

基于灰色关联的全球海洋渔业资源开发状况评价

张忠, 余为, 陈新军, 解明阳

Evaluation on exploitation of global marine fisheries resources based on grey theory system

ZHANG Zhong, YU Wei, CHEN Xinjun, XIE Mingyang

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.12024/jsou.20220103691>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

[基于海表面温度SST的剩余产量模型评估太平洋褶柔鱼秋生群资源](#)

Stock assessment for autumn cohort of *Todarodes pacificus* based on surplus yield model with sea surface temperature

上海海洋大学学报. 2019, 28(6): 933 <https://doi.org/10.12024/jsou.20190202526>

[基于不同气候条件的中西太平洋鲣鱼渔场预报](#)

Fishing ground forecasting on *Katsuwonus pelamis* based on different climatic conditions in western and central Pacific Ocean

上海海洋大学学报. 2019, 28(1): 145 <https://doi.org/10.12024/jsou.20170802118>

[运用生物量动态模型评估印度洋长鳍金枪鱼资源](#)

Stock assessment of albacore (*Thunnus alalunga*) in the Indian Ocean using biomass dynamics model

上海海洋大学学报. 2018, 27(2): 259 <https://doi.org/10.12024/jsou.20170301973>

[主要经济大洋性鱿鱼资源渔场生产性调查与渔业概况](#)

Productive survey and fishery for major pelagic economic squid in the world

上海海洋大学学报. 2019, 28(3): 344 <https://doi.org/10.12024/jsou.20181202467>

[舟山近岸海域虾类种类组成与数量分布及其变动趋势](#)

Species composition and quantitative distribution of shrimp and its changing tendency in Zhoushan coastal waters

上海海洋大学学报. 2017, 26(4): 580 <https://doi.org/10.12024/jsou.20170301968>

基于灰色关联的全球海洋渔业资源开发状况评价

张忠^{1,2,3,4,5}, 余为^{1,2,3,4,5}, 陈新军^{1,2,3,4,5}, 解明阳¹

(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; 5. 农业农村部大洋渔业资源环境科学观测实验站, 上海 201306)

摘要: 利用 1990—2019 年全球 19 个渔区渔获量数据, 通过灰色关联聚类分析法, 研究了全球各渔区渔获量与总渔获量以及各渔区渔获量之间的关系, 并确定了同类型渔区中影响渔获量大小的主要鱼种类型。结果发现, 全球大多数渔区渔获量与全球海域总渔获量关联度较大, 灰色关联度大于 0.900 的渔区有 16 个。除南极大西洋扇区、南极太平洋扇区和北冰洋外, 其余各渔区相互间的关联度均高于 0.900。设定关联聚类矩阵的临界值 $r=0.975$ 作为分类依据, 获得分类明显的类群 I 和类群 II, 其中类群 I 包含西北太平洋、东北大西洋、东北太平洋、东南大西洋、中西大西洋、地中海及黑海等 6 个渔区, 其渔获量趋势均在一定范围内上下波动; 类群 II 包含中西太平洋、东印度洋、中东大西洋、西印度洋等 4 个渔区, 其渔获量呈稳定增长趋势。两个类群中鱼种渔获量与渔区总渔获量灰色关联度最高的均为中上层鱼类和底层鱼类。研究表明, 利用灰色理论系统可对全球各渔区海洋渔业资源开发状态进行科学评价, 其评价结果可为全球海洋渔业的可持续发展提供参考。

关键词: 灰色理论系统; 全球海域; 渔区; 渔获量; 可持续发展

中图分类号: S 937.3 **文献标志码:** A

海洋是地球重要组成部分, 占地球表面面积的 71%, 海洋渔业为 2.6 亿人类创造了工作机会^[1], 同时也是人类重要的优质动物蛋白来源^[2]。联合国粮农组织 (Food and Agriculture Organization, FAO) 将全球海域划分为 19 个主要渔区^[3], 据 FAO 渔业统计, 1950—2019 年累计渔获量最高的是西北太平洋渔区 (FAO 61 区), 平均年产量高达 1 678.3 万 t, 最低的为北冰洋渔区 (FAO 18 区), 平均年产量仅为 217.5 t; 渔获量最高的类别为中上层鱼类, 达 1 291.54 万 t, 最低的为其他海洋动物, 年产量仅为 16.66 万 t。不同海域间存在着生态系统、渔业资源量、鱼种类型等差异^[4], 导致了各海域间渔获量的不同。有研究^[5]表明, 不同海域海洋渔获物数量和种类组成受海洋温度变化影响显著, 同时又由于过度捕捞^[6]使全球渔获量比半个世纪前下降了一半, 这进一步加剧了各渔区渔获量的差别。FAO 报告显示, 截止到 2017 年有 34.2% 的海洋渔业处于过

度捕捞状态^[2]。有学者已对西北太平洋^[7]、东南大西洋^[8]、印度洋^[9]等海域进行了渔获量和主要鱼种的分析研究, 但这些研究都仅限于单一渔区或海域, 缺少了大尺度视角的分析。因此, 为了更加合理利用开发全球海洋渔业资源, 有必要从全球海域角度, 探讨分析各渔区渔获量及主要鱼种渔获量的相互关系, 这对人类保护管理海洋渔业资源具有重要意义。

灰色理论系统是由我国学者邓聚龙教授创立的一门不确定系统理论, 其主要特点是能对已知的“少数据”和“贫信息”进行数据挖掘, 从而实现对整个系统行为和演变正确描述和有效监控^[10]。自创立以来, 该方法在航空航天、军事应用、地质勘探、企业金融、渔业产业等各个行业和领域均得到了广泛应用^[10-13]。海洋渔获量具有受影响因素多、数据信息少等明显特点^[13], 因此本文拟利用灰色关联聚类分析法, 研究全球各渔区渔获量与总渔获量之间的关系, 并确定同类型

收稿日期: 2022-01-18

修回日期: 2022-03-05

基金项目: 国家重点研发计划 (2019YFD0901404); 上海市科技创新行动计划 (19DZ1207502)

作者简介: 张忠 (1987—), 男, 工程师, 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

渔区中影响渔获量大小的主要鱼种类型,为全球海洋渔业可持续发展提供参考。

1 材料与方法

1.1 数据来源

据 FAO 统计,全球累计渔获量自 1950 年起开始了持续增长模式,但进入 20 世纪 90 年代后,渔获量保持了稳定变动趋势,为此本研究数据的时间范围选定为 1990—2019 年。全球海域渔获量数据来源于 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,包括 19 个渔区 1990—2019 年近 30 年的渔获量数据。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 灰色关联分析法

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,可获得影响全球海域总渔获量的主要渔区类别或影响某一渔区总渔获量的主要鱼种类别。灰色关联系数计算公式^[10]:

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

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 19 大渔区或 9 大类渔获量种类。关联度计算:

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

式中: γ_{mz} 为母序列与子序列 z 的关联度; n 为年份,从 1990 年到 2019 年,其值为 30。在灰色关联计算中,采用均值化进行初值化,分辨系数取 0.5。

1.2.2 灰色聚类分析法

设有 n 个观测对象,每个对象观测 m 个特征数据,得到序列^[10]如下:

$$\begin{aligned} X_1 &= (x_1(1), x_1(2), \dots, x_1(n)) \\ X_2 &= (x_2(1), x_2(2), \dots, x_2(n)) \\ &\vdots \\ X_m &= (x_m(1), x_m(2), \dots, x_m(n)) \end{aligned} \quad (3)$$

式中:观测对象 X 为年份,特征数据 x 为各渔区各年份的渔获量。

对所有的 $\alpha \leq \beta, \alpha, \beta = 1, 2, \dots, m$, 计算出 X_α 与 X_β 的灰色绝对关联度 $\varepsilon_{\alpha\beta}$, 获得上三角关联聚类矩阵:

$$A = \begin{bmatrix} \varepsilon_{11} & \varepsilon_{12} & \cdots & \varepsilon_{1m} \\ & \varepsilon_{22} & \cdots & \varepsilon_{2m} \\ & & \ddots & \vdots \\ & & & \varepsilon_{mm} \end{bmatrix} \quad (4)$$

设临界值为 r , 并要求 $r > 0.5$, 当 $\varepsilon_{\alpha\beta} \geq r$ ($\alpha \neq \beta$) 时,则视 X_α 与 X_β 为同类特征。根据灰色理论原理^[10],灰色关联聚类的临界值 r 越大,其分类越精细,设定各渔区间关联聚类矩阵的临界值 $r = 0.975$ 作为分类依据。

2 结果

2.1 全球各渔区渔获量与全球海域总渔获量的灰色关联分析

根据 FAO 统计数据,1990—2019 年全球海洋渔业总渔获量为 246 796.29 万 t。全球各渔区渔获量排名前 3 位的渔区是西北太平洋、东南太平洋、中西太平洋,其累计渔获量分别为 63 430.04 万 t、37 218.92 万 t、31 933.01 万 t,依次占全球总渔获量的 25.70%、15.08%、12.94%,平均年渔获量分别为 2 114.33 万 t、1 240.63 万 t、1 064.43 万 t。渔获量排名最后 3 位的渔区分别是南极印度洋扇区、南极太平洋扇区、北冰洋,其累计渔获量依次是 35.60 万 t、6.30 万 t、2 525 t,依次占全球总渔获量的 0.014%、0.002 5%、0.000 1%。从各大洋分析可知,太平洋海域渔获量最高,达 148 726.00 万 t,其次是大西洋海域,渔获量为 64 030.81 万 t,而两极的渔获量最低,合计仅为 599.12 万 t。

灰色关联分析表明(表 1),全球大多数渔区渔获量与全球海域总渔获量关联度较大,灰色关联度大于 0.900 的渔区有 16 个,最大的为西北太平洋,为 0.988,其次是地中海及黑海的 0.983 和东北太平洋的 0.979;灰色关联度低于 0.900 的仅有 3 个渔区,分别为南极大西洋扇区、南极太平洋扇区和北冰洋,灰色关联度依次是 0.893、0.838 和 0.739。

表 1 各渔区渔获量与全球海域总渔获量的灰色关联度

Tab.1 Grey correlation indices between the catch in each fishing area and the total catch of global marine area

FAO 代码 FAO code	渔区 Fishing area	灰色关联度 Grey correlation indices	FAO 代码 FAO code	渔区 Fishing area	灰色关联度 Grey correlation indices
61	西北太平洋	0.988	34	中东大西洋	0.963
37	地中海及黑海	0.983	71	中西太平洋	0.961
67	东北太平洋	0.979	81	西南太平洋	0.959
27	东北大西洋	0.978	57	东印度洋	0.957
47	东南大西洋	0.975	58	南极印度洋扇区	0.952
77	中东太平洋	0.974	87	东南太平洋	0.946
51	西印度洋	0.972	48	南极大西洋扇区	0.893
41	西南大西洋	0.971	88	南极太平洋扇区	0.838
21	西北大西洋	0.970	18	北冰洋	0.739
31	中西大西洋	0.968			

2.2 全球不同渔区间的灰色聚类分析

全球各渔区间的灰色聚类结果表明(表 2), 各渔区间的关联度均较高, 其中东印度洋和西印度洋的关联度最高, 为 0.989; 东北太平洋和北冰洋、中西大西洋和北冰洋, 它们的关联度最低, 均为 0.737。另外, 除南极大西洋扇区、南极太平洋扇区和北冰洋外, 其余各渔区相互间的关联度均大于 0.900; 南极太平洋扇区与其余各渔区间的关联度均为 0.820~0.859, 北冰洋与其余各渔区间的关联度均为 0.737~0.782。

按设定的临界值 $r=0.975$ 作为分类依据, 可获得 2 类聚类类群。类群 I 包含 6 个渔区, 分别是西北太平洋、东北大西洋、东北太平洋、东南大西洋、中西大西洋、地中海及黑海; 类群 II 包含 4 个渔区, 分别为中西太平洋、东印度洋、中东大西洋、西印度洋。其余 9 个渔区聚类效果不明显, 变化趋势不一致, 各自成类。

类群 I 的 6 个渔区渔获量均在一定范围内波动(图 1a), 其渔业资源开发呈现稳定的状态, 处于充分开发阶段, 其中西北太平洋年渔获量为 1 964.28 万 t~2 402.09 万 t, 平均年渔获量为 2 114.33 万 t; 东北大西洋年渔获量为 831.58 万 t~1 211.30 万 t, 平均年渔获量为 990.03 万 t; 东北太平洋年渔获量为 224.45 万 t~337.72 万 t, 平均年渔获量为 294.17 万 t; 中西大西洋年渔获量为 111.00 万 t~219.80 万 t, 平均年渔获量为 158.34 万 t; 东南大西洋年渔获量为 121.55 万 t~196.64 万 t, 平均年渔获量为 155.64 万 t; 地中海及黑海年渔获量为 112.78 万 t~170.93 万 t, 平均年渔获量为 145.29 万 t。

类群 II 的 4 个渔区年渔获量基本呈稳定增

长趋势(图 1b), 其渔业资源开发处在未充分开发状态, 其中中东大西洋年渔获量在 290.67 万 t (1994 年) 至 547.57 万 t (2018 年); 中西太平洋年渔获量在 740.04 万 t (1990 年) 至 1 394.24 万 t (2019 年); 东印度洋年渔获量在 335.44 万 t (1990 年) 至 697.20 万 t (2017 年); 西印度洋年渔获量在 327.26 万 t (1990 年) 至 554.52 万 t (2018 年)。

2.3 同类型渔区各大类鱼种渔获量的灰色关联分析

2.3.1 类群 I 鱼种渔获量变化趋势及灰色关联分析

1990—2019 年, 类群 I 的 6 大渔区总渔获量与 9 大类渔获量的灰色关联分析表明(表 3), 所有种类的灰色关联度均大于 0.600, 小于 0.900, 其中排名前两位的是中上层鱼类和底层鱼类, 其灰色关联度均大于 0.800, 分别为 0.892 和 0.852; 灰色关联度最小的是头足类, 为 0.601。

1990—2019 年, 类群 I 的 6 大渔区中底层鱼类、中上层鱼类是主要鱼种, 其中西北太平洋、东北大西洋年平均渔获量排名前两位的鱼种为底层鱼类、中上层鱼类, 年平均渔获量分别为 605.08 万 t、590.21 万 t 和 455.12 万 t、442.24 万 t, 占各渔区年平均渔获量的 28.62%、27.91% 和 45.97%、44.67%; 东南大西洋、地中海及黑海年平均渔获量排名前两位的鱼种为中上层鱼类、底层鱼类, 年平均渔获量分别为 102.83 万 t、42.29 万 t 和 87.28 万 t、26.97 万 t, 占各渔区年平均渔获量的 66.07%、27.17% 和 60.07%、18.56%; 东北太平洋年平均渔获量排名前两位的鱼种为底层鱼类、洄游性鱼类, 年平均渔获量分别为 232.50 万 t、38.12 万 t, 占该渔区年平均渔获量的 79.04%、

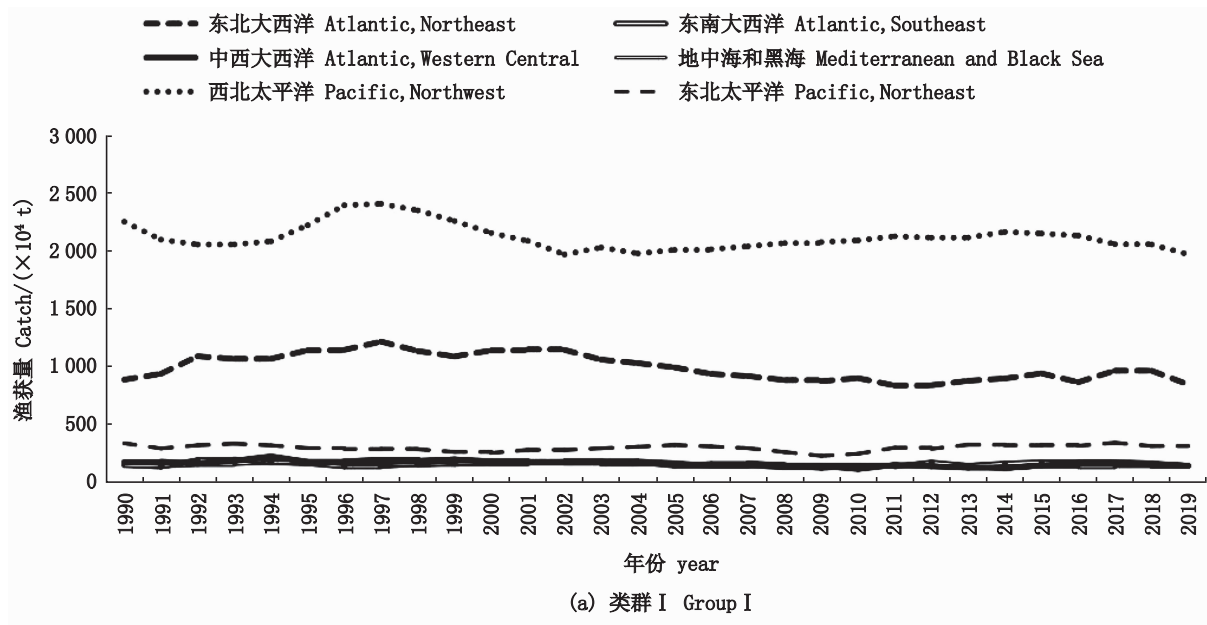
12.96%; 中西大西洋年平均渔获量排名前两位的 为 73.79 万 t、26.03 万 t, 占该渔区年平均渔获量 的 46.60%、16.44%。

表 2 全球各渔区之间的灰色关联聚类系数
Tab.2 Grey relational clustering coefficients among fishing areas

渔区代码 Fishing areas code	61	27	87	71	57	34	21	51	67	47	31	41	77	37	81	48	58	88	18
61	1.000	0.976	0.944	0.957	0.954	0.967	0.966	0.968	0.975	0.969	0.970	0.974	0.971	0.976	0.958	0.896	0.951	0.838	0.739
27		1.000	0.951	0.944	0.940	0.946	0.967	0.955	0.966	0.975	0.980	0.974	0.962	0.979	0.973	0.885	0.942	0.828	0.740
87			1.000	0.918	0.914	0.921	0.952	0.926	0.940	0.942	0.958	0.947	0.933	0.953	0.958	0.870	0.916	0.822	0.740
71				1.000	0.989	0.977	0.944	0.985	0.962	0.954	0.930	0.942	0.970	0.950	0.923	0.907	0.943	0.855	0.739
57					1.000	0.976	0.940	0.980	0.958	0.950	0.926	0.940	0.968	0.947	0.919	0.905	0.941	0.859	0.741
34						1.000	0.945	0.980	0.964	0.955	0.938	0.944	0.968	0.949	0.927	0.915	0.945	0.843	0.740
21							1.000	0.958	0.965	0.967	0.963	0.961	0.961	0.974	0.972	0.895	0.951	0.833	0.740
51								1.000	0.972	0.964	0.942	0.951	0.969	0.959	0.935	0.903	0.946	0.846	0.739
67									1.000	0.974	0.959	0.960	0.965	0.967	0.954	0.904	0.948	0.839	0.737
47										1.000	0.967	0.961	0.962	0.969	0.962	0.896	0.948	0.838	0.740
31											1.000	0.967	0.951	0.972	0.969	0.883	0.937	0.820	0.737
41												1.000	0.957	0.973	0.961	0.886	0.936	0.836	0.740
77													1.000	0.967	0.943	0.896	0.949	0.847	0.739
37														1.000	0.964	0.883	0.941	0.834	0.739
81															1.000	0.885	0.936	0.822	0.739
48																1.000	0.905	0.823	0.739
58																	1.000	0.839	0.745
88																		1.000	0.782
18																			1.000

注: 横纵列标题数字代表不同渔区的 FAO 渔区代码见表 1。

Notes: Title numbers in horizontal and vertical columns represent FAO codes of different fishing areas, as shown in Tab.1.



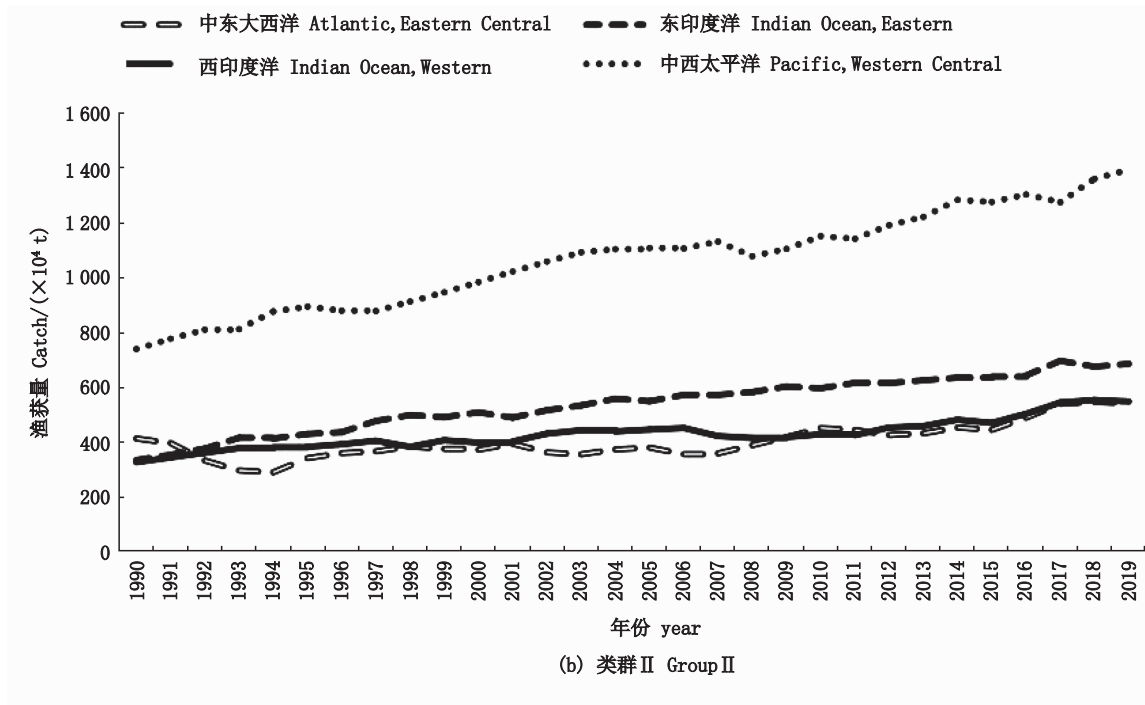


图1 1990—2019年同类群渔区渔获量变化趋势

Fig.1 Variability in catch in homogeneous fishing areas from 1990 to 2019

2.3.2 类群 II 鱼种渔获量变化趋势及灰色关联分析

1990—2019年,类群 II 的 4 大渔区总渔获量与 9 大渔获量种类的关联分析表明(表 4),大多数种类渔获量与总渔获量的关联度较高,除其他海洋动物和水生植物外,其余 7 个种类关联度均在 0.800 以上,其中排名前五位种类的灰色关联度均大于 0.900。中上层鱼类灰色关联度最大,达 0.960,其余前五依次为底层鱼类、甲壳类、头足类、其他海洋鱼类。

表 3 类群 I 的各类别渔获量与总渔获量的灰色关联度

Tab.3 Grey correlation indices between each category of catch and total catch of Group I

渔获量类别 Category of catch	灰色关联度 Grey correlation indices
中上层鱼类 Pelagic Marine Fish	0.892
底层鱼类 Demersal Marine Fish	0.852
水生植物 Aquatic Plants	0.796
甲壳类 Crustaceans	0.729
洄游性鱼类 Freshwater and Diadromous Fish	0.705
其他海洋动物 Aquatic Animals NEI	0.683
软体动物(除头足类) Molluscsexcl. Cephalopods	0.646
其他海洋鱼类 Marine Fish NEI	0.611
头足类 Cephalopods	0.601

表 4 类群 II 的各渔获量种类与总渔获量的灰色关联度

Tab.4 Grey correlation indices between each category of catch and the total catch of Group II

渔获量种类 Category of catch	灰色关联度 Grey correlation indices
中上层鱼类 Pelagic Marine Fish	0.960
底层鱼类 Demersal Marine Fish	0.955
甲壳类 Crustaceans	0.949
头足类 Cephalopods	0.918
其他海洋鱼类 Marine Fish NEI	0.902
洄游性鱼类 Freshwater and Diadromous Fish	0.887
软体动物(除头足类) Molluscsexcl. Cephalopods	0.877
其他海洋动物 Aquatic Animals NEI	0.734
水生植物 Aquatic Plants	0.570

1990—2019年,类群 II 的 4 大渔区中中上层鱼类、其他海洋鱼类、底层鱼类为主要种类,其中中东大西洋和西印度洋年平均渔获量排名前两位的鱼种为中上层鱼类、底层鱼类,年平均渔获量分别为 294.95 万 t、55.91 万 t 和 199.15 万 t、114.70 万 t, 占各渔区年平均渔获量的 73.09%、13.86% 和 46.25%、26.63%;中西太平洋年平均渔获量排名前两位的鱼种为中上层鱼类、其他海洋鱼类,年平均渔获量分别为 527.83 万 t、257.22 万 t, 占渔区年平

均渔获量的 49.59%、24.16%;东印度洋年平均渔获量排名前两位的鱼种是其他海洋鱼类、中上层鱼类,年平均渔获量分别为 190.19 万 t、168.86 万 t,占渔区年平均渔获量的 35.30%、31.34%。

3 讨论与分析

3.1 各渔区渔获量与全球总渔获量的关系

有研究^[14]表明,全球海域通过海洋环流形成一个整体,海洋生物存在着连续分布,海洋渔业捕捞的大量扩张覆盖了全球海域,过度捕捞使全球渔获量经历了不断增长阶段后,出现下降,其增长受到了限制^[15]。研究结果发现,各渔区渔获量与全球总渔获量的灰色关联度均较大,绝大多数的灰色关联度均在 0.950 以上,各渔区的渔获量对总渔获量的贡献大;灰色关联度最大的西北太平洋、地中海及黑海、东北太平洋等 3 个渔区,均分布在温带区域,其近 30 年的渔获量变化趋势也一致,均稳定在一定范围内,渔业资源被充分开发^[2],其中西北太平洋平均年渔获量是地中海及黑海、东北太平洋 2 个渔区年平均渔获量之和的 4.8 倍;灰色关联度最小的南极大西洋扇区、南极太平洋扇区、北冰洋等 3 个渔区,均分布在南北两极,是渔获开发力度低,渔获量较少的区域,其中北冰洋的灰色关联度最低,小于 0.800,其渔获量也是全球最低,对全球渔获量的贡献度几乎可以忽略不计。

有研究指出,全球气候变暖打破了北冰洋与北大西洋和北太平洋之间的屏障^[16],促进了不同海域间海洋生物的交流^[17-18],预计到 2100 年,海洋鱼类种群间的交换将引发北大西洋和北太平洋生物多样性和食物网的变化,其对生态系统产生的生态和经济效应会引起全球 39% 的渔获量的变化^[18]。有学者^[19-24]认为,海水温度、海水含氧量水平、海洋热浪(MHWs)、南极海冰变化以及其他海洋环境因素的变化,都深刻影响着海洋鱼类在各海域间的分布和交换。在后续探究不同渔区间渔获量以及各渔区渔获量和全球总渔获量关系时,可以增加气候变化和海洋环境因素对渔场分布和资源变动影响的研究,更好地完善研究的深度和广度。

3.2 各渔区海洋渔业开发状态评价

对全球各渔区的灰色聚类分析发现,各渔区间关联度高,在选取 0.975 的临界值后,形成了聚

类明显的两类渔区类群 I 和类群 II。类群 I 除中西大西洋外,主要分布在温带及亚热带向两极区域;类群 II 的渔区主要集中在热带或热带至温带区域。类群 I 的 6 个渔区渔获量大小不同,但均在各自一定范围内,或达到最高峰值后波动下落,或达到峰值后出现波动,这与 FAO 报告的评估结论基本一致,其渔业大多已充分开发^[2]。造成类群 I 各渔区渔获量变化趋势的因素可能主要和过度捕捞有关,据 FAO 报告指出,由于过度捕捞,2017 年,地中海及黑海渔区生物可持续捕捞率为 37.5%,为全球所有渔区中最低^[2];西北太平洋^[7,25]、东南大西洋^[26-28]、东北大西洋^[29]均因历史上主要鱼种被过度捕捞,而影响了渔获量。各渔区实施严格的渔业管理措施,大幅降低了东北大西洋的渔船数量^[30],加强了东南大西洋的资源养护^[31]和配额管理^[32],限制了东北太平洋部分区域年度捕捞量^[33]和主要鱼种的管理^[34],恢复了中西大西洋主要鱼种资源^[2],使得 4 个渔区的生物资源量得到了一定恢复,其 2017 年可持续捕捞水平分别为 79.3%、67.6%、83.9%、61.4%^[2];另外,各海区复杂的海洋环境,影响了渔区渔业资源量分布和捕捞作业水平^[23,35],也一定程度上影响了渔区的渔获量。

类群 II 的 4 个渔区渔获量大小不一,但均呈现一致的增长趋势,其渔业还具有一定开发潜力,其中,东印度洋、西印度洋、中西太平洋 3 个渔区的评估,与 FAO 报告中持续上升姿态的评估结果一致^[2]。有研究表明,东印度洋和西印度洋渔区的岛屿众多,寒暖流交汇、上升流机制形成了良好的渔场环境,孕育了丰富的渔业资源^[36-37],同时合理的开发^[36,38]和管理^[36]保证了渔获量的增长状态;中西太平洋渔区岛国众多,渔业资源充足,是全球最大的金枪鱼产区^[39],因捕捞压力强度大^[40],以及 3 个区域组织^[39]和各国的管理措施^[41]保障了渔获量的增长趋势;中东大西洋渔区寒暖流交汇及季节性上升流形成了良好的渔场,在高强度捕捞和缺少科学管理情况下,渔获量也保持了持续增加^[42]。

研究发现,类群 I 和类群 II 渔区的几大渔获物中,与渔区总渔获量关联度最高的前两位鱼种均为中上层鱼类和底层鱼类,同时 FAO 各渔区渔获量统计也表明,该两种鱼种也是各渔区的主要鱼种,其中有 6 个渔区的年平均渔获量的前两位

是该两种鱼种,另外4个渔区的年平均渔获量前两位中均有两者之一。有研究表明,海洋小型中上层鱼类占海洋物种的50%,并且多集中在上升流区域^[43],且FAO主要渔区的主要鱼种大多为中上层鱼类^[2]。由本文研究可知,类群I的中上层鱼类和底层鱼类的年平均渔获量相近,而类群II中中上层鱼类年平均渔获量远高于底层鱼类,这可能和类群II渔业资源丰富^[36-37,39,42]、近年来加大的捕捞强度^[40,42],以及渔区内以中上层鱼类为主要目标渔获物^[2,44]等因素有关,且也证明类群II渔区的渔业资源未完全开发,底层鱼类等还有开发潜力。

本文利用灰色理论系统的关联度和聚类方法,对全球渔区渔获量及关联渔区鱼种的关联聚类进行了分析,并得到了较好的结果,这有利于从宏观角度,大尺度的把控全球主要渔区和鱼种的渔获量变化动态及相互间关联度情况,从而为各区域渔业组织、各远洋渔业国家和地区针对不同类型渔区和鱼种,制定和执行各项针对性的渔业管理措施提供依据。建议今后结合气候变化、海洋环境、生态系统等因素,开展全球渔业资源可持续利用评价、全球渔区渔获产量预测等方面的研究。

参考文献:

- [1] TEH L C L, SUMAILA U R. Contribution of marine fisheries to worldwide employment[J]. *Fish and Fisheries*, 2013, 14(1): 77-88.
- [2] FAO. The state of world fisheries and aquaculture 2020[R]. Rome: FAO, 2020.
- [3] FAO. FAO major fishing areas[EB/OL]. <https://www.fao.org/fishery/zh/area/search>.
- [4] 陈新军. 远洋渔业概论-资源与渔场[M]. 北京: 科学出版社, 2018.
CHEN X J. Distant-water fishery [M]. Beijing: Science Press, 2018.
- [5] CHEUNG W W L, WATSON R, PAULY D. Signature of ocean warming in global fisheries catch[J]. *Nature*, 2013, 497(7449): 365-368.
- [6] WATSON R A, CHEUNG W W L, ANTICAMARA J A, et al. Global marine yield halved as fishing intensity redoubles [J]. *Fish and Fisheries*, 2013, 14(4): 493-503.
- [7] 丁琪, 陈新军, 李纲, 等. 基于渔获统计的西北太平洋渔业资源可持续利用评价[J]. *资源科学*, 2013, 35(10): 2032-2040.
DING Q, CHEN X J, LI G, et al. Catch statistics and the sustainable utilization of northwest Pacific Ocean fishery resources [J]. *Resources Science*, 2013, 35(10): 2032-2040.
- [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] 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 [2021-12-17]. <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 [2021-12-17]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/31.1283.S.20210617.1608.004.html>.
- [10] 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: China Science Press, 2014.
- [11] 刘思峰, 杨英杰. 灰色系统研究进展(2004—2014)[J]. *南京航空航天大学学报*, 2015, 47(1): 1-18.
LIU S F, YANG Y J. Advances in grey system research(2004-2014) [J]. *Journal of Nanjing University of Aeronautics & Astronautics*, 2015, 47(1): 1-18.
- [12] 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.
- [13] 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.
- [14] 陈新军, 刘必林. 渔业资源生物学[M]. 北京: 科学出版社, 2017.
CHEN X J, LIU B L. Fishery resources biology [M]. Beijing: China Science Press, 2017.
- [15] SWARTZ W, SALA E, TRACEY S, et al. The spatial expansion and ecological footprint of fisheries (1950 to present)[J]. *PLoS One*, 2010, 5(12): e15143.
- [16] REID P C, JOHNS D G, EDWARDS M, et al. A biological consequence of reducing Arctic ice cover: arrival of the Pacific diatom *Neodenticula seminiae* in the North Atlantic for the first time in 800000 years[J]. *Global Change Biology*, 2007, 13(9): 1910-1921.
- [17] DODSON J J, TREMBLAY S, COLOMBANI F, et al. Trans-

- Arctic dispersals and the evolution of a circumpolar marine fish species complex, the capelin (*Mallotus villosus*) [J]. *Molecular Ecology*, 2007, 16(23):5030-5043.
- [18] VERMEIJ G J, ROOPNARINE P D. The coming Arctic invasion[J]. *Science*, 2008, 321(5890):780-781.
- [19] WISZ M S, BROENNIMANN O, GRØNKJÆRP, et al. Arctic warming will promote Atlantic-Pacific fish interchange [J]. *Nature Climate Change*, 2015, 5(3): 261-265.
- [20] PÖRTNER H O, KNUST R. Climate change affects marine fishes through the oxygen limitation of thermal tolerance[J]. *Science*, 2007, 315(5808):95-97.
- [21] PÖRTNER H O, FARRELL A P. Physiology and climate change[J]. *Science*, 2008, 322(5902): 690-692.
- [22] SUNDAY J M, BATES A E, DULVY N K. Global analysis of thermal tolerance and latitude in ectotherms[J]. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 2011, 278(1713): 1823-1830.
- [23] CHEUNG WW L, FRÖLICHER T L. Marine heat waves exacerbate climate change impacts for fisheries in the northeast Pacific[J]. *Scientific Reports*, 2020, 10: 6678.
- [24] 张忠, 刘赫威, 余为, 等. 南极海冰变化驱动的海水降温效应对西南大西洋阿根廷滑柔鱼栖息地的影响[J]. *上海海洋大学学报*, 2021, 30(6): 1101-1112.
ZHANG Z, LIU H W, YU W, et al. Effects of Antarctic sea ice variations-driven seawater cooling on habitat pattern of Argentine shortfin squid *Illex argentinus* in the southwest Atlantic Ocean [J]. *Journal of Shanghai Ocean University*, 2021, 30(6): 1101-1112.
- [25] 张立. 西北太平洋渔业资源声学评估[D]. 厦门: 国家海洋局第三海洋研究所, 2017.
ZHANG L. Acoustic assessment of fishery resources in the northwest Pacific Ocean [D]. Xiamen: Third Institute of Oceanography, State Oceanic Administration, 2017.
- [26] 顾惠庭, 龙红宝. 安哥拉和纳米比亚外海的主要渔业资源[J]. *现代渔业信息*, 1988(6): 8-12.
GU H T, LONG H B. Main fishery resources off the coast of Angola and Namibia [J]. *Fishery Information & Strategy*, 1988(6): 8-12.
- [27] 王佳迪, 李天, 于瑞, 等. 纳米比亚渔业现状、问题和建 议[J]. *世界农业*, 2012(1): 86-90.
WANG J D, LI T, YU R, et al. Present situation, problems and suggestions of fisheries in Namibia [J]. *World Agriculture*, 2012(1): 86-90.
- [28] 房俊晗, 任航, 罗莹, 等. 非洲沿海国家海洋渔业资源开 发利用现状[J]. *热带地理*, 2019, 39(2): 288-297.
FANG J H, REN H, LUO Y, et al. Evaluation utilization state of marine fishery resources of Africa [J]. *Tropical Geography*, 2019, 39(2): 288-297.
- [29] 焦敏, 高郭平, 陈新军. 东北大西洋海洋捕捞渔获物营养 级变化研究[J]. *海洋学报*, 2016, 38(2): 48-63.
JIAO M, GAO G P, CHEN X J. Changes in trophic level of marine catches in the northeast Atlantic [J]. *Haiyang Xuebao*, 2016, 38(2): 48-63.
- [30] 郭文路, 黄硕琳, 曹世娟. 个体可转让配额制度在渔业管 理中的运用分析[J]. *海洋通报*, 2002, 21(4): 72-78.
GUO W L, HUANG S L, CAO S J. Analysis on applying individual transferable quota system to the fishery management [J]. *Marine Science Bulletin*, 2002, 21(4): 72-78.
- [31] ANDREW J. The convention on the conservation and management of fishery resources in the south east Atlantic Ocean, 2001: an introduction[J]. *The International Journal of Marine and Coastal Law*, 2002, 17(1): 33-77.
- [32] SEAFO. Conservation measure CM-TAC-01 (2020): on total allowable catches and related conditions for Patagonian toothfish, deep-sea red crab, allonsino, orange roughy and pelagic armourhead for 2021 in the SEAFO convention area. Enter into Force: 1 January 2021.
- [33] DICOSIMO J, METHOT R D, ORMSETH O A. Use of annual catch limits to avoid stock depletion in the Bering Sea and Aleutian Islands management area (Northeast Pacific) [J]. *ICES Journal of Marine Science*, 2010, 67(9): 1861-1865.
- [34] TRUMBLE R J. Northeast Pacific flatfish management [J]. *Journal of Sea Research*, 1998, 39(1/2): 167-181.
- [35] BERGSTAD OA, HØIMES ÅS, 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.
- [36] 葛慧. 印度洋沿岸典型国家渔业管理政策法规及过洋性 渔业合作分析[D]. 舟山: 浙江海洋大学, 2018: 10-50.
GE H. The research on fishery management in coastal areas in India and the analysis of the pelagic cooperation [D]. Zhoushan: Zhejiang Ocean University, 2018: 10-50.
- [37] 杨晓明, 陈新军, 周应祺, 等. 基于海洋遥感的西北印度 洋鸚乌贼渔场形成机制的初步分析[J]. *水产学报*, 2006, 30(5): 669-675.
YANG X M, CHEN X J, ZHOU Y Q, et al. A marine remote sensing-based preliminary analysis on the fishing ground of purple flying squid *Sthenoteuthis oualaniensis* in the northwest Indian Ocean [J]. *Journal of Fisheries of China*, 2006, 30(5): 669-675.
- [38] 鲁泉, 苏雪, 方舟, 等. 基于渔获量平均营养级的东印度 洋渔业资源可持续利用评价[J]. *海洋学报*, 2021, 43(8): 118-127.
LU Q, SU X, FANG Z, et al. Evaluation of sustainable utilization of fishery resources in the eastern Indian Ocean based on the mean trophic level[J]. *Haiyang Xuebao*, 2021, 43(8): 118-127.
- [39] 沈卉卉, 黄硕琳. 中西太平洋金枪鱼渔业管理现状分析 [J]. *上海海洋大学学报*, 2014, 23(5): 789-795.
SHEN H H, HUANG S L. An analysis of the tuna fishery management status in the western and central Pacific Ocean [J]. *Journal of Shanghai Ocean University*, 2014, 23(5): 789-795.

- [40] 丁琪. 全球海洋渔业资源可持续利用及脆弱性评价[D]. 上海: 上海海洋大学, 2017: 5-60.
DING Q. Evaluation on sustainable utilization and vulnerability of global marine fishery resources [D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2017: 5-60.
- [41] 丁琪, 陈新军, 耿婷, 等. 基于渔获统计的太平洋岛国渔业资源开发利用现状评价[J]. 生态学报, 2016, 36(8): 2295-2303.
DING Q, CHEN X J, GENG T, et al. Evaluation on utilization state of marine fishery resources of Pacific Islands based on catch statistics [J]. Acta Ecologica Sinica, 2016, 36(8): 2295-2303.
- [42] 陈新军, 周应祺. 渔业导论[M]. 北京: 科学出版社, 2018.
CHEN X J, ZHOU Y Q. Introduction of fishery[M]. Beijing: China Science Press, 2018.
- [43] FRÉONP, CURY P, SHANNON L, et al. Sustainable exploitation of small pelagic fish stocks challenged by environmental and ecosystem changes: a review [J]. Bulletin of Marine Science, 2005, 76(2): 385-462.
- [44] 鲁泉, 方舟, 陈新军. 印度洋渔业资源可持续利用灰色关联评价[J]. 广东海洋大学学报, 2021, 41(5): 61-66.
LU Q, FANG Z, CHEN X J. Evaluation of sustainable utilization of fishery resources in the Indian Ocean based on grey relational analysis [J]. Journal of Guangdong Ocean University, 2021, 41(5): 61-66.

Evaluation on exploitation of global marine fisheries resources based on grey theory system

ZHANG Zhong^{1,2,3,4,5}, YU Wei^{1,2,3,4,5}, CHEN Xinjun^{1,2,3,4,5}, XIE Mingyang¹

(1. College of Marine Sciences, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 2. National Engineering Research Center for Oceanic Fisheries, Shanghai 201306, China; 3. Key Laboratory of Sustainable Exploitation of Oceanic Fisheries Resources, Ministry of Education, Shanghai 201306, China; 4. Key Laboratory of Oceanic Fisheries Exploration, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Shanghai 201306, China; 5. Scientific Observing and Experimental Station of Oceanic Fishery Resources, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Shanghai 201306, China)

Abstract: Marine fishery resources are important animal protein sources for human beings, the rational exploitation of which is of great significance. Based on the catch data of 19 global fishing areas from 1990 to 2019, this paper studied the relationship between the catch and total catch of each fishing areas, and among catches of each fishing areas by using grey correlation clustering, and the main species types that affect catches in the same fishing areas were identified. The results showed that there was a strong correlation between the catch in most fishing areas and the total catch of global seas, and there were 16 fishing areas with a grey correlation degree greater than 0.900. With the exception of the Antarctic Atlantic, Antarctic Pacific and Arctic Sea, the other fishing areas are correlated with each other by more than 0.900. The critical value $r=0.975$ of the associated clustering matrix was set as the classification basis, and the groups I and II with obvious classification were obtained. Group I includes Northwest Pacific, Northeast Atlantic, Northeast Pacific, Southeast Atlantic, Western Central Atlantic, Mediterranean and Black Sea, and the catch trends of the six fishing areas all fluctuated within a certain range; Group II includes Western Central Pacific, Eastern Indian Ocean, Eastern Central Atlantic, and Western Indian Ocean, the catch of which showed a steady increase trend. Pelagic marine fish and demersal marine fish had the highest grey correlation with the total catch of the two groups. Our findings suggested that the grey theory system can be used to scientifically evaluate the exploitation status of marine fishery resources in various fishing areas of the world, and the evaluation results can provide reference for the sustainable development of global marine fishery.

Key words: Grey theory system; global seas; fishing areas; catches; sustainable development