

西北太平洋鲈鱼渔场的时空分布及其与海表温度和叶绿素浓度的关系

崔国辰^{1,2}, 朱文斌^{1,2}, 戴乾², 李哲², 卢占晖², 刘连为², 朱海晨^{1,2}

(1. 浙江海洋大学海洋与渔业研究所 舟山 316021;

2. 浙江省海洋水产研究所 农业农村部重点渔场渔业资源科学观测实验站

浙江省海洋渔业资源可持续利用技术研究重点实验室 舟山 316021)

摘要: 鲈鱼(*Scomber japonicus*)是西北太平洋的重要捕捞对象,其分布易受环境变化的影响。为定量分析海表温度和叶绿素浓度等影响因子对渔场分布的作用,文章采用产量重心、地统计插值和广义加性模型等方法,结合2017年西北太平洋2艘灯光敷网渔船的渔捞日志和海洋环境数据,探究该海域的渔场分布变化。研究结果表明:鲈鱼产量和单位捕捞努力量渔获量(CPUE)呈先上升后下降的趋势,其中7月的产量最高,9月的CPUE最高;产量重心于4—9月由SW方向向NE方向移动,并于9—12月返回SW方向;鲈鱼渔场的最适海表温度为14℃~16℃,最适叶绿素a浓度为0.4~1.0 mg/m³;叶绿素a浓度对渔场分布无显著影响,可能与鲈鱼摄食对象的特性有关。

关键词: 鲈鱼;海表温度;叶绿素浓度;产量重心;远洋渔业

中图分类号:S93;S977;P745

文献标志码:A

文章编号:1005-9857(2021)08-0095-05

Temporal and Spatial Distribution of the Mackerel Fishing Ground in the Northwest Pacific and Its Relationship with Sea Surface Temperature and Chlorophyll Concentration

CUI Guochen^{1,2}, ZHU Wenbin^{1,2}, DAI Qian², LI Zhe², LU Zhanhui²,
LIU Lianwei², ZHU Haichen^{1,2}

(1. Marine and Fisheries Research Institute of Zhejiang Ocean University, Zhoushan 316021, China;

2. Key Research Station for Fisheries Resources of Main Fishing Ground, MARA,

Key Research Station of Sustainable Utilization for Marine Fisheries Resources,

Zhejiang Marine Fisheries Research Institute, Zhoushan 316021, China)

Abstract: *Scomber japonicus* in the Northwest Pacific Ocean is an important fishing target, and its distribution is susceptible to environmental changes. For quantitative analysis of SST and Chlorophyll-a concentration factors effect on the distribution of the fishing grounds, the center of

收稿日期:2020-09-18;修订日期:2021-08-01

基金项目:国家重点研发计划项目(2019YFD0901505);浙江省科学技术厅2018年度重点研发计划项目(2018C02026)。

作者简介:崔国辰,硕士研究生,研究方向为渔业资源评估与管理

通信作者:朱文斌,高级工程师,博士,研究方向为捕捞学和渔业资源管理

gravity method, geostatistical interpolation, and generalized additive model were used to explore the sea fishery distribution change in the Northwest Pacific Ocean in 2017 by combining the fishing logs of 2 light drip-net fishing vessels and marine environmental data. The results showed that the yield and CPUE of *Scomber japonicus* increased first and then decreased, with the highest yield in July and the highest CPUE in September. The yield center moved from southwest to northeast from April to September, and returned to southwest from September to December. The optimum SST of *Scomber japonicus* in fisheries was 14°C~16°C, and the optimum concentration of Chl-a was 0.4~1.0 mg/m³. The concentration of Chl-a had no significant effect on the variation of *Scomber japonicus* in fishery, which might be related to the characteristics of feeding target.

Keywords: *Scomber japonicus*, Sea surface temperature, Chlorophyll concentration, Yield center, Pelagic fishery

0 引言

鲈鱼(*Scomber japonicus*)属中上层暖水性鱼类,广泛分布于西北太平洋^[1]。鲈鱼产量的年际波动较大:我国鲈鱼产量自 20 世纪 80 年代初期的 5 万 t 增至 2018 年的 43 万 t^[2-3];北太平洋鲈鱼产量从 1996 年的 160 万 t 降至 2002 年的 87 万 t,并在 2008 年反弹至 140 万 t^[4]。鲈鱼以虾类和桡足类生物为食并为大眼金枪鱼(*Thunnus obesus*)等鱼类提供食物^[5-6],在海洋生态系统中具有重要地位。

目前针对西北太平洋鲈鱼分布与环境关系的研究数据均较早,而基于近年数据的研究报道较少。Кундиус 等^[7]提出亲潮和黑潮交汇形成的流隔对于鲈鱼的移动具有限制作用,因此鱼群常集中于黑潮暖流一侧;沈惠民等^[8]根据 1973—1981 年的统计资料,提出鲈鱼在水温变动较小的年份获得高产;武胜男等^[9]基于 1987—2012 年的渔业数据建立鲈鱼预报模型,发现与“厄尔尼诺”和南方涛动现象相比,太平洋年代际振荡和北极涛动对鲈鱼的影响更为剧烈。由于西北太平洋气候变动的周期较短^[10],结合近年相关数据对该海域鲈鱼进行研究更有助于了解最新的资源状况。

本研究基于 2017 年西北太平洋灯光敷网渔捞日志和同期海洋环境卫星遥感数据,分析该海域鲈鱼渔场的时空分布及其与环境因子的关系,为我国可持续开发利用远洋渔业资源提供思路和依据。

1 数据来源

本研究的渔业数据来源于 2017 年浙江欣海远

洋渔业有限公司的“欣海 1205”号和“欣海 1227”号 2 艘渔船的渔捞日志,包括作业日期、作业位置(图 1)、投网次数、捕捞产量和分品种产量等内容。“欣海 1205”号长为 50.95 m、宽为 8.30 m,主机功率为 1 155 kW;“欣海 1227”号长为 50.60 m、宽为 8.00 m,主机功率为 1 104 kW。由于 2 艘渔船的网具主尺寸同为 220 m×245 m,将其渔业数据合并处理。

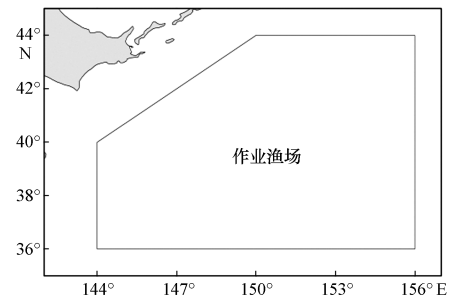


图 1 西北太平洋鲈鱼作业渔场

海洋环境数据来源于美国的 Ocean Data(<https://oceandata.sci.gsfc.nasa.gov>),时间分辨率为月,空间分辨率为 9 km。

2 研究方法

2.1 产量重心

以产量重心的变化反映渔场的变化,计算公式为^[11]:

$$X = \frac{\sum_{i=1}^j (C_i \times X_i)}{\sum_{i=1}^j C_i}$$

$$Y = \frac{\sum_{i=1}^j (C_i \times Y_i)}{\sum_{i=1}^j C_i}$$

式中: X 和 Y 分别表示产量重心的经度和纬度; C_i 表示第 i 次作业的产量; X_i 和 Y_i 分别表示第 i 次作业的经度和纬度; j 表示作业次数。

2.2 单位捕捞努力量渔获量(CPUE)

将产量数据按照 $0.5^\circ \times 0.5^\circ$ 划分单元格,以便于数据叠加。利用名义 CPUE 反映产量^[12],计算公式为:

$$\text{CPUE} = \frac{\sum_{i=1}^n C_i}{n}$$

式中: C_i 表示单元格内第 i 天的产量; n 表示每个月的作业天数。

以四分位数为节点,将各单元格的 CPUE 划分为不同级别。由于作业渔场的叶绿素浓度差异并不明显,须进行对数变换。

2.3 环境因子对 CPUE 的影响

建立以 CPUE 为非独立变量,以海表温度(SST)、叶绿素 a 浓度(Chl-a)、经度(Lon)和纬度(Lat)为解释变量的 GAM 模型:

$$\text{Lg}(\text{CPUE} + 0.01) = S(\text{Lat}) + S(\text{Lon}) + S(\text{SST}) + S[\text{Lg}(\text{Chl-a} + 0.001)] + \epsilon$$

式中: ϵ 表示误差项; S 表示自然立方样条平滑。

利用 P 值和 F 值检验影响因子的重要性; F 值越大,因子越重要; P 值越小,结果越显著^[13]。将 GAM 模型上下 95% 的置信区间虚实线最接近的部分定义为作业渔场的最适宜环境范围^[14]。

本研究采用 SPSS 21.0 软件计算 CPUE 四分位数,采用 Excel 2016 软件计算产量重心,采用 Arcgis 10.2 软件绘制作业渔场和环境因素图,采用 R 语言分析 GAM 模型,采用 Auto CAD 2019 软件绘制产量重心分布图。

3 研究结果

3.1 产量和 CPUE

2017 年西北太平洋鲈鱼产量和 CPUE 的波动较为明显(图 2)。

由图 2 可以看出:鲈鱼产量随季节更替而变化,呈先上升再下降的趋势,其中 7 月最高(662.58 t),12 月最低(46 t);CPUE 的范围为 5.76~13.13 t/d,其中 9 月最高,5 月最低,7—10 月均超过 10 t/d。

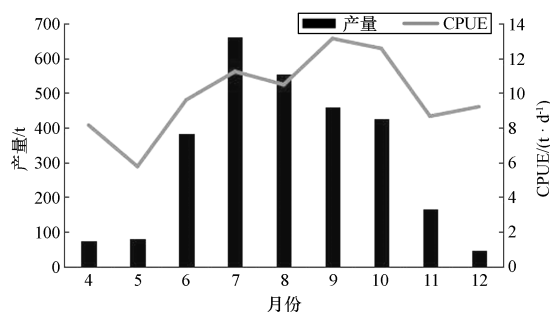


图 2 产量和 CPUE

3.2 产量重心

2017 年西北太平洋鲈鱼产量重心的月际变化较明显(图 3)。

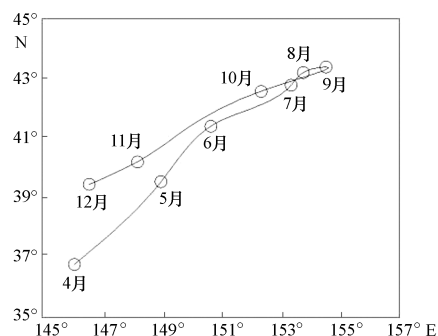


图 3 产量重心

由图 3 可以看出,产量重心先向 NE 方向推进,自 9 月向 SW 方向折回。经度方向产量重心的分布范围为 $146^\circ-155^\circ\text{E}$,其中 4—9 月向 E 方向推进,9—12 月向 W 方向折回,7—10 月的距离较近,4 月与 9 月的距离最远;纬度方向产量重心的分布范围为 $36^\circ-44^\circ\text{N}$,其中 4—9 月向 N 方向推进,9—12 月向 S 方向折回,4 月与 9 月的距离最远。

由于 7—10 月的产量约占总产量的 74%(图 2),以此阶段的产量重心位置代表作业渔场位置。

3.3 SST 和 Chl-a

由于作业渔场大多位于海洋锋带附近海域,SST 的时空分布存在差异,即在时间上呈先上升再下降的趋势,在空间上低纬度高于高纬度。作业渔场 SST 的范围为:4 月为 $9.8^\circ\text{C}-12.7^\circ\text{C}$,5 月为 $10.2^\circ\text{C}-15.2^\circ\text{C}$,6 月为 $10.4^\circ\text{C}-15.0^\circ\text{C}$,7 月为 $14.3^\circ\text{C}-17.2^\circ\text{C}$,8 月为 $16.7^\circ\text{C}-19.2^\circ\text{C}$,9 月为 $12.5^\circ\text{C}-14.8^\circ\text{C}$,10 月为 $13.3^\circ\text{C}-16.7^\circ\text{C}$,11 月为

11.7℃~13.7℃,12 月为 9.4℃~13.4℃。

作业渔场 Chl-a 高值的空间分布呈经向特征,且西部海域比东部海域高。在空间上全年 CPUE 随 Chl-a 高值区的经向变动而东、西移动,作业渔场常集中于 Chl-a 高值区的外围。作业渔场 Chl-a 的范围为:4 月为 0.36~0.57 mg/m³,5 月为 0.36~0.69 mg/m³,6 月为 0.44~0.77 mg/m³,7 月为 0.43~0.80 mg/m³,8 月为 0.50~0.82 mg/m³,9 月为 0.61~1.04 mg/m³,10 月为 0.80~1.25 mg/m³,11 月为 0.38~0.57 mg/m³,12 月为 0.38~0.59 mg/m³。

综上所述,作业渔场 7 月的产量最高,8 月的 SST 最高,9 月的 CPUE 最高,10 月的 Chl-a 最高。

3.4 GAM 模型

根据 GAM 模型的分析结果,作业渔场最适宜的 SST 范围为 14℃~16℃,最适宜的 Chl-a 范围为 0.4~1.0 mg/m³,纬度集中分布于 42°~44°N,经度集中分布于 152°~154°E。

根据 GAM 模型的检验结果(表 1),各影响因素在 CPUE 上的回归均不显著($P>0.05$)。

表 1 各影响因素与 CPUE 的 GAM 模型检验

影响因素	估计自由度	参考自由度	F 检验值	P 值
SST	1.000	1.000	0.085	0.770 7
Lon	4.743	5.812	1.133	0.378 4
Lat	1.000	1.000	3.253	0.074 9
Chl-a	1.000	1.000	0.251	0.617 9

4 讨论

4.1 产量和 CPUE 的月际变化

鲈鱼产量于 4—7 月持续增加。一方面,作业天数延长,其中 7 月的作业天数长达 59 d,而产量基本与作业天数呈正相关(图 4);另一方面,太平洋的鲈鱼于 4—6 月产卵,后向 NE 方向洄游育肥^[15],期间个体不停生长,同时补充群体持续加入。10 月后鲈鱼产量大幅下降,可能是不同海域的资源量存在差异,因为渔船 7—10 月在 43°N 附近海域作业,而 11—12 月在 40°N 附近海域作业。

CPUE 于 4—5 月较低,而 7—10 月均超过 10 t/d。渔船于春季从国内驶向北太平洋,沿途进行捕捞作业,并未到达真正的鱼群聚集地^[14];8—10 月

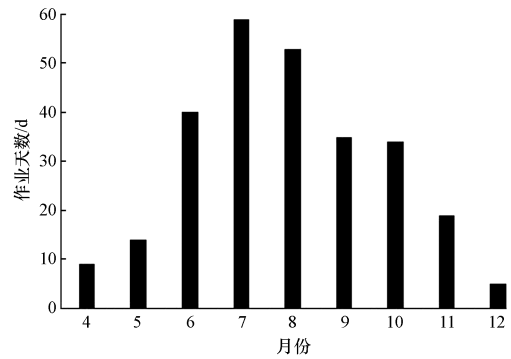


图 4 作业天数

北太平洋鲈鱼处于索饵洄游期^[16],鱼群分布集中,与其他月份相比渔船寻找鱼群花费时间减少,捕捞效率有所提高;9—10 月的 CPUE 较高可能与鲈鱼的生长有关,庄之栋等^[16]对北太平洋鲈鱼的生物学研究表明,鲈鱼经过一段时间的生长于 9—10 月最为肥壮。

4.2 SST 对西北太平洋鲈鱼渔场的影响

西北太平洋鲈鱼的产量重心于 4—9 月由 SW 方向 NE 方向移动,并于 9—12 月折回 SW 方向。王良明等^[15]发现太平洋鲈鱼大多于 4—6 月产卵,产卵时鱼群会随黑潮暖流向 N 方向移动^[8]。除海流作用外,SST 对鲈鱼分布也存在影响^[17]。本研究结果表明,鲈鱼的产量重心集中分布于 14℃~16℃海域,在适宜的温度范围内鲈鱼产量随温度升高而增加,反之则减少^[18]。鲈鱼产卵也受水温的影响,随着水温的升高,鲈鱼性腺的发育速度加快^[19],故在洄游过程中鱼群会不断改变方向以寻找适宜的水温。7—9 月鱼群逐渐成熟且游泳能力增强^[20],此时低纬度海域的水温超出鲈鱼的适温范围,故鱼群移动至水温较低的高纬度海域。

鱼群大多集中于海洋锋带附近海域,这是因为黑潮暖流与亲潮寒流交汇并在锋面处形成潮隔,限制鲈鱼向潮隔外游动,鲈鱼即交汇在黑潮暖流一侧而形成集群^[8],且鲈鱼渔场的位置会随黑潮和亲潮水系的强弱而发生变化,这与已有研究成果^[18]相符合。

4.3 Chl-a 对西北太平洋鲈鱼渔场的影响

作为表征浮游生物含量的物理量,叶绿素浓度常被用于预测渔场位置^[21-24]。作业渔场的 Chl-a 于 4—10 月上升并于 10—12 月下降,而鲈鱼产量于 4—7 月增加并于 7—12 月减少,表明 Chl-a 与鲈鱼

产量无明显关系。杨胜龙等^[25]提出阿拉伯海的鲈鱼围拖网作业渔区始终分布在靠近 Chl-a 最高值的外围;李纲等^[18]提出 Chl-a 并不是鲈鱼渔场形成的主要原因;宋利明等^[26]认为 Chl-a 对于鲈鱼的 CPUE 无显著影响,原因是除 Chl-a 外,盐度和海流等因素也会影响浮游生物的生物量。

本研究结果表明 Chl-a 对渔场分布无显著影响,可能与鲈鱼的摄食对象有关。鲈鱼主要以虾类为食^[5],张省宇^[27]发现马达加斯加海域对虾的 CPUE 在 Chl-a 各范围内无显著差别,陈佳杰等^[28]认为长江口海域磷虾类的丰度主要受温度影响且其平面分布与盐度有关。

5 结语

受作业条件等的限制,本研究的渔业数据不够充足,未来将开展多年际监测、增加渔船数量并对鲈鱼进行生物学测定,从而详细掌握西北太平洋鲈鱼鱼汛及其变动情况,更好地为我国远洋捕捞渔业的发展提供科学依据。

参考文献

- [1] 李建生,严利平,胡芬,等.温台渔场日本鲈的繁殖生物学特征[J].中国水产科学,2015,22(1):99-105.
- [2] 农业农村部渔业渔政管理局,全国水产技术推广总站,中国水产学会.2019 中国渔业统计年鉴[M].北京:中国农业出版社,2019.
- [3] FAO.Review of the state of world marine fishery resources [R].Geneva:FAO Fisheries Department,2005.
- [4] 倪一卓,程和琴,江红,等.鱼类栖息地模拟的比较研究:以东海鲈鱼为例[J].水产科学,2009,28(12):726-732.
- [5] 唐峰华,戴澍蔚,樊伟,等.西北太平洋公海日本鲈(*Scomber japonicus*)胃含物及其摄食等级研究[J].中国农业科技导报,2020,22(1):138-148.
- [6] 李波,阳秀芬,王锦溪,等.南海大眼金枪鱼(*Thunnus obesus*)摄食生态研究[J].海洋与湖沼,2019,50(2):336-346.
- [7] КУНДИУС М,孙基莲.太平洋西北部鲈鱼的分布、行动及其捕捞方法[J].国外水产,1965(3):30-32.
- [8] 沈惠民,洪梅.西北太平洋海洋环境与主要中上层鱼类的分布[J].现代渔业信息,1986(2):4-7.
- [9] 武胜男,陈新军,刘祝楠.基于 GAM 的西北太平洋鲈鱼资源丰度预测模型建立[J].海洋学报,2019,41(8):36-42.
- [10] 徐芬,康建成.1981-2010 年东海及毗邻的西北太平洋表层盐度的气候态分布特征[J].海洋地质与第四纪地质,2019,39(2):44-60.
- [11] 陈新军,钱卫国,许柳雄,等.北太平洋 150°-165°E 海域柔鱼重心渔场的年间变动[J].湛江海洋大学学报,2003,23(3):26-32.
- [12] 杨香帅,邹晓荣,徐香香,等. ENSO 现象对东南太平洋智利竹筴鱼资源丰度及其渔场变动的影响[J].上海海洋大学学报,2019,28(2):290-297.
- [13] 南洋,张倩倩,张碧辉.基于 GAM 模型分析中国典型区域网格化 PM 2.5 长期变化影响因素[J].环境科学,2020,41(2):499-509.
- [14] 戴澍蔚,唐峰华,樊伟,等.北太平洋公海日本鲈资源分布及其渔场环境特征[J].海洋渔业,2017,39(4):372-382.
- [15] 王良明,李渊,张然,等.西北太平洋日本鲈资源丰度分布与表温和水温垂直结构的关系[J].中国海洋大学学报(自然科学版),2019,49(11):29-38.
- [16] 庄之栋,马超,刘勇,等.北太平洋公海秋季鲈鱼生物学特性的初步研究[J].海洋湖沼通报,2018(6):125-131.
- [17] 周甦芳,樊伟,崔雪森,等.环境因子对东海区帆张网主要渔获物渔获量影响[J].应用生态学报,2004,15(9):1637-1640.
- [18] 李纲,陈新军.夏季东海渔场鲈鱼产量与海洋环境因子的关系[J].海洋学研究,2009,27(1):1-8.
- [19] 李建生,严利平,胡芬.基于鱼卵仔鱼数据的东海南部日本鲈产卵场分析[J].海洋渔业,2020,42(1):10-19.
- [20] 李曰嵩,潘灵芝,陈新军,等.东海鲈鱼(*Scomber japonicus*)仔幼鱼游泳行为对运输和补充量的影响[J].海洋与湖沼,2013,44(2):318-325.
- [21] 柯志新,陈丹婷,谭焯辉,等.汕头南澳一东山海域初级生产力的时空特征[J].中国水产科学,2019,26(1):44-52.
- [22] 逢志伟,李显森,朱建成,等.中东大西洋中部海域中上层鱼类中心渔场的时空变化[J].生态学杂志,2016,35(11):3072-3079.
- [23] 唐峰华,崔雪森,樊伟,等.公海柔鱼类资源丰度与海洋环境关系的研究[J].中国农业科技导报,2016,18(4):153-162.
- [24] 唐峰华,史赞荣,朱金鑫,等.海洋环境因子对日本海太平洋褶柔鱼渔场时空分布的影响[J].中国水产科学,2015,22(5):1036-1043.
- [25] 杨胜龙,范秀梅,唐峰华,等.阿拉伯海鲈鱼渔场时空分布及其与海洋环境的关系[J].热带海洋学报,2019,38(4):91-100.
- [26] 宋利明,许回,陈明锐,等.毛里塔尼亚海域日本鲈时空分布与海洋环境的关系[J].上海海洋大学学报,2020,29(6):868-877.
- [27] 张省宇.马达加斯加西海岸海洋环境因子与主要虾类 CPUE 的关系[D].上海:上海海洋大学,2015.
- [28] 陈佳杰,徐兆礼,朱德弟.长江口及邻近海域浮游磷虾类数量和分布的季节特征[J].生态学报,2008(11):5279-5285.