

DOI: 10.3724/SP.J.1118.2018.17294

杭州湾北部大型无脊椎动物群落结构

王淼, 周轩, 洪波

上海市水产研究所 渔业检验监测中心, 上海 200433

摘要: 为研究杭州湾北部海域大型无脊椎动物群落结构及其变化, 根据2016年2月、5月、8月和11月于杭州湾北部进行的桁杆拖网调查数据, 利用相对重要性指数、多元统计和ABC曲线等方法对该海域大型无脊椎动物的种类组成、优势种及群落结构特征进行研究。结果显示, 杭州湾北部共出现大型无脊椎动物22种, 隶属4纲5目15科18属, 十足目(Decapoda)所占种类数比例最高, 达77.3%, 其次为狭舌目(Stenoglossa), 占比仅为9.1%。调查海域共出现5种优势种, 分别是葛氏长臂虾(*Palaemon gravieri*)、太平洋长臂虾(*Palaemon pacificus*)、安氏白虾(*Exopalaemon annandalei*)、黑龙江河篮蛤(*Potamocorbula amurensis*)和三疣梭子蟹(*Portunus trituberculatus*)。其中, 安氏白虾为四季优势种, 葛氏长臂虾为冬季、春季和秋季优势种。CLUSTER聚类和非度量多维标度显示, 杭州湾北部大型无脊椎动物群落在44%相似性水平下可分为2个群组, I组为冬春组, II组为夏秋组, 组间差异系数达到57.76%。ANOSIM显示群组间差异极显著($R=0.4, P<0.01$)。BIOENV表明, 杭州湾北部大型无脊椎动物群落结构与温、盐度组合的相关性最高, 相关系数为0.39。研究表明, 杭州湾北部大型无脊椎动物群落结构较为简单, 优势种以小型虾类为主, 群落结构的季节变化显著。群落的演替可能受温度、盐度变化及优势种的洄游习性影响, 群落处于严重扰动状态。

关键词: 大型无脊椎动物; 优势种; 群落结构; 杭州湾

中图分类号: S931

文献标志码: A

文章编号: 1005-8737-(2018)03-0663-11

杭州湾是个开放型的河口海湾, 湾口外侧受到长江径流及东海洋流影响^[1], 湾内则有钱塘江、甬江和曹娥江的淡水注入, 由于陆源营养物质的输入及海水水体的交换, 该海域水体生产力较高^[2], 吸引了大批海洋生物到此进行产卵、索饵和育肥。

目前为止, 针对杭州湾海洋生物的研究主要集中于浮游生物和仔稚鱼, 如蔡燕红^[3]研究了杭州湾海域浮游植物的生物多样性, 王晓波等^[4]研究了杭州湾生态监控区浮游动物的多样性, 张东融等^[5]研究了杭州湾南岸海域春秋季节浮游动物的分布特征, 闫欣等^[6]研究了杭州湾北部水域仔稚鱼种类组成及多样性等。此外也有关于鱼类、渔业资源种类组成及多样性方面的研究, 如谢旭等^[7]研究了杭州湾海域春、秋季鱼类种类组成及数量分布, 王淼等^[8-9]研究了杭州湾北部渔业资源种

类组成及多样性等, 但关于大型无脊椎动物群落结构的研究则很少。相反, 国外关于大型无脊椎动物群落结构的研究较为活跃, 如Szöcs等^[10]报道了盐度与农药毒性对大型无脊椎动物群落结构的影响。Albert等^[11]报道了大型无脊椎动物在人工湿地上的群落演替。Ojeda等^[12]报道了缅甸湾潮下带大型无脊椎动物的季节性分布等。大型无脊椎动物是杭州湾海洋生物的重要组成部分, 其种类变化及群落结构的更替对于维持整个海域生态系统平衡具有重要意义。

本研究以2016年于杭州湾北部海域进行的4个季节的渔业资源桁杆拖网调查数据为基础, 分析了杭州湾北部大型无脊椎动物群落结构及其变化, 探讨了群落结构的季节变化特征及群落受扰动状况, 以期对杭州湾海域生态系统修复提供科

收稿日期: 2017-08-15; 修订日期: 2017-10-09.

基金项目: 上海市农委直属事业单位2016年度预算专项资金(JC201601); 全国海洋捕捞渔具管理制度完善项目.

作者简介: 王淼(1983-), 男, 工程师, 硕士研究生, 研究方向为渔业资源生态学. E-mail: wang_m_520@163.com

学依据。

1 材料与方 法

1.1 采样区域与调查方法

分别于 2016 年 2 月、5 月、8 月和 11 月在杭州湾北部设置 12 个站点进行渔业资源拖网调查(图 1), 站点设置采取网格定点法, 在上海市浦东新区、奉贤区和金山区海域各选取 4 个点进行拖网调查, 相邻站点间最短距离为 7.49 km, 最长距离为 17.88 km。

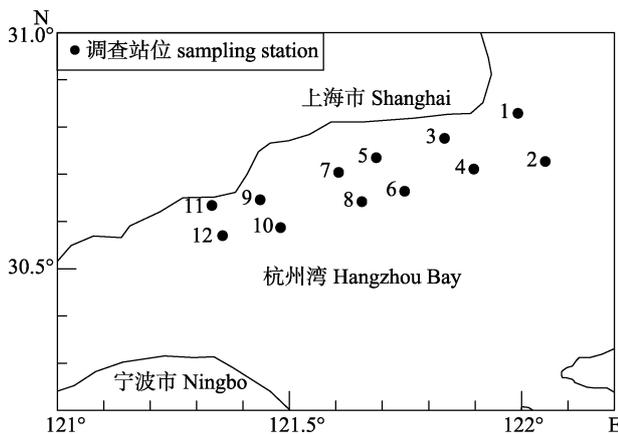


图 1 本研究杭州湾北部调查站点
Fig. 1 Sampling stations in northern Hangzhou Bay of the present study

调查船为桁杆拖网船, 船长 20 m, 宽 4 m, 主机功率 88.2 kw, 桁杆长度 6 m, 网口扩张高度 2 m, 最小网目尺寸 25 mm, 具 2 个网囊。各站点拖网时间 15~63 min, 稳定拖速 1.5~4.4 kn, 同步测量水温、盐度和水深等环境因子。

样本采集上岸后, 立刻带回实验室进行处理及分析, 主要包括种类鉴定, 体长、体重等生物学测定, 重量和数量统计等。对于无法鉴定到种的大型无脊椎动物, 则按照最低分阶单元确定。样品的采集和分析参照《海洋调查规范》(GB/T 12763.6-2007)^[13], 大型无脊椎动物的名称和分阶单元参考《东海经济虾蟹类》^[14]和《长江河口大型底栖无脊椎动物》^[15]。

1.2 数据标准化

杭州湾北部为传统定置张网作业区, 受调查期间网具布置及作业方式影响, 各站点拖速和拖网时间并不一致, 需对数据进行标准化处理。以

平均拖速 3 kn、拖网时间 30 min 为标准, 根据扫海面积(桁杆长度×平均拖速×拖网时间)对各站点数据进行标准化处理^[16], 转换成统一的生物量和丰度, 这样各站点间数据的比较才具有实际意义。

1.3 数据分析

1.3.1 优势种 采用相对重要性指数 IRI(Index of Relative Importance)来衡量物种优势度^[17], 计算公式如下:

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

式中, N 、 W 分别代表某个物种的个数百分比和重量百分比, F 为出现频率百分比。本研究将 IRI 大于 1000 定义为优势种^[18]。

1.3.2 季节更替率 季节更替率可以反映出生物群落结构的季节动态变化, 计算公式如下:

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

式中, A 为季节更替率, C 为季节间增加及减少的种类数, S 为季节间相同的种类数^[19]。

1.3.3 多元统计 根据不同时期大型无脊椎动物总生物量排序, 构建“站点×生物量”矩阵, 对各站点生物量数据进行 4 次方根转化, 计算 Bray-Curtis 相似性矩阵, 采用 CLUSTER 等级聚类和 NMDS 非度量多维标度分析杭州湾北部大型无脊椎动物的群落结构特征^[20-21]。应用 ANOSIM 相似性分析对不同季节间群落结构差异进行显著性检验, 利用 SIMPER 相似性百分比确定造成不同季节大型无脊椎动物群落结构差异的典型种和分歧种, 利用 BIOENV 程序分析与大型无脊椎动物群落结构相关性最高的环境因子。

1.3.4 ABC 曲线 利用 ABC 曲线(数量生物量比较曲线)来评价杭州湾北部大型无脊椎动物群落受到干扰状态^[22], 所用数据为不同季节各站点大型无脊椎动物生物量和数量。若生物量优势度曲线在数量优势度曲线之上, 表明群落处在未受干扰状态; 两条曲线相交, 表明群落处在中等干扰状态; 数量优势度曲线在生物量曲线之上, 则表明群落处在严重干扰状态^[23]。ABC 曲线统计量用 W 表示, 其计算公式为:

$$W=\sum_{i=1}^s\frac{(B_i-A_i)}{50(S-1)}$$

式中, B_i 和 A_i 为 ABC 曲线中种类序号对应的生物量和数量的累积百分比, S 为出现物种数。当生物量优势度曲线在数量优势度之上时, W 为正, 反之则为负。

1.4 数据处理

站位图的绘制使用 Surfer8.0, 群落结构的多元统计分析、ABC 曲线绘制及 W 值的计算均使用 PRIMER6.0 软件^[24], 利用独立样本 T 检验分析不同季节的温度和盐度的显著性差异, 由 SPSS22.0 完成。

2 结果与分析

2.1 种类组成

经调查, 杭州湾北部共发现 22 种大型无脊椎动物, 隶属 4 纲 5 目 15 科 18 属。十足目所占种

类数比例最高, 达 77.3%, 其次为狭舌目, 占比仅为 9.1%。十足目中, 以长臂虾科和鼓虾科占种类数比例最高, 分别为 23.5%和 17.6%, 其次为梭子蟹科和方蟹科, 占比均为 11.8%, 其余科均只出现 1 个种类(表 1)。

2.2 优势种

根据 IRI 值可知, 冬季优势种为葛氏长臂虾 (*Palaemon gravieri*)、太平洋长臂虾(*Palaemon pacificus*)和安氏白虾(*Exopalaemon annandalei*); 春季优势种为葛氏长臂虾、安氏白虾和黑龙江河篮蛤(*Potamocorbula amurensis*); 夏季优势种为安氏白虾; 秋季优势种为葛氏长臂虾、安氏白虾和三疣梭子蟹(*Portunus trituberculatus*)(表 2)。其中, 安氏白虾为全年优势种, 葛氏长臂虾为冬季、春季和秋季优势种, 该 2 种虾类为杭州湾北部大型

表 1 杭州湾北部大型无脊椎动物种类组成
Tab. 1 Species composition of macroinvertebrates in Northern Hangzhou Bay

纲 class	目 order	科 family	种 species
软甲纲 Malacostraca	十足目 Decapoda	长臂虾科 Palaemonidae	葛氏长臂虾 <i>Palaemon gravieri</i>
软甲纲 Malacostraca	十足目 Decapoda	长臂虾科 Palaemonidae	太平洋长臂虾 <i>Palaemon pacificus</i>
软甲纲 Malacostraca	十足目 Decapoda	长臂虾科 Palaemonidae	脊尾白虾 <i>Exopalaemon carinicauda</i>
软甲纲 Malacostraca	十足目 Decapoda	长臂虾科 Palaemonidae	安氏白虾 <i>Exopalaemon annandalei</i>
软甲纲 Malacostraca	十足目 Decapoda	鼓虾科 Alpheidae	鲜明鼓虾 <i>Alpheus distinguendus</i>
软甲纲 Malacostraca	十足目 Decapoda	鼓虾科 Alpheidae	日本鼓虾 <i>Alpheus japonicus</i>
软甲纲 Malacostraca	十足目 Decapoda	鼓虾科 Alpheidae	刺螯鼓虾 <i>Alpheus hoplocheles</i>
软甲纲 Malacostraca	十足目 Decapoda	对虾科 Penaeidae	哈氏仿对虾 <i>Parapenaeopsis hardwickii</i>
软甲纲 Malacostraca	十足目 Decapoda	樱虾科 Sergestidae	中国毛虾 <i>Acetes chinensis</i>
软甲纲 Malacostraca	十足目 Decapoda	梭子蟹科 Portunidae	三疣梭子蟹 <i>Portunus trituberculatus</i>
软甲纲 Malacostraca	十足目 Decapoda	梭子蟹科 Portunidae	日本螯 <i>Charybdis japonica</i>
软甲纲 Malacostraca	十足目 Decapoda	方蟹科 Grapsidae	狭颚绒螯蟹 <i>Eriocheir leptognathus</i>
软甲纲 Malacostraca	十足目 Decapoda	方蟹科 Grapsidae	绒螯近方蟹 <i>Hemigrapsus penicillatus</i>
软甲纲 Malacostraca	十足目 Decapoda	玉蟹科 Leucosiidae	豆形拳蟹 <i>Philyra pisum</i>
软甲纲 Malacostraca	十足目 Decapoda	黎明蟹科 Matutidae	红线黎明蟹 <i>Matuta planipes</i>
软甲纲 Malacostraca	十足目 Decapoda	关公蟹科 Dorippidae	日本关公蟹 <i>Dorippe japonica</i>
软甲纲 Malacostraca	十足目 Decapoda	馒头蟹科 Calappidae	
软甲纲 Malacostraca	口足目 Stomatopoda	虾蛄科 Squillidae	口虾蛄 <i>Oratosquilla oratoria</i>
腹足纲 Gastropoda	狭舌目 Stenoglossa	笋螺科 Terebridae	笋螺属一种 <i>Terebra</i> sp.
腹足纲 Gastropoda	狭舌目 Stenoglossa	织纹螺科 Nassariidae	纵肋织纹螺 <i>Nassarius variciferus</i>
双壳纲 Bivalvia	海螂目 Myoida	篮蛤科 Corbulidae	黑龙江河篮蛤 <i>Potamocorbula amurensis</i>
钵水母纲 Scyphozoa			

表 2 杭州湾北部大型无脊椎动物优势种
Tab. 2 Dominant species of macroinvertebrates in Northern Hangzhou Bay

季节 season	种类 species	重量百分比/% W	数量百分比/% N	出现频率百分比/% F	相对重要性指数 IRI
春季 spring	葛氏长臂虾 <i>Palaemon gravieri</i>	15.03	28.24	91.67	3966.66
	安氏白虾 <i>Exopalaemon annandalei</i>	29.59	50.34	91.67	7326.04
	黑龙江河篮蛤 <i>Potamocorbula amurensis</i>	22.10	8.60	33.33	1023.62
夏季 summer	安氏白虾 <i>Exopalaemon annandalei</i>	93.31	96.21	100.00	18952.41
秋季 autumn	葛氏长臂虾 <i>Palaemon gravieri</i>	10.69	14.01	100.00	2469.69
	安氏白虾 <i>Exopalaemon annandalei</i>	62.51	78.90	100.00	14141.46
	三疣梭子蟹 <i>Portunus trituberculatus</i>	17.03	1.17	91.67	1668.01
冬季 winter	葛氏长臂虾 <i>Palaemon gravieri</i>	38.46	50.16	91.67	8123.43
	太平洋长臂虾 <i>Palaemon pacificus</i>	28.28	13.76	50.00	2102.06
	安氏白虾 <i>Exopalaemon annandalei</i>	12.81	27.79	91.67	3721.82

无脊椎动物中主要优势种类。

2.3 季节更替率

各季节间的种类数更替变化如下: 冬季到春季为 46.7%, 春季到夏季为 50%, 夏季到秋季为 41.2%, 秋季到冬季为 55.6%。由此可见, 冬季到春季、夏季到秋季的季节更替率较低, 而春季到夏季、秋季到冬季的季节更替率较高。

2.4 群落结构特征

CLUSTER 等级聚类分析表明, 杭州湾北部大型无脊椎动物在 44%相似性水平下可分为 2 个群组, I 组为冬春组, II 组为夏秋组, NMDS 二维分析显示, 胁强系数为 0.18(图 2), 说明 NMDS 图可以解释杭州湾北部大型无脊椎动物群落结构, 进一步支持了聚类分析的结果。ANOSIM 相似性分析表明, 杭州湾北部大型无脊椎动物群落结构季节差异极显著($R=0.4, P<0.01$)。

2.5 群落典型种与分歧种

SIMPER 分析指出, 对 I 组组内相似性贡献率较高的典型种是安氏白虾、葛氏长臂虾和太平洋长臂虾, 它们对组内相似性累积贡献率达 90.26%; 对 II 组组内相似性贡献率较高的典型种是安氏白虾、葛氏长臂虾和三疣梭子蟹, 它们对组内相似性累积贡献率达 88.14%。I 组和 II 组的组间差异性为 57.76%, 对组间差异性贡献率较高的分歧种是安氏白虾、三疣梭子蟹、太平洋长臂虾、葛氏长臂虾、黑龙江河篮蛤、脊尾白虾(*Exopalaemon carinicauda*)和日本鼓虾(*Alpheus japonicas*),

它们对组间相异性贡献率之和为 77.81%(表 3)。

2.6 群落受干扰程度

ABC 曲线表明, 各季节数量优势度曲线均在生物量优势度曲线之上, W 值均为负值, 群落结构均处于严重扰动状态(图 3)。

2.7 群落结构与环境因子关系

杭州湾北部海域不同季节环境因子存在较大差异(表 4)。BIOENV 分析表明, 杭州湾北部大型无脊椎动物群落结构与盐度的相关性最高, 相关系数为 0.323, 与温度的相关性次之, 相关系数为 0.288, 与水深的相关性最低。组合环境因子中, 与温度、盐度组合的相关性最高, 相关系数为 0.39。

3 讨论

3.1 优势种生态类型及 IRI 变化

杭州湾北部大型无脊椎动物全年共出现 5 种优势种, 分别是葛氏长臂虾、太平洋长臂虾、安氏白虾、黑龙江河篮蛤和三疣梭子蟹, 生态类型以广温广盐性为主, 这与郑献之等^[25]、何贤保等^[26]的调查结果一致, 而与庞敏等^[27]的结果有所不同。主要原因在于本次调查海域靠近舟山渔场, 受东海外海水影响较大, 盐度较高, 更加适合葛氏长臂虾等广温广盐性种类生存。而庞敏等^[27]的调查海域(30°15'08.90"–30°34'58.22"N, 120°47'18.01"–121°22'19.93"E)位于杭州湾河口区, 受钱塘江径流影响较大, 盐度较低, 更加适合安氏白虾等广温低盐性种类生存。因此, 海洋环境条件不同是

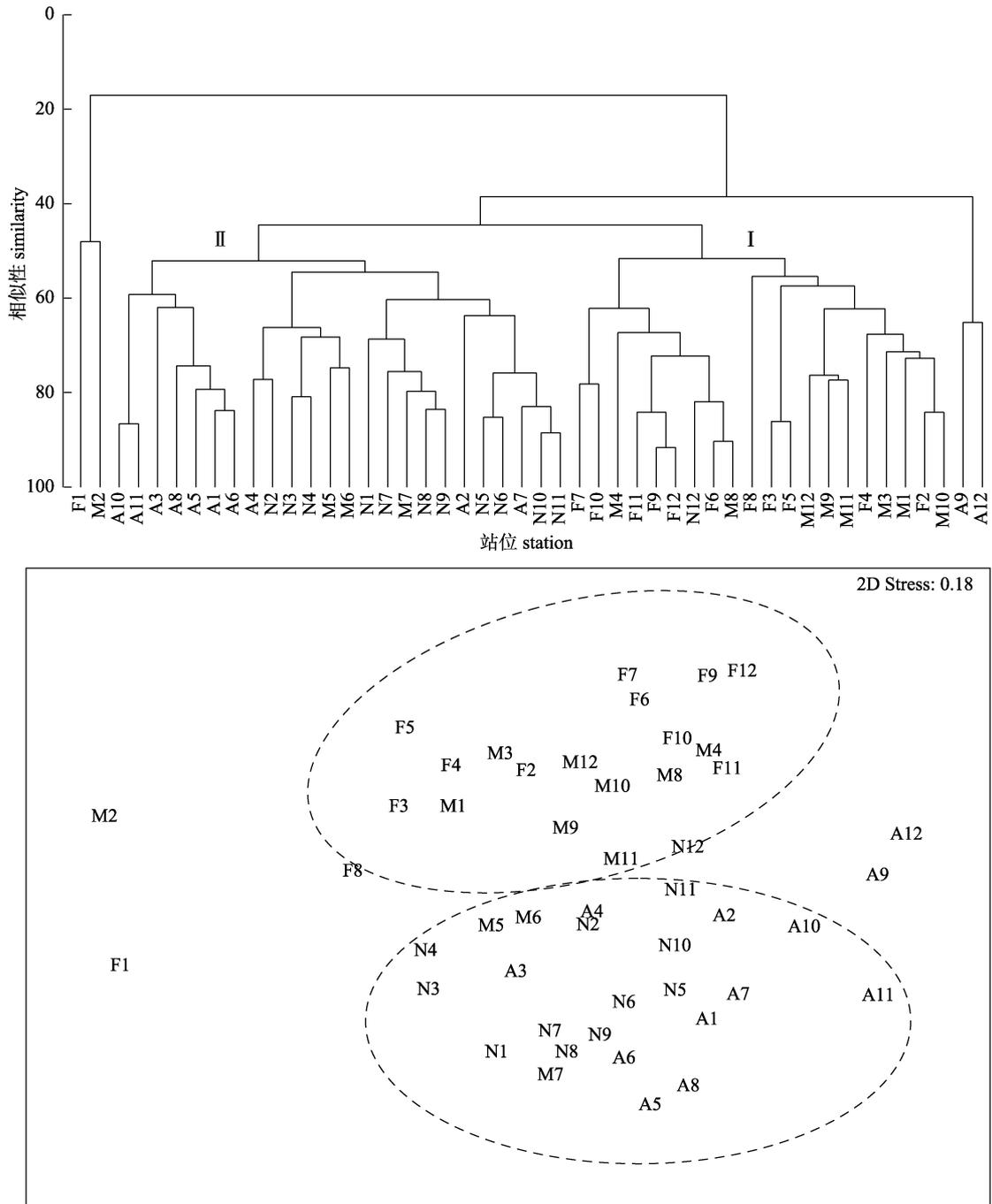


图 2 基于 Bray-Curtis 相似性系数的站点聚类分析和 NMDS 排序

F1-F12 代表冬季 1-12 站点, M1-M12 代表春季 1-12 站点, A1-A12 代表夏季 1-12 站点, N1-N12 代表秋季 1-12 站点.

Fig. 2 Cluster dendrogram and NMDS ordination based on Bray-Curtis similarity of biomass

F1-F12 means no.1-12 station in winter, M1-M12 means no.1-12 station in spring, A1-A12 means no.1-12 station in summer, N1-N12 means no.1-12 station in autumn.

导致优势种及生态类型变化的主要原因。从优势种的 IRI 变化看, 安氏白虾 IRI 夏季和秋季较高, 冬季和春季较低, 而葛氏长臂虾 IRI 则表现出相反的变化规律。Pearson 相关性分析表明, 安氏白

虾与葛氏长臂虾 IRI 变化存在显著负相关($P < 0.05$), 但它们的 IRI 与温度、盐度变化并不存在显著相关($P > 0.05$)。因此, 安氏白虾与葛氏长臂虾 IRI 变化与环境因子相关性较低, 这种变化可能与物种的

表 3 组内相似性和组间相异性贡献率超过 5% 的种类

Tab. 3 Species contributing over 5% accumulative similarity within a group and over 5% dissimilarity between groups

种类 species	I 组(冬春组) group I (winter/spring group)		II 组(夏秋组) group II (summer/autumn group)		I 组-II 组 group I - group II	
	相似性 similarity	贡献率/% contribution	相似性 similarity	贡献率/% contribution	相异性 dissimilarity	贡献率/% contribution
安氏白虾 <i>Exopalaemon annandalei</i>	20.76	41.59	31.22	56.52	12.56	21.75
三疣梭子蟹 <i>Portunus trituberculatus</i>			8.52	15.43	9.05	15.67
太平洋长臂虾 <i>Palaemon pacificus</i>	5.61	11.23			5.78	10.01
葛氏长臂虾 <i>Palaemon gravieri</i>	18.69	37.44	8.95	16.20	5.56	9.63
黑龙江河篮蛤 <i>Potamocorbula amurensis</i>					4.98	8.62
脊尾白虾 <i>Exopalaemon carinicauda</i>					3.79	6.56
日本鼓虾 <i>Alpheus japonicus</i>					3.22	5.58

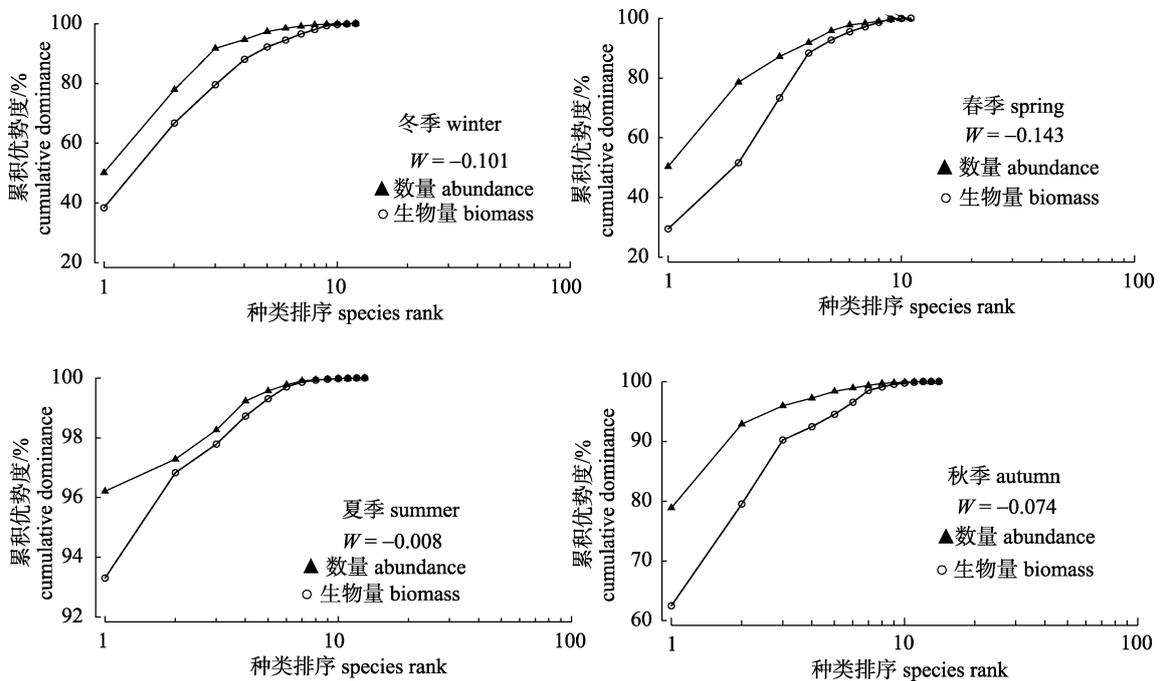


图 3 杭州湾北部大型无脊椎动物群落的 ABC 曲线及 W 统计值

Fig. 3 ABC curves and W value of macroinvertebrate community in Northern Hangzhou Bay

表 4 杭州湾北部海域环境因子的范围及平均值

Tab. 4 Range and average of environment factors in Northern Hangzhou Bay

季节 season	温度/°C temperature		盐度 salinity		水深/m depth	
	平均值 average	范围 range	平均值 average	范围 range	平均值 average	范围 range
冬季 winter	10.1 ± 0.8	9.4–11.6	12.3 ± 1.6	9.8–14.8	8.1 ± 1.2	6–11
春季 spring	20.3 ± 0.7	19.3–21.3	10.7 ± 2.4	7.2–15.5	8.3 ± 1.3	7.3–11.7
夏季 summer	30.9 ± 0.5	29.9–31.8	6.6 ± 2.0	4.2–10.5	8.5 ± 1.2	7.4–11.7
秋季 autumn	19.2 ± 1.0	18–20.5	11.4 ± 2.6	8.1–15.6	8.5 ± 1.5	6.5–11.8

繁殖习性有关。安氏白虾繁殖期为每年 4—8 月^[28]，而葛氏长臂虾几乎周年存在抱卵亲虾，繁殖高峰期每年 3—7 月^[29]，两物种的繁殖期相近，导致

种间竞争加剧，但由于繁殖期内海域的盐度较低（春季和夏季平均盐度仅为 8.59），广温低盐性的安氏白虾更加适应，逐渐在种间竞争中占据优势

地位, 因此, 夏季和秋季安氏白虾 IRI 较高, 葛氏长臂虾则较低。相反, 在安氏白虾非繁殖期间, 葛氏长臂虾则可以继续繁殖, 因此, 冬季和春季葛氏长臂虾 IRI 较高, 而安氏白虾则较低。优势种 IRI 变化除了受外界环境变化影响外, 还与本身的繁殖习性及其种间竞争有关。

3.2 群落结构的更替

CLUSTER 聚类分析表明, 杭州湾北部大型无脊椎动物群落结构可分为 2 个群组, I 组为冬春组, II 组为夏秋组。ANOSIM 检验表明, 杭州湾北部大型无脊椎动物群落结构差异极显著($R=0.4$, $P<0.01$)。这说明从冬季到春季、从夏季到秋季杭州湾北部大型无脊椎动物群落结构变化并不明显, 表现为物种季节更替率较低。而春季到夏季、秋季到冬季是杭州湾北部大型无脊椎动物群落结构更替的主要季节, 表现为物种季节更替率较高, 优势种变化较大。安氏白虾、葛氏长臂虾等小型虾类是棘头梅童鱼(*Collichthys lucidus*)、中国花鲈(*Lateolabrax maculatus*)等鱼类的主要摄食对象, 这些鱼类的洄游习性通常表现为春季到近海进行产卵洄游和索饵洄游, 秋季之后再返回深海进行越冬洄游, 因此, 这些“捕食者”的存在会对该海域大型无脊椎动物种类和数量产生较大影响, 所以, 杭州湾北部大型无脊椎动物群落结构更替会受到某些鱼类洄游习性的影响。有研究表明, 温度、盐度和水深是决定海洋无脊椎动物群落格局的重要环境因子^[30-32]。在近海海域, 无脊椎动物的分布差异主要受水团引起的水文环境变化影响。庞敏等^[27]研究表明, 盐度是决定杭州湾海域甲壳动物数量分布的主导因子, 宋超等^[33]的研究表明, 东海大桥风电场水域底栖动物种类组成及分布与温度、盐度的变化密切相关。本研究 BIOENV 表明, 在单一环境因子中, 杭州湾北部大型无脊椎动物群落结构与盐度的相关性最高, 在组合环境因子中, 温、盐度的组合因子与杭州湾北部大型无脊椎动物群落结构的相关性最高。因此, 杭州湾北部大型无脊椎动物群落结构更替受到温度、盐度的共同影响。SIMPER 分析表明, 对冬春组与夏秋组组内相似性贡献率较高的典型种又是对组间差异性贡献率较高的分歧种, 如安

氏白虾、葛氏长臂虾、太平洋长臂虾和三疣梭子蟹, 同时这些种类又是季节性优势种, 这说明杭州湾北部大型无脊椎动物群落结构较为单一, 群落结构更替主要由这些种类的数量和质量变化决定的。如三疣梭子蟹, 繁殖期为每年 4—7 月(春季到夏季), 孵出的幼蟹与成蟹一起留在近岸浅海索饵、育肥, 交配期为每年 9—11 月, 交配完即向深水区作越冬洄游(秋季到冬季)^[34]。因此, 三疣梭子蟹的洄游习性也可能是造成杭州湾北部大型无脊椎动物群落结构更替的原因之一。

3.3 群落结构受扰动状况分析

ABC 曲线最早被 Warwick 用于分析污染对海洋大型底栖动物群落的影响^[35], 后来被广泛应用于评价水体里游泳动物或大型无脊椎动物群落受扰动程度^[36-39]。本研究 ABC 曲线显示, 各季节的数量优势度曲线均在生物量优势度曲线之上, 且数量优势度曲线的起点均明显高于生物量优势度曲线的起点, 这说明杭州湾北部大型无脊椎动物优势种主要由个体小、数量大的种类组成, 群落结构处于严重扰动状态。这与 Cabral 等^[40]的研究结果一致。从 W 统计值看, 夏季 W 绝对值最低, 其次为秋季, 说明夏季和秋季大型无脊椎动物的群落受扰动程度相对较低。每年 6 月 1 日至 8 月 15 日为上海市定置张网禁渔期(2017 年禁渔期延长为 5 月 1 日至 8 月 1 日), 在此期间, 杭州湾北部无脊椎动物种群数量得到一定的恢复, 促进了个体生长和发育, 群落组成由小型个体向大型个体方向发展。因此, 群落结构的受扰动程度也相对较低。由此可见, 伏季休渔政策对于提高群落结构稳定性, 促进渔业资源恢复起到积极作用。近年来, 由于近岸工业污染及大型海洋工程建设(如洋山深水港工程、东海大桥海上风电场等), 杭州湾海洋生态环境遭到破坏, 特别是海洋工程的建设直接破坏了底栖动物的生存环境^[41], 降低了鱼类和虾蟹类的多样性和数量密度^[42], 使得群落结构向小型化、低龄化方向发展, 进而增加群落的受扰动程度。因此, 杭州湾海域生态环境的恶化也是造成大型无脊椎动物群落受严重扰动的原因之一。杭州湾北部海域为传统定置张网作业区, 该海域无脊椎动物群落结构受人为扰动影响较大,

建议今后继续加强杭州湾海域的生态调查和监测,以掌握其水文环境及生物资源的动态变化和影响机制,为杭州湾海域生态环境的修复及生物资源的可持续利用提供科学依据。

致谢:“沪浦渔 48912”全体船员协助取样,安传光同志参与海上调查并指导论文写作,谨致谢忱。

参考文献:

- [1] Chai X P, Hu B L, Wei N, et al. Distribution, sources and assessment of heavy metals in surface sediments of the Hangzhou Bay and its adjacent areas[J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2015, 35(12): 3906-3916. [柴小平, 胡宝兰, 魏娜, 等. 杭州湾及邻近海域表层沉积物重金属的分布、来源及评价[J]. *环境科学学报*, 2015, 35(12): 3906-3916.]
- [2] Gao S Q, Chen J F, Jin H Y, et al. Characteristics of nutrients and eutrophication in the Hangzhou Bay and its adjacent waters[J]. *Journal of Marine Sciences*, 2011, 29(3): 36-47. [高生泉, 陈建芳, 金海燕, 等. 杭州湾及邻近水域营养盐的时空分布与富营养化特征[J]. *海洋学研究*, 2011, 29(3): 36-47.]
- [3] Cai Y H. The diversity of marine phytoplankton in Hangzhou Bay[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2006. [蔡燕红. 杭州湾浮游植物生物多样性研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2006.]
- [4] Wang X B, Wei Y J, Qin M L, et al. Studies on variation trend of diversity of zooplankton in ecology monitoring area of Hangzhou Bay[J]. *Marine Environmental Science*, 2008, 27(supp.1): 67-71. [王晓波, 魏永杰, 秦铭俐, 等. 杭州湾生态监控区浮游动物多样性变化趋势研究[J]. *海洋环境科学*, 2008, 27(supp.1): 67-71.]
- [5] Zhang D R, Xu J Y, Xu Z L, et al. Distribution pattern of zooplankton in the south part of Hangzhou Bay during spring and autumn in relation to main environmental factors[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2014, 33(8): 2115-2123. [张冬融, 徐佳奕, 徐兆礼, 等. 杭州湾南岸海域春秋浮游动物分布特征与主要环境因子的关系[J]. *生态学杂志*, 2014, 33(8): 2115-2123.]
- [6] Yan X, Zhong J S, Wang M X, et al. Study on the species composition and diversity of fish larvae and juveniles in the north of Hangzhou Bay[J]. *Journal of Shanghai Ocean University*, 2014, 23(5): 765-773. [闫欣, 钟俊生, 王明星, 等. 杭州湾北部水域仔稚鱼种类组成和多样性研究[J]. *上海海洋大学学报*, 2014, 23(5): 765-773.]
- [7] 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. [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.]
- [8] Wang M, Zhang D, Zhang Y P, et al. Preliminary study on Species composition and community diversity of fishery resource by set-net in north Hangzhou Bay[J]. *Fisheries Science & Technology Information*, 2013, 40(4): 188-192, 197. [王森, 张丹, 张玉平, 等. 杭州湾北部张网渔业资源种类组成及群落多样性初步分析[J]. *水产科技情报*, 2013, 40(4): 188-192, 197.]
- [9] Wang M, Hong B, An C G, et al. Diversity and density distribution of fishery resources in Northeast of Hangzhou Bay during flood and drought seasons[J]. *Journal of Shanghai Ocean University*, 2016, 25(2): 246-254. [王森, 洪波, 安传光, 等. 丰、枯水期杭州湾东北部渔业资源多样性及数量分布[J]. *上海海洋大学学报*, 2016, 25(2): 246-254.]
- [10] Szöcs E, Kefford B J, Schäfer R B. Is there an interaction of the effects of salinity and pesticides on the community structure of macroinvertebrates?[J]. *Science of the Total Environment*, 2012, 437: 121-126.
- [11] Albert R, Jan H, Stéphanie G, et al. Change in biological traits and community structure of macroinvertebrates through primary succession in a man-made Swedish wetland[J]. *Freshwater Science*, 2012, 31(1): 22-37.
- [12] Ojeda F P, Dearborn J H. Community structure of macroinvertebrates inhabiting the rocky subtidal zone in the Gulf of Maine: seasonal and bathymetric distribution[J]. *Marine Ecology Progress Series*, 1989, 57: 147-161.
- [13] General Administration of Quality Supervision Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, Standardization Administration of the People's Republic of China. GB/T 12763.6-2007 Specification for oceanographic survey Part 6: Marine biological survey[S]. Beijing: Standards Press of China, 2007. [国家质检总局, 国家标准化委员会. 海洋调查规范第 6 部分: 海洋生物调查 GB/T 12763.6-2007[M]. 北京: 中国标准出版社, 2007.]
- [14] Song H T, Yu C G, Xue L J, et al. Economic Shrimp and Crab in East China Sea[M]. Beijing: China Ocean Press, 2006. [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.]
- [15] Liu W L, He W S. The Benthic Macro-invertebrates in the Yangtze Estuary[M]. Shanghai: Shanghai Scientific & Technical Publishers, 2006. [刘文亮, 何文珊. 长江河口大型底栖无脊椎动物[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 2006.]
- [16] Lü Z B, Li F, Wang B, et al. Community structure of fish resources in spring and autumn in the Yellow Sea off Shan-

- dong[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.]
- [17] Pinkas L, Oliphant M S, Iverson I L K. Food habits of albacore, bluefin tuna, and bonito in California waters[J]. Fish Bulletin, 1971, 152: 1-105.
- [18] Xu Y, Xian W W, Li W L. Spatial and temporal variations of invertebrate community in the Yangtze River Estuary and its adjacent waters[J]. Biodiversity Science, 2014, 22(3): 311-319. [徐勇, 线薇薇, 李文龙. 长江口及其邻近海域春季无脊椎动物群落时空变化[J]. 生物多样性, 2014, 22(3): 311-319.]
- [19] Liu R Y. Ecology and Living Resources of Jiaozhou Bay[M]. Beijing: Science Press, 1992. [刘瑞玉. 胶州湾生态学和生物资源[M]. 北京: 科学出版社, 1992.]
- [20] Li L, Zhang J L, Niu J Z, et al. Study on the community structural variation of macrobenthos and impact factors in the adjacent sea area of Qinhuangdao Estuary in summer[J]. Journal of Marine Sciences, 2014, 32(4): 83-89. [李莉, 张建乐, 牛纪祝, 等. 秦皇岛入海口邻近海域夏季大型底栖动物群落结构变化及影响因子研究[J]. 海洋学研究, 2014, 32(4): 83-89.]
- [21] Wang Z, Qu F Y, Sui J X, et al. Community structure and diversity of macrobenthos in the western waters of Liaodong Bay during summer[J]. Marine Sciences, 2016, 40(1): 40-47. [王智, 曲方圆, 隋吉星, 等. 夏季辽东湾西部海域大型底栖动物群落结构与多样性[J]. 海洋科学, 2016, 40(1): 40-47.]
- [22] Clarke K R, Warwick R M. Change in Marine Communities: an Approach to Statistical Analysis and Interpretation[M]. 2nd ed. PRIMER-E: Plymouth, 2001.
- [23] Jiang Y Z, Lin N, Yuan X W, et al. Community structure and species diversity of nektons in Xiangshan Bay of East China[J]. Chinese Journal of Ecology, 2013, 32(4): 920-926. [姜亚洲, 林楠, 袁兴伟, 等. 象山港游泳动物群落结构及多样性[J]. 生态学杂志, 2013, 32(4): 920-926.]
- [24] 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, 2003, 33(1): 58-64.]
- [25] Zheng X Z, Yu C G, Chen X Q, et al. Species composition and spatio-temporal distribution of crabs in Zhoushan fishing ground and its adjacent areas[J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 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.]
- [26] He B X, Yu C G, Qin T, et al. The analysis of the community characteristics of shrimps in Zhoushan fishing ground and its adjacent waters[J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2013, 37(3): 553-559. [何贤保, 俞存根, 覃涛, 等. 舟山渔场及邻近海域虾类群落结构特征分析[J]. 水生生物学报, 2013, 37(3): 553-559.]
- [27] Pang M, Zhou Q S, Yu C G, et al. Community structure and diversity of crustacea in Hangzhou Bay during spring and autumn[J]. Journal of Zhejiang Ocean University (Natural Science), 2015, 34(1): 1-8. [庞敏, 周青松, 俞存根, 等. 杭州湾海域春秋两季虾蟹类群落结构及生物多样性分析[J]. 浙江海洋学院学报(自然科学版), 2015, 34(1): 1-8.]
- [28] Wu C W, Wang W H. On the biology and ecological distribution of shrimp, *palaemon (exopalaemon) annandalei*, at Hangzhou Bay[J]. Journal of Zhejiang College of Fisheries, 1993, 12(1): 21-31. [吴常文, 王伟洪. 杭州湾海域安氏白虾生物学与生态分布的研究[J]. 浙江水产学院学报, 1993, 12(1): 21-31.]
- [29] Ding T M, Song H T. The study on biology of *Palaemon gravieri* in East China Sea[J]. Journal of Zhejiang Ocean University (Natural Science), 2002, 21(1): 1-5. [丁天明, 宋海棠. 东海葛氏长臂虾 *Palaemon gravieri* 生物学特征研究[J]. 浙江海洋学院学报(自然科学版), 2002, 21(1): 1-5.]
- [30] Huang Z R, Sun D R, Chen Z Z, et al. Faunal characteristics and distribution pattern of crustaceans in the vicinity of Pearl River Estuary[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2009, 20(10): 2535-2544. [黄梓荣, 孙典荣, 陈作志, 等. 珠江口附近海区甲壳类动物的区系特征及其分布状况[J]. 应用生态学报, 2009, 20(10): 2535-2544.]
- [31] Li S F, Yan L P, Li H Y, et al. Spatial distribution of cephalopod assemblages in the region of the East China Sea[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2006, 13(6): 936-944. [李圣法, 严利平, 李惠玉, 等. 东海区头足类群聚空间分布特征的初步研究[J]. 中国水产科学, 2006, 13(6): 936-944.]
- [32] Wu Q, Li X S, Wang J, et al. Community structure and biodiversity of invertebrate resources in the Yangtze River Estuary and its adjacent waters[J]. Journal of Hydroecology, 2009, 2(2): 73-79. [吴强, 李显森, 王俊, 等. 长江口及邻近海域无脊椎动物群落结构及其生物多样性研究[J]. 水生生态学杂志, 2009, 2(2): 73-79.]
- [33] Song C, Hou J L, Zhao F, et al. Macrobenthos community structure and its relationship with environment factors in the offshore wind farm of the East China Sea Bridge in spring and autumn[J]. Marine Fisheries, 2017, 39(1): 21-29. [宋超, 侯俊利, 赵峰, 等. 春、秋季东海大桥海上风电场水域大型底栖动物群落结构及其与环境因子的关系[J]. 海洋渔

- 业, 2017, 39(1): 21-29.]
- [34] Cheng G B, Shi H L, Lou B, et al. Biological characteristics and artificial propagation, culture technique for *Portunus trituberculatus*[J]. Hebei Fisheries, 2012(4): 59-61. [程国宝, 史会来, 楼宝, 等. 三疣梭子蟹生物学特性及繁养殖现状[J]. 河北渔业, 2012(4): 59-61.]
- [35] Warwick R M. A new method for detecting pollution effects on marine macrobenthic communities[J]. Marine Biology, 1986, 92(4): 557-562.
- [36] Song P Q, Lin L S, Li Y, et al. Species composition and stability of nekton community structure in Sandu Bay, Fujian Province[J]. Biodiversity Science, 2015, 23(4): 519-526. [宋普庆, 林龙山, 李渊, 等. 福建三都澳游泳动物种类组成及群落结构稳定性[J]. 生物多样性, 2015, 23(4): 519-526.]
- [37] Yan L, Tan Y G, Yang L, et al. The resources community structure of stow-net fishery in the Pearl River Estuary coastal waters of the South China Sea[J]. Journal of Biology, 2015, 32(5): 52-57. [晏磊, 谭永光, 杨齐, 等. 南海珠江口沿岸张网渔业资源群落结构分析[J]. 生物学杂志, 2015, 32(5): 52-57.]
- [38] Zhang Y, Lu Z B, Xu Z F, et al. Ecological characteristics of macrobenthic communities and their relation to water environmental factors in four bays of southern Shandong Peninsula[J]. Acta Ecologica Sinica, 2011, 31(15): 4455- 4467. [张莹, 吕振波, 徐宗法, 等. 山东半岛南部海湾底栖动物群落生态特征及其与水环境的关系[J]. 生态学报, 2011, 31(15): 4455-4467.]
- [39] Shen G M, Huang J X, Huang Y, et al. On community characteristics of nekton in fishery areas in the Laizhou Bay[J]. Marine Fisheries, 2017, 39(3): 277-285. [沈公铭, 黄经献, 黄瑛, 等. 莱州湾渔业水域游泳动物群落特征[J]. 海洋渔业, 2017, 39(3): 277-285.]
- [40] Cabral H N, Costa M J, Salgado J P. Does the Tagus estuary fish community reflect environmental changes?[J]. Climate Research, 2001, 18: 119-126.
- [41] Luo M B, Shen X Q, Wang Y L, et al. Environment condition evaluation of the waters around Yangshan Island in Hangzhou Bay under the huge ocean engineering by the ABC curve method[J]. Journal of Agro-Environment Science, 2007, 26(supp): 710-714. [罗民波, 沈新强, 王云龙, 等. 运用 ABC 曲线评价工程条件下杭州湾周围海域环境变迁[J]. 农业环境科学学报, 2007, 26(supp): 710-714.]
- [42] Tang F H, Shen X Q, Shi Y R, et al. Preliminary study on crab and shrimp stock biomass in waters around Yangshan Deepwater Port[J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2010, 19(3): 372-377. [唐峰华, 沈新强, 史赞荣, 等. 洋山工程海域虾蟹类资源的初步分析[J]. 上海海洋大学学报, 2010, 19(3): 372-377.]

Community structure of macroinvertebrates in northern Hangzhou Bay

WANG Miao, ZHOU Xuan, HONG Bo

Fishery Inspection Monitoring Center, Shanghai Fisheries Research Institute, Shanghai 200433, China

Abstract: Hangzhou Bay, which is located in northeastern Zhejiang Province, is a typical subtropical estuary. Because of the bay's rich food resources, many fish, shrimp, and crab species migrate from deep sea waters to Hangzhou Bay for spawning and feeding. However, recent coastal pollution and overfishing have seriously damaged the bay's marine environment and fishery resources. Some commercial species, such as *Exopalaemon carinicauda* and *Portunus trituberculatus*, have declined or disappeared, which may contribute to the collapse of the marine ecosystem. Macroinvertebrates are one of the most important groups of marine organisms in estuaries and play an important role in estuary food chains. Therefore, the current macroinvertebrate community structure and condition of the marine environment in Hangzhou Bay must be studied in order to provide scientific information for the ecological remediation efforts in Hangzhou Bay. The macroinvertebrate community structure of northern Hangzhou Bay was characterized, based on a field investigation of fishery resources in February, May, August, and November of 2016. The investigation focused on species composition, seasonal variation in macroinvertebrate community structure, and the relationship between the community and environmental factors. Macroinvertebrates were captured at 12 sampling stations using a beam trawl of 20 m in length and 4 m in width. The beam length was 6 m, and the opening height of the net was 2 m, with the smallest net mesh of 25 mm. Trawling was performed at 1.5–4.4 knots for 15–63 min at each station, and water temperature, salinity, and depth were recorded at the same time. Index of relative importance, cluster analysis, and multivariate statistics were used to analyze species composition, dominant species, and community structure characteristics. A total of 22 species (18 genera, 15 families, 5 orders, and 4 classes) were captured during the study. Decapoda dominated, accounting for 77.3% of the total species number, followed by Stenoglossa, which only accounted for 9.1%. Five dominant species were identified (*Palaemon gravieri*, *Palaemon pacificus*, *E. annandalei*, *Potamocorbula amurensis*, and *Portunus trituberculatus*), and *E. annandalei* was a dominant species during all seasons, whereas *P. gravieri* was a dominant species during winter, spring, and autumn. CLUSTER analysis and non-metric multidimensional scaling (NMDS) indicated that the macroinvertebrate community of northern Hangzhou Bay could be clustered into two groups at 44% Bray-Curtis similarity level. Group I was classified as the winter/spring assemblage, whereas group II was classified as the summer/autumn assemblage. Group I consisted of 19 stations in February and May, and Group II consisted of 21 stations in August and November. The dissimilarity between Group I and II was as high as 57.76%, and analysis of similarity (ANOSIM) indicated that community structure of the two groups was significantly different ($R=0.4$, $P<0.01$). BIOENV indicated that the macroinvertebrate community structure of northern Hangzhou Bay was closely related to water temperature and salinity (correlation coefficient: 0.39). The present research indicated that the macroinvertebrate community structure of northern Hangzhou Bay is simple and that the main dominant species were small shrimps. There was a significant difference in the seasonal variation of the macroinvertebrate community structure of northern Hangzhou Bay, and the dominant species varied each season. Water temperature, salinity, and the ecological migration of dominant species probably impact the replacement of macroinvertebrate community structure in northern Hangzhou Bay, and the macroinvertebrate community structure of northern Hangzhou Bay is seriously disturbed.

Key words: macroinvertebrate; dominant species; community structure; Hangzhou Bay

Corresponding author: WANG Miao. E-mail: wang.m_520@163.com