

DOI: 10.3724/SP.J.1118.2019.18324

基于海表温和水深的南海北部短尾大眼鲷渔场分析

范江涛^{1,2}, 黄梓荣¹, 许友伟¹, 孙铭帅¹, 晏然², 陈作志¹

1. 中国水产科学研究院南海水产研究所, 农业农村部外海渔业开发重点实验室, 广东 广州 510300;

2. 上海海洋大学海洋科学学院, 上海 201306

摘要: 根据 2014—2017 年南海北部 200 m 等深线以浅海域渔业资源调查的短尾大眼鲷(*Priacanthus macracanthus*) 数据, 结合遥感获得的海表温度(sea surface temperature, SST)数据, 首次将渔场水深(D)与 SST 的乘积(SSTD)引入作为新的变量, 采用灰色关联度方法筛选与渔场关联度最高的变量, 将关联度最高的变量与标准化后的单位捕捞努力量(catch per unit effort, CPUE)采用一元非线性回归建立模型, 对模型理论 CPUE 与实际 CPUE 的时空变化进行分析。结果表明, 南海北部短尾大眼鲷渔场随季节变化明显, 各季节 CPUE 随 SST 呈先增大后减小的趋势; 不同季节 CPUE 最高的海域水深不同, 春季为 160 m, 夏季为 140 m, 秋季为 60 m, 冬季为 140 m; CPUE 与 SST、 D 、SSTD 进行灰色关联度分析发现, 各季节 CPUE 与 SSTD 关联度最高且关联度均超过 0.5; 将 SSTD 作为变量, CPUE 作为表征渔场好坏的指标值, 建立环境因子与 CPUE 的关系模型, 模型理论 CPUE 高值区有明显的季节变化, 且实际 CPUE 高值区的分布与理论 CPUE 高值区分布一致, 以上结果 P 值均小于 0.05, 模型预测准确。

关键词: 南海北部; 短尾大眼鲷; 渔场分析; 海表温度; 水深

中图分类号: S934

文献标志码: A

文章编号: 1005-8737-(2019)01-0026-08

短尾大眼鲷(*Priacanthus macracanthus*)属于大眼鲷科(Priacanthidae)大眼鲷属, 广泛分布于中国沿岸海区, 属于暖水性底层鱼类, 其中南海北部海域是其渔场的主要分布地区^[1]。近年来随着捕捞渔获物结构发生变化, 其在近岸捕捞渔获中的比例不断升高, 占总渔获量的比例稳定在 30% 左右^[2], 是南海区近岸海域主要经济物种之一, 具有较高的经济价值和生态意义^[3]。国内外学者对短尾大眼鲷生活史^[4-6]、摄食^[7]、生长死亡参数^[8-9]、种群遗传结构^[10-12]等方面进行了研究, 但针对其渔场及环境因子的研究较少, 特别是结合水深因子(depth, D)分析渔场与海表温(sea surface temperature, SST)的关系尚不多见。

灰色关联度分析^[13]和一元非线性回归分析^[14]广泛应用于社会和自然学科各个领域, 如农业、渔业、教育、卫生等。灰色关联度分析是衡量因素间关联程度的一种方法, 通过序列曲线之间的相关程度来判断其联系是否紧密; 通过关联度数值的大小可以判断产生影响的重要因素和非重要因素。环境变量与渔场之间的关系通常为非线性关系, 因此非线性回归能够较好地描述渔场与环境变量之间的关系。为此本研究根据南海北部 200 m 以浅海域渔业资源调查数据, 综合 SST 和 D , 分析渔场的时空变化与海洋环境因子的关系, 为南海北部短尾大眼鲷的资源评价与渔场判别提供依据。

收稿日期: 2018-09-15; 修订日期: 2018-11-11.

基金项目: 公益性行业(农业)科研专项(201403008); 农业部财政专项“南海北部近海渔业资源调查”(2014-2018); 农业部外海渔业开发重点实验室开放基金项目(LOF 2018-01); 中国水产科学研究院基本科研业务费专项基金项目(2017HY-ZD0804); 广东省促进海洋经济发展专项资金(GDME-2018E004).

作者简介: 范江涛(1987–), 男, 助理研究员, 从事渔业资源和渔情预报研究. E-mail: tianxiahaiyin@163.com

通信作者: 陈作志, 研究员, 从事渔业资源和海洋生物学研究. E-mail: zzchen2000@163.com

1 材料与方法

1.1 数据来源

渔场数据来自 2014—2017 年南海北部近海渔业资源调查 8 个航次的底拖网调查, 按年分为春、夏、秋、冬 4 个季度, 春季调查为 4—5 月, 夏季调查为 7—8 月, 秋季调查为 10—11 月, 冬季调查为 1—2 月, 每个季度调查 2 个航次。调查船为“桂北渔 60011”, 船长 36.8 m, 宽 6.8 m, 吨位 242 t,

功率 441 kW, 底拖网网具尺寸为 80.4 m×60.54 m。调查范围为南海北部近岸区域 200 m 等深线以浅海域, 共布设 99 个站位(图 1), 每个站位拖网 1 h, 数据包含拖网日期、经纬度、水深、渔获物种类、数量等。

SST 数据来自美国国家海洋和大气管理局网站(<http://coastwatch.pfeg.noaa.gov/erddap/info/>)卫星遥感数据, 空间分辨率为 4 km, 选取拖网当天的数据。

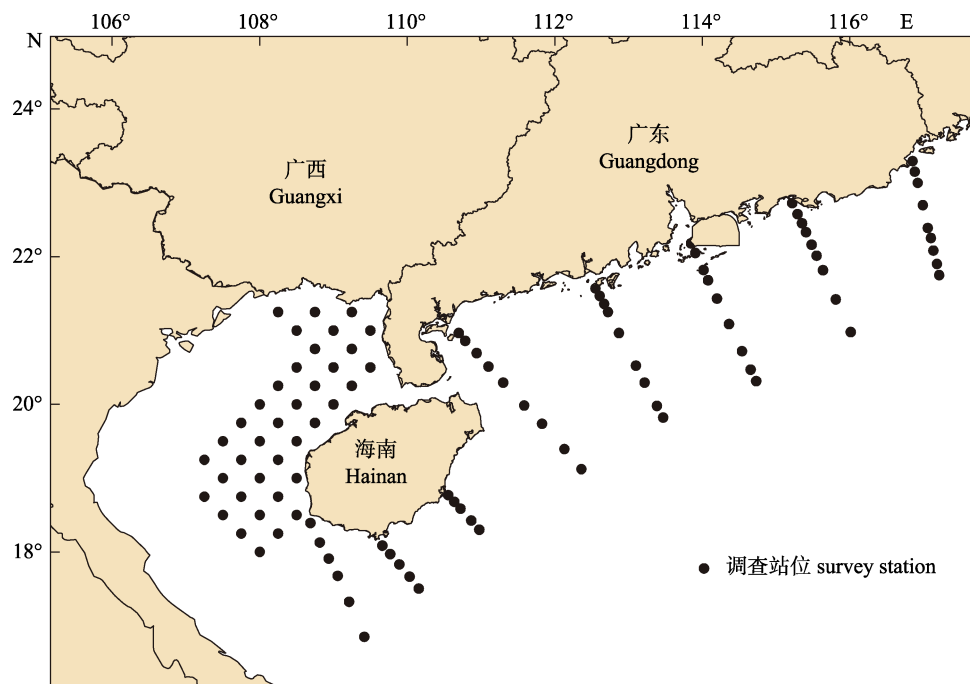


图 1 本研究调查站位

Fig. 1 Survey stations in the present study

1.2 数据处理方法

按照站位统计渔场数据, 以单位捕捞努力量 (catch per unit effort, CPUE) 作为表征渔场质量的指标量^[15], CPUE 高于当季调查 CPUE 的前 30% 的区域认为渔场较好, 低于当季调查 CPUE 的后 30% 认为渔场较差。

$$CPUE = Y/T$$

式中, Y 为该站点的渔获量(kg), T 为该站点的拖网时间(h), CPUE 单位为 kg/h。

SST 数据按照调查时间与调查站位进行匹配, 采用频次分析法分析 SST 与 CPUE 的关系; 水深数据采用现场测量数据, 单位 m, 分析调查水深与 CPUE 的关系; 将各站位 SST 与水深 D 相乘,

得到新的变量(SSTD), 作为表示温度在海洋内部变化的变量, 与 SST 和 D 等数据一起分析与 CPUE 的关系。此变量可将 SST 与 D 相结合, 只采用一个可变化的 SST 与相对地理位置固定的 D 结合, 更简洁直观反映渔场与 SST 和水深的关系。

1.3 模型构建

运用灰色关联度分析^[13], 研究不同季节 CPUE 与 D 、SST、SSTD 的关联度, 并选取关联度最高的因子作为建模因子带入下一步建模中。先分别计算各原始数据的平均数, 再用各组原始数据除以该平均数, 得到一个各个数据相对于平均数倍数的均值化数列; 采用比较数列与参考数列各个时期的关联系数的平均值来定量反映这两

个数列的关联程度,其计算公式为:

$$\delta_k(t) = \frac{A_{\min} + \rho A_{\max}}{A_{k(t)} + \rho A_{\max}}$$

$$r_k = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \delta_k(t)$$

式中, r_k 为关联度; ρ 为分辨系数, 取 0.5; $A_{k(t)}$ 为各期数值与参考数列的差值绝对值; A_{\min} 和 A_{\max} 分别为所有比较数列在各期的差值绝对值中的最小值和最大值。

按照季节, 将各季节 CPUE 进行标准化处理, 各季节 CPUE 最高时认为 CPUE 为 1, CPUE 最低时认为 CPUE 为 0; 标准化 CPUE 的计算公式如下^[16]:

$$CPUE_i = \frac{CPUE}{CPUE_{\max}}$$

式中, $CPUE_i$ 为 i 季得到的标准 CPUE; $CPUE_{\max}$ 为 i 季的最大单位捕捞努力量渔获量。采用一元非线性回归, 建立标准化后的 $CPUE_i$ 与关联度最高的因子之间的关系, 以此来分析渔场的时空变化, 一元非线性回归模型形式如下:

$$CPUE_i = (a - b \times M)^c$$

式中, a 、 b 、 c 均为模型系数, M 为各季节 SST、 D 、SSTD 中关联度最高的因子。

对各季节模型理论 $CPUE_i$ 结果进行克里格插值^[17-18], 并与实际 CPUE 进行叠加分析, 克里格插值采用普通克里格插值, 定量分析渔场分布特征, 根据插值给出最优的无偏估计, 同时提供估计值的误差和精准度, 其实质是局部估计的加权平均值:

$$Z_y = \sum_{i=1}^n \sigma_i Z(x_i)$$

式中, Z_y 为理论 CPUE 的插值结果, σ_i 是与 CPUE 实际值 $Z(x_i)$ 有关的加权系数, 对于给定的一组数据信息 $Z(x_i)$, 存在一组 σ_i 使得估计方差最小, 则该区域的理论 $CPUE_i$ 插值真值在最小可能的置信区间内产生。

2 结果与分析

2.1 CPUE 与 SST 的关系

不同季节 CPUE 与 SST 的关系如图 2 所示,

各季节 CPUE 均随 SST 的升高呈现先升高后降低的趋势, 其中春季 CPUE 最高时 SST 为 26℃, 夏季 CPUE 最高时 SST 为 28℃, 秋季 CPUE 最高时 SST 为 25℃, 冬季 CPUE 最高时 SST 为 20℃。

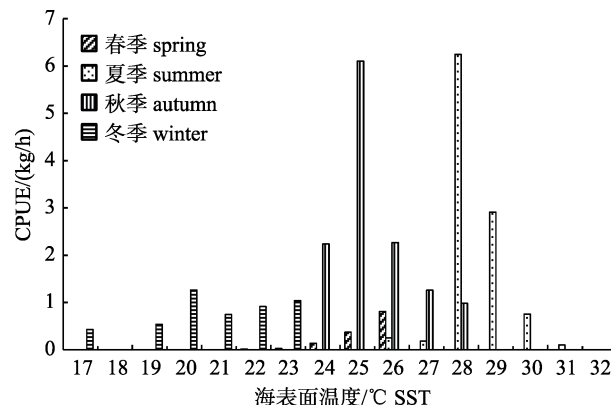


图 2 南海北部海域短尾大眼鲷不同季节单位捕捞努力量渔获量(CPUE)与海表面温度(SST)的关系

Fig. 2 Relationship of *Priacanthus macracanthus* CPUE and SST in different seasons in the northern South China Sea

2.2 CPUE 与水深的关系

以水深 20 m 为间隔, 分析不同季节 CPUE 与调查站位水深的关系(图 3), 结果发现, 春季 CPUE 随水深加深有增大趋势, 160 m 处 CPUE 最大; 夏季 CPUE 随水深变化较小, 在 140 m 水深处达到最大值; 秋季 CPUE 随水深呈先增大后减小的趋势, 在水深 60 m 处达到最大; 冬季 CPUE 随水深增大呈增加趋势, 在 140 m 处达到最大。

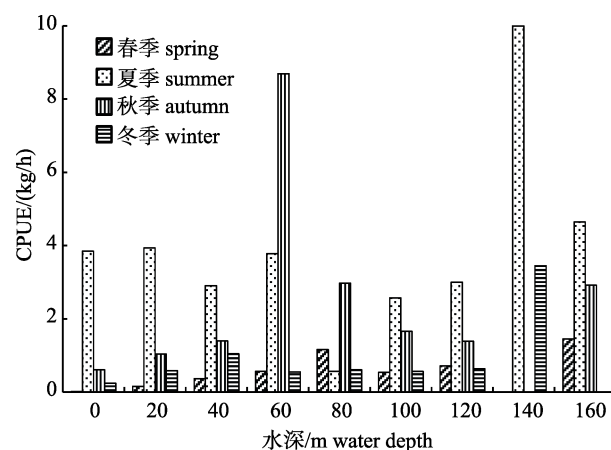


图 3 南海北部海域短尾大眼鲷不同季节 CPUE 与水深(D)的关系

Fig. 3 Relationship of *Priacanthus macracanthus* CPUE and depth (D) in different seasons in the northern South China Sea

2.3 栖息地模型

2.3.1 各季节 CPUE 与水深和温度的关联度分析

各季节 CPUE 分别与水深, SST, SSTD 进行灰色关联度分析, 分辨系数 ρ 取 0.5, 结果见表 1。

表 1 南海北部海域短尾大眼鲷各季节 CPUE 与水深、表温、水深表温乘积的关联度

Tab. 1 The correlation of *Priacanthus macracanthus* CPUE and D , SST, and product of D and SST (SSTD) in each season in the northern South China Sea

因子 factor	春季 spring	夏季 summer	秋季 autumn	冬季 winter
水深 D	0.5352	0.5000	0.7514	0.5189
表温 SST	0.4879	0.4438	0.7297	0.5381
水深表温乘积 $D \times SST$, SSTD	0.6378	0.5990	0.8496	0.6135

从上表中可看出, 各季节 CPUE 均与 SSTD 关联度最高, 因此将 SSTD 作为环境因子带入下一步的分析建模中。

2.3.2 模型的建立 采用一元非线性回归, 建立各季节 CPUE 与 SSTD 的关系模型, 结果如表 2 所示。

表 2 南海北部海域短尾大眼鲷各季节 CPUE 与 SSTD 的关系模型

Tab. 2 The *Priacanthus macracanthus* CPUE and product of D and SST (SSTD) relation models in each season in the northern South China Sea

季节 season	模型 model	R^2	P
春季 spring	$CPUE_i = (6.59 - 0.0028 \times SSTD)^{-1.21}$	0.9827	0.000
夏季 summer	$CPUE_i = (25377.67 - 5.08 \times SSTD)^{-0.27}$	0.8614	0.000
秋季 autumn	$CPUE_i = (2999.71 - 1.50 \times SSTD)^{-0.37}$	0.9839	0.000
冬季 winter	$CPUE_i = (1036939.06 - 345.67 \times SSTD)^{-0.22}$	0.9012	0.009

结合表 2 与图 4 可知, 对表 2 的各模型求 1 阶导数即可获得各季节的最适 SSTD 的取值, 春季最适 SSTD 为 2084, 夏季最适 SSTD 为 4997, 秋季最适 SSTD 为 2132, 冬季最适 SSTD 为 3235, 全年最适 SSTD 的变化呈明显的单峰分布趋势。各季节模型 P 值均小于 0.05, 模型拟合准确。

2.3.3 模型分析 对各季节模型的理论值 $CPUE_i$ 进行普通克里格插值, 并叠加相应季节的 CPUE 实际值进行分析(图 5), 结果表明, $CPUE_i$ 和 CPUE 实际值分布均有明显的季节变化。春季 $CPUE_i$ 高

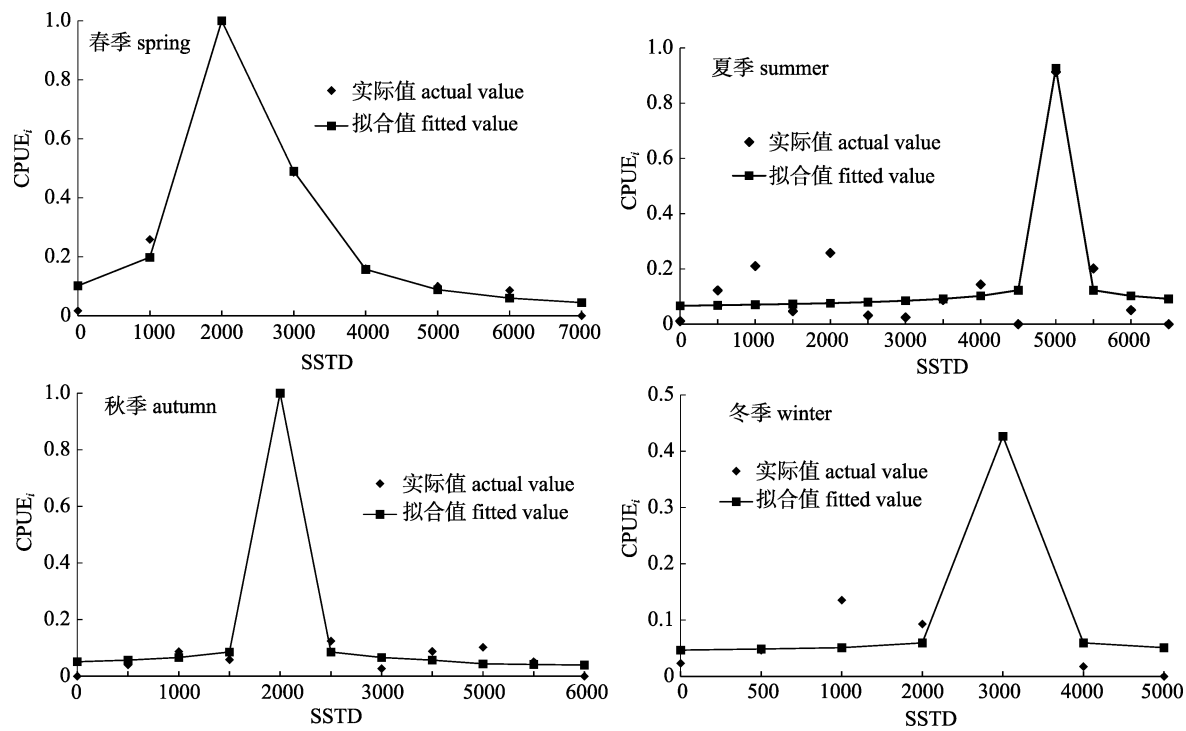


图 4 南海北部海域短尾大眼鲷各季节 CPUE 模型拟合值与实际值
Fig. 4 The fitting values and actual values of each model in each season in the northern South China Sea of *Priacanthus macracanthus*

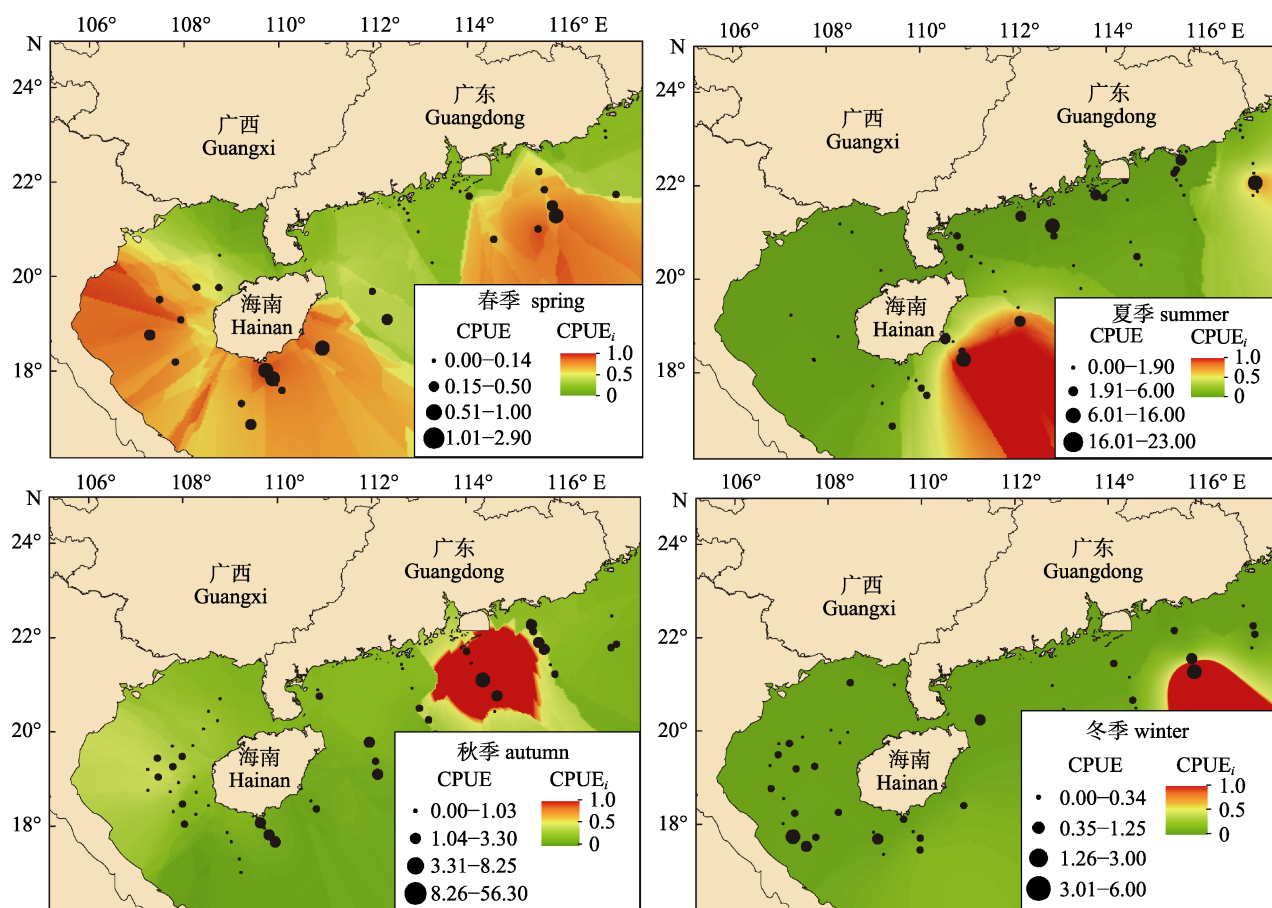


图 5 南海北部海域短尾大眼鲷各季节 CPUE_i 与 CPUE 分布

Fig. 5 Distribution of CPUE_i and CPUE in each season in the northern South China Sea of *Priacanthus macracanthus*

值区(CPUE_i>0.5)分布较广,主要集中在海南岛南部海域和珠江口外海海域;夏季 CPUE_i 高值区分布于海南岛东南部海域和汕头东部外海海域;秋季 CPUE_i 高值区分布于珠江口外海海域和北部湾中部海域;冬季 CPUE_i 高值区分布于珠江口东南外海海域。

CPUE 分布具有明显的季节变化,春季 CPUE 高值区主要分布于海南岛东南侧和汕头外海海域;夏季 CPUE 高值区主要分布于海南岛东南侧和广东省近岸海域;秋季 CPUE 高值区主要分布于珠江口外海海域;冬季 CPUE 较低,高值区主要分布于北部湾南部和汕头外海海域。CPUE 高值区的分布与 HSI 高值区分布一致,模型预测准确。

3 讨论

该研究分析了南海北部短尾大眼鲷渔场的分布及其与海表温和水深因子的关系,并首次将

SSTD 因子引入到渔场分析中,研究水深与表温的共同作用下渔场的分布规律,进一步阐明了 CPUE 分布是水深与温度综合作用的结果,为进一步研究渔场形成规律和渔场判别奠定了基础。

3.1 短尾大眼鲷渔场的分布

短尾大眼鲷在南海北部近海分布广泛,不同季节渔场呈现不同分布趋势。其中夏秋季分布模式接近,与冬春季有明显不同(图 5),渔场在夏秋季分布较冬春季更为分散,且 CPUE 明显高于冬春季,这可能与其在夏季产卵的生物学特性有关^[19-20]。另外该研究发现,南海北部的大眼鲷渔场呈明显的斑块状分布,与传统假定渔场呈均匀分布有较大不同^[4, 21],CPUE 高值区分布往往较为集中,而大部分海区 CPUE 较低,具有一定的集群性特点。

结合各季节最适 SSTD 来看,短尾大眼鲷春秋季节渔场的特点较为一致,夏季 SSTD 最大,说

明在 SST 较高时, 短尾大眼鲷多分布于水深较深的海域; 而秋季最适 SSTD 较小, 说明在秋季短尾大眼鲷分布于水深较浅处; 冬季 SSTD 位于秋季和夏季中间, 但冬季 SST 较低, 说明冬季其栖息水深比秋季要深; 这从另一个角度解释了不同季节的渔场分布差异。

3.2 渔场形成机制分析

从渔场分布来看, 冬春季渔场多分布于离岸较近的海域, 夏秋季离岸较远, 这可能与温度与饵料生物分布的季节变化有关^[20, 22-23], 冬春季海水温度较低, 其主要饵料生物虾类、头足类幼体等^[7]分布受叶绿素分布的影响离岸较近, 故 CPUE 高值区主要集中于近岸海域; 而夏秋季海水温度升高, 叶绿素高值区向离岸方向移动, 故而 CPUE 高值区主要分布于水深较深的离岸海域。另一方面短尾大眼鲷渔场的分布也易受海水中溶解氧浓度的影响^[20]。

南海北部近岸海域, 除受海洋环境因素影响较多外, 受人为活动和天气变化过程影响也不可忽视, 特别是近年来近岸的海岸工程建设, 人工鱼礁建设等进一步影响了近岸渔场的分布, 其中对短尾大眼鲷的鱼卵、仔稚鱼的分布影响较大, 而鱼卵、仔稚鱼的时空变动进一步影响了短尾大眼鲷渔场的变化。

3.3 模型准确性

从模型本身和插值结果进行准确性的检验, 采用交叉验证法^[14, 18]对模型和插值效果进行评价, 其 $R^2=0.67$, 可以解释大多数变量的变化, 可以认为模型本身和插值结果是恰当的。

根据已建立的栖息地指数模型, 将各季节模型的预测值与实际值进行比较, 预测值与理论值之差小于 0.4 则认为模型准确, 反之认为模型不准确^[24-27], 其结果如表 3, 平均准确率为 75%, 表明所建立的模型能够有效解释渔场分布与所选环境因子之间的关系。

3.4 展望

本研究采用了 8 个航次的调查数据, 涵盖了 4 年, 每个季度 2 次调查, 数据具有一定的代表性, 但其时间序列仍不够长, 存在一定的偶然性与不确定性, 数据易受台风等气候事件和偶然捕获等

表 3 标准化 CPUE_i 与水深表温乘积关系模型的准确性分析
Tab. 3 Accuracy analysis of CPUE_i and SSTD model %

季节 season	正确率 accuracy	错误率 miss
春季 spring	67	33
夏季 summer	71	29
秋季 autumn	83	17
冬季 winter	77	23
合计 total	75	25

影响^[5, 22, 28]。另外本研究仅将 SST 与水深 D 进行简单的相乘, 因子的处理较为简单, 未能反映其内在物理海洋的变化原因, 在今后的研究中应进一步探索渔场与其他环境因子, 环境因子自身在海水中垂直变化等各种海洋环境要素的关系。

参考文献:

[1] Sun D R, Lin Z J. Variations of major commercial fish stocks and strategies for fishery management in Beibu Gulf[J]. Journal of Tropical Oceanography, 2004, 23(2): 62-68. [孙典荣, 林昭进. 北部湾主要经济鱼类资源变动分析及保护对策探讨[J]. 热带海洋学报, 2004, 23(2): 62-68.]

[2] Ju P L. Study on the changes of the ecological characteristics of four species of fish in the Taiwan Strait and its adjacent waters[D]. Xiamen: Xiamen University, 2015: 47-56. [鞠培龙. 台湾海峡及其邻近海域四种底层及近底层鱼类生态学特征变化的研究[D]. 厦门: 厦门大学, 2015: 47-56.]

[3] Chen G B, Li Y Z, Zhao X Y, et al. Acoustic assessment of five groups commercial fish in South China Sea[J]. Acta Oceanologica Sinica, 2006, 28(2): 128-134. [陈国宝, 李永振, 赵宪勇, 等. 南海 5 类重要经济鱼类资源声学评估[J]. 海洋学报, 2006, 28(2): 128-134.]

[4] Lu Z B, Dai Q S, Yan Y M. A study of population dynamics of major benthic commercial fishes in Fujian coastal waters[J]. Journal of Oceanography in Taiwan Strait, 1999, 18(1): 100-105. [卢振彬, 戴泉水, 颜尤明. 福建近海主要底层经济鱼类的种群动态[J]. 台湾海峡, 1999, 18(1): 100-105.]

[5] Jabbar M A, Kamal M M, Boer M, et al. Population dynamics of the red bigeye (*Priacanthus macracanthus* Cuvier, 1829) (Fish: Family Priacanthidae) in Palabuhanratu Bay, Indonesia[J]. Aquaculture, Aquarium, Conservation & Legislation, 2017, 10(5): 1198-1209.

[6] Joung S J, Chen C T. Age and growth of the big eye *Priacanthus macracanthus* from the surrounding water of Guei-Shan Island, Taiwan[J]. Nippon Suisan Gakkaishi, 1992, 58(3): 481-488.

[7] Lu Z H, Zhu Z J, Lin X P. Food habits of *Priacanthus macracanthus* in East China Sea region[J]. Marine Fisheries,

- 2010, 32(2): 199-203. [卢占晖, 朱增军, 林显鹏. 东海区短尾大眼鲷的食性分析[J]. 海洋渔业, 2010, 32(2): 199-203.]
- [8] Sun D R, Qiu Y S. Estimation of growth and mortality parameters of *Priacanthus macracanthus* in the north continental shelf of South China Sea[J]. Journal of Zhanjiang Ocean University, 2004, 24(1): 28-34. [孙典荣, 邱永松. 南海北部大陆架短尾大眼鲷生长和死亡参数估计[J]. 湛江海洋大学学报, 2004, 24(1): 28-34.]
- [9] Zhang K, Chen Z Z, Wang Y Z, et al. Population structure of *Priacanthus macracanthus* in the Beibu Gulf, and parameters for its growth, mortality and maturity[J]. Journal of Tropical Oceanography, 2016, 35(5): 20-28. [张魁, 陈作志, 王跃中, 等. 北部湾短尾大眼鲷群体结构及生长、死亡和性成熟参数估计[J]. 热带海洋学报, 2016, 35(5): 20-28.]
- [10] Ju P L, Yang L, Lu Z B, et al. Age, growth, mortality and population structure of silver croaker *Pennahia argentata* (Houttuyn, 1782) and red bigeye *Priacanthus macracanthus* (Cuvier, 1829) in the north-central Taiwan Strait[J]. Journal of Applied Ichthyology, 2016, 32(4): 652-660.
- [11] Xiong D, Li M, Chen Z Z, et al. Genetic structure of *Priacanthus macracanthus* population from the South China Sea[J]. South China Fisheries Science, 2015, 11(2): 27-34. [熊丹, 李敏, 陈作志, 等. 南海短尾大眼鲷的种群遗传结构分析[J]. 南方水产科学, 2015, 11(2): 27-34.]
- [12] Xiong D, Li M, Li Y Z, et al. Sequence analysis of the mitochondrial cytochrome *b* and identification of the *Priacanthus macracanthus* population in the South China Sea[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2016, 23(1): 188-197. [熊丹, 李敏, 李永振, 等. 南海短尾大眼鲷线粒体 Cyt *b* 基因序列及种群判别分析[J]. 中国水产科学, 2016, 23(1): 188-197.]
- [13] Chen X J. Application of Grey System Theory in Fishery Science[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2003: 23-28. [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: 23-28.]
- [14] Du R Q. Biostatistics[M]. Beijing: Higher Education Press, 2003: 78-92. [杜荣骞. 生物统计学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2003: 78-92.]
- [15] Fan J T, Chen G B, Chen Z Z. Forecasting fishing ground of calamary in the northern South China Sea according to habitat suitability index[J]. South China Fisheries Science, 2017, 13(4): 11-16. [范江涛, 陈国宝, 陈作志. 基于栖息地指数的南海北部枪乌贼渔情预报模型构建[J]. 南方水产科学, 2017, 13(4): 11-16.]
- [16] Fan J T, Chen Z Z, Zhang J, et al. *Sthenoteuthis oualaniensis* fishing grounds analysis based on marine environmental factors and different weight coefficients in the Zhongxisha and Xisha Islands, South China Sea[J]. South China Fisheries Science, 2016, 12(4): 57-63. [范江涛, 陈作志, 张俊, 等. 基于海洋环境因子和不同权重系数的南海中沙西沙海域鸢乌贼渔场分析[J]. 南方水产科学, 2016, 12(4): 57-63.]
- [17] Fan J T, Zhang J, Feng X, et al. Analysis of *Sthenoteuthis oualaniensis* fishing grounds in Nansha sea area based on geostatistics[J]. Chinese Journal of Ecology, 2017, 36(2): 442-446. [范江涛, 张俊, 冯雪, 等. 基于地统计学的南沙海域鸢乌贼渔场分析[J]. 生态学杂志, 2017, 36(2): 442-446.]
- [18] Wang Z Q. Geostatistics and Its Application in Ecology[M]. Beijing: Science Press, 1999: 38-55. [王政权. 地统计学及在生态学中的应用[M]. 北京: 科学出版社, 1999: 38-55.]
- [19] Liu K M, Hung K Y, Chen C T. Reproductive biology of the big eye *Priacanthus macracanthus* in the north-eastern waters off Taiwan[J]. Fisheries Science, 2001, 67(6): 1008-1014.
- [20] Liu K M, Chen C T, Joung S J. Some aspects on the fishery biology of big eye *Priacanthus macracanthus* in the Tung-kang waters, southwestern Taiwan[J]. Journal of Taiwan Fisheries Association, 1992, 19(4): 251-262.
- [21] Zhang J, Yao Z, Lin L S, et al. Spatial distribution of biomass and fishery biology of main commercial fish in the mouth of Beibu Bay and the southwestern waters of the Nansha Islands[J]. Periodical of Ocean University of China, 2016, 46(11): 158-167. [张静, 姚壮, 林龙山, 等. 北部湾口和南沙群岛西南部海域主要渔获种类的生物学特征及其数量分布[J]. 中国海洋大学学报: 自然科学版, 2016, 46(11): 158-167.]
- [22] Lu H J, Lee H L. Changes in the fish species composition in the coastal zones of the Kuroshio Current and China Coastal Current during periods of climate change: Observations from the set-net fishery (1993-2011)[J]. Fisheries Research, 2014, 155(4): 103-113.
- [23] Hsieh C H, Chiu T S. Summer spatial distribution of copepods and fish larvae in relation to hydrography in the northern Taiwan Strait[J]. Zoological Studies, 2004, 41(1): 85-98.
- [24] 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]. Journal of Ocean University of China: Natural Science, 2005, 35(1): 101-107.
- [25] 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.
- [26] Zainuddin M, Saitoh K, Saitoh S I. Albacore (*Thunnus alalunga*) fishing ground in relation to oceanographic conditions in the western North Pacific Ocean using remotely sensed satellite data[J]. Fisheries Oceanography, 2008, 17(2): 61-73.
- [27] Zhu J, Xu J, Zhang C, et al. Marine fishing ground prediction based on Bayesian decision tree model[C]//Proceedings of the 2017 International Conference on Management Engineering, Software Engineering and Service Sciences. New York: ACM Press, 2017: 316-320.
- [28] Alabia I D, Saitoh S I, Mugo R, et al. Seasonal potential fishing ground prediction of neon flying squid (*Ommastrephes bartramii*) in the western and central North Pacific[J]. Fisheries Oceanography, 2015, 24(2): 190-203.

Analysis of *Priacanthus macracanthus* fishing grounds in the northern South China Sea based on sea surface temperature and depth

FAN Jiangtao^{1,2}, HUANG Zirong¹, XU Youwei¹, SUN Mingshuai¹, YAN Ran², CHEN Zuozhi¹

1. Key Laboratory of Open-Sea Fishery Development, Ministry of Agriculture and Rural Affairs; South China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Guangzhou 510300, China;

2. College of Marine Sciences, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China

Abstract: In recent years, with the change of the structure of catches, the proportion of *Priacanthus macracanthus* in near-shore fishing is increasing. It is one of the main economic species in the coastal waters of the South China Sea, with high economic value and ecology significance. This was the first study based on the *Priacanthus macracanthus* data from the shallow sea fishery resources survey from the 200 m isobath in the northern part of the South China Sea from 2014 to 2017, combined with the sea surface temperature (SST) data obtained by remote sensing. The product of water depth (D) and SST (SSTD) was introduced as a new variable and represented the change of temperature inside the ocean. This variable can more succinctly reflect the relationship between fisheries and SST and water depth. The grey correlation method was used to screen the variables with the highest correlation with the fishery. The most relevant variables and the standardized Catch per Unit Effect (CPUE) were modeled by one-dimensional nonlinear regression. The modeled CPUE _{i} and the actual temporal and spatial changes of the CPUE were analyzed.

The results showed that the fishery of the big-tailed bigeye fish in the northern South China Sea changed significantly with season. The CPUE increased first and then decreased with the increase of SST in all seasons. The SST of the spring CPUE was 26°C, and the highest CPUE in summer was at an SST of 28°C. The SST at the highest CPUE in the fall was 25°C, and the SST at the highest CPUE in winter was 20°C. In the spring, the CPUE had an increasing trend with the depth of water. The CPUE was the largest at 160 m. The CPUE changed with water depth in summer, and reached a maximum at 140 m. The CPUE increased first and then decreased with the water depth in autumn, at a water depth of 60 m. The maximum was reached when the CPUE increased with the increase of water depth in winter, and reached the maximum at 140 m. The high value of CPUE in spring was mainly distributed in the southeast side of Hainan Island and the sea area outside Shantou. The summer CPUE high-value area was mainly distributed in the southeast side of Hainan Island and the coastal waters of Guangdong Province. The high CPUE area in autumn was mainly distributed in the outer sea area of the Pearl River Estuary, and the lower, high-value areas were mainly distributed in the southern part of the Beibu Gulf and the offshore waters of Shantou. The gray correlation analysis between CPUE and SST, and D and SSTD showed that CPUE and SSTD had the highest correlation in each season. Based on the one-dimensional nonlinear regression, a relationship model between SSTD and CPUE was established. The modeled theoretical CPUE _{i} high-value area had obvious seasonal changes. For the actual CPUE, the distribution of the high-value area was consistent with the theoretical CPUE _{i} high value area distribution, and the average accuracy of the model was 75%.

The fisheries for *Priacanthus macracanthus* in different seasons showed different distributional trends. The distribution of fisheries in summer and autumn was more dispersed than those in winter and spring, and the CPUE was significantly higher than those in winter and spring, which may be related to the biological characteristics of spawning in summer. In addition, the large-eyed fishery in the northern part of the South China Sea had an obvious plaque-like distribution, which was quite different from the traditionally assumed fishery. The distribution of CPUE high-value areas tended to be concentrated, whereas the CPUE of most sea areas was low and had certain clustering features.

From the spatial location of the fishery distribution, the winter and spring fishing grounds were mostly distributed in the offshore waters, which were farther away from the shore in summer and autumn. This may be related to the seasonal variation of temperature and bio-distribution of the bait; also, the temperature of the sea in winter and spring is low. The distribution of the main feed bio-shrimp, cephalopod larvae, and chlorophyll was closer to the shore, so the CPUE high-value area was mainly concentrated in the coastal waters; whereas the summer and autumn seawater temperature rises, and the chlorophyll high-value area is offshore. The direction moves, so the CPUE high-value area was mainly distributed in the offshore waters with deep-water depth.

Key words: Northern South China Sea; *Priacanthus macracanthus*; fishing ground analysis; sea surface temperature; water depth

Corresponding author: CHEN Zuozhi. E-mail: zzchen2000@163.com