

海洋环境对东、黄海鲈鱼灯光围网捕捞效率的影响

官文江^{1,2,3}, 陈新军^{1,2,3}, 高峰^{1,2,3}, 李纲^{1,2,3}

(1. 上海海洋大学 海洋科学学院, 上海 201306; 2. 大洋生物资源开发和利用上海市高校重点实验室, 上海 201306; 3. 大洋渔业资源可持续开发省部共建教育部重点实验室, 上海 201306)

摘要: 根据 1999 年 8 月至 2003 年 12 月, 东、黄海大型鲈鱼灯光围网捕捞量与捕捞努力量数据, 利用逐步回归广义加性模型(GAM, Generalized Additive Models)分析了月光亮度(用农历日表示)和海洋遥感数据(海表水温、海表水温距平、海表水温梯度、叶绿素 a 浓度、叶绿素 a 浓度距平、风速、平均海面高度距平、涡动能)共 9 个环境要素与名义单位捕捞努力量渔获量(CPUE, Catch Per Unit Effort)的关系, 以研究其对大型鲈鱼灯光围网捕捞效率的影响。研究表明, 32°N 以北渔场, 海表水温、农历日、平均海面高度距平、海表温度梯度及风速与名义 CPUE (名义 CPUE 加 1 取对数, 下同)存在显著关系; 而 29°N 以南渔场, 平均海面高度距平、农历日、风速、涡动能、海表温度距平与名义 CPUE 存在显著关系; 南、北渔场, 叶绿素 a 浓度及其距平与名义 CPUE 不存在显著关系。研究认为, 在南、北渔场, 月光亮度越亮、风速增强均会使捕捞效率降低, 捕捞效率较高的位置常分布于平均海面高度距平高值与低值之间的一些海域; 北部渔场, 海表温度降低有利于捕捞效率的提高, 海表温度梯度对捕捞效率的影响是负效应; 南部渔场, 海表温度距平过高或过低均不利于捕捞效率的提高, 涡动能较大有利于提高鲈鱼的捕捞效率。[中国水产科学, 2009, 16(6): 949-958]

关键词: 日本鲈; 灯光围网; 捕捞效率; 海洋遥感; GAM 模型

中图分类号: Q9

文献标识码: A

文章编号: 1005-8737-(2009)06-0949-10

日本鲈(*Scomber japonicus*)广泛分布在中国近海, 是中国近海重要的中上层鱼类, 主要为灯光围网所利用^[1-3]。随着中国近海底层鱼类资源的衰退, 鲈鱼在近海渔业中的地位日益重要, 有关鲈鱼资源的研究日益得到重视^[3-9]。研究表明, 近 10 年随着捕捞强度的加大, 鲈鱼资源出现衰退趋势^[4,7,9]。因此加强鲈鱼渔场及资源变动研究、制定合理的渔业管理计划迫在眉睫。海洋环境是影响渔场与资源变动的重要因素, 分析海洋环境对捕捞效率的影响, 对渔情分析、单位捕捞努力量渔获量(CPUE, Catch Per Unit Effort)的标准化及资源评估极为重要^[10-12]。郑波等^[13]、李纲等^[14]结合时空、网具和月表层水温数据或月平均盐度数据, 研究了鲈鱼 CPUE 的变动特点。

由于鲈鱼是一种中上层趋光性鱼类, 其捕捞效率易受月光亮度、环境动力因子(如水温等)等因素的影响。为此, 本研究根据大型鲈鱼灯光围网作业特点及相关渔业与海洋遥感数据, 利用广义加性模型(GAM, Generalized Additive Models)分析了月光亮度及海表温度、叶绿素 a 浓度、风场、平均海面高度距平等遥感数据对鲈鱼捕捞效率的影响, 旨在为鲈鱼资源变动分析提供理论依据, 并探讨海洋遥感数据在中国近海渔业中的应用效果及存在的问题。

1 数据与方法

1.1 数据来源

国营大型鲈鱼灯光围网数据来自上海海洋大学

收稿日期: 2009-04-26; 修订日期: 2009-07-27.

基金项目: 国家 863 计划项目(2007AA092201). 卫星海洋环境动力学国家重点实验室开放研究基金(200510); 大洋生物资源开发与利用上海市高校重点实验室开放基金(KF200803), 上海市重点学科资助(S0702).

作者简介: 官文江(1974-), 男, 博士, 讲师, 从事渔业遥感和渔业地理信息系统的研究. Tel: 021-61900342; E-mail: wjguan@shou.edu.cn

通讯作者: 陈新军. E-mail: xjchen@shou.edu.cn

鱿钓技术组,时间为1999年8月至2003年12月,数据记录包括生产日期、船名、作业位置、捕捞网次、捕捞产量(单位为箱,1箱为20 kg)。根据生产统计的空间分布,将作业海区分为北部渔场(32°N以北)和南部渔场(29°N以南)。水温数据来自美国国家海洋大气局网站(<http://data.nodc.noaa.gov/pathfinder/>),时间分辨率为7 d,空间分辨率为4 km(同时下载1985–2001年相应分辨率年平均数据以计算温度距平);叶绿素a浓度数据来自美国国家航空航天局网站(<http://oceancolor.gsfc.nasa.gov/>),数据时间分辨率为8 d,空间分辨率为9 km(同时下载1997–2007年相应分辨率的平均数据以计算叶绿素a浓度距平);风场数据来自美国国家航空航天局网站(ftp://podaac.jpl.nasa.gov/pub/ocean_wind/quikscat/),时间分辨率为1 d,空间分辨率为25 km;平均海面高度距平数据来自法国卫星海洋数据解释、验证、存档网站(AVISO, Archiving, Validation and Interpretation of Satellite Oceanographic Data, <http://las.aviso.oceanobs.com/>),时间分辨率为7 d,空间分辨率为0.33°。

1.2 数据处理

首先进行环境数据和渔业数据的匹配(若对应位置没有有效数据,但以该数据点为中心的5×5窗口内,有13个以上的有效数据点时,则按距离平方倒数加权法进行内插,否则删除该渔业数据记录)。模型包含14个因子,分别是:年、月、渔业公司、月光亮度[用农历日(LC, Lunar Calendar)表示]、海表水温(SST, Sea Surface Temperature)、海表水温距平(SSTA, Sea Surface Temperature Anomaly)、海表水温梯度(GSST, Gradient of Sea Surface Temperature)、叶绿素a浓度(Chla, Chlorophyll-a Concentration)、叶绿素a浓度距平(ChlaA, Chlorophyll-a Concentration Anomaly)、平均海面高度距平(MSLA, Mean Sea-Level Anomaly)、涡动能(EKE, Eddy Kinetic Energy)、风速(WS, Wind Speed)、经度、纬度。SSTA采用式(1)计算;ChlaA采用式(2)计算;GSST计算,先将地理坐标(度为单位)转换为直角坐标(km为单位)^[16],然后采用Robert算子进行计算;EKE的计算同样要进行

坐标变换,而后采用式(5)计算^[17]。

$$\begin{aligned} \text{SSTA}(Y, M, D, \alpha, \varphi) &= \text{SST}(Y, M, D, \alpha, \varphi) - \\ &\text{SST}(1985-2001, M, D, \alpha, \varphi) \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \text{ChlaA}(Y, M, D, \alpha, \varphi) &= \text{Chla}(Y, M, D, \alpha, \varphi) - \\ &\text{Chla}(1997-2007, M, D, \alpha, \varphi) \end{aligned} \quad (2)$$

$$u = -\left(g/H\right) \frac{\partial z}{\partial y} \quad (3)$$

$$v = -\left(g/H\right) \frac{\partial z}{\partial x} \quad (4)$$

$$\text{EKE} = 0.5(u^2 + v^2) \quad (5)$$

其中:Y为年;M为月;D为日期; α 为经度; φ 为纬度;SST(Y, M, D, α , φ)表示在M月、D日、 α 经度、 φ 纬度下Y年的SST(若Y为1985–2001年,则表示1985至2001年的平均SST),其他类似; $g=980 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-2}$; $H=2 \times 7.29 \times 10^{-5} \times \sin(\varphi)$ 。

1.3 GAM模型

GAM模型^[18]是广义线性模型(GLM, Generalized linear models)的推广^[19–20],其形式如式(6),其中 g 为连接函数, E 为期望, Z 为应变量, X 为自变量, f 为平滑函数(如样条平滑函数、局部平滑函数), μ 截距, p 为参数个数。采用GAM模型可避免线性假设,有利于探索应变量与自变量间非线性关系(有关模型的具体讨论可见文献[19–20])。

$$g(E(Z)) = \mu + f_1(X_1) + \dots + f_p(X_p) \quad (6)$$

本研究利用逐步回归方法(R中的stepAIC函数^[21]),采用Akaike信息准则(AIC, Akaike Information Criterion)对GAM模型进行选择。基于对数据的分析^[15,22],本研究采用Gamma分布,自然对数为连接函数^[15]。公式如下:

$$\begin{aligned} \ln(u) &= s(Y) + s(M) + \text{lo}(Y, M) + s(\text{Co}) + \text{lo}(Y, \text{Co}) + \\ &s(\alpha) + s(\varphi) + \text{lo}(\varphi, \alpha) + s(\text{GSST}) + s(\text{SST}) + \\ &s(\text{SSTA}) + s(\text{WS}) + s(\text{LC}) + s(\text{EKE}) + \\ &s(\text{Chla}) + s(\text{ChlaA}) + s(\text{MSLA}) \end{aligned} \quad (7)$$

$$u = E(\text{CPUE} + 1) \quad (8)$$

$$\text{CPUE} = \frac{\text{Catch}}{\text{Hauls}} \quad (9)$$

式中: Catch为捕捞量(箱); Hauls为网次; CPUE为单位网次的捕捞量(Box/Haul); s 为样条平

滑函数(R 中的 s 函数); lo 为局部平滑函数(R 中的 $loess$ 函数); Co 为渔业公司编号; u 为 CPUE 加 1 的期望; 其他符号见上文。由于 CPUE 存在零值, 为此本研究对所有 CPUE 加 1, 相关讨论见文献 [15]。

样条平滑函数(s)自由度(渔业公司初始值为 6)与局部平滑数据(lo)比例(年与渔业公司交互初始值南北渔场分别为 25% 与 20%)为默认值, 采用局部平滑函数以获取交互效应^[23-24]。

本研究中假定捕捞作业时, 海洋环境要素仅对捕捞效率产生影响, 对年资源量没有影响^[25], 因此将名义 CPUE 与环境要素的关系可归结为环境要素与捕捞效率的关系。

2 结果与分析

2.1 分析模型的确定

在北渔场, 通过逐步回归计算得到式(10), 模型中所有变量均显著($P < 0.01$), 所能解释的离差(Deviance)约为 30%。其中, 环境变量贡献约为 12.2% (SST 为 4.8%; LC 为 3.5%; MSLA 为 3%; GSST 为 0.5%; WS 为 0.4%), 非环境变量贡献约为 17.8%。

$$\ln(u) = s(Y) + s(Co) + s(\alpha) + lo(Y, Co) + lo(\varphi, \alpha) + lo(Y, M) + s(GSST) + s(MSLA) + s(SST) + s(SW) + s(LC) \quad (10)$$

同样, 南渔场可得式(11), 模型 AIC 值为 31 467.46 (离差为 1 986.97, 自由度为 1 944.83), 模型所能解释的离差约为 25%。

$$\ln(u) = s(Y) + s(Co) + s(\alpha) + s(M) + lo(Y, Co) + lo(Y, M) + s(MSLA) + s(Chla) + s(EKE) + s(GSST) + s(SSTA) + s(WS) + s(LC) \quad (11)$$

由于上式 $Chla$ ($P=0.10$) 与 $GSST$ ($P=0.42$) 不显著, 剔除了这 2 个变量得式(12), 其相应的 AIC 值为 31 476.73 (离差为 2 008.77, 自由度为 1 952.83), 所有变量均显著($P < 0.01$), 模型所能解释的离差约为 24%。其中, 环境变量贡献约为 10.0% (MSLA 为 4.2%; LC 为 3.3%; WS 为 1.3%; EKE 为 0.7%; SSTA 为 0.5%), 非环境变量贡献约为 14.0%。

$$\ln(u) = s(Y) + s(Co) + s(\alpha) + s(M) + lo(Y, Co) + lo(Y, M) + s(SSTA) + s(WS) + s(LC) + s(MSLA) + s(EKE) \quad (12)$$

2.2 环境要素与捕捞效率的关系

2.2.1 北渔场 从名义 CPUE 与 LC 的关系可看出(图 1-a), 北渔场的捕捞效率从初一至十六逐渐降低, 而从十七日开始至月底又逐渐升高。WS 与名义 CPUE 的关系表明, WS 对捕捞效率的作用基本是负效应(图 1-b)。MSLA (0 cm 至 15 cm 段, 其他位置由于其 95% 的置信区间较大, 其与名义 CPUE 的关系存在较大不确定性, 常不用于分析^[10], 下同)与名义 CPUE 的关系显示, MSLA 对捕捞效率的影响先升后降呈倒抛物线状(图 1-c)。SST 与名义 CPUE 呈明显负关系, 即随 SST 的升高鲈鱼捕捞效率降低(图 1-d), GSST 与名义 CPUE 总体上呈负关系, 即 GSST 对捕捞效率的影响总体上呈负效应(图 1-e)。

2.2.2 南渔场 在南渔场, LC、WS 与 MSLA 与捕捞效率的关系同北渔场具有相似性(图 2-a、b 和 c)。SST 与 GSST 与名义 CPUE 的关系不显著, 仅有 SSTA (在 0 °C 至 1.3 °C 段)与名义 CPUE 呈倒抛物线关系(图 2-d), 其表明 SSTA 过高或过低均不利于捕捞效率的提高。EKE 与名义 CPUE 的关系显著(在北渔场不显著), EKE 总体上(0 ~ 500 cm²/s² 段, 但在 0 ~ 150 cm²/s² 段与捕捞效率呈较弱负关系, 图 2-e)有利于捕捞效率的提高。

$Chla$ 及 $ChlaA$ 在南、北渔场与名义 CPUE 的关系均不显著, 因此 $Chla$ 及 $ChlaA$ 无法解释捕捞效率的变化。

3 讨论

3.1 影响捕捞效率变动的原因分析

月光能减弱人工光源的信号意义, 从而减弱鱼类对人工光源的敏感度, 减少人工光源的光诱范围与效果, 因此较亮月光能显著降低集鱼灯的集鱼效果, 很多灯诱渔业都具有这种特点^[26]。本研究结果也显示, 月光亮度对鲈鱼灯光围网捕捞效率具有显著的影响(图 1-a 和图 2-a), 其在南、北渔场均能解释较大比例的离差。

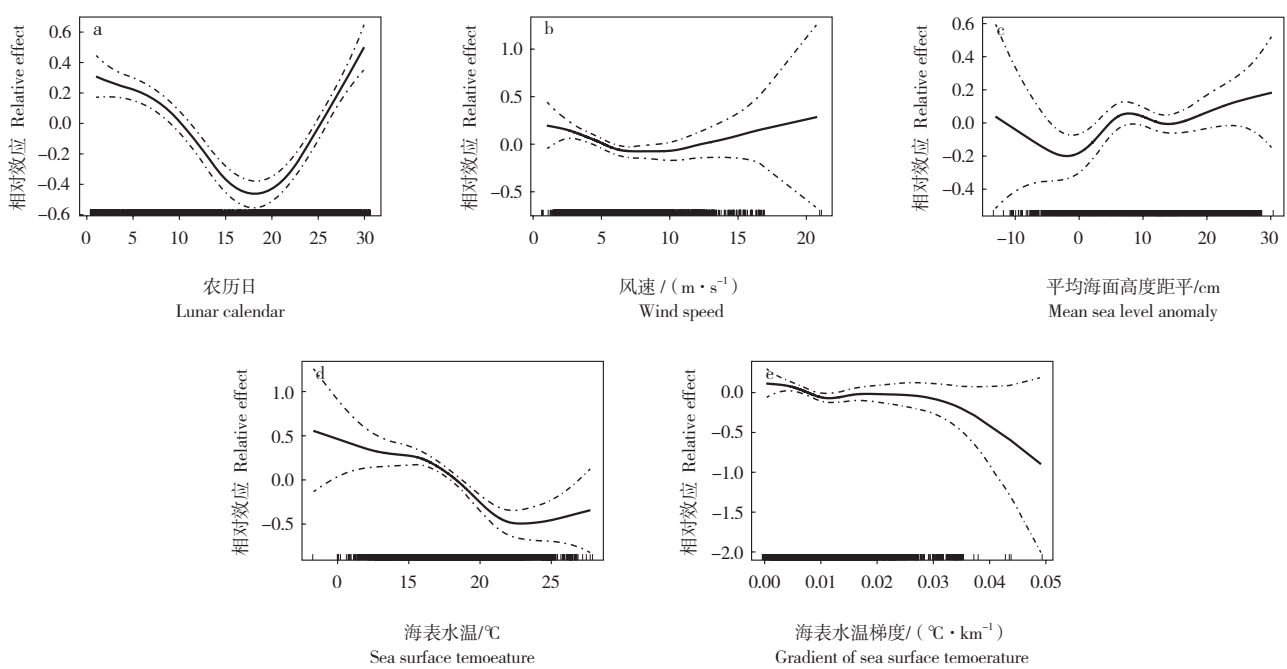


图 1 中国北部渔场各环境要素作用于对数名义 CPUE+1 的相对效应
虚线为 95% 的置信区间；横轴内侧刻度表示数据点相对密度。

Fig. 1 Relative effects of environmental factors on logarithm nominal CPUE +1 in northern fishing grounds of China
Dashed lines indicate 95% confidence intervals; The relative density of data points shown by the rug on the abscissa.

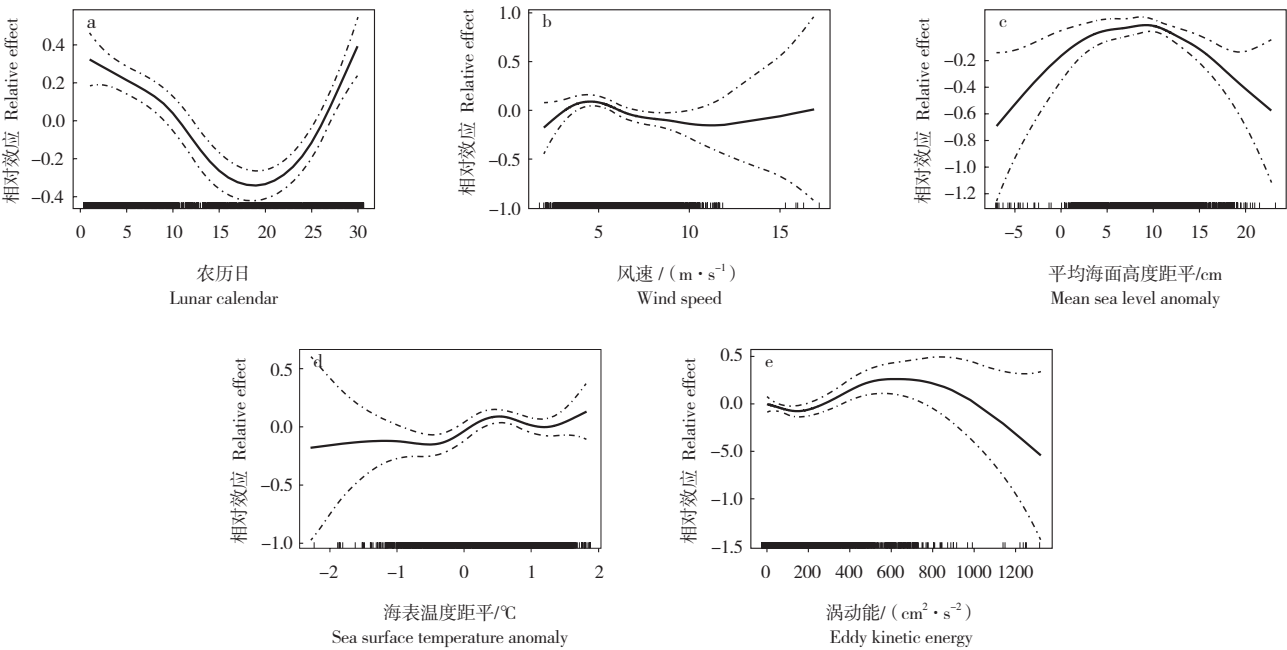


图 2 中国南部渔场各环境要素作用于对数名义 CPUE+1 的相对效应
虚线为 95% 的置信区间；横轴内侧刻度表示数据点相对密度。

Fig. 2 Relative effects of environmental factors on logarithm nominal CPUE +1 in southern fishing grounds of China
Dashed lines indicate 95% confidence intervals; The relative density of data points shown by the rug on the abscissa.

从总体来看,风速增强不利于提高围网捕捞效率,相比于北渔场,风速对南渔场捕捞效率的影响更显著。宋来军等^[27]认为围网能快速下沉,迅速包围鱼群是影响围网捕捞性能的关键因素,尤其在南渔场,其作业水深较深,影响则更大。因此可推测风速不利于提高围网捕捞效率可能与风速影响围网的下降速度有关。

在北部渔场, SST 与捕捞效率呈负关系, SST 的降低驱动鲈鱼向南洄游,并向暖水聚集(图 3),同期 SST 过高将会使产量重心^[28]位置更北而且渔场分散,如 2000 年 12 月(图 4)其单位网次产量(1 022 箱 / 网次)明显比 2001 年、2002 年 12 月份(2 335 箱 / 网次,1 655 箱 / 网次)低。因此 SST 低代表着较好的鱼群聚集度,从而能提高捕捞效率。

在东北部渔场,台湾暖流与沿岸水的强弱影响渔场的分布,暖流强则使渔场位置向北推移,暖流弱,水温低则使渔场分散、渔汛提前结束^[29-30]。本研究选取的东海南部渔场具有相似特点(图 5),2000 年 9 月与 2001 年 9 月, SSTA 低,捕捞网次少(2000 年 9 月仅 7 网次,2001 年 9 月无捕捞),单产很低;2002 年 SSTA 相对较高,单产与捕捞网次大幅提升,但 2003 年 9 月 SSTA 更高,造成渔场北移,捕捞网次与单产又大幅减少,舟山附近渔场单产与捕捞网次却大幅提升(2 141 箱 / 网次,263 网次)。可见鱼群空间分布与水温变动存在联系,直接影响渔业对此资源的可利用性(Availability),从而影响到捕捞效率(图 2-d)。

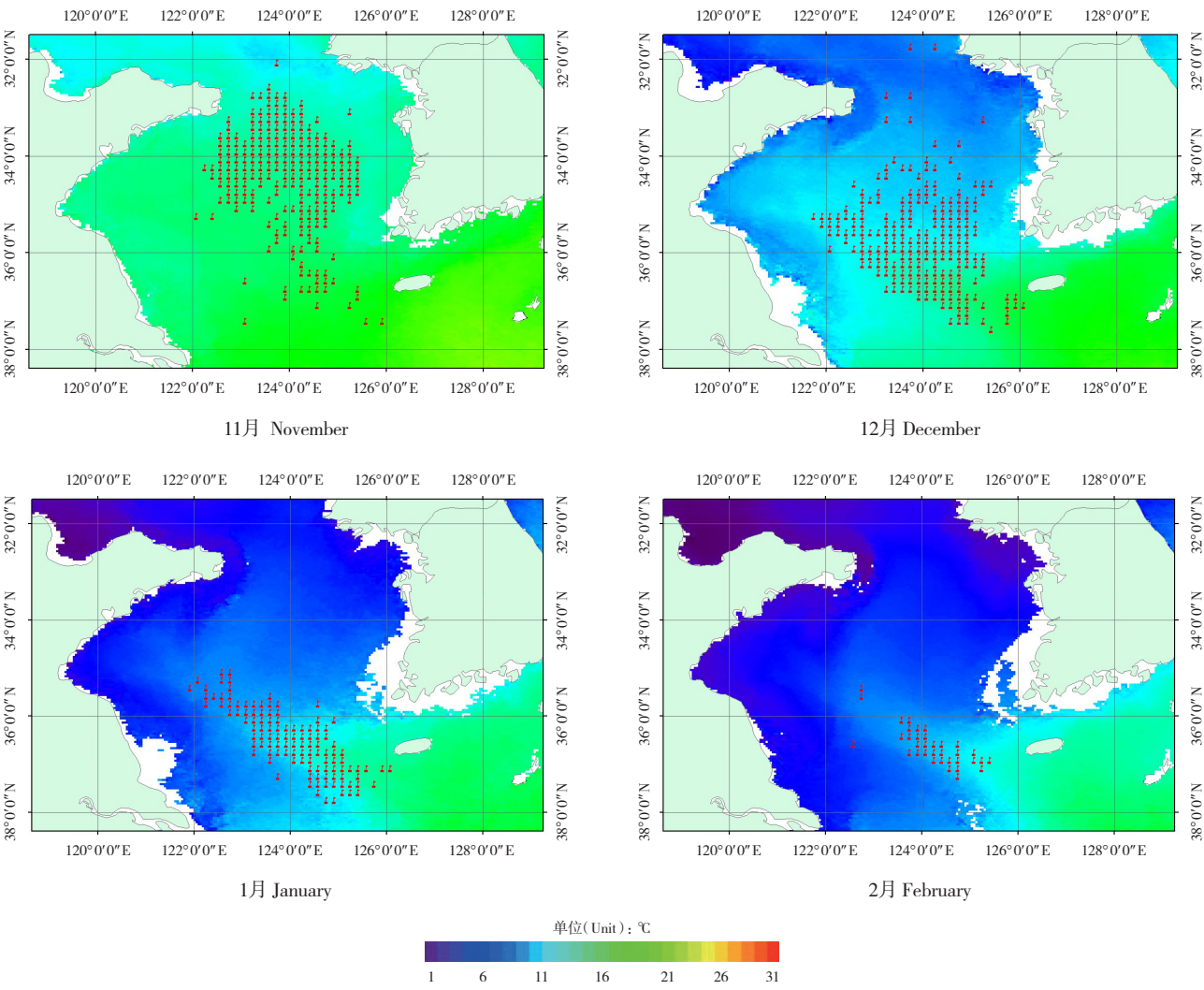


图 3 1999–2003 年中国北部渔场鲈鱼捕捞位置与月平均海水温度分布关系

Fig. 3 Distribution of average monthly sea surface temperature and fishing location in northern fishing ground of China during 1999 to 2003

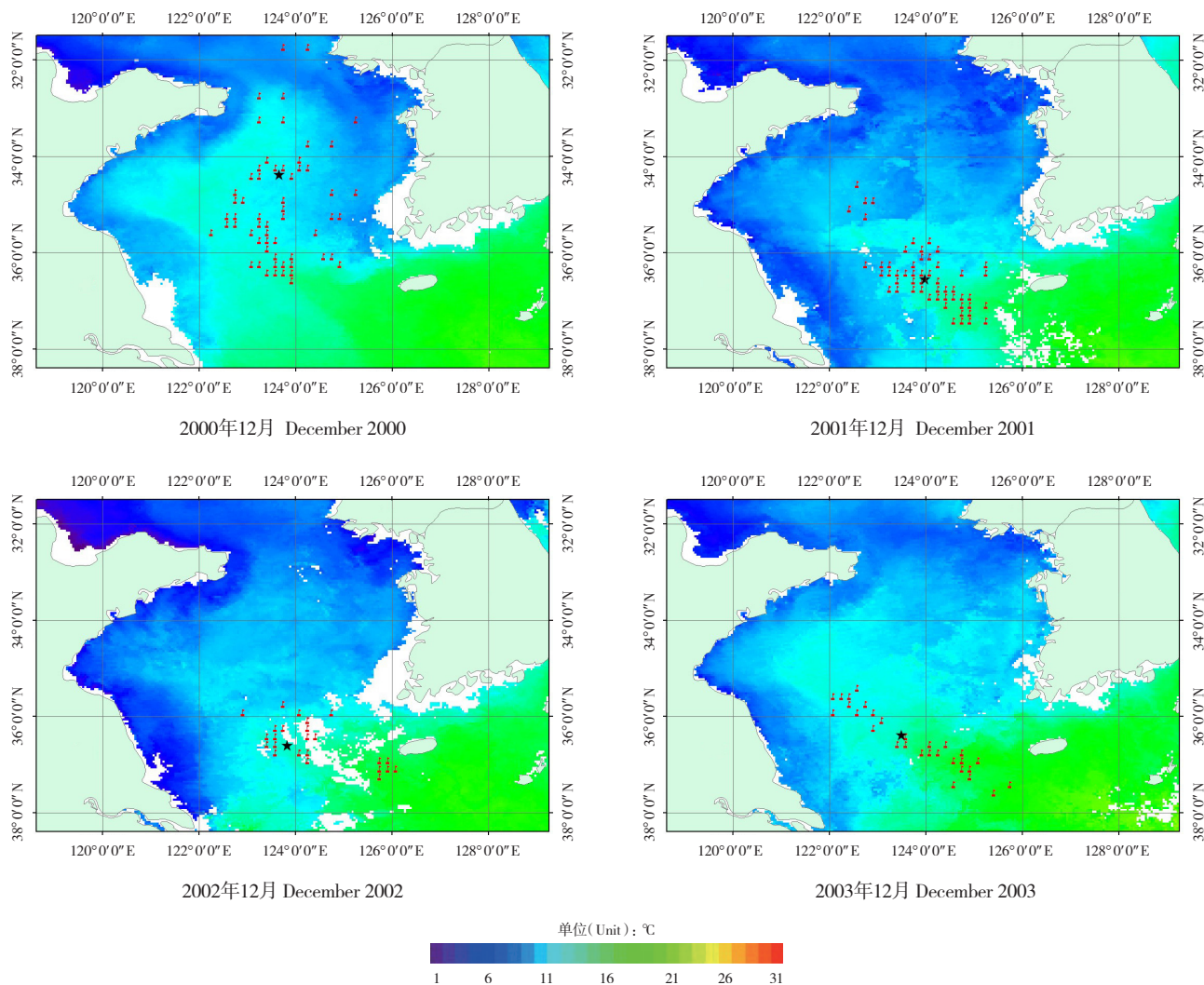


图4 中国北部渔场各月温度、捕捞位置(由小旗表示)及产量重心(由黑色五角星表示,2000年12月经纬度为(123.66°E,35.62°N),2001年12月为(123.99°E,33.45°N),2002年12月为(123.83°E,33.40°N),2003年12月为(123.50°E,33.61°N))

Fig. 4 The distribution of monthly sea surface temperature, fishing location (by flags) and barycenter of catch (by black star; latitudes and longitudes are 123.66°E and 35.62°N in December 2000, 123.99°E and 33.45°N in December 2001, 123.83°E and 33.40°N in December 2002, 123.50°E and 33.61°N in December 2003) in northern fishing ground of China in December from 2000 to 2003

GSST 可用来描述海洋温度锋区,海洋温度锋区通常是生物聚集区。但据苗振清等^[29]的研究,鲈鲷鱼常分布于锋区偏高温、高盐一侧,这有可能会造成北部渔场的捕捞效率随 GSST 升高而下降;在夏季, SST (遥感所得 SST 是海表非常薄的水层的温度) 水平分布相对均匀,海水层结相对稳定,表层温度锋与海洋生物锋区可能不存在对应关系,这会造成南部渔场(主要捕捞作业时间 7 月至 9 月)的捕捞效率与 GSST 关系的不显著。

鲈鱼渔场在 MSLA 很高或很低的位置分布较少,捕捞效率较高的位置常分布于 MSLA 高低值之间的一些海域(图 6,图 1-c,图 2-c),其他鱼类渔场也有类似规律^[31]。樊伟^[31]认为这可能与冷暖涡所形成的锋面有关,但利用海表温度数据做对比分析时,并没有发现冷暖涡及相应的锋面。本研究结果认为 MSLA 数据可能比 SST 数据更能表示生物锋面位置。但 MSLA 受水团、流系、海流、潮流等因素的综合作用^[31],因此这种关系需要进一步研究、确认。

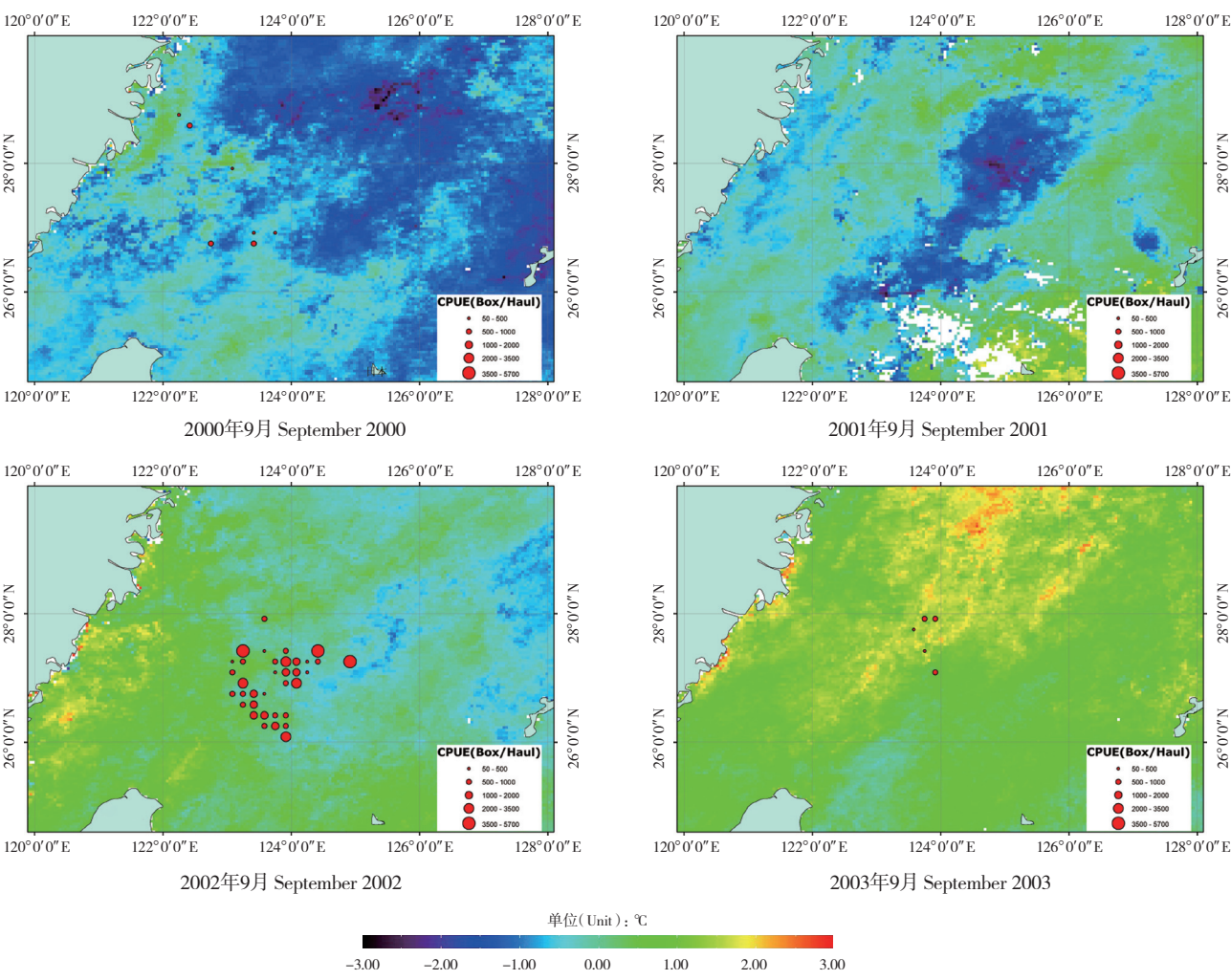


图 5 2000–2003 年 9 月中国南部渔场名义 CPUE 与 SSTA 空间分布

Fig. 5 Distribution of sea surface temperature anomaly and nominal CPUE in southern fisheries grounds of China in September from 2000 to 2003

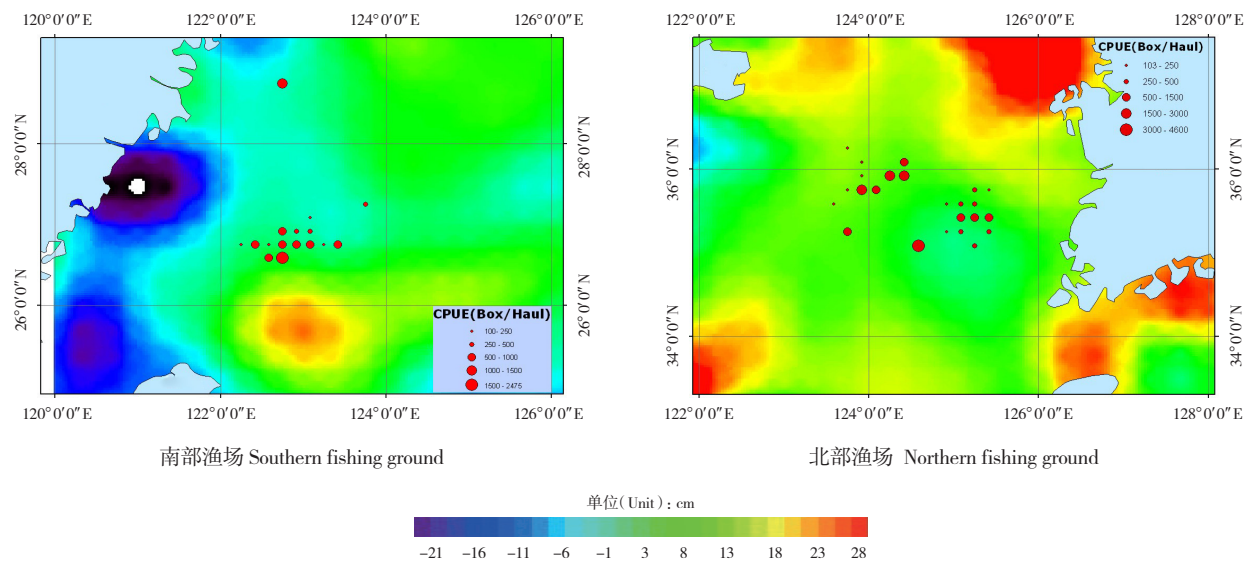


图 6 平均海面高度距平 (MSLA) 与名义 CPUE 叠加图

南部渔场日期为: 2000 年 7 月 29 日至 8 月 4 日; 北部渔场日期为 2000 年 11 月 17 日至 24 日 .

Fig. 6 Overlay of nominal CPUE and mean sea-level anomaly

the period is from 29 July to 4 August in 2000 in southern fishing ground; and from 17 November to 24 November in 2000 in northern fishing ground.

据 Zainuddin 等^[17]研究认为, EKE 大的区域富集饵料生物, EKE 较大则有利于提高金枪鱼的捕捞产量。在南部渔场, 受黑潮暖流的影响, 该区涡旋活跃^[32], 可以推测涡旋对鲐鱼饵料进而对鲐鱼聚集有重要影响, EKE 总体上与捕捞效率呈正相关关系可能与此有关。但 EKE 在 $0 \sim 150 \text{ cm}^2/\text{s}^2$ 段(具有该特征的数据主要分布于 $27^\circ \text{N} \sim 28.6^\circ \text{N}$, $123^\circ \text{E} \sim 124.5^\circ \text{E}$)与捕捞效率呈负相关, 较难给出合理的解释, 需要进一步调查研究。

Chla 及 ChlaA 在南、北渔场与捕捞效率的关系均不显著, 这可能同 Chla 遥感估算精度有关。由于中国近海海水属于二类水, Chla 与泥沙等信息不能正确区分; 此外, 在夏季东海, 由于水团交错分布, Chla 垂直分布变化较大, 遥感所得表层 Chla 较难真实反映 Chla 的实际大小。

3.2 GAM模型及相关假设

采用 GAM 模型探讨环境要素与名义 CPUE 的关系, 可以避免线性假设, 从而使各要素的定量关系得以较好地表达, 但本研究所得模型对名义 CPUE 变化的解释偏低。其原因可能是: ①由于缺少数据, 没有分析其他重要的环境变量(如温跃层的位置对鲐鱼捕捞效率有很大影响^[29])。②鲐鱼渔场形成与环境要素的时、空分布结构存在关联(鲐鱼是洄游性鱼类, 如果前期温度低, 鲐鱼提前洄游, 后期条件再好, 捕捞效率也很低)^[33], 但较难参数化这种时、空分布结构, 使之能应用于 GAM 模型的分析。③渔业统计涉及大量空间问题^[34], 渔业生态系统可能存在大量非线性、非加性过程^[35]。因此增加海洋环境数据的收集和发展、丰富分析模型^[33, 36], 将有益于进一步揭示环境要素与捕捞效率的关系。

据报道, 鲐鱼补充量受其产卵期(南部渔场主要为 2~6 月, 北部渔场主要为 4~7 月)海洋环境(如水温)变动影响较大^[37-38]。但大型鲐鲹鱼灯光围网渔业的捕捞时间在南部渔场主要为 7~9 月, 在北部渔场主要为 9 至翌年 2 月, 同时其主要渔获物是 1 龄鲐鱼(85.5%), 当龄鱼很少^[39], 因此假定捕捞作业的环境要素对 1 龄及以上鲐鱼资源量没有影响, 将海

洋环境变量与名义 CPUE 的关系归结为海洋环境变量与捕捞效率的关系具有合理性^[25]。

3.3 遥感数据存在的问题

遥感数据应用于捕捞效率的分析还受到多种因素的影响, 如近海遥感产品的精度(如叶绿素 a 浓度)、时间分辨率(如海面高度数据通常时间分辨率为 7~10 d)、天气对可见光与红外遥感数据的影响(如一天的海表水温具有大量的云污染, 一周合成的数据也不一定能满足应用要求)、遥感获得的海洋表层信息与海洋断面信息存在差异等(如海表温度锋与生物锋区), 本研究使用了不同时间、空间分辨率数据, 这可能会影响环境要素与名义 CPUE 关系的分析。但应该看到, 随着遥感技术的发展, 遥感将成为中上层鱼类资源、渔场分析的重要数据来源之一^[40]。

致谢: 潘德炉院士为本研究提供资金资助, NOAA 的李晓峰博士、马里兰大学的高级研究员郑全安博士所对本研究提供指导, 谨致衷心感谢!

参考文献:

- [1] 郑元甲, 陈雪忠, 程家骅, 等. 东海大陆架生物资源与环境 [M]. 上海: 科技出版社, 2003.
- [2] 程家骅, 张秋华, 李圣法, 等. 东黄海渔业资源利用 [M]. 上海: 上海科学技术出版社, 2005.
- [3] 张秋华, 程家骅, 徐汉祥, 等. 东海区渔业资源及其可持续利用 [M]. 上海: 复旦大学出版社, 2007.
- [4] 程家骅, 林龙山. 东海区鲐鱼生物学特征及其渔业现状的分析研究 [J]. 海洋渔业, 2004, 26 (2): 73-78.
- [5] 刘勇, 严利平, 胡芬, 等. 东海北部和黄海南部鲐鱼年龄和生长的研究 [J]. 海洋渔业, 2005, 27 (2): 133-138.
- [6] 刘勇, 严利平, 程家骅. 东海北部和黄海南部鲐鱼生长特性及合理利用 [J]. 中国水产科学, 2006, 13 (5): 814-822.
- [7] 王凯, 严利平, 程家骅, 等. 东海鲐鱼资源合理利用的研究 [J]. 海洋渔业, 2007, 29 (4): 337-343.
- [8] 李纲, 陈新军. 东海鲐鱼资源和渔场时空分布特征的研究 [J]. 中国海洋大学学报, 2007, 37 (6): 921-926.
- [9] 张洪亮, 周永东, 陈斌. 2006 年浙江省深水灯光围网渔业产况分析 [J]. 海洋渔业, 2007, 29 (3): 281-284.
- [10] Bigelow K A, Boggs C H, He X. Environmental effects on swordfish

- and blue shark catch rates in the US North Pacific longline fishery [J]. Fish Oceanogr, 1999, 8 (3): 178–198.
- [11] Jacobson L D, Bograd S J, Parrish R H, et al. An ecosystem-based hypothesis for climatic effects on surplus production in California sardine (*Sardinops sagax*) and environmentally dependent surplus production models [J]. Can J Fish Aqu Sci, 2005, 62: 1 782–1 796.
- [12] Herrick Jr S F, Norton J G, Mason J E, et al. Management application of an empirical model of sardine-climate regime shifts [J]. Marine Policy, 2007, 31: 71–80.
- [13] 郑波, 陈新军, 李纲. GLM 和 GAM 模型研究东黄海鲈资源渔场与环境因子的关系 [J]. 水产学报, 2008, 32 (3): 379–386.
- [14] 李纲, 陈新军. 我国东、黄海鲈鱼灯光围网渔业 CPUE 标准化研究 [J]. 水产学报, 2009 (待刊).
- [15] 官文江, 陈新军. 应用一般线性模型估算鲈、鲹鱼大型灯光围网渔业的捕捞效率 [J]. 水产学报, 2009, 33 (2): 220–228.
- [16] 杨建新, 王平. 地理坐标和直角坐标相互转换可逆算法的研究 [J]. 火力与指挥控制, 2003, 28 (增刊): 66–69.
- [17] Zainuddin M, Kiyofuji H, Saitoh K, et al. Using multi-sensor satellite remote sensing and catch data to detect ocean hot spots for albacore (*Thunnus alalunga*) in the northwestern North Pacific [J]. Deep-Sea Research II, 2006, 53: 419–431.
- [18] Hastie T, Tibshirani R, Friedman J. The Elements of Statistical Learning: Data Mining, Inference, and Prediction. New York: Springer-Verlag, 2001.
- [19] Maunder M N, Punt A E. Standardizing catch and effort data: a review of recent approaches [J]. Fisheries Research, 2004, 70: 141–159.
- [20] Venables W N, Dichmont C M. GLMs, GAMs and GLMMs: an overview of theory for applications in fisheries research [J]. Fish Res, 2004, 70: 319–337.
- [21] Venables W N, Ripley B D. Modern Applied Statistics with S (Fourth edition) [M]. New York: Springer, 2002.
- [22] Punt A E, Walker T I, Taylor B L, et al. Standardization of catch and effort data in a spatially-structure shark fishery [J]. Fish Res, 2004, 70: 129–145.
- [23] Beck N, Jackman S. Beyond Linearity by Default Generalized Additive Models [J]. Am J Politic Sci, 1998, 42: 596–627.
- [24] Venables W N, Dichmont C M. A generalised linear model for catch allocation: an example from Australia's Northern Prawn Fishery [J]. Fish Res, 2004, 70: 409–426.
- [25] Campbell R A. CPUE standardisations and the construction of indices of stock abundance in a spatially varying fishery using general linear models [J]. Fish Res, 2004, 70: 209–227.
- [26] 钱卫国. 鲈钓渔业中集鱼灯的优化配置研究 [D]. 上海: 上海水产大学, 2005.
- [27] 宋来军, 苏晓飞. 浅谈我国机轮围网网具存在的主要问题及对策 [J]. 水产科学, 2003, 22 (6): 32–35.
- [28] 陈新军, 钱卫国, 许柳雄, 等. 北太平洋 150° E–165° E 海域柔鱼重心渔场的年际变动 [J]. 湛江海洋大学学报, 2003, 23 (3): 26–32.
- [29] 苗振清. 东海北部近海夏秋季鲈鱼渔场与海洋水文环境的关系 [J]. 浙江水产学院学报, 1993, 12 (1): 32–39.
- [30] 杨红, 章守宇, 戴小杰, 等. 夏季东海水团变动特征及对鲈鱼渔场的影响 [J]. 水产学报, 2001, 25 (3): 209–214.
- [31] 樊伟. 卫星遥感渔场渔情分析应用研究—以西北太平洋柔鱼渔业为例 [D]. 上海: 华东师范大学, 2004.
- [32] 郭炳火, 黄振宗, 李培英, 等. 中国近海及邻近海域海洋环境 [M]. 北京: 中国海洋出版社, 2004.
- [33] 苏奋振. 海洋渔业资源时空动态研究 [D]. 北京: 中国科学院地理与资源研究所, 2001.
- [34] Wood S N. Low Rank Scale Invariant Tensor Product Smooths for Generalized Additive Mixed Models [J]. Biometrics, 2006, 62 (4): 1 025–1 036.
- [35] Ciannelli L, Fauchald P, Chan K S, et al. Spatial fisheries ecology: Recent progress and future prospects [J]. Journal of Marine Systems, 2007, doi: 10.1016/j.jmarsys.2007.02.031.
- [36] 杜云艳. 地理案例推理及其应用 [D]. 北京: 中国科学院地理科学与资源研究所, 2001.
- [37] 崔科. 东黄海鲈资源丰度、作业渔场时空分布及其与表温关系的研究 [D]. 上海: 上海水产大学, 2005.
- [38] Hiyama Y, Yoda M, Ohshimo S. Stock size fluctuation in chub mackerel (*Scomber japonicus*) in the East China Sea and the Japan/East Sea [J]. Fish Oceanogr, 2002, 11 (6): 347–353.
- [39] 李纲. 东、黄海鲈鱼资源评估及其管理策略风险分析 [D]. 上海: 上海海洋大学, 2008.
- [40] 官文江, 陈新军, 潘德炉. 遥感在海洋渔业中的应用与研究进展 [J]. 大连水产学院学报, 2007, 1: 62–66.

Environmental effects on fishing efficiency of *Scomber japonicus* for Chinese large lighting purse seine fishery in the Yellow and East China Seas

GUAN Wen-jiang^{1,2,3}, CHEN Xin-jun^{1,2,3}, GAO Feng^{1,2,3}, LI Gang^{1,2,3}

(1. College of Marine Sciences, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 2. The Key Laboratory of Oceanic fisheries resources exploitation of Shanghai Education Commission, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 3. The Key Laboratory of Sustainable Exploitation of Oceanic Fisheries Resources (Shanghai Ocean University), Ministry of Education, Shanghai 201306, China)

Abstract: In this paper, Generalized Additive Models (GAM) were applied to analyses the relationship between environment factors (such as lunar calendar (as index of moonlight brightness, LC), sea surface temperature (SST), sea surface temperature anomaly (SSTA), gradient of SST (GSST), wind speed (WS), eddy kinetic energy (EKE), mean sea-level anomaly (MSLA), chlorophyll-a concentration (Chla), chlorophyll-a concentration anomaly (ChlaA)) and the Catch Per Unit Effort (CPUE) derived from catch and effort data from the large *Scomber japonicus* lighting-purse seine fishery of China in Yellow Sea and East China Sea during August 1999 to December 2003. Stepwise GAM and Akaike Information Criterion (AIC) were used to reveal the significant variables and models. The final models indicated that in northern fishing ground, environment factors comprised SST, LC, MSLA, GSST, WS had a significant effects on logarithm nominal CPUE (pluses one to void breaking down the logarithm computing by zero) and in southern fishing ground, the environment factors were MSLA, LC, SSTA, WS and EKE. But the effects of Chla and ChlaA aren't significant in both fishing grounds. The result of analysis showed LC and SW have negative effects on fishing efficiency and the fishing efficiency were better in the area where the MSLA were not too high or too low in both fishing grounds; in northern fishing ground, low SST or low GSST were benefit to improve the fishing efficiency; in southern fishing ground, the EKE have a positive effect on catch capacity and both low SSTA or high SSTA had bad influence on the fish availability to fishery and decreased the fishing efficiency. [Journal of Fishery Sciences of China, 2009, 16 (6): 949–958]

Key words: *Scomber japonicus*; lighting-purse seine fishery; fishing efficiency; ocean remote sensing; GAM

Corresponding author: CHEN Xin-jun. E-mail xjchen@shou.edu.cn