• 研究报告 •

浙江七星列岛海洋特别保护区主要鱼类功能群划分及生态位分析

胡成业¹ 水玉跃² 田 阔¹ 李 良¹ 覃胡林¹ 张春草¹ 冀萌萌¹ 水柏年^{1*}¹ (浙江海洋学院水产学院, 浙江舟山 316000)² (舟山市海洋与渔业局, 浙江舟山 316000)

摘要: 为揭示七星列岛省级海洋特别保护区鱼类群落现状, 于2014年秋季(11月)和2015年春季(5月)进行底拖网调查。利用生态位测度、非度量多维标度排序和等级聚类等方法对该海域鱼类功能群组成及生态位特征进行了研究。结果表明, 该区鱼类可划分为浮游生物食性、底栖动物食性、游泳动物食性、浮游生物/底栖动物食性、底栖动物/游泳动物食性和杂食性6个功能群。浮游生物食性、底栖动物食性和底栖动物/游泳动物食性功能群是秋季优势功能群, 浮游生物食性、游泳动物食性和杂食性是春季优势功能群。秋季, 主要鱼类生态位宽度值变化范围为0.28–3.84, 其中龙头鱼(*Harpodon nehereus*)、六指马鲛(*Polydactylus sexfilis*)、赤鼻棱鳀(*Thrissa kammalensis*)、红狼牙鰕虎鱼(*Odontamblyopus rubicundus*)、海鳗(*Muraenesox cinereus*)、尖头黄鳍牙鲷(*Chrysochir aureus*)和叫姑鱼(*Johnius belengerii*)的生态位宽度值较高; 春季生态位宽度值变化范围为0.36–3.16, 其中带鱼(*Trichiurus lepturus*)、日本鳀(*Engraulis japonicus*)、蓝圆鲹(*Decapterus maruadsi*)、刺鲳(*Psenopsis anomala*)、龙头鱼和镰鲳(*Pampus echinogaster*)的生态位宽度值较高。秋季, 主要鱼类生态位重叠值在0–0.94之间波动; 春季, 主要鱼类生态位重叠值在0–0.92之间波动。以丰度数据平方根为基础, 利用非度量多维标度排序和等级聚类分析, 主要鱼类秋季可以分为4组, 而春季可以分为3组。上述结果表明, 保护区鱼类群落的营养结构和空间结构较好。

关键词: 功能群; 生态位宽度; 生态位重叠; 非度量多维标度排序; 等级聚类; 鱼类

Functional group classification and niche identification of major fish species in the Qixing Islands Marine Reserve, Zhejiang Province

Chengye Hu¹, Yuyue Shui², Kuo Tian¹, Liang Li¹, Hulin Qin¹, Chuncao Zhang¹, Mengmeng Ji¹, Bonian Shui^{1*}¹ School of Fishery, Zhejiang Ocean University, Zhoushan, Zhejiang 316000² Zhoushan Ocean and Fishery Bureau, Zhejiang 316000

Abstract: To understand the status of fish communities in the Qixing Islands Provincial Marine Reserve, China, we carried out bottom trawl surveys during the autumn of 2014 and the spring of 2015. By using niche breadths and their overlaps, non-metric multidimensional scaling and hierarchical cluster dendrograms, we studied the composition of functional groups and niche characteristics of major fish communities. In terms of feeding habits, six functional groups were identified: planktivores, benthivores, piscivores, planktivores/benthivores, benthivores/piscivores and omnivores. Planktivores, benthivores and benthivores/piscivores were the major fish communities in autumn; whereas planktivores, piscivores and omnivores were the dominant fish communities in spring. Shannon-Wiener's niche breadth index (B_i) and the Pianka's niche overlap index were used to compare dominant fish species. The niche breadth of dominant fish species ranged from 0.28 and 3.84 in autumn and *Harpodon nehereus*, *Polydactylus sexfilis*, *Thrissa kammalensis*, *Odontamblyopus rubicundus*, *Muraenesox cinereus*, *Chrysochir aureus* and *Johnius belengerii* had wider niche breadths ($B_i > 1.0$). The niche breadth of dominant fish species ranged from 0.36 and 3.16 in spring and

收稿日期: 2015-08-18; 接受日期: 2015-09-15

基金项目: 浙江省软科学研究重点项目(2015C25018)和浙江省重中之重学科“海洋科学学科”项目

* 通讯作者 Author for correspondence. E-mail: shuibonianshui@163.com

Trichiurus lepturus, *Engraulis japonicus*, *Decapterus maruadsi*, *Psenopsis anomala*, *H. nehereus* and *Pampus argenteus* had wider niche breadths ($B_i > 1.0$). The niche overlap of dominant fish species in autumn and spring ranged from 0 to 0.94 and 0 to 0.92, respectively. Based on the square root of the abundance, and using non-metric multidimensional scaling and cluster analysis, fish communities during autumn and spring were divided into four and three groups, respectively. Through the analysis of functional group composition, niche breadth and niche overlap in the Qixing Islands Provincial Marine Reserve, we find improved fish community nutrition structure and spatial structure within the reserve.

Key words: functional groups; niche breadth; niche overlap; non-metric multidimensional scaling; hierarchical clustering; fish

近年来,功能群和生态位理论为研究海洋生物群落的结构、功能和维持机制提供了一种新视角。划分功能群能解释物种竞争与共存,简化海洋生态系统的食物网,是研究海洋生态系统稳定性的重要途径(Naeem & Wright, 2003)。生态位反映物种对资源环境的要求,从本质上揭示了种群的适应性、种群间相互作用的机理,有助于我们深刻理解种群之间的竞争与协同进化等关系,以及种群在群落中的地位和作用及群落的结构等特征(张峰和上官铁梁, 2004; 柳静等, 2008)。

鱼类功能群是基于摄食习性差异等生物生态学特性来划分(Bulman et al, 2001)。功能群已被一些学者应用于各海域鱼类群落的研究,如张波等(2007, 2009a, b, 2012)对渤海、黄海、东海及长江口鱼类群落功能群的研究;李凡等(2014)对莱州湾鱼类群落季节变化的研究;姜亚洲等(2014)对象山港游泳动物功能群组成与功能群多样性的研究。生态位理论曾经广泛应用于陆生生物群落及水域大型底栖动物群落,但针对鱼类群落的报道较为罕见,仅见于振海等(2010)对黄海中南部主要鱼类生态位和胡成业等(2015)对浙江苍南南部海域主要游泳动物生态位的研究。主要鱼类主导鱼类群落的动态过程和功能,反映了鱼类的分布状况,体现鱼类群落的状态。因此,以主要鱼类功能群和生态位测度为主体,研究鱼类群落功能群和生态位,有助于理解鱼类群落的结构和特征。本文以七星列岛省级海洋特别保护区鱼类群落的调查资料为基础,进行了功能群组成和生态位分析,揭示鱼类群落功能群组成和生态位的变化规律,以期填补该海域鱼类群落结构与功能的本底基础资料的空白,并为系统开展七星列岛省级海洋特别保护区的保护与管理提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 研究区域概况

七星列岛省级海洋特别保护区于2013年由浙江省批准设立,位于浙江省最南端,受台湾暖流和浙闽沿岸流的交汇影响,是多种鱼类的产卵场、索饵场、越冬场和洄游通道。七星列岛由星仔岛、星岛、横屿等7个主要岛礁组成,为外海性孤礁型岛屿,呈东北至西南走向,面积8.8 km²。主岛为星仔岛,中央有一条浅海沟,将星仔岛分隔成面积相近的东西两岛。

1.2 渔业资源调查

根据《海洋调查规范》(GB/T 12763.6-2007),于2014年秋季(11月)和2015年春季(5月)在七星列岛省级海洋特别保护区进行了2个航次的渔业资源调查,共设12个调查站位(图1)。采用的网具为底拖网,网口宽度约为14 m,囊网网目尺寸为20 mm。调查时每网拖曳约0.5 h,拖速为2.0–3.0 kn。渔获物总重量在30–40 kg时,全部取样分析;大于40 kg时从中挑出大型及稀有的标本后,再随机取出20 kg渔获物样品分析。鱼类鉴定分类参考庄平等(2006)和苏永全等(2011),并对样品进行称量和计数。

1.3 鱼类功能群类型划分

根据鱼类的摄食习性,参考张其永等(1981)、张雅芝等(1994)、罗秉征等(1997)和黄良敏等(2008),将鱼类分为以下6类功能群:

(1)浮游生物食性群:以桡足类为主要食物,兼滤食一些较大型的浮游生物,该类型大多是中上层鱼类。

(2)底栖动物食性群:以底栖虾、蟹类为主要饵料,兼捕食一些多毛类、双壳类、棘皮类等,游动速度较慢,该类型多属底栖或近底层鱼类。

图1 七星列岛省级海洋特别保护区渔业资源调查站位

Fig. 1 Survey stations of fishery resource in the Qixing Islands Marine Reserve

(3)游泳动物食性群: 主要摄食中、小型鱼类及头足类等, 游泳速度快, 该类型既有底层鱼类, 又有中上层鱼类。

(4)浮游生物/底栖动物食性群: 主要摄食浮游生物和底栖动物, 该类型常活动在浅海的中上层或底层。

(5)底栖动物/游泳动物食性群: 以摄食底栖动物和游泳动物为主, 该类型常栖息在浅海底层, 多属于底层鱼类。

(6)杂食性群: 饵料组成中浮游生物、游泳动物和底栖动物等均占有一定比例。

1.4 数据分析

(1) K-优势度曲线

K-优势度曲线(K-dominance curve)是依据调查中出现鱼类丰度(abundance)的百分比进行降序排列, 用图示的方法表示物种丰度累积百分比(李圣法, 2008):

$$y_i = \sum_{j=1}^i p_j \quad (1)$$

$$x_i = \lg i \quad i=1, 2, \dots, S \quad (2)$$

式中, S 是鱼类物种数目, p_j 为鱼类以数量递降顺序排列的第 j 种的丰度百分比, x_i 为鱼类降序排列序号的对数, y_i 为鱼类丰度累积百分比。

根据K-优势度曲线排序所得到的种类排序结果, 选取丰度累积百分比97%的鱼类作为研究对象。

(2)生态位测度

生态位宽度采用Shannon-Wiener指数(Shannon & Wiener, 1963):

$$B_i = -\sum_{j=1}^R (P_{ij} \ln P_{ij}) \quad (3)$$

生态位重叠值采用Pianka重叠指数(Pianka, 1973):

$$O_{ik} = \sum_{j=1}^R (P_{ij} \cdot P_{kj}) / \sqrt{\sum_{j=1}^R P_{ij}^2 \sum_{j=1}^R P_{kj}^2} \quad (4)$$

式中: P_{ij} 和 P_{kj} 为种 i 和种 k 的个体数占 j 站位个体数的比例; R 为总站位数; B_i 为生态位宽度, 取值范围为 $0-R$; O_{ik} 为生态位重叠值, 取值范围为 $0-1$ 。

将鱼类按生态位宽度值划分为3类, 即广生态位种($B_i \geq 1.5$)、中生态位种($0.5 \leq B_i < 1.5$)和窄生态位种($0 < B_i < 0.5$)。

采用Excel 2007进行生态位指标的计算。

(3)非度量多维标度排序和等级聚类

为平衡不同种类在群落中的作用, 将丰度数据进行平方根处理, 并建立种类 $\times$ 站位矩阵, 利用PRIMER 5.0软件非加权组平均法进行非度量多维标度排序和等级聚类, 其精确性使用协强系数(Stress)判定。

2 结果

2.1 功能群种类组成

K-优势度曲线排序结果表明(图2), 秋季鱼类丰度累积百分比大于97%的共18种, 隶属于6目10科16属, 春季共12种, 隶属于4目10科12属。各功能群组成分别是: 底栖动物食性功能群种类最多, 包括四线天竺鲷(*Apogon quadrifasciatus*)、六指马鲛(*Polydactylus sexfilis*)和焦氏舌鰨(*Cynoglossus joyneri*)等9种; 底栖动物/游泳动物食性功能群, 包括叫姑鱼(*Johnius belangerii*)、大黄鱼(*Larimichthys crocea*)和龙头鱼(*Harpodon nehereus*)等5种; 浮游生物食性功能群, 包括日本鳀(*Engraulis japonicus*)、赤鼻棱鳀(*Thrissa kammalensis*)和镰鲳(*Pampus echinogaster*)等5种; 游泳动物食性功能群, 包括海鳗(*Muraenesox cinereus*)、日本鲈(*Scomber japonicus*)和带鱼(*Trichiurus lepturus*)等3种; 浮游生物/底栖动物食性功能群, 包括棘头梅童鱼(*Collichthys lucidus*)和黄鲫(*Setipinna tenuifilis*) 2种; 杂食性功

图2 七星列岛省级海洋特别保护区鱼类的K-优势度曲线
Fig. 2 K-dominance curves of major fish in the Qixing Islands Marine Reserve

能群仅蓝圆鲹(*Decapterus maruadsi*) 1种(表1)。

2.2 功能群的数量组成

秋季主要鱼类功能群所含鱼种数占总鱼种数百分比从高到低依次为: 底栖动物食性群>底栖动物/游泳动物食性群>浮游生物食性群 = 浮游生物/底栖动物食性群>游泳动物食性群; 主要鱼类功能群丰度百分比从高到低依次为: 底栖动物食性群>底栖动物/游泳动物食性群>浮游生物食性群>游泳动物食性群>浮游生物/底栖动物食性群; 主要鱼类功能群生物量百分比从高到低依次为: 游泳动物食性群>底栖动物/游泳动物食性群>底栖动物食性群>浮游生物食性群>浮游生物/底栖动物食性群(图3a)。

春季主要鱼类功能群所含鱼种数占总鱼种数百分比从高到低的顺序: 浮游生物食性群>底栖动物食性群 = 游泳动物食性群 = 浮游生物/底栖动物食性群 = 底栖动物/游泳动物食性群>杂食性群; 主要鱼类功能群丰度百分比从高到低的顺序: 浮游生物食性群>杂食性群>游泳动物食性群>底栖动物/游泳动物食性群>底栖动物食性群 = 浮游生物/底栖动物食性群; 主要鱼类功能群生物量百分比从高到低的顺序: 浮游生物食性群>游泳动物食性群>杂食性群>底栖动物/游泳动物食性群>浮游生物/底栖动物食性群>底栖动物食性群(图3b)。

2.3 生态位宽度

秋季主要鱼类的生态位宽度值变化范围为0.25–3.84, 其中生态位宽度值最大的两个种分别为

表1 七星列岛省级海洋特别保护区主要鱼类功能群组成
Table 1 Composition of different functional groups of major fish in the Qixing Islands Marine Reserve

种类 Species	秋季 Autumn	春季 Spring
浮游生物食性群 Planktivores (FG1)		
日本鳀 <i>Engraulis japonicus</i>		+
赤鼻棱鳀 <i>Thrissa kammalensis</i>	+	
刺鲳 <i>Psenopsis anomala</i>		+
镰鲳 <i>Pampus echinogaster</i>		+
关岛小鲷 <i>Scorpaenodes guamensis</i>	+	
底栖动物食性群 Benthivores (FG2)		
六指马鲛 <i>Polydactylus sexfilis</i>	+	
四线天竺鲷 <i>Apogon quadrifasciatus</i>	+	
红狼牙鰕虎鱼 <i>Odontamblyopus rubicundus</i>	+	
孔鰕虎鱼 <i>Trypauchen vagina</i>	+	
六丝矛尾鰕虎鱼 <i>Amblychaeturichthys hexanema</i>	+	+
黄姑鱼 <i>Nibea albiflora</i>	+	
黑姑鱼 <i>Atrobucca nibe</i>		+
宽体舌鲷 <i>Cynoglossus robustus</i>	+	
焦氏舌鲷 <i>Cynoglossus joyneri</i>	+	
游泳动物食性群 Piscivores (FG3)		
海鳗 <i>Muraenesox cinereus</i>	+	
带鱼 <i>Trichiurus lepturus</i>		+
日本鲈 <i>Scomber japonicus</i>		+
浮游生物/底栖动物食性群 Planktivores/Benthivores (FG4)		
黄鲫 <i>Setipinna tenuifilis</i>	+	+
棘头梅童鱼 <i>Collichthys lucidus</i>	+	+
底栖动物/游泳动物食性群 Benthivores/Piscivores (FG5)		
龙头鱼 <i>Harpodon nehereus</i>	+	+
尖头黄鳍牙鲷 <i>Chrysochir aureus</i>	+	
叫姑鱼 <i>Johnius belengerii</i>	+	
大黄鱼 <i>Larimichthys crocea</i>	+	
小黄鱼 <i>Larimichthys polyactis</i>	+	
绿鳍鱼 <i>Chelidonichthys kumu</i>		+
杂食性群 Omnivores (FG6)		
蓝圆鲹 <i>Decapterus maruadsi</i>		+

龙头鱼(3.84)和六指马鲛(3.71), 其后依次为赤鼻棱鳀、海鳗、红狼牙鰕虎鱼、尖头黄鳍牙鲷(*Chrysochir aureus*)和叫姑鱼。春季主要鱼类的生态位宽度值变化范围为0.36–3.16, 其中生态位宽度值最大的3个种依次为带鱼(3.16)、日本鳀(3.12)和蓝圆鲹(2.95), 其后依次为刺鲳、龙头鱼和镰鲳等(表2)。

图3 七星列岛省级海洋特别保护区主要鱼类非度量多维标度排序。编号同表2。
Fig. 3 The non-metric multidimensional scaling of major fish in the Qixing Islands Marine Reserve. Species numbers are the same as those in Table 2.

表2 七星列岛省级海洋特别保护区主要鱼类生态位宽度
Table 2 The niche breadth of major fishes in the Qixing Islands Marine Reserve

秋季 Autumn			春季 Spring		
编号 No.	种名 Species	生态位宽度 Niche breadth	编号 No.	种名 Species	生态位宽度 Niche breadth
Q1	龙头鱼 <i>Harpodon nehereus</i>	3.84	C1	日本鳀 <i>Engraulis japonicus</i>	3.12
Q2	六指马鲛 <i>Polydactylus sexfilis</i>	3.71	C2	蓝圆鲹 <i>Decapterus maruadsi</i>	2.95
Q3	赤鼻棱鲷 <i>Trissia kammalensis</i>	1.51	C3	带鱼 <i>Trichiurus lepturus</i>	3.16
Q4	红狼牙鰕虎鱼 <i>Odontamblyopus rubicundus</i>	1.31	C4	龙头鱼 <i>Harpodon nehereus</i>	1.32
Q5	海鳗 <i>Muraenesox cinereus</i>	1.48	C5	刺鲳 <i>Psenopsis anomala</i>	1.5
Q6	尖头黄鳍牙鲷 <i>Chrysochir aureus</i>	1.2	C6	镰鲳 <i>Pampus echinogaster</i>	1.02
Q7	叫姑鱼 <i>Johnius belengerii</i>	1.1	C7	日本鲈 <i>Scomber japonicus</i>	0.68
Q8	四线天竺鲷 <i>Apogon quadrifasciatus</i>	0.67	C8	六丝矛尾鰕虎鱼 <i>Amblychaeturichthys hexanema</i>	0.65
Q9	孔鰕虎鱼 <i>Trypauchen vagina</i>	0.44	C9	黄鲫 <i>Setipinna tenuifili</i>	0.67
Q10	大黄鱼 <i>Larimichthys crocea</i>	0.67	C10	棘头梅童鱼 <i>Collichthys lucidus</i>	0.75
Q11	棘头梅童鱼 <i>Collichthys lucidus</i>	0.81	C11	黑姑鱼 <i>Atrobucca nibe</i>	0.59
Q12	关岛小鲷 <i>Scorpaenodes guamensis</i>	0.67	C12	绿鳍鱼 <i>Chelidonichthys kumu</i>	0.36
Q13	宽体舌鲷 <i>Cynoglossus robustus</i>	0.39			
Q14	六丝矛尾鰕虎鱼 <i>Amblychaeturichthys hexanema</i>	0.46			
Q15	小黄鱼 <i>Larimichthys polyactis</i>	0.28			
Q16	焦氏舌鲷 <i>Cynoglossus joyneri</i>	0.42			
Q17	黄鲫 <i>Setipinna tenuifili</i>	0.25			
Q18	黄姑鱼 <i>Nibea albiflora</i>	0.43			

按生态位宽度值进行分类的情况如下: (1)广生态位种。秋季有龙头鱼、六指马鲛和赤鼻棱鲷, 春季有带鱼、日本鳀、蓝圆鲹和刺鲳, 它们的分布范围广且在大部分站位有较多的数量。(2)中生态位种。秋季有海鳗、红狼牙鰕虎鱼和尖头黄鳍牙鲷等8种, 春季有龙头鱼、镰鲳和棘头梅童鱼等7种, 它们的分布范围较广, 少数站位有较高的数量。(3)窄

生态位种。秋季有六丝矛尾鰕虎鱼(*Amblychaeturichthys hexanema*)、孔鰕虎鱼和小黄鱼等7种, 春季仅有绿鳍鱼, 它们只出现在少数站位, 呈斑块分布。

2.4 生态位重叠

秋季主要鱼类生态位重叠值在0–0.94之间波动(表3), 表明在同一生境中不同物种利用环境资源时既相互独立, 又相互重叠。大黄鱼和小黄鱼的生态位

表3 七星列岛省级海洋特别保护区秋季主要鱼类生态位重叠值
Table 3 The niche overlaps of major fishes during autumn in the Qixing Islands Marine Reserve

编号 No.	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7	Q8	Q9	Q10	Q11	Q12	Q13	Q14	Q15	Q16	Q17
Q2	0.61																
Q3	0.46	0.39															
Q4	0.59	0.50	0.09														
Q5	0.68	0.67	0.12	0.45													
Q6	0.69	0.82	0.11	0.49	0.48												
Q7	0.81	0.79	0.21	0.65	0.81	0.54											
Q8	0.62	0.51	0.75	0.39	0.39	0.16	0.53										
Q9	0.29	0.29	0.12	0.80	0.27	0.22	0.55	0.42									
Q10	0.65	0.73	0.17	0.29	0.39	0.83	0.56	0.12	0.21								
Q11	0.68	0.77	0.10	0.53	0.31	0.83	0.46	0.18	0.13	0.49							
Q12	0.71	0.63	0.06	0.73	0.43	0.69	0.55	0.29	0.43	0.54	0.64						
Q13	0.47	0.60	0.20	0.38	0.52	0.46	0.77	0.42	0.59	0.59	0.24	0.33					
Q14	0.69	0.57	0.20	0.62	0.36	0.42	0.59	0.27	0.17	0.25	0.68	0.41	0.14				
Q15	0.58	0.65	0.16	0.28	0.35	0.81	0.52	0.02	0.13	0.94	0.54	0.46	0.67	0.32			
Q16	0.52	0.36	0.62	0.17	0.56	0.25	0.46	0.65	0.08	0.37	0.00	0.16	0.32	0.20	0.37		
Q17	0.55	0.50	0.04	0.38	0.85	0.50	0.64	0.22	0.12	0.48	0.22	0.37	0.39	0.35	0.43	0.63	
Q18	0.61	0.70	0.26	0.13	0.51	0.45	0.67	0.36	0.24	0.65	0.29	0.18	0.23	0.22	0.55	0.36	0.33

编号同表2。Species numbers are the same as those in Table 2.

表4 七星列岛省级海洋特别保护区春季主要鱼类生态位重叠值
Table 4 The niche overlaps of major fishes during spring in the Qixing Islands Marine Reserve

编号 No.	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11
C2	0.68										
C3	0.58	0.44									
C4	0.15	0.21	0.22								
C5	0.24	0.28	0.35	0.03							
C6	0.11	0.03	0.16	0.74	0.03						
C7	0.74	0.30	0.66	0.03	0.06	0.04					
C8	0.12	0.08	0.18	0.76	0.09	0.62	0.00				
C9	0.56	0.48	0.67	0.60	0.16	0.23	0.68	0.42			
C10	0.15	0.16	0.31	0.77	0.23	0.85	0.08	0.36	0.40		
C11	0.09	0.18	0.15	0.72	0.10	0.82	0.02	0.28	0.34	0.92	
C12	0.08	0.11	0.13	0.69	0.05	0.97	0.02	0.47	0.23	0.87	0.90

编号同表2。Species numbers are the same as those in Table 2.

重叠值最大, 达0.94, 说明这两个种生态位保持高度一致。此外, 生态位宽度值较大的种与其他种间的生态位重叠较高, 如尖头黄鳍牙鲷和大黄鱼(0.83), 尖头黄鳍牙鲷和棘头梅童鱼(0.83), 六指马鲛和尖头黄鳍牙鲷(0.82), 龙头鱼和叫姑鱼(0.81)等。

春季主要鱼类生态位重叠程度不均匀, 整体在

0–0.92之间波动, 生态位重叠值大于0.60的种对有18对, 占全部种对的27.3%, 介于0.30–0.60之间的种对有12对, 占18.2%, 小于0.30的种对有36对, 占54.5% (表4)。带鱼作为春季生态位宽度值最大的种与其他种的生态位重叠值并不是很高, 仅与黄鲫(0.67)、日本鲈(0.66)的生态位重叠值大于0.60。

图4 七星列岛省级海洋特别保护区主要鱼类物种等级聚类。编号同表2。
Fig. 4 The hierarchical cluster dendrogram of major fishes in Qixing Islands Provincial Marine Reserve. Species numbers are the same as those in Table 2.

2.5 非度量多维标度排序和等级聚类

非度量多维标度排序和等级聚类的结果表明,秋季主要鱼类在相似度为42.34%时可分为4组。其中,第1组为龙头鱼、六指马鲛和赤鼻棱鲷,在相似度为56.98%处聚为一支;第2组包括红狼牙鰕虎鱼、海鳗、尖头黄鳍牙鲷等,在相似度为44.42%处聚为一支;第3组为四线天竺鲷、孔鰕虎鱼和宽体舌鰐(*Cynoglossus robustus*),在相似度为50.35%处聚为一支;第4组只有黄鲫(图3a, 4a)。

春季主要鱼类在相似度为38.80%时,可分为3组,第1组为日本鰕、蓝圆鲹、带鱼和刺鲳,在相似度为48.52%处聚为一支;第2组为日本鲈和黄鲫,在相似度为64.19%处聚为一支;第3组为龙头鱼、六丝矛尾鰕虎鱼和黑姑鱼等,在相似度为52.39%处聚

为一支(图3b, 4b)。非度量多维标度排序和等级聚类结果较一致,较好地反映了七星列岛省级海洋特别保护区主要鱼类分布、种群数量和栖息环境的相似性。

3 讨论

3.1 主要鱼类功能群组成特征

调查发现七星列岛省级海洋特别保护区主要鱼类种类组成以沿岸海域常见种为主。鱼类功能群组成季节间的变化明显,秋季以底栖动物食性群和底栖动物/游泳动物食性群为主,春季以浮游生物食性群为主。推测是因为鱼类的季节性洄游造成了鱼类群落物种组成的变化,而不同鱼类的摄食习性也有所不同。此外,鱼类在不同季节处于不同的生

长发育阶段,其种类组成与其营养需求不同及饵料基础的时空变化等密切相关(张波等, 2009a)。另外,鱼类功能群的丰度和生物量组成较不均匀。秋季,浮游生物、底栖动物食性群和底栖动物/游泳动物食性群的丰度占总丰度的比例高达93.49%,底栖动物、游泳动物和底栖动物/游泳动物食性群的生物量占总生物量的比例高达93.01%;春季,丰度和生物量也几乎都集中在浮游生物、游泳动物和杂食性功能群中。这与东海北部近海(姜亚洲等, 2008)和象山港(姜亚洲等, 2014)的研究结果相类似。

海洋生态系统生物种类的多样性和食物关系的复杂性,使得所有种类的食物网定量和定性研究变得十分困难(张波等, 2009b)。功能群的研究可以简化海洋生态系统的食物链结构,反映海洋生态系统中物质循环和能量流动的途径。基于七星列岛省级海洋特别保护区鱼类功能群组成特点,鱼类食物链物质循环和能量流动可大致归纳为以下3条途径:(1)有机碎屑→碎屑食性(无脊椎动物)→底栖动物食性(低级肉食性鱼类)→底栖动物/游泳动物食性(中级肉食性鱼类),如有机碎屑→细螯虾(*Leptochela gracilis*)→六丝矛尾鰕虎鱼→龙头鱼;(2)浮游植物→浮游生物→浮游生物食性(低级肉食性鱼类)→游泳动物食性(中级肉食性鱼类),如小眼圆筛藻(*Coscinodiscus oculatus*)→中国毛虾(*Acetes chinensis*)→赤鼻棱鳀→带鱼;(3)浮游植物→浮游生物→浮游生物/底栖动物食性(低级肉食性鱼类)→游泳动物食性(中级肉食性鱼类);如库氏圆筛藻(*Coscinodiscus kuetzingii*)→尖额北糠虾(*Boreomysis rostrata*)→黄鲫→带鱼。

3.2 生态位特征

生态位宽度能够较好地解释群落中物种对环境资源利用和栖息环境的适应能力,其值的大小能反映物种的分布范围、分布格局和种群数量。秋季,龙头鱼、六指马鲛和赤鼻棱鳀是广生态位种,其中龙头鱼的生态位宽度值最大,数量最为丰富,占27.90%。此外,龙头鱼的分布范围较广,在12个站位中均出现,呈均匀分布。同时,研究得出春季刺鲷出现在8个站位中,生态位宽度值为1.32,而棘头梅童鱼在12个站位中均有分布,但生态位宽度值仅为0.75。究其原因,刺鲷的数量较多,分布较均匀,而棘头梅童鱼的数量较少,集中分布于10号站位,

呈斑块分布。因此,只有那些数量多、分布范围广且均匀分布的鱼类,其生态位宽度值才较高。该结果与胡成业等(2015)和胡知渊等(2006)的结果相一致。此外,生态位宽度值大的鱼类,生态位重叠值不一定大,如秋季龙头鱼和六指马鲛的生态位宽度值分别为3.84和3.71,远高于其他鱼类,但它们之间的生态位重叠值并不大。这可能与其摄食类群和栖息水层等生物生态学特性存在差异有关。龙头鱼属于底栖动物/游泳动物食性功能群,为中、下层鱼类,以虾类、小型鱼类、长尾类和端足类等为饵料(庄平等, 2006);而六指马鲛属于底栖生物食性功能群,主要摄食短尾类和口足类的口虾蛄及部分鱼类幼体(如鰕虎鱼幼鱼)和少量糠虾类,属于近底层鱼类(黄良敏等, 2008)。

生态位重叠是发生种间竞争的前提条件,由于食性及生活型等生物生态学特征的差异,使得生态位重叠值较大的物种之间并不一定存在激烈竞争(葛宝明等, 2005; 吴东丽等, 2009)。小黄鱼和大黄鱼均为黄鱼属,且同属底栖动物/游泳动物食性功能群,栖息于相似生境,其亲缘关系较近,使得秋季生态位重叠值最高,达0.94。但它们的种间竞争并不激烈,这可能是由于生态位出现分化,即食性的分化,有各自喜食的饵料类群,如大黄鱼为凶猛性肉食性鱼类,喜食小型鱼类,而小黄鱼为温和性肉食性鱼类,虾类和端足类为主要饵料(王凯等, 2012)。另外,镰鲳和绿鳍鱼春季的生态位重叠值达到0.97,二者同样种间竞争也并不激烈。主要是因为它们属于不同的功能群,物种本身的生物生态学特性存在差异,对环境资源的需求也不同。当然,这与环境资源存在空间异质性也有关系,适宜镰鲳和绿鳍鱼的生境呈斑块分布,导致其分布在不同的生境中。

3.3 群落结构分析

许多研究结果表明(葛宝明等, 2005; 焦海峰等, 2011; 彭松耀等, 2015),非度量多维标度排序和等级聚类的结果是物种分布、数量的反映,且与生态位宽度值和生态位重叠值有关。本文研究结果表明,秋季和春季第1组的种类均为广生态位种,分布范围广且呈均匀分布,数量较高。秋季和春季第2组的种类大多为中生态位种,虽然分布广泛,但大多数站位的数量并不高或呈现分布不均匀等特点。秋季

和春季第3组的种类除秋季四线天竺鲷为中生态位种外, 其余均为窄生态位种, 而春季除绿鳍鱼为窄生态位种外, 其余均为中生态位种。由非度量多维标度排序得出, 秋季第4组黄鲫与其他种类的距离较远, 这与黄鲫仅在少数站位出现且数量较少, 呈斑块分布有关, 缓解了鱼类间对环境资源的竞争。

参考文献

- Bulman C, Althaus F, He X, Bax NJ, Williams A (2001) Diets and trophic guilds of demersal fishes of the southeastern Australian shelf. *Marine and Freshwater Research*, 52, 537–548.
- Ge BM, Bao YX, Zheng X, Cheng HY (2005) The structure of the macrobenthic community and niche analysis at a tidal flat of Linkun Island. *Acta Ecologica Sinica*, 25, 3037–3043. (in Chinese with English abstract) [葛宝明, 鲍毅新, 郑祥, 程宏毅 (2005) 灵昆岛东滩潮间带大型底栖动物功能群及营养等级构成. *生态学报*, 25, 3037–3043.]
- Hu CY, Shui YY, Du X, Shui BN (2015) Niche and interspecific association of nekton in the south coastal waters of Cangnan, Zhejiang, China. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 26, 3195–3201. (in Chinese with English abstract) [胡成业, 水玉跃, 杜肖, 水柏年 (2015) 浙江苍南南部沿岸海域主要游泳动物生态位及种间联结性. *应用生态学报*, 26, 3195–3201.]
- Hu ZY, Bao YX, Ge BM, Li HH (2006) Macrobenthic community and niche analysis of creeks during autumn in diked tidal flat. *Acta Zoologica Sinica*, 52, 800–809. (in Chinese with English abstract) [胡知渊, 鲍毅新, 葛宝明, 李欢欢 (2006) 围垦滩涂潮沟秋季大型底栖动物群落和生态位分析. *动物学报*, 52, 800–809.]
- Huang LM, Zhang YZ, Pan JJ, Cui YX, Wu YJ (2008) Food web of fish in Xiamen eastern waters. *Journal of Oceanography in Taiwan Strait*, 27, 64–73. (in Chinese with English abstract) [黄良敏, 张雅芝, 潘佳佳, 崔裕侠, 吴亚娟 (2008) 厦门东海域鱼类食物网研究. *台湾海峡*, 27, 64–73.]
- Jiang YZ, Cheng JH, Li SF (2008) Variation in fish community structure and biodiversity in the north of the East China Sea between two periods. *Journal of Fishery Sciences of China*, 15, 453–459. (in Chinese with English abstract) [姜亚洲, 程家骅, 李圣法 (2008) 东海北部鱼类群落多样性及其结构特征的变化. *中国水产科学*, 15, 453–459.]
- Jiang YZ, Lin N, Yuan XW, Jiao HF, Li SF (2014) Functional groups composition and functional diversity of nekton community in the Xiangshan Bay. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 45, 108–114. (in Chinese with English abstract) [姜亚洲, 林楠, 袁兴伟, 焦海峰, 李圣法 (2014) 象山港游泳动物群落功能群组成与功能群多样性. *海洋与湖沼*, 45, 108–114.]
- Jiao HF, Shi HX, You ZJ, Huang B (2011) Niche analysis of dominant species of macrobenthic community at a tidal flat of Yushan Island. *Acta Ecologica Sinica*, 31, 3928–3936. (in Chinese with English abstract) [焦海峰, 施慧雄, 尤仲杰, 黄滨 (2011) 渔山岛岩礁基质潮间带大型底栖动物优势种生态位. *生态学报*, 31, 3928–3936.]
- Li F, Xu BQ, Ma YQ, Lü ZB, Wang TT (2014) Seasonal changes of functional guilds of fish community in Laizhou Bay, East China. *Acta Ecologica Sinica*, 34, 1736–1745. (in Chinese with English abstract) [李凡, 徐炳庆, 马元庆, 吕振波, 王田田 (2014) 莱州湾鱼类群落同功能种团的季节变化. *生态学报*, 34, 1736–1745.]
- Li SF (2008) Status of fish community in East China Sea using the method of abundance biomass comparison (ABC) curve. *Journal of Fishery Sciences of China*, 15, 136–144. (in Chinese with English abstract) [李圣法 (2008) 以数量生物量比较曲线评价东海鱼类群落的状况. *中国水产科学*, 15, 136–144.]
- Liu J, Hu N, Ding SY, Fan YL, Zhai YJ, Liao BH (2008) A study on niches of species constituting plant functional groups on the south slope of the Funiu Mountain. *Journal of Wuhan Botanical Research*, 26, 595–599. (in Chinese with English abstract) [柳静, 胡楠, 丁圣彦, 范玉龙, 翟元杰, 廖秉华 (2008) 伏牛山自然保护区植物功能群组成种的生态位研究. *武汉植物学研究*, 26, 595–599.]
- Luo BZ, Wei S, Dou SZ (1997) Study on food web and trophic structure of fish in the Changjiang River Estuary. *Studia Marina Sinica*, 38, 143–153. (in Chinese with English abstract) [罗秉征, 韦晟, 窦硕增 (1997) 长江口鱼类食物网与营养结构的研究. *海洋科学集刊*, 38, 143–153.]
- Naem S, Wright JP (2003) Disentangling biodiversity effects on ecosystem functioning: deriving solutions to a seemingly insurmountable problem. *Ecology Letters*, 6, 567–579.
- Peng SY, Li XZ, Wang HF, Zhang BL (2015) Niche analysis of dominant species of macrozoobenthic community in the southern Yellow Sea in spring. *Acta Ecologica Sinica*, 35, 1917–1928. (in Chinese with English abstract) [彭松耀, 李新正, 王洪法, 张宝琳 (2015) 南黄海春季大型底栖动物优势种生态位. *生态学报*, 35, 1917–1928.]
- Pianka ER (1973) The structure of lizard communities. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 4, 53–74.
- Shannon CE, Wiener W (1963) *The Mathematical Theory of Communication*. University of Illinois Press, Chicago.
- Su YQ, Wang J, Dai TY, Ruan WQ, Liao ZX (2011) *Atlas of Common Sea Fishes in Taiwan Strait*. Xiamen University Press, Xiamen. (in Chinese) [苏永全, 王军, 戴天元, 阮五崎, 廖正信 (2011) 台湾海峡常见鱼类图谱. 厦门大学出版社, 厦门.]
- Wang K, Zhang SY, Wang ZH, Xu M, Zhao J (2012) Feeding habits of small yellow croaker *Larimichthys polyactis* off Ma'an Archipelago. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 36, 1188–1192. (in Chinese with English abstract) [王凯, 章守宇, 汪振华, 许敏, 赵静 (2012) 马鞍列岛海域小黄鱼的食性. *水生生物学报*, 36, 1188–1192.]

- Wu DL, Zhang JT, Wang CY, Xue HX (2009) Niche characteristic of dominant species in the national protected plant, *glycine soja* sieb. et zucc. community. *Acta Agrestia Sinica*, 17, 166–173. (in Chinese with English abstract) [吴东丽, 张金屯, 王春乙, 薛红喜 (2009) 野生大豆群落主要种群生态位特征研究. *草地学报*, 17, 166–173.]
- Yu ZH, Jin XS, Li XS (2010) Analysis of ecological niche for major fish species in the central and southern Yellow Sea. *Progress in Fishery Sciences*, 31(6), 1–8. (in Chinese with English abstract) [于振海, 金显仕, 李显森 (2010) 黄海中南部主要鱼种的生态位分析. *渔业科学进展*, 31(6), 1–8.]
- Zhang B, Li ZY, Jin XS (2012) Functional groups of fish assemblages and their major species in the Bohai Sea. *Journal of Fisheries of China*, 36, 64–72. (in Chinese with English abstract) [张波, 李忠义, 金显仕 (2012) 渤海鱼类群落功能群及其主要种类. *水产学报*, 36, 64–72.]
- Zhang B, Tang QS, Jin XS (2007) Functional groups of fish assemblages and their major species at high trophic level in the East China Sea. *Journal of Fishery Sciences of China*, 14, 939–949. (in Chinese with English abstract) [张波, 唐启升, 金显仕 (2007) 东海高营养层次鱼类功能群及其主要种类. *中国水产科学*, 14, 939–949.]
- Zhang B, Tang QS, Jin XS (2009a) Functional groups of communities and their major species at high trophic level in the Yellow Sea ecosystem. *Acta Ecologica Sinica*, 29, 1109–1111. (in Chinese with English abstract) [张波, 唐启升, 金显仕 (2009a) 黄海生态系统高营养层次生物群落功能群及其主要种类. *生态学报*, 29, 1109–1111.]
- Zhang B, Tang QS, Jin XS (2009b) Functional groups of high trophic level communities in adjacent waters of Changjiang Estuary. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 20, 344–351. (in Chinese with English abstract) [张波, 唐启升, 金显仕 (2009b) 长江口及邻近海域高营养层次生物群落功能群及其变化. *应用生态学报*, 20, 344–351.]
- Zhang F, Shangguan TL (2004) Niche characteristics of dominant populations in *Elaeagnus mollis* communities, Shanxi. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 24, 70–74. (in Chinese with English abstract) [张峰, 上官铁梁 (2004) 翅果油树群落优势种群生态位分析. *西北植物学报*, 24, 70–74.]
- Zhang QY, Lin QM, Lin YT, Zhang YP (1981) Food web of fishes in Minnan-Taiwanchientan Fishing Ground. *Acta Oceanologica Sinica*, 3, 275–290. (in Chinese with English abstract) [张其永, 林秋眠, 林允通, 张月平 (1981) 闽南–台湾浅滩渔场鱼类食物网研究. *海洋学报*, 3, 275–290.]
- Zhang YZ, Li FZ, Liu XY, Lan XW, Chen JK (1994) Food web of fishes in Dongshan Bay, Fujian. *Journal of Oceanography in Taiwan Strait*, 13, 52–61. (in Chinese with English abstract) [张雅芝, 李福振, 刘向阳, 蓝晞文, 陈锦坤 (1994) 东山湾鱼类食物网研究. *台湾海峡*, 13, 52–61.]
- Zhuang P, Wang YH, Li SF, Deng SM, Li CS, Ni Y (2006) Fishes of the Yangtze Estuary. Shanghai Science and Technology Press, Shanghai. (in Chinese) [庄平, 王幼槐, 李圣法, 邓思明, 李长松, 倪勇 (2006) 长江口鱼类. 上海科学技术出版社, 上海.]

(责任编辑: 高天翔 责任编辑: 闫文杰)