

DOI: 10.19663/j.issn2095-9869.20190525001

http://www.yykxjz.cn/

闫永斌, 陈新军, 汪金涛, 雷林, 程起群. 东南太平洋茎柔鱼资源丰度灰色预测研究. 渔业科学进展, 2020, 41(5): 46-51  
Yan YB, Chen XJ, Wang JT, Lei L, Cheng QQ. Prediction of abundance index of the Humboldt squid (*Dosidicus gigas*) in the Southeast Pacific Ocean based on a grey system-based model. Progress in Fishery Sciences, 2020, 41(5): 46-51

## 东南太平洋茎柔鱼资源丰度灰色预测研究\*

闫永斌<sup>1,3</sup> 陈新军<sup>1,2</sup> 汪金涛<sup>1,2①</sup> 雷林<sup>1,2</sup> 程起群<sup>3</sup>

(1. 上海海洋大学海洋科学学院 上海 201306; 2. 农业农村部大洋渔业开发重点实验室 国家远洋渔业工程技术研究中心 大洋渔业资源可持续开发教育部重点实验室 农业农村部大洋渔业资源环境科学观测实验站 上海 201306; 3. 中国水产科学研究院东海水产研究所 上海 200090)

**摘要** 茎柔鱼(*Dosidicus gigas*)是东南太平洋头足类中个体最大、资源最丰富的种类之一,经济价值高,已成为我国远洋渔业的重要组成部分。准确的资源丰度预测有利于资源的合理开发和利用。本研究基于2003~2015年东南太平洋茎柔鱼生产统计数据及其产卵场环境、气候因子资料,使用相关性分析和灰色系统方法,建立东南太平洋茎柔鱼资源丰度的预报模型。结果显示,2月产卵场海表面温度(Sea surface temperature, SST)、3月产卵场叶绿素a浓度(Chl a)、12月太平洋年代气候震荡(Pacific decadal oscillation, PDO)和10月厄尔尼诺指数(Oceanic Nino index, ONI)与茎柔鱼资源丰度具有较好的相关性。比较多种预报模型发现,基于2月SST、12月PDO和10月ONI的GM(1,4)模型有较好的预测效果,其准确率达到85%以上,可用于东南太平洋茎柔鱼资源丰度的预测。

**关键词** 东南太平洋; 茎柔鱼; 灰色预测; 资源丰度

**中图分类号** S932 **文献标识码** A **文章编号** 2095-9869(2020)05-0006-06

茎柔鱼(*Dosidicus gigas*)广泛分布于东太平洋的加利福尼亚(37°N)到智利(47°S)的海域中,在赤道附近可向西至125°W (Anatolio *et al.*, 2001; Nigmatullin *et al.*, 2001),是头足类中个体最大、资源最丰富的种类之一(王尧耕, 2005),具有极高的经济价值,为中国、日本、韩国、秘鲁和智利等各国主要捕捞对象之一(Liu *et al.*, 2015)。自2001年我国对秘鲁海区茎柔鱼资源进行探捕以来,茎柔鱼资源逐渐成为我国头足类产量的重要组成部分,约占我国头足类产量的30%(陈新军等, 2006; 贡艺等, 2018)。

资源量预报属于中长期渔情预报的一种,对资源补充量进行精确的预报是确保渔业资源科学管理、合

理开发的关键。科学预测资源量或者资源丰度,首先,必须要了解预测对象的生活史过程、栖息环境及其洄游分布。以总渔获量和单位捕捞努力量渔获量为基础进行分析预报的具体步骤:(1)筛选渔情预报指标,影响鱼群行动规律的生物性或非生物性因素等均可成为预报指标;(2)建立预报模型,以生态位(Ecological niche)或资源选择函数(Resource selection function, RSF)为理论基础,主要通过频率分析和回归等统计学方法分析目标鱼种的生态位或者对于关键环境因子的响应函数,从而建立渔情预报模型。主要渔情预报模型有线性回归模型、广义回归模型、贝叶斯方法和时间序列分析等(陈新军, 2004)。

\* 国家自然科学基金(NSFC31702343; NSFC41876141)和自然资源卫星遥感业务支持服务体系项目(202001004)共同资助 [This work was supported by National Natural Science Foundation of China (NSFC31702343; NSFC41876141), and Demonstration of Natural Resources Satellite Remote Sensing Technology System Construction and Application (202001004)].  
闫永斌, E-mail: 15653831687@163.com

① 通讯作者: 汪金涛, E-mail: jtwang@shou.edu.cn

收稿日期: 2019-05-25, 收修改稿日期: 2019-06-21

在东南太平洋海域,关于茎柔鱼资源补充量的研究多集中在单因子影响方面。如陈新军等(2006)研究指出,茎柔鱼资源状况与海洋环境关系密切,特别是厄尔尼诺和拉尼娜事件。徐冰(2012)利用典型相关性分析,分析了海表面温度(Sea surface temperature, SST)、表温距平均值(Sea surface temperature anomaly, SSTA)、茎柔鱼产卵场、索饵场最适表层水温范围占总面积的比例与资源丰度、补充量相关性,并建立了基于 SST 因子的资源丰度线性预报模型。Ichii 等(2002)指出,水温并非影响茎柔鱼资源丰度和补充量的主要限制性因子。这些研究通常是分析单一海洋环境或气候指标对茎柔鱼资源量的影响,没有综合研究环境及气候因子对茎柔鱼资源量的影响。

灰色系统理论是由邓聚龙教授于 1982 年创立的一种研究少数据、贫信息、不确定性问题的新方法。以“部分信息已知,部分信息未知”的“小样本”、“贫信息”不确定性系统为研究对象,通过对“部分”已知信息的生成、开发,提取有价值的信息,实现对系统运行行为、演化规律的正确描述和有效监控(何盛明, 1990),与一般的概率统计及模糊数学方法相比的优点在于它允许分析的样本数据较少且服从任意的分布。因此,在数据一般较少的长期(年间)资源预报中会有较大的应用前景(陈新军, 2003)。目前,该方法已在诸多领域取得成果,如方舟等(2018)利用灰色关联分析和灰色预测模型预测了中西太平洋鲉鱼(*Katsuwonus pelamis*)的资源丰度,朱文涛等(2018)利用灰色系统预测了西北太平洋秋刀鱼(*Cololabis saira*)的资源丰度。

本研究拟采用东南太平洋茎柔鱼生产统计数据和海洋环境与气候数据,使用灰色预测模型,分析影响茎柔鱼资源丰度变化因子,并建立多种资源丰度预报模型,以此反映该种类的资源丰度动态,为我国东南太平洋鱿钓渔船的科学生产与管理提供参考依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 渔业数据

东南太平洋茎柔鱼生产统计资料来自上海海洋大学中国远洋渔业数据中心,时间为 2003~2015 年,数据包括日期、总产量和总作业渔船数。

单位捕捞努力量渔获量(Catch per unit effort, CPUE)可以作为表征茎柔鱼资源密度的指标(汪金涛等, 2013; 陈洋洋等, 2017),因此,计算年平均 CPUE 作为资源丰度的指标:

$$CPUE = \frac{C_y}{V_y} \quad (1)$$

式中, CPUE 为单位捕捞努力量渔获量(t/V);  $C_y$  为历年总渔获量;  $V_y$  为历年作业渔船总数;  $y$  为年。

### 1.2 环境数据

本研究采用 4 种环境及气候因子,包括太平洋年代气候震荡(Pacific decadal oscillation, PDO)数据,厄尔尼诺指数(Oceanic Nino index, ONI),茎柔鱼产卵场海表面温度(Sea surface temperature, SST),叶绿素  $a$  浓度(Chl  $a$ )(余为等, 2015; 魏联等, 2017; 魏广恩等, 2018; 官文江等, 2017)。PDO 和 ONI 来自美国国家海洋和气象管理局网站(<https://www.esrl.noaa.gov/psd/data/climateindices/list>)。因 PDO 和 ONI 现象对茎柔鱼产卵及发育阶段产生影响,反应在茎柔鱼成体上有一定的滞后,所以 PDO 和 ONI 数据的时间范围为 2001~2013 年,时间分辨率为月。SST 和 Chl  $a$  来自美国国家海洋和气象管理局网站(<https://oceanwatch.pifsc.noaa.gov>),时间为 2003~2015 年的 1~12 月,空间范围为茎柔鱼的产卵场海域( $5^{\circ}\sim 7^{\circ}\text{S}$ ,  $84^{\circ}\sim 86^{\circ}\text{E}$ ),时间分辨率为月,空间分辨率均为  $0.1^{\circ}\times 0.1^{\circ}$ 。

### 1.3 关键环境因子的选择

利用相关性分析选取显著影响东南太平洋茎柔鱼资源丰度环境因子:

$$r = \frac{\sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum (x_i - \bar{x})^2 \sum (y_i - \bar{y})^2}} \quad (2)$$

式中,  $x$ 、 $y$  分别为环境因子和资源丰度 CPUE 组成的时间系列值,  $\bar{x}$ 、 $\bar{y}$  分别为  $x$ 、 $y$  的平均值,  $i$  为第  $n$  项环境因子,  $r$  为相关系数。

### 1.4 灰色预测模型的建立

灰色预测建模是以灰色模块概念为基础。灰色系统理论认为,一切随机量都是在一定范围内、一定时段上变化的灰色量及灰色过程。对于灰色量的处理,是从无规律的原始数据中找出规律,即对数据通过一定方式处理后,使其成为较有规律的时间序列数据,再建立模型。灰色 GM 建模实际上是生成数据模型,CPUE 序列为系统的特征数据序列,各个环境因子序列为相关因素序列,模型细节及具体建模过程参照陈新军(2003)的方法。本研究利用离散 GM(1, N)模型,考虑多种关键环境因子的不同组合,建立东南太平洋茎柔鱼资源丰度预测模型。利用相对误差和均方误差(MSE)检验模型的精度与稳定性(汤银才, 2008)。

### 1.5 预测验证

利用2016及2017年的环境气候因子数据和渔业生产数据对所建立的灰色预测模型进行验证。

## 2 结果

### 2.1 CPUE 的变化趋势

2003~2015年,东南太平洋茎柔鱼 CPUE 的年间波动剧烈,最高值出现在2004年,最低值发生在2012年,CPUE 均值在1200 t/V 上下波动(图1)。

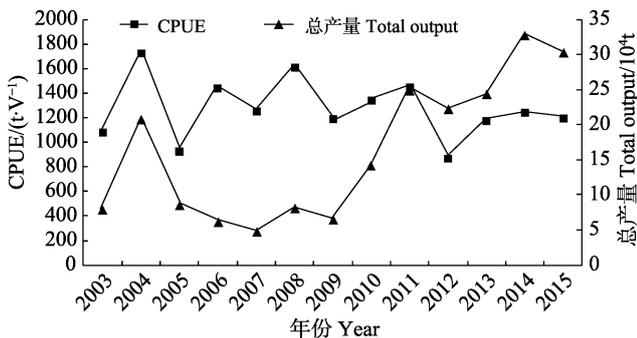


图1 2003~2015年东南太平洋茎柔鱼 CPUE  
Fig.1 Annual CPUE of *D. gigas* during 2003~2015 in Southeast Pacific Ocean

### 2.2 关键环境因子

相关性分析显示,2月产卵场(5°~7°S, 84°~86°E) SST、3月产卵场 Chl *a*、12月 PDO 和10月 ONI 均与其资源丰度呈显著相关性(表1)。因此,选用这几个月的环境因子构建灰色系统预测模型。

表1 2003~2015年东南太平洋茎柔鱼 CPUE 与环境、气候因子相关性分析

Tab.1 Correlation analysis between CPUE of *D. gigas* and environmental-climatic factors in Southeast Pacific Ocean during 2003~2015

关键环境及气候因子 Key environmental and climatic factors	相关性分析统计量 Correlation analysis statistics	
	<i>r</i>	<i>P</i>
2月产卵场 SST SST in spawning grounds in February	0.51	<i>P</i> <0.1
3月产卵场 Chl <i>a</i> Chl <i>a</i> in spawning grounds in March	0.61	<i>P</i> <0.05
12月 PDO PDO in December	0.62	<i>P</i> <0.05
10月 ONI ONI in October	0.72	<i>P</i> <0.05

### 2.3 灰色模型

根据选定的4种关键环境因子,以CPUE为因变量,建立5种预测模型(表2)。5种模型中相对误差由低到高依次为模型3、模型5、模型4、模型1和模型2(表3);而模型均方误差由小到大分别为模型3、模型5、模型4、模型1和模型2(表3)。因此,综合考虑这2种模型指标,选用模型3作为东南太平洋茎柔鱼资源丰度预测模型。

### 2.4 验证结果

对模型3的验证结果见表4,由表4可知,2016年的相对误差较大,但在30%以内,2017年的相对误差较小,预测结果较为准确。

表2 5种灰色预报模型  
Tab.2 Five gray forecast models

模型1 GM(1, 5)	模型2 GM(1, 4)	模型3 GM(1, 4)	模型4 GM(1, 4)	模型5 GM(1, 4)
SST, Chl <i>a</i> , PDO, ONI	Chl <i>a</i> , PDO, ONI	SST, PDO, ONI	SST, Chl <i>a</i> , ONI	SST, Chl <i>a</i> , PDO

## 3 讨论与分析

2003~2015年,东南太平洋茎柔鱼年渔获量和CPUE 变化趋势有差异(图1),年渔获量由于捕捞技术、捕捞规模等影响较大,并不能反映茎柔鱼资源相对丰度真实情况,因此,选用CPUE 作为茎柔鱼资源丰度指标(魏联等,2017)。茎柔鱼作为短生命周期机会主义鱼种,其资源量极易受气候和海洋环境变化的影响(Rodhouse, 2001)。所以,预测其资源丰度必须要考虑茎柔鱼栖息地的气候和海洋环境因素。

本研究使用东南太平洋茎柔鱼产卵场的环境因

子和气候因子为自变量,建立多种灰色系统资源丰度预测模型。其中,不包含产卵场 Chl *a* 的模型3的预测精度高,但该模型未能准确预测2005年CPUE(图2)。因为灰色系统是一种基于贫数据的分析方法(何盛明,1990),所以,在基于少量数据构建的模型中,预测模型会受到前列数据的影响,在各组的结果间倾向于表达出相对平缓的变化趋势,对突变情况的响应能力比较差,导致模型存在一定的不确定性,在2005年的预测结果上有较大的误差,可能是因为当年捕捞作业区域发生了变化所导致的。另外,模型2自变量不包括产卵场 SST,其预测误差大,说明产卵场 SST

表 3 茎柔鱼资源丰度灰色预测模型相对误差及均方误差(%)  
Tab.3 Relative errors (%) and MSE of grey models for *D. gigas* in the Southeast Pacific Ocean

年份 Year	模型 1 Model 1	模型 2 Model 2	模型 3* Model 3	模型 4 Model 4	模型 5 Model 5
2004	-18.5	-18.1	-25.7	-19.2	-17.7
2005	79.5	75.6	77.5	81.4	81.6
2006	30.4	38.7	11.8	21.6	8.8
2007	12.5	12.5	12.0	16.7	21.9
2008	2.6	12.2	-6.2	-3.6	-13.4
2009	-17.4	-23.1	-7.4	-6.2	12.5
2010	15.5	38.3	-10.2	5.5	0.3
2011	28.4	55.4	3.0	14.2	-1.6
2012	-30.8	-65.4	14.7	-7.7	20.6
2013	-9.4	-8.8	-9.4	-12.5	-13.2
2014	16.1	28.2	6.5	8.5	-0.9
2015	-4.5	-9.1	4.5	-2.1	-1.0
RE	20.5	29.6	14.5	15.3	14.9
MSE	96076.5	186544.7	64799.7	70440.9	68047.6

注: \*为选择的最优模型

Note: \*: The best model chosen

表 4 预测验证结果  
Tab.4 Predictive verification result

项目 Items	2016	2017
实际值 Real CPUE (t/V)	750.4	794.6
预测值 Predicted CPUE (t/V)	539.7	859.9
相对误差 RE(%)	28.07	8.22

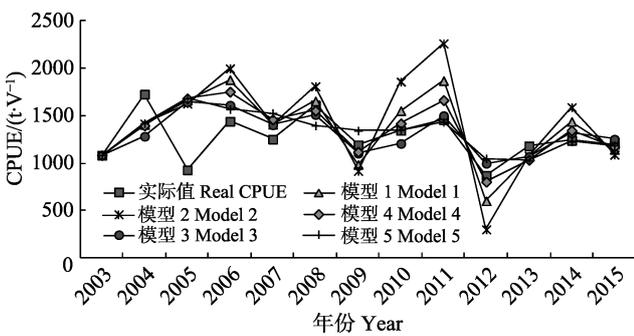


图 2 茎柔鱼资源丰度灰色模型预测结果

Fig.2 Results of the prediction of *D. gigas* in the Southeast Pacific Ocean based on grey models

与茎柔鱼资源丰度有较为密切的关系。汪金涛(2015)曾利用产卵场区水温作为其预测模型的一个因子, Cao 等(2009)也利用了产卵场适宜水温面积作为资源预报模型中的一个变量, 均取得较好的预测效果, 表明茎柔鱼早期生活栖息环境因子, 尤其是 SST, 很大程度上决定柔鱼资源丰度。

本研究去除了产卵场 Chl *a* 数据的模型 3 在相对

误差和均方误差分析中都有较为精确的预测结果, 且高于不包含部分气候因子的模型 4 和模型 5。这说明在不包含所有环境因子且加入气候因子的情况下, 建立的模型效果好于包含所有环境因子且不包含部分气候因子所建立的模型效果, 一定程度上反映了气候对茎柔鱼资源量的影响高于环境对茎柔鱼资源量的影响。Anatolio 等(2001)的研究表明, 茎柔鱼资源量与全球性气候条件有关, 特别是厄尔尼诺和拉尼娜现象。厄尔尼诺现象将导致秘鲁外海的茎柔鱼资源量减少, 捕捞产量下降(Anderson *et al*, 2001)。高雪等(2017)的研究也表明, 茎柔鱼资源量与 PDO 和厄尔尼诺事件有关, 且 PDO 比厄尔尼诺事件更为重要。但也有研究表明, PDO 是作用于整个太平洋的一种气候现象, 而本研究的茎柔鱼是栖息于东南太平洋的一种鱼类, 与 PDO 定义[北太平洋北纬 20°N 以北区域 SST 距平的经验正交函数的第一分量(余为, 2016)]的作用区域有所不同, 关联性较弱, 且为年代际的一种变动, 年度间变动较小, 因此, 对茎柔鱼的影响较厄尔尼诺事件弱(段丁毓等, 2018)。许骆良等(2015)通过构建广义线性模型和广义加性模型, 认为只有叶绿素浓度对茎柔鱼资源量有显著性影响, 而通常认为, 对渔场起到决定作用的水温因素则为非显著因子。汪金涛等(2014)基于神经网络模型认为, 海表面温度、叶绿素和海面高度这 3 个因子对茎柔鱼资源量都具有显著影响, 并构建了基于以上因子茎柔鱼资源丰度的预测模型。这可能是由于各研究所选取的环境因子的地理位置不同, 导致结果出现差异, 本研究中, 可能由于只选取了产卵场 Chl *a* 并采用平均的方式进行研究, 在一定程度上淡化了 Chl *a* 对茎柔鱼资源量的影响。

综上所述, 本研究建立的 5 种预测模型均能较好地预测东南太平洋茎柔鱼资源丰度, 模型 3 精度最高, 且验证结果较为准确, 选定为最终模型。同时, 本研究也存在一些不足, 如无法具体分析各因子之间的交互效应, 例如, PDO 的变化会导致 SST 的变化、相对贡献率, 没有考虑环境、气候因子的滞后效应等。在今后的研究中, 应更加精细和量化东南太平洋茎柔鱼整个生活史气候因子和环境因子, 并与其他模型进行综合比较, 选择全局最优的资源丰度预测模型。

### 参 考 文 献

Anatolio T, Carmen Y, Mariategui L, *et al*. Distribution and concentrations of Jumbo flying squid (*Dosidicus gigas*) off the Peruvian coast between 1991 and 1999. Fisheries Research, 2001, 54(1): 21-32

Anderson CIH, Rodhouse PG. Life cycles, oceanography and variability: Ommastrephid squid in variable oceanographic

- environments. *Fisheries Research*(Amsterdam), 2001, 54(1): 1–143
- Cao J, Chen XJ, Chen Y. Influence of surface oceanographic variability on abundance of the western winter-spring cohort of neon flying squid *Ommastrephes bartramii* in the NW Pacific Ocean. *Marine Ecology Progress*, 2009, 381(12): 119–127
- Chen XJ, Zhao XH. Preliminary study on the catch distribution of *Dosidicus gigas* and its relationship with sea surface temperature in the offshore waters of Peru. *Journal of Shanghai Ocean University*, 2006, 15(1): 65–70 [陈新军, 赵小虎. 秘鲁外海茎柔鱼产量分布及其与表温关系的初步研究. *上海海洋大学学报*, 2006, 15(1): 65–70]
- Chen XJ. *Fishery resources and fisheries*. Beijing: China Ocean Press, 2004, 169–192 [陈新军. *渔业资源与渔场学*. 北京: 海洋出版社, 2004, 169–192]
- Chen XJ. *Grey system theory in fisheries science*. Beijing: China Agriculture Press, 2003, 1–32 [陈新军. *灰色系统理论在渔业科学中的应用*. 北京: 中国农业出版社, 2003, 1–32]
- Chen YY, Chen XJ. Influence of El Nino/La Nina on the abundance index of skipjack in the Western and Central Pacific Ocean. *Journal of Shanghai Ocean University*, 2017, 26(1): 113–120 [陈洋洋, 陈新军. 厄尔尼诺/拉尼娜现象对中西太平洋鲣鱼资源丰度的影响. *上海海洋大学学报*, 2017, 26(1): 113–120]
- Duan DY, Chen P, Chen XJ, *et al.* The construction of biomass forecasting model for the anchoveta (*Engraulis ringens*) by the grey system model. *Journal of Shanghai Ocean University*, 2018, 27(2): 284–290 [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. *上海海洋大学学报*, 2018, 27(2): 284–290]
- Fang Z, Chen YY, Chen XJ, *et al.* The grey predict model construction of abundance forecasting for skipjack tuna (*Katsuwonus pelamis*) in the Western and Central Pacific Ocean based on different environmental factors. *Journal of Marine Sciences*, 2018(4): 60–67 [方舟, 陈洋洋, 陈新军, 等. 基于不同环境因子的中西太平洋鲣鱼资源丰度灰色预测模型构建. *海洋学研究*, 2018(4): 60–67]
- Gao X, Chen XJ, Xu 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. *Acta Oceanologica Sinica*, 2017, 39(6): 55–61 [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. *海洋学报(中文版)*, 2017, 39(6): 55–61]
- Gong Y, Li YK, Chen L, *et al.* A comparative analysis of fatty acid profiles in muscle of *Dosidicus gigas* from different harvest locations in the Eastern Pacific Ocean. *Progress in Fishery Sciences*, 2018, 39(6): 149–156 [贡艺, 李云凯, 陈玲, 等. 东太平洋不同海区茎柔鱼肌肉脂肪酸组成分析与比较. *渔业科学进展*, 2018, 39(6): 149–156]
- Guan WJ, Gao F, Chen XJ. Review of the applications of satellite remote sensing in the exploitation, management and protection of marine fisheries resources. *Journal of Shanghai Ocean University*, 2017, 26(3): 440–449 [官文江, 高峰, 陈新军. 卫星遥感在海洋渔业资源开发、管理与保护中的应用. *上海海洋大学学报*, 2017, 26(3): 440–449]
- He SM. *Finance and economics dictionary*. Beijing: China Financial and Economic Publishing House, 1990 [何盛明. *财经大辞典*. 北京: 中国财政经济出版社, 1990]
- Ichii T, Mahapatra K, Watanabe T, *et al.* Occurrence of jumbo flying squid *Dosidicus gigas* aggregations associated with the counter current ridge off the Costa Rica Dome during 1997 El Niño and 1999 La Niña. *Marine Ecology-Progress Series*, 2002, 231(1): 151–166
- Liu B, Zhou F, Chen X, *et al.* Spatial variations in beak structure to identify potentially geographic populations of *Dosidicus gigas* in the Eastern Pacific Ocean. *Fisheries Research*, 2015, 164: 185–192
- Nigmatullin CM, Nesis KN, Arkhipkin AI. A review of the biology of the Jumbo squid *Dosidicus gigas* (Cephalopoda: Ommastrephidae). *Fisheries Research*, 2001, 54(1): 9–19
- Rodhouse PG. Managing and forecasting squid fisheries in variable environments. *Fisheries Research*, 2001, 54(1): 3–8
- Taipe A, Yamashiro C, Mariategui L, *et al.* Distribution and concentrations of jumbo flying squid (*Dosidicus gigas*) off the Peruvian coast between 1991 and 1999. *Fisheries Research (Amsterdam)*, 2001, 54(1): 1–32
- Tang YC. *Statistical analysis with R*. Beijing: Higher Education Press, 2008, 260–264 [汤银才. *R语言与统计分析*. 北京: 高等教育出版社, 2008, 260–264]
- Wang JT, Chen XJ, Gao F, *et al.* Fish recruitment forecasting for *Dosidicus gigas* based on multi-environmental factors in the Southeastern Pacific. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2014, 45(6): 1185–1191 [汪金涛, 陈新军, 高峰, 等. 基于环境因子的东南太平洋茎柔鱼资源补充量预报模型研究. *海洋与湖沼*, 2014, 45(6): 1185–1191]
- Wang JT, Chen XJ. Changes and prediction of the fishing ground gravity of skipjack (*Katsuwonus pelamis*) in Western-Central Pacific. *Periodical of Ocean University of China (Natural Science)*, 2013, 43(8): 48–52 [汪金涛, 陈新军. 中西太平洋鲣鱼渔场的重心变化及其预测模型建立. *中国海洋大学学报(自然科学版)*, 2013, 43(8): 48–52]
- Wang JT. *Fishery forecasting and stock assessment for commercial oceanic ommastrephid squid*. Doctoral Dissertation of Shanghai Ocean University, 2015 [汪金涛. *大洋性经济柔鱼类渔情预报与资源量评估研究*. 上海海洋大学博士研究生学位论文, 2015]
- Wang YG, Chen XJ. *World oceanic economic soft fish resources and their fisheries*. Beijing: China Ocean Press, 2005, 240–264 [王尧耕, 陈新军. *世界大洋性经济柔鱼类资源及其渔业*. 北京: 海洋出版社, 2005, 240–264]
- Wei GN, Chen XJ, Li G. Interannual variation and forecasting of *Ommastrephes bartramii* migration gravity in the Northwest Pacific Ocean. *Journal of Shanghai Ocean University*, 2018, 27(4): 573–583 [魏广恩, 陈新军, 李纲. 西北太平洋柔鱼洄游重心年际变化及预测. *上海海洋大学学报*, 2018, 27(4): 573–583]
- Wei L, Chen XJ, Lei L, *et al.* Comparative study on the forecasting models of squid fishing ground in the northwest Pacific Ocean based on BP artificial neural network. *Journal of Shanghai Ocean University*, 2017, 26(3): 450–457 [魏联,

- 陈新军, 雷林, 等. 西北太平洋柔鱼 BP 神经网络渔场预报模型比较研究. 上海海洋大学学报, 2017, 26(3): 450–457]
- Xu B. Spatial and temporal distribution of fishing ground for *Dosidicus gigas* and the relationship between recruitment and environment in the offshore waters of Peru North west Pacific Ocean. Master's Thesis of Shanghai Ocean University, 2012 [徐冰. 秘鲁外海茎柔鱼渔场时空分布及资源补充量与环境的关系. 上海海洋大学硕士研究生学位论文, 2012]
- Xu LL, Chen XJ, Wang JT. Inter-annual variation in abundance index of *Dosidicus gigas* off Peru during 2003 to 2012. Journal of Shanghai Ocean University, 2015, 24(2): 280–286 [许骆良, 陈新军, 汪金涛. 2003–2012 年秘鲁外海茎柔鱼资源丰度年间变化分析. 上海海洋大学学报, 2015, 24(2): 280–286]
- Yu W, Chen XJ. Analysis of environmental conditions and their influence on the abundance of neon flying squid in the Northwest Pacific Ocean. Acta Ecologica Sinica, 2015, 35(15): 5032–5039 [余为, 陈新军. 西北太平洋柔鱼栖息地环境因子分析及其对资源丰度的影响. 生态学报, 2015, 35(15): 5032–5039]
- Yu W. Response mechanism of winter-spring cohort of neon flying squid to the climatic and environmental variability in the Northwest Pacific Ocean. Doctoral Dissertation of Shanghai Ocean University, 2016 [余为. 西北太平洋柔鱼冬春生群对气候与环境变化的响应机制研究. 上海海洋大学博士研究生学位论文, 2016]
- Zhu WT, Chen XJ, Wang JT, et al. Predicting the abundance of Pacific saury based on grey system in the Northwest Pacific. Journal of Guangdong Ocean University, 2018, 38(6): 13–17 [朱文涛, 陈新军, 汪金涛, 等. 基于灰色系统的西北太平洋秋刀鱼资源丰度预测. 广东海洋大学学报, 2018, 38(6): 13–17]

(编辑 冯小花)

## Prediction of Abundance Index of the Humboldt Squid (*Dosidicus gigas*) in the Southeast Pacific Ocean Based on a Grey System-Based Model

YAN Yongbin<sup>1,3</sup>, CHEN Xinjun<sup>1,2</sup>, WANG Jintao<sup>1,2①</sup>, LEI Lin<sup>1,2</sup>, CHENG Qiqun<sup>3</sup>

(1. College of Marine Science, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306;

2. Key Laboratory of Oceanic Fisheries Exploration, Ministry of Agriculture and Rural Affairs; National Engineering Research Center for Oceanic Fisheries; Key Laboratory of Sustainable Exploitation of Oceanic Fisheries Resources, Ministry of Education; Scientific Observing and Experimental Station of Oceanic Fishery Resources, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Shanghai 201306; 3. East China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Shanghai 200090)

**Abstract** The Humboldt squid (*Dosidicus gigas*) is one of the most abundant fisheries resource in the Southeast Pacific Ocean. It has become an important component of China's offshore fisheries due to its high economic value. Accurate abundance index prediction is important to the rational development and utilization of *D. gigas*. In this study, the correlation analysis and grey system method were used to establish a model (GM) for predicting the abundance of squid in the southeastern Pacific based on fishery data as well as environmental and climatic factors, including Sea Surface Temperature (SST), Pacific Decadal Oscillation (PDO), Oceanic Nino Index (ONI), and Chlorophyll concentration *a* (Chl *a*). The results showed that the SST of the spawning ground in February, the Chl *a* of the spawning ground in March, the PDO in December, and the ONI in October had significant correlations with the abundance of squid. The GM (1, 4) model with SST, PDO, and ONI as independent variables had the highest accuracy (> 85%), which could be used to accurately predict the abundance of *D. gigas* in the Southeast Pacific.

**Key words** Southeast Pacific Ocean; *Dosidicus gigas*; Grey system; Abundance index

① Corresponding author: WANG Jintao, E-mail: jtwang@shou.edu.cn