

DOI: 10.19663/j.issn2095-9869.20200202002

http://www.yykxjz.cn/

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. 渔业科学进展, 2021, 42(4): 01-08

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. Progress in Fishery Sciences, 2021, 42(4): 01-08

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*

解明阳¹ 陈新军^{1,2,3①}

(1. 上海海洋大学海洋科学学院 上海 201306; 2. 青岛海洋科学与技术试点国家实验室海洋渔业科学与食物产出过程功能实验室 山东 青岛 266071; 3. 上海海洋大学大洋渔业资源可持续开发教育部重点实验室 国家远洋渔业工程技术研究中心 农业农村部大洋渔业开发重点实验室 上海 201306)

摘要 柔鱼(*Ommastrephes bartramii*)是大洋性经济头足类,是我国远洋鱿钓渔船重要的捕捞对象。分析柔鱼渔汛特征并预测旺汛期,有助于柔鱼资源的合理开发与利用。本研究根据 2013—2017 年北太平洋柔鱼渔业生产统计数据,以每日平均渔获量(CPUE_{day})作为资源丰度,利用分位数的方法划分旺汛期;结合灰色波形预测方法,对旺汛期日期序列建立灰色波形预测模型群[GM(1,1)模型],对旺汛期出现的时间进行预测。结果显示,北太平洋柔鱼渔汛时间最早为 5 月 12 日,一直持续到年终;旺汛期为每年的 8—11 月,第 1 旺汛期基本在 8 月出现。GM(1,1)模型的平均相对误差为 6.83%,旺汛期日期序列预测的平均相对误差为 8.19%,验证数据的平均相对误差为 15.82%,表明此模型可预测北太平洋柔鱼的旺汛期。研究结果可为远洋渔业企业的高效率、合理化的科学生产提供技术支撑。

关键词 柔鱼; 渔汛; 旺汛期; 灰色波形预测

中图分类号 S931 **文献标识码** A **文章编号** 2095-9869(2021)04-0001-08

柔鱼(*Ommastrephes bartramii*)为北太平洋海域重要的经济头足类之一(王尧耕等, 2005; 陈新军, 2019a、b),我国自 1993 年开发和利用柔鱼资源以来,年产量稳定在 6~10 万 t 之间,是我国远洋渔业的重要捕捞对象(Chen *et al.*, 2008; 陈新军等, 2019 a、b)。了解北太平洋柔鱼渔汛特征并预测其旺汛期是开展其渔情预报工作的重要部分,有助于远洋渔业企业进行科学生产,节约成本,提高捕捞效率(陈新军等, 2013)。目前,有关学者已在资源量时空分布(唐峰华

等, 2014; 易倩等, 2017)、资源量预测(汪金涛等, 2014; 高雪等, 2017)、资源评估管理(曹杰等, 2010; 刘金立等, 2019)等方面进行了较为全面的研究,但对于渔汛特征的分析、总结及旺汛期预测方面的研究甚少。

灰色系统理论是一门不确定系统理论的学科,其优点在于允许样本数量较少且服从任意分布,这对于缺乏数据的渔业科学来说,有很大的应用与发展前景(陈新军, 2003)。目前,此方法已在渔场时空分布(侯庆联等, 2019)、资源丰度预测(解明阳等, 2018)等

* 国家重点研发计划(2019YFD0901404)、国家自然科学基金面上项目(NSFC41876141)和上海市科技创新行动计划(19DZ1207502)共同资助 [This work was supported by National Key Research and Development Plan (2019YFD0901404), NSFC General Program (NSFC41876141), and Science and Technology Innovation Action Plan of Shanghai (19DZ1207502)].
解明阳, E-mail: 772966694@qq.com

① 通讯作者: 陈新军, 教授, E-mail: xjchen@shou.edu.cn

收稿日期: 2020-02-02, 收修改稿日期: 2020-03-23

方面取得较好的效果。在灰色系统中,灰色波形预测是针对周期性波动序列的一种预测方法,它以GM(1,1)模型群为基础,可对波动幅度大且数据量少的时序序列进行中长期预测(陈彦晖等,2017)。北太平洋柔鱼为“一年生”的种类(曹杰等,2010),其渔汛以年为周期,年间变化剧烈,运用传统的统计分析方法很难对其渔汛变化进行较好的分析与预测。为此,本研究拟采用2013—2017年渔业生产统计数据,重点分析北太平洋柔鱼渔汛特征,建立渔汛日期序列,利用灰色波形预测模型对柔鱼旺汛期进行预测,为北太平洋渔业生产企业的科学生产提供技术支撑。

1 材料与方法

1.1 数据来源

渔业生产统计数据来自上海海洋大学鱿钓技术组,时间为2013—2017年,空间范围为 $35^{\circ}\sim 45^{\circ}\text{N}$ 、 $140^{\circ}\sim 179^{\circ}\text{E}$,统计内容包括日期、经度、纬度、日产量和作业渔船数量,空间分辨率为 $1^{\circ}\times 1^{\circ}$ 。以单位捕捞努力量渔获量(catch per unit effort, CPUE)来表征每日的柔鱼资源丰度,公式为:

$$\text{CPUE}_{\text{day}} = \frac{\text{catch}}{\text{effort}}$$

式中,catch为每日的总渔获量,effort为每日捕捞的作业船数,单位为t/(船·d)。

1.2 渔汛时间确定及旺汛期的划分

根据每年统计的 CPUE_{day} ,若连续3d的 CPUE_{day} 均大于0,则定义为渔汛开始(刘凯等,2012)。由于柔鱼为短生命周期种类,每年的产量受海洋气候环境影响且波动较大(余为等,2013),所以,根据每一年当年的 CPUE_{day} 序列情况,计算 CPUE_{day} 序列的四分位数($Q_1\sim Q_3$),取序列的第3分位数 Q_3 (大于75%的 CPUE_{day} 值)定义为高产 CPUE_{day} 值,若高产 CPUE_{day} 值连续出现3d以上,则第1天为旺汛期开始;若之后未连续出现3d以上高产 CPUE_{day} 值,则这3d中的第1天为旺汛期结束(陈芄等,2016)。

1.3 旺汛期预测模型

利用灰色波形预测模型对柔鱼旺汛期进行预测(陈彦晖等,2016)。具体方法如下:

数据的选取:根据旺汛期的划分结果,从渔汛时间中找出旺汛期开始的序号组成旺汛期日期序列。设旺汛期日期序列 $X=(x(1),x(2),\dots,x(n))$,则称序列 X 的 n 段折线图形为 $x_n=x(n)+(t-n)[x(n+1)-x(n)]$,即序列 $X=\{x_n=x(n)+(t-n)[x(n+1)-x(n)]|n=1,2,\dots,m-1\}$ 。

等高线的选取:设 $\sigma_{\max} = \max_{1 \leq n \leq m} \{x(n)\}$, $\sigma_{\min} = \min_{1 \leq n \leq m} \{x(n)\}$,在 σ_{\max} 与 σ_{\min} 之间选取 $s+1$ 个阈值: $\xi_0, \xi_1, \dots, \xi_s$,使其满足 $\forall \xi \in [\sigma_{\min}, \sigma_{\max}]$,且: $\xi_0 = \sigma_{\min}, \dots, \xi_i = \frac{i}{s}(\sigma_{\max} - \sigma_{\min}) + \sigma_{\min}, \dots, \xi_s = \sigma_{\max}$;则 $X = \xi_i (i=1,2,\dots,s)$ 为折线图 X 的 $s+1$ 条等间隔的等高线。

等高时刻序列的选取:等高线 $X = \xi_i$ 与渔汛旺汛期日期序列的折线图相交,若 X 的第 k 段折线上有等高点,则坐标为 $\left(k + \frac{\xi - x(k)}{x(k+1) - x(k)}, \xi\right)$,设 $q(k) = k + \frac{\xi - x(k)}{x(k+1) - x(k)} (k=1,2,\dots,m)$,则称 $Q_i=(q(1),q(2),\dots,q(m))(k=0,1,\dots,s)$ 为等高时刻序列。

对等高时刻序列建立灰色波形预测模型[Grey Model(1,1),简称GM(1,1)]:对每条等高线上的等高时刻序列 $Q_i=[q(1),q(2),\dots,q(m)] (k=0,1,\dots,s)$ 分别建立GM(1,1)模型,得到预测值。GM(1,1)模型中数字1表示模型为一阶模型, $N=i+1 (i$ 为因子的个数),计算方法见刘思峰等(2014)。

1.4 模型的检验

检验模型的好坏主要包括模型拟合精度与预测精度。GM(1,1)模型中精度检验主要有残差检验、后验差检验和发展系数 a (李燕,2012)。后验差检验按照残差的概率分布进行检验,记原始序列标准差 S_1 :

$$S_1 = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^n [x^{(0)}(k) - \bar{x}^{(0)}]^2}{n-1}}$$

绝对误差序列标准差 S_2 :

$$S_2 = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^n [\varepsilon(k) - \bar{\varepsilon}]^2}{n-1}}$$

方差比 C :

$$C = \frac{S_2}{S_1}$$

小误差概率 P :

$$P = p\{|\varepsilon(k) - \bar{\varepsilon}| < 0.6745S_1\}, k=1,2,\dots,n$$

残差和方差比越小,模型的精度越好。发展系数 a 反映主因素与各子因素间的协调程度。 $-a \leq 0.3$ 时,模型用于中长期预测; $0.3 < -a \leq 0.5$ 时,用于短期预测(刘思峰等,2000)。模型精度检验等级见表1(李燕,2012)。

2 结果

2.1 渔汛特征分析

2013—2017 年, 北太平洋柔鱼渔汛最早为 5 月 12 日(2017 年), 最晚为 12 月 31 日(2014—2016 年), 主汛期为 6—11 月(图 1)。单船全汛作业天数范围为 194~224 d, 平均值为 213 d; CPUE_{day} 范围为 0.13~8.05 t/(船·d), 平均值为 1.82 t/(船·d)。各月的 CPUE_{day} 平均值变化趋势总体上一致; 6 月和 7 月 CPUE_{day} 平均值相对较低, 而 8—10 月 CPUE_{day} 平均值则相对较高, 11 月 CPUE_{day} 平均值各个年份有所不同(图 2)。对年间和月间的 CPUE_{day} 平均值进行方差分析, 结果显

示, 年间 CPUE_{day} 值均无显著差异($F=2.540$, $df_1=4$, $df_2=25$, $P>0.05$), 月间 CPUE_{day} 值差异明显($F=3.613$, $df_1=4$, $df_2=25$, $P<0.01$)。

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	方差比 C Variance ratio C	小误差概率 P Small error probability P
I 级(好) Class I (Good)	0.35	0.95
II 级(合格) Class II (Passed)	0.50	0.80
III 级(勉强) Class III (Barely)	0.65	0.70
IV 级(不合格) Class IV (Not passed)	0.80	0.60

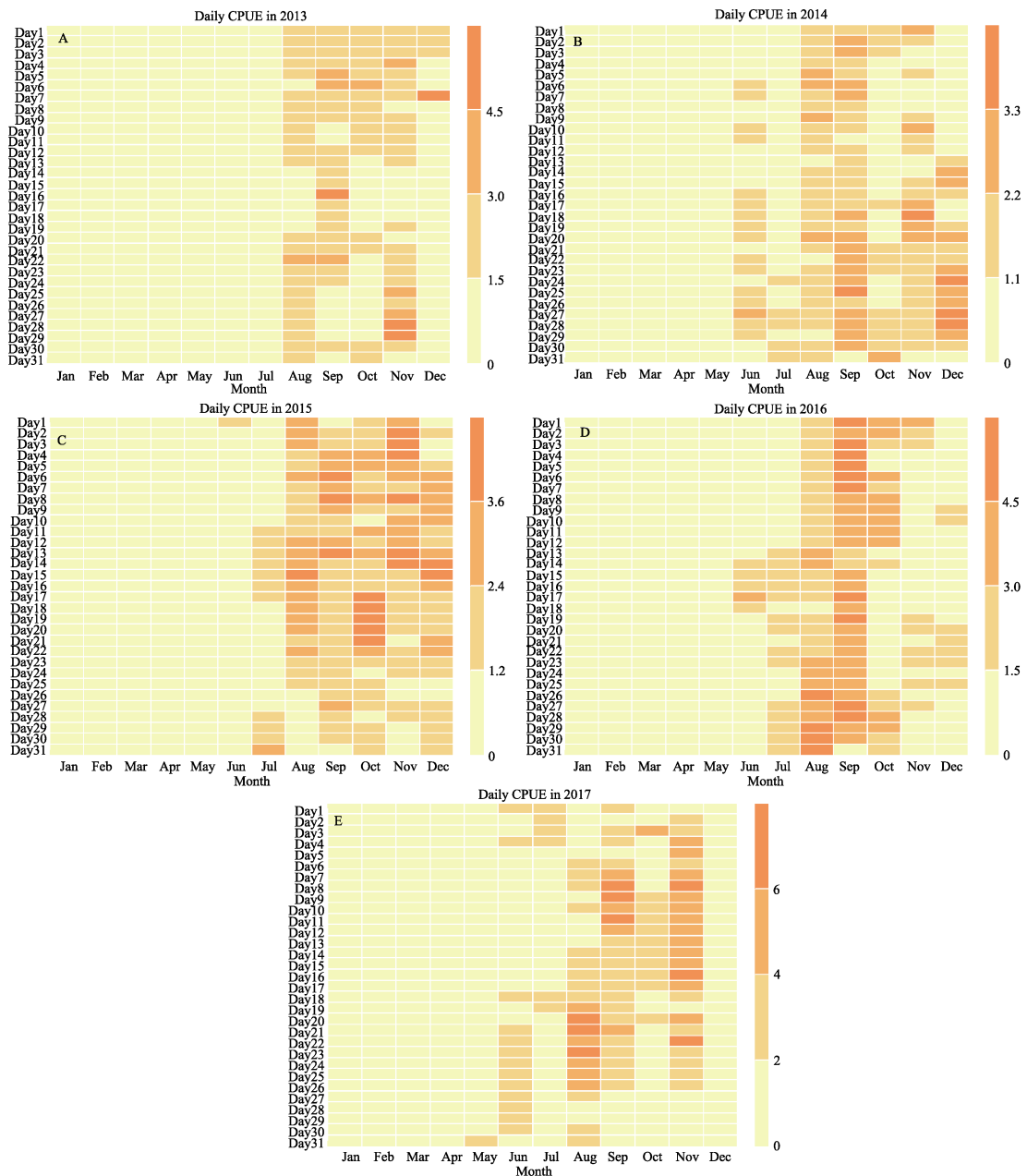


图 1 2013—2017 年北太平洋柔鱼每日单位捕捞努力量渔获量分布状况
Fig.1 CPUE_{day} distribution of *O. bartramii* from 2013 to 2017

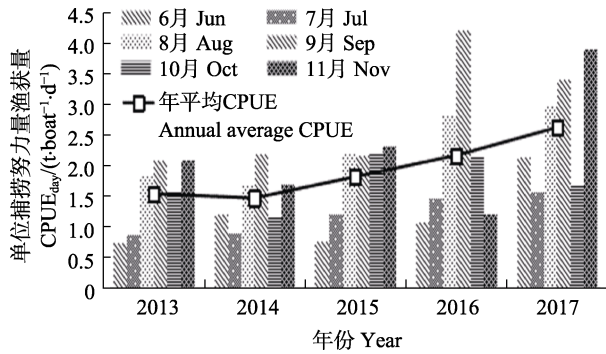


图2 2013—2017年北太平洋柔鱼主汛期各月 CPUE_{day} 平均值分布状况

Fig.2 Monthly average CPUE_{day} distribution of *O. bartramii* in main fishing season from 2013 to 2017

2.2 旺汛期分析

为方便旺汛期划分与预测, 将主汛期按照数字1~183从小到大排列, 组成日期序列, 即数字1(6月1日)、数字2(6月2日)、...、数字183(11月31日)。

根据每年 CPUE_{day} 序列, 2013—2017 年的高产 CPUE_{day} 值分别为 2.07、1.91、2.51、2.86、3.20 t/(船·d)。从各年旺汛期特征来看(表 2), 第 1 汛期均在 8 月出现, 且基本上为 8 月的下旬, 9、10、11 月均有旺汛期出现。各年出现的旺汛期数量除了 2016 年仅出现 1 个旺汛期(周期持续 51 d)以外, 其他年份均出现至少 4 个旺汛期, 2013 年最多, 出现 7 个旺汛期。各个旺汛期的天数不同, 最少为 3 d (2013 年、2015 年第 1 汛), 最多为 51 d (2016 年第 1 汛), 平均天数为 10 d。各个旺汛期的平均 CPUE_{day} 均在 1.99 t/(船·d) 以上, 最高 CPUE_{day} 为 8.05 t/(船·d) (2017 年第 4 汛)。总体上(除 2017 年), 每年各个旺汛期随着时间的增加, 平均 CPUE_{day} 呈增加的趋势。

2.3 预测模型的建立与检验

根据 2013—2015 年旺汛期的日期序列, 划分了 10 条等高线 $X(X_0 \sim X_9)$ 。由于 GM(1,1) 建模需要至少 4 个数据, 即等高线与折线图的交点至少 4 个, 因此,

表 2 2013—2017 年北太平洋柔鱼旺汛期特征

Tab.2 Features of main fishing season for *O. bartramii* from 2013 to 2017

年份 Year	旺汛期[月-日范围(日期序列)] Main fishing season [month-day range (date sequence)]	天数 Days	平均 CPUE _{day} Average CPUE _{day}	最高 CPUE _{day} Highest CPUE _{day}
2013	第 1 汛 08-22—08-24 (83~85)	3	2.57	3.04
	第 2 汛 09-03—09-08 (95~100)	6	2.58	3.13
	第 3 汛 09-12—09-17 (104~109)	6	2.76	4.61
	第 4 汛 09-21—09-24 (113~116)	4	2.69	3.57
	第 5 汛 10-04—10-12 (126~134)	9	2.60	3.41
	第 6 汛 11-03—11-06 (156~159)	4	2.61	3.21
	第 7 汛 11-25—11-30 (178~183)	6	3.65	5.07
2014	第 1 汛 08-04—08-10 (65~71)	7	1.99	2.31
	第 2 汛 08-17—08-20 (78~81)	4	2.14	2.63
	第 3 汛 09-01—09-08 (93~100)	8	2.23	2.49
	第 4 汛 09-16—10-02 (108~124)	17	2.43	3.54
	第 5 汛 11-17—11-21 (170~174)	5	2.78	3.75
2015	第 1 汛 08-01—08-03 (62~64)	3	2.89	3.46
	第 2 汛 08-12—08-20 (73~81)	9	3.11	3.71
	第 3 汛 09-04—09-13 (96~105)	10	3.11	4.29
	第 4 汛 10-17—10-22 (139~145)	6	3.59	3.92
	第 5 汛 11-01—11-14 (154~168)	14	3.21	4.06
2016	第 1 汛 08-23—10-12 (84~134)	51	4.01	5.84
2017	第 1 汛 08-19—08-26 (80~87)	8	5.23	6.65
	第 2 汛 09-06—09-15 (98~107)	10	5.17	6.34
	第 3 汛 09-19—09-22 (111~114)	4	3.87	4.66
	第 4 汛 11-02—11-25 (155~178)	24	4.56	8.05

表 3 不同等高线 GM(1,1)模型拟合结果及相关参数
Tab.3 GM (1,1) model fitting results and related parameters of different contour lines

等高线 X Contour lines X	GM(1,1)模型拟合等高序列结果 Fitting contour sequence results by GM(1,1) model					平均相对 误差 Average relative error	方差比 C Variance ratio C	发展系数 a Development coefficient a	小误差 概率 P Small error probability P
X ₂ =87.78	等高时刻序列	1.40	7.80	9.65	12.76	1.74	0.04	-0.25	1.00
	GM(1,1)模型	1.40	7.62	9.78	12.57				
X ₃ =100.67	等高时刻序列	2.63	7.68	10.51	12.64	2.72	0.08	-0.24	1.00
	GM(1,1)模型	2.63	7.91	10.03	12.72				
X ₄ =113.56	等高时刻序列	4.04	7.57	11.09	12.52	5.77	0.19	-0.23	1.00
	GM(1,1)模型	4.04	8.09	10.17	12.80				
X ₅ =126.44	等高时刻序列	5.01	7.46	11.30	12.40	7.21	0.26	-0.23	1.00
	GM(1,1)模型	5.01	8.11	10.18	12.77				
X ₆ =139.33	等高时刻序列	5.44	7.34	11.51	12.28	8.66	0.33	-0.22	1.00
	GM(1,1)模型	5.44	8.13	10.18	12.74				
X ₇ =152.22	等高时刻序列	5.87	7.23	11.71	12.16	10.12	0.39	-0.22	1.00
	GM(1,1)模型	5.87	8.15	10.18	12.71				
X ₈ =165.11	等高时刻序列	6.41	7.11	11.92	12.05	11.58	0.47	-0.22	1.00
	GM(1,1)模型	6.41	8.17	10.18	12.68				

表 4 旺汛期 GM(1,1)预测模型的相对误差
Tab.4 Relative errors of the GM (1,1) prediction model in main fishing season

旺汛期 Main fishing season	日期序列真实值 Actual value of date sequence	日期序列预测值 Fitted value of date sequence	相对误差 Relative error
2014 年第 1 汛 1st fishing season in 2014	65.00	71.07	9.34
2014 年第 2 汛 2nd fishing season in 2014	78.00	77.90	0.12
2014 年第 3 汛 3rd fishing season in 2014	93.00	97.54	4.88
2014 年第 4 汛 4th fishing season in 2014	108.00	160.93	49.01
2014 年第 5 汛 5th fishing season in 2014	170.00	170.51	0.30
2015 年第 2 汛 2nd fishing season in 2015	93.00	98.75	6.18
2015 年第 3 汛 3rd fishing season in 2015	108.00	135.50	25.46

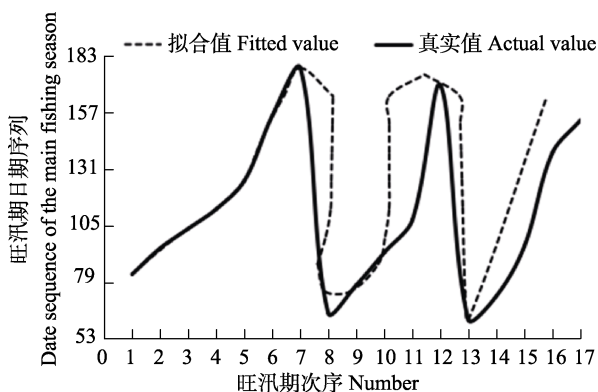


图 3 北太平洋柔鱼渔汛预测模型日期序列
拟合值与真实值的比较

Fig.3 Comparison of fitted and actual values of date sequence based on main fishing season forecasting model of *O. bartramii*

只对符合以上条件的 7 组等高序列(X₂~X₈)进行 GM(1,1)建模。从模型的拟合结果来看(表 3), 平均相对误差在 11.58%以内, 等高线 X₂ 的 GM(1,1)模型拟合效果最好, 为 1.74%。从模型的相关参数来看, 小误差概率 P 均为 1.00 (>0.95); 等高线 X₇ 和等高线 X₈ 模型的方差比 C<0.50, 其他模型的方差比均符合 C<0.35, 模型精度等级为 I 级和 II 级。从模型的发展系数 a 来看, 所有模型均可用于中长期预测 (-a≤0.3)。

从旺汛期 GM(1,1)预测模型结果来看(图 3), 旺汛期拟合效果较好, 除 2014 年第 4 汛的相对误差较大外(相对误差为 49.01%), 其他旺汛期拟合的相对误差在 9.34%以内, 平均相对误差为 12.73%, 2015 年旺汛期验证的平均相对误差为 15.82% (表 4)。

3 分析与讨论

柔鱼是暖水性种类,其渔汛变化与季节性洄游有关(陈新军等,2001)。冬春生的柔鱼早期幼体生活在35°N以南的黑潮逆流海区,一直生长到稚柔鱼,之后稚柔鱼向北洄游至黑潮锋面,5—8月末,成熟的柔鱼向北或东北洄游进入35°~40°N黑潮和亲潮交汇区。8—10月性成熟和性未成熟的柔鱼主要分布在40°~46°N亲潮前锋区及其周围海域,它在北部海区滞留的时间比过去发育阶段的任何时期都要长(马金等,2001),因此,旺汛期为8—11月,且第1汛期通常在8月出现。而渔汛时间的迟早直接受海洋环境因子的影响特别是表温海流等因素(陈新军,2016)。邵全琴等(2005)和Chen等(2012)研究表明,黑潮和亲潮的强弱变化对柔鱼的渔汛有影响。黑潮势力较强的年份,海表温度(SST)上升显著,柔鱼幼体会随着黑潮较早来到索饵场,导致渔汛提前,亲潮势力较强的年份则相反。此外,厄尔尼诺和拉尼娜事件也会影响柔鱼栖息地环境因子,进而影响渔汛的早晚(余为等,2015)。由于拉尼娜事件会使柔鱼产卵场和育肥场海表温度上升较高,有利于柔鱼资源补充;当厄尔尼诺事件发生时,温度和叶绿素急剧下降,不利于柔鱼生长。从旺汛期分析结果来看(表2),2016年旺汛期第1汛的时间要比其他年份晚且结束提前,这可能是因为2015年发生的强厄尔尼诺事件导致产卵场的环境变化不利于仔稚鱼发育,使得柔鱼到达索饵场的时间推迟。而其他年份中,2014、2015年旺汛期第1汛的时间较早,2013、2017年较晚,是因为分别受到弱厄尔尼诺和弱拉尼娜事件的影响,但影响不明显。另外,渔汛时间变化直接由海洋渔业生产安排所决定,极端气候事件会影响渔捞作业的效率,降低单船的捕捞渔获量,从而导致旺汛期时间缩短。

本研究运用灰色波形预测方法,通过建立GM(1,1)模型,对北太平洋柔鱼旺汛期进行了预测并得到了较好的结果。从拟合值与真实值的关系来看(图3),CPUE的变化趋势基本一致,从预测模型的参数来看模型,精度较好(表3),可用作中长期预报。但此模型仍然存在着一些不足,从2015年预测结果(表4)来看,除了第1汛为建模数据的已知样本外,只预测出了额外2个旺汛期,这与2015年真实的情况比较,少了2个旺汛期,原因是基于广义等高线建立的灰色波形模型只能对已出现的波形最值进行波动趋势的预测,2015年第2汛由于出现时间较早,所处的阈值等高线序列数据不足4个,所以无法预测出来。同时,在预测结果中出现了误差异常的现象(表4),如

2014年第4汛相对误差非常大,为49.01%,原因是2014年第4汛与第5汛的预测结果接近重合,导致第4汛的真实结果并未展现出来,最终2014年的旺汛期只预测出第1、2、3、5汛4个汛期,2015年第3汛预测结果误差较大的原因同上(2015年第3汛预测结果与第4汛接近重合),故此模型只能较好地预测出旺汛期开始的日期序列,但无法准确预测出汛期的个数和次序,从而导致误差异常值的出现。此外,由于旺汛期时间序号的增大,后面月份预测的相对误差虽然结果较好,但数值上的误差较小并不代表着真实旺汛期相差天数较少,这是因为计算残差时分母基数的增大导致最终结果变小。

本研究对西北太平洋柔鱼渔汛预报进行尝试,取得了较好的预报效果,这一研究方法也可作为渔情预报学的重要补充。但是,本研究中只考虑了渔业生产数据的变化,未加入影响其资源丰度变化的气候与海洋环境因子,建议在今后的渔汛预测研究中,有针对性地加入对资源渔场有显著影响的气候变化与海洋环境因子,尝试采用人工智能等方法建立更为全面的渔汛预报模型。

参 考 文 献

- CAO J, CHEN X J, LIU B L, *et al.* Review on the relationship between stock recruitment of squid and oceanographic environment. *Journal of Shanghai Ocean University*, 2010, 19(2): 232–239 [曹杰, 陈新军, 刘必林, 等. 鱿鱼类资源量变化与海洋环境关系的研究进展. *上海海洋大学学报*, 2010, 19(2): 232–239]
- CAO J, CHEN X J, TIAN S Q, *et al.* Assessment of western winter-spring stock of neon flying squid (*Ommastrephes bartramii*) in the Northwest Pacific Ocean based on cohort analysis. *Periodical of Ocean University of China (Natural Sciences)*, 2010, 40(3): 37–42 [曹杰, 陈新军, 田思泉, 等. 基于世代分析法的西北太平洋柔鱼冬春生西部群体资源评估. *中国海洋大学学报(自然科学版)*, 2010, 40(3): 37–42]
- CHEN P, WANG J T, CHEN X J. Analysis on the fishing season and fishing ground of anchoveta in the coastal waters of Peru. *Marine Fisheries*, 2016, 38(5): 449–458 [陈芑, 汪金涛, 陈新军. 秘鲁沿岸秘鲁鳀渔场及渔汛分析. *海洋渔业*, 2016, 38(5): 449–458]
- CHEN X J, CAO J, CHEN Y, *et al.* Effect of the Kuroshio on the spatial distribution of the red flying squid *Ommastrephes bartramii* in the Northwest Pacific Ocean. *Bulletin of Marine Science*, 2012, 88(1): 63–71
- CHEN X J, CHEN Y, TIAN S Q, *et al.* An assessment of the west winter-spring cohort of neon flying squid (*Ommastrephes bartramii*) in the Northwest Pacific Ocean. *Fisheries Research*, 2008, 92(2/3): 221–230
- CHEN X J, GAO F, GUAN W J, *et al.* Review of fishery forecasting technology and its models. *Journal of Fisheries*

- of China, 2013, 37(8): 1270–1280 [陈新军, 高峰, 官文江, 等. 渔情预报技术及模型研究进展. 水产学报, 2013, 37(8): 1270–1280]
- CHEN X J, QIAN W G, LIU B L, *et al.* Productive survey and fishery for major pelagic economic squid in the world. *Journal of Shanghai Ocean University*, 2019a, 28(3): 344–356 [陈新军, 钱卫国, 刘必林, 等. 主要经济大洋性鱿鱼资源渔场生产性调查与渔业概况. 上海海洋大学学报, 2019a, 28(3): 344–356]
- CHEN X J, TIAN S Q. Analysis on fishing ground of *Ommastrephes bartramii* in the Northwest Pacific Ocean. *Fishery Modernization*, 2001(3): 3–6 [陈新军, 田思泉. 西北太平洋海域柔鱼渔场分析探讨. 渔业现代化, 2001(3): 3–6]
- CHEN X J. Development status of world cephalopod fisheries and suggestions for squid jigging fishery in China. *Journal of Shanghai Ocean University*, 2019b, 28(3): 321–330 [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. 上海海洋大学学报, 2019b, 28(3): 321–330]
- CHEN X J. *Fishery forecast science*. Beijing: China Ocean Press, 2016 [陈新军. 渔情预报学. 北京: 海洋出版社, 2016]
- CHEN X J. *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 Y H, GAN A P. Improvement and application of grey wave forecasting model. *Statistics and Decision*, 2016(6): 75–78 [陈彦晖, 甘爱平. 灰色波形预测模型的改进及应用. 统计与决策, 2016(6): 75–78]
- CHEN Y H, LIU B. Grey wave forecasting model with generalized contour lines and its application. *Chinese Journal of Management Science*, 2017, 25(8): 134–139 [陈彦晖, 刘斌. 基于广义等高线的灰色波形预测模型及其应用. 中国管理科学, 2017, 25(8): 134–139]
- 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. *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, 2017, 39(6): 55–61]
- HOU Q L, CHEN X J, WANG J T. Study on spatio-temporal distribution of *Illex argentinus* in southwest Atlantic Ocean. *Marine Sciences*, 2019, 43(5): 103–109 [侯庆联, 陈新军, 汪金涛. 西南大西洋阿根廷滑柔鱼资源时空分布研究. 海洋科学, 2019, 43(5): 103–109]
- LI Y. Research and application of the grey forecast model. Master's Thesis of Zhejiang Sci-Tech University, 2012 [李燕. 灰色预测模型的研究及其应用. 浙江理工大学硕士研究生学位论文, 2012]
- LIU J L, CHEN X J. Bibliometrics research of document on the theme of oceanic squid jigging fishery in the world. *Journal of Shanghai Ocean University*, 2019, 28(3): 331–343 [刘金立, 陈新军. 世界大洋性鱿钓渔业研究评述. 上海海洋大学学报, 2019, 28(3): 331–343]
- LIU K, DUAN J R, XU D P, *et al.* Present situation of *Coilia nasus* population features and yield in Yangtze River estuary waters in fishing season. *Chinese Journal of Ecology*, 2012, 31(12): 3138–3143 [刘凯, 段金荣, 徐东坡, 等. 长江口刀鲚渔汛特征及捕捞量现状. 生态学杂志, 2012, 31(12): 3138–3143]
- LIU S F, DENG J L. Available range of GM(1,1) model. *Systems Engineering-Theory and Practice*, 2000(5): 121–124 [刘思峰, 邓聚龙. GM(1,1)模型的适用范围. 系统工程理论与实践, 2000(5): 121–124]
- LIU S F, YANG Y J, WU L F, *et al.* *Grey system theory and its application*. Beijing: China Science Press, 2014 [刘思峰, 杨英杰, 吴利丰, 等. 灰色系统理论及其应用. 北京: 科学出版社, 2014]
- MA J, CHEN X J, LIU B L, *et al.* Review of fisheries biology of neon flying squid (*Ommastrephes bartramii*) in the North Pacific Ocean. *Journal of Shanghai Ocean University*, 2011, 20(4): 563–570 [马金, 陈新军, 刘必林, 等. 北太平洋柔鱼渔业生物学研究进展. 上海海洋大学学报, 2011, 20(4): 563–570]
- NISHIKAWA H, TOYODA T, MASUDA S, *et al.* Wind-induced stock variation of the neon flying squid (*Ommastrephes bartramii*) winter-spring cohort in the subtropical North Pacific Ocean. *Fisheries Oceanography*, 2015, 24(3): 229–241
- SHAO Q Q, MA W W, CHEN Z Q, *et al.* Relationship between Kuroshio meander pattern and *Ommastrephes bartramii* CPUE in Northwest Pacific Ocean. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2005, 36(2): 111–122 [邵全琴, 马巍巍, 陈卓奇, 等. 西北太平洋黑潮路径变化与柔鱼 CPUE 的关系研究. 海洋与湖沼, 2005, 36(2): 111–122]
- TANG F H, JIN S F, ZHANG S M, *et al.* Study for marine environmental elements on spatio-temporal distribution of neon flying squid in the north Pacific fishing ground. *China Environmental Science*, 2014, 34(8): 2093–2100 [唐峰华, 靳少非, 张胜茂, 等. 北太平洋柔鱼渔场时空分布与海洋环境要素的研究. 中国环境科学, 2014, 34(8): 2093–2100]
- WANG J T, CHEN X J, LEI L, *et al.* Comparisons between two forecasting models of fishing ground based on frequency statistics and neural network for *Ommastrephes bartramii* in the North Pacific Ocean. *Journal of Guangdong Ocean University*, 2014, 34(3): 82–87 [汪金涛, 陈新军, 雷林, 等. 基于频度统计和神经网络的北太平洋柔鱼渔场预报模型比较. 广东海洋大学学报, 2014, 34(3): 82–87]
- WANG Y G, CHEN X J. *Commercial oceanic ommastrephid squid of the world and its fishery*. Beijing: China Ocean Press, 2005: 152–153 [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: 152–153]
- XIE M Y, CHEN X J, WANG J T. Study on the change of the abundance index of winter-spring cohort of Japanese flying squid (*Todarodes pacificus*) in the Northwest Pacific Ocean based on grey system theory. *Marine Fisheries*, 2018, 40(6): 641–648 [解明阳, 陈新军, 汪金涛. 基于灰色系统的太平洋褶柔鱼冬春生群资源丰度变化研究. 海洋渔业, 2018, 40(6): 641–648]
- YI Q, YU W, CHEN X J. Habitat suitability variations of *Ommastrephes bartramii* in the Northwest Pacific. *Marine*

- Fisheries, 2019, 41(3): 257–265 [易倩, 余为, 陈新军. 西北太平洋柔鱼栖息地适宜性变动研究. 海洋渔业, 2019, 41(3): 257–265]
- YU W, CHEN X J, YI Q. Review on the early life history of neon flying squid *Ommastrephes bartramii* in the North Pacific. Journal of Shanghai Ocean University, 2013, 22(5): 755–762 [余为, 陈新军, 易倩, 等. 北太平洋柔鱼早期生活史研究进展. 上海海洋大学学报, 2013, 22(5): 755–762]
- YU W, CHEN X J. 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]

(编辑 冯小花)

Analysis of the Fishing Seasons Characteristics of *Ommastrephes bartramii* and Prediction of the Main Fishing Seasons Based on the Grey System Theory

XIE Mingyang¹, CHEN Xinjun^{1,2,3}①

(1. College of Marine Sciences, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 2. Laboratory for Marine Fisheries Science and Food Production Processes, Pilot National Laboratory for Marine Science and Technology (Qingdao), Qingdao, Shandong 266071, China; 3. Key Laboratory of Sustainable Exploitation of Oceanic Fisheries Resources, Ministry of Education; National Engineering Research Center for Oceanic Fisheries; Key Laboratory of Oceanic Fisheries Exploration, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

Abstract *Ommastrephes bartramii*, a neon flying squid, is an economically important oceanic cephalopod, which is widely distributed in the North Pacific Ocean. In China, it is one of the most important fishing targets of distant-water squid jigging vessels. Because of its short life cycle, the fishing seasons and its main fishing seasons have obvious year difference. Therefore, analyzing the characteristics of the *O. bartramii* fishing season and predicting the main fishing season are helpful for the rational development and sustainable harvest of *O. bartramii*. We analyzed fishery data for neon flying squid from China squid jigging fisheries during 2013 to 2017. The daily catch per fishing effort (CPUE_{day}) was used to provide the abundance index and was considered as an indicator for judging the division of main fishing seasons. The quantile method was used to identify the main fishing seasons. And the grey wave forecasting method is also used to establish the grey model group [GM (1,1) model] based on the date series of the actual main fishing seasons. The results showed that the earliest catch of neon flying squid is May 12 with catches lasting until the end of the year. The primary period of the fishing season is from August to November each year. The first main fishing peak occurs in August. The average relative error of the grey wave forecasting GM (1,1) model group is 6.83%, the average relative error of the date series forecast during the main fishing season is 8.19%, and the average relative error of the validation data is 15.82%. It is concluded that this grey model can be used to predict the main fishing season for neon flying squid in the North Pacific Ocean. The findings of this study not only provide technical support for efficient and rational capture of distant-water fishery enterprises, but also provide a useful tool for prediction of the main fishing seasons for marine capture fisheries.

Key words *Ommastrephes bartramii*; Fishing seasons; Main fishing season; Grey wave forecasting

① Corresponding author: CHEN Xinjun, E-mail: xjchen@shou.edu.cn