

文章编号: 1000-0615(2018)07-1040-10

DOI: 10.11964/jfc.20171111037

## 海州湾及其邻近海域鱼类群落结构冗余度

张芮<sup>1</sup>, 薛莹<sup>1</sup>, 张崇良<sup>1</sup>, 任一平<sup>1,2</sup>, 徐宾铎<sup>1\*</sup>

(1. 中国海洋大学水产学院, 山东青岛 266003;

2. 青岛海洋科学与技术国家实验室, 海洋渔业科学与食物产出过程功能实验室, 山东青岛 266237)

**摘要:** 过度捕捞、环境污染等人类活动以及气候变化等影响着海洋鱼类群落动态及其稳定性。为深入研究海州湾海域鱼类群落结构及其变化, 根据2011年、2013—2016年春、秋两季在该海域进行的渔业资源与环境调查数据, 应用多元统计分析和结构冗余度分析方法, 研究了海州湾海域春、秋季鱼类群落结构冗余度。结果显示, 海州湾及邻近海域春、秋季鱼类均可划分为南北两个群落。春季北部群落的典型种包括方氏云鲷、细纹狮子鱼、黄鲛鲷和大泷六线鱼; 南部群落的典型种为小黄鱼、短吻红舌鲷、方氏云鲷和星康吉鳗。秋季北部群落的典型种为棘绿鳍鱼、长蛇鲻和星康吉鳗; 南部群落典型种包括短吻红舌鲷、棘头梅童鱼、鲩、矛尾虾虎鱼、小黄鱼和皮氏叫姑鱼。春、秋季鱼类群落响应单元数均为1, 群落结构冗余度水平低; 响应单元中种类与南、北鱼类群落典型种组成相似, 表明海州湾春、秋季鱼类群落空间结构特征主要受方氏云鲷、细纹狮子鱼、小黄鱼、棘绿鳍鱼和长蛇鲻等少数种类决定。决定海州湾及邻近海域鱼类群落结构特征的可替代种类较少, 当主要种类受损时, 群落结构会发生较大变化, 鱼类群落结构稳定性较低。

**关键词:** 鱼类群落; 结构冗余度; 典型种; 响应单元; 海州湾

**中图分类号:** S 931.3

**文献标志码:** A

稳定性是生物群落的重要特征之一, 一般包括抵抗力稳定性和恢复力稳定性, 常用多样性或复杂性理论、反馈控制理论、信息网络和冗余理论等解释群落稳定性<sup>[1-4]</sup>。目前, 群落稳定性研究多集中于陆地生物群落, 如植物群落稳定性方面<sup>[5-7]</sup>。有关海洋生物群落, 尤其鱼类群落稳定性研究较少。

在生态学中, 冗余是指一个物种和成分的失效不会造成系统功能的失效<sup>[1]</sup>。在决定群落结构特征方面许多种类可互换, 根据较少种类的数据可以获得与全部种类数据相似的多元统计分析结果, 因此群落中存在大量的种类冗余<sup>[8-9]</sup>。大型底栖动物群落的冗余度水平普遍较高, 而海洋鱼类群落的结构冗余度水平则比较低, 只

有少数种类在群落结构中起到决定作用<sup>[9-13]</sup>。例如, 1985—2002年冬季南黄海鱼类群落结构冗余度较低, 仅存在2个响应单元<sup>[13]</sup>。群落稳定性与生物多样性相关, 食物网越复杂, 其抵御外力干扰的能力就越强, 而实际上食物网的稳定与否取决于营养级内物种的冗余和种群内遗传结构的冗余, 所以食物网营养级内的物种和种群个体冗余度高, 生物群落才能更好地抵御干扰和维持其功能相对的稳定性<sup>[14-15]</sup>。

历史上海州湾渔业资源丰富, 是小黄鱼(*Larimichthys polyactis*)、带鱼(*Trichiurus lepturus*)、中国明对虾(*Fenneropenaeus chinensis*)和金乌贼(*Sepia esculenta*)等主要渔业经济生物的产卵场、索饵场和优良的渔场<sup>[16-17]</sup>。20世纪80年代江苏近

收稿日期: 2017-11-09 修回日期: 2018-01-12

资助项目: 国家自然科学基金(31772852); 中央高校基本科研业务费专项(201562030, 201612004); 海洋公益性行业科研专项(201305030)

通信作者: 徐宾铎, E-mail: bdxu@ouc.edu.cn

海渔业资源调查数据表明, 海州湾海域鱼类达到150种<sup>[18]</sup>; 但是长期以来, 由于受到过度捕捞和海洋污染等人类活动及气候变化等因素的影响, 造成该海域鱼类种数下降, 在渔业资源呈现小型化、低龄化的同时, 渔业种群结构也发生了改变<sup>[19]</sup>。关于海州湾及其邻近海域鱼类群落结构及其变化的研究, 目前多集中在海州湾鱼类群落的区系特征、种类组成、资源量、生物量谱和多样性的时空变化、群落结构时空变化及其与环境因子的关系等<sup>[20-24]</sup>。在此基础上, 进一步查明海州湾及其邻近海域鱼类群落的结构冗余度, 对于深入研究该海域鱼类群落动态及其稳定性非常必要。

本研究根据2011年、2013—2016年春、秋两季在海州湾及其邻近海域进行的鱼类资源调查数据, 应用多元统计分析和结构冗余度分析方法, 研究了该海域鱼类群落结构冗余度, 以期为深入研究海州湾鱼类群落动态变化以及渔业资源的可持续利用和科学管理提供基础资料。

## 1 材料与方法

### 1.1 数据来源

数据来源于2011年、2013—2016年的5月、10月在海州湾及其邻近海域进行的渔业资源调查, 调查海域范围为119°20′~121°10′E、34°20′~35°40′N。调查站位设计采用分层随机取样法, 即根据水深、区域、底质等差异将调查海域分为5个区域。每经纬度10′×10′设置一个站位, 共76个站位(图1), 在每一区域内采用随机取样方法选取一定数量调查站位, 2011年共24个调查站位(A~E区域站位数分别为3、5、3、9、4), 2013年后采用站位数优化后的18个站位(A~E区域站位数分别为2、4、2、7、3)<sup>[25]</sup>。调查船为220 kW的单拖渔船, 各站位设计拖网时间1 h, 拖速为3 kn。底拖网网口宽度为25 m, 囊网网目为17 mm。样品的采集、处理和分析按照《海洋调查规范》(GB/T12763.6-2007)进行。由于各站位拖网时间和拖速存在一定差异, 数据分析前将单位网次渔获重量统一换算成了拖网时间1 h及拖速3 kn的渔获数据。

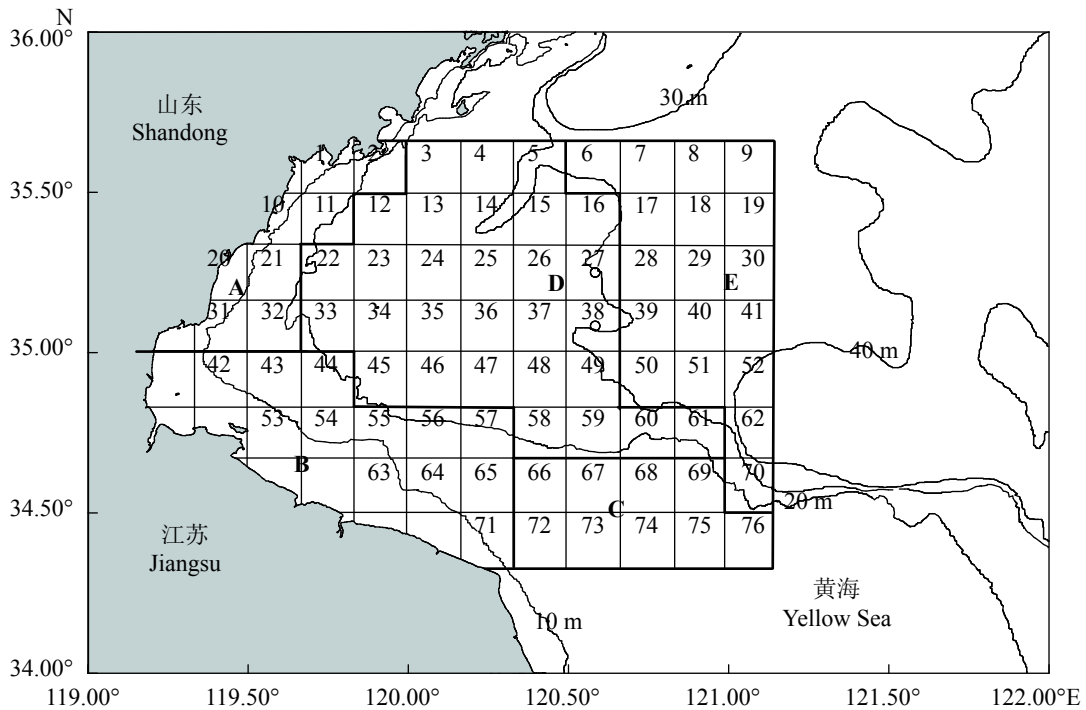


图1 海州湾渔业资源底拖网调查区域

Fig. 1 Bottom trawl survey areas of fishery resources in the Haizhou Bay

### 1.2 分析方法

鱼类群落结构时空变化 在进行数据分

析前, 对原始数据进行预处理, 剔除渔获重量占比低于0.01%的鱼种, 减少稀有种对数据分析

的影响。对海州湾及其邻近水域的各年春、秋季鱼类单位网次渔获重量数据进行平方根转换,以降低少数优势种对相似性系数计算的权重,根据平方根转换的鱼类单位网次渔获重量数据计算各年春、秋季鱼类组成Bray-Curtis相似性系数矩阵,应用聚类分析(CLUSTER)和多维标度排序(MDS)研究鱼类群落种类组成的季节和年间变化。本研究中,若不同年间鱼类种类组成Bray-Curtis相似性系数高于60%,则认为不同年间种类组成相似性高,不计年间变化的影响,在此基础上对不同年份的调查数据进行合并,若同一站位在不同年间均有调查时,取其平均值作为该站位调查数据,获得该海域春、秋季不同站位鱼类单位网次渔获量数据。根据平方根转换计算的不同站位间鱼类种类组成Bray-Curtis相似性系数矩阵,应用CLUSTER和MDS划分春、秋季海州湾及邻近海域不同站位组,分析春、秋季鱼类群落空间格局。应用相似性百分比分析(SIMPER)研究造成各站位组内种类组成相似的典型种和不同站位组间种类组成差异的分歧种<sup>[26-27]</sup>。

**结构冗余度分析** Clarke等<sup>[9]</sup>根据与全部种类的多元统计分析结果匹配较好的子种类组(或称“响应单元”)的个数,来衡量群落结构冗余度水平。在种类—样品数据多元统计分析中,关于两个多维标度排序图的匹配性一般由其相应的两个相似性系数矩阵的Spearman秩相关系数 $\rho$ 来确定<sup>[26-27]</sup>。响应单元一般定义为满足 $\rho>0.95$ 的

包含最少种数的子种类组合。响应单元的确定采用类似于多元逐步回归分析的“向前选择/向后剔除”的逐步搜索算法,直到满足 $\rho>0.95$ 时为止。当筛选出第1个响应单元后,排除这些种类,然后重复上述过程,搜索是否还有满足要求的响应单元,直到不能满足 $\rho>0.95$ 时为止。最后以筛选的响应单元的个数来衡量群落结构冗余度水平。该过程应用PRIMER软件包中的BVSTEP程序实现<sup>[9, 27]</sup>。

## 2 结果

### 2.1 鱼类群落结构时空变化

聚类分析表明,2011年、2013—2016年春、秋季海州湾鱼类群落组成可分为春季组和秋季组;春季组不同年间鱼类种类组成平均相似性系数为60.19%,秋季组平均相似性系数为65.26%;春、秋季群落种类组成差异较大,平均相似性系数为40.76%(图2-a)。MDS分析也表明对于相同季节,不同年间鱼类种类组成相似性高,群落结构年间变化较小(图2-b)。

考虑到海州湾鱼类群落结构年间变化较小(图2),本研究中将2011年、2013—2016年调查数据分别按照春、秋季合并,分析鱼类群落空间格局。聚类分析表明,海州湾春、秋季鱼类群落均可划分为2个站位组。春季站位组I包括38个站位,站位组II包括18个站位(图3-a)。秋季站位组I包括39个站位,站位组II包括20个站位(图4-a)。从站位分布来看,站位组I分布在海州

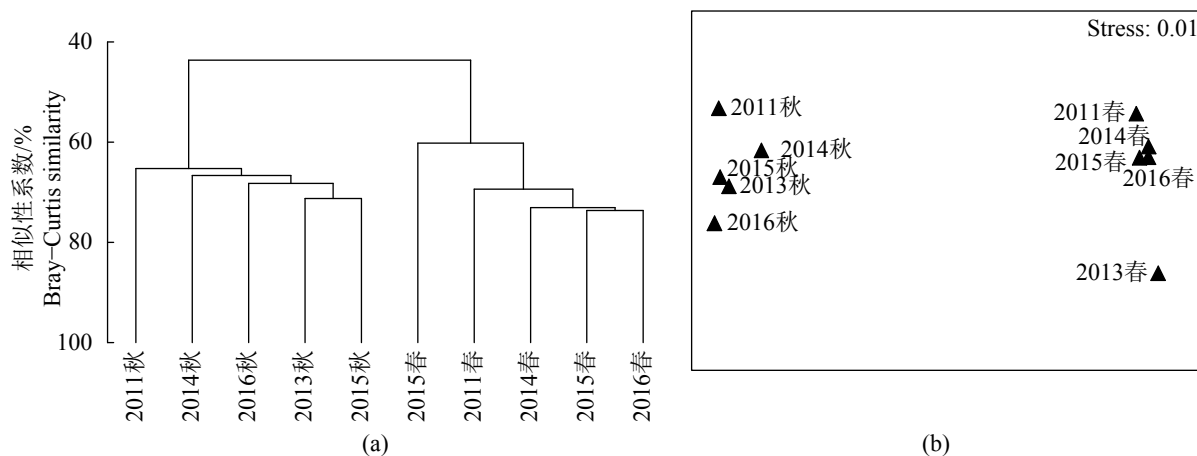


图2 海州湾及邻近海域鱼类群落结构时间变化的聚类分析和多维标度排序

Fig. 2 Cluster analysis dendrogram and MDS plot of temporal changes of fish community structure in Haizhou Bay and its adjacent waters

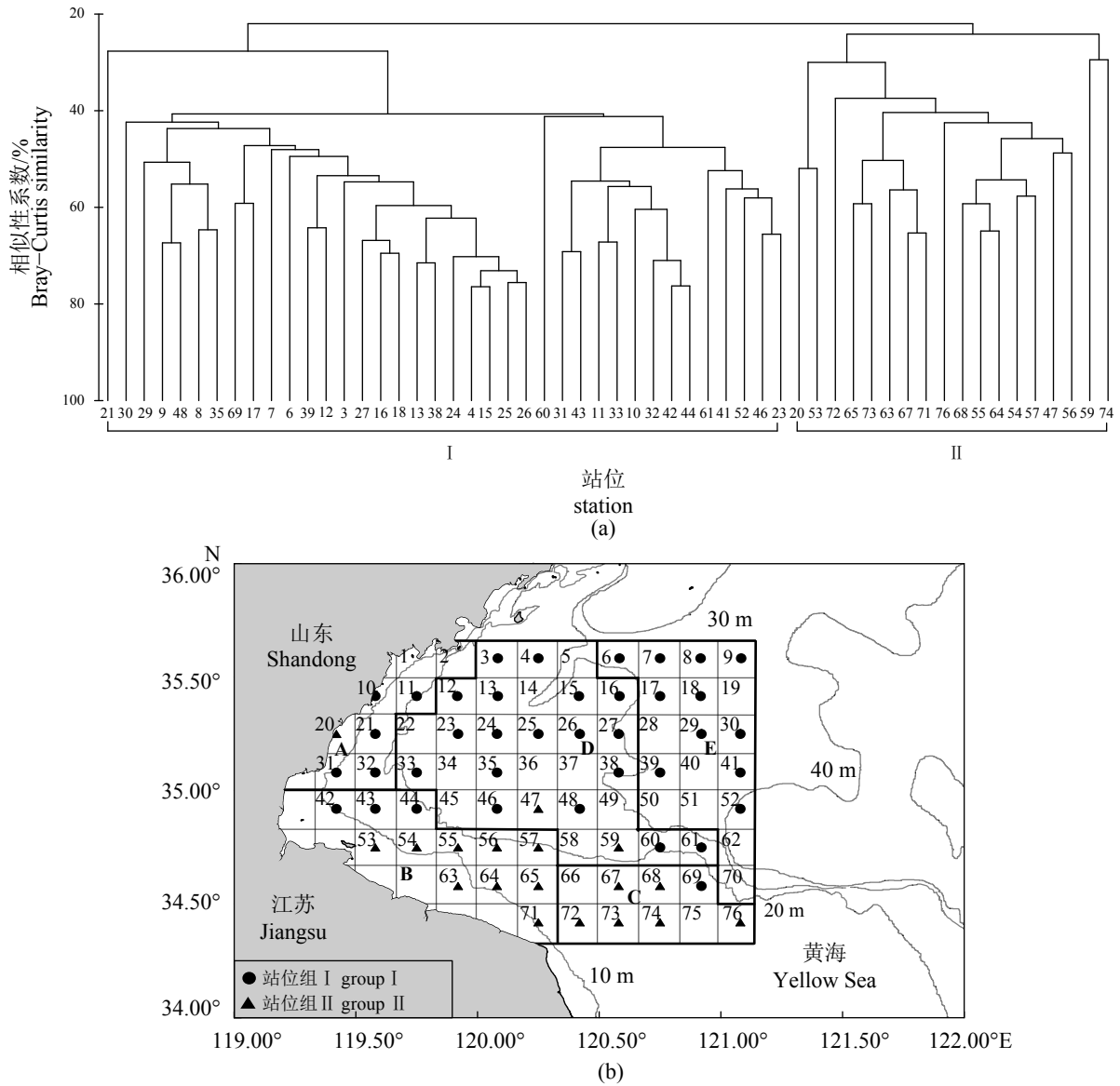


图3 海州湾及邻近海域春季鱼类群落空间结构

Fig. 3 Spatial structure of fish assemblage in Haizhou Bay and its adjacent waters in spring

湾北部, 站位组 II 分布在海州湾南部(图3-b, 图4-b)。

表1列出了海州湾及邻近海域春季鱼类群落两个站位组的典型种以及站位组间的分歧种组成。春季站位组I的典型种包括方氏云鲷(*Enedrias fangi*)、细纹狮子鱼(*Liparis tanakae*)、黄鲛鲷(*Lophius litulon*)和大泷六线鱼(*Hexagrammos otakii*), 对组内平均相似性的贡献累计达到84.38%。站位组II的典型种为小黄鱼、短吻红舌鲷(*Cynoglossus joyneri*)、方氏云鲷和星康吉鳗(*Conger myriaster*), 对组内平均相似性的贡献达到79.83%。两站位组间的分歧种主要为方氏云鲷、细纹狮

子鱼、黄鲛鲷、大泷六线鱼和小黄鱼, 对组间相异性贡献率达到了63.17%。

表2为海州湾及邻近海域秋季鱼类群落各站位组的典型种以及站位组间的分歧种组成。秋季站位组I的典型种为棘绿鳍鱼(*Chelidonichthys spinosus*)、长蛇鲻(*Saurida elongata*)和星康吉鳗, 对组内平均相似性的贡献为79.48%。站位组II典型种为短吻红舌鲷、棘头梅童鱼(*Collichthys lucidus*)、鲩(*Miichthys miiuy*)、矛尾虾虎鱼(*Chaeturichthys stigmatias*)、小黄鱼和皮氏叫姑鱼(*Johnius belangerii*), 对组内平均相似性的贡献为87.54%。两站位组间的分歧种有棘绿鳍鱼、长蛇鲻、棘

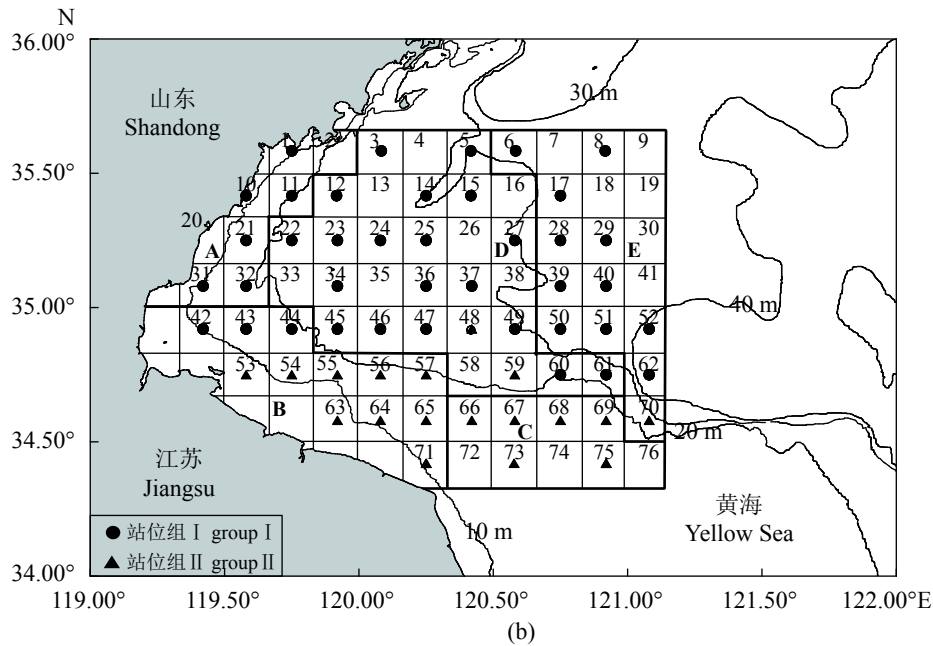
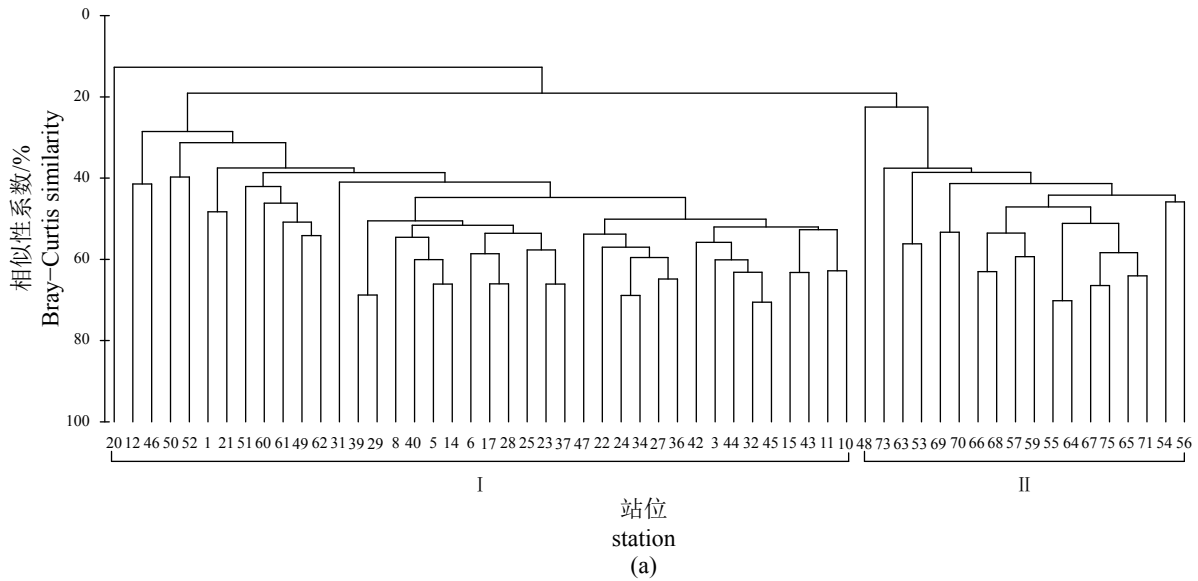


图 4 海州湾及邻近海域秋季鱼类群落空间结构

Fig. 4 Spatial structure of fish assemblage in Haizhou Bay and its adjacent waters in autumn

头梅童鱼和小黄鱼，对组间的相异性贡献率为46.59%。

### 2.2 结构冗余度

海州湾及邻近海域春季鱼类群落响应单元1包括14个种类，分别为短吻红舌鲷、细纹狮子鱼、小黄鱼、大泷六线鱼、黄鲛鲷、方氏云鲷、短鳍鲷(*Callionymus kitaharae*)、少鳞鳕(*Sillago japonica*)、日本海马(*Hippocampus mohnikei*)、红狼牙虾虎鱼(*Odontamblyopus rubicundus*)、长丝虾虎鱼(*Cryptocentrus filifer*)、银鲳(*Pampus argenteus*)、

尖海龙(*Syngnathus acus*)和星康吉鳗，响应单元1对应的MDS图如图5-b所示，与图5-a的Spearman秩相关系数 $\rho=0.950$ 。响应单元2包括30个种类，该响应单元的MDS图如图5-c所示，与图5-a的匹配相关系数 $\rho$ 为0.703。因此，可以筛选出1个相关系数 $\rho>0.950$ 的响应单元，春季海州湾及邻近海域鱼类群落空间结构冗余度水平低。

海州湾及邻近海域秋季鱼类群落响应单元1包括12个种类，分别为矛尾虾虎鱼、棘头梅童鱼、鲩、小黄鱼、长蛇鲻、棘绿鳍鱼、日本海马、长丝虾虎鱼、黄鲫(*Setipinna taty*)、木叶鲷

表 1 海州湾及邻近海域春季鱼类群落各站位组的典型种及组间分歧种

Tab. 1 Typifying species within station-group and discriminating species between station-groups of fish community in Haizhou Bay and its adjacent waters in spring

种类 species	贡献率/% contribution		
	站位组I group I	站位组II group II	站位组I & II groups I & II
方氏云鲷 <i>E. fangi</i>	39.74	6.77	22.47
细纹狮子鱼 <i>L. tanakae</i>	21.73		16.12
黄鲛鲷 <i>L. litulon</i>	11.89		9.67
大泷六线鱼 <i>H. otakii</i>	11.02		7.74
小黄鱼 <i>L. polyactis</i>		43.82	7.17
短吻红舌鲷 <i>C. joyneri</i>		22.99	
星康吉鳗 <i>C. myriaster</i>		6.25	

表 2 海州湾及邻近海域秋季鱼类群落各站位组的典型种及组间分歧种

Tab. 2 Typifying species within station-group and discriminating species between station-groups of fish community in Haizhou Bay and its adjacent waters in autumn

种类 species	贡献率/% contribution		
	站位组I group I	站位组II group II	站位组I & II groups I & II
棘绿鲳鱼 <i>C. spinosus</i>	57.68		27.04
长蛇鲻 <i>S. elongata</i>	16.26		8.41
星康吉鳗 <i>C. myriaster</i>	5.54		
棘头梅童鱼 <i>C. lucidus</i>		21.52	5.76
短吻红舌鲷 <i>C. joyneri</i>		20.42	
鲽 <i>M. miuy</i>		16.36	
矛尾虾虎鱼 <i>C. stigmatias</i>		14.85	
小黄鱼 <i>L. polyactis</i>		8.70	5.38
皮氏叫姑鱼 <i>J. belangerii</i>		5.69	

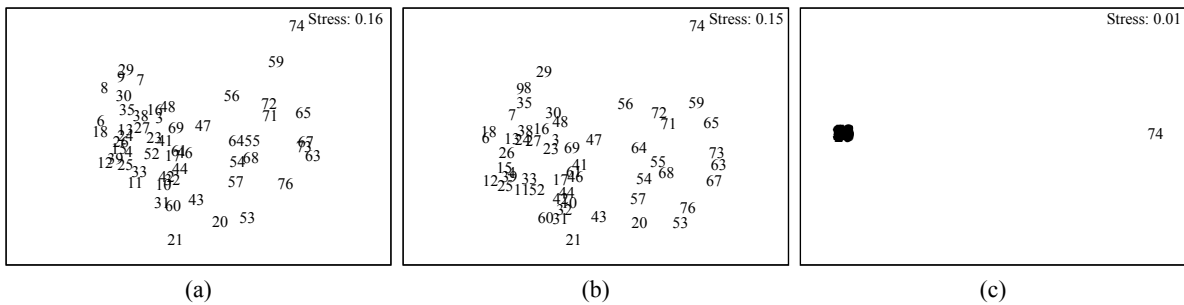


图 5 海州湾及邻近海域春季鱼类群落MDS图

(a) 所有种类; (b) 响应单元1(14个种类,  $\rho=0.950$ ); (c) 响应单元2(30个种类,  $\rho=0.703$ )

Fig. 5 MDS plots of fish assemblage in Haizhou Bay and its adjacent waters in spring

(a) all species; (b) response unit 1 (14 species,  $\rho=0.950$ ); (c) response unit 2 (30 species,  $\rho=0.703$ )

(*Pleuronichthys cornutus*)、细条天竺鲷(*Apogon lineatus*)和方氏云鲷; 响应单元1对应的MDS图如图6-b所示, 与图6-a的Spearman秩相关系数 $\rho=0.950$ 。响应单元2包括34个种类, 该响应单元的MDS图为图6-c, 其与图6-a的相关系数 $\rho$ 为0.836。因此, 可以筛选出1个相关系数 $\rho>0.950$ 的响应单元, 秋季海州湾鱼类群落空间结构冗余度水平低。

### 3 讨论

海州湾及其邻近水域环境复杂多样, 相对于南部而言, 北部受到黄海冷水团影响较大,

南北部底质类型也有所不同<sup>[18, 28-29]</sup>。本研究表明, 春、秋季海州湾鱼类群落空间结构均可划分为南北两个群落, 春季北部群落典型种大部分为冷温种, 南部群落典型种多为暖温种<sup>[30-32]</sup>, 这可能是由于春季海州湾海域北部受到黄海冷水团的影响, 而方氏云鲷作为地方性种类, 常年生活在该海域, 所以南北部都有分布且为典型种<sup>[28]</sup>。秋季北部群落的典型种为棘绿鲳鱼、长蛇鲻、星康吉鳗, 南部群落典型种为短吻红舌鲷、棘头梅童鱼、鲽、矛尾虾虎鱼、小黄鱼和皮氏叫姑鱼, 以暖水种居多<sup>[30-33]</sup>。黄海冷水团在

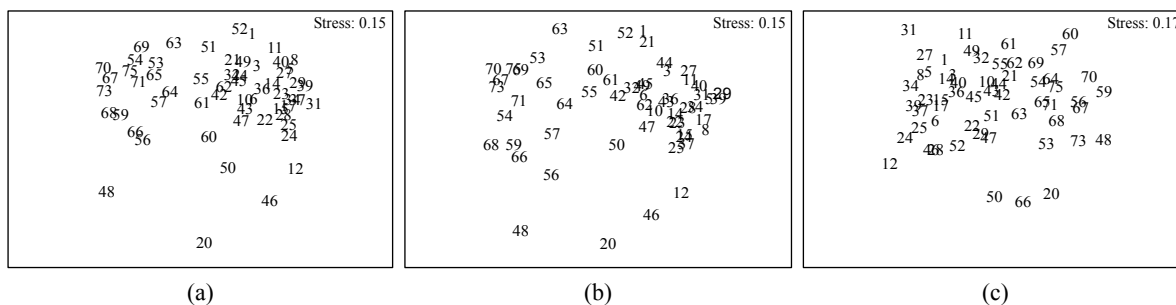


图 6 海州湾及邻近海域秋季鱼类群落MDS图

(a) 所有种类; (b) 响应单元1(12个种类,  $\rho=0.950$ ); (c) 响应单元2(32个种类,  $\rho=0.836$ )

Fig. 6 MDS plots of fish assemblage in Haizhou Bay and its adjacent waters in autumn

(a) all species; (b) response unit 1 (12 species,  $\rho=0.950$ ); (c) response unit 2 (32 species,  $\rho=0.836$ )

5—6月开始形成, 春末完全形成, 7—8月最盛, 初秋开始衰减, 11月处于最弱, 至12月完全消失。黄海冷水团在秋季已经处于衰消期, 对海州湾海域温度影响较小, 调查海域秋季水温较高, 所以秋季南北群落的典型种普遍都为暖水种<sup>[29]</sup>。两个子群落的典型种同时也是组间的分歧种, 例如方氏云鲷、细纹狮子鱼、小黄鱼、棘绿鳍鱼和长蛇鲻等。进一步分析发现, 这些典型种、分歧种同时也是冗余度分析中响应单元的组成种类。因此, 海州湾鱼类群落空间结构的差异主要是由少数种类数量分布变化造成的。

群落稳定性通常与生物多样性联系在一起, 普遍认为食物网越复杂, 群落抵抗外力干扰的能力越强, 但是食物网的稳定与否取决于营养级内物种冗余和种群内的遗传结构冗余, 食物网不稳定通常是由于营养级内冗余较少(某一物种灭绝后, 没有可以替代的物种)而引起的, 营养级内的物种和种群个体按一定的方式组合, 是群落能够抵抗干扰和维持其相对稳定的原因<sup>[34]</sup>。本研究只分析了鱼类群落的结构冗余度, 其营养结构冗余有待于进一步研究。

本研究中海州湾春、秋季的鱼类群落结构冗余度低, 只存在1个满足 $\rho>0.95$ 的响应单元, 表明决定鱼类群落结构特征的可替换种类较少。当主要种类受损时, 群落结构会发生较大变化, 群落结构不稳定。不同海域不同生物群落的结构冗余度水平具有一定的变化。通常大型底栖动物群落结构冗余度水平较高, 存在4~5个响应单元, 而海洋鱼类群落冗余度水平则普遍较低, 只有少数种类起到决定性作用<sup>[10-11]</sup>。例如, Morlaix海湾大型底栖动物群落中存在5个

响应单元; Northumberland海岸大型底栖动物群落存在3~4个响应单元<sup>[9]</sup>; Adriatic Sea泻湖栖息地大型底栖动物群落存在2个响应单元, 冗余度较低<sup>[35]</sup>。1985—2002年冬季南黄海鱼类群落结构冗余度为2, 虽稍高于本研究中鱼类群落结构冗余度, 但冗余度水平也较低<sup>[13]</sup>。群落结构冗余度水平越高, 种类的生态位越分化, 不同种类对群落空间资源的利用都更趋向于互补而非竞争, 结构冗余度的增加可以增强群落稳定性和抗干扰能力<sup>[9, 35]</sup>。因此, 在渔业资源利用过程中, 应考虑加强在群落水平上进行渔业资源的养护、利用和科学管理。

#### 参考文献:

- [1] Odum E P. Basic Ecology[M]. Philadelphia: Saunders College Publishing, 1983.
- [2] 马世骏. 现代生态学透视[M]. 北京: 科学出版社, 1990. Ma S J. Perspective of Modern Ecology[M]. Beijing: Science Press, 1990 (in Chinese).
- [3] 孙儒泳. 普通生态学[M]. 北京: 高等教育出版社, 1993. Sun R Y. General Ecology[M]. Beijing: Higher Education Press, 1993 (in Chinese).
- [4] 岳天祥, 马世骏. 生态系统稳定性研究[J]. 生态学报, 1991, 11(4): 361-366. Yue T X, Ma S J. Ecosystem stability and its analysing model[J]. Acta Ecologica Sinica, 1991, 11(4): 361-366(in Chinese).
- [5] 李育中. 植物群落稳定性的一种测定方法[J]. 中国草地, 1991(2): 78-80. Li Y Z. A method and its application of determining plant community stability[J]. Grassland of China,

- 1991(2): 78-80(in Chinese).
- [ 6 ] 郑元润. 森林群落稳定性研究方法初探[J]. *林业科学*, 2000, 36(5): 28-32.  
Zheng Y R. Comparison of methods for studying stability of forest community[J]. *Scientia Silvae Sinicae*, 2000, 36(5): 28-32(in Chinese).
- [ 7 ] 安丽娟, 朱志红, 王孝安, 等. 子午岭马栏林区主要森林群落的稳定性分析[J]. *西北植物学报*, 2007, 27(5): 1000-1007.  
An L J, Zhu Z H, Wang X A, *et al.* Stability analysis of major communities in Malan forest region of Ziwuling mountain[J]. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2007, 27(5): 1000-1007(in Chinese).
- [ 8 ] Clarke K R. Non-parametric multivariate analyses of changes in community structure[J]. *Australian Ecology*, 1993, 18(1): 117-143.
- [ 9 ] Clarke K R, Warwick R M. Quantifying structural redundancy in ecological communities[J]. *Oecologia*, 1998, 113(2): 278-289.
- [10] Hughes T P. Catastrophes, phase shifts, and large-scale degradation of a Caribbean coral reef[J]. *Science*, 1994, 265(5178): 1547-1551.
- [11] Jennings S, Kaiser M J. The effects of fishing on marine ecosystems[J]. *Advances in Marine Biology*, 1998, 34: 201-212, 212e, 213-352.
- [12] Naeem S. Species redundancy and ecosystem reliability[J]. *Conservation Biology*, 1998, 12(1): 39-45.
- [13] 徐宾铎. 黄海鱼类群落结构的变化及重要种类生物学特征[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2004.  
Xu B D. Variation in fish community structure and biological aspects of some important species in the Yellow Sea[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2004 (in Chinese)
- [14] 党承林, 吴兆录. 季风常绿阔叶林短刺栲群落的生物量研究[J]. *云南大学学报(自然科学版)*, 1992, 14(2): 95-107.  
Dang C L, Wu Z L. Studies on the biomass for *Castanopsis echidnocarpa* community of monsoon evergreen broad-leaved forest[J]. *Journal of Yunan University*, 1992, 14(2): 95-107(in Chinese).
- [15] 党承林, 吴兆录. 元江栲群落的生物量研究[J]. *云南大学学报(自然科学版)*, 1994, 16(3): 195-199.  
Dang C L, Wu Z L. Studies on the biomass of *Castanopsis orthacantha* community[J]. *Journal of Yunan University (Natural Sciences)*, 1994, 16(3): 195-199(in Chinese).
- [16] 陈大刚. 黄渤海渔业生态学[M]. 北京: 海洋出版社, 1991.  
Chen D G. Fishery Ecology of Yellow and Bohai Seas[M]. Beijing: China Ocean Press, 1991 (in Chinese)
- [17] 章守宇, 张焕君, 焦俊鹏, 等. 海州湾人工鱼礁海域生态环境的变化[J]. *水产学报*, 2006, 30(4): 475-480.  
Zhang S Y, Zhang H J, Jiao J P, *et al.* Change of ecological environment of artificial reef waters in Haizhou Bay[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2006, 30(4): 475-480(in Chinese).
- [18] 王文海, 夏东兴, 高兴辰, 等. 中国海湾志第四分册[M]. 北京: 海洋出版社, 1993.  
Wang W H, Xia D X, Gao X C, *et al.* Chinese Bay-IV[M]. Beijing: China Ocean Press, 1993 (in Chinese).
- [19] 王在峰. 海州湾海洋特别保护区生态恢复适宜性评估[D]. 南京: 南京师范大学, 2011.  
Wang Z F. Research on ecological recovery suitability assessment for Haizhou Bay special marine reserves[D]. Nanjing: Nanjing Normal University, 2011 (in Chinese).
- [20] 苏巍. 海州湾海域鱼类群落多样性及其与环境因子的关系[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2014.  
Su W. Fish community diversity in Haizhou Bay and its relationship with environment factors[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2014 (in Chinese).
- [21] 王小林. 海州湾及邻近海域鱼类群落结构的时空变化[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2013.  
Wang X L. Temporal and spatial variations of the fish community structure in Haizhou Bay and adjacent waters[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2013 (in Chinese).
- [22] 王晶. 基于鱼类个体大小指标的渔业资源调查采样设计优化[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2016.  
Wang J. Optimization of sampling effort for a fishery-independent survey with the objective measuring size-based indicators of fish assemblage[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2016 (in Chinese).
- [23] 孙习武, 张硕, 赵裕青, 等. 海州湾人工鱼礁海域鱼类和大型无脊椎动物群落组成及结构特征[J]. *上海海洋大学学报*, 2010, 19(4): 505-513.  
Sun X W, Zhang S, Zhao Y Q, *et al.* Community structure of fish and macroinvertebrates in the artificial reef sea area of Haizhou Bay[J]. *Journal of Shanghai Ocean*



- University, 2010, 19(4): 505-513(in Chinese).
- [24] 唐峰华, 沈新强, 王云龙. 海州湾附近海域渔业资源的动态分析[J]. 水产科学, 2011, 30(6): 335-341.  
Tang F H, Shen X Q, Wang Y L. Dynamics of fisheries resources near Haizhou Bay waters[J]. Fisheries Science, 2011, 30(6): 335-341(in Chinese).
- [25] Xu B D, Zhang C L, Xue Y, *et al.* Optimization of sampling effort for a fishery-independent survey with multiple goals[J]. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2015, 187(5): 252.
- [26] Clarke K R, Ainsworth M. A method of linking multivariate community structure to environmental variables[J]. *Marine Ecology Progress Series*, 1993, 92: 205-219.
- [27] Clarke K R, Warwick R M. Changes in Marine Communities: An Approach to Statistical Analysis and Interpretation[M]. 2nd ed. Plymouth: Primer-E Ltd., 2001.
- [28] 林美华. 黄海海底地貌分区及地貌类型[J]. 海洋科学, 1989(6): 7-15.  
Lin M H. The submarine geomorphological zones and geomorphological types in the Huanghai Sea[J]. Marine Sciences, 1989(6): 7-15(in Chinese).
- [29] 于非, 张志欣, 刁新源, 等. 黄海冷水团演变过程及其与邻近水团关系的分析[J]. 海洋学报, 2006, 28(5): 26-34.  
Yu F, Zhang Z X, Diao X Y, *et al.* Analysis of evolution of the Huanghai Sea Cold Water Mass and its relationship with adjacent water masses[J]. Acta Oceanologica Sinica, 2006, 28(5): 26-34(in Chinese).
- [30] 陈大刚. 渔业资源生物学[M]. 北京: 中国农业出版社, 1997.  
Chen D G. Fishery Resources Biology[M]. Beijing: China Agriculture Press, 1997 (in Chinese).
- [31] 陈大刚, 张美昭. 中国海洋鱼类[M]. 青岛: 中国海洋大学出版社, 2016.  
Chen D G, Zhang M Z. Marine Fishes of China[M]. Qingdao: Ocean University of China Press, 2016 (in Chinese).
- [32] 倪勇, 伍汉霖. 江苏鱼类志[M]. 北京: 中国农业出版社, 2006.  
Ni Y, Wu H L. Ichthyography of Jiangsu Province[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2006 (in Chinese).
- [33] 李敏, 李增光, 徐宾铎, 等. 时空和环境因子对海州湾方氏云鳎资源丰度分布的影响[J]. 中国水产科学, 2015, 22(4): 812-819.  
Li M, Li Z G, Xu B D, *et al.* Effects of spatiotemporal and environmental factors on the distribution and abundance of *Pholis fangi* in Haizhou Bay using a generalized additive model[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2015, 22(4): 812-819(in Chinese).
- [34] 党承林, 黄瑞复. 生态系统的冗余与营养结构模型[J]. 生态学杂志, 1997, 16(4): 39-46.  
Dang C L, Huang R F. Redundancy in ecosystems and the model for trophic structure[J]. Chinese Journal of Ecology, 1997, 16(4): 39-46(in Chinese).
- [35] Mistri M, Fano E A, Rossi R. Redundancy of macrobenthos from lagoonal habitats in the Adriatic Sea[J]. *Marine Ecology Progress Series*, 2001, 215: 289-296.

## Structural redundancy of fish assemblage in Haizhou Bay and its adjacent waters

ZHANG Rui<sup>1</sup>, XUE Ying<sup>1</sup>, ZHANG Chongliang<sup>1</sup>, REN Yiping<sup>1,2</sup>, XU Binduo<sup>1\*</sup>

(1. College of Fisheries, Ocean University of China, Qingdao 266003, China;

2. Laboratory for Marine Fisheries Science and Food Production Processes,

Qingdao National Laboratory for Marine Science and Technology, Qingdao 266237, China)

**Abstract:** Human activities including overfishing, environmental pollution and climate change affect the dynamics and stability of marine fish communities. In order to deeply explore the community structure and its change of fish assemblage, multivariate statistical analysis and structural redundancy analysis were used to examine the spatial structure and structural redundancy of fish community based on the data from the bottom trawl surveys in spring and autumn in 2011, 2013-2016 in the Haizhou Bay and its adjacent waters. The results showed that the fish assemblage could be divided into two fish communities, i.e. the northern community and the southern community in spring and autumn in the waters. Typifying species were composed of *Enedrias fangi*, *Liparis tanakae*, *Lophius litulon* and *Hexagrammos otakii* for the northern community and *Larimichthys polyactis*, *Cynoglossus joyneri*, *E. fangi* and *Conger myriaster* for the southern community in spring. Typifying species included *Chelidonichthys spinosus*, *Saurida elongate* and *C. myriaster* for the northern communities, and comprised *C. joyneri*, *Collichthys lucidus*, *Miichthys miiuy*, *Chaeturichthys stigmatias*, *L. polyactis* and *Johnius belangerii* in the southern community in autumn. There was one response unit for the fish assemblages in spring and autumn, and the structural redundancy of fish community was low. The composite species in the response unit was similar to the typifying species in the northern and southern fish communities, indicating that the spatial patterns of fish community in spring and autumn in the Haizhou Bay were determined by a few species. The number of substitute species was few, and the stability of fish community was low in the Haizhou Bay and its adjacent waters.

**Key words:** fish community; structural redundancy; typifying species; response unit; Haizhou Bay

**Corresponding author:** XU Binduo. E-mail: bdxu@ouc.edu.cn

**Funding projects:** National Natural Science Foundation of China (31772852); Fundamental Research Funds for the Central Universities (201562030, 201612004); Public Science and Technology Research Funds Projects of Ocean (201305030)