

DOI: 10.3724/SP.J.1118.2017.16266

山东半岛南部近岸海域蟹类群落结构特征

杨刚^{1,2}, 李凡¹, 王秀霞¹, 袁小楠^{1,2}, 吕振波¹, 宋明毅³

1. 山东省海洋资源与环境研究院, 山东省海洋生态修复重点实验室, 山东 烟台 264006;

2. 上海海洋大学 海洋科学学院, 上海 210306;

3. 烟台开发区大季家街道办事处, 山东 烟台 264006

摘要: 根据使用单船底拖网进行 2014 年 8 月和 10 月、2015 年 2 月和 5 月 4 个航次的调查数据, 对山东半岛南部近岸海域蟹类种类组成、时空分布、优势种、物种多样性等群落结构特征进行了研究。结果显示, 4 次调查共捕获蟹类 15 种, 隶属于 7 科 12 属, 其中三疣梭子蟹(*Portunus trituberculatus*)、日本蟳(*Charybdis japonica*)是主要经济种类, 其余多为小型饵料型蟹类; 双斑蟳(*C. bimaculata*)在 4 个季节中皆为优势种, 三疣梭子蟹在 8 月和 10 月航次为优势种, 优势种季节更替明显; 生物量季节变化明显, 春季时较低, 在夏季达到峰值, 夏季到冬季呈降低趋势; 蟹类群落物种多样性指数(H')变化范围为 0.32~0.53, 均匀度指数(J')变化范围为 0.23~0.37, 丰富度指数(D')变化范围为 0.32~0.55, 其中物种多样性指数与丰富度指数季节变化明显, 均匀度指数季节变化不明显; 多元统计分析结果表明, 山东半岛南部近岸海域 4 季节蟹类群落结构均可以划分为西南部海域组、东北部远岸海域组和西北部近岸海域组 3 个组群, 季节间组群站位组成变化明显, 群落结构不稳定。研究表明: 1) 山东半岛南部近岸海域蟹类以小型饵料型蟹类为主, 蟹类多样性水平较低, 优势种更替明显, 蟹类群落不稳定; 2) 山东半岛南部近岸海域蟹类群落划分较为明显, 特征种主要为双斑蟳、泥脚隆背蟹(*Carcinoplax vestita*)等小型饵料型蟹类。

关键词: 蟹类; 生物量; 多样性; 优势种; 时空分布; 山东半岛南部近岸海域

中图分类号: S93

文献标志码: A

文章编号: 1005-8737-(2017)04-0862-13

山东半岛南部近岸海域渔业资源丰富, 其中青海渔场是多种重要经济生物的产卵场和索饵场^[1]。近年来, 随着科学技术的进步, 渔业捕捞作业多样化加强, 捕捞强度逐步加大, 人类活动对该海域渔业资源的影响不断加剧, 海域内传统经济型渔业资源衰退现象严重^[2]。李涛等^[3]研究了山东半岛南部近岸海域渔业资源群落结构季节变化, 吕振波等^[4]针对山东半岛南部近岸海域鱼类群落结构与生物多样性等方面进行了研究。作为山东半岛南部近岸海域重要的经济型物种, 如三疣梭子蟹(*Portunus trituberculatus*)、日本蟳(*Charybdis japonica*)等, 与饵料型物种, 如双斑蟳(*C. bima-*

culata)、隆线强蟹(*Eucrate crenata*)等, 蟹类群落结构及其多样性对渔业生产与渔业生态具有重要意义。目前, 对中国海域蟹类的研究日益增多, 如东海、舟山、莱州湾、海州湾等海域蟹类群落结构^[5-6]与生物多样性^[7-8]的研究。吴强等^[9]研究了黄渤海春季甲壳类的群落结构, 但针对山东半岛南部近岸海域蟹类群落结构研究的报道较少。为此, 本文根据 2014 年到 2015 年在该海域进行的 4 个航次单船底拖网调查数据, 对该海域蟹类时空分布、群落结构、物种多样性、优势种等进行了研究, 以期对蟹类保护、渔业资源综合保护及山东省政府增殖放流提供一定的基础性资料。

收稿日期: 2016-08-18; 修订日期: 2016-11-10.

基金项目: 海洋公益性行业科研专项经费项目(201405010); 农业部渔业种质资源保护项目(17162130135252058); 水生动物营养与饲料“泰山学者”岗位经费资助项目(TS200651036).

作者简介: 杨刚(1989-), 男, 硕士研究生, 从事渔业资源研究. E-mail: yg9005@126.com

通信作者: 吕振波, 研究员. E-mail: ytlvzhenbo@163.com

1 材料与方 法

1.1 采样方法

调查海域(35°20'~37°10'N, 119°40'~122°50'E)共设置 18 个站位(图 1), 于 2014 年 8 月(夏季)、10 月(秋季)、2015 年 2 月(冬季)、5 月(春季)在该海域进行了 4 个航次单船底拖网调查。调查船只为“鲁海渔 66288”, 功率为 80 kW, 网口周长 22 m,

囊网网目 33 mm, 拖曳时网口宽度约 8 m。每站拖曳 1 h, 拖速 3 kn, 进行蟹类生物取样调查, 记录每一种类的尾数和总质量。样品采样及分析均按《海洋调查规范(GB/T 12763.6-2007)》^[10]进行。蟹类种类名称及分类地位以《中国海洋生物名录》^[11]为依据, 并参考 SealfifeBase 数据库(<http://www.sealifebase.org>)。

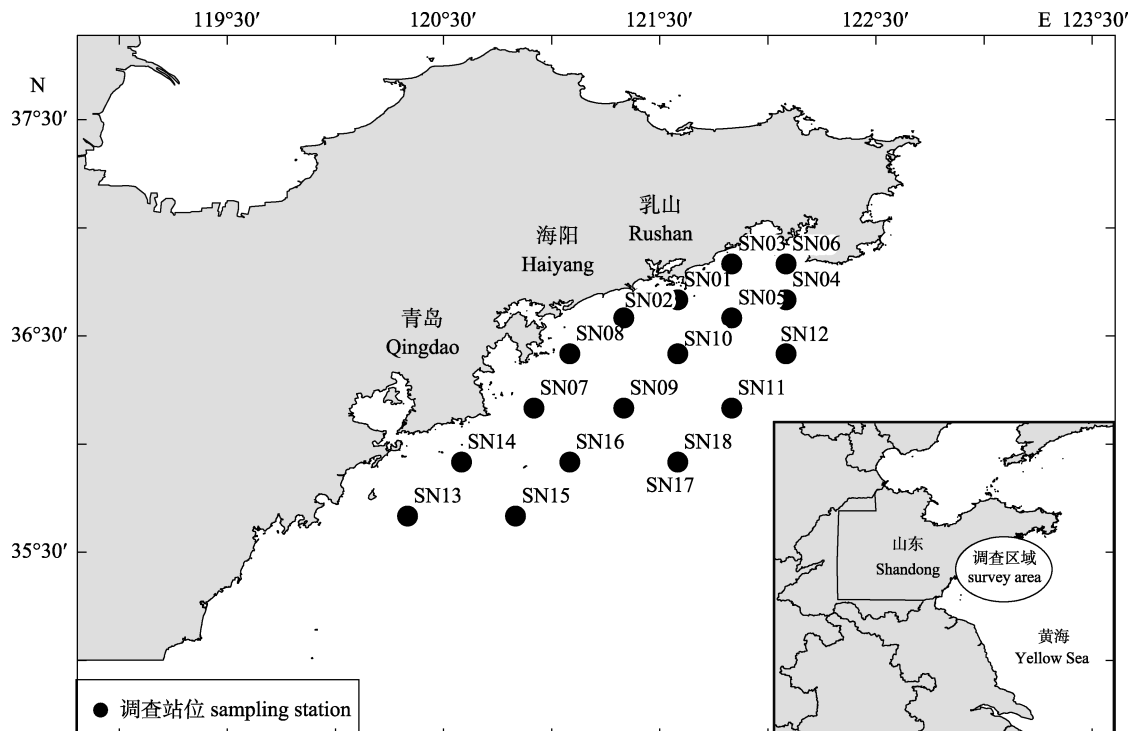


图 1 山东半岛南部近岸海域调查站位图

Fig. 1 Sampling stations in the coastal waters along the southern Shandong Peninsula

1.2 数据处理及分析

1.2.1 数据标准化 以调查网具拖速 3 kn、拖网时间 1 h 为基准, 根据各站位实际拖网时间对调查数据进行标准化处理, 将其换算为单位时间的生物量(kg/h)和尾数(ind/h)。使用 EXCEL 2010 和 PRIMER 6 软件进行数据处理; 图片应用 ARCGIS 9.3 和 PRIMER 6 软件绘制。

1.2.2 相对重要性指数 利用 Pinkas 等^[12]相对重要性指数(IRI)确定种类在群落中的重要性, 计算公式为

$$IRI=(N+W) \times F$$

式中, N 为某一类尾数占总尾数的百分比; W 为某一类生物量占总生物量的百分比; F 为某一

种类出现站位数占调查总站位数的百分比。

将 IRI 值大于或等于 1000 的种类定义为优势种, 大于 100 小于 1000 的定义为重要种^[13-14]。优势种的季节更替变化运用种类更替率分析^[15], 计算公式为

$$A = \frac{C}{C+S} \times 100\%$$

式中, A 为更替率, 即与前一季节比较的更替情况; C 为相临两个季节间减少或增加的物种数; S 为相临两个季节间相同的物种数。

1.2.3 物种多样性 采用 Margalef 种类丰富度指数(D)^[16]、Shannon-Wiener 多样性指数(H')^[17]和 Pielou 均匀度指数(J')^[18]分析蟹类群落结构多样性, 公式如下:

Margalef 种类丰富度指数: $D = (S - 1) \ln N$

Shannon-Wiener 多样性指数: $H' = - \sum P_i \ln P_i$

Pielou 均匀度指数: $J' = H' / \ln S$

式中, S 为种类数; N 为总尾数; P_i 为第 i 种生物量占总生物量的比例; 多样性指数计算运用 PRIMER6 软件完成。

1.2.4 多元统计分析 为平衡优势种对群落结构划分的影响, 并对稀有种进行加权, 先对生物量数据进行四次方根转换^[19-20], 用以计算山东半岛南部近岸海域 4 个航次蟹类生物量 Bray-Curtis 相似性系数矩阵, 然后采用等级聚类分析(CLUSTER)与非度量多维标度分析(MDS)来研究蟹类群落结构季节变化。MDS 二维点图的效果应用胁迫系数(stress)来衡量。一般认为: 当 $0.1 < \text{胁迫系数} < 0.2$ 时, 可用 MDS 二维点图表示, 具有一定解释意义; 当 $0.05 < \text{胁迫系数} < 0.1$ 时, 排序效果基本可信; 当胁迫系数 < 0.05 时, MDS 二维点图对群落结构排序具有很好的代表性^[21]。采用相似性百分比分析(SIMPER)研究造成不同组群间群落结构相异的分歧种与造成组群内群落结构相似的典型种^[22], 分析应用 PRIMER6 软件完成。

2 结果与分析

2.1 种类组成

调查共捕获蟹类 15 种, 隶属于 7 科 12 属(表 1)。种类数最多的为梭子蟹科和关公蟹科, 各有 3 种, 分别占捕获蟹类总种类数的 21.43%。经济型蟹类仅有三疣梭子蟹和日本蟳, 其余均为小型饵料型蟹类。种类组成呈现一定的季节变化, 三疣梭子蟹、双斑蟳、隆线强蟹和泥脚隆背蟹(*Carcinoplax vestita*)在 4 个季节中均有出现; 日本蟳(*C. japonica*)和黄道蟹(*Cancer magister*)在 3 个季节中出现; 枯瘦突眼蟹(*Oregonia gracilis*)和四齿矶蟹(*Pugettia quadridens*)在 2 个季节中出现; 其余种类仅在 1 个季节中出现。从适温性上看, 暖水种有 6 种, 暖温种有 5 种, 冷温种有 4 种。

2.2 群落优势种

4 次调查中蟹类优势种与重要种组成情况表明(表 2), 双斑蟳在 4 个季节中皆为优势种, 三疣梭子蟹在夏(2014 年 8 月)、秋(2014 年 10 月)两个季节成为优势种, 在春季(2015 年 5 月)为重要种, 泥脚隆背蟹在 4 个季节中皆为重要种。优势种存

表 1 山东半岛南部近岸海域蟹类名录
Tab. 1 List of crab species in the coastal waters along the southern Shandong Peninsula

科 family	种类 species	季节 season				适温类型 temperature type
		春季 spring	夏季 summer	秋季 autumn	冬季 winter	
豆蟹科 Pinnotheridae	霍氏三强蟹 <i>Tritodynamia horvathi</i>				√	T
方蟹科 Grapsidae	绒螯近方蟹 <i>Hemigrapsus penicillatus</i>	√				T
	粗腿厚纹蟹 <i>Pachygrapsus crassipes</i>		√			T
关公蟹科 Dorippidae	日本拟平家蟹 <i>Heikeopsis japonicus</i>		√			WW
	中国拟关公蟹 <i>Paradorippe athayana</i>		√			WW
	颗粒拟关公蟹 <i>Paradorippe granulata</i>		√			CT
馒头蟹科 Calappidae	红线黎明蟹 <i>Matuta planipes</i>			√		CT
	黄道蟹 <i>Cancer magister</i>	√	√		√	CT
梭子蟹科 Portunidae	日本蟳 <i>Charybdis japonica</i>	√	√	√		WW
	双斑蟳 <i>Charybdis bimaculata</i>	√	√	√	√	T
	三疣梭子蟹 <i>Portunus trituberculatus</i>	√	√	√	√	WW
长脚蟹科 Goneplacidae	隆线强蟹 <i>Eucrate crenata</i>	√	√	√	√	WW
	泥脚隆背蟹 <i>Carcinoplax vestita</i>	√	√	√	√	WW
蜘蛛蟹科 Majidae	四齿矶蟹 <i>Pugettia quadridens</i>	√		√		CT
	枯瘦突眼蟹 <i>Oregonia gracilis</i>	√			√	T

注: WW 表示暖水种; T 表示暖温种; CT 表示冷温种; √ 表示有出现对应物种。

Note: WW means warm water species; T means temperate species; CT means cold temperate species; √ means detected.

表 2 山东半岛南部近岸海域春、夏、秋、冬 4 次调查主要种类组成特征
 Tab. 2 Composition characteristics of major species in spring, summer, autumn and winter in the coastal waters along the southern Shandong Peninsula

季节 season	种类 species	W%	N%	F%	IRI
春季 spring	双斑蟳 <i>Charybdis bimaculata</i>	94.66	59.10	77.78	11959
	三疣梭子蟹 <i>Portunus trituberculatus</i>	1.30	24.72	33.33	867
	枯瘦突眼蟹 <i>Oregonia gracilis</i>	0.72	9.84	22.22	235
	泥脚隆背蟹 <i>Carcinoplax vestita</i>	1.64	3.34	27.78	138
夏季 summer	双斑蟳 <i>Charybdis bimaculata</i>	76.05	90.36	61.11	10169
	三疣梭子蟹 <i>Portunus trituberculatus</i>	13.44	0.51	83.33	1162
	泥脚隆背蟹 <i>Carcinoplax vestita</i>	4.58	4.05	22.22	192
	隆线强蟹 <i>Eucrate crenata</i>	4.52	2.91	22.22	165
秋季 autumn	三疣梭子蟹 <i>Portunus trituberculatus</i>	63.07	35.44	83.33	8209
	双斑蟳 <i>Charybdis bimaculata</i>	22.00	12.99	72.22	2528
	泥脚隆背蟹 <i>Carcinoplax vestita</i>	13.51	6.57	61.11	1227
	日本蟳 <i>Charybdis japonica</i>	1.29	39.22	27.78	1125
冬季 winter	黄道蟹 <i>Cancer magister</i>	82.66	55.97	27.78	3851
	双斑蟳 <i>Charybdis bimaculata</i>	12.81	24.63	55.56	2080
	泥脚隆背蟹 <i>Carcinoplax vestita</i>	3.50	17.16	27.78	574

注: W 表示占总重量的百分比; N 表示占总尾数的百分比; F 表示出现频率; IRI 表示相对重要性指数。

Note: W means percentage in total weight; N means percentage in total individuals; F means occurrence frequency; IRI means the index of relative importance.

在季节更替, 夏秋、秋冬、冬春之间优势种更替率分别为 50%、66.67%和 50%, 更替种主要为双斑蟳、三疣梭子蟹和黄道蟹。冬、春两季优势种皆为小型非经济型蟹类, 夏、秋两季经济型蟹类优势明显。春、夏、秋 3 个季节中, 双斑蟳和三疣梭子蟹生物量百分比之和达 85%以上; 冬季, 黄道蟹和双斑蟳生物量百分比之和达 85%以上。

2.3 生物量季节变化及空间分布

调查海域蟹类生物量与平均渔获尾数变化趋势相同, 春季时较低, 在夏季达到峰值, 夏季到冬季呈降低趋势。ANOVA 分析表明, 相邻季节生物量存在显著差异($P < 0.05$)。

调查海域蟹类群落生物量空间分布显示(图 3), 春季蟹类生物量乳山邻近海域>海阳邻近海域>青岛邻近海域, 近岸海域>远岸海域; 夏季蟹类生物量整体高于春季, 且乳山邻近海域>青岛邻近海域>海阳邻近海域, 近岸海域>远岸海域; 秋季蟹类生物量分布相对较为均匀, 乳山邻近海域>海阳邻近海域>青岛邻近海域, 近岸海域<远岸海域; 冬季生物量青岛邻近海域>海阳邻近海域>乳山邻近海域, 近岸海域<远岸海域。

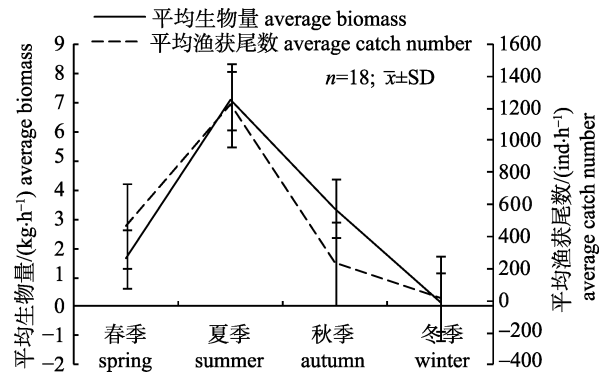


图 2 山东半岛南部近岸海域蟹类群落平均生物量和平均渔获尾数季节变化

Fig. 2 Seasonal changes of average biomass and average catch number of crab species in the coastal waters along the southern Shandong Peninsula

2.4 物种多样性

山东半岛南部近岸海域蟹类群落结构多样性指数(H')存在显著季节变化, 在秋季(2014年10月)时最高, 夏(2014年8月)、春(2015年5月)两季次之, 冬季(2015年2月)最低, 变化范围在 0.32~0.53; 物种均匀度指数(J')变化范围在 0.23~0.37, 季节间变化不明显; 物种丰富度指数(D')范围在 0.32~0.55, 秋季最高, 冬季最低(图 4)。群落多样

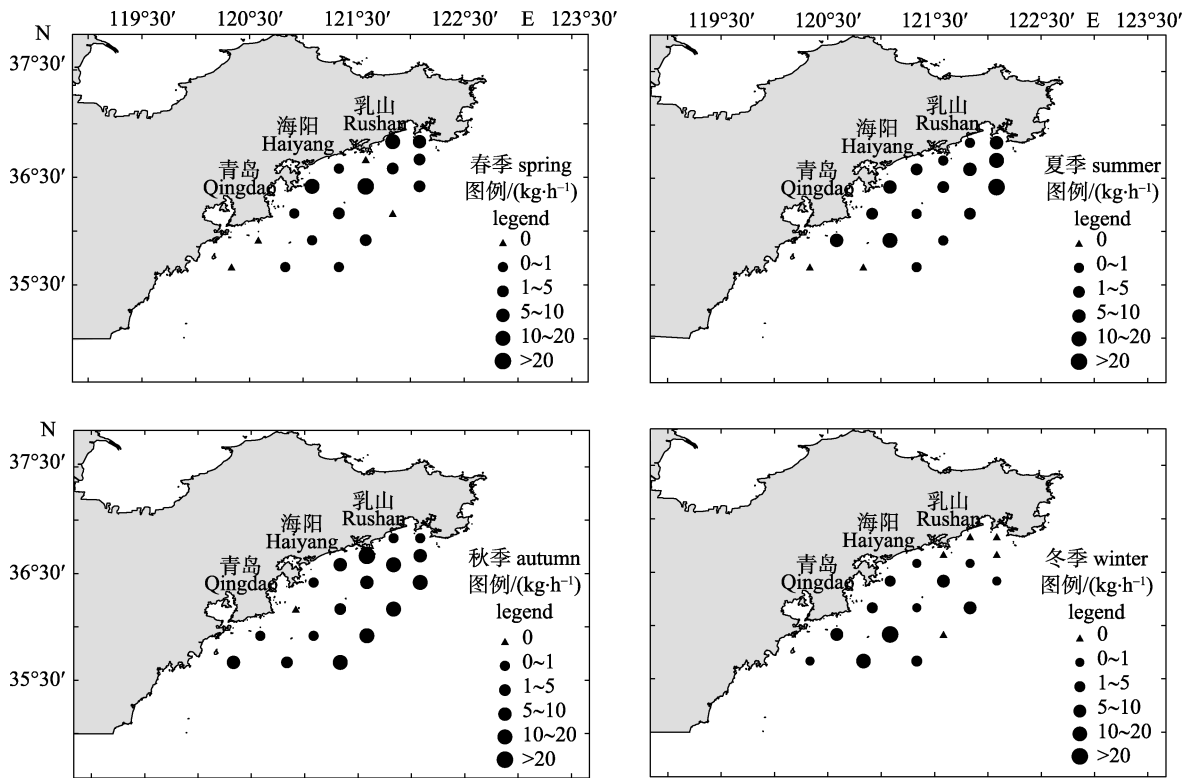


图 3 山东半岛南部近岸海域蟹类生物量空间分布

Fig. 3 Distribution of crab biomass in the coastal waters along the southern Shandong Peninsula

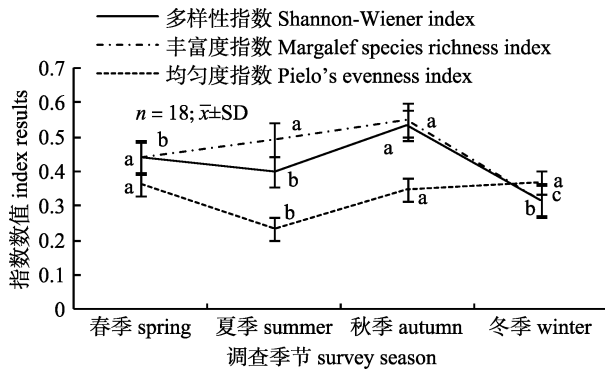


图 4 山东半岛南部近岸海域蟹类群落多样性指数季节变化

同一曲线上标相同小写字母表示差异不显著($P>0.05$), 标不同小写字母表示差异显著($P<0.05$).

Fig. 4 Seasonal variations in diversity indices of crab community in the coastal waters along the southern Shandong Peninsula

The same letter denotes no significant difference ($P>0.05$). Different letter denotes significant difference ($P<0.05$).

性空间分布整体呈现东部较高、西部较低, 远岸较高、近岸较低分布趋势, 同时空间分布呈现一定的季节差异: 春季多样性指数从南向北呈现青岛邻近海域>海阳邻近海域>乳山邻近海域的分

布特点, 从西到东呈现近岸海域<远岸海域的分布特点; 夏季多样性指数呈现海阳邻近海域>乳山邻近海域>青岛邻近海域、近岸海域<远岸海域的分布特点; 秋季多样性指数分布相对较均匀, 呈现海阳邻近海域>乳山邻近海域>青岛邻近海域、近岸海域<远岸海域的分布特点; 冬季多样性指数呈现海阳邻近海域>青岛邻近海域>乳山邻近海域、近岸海域>远岸海域的分布特点(图 5)。

2.5 群落结构相似性

根据各个季节蟹类生物量聚类分析, 对海域各季节蟹类群落结构进行划分, 群落聚类结果及空间分布效果有一定的解释意义, 排序结果可用二维点阵图解释。聚类分析将春季蟹类群落分为 3 组, 由于 SN01、SN11、SN13 和 SN14 4 个站位未捕获蟹类, 不参与分组, SN07、SN15 和 SN17 3 个站位为组 1, 位于西南部海域; SN04、SN05、SN09、SN12 和 SN18 5 个站位为组 2, 位于东北部远岸海域; SN02、SN03、SN06、SN08、SN10 和 SN16 6 个站位为组 3, 位于西北部近岸海域。夏季群落分为 3 组, SN13 和 SN15 2 个站位未捕获

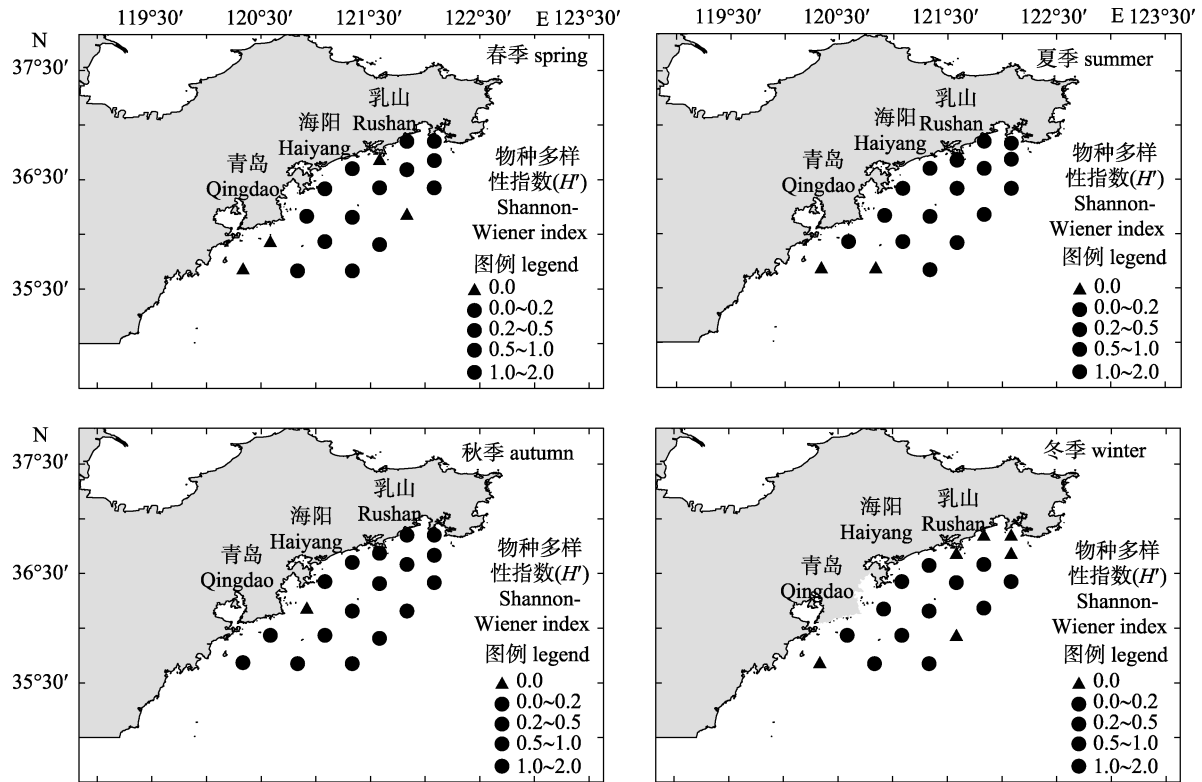


图 5 山东半岛南部近岸海域蟹类群落多样性指数空间分布

Fig. 5 Distribution of diversity indices of crab community in the coastal waters along the southern Shandong Peninsula

蟹类, 不参与分组, SN09、SN14 和 SN18 3 个站为组 1, 位于西南部海域; SN01、SN02、SN03、SN04、SN05、SN06、SN07、SN10、SN11、SN12 和 SN16 11 个站为组 2, 位于北部海域; SN08 和 SN17 2 个站为组 3, SN08 位于中西部海域, SN17 位于东南部海域。秋季群落分为 3 组, SN7 站未捕获蟹类, 不参与分组, SN10、SN14、SN15、SN16 和 SN17 5 个站为组 1, 位于西南部海域; SN04、SN09、SN11、SN12、SN13 和 SN18 6 个站为组 2, 主要位于东北部远岸海域; SN01、SN02、SN03、SN05、SN06 和 SN08 6 个站为组 3, 位于西北部近岸海域。冬季群落分为 3 组, SN01、SN03、SN04、SN06 和 SN18 5 个站未捕获蟹类, 不参与分组, SN07、SN11、SN14、SN15 和 SN16 5 个站为组 1, 位于西南部海域; SN09、SN12、SN13 和 SN17 4 个站为组 2, 分布较为分散, 皆位于远岸海域; SN02、SN05、SN08 和 SN10 4 个站为组 3, 位于西北部近岸海域(图 6~图 8)。

SIMPER 分析显示, 春季组 1 特征种为黄道

蟹、双斑蟳和枯瘦突眼蟹, 组 2 特征种为双斑蟳, 组 3 特征种为双斑蟳; 夏季组 1 特征种为隆线强蟹, 组 2 特征种为三疣梭子蟹和日本拟平家蟹, 组 3 特征种为双斑蟳; 秋季组 1 特征种为三疣梭子蟹和双斑蟳, 组 2 特征种为三疣梭子蟹、双斑蟳和泥脚隆背蟹, 组 3 特征种为三疣梭子蟹和泥脚隆背蟹; 冬季组 1 特征种为黄道蟹, 组 2 特征种为双斑蟳, 组 3 特征种为双斑蟳和泥脚隆背蟹。各季节组内特征种对组内平均相似性贡献百分比与组间分歧种对组间相异性的贡献百分比见表 3。

3 讨论

3.1 种类组成与优势种

本次调查共捕获蟹类 15 种, 隶属于 12 个属, 大多数种类为小型饵料型蟹类, 经济型蟹类仅有三疣梭子蟹和日本蟳两种。种类组成呈现一定的季节变化, 优势种季节更替明显, 可能的原因是山东半岛南部近岸海域处于暖温带季风区, 有明显季节变化, 夏季温度较高时, 适宜暖温性与暖水性蟹类生长繁殖; 冬季水温降低, 冷温性蟹类

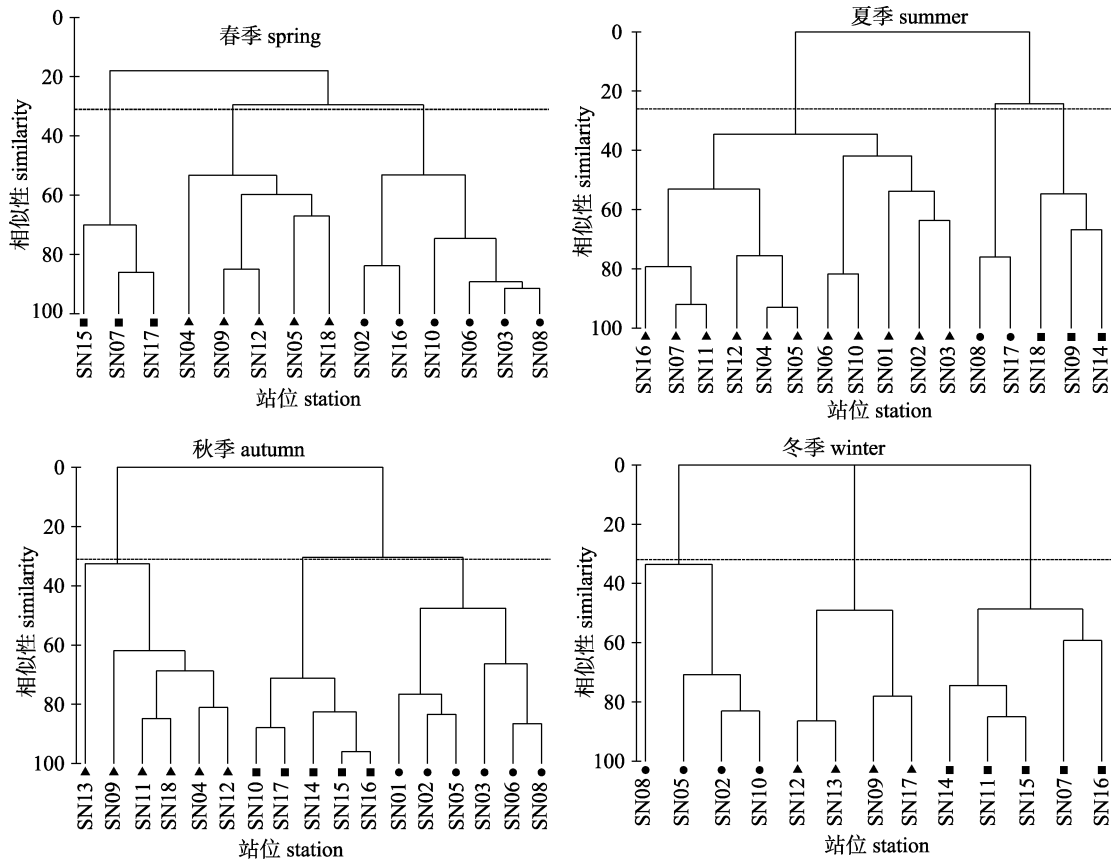


图 6 山东半岛南部近岸海域蟹类 CLUSTER 聚类分析结果

Fig. 6 Results of CLUSTER analysis of crab community in the coastal waters along the southern Shandong Peninsula

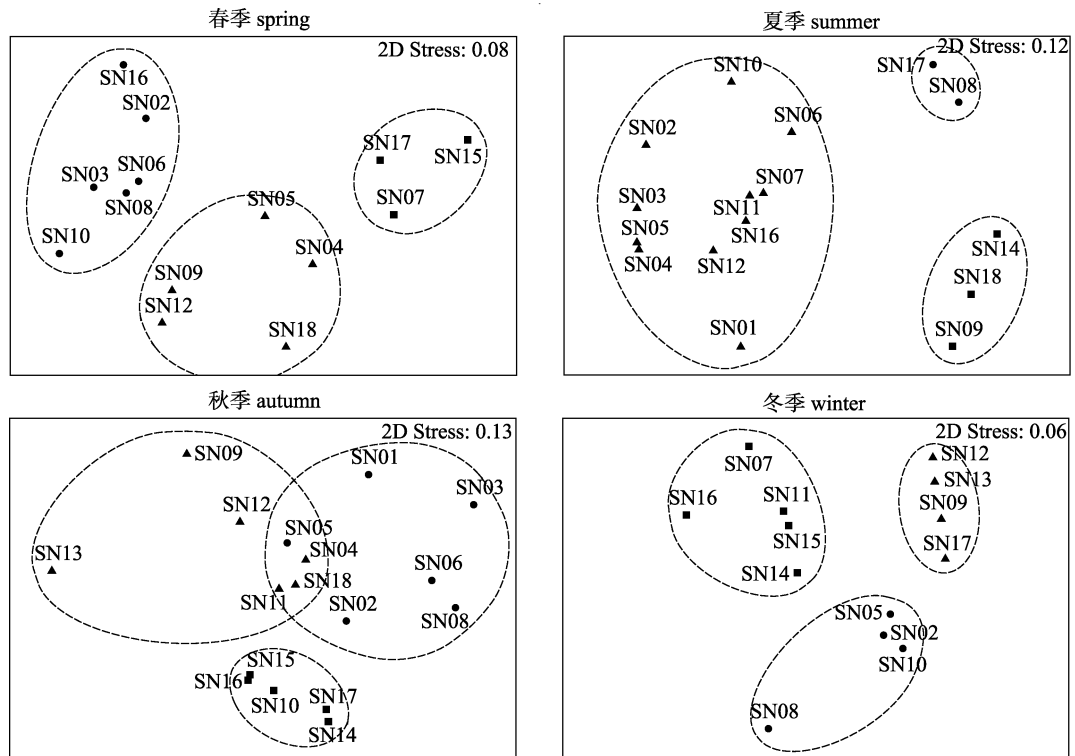


图 7 山东半岛南部近岸海域蟹类 MDS 分析结果

Fig. 7 Results of MDS analysis of crab community in the coastal waters along the southern Shandong Peninsula

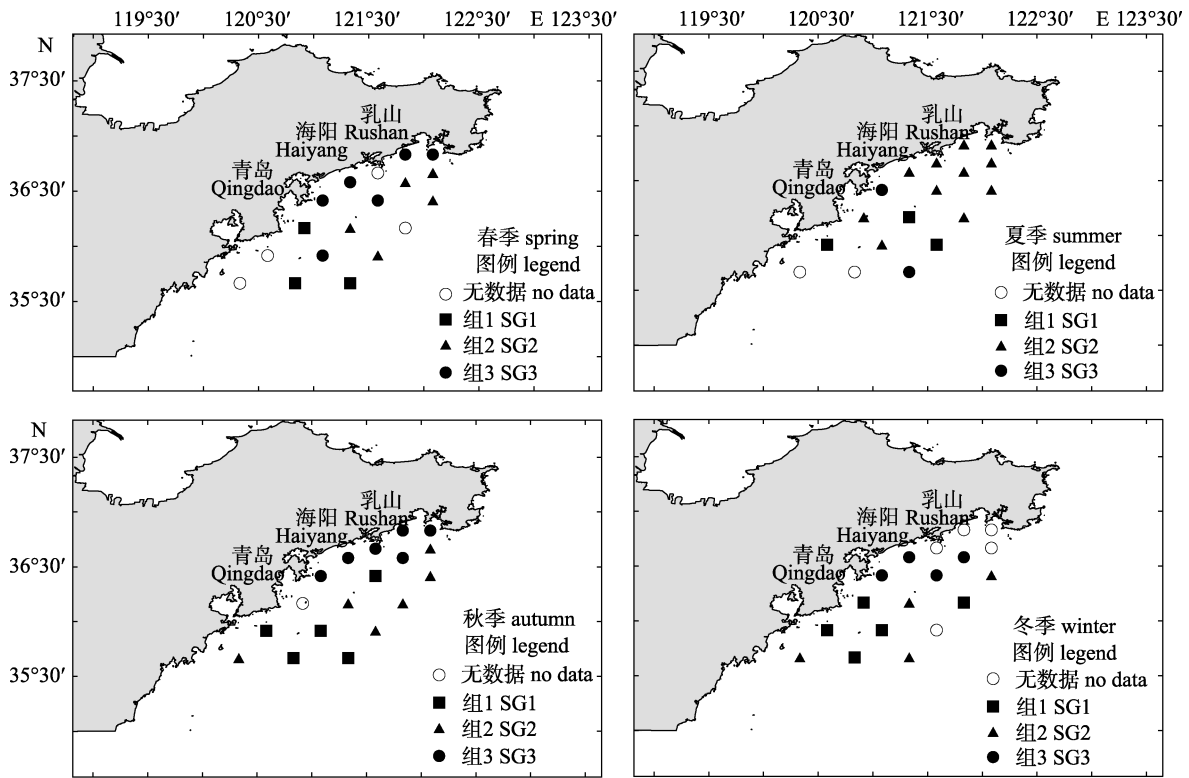


图 8 山东半岛南部近岸海域蟹类组群空间分布

Fig. 8 Crab group distribution in the coastal waters along the southern Shandong Peninsula

表 3 山东半岛南部近岸海域各季节组内特征种对组内平均相似性、组间分歧种对组间相异性的贡献百分比
 Tab. 3 Typifying species for different groups and their contributions to the average within-group similarity, discriminating species and their contributions to the average between-group dissimilarity in spring, summer, autumn and winter in the coastal waters along the southern Shandong Peninsula

季节 season	种类 species	组 1 SG1	组 2 SG2	组 3 SG3	组 1 + 组 2 SG1 + SG2	组 1 + 组 3 SG1 + SG3	组 2 + 组 3 SG2 + SG3
春季 spring	黄道蟹 <i>Cancer magister</i>	45.46			6.99	7.91	
	双斑蟳 <i>Charybdis bimaculata</i>	34.48	98.51	94.76	80.77	79.74	88.95
	枯瘦突眼蟹 <i>Oregonia gracilis</i>	20.06			6.86	6.31	
	三疣梭子蟹 <i>Portunus trituberculatus</i>						3.26
夏季 summer	隆线强蟹 <i>Eucrate crenata</i>	91.50			39.84	13.32	4.02
	三疣梭子蟹 <i>Portunus trituberculatus</i>		67.90		52.01	26.03	20.68
	日本拟平家蟹 <i>Heikeopsis japonicus</i>		24.77				
	双斑蟳 <i>Charybdis bimaculata</i>			97.41		55.86	66.15
秋季 autumn	三疣梭子蟹 <i>Portunus trituberculatus</i>	83.97	20.64	80.57	39.46	67.47	42.58
	双斑蟳 <i>Charybdis bimaculata</i>	16.03	58.21		36.05	16.75	37.46
	泥脚隆背蟹 <i>Carcinoplax vestita</i>		20.87	17.84	23.56	13.63	18.16
冬季 winter	黄道蟹 <i>Cancer magister</i>	97.17			84.32	74.97	
	双斑蟳 <i>Charybdis bimaculata</i>		100.00	36.76	13.01	14.00	51.31
	泥脚隆背蟹 <i>Carcinoplax vestita</i>			60.90		7.94	36.36
	三疣梭子蟹 <i>Portunus trituberculatus</i>						7.20

则在此繁衍^[23]。小型饵料型蟹类双斑蟳在四个航次皆为优势种, 成为研究海域蟹类绝对优势种,

这可能因为双斑蟳属于广温型种, 对温度变化有较强的适应性^[24], 同时由于过度捕捞与环境衰退

的双重影响,研究海域底层大型鱼类资源衰退严重^[25],饵料型蟹类双斑螯的天敌小黄鱼、带鱼等数量的减少^[3-4]也在一定程度上促进了其生长繁殖。经济型蟹类日本螯在 4 个航次中皆不是优势种;得益于持续增殖放流,三疣梭子蟹在夏、秋两个季节成为蟹类优势种,其中在秋季优势度较为明显,但其个体平均体质量较小,仅有 15.06 g。总而言之,山东半岛南部近岸海域蟹类资源较差,近几年在莱州湾^[7]、胶州湾^[26]、浙江南部近岸海域^[27]及东海中部海域^[28]等对蟹类群落结构的调查结果存在相似情况。

3.2 生物量的空间分布

根据结果可知,双斑螯和三疣梭子蟹在春、夏、秋 3 个季节的生物量百分比与黄道蟹和双斑螯在冬季的生物量百分比都达 85%以上,成为影响山东半岛南部近岸海域蟹类生物量分布的关键物种,它们的季节性洄游是影响蟹类生物量空间分布季节变化的最主要因素。双斑螯、三疣梭子蟹与黄道蟹都属于沿岸型洄游性物种^[23],会根据海域饵料丰富度与水温舒适度合理选择栖息地。春季(3月到5月)双斑螯与三疣梭子蟹移动至近岸浅水海域产卵^[20],此时也是小黄鱼等蟹类天敌的主要产卵期^[29],产卵群体摄食强度较低,对蟹类群体的影响较小,所以春季蟹类主要分布于乳山近岸浅水海域;夏季(6月到8月),双斑螯与三疣梭子蟹多数分布于饵料较为丰富的浅水区索饵、育肥,水温 22.5~26.0℃,适宜双斑螯与三疣梭子蟹生长^[24, 30],蟹类总生物量达到全年最高,主要分布于近岸海域;秋季(9月到11月),海水温度开始下降,近岸水温下降速度较远岸快,双斑螯与三疣梭子蟹开始向远岸洄游,所以秋季调查海域蟹类生物量降低,近岸海域低于远岸海域;冬季时,浅水区饵料稀缺,水温较低,不适合双斑螯、黄道蟹和三疣梭子蟹的生长,故而在冬季优势蟹类双斑螯、黄道蟹和三疣梭子蟹向深水水域迁徙,调查海域蟹类生物量进一步降低,近岸海域低于远岸海域。

3.3 生物多样性

物种多样性指数是研究物种群落结构时常用的指标,它能够与种类组成一起反映群落结构稳

定性及群落内部种间关系^[31],一般可采用个体数量或生物量为单位进行多样性指数的计算。为减小因个体大小差异带来的误差^[32],本研究以生物量为单位进行物种多样性分析,结果表明,山东半岛南部近岸海域蟹类群落多样性指数整体偏低,季节间变化剧烈,说明该海域蟹类群落多样性水平较低,群落不稳定。罗祖奎等^[33]研究表明,群落多样性指数大小受丰富度指数与均匀度指数双重影响。均匀度指数与丰富度指数越高,多样性指数就越高,在本次研究中,物种均匀度指数全年变化不大,物种多样性指数与物种丰富度指数变化趋势相似,与以上结论基本一致。

研究表明,物种多样性季节变化与种类数和种间个体均匀性有关,优势种的优势度过高会影响物种多样性^[20, 34]。调查中夏季蟹类种类数最高,但夏季多样性指数并非全年最高,主要原因可能是优势种双斑螯的优势度过高,在调查海域高密度分布,从而使得夏季蟹类多样性较低,这与金施等^[34]、梁金玲等^[20]、徐开达等^[35]的研究结果相似;秋季蟹类种类数较夏季少,但随着双斑螯部分迁出,多个优势种个体均匀分配,蟹类物种多样性达到全年最高;冬季蟹类种类数与秋季时相同,但物种多样性为全年最低,这主要因为黄道蟹、双斑螯成为海域内主要优势种,在调查海域内大量聚集,造成冬季蟹类种间个体分布不均匀,从而降低了冬季蟹类物种多样性;春季调查捕获蟹类种类数较秋冬季多,较夏季少 1 种,与夏季相比双斑螯同样形成单一优势种丰度较高的局面,但冬季多样性指数略高于夏季,这是由于春季海域内物种均匀性指数比夏季高造成的。

蟹类多样性指数与水深、底温、底盐等环境因子密切相关^[5]。调查海域春、夏、秋三个季节的近岸多样性指数低于远岸,而调查海域从近岸到远岸海水深度不断增加,底温与底盐也呈现近岸高于远岸的分布特点^[23],说明调查海域蟹类多样性指数与水深、底温、底盐呈正相关,与已有结果一致^[5, 20]。冬季由于海域内自南向北的黄海暖流较强,海域内营养盐不断向北输送,并与高温、高盐水舌重合^[23],造成冬季海域内物种多样性出现北部近岸海域较高的现象。同时,由于黄

海暖流的存在, 物种多样性指数在各个季节都存在北部高于南部的现象。

3.4 蟹类群落分布

SIMPER 分析显示影响研究海域各季节群落划分的特征种主要为小型饵料型蟹类, 与莱州湾蟹类组群划分^[7]相比有一定差异。研究表明, 群落中的优势种往往能决定群落的主要特征^[36], 对群落划分产生重要影响。一方面, 山东近海一直以来是黄、渤海区渔业生产主要作业区域, 渔业生产主要应用底拖网^[1], 由于渔具选择性差, 鱼类群落长时间遭受严重破坏^[37], 山东半岛南部近岸海域鱼类多样性水平明显降低^[25], 高营养级大型食肉性鱼类数量锐减。小型饵料型蟹类普遍迁徙能力与防御能力较差, 常年生活在该海域, 天敌数量又大幅降低, 因此大量生长繁殖, 在调查海域蟹类中具有较高的优势度; 另一方面, 由于优势度较高的小型饵料型蟹类生态类型的差异, 在海域内聚集于不同的栖息环境, 从而主导了蟹类群落结构的划分, 并影响群落结构的空间异质性。调查海域水深由西北部近岸海域到东北部远岸海域, 再到南部近岸海域不断加深, 同时由于黄海暖流的存在, 调查海域存在水温、盐度沿暖流方向自南向北不断升高的趋势^[23]。而聚类分析结果显示, 山东半岛南部近岸海域 4 个季节蟹类群落均可大体划分为西南部海域组、东北部远岸海域组和西北部近岸海域组 3 个组群, 说明调查海域蟹类群落结构的异质性与水深、水温及盐度关系密切, 与已有研究结果一致^[3]。分析可知, 由于双斑螭在海域内的绝对优势地位, 对 3 个组群的划分均产生较大影响, 除此以外西南部海域组关键种主要为黄道蟹、枯瘦突眼蟹等广温广盐性深水种, 西北部近岸海域组关键种主要为泥脚隆背蟹等高温高盐性浅水种, 东北部远岸海域组关键种主要为三疣梭子蟹、日本拟平家蟹等广温广盐性种。

群落关键种与优势种的更替情况能够反映群落结构的稳定性, 优势种更替越频繁, 群落越不稳定^[36]。调查海域优势种季节间更替率处于较高水平, 影响群落结构划分的特征种季节性变化也较为明显, 说明研究海域群落结构不稳定, 这主

要是由于调查海域优势种季节变化引起的。

4 小结

通过对 2014 年到 2015 年山东半岛南部近岸海域蟹类群落结构的研究发现, 调查海域蟹类优势种主要为小型饵料型蟹类且存在明显季节更替, 蟹类多样性水平较低且季节间变化明显, 蟹类资源衰退严重, 蟹类群落结构处于不稳定状态。本文只针对山东半岛近岸海域蟹类群落结构进行初步探讨, 研究的时空尺度、研究方法等都有限, 因此笔者希望更多的海洋工作者能从更广的时间、空间尺度, 运用更加先进的方法对蟹类群落进行研究。

参考文献:

- [1] Marine and Fishery Department of Shandong Province. Investigation and Evaluation of Economic Resources in Shandong Coastal Waters[M]. Beijing: Ocean Press, 2010: 1-3. [山东省海洋渔业厅. 山东近海经济生物资源调查与评价[M]. 北京: 海洋出版社, 2010: 1-3.]
- [2] Jin X S, Cheng J S, Qiu S Y, et al. Comprehensive Research and Evaluation of Fishery Resources in the Yellow Sea and Bohai Sea[M]. Beijing: Ocean Press, 2006: 81-126. [金显仕, 程济生, 邱盛尧, 等. 黄渤海渔业资源综合研究与评价[M]. 北京: 海洋出版社, 2006: 81-126.]
- [3] Li T, Zhang X M, Zhang P D, et al. Seasonal variation on community structure of fishery resources in the coastal waters of Southern Shandong Peninsular[J]. Periodical of Ocean University of China, 2011, 41(1/2):41-50. [李涛, 张秀敏, 张沛东, 等. 山东半岛南部近岸海域渔业资源群落结构的季节变化[J]. 中国海洋大学学报, 2011, 41(1/2): 41-50.]
- [4] Lü Z B, Li F, Wang B, et al. Community structure of fish resources in spring and autumn in the Yellow Sea off Shandong[J]. Journal of Fisheries of China, 2011, 35(5): 692-699. [吕振波, 李凡, 王波, 等. 黄海山东海域春、秋季鱼类群落结构[J]. 水产学报, 2011, 35(5): 692-699.]
- [5] Yu C G, Song H T, Yao G Z. Crab community structure in the East China Sea[J]. Oceanologia et Limnologia sinica, 2005, 36(3): 213-220. [俞存根, 宋海棠, 姚光展. 东海蟹类群落结构特征的研究[J]. 海洋与湖沼, 2005, 36(3): 213-220.]
- [6] Zheng X Z, Yu C G, Chen X Z, et al. Species composition and spatio-temporal distribution of crabs in Zhoushan fishing ground and its adjacent areas[J]. Oceanologia et Limnologia

- asinica, 2012, 43(1): 147–153. [郑献之, 俞存根, 陈小庆, 等. 舟山渔场及邻近海域蟹类种类组成和时空分布[J]. 海洋与湖沼, 2012, 43(1): 147–153.]
- [7] Cong X R, Li F, Lü Z B, et al. Community structure of crab in Laizhou Bay[J]. Marine Fisheries, 2015, 37(5): 419–426. [丛旭日, 李凡, 吕振波, 等. 莱州湾蟹类的群落结构特征[J]. 海洋渔业, 2015, 37(5): 419–426.]
- [8] Luo X L, Ren Y P, Xing L, et al. Species composition and diversity of crab assemblage in Haizhou Bay[J]. Biodiversity Science, 2015, 23(2): 210–216. [罗西玲, 任一平, 邢磊, 等. 海州湾蟹类群落种类组成及其多样性[J]. 生物多样性, 2015, 23(2): 210–216.]
- [9] Wu Q, Wang J, Li Z Y, et al. Spatial variation of crustacean community structure in Yellow Sea and Bohai Sea in spring [J]. Journal of Fisheries of China, 2011, 36(11): 1685–1693. [吴强, 王俊, 李忠义, 等. 黄渤海春季甲壳类群落结构的空问变化[J]. 水产学报, 2011, 36(11): 1685–1693.]
- [10] General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, Standardization Administration of the People's Republic of China. Specification for oceanographic survey-Part 6: Marine biological survey[S]. Beijing: Standards Press of China, 2007: 56–62. [国家质检总局, 国家标准委员会. 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: 56–62.]
- [11] Liu R Y. Checklist of Marine Biota of China Seas[M]. Beijing: Science Press, 2008: 903–1066. [刘瑞玉. 中国海洋生物名录[M]. 北京: 科学出版社, 2008: 903–1066.]
- [12] Pinkas L, Oliphant M S, Iverson I L K. Food habits of albacore, blue fin tuna, and bonito in California waters[J]. Calif Dep Fish Game Fish Bull, 1971, 152: 1–105.
- [13] Cheng J S. Structure and diversity of invertebrate resources in the Yellow Sea[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2005, 12(1): 68–75. [程济生. 黄海无脊椎动物资源结构及多样性[J]. 中国水产科学, 2005, 12(1): 68–75.]
- [14] Wu Q, Wang J, Jin X S, et al. Community structure and diversity of invertebrates in northern region of China Sea[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2011, 18(5): 1152–1160. [吴强, 王俊, 金显仕, 等. 中国北部海域主要无脊椎动物群落结构及多样性[J]. 中国水产科学, 2011, 18(5): 1152–1160.]
- [15] Zeng H H, Xu B D, Xue Y, et al. Study on fish species composition and seasonal variation in the shallow waters of Jiaozhou Bay[J]. Periodical of Ocean University of China, 2012, 42(1–2): 67–74. [曾慧慧, 徐宾铎, 薛莹, 等. 胶州湾浅水区鱼类种类组成及其季节变化[J]. 中国海洋大学学报: 自然科学版, 2012, 42(1–2): 67–74.]
- [16] Margalef R. Information theory in ecology[J]. General System, 1958, 42(3): 36–71.
- [17] Wilhm J L. Use of biomass units in Shannon's formula[J]. Ecology, 1968, 49(1): 153–156.
- [18] Pielou E C. Ecological Diversity[M]. New York: Wiley, 1975.
- [19] Zhou H, Zhang Z N. Rationale of the multivariate statistical software PRIMER and its application in benthic community ecology[J]. Journal of Ocean University of Qingdao, 2003, 33(1): 58–64. [周红, 张志南. 大型多元统计软件 PRIMER 的方法原理及其在底栖群落生态学中的应用[J]. 青岛海洋大学学报: 自然科学版, 2003, 33(1): 58–64.]
- [20] Liang J L, Zhang S Y, Wang Z H, et al. Community structure and diversity of crabs in Ma'an Archipelago area [J]. Chinese Journal of Ecology, 2016, 35(2): 431–440. [梁金玲, 章守宇, 汪振华, 等. 马鞍列岛海域蟹类群落结构及其多样性[J]. 生态学杂志, 2016, 35(2): 431–440.]
- [21] Clarke K R, Ainsworth M. A method of linking multivariate community structure to environmental variables[J]. Mar Ecol-Prog Ser, 1993, 92(3): 205–219.
- [22] Clarke K R. Non-parametric multivariate analyses of changes in community structure[J]. Aust J Ecol, 1993, 18(1): 117–143.
- [23] Tang Q S, Ye M Z. Development and protection of fishery resources in Shandong coastal waters[J]. Beijing: Agriculture Press, 1990: 203. [唐启升, 叶懋中. 山东近海渔业资源开发与保护[M]. 北京: 农业出版社, 1990: 203.]
- [24] Pan G L, Zhu Z J, Zhang H L, et al. Distribution of the biomass of *Charybdis bimaculata* and its relationships with the environmental factors in the coastal spawning ground of South Zhejiang during spring[J]. Journal of Zhejiang Ocean University: Natural Science, 2012, 31(6): 482–486. [潘国良, 朱增军, 张洪亮, 等. 浙南沿岸产卵场春季双斑螯生物量分布及其与环境因子的关系[J]. 浙江海洋学院学报: 自然科学版, 2012, 31(6): 482–486.]
- [25] Lü Z B, Li F, Xu B Q, et al. Fish community diversity during spring and autumn in the Yellow Sea off the coast of Shandong[J]. Biodiversity Science, 2012, 20(2): 207–214. [吕振波, 李凡, 徐炳庆, 等. 黄海山东海域春、秋季鱼类群落结构多样性[J]. 生物多样性, 2012, 20(2): 207–214.]
- [26] Pang Z W, Xu B D, Ji Y P, et al. Monthly changes and related affecting factors in community structure and diversity of the crab assemblages in central Jiaozhou Bay, China[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2014, 25(2): 591–598. [逢志伟, 徐宾铎, 纪毓鹏, 等. 胶州湾中部海域蟹类群落

- 结构及多样性的月变化及其影响因素[J]. 应用生态学报, 2014, 25(2): 591-598.]
- [27] Zhang H L, Zhang L, Chen F, et al. Analysis of crab community characteristics in South Zhejiang coastal areas during spring[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2013, 20(5): 1050-1056. [张洪亮, 张龙, 陈峰, 等. 浙江南部近岸海域春季蟹类群落结构特征[J]. 中国水产科学, 2013, 20(5): 1050-1056.]
- [28] Xue L J, Lu Z H. Community structure and species diversity of crab in middle East China Sea[J]. South China Fisheries Science, 2011, 7(6): 66-71. [薛利建, 卢占辉. 东海中部海域蟹类群落结构及其多样性研究[J]. 南方水产科学, 2011, 7(6): 66-71.]
- [29] Yan L P, Hu F, Ling J Z, et al. Study on age and growth of *Larimichthys polyactis* in the East China Sea[J]. Periodical of Ocean University of Chiana, 2006, 36(1): 95-100. [严利平, 胡芬, 凌建忠, 等. 东海北部和黄海南部小黄鱼年龄与生长的研究[J]. 中国海洋大学学报: 自然科学版, 2006, 36(1): 95-100.]
- [30] Dai C. Effect of temperature on molting, physiological character and respiratory metabolism of the swimming crab *Portunus trituberculatus*[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2013: 1-70. [戴超. 温度对三疣梭子蟹蜕壳、钙化生理及呼吸代谢的影响[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2013: 1-70.]
- [31] Feng G P, Zhuang P, Liu J, et al. Community diversity and growth characteristic of fish in Tuanjiesha along the eastern beach of Chongming Island[J]. Marine Fisheries, 2007, 29(1): 38-43. [冯广朋, 庄平, 刘健, 等. 崇明东滩团结沙鱼类群落多样性与生长特性[J]. 海洋渔业, 2007, 29(1): 38-43.]
- [32] Ling Q F, Li S F. Species diversity of fish community in Swan Oxbow of Changjiang River[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 1998, 5(2): 1-5. [凌去非, 李思发. 长江天鹅州故道鱼类群落种类多样性[J]. 中国水产科学, 1998, 5(2): 1-5.]
- [33] Luo Z K, Yue F, Wu F Q, et al. Characteristics of avian communities in winter in Shahu of Hubei Province, China[J]. Chinese Journal of Ecology, 2009, 28(7): 1361-1367. [罗祖奎, 岳峰, 吴法清, 等. 湖北沙湖冬季鸟类群落特征[J]. 生态学杂志, 2009, 28(7): 1361-1367.]
- [34] Jin S, Xu Z L, Chen J J, et al. Distribution characteristics of crabs near Lianyungangin Haizhou Bay[J]. Transactions of Oceanology and Limnology, 2013(1): 45-52. [金施, 徐兆礼, 陈佳杰, 等. 海州湾连云港邻近水域蟹类的分布特征[J]. 海洋湖沼通报, 2013(1): 45-52.]
- [35] Xu K D, Lu Z H, Xue L J, et al. Crab community structure in the protected Zhongjieshan Island area[J]. Journal of Shanghai Ocean University, 21(6):1032-1037. [徐开达, 卢占辉, 薛利建, 等. 中街山列岛保护区蟹类群落结构特征的研究[J]. 上海海洋大学学报, 21(6): 1032-1037.]
- [36] Wang Z H, Wang K, Zhao J, et al. Fish community structure and its seasonal change in subtidal sandy beach habitat off southern Gouqi Island[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2011, 22(5): 1332-1342. [汪振华, 王凯, 赵静, 等. 枸杞岛潮下带沙地生境鱼类群落结构和季节变化[J]. 应用生态学报, 2011, 22(5): 1332-1342.]
- [37] Jin X S. The change of community structure of nekton in the waters off southern Shandong Peninsula in spring[J]. Journal of Fisheries of China, 2003, 27(1): 19-24. [金显仕. 山东半岛南部水域春季游泳动物群落结构的变化[J]. 水产学报, 2003, 27(1): 19-24.]

Community structure of crabs in the coastal waters along the southern Shandong Peninsula

YANG Gang^{1,2}, LI Fan¹, WANG Xiuxia¹, YUAN Xiaonan^{1,2}, LYU Zhenbo¹, SONG Mingyi³

1. Shandong Marine and Fishery Research Institute, Shandong Provincial Key Laboratory of Restoration for Marine Ecology, Yantai 264006, China;
2. Institute of Marine Science, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China.
3. Dajijia Sub-district Office, Yantai Economy Technology Development Zone, Yantai 264006, China

Abstract: The coastal waters along the southern Shandong Peninsula waters are rich in fishery resources, and the spawning and feeding grounds for many important economic marine organisms are located here. In recent years, overfishing and pollution have caused considerable damage to fishery resources here, and crabs, including important economic species (such as *Portunustrituber culatus* and *Charybdis japonica*) and bait-type species (such as *Charybdis bimaculata* and *Eucrate crenata*) have been adversely affected. Although the community structure and diversity of crabs are of great significance for fishery production and fishery ecology, little research has been conducted in this respect in the southern Shandong Peninsula waters. Based on data from four bottom trawl surveys in this area from 2014 to 2015, the spatial and temporal distribution, structure community, dominant species, and diversity of crab populations were analyzed. Fifteen species of crabs were caught during the four surveys, which belonged to 7 families and 12 genera. The number of species caught changed seasonally because, as the area is located in the warm temperate zone, its temperature changes seasonally and the migratory crabs migrate to and from this area seasonally as well. *Portunustritube rculatus* and *Charybdis japonica* were the main economic species caught, and the others were low-value species. Because of the reduction in the number of natural enemies, the euryhaline *Charybdis bimaculata* was the dominant species in all four surveys. Biomass changed seasonally, with the highest biomass observed in summer and the lowest in winter. Except in autumn, distribution of biomass differed regionally owing to the migration and foraging of *C. bimaculata* and *P. trituberculatus*. According to the data, the range of the Shannon-Wiener diversity index (H') was 0.32–0.53, that of the Pielou evenness index (J') was 0.23–0.37, and that of the Margalef richness index (D) was 0.32–0.55. The diversity index changed seasonally, indicating an unstable community structure and lower-level diversity of crab populations in this area. The diversity index was higher in the east, lower in the west, and higher in the near shore, and lower in the offshore; therefore, we conclude that the eastern offshore area along the southern Shandong Peninsula is suitable for crab growth. The results of a CLUSTER analysis showed that the crab species in every season in the coastal waters along the southern Shandong Peninsula could be divided into three groups: the southwestern waters group, the northeast waters group, and the northwest waters group. The populations in every group changed with season and the community structure was unstable. The key factor that influenced groups division was the presence of small bait-type species, such as *C. bimaculata* and *Carcinoplax vestita*, because the populations of the large economic species are facing considerable damage due to overfishing and environmental pollution. This study shows that: 1) Most crabs in the coastal waters along the southern Shandong Peninsula were small, bait-type species. The crab diversity was very low, and the dominant species varied considerably. 2) The community structure of crabs in the coastal waters along the southern Shandong Peninsula can be divided into three parts; most of the crabs found in this area are small bait-type crabs.

Key words: crab; biomass; diversity; dominant species; spatial and temporal distribution; the coastal waters along the southern Shandong Peninsula

Corresponding author: LYU Zhenbo. E-mail: ytlvzhenbo@163.com