

文章编号: 1000-0615(2018)08-1241-13

DOI: 10.11964/jfc.20170810940

浙江中部披山海域蟹类群落结构特征及其与环境因子的关系

郑基*, 谢旭, 俞存根, 夏陆军, 毕昝瑶,
张平, 邓小艳, 苗露

(浙江海洋大学水产学院, 浙江舟山 316022)

摘要: 根据2015年11月、2016年2、5、8月在浙江中部披山海域进行渔业资源调查所获得的资料, 分析了浙江中部披山海域蟹类的种类组成、优势种、生物多样性等群落结构特征, 同时, 研究了群落结构的相似性, 以及群落结构与环境因子之间的关系。结果显示, 所得渔获物共鉴定出蟹类19种, 隶属于6科9属, 其中优势种为三疣梭子蟹、日本蟳、双斑蟳和隆线强蟹等4种。不同季节的蟹类种类组成差异较大, 而优势种类组成变化较大, 其中, 蟹类种类数以夏季最多, 冬季最少。从不同水深区域的渔获种类分布趋势分析, 蟹类种类数以5~15 m水深带较多, 小于5 m和15~20 m水深带较少。生物多样性指数夏季最高, 冬季最低。从不同水深区域分析, 多样性指数在10~15 m水深带较高, 5~10 m水深带较低。冗余分析结果认为, 表层水温、表层盐度和底层盐度是影响调查海域蟹类种类组成和群落结构特征的主要环境因子。

关键词: 蟹类; 群落结构; 环境因子; 生物多样性; 浙江中部披山海域

中图分类号: S 932.5

文献标志码: A

蟹类作为东海重要的底栖生物, 种类繁多, 部分种类个体大、群体数量多、经济价值较高, 是传统的捕捞对象。特别自20世纪90年代以来, 随着流刺网和蟹笼作业的发展, 东海蟹类资源不断得到开发利用, 蟹类海洋捕捞产量呈逐年递增趋势。2015年, 浙江省三疣梭子蟹(*Portunus trituberculatus*)的海洋捕捞产量达 2.72×10^5 t, 占全省海洋捕捞产量的8.07%^[1]。目前, 蟹类海洋捕捞产量, 在东海海洋捕捞产量中占有越来越重要的地位^[2-3]。但是, 也有部分种类如日本蟳(*Charybdis japonica*)等资源量出现下降, 使蟹类群落结构发生变化。同时, 幼蟹作为许多鱼类的饵料生物, 也是海洋生态系统中能量流动和物质循环的重要环节, 其种群数量变动会对整个海洋生态系统的平衡造成影响。因此, 进行蟹类群落

结构及其优势种种群变动规律研究, 掌握蟹类群落结构变动规律及其与环境因子之间的关系, 对维护海洋生态系统稳定性及海洋渔业可持续发展具有十分重要的意义。

以往, 对东海蟹类的分类^[4-7]、东海蟹类的区系^[8-10]、东海蟹类资源量及主要经济种类的生物学特征^[2, 11-13]都进行过研究。而有关东海蟹类群落结构特征的研究, 主要有东海蟹类群落结构特征^[14]、东海中南部蟹类群落结构特征^[15]、东海中部海域蟹类群落结构及其生物多样性^[16]、中街山列岛保护区蟹类群落结构特征^[17]、浙江南部近岸海域春季蟹类群落结构特征^[18]、马鞍列岛海域蟹类群落结构及其多样性^[19]、西北太平洋蟹类群落结构特征^[20-22]。

披山海域位于浙江省东南部的乐清湾口北

收稿日期: 2017-08-25 修回日期: 2018-01-15

资助项目: 国家自然科学基金(31270527); 浙江省A类一流学科“水产”2016年度开放课题(11034060216); 玉环县海洋与渔业局委托项目

通信作者: 郑基, E-mail: zhengji1965@hotmail.com

部, 为台湾暖流、江浙沿岸流交互影响区域。该海域水质肥沃、营养物质丰富、饵料生物充足、水文环境适宜, 有鱼、虾、蟹、贝等生物400余种^[23]。因此, 研究披山海域蟹类的群落结构特征及其与环境因子的关系, 对玉环披山省级海洋特别保护区的保护, 以及保护区的生态修复具有重要意义。本实验主要根据2015—2016年在浙江中部披山海域开展渔业资源拖网调查所获得的蟹类数据, 分析了浙江中部披山海域蟹类的群落结构特征及其与环境之间的关系, 目的是掌握浙江中部披山海域蟹类资源现状, 以期为玉环披山省级海洋特别保护区蟹类资源的保护、管理及其可持续利用提供依据。

1 材料与方 法

实验数据来自2015年11月(秋季)、2016年2月(冬季)、5月(春季)、8月(夏季)在浙江中部披山20 m水深以浅海域开展渔业资源定点拖网调查所获得的资料。调查范围为28°01'41"~28°08'11"N, 121°21'18"~121°32'38"E, 共设置15个调查站位(图1)。调查船为“浙乐渔休00122号”底拖网渔船, 主机功率为220 kW, 网具为拖网, 网具规格为530目×60 mm。船上配备有卫星导航仪、鱼探仪、对讲机等导航、定位、助渔助航设备。调查船每站拖曳约1 h, 拖速约为3.5 kn。调

查方法按照《海洋渔业资源调查规范》(SC/9403-2012)^[24]进行。将拖网所获的渔获物, 全部装入样品袋, 并进行编号、记录后, 冰鲜保存, 带回实验室分析、鉴定。样品分析用电子天平称重, 精度为0.1 g。同时, 环境数据调查与底拖网调查同步, 每个调查站位利用CTD测定水温、盐度、叶绿素数据。

优势种采用相对重要性指数计算, 计算公式:

$$IRI = [(n_i/N + w_i/W) \times f_i/m] \times 10^5$$

式中, n_i 、 w_i 分别为第*i*种蟹类的个体数和生物量; N 、 W 分别为蟹类总个体数和总生物量; f_i 为第*i*种蟹类在*m*次取样中出现的频率; m 为取样次数。

优势种的季节更替变化运用种类更替率^[25]分析, 计算公式:

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

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及增加的物种数; S 为相临两个季节间相同的物种数。

物种多样性采用Shannon-Wiener (H')指数、均匀度(J')、丰富度(D')指数3个公式计算, 计算公式:

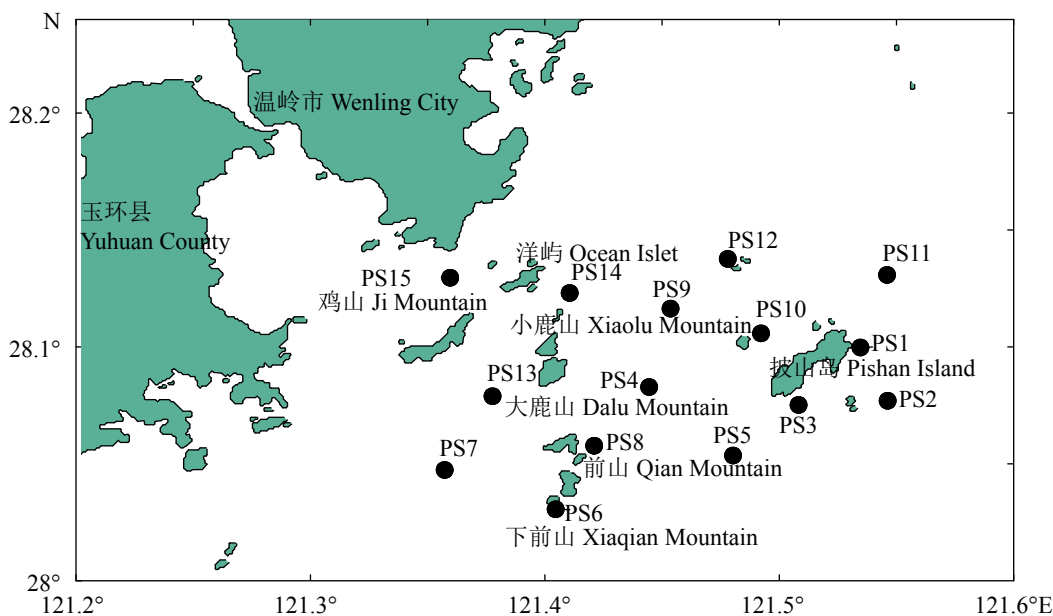


图1 浙江中部披山海域蟹类调查站位示意图

Fig. 1 The survey stations of fishery resources in Pishan waters in the middle of Zhejiang Province

$$H' = - \sum_{i=1}^S (n_i/N) \log_2(n_i/N)$$

$$J' = H'/\log_2 S$$

$$D = (S - 1)/\log_2 N$$

式中, H' 为多样性指数; J' 为均匀度指数; D 为丰富度指数; n_i 为第*i*种蟹类的个体数, N 为蟹类总尾数; S 为蟹类总物种数。

群落季节更替指数 AI 和迁移指数 MI ^[26]的计算公式:

$$AI = \frac{C + D}{A - R} \times 100$$

$$MI = \frac{C - D}{A - R} \times 100$$

式中, A 为各季节间实际物种数, C 为本季节新迁入物种数, D 为本季节将要迁出物种数, R 为全年均出现的物种数。 AI 反映物种更替导致群落稳定性降低的节律, 其值越大, 表示群落稳定性越差; MI 表示系统外迁入与迁出种的两种成分在群落中的相对比例, 当 $C>D$ 时, MI 为正值, 表示迁入种多于迁出种, 当 $C=D$ 时, MI 则为零, 表示群落动态平衡, 当 $C<D$ 时, MI 为负值, 表示迁出种多于迁入种。

蟹类数量分布图采用Surfer 8软件绘制。生物量和环境之间的关系采用冗余分析(redundancy analysis, RDA)方法^[27-28], 用CANOCO 3.0软件进行运算, 排序结果用物种—环境因子关系的双序图表示。在RDA排序图中, 环境因子用带有箭头的线段表示, 连线的长短表示蟹类群落分布和种类分布与该环境因子关系的相关性大小, 连线越长, 说明相关性越大, 反之越小。箭头连线与排序轴的夹角表示该环境因子与排序轴相关性大小, 夹角越小, 相关性越高, 反之越低。箭头连线与某一站位(或种类)的垂线距离表示其相关性大小, 垂线距离越小, 正相关性越高, 反之越低, 处于另一端的则表示与该类环境因子具有负相关性。

2 结果

2.1 种类组成

根据周年4个季度月调查采集样品, 共鉴定出蟹类19种, 隶属于6科9属(表1)。调查海域的蟹类以夏季出现种类最多, 有13种; 春季次之, 有9种; 秋季和冬季较少, 分别为8种和7种。一年四季均以梭子蟹科出现种数最多, 周年四个

季度均出现的共有种为隆线强蟹(*Eucraterenata*)、三疣梭子蟹和日本蟳3种, 占蟹类总数的15.79%; 仅在一个季节出现的蟹类9种, 占蟹类总数的47.37%。

表1 浙江中部披山海域蟹类的科、属和种的组成

Tab. 1 Compositions of crab at species, genus and family levels in Pishan waters of the middle of Zhejiang Province

科 family	属数 number of genus	物种数 number of species				
		春季	夏季	秋季	冬季	四季
		spring	summer	autumn	winter	four seasons
豆蟹科 pinnotheridae	1	1	0	0	0	1
瓷蟹科 Porcellanidae	1	1	1	1	0	1
关公蟹科 Dorippidae	1	0	1	0	0	1
宽背蟹科 Euryplacidae	1	1	1	1	1	1
梭子蟹科 Portunidae	3	5	9	5	6	13
弓蟹科 Varunidae	2	1	1	1	0	2
合计 total	9	9	13	8	7	19

注: 本文的生物种类名录主要参照《中国海洋生物名录》^[29]
Notes: the article mainly referred to the catalogue of biological species 《checklist of Marine Biota of China Seas》^[29]

将调查海域按水深分为水深小于5 m、5~10 m、10~15 m、15~20 m 4个水深带, 来分析浙江中部披山海域的蟹类种类组成(表2)。蟹类种类随水深增加呈先递增后递减趋势, 蟹类种类数以5~10 m水深带最多, 10~15 m水深带次之, 水深小于5 m和水深在15~20 m的蟹类种类较少; 水深小于5 m的蟹类以夏季最多, 有7种, 春季最少, 只有2种; 5~10 m水深带的蟹类以夏季较多, 有9种, 秋冬季较少, 有7种; 10~15 m水深带的蟹类以夏季最多, 有10种, 冬季最少, 有2种; 15~20 m水深带的蟹类以夏季最多, 有

表2 浙江中部披山海域不同水深带蟹类种类组成

Tab. 2 Different water depths with crab species composition in Pishan waters of the middle of Zhejiang Province

季节 season		物种数 number of species				共有种数 total of species
		<5 m	5~10 m	10~15 m	15~20 m	
春季	spring	2	8	6	3	2
夏季	summer	7	9	10	7	3
秋季	autumn	4	7	7	4	3
冬季	winter	3	7	2	2	1

7种, 冬季最少, 有2种; 3个水深带均有分布的共有种较少, 夏秋季有3种, 春季次之, 有2种, 冬季最少, 仅有1种。结果显示, 栖息在5~10 m水深带的蟹类种类最多, 栖息水深小于5 m和15~20 m水深带的蟹类种类较少。

2.2 优势种

将相对重要性指数(*IRI*)大于1 000的定为优势种, 100~1 000的定为常见种^[4](表3)。周年4个季度月的优势种为三疣梭子蟹、日本蟳、双斑蟳(*C. bimaculata*)和隆线强蟹等4种, 不同季节的优势种存在明显的季节更替, 春—夏季、夏—秋季、秋—冬季、冬—春季之间优势种更替率分别为50.00%、66.67%、66.67%和50.00%, 春季优势种有三疣梭子蟹和隆线强蟹2种, 夏季优势种只有三疣梭子蟹1种, 秋季优势种有三疣梭子蟹、日本蟳和双斑蟳3种, 冬季优势种也只有三疣梭子蟹1种。

表3 浙江中部披山海域主要蟹类相对重要性指数值

Tab. 3 The seasonal variation on the *IRI* of crab dominant species in Pishan waters of the middle of Zhejiang Province

种名 species	相对重要性指数 <i>IRI</i>			
	春季 spring	夏季 summer	秋季 autumn	冬季 winter
三疣梭子蟹 <i>P. trituberculatus</i>	9 094.6	12 486.3	8 214.6	11 234.6
日本蟳 <i>C. japonica</i>	251.7	346.4	2 420.0	63.4
双斑蟳 <i>C. bimaculata</i>	14.5	1.3	1 732.3	—
隆线强蟹 <i>E. crenata</i>	1 353.0	118.8	261.0	289.7
善泳蟳 <i>C. natator</i>	—	—	—	191.8
红星梭子蟹 <i>P. sanguinolentus</i>	—	129.4	—	—

注: —指未测

Notes: — means no detection

2.3 物种多样性指数

不同季节蟹类的多样性指数结果显示, 不同季节蟹类的丰富度指数(*D*)以夏季最高, 春秋季节次之, 冬季最低; 均匀度指数(*J'*)以秋季最高, 冬春季次之, 夏季最低; 多样性指数(*H'*)以秋季最高, 春夏季次之, 冬季最低(表4)。

不同水深带蟹类的多样性指数显示, 蟹类丰富度指数(*D*)四季平均值随水深增加呈递减趋势, 其中春秋季节蟹类丰富度指数(*D*)随水深增加先递增后递减, 冬季随水深增加先递减后递

表4 浙江中部披山海域蟹类物种多样性指数的季节变化

Tab. 4 Seasonal change of the diversity index of crab communities in Pishan waters of the middle of Zhejiang Province

季节 season	丰富度指数 richness index (<i>D</i>)	均匀度指数 evenness index (<i>J'</i>)	多样性指数 diversity index (<i>H'</i>)
春季 spring	0.49±0.38	0.42±0.26	0.70±0.57
夏季 summer	0.73±0.35	0.25±0.14	0.63±0.39
秋季 autumn	0.64±0.17	0.56±0.21	1.10±0.42
冬季 winter	0.29±0.25	0.28±0.26	0.36±0.35

增, 夏季随水深增加的变化复杂, 水深小于5 m的区域蟹类的丰富度指数(*D*)最大, 水深在15~20 m的区域蟹类的丰富度指数(*D*)最小(表5)。蟹类的多样性指数(*J'*)四季平均值随水深增加变化较复杂, 水深在10~15 m的区域蟹类的多样性指数(*J'*)最大, 水深在5~10 m的区域蟹类多样性指数(*J'*)最小, 春夏季多样性指数(*J'*)随水深增加变化复杂, 水深在小于5 m的区域多样性指数(*J'*)最大, 水深在5~10 m和15~20 m的区域蟹类多样性指数(*J'*)较小, 秋季的多样性指数(*J'*)随水深增加而递增, 冬季的多样性指数(*J'*)随水深增加先递

表5 浙江中部披山海域不同水深蟹类多样性指数的季节变化

Tab. 5 Diversity of crab communities in different water zones and seasons in Pishan waters of the middle of Zhejiang Province

水深/m water depth	多样性 diversity	春季 spring	夏季 summer	秋季 autumn	冬季 winter	四季平均值 average of four seasons
<5 m	<i>D</i>	0.23	1.15	0.64	0.50	0.63
5~10 m		0.51	0.67	0.69	0.33	0.55
10~15 m		0.58	0.83	0.64	0.18	0.56
15~20 m		0.29	0.48	0.44	0.29	0.38
<5 m	<i>J'</i>	0.52	0.37	0.17	0.56	0.40
5~10 m		0.39	0.18	0.49	0.26	0.33
10~15 m		0.49	0.33	0.66	0.21	0.42
15~20 m		0.30	0.26	0.73	0.36	0.41
<5 m	<i>H'</i>	0.52	1.03	0.34	0.88	0.69
5~10 m		0.70	0.40	0.98	0.39	0.62
10~15 m		0.88	0.84	1.38	0.21	0.83
15~20 m		0.30	0.72	1.16	0.36	0.64

减后递增。蟹类多样性指数(H')四季平均值随水深增加变化较复杂,水深在10~15 m的区域蟹类的多样性指数(H')最大,水深在5~10 m的区域多样性指数(H')最小,春秋两季的多样性指数(H')随水深增加先递增后递减,冬季的多样性指数(H')随水深增加先递减后递增,夏季的多样性指数(H')随水深增加变化较复杂,水深小于5 m的区域蟹类的多样性指数(H')最大,水深在5~10 m的区域多样性指数(H')最小。

2.4 聚类、排序结果分析

对浙江中部披山海域蟹类生物量进行聚类分析和NMDS排序,四季NMDS分析结果的胁强系数为0.01~0.15,表明该图形较好地反映了蟹类群落间的相似性程度^[30]。各季节站位聚类分析和NMDS分析结果基本一致,春季调查海域的蟹类可划分为2个群落,分别为群落I和群落II;夏季调查海域的蟹类可划分为3个群落,分别为群落I、群落II和群落III;秋季调查海域的蟹类可划分为3个群落,分别为群落I、群落II和群落III;冬季调查海域的蟹类可划分为3个群落,分别为群落I、群落II和群落III(图2)。

2.5 群落相似性分析

群落相似性分析结果显示,春季,群落I的组内相似性为49.61%,主要特征种为三疣梭子蟹等;群落II的组内相似性为2.73%,主要特征种为隆线强蟹等(表6)。夏季,群落I的组内相似性为61.99%,主要特征种为三疣梭子蟹等;群落II的组内相似性为52.49%,主要特征种为三疣梭子蟹等;群落III的组内相似性为85.29%,主要特征种为三疣梭子蟹等。秋季,群落I的组内相似性为73.29%,主要特征种为日本蟳和三疣梭子蟹等;群落II的组内相似性为71.65%,主要特征种为三疣梭子蟹等;群落III的组内相似性为61.77%,主要特征种为日本蟳和三疣梭子蟹等。冬季,群落I的组内相似性为61.09%,主要特征种为三疣梭子蟹和善泳蟳等;群落II的组内相似性为34.43%,主要特征种为三疣梭子蟹等;群落III的组内相似性为41.46%,主要特征种为三疣梭子蟹等。

群落相异性分析结果显示,春季,群落I和群落II的相异性为90.07%,主要分歧种为隆线强蟹、日本蟳和三疣梭子蟹等(表7)。夏季,

群落I和群落II的相异性为40.42%,主要分歧种为日本蟳和三疣梭子蟹等,群落I和群落III的相异性为66.10%,主要分歧种为三疣梭子蟹等;群落II和群落III的相异性为53.26%,主要分歧种为日本蟳和三疣梭子蟹等。秋季,群落I和群落II的相异性为58.84%,主要分歧种为日本蟳、三疣梭子蟹和双斑蟳等;群落I和群落III的相异性为33.27%,主要分歧种为日本蟳、三疣梭子蟹和双斑蟳等;群落II和群落III的相异性为49.57%,主要分歧种为日本蟳和三疣梭子蟹等。冬季,群落I和群落II的相异性为60.36%,主要分歧种为日本蟳、三疣梭子蟹和善泳蟳等;群落I和群落III的相异性为51.91%,主要分歧种为隆线强蟹、三疣梭子蟹和善泳蟳等;群落II和群落III的相异性为62.83%,主要分歧种为日本蟳和三疣梭子蟹等。

2.6 群落结构稳定性

浙江中部披山海域蟹类群落更替指数的季节变化显示,蟹类群落稳定性最好的是夏季,其次是秋季,冬季蟹类群落稳定性最差,冬季蟹类群落更替指数在200以上(图3)。浙江中部披山海域蟹类群落迁移指数的季节变化显示,春夏季蟹类物种迁入量超过迁出量,秋冬季蟹类物种迁出量超过迁入量(图4)。

2.7 蟹类群落结构与环境的关系

春季,调查海域蟹类群落结构受底层盐度(BS)影响较大,底层盐度(BS)与第一、第二排序轴的相关性分别为-0.223和-0.975,其中以PS12号站位的豆形短眼蟹(*Xenophthalmus pinnotheriodes*)受其影响较大(图5)。夏季,调查海域蟹类群落结构受表层温度(ST)影响较大,ST与第一、第二排序轴的相关性分别为0.368和-0.930,其中以PS10号站位的中华绒螯蟹(*Eriocheir sinensis*)受其影响较大。秋季,调查海域蟹类群落结构受表层盐度(SS)和底层盐度(BS)影响较大,SS与第一、第二排序轴的相关性分别为-0.999和-0.039,其中以PS1号站位和PS12号站位的绒毛细足蟹(*Raphidopus ciliatus*)和双斑蟳受其影响较大;BS与第一、第二排序轴的相关性分别为-0.998和-0.069,其中以PS1号站位和PS12号站位的绒毛细足蟹和双斑蟳受其影响较大。冬季,调查海域蟹类群落结构受BS影响较大,

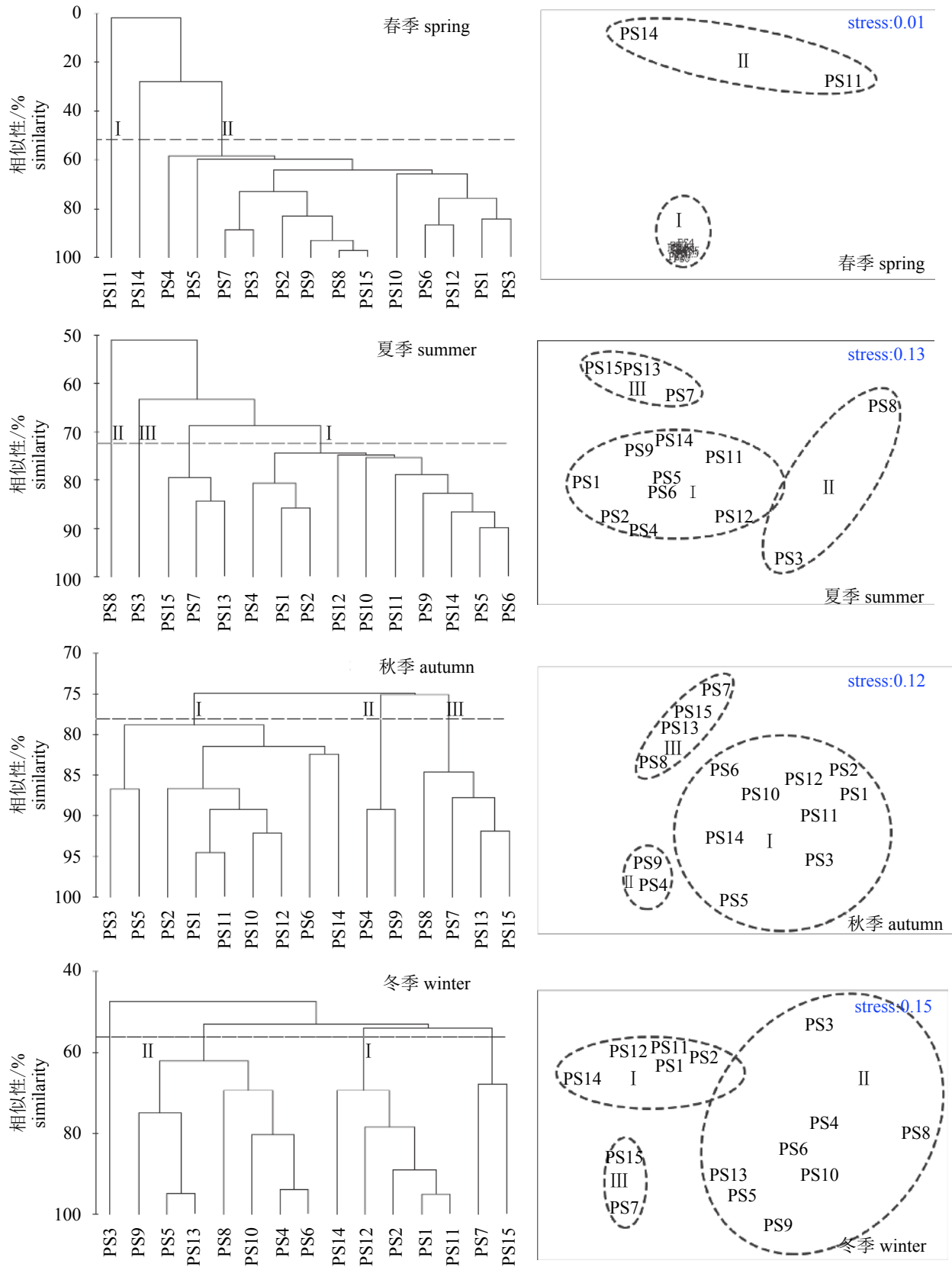


图 2 浙江中部披山海域蟹类采样站点的聚类分析和NMDS排序图

Fig. 2 Group average clustering and NMDS ordination of sampling stations in Pishan waters of the middle of Zhejiang Province

表6 浙江中部披山海域蟹类各群落内平均相似性贡献率之和占90%以上的特征种

Tab. 6 The characteristic species for different community group average similarity contribution rate that accounted for over 90% in Pishan waters of the middle of Zhejiang Province

种类 species	春季 spring		夏季 summer			秋季 autumn			冬季 winter		
	I	II	I	II	III	I	II	III	I	II	III
	A _s =49.61 %	A _s =2.73% %	A _s =61.99 %	A _s =52.49 %	A _s =85.29 %	A _s =73.29 %	A _s =71.65 %	A _s =61.77 %	A _s =61.09% %	A _s =34.43% %	A _s =41.46% %
A	C%	A	C%	A	C%	A	C%	A	C%	A	C%
隆线强蟹 <i>E. crenata</i>	2.67 97.88										
日本蟳 <i>C. japonica</i>						16.29 22.23			10.89 17.63		
三疣梭子蟹 <i>P. trituberculatus</i>	45.44 91.59		59.26 95.59 52.49 100 77.41 90.75			53.52 73.03 64.86 90.52 50.08 81.07			47.95 78.5 34.43 100 39.69 95.74		
善泳蟳 <i>C. natator</i>									13.11 21.46		

注: A_s表示种群的平均相似性; A表示平均相似性; C表示贡献率

Notes: A_s population average similarity; A. average similarity; C. contribution

表7 浙江中部披山海域蟹类各群落间平均相异性贡献率之和占90%以上的分歧种

Tab. 7 The discriminating species for different community group average dissimilarity contribution rate that accounted for over 90% in Pishan waters of the middle of Zhejiang Province

种类 species	春季 spring		夏季 summer			秋季 autumn			冬季 winter		
	I-II	I-II	I-III	II-III	I-II	I-III	II-III	I-II	I-III	II-III	
	A _d =90.07% %	A _d =40.42% %	A _d =66.10% %	A _d =53.26% %	A _d =58.84% %	A _d =33.27% %	A _d =49.57% %	A _d =60.36% %	A _d =51.91% %	A _d =62.83% %	
A	C%	A	C%	A	C%	A	C%	A	C%	A	C%
隆线强蟹 <i>E. crenata</i>	10.59 11.75								4.27 8.23		
日本蟳 <i>C. japonica</i>	7.88 8.75 5.49 13.58		9.07 17.04			16.27 27.64 8.04 24.16 11.12 22.44			4.45 7.38 4.37 6.96		
三疣梭子蟹 <i>P. trituberculatus</i>	66.78 74.15 31.04 76.79 61.4 92.89 39.16 73.52		35.04 59.55 18.94 56.94 35.78 72.18			38.07 63.08 38.23 73.65 54.88 87.35			13.23 21.92 7.67 14.77		
善泳蟳 <i>C. natator</i>											
双斑蟳 <i>C. bimaculata</i>						6.37 10.82 5.07 15.24					

注: A_d表示种群的平均相异性; A表示平均相异性; C表示贡献率

Notes: A_d population average dissimilarity, A. average dissimilarity, C. contribution

BS与第一、第二排序轴的相关性分别为0.978和-0.210,其中以PS12号站位的光掌蟳(*C. riversandersoni*)受其影响较大(表8)。

3 讨论

3.1 蟹类种类组成

本次调查,共鉴定出蟹类19种,隶属于6科9属;不同季节种类数变化趋势为夏季(13种)>春季(9种)>秋季(8种)>冬季(7种)。四个季节均有分布的种类有隆线强蟹、三疣梭子蟹和日本蟳3种,约占蟹类总种数的15.79%,大部分蟹类仅在某些季节出现,结果显示,浙江中部披山海

域蟹类种类以季节性种类为主。这与张洪亮等^[18]报导的结果相比,种类数增加了46%。从生态类型分析,19种蟹类大多为广温、广盐性种类,这可能与台湾暖流和江浙沿岸流在此交互影响^[23]有关。从不同水深区域分析,蟹类种类数随水深增加呈先递增后递减趋势,以5~15 m水深区域蟹类种数较多,水深小于5 m和水深15~20 m区域蟹类种数较少。春夏季随着温度的升高,调查海域处在台湾暖流和江浙沿岸流交汇区^[23],初级生产力高,饵料生物丰富,许多蟹类洄游到此生殖、索饵,并且主要栖息于5~15 m水深区域,秋冬季随着水温降低,部分种类离开调查海域,向深水区迁移,进行越冬洄游,种群数随之减少。

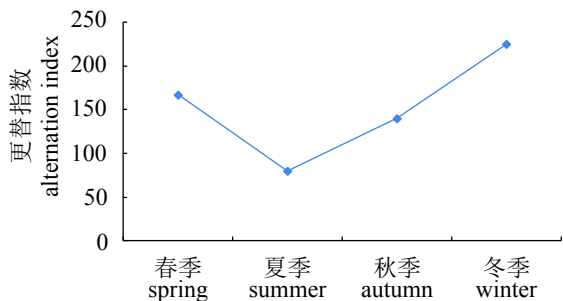


图3 浙江中部披山海域蟹类群落更替指数

Fig. 3 The AI of crab community in Pishan waters of the middle of Zhejiang Province

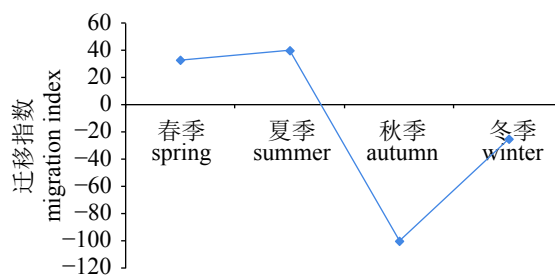


图4 浙江中部披山海域蟹类群落迁移指数

Fig. 4 The MI of crab community in Pishan waters of the middle of Zhejiang Province

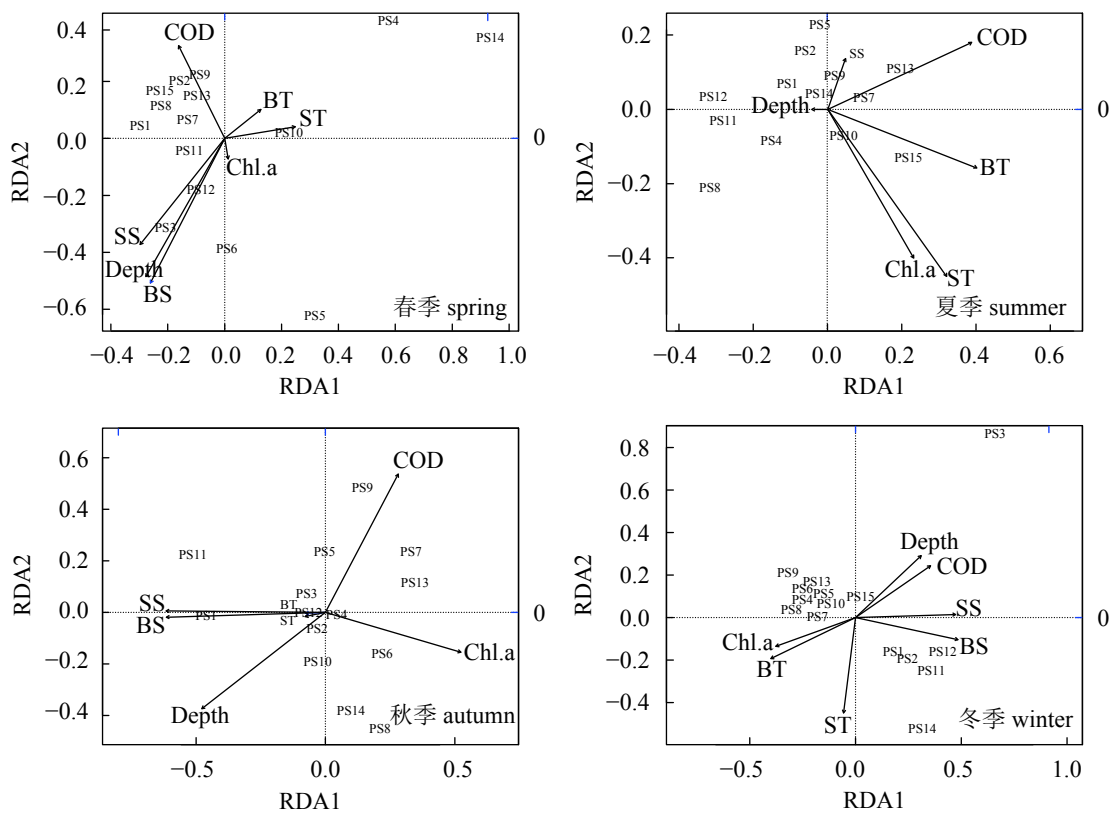


图5 浙江中部披山海域蟹类站位与环境因子的RDA排序

ST. 表层温度, SS. 表层盐度, BT. 底层温度, BS. 底层盐度, Depth. 水深, COD. 溶解氧, Chl.a. 叶绿素A, 下同

Fig. 5 The seasonal distribution RDA sort of crab stance and environmental factors in Pishan waters of the middle of Zhejiang Province

ST. surface temperature, SS. surface salinity, BT. bottom temperature, BS. bottom salinity, Depth. depth, COD. chemical oxygen demand, Chl. a. chlorophyll A, the same below

3.2 优势种

本次调查优势种主要有三疣梭子蟹、日本蟳、双斑蟳和隆线强蟹等4种, 与张洪亮等^[18]报导结果相比, 增加了三疣梭子蟹和日本蟳2种。不同季节的优势种存在明显的季节更替, 春—夏季之间优势种更替率为50.00%, 这可能是三

疣梭子蟹在春夏季大量产卵, 并且在7月份大量变成幼蟹^[31], 使其演变为夏季的唯一优势种; 夏—秋季之间优势种更替率为66.67%, 这可能是日本蟳和双斑蟳产卵高峰期较三疣梭子蟹晚, 秋季产生大量幼蟹, 使其成为优势种; 秋—冬季之间优势种更替率为66.67%, 这可能是冬季随着水

表 8 浙江中部披山海域蟹类群落结构和环境因子之间的相关性分析

Tab. 8 The seasonal variation of crab community structure and the analysis of the correlation between environmental factors in Pishan waters of the middle of Zhejiang Province

	春季 spring				夏季 summer			
	RDA1	RDA2	R^2	P	RDA1	RDA2	R^2	P
ST	0.999	-0.039	0.038	0.792	0.368	-0.930	0.250	0.183
BT	0.719	0.695	0.015	0.914	0.960	-0.281	0.133	0.427
SS	-0.451	-0.892	0.136	0.394	0.398	0.917	0.024	0.880
BS	-0.223	-0.975	0.214	0.232	0.370	-0.929	0.004	0.980
COD	-0.469	0.883	0.121	0.450	0.791	0.612	0.189	0.274
Chl.a	0.306	-0.952	0.005	0.978	0.266	-0.964	0.185	0.296
depth	-0.271	-0.963	0.201	0.258	-0.969	-0.248	0.001	0.991

	秋季 autumn				冬季 winter			
	RDA1	RDA2	R^2	P	RDA1	RDA2	R^2	P
ST	-0.981	-0.193	0.006	0.964	-0.107	-0.994	0.115	0.521
BT	-0.997	-0.076	0.005	0.970	-0.932	-0.362	0.124	0.454
SS	-0.999	-0.039	0.345	0.077	1.000	-0.007	0.148	0.275
BS	-0.998	-0.069	0.346	0.081	0.978	-0.210	0.164	0.233
COD	0.590	0.807	0.284	0.153	0.869	0.494	0.113	0.494
Chl.a	0.984	-0.177	0.259	0.159	-0.963	-0.269	0.102	0.577
depth	-0.851	-0.525	0.320	0.101	0.784	0.621	0.108	0.515

温降低, 蟹类向深水区洄游^[26], 优势种由秋季的三疣梭子蟹、日本蟳和双斑蟳演变为冬季的三疣梭子蟹; 冬—春季之间优势种更替率为 50.00%, 这可能是春季随着水温的升高, 大量蟹类洄游到调查海域进行生殖和索饵, 优势种更替率较大。

3.3 物种生物多样性

从不同季节蟹类的多样性指数分析, 冬季调查海域蟹类丰富度指数(D)、均匀度指数(J')和多样性指数(H')均低于其他季节。这可能是由于调查海域受台湾暖流和江浙沿岸流交互影响导致的, 冬季调查海域主要受江浙沿岸流影响^[32], 导致广温广盐性种类减少, 从表3也可以看出, 冬季优势种仅有三疣梭子蟹1种, 而春秋两季优势种均有2种以上。另外冬季温度较低, 大量蟹类进行越冬洄游, 也可能是冬季蟹类生物多样性降低的原因之一。从不同水深区域分析调查海域的蟹类多样性指数可以看出, 春秋两季蟹类丰富度指数(D)、均匀度指数(J')和多样性指数

(H')随水深增加呈先递增后递减趋势, 夏冬季蟹类丰富度指数(D)、均匀度指数(J')和多样性指数(H')随水深增加呈先递减后递增趋势。

3.4 群落结构特征

从图3可以看出, 调查海域蟹类群落结构变化明显。根据CLUSTER分析, 春季可划分为2个不同的群落, 夏秋冬3季可划分为3个不同的群落, NMDS二维标序图较好地反映了4个季节群落间的相似性程度^[33-34]。夏季和秋季群落相似性较高, 春季群落相似性较低, 对相似性影响较大的特征种主要有隆线强蟹、日本蟳、三疣梭子蟹和善泳蟳等。春季群落间相异性较大, 秋季群落间相异性较小, 对相异性影响较大的分歧种主要有隆线强蟹、日本蟳、三疣梭子蟹、善泳蟳和双斑蟳等。夏季群落稳定性最好, 冬季随着台湾暖流的减弱, 江浙沿岸流影响增强^[32], 水温降低, 大量蟹类向外部较深海域进行洄游, 迁入量小于迁出量, 冬季更替率大于其他

季节, 群落稳定性最差。

3.5 群落结构与环境因子的关系

RDA是一种线性多元直接梯度分析方法^[35], 它将对应分析与多元回归结合起来, 每一步计算结果都与环境因子进行回归, 以确定蟹类群落与环境的对应关系^[27, 36]。显示, 周年4个季度月调查所获的19种蟹类中, 4个季节均出现的种类仅有3种, 有84.21%的蟹类是季节性分布, 而蟹类的洄游能够直接影响其分布情况, 通过RDA分析, 可能是因为调查海域水深相对较浅, 离大陆较近, 且处在台湾暖流和江浙沿岸流的交汇区^[32], 受其交互影响, 以及降水、大陆径流等, 导致BS是影响蟹类分布最为重要的环境因子, 春秋冬3个季节BS对蟹类分布影响显著; 其次是SS对秋季的蟹类分布影响较明显; 而ST仅在夏季对蟹类的分布影响较明显, 具体原因有待于今后进一步探索。

参考文献:

- [1] 浙江省海洋与渔业局. 2014年浙江省渔业经济统计资料[R]. 杭州: 浙江省海洋与渔业局. 2015.
Marine and Fisheries Bureau of Zhejiang Province. 2014 Zhejiang fishery economic statistics[R]. Hangzhou: Marine and Fisheries Bureau of Zhejiang Province. 2015 (in Chinese).
- [2] 俞存根, 宋海棠, 姚光展. 东海大陆架海域蟹类资源量的评估[J]. 水产学报, 2004, 28(1): 41-46.
Yu C G, Song H T, Yao G Z. Assessment of the crab stock biomass in the continental shelf waters of the East China Sea[J]. Journal of Fisheries of China, 2004, 28(1): 41-46(in Chinese).
- [3] 俞存根, 宋海棠, 姚光展, 等. 东海大陆架海域经济蟹类种类组成和数量分布[J]. 海洋与湖沼, 2006, 37(1): 53-60.
Yu C G, Song H T, Yao G Z, et al. Composition and distribution of economic crab species in the East China Sea[J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2006, 37(1): 53-60(in Chinese).
- [4] 沈嘉瑞. 江苏奉贤近海甲壳类动物的研究[J]. 动物学报, 1955, 7(2): 75-166.
Shen J R. On some marine crustaceans from the coastal water of Fenghsien, Kiangsu province[J]. Acta Zoologica Sinica, 1955, 7(2): 75-166(in Chinese).
- [5] 戴爱云, 宋玉枝. 我国方蟹科的研究[J]. 动物学报, 1977, 23(4): 360-376, 406.
Dai A Y, Song Y Z. On Grapsidae (Crustacea: Brachyura) of China[J]. Acta Zoologica Sinica, 1977, 23(4): 360-376, 406(in Chinese).
- [6] 戴爱云, 杨思琼, 宋玉枝, 等. 中国海洋蟹类[M]. 北京: 海洋出版社, 1986: 1-641.
Dai A Y, Yang S Q, Song Y Z, et al. China Sea Crabs [M]. Beijing: China Ocean Press, 1986: 1-641 (in Chinese).
- [7] 董聿茂. 东海深海甲壳动物: 东海大陆架外缘和大陆坡深海渔场综合调查[M]. 杭州: 浙江科学技术出版社, 1988: 72-96.
Dong Y M. Deep-sea Crustaceans in the East China Sea: Comprehensive survey of the outer edge of the continental shelf of the East China Sea and the deep-sea fisheries of continental slope[M]. Hangzhou: Zhejiang Science and Technology Press, 1988: 72-96 (in Chinese).
- [8] 沈嘉瑞, 刘瑞玉. 中国海蟹类区系特点的初步研究[J]. 海洋与湖沼, 1963, 5(2): 139-153.
Shen J R, Liu R Y. Preliminary studies on the characteristics of the crab fauna of China seas[J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 1963, 5(2): 139-153(in Chinese).
- [9] 魏崇德, 陈永寿. 浙江动物志: 甲壳类[M]. 杭州: 浙江科学技术出版社, 1991: 280-443.
Wei C D, Chen Y S. Zhejiang Animal Magazine: Crustacea[M]. Hangzhou: Zhejiang Science and Technology Press, 1991: 280-443 (in Chinese).
- [10] 俞存根, 宋海棠, 姚光展. 东海蟹类的区系特征和经济蟹类资源分布[J]. 浙江海洋学院学报(自然科学版), 2003, 22(2): 108-113, 117.
Yu C G, Song H T, Yao G Z. Geographical distribution and faunal analysis of crab resources in the East China sea[J]. Journal of Zhejiang Ocean University (Nature Science Edition), 2003, 22(2): 108-113, 117(in Chinese).
- [11] 王迎宾, 俞存根, 郑基, 等. 舟山渔场细点圆趾蟹(*Ovalipes punctatus*)生物学特性及其季节变化[J]. 海洋与湖沼, 2011, 42(2): 274-278.
Wang Y B, Yu C G, Zheng J, et al. Biological characteristics and seasonal variations of *Ovalipes punctatus* in the Zhoushan fishing ground[J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2011, 42(2): 274-278(in Chinese).
- [12] 俞存根, 宋海棠, 姚光展. 东海细点圆趾蟹的生物学特性[J]. 水产学报, 2004, 28(6): 657-662.

- Yu C G, Song H T, Yao G Z. Biological characteristics of *Ovalipes punctatus* in the East China sea[J]. Journal of Fisheries of China, 2004, 28(6): 657-662(in Chinese).
- [13] 俞存根, 宋海棠, 姚光展. 东海日本蟳的数量分布和生物学特性[J]. 上海水产大学学报, 2005, 14(1): 40-45.
- Yu C G, Song H T, Yao G Z. The quantity distribution and biological property of *Charybdis japonica* in the East China Sea[J]. Journal of Shanghai Fisheries University, 2005, 14(1): 40-45(in Chinese).
- [14] 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.
- 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(in Chinese).
- [15] 陈小庆, 俞存根, 虞聪达, 等. 东海中南部外海蟹类群落结构特征[J]. 应用生态学报, 2009, 20(10): 2527-2534.
- Chen X Q, Yu C G, Yu C D, *et al.* Structural characteristics of crab communities in offshore waters of mid-southern East China Sea[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2009, 20(10): 2527-2534(in Chinese).
- [16] 薛利建, 卢占晖. 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.
- 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(in Chinese).
- [17] 徐开达, 卢占晖, 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, 2012, 21(6): 1032-1037.
- Xu K D, Lu Z H, Xue L J, *et al.* Crab community structure in the protected Zhongjieshan Islands Area[J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2012, 21(6): 1032-1037(in Chinese).
- [18] 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.
- 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(in Chinese).
- [19] 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.
- 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(in Chinese).
- [20] Muroga K, Sszuik K, Ishimaru K, *et al.* Vibriosis of swimming crab *Portunus trituberculatus* in larviculture[J]. Journal of the World Aquaculture Society, 1994, 25(1): 50-54.
- [21] Shiota K. Relationship between annual catch fluctuations and reproduction in the swimming crab in Hiuchi Nada, the Seto Inland Sea[J]. Nippon Suisan Gakkaishi, 1993, 59(10): 1709-1715.
- [22] Yanagi T, Tsukamoto H, Igawa S, *et al.* Recruitment strategy of swimming crab, *Portunus trituberculatus*, in Hiuchi-Nada, Japan[J]. Fisheries Oceanography, 1995, 4(3): 217-229.
- [23] 浙江省玉环县海洋与渔业局. 浙江玉环披山海域特别保护区选划论证报告[R]. 玉环: 浙江省玉环县海洋与渔业局, 2011.
- Marine and Fisheries Bureau of Yuhuan County, Zhejiang Province. Select the argument report in Zhe Yuhuan Phi mountain provincial marine protected area waters[R]. Yuhuan: Yuhuan County Oceanic and Fisheries Bureau, Zhejiang Province, 2011 (in Chinese).
- [24] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 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, 2008: 1-157.
- General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, Standardization Administration of China. GB/T 12763.6-2007 Specifications for oceanographic survey—Part 6: Marine biological survey[S]. Beijing: Standards Press of China, 2008: 1-157 (in Chinese).
- [25] 刘瑞玉. 胶州湾生态学和生物资源[M]. 北京: 科学出版社, 1992: 1-460.
- Liu R Y. Ecology and living resources of Jiaozhou Bay[M]. Beijing: Science Press, 1992: 1-460 (in Chinese).
- [26] 朱鑫华, 吴鹤洲, 徐凤山, 等. 黄渤海沿岸水域游泳动物群落多样性及其相关因素的研究[J]. 海洋学报, 1994, 16(3): 102-112.
- Zhu X H, Wu H Z, Xu F S, *et al.* Swimming Huang Bohai coastal waters research community, diversity and its related factors[J]. Acta Oceanologica Sinica, 1994, 16(3): 102-112(in Chinese).
- [27] Ter Braak C J F. Canonical correspondence analysis: a

- new eigenvector technique for multivariate direct gradient analysis[J]. *Ecology*, 1986, 67(5): 1167-1179.
- [28] Ter Braak C J F, Prentice I C. A theory of gradient analysis[J]. *Advances in Ecological Research*, 1988, 18: 271-317.
- [29] 刘瑞玉. 中国海洋生物名录[M]. 北京: 科学出版社, 2008: 1-1267.
- Liu R Y. Checklist of marine biota of China Seas[M]. Beijing: Science Press, 2008: 1-1267 (in Chinese).
- [30] Quetglas A, Carbonell A, Sánchez P. Demersal continental shelf and upper slope cephalopod assemblages from the Balearic Sea (North-Western Mediterranean). biological aspects of some deep-sea species[J]. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2000, 50(6): 739-749.
- [31] 宋海棠, 俞存根, 薛利建, 等. 东海经济虾蟹类[M]. 北京: 海洋出版社, 2006: 83-85.
- Song H T, Yu C G, Xue L J, *et al.* The economical crabs and shrimps in East China Sea[M]. Beijing: China Ocean Press, 2006: 83-85 (in Chinese).
- [32] 许建平, 杨士英. 南麂列岛及其附近海域的水文和气候特征[C]//浙江省海洋管理局. 南麂列岛国家级海洋自然保护区论文选(一). 北京: 海洋出版社, 1992: 1-9.
- Xu J P, Yang S Y. Hydrological and climatic features in the Nanji islands[C]//Zhejiang oceanic administration. selected papers in Nanji Islands national marine conservation area. Beijing: China Ocean Press, 1992: 1-9 (in Chinese).
- [33] 刘修泽, 李玉龙, 王文波, 等. 辽东湾北部海域鱼类群落结构及多样性[J]. *水产学报*, 2015, 39(8): 1155-1165.
- Liu X Z, Li Y L, Wang W B, *et al.* The fish community structure and diversity in the north of Liaodong Bay[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2015, 39(8): 1155-1165(in Chinese).
- [34] 吴强, 王俊, 李忠义, 等. 黄渤海春季甲壳类群落结构的时空变化[J]. *水产学报*, 2012, 36(11): 1685-1693.
- 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*, 2012, 36(11): 1685-1693(in Chinese).
- [35] 刘淑德, 钱微微, 刘栋. 春季长江口及其邻近海域鱼类浮游生物群落特征[J]. *应用生态学报*, 2008, 19(10): 2284-2292.
- Liu S D, Xian W W, Liu D. Characteristics of ichthyoplankton assemblages in Yangtze Estuary and adjacent waters in spring[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2008, 19(10): 2284-2292(in Chinese).
- [36] 秦雪, 徐宾铎, 杨晓改, 等. 黄河口及其邻近水域夏季浮游植物群落结构及其与环境因子的关系[J]. *水产学报*, 2016, 40(5): 711-720.
- Qin X, Xu B D, Yang X G, *et al.* Phytoplankton community structure and its relationship with environmental variables in summer in the Yellow River Estuary and its adjacent waters[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2016, 40(5): 711-720(in Chinese).

Crab community structure and its relationship with environment factors in Pishan waters of the middle of Zhejiang Province

ZHENG Ji^{*}, XIE Xu, YU Cungen, XIA Lujun, BI Siyao,
ZHANG Ping, DENG Xiaoyan, MIAO Lu

(Marine Fishery College, Zhejiang Ocean University, Zhoushan 316022, China)

Abstract: Based on the data collected from seasonal comprehensive surveys of the marine ecosystem in Pishan waters, the middle of Zhejiang Province in November, 2015 and in February, May, and August, 2016, the crab community characteristics such as species composition, dominance species and diversity were studied. The similarity of community structure and the relation between community structure and hydrological environment factors were analyzed. A total of 19 crab species were identified, which belonged to 9 genera in 6 families. The dominant species were *Portunus trituberculatus*, *Charybdis japonica*, *C. bimaculata* and *Eucrater crenata*. The composition of crab species and dominant species showed clear seasonal changes. The number of crab species in summer was the greatest and the least was in winter. The distribution of crab species at various depth of water showed the following trend. The species at 5–10 m and 10–15 m depth of waters was major, the water depth of less than 5 m and 15–20 m was minor. The diversity index of summer showed high range of variation, the diversity index of winter showed lower values of variation. Diversity index of crab at the 10–15 m depth was higher, the 5–10 m depth of waters was lower. Based on redundancy analysis, surface water temperature, surface and bottom salinity were the most important environmental factors affecting the change of the crab species composition and community structure characteristics.

Key words: crab; community structure; environmental factors; biodiversity; coastal waters of Pishan in middle Zhejiang Province

Corresponding author: ZHENG Ji. E-mail: zhengji1965@hotmail.com

Funding projects: National Natural Science Foundation of China (31270527); The First Class of "Aquatic" Open Subject for 2016 Province (11034060216); Yuhuan County Marine and Fishery Administration Commission Project