

文章编号: 1674-5566(2019)03-0438-10

DOI:10.12024/jsou.20181202486

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

陈峰^{1,2}, 李楠¹, 方舟^{1,3,4,5,6}, 申丰源¹, 张洪亮², 周永东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 年春夏季浙江北部沿岸拖网调查数据, 选取时空因子(年、月、经纬度)和环境因子(底层温度 SBT、底层盐度 SBS、深度 Depth 和溶解氧 DO), 分析长蛸(*Octopus minor*)资源的时空分布情况, 并利用提升回归树(boosted regression tree, BRT)模型研究各因子对长蛸资源丰度(以渔获量 g/h 表示)的影响程度。结果表明: 2014 年的平均渔获量明显高于 2015 和 2016 年, 同一年中 4 月份的渔获量均高于其他月份; 主要渔获量分布在 122.75°E~123.25°E, 30°N~30.5°N 之间; 2015 年的渔场重心较其他年份略向北移动, 4 月至 6 月间渔场重心向东北方向移动, 但变化不明显; 选择以学习率(learning rate, lr)为 0.001 和复杂度(tree complexity, tc)为 4 的模型来建立时空环境因子与渔获量的关系, 发现溶解氧对渔获量的影响最大, 占有影响因子的 45.5%; 其次为年和盐度, 随后依次为深度(10.7%)、底层温度(7.3%)、纬度(4.7%)、月(4.7%)以及经度(2.3%)。相比较时空因子而言, 环境因子对长蛸的渔获量影响更大。溶解氧是直接长蛸活动的重要因素, 后续研究应该对此因子提高关注。

关键词: 浙江北部; 长蛸; 时空分布; 环境因子; 提升回归树

中图分类号: S 932.8

文献标志码: A

长蛸(*Octopus minor*)隶属于头足纲(Cephalopoda), 八腕目(Octopoda), 蛸科(Octopodidae), 广泛分布于中国、韩国和日本的温带沿岸海域, 在我国各海域沿岸均有分布^[1-2]。浙江的近海海域具有丰富的头足类资源, 随着日本无针乌贼(*Sepiella japonica*)经历了过度开发直接导致资源量下降后, 许多新的头足类资源种类被不断地开发^[3-5]。近些年来, 针对浙江沿岸海域的头足类群落分布的变化已有较多的研究^[3,5], 头足类群落的种类组成已经发生了很大的变化: 以往主要为以日本无针乌贼为主的乌贼科(Sepiidae)种类和以剑尖枪乌贼(*Loligo edulis*)为主的枪乌贼科(Loliginidae)种类^[4-5]组成; 近些年来, 长蛸、短蛸(*Amphioctopus fangsiao*)等蛸科种类在春夏季的浙江北部近岸海域占有较大的比重, 且不同年月间存在较大的差异^[3,5]。海洋

环境是影响头足类栖息分布的主要因素^[6], 而目前研究主要集中在远洋中上层柔鱼类中^[7-8], 而针对海洋环境对蛸类分布影响的研究却很少。前人研究通常利用广义加性模型(generalized additive model, GAM)来作为主要研究方法^[9], 近些年来, 随着计算机技术的不断发展, 机器学习方法也逐渐被人们所熟知, 其中提升回归树(boosted regression tree, BRT)方法以其优良的算法, 很好地结合了提升(boosting)和分类回归树(classification and regression tree, CART)两种技术, 通过将大量的简单决策树组合来达到优化模型的目的^[10-11], 并应用于渔业相关分析^[12]中。因此, 本研究基于多年对浙江北部近岸海域的拖网调查数据, 选取长蛸这一常见种类, 分析其时空分布变化, 并利用提升回归树方法研究影响长蛸分布的主要环境因素, 为合理开发我国近岸头足

收稿日期: 2018-12-25 修回日期: 2019-01-24

基金项目: 国家自然科学基金面上项目(41476129); 浙江省科研院所专项(2016F30018, 2017C32031); 农业农村部外海渔业开发重点实验室开放课题(LOF 2018-02)

作者简介: 陈峰(1984—), 男, 助理研究员, 研究方向为近海渔业资源。E-mail: cf0421223@163.com

通信作者: 方舟, E-mail: zfang@shou.edu.cn

类资源和渔业政策管理提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 调查区域及站点

本研究调查区域位于浙江北部沿岸海域(122°E~124°E,29°N~31°N),调查时间集中在春夏季,分别为2014年4—7月,2015年4—5和7月以及2016年4—5月,上述月份每月均开展一个航次调查,共设站点45个,2014年共调查站点40个,2015年为35个,2016年为38个,分布如图1。

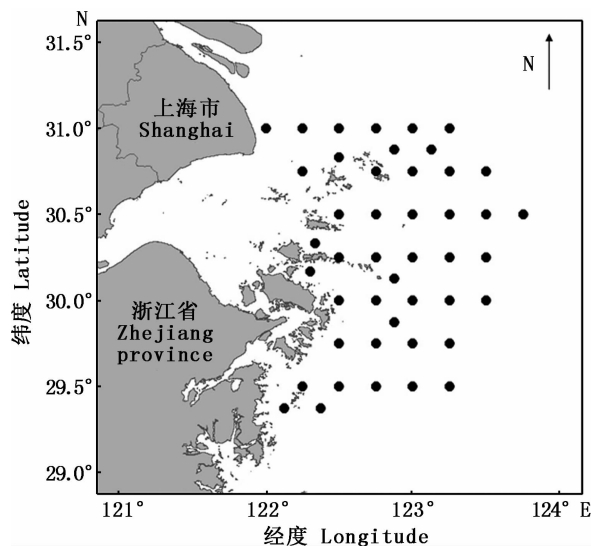


图1 浙江北部沿岸海域调查站点图

Fig.1 Sampling stations of survey along north coast of Zhejiang province

1.2 调查船渔具及作业参数

调查船为“浙普渔43019号”,船长30 m,型宽6 m,总吨位96 t,主机功率184 kW;调查渔具针对调查海域水深、底质状况定制的单船底层有翼单囊拖网,网具主尺度58 m×28 m,上纲长40 m、下纲长45 m、网目尺寸25 mm。作业期间渔船拖速在2.5~3.5 kn范围内,站位拖曳时间在0.5~1.0 h内,均白天进行作业调查。拖曳时为确保网具性能发挥,视水深、流速等具体情况适时调整浮沉力、拖速、曳纲长度等参数。

1.3 数据分析

1.3.1 渔获物统计

每网调查的渔获物带回实验室,首先进行分类系统整理,然后挑选出长蛸,统计体质量和尾数。由于每网次的拖网时间和拖速均不同,为了

能够更好地分析数据,将拖网时间均设定为1 h,拖速为3 kn进行标准化处理,从而得到对应的长蛸单位网次的相对渔获量($C, g/h$)。

1.3.2 时空分布变化规律

由于各个调查站点的渔获量的值相差较大,因此将所计算的相对渔获量进行对数转换 $\ln(C+1)$,使数据服从正态分布^[7]。同时,为了研究长蛸的时空分布变化,将转换后的相对渔获量对年度平均和月度平均分别进行统计,绘制对应的时空分布变化图,同时根据统计结果,计算3年均有的调查月份,4月和5月的渔场重心,计算公式^[8]如下:

$$X = \frac{\sum_{i=1}^j (C_i \times X_i)}{\sum_{i=1}^j C_i} \quad (1)$$

$$Y = \frac{\sum_{i=1}^j (C_i \times Y_i)}{\sum_{i=1}^j C_i} \quad (2)$$

式中: X 、 Y 分别为某一月份的渔获量重心位置,分别是经度和纬度; C_i 为站点 i 的渔获量; X_i 为某一月份站点 i 中心点的经度; Y_i 为某一月份站点 i 中心点的纬度; j 为某一月份站点的总个数。

1.3.3 主要影响环境因子

长蛸是典型的底栖型物种,因此本研究选择的主要因子为底层温度(sea bottom temperature, SBT)、底层盐度(sea bottom salinity, SBS)、溶解氧(dissolved oxygen, DO)、捕捞深度(Depth),以及时空因子年(Year)、月(Month)、经度(Longitude)和纬度(Latitude)。目前有较多的模型用于分析渔获量与环境之间的关系,如广义线性模型(generalized linear model, GLM)、GAM和随机森林等。本研究采用提升回归树模型(BRT),主要内容可理解为 M 棵分类回归树相加的形式:

$$f(X) = \sum_{m=1}^M T_m(X, \gamma_m) \quad (3)$$

式中: X 为SBT、SBS等预测变量, $T_m(X, \gamma_m)$ 为第 m 棵分类回归树, γ_m 为其参数,代表了该决策树的分裂点和每个叶子节点的赋值,求解 γ_m 的过程即单棵决策树的学习过程。

通过逐步迭代法来对确定的决策树进行学习。学习过程中,需要针对装袋分数(bagging fraction)、学习率(learning rate, lr)和树的复杂度(tree complexity, tc)3项参数进行选择,本研究中装袋分数选择0.5,lr和tc需要模拟不同的设置来优化选择,本研究选择设置lr为0.001、0.005和0.01,tc为1、2、4和8,通过模型预测过程和预

测偏差选择最优 lr 和 tc , 具体方法参考高峰等^[12]。确定最佳决策树数量后, 计算提升回归树中的预测因子相对重要性的平方, 通过归一化处理, 使得所有因子相加之和为 1, 以百分数的形式表征因子的影响程度。

上述分析均使用 R 3.2.3 软件进行分析^[13], 其中绘图使用“ggplot2”、“sp”和“maptools”包, BRT 模型分析使用“gbm”包。

2 结果

2.1 不同年月长蛸资源的变化规律

分析结果表明, 从月平均渔获量来看, 2014 年 4 月和 5 月的长蛸资源要明显高于 2015 和

2016 年(表 1)。2014 年 4—7 月平均相对渔获量 (41 529.99 g/h) 为 2015 年 4—5、7 月平均相对渔获量 (6 805.81 g/h) 的 6 倍多, 是 2016 年 4—5 月平均相对渔获量 (20 937.93 g/h) 的 2 倍多。从月间分布来看, 4 月份渔获量相对较高, 5 月份开始有所下降, 而在 6—7 月份再度回升。对比相同的月份: 4 月份, 2016 年的渔获量最高, 平均对数渔获量为 6.85 g/h, 2015 年的渔获量最低, 平均对数渔获量仅为 5.78 g/h; 5 月份, 2014 年的渔获量最高, 平均对数渔获量为 6.51 g/h, 2015 年的渔获量最低, 平均对数渔获量仅为 4.24 g/h。不同年月间的差异明显。

表 1 不同年月长蛸资源量变化

Tab. 1 Biomass variation of *Octopus minor* in different years and months

g/h

年份 Year	渔获量	月份 Month				月平均渔获量 Mean monthly catch
		4 月 April	5 月 May	6 月 June	7 月 July	
2014	相对渔获量 Relative C	30 679.21	33 032.47	74 370.05	28 038.23	41 529.99
	对数相对渔获量 Relative $\ln(C+1)$	143.84	182.40	192.13	111.70	157.52
	平均对数渔获量 Mean $\ln(C+1)$	6.54	6.51	6.86	6.98	6.72
2015	相对渔获量 Relative C	7 923.06	3 265.15	-	9 229.24	6 805.81
	对数相对渔获量 Relative $\ln(C+1)$	109.84	88.98	-	76.31	91.71
	平均对数渔获量 Mean $\ln(C+1)$	5.78	4.24	-	6.36	5.46
2016	相对渔获量 Relative C	33 747.46	8 128.40	-	-	20 937.93
	对数相对渔获量 Relative $\ln(C+1)$	150.84	138.00	-	-	144.42
	平均对数渔获量 Mean $\ln(C+1)$	6.85	5.11	-	-	5.98

以 4—5 月为例, 2014 和 2016 年在几乎所有的站点均有长蛸捕获, 而 2015 年有近一半的站点未捕获长蛸个体。2014 和 2016 年渔获量较高的站点主要分布在 30°N, 123°E 附近; 而 2015 年则主要分布在 30.5°N ~ 31°N, 122.5°E ~ 130°E 范围内, 渔场略微向北移动(图 2a)。从月间变化来看, 2014 年 4—5 月渔场重心由南向北移动, 2016 年渔场重心由北向南略微移动, 而 2015 年渔场重心呈现自西向东移动的规律(图 2b)。

2.2 不同经纬度长蛸资源的变化规律

不同经纬度的长蛸渔获量存在一定的差异。调查统计发现, 主要渔获量分布在 122.75°E ~ 123.25°E, 30°N ~ 30.5°N 海域。在经度上, 123°E 的累积对数渔获量 $[\ln(C+1)]$ 最高, 为 306.73 g/h, 占总渔获量的 25.68%, 其次为 122.75°E, 为 297.51 g/h, 占总渔获量的 24.91%, 优势经度分

布范围在 122.75°E ~ 123.25°E, 占总渔获量的 72.45%; 在纬度上, 30°N 的累积对数渔获量 $[\ln(C+1)]$ 最高, 为 248.58 g/h, 占总渔获量的 20.82%, 其次为 30.5°N, 为 195.81 g/h, 占总渔获量的 16.40%, 优势纬度分布范围在 29.75°N ~ 30.5°N, 占总渔获量的 66.18%。见图 3。

以 2014 年为例, 不同月份的渔场变化如图 4。4 月份的渔获量主要分布在 122.75°E ~ 123.25°E, 29.5°N ~ 30.75°N; 5 月份的渔获量主要分布在 122.75°E ~ 123.25°E, 29.5°N ~ 30°N; 6 月份的渔获量主要分布在 123°E ~ 124°E, 30°N ~ 30.75°N; 7 月份的渔获量主要分布在 122.75°E ~ 123.25°E, 29.75°N ~ 30.25°N。从月间的渔场重心变化来看, 4 月至 6 月的渔场重心一直向东北方向移动, 到 7 月份, 渔场重心稍往西南方向移动。

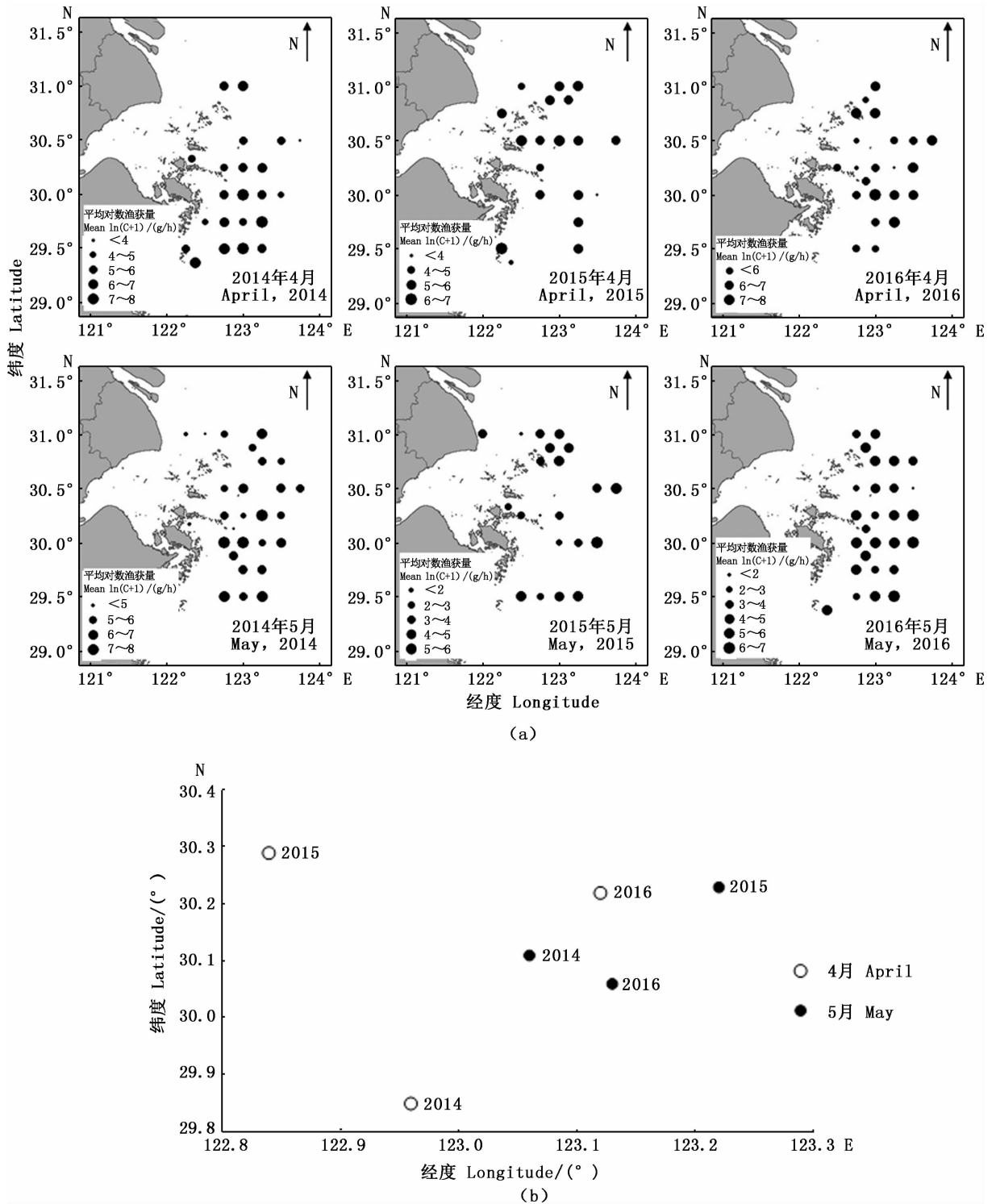


图2 不同年月长蛸平均对数渔获量分布(a)及渔场重心变化(b)
 Fig.2 Distribution of *Octopus minor* mean log catch(a) and variation of fishing ground gravity (b) in different years and months

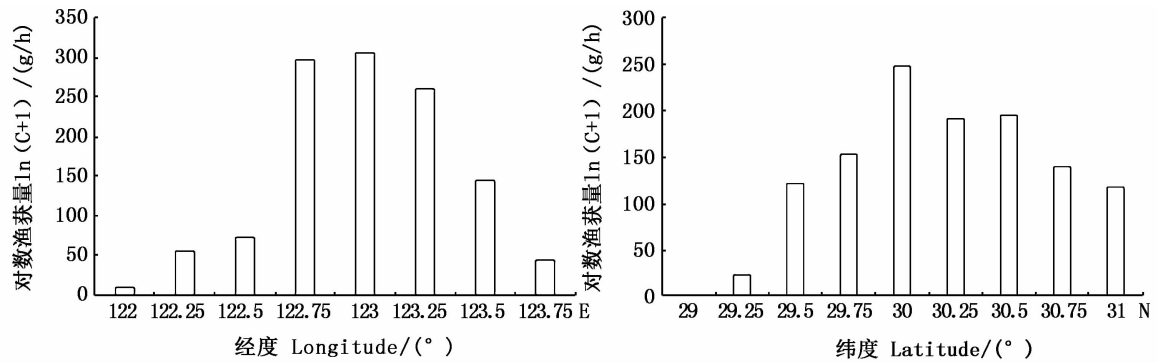


图3 不同经纬度长蛸对数渔获量分布

Fig. 3 Distribution of *Octopus minor* log catch in different longitude and latitude

2.3 不同环境因素对长蛸渔获量的影响

对3种不同学习率(lr)和4种复杂度(tc)进行模拟分析。结果发现,lr为0.01时,tc为1、2、4和8的模型在500棵决策树前预测偏差处于下降趋势,且在tc为4时在1900棵决策树达到最小预测值,其平均预测偏差为1.54。lr为0.005时,tc为1、2、4和8的模型在1000棵决策树前预测偏差处于下降趋势,且在tc为4时在1800棵决策树达到最小预测值,其平均预测偏差为1.53。lr为0.001时,分支树的数量较大,在2000棵决策树以内预测偏差均处在下降状态,2000~8000棵之间的决策树趋于平缓,且在tc为4时在8050棵决策树达到最小预测值,其平均预测偏差为1.52,拟合曲线均较为平滑。见图5。因此,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。

提升回归树分析发现:底层溶解氧对渔获量的影响最大,占有影响因子的45.5%;年和盐度分别为第二和第三位,分别占13.1%和11.6%;随后依次为深度(10.7%)、底层温度(7.3%)、纬度(4.7%)、月(4.7%)以及经度(2.3%)。可见环境因子所占的比例较大。从环境因子变化上来看,溶解氧为4~7 mg/L,渔获量随溶解氧含量的上升而上升,随后在达到8 mg/L之前大幅下降;底层盐度在33~35出现震荡变化;深度变化在30 m以下较低,在50 m达到较高的水平,随后再次下降;其他的因子变化不明显。在时空因子中:年效应在2014年处于较高位置,渔获量较高,在2015和2016年处于较低位置,渔获量较低;月效应在4月份处在高位,其他月份波动不大;纬度在29.5°N~30°N有小幅上升;经

度在122.5°E后存在阶梯式上升。见图6。

3 讨论与分析

浙江近岸的头足类资源非常丰富,根据前人^[14-15]的研究发现,主要以经济型的枪乌贼类(剑尖枪乌贼 *L. edulis* 和杜氏枪乌贼 *Loligo duvaucelii*)、乌贼类(日本无针乌贼 *S. japonica*、虎斑乌贼 *Sepia pharaonic* 和神户乌贼 *Sepia kobeensis*)和小型头足类(多钩钩腕乌贼 *Abralia multihamata* 和柏氏四盘耳乌贼 *Euprymna berryi*)为主。近些年来,由于过度捕捞,一些常见的经济型种类资源不断下降,而新的头足类资源(如太平洋褶柔鱼 *Todarodes pacificus* 和金乌贼 *Sepia esculenta*)则开始不断地被利用^[16]。近年的调查发现,东海近岸营养盐类在底层含量最高^[17],因此这也直接影响了蛸类的资源(主要是长蛸和短蛸)分布^[3,5]。长蛸在舟山群岛海域(即本研究海域)分布广泛,根据吴常文等^[18]报道,长蛸繁殖期一般在3—6月,在4—5月的旺季,长蛸会从深水向浅水区移动,到近海各岛礁区产卵。研究发现,4月份的渔获量在历年中均为最高,也进一步验证了长蛸的生活习性。覃涛等^[3]认为,夏季长蛸在舟山渔场的渔获量为1000~20000 g/h,其中有部分站点为5000~20000 g/h。本研究中,在4—5月,有4个站点的渔获量超过5000 g/h,与前述研究中出现的情况类似。根据吴常文等^[18]的描述,4—5月捕获的个体大多数为繁殖群体或繁殖后索饵群体,因此大多停留在浅水区海域。根据本研究中长蛸的渔场重心变化来看,虽然有逐步向西北方向移动的趋势,但是移动的经纬度范围非常小,基本上在123°E、30°N

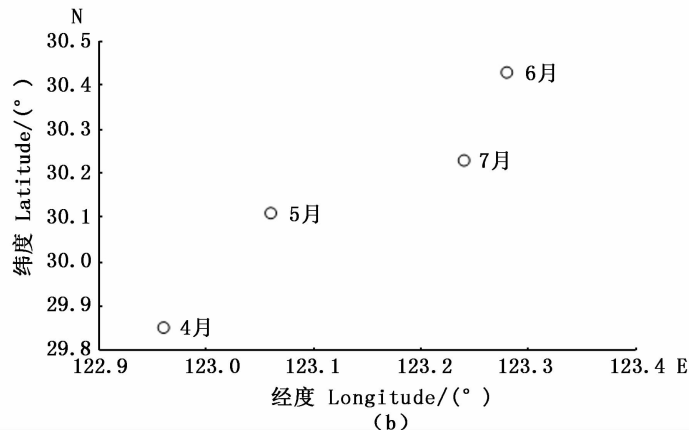
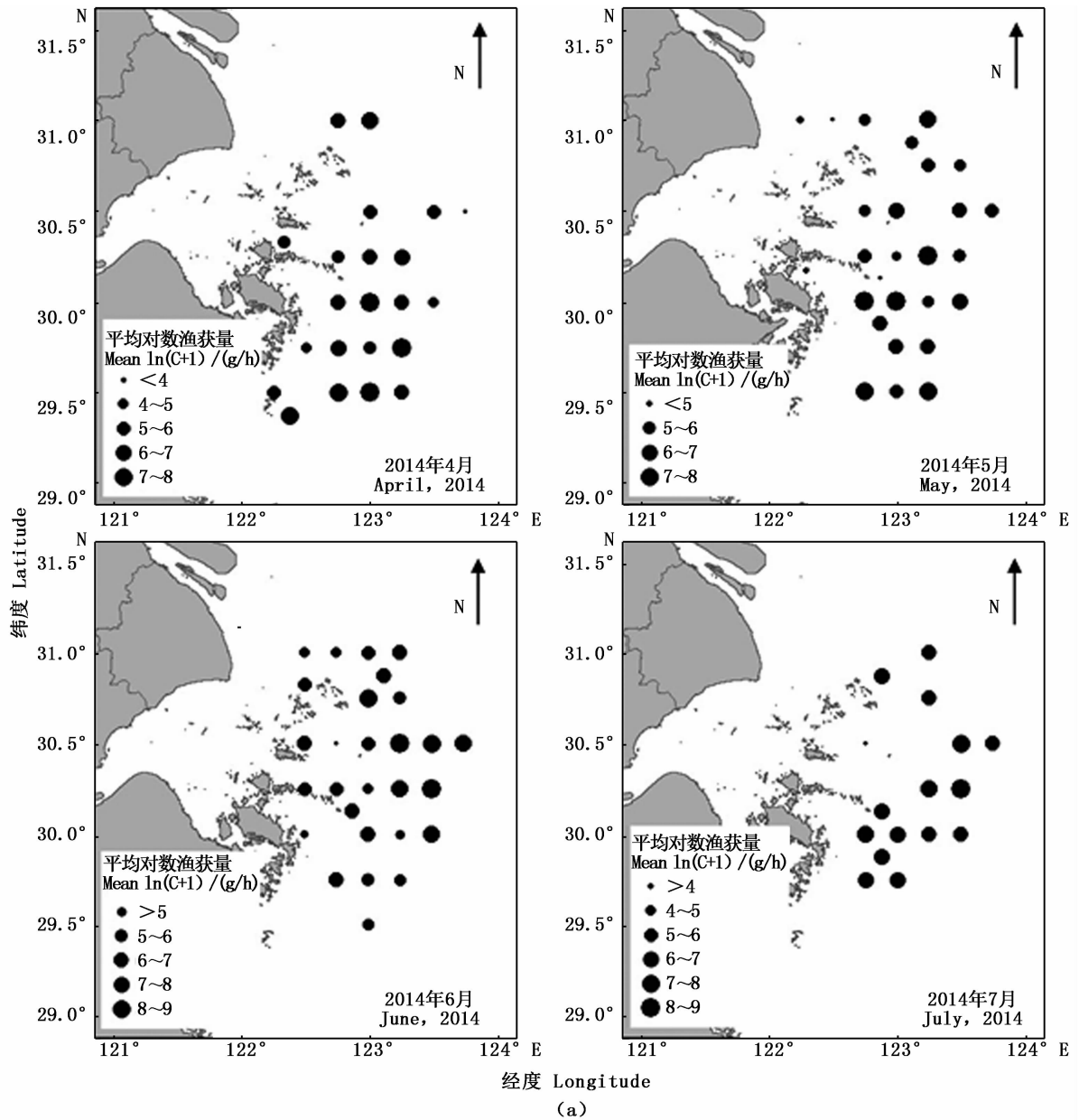


图 4 不同月份长蛸平均对数渔获量经纬度分布 (a) 及渔场重心分布 (b)
 Fig. 4 Longitude and latitudinal distribution of *Octopus minor* mean log catch (a)
 and fishing ground gravity (b) in different months

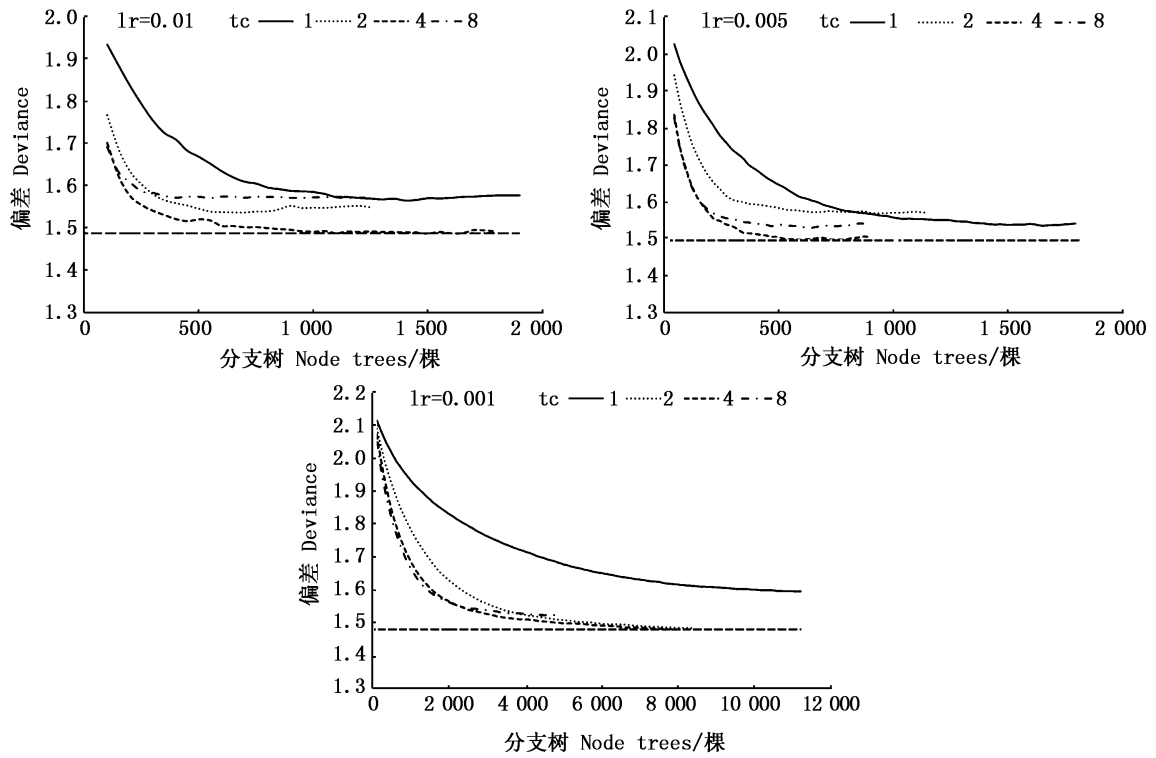


图5 不同学习率和复杂度下预测偏差与分支树的关系

Fig.5 The relationship between predictive deviance and number of node trees for models fitted with learning rate and tree complexity

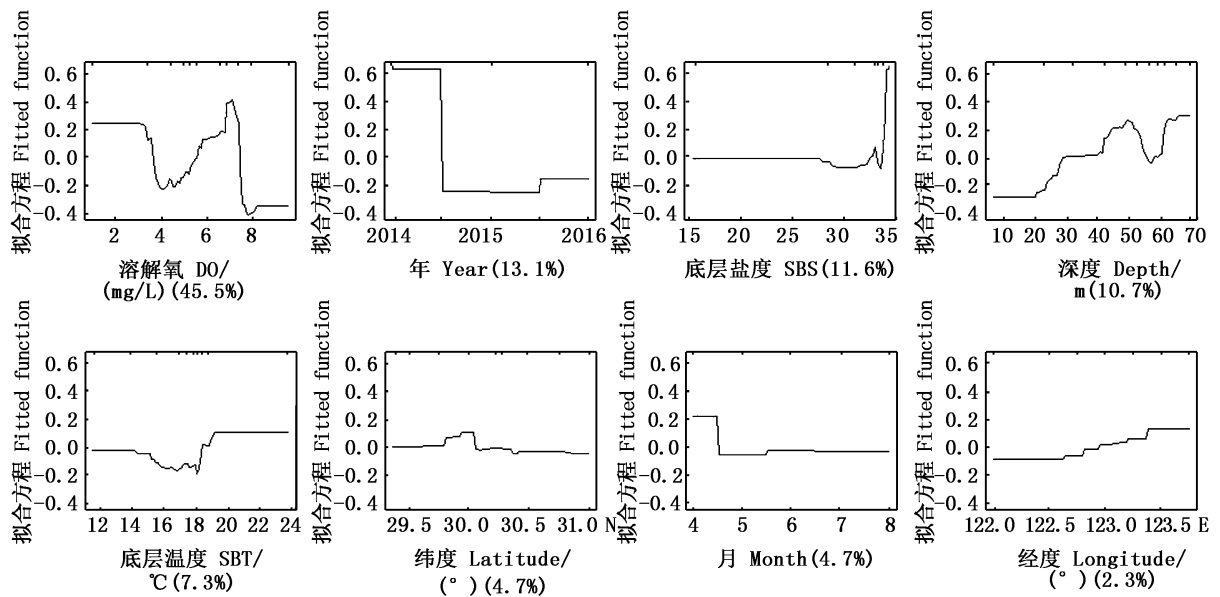


图6 基于提升回归树的时空与环境因子效应对长蛸渔获量的影响

Fig.6 Effects of spatial-temporal and environment factors on Octopus minor catch derived from the BRT analysis

海域附近,几乎没有太大的变化,也可以说明此海域为长蛸的主要产卵场。

分析头足类与所处海洋环境之间的关系,是预测渔场和建立预报模型的研究基础。相关研

究在大洋性头足类种类中已有大量涉及^[19-20],但仍然较少出现在近海头足类种类的相关研究中。目前广泛采用 GAM 模型来进行分析,但 GAM 模型对数据有着一定的要求,同时需要提前对数据进行检验,在一定程度上限制了该方法的应用^[21]。提升回归树(BRT)以其较高的预测精度,同时不易出现过度拟合的特点,近几年来已较为广泛地应用于渔业建模中,并且将该模型分析结果与传统方法进行对比,更能突显其应用优势^[12,22]。一般认为,在环境因子中,头足类受到水温的影响较大,是影响头足类栖息地的重要因子之一。而针对底栖型种类而言,在较深的水层中,水温的季节性变化较小,头足类所受的影响并不明显。长蛸栖息于靠近岸边的礁石区,盐度和水深的变化相对比较明显,这在相关的调查研究和养殖试验中也有所发现^[18,23]。年效应是唯一影响超过 10% 的时空因子,这可能是由于数据的不完整性所造成的(2016 年仅有 4—5 月的数据),同时 2015 年的强厄尔尼诺现象也在一定程度上影响了长蛸的栖息地,造成渔获量的下降。

溶解氧对渔获量的影响在所有因子中是最高的。头足类的所有活动,包括捕食、摄食和繁殖等,均需要消耗大量的氧气,溶解氧含量不足或过高,都会直接影响到个体的活动,因此溶解氧是头足类栖息的重要因素之一。通过本研究的实测数据发现,溶解氧为 4~7 mg/L,随着氧含量的上升,渔获量逐渐增加,尤其在 6~7 mg/L,增加明显。由于调查季节所属的长蛸大多为繁殖群体,因此可以认为,4~7 mg/L 是长蛸的适宜溶解氧,6~7 mg/L 为最适宜。JESÚS 等认为,合适的溶解氧范围对真蛸(*Octopus vulgaris*)的呼吸活动也至关重要^[24]。对于中上层的柔鱼类来说,溶解氧及所处的水层其深度也直接影响到了茎柔鱼(*Dosidicus gigas*)的分布,进而影响其下一年的资源量^[25]。海水中的溶解氧在不同的海域有着巨大的差异,由于其暂时无法通过较为简便的卫星遥感反演技术得到相关的数据(如海表面温度 SST、叶绿素 a 浓度均已实现),只能通过海上实测的方式获取宝贵数据,因此目前较少有研究涉及此环境数据,后续研究应该对此环境因子提高关注。

根据 2014—2016 年春夏季浙江北部沿岸拖网调查数据,选取长蛸为研究对象,分析时空分

布变化和环境因素对长蛸渔获量的影响,为后续长蛸的相关生产作业提供可靠依据。随着近些年海洋生物种类结构的变化,在控制捕捞强度的同时,也应该更加关注对新资源的开发和利用。同时,在研究环境与渔获量之间的关系时,也应当更多地从物种生活习性的角度出发,找到最为合适的环境因子。

参考文献:

- [1] JEREB P, ROPER C F E, NORMAN M D, et al. Cephalopods of the World. An annotated and illustrated catalogue of species known to date. Volume 3. Octopods and vampire squids [J]. FAO Species Catalogue for Fishery Purposes, 2014(4): 72.
- [2] 董正之. 中国动物志-软体动物门, 头足纲 [M]. 北京: 科学出版社, 1988: 206.
DONG Z Z. On the present status and exploratory problems of resource of *Todarodes pacificus*, in the Yellow Sea [M]. Beijing: Science Press, 1988: 206.
- [3] 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.
- [4] 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.
- [5] 朱文斌, 薛利建, 卢占晖, 等. 东海南部海域头足类群落结构特征及其与环境关系 [J]. 海洋与湖沼, 2014, 45(2): 436-442.
ZHU W B, XUE L J, LU Z H, et al. Cephalopod community structure and its relationship with environmental factors in the southern East China Sea [J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2014, 45(2): 436-442.
- [6] 曹杰, 陈新军, 刘必林, 等. 鱿鱼类资源量变化与海洋环境关系的研究进展 [J]. 上海海洋大学学报, 2010, 19(2): 232-239.
CAO J, CHEN X J, LIU B L, et al. Review on the relationship between stock recruitment of squid and oceanographic environment [J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2010, 19(2): 232-239.
- [7] BEVERTON R J H, HOLT S J. On the dynamics of exploited fish populations [M]. Netherlands: Springer, 1993.
- [8] SATO T, HATANAKA H. A review of assessment of Japanese distant-water fisheries for cephalopods [C]//CADDY J F. Advances in Assessment of World Cephalopod Resources.

- Roma; FAO 1983.
- [9] PANG Y M, TIAN Y J, FU C H, et al. Variability of coastal cephalopods in overexploited China Seas under climate change with implications on fisheries management [J]. Fisheries Research, 2018, 208: 22-33.
- [10] ELITH J, LEATHWICK J R, HASTIE T. A working guide to boosted regression trees [J]. Journal of Animal Ecology, 2008, 77(4): 802-813.
- [11] BRIEMAN L, FRIEDMAN J, OLSHEN R, et al. Classification and regression trees[M]. Belmont: Wadsworth International Group, 1984: 1-368.
- [12] 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.
- [13] R CORE TEAM. R: A language and environment for statistical computing[EB/OL]. Vienna: R Foundation for Statistical Computing. (2018-12-10). <https://www.R-project.org/>.
- [14] 宋海棠, 丁天明, 余匡军. 东海北部头足类的种类组成和数量分布[J]. 浙江海洋学院学报(自然科学版), 1999, 18(2): 99-106.
SONG H T, DING T M, YU K J. Species composition & quantitative distribution of cephalopod in the north of East China Sea[J]. Journal of Zhejiang Ocean University (Natural Science), 1999, 18(2): 99-106.
- [15] 叶林安, 王莉波, 江志法, 等. 2015年东海区营养盐的分布变化特征[J]. 上海海洋大学学报, 2017, 26(3): 432-439.
YE L A, WANG L B, JIANG Z F, et al. Seasonal variations of distribution characteristics of nutrients in the East China Sea in 2015 [J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2017, 26(3): 432-439.
- [16] 吴常文, 董智勇, 迟长风, 等. 曼氏无针乌贼 (*Sepiella maindroni*) 繁殖习性及其产卵场修复的研究[J]. 海洋与湖沼, 2010, 41(1): 39-46.
WU C W, DONG Z Y, CHI C F, et al. Reproductive and spawning habits of *Sepiella maindroni* off Zhejiang, China [J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2010, 41(1): 39-46.
- [17] 马迪, 金岳, 陈芃, 等. 基于角质颚形态的东海2种常见乌贼类的种类判别[J]. 上海海洋大学学报, 2018, 27(4): 594-602.
MA D, JIN Y, CHEN P, et al. Species identification of Sepioidea in the East China Sea based on beak morphology [J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2018, 27(4): 594-602.
- [18] 吴常文, 吕永林. 浙江北部沿海长蛸 *Octopus variabilis* 生态分布初步研究[J]. 浙江水产学院学报, 1995, 14(2): 148-150.
WU C W, LV Y L. A preliminary study of ecological distribution of *Octopus variabilis* in northern part of Zhejiang Sea[J]. Journal of Zhejiang College of Fisheries, 1999, 14(2): 148-150.
- [19] 余为, 陈新军, 易倩. 不同气候模态下西北太平洋柔鱼渔场环境特征分析[J]. 水产学报, 2017, 41(4): 525-534.
YU W, CHEN X J, YI Q. Analysis of variations in the environmental conditions on the fishing ground of neon flying squid (*Ommastrephes bartramii*) in the northwestern Pacific Ocean under different climate modes[J]. Journal of Fisheries of China, 2017, 41(4): 525-534.
- [20] 武胜男, 余为, 陈新军. 太平洋褶柔鱼秋生群产卵场环境变化及对资源丰度的影响[J]. 海洋渔业, 2018, 40(2): 129-138.
WU S N, YU W, CHEN X J. Variations in environmental conditions on the spawning grounds of autumn cohort of *Todarodes pacificus* and their impacts on squid abundance [J]. Marine Fisheries, 2018, 40(2): 129-138.
- [21] 陈新军, 高峰, 官文江, 等. 渔情预报技术及模型研究进展[J]. 水产学报, 2013, 37(8): 1270-1280.
CHEN X J, GAO F, GUAN W J, et al. Review of fishery forecasting technology and its models[J]. Journal of Fisheries of China, 2013, 37(8): 1270-1280.
- [22] MARTÍNEZ-RINCÓN R O, ORTEGA-GARCÍA S, VACA-RODRÍGUEZ J G. Comparative performance of generalized additive models and boosted regression trees for statistical modeling of incidental catch of wahoo (*Acanthocybium solandri*) in the Mexican tuna purse-seine fishery [J]. Ecological Modelling, 2012, 233(2): 20-25.
- [23] NG' AMBI J W, 陈武, 王春琳, 等. 长蛸对几个环境因子的耐受能力及栖息习性研究[J]. 水产科学, 2010, 29(2): 74-78.
NG' AMBI J W, CHEN W, WANG C L, et al. Habit and adaptability of common octopus *Octopus variabilis* to certain environmental factors[J]. Fisheries Science, 2010, 29(2): 74-78.
- [24] VALVERDE J C, GARCÍA 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.
- [25] TRÜBENBACH K, PEGADO M R, SEIBEL B A, et al. Ventilation rates and activity levels of juvenile jumbo squid under metabolic suppression in the oxygen minimum zone [J]. Journal of Experimental Biology, 2013, 216: 359-368.

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

CHEN Feng^{1,2}, LI Nan¹, FANG Zhou^{1,3,4,5,6}, SHEN Fengyuan¹, ZHANG Hongliang², ZHOU Yongdong²

(1. College of Marine Sciences, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 2. Marine Fisheries Research Institute of Zhejiang Province, Zhoushan 316021, Zhejiang, China; 3. The 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 trawl survey data along north coast of Zhejiang Province during spring and summer of 2014 to 2016, the spatial-temporal factors (year, month, latitude and longitude) and environmental factors (sea bottom temperature, SBT; sea bottom salinity, SBS; depth; dissolved oxygen, DO) were selected to analyze the spatial-temporal distribution of *Octopus minor*, as well as its relative importance using boosted regression tree (BRT). The results showed that the average catch in 2014 is higher than that of 2015 and 2016, and the catch in April is also higher than other months in the same year; the main catch distributed ranged from 122.75°E to 123.25°E, 30°N to 30.5°N; the gravity of fishing ground in 2015 moved a little northward compared with the other two years, the gravity of fishing ground also moved a little northward during April to June; the learning rate (lr) 0.001 and tree complexity (tc) 4 were selected to establish the model between environmental factors and catch, and dissolved oxygen (DO) was the most important factor, accounting for 45.5%, then year and salinity, accounting for higher than 10%, then successively, depth (10.7%), SBT (7.3%), latitude (4.7%), month (4.7%) and longitude (2.3%). Environmental factor is more important than spatial-temporal factor to the catch of *Octopus minor*. Future studies should pay more attention to the dissolved oxygen as it is a critical factor that directly influences the marine organism.

Key words: North of Zhejiang province; *Octopus minor*; spatial-temporal distribution; environmental factor; boosted regression tree