

文章编号: 1674-5566(2019)01-0145-09

DOI:10.12024/jsou.20170802118

基于不同气候条件的中西太平洋鲣鱼渔场预报

陈洋洋¹, 陈新军^{1,2,3,4}, 郭立新¹, 方舟^{1,2,3,4}

(1. 上海海洋大学海洋科学学院, 上海 201306; 2. 农业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. 农业部大洋渔业资源环境科学观测实验站, 上海 201306)

摘要: 根据 1995—2014 年中西太平洋鲣鱼围网捕捞生产统计数据, 选取了产量最高的 22 个 $5^\circ \times 5^\circ$ 的海区, 结合厄尔尼诺指数划分不同的气候类型, 以渔获量为指标, 建立在不同气候条件下中西太平洋鲣鱼围网渔场的渔情预报模型。研究认为: 在不同的气候条件下, 鲣鱼产量有所波动, 其中厄尔尼诺月份总产量和月均产量最高, 与拉尼娜月份产量接近, 而正常年份产量最低; 不同空间不同气候条件下的产量有较大差异, 在 $130^\circ\text{E} \sim 145^\circ\text{E}$ 海域, 北纬 5° 产量明显高于南纬 5° 产量, 同时正常月份的产量最高; 在 $145^\circ\text{E} \sim 165^\circ\text{E}$ 海域, 拉尼娜月份产量最高; 在 165°E 以东海域, 拉尼娜月份产量最低; 将渔获量与 Nino 3.4 区的 SSTA 建立关系, 结果显示两者有着很强的相关关系, 均符合正态模型 ($P < 0.01$)。模型验证的结果显示, 3 种气候条件下的预报结果与实际统计值间均存在显著相关关系 ($P < 0.01$), 模型有着较高的相关系数, 拟合结果较好。针对中西太平洋不同空间位置的 3 种气候条件下鲣鱼渔获量波动规律进行研究, 为预测渔场和相关预报工作提供了新的思路。

关键词: 鲣鱼; 渔获量; 厄尔尼诺/拉尼娜事件; 渔场预报

中图分类号: S 932.4 **文献标志码:** A

鲣鱼 (*Katsuwonus pelamis*) 广泛分布于太平洋、大西洋、印度洋的热带、亚热带以及亚寒带海域, 在世界金枪鱼渔业中占有极其重要的地位^[1]。世界主要金枪鱼产量的 60% ~ 70% 来自太平洋海域^[2], 其中又有 76% 来自中西太平洋^[3]和 56% 的产量来自围网捕捞^[3,4], 围网捕捞中的鲣鱼渔获比例约为 70% ~ 80%^[5]。我国于 2000 年开始在该海域进行金枪鱼围网作业, 至 2006 年已发展到围网船只 8 艘、年产量约 5 万吨的规模^[6], 而近些年已达到围网船只 20 艘、年产量 10 万吨左右。国内外已有很多学者对中西太平洋鲣鱼资源渔场分布及其与海洋环境的关系做了大量研究^[7-13]。研究表明, 中西太平洋暖池与鲣鱼资源渔场分布关系密切。HAMPTON 等^[7-8]认为, 鲣鱼分布会随厄尔尼诺—南方涛动现象 (ENSO) 产生相应的迁移。周甦芳^[9]认为, 厄尔尼诺发生时, 鲣鱼围网单位捕捞努力量渔获量经度重心较正常年份向东偏 10 ~ 20 个经度, 拉尼娜

年则向西偏 10 ~ 20 个经度。汪金涛等^[10]认为, 当 Nino 3.4 区海表温度异常值从低到高变化时, 鲣鱼渔场重心也逐渐由西向东偏。以上研究均表明, 渔场分布受气候环境变化的影响很大, 与海表温度存在密切关系。在中西太平洋海域共有 12 个国家和地区, 我国捕捞作业渔场基本上处在他国专属经济区管辖范围内^[11-12]。现阶段我国金枪鱼围网渔业可持续发展面临着中长期金枪鱼资源与空间分布无法预测, 且各岛国实行作业天数限制, 导致入渔成本不断提高, 因而影响金枪鱼围网的作业效率及产生的经济效益有所下降。中西太平洋是我国鲣鱼围网的重要作业海域, 准确地预报该海域的中心渔场有利于提高捕捞效率。为此, 本研究根据 1995—2014 年中西太平洋鲣鱼围网生产数据以及海洋环境数据, 统计分析不同气候条件下渔业生产数据与气候因子之间的关系, 以渔获量作为中心渔场的预报指标, 将研究区域划分为 22 个 $5^\circ \times 5^\circ$ 的海区, 分

收稿日期: 2018-04-25 修回日期: 2018-06-16

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: 陈洋洋 (1991—), 女, 硕士研究生, 研究方向为渔业资源。E-mail: 601812855@qq.com

通信作者: 陈新军, E-mail: xjchen@shou.edu.cn

别统计每个海区的渔获量与气候因子之间的关系并建立每个渔区的渔场预报模型,为准确快速寻找渔场提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 材料来源

中西太平洋鲑鱼围网渔获生产统计数据来源于南太平洋渔业委员会(<http://www.spc.gov>)。数据包括日本、韩国、中国、澳大利亚、美国、西班牙和南太平洋岛国等国家和地区,统计内容包括年、月、经度、纬度、投网次数以及渔获量。研究区域为 $5^{\circ}\text{S} \sim 5^{\circ}\text{N}$, $125^{\circ}\text{E} \sim 180^{\circ}\text{E}$ 。时间为1995—2014年。空间分辨率为 $5^{\circ} \times 5^{\circ}$,时间分辨率为月。

ENSO 指标拟用 Nino 3.4 区海表温度距平值

(SSTA)来表示,其数据来自美国 NOAA 气候预报中心(<http://www.cpc.ncep.noaa.gov/>),时间单位为月。

1.2 研究方法

采用美国 NOAA 气候预报中心的标准定义推断厄尔尼诺/拉尼娜事件^[13-15]: Nino 3.4 区的温度距平值连续 3 个月超过 $+0.5^{\circ}\text{C}$ 时,则认为发生了厄尔尼诺现象; Nino 3.4 区的温度距平值连续 3 个月低于 -0.5°C 时,则认为发生了拉尼娜现象;其他的情况则为正常情况。根据以上定义推断 1995—2014 年发生的异常环境事件(表 1),并根据表 1,将 1995—2014 年,以月为分辨率,从时间上将 20 年分为 3 个部分,分别为厄尔尼诺月份、拉尼娜月份、正常月份。

表 1 1995—2014 年发生 El Nino 和 La Nina 事件

Tab. 1 Occurrence of El Nino and La Nina events during 1995 - 2014

年份 Year	1月 Jan.	2月 Feb.	3月 Mar.	4月 Apr.	5月 May	6月 Jun.	7月 Jul.	8月 Aug.	9月 Sep.	10月 Oct.	11月 Nov.	12月 Dec.
1995	E	E	E	N	N	N	N	L	L	L	L	L
1996	L	L	L	N	N	N	N	N	N	N	N	N
1997	N	N	N	N	E	E	E	E	E	E	E	E
1998	E	E	E	E	E	L	L	L	L	L	L	L
1999	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L
2000	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L
2001	L	L	L	N	N	N	N	N	N	N	N	N
2002	N	N	N	N	N	E	E	E	E	E	E	E
2003	E	E	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
2004	N	N	N	N	N	N	E	E	E	E	E	E
2005	E	E	E	E	N	N	N	N	N	N	N	N
2006	N	N	N	N	N	N	N	N	E	E	E	E
2007	E	N	N	N	N	N	N	L	L	L	L	L
2008	L	L	L	L	L	L	N	N	N	N	N	N
2009	N	N	N	N	N	N	E	E	E	E	E	E
2010	E	E	E	E	N	N	L	L	L	L	L	L
2011	L	L	L	L	N	N	N	L	L	L	L	L
2012	L	L	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
2013	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
2014	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	E	E

注: E、L 和 N 分别代表厄尔尼诺、拉尼娜以及正常月份

Notes: E. El Nino; L. La Nina; N. Normal

厄尔尼诺和拉尼娜现象会极大地影响鲑鱼的资源丰度^[13],进而影响到渔场的分布及其渔获量。为此,统计不同区域渔获量的分布来研究鲑鱼的空间分布特征。

将 1995—2014 年渔业捕捞数据与环境数据(SSTA)相匹配,并根据以上对异常环境事件的定

义以及不同月份的划分结果,将 1995—2014 年的统计数据分为 3 类,分别为厄尔尼诺月份数据、拉尼娜月份数据、正常月份数据。

将研究区域 $5^{\circ}\text{S} \sim 5^{\circ}\text{N}$, $125^{\circ}\text{E} \sim 180^{\circ}\text{E}$ 以 $5^{\circ} \times 5^{\circ}$ 为空间统计单位划分为 22 个海区进行统计。对每个海区分别统计不同 SSTA 范围(以 0.5

℃为间隔)与所对应的初值化渔获量的关系,并利用正态分布模型建立每个海区的渔场预报模型,所对应的 y 值为该海域占总海域产量的百分比。在 3 种气候条件下,分别选取 80% 的数据进行上述统计及建模,并利用剩余的 20% 数据进行验证,模型的优劣通过误差(变异系数, coefficient of variation, C_v)进行判断。变异系数 C_v 的计算方式如下:

$$C_v = \frac{V_{std}}{V_{mean}} \times 100\% \quad (1)$$

式中: C_v 为变异系数, V_{std} 为预测值标准差与实际值标准差之差, V_{mean} 为预测值的平均值与实际值平均值之差。

2 结果

2.1 不同气候条件下产量情况

统计不同气候条件下(厄尔尼诺、拉尼娜和正常月份)中西太平洋鲉鱼月总产量,结果发现:1995—2014 年间厄尔尼诺月总产量为 270.9 万吨,拉尼娜月总产量为 269.9 万吨,正常月总产量为 253.9 万吨;从月平均产量来看,厄尔尼诺月均产量为 2 997.4 t,拉尼娜月均产量为 2 986.4 t,正常月均产量为 2 809.4 t。总体来看,相比其他气候条件而言,正常年份产量要明显偏低(图 1)。

2.2 不同空间位置及气候条件下产量情况

根据不同空间位置统计 20 年的鲉鱼产量,结果发现,不同空间以及不同气候条件下产量的

有较大的差异。在 130°E ~ 145°E 海域,北纬 5° 产量明显高于南纬 5° 产量,同时在这一海域,正常月份的产量均高于 20 万 t,比其他极端气候的产量高;而在 145°E ~ 165°E 以东海域,无论南北纬,产量均相对较高,且拉尼娜月份产量均高于 20 万 t,比厄尔尼诺/正常月份的产量高;在 165°E 以东海域,产量相对较低,其中南纬 5° 海域中,拉尼娜月份产量明显比厄尔尼诺/正常月份的产量低(图 2)。

2.3 不同气候条件下围网渔场预报模型

2.3.1 厄尔尼诺情况下渔场预报分析

分析表明,在厄尔尼诺气候条件下,研究海区的 SSTa 和 22 个海区的渔获量之间均呈正态分布,相关系数均达到 0.95 以上($P < 0.01$) (表 2)。所建立的模型均能很好地拟合 SSTa 与渔获量之间的关系。

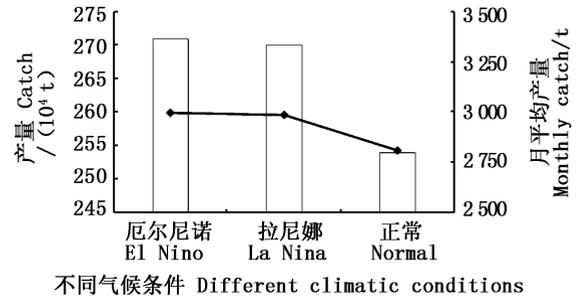


图 1 不同气候条件下鲉鱼月总产量(柱形图)及月平均产量(折线)
Fig.1 Cumulative monthly catch (bar) and mean monthly catch (line) in different climatic conditions of *Katsuwonus pelamis*

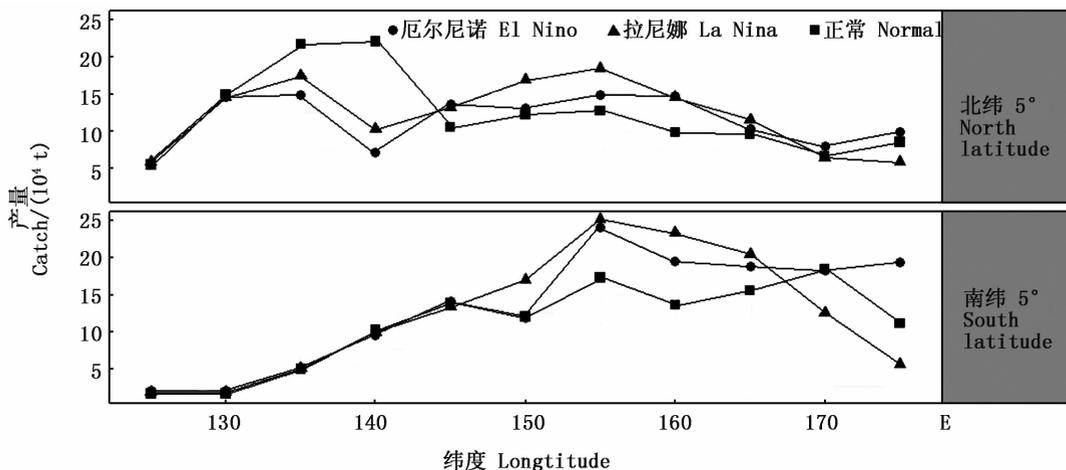


图 2 不同空间位置渔获量分布图
Fig.2 Distribution of catch in different spatial location in west central Pacific Ocean

表 2 厄尔尼诺气候条件下 22 个海区基于作业海域 SSTA 的模型

Tab. 2 Model of enter-fishing based on SSTA of fishing area in 22 fishing zones based on El - Nino

预报单元 Predicted Unit	模型 Model	相关系数 R^2	P 值 P value
0° - 5°N, 125°E - 130°E	$y = \exp[-5.5979 \times (X_{SSTA} - 0.8021)^2]$	0.9854	0.0001
0° - 5°N, 130°E - 135°E	$y = \exp[-4.7429 \times (X_{SSTA} - 0.8064)^2]$	0.9590	0.0001
0° - 5°N, 135°E - 140°E	$y = \exp[-5.2096 \times (X_{SSTA} - 0.7988)^2]$	0.9812	0.0001
0° - 5°N, 140°E - 145°E	$y = \exp[-7.5018 \times (X_{SSTA} - 0.3432)^2]$	0.9433	0.0001
0° - 5°N, 145°E - 150°E	$y = \exp[-4.6248 \times (X_{SSTA} - 0.5875)^2]$	0.9879	0.0001
0° - 5°N, 150°E - 155°E	$y = \exp[-3.0673 \times (X_{SSTA} - 0.7252)^2]$	0.9907	0.0001
0° - 5°N, 155°E - 160°E	$y = \exp[-8.2856 \times (X_{SSTA} - 0.7800)^2]$	0.9978	0.0001
0° - 5°N, 160°E - 165°E	$y = \exp[-7.7853 \times (X_{SSTA} - 0.8314)^2]$	0.9964	0.0001
0° - 5°N, 165°E - 170°E	$y = \exp[-9.6026 \times (X_{SSTA} - 0.7590)^2]$	0.9998	0.0001
0° - 5°N, 170°E - 175°E	$y = \exp[-11.2736 \times (X_{SSTA} - 0.7888)^2]$	0.9993	0.0001
0° - 5°N, 175°E - 180°E	$y = \exp[-2.3776 \times (X_{SSTA} - 1.0552)^2]$	0.9602	0.0001
0° - 5°S, 125°E - 130°E	$y = \exp[-6.6379 \times (X_{SSTA} - 0.7954)^2]$	0.9695	0.0001
0° - 5°S, 130°E - 135°E	$y = \exp[-5.8013 \times (X_{SSTA} - 0.8459)^2]$	0.9794	0.0001
0° - 5°S, 135°E - 140°E	$y = \exp[-6.0394 \times (X_{SSTA} - 0.8038)^2]$	0.9662	0.0001
0° - 5°S, 140°E - 145°E	$y = \exp[-4.1102 \times (X_{SSTA} - 0.7315)^2]$	0.9867	0.0001
0° - 5°S, 145°E - 150°E	$y = \exp[-5.7940 \times (X_{SSTA} - 0.7469)^2]$	0.9974	0.0001
0° - 5°S, 150°E - 155°E	$y = \exp[-6.2864 \times (X_{SSTA} - 0.8149)^2]$	0.9992	0.0001
0° - 5°S, 155°E - 160°E	$y = \exp[-5.6410 \times (X_{SSTA} - 0.8049)^2]$	0.9972	0.0001
0° - 5°S, 160°E - 165°E	$y = \exp[-5.8816 \times (X_{SSTA} - 0.8127)^2]$	0.9917	0.0001
0° - 5°S, 165°E - 170°E	$y = \exp[-4.9361 \times (X_{SSTA} - 0.8698)^2]$	0.9748	0.0001
0° - 5°S, 170°E - 175°E	$y = \exp[-3.0305 \times (X_{SSTA} - 0.9807)^2]$	0.9670	0.0001
0° - 5°S, 175°E - 180°E	$y = \exp[-7.0444 \times (X_{SSTA} - 0.8475)^2]$	0.9825	0.0001

注: y 为某一海域渔获量占总体的百分比, X_{SSTA} 为 SSTA 对应的温度区间

Notes: y stands for catch percentage; X_{SSTA} stands for the corresponding temperature interval

2.3.2 拉尼娜情况下渔场预报分析

分析表明,在拉尼娜气候条件下,研究海区的 SSTA 和 22 个海区的渔获量之间均呈正态分布,相关系数均在 0.75 以上,大多数均超过 0.9 ($P < 0.01$, 表 3)。所建立的模型均能很好地拟合 SSTA 与渔获量之间的关系。

2.3.3 正常气候情况下围网渔场预报分析

分析表明,在正常气候条件下,研究海区的 SSTA 和 22 个海区的渔获量之间均呈正态分布,相关系数均在 0.95 以上 ($P < 0.01$, 表 4)。所建立的模型均能很好地拟合 SSTA 与渔获量之间的关系。

2.4 模型的验证

根据 80% 的数据进行建模所得模型,利用剩余 20% 的数据进行模型验证,将不同海区的 SSTA 数据各自代入模型中,将获得的预报值与实际值进行比较。结果表明,3 种不同气候条件下的预报结果与实际统计值之间均存在显著相关关系 ($P < 0.01$, 图 5)。同时,这 3 种不同气候条件下所建立的模型均有着较高的相关系数,超过 0.6,拟合结果较好(图 5)。从误差(变异系数 C_v)来看,3 种不同的气候条件下建立的模型 C_v 范围在 4.9% ~ 6.7%,均小于 10% 的误差区间。

表 3 拉尼娜气候条件下 22 个海区基于作业海域 SSTA 的模型

Tab. 3 Model of enter-fishing based on SSTA of fishing area in the 22 fishing zones based on La Nina

预报单元 Predicted Unit	模型 Model	相关系数 R^2	P 值 P value
0° -5°N, 125°E - 130°E	$y = \exp[-1.8521 \times (X_{SSTA} + 0.9845)^2]$	0.8889	0.0013
0° -5°N, 130°E - 135°E	$y = \exp[-4.6956 \times (X_{SSTA} + 0.8480)^2]$	0.9070	0.0007
0° -5°N, 135°E - 140°E	$y = \exp[-5.1764 \times (X_{SSTA} + 0.7869)^2]$	0.9200	0.0004
0° -5°N, 140°E - 145°E	$y = \exp[-6.2126 \times (X_{SSTA} + 0.7842)^2]$	0.9103	0.0007
0° -5°N, 145°E - 150°E	$y = \exp[-4.3041 \times (X_{SSTA} + 0.6638)^2]$	0.8832	0.0016
0° -5°N, 150°E - 155°E	$y = \exp[-3.6987 \times (X_{SSTA} + 0.7910)^2]$	0.9321	0.0003
0° -5°N, 155°E - 160°E	$y = \exp[-4.4774 \times (X_{SSTA} + 0.8024)^2]$	0.9637	0.0001
0° -5°N, 160°E - 165°E	$y = \exp[-1.6900 \times (X_{SSTA} + 1.1041)^2]$	0.8338	0.0052
0° -5°N, 165°E - 170°E	$y = \exp[-2.9772 \times (X_{SSTA} + 0.8849)^2]$	0.9937	0.0001
0° -5°N, 170°E - 175°E	$y = \exp[-7.7695 \times (X_{SSTA} + 0.7775)^2]$	0.9995	0.0001
0° -5°N, 175°E - 180°E	$y = \exp[-13.4103 \times (X_{SSTA} + 0.7219)^2]$	0.9998	0.0001
0° -5°S, 125°E - 130°E	$y = \exp[-5.2559 \times (X_{SSTA} + 0.8116)^2]$	0.9002	0.0009
0° -5°S, 130°E - 135°E	$y = \exp[-2.2070 \times (X_{SSTA} + 0.9393)^2]$	0.8789	0.0018
0° -5°S, 135°E - 140°E	$y = \exp[-4.8626 \times (X_{SSTA} + 0.8309)^2]$	0.9276	0.0003
0° -5°S, 140°E - 145°E	$y = \exp[-3.2849 \times (X_{SSTA} + 0.8775)^2]$	0.9769	0.0001
0° -5°S, 145°E - 150°E	$y = \exp[-1.0235 \times (X_{SSTA} + 1.1773)^2]$	0.9532	0.0001
0° -5°S, 150°E - 155°E	$y = \exp[-6.5684 \times (X_{SSTA} + 0.8125)^2]$	0.9350	0.0002
0° -5°S, 155°E - 160°E	$y = \exp[-0.3671 \times (X_{SSTA} + 2.1170)^2]$	0.8596	0.0030
0° -5°S, 160°E - 165°E	$y = \exp[-0.2408 \times (X_{SSTA} + 2.6194)^2]$	0.7884	0.0116
0° -5°S, 165°E - 170°E	$y = \exp[-2.8603 \times (X_{SSTA} + 0.7727)^2]$	0.9263	0.0003
0° -5°S, 170°E - 175°E	$y = \exp[-2.2309 \times (X_{SSTA} + 0.9879)^2]$	0.9884	0.0001
0° -5°S, 175°E - 180°E	$y = \exp[-3.4454 \times (X_{SSTA} + 0.8715)^2]$	0.9797	0.0001

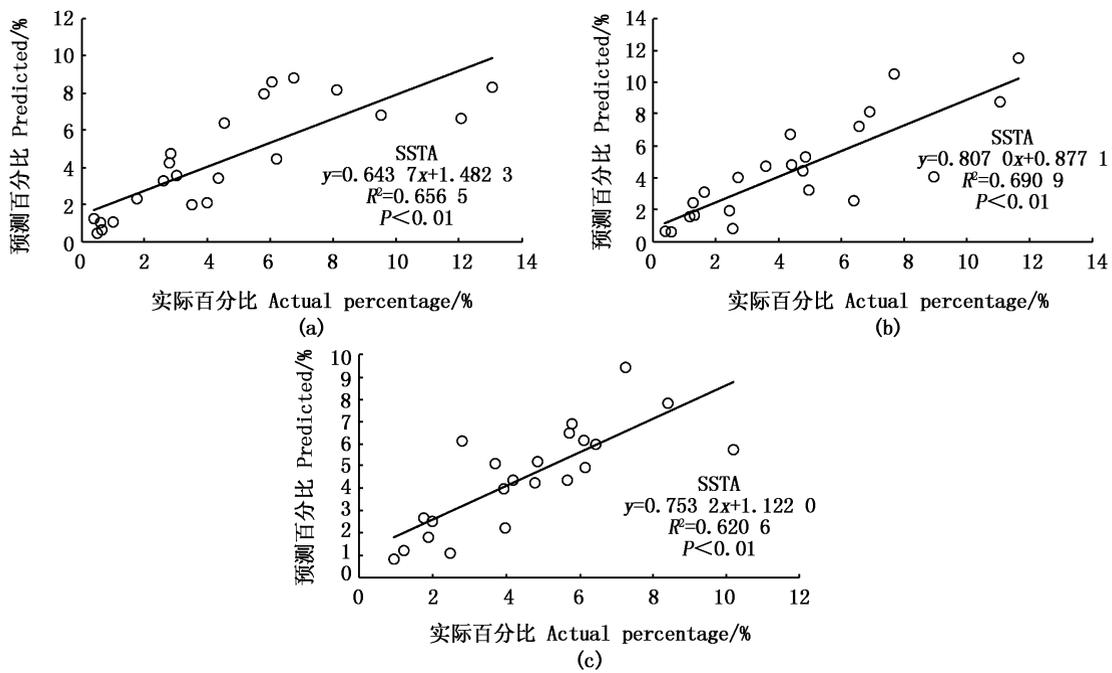
注: y 为某一海域渔获量占总体的百分比, X_{SSTA} 为 SSTA 对应的温度区间Notes: y stands for catch percentage; X_{SSTA} stands for the corresponding temperature interval

表 4 正常气候条件下 22 个海区基于作业海域 SSTA 的模型

Tab. 4 Model of enter-fishing based on SSTA of fishing area in 22 fishing zones based on normal condition

预报单元 Predict Unit	模型 Model	相关系数 R^2	P 值 P value
0° -5°N, 125°E - 130°E	$y = \exp[-3.5649 \times (X_{SSTA} + 0.1236)^2]$	0.9966	0.0001
0° -5°N, 130°E - 135°E	$y = \exp[-4.6598 \times (X_{SSTA} + 0.1183)^2]$	0.9955	0.0001
0° -5°N, 135°E - 140°E	$y = \exp[-3.5891 \times (X_{SSTA} + 0.1166)^2]$	0.9957	0.0001
0° -5°N, 140°E - 145°E	$y = \exp[-5.7834 \times (X_{SSTA} + 0.2052)^2]$	0.9999	0.0001
0° -5°N, 145°E - 150°E	$y = \exp[-5.2043 \times (X_{SSTA} + 0.1879)^2]$	0.9995	0.0001
0° -5°N, 150°E - 155°E	$y = \exp[-4.0428 \times (X_{SSTA} + 0.1355)^2]$	0.9978	0.0001
0° -5°N, 155°E - 160°E	$y = \exp[-3.8892 \times (X_{SSTA} + 0.0660)^2]$	0.9867	0.0001
0° -5°N, 160°E - 165°E	$y = \exp[-3.7994 \times (X_{SSTA} - 0.0235)^2]$	0.9731	0.0001
0° -5°N, 165°E - 170°E	$y = \exp[-3.5303 \times (X_{SSTA} - 0.0111)^2]$	0.9743	0.0001
0° -5°N, 170°E - 175°E	$y = \exp[-3.5964 \times (X_{SSTA} - 0.0046)^2]$	0.9659	0.0001
0° -5°N, 175°E - 180°E	$y = \exp[-4.0504 \times (X_{SSTA} + 0.0563)^2]$	0.9837	0.0001
0° -5°S, 125°E - 130°E	$y = \exp[-3.7655 \times (X_{SSTA} + 0.0908)^2]$	0.9966	0.0001
0° -5°S, 130°E - 135°E	$y = \exp[-4.3783 \times (X_{SSTA} + 0.1402)^2]$	0.9978	0.0001
0° -5°S, 135°E - 140°E	$y = \exp[-4.6279 \times (X_{SSTA} + 0.1199)^2]$	0.9958	0.0001
0° -5°S, 140°E - 145°E	$y = \exp[-4.2091 \times (X_{SSTA} + 0.1214)^2]$	0.9968	0.0001
0° -5°S, 145°E - 150°E	$y = \exp[-2.8856 \times (X_{SSTA} + 0.0151)^2]$	0.9771	0.0001
0° -5°S, 150°E - 155°E	$y = \exp[-3.6754 \times (X_{SSTA} + 0.1230)^2]$	0.9965	0.0001
0° -5°S, 155°E - 160°E	$y = \exp[-3.9347 \times (X_{SSTA} + 0.2024)^2]$	0.9994	0.0001
0° -5°S, 160°E - 165°E	$y = \exp[-4.2858 \times (X_{SSTA} + 0.1388)^2]$	0.9977	0.0001
0° -5°S, 165°E - 170°E	$y = \exp[-3.9234 \times (X_{SSTA} + 0.0921)^2]$	0.9923	0.0001
0° -5°S, 170°E - 175°E	$y = \exp[-3.6680 \times (X_{SSTA} - 0.0127)^2]$	0.9698	0.0001
0° -5°S, 175°E - 180°E	$y = \exp[-4.5967 \times (X_{SSTA} - 0.0708)^2]$	0.9827	0.0001

注: y 为某一海域渔获量占总体的百分比, X_{SSTA} 为 SSTA 对应的温度区间Notes: y stands for catch percentage; X_{SSTA} stands for the corresponding temperature interval



(a) 为厄尔尼诺; (b) 为拉尼娜; (c) 为正常年份
(a) El Niño; (b) La Niña; (c) Normal

图3 不同气候条件下基于 SSTA 的预测值与实际值百分比的关系图

Fig.3 Relationship between the predicted value and estimated value percentage by model based on the SSTA in different climatic conditions

3 讨论与分析

陈新军等^[6]认为,中西太平洋鲑鱼围网高产渔区空间位置主要集中在 $5^{\circ}\text{S} \sim 5^{\circ}\text{N}$ 、 $130^{\circ}\text{E} \sim 175^{\circ}\text{E}$ 海域,因此本研究中,以 $5^{\circ}\text{S} \sim 5^{\circ}\text{N}$ 、 $125^{\circ}\text{E} \sim 180^{\circ}\text{E}$ 为研究海域进行分析。厄尔尼诺等极端气候条件会极大地影响鲑鱼的渔获量^[13],厄尔尼诺/拉尼娜月份的产量相对较高,这与中西太平洋暖池中心位置的变化有着密切的关系^[16]。

在 $130^{\circ}\text{E} \sim 145^{\circ}\text{E}$ 海域,北纬产量明显高于南纬(图2),这可能是由于北纬地区所占的海域面积较大,可捕捞的面积也较大,而南纬地区大部分为陆地,也直接导致北纬有较高的渔获量。 $145^{\circ}\text{E} \sim 165^{\circ}\text{E}$ 以东海域的产量较高,拉尼娜月份产量明显高于其他气候条件下的产量(图2)。鲑鱼的主要栖息地会随着海表温的变化而变化^[17]。根据渔获量重心计算可知,在拉尼娜条件下,暖池位置较正常年份向西偏移,鲑鱼栖息位置偏西北^[10,17]。赤道的上升流海域丰富的饵料生物会随着季风向西输送^[18],因此在拉尼娜条件下比较适合鲑鱼的生长。郭爱等^[18]的研究认为,气候正

常年份 CPUE 值相对偏低,厄尔尼诺和拉尼娜年份 CPUE 值高于正常年份。在 165°E 以东海域,产量相对较低,且在拉尼娜年份下的渔获量也迅速下降,这可能是在拉尼娜条件下,海表温相对较低,更不利于鲑鱼的生长,由于不是鲑鱼理想的栖息场所,因此也直接导致了渔获量的下降。

在 SSTA 与渔获量的关系中可以发现,即使在不同的气候条件下,两者关系均符合正态分布(表2~4)。相比较而言,拉尼娜年份的相关系数相对偏低,但是在其渔获量较高的 $145^{\circ}\text{E} \sim 160^{\circ}\text{E}$ 海域,对应的相关系数仍然较高(表3)。这种变化与大尺度的环境变化有着密切的关系。沈建华等^[17]和周甦芳等^[9,13]对于中西太平洋鲑鱼渔场及时空分布与 ENSO 之间关系进行研究发现,厄尔尼诺发生时,鲑鱼围网 CPUE 经度重心随着暖池的东扩而东移,拉尼娜发生时则随着暖池向西收缩而西移。鲑鱼的栖息地与中西太平洋暖池的范围有关:在厄尔尼诺发生时,暖池的东扩使得鲑鱼的适宜栖息范围变大,因此整个研究海域的温度变化可以较好地与鲑鱼渔获量建立关系;而拉尼娜发生时,暖池向西收缩,鲑鱼作为一种暖水性鱼类,对水温的变化较为敏感,这也会

直接影响到其捕食活动,因此该海域的渔获量明显减少。

模型的验证结果表明,SSTA 能较好地表现出渔获量的变化规律,预测值与实际值百分比有着较大的关联度(图 5)。SSTA 反映出了海表温在一定时间内的变化,这可以很直观地分析出不同环境条件下鲣鱼资源量的变化。在上述分析中,暖池的移动直接导致了鲣鱼的渔获量在空间分布上发生了较大的变化,同时暖池的移动与相应的气候变化有着直接的关系,因此也可以认为鲣鱼渔获量在不同气候条件下发生了变化。因此,在对鲣鱼渔场预报的过程中,需要区分不同气候条件,以达到更为准确的预报结果。以往的相似研究主要对 CPUE 或捕捞努力量的变化进行分析^[19],主要反映了相对资源量的丰度,在历年 CPUE 或捕捞努力量波动较大的情况下,更能反映渔场的真实情况。但从渔场预报的角度来说,直接获取的渔获量能够更加直观地表达该地区的资源量状况,尤其近年来在捕捞努力量已经趋于稳定的前提下,研究渔获量的变化对渔场预测更具有指导意义。

本文根据中西太平洋鲣鱼围网捕捞历史渔业生产数据,分析了渔获量在不同气候条件下的变化,研究了不同空间位置中 3 种气候条件鲣鱼渔获量波动规律,为预测渔场和相关预报工作提供了新的思路。之前的研究^[20]主要针对不同气候条件下的鲣鱼资源丰度进行,为了更完整地体现整个变化规律,减少捕捞的盲目性从而提高捕捞效率,在后续研究中将进一步查明厄尔尼诺、拉尼娜对暖池变化的影响,引入捕捞努力量,并采用多种预报模型进行对比,包括 BP 神经网络模型^[21-22]、栖息地指数模型^[23-25]、灰色系统等^[26]。进而更全面地对鲣鱼渔场进行预报,为提升中西太平洋鲣鱼的渔情预报精确度提供参考依据。

参考文献:

- [1] COLLETTE B B, NAUEN C E. FAO species catalogue: vol. 2. Scombrids of the world. An annotated and illustrated catalogue of tunas, mackerels, bonitos and related species known to date[J]. FAO Fisheries Synopsis, 1983, 125(2): 83-86.
- [2] 苗振清,黄锡昌. 远洋金枪鱼渔业[M]. 上海:上海科学技术文献出版社,2003:1-242.
- [3] 谢营梁. 中西太平洋金枪鱼渔业的现状和展望(1)[J]. 现代渔业信息,2002,17(9):18-20.
- [4] XIE Y L. Status and perspectives of the western and central pacific ocean tuna fisheries (1)[J]. Modern Fisheries Information, 2002, 17(9): 18-20.
- [5] 齐建军,王明彦. 世界金枪鱼围网渔业的现状与前景[J]. 海洋渔业,2001,23(1):18-20.
- [6] QI J J, WANG M Y. The present status and prospects of tuna purse seine fishery in the world[J]. Marine Fisheries, 2001, 23(1): 18-20.
- [7] 邹志来. 发展金枪鱼围网渔业的可行性研究报告[J]. 远洋渔业,2000(6):1-3.
- [8] ZOU Z L. Feasibility study report of developing purse seine tuna fishery[J]. Distant Water Fishery, 2000(6): 1-3.
- [9] 陈新军,郑波. 中西太平洋金枪鱼围网渔业鲣鱼资源的时空分布[J]. 海洋学研究,2007,25(2):13-22.
- [10] CHEN X J, ZHENG B. Study on the temp-spatial distribution of skipjack resources for tuna purse seine in the west-central Pacific Ocean[J]. Journal of Marine Sciences, 2007, 25(2): 13-22.
- [11] HAMPTON J, LEWIS A, WILLIAMS P. The western and central Pacific tuna fishery: over view and status of stocks [R]. Oceanic Fisheries Programme SPC, 1999: 39.
- [12] HAMPTON J. Estimation of tag reporting and tag-shedding rates in a large-scale tuna tagging experiment in the western tropical Pacific Ocean[J]. Fish Bulletin, 1997, 95: 68-79.
- [13] 周魁芳. 厄尔尼诺-南方涛动现象对中西太平洋鲣鱼围网渔场的影响[J]. 中国水产科学,2005,12(6):739-744.
- [14] ZHOU S F. Impacts of the El Nino southern Oscillation on skipjack tuna purse-seine fishing grounds in the western and central Pacific Ocean [J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2005, 12(6): 739-744.
- [15] 汪金涛,陈新军. 中西太平洋鲣鱼渔场的重心变化及其预测模型建立[J]. 中国海洋大学学报,2013,43(8):44-48.
- [16] WANG J T, CHEN X J. Changes and prediction of the fishing ground gravity of skipjack (*Katsuwonus pelamis*) in western-central Pacific[J]. Periodical of Ocean University of China, 2013, 43(8): 44-48.
- [17] 《世界大洋性渔业概况》编写组. 世界大洋性渔业概况[M]. 北京:海洋出版社,2011.
- [18] World oceanic Fishery Status. World oceanic fishery status [M]. Beijing: China Ocean Press, 2011.
- [19] 农业部渔业渔政管理局. 中国渔业年鉴 2014[M]. 北京:海洋出版社,2014.
- [20] The Ministry of Agriculture, Fisheries Fishery Administration. China fisheries yearbook [M]. Beijing: China Ocean Press, 2014.
- [21] 周魁芳,沈建华,樊伟. ENSO 现象对中西太平洋鲣鱼围

- 网渔场的影响分析[J]. 海洋渔业, 2004, 26(3): 168-172.
- ZHOU S F, SHEN J H, FAN W. Impacts of the El Nino southern oscillation on skipjack tuna (*Katsuwonus pelamis*) purse-seine fishing grounds in the western and central Pacific Ocean[J]. Marine Fisheries, 2004, 26(3): 168-172.
- [14] 张启龙, 翁学传, 侯一筠, 等. 西太平洋暖池表层暖水的纬向运移[J]. 海洋学报, 2004, 26(1): 33-39.
- ZHANG Q L, WENG X C, HOU Y J, et al. Zonal movement of surface warm water in the western pacific warm pool[J]. Acta Oceanologica Sinica, 2004, 26(1): 33-39.
- [15] 钟姗姗, 何金海, 刘宣飞, 等. ENSO 十年际尺度变率的机制初探[J]. 热带海洋学报, 2004, 23(2): 28-36.
- ZHONG S S, HE J H, LIU X F, et al. Possible mechanisms of ENSO' S decadal variability [J]. Journal of Tropical Oceanography, 2004, 23(2): 28-36.
- [16] LEHODEY P, BERTIGNAC M, HAMPTON J, et al. El Nino southern oscillation and tuna in the western Pacific[J]. Nature, 1997, 389(6652): 715-718.
- [17] 沈建华, 陈雪冬, 崔雪森. 中西太平洋金枪鱼围网鲣鱼渔获量时空分布分析[J]. 海洋渔业, 2006, 28(1): 13-19.
- SHEN J H, CHEN X D, CUI X S. Analysis on spatial-temporal distribution of skipjack tuna catches by purse seine in the western and central Pacific Ocean [J]. Marine Fisheries, 2006, 28(1): 13-19.
- [18] 郭爱, 陈新军. ENSO 与中西太平洋金枪鱼围网资源丰度及其渔场变动的关系[J]. 海洋渔业, 2005, 27(4): 338-342.
- GUO A, CHEN X J. The relationship between ENSO and tuna purse-seine resource abundance and fishing grounds distribution in the western and central Pacific Ocean [J]. Marine Fisheries, 2005, 27(4): 338-342.
- [19] TIAN S Q, CHEN X J, CHEN Y, et al. Evaluating habitat suitability indices derived from CPUE and fishing effort data for *Ommastrephes bratramii* in the northwestern Pacific Ocean [J]. Fisheries Research, 2009, 95(2/3): 181-188.
- [20] 陈洋洋, 陈新军. 厄尔尼诺/拉尼娜现象对中西太平洋鲣资源丰度的影响[J]. 上海海洋大学学报, 2017, 26(1): 113-120.
- CHEN Y Y, CHEN X J. Influence of El Nino/La Nina on the abundance index of skipjack in the western and central Pacific Ocean[J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2017, 26(1): 113-120.
- [21] 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.
- [22] 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.
- [23] 蒋瑞, 陈新军, 雷林, 等. 秋冬季智利竹(竹夹)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.
- [24] 王易帆, 陈新军. 中西太平洋鲣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.
- [25] 余为, 陈新军, 易倩. 不同气候模态下西北太平洋柔鱼渔场环境特征分析[J]. 水产学报, 2017, 41(4): 525-534.
- YU WEI, CHEN X J, YI Q. 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 [J]. Journal of Fisheries of China, 2017, 41(4): 525-534.
- [26] 段丁毓, 陈芑, 陈新军, 等. 基于灰色系统的秘鲁鳀资源量预测模型的构建[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.

Fishing ground forecasting on *Katsuwonus pelamis* based on different climatic conditions in western and central Pacific Ocean

CHEN Yangyang¹, CHEN Xinjun^{1,2,3,4}, GUO Lixin¹, FANG Zhou^{1,2,3,4}

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

Abstract: Based on the purse seine statistical data of skipjack tuna in western and central Pacific Ocean during 1995—2014, 22 high catch fishing zone were selected, taking catch data as the index and combining different climatic conditions divided by the Nino index, to establish the forecasting model of *Katsuwonus pelamis* in western and central Pacific Ocean based on the different climatic conditions. The results showed that: the catch of skipjack fluctuated among different climatic conditions, the monthly total catch and monthly mean catch in El Nino were the highest, which was similar to La Nina, and higher than the normal condition; the catch among different spatial and climatic conditions had difference, the catch in 5°N was higher than 5° S, and the normal condition had the highest catch; La Nina event was the highest between the 145°E – 165° E; La Nina was the lowest eastward of 165°E; the relationship between catch and SSTA of Nino 3.4 was established, and the above two indexes had strong relationship, fit well with the Normal Model ($P < 0.01$). The model validation result showed that predicted results and actual results fitted well and had significant relationship in all the three climatic conditions. The spatial catch variation of skipjack tuna was analyzed under three different climatic conditions in western and central Pacific Ocean. The model can effectively provide new idea for the future work of fishing ground prediction and forecasting.

Key words: skipjack; catch; El Nino/La Nina; fishing ground forecasting