

文章编号: 1674-5566(2023)04-0818-11

DOI:10.12024/jsou.20221204036

基于灰色理论系统的西非海域捕捞渔获量预测

张 忠^{1,2,3,4}, 陈新军^{1,2,3,4}, 余 为^{1,2,3,4}

(1. 上海海洋大学 海洋科学学院, 上海 201306; 2. 国家远洋渔业工程技术研究中心, 上海 201306; 3. 大洋渔业资源可持续开发教育部重点实验室, 上海 201306; 4. 农业农村部大洋渔业开发重点实验室, 上海 201306)

摘 要: 西非海域包括中东大西洋和东南大西洋两个渔区, 是全球重要的渔业生产区域, 科学预测其未来渔获量变化趋势, 有利于该海域渔业资源的科学管理和开发。根据 2000—2020 年联合国粮农组织 (FAO) 提供的渔获量数据, 采用灰色关联分析法和灰色预测理论, 分别分析影响中东大西洋和东南大西洋总渔获量的主要渔获类别, 建立多种 GM(1, N) 模型并进行比较分析, 同时利用 2018—2020 年渔获量数据进行验证, 获得最优 GM(1, N) 模型预测 2021—2025 年中东大西洋和东南大西洋总渔获量。研究分析发现: 两海域最优预测模型均为 GM(1, 6), 模型预测值与原始值的灰色关联系数均最大, 分别为 0.825 和 0.867, 平均相对误差均为最小, 分别为 2.705% 和 1.734%; 2018—2020 年渔获量预测平均相对误差分别为 4.63% 和 8.24%; 2021—2025 年中东大西洋和东南大西洋总渔获量预测值分别为 497.67 万~588.79 万 t 和 138.20 万~147.41 万 t。研究认为: 中东大西洋总渔获量在十四五期间最多增长约为 48 万 t, 增长幅度较小, 建议加强资源养护、管控捕捞规模, 制定和实施禁渔期等有效管理养护措施, 建立科学合理渔业合作机制; 东南大西洋总渔获量呈平稳波动状态, 建议加强重点鱼种的养护管理, 深化区域渔业合作, 适当扩大捕捞海域范围, 实现渔业可持续利用。

关键词: 中东大西洋; 东南大西洋; 渔获量; 灰色关联; GM(1, N) 模型

中图分类号: S 932 **文献标志码:** A

西非海域位于非洲大陆西岸、大西洋东侧, 包括中东大西洋和东南大西洋两大海域, 联合国粮农组织 (Food and Agriculture Organization, FAO) 将其分别划定为 34 渔区和 47 渔区^[1]。受各大洋流和海洋信风等综合影响, 在西非两大海域形成了渔业资源丰富的渔场^[2-3], 并且该海域海洋渔业资源为 900 万人提供了直接或间接的工作机会, 是相关国家和地区人民经济收入的主要来源之一^[4-5]。2022 年 FAO 报告显示: 中东大西洋的渔获量总体呈上升趋势, 2019 年达到历史最高的 540 万 t; 而东南大西洋趋势则正好相反, 渔获量从 1978 年的 330 万 t 峰值持续下降至 2020 年的 140 万 t^[6]。有研究认为: 中东大西洋^[7]和东南大西洋^[8]渔业资源有一定开发潜力; 西非海域长期受到欧盟等渔业大国的过度捕捞^[9-11], 使得其大多数重要的底层和中上层鱼类

资源因过度开发而呈现资源枯竭趋势^[12-13]。为了可持续开发利用西非海域渔业资源, 有必要从宏观上、整体上、大尺度地进行相关研究, 开展科学合理渔获量预测分析, 是有效掌握西非海域渔获量变化趋势和未来开发管理的重要手段。

灰色理论系统是一种有效解决“小样本、贫信息”数据分析的不确定系统理论^[14], 其灰色预测方法的最大优点在于所需信息量少且预测精度高, 非常适用于具有受影响因素多、数据量少等明显特点的海洋渔业领域的渔获量、资源量等科学预测^[15]。当前, 灰色预测模型 GM(1, 1) 和 GM(1, N) 已经在渔获量预测^[16-17]、资源丰度预测^[18-20]、渔汛期预测^[21]等渔业领域得到全面应用, 取得良好预测效果。为此, 本文拟根据 FAO 提供的中东大西洋和东南大西洋两大渔区的渔获量数据, 利用灰色关联分析法和灰色预测理

收稿日期: 2022-12-03 修回日期: 2023-03-17

基金项目: 上海市科技创新行动计划(19DZ1207502)

作者简介: 张 忠(1987—), 男, 博士研究生, 研究方向为渔业资源。E-mail: zhang@shou.edu.cn

通信作者: 陈新军, E-mail: xjchen@shou.edu.cn

版权所有 ©《上海海洋大学学报》编辑部(CC BY-NC-ND 4.0)

Copyright © Editorial Office of Journal of Shanghai Ocean University (CC BY-NC-ND 4.0)

<http://www.shhydx.com>

论,分析主要渔获种类对总渔获量的影响,预测未来渔获量变化趋势,为西非海域渔业资源科学管理和开发提出建议。

1 材料与方 法

1.1 数据来 源

中东大西洋和东南大西洋渔获量数据来源于 FAO 网站 (http://www. fao. org/fishery/statistics/global-production/zh),运用 FishStatJ 软件按照 FAOSTAT 的格式下载获得。根据 1999 年渔业统计协调工作组第十八次会议要求^[6],FAO 将定期开始对渔获量数据进行对比验证,以确保数据的真实性,为此选取两渔区 2000—2020 年的渔获量数据,以进一步确保原始数据的可靠性,保障预测的精准度。其中渔获量按中上层鱼类、底层鱼类、软体动物(除头足类)、甲壳类、其他海洋鱼类、头足类、其他海洋动物、洄游性鱼类、水生植物等分为 9 大类。

1.2 研究方 法

1.2.1 灰色关联分析

分析总渔获量与各大类渔获量的灰色关联情况。以中东大西洋和东南大西洋总渔获量分别为母序列,以两大海域的底层鱼类、中上层鱼类等 9 大类的渔获量分别为子序列,进行灰色关联分析,获得两大海域影响总渔获量的主要类别。设 X_m 为母序列, $X_m = [x_m(1), x_m(2), \dots, x_m(n)]$; 设 X_z 为子序列, $X_z = [x_z(1), x_z(2), \dots, x_z(n)]$,进行灰色关联分析,可分别获得影响两海域总渔获量的主要渔获类别。灰色关联系数计算方法^[14]如下:

$$\gamma_{mz}(k) = \frac{\min_z \min_k |x_m(k) - x_z(k)| + \varepsilon \max_z \max_k |x_m(k) - x_z(k)|}{|x_m(k) - x_z(k)| + \varepsilon \max_z \max_k |x_m(k) - x_z(k)|} \quad (1)$$

式中: ε 为分辨系数; $\gamma_{mz}(k)$ 为母序列 X_m 与子序列 X_z 的灰色关联系数; $x_m(k)$ 为母序列, $x_z(k)$ 为子序列; k 为年份; z 为 9 大类渔获量种类。关联度计算如下:

$$\gamma_{mz} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \gamma_{mz}(k) \quad (2)$$

式中: γ_{mz} 为母序列与子序列 z 的关联度; n 为年份,从 2000 年到 2020 年,其值为 21。在灰色关联度计算中,采用均值化进行初值化,分辨系数取 0.5。

1.2.2 灰色预测模型构建与检验

构建多种 GM(1, N) 模型并比较选出最优 GM 模型。建立灰色 GM(1, N) 模型,对中东大西洋和东南大西洋总渔获量进行预测,该模型是由 N 个变量组成的灰色预测模型,1 代表模型为一阶模型, $N=i+1$ (i 为因子的个数)。模型的简要计算^[14,17]如下:

设中东大西洋和东南大西洋总渔获量分别为系统的母序列

$$X_1^{(0)} = [x_1^{(0)}(1), x_1^{(0)}(2), \dots, x_1^{(0)}(n)],$$

另设中东大西洋和东南大西洋 9 大类别渔获量分别为各自系统的子序列,即

$$X_2^{(0)} = [x_2^{(0)}(1), x_2^{(0)}(2), \dots, x_2^{(0)}(n)],$$

$$X_3^{(0)} = [x_3^{(0)}(1), x_3^{(0)}(2), \dots, x_3^{(0)}(n)],$$

.....

$$X_n^{(0)} = [x_n^{(0)}(1), x_n^{(0)}(2), \dots, x_n^{(0)}(n)].$$

GM(1, N) 模型的基本形式为

$X_1^{(0)}(t) + aZ_1^{(1)}(t) = \sum_{i=2}^n b_i x_i^{(1)}(t)$, 其中 $X_1^{(1)}$ 是 $X_1^{(0)}$ 的累加序列, $Z_1^{(1)}$ 是 $X_1^{(1)}$ 的紧邻均值生成序列。模型的参数估算采用最小二乘法:

$$B = \begin{bmatrix} -\frac{1}{2}(x_1^{(1)}(2)+x_1^{(1)}(1)) & x_2^{(1)}(2) \cdots x_n^{(1)}(2) \\ -\frac{1}{2}(x_1^{(1)}(3)+x_1^{(1)}(2)) & x_2^{(1)}(3) \cdots x_n^{(1)}(3) \\ \vdots & \vdots \\ -\frac{1}{2}(x_1^{(1)}(m)+x_1^{(1)}(m-1)) & x_2^{(1)}(m) \cdots x_n^{(1)}(m) \end{bmatrix},$$

$$Y = \begin{bmatrix} x_1^{(0)}(2) \\ x_1^{(0)}(3) \\ \vdots \\ x_1^{(0)}(m) \end{bmatrix}, \text{ 则参数列 } \hat{a} = [a, b_2, b_3, \dots, b_{n-1}]^T$$

的最小二乘估计为 $\hat{a} = (B^T B)^{-1} B^T Y$, 对于第 $k+1$ 年的 $X_1^{(0)}(k+1)$ 预测其公式为

$$X_1^{(0)}(k+1) = \frac{-ax_1^{(1)}(k) + \sum_{i=2}^n b_i x_i^{(1)}(k+1)}{1 + \frac{a}{2}} \quad (3)$$

子序列选取中东大西洋和东南大西洋各自灰色关联度排序前 5 位的类别渔获量,并以灰色关联度大小排序来建立 5 个 GM(1, N) 预测模型:

GM(1, 2) 模型包括总渔获量以及关联度值最大的类别渔获量;

GM(1,3)模型包括总渔获量以及关联度值排名前2位的类别渔获量;

.....

GM(1,6)模型:包括总渔获量以及关联度值排名前5位的类别渔获量。

2000—2017年中东大西洋和东南大西洋总渔获量及关联度排名前5的类别渔获量作为GM(1,N)预测模型的建模数据,计算其平均相对误差和预测值与实际值的灰色关联度,以灰色关联度最大和相对误差最小的预测模型为最优模型,并以此模型将2018—2020年数据作为测试数据进行验证。相关系数越接近于1,平均相对误差越小,表明模型的精度越好^[22]。

有学者^[14]研究认为分辨系数通常取0.5;也有研究^[23]认为当序列平稳,波动较小时,分辨系数取0.5可有效提升分辨率。本文所取序列渔获量符合该要求,为此本文分辨系数均取0.5。

1.2.3 中东大西洋和东南大西洋总渔获量预测

采用GM(1,1)模型预测2021—2025年中东

大西洋和东南大西洋各类别的渔获量,再根据选定的最优GM(1,N)模型分布预测2021—2025年中东大西洋和东南大西洋总渔获量。

上述灰色关联分析和GM预测模型计算均采用DPS数据处理系统7.05版本运算。

2 结果

2.1 中东大西洋和东南大西洋渔获量变化及灰色关联分析

灰色关联分析(表1)可知,在中东大西洋灰色关联度最小的为其他海洋动物(0.777),其余均大于0.9,最大为中上层鱼类的0.996,其余前5依次分别为甲壳类(0.976)、底层鱼类(0.975)、软体动物(除头足类,0.969)、洄游性鱼类(0.961);在东南大西洋灰色关联度最小的两位是其他海洋动物和洄游性鱼类,分别为0.883和0.859,其余均大于0.9,最大为中上层鱼类的0.995,其余前5依次分别为底层鱼类(0.991)、甲壳类(0.973)、其他海洋鱼类(0.969)、头足类(0.968)。

表1 中东大西洋和东南大西洋各类别渔获量与总渔获量的灰色关联系数
Tab.1 Values of grey correlation indices between each category of catch and the total catch in the Eastern Central Atlantic and Southeast Atlantic

中东大西洋 Eastern Central Atlantic		东南大西洋 Southeast Atlantic	
渔获量类别 Category of catch	关联系数 Grey correlation indices	渔获量类别 Category of catch	关联系数 Grey correlation indices
中上层鱼类 Pelagic marine fish	0.996	中上层鱼类 Pelagic marine fish	0.995
甲壳类 Crustaceans	0.976	底层鱼类 Demersal marine fish	0.991
底层鱼类 Demersal marine fish	0.975	甲壳类 Crustaceans	0.973
软体动物(除头足类) Molluscs excl. cephalopods	0.969	其他海洋鱼类 Marine fish NEI	0.969
洄游性鱼类 Freshwater and diadromous fish	0.961	头足类 Cephalopods	0.968
头足类 Cephalopods	0.957	水生植物 Aquatic plants	0.961
其他海洋鱼类 Marine fish NEI	0.944	软体动物(除头足类) Molluscs excl. cephalopods	0.954
水生植物 Aquatic plants	0.939	其他海洋动物 Aquatic animals NEI	0.883
其他海洋动物 Aquatic animals NEI	0.777	洄游性鱼类 Freshwater and diadromous fish	0.859

根据渔获量统计(图1)可知,中东大西洋主要渔获量由中上层鱼类、底层鱼类、甲壳类、软体动物(除头足类)、洄游性鱼类组成,2000—2020年渔获量分别占总渔获量的73.73%、14.63%、2.04%、0.4%、0.38%,合计占总渔获量的91.18%;东南大西洋主要渔获量由中上层鱼类、底层鱼类、其他海洋鱼类、甲壳类、头足类组成,2000—2020年渔获量分别占总渔获量的

63.80%、29.49%、4.09%、0.8%、0.7%,合计占总渔获量的98.88%。

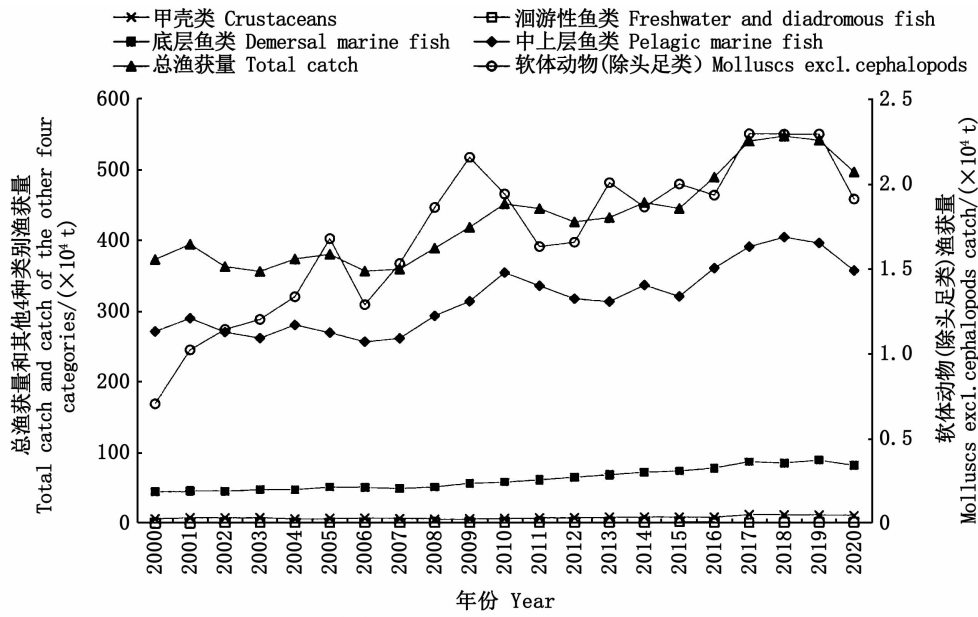
2.2 灰色预测模型构建与分析

根据灰色关联度分析结果,在中东大西洋选取灰色关联度前5位的中上层鱼类、甲壳类、底层鱼类、软体动物(除头足类)、洄游性鱼类;在东南大西洋选取灰色关联度前5位的中上层鱼类、底层鱼类、甲壳类、其他海洋鱼类、头足类,分别

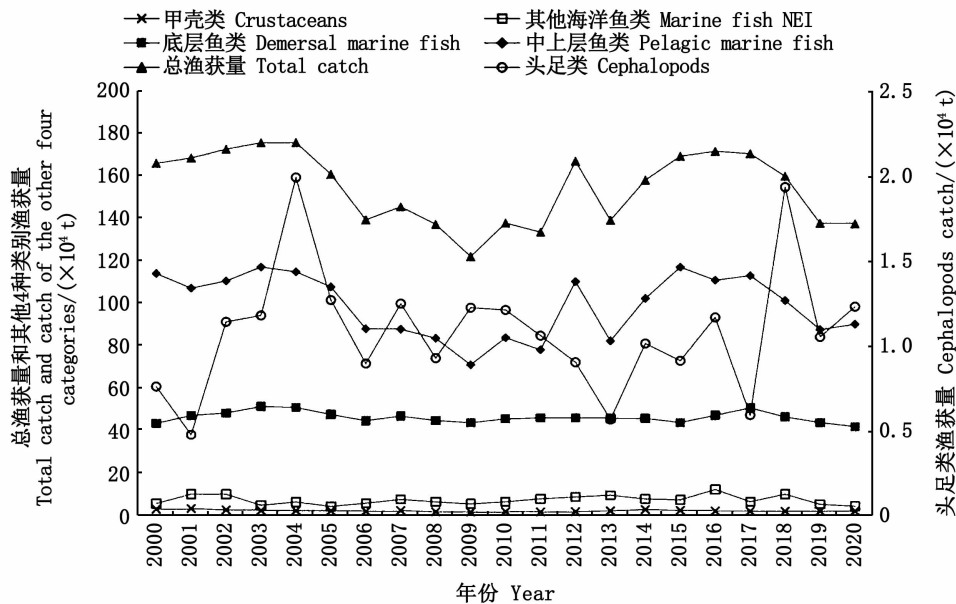
作为预测模型中各自海域总渔获量 X_1 的因子 X_2, X_3, X_4, X_5, X_6 , 并分别建立 5 个 GM(1, N) 模型(表 2)。

通过表 2 分别建立的中东大西洋和东南大西洋 5 个 GM(1, N) 预测模型, 分别对 2001—2017 年各海域总渔获量进行预测并验证其相对

误差情况(表 3)。由表 2 和表 3 可知, GM(1, 6) 模型的中东大西洋和东南大西洋预测值与原始值的灰色关联系数均最大, 分别为 0.825 和 0.867, 平均相对误差均为最小, 分别为 2.705% 和 1.734%, 因此可判断 GM(1, 6) 预测模型可作为两海域最优预测模型。



(a) 中东大西洋 Eastern Central Atlantic



(b) 东南大西洋 Southeast Atlantic

图 1 2000—2020 年中东大西洋 (a) 和东南大西洋 (b) 总渔获量及其主要类别渔获量变化趋势

Fig. 1 Variability of total catch and its main catch categories in the Eastern Central Atlantic(a) and Southeast Atlantic(b) from 2000 to 2020

表 2 灰色 GM(1,N) 模型的相关参数
Tab.2 Related parameters of the GM(1,N) model

海域 Area	灰色预测模型 Grey predictive model	响应函数 Response function	预测值与原始值的 灰色关联系数 Grey correlation indices between predicted value and original value
中东大西洋 Eastern Central Atlantic	GM(1,2)	$X_1(t+1) = (3\ 733\ 032 - 1.348\ 16X_2)e^{(-2.145\ 01t)} + 1.348\ 16X_2$	0.724
	GM(1,3)	$X_1(t+1) = (3\ 733\ 032 - 1.145\ 64X_2 - 7.776\ 24X_3)e^{(-1.982\ 67t)} + 1.145\ 64X_2 + 7.776\ 24X_3$	0.787
	GM(1,4)	$X_1(t+1) = (3\ 733\ 032 - 1.159\ 04X_2 - 8.228\ 92X_3 + 0.127\ 60X_4)e^{(-1.923\ 72t)} + 1.159\ 04X_2 + 8.228\ 92X_3 - 0.127\ 60X_4$	0.784
	GM(1,5)	$X_1(t+1) = (3\ 733\ 032 - 1.039\ 49X_2 - 11.140\ 96X_3 - 0.453\ 40X_4 - 18.621\ 51X_5)e^{(-2.173\ 94t)} + 1.039\ 49X_2 + 11.140\ 96X_3 - 0.453\ 40X_4 + 18.621\ 51X_5$	0.821
	GM(1,6)	$X_1(t+1) = (3\ 733\ 032 - 0.997\ 26X_2 - 12.176\ 85X_3 + 0.583\ 51X_4 - 17.454\ 02X_5 - 8.261\ 28X_6)e^{(-2.283\ 60t)} + 0.997\ 26X_2 + 12.176\ 85X_3 - 0.583\ 51X_4 + 17.454\ 02X_5 + 8.261\ 28X_6$	0.825
	东南大西洋 Southeast Atlantic	GM(1,2)	$X_1(t+1) = (1\ 657\ 011 - 1.597\ 21X_2)e^{(-1.386\ 30t)} + 1.597\ 21X_2$
GM(1,3)		$X_1(t+1) = (1\ 657\ 011 - 1.007\ 35X_2 - 1.207\ 58X_3)e^{(-2.101\ 36t)} + 1.007\ 35X_2 + 1.207\ 58X_3$	0.816
GM(1,4)		$X_1(t+1) = (1\ 657\ 011 - 1.035\ 16X_2 - 1.185\ 88X_3 + 1.489\ 51X_4)e^{(-2.170\ 31t)} + 1.035\ 16X_2 + 1.185\ 88X_3 - 1.489\ 51X_4$	0.813
GM(1,5)		$X_1(t+1) = (1\ 657\ 011 - 0.951\ 35X_2 - 1.179\ 88X_3 - 1.694\ 22X_4 - 0.763\ 59X_5)e^{(-2.076\ 54t)} + 0.951\ 35X_2 + 1.179\ 88X_3 + 1.694\ 22X_4 + 0.763\ 59X_5$	0.859
GM(1,6)		$X_1(t+1) = (1\ 657\ 011 - 0.944\ 48X_2 - 1.113\ 54X_3 - 1.880\ 82X_4 - 0.972\ 73X_5 - 2.014\ 81X_6)e^{(-2.098\ 92t)} + 0.944\ 48X_2 + 1.113\ 54X_3 + 1.880\ 82X_4 + 0.972\ 73X_5 + 2.014\ 81X_6$	0.867

表 3 中东大西洋和东南大西洋各 GM(1,N) 模型的相对误差
Tab.3 Relative errors of GM(1,N) models for Eastern Central Atlantic and Southeast Atlantic %

年份 Year	中东大西洋 Eastern Central Atlantic					东南大西洋 Southeast Atlantic				
	GM(1,2)	GM(1,3)	GM(1,4)	GM(1,5)	GM(1,6)	GM(1,2)	GM(1,3)	GM(1,4)	GM(1,5)	GM(1,6)
2001	14.120	15.341	15.583	17.065	17.575	17.107	14.712	15.092	13.440	13.833
2002	10.021	13.726	14.614	11.775	10.641	15.765	6.263	5.479	7.891	8.011
2003	1.507	6.115	6.832	5.559	5.095	14.167	4.090	3.872	2.709	2.188
2004	1.617	0.468	0.754	0.978	1.281	7.299	0.578	0.577	0.205	0.487
2005	4.367	3.037	2.878	1.804	1.634	7.920	2.584	2.662	0.906	0.663
2006	2.907	0.455	0.321	0.518	0.638	0.844	1.470	1.462	0.955	0.574
2007	1.845	1.007	0.885	0.327	0.018	3.947	1.167	1.586	0.342	0.011
2008	1.737	1.214	1.188	1.036	1.010	3.184	0.167	0.006	0.477	0.739
2009	1.148	1.159	1.141	0.131	0.430	7.584	0.912	0.996	0.388	0.536
2010	5.847	2.563	2.695	1.806	1.328	3.341	0.244	0.295	0.062	0.205
2011	1.762	0.849	0.921	0.432	0.503	7.139	0.385	0.289	0.272	0.393
2012	0.506	0.820	0.751	0.172	0.025	5.169	0.924	0.412	0.971	1.074
2013	2.245	0.378	0.481	0.486	0.826	6.040	1.603	1.964	0.415	0.128
2014	0.185	1.166	1.049	0.597	0.141	3.005	0.601	1.154	0.278	0.351
2015	2.804	1.199	1.420	1.050	0.084	10.125	0.174	0.289	0.069	0.204
2016	0.559	0.837	1.047	2.259	3.255	2.839	2.435	2.224	0.625	0.004
2017	2.408	1.348	1.323	2.194	1.507	5.557	1.985	2.279	0.989	0.073
平均 Mean	3.270	3.040	3.170	2.835	2.705	7.119	2.370	2.390	1.823	1.734

根据最优模型 GM(1,6),对 2018、2019 和 2020 年进行渔获量数据预测(表 4)并验证,其平均相对误差分别为 4.63% 和 8.24%,综合所有结果认为该模型精度较高。

表 4 2018—2020 年总渔获量 GM(1,6) 实际值与预测值比较

Tab. 4 Comparison of actual and predicted values of total catches GM(1,6) from 2018 to 2020

年份 Year	中东大西洋 Eastern Central Atlantic			东南大西洋 Southeast Atlantic		
	实际值 True value/t	预测值 Predicted value/t	相对误差 Relative error/%	实际值 True value/t	预测值 Predicted value/t	相对误差 Relative error/%
2018	5 475 718.41	5 488 506.26	0.23	1 595 466.36	1 703 905.78	6.80
2019	5 417 387.22	5 608 104.52	3.52	1 373 185.64	1 606 767.48	17.01
2020	4 970 764.94	5 474 251.50	10.13	1 370 589.66	1 383 225.44	0.92
平均 Mean			4.63			8.24

2.3 2021—2025 年总渔获量预测

根据 GM(1,6) 模型分别预测 2021—2025 年

中东大西洋、东南大西洋渔获量以及总渔获量,其预测结果见表 5、表 6 和表 7。

表 5 中东大西洋 2021—2025 年各类别渔获量预测结果

Tab. 5 Catch predictions by each category in the Eastern Central Atlantic from 2021 to 2025 t

年份 Year	中上层鱼类 Pelagic marine fish	甲壳类 Crustaceans	底层鱼类 Demersal marine fish	软体动物(除头足类) Molluscs excl. cephalopods	洄游性鱼类 Freshwater and diadromous fish
2021	3 990 967	119 988	941 264	23 924	21 958
2022	4 079 415	123 706	979 186	24 675	22 549
2023	4 169 823	127 539	1 018 637	25 450	23 155
2024	4 262 234	131 490	1 059 676	26 249	23 778
2025	4 356 694	135 565	1 102 370	27 073	24 418

表 6 东南大西洋 2021—2025 年各类别渔获量预测结果

Tab. 6 Catch predictions by each category in the Southeast Atlantic from 2021 to 2025 t

年份 Year	中上层鱼类 Pelagic marine fish	底层鱼类 Demersal marine fish	甲壳类 Crustaceans	其他海洋鱼类 Marine fish NEI	头足类 Cephalopods
2021	937 766	435 767	9 224	65 579	10 952
2022	934 191	433 880	9 010	65 740	10 955
2023	930 630	432 002	8 802	65 902	10 958
2024	927 082	430 131	8 598	66 064	10 961
2025	923 548	428 269	8 400	66 227	10 965

表 7 中东大西洋和东南大西洋 2021—2025 年总渔获量预测结果

Tab. 7 Predicted total catches in the Eastern Central Atlantic and Southeast Atlantic from 2021 to 2025 t

洋区 Ocean area	2021	2022	2023	2024	2025
中东大西洋 Eastern Central Atlantic	4 976 708	5 490 847	5 620 183	5 752 527	5 887 947
东南大西洋 Southeast Atlantic	1 381 982	1 474 149	1 468 434	1 462 751	1 457 099

3 讨论

3.1 渔获量现状及预测分析

中东大西洋和东南大西洋海域都具有全球最好的生态系统^[24],渔业资源丰富,但两海域近

年来渔获量差异较大。FAO 报告显示^[6],2020 年中东大西洋总渔获量占大西洋和地中海总渔获量的 24%,而东南大西洋仅占 7%。一方面中东大西洋资源量可能更加丰富,以沙丁鱼(*Sardina pilchardus*)为例,有研究^[25]表明沙丁鱼广泛分布

于摩洛哥至塞内加尔海域且资源量非常巨大,近年来因气候变化^[26]进一步丰富了该海域沙丁鱼资源量,自2014年以来中东大西洋沙丁鱼渔获量保持在100万t左右^[6],约占中东大西洋总渔获量的20%,是东南大西洋总渔获量的71%,并且其种群仍未被充分捕捞。另一方面,中东大西洋更加靠近欧洲大陆,与欧洲等主要渔业国家合作紧密,一直保持着高强度开发力度^[2,27-29],而东南大西洋受南极影响,其气候^[30]和洋流^[31-32]变化以及海底地形^[33]均较大程度影响了其渔获量。另外,东南大西洋渔业组织(South East Atlantic Fisheries Organization, SEAFO)开展严格的鱼种配额管理^[34]可能也是影响因素之一。

FAO评估^[6]表明,2019年中东大西洋生物可持续捕捞水平为60%,相比2017年的57.2%提高了2.8%;2019年东南大西洋生物可持续捕捞水平为64.7%,相比2017年的67.6%降低了2.9%。本研究发现:中东大西洋2021—2025年的总渔获量预测值保持增长趋势,为497.67万~588.79万t,相比历史最高值2019年的540万t,最多增长约48万t,增长幅度较小;东南大西洋2021—2025年的总渔获量预测值为138.20万~147.41万t,基本与2020年的140万t持平,呈现平稳波动趋势。两海域的预测结果均与FAO的评估结论保持一致,可见:中东大西洋虽可捕捞水平有所提升且能保持增长趋势,但在未来的增长空间有限,增速较缓;而东南大西洋虽可捕捞水平有所降低,但其未来渔获量仍将保持稳定浮动状态。

3.2 灰色预测模型分析

本研究通过GM预测模型,选取预测值与原始值灰色关联系数最大且平均相对误差最小的GM(1,6)模型,预测了中东大西洋和东南大西洋未来渔获量,并用2018—2020年渔获量数据进行了验证,其平均相对误差较小,且与FAO评估结论^[6]一致,证明该模型在数据单一且数量不充足的渔业科学领域,能够很好完成区域性渔获量统计验证及未来预测工作。

但该预测模型也存在一定不足。在进行预测验证2001—2017年各海域总渔获量的相对误差过程中(表3),虽然最终的平均相对误差非常理想,但2001和2002年这2年的相对误差明显偏大,特别是2001年GM(1,6)模型预测的中东

大西洋和东南大西洋分别达到了17.575%和13.833%,分别是各自平均值的6.5倍和8倍。这可能与GM(1,N)模型存在自带的系统误差有关^[35],为减少这种误差并提高模型预测精度,有研究^[36-37]认为可通过优化背景值提升最小二乘估算法计算获得的参数精度;在利用选定的最优模型GM(1,6)进行2018、2019和2020年渔获量数据预测验证中,各年间的相对误差存在显著差异,中东大西洋2020年实际值与预测值的相对误差为10.13%,而东南大西洋2019年实际值与预测值的相对误差达到17.01%,这可能是由于灰色系统预测只适合于中短期的预测,其预测时间序列越长,其数据越容易失真^[38],同时该模型预测的稳定性还有待提高,为此在使用灰色GM(1,N)模型进行预测时,数据量的选择对预测结果存在较大影响。另外,GM(1,N)模型系统本身无法排除各因子间(各年间渔获量或各年间各种类渔获量)的相互作用^[39],这也对预测的稳定性和精准性产出一定的影响。

本研究所采用的模型预测主要使用了中东大西洋和东南大西洋历年总渔获量和各大类渔获量数据,并未加入更多其他影响因子。在以往的灰色预测研究中,有学者将水温变化和厄尔尼诺(ELNINO)等环境和气候因子^[18,40]、单位捕捞努力量渔获量(Catch per unit effort, CPUE)^[19,41]等因素作为预测模型系统因子之一,为重要海洋经济鱼种资源量预测提供了参考。为此,在今后的研究中,建议可以适当加入更多生物和非生物的海洋环境、气候指数等有效指标,进一步完善预测模型的数据来源,以提高中东大西洋和东南大西洋渔获量预测的精准度。

3.3 渔业资源开发建议

从以往的研究和本研究预测结论来看,中东大西洋和东南大西洋是全球重要的作业渔场,历史上渔业资源丰富,当前也均具备一定的未来开发潜力,但也存在一定差异。

在中东大西洋,有研究指出塞内加尔海域底层鱼类过度捕捞^[42]且渔获量和渔获量平均营养级(Mean trophic level, MTL)呈明显下降趋势^[43],毛里塔尼亚底层鱼类减少了75%^[44],西北非洲沿海被认为绝大多数小型中上层鱼类被过度捕捞^[12],而FAO最新的评估显示其可持续捕捞水平有所回升,且本研究预测其未来5年渔获量仍

有一定增长,可知中东大西洋总体渔业资源情况有所好转,而以底层鱼类和中上层鱼类为主的重要经济渔业种类和资源仍存在较大资源枯竭风险。为此建议:(1)各沿海国要按照中东部大西洋渔业委员会(Fishery Committee for the Eastern Central Atlantic,CECAF)^[45]及其下设的区域渔业委员会(Sub-Regional Fisheries Commission,SRFC)、几内亚中西部海湾渔业委员会(Fishery Committee of the West Central Gulf of Guinea,FCWC)、几内亚湾区域渔业委员会(Regional Commission of Fisheries of Gulf of Guinea,COREP)等3个分区域渔业委员会^[9]的有关要求,切实履行委员会职责,加强成员国之间合作交流,加强渔业养护和可持续管理的政策执行,促进渔业和鱼类资源的可持续发展;(2)各沿海国和地区要加强休渔养护工作,特别对受过度捕捞严重的底层鱼类和小型中上层鱼类加强资源调查,制定和实施禁渔期(摩洛哥禁渔期8个月^[46])等有效措施,研究采用适宜的渔具渔法开展捕捞生产;(3)沿海国和地区应深刻认识到西方国家不合理渔业合作对渔业资源带来的破坏^[11,47],应建立科学合理的入渔合作政策,管控捕捞规模,实现互利共赢的合作模式。

在东南大西洋,虽然2019年FAO评估其可持续捕捞水平较2017年有所下降,但在全球可评价的15个渔区中仍能排名第7^[6],竹筴鱼、无须鳕等该海域最重要鱼种得到有效管理而资源量充沛,未出现渔业行为降低海洋食物网(Fishing down marine food webs,FDFW)现象,渔业资源未被破坏^[8],且本研究预测发现其未来渔获量仍然处于稳定水平,其渔获量仍有开发空间。为此建议:(1)进一步发挥好SEAFO监督管理作用,加大高经济价值鱼种配额管理力度,鼓励支持成员国开展绿色可持续的捕捞作业方式,在现有作业范围之外,积极开展生产探捕扩大可捕捞范围、发现新渔场;(2)沿海国和地区要切实加强资源明显衰退或处于过度捕捞状态的重要经济鱼种养护工作,要采取特别措施加强南非拟沙丁鱼(*Sardinops ocellatus*)、小沙丁鱼属(*Sardinella aurita*和*Sardinella maderensis*)种群、短线竹筴鱼(*Trachurus trecae*)、南非鲍螺(*Haliotis midae*)等重点种类和种群^[6]的科学管理和捕捞限制,严厉打击非法捕捞行为;(3)沿海国和地区要在原有合

作基础上^[48],继续深入开发形成产业融合,同时加强与世界友好渔业强国的渔业联合发展,秉承FAO倡导的绿色发展理念,使渔业资源可持续发展成为非洲发展蓝色经济(Blue economy,BE)^[49]的重要环节。

参考文献:

- [1] FAO. Fishery and aquaculture statistics 2018 [R]. Rome, 2020.
- [2] 陈新军. 远洋渔业概论:资源与渔场[M]. 北京:科学出版社,2018:233-269.
CHEN X J. Distant-water fishery [M]. Beijing: Science Press, 2018: 233-269.
- [3] 陈新军,周应祺. 渔业导论[M]. 北京:科学出版社,2018:33-91.
CHEN X J, ZHOU Y Q. Introduction of fishery [M]. Beijing: Science Press, 2018: 33-91.
- [4] OKAFOR-YARWOOD I. Illegal, unreported and unregulated fishing, and the complexities of the sustainable development goals (SDGs) for countries in the Gulf of Guinea [J]. Marine Policy, 2019, 99: 414-422.
- [5] BELHABIB D, SUMAILA U R, PAULY D. Feeding the poor: contribution of West African fisheries to employment and food security[J]. Ocean & Coastal Management, 2015, 111: 72-81.
- [6] FAO. The state of world fisheries and aquaculture 2022[R]. Rome: FAO, 2022.
- [7] 张忠,余为,陈新军,等. 基于灰色关联的全球海洋渔业资源开发状况评价[J]. 上海海洋大学学报,2022,31(3):812-820.
ZHANG Z, YU W, CHEN X J, et al. Evaluation on exploitation of global marine fisheries resources based on grey theory system[J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2022, 31(3): 812-820.
- [8] 张忠,杨文波,陈新军,等. 基于渔获量平均营养级的东南大西洋渔业资源状况分析[J]. 海洋渔业,2015,37(3):197-207.
ZHANG Z, YANG W B, CHEN X J, et al. On fisheries resources in the Southeast Atlantic based on the mean trophic level of catches[J]. Marine Fisheries, 2015, 37(3): 197-207.
- [9] BELHABIB D, SUMAILAU R, LEBILLON P. The fisheries of Africa: exploitation, policy, and maritime security trends [J]. Marine Policy, 2019, 101: 80-92.
- [10] MEREM E C, TWUMASI Y, WESLEY J, et al. Analyzing the tragedy of illegal fishing on the West African coastal region [J]. International Journal of Food Science and Nutrition Engineering, 2019, 9(1): 1-15.
- [11] VIRDIN J, KOBAYASHI M, AKESTER S, et al. West Africa's coastal bottom trawl fishery: initial examination of a

- trade in fishing services [J]. *Marine Policy*, 2019, 100: 288-297.
- [12] PALOMARES M L D, WORONIAK J, NÖEL S L, et al. Preliminary stock assessments of small pelagic fish populations off West Africa[R]. Vancouver: The University of British Columbia, 2019.
- [13] FAO. Report of the FAO/CECAF working group on the assessment of Demersal resources [R]. SubgroupNorth Nouakchott, Mauritania, 2020.
- [14] 刘思峰, 杨英杰, 吴利丰, 等. 灰色系统理论及其应用[M]. 7版. 北京: 科学出版社, 2014.
LIU S F, YANG Y J, WU L F, et al. Grey system theory and its application[M]. 7th ed. Beijing: Science Press, 2014.
- [15] 陈新军. 灰色系统理论在渔业科学中的应用[M]. 北京: 中国农业出版社, 2003: 1-32.
CHEN X J. Grey system theory in fisheries science [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2003: 1-32.
- [16] 鲁泉, 陈新军. 改革开放40年来中国渔业产业发展及十四五产量预测[J]. 上海海洋大学学报, 2021, 30(2): 339-347.
LU Q, CHEN X J. Development of Chinese fishery industry in 40 years of reform and opening up and production forecast in the 14th five-year plan [J]. *Journal of Shanghai Ocean University*, 2021, 30(2): 339-347.
- [17] 鲁泉, 方舟, 李楠, 等. 以灰色系统理论模型为基础构建印度洋海洋捕捞渔获量预测模型[J/OL]. 水产学报: 1-8. [2022-11-25]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/31.1283.S.20210617.1608.004.html>.
LU Q, FANG Z, LI N, et al. Prediction model of fisheries catch based on GM (1, N) in the Indian Ocean [J/OL]. *Journal of Fisheries of China*: 1-8. [2022-11-25]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/31.1283.S.20210617.1608.004.html>.
- [18] 张畅, 陈新军. 基于灰色系统的澳洲鲈太平洋群系资源量预测模型[J]. 上海海洋大学学报, 2019, 28(1): 154-160.
ZHANG C, CHEN X J. Forecasting model for spotted mackerel biomass based on grey system theory [J]. *Journal of Shanghai Ocean University*, 2019, 28(1): 154-160.
- [19] 解明阳, 陈新军. 基于不同阶数灰色系统模型的北太平洋柔鱼资源丰度预测[J]. 上海海洋大学学报, 2021, 30(4): 755-762.
XIE M Y, CHEN X J. Prediction of abundance index of *Ommastrephes bartramii* in the North Pacific Ocean based on different order grey system models [J]. *Journal of Shanghai Ocean University*, 2021, 30(4): 755-762.
- [20] 许子安, 解明阳, 陈新军. 马尔维纳斯群岛海域阿根廷滑柔鱼资源丰度的灰色灾变预测[J]. 上海海洋大学学报, 2022, 31(3): 642-649.
XU Z A, XIE M Y, CHEN X J. Grey catastrophe year prediction for the abundance index of *Illex argentinus* in the waters near Malvinas Islands [J]. *Journal of Shanghai Ocean University*, 2022, 31(3): 642-649.
- [21] 解明阳, 陈新军. 基于灰色系统的北太平洋柔鱼渔汛特征分析及旺汛期预测[J]. 渔业科学进展, 2021, 42(4): 1-8.
XIE M Y, CHEN X J. Analysis of the fishing seasons characteristics of *Ommastrephes bartramii* and prediction of the main fishing seasons based on the grey system theory [J]. *Progress in Fishery Sciences*, 2021, 42(4): 1-8.
- [22] 李燕. 灰色预测模型的研究及其应用[D]. 杭州: 浙江理工大学, 2012.
LI Y. Research and application of the grey forecast model [D]. Hangzhou: Zhejiang Sci-Tech University, 2012.
- [23] 钱隼驰, 仇蕾. 灰色关联分析中分辨系数取值的定量研究[J]. 统计与决策, 2019, 35(10): 10-14.
QIAN S C, QIU L. Quantitative study on value of distinguishing coefficient in grey correlation analysis [J]. *Statistics & Decision*, 2019, 35(10): 10-14.
- [24] ROSENBERG A, FOGARTY M, COOPER A, et al. Developing new approaches to global stock status assessment and fishery production potential of the seas [R]. Rome: FAO, 2014.
- [25] KONSTANTINOS G. Biology and ecology of sardines and anchovies [M]. Boca Raton: CRC Press, 2014.
- [26] ICES. Report of the Working group on southern horse mackerel, anchovy and sardine (WGHANSA) [R]. Lisbon, Portugal, 2015.
- [27] KACZYNSKI V M, FLUHARTY D L. European policies in West Africa: Who benefits from fisheries agreements? [J]. *Marine Policy*, 2002, 26(2): 75-93.
- [28] ALDER J, SUMAILA U R. Western Africa: a fish basket of Europe past and present [J]. *The Journal of Environment & Development*, 2004, 13(2): 156-178.
- [29] 崔利锋, 许柳雄, 陈新军, 等. 世界主要国家和地区渔业概况 [M]. 北京: 海洋出版社, 2012: 74-140.
CUI L F, XU L X, CHEN X J, et al. Overview of Fisheries in major countries and regions in the world [M]. Beijing: China Ocean Press, 2012: 74-140.
- [30] 李庆, 张学礼, 罗玉. 东南大西洋中低纬海域天气与气候特征 [J]. 海洋预报, 2010, 27(5): 55-59.
LI Q, ZHANG X L, LUO Y. The weather and climate characters over the middle-low latitude Southeast Atlantic Ocean [J]. *Marine Forecasts*, 2010, 27(5): 55-59.
- [31] 季星辉, 刘瑞壮. 纳米比亚的渔业及其管理 [J]. 海洋渔业, 2001, 23(1): 44-48.
JI X H, LIU R Z. Fisheries and their management in Namibia [J]. *Marine Fisheries*, 2001, 23(1): 44-48.
- [32] PETERSON R G, STRAMMA L. Upper-level circulation in the South Atlantic Ocean [J]. *Progress in Oceanography*, 1991, 26(1): 1-73.
- [33] BERGSTAD O A, HØINES Å S, SARRALDE R, et al. Bathymetry, substrate and fishing areas of Southeast Atlantic high-seas seamounts [J]. *African Journal of Marine Science*,

- 2019, 41(1): 11-28.
- [34] SEAFO. Conservation Measure CM-TAC-01 (2021): on Total Allowable Catches and related conditions for Patagonian Toothfish, Deep-Sea Red Crab, Alfonsino, Orange Roughy and Pelagic Armourhead for 2022 and 2023 in the SEAFO Convention Area. Enter into Force; 1 January 2022.
- [35] 丁圆苹. 灰色预测模型的优化研究[D]. 郑州: 河南农业大学, 2022.
- DONG Y P. Research on the optimization of grey prediction models[D]. Zhengzhou: Henan Agricultural University, 2022.
- [36] LAO T F, CHEN X T, ZHU J N. The optimized multivariate grey prediction model based on dynamic background value and its application[J]. Complexity, 2021, 2021: 6663773.
- [37] HUANG H L, TAO Z F, LIU J P, et al. Exploiting fractional accumulation and background value optimization in multivariate interval grey prediction model and its application [J]. Engineering Applications of Artificial Intelligence, 2021, 104: 104360.
- [38] 解明阳. 基于灰色系统理论的北太平洋柔鱼渔情预报研究[D]. 上海: 上海海洋大学, 2020.
- XIE M Y. Study for the fishery forecast of neon flying squid (*Ommastrephes bartramii*) in the North Pacific Ocean based on grey system theory [D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2020.
- [39] 高雪, 陈新军, 余为. 基于灰色系统的西北太平洋柔鱼冬春生群资源丰度预测模型[J]. 海洋学报, 2017, 39(6): 55-61.
- GAOX, CHEN X J, YU W. Forecasting model of the abundance index of winter-spring cohort of neon flying squid (*Ommastrephes bartramii*) in the Northwest Pacific Ocean based on grey system theory[J]. Haiyang Xuebao, 2017, 39(6): 55-61.
- [40] 段丁毓, 陈芑, 陈新军, 等. 基于灰色系统的秘鲁鳀资源量预测模型的构建[J]. 上海海洋大学学报, 2018, 27(2): 284-290.
- DUAN D Y, CHEN P, CHEN X J, et al. The construction of biomass forecasting model for the anchoveta (*Engraulis ringens*) by the grey system model[J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2018, 27(2): 284-290.
- [41] 王言丰, 陈新军, 陈芑, 等. 基于灰色系统西南大西洋阿根廷滑柔鱼资源丰度预测模型的构建[J]. 海洋学报, 2019, 41(4): 64-73.
- WANG Y F, CHEN X J, CHEN P, et al. Prediction of abundance index of *Illex argentinus* in the Southwest Atlantic Ocean based on grey system[J]. Haiyang Xuebao, 2019, 41(4): 64-73.
- [42] BAK, THIAWM, FALLM, et al. Long-term fishing impact on the Senegalese coastal demersal resources; diagnosing from stock assessment models [J]. Aquatic Living Resources, 2018, 31: 8.
- [43] LAURANSM, GASCUELD, CHASSOT E, et al. Changes in the trophic structure of fish demersal communities in West Africa in the three last decades [J]. Aquatic Living Resources, 2004, 17(2): 163-173.
- [44] MEISSA B, GASCUEL D. Overfishing of marine resources; some lessons from the assessment of demersal stocks off Mauritania[J]. ICES Journal of Marine Science, 2015, 72(2): 414-427.
- [45] FAO. Governing and statutory bodies website [EB/OL]. [2022]. https://www.fao.org/unfao/govbodies/gsb-subject-matter/statutory-bodies-details/en/c/182/?no_cache=1.
- [46] 中华人民共和国外交部. 摩洛哥国家概况 [EB/OL]. (2023-01). https://www.mfa.gov.cn/web/gjhdq_676201/gj_676203/fz_677316/1206_678212/1206x0_678214/.
- Ministry of Foreign Affairs, PRC. Overview of Morocco [EB/OL]. (2023-01). https://www.mfa.gov.cn/web/gjhdq_676201/gj_676203/fz_677316/1206_678212/1206x0_678214/.
- [47] OKAFOR-YARWOODI, BELHABIB D. The duplicity of the European Union Common Fisheries Policy in third countries; evidence from the Gulf of Guinea [J]. Ocean & Coastal Management, 2020, 184: 104953.
- [48] 詹世明. 安哥拉、南非、纳米比亚三国成立渔业生产联合体[J]. 西亚非洲, 2007(11): 67.
- ZHAN S M. Angola, South Africa and Namibia established a fishery production consortium [J]. West Asia and Africa, 2007(11): 67.
- [49] OKAFOR-YARWOODI, KADAGI N I, BELHABIB D, et al. Survival of the Richest, not the Fittest; How attempts to improve governance impact African small-scale marine fisheries[J]. Marine Policy, 2022, 135: 104847.

Catch prediction off the coast of West Africa based on grey theory system

ZHANG Zhong^{1,2,3,4}, CHEN Xinjun^{1,2,3,4}, YU Wei^{1,2,3,4}

(1. College of Marine Sciences, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 2. National Engineering Research Center for Oceanic Fisheries, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 3. Key Laboratory of Sustainable Exploitation of Oceanic Fisheries Resources, Ministry of Education, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 4. Key Laboratory of Oceanic Fisheries Exploration, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Shanghai 201306, China)

Abstract: The coast of West Africa, including the Eastern Central Atlantic and Southeast Atlantic, is an important fishery production area in the world. Scientific prediction of the change trend of its catch in the future is conducive to the scientific management and development of fishery resources in this area. Based on the catch data provided by the Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) from 2000 to 2020, the main catch categories affecting the total catch of the Eastern Central Atlantic and Southeast Atlantic were analyzed by grey correlation analysis and grey prediction theory, and a variety of GM (1, N) models were established for comparative analysis. The optimal GM (1, N) model successfully predicted the total catch of the Eastern Central Atlantic and Southeast Atlantic from 2021 to 2025 by the catch data from 2018 to 2020 catch data for validation. The results showed that the optimal prediction model of the two sea areas is GM (1, 6). The grey correlation coefficients between the predicted value and the original value are the greatest, which are 0.825 and 0.867, respectively. And the average relative errors are the smallest, which are 2.705% and 1.734%, respectively. The average relative errors of the prediction catches from 2018 to 2020 were 4.63% and 8.24%, respectively. The predicted total catch values for the Eastern Central Atlantic and Southeast Atlantic from 2021 to 2025 are 497.67×10^4 – 588.79×10^4 tons and 138.20×10^4 – 147.41×10^4 tons, respectively. It is believed that the maximum increase of the total catch in the Eastern Central Atlantic during the 14th Five-Year Plan is about 48×10^4 tons, with a relatively low growth rate. It is suggested to strengthen the conservation of resources, control the scale of fishing, formulate and implement effective management and conservation measures such as the fishing ban period, and establish a scientific and reasonable fishery cooperation mechanism. The total catch of the Southeast Atlantic fluctuates steadily. It is suggested to strengthen conservation and management of key fish species, deepen regional fishery cooperation, and appropriately expand fishing areas to achieve green development.

Key words: Eastern Central Atlantic; Southeast Atlantic; catch; grey correlation; GM (1, N) model