

DOI: 10.3724/SP.J.1118.2017.16316

## 胶州湾鱼类群落优势种组成的时空变化

沃佳<sup>1</sup>, 徐宾铎<sup>1</sup>, 薛莹<sup>1</sup>, 任一平<sup>1,2</sup>, 张崇良<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 266071

**摘要:** 优势种对群落结构有明显的控制作用, 但优势度作为一个综合指标在不同时空尺度下的变异性常常被忽略。根据 2008—2012 年在胶州湾进行的渔业资源调查数据, 以相对重要性指数(index of relative importance, IRI)表征鱼类种类优势度, 应用 bootstrap 和多元线性回归模型(the multiple linear regression model)等方法分析了该海域的优势种组成及其在年份、季节、海区间的变化。结果表明, 优势种有明显更替, 六丝钝尾虾虎鱼(*Chaeturichthys hexanema*)和方氏云鲷(*Pholis fangi*)等小型底层鱼类更替为主要优势种, 2008—2012 年间分别占总渔获量的 9.79%和 10.71%, 优势度分别为 3285 和 2068; 优势种存在明显季节变化, 春季为方氏云鲷, 夏季为细条天竺鲷(*Apogonichthys lineatus*), 秋季和冬季是六丝钝尾虾虎鱼; 空间上, 湾口和湾内优势种组成相似, 与湾外差异较大。多元线性回归分析表明, 主要优势种中方氏云鲷优势度逐年升高, 而六丝钝尾虾虎鱼相对下降, 年际差异极显著( $P < 0.01$ ), 呈现明显的群落演替过程。优势度主要受洄游产卵、水温、底质类型、水深以及饵料生物等因素的综合影响。

**关键词:** 胶州湾; 优势种; 相对重要性指数; bootstrap; 多元线性回归

中图分类号: S931

文献标志码: A

文章编号: 1005-8737-(2017)05-1091-08

胶州湾位于黄海中部, 是半封闭型浅海港湾, 许多鱼类在胶州湾及其邻近海域产卵育幼, 因此这里具有重要的生态学价值<sup>[2]</sup>。胶州湾生态系统同时受东亚季风系统和黄海水团系统等环境因素, 以及城市污染和水产养殖等人为活动影响, 在两者的共同作用下, 湾内外优势种组成及鱼类群落结构发生了明显变化。近年来, 胶州湾及其邻近水域鱼类小型化、低值化现象严重<sup>[2]</sup>, 鱼类种群数目明显下降, 渔获种类经济价值衰退, 方氏云鲷和六丝钝尾虾虎鱼等小型鱼类成为该海域优势种<sup>[3]</sup>。许多学者针对胶州湾开展了相关研究, 涉及群落结构与环境因子的变化<sup>[4]</sup>、多样性的研究<sup>[3]</sup>、摄食生态<sup>[5]</sup>等内容。

在海洋生态系统中, 所有物种共同构成群落成分并对生态环境产生动态响应, 但各物种对环

境的适应能力不尽一致, 优势种对群落结构有着明显的控制作用。优势度作为表征群落结构特征的重要指标, 被广泛应用于相关研究。以往的研究中, 优势度作为一个综合指标, 其在不同时空尺度下的变异性常常被忽略。优势度的时空变化可以作为一项重要的指标反映环境的空间异质性特征和环境条件的变化。特别是在人类捕捞、养殖等活动以及厄尔尼诺等气候现象影响下, 优势种的数量变动对海域群落结构的影响变得越来越重要。监测优势度的变化可以探究鱼类群落的变化规律, 并为保护海洋生态系统的多样性提供理论指导<sup>[6-7]</sup>。

本研究分析了胶州湾主要鱼类优势度在年际、季节和空间分布的变异性, 在连续的时间尺度上解释鱼类群落结构的变化, 为研究胶州湾及

收稿日期: 2016-10-25; 修订日期: 2016-12-12.

基金项目: 国家自然科学基金项目(41006083); 高等学校博士学科点专项科研基金(2012013213001); 海洋公益性行业科研专项经费项目(201305030).

作者简介: 沃佳(1993-), 女, 硕士研究生, 主要从事渔业资源研究. E-mail: 499467134@qq.com

通信作者: 张崇良, 副教授. E-mail: zhangclg@ouc.edu.cn

其邻近海域中鱼类群落的长期变化规律和生态系统的多样性保护策略提供科学理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 样品采集和分析

样品数据采自 2008 年 9 月至 2009 年 8 月, 2011 年 2 月、5 月、8 月和 12 月, 以及 2012 年 5 月和 9 月在胶州湾及其邻近的 5 m 以深海域进行渔业资源底拖网和环境调查。在胶州湾中部及其邻近海域(35°59′~36°7′N, 120°12′~120°22′E)。实际调查 57 个站位, 根据分层随机取样原则, 2008—2009 年与 2012 年每航次 6 个调查站位, 2011 年每航次 12 个调查站位。

调查船为 30 kW 的单拖渔船, 每站拖网时间约 0.5 h, 平均拖速 2 kn。调查网具网口高度 1.6 m, 网口宽度 12 m, 囊网网目 20 mm。渔获物样品全部带回实验室进行室内分析处理, 游泳动物鉴定到种<sup>[8]</sup>, 其他部分生物学参数的测定参照《海洋调查规范》(GB/T 12763.4-2007)<sup>[9]</sup>。在数据分析前对

原始调查数据进行预处理, 将各站位渔获重量均换算成拖网时间 1 h, 拖速 2.0 kn 的渔获标准化数值。

### 1.2 数据分析

本研究使用相对重要性指数<sup>[10]</sup>(index of relative importance, IRI)表征群落中鱼类种类优势度, 划定 IRI 大于 1000 的为优势种, 100~1000 之间的为关键种:

$$IRI = (W+N) \times F \times 10^4 \quad (1)$$

式中,  $N$  为某一种类的尾数占总尾数的百分比;  $W$  为某一种类的质量与总质量的百分比;  $F$  为某一种类出现站位占总调查站位数的百分比。

常规研究中, IRI 常作为一个固定值而其变异性特征被忽略。本研究应用 Bootstrap 方法估测相对重要性指数的置信区间<sup>[11-12]</sup>。Bootstrap 是一种非参数统计方法, 在样本来自的总体无法用正态分布描述的情况下, 利用 Bootstrap 能够准确估测其置信区间并进行方差分析, 减小取样误差带来的影响。Bootstrap 方法是采用重抽样技术从原始样本中抽样 1000 次, 计算 IRI 的分布, 根据累计

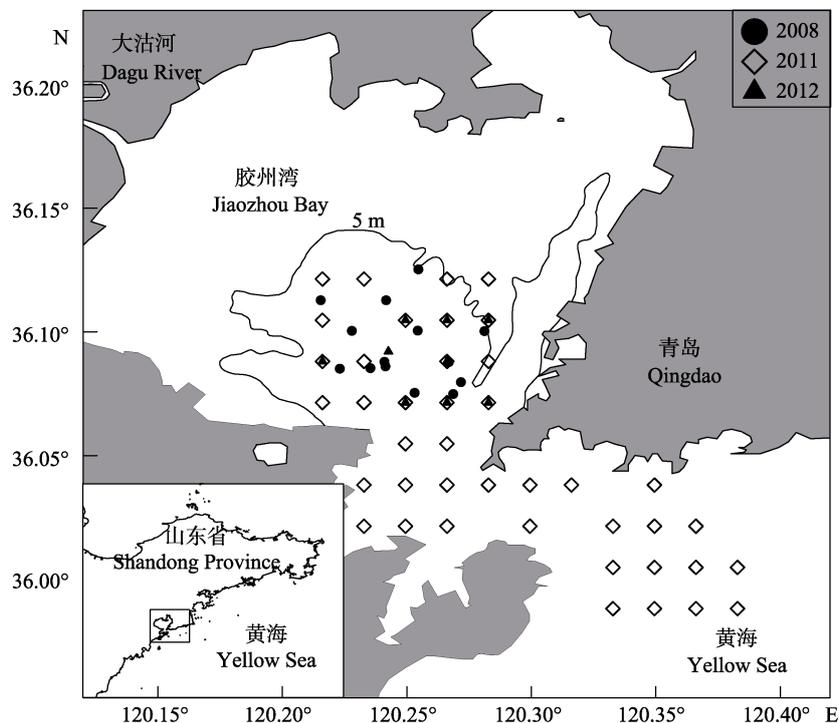


图 1 胶州湾海域的调查站位

图中符号表示该站位调查年份。

Fig. 1 Sampling stations in Jiaozhou Bay and adjacent waters  
Symbols denote the survey years of the corresponding station.

分布中 2.5%~97.5%分位数确定 IRI 在不同时间、季节和海区的置信区间。本研究比较了不同鱼类在年际、季节和海区的相对优势度,并根据以上置信区间检验其差异显著性。

采用多元线性回归模型分析胶州湾的主要优势种及其优势度的时空变化趋势。多元线性回归模型能够标准化数据,校正数据中其他影响因素的差异。模型以 IRI 为响应变量,以时间、季节、海区作为解释变量,分析其对于鱼类优势度的影响,其中 IRI 是连续变量,时间、季节、海区为分类变量,在 R 语言中转化为虚拟变量(哑变量)处理。模型表示为:

$$IRI_{ijk} = Y_i + S_j + R_k \quad (2)$$

式中,IRI 为具有时空异质性的物种优势度,  $Y_i$  ( $i=2008-2011$ )为年际变化,  $S_j$  为季节变化( $j=2$ 月, 5月, 8月, 11月),  $R_k$  为海区变化( $k$  分别表示湾内、湾口和湾外)。

应用方差分析(ANOVA)检验各因素的显著性,利用误差平方和(sum of square)与自由度(degree of freedom)所计算的组间与组内均方(mean of square)估计出  $F$  值,检验时间、季节、海区等因素对两优势种 IRI 值影响的显著性。相关统计分析利用 R 3.2.4 软件完成。

## 2 结果与分析

### 2.1 胶州湾鱼类种类组成

调查共捕获鱼类 66 种,隶属于 2 纲 10 目 35 科 54 属。其中鲈形目种数最多,有 18 科 30 属 37

种,占总种类数 56.06%; 鲈形目有 6 科 7 属 8 种,占总种类数 12.12%; 鲷形目有 3 科 5 属 7 种,占总种类数 10.6%; 鲱形目有 2 科 5 属 6 种,占总种类数 9.09%。其余 6 个目的种数均不超过 3 种。

表 1 胶州湾海域鱼类组成  
Tab. 1 Composition of fish fauna in Jiaozhou Bay

目 order	科数 number of families	属数 number of genuses	种数 number of species
鲈形目 Lophiiformes	1	1	1
鲷形目 Pleuronectiformes	3	5	7
鲱形目 Clupeiformes	2	5	6
鲑形目 Salmoniformes	1	1	1
海龙目 Syngnathiformes	1	2	2
鲈形目 Perciformes	18	30	37
鳗鲡目 Anguilliformes	1	1	1
仙鱼目 Aulopiformes	1	1	1
鳐形目 Rajiformes	1	1	2
鲈形目 Scorpaeniformes	6	7	8

### 2.2 优势度年际变化

六丝钝尾虾虎鱼(*Chaeturichthys hexanema*)、方氏云鲷(*Pholis fangi*)为较明显的优势种(表 2),在 2008—2012 年,六丝钝尾虾虎鱼优势度不断降低,方氏云鲷优势度明显上升。除此以外大泷六线鱼(*Hexagrammos otakii*)也是胶州湾优势度较高的物种。普氏栉虾虎鱼(*Ctenogobius pflaumi*)、赤鼻棱鲷(*Thryssa chefuensis*)与白姑鱼(*Argyrosomus argentatus*)为常见的关键种。

表 2 胶州湾海域 2008—2012 年度鱼类优势度及其置信区间  
Tab. 2 The IRI and confidence interval of fish species in Jiaozhou Bay in 2008—2012

2008—2009		2011		2012	
种类 species	优势度 IRI	种类 species	优势度 IRI	种类 species	优势度 IRI
六丝钝尾虾虎鱼 <i>Chaeturichthys hexanema</i>	4595 (4271,4701)	六丝钝尾虾虎鱼 <i>Chaeturichthys hexanema</i>	3206 (2389,3968)	方氏云鲷 <i>Pholis fangi</i>	2076 (1009,3380)
细条天竺鲷 <i>Apogonichthys lineatus</i>	1455 (1450,1564)	方氏云鲷 <i>Pholis fangi</i>	1863 (700,3368)	细纹狮子鱼 <i>Liparis tarakai</i>	1343 (267,2451)
大泷六线鱼 <i>Hexagrammos otakii</i>	685 (689,772)	普氏栉虾虎鱼 <i>Ctenogobius pflaumi</i>	1635 (658,2509)	大泷六线鱼 <i>Hexagrammos otakii</i>	1168 (360,2164)
小黄鱼 <i>Larimichthys polyactis</i>	417 (178,424)	斑鲷 <i>Konosirus punctatus</i>	829 (236,1340)	白姑鱼 <i>Argyrosomus argentatus</i>	829 (407,1873)
普氏栉虾虎鱼 <i>Ctenogobius pflaumi</i>	414 (411,507)	赤鼻棱鲷 <i>Thryssa chefuensis</i>	775 (275,1373)	赤鼻棱鲷 <i>Thryssa chefuensis</i>	765 (30,1704)

注:表中各年际优势度前五的物种(括号内表示相应 IRI 值的 95%置信区间)。

Note: The table listed the first five dominance species in each year. The 95% confident interval of IRI for each species were denoted in the brackets.

### 2.3 优势度季节变化

胶州湾鱼类优势种组成在季节间存在很大差异(表 3)。春季优势种有方氏云鳎、细纹狮子鱼(*Liparis tanakai*)、大泷六线鱼、六丝钝尾虾虎鱼和普氏栉虾虎鱼;夏季优势种有细条天竺鲷(*Apogonichthys lineatus*)、六丝钝尾虾虎鱼和绿鳍鱼(*Chelidonichthys kumu*);秋季优势种有六丝钝尾虾虎鱼、小黄鱼(*Larimichthys polyactis*)、白姑鱼和赤鼻棱鲉;冬季优势种有六丝钝尾虾虎鱼和鲷鱼(*Liza haematocheila*)。六丝钝尾虾虎鱼和方氏云鳎优势度较高,六丝钝尾虾虎鱼优势度自春季向冬季逐

渐升高,季节差异显著;方氏云鳎自夏季向次年春季优势度递增,夏、秋季节数量极少。

### 2.4 优势度空间变化

各物种优势度在海区间(湾内 A 区、湾口 B 区、湾外 C 区)也存在较大差异(表 4)。湾内优势种有六丝钝尾虾虎鱼、方氏云鳎和普氏栉虾虎鱼,湾口优势种有六丝钝尾虾虎鱼、方氏云鳎和许氏平鲷(*Sebastes schlegelii*),湾外优势种有方氏云鳎和六丝钝尾虾虎鱼。其中六丝钝尾虾虎鱼和方氏云鳎为重要优势种,在所有区域均有分布。湾口和湾内优势种组成相似,但与湾外差异较大。

表 3 胶州湾海域 4 个季节鱼类优势度及其置信区间  
Tab. 3 The IRI and confidence interval of fish species in four seasons in Jiaozhou Bay

种类 species	春 spring	夏 summer	秋 fall	冬 winter
方氏云鳎 <i>Pholis fangi</i>	5650 (3788,6187)	0 (0,0)	22 (7,50)	587 (210,679)
细纹狮子鱼 <i>Liparis tanakai</i>	3548 (2091,4185)	6 (4,9)	2 (1,3)	0 (0,0)
大泷六线鱼 <i>Hexagrammos otakii</i>	2904 (1998,4307)	194 (130,291)	32 (25,58)	285 (206,423)
六丝钝尾虾虎鱼 <i>Chaeturichthys hexanema</i>	1735 (1426,2406)	2924 (2756,3224)	3737 (2662,4977)	6821 (6547,7729)
普氏栉虾虎鱼 <i>Ctenogobius pflaumi</i>	1556 (799,2180)	376 (325,501)	194 (37,379)	911 (554,1062)
细条天竺鲷 <i>Apogonichthys lineatus</i>	0 (0,0)	5373 (4684,6665)	77 (44,135)	0 (0,0)
绿鳍鱼 <i>Chelidonichthys kumu</i>	0 (0,0)	1251 (1071,1722)	8 (1,14)	0 (0,0)
赤鼻棱鲉 <i>Thryssa chefuensis</i>	17 (6,37)	670 (115,799)	1980 (734,2930)	0 (0,0)
小黄鱼 <i>Larimichthys polyactis</i>	0 (0,0)	1 (1,3)	2378 (1501,3555)	85 (51,137)
白姑鱼 <i>Argyrosomus argentatus</i>	0 (0,0)	0 (0,0)	2087 (1338,2730)	0 (0,0)
鲷 <i>Liza haematocheila</i>	8 (4,18)	0 (0,0)	0 (0,0)	2100 (1851,2602)

注:表中列出了胶州湾各季节优势度前 5 位的物种(括号内表示相应 IRI 值的 95%置信区间)。

Note: The table listed the first five dominance species in each survey season in Jiaozhou Bay. The 95% confident interval of IRI for each species were denoted in the brackets.

表 4 胶州湾 3 个调查海区鱼类优势度及其置信区间  
Tab. 4 The IRI and confidence interval of fish species in the three survey regions in Jiaozhou Bay

A 区 (湾内 inside the bay)		B 区 (湾口 bay mouth)		C 区 (湾外 outside the bay)	
种类 species	优势度 IRI	种类 species	优势度 IRI	种类 species	优势度 IRI
六丝钝尾虾虎鱼 <i>Chaeturichthys hexanema</i>	3206 (2413,3894)	六丝钝尾虾虎鱼 <i>Chaeturichthys hexanema</i>	3377 (493,8133)	方氏云鳎 <i>Pholis fangi</i>	2994 (1569,4528)
方氏云鳎 <i>Pholis fangi</i>	1863 (788,3469)	方氏云鳎 <i>Pholis fangi</i>	1535 (869,3629)	六丝钝尾虾虎鱼 <i>Chaeturichthys hexanema</i>	1388 (404,2425)
普氏栉虾虎鱼 <i>Ctenogobius pflaumi</i>	1635 (657,2656)	许氏平鲷 <i>Sebastes schlegelii</i>	1167 (142,2311)	赤鼻棱鲉 <i>Thryssa chefuensis</i>	888 (23,1797)
斑鲹 <i>Konosirus punctatus</i>	829 (206,1363)	铠平鲷 <i>Sebastes hubbsi</i>	535 (27,1197)	大泷六线鱼 <i>Hexagrammos otakii</i>	618 (65,1270)
赤鼻棱鲉 <i>Thryssa chefuensis</i>	775 (261,1451)	普氏栉虾虎鱼 <i>Ctenogobius pflaumi</i>	328 (68,462)	叫姑鱼 <i>Johnius belangeri</i>	607 (214,912)

注:表中列出了各区域优势度前 5 位的物种(括号内表示相应 IRI 值的 95%置信区间)。

Note: The table listed the first five dominance species in each region in Jiaozhou Bay. The 95% confident interval of IRI for each species were denoted in the brackets.

### 2.5 优势度时空分布的回归分析

2008 年至 2012 年胶州湾主要优势种为六丝钝尾虾虎鱼和方氏云鳚, 优势度分别为 3285 和 2068, 占总渔获量的 9.79%和 10.71%。以六丝钝尾虾虎鱼和方氏云鳚为例, 利用回归分析研究其在时间、季节、海区 3 个方向的变化规律。据多元线性回归模型显示, 六丝钝尾虾虎鱼优势度自 2008 年至 2012 年逐年降低(图 2a)。由 ANOVA 分析表明, 六丝钝尾虾虎鱼的年际差异极显著 ( $P < 0.01$ )。在季节上, 秋、冬季节优势度则明显高于春、夏季, 一年四季均为胶州湾优势种(图 2b),

季节差异显著 ( $P < 0.05$ )。在区域分布方面, 自湾口向湾外逐渐减少(图 2c), 但无显著性差异 ( $P > 0.05$ )。

多元线性回归模型表明, 方氏云鳚的优势度呈现明显的年间变化, 自 2008 年至 2012 年逐年上升(图 3 a), 年际差异极显著 ( $P < 0.01$ )。季节上方氏云鳚的优势度也呈现明显的变化, 春季最高, 夏秋季节几乎为零, 秋季开始缓慢上升, 冬季至次年春季增幅显著(图 3b), 季节差异极显著 ( $P < 0.01$ )。区域上看方氏云鳚的优势度湾内较湾口湾外稍低, 总体上相差不大(图 3c)。

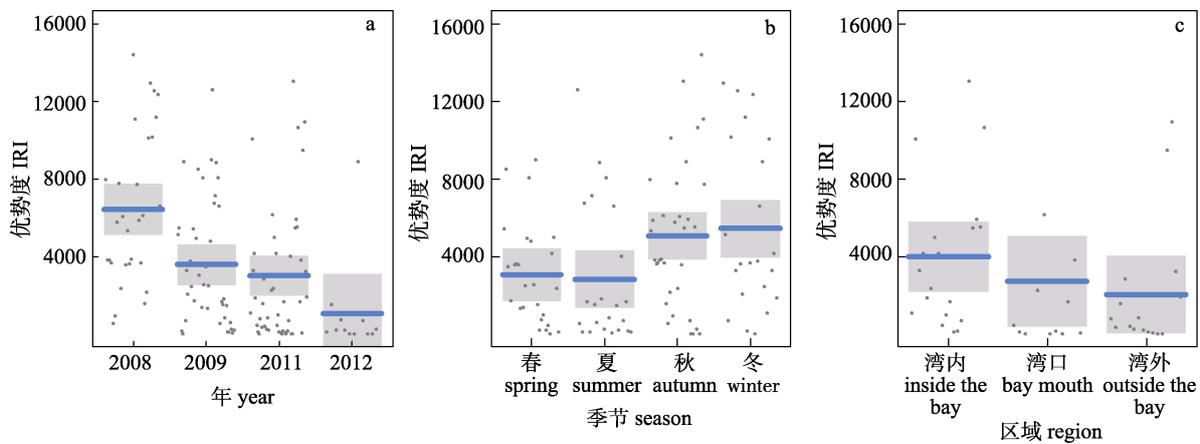


图 2 胶州湾海域六丝钝尾虾虎鱼优势度多元线性回归模型

图中散点表示观测值, 线段表示 IRI 估计值, 阴影部分表示该水平下估计值的 95%置信区间。

Fig. 2 The multiple linear regression model of IRI for *Chaeturichthys hexanema* in Jiaozhou Bay  
The points denote the observed values, the lines denote the mean values and the shade denote the 95% confident interval.

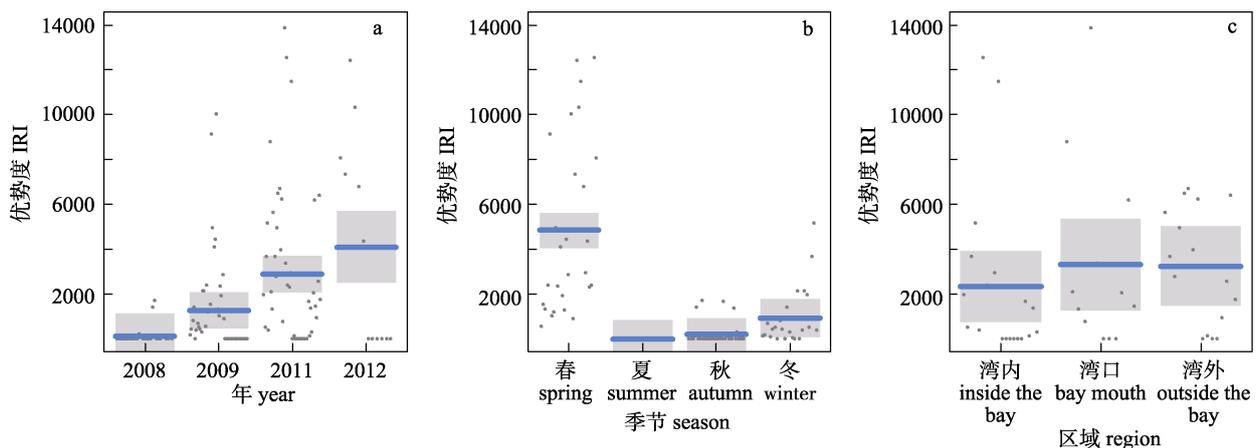


图 3 胶州湾海域方氏云鳚优势度多元线性回归模型

散点表示观测值, 线段表示 IRI 估计值, 阴影部分表示该水平下估计值的 95%置信区间。

Fig. 3 The multiple linear regression model of IRI for *Pholis fangi* in Jiaozhou Bay  
The points denote the observed value, the lines denote the mean values and the shade denote the 95% confident interval.

### 3 讨论

#### 3.1 胶州湾鱼类组成的变化趋势

近年来随着捕捞压力的增大,一些传统资源已进入衰退阶段,其中大型经济鱼类种群数量逐渐减少,中高龄鱼类稀少,而小型鱼类产量有所上升,渔获物中以低龄种类为主。在历年调查中,胶州湾海域鱼类种群结构发生了较大的变化,具体表现在:(1)鱼类的种类数量明显减少:20世纪80年代初的调查资料显示,胶州湾海域捕获鱼类113种<sup>[13]</sup>;2003—2004年调查共捕获鱼类57种<sup>[14]</sup>;2008—2012年调查共捕获鱼类66种。(2)优势种类发生了显著变化:20世纪80年代,胶州湾鱼类中占优势地位的主要为青鳞小沙丁鱼和斑鲈,此外,赤鼻棱鲷、中颌棱鲷、细条天竺鲷、鲉、长蛇鲻、黄鲫、带鱼、短吻红舌鲷和白姑鱼也是渔获量较大的关键种<sup>[13]</sup>。2003—2004年的优势种主要以虾虎鱼科、鲆科、六线鱼、鲉、赤鼻棱鲷、方氏云鲷的幼鱼为主<sup>[14]</sup>。

本研究表明,2008—2012年优势种分别有六丝钝尾虾虎鱼、细条天竺鲷、方氏云鲷、普氏栉虾虎鱼、细纹狮子鱼和大泷六线鱼,其中六丝钝尾虾虎鱼和方氏云鲷在胶州湾及其邻近海域生物量较大,分布范围较广,优势度最高。虽然不同调查范围,取样方式和捕捞时间的差异可能在一定程度上影响了研究结果,但与20世纪80年代的研究相比,鱼类优势种发生了显著的更替现象,小型底层鱼类取代了体型较大的经济型鱼类成为优势种,鱼类群落低质化和小型化特征明显,尤其是曾占据优势地位的青鳞小沙丁鱼在近年调查中极少出现<sup>[13]</sup>。21世纪以来六丝钝尾虾虎鱼和方氏云鲷成为了主要优势种,这一现象成为现阶段胶州湾生态系统结构变化的显著信号。此外,自2008—2012年六丝钝尾虾虎鱼优势度稍微有所下降,方氏云鲷优势度则呈上升趋势,同时也反映了胶州湾鱼类群落的演替规律。

导致胶州湾海域发生这种变化的原因是多方面的。鱼类群落的空间分布规律既取决于生物本身的生理阶段,行为适应因素,又受制于温度、盐度等季节消长趋势的环境因素。这种生物行为特

征与生态环境变化之间的适应性调节直接影响了空间分布的动态格局,形成生态位的重叠分化<sup>[6]</sup>。因此许多栖息地环境和气候变化效应,如厄尔尼诺-拉尼娜现象导致大范围海洋环境变化,都会导致生态系统发生相应的演替。此外,近年来胶州湾沿岸开发利用,贝类养殖活动,近海捕捞强度的增加,均对胶州湾鱼类种群结构产生显著影响。

#### 3.2 鱼类优势度的影响因素

经研究论证,胶州湾及其邻近海域优势物种组成的季节更替现象显著,并有一定程度的时空异质性,这通常与复杂的环境因子和底质类型关系密切<sup>[15-16]</sup>。鱼类群落季节性变化则主要受到温度、盐度以及生殖洄游的影响<sup>[17]</sup>,其中水温是影响鱼类优势种分布的主要因素<sup>[18]</sup>。相关研究表明,近岸鱼类对高温低盐的复杂环境适应性较强,长距离洄游性鱼类则对低温高盐且稳定的环境适应性较好<sup>[19]</sup>。胶州湾属于北半球暖温带海区,海水温度的季节变化十分显著<sup>[6]</sup>,因此会对鱼类群落结构产生显著的影响。

春季的优势种主要有方氏云鲷,细纹狮子鱼和大泷六线鱼。主要因为海区环境水温较适宜方氏云鲷等冷温性鱼类栖息,细纹狮子鱼和大泷六线鱼春季均在胶州湾内产卵和繁育<sup>[20]</sup>。夏季的优势种集中在细条天竺鲷、六丝钝尾虾虎鱼和绿鳍鱼,这可能与细条天竺鲷和绿鳍鱼等暖温种和暖水种在胶州湾内产卵育幼有关。此外,受盐度和水深的影响,六丝钝尾虾虎鱼夏季优势度较高。秋季优势种主要有六丝钝尾虾虎鱼、小黄鱼和白姑鱼。由于小黄鱼与白姑鱼等季节洄游性升温类群在本季节中占生物量比重较高,也是胶州湾的传统经济种。冬季优势种主要有六丝钝尾虾虎鱼、鲛和普氏栉虾虎鱼。六丝钝尾虾虎鱼分布与水温呈负相关,因此冬季优势度最高;冬季温度降低,季节洄游性类群出湾,湾内的常栖性类群占明显优势,因此鲛和虾虎鱼类取代小黄鱼等成为冬季优势种。

在鱼类的空间分布上,湾内优势种有六丝钝尾虾虎鱼、方氏云鲷和普氏栉虾虎鱼。湾口优势种包括六丝钝尾虾虎鱼、方氏云鲷和许氏平鲷。湾外优势种有六丝钝尾虾虎鱼和方氏云鲷。其原

因可能包括: (1)胶州湾底质类型区域间略有差异, 差异不显著。湾内底质类型以黏土粉沙和沙为主, 湾口沙砾和黏土粉沙混杂分布, 湾外粉沙、沙和沙砾较多<sup>[21]</sup>。许氏平鲉常栖息于砾石区或洞穴中<sup>[22]</sup>, 因此在湾口为优势种; 大部分虾虎鱼类属于底栖动物食性, 与黏土底质相关性较大<sup>[5]</sup>, 因此分布上呈现自内而外递减的趋势。(2)优势种的空间分布也受到其他环境因子如水温、水深、盐度等潜在因素的影响。例如方氏云鲷的分布受水深影响较大, 在一定范围内呈正相关<sup>[20]</sup>。另外, 水深也可以间接影响海水温度, 从而影响方氏云鲷等的分布。

### 3.3 胶州湾渔业资源保护的建

鱼类群落的时空格局在一定程度上指示了海域的生态环境质量<sup>[7]</sup>。本海区优势鱼类六丝钝尾虾虎鱼、方氏云鲷等, 其特点为个体小型化、低值化, 生长速度快, 生命周期短。优势种类由食物链中、高营养级鱼类向低营养级鱼类演替, 这表明胶州湾生态系统处于衰退状态。造成胶州湾生态系统衰退的因素可能包括<sup>[23]</sup>: (1)鱼类群落内多重生态位的交替轮换失衡; (2)生态系统内部调节机制的破坏; (3)城市和工业对水域的污染; (4)资源利用不合理等。为保持胶州湾生态系统的平衡和可持续发展, 应当由以下几个方面制定管理措施: 规范养殖作业, 限制污染物排放, 对该水域进行长期监测, 健全有关法律法规等。因此, 针对胶州湾的长期调查评估及优化管理尤为重要。未来的研究中, 需要进一步了解生物资源的变动规律和特点并加以调整, 研究胶州湾及其相邻海域环境因子与鱼类群落结构的相关关系, 为胶州湾渔业资源保护和管理提供科学依据。

### 参考文献:

[1] Xu B D, Zhang F, Mei C, et al. Characteristics of fish community structure in the central Jiaozhou Bay in spring and summer[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2010, 21(6): 1558-1564. [徐宾铎, 张帆, 梅春, 等. 胶州湾中部海域春、夏季鱼类群落结构特征[J]. 应用生态学报, 2010, 21(6): 1558-1564.]

[2] Han J, Zhang Z Z, Yu Z S. Macrobenthic community structure in the southern and central Bohai Sea, China[J]. Acta Ecologica Sinica, 2003, 24(3): 531-537. [韩洁, 张志南, 于子山. 渤海中南部大型底栖动物的群落结构[J]. 生态学报, 2004, 24(3): 531-537.]

[3] Zeng X Q, Piao C Y, Jiang W, et al. Biodiversity investiga-

tion in Jiaozhou Bay and neighbouring waters[J]. Journal of Ocean University of China, 2003, 34(6): 977-982. [曾晓起, 朴成华, 姜伟, 等. 胶州湾及其邻近水域渔业生物多样性的调查研究[J]. 中国海洋大学学报, 2004, 34(6): 977-982.]

[4] Mei C, Xu B D, Xue Y, et al. Fish community structure and species diversity during autumn and winter in the central waters of Jiaozhou Bay[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2010, 17(1): 110-118. [梅春, 徐宾铎, 薛莹, 等. 胶州湾中部海域秋、冬季鱼类群落结构及其多样性研究[J]. 中国水产科学, 2010, 17(1): 110-118.]

[5] Han D Y, Xue Y, Ji Y P, et al. Feeding ecology of *Amblychaeturichthys hexanema* in Jiaozhou Bay, China[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2013, 24(5): 1446-1452. [韩东燕, 薛莹, 纪毓鹏, 等. 胶州湾六丝钝尾虾虎鱼的摄食生态特征[J]. 应用生态学报, 2013, 24(5): 1446-1452.]

[6] Zhu X H, Wu H Z, Xu F S, et al. Studies on nekton community diversity and its related factors in the coastal waters of Yellow Sea and Bohai Sea[J]. Acta Oceanologica Sinica, 1994, 16(3): 102-112. [朱鑫华, 吴鹤洲, 徐凤山, 等. 黄渤海沿岸水域游泳动物群落多样性及其相关因素的研究[J]. 海洋学报, 1994, 16(3): 102-112.]

[7] Zhu X H, Miu F, Liu D, et al. Spatiotemporal pattern and dominant component of fish community in the Yellow River estuary and its adjacent waters [J]. Studia Marina Sinica, 2001, 43: 141-151. [朱鑫华, 缪锋, 刘栋, 等. 黄河口及邻近海域鱼类群落时空格局与优势种特征研究[J]. 海洋科学集刊, 2001, 43: 141-151.]

[8] Zhang C L, Cheng Q T, Zheng B S, et al. The Survey Report of the Fishes of Bohai and Yellow Sea[M]. Beijing: Science Press, 1960. [张春霖, 成庆泰, 郑葆珊, 等. 黄渤海鱼类调查报告[M]. 北京: 科学出版社, 1960.]

[9] General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine. GB/T12763.4-2007, specifications for oceanographic survey-part 4: survey of chemical parameters in sea water[S]. Beijing: China Standards Press, 2007. [国家质量监督检验检疫总局. GB/T12763.4-2007, 海洋调查规范第4部分: 海水分析[S]. 北京: 中国标准出版社, 2007.]

[10] Pincas L M, Oliphant S, Iverson I L K. Food habits of albacore, bluefin tuna and bonito in Californian waters[J]. Fish Bull, 1971, 152: 1-105.

[11] Efron B, Tibshirani R J. An Introduction to the Bootstrap[M]. Boca Raton: CRC Press, 1994.

[12] Felsenstein J. Confidence limits on phylogenies: an approach using the bootstrap[J]. Evolution, 1985, 39(4): 783-791.

[13] Liu R Y. Ecology and Living Resources of Jiaozhou Bay[M]. Beijing: Science Press, 1992. [刘瑞玉. 胶州湾生态学和生物资源[M]. 北京: 科学出版社, 1992.]

[14] Cheng J S, Qiu S Y, Li P J. Ecological Environments and Biotic Community in the Inshore Waters of Yellow and Bohai Sea[M]. Qingdao: Ocean University of China Press, 2004. [程济生, 邱盛尧, 李培军. 黄渤海近岸水域生态环境与生物群落[M]. 青岛: 中国海洋大学出版社, 2004.]

[15] Ren Y P, Xu B D, Ye Z J, et al. Preliminary study on community structure of fishery resources during spring and au-

- tumn in the coastal waters of Qingdao[J]. Journal of Ocean University of China, 2005, 35(5): 792–798. [任一平, 徐宾铎, 叶振江, 等. 青岛近海春、秋季渔业资源群落结构特征的初步研究[J]. 中国海洋大学学报, 2005, 35(5): 792–798.]
- [16] Chen D G. Fish Ecology of the Bohai Sea and Yellow Sea[M]. Beijing: Ocean Press, 1991. [陈大刚. 黄渤海渔业生态学[M]. 北京: 海洋出版社, 1991.]
- [17] Liu X S, Zhang J S, Ding R F. Marine Fishery Divisions of China[M]. Hangzhou: Zhejiang Science and Technology Press, 1990. [刘效舜, 张进上, 丁仁福. 中国海洋渔业区划[M]. 杭州: 浙江科学技术出版社, 1990.]
- [18] Zhang H, He W S, Tong C F, et al. Seasonal and semi-lunar Changes in fish Community structure in low salinity intertidal area of Yangtze Estuary[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2008, 19(5): 1110–1116. [张衡, 何文珊, 童春富, 等. 长江口低盐淡水区潮间带鱼类群落结构季节及半月相变化[J]. 应用生态学报, 2008, 19(5): 1110–1116.]
- [19] Fang S M, Yang S S, Zhang C M, et al. Effects of submarine topography and water depth on distribution of pelagic fish community in Minnan-Taiwan bank fishing ground[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2002, 13(11): 1463–1467. [方水美, 杨圣云, 张澄茂, 等. 闽南—台湾浅滩渔场地形及水深与中上层鱼类群聚分布的关系[J]. 应用生态学报, 2002, 13(11): 1463–1467.]
- [20] Wang X H. Spatial distribution of dominant fish species in Haizhou Bay and their relationships with environmental factors[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2013. [王小荟. 海州湾主要鱼种的空间分布及其与环境因子的关系[D]. 中国海洋大学, 2013.]
- [21] Zhai L, Han D Y, Fu D J, et al. Fish community structure and relationship with environmental factors in Jiaozhou Bay and adjacent waters[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2014, 21(4): 810–821. [翟璐, 韩东燕, 傅道军, 等. 胶州湾及其邻近海域鱼类群落结构及与环境因子的关系[J]. 中国水产科学, 2014, 21(4): 810–821.]
- [22] Zhu L, Sui F M. Biology and artificial culture of *Sebastes schlegelii*[J]. Modern Fisheries Information, 1999, 14(4): 21–25. [朱龙, 隋风美. 许氏平鲈的生物学特征及其人工养殖[J]. 现代渔业信息, 1999, 14(4): 21–25.]
- [23] Yu Y S, Zhang Q S, Chen W M, et al. A preliminary study on dominant fish species and their interspecific relations in waters of Island of the northern Zhejiang[J]. Journal of Fisheries of China, 1986, 10(2): 137–149. [郁尧山, 张庆生, 陈卫民, 等. 浙江北部岛礁周围海域鱼类优势种及其种间关系的初步研究[J]. 水产学报, 1986, 10(2): 137–149.]

## Temporo-spatial heterogeneity of dominant fish species in the Jiaozhou Bay community

WO Jia<sup>1</sup>, XU Binduo<sup>1</sup>, XUE Ying<sup>1</sup>, REN Yiping<sup>1,2</sup>, ZHANG Chongliang<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 266071, China

**Abstract:** Although dominant species exert the most control on community structure, the temporo-spatial heterogeneity of dominance as an integrative indicator has been often overlooked. To study fish community structure in Jiaozhou Bay, we analyzed 2008–2012 survey data from this area to determine species dominance (with IRI, index of relative importance) and variation in dominant species (with bootstrapping and multivariate linear regression). The results indicate that dominant species have changed substantially compared with previous studies. *Chaeturichthys hexanema* and *Pholis fangi* were the most dominant, comprising 9.79% and 10.71% of the total catch, with dominance indices of 3285 and 2068, respectively. Species dominance changed significantly between seasons, with *P. fangi* dominant in the spring, *Apogonichthys lineatus* in the summer, and *C. hexanema* in the fall and winter. Species composition differences were minor between the mouth and inner bay but notable in the outer bay. Multivariate linear regressions showed that during the survey period, *P. fangi* gradually increased in dominance whereas *C. hexanema* decreased. This difference was significant across years ( $P < 0.01$ ), implying obvious succession. Our analysis suggested that dominance heterogeneity between species may be driven by migration habits, seasonal fluctuations in water temperature, sediment type/depth, and the availability of forage organisms.

**Key words:** Jiaozhou Bay; dominant species; index of relative importance; bootstrap; multivariate linear regression

**Corresponding author:** ZHANG Chongliang. E-mail: zhangclg@ouc.edu.cn