

浙江近岸海域春夏季剑尖枪乌贼栖息地分布变化规律

陈峰, 李楠, 方舟, 梁君, 张洪亮, 周永东, 蒋日进

Habitat distribution change pattern of *Uroteuthis edulis* during spring and summer in the coastal waters of Zhejiang Province

CHEN Feng, LI Nan, FANG Zhou, LIANG Jun, ZHANG Hongliang, ZHOU Yongdong, JIANG Rijin

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.12024/jsou.20201203245>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

海表温度变化时近海日本鲭栖息地时空分布预测

Distribution forecasting of habitat of chub mackerel (*Scomber japonicus*) during the climate change in the coastal waters
水产学报. 2019, 43(3): 593 <https://doi.org/10.11964/jfc.20170510832>

基于栖息地适宜指数的浙江南部近海黄鲫最适栖息地分布

Distribution of *Setipinna taty* optimal habitats in the South inshore area of Zhejiang Province based on the habitat suitability index
中国水产科学. 2020, 27(12): 1485 <https://doi.org/10.3724/SP.J.1118.2020.20052>

剑尖枪乌贼渔业研究进展

Fishery of swordtip squid *Uroteuthis edulis*: a review
大连海洋大学学报. 2020, 35(4): 637 <https://doi.org/10.16535/j.cnki.dlhyxb.2019-208>

基于栖息地指数的南海北部枪乌贼渔情预报模型构建

Forecasting fishing ground of calamary in the northern South China Sea according to habitat suitability index
南方水产科学. 2017, 13(4): 11 <https://doi.org/10.3969/j.issn.2095-0780.2017.04.002>

浙江北部沿岸春夏季长蛸时空分布及其与海洋环境的关系

Relationship between spatial-temporal distribution of long-arm octopus *Octopus minor* and oceanographic environmental factors along north coast of Zhejiang province during spring and summer
上海海洋大学学报. 2019, 28(3): 438 <https://doi.org/10.12024/jsou.20181202486>

闽中渔场近岸海域春、夏季仔稚鱼种类组成与数量分布

Species composition and quantity distribution of fish larvae and juveniles in coastal area of Minzhong fishery in spring and summer
渔业研究. 2015, 37(6): 452 <https://doi.org/10.14012/j.cnki.fjsc.2015.06.004>

文章编号: 1674-5566(2021)05-0847-09

DOI:10.12024/jso.20201203245

浙江近岸海域春夏季剑尖枪乌贼栖息地分布变化规律

陈峰^{1,2}, 李楠¹, 方舟^{1,3,4,5,6}, 梁君², 张洪亮², 周永东², 蒋日进²

(1. 上海海洋大学海洋科学学院, 上海 201306; 2. 浙江省海洋水产研究所, 浙江舟山 316021; 3. 大洋渔业资源可持续开发教育部重点实验室, 上海 201306; 4. 国家远洋渔业工程技术研究中心, 上海 201306; 5. 农业农村部大洋渔业开发重点实验室, 上海 201306; 6. 农业农村部大洋渔业资源环境科学观测实验站, 上海 201306)

摘要: 根据2014—2016年春夏季浙江沿岸海域拖网调查捕获的剑尖枪乌贼样本数据, 结合提升回归树方法(boosted regression tree, BRT), 确定不同的环境因子权重, 利用算术平均法(arithmetic mean model, AMM)和几何平均法(geometric mean model, GMM)构建基于多因子的栖息地适宜性指数(habitat suitability index, HSI)模型进行分析。结果显示, 春季剑尖枪乌贼栖息地海表面温度(sea surface temperature, SST)、海表面盐度(sea surface salinity, SSS)、叶绿素a质量浓度(chlorophyll-a, *Chl. a*)和表层溶解氧质量浓度(dissolved oxygen, DO)的适宜范围分别为22~24℃、34~36、0.5~1.5 mg/m³和8~10 mg/L; 而夏季对应的环境因子适宜范围分别为23~24℃、31~34、0.5~1.5 mg/m³和7~11 mg/L, 季节差异较小; 提升回归树分析结果表明, SST为环境因子中最重要的因子, 其次分别为DO、*Chl. a*和SSS。剑尖枪乌贼栖息地适宜性指数的时空分布: 春季HSI相对较低, 且适宜栖息地主要出现在偏南部海域(27°N~29°N); 夏季的HSI相对较高, 且在北部海域也发现较高的HSI值(30°N~31°N)。2种算法相比而言, GMM方法有着更低的赤池信息准则值(Akaike information criterion, AIC), 因此更为适宜浙江沿岸剑尖枪乌贼的栖息地研究。浙江沿岸的剑尖枪乌贼最适栖息地的分布与海洋环境的变化以及海流等因素有着密切的关系。

关键词: 浙江沿岸海域; 剑尖枪乌贼; 栖息地适宜性; 算术平均法; 几何平均法

中图分类号: S 931 **文献标志码:** A

剑尖枪乌贼(*Uroteuthis edulis*)属枪形目(Teuthoidea)枪乌贼科(Loliginidae)尾枪乌贼属(*Uroteuthis*), 为典型的近海暖温性的浅海种^[1], 广泛分布于太平洋西部沿岸海域^[2-4], 其中以东海的资源量最为丰富^[5]。该种为洄游性种类, 洄游范围通常在东海大陆架海域内^[5], 目前主要由日本和中国开发利用^[6]。近年来相关的资源调查发现, 东海海域剑尖枪乌贼资源已经逐渐取代曼氏无针乌贼(*Sepiella maindroni*), 成为该海域新的优势种之一^[7]。作为重要的经济性头足类, 了解剑尖枪乌贼的栖息地分布特征有助于人们更好地利用该资源, 合理进行渔业生产安排。目前栖息地适宜性指数(habitat suitability index, HSI)已被广泛应用于渔业资源评估和渔场渔情

预报中^[8]。HSI模型的建立可以由一个或者多个环境因子构成, 而多环境因子相对能够得到更为准确和全面的结果^[8]。在以往的研究中, 各环境因子的权重往往由人为设定, 具有较大的主观性, 各环境因子的实际贡献情况仍不清楚^[9]。高峰等^[10]采用提升回归树(boosting regression tree, BRT)方法, 以海表面温度(sea surface temperature, SST)为主要环境因子, 构建了东、黄海鲈鱼(*Scomber japonices*)渔场预报模型。张云雷等^[11]在针对海州湾皮氏叫姑鱼(*Johnius belangerii*)的栖息地适宜性研究中利用了BRT来量化每个因子的贡献率, 取得了较好的结果。因此, 本研究根据2014—2016年在浙江沿岸的拖网调查数据, 首先依据BRT模型计算出各环境因子

收稿日期: 2020-12-14 修回日期: 2021-01-06

基金项目: 国家自然科学基金青年科学基金(31702346); 浙江省基础公益研究计划项目(LGN20C190012); 农业农村部外海渔业开发重点实验室开放课题项目(LOF 2018-02)

作者简介: 陈峰(1984—), 男, 高级工程师, 研究方向为渔业资源学。E-mail: cf0421223@163.com

通信作者: 方舟, E-mail: zfang@shou.edu.cn

的贡献率,采用不同方法建立 HSI 模型,探讨剑尖枪乌贼栖息地适宜性指数,为合理开发利用和管理该资源提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 调查海域及调查船基本情况

调查海域主要分布于浙江近岸东海海域(27°N ~ 31°N, 120°E ~ 124°E),调查时间为2014—2016年3—8月,其中,3—5月为春季,6—8月为夏季。调查设站点分布情况如图1。调查船为“浙普渔43055”,采用定制的单船底层有翼单囊拖网,网具主尺寸网口周长为58 m,网口宽度为28 m,囊网网目尺寸为25 mm。为了保证调查的可靠性和网具的可操作性,所有调查均在白天进行^[12]。

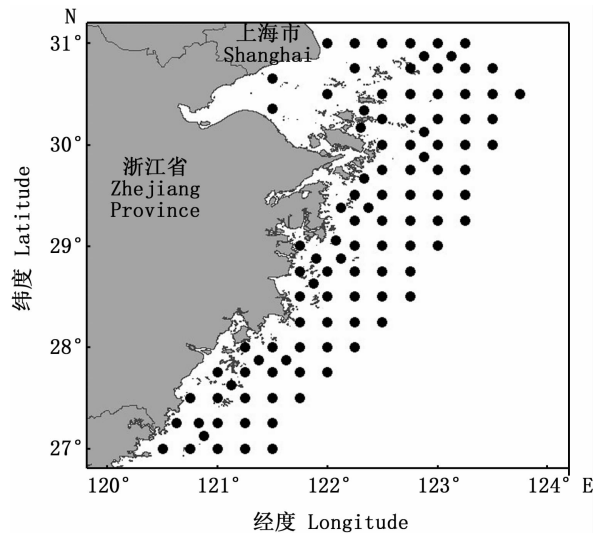


图1 浙江近岸渔业资源调查站点示意图

Fig.1 Sampling stations of fisheries resource survey along the coast of Zhejiang Province

1.2 调查数据及环境因子选取

(1) 单位时间渔获率计算。所获得的渔获物首先进行分类,打包装箱运回实验室,然后挑选出剑尖枪乌贼,统计其体质量和尾数。为确保数据的可分析和对比性,本研究采用单位时间的渔获尾数(尾/h)量化剑尖枪乌贼资源丰度^[11]。

(2) 环境因子的筛选。调查期间,在放网处(水深0~10 m)均使用日本川铁 JFE 便携水质分析仪(AAQ-RINKO)采集实时海洋环境数据。目标物种剑尖枪乌贼是中上层渔业物种,与表层环境因子关系密切,因此选取 SST、海表面盐度(sea

surface salinity, SSS)、叶绿素 a 质量浓度(chlorophyll-a, *Chl. a*)和表层溶解氧质量浓度(dissolved oxygen, DO)等4个因子为主要环境因子。

1.3 栖息地指数模型的建立

建立栖息地指数模型第一步需要计算单因子适宜性指数(suitability index, SI),采用单位面积的渔获尾数(尾/km²)进行计算。然后利用平滑函数拟合环境因子与 SI 的关系,其取值范围为0~1;当 SI 为1时,表示在某个环境因子下出现的最高单位面积渔获尾数;当 SI 为0时,表示某个环境因子下的单位面积渔获尾数为0。一般认为,当 SI 大于0.7时,所对应的环境因子是最适宜的栖息环境数值^[11]。SI 计算公式如下:

$$I_{SI} = \frac{\hat{Y} - \hat{Y}_{\min}}{\hat{Y}_{\max} - \hat{Y}_{\min}} \quad (1)$$

式中: I_{SI} 为单因子适宜性指数 SI; \hat{Y} 为经平滑回归后的单位面积渔获尾数,尾/km²; \hat{Y}_{\max} 和 \hat{Y}_{\min} 为调查中实际单位面积渔获尾数的最大值和最小值,尾/km²。

HSI 往往由多个 SI 综合计算得出,采用常用的算术平均法(arithmetic mean model, AMM)和几何平均法(geometric mean model, GMM)计算 HSI。具体计算如下^[13-14]方法:

$$I_{HSI, AMM} = \frac{1}{\sum_{i=1}^n w_i} \times \sum_{i=1}^n I_{SI-i} w_i \quad (2)$$

$$I_{HSI, GMM} = \prod_{i=1}^n I_{SI-i} w_i^{\frac{1}{\sum_{i=1}^n w_i}} \quad (3)$$

式中: I_{HSI} 为栖息地适宜性指数; I_{SI-i} 为环境因子 i 的 SI 值; w_i 为环境因子 i 所赋予的权重; n 为环境因子的个数。

各因子的权重 w_i 主要根据 BRT 模型进行计算,该模型主要通过组合大量简单的决策树进行优化,决策树学习的过程主要运用逐步迭代法调试其中的3项参数:装袋分数(bagging fraction)、学习率(learning rate, lr)和树的复杂度(tree complexity, tc),最终根据预测过程和预测偏差来决定参数^[15-17],具体运算方法参考文献[10]。

1.4 模型验证与 HSI 分布规律

HSI 模型的预测性能采用交叉验证(cross-validation)法进行评估。数据进行随机选取,其中,70%用于建模,30%进行检验,并重复进行100次^[11,18]。使用赤池信息准则(Akaike

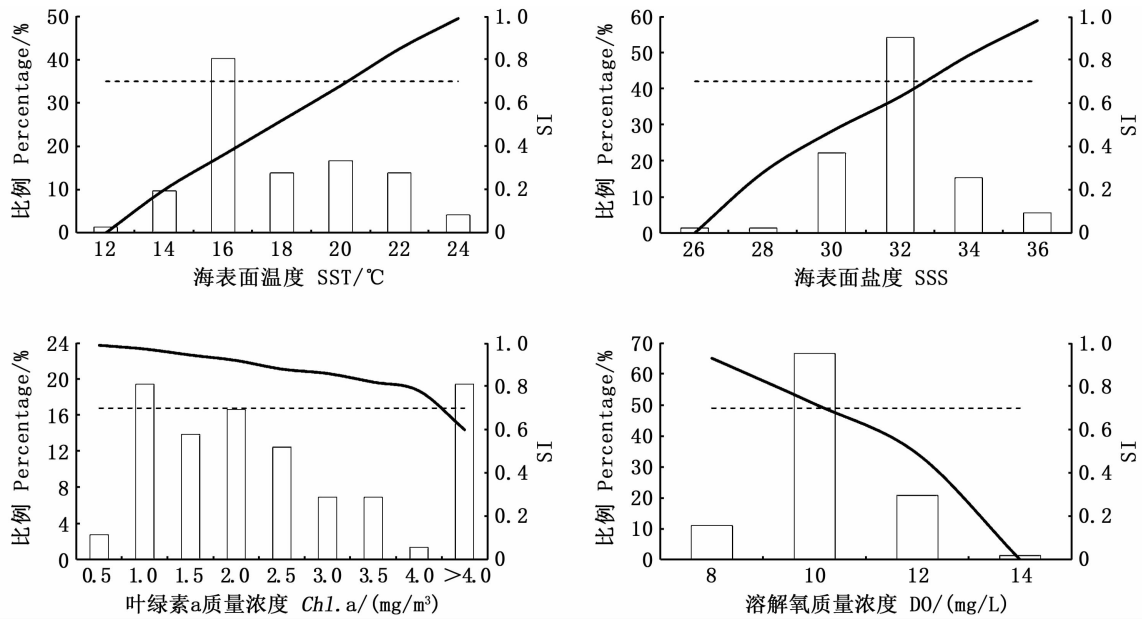
information criterion, AIC)对基于 2 种算法(AMM 和 GMM)的 HSI 模型进行性能评估。

上述分析使用 Excel 2016 和 R gui 3.2.3 软件进行分析,其中 BRT 使用“gbm”包。

2 结果

2.1 各环境因子的适宜性曲线

春季剑尖枪乌贼的栖息 SST 范围为 12 ~ 24



虚线为 SI 对应 0.7 的标注。

Dotted line represents SI equals 0.7.

图 2 浙江沿岸海域春季剑尖枪乌贼对环境因子的适应性指数曲线

Fig. 2 Suitability index curves of environmental factors for *Uroteuthis edulis* during spring along the coast of Zhejiang Province

夏季剑尖枪乌贼的栖息 SST 范围为 22 ~ 30 °C, SSS 范围为 22 ~ 34, *Chl. a* 仍主要分布在 < 4 mg/m³, DO 范围为 6 ~ 14 mg/L (图 3)。适宜性指数范围(SI > 0.7): 剑尖枪乌贼的适宜 SST 范围在主要集中在 23 ~ 24 °C; SSS 的最适宜范围较小,主要集中在 31 ~ 34; *Chl. a* 的最适宜范围基本为 1 ~ 2 mg/m³; DO 的最适宜范围为 7 ~ 11 mg/L。见图 3。

2.2 基于 BRT 的各环境变量权重

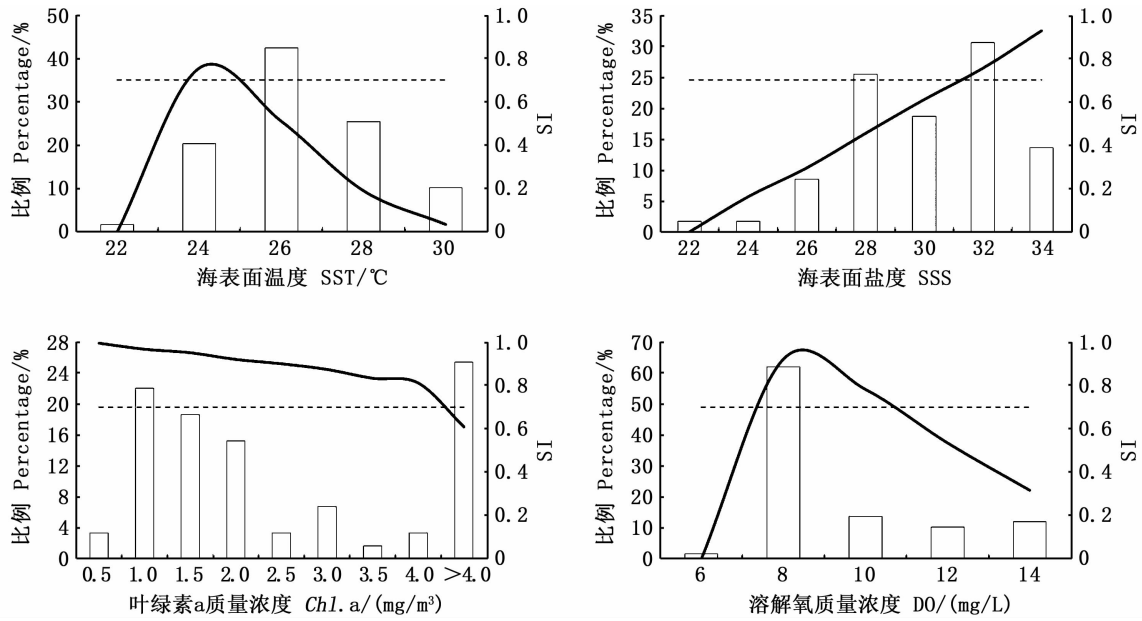
选择不同的学习率(lr)和复杂度(tc)进行模拟分析。依据预测过程和预测偏差结果,本研究选择 lr 为 0.001 和 tc 为 4 作为模型的参数进行后续分析。根据上述参数所得到的 BRT 结果可以发现:春季相对贡献率最高的环境因子为 SST

°C, SSS 为 25 ~ 35, 约 80% 站点的 *Chl. a* 小于 4 mg/m³, DO 为 8 ~ 14 mg/L (图 2)。根据适宜性指数范围(SI > 0.7)来看,春季剑尖枪乌贼的适宜 SST 范围在大于 20.5 °C 的范围内,主要集中在 22 ~ 24 °C; SSS 的最适宜范围较小,主要集中在 34 ~ 36; *Chl. a* 的最适宜范围在 3.9 mg/m³ 以内,而 DO 的最适宜范围为 8 ~ 10 mg/L (图 2)。

(占总体的 63.23%), 其次为 DO (占总体的 31.77%), 剩余的为 *Chl. a* 和 SSS (分别为 4.43% 和 0.57%), 见图 4a; 夏季相对贡献率最高的环境因子仍为 SST (占总体的 69.51%), 其次仍为 DO (占总体的 24.67%), 剩余的为 *Chl. a* 和 SSS (分别为 5.16% 和 0.64%), 见图 4b。

2.3 剑尖枪乌贼的栖息地适宜性指数的时空分布

根据上述环境因子贡献率,利用 AMM 和 GMM 方法建立栖息地模型。栖息地季节性分布(图 5):春季 HSI 相对较低,利用不同方法计算的 HSI 低于 0.3 的比例分别为 76.39% (AMM) 和 83.33% (GMM);夏季的 HSI 相对较高,夏季 HSI 超过 0.3 的比例分别为 100% (AMM) 和 79.66% (GMM)。



虚线为 SI 对应 0.7 的标注。
Dotted line represents SI equals 0.7.

图 3 浙江沿岸海域夏季剑尖枪乌贼对环境因子的适应性指数曲线
Fig. 3 Suitability index curves of environmental factors for *Uroteuthis edulis* during summer along the coast of Zhejiang Province

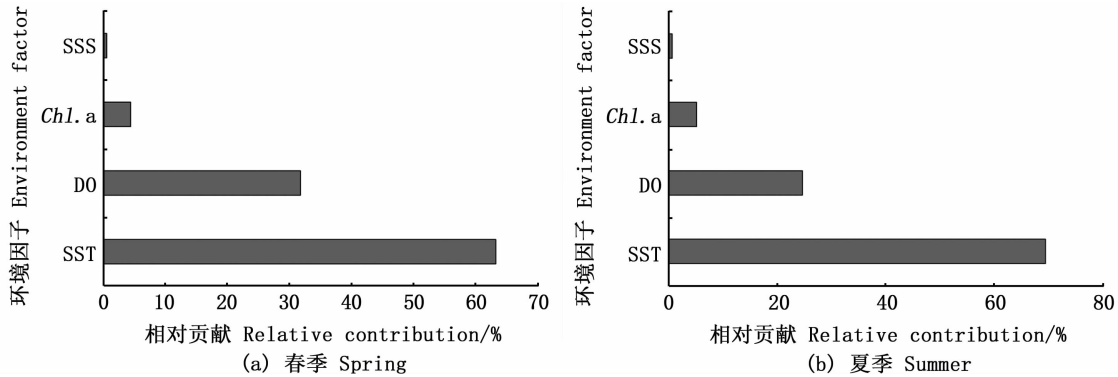


图 4 基于 BRT 结果的不同环境因子的相对贡献率
Fig. 4 Relative contribution of different environmental factors based on the BRT

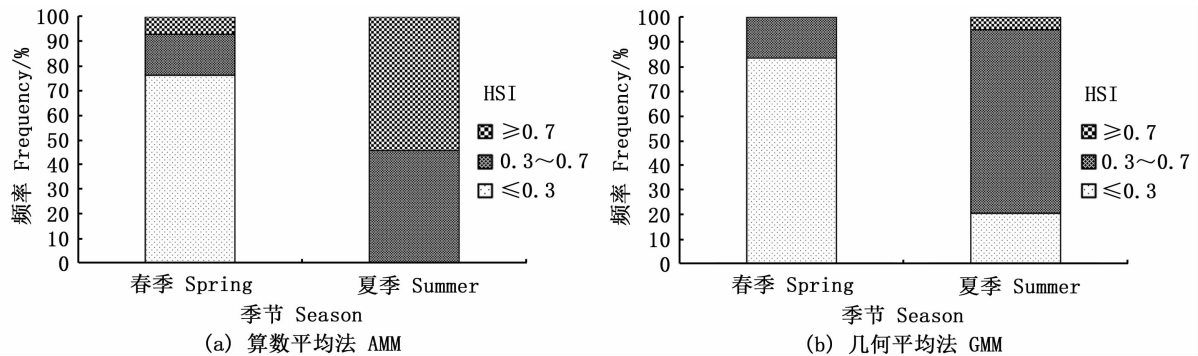


图 5 不同方法计算不同季节栖息地适宜指数比例
Fig. 5 Habitat suitability index for different seasons based on different methods

不同季节栖息地适宜性指数分布情况(图6):春季各个海域栖息地适宜性指数较高($HSI \geq 0.7$)的比例相对较低,AMM法计算的结果仅在 $27^{\circ}N \sim 27.5^{\circ}N$ 有出现极少范围 $HSI \geq 0.7$,其他海域均无出现较高的栖息地适宜性指数分布,而GMM法的计算结果则全为0,代表各海域均不存在最适栖息地,而实际调查中捕获的渔获量也较少,均 <5 尾/h;夏季的适宜栖息地海域范围相对较大,基于AMM法计算的结果认为, $HSI \geq 0.7$ 主要分布范围为 $28^{\circ}N \sim 31^{\circ}N, 122^{\circ}E \sim 124^{\circ}E$ 海

域,并靠近沿岸,而基于GMM法计算的结果 $HSI \geq 0.7$ 的分布范围相对较小,主要分布范围为 $30^{\circ}N \sim 30.5^{\circ}N, 123^{\circ}E \sim 123.5^{\circ}E$ 海域;所对应的实际调查在偏北海域,即在 $29^{\circ}N$ 以北海域相对较高(表1)。总体来说,最适栖息地范围呈现出夏季高、春季低的特点。对比不同的计算方法来看,AMM法计算的最适栖息地范围明显大于GMM法,而在基于GMM的计算结果中,许多海域均出现了不存在最适宜栖息地的情况(即没有 $HSI \geq 0.7$ 的海域存在),见图6。

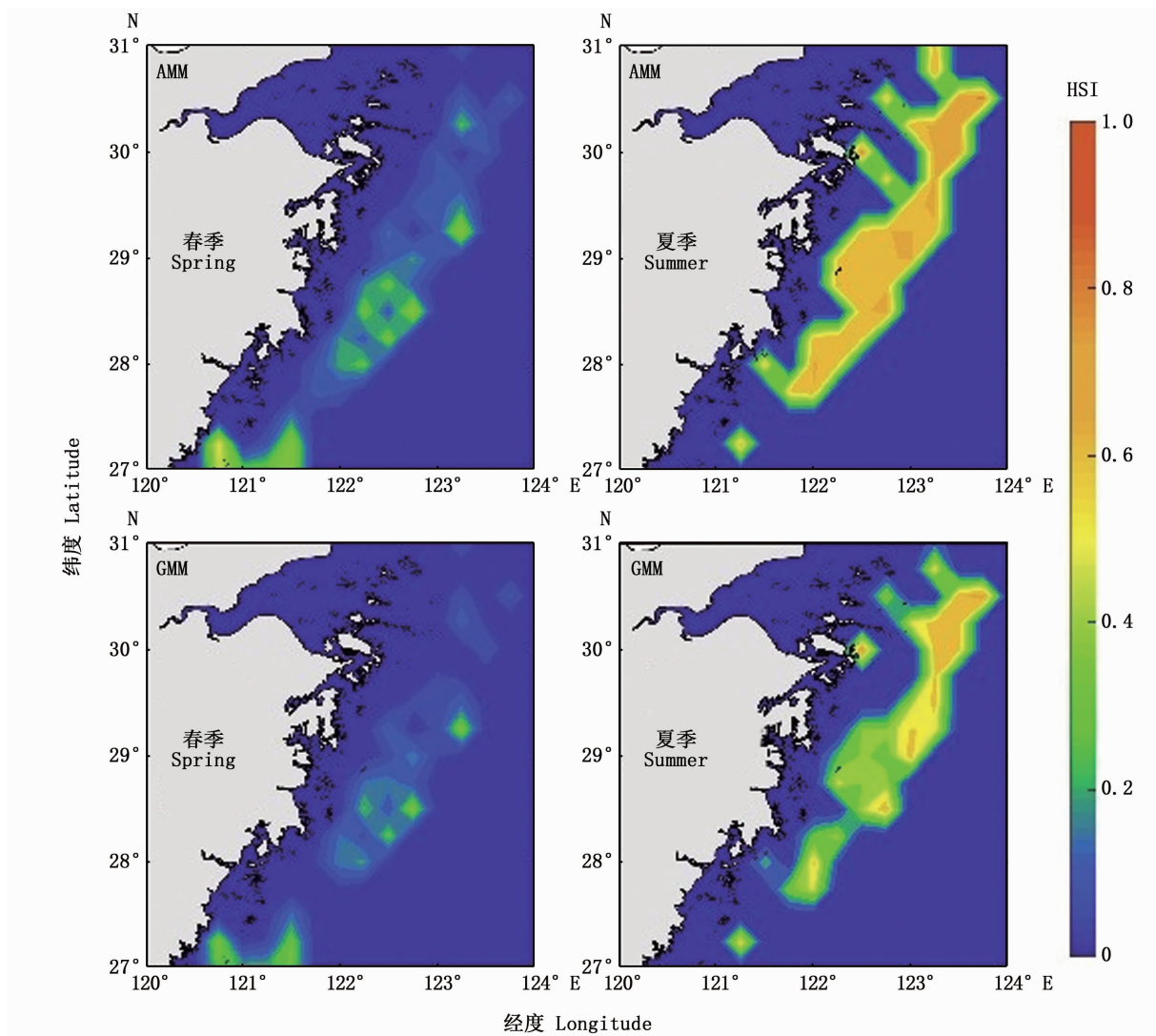


图6 不同方法计算不同季节剑尖枪乌贼栖息地适宜指数(HSI)分布图

Fig. 6 Distribution of HSI for *Uroteuthis edulis* in different seasons based on different methods

2.4 模型比较验证

根据AMM与GMM模型的交叉验证比较结果发现,无论哪个季节,用GMM法建立的模型相

较于用AMM法所建模型的AIC值更低(春季: $AIC_{AMM} = 56.236, AIC_{GMM} = 54.189$;夏季: $AIC_{AMM} = 57.387, AIC_{GMM} = 56.781$),因此GMM

法更为适宜浙江沿岸剑尖枪乌贼的栖息地研究。

3 讨论

3.1 剑尖枪乌贼栖息地的影响因素

浙江沿岸头足类资源以经济型枪乌贼类为主,剑尖枪乌贼为其中重要种类之一^[19-20]。对于中上层渔业物种来说,表层水温是影响其生活史各个阶段的主要影响因素^[21]。目前已有针对大量的渔业物种进行研究,均发现表层水温是最主要的影响因子,因此均以表层水温为主要环境因子构建栖息地模型^[13-14,22-23]。本研究根据 BRT 模型分析发现,对浙江沿岸海域剑尖枪乌贼栖息地影响最大的环境因素为海表面温度,其次为表层溶解氧,两者贡献率达到 95%,而剩余的表层盐度和叶绿素 a 质量浓度贡献率仅为 5%。剑尖枪乌贼的栖息环境主要受到黑潮主干及其分支等海流的影响,因此栖息海域温度相对较高,属于暖水性物种^[5]。相关研究认为,浙江沿岸海域剑尖枪乌贼在不同的季节对海洋环境的变化有着不同的适应性,春季 CPUE 较高的海域表层水温范围为 22 ~ 24 °C^[24],夏季则为 24 ~ 28 °C^[25],本研究中 SST 适宜性指数的峰值正好印证了该研究结果(图 2 和 3)。值得注意的是,表层溶解氧在几种环境因子中的影响占比超过了 30%(图 4)。目前由于实测数据的缺乏,溶解氧对渔业物种分布的影响研究较少。陈峰等^[26]针对浙江北部沿岸长蛸(*Octopus minor*)的分布与环境间的关系来看,认为长蛸的适宜溶解氧范围为 4 ~ 7 mg/L,6 ~ 7 mg/L 最适宜。而本研究中,剑尖枪乌贼的最适宜溶解氧范围为 7 ~ 11 mg/L,范围更大,这可能与表层溶解氧相对较高有关。头足类的所有活动均需要消耗大量氧气,溶解氧含量不适宜,都会直接影响到个体的活动^[27],因此在后续研究中应该对该环境因子加以关注。同时,浙江沿岸海域有着较高的初级生产力,因此叶绿素 a 质量浓度对剑尖枪乌贼的影响并不大,同时剑尖枪乌贼对栖息环境的盐度要求较高,主要集中栖息于盐度为 33.5 ~ 34.6 的环境中^[28],因此本研究虽然盐度的范围较大,但是适宜范围非常集中,影响程度因而大大减少。

3.2 剑尖枪乌贼栖息地的分布特征

剑尖枪乌贼主要分布在 25.5°N ~ 29.0°N, 121.2°E ~ 126.0°E 水深 100 ~ 200 m 的东海中

南部海域,分布相对较为靠近海岸。随着个体的增长,主要向东北方向洄游至对马海峡和日本海进行索饵洄游^[29]。本研究的调查范围包含了整个浙江省沿岸海域,虽然在 29°N 地区也有剑尖枪乌贼捕获,但在浙江北部海域(30°N ~ 31°N),由于靠近长江口,盐度变化范围较大,因此该海域并不适宜剑尖枪乌贼所栖息(适宜盐度在 32 ~ 34^[1,28]),因此剑尖枪乌贼的主要栖息范围仍在 27°N ~ 29°N 靠近沿岸的海域(表 1)。作为一种沿岸暖水性种类,剑尖枪乌贼在 30°N 左右的适宜水温为 22 ~ 24 °C,而在 28°N 以南海域,适宜水温为 26 ~ 29 °C^[29]。因此,本研究结果与前人的研究结果一致。东海北部的冷水、台湾暖流以及黑潮主干的延伸或退缩是影响剑尖枪乌贼渔场的主要因素^[29]。当台湾暖流的势力较强时,暖水舌会向北延伸,压缩北部冷水的范围,因此渔场会向北延伸,而台湾暖流势力较弱时,北部冷水舌向南延伸,渔场整体会南移。由于 2015 年受到极端厄尔尼诺事件的影响^[30],我国沿岸总体海表温较往年偏高,因此渔场整体稍往北移。

从不同的季节来看,剑尖枪乌贼的栖息范围也有所不同。从最适宜栖息地(HSI ≥ 0.7)比例来看,春季的适宜栖息比例较低,而夏季相对较高。从分布海域来看,春季最适栖息地范围较小,主要分布于 28°N ~ 29°N 和 121°E ~ 122°E 范围内,而在 30°N ~ 31°N 和 123°E ~ 124°E 海域内则不存在最适栖息地(表 1);夏季剑尖枪乌贼的适宜栖息地范围有所扩大,最适栖息地范围比例明显增大,同时在浙北海域(29°N ~ 31°N)的适宜栖息地明显增多,在 30°N ~ 31°N 海域的比例占到八成以上。剑尖枪乌贼的分布往往聚集于冷暖水交汇处靠近暖水团的一侧,因此在春季,表层水温相对较低,主要分布在温度较高的南部海域(27°N ~ 29°N);而在夏季,表层水温逐渐升高,因此分布相对北移(30°N ~ 31°N)。这种季节性的变化规律在许多鱼类的栖息地分布中有所体现^[31-32]。同时,这种栖息地动态性变化也为相关资源保护的政策制定提供了新的思路。

3.3 剑尖枪乌贼栖息地模型的构建

目前已有很多针对头足类的适宜栖息地研究^[31,33],但在大多数研究中环境因子的选取仍然是基于单一因子,即使利用多环境因子时往往将各环境因子的权重同等看待。不同环境因

子对头足类分布的影响不同,并不一定是等权重的。因此,准确地研究各环境因子在头足类分布中所呈现的权重对构建栖息地模型有着积极的意义。提升回归树模型(BRT)具有较高的预测精度,拟合情况也相对较好,目前已经大量应用于相关研究的建模中,进一步突显其优势^[10-11,34]。建模方法的选择中,算术平均法(AMM)和几何平均法(GMM)是计算栖息地指数的2种常用方法。本研究基于赤池信息准则(AIC)认为GMM为更适宜剑尖枪乌贼栖息地模型构建的方法。然而相同的方法对不同种类的生物建模并非一成不变,王震等^[8]研究不同的栖息地适宜性指数模型认为,几何平均法考虑了单因素SI值中极值对模型的影响,因此估算效果明显要低于算术平均法,同时所估算的参数越少越好。2种方法各有优缺点,在后续的分析中应该更注意建模过程中的特定条件,选择合适的建模方法。

本文根据2014—2016年春夏季浙江沿岸剑尖枪乌贼调查数据,选取4个环境因子,以提升回归树方法设定因子权重,并利用栖息地指数模型估算不同季节剑尖枪乌贼的栖息地分布情况,为后续剑尖枪乌贼的资源开发利用和保护区的设定用提供了依据。后续的研究应当更多地考虑环境变化对剑尖枪乌贼栖息地的影响,分析在极端气候条件下物种的栖息地变化规律^[35],为科学合理地利利用安排渔业生产提供技术支持。

参考文献:

- [1] 陈新军,刘必林,王尧耕. 世界头足类[M]. 北京:海洋出版社,2009.
CHEN X J, LIU B L, WANG Y G. Cephalopod of the world [M]. Beijing: Ocean Press, 2009.
- [2] 徐至正. 利用平衡石结构及化学讯号判别台湾东北部海域剑尖枪乌贼之孵化群差异[D]. 基隆:台湾海洋大学,2014.
HSU Z Z. Hatching cohort discrimination of swordtip squid (*Uroteuthis edulis*) off northeastern Taiwan in statolith structure and chemical signatures [D]. Keelung: Taiwan Ocean University, 2014.
- [3] JEREB P, ROPER C F E, FAO R. Cephalopods of the world. an annotated and illustrated catalogue of cephalopod species known to date. volume 2. myopsid and oegopsid squids [J]. FAO Species Catalogue for Fishery Purposes, 2010, 2(42): 1020-8682.
- [4] JEREB P, ROPER C F E. Cephalopods of the Indian ocean. A review. Part I. inshore squids (Ioliginidae) collected during the international Indian ocean expedition [J]. Proceedings of the Biological Society of Washington, 2006, 119(1): 91-136.
- [5] 李楠,方舟,陈新军. 东海北部外海剑尖枪乌贼渔业生物学特征[J]. 上海海洋大学学报,2020,29(4): 622-631.
LI N, FANG Z, CHEN X J. Fisheries biology characteristics of *Uroteuthis edulis* off the northern East China Sea [J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2020, 29(4): 622-631.
- [6] ARKHIPKIN A I, RODHOUSE P G K, PIERCE G J, et al. World squid fisheries [J]. Reviews in Fisheries Science & Aquaculture, 2015, 23(2): 92-252.
- [7] 徐开达,朱文斌,李鹏飞,等. 东海北部浅海渔场头足类的数量分布[J]. 浙江海洋学院学报(自然科学版),2008,27(1): 27-31.
XU K D, ZHU W B, LI P F, et al. Quantitative distribution of cephalopod in the shallow sea fishing ground of the Northern East China Sea [J]. Journal of Zhejiang Ocean University (Natural Science), 2008, 27(1): 27-31.
- [8] 王震,陈新军,雷林. 东太平洋长鳍金枪鱼栖息地指数模型的比较[J]. 广东海洋大学学报,2017,37(1): 58-64.
WANG Z, CHEN X J, LEI L. Comparison of *Thunnus alalunga* in the eastern Pacific based on habitat suitability index model [J]. Journal of Guangdong Ocean University, 2017, 37(1): 58-64.
- [9] 冯志萍,余为,陈新军,等. 基于不同权重栖息地模型的秘鲁外海茎柔鱼渔场分析[J]. 上海海洋大学学报,2020,29(6): 878-888.
FENG Z P, YU W, CHEN X J, et al. Analysis of fishing ground of jumbo flying squid *Dosidicus gigas* in the southeast Pacific Ocean off Peru based on weighting-based habitat suitability index model [J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2020, 29(6): 878-888.
- [10] 高峰,陈新军,官文江,等. 基于提升回归树的东、黄海鲈鱼渔场预报[J]. 海洋学报,2015,37(10): 39-48.
GAO F, CHEN X J, GUAN W J, et al. Fishing ground forecasting of chub mackerel in the Yellow Sea and East China Sea using boosted regression trees [J]. Acta Oceanologica Sinica, 2015, 37(10): 39-48.
- [11] 张云雷,薛莹,于华明,等. 海州湾春季皮氏叫姑鱼栖息地适宜性研究[J]. 海洋学报,2018,40(6): 83-91.
ZHANG Y L, XUE Y, YU H M, et al. Study on the habitat suitability of *Johnius belangerii* during spring in the Haizhou Bay, China [J]. Acta Oceanologica Sinica, 2018, 40(6): 83-91.
- [12] 陈峰,瞿俊跃,方舟,等. 浙江省沿岸春秋头足类群落结构变化分析[J]. 水产学报,2020,44(8): 1317-1328.
CHEN F, QU J Y, FANG Z, et al. Variation of community structure of cephalopods in spring and autumn along the coast of Zhejiang Province [J]. Journal of Fisheries of China,

- 2020, 44(8): 1317-1328.
- [13] 陈程, 陈新军, 汪金涛, 等. 基于栖息地指数模型的摩洛哥底拖网渔场研究[J]. 广东海洋大学学报, 2016, 36(1): 63-67.
CHEN C, CHEN X J, WANG J T, et al. Study on fishing ground of bottom trawl based on the habitat suitability model in the coastal waters of Morocco[J]. Journal of Guangdong Ocean University, 2016, 36(1): 63-67.
- [14] 王易帆, 陈新军. 中西太平洋鳶栖息地指数预报模型比较研究[J]. 上海海洋大学学报, 2017, 26(5): 743-750.
WANG Y F, CHEN X J. Comparisons of habitat suitability index models of skipjack tuna in the western and central Pacific Ocean[J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2017, 26(5): 743-750.
- [15] ELITH J, LEATHWICK J R, HASTIE T. A working guide to boosted regression trees[J]. Journal of Animal Ecology, 2008, 77(4): 802-813.
- [16] FRIEDMAN J H. Greedy function approximation: a gradient boosting machine[J]. Annals of Statistics, 2001, 29(5): 1189-1232.
- [17] BREIMAN L, FRIEDMAN J, STONE C J, et al. Classification and regression trees[M]. Belmont, California: Wadsworth International Group, 1984.
- [18] TANAKA K, CHEN Y. Spatiotemporal variability of suitable habitat for American lobster (*Homarus americanus*) in Long Island Sound[J]. Journal of Shellfish Research, 2015, 34(2): 531-543.
- [19] 俞存根, 虞聪达, 宁平, 等. 浙江南部外海头足类种类组成和数量分布[J]. 海洋渔业, 2009, 31(1): 27-33.
YU C G, YU C D, NING P, et al. Species composition and quantitative distribution of cephalopod in the offshore waters of southern Zhejiang Province[J]. Marine Fisheries, 2009, 31(1): 27-33.
- [20] 覃涛, 俞存根, 陈全震, 等. 舟山渔场及邻近海域头足类(Cephalopod)种类组成和数量分布[J]. 海洋与湖沼, 2011, 42(1): 124-130.
QIN T, YU C G, CHEN Q Z, et al. Species composition and quantitative distribution study on Cephalopod in the Zhoushan fishing ground and adjacent waters[J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2011, 42(1): 124-130.
- [21] RODHOUSE P G. Managing and forecasting squid fisheries in variable environments[J]. Fisheries Research, 2001, 54(1): 3-8.
- [22] 李英雪, 陈新军, 郭爱, 等. 不同时空尺度下近海日本鲭栖息地模型比较[J]. 水产学报, 2019, 43(4): 935-945.
LI Y X, CHEN X J, GUO A, et al. Comparison of habitat suitability index model for *Scomber japonicus* in different spatial and temporal scales[J]. Journal of Fisheries of China, 2019, 43(4): 935-945.
- [23] 马孟磊, 陈新军, 陈作志, 等. 南太平洋长鳍金枪鱼栖息地指数模型的比较研究[J]. 广东海洋大学学报, 2017, 37(3): 59-66.
MA M L, CHEN X J, CHEN Z Z, et al. A Comparative study on habitat suitability index of *Thunnus alalunga* in the south Pacific Ocean[J]. Journal of Guangdong Ocean University, 2017, 37(3): 59-66.
- [24] LIAO C H, LAN K W, HO H Y, et al. Variation in the catch rate and distribution of swordtip squid *Uroteuthis edulis* associated with factors of the oceanic environment in the southern East China Sea[J]. North China Electric Power University Beijing, 2018, 10(4): 452-464.
- [25] 何欣颖. 海洋环境变动对台湾东北部海域棒受网渔业剑尖枪锁管渔获率与分布关系之研究[D]. 基隆: 台湾海洋大学, 2016.
HO H Y. Ocean variations in relate to catch rates and distributions of swordtip squid (*Uroteuthis edulis*) of stick-held dip net fishery in the northeastern waters of Taiwan[D]. Keelung: Taiwan Ocean University, 2016.
- [26] 陈峰, 李楠, 方舟, 等. 浙江北部沿岸春夏季长蛸时空分布及其与海洋环境的关系[J]. 上海海洋大学学报, 2019, 28(3): 438-447.
CHEN F, LI N, FANG Z, et al. Relationship between spatial-temporal distribution of long-arm octopus *Octopus minor* and oceanographic environmental factors along north coast of Zhejiang Province during spring and summer[J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2019, 28(3): 438-447.
- [27] VALVERDE J C, GARCIA B G. Suitable dissolved oxygen levels for common octopus (*Octopus vulgaris* Cuvier, 1797) at different weights and temperatures; analysis of respiratory behaviour[J]. Aquaculture, 2005, 244(1/4): 303-314.
- [28] 方瑞生. 东黄海鲑鱼渔场环境初步研究[J]. 海洋渔业, 1994(6): 249-253, 256.
FANG R S. Preliminary study on the environment of squid fisting grounds in the East China Sea and Yellow Sea[J]. Marine Fisheries, 1994(6): 249-253, 256.
- [29] 陈新军, 王尧耕, 钱卫国. 中国近海重要经济头足类资源与渔业[M]. 北京: 科学出版社, 2013: 44-51.
CHEN X J, WANG Y G, QIAN W G. Important cephalopod resources and fisheries in the coast of China[M]. Beijing: Science Press, 2013: 44-51.
- [30] SANTOSO A, MCPHADEN M J, CAI W J. The defining characteristics of ENSO extremes and the strong 2015/2016 El Niño[J]. Reviews of Geophysics, 2017, 55(4): 1079-1129.
- [31] 易倩, 余为, 陈新军. 西北太平洋柔鱼栖息地适宜性变动研究[J]. 海洋渔业, 2019, 41(3): 257-265.
YI Q, YU W, CHEN X J. Habitat suitability variations of *Ommastrephes bartramii* in the northwest Pacific[J]. Marine Fisheries, 2019, 41(3): 257-265.
- [32] 易炜, 郭爱, 陈新军. 不同环境因子权重对东海鲑鱼栖息地模型的影响研究[J]. 海洋学报, 2017, 39(12): 90-97.
YI W, GUO A, CHEN X J. A study on influence of different

- environmental factors weights on the habitat model for *Scomber japonicus*[J]. Acta Oceanologica Sinica, 2017, 39(12): 90-97.
- [33] 崔雪森, 周为峰, 唐峰华, 等. 基于约束线性回归的柔鱼栖息地指数渔场预报模型构建[J]. 渔业科学进展, 2018, 39(1): 64-72.
- CUI X S, ZHOU W F, TANG F H, et al. The construction of habitat suitability index forecast model of *Ommastrephes bartramii* fishing ground based on constrained linear regression [J]. Progress in Fishery Sciences, 2018, 39(1): 64-72.
- [34] 方舟, 陈洋洋, 陈新军, 等. 基于不同模型研究环境因子对中西太平洋鳀资源丰度的影响[J]. 中国水产科学, 2018, 25(5): 1123-1130.
- FANG Z, CHEN Y Y, CHEN X J, et al. Influence of environmental factors on the abundance of skipjack tuna (*Katsuwonus pelamis*) in west-central Pacific Ocean determined using different models [J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2018, 25(5): 1123-1130.
- [35] 郭爱, 张扬, 余为, 等. 两类强度厄尔尼诺和拉尼娜事件对中国近海鲈鱼栖息地的影响[J]. 海洋学报, 2018, 40(12): 58-67.
- GUO A, ZHANG Y, YU W, et al. Influence of El Niño and La Niña with different intensity on habitat variation of chub mackerel *Scomber japonicas* in the coastal waters of China [J]. Acta Oceanologica Sinica, 2018, 40(12): 58-67.

Habitat distribution change pattern of *Uroteuthis edulis* during spring and summer in the coastal waters of Zhejiang Province

CHEN Feng^{1,2}, LI Nan¹, FANG Zhou^{1,3,4,5,6}, LIANG Jun², ZHANG Hongliang², ZHOU Yongdong², JIANG Rijin²

(1. College of Marine Sciences, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 2. Marine Fisheries Research Institute of Zhejiang Province, Zhoushan 316021, Zhejiang, China; 3. Key Laboratory of Sustainable Exploitation of Oceanic Fisheries Resources, Ministry of Education, Shanghai 201306, China; 4. National Engineering Research Center for Oceanic Fisheries, Shanghai 201306, China; 5. Key Laboratory of Oceanic Fisheries Exploration, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Shanghai 201306, China; 6. Scientific Observing and Experimental Station of Oceanic Fishery Resources, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Shanghai 201306, China)

Abstract: According to the coastal survey of Zhejiang Province from 2014 to 2016, the *Uroteuthis edulis* was selected as target species, using boosted regression tree (BRT) to determine the weight of different environmental factors, and also utilize the arithmetic mean model (AMM) and geometric mean model (GMM) to construct the multifactor habitat suitability index (HSI) model. The results showed that the suitable range of sea surface temperature (SST), sea surface salinity (SSS), chlorophyll-a (*Chl. a*) and dissolved oxygen (DO) in spring for *U. edulis* habitat area was 22–24 °C, 34–36, 0.5–1.5 mg/m³, 8–10 mg/L, respectively; the suitable range of SST, SSS, *Chl. a* and DO in summer for *U. edulis* was 23–24 °C, 31–34, 0.5–1.5 mg/m³ and 7–11 mg/L, respectively, little seasonal variation was observed; the results of BRT showed that SST was the most important environmental factor, and the other factors ranked as DO, *Chl. a* and DO, respectively. The spatiotemporal distribution *U. edulis* is: HSI in spring is relatively low, and occurred in the southern area (27°N–29°N); in summer, HSI is relatively high and often occurred in the northern area (30°N–31°N). Compared with two different algorithms, GMM had lower AIC value than that of AMM, so GMM is more suitable for the habitat suitability study of *U. edulis*. The optimal habitat distribution of *U. edulis* in the coast of Zhejiang Province is closely related with some factors, such as the oceanographic variation and current change.

Key words: coast of Zhejiang; *Uroteuthis edulis*; habitat suitability; AMM; GMM