

DOI: 10.12264/JFSC2022-0443

海州湾秋季三疣梭子蟹肥满度时空变化及其影响因素

徐豪^{1,2}, 张崇良^{1,2}

1. 中国海洋大学水产学院, 山东 青岛 266003;

2. 海州湾渔业生态系统教育部野外科学观测研究站, 山东 青岛 266003

摘要: 根据 2011 年及 2013—2021 年秋季于海州湾及其邻近海域进行的 10 个航次的渔业资源底拖网调查数据, 采用 Le cren 状态指数作为肥满度指标, 分析了三疣梭子蟹(*Portunus trituberculatus*)肥满度的时间变化及空间分布规律, 并应用广义可加模型(generalized additive model, GAM)评估不同性别三疣梭子蟹肥满度的影响因素。研究表明, 海州湾秋季三疣梭子蟹肥满度的雌雄差异不明显且变化趋势相似, 从 2013 年到 2020 年平均肥满度呈现递减的趋势, 但在 2021 年出现高值。在空间分布上, 肥满度较高的个体主要分布于 20 m 等深线以深区域。在肥满度的影响因素方面, 头胸甲宽、水深、种群密度以及底层盐度对雌性个体肥满度影响明显, 而叶绿素 a 浓度、头胸甲宽、底层水温以及底层盐度对雄性三疣梭子蟹的肥满度具有显著影响。本研究初步阐明了不同性别三疣梭子蟹肥满度的影响因素, 为资源的开发和保护提供了科学依据。

关键词: 三疣梭子蟹; 肥满度; 相关分析; 环境因子; GAM 模型; 海州湾

中图分类号: S931

文献标志码: A

文章编号: 1005-8737-(2023)04-0492-10

三疣梭子蟹(*Portunus trituberculatus*)隶属于十足目(Decapoda), 梭子蟹科(Portunidae), 梭子蟹属(*Portunus*), 是一种具有较高经济价值的暖温性海蟹, 在我国北至辽东半岛, 南至福建、广东海域均有分布^[1]。三疣梭子蟹既是我国重要的经济蟹类, 又是近海海域群落结构的优势种^[2-3], 因此三疣梭子蟹种群特征的研究对于渔业资源的保护和利用具有重要意义。许多学者就三疣梭子蟹的养殖育肥^[4-5]、基因调控与表达^[6-7]、群落结构^[2-3,8]、增殖放流^[9-11]等方面进行了一系列研究, 但三疣梭子蟹种群动态对环境因素响应方面尚缺乏探讨。

肥满度指数是反映动物对环境适应的状态和营养情况的一项重要指标, 对于蟹类的经济价值具有重要影响。许多研究指出, 肥满度指数与年龄、性别、环境、季节和种间种内关系密切相关^[12]。耿玉玲等^[13]研究发现种群结构、环境因子和饵料生物对山东海域口虾蛄(*Oratosquilla oratoria*)肥

满度呈现显著影响。高保全等^[14]曾针对 4 个野生群体的三疣梭子蟹肥满度进行了初步研究, 比较了不同群体、不同性别以及不同日龄个体之间的肥满度差异。但目前针对三疣梭子蟹肥满度时空变化的研究较少, 其影响因素尚不明确。

本研究根据海州湾近 10 年渔业资源调查数据, 分析了三疣梭子蟹秋季肥满度的时间变化及空间分布规律, 并应用广义可加模型评估了生物与非生物因子对三疣梭子蟹肥满度变化的影响, 旨在探讨三疣梭子蟹肥满度的关键影响因素, 以期在三疣梭子蟹的合理开发与保护提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 数据来源

实验用三疣梭子蟹生物量数据以及生物学数据来自于 2011 年及 2013—2021 年秋季共 10 个航

收稿日期: 2023-02-16; 修订日期: 2023-03-09.

基金项目: 国家重点研发计划项目(2018YFD0900906, 2018YFD0900904).

作者简介: 徐豪(1999-), 男, 硕士研究生, 研究方向为渔业资源评估. E-mail: xuhao_ouc@163.com

通信作者: 张崇良, 副教授, 研究方向为渔业生态系统动力学. E-mail: zhangclg@ouc.edu.cn

次于海州湾及其邻近海域进行的渔业资源底拖网调查, 调查海域范围为 $119^{\circ}20' E \sim 121^{\circ}10' E$ 、 $34^{\circ}20' N \sim 35^{\circ}40' N$ (图 1)。依据该海域水深和底质类型等因素的不同, 将研究海域分为 5 个区域, 采用分层随机取样方法在各个区域随机抽取一定数量站位进行采样, 其中 2011 年设置 24 个站位, 其余年份经站位优化后设置 18 个站位^[15]。采样调查船为 220 kW 的单拖网渔船, 拖速为 2~3 kn。调查网具为网口宽 25 m、高 6 m、囊网网目 17 mm 的底拖网。将样品带回实验室进行分析处理, 分别用精度 1 mm 的测量尺和精度 0.01 g 的电子天平测量样品头胸甲宽 B (mm) 和体重 W (g), 同时进行雌雄鉴别。样品的采集、处理和分析均按照《海洋调查规范》^[16]进行。

本研究以水深、底层盐度、底层水温、叶绿素 a 浓度、种群密度、饵料丰度以及样品个体的头胸甲宽作为影响三疣梭子蟹肥满度的潜在影响因素。其中水深、底层温度和底层盐度在采样同时使用 CTD 测量, 叶绿素浓度(Chl a)数据为美国国家航空航天局提供的 MODIS L3m 数据(<https://oceancolor.gsfc.nasa.gov/l3/>), 数据来自 Terra 卫星, 空间分辨率为 4 km, 时间分辨率为 monthly。三

疣梭子蟹的种群密度由其标准化生物量进行对数转换得到; 根据文献资料结合现有调查数据, 选取枪乌贼(*Loligo japonica*)作为秋季三疣梭子蟹的代表性饵料生物^[17], 将拖网调查中枪乌贼的标准化生物量进行对数转换, 作为饵料丰度指标。

1.2 肥满度分析

本研究采用 Le cren 状态指数 K (Le cren condition factor)^[18]作为三疣梭子蟹的肥满度指标, 公式如下:

$$K = \frac{W}{aB^b}$$

式中, K 为肥满度指数, W 为三疣梭子蟹的实际体重(g), B 为三疣梭子蟹的头胸甲宽(mm), a 、 b 分别为利用幂函数 $W = aB^b$ 拟合的头胸甲宽-体重关系式参数。本研究按照不同性别分别计算 a 、 b 值, 避免了由于三疣梭子蟹体重与头胸甲宽呈异速增长而造成肥满度计算中存在系统误差^[19]。根据不同性别分别计算了秋季全部个体、秋季雌性个体、秋季雄性个体的头胸甲宽-体重关系参数。分析海州湾三疣梭子蟹个体相对肥满度的年间变化, 利用每个站位三疣梭子蟹的平均肥满度绘制成等值线图, 以分析肥满度的空间分布。

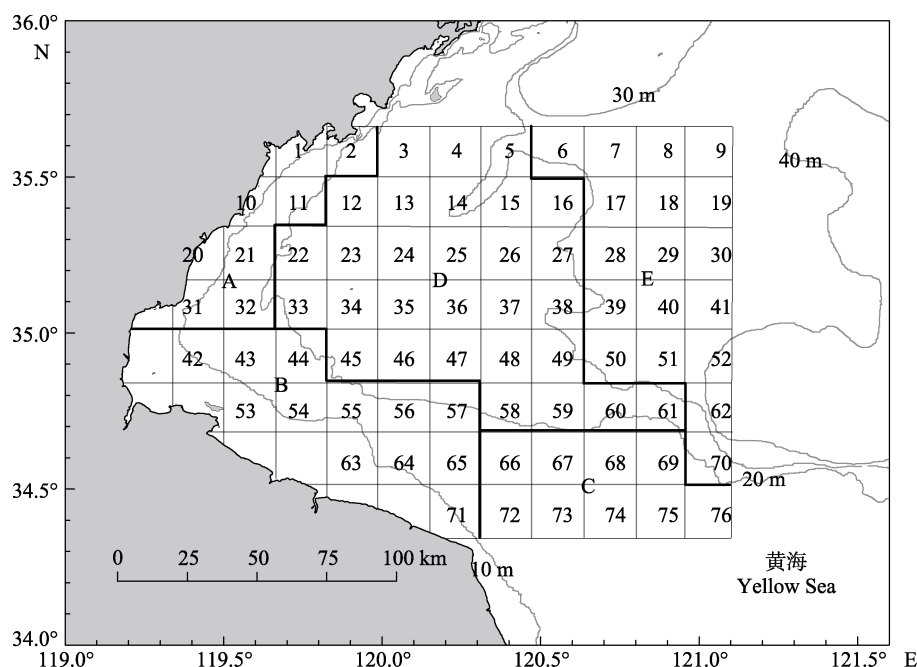


图 1 海州湾调查站位示意图

Fig. 1 Sampling stations in Haizhou Bay

本研究使用广义可加模型(generalized additive model, GAM)^[20]探究三疣梭子蟹肥满度空间变化的影响因素。GAM 模型是一种非参数化多元线性回归方法,其基于非参数平滑函数,具有高度灵活性,能够很好地描述响应变量与解释变量之间的复杂关系^[21]。GAM 模型在渔业中被广泛用于研究资源与环境因子之间的关系^[22-24]以及群落多样性与环境因子之间的关系^[25-26]等领域。GAM 模型的表达式如下:

$$K = \beta_0 + \sum_{i=1}^n s(x_i) + \varepsilon$$

式中, K 为三疣梭子蟹个体肥满度指数, β_0 为截距项, s 为平滑函数, x_i 为所研究的各个解释变量, ε 为误差项。参与模型构建的解释变量包括水深、底层盐度、底层水温、海表水温、叶绿素 a 浓度、种群密度、饵料丰度以及样品本身的头胸甲宽。将每个解释变量逐步代入模型,分析各变量对三疣梭子蟹肥满度指数的影响,利用 AIC^[27]值检验模型的拟合效果, AIC 值越低,模型拟合效果越好。结合 P 值筛选出对三疣梭子蟹肥满度具有显著影响的解释变量。

本研究数据分析均在 R 语言下完成,利用 mgcv 包构建 GAM 模型。

2 结果与分析

2.1 头胸甲宽-体重关系参数

海州湾秋季三疣梭子蟹群体头胸甲宽-体重关系参数的不同模型中, R^2 均大于 0.9, 表明其数据拟合较好。三疣梭子蟹生长整体呈负异速增长状态($b<3$)(表 1), 且不同性别个体之间参数具有显著差异($P<0.05$)。其中雌性个体的条件因子 a 为 2.0×10^{-4} , 大于雄性的 3.13×10^{-5} ; 雄性个体的异速生长因子 b 为 3.09, 接近等速生长, 而雌性

表 1 不同三疣梭子蟹群体头胸甲宽-体重关系式参数
Tab. 1 Parameters a 、 b in cephalothoracic breadth-body weight relation equation in different populations

群体 population	a	b	R^2
全部个体 the whole population	$(1.03\pm0.13)\times10^{-4}$	2.84 ± 0.02	0.92
雌性群体 female population	$(2.00\pm0.50)\times10^{-4}$	2.71 ± 0.05	0.91
雄性群体 male population	$(3.13\pm0.43)\times10^{-5}$	3.09 ± 0.03	0.94

个体 b 值为 2.71, 呈负异速生长状态。因此本研究按照不同性别分别计算其相对肥满度,以反映三疣梭子蟹肥满度的时空变化及其影响因素。

2.2 肥满度的时空变化

海州湾秋季三疣梭子蟹不同性别个体相对肥满度的年间变化如图 2 所示。其中雌性个体肥满度 10 年间的变化范围为 0.82~1.10, 平均肥满度最高的年份为 2013 年, 最低为 2020 年; 雄性个体的平均肥满度在 0.84~1.12, 平均肥满度最高的年份同样为 2013 年, 最低为 2011 年。这 10 年间海州湾秋季三疣梭子蟹肥满度的雌雄变化趋势接近, 均从 2013 年到 2020 年平均肥满度呈现一个递减的趋势, 但在 2021 年出现一个高值。二者呈现显著的相关性, person 相关系数为 $r=0.7$ ($P=0.02$)。

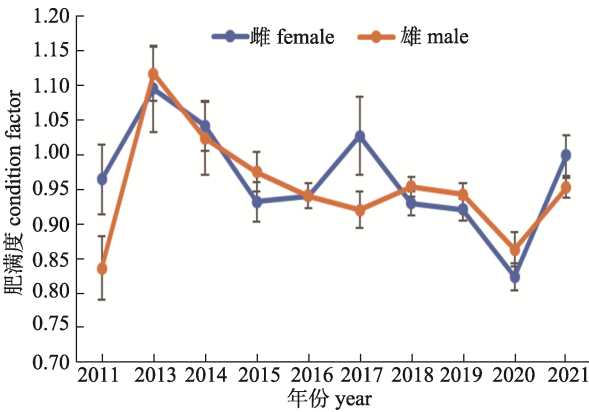


图 2 三疣梭子蟹雌雄个体平均肥满度年间变化
Fig. 2 Annual variation of condition factor of male and female *Portunus trituberculatus* individuals

利用 10 年间每个站位出现的三疣梭子蟹的平均肥满度绘制成等值线图(图 3), 可以发现海州湾秋季三疣梭子蟹的肥满度在空间分布上极不均匀, 整体呈现东北高-西南低的趋势。肥满度大于 1 的海域绝大部分位于 20 m 等深线以深区域, 且在研究海域东北部存在一个以 120.7° E、35.4° N 为中心的高值区。近岸区域三疣梭子蟹的肥满度相对较低, 为 0.8~0.95。

2.3 不同性别三疣梭子蟹肥满度影响因素分析

利用 GAM 模型筛选不同性别三疣梭子蟹肥满度的影响因素, 结果表明其头胸甲宽、水深、种群密度以及底层盐度对海州湾秋季雌性三疣梭子蟹肥满度存在显著影响(表 2)。其中, 对雌性三

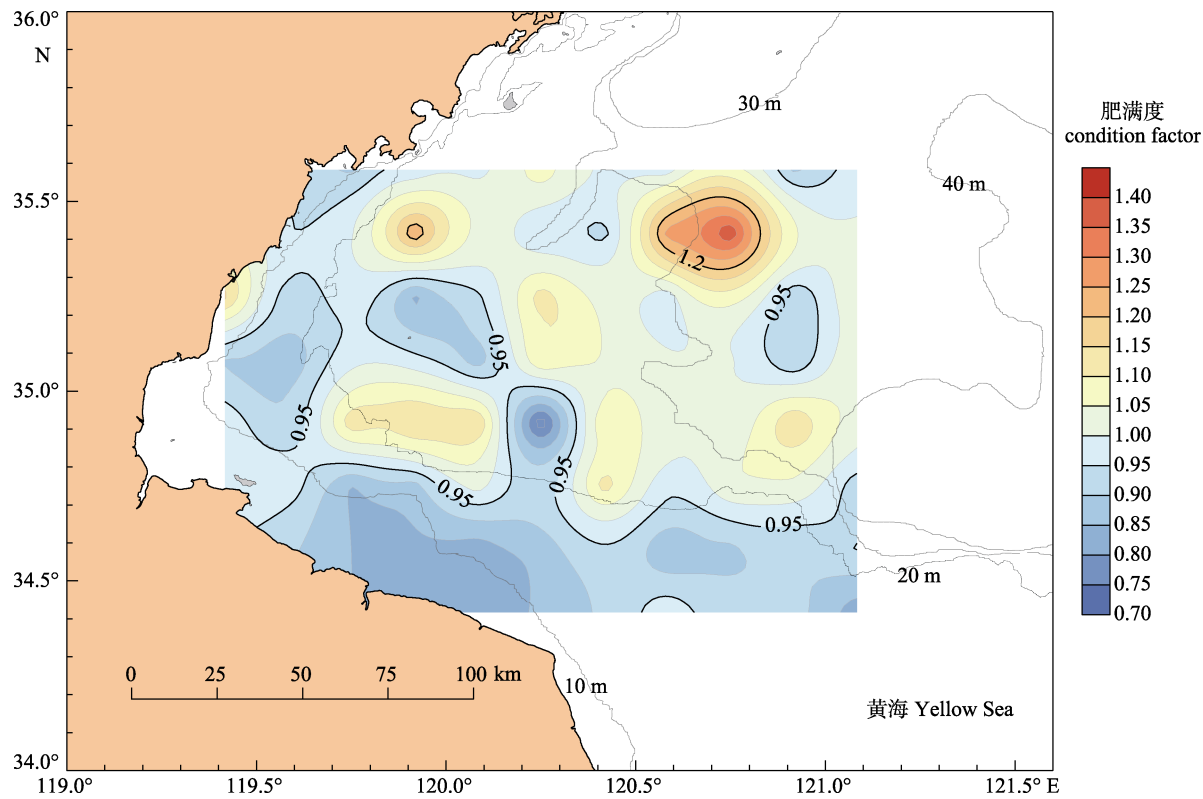


图 3 海州湾秋季三疣梭子蟹肥满度空间分布

Fig. 3 The distribution of condition factor of *Portunus trituberculatus* in autumn in Haizhou Bay

表 2 不同性别三疣梭子蟹肥满度重要影响因素

Tab. 2 Important factors influencing the condition factor of *Portunus trituberculatus* of different sexes

性别 sex	解释变量 explanatory variable	累计方差解释率/% accumulation of deviance explanation	贡献率/% importance	P	AIC
雌 female	头胸甲宽 cephalothoracic breadth	19	19	<0.001	-188.66
	水深 depth	22.2	3.2	<0.001	-192.7
	种群密度 population density	24.7	2.5	<0.001	-203.33
	底层盐度 bottom salinity	26.5	1.8	<0.05	-211.66
雄 male	叶绿素 a 浓度 Chl a	3.61	3.61	<0.001	220.97
	头胸甲宽 cephalothoracic breadth	7.32	3.71	<0.001	188.94
	底层温度 bottom temperature	9.07	1.75	<0.05	72.83
	底层盐度 bottom salinity	9.79	0.72	<0.05	67.89

疣梭子蟹肥满度影响最大的因子为头胸甲宽，方差解释率为 19%。雄性三疣梭子蟹的肥满度与各影响因素之间的最优模型包含叶绿素 a 浓度、头胸甲宽、底层水温以及底层盐度 4 个变量。其中叶绿素 a 浓度以及头胸甲宽的贡献率较大，分别为 3.61%和 3.71%。

秋季雌性三疣梭子蟹头胸甲宽在 28~208 mm 之间，其肥满度随着头胸甲宽的增长呈先上升后下降的趋势(图 4)，当雌性三疣梭子蟹头胸甲宽生

长到 150 mm 左右时肥满度达到最高，之后随着雌性个体头胸甲宽的增加，其肥满度有所下降。雌性三疣梭子蟹肥满度受水深影响较大，在水深 15~30 m 的海域雌性三疣梭子蟹肥满度随水深逐渐上升，在 30 m 以深海域肥满度迅速下降。在较低种群密度和较高种群密度时雌性三疣梭子蟹的肥满度均较低，当种群密度适中时雌性个体肥满度较高。底层盐度对雌性三疣梭子蟹肥满度的影响较小，在盐度小于 31 时肥满度缓慢上升，盐度

超过 31 时肥满度有所下降。

雄性三疣梭子蟹肥满度与叶绿素 a 浓度存在着显著的正相关关系(图 5)。秋季雄性三疣梭子蟹

头胸甲宽在 18~200 mm 之间, 雄性个体肥满度随头胸甲宽的增加总体呈下降趋势, 当雄性三疣梭子蟹头胸甲宽生长到 100 mm 左右时, 随着头胸

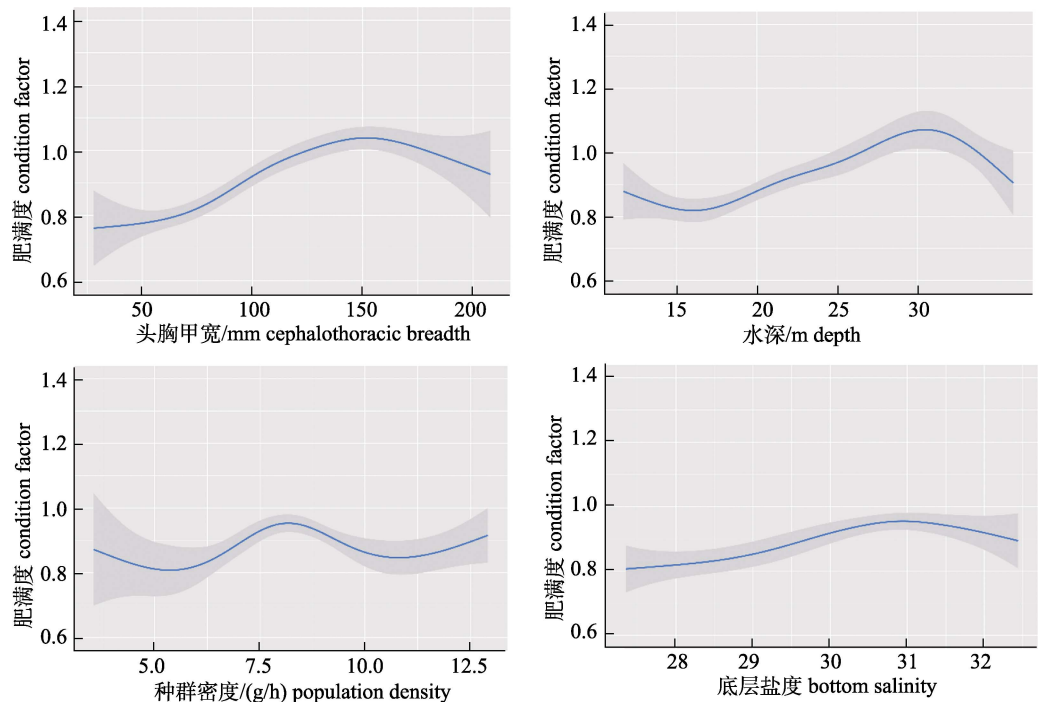


图 4 雌性三疣梭子蟹肥满度与影响因素的关系

Fig. 4 Relationship between influencing factors and condition factor of female *Portunus trituberculatus*

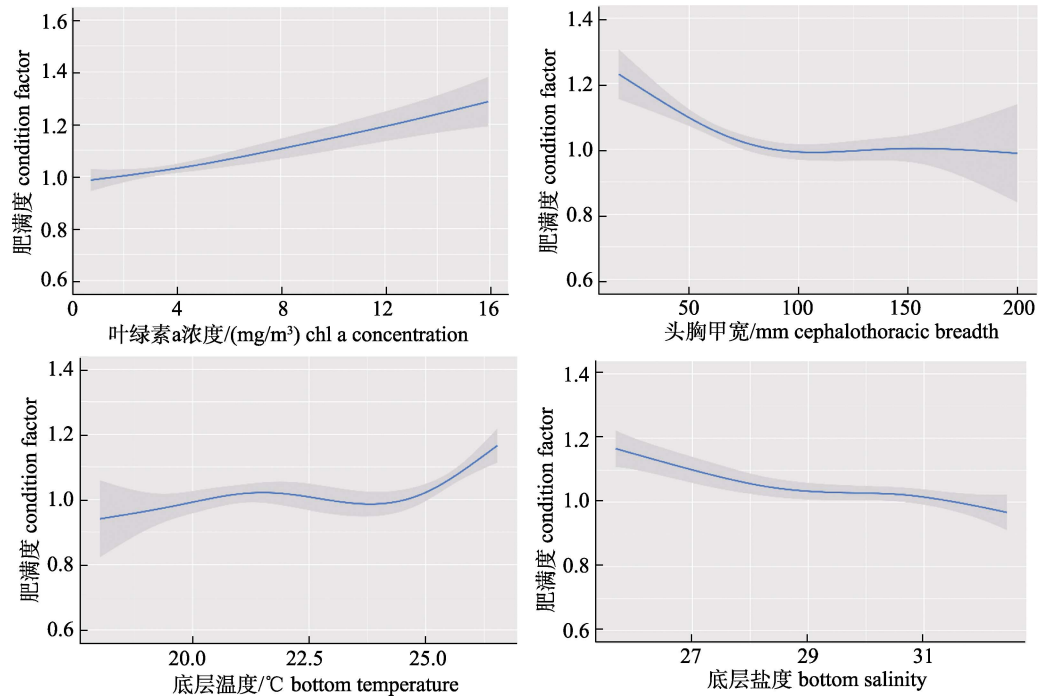


图 5 雄性三疣梭子蟹肥满度与影响因素的关系

Fig. 5 Relationship between influencing factor and condition factor of male *Portunus trituberculatus*

甲宽的增长肥满度变化不明显。底层温度在小于 24 ℃ 的海域对雄性三疣梭子蟹肥满度的影响不大, 但底层温度在 24 ℃ 以上的海域随着底层水温的升高雄性个体的肥满度显著上升。随着海水底层盐度的升高, 雄性三疣梭子蟹的肥满度呈现显著下降趋势。

3 讨论

3.1 时空分布

海州湾秋季三疣梭子蟹的肥满度显示明显的时间变化规律, 过去 10 年间平均肥满度呈现递减趋势。这说明近年来海州湾生态系统可能发生了一定变化, 逐渐不利于三疣梭子蟹生存, 这在今后的渔业管理中应引起注意。此外, 三疣梭子蟹肥满度在雌雄个体间的差异并不明显。关于蟹类生长状况的雌雄差异, 许多学者进行过相关研究, 如彭娇等^[28]发现一龄中华绒螯蟹 (*Eriocheir sinensis*) 肥满度的雌雄差异不明显, 而 Moghaddam 等^[29]发现同为梭子蟹科的蓝蟹雌性个体的平均肥满度高于雄性。陆俊锴等^[30]在研究池塘养殖三疣梭子蟹的生长规律和雌雄差异时发现, 5 月龄之后雌蟹壳宽和体重的增长要显著快于雄性。这说明不同性别三疣梭子蟹之间生长速度和快速发育阶段有一定差异, 但壳宽与体重均按照相似比例增长, 表现出相近的肥满度变化。

在空间分布方面, 海州湾秋季三疣梭子蟹的肥满度明显存在深水区高于浅水区, 肥满度大于 1 的海域绝大部分为 20 m 等深线以深的海区。该分布特征可能与三疣梭子蟹的生活史过程相关。如宋海棠等^[31]研究表明, 索饵群体由于个体大小不同, 其地理分布区域也不同, 幼蟹多分布在沿岸浅水海区, 成蟹则分布在外侧深水海域。而秋季海州湾三疣梭子蟹大型个体肥满度显著大于小型个体, 而大型个体多分布在水深较深的海域。另外, 宋海棠等^[31]的研究表明, 浙北近海三疣梭子蟹 11 月以后开始游向深水 and 南部海域洄游越冬。海州湾地理位置更加靠北, 海水降温更早, 因此三疣梭子蟹越冬洄游的时间也更早。本研究采样时间为 9 月末和 10 月, 此时一些个体可能已经开始往深水区移动。这些个体经过

秋季的索饵育肥, 肥满度较高, 也会造成三疣梭子蟹的肥满度在深水区高于浅水区的分布特征。

3.2 影响因素

本研究中海州湾秋季雌性三疣梭子蟹肥满度最重要的影响因素为其头胸甲宽, 头胸甲宽在 125~175 mm 附近的雌蟹肥满度较高。宋海棠等^[32]研究表明, 春夏季三疣梭子蟹生殖群体头胸甲宽优势组为 130~180 mm, 与本研究肥满度较高的头胸甲宽范围相近。相关研究表明, 生殖群体在秋季大量摄食育肥, 将营养物质储存在肝胰腺中, 供冬季停止摄食后的卵巢发育^[33], 导致个体秋季肥满度较高。底层盐度对雌性个体肥满度呈现显著影响, 但影响幅度不大。这与相关研究结论一致, 如丁张妮等^[34]研究表明, 除极端盐度外, 各盐度对三疣梭子蟹摄食影响不大。因此在海州湾自然情况下, 盐度不会成为雌性三疣梭子蟹肥满度的重要限制因子。

对于雄性三疣梭子蟹, 代表海域初级生产力水平的叶绿素 a 浓度为影响其肥满度最重要的因子, 两者之间存在显著正相关关系。三疣梭子蟹食性广泛, 不仅以藻类为食, 而且滤食性的双壳类也是三疣梭子蟹食物组成的重要部分^[17]。因此在初级生产力较高的海域, 三疣梭子蟹食物较为充足, 肥满度相对较高。随着底层海水温度的升高, 雄性个体肥满度呈现波动上升的趋势。这可能是因为三疣梭子蟹是暖温型物种, 在水温较高的海域生长较快、代谢活跃, 进食频率较高。随着海水底层盐度的升高, 雄性三疣梭子蟹的肥满度呈显著下降趋势, 可能与雄性个体较小有关。三疣梭子蟹在生长发育的不同阶段的盐度适应性不同, 幼体偏好在低盐度海域, 而索饵和越冬时则需要高盐环境^[35]。在本研究的样品中, 雄性个体头胸甲宽大多 ≤ 100 mm, 受盐度影响较大。

3.3 不足与展望

本研究探讨了三疣梭子蟹肥满度的时间变化和空间分布规律, 并应用 GAM 模型对其影响因素进行了初步探讨。应注意的是, 由于数据和模型本身的限制, 一些结论的可靠性还需进一步验证。其中由于样本量在年间存在较大差异, 样本量较少的年份其平均肥满度存在一定代表性不足

的问题。另外, 由于数据资料的限制, 本研究选取了三疣梭子蟹的主要饵料枪乌贼作为其摄食条件的指标, 而该物种食性非常广泛, 除枪乌贼外, 一些腹足类、双壳类、小型鱼类、一些藻类等都在其摄食范围之内, 如姜卫民等^[17]在研究渤海三疣梭子蟹食性时发现, 10 月时其食物组成中出现频率最高的为双壳类(39.62%), 其次是枪乌贼(22.64%)。由于缺乏其他饵料物种的翔实调查数据, 可能会对研究结果造成一定偏差。最后, 高强度的捕捞会对三疣梭子蟹的种群结构造成较大的影响, 特别是海州湾伏季休渔之后, 三疣梭子蟹遭受大量捕捞^[3]。由于渔具选择性因素, 种群中肥满度较高的大型个体可能相对减少, 使得整个种群个体偏小型化。该偏差会对平均肥满度的估算以及肥满度的时空变化研究造成影响。如何评估捕捞活动对三疣梭子蟹种群肥满度的影响也有待进一步探究。

4 结论

海州湾秋季三疣梭子蟹肥满度雌雄差异不明显。从 2013 年到 2020 年, 三疣梭子蟹平均肥满度呈现降低趋势, 头胸甲宽、叶绿素 a 浓度、水深以及底层盐度等因子对其肥满度有显著影响。研究结果对于三疣梭子蟹的管理与保护具有一定参考意义。

参考文献:

- [1] Dai A Y, Feng Z Q, Song Y Z, et al. Preliminary investigation on fishery biology of *Portunus trituberculatus*[J]. Chinese Journal of Zoology, 1977, 12(2): 30-33. [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.]
- [2] Niu W Z, Han L, Yu C G, et al. Crab community structure and its relationship with environmental factors in the eastern sea area of Zhoushan Islands[J]. Haiyang Xuebao, 2022, 44(2): 29-38. [牛威震, 韩磊, 俞存根, 等. 舟山群岛东侧海域蟹类群落结构及其与环境因子的关系[J]. 海洋学报, 2022, 44(2): 29-38.]
- [3] Yang G. Study on the community structure, growth parameters and resources of *Portunus trituberculatus* in Shandong Province[D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2017. [杨刚. 山东近海蟹类群落结构及三疣梭子蟹生长参数、资源量研究[D]. 上海: 上海海洋大学, 2017.]
- [4] Wu X G, Wang Q, Lou B, et al. Effects of fattening period on ovarian development and nutritional quality of female swimming crab (*Portunus trituberculatus*)[J]. Journal of Fisheries of China, 2014, 38(2): 170-182. [吴旭干, 汪倩, 楼宝, 等. 育肥时间对三疣梭子蟹卵巢发育和营养品质的影响[J]. 水产学报, 2014, 38(2): 170-182.]
- [5] He X L, Liu M M, Zhu S C, et al. Effects of dietary protein levels on the growth, ovarian development and biochemical composition of the swimming crab (*Portunus trituberculatus*)[J]. Progress in Fishery Sciences, 2021, 42(5): 158-166. [何先林, 柳梅梅, 朱筛成, 等. 饲料中蛋白水平对三疣梭子蟹雌体生长、卵巢发育和生化组成的影响[J]. 渔业科学进展, 2021, 42(5): 158-166.]
- [6] Yan D P, Lü J J, Lu X, et al. Cloning and expression analysis of pt-ditt4l in swimming crab (*Portunus trituberculatus*)[J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2021, 45(2): 334-340. [阎德平, 吕建建, 陆璇, 等. 三疣梭子蟹 Pt-ddit4l 基因的克隆及表达分析[J]. 水生生物学报, 2021, 45(2): 334-340.]
- [7] Wu J, Lyu J J, Zhang W W, et al. Cloning of aqp2 gene from *Portunus trituberculatus* and its function in molting[J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2022, 46(11): 1694-1700. [吴捷, 吕建建, 张伟伟, 等. 三疣梭子蟹 aqp2 基因克隆及其在蜕皮中的功能[J]. 水生生物学报, 2022, 46(11): 1694-1700.]
- [8] Zhang X M, Shen R T, Li S W, et al. Interannual variation and influencing factors of summertime crab community structure in the Laizhou Bay, 2010-2019[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2022, 29(4): 596-607. [张孝民, 申瑞婷, 李少文, 等. 2010—2019 年莱州湾夏季蟹类群落年际变化及其影响因子[J]. 中国水产科学, 2022, 29(4): 596-607.]
- [9] Liu B W, Liu S, Jiang J M, et al. Monthly recapture rate and reproductive contribution rate of released swimming crab[J]. Fisheries Science, 2021, 40(1): 10-19. [刘滨玮, 刘帅, 姜洁明, 等. 放流三疣梭子蟹月间回捕率及繁殖贡献率研究[J]. 水产科学, 2021, 40(1): 10-19.]
- [10] Zhao G Q, Qiu S Y, Zhang Y Q, et al. Contribution of releasing to stock quantity of swimming crab *Portunus trituberculatus* in waters off southern Shandong peninsula[J]. Fisheries Science, 2018, 37(5): 591-598. [赵国庆, 邱盛尧, 张玉钦, 等. 山东半岛南部三疣梭子蟹增殖放流群体贡献率[J]. 水产科学, 2018, 37(5): 591-598.]
- [11] Xie Z Q, Qiu S Y, Hou C W, et al. Recapture rates of swimming crabs (*Portunus trituberculatus*) released in the waters off southern Shandong Peninsula[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2014, 21(5): 1000-1009. [谢周全, 邱盛尧, 侯朝伟, 等. 山东半岛南部海域三疣梭子蟹增殖放流群体回捕率[J]. 中国水产科学, 2014, 21(5):

- 1000-1009.]
- [12] Wang S B, Jiang C G, Qu Y F, et al. Preliminary study on fatness and weight/length index of wild and artificial *Rana chensinensis* in China, Liaoning Province[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 1999, 10(1): 91-94. [王寿兵, 蒋朝光, 屈云芳, 等. 野生和人工养殖辽宁中国林蛙肥满度和重/长指标的初步研究[J]. 应用生态学报, 1999, 10(1): 91-94.]
- [13] Geng Y L, Zhang C L, Zhang Y L, et al. Spatiotemporal variation and influencing factors of the condition factor of *Oratosquilla oratoria* in Shandong offshore[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2021, 28(8): 1051-1059. [耿玉玲, 张崇良, 张云雷, 等. 山东海域口虾蛄肥满度的时空变化及其影响因素[J]. 中国水产科学, 2021, 28(8): 1051-1059.]
- [14] Gao B Q, Liu P, Li J, et al. A preliminary study on relative fatness of *Portunus trituberculatus*[J]. Periodical of Ocean University of China, 2012, 42(S1): 51-53. [高保全, 刘萍, 李健, 等. 三疣梭子蟹 4 个野生群体肥满度的初步研究与比较分析[J]. 中国海洋大学学报(自然科学版), 2012, 42(S1): 51-53.]
- [15] Xu B D, Ren Y P, Chen Y, et al. Optimization of stratification scheme for a fishery-independent survey with multiple objectives[J]. Acta Oceanologica Sinica, 2015, 34(12): 154-169.
- [16] State Oceanic Administration. Specifications for oceanographic survey part VI: Marine biological survey, GB/T 12763.6-2007[S]. Beijing: Standards Press of China, 2007. [国家海洋局. 海洋调查规范第六部分: 海洋生物调查, GB/T 12763.6-2007[S]. 北京: 中国标准出版社, 2007.]
- [17] Jiang W M, Meng T X, Chen R S, et al. Diet of *Charybdis japonica* (a. miline-dewards) and *Portunus trituberculatus* (miers) in the Bohai Sea[J]. Marine Fisheries Research, 1998, 19(1): 53-59. [姜卫民, 孟田湘, 陈瑞盛, 等. 渤海日本鲈和三疣梭子蟹食性的研究[J]. 海洋水产研究, 1998, 19(1): 53-59.]
- [18] Cren E. The length-weight relationship and seasonal cycle in gonad weight and condition in the perch (*Perca fluviatilis*)[J]. Journal of Animal Ecology, 1951, 20: 201.
- [19] Dai Q, Dai J H, Li C, et al. Discussion on relative fatness[J]. Chinese Journal of Applied & Environmental Biology, 2006, 12(5): 715-718. [戴强, 戴建洪, 李成, 等. 关于肥满度指数的讨论[J]. 应用与环境生物学报, 2006, 12(5): 715-718.]
- [20] Guisan A, Edwards T C, Hastie T. Generalized linear and generalized additive models in studies of species distributions: Setting the scene[J]. Ecological Modelling, 2002, 157(2-3): 89-100.
- [21] Wang Y, Ke R. Spatio-temporal data visualization based on generalized additive model[J]. Journal of Henan Institute of Science and Technology (Natural Science Edition), 2021, 49(5): 47-54. [王艳, 柯蓉. 基于广义可加模型的时空数据可视化[J]. 河南科技学院学报(自然科学版), 2021, 49(5): 47-54.]
- [22] Zheng B, Chen X J, Li G. Relationship between the resource and fishing ground of mackerel and environmental factors based on GAM and GLM models in the East China Sea and Yellow Sea[J]. Journal of Fisheries of China, 2008, 32(3): 379-386. [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.]
- [23] Li M, Li Z G, Xu B D, et al. Effects of spatiotemporal and environmental factors on the distribution and abundance of *Pholis fangi* in Haizhou Bay using a generalized additive model[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2015, 22(4): 812-819. [李敏, 李增光, 徐宾铎, 等. 时空和环境因子对海州湾方氏云鲷资源丰度分布的影响[J]. 中国水产科学, 2015, 22(4): 812-819.]
- [24] Luan J, Zhang C L, Xu B D, et al. Relationship between catch distribution of Portunid crab (*Charybdis bimaculata*) and environmental factors based on three species distribution models in Haizhou Bay[J]. Journal of Fisheries of China, 2018, 42(6): 889-901. [栾静, 张崇良, 徐宾铎, 等. 海州湾双斑蟳栖息分布特征与环境因子的关系[J]. 水产学报, 2018, 42(6): 889-901.]
- [25] Su W, Xue Y, Ren Y P. Temporal and spatial variation in taxonomic diversity of fish in Haizhou Bay: The effect of environmental factors[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2013, 20(3): 624-634. [苏巍, 薛莹, 任一平. 海州湾海域鱼类分类多样性的时空变化及其与环境因子的关系[J]. 中国水产科学, 2013, 20(3): 624-634.]
- [26] Wu J H, Dai L B, Dai X J, et al. Comparison of generalized additive model and boosted regression tree in predicting fish community diversity in the Yangtze River Estuary, China[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2019, 30(2): 644-652. [吴建辉, 戴黎斌, 戴小杰, 等. GAM 模型和 BRT 模型在长江口鱼类群落多样性预测中的比较[J]. 应用生态学报, 2019, 30(2): 644-652.]
- [27] Burnham K P, Anderson D R. Model selection and multimodel inference: a practical information-theoretic approach[M]. 2nd ed. New York: Springer, 2002
- [28] Peng J, Xu Z G, Tang Y C, et al. Morphological attributes and quality parameters of one-year juvenile *Eriocheir sinensis* in Datong Lake[J]. Journal of Hydroecology, 2019, 40(1): 91-96. [彭蛟, 徐正刚, 唐永成, 等. 大通湖 1 龄中华绒螯蟹形态指标及质量参数研究[J]. 水生态学杂志, 2019, 40(1): 91-96.]

- [29] Moghaddam P, Neitali B K, Kamrani E, et al. Condition factor and carapace width versus wet weight relationship in the blue swimming crab *Portunus segnis*[J]. Animal Biology, 2015, 65(2): 87-99.
- [30] Lu J K, Zhang W R, Jian J L, et al. Analysis on growth characteristics of *Portunus trituberculatus* cultured in pond[J/OL]. Journal of Fisheries of China, 2022(2022-01-11). <http://kns.cnki.net/kcms/detail/31.1283.S.20220110.1848.006.html>. [陆俊锴, 张伟仁, 简杰亮, 等. 池塘养殖三疣梭子蟹的生长规律分析[J/OL]. 水产学报, 2022(2022-01-11). <http://kns.cnki.net/kcms/detail/31.1283.S.20220110.1848.006.html>.]
- [31] Song H T, Ding Y P, Xu Y J. 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. [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.]
- [32] Song H T, Ding Y P, Xu Y J. Reproductive habits of *Portunus trituberculatus* in the north coast of Zhejiang Province[J]. Journal of Zhejiang Ocean University (Natural Science), 1988, 7(1): 39-46. [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.]
- [33] Jia L. Preliminary study on ovary development of *Portunus trituberculatus*[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2008. [贾磊. 三疣梭子蟹(*Portunus trituberculatus*)卵巢发育的初步研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2008.]
- [34] Ding Z N, Xu Y J, Lin J H, et al. Effects of salinity on feeding behavior and growth characteristics of swimming crab *Portunus trituberculatus*[J]. Ecological Science, 2014, 33(5): 899-903. [丁张妮, 徐永健, 林建华, 等. 盐度对三疣梭子蟹摄食行为及生长特性的影响[J]. 生态科学, 2014, 33(5): 899-903.]
- [35] Song H T, Yu C G, Xue L J. Fishery biology of economic shrimp and crab in East China Sea[M]. Beijing: Ocean Press, 2012. [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.]

Spatiotemporal variation in the condition factor of *Portunus trituberculatus* and influencing factors in Haizhou Bay

XU Hao^{1,2}, ZHANG Chongliang^{1,2}

1. College of Fisheries, Ocean University of China, Qingdao 266003, China;

2. Field Observation and Research Station of Haizhou Bay Fishery Ecosystem, Ministry of Education, Qingdao 266003, China

Abstract: The condition factor is a parameter reflecting the physiological and nutritional status of an animal and is widely used to evaluate growth status and intra- and interspecific relationships. To investigate the variation in and factors influencing the condition factor of *Portunus trituberculatus*, this study analyzed the condition factor of this species in Haizhou Bay based on bottom trawl survey data obtained in the autumn of 2011 and 2013–2021. In this study, the Le Cren state index was used as the condition factor index, which was calculated according to sex, and a generalized additive model (GAM) was used to evaluate the factors influencing the condition factor of *P. trituberculatus*. The results showed that the average condition factor showed a decreasing trend from 2013 to 2020, with a high value appearing in 2021. No significant difference was found between the condition factor of male and female crabs in Haizhou Bay, and their trends in the changes in the factor were similar ($r=0.7$, $P=0.02$). In terms of spatial distribution, most of the areas with a condition factor higher than one were located in the sea deeper than the 20 m isobath. According to the results of the GAM, cephalothoracic breadth, water depth, population density, and bottom salinity significantly affected the female condition factor, whereas chlorophyll-a concentration, cephalothoracic breadth, bottom water temperature, and bottom salinity significantly affected the males. For female *P. trituberculatus*, the condition factor first increased and then decreased with the growth in the cephalothoracic breadth. When the cephalothoracic breadth of female *P. trituberculatus* grew to approximately 150 mm, the condition factor was the highest; female crabs with a cephalothoracic breadth of 125–175 mm had a higher condition factor; this was the dominant group of the reproductive population. However, the condition factor of male individuals generally decreased with the increase in the cephalothoracic width. Bottom salinity was also a common factor affecting the condition factor of both sexes of *P. trituberculatus*. The condition factor of female individuals was higher in sea areas with a salinity of approximately 31, whereas that of male individuals significantly decreased with the increase in seawater salinity. This study preliminarily clarifies the environmental variables affecting the condition factor of *P. trituberculatus* and provides theoretical support for the further development and protection of this resource.

Key words: *Portunus trituberculatus*; condition factor; correlation analysis; environmental factor; generalized additive model; Haizhou Bay

Corresponding author: ZHANG Chongliang. E-mail: zhangclg@ouc.edu.cn