

## 基于灰色系统理论的西北太平洋柔鱼CPUE关联聚类分析

解明阳, 陈新军

### Correlation clustering analysis of CPUE of neon flying squid (*Ommastrephes bartramii*) in the northwest Pacific based on grey system theory

XIE Mingyang, CHEN Xinjun

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.12024/jsou.20191202880>

#### 您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

#### 基于最大熵模型模拟西北太平洋柔鱼潜在栖息地分布

Modeling the potential distribution of the neon flying squid (*Ommastrephes bartramii*) in the Northwest Pacific Ocean based on a MaxEnt model

中国水产科学. 2020, 27(3): 336 <https://doi.org/10.3724/SP.J.1118.2020.19245>

#### 基于耳石微结构的西北太平洋柔鱼群体结构、年龄与生长的研究

Population structure, age and growth of neon flying squid (*Ommastrephes bartramii*) in the northwest Pacific Ocean based on statolith microstructure

水产学报. 2011, 35(8): 1191 <https://doi.org/10.3724/SP.J.1231.2011.17409>

#### 日本以南黑潮流量对西北太平洋柔鱼渔场重心影响的滞后性分析

Effect of Kuroshio transport off southern Japan on fishing ground gravity of neon flying squid *Ommastrephes bartramii* in northwest Pacific Ocean based on time lag analysis

大连海洋大学学报. 2017, 32(1): 99 <https://doi.org/10.16535/j.cnki.dlhyxb.2017.01.017>

#### 基于空间相关性的西北太平洋柔鱼CPUE标准化研究

A study of incorporating spatial autocorrelation into CPUE standardization with an application to *Ommastrephes bartramii* in the northwest Pacific Ocean

水产学报. 2015, (5): 754 <https://doi.org/10.11964/jfc.20141109550>

#### 不同气候模态下西北太平洋柔鱼渔场环境特征分析

Analysis of variations in the environmental conditions on the fishing ground of neon flying squid (*Ommastrephes bartramii*) in the Northwestern Pacific Ocean under different climate modes

水产学报. 2017, 41(4): 525 <https://doi.org/10.11964/jfc.20150810010>

#### 西北太平洋柔鱼渔场重心变化及其与环境的关系

Variations of gravity centers of fishing ground for neon flying squid *Ommastrephes bartramii* in the northwest Pacific Ocean and its relation with marine environment

上海海洋大学学报. 2020, 29(6): 899 <https://doi.org/10.12024/jsou.20190802770>

文章编号: 1674-5566(2021)03-0536-10

DOI:10.12024/jso.20191202880

## 基于灰色系统理论的西北太平洋柔鱼 CPUE 关联聚类分析

解明阳<sup>1</sup>, 陈新军<sup>1,2,3,4,5</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, 上海 201306; 3. 国家远洋渔业工程技术研究中心, 上海 201306; 4. 大洋渔业资源可持续开发教育部重点实验室, 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:** 利用灰色关联聚类方法对 1998—2017 年 5—12 月柔鱼 (*Ommastrephes bartramii*) 的单位捕捞努力量渔获量 (CPUE) 进行聚类, 分析不同强度厄尔尼诺和拉尼娜事件以及环境因子对柔鱼 CPUE 的影响。结果表明: 年纬度向类群比年经度向类群的 CPUE 差异更明显, 月经度向类群比月纬度向类群更具有季节性; 强拉尼娜和弱拉尼娜事件集中的类群分类明显, 厄尔尼诺、中强度拉尼娜和正常年份分类较模糊, 年纬度向类群 CPUE 越高, 海表面温度距平值 (SSTA) 越高, 而叶绿素 a 质量浓度距平值 (CHLA) 越低。研究表明, 不同强度的异常气候事件对柔鱼 CPUE 影响不同, 强拉尼娜事件会使柔鱼 CPUE 骤增, 弱拉尼娜事件会使柔鱼 CPUE 略减, 而中强度以上的厄尔尼诺事件会使柔鱼 CPUE 大幅度下降。

**关键词:** 柔鱼; 单位捕捞努力量渔获量; 灰色关联聚类; 厄尔尼诺-拉尼娜事件; 环境因子

**中图分类号:** S 931 **文献标志码:** A

柔鱼 (*Ommastrephes bartramii*) 是大洋性头足类经济种类, 广泛分布于西北太平洋海域, 是我国鱿钓渔船的重要捕捞对象<sup>[1-2]</sup>。柔鱼是一种“生态机会主义”物种, 其中心渔场分布与资源量大小极易受到海洋气候和环境条件的影响<sup>[3]</sup>。已有研究表明, 柔鱼资源丰度的变化与环境因子有密切的关系, 例如海表面温度 (sea surface temperature, SST)<sup>[4]</sup>、叶绿素 a (chlorophyll a, *Chl. a*)<sup>[5]</sup> 质量浓度、海表面高度 (sea surface height, SSH)<sup>[6]</sup>、海表面盐度 (sea surface salinity, SSS)<sup>[7]</sup> 等; 此外, 柔鱼资源丰度的变化还会受到厄尔尼诺和拉尼娜事件<sup>[8]</sup> 的显著影响。厄尔尼诺和拉尼娜事件起源于太平洋中东部赤道海域出现的一股异常暖或冷的水团<sup>[9]</sup>, 其交替循环对北太平洋渔业尤其是短生命周期的头足类种群变化起着至关重要的作用<sup>[10]</sup>。已有研究<sup>[11]</sup> 表明拉尼娜事件发生时, SST 相对正常年份降低, 西北太平洋海域柔鱼适宜栖息地面积增加, 导致柔鱼产量变高, 厄尔尼诺事件发生时则相反。所以,

分析不同强度厄尔尼诺和拉尼娜事件对柔鱼资源丰度的影响, 为柔鱼资源评估和科学管理提供技术支撑。

灰色系统理论是一门不确定系统理论学科, 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领域来说有很大的应用前景<sup>[12]</sup>。目前, 在资源量预测<sup>[13-14]</sup>、渔场时空分布<sup>[15]</sup>、渔业水质评价<sup>[16]</sup> 和 CPUE 标准化<sup>[17]</sup> 等方面的研究已取得了较好的成果。本研究采用灰色系统中的灰色关联聚类对北太平洋柔鱼各年、各月资源丰度进行聚类, 分析各类群特征差异以及资源丰度与气候、环境因子的关系, 了解变化规律, 为柔鱼资源的可持续利用提供科学依据。

### 1 材料与方法

#### 1.1 渔业数据

渔业生产数据来自上海海洋大学鱿钓技术组, 时间为 1998—2017 年 5—12 月, 空间范围为 35°N ~ 45°N 和 140°E ~ 179°E, 统计内容包括日

收稿日期: 2019-12-17 修回日期: 2020-07-19

基金项目: 国家重点研发计划 (2019YFD0901404); 国家自然科学基金 (41876141); 上海市科技创新行动计划 (19DZ1207502)

作者简介: 解明阳 (1994—), 男, 硕士研究生, 研究方向为渔情预报。E-mail: 772966694@qq.com

通信作者: 陈新军, E-mail: xjchen@shou.edu.cn

期、经度、纬度、日产量和作业渔船,空间分辨率为  $1^\circ \times 1^\circ$ 。分别计算各年和各月每个渔区的单位捕捞努力量渔获量 (catch per unit effort, CPUE),其公式为

$$Y_{CPUE-y_{mij}} = \frac{\sum C_{ymij}}{\sum E_{ymij}} \quad (1)$$

式中:  $Y_{CPUE-y_{mij}}$  为某一渔区某年某月的单位捕捞努力量渔获量,  $t/(\text{船} \cdot \text{年})$  或  $t/(\text{船} \cdot \text{月})$ ;  $\sum C_{ymij}$  为某一个经度或纬度所有渔区内某年某月的累计渔获量,  $t$ ;  $\sum E_{ymij}$  为某一个经度或纬度所有渔区内某年某月的累计捕捞努力量,  $\text{船}$ ;  $y$  为年份;  $m$  为月份;  $i$  为经度;  $j$  为纬度。

### 1.2 环境数据

反演的遥感环境数据包括海表面温度和叶绿素 a 质量浓度,来源于 NOAA 的 Oceanwatch 网站 (<http://oceanwatch.pifsc.noaa.gov/erddap/index.html>),时间为 1998—2017 年,空间范围为产卵场和育肥场 2 个海域,产卵场海域数据时间 1—5 月,范围为  $20^\circ\text{N} \sim 30^\circ\text{N}$  和  $130^\circ\text{E} \sim 170^\circ$

$\text{E}^{[8]}$ ;育肥场海域数据时间 7—11 月,范围为  $35^\circ\text{N} \sim 50^\circ\text{N}$  和  $150^\circ\text{E} \sim 175^\circ\text{E}^{[8]}$ 。时间分辨率为月,空间分辨率为  $1^\circ \times 1^\circ$ 。同时计算产卵场与育肥场海域 SST 和 *Chl. a* 质量浓度的距平值 (sea surface temperature anomaly, SSTA; chlorophyll a anomaly, CHLA),分析它们与 CPUE 的关系。

### 1.3 气候事件的定义

根据美国 NOAA 气候预报中心 (<http://ggweather.com/enso/oni.htm>) 对厄尔尼诺和拉尼娜事件的定义,若 Niño3.4 区 SSTA 连续 5 个月滑动平均值超过  $+0.5^\circ\text{C}$  认为发生 1 次厄尔尼诺事件;若连续 5 个月低于  $-0.5^\circ\text{C}$  则认为发生一次拉尼娜事件。根据尼诺指数 (Ocean Niño index, ONI) 的大小可将厄尔尼诺和拉尼娜事件划分为不同强度 (表 1),若 ONI 处于各临界值区间内连续超过 3 个月,则认为发生此类强度的异常气候事件。本研究根据此定义将 1998—2017 年发生的异常气候事件按照强度进行划分 (表 2)。

表 1 厄尔尼诺和拉尼娜事件强度划分依据

Tab. 1 Definition of El Niño and La Niña events intensity division

种类 Category	超强拉尼娜事件 VSL	强拉尼娜事件 SL	中强度拉尼娜事件 ML	弱拉尼娜事件 WL	弱厄尔尼诺事件 WE	中强度厄尔尼诺事件 ME	强厄尔尼诺事件 SE	超强厄尔尼诺事件 VSE
尼诺指数 ONI	$(-\infty, -2.0]$	$(-2.0, -1.5]$	$(-1.5, -1.0]$	$(-1.0, -0.5]$	$[0.5, 1.0)$	$[1.0, 1.5)$	$[1.5, 2.0)$	$[2.0, +\infty)$

表 2 1998—2017 年不同强度厄尔尼诺和拉尼娜事件划分

Tab. 2 Classification of the El Niño and La Niña events intensity from 1998 to 2017

异常气候事件 Anomalous climate conditions	强度 Intensity	年份 Year
厄尔尼诺事件 El Niño events	弱	2004, 2006, 2009, 2014
	中	2002
	超强	2015
拉尼娜事件 La Niña events	弱	2000, 2005, 2008, 2016, 2017
	中	2011
	强	1998, 1999, 2007, 2010

### 1.4 灰色关联聚类

利用灰色关联聚类模型对北太平洋柔鱼资源丰度进行聚类<sup>[18]</sup>。设有  $m$  个观测对象,每个对象观测  $n$  个特征数据,得到序列如下:

$$X_1 = [x_1(1), x_1(2), \dots, x_1(n)]$$

$$X_2 = [x_2(1), x_2(2), \dots, x_2(n)]$$

.....

$$X_m = [x_m(1), x_m(2), \dots, x_m(n)] \quad (2)$$

观测对象  $X$  为 1998—2017 年各个年份和 5—12 月各个月份的 CPUE 序列,特征数据  $x$  为某一经度或纬度范围内某年某月的 CPUE 平均值。

令所有  $i \leq j, i, j = 1, 2, \dots, m$ , 计算  $X_i$  与  $X_j$  的灰色绝对关联度  $\varepsilon_{ij}^{[18]}$ , 得到关联系数矩阵如下:

$$A = \begin{pmatrix} \varepsilon_{11} & \varepsilon_{12} & \dots & \varepsilon_{1m} \\ & \varepsilon_{22} & \dots & \varepsilon_{2m} \\ & & \dots & \dots \\ & & & \varepsilon_{ij} \end{pmatrix} \quad (3)$$

设临界值  $r (r > 0.5)$ , 当  $\varepsilon_{ij} \geq r (i \neq j)$  时, 则视为  $X_j$  与  $X_i$  为同类特征。

## 2 结果

### 2.1 产量和 CPUE 变化

1998—2017 年产量和 CPUE 年间变化显著 (图 1): 20 年的年平均产量为 3.40 万 t, 1998 年

产量最高为 8.10 万 t, 2012 年产量最低为 0.06 万 t; 20 年的年平均 CPUE 为 2.26 t/(船·年), 2007 年 CPUE 最高为 4.19 t/(船·年), 2009 年 CPUE 最低为 1.32 t/(船·年), 除 2007 年和 2008 年, 年 CPUE 与年产量变化基本一致。

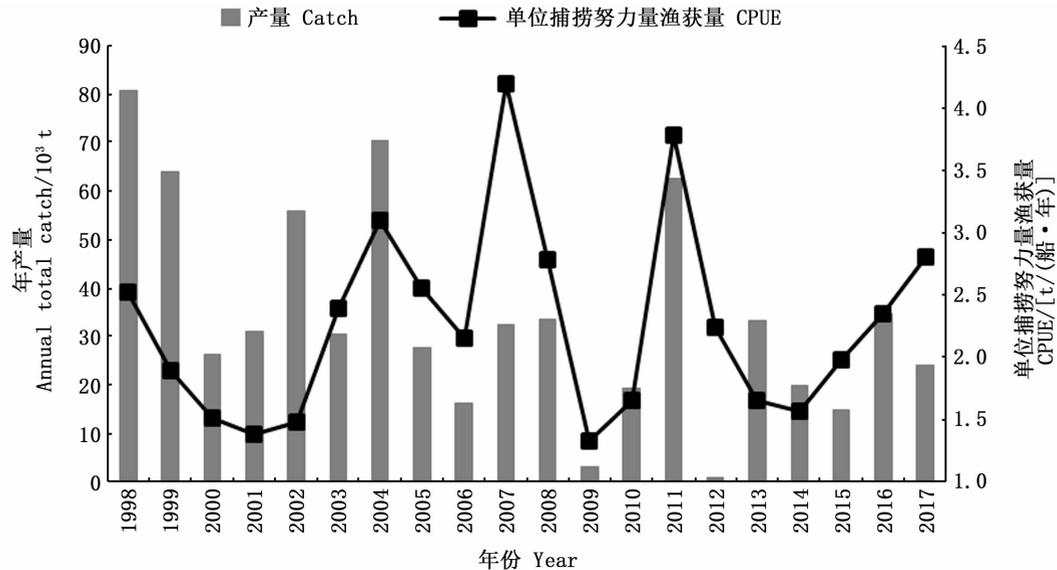


图 1 1998—2017 年西北太平洋柔鱼年产量及 CPUE 变化

Fig. 1 Annual yield and CPUE of *O. bartramii* in the Northwest Pacific from 1998 to 2017

5—12 月产量和 CPUE 变化呈现先增加后减少的正态分布趋势 (图 2): 8 个月的月平均产量为 8.20 万 t, 8 月产量最高为 16.00 万 t, 5 月产量

最低为 0.40 万 t; 8 个月的月平均 CPUE 为 1.31 t/(船·月), 8 月 CPUE 最高为 2.06 t/(船·月), 12 月 CPUE 最低为 0.68 t/(船·月)。

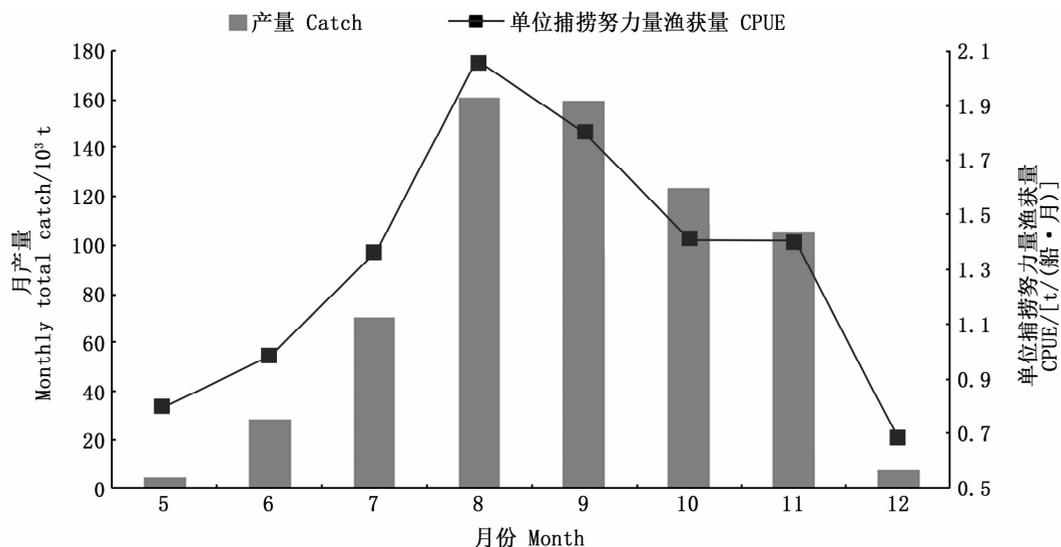


图 2 5—12 月西北太平洋柔鱼月产量及 CPUE 变化

Fig. 2 Monthly yield and CPUE of *O. bartramii* in the Northwest Pacific from May to December

## 2.2 灰色聚类结果

从灰色关联聚类系数来看(表 3 和表 4),年间与月间各经、纬度向 CPUE 关联度均大于 0.51,年间 CPUE 各经、纬度向关联度平均值为 0.64 和 0.67,月间 CPUE 各经、纬度向关联度平均值为 0.61 和 0.65,表明年间与月间 CPUE 空

间分布相似性都较大。由于灰色关联聚类中的临界值  $r$  可根据实际问题来确定,若  $r$  越接近于 1,分类越细,每组变量越少,反之分类越粗,每组变量越多。所以取年间 CPUE 关联聚类矩阵临界值  $r = 0.90$ ,月间 CPUE 关联聚类矩阵临界值  $r = 0.75$  作为分类依据。

表 3 1998—2017 年各经、纬度向 CPUE 空间分布的灰色关联聚类系数  
Tab.3 Grey relational clustering coefficients of CPUE spatial distribution at each longitude and latitude from 1998 to 2017

年份 Year	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
1998	1.00	0.51	0.68	0.54	0.78	0.88	0.86	0.64	0.61	0.94	0.88	0.51	0.51	0.82	0.86	0.76	0.51	0.51	0.68	0.89
1999	<b>0.80</b>	1.00	0.53	0.55	0.52	0.51	0.51	0.53	0.54	0.51	0.51	0.73	0.58	0.52	0.52	0.52	0.74	0.97	0.53	0.51
2000	<b>0.53</b>	<b>0.53</b>	1.00	0.61	0.82	0.73	0.75	0.90	0.79	0.66	0.74	0.53	0.54	0.78	0.75	0.84	0.52	0.53	0.99	0.73
2001	<b>0.98</b>	<b>0.82</b>	<b>0.53</b>	1.00	0.57	0.55	0.56	0.64	0.70	0.54	0.55	0.59	0.66	0.57	0.56	0.58	0.53	0.56	0.62	0.55
2002	<b>0.70</b>	<b>0.83</b>	<b>0.54</b>	<b>0.71</b>	1.00	0.86	0.88	0.76	0.69	0.75	0.87	0.52	0.52	0.94	0.89	0.98	0.51	0.52	0.82	0.85
2003	<b>0.88</b>	<b>0.90</b>	<b>0.53</b>	<b>0.90</b>	<b>0.76</b>	1.00	0.97	0.69	0.64	0.84	1.00	0.52	0.52	0.91	0.97	0.85	0.51	0.51	0.73	0.99
2004	<b>0.77</b>	<b>0.66</b>	<b>0.52</b>	<b>0.76</b>	<b>0.61</b>	<b>0.71</b>	1.00	0.70	0.65	0.82	0.98	0.52	0.52	0.94	0.99	0.86	0.51	0.52	0.75	0.96
2005	<b>0.53</b>	<b>0.54</b>	<b>0.97</b>	<b>0.53</b>	<b>0.54</b>	<b>0.53</b>	<b>0.52</b>	1.00	0.87	0.63	0.69	0.54	0.55	0.73	0.70	0.77	0.52	0.53	0.90	0.68
2006	<b>0.52</b>	<b>0.52</b>	<b>0.77</b>	<b>0.52</b>	<b>0.53</b>	<b>0.52</b>	<b>0.51</b>	<b>0.75</b>	1.00	0.59	0.64	0.55	0.56	0.67	0.65	0.70	0.52	0.54	0.80	0.63
2007	<b>0.51</b>	<b>0.51</b>	<b>0.62</b>	<b>0.51</b>	<b>0.51</b>	<b>0.51</b>	<b>0.51</b>	<b>0.62</b>	<b>0.73</b>	1.00	0.84	0.51	0.51	0.78	0.82	0.73	0.51	0.51	0.66	0.85
2008	<b>0.52</b>	<b>0.52</b>	<b>0.69</b>	<b>0.52</b>	<b>0.52</b>	<b>0.52</b>	<b>0.51</b>	<b>0.68</b>	<b>0.86</b>	<b>0.82</b>	1.00	0.52	0.52	0.92	0.97	0.85	0.51	0.51	0.73	0.98
2009	<b>0.52</b>	<b>0.53</b>	<b>0.84</b>	<b>0.52</b>	<b>0.53</b>	<b>0.52</b>	<b>0.51</b>	<b>0.82</b>	<b>0.90</b>	<b>0.68</b>	<b>0.79</b>	1.00	0.67	0.52	0.52	0.52	0.61	0.75	0.53	0.52
2010	<b>0.53</b>	<b>0.54</b>	<b>0.94</b>	<b>0.53</b>	<b>0.55</b>	<b>0.53</b>	<b>0.52</b>	<b>0.96</b>	<b>0.73</b>	<b>0.61</b>	<b>0.67</b>	<b>0.79</b>	1.00	0.52	0.52	0.53	0.54	0.58	0.54	0.52
2011	<b>0.67</b>	<b>0.60</b>	<b>0.51</b>	<b>0.66</b>	<b>0.57</b>	<b>0.63</b>	<b>0.82</b>	<b>0.51</b>	<b>0.51</b>	<b>0.51</b>	<b>0.51</b>	<b>0.51</b>	<b>0.51</b>	1.00	0.94	0.92	0.51	0.52	0.78	0.90
2012	<b>0.52</b>	<b>0.52</b>	<b>0.76</b>	<b>0.52</b>	<b>0.53</b>	<b>0.52</b>	<b>0.51</b>	<b>0.74</b>	<b>0.98</b>	<b>0.74</b>	<b>0.87</b>	<b>0.88</b>	<b>0.72</b>	<b>0.51</b>	1.00	0.87	0.51	0.52	0.75	0.96
2013	<b>0.72</b>	<b>0.87</b>	<b>0.54</b>	<b>0.74</b>	<b>0.94</b>	<b>0.79</b>	<b>0.62</b>	<b>0.54</b>	<b>0.53</b>	<b>0.51</b>	<b>0.52</b>	<b>0.53</b>	<b>0.54</b>	<b>0.58</b>	<b>0.53</b>	1.00	0.51	0.52	0.84	0.84
2014	<b>0.52</b>	<b>0.53</b>	<b>0.82</b>	<b>0.52</b>	<b>0.53</b>	<b>0.52</b>	<b>0.51</b>	<b>0.80</b>	<b>0.92</b>	<b>0.69</b>	<b>0.80</b>	<b>0.98</b>	<b>0.78</b>	<b>0.51</b>	<b>0.90</b>	<b>0.53</b>	1.00	0.72	0.52	0.51
2015	<b>0.59</b>	<b>0.66</b>	<b>0.55</b>	<b>0.60</b>	<b>0.74</b>	<b>0.62</b>	<b>0.55</b>	<b>0.56</b>	<b>0.53</b>	<b>0.52</b>	<b>0.52</b>	<b>0.54</b>	<b>0.56</b>	<b>0.53</b>	<b>0.53</b>	<b>0.71</b>	<b>0.54</b>	1.00	0.53	0.51
2016	<b>0.52</b>	<b>0.53</b>	<b>0.98</b>	<b>0.53</b>	<b>0.54</b>	<b>0.53</b>	<b>0.52</b>	<b>0.95</b>	<b>0.78</b>	<b>0.63</b>	<b>0.70</b>	<b>0.85</b>	<b>0.92</b>	<b>0.51</b>	<b>0.77</b>	<b>0.54</b>	<b>0.83</b>	<b>0.55</b>	1.00	0.73
2017	<b>0.52</b>	<b>0.52</b>	<b>0.73</b>	<b>0.52</b>	<b>0.52</b>	<b>0.52</b>	<b>0.51</b>	<b>0.72</b>	<b>0.92</b>	<b>0.77</b>	<b>0.52</b>	<b>0.84</b>	<b>0.70</b>	<b>0.51</b>	<b>0.95</b>	<b>0.52</b>	<b>0.86</b>	<b>0.53</b>	<b>0.74</b>	1.00

注:加粗字体为经度向 CPUE 空间分布的灰色关联系数,正常字体为纬度向 CPUE 空间分布的灰色关联系数。

Notes: The bold font is the grey relational clustering coefficient of CPUE spatial distribution at each longitude, and the normal font is the item at each latitude.

表 4 5—12 月各经度向、纬度向 CPUE 空间分布的灰色关联聚类系数  
Tab.4 Grey relational clustering coefficients of CPUE spatial distribution at each longitude and latitude from May to December

月份 Month	5	6	7	8	9	10	11	12
5	1.00	0.64	1.00	0.51	0.83	0.87	0.76	0.52
6	<b>0.72</b>	1.00	0.64	0.52	0.59	0.61	0.78	0.57
7	<b>0.94</b>	<b>0.75</b>	1.00	0.51	0.83	0.87	0.76	0.52
8	<b>0.63</b>	<b>0.75</b>	<b>0.65</b>	1.00	0.51	0.51	0.52	0.57
9	<b>0.60</b>	<b>0.55</b>	<b>0.59</b>	<b>0.53</b>	1.00	0.95	0.67	0.52
10	<b>0.57</b>	<b>0.60</b>	<b>0.58</b>	<b>0.67</b>	<b>0.53</b>	1.00	0.69	0.52
11	<b>0.53</b>	<b>0.53</b>	<b>0.53</b>	<b>0.54</b>	<b>0.52</b>	<b>0.63</b>	1.00	0.54
12	<b>0.53</b>	<b>0.54</b>	<b>0.53</b>	<b>0.56</b>	<b>0.52</b>	<b>0.67</b>	<b>0.89</b>	1.00

注:加粗字体为经度向 CPUE 空间分布的灰色关联系数,正常字体为纬度向 CPUE 空间分布的灰色关联系数。

Notes: The bold font is the grey relational clustering coefficient of CPUE spatial distribution at each longitude, and the normal font is the item at each latitude.

根据灰色关联聚类系数矩阵得到各聚类类群(表5)。从结果来看,年间纬度向类群分为明显的4类:类群1包含的对象数量最多,为8个年份,包括中强度、弱强度和正常年份气候事件;类群2包含的对象数量为2个年份,全部为强拉尼娜事件;类群3包含的对象数量为2个年份,为强拉尼娜和超强厄尔尼诺事件;类群4包含的对象数量为3个年份,全部为弱拉尼娜事件。其余年份自成一类,为弱强度和中强度气候事件,大多数为2种不同气候事件发生转换的年份。

年间经度向类群也分为明显的4类(表5):类群1包含的对象数量最多,为6个年份,包括中、弱强度厄尔尼诺、弱强度拉尼娜和正常年份

气候事件;类群2包含的对象数量为3个年份,为强拉尼娜和正常年份气候事件;类群3包含的对象数量为4个年份,为强、弱强度拉尼娜事件;类群4包含的对象数量为2个年份,为中强度厄尔尼诺和正常年份气候事件。其余年份自成一类,为中强度和超强度气候事件,大多数为2种不同气候事件发生转换的年份。

月间纬度向类群分为3类(表6):类群1为5、6、7、9、10和11月;类群2为8月;类群3为12月。月间经度向类群分为4类,类群1为5、6、7和8月;类群2为9月;类群3为10月;类群4为11和12月。

表5 1998—2017年各类群结果

Tab.5 Results of various groups from 1998 to 2017

类群类型 Type of groups	因子 Factors	类群1 Group 1	类群2 Group 2	类群3 Group 3	类群4 Group 4	其他 Others
纬度向类群 Latitude groups	包含年份	2002,2003,2004,2008,2011,2012,2013,2017	1998,2007	1999,2015	2000,2005,2016	2001,2006,2009,2010,2014
	对象数量	8	2	2	3	5
	气候强度特征	ME, WE, WL, ML, Normal	SL	SL, VSE	WL	Normal, WE, ME, SL
经度向类群 Longitude groups	包含年份	2006,2008,2009,2012,2014,2017	1998,2001,2003	2000,2005,2010,2016	2002,2013	1999,2004,2007,2011,2015
	对象数量	6	3	4	2	4
	气候强度特征	ME, WE, WL, Normal	SL, normal	WL, SL	ME, Normal	SL, ML, WE, VSE

表6 5—12月各类群结果

Tab.6 Results of various groups from May to December

类群类型 Type of groups	因子 Factors	类群1 Group 1	类群2 Group 2	类群3 Group 3	类群4 Group 4
纬度向类群 Latitude groups	包含月份	5,6,7,9,10,11	8	12	-
经度向类群 Longitude groups	包含月份	5,6,7,8	9	10	11,12

## 2.4 不同类群的环境特征及与 CPUE 的关系

### 2.4.1 产卵场与育肥场平均 SST 和 SSTA

对西北太平洋柔鱼产卵场和育肥场海域各年、月经度向和纬度向类群的 SST 与 SSTA 进行平均得到各类群 CPUE 与 SST、SSTA 的关系(图3和图4)。

由图3可知,纬度向各类群的 CPUE 差异比经度向类群明显,各类群的产卵场海表面温度距平值(SGSSTA)和育肥场海表面温度距平值(FGSSTA)变化基本上一致,且高 CPUE 类群对

应高的 SSTA,低 CPUE 类群对应低的 SSTA,即年 CPUE 与 SSTA 呈正相关关系。类群2的 CPUE 最高,包含2个强拉尼娜年份,类群3的 CPUE 最低,包含1个强拉尼娜和1个超强厄尔尼诺年份,说明强拉尼娜事件会使海表温度降低,导致 CPUE 增高;超强厄尔尼诺事件会使海表温度升高,导致 CPUE 骤减。类群1和类群4均为中、弱强度气候事件和正常气候年份,CPUE 接近年平均 CPUE,海表面温度距平值为  $-0.10 \sim 0.10$ ,说明弱拉尼娜事件和中强度气候事件对年 CPUE 的

影响不大。经度向各类群 CPUE 均小于年平均 CPUE,类群 4 的 CPUE 最低,包含 1 个中强度厄尔尼诺年份和 1 个正常气候年份。

由图 4 可知,经度向类群和纬度向类群的 CPUE 均有明显差异。各类群的产卵场海表面温度(SGSST)和育肥场海表面温度(FGSST)变化一

致,且 SGSST 大于 FGSST,月 CPUE 与 SST 呈正相关关系。其中,纬度向类群 2 和经度向类群 2 的 CPUE 最高,分别为 8 月和 9 月,纬度向类群 3 和经度向类群 4 的 CPUE 最低,为 11 月和 12 月,相比于纬度向类群,经度向各类群季节变化特征更为明显。

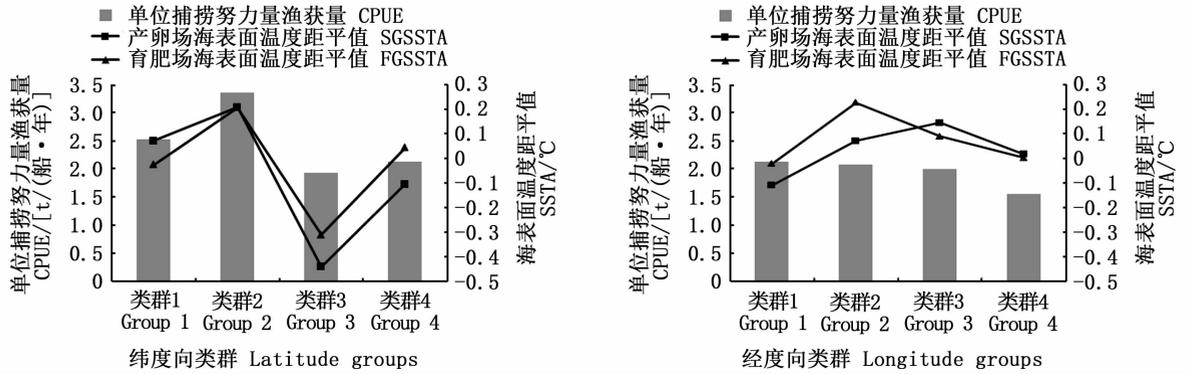


图 3 1998—2017 年各类群产卵场和育肥场平均海表温度距平的变化

Fig. 3 Variability of the averaged SSTA of various groups on the spawning ground and feeding ground from 1998 to 2017

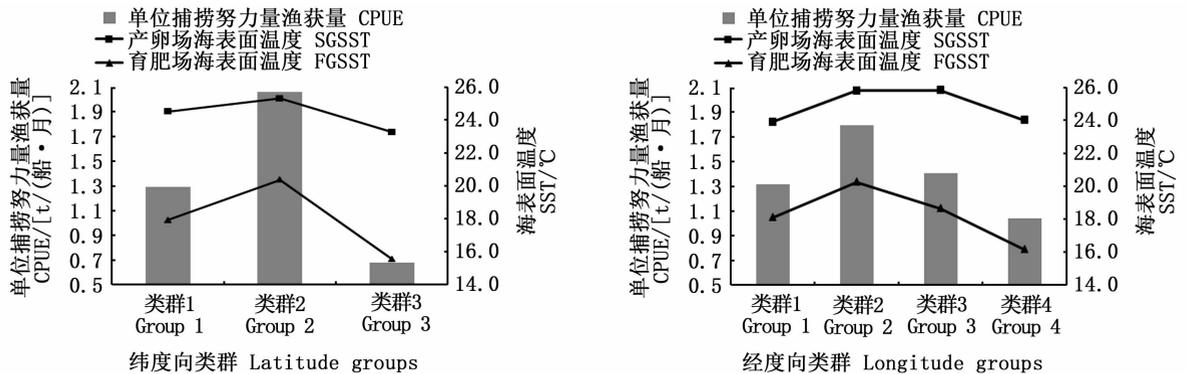


图 4 5—12 月各类群产卵场和育肥场平均海表温度的变化

Fig. 4 Variability of the averaged SST of various groups on the spawning ground and feeding ground from May to December

2.4.2 产卵场与育肥场平均 *Chl. a* 和 CHLA

由图 5 可知,纬度向各类群的 CPUE 差异比经度向类群明显,各类群的产卵场叶绿素 a 质量浓度距平值(SGCA)和育肥场叶绿素 a 质量浓度距平值(FGCA)变化基本上一致,且 FGCA 变化幅度比 SGCA 小。高 CPUE 类群对应低 CHLA,而低 CPUE 类群对应高 CHLA,即年 CPUE 与 CHLA 呈负相关关系,恰好与 SSTA 的关系相反。类群 2 的 CPUE 最高,包含 2 个强拉尼娜年份,类群 3 的 CPUE 最低,包含 1 个强拉尼娜和 1 个超

强厄尔尼诺年份,说明强拉尼娜事件会使 *Chl. a* 质量浓度升高,导致 CPUE 增高;超强厄尔尼诺事件会使 *Chl. a* 质量浓度降低,导致 CPUE 骤减。经度向各类群 CPUE 均小于年平均 CPUE,CHLA 变化幅度小,SGCA 与 FGCA 数值为 -0.01 ~ 0.01。

由图 6 可知,经度向类群和纬度向类群的 CPUE 均有明显差异。各类群的产卵场叶绿素 a 质量浓度(SGC)和育肥场叶绿素 a 质量浓度(FGC)变化一致,FGC 大于 SGC 且 FGC 波动幅

度更大。CPUE 最高的纬度向类群 2 和经度向类群 2 的 *Chl. a* 质量浓度均最低,纬度向类群 3 和经度向类群 4 的 CPUE 最低,SGC 最高,纬度向类

群 1 和经度向类群 1 的 FGC 最高,各类群有明显的季节性变化,即 SGC 和 FGC 先递减再递增,8 月和 9 月 *Chl. a* 质量浓度最低。

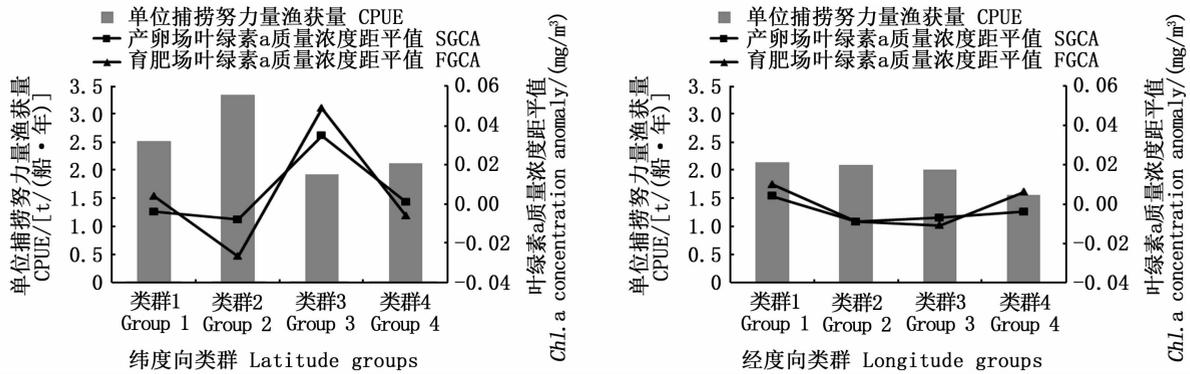


图 5 1998—2017 年各类群产卵场和育肥场平均叶绿素 a 质量浓度距平的变化

Fig. 5 Variability of the averaged *Chl. a* concentration anomaly of various groups on the spawning ground and feeding ground from 1998 to 2017

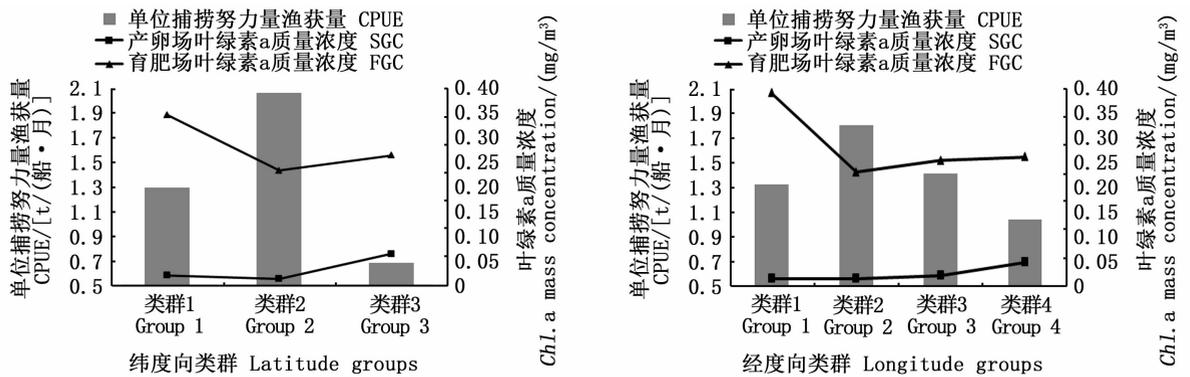


图 6 5—12 月各类群产卵场和育肥场平均叶绿素 a 质量浓度的变化

Fig. 6 Variability of the averaged *Chl. a* mass concentration of various groups on the spawning ground and feeding ground from May to December

### 3 讨论

柔鱼作为短生命周期的经济头足类,生活史通常为一年,这就极大依赖于环境条件的变化<sup>[19]</sup>。不同强度的厄尔尼诺拉尼娜事件对柔鱼渔场环境的调控机制不同,导致对柔鱼资源丰度产生不同的影响。如 YU 等<sup>[20]</sup>认为:弱拉尼娜事件和正常气候年份,柔鱼渔场内水温最高,适宜栖息地面积骤增;中高强度拉尼娜事件时,柔鱼渔场内水温较高,但适宜栖息地面积骤减;厄尔尼诺事件时,柔鱼渔场内水温低,弱强度和超高强度厄尔尼诺事件时,适宜栖息地面积大于中强度厄尔尼诺事件。本研究选取 1998—2017 年

5—12 月的渔获数据,基于不同气候事件会影响柔鱼年、月平均资源丰度的假设,从而导致不同年份、月份资源丰度的空间分布存在差异,利用灰色关联聚类的方法计算它们之间的关联度,根据关联度大小进行分类,分析各类别 CPUE 与气候事件和环境因子的关系。研究结果(表 5)发现,年纬度向类群比年经度向类群的 CPUE 差异更明显,强拉尼娜和弱拉尼娜事件集中的类群显著,厄尔尼诺、中强度拉尼娜和正常年份分类较模糊。例如:包含 2 个强拉尼娜事件年份的纬度向类群 2 的 CPUE 最高,产卵场和育肥场的 SSTA 也最大,但 CHLA 最低;包含 3 个弱拉尼娜事件的纬度向类群 4 和包含弱、强拉尼娜事件的经度向

类群 3 的 CPUE 均略低于年平均 CPUE,其 SSTA 较大,CHLA 接近于 0(图 3 和图 5)。这说明拉尼娜事件的强弱对柔鱼资源的调控机制不同,拉尼娜事件会使渔场温度升高,更有利于柔鱼的生长与发育,从而提高产量,但强拉尼娜事件会使渔场 *Chl. a* 质量浓度下降,柔鱼资源丰度骤增。纬度向类群 3 和经度向类群 4 的 CPUE 均较低,分别包含 1 个超强厄尔尼诺事件和 1 个中强度厄尔尼诺事件,纬度向类群 3 的产卵场和育肥场的 SSTA 最小,但 CHLA 最高,表明中强度以上的厄尔尼诺事件会使柔鱼资源丰度骤减,这一结果与余为等<sup>[21]</sup>的研究结果有所出入,可能与 *Chl. a* 质量浓度遥感数据的来源、空间分辨率和卫星模拟算法的不同有关。从 5—12 月各类群结果(表 6)来看:各月份的 CPUE 与环境因子呈现明显的季节性变化,且经度向类群的季节性变化更显著,即 SST 夏季高冬季低,SGSST 和 FGSST 呈先增加后减小的趋势,8、9 月最高,11、12 月最低,与 CPUE 变化一致;*Chl. a* 质量浓度则恰好相反,5—7 月最高,8、9 月最低(图 4 和图 6)。这些与已有研究结果<sup>[22-23]</sup>一致。

灰色关联聚类的原理是通过比较序列在直角坐标轴中形成的曲线图形的相似度来衡量其变量之间的相互关联性程度,拟合程度越好,关联度越大。相比于传统的统计学方法,允许服从任意分布,样本数量少,且计算方法简单,效果明显<sup>[24]</sup>。本文选取 1998—2017 年 5—12 月各经纬度的 CPUE 作为分析序列,从聚类矩阵结果(表 3 和表 4)来看,关联度差异较大,能够较明显地对观测对象进行聚类,特征数据即各年份、月份经纬度向的 CPUE 差异明显,可以作为聚类分析的指标之一。但本研究仍存在一些不足,如虽然在不同强度的异常气候事件下的得到较好的聚类结果,但并未解释其对不同年份、月份聚类类群 CPUE 在空间上经纬度变化的内在机理。此外,本研究只分析了 SST 和 *Chl. a* 质量浓度对不同类群 CPUE 的影响,建议在今后的研究中加入其他环境因子,如海表面高度(SSH)、海表面盐度(SSS)、海流等因素,建立具体的量化模型,更好地对西北太平洋柔鱼资源丰度进行评价。

#### 参考文献:

- [1] 陈新军. 世界头足类资源开发现状及我国远洋鱿渔渔业发展对策[J]. 上海海洋大学学报, 2019, 28(3): 321-330.
- [2] 陈新军, 刘必林, 王尧耕. 世界头足类[M]. 北京: 海洋出版社, 2009: 60-69.
- [3] CHEN X J, LIU B L, WANG Y G. Cephalopods of the world [M]. Beijing: China Ocean Press, 2009: 60-69.
- [4] 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 [J]. Fisheries Oceanography, 2015, 24(3): 229-241.
- [5] XU J, CHEN X J, CHEN Y, et al. The effect of sea surface temperature increase on the potential habitat of *Ommastrephes bartramii* in the Northwest Pacific Ocean [J]. Acta Oceanologica Sinica, 2016, 35(2): 109-116.
- [6] 唐峰华, 樊伟, 伍玉梅, 等. 北太平洋柔鱼渔场资源与海洋环境关系的季节性变化[J]. 农业资源与环境学报, 2015, 32(3): 242-249.
- [7] TANG F H, FAN W, WU Y M, et al. Seasonal changes of relationship between marine environment and squid fishing resources in north Pacific Ocean[J]. Journal of Agricultural Resources and Environment, 2015, 32(3): 242-249.
- [8] 宋婷婷. 基于海面高度数据研究西北太平洋巴特柔鱼 (*Ommastrephes bartrami*) 渔场分布[D]. 上海: 上海海洋大学, 2014.
- [9] SONG T T. Relationship between fishing grounds of *Ommastrephes bartrami* and satellite altimeter data in northwestern Pacific [D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2014.
- [10] 余为, 陈新军, 易倩, 等. 西北太平洋柔鱼传统作业渔场资源丰度年间差异及其影响因子[J]. 海洋渔业, 2013, 35(4): 373-381.
- [11] YU W, CHEN X J, YI Q, et al. Annual difference of abundance index and its influencing factors of *Ommastrephes bartramii* in traditional fishing grounds in the northwest Pacific[J]. Marine Fisheries, 2013, 35(4): 373-381.
- [12] CHEN X J, ZHAO X H, CHEN Y. Influence of El Niño/La Niña on the western winter-spring cohort of neon flying squid (*Ommastrephes bartramii*) in the northwestern Pacific Ocean [J]. ICES Journal of Marine Science, 2007, 64(6): 1152-1160.
- [13] WANG C Z, DESER C, YU J Y, et al. El Niño and southern Oscillation (ENSO): a review [M]//GLYNN P, MANZELLO D, ENOCHS I. Coral Reefs of the Eastern Tropical Pacific. Dordrecht: Springer, 2017: 85-106.
- [14] ANDERSON C I H, RODHOUSE P G. Life cycles, oceanography and variability: ommastrephid squid in variable oceanographic environments[J]. Fisheries Research, 2001, 54(1): 133-143.

- [11] 温健, 陆鑫一, 陈新军, 等. 基于海表温度和光合有效辐射的西北太平洋柔鱼冬春生群体栖息地热点预测[J]. 上海海洋大学学报, 2019, 28(3): 456-463.  
WEN J, LU X Y, CHEN X J, et al. Predicting the habitat hot spots of winter-spring cohort of *Ommastrephes bartramii* in the northwest Pacific Ocean based on the sea surface temperature and photosynthetically active radiation [J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2019, 28(3): 456-463.
- [12] 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.
- [13] 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.
- [14] 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[J]. 海洋渔业, 2018, 40(6): 641-648.  
XIE M Y, CHEN X J, WANG J T. On changes of abundance index of winter-spring cohort of *Todarodes pacificus* in the northwest Pacific based on grey system theory [J]. Marine Fisheries, 2018, 40(6): 641-648.
- [15] 李媛洁, 陈新军, 汪金涛, 等. 东南太平洋智利竹筴鱼资源渔场时空分布[J]. 上海海洋大学学报, 2019, 28(4): 616-625.  
LI Y J, CHEN X J, WANG J T, et al. Spatio-temporal distribution of mackerel in southeast Pacific Ocean [J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2019, 28(4): 616-625.
- [16] 赵龙明, 卢琪, 王娜, 等. 改进的灰色关联分析法在渔业水质评价中的应用[J]. 华北理工大学学报(自然科学版), 2017, 39(2): 110-114, 119.  
ZHAO L M, LU Q, WANG N, et al. Application of improved grey correlation analysis method in fishery water quality assessment [J]. Journal of North China University of Science and Technology (Natural Science Edition), 2017, 39(2): 110-114, 119.
- [17] 杨胜龙, 张禹, 戴阳, 等. 基于 GM(1, 1) 模型的贫信息渔业数据 CPUE 标准化研究 [J]. 应用海洋学学报, 2019, 38(1): 141-147.  
YANG S L, ZHANG Y, DAI Y, et al. CPUE standardization for poor information fishery data based on GM(1, 1) model [J]. Journal of Applied Oceanography, 2019, 38(1): 141-147.
- [18] 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: 113-116.  
LIU S F, YANG Y J, WU L F, et al. Grey system theory and its application [M]. 7th ed. Beijing: Science Press, 2014: 113-116.
- [19] YU W, CHEN X J, YI Q, et al. A review of interaction between neon flying squid (*Ommastrephes bartramii*) and oceanographic variability in the north Pacific Ocean [J]. Journal of Ocean University of China, 2015, 14(4): 739-748.
- [20] YU W, CHEN X J, YI Q, et al. Variability of suitable habitat of western winter-spring cohort for neon flying squid in the Northwest Pacific under anomalous environments [J]. PLoS One, 2015, 10(4): e0122997.
- [21] 余为, 陈新军. 西北太平洋柔鱼冬春生群体栖息地的变化研究[J]. 海洋学报, 2018, 40(3): 86-94.  
YU W, CHEN X J. Variability in the potential habitat of winter-spring cohort of neon flying squid *Ommastrephes bartramii* in the northwest Pacific Ocean [J]. Acta Oceanologica Sinica, 2018, 40(3): 86-94.
- [22] 毛志华, 朱乾坤, 龚芳. 卫星遥感北太平洋渔场叶绿素 a 浓度[J]. 水产学报, 2005, 29(2): 270-274.  
MAO Z H, ZHU Q K, GONG F. Satellite remote sensing of chlorophyll a concentration in the north Pacific fishery [J]. Journal of Fisheries of China, 2005, 29(2): 270-274.
- [23] 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.
- [24] 刘勇, 王冬冬, 周婷. 基于决策粗糙集的多属性灰色关联聚类方法[J]. 控制与决策, 2017, 32(11): 2034-2038.  
LIU Y, WANG D D, ZHOU T. Decision-theoretic rough set based multi-attribute grey incidence clustering method [J]. Control and Decision, 2017, 32(11): 2034-2038.

## Correlation clustering analysis of CPUE of neon flying squid (*Ommastrephes bartramii*) in the northwest Pacific based on grey system theory

XIE Mingyang<sup>1</sup>, CHEN Xinjun<sup>1,2,3,4,5</sup>

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

**Abstract:** The neon flying squid (*O. bartramii*) is a short-lived species which is an important fishing and development target in the Northwest Pacific. In this paper, we used the grey correlation clustering method to cluster catch per unit effort (CPUE) of neon flying squid from May to December, 1998–2017, and analyzed the effects of El Niño and La Niña events with different intensities and environmental factors on CPUE. The results show that the CPUE difference between the annual latitude groups and the annual longitude groups is more obvious. The monthly latitude groups are more seasonal than the monthly longitude groups. The groups with strong La Niña and weak La Niña events are significant. The higher CPUE of the annual latitude groups, the higher the sea surface temperature anomaly (SSTA) and the lower the chlorophyll a concentration anomaly (CHLA). The studies have shown that abnormal weather events of different intensities have different effects on CPUE in neon flying squid. Strong La Niña events can increase CPUE of neon flying squid, weak La Niña events can slightly reduce CPUE, and El Niño events above moderate intensity can cause CPUE to decrease significantly.

**Key words:** *Ommastrephes bartramii*; CPUE; grey relational cluster; ENSO; environmental factor