

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

许子安, 解明阳, 陈新军

Grey catastrophe year prediction for the abundance index of *Illex argentinus* in the waters near Malvinas Islands

XU Zian, XIE Mingyang, CHEN Xinjun

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.12024/jsou.20211203637>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

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

Effects of Antarctic sea ice variations-driven seawater cooling on habitat pattern of Argentine shortfin squid *Illex argentinus* in the southwest Atlantic Ocean

上海海洋大学学报. 2021, 30(6): 1101 <https://doi.org/10.12024/jsou.20210103284>

雌性阿根廷滑柔鱼性腺发育阶段的脂肪酸组成及其变化

Fatty acid composition and its changes during sexual maturation in female *Illex argentinus*

上海海洋大学学报. 2019, 28(3): 409 <https://doi.org/10.12024/jsou.20181202454>

孵化季节对阿根廷滑柔鱼生长发育的影响

Effects of hatching season on the growth and development in *Illex argentinus*

上海海洋大学学报. 2020, 29(3): 374 <https://doi.org/10.12024/jsou.20181202496>

基于复合种群的阿根廷滑柔鱼资源评估和管理策略评价

Stock assessment and management for metapopulation of *Illex argentinus*

上海海洋大学学报. 2019, 28(3): 471 <https://doi.org/10.12024/jsou.20180502322>

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

Prediction of abundance index of *Ommastrephes bartramii* in the North Pacific Ocean based on different order grey system models

上海海洋大学学报. 2021, 30(4): 755 <https://doi.org/10.12024/jsou.20200202920>

文章编号: 1674-5566(2022)03-0642-08

DOI:10.12024/jsou.20211203637

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

许子安¹, 解明阳¹, 陈新军^{1,2,3,4}

(1. 上海海洋大学海洋科学学院, 上海 201306; 2. 大洋渔业资源可持续开发教育部重点实验室, 上海 201306;
3. 国家远洋渔业工程技术研究中心, 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: 阿根廷滑柔鱼 (*Illex argentinus*) 为大洋性浅海种, 为世界重要经济种类, 其中马尔维纳斯群岛海域是阿根廷滑柔鱼的重要渔场之一。阿根廷滑柔鱼资源丰度极易受到海洋环境变化的影响, 年间产量波动较为明显。为此, 根据 1995—2019 年马尔维纳斯群岛阿根廷滑柔鱼渔业生产数据, 以单位捕捞努力量渔获量 (catch per unit effort, CPUE) 表征阿根廷滑柔鱼资源丰度, 运用灰色 GM(1,1) 模型, 对其未来的资源丰度丰歉年份进行预测。结果表明, 阿根廷滑柔鱼资源丰度丰年 (CPUE 大于 1 615 t/船) 将发生在 2021、2028 和 2038 年, 资源丰度歉年 (CPUE 小于 784 t/船) 将发生在 2024、2029 和 2036 年; 丰年灾变模型的平均相对误差为 16.212%, 平均级比偏差为 0.193, 歉年灾变模型的平均相对误差为 35.656%, 平均级比偏差为 0.199, 模型的精度检验等级均为 I 级。研究认为, 灰色灾变预测模型较好地模拟了阿根廷滑柔鱼资源丰度变化的年份, 其预测结果可为阿根廷滑柔鱼鱿钓生产与管理提供参考。

关键词: 阿根廷滑柔鱼; 资源丰度; 灰色灾变预测; GM(1,1) 模型; 马尔维纳斯群岛

中图分类号: S 932.4 **文献标志码:** A

阿根廷滑柔鱼 (*Illex argentinus*) 是大洋性浅海种^[1-2], 主要分布在西南大西洋的 35°S~52°S 海域, 是目前世界头足类中最为重要的种类之一^[3]。马尔维纳斯群岛 (Malvinas Islands) 海域是阿根廷滑柔鱼的重要作业渔场之一, 该海域阿根廷滑柔鱼平均年渔获量为 11.9 万 t, 在高产年份, 马尔维纳斯群岛为世界提供了鱿鱼总量的 10%^[4]。阿根廷滑柔鱼资源极易受到海洋环境和气候变化的影响, 其资源丰度会出现剧烈的年间变化^[5]。已有研究表明, 海表面温度 (sea surface temperature, SST)^[6]、海平面高度 (sea surface height, SSH)^[7]、叶绿素 a 质量浓度 (chlorophyll a, *Chl.a*)^[8] 等环境因子均会影响阿根廷滑柔鱼资源量。此外, 南极涛动 (Antarctic oscillation, AAO)^[9] 等气候因子也影响着阿根廷滑柔鱼资源。国内外学者对阿根廷滑柔鱼渔场时空分布^[10]、中心渔场和资源丰度预报模型^[11-12] 等都做了初步研究, 但研究区域多集中在阿根廷专属经济区和公海区域, 王越等^[13] 研究了

马尔维纳斯群岛海域阿根廷滑柔鱼资源丰度与海表面温度之间的关系, 但目前未见有该海域阿根廷滑柔鱼资源丰度年度灾变预测的研究。

灰色系统理论由我国著名学者邓聚龙教授于 1982 年创立^[14], 包括了灰色预测、灰色关联等研究方法, 已在渔业科学领域进行了很好的应用^[15], 如资源丰度预测^[16]、渔业灾变年份预测^[17]、渔场空间分布^[18] 等。也有学者^[19] 应用灰色系统理论对太平洋褶柔鱼 (*Todarodes pacificus*) 秋生群体丰歉年进行灾变预测, 取得了较好的预测效果。因此, 本文采用灰色系统理论中的灰色 GM(1,1) 模型, 对马尔维纳斯群岛海域阿根廷滑柔鱼丰歉年进行科学预测, 为该海域阿根廷滑柔鱼渔业资源管理与可持续发展提供参考。

1 材料与方法

1.1 研究区域和数据来源

阿根廷滑柔鱼的渔业生产数据来自于渔业统计年报^[20-23], 统计时间为 1995—2019 年, 统计信息为

收稿日期: 2021-12-05

修回日期: 2022-04-07

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: 许子安 (1997—), 男, 硕士研究生, 研究方向为渔情预报。E-mail: xza0579@qq.com

通信作者: 陈新军, E-mail: xjchen@shou.edu.cn

每年的渔获量和作业船数,以单船年捕捞产量(CPUE, t/船)表征阿根廷滑柔鱼资源丰度。其作业渔场为 47°S~57°S, 52°W~64°W 海域(图 1)^[20]。

环境数据为南极海冰覆盖范围,来自美国国家冰雪数据中心(https://nsidc.org/data/seaice_index/),时间尺度为天,单位为百万平方千米。

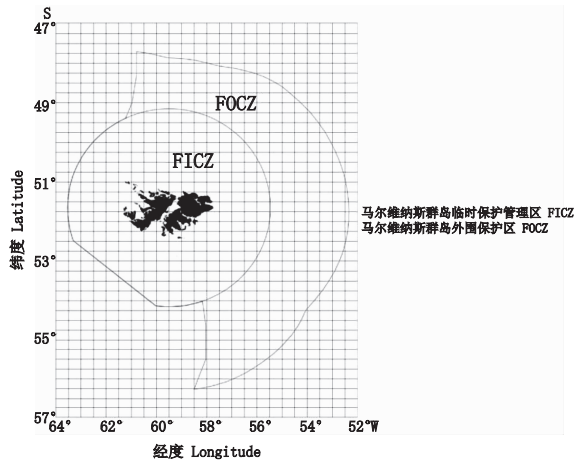


图 1 福克兰(马尔维纳斯)群岛临时保护管理区和外围保护区

Fig.1 Falkland Islands (Malvinas Islands) Interim Conservation and Management Zone (FICZ) and Outer Conservation Zone (FOCZ)

1.2 分析方法

利用 GM(1,1)模型对马尔维纳斯群岛海域阿根廷滑柔鱼资源丰度进行灾变预测^[24],取马尔维纳斯群岛海域阿根廷滑柔鱼 CPUE 作为原始数列,记为

$$X = (x(1), x(2), \dots, x(n)) \quad (1)$$

取序列的第 3 分位数和中位数分别为灾变阈值的上限 ξ_1 和下限 ξ_2 ,将原数列 X 中大于 ξ_1 或小于 ξ_2 的数认为是异常值,将其对应的时刻组成新的灾变日期序列,即

$$Q(0) = (q(1), q(2), \dots, q(m)) \quad (2)$$

再将 $Q(0)$ 日期序列进行累加,建立 GM(1,1)模型进行灾变预测。灰色预测模型 GM(1,1)的计算方法参考文献[15]。其级比 $\lambda^{(0)}(k)$ 为

$$\lambda^{(0)}(k) = \frac{x^{(0)}(k-1)}{x^{(0)}(k)}, k = 2, 3, \dots, m \quad (3)$$

其级比偏差为

$$\rho(k) = 1 - \left(\frac{1 - 0.5a}{1 + 0.5a} \right) \lambda^{(0)}(k) \quad (4)$$

模型的验证采用残差检验、后验差检验和级比偏差值检验^[25],残差越小,模型的精度越高,方差比 C 越小越好,小误差概率 P 越大越好。模型精度检验等级见表 1^[14]。其中当发展系数 $|a| \leq 0.3$ 时,模型可用于中长期预测;当 $0.3 < |a| \leq 0.5$ 时可用于短期预测。若所有的 $\rho(k)$ 均小于 0.2,则认为模型可行,其值越小越好;若所有的 $\rho(k)$ 均小于 0.1,则认为模型达到较高要求^[26]。

表 1 灰色系统理论模型精度检验

Tab.1 Precision test accuracy of grey model

精度等级 Accuracy level	I 级 Level first	II 级 Level second	III 级 Level third	IV 级 Level forth
方差比(C) Variance ratio	0.35	0.50	0.65	0.80
小误差概率(P) Small error possibility	0.95	0.80	0.70	0.60

2 结果

2.1 阿根廷滑柔鱼产量及 CPUE 变化

根据统计分析显示(图 2),1995—2019 年 25 年间,马尔维纳斯群岛海域阿根廷滑柔鱼产量波动较大且有着明显的年间变化,其年平均产量为 99 404.28 t。2009 年阿根廷滑柔鱼产量最低,仅为 3 t。此后几年产量开始上升,到 2015 年达到最高,为 332 863 t,2016 年产量急剧下降,只有 2 297 t,之后几年的产量都处于低水平。

1995 至 2019 年期间,阿根廷滑柔鱼 CPUE 年平均为 1 118.807 t/船,CPUE 变化趋势与产量变化趋势基本一致(图 2),2009 年的 CPUE 值最小,仅为 0.143 t/船。此后几年 CPUE 开始上升,2015 年 CPUE 达到最大值,为 3 140.217 t/船,2016 年 CPUE 急剧下降,只有 22.086 t/船,2016 年以后其 CPUE 都处于较低水平。由图 2 可知,2007、2008 年的 CPUE 出现异常,虽然年产量较低,CPUE 却处于较高水平,原因可能与当年作业渔船的减少有关。

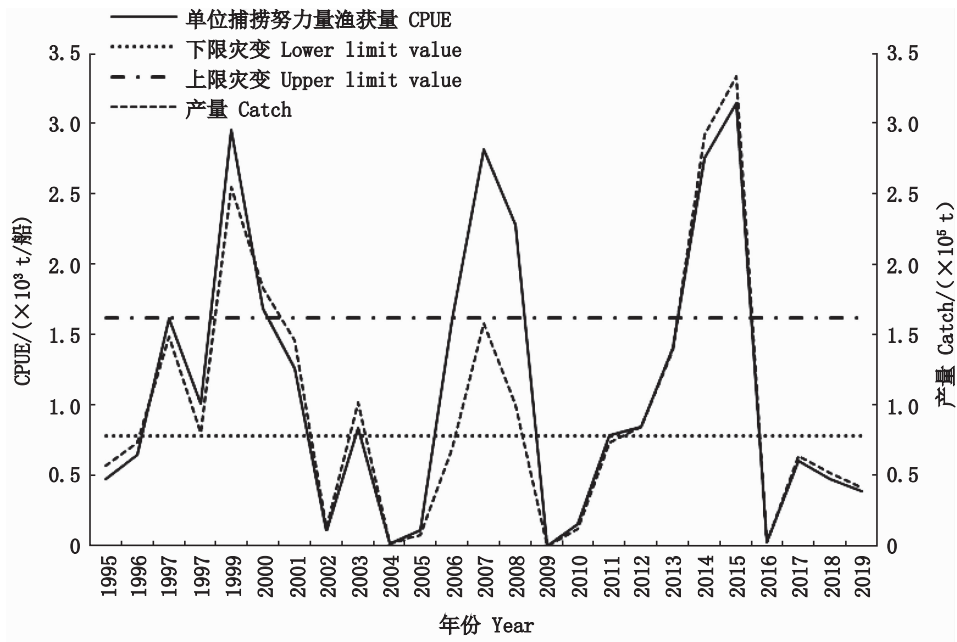


图2 1995—2019年马尔维纳斯群岛海域阿根廷滑柔鱼资源丰度和产量变化

Fig.2 Catch and CPUE of *Illex argentinus* around Malvinas Islands from 1995 to 2019

2.2 模型预测构建

根据灾变值上下限的计算结果(上限灾变值为 1 615 t/船,下限灾变值为 784 t/船),确定丰年年份为 1999、2000、2007、2008、2014 和 2015 年,其对应的时间序列为 5、6、13、14、20 和 21;歉年年份为 1995、1996、2002、2004、2005、2009、2010、2016、2017、2018 和 2019 年,对应的时间序列为 1、2、8、10、11、15、16、22、23、24 和 25。为此,分别构建丰年和歉年的预测模型:

丰年预测的 GM(1,1) 模型为 $X(t) = 33.689 \exp(0.234t) - 28.689$

歉年预测的 GM(1,1) 模型为 $X(t) = 57.527 \exp(0.149t) - 56.527$

灾变模型预测值与真实值之间的相对误差见表 2,其中丰年灾变模型的相对误差为 1.200%~47.924%,平均相对误差为 16.212%;歉年灾变模型的相对误差为 0.731%~282.915%,平均相对误差为 35.656%(表 2)。

模型的级比偏差计算值如表 3 所示,丰年灾变模型平均级比偏差为 0.193,歉年灾变模型平均级比偏差为 0.199,均小于 0.2,因此上述构建的灰色预测达到统计要求。其灰色预测模型的有关参数如表 4 所示,丰年灾变模型 $a = -0.234$,歉年灾变模型 $a = -0.149$,因此均可用于中长期预测。同时,其方差比均小于 0.35,小概率误差 P 均为 1.000,均大于 0.95(表 4),构建模型的精度达到 I 级。

2.3 未来几年预测

根据建立的灾变预测模型,对其丰年和歉年进行预测。最后一个丰年为 2015 年,下 3 次出现超过灾变点阈值对应的序号分别为 28.57、36.10 和 45.61(表 4),因此未来其资源丰度出现丰年的年份为 2021、2028 和 2038 年。

同样,最后一个歉年为 2019 年,下 3 次出现超过灾变点阈值对应的序号分别为 33.92、39.36 和 45.68(表 4),可得未来其资源丰度出现歉年的年份为 2024、2029 和 2036 年。

表 2 灰色灾变 GM(1,1) 模型预测值与真实值之间的相对误差

Tab.2 Relative error between the predicted value and the true value of the GM(1, 1) model

丰年序号 Serial number	预测值 Estimate	相对误差 Relative error/%	歉年序号 Serial number	预测值 Estimate	相对误差 Relative error/%
Q ₆	8.875	47.924	Q ₂	7.658	282.915
Q ₁₃	11.214	13.741	Q ₈	8.887	11.089
Q ₁₄	14.168	1.200	Q ₁₀	10.313	3.132
Q ₂₀	17.901	10.497	Q ₁₁	11.968	8.800
Q ₂₁	22.616	7.698	Q ₁₅	13.888	7.411
			Q ₁₆	16.117	0.731
			Q ₂₂	18.703	14.986
			Q ₂₃	21.704	5.634
			Q ₂₄	25.187	4.945
			Q ₂₅	29.228	16.913
平均相对误差 Average relative error		16.212	平均相对误差 Average relative error		35.656

表 3 级比偏差计算值

Tab.3 Calculated value of level deviation

丰年序号 Serial number	级比值 Specific value	级比偏差 Value of level deviation	歉年序号 Serial number	级比值 Specific value	级比偏差 Value of level deviation
Q ₆	0.833	-0.054	Q ₂	0.500	0.420
Q ₁₃	0.462	0.416	Q ₈	0.250	0.710
Q ₁₄	0.929	-0.175	Q ₁₀	0.800	0.071
Q ₂₀	0.700	0.114	Q ₁₁	0.909	-0.055
Q ₂₁	0.952	0.205	Q ₁₅	0.733	0.149
			Q ₁₆	0.938	-0.088
			Q ₂₂	0.727	0.156
			Q ₂₃	0.957	-0.111
			Q ₂₄	0.958	-0.113
			Q ₂₅	0.960	-0.115

表 4 灰色灾变 GM(1,1) 模型的相关参数和预测结果

Tab.4 Related parameters and prediction results of the GM(1,1) model

模型 Model	发展系数(a) Development coefficient	方差比(C) Posterior ratio	小误差概率(P) Small error probability	灾变点 Catastrophe point	灾变点序号 Serial number
丰年灾变模型 Disaster model of good year	-0.234	0.285	1.000	X ₀ (7)	28.57
				X ₀ (8)	36.10
				X ₀ (9)	45.61
歉年灾变模型 Disaster model of lean year	-0.149	0.288	1.000	X ₀ (12)	33.92
				X ₀ (13)	39.36
				X ₀ (14)	45.68

3 讨论与分析

3.1 阿根廷滑柔鱼资源丰度与气候环境变化的关系

阿根廷滑柔鱼具有生命周期短、生长快、终生一次繁殖等特点,其每一代的资源量取决于上一代亲体产生的补充量^[27]。同时,其资源丰度变化受到多个方面因素的影响,陈新军等^[28]根据

2002 年 1—6 月西南大西洋阿根廷滑柔鱼生产数据,对阿根廷滑柔鱼渔场、CPUE 分布及其与表温的关系进行了分析,认为 2004 年低产的重要原因是因为作业海域海表温异常偏高,比往年高出 3~4 ℃。NIGMATULLIN 等^[29]认为 2003—2004 年阿根廷滑柔鱼低产的原因可能是 2003 年 10 月至 12 月,马尔维纳斯海流的加剧导致巴西海流向东偏移,大部分鲑鱼幼体向东移动,幼体死亡率大

大提升,同时研究还认为前几年高强度捕捞也是导致其低产的原因。叶绿素 a 质量浓度一般用于估算海洋生产力,可用于表征浮游植物量的多少,通过郑丽丽等^[30]的研究发现,2000 年与 2007 年的叶绿素 a 质量浓度较高,有利于形成较好的阿根廷滑柔鱼渔场。

南极海冰覆盖范围指南极地区海冰浓度超过 15% 的区域面积,可用于作为指示南极海冰变化的一种大尺度气候变化指标,它也会对海洋环境和海洋生物产生直接或间接影响。刘赫威等^[31]通过研究西南大西洋阿根廷滑柔鱼 CPUE 与海冰覆盖范围之间的关系,认为南极海冰的覆盖范围会影响阿根廷滑柔鱼渔场内不同水层的水温,进而影响其资源丰度和渔场的分布。根据美国国家冰雪数据中心 (https://nsidc.org/data/seaice_index/) 提供的南极海冰覆盖范围数据,并

结合阿根廷滑柔鱼 CPUE 丰年和歉年的年份分析(图 3),发现海冰覆盖范围下降时,容易出现低产年份,而海冰覆盖范围上升时,易出现高产年份。同时在海冰覆盖范围明显波动的年份(2002—2003 年,2011—2012 年),其灾变年份类型仍会维持一定时间,这说明海冰覆盖范围对阿根廷滑柔鱼资源的影响有着一定的滞后性。另外,阿根廷滑柔鱼资源丰度与大尺度的大气变化存在一定关系,CHANG 等^[9]发现南极涛动(Atarctic oscillation, AAO)通过影响其他生物或非生物因素,在影响阿根廷滑柔鱼资源丰度上具有滞后性。张忠等^[32]研究发现,南极海冰的变化会影响阿根廷滑柔鱼栖息地垂直水温的变化,导致其栖息地向阿根廷近海移动,马尔维纳斯群岛海域内阿根廷滑柔鱼资源量下降。此外,南极海冰的变化会引起海水含盐量变化,间接影响阿根廷滑柔鱼的资源分布。

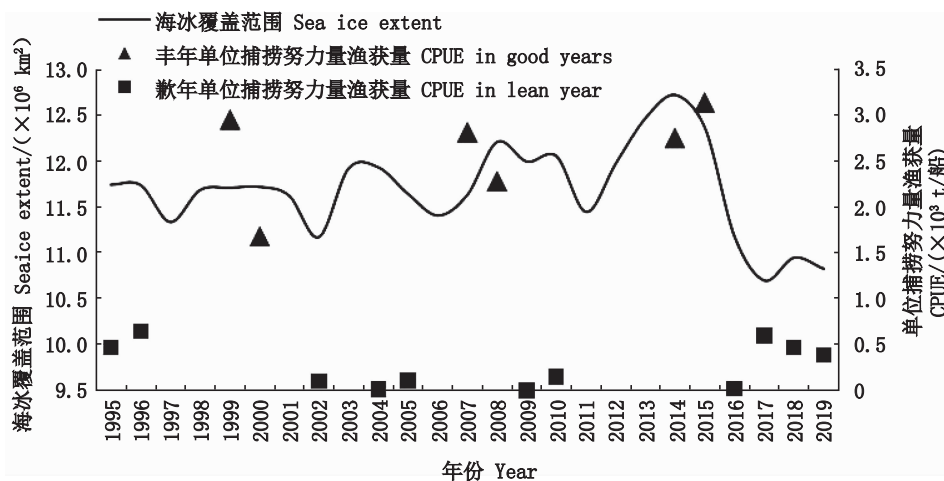


图 3 1995—2019 年海冰覆盖范围及灾变年份分布

Fig.3 Comparison of variations and catastrophe year distribution from 1995 to 2019

3.2 模型分析

通过对马尔维纳斯群岛海域 1995—2019 年阿根廷滑柔鱼 CPUE 原始数据的分析,并运用灰色灾变模型较好地预测其丰歉年,建立的丰年和歉年模型的平均相对误差分别为 16.212% 和 35.656%, 级比值检验与后验差比检验结果均显示模型精度良好,可用于中长期预测。这一结果可为渔业生产提供科学指导。据有关资料报道,2021 年马尔维纳斯群岛海域阿根廷滑柔鱼的捕捞产量达到 17.2 万 t,平均 CPUE 超过上限灾变

值为 1 615 t/船,是一个阿根廷滑柔鱼资源丰年,与本模型的预测结果一致,因此本研究划定的灾变上下限值是可信的。

影响灾变预测模型构建的因素较多,比如灾变上下限值的划定,以及预测时间的长短和环境因素的影响等。在进行年份灾变预测时,数据序列的长短也会影响模型的精度,GM(1,1)模型一般适用于样本数量少(比如 20 个以内)时使用,样本过多难以达到所要求的序列满足的光滑度,样本过少会导致结果失真,都会导致预测失败。

灾变上下限值的划定,以及预测时间的长短的选择与优化,可以通过建立不同灾变预测模型来比较和确定,从而解决这一难题。同时,在后续的灾变预报模型建立中,可考虑影响阿根廷滑柔鱼资源丰度的气候和环境因子,建立多个 GM(1, h) 模型,并与没有考虑影响因子的 GM(1, 1) 模型进行比较分析。如王言丰等^[12]选取灰色关联度较高海区的 SST 作为预报因子,构建了 GM(0, N) 模型较好地拟合了西南大西洋阿根廷滑柔鱼资源丰度的状况。目前大范围的海洋环境数据都来自于卫星遥感,往往不能满足渔情预报中对数据的及时性和完整性的要求,会在一定程度上影响到模型的构建^[19]。

阿根廷滑柔鱼资源丰度会受到生物与非生物环境因子的影响,本研究仅对其资源丰度进行了灾变年份的预测,若要更加准确地预测其资源丰度变化,在后续的灾变预报模型建立中,可考虑影响阿根廷滑柔鱼资源丰度的气候和环境因子,建立多个 GM(1, h) 模型并进行优化比较,也可以尝试人工智能等方法,结合更多的因子来进行预测,筛选出最优模型对阿根廷滑柔鱼资源丰度进行长期预报。本研究中仅对马尔维纳斯群岛海域阿根廷滑柔鱼资源丰度进行了丰歉年的灾变预测,结果显示灰色灾变预测在样本量少、信息不完全的情况下,可以达到较好的结果,适用于阿根廷滑柔鱼的短期预测,预测结果具有说服力,可为马尔维纳斯群岛海域阿根廷滑柔鱼的开发和利用提供相关参考。

参考文献:

- [1] BRUNETTI N E, ELENA B, ROSSI G R, et al. Summer distribution, abundance and population structure of *Illex argentinus* on the Argentine shelf in relation to environmental features[J]. South African Journal of Marine Science, 1998, 20(1): 175-186.
- [2] IVANOVIC M L, BRUNETTI N E. Food and feeding of *Illex argentinus*[J]. Antarctic Science, 1994, 6(2): 185-193.
- [3] 陈新军. 世界头足类资源开发现状及我国远洋鱿钓渔业发展对策[J]. 上海海洋大学学报, 2019, 28(3): 321-330.
- CHEN X J. Development status of world cephalopod fisheries and suggestions for squid jigging fishery in China[J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2019, 28(3): 321-330.
- [4] 王晓晴. 福克兰(马尔维纳斯)群岛海域鱿钓渔业以及主要许可鱿钓船队发展分析[J]. 渔业信息与战略, 2018, 33(3): 206-214.
- WANG X Q. Analysis on the development of squid jigging fishery and main licensed jigging fleets in Falkland (Malvinas) Islands waters [J]. Fishery Information & Strategy, 2018, 33(3): 206-214.
- [5] 刘赫威, 余为, 陈新军. 西南大西洋阿根廷滑柔鱼资源及其对环境响应的研究进展[J]. 中国水产科学, 2020, 27(10): 1254-1265.
- LIU H W, YU W, CHEN X J. A review of *Illex argentinus* resources and the responses to environmental variability in the southwest Atlantic Ocean[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2020, 27(10): 1254-1265.
- [6] 陈新军, 赵小虎. 西南大西洋阿根廷滑柔鱼产量分布与表温关系的初步研究[J]. 大连水产学院学报, 2005, 20(3): 222-228.
- CHEN X J, ZHAO X H. The relationship between the distribution of production of squid *Illex argentinus* and sea surface temperature in the Southwest Atlantic Ocean [J]. Journal of Dalian Fisheries University, 2005, 20(3): 222-228.
- [7] 陈芑, 陈新军. 基于最大熵模型分析西南大西洋阿根廷滑柔鱼栖息地分布[J]. 水产学报, 2016, 40(6): 893-902.
- CHEN P, CHEN X J. Analysis of habitat distribution of Argentine shortfin squid (*Illex argentinus*) in the southwest Atlantic Ocean using maximum entropy model[J]. Journal of Fisheries of China, 2016, 40(6): 893-902.
- [8] CRESPI-ABRIL A C, BARÓN P J. Revision of the population structuring of *Illex argentinus* (Castellanos, 1960) and a new interpretation based on modelling the spatio-temporal environmental suitability for spawning and nursery [J]. Fisheries Oceanography, 2012, 21(2/3): 199-214.
- [9] CHANG K Y, CHEN C S, WANG H Y, et al. The Antarctic Oscillation index as an environmental parameter for predicting catches of the Argentine shortfin squid (*Illex argentinus*) (Cephalopoda: Ommastrephidae) in southwest Atlantic waters[J]. Fishery Bulletin, 2015, 113(2): 202-212.
- [10] 陈新军, 陆化杰, 刘必林, 等. 利用栖息地指数预测西南大西洋阿根廷滑柔鱼渔场[J]. 上海海洋大学学报, 2012, 21(3): 431-438.
- CHEN X J, LU H J, LIU B L, et al. Forecasting fishing ground of *Illex argentinus* by using habitat suitability model in the southwest Atlantic [J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2012, 21(3): 431-438.
- [11] 胡贯宇, 陈新军, 汪金涛. 基于不同权重的栖息地指数模型预报阿根廷滑柔鱼中心渔场[J]. 海洋学报, 2015, 37(8): 88-95.
- HU G Y, CHEN X J, WANG J T. Forecasting fishing ground of *Illex argentinus* based on different weight habitat suitability index in the southwestern Atlantic [J]. Acta Oceanologica Sinica, 2015, 37(8): 88-95.
- [12] 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 Argentine shortfin squid in the Southwest Atlantic Ocean based on grey system model [J]. Acta Oceanologica Sinica, 2019, 41(4): 64-73.
- [13] 王越, 汪金涛, 陈新军, 等. 福克兰海域阿根廷滑柔鱼资源丰度年间变化与其栖息地海表温度的关系[J]. 海洋湖沼通报, 2021, 43(5): 109-114.
- WANG Y, WANG J T, CHEN X J, et al. Interannual change of *Illex argentinus* abundance and its relationship with sea surface temperature in Falkland Waters [J]. Transactions of Oceanology and Limnology, 2021, 43(5): 109-114.
- [14] 解明阳, 陈新军. 基于文献计量学的灰色系统理论在渔业科学中的应用研究进展[J]. 海洋湖沼通报, 2019(5): 117-126.
- XIE M Y, CHEN X J. Advances in the application of bibliometrics-based grey system theory in fisheries science [J]. Transactions of Oceanology and Limnology, 2019(5): 117-126.
- [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] 张硕, 李莉, 陈新军. 基于海表温因子的太平洋褶柔鱼冬生群资源丰度预测模型比较[J]. 水产学报, 2018, 42(5): 704-710.
- ZHANG S, LI L, CHEN X J. A comparative study on forecasting model of the stock abundance index for the winter-spawning cohort of *Todarodes pacificus* in the Pacific Ocean based on the factor of SST[J]. Journal of Fisheries of China, 2018, 42(5): 704-710.
- [17] 谢骏, 黄樟翰, 肖学铮, 等. 台湾鳗苗种丰欠的灰色年灾变预测[J]. 水利渔业, 1998(1): 21-22.
- XIE J, HUANG Z H, XIAO X Z, et al. Grey catastrophe year prediction for the abundance of Taiwan eel seed [J]. Journal of Hydroecology, 1998(1): 21-22.
- [18] 陈新军, 郑波. 中西太平洋金枪鱼围网渔业鳀鱼资源的时空分布[J]. 海洋学研究, 2007, 25(2): 13-22.
- CHEN X J, ZHENG B. Study on the temp-spatial distribution of skipjack resources for tuna purse seine in the west-central Pacific Ocean [J]. Journal of Marine Sciences, 2007, 25(2): 13-22.
- [19] 张磊, 陈新军, 汪金涛, 等. 基于灰色系统的太平洋褶柔鱼秋生群资源丰度灾变预测[J]. 大连海洋大学学报, 2020, 35(4): 607-611.
- ZHANG L, CHEN X J, WANG J T, et al. Catastrophe prediction of abundance of autumn cohort of pleated squid *Todarodes pacificus* in Japan Sea and East China Sea based on gray system theory [J]. Journal of Dalian Ocean University, 2020, 35(4): 607-611.
- [20] Falkland Islands Government Fisheries Department. Fisheries statistics, volume 21, 2016[EB/OL].[2021-11-13].http://www.fis.com/falklandfish/html/publications.html.
- [21] Falkland Islands Government Fisheries Department. Fisheries statistics, volume 22, 2017[EB/OL].[2021-11-13].http://www.fis.com/falklandfish/html/publications.html.
- [22] Falkland Islands Government Fisheries Department. Fisheries statistics, volume 23, 2018[EB/OL].[2021-11-13].http://www.fis.com/falklandfish/html/publications.html.
- [23] Falkland Islands Government Fisheries Department. Fisheries statistics, volume 24, 2019[EB/OL].[2021-11-13].
- [24] 陈业华, 邱苑华. 灰色灾变预测模型及其应用[J]. 北京航空航天大学学报, 1998, 24(1): 4.
- CHEN Y H, QIU W H. Grey model of calamity forecast and its application to the calamity forecast [J]. Journal of Beijing University of Aeronautics and Astronautics, 1998, 24(1): 4.
- [25] 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.
- [26] 刘思峰, 邓聚龙. GM(1,1)模型的适用范围[J]. 系统工程理论与实践, 2000, 20(5): 121-124.
- LIU S F, DENG J L. The range suitable for GM(1,1) [J]. Systems Engineering-Theory & Practice, 2000, 20(5): 121-124.
- [27] 林东明. 阿根廷滑柔鱼的产卵策略研究[D]. 上海: 上海海洋大学, 2015.
- LIN D M. Spawning strategy of Argentine shortfin squid, *Illex argentinus* (Cephalopoda: Ommastrephidae) in the southwest Atlantic [D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2015.
- [28] 陈新军, 刘金立. 巴塔哥尼亚大陆架海域阿根廷滑柔鱼渔场分布及与表温的关系分析[J]. 海洋水产研究, 2004, 25(6): 19-24.
- CHEN X J, LIU J L. Preliminary analysis on the relationship between the distribution of fishing ground of *Illex argentinus* and SST in the Patagonian shelf [J]. Marine Fisheries Research, 2004, 25(6): 19-24.
- [29] NIGMATULLIN C M, ZIMIN A V, SUNDAKOV A Z. The stock and fishery variability of the Argentine squid *Illex argentinus* in 1982-2004 related to environmental conditions [R]. ICES CM 2004/CC: 10, 2004: 1-21.
- [30] 郑丽丽, 伍玉梅, 樊伟, 等. 西南大西洋阿根廷滑柔鱼渔场叶绿素 a 分布及其与渔场的关系[J]. 海洋湖沼通报, 2011(1): 63-70.
- ZHENG L L, WU Y M, FAN W, et al. The distribution of chlorophyll-a and its relationship with the *Illex argentinus* fishing ground of Southwest Atlantic Ocean [J]. Transactions of Oceanology and Limnology, 2011(1): 63-70.
- [31] 刘赫威, 余为, 陈新军, 等. 南极海冰变动对西南大西洋阿根廷滑柔鱼资源丰度及空间分布的影响[J]. 水产学报, 2021, 45(2): 187-199.
- LIU H W, YU W, CHEN X J, et al. Influence of Antarctic sea ice variation on abundance and spatial distribution of

- Argentine shortfin squid *Illex argentinus* in the Southwest Atlantic Ocean[J]. Journal of Fisheries of China, 2021, 45 (2): 187-199.
- [32] 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.

Grey catastrophe year prediction for the abundance index of *Illex argentinus* in the waters near Malvinas Islands

XU Zian¹, XIE Mingyang¹, CHEN Xinjun^{1,2,3,4}

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

Abstract: *Illex argentinus* is a short-lived cephalopod species, which is also a commercially important species in the world. The Malvinas Islands is one of the important fishing grounds for *Illex argentinus*. The abundance of *Illex argentinus* is highly susceptible to marine environmental changes and has large interannual fluctuations. According to the statistical data of *Illex argentinus* in the Malvinas Islands from 1995 to 2019, annual catch per fishing vessel (CPUE) was derived as an abundance index, and the grey catastrophe prediction GM(1, 1) model was used to predict the future years of the *Illex argentinus*. The results showed that the upper years catastrophic year would occur in the years of 2021, 2028 and 2038 (CPUE $\geq 1\ 615$ t per fishing vessel), and the lower catastrophe year would occur in the years of 2024, 2029 and 2036 (CPUE ≤ 784 t per fishing vessel). Theoretically, the average relative error of the disaster model in rich years is 16.212%, the value of level deviation is 0.193, while the average relative error of the disaster model in poor years is 35.656%, and the value of level deviation is 0.199. The accuracy test for both models attain the level I accuracy. According to the results, the grey catastrophe prediction model can simulate the years of abundance variation of *Illex argentinus*, and the prediction results can provide reference for the production and management of the species.

Key words: *Illex argentinus*; abundance index; grey catastrophic year prediction; GM(1, 1) model; Malvinas Islands