

DOI: 10.12264/JFSC2020-0317

山东海域口虾蛄肥满度的时空变化及其影响因素

耿玉玲^{1,2}, 张崇良^{1,2}, 张云雷^{1,2}, 徐宾铎^{1,2}, 薛莹^{1,2}, 任一平^{1,2,3}

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;

3. 青岛海洋科学与技术试点国家实验室, 海洋渔业科学与食物产出过程功能实验室, 山东 青岛 266237

摘要: 根据 2017 年冬、夏季在山东海域进行的底拖网调查数据, 分析了口虾蛄(*Oratosquilla oratoria*)肥满度的变化, 并应用 GAM 模型分析了肥满度与海洋环境因子、种群结构以及生物因素等 3 类因子之间的关系。研究表明, 山东海域口虾蛄评估肥满度接近 1.1, 冬季肥满度高于夏季, 在北部和东部海域肥满度较高, 南部近岸海域口虾蛄的肥满度较低。个体大小对于肥满度影响最大, 小个体的肥满度略大于大个体, 两个季节不同性别间肥满度差异较小。夏季口虾蛄肥满度随种群密度的增加逐渐上升, 冬季种群密度对口虾蛄肥满度的影响不大。夏季温度和水深的变化对口虾蛄肥满度大小的影响较小, 冬季口虾蛄肥满度大小变化受温度、水深的影响较大。饵料生物对口虾蛄肥满度呈现出显著影响($P < 0.01$)。口虾蛄肥满度的变化与其摄食、繁殖和越冬等生物学过程紧密相关。通过研究发现, 种群结构(种群密度、体长、性别)、环境因子(海水温度、水深、底质类型)和饵料生物对口虾蛄肥满度大小呈现显著影响($P < 0.01$), 初步阐明了口虾蛄肥满度与种群结构、环境因子及生物因素之间的关系。

关键词: 口虾蛄; 肥满度; 个体大小; 种群密度; 环境因子; GAM 模型; 山东海域

中图分类号: S931

文献标志码: A

文章编号: 1005-8737-(2021)08-1051-09

口虾蛄(*Oratosquilla oratoria*)为多年生甲壳类, 广泛分布于中国、日本及菲律宾沿海海域^[1], 在我国主要分布于等深线 60 m 以浅海域^[2], 是我国沿海重要的渔业物种之一^[3]。国内外学者对口虾蛄的繁殖发育^[4-5]、人工育苗^[6]、生物学特性^[7-9]和遗传多样性^[10-11]进行了一系列研究, 如张年国等^[4]分析了长江口附近海域口虾蛄的繁殖及早期发育的研究, 为指导口虾蛄人工繁殖提供了科学依据; 林月娇等^[8]研究了大连近海口虾蛄的体长体重关系; 张代臻等^[11]对黄海海域口虾蛄的遗传多样性进行了研究。当前对于口虾蛄生物学的研究并不系统, 未深入解析口虾蛄生物学特征的时空异质性及其影响因素, 制约着口虾蛄资源的开发和保护。

肥满度指数作为一种反映动物生理、营养状

况的指数, 广泛应用于评价动物的生长状况, 与年龄、性别、环境、季节、种群密度关系和种间种内关系有着密切关系^[12]。有学者对口虾蛄肥满度的变化进行了研究, 如徐海龙等^[13]对黄海北部口虾蛄肥满度的变化进行了研究, 分析了每个月份口虾蛄肥满度的变化情况。由于口虾蛄肥满度的大小受到多种因素的影响, 如水温、摄食强度、生殖活动、越冬等因素^[14], 针对口虾蛄肥满度变化的影响因素的研究目前较少。

本研究通过分析口虾蛄产卵季节以及越冬季节肥满度的变化, 应用广义可加模型探讨了种群结构(种群密度、体长大小、雌雄)、环境因子(温度、深度、底质类型)以及生物因素(捕食者、竞争者、饵料生物)的变化对口虾蛄肥满度产生的影响。广义可加模型(generalized additive models,

收稿日期: 2020-09-17; 修订日期: 2020-11-13.

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

作者简介: 耿玉玲(1996-), 女, 硕士研究生, 主要从事渔业资源评估与管理研究. E-mail: gengyuling@stu.ouc.edu.cn

通信作者: 任一平, 教授, 主要从事渔业资源监测与评估研究. E-mail: renyip@ouc.edu.cn

GAM)^[15]能够通过非参数平滑曲线建立预测变量和响应变量之间的非线性关系^[16], 由于其灵活性强, 可以探索数据之间的复杂关系, 目前已广泛应用于渔业资源的分布与环境因子的关系^[17-19]、群落多样性与环境因子之间的关系^[20-21]以及鱼类栖息地的研究^[22]等领域。本研究旨在探讨对口虾蛄肥满度变化具有显著影响的因子, 以期为口虾蛄的合理开发与保护提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 样品采集和数据来源

本研究采用的口虾蛄数据来自 2017 年 1 月和 8 月在山东海域进行的底拖网调查, 调查船为功率 220 kW 的单拖渔船, 网具为 1380 目×4.67 cm 的底拖网, 拖网时网口高度约为 7.53 m, 宽约 15 m。夏冬两个季节共捕获口虾蛄 1859 尾, 其中冬季 601 尾, 夏季 1258 尾, 调查站位如图 1 所示。将所捕获的样本冷冻, 带回实验室进行生物学测定, 样品的采集、处理和分析按照《海洋调查规范》^[23]进行, 分别用精度 1 mm 的测量尺和精度 0.01 g 的电子天平测量体长 L (cm) 和体重 W (g), 并对口

虾蛄进行雌雄鉴定。

本研究选择口虾蛄的种群结构、环境因子和生物因素 3 方面影响因素, 分析其对于口虾蛄肥满度变化的影响。其中, 种群结构包括口虾蛄的种群密度、个体大小以及性别, 口虾蛄的种群密度由口虾蛄的相对渔获量进行对数转换得到。环境因子由 2017 年 1 月和 8 月在山东海域调查所测得的底层海水温度(SBT)、海水深度(depth)、底质类型(sediment type)组成。其中水温和水深由 CTD 测得, 底质类型采用相关研究数据, 分为沙质粉沙(st)、淤泥质粉沙(mt)和沙-粉沙-黏土(mty) 3 类。生物因素包括口虾蛄的捕食者(predator)、竞争者(competitor)及饵料生物(pre), 由标准生物量经过对数转化得到。根据胃含物分析和相关研究, 选择高眼鲷(*Cleisthenes herzensteini*)和鲷(*Platycephalus indicus*)作为口虾蛄的主要捕食者^[24-25]; 选择细螯虾(*Leptochela gracilis*)和脊腹褐虾(*Crangon affinis*)作为口虾蛄的主要饵料生物^[26]; 选择小黄鱼(*Pseudosciaena polyactis*)^[27]和皮氏叫姑鱼(*Johnius belangerii*)^[28]作为口虾蛄的主要竞争者。

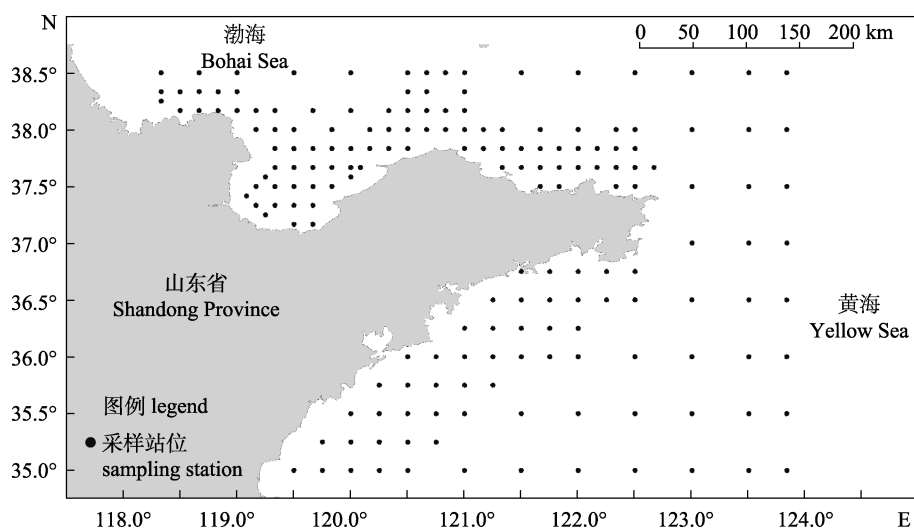


图 1 山东海域口虾蛄调查站位示意图

Fig. 1 Sampling stations of *Oratosquilla oratoria* in Shandong offshore

1.2 口虾蛄肥满度的计算

根据样品分析计算口虾蛄的肥满度, 肥满度通常使用口虾蛄的实际体重与理想体重的比值计算。本研究使用的肥满度计算公式为 Fulton 状态

指数 K (Fulton's condition factor, K)^[29], 公式为:

$$K = \frac{100W}{L^3}$$

式中, K 为口虾蛄的肥满度指数, W 为口虾蛄的实

际体重(g), L 为口虾蛄的实际体长(cm)。

1.3 数据分析方法

本研究应用广义可加模型(generalized additive models, GAM)^[15]评估口虾蛄肥满度影响因素。模型的解释变量包含 3 个类别: (1) 群内在因素, 包括口虾蛄种群密度(以相对渔获量表示)、体长和性别; (2) 栖息环境因素, 包括底层海水温度、水深和底质类型; (3) 生物因素, 包括捕食者、竞争者和饵料生物的存在与否。建模中综合考虑全部解释变量, 根据显著性检验选择对口虾蛄肥满度指数影响显著的因子。GAM 模型的表达式为^[30]:

$$K=\sum s(x)+\varepsilon$$

式中, K 为口虾蛄个体的肥满度指数, s 为平滑函数, x 为需研究的各项影响因子, ε 为误差项。通

过将因子逐步代入GAM模型中, 分析各因子对肥满度指数的影响, 依据 P 值筛选出对口虾蛄肥满度具有显著影响的因子。

数据分析过程使用 R 语言软件完成, GAM 分析结果利用 R 语言中“mgcv”包构建。

2 结果与分析

2.1 口虾蛄肥满度的时空变化

山东海域口虾蛄体长在夏季大致呈正态分布, 在冬季呈现双峰分布(图 2)。夏季口虾蛄体长主要集中在 90~120 mm, 口虾蛄肥满度在 0.82~1.38, 平均肥满度为 1.10。在空间分布上, 北部近岸海域和东部海域口虾蛄的肥满度较高, 南部近岸海域口虾蛄的肥满度较低(图 3)。冬季口虾蛄肥

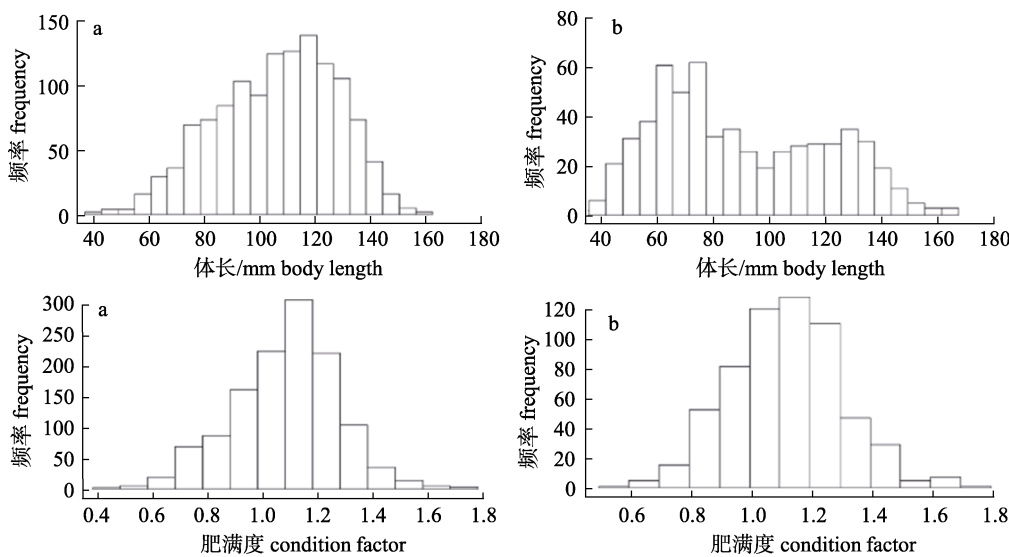


图 2 山东海域夏季(a)和冬季(b)口虾蛄的体长分布和肥满度指数分布

Fig. 2 The distribution of length and condition factor of *Oratosquilla oratoria* in summer (a) and winter (b) in Shandong offshore

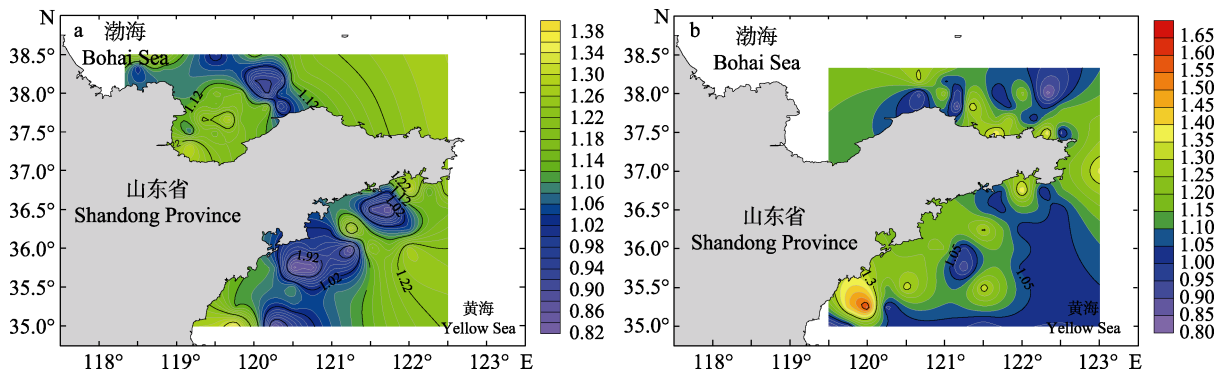


图 3 山东海域夏季(a)和冬季(b)口虾蛄肥满度大小分布示意图

Fig. 3 The distribution of condition factor of *Oratosquilla oratoria* in summer (a) and winter (b) in Shandong offshore

满度在 0.82~1.61, 平均肥满度为 1.13, 与夏季相比, 冬季平均肥满度较高。与夏季相反, 冬季口虾蛄肥满度在南部近岸海域较高, 在深水区肥满度较低, 两个季节口虾蛄肥满度的大小分布具有一定的差异。

2.2 GAM 模型变量筛选

利用 GAM 模型对各项因子进行显著性检验, 结果表明两个季节种群密度、体长、性别、底层海水温度、水深和饵料生物对口虾蛄肥满度均呈现极显著影响($P<0.01$), 其他因子对口虾蛄肥满度均呈现显著影响($P<0.05$)(表 1)。其中, 对肥满度影响最大的因子为体长, 在夏季和冬季均有最大的方差解释率, 分别为 5.57%和 7.11%。水深的影

2.3 种群内在因素对口虾蛄肥满度的影响

种群密度、体长、性别等内在因素对口虾蛄肥满度均呈现显著影响(图 4)。冬季口虾蛄的种群密度明显小于夏季, 冬季种群密度变化对口虾蛄肥满度大小的影响较小, 夏季口虾蛄肥满度随种

表 1 口虾蛄肥满度影响因子的显著性检验
Tab. 1 Significance tests of influencing factors on the condition factor of *Oratosquilla oratoria*

解释变量 explanatory variable	夏季 summer		冬季 winter	
	P	方差解释率/% deviance explained	P	方差解释率/% deviance explained
种群密度 population density	<0.01	2.12	<0.01	1.08
体长 body length	<0.01	5.57	<0.01	7.11
性别 sex	<0.01	0.21	<0.01	0.02
海水温度 water temperature	<0.01	2.72	<0.01	4.19
水深 water depth	<0.01	3.78	<0.01	6.87
底质类型 sediment type	<0.01	1.41	<0.01	6.29
捕食者 predator	0.04	0.34	0.03	0.08
竞争者 competitor	0.03	0.42	0.04	0.07
饵料生物 prey	<0.01	0.74	<0.01	0.35

群密度的增加逐渐上升。体长与肥满度呈负相关关系, 夏季口虾蛄肥满度在体长 60 mm 左右达到最大值, 而后随着体长的增加呈现下降的趋势; 冬季口虾蛄肥满度随体长的增加总体呈现逐渐下降的趋势, 当口虾蛄体长生长到 100 mm 左右时, 口虾蛄个体肥满度随体长增加呈现上升趋势。两个季节口虾蛄性别对肥满度均呈现显著影响, 雄性口虾蛄肥满度略大于雌性口虾蛄。

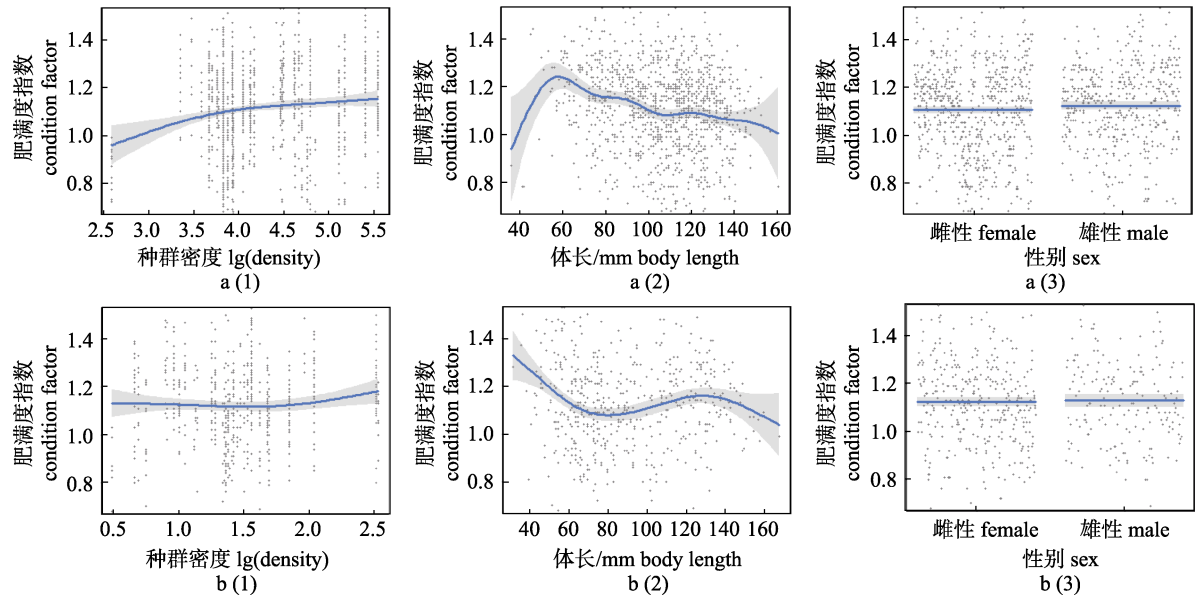


图 4 山东海域口虾蛄夏季(a)和冬季(b)肥满度与种群结构(种群密度、体长、性别)之间的关系
Fig. 4 The relationship between condition factor of *Oratosquilla oratoria* and population structure (density, body length, and sex) in summer (a) and winter (b) in Shandong offshore

2.4 环境因子对口虾蛄肥满度的影响

如图 5 所示, 夏季调查海域的底层海水温度在 8.85~27.12 °C 之间, 温度对口虾蛄肥满度的影响较小, 随着温度的升高, 口虾蛄肥满度呈现先下降, 再略上升的趋势; 冬季调查海域的底层温度在 5.85~11.39 °C 之间, 肥满度随温度的上升总体呈现下降的趋势。夏季水深在 14.5~40.26 m 之间, 夏季水深对口虾蛄肥满度影响较小, 夏季口虾蛄在

20 m 以浅海域和 30 m 以深海域肥满度略高, 20~30 m 之间肥满度略低; 冬季口虾蛄肥满度受水深的影响较大, 在 15~20 m 海域肥满度随水深迅速下降, 在 25 m 以深海域肥满度变化较小。底质类型对口虾蛄肥满度均呈现显著影响, 在夏季和冬季不同底质类型中口虾蛄肥满度由高到低均依次为沙质粉沙底质、淤泥质粉沙底质、沙-粉沙-黏土底质。

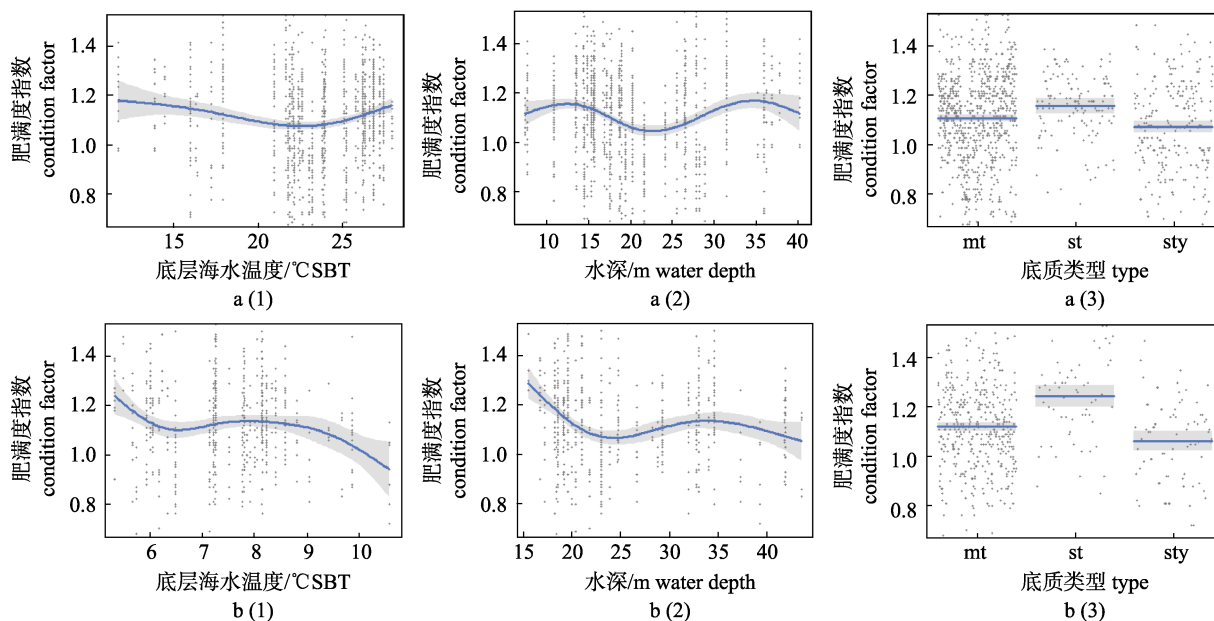


图 5 山东海域口虾蛄夏季(a)和冬季(b)肥满度与环境因子的关系

mt: 淤泥质粉沙; st: 沙质粉沙; sty: 沙-粉沙-黏土。

Fig. 5 The relationship between condition factor of *Oratosquilla oratoria* and environment factors in summer (a) and winter (b) in Shandong offshore
mt: silty and muddy; st: sandy silt soil; sty: sand-silt-clay.

2.5 生物因素对口虾蛄肥满度的影响

捕食者、竞争者和饵料生物对口虾蛄肥满度均呈现出一定影响, 但不同条件下口虾蛄肥满度差异不大(图 6)。夏季存在捕食者的站位中, 口虾蛄肥满度略大于无捕食者站位的肥满度; 在冬季由于捕食者存在的站位较少, 不能反映捕食者的影响。夏季竞争者的存在导致口虾蛄的肥满度略低, 但冬季竞争者的存在导致口虾蛄肥满度略高。两个季节饵料生物均使口虾蛄的肥满度略大, 且在 3 个生物因子中, 饵料生物的存在造成的影响更为明显。

3 讨论

本研究分析了口虾蛄肥满度的空间变化, 利

用 GAM 模型评估了影响口虾蛄肥满度的关键内外因素、环境因素与生物因素, 其中, 体长具有最重要的影响。口虾蛄是季节性生长的甲壳类动物, 具有异速生长的特性。夏季随着体长的增加, 口虾蛄肥满度呈现出先上升再下降的趋势, 在体长 60 mm 左右, 口虾蛄肥满度最高。这可能是因为当年生的口虾蛄正处于生长阶段, 摄入的能量主要供身体的生长发育, 体重增加较大; 随着口虾蛄的生长, 较大体长的口虾蛄所摄入的能量除了供应自身生长发育外还需要用于产卵繁殖活动, 因此较大个体口虾蛄肥满度反而较小。Jones 等^[31]研究也表明同样体长大小的个体, 体重越大的个体其生理和营养状况越好, 肥满度值也越高。同

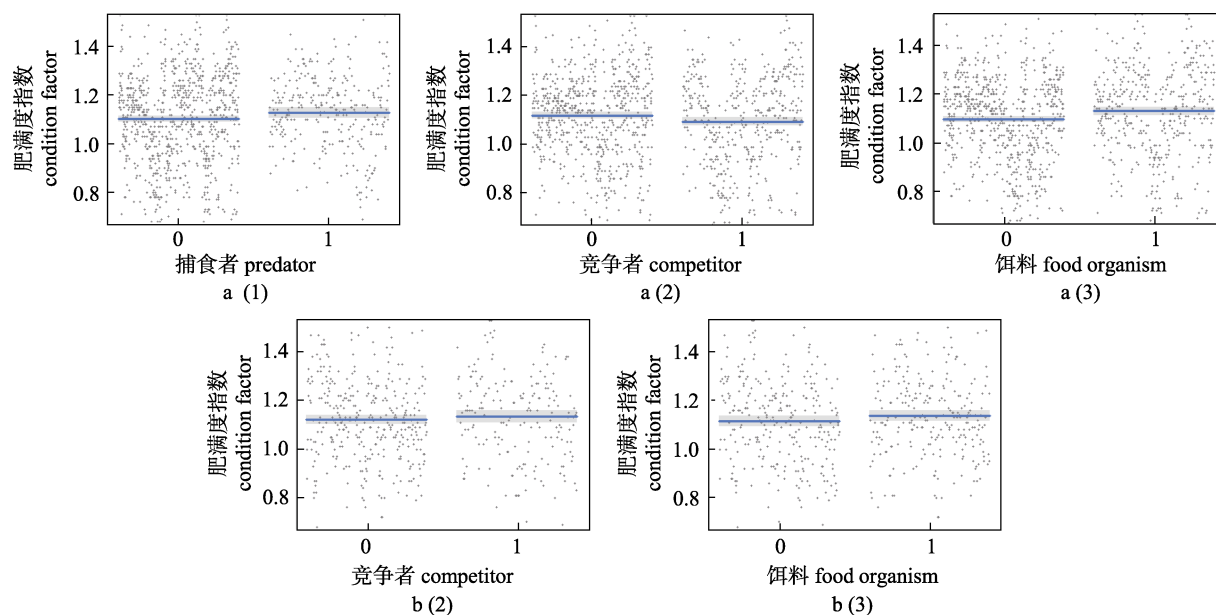


图 6 山东海域口虾蛄夏季(a)和冬季(b)肥满度与生物因素的关系

Fig. 6 The relationship between condition factor of *Oratosquilla oratoria* and biological factors in summer (a) and winter (b) in Shandong offshore

时高龄口虾蛄在生殖季节经过产卵等一系列生殖活动,消耗了大量的能量,这也可能是造成高体长组口虾蛄肥满度较低的原因。

种群密度对口虾蛄的肥满度呈现显著影响,且随着种群密度的增加,夏季口虾蛄肥满度呈现缓慢上升的趋势。这可能是由于饵料资源较好的水域能够提供较为丰富的饵料,往往能够聚集高密度的个体,而另一方面较高的种群密度可能导致食物竞争。本研究结果表明两方面的作用相互抵消,即口虾蛄种群空间分布达到一定平衡,种群密度未限制其营养水平。冬季随着口虾蛄种群密度的增加,肥满度的变化不大,可能是口虾蛄在冬季摄食较少,个体之间对饵料的竞争较小,因此种群密度的增加对口虾蛄肥满度影响不大。

本研究中,口虾蛄在 20~25 °C 温度范围内肥满度略低,可能与其繁殖习性有关。王春琳等^[32]研究表明,口虾蛄最适温度在 20~27 °C,在该温度范围内,口虾蛄产卵群体大量聚集,口虾蛄产卵耗费能量,降低体重,可能造成在该温度范围内肥满度较低。此外,刘修泽等^[33]研究表明,8—9 月口虾蛄主要分布在 15~20 m 水深范围内,并逐渐向深水区移动,本研究结果表明,夏季口虾蛄

肥满度受到水深的影响较小,在 20~25 m 水深范围内肥满度略低,可能对应该洄游过程。冬季,温度是影响口虾蛄分布的主要原因^[34],冬季口虾蛄集群向深水区越冬,因此水深、温度的变化与口虾蛄肥满度大小的相关性较大。冬季较低的海水温度可能会使口虾蛄保持较低的新陈代谢,消耗能量较少;随着冬季海水温度的上升,口虾蛄对能量的消耗也随之增大,在一定的摄食条件下,可能导致体重下降和肥满度逐渐减小。在全球气候变暖的趋势下,冬季海水温度的上升可能会使口虾蛄群体的肥满度与往年同期相比下降,影响口虾蛄的种群动态与渔获产量,这是今后其种群的开发与管理应该关注的问题。

本研究分析了生物因素对口虾蛄肥满度的影响,对捕食者、竞争者和主要饵料生物的作用进行了评估。结果显示,生物因素对口虾蛄肥满度均呈现显著影响,但影响幅度不大。在夏季,捕食者对口虾蛄肥满度的影响较小。夏季,主要饵料生物^[26]对于口虾蛄肥满度影响较大,表明饵料生物密度限制了口虾蛄的摄食,且 8 月口虾蛄进入产卵期末期,产卵消耗了大量的能量,此时饵料生物的存在能够帮助口虾蛄恢复产卵期消耗的能量。而在冬季,饵料生物对口虾蛄的肥满度差异

的影响较小,可能是由于冬季口虾蛄越冬洄游期间主要消耗自身储存的能量,进食较少,因此饵料生物数量对其生理状况影响不大^[14]。

本研究应用 GAM 模型对口虾蛄肥满度与环境因子之间的关系进行了初步的探讨,由于数据的限制,模型结果的可靠性还待进一步验证,特别是在生物因素影响方面尚待探究。口虾蛄的摄食种类较为广泛,不仅包含各种虾类,也包括一些甲壳类^[35]、贝类、蟹类和桡足类等^[36]。本研究以两种主要饵料生物代表了口虾蛄的摄食条件,可能会对研究结果造成一定的偏差。同样,由于口虾蛄多样的饵料生物和重要的生态地位,其捕食者和竞争者的摄食饵料种类也较为广泛,完全量化较为困难,相关研究也待进一步完善。此外,生物的摄食种类在不同季节可能会有一定的变化,本研究在夏季和冬季两个季节均选择了相同的捕食者、竞争者和饵料生物,未考虑捕食者和竞争者以及口虾蛄不同季节摄食习性的变化的影响。在今后的研究中,应按季节分析生物关系的存在对口虾蛄肥满度的影响。除此之外,本研究未评估捕捞活动的影响,由于捕捞在一定程度上减少大个体口虾蛄的数量,也会影响口虾蛄种群的肥满度,其影响尚待评估。

参考文献:

- [1] Liu R Y. Checklist of Marine Biota of China Seas[M]. Beijing: Science Press, 2008: 659. [刘瑞玉. 中国海洋生物名录[M]. 北京: 科学出版社, 2008: 659.]
- [2] Huang Z G. Marine Species and Their Distribution in China[M]. Beijing: China Ocean Press, 2008. [黄宗国. 中国海洋生物种类与分布[M]. 北京: 海洋出版社, 2008.]
- [3] Ding G, Zhang D Z, Zhang H B, et al. Genetic diversity of *Oratosquilla oratoria* population in the marine area of Shandong[J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2016, 44(1): 254-256. [丁鸽, 张代臻, 张华彬, 等. 山东海域口虾蛄种群的遗传多样性研究[J]. 江苏农业科学, 2016, 44(1): 254-256.]
- [4] Zhang N G, Pan G P, Zhou W Y. Reproductive characteristics and early development of *Oratosquilla oratoria*[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2018, 34(36): 133-139. [张年国, 潘桂平, 周文玉. 口虾蛄的繁殖特性及早期发育研究[J]. 中国农学通报, 2018, 34(36): 133-139.]
- [5] Xue M, Yan H W, Liu H Y, et al. Reproductive biology of Mantis shrimp *Oratosquilla oratoria* in Pikou Bay in coastal Dalian[J]. Journal of Dalian Ocean University, 2016, 31(3): 237-245. [薛梅, 闫红伟, 刘海映, 等. 大连市皮口海域口虾蛄群体繁殖生物学特征初步研究[J]. 大连海洋大学学报, 2016, 31(3): 237-245.]
- [6] Wang C L, Zheng C J, Jiang X M, et al. Studies of techniques on breeding of *Oratosquilla kempii*[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2000, 7(3): 67-70. [王春琳, 郑春静, 蒋霞敏, 等. 黑斑口虾蛄人工育苗技术研究[J]. 中国水产科学, 2000, 7(3): 67-70.]
- [7] Wang B, Zhang X L, Sun P X, et al. On biological characters and artificial seedling rearing techniques of Mantis Shrimp (*Oratosquilla oratoria*)[J]. Journal of Oceanography of Huanghai & Bohai Seas, 1998, 16(2): 64-73. [王波, 张锡烈, 孙丕喜, 等. 口虾蛄的生物学特征及其人工苗种生产技术[J]. 黄渤海海洋, 1998, 16(2): 64-73.]
- [8] Lin Y J, Liu H Y, Xu H L, et al. Morphometry of Mantis shrimp *Oratosquilla oratoria* in Dalian Coast[J]. Journal of Dalian Fisheries University, 2008, 23(3): 215-217. [林月娇, 刘海映, 徐海龙, 等. 大连近海口虾蛄形态参数关系的研究[J]. 大连水产学院学报, 2008, 23(3): 215-217.]
- [9] Zhang X M, Cheng S F. Effect and curve fitting of morphological traits to body weight between male and female Mantis Shrimp (*Oratosquilla oratoria*)[J]. Progress in Fishery Sciences, 2020, 41(6): 82-91. [张新明, 程顺峰. 不同性别口虾蛄形态性状对体重的影响分析及曲线拟合[J]. 渔业科学进展, 2020, 41(6): 82-91.]
- [10] Ding G, Zhang D Z, Zhang H B, et al. Population genetics of *Oratosquilla oratoria* in Bohai Sea and Yellow Sea[J]. Sichuan Journal of Zoology, 2015, 34(4): 494-499. [丁鸽, 张代臻, 张华彬, 等. 黄渤海海域口虾蛄野生资源的种群遗传学研究[J]. 四川动物, 2015, 34(4): 494-499.]
- [11] Zhang D Z, Ding G, Zhou T T, et al. Genetic diversity of *Oratosquilla oratoria* populations in Yellow Sea[J]. Chinese Journal of Zoology, 2013, 48(2): 232-240. [张代臻, 丁鸽, 周婷婷, 等. 黄海海域口虾蛄种群的遗传多样性[J]. 动物学杂志, 2013, 48(2): 232-240.]
- [12] Wang S B, Jiang C G, Qu Y F, et al. Preliminary studies on the relative fatness and weight/length of wild and domestic *Rana chensinensis* from Liaoning[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] Xu H L, Zhang G F, Qiao X T, et al. Relationship between body length and body weight in Mantis shrimp *Oratosquilla oratoria* in Northern Yellow Sea[J]. Fisheries Science, 2010, 29(8): 451-454. [徐海龙, 张桂芬, 乔秀亭, 等. 黄海北部口虾蛄体长及体质量关系研究[J]. 水产科学, 2010, 29(8): 451-454.]
- [14] Xu S L, Wang C L, Mei W X, et al. The relations of the

- morphological parameter of *Oratosquilla oratoria*[J]. Journal of Zhejiang College of Fisheries, 1996, 15(1): 15-20. [徐善良, 王春琳, 梅文骧, 等. 口虾蛄形态参数关系的研究[J]. 浙江水产学院学报, 1996, 15(1): 15-20.]
- [15] Guisan A, Edwards T C Jr, Hastie T Jr. Generalized linear and generalized additive models in studies of species distributions: Setting the scene[J]. Ecological Modelling, 2002, 157(2-3): 89-100.
- [16] Maravelias C D. Habitat associations of Atlantic herring in the Shetland area: Influence of spatial scale and geographic segmentation[J]. Fisheries Oceanography, 2001, 10(3): 259-267.
- [17] Maury O, Gascuel D, Marsac F, et al. Hierarchical interpretation of nonlinear relationships linking yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) distribution to the environment in the Atlantic Ocean[J]. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 2001, 58(3): 458-469.
- [18] Wise B, Bugg A, Barratt D, et al. Standardisation of Japanese longline catch rates for yellowfin tuna in the Indian Ocean using GAM analyses[R]. IOTC Proceedings, 2002(5): 226-239.
- [19] Tang H, Xu L X, Chen X J, et al. Effects of spatiotemporal and environmental factors on the fishing ground of skipjack tuna (*Katsuwonus pelamis*) in the Western and Central Pacific Ocean based on generalized additive model[J]. Marine Environmental Science, 2013, 32(4): 518-522. [唐浩, 许柳雄, 陈新军, 等. 基于 GAM 模型研究时空及环境因子对中西太平洋鲣鱼渔场的影响[J]. 海洋环境科学, 2013, 32(4): 518-522.]
- [20] Yemane D, Field J G, Leslie R W. Spatio-temporal patterns in the diversity of demersal fish communities off the south coast of South Africa[J]. Marine Biology, 2010, 157(2): 269-281.
- [21] Zhao J, Zhang S Y, Wang Z H, et al. Fish community diversity distribution and its affecting factors based on GAM model[J]. Chinese Journal of Ecology, 2013, 32(12): 3226-3235. [赵静, 章守宇, 汪振华, 等. 基于 GAM 模型的鱼类群落多样性分布及影响因素[J]. 生态学杂志, 2013, 32(12): 3226-3235.]
- [22] Ni Y Z, Cheng H Q, Jiang H, et al. Fish habitat modeling in the East China Sea: A case of chub mackerel[J]. Fisheries Science, 2009, 28(12): 726-732. [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.]
- [23] 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.]
- [24] Yang J M. A study on food and trophic levels of Bohai Sea fish[J]. Modern Fisheries Information, 2001, 16(10): 10-19. [杨纪明. 渤海鱼类的食性和营养级研究[J]. 现代渔业信息, 2001, 16(10): 10-19.]
- [25] Dou S Z, Yang J M, Chen D G. Food habits of stone flounder, spotted flounder, high-eyed flounder and red tongue sole in the Bohai Sea[J]. Journal of Fisheries of China, 1992, 16(2): 162-166. [窦硕增, 杨纪明, 陈大刚. 渤海石鲈、星鲈、高眼鲈及焦氏舌鳎的食性[J]. 水产学报, 1992, 16(2): 162-166.]
- [26] Sheng F L, Zeng X Q, Xue Y. Study on propagation and feeding habits of *Oratosquilla oratoria* in the inshore waters of Qingdao[J]. Periodical of Ocean University of China, 2009, 39(S1): 326-332. [盛福利, 曾晓起, 薛莹. 青岛近海口虾蛄的繁殖及摄食习性研究[J]. 中国海洋大学学报(自然科学版), 2009, 39(S1): 326-332.]
- [27] Xue Y, Jin X S, Zhang B, et al. Diet composition and seasonal variation in feeding habits of small yellow croaker *Pseudosciaena polyactis* Bleeker in the central Yellow Sea[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2004, 11(3): 237-243. [薛莹, 金显仕, 张波, 等. 黄海中部小黄鱼的食物组成和摄食习性的季节变化[J]. 中国水产科学, 2004, 11(3): 237-243.]
- [28] Zhang Y L, Xu B D, Zhang C L, et al. Spatial heterogeneity in the feeding habits and feeding ground distribution of *Johnius belangerii* in Haizhou Bay during spring[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2020, 27(3): 315-326. [张云雷, 徐宾铎, 张崇良, 等. 海州湾春季皮氏叫姑鱼摄食习性的空间异质性及其索饵场分布[J]. 中国水产科学, 2020, 27(3): 315-326.]
- [29] Fulton T W. The Sovereignty of the Sea[M]. London and Edinburgh: William Blackwood and Sons, 1911.
- [30] Wu S N, Chen X J, Liu Z N. Establishment of forecasting model of the abundance index for chub mackerel (*Scomber japonicus*) in the northwest Pacific Ocean based on GAM[J]. Acta Oceanologica Sinica, 2019, 41(8): 36-42. [武胜男, 陈新军, 刘祝楠. 基于 GAM 的西北太平洋日本鲭资源丰度预测模型建立[J]. 海洋学报, 2019, 41(8): 36-42.]
- [31] Jones R E, Petrell R J, Pauly D. Using modified length-weight relationships to assess the condition of fish[J]. Aquacultural Engineering, 1999, 20(4): 261-276.
- [32] Wang C L, Xu S L, Mei W X, et al. A biological basic character of *Oratosquilla oratoria*[J]. Journal of Zhejiang College of Fisheries, 1996, 15(1): 60-62. [王春琳, 徐善良, 梅文骧, 等. 口虾蛄的生物学基本特征[J]. 浙江水产学院学报, 1996, 15(1): 60-62.]
- [33] Liu X Z, Guo D, Wang A Y, et al. The resource characteristics and their variation of *Oratosquilla oratoria* in Liaodong Bay[J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2014, 38(3): 602-608.

- [刘修泽, 郭栋, 王爱勇, 等. 辽东湾海域口虾蛄的资源特征及变化[J]. 水生生物学报, 2014, 38(3): 602-608.]
- [34] Xu L L, Xue Y, Jiao Y, et al. Population structure and spatial distribution of *Oratosquilla oratoria* in Haizhou Bay and adjacent waters[J]. Periodical of Ocean University of China, 2017, 47(4): 28-36. [许莉莉, 薛莹, 焦燕, 等. 海州湾及邻近海域口虾蛄群体结构及资源分布特征[J]. 中国海洋大学学报(自然科学版), 2017, 47(4): 28-36.]
- [35] Sheng F L. Study on the fishery biology of *Oratosquilla oratoria* in the coastal waters of Qingdao[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2009. [盛福利. 青岛近海口虾蛄(*Oratosquilla oratoria*)渔业生物学的初步研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2009.]
- [36] Ning J J, Du F Y, Wang X H, et al. Feeding habits of Mantis shrimp based on stable isotope analysis[J]. Journal of Fisheries of China, 2016, 40(6): 903-910. [宁加佳, 杜飞雁, 王雪辉, 等. 基于稳定同位素的口虾蛄食性分析[J]. 水产学报, 2016, 40(6): 903-910.]

Spatiotemporal variation and influencing factors of the condition factor of *Oratosquilla oratoria* in Shandong offshore

GENG Yuling^{1,2}, ZHANG Chongliang^{1,2}, ZHANG Yunlei^{1,2}, XU Binduo^{1,2}, XUE Ying^{1,2}, REN Yiping^{1,2,3}

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;
3. Laboratory for Marine Fisheries Science and Food Production Processes, Pilot National Laboratory for Marine Science and Technology, Qingdao 266237, China

Abstract: The condition factor is an parameter reflecting the physiological and nutritional status of animals, which is widely used to evaluate the growth status of animals and their intraspecific and the interspecific relationships. To investigate the variation and influencing factors of the condition factor of *Oratosquilla oratoria*, this study analyzed its condition factor in Shandong shore based on bottom trawl survey data from the winter and summer in 2017. A generalized additive model was used to analyze the relationship between the condition factor and the marine environment factor, population structure, and biological factors. The results showed that the condition factor of *O. oratoria* off the Shandong shore was close to 1.1, much higher in winter than in summer, and higher in the northern and eastern areas than in the southern coastal areas. Individual body length had the greatest influence on the condition factor, and the condition factor of small individuals was slightly larger than that of large individuals; however, the difference between males and females was small. The condition factor of *O. oratoria* increased gradually with increased population density in the summer, but changed little in the winter. The changes in temperature and water depth had little influence on the condition factor in the summer; however, these variations had greater influence in the winter. The presence of predators, competitors, and prey showed significant influences on the condition factor of *O. oratoria*. We concluded that the variations in the condition factor were closely related to feeding, reproduction and overwintering. Our study elucidated the relationships between the condition factor of *O. oratoria* and the population structure, environmental factors, and biological factors, and may provide theoretical support for the rational development, utilization, and protection of *O. oratoria*.

Key words: *Oratosquilla oratoria*; condition factor; individual size; population density; environmental factor; generalized additive model; Shandong shore

Corresponding author: REN Yiping. E-mail: renyip@ouc.edu.cn