

文章编号: 1000-0615(2019)08-1759-09

DOI: 10.11964/jfc.20181011514

山东半岛东南部海域星康吉鳎资源密度时空分布及其与环境因子之间关系

牟秀霞¹, 李明坤¹, 尹洁¹, 张崇良¹, 任一平^{1,2*}

(1. 中国海洋大学水产学院, 山东青岛 266003;

2. 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: 为了解山东半岛东南部海域星康吉鳎资源密度时空变化及其与环境因子之间的关系, 实验根据2016年10月和2017年1月、5月、8月山东半岛东南部海域4个航次底拖网调查数据, 利用广义可加模型(GAM)分析了星康吉鳎资源密度时空分布特征及其与环境因子之间的关系。结果发现, 星康吉鳎资源密度及分布具有明显的季节变化。春季, 山东近海星康吉鳎资源密度为66.38 kg/h, 夏季资源密度达到一年中最大值, 为87.31 kg/h, 秋季资源密度为79.01 kg/h, 冬季资源密度大幅度降低, 仅为10.44 kg/h。GAM模型结果显示, 水深和海水底层温度对星康吉鳎资源分布影响最大。春季, 星康吉鳎资源密度与水深、底温呈正相关关系, 其分布范围较广, 主要分布在海州湾中部海域(35°N沿线分布最多); 夏季, 其空间分布受水深影响, 主要集中分布在水深20~30 m的山东半岛南部近岸海域; 秋季, 水深、底温、饵料生物量与星康吉鳎资源密度呈正相关, 此时星康吉鳎分布较分散。冬季, 星康吉鳎资源密度与水深呈正相关, 此时主要分布在受黄海暖流影响的海州湾北部海域以及123.5°E~124°E海域。研究表明, 星康吉鳎资源分布与其洄游习性和海域水温等水文特征的季节性变动有关, 其分布特征在春季、冬季分别受青岛冷水团与黄海暖流影响显著。本研究有助于了解山东近海星康吉鳎群体的生活习性, 为其资源的养护和管理提供依据。

关键词: 星康吉鳎; 资源分布; 环境因子; GAM; 山东半岛东南部海域

中图分类号: S 931.1

文献标志码: A

星康吉鳎(*Conger myriaster*)属于鳎鲷目(Anguilliformes)、康吉鳎科(Congtidae)、康吉鳎属(*Conger*), 俗称星鳎, 广泛分布于我国的东海、黄海、以及日本和韩国海域^[1]。星康吉鳎具有较高的经济和营养价值, 是我国重要的经济鱼种。据商业捕捞记录, 星康吉鳎在东海、黄海具有一定的产量, 但年际间波动较大(当地渔业统计), 因此, 我国近海的星康吉鳎资源受到很大关注。

山东近海是星康吉鳎主要的育幼场与索饵场^[2], 但近几年来受过度捕捞、环境污染以及

气候变化的影响, 许多重要的经济鱼类衰退^[3]。星康吉鳎作为底层暖温性鱼类, 其分布易受温度、盐度等海洋环境因子的影响。通过环境因子探寻星康吉鳎的资源分布规律, 将有助于理解星康吉鳎的生物学特征及其种群动态, 为鱼况分析、渔场寻找和渔业资源合理利用提供理论基础。目前国内关于该鱼种的研究主要围绕在生物学及生态学^[4]、渔具选择性^[5-6]、摄食生态^[7-8]、栖息地适宜性^[9]、种群动态^[10]等方面, 而关于星康吉鳎资源丰度的时空变化及与环境因子之间关系的研究却鲜有报道。

收稿日期: 2018-10-30 修回日期: 2019-01-06

资助项目: 国家自然科学基金(31772852); 中央高校基本科研业务费专项(201612004)

通信作者: 任一平, E-mail: renyip@ouc.edu.cn

本实验根据2016年10月、2017年1月、5月、8月在山东半岛东南部海域进行的渔业资源与环境调查数据,研究了星康吉鳎资源丰度的时空分布,并应用了广义可加模型(GAM)分析了其与环境因子之间的关系,探讨了环境变化对星康吉鳎资源分布的影响,以期合理预测山东近海星康吉鳎资源的时空变动及资源的可持续利用与管理提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 数据来源

星康吉鳎资源密度数据来源于2016年10月、2017年1月、5月、8月在山东半岛东南部近岸海域进行的渔业资源底拖网调查。调查海域范围为35°~38.5°N, 119°~124°E,共设置99个调查站位(图1)。使用220 kW单拖网渔船进行底拖网调查,拖曳时网口扩张宽度约15 m,高度7.53 m,囊网网目17 mm。每个调查站位拖网时间约为1 h,拖速3 kn。同时使用CTD温盐深仪进行水深、底层水温、底层盐度等参数测定。其中样品的采集与分析参考《海洋渔业资源调查规范》(SC/T 9403-2012)。

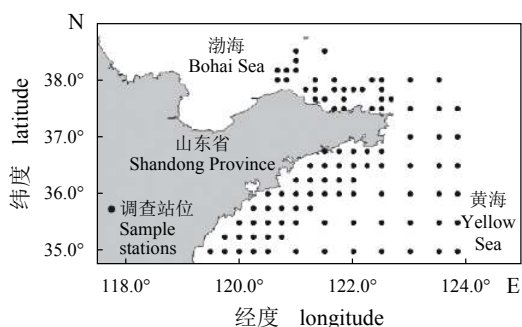


图1 山东半岛东南部海域渔业资源与环境调查站位

Fig. 1 Fishery resources and environmental survey stations in the southeast waters of Shandong Peninsula

1.2 数据处理与分析

利用GAM模型对星康吉鳎资源密度和选取的因子进行分析,GAM模型利用非参数的方法对数据结构进行检测和分析,通过一个迭代过程对每个预测变量进行样条平滑,适用于数据非线性关系的描述,同时GAM模型中变量间相对独立,各变量之间并不会产生相互依赖,因此适宜研究渔业中资源量及其与环境因子之间

的关系。GAM模型的一般表达式如下^[11]:

$$Y = a + \sum_{j=1}^n f_j(x_j) + \varepsilon$$

式中, Y 表示资源丰度(g/h),即各调查站位拖速3 kn、拖网时间为1 h的渔获质量; x_j 表示解释变量,即各站位的环境因子; a 为函数截距; $f_j(x_j)$ 为平滑函数; ε 表示残差。模型分析的误差函数均为正态分布,连接函数为自然对数。资源丰度在带入模型前进行增加常数项的对数转化。本实验选取水深、底层水温、底层盐度、底质类型、饵料生物量4个环境因子和1个生物因子,其中主要饵料生物种类根据胃含物分析获得。本实验不考虑解释变量间的交互作用。

利用AIC(Akaike Information Criterion)准则的逐步回归法检验模型的拟合程度^[12],在AIC最小的单因子预测函数的基础上按顺序加入其他因子,进而得到AIC值最小的双因子预测模型;再依照上面的过程不断重复,直到AIC值不再减小为止,所得到的AIC值最小的模型即为最优模型。利用 F 检验评估预测变量的显著性^[13-14]。

AIC由以下公式计算:

$$AIC = 2k - 2 \ln L$$

式中, k 表示参数的个数, L 是似然函数。

模型构建过程均在R软件的Gam软件包中实现^[15],并利用Surfer 11.0绘制星康吉鳎资源密度的空间分布。

2 结果

2.1 星康吉鳎资源丰度的时空分布特征

星康吉鳎的资源分布在不同季节呈现出不同的分布规律。其中,春季分布范围较广,在山东半岛南部海域至烟威渔场均有星康吉鳎的分布,在35.0°~35.5°N沿线范围海域分布最多,该季节星康吉鳎资源密度为66.38 kg/h,群体组成体长范围为185~574 mm,平均值为256 mm(图2、图3)。夏季,山东半岛东南部近岸海域星康吉鳎资源量有所增长,达到一年中最大值,为87.31 kg/h,此时该鱼种主要集中分布在山东半岛南部沿岸海域,群体组成体长范围为132~602 mm,平均值为323 mm(图2、图3)。秋季研究海域内星康吉鳎资源密度略低于夏季,为79.01 kg/h,群体组成体长范围为132~575 mm,平均体长316 mm,此时星康吉鳎分布范围较分散,深水海域密度

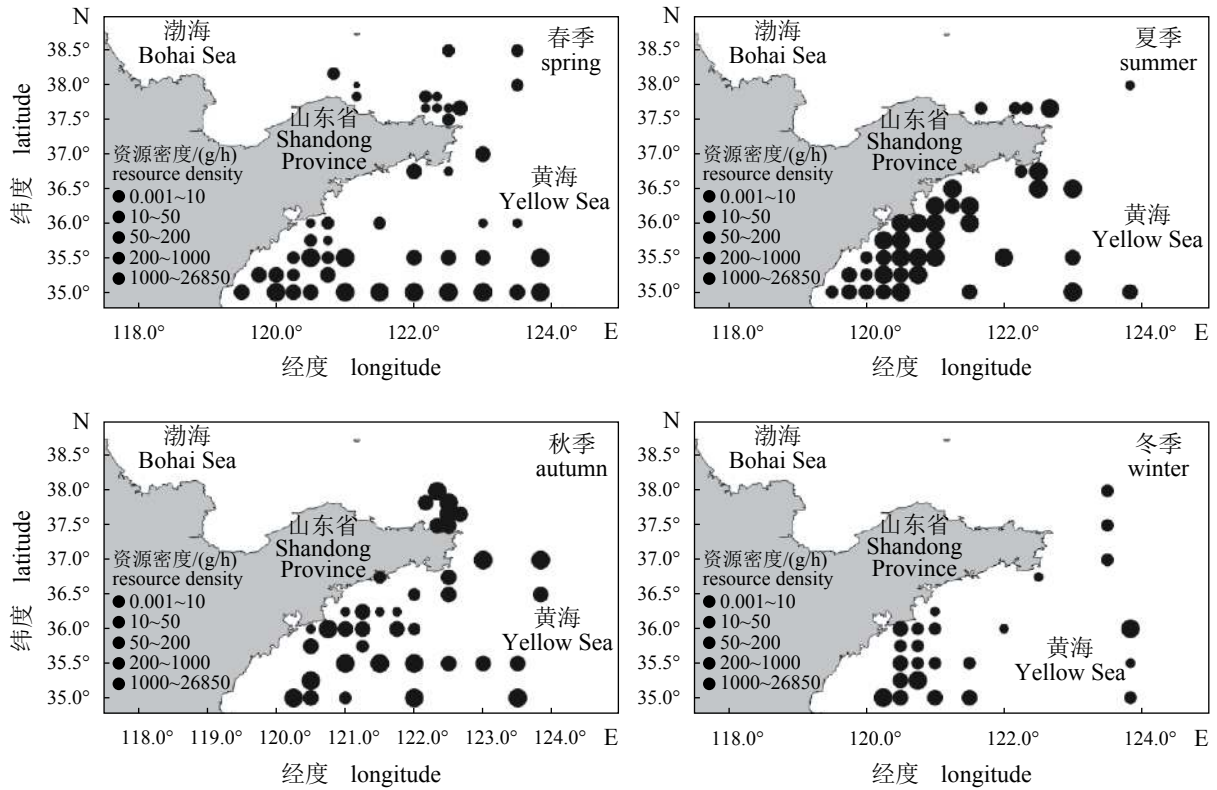


图 2 山东半岛东南部海域星康吉鳗资源密度分布图

Fig. 2 Distribution of *C. myriaster* in the southeast waters of Shandong Peninsula

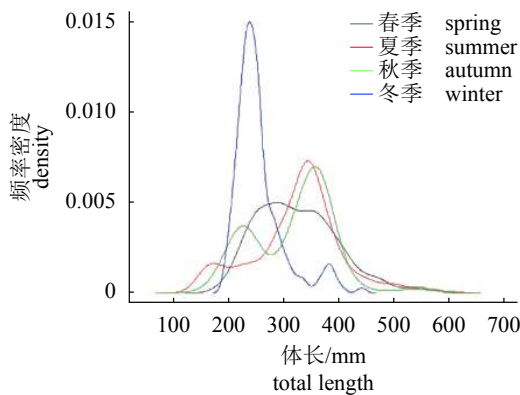


图 3 山东近海星康吉鳗体长频率分布图

Fig. 3 Total length frequency graph of *C. myriaster* in the waters of Shandong Peninsula

较高(图2、图3)。冬季, 山东近海星康吉鳗资源密度发生大幅度降低, 仅为10.44 kg/h, 群体组成体长范围为195~440 mm, 平均值为254 mm, 此时主要分布在海州湾渔场的东北部以及123.5°~124.0°E海域(图2、3)。根据体长频率分布图可以看出, 星康吉鳗体长频率呈双峰分布, 春季1个明显峰值位于290~300 mm处, 在360 mm处还有1个较小峰值。夏季, 2个明显的体长峰值分别出

现在170与350 mm处, 后者峰值较高。秋季, 2个明显的体长峰值分别出现在220与360 mm处, 同样后者峰值较高。冬季, 在250 mm处出现较高峰值, 在380 mm处存在1个小峰值(图3)。

2.2 环境因子对星康吉鳗资源密度及空间分布的影响

在4个季度的最终模型中, 各模型的偏差解释率为25.9%~36.5%, 表明模型具有较好的拟合效果。不同季节, 影响星康吉鳗资源密度的环境因子不尽相同。春季, 对响应变量有显著性影响的环境因子为水深和底层水温, 其中海水底层温度达到极显著的水平; 夏季和冬季对响应变量具有显著影响的环境因子为水深, 其余环境因子为非显著项; 秋季星康吉鳗资源密度分布主要受到饵料生物、水深以及海水底层温度的影响, 其中星康吉鳗资源密度与饵料生物和水深的关系为极显著水平(表2)。模型结果显示, 底质类型作为环境变量在4个季节与资源密度关系均不显著, 所以未筛选到最优模型中。

春季, 星康吉鳗资源密度与水深、海水底层温度呈正相关关系, 其资源密度在水深15.48~

表 2 最终模型中变量的显著性统计结果

Tab. 2 Statistical significance of variables in the final model

季节 season	参数 parameter	环境因子 environmental factor	方差解释率/% deviance explained
春季 spring	0.268	水深 depth**, 底温 bottom temperature*	35.4
夏季 summer	0.24	水深 depth*	36.5
秋季 autumn	0.319	饵料 prey**, 水深 depth**, 底温 bottom temperature*	35.9
冬季 winter	0.24	水深 depth*	25.9

Notes: **<0.001, *<0.05

77.12 m、底层水温7.7~16.0 °C的范围内随水深与温度的增加而不断增大(图4-a, b)。夏季, 星康吉

鳎资源密度与水深的关系呈现非线性关系, 在水深0~26 m范围内, 资源密度随着水深的增加而增大, 在水深超过26 m后资源密度随着水深的增加缓慢下降, 随后在水深超过52 m后资源密度随着水深的增加而出现上升的趋势(图4-c)。秋季, 星康吉鳎资源密度与饵料与水深呈现正相关关系, 资源密度随着饵料生物的增多、水深的增加而增大; 与温度呈现非线性关系, 秋季水温明显高于春季水温, 变化范围为18.37~22.31 °C, 资源密度随温度的上升而不断增大(图4-d, e, f)。冬季, 星康吉鳎资源密度与水深的关系与夏季相似, 在水深0~34 m范围内, 资源密度随着水深的增加而增大, 随后缓慢下降, 在水深超过61 m后随着水深的增加而呈现上升的趋势(图4-g)。

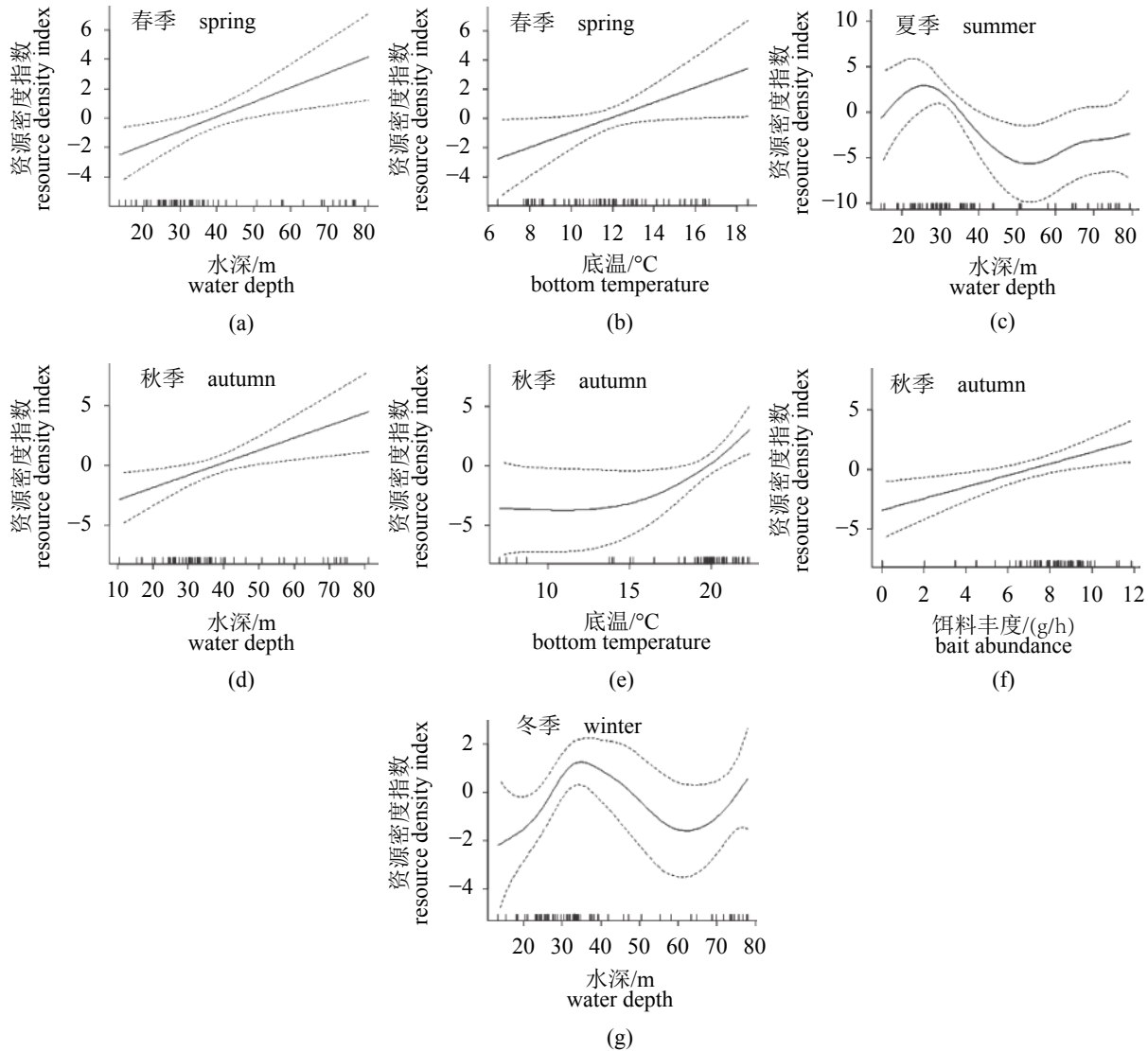


图 4 各季节显著变量对星康吉鳎资源密度的影响

Fig. 4 Effects of significant variables on the resource density of *C. myriaster* in various seasons

3 讨论

3.1 时空分布与环境因子之间的关系

星康吉鳎资源密度时空分布呈现出明显的季节变化, 不同季节影响星康吉鳎资源分布的环境因子不尽相同。水深在不同季节内均与星康吉鳎的资源密度呈现显著相关性, 水深是一个综合性的环境因子, 不直接影响星康吉鳎的资源分布, 而是通过温度、盐度、溶解氧等一系列环境因子影响鱼类的分布^[16]。此外, 星康吉鳎为暖温性鱼类, 适温范围较广, 在8~27℃可正常进行生命活动^[4], 20℃为其适宜的生长温度^[9], 而在水温低于10℃的环境中则较少出现^[17]。春季, 近岸水温开始回升, 温度范围为9.45~18.55℃, 星康吉鳎陆续开始由深水海域向近岸洄游, 星康吉鳎资源密度随着温度的上升而增加, 但春季在深水区的分布密度仍然高于近岸海域。春季星康吉鳎在山东半岛东南部近岸的分布较少, 这主要是受到青岛冷水团的影响。青岛冷水团始于3月, 4月达到最强, 5月后逐渐融合到黄海冷水团中, 其核心范围大致在34°40′~36°20′N, 121°~122°30′E。青岛冷水团的主要特征是低温、低盐, 中心海水温度可低于4℃, 与周围水体呈现出较强的梯度(图5)^[18-19]。所以在青岛冷水团的影响下, 星康吉鳎很少分布在山东半岛东南部近岸海域。

夏季, 调查海域底层水温范围为6.5~27℃, 沿岸海域水温回升, 沿岸底层水温远高于远岸海域, 星康吉鳎寻找适宜其生长的最适温度洄

游至沿岸海域, 资源密度在20~30 m水深处形成高峰。此外, 夏季该海域径流量增多, 沿岸海域含有丰富的有机物, 吸引鱼类在此觅食、栖息。

秋季, 近岸海域海水温度逐渐下降, 鱼类开始向深水区洄游。据《动物志》记载, 山东近海的星康吉鳎在秋季沿朝鲜半岛西海岸和海州湾海域南下至济州岛以西海域, 在日间礁海域越冬^[1]。此外, Tokimura等^[20]研究表明, 秋季黄海大个体星康吉鳎向东南方向洄游, 次年春季到达东海大陆架边缘。故星康吉鳎资源密度与水深、底层海水温度呈现正相关关系。秋季山东近海星康吉鳎饵料生物的种类与丰度较高^[21], 摄食强度也达到一年中的最大值^[7], 积极索饵, 生长育肥, 为洄游与越冬进行能量积累。所以秋季星康吉鳎资源密度的空间分布与饵料生物的分布具有较强的正相关关系。

冬季水温降低, 底层水温范围为6.20~11.89℃, 根据冬季空间分布图, 以及体长频率图可以看出, 冬季大个体星鳎已经洄游至深水区越冬, 还有部分幼鳎生活在青岛外海, 以及在124.0°E附近海域。而冬季这种分布模式, 主要受到黄海暖流的影响。黄海暖流从济州岛西南部进入黄海, 黄海暖流进入黄海以后, 先向西北方向延伸, 在34.5°N, 123.0°E附近分为西北向和北向两个分支, 分别为青岛分支与北向分支, 青岛分支进入青岛南部海域, 北向分支沿50~70 m等深线北上^[22]。黄海暖流具有高温高盐特性, 对山东近海的水体交换与海区环境有重要影响^[22], 因此低龄星康吉鳎主要分布在黄海暖流影响的海域。

据文献记载, 底质类型也会影响鱼类的空间分布, 星康吉鳎在砾石、砂、泥质底质类型均有分布, 沿海幼鱼多数分布在砾石、砂质底质^[4], 日本学者报道日本海域幼鳎更易分布于砾石、沙泥混合底质^[23], 可见星康吉鳎对于底质的选择性并不绝对。本实验中底质类型并未筛选到最优模型中, 此结果与此前在海州湾、山东东南部近海所作的研究一致^[9]。分析原因主要有两方面: 一方面由于研究海域空间尺度较小, 底质类型差异不大。另一方面原因是山东近海受黄海暖流、黄海沿岸水、黄海混合水和黄海冷水团等共同影响^[24], 海区内水团组成, 温、盐等水文结构存在明显的地域和季节差异^[25], 星康吉鳎空间分布对于温、盐的响应大于底质类型。

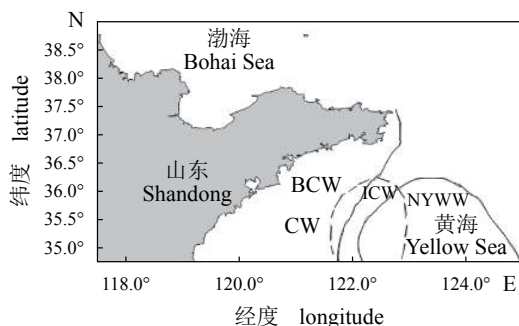


图5 黄海底层水团的水平分布

CW. 沿岸水, BCW. 青岛底层冷水, MYWW. 黄海暖流变性水

Fig. 5 The horizontal distribution of underlying water mass in Yellow Sea

CW. coastal water, BCW. Qingdao bottom cold water, MYWW. Yellow sea warm current denatured water

3.2 星康吉鳗资源密度季节变化

星康吉鳗资源密度呈现明显的季节性,这与星康吉鳗的资源补充机制及洄游习性密切相关。星康吉鳗同其他鳗鲡目鱼类一样,在个体发育过程中存在柳叶鳗阶段(鱼体无色透明呈细长柳叶状),柳叶鳗经变态发育后成为幼鳗,该阶段持续时间较长,可达200 d左右^[26]。星康吉鳗的疑似产卵场位于太平洋西北部的九州-帕劳海岭附近海域^[27],繁殖后柳叶鳗幼体随黑潮、对马暖流、黄海暖流等海流漂流至东海及各分布区^[28],每年4—6月大量体长69~120 mm的星康吉鳗后期或变态期柳叶鳗幼体进入我国东部沿海进行变态发育,并迁移至沙泥底质水域栖息^[2,29]。根据体长频率图表明,在夏季、秋季在150~250 mm体长处存在一个峰值,表明春季到达山东近海的柳叶鳗个体于夏、秋季补充到群体之中。日本沿岸海域相关研究同样表明,其幼鱼在4—9月由体长80 mm增至190 mm补充到群体之中,这与本研究结果与其一致^[30]。综上所述,夏、秋季星康吉鳗资源量较高的一方面原因是当年生幼鱼的补充。

此外,星康吉鳗资源密度的变化与星康吉鳗的洄游习性具有一定的关系。夏季近岸水温较高、饵料丰富,星康吉鳗聚集在此栖息。秋季,星康吉鳗随鱼体长成移向深水,在深水区越冬或参加产卵洄游^[2],而幼鳗仍然在近海海域,随海水底层水温变化做适温迁移,所以冬季资源密度最低。根据体长频率分布图也能反映出秋季鱼体长成后洄游至深水区的现象。大个体星康吉鳗移向深水区可能进行单向的产卵洄游,而低龄个体随海域温度、海流等环境因子的季节性变化而产生季节性洄游,这种种群分布随着水温变化而进行移动的现象日本东北部的南部海域也有所报道^[31]。

本研究表明,星康吉鳗的资源密度与空间分布呈明显的季节变化。星康吉鳗高龄群体随着鱼体体长增大后逐渐移向深水区,而低龄群体随海域温度、海流、水团等水文特征的季节变化而产生季节性移动,水深与底层海水温度是影响其空间分布的主要环境因子,其资源空间分布在春季受青岛冷水团影响显著,冬季受黄海暖流影响显著。山东近海主要是幼鱼栖息地,因此加大山东近海渔业资源保护,对于星康吉鳗种群生物资源的养护具有重要意义。

感谢水产学院“渔业生态系统监测与评估”研究室的老师和同学们在样品采集和处理分析中所做的工作和帮助!

参考文献:

- [1] 中国科学院中国动物志编辑委员会. 中国动物志: 硬骨鱼纲 鳗鲡目[M]. 北京: 科学出版社, 2010: 199-203. Editorial Committee of Zoology of China Academy of Sciences. Fauna sinica: Osteichthyes Notacanthiformes[M]. Beijing: Science Press, 2010: 199-203 (in Chinese).
- [2] 陈大刚. 黄渤海渔业生态学[M]. 北京: 海洋出版社, 1991: 478-480. Chen D G. Fisheries ecology of Yellow Sea and Bohai Sea[M]. Beijing: China Ocean Press, 1991: 478-480 (in Chinese).
- [3] 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. 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(in Chinese).
- [4] 唐逸民, 吴常文. 星鳗*Astroconger myriaster* (Brevoort)的生物学特性与资源分布[J]. 浙江海洋学院学报, 1988, 7(1): 19-26. Tang Y M, Wu C W. On biologic habits and resources distribution of common Japanese conger *Astroconger myriaster* (Brevoort)[J]. Journal of Zhejiang College of Fishery, 1988, 7(1): 19-26(in Chinese).
- [5] 唐衍力, 孙国微, 赵同阳, 等. 星康吉鳗笼网目选择性研究[J]. 中国水产科学, 2010, 17(1): 136-142. Tang Y L, Sun G W, Zhao T Y, et al. Mesh size selectivity of *Conger myriaster* pot[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2010, 17(1): 136-142(in Chinese).
- [6] 田方. 山东近海星康吉鳗(*Conger myriaster*)延绳钓渔具性能研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2013. Tian F. Fishing efficiency of white-spotted conger longline fishing gear in Shandong Coastal Sea[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2013 (in Chinese).
- [7] 刘西方, 刘贺, 薛莹, 等. 海州湾星康吉鳗的摄食生态特征[J]. 中国水产科学, 2015, 22(3): 517-527. Liu X F, Liu H, Xue Y, et al. Feeding ecology of *Conger*

- myriaster* in Haizhou Bay[J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2015, 22(3): 517-527(in Chinese).
- [8] 刘鸿雁, 孙彤彤, 曾晓起, 等. 崂山湾人工鱼礁区星康吉鳗摄食生态及食物网结构[J]. *应用生态学报*, 2018, 29(4): 1339-1351.
- Liu H Y, Sun T T, Zeng X Q, *et al.* Feeding ecology of *Conger myriaster* and structure of the food webs in artificial reef zone, Laoshan Bay, China[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2018, 29(4): 1339-1351(in Chinese).
- [9] Li M, Zhang C L, Xu B D, *et al.* Evaluating the approaches of habitat suitability modelling for whitespotted conger (*Conger myriaster*)[J]. *Fisheries Research*, 2017, 195: 230-237.
- [10] 麻秋云, 牟秀霞, 任一平, 等. 东、黄海星康吉鳗生长、死亡和单位补充量渔获量[J]. *水产学报*, 2018, 42(6): 881-888.
- Ma Q Y, Mu X X, Ren Y P, *et al.* The growth, mortality and yield per recruitment of white-spotted conger (*Conger myriaster*) in the Yellow Sea and the East China Sea[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2018, 42(6): 881-888(in Chinese).
- [11] Burnham K P, Anderson D R. Model selection and multimodel inference: a practical information-theoretic approach[M]. New York: Springer Science (Business Media), 2003: 488.
- [12] Akaike H. A new look at the statistical model identification[J]. *IEEE Transactions on Automatic Control*, 1974, 19(6): 716-723.
- [13] Akaike H. Information theory and an extension of the maximum likelihood principle[M]//Petrov B N, Csaki B F. Second international symposium on information theory. Academiai Kiado: Budapest, 1973.
- [14] Burnham K P, Anderson D R. Model selection and multimodel inference: a practical information-theoretic approach[M]. New York: Springer Science (Business Media), 2002.
- [15] Franklin J. Mapping species distributions: spatial inference and prediction[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2009: 126-130.
- [16] 张波, 唐启升, 金显仕. 黄海生态系统高营养层次生物群落功能群及其主要种类[J]. *生态学报*, 2009, 29(3): 1099-1111.
- Zhang B, Tang Q S, Jin X S. Functional groups of communities and their major species at high trophic level in the Yellow Sea ecosystem[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(3): 1099-1111(in Chinese).
- [17] Kawazu M, Kameda T, Kurogi H, *et al.* Biological characteristics of *Conger myriaster* during the initial stage of spawning migration in the East China Sea[J]. *Fisheries Science*, 2015, 81(4): 663-671.
- [18] 张启龙, 侯一筠, 程明华, 等. 青岛冷水团强度的变化特征[J]. *海洋科学集刊*, 2004: 13-21.
- Zhang Q L, Hou Y J, Cheng M H, *et al.* Variation features in Qingdao cold water mass strength[J]. *Studia Marina Sinica*, 2004: 13-21(in Chinese).
- [19] 于非, 张志欣, 刁新源, 等. 黄海冷水团演变过程及其与邻近水团关系的分析[J]. *海洋学报(中文版)*, 2006, 28(5): 26-34.
- Yu F, Zhang Z X, Diao X Y, *et al.* Analysis of evolution of the Huanghai Sea cold water mass and its relationship with adjacent water masses[J]. *Acta Oceanologica Sinica*, 2006, 28(5): 26-34(in Chinese).
- [20] Tokimura M. Conger-eel fisheries and fisheries resources in the East China Sea[J]. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 2001, 67(1): 125-126.
- [21] 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.
- 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(in Chinese).
- [22] 赵胜, 于非, 刁新源, 等. 黄海暖流的路径及机制研究[J]. *海洋科学*, 2011, 35(11): 73-80.
- Zhao S, Yu F, Diao X Y, *et al.* The path and mechanism of the Yellow Sea warm current[J]. *Marine Sciences*, 2011, 35(11): 73-80(in Chinese).
- [23] Gorie S, Tanda M, Nagasawa K. Habitat preference and feeding habits of juvenile white-spotted conger *Conger myriaster* in the eastern Seto Inland Sea, Japan[J]. *Aquaculture Science*, 2010, 58(2): 167-179.
- [24] 李晓. 黄海鳀鱼的洄游分布及其与环境因子的关系[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2006.
- Li Y. Migration and distribution of anchovy in Yellow Sea and its relation with environmental factors[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2006 (in Chinese).
- [25] 于振海, 金显仕, 李显森. 黄海中南部主要鱼种的生态

- 位分析[J]. *渔业科学进展*, 2010, 31(6): 1-8.
- Yu Z H, Jin X X, Li X S. Analysis of ecological niche for major fish species in the central and southern Yellow Sea[J]. *Progress in Fishery Sciences*, 2010, 31(6): 1-8(in Chinese).
- [26] Lee T W, Byun J S. Microstructural growth in otoliths of conger eel (*Conger myriaster*) leptocephali during the metamorphic stage[J]. *Marine Biology*, 1996, 125(2): 259-268.
- [27] Kurogi H, Mochioka N, Okazaki M, *et al.* Discovery of a spawning area of the common Japanese conger *Conger myriaster* along the Kyushu-Palau Ridge in the western North Pacific[J]. *Fisheries Science*, 2012, 78(3): 525-532.
- [28] Kurogi H, Mochioka N, Takaki Y, *et al.* First offshore record of *Conger myriaster* leptocephali in the East China Sea[J]. *Fisheries Science*, 2010, 68(5): 1155-1157.
- [29] 张世义, 肖真义, 张有为. 星鳎叶状幼体在我国东部沿海的发现[J]. *动物学报*, 1977, 23(1): 120-121.
- Zhang S Y, Xiao Z Y, Zhang Y W. Leptocephalus of the *Astroconger myriaster* from the East China Sea[J]. *Acta Zoologica Sinica*, 1977, 23(1): 120-121(in Chinese).
- [30] Gorie S, Nagasawa K. Migration of whitespotted conger (*Conger myriaster*) leptocephali to the Harima Nada Sea, Eastern Seto Inland Sea, Japan[J]. *Aquaculture Science*, 2012, 60(1): 73-80.
- [31] Katayama S, Ishida T, Shimizu Y, *et al.* Seasonal change in distribution of Conger eel *Conger myriaster* off the Pacific coast south of Tohoku, north-eastern Japan[J]. *Fisheries Science*, 2011, 70(1): 1-6.

Relationship between spatio-temporal distribution of *Conger myriaster* and the environment factors in the southeast waters of Shandong Peninsula

MU Xiuxia¹, LI Mingkun¹, YIN Jie¹, ZHANG Chongliang¹, REN Yiping^{1,2*}

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

2. Laboratory for Marine Fisheries Science and Food Production Processes,

Pilot National Laboratory for Marine Science and Technology of Qingdao, Qingdao 266237, China)

Abstract: Environmental changes have caused shifts in the population abundance, size structure, and habitat distribution of many marine fish species, and the impacts tend to aggravate with the future global climate changes. A better understanding of the relationship between the fish distribution and environment is helpful in coping with the further changes of climate and fisheries. Based on survey data of fishery resources and the habits collected from 99 stations in January, May, and August, 2017 and October, 2016 in Shandong offshore, we analyzed spatiotemporal distribution of *Conger myriaster*, and examined its relationship with environmental variables, including water depth, bottom salinity, bottom water temperature, bottom sediment types and prey density, using generalized additive model (GAM). The result showed significant seasonal variations in the distribution of *C. myriaster*. The stock density was 66.38 kg/h in spring, 87.31 kg/h in summer, 79.01 kg/h in autumn and 10.44 kg/h in winter. GAM identified depth and bottom water temperature as the major influencing environmental factors. In spring, both depth and sea bottom temperature had positive correlations with resource density of *C. myriaster* which was primarily distributed in the central part of Haizhou Bay, especially at latitudes 35°N. In summer, stock density of *C. myriaster* was influenced by water depth, and mainly distributed in the south coastal waters of Shandong Peninsula. Water depth, water temperature and prey density had positive relationships with resource density of *C. myriaster* in autumn. In winter, resource density of *C. myriaster* had a positive relationship with water depth, and north of Haizhou Bay and longitude 123.5°E-124.0°E were its main distribution area. The distribution of *C. myriaster* might be attributed to its migratory habits and the variation of the environment conditions caused by seasonal changes, such as water temperature, Qingdao cold water mass and Yellow Sea warm current.

Key words: *Conger myriaster*; resource distribution; environmental factors; GAM; southeast waters of Shandong Peninsula

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

Funding projects: National Natural Science Foundation of China (31772852); Fundamental Research Funds for the Central Universities (201612004)