

文章编号: 1674-5566(2020)04-0611-11

DOI:10.12024/jsou.20190702736

秘鲁近海秘鲁鳀渔场变化与海洋环境因子的关系

陈 芃¹, 陈新军^{1,2,3,4,5}

(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 266207; 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. 农业农村部大洋渔业开发重点实验室, 上海 201306)

摘 要: 秘鲁鳀 (*Engraulis ringens*) 是栖息于南美洲秘鲁和智利沿岸的小型中上层鱼类, 掌握其渔场变化及其与海洋环境因子的关系有利于渔场的开发。根据 2005—2014 年秘鲁近海秘鲁鳀的渔获数据, 结合卫星遥感获得的海表面温度 (sea surface temperature, SST)、海表面高度 (sea surface height, SSH) 和叶绿素 a 浓度 (chlorophyll-a, *Chl. a*) 等环境数据, 探讨两个捕捞渔季秘鲁鳀 (第一渔季: 4—7 月; 第二渔季 11—次年 1 月) 渔场变化及其与海洋环境的关系。研究表明, 不同月份秘鲁鳀渔场的适宜海洋环境因子范围不同: 第一渔季的渔场 SST 和适宜 SST 范围随着月份变低, 在第二渔季的渔场 SST 和适宜 SST 范围随着月份变高; 两个捕捞渔季渔场的适宜 SSH 均为 29~41 cm; 第一渔季渔场适宜 *Chl. a* 范围随着月份变低, 第二渔季渔场适宜 *Chl. a* 范围随着月份变高。通过经验累积分布函数检验, 海洋环境因子在大多数月份的适宜范围可表征秘鲁近海秘鲁鳀中心渔场的指标。研究表明, 要进一步了解秘鲁鳀渔场变化还需注意其资源丰度年间变动及其与海洋环境变化的关系。

关键词: 秘鲁鳀; 东南太平洋; 渔场变化; 海洋环境因子

中图分类号: S 931 **文献标志码:** A

秘鲁鳀 (*Engraulis ringens*) 是栖息于南美洲秘鲁和智利沿岸的小型中上层鱼类^[1], 其渔业是世界上产量最大的单鱼种渔业^[2-3], 但其年产量存在着巨大的年间变化^[4]。秘鲁鳀的资源动态 (分布和丰度) 与海洋环境变化 (包含了生物与非生物因素^[5-10]) 密切相关。国内外学者对秘鲁鳀资源动态与海洋环境变化之间的关系进行了相关的研究, 结果表明: 沿岸水团的位置变化^[6]、上升流及湍流强弱^[7] 以及饵料和摄食生物的资源动态^[8] 对秘鲁鳀的资源变动有着重要影响; 同时气候变化 (如厄尔尼诺拉尼娜事件^[9]、生态系统周期性变化^[10] 等) 也极大地影响到秘鲁鳀资源丰度。但是这些研究都是从机理上进行的分析, 这些海洋环境因子不容易被实时获取以指导渔业生产。卫星遥感海洋环境数据如海表面温度 (sea surface temperature, SST)、海表面高度 (sea surface height, SSH)、叶绿素 a 浓度 (chlorophyll-a, *Chl. a*)

等存在着可被实时获取的特点, 在一定程度上也能反映出海域环境的动态变化^[11], 已被广泛应用到渔场预报中^[12-15]。对于秘鲁鳀渔场, 这些卫星遥感海洋环境数据是否能作为渔场变动的表征? 因此, 本研究根据 2005—2014 年秘鲁近海秘鲁鳀的渔获生产数据, 分析秘鲁鳀渔场及其与卫星遥感海洋环境数据 (SST、SSH 和 *Chl. a*) 的关系, 其研究结果可为渔业生产者和管理者了解秘鲁鳀渔场的变动提供基础。

1 材料与方 法

1.1 数据来源

秘鲁近海的秘鲁鳀生产数据来源于秘鲁国家海洋局网站 (IMARPE, <http://www.imarpe.gob.pe/imarpe/>), 为 2005—2014 年秘鲁各港口 (涵盖了所有港口, 共 21 个港口, 分布于 5°S ~ 18°S 沿岸, 图 1) 渔汛期间每日出港渔船的捕捞

收稿日期: 2019-07-12 修回日期: 2019-08-16

基金项目: 海洋局公益性行业专项 (20155014); 上海市科技创新行动计划 (14DZ1205000)

作者简介: 陈 芃 (1992—), 男, 博士, 研究方向为渔业海洋学。E-mail: p-chen@shou.edu.cn

通信作者: 陈新军, E-mail: xjchen@shou.edu.cn

努力量 (fishing effort, 为船数) 和总渔获量 (catch)。

卫星遥感海洋环境数据 SST、SSH 和 *Chl. a* 均来源于美国国家海洋大气局 (NOAA) 的 OceanWatch 网站 (<http://oceanwatch.pifsc.noaa.gov/las/servlets/dataset>), 时间分辨率均为月, 空间分辨率分别为 $0.1^\circ \times 0.1^\circ$ 、 $0.25^\circ \times 0.25^\circ$ 和 $0.05^\circ \times 0.05^\circ$ 。研究海域为 $5^\circ \text{S} \sim 18^\circ \text{S}$ 和 $70^\circ \text{W} \sim 82^\circ \text{W}$ 。

秘鲁鳀的捕捞方式分为手工渔船和工业围网渔船捕捞两种, 手工渔船捕捞的渔获主要用于人类食用, 工业围网渔船捕捞的渔获用于制作鱼粉^[16], 其产量与我国的鱼粉行情有很大的关系^[17], 同时根据 IMAPRE 的统计, 每年工业围网渔船产量占到了秘鲁国家累计秘鲁鳀总产量的 80% 以上, 因此工业围网渔船的渔获数据可作为研究秘鲁鳀的代表。每年的渔汛分为两个渔季, 4 月至当年的 7 月为第一渔季, 11 月至次年的 1 月为第二渔季。开捕时间由 IMARPE 决定, 渔业管理为总可捕捞限制制度 (total allowable catch, TAC), 当总产量超过了 TAC, 捕捞停止, 因此捕捞月份每年并不固定。研究表明, 捕捞秘鲁鳀的位置主要位于离沿岸 30 km 的范围内, 渔船通常在一天内完成出海捕捞并回港卸货工作^[18-19], 因此我们可以用港口的经纬度 (图 1) 来表达渔场的位置。

渔业数据与卫星遥感海洋环境数据的匹配方法为以 $1^\circ \times 1^\circ$ 为单位统计每年每月在港口所在经纬度上的渔获量和捕捞努力量, 并计算单位捕捞努力量的渔获量 (catch per unit effort, CPUE, 计算方法为渔获量除以捕捞努力量, 单位为 $t/\text{船}$)。对于卫星遥感海洋环境数据, 全部转换成 $1^\circ \times 1^\circ$ 的空间分辨率, 最后完成相同经纬度位置的渔业数据和环境数据的匹配。

1.2 分析方法

(1) 渔场适宜环境分析。渔获量、捕捞努力量和 CPUE 都可以作为秘鲁鳀渔场的表征指标^[17-21]。研究假设, 渔获量和捕捞努力量的多少包含了渔船多年作业的经验因素和现场情况, 可作为中心渔场的指标^[20-24], 按月统计渔获量和捕捞努力量在各个卫星遥感海洋环境因子的频率分布, 找出各月中心渔场适宜的海洋环境因子范围。同时对以上研究结果进行经验累积分布函数

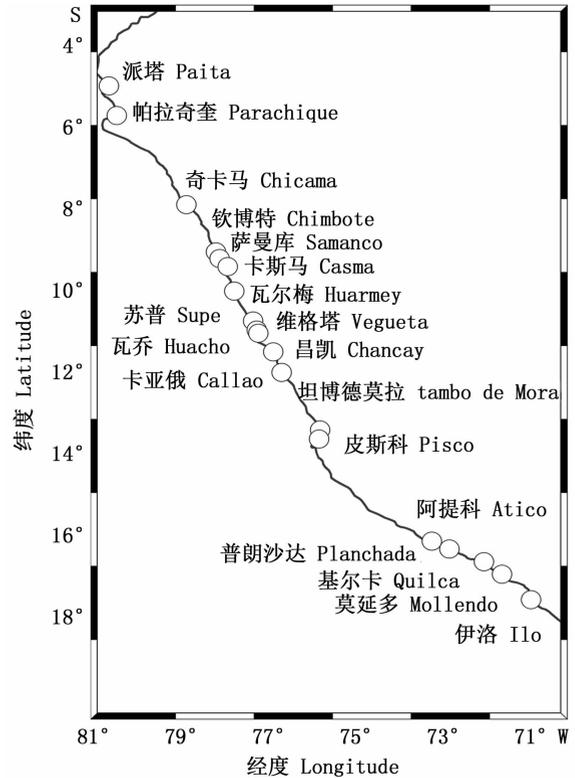


图 1 秘鲁沿岸港口分布

Fig. 1 Port distribution in coastal area of Peru

(empirical cumulative distribution function, ECDF) 检验^[25], 探索各月渔场相对于不同海洋环境因子适宜范围的显著性。该方法可得到海洋环境因子的 ECDF 与环境因子加权的渔获量及捕捞努力量的 ECDF 的差值绝对值 D , 在给定显著性水平 α 下, 得到 D 的临界值 $D(\alpha/2)$, 当 $D < D(\alpha/2)$ 时, 认为海洋环境因子与渔获量或捕捞努力量有显著的关系。

(2) 秘鲁鳀资源丰度与环境关系分析。将 CPUE 假设为资源丰度的表征, 计算 2005—2014 年 10 年内各海洋环境因子区间 (分别以 1°C 、 3 cm 和 1 mg/m^3 为间隔) 上 CPUE 的平均值和标准差, 通过 CPUE 与海洋环境因子间的关系, 探究当前海洋环境的变化是否对秘鲁鳀资源丰度有着直接影响。

2 结果

2.1 渔获量和捕捞努力量变化与海洋环境因子的关系

2.1.1 渔获量和捕捞努力量变化与 SST 的关系
分析认为, 各月渔获量和捕捞努力量在 SST

上的分布趋势基本相同,但不同捕捞月份渔场适宜 SST 有所不同(表 1)。第一渔季(4—7 月),各月渔场 SST 的范围依次为 17~24 °C、16~25 °C、15~24 °C 和 15~23 °C,适宜 SST 范围依次为 18~21 °C、18~21 °C、16~20 °C 和 16~20 °C,各月适宜 SST 范围内渔获量占总渔获量的比重分别为 85.62%、79.19%、76.55% 和 85.57%,捕捞努力量所占比重依次为 78.31%、79.06%、74.20% 和 85.16%。第二渔季(11—次年 1 月),各月渔场 SST 的范围依次为 16~22 °C、17~23 °C 和 19~25 °C,适宜 SST 范围依次为 17~19 °C、19~22 °C 和 19~23 °C,各月适宜 SST 范围内渔获量占总渔获量的比重依次为 72.89%、90.51% 和 97.93%,捕捞努力量所占的比重分别为 72.35%、88.15% 和 98.29%。

由上可知,秘鲁鳀渔场在第一渔季的渔场 SST 范围和适宜 SST 随着月份逐渐变低,第二渔季则随着月份逐渐升高。

2.1.2 渔获量和捕捞努力量与 SSH 的关系

分析认为,各月渔获量和捕捞努力量在 SSH 上的分布趋势基本相同,但不同捕捞月份渔场适宜 SSH 范围有所不同(表 2)。第一渔季(4—7 月),各月渔场 SSH 的范围依次为 26~50 cm、26~50 cm、26~47 cm 和 20~47 cm,适宜 SSH 范围分别为 32~41 cm、29~41 cm、29~41 cm 和 29~41 cm,各月适宜 SSH 范围内渔获量占总渔获量的比重依次是 80.89%、76.55%、77.06% 和 79.08%,捕捞努力量所占比重分别为 80.09%、81.89%、76.34% 和 75.00%。第二渔季(11—次年 1 月),各月渔场 SSH 的范围依次为 23~44 cm、29~50 cm 和 29~41 cm,适宜 SSH 范围分别为 29~38cm、29~41 cm 和 32~38 cm,各月适宜 SSH 范围内渔获量占总量渔获量的比重依次为 85.51%、89.21% 和 97.06%,捕捞努力量所占比重依次为 84.91%、89.98% 和 98.68%。

表 1 各月海表面温度与秘鲁鳀渔场渔获量、捕捞努力量的关系
Tab. 1 Relationship between sea surface temperature and catch or effort data at anchoveta fishing ground in different fishing seasons

海表面温度 Sea surface temperature/°C	第一渔季 First fishing season								第二渔季 Second fishing season					
	4 月 April		5 月 May		6 月 June		7 月 July		11 月 November		12 月 December		1 月 January	
	渔获量 Catch/ %	捕捞 努力量 Effort/ %	渔获量 Catch/ %	捕捞 努力量 Effort/ %	渔获量 Catch/ %	捕捞 努力量 Effort/ %	渔获量 Catch/ %	捕捞 努力量 Effort/ %	渔获量 Catch/ %	捕捞 努力量 Effort/ %	渔获量 Catch/ %	捕捞 努力量 Effort/ %	渔获量 Catch/ %	捕捞 努力量 Effort/ %
15~16	0.00	0.00	0.00	0.00	2.11	1.75	0.71	0.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
16~17	0.00	0.00	1.77	1.26	18.09	17.83	22.06	19.33	5.39	6.54	0.00	0.00	0.00	0.00
17~18	2.31	1.72	9.59	8.48	18.28	16.20	25.53	28.88	42.81	42.86	0.34	0.34	0.00	0.00
18~19	17.55	11.73	26.04	22.47	26.71	26.04	27.93	26.91	30.08	29.49	7.63	8.90	0.00	0.00
19~20	39.13	38.62	23.12	23.48	13.47	14.13	10.05	10.04	13.97	13.20	27.62	24.82	22.88	16.14
20~21	28.94	27.96	30.03	33.11	7.08	6.67	6.34	5.01	7.07	7.00	51.11	50.36	18.64	15.81
21~22	9.69	16.07	4.93	5.30	8.49	11.01	7.25	9.25	0.68	0.91	11.78	12.97	28.58	29.62
22~23	2.37	3.89	4.18	5.64	1.88	2.55	0.13	0.08	0.00	0.00	1.52	2.61	27.83	36.72
23~24	0.01	0.01	0.19	0.10	3.89	3.82	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.61	1.35
24~25	0.00	0.00	0.15	0.16	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.46	0.36

由上可知,两个渔季各月渔场的 SSH 范围略有不同,高作业和高渔获量的区域均集中在 SSH

为 29~41 cm 的海域内。

表 2 各月海表面高度与秘鲁鳀渔场渔获量和捕捞努力量的关系

Tab. 2 Relationship between sea surface height and catch or effort data at anchoveta fishing ground in each fishing month

海表面高度 Sea surface height/cm	第一渔季 First fishing season								第二渔季 Second fishing season					
	4 月 April		5 月 May		6 月 June		7 月 July		11 月 November		12 月 December		1 月 January	
	渔获量 Catch/ %	捕捞 努力量 Effort/ %	渔获量 Catch/ %	捕捞 努力量 Effort/ %	渔获量 Catch/ %	捕捞 努力量 Effort/ %	渔获量 Catch/ %	捕捞 努力量 Effort/ %	渔获量 Catch/ %	捕捞 努力量 Effort/ %	渔获量 Catch/ %	捕捞 努力量 Effort/ %	渔获量 Catch/ %	捕捞 努力量 Effort/ %
20~23	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.83	1.91	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
23~26	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.27	1.42	0.00	0.00	0.00	0.00
26~29	0.78	1.44	2.62	3.41	4.44	4.96	5.51	7.03	3.00	3.89	2.93	1.98	0.00	0.00
29~32	10.23	11.80	19.11	20.95	17.43	18.17	27.69	29.44	16.87	19.36	32.94	33.37	0.09	0.03
32~35	22.31	24.03	18.70	19.95	20.52	20.63	20.42	19.85	42.08	38.92	19.41	20.15	60.49	65.65
35~38	46.69	44.40	27.35	25.05	21.01	20.30	16.02	16.16	26.56	26.63	15.06	15.00	36.57	33.03
38~41	13.44	12.56	15.73	15.14	18.10	17.24	14.95	9.55	9.25	9.05	21.80	21.46	2.85	1.29
41~44	4.82	4.49	10.27	9.11	8.00	8.15	0.83	0.53	0.97	0.73	7.62	7.83	0.00	0.00
44~47	1.42	1.04	4.26	4.14	10.50	10.55	13.75	15.53	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
47~50	0.31	0.24	1.96	2.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.24	0.21	0.00	0.00

2.1.3 渔获量和捕捞努力量与 *Chl. a* 的关系

与 SST 及 SSH 类似,各月渔获量和捕捞努力量在 *Chl. a* 上的分布趋势基本相同,但不同捕捞月份渔场 *Chl. a* 有所不同(表 3)。第一渔季(4—7 月),各月渔场 *Chl. a* 的范围依次为 0~10 mg/m³、0~7 mg/m³、0~6 mg/m³ 和 0~4 mg/m³,适宜 *Chl. a* 范围依次为 5~10 mg/m³、0~5 mg/m³、0~3 mg/m³ 和 0~2 mg/m³,其渔获量占总渔获量比重依次为 66.24%、88.59%、82.39% 和

88.31%,捕捞努力量所占比重分别为 58.70%、89.03%、84.38% 和 90.56%。第二渔季(11—次年 1 月),各月渔场的 *Chl. a* 范围依次为 0~10 mg/m³、0~10 mg/m³ 和 0~7 mg/m³,适宜 *Chl. a* 范围分别为 1~5 mg/m³、0~5 mg/m³ 和 2~5 mg/m³,其渔获量占总渔获量比重依次为 77.24%、71.42% 和 69.77%,捕捞努力量所占比重分别为 78.62%、65.05% 和 56.82%。

表 3 各月叶绿素 a 浓度与秘鲁鳀渔场渔获量和捕捞努力量的关系

Tab. 3 Relationship between *Chl. a* and catch or effort data at anchoveta fishing ground in each fishing month

叶绿素 a 浓度 <i>Chl. a</i> /(mg/m ³)	第一渔季 First fishing season								第二渔季 Second fishing season					
	4 月 April		5 月 May		6 月 June		7 月 July		11 月 November		12 月 December		1 月 January	
	渔获量 Catch/ %	捕捞 努力量 Effort/ %	渔获量 Catch/ %	捕捞 努力量 Effort/ %	渔获量 Catch/ %	捕捞 努力量 Effort/ %	渔获量 Catch/ %	捕捞 努力量 Effort/ %	渔获量 Catch/ %	捕捞 努力量 Effort/ %	渔获量 Catch/ %	捕捞 努力量 Effort/ %	渔获量 Catch/ %	捕捞 努力量 Effort/ %
0~1	9.87	16.27	14.83	20.46	39.70	42.73	62.32	69.60	5.81	7.51	9.54	14.09	8.12	15.73
1~2	4.81	5.77	14.11	13.91	27.99	26.98	25.99	20.96	27.71	28.54	18.85	18.50	5.83	6.81
2~3	7.54	7.95	22.34	21.40	14.70	14.67	3.58	1.97	19.39	23.37	26.02	24.88	11.08	9.35
3~4	4.22	5.39	19.09	17.73	5.74	5.26	6.65	5.66	12.39	11.16	9.72	8.64	21.31	13.22
4~5	7.32	5.92	18.22	15.53	7.99	6.87	0.00	0.00	17.75	15.55	16.83	13.03	37.38	34.25
5~6	22.50	18.20	9.46	8.81	3.88	3.49	0.00	0.00	8.59	6.26	8.41	8.13	1.38	1.31
6~7	10.03	9.27	1.95	2.16	0.00	0.00	0.00	0.00	5.26	4.84	2.63	4.04	14.90	19.33
7~8	10.90	11.53	0.00	0.00	0.00	0.00	1.46	1.81	0.61	0.92	0.00	0.00	0.00	0.00
8~9	6.82	6.34	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.43	1.07	5.27	5.32	0.00	0.00
9~10	15.99	13.36	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.06	0.78	2.73	3.37	0.00	0.00

由上可知,两个渔季渔场 *Chl. a* 范围随月份的变化呈现逐渐缩小的趋势,但第一渔季适宜 *Chl. a* 范围随着月份逐渐变低;第二渔季渔场适宜 *Chl. a* 范围随着月份变高,在次年 1 月集中在 *Chl. a* 较大的海域。

2.1.4 经验累积分布函数检验

经验累积分布函数分析(表 4)认为:除了 12

月和次年 1 月以外,第一渔季 4—7 月和第二渔季 11 月的适宜 SST 可作为中心渔场的指标 ($D < 0.05$);除了次年 1 月以外,第一渔季 4—7 月和第二渔季 11—12 月的最适 SSH 可作为中心渔场的指标 ($D < 0.05$);第一渔季的 4—7 月和第二渔季的 11—次年 1 月的适宜 *Chl. a* 可作为中心渔场的指标 ($D < 0.05$)。

表 4 渔场海洋环境因子适宜范围经验累积分布函数检验结果(显著性水平 $\alpha=0.1$)

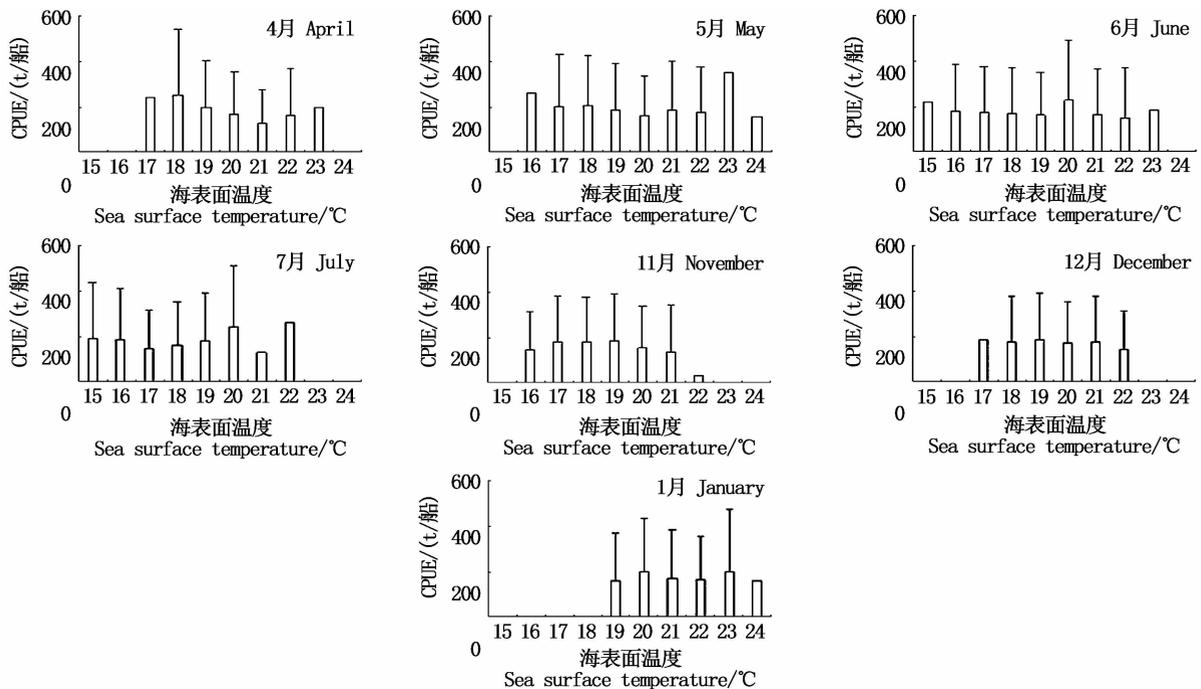
Tab.4 Results of empirical cumulative distribution function test to ocean environmental variables optimum ranges (significant level: $\alpha=0.1$)

月份 Month	海表面温度 Sea surface temperature				海表面高度 Sea surface height				叶绿素 a 浓度 Chlorophyll-a			
	渔获量 Catch		捕捞努力量 Effort		渔获量 Catch		捕捞努力量 Effort		渔获量 Catch		捕捞努力量 Effort	
	D	P	D	P	D	P	D	P	D	P	D 值	P
	D	($\alpha/2$)	D	($\alpha/2$)	D	($\alpha/2$)	D	($\alpha/2$)	D	($\alpha/2$)	D value	($\alpha/2$)
4 月 April	0.32	0.20	0.29	0.32	0.26	0.43	0.27	0.42	0.24	0.64	0.18	0.88
5 月 May	0.28	0.37	0.25	0.49	0.27	0.41	0.27	0.39	0.22	0.73	0.21	0.76
6 月 June	0.18	0.89	0.18	0.85	0.21	0.71	0.22	0.69	0.26	0.52	0.29	0.39
7 月 July	0.23	0.59	0.23	0.58	0.25	0.48	0.22	0.67	0.37	0.14	0.38	0.11
11 月 November	0.28	0.34	0.29	0.33	0.31	0.26	0.29	0.32	0.18	0.91	0.20	0.81
12 月 December	0.32	0.22	0.30	0.29	0.25	0.50	0.27	0.38	0.21	0.75	0.17	0.93
1 月 January	0.36	0.11	0.35	0.13	0.44	0.03	0.46	0.02	0.20	0.81	0.18	0.89

2.2 秘鲁鳀渔场 CPUE 分布与海洋环境因子的关系

由图 2 可知:第一渔季 4—7 月渔场各月的

SST 范围分别为 17~23 °C、16~24 °C、15~23 °C 和 15~22 °C,其平均 CPUE 在 100~300 t/船;第二渔季渔场各月的 SST 范围分别为 16~22 °C、



误差线表示标准差

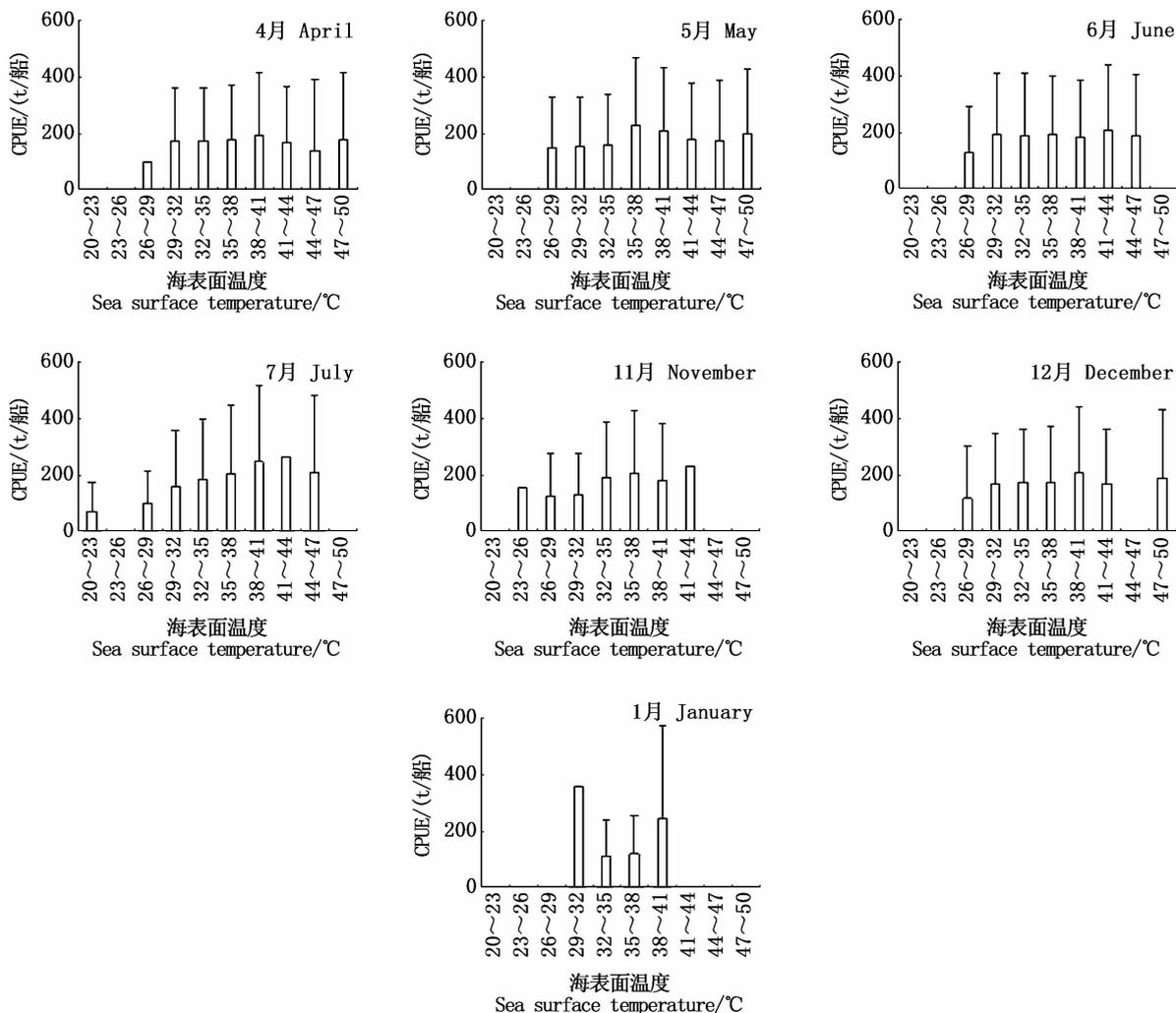
The error bars represent the standard deviation

图 2 各月海表面温度与秘鲁鳀渔场 CPUE 关系

Fig.2 Relationship between the sea surface temperature and anchoveta fishing ground CPUE in each fishing month

17~22℃、19~23℃,其CPUE在100~200 t/船。由图3可知:第一渔季4—7月渔场各月的SSH范围分别为26~50 cm、26~50 cm、26~47 cm和20~47 cm,其平均CPUE在100~300 t/船;第二渔季渔场各月的SSH范围分别为23~44 cm、26~50 cm和29~41 cm,其CPUE在

100~400 t/船。由图4可知:第一渔季4—7月渔场各月的Chl. a范围分别为0~10 mg/m³、0~6 mg/m³、0~5 mg/m³和0~7 mg/m³,其平均CPUE在100~300 t/船;第二渔季渔场各月的Chl. a范围分别为0~10 mg/m³、0~9 mg/m³和0~7 mg/m³,其CPUE在100~400 t/船。

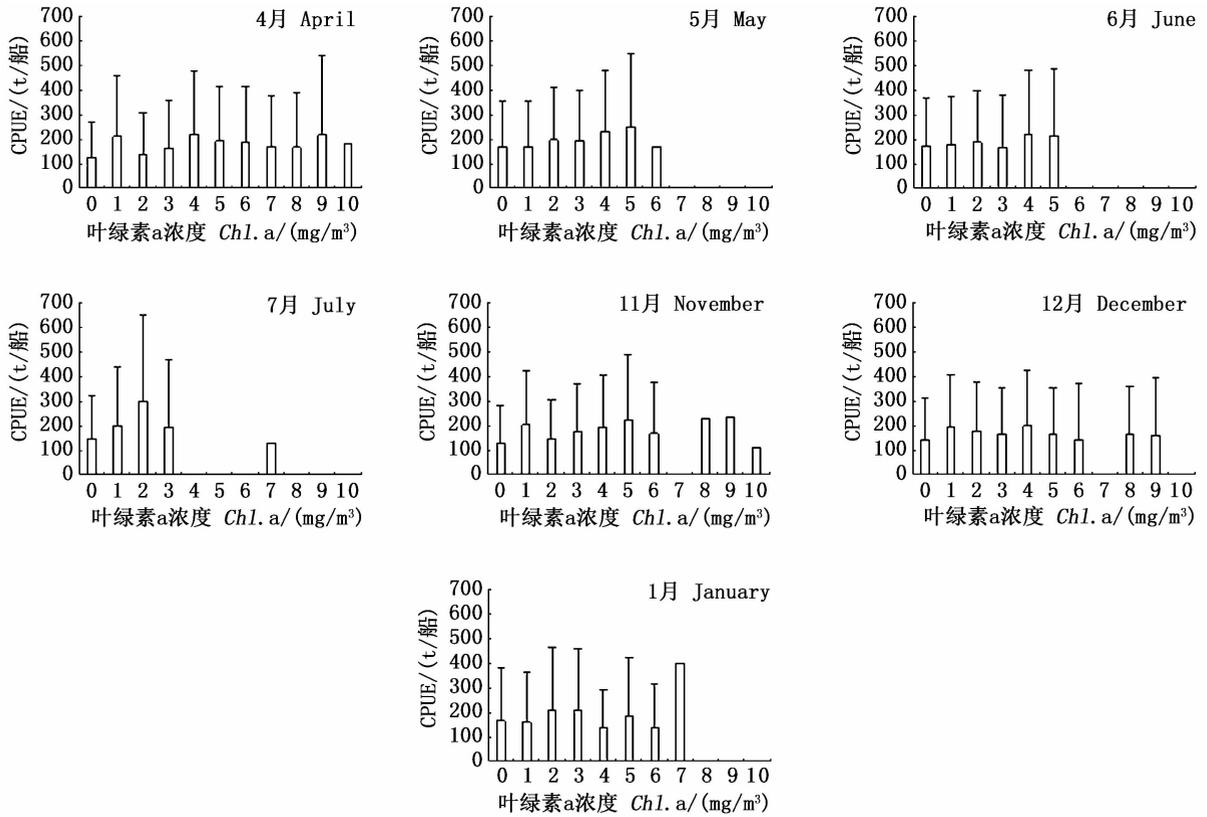


误差线表示标准差

The error bars represent the standard deviation

图3 各月海表面高度与秘鲁鳀渔场 CPUE 关系

Fig. 3 Relationship between the sea surface height and anchoveta fishing ground CPUE in each fishing month



误差线表示标准差

The error bars represent the standard deviation

图 4 各月叶绿素浓度 a 与秘鲁鳀渔场 CPUE 关系

Fig. 4 Relationship between the Chl. a and anchoveta fishing ground CPUE in each fishing month

3 讨论

以秘鲁近海秘鲁港口的渔获统计资料为基础,探究了秘鲁鳀渔场(资源动态和分布)变化及其与卫星遥感海洋环境数据的关系。研究表明:对于以渔获量和捕捞努力量表示的渔场分布,存在着一定的变化范围,这种变化范围呈现着倒抛物线的形式,即存在适宜范围,也可以作为中心渔场的一个指标,同时这个范围还随着月份而变化;但是 CPUE 与卫星遥感海洋环境数据并没有明显的规律,但均有一个合适的范围区间。CPUE 是表征海洋捕捞生物资源丰度的一个重要指标^[21,26],通常研究所用的是名义 CPUE(渔获量除以捕捞努力量),其值会受到渔船的船型、捕捞能力以及环境等因素的影响,需要进行标准化^[21,26],有可能未能反映实际资源丰度的情况,由此导致了 CPUE 在海洋环境因子的分布上呈现不规则分布的情况。同时,使用名义 CPUE 分析其变化得到的结果很可能会不规则,而渔获量或

捕捞努力量的大小表明了渔场的实际情况和渔民的经验,表征了渔汛出现或适宜捕捞^[24]。一些利用栖息地指数来预报渔场的研究^[21-22]也发现,基于捕捞努力量的栖息地指数模型会比基于 CPUE 的模型得到更好的预报效果。建议后续的研究可以结合渔船参数等情况对 CPUE 进行标准化后对资源丰度的变动进行分析。

资源丰度的高低也会影响其渔场分布及其与环境的关系。根据秘鲁国家海洋局(IMARPE, <http://www.imarpe.gob.pe/imarpe/>)每个渔汛季开捕前的调查结果^[27],2005—2014 年间,秘鲁鳀资源量最高(2005 年第一渔季,12 700 000 t)和最低(2009 年第二渔季,4 100 000 t)的渔汛渔季之间相差了 8 600 000 t。这种巨大的年间差异也可以从 CPUE 在大部分的海洋环境因子的区间上都有着很大的标准差(图 2~4)看出。秘鲁鳀在生态学上 r 型种类,有着生命周期短、生长迅速和死亡率高的特点,环境变化极大地影响到了其鱼种的资源变动^[28]。同时,秘鲁鳀的资源还受到

了气候变化(例如厄尔尼诺拉尼娜现象,生态系统周期性变化)以及其他海洋环境的变化^[6-8]的影响。因此,为了更深入地了解秘鲁鳀的渔场变动,后续研究还需结合秘鲁鳀资源年间差异,结合 CPUE 标准化的研究结果,精确地预测秘鲁鳀渔场。

从渔获量和捕捞努力量上,SST、SSH 和 *Chl. a* 都有着一定的范围并在一些月份上存在着适宜范围,大部分的适宜范围通过了经验累积分布函数检验(表4),在一定程度上反映了海洋环境对秘鲁鳀渔场的影响。其中,SST 表征了渔场的温度特征,分析表明渔场 SST 的范围为 15 ~ 25 °C (表1),该结果与 GUTIÉRREZ 等^[29]得到的秘鲁鳀栖息海域温度范围(13 ~ 23 °C)基本一致。秘鲁鳀是一种冷水性鱼类^[29],虽然两个渔汛渔季的渔场适宜 SST 存在着随时间变动的趋势(表现为第一渔季的渔场适宜 SST 范围随着月份变低,第二渔季的渔场适宜 SST 范围随着月份变高),但是通过仔细分析表1 研究结果,发现适宜 SST 均靠近于渔场 SST 范围的低温一侧,这在渔场 SST 逐渐升高的第二渔季(11 月和次年1月)尤为明显,这正好符合了秘鲁鳀是冷水性鱼类的生物学特性。

SSH 是海水动力学的表征,代表了海水的辐合和涌升^[30],其均为正值可以作为上升流存在的表征,渔汛季节内,渔场的 SSH 范围为 20 ~ 50 cm (表2),研究表明秘鲁沿岸区域终年存在着强劲的秘鲁上升流^[31]。研究表明,秘鲁上升流海域内,食物网能量传输有着较高的效率^[8,32],同时表层水溶解氧较低^[33]符合秘鲁鳀生存的生物学特性,这些都是这个海域内秘鲁鳀有着很高的资源丰度的原因。但是,SSH 同样存在着适宜范围(29 ~ 41 cm,表2):SSH 较低(小于 29 cm)表征了海域存在着较弱的上升流不利于秘鲁鳀的生存;SSH 较高(高于 41 cm),上升流强劲,中心渔场也不在此处,陈芃等^[34]分析表明,秘鲁海域的上升流对于秘鲁渔场并不是越高越好,强的上升流会促进海水离岸输送使得上涌的营养物质不易聚集,不利于秘鲁鳀饵料生物利用进而影响到秘鲁鳀的资源。在适宜 SST 的分析中发现,虽然秘鲁鳀是一种冷水性鱼类^[29],但是通常适宜 SST 范围的最低值也不是渔场 SST 的最低值,上升流上涌的是底层冷水,低 SST 也侧面反映了海

水的上升流的强劲,也表明了强劲的上升流不利于秘鲁鳀生存这个观点。

Chl. a 是海域初级生产力的指标^[35]。研究(表3)发现,两个渔季渔场的 *Chl. a* 范围随月份的变化呈现逐渐缩小的趋势,但是第一渔季的适宜 *Chl. a* 范围随着月份变低,第二渔季渔场适宜 *Chl. a* 范围在次年1月集中在 *Chl. a* 较大的海域。该现象同样可以用上升流的动态变化解释,第一渔季渔场的上升流随月份的推移变强,第二渔季则随月份的推移而减弱^[33];较强的上升流使得营养物质不易聚集,使得秘鲁鳀只能在第一渔季渔汛末期在较低的 *Chl. a* 处觅食,第一渔季渔汛末期中心渔场的 *Chl. a* 范围也较低(6月:0 ~ 3 mg/m³,7月:0 ~ 2 mg/m³,表3);较弱的上升流使得秘鲁鳀可以在较高的 *Chl. a* 处觅食,第二渔季渔汛末期中心渔场的 *Chl. a* 范围也较高(次年1月:2 ~ 5 mg/m³,表3)。

研究分析了卫星海洋环境遥感数据与秘鲁鳀渔场的关系,得到了中心渔场的适宜 SST、SSH 和 *Chl. a* 的范围,但是该结果要应用到渔情预报和实际生产中还有一些研究工作要做:首先,海洋卫星只能得到海洋表面的环境数据^[11],海水的垂直方向上的空间变动对秘鲁鳀同样有着巨大的影响^[6-7];其次,秘鲁鳀资源量的巨大的年间变动^[8,34];最后,研究只使用了港口的渔获数据及其与卫星遥感环境数据进行匹配分析,未用存在位置的渔捞数据与环境数据进行分析,可能会对研究结果造成偏差。今后的分析还要加强该渔场的渔获调查,同时结合更多的环境情况,以较为全面地分析秘鲁鳀渔场变动的成因。

参考文献:

- [1] 段丁毓,陈芃,陈新军,等. 基于灰色系统的秘鲁鳀资源量预测模型的构建[J]. 上海海洋大学学报, 2018, 27(2): 284-290.
DUAN D Y, CHEN P, CHEN X J, et al. The construction of biomass forecasting model for the anchoveta (*Engraulis ringens*) by the grey system model[J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2018, 27(2): 284-290.
- [2] FRÉON P, BOUCHON M, MULLO C, et al. Interdecadal variability of anchoveta abundance and overcapacity of the fishery in Peru[J]. Progress in Oceanography, 2008, 79(2/4): 401-412.
- [3] RANDA M. Developments on fisheries management in Peru: The new individual vessel quota system for the anchoveta

- fishery[J]. Fisheries Research, 2009, 96(2/3): 308-312.
- [4] 联合国粮农组织. 联合国粮农组织渔业统计数据: 1950—2013 年全球捕捞产量 [DB/OL]. <http://www.fao.org/fishery/statistics/global-capture-production/query/zh>.
Food and Agriculture Organization of the United Nations. Food and agriculture organization of the United Nations' fisheries database: Global capture production from 1950 to 2013 [DB/OL]. <http://www.fao.org/fishery/statistics/global-capture-production/query/zh>.
- [5] 陈新军. 渔业资源与渔场学 [M]. 北京: 海洋出版社, 2004: 116-173.
CHEN X J. Fisheries biology and oceanography [M]. Beijing: China Ocean Press, 2004: 116-173.
- [6] 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.
- [7] YÁÑEZ E, BARBIERI M A, SILVA C, et al. Climate variability and pelagic fisheries in northern Chile [J]. Progress in Oceanography, 2001, 49(1/4): 581-596.
- [8] ALHÉIT J, ÑIQUEN M. Regime shifts in the Humboldt current ecosystem [J]. Progress in Oceanography, 2004, 60(2/4): 201-222.
- [9] ÑIQUEN M, BOUCHON M. Impact of El Niño events on pelagic fisheries in Peruvian waters [J]. Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography, 2004, 51(6/9): 563-574.
- [10] BAKUN A, BROAD K. Environmental 'loopholes' and fish population dynamics: comparative pattern recognition with focus on El Niño effects in the Pacific [J]. Fisheries Oceanography, 2003, 12(4/5): 458-473.
- [11] 胡奎伟, 许柳雄, 陈新军, 等. 海洋遥感在渔场分析中的研究进展 [J]. 中国水产科学, 2012, 19(6): 1078-1087.
HU K W, XU L X, CHEN X J, et al. Application of ocean remote sensing on fishing ground analysis: a review [J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2012, 19(6): 1078-1087.
- [12] 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.
- [13] 范江涛, 张俊, 冯雪, 等. 南沙海域鳶乌贼渔场与海洋环境因子的关系 [J]. 上海海洋大学学报, 2019, 28(3): 419-426.
FAN J T, ZHANG J, FENG X, et al. Relationship between *Sthenoteuthis oualaniensis* fishing ground and marine environmental factors in Nansha area [J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2019, 28(3): 419-426.
- [14] 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.
- [15] 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.
- [16] ANGEL A, FRÉON P, TAM J. Coupled ecosystem/supply chain modelling of fish products from sea to shelf: the Peruvian anchoveta case [J]. PLoS One, 2014, 9(7): e102057.
- [17] 谢超, 孙如宝. 优质鳀鱼鱼粉蒸煮工艺技术的优化研究 [J]. 粮食与饲料工业, 2008(10): 32-33.
XIE C, SUN R B. A study on optimization of cooking technology for high-quality anchovy meal [J]. Cereal & Feed Industry, 2008(10): 32-33.
- [18] ARELLANO C E, SWARTZMAN G. The Peruvian artisanal fishery: changes in patterns and distribution over time [J]. Fisheries Research, 2010, 101(3): 133-145.
- [19] TARIFEÑO E, CARMONA M, LLANOS-RIVERA A, et al. Temperature effects on the anchoveta *Engraulis ringens* egg development: do latitudinal differences occur? [J]. Environmental Biology of Fishes, 2008, 81(4): 387-395.
- [20] CUBILLOS L A, BUCAREY D A, CANALES M. Monthly abundance estimation for common sardine *Strangomera bentincki* and anchovy *Engraulis ringens* in the central-southern area off Chile (34-40°S) [J]. Fisheries Research, 2002, 57(2): 117-130.
- [21] CHEN X J, TIAN S Q, CHEN Y, et al. A modeling approach to identify optimal habitat and suitable fishing grounds for neon flying squid (*Ommastrephes bartramii*) in the Northwest Pacific Ocean [J]. Fishery Bulletin, 2010, 108(1): 1-14.
- [22] TIAN S Q, CHEN X J, CHEN Y, et al. Evaluating habitat suitability indices derived from CPUE and fishing effort data for *Ommastrephes bartramii* in the northwestern Pacific Ocean [J]. Fisheries Research, 2009, 95(2/3): 181-188.
- [23] 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]. HaiyangXuebao, 2017, 39(4): 79-88.
- [24] ANDRADE H A, GARCIA C A E. Skipjack tuna fishery in relation to sea surface temperature off the southern Brazilian

- coast[J]. *Fisheries Oceanography*, 1999, 8(4): 245-254.
- [25] 陈新军, 田思泉. 西北太平洋海域柔鱼的产量分布及作业渔场与表温的关系研究[J]. *中国海洋大学学报*, 2005, 35(1): 101-107.
CHEN X J, TIAN S Q. Study on the catch distribution and relationship between fishing ground and surface temperature for *Ommastrephes bartrami* in the Northwestern Pacific Ocean [J]. *Periodical of Ocean University of China*, 2005, 35(1): 101-107.
- [26] 官文江, 田思泉, 王学昉, 等. CPUE 标准化方法与模型选择的回顾与展望[J]. *中国水产科学*, 2014, 21(4): 852-862.
GUAN W J, TIAN S Q, WANG X F, et al. A review of methods and model selection for standardizing CPUE [J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2014, 21(4): 852-862.
- [27] 陈芃, 陈新军, 雷林, 等. 东南太平洋秘鲁鳀资源量预报模型的构建[J]. *海洋学报*, 2018, 40(1): 77-86.
CHEN P, CHEN X J, LEI L, et al. Forecasting model to the anchoveta (*Engraulis ringens*) biomass in the southeastern Pacific Ocean [J]. *Haiyang Xuebao*, 2018, 40(1): 77-86.
- [28] 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.
- [29] 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 to 2003 [J]. *Fisheries Oceanography*, 2007, 16(2): 155-168.
- [30] 张炜, 张健. 西南大西洋阿根廷滑柔鱼渔场与主要海洋环境因子关系探讨[J]. *上海水产大学学报*, 2008, 17(4): 471-475.
ZHANG W, ZHANG J. A discussion about relationship between the distribution of production of *Illex argentinus* and marine environmental factors in the Southwest Atlantic Ocean [J]. *Journal of Shanghai Fisheries University*, 2008, 17(4): 471-475.
- [31] CHAVEZ F P, MESSIÉ M. A comparison of eastern boundary upwelling ecosystems [J]. *Progress in Oceanography*, 2009, 83(1/4): 80-96.
- [32] TAM J, TAYLOR M H, BLASKOVIC V, et al. Trophic modeling of the Northern Humboldt current ecosystem, Part I: comparing trophic linkages under La Niña and El Niño conditions [J]. *Progress in Oceanography*, 2008, 79(2/4): 352-365.
- [33] BERTRAND A, CHAIGNEAU A, PERALTILLA S, et al. Oxygen: a fundamental property regulating pelagic ecosystem structure in the coastal southeastern tropical Pacific [J]. *PLoS One*, 2011, 6(12): e29558.
- [34] 陈芃, 陈新军, 雷林. 秘鲁上升流对秘鲁鳀渔场的影响 [J]. *水产学报*, 2018, 42(9): 1367-1377.
CHEN P, CHEN X J, LEI L. Influence of Peruvian upwelling on the anchoveta (*Engraulis ringens*) fishing ground [J]. *Journal of Fisheries of China*, 2018, 42(9): 1367-1377.
- [35] 官文江, 何贤强, 潘德炉, 等. 渤、黄、东海海洋初级生产力的遥感估算 [J]. *水产学报*, 2005, 29(3): 367-372.
GUAN W J, HE X Q, PAN D L, et al. Estimation of ocean primary production by remote sensing in Bohai Sea, Yellow Sea and East China Sea [J]. *Journal of Fisheries of China*, 2005, 29(3): 367-372.

Relationship between the variation of Peru coastal *Engraulis ringens* fishing ground and oceanic environmental factors

CHEN Peng¹, CHEN Xinjun^{1,2,3,4,5}

(1. College of Marine Sciences, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 2. Laboratory for Marine Fisheries Science and Food Production Processes, Qingdao National Laboratory for Marine Science and Technology, Qingdao 266207, Shandong, China; 3. Key Laboratory of Sustainable Exploitation of Oceanic Fisheries Resources, Ministry of Education, Shanghai 201306, China; 4. National Engineering Research Center for Oceanic Fisheries, Shanghai 201306, China; 5. Key Laboratory of Oceanic Fisheries Exploration, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Shanghai 201306, China)

Abstract: Anchoveta (*Engraulis ringens*) is a small pelagic fish living in the coast of Peru and Chile. Understanding the variations of fishing ground and its relationship with oceanic environmental factors is beneficial to resource development. Based on the anchoveta fisheries data along the Peru coast from 2005 to 2014 and the oceanic environmental data including sea surface temperature (SST), sea surface height (SSH) and chlorophyll-a (*Chl. a*) derived from satellite remote sensing, the variations of fishing ground and its relationship with oceanic environmental factors in the two fishing seasons (the first: April-July; the second: November-next year January) was analyzed. Results showed that the ranges of optimum oceanic environmental factors had differences in each fishing month. There was a decreasing trend of optimum SST range as month passed in the first fishing season and an increasing trend in the second fishing season. Each fishing month in both fishing seasons nearly had the same optimum SSH range (29 cm to 41 cm). Optimum *Chl. a* range showed a decreasing trend in the first fishing season and an increasing trend in the second fishing season. Empirical cumulative distribution function test suggested that the optimum oceanic environmental ranges in most fishing months could be the indicators of central fishing ground. But there was no certain form of catch per unit effort along these factors. The studies indicated that, to better understand the variations of anchoveta fishing ground, we should emphasize the annual variation of stock dynamics and other changes in the ocean environment should be emphasized.

Key words: *Engraulis ringens*; Southeast Pacific Ocean; variations of fishing ground; oceanic environmental factor