

徐国强, 徐开达, 王好学, 等. 浙江瑞安海域三疣梭子蟹时空分布及其影响因素[J]. 海洋学报, 2024, 46(3): 66–74, doi:10.12284/hyxb2024052

Xu Guoqiang, Xu Kaida, Wang Haoxue, et al. Spatial and temporal distribution of *Portunus trituberculatus* and its influencing factors in Ruian sea area, Zhejiang Province[J]. Haiyang Xuebao, 2024, 46(3): 66–74, doi:10.12284/hyxb2024052

浙江瑞安海域三疣梭子蟹时空分布及其影响因素

徐国强^{1,2,3}, 徐开达^{1,2,3}, 王好学^{1,2,3}, 周永东^{1,2,3*}

(1. 浙江省海洋水产研究所, 浙江 舟山 316021; 2. 农业农村部重点渔场渔业资源观测实验站, 浙江 舟山 316021; 3. 浙江省海洋渔业资源可持续利用技术研究重点实验室, 浙江 舟山 316021)

摘要: 根据 2021 年 4 月至 2022 年 1 月 4 个航次渔业资源和环境数据调查资料, 对瑞安海域三疣梭子蟹 (*Portunus trituberculatus*) 时空分布及其与影响因素的关系进行研究, 包括其海域优势度、群落结构组成、资源密度分布等, 同时运用广义可加模型 (GAM) 分析了资源密度与影响因素的关系。结果表明: 瑞安海域中, 三疣梭子蟹在春季和夏季为重要种 ($100 \leq \text{IRI} < 1000$), 在秋季和冬季为优势种 ($\text{IRI} \geq 1000$)。三疣梭子蟹平均甲长范围为 33.9~60.4 mm, 平均体重范围为 22.9~126.1 g, 甲长和体重均以夏季最高, 秋季最低, 不同季节间三疣梭子蟹甲长和体重呈现显著性差异。三疣梭子蟹在春季、夏季和冬季均呈现负异速增长 ($b < 3$), 秋季呈现正异速增长 ($b > 3$)。三疣梭子蟹平均资源密度范围为 16.57~422.60 kg/km², 平均资源密度呈现以秋季最高, 春季最低, 秋季是春季的 25.5 倍。GAM 分析表明, 模型解释率为 80.2%, 季节、表层水温、底层水温、底层盐度和表层叶绿素 *a* 浓度对三疣梭子蟹资源密度具有显著影响 ($p < 0.05$), 其中季节影响最大。通过本研究, 为掌握瑞安海域三疣梭子蟹资源动态变化规律提供了参考, 进而为三疣梭子蟹增殖放流提供理论支撑。

关键词: 瑞安海域; 三疣梭子蟹; 资源密度; 时空分布; 影响因素

中图分类号: S932.5; P714[†].4

文献标志码: A

文章编号: 0253-4193(2024)03-0066-09

1 引言

瑞安海域地处飞云江与鳌江口, 入海河流及沿岸流带来了丰富的营养物质, 在江口及其附近海域形成了传统的浙南河口渔场^[1]。飞云江、鳌江属浙江省八大水系, 其外围海域可分为 10 m 等深线内 (江口-大北列岛)、10~20 m 等深线 (大北列岛-北麂列岛) 和 20 m 等深线外 (北麂列岛外) 3 种不同深度区间, 该海域涉及水深范围广, 渔业资源丰富, 是浙南海域较为重要的产卵场和索饵场^[1-2]。

三疣梭子蟹 (*Portunus trituberculatus*) 隶属十足目 (Decapoda), 梭子蟹科 (Portunidae), 梭子蟹属 (*Portun-*

us), 属广温广盐性种类, 为东海海域较为重要的经济蟹类之一^[3-6]。近年来, 关于三疣梭子蟹的研究逐年增多, 涉及海域众多, 主要包括辽东湾海域^[7]、莱州湾海域^[8-10]、海州湾海域^[4, 11]、浙北近海及长江口邻近海域^[6, 12-15] 和浙南近海^[16] 等。研究内容涉及三疣梭子蟹刺网选择性、生长特性、时空分布及与环境因子的关系、洄游分布和增殖放流效果评估等一系列方面。三疣梭子蟹作为短生命周期的底层蟹类之一, 其受环境因子的影响较大, 且不同海域所受环境因子的影响程度不同, 因此蟹类时空分布及其与环境因子的关系一直是当前研究的热点^[3]。综上研究海域, 尚未见对瑞安海域三疣梭子蟹时空分布与影响因素关系的研究。

收稿日期: 2023-10-13; 修订日期: 2024-01-08。

基金项目: 国家重点研发计划项目 (2019YFD0901204); 瑞安海域渔业资源本底调查与增殖放流效果评价项目 (01042006)。

作者简介: 徐国强 (1990—), 男, 山东省济南市人, 主要从事渔业资源研究。E-mail: xuguoqiang732@126.com

* 通信作者: 周永东, 教授级高工, 主要从事渔业资源与生态研究。E-mail: zyd511@126.com

究, 环境因子影响程度有待探索。

鉴于此, 本研究基于 2021 年 4 月至 2022 年 1 月 4 个航次的瑞安海域渔业资源调查与环境数据, 分析了三疣梭子蟹在研究海域的优势度、群落结构组成与资源密度分布, 并采用广义可加模型 (Generalized Additive Model, GAM) 探讨了资源密度与影响因素的关系等系列内容。本研究的开展, 为掌握瑞安海域三疣梭子蟹资源动态变化规律提供参考, 进而为瑞安海域三疣梭子蟹增殖放流提供科学理论支撑。

2 材料和方法

2.1 数据来源

本文数据来源于 2021 年 4 月 (春季)、8 月 (夏季)、11 月 (秋季) 和 2022 年 1 月 (冬季) 在瑞安海域开展的单船底拖网渔业资源调查资料。共设置 18 个调查站位 (图 1)。调查渔船为渔业生产船舶, 船长为 38 m, 主机功率为 202 kW, 总吨位为 150 t。网口拉紧周长为 50 m, 上纲长为 30 m, 下纲长为 38 m, 网囊网目为 25 mm。每个站位拖网时间标准化为 1 h, 拖速标准化为 3 kn。环境数据使用直读式多参数水质分析仪 (型号: JFE-AAQ171) 采集, 包括水深、水温、盐度等相关环境因子。在拖网调查结束后, 对渔获物样品进行取样, 取样重量在 20 kg (不足则全部取样), 冰鲜后带回实验室进行生物学测定分析。测定时, 将三疣梭子蟹与其他渔获物样品分开, 并进行生物学参数测定, 包括甲长 (CL , 单位: mm)、体重 (W , 单位: g) 等。渔获物样品的采集和生物学测定分析均按照《海洋调查规范 第 6 部分: 海洋生物调查》(GB/T 12763.6-2007)^[17] 的有关标准进行。

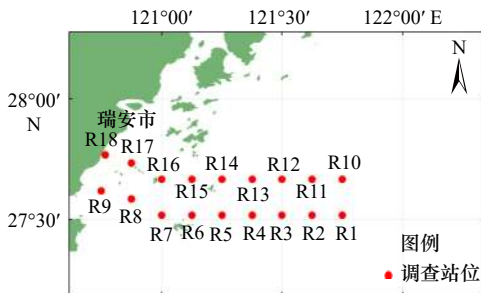


图 1 瑞安海域调查站位

Fig. 1 Survey station of Ruian sea area

2.2 数据处理方法

2.2.1 相对重要指数

三疣梭子蟹优势种确定采用 Pinkas 相对重要指数 (Index of Relative Importance, IRI) 来确定其重要性^[18], 其表达式为

$$IRI = (N + W) \times F, \quad (1)$$

式中, N 为三疣梭子蟹尾数占总渔获物尾数的百分比; W 为三疣梭子蟹重量占总渔获物重量的百分比; F 为三疣梭子蟹出现的网次数占总网次的百分比。

2.2.2 甲长与体重的关系

三疣梭子蟹甲长与体重的关系采用幂函数关系式进行拟合^[9], 表达式如下:

$$W = aCL^b, \quad (2)$$

式中, W 为体重 (单位: g); CL 为甲长 (单位: mm); a 与 b 为因子参数, 其中 a 为条件因子参数, b 为生长参数因子。

2.2.3 资源密度

三疣梭子蟹为底栖生物, 采用扫海面积法对瑞安海域三疣梭子蟹资源密度进行换算^[9], 其表达式为

$$D_i = C_i / (q \times S_i), \quad (3)$$

式中, D_i 为 i 站位的资源密度 (单位: kg/km²); C_i 为 i 站位实际调查渔获量 (单位: kg); q 为 i 站位的渔获率 (根据单船底拖网作业特点及文献 [19] 逃逸率 E 为 0.7, $q = 0.3$); S_i 为在 i 站位的扫海面积 (单位: km²), 公式为

$$S_i = 1.852 \times V \times T_i \times L, \quad (4)$$

式中, V 为平均拖速 (标准化为 3 kn); T_i 为拖网时间 (标准化为 1 h); L 为网口水平扩张宽度 (9.90×10^{-3} km)。

2.2.4 GAM 分析

广义可加模型 (GAM) 为广义线性模型的非参数扩展, 其基于原始数据, 能直接处理响应变量与多个解释变量之间的非线性关系^[4]。其表达式为

$$g(\mu) = \beta_0 + \sum_{i=1}^n f_i(x_i) \quad (\mu = E[Y|X]), \quad (5)$$

式中, $g(\mu)$ 为联结函数; β_0 为常数截距项; $f_i(x_i)$ 用来描述 $g(\mu)$ 与第 i 个解释变量的非参数函数; Y 为反应变量; X 为预测变量; μ 为 Y 的期望值。

本研究使用 GAM 分析三疣梭子蟹资源密度与响应因子的关系, 其中资源密度作为响应变量, 时空因子: 季节 (season)、经度 (longi) 和纬度 (lati); 环境因子: 水深 (depth)、表层水温 (BT)、底层水温 (DT)、表层盐度 (BS)、底层盐度 (DS)、表层溶解氧浓度 (BO)、底层溶解氧浓度 (DO)、表层叶绿素浓度 (Bchl a) 和底层叶绿素浓度 (Dchl a) 作为解释变量建立 GAM。其表达式为

$$\begin{aligned} \ln(\text{Density} + \text{mean}) \sim & s(\text{season}) + s(\text{longi}) + s(\text{lati}) + \\ & s(\text{depth}) + s(\text{BT}) + s(\text{DT}) + s(\text{BS}) + s(\text{DS}) + \\ & s(\text{BO}) + s(\text{DO}) + s(\text{Bchl } a) + s(\text{Dchl } a) + \varepsilon, \end{aligned} \quad (6)$$

式中, 为避免 0 值出现, 采用 Density + 平均值再进行

对数化处理; s 为自然样条平滑; ε 表示误差。利用赤池信息准则 (Akaike Information Criterion, AIC) 筛选最优模型, 利用 F 检验评估模型因子的显著性。

2.2.5 数据分析与绘图

数据分析及绘图采用 Origin 软件、Arcgis 软件和 R 语言, 其中资源密度时空分布采用 Arcgis 软件, GAM 绘图采用 R 语言, 其余绘图均采用 Origin 软件。显著性差异采用 Kruskal-Wallis 检验进行 ($p < 0.05$)。

3 结果与分析

3.1 环境数据

不同季节瑞安海域环境因子参数如表 1 所示。调查海域水深范围为 6.27~48.97 m, 平均水深为 26.73 m。夏季温度和盐度 4 个季节中最高, 溶解氧和叶绿素 a 的浓度最低。除冬季表层盐度稍高于秋季

外, 冬季温度和底层盐度 4 个季节中最低, 溶解氧和叶绿素 a 的浓度最高。春季与秋季环境因子参数则处于两者之间。

3.2 优势种与重要种

采用 IRI 值来确定三疣梭子蟹在瑞安海域不同季节的重要性, 其春季 IRI 值为 188, 夏季 IRI 值为 717, 秋季 IRI 值为 5 003, 冬季 IRI 值为 1 287 (表 2)。按照优势种的确定方法, 三疣梭子蟹在春季和夏季为重要种 ($100 \leq \text{IRI} < 1\ 000$), 秋季和冬季为优势种 ($\text{IRI} \geq 1\ 000$)。因此可知, 三疣梭子蟹为瑞安海域重要的经济物种。

3.3 三疣梭子蟹群落结构组成

根据三疣梭子蟹生物学数据分析可知 (图 2), 春季, 三疣梭子蟹甲长范围为 26.3~52.9 mm, 平均甲长 ($\pm \text{SD}$) 为 (33.9 ± 9.3) mm; 体重范围为 7.0~69.6 g, 平

表 1 不同季节瑞安海域环境因子参数

Table 1 Parameters of environmental factors in different seasons in Ruian sea area

季节	水深/m	表层温度/°C	底层温度/°C	表层盐度	底层盐度	表层溶解氧浓度/ ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	底层溶解氧浓度/ ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	表层叶绿素 a 浓度/ $(\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1})$	底层叶绿素 a 浓度/ $(\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1})$
春季	26.73 ± 15.06	16.64 ± 1.44	16.65 ± 1.31	29.13 ± 2.13	29.60 ± 3.65	7.29 ± 1.50	8.09 ± 0.52	3.10 ± 2.45	8.75 ± 8.85
夏季	26.73 ± 15.06	28.33 ± 0.70	24.98 ± 2.33	30.48 ± 4.97	32.88 ± 2.48	6.98 ± 0.51	4.46 ± 0.82	2.80 ± 1.41	2.65 ± 2.44
秋季	26.73 ± 15.06	19.49 ± 1.71	20.60 ± 2.62	28.30 ± 1.79	29.89 ± 3.24	8.05 ± 0.44	7.41 ± 0.85	3.07 ± 3.17	5.80 ± 4.43
冬季	26.73 ± 15.06	13.36 ± 1.92	13.79 ± 2.20	28.81 ± 2.32	28.42 ± 4.64	9.35 ± 0.55	9.12 ± 0.59	4.38 ± 3.45	8.78 ± 10.91

表 2 不同季节三疣梭子蟹相对重要指数

Table 2 IRI of *Portunus trituberculatus* in different seasons

季节	N	W	F	IRI
春季	1.09	2.67	50	188
夏季	0.44	8.16	83.33	717
秋季	19.32	30.71	100	5 003
冬季	1.15	11.72	100	1 287

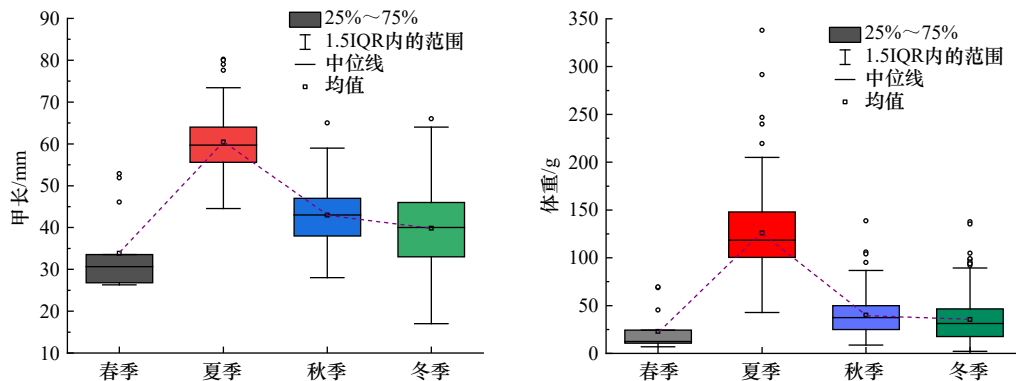


图 2 三疣梭子蟹甲长和体重的季节变化

Fig. 2 Seasonal changes in carapace length and weight of *Portunus trituberculatus*

均体重(±SD)为(22.9±21.9)g。夏季,三疣梭子蟹甲长范围为44.5~80.2 mm,平均甲长(±SD)为(60.4±7.1)mm;体重范围为42.7~338.0 g,平均体重(±SD)为(126.1±44.3)g。秋季,三疣梭子蟹甲长范围为28.0~65.0 mm,平均甲长(±SD)为(43.0±7.0)mm;体重范围为8.8~138.7 g,平均体重(±SD)为(40.0±21.3)g。冬季,三疣梭子蟹甲长范围为17.0~66.0 mm,平均甲长(±SD)为(39.8±9.2)mm;体重范围为2.2~137.7 g,平均体重(±SD)为(35.5±23.9)g。三疣梭子蟹甲长和体重夏季最高,春季最低;平均甲长夏季约是春季的1.78倍,平均体重夏季是春季的5.51倍。Kruskal-Wallis 检验表明,不同季节间三疣梭子蟹甲长和体重呈现显著性差异($p < 0.05$)。

3.4 三疣梭子蟹甲长与体重的关系

对瑞安海域不同季节采集的三疣梭子蟹生物学进行分析(图3),甲长与体重进行幂函数回归分析,得出三疣梭子蟹甲长与体重的关系为

$$\text{春季: } W = 4.93 \times 10^{-4} CL^{2.99} \quad (R^2 = 0.99, n = 14), \quad (7)$$

$$\text{夏季: } W = 2.05 \times 10^{-3} CL^{2.68} \quad (R^2 = 0.83, n = 114), \quad (8)$$

$$\text{秋季: } W = 3.56 \times 10^{-4} CL^{3.07} \quad (R^2 = 0.89, n = 131), \quad (9)$$

$$\text{冬季: } W = 8.86 \times 10^{-4} CL^{2.84} \quad (R^2 = 0.91, n = 209). \quad (10)$$

从式(7)至式(10)来看,春季、夏季和冬季 b 值均小于3,三疣梭子蟹为负异速增长;秋季 b 值大于3,三疣梭子蟹为正异速增长。

3.5 三疣梭子蟹资源密度季节变化

由图4可知,春季,三疣梭子蟹资源密度范围为0~

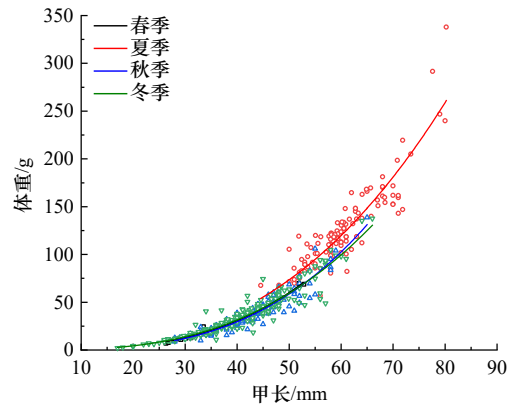


图3 不同季节三疣梭子蟹甲长与体重的关系
Fig. 3 Relationship between carapace length and weight of *Portunus trituberculatus* in different seasons

77.17 kg/km²,平均密度为16.57 kg/km²;资源密度最大值出现在17号站位,站位出现率为50.00%;主要分布于江口至北龙山浅水区。夏季,三疣梭子蟹资源密度范围为0~206.77 kg/km²,平均密度为68.48 kg/km²;资源密度最大值出现在14号站位,站位出现率为83.33%;主要分布于北龙山至北麂列岛-南麂列岛水域。秋季,三疣梭子蟹资源密度范围为31.80~928.06 kg/km²,平均密度为422.60 kg/km²;资源密度最大值出现在8号站位,站位出现率为100%;分布整个瑞安海域。冬季,三疣梭子蟹资源密度范围为5.75~466.27 kg/km²,平均密度为83.13 kg/km²;资源密度最大值出现在6号站位,站位出现率为100%;分布于整个瑞安海域,主要在北麂列岛-南麂列岛附近水域。三疣梭子蟹平均资源密度秋季最高,春季最低,其中秋季是春季的

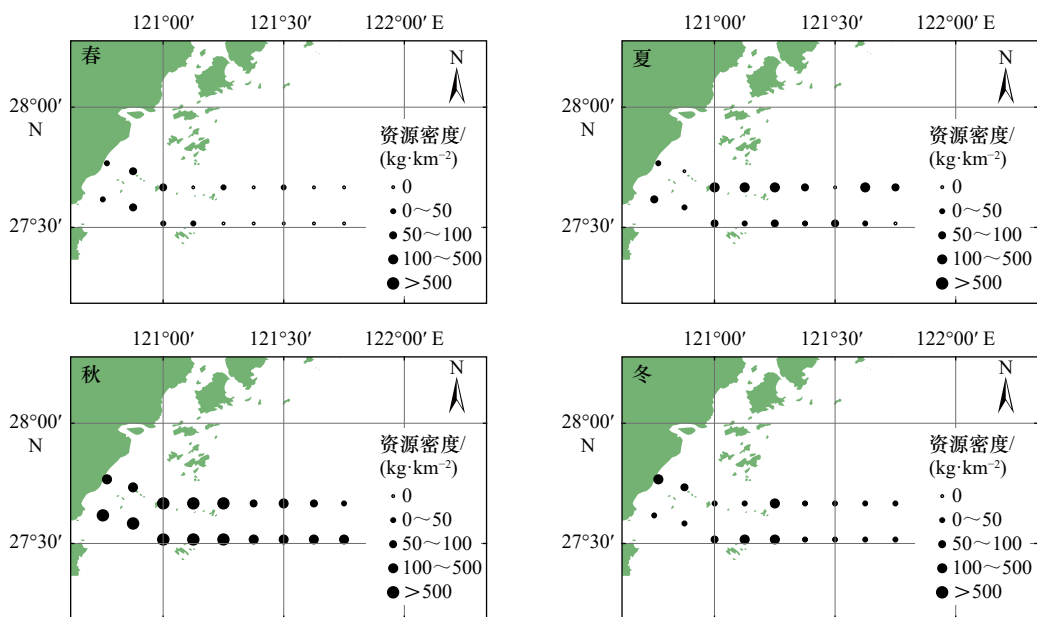


图4 瑞安海域三疣梭子蟹资源密度分布

Fig. 4 Resource density distribution of *Portunus trituberculatus* in Ruian sea area

25.5倍。Kruskal-Wallis 检验表明,不同季节间三疣梭子蟹平均资源密度呈现显著性差异($p < 0.05$, 图5),说明三疣梭子蟹资源密度受季节影响较大。

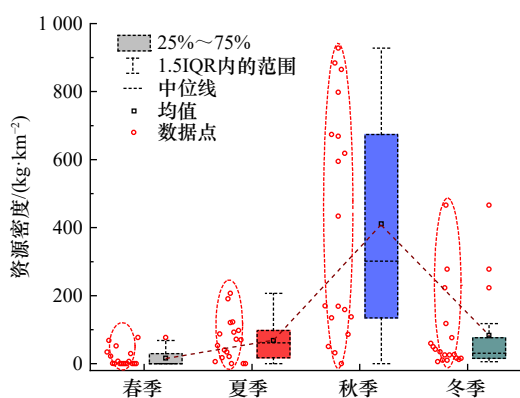


图5 不同季节三疣梭子蟹资源密度变化

Fig. 5 Variation of resource density of *Portunus trituberculatus* in different seasons

3.6 三疣梭子蟹资源密度与影响因素的响应关系

三疣梭子蟹资源密度与影响因素的 GAM 分析结果表明,模型解释率为 80.2%。 F 检验表明,季节、表层水温、底层水温、底层盐度和表层叶绿素 a 浓度对三疣梭子蟹资源密度均具有显著性影响($p < 0.05$),其中季节对其影响最大(表3)。

表3 GAM 拟合结果
Table 3 Results of GAM fitting

模型因子	自由度	AIC值	累计偏差解释率/%	p 值
Season	1.93	-79.06	60.2	2.0×10^{-16}
+BT	1.95	-101.13	63.4	0.010
+DT	1.93	-121.44	66.2	0.017
+DS	1.93	-123.67	78.3	0.004
+Bchl a	1.78	-125.32	80.2	0.049

由图6分析可知,季节、表层水温、底层水温、底层盐度和表层叶绿素 a 浓度与三疣梭子蟹资源密度均呈现非线性关系。三疣梭子蟹资源密度随着季节的更替(冬季至秋季)呈现先降低后升高的趋势,以春季资源密度最低。三疣梭子蟹资源密度随着表层温度的增加呈现先降低后升高的趋势。具体表现为在 11.2~21.5℃ 区间,资源密度呈现降低趋势;在 21.5~30.0℃ 区间,资源密度呈现升高趋势。三疣梭子蟹资源密度随着底层温度的增加呈现先升高后降低的趋势。具体表现为在 11.2~20.5℃ 区间,资源密度呈现升高趋势;在 20.5~28.7℃ 区间,资源密度呈现降低趋势。三疣梭子蟹资源密度随着底层盐度的增加呈现先升

高后降低的趋势。具体表现为在 14.7~25.0 区间,资源密度呈现升高趋势;在 25.0~34.2 区间,资源密度呈现降低趋势。三疣梭子蟹资源密度随着表层叶绿素 a 浓度的增加呈现逐渐降低的趋势,主要集中于 0.4~4.0 $\mu\text{g/L}$ 。

4 讨论

4.1 群落结构特征

对于瑞安海域三疣梭子蟹群落结构特征的研究是合理利用和保护其资源的重要前提条件。本研究结果表明,瑞安海域三疣梭子蟹平均头胸甲长和体重均呈现夏季 > 秋季 > 冬季 > 春季,与吴强等^[8]研究莱州湾三疣梭子蟹头胸甲长和体重 6~8 月逐渐增大,8 月后逐步减小,翌年 3 月达最低值的结果一致。分析其成因,一方面与研究海域捕捞强度有关,伏休开捕后,流刺网及蟹笼等渔具对三疣梭子蟹群体选择性捕捞^[8]。捕捞三疣梭子蟹的流刺网网目尺寸通常为 110~150 mm,其捕捞三疣梭子蟹的平均头胸甲长均在 60 mm 以上^[20],因此致使三疣梭子蟹头胸甲长在开捕后呈现逐渐下降的趋势。另一方面与三疣梭子蟹的生长习性有关,其在 6~8 月间处于快速增长期,在 8 月调查中已有抱卵群体出现,因此秋冬季三疣梭子蟹头胸甲长降低与补充群体的出现也十分相关。相比于其他 3 个季节,春季头胸甲长与体重均处于最低水平,平均体重不超过 25 g,主要因为春季是幼蟹出现的高峰期,这在浙北近海三疣梭子蟹研究中均有所体现^[13,21]。瑞安海域不同季节三疣梭子蟹甲长与体重关系式中 b 值均有所不同,春季 b 值为 2.99,表明此时三疣梭子蟹趋于等速生长;夏季 b 值为 2.68,为四季中最低值,说明此时三疣梭子蟹头胸甲长的增长速度高于体重的增长速度,处于快速增长期。而秋季 b 值为 3.07,为四季中最高值,处于三疣梭子蟹的育肥阶段。本研究揭示了瑞安海域三疣梭子蟹的生长规律,对于该海域三疣梭子蟹资源合理利用和科学保护提供了参考。

4.2 时空分布特征

本研究认为瑞安海域不同季节三疣梭子蟹资源密度时空分布差异明显,平均资源密度呈现秋季 > 冬季 > 夏季 > 春季,三疣梭子蟹春季多聚集于河口近岸,夏季则向外移至北麂列岛-南麂列岛海域,秋、冬分布范围较广,这主要与三疣梭子蟹沿岸种属性有关,其游泳能力弱,不做长距离洄游,春、夏通常在河口近岸 3~5 m 和 10 m 以下的浅海区域,秋、冬水温下降后则移居至 10~30 m 海底泥沙越冬,因此具有

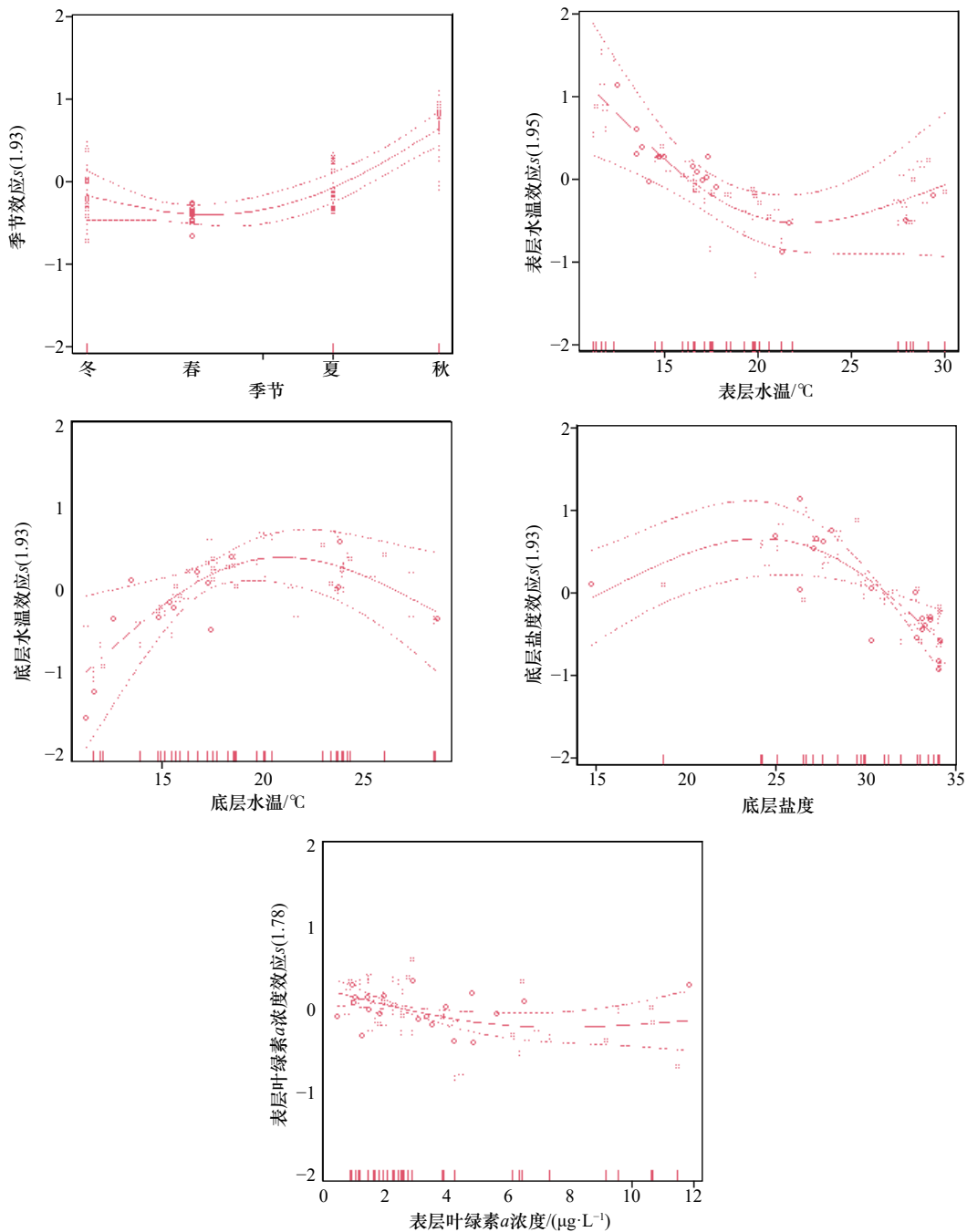


图6 影响因素与三疣梭子蟹资源密度关系的GAM分析

Fig. 6 GAM analysis of the relationship between influencing factors and resource density of *Portunus trituberculatus*

明显的季节性分布移动规律^[8-9, 14, 22]。这主要与不同季节外部环境变化息息相关,进而影响三疣梭子蟹的洄游路线,从而使得三疣梭子蟹时空分布出现季节性变化^[3]。浙南海域三疣梭子蟹在6-7月份有往北洄游的趋势,11月份又自北往南进行洄游^[16],这可能是导致瑞安海域秋季与冬季资源密度高于夏季的重要原因。另外,秋季补充群体的出现也会使得秋季的资源量升高^[3],这点在秋季三疣梭子蟹头胸甲长小于夏季研究结果中得到证实。另外,夏季三疣梭子蟹主要分布于北鹿

列岛-南鹿列岛附近海域,这与每年北鹿列岛附近海域三疣梭子蟹增殖放流也密不可分。不同海域增殖放流的贡献度有所不同,其中辽东湾三疣梭子蟹放流群体占群体总量的30.10%^[7],洞头海域三疣梭子蟹放流群体占渔获比例的24.2%^[3],增殖放流对于增加修复该海域三疣梭子蟹资源的效果是显著的。据了解,2021-2022年北鹿列岛海域三疣梭子蟹仔蟹Ⅱ-Ⅲ期的放流量达到900多万尾,对于增加瑞安海域三疣梭子蟹资源量具有重要的补充作用。今后应结合三

疣梭子蟹增殖放流数量对时空分布的影响进行进一步探讨,以期得出三疣梭子蟹自然群体和放流群体在不同季节的时空分布。

4.3 不同影响因素对资源密度的影响

本研究对瑞安海域三疣梭子蟹资源密度与影响因素进行 GAM 分析,结果表明季节、底层盐度、表层水温、底层水温和表层叶绿素 *a* 浓度对瑞安海域三疣梭子蟹资源密度有显著影响。其中,以季节和底层盐度影响最为显著,这与栗小东等^[3]研究较为一致。季节所引起的外部环境变化,使得季节成为影响三疣梭子蟹资源密度分布最为重要的因子^[3]。在研究海域方面,瑞安海域地处飞云江与鳌江口交汇处,与东海北部处于长江和钱塘江交汇区类似,海水盐度对其资源密度影响机理一致,这与三疣梭子蟹不同阶段生长发育所需底层盐度环境有关^[3]。通常三疣梭子蟹幼体偏好低盐海域,索饵和越冬偏重高盐环境^[3-4, 23]。另外,底层盐度不仅影响雌雄三疣梭子蟹个体肥满度,也是影响三疣梭子蟹栖息地分布的重要因子^[4, 10]。三疣梭子蟹作为重要的洄游物种,水温是决定其分布和洄游的主要因素^[6, 13]。研究表明,底层温度在 20.5℃ 时资源密度最高,超过 20.5℃ 时资源密度呈现降低趋势,这与栗小东等^[3]研究认为当底温 21℃ 时处于较低的状态一致。从适温条件来看,三疣梭子蟹属温水种,因此较高的温度对其有抑制作用^[3, 15, 24]。叶绿素虽然不能直接影响三疣梭子蟹的资源密度分布,但其间

接提供的饵料生物,则可为三疣梭子蟹的生长繁殖提供重要的食物来源,这在众多鱼类研究中也都有所体现^[25-26]。徐豪和张崇良^[4]研究发现叶绿素 *a* 浓度是影响雄性三疣梭子蟹肥满度最重要的因子,也证实了叶绿素作为初级生产力的重要作用。对三疣梭子蟹资源密度分布的影响有很多,如袁伟等^[15]则认为溶解氧和 NO₂ 的浓度是影响长江口及毗连海域三疣梭子蟹最为重要的因子。另外,捕捞强度、增殖放流量等人为因素也会引起三疣梭子蟹资源密度空间变动。因此,在今后研究中应综合各种因素分析对瑞安海域三疣梭子蟹资源密度的影响。

5 结论

本研究根据浙江瑞安海域 4 个季节渔业资源和环境数据调查资料,对其海域三疣梭子蟹物种优势度、群落结构组成与资源密度分布进行了研究,并建立 GAM 探讨了影响三疣梭子蟹分布的重要因素。研究发现,瑞安海域三疣梭子蟹呈现季节空间分布特征,影响瑞安海域三疣梭子蟹资源密度空间分布的主要因素为季节和底层盐度。研究结论可为掌握瑞安海域三疣梭子蟹资源动态变化规律提供参考,进而为瑞安海域三疣梭子蟹增殖放流提供科学理论支撑。在今后的研究中,应结合多种影响因素(捕捞强度、增殖放流量等)以实现更为细致的响应程度解析。

参考文献:

- [1] 刘述锡,孙淑艳,王真良,等. 飞云江与鳌江口海域夏、秋季环境因子与浮游生物的分布变化[J]. 生态与农村环境学报, 2014, 30(4): 430-437.
Liu Shuxi, Sun Shuyan, Wang Zhenliang, et al. Change in distribution of plankton as affected by environmental factors in the estuaries of Feiyunjiang River and Aojiang River in summer and autumn[J]. Journal of Ecology and Rural Environment, 2014, 30(4): 430-437.
- [2] 张玉荣,丁跃平,郭远明,等. 温州瑞安市飞云江、鳌江口附近海域海洋渔业资源与生产现状调查[J]. 河北渔业, 2012(7): 41-46.
Zhang Yurong, Ding Yueping, Guo Yuanming, et al. Investigation on marine fishery resources and production status near the Feiyunjiang River and Aojiang River in Rui'an City, Wenzhou[J]. Hebei Fisheries, 2012(7): 41-46.
- [3] 栗小东,王晶,杨春蕙,等. 基于两种机器学习方法分析东海北部海域三疣梭子蟹 (*Portunus trituberculatus*) 时空分布[J]. 海洋与湖沼, 2021, 52(5): 1284-1292.
Li Xiaodong, Wang Jing, Yang Chunhui, et al. Spatiotemporal distribution of *Portunus trituberculatus* in the northern East China Sea based on two machine learning methods[J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2021, 52(5): 1284-1292.
- [4] 徐豪,张崇良. 海州湾秋季三疣梭子蟹肥满度时空变化及其影响因素[J]. 中国水产科学, 2023, 30(4): 492-501.
Xu Hao, Zhang Chongliang. Spatiotemporal variation in the condition factor of *Portunus trituberculatus* and influencing factors in Haizhou Bay[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2023, 30(4): 492-501.
- [5] He Jie, Gao Yang, Wang Wei, et al. Limb autotomy patterns in the juvenile swimming crab (*Portunus trituberculatus*) in earth ponds[J]. *Aquaculture*, 2016, 463: 189-192.
- [6] 徐雪,唐伟尧,王迎宾. 舟山渔场及长江口渔场临近海域三疣梭子蟹增殖容量估算[J]. 南方水产科学, 2019, 15(3): 126-132.
Xu Xue, Tang Weiyao, Wang Yingbin. Releasing capacity of *Portunus trituberculatus* enhancement in Zhoushan fishing ground and Yangtze River Estuary fishing ground and their adjacent waters[J]. South China Fisheries Science, 2019, 15(3): 126-132.
- [7] 王彬,刘修泽,李玉龙,等. 辽东湾三疣梭子蟹增殖放流效果评估[J]. 水产学报, 2020, 44(8): 1329-1339.
Wang Bin, Liu Xiuzhe, Li Yulong, et al. Stocking effectiveness of hatchery-raised swimming crabs (*Portunus trituberculatus*) released in-

- to Liaodong Bay[J]. Journal of Fisheries of China, 2020, 44(8): 1329–1339.
- [8] 吴强, 王俊, 陈瑞盛, 等. 莱州湾三疣梭子蟹的生物学特征、时空分布及环境因子的影响 [J]. 应用生态学报, 2016, 27(6): 1993–2001. Wu Qiang, Wang Jun, Chen Ruisheng, et al. Biological characteristics, temporal-spatial distribution of *Portunus trituberculatus* and relationships between its density and impact factors in Laizhou Bay, Bohai Sea, China[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2016, 27(6): 1993–2001.
- [9] 杨刚, 徐炳庆, 王秀霞, 等. 莱州湾三疣梭子蟹生物学参数及生长特性研究 [J]. 海洋渔业, 2017, 39(4): 401–410. Yang Gang, Xu Bingqing, Wang Xiuxia, et al. On biological parameters and growth characteristics of *Portunus trituberculatus* in the Laizhou Bay[J]. Marine Fisheries, 2017, 39(4): 401–410.
- [10] 张孝民, 王秀霞, 李少文, 等. 基于优化模型的莱州湾三疣梭子蟹 (*Portunus trituberculatus*) 栖息地适宜性研究 [J]. 海洋与湖沼, 2022, 53(3): 726–734. Zhang Xiaomin, Wang Xiuxia, Li Shaowen, et al. Optimization of habitat suitability model for *Portunus trituberculatus* in Laizhou Bay[J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2022, 53(3): 726–734.
- [11] 林群, 袁伟, 马玉洁, 等. 基于 Ecopath 模型的海州湾三疣梭子蟹增殖生态容量研究 [J]. 水生态学杂志, 2022, 43(6): 131–138. Lin Qun, Yuan Wei, Ma Yujie, et al. Evaluation of project to enhance the ecological carrying capacity of swimming crab (*Portunus trituberculatus*) in Haizhou Bay[J]. Journal of Hydroecology, 2022, 43(6): 131–138.
- [12] 宋海棠, 丁跃平, 许源剑. 浙江北部近海三疣梭子蟹生殖习性的研究 [J]. 浙江水产学院学报, 1988, 7(1): 39–46. Song Haitang, Ding Yueping, Xu Yuanjian. A study on the breeding habits of blue crab (*Portunus trituberculatus* Miers) in the northern coastal waters of Zhejiang[J]. Journal of Zhejiang College of Fisheries, 1988, 7(1): 39–46.
- [13] 宋海棠, 丁耀平, 许源剑. 浙北近海三疣梭子蟹洄游分布和群体组成特征 [J]. 海洋通报, 1989, 8(1): 66–74. Song Haitang, Ding Yaoping, Xu Yuanjian. Migration distribution and population composition characteristics of *Portunus trituberculatus* in the offshore of northern Zhejiang Province[J]. Marine Science Bulletin, 1989, 8(1): 66–74.
- [14] 杨春蕙, 刘琦, 王迎宾. 增殖放流影响下东海北部海域三疣梭子蟹 (*Portunus trituberculatus*) 最大可持续产量评估 [J]. 海洋与湖沼, 2022, 53(5): 1219–1224. Yang Chunhui, Liu Qi, Wang Yingbin. Assessment of the maximum sustainable yield of *Portunus trituberculatus* in the northern areas of the East China Sea under the impact of stock enhancement[J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2022, 53(5): 1219–1224.
- [15] 袁伟, 金显仕, 单秀娟. 长江口及毗邻海域三疣梭子蟹种群生物学特征及与环境的关系 [J]. 水产科学, 2016, 35(2): 105–110. Yuan Wei, Jin Xianshi, Shan Xiujian. Population biology and relationship with environmental factors of swimming crab in the Changjiang River Estuary and adjacent waters[J]. Fisheries Science, 2016, 35(2): 105–110.
- [16] 徐开达, 周永东, 朱文斌, 等. 浙江省洞头海域三疣梭子蟹增殖放流效果评估 [J]. 浙江大学学报 (农业与生命科学版), 2018, 44(3): 373–380. Xu Kaida, Zhou Yongdong, Zhu Wenbin, et al. Stocking effectiveness of hatchery-released *Portunus trituberculatus* in the Dongtou sea area of Zhejiang Province[J]. Journal of Zhejiang University (Agriculture & Life Sciences), 2018, 44(3): 373–380.
- [17] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 海洋调查规范: 第 6 部分 海洋生物调查: GB/T 12763.6–2007[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008. General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, Standardization Administration of the People's Republic of China. Specifications for oceanographic survey: Part 6 marine biological survey: GB/T 12763.6–2007[S]. Beijing: Standards Press of China, 2008.
- [18] Pinkas L, Oliphant M S, Iverson I L K. Food habits of albacore, bluefin tuna, and bonito in California waters[J]. Fishery Bulletin, 1971, 152: 1–105.
- [19] 卢衍尔, 张洪亮, 朱文斌, 等. 浙江近海春、夏季蟹类群落结构及其与环境因子的关系 [J]. 水生生物学报, 2019, 43(3): 612–622. Lu Kaner, Zhang Hongliang, Zhu Wenbin, et al. Community structure of crabs and its relationship with environmental factors in Zhejiang coast area in spring and summer[J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2019, 43(3): 612–622.
- [20] Xu Guoqiang, Zhu Wenbin, Xu Liuxiong. Gillnet selectivity for swimming crab *Portunus trituberculatus* in the East China Sea[J]. Fisheries Science, 2021, 87(1): 31–38.
- [21] 张洪亮, 陶迎新, 朱文斌, 等. 中街山列岛附近海域春季三疣梭子蟹资源的年间变化 [J]. 浙江海洋大学学报 (自然科学版), 2022, 41(6): 569–573. Zhang Hongliang, Tao Yingxin, Zhu Wenbin, et al. Spring inter-annual variation of *Portunus trituberculatus* abundance in the Zhongjieshan Archipelago seas[J]. Journal of Zhejiang Ocean University (Natural Science), 2022, 41(6): 569–573.
- [22] 戴爱云, 冯钟琪, 宋玉枝, 等. 三疣梭子蟹渔业生物学的初步调查 [J]. 动物学杂志, 1977, 12(2): 30–33. Dai Aiyun, Feng Zhongqi, Song Yuzhi, et al. Preliminary investigation on fishery biology of *Portunus trituberculatus*[J]. Chinese Journal of Zoology, 1977, 12(2): 30–33.
- [23] 宋海棠, 俞存根, 薛利建. 东海经济虾蟹类渔业生物学 [M]. 北京: 海洋出版社, 2012. Song Haitang, Yu Cungen, Xue Lijian. Fishery Biology of Economic Shrimp and Crab in East China Sea[M]. Beijing: China Ocean Press, 2012.
- [24] 俞存根, 宋海棠, 姚光展. 东海大陆架海域蟹类资源量的评估 [J]. 水产学报, 2004, 28(1): 41–46.

- Yu Cungen, Song Haitang, Yao Guangzhan. Assessment of the crab stock biomass in the continental shelf waters of the East China Sea[J]. Journal of Fisheries of China, 2004, 28(1): 41–46.
- [25] 万瑞景, 黄大吉, 张经. 东海北部和南海南部鳀鱼卵和仔稚幼鱼数量、分布及其与环境条件的关系 [J]. 水产学报, 2002, 26(4): 321–330.
- Wan Ruijing, Huang Daji, Zhang Jing. Abundance and distribution of eggs and larvae of *Engraulis japonicus* in the northern part of East China Sea and the southern part of Yellow Sea and its relationship with environmental conditions[J]. Journal of Fisheries of China, 2002, 26(4): 321–330.
- [26] 李国东, 李冬佳, 熊琪, 等. 基于 GAM 的南海南部越冬小黄鱼资源丰度与环境因子关系 [J]. 海洋渔业, 2023, 45(4): 403–411.
- Li Guodong, Li Dongjia, Xiong Ying, et al. Relationship between environmental factors and abundance of overwintering *Larimichthys polyactis* in the southern Yellow Sea based on GAM[J]. Marine Fisheries, 2023, 45(4): 403–411.

Spatial and temporal distribution of *Portunus trituberculatus* and its influencing factors in Ruian sea area, Zhejiang Province

Xu Guoqiang^{1,2,3}, Xu Kaida^{1,2,3}, Wang Haoxue^{1,2,3}, Zhou Yongdong^{1,2,3}

(1. Zhejiang Marine Fisheries Research Institute, Zhoushan 316021, China; 2. Scientific Observing and Experimental Station of Fishery Resources for Key Fishing Grounds, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Zhoushan 316021, China; 3. Key Laboratory of Sustainable Utilization of Technology Research for Fishery Resource of Zhejiang Province, Zhoushan 316021, China)

Abstract: Based on the survey data of fishery resources and environment of four voyages from April 2021 to January 2022, the spatial and temporal distribution of *Portunus trituberculatus* and its relationship with influencing factors in the Ruian sea area were studied, including its marine dominance, community structure and resource density distribution. At the same time, generalized additive model (GAM) is used to analyze the relationship between resource density and influencing factors. The results showed that: in the Ruian sea area, *P. trituberculatus* is an important species ($100 \leq \text{IRI} < 1\ 000$) in spring and summer and a dominant species ($\text{IRI} \geq 1\ 000$) in autumn and winter. The average carapace length and body weight of *P. trituberculatus* ranged from 33.9 mm to 60.4 mm, and 22.9 g to 126.1 g. The carapace length and body weight of *P. trituberculatus* were the highest in summer and the lowest in autumn. There were significant differences between different seasons. *P. trituberculatus* showed negative allometric growth in spring, summer and winter ($b < 3$), and positive allometric growth in autumn ($b > 3$). The average resource density of *P. trituberculatus* ranged from 16.57 kg/km² to 422.60 kg/km², with the highest in autumn and the lowest in spring, and the average resource density in autumn was 25.5 times of that in spring. GAM analysis showed that the interpretation rate of the model was 80.2%. Season, surface water temperature, bottom water temperature, bottom salinity and surface chlorophyll *a* concentration had significant effects on the resource density of *P. trituberculatus* ($p < 0.05$), among which season had the greatest effect. Through this study, it provides reference for grasping the dynamic change law of *P. trituberculatus* resources in Ruian sea area, and further provides theoretical support for the proliferation and release of *P. trituberculatus*.

Key words: Ruian sea area; *Portunus trituberculatus*; resource density; spatial and temporal distribution; influencing factors