

马鞍列岛及其东部海域鱼类群落格局与 环境因子之间的关系

韩旭东¹, 章守宇^{1*}, 汪振华¹, 王凯¹,
林军^{1*}, 邓明星², 吴星辰¹

(1. 上海海洋大学海洋生态与环境学院, 上海 201306;

2. 国家海洋局东海信息中心, 上海 200136)

摘要: 为探究岛礁海域渔业资源群落格局, 于2016年8月、12月及2017年2月和5月对马鞍列岛及其东部海域进行了渔业资源季度调查。利用聚类分析、非度量多维标度(nMDS)和生物环境相关分析(BIOENV)等方法, 对该海域的鱼类群落组成、时空动态及其与环境因子的相关性进行了研究。共采集鱼类96种, 隶属于12目47科77属, 其中鲈形目占比最大, 其生物量和丰度占比均超过50%。龙头鱼为全年优势种, 春季优势种包括刺鲷、黑鳃梅童鱼和宽体舌鲷; 夏季优势种为小黄鱼、带鱼和六丝矛尾虾虎鱼; 秋季和冬季优势种相同, 为棘头梅童鱼和凤鲚。聚类分析和nMDS结果显示, 马鞍列岛及其东部海域鱼类群落可分为站位组I(岛礁周围站点为主)、站位组II(邻近岛礁站点为主)和站位组III(远离岛礁站点为主)。除春季站位组I与站位组III、站位组II与站位组III外, 鱼类群落种类组成在各季节不同站位组之间皆存在显著差异。BIOENV分析显示, 在底层水温、底层盐度和水深3个因素中, 底层水温对鱼类群落影响最大。

关键词: 渔业资源; 群落格局; 聚类分析; 相关性分析; 马鞍列岛

中图分类号: S 931.1

文献标志码: A

鱼类群落生态学是海洋生态系统研究的重要组成部分, 而其中鱼类群落格局的形成过程和机制则是重要的研究内容^[1]。鱼类群落格局在各种典型生态系统如珊瑚礁区^[2-3]、河口区^[4-5]和陆架尺度^[6-7]中的研究已经较多, 但对于包含2种栖息环境类型的复合生态系统群落格局的同步研究(如岛礁海域生态系统)还鲜有报道, 岛礁海域生态系统包含岛礁海域和开阔水域2种生境类型, 它们在水深、温度、盐度、海底地形和初级生产力等方面通常具有较大差别。关于这些差别如何作用在相关生境的鱼类群落时空格局上, 研究依然少见, 其中的复合生境生态功能侧重及造成各自内部鱼类群落组成差异的原因还有待深入探讨。

马鞍列岛及其东部海域位于舟山渔场的中心, 包含马鞍列岛岛礁生境及其邻近的东部开阔海域生境。研究区域受黑潮、台湾暖流以及长江冲淡水的综合作用, 鱼类群落组成受鱼类季节性洄游影响明显^[8-9]。汪振华等^[10]在对马鞍列岛岛礁渔业资源群落生态学进行的研究中指出, 当地岛礁生境是鱼类的优良产卵和育肥场, 且在不同区域生态功能各有侧重, 但其研究主要针对岩礁性鱼类, 难以体现列岛海域渔业资源整体特点。本研究根据2016—2017年在马鞍列岛及其东部海域开展的渔业资源拖网调查数据及同步环境因子(底层水温、底层盐度、水深)调查资料, 对马鞍列岛及其东部海域渔业资源的种类组成、群落结构和多样性指数变化及其与

收稿日期: 2018-02-28 修回日期: 2018-05-09

资助项目: 公益性行业(农业)科研专项(201303047); 嵊泗县海洋与渔业局委托项目(D-8005-16-8020, D-8006-17-0078)

通信作者: 章守宇, E-mail: syzhang@shou.edu.cn; 林军, E-mail: jlin@shou.edu.cn

环境的关系进行了初步分析,以查明该海域鱼类群落时间动态和空间差异,并探讨造成岛礁海域生境和开阔海域生境鱼类群落格局差异的主要环境因素,为马鞍列岛及其东部海域渔业资源的评估和综合管理提供参考。

1 材料与方法

1.1 实验材料

研究区域为马鞍列岛及其东部海域(122°38'40"~123°23'40"E, 30°31'40"~30°56'40"N),共设置19个站点(图1)。站点设计采用定点采样方法,根据调查站位前期的相关研究^[10-11]及实际情况对站点进行微调,加密了岛礁周围的站点。于2016年8月、11月、2017年2月和5月对马鞍列岛及其邻近海域进行底拖网调查。拖网调查船功率200 kW,拖网网口宽6 m,扩张高度3 m,周径20 m,网具全长35 m,囊网网目20 mm。原则上每站拖曳1 h,拖速约为3 kn。渔获物全部带回上海海洋大学枸杞岛教研基地实验室,生物学测定和分析处理参照《海洋调查规范》,种类鉴别至其分类地位最低单元。为方便分析和比较,各站点拖网数据全部转换成单位拖速与单位拖时的渔获数值。每个站点使用温盐深仪(19plus-CTD)测量水温、盐度、水深等环境因子。

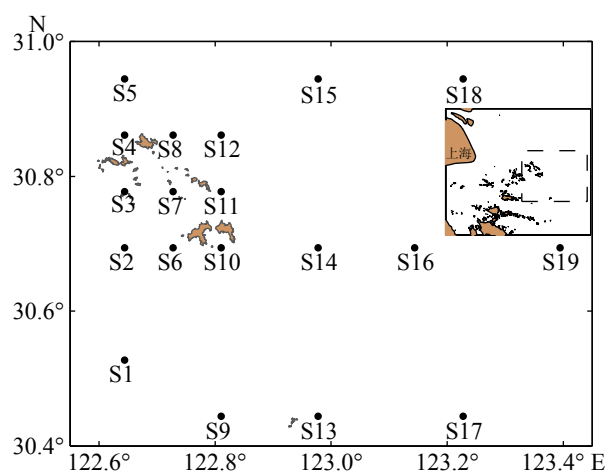


图1 调查站位分布图

Fig. 1 Sampling sites in Ma'an Archipelago and its eastern waters

1.2 分析方法

按鱼种将所有鱼类分类,构建鱼类丰度和站点的二维矩阵,计算Bray-Curtis相似性值并形

成相似矩阵,对渔获丰度进行四次方根转化^[12],在此基础上进行组聚类分析以比较19个站点间的相似性。非度量多维标度图nMDS (nonmetric multidimensional scaling)的解释程度可根据胁迫系数(stress)来确定,通常认为stress<0.2,该图具有一定的可信性^[13]。利用相似性百分比(SIMPER)确定造成各站位组内群落结构相似的典型种和造成组间群落结构差异的分歧种,以及各鱼种对站位组内相似性和组间相异性的贡献率^[14-15]。应用相似性分析检验ANOSIM (analysis of similarities)检验群落组成差异的显著性^[16]。

分别以生物量CPUE (catch per unit effort, kg/h)和丰度CPUE (尾/h)代表各采样站点鱼类的相对密度,计算各站点鱼类相对密度并绘制鱼类相对密度空间分布图。

应用Pinkas^[17]相对重要性指数IRI(index of relative importance)来确定各种类的优势度。本研究中划定IRI大于1000的种类为优势种^[18]:

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

式中, N 为某一类尾数占总尾数的百分比; W 为某一类重量占总重量的百分比; F 为某一类出现的站位数占总站位数的百分比。

采用生物与环境相关分析BIOENV检验各鱼类群落结构与环境因子之间的关系^[14],采用单因素方差分析(One-Way ANOVA)检验各季节各站位之间环境因子的差异显著性。因调查网具为底层拖网,所捕获鱼类以底层鱼类为主,故环境因子选择为水深(depth),底层盐度(bottom salinity)和底层水温(bottom temperature)。数据处理分析采用SPSS 19.0^[19],群落聚类分析和nMDS采用PRIMER 5.0软件^[20],站位图、环境因子分布图和资源密度空间分布图采用MATLAB软件^[21]完成。

2 结果

2.1 种类组成及优势种变化

共捕获鱼类96种,隶属于12目47科77属。春季航次捕获鱼类51种,隶属8目28科45属;夏季航次捕获鱼类57种,隶属11目33科49属;秋季航次捕获鱼类58种,隶属7目30科48属;冬季航次捕获鱼类51种,隶属11目27科57属(表1)。全部渔获中,鲈形目是主要种类,共47种(占49.0%),其次为鲹形目12种(占12.5%)和鲷形目10种(10.4%)。

表 1 马鞍列岛及其东部海域鱼类主要目数量统计

Tab. 1 The statistics of the major fish orders in Ma'an Archipelago and its eastern waters

| 目 order | 科 family | 属 genus | 种 species |
|-----------------------|-------------|------------|--------------|
| 鲈形目 Perciformes | 21 | 41 | 47 |
| 鲉形目 Scorpaeniformes | 6 | 8 | 10 |
| 鳗鲡目 Anguilliformes | 4 | 5 | 5 |
| 鲽形目 Pleuronectiformes | 3 | 5 | 12 |
| 鲀形目 Tetradontiformes | 3 | 3 | 3 |
| 鲱形目 Clupeiformes | 2 | 6 | 7 |
| 灯笼鱼目 Myctophiformes | 2 | 3 | 4 |
| 其他 others | 6 | 6 | 8 |

全年共采集优势种9种(表2), 龙头鱼(*Harpadon nehereus*)为全年优势种, 刺鲳(*Psenopsis anomala*)、黑鳃梅童鱼(*Collichthys niveatus*)和宽体舌鳎(*Cynoglossus robustus*)为春季优势种, 夏季优势种为小黄鱼(*Larimichthys polyactis*)、带鱼(*Trichiurus lepturus*)和六丝矛尾虾虎鱼(*Chaeturichthys hexanema*), 凤鲚(*Coilia mystus*)和棘头梅童鱼(*Collichthys lucidus*)同为秋、冬季优势种。

2.2 群落划分

按照鱼类丰度聚类分析(图2)和非度量多维(nMDS)方法对群落进行划分, 2种方法的结果基本一致。马鞍列岛及其东部海域鱼类群落基本可以划为3个站位组: 以岛礁周边站点为主的

站位组(组 I)、以邻近岛礁的站点为主的站位组(组 II)和以开阔水域站点为主的站位组(组 III), 冬季可分为4个站位组: 组 I、组 II、组 III和组 IV(分歧站位)。ANOSIM分析表明, 研究区域鱼类群落组成在4个季度间皆存在极显著差异($R_{春季}=0.874, P<0.01$; $R_{夏季}=0.786, P=0.002<0.01$; $R_{秋季}=0.845, P<0.001$; $R_{冬季}=0.839, P<0.01$)。同一季节, 不同站位组之间的ANOSIM分析表明, 春季组 I 与组 II 的群落组成差异极显著($R=0.619, P<0.01$), 组 I 与组 III、组 II 与组 III 之间差异不显著($R=0.427\sim 0.556, P>0.05$); 夏季组 I 与组 II、组 I 与组 III、组 II 与组 III 的群落组成差异显著($R=0.744\sim 0.977, P<0.05$); 秋季组 I 与组 II、组 I 与组 III、组 II 与组 III 的群落组成差异极显著($R=0.651\sim 0.959, P<0.01$); 冬季组 I 与组 II 的群落组成差异极显著($R=0.773, P<0.01$), 组 I 与组 III、组 II 与组 III 之间差异显著($R=0.740\sim 0.815, P<0.05$)。

4个季度NMDS结果的胁迫系数(stress)分别为0.12、0.16、0.16和0.17, 全年nMDS分析显示鱼类群落组成季节性变化明显, 各季节鱼类群落组成差异明显(图3)。鱼类群落秋冬2季交叠较为强烈, 春季鱼类群落组成与其他季节存在一定交叠, 而夏季鱼类群落组成则明显区别于其他季节。进一步的SIMPER分析结果显示, 不同季节间群落组成平均相异性百分比分别为春夏90.82%、春秋84.36%、春冬88.32%、夏秋91.11%、夏冬93.47%、秋冬73.33%。同一季节,

表 2 马鞍列岛及其东部海域鱼类优势种组成及其优势度

Tab. 2 The composition and IRI of dominant fishes in Ma'an Archipelago and its eastern waters

| 种类 species | IRI | | | |
|--|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | 春季 spring | 夏季 summer | 秋季 autumn | 冬季 winter |
| 小黄鱼 <i>Larimichthys polyactis</i> | | 10 497.32 | | |
| 龙头鱼 <i>Harpadon nehereus</i> | 3 727.26 | 1 794.42 | 11 883.94 | 8 524.32 |
| 带鱼 <i>Trichiurus lepturus</i> | | 1 075.35 | | |
| 凤鲚 <i>Coilia mystus</i> | | | 1 371.62 | 3 414.74 |
| 刺鲳 <i>Psenopsis anomala</i> | 1 841.91 | | | |
| 棘头梅童鱼 <i>Collichthys lucidus</i> | | | 1 100.41 | 1 234.80 |
| 黑鳃梅童鱼 <i>Collichthys niveatus</i> | 1 092.57 | | | |
| 宽体舌鳎 <i>Cynoglossus robustus</i> | 1 032.05 | | | |
| 六丝矛尾虾虎鱼 <i>Chaeturichthys hexanema</i> | | 1 085.44 | | |

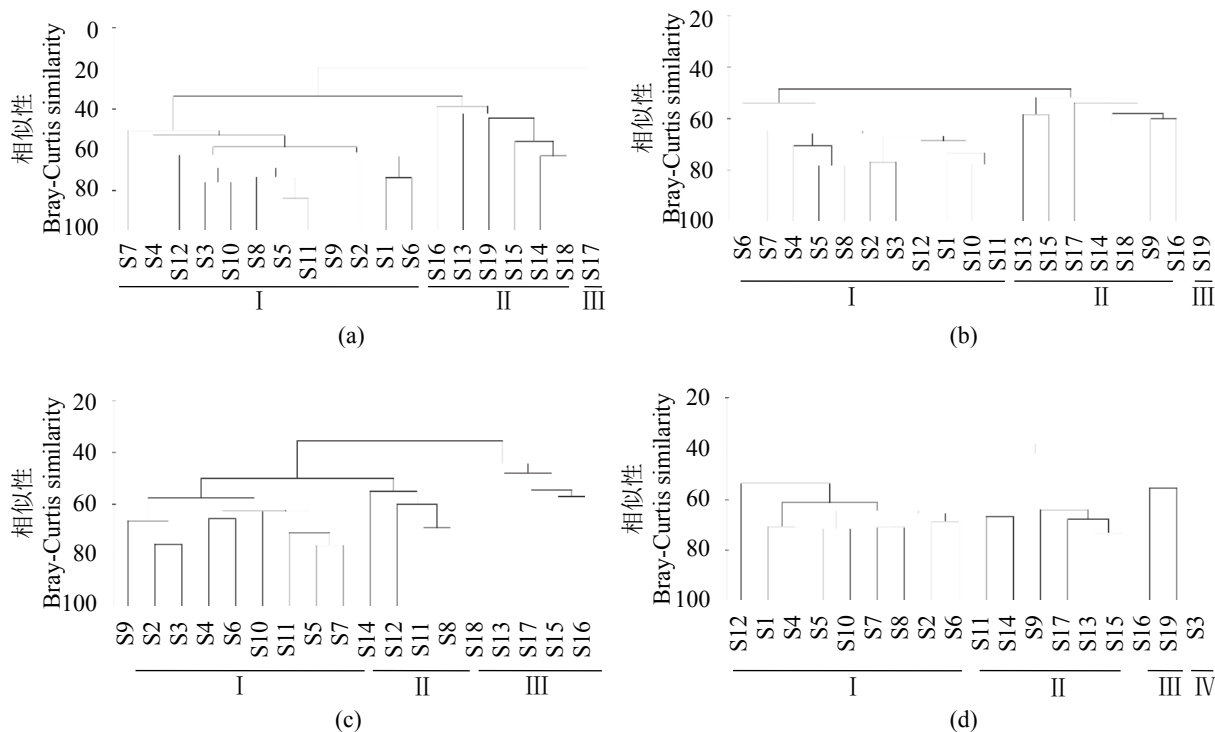


图2 马鞍列岛及其东部海域鱼类群落聚类分析图

(a)春季; (b)夏季; (c)秋季; (d)冬季, 下同

Fig. 2 Clustering groups of 19 sampling sites in Ma'an Archipelago and its eastern waters

(a) spring; (b) summer; (c) autumn; (d) winter, the same below

不同站位组之间的相异性百分比分别为春季组 I 与组 II 82.05%、组 I 与组 III 82.93%、组 II 与组 III 65.09%; 夏季组 I 与组 II 70.30%、组 I 与组 III 87.52%、组 II 与组 III 76.38%; 秋季组 I 与组 II 73.05%、组 I 与组 III 79.34%、组 II 与组 III 69.30%; 冬季组 I 与组 II 75.94%、组 I 与组 III 74.16%、组 II 与组 III 82.84%。

本实验结果发现, 春季组 I 的典型种包括龙头鱼和风鲚, 组 II 典型种包括带鱼等; 夏季组 I 典型种小黄鱼在组内占据优势地位, 典型种还包括龙头鱼, 组 II 典型种包括带鱼等, 六丝矛尾虾虎鱼也有较大分布, 组 III 的典型种包括刺鲷等; 秋季组 I 典型种包括风鲚等, 组 II 典型种包括带鱼等, 组 III 典型种包括细条天竺鲷(*Apogonichthys lineatus*)等; 冬季组 I 典型种包括风鲚和棘头梅童鱼等, 组 II 中, 龙头鱼占比较大, 组 III 典型种则包括黄鲫(*Setipinna taty*)和蜂鲐(*Erisphex pottii*)等(表3)。

春季组 I 与组 II 间分歧种有龙头鱼、黑鳃梅童鱼、刺鲷、风鲚和皮氏叫姑鱼(*Johnius belangerii*), 对组间平均相异性的贡献值达到

64.55%, 组 I 与组 III 间分歧种有龙头鱼、黑鳃梅童鱼、刺鲷、皮氏叫姑鱼和小黄鱼, 对组间平均相异性的贡献值达到69.98%, 组 II 与组 III 间分歧种有皮氏叫姑鱼、刺鲷、小黄鱼、黑鳃梅童鱼、黄鲛鳗(*Lophius litulon*)和细条天竺鲷, 对组间平均相异性的贡献值达到68.14%; 夏季组 I 与组 II 间分歧种有小黄鱼、六丝矛尾虾虎鱼、焦氏舌鲷(*Cynoglossus joyneri*)和龙头鱼, 对组间平均相异性的贡献值达到82.35%, 组 I 与组 III 间分歧种有小黄鱼、六丝矛尾虾虎鱼、焦氏舌鲷、龙头鱼和刺鲷, 对组间平均相异性的贡献值达到86.39%, 组 II 与组 III 间分歧种有六丝矛尾虾虎鱼、小黄鱼、刺鲷和焦氏舌鲷, 对组间平均相异性的贡献值达到77.18%; 秋季组 I 与组 II 间分歧种有龙头鱼、风鲚、拉氏狼牙虾虎鱼(*Odontamblyopus lacepedii*)和棘头梅童鱼, 对组间平均相异性的贡献值达到81.26%, 组 I 与组 III 间分歧种有龙头鱼、风鲚、细条天竺鲷、拉氏狼牙虾虎鱼和棘头梅童鱼, 对组间平均相异性的贡献值达到79.98%, 组 II 与组 III 间分歧种有龙头鱼、细条天竺鲷、棘头梅童鱼和风鲚, 对组间平均相异性的贡献值达到71.02%; 冬季组 I 与组 II 间分

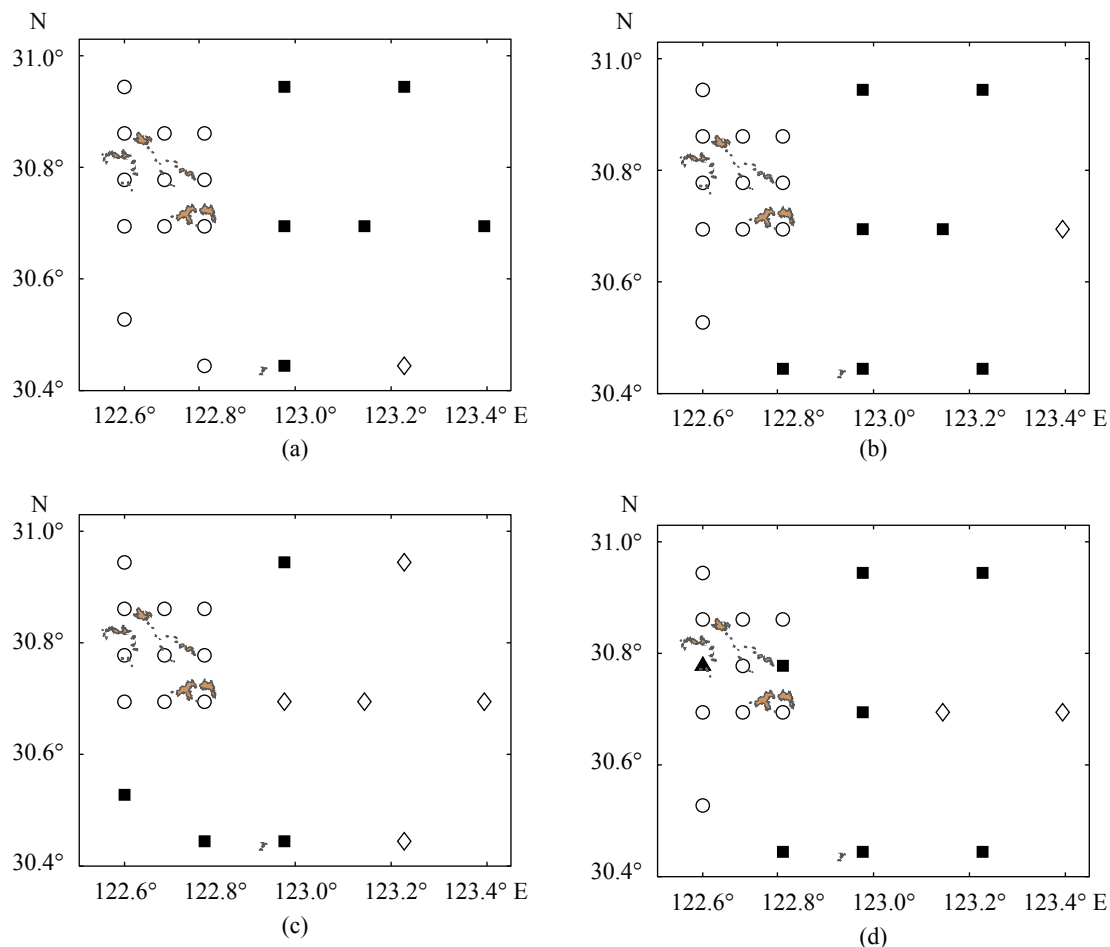


图3 马鞍列岛及其东部海域鱼类群落空间分布

○.组 I, ■.组 II, ◇.组 III, ▲.组 IV

Fig. 3 Spatial pattern of fish communities in Ma'an Archipelago and its eastern waters

○.group I, ■.group II, ◇.group III, ▲.group IV

歧种有龙头鱼和风鲚, 对组间平均相异性的贡献值达到83.85%, 组 I 与组 III 间分歧种有风鲚、蜂鲞、龙头鱼、黄鲫和棘头梅童鱼, 对组间平均相异性的贡献值达到82.63%, 组 II 与组 III 间分歧种有龙头鱼、风鲚、蜂鲞和黄鲫, 对组间平均相异性的贡献值达到90.73%。

2.3 生物量空间分布

生物量空间分布的季节性变化明显。春夏秋3季, 高生物量CPUE站点主要分布在岛礁附近, 冬季高生物量CPUE站点则分布在开阔水域。各季节生物量CPUE最高点依次为春季S1站点(23.49 kg/h)、夏季S2站点(89.71 kg/h)、秋季S6站点(68.24 kg/h)和冬季S13 站点(18.12 kg/h)。4季中除冬季渔获最高点出现在组 III, 其余3季渔获最高点都出现在岛礁海域附近。平均生物量显示,

春夏秋3季平均生物量均为组 I >组 II >组 III, 冬季则相反, 平均生物量为组 III >组 II >组 I (图4)。

从丰度CPUE上看, 其整体分布趋势与相对资源密度相同, 春夏秋3季, 高丰度CPUE区域也主要分布在岛礁海域附近站点, 冬季高丰度CPUE区域则分布在离岛礁较远区域。各季节丰度CPUE最高点依次为春季S11站点(1 056 尾/h)、夏季S2 站点(7 802 尾/h)、秋季S4站点(5 449 尾/h)和冬季S5站点(5 631 尾/h)。4个季节丰度CPUE最高点皆出现在组 I 站点(图5)。根据全部生物量和丰度计算各季节不同站位组的鱼类平均体质量, 其中, 夏季、秋季和冬季平均体质量为组 I <组 II <组 III, 春季组 II 最小, 组 III 最大(表4)。

2.4 鱼类群落与环境因子之间的关系

对不同季节的鱼类群落与环境因子(底层水

表 3 不同季节和不同站位组鱼类群落主要鱼种的相似性贡献度

Tab. 3 Contributions of similarity of major fish species in different seasons and spatial groups of fish communities %

| 种类 species | 春季 spring | | | 夏季 summer | | | 秋季 autumn | | | 冬季 winter | | |
|---|-----------|----------|-----------|-----------|----------|-----------|-----------|----------|-----------|-----------|----------|-----------|
| | 组I | 组II | 组III | 组I | 组II | 组III | 组I | 组II | 组III | 组I | 组II | 组III |
| | group I | group II | group III | group I | group II | group III | group I | group II | group III | group I | group II | group III |
| 龙头鱼 <i>Harpadon nehereus</i> | 25.12 | | | 7.13 | | | 71.12 | 51.71 | 66.47 | 27.41 | 86.84 | 46.03 |
| 刺鲷 <i>Psenopsis anomala</i> | 15.70 | 49.75 | 22.79 | | | 52.47 | | | | | | |
| 凤鲚 <i>Coilia mystus</i> | 8.50 | | | | | | 6.78 | | | 29.00 | 6.77 | |
| 黄鲛鲷 <i>Lophius litulon</i> | 8.43 | 9.19 | 5.88 | | | | | | | | | |
| 细条天竺鲷 <i>Apogonichthys lineatus</i> | | 9.82 | 9.55 | | | | | | 14.35 | | | |
| 小黄鱼 <i>Larimichthys polyactis</i> | | 8.16 | 24.26 | 68.51 | 33.39 | 19.14 | | | | | | |
| 带鱼 <i>Trichiurus lepturus</i> | | 7.37 | | | 6.27 | 18.52 | | 6.10 | | | | |
| 六丝矛尾虾虎鱼 <i>Chaeturichthys hexanema</i> | | | | 8.54 | 35.96 | | | | | | | |
| 黑鳃梅童鱼 <i>Collichthys niveatus</i> | 25.05 | | 25.73 | | | | | | | | | |
| 棘头梅童鱼 <i>Collichthys lucidus</i> | | | | | | | 8.80 | 8.16 | | 22.03 | | |
| 黄鲫 <i>Setipinna taty</i> | | | | | | | | | | 10.41 | | 20.50 |
| 蜂鲐 <i>Erisphex potti</i> | | | | | | | | | | | | 20.50 |

注：表中仅列出贡献值大于5%的种类

Notes: the table lists only those categories that contribute more than 5%

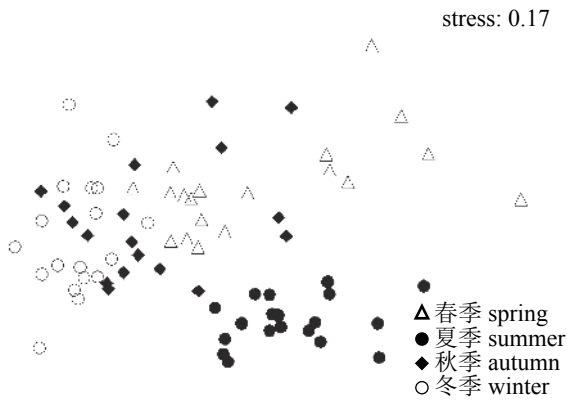


图 4 基于丰度数据的马鞍列岛及其东部海域全年鱼类群落组成的多维排序分析

Fig. 4 Multidimensional scaling analysis of fish community composition based on abundance data in Ma'an Archipelago and its eastern waters throughout the year

温、底层盐度和水深)的BIOENV分析显示, 鱼类群落与底层水温的相关性最好, 与水深的相关性次之, 与底层盐度相关性较差。不同季节鱼类群落与组合环境因子的相关性分析中, 春季

最好(表5)。

研究区域水深由西部向东部逐渐增加, 春季和冬季不同站位组站点间水深差异极显著(春: $F=18.225, P<0.001$; 冬: $F=11.747, P<0.001$), 夏季和秋季不同站位组站点间水深差异显著(夏: $F=7.424, P<0.05$; 秋: $F=3.796, P<0.05$)(图6)。

底层水温分布与季节有关, 春夏季岛礁周围站点水温较高, 外围站点水温较低, 秋冬季则相反, 外围站点底层水温较高。春季秋季和冬季不同站位组站点间底层水温差异极显著(春: $F=10.230, P<0.001$; 秋季: $F=14.154, P<0.001$; 冬: $F=14.112, P<0.001$), 夏季差异不显著($F=1.411, P>0.05$)(图7)。

各站点底层盐度季节间差异不大, 4个季节分布趋势大致相同, 从岛礁向外侧海域盐度逐步升高。冬季各站位组站点间盐度差异极显著($F=26.811, P<0.001$), 春季各站位组站点间盐度差异显著($F=3.965, P<0.05$)夏季和秋季各站位组站点间盐度差异不显著(夏: $F=0.605, P>0.05$; 秋: $F=0.93, P>0.05$)(图8)。

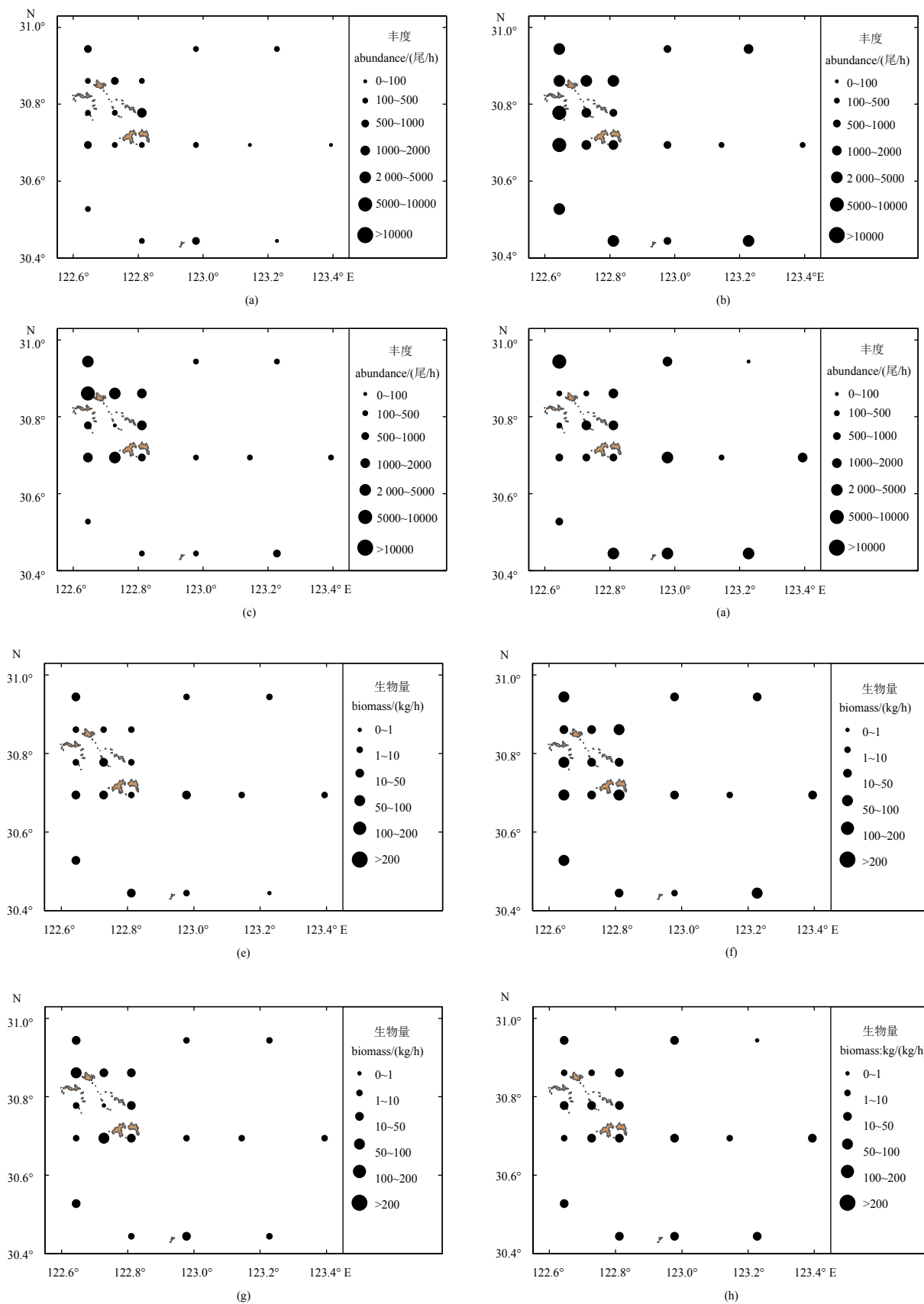


图5 马鞍列岛及其东部海域各季节鱼类CPUE (生物量和丰度)的空间分布

Fig. 5 Spatial distribution of fish CPUE (biomass and abundance) in Ma'an Archipelago and its eastern waters

表4 马鞍列岛及其东部海域不同站位组
鱼类平均体质量

Tab. 4 Average weight of fish in different groups in Ma'an Archipelago and its eastern waters g

| 站位组 group | 春季 spring | 夏季 summer | 秋季 autumn | 冬季 winter |
|----------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| 组I group I | 21.02 | 14.99 | 10.18 | 10.34 |
| 组II group II | 25.92 | 14.30 | 13.80 | 11.57 |
| 组III group III | 5.54 | 57.09 | 35.38 | 14.06 |
| 组IV group IV | | | | 171.08 |

表5 鱼类丰度数据和环境因子的BIOENV相关分析
Tab. 5 BIOENV analysis of fish abundance data with environmental factors

| | 相关系数 Global R | | | |
|----------------------------|---------------|--------------|--------------|--------------|
| | 春季 spring | 夏季 summer | 秋季 autumn | 冬季 winter |
| 水深 depth | 0.118 | 0.083 | 0.098 | -0.009 |
| 底层温度 bottom temperature | 0.266 | 0.008 | 0.193 | 0.045 |
| 底层盐度 bottom salinity | 0.117 | -0.063 | 0.161 | 0.010 |
| 因子组合 combination | 0.156 | 0.126 | 0.134 | 0.000 |

注：因子组合为水温、盐度和深度的组合，Global R值代表环境和群落之间的相关系数
Notes: combinations are bottom temperature, bottom salinity and depth. Global R represents the correlation coefficient between the community and the environment

3 讨论

3.1 鱼类种类组成及优势种

本实验结果显示，鱼类种类组成中鲈形目

占比最大，其次为鲹形目。根据马鞍列岛海域20世纪70—80年代的调查数据，捕获鱼类210种^[10]，本次调查共捕获鱼类96种。鱼类种类数降低可能是由于本次调查覆盖的面积低于20世纪70—80年代调查的覆盖面积。另一方面，很有可能与东海区渔业捕捞压力过大以及鱼类生境丧失导致的群落稳定性降低有关^[22]。优势种组成中，龙头鱼为唯一全年优势种，其他优势种中，除春季的宽体舌鳎($IRI=1\ 032.05$)、夏季的小黄鱼($IRI=10\ 497.32$)和带鱼($IRI=1\ 075.35$)、秋冬季的风鲚($IRI=1\ 371.62$)和棘头梅童鱼($IRI=1\ 100.41$)外，其余优势鱼种皆为经济价值较低的种类(如六丝矛尾虾虎鱼、刺鲃等)。各季节优势种的生物量占比皆超过50%，夏秋冬3季超过60%，这充分体现了目前马鞍列岛及其东部海域鱼类群落结构简单、优势种组成单一、群落结构不稳定，这在以往的东海区和长江口也有过报道^[23-24]。传统优势经济鱼类带鱼和小黄鱼仅在夏季成为优势种，其余各季节渔获比例均不足5%。这可能是由于研究区域处于带鱼和小黄鱼的产卵洄游场，而夏季航次(8月)是带鱼和小黄鱼的产卵的密集期，且处于东海禁渔期，调查中小黄鱼和带鱼被较多捕获。而春季，秋季和冬季，研究区域作业渔船较多，大部分站点受捕捞生产的干扰较大，导致调查中带鱼和小黄鱼产量较低。

汪振华等^[10]曾对马鞍列岛岩礁生境鱼类群落进行过研究，刺网调查结果显示全年共采集优势鱼类20种，其底层和近地层优势种累计15种

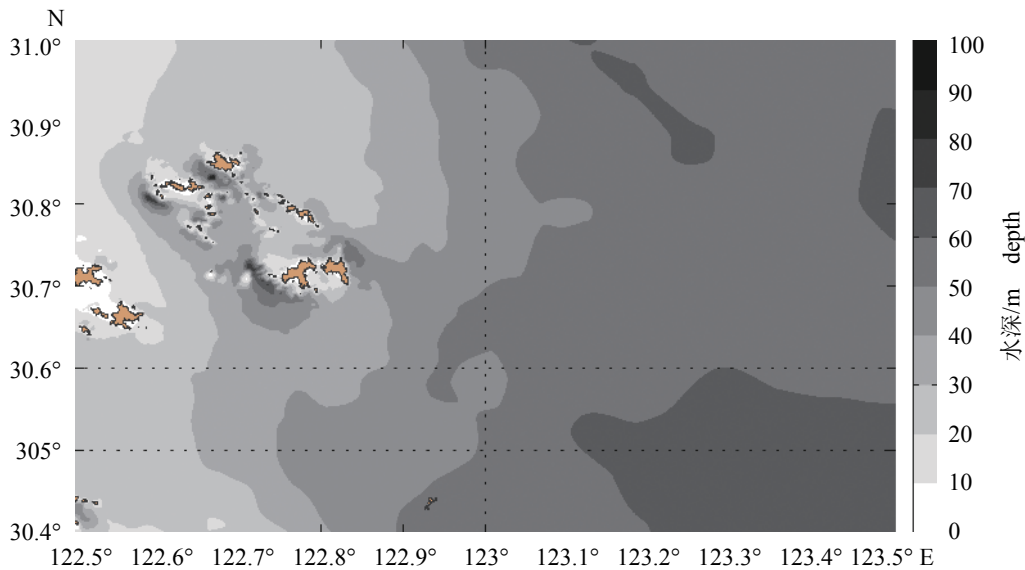


图6 马鞍列岛及其东部海域水深分布图

Fig. 6 Water depth distribution in Ma'an Archipelago and its eastern waters

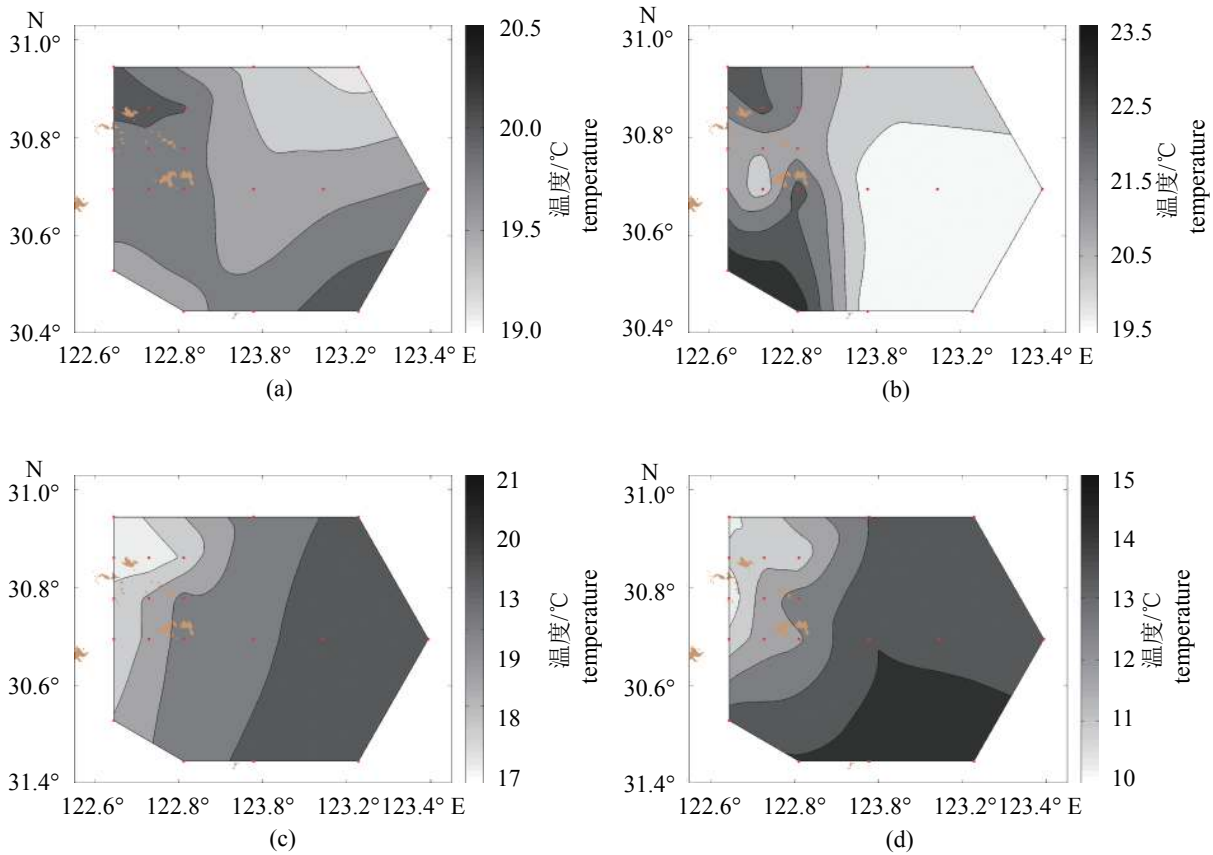


图7 马鞍列岛及其东部海域底层水温分布图

Fig. 7 Bottom temperature distribution in Ma'an Archipelago and its eastern waters

高于本研究的9种;从优势种的组成上看,有褐菖鲉(*Sebastes marmoratus*)、斑头鱼(*Hexagrammos agrammus*)、褐牙鲂(*Paralichthys olivaceus*)、黄鲛鲷、黄姑鱼(*Nibea albiflora*)和小黄鱼等为主要优势种类,与本研究的结果差异明显,仅小黄鱼一种为共有优势种。造成这种差别的主要原因是采样地点的离岸距离不同。徐胜南等^[25]认为对于岛礁区常见的鱼类^[26],刺网较适合采集需接触固体的鱼类,而拖网则较适合采集不需要接触固体鱼类。本研究中,岛礁海域附近站点80%以上拖网在距离岸线500~600 m左右的海域拖曳。对比汪振华等^[10]和徐胜男等^[25]的研究,以小黄鱼为主的石首鱼科鱼类和以舌鳎类为主的鳎形目鱼类在刺网和拖网中都有捕获,说明这些鱼类对岛礁海域可能是全海域利用,而刺网中的优势种褐菖鲉等岩礁性鱼类在拖网中几乎没有捕获,则说明其可能仅利用岛礁海域的岩礁生境,拖网中的优势种龙头鱼等在刺网中很少被捕获,说明其可能主要利用岛礁海域开阔水域部分。因此,本研究得到的结果仅能代表

基于拖网数据下的底层鱼类群落结构。全面客观的评价研究区域的渔业资源群落组成可能需要结合同期的组合刺网调查。

3.2 群落分布时空格局及群落组成差异

马鞍列岛及其东部海域鱼类群落时空分布差异显著。时间上,春夏秋3季,渔业资源主要分布在岛礁周边,生物量随离岸距离增加呈逐步降低趋势;冬季则相反,外围开阔海域生物量要高于近岸岛礁周围的生物量。造成这种现象的主要因素可能是鱼类的季节性洄游^[27]。该海域渔获优势种中包含了典型的河口洄游性鱼类(如凤鲚)、近海洄游鱼类(如龙头鱼和棘头梅童鱼等)和季节性洄游鱼类(如小黄鱼和带鱼等)。优势种的季节性洄游对群落格局影响巨大。渔获数据显示,春夏季大个体龙头鱼进入研究区域的岛礁海域产卵繁殖,秋季(11月)产卵群体则洄游至外海越冬,这与罗海舟等^[28]对浙江沿岸龙头鱼生长和洄游的研究结论相符;小黄鱼和带鱼等季节性洄游种,主要选择夏季洄游至研究区域进行产卵繁殖^[29-30];凤鲚等河口洄游种7月左右

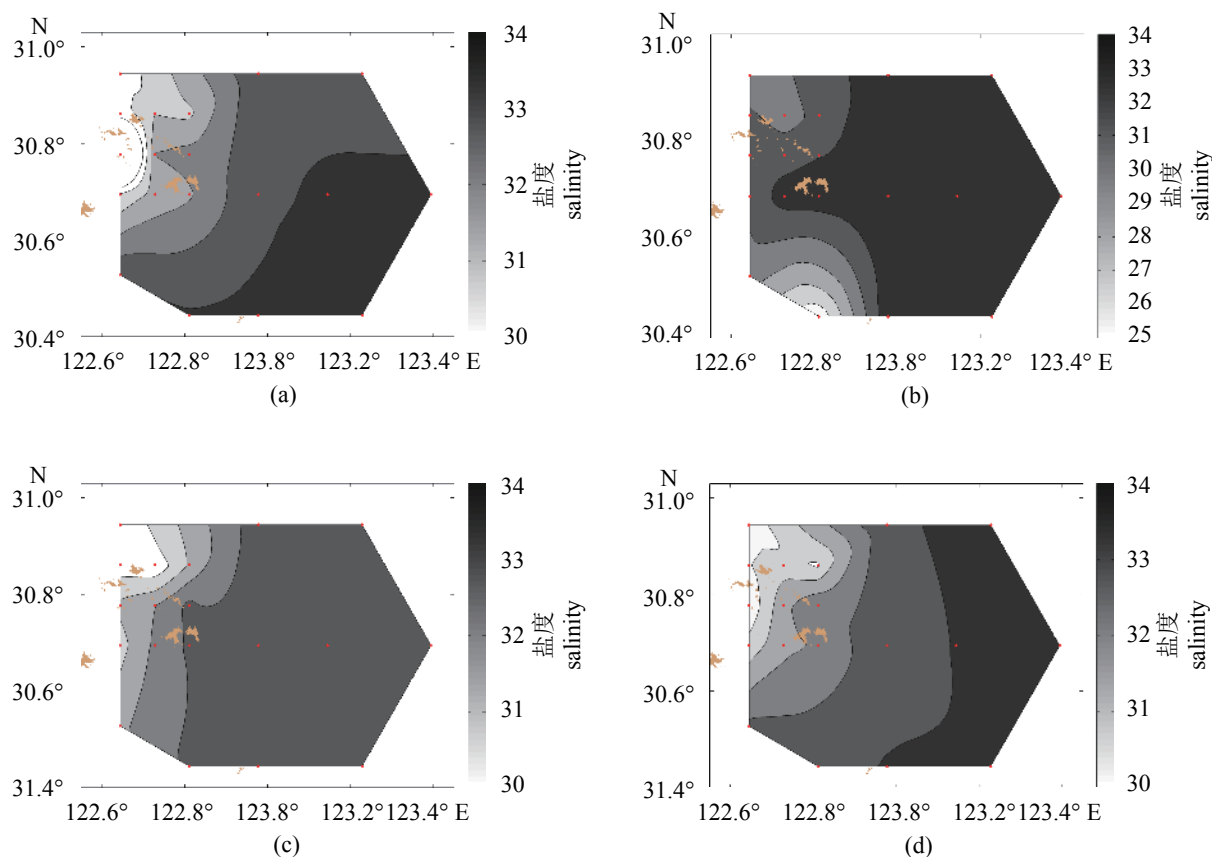


图8 马鞍列岛及其东部海域底层盐度分布图

(a)春季; (b)夏季; (c)秋季; (d)冬季

Fig. 8 The bottom salinity distribution in Ma'an Archipelago and its eastern waters

(a) spring; (b) summer; (c) autumn; (d) winter

在河口完成产卵, 11月左右幼鱼离开河口进入近海^[24, 31]。上述优势鱼类对研究区的季节性利用模式存在差异, 不同季节研究区鱼类组成差异明显, 这其中伴随着鱼类的迁入和迁出, 从而主导了马鞍列岛及其东部海域的鱼类群落季节动态。

空间上的差异反映的是鱼类集合群落状态, 而生物的个体粒径和扩散方式则可以确定群落的集合状态^[32]。比较同一季节不同站位组鱼类个体平均体质量大小, 春季、秋季和冬季3个站位组鱼类平均体质量呈现组I<组II<组III, 夏季组I和组II平均体质量基本相同。对各采样站点鱼类平均个体质量进行研究发现, 鱼类平均体质量较小的站点也主要集中在组I(如春季S7站、夏季S3站和秋季S8站)。组I部分站位出现了低生物量高丰度的现象如春季S11和S8站点、夏季S3和S4站点等, 说明这些站点的鱼类组成中, 幼鱼比例较高。对于优势种而言, 春季怀卵待产的

宽体舌鳎主要分布于岛礁周边; 夏季和秋季, 在组I捕获的龙头鱼、小黄鱼和棘头梅童鱼等优势种通常都是体质量较小的个体, 而在组III捕获的通常为体质量较大的成鱼。因此, 对于以优势鱼类为主的大部分鱼类而言, 本研究结果可以初步揭示岛礁海域的生态功能更侧重于产卵场和育幼场, 而外围的开阔海域则更侧重于成鱼的栖息。

不同季节各站为组间的ANOSIM分析显示, 除春季组I与组III、组II与组III外, 各季节不同站位组之间鱼类群落格局皆存在显著差异。鱼类组成的空间分布差异与各海洋理化因子和环境特征密切相关^[33]。组I典型种主要以凤鲚、棘头梅童鱼等浅海短距离洄游种为主, 这些种类喜栖息在河口咸淡水交汇处, 适温、适盐范围广^[31, 34]; 组II典型种主要为带鱼和六丝矛尾虾虎鱼等; 组III典型种以刺鲳、蜂鲐和黄鲫等, 这些种类一般栖息水层较深^[35-36]。各站位组内的典型

种通常也是各站位之间一定程度的分歧种,如小黄鱼,龙头鱼和细条天竺鲷等。进一步分析显示,各站位组的典型种和组间的分歧种通常为其对应站位组内的优势种,这些种类在不同站位组间的相对丰度往往有着显著差异,这一方面与栖息环境本身的差异有关,另一方面与这些典型种和分歧种利用研究区域生境存在明显的时差有关。因此各站位组内鱼类组成不同及主要优势种类分布的丰度差异共同导致了鱼类群落结构的时空差异。

3.3 环境因子对鱼类群落格局的影响

通过对4个季节鱼类丰度与水深、底层水温、底层盐度以及3个因子组合的BIOENV分析可以看出,水温对群落结构的影响最大。水温影响着鱼类个体的新陈代谢能力,主导了鱼类生殖产卵,群体补充和迁移洄游^[37],因此成为影响群落的重要因子之一。但BIOENV的分析中,代表水温对群落影响的 R 值并不高(春季 $R=0.266$ 、秋季 $R=0.045$ 、冬季 $R=0.126$),显然水温等环境因子只能在一定程度上解释群落格局差异的形成原因。渔获物中的中低营养级的种类较多,因此初级生产力可能成为对群落格局产生影响的一个因素。据李国胜等^[38]研究可知,研究区内叶绿素浓度自岛礁海域向外围开阔水域方向呈递减趋势。春夏季,岛礁海域周围浮游动植物浓度较高^[39],日本鳀(*Engraulis japonicus*)、六丝矛尾虾虎鱼等幼鱼大量出现,而这些鱼类则是小黄鱼^[40]和皮氏叫姑鱼^[41]等的重要饵料生物。秋冬季,水温降低,海水垂直混合较好,研究区空间叶绿素浓度差异减低,且鱼类随个体成长,其主要摄食对象逐步转向小型虾蟹和其他小型鱼类^[42],岛礁海域饵料场的作用降低,春夏季鱼类群落中的主要优势种如小黄鱼和带鱼等逐渐洄游至外海进行越冬,而鱼类群落的主体则补充进了夏季溯河洄游的风鲚等种类,导致鱼类群落组成发生巨大的变化。另外,复杂的栖息地结构对鱼类群落的影响也不容忽视。栖息地的空间异质性会在较大程度上影响群落生态功能^[33],且物种丰富度通常随栖息地复杂程度增加而增加^[43]。本研究中,岛礁生境在春夏秋皆表现出了最高的生物量和丰度,这与岛礁海域的空间异质性较大密不可分。调查期间发现,岛礁海域岛屿周边具有多种生境类型,如岩礁、贻贝场、人

工鱼礁和海藻场等。岩礁和人工鱼礁已经被证实具有较高的生物支持作用,恋礁性鱼类和近礁性鱼类多聚集于此^[44-45]。贻贝场和海藻场为鱼类提供了良好的摄食和产卵场,尤其是幼小鱼类^[46]。

4 结论

通过对马鞍列岛及其东部海域渔业资源空间分布及其与环境因子相关性分析,可以得到以下3个结论:①马鞍列岛及其东部海域鱼类群落主要可以分为3个站位组:组I、组II和组III,组I主要分布在岛礁周边,其渔业资源主要以鱼类幼体为主,组III主要分布在外围开阔水域,其鱼类组成中成鱼比例较大,而组II空间上处在二者中间;②鱼类群落空间差异主要是由于各站位组间鱼类种类不同和优势种类数量差异造成的;③底层水温、底层盐度和水深3个环境因子中,底层水温对马鞍列岛及其东部海域渔业资源群落格局影响最大。

感谢上海海洋大学赵旭老师、周曦杰博士和赵静博士在论文完成过程中,杨路在数据处理中,钟佳明、程晓鹏、向晨、李朝文、肖云松等在现场采样和实验过程中的帮助!

参考文献:

- [1] Bie T D, Meester L D, Brendonck L, et al. Body size and dispersal mode as key traits determining metacommunity structure of aquatic organisms[J]. Ecology Letters, 2012, 15(7): 740-747.
- [2] 陈国宝,李永振,陈新军.南海主要珊瑚礁水域的鱼类物种多样性研究[J].生物多样性,2007,15(4):373-381. Chen G B, Li Y Z, Chen X J. Species diversity of fishes in the coral reefs of South China Sea[J]. Biodiversity Science, 2007, 15(4): 373-381(in Chinese).
- [3] 李永振,史赞荣,艾红,等.南海珊瑚礁海域鱼类分类多样性大尺度分布格局[J].中国水产科学,2011,18(3):619-628. Li Y Z, Shi Y R, Ai H, et al. Large scale distribution patterns of taxonomic diversity of fish in coral reef waters, South China Sea[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2011, 18(3): 619-628(in Chinese).
- [4] 李建生,程家骅.长江口渔场渔业生物资源动态分析[J].海洋渔业,2005,27(1):33-37.

- Li J S, Cheng J H. Analysis on the dynamic of fishery biological resources on the fishing grounds of the Changjiang estuary[J]. *Marine Fisheries*, 2005, 27(1): 33-37(in Chinese).
- [5] 于海成. 长江口及邻近海域鱼类群落结构分析[D]. 青岛: 中国科学院研究生院(海洋研究所), 2008.
- Yu H C. Fish community structure in the Changjiang Estuary and adjacent waters[D]. Qingdao: The Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences (Ocean Research Institute), 2008(in Chinese).
- [6] 程济生. 东、黄海冬季底层鱼类群落结构及其多样性[J]. *海洋水产研究*, 2000, 21(3): 1-8.
- Cheng J S. The structure and diversity of demersal fish communities in winter in the East China Sea and the Yellow Sea[J]. *Marine Fisheries Research*, 2000, 21(3): 1-8(in Chinese).
- [7] 刘勇, 李圣法, 陈学刚, 等. 东、黄海2000年冬季底层鱼类群落结构及其多样性[J]. *海洋科学*, 2007, 31(10): 19-24.
- Liu Y, Li S F, Chen X G, *et al.* The structure and diversity of demersal fish communities in winter 2000 in the East China Sea and the Yellow Sea[J]. *Marine Sciences*, 2007, 31(10): 19-24(in Chinese).
- [8] 俞存根, 陈全震, 陈小庆, 等. 舟山渔场及邻近海域鱼类种类组成和数量分布[J]. *海洋与湖沼*, 2010, 41(3): 410-417.
- Yu C G, Chen Q Z, Chen X Q, *et al.* Species composition and quantitative distribution of fish in the Zhoushan fishing ground and its adjacent waters[J]. *Oceanologia Et Limnologia Sinica*, 2010, 41(3): 410-417(in Chinese).
- [9] 程家骅, 丁峰元, 李圣法, 等. 夏季东海北部近海鱼类群落结构变化[J]. *自然资源学报*, 2006, 21(5): 775-781.
- Cheng J H, Ding F Y, Li S F, *et al.* Changes of fish community structure in the coastal zone of the northern part of East China Sea in summer[J]. *Journal of Natural Resources*, 2006, 21(5): 775-781(in Chinese).
- [10] 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.
- 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(in Chinese).
- [11] 汪振华, 赵静, 王凯, 等. 马鞍列岛岩礁生境鱼类群落结构时空格局[J]. *生态学报*, 2013, 33(19): 6218-6226.
- Wang Z H, Zhao J, Wang K, *et al.* Fish community ecology in rocky reef habitat of Ma'an Archipelago II. Spatio-temporal patterns of community structure[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2013, 33(19): 6218-6226(in Chinese).
- [12] 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.
- 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(in Chinese).
- [13] Khalaf M A, Kochzius M. Changes in trophic community structure of shore fishes at an industrial site in the gulf of aqaba, Red Sea[J]. *Marine Ecology Progress Series*, 2002, 239: 287-299.
- [14] Clarke K R, Warwick R M. *Change in Marine Communities: An Approach to Statistical Analysis and Interpretation*[M]. 2nd ed. Plymouth, UK: Primer-E Ltd, 2001.
- [15] Clarke K R. Non-parametric multivariate analyses of changes in community structure[J]. *Australian Journal of Ecology*, 1993, 18(1): 117-143.
- [16] Clarke K R, Gorley R N. *Primer v6: User Manual/Tutorial*[M]. Plymouth: Primer-E, 2006.
- [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] 单秀娟, 金显仕. 长江口近海春季鱼类群落结构的多样性研究[J]. *海洋与湖沼*, 2011, 42(1): 32-40.
- Shan X J, Jin X S. Diversity of fish community structure in the spring-time offshore waters at the Yangtze River estuary[J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2011, 42(1): 32-40(in Chinese).
- [19] Meglen R R. Examining large databases: a chemometric approach using principal component analysis[J]. *Marine Chemistry*, 1992, 39(3): 163-179.
- [20] Clarke K R, Gorley R N. *Primer v5: User Manual/Tutorial*[M]. Plymouth: Primer-E, 2001.
- [21] Dubitzky W, Wolkenhauer O, Cho K H, *et al.* *Encyclopedia of systems biology* [M]. New York: Springer, 2013: 1189-1189.
- [22] 程炎宏, 樊伟. 东海区海洋捕捞产量的时间序列分析

- 研究[J]. 中国水产科学, 2001, 8(3): 31-34.
- Cheng Y H, Fan W. Study of time-serial analysis of marine capture yield in East China Sea region[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2001, 8(3): 31-34(in Chinese).
- [23] 沈金鳌, 程炎宏. 东海深海底层鱼类群落及其结构的研究[J]. 水产学报, 1987, 11(4): 293-306.
- Shen J A, Cheng Y H. A study on the deep sea demersal fish communities and their structures in the East China Sea[J]. Journal of Fisheries of China, 1987, 11(4): 293-306(in Chinese).
- [24] 张涛, 庄平, 章龙珍, 等. 长江口近岸鱼类种类组成及其多样性[J]. 应用与环境生物学报, 2010, 16(6): 817-821.
- Zhang T, Zhuang P, Zhang L Z, *et al.* Composition and diversity of fish species in the coast of the Yangtze River Estuary[J]. Chinese Journal of Applied & Environmental Biology, 2010, 16(6): 817-821(in Chinese).
- [25] 徐胜南, 汪振华, 梁金玲, 等. 不同网具在人工鱼礁水平方向上诱集效果的比较[J]. 水产学报, 2016, 40(5): 820-831.
- Xu S N, Wang Z H, Liang J L, *et al.* Use of different sampling tools for comparison of fish-aggregating effects along horizontal transect at two artificial reef sites in Shengsi[J]. Journal of Fisheries of China, 2016, 40(5): 820-831(in Chinese).
- [26] 陈勇, 郑小贤, 朱敬博, 等. 人工鱼礁区鱼类和大型无脊椎动物的调查方法[J]. 水产科学, 2008, 27(6): 316-319.
- Chen Y, Zheng X X, Zhu J B, *et al.* Assessing methods of fish and macroinvertebrate in artificial reef areas[J]. Fisheries Science, 2008, 27(6): 316-319(in Chinese).
- [27] 李圣法, 程家骅, 严利平. 东海大陆架鱼类群落的空间结构[J]. 生态学报, 2007, 27(11): 4377-4386.
- Li S F, Cheng J H, Yan L P. Spatial structures of fish communities on the continental shelf of the East China Sea[J]. Acta Ecologica Sinica, 2007, 27(11): 4377-4386(in Chinese).
- [28] 罗海舟, 张华东, 李鹏飞, 等. 东海区龙头鱼数量分布与渔业生物学现状分析[J]. 浙江海洋学院学报(自然科学版), 2012, 31(3): 202-205, 233.
- Luo H Z, Zhang H D, Li P F, *et al.* Analysis of the current situation of fishery biology of *Harpodon nehereu* in the East China Sea[J]. Journal of Zhejiang Ocean University (Natural Science), 2012, 31(3): 202-205, 233(in Chinese).
- [29] 农牧渔业部水产局. 东海区渔业资源调查和区划[M]. 上海: 华东师范大学出版社, 1987.
- Fishery Bureau of Ministry of Agriculture. Investigation and division of fisheries resource of the East China Sea[M]. Shanghai: East China Normal University Press, 1987(in Chinese).
- [30] 凌建忠, 李圣法, 严利平. 东海区主要渔业资源利用状况的分析[J]. 海洋渔业, 2006, 28(2): 111-116.
- Ling J Z, Li S F, Yan L P. Analysis on the utilization of main fishery resources in the East China Sea[J]. Marine Fisheries, 2006, 28(2): 111-116(in Chinese).
- [31] 倪勇, 王云龙, 蒋玫, 等. 长江口凤鲚的渔业生物学特性[J]. 中国水产科学, 1999, 6(5): 69-71.
- Ni Y, Wang Y L, Jiang M, *et al.* Biological characteristics of *Coilia mystus* in the Changjiang estuary[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 1999, 6(5): 69-71(in Chinese).
- [32] Shurin J B, Cottenie K, Hillebrand H. Spatial autocorrelation and dispersal limitation in freshwater organisms[J]. Oecologia, 2009, 159(1): 151-159.
- [33] Kostylev V E, Erlandsson J, Ming M Y, *et al.* The relative importance of habitat complexity and surface area in assessing biodiversity: fractal application on rocky shores[J]. Ecological Complexity, 2005, 2(3): 272-286.
- [34] 杨刚, 张涛, 庄平, 等. 长江口棘头梅童鱼幼鱼栖息地的初步评估[J]. 应用生态学报, 2014, 25(8): 2418-2424.
- Yang G, Zhang T, Zhuang P, *et al.* Preliminary assessment of habitat of juvenile *Collichthys lucidus* in the Yangtze estuary[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2014, 25(8): 2418-2424(in Chinese).
- [35] 胡芬, 严利平. 东海刺鲳资源状况及数量分布[J]. 海洋渔业, 2006, 28(2): 99-104.
- Hu F, Yan L P. The resource status and biomass distribution of wart perch *Psenopsis anomala* in the East China Sea[J]. Marine Fisheries, 2006, 28(2): 99-104(in Chinese).
- [36] 刘勇, 程家骅, 李圣法. 东海区黄鲫数量分布特征的分析研究[J]. 海洋渔业, 2004, 26(4): 255-260.
- Liu Y, Cheng J H, Li S F. A study on the distribution of *Setipinna taty* in the East China Sea[J]. Marine Fisheries, 2004, 26(4): 255-260(in Chinese).
- [37] Attrill M J, Power M. Partitioning of temperature

- resources amongst an estuarine fish assemblage[J]. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 2004, 61(4): 725-738.
- [38] 李国胜, 王芳, 梁强, 等. 东海初级生产力遥感反演及其时空演化机制[J]. 地理学报, 2003, 58(4): 483-493.
Li G S, Wang F, Liang Q, *et al.* Estimation of ocean primary productivity by remote sensing and introduction to spatio-temporal variation mechanism for the East China Sea[J]. Acta Geographica Sinica, 2003, 58(4): 483-493(in Chinese).
- [39] 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.
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(in Chinese).
- [40] 王凯, 章守宇, 汪振华, 等. 马鞍列岛海域小黄鱼的食性[J]. 水生生物学报, 2012, 36(6): 1188-1192.
Wang K, Zhang S Y, Wang Z H, *et al.* Feeding habits of small yellow croaker *Larimichthys polyactis* off Ma'an archipelago[J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2012, 36(6): 1188-1192(in Chinese).
- [41] 王凯, 章守宇, 汪振华, 等. 马鞍列岛海域皮氏叫姑鱼渔业生物学初步研究[J]. 水产学报, 2012, 36(2): 228-237.
Wang K, Zhang S Y, Wang Z H, *et al.* A preliminary study on fishery biology of *Johnius belangerii* off Ma'an Archipelago[J]. Journal of Fisheries of China, 2012, 36(2): 228-237(in Chinese).
- [42] 颜云榕, 陈骏岚, 侯刚, 等. 北部湾带鱼的摄食习性[J]. 应用生态学报, 2010, 21(3): 749-755.
Yan Y R, Chen J L, Hou G, *et al.* Feeding habits of *Trichiurus lepturus* in Beibu Gulf of South China Sea[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2010, 21(3): 749-755(in Chinese).
- [43] Nanami A, Nishihira M. Effects of habitat connectivity on the abundance and species richness of coral reef fishes: comparison of an experimental habitat established at a rocky reef flat and at a sandy sea bottom[J]. Environmental Biology of Fishes, 2003, 68(2): 183-196.
- [44] Barros F. Evaluating the importance of predation on subtidal benthic assemblages in sandy habitats around rocky reefs[J]. Acta Oecologica, 2005, 27(3): 211-223.
- [45] 汪振华, 章守宇, 王凯, 等. 三横山人工鱼礁区鱼类和大型无脊椎动物诱集效果初探[J]. 水产学报, 2010, 34(5): 751-759.
Wang Z H, Zhang S Y, Wang K, *et al.* A preliminary study on fish and macroinvertebrate enhancement in artificial reef area around Sanheng Isle, Shengsi, China[J]. Journal of Fisheries of China, 2010, 34(5): 751-759(in Chinese).
- [46] Guidetti P. Differences among fish assemblages associated with nearshore *Posidonia oceanica* seagrass beds, rocky-algal reefs and unvegetated sand habitats in the adriatic sea[J]. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 2000, 50(4): 515-529.

Fish community structure and its relationship with environmental factors in the Ma'an Archipelago and its eastern waters

HAN Xudong¹, ZHANG Shouyu^{1*}, WANG Zhenhua¹, WANG Kai¹,
LIN Jun^{1*}, DENG Mingxing², WU Xingchen¹

(1. College of Marine Ecology and Environment, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;

2. East Sea Information Center, State Oceanic Administration, Shanghai 200136, China)

Abstract: To study the fish community structure in islands area, a fishery-independent survey was conducted in August and December of 2016, February and May of 2017. The cluster analysis, nonmetric multidimensional scaling (nMDS) and biological environment correlation analysis (BIOENV) were used to study the composition of fish community in our study area. A total of 96 species were collected, which belonged to 77 genera, 47 families and 12 orders. The Perciformes has maximum ratio, which accounted for more than 50% of their biomass and abundance. *Harpadon nehereus* was the dominant species throughout the year. In addition, the dominant species in spring were *Psenopsis anomala*, *Collichthys niveatus*, and *Cynoglossus robustus*; the dominant species in summer were *Larimichthys polyactis*, *Trichiurus lepturus*, and *Chaeturichthys hexanema*; the dominant species in autumn and winter were *Collichthys lucidus* and *Coilia mystus*. The fish community in the Ma'an Archipelago and its eastern waters can be divided into group I (the sites surrounding island and reef), group II (the sites adjacent to reef), and group III (the sites far off island and reef). There were significant differences in species composition between groups, and seasons ($R=0.651\sim 0.977$), except the spring group I and group III, group II and group III. BIOENV analysis showed that the bottom water temperature had the most significant impact on the fish community compared to bottom salinity and water depth.

Key words: fishery resources; community pattern; cluster; correlation analysis; Ma'an Archipelago

Corresponding author: ZHANG Shouyu. E-mail: syzhang@shou.edu.cn; LIN Jun. E-mail: jlin@shou.edu.cn

Funding projects: Special Fund for Agro-scientific Research in the Public Interest (201303047); Shengsi Marine and Fishery Bureau Commissioned Project (D-8005-16-8020, D-8006-17-0078)