

浙江近海多钩钩腕乌贼栖息分布特征与环境因子的关系

李建雄 陈峰 戴乾 蒋日进 徐开达 周永东 梁君 朱凯

RELATIONSHIP BETWEEN HABITAT DISTRIBUTION CHARACTERISTICS AND ENVIRONMENTAL FACTORS OF *ABRALIA MULTIHAMATA* IN ZHEJIANG OFFSHORE

LI Jian-Xiong, CHEN Feng, DAI Qian, JIANG Ri-Jin, XU Kai-Da, ZHOU Yong-Dong, LIANG Jun, ZHU Kai

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.7541/2025.2024.0431>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

海州湾及邻近海域金乌贼的空间分布特征及其与环境因子的关系

SPATIAL DISTRIBUTION CHARACTERISTICS OF *SEPIA ESCULENTA* IN HAIZHOU BAY AND ADJACENT WATERS AND THEIR RELATIONSHIP WITH ENVIRONMENTAL FACTORS

水生生物学报. 2024, 48(4): 617–624 <https://doi.org/10.7541/2024.2023.0271>

瓯江口风鲚鱼卵、仔稚鱼的时空分布及其与环境因子关系

SPATIOTEMPORAL DISTRIBUTION OF EGGS AND LARVAE OF *COILIA MYSTUS* AND ITS RELATIONSHIP WITH ENVIRONMENTAL FACTORS ALONG OUJIANG ESTUARY

水生生物学报. 2022, 46(7): 963–973 <https://doi.org/10.7541/2022.2021.0321>

秦岭细鳞鲑仔稚鱼分布模式及其栖息地环境特征

DISTRIBUTION PATTERNS AND HABITAT ENVIRONMENTAL CHARACTERISTICS OF *BRACHYMYSTAX TSINLINGENSIS* LARVAL FISH

水生生物学报. 2024, 48(10): 1716–1723 <https://doi.org/10.7541/2024.2023.0428>

贻贝筏式养殖区两类端足目生物分布特征及其与环境因子关系

DISTRIBUTION CHARACTERISTICS AND ENVIRONMENTAL FACTORS FOR TWO CATEGORIES OF AMPHIPODS IN MUSSEL-RAFTS CULTURE AREA

水生生物学报. 2024, 48(7): 1159–1169 <https://doi.org/10.7541/2024.2023.0361>

世界希斯藻属 *Sheathia* 地理分布与环境因子的关系

GEOGRAPHICAL DISTRIBUTION AND RELATIONSHIP WITH ENVIRONMENTAL FACTORS OF *SHEATHIA* IN THE WORLD

水生生物学报. 2023, 47(11): 1778–1786 <https://doi.org/10.7541/2023.2022.0475>



关注微信公众号，获得更多资讯信息

doi: 10.7541/2025.2024.0431

CSTR: 32229.14.SSSWXB.2024.0431

浙江近海多钩钩腕乌贼栖息分布特征与环境因子的关系

李建雄^{1,2,3} 陈峰^{1,2,3} 戴乾^{1,2,3} 蒋日进^{1,2,3} 徐开达^{1,2,3} 周永东^{1,2,3}
梁君^{1,2,3} 朱凯^{1,2,3}

(1. 浙江海洋大学海洋与渔业研究所, 舟山 316021; 2. 浙江省海洋水产研究所, 舟山 316021; 3. 农业农村部重点渔场渔业资源科学观测实验站, 浙江省海洋渔业资源可持续利用技术研究重点实验室, 舟山 316021)

摘要: 为探究春秋季节多钩钩腕乌贼(*Abralia multihamata*)栖息分布特征与环境因子的关系, 研究采用2018—2023年春秋季节浙江近海拖网调查资料及海洋环境数据, 以扫海面积法估算多钩钩腕乌贼生物量, 使用广义加性模型(Generalized additive model, GAM)进行分析。结果表明: 浙江近海多钩钩腕乌贼平均生物量具有显著的季节差异, 其在浙江近海南部主要分布于27°—29°N, 122°—124°E, 水深为40—70 m的海域。影响多钩钩腕乌贼生物量的因子为经纬度、深度、海表面温度(Sea surface temperature, SST)、海表盐度(Sea surface salinity, SSS)和溶解氧浓度(Dissolved oxygen concentration, DO), 春季和秋季最适SST分别为14—18℃和18—22℃, 春季SSS和DO作用不显著, 秋季最适SSS为27‰—35‰, 秋季DO最适浓度为7—11 mg/L。研究可为气候变化背景下浙江近海头足类资源养护提供科学依据。

关键词: 广义加性模型; 栖息分布; 环境因子; 浙江近海; 多钩钩腕乌贼

中图分类号: S932.8; Q178.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3207(2025)07-072503-10



多钩钩腕乌贼(*Abralia multihamata*)属软体动物门, 头足纲, 枪形目, 武装乌贼科, 钩腕乌贼属^[1], 广泛分布于西北太平洋大陆架中层或底层海域, 在我国台湾、浙江、闽南近海均有分布^[2], 是海洋鱼类重要的饵料生物^[1,2], 对海洋生态系统的稳定具有重要意义。近年来, 气候变化、过度捕捞和环境污染对我国渔业资源的可持续开发提出了新的挑战^[3], 气候与环境因子的突变对头足类生物的栖息地分布产生了较大影响^[4]。而随着渔业资源开发力度的加强, 头足类逐渐成为近海捕捞的重要物种。历史报道显示, 浙江近海的多钩钩腕乌贼在近年春秋季节渔业调查中是优势种^[5], 其生物量及其季节性分布具有较高的研究价值。

作为一种小体型头足类^[6], 多钩钩腕乌贼具有生长周期短、生长速度快、资源恢复力较强的特点^[7], 其栖息分布对环境因子的响应较为敏感。研

究表明, 多钩钩腕乌贼的生物量和分布特征与海水温度、盐度、初级生产力水平、溶解氧等环境因子有关^[8—11], 但是其资源量与环境因子间的关系往往是非线性的^[12]。此外, 多钩钩腕乌贼生物量还具有季节性差异, 不同季节的环境因子对头足类生物资源时空分布具有不同的作用^[13]。广义加性模型作为广义线性模型的拓展, 能够较好地处理解释变量和响应变量间复杂的非线性关系, 在渔业资源时空分布与环境因子间的关系研究中有很强的适用性^[14—16]。

为了研究多钩钩腕乌贼的季节性栖息分布特征和环境因子之间的非线性关系, 本研究根据浙江近海2018—2023年多年的底拖网渔业资源调查数据及海洋水文数据, 使用GAM模型对春秋季节浙江近海多钩钩腕乌贼栖息分布特征与环境因子关系进行研究, 为评估浙江近海多钩钩腕乌贼资源的合

收稿日期: 2024-11-04; 修订日期: 2024-12-20

基金项目: 国家重点研发计划(2023YFD2401901); 浙江省公益技术应用研究项目(LGN21C190005)资助 [Supported by National Key Research and Development Program of China (2023YFD2401901); Zhejiang Province Public Welfare Technology Application Research Project (LGN21C190005)]

作者简介: 李建雄(1998—), 男, 硕士研究生; 主要研究领域为渔业资源。E-mail: 3287949749@qq.com

通信作者: 陈峰(1984—), 男, 博士, 高级工程师; 主要从事渔业资源及远洋渔业等方面研究。E-mail: cf0421223@163.com

理开发和利用提供参考,为渔业政策的规划和制定提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 数据来源

2018—2023年4、5月(春季)和11月(秋季)在浙江近海进行的底拖网渔业资源调查,调查范围为27°N—31°N、120.5°E—124°E。根据浙江近海的水文和生态分布情况,调查站点设置如图1所示,站位水深为10—70 m。调查网具网口拉紧周长为25 m,囊网网目尺寸为3.0 cm,平均拖速为3 kn,每个站点拖网时间为1h,由温盐深仪(Conductivity temperature depth, CTD)同步采集海表面温度(Sea surface temperature, SST)、海表面盐度(Sea surface salinity, SSS)、叶绿素 a (Chlorophyll- a concentration, Chl. a)浓度及溶解氧(Dissolved oxygen concentration, DO)浓度。按照《海洋渔业资源调查规范》^[17]采集及保存样品,在测定实验室对多钩钩腕乌贼进行鉴定与测定,并使用扫海面积法^[18]计算其生物量:

$$D = \frac{C}{(1-e) \times A} \quad (1)$$

式中, D 为生物量,单位为 kg/km^2 ; C 为每小时取样海域面积内的渔获量,单位为 kg ; A 为每小时扫海面积,单位为 km^2 ; e 为逃逸率,取0.5^[19]。

1.2 分析方法

模型建立 本研究采用广义加性模型(Generalized additive model, GAM)研究多钩钩腕乌贼生物量的时空分布与环境因子间的关系,将多钩钩腕乌贼生物量“ D ”进行“+1”(为了防止生物量为0的情况出现)后,并自然对数转换,得到 $\ln(D+1)$ 作为响应变量,选取纬度(Latitude, LAT)、经度(Longitude, LON)、深度(Depth, DEPTH)、SST、SSS、Chl. a 和DO这6个环境变量作为解释变量。其表达式:

$$\ln(D+1) \sim s(\text{LAT}) + s(\text{Lon}) + s(\text{DEP}) + s(\text{SST}) + s(\text{SSS}) + s(\text{Chl.}a) + s(\text{DO}) + s(\text{DEPTH}) + \varepsilon \quad (2)$$

式中, s 为自然样条平滑函数, LAT表示纬度, LON表示经度, SST表示海表温度, SSS表示海表盐度, Chl. a 表示叶绿素 a 浓度, DO表示溶解氧浓度, ε 表示随机变量。

根据赤池信息量准则(Akaike information criterion, AIC), 选择AIC最小的模型作为最佳模型^[20]。AIC计算公式:

$$\text{AIC} = 2k - 2\ln(L) \quad (3)$$

式中, L 为最大似然值, k 为模型参数数量。AIC越低, 模型拟合的结果越好。其次, 利用 F 值、 P 值检验解释变量在模型中的显著效果^[21]。将模型响应

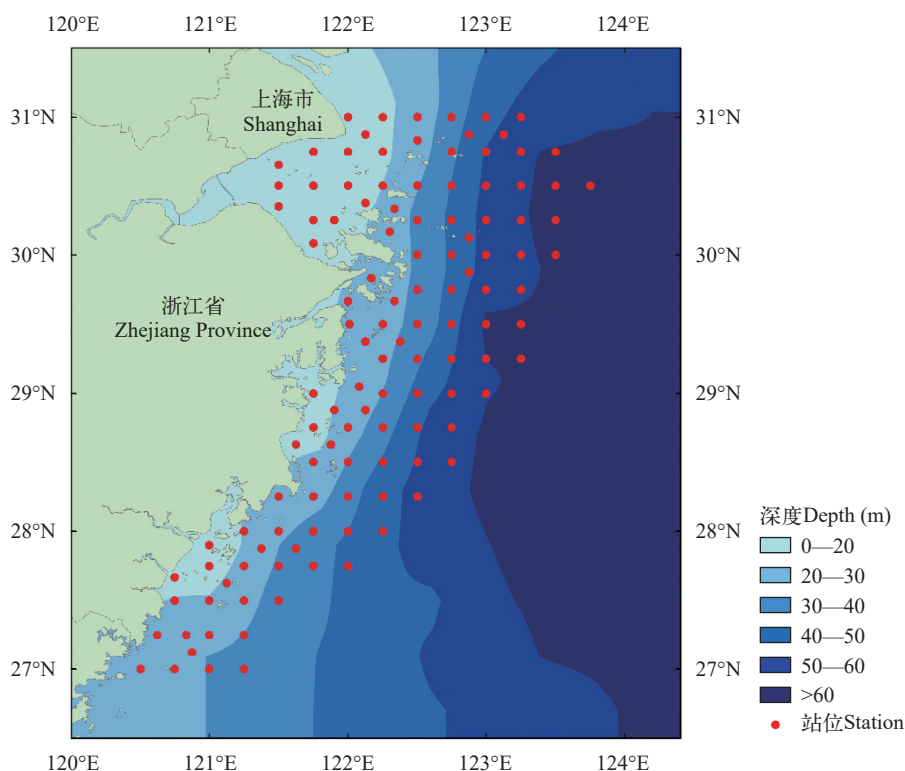


图1 浙江近海拖网调查站位设置图

Fig. 1 Distribution of sample station and water depth in Zhejiang offshore

曲线上下95%置信区间虚实线之间最接近的部分定义为最适环境范围^[22]。

GAM模型使用R语言(Vision 4.2.3)中的mgcv包构建, 假设模型的误差分布为正态分布, 连接函数使用自然对数。利用ARCGIS 10.6软件及克里金插值法绘制调查站位图及生物量分布图。

多重共线性检验 模型中两个或多个解释变量之间存在显著相关性时, 会干扰模型结果, 被称为多重共线性。为了排除多重共线性对模型的干扰, 本研究采用方差膨胀因子(Variance inflation factor, VIF)对环境因子进行多重共线性检验^[23], 筛选可以加入模型的因子。通常情况下, VIF<10说明解释变量之间不存在多重共线性。

2 结果

2.1 资源年际变动

2018—2023年多钩钩腕乌贼的平均生物量总体变动趋势为先升高后降低(图2), 于2022年达到最低值3.3 kg/km², 2023年升高到最高点19.1 kg/km²。春季平均生物量为2019年最高, 秋季平均生物量为2023年最高。多钩钩腕乌贼生物量季节间差异较大, 调查年份的春季平均生物量显著低于秋季($F=-2.64, P<0.05$)。

2.2 最优模型筛选

春秋季浙江近海的所有环境变量VIF值均小于10(表1), 因此, 各变量均不存在多重共线性问题, 可加入到GAM模型中作为解释变量。

根据AIC最小原则选取最优GAM模型(表2)。当春季模型中加入的因子为LAT、LON、SST、SSS、DO和DEPTH时, AIC最小为904.9, 此时模型的累计解释偏差为54.0%, 决定系数 R^2 为0.514。因此春季多钩钩腕乌贼生物量的模型表达式:

$$\ln(D+1) \sim s(\text{LAT}) + s(\text{LON}) + s(\text{SST}) + s(\text{SSS}) + s(\text{DO}) + s(\text{DEPTH}) + \varepsilon$$

当秋季模型中加入的因子为LAT、LON、SST、SSS、Chl.a、DO和DEPTH时, AIC最小为1891.6,

表1 各环境因子春秋季VIF值

Tab. 1 VIF values of environmental factors in spring and autumn

环境因子Environmental factor	春季Spring	秋季Autumn
LAT	7.7	2.7
LON	7.0	3.2
SST	1.5	1.8
SSS	3.4	3.7
Chl.a	1.0	1.3
DO	1.1	2.1
DEPTH	4.0	4.8

表2 春秋季多钩钩腕乌贼与环境因子GAM模型选择结果

Tab. 2 The selection result of GAM for *A. multihamata* in spring and autumn

季节Season	模型Model	AIC	累计解释偏差Cumulative interpretation deviation (%)	R^2
春季Spring	$\ln(D+1) \sim s(\text{LAT})$	1300.4	12.3	0.118
	$\ln(D+1) \sim s(\text{LAT}) + s(\text{LON})$	1206.6	26.1	0.250
	$\ln(D+1) \sim s(\text{LAT}) + s(\text{LON}) + s(\text{SST})$	1148.7	34.2	0.324
	$\ln(D+1) \sim s(\text{LAT}) + s(\text{LON}) + s(\text{SSS})$	1128.1	36.3	0.346
	$\ln(D+1) \sim s(\text{LAT}) + s(\text{LON}) + s(\text{SST}) + s(\text{SSS})$	1105.7	39.2	0.373
	$\ln(D+1) \sim s(\text{LAT}) + s(\text{LON}) + s(\text{SST}) + s(\text{SSS}) + s(\text{Chl.a})$	1107.4	39.3	0.372
	$\ln(D+1) \sim s(\text{LAT}) + s(\text{LON}) + s(\text{SST}) + s(\text{SSS}) + s(\text{DO})$	1025.4	41.0	0.390
	$\ln(D+1) \sim s(\text{LAT}) + s(\text{LON}) + s(\text{SST}) + s(\text{SSS}) + s(\text{DO}) + s(\text{DEPTH})$	1027.2	41.1	0.389
	$\ln(D+1) \sim s(\text{LAT}) + s(\text{LON}) + s(\text{SST}) + s(\text{SSS}) + s(\text{Chl.a}) + s(\text{DO})$	904.9	54	0.514
	$\ln(D+1) \sim s(\text{LAT}) + s(\text{LON}) + s(\text{SST}) + s(\text{SSS}) + s(\text{DO}) + s(\text{DEPTH})$	904.9	54	0.514
秋季Autumn	$\ln(D+1) \sim s(\text{LAT})$	2601.4	2.24	0.019
	$\ln(D+1) \sim s(\text{LAT}) + s(\text{LON})$	2376.8	27.3	0.269
	$\ln(D+1) \sim s(\text{LAT}) + s(\text{LON}) + s(\text{SST})$	2332.9	31.8	0.312
	$\ln(D+1) \sim s(\text{LAT}) + s(\text{LON}) + s(\text{SSS})$	2352.5	31.3	0.301
	$\ln(D+1) \sim s(\text{LAT}) + s(\text{LON}) + s(\text{SST}) + s(\text{SSS})$	2319.7	34.5	0.331
	$\ln(D+1) \sim s(\text{LAT}) + s(\text{LON}) + s(\text{SST}) + s(\text{SSS}) + s(\text{Chl.a})$	2076.3	39.0	0.371
	$\ln(D+1) \sim s(\text{LAT}) + s(\text{LON}) + s(\text{SST}) + s(\text{SSS}) + s(\text{Chl.a}) + s(\text{DO})$	2163.1	38.6	0.367
	$\ln(D+1) \sim s(\text{LAT}) + s(\text{LON}) + s(\text{SST}) + s(\text{SSS}) + s(\text{Chl.a}) + s(\text{DO}) + s(\text{DEPTH})$	1914.8	43.3	0.412
	$\ln(D+1) \sim s(\text{LAT}) + s(\text{LON}) + s(\text{SST}) + s(\text{SSS}) + s(\text{Chl.a}) + s(\text{DO}) + s(\text{DEPTH})$	1891.6	44.8	0.429
	$\ln(D+1) \sim s(\text{LAT}) + s(\text{LON}) + s(\text{SST}) + s(\text{SSS}) + s(\text{Chl.a}) + s(\text{DO}) + s(\text{DEPTH})$	1891.6	44.8	0.429

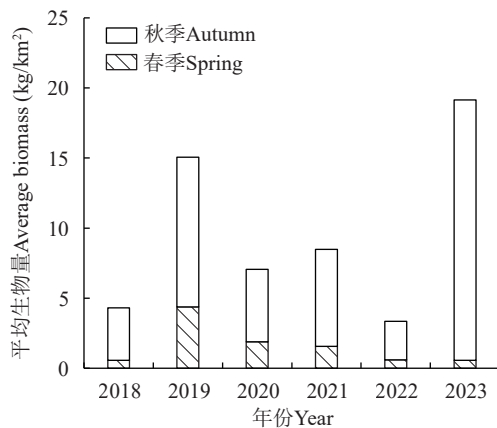


图2 多钩钩腕乌贼平均生物量年际间变动

Fig. 2 Annual changes of average biomass for *A. multihamata*

此时模型的累计解释偏差为44.8%, 决定系数 R^2 为0.429。因此秋季多钩钩腕乌贼生物量的模型表达式:

$$\ln(D+1) \sim s(\text{LAT}) + s(\text{LON}) + s(\text{SST}) + s(\text{SSS}) + s(\text{Chl}.a) + s(\text{DO}) + s(\text{DEPTH}) + \varepsilon$$

影响春季多钩钩腕乌贼生物量的显著因子为LON、SST和DEPTH, 影响秋季多钩钩腕乌贼生物量的显著因子为LAT、SST、SSS、DO和DEPTH(表3)。

表3 GAM各因子统计结果

Tab. 3 Analysis results of GAM for factors

季节 Season	环境因子 Environmental factor	F	P
春季Spring	LAT	1.182	0.28860
	LON	11.709	<2e-16**
	SST	3.279	0.00472**
	SSS	0.132	0.71606
	DO	1.410	0.19046
	DEPTH	20.062	<2e-16**
秋季Autumn	LAT	6.094	1.95e-5**
	LON	1.784	0.076671
	SST	14.644	1.44e-4**
	SSS	2.476	0.017101*
	Chl.a	0.212	0.667278
	DO	8.060	5.12e-5**
	DEPTH	13.325	1.39e-6**

注: * $P < 0.05$, ** $P < 0.01$

2.3 环境变量对生物量的影响

多钩钩腕乌贼生物量与解释变量的关系如图3和图4。春季和秋季的多钩钩腕乌贼生物量分布大致相同。随着LAT的升高, 生物量呈总体下降趋势。同时, 随着LON的升高, 生物量呈升高的趋势。

春季多钩钩腕乌贼生物量在SST为12—14℃平缓下降, 在14.0—18.0℃保持稳定, 18.0℃之后迅速升高。多钩钩腕乌贼生物量在SSS为5‰—25‰缓慢下降, 在25‰—30‰保持稳定, 30‰以后迅速上升。多钩钩腕乌贼生物量在DEPTH为10—70 m持续上升, 70 m以后快速下降。

秋季多钩钩腕乌贼生物量在SST为16.0—24.0℃保持持续上升趋势。多钩钩腕乌贼生物量在SSS为0—15‰上升, 15‰—25‰下降, 25‰—32‰保持稳定, 32‰之后略微下降。多钩钩腕乌贼生物量在DEPTH为10—70 m持续上升。春季溶解氧对多钩钩腕乌贼生物量作用并不显著, 秋季其生物量在DO为0—7 mg/L稳定不变, 7—11 mg/L迅速升高。

2.4 栖息分布特征

多钩钩腕乌贼主要分布在浙江近海中部海域, 空间范围为27°N—29°N, 122°E—124°E。2019年春季生物量在28°N以南海域较高, 而其余年份生物量相对较低(图5)。秋季的高生物量海域范围相较于春季更多(图6), 其中2023年生物量最高, 高生物量范围出现在122.5°E以东, 2022年生物量相较于其余年份较低, 且分布在27°S以南海域。

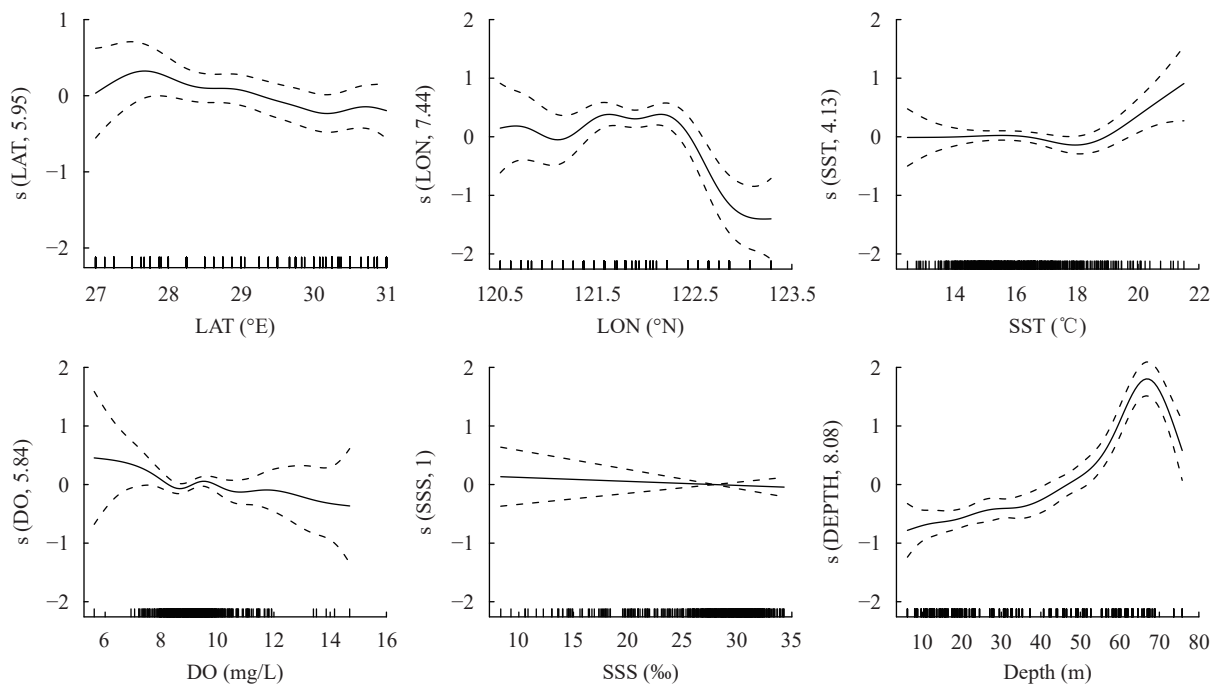


图3 春季各解释变量对多钩钩腕乌贼生物量的影响(虚线表示95%置信区间)

Fig. 3 Impacts of explaining variables on abundance of *A. multihamata* in spring (the dashed line represents the 95% confidence interval)

3 讨论

3.1 栖息分布及其影响因素

多钩钩腕乌贼为深水种, 其主要栖息海域相对远离陆地, 主要栖息水深200—700 m, 最深可达3500 m^[2], 是中远洋边界物种^[1]。经过分析验证发现, 多钩钩腕乌贼在浙江近海27°N—29°N, 122°E—123°E范围海域具有较高的生物量, 且主要分布水深为40—70 m, 为浙江近海头足类分布及其与环境因子的研究进行了补充。浙江近海北部海域几乎没有出现多钩钩腕乌贼, 该海域距离长江入海口较近, 江河水 and 海水的交汇导致该海域的温度和盐度变化幅度大且范围更广^[24], 对多钩钩腕乌贼的生存不利。黑潮暖流是多钩钩腕乌贼的栖息分布特征的影响因素之一, 多钩钩腕乌贼主要分布在冷暖水团交汇处靠近暖水侧的海域^[25]。

海水温度对头足类生物的时空分布具有显著影响^[26], 如: 影响海州湾短蛸栖息分布特征的最主要环境因子为海底温度^[27], SST是影响秘鲁外海茎

柔鱼栖息地时空分布的主要环境因子, 且各环境因子的影响具有月份间的差异^[28]。多钩钩腕乌贼偏好水温较高的海域, 属于暖水种^[2]。不同季节多钩钩腕乌贼生物量时空分布对SST具有不同的适应性, 其中春季的最适SST为14—18℃, 秋季最适SST为18—22℃, 其对温度的耐受能力在不同季节表现不同, 适温范围较广, 且秋季适宜温度更高。

多钩钩腕乌贼偏好高盐度海域, 春季SSS对多钩钩腕乌贼生物量和分布作用不显著, 秋季最适SSS为27‰—35‰。高盐度的海域通常意味着稳定的水团和高海洋生物适宜度^[29]。浙江南部外海离长江口和陆地水系距离较远, 受到陆地淡水水系的冲积作用较小, 近岸的低盐度海水对多钩钩腕乌贼影响较小, 是其生物量形成陆地—外海升高的主要因素。

溶解氧浓度在秋季具有显著作用, 但是对春季的生物量影响并不显著。这种季节间差异表现的主要原因可能有(1)春季的多钩钩腕乌贼生物量并不高, 且分布站位距离较近, 数量较少, DO的差异

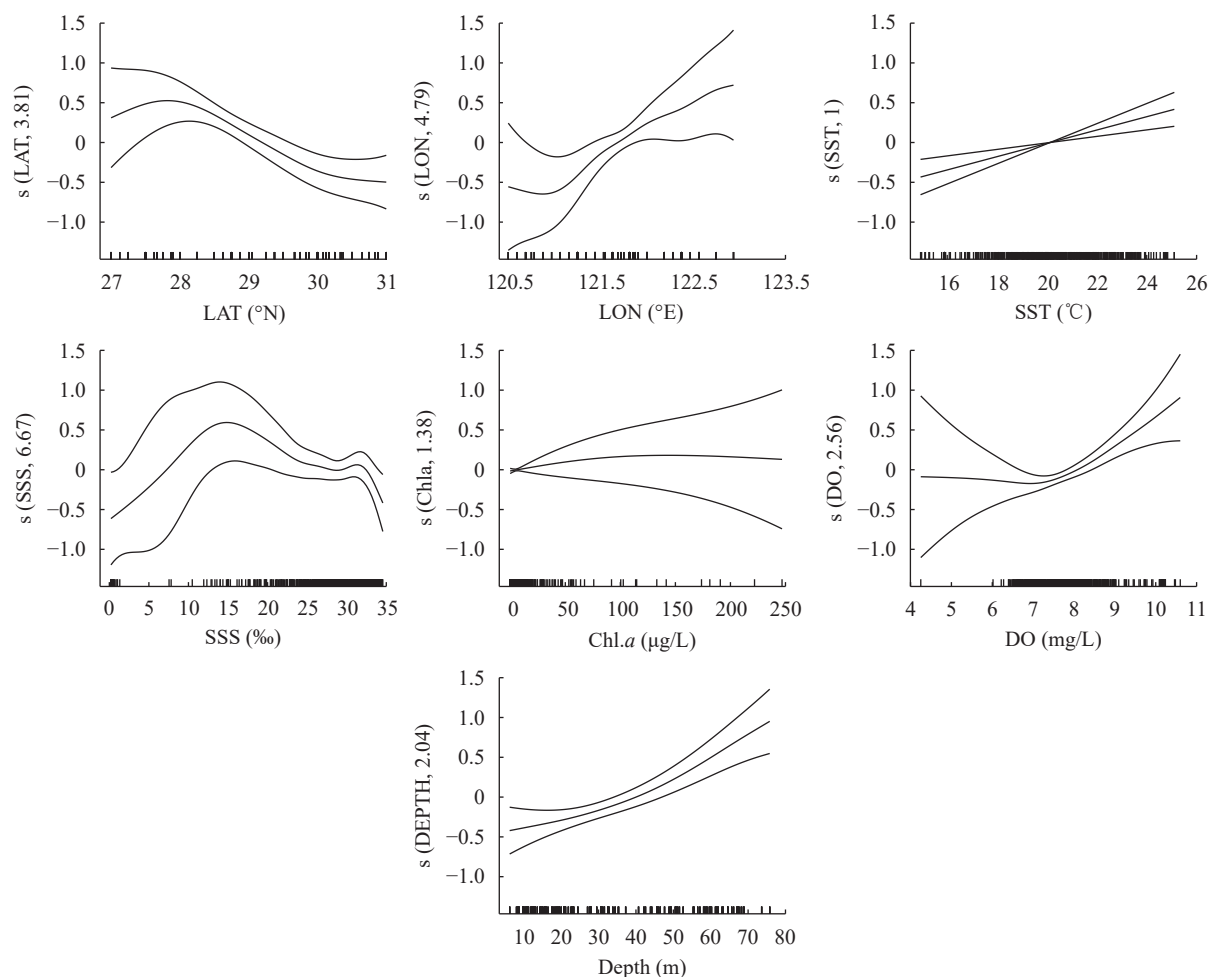


图4 秋季各解释变量对多钩钩腕乌贼生物量的影响(虚线表示95%置信区间)

Fig. 4 Impacts of explaining variables on abundance of *A. multihamata* in autumn (the dashed line represents the 95% confidence interval)

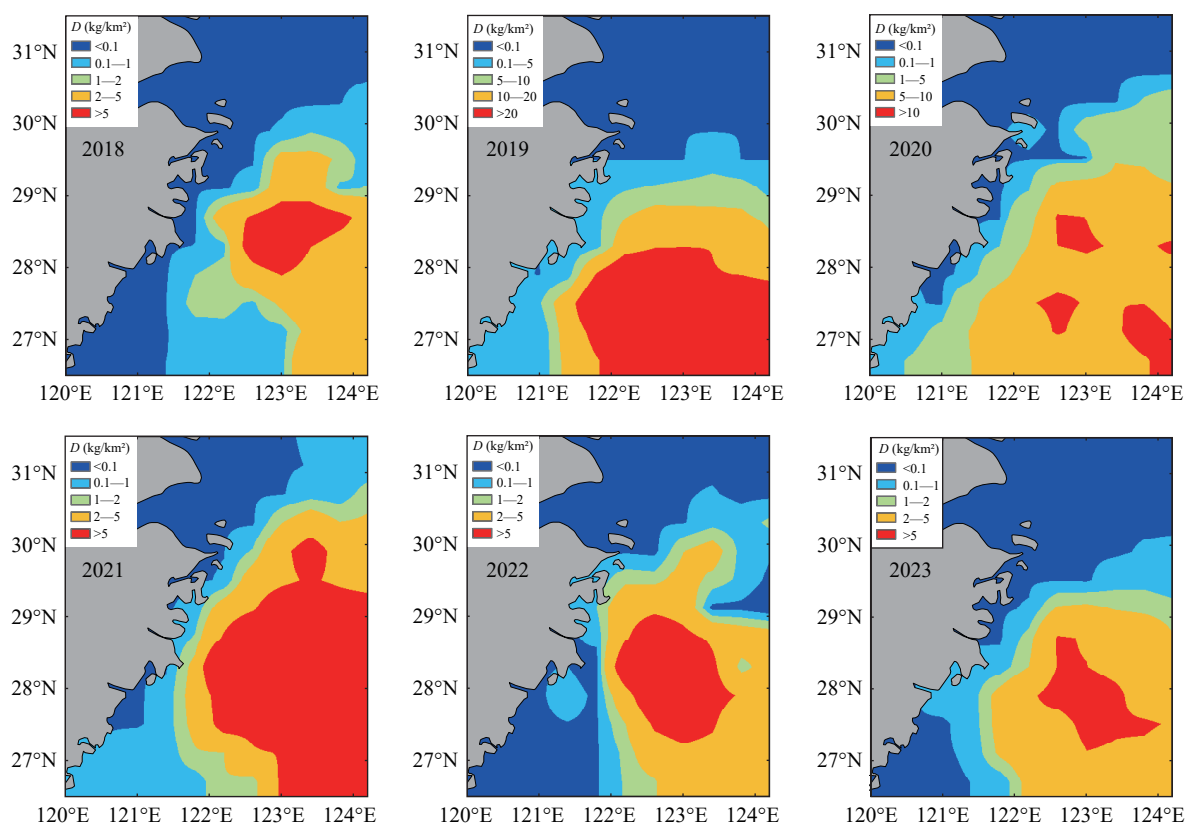


图5 春季浙江近海多钩钩腕乌贼生物量年际分布

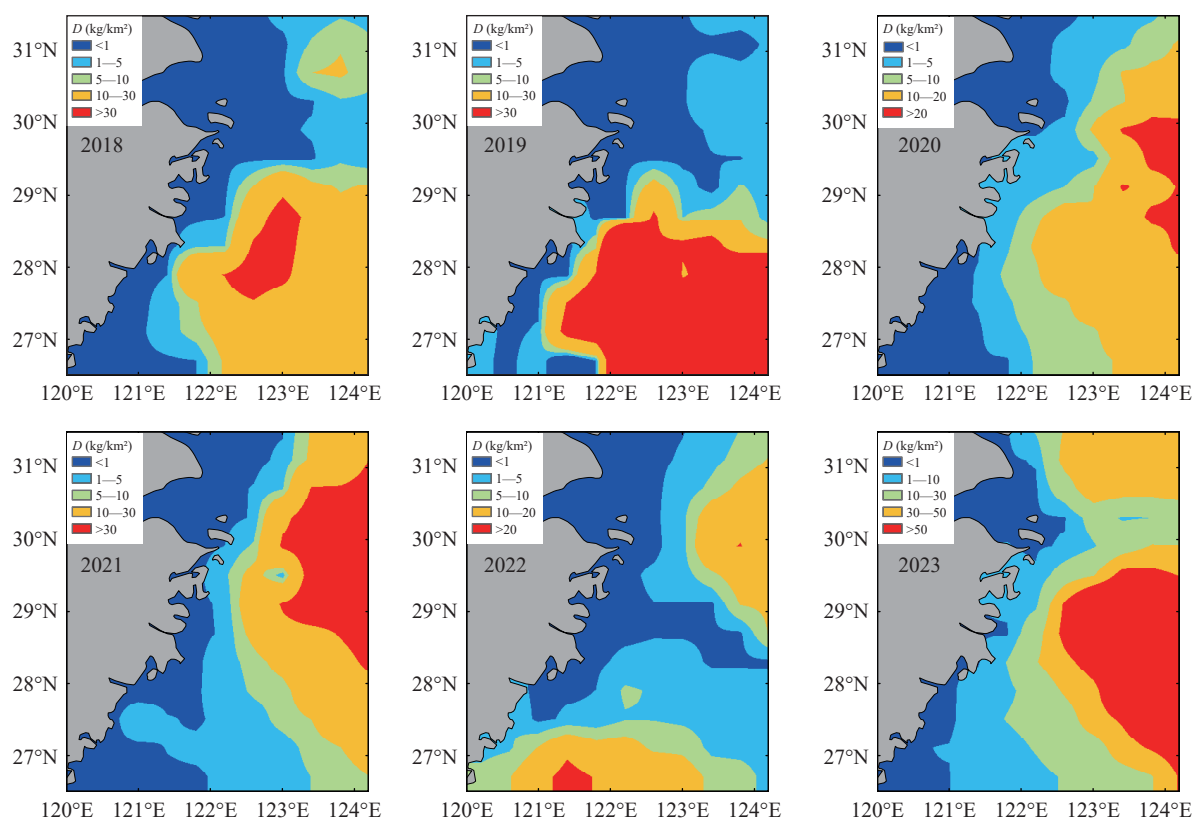
Fig. 5 Annual distribution of biomass for *A. multihamata* off Zhejiang coast in spring

图6 秋季浙江近海多钩钩腕乌贼生物量年际分布

Fig. 6 Annual distribution of biomass for *A. multihamata* off Zhejiang coast in autumn

细微, 而GAM模型难以捕捉到较少的数据样本间存在的差异; (2)秋季的多钩钩腕乌贼需要较多的氧气支持其生命活动进行洄游^[30]。陈峰等^[31]研究认为, 春夏季剑尖枪乌贼栖息地溶解氧的最适范围为7—11 mg/L, 溶解氧是影响该物种的重要环境变量, 与本研究得到的多钩钩腕乌贼在秋季DO的最适区间较为一致。

叶绿素浓度是初级生产力的表征, 对海洋生物分布和集聚具有重要作用^[32]。浮游生物偏好初级生产力较高的海域, 为头足类生物提供丰富的饵料生物^[33]。海洋生物的仔鱼补充量与初级生产力呈正相关的关系^[34]。但是, 本研究的叶绿素浓度并不是影响多钩钩腕乌贼春秋季节时空分布的显著变量, 可能是其分布在浙江南部外海, 栖息的海域叶绿素浓度较低。同时钩腕乌贼在食物链中处于中级消费者, 具有承上启下的作用^[35], 并不直接摄入浮游植物和浮游动物。

3.2 时空分布特征

浙江近海的头足类生物量通常在春季较高, 而秋季较低, 但是钩腕乌贼、枪乌贼等小型乌贼却具有相反的趋势^[5], 多钩钩腕乌贼的平均生物量具有显著的季节性差异, 与浙江近海的环境因子变化和其洄游习性相关。多钩钩腕乌贼作为弱游泳性头足类, 其洄游的规模和范围均弱于大型头足类^[36]。季节性洄游是引起浙江近海头足类生物时空分布变化的主要原因^[37], 钩腕乌贼产卵期间从深水洄游至浅水区产卵^[38], 其分布水深较浅。秋季多钩钩腕乌贼可洄游至北部和南部远海, 其种群具有一定的集群性(图 6), 生物量相较于春季更高, 且具有很强的资源恢复力^[7]。多钩钩腕乌贼的时空分布还可能与头足类生物生活史相关: 头足类生物在不同生长阶段具有不同的移动方式^[36], 在卵和副幼虫阶段其分布主要受海流的影响; 大部分头足类生物具有垂直移动的习性^[39], 白天偏好深水区, 夜晚偏好浅水区。

多钩钩腕乌贼的生物量年际和月份间差异较

大, 其中2023年的平均生物量最高, 而2022年的平均生物量最低。相关研究认为, 这可能与典型气候事件的发生有关^[40, 41]。2023年秋季厄尔尼诺发生期间(表 4), 黑潮暖流势力增强导致海水盐度升高、海水温度偏高^[42], 初级生产力水平上升, 因此多钩钩腕乌贼平均生物量高于其他年份, 栖息地主要向浙江北部及南部外海扩散。拉尼娜发生时间为2020年8月至2021年4月和2021年9月至2023年1月, 持续时间较长, 更易出现寒冬, 对多钩钩腕乌贼来年的孵化率和生物补充量具有负面影响^[43], 引起调查产卵场海域的总体生物量下降^[41]。

3.3 GAM模型的适用性和局限性

GAM模型可以较好地表现渔业数据与环境因子等各因素的定量关系^[44], 适用于远洋和近海的头足类生物的时空分布与环境因子之间关系的研究。例如, 张弼强等^[45]利用GAM模型分析时空因子和环境因子对西北印度洋鸢乌贼时空分布的解释率为40.4%, 徐晓萱等^[46]使用海底温度和盐度及时间因子对浙江近海曼氏无针乌贼时空分布研究解释率为21.3%。本研究采用2018—2023年连续6年的春秋季节浙江近海底拖网调查数据, 建立了精度较高的GAM模型, 春季模型解释率为54.0%, 秋季模型解释率为44.8%。然而, GAM的精度依赖样本数量^[44], 解释变量的自相关性和所选择的环境因子均会影响GAM的精度, 因此有必要进行VIF分析以便排除自相关性高的环境变量。

4 结论

本研究通过GAM对多钩钩腕乌贼的生物量年际间和季节性变动与环境因子间的关系进行了分析, 结果表明: 多钩钩腕乌贼在浙江近海的主要分布范围为27°N—29°N, 122°E—123°E, 主要分布深度为40—70 m。春季, 多钩钩腕乌贼生物量及其分布的主要因子为LON、SST和DEPTH, 最适SST为14—18℃。秋季, 影响多钩钩腕乌贼生物量及其分

表 4 2018—2023年1—12月厄尔尼诺指数

Tab. 4 Oceanic Niño Index (ONI) from January to December of 2018—2023

年份Year	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2018	-0.9	-0.9	-0.7	-0.5	-0.2	0	0.1	0.2	0.5	0.8	0.9	0.8
2019	0.7	0.7	0.7	0.7	0.5	0.5	0.3	0.1	0.2	0.3	0.5	0.5
2020	0.5	0.5	0.4	0.2	-0.1	-0.3	-0.4	-0.6	-0.9	-1.2	-1.3	-1.2
2021	-1	-0.9	-0.8	-0.7	-0.5	-0.4	-0.4	-0.5	-0.7	-0.8	-1	-1
2022	-1	-0.9	-1	-1.1	-1	-0.9	-0.8	-0.9	-1	-1	-0.9	-0.8
2023	-0.7	-0.4	-0.1	0.2	0.5	0.8	1.1	1.3	1.6	1.8	1.9	2

注: ONI大于0.5的月份被定义为厄尔尼诺发生期, 小于-0.5的月份被定义为拉尼娜发生期

Note: Months with ONI greater than 0.5 are defined as El Niño occurrence periods, while months with ONI less than -0.5 are defined as La Niña occurrence periods

布的显著因子为LAT、SST、SSS、DO和DEPTH, SST最适区间为18—22℃, SSS最适区间为27‰—35‰, DO最适区间为7—11 mg/L。本研究主要考虑的是环境因子对多钩钩腕乌贼的影响, 而忽略了海浪和海流、渔业调查方法、模型选择因素等方面的影响, 在后续的研究中需加以考虑。

(作者声明本文符合出版伦理要求)

参考文献:

- [1] Jereb P, Roper C F E. Cephalopods of the World. An Annotated and Illustrated Catalogue of Species Known to Date. Volume 2. Myopsid and Oegopsid Squids [M]. FAO Species Catalogue for Fishery Purposes, No. 4, Vol. 2. Rome, FAO, 2010: 192.
- [2] Dong Z Z. On the geographical distribution of the cephalopods in the Chinese waters [J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 1978, **9**(1): 108-118. [董正之. 中国近海头足类的地理分布 [J]. 海洋与湖沼, 1978, **9**(1): 108-118.]
- [3] Chen X J. The exploitation and resources of cephalopods in the world [J]. *Journal of Shanghai Ocean University*, 1996, **5**(3): 193-200. [陈新军. 世界头足类资源及其开发利用 [J]. 上海水产大学学报, 1996, **5**(3): 193-200.]
- [4] Morato T, González-Irusta J M, Dominguez-Carrió C, et al. Climate-induced changes in the suitable habitat of cold-water corals and commercially important deep-sea fishes in the North Atlantic [J]. *Global Change Biology*, 2020, **26**(4): 2181-2202.
- [5] 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. [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.]
- [6] Wu Q, Chen R S, Zuo T, et al. Community structure of Cephalopods and its relationships with environmental factors in Laizhou Bay, Bohai Sea [J]. *Journal of Fisheries of China*, 2018, **42**(5): 684-693. [吴强, 陈瑞盛, 左涛, 等. 莱州湾头足类的群落结构及其与环境因子的关系 [J]. 水产学报, 2018, **42**(5): 684-693.]
- [7] Lłpiński M R. Cephalopod life cycles: patterns and exceptions [J]. *South African Journal of Marine Science*, 1998, **20**(1): 439-447.
- [8] Rosa A L, Yamamoto J, Sakurai Y. Effects of environmental variability on the spawning areas, catch, and recruitment of the Japanese common squid, *Todarodes pacificus* (Cephalopoda: Ommastrephidae), from the 1970s to the 2000s [J]. *ICES Journal of Marine Science*, 2011, **68**(6): 1114-1121.
- [9] Puerta P, Hidalgo M, González M, et al. Role of hydro-climatic and demographic processes on the spatio-temporal distribution of cephalopods in the western Mediterranean [J]. *Marine Ecology Progress Series*, 2014(514): 105-118.
- [10] Lauria V, Garofalo G, Gristina M, et al. Contrasting habitat selection amongst cephalopods in the Mediterranean Sea: When the environment makes the difference [J]. *Marine Environmental Research*, 2016(119): 252-266.
- [11] Maes J, Stevens M, Breine J. Modelling the migration opportunities of diadromous fish species along a gradient of dissolved oxygen concentration in a European tidal watershed [J]. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2007, **75**(1/2): 151-162.
- [12] Liu X, Wang J, Zhang Y, et al. Comparison between two GAMs in quantifying the spatial distribution of Hexagrammos otakii in Haizhou Bay, China [J]. *Fisheries Research*, 2019(218): 209-217.
- [13] Fang X N, Yu W, Chen X J. Spatial distribution of fishing ground of jumbo flying squid *Dosidicus gigas* in the equator in Eastern Pacific Ocean [J]. *Fisheries Science*, 2022, **41**(3): 475-483. [方星楠, 余为, 陈新军. 东太平洋赤道海域茎柔鱼渔场的时空分布 [J]. 水产科学, 2022, **41**(3): 475-483.]
- [14] Li M, Zhang C, Xu B, et al. A comparison of GAM and GWR in modelling spatial distribution of Japanese Mantis shrimp (*Oratosquilla oratoria*) in coastal waters [J]. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2020(244): 106928.
- [15] Carvalho F C, Murie D J, Hazin F H V, et al. Spatial predictions of blue shark (*Prionace glauca*) catch rate and catch probability of juveniles in the Southwest Atlantic [J]. *ICES Journal of Marine Science*, 2011, **68**(5): 890-900.
- [16] Li J, Zhang P, Yan L, et al. Factors that influence the catch per unit effort of *Sthenoteuthis oualaniensis* in the central-southern South China Sea based on a generalized additive model [J]. *Journal of Fisheries Sciences of China*, 2020, **27**(8): 906-915. [李杰, 张鹏, 晏磊, 等. 南海中南部海域鳶乌贼CPUE影响因素的GAM分析 [J]. 中国水产科学, 2020, **27**(8): 906-915.]
- [17] Ministry of Agriculture of the People's Republic of China. Technical specification for marine fishery resources survey: SC/T 9403-2012 [S]. Beijing: China Agriculture Press, 2013. [中华人民共和国农业部. 海洋渔业资源调查规范: SC/T 9403-2012 [S]. 北京: 中国农业出版社, 2013.]
- [18] Can M, Mazlum Y, Demirci A, et al. The catch composition and catch per unit of swept area (CPUE) of penaeid shrimps in the bottom trawls from Iskenderun Bay, Turkey [J]. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 2004, **4**(2): 87-91.
- [19] Pierce G J, Guerra A. Stock assessment methods used for cephalopod fisheries [J]. *Fisheries Research*, 1994, **21**(1/2): 255-285.
- [20] Howell E A, Kobayashi D R. El Niño effects in the

- Palmyra atoll region: oceanographic changes and bigeye tuna (*Thunnus obesus*) catch rate variability [J]. *Fisheries Oceanography*, 2006, **15**(6): 477-489.
- [21] Akaike H. A new look at the statistical model identification [J]. *IEEE Transactions on Automatic Control*, 1974, **19**(6): 716-723.
- [22] Dai S W, Tang F H, Fan W, *et al.* Distribution of resource and environment characteristics of fishing ground of *Scomber japonicas* in the North Pacific high seas [J]. *Marine Fisheries*, 2017, **39**(4): 372-382. [戴澍蔚, 唐峰华, 樊伟, 等. 北太平洋公海日本鲭资源分布及其渔场环境特征 [J]. *海洋渔业*, 2017, **39**(4): 372-382.]
- [23] Akinwande M O, Dikko H G, Samson A. Variance inflation factor: As a condition for the inclusion of suppressor variable (s) in regression analysis [J]. *Open Journal of Statistics*, 2015, **5**(7): 754-767.
- [24] Fang R S. Preliminary study on the environment of squid fishing grounds in the East China Sea and Yellow Sea [J]. *Marine Fisheries*, 1994, **16**(6): 249-253s. [方瑞生. 东黄海鱿鱼渔场环境初步研究 [J]. *海洋渔业*, 1994, **16**(6): 249-253.]
- [25] Hsu P C, Macagga R A T, Lu C Y, *et al.* Investigation of the Kuroshio-coastal current interaction and marine heat-wave trends in the coral habitats of Northeastern Taiwan [J]. *Regional Studies in Marine Science*, 2024(71): 103431.
- [26] Chang K Y, Chen C S, Wang H Y, *et al.* The Antarctic oscillation index as an environmental parameter for predicting catches of the Argentine shortfin squid (*Illex argentinus*) (Cephalopoda: Ommastrephidae) in south-west Atlantic waters [J]. *Fishery Bulletin*, 2015, **113**(2): 202-212.
- [27] Cui Y H, Liu S D, Zhang Y L, *et al.* Habitat characteristics of *Octopus ocellatus* and their relationship with environmental factors during spring in Haizhou Bay, China [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2022, **33**(6): 1686-1692. [崔晏华, 刘淑德, 张云雷, 等. 海州湾春季短蛸的栖息分布特征及其与环境因子的关系 [J]. *应用生态学报*, 2022, **33**(6): 1686-1692.]
- [28] Fang X N, He Y, Yu W, *et al.* Spatio-temporal distribution of the jumbo flying squid *Dosidicus gigas* off Peru and differences in the effects of environmental conditions [J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2021, **28**(5): 658-672. [方星楠, 何妍, 余为, 等. 秘鲁外海茎柔鱼栖息地时空分布及对环境因子的响应差异 [J]. *中国水产科学*, 2021, **28**(5): 658-672.]
- [29] Shcherbina A. Variability and interleaving of upper-ocean water masses surrounding the north Atlantic salinity maximum [J]. *Oceanography*, 2015, **28**(1): 106-113.
- [30] Cerezo Valverde J, García García B. 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.
- [31] Chen F, Li N, Fang Z, *et al.* Habitat distribution change pattern of *Uroteuthis edulis* during spring and summer in the coastal waters of Zhejiang Province [J]. *Journal of Shanghai Ocean University*, 2021, **30**(5): 847-855. [陈峰, 李楠, 方舟, 等. 浙江近岸海域春夏季剑尖枪乌贼栖息地分布变化规律 [J]. *上海海洋大学学报*, 2021, **30**(5): 847-855.]
- [32] Sagarminaga Y, Arrizabalaga H. Relationship of North-east Atlantic albacore juveniles with surface thermal and chlorophyll-a fronts [J]. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 2014(107): 54-63.
- [33] Ichii T, Mahapatra K, Sakai M, *et al.* Life history of the Neon flying squid: effect of the oceanographic regime in the North Pacific Ocean [J]. *Marine Ecology Progress Series*, 2009(378): 1-11.
- [34] Yu W, Chen X J, Yi Q, *et al.* Review on the early life history of Neon flying squid *Ommastrephes bartramii* in the North Pacific [J]. *Journal of Shanghai Ocean University*, 2013, **22**(5): 755-762. [余为, 陈新军, 易倩, 等. 北太平洋柔鱼早期生活史研究进展 [J]. *上海海洋大学学报*, 2013, **22**(5): 755-762.]
- [35] Guerreiro M F, Borges F O, Santos C P, *et al.* Future distribution patterns of nine cuttlefish species under climate change [J]. *Marine Biology*, 2023(170): 159.
- [36] Liu B L, Cao J, Truesdell S B, *et al.* Reconstructing cephalopod migration with statolith elemental signatures: a case study using *Dosidicus gigas* [J]. *Fisheries Science*, 2016, **82**(3): 425-433.
- [37] Xu M, Liu S, Zhang H, *et al.* Seasonal analysis of spatial distribution patterns and characteristics of *Sepiella maindroni* and *Sepia kobeensis* in the East China Sea region [J]. *Animals*, 2024, **14**(18): 2716.
- [38] Sluis M Z, Judkins H, Dance M A, *et al.* Taxonomic composition, abundance and habitat associations of squid paralarvae in the northern Gulf of Mexico [J]. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, 2021(174): 103572.
- [39] Roura Á, Antón Álvarez-Salgado X, González Á F, *et al.* Life strategies of cephalopod paralarvae in a coastal upwelling system (NW Iberian Peninsula): insights from zooplankton community and spatio-temporal analyses [J]. *Fisheries Oceanography*, 2016, **25**(3): 241-258.
- [40] Chen X J, Zhao X H, Chen Y. Influence of El Niño/La Niña on the western winter-spring cohort of Neon flying squid (*Ommastrephes bartramii*) in the northwestern Pacific Ocean [J]. *ICES Journal of Marine Science*, 2007, **64**(6): 1152-1160.
- [41] Wang C L, Chen F, Jiang R J, *et al.* Effects of typical climate events on spatio-temporal distribution of bottom fish in the coastal waters of Zhejiang [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2024, **44**(10): 4231-4243. [王春丽, 陈峰, 蒋日进, 等. 典型气候事件对浙江近海底层鱼类时空分布的影

- 响 [J]. 生态学报, 2024, **44**(10): 4231-4243.]
- [42] Chen C T A, Jan S, Chen M H, *et al.* Far-field influences shadow the effects of a nuclear power plant's discharges in a semi-enclosed bay [J]. *Sustainability*, 2023, **15**(11): 9092.
- [43] Thompson A R, Swalethorp R, Alksne M, *et al.* State of the California Current Ecosystem report in 2022: a tale of two La Niñas [J]. *Frontiers in Marine Science*, 2024(11): 1294011.
- [44] Guo Y L, Zhao Z F, Qiao H J, *et al.* Challenges and development trend of species distribution model [J]. *Advances in Earth Science*, 2020, **35**(12): 1292-1305. [郭彦龙, 赵泽芳, 乔慧捷, 等. 物种分布模型面临的挑战与发展趋势 [J]. *地球科学进展*, 2020, **35**(12): 1292-1305.]
- [45] Zhang B Q, Lu H J, Zhao M L, *et al.* Standardization of catch per unit effort (CPUE) in northwest Indian ocean *Sthenoteuthis oualaniensis* based on generalized additive model [J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2023, **54**(1): 259-265. [张弼强, 陆化杰, 赵懋林, 等. 基于GAM模型西北印度洋鳃乌贼CPUE标准化 [J]. *海洋与湖沼*, 2023, **54**(1): 259-265.]
- [46] Xu X X, Xie Y, Liu S H, *et al.* Spatial-temporal distribution of *Sepiella maindroni* in Zhejiang coastal waters based on GAM model [J]. *Journal of Zhejiang Ocean University (Natural Science)*, 2022, **41**(5): 400-407. [徐晓萱, 谢玉, 刘姝含, 等. 基于GAM模型的浙江近海曼氏无针乌贼时空分布研究 [J]. *浙江海洋大学学报(自然科学版)*, 2022, **41**(5): 400-407.]

RELATIONSHIP BETWEEN HABITAT DISTRIBUTION CHARACTERISTICS AND ENVIRONMENTAL FACTORS OF *ABRALIA MULTIHAMATA* IN ZHEJIANG OFFSHORE

LI Jian-Xiong^{1,2}, CHEN Feng^{1,2,3}, DAI Qian^{1,2,3}, JIANG Ri-Jin^{1,2,3}, XU Kai-Da^{1,2,3}, ZHOU Yong-Dong^{1,2,3}, LIANG Jun^{1,2,3} and ZHU Kai^{1,2,3}

(1. Marine and Fisheries Institute, Zhejiang Ocean University, Zhoushan 316021, China; 2. Zhejiang Marine Fisheries Research Institute, Zhoushan 316021, China; 3. Scientific Observing and Experimental Station of Fishery Resources for Key Fishing Grounds, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Key Laboratory of Sustainable Utilization of Technology Research for Fishery Resources of Zhejiang Province, Zhoushan 316021, China)

Abstract: *Abralia multihamata* is an important cephalopod species in Zhejiang offshore with a high biomass in the continental shelf waters of the East China Sea. It serves as an important bait organism for marine fish. In this study, the biomass of *Abralia multihamata* was estimated by using the swept area method based on trawl survey data and marine environmental data collected in spring and autumn of 2018 to 2023 in Zhejiang offshore. The relationship between habitat distribution characteristics of *Abralia multihamata* and environmental factors in spring and autumn was analyzed using generalized additive model (GAM). The results showed that the average biomass of *Abralia multihamata* in the Zhejiang offshore exhibited notable seasonal variation. It was mainly distributed within the sea area 27°—29°N, 122°—124°E with a depth of 40—70 m. The factors influencing the cephalopod biomass included longitude, latitude, depth, sea surface temperature (SST), sea surface salinity (SSS), and dissolved oxygen concentration (DO). The optimum SST was 14—18°C in spring and 18—22°C in autumn. The effect of SSS and DO on the biomass of *Abralia multihamata* were not significant during the spring season. The optimum SSS was 27‰—35‰ and the optimum DO was found in the range of 7—11 mL/L in autumn. Furthermore, the findings of this study provide a scientific foundation for the conservation of cephalopod resources in Zhejiang offshore, especially in light of the challenges posed by climate change.

Key words: Generalised additive model; Habitat distribution; Environmental factors; Zhejiang offshore; *Abralia multihamata*