

嵊泗马鞍列岛邻近海域鱼类和甲壳类群落结构的季节变化



张子硕¹, 许永久^{1*}, 张秀梅¹, 陈 峰², 周永东², 徐开达²,
张亚洲², 张洪亮², 李庆英¹, 刘万金¹, 俞 佳¹

1. 浙江海洋大学水产学院,浙江舟山 316022; 2. 浙江省海洋水产研究所,浙江舟山 316021

第一作者: 张子硕, 从事渔业资源研究, E-mail: w2486683392@163.com



摘要:

【目的】嵊泗马鞍列岛附近海域自然条件复杂, 是众多鱼类与甲壳类生物的产卵场、索饵场和洄游通道。为了研究环境因子、季节性休渔等因素对鱼类和甲壳类群落结构季节动态演替的影响。

【方法】本研究根据 2021 年 4 个季度在浙江嵊泗马鞍列岛邻近海域的鱼类和甲壳类的调查数据, 利用单因素方差分析 (ANOVA)、相似性百分比分析 (SIMPER) 和非参数多因素方差分析 (PERMANOVA) 等方法研究两个类群的平均资源密度和平均个体大小的季节变化。利用 RDA 分析研究休渔、环境等因子与两个类群功能特征之间的关系。

【结果】本次调查发现的物种共 103 种, 其中鱼类 53 种、甲壳类 50 种, 优势种包括龙头鱼、凤鲚、带鱼、小黄鱼和棘头梅童鱼共 5 种鱼类以及口虾蛄、三疣梭子蟹和日本蟳共 3 种甲壳类。鱼类和甲壳类(平均资源密度和平均个体大小)群落结构组成均具有极显著的季节差异, 均不具有显著的区域差异。鱼类和甲壳类平均资源密度均大致呈现由春季增加至秋季高峰, 后缓慢递减到冬季的趋势; 平均个体大小则呈现春季最小, 其他季节较大, 尤其夏季最大的趋势。RDA 分析结果表明, 捕捞压力是显著影响鱼类与甲壳类平均资源密度和平均个体大小季节变化的主要因素 (RDA 第一轴), 鱼类与甲壳类功能特征季节变化与休渔引起的捕捞压力及环境因子的关系密切。

【结论】禁渔和环境因子对渔业生态系统功能特征(数量和个体大小)具有显著影响, 需要进一步加强对功能特征长期变化研究。本研究成果可为海洋保护区的评价和渔业资源的可持续利用提供参考。

关键词: 群落结构; 季节变化; 禁渔; 环境因子; 嵊泗海域; 马鞍列岛

通信作者: 许永久, 博士, 副教授, 中国水产学会会员, 日本海洋学会会员。主要从事渔业资源与生态、渔业信息化和渔业遥感相关研究。E-mail: xuyongjiu@zjou.edu.cn



资助项目: 浙江省自然科学基金(LY20C030004); 浙江省重点研发计划(2021C02047)

收稿日期: 2023-07-05
修回日期: 2023-12-07

文章编号:
1000-0615(2025)05-059308-14
中图分类号: S 932.2
文献标志码: A

作者声明本文无利益冲突

©《水产学报》编辑部(CC BY-NC-ND 4.0)
Copyright © Editorial Office of Journal of Fisheries of China (CC BY-NC-ND 4.0)

近数十年来, 浙江近海渔业生物群落结构发生了较大变化, 过度捕捞是其中主要的因素^[1-3]。过度捕捞对渔业生物群落结构的影响表现, 首先为大个体、较高经济价值鱼类减少, 小个体、饵料杂鱼逐渐增多; 其次鱼类资源量减少, 虾蟹等甲壳类增多; 再次, 高营养级渔业生物量减少, 低营养级渔业生物量增多。



嵊泗列岛位于浙江省东北部, 包括嵊泗主岛、嵊山岛、枸杞岛和花鸟岛等, 是中国最大渔场“舟山渔场”的重要组成部分, 水产资源极其丰富, 被誉为“东海鱼仓”。针对该海域的相关研究众多, 如俞存根^[4]、邓小艳^[5]、王甲刚^[6]、梁金玲^[7-8]、汪振华^[9]、韩旭东^[10]等对嵊泗列岛及邻近海域的单类物种组成、生物多样性及数量时空分布进行研究, 上述研究对于深刻理解嵊泗列岛渔业资源群落结构变化起到了重要作用, 但仍缺乏人类活动对鱼类群落结构影响的研究, 尤其缺少季节性捕捞影响的研究。因此, 实验于2021年4月—2022年1月, 在马鞍列岛海洋特别保护区内、外相关海域设置了共12个站位, 进行了渔业拖网监测调查, 研究主要渔业生物(鱼类与甲壳类)的群落结构, 分析功能特征季节变动与季节性休渔、环境因子的关系, 从而探究群落结构功能特征的变化机制。本研究结果可为海洋保护区的评价和渔业资源的可持续利用提供一定的科学依据和参考。

1 材料与方法

1.1 调查区域与站位设置

2021年4月(春季)、8月(夏季)、11月(秋季)和2022年1月(冬季), 租用渔业资源调查船在舟山嵊泗马鞍列岛邻近海域进行了渔业资源调查, 调查方法按照《海洋渔业资源调查规范》(SC/T 9403—2012)进行^[11]。调查站位如图1所示, 共12个固定站位(图1)。考虑到岛礁对

群落的影响, 本研究定义S1~S6为岛礁密集海区(A), S7~S12为岛礁外对照海区(B)。本研究主要针对A、B两个区域进行鱼类和甲壳类功能特征(资源密度和个体大小)的平均值比较研究。渔船总吨位为242 t, 主机功率441 kW, 船体长度36.8 m, 宽度6.8 m。使用单拖网, 网具规格为600目×80 mm, 网囊最小网目尺寸20 mm, 每个站点放网与收网之间的时间间隔约1 h, 平均拖速约3.0 kn。实验过程中操作人员严格遵守实验动物福利伦理国家标准, 并按照相关的规章制度执行。

1.2 数据来源

渔获数据 所有捕获的生物样本均分袋冰鲜存放、标记, 带回实验室进行鉴定、计数、测量、称重和记录, 以上操作均按照海洋调查规范 第6部分: 海洋生物调查(GB/T 12763.6—2007)^[12]和海洋渔业资源调查规范(SC/T 9403—2012)^[11]的要求进行。

环境数据 本研究所选环境数据来自于温盐深仪(CTD)。CTD与拖网调查同步进行, 环境数据采集区域覆盖拖网调查范围。测量数据包括水深(Depth)、表层叶绿素a浓度(SSC)、底层盐度(BSS)和底层温度(BST)。

捕捞压力数据 为量化各季捕捞压力对群落的影响, 利用相对值来表示捕捞压力的大小^[13], 用FP表示。考虑到不同季节的经验捕捞压力程度, 设1年总捕捞压力值为100, 从夏季开始设定累计捕捞压力。夏季捕捞压力接近

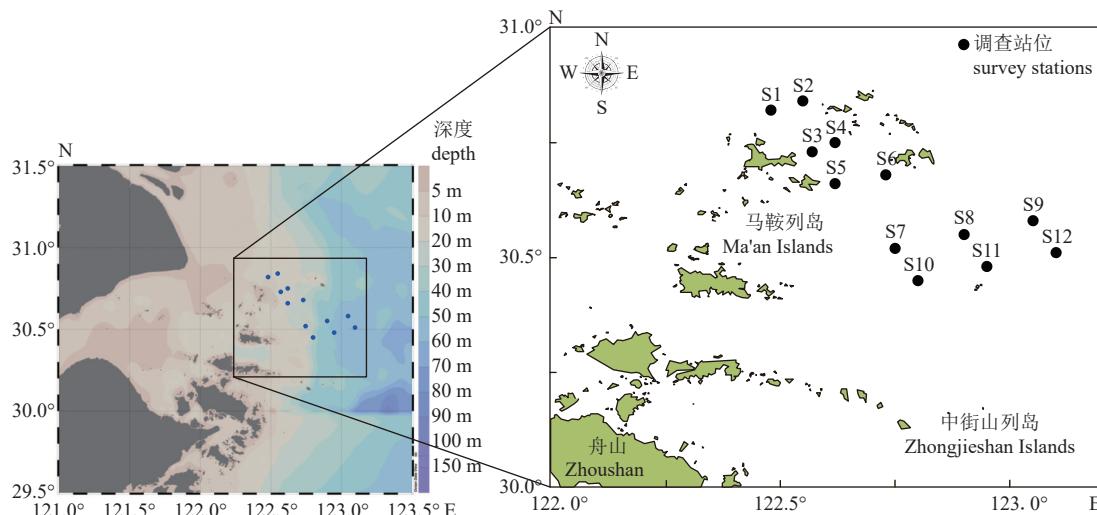


图1 调查站位分布示意图

Fig. 1 Distribution of survey stations

于0, 考虑到8月为部分作业方式开捕季, 且存在跨区域非法捕捞现象, 因此设定夏季压力值为5。秋季捕捞压力迅速增大, 到达秋季的累计捕捞压力值设为50, 到达冬季累计捕捞压力值设为80, 直到来年春季, 整年累计捕捞压力值为100(各季节捕捞压力值, 夏、秋、冬、春分别为5、45、30和20)。

1.3 数据分析

优势度计算 采用相对重要性指数(IRI)^[14]来计算各物种的优势度, 并规定IRI $\geq 1\,000$ 时为优势种^[15], 计算公式:

$$IRI = [(n_i/N + w_i/W) \times f_i/m] \times 10^4 \quad (1)$$

式中, n_i 和 N 分别表示第 i 种物种的数量和该调查总捕获物种数量; w_i 和 W 分别表示第 i 种物种的生物量和该调查总捕获物种生物量; f_i 表示第 i 种物种在总调查站位出现的次数; m 表示总调查站位数。

相对资源密度计算 按照扫海面积法估算, 计算公式:

$$C = \frac{d}{(1-E)a} \quad (2)$$

式中, C 、 d 、 E 和 a 分别表示相对资源密度(相对数量密度: 尾/km²; 相对重量密度: kg/km²或g/km²)、渔获率(单位时间数量: 尾/h; 单位时间重量: kg/h或g/h)、网具捕获率(E 取0.5)和网具的扫海面积(km²/h)。

平均个体大小 采用个体平均重量表示。计算公式:

$$S_i = \frac{W_i}{N_i} \quad (3)$$

式中, S_i 表示 i 物种个体平均重量(g/尾); W_i 表示 i 物种平均资源重量密度(kg/km²或g/km²); N_i 表示 i 物种平均资源数量密度(尾/km²)。

群落结构差异性分析 鱼类与甲壳类群落受到时间(季节)和空间(岛礁内外区域)的共同影响, 可能具有较大空间差异。为了验证二者群落结构的时空差异, 将季节作为随机因子, 将区域作为固定因子, 利用Primer 7软件进行PERMANOVA分析。为验证鱼类与甲壳类群落结构季节变化差异是否显著, 利用SPSS软件进行ANOVA单因素方差分析。为分析鱼类与甲壳类群落各季岛礁内外的相异性, 利用Primer 7软件进行SIMPER分析并统计主要贡献种, 将贡献率 $\geq 4\%$ 定为贡献种^[16-17]。为减小误差, 物种平均资源密度数据均进行lg(x+1)转化, 物种个体平均重量数据均进行开4次方根转化。

RDA冗余分析 为探讨两种生物类群与影响指标(捕捞压力、环境因子等)的关系, 利用Canoco 5软件绘制RDA三变量图, 进行RDA冗余分析。在分析之前, 物种平均资源密度数据、平均个体大小数据、环境数据以及捕捞压力数据均进行对数lg(x+1)转换。且DCA去趋势对应分析结果表明, 轴梯度长度LGA<3, 因此进行RDA较为合适。结果规定相关系数绝对值|R| ≥ 0.4 时, 该变量具有显著意义^[16-17]。

2 结果

2.1 环境因子的季节变化

表1为各季节环境因子平均值变动情况。春季, 岛礁外海域水深较深(平均水深50.0 m)、BSS较高; 岛礁内BST和SSC平均值较高。夏

表1 调查海域四季环境因子

Tab. 1 Environmental factors in four seasons

季节 season	区域 area	SSC/(mg/L)	BST/°C	BSS	depth/m
春 spring	A	5.9±0.7	14.4±0.2	25.3±0.4	23.3±4.7
	B	3.9±2.7	13.6±0.4	26.5±5.1	50.0±7.1
夏 summer	A	1.0±0.4	24.5±0.8	28.8±1.0	20.3±4.2
	B	6.6±3.7	19.8±0.9	31.9±1.3	48.7±6.5
秋 autumn	A	1.2±1.0	20.9±1.8	23.9±6.7	18.0±2.2
	B	2.0±0.9	22.6±0.2	20.1±1.6	49.0±6.2
冬 winter	A	0.8±0.04	12.6±0.2	24.9±0.6	21.0±4.5
	B	0.6±0.02	16.3±0.2	29.3±0.5	51.7±4.8

注: SSC.表层叶绿素a浓度, BST.底层温度, BSS.底层盐度, Depth.水深, 下同。A.岛礁密集海区, B.岛礁外对照海区。

Notes: SSC. surface chlorophyll a concentration, BST. bottom sea temperature, BSS. bottom sea salinity, Depth. water depth, the same below. A. dense sea area of islands and reefs, B. the sea area outside the island and reef.

季, 岛礁外海域水深较深(平均水深48.7 m), BSS、SSC平均值较高。秋季, 岛礁外海域水深较深(平均水深49.0 m), 岛礁外 BST、SSC平均值较高; 岛礁内 BSS 平均值较高。冬季, 岛礁外海域水深较深(平均水深51.7 m), BST、BSS 平均值较高, 岛礁内 SSC 平均值较高(图2, 表1)。综上, 岛礁外海域平均水深较高, 岛礁外春、夏季环境因子变化范围较大, 岛礁内秋、冬季环境因子变化范围较大。ANOVA 单因素方差分析结果显示, BST 季节差异极显著($P<0.01$); SSC 和 BSS 季节差异显著($P<0.05$); 水深季节差异不显著($P>0.05$)(图2)。

2.2 类群组成及其差异性

本次调查共捕获物种103种, 包括鱼类

53种, 甲壳类50种。春夏秋冬分别捕获鱼类30、28、27和34种, 捕获甲壳类23、21、30和27种。四季共有种为20种, 包括龙头鱼(*Harpodon nehereus*)、凤鲚(*Coilia mystus*)、黄鲫(*Setipinna taty*)、银鲳(*Stromateoides argenteus*)、白带鱼(*Trichiurus lepturus*)、半滑舌鳎(*Cynoglossus semilaevis*)、日本竹筍鱼(*Trachurus japonicus*)、棘头梅童鱼(*Collichthys lucidus*)、海鳗(*Muraenesox cinereus*)、小黄鱼(*Larimichthys polyactis*)、六丝钝尾虾虎鱼(*Chaeturichthys hexanema*)、葛氏长臂虾(*Palaemon gravieri*)、东海红虾(*Plesionika izumiae*)、日本鼓虾(*Alpheus japonicus*)、口虾蛄(*Oratosquilla oratoria*)、中华管鞭虾(*Solenocera crassicornis*)、细巧仿对虾

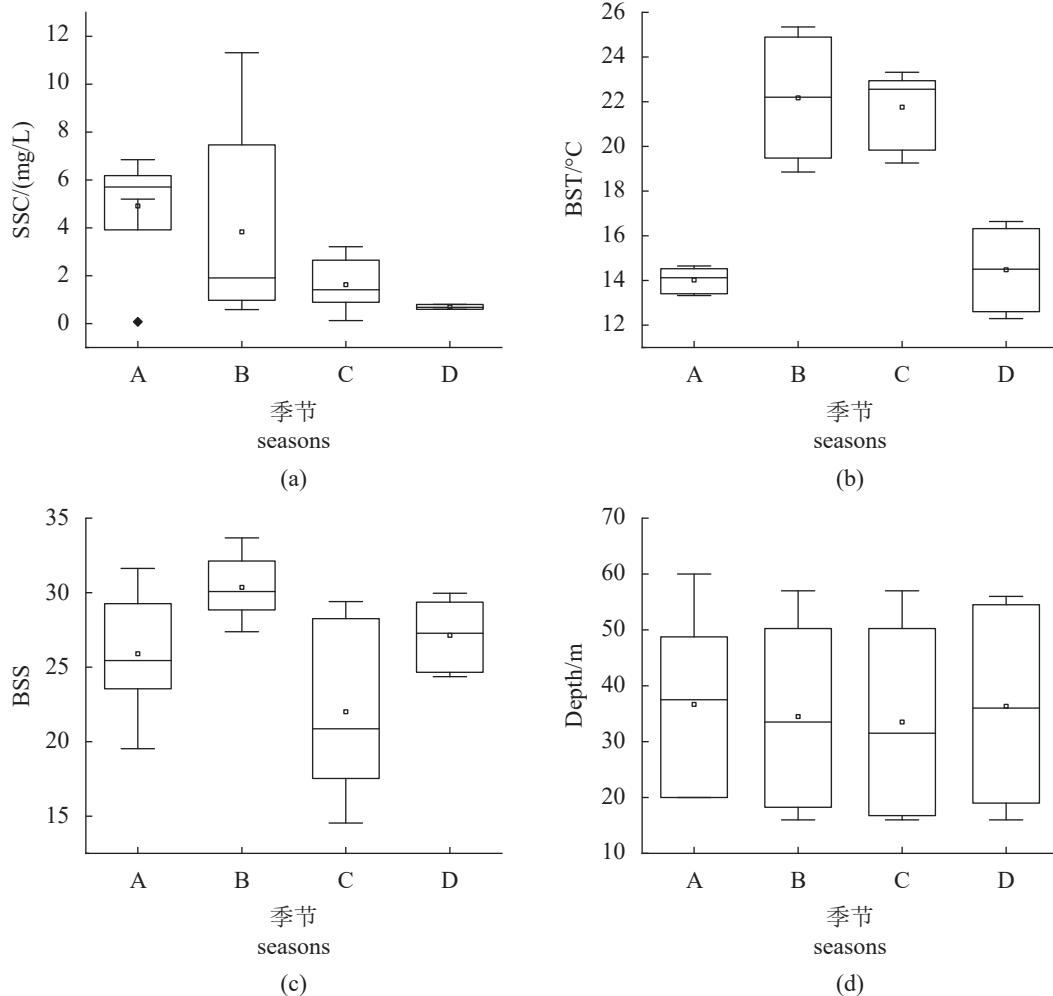


图2 环境因子季节变化箱式图

A 春季, B 夏季, C 秋季, D 冬季, 下同。

Fig. 2 Box plot of seasonal changes in environmental factors

A. spring, B. summer, C. autumn, D. winter, the same below.

(*Parapenaeopsis tenella*)、中国毛虾 (*Acetes chinensis*)、三疣梭子蟹 (*Portunus tri tuberculatus*)、日本蟳 (*Charybdis japonica*) 和双斑蟳 (*C. bimaculata*)，共 11 种鱼类、10 种甲壳类。岛礁外总种数以及平均种数均大于岛礁内，岛礁内外总种数与平均种数差异不显著 (*t* 检验，

$P>0.05$)。优势种包括龙头鱼、凤鲚、带鱼、小黄鱼和棘头梅童鱼以及口虾蛄、三疣梭子蟹和日本蟳(表 2)。龙头鱼为四季共有优势种，且其 IRI 指数最大。马鞍列岛保护区附近海域夏季独有优势种最多，春季无独有优势种。

表 2 调查海域优势种组成

Tab. 2 Dominant species composition in the research area

季节 season	物种 species	平均资源密度/(尾/km ²) average abundance	资源密度占比/% N	相对重要性指数 IRI
春季 spring	龙头鱼 <i>H. nehereus</i>	1 152	12.1	4 480.2
	凤鲚 <i>C. mystus</i>	1 848	19.4	2 435.6
	口虾蛄 <i>O. oratoria</i>	756	7.9	1 735.2
夏季 summer	龙头鱼 <i>H. nehereus</i>	2 292	11.5	2 588.3
	带鱼 <i>T. lepturus</i>	756	3.8	1 933.9
	小黄鱼 <i>L. polyactis</i>	3 948	19.8	3 691.3
秋季 autumn	日本蟳 <i>C. japonica</i>	1 740	8.7	1 183.0
	龙头鱼 <i>H. nehereus</i>	9 732	28.9	3 399.0
	口虾蛄 <i>O. oratoria</i>	3 504	10.4	1 164.6
冬季 winter	三疣梭子蟹 <i>P. tuberculatus</i>	3 708	11.0	2 112.8
	龙头鱼 <i>H. nehereus</i>	7 380	22.4	6 061.1
	棘头梅童鱼 <i>C. lucidus</i>	1 188	3.6	1 072.3
	凤鲚 <i>C. mystus</i>	4 032	12.3	1 515.7
	口虾蛄 <i>O. oratoria</i>	3 240	9.8	2 040.9

SIMPER 分析结果表明，季节差异方面，春、夏季相异性最高，为 68.1%；春、秋季相异性为 66.3%；春、冬季相异性为 56.83%；夏、秋季相异性为 67.8%；夏、冬季相异性为 64.9%；秋、冬季相异性最低，为 52.4%。小黄鱼是春夏组(I & II)、夏秋组(II & III)和夏冬组(II & IV)的共同贡献种，秋冬组无贡献种。区域差异方面，秋季岛礁内外(IX & X)相异性最高，为 56.6%；春季岛礁内外(V & VI)相异性为 52.6%；夏季岛礁内外(VII & VIII)相异性为 53.2%；冬季岛礁内外(XI & XII)相异性最低，为 44.5%(表 3)。凤鲚是春、冬季岛礁内外差异的共同贡献种。综上，调查海域季节之间差异性大于区域之间差异性，贡献种贡献率普遍较低。不同季节以及区域之间的差异性中，鱼类贡献种数量高于甲壳类贡献种。

2.3 游泳动物时空分布差异

PERMANOVA 分析 游泳动物群落平均资源密度与平均个体大小季节和区域差异的

PERMANOVA 分析结果表明，鱼类与甲壳类总群落、鱼类群落和甲壳类群落季节差异均极显著($P<0.01$)，区域差异均不显著($P>0.05$)，但各类群受季节与区域两个因子交互影响极显著($P<0.01$)(表 4)。

平均资源密度分布 ANOVA 单因素检验结果表明，鱼类与甲壳类平均资源密度季节差异均显著($P<0.05$)(图 3)；二者在岛礁内、外即区域差异均不显著($P>0.05$)。

四季渔业生物资源密度共 1 018 692 尾/km²，鱼类 580 944 尾/km²，甲壳类 437 748 尾/km²，分别占总数量 57% 和 43%。四季渔业生物资源重量共 9 895.2 kg/h，鱼类 7 516.0 kg/h，甲壳类 2 815.2 kg/h，分别占总重量的 72.8% 和 27.2%。

四季鱼类的平均资源密度分别为 (6 024.0±3 372.1)、(12 522.0±6 945.9)、(18 984.0±7 512.4) 和 (17 215.0±11 151.6) 尾/km²，秋季鱼类平均资源密度最高，春季最低。四季甲壳类的平均资源密度分别为 (3 515.0±3 080.8)、(7 479.0±7 063.3)、

表 3 主要贡献种对组间平均差异性的贡献率(贡献率>4.5%)

Tab. 3 Contribution rate of the main contributing species to the average difference between groups
(contribution rate>4.5%)

物种 species	贡献率/% contribution rate	平均相异性/% average dissimilarity	比较组 comparison group
小黄鱼 <i>L. polyactis</i>	6.3	68.1	I & II
带鱼 <i>T. lepturus</i>	4.8		
三疣梭子蟹 <i>P. trituberculatus</i>	4.5	66.3	I & III
刀鲚 <i>Coilia nasua</i>	4.7	56.8	I & IV
戴氏赤虾 <i>Metapenaeopsis dalei</i>	4.6		
小黄鱼 <i>L. polyactis</i>	4.6	67.8	II & III
小黄鱼 <i>L. polyactis</i>	5.0	64.9	II & IV
—	—	52.4	III&IV
凤鲚 <i>Coilia mystus</i>	8.5	52.6	V & VI
红狼牙虾虎鱼 <i>Odontamblyopus rubicundus</i>	5.5		
安氏白虾 <i>Exopalaemon annandalei</i>	6.0		
三疣梭子蟹 <i>P. trituberculatus</i>	4.8	53.2	VII&VIII
细条天竺鲷 <i>Jaydia lineata</i>	4.5	56.6	IX&X
日本发光鲷 <i>Acropoma japonicum</i>	4.7		
七星底灯鱼 <i>Benthosema pterotum</i>	4.6		
凤鲚 <i>C. mystus</i>	5.1	44.4	XI&XII
刀鲚 <i>C. nasua</i>	4.7		
葛氏长臂虾 <i>P. gravieri</i>	5.0		

注: I~IV分别代表春季、夏季、秋季和冬季; V~XII分别代表春季岛礁内、春季岛礁外、夏季岛礁内、夏季岛礁外、秋季岛礁内、秋季岛礁外、冬季岛礁内和冬季岛礁外; “—”表示该比较组之间无贡献种(贡献率>4.5%)。

Notes: I~IV represent spring, summer, autumn and winter, respectively; V-XII distributions represent within and outside the island in spring, within and outside the island in summer, within and outside the island in autumn, within and outside the island in winter; “—” indicates that there are no contributing species between the comparison groups (contribution rate>4.5%).

表 4 PERMANOVA 分析结果

Tab. 4 PERMANOVA analysis results

功能特性 functional trait	变异来源 source of variation	鱼类+甲壳类 fish+crustaceans	鱼类 fish	甲壳类 crustaceans
平均资源密度 average resource density	季节 season	0.001*	0.001*	0.001*
	区域 area	0.109	0.186	0.105
	季节×区域 season×area	0.001*	0.001*	0.001*
平均个体大小 average individual size	季节 season	0.001*	0.001*	0.001*
	区域 area	0.134	0.219	0.087
	季节×区域 season×area	0.001*	0.001*	0.006

注: “*”表示差异极显著($P<0.01$)。

Notes: “*” indicates extremely significant differences ($P<0.01$).

(14 697.0±8 214.7) 和 (15 687.0±28 173.3) 尾/km², 冬季甲壳类平均资源密度最高, 春季最低(图4)。鱼类平均资源密度均为在春、秋、冬季岛礁外大于岛礁内, 在夏季岛礁内大于岛礁外。鱼类平均资源密度较高(>24 000 尾/km²) 站位出现在夏、秋和冬季, 夏季位于岛礁内海域, 靠近嵊

泗主岛的S1站位; 秋季位于岛礁外海域的S7、S8和S11站位; 冬季则分别位于岛礁内海域的S3站位和岛礁外海域的S8、S10站位。甲壳类平均资源密度在春、夏、秋季均为岛礁外大于岛礁内, 在冬季岛礁内大于岛礁外。甲壳类平均资源密度较高(>24 000 尾/h) 站位出现季节与

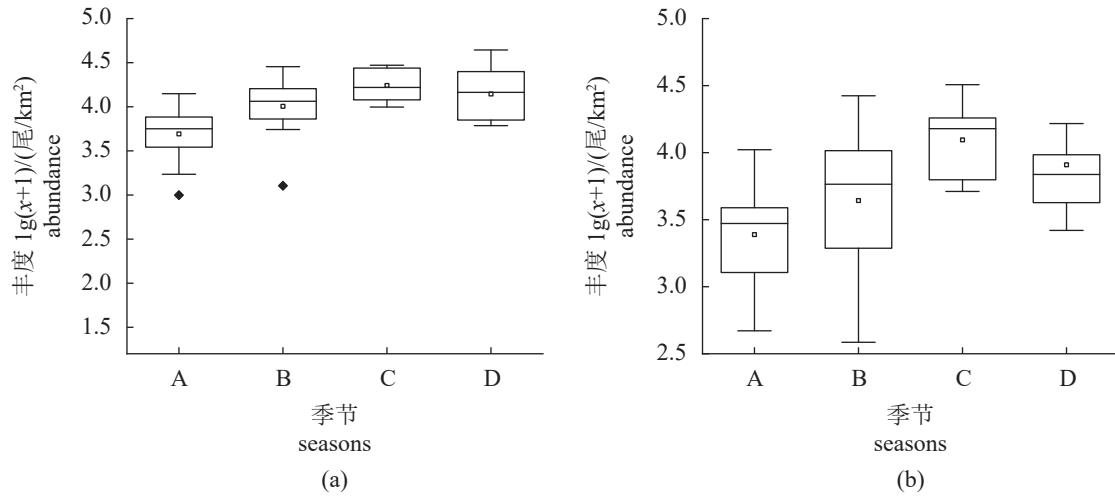


图3 鱼类及甲壳类平均资源密度季节差异箱式图

(a) 鱼类, (b) 甲壳类, 图5同。

Fig. 3 Box plot of seasonal differences in average abundance of fishes and crustaceans

(a) fish, (b) crustaceans, the same as Fig.5.

鱼类一致, 夏季位于岛礁内海域, 靠近枸杞岛的S6站位; 秋季位于岛礁外海域的S11站位; 冬季则位于岛礁内S1站位, 且平均资源密度大于100 000尾/h。鱼类和甲壳类平均资源密度季节变化规律相近, 且均在春季达到最低值。鱼类与甲壳类较大平均资源密度站位出现的季节规律相近, 且分布的区域规律亦相近。

平均个体大小分布 ANOVA单因素检验结果表明, 鱼类与甲壳类平均个体大小季节差异均极显著($P<0.01$) (图5), 二者岛礁内外即区域差异均不显著($P>0.05$)。

四季鱼类的平均个体大小分别为 (8.0 ± 6.5) 、 (18.3 ± 7.5) 、 (11.6 ± 6.0) 和 (18.6 ± 10.4) g/尾, 冬季鱼类平均个体大小最大, 春季最小。四季甲壳类的平均个体大小分别为 (3.3 ± 1.1) 、 (16.1 ± 19.2) 、 (6.2 ± 2.9) 和 (9.2 ± 3.1) g/尾, 夏季甲壳类平均个体大小最大, 春季最小(图6)。鱼类平均个体大小较大(>30 g/尾)站位出现在夏季和冬季, 两季均位于岛礁外海域, 夏季位于S9站位, 冬季则位于S9、S11和S12站位。甲壳类平均个体大小较高(>30 g/尾)站位出现在夏季S1站位, 靠近嵊泗主岛。鱼类与甲壳类平均个体大小在春、夏、冬季均为岛礁外大于岛礁内, 在秋季则为岛礁内大于岛礁外, 说明鱼类与甲壳类各季中平均个体大小的区域分布规律相近。

2.4 渔业类群资源密度与驱动因素的关系

鱼类与甲壳类平均资源密度与环境因子的

RDA分析结果显示: RDA第一轴特征值为0.3592, RDA第二轴特征值为0.2434, RDA第一轴和RDA第二轴与环境因子相关性系数分别为0.9807和0.9727, 表现出很高的物种-环境相关性。RDA第一轴和RDA第二轴共解释了物种累计方差百分比60.26%和物种-环境因子累计方差百分比的79.60%。应用蒙特卡洛置换检验方法对环境因子进行预筛选, FP对物种平均资源密度变异具有显著影响($P<0.05$)。RDA第一轴与SSC和BSS呈较强正相关, 与FP呈较强负相关, 正负两轴表现了季节差异。RDA第二轴与BST和Depth呈较强负相关, 正负两轴表现了区域差异。除了非三疣梭子蟹的其他蟹类, 大部分生物均与捕捞压力FP呈正相关。龙头鱼、三疣梭子蟹与BST和Depth呈正相关。口虾蛄与BST呈正相关, 与Depth呈负相关。三大优势种均与BSS和SSC呈负相关(图7)。季节差异方面, 除了非三疣梭子蟹的其他蟹类, 大部分生物均聚集于秋、冬季, 非三疣梭子蟹的其他蟹类聚集于春、夏季。区域差异方面, 非口虾蛄的其他虾类与非龙头鱼的其他鱼类聚集于岛礁密集海区, 而蟹类与龙头鱼聚集于岛礁外空旷海区, 口虾蛄区域分布差异特征不明显。

平均个体大小与环境因子的RDA分析结果显示: RDA第一轴特征值为0.3511, RDA第二轴特征值为0.2327, RDA第一轴和RDA第二轴与环境因子相关性系数分别为0.8225和

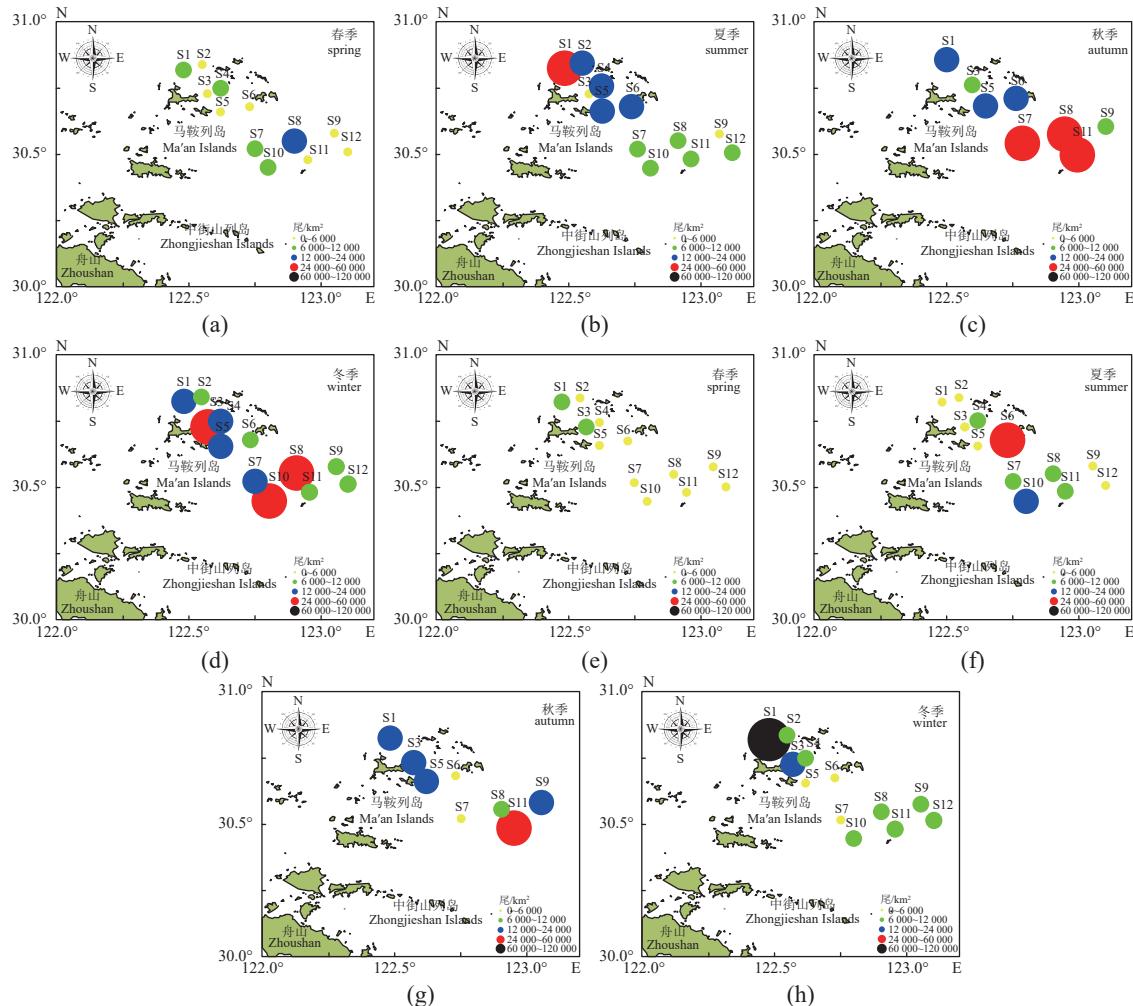


图 4 四季鱼类及甲壳类资源密度空间分布

(a)~(d) 鱼类, (e)~(h) 甲壳类, 图 6 同。

Fig. 4 Spatial distribution of fish and crustaceans abundance in four seasons

(a)~(d) fish, (e)~(h) crustaceans, the same as Fig. 6.

0.9702, 表现出很高的物种-环境相关性。RDA 第一轴和 RDA 第二轴共解释了物种累计方差百分比 58.38% 和物种-环境因子累计方差百分比的 85.79%。应用蒙特卡洛置换检验方法对环境因子进行预筛选, 无因素对物种平均个体大小变异具有显著影响 ($P<0.05$)。RDA 第一轴与 BSS 和 Depth 呈较强正相关, 与 FP 呈较强负相关, 正负两轴表现了区域差异; RDA 第二轴与 SSC 呈较强负相关, 正负两轴表现了季节差异 (图 7, 表 5)。非三疣梭子蟹的其他蟹类与非龙头鱼的其他鱼类与 FP 呈正相关; 除非三疣梭子蟹的其他蟹类, 其他物种均与 BSS 呈正相关, 与 FP 呈负相关, 口虾蛄与 BSS 正相关最强; 三疣梭子蟹、虾类与龙头鱼均与 Depth 呈正相关, 与 FP 呈负相关; 虾类、龙头鱼均与

SSC、BST 呈正相关。

3 讨论

3.1 种类组成及优势种

本研究中出现鱼类 53 种、甲壳类 50 种。其中优势种 8 种, 包括 5 种鱼类与 3 种甲壳类, 这一结果与许永久等^[18]、于南京等^[19]以及汪全等^[20]分别在舟山近海、舟山北部以及嵊泗海域的调查结论相比, 鱼类物种数量降低, 但甲壳类种类增加。同时, 本研究发现, 龙头鱼在四季均为绝对优势种, 这与韩旭东等^[10]在马鞍列岛海域的研究结果基本一致。龙头鱼广温广盐的生态习性^[21]、不间断的生殖方式使得该种类在其他经济鱼种被过度捕捞后, 迅速占据有利

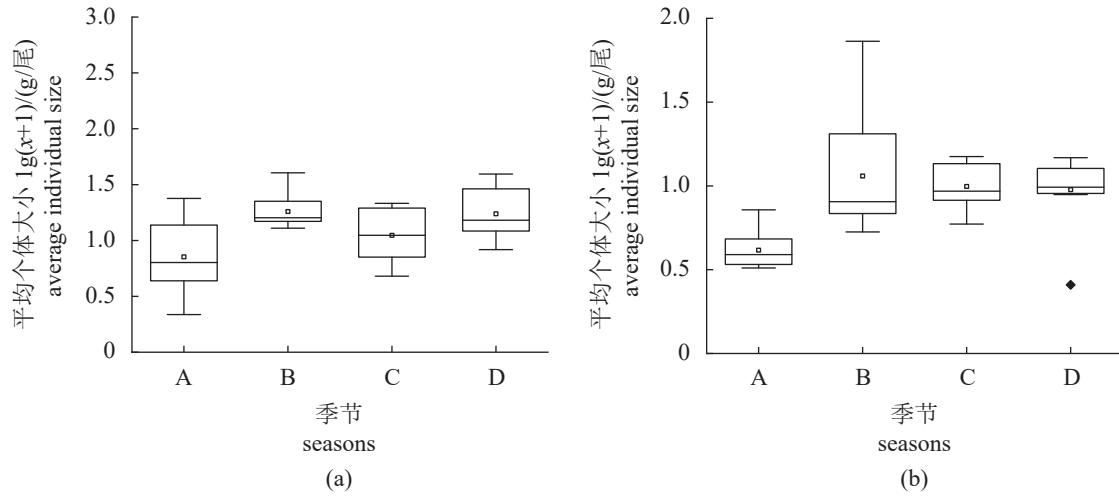


图 5 鱼类及甲壳类平均个体大小季节差异箱式图

Fig. 5 Box plot of seasonal differences in average individual size of fishes and crustaceans

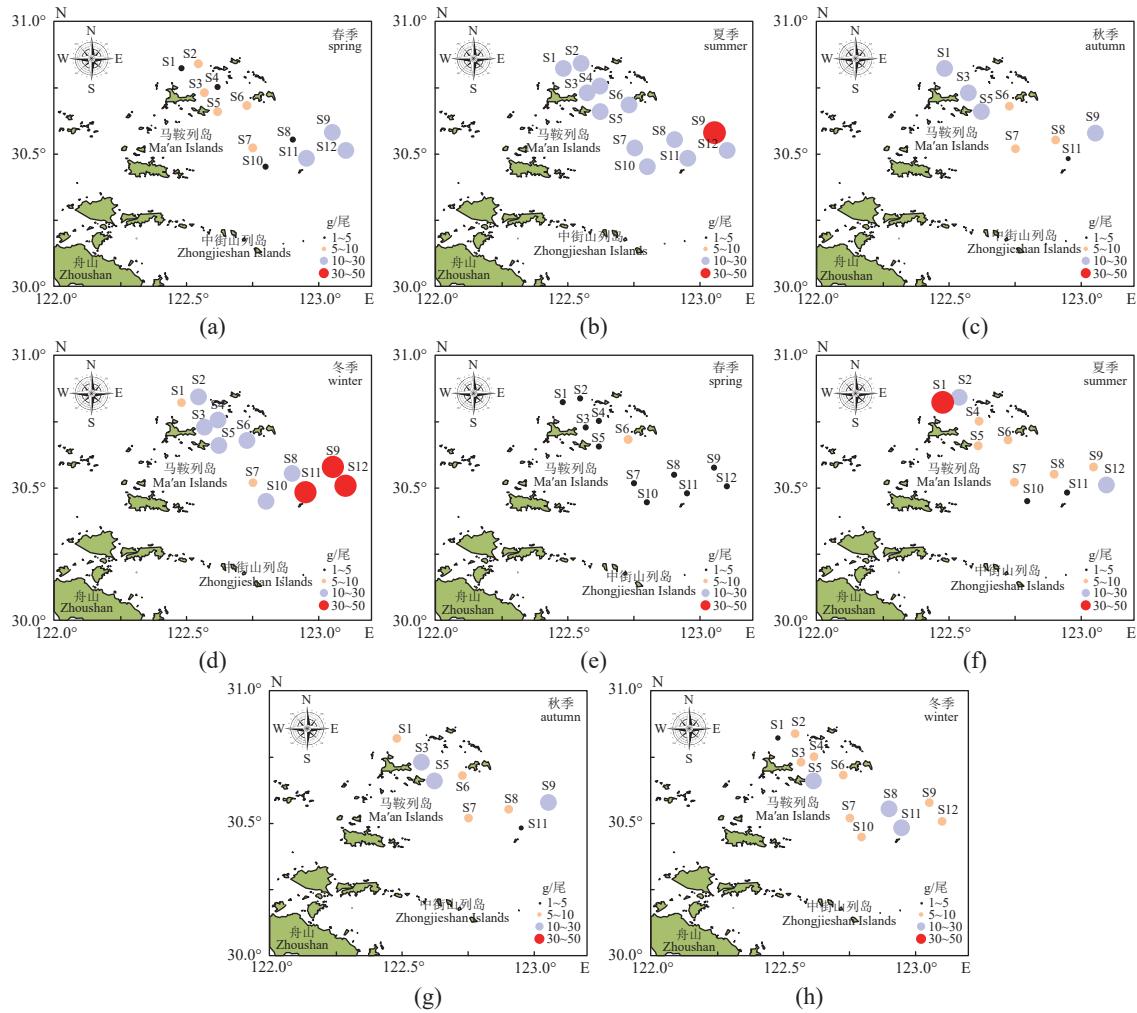


图 6 四季鱼类及甲壳类平均个体大小空间分布

Fig. 6 Spatial distribution of average individual size of fishes and crustaceans in four seasons

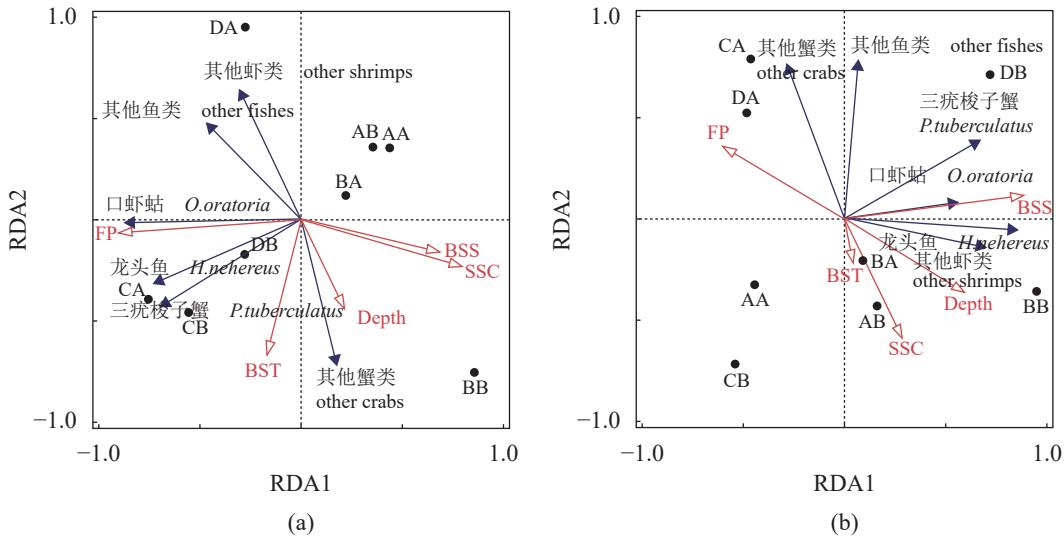


图 7 不同类群平均资源密度 (a) 与平均个体大小 (b) 的 CCA 排序图

(a) 平均资源密度, (b) 平均个体大小; 其他鱼类指除去龙头鱼的其他鱼种, 其他虾类指除去口虾蛄的其他虾种, 其他蟹类指除去三疣梭子蟹的其他蟹种; AA. 春季岛礁密集海区, AB. 春季岛礁外对照海区, BA. 夏季岛礁密集海区, BB. 夏季岛礁外对照海区, CA. 秋季岛礁密集海区, CB. 秋季岛礁外对照海区, DA. 冬季岛礁密集海区, DB. 冬季岛礁外对照海区。FP. 捕捞压力, 下同。

Fig. 7 CCA ranking chart of average abundance (a) and average individual size (b) of different groups

(a) average resource density, (b) average individual size; Other fishes refer to other fishes except *H. nehereus*, other shrimps refer to other shrimps except *O. oratoria*, and other crabs refer to other crabs except *P. tuberculatus*; AA. the sea area with dense islands in spring, AB. the comparing sea area outside islands in spring, BA. the sea area with dense islands in summer, BB. the comparing sea area outside islands in summer, CA. the sea area with dense islands in autumn, CB. the comparing sea area outside islands in autumn, DA. the sea area with dense islands in winter, DB. the comparing sea area outside islands in winter. FP. fishing pressure, the same below.

表 5 环境因子与 CCA 第 1 和第 2 排序轴间的相关系数

Tab. 5 Correlation coefficient between environmental factors and the first and second ranking axes of CCA

驱动因素 driving factor	平均资源密度 average abundance		平均个体大小 average individual size	
	RDA第一轴 RDA Axis1 (35.92%)	RDA第二轴 RDA Axis2 (24.34%)	RDA第一轴 RDA Axis1 (35.11%)	RDA第二轴 RDA Axis2 (23.27%)
SSC	0.7838*	-0.2263	0.2357	-0.5728*
BST	-0.1662	-0.6507*	0.0356	-0.2142
BSS	0.6752*	-0.1566	0.7328*	0.1135
Depth	0.2105	-0.4287*	0.4913*	-0.3538
FP	-0.8873*	-0.0647	-0.4939*	0.3463

注: “*”表示相关系数 $|R| \geq 0.4$; 括号内百分比表示各坐标轴对物种变异的解释率。

Notes: “*” represents correlation coefficient $|R| \geq 0.4$; the percentage in parentheses represents the explanation rate of species variation for each coordinate axis.

生态位。小黄鱼属于暖温性洄游鱼类^[22], 夏季马鞍列岛较高的水温以及丰富的生境有利于小黄鱼的生长^[23]。凤鲚成为春季优势种, 这可能由于其成熟的较大个体在春季经过杭州湾及邻近海域进行生殖洄游^[24-25]。伏季休渔的实施使得带鱼群体得到了有效的保护与补充, 且夏季又是带鱼传统的汛期^[26-28], 除此之外, 带鱼

中心渔场的北移也可能会影响^[29], 因此带鱼成为夏季的优势种。吴振兴等^[30]研究发现, 浙江近海棘头梅童鱼主要的产卵期为每年的春、夏季(4—7月)以及秋季(9—10月)。棘头梅童鱼幼体经冬季生长为较大个体, 成为冬季的优势种。本研究还发现, 甲壳类物种组成以口虾蛄、三疣梭子蟹和日本蟳为优势种, 与梁金玲^[31]研

究结果一致, 近几年甲壳类优势种群落结构没有发生较大的更替, 这与其广温广盐性的特点有关, 也与生境的特征有关。优势种生物量在当季的占比均超过 50%, 说明马鞍列岛海域优势种组成单一、群落结构简单的情况未出现较明显的改善。

3.2 鱼类和甲壳类群落特征变化及其驱动因素

本研究表明, 捕捞压力 FP 是影响鱼类和甲壳类平均两个功能特征(数量和个体大小)显著的影响因子, 且不是影响二者区域差异的显著影响因素。因此, 休渔引起的捕捞压力季节变化是导致二者功能特征变化的主要驱动因素。Xu 等^[13]的研究也表明底层温度和捕捞压力导致春、秋两个季节个体尺寸和数量的差异。本研究结果进一步支持了季节性休渔对数量和个体尺寸产生显著影响的这一观点。我国东海各种捕捞船只的休渔时间主要集中在每年的 5—8 月, 进入休渔季后, 海洋生物会进入一段生长、繁育的“安全期”。当休渔结束后, 物种的资源量和平均个体大小会增加或上升到一个较高水平。随着捕捞压力骤然增加, 鱼类群落结构会受到严重干扰^[32]。本研究的结果也证实了捕捞压力骤增后对渔业生态系统功能的显著影响。除此之外, RDA 第一轴中的各种环境因子(如 BSS)对功能特征的季节变异具有次要显著贡献。因此, 群落结构的功能特征变化受到休渔引起的捕捞压力变化和环境因子的共同作用。

同时, 本研究将调查海域分为岛礁密集区(AA、BA、CA、DA)和岛礁外对照海区(AB、BB、CB、DB), 比较了区域对群落结构影响的差异显著性, 发现鱼类和甲壳类功能特征均无显著区域差异性。这一差异较好地体现在 RDA 的第二轴上, 说明空间区域对渔业生物的功能特征具有一定的影响(尽管不显著)。根据前期调查, 许永久等^[18]发现了舟山群岛海域部分底层鱼类、虾类、蟹类数量存在较为显著的空间差异, 但个体平均大小不存在显著差异, 因此部分支持了本研究的结果。Xu 等^[13]的研究区域覆盖整个舟山群岛海域, 而本研究主要在马鞍列岛附近海域, 对于岛礁内的 A 海域来说, 本研究的岛礁外 B 海域仍然属于群岛内海域, 所以在较大尺度范围内仍为一个群岛内区域, 离岛礁距离较近, 受到岛礁效应的影响, 可能是

区域间特征不显著的主要原因。因此, 若要进行岛礁内、外比较, 需要开展较多深度梯度的近海对照研究。

参考文献(References):

- [1] 陈航通, 姚锦仙, 卜思涵, 等. 基于我国受威胁海洋鱼类分布与捕捞压力的保护空缺分析 [J]. 北京大学学报(自然科学版), 2020, 56(5): 917-930.
- Chen H T, Yao J X, Bu S H, et al. GAP analysis based on the distribution and fishing pressure of threatened marine fishes in China[J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinen-sis, 2020, 56(5): 917-930 (in Chinese).
- [2] 杨锋, 黄明伟, 刘舜斌, 等. 舟山沿岸捕捞生产现状及管理对策研究 [J]. 中国水运, 2017, 17(5): 53-55.
- Yang F, Huang M W, Liu S B, et al. Research on the current situation and management measures of fishing production along the Zhoushan coast[J]. China Water Transport, 2017, 17(5): 53-55 (in Chinese).
- [3] 李艳玲, 顾波军. 舟山海洋渔业捕捞海域承载力评价研究 [J]. 中国渔业经济, 2021, 39(3): 91-100.
- Li Y L, Gu B J. Study on the carrying capacity evaluation of fishing area of Zhoushan marine fishery[J]. Chinese Fisheries Economics, 2021, 39(3): 91-100 (in Chinese).
- [4] 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).
- [5] 邓小艳, 俞存根, 水玉跃, 等. 舟山近岸海域春秋季节鱼类种类组成及其数量时空分布 [J]. 生态科学, 2018, 37(1): 10-19.
- Deng X Y, Yu C G, Shui Y Y, et al. Spatial and temporal variation in fish species composition and abundance in Zhoushan coastal waters during spring and autumn[J]. Ecological Science, 2018, 37(1): 10-19 (in Chinese).
- [6] 王甲刚. 舟山沿岸张网作业区虾蟹类群落结构和多样性的研究 [D]. 舟山: 浙江海洋学院, 2012.
- Wang J G. The community structure and species diversity of shrimp and crab in the set-net fishing area off the coast of Zhoushan[D]. Zhoushan: Zhejiang Ocean University, 2012 (in Chinese).
- [7] 梁金玲, 汪振华, 章守宇, 等. 马鞍列岛海洋特别保护区虾类组成及其多样性 [J]. 上海海洋大学学报, 2016, 25(1): 124-

- 134.
- [8] Liang J L, Wang Z H, Zhang S Y, et al. Composition and diversity of shrimps in the Protected Ma'an Archipelago Area[J]. *Journal of Shanghai Ocean University*, 2016, 25(1): 124-134 (in Chinese).
- [9] 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).
- [10] 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).
- [11] 韩旭东, 章守宇, 汪振华, 等. 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 [J]. *水产学报*, 2019, 43(6): 1483-1497.
- Han X D, Zhang S Y, Wang Z H, et al. Fish community structure and its relationship with environmental factors in the Ma'an Archipelago and its eastern waters[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2019, 43(6): 1483-1497 (in Chinese).
- [12] 中华人民共和国农业部. 海洋渔业资源调查规范: SC/T 9403-2012 [S]. 北京: 中国农业出版社, 2013.
- Ministry of Agriculture of the People's Republic of China. Technical specification for marine fishery resources survey: SC/T 9403-2012[S]. Beijing: China Agriculture Press, 2013 (in Chinese).
- [13] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. 海洋调查规范 第6部分: 海洋生物调查: GB/T 12763.6-2007[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.
- General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China. Specifications for oceanographic Part 6: marine biological survey: GB/T 12763.6-2007[S]. Beijing: Standards Press of China, 2008(in Chinese).
- [14] Xu Y J, Jiang R J, Hao Q, et al. Effects of environmental change and exploitation on marine communities around the Zhoushan Archipelago: a functional group perspective[J]. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2019, 217: 185-195.
- 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.
- [15] 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).
- [16] Ter Braak C J F, Smilauer P. CANOCO reference manual and canodraw for Windows User's guide: software for Canonical Community Ordination (Version 4.5)[M]. New York: Microcomputer Power, 2002.
- [17] Ramos S, Paris C B, Angélico M M. Larval fish dispersal along an estuarine-ocean gradient[J]. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 2017, 74(9): 1462-1473.
- [18] 许永久, 俞存根, 张平, 等. 杭州湾—舟山近海春季游泳动物群落结构及与环境因子的关系 [J]. *水产学报*, 2019, 43(3): 605-617.
- Xu Y J, Yu C G, Zhang P, et al. Spring nekton community structure and its relationship with environmental variables in Hangzhou Bay-Zhoushan inshore waters[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2019, 43(3): 605-617 (in Chinese).
- [19] 于南京, 俞存根, 蒋康康, 等. 嵊泗列岛邻近海域鱼类种类组成及多样性分析 [J]. *渔业研究*, 2020, 42(4): 293-301.
- Yu N J, Yu C G, Jian K K, et al. Analysis of fish species composition and diversity in the sea area around Shengsi Archipelago[J]. *Journal of Fisheries Research*, 2020, 42(4): 293-301 (in Chinese).
- [20] 汪全, 俞存根, 郑基, 等. 舟山岛北部海域虾蟹类群落结构特征的季节变化 [J]. *浙江海洋大学学报 (自然科学版)*, 2023, 42(1): 1-9.
- Wang Q, Yu C G, Zheng J, et al. Community structure and diversity of shrimp and crab in northern Zhoushan island[J]. *Journal of Zhejiang Ocean University (Natural Science Edition)*, 2023, 42(1): 1-9 (in Chinese).
- [21] 陈大刚, 张美昭. 中国海洋鱼类 [M]. 青岛: 中国海洋大学出版社, 2015: 416-418.
- Chen D G, Zhang M Z. Marine fishes of China[M]. Qingdao: China Ocean University Press, 2015: 416-418 (in Chinese).
- [22] 李国东, 李冬佳, 熊瑛, 等. 基于 GAM 的黄海南部越冬小黄鱼资源丰度与环境因子关系 [J]. *海洋渔业*, 2023, 45(4): 403-411.
- Li G D, Li D J, Xiong Y, et al. Relationship between environmental factors and abundance of overwintering *Larimichthys polyactis* in the southern Yellow Sea based on GAM[J]. *Marine Fisheries*, 2023, 45(4): 403-411. (in Chinese)

- [23] 汪振华, 沈慧, 林军, 等. 马鞍列岛东部海域小黄鱼 (*Larimichthys polyactis*) 时空分布特征 [J]. 水产学报, 2022, 46(6): 959-972.
- Wang Z H, Shen H, Lin J, et al. Spatial and temporal distribution of small yellow croaker (*Larimichthys polyactis*) in Eastern Ma'an Archipelago[J]. Journal of Fisheries of China, 2022, 46(6): 959-972 (in Chinese).
- [24] 求锦津, 王咏雪, 胡成业, 等. 舟山长白海域春秋季鱼类群落结构特征研究 [J]. 浙江海洋大学学报 (自然科学版), 2021, 40(3): 218-225.
- Qiu J J, Wang Y X, Hu C Y, et al. Study on the characteristic of community structure of fish in the Changbai sea area of Zhoushan during spring and autumn[J]. Journal of Zhejiang Ocean University (Natural Science Edition), 2021, 40(3): 218-225 (in Chinese).
- [25] 庄平, 王幼魁, 李圣法, 等. 长江口鱼类 [M]. 上海: 上海科学技术出版社, 2006.
- Zhuang P, Wang Y K, Li S F, et al. Fishes of the Yangtze Estuary[M]. Shanghai: Shanghai Scientific & Technical Publishers, 2006 (in Chinese).
- [26] 严利平, 程家骅, 凌建忠. 2003 年夏季东海区带鱼资源状况及其秋冬汛渔况的分析 [J]. 海洋渔业, 2003, 255(4): 173-176.
- Yan L P, Cheng J H, Ling J Z. Analyses on the Hairtail fishery resources status in the East China Sea region in summer 2003 and its fishing conditions in autumn and winter seasons[J]. *Marine Fisheries*, 2003, 255(4): 173-176 (in Chinese).
- [27] 严利平, 程家骅, 李圣发, 等. 2004 年夏季东海区带鱼资源状况及其秋冬汛渔况的分析 [J]. 中国水产, 2004(12): 78-80.
- Yan L P, Cheng J H, Li S F, et al. Analyses on the hairtail fishery resources status in the East China Sea region in summer 2004 and its fishing conditions in autumn and winter seasons[J].
- [28] 尤红宝, 徐荣. 夏汛带鱼中心渔场与水温、盐度的关系 [J]. 海洋渔业, 1984(4): 165-167.
- You H B, Xu R. The relationship between the central fishing ground of hairtail in summer flood season and water temperature and salinity[J]. Marine Fisheries, 1984(4): 165-167 (in Chinese).
- [29] 蒋日进, 张琳琳, 徐开达, 等. 浙江中南部近岸海域游泳动物功能群特征与多样性 [J]. 生物多样性, 2019, 27(12): 1330-1338.
- Jiang R J, Zhang L L, Xu K D, et al. Characteristics and diversity of nekton functional groups in the coastal waters of south-central Zhejiang Province[J]. *Biodiversity Science*, 2019, 27(12): 1330-1338 (in Chinese).
- [30] 吴振兴, 陈贤亮. 棘头梅童鱼年龄与阶段生长的初步研究 [J]. 浙江海洋大学学报 (自然科学版), 1991, 10(2): 140-143.
- Wu Z X, Chen X L. *Collichthys lucidus* richardson a preliminary study on the age and phasic growth of *Collichthys lucidus*[J]. Journal of Zhejiang Ocean University (Natural Science Edition), 1991, 10(2): 140-143 (in Chinese).
- [31] 梁金玲. 马鞍列岛海洋特别保护区虾蟹类群落结构特征研究 [D]. 上海: 上海海洋大学, 2015.
- Liang J L. The study of structure characteristics of shrimp and crab community in Ma'an Archipelago special marine reserves[D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2015 (in Chinese).
- [32] 崔培东, 卞晓东, 张雨轩, 等. 黄海北部近岸海域渔业生物群落结构 [J]. 水产学报, 2024, 48(4): 049314.
- Cui P D, Bian X D, Zhang Y X, et al. Community structure of fishery organisms in offshore waters of the North Yellow Sea[J]. Journal of Fisheries of China, 2024, 48(4): 049314 (in Chinese).

Seasonal changes of community structure of fish and crustaceans in the adjacent waters of Shengsi Ma'an Islands

ZHANG Zishuo¹, XU Yongjiu^{1*}, ZHANG Xiumei¹, CHEN Feng², ZHOU Yongdong², XU Kaida², ZHANG Yazhou², ZHANG Hongliang², LI Qingying¹, LIU Wanjin¹, YU Jia¹

1. School of Fisheries, Zhejiang Ocean University, Zhoushan 316022, China;

2. Marine Fisheries Research Institute of Zhejiang Province, Zhoushan 316021, China

Abstract: The sea area near the Ma'an Islands in Shengsi has complex natural conditions and is a spawning ground, feeding ground, and migration channel for many fishes and crustaceans. In order to study the effects of environmental factors, seasonal fishing suspension and other factors on the seasonal dynamic succession of fish and crustacean community structure, based on the survey data of fish and crustacean swimmers in the adjacent waters of Shengsi Ma'an Islands in Zhejiang Province in four quarters of 2021, this study employed One-Way analysis of variance (ANOVA), similarity percentage analysis (SIMPER) and non-parametric multivariate analysis of variance (PERMANOVA) to study the seasonal changes of the average resource density and average individual size of the two groups. RDA analysis was used to study the relationship between seasonal fishing bans and environmental changes and the two taxa and their dominant species. The results showed that a total of 103 species were caught, including 53 species of fish, 50 species of crustaceans, 5 species of dominant species (*Harpodon nehereus*, *Coilia mystus*, *Trichiurus lepturus*, *Larimichthys polyactis* and *Collichthys lucidus*), and 3 species of crustaceans (*Oratosquilla oratoria*, *Portunustri tuberculatus*, and *Charybdis japonica*). There were significant seasonal differences in the community structure composition of fish and crustaceans (average resource density and individual size), but there were no significant regional differences. The average density of fish and crustaceans increased from spring to autumn and then slowly decreased in winter, whereas the average individual size was the smallest in spring and larger in other seasons, especially in summer. The results of the RDA analysis showed that fishing pressure was the main factor that significantly affected the seasonal variation of average resource density and average individual size of fish and crustaceans (RDA1), and the seasonal variation in the functional characteristics of fish and crustaceans was closely related to fishing pressure and environmental factors caused by fishing bans. This study shows that fishing bans and environmental factors have a significant impact on the functional characteristics (number and individual size) of fishery ecosystems, and further research on long-term changes in functional characteristics needs to be conducted. The results of this study can provide scientific basis and reference for the evaluation of marine protected areas and the sustainable utilization of fishery resources.

Key words: community structure; seasonal variation; fishing ban; environmental factors; Shengsi sea area; Ma'an Islands

Corresponding author: XU Yongjiu. E-mail: xuyongjiu@zjou.edu.cn

Funding projects: Zhejiang Province Natural Science Foundation (LY20C030004); Special Fund for the Key Research and Development Project of Zhejiang Province (2021C02047)