观测产量。

1.6 渔具管理场景

本研究重点分析不同渔具捕捞努力量变化及组合变化对各物种产量和鱼类群落生态指标的影

表 2 构建质量谱模型所选物种及参数

Tab. 2 Species and parameters selected for constructing size-spectrum model

物种Species	W_{inf} (g)	W_{mat} (g)	β	R_{max}	SS (g)	σ	K_{vb}	Q	Gear	$Yield_{observed}$ (g)
海鳗 <i>Muraenox</i> spp.	13860.78	680.10	205	5.72×10^6	34.01	1.30	0.50	1	SN	1.60×10^9
日本鲭 <i>Scomber japonicus</i>	2900.00	263.56	45	2.25×10^9	13.18	1.30	0.30	1	TN	5.50×10^9
鳗 <i>Miichthys miiuy</i>	2913.00	342.00	35	2.80×10^8	17.10	1.30	0.32	1	TN	8.50×10^8
大黄鱼 <i>Larimichthys crocea</i>	10659.05	101.33	95	1.08×10^7	5.07	1.30	0.43	1	TN	8.00×10^8
小黄鱼 <i>Larimichthys polyactis</i>	1081.15	36.75	310	4.61×10^9	1.84	1.30	0.44	1	GN	1.00×10^{10}
棘头梅童 <i>Collichthys lucidus</i>	78.90	16.00	25	2.00×10^{11}	0.80	1.30	0.42	1	SN	7.50×10^9
带鱼 <i>Trichiurus lepturus</i>	5000.00	326.27	20	8.76×10^8	16.31	1.30	0.42	1	SN	2.10×10^{10}
龙头鱼 <i>Harpadon nehereus</i>	283.00	60.40	100	4.69×10^9	3.02	1.30	0.55	1	GN	2.00×10^9
银鲳 <i>Pampus argenteus</i>	6437.09	186.82	5000	8.90×10^8	9.34	1.30	0.25	1	TN	5.00×10^9
黑鲷 <i>Lophiomus setigerus</i>	13496.00	260.00	260	1.93×10^7	13.00	1.30	0.35	1	TN	1.35×10^9
舌鳎 <i>Cynoglossus</i> spp.	231.00	27.00	30	3.32×10^9	1.35	1.30	0.57	1	TN	1.80×10^9
管鞭虾 <i>Solenocera</i> spp.	22.10	5.27	10	9.83×10^{10}	0.26	1.30	1.00	1	SHN	1.80×10^{10}
三疣梭子蟹 <i>Portunus trituberculatus</i>	639.29	159.82	10	4.79×10^8	7.99	1.30	1.62	1	SHN	1.25×10^{10}
短蛸 <i>Octopus ocellatus</i>	252.00	63.00	55	1.13×10^8	3.15	1.30	1.44	1	TN	6.60×10^8
副渔获物种 Bycatch species	45.00	6.16	410	1.84×10^{11}	0.31	1.30	0.60	1	TN	2.20×10^{10}

注: Gear中TN为单拖网; SN为张网; SHN为拖虾网; GN为刺网

Note: TN in Gear represent single trawl; SN represent stow net; SHN represent shrimp net; GN represent gillnet

响。模型假定2015—2025年舟山渔场鱼类群落处于稳定状态,且捕捞努力量投入与渔获产量恒定,2025—2035年为渔具管理场景的实施调整时间,2035—2055年为观察期,以6个指标为评价标准评估不同渔具管理策略实施下的渔业状态。

为满足渔具管理的现实需求,本研究基于舟山渔场4种主要作业渔具,从降低渔具捕捞努力量和转移渔具捕捞努力量两个角度出发,设计不同的管理情景调整捕捞努力量(表3)。下降场景是通过降低特定渔具捕捞努力量实现的;转移场景是通过降低某一渔具捕捞努力量同时上升另一渔具捕捞努力量实现的。捕捞努力量升降在捕捞作业中对应着渔船数量、渔船作业时长及网次数目的升降。

以上场景中使用了总产量作为指标来分析各场景下渔获物产量的变化,同时使用5种生态指标监测鱼类群落结构和生物量的动态变化^[5,38],包括:总生物量(Biomass)^[37]、大型鱼类指数(Large fish

index, LFI)^[38]、平均体重(Mean weight, MW)^[25,39]、平均最大体重(Mean max weight, MMW)^[17]、群落质量谱斜率(SLOPE)^[26,27]。通过追踪每个场景模拟前10年(2015—2025年)生态指标平均值和场景模拟最后10年(2045—2055年)群落稳定下生态指标平均值的变化,反映不同的渔具管理策略对群落产生的影响。

2 结果

2.1 模型校准结果及模型拟合度

模型校准结果显示(图2),在各渔具恒定的捕捞努力量($E=1$)下,质量谱模型在30年内达到平衡稳定状态。物种的摄食水平高低主要由质量决定,随质量的增长先上升后下降(图2A)。各种类生物量在30年内达平衡状态(图2B)。生物量密度表示物种群落及背景资源在不同质量下的密度,随质量上升而逐渐增大,达到特定临界值后骤降(图2C)。在均匀分布假设下,各种类被捕食死亡率呈现一致性(图2D),在个体小体重阶段(介于 10^{-2} —1 g)及发育阶段(介于1—100 g)出现峰值。

模型拟合度显示(图3),TRE及RMSE指标均小于0.5,模型平衡状态下各种类产量预测精度高,模型校准效果好。

2.2 拖网捕捞努力量下降及转移对产量及生态指标的影响

拖网捕捞努力量下降(场景1)及转移(场景2—4)管理场景各指标结果显示(图4和表4),拖网捕捞努力量下降,渔业总产量显著下降[其中场景2(拖网↓张网↑)中下降最大,达11.95%](图4A),群落总生物量显著提高[其中场景3(拖网↓拖虾网↑)]下提高最大,达19.54%(图4E),大型鱼类指数、群落平均体重和质量谱斜率显著上升(图4I、4M、4U),群落平均最大体重变化较小(不超过6%;图4Q)。银鲳(*Pampus argenteus*)、黑鲷(*Lophiomus setigerus*)及大黄鱼(*Larimichthys crocea*)生物量得到了显著恢复,舌鳎(*Cynoglossus* spp.)和短蛸(*Octopus ocellatus*)生物量有所回升(图6A—D)。黑鲷和大黄鱼产量显著提升,舌鳎和短蛸产量明显下降(图5A—D)。在场景2(拖网↓张网↑)下,棘头梅童(*Collichthys lucidus*)生物量和产量逐年下降(图5B和图6B)。

2.3 张网捕捞努力量下降及转移对产量及生态指标的影响

张网捕捞努力量下降(场景5)及转移(场景6—7)管理场景各指标结果显示(图4和表4),张网捕捞努力量下降,渔业总产量明显下降(图4B),群落总生物量有所提高(图4F),大型鱼类指数和群落平均体

表3 模拟场景及场景下不同渔具捕捞努力量变化

Tab. 3 Scenarios and changes in fishing effort of different fishing gear under different scenarios

模拟场景 Scenarios	场景效果 Scenario effects	场景下渔具捕捞 努力量变化组合 Change combination of fishing gear fishing effort under scenarios
1	拖网捕捞努力量下降	拖网↓
2	拖网捕捞努力量转移至张网	拖网↓张网↑
3	拖网捕捞努力量转移至拖虾网	拖网↓拖虾网↑
4	拖网捕捞努力量转移至刺网	拖网↓刺网↑
5	张网捕捞努力量下降	张网↓
6	张网捕捞努力量转移至拖虾网	张网↓拖虾网↑
7	张网捕捞努力量转移至刺网	张网↓刺网↑
8	拖虾网捕捞努力量下降	拖虾网↓
9	拖虾网捕捞努力量转移至张网	拖虾网↓张网↑
10	拖虾网捕捞努力量转移至刺网	拖虾网↓刺网↑
11	刺网捕捞努力量下降	刺网↓
12	刺网捕捞努力量转移至张网	刺网↓张网↑
13	刺网捕捞努力量转移至拖虾网	刺网↓拖虾网↑

注:表中“↑”“↓”代表渔具捕捞努力量E在当前基础上十年间等差上升50%(1.5E)或等差下降50%(0.5E);“渔具A↓渔具B↑”指将减少渔具A捕捞努力量,同时增加渔具B捕捞努力量,即渔具A捕捞努力量转移至渔具B

Note: “↑” and “↓” indicate the gear fishing effort E has increased by 50% (1.5E) or decreased by 50% (0.5E) in the past ten years from the current basis; “Fishing gear A↓ Fishing gear B↑” means the fishing effort of fishing gear A will be reduced while the fishing effort of fishing gear B will be increased, that is, the fishing effort of fishing gear A will be transferred to fishing gear B

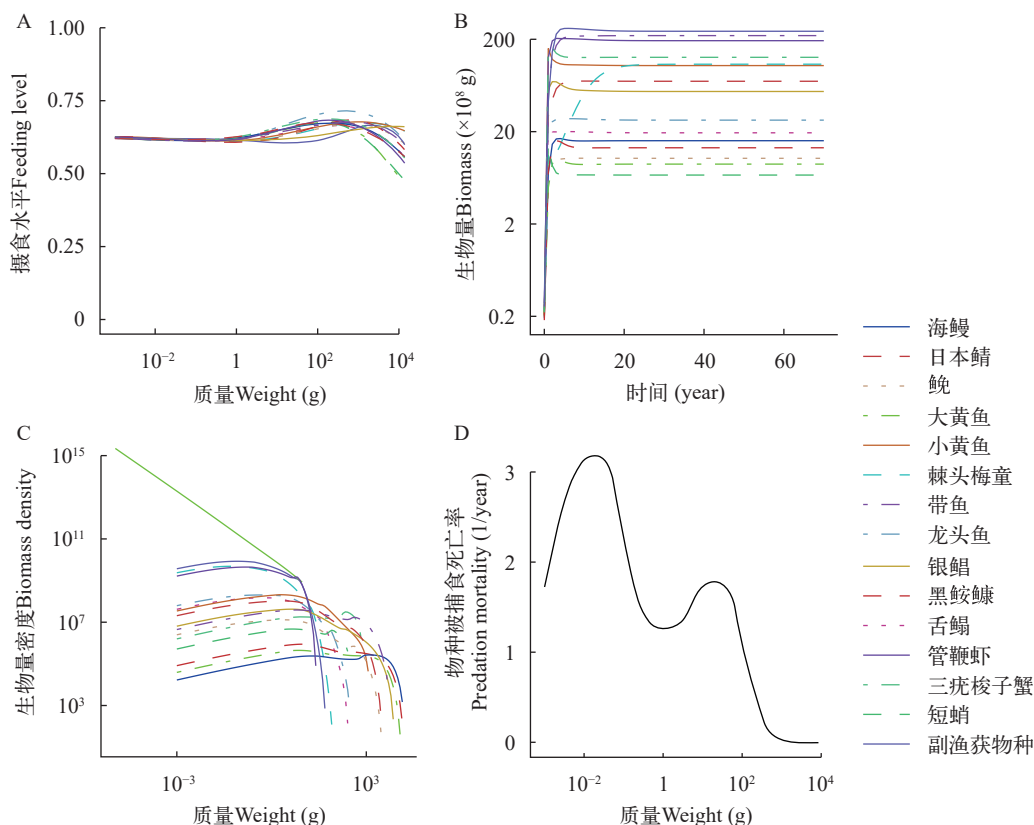


图2 质量谱模型平衡状态基本输出

Fig. 2 Basic output of size spectrum model equilibrium state

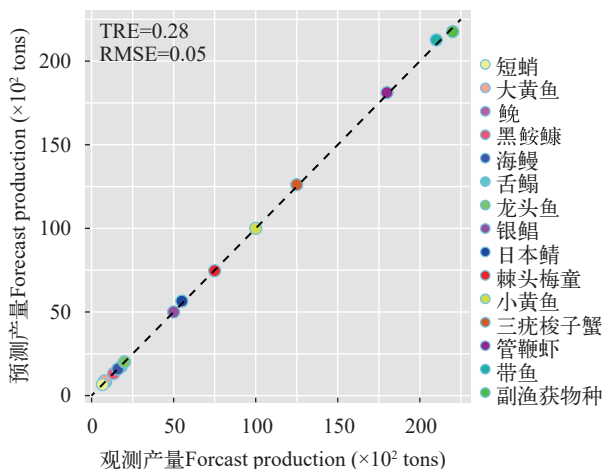


图3 质量谱模型拟合效果图

Fig. 3 Size spectrum model fitting effect diagram

重变化较小(不超过4%)(图 4J和图 4N), 群落最大平均体重显著下降(图 4R), 质量谱斜率显著上升(图 4V)。海鳗(*Muraenesox* spp.)、棘头梅童、带鱼(*Trichiurus lepturus*)生物量得到了显著恢复(图 6E—G)。海鳗产量显著提升, 部分种类[日本鲭(*Scomber japonicus*)、鳁(*Miichthys miiuy*)、大黄鱼、银鲳、黑鲷、三疣梭子蟹(*Portunus trituberculatus*)]产量有所下降(图 5E—G)。

2.4 拖虾网捕捞努力量下降及转移对产量及生态指标的影响

拖虾网捕捞努力量下降(场景8)及转移(场景9—10)管理场景各指标结果显示(图 4和表 4), 拖虾网捕捞努力量下降, 渔业总产量明显下降(图 4D), 群落总生物量和质量谱斜率略微下降(图 4H和图 4X), 群落平均体重和最大平均体重显著下降(图 4P和图 4T), 大型鱼类指数无明显变化(图 4L)。管鞭虾(*Solenocera* spp.)、大黄鱼生物量得到了显著恢复, 其余各种类生物量下降(图 6H—J)。各种类产量呈现不同程度下降, 其中管鞭虾及三疣梭子蟹产量显著下降(图 5H—J)。场景9(拖虾网↓张网↑)中棘头梅童生物量和产量逐年下降(图 5I和图 6I)。

2.5 刺网捕捞努力量下降及转移对产量及生态指标的影响

刺网捕捞努力量下降(场景11)及转移(场景12—13)场景下, 生物量、产量及群落指标变化表现出较大差异(表 4)。场景11(刺网↓)产量下降同时群落生物量有所上升(图 4C和图 4G), 平均最大体重略微下降(图 4S), 质量谱斜率略微上升(图 4W); 场景12(刺网↓张网↑)产量和群落生物量均有所下降(图 4C和图 4G), 平均最大体重有所上升(图 4S), 质量谱斜率略微下降(图 4W); 场景13(刺网↓拖虾

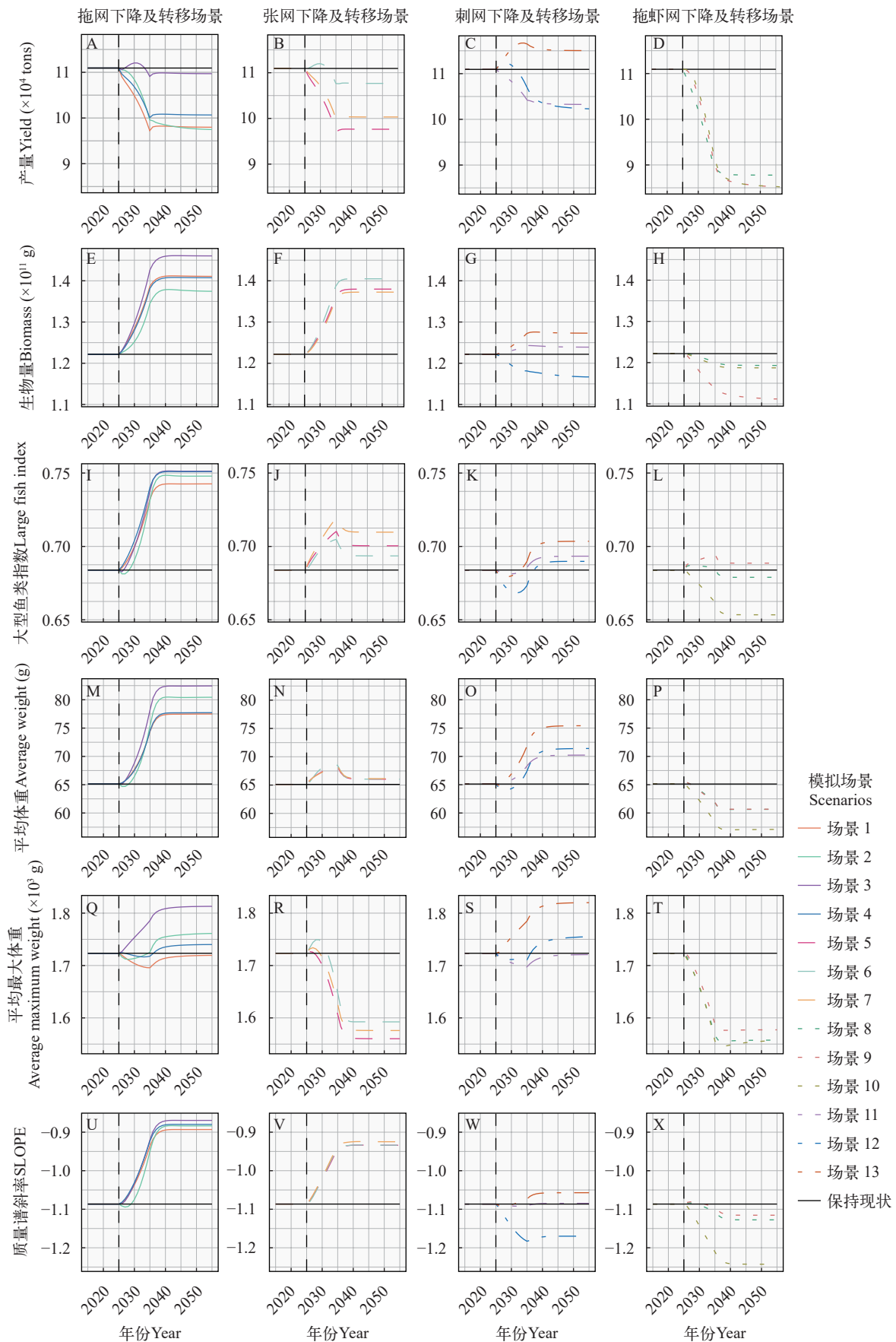


图 4 模拟场景下各生态指标变化情况
Fig. 4 Changes of ecological indicators in simulated scenarios

网↑)产量和群落生物量均有所上升(图 4C和4G), 群落平均最大体重和质量谱斜率有所上升(图 4S和 4W)。各场景下大型鱼类比例均略微上升(图 4K), 同时群落平均体重显著上升(图 4O)。场景11 (刺网↓)下小黄鱼(*Larimichthys polyactis*)生物量显著上升, 其余种类生物量无明显变化, 各种类产量无明显变化(图 5K和6K); 场景12 (刺网↓张网↑)下小黄鱼生物量显著上升, 带鱼和海鳗生物量及产量有所下降, 棘头梅童生物量和产量逐年下降(图 5L和 6L); 场景13 (刺网↓拖虾网↑)小黄鱼生物量显著上升, 各种类产量无显著变化(图 6M和7M)。

3 讨论

本研究针对舟山渔场构建了一个包含多渔具多种类的SSM模型, 以分析和预测在不同的渔具管理策略下各经济种类产量、生物量及群落结构的变化。该模型为探索鱼类群落对不同渔业管理策略和捕捞水平的响应提供了一种方便的方法^[39], 模型中的物种参数可以通过物种分析和代谢理论得到^[40]。研究表明, 混合渔业产量和生物量及群落结构在不同的渔业管理策略下会产生不同响应。不同渔具管理场景下产量、生物量及群落结构的非线性变化是由捕捞活动和生物相互作用共同决定的。不同程度的捕捞水平、物种特异生活史及与其他物种之间存在交互作用是非线性结果产生的原因。产量、总生物量和生态指标在不同管理场景下产生了不同响应。

3.1 拖网捕捞努力量下降和转移的场景

由于拖网选择性较差, 主要作业目标物种较多, 随着拖网捕捞努力量的下降, 有效减少对各种类不

同体型的捕捞, 从而提升群落大型鱼类指数, 进一步恢复生物量。相关研究表明拖网捕捞会对渔业资源产生较大影响^[41], 减少拖网捕捞导致群落平均体重上升^[42], 有利于恢复海洋生态环境^[43], 本研究与相关结论相符。

3.2 张网捕捞努力量下降和转移的场景

随着张网捕捞努力量的下降, 由张网主要捕获的海鳗、带鱼和棘头梅童捕捞死亡率下降, 生物量得到恢复, 海鳗、带鱼大体型个体比例显著上升, 其中带鱼在群落中处于高营养级且PPMR较低, 对大体型的其他物种具有更强的捕食偏好, 使得其他种类的大型个体被捕食死亡率上升, 导致群落中大型鱼类比例无明显提升。

3.3 拖虾网捕捞努力量下降和转移的场景

随着拖虾网捕捞努力量的下降, 管鞭虾和三疣梭子蟹的生物量逐渐恢复, 由于虾蟹类PPMR较低, β 值在模型通常设定较低^[20], 对摄食其他种类的质量范围选择性更大, 在同等质量下相较于鱼类更容易捕食其他物种, 导致其他物种在不同体型层面上均产生较高的被捕食死亡率, 进而导致群落总生物量下降。管鞭虾极限体重较小, 生物量较高, 易捕食其他种类的稚幼鱼及卵^[44], 进而导致群落中各物种的小体型个体生物量下降。具有小渐近体重的种群通常比具有大渐近体重的种群具有更大的丰度^[35], 具有较大丰度的管鞭虾资源量变化在渔业管理中不容忽视。而三疣梭子蟹极限体重较大, 摄食水平随着生长发育不断上升, 对于其他种类的成熟时期的大体型个体摄食需求更大, 导致群落中各种类中大体型个体生物量下降。随着拖虾网捕捞努力量转移至其他渔具, 管鞭虾及三疣梭子蟹资源量

表 4 不同场景下生态指标前后十年均值变化

Tab. 4 Ten-year average changes of ecological indicators before and after different scenarios (%)

场景 Scenarios	管理策略 Management strategy	总产量 Total yield	总生物量 Biomass	大型鱼类指数 LFI	平均体重 MW	最大平均体重 MMW	质量谱斜率 SLOPE
1	拖网↓	-11.65	+15.50	+8.58	+18.97	-0.27	+17.80
2	拖网↓张网↑	-11.95	+12.59	+9.35	+23.49	+2.13	+18.68
3	拖网↓拖虾网↑	-1.10	+19.54	+9.85	+26.58	+5.17	+19.98
4	拖网↓刺网↑	-9.24	+15.21	+9.80	+19.33	+0.94	+19.04
5	张网↓	-11.99	+12.93	+2.41	+1.41	-9.47	+14.05
6	张网↓拖虾网↑	-2.95	+14.98	+1.41	+1.41	-7.60	+14.07
7	张网↓刺网↑	-9.57	+12.33	+3.77	+1.56	-8.56	+14.89
8	拖虾网↓	-20.87	-2.33	-0.72	-6.88	-9.64	-3.77
9	拖虾网↓张网↑	-22.99	-8.84	-4.46	-12.33	-9.77	-14.36
10	拖虾网↓刺网↑	-18.49	-2.82	+0.69	-6.82	-8.49	-2.66
11	刺网↓	-6.90	+1.44	+1.37	+7.82	-0.18	+0.17
12	刺网↓张网↑	-7.63	-4.37	+0.86	+9.59	+1.74	-7.67
13	刺网↓拖虾网↑	+3.72	+4.21	+2.86	+15.79	+5.57	+2.71

有所上升, 高被捕食死亡率(由管鞭虾及三疣梭子蟹捕食导致)的各类种群生物量进一步下降, 因此总产量、群落总生物量及平均体重均会逐渐下降。

3.4 刺网捕捞努力量下降及转移场景

此时指标表现出较大差异, 这一现象产生的原因是由刺网所捕获的小黄鱼和龙头鱼(*Harpadon nehereus*)营养级、生物量均处于建模种类的中间位置, 这两个物种在模型中主要受到上行效应和下行效应的协同调控。因此生态指标对单一刺网捕捞强度变化响应较小, 小黄鱼和龙头鱼生物量的改

变不会对群落指标产生较大的影响。在刺网捕捞努力量下降的前提下, 指标变化趋势主要取决于捕捞努力量上升的渔具: 张网捕捞努力量上升将导致总生物量下降; 拖虾网捕捞努力量上升将导致总生物量上升, 这一结果与张网及拖虾网捕捞努力量下降场景中结果相对应。

3.5 质量谱斜率体现群落结构变化

质量谱斜率作为生态指标至关重要, 这一指标可以直观体现群落中不同质量个体的比例变化。随着拖网和张网捕捞努力量的上升将导致质量谱

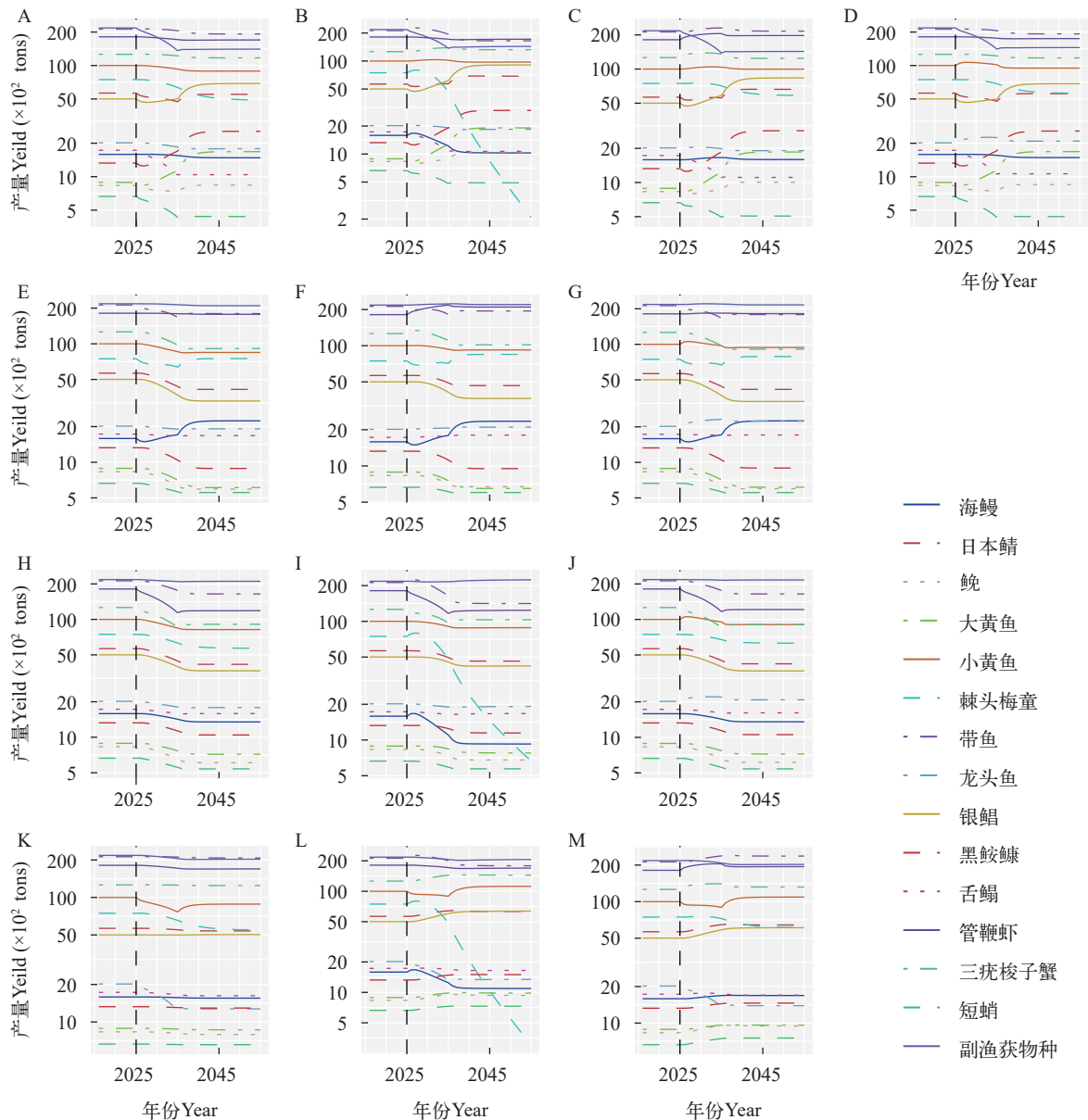


图5 不同场景下各物种产量变化情况

Fig. 5 Yield changes of each species under different scenarios

图A至图M分别对应表2管理场景1至场景13, 黑色垂直虚线为管理策略实施年份

Fig. A to M correspond to management scenarios 1 to 13 in Tab. 2, respectively. The black vertical dashed lines indicate the implementation year of the management strategy

斜率下降,反之则上升,这一现象符合持续的捕捞活动导致质量谱斜率变得陡峭的假设^[26, 45, 46]。造成这种一致性的原因主要是拖网和张网的捕捞活动主要针对渔场中的大型个体(主要包括大黄鱼、黑鲈和海鳗等),张网和拖网捕捞强度变化会直接影响到群落中的大型个体数量,导致大型个体生物量下降。

3.6 管理策略实施的潜在影响

不同管理策略的实施会对经济效益及生态效益产生不同的影响,有研究结果表明单一的管理措施无法同时兼顾所有种类^[20],在实际渔业管理中与

不同的渔业措施相结合可能是最有效的。从保护渔业生态及渔业可持续捕捞角度来说,减少拖网和张网捕捞能有效恢复各经济种类生物量,促进群落中大体型个体的恢复,在一个稳定的种群中大体型个体至关重要;从促进经济效益的角度来说,增加拖网捕捞有利于提升总产量,并在一定程度上恢复总生物量。在舟山渔场的渔具管理措施中,对于张网捕捞努力量的调整需要谨慎,短期内加大张网捕捞投入使得部分经济物种产量上升,但棘头梅童生物量逐年下降。种群资源量下降可能由过度捕捞和营养级联效应共同作用引起^[22, 47, 48]。

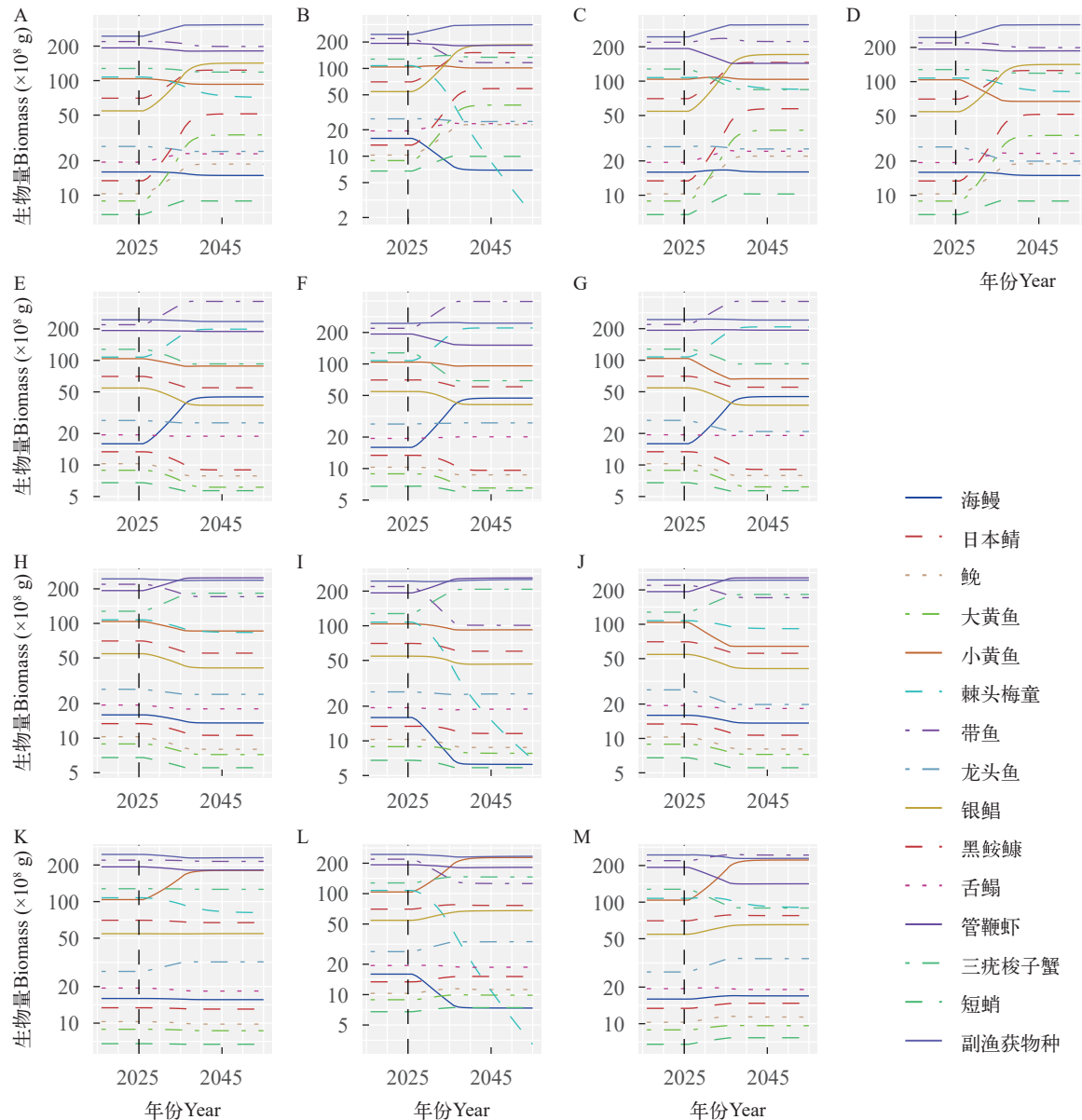


图6 不同场景下各物种生物量变化情况

Fig. 6 Biomass changes of each species under different scenarios

图A至图M分别对应表2管理场景1至场景13; 黑色垂直虚线为管理策略实施年份

Fig. A to M correspond to management scenarios 1 to 13 in Tab. 2, respectively; The black vertical dashed lines indicate the implementation year of the management strategy

4 结论

本研究初步探讨了舟山渔场混合渔业中, 各作业方式捕捞变化对各物种产量、生物量和生物群落结构的影响, 其中仍存在一些不足。首先, 本研究仅考虑了捕捞活动及物种间相互作用对产量、生物量及群落结构的影响, 气候驱动的水温和海洋循环变化等环境因素未被纳入模型考虑, 这些因素同样可能威胁物种的生存并影响物种的分布和改变群落结构^[49, 50]。其次, 参与建模的物种主要是被拖网、张网、拖虾网及刺网所捕获的顶级捕食者, 研究结果可能未全面反映群落动态^[17]。这些不足也是今后研究中需要继续完善的内容。

以生态系统为基础的渔业管理是在实现渔业资源可持续利用的同时, 尽量减少对生态系统的潜在影响的有效途径。舟山渔场作为典型的混合渔业, 在保护目标和开发渔业资源之间达到最佳平衡是当前管理的主要目标。本研究从混合渔业中渔具管理视角出发, 将渔具管理纳入管理者的参考范围, 并探索得到不同渔具捕捞努力量变化及其组合之间对经济效益和生态效益产生的潜在影响, 其结果有利于管理者从经济及生态两方面更好地制定策略。

(作者声明本文符合出版伦理要求)

参考文献:

- [1] Vinther M, Reeves S A, Patterson K R. From single-species advice to mixed-species management: taking the next step [J]. *ICES Journal of Marine Science*, 2004, **61**(8): 1398-1409.
- [2] Sun M, Li Y, Suatoni L, et al. Status and management of mixed fisheries: a global synthesis [J]. *Reviews in Fisheries Science & Aquaculture*, 2023, **31**(4): 458-482.
- [3] Kell L T, Crozier W W, Legault C M. Mixed and multi-stock fisheries [J]. *ICES Journal of Marine Science*, 2004, **61**(8): 1330.
- [4] Thorpe R B, Dolder P J, Reeves S, et al. Assessing fishery and ecological consequences of alternate management options for multispecies fisheries [J]. *ICES Journal of Marine Science*, 2016, **73**(6): 1503-1512.
- [5] Dolder P J, Thorson J T, Minto C. Spatial separation of catches in highly mixed fisheries [J]. *Scientific Reports*, 2018, **8**(1): 13886.
- [6] Martín P, Maynou F, Garriga-Panisello M, et al. Fishing effort alternatives for the management of demersal fisheries in the western Mediterranean [J]. *Scientia Marina*, 2019, **83**(4): 293-304.
- [7] Ben-Hasan A, Walters C, Louton R, et al. Fishing-effort response dynamics in fisheries for short-lived invertebrates [J]. *Ocean & Coastal Management*, 2018(165): 33-38.
- [8] Ichinokawa M, Okamura H. Properly designed effort management for highly fluctuating small pelagic fish populations: a case study in a purse seine fishery targeting chub mackerel [J]. *Marine Ecology Progress Series*, 2019(617/618): 265-276.
- [9] Liu X, Heino M. Evaluating effort regulation in mixed fisheries: a Monte Carlo approach [J]. *ICES Journal of Marine Science*, 2019, **76**(7): 2114-2124.
- [10] Jacobsen N S, Essington T E, Andersen K H. Comparing model predictions for ecosystem-based management [J]. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 2016, **73**(4): 666-676.
- [11] Giacomini H C, Shuter B J, Baum J K. Size-based approaches to aquatic ecosystems and fisheries science: a symposium in honour of Rob Peters [J]. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 2016, **73**(4): 471-476.
- [12] Hartvig M, Andersen K H, Beyer J E. Food web framework for size-structured populations [J]. *Journal of Theoretical Biology*, 2011, **272**(1): 113-122.
- [13] Jacobsen N S, Gislason H, Andersen K H. The consequences of balanced harvesting of fish communities [J]. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 2014, **281**(1775): 20132701.
- [14] Andersen K H, Brander K, Ravn-Jonsen L. Trade-offs between objectives for ecosystem management of fisheries [J]. *Ecological Applications*, 2015, **25**(5): 1390-1396.
- [15] Zhang C, Chen Y, Ren Y. An evaluation of implementing long-term MSY in ecosystem-based fisheries management: Incorporating trophic interaction, bycatch and uncertainty [J]. *Fisheries Research*, 2016(174): 179-189.
- [16] Blanchard J L, Andersen K H, Scott F, et al. Evaluating targets and trade-offs among fisheries and conservation objectives using a multispecies size spectrum model [J]. *Journal of Applied Ecology*, 2014, **51**(3): 612-622.
- [17] Lin Q, Zhang Y, Zhu J. Simulating the impacts of fishing on central and eastern tropical Pacific ecosystem using multispecies size-spectrum model [J]. *Acta Oceanologica Sinica*, 2022, **41**(3): 34-43.
- [18] Zhang C, Chen Y, Thompson K, et al. Implementing a multispecies size-spectrum model in a data-poor ecosystem [J]. *Acta Oceanologica Sinica*, 2016(35): 63-73.
- [19] Wo J, Zhang C, Ji Y, et al. A multispecies TAC approach to achieving long-term sustainability in multispecies mixed fisheries [J]. *ICES Journal of Marine Science*, 2022, **79**(1): 218-229.
- [20] de Juan S, Delius G, Maynou F. A model of size-spectrum dynamics to estimate the effects of improving fisheries selectivity and reducing discards in Mediterranean mixed demersal fisheries [J]. *Fisheries Research*, 2023(266): 106764.

- [21] Xia Y L, Chen Q, Zhao R L, *et al.* Comparative analysis of species composition of low value/trash fish caught by single otter trawl in Zhoushan fishing ground before and after the closed fishing season [J]. *Journal of Zhejiang Ocean University (Natural Science)*, 2015, **34**(6): 520-525. [夏一璐, 陈琼, 赵荣磊, 等. 伏休前后舟山渔场单拖船低值杂鱼渔获物组成比较分析 [J]. 浙江海洋学院学报(自然科学版), 2015, **34**(6): 520-525.]
- [22] Zhu M H, Qian W G. Reasons for decline of fishery resources in Zhoushan fishing ground and countermeasures for restoration [J]. *Rural Economy and Science-Technology*, 2022, **33**(9): 79-82. [朱梦华, 钱卫国. 舟山渔场渔业资源衰退原因及修复对策 [J]. 农村经济与科技, 2022, **33**(9): 79-82.]
- [23] Fulton E, Smith A, Punt A. Which ecological indicators can robustly detect effects of fishing [J]? *ICES Journal of Marine Science*, 2005, **62**(3): 540-551.
- [24] Greenstreet S P R, Rogers S I, Rice J C, *et al.* Development of the EcoQO for the North Sea fish community [J]. *ICES Journal of Marine Science*, 2011, **68**(1): 1-11.
- [25] Rochet M J, Rice J C. Do explicit criteria help in selecting indicators for ecosystem-based fisheries management [J]? *ICES Journal of Marine Science*, 2005, **62**(3): 528-539.
- [26] Shin Y J, Cury P. Using an individual-based model of fish assemblages to study the response of size spectra to changes in fishing [J]. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 2004, **61**(3): 414-431.
- [27] Petchey O L, Belgrano A. Body-size distributions and size-spectra: universal indicators of ecological status [J]? *Biology Letters*, 2010, **6**(4): 434-437.
- [28] Qiao J L, Li X D, Li J L, *et al.* Assessing the impacts of fishing on fish community in marine ranch of the Wuzhizhou Island based on size-spectrum model [J]. *Haiyang Xuebao*, 2024, **46**(1): 64-76. [乔家乐, 栗小东, 李建龙, 等. 基于质量谱模型评估捕捞对蜈支洲岛海洋牧场鱼类群落的影响 [J]. 海洋学报, 2024, **46**(1): 64-76.]
- [29] Andersen K H, Beyer J E. Asymptotic size determines species abundance in the marine size spectrum [J]. *The American Naturalist*, 2006, **168**(1): 54-61.
- [30] Szuwalski C S, Burgess M G, Costello C, *et al.* High fishery catches through trophic cascades in China [J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2017, **114**(4): 717-721.
- [31] Novaglio C, Blanchard J L, Plank M J, *et al.* Exploring trade-offs in mixed fisheries by integrating fleet dynamics into multispecies size-spectrum models [J]. *Journal of Applied Ecology*, 2022, **59**(3): 715-728.
- [32] Reum J C P, Blanchard J L, Holsman K K, *et al.* Ensemble projections of future climate change impacts on the eastern Bering sea food web using a multispecies size spectrum model [J]. *Frontiers in Marine Science*, 2020(7): 124.
- [33] Benoit D M, Chu C, Giacomini H C, *et al.* Size spectrum model reveals importance of considering species interactions in a freshwater fisheries management context [J]. *Ecosphere*, 2022, **13**(7): e4163.
- [34] Andersen K H, Pedersen M. Damped trophic cascades driven by fishing in model marine ecosystems [J]. *Proceedings Biological Sciences*, 2010, **277**(1682): 795-802.
- [35] Scott F, Blanchard J L, Andersen K H. Mizer: an R package for multispecies, trait-based and community size spectrum ecological modelling [J]. *Methods in Ecology and Evolution*, 2014, **5**(10): 1121-1125.
- [36] Wo J, Zhang C, Pan X, *et al.* Modeling the dynamics of multispecies fisheries: a case study in the coastal water of north Yellow Sea, China [J]. *Frontiers in Marine Science*, 2020(7): 524463.
- [37] Xia S, Yamakawa T, Zhang C, *et al.* A multispecies size-structured matrix model incorporating seasonal dynamics [J]. *Ecological Modelling*, 2021(453): 109612.
- [38] Rice J C. Evaluating fishery impacts using metrics of community structure [J]. *ICES Journal of Marine Science*, 2000, **57**(3): 682-688.
- [39] Zhang C, Chen Y, Ren Y. The efficacy of fisheries closure in rebuilding depleted stocks: lessons from size-spectrum modeling [J]. *Ecological Modelling*, 2016(332): 59-66.
- [40] Anurag A A. The metabolic theory of Ecology [J]. *Ecology*, 2004, **85**(7): 1790-1791.
- [41] Zou J W. Study on fishing status of fishery resources of continental shelf in the northern South China Sea [J]. *Chinese Fisheries Economics*, 2021, **39**(3): 66-73. [邹建伟. 南海北部陆架区渔业资源捕捞现状研究 [J]. 中国渔业经济, 2021, **39**(3): 66-73.]
- [42] Wang Y B, Zheng J, Zheng X Z, *et al.* Variation analysis of single otter trawl fish community structure outside forbidden fishing line of Zhoushan fishing ground [J]. *South China Fisheries Science*, 2012, **8**(1): 8-15. [王迎宾, 郑基, 郑献之, 等. 舟山渔场禁渔线以外海域单拖网鱼类群落结构变动分析 [J]. 南方水产科学, 2012, **8**(1): 8-15.]
- [43] Su L, Xu Y W, Zhang K, *et al.* Development trend of trawl fishery and its impact on fishery resources in South China Sea [J]. *South China Fisheries Science*, 2023, **19**(4): 41-48. [粟丽, 许友伟, 张魁, 等. 南海区拖网渔业发展趋势及其对渔业资源的影响 [J]. 南方水产科学, 2023, **19**(4): 41-48.]
- [44] Huang M Z. Study on feeding habits and nutrient level of shrimp species from Taiwan Strait and its adjacent sea areas [J]. *Journal of Oceanography in Taiwan Strait*, 2004, **23**(4): 481-488. [黄美珍. 台湾海峡及邻近海域6种对虾食性特征及其营养级研究 [J]. 台湾海峡, 2004, **23**(4): 481-488.]

- [45] Rice J. Patterns of change in the size spectra of numbers and diversity of the North Sea fish assemblage, as reflected in surveys and models [J]. *ICES Journal of Marine Science*, 1996, **53**(6): 1214-1225.
- [46] Shin Y J, Rochet M J, Jennings S, *et al.* Using size-based indicators to evaluate the ecosystem effects of fishing [J]. *ICES Journal of Marine Science*, 2005, **62**(3): 384-396.
- [47] Myers R A, Baum J K, Shepherd T D, *et al.* Cascading effects of the loss of apex predatory sharks from a coastal ocean [J]. *Science*, 2007, **315**(5820): 1846-1850.
- [48] Casini M, Lövgren J, Hjelm J, *et al.* Multi-level trophic cascades in a heavily exploited open marine ecosystem [J]. *Proceedings Biological Sciences*, 2008, **275**(1644): 1793-1801.
- [49] Genner M J, Sims D W, Southward A J, *et al.* Body size-dependent responses of a marine fish assemblage to climate change and fishing over a century-long scale [J]. *Global Change Biology*, 2010, **16**(2): 517-527.
- [50] Simpson S D, Jennings S, Johnson M P, *et al.* Continental shelf-wide response of a fish assemblage to rapid warming of the sea [J]. *Current Biology*, 2011, **21**(18): 1565-1570.

ASSESSMENT OF SEVERAL FISHING GEAR MANAGEMENT STRATEGIES ON ECONOMIC SPECIES YIELD AND BIOCOMMUNITY IN ZHOUSHAN FISHING GROUND FROM THE PERSPECTIVE OF MIXED FISHERIES

ZHAO Han-Lei¹, WANG Yang², ZHANG Chang¹ and WANG Ying-Bin^{1,3}

(1. College of Fisheries, Zhejiang Ocean University, Zhoushan 316022, China; 2. Zhoushan Marine Economy Development Bureau, Zhoushan 316022, China; 3. Zhejiang Marine Fisheries Research Institute, Zhoushan 316022, China)

Abstract: In order to explore the potential effects of different fishing gear and fishing efforts on the economic and ecological benefits of fishery activities in mixed fisheries, the Size Spectrum Model (SSM) was constructed based on the fishing log data from four types of vessels operating in the Zhoushan fishing ground in 2022. The study evaluated the effects of changes in fishing methods on the yield, biomass, and community structure of each species in the mixed fishery. Thirteen fishing gear management scenarios were simulated, and the interannual variation trends in species yield under different scenarios were analyzed. Additionally, community responses to different levels of fishing activity were monitored using five ecological indicators: total community biomass, large fish index, mean weight, mean maximum weight, and size spectrum slope. The results showed that: (1) When trawling effort decreased, the total biomass, average body weight, and large fish resources increased significantly, particularly for *Pampus argenteus*, *Lophiomus setigerus*, and *Larimichthys crocea*. The yield of *Lophiomus setigerus* and *Larimichthys crocea* also increased significantly. (2) The total biomass of the community increased with the decrease of stow net fishing effort, leading to the recovery of *Muraenesox* spp., *Collichthys lucidus*, and *Trichiurus lepturus*. The yield of *Muraenesox* spp. increased significantly. On the contrary, as net fishing effort increased, the biomass resources and yield of the plum child decreased year by year. (3) When the fishing effort of the shrimp net decreased, the total yield and total biomass of the community decreased, while the resources of *Solenocera* spp. and *Larimichthys crocea* increased. When the fishing effort of shrimp net increased, the total production and biomass of community increased. (4) The change in gillnet fishing effort had little effect on fishery yield, biomass, and community structure. The research results provide important insights for the sustainable use of economic species resources in the Zhoushan fishing ground, and they can help managers better understand the potential impact of changes in fishing effort of various fishing gear on fishery output and community ecology, so as to formulate feasible and more effective fishery management strategies according to the importance of species and the actual situation of fishing vessels.

Key words: Mixed fisheries; Zhoushan fishing ground; Size spectrum model; Fishing effort; Fishery yield