

文章编号: 1674-5566(2018)02-0284-07

DOI:10.12024/jsou.20170602074

基于灰色系统的秘鲁鳀资源量预测模型的构建

段丁毓^{1,2}, 陈 芃¹, 陈新军^{1,2,3,4,5}, 秦传新²

(1. 上海海洋大学 海洋科学学院, 上海 201306; 2. 中国水产科学研究院南海水产研究所, 广州 510300; 3. 大洋渔业资源可持续开发教育部重点实验室, 上海 201306; 4. 国家远洋渔业工程技术研究中心, 上海 201306; 5. 农业部大洋渔业开发重点实验室, 上海 201306)

摘 要: 秘鲁鳀 (*Engraulis ringens*) 是栖息于东南太平洋的小型中上层鱼类, 是鱼粉的主要来源。有效预测秘鲁鳀的资源量, 综合评价环境因子对秘鲁鳀资源量的影响将有利于我国鱼粉进口企业利用环境和气候变化把握秘鲁鳀的生产行情。利用 2004—2013 年秘鲁鳀的资源量数据, 首先对影响秘鲁鳀资源量的环境和气候因子进行灰色关联分析, 并基于该结果利用灰色预测模型 [GM(0, N) 模型] 进行秘鲁鳀资源量预测模型的构建, 同时通过去除某个环境因子的模型与包含所有环境因子的模型的预报精度比较, 对环境因子的重要性进行评价。结果表明, 包含所有因子 (渔场水温 (Fishing ground temperature, FGT)、(渔场水温距平 (Fishing ground temperature anomaly, FGTA)、南方涛动指数 (Southern Oscillation Index, SOI)、Nino 1 + 2 区海表面温度和太平洋年代际振荡指数 (Pacific Decadal Oscillation Index, PDOI)) 的模型 1 对拟合资源量与实际资源量的平均相对误差为 0.197, 两个序列间的相关系数为 0.544, 对验证数据的相对误差为 0.434; 对比去掉其中某一个因子的模型 2—模型 6, 去掉 PDO 的模型 4 效果最好, 拟合资源量与实际资源量的平均相对误差为 0.187, 两个序列间的相关系数为 0.663, 对验证数据的相对误差为 0.274, 该模型能够更好地提高模型精度, 可作为预测秘鲁鳀资源量的最优模型。

关键词: 秘鲁鳀; 灰色系统; 资源量; 预测模型; GM(0, N)

中图分类号: S 932.4 **文献标志码:** A

秘鲁鳀 (*Engraulis ringens*) 是栖息于东南太平洋的小型中上层鱼类, 产量高, 为鱼粉的重要来源^[1-2]。此外, 秘鲁鳀鱼粉由于其优良的质量在我国进口鱼粉数量中所占比例最高^[2]。因此, 掌握环境因子对秘鲁鳀资源的作用规律, 准确地预测秘鲁鳀年间资源量将有利于为我国进口鱼粉企业提供技术支持。已有的研究表明, 环境和气候变化对秘鲁鳀的资源变动有着重大影响, 诸如栖息环境的海水温度变动^[3-4]、厄尔尼诺现象 (El Niño)^[5-6]、太平洋年代际振荡 (Pacific Decadal Oscillation, PDO)^[6-7] 和南方涛动现象 (Southern Oscillation, SO)^[7-8] 都会与秘鲁鳀的资源波动有很大的联系。但是这些研究一般仅分析一种因素对秘鲁鳀资源量的影响, 未将这些因子结合起来分析, 在这些因子中, 哪个因子对秘

鲁鳀的资源变动影响最为重要? 因此, 对秘鲁鳀的资源量建立合适的预测模型、综合评价环境因子对秘鲁鳀资源量的影响程度大小即为本研究的主题。

渔情预报模型, 尤其是年间资源量预报模型的建立, 通常会遇到样本量过少, 而涉及预报因子较多的问题。过少的样本是否具有代表性? 过多的预报因子如何选择? 这两个问题是建立渔情预报模型的难点所在。灰色系统理论是不确定系统理论的一个分支, 相对于其他不确定系统的研究方法 (概率统计、模糊数学和粗糙集理论), 其研究方法的优点在于不受样本数据量, 是否满足某种分布等因素的限制^[9]。该理论在渔场学研究中也得到了不少应用, 例如, 王寿兵^[10] 利用灰色关联分析的方法对影响丹江口水库渔

收稿日期: 2017-06-02 修回日期: 2017-10-12

基金项目: 上海市科技创新计划 (15DZ1202200); 海洋局公益性行业专项 (20155014)

作者简介: 段丁毓 (1994—), 女, 硕士研究生, 研究方向为渔业资源。E-mail: 641631149@qq.com

通信作者: 陈新军, E-mail: xjchen@shou.edu.cn

获量的因子进行了主次评价;高雪等^[11]结合灰色绝对关联分析和灰色预测模型[GM(1,N)]对影响西北太平洋柔鱼(*Ommustrephes bartramii*)冬春群资源丰度的气候因子进行筛选并对资源丰度进行了预测。这些研究都取得了良好的效果。

本研究拟利用灰色系统中的灰色关联分析方法对影响秘鲁鳀资源量的环境和气候因子进行分析,并利用灰色预购模型[GM(0,N)模型]对建立秘鲁鳀资源量预测模型,以期为我国鱼粉进口企业提前把握秘鲁鳀渔获产量提供技术支持。

1 材料与方法

1.1 数据来源

秘鲁鳀资源量(Biomass)数据来自于秘鲁国家海洋局 IMARPE 网站(http://www.imarpe.gob.pe/imarpe/detallereport.php?id_seccion=I0131020101000000000000),为2005—2013年IMARPE在每次渔汛季度开捕前一个月左右对秘鲁鳀的资源量调查数据。每年的渔汛均分为两期,第一汛期为每年的4—8月,第二汛期为每年的11月至翌年1月^[12]。因此资源量数据同样每年有2个。

有研究表明,海水温度变动^[3-4]、厄尔尼诺现象^[5-6]、太平洋年代际振荡^[6-7]和南方涛动现象^[7-8]对秘鲁鳀资源变动存在影响,因此本研究采集上述环境因子来预测秘鲁鳀资源量。渔场水温包括了渔场的温度和温度距平数据,作为沿岸港口监测的水温数据,来自于秘鲁国家海洋局 IMARPE 网站(<http://www.imarpe.pe/imarpe2>)。港口基本跨越了秘鲁渔场南北海岸线,同时渔场为近岸渔场(主要在30海里以内),因此可以将港口监测水温当作渔场水温,每月监测4次,取平均值作为月度渔场水温(Fishing ground temperature, FGT)和渔场水温距平(Fishing ground temperature anomaly, FGTA)数据。气候因子数据包括了南方涛动指数(Southern Oscillation Index, SOI), Nino 1+2 区海表面温度(Nino 1+2)和太平洋年代际震振指数(Pacific Decadal Oscillation Index, PDOI),来自于美国 NOAA 地球系统科学研究实验室(https://www.esrl.noaa.gov/psd/data/climate_indices/list/)。环境因子数据的时间分辨率均为月。

已有研究表明,对于许多渔业资源,如刀鲚、小黄鱼、带鱼等,捕捞因素会对资源量产生不利的影响^[13-15]。但是对于秘鲁鳀来说,有研究发现,它是一种机会主义者^[16],繁殖策略为r型,环境会对其资源产生极大的影响^[17],资源会在环境较好的情况下快速恢复,因此本研究忽略了捕捞因素对秘鲁鳀的影响。

1.2 方法

1.2.1 灰色绝对关联分析

(1)原理和假设

研究假设在资源量调查前期6个月内的环境及气候因子对秘鲁鳀资源量变动有影响。利用灰色绝对关联分析的方法计算每个因子中与秘鲁鳀资源量的灰色绝对关联度最大的月份,作为关键月份,利用该月份因子的数据作为预报模型中的自变量,建立灰色预测模型[GM(0,N)模型]。

(2)分析方法

首先将资源量数据进以e为底的对数转化,使得资源量数据和环境因子数据在同一个量纲水平下。再计算各月每一个环境因子与资源量灰色绝对关联度。具体做法如下^[18]:

设 $X_1^{(0)} = (x_1^{(0)}(1), x_1^{(0)}(2), \dots, x_1^{(0)}(n))$ 为系统的特征数据序列即资源量序列

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

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

⋮

$$X_N^{(0)} = (x_N^{(0)}(1), x_N^{(0)}(2), \dots, x_N^{(0)}(n)) \quad (1)$$

为环境因子序列,则灰色绝对关联度为:

$$\varepsilon_{0i} = \frac{1 + |s_0| + |s_i|}{1 + |s_0| + |s_i| + |s_i - s_0|} \quad (2)$$

式中:

$$|s_0| = \left| \sum_{(k=2)}^{(n-1)} X_0^0(k) + \frac{1}{2} x_0^0(n) \right|$$

$$|s_i| = \left| \sum_{(k=2)}^{(n-1)} X_i^0(k) + \frac{1}{2} x_i^0(n) \right|$$

$$|s_i - s_0| = \left| \sum_{(k=2)}^{(n-1)} \{ X_i^0(k) - X_0^0(k) + \frac{1}{2} [x_i^0(n) - x_0^0(n)] \} \right|$$

将每一个环境和气候因子中灰色绝对关联度最大的月份的数据作为代表该因子的数据。

1.2.2 GM(0,N)模型

(1)模型的构建^[9,11]

利用灰色系统中的 GM(0,N)模型对秘鲁鳀资源量进行预测,其中 N 为模型利用的环境因子数量加 1。GM(0,N)模型的基本形式为:

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

其中, $X_i^{(1)}$ 为 $X_i^{(0)}$ 的累加序列。GM(0,N)模型的参数拟合方法表示如下:

$$\text{令 } B = \begin{bmatrix} 1 & X_2^{(1)}(2) & X_3^{(1)}(2) & \cdots & X_N^{(1)}(2) \\ 1 & X_2^{(1)}(3) & X_3^{(1)}(3) & \cdots & X_N^{(1)}(3) \\ & & \vdots & & \\ 1 & X_2^{(1)}(n) & X_3^{(1)}(n) & \cdots & X_N^{(1)}(n) \end{bmatrix},$$

$$Y = \begin{bmatrix} X_1^{(1)}(2) \\ X_1^{(1)}(3) \\ \vdots \\ X_1^{(1)}(n) \end{bmatrix}$$

则参数列 $\hat{a} = [a, b_2, b_3, \dots, b_{(n-1)}]^T$ 的最小二乘估计为

$$\hat{a} = (B^T B)^{-1} B^T Y \quad (4)$$

(2)模型的评价方法

拟通过计算预测资源量序列与实际资源量序列的平均相对误差和相关系数的方法对模型的精度进行评价。平均相对误差越小,相关系数越接近于 1,表示模型的精度越好。

同时,在模型的构建过程中,将 2013 年第二汛期的资源量数据,不参与模型的构建,根据前面得到的模型参数算出该汛期资源量的预测值,与实际值比较,进行模型的验证。

1.2.3 环境因子重要性的评价

研究拟通过去除某个环境因子的模型与包含所有环境因子的模型的预报精度比较以进行环境因子的重要性的评价。一共构建了以下六种模型:

模型 1:包含所有因子的 GM(0,6)模型,因子包括 FGT、FGTA、Nino 1 + 2、PDOI、SOI;

模型 2:不包含 FGT 的 GM(0,5)模型;

模型 3:不包含 FGTA 的 GM(0,5)模型;

模型 4:不包含 PDOI 的 GM(0,5)模型;

模型 5:不包含 Nino1 + 2 的 GM(0,5)模型;

模型 6:不包含 SOI 的 GM(0,5)模型。

2 结果

2.1 灰色绝对关联分析结果

根据灰色绝对关联分析的结果(表 1),各个环境因子对资源量作用最大的月份不同:其中,FGT 和 FGTA 因子中滞前三个月的效应最高;PDOI 中,滞前一个月的效应最高;而在 Nino 1 + 2 和 SOI 中则为滞前两个月的效应最高。

表 1 环境因子子序列与资源量母序列的灰色绝对关联度分析结果

Tab.1 Grey absolute correlation analysis for the biomass sequence and sub-sequences of environmental factor

滞前月份 Month earlier	FGT	FGTA	PDOI	Nino 1 + 2	SOI
6	0.781	0.692	0.838	0.792	0.772
5	0.951	0.777	0.785	0.836	0.895
4	0.797	0.603	0.794	0.781	0.925
3	0.969*	0.994*	0.658	0.804	0.717
2	0.628	0.947	0.701	0.926*	0.984*
1	0.717	0.795	0.900*	0.888	0.694

注:*为选出的灰色关联度最大的月份

Note:* represents the month that has the largest grey absolute correlation value

2.2 预测模型选择

由表 2 可知,从对建模资源量序列拟合结果的相对误差平均值上看,平均相对误差由小到大分别为模型 6、模型 4、模型 1、模型 3、模型 5 和模型 2,除了去除 PDOI 和 SOI 的模型 4 和模型 6 以外,相比于包含所有因子的模型 1,模型相对误差的平均值都有所增加;同样,从预测资源量序列和原始序列的相关系数来看,相关系数由大到小分别为模型 4、模型 6、模型 1、模型 3、模型 5 和模型 2,表明模型 4 和模型 6 的拟合效果要高于模型 1;最后,通过模型 4 和模型 6 与 2013 年第二汛期的资源量数据验证结果对比,模型 4 能够最大程度降低预测的相对误差的大小(从模型 1 的 0.434 到模型 4 的 0.274)。综上所述,模型 4 为最优模型。模型 4 的参数见表 3,由图 1 可知,模型 4 能够较好地拟合秘鲁鳀资源量的变动情况。

表 2 秘鲁鳀资源量预测模型结果比较

Tab. 2 The comparison results for the anchoveta biomass forecasting model

渔汛 Fishing season	模型 1 Model1	模型 2 Model2	模型 3 Model 3	模型 4 Model4	模型 5 Model5	模型 6 Model6
2005 - 2	0.068	0.715	0.020	0.167	0.026	0.119
2006 - 1	0.026	0.799	0.067	0.012	0.048	0.009
2006 - 2	0.082	0.151	0.069	0.102	0.257	0.023
2007 - 1	0.218	0.143	0.218	0.151	0.227	0.151
2007 - 2	0.079	0.067	0.037	0.176	0.053	0.114
2008 - 1	0.092	0.888	0.125	0.061	0.205	0.050
2008 - 2	0.344	1.144	0.389	0.470	0.333	0.368
2009 - 1	0.007	1.402	0.052	0.021	0.030	0.052
2009 - 2	0.454	0.904	0.423	0.429	0.593	0.498
2010 - 1	0.302	0.152	0.333	0.254	0.233	0.246
2010 - 2	0.584	1.614	0.568	0.575	0.448	0.601
2011 - 1	0.137	0.253	0.155	0.138	0.187	0.139
2011 - 2	0.080	0.349	0.116	0.029	0.098	0.040
2012 - 1	0.094	0.072	0.123	0.096	0.111	0.115
2012 - 2	0.218	0.425	0.240	0.080	0.398	0.128
2013 - 1	0.374	0.866	0.391	0.236	0.434	0.330
平均值 Mean value	0.197	0.621	0.208	0.187	0.230	0.186
相关系数 Correlation index	0.544	0.301	0.488	0.663	0.349	0.619
验证(2013 - 2) Validation	0.434	1.416	0.444	0.274	0.477	0.401

表 3 预测模型 4 因子参数值

Tab. 3 The parameters of forecasting model 4 for the anchoveta (*Engraulis ringens*) biomass

因子	a	FGT	FGTA	Nino 1 +2	SOI
参数值 Parameter number	2.178	0.815	-1.054	-0.053	0.115

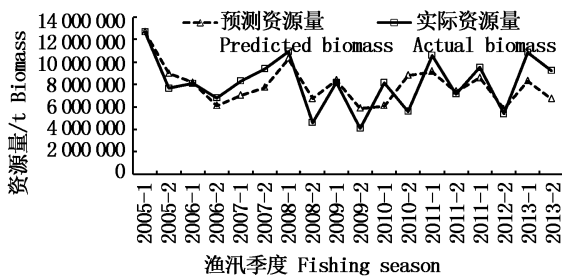


图 1 模型 4 预测资源量与实际资源量比较

Fig. 1 Comparison between the actual biomass and the predicted anchoveta (*Engraulis ringens*) biomass based on the model 4

3 讨论与分析

本研究通过汛期前的环境因子,较好地拟合及预测了 2005—2013 年秘鲁鳀的资源变动情况

(图 1),此外陈新军^[18]指出预测模型的参数值 $-a < 0.3$ 时,该模型可以作为中长期预报模型,而最优模型 4 的 $-a$ 值为 -2.178 (表 3)满足了作为预测模型的条件,同时该模型较好地拟合及预测了秘鲁鳀的资源状况,验证了前面的假设,即秘鲁鳀资源量受到包括气候因素的海洋环境状况的影响。秘鲁鳀生长发育时期适宜的水温情况、厄尔尼诺现象、拉尼娜现象等,都会影响到下一个渔汛时期的资源量情况。

在水温对秘鲁鳀的影响上,例如,LLANOS-RIVERA^[19]研究表明,秘鲁鳀胚胎孵化时间随海域水温的增加而减少;SWARTZMAN 等^[4]发现,秘鲁鳀更喜欢栖息于冷的沿岸上升水中(upwelled cold coastal water, CCW),及其与外海亚热带表层水之间的混合水域,过暖的水域中栖息的秘鲁鳀资源较少;同时,秘鲁沿岸海域有着世界著名的上升流——秘鲁上升流的存在,秘鲁上升流能够向上输送富有营养物质的冷水,相对冷的海域环境正好与秘鲁鳀作为冷水性鱼类的特性相适应^[4,20]。在模型建立的过程中,分别去掉 FGT 和 FGTA 的模型 2 和模型 3,与模型 1 相比,其精度大大降低(表 2),表明了水温变动对秘鲁鳀资源的影响较大。

气候因子上,模型中加入了 Nino 1 + 2、SOI 和 PDO 三个因子并进行了分别比较。从模型的评价上看(表 2),模型 4(去掉 PDO)和模型 6(去掉 SOI)会增加模型的精度,但是模型 4 在验证数据的精度上表现较好。首先分析南方涛动现象、厄尔尼诺现象、拉尼娜现象对秘鲁鳀资源的影响。南方涛动现象和厄尔尼诺现象、拉尼娜现象有着很好的对应关系,基本上,在厄尔尼诺现象出现时,SOI 为正,拉尼娜现象出现时 SOI 为负^[21]。在海洋学研究中,厄尔尼诺现象和拉尼娜现象的表征指标过多^[22],因此在最初选取环境指标时,选择了 SOI 来共同代表厄尔尼诺现象、拉尼娜现象和南方涛动现象对秘鲁鳀资源的影响,将离渔场较近的 Nino 1 + 2 区的 SST 同样作为一个因子。研究表明,去掉 SOI 后会增加模型的精度,但该结果不能表明南方涛动现象对秘鲁鳀资源没有影响,例如 CAHUIN 等^[8]发现南方涛动显著地影响到了当年秘鲁鳀的补充量变化。可能是由于模型最初假设的前六个月的环境情况对秘鲁鳀资源有影响。因此,关于厄尔尼诺现象、拉尼娜现象或南方涛动现象中哪个因子最能代表秘鲁鳀资源变动的问题上,还有待于今后继续加强这两种现象对秘鲁鳀资源作用机制的了解。对于 PDO 现象,去掉该因子后,模型不管相对误差,还是拟合精度上都会提高,(模型 4,表 2),为最优模型。这些表明,PDO 对秘鲁鳀的影响较小。虽然有研究发现,PDO 与太平洋整体的鳀类资源变动有着很大的关系^[6-7],但是 PDO 是作用于整个太平洋的一种气候现象,秘鲁鳀是栖息于东南太平洋的一种鱼类^[1],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^[23])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,因此对秘鲁鳀的影响较其他因子弱。

本研究中采用了灰色系统的 GM(0, N) 模型构建了秘鲁鳀资源量预测模型,结果可以为预测下一汛期秘鲁鳀资源量多少提供依据。今后还可以尝试利用其他灰色预测模型[如 GM(1, N) 模型^[11]],以及线性模型^[24]、神经网络模型^[25-28]、栖息地指数模型^[29-30]等预测模型进行资源量预测,并对结果进行综合比较,以选取最优模型,更准确地预测秘鲁鳀资源量变动。

参考文献:

- [1] 陈芃,汪金涛,陈新军. 秘鲁鳀资源变动及与海洋环境要素的关系研究进展[J]. 海洋渔业, 2016, 38(2): 206-216.
CHEN P, WANG J T, CHEN X J. Review on relationship between oceanic environment factors and population dynamics of anchoveta *Engraulis ringens*[J]. Marine Fisheries, 2016, 38(2): 206-216.
- [2] 陈芃,陈新军. 表层水温结构变化对东南太平洋秘鲁鳀渔场的影响[J]. 海洋学报, 2017, 39(4): 79-88.
CHEN P, CHEN X J. Evaluating the effects of sea surface temperature variations on fishing ground of anchoveta (*Engraulis ringens*) in the southeast Pacific Ocean[J]. Acta Oceanologica Sinica, 2017, 39(4): 79-88.
- [3] GUTIÉRREZ M, SWARTZMAN G, BERTRAND A, et al. Anchovy (*Engraulis ringens*) and sardine (*Sardinops sagax*) spatial dynamics and aggregation patterns in the Humboldt Current ecosystem, Peru, from 1983-2003 [J]. Fisheries Oceanography, 2007, 16(2): 155-168.
- [4] SWARTZMAN G, BERTRAND A, GUTIÉRREZ M, et al. The relationship of anchovy and sardine to water masses in the Peruvian Humboldt Current System from 1983 to 2005 [J]. Progress in Oceanography, 2008, 79(2/4): 228-237.
- [5] AIHEIT J, NIQUEN M. Regime shifts in the Humboldt Current ecosystem[J]. Progress in Oceanography, 2004, 60(2/4): 201-222.
- [6] GUIÑEZ M, VALDÉS J, SIFEDDINE A, et al. Anchovy population and ocean-climatic fluctuations in the Humboldt Current System during the last 700 years and their implications [J]. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 2014, 415: 210-224.
- [7] CHAVEZ F P, RYAN J, LLUCH-COTA S E, et al. From anchovies to sardines and back: multidecadal change in the Pacific Ocean[J]. Science, 2003, 299(5604): 217-221.
- [8] CAHUIN S M, CUBILLOS L A, NIQUEN M, et al. Climatic regimes and the recruitment rate of anchoveta, *Engraulis ringens*, off Peru[J]. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 2009, 84(4): 591-597.
- [9] 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: 12-205.
- [10] 王寿兵. 丹江口水库渔获量及其相关因子的灰色关联分析[J]. 农业系统科学与综合研究, 1996, 12(1): 4-7.
WANG S B. The Grey system relevant analysis of the fish catch and it's relevant factors of Danjiangkou [J]. System Sciences and Comprehensive Studies in Agriculture, 1996, 12(1): 4-7.
- [11] 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.
GAO X, 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]. *Acta Oceanologica Sinica*, 2017, 39(6): 55-61.
- [12] 陈芃, 汪金涛, 陈新军. 秘鲁沿岸秘鲁鳀渔场及渔汛分析[J]. *海洋渔业*, 2016, 38(5): 449-458.
CHEN P, WANG J T, CHEN X J. Analysis on fishing season and fishing ground of *Engraulis ringens* in the coastal waters of Peru[J]. *Marine Fisheries*, 2016, 38(5): 449-458.
- [13] 李安东, 钟俊生, 罗一鸣, 等. 长江口南支水域刀鲚仔稚鱼数量变动的研究[J]. *上海海洋大学学报*, 2015, 24(5): 745-753.
LI A D, ZHONG J S, LUO Y M, et al. Distribution and abundance of *Coilia nasus* larvae and juveniles in the southern branch of Yangtze River Estuary[J]. *Journal of Shanghai Ocean University*, 2015, 24(5): 745-753.
- [14] 宋学锋, 陈雪忠, 黄洪亮, 等. 东海区底拖网对小黄鱼的选择性研究[J]. *上海海洋大学学报*, 2015, 24(3): 449-456.
SONG X F, CHEN X Z, HUANG H L, et al. Selectivity of *Parimichthys polyactis* of bottom trawl in the East China Sea[J]. *Journal of Shanghai Ocean University*, 2015, 24(3): 449-456.
- [15] 王跃中, 孙典荣, 陈作志, 等. 气候环境因子和捕捞压力对南海北部带鱼渔获量变动的的影响[J]. *生态学报*, 2012, 32(24): 7948-7957.
WANG Y Z, SUN D R, CHEN Z Z, et al. The influence of climatic environmental factors and fishing pressure on changes of hairtail catches in the northern South China Sea[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2012, 32(24): 7948-7957.
- [16] BERTRAND A, GERLOTTO F, BERTRAND S, et al. Schooling behaviour and environmental forcing in relation to anchoveta distribution: an analysis across multiple spatial scales[J]. *Progress in Oceanography*, 2008, 79(2/4): 264-277.
- [17] BAKUM A. Active opportunist species as potential diagnostic markers for comparative tracking of complex marine ecosystem responses to global trends[J]. *ICES Journal of Marine Science*, 2014, 71(8): 2281-2292.
- [18] 陈新军. 灰色系统理论在渔业科学中的应用[M]. 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.
- [19] LLANOS-RIVERA A, CASTRO L R. Latitudinal and seasonal egg-size variation of the anchoveta (*Engraulis ringens*) off the Chilean coast[J]. *Fishery Bulletin*, 2004, 102(1): 207-212.
- [20] CHAVEZ F P, MESSIÉ M. A comparison of eastern boundary upwelling ecosystems[J]. *Progress in Oceanography*, 2009, 83(1/4): 80-96.
- [21] 巢纪平. 厄尔尼诺和南方涛动动力学[M]. 北京: 气象出版社, 1993: 1-309.
CHAO J P. Enso dynamics[M]. Beijing: Meteorological Press, 1993: 1-309.
- [22] BARNSTOMA. Why are there so many ENSO indexes, instead of just one? [EB/OL]. (2015-01-25) [2017-05-30]. <https://www.climate.gov/news-features/blogs/enso/why-are-there-so-many-enso-indexes-instead-just-one>.
- [23] 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[D]. 上海: 上海海洋大学, 2016.
YU W. Response mechanism of winter-spring cohort of neon flying squid to the climatic and environmental variability in the Northwest Pacific Ocean[D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2016.
- [24] 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[J]. *生态学报*, 2015, 35(15): 5032-5039.
YU W, CHEN X J. Analysis of environmental conditions and their influence on the abundance of neon flying squid in the Northwest Pacific Ocean[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2015, 35(15): 5032-5039.
- [25] 谢斌, 汪金涛, 陈新军, 等. 西北太平洋秋刀鱼资源丰度预报模型构建比较[J]. *广东海洋大学学报*, 2015, 35(6): 58-63.
XIE B, WANG J T, CHEN X J, et al. Forecasting model of abundance index for *Cololabis saira* in the Northwest Pacific Ocean[J]. *Journal of Guangdong Ocean University*, 2015, 35(6): 58-63.
- [26] 胡飞飞, 陈新军. 太平洋褶柔鱼秋生群资源补充量预报模型研究[J]. *广东海洋大学学报*, 2015, 35(6): 64-69.
HU F F, CHEN X J. Study on forecasting model of recruitment for the autumn-spawning group of *Todarodes pacificus*[J]. *Journal of Guangdong Ocean University*, 2015, 35(6): 64-69.
- [27] 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[J]. *上海海洋大学学报*, 2017, 26(3): 450-457.
WEI L, CHEN X J, 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[J]. *Journal of Shanghai Ocean University*, 2017, 26(3): 450-457.
- [28] 苏新红, 金丰军, 杨奇志, 等. 基于 BP 神经网络模型的福建海域赤潮预报方法研究[J]. *水产学报*, 2017, 41(11): 1744-1755.
SU X H, JIN F J, YANG Q Z, et al. Red tide forecasting model based on BP neural network in Fujian sea area[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2017, 41(11): 1744-1755.
- [29] 蒋瑞, 陈新军, 雷林, 等. 秋冬季智利竹(竹筴)鱼栖息地指数模型比较[J]. *水产学报*, 2017, 41(2): 240-249.
JIANG R, CHEN X J, LEI L, et al. A comparative study on habitat suitability index of *Trachurus murphyi* during autumn and winter[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2017, 41(2): 240-249.
- [30] 王易帆, 陈新军. 中西太平洋鳀栖息地指数预报模型比较研究[J]. *上海海洋大学学报*, 2017, 26(5): 743-750.
WANG Y F, CHEN X J. Comparisons of habitat suitability

index models of skipjack tuna in the Western and Central Pacific Ocean [J]. Journal of Shanghai Ocean University,

2017,26(5):743-750.

The construction of biomass forecasting model for the anchoveta (*Engraulis ringens*) by the grey system model

DUAN Dingyu^{1,2}, CHEN Peng¹, CHEN Xinjun^{1,2,3,4,5}, QIN Chuanxin²

(1. College of Marine Sciences of Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 2. Scientific Observing and Experimental Station of South Sea Fishery Resources and Environment, Guangzhou 510300, China; 3. The Key Laboratory of Sustainable Exploitation of Oceanic Fisheries Resources, Shanghai Ocean University, Ministry of Education, Shanghai 201306, China; 4. National Engineering Research Center for Oceanic Fisheries, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 5. Key Laboratory of Oceanic Fisheries Exploration, Ministry of Agriculture, Shanghai 201306, China)

Abstract: Anchoveta (*Engraulis ringens*) is a kind of small pelagic fish living in the Southeast Pacific Ocean. It is also an important source of fishmeal. Predicting the anchoveta biomass effectively and evaluating their relationship with environment factors could benefit companies which import the Peruvian fishmeal. Therefore, this study firstly used the grey correlation analysis to analyze the connection between the anchoveta biomass and environmental factors from 2004 to 2013. And then based on these results, we used the grey forecasting model [GM (0, N) model] to build the anchoveta biomass forecasting model. In addition, by comparing between removing a certain environmental factor and containing all the factors to the model, we evaluated the importance of environmental factors. Results showed that the model which contained all the factors (factors including Fishing ground temperature, FGT, Fishing ground temperature anomaly, FGTA, Southern Oscillation Index, SOI, the sea surface temperature at Nino 1 + 2 region, Nino 1 + 2 and Pacific Decadal Oscillation Index, PDO) had the mean relative error of 0.197 between fitting biomass sequence and predicted biomass sequence; the coefficient correlation index between these two sequences was 0.544; the relative error of the validation data is 0.434. Comparing the models from model 2 to model 6 which removed one environmental factor, the model 4 which removed PDOI had the best result; the mean relative error of fitting biomass sequence and predicted biomass sequence was 0.187, the coefficient correlation index between these two sequences was 0.663, and the relative error of the validation data was 0.274. The results indicated that model 4 can improve the accuracy of forecasting model and could be set as the optimal model for predicting the anchoveta biomass.

Key words: anchoveta (*Engraulis ringens*); grey system; biomass; forecasting model; GM(0, N)