

DOI: 10.3724/SP.J.1118.2018.17426

山东南部近海秋、冬季星康吉鳗分布与环境因子的关系

李明坤¹, 张崇良¹, 李敏¹, 牟秀霞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国家实验室, 海洋渔业科学与食品产出过程功能实验室, 山东 青岛 266071

摘要: 根据 2016 年 10 月和 2017 年 1 月在山东半岛南部海域秋、冬 2 个航次获取的渔业资源与栖息环境调查数据, 分析了星康吉鳗(*Conger myriaster*)的时空分布特征。运用广义可加模型研究了星康吉鳗数量分布与季节、水深、底层盐度和底层水温等影响因子间的关系。结果表明, 该海域星康吉鳗的数量分布有明显的季节变化, 秋季的渔获率高于冬季, 且分布范围更广。星康吉鳗在近岸海域渔获率较高, 分布相对均匀, 远岸海域渔获率较低, 分布不均匀。广义可加模型显示, 对星康吉鳗分布影响显著的环境因子为水深和底层水温($P < 0.05$), 其中水深的影响最为明显。星康吉鳗渔获率随水深的增大呈现先增加后减少再增加的趋势, 在水深 30~40 m 处渔获率较高。星康吉鳗渔获率随水温的升高呈现先增加再减少的趋势, 最适水温约为 10℃。山东南部近海星康吉鳗的空间分布与其洄游习性、黄海暖流的季节变化等引起的海洋环境因子的变动有关。

关键词: 星康吉鳗; 分布; 环境因子; 水深; GAM 模型

中图分类号: S931

文献标志码: A

文章编号: 1005-8737-(2018)05-1115-08

星康吉鳗(*Conger myriaster*)俗称星鳗、沙鳗、花点糯鳗、繁星糯鳗, 属硬骨鱼纲、鳗鲡目(Anguilliformes)、康吉鳗科(Congridae)、星鳗属, 系暖温性近海底层鱼类^[1]。星康吉鳗广泛分布于我国近岸海域、日本海域和朝鲜半岛沿岸海域, 具有重要的生态和经济价值^[2]。星康吉鳗多栖息于沿岸泥沙、石砾底质水域底层, 营养级较高, 主要捕食底栖生物和游泳动物, 在黄海中部海域的食物网和生态系统中占有重要的地位^[3]。目前, 有关星康吉鳗的研究主要集中于对其生物学特性的探讨, 如行为学观测^[4]、摄食生态^[5]等方面。有关星康吉鳗栖息地分布、洄游习性和产卵场等方面的研究相对较少。

随着计算机技术和统计学的发展, 众多统计模型在鱼类数量分布研究中得到广泛应用, 如广义线性模型、广义加性模型(Generalized Additive Model, GAM)、随机森林等。其中 GAM 模型可以

处理高维数据中响应变量与解释变量之间的非线性关系, 利用非参数的方法来对数据结构进行检测和分析, 从而获得更好的预测结果, 更好地解释生物种类的数量分布与诸多环境因子之间的关系。李敏等^[6]利用 GAM 模型研究过海州湾方氏云鳚(*Pholis fangi*)资源丰度分布与时空和环境因子间的关系; 邢磊等^[7]也曾以 GAM 模型为基础针对环境因子对海州湾及邻近海域大泷六线鱼(*Hexagrammos otakii*)分布的影响进行过系统分析。

山东半岛南部海域渔业资源种类丰富, 是我国海洋渔业生产的传统渔场, 近年来由于渔业生产规模的不断扩大, 近海海域生态环境受人类干扰严重, 重要的渔业经济物种资源衰退^[8]。本研究根据山东半岛南部海域秋、冬 2 个航次的底拖网调查数据, 研究了星康吉鳗的时空分布特征, 并利用 GAM 模型分析其渔获率与环境因子的关系,

收稿日期: 2017-11-27; 修订日期: 2018-03-21.

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

作者简介: 李明坤(1994-), 男, 硕士研究生, 主要从事渔业资源研究. E-mail: limingkun@stu.ouc.edu.cn

通信作者: 任一平, 教授, 主要从事渔业资源研究. E-mail: renyip@ouc.edu.cn

分析了秋、冬季星康吉鳎空间分布的差异性,旨在了解星康吉鳎渔业资源的数量分布特征,为深入了解星康吉鳎的栖息习性和种群变动规律提供基础资料,为合理利用和保护星康吉鳎资源提供科学参考。

1 材料与方法

1.1 数据来源

星康吉鳎生物量及环境因子数据来自于 2016 年 10 月和 2017 年 1 月在山东半岛南部海域进行的渔业资源及环境调查。本次调查区域为 35°N~37°N、124°E 以西,共设置 63 个站位(图 1)。本次调查及分析均按《海洋渔业资源调查规范》(SC/T 9403-2012)等^[9]进行。调查使用底拖网渔船,功率为 220 kW。拖网网具网口高度约 7.53 m,宽约 15 m,囊网网目大小为 17 mm。拖网调查均安排在白天进行,拖速为 3.0 kn,每站拖网时间为 1 h。同步使用 CTD(型号为 CTD75M/1167)观测各站位的水温、盐度、水深和叶绿素数据。网获生物量依据拖网时间 1.0 h 和拖速为 2.0 kn 进行标准化,得到渔获率(单位为 g/h)。

1.2 数据处理

本研究对调查采集的环境数据进行 Pearson

相关性分析,排除环境因子共线性对于模型的影响。结果表明,表层温度与底层温度、离岸距离与水深有极强的相关性,表层盐度与底层盐度、表层叶绿素 a 与底层叶绿素 a 均存在较弱的相关性(表 1)。星康吉鳎是高营养级底栖鱼类,其主要摄食底栖生物及游泳动物,因此,本研究从影响因子中筛选出 4 个因子,其中包括水深(depth)、底层盐度(bottom salinity)、底层水温(bottom water temperature)等 3 个环境因子和季节(season)1 个时间因子。

广义可加模型是广义线性模型的非参数化扩展,广义加性模型最早是由 Hastie 和 Tibshirani 提出的一种非参数化的广义多元非线性回归方法^[10],是广义线性模型的推广,拓展了 GLM 模型的适用范围,其一般表达式为^[11]:

$$g(\mu) = \beta + \sum_{i=1}^k f_i(x_i) + \varepsilon \quad (1)$$

式中,函数 $g(\mu)$ 为连接函数(link function); μ 为响应变量; β 为常数截距项; ε 为误差项,与解释变量无关; $f_i(x_i)$ 是用来描述 $g(\mu)$ 与第 i 个解释变量关系的非参数函数,可以通过平滑或者样条平滑得到。本研究中将响应变量进行对数转换,误差设置为正态分布,连接函数则为 identical。

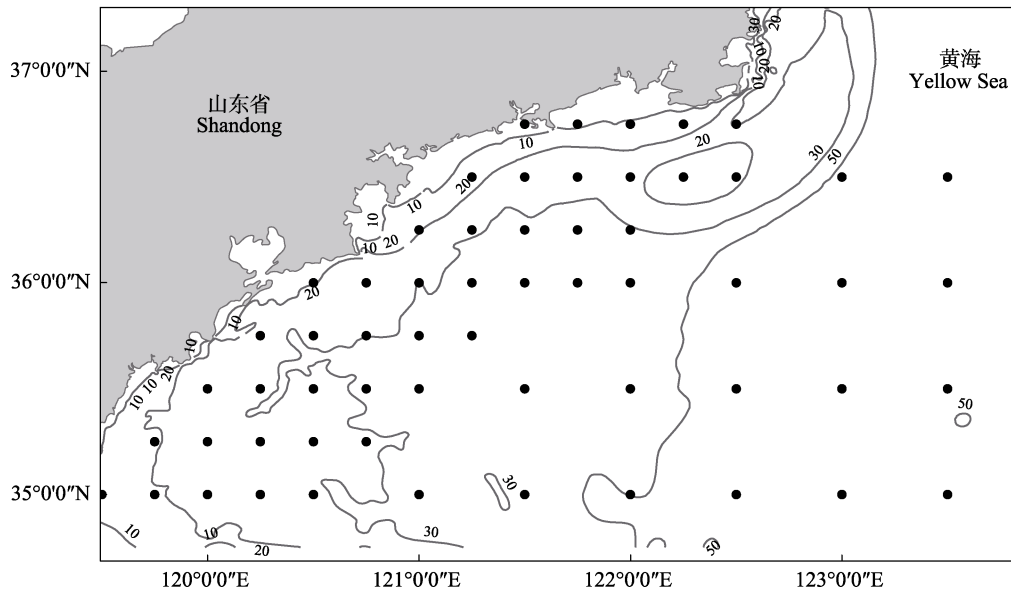


图 1 山东半岛南部海域渔业资源与环境调查站位

图中各点表示拖网取样站位,数字表示等深线水深(m)。

Fig. 1 Fishery resources and environmental survey stations in the south waters of Shandong Peninsula. Each point in the figure indicates a trawl station and the numbers represent depth (m) of the isobaths.

利用 AIC 准则进行变量筛选^[12]。其公式如下:

$$AIC=D+2df\phi \quad (2)$$

式中, D 为偏差(参差平方和); ϕ 为离差参数(方差); df 为有效自由度。

依照 AIC 准则, 在 AIC 最小的单因子预测函数的基础上依次加入其他因子, 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, 直到模型的 AIC 值不会随着新的因子的加入而减小为止, 最终 AIC 值最小的模型即为所得拟合效果最好的模型。不同模型间 AIC 差值小于 2 视为差异不显著。

本研究运用方差分析的方法(analysis of variance ANOVA)^[13], 通过残差值判断模型的预测值同实际值的差距, 并以此求得偏差解释率来判断模型最终拟合效果。利用 R 软件中的 GAM 程序包进行 GAM 模型构建及检验^[14]。利用 Surfer 和

ArcGIS 软件绘制山东半岛南部海域两个季节的星康吉鳎数量分布图和底层水温分布图, 分析星康吉鳎的数量分布规律。

2 结果与分析

2.1 星康吉鳎的时空分布

山东半岛南部海域星康吉鳎的数量分布呈现非常明显的季节变化特征。其中, 秋季(10月)星康吉鳎的渔获率为(25804.81±1623.07) g/h, 而冬季(1月)的渔获率为(10135.88±328.87) g/h, 秋季明显高于冬季。星康吉鳎在空间上的数量分布也在不同的季节表现出不同的规律。秋季, 星康吉鳎分布较广, 覆盖整个调查区域, 范围从近岸浅海直至远岸 50 m 以深的海域, 主要集中在水深 40 m 以浅的海域(图 2)。冬季, 星康吉鳎的分布范围则较集中, 主要分布于 30 m 以浅的海域, 但

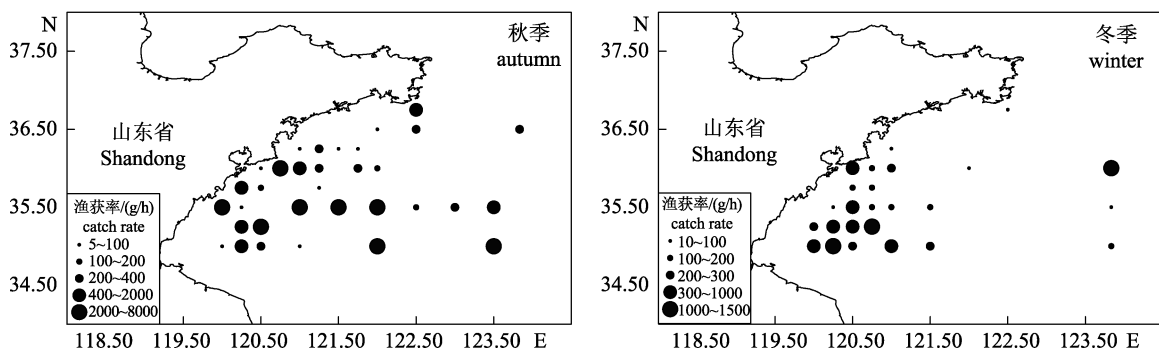


图 2 山东南部近海秋、冬季星康吉鳎数量分布图

Fig. 2 Distribution of *Conger myriaster* in autumn and winter in the south waters of Shandong Peninsula

表 1 山东南部近海秋冬季各环境因子之间 Pearson 相关系数

Tab. 1 Pearson correlations between environmental factors in the southern waters of Shandong Peninsula

环境因子 factor	底层水温 bottom water temperature, bwt	底层盐度 bottom salinity, bs	底层叶绿素 a bottom chl-a, bchla	表层水温 surface water temperature, swt	表层盐度 surface sal- inity, ss	表层叶绿素 a surface chl-a, schla	水深 depth	离岸距离 distance off shore
底层水温 bwt	1.0000	0.2232	0.1088	0.8113	0.0795	0.0350	0.2570	0.2214
底层盐度 bs		1.0000	0.0619	0.2245	0.3623	0.2073	0.2633	0.2878
底层叶绿素 bchla			1.0000	0.2283	0.2098	0.3272	0.1052	0.0720
表层水温 swt				1.0000	0.0764	0.1885	0.0277	0.0163
表层盐度 ss					1.0000	0.3430	0.2235	0.1620
表层叶绿素 schla						1.0000	0.2630	0.2471
水深 depth							1.0000	0.8653
离岸距离 distance off shore								1.0000

注: 表中加粗的数字为两个环境因子间较高的相关系数。

Note: The bolded numbers in the table indicate high correlations between the two environmental factors.

50 m 以深的水域亦有少数分布。

2.2 环境因子对星康吉鳎数量分布的影响

以星康吉鳎的渔获率(catch rate)作为响应变量,以季节、水深、底层温度、底层盐度作为解释变量构建模型。利用 AIC 原则,筛选后得到最优 GAM 模型,筛选过程如表 2 所示。

表 2 GAM 模型变量筛选过程
Tab. 2 The variable screening process for GAM

模型 one-step model	残偏差 deviance	赤池信息 量准则 AIC	偏差解释率/% percentage of explained deviance
初始模型 null model	851.09		
s+depth	613.18	457.04	27.95
s+bwt	695.08	468.83	18.33
s+bs	733.10	473.84	13.86
s+depth+bs	585.05	460.63	31.26
s+depth+bwt	545.76	454.10	35.88
s+depth+bwt+bs	512.84	456.25	39.74

注: s 表示调查季节, depth 表示水深, bwt 表示底层水温, bs 表示底层盐度。

Note: s indicates season, depth indicates depth of water, bwt indicates bottom water temperature, and bs indicates bottom salinity.

模型最终表达式为:

$$\lg(\text{catch rate}+1) = \text{intercept} + \text{season} + s(\text{depth}) + s(\text{bwt}) \quad (3)$$

式中, catch rate 为星康吉鳎的渔获率; 为了避免对数转化零值的错误出现, 将渔获率数据加 1, 再进行对数化处理。intercept 为截距, season 为季节, s(depth)为水深效应, s(bwt)为底层水温(bottom water temperature)效应, s(x)是处理环境因子数据的样条平滑函数。

GAM 方差分析表明, season、depth、bwt 等因子的偏差解释率分别为 8.99%、18.97%、7.92%。

所选的因子对星康吉鳎渔获率的累积偏差解释率为 35.88%。贡献度最大的环境因子为水深, 影响极显著($P < 0.01$), 底层温度影响显著($P < 0.05$) (表 3)。

表 3 最优 GAM 模型中各影响因子的参数分析
Tab. 3 Parameters analysis of each factors in the optimal GAM

影响因子 factor	残偏差 deviance	偏差 变化量 Δ deviance	偏差解 释率/% percent- age of explained deviance	AIC	F 检验 F test
初始 null	851.09				
+季节 +season	774.62	76.47	8.99	471.01	7.533×10^{-6}
+水深 +depth	613.18	161.44	18.97	457.04	0.00046
+底层水温 +bwt	545.76	67.42	7.92	454.10	0.01640

季节、水深、底层温度对山东半岛南部海域星康吉鳎数量分布的影响如图 3 所示。星康吉鳎渔获率有明显的季节变化, 秋季星康吉鳎渔获率更高, 冬季则相对较少。水深对星康吉鳎数量的影响最大(偏差解释率为 18.97%), 渔获率随水深的增大呈现先增大后减少再平缓增大的趋势, 0~30 m 水深变大, 渔获率明显增长, 在 30~40 m 水深的海域星康吉鳎渔获率达到峰值; 水深达到 40~60 m 时, 星康吉鳎的渔获率随水深的增加呈下降趋势, 在约 65 m 水深渔获率最低; 70 m 水深至以深海域星康吉鳎的渔获率仍有增加的趋势。底层温度的影响较小, 随温度增加, 渔获率呈现先增大后缓慢减小的趋势, 在 10℃左右星康吉鳎渔获率较高。

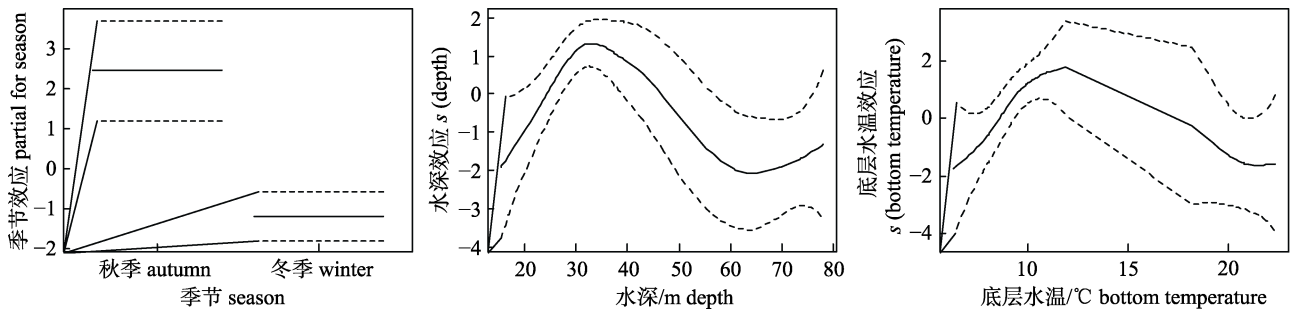


图 3 各影响因子对山东半岛南部海域星康吉鳎渔获率的影响效果

Fig. 3 Effects of influential factors on catch rate of *Conger mgriaster* in the southern waters of Shandong Peninsula

3 讨论

3.1 星康吉鳎的时空分布特征

星康吉鳎秋季的渔获率明显高于冬季, 这可能与星康吉鳎饵料生物丰度的季节变动有关。一般而言, 鱼类优势饵料生物的季节变化会影响其食物组成^[15]。相关研究表明, 星康吉鳎除摄食鱼类和虾类外, 在秋季还摄食大量的头足类, 其中枪乌贼是星康吉鳎的主要摄食对象^[16]。秋季, 枪乌贼进行越冬洄游, 逐渐向南洄游至黄海中部, 故该海域饵料生物数量增多, 为星康吉鳎提供更佳的摄食环境^[17]; 冬季调查海域内饵料生物的种类和丰度锐减, 可能导致调查海域内星康吉鳎分布的变化, 使星康吉鳎的渔获率减少。

星康吉鳎在不同季节的空间分布特征有明显变化。秋季分布范围广, 冬季的栖息范围同秋季相比较小, 且分布较为集中。星康吉鳎在空间分布上的季节差异可能与其洄游习性和黄海暖流的季节变化有关。秋季, 星康吉鳎分布范围广, 几乎覆盖整片调查海域。此时黄海暖流刚开始形成, 携带大量高温高盐水进入黄海中部海域的底层,

但其势力不强, 对整片海域内底层温度的影响并不明显^[18]。秋季调查海域的底层水温范围约为8~22℃(图4), 大部分处在星康吉鳎适宜的水温范围, 故所调查的海域内均有星康吉鳎分布, 且近岸渔获率较高; 冬季, 近岸海域底层水温降低至7℃或以下, 适宜星康吉鳎生存的海域范围减少, 黄海暖流作为补偿流, 势力不断扩大发展, 受其温度辐射效应的影响, 部分调查海域的底层水温回升至星康吉鳎的适宜水温。故星康吉鳎在山东半岛南部海域整体分布范围明显缩小, 集中分布于温度适宜其生存的西南部和东部海域(图2)。

3.2 影响星康吉鳎数量分布的主要环境因子

在诸多环境因子中, 水深对星康吉鳎的数量分布影响最为显著, 渔获率随水深的增加, 呈现出先增大后减小再增大的变化趋势。这种分布规律可能与其洄游习性有关。相关研究表明, 星康吉鳎的季节性洄游始于秋季, 从朝鲜半岛南部西海岸南下洄游, 10月至次年2月栖息在朝鲜半岛西部沿岸, 3月至4月迁入济州岛以西80m的深海中^[19], 这与本调查结果一致。由图2可以看出,

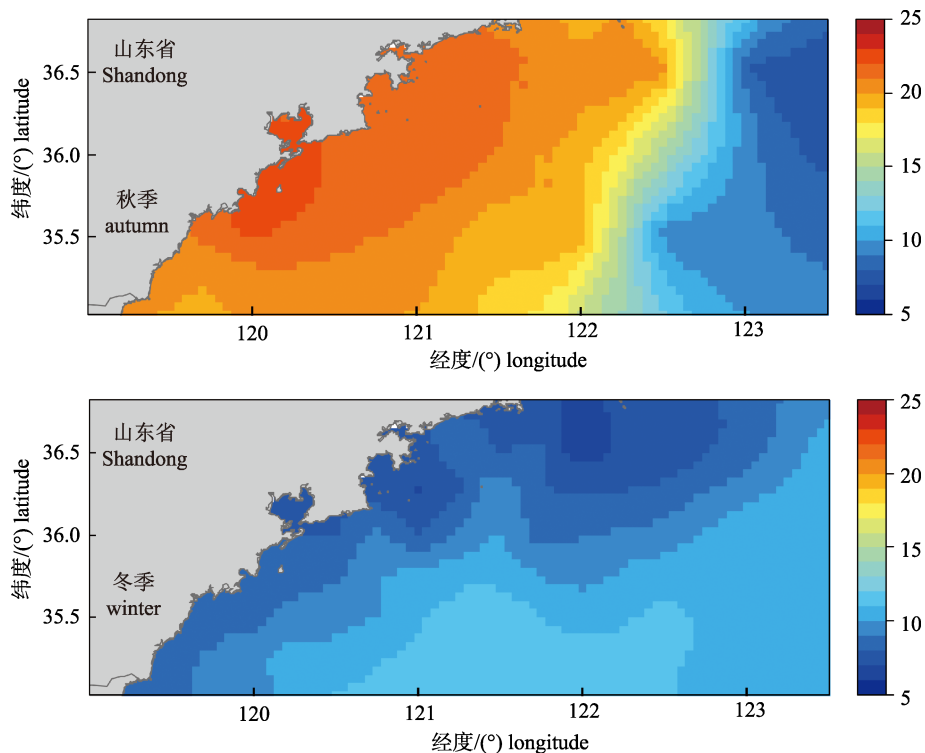


图4 山东半岛南部海域秋、冬季底层水温分布图

Fig. 4 Distribution of bottom water temperature in the southern waters of Shandong Peninsula in winter and in autumn

调查海域外部深水区秋冬季均有星康吉鳗分布,且渔获率相对增大。另外,每年星康吉鳗幼鱼在深水区孵化,并随向西流动的洋流被动地迁移至幼鱼生长栖息地,星康吉鳗柳叶状幼鱼在抵达大陆边缘之前生长发育,储存能量,体型变大,并在抵达捕食者密集的沿海地区前完成变态^[20],且星康吉鳗会依鱼体大小不同而分群栖息于不同的海域,故在中国近岸全年可捕获到规格不同的星康吉鳗幼鱼。本研究中星康吉鳗在 0~30 m 水深渔获率逐渐增多,并在 30~40 m 水深的海域渔获率达到峰值,这与星康吉鳗随年龄和体长的增长,逐渐向深水区迁移的规律相一致,故推测 30~40 m 水深为其适宜的栖息水深。

底层水温对星康吉鳗的数量分布也有显著影响。本研究 GAM 模型分析结果表明,星康吉鳗的渔获率随温度的升高呈现先增加后减少的趋势,在 10℃ 左右的水温环境下数量分布较多。暂养实验表明星康吉鳗对水温的适应范围较广,一般为 8~27℃,低于 8℃ 摄食及游泳能力明显下降^[21]。相关研究也指出,日本播磨滩的星康吉鳗幼鱼在 3 月至 4 月大量迁移,迁移时底层温度为 8~18℃^[22],而邻近的纪伊水道 11 月至 4 月期间,底温在 8.8~22.0℃ 时亦会有星康吉鳗幼鱼的出现,且在 10℃ 时渔获率最丰富^[23]。本研究中,随着调查海域内底层水温的季节性变动,星康吉鳗表现出一定的趋温性,渔获率和栖息范围均会随着底层水温的变化而变动,如冬季星康吉鳗更多地聚集于水温适宜的海域。同时,水温也是影响星康吉鳗饵料生物头足类资源量季节变动的重要原因,适宜头足类温水种日本枪乌贼等生存的水温为 9~11℃;冬季头足类平均渔获率低,与调查海域水温(6~11℃)普遍低于其适宜水温有直接的关系^[24]。由此可见,底层水温会通过影响星康吉鳗的游泳能力、洄游以及摄食影响其数量分布,10℃ 左右的底层水温为其最适宜的栖息水温,水温过高或过低会导致海域内星康吉鳗渔获率的降低。

除了本研究中提到的上述影响因子外,底质类型、底层溶解氧等环境因子也可能对星康吉鳗的数量分布产生一定的影响。例如,不同规格的星康吉鳗对不同底质类型的适应性也存在差别,

星康吉鳗在海底底质类型为砾石、砂、泥质的海域均有分布,但沿海的幼鱼多数分布于砾石、砂质海底。日本相关研究则进一步指出,星康吉鳗幼鱼多喜栖息于砂质底质,而非砾石底质海域,并且底质类型的影响效果大于食物环境的影响^[25]。而本研究中底质类型的影响效果不显著,因此在模型中去除。这可能是由于本研究范围相对较小,调查样本较少,且底质类型的分类精度不够高。方差分析的结果表明,底质类型变化与水深变化存在极显著($P=2.87\times 10^{-9}$)的相关关系,因此水深效应可能在一定程度上代表底质类型变化的效应。同时,关于鱼类行为的模型研究则指出,夏季环境条件如低溶氧海水对星康吉鳗的洄游和分布有很大的影响^[26],溶解氧浓度可能影响星康吉鳗的摄食及游泳能力。另外,本研究调查网具为底拖网,而星康吉鳗的捕捞方式还包括定置网、笼钓、筒钓和延绳钓^[27]等,在将来相关的深入研究中,需考虑上述各种渔具综合调查,以更客观反映星康吉鳗的时空分布。此外,本研究仅限于山东半岛南部海域的秋季(10月)和冬季(1月),时间和空间跨度较小,不能很好地反映星康吉鳗在更大时空尺度下的栖息分布规律。今后需扩大星康吉鳗调查的时空尺度,探讨季节、气候变化以及人为捕捞等因素对星康吉鳗数量分布的影响,为星康吉鳗的渔业开发和管理提供科学依据。

参考文献:

- [1] Zhang C G. Fauna Sinica: *Osteichthyes notacanthiformes*[M]. Beijing: Science Press, 2010: 199-203. [张春光. 中国动物志: 硬骨鱼纲·鳗鲡目·背棘鱼目[M]. 北京: 科学出版社, 2010: 199-203.]
- [2] Chen D G. Fisheries Ecology of Yellow Sea and Bohai Sea[M]. Beijing: China Ocean Press, 1991: 478-480. [陈大刚. 黄渤海渔业生态学[M]. 北京: 海洋出版社, 1991: 478-480.]
- [3] Zhang B, Tang Q S. Feeding habits of six species of eels in East China Sea and Yellow Sea[J]. Journal of Fisheries of China, 2003, 27(4): 307-314. [张波, 唐启升. 东、黄海六种鳗的食性[J]. 水产学报, 2003, 27(4): 307-314.]
- [4] Uchida K, Nishihara M, Nanba T, et al. Behavioral observations of white spotted conger eel (*Conger myriaster*) in baited traps in Tokyo Bay[J]. Proceedings of the Design

- Symposium on Conservation of Ecosystem, 2013, 3: 109-114.
- [5] Liu X F. Study on feeding ecology and food relations of two high trophic level fishes in Haizhou Bay[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2015. [刘西方. 海州湾两种高营养级鱼类摄食生态及其食物关系研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2015.]
- [6] 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鳎资源丰度分布的影响[J]. 中国水产科学, 2015, 22(4): 812-819.]
- [7] Xing L, Xu B D, Zhang C L, et al. Environmental influence on the distribution of *Hexagrammos otakii* inhabiting Haizhou Bay and its adjacent waters[J]. Periodical of Ocean University of China: Natural Science, 2015, 45(6): 45-50. [邢磊, 徐宾铎, 张崇良, 等. 环境因子对海州湾及邻近海域大泷六线鱼分布影响的分析[J]. 中国海洋大学学报: 自然科学版, 2015, 45(6): 45-50.]
- [8] Dai Y T. Some thoughts on ecological protection and regional sustainable development in the south of Shandong Peninsula[J]. China Population, Resources and Environment, 2011, 21: 23-26. [戴玉堂. 山东半岛南部海域生态保护与区域可持续发展的几点思考[J]. 中国人口·资源与环境, 2011, 21: 23-26.]
- [9] General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China. GB/T 2763. 6-2007, Specifications for Oceanographic Survey-Part 6: Marine Biological Survey[S]. Beijing: China Standard Press, 2007. [中国国家质量监督检验检疫总局. GB/T 2763. 6-2007, 海洋调查规范第 6 部分: 海洋生物调查[S]. 北京: 中国标准出版社, 2007.]
- [10] Hastie T, Tibshirani R. Generalized Additive Models[M]. New York: Springer US, 1985: 371-386.
- [11] Burnham K P, Anderson D R. Model selection and multimodal inference: a practical information-theoretic approach[M]. New York: Springer Science and 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] Fisher R A. Statistical Methods For Research Workers[M]. Edinburgh: Oliver and Boyd, 1954, 118(4): 66-70.
- [14] Franklin J. Mapping Species Distributions: Spatial Inference and Prediction[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2009: 126-130.
- [15] Schafer L N, Platell M E, Valesini F J, et al. Comparisons between the influence of habitat type, season and body size on the dietary compositions of fish species in nearshore marine waters[J]. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 2002, 278(1): 67-92.
- [16] 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. [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.]
- [17] Du T F, Li A, Dai F Q, et al. Survey and analysis of the autumnal Cephalopod distribution in the Yellow Sea during 2006-2013[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2016, 23(4): 955-964. [杜腾飞, 李昂, 戴芳群, 等. 2006-2013 年黄海秋季头足类资源状况调查与分析[J]. 中国水产科学, 2016, 23(4): 955-964.]
- [18] Wang H W. Study on seasonal and inter-annual variations of the Yellow Sea warm current[D]. Qingdao: the First Institute of Oceanography, SOA, 2008. [王辉武. 黄海暖流季节和年际变化研究[D]. 青岛: 国家海洋局第一海洋研究所, 2008.]
- [19] Yamada U, Okamura O. Fishes of the East China Sea and the Yellow Sea[M]. Nagasaki: Seikai Regional Fisheries Research Laboratory, 1986: 68-69.
- [20] Miller M J, Yoshinaga T, Aoyama J, et al. Offshore spawning of *Conger myriaster* in the western North Pacific: evidence for convergent migration strategies of anguilliform eels in the Atlantic and Pacific[J]. Naturwissenschaften, 2011, 98: 537.
- [21] Tang Y M, Wu C W. Biological characteristics and distribution of *Astroconger myriaster* (Brevoort)[J]. Journal of Zhejiang College of Fishery, 1988, 7(1): 19-26. [唐逸民, 吴常文. 星鳗 *Astroconger myriaster* (Brevoort) 的生物学特性与资源分布[J]. 浙江水产学院学报, 1988, 7(1): 19-26.]
- [22] Gorie S, Kazuya N. Migration of white spotted conger (*Conger myriaster*) leptocephali to the Harima Nada Sea, Eastern Seto Inland Sea[J]. Japan Aquaculture Science, 2012, 60(1): 73-80.
- [23] Utsumi R. Catch and occurrence of white spotted conger leptocephali in the eastern Kii Channel, the Seto Inland Sea, Japan[J]. Bulletin of Fisheries Experimental Station Wakayama Research Center of Agriculture, Forestry and Fisheries, 2009, 1: 6-12.
- [24] Wu Q, Wang J, Li Z Y, et al. The community structure and biodiversity of Cephalopoda in central and southern Yellow Sea[J]. Marine Sciences, 2015, 39(8): 16-23. [吴强, 王俊,

- 李忠义, 等. 黄海中南部头足类的群落结构与生物多样性[J]. 海洋科学, 2015, 39(8): 16-23.]
- [25] Gorie S, 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.
- [26] Tabeta S, Suzuki S, Nakamura Y. Combined modeling of fish behavior and fishing operations for conger eel fishery in Ise Bay[J]. Ecological Modelling, 2015, 313: 266-275.
- [27] 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. [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.]

Relationship between the spatiotemporal distribution of *Conger myriaster* and environmental factors in the southern waters off the Shandong Peninsula during autumn and winter

LI Mingkun¹, ZHANG Chongliang¹, LI Min¹, MU Xiuxia¹, 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; Qingdao National Laboratory for Marine Science and Technology, Qingdao 266071, China

Abstract: Based on the survey data of fishery resources and habitat, collected at 63 stations in October 2016 and January 2017 in the southern waters off the Shandong Peninsula, we analyzed spatiotemporal distribution of *Conger myriaster* and examined its relationship with environmental variables, including survey season, water depth, bottom salinity, and bottom water temperature, using generalized additive model (GAM). The results showed significant seasonal variations in the distribution of *C. myriaster*. The stock had significantly higher density and wider range in autumn than in winter, and stock density was higher in the coastal waters and lower in the offshore waters. In addition, the stock showed more even distribution in the coastal waters, but distribution patterns varied greatly in the offshore waters. GAM identified depth and bottom water temperature as the major environmental factors influencing distribution ($P < 0.05$) and the effect of water depth was the most significant. Stock density increased with depth at shallow waters, peaking at the depth of 30–40 m, but decreased with further increase in water depth. The most suitable water temperature range was around 10°C. The temperature effect might be attributed to the migratory habits of this species and the variations in the environmental conditions caused by seasonal changes in the Yellow Sea Warm Current.

Key words: *Conger myriaster*; distribution; environmental factor; water depth; generalized additive model (GAM)

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