



环境与摄食对山东省近海鱼礁区不同体长许氏平鲷分布的影响

唐衍力*, 解涛, 于浩林, 虎琦, 刘岳, 张萌萌, 方光杰

(中国海洋大学水产学院, 山东 青岛 266003)

摘要: 为研究环境与摄食因素对人工鱼礁区不同体长许氏平鲷分布的影响, 采用2017—2018年山东省近岸3处鱼礁区环境和渔业资源的调查数据, 利用变异系数 CV 均值将样本的体长分为10组, 每群体长间隔为33 mm, 并使用Bray-Curtis相似性指数比较不同海域许氏平鲷体长组成的相似性; 运用去趋势对应分析(DCA)、典范对应分析(CCA)分析各环境要素对不同体长组许氏平鲷分布的影响; 运用胃含物分析法分析许氏平鲷的食物组成。结果显示, 西霞口与长岛鱼礁区样本体长组成相似性指数为70.66%, 前三岛鱼礁区与西霞口鱼礁区、长岛鱼礁区的相似性指数较低, 分别为54.94%和59.46%; 大体长(299~365 mm)许氏平鲷的分布与水深、水质指数(WQI)和化学需氧量(COD)相关性较大, 喜好水深较深、营养丰富的水域; 小体长(35~200 mm)许氏平鲷喜好水深较浅, 水质好的水域。大体长(200~365 mm), 高龄(2~3龄)的个体主要摄食鱼类、虾类和蟹类, 优势饵料为鱼类(IRI 为65.94%); 小体长(35~200 mm), 低龄(0~1龄)的个体主要摄食虾类和蟹类, 优势饵料为虾类(IRI 为45.69%)。研究表明, 在浅水区域投放幼鱼保护型鱼礁, 为幼鱼提供庇护所; 将捕捞作业集中在深水区, 减少对许氏平鲷小体长个体的兼捕, 可以达到针对性增殖、保护许氏平鲷资源的目的。

关键词: 许氏平鲷; 体长; 分布; 摄食; 典范对应分析; 山东省

中图分类号: S 931

文献标志码: A

近几年, 我国海洋牧场建设蓬勃发展, 其中山东省的海洋牧场建设成果尤为突出^[1-2], 截至2018年末, 全省共建设国家级海洋牧场32个。投礁型海洋牧场主要是为鱼类提供庇护场所, 给藻类提供附着基质, 进而达到聚集鱼群, 改善海洋环境的目的。随着海洋牧场建设规模的不断扩大, 对礁区的资源与环境等调查研究也不断深入。相关研究证明, 投放人工鱼礁能够有效吸引鱼类的聚集。

许氏平鲷(*Sebastes schlegelii*)为典型的恋礁型鱼类, 广泛分布于我国黄、渤海区^[3-4]。目前国

内学者对许氏平鲷的研究主要集中在生物学、摄食生态、养殖技术和选择性捕捞等方面^[5-8], 而在群落与物种方面的研究大多集中在生物群落分布与物种资源^[9]。在单一物种的种群内, 不同体长的个体对环境有着不同的响应, 饵料生物的分布对不同体长个体的分布也有着直接影响。人工鱼礁的投放改变了局部海域的流场和环境条件, 使一定范围内的环境和饵料生物的组成发生变化, 进而影响生物种群的分布。

鱼礁的投放需要依据目标海域的水深、底质及其他海水理化性质来选址^[10], 许氏平鲷作为

收稿日期: 2019-05-24 修回日期: 2019-07-25

资助项目: 山东省海洋与渔业科技创新项目(2017HYCX007); 山东省海洋与渔业厅“人工鱼礁区渔业资源调查”项目

通信作者: 唐衍力, E-mail: tangyanli@ouc.edu.cn

我国沿海重要的经济鱼种, 投放鱼礁保护幼鱼并减少对幼鱼的兼捕, 对增殖并保护渔业资源有着重要意义。本研究依据2017—2018年于山东省长岛、西霞口、前三岛3处鱼礁区开展渔业资源地笼调查所获得的数据, 分析环境和摄食因素对不同体长许氏平鲈分布的影响, 以期为海洋牧场的选址和对许氏平鲈资源的评估与合理利用提供参考。

1 材料与方法

1.1 调查海域

调查海域位于山东半岛北部(长岛鱼礁区)、东部(西霞口鱼礁区)和南部(前三岛鱼礁区)区域(图1)。长岛鱼礁区面积约146.7 hm², 范围38.026°~38.040°N, 120.860°~120.874°E, 水深13~30 m, 共投放礁体35.85万空方; 西霞口鱼礁区面积约243.0 hm², 范围37.399°~37.406°N, 120.544°~120.575°E, 水深5~16 m, 共投放礁体约60万空方; 前三岛鱼礁区面积约174.2 hm², 范围35.117°~35.162°N, 119.868°~119.917°E, 水深15~33 m, 共投放礁体约93万空方。

1.2 调查站位

2017—2018年于3处鱼礁区按春夏秋冬4个季度取样, 西霞口鱼礁区每季度调查2航次, 前三岛鱼礁区与长岛鱼礁区每季度调查1航次。西

霞口与长岛鱼礁区每航次随机设置9个站位, 前三岛鱼礁区每航次设置10个站位。除海况原因导致的无效站位外, 西霞口鱼礁区共调查69个站位次、长岛鱼礁区32个站位次、前三岛鱼礁区38个站位次(图2)。

1.3 调查方法及样品处理

调查渔具为地笼网, 每只包含28节, 总长6.85 m, 框架尺寸为36 cm×22 cm, 网目尺寸2 cm, 1组地笼由3只地笼串联而成, 总长20.55 m, 每个站点放置1组。网具在调查海域内放置24 h, 收集全部渔获物并带回实验室。按照海洋调查规范^[1]测定许氏平鲈体长后取出完整的胃, 目测摄食等级后解剖, 先用吸水纸吸干表面水分, 使用精密天平(精确到0.1 mg)对饵料生物进行称量并计数, 使用解剖镜对饵料生物进行鉴定分类, 个体较完整的饵料生物通过形态进行鉴别, 消化较为充分的通过耳石、额角等进行鉴别, 尽可能鉴定到最低的分类单元。

通过耳石观测获取许氏平鲈的年龄数据。将耳石凹面向上浸于水中, 在解剖镜下观察, 放大倍数1.2, 记录从耳石核心到外部边缘的年轮数, 每一完整的透明带和半透明带计为一个年轮标志。为防止主观因素影响, 年轮观测重复2次, 间隔1个月, 每次观测顺序完全随机, 当2次的年轮计数一致, 则认为计数正确, 否则进行复核确定准确轮纹数。

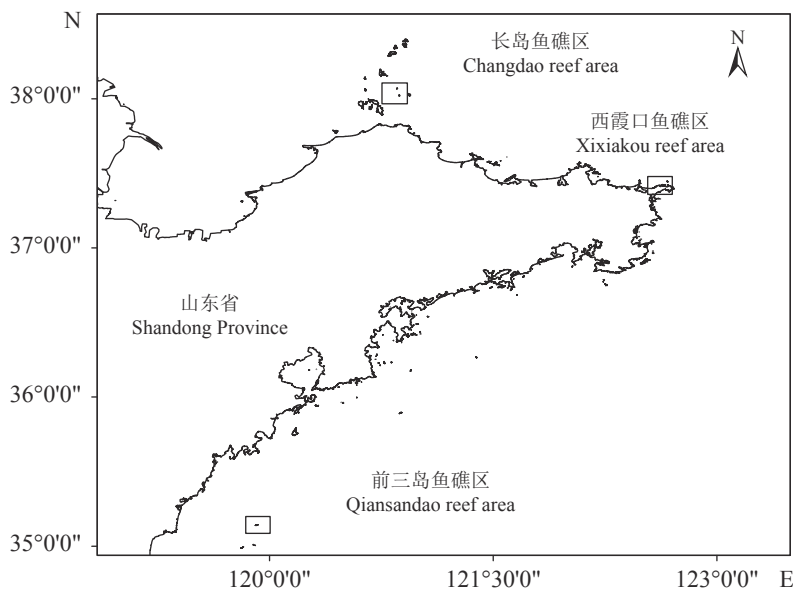


图1 调查海域位置

Fig. 1 Location of sea areas of survey

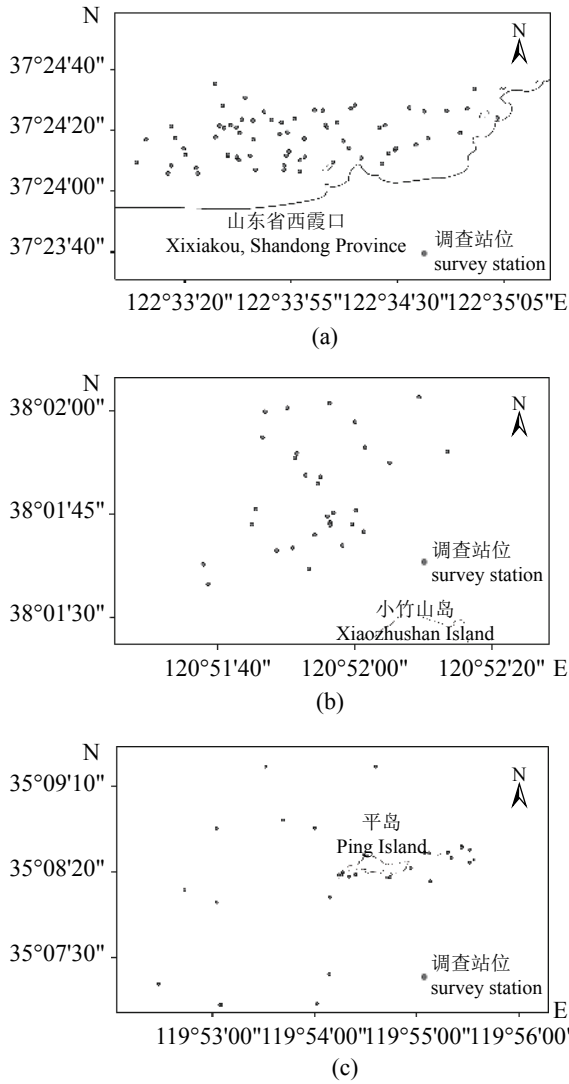


图2 调查站位

(a)西霞口鱼礁区, (b)长岛鱼礁区, (c)前三岛鱼礁区

Fig. 2 Survey station

(a) Xixiakou reef area, (b) Changdao reef area, (c) Qiansandao reef area

水深(depth, m)由声呐点阵有线探鱼器测得, 透明度(transparency, m)采用黑白盘法进行测量, 使用YSI公司多参数水质测量仪对温度(°C)、盐度、溶解氧含量(DO, mg/L)、pH值进行测定, 水样采集使用有机玻璃采水器采集底层水样, 带至实验室分析。叶绿素a(chlorophyll a, mg/L)、化学需氧量(COD, mg/L)、SiO₃²⁻-Si、PO₄³⁻-P、NO₂⁻-N、NH₄⁺-N、NO₃⁻-N、总无机氮的测量按照海洋监测规范^[12]进行。

1.4 数据分析

体长组划分 许氏平鲈渔获样本体长为35~362 mm, 为表征不同的体长分组对于结果的

影响, 将样本按不同体长间隔, 平均分为1~14个体长组, 计算每种分组方式内各体长组的变异系数CV和平均变异系数 \overline{CV} ^[13], 不同分组方式的 \overline{CV} 值计算方法:

$$\overline{CV} = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k \left| \frac{\sqrt{\left(x_{ij} - \frac{1}{n} \sum_{ij=1}^n x_{ij}\right)^2}}{\frac{1}{n} \sum_{ij=1}^n x_{ij}} \right|$$

$k \times t = 327$

式中, k 为许氏平鲈35~362 mm的离散体长分段的段数, x_{ij} 为划分 k 个体长组时第 j 组第 i 尾许氏平鲈的体长, n 为第 j 组内许氏平鲈的尾数。其中 k 分别取2~14的整数, t 为分别与不同 k 值所对应的体长组范围, 由此绘制出不同体长组划分的 \overline{CV} 值曲线。

许氏平鲈种群分布与环境相关性分析

各营养盐浓度(硅酸盐、无机磷、亚硝酸盐、氨氮、硝酸盐、总无机氮)、叶绿素 a 及透明度的负数进行标准分数(z-score)转换后相加得到水质指数(water quality index, WQI)。WQI数值小代表水质营养水平低, 且透明度高; 数值大代表水质趋近富营养, 且透明度低。

通过去趋势对应分析(DCA)^[14]结果, 采用典范对应分析(canonical correspondence analysis, CCA), 将计算结果与环境因子进行回归, 探究礁区环境因素与许氏平鲈不同体长多度分布的影响关系, 将所有站位的丰度构成“站位×多度”矩阵。通过膨胀因子(inflation factor)大于10的指标及蒙特卡洛置换检验筛选环境变量, 此部分使用R语言中的vegan包进行。

利用Bray-Curtis相似性指数^[15]计算不同采样海域许氏平鲈体长组成的相似性, 分析不同海域许氏平鲈资源分布的变化特征。相似性指数(B)的计算公式:

$$B = 100 \times \left[1 - \frac{\sum_{i=1}^s |x_{ij} - x_{im}|}{\sum_{i=1}^s |x_{ij} + x_{im}|} \right]$$

式中, x_{ij} 和 x_{im} 分别为第 i 个体长组在 j 海域和 m 海域渔获的个体数[经过lg(x+1)转换]。

胃含物分析 通过质量百分比(W)、个体数百分比(N)、出现频率(F)和相对重要性指数百分比(IRI)^[16]来评价许氏平鲈摄食饵料的重要性的和食性类型:

$$\text{质量百分比}(W, \%) = \frac{\text{某饵料生物总质量}}{\text{饵料生物总质量}} \times 100\%$$

$$\text{个体数百分比}(N, \%) = \frac{\text{某饵料生物总数量}}{\text{饵料生物总数量}} \times 100\%$$

$$\text{出现频率}(F, \%) = \frac{\text{某饵料生物出现次数}}{\text{非空胃数}} \times 100\%$$

$$\text{相对重要性指数}(IRI) = F(N + W)$$

$$\text{相对重要性指数百分比}[IRI, \%) = \frac{IRI}{\sum IRI} \times 100\%$$

2 结果

2.1 体长组分段

当体长组分段数为2~9时, 分段数的增加使样本各分段组内体长的差异迅速减小, 各段内体长平均值在总样本体长范围内差异性减小; 当分段数大于9时, 其差异性趋于稳定(图3)。因此本研究将许氏平鲈样本以33 mm为间隔, 划分为编号1~10共10个体长组, 进一步分析。

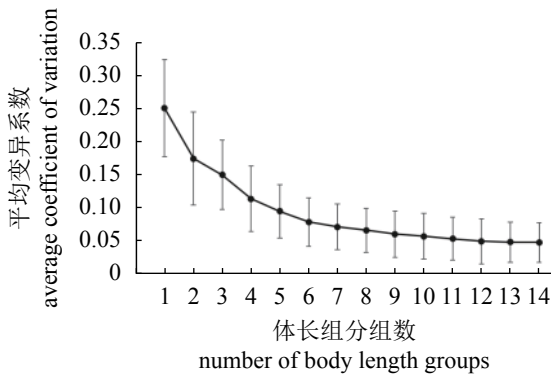


图3 不同体长范围的体长组划分的CV平均值

Fig. 3 Average value of CV in groups with different body length ranges

2.2 不同海域各体长组数量比例

三处鱼礁区共捕获许氏平鲈750尾, 其中西霞口鱼礁区捕获464尾, 体长35~297 mm; 长岛鱼礁区捕获144尾, 体长55~272 mm; 前三岛鱼礁区捕获142尾, 体长54~362 mm。为探究三处鱼礁区许氏平鲈样本体长组成的相似性, 各体长组个体数量占总样本数量的比例见图4, 在西霞口与长岛鱼礁区捕获的许氏平鲈样本体长集中在68~200 mm的小体长组, 前三岛鱼礁区捕获的许氏平鲈样本体长集中在200~365 mm的大体长组。

各海域间Bray-Curtis相似性指数见表1。西霞口鱼礁区与长岛鱼礁区之间的相似性指数为

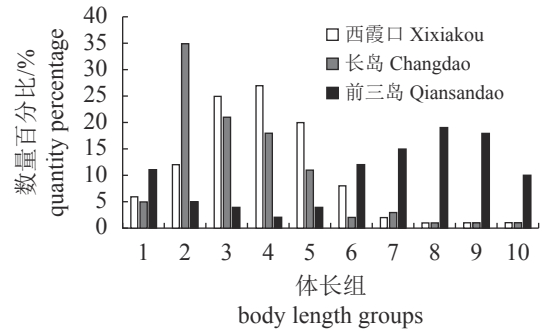


图4 各鱼礁区许氏平鲈不同体长组数量百分比
Fig. 4 Quantity percentage of different body length groups of *S. schlegelii* in each reef area

70.66%, 两处鱼礁区许氏平鲈样本体长组成具有较高的相似性; 前三岛与西霞口鱼礁区之间的相似性指数为54.94%, 长岛与前三岛鱼礁区之间的相似性指数为59.46%, 相似性较低, 此结果与三处鱼礁区的各体长组数量比例相一致。

表1 不同鱼礁区的许氏平鲈体长组成
Bray-Curtis相似性指数

Tab. 1 Bray-Curtis similarity index of body length composition in different reef areas

采样区域 sampling area	前三岛-西霞口 Qiansandao-Xixiakou	西霞口-长岛 Xixiakou-Changdao	长岛-前三岛 Changdao-Qiansandao
Bray-Curtis相似性指数 Bray-Curtis similarity index	54.94	70.66	59.46

2.3 去趋势对应分析

对环境变量进行共线性筛选, 结果表明温度、透明度、水深、WQI、盐度、溶解氧、pH、COD共8个变量膨胀系数小于10, 将此变量组进行CCA分析, 排序结果见表2。CCA模型结果表明总方差解释量为23.64%, 前2个RDA排序轴可以达到总解释量的76.99%, 故采用前两个排序轴进行结果分析。

筛选后的变量按照无显著性变量不进行解读原则, CCA排序表明, 水深、透明度、pH值、COD、WQI共5个环境变量对不同体长的许氏平鲈分布有显著性影响(表3)。第1排序轴主要反映了水深、pH的变化趋势, 这2个环境因子与第1排序轴的相关系数分别为0.999和0.985; 第2排序轴主要反映了透明度、COD和WQI的变化趋势, 主要代表了水质的变化, 3个环境因子与第2轴的相关系数分别为0.985、-0.532和-0.580。上述结果表明, 这5个环境因子与不同体长许氏平鲈的

表2 CCA排序结果

Tab. 2 CCA ordination summary

	参数 parameters	轴1 Axis1	轴2 Axis2	排序轴数量 rank
典范排序 canonical ordination	特征值 eigenvalues	0.47	0.14	
	方差解释量/% variance explanation	58.8	18.2	
	总方差解释量/% total variance explanation	23.64		8
非约束排序 unconstrained ordination	特征值 eigenvalues	0.49	0.39	
	方差解释量/% variance explanation	19.1	15.3	
	总方差解释量/% total variance explanation	76.36		9
蒙特卡洛置换检验 summary of Monte Carlo test				
线性 RDA	显著性($\alpha=0.05$) significance of all canonical axis	0.001		

表3 环境因子与CCA排序轴相关性分析

Tab. 3 Correlations between environmental factors and the ordination axis

环境参数 environment parameters	CCA1	CCA2	P值 P value	显著性水平 significanc level
水深 dpeth	0.790 28	0.017 22	0.001	***
透明度 transparency	0.080 27	0.641 99	0.011	*
温度 temperature	-0.056 88	-0.168 61	0.734	-
溶解氧 DO	0.142 59	0.041 65	0.466	-
盐度 salinity	-0.289 04	-0.064 59	0.083	•
pH	0.573 24	-0.153 29	0.002	**
COD	0.472 44	-0.601 41	0.001	***
WQI	0.492 02	-0.719 31	0.001	***

Notes: ***, $P < 0.001$, **, $P < 0.01$, *, $P < 0.05$, •, $P < 0.1$, -, $P > 0.1$

分布存在相关性。

CCA检验结果见表2, P 值小于0.1, 模型成立。CCA排序图表明, 小体长组(1~5组, 35~200 mm)的许氏平鲈个体分布与水深、COD和WQI呈负相关, 与盐度和温度呈正相关; 中等体长组(6~7组, 200~299 mm)许氏平鲈的分布与透明度呈正相关; 最大体长组(9、10组, 299~365 mm)内的个体与COD、WQI、水深相关性较大(图5, 图中X1~X10分别代表各组)。

2.4 环境差异性

根据CCA的结果, 选取与不同体长组的许氏平鲈分布相关性较大的环境因子, 使用SPSS软件进行方差分析(表4), 前三岛鱼礁区的水深与长岛鱼礁区差异不显著, 但其余各项环境因子与其他两处海域均存在显著差异, 高于西霞口和长岛鱼礁区, 水深较深, 营养化水平较高(表5)。

<http://www.sxuebao.cn>

2.5 不同体长组年龄组成

为探究不同体长组的许氏平鲈个体的年龄组成, 对获取到耳石的299尾样本进行年龄分析。根据CCA结果, 将所有许氏平鲈个体分为小体长组(1~5组, 35~200 mm)和大体长组(6~10组, 201~265 mm)两类, 其中, 小体长组233尾, 大体长组66尾, 不同体长组的年龄组成见图6。小体长组包含0龄、1龄和2龄的个体, 分别占总数的57.94%、27.9%和14.16%, 平均为0.56龄; 大体长组包含1龄、2龄、3龄和4龄的个体, 分别占总数的3.03%、45.45%、46.97%和4.55%, 平均为2.53龄。不同年龄的个体平均体长见图7, 结果显示0~4龄的个体平均体长分别为97、153、204、220、246 mm。

2.6 胃含物分析

为探究不同体长、年龄许氏平鲈之间摄食的差异及饵料因素对其分布的影响, 选取西霞口鱼礁区387尾样本进行胃含物分析。其中, 非空胃150尾, 占总数的38.8%, 其中小体长组共91尾, 大体长组共59尾。胃含物分析结果见表6, 许氏平鲈共摄食包括许氏平鲈、大泷六线鱼(*Hexagrammos otakii*)、鹰爪虾(*Trachypenaeus curvirostris*)、四齿矶蟹(*Pugettia quadidens*)、慈母互敬蟹(*Hyastenus pleione*)等25种生物。小体长组共摄食22种生物, 主要摄食种类为四齿矶蟹、鹰爪虾、麦秆虫科、许氏平鲈($IRI > 10\%$), 摄食种类IRI从大到小排序分别为虾类、蟹类、其他种类和鱼类, 占比分别为45.69%、33.57%、13.66%和7.08%; 大体长组共摄食10种生物, 主要摄食种类为许氏平鲈、大泷六线鱼和四齿矶蟹, 摄食种类IRI从大到小排序依次为鱼类、虾类和蟹类, 分别为65.94%、17.07%和17.00%, 其中鱼类在食物组成中的占比

中国水产学会主办 sponsored by China Society of Fisheries

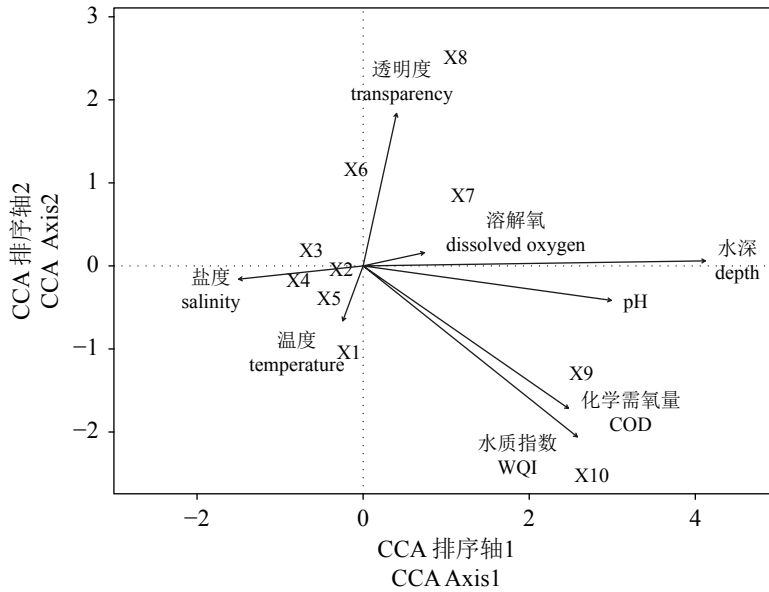


图5 体长组分布与环境因子CCA排序图

Fig. 5 CCA ordination of body length groups distribution and environmental factors

表4 不同海域各环境因子的差异显著性

Tab. 4 Significance levels of environmental factors in different sea areas

环境参数 environment parameters	鱼礁区 reef area	差异显著性 significance level
深度 depth	前三岛 西霞口	0.000
	长岛	0.335
透明度 transparency	前三岛 西霞口	0.011
	长岛	0.001
COD	前三岛 西霞口	0.000
	长岛	0.016
WQI	前三岛 西霞口	0.001
	长岛	0.002
pH	前三岛 西霞口	0.000
	长岛	0.000

注: 平均值差异显著性水平为0.05
Notes: significance level of average difference is 0.05

超过一半。两个体长组之间的食物组成存在显著差异, 这与CCA排序结果相一致。

3 讨论

3.1 体长组成的相似性与环境差异

三个鱼礁区中捕获的许氏平鲈样本的体长组成存在差异, 在前三岛鱼礁区捕获的许氏平

鲈大体长组个体数量比例显著高于其他两个区域。CCA结果表明, 较大体长个体的分布水质相关性较大, 喜好栖息于营养水平较高的区域, 前三岛海域的pH值、COD和WQI均高于其他两个海域, 营养水平较高, 这与体长组成差异相对应。同时, 前三岛鱼礁区所处位置离陆地较远, 捕捞压力较小, 这可能也是调查区域内大体长的许氏平鲈分布较多的原因。

3.2 不同体长个体分布与环境的相关性分析

CCA结果显示, 不同体长个体的分布与水深和水质存在相关性, 但大体长组的个体分布与水深非直接相关, 与pH、COD、透明度和WQI相关性更强。Odum^[17]和邱永松^[18]的研究表明, 温度和盐度等环境因子是游泳动物群集的直接限制因素, 水深是影响鱼类群落结构变化的间接因素, 与其他环境因子共同影响一系列海水理化性质, 水质与底质等变化会改变生物生长环境中的光照条件和浊度^[19], 进而影响大型藻类及鱼礁礁体表面附着物的分布和饵料生物的分布, 鱼类会根据其自身的适应条件做出相应的选择与响应。前三岛海域的pH值、COD和WQI均高于其他2处海域, 而水深与长岛鱼礁区无显著差异, 这可能是由于底质、海流等因素改变了海水理化条件, 进而直接影响不同体长许氏平鲈的分布, 导致两处鱼礁区样本的体长组成产生差异。由于温度与其他环境因子之间均有

表 5 不同海域各环境因子年平均值

Tab. 5 Annual average of environmental factors in different sea areas

鱼礁区 reef area	平均水深/m average depth	水深范围/m depth range	透明度/m transparency	pH	化学需氧量 COD	WQI
西霞口 Xixiakou	7.5	4.4~16.7	1.79	7.97	0.867	-0.58
长岛 Changdao	19.6	12.7~30.6	1.58	7.81	1.369	-0.95
前三岛 Qiansandao	21.7	15.0~32.8	2.16	8.17	1.724	1.83

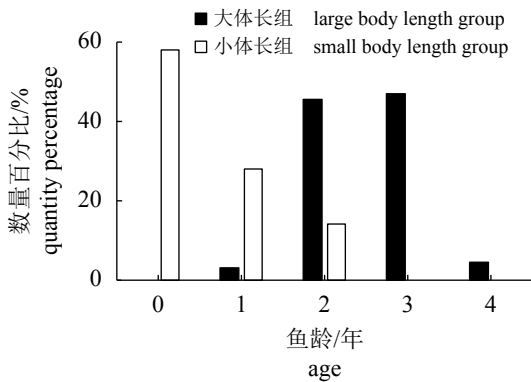


图 6 不同体长组年龄组成

Fig. 6 Age composition of different body length groups

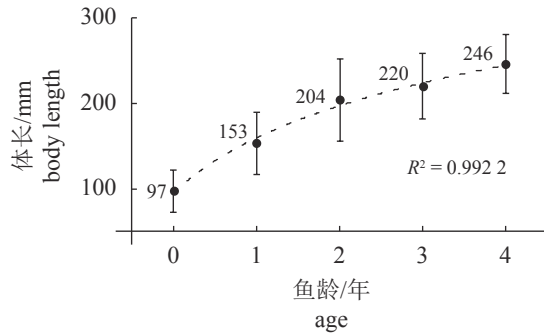


图 7 不同年龄平均体长

Fig. 7 Average body length at different ages

交互影响, 在第1、2轴上的相关性并不显著, 另外由于水深越深, 温度越低, 因此可以依据水深解释温度的变化情况, 结果显示小体长组(1~5组)的许氏平鲈对深度的变化最敏感, 且与其他更大体长组分别分布在第2轴的左右两侧, 体长较小的许氏平鲈喜好水质较好的水域, 不同体长组的个体喜好的生存环境存在差异, 表明不同体长个体有着不同的生态位。结合胃含物分析结果, 大体长的许氏平鲈捕食同类时, 摄食对象大多为小体长组的个体。Henderson等^[20]对大西洋牙鲆(*Paralichthys dentatus*)的研究表明, 不同的生态位决定了不同体长鱼类的分布, 由于食物选择的不同和为了躲避较大体型鱼类的捕食, 较小

体长的幼鱼通常会在距离大型鱼礁较远的区域活动, 而较大体长的成鱼通常使用伏击的方式捕食猎物。随着水深的增加, 水体温度逐渐降低, 下层水温较低、光照较弱, 较小体长的许氏平鲈喜好栖息于浅水、温度较高的水域, 有利于躲避较大体长许氏平鲈的捕食。

3.3 食性分析及饵料因素对分布的影响

许氏平鲈属贪食性鱼类, 摄食种类复杂, 消化能力强。近年来, 国内学者对许氏平鲈的摄食行为一直有研究^[8, 21], 本研究对不同体长许氏平鲈的食性进行初步分析, 探究摄食因素对其分布的影响。袁桂香等^[22]认为水深等环境要素并非影响动植物分布的直接因素, 环境的改变影响了植物的生长与分布, 进而影响鱼类对栖息地的选择, 饵料物种的分布才是鱼类分布的直接影响因素。Schafer等^[23]的研究表明, 不同体型鱼类的摄食对象有所不同, 体型的大小影响其选择捕猎对象, 因此除了环境因素, 对不同体长与个体食性的探究也是有必要的。胃含物分析结果表明, 许氏平鲈共摄食25种生物, 其中较小体长的许氏平鲈主要捕食虾蟹等小型甲壳类生物, 饵料生物属于沿岸性和近海性生态类群^[24], 与张波等^[21]对许氏平鲈摄食研究所得出的结果相近; 蒋日进等^[25]研究浮游动物群落季节变化的结果表明, 由于光照因素, 浅水区透明度较高, 藻类及浮游植物光合作用强, 提高初级生产力的同时, 浮游动物及小型甲壳类分布较多, 这与本研究中得出的结果一致: 由于浅水区域的环境和甲壳类生物的集中, 导致小体长许氏平鲈的生态位偏向于浅水水域, 喜好栖息于水深较浅, 水质较好的区域。较大体长的许氏平鲈个体喜好捕食鱼类, 对鱼类的摄食选择性较高, Yemane等^[26]对南非近海底层鱼类的调查和苏巍等^[27]对海州湾海域鱼类的调查结果都显示出鱼类的多样性指数随着水深的增加, 呈现出先上升后下降的趋势, 在水深等深线25 m时多

表 6 许氏平鲈食物组成
Tab. 6 Food composition of *S. schlegelii*

	物种 species	IRI/%			
		小体长组 small body length group		大体长组 large body length group	
鱼类 fish	许氏平鲈 <i>Sebastes schlegelii</i>	10.15	7.08	40.97	65.94
	大泷六线鱼 <i>Hexagrammos otakii</i>	-		12.29	
	方氏云鳎 <i>Enedras fangi</i>	-		3.71	
	黄盖鲽 <i>Pseudopleuronectes yokohamae</i>	0.19		-	
	尖海龙 <i>Syngnathus acus</i>	0.60		7.97	
	未鉴定鱼类 unidentified fish	6.46		-	
虾类 shrimp	葛氏长臂虾 <i>Palaemon gravieri</i>	0.51	45.69	0.87	17.07
	日本鼓虾 <i>Alpheus japonicus</i>	1.04		0.63	
	鲜明鼓虾 <i>Alpheus heterocarpus</i>	1.17		-	
	鹰爪虾 <i>Trachypenaeus curvirostris</i>	14.25		4.59	
	毛虾属 <i>Acetes</i>	1.45		0.57	
	脊腹褐虾 <i>Crangon affinis</i>	0.81		-	
	鞭腕虾 <i>Hippolysmata vittata</i>	0.56		-	
	未鉴定虾类 unidentified shrimp	1.72		2.63	
蟹类 crab	强壮菱蟹 <i>Parthenope validus</i>	0.33	33.57	-	17.00
	四齿矶蟹 <i>Pugettia quadidens</i>	28.87		19.08	
	慈母互敬蟹 <i>Hyastenus pleione</i>	4.78		5.96	
	日本罍 <i>Charybdis japonica</i>	2.07		-	
	肉球近方蟹 <i>Hemigrapsus sanguineus</i>	0.67		-	
	绒毛细足蟹 <i>Raphidopus ciliatus</i>	0.48		-	
	三疣梭子蟹 <i>Portunus trituberculatus</i>	-		-	
	未鉴定蟹类 unidentified crab	4.03		0.72	
其他 others	钩虾亚目 Gammaridea	1.41	13.66	-	0
	哲水蚤科 Calanidae	0.16		-	
	麦秆虫科 Caprellidae	10.33		-	
	等足目水虱 Isopoda	0.29		-	
	糠虾科 Mysidae	7.46		-	
	鱼卵 fish eggs	0.22		-	

注: - 表示该体长组胃含物内未发现此物种

Notes: - indicates that this species is not found in the stomach contents of the body length group

样性指数达到最大, 许氏平鲈属于高级肉食性鱼类[3.5≤营养级(TL)≤4.0]^[28], 能够捕食大多数体型合适的鱼类, 较大体长的许氏平鲈喜好栖息于水深较深, 海水营养丰富的区域, 深水鱼类饵料种类的多样化可能是较大体长许氏平

鲈喜好深水环境的原因。

3.4 年龄组成分析

同一物种内, 受环境与饵料因素的共同影响, 不同生长周期与大小的个体生态位有所不

同, 鱼类对食物的选择会随着个体的生长发育而发生变化^[29], 而饵料生物的分布对鱼类分布有着直接影响。对许氏平鲈的年龄分析显示, 大体长组与小体长组分别属于两个不同世代, 小体长组大多为0龄和1龄的幼龄个体, 占总数的85.9%, 大体长组大多为2龄和3龄的成鱼, 占总数的91.1%。其中2龄许氏平鲈的平均体长为204 mm, 与两个体长组的分组结果相一致。相关研究表明, 鱼类和饵料生物个体的相对大小与食物摄食选择性有着密切的关系^[30], 捕食者尽可能地捕食大个体的饵料生物, 从而最大限度地获取能量^[31]。这种食性的转换有利于满足不同生长发育阶段的摄食需求, 有效利用食物资源^[32], 同时由于各类饵料生物的生存环境存在差异, 不同年龄的许氏平鲈在不同环境内生长发育, 高龄、大体长的成鱼主要摄食鱼类, 幼龄、小体长的幼鱼由于主要摄食虾蟹类, 有利于减少种内竞争。

4 结论

本研究针对不同体长的许氏平鲈在鱼礁区的分布展开讨论, 分析与其分布相关的环境因素和摄食因素, 结果显示不同体长的许氏平鲈有着不同的生态位和食性, 饵料的分布为直接影响因素, 环境因素大多为间接影响因素。国内学者对其他物种分布的研究^[33-35]证明鱼类的分布与季节的变化息息相关, 本研究由于时间跨度相对偏短, 未将季节单独纳入分析, 这也可能是导致温度与其他环境要素相比, 其相关性不显著的原因。研究表明, 在浅水区域投放保护型鱼礁, 为幼鱼提供庇护所; 将捕捞集中在深水区, 减少对较小体长个体的兼捕, 可以达到增殖并保护许氏平鲈资源的目的。

参考文献:

- [1] 丁金强, 孙利元, 赵振营, 等. 山东省海洋牧场现状与发展思路[J]. 海洋开发与管理, 2017, 34(S2): 29-33.
Ding J Q, Sun L Y, Zhao Z Y, *et al.* The current situation and development of marine ranching in Shandong Province[J]. Ocean Development and Management, 2017, 34(S2): 29-33(in Chinese).
- [2] 郑永允, 宋爱环, 吴莹莹, 等. 山东省海洋牧场建设浅析[J]. 海洋开发与管理, 2017, 34(S2): 16-19.
Zheng Y Y, Song A H, Wu Y Y, *et al.* Analysis of mar-

ine ranching construction in Shandong Province[J]. Ocean Development and Management, 2017, 34(S2): 16-19(in Chinese).

- [3] 王宇, 侯纯强, 汪笑宇, 等. 天津近岸海域人工鱼礁区渔业资源增殖效果初步评估[J]. 海洋湖沼通报, 2018(2): 137-145.
Wang Y, Hou C Q, Wang X Y, *et al.* Preliminary evaluation on proliferation effects of artificial reefs in live oyster reef area, Tianjin, China[J]. Transactions of Oceanology and Limnology, 2018(2): 137-145(in Chinese).
- [4] 刘鸿雁, 吕洪斌, 张沛东, 等. 人工鱼礁模型和大型海藻对许氏平鲈和大泷六线鱼幼鱼的诱集作用[J]. 水产学报, 2018, 42(1): 48-59.
Liu H Y, Lü H B, Zhang P D, *et al.* Attraction effect of artificial reef model and macroalgae on juvenile *Sebastes schlegelii* and *Hexagrammos otakii*[J]. Journal of Fisheries of China, 2018, 42(1): 48-59(in Chinese).
- [5] 宋理平, 冒树泉, 马国红, 等. 饲料脂肪水平对许氏平鲈脂肪沉积、血液生化指标及脂肪代谢酶活性的影响[J]. 水产学报, 2014, 38(11): 1879-1888.
Song L P, Mao S Q, Ma G H, *et al.* Effects of dietary lipid level on lipid deposition, blood biochemistry indices and lipid metabolic enzyme activities of *Sebastes schlegelii*[J]. Journal of Fisheries of China, 2014, 38(11): 1879-1888(in Chinese).
- [6] 唐衍力, 张武浩, 刘岳, 等. 不同尺寸网目与缩结系数对许氏平鲈的选择性[J]. 中国水产科学, 2019, 26(3): 586-591.
Tang Y L, Zhang W H, Liu Y, *et al.* Selectivity of fish traps with different size mesh and hanging ratio for *Sebastes schlegelii*[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2019, 26(3): 586-591(in Chinese).
- [7] 王仁龙, 刘立明, 王志宝, 等. 许氏平鲈*Sebastes schlegelii*“特定发育期”主要酶的活力和激素含量的研究[J]. 烟台大学学报(自然科学与工程版), 2018, 31(2): 127-135.
Wang R L, Liu L M, Wang Z B, *et al.* Enzyme activity and hormone level of *Sebastes schlegelii* in the 'Specific Developmental Periods'[J]. Journal of Yantai University (Natural Science and Engineering Edition), 2018, 31(2): 127-135(in Chinese).
- [8] 郭浩宇, 张秀梅, 张宗航, 等. 许氏平鲈仔、稚鱼的摄食特性及幼鱼胃排空率[J]. 水产学报, 2017, 41(2): 285-291.
Guo H Y, Zhang X M, Zhang Z H, *et al.* Feeding characteristics and juvenile stomach emptying rate of *Sebastes schlegelii* larvae and juveniles[J]. Journal of Fisheries of China, 2017, 41(2): 285-291(in Chinese).

- 296.
- Guo H Y, Zhang X M, Zhang Z H, *et al.* Study on feeding habits of *Sebastes schlegelii* larvae and gastric evacuation rate of juvenile[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2017, 41(2): 285-296(in Chinese).
- [9] 王雪辉, 邱永松, 杜飞雁, 等. 北部湾鱼类群落格局及其与环境因子的关系[J]. *水产学报*, 2010, 34(10): 1579-1586.
- Wang X H, Qiu Y S, Du F Y, *et al.* Fish community pattern and its relation to environmental factors in the Beibu Gulf[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2010, 34(10): 1579-1586(in Chinese).
- [10] Kramer S H, Hamilton C D, Spencer G C, *et al.* Evaluating the potential for marine and hydrokinetic devices to act as artificial reefs or fish aggregating devices. based on analysis of surrogates in tropical, subtropical, and temperate US west coast and hawaiian coastal waters[R]. Honolulu: H. T. Harvey & Associates, 2015.
- [11] GB/T 12763. 2-2007, 海洋调查规范第2部分: 海洋水文观测[S]. 北京: 中国标准出版社, 2007.
- GB/T 12763. 2-2007, Specifications for oceanographic survey-Part 2: Marine hydrographic observation[S]. Beijing: Standards Press of China, 2007.
- [12] GB/T 12763. 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.
- GB/T 12763. 6-2007, Specifications for oceanographic survey-Part 6: Marine biological survey[S]. Beijing: Standards Press of China, 2007.
- [13] 陈晓亮, 沈永明, 崔雷, 等. 渤海风场的概率预测模型研究[J]. *海洋环境科学*, 2019, 38(1): 93-99.
- Chen X L, Shen Y M, Cui L, *et al.* Study on probabilistic forecasting model of wind field in the Bohai Sea[J]. *Marine Environmental Science*, 2019, 38(1): 93-99(in Chinese).
- [14] Lepš J, Šmilauer P, Lepš J, *et al.* Multivariate analysis of ecological data using canoco[M]. New York: Cambridge University Press, 2003.
- [15] Bray J R, Curtis J T. An ordination of the upland forest communities of Southern Wisconsin[J]. *Ecological Monographs*, 1957, 27(4): 325-349.
- [16] Pianka E R. Ecology of the agamid lizard *amphibolurus isolepis* in Western Australia[J]. *Copeia*, 1971(3): 527-536.
- [17] Odum E P. 生态学基础[M]. 孙儒泳, 译. 3版. 北京: 人
- 民教育出版社, 1981: 320-346.
- Odum E P. *Fundamentals of ecology*[M]. Beijing: People's Education Press, 1981: 320-346(in Chinese).
- [18] 邱永松. 南海北部大陆架鱼类群落的区域性变化[J]. *水产学报*, 1988, 12(4): 303-311.
- Qiu Y S. The regional changes of fish community on the northern continental shelf of South China Sea[J]. *Journal of Fisheries of China*, 1988, 12(4): 303-311(in Chinese).
- [19] Pinault M, Bissery C, Gassiole G, *et al.* Fish community structure in relation to environmental variation in coastal volcanic habitats[J]. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 2014, 460: 62-71.
- [20] Henderson M J, Fabrizio M C, Lucy J A. Movement patterns of summer flounder near an artificial reef: effects of fish size and environmental cues[J]. *Fisheries Research*, 2014, 153: 1-8.
- [21] 张波, 李忠义, 金显仕. 许氏平鲈的食物组成及其食物选择性[J]. *中国水产科学*, 2014, 21(1): 134-141.
- Zhang B, Li Z Y, Jin X S. Food composition and prey selectivity of *Sebastes schlegelii*[J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2014, 21(1): 134-141(in Chinese).
- [22] 袁桂香, 吴爱平, 葛大兵, 等. 不同水深梯度对4种挺水植物生长繁殖的影响[J]. *环境科学学报*, 2011, 31(12): 2690-2697.
- Yuan G X, Wu A P, Ge D B, *et al.* Effects of water depth on the growth of four emergent macrophytes[J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2011, 31(12): 2690-2697(in Chinese).
- [23] 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.
- [24] 魏崇德. 浙江动物志-甲壳类[M]. 杭州: 浙江科学技术出版社, 1991.
- Wei C D. *Zhejiang fauna. Crustacean*[M]. Hangzhou: Zhejiang Science and Technology Press, 1991(in Chinese).
- [25] 蒋日进, 章守宇, 毕远新, 等. 枸杞岛海藻场小型无脊椎动物的食物来源[J]. *水产学报*, 2015, 39(10): 1487-1498.
- Jiang R J, Zhang S Y, Bi Y X, *et al.* Food sources of small invertebrates in the macroalgal bed of Gouqi Island[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2015, 39(10): 1487-1498.

- 1487-1498(in Chinese).
- [26] Yemane D, Field J G, Leslie R W. Spatio-temporal patterns in the diversity of demersal fish communities off the south coast of South Africa[J]. *Marine Biology*, 2010, 157(2): 269-281.
- [27] 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).
- [28] 张迎秋. 前三岛海域底层鱼类群落结构、摄食生态和运动行为特征[D]. 北京: 中国科学院研究生院(海洋研究所), 2015.
- Zhang Y Q. Community structure, feeding ecology and movement behaviors of demersal fish around Qiansan Islets[D]. Beijing: The Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, 2015(in Chinese).
- [29] Wootton R J. Ecology of teleost fishes[M]. London: Chapman & Hall, 1990: 33-41.
- [30] Fuiman L A. The interplay of ontogeny and scaling in the interactions of fish larvae and their predators[J]. *Journal of Fish Biology*, 1994, 45(Suppl. A): 55-79.
- [31] Gerking S D. Feeding ecology of fish[M]. San Diego. US: Academic Press, 1994.
- [32] Brooks J L, Dodson S I. Predation, body size, and composition of plankton[J]. *Science*, 1965, 150(3692): 28-35.
- [33] 谢旭, 俞存根, 周青松, 等. 杭州湾海域春、秋季鱼类种类组成和数量分布[J]. *海洋与湖沼*, 2013, 44(3): 656-663.
- Xie X, Yu C G, Zhou Q S, *et al.* Species composition and quantitative distribution of fishes in the Hangzhou bay during spring and autumn[J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2013, 44(3): 656-663(in Chinese).
- [34] 金显仕, 唐启升. 渤海渔业资源结构、数量分布及其变化[J]. *中国水产科学*, 1998, 5(3): 18-24.
- Jin X S, Tang Q S. The Structure, distribution and variation of the fishery resources in the Bohai Sea[J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 1998, 5(3): 18-24(in Chinese).
- [35] 林龙山, 王燕平, 李渊, 等. 东山湾及其邻近海域鱼类物种分类多样性[J]. *中国水产科学*, 2012, 19(6): 1060-1067.
- Lin L S, Wang Y P, Li Y, *et al.* Taxonomic diversity of fish species in Dongshan Bay and its adjacent waters[J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2012, 19(6): 1060-1067(in Chinese).

Effects of environment and feeding factors on the distribution of different body lengths of *Sebastes schlegelii* in the reef areas of Shandong Province

TANG Yanli*, XIE Tao, YU Haolin, HU Qi, LIU Yue, ZHANG Mengmeng, FANG Guangjie
(College of Fisheries, Ocean University of China, Qingdao 266003, China)

Abstract: In order to study the impact of environmental and feeding factors on the distribution of rockfish (*Sebastes schlegelii*) in artificial reef areas, this study used environmental and fishery data of three reef areas in Shandong Province from 2017 to 2018. Fish body length was divided into 10 groups by using the mean of the coefficient of variation, and the interval was 33 mm. Using Bray-Curtis similarity index to compare the similarity of the body length composition of rockfish in different regions, detrended correspondence analysis (DCA) and canonical correspondence analysis (CCA) were used to describe the effects of environmental factors on the *S. schlegelii* distribution of different body length groups; the composition of the food of *S. schlegelii* was detected by using the stomach contents analyses. The results showed that the body length composition similarity index of Xixiakou and Changdao artificial reef areas was 70.66%. Compared with Xixiakou and Changdao, the Qiansandao artificial reef area has a low similarity index with them, which is 54.94% and 59.46% respectively. The distribution of *S. schlegelii* with larger body type (299-365 mm) is more correlated with depth, WQI and chemical oxygen demand (COD), and it prefers to live in a deep, nutrient-rich environment. Small body type (35-200 mm) *S. schlegelii* prefers environment with shallow sea areas and good water quality. The older (2-3 years old) large body length (200-365 mm) *S. schlegelii* mainly consumes fish, shrimp and crabs, and the dominant bait is fish (IRI, %=65.94). Younger (0-1 year old) small body length (35-200 mm) individuals mainly feed on shrimp and crab, the dominant bait is shrimps (IRI, %=45.69). Consequently, the application of juvenile-fish-protection artificial reefs in shallow water can provide shelter for juvenile *S. schlegelii*; concentration on fishing in deep water can reduce the bycatch of juvenile *S. schlegelii*, and then their resources can be proliferated and protected.

Key words: *Sebastes schlegelii*; body length; distribution; feeding; canonical correspondence analysis; Shandong Province

Corresponding author: TANG Yanli. E-mail: tangyanli@ouc.edu.cn

Funding projects: Project of Marine and Fishery Technology Innovation of Shandong(2017HYCX007); "Evaluation of Construction of Artificial Fish Reef in Shandong" Project of Shandong Provincial Oceanic and Fishery Department