

DOI: 10.3724/SP.J.1118.2016.15055

海州湾前三岛海域底层鱼类群落结构特征

张迎秋^{1,2}, 许强¹, 徐勤增¹, 刘辉^{1,2}, 张宏晔^{1,2}, 郝杰华³, 杨红生¹

1. 中国科学院海洋研究所 海洋生态与环境科学重点实验室, 山东 青岛 266071;

2. 中国科学院大学, 北京 100049;

3. 中国海洋大学 海洋生命学院, 山东 青岛 266003

摘要: 2013 年 5 月至 2014 年 4 月, 对前三岛海域底层鱼类群落采样调查共渔获鱼类 6 目 15 科 22 种。大泷六线鱼(*Hexagrammos otakii*)、许氏平鲈(*Sebastes schlegelii*)、斑头鱼(*Hexagrammos agrammus*)和星康吉鳗(*Conger myriaster*)等属于常年性岩礁鱼类, 是该区域鱼类群落的优势种。花鲈(*Lateolabrax maculatus*)、大头鳕(*Gadus macrocephalus*)、鲈科和鲆科种类为季节性洄游鱼类。应用典范对应分析(CCA)方法分析了环境因子对鱼类群落结构的影响, 结果表明, 鱼类时空分布主要受底层水温和底层水体溶解氧含量的影响。斑头鱼、五带高鳍鰕虎鱼(*Pterogobius zacalles*)、褐牙鲈(*Paralichthys olivaceus*)、铠平鲈(*Sebastes hubbsi*)、鲈(*Scomber japonicus*)和高体鲷(*Seriola dumerili*)资源量与底层水温密切正相关; 大头鳕和大泷六线鱼资源量与底层水体溶解氧含量关系最为密切, 且大头鳕仅分布在低温季节具有较高溶解氧的深水区; 许氏平鲈和星康吉鳗分布区域广泛。基于稳定氮同位素法确定了鱼类营养级, 常年性岩礁鱼类位于第三营养级和第四营养级, 属于中级肉食性和高级肉食性鱼类; 花鲈和大头鳕处于最高营养级(>4.0), 是顶级捕食者。

关键词: 海州湾; 前三岛; 鱼类群落; 环境影响; 典范对应分析; 营养级

中图分类号: S931

文献标志码: A

文章编号: 1005-8737-(2016)01-0156-13

过度捕捞导致全球近岸渔业生态系统遭到严重破坏, 渔业生物种群密度剧烈减少甚至物种灭绝, 鱼类营养级低级化, 生物多样性降低, 生态功能减弱^[1-4]。中国近海黄、东海渔业资源呈现出资源量显著衰退, 生物多样性降低, 鱼类个体呈小型化、低龄化趋势^[5-6]。位于黄海南部的海州湾渔场, 曾是历史上的八大渔场之一, 但是由于过度捕捞、环境污染和产卵场等栖息地的破坏, 渔业资源衰退严重, 带鱼和小黄鱼等重要经济鱼类已难以形成渔汛^[7]。

前三岛海域位于海州湾中部, 山东省和江苏省交界处, 离岸距离 48 km, 该区域海洋生物资

源丰富多样, 分布有重要的野生海珍品物种, 包括仿刺参、皱纹盘鲍和经济鱼类。自 2005 年以来, 在前三岛海域开展了海洋牧场建设和人工鱼礁投放等行动, 保护和修复岛屿周边海域生境和渔业资源^[8-9]。人工鱼礁的投放可以增加海域底质地貌的异质化程度, 在鱼礁区形成涡流区, 促进鱼类饵料生物的生长, 利于鱼类栖息^[10]。前三岛海域优质的水体环境、结构化的栖息地, 为底层游泳动物提供了舒适的觅食、繁殖场所, 该海域鱼类群落得以修复, 但对该区域渔业资源恢复状况缺乏系统性监测、分析和评估。

本研究以前三岛中面积最大的平岛周边海域

收稿日期: 2015-02-02; 修订日期: 2015-05-27.

基金项目: 中国科学院战略性先导科技专项(XDA11020704); 国家海洋公益性行业科研专项项目(201205023, 201305043); 国家自然科学基金委员会-山东省人民政府联合资助海洋科学研究中心项目(U1406403).

作者简介: 张迎秋, 女, 博士研究生, 主要从事鱼类生态学研究. E-mail: zhyq0806@126.com

通信作者: 杨红生, 研究员. E-mail: hshyang@qdio.ac.cn. 许强, 副研究员. E-mail: xuqiangcas@126.com

为研究区域, 对底层鱼类群落进行了周年调查, 从物种多样性、季节变化、环境影响和营养级结构等方面揭示了鱼类群落结构特征, 为该岛屿海域的渔业资源现状评价提供数据支持, 对该海域渔业资源恢复和海洋牧场规划具有一定的指导意义。

1 材料与方法

1.1 研究区域和采样方法

前三岛位于黄海区域海州湾中南部, 山东日照和江苏连云港的交界线的东部, 是以平岛、达山岛、车牛山岛三个岛为主的岛礁群, 离岸距离 48 km, 受陆源有机质影响很小, 水质优良。其中

平岛面积最大, 且与另外两个岛距离较远(超过 17.5 km)^[11]。平岛面积 0.137 km², 岛南和岛北形成 4 个小型内湾, 附近海域水深 0~40 m。底质类型以平岛为中心呈现明显的斑块分布, 近岛区以大型岩礁为主, 向外扩散为砾石区, 距岛岸线约 200 m 外为细砂区。岩礁底质上覆盖马尾藻和石花菜等多种大型藻类^[12]。

在近岛 4 个内湾和岛东侧区域设置 5 个采样站(图 1)。在 2013 年 5 月、6 月、7 月、8 月、11 月、12 月和 2014 年 4 月, 通过在采样点放置地笼采捕了底层鱼类。2013 年 7 月、8 月、11 月、12 月和 2014 年 4 月对水体下层鱼类和底层鱼类利用三重刺网进行了采样调查。

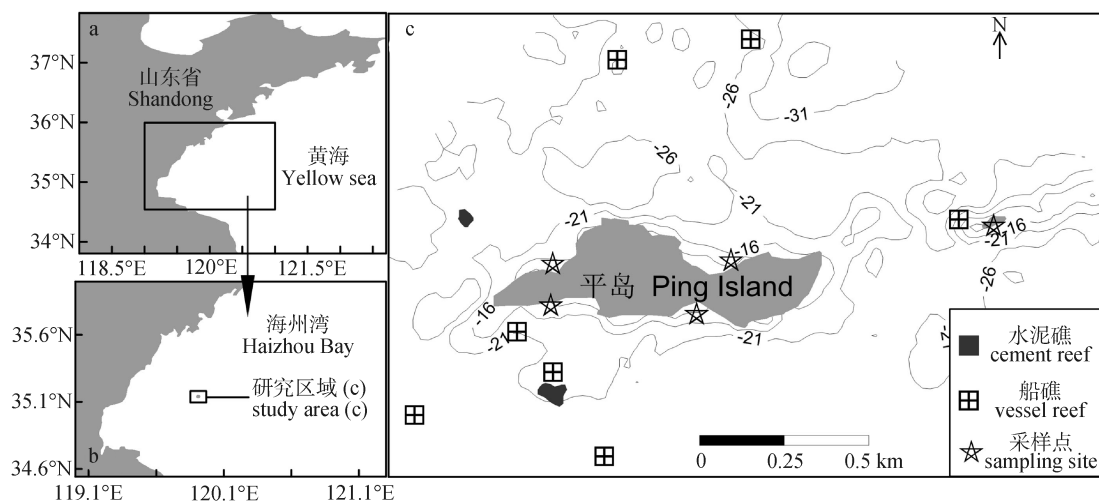


图 1 平岛海域底层鱼类采样站点及研究区域水深和人工鱼礁分布图

Fig. 1 Map of demersal fish survey sites, water depth and locations of artificial reefs around Ping Island

调查网具地笼由 27 个间距为 35 cm 的钢筋框 (25 cm×38 cm) 逐个连接组成, 网衣网目 1.8 cm。每 5 个地笼组成一个地笼单元, 长 49 m。三重刺网由两片大网目外网网衣之间夹一片小网目内网网衣组成, 长 50 m, 高 1.6 m, 外网网目为 33 cm, 内网网目为 8.5 cm。采样时, 在每个站点(图 1)平行岸线放置一个地笼单元和一片三重刺网于水体底层, 放置时间为 24 h。

渔获物经物种鉴定、计数和称重, 并作记录。在鱼类背鳍基部去除表皮后取肌肉组织, 剔除鱼骨后, 作为稳定同位素测定样品。肌肉组织经

-45℃ 冷冻干燥 48 h, 玛瑙研钵研磨, 由孔径为 0.178 mm 的筛绢过滤后, 测定 ¹⁵N 稳定同位素值。稳定同位素测定仪器为美国 Thermo Fisher Scientific 公司的 DELTA V Advantage 同位素比率质谱仪。

在进行渔获物采样时, 对采样点同时进行了环境调查。利用 SM-5 手持测深仪测定采样点位置的水深, 2013 年 11 月利用多波束回声探测仪获得平岛周围海域水深分布图(图 1)。利用多参数水质监测仪(YSI 650, 美国 YSI 公司)测定了水温、盐度和溶解氧等基本理化参数。有机玻璃采水器收集了表层和底层水样。用荧光法测定水体叶绿

素含量, 仪器为美国 Turner designs 实验室荧光仪。根据重量增减法测定水体悬浮物(SPM)含量和颗粒有机物(POM)含量^[13]。

1.2 数据分析

1.2.1 物种组成、单位捕捞努力量渔获量和优势种分析 对鱼类物种进行了功能群划分: 根据适温性, 分为冷温性鱼类、暖温性鱼类和暖水性鱼类^[14]; 根据栖息类型, 分为大陆架浅水底层鱼类、大陆架岩礁性鱼类和大陆架浅水中上层鱼类^[14]; 根据对研究区域生境的利用时间跨度和栖息习性, 分为常年性岩礁鱼类(perennial rockfish species, PRS)和季节性洄游鱼类(seasonal migrational fish species, SMS)^[15-16]。

渔获物分析中, 单位捕捞努力量渔获量(catch of per unit effort, CPUE)按数量 CPUE 和生物量 CPUE 分别进行统计。数量 CPUE 是指每片三重刺网(或每只地笼)1 天内(24 h)渔获的鱼类总个体数[ind/(net·d)或 ind/(cage·d)], 生物量 CPUE 是指每片三重刺网(或每只地笼)在 1 天内(24 h)渔获的鱼类总生物量[kg/(net·d)或 kg/(cage·d)]。

通过 IRI 确定鱼类物种的优势地位:

$$IRI = (N\% + W\%) \times F\% \times 10^4$$

$N\%$ 为某物种个体数量占调查航次个体总数的百分比, $W\%$ 为某物种生物量占调查航次总重量的百分比, $F\%$ 为物种出现的站数占调查总站数的百分比。本研究中, 将 $IRI > 100$ 的物种定为优势种。

1.2.2 生物环境影响分析 各月份环境数据经过方差分析多重比较, 分析了环境变量的时间尺度变化。鱼类生物量数据中, 剔除物种出现频次 < 2 的数据。对鱼类生物量数据和环境数据, 在 Canoco 4.5 中进行了生物-环境影响分析。首先对鱼类生物量数据进行去趋势对应分析(DCA), 地笼和三重网渔获鱼类生物量在 DCA 分析中均具有介于 3 和 4 之间的最大梯度长度, 均选用典范对应分析(CCA)进行环境影响分析^[17]。在 CCA 分析中, 去除膨胀因子 > 20 的环境变量, 本文涉及环境变量膨胀因子均 < 20 。CCA 分析中, 蒙特卡罗置换检验可对环境变量进行前进式筛选, 检验环

境变量的边界效应和条件效应。在绘制 CCA 双序图时, 选取了所有环境变量, 以反映多重环境变量对鱼类分布的影响。

1.2.3 营养级分析 营养级的划分依据 0~4 级的划分标准^[18-19], 初级生产者的营养级为 0。鱼类营养级(trophic level, TL)的计算公式如下:

$$TL = (\delta^{15}N_{\text{sample}} - \delta^{15}N_{\text{base}}) / \Delta\delta^{15}N + 1$$

$\delta^{15}N_{\text{sample}}$ 表示鱼类稳定同位素值; $\delta^{15}N_{\text{base}}$ 表示基准生物稳定同位素值, $\delta^{15}N_{\text{base}}$ 采用了滤食性紫贻贝(*Mytilus galloprovincialis*)氮同位素值, 实际测得均值为 4.82‰; $\Delta\delta^{15}N$ (氮稳定同位素营养级富集度)取 2.5^[18]。

本研究依据下述划分方法对渔获鱼类营养级进行了分析。韦晟等^[19]和杨国欢等^[20]将海洋生物划分为以下营养级: 初级生产者属于第一营养级($TL=0$), 草食性和杂食性动物属于第二营养级($1.0 \leq TL \leq 1.9$), 低级和中级肉食性动物属于第三营养级($2.0 \leq TL \leq 3.4$), 高级肉食性动物属于第四营养级($3.5 \leq TL \leq 4.0$)。

2 结果与分析

2.1 物种多样性

2013 年 5 月至 2014 年 4 月 7 次采样共捕获鱼类 6 目 15 科 22 种(表 1), 其中鲈形目种类最多, 为 7 科 10 种, 其次是鲉形目 3 科 7 种, 鲹形目 2 科 2 种, 鳗鲡目、鳊形目和鲴形目分别 1 科 1 种。2013 年 5 月和 6 月, 仅用地笼采样, 渔获鱼类均低于 6 种; 2013 年 7 月之后, 增加了三重刺网, 各航次渔获鱼类增加至 9~14 种。

适温性主要以冷温性和暖温性为主, 少量暖水性种类^[14]。冷温性种类包括大头鳕、许氏平鲈、大泷六线鱼、斑头鱼等 7 种, 暖温性种类包括星康吉鳗、花鲈、褐牙鲈等 12 种, 暖水性种类包括双线裸胸鲷、鲈和褐菖鲈共 3 种(表 1)。依据刘静^[14]对黄海鱼类栖所类型的划分, 渔获鱼类多属于大陆架浅水底层鱼类, 包括大头鳕、大泷六线鱼和斑头鱼等 15 种; 少数大陆架岩礁性鱼类, 如花鲈、双线裸胸鲷、高体鲷等 5 种; 仅 2 种大陆架浅水中上层鱼类: 鲈和蓝点马鲛。许氏平鲈、

表 1 2013 年 5 月至 2014 年 4 月平岛海域渔获鱼类物种和生态类型
Tab. 1 Species and ecological types of all caught fish around Ping Island from May 2013 to April 2014

种类 species	适温性 ^[14] tempera- ture adaptive type ^[14]	栖所类型 ^[14] habitat type ^[14]	栖息习性 inhabitation habit	出现网具 occurrence in fishing net type	
				三重刺网 trammel net	地笼 cage net
康吉鳗科 Congridae					
星康吉鳗 <i>Conger myriaster</i>	WT	CD	PRS	*	*
鳕科 Gadidae					
大头鳕 <i>Gadus macrocephalus</i>	CT	CD	SMS	*	*
真鲈科 Percichthyidae					
花鲈 <i>Lateolabrax maculatus</i>	WT	CRA	SMS	*	*
鲹科 Carangidae					
双线裸胸鲹 <i>Carangoides dinema</i>	WW	CRA	SMS	*	
高体鲹 <i>Seriola dumerili</i>	WT	CRA	SMS	*	
石鲷科 Oplegnathidae					
条石鲷 <i>Oplegnathus fasciatus</i>	WT	CRA	PRS	*	
锦鲷科 Pholidae					
云鲷 <i>Pholis nebulosa</i>	CT	CD	PRS		*
线鲷科 Stichaeidae					
网鲷 <i>Dictyosoma burgeri</i>	CT	CD	PRS	*	
鲭科 Scombridae					
蓝点马鲛 <i>Scomberomorus niphonius</i>	WT	CPN	SMS	*	
鲈 <i>Scomber japonicus</i>	WW	CPN	SMS	*	*
虾虎鱼科 Gobiidae					
纹缟虾虎鱼 <i>Tridentiger trignocephalus</i>	WT	CD	PRS		*
五带高鳍虾虎鱼 <i>Pterogobius zacalles</i>	WT	CD	PRS		*
鲉科 Scorpaenidae					
褐菖鲉 <i>Sebastiscus marmoratus</i>	WW	CD	PRS	*	*
平鲉科 Sebastidae					
许氏平鲉 <i>Sebastes schlegelii</i>	CT	CD	PRS	*	*
汤氏平鲉 <i>Sebastes thompsoni</i>	CT	CD	PRS	*	*
厚头平鲉 <i>Sebastes pachycephalus</i>	WT	CD	PRS	*	*
铠平鲉 <i>Sebastes hubbsi</i>	WT	CD	PRS	*	*
六线鱼科 Hexagrammidae					
大泷六线鱼 <i>Hexagrammos otakii</i>	CT	CD	PRS	*	*
斑头鱼 <i>Hexagrammos agrammus</i>	CT	CD	PRS	*	*
牙鲆科 Paralichthyidae					
褐牙鲆 <i>Paralichthys olivaceus</i>	WT	CD	PRS	*	*
鲽科 Pleuronectidae					
木叶鲽 <i>Pleuronichthys cornutus</i>	WT	CD	PRS	*	*
单棘鲷科 Monacanthidae					
绿鳍马面鲷 <i>Thamnaconus septentrionalis</i>	WT	CRA	SMS	*	

注: CT, 冷温性; WT, 暖温性; WW, 暖水性; CD, 大陆架浅水底层; CPN, 大陆架浅水中上层; CRA, 大陆架岩礁性; PRS, 常年性岩礁鱼类; SMS, 季节性洄游鱼类。

Note: CT, cold temperature; WT, warm temperature; WW, warm water; CD, continental shelf demersal fish; CPN, continental shelf pelagic-neritic fish; CRA, continental shelf reef-associated fish; PRS, perennial rockfish species; SMS, seasonal migrational fish species.

大泷六线鱼、斑头鱼、褐菖鲉、铠平鲉、星康吉鳗、褐牙鲷和五带高鳍虾虎鱼等为常年性岩礁鱼类;季节性洄游鱼类包括冬季、春季的花鲈,春季的大头鳕,夏季的绿鳍马面鲀、鲆科和鲽科鱼类。

2.2 CPUE 和优势种分析

各航次地笼数量 CPUE 和生物量 CPUE 分别为(5.5±1.9) ind/(cage·d)和(0.436±0.204) kg/(cage·d) ($\bar{x} \pm SD$); 三重刺网数量 CPUE 和生物量 CPUE 为(7±3.3) ind/(net·d)和(1.77±0.80) kg/(net·d)。各航次 CPUE 方差分析表明,地笼生物量 CPUE 月度变化不显著,而多重检验表明 2013 年 5 月份地笼 CPUE 与 2013 年 6 月无显著差异,但显著高于 2013 年 7 月及其之后的月度航次($P<0.05$)(图 2A)。三重刺网生物量 CPUE 月度变化不显著,且各月份之间均无显著差异(图 2 B), 2013 年 7 月各采样点 CPUE 为 0.21~1.25 kg/(net·d), 变化范围大而均值低。

地笼生物量 CPUE 中,常年性岩礁鱼类生物量占据比例为 0.89±0.21,季节性洄游鱼类比例为 0.11±0.21。三重刺网生物量 CPUE 中,常年性岩礁鱼类比例为 0.78±0.17,季节性洄游鱼类比例为 0.22±0.17。由上可知,两种渔具渔获鱼类均主要是常年性岩礁鱼类,而三重刺网渔获季节性洄游鱼类资源量比例高于地笼网。

各月份地笼渔获物资源量主要集中在许氏平鲉、大泷六线鱼、斑头鱼和星康吉鳗 4 种优势种(表 2)。2014 年 4 月大头鳕出现并具有较高的 IRI 值。三重刺网渔获物中,优势种组成呈现一定的季节

变化。夏季(7 月和 8 月)优势种为许氏平鲉和褐牙鲷;秋季(11 月)优势种为许氏平鲉、大泷六线鱼和褐牙鲷;冬季(12 月)优势种是许氏平鲉,春季(4 月)优势种是许氏平鲉、大泷六线鱼和大头鳕(表 3)。

2.3 物种-生境关系分析

对不同月份底层水体环境变量方差分析结果表明,底层水体环境季节变化显著。水温、溶解氧含量季节变化显著,且相互之间具有相反的增减趋势。2014 年 4 月水温降至最低,而溶解氧含量最高; 2013 年 8 月和 2013 年 11 月水温最高,而

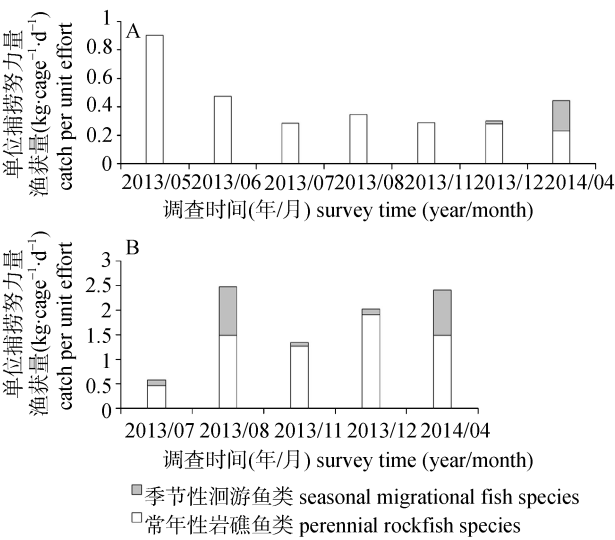


图 2 CPUE 均值月度变化和不同栖息习性鱼类比例
A. 地笼网; B. 三重刺网.

Fig. 2 Mean CPUE of each survey month and ratio of fish with different inhabiting habits
A. Cage net; B. Trammel net.

表 2 平岛海域地笼渔获鱼类优势种 IRI 值
Tab. 2 IRI of dominant fish species caught by cage net around Ping Island

物种 species	调查时间(年/月) survey time (year/month)						
	2013/05	2013/06	2013/07	2013/08	2013/11	2013/12	2014/04
许氏平鲉 <i>Sebastes schlegelii</i>	2469.1	589.6	214.3	<10	210.0	264.7	297.8
大泷六线鱼 <i>Hexagrammos otakii</i>	146.4	794.3	518.3	558.4	300.1	468.7	582.4
斑头鱼 <i>Hexagrammos agrammus</i>	n.c.	<10	108.0	289.9	887.5	444.3	32.4
星康吉鳗 <i>Conger myriaster</i>	957.9	90.7	135.6	249.1	54.9	69.0	<10
褐菖鲉 <i>Sebastes marmoratus</i>	n.c.	65.5	87.3	34.4	97.4	15.7	11.5
铠平鲉 <i>Sebastes hubbsi</i>	n.c.	74.4	161.8	45.8	95.7	51.6	16.1
大头鳕 <i>Gadus macrocephalus</i>	25.6	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	92.0

注: n.c.表示未捕捞到.
Note: n.c. indicates not caught.

表 3 平岛海域三重刺网渔获鱼类优势种 IRI 值
Tab. 3 IRI of dominant fish species caught by trammel nets around Ping Island

物种 species	调查时间(年/月) survey time (year/month)				
	2013/07	2013/08	2013/11	2013/12	2014/04
许氏平鲷 <i>Sebastes schlegelii</i>	<10	693.5	694.1	5074.4	677.9
大泷六线鱼 <i>Hexagrammos otakii</i>	<10	<10	676.3	<10	482.2
褐牙鲷 <i>Paralichthys olivaceus</i>	165.6	413.3	391.8	n.c.	14.6
鲈 <i>Scomber japonicus</i>	<10	111.7	n.c.	n.c.	n.c.
大头鳕 <i>Gadus macrocephalus</i>	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	381.8
厚头平鲷 <i>Sebastes pachycephalus</i>	19.2	n.c.	<10	48.0	n.c.
高体鲷 <i>Seriola dumerili</i>	n.c.	168.4	n.c.	n.c.	n.c.

注: n.c.表示未采捕到。
Note: n.c. indicates not caught.

表 4 平岛海域底层水域环境特征
Tab. 4 Environmental conditions of bottom water around Ping Island

环境变量 environmental variable	调查时间(年/月) survey time (year/month)				
	2013/05	2013/08	2013/11	2013/12	2014/04
水温/℃ temperature, Temp	9.88±0.1 ^A	20.18±1.35 ^B	17.63±0.01 ^C	10.06±0.04 ^A	7.00±0.38 ^D
盐度 salinity, Sal	31.39±0.09 ^A	30.45±0.16 ^B	31.81±0.01 ^C	31.52±0.01 ^D	30.35±0.07 ^B
溶解氧含量/(mg·L ⁻¹) dissoveld oxygen, DO	9.46±0.45 ^A	8.33±0.47 ^C	8.33±0.11 ^C	8.64±0.29 ^C	11.17±0.33 ^B
叶绿素含量/(μg·L ⁻¹) chlorophyll content, Chl	0.79±0.45 ^A	1.1±0.58 ^{A, B}	1.59±0.29 ^B	1.52±0.24 ^B	1.35±0.53 ^{A, B}
悬浮物含量/(mg·L ⁻¹)content of suspended material, SPM	52.29±16.74 ^A	58.42±2.58 ^{A, B}	49.27±14.63 ^A	44.23±17.59 ^A	75.94±24.45 ^B
颗粒有机物含量/(mg·L ⁻¹) content of particulate organic matter, POM	9.17±3.82 ^A	11.25±1.16 ^A	5.62±1.97 ^A	6.74±14.62 ^A	28.9±26.76 ^B

注: 上标字母不相同表示各时间点间存在显著差异($P<0.05$)。
Note: Different superscripts indicate significant differences between different survey time ($P<0.05$).

溶解氧含量最低。盐度变化幅度虽小但有一定季节变化趋势, 盐度在 2013 年 8 月和 2014 年 4 月最低, 2013 年冬季(11 月和 12 月)最高。叶绿素含量在 2013 年冬季最高, 2013 年 5 月最低。悬浮物含量、颗粒有机物含量与盐度呈相反的变化趋势, 2014 年 4 月和 2013 年 8 月较高, 其他月份较低。近岛内湾站位水深 13~17 m, 岛东侧站位水深 26~28 m。

对地笼渔获物种生物量数据进行 DCA 分析, 最长梯度长度为 3.56, 选用 CCA 分析揭示鱼类分布与环境因子的关系。环境变量的前进式筛选结果表明, 对鱼类分布具有较强的边界效应的环境变量为底层水体溶解氧含量和水温, 具有显著条件效应的环境变量为底层水体溶解氧含量、叶绿素含量和盐度(表 5)。CCA 分析结果表明, 环境因子可解释 56.5%的物种数据变异, 前两轴(双序图)

解释了物种数据变异的 40.72%, 其中第一轴(横向)解释了 27.77%(图 3A)。根据物种分布与环境变量的关系, 对渔获鱼类进行了分组(图 3A)。组 1 为高温种类, 其资源量与水温密切正相关, 多分布在高温季, 包括斑头鱼、五带高鳍虾虎鱼、褐牙鲷、铠平鲷和木叶鲷。组 2 种类对底层水体溶解氧有较高的要求, 多分布在低温季节的高溶解氧的深水区, 包括大头鳕和云鲷。组 3 为广泛分布种类, 在研究区域分布广泛, 包括许氏平鲷、大泷六线鱼、星康吉鳗、厚头平鲷和褐菖鲷, 大泷六线鱼分布在水深略深的区域, 与其相比, 组 3 中其余种类多分布在叶绿素含量略低的高盐浅水区。

对三重刺网渔获鱼类生物量进行 DCA 分析, 最长梯度长度为 3.68, 同样也选用 CCA 分析反映渔获鱼类分布的环境梯度。环境变量的前进式筛

表 5 前进式筛选中基于蒙特卡罗置换检验的底层环境变量的边界效应和条件效应

Tab. 5 Marginal effects and conditional effects of environmental variables of bottom water in forward selection based on Monte Carlo permutation tests

地笼渔获鱼类 CCA 分析						三重刺网渔获鱼类 CCA 分析					
CCA based on fish caught by cage nets and environmental factors						CCA based on fish caught by trammel nets and environmental factors					
边界效应 marginal effect			条件效应 conditional effect			边界效应 marginal effect			条件效应 conditional effect		
变量 variable	λ_1		变量 variable	λ_A	P F	变量 variable	λ_1		变量 variable	λ_A	P F
DO	0.41		DO	0.41	0.002 4.8	Temp	0.44		Temp	0.44	0.006 3.58
Temp	0.33		Chl	0.25	0.002 3.19	DO	0.43		DO	0.34	0.016 2.97
Sal	0.28		Sal	0.22	0.008 3.05	Chl	0.3		Chl	0.22	0.04 2.16
Chl	0.25		POM	0.16	0.104 2.5	Sal	0.27		Sal	0.12	0.302 1.17
Depth	0.23		Depth	0.1	0.194 1.63	SPM	0.24		Depth	0.08	0.562 0.72
SPM	0.06		Temp	0.06	0.51 0.9	Depth	0.11		SPM	0.07	0.61 0.66
POM	0.04		SPM	0.05	0.466 0.82	POM	0.1		POM	0.03	0.856 0.26

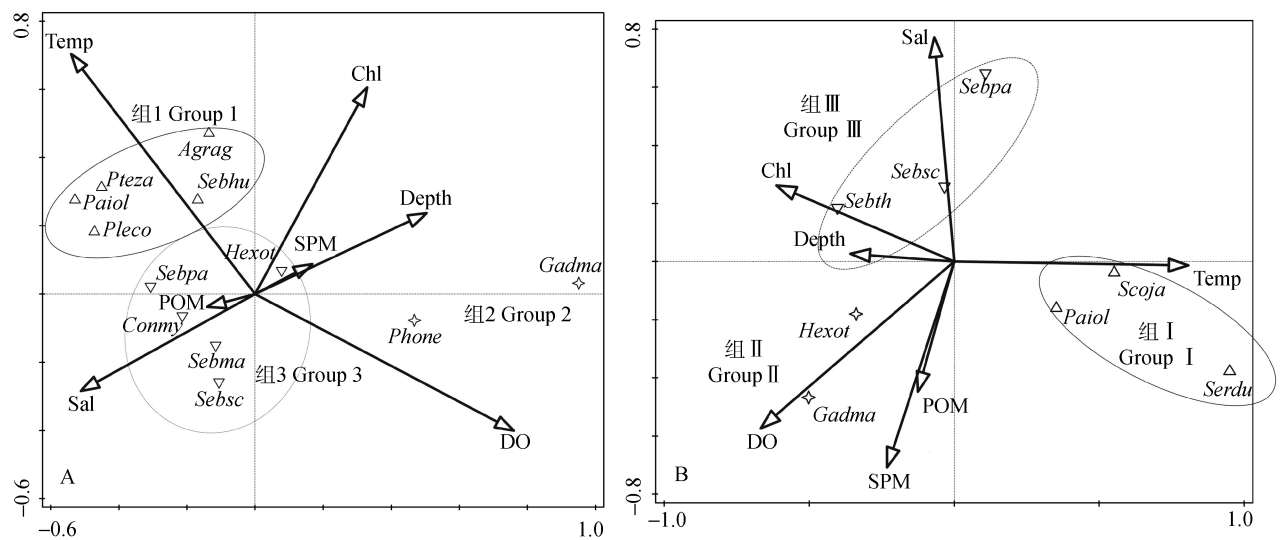


图 3 平岛海域底层鱼类-底层环境变量 CCA 分析双序图

A. 地笼渔获鱼类; B. 三重刺网渔获鱼类.

图中箭头代表底层水体环境变量: Temp, 水温; DO, 溶解氧; Chl, 叶绿素含量; Sal, 盐度; Depth, 水深; SPM, 悬浮物含量; POM, 颗粒有机物含量. 图中符号代表物种, 简称依次代表物种是: Conmy, 星康吉鳗; Gadma, 大头鳕; Serdu, 高体鲷; Phone, 云鲷; Scoja, 鲈; Pteza, 五带高鳍虾虎鱼; Sebma, 褐菖鲈; Sebsc, 许氏平鲈; Sebth, 汤氏平鲈; Sebpa, 厚头平鲈; Sebhhu, 铠平鲈; Hexot, 大泷六线鱼; Hexag, 斑头鱼; Paiol, 褐牙鲆; Pleco, 木叶鲽.

Fig. 3 CCA biplots of demersal fish and bottom water environmental variables around Ping Island

A. Fish species caught by cage nets; B. Fish species caught by trammel nets.

Arrows represent environmental variables of bottom water: Temp, temperature; DO, dissolved oxygen; Chl, Chlorophyll content; Sal, salinity; Depth, depth; SPM, content of suspended material; POM, content of particulate organic matter. Abbreviations of species are corresponding to species: Conmy, *Conger myriaster*; Gadma, *Gadus macrocephalus*; Serdu, *Seriola dumerili*; Phone, *Pholis nebulosa*; Scoja, *Scomber japonicus*; Pteza, *Pterogobius zacalles*; Sebma, *Sebastes marmoratus*; Sebsc, *Sebastes schlegelii*; Sebth, *Sebastes thompsoni*; Sebpa, *Sebastes pachycephalus*; Sebhhu, *Sebastes hubbsi*; Hexot, *Hexagrammos otakii*; Hexag, *Hexagrammos*; Paiol, *Paralichthys olivaceus*; Pleco, *Pleuronichthys cornutus*.

选结果表明, 底层水温和溶解氧对鱼类分布具有最强的边界效应, 具有显著条件效应的环境变量为底层水温, 溶解氧含量和叶绿素含量. CCA 分析中, 环境因子可解释 50.7%的物种数据变异,

前两轴(双序图上)解释了 38.66%的物种数据变异, 其中第一轴解释了 23.85%(图 3B). 组 I 为偏高温种类, 主要分布在高温浅水区, 包括鲈、褐牙鲆和高体鲷. 组 II 为偏低温深水种类, 分布在低温高

溶解氧的深水区, 包括大头鳕和大泷六线鱼。组 III 种类表现出对盐度和叶绿素含量的正相关关系, 主要分布在叶绿素含量略高的高盐澄清水域, 包括许氏平鲷、厚头平鲷和汤氏平鲷。

2.4 鱼类营养级分析

对鱼类氮稳定同位素结果计算表明, 前三岛海域底层鱼类营养级为 2.9~4.91(表 6)。中级肉食性鱼

类($2.9 \leq TL \leq 3.4$)包括鲈, 云鳚, 褐牙鲷, 铠平鲷, 星康吉鳗和斑头鱼; 高级肉食性鱼类($3.5 \leq TL \leq 4.0$)包括褐菖鲷, 大泷六线鱼, 厚头平鲷, 五带高鳍虾虎鱼, 许氏平鲷和汤氏平鲷。季节性洄游鱼类花鲈和大头鳕属于第五营养级($TL > 4.0$), 是顶级捕食者。常年性岩礁鱼类包括中级肉食性和高级肉食性鱼类, 优势种许氏平鲷和大泷六线鱼均为高级肉食性鱼类。

表 6 平岛海域底层鱼类营养级
Tab. 6 Trophic level of demersal fishes around Ping Island

物种 species	栖息习性 inhabitation habit	样品数 <i>n</i>	营养级(范围) trophic level mean (range)	文献数据 data from literatures		
				食性分析法 ^[19, 21] food analysis method	$\delta^{15}\text{N}$ 方法 ^[18] $\delta^{15}\text{N}$ method ^[18]	
鲈 <i>Scomber japonicus</i>	SMS	2	2.90 (2.52–3.29)	3.2	4.0	2.51
云鳚 <i>Pholis nebulosa</i>	PRS	2	3.02 (3.01–3.03)			
褐牙鲷 <i>Paralichthys olivaceus</i>	PRS	2	3.10 (2.80–3.40)	3.9	3.8	
铠平鲷 <i>Sebastes hubbsi</i>	PRS	2	3.42 (3.36–3.48)			
星康吉鳗 <i>Conger myriaster</i>	PRS	3	3.43 (3.25–3.65)	3.8		3.46
斑头鱼 <i>Hexagrammos agrammus</i>	PRS	11	3.47 (2.56–4.11)			
褐菖鲷 <i>Sebastiscus marmoratus</i>	PRS	3	3.56 (3.23–4.00)		3.0	3.09
大泷六线鱼 <i>Hexagrammos otakii</i>	PRS	10	3.57 (3.02–4.17)			
厚头平鲷 <i>Sebastes pachycephalus</i>	PRS	2	3.59 (3.54–3.63)			
五带高鳍虾虎鱼 <i>Pterogobius zacalles</i>	PRS	2	3.63 (3.62–3.63)			
许氏平鲷 <i>Sebastes schlegelii</i>	PRS	15	3.67 (2.81–4.28)	3.7	3.4	
汤氏平鲷 <i>Sebastes thompsoni</i>	PRS	2	3.75 (3.73–3.78)			
大头鳕 <i>Gadus macrocephalus</i>	SMS	2	4.51 (4.40–4.62)	3.5		2.53
花鲈 <i>Lateolabrax maculatus</i>	SMS	5	4.91 (4.34–5.86)	3.7	3.2	

注: PRS, 常年性岩礁鱼类; SMS, 季节性洄游鱼类。
Note: PRS, perennial rockfish species; SMS, seasonal migrational fish species.

3 讨论

3.1 关于物种组成特征

研究区域底质类型以平岛为中心呈现明显的斑块分布, 近岛区以覆盖有大型藻类的岩礁底质为主, 向外扩散为砾石区, 及距岛岸线约 200 m 外围为细砂区。人工鱼礁的投放, 可异质化海域底质地貌, 为鱼类提供庇护场所, 在鱼礁区形成涡流, 促进形成良好的饵料环境, 有利于鱼类的繁衍栖息^[10, 22]。已有研究表明, 褶皱的底质地貌可增加鱼类多样性, 底质构架的高度可增加鱼类丰度^[23]。人工鱼礁与自然地貌构成了多样化的底质生境, 与优质的水体环境, 共同支撑着研究海

域底层鱼类群落。

物种组成上, 大泷六线鱼、许氏平鲷、斑头鱼和星康吉鳗为常年性岩礁鱼类优势种, 这与马鞍列岛岩礁区域、荣成俚岛人工鱼礁区和山东省近海其他人工鱼礁区鱼类优势种一致^[16, 24–25]。而生境差异导致研究区域与前三岛外围海州湾区域优势种(绿鳍鱼、尖海龙和鲛等)^[26]组成存在显著差异。

季节性洄游鱼类包括花鲈、大头鳕、鲹科和鲭科的种类。花鲈常见于岩礁或近岸海域^[16, 25], 尽管本研究仅在 2013 年 12 月份采捕到花鲈, 但据前三岛海域渔民反映, 每年 11 月至次年的 5 月, 花鲈会在研究海域大量出现。花鲈常栖息于近岸

海域,进行深浅适温或产卵、索饵迁移,在海州湾深水处越冬,春季近岸索饵^[27]。研究海域的生境特殊性也吸引了大头鳕、绿鳍马面鲀、鲆科和鲽科等非岩礁性鱼类的季节性分布。大头鳕属于冷温性底层鱼类,4—5 月份在平岛周边出现,高天翔等^[28]认为其鱼群分布与冷水团有密切关系。

地笼和三重刺网在水层中的位置反映了其渔获物的栖息水层。放置于水体底层的地笼,通过诱捕的方式捕获底层鱼类,主要为常年性岩礁鱼类。三重刺网通过契入、刺挂和缠绕^[29]的方式,捕获水体下层和底层鱼类,包括常年性岩礁鱼类和季节性洄游鱼类。常年性岩礁鱼类(星康吉鳗、鲈、鲆形目和鲽形目种类)和季节性洄游鱼类(大头鳕和花鲈)在两种渔具中均有出现,表明它们广泛分布于水体下层和海床之上。季节性洄游鱼类(双线裸胸鲂、高体鲷、蓝点马鲛和绿鳍马面鲀)和常年性岩礁鱼类(条石鲷和网鲷)仅出现在三重刺网渔获物中,表明其主要栖息在水体下层。常年性岩礁鱼类(云鲷、纹缟虾虎鱼和五带高鳍虾虎鱼)仅出现在地笼渔获物中,表明它们主要栖息在海床之上。

3.2 关于环境因子对鱼类分布的影响

CCA 结果表明,研究区域鱼类的时空分布主要受底层水温和底层溶解氧含量主导。水温是影响近岸鱼类群落结构的重要因子,鱼类多样性和种群密度随温度升高而增加^[25, 30]。溶解氧含量通过生理耐受限度影响鱼类活动水平和栖息地(垂直或水平尺度)的改变,最终影响不同区域鱼类种群生物量和群落结构^[31-32]。CCA 表明随底层水温升高,斑头鱼、五带高鳍虾虎鱼、铠平鲷、褐牙鲷、木叶鲷等常年性岩礁鱼类资源量增加,而且鲈和高体鲷这两种季节性洄游鱼类出现在高温季节(2013 年夏季)。大头鳕仅分布在低温季节的深水高溶氧区,而大泷六线鱼和云鲷资源量在低温季节深水高溶氧区较高。在该研究区域,水温垂直分布和底层藻类分布都可以影响底层水域溶解氧含量。冷温性鱼类大头鳕和云鲷分布在较高溶解氧的区域,水温和溶解氧联合限制了其分布区域。而大泷六线鱼也表现出对溶解氧的密切正相

关性,可推测由于大泷六线鱼喜食藻类附着的端足类和虾类^[33],在藻类分布区具有较高的生物量。

底层水体叶绿素含量不仅反映了浮游植物含量,也反映了底层水体光线强度^[34],底层叶绿素含量越高,表明底层水体具有较强的光强度。除汤氏平鲷表现出与底层叶绿素含量正相关外,其余种类与底层叶绿素含量呈负相关或无明显相关关系。这可能源于岩礁鱼类有寻找庇护所的习性^[35],栖息分布有避光倾向^[36]。

关于盐度变化对鱼类群落结构的影响,Hwang 等^[37]和 Jing 等^[38]研究表明,盐度对数十年尺度鱼类群落结构变化有重要影响,而盐度的变化主要源于洋流(对马暖流等)的变迁。研究区域盐度虽然相对较稳定(30.35~31.81),但仍存在月度变化(表 4)。CCA 分析表明,三重刺网渔获许氏平鲷、星康吉鳗和厚头平鲷资源量与盐度存在相关性。影响该区域盐度变化的因素有低盐的大气降水与高盐的黄海冷水团和黄海暖流^[39-40]。许氏平鲷、星康吉鳗和厚头平鲷等资源量与盐度正相关,与悬浮物含量负相关,一定程度上反映了底层鱼类群落对大气降水和海洋流系的响应。

3.3 关于鱼类群落营养级结构

结构化的底质生境不仅为鱼类提供了庇护场所,而且附着的丰富多样的无脊椎动物和大型藻类也是鱼类的天然饵料^[41-42]。前三岛海域底层鱼类属于中级肉食性和高级肉食性鱼类,这与枸杞岛近岸海域鱼类主要是凶猛性的肉食性鱼类和杂食性鱼类^[43]结果存在一致性。

本研究采用氮同位素法确定的鱼类营养级,与前人的食性分析法^[19, 21]及氮稳定同位素法^[18]结果相比,大头鳕和花鲈营养级显著升高了 1~2 个营养级,其余种类相差 0.03~0.8 个营养级。花鲈和大头鳕营养级显著增加,可能源于它们的洄游习性和 $\Delta\delta^{15}\text{N}$ 的选取。由于肌肉稳定同位素(^{15}N)的稳定性^[44-45]反映了较长时间周期(数月)^[46]的摄食同化结果,其营养级差异可能由于其原栖息地食物源较高的 ^{15}N 丰度。不同栖息地之间初级消费者 ^{15}N 丰度差异可高达 4 个营养级^[47]。栖息环境(陆地,淡

水或海洋)和食物组成中蛋白含量高低都会影响食物网中的 $\Delta\delta^{15}\text{N}$ 值^[48-49]。大头鳕和花鲈个体较大, 主要摄食中上层鱼类, 摄食蛋白含量较高, 能增大同化过程中 $\Delta\delta^{15}\text{N}$ 值^[48-49]。大头鳕和花鲈的营养级差异, 说明单独使用氮稳定同位素法分析鱼类食性的局限性, 需与胃含物分析法相结合以揭示鱼类食性和营养级位置^[42]。

综上所述, 前三岛海域不仅为多种岩礁鱼类和洄游鱼类提供了栖息地, 而且这些肉食性鱼类的分布也表明该海域具有丰富多样化的天然饵料。因此, 前三岛海域底层鱼类的多样性和高营养级结构表明, 前期的资源修复工作取得了一定成效。

参考文献:

- [1] Jackson J B C, Kirby M X, Berger W H, et al. Historical overfishing and the recent collapse of coastal ecosystems[J]. *Science*, 2001, 293(5530): 629-637.
- [2] Pauly D, Christensen V, Dalsgaard J, et al. Fishing down marine food webs[J]. *Science*, 1998, 279(5352): 860-863.
- [3] Worm B, Hilborn R, Baum J K, et al. Rebuilding global fisheries[J]. *Science*, 2009, 325(5940): 578-585.
- [4] Worm B, Barbier E B, Beaumont N, et al. Impacts of biodiversity loss on ocean ecosystem services[J]. *Science*, 2006, 314(5800): 787-790.
- [5] Xu B D, Jin X S. Variations in fish community structure during winter in the southern Yellow Sea over the period 1985-2002[J]. *Fish Res*, 2005, 71(1): 79-91.
- [6] Cheng J S, Yu L F. The change of structure and diversity of demersal fish communities in the Yellow Sea and East China Sea in winter[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2004, 28(1): 29-34. [程济生, 俞连福. 黄、东海冬季底层鱼类群落结构及多样性变化[J]. *水产学报*, 2004, 28(1): 29-34.]
- [7] Zhang S Y, Zhang H J, Jiao J P, et al. Change of ecological environment of artificial reef waters in Haizhou Bay[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2006, 30(4): 475-480. [章守宇, 张焕君, 焦俊鹏, 等. 海州湾人工鱼礁海域生态环境的变化[J]. *水产学报*, 2006, 30(4): 475-480.]
- [8] Sun L Y. Evaluation of artificial reef construction in Shandong Province[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2010. [孙利元. 山东省人工鱼礁建设效果评价[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2010.]
- [9] Ma S F. The project of Rizhao Qiansan Islets marine ranching[Z]. <http://ch.trade.gov.cn/project/51891.html>. 2012. [马韶凡. 日照前三岛海底牧场项目[Z]. <http://ch.trade.gov.cn/project/51891.html>. 2012.]
- [10] Tian T, Chen Y, Chen C, et al. The survey and assessment of ecological environment in marine ranching area at coastal Zhangzi Island where an artificial reef will be disposed[J]. *Journal of Dalian Ocean University*, 2014, 29(1): 75-81. [田涛, 陈勇, 陈辰, 等. 獐子岛海洋牧场海域人工鱼礁区投礁前的生态环境调查与评估[J]. *大连海洋大学学报*, 2014, 29(1): 75-81.]
- [11] Huang Q, Zhang Y, Ding J. Hydrographic feature and development plan of the First Three Islands in Yellow Sea[J]. *Ocean Technology*, 1994, 13(3): 30-36. [黄青, 张鹰, 丁坚. 前三岛的水文特征与开发设想[J]. *海洋技术*, 1994, 13(3): 30-36.]
- [12] Liu H. Study on bio-resource monitoring and assessing techniques and application in offshore island area with artificial reefs[D]. Qingdao: Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, 2014. [刘辉. 典型岛礁海域生物资源修复效果监测和评价技术研究与应用[D]. 青岛: 中国科学院海洋研究所, 2014.]
- [13] State Oceanic Administration People's Republic of China. Specifications for oceanographic survey[S]. 2007. [国家海洋局. 海洋调查规范[S]. 2007.]
- [14] Liu J, Ning P. Species composition and faunal characteristics of fishes in the Yellow Sea[J]. *Biodiversity Science*, 2011, 19(6): 764-769. [刘静, 宁平. 黄海鱼类组成、区系特征及历史变迁[J]. *生物多样性*, 2011, 19(6): 764-769.]
- [15] Nakamura Y, Tsuchiya M. Spatial and temporal patterns of seagrass habitat use by fishes at the Ryukyu Islands, Japan[J]. *Estuar Coast Shelf Sci*, 2008, 76(2): 345-356.
- [16] Wang Z H, Zhang S Y, Chen Q M, et al. Fish community ecology in rocky reef habitat of Ma'an Archipelago. I. Species composition and diversity[J]. *Biodiversity Science*, 2012, 20(1): 41-50. [汪振华, 章守宇, 陈清满, 等. 马鞍列岛岩礁生境鱼类群落生态学. I. 种类组成和多样性[J]. *生物多样性*, 2012, 20(1): 41-50.]
- [17] Leps J, Smilauer P, Leps J, et al. Multivariate analysis of ecological data using Canoco[M]. New York: Cambridge University Press, 2003.
- [18] Cai D L, Li H Y, Tang Q S, et al. The establishment of continuous trophic spectrums of the food web in the Yellow Sea and East Sea: the result of stable C N isotopes analysis[J]. *Science in China Ser C: Life Sciences*, 2005, 35(2): 123-130. [蔡德陵, 李红燕, 唐启升, 等. 黄东海生态系统食物网连续营养谱的建立: 来自碳氮稳定同位素方法的结果[J]. *中国科学 C 辑: 生命科学*, 2005, 35(2): 123-130.]
- [19] Wei S, Jiang W M. Study on food web of fishes in the Yel-

- low Sea[J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 1992, 23(2): 182–192. [韦晟, 姜卫民. 黄海鱼类食物网的研究[J]. 海洋与湖沼, 1992, 23(2): 182–192.]
- [20] Yang G H, Sun X L, Hou X Q, et al. Measurement of the trophic level of fish in a coral reef ecosystem using stable isotopes[J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2012, 19(1): 105–115. [杨国欢, 孙省利, 侯秀琼, 等. 基于稳定同位素方法的珊瑚礁鱼类营养层次研究[J]. 中国水产科学, 2012, 19(1): 105–115.]
- [21] Deng J Y, Meng T X, Ren S M. Food web of fishes in Bohai Sea[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 1986, 6(4): 356–364. [邓景耀, 孟田湘, 任胜民. 渤海鱼类食物关系的初步研究[J]. 生态学报, 1986, 6(4): 356–364.]
- [22] Hackradt C W, Félix-Hackradt F C, García-Charton J A. Influence of habitat structure on fish assemblage of an artificial reef in southern Brazil[J]. *Mar Environ Res*, 2011, 72(5): 235–247.
- [23] Gratwicke B, Speight M R. The relationship between fish species richness, abundance and habitat complexity in a range of shallow tropical marine habitats[J]. *J Fish Biol*, 2005, 66(3): 650–667.
- [24] Jiao J J, Pan Y X, Sun L Y, et al. Effect of artificial reef on fish multiplication[J]. *Fisheries Science*, 2011, 30(2): 79–82. [焦金菊, 潘永玺, 孙利元, 等. 人工鱼礁区的增殖鱼类资源效果初步研究[J]. 水产科学, 2011, 30(2): 79–82.]
- [25] Wu Z X, Zhang L, Zhang X M, et al. Nekton community structure and its relationship with main environmental variables in Lidao artificial reef zones of Rongcheng[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2012, 32(21): 6737–6746. [吴忠鑫, 张磊, 张秀梅, 等. 荣成俚岛人工鱼礁区游泳动物群落特征及其与主要环境因子的关系[J]. 生态学报, 2012, 32(21): 6737–6746.]
- [26] Yu H T. The analysis of typical estuarine and offshore fishery resources and biological community structure in Shandong[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2013. [于海婷. 山东近海典型海湾河口渔业资源调查与生物群落结构分析[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2013.]
- [27] Chen D G, Gao T X, Zeng X Q, et al. Study on the fishery biology of Laizhou population of *Lateolabrax* sp.[J]. *Acta Oceanologica Sinica*, 2001, 23(4): 81–86. [陈大刚, 高天翔, 曾晓起, 等. 莱州群体花鲈渔业生物学特征的研究[J]. 海洋学报, 2001, 23(4): 81–86.]
- [28] Gao T X, Zhang X R, Wang D, et al. Preliminary biological study on several gadidae fishes[J]. *Transactions of Oceanology and Limnology*, 2003(1): 35–42. [高天翔, 张肖荣, 王丹, 等. 几种鳕鱼的生物学初步研究[J]. 海洋湖沼通报, 2003(1): 35–42.]
- [29] Wang Z H, Gong F X, Wu Z L, et al. Efficiency of multi-mesh gillnets and multi-mesh trammel nets in collecting fish from rocky reef and sandy beach habitats[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2013, 32(2): 507–514. [汪振华, 龚甫贤, 吴祖立, 等. 多网目单层和三重组刺网在岩礁和沙地生境中的鱼类采集效果比较[J]. 生态学杂志, 2013, 32(2): 507–514.]
- [30] Hajisamae S, Yeesin P. Patterns in community structure of trawl catches along coastal area of the south China sea[J]. *Raffles Bull Zool*, 2010, 58(2): 357–368.
- [31] Breitburg D L, Pihl L, Kolesar S E. Effects of low dissolved oxygen on the behavior, ecology and harvest of fishes: A comparison of the Chesapeake Bay and Baltic-Kattegat systems[M]//Rabalais N N. *Coastal and Estuarine Sciences*, Vol 58: Coastal Hypoxia: Consequences for living resources and ecosystems. Washington DC: Amer Geophysical Union, 2001: 241–267.
- [32] Kramer D L. Dissolved oxygen and fish behavior[J]. *Environ Biol Fish*, 1987, 18(2): 81–92.
- [33] Ji D P, Bian X D, Song N, et al. Feeding ecology of *Hexagrammos otakii* in Lidao Rongcheng[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2014, 38(9): 1399–1409. [纪东平, 卞晓东, 宋娜, 等. 荣成俚岛大龙六线鱼摄食生态研究[J]. 水产学报, 2014, 38(9): 1399–1409.]
- [34] Li Z. The distribution of Chlorophyll a and effect of environmental factors in the Yellow Sea during Summer[D]. Qingdao: The First Institute of Oceanography, SOA, 2010. [李昱. 夏季南黄海叶绿素 a 分布特征及环境因子的影响研究[D]. 青岛: 国家海洋局第一海洋研究所, 2010.]
- [35] Johnson S W, Murphy M L, Csepp D J. Distribution, habitat, and behavior of rockfishes, *Sebastes* spp., in nearshore waters of southeastern Alaska: observations from a remotely operated vehicle[J]. *Environ Biol Fish*, 2003, 66(3): 259–270.
- [36] Ryer C H, Stoner A W, Iseri P J, et al. Effects of simulated underwater vehicle lighting on fish behavior[J]. *Mar Ecol Prog Ser*, 2009, 391: 97–106.
- [37] Hwang K, Jung S. Decadal changes in fish assemblages in waters near the Jeodo Ocean Research Station (East China sea) in relation to climate change from 1984 to 2010[J]. *Ocean Sci J*, 2012, 47(2): 83–94.
- [38] Jung S, Ha S, Na H. Multi-decadal changes in fish communities Jeju Island in relation to climate change[J]. *Kor J Fish Aquat Sci*, 2013, 46(2): 186–194.
- [39] Lan S F. Study on warm currents in the Yellow Sea[J]. *Marine Sciences*, 1993, 1(1): 38–40. [蓝淑芳. 黄海暖流水的调查研究[J]. 海洋科学, 1993, 1(1): 38–40.]

- [40] Zhao B R. A preliminary study of continental shelf fronts in the western part of southern Huanghai Sea and circulation structure in the front region of the Huanghai cold water mass[J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 1987, 18(3): 218–226. [赵保仁. 南黄海西部的陆架锋及冷水团锋区环流结构的初步研究[J]. *海洋与湖沼*, 1987, 18(3): 218–226.]
- [41] Ruitton S, Francour P, Boudouresque C F. Relationships between algae, benthic herbivorous invertebrates and fishes in rocky sublittoral communities of a temperate sea (Mediterranean)[J]. *Estuar Coast Shelf Sci*, 2000, 50(2): 217–230.
- [42] Cresson P, Ruitton S, Ourgaud M, et al. Contrasting perception of fish trophic level from stomach content and stable isotope analyses: A Mediterranean artificial reef experience[J]. *J Exp Mar Biol Ecol*, 2014, 452: 54–62.
- [43] Jiang R J, Zhang S Y, Wang K, et al. Stable isotope analysis of the offshore food web of Gouqi Island[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2014, 33(4): 930–938. [蒋日进, 章守宇, 王凯, 等. 枸杞岛近岸海域食物网的稳定同位素分析[J]. *生态学杂志*, 2014, 33(4): 930–938.]
- [44] Zeng Q F, Gu X H, Mao Z G, et al. Effect of diet switch on turnover rates of tissue nitrogen stable isotopes in fish based on the enrichment–dilution approach[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2012, 32(4): 253–259. [曾庆飞, 谷孝鸿, 毛志刚, 等. 同位素富集–稀释法研究食性转变对鱼类不同组织 N 同位素转化率的影响[J]. *生态学报*, 2012, 32(4): 253–259.]
- [45] Pinnegar J K, Polunin N V C. Differential fractionation of $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ among fish tissues: implications for the study of trophic interactions[J]. *Funct Ecol*, 1999, 13(2): 225–231.
- [46] Trueman C N, MacKenzie K M, Palmer M R. Identifying migrations in marine fishes through stable-isotope analysis[J]. *J Fish Biol*, 2012, 81(2): 826–847.
- [47] Post D M. Using stable isotopes to estimate trophic position: models, methods, and assumptions[J]. *Ecology*, 2002, 83(3): 703–718.
- [48] Vanderklift M A, Ponsard S. Sources of variation in consumer-diet $\delta^{15}\text{N}$ enrichment: a meta-analysis[J]. *Oecologia*, 2003, 136(2): 169–182.
- [49] McCutchan J H, Lewis W M, Kendall C, et al. Variation in trophic shift for stable isotope ratios of carbon, nitrogen, and sulfur[J]. *Oikos*, 2003, 102(2): 378–390.

Demersal fish community structure around the Qiansan Islets in Haizhou Bay

ZHANG Yingqiu^{1,2}, XU Qiang¹, XU Qinzeng¹, LIU Hui^{1,2}, ZHANG Hongye^{1,2}, HAO Jiehua³,
YANG Hongsheng¹

1. Key Laboratory of Marine Ecology and Environmental Sciences, Institute of Oceanography, Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266071, China;
2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;
3. College of Marine Life Sciences, Ocean University of China, Qingdao 266003, China

Abstract: A series of demersal fish sampling surveys were conducted around the Qiansan Islets from May 2013 to April 2014, and the captured fish were identified to 22 species, 15 families, and 6 orders. Perennial rockfish species (PRS), including *Hexagrammos otakii*, *Sebastes schlegelii*, *Hexagrammos agrammus*, and *Conger myriaster* were dominant in the studied area. *Lateolabrax maculatus*, *Gadus macrocephalus*, and Carangidae and Scombridae species were seasonal migration species. Results of a canonical correspondence analysis used to analyze the effects of environmental factors on fish community structure suggested that the distribution of fish was mainly influenced by bottom-water temperature and dissolved oxygen. Bottom-water temperature had a positive effect on biomass of *H. agrammus*, *Pterogobius zacalles*, *Paralichthys olivaceus*, *Sebastes hubbsi*, *Scomber japonicus*, and *Seriola dumerili* biomass. Biomass of both *G. macrocephalus* and *H. otakii* was closely related with bottom water dissolved oxygen, and *G. macrocephalus* was only distributed in deep water with high dissolved oxygen during seasons with low temperatures. *S. schlegelii*, *C. myriaster*, and *S. pachycephalus* were widely distributed in the study area. The trophic level results determined using the stable nitrogen isotope method suggested that PRS were in the third and the fourth trophic levels, and that they were intermediate and top carnivores, whereas *L. maculatus* and *G. macrocephalus* were apex predators above the fourth trophic level.

Key words: Haizhou Bay; Qiansan Islets; fish community; environmental effect; canonical correspondence analysis; trophic level

Corresponding author: YANG Hongsheng. E-mail: hshyang@qdio.ac.cn;

XU Qiang. E-mail: xuqiangcas@126.com