

# 莱州湾渔业资源群落结构和多样性的年际变化\*

杨尧尧<sup>1,2</sup> 李忠义<sup>1,2</sup>① 吴强<sup>1,2</sup> 王俊<sup>1,2</sup>

(1. 农业部海洋渔业可持续发展重点实验室 山东省渔业资源与生态环境重点实验室 中国水产科学研究院黄海水产研究所 青岛 266071; 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 青岛 266071)

**摘要** 根据 2009–2013 年每年 8 月在莱州湾水域进行的渔业底拖网调查数据,采用生态多样性指数和多元统计分析等方法,研究了该海域的渔业资源群落结构和多样性特征的年际变化。结果显示,调查共鉴定出 100 种资源种类,其中鱼类 56 种;渔业资源种类和资源量存在明显的年际变化,2013 年渔业资源种类数为 2012 年种类数的 84.4%,仅为 2009 年的 60.3%,平均网获质量明显下降。鱼类优势种组成存在年际更替现象,主要由经济价值高、个体大的种类向经济价值低、个体小的种类演替。各生态多样性指数均呈现下降趋势, Margalef 种类丰富度指数( $R$ )变化范围为 2.67–3.95, Shannon-Wiener 多样性指数( $H'$ )变化范围为 0.70–3.83, Pielou 均匀度指数( $J'$ )变化范围为 0.12–0.63。聚类分析(CLUSTER)和多维标度分析(MDS)分析表明,在相同的相似性水平上分组,组内平均相似性与组间相异性变大。单因子相似性分析(ANOSIM)表明,各年渔业群落结构均存在显著差异( $P<0.05$ )。综上所述,莱州湾渔业资源逐年衰退,优势种更替明显,群落结构发生明显变化,多样性呈下降趋势。

**关键词** 莱州湾; 群落结构; 多样性; 年际变化

**中图分类号** S931.4 **文献标识码** A **文章编号** 2095-9869(2016)01-0022-08

莱州湾位于渤海南部,是一个典型的半封闭型海湾,沿岸有黄河和小清河等多条河流入海,是黄海、渤海多种经济鱼虾类的主要产卵场和索饵场,在渔业经济中占重要地位(邓景耀等, 2000; 金显仕等, 2000a)。近些年来,由于海洋捕捞产业的不断发展以及随河流入海污染物的不断增加,莱州湾渔业资源结构发生明显变化,种类交替出现及数量下降,渔获小型化和低质化,生态环境遭到严重危害,水体富营养化严重,严重影响了渔业生产(吴云凯, 2011; 许思思等, 2014; 张锦锋等, 2014)。从 20 世纪 50 年代到 21 世纪初,关于该水域渔业资源的研究广泛展开,主要包括渔业资源结构,资源分布和多样性变化等(金显仕等, 2000a,b; 邓景耀, 1988; 邓景耀等, 1986; 朱鑫华等, 1996、2001),但近年来关于莱州湾渔业资源结构和多样性大时间尺度的年际变化研究较少。本研究根

据 2009–2013 年各年 8 月莱州湾拖网调查数据,对该水域鱼类群落结构和多样性的年际变化进行研究,以为莱州湾渔业休渔禁渔政策和海域生态环境保护提供依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 数据来源

样品取自 2009–2013 年每年 8 月对莱州湾 10 个站位点进行的渔业底拖网调查,调查区域为 119.25°–120.25°E, 37.25°–38°N(图 1)。渔业资源评估调查租用 205 kW 双拖渔船,使用专用调查网具,规格为网口高度 6 m,网口宽度 22.6 m,网口周长 1740 目,网目 63 mm,囊网网目 20 mm,拖速 3 节,每站拖网 1 h。记录每站渔获物的总质量及单位捕捞努力量(CPUE,

\* 农业部公益性行业科研专项(2013030503)、国家 973 项目(2015CB453303)、农业部黄渤海渔业资源环境重点野外科学观测试验站和山东省泰山学者工程专项共同资助。杨尧尧, E-mail: yyyanghuanghai@126.com

① 通讯作者: 李忠义, 副研究员, E-mail: lizy@ysfri.ac.cn

收稿日期: 2015-03-13, 收修改稿日期: 2015-06-02

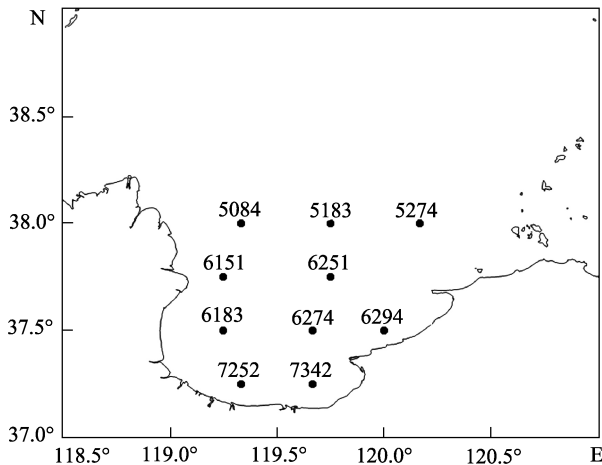


图 1 莱州湾水域调查站位

Fig.1 Sampling stations in the Laizhou Bay

kg/h), 对渔获物进行种类鉴定, 记录每一种类的 CPUE(kg/h)和数量。

## 1.2 数据处理

**1.2.1 优势种** 渔业生物群落中的优势种类根据 Pinkas 等(1971)提出的相对重要性指数(IRI)确定:

$$IRI=(N+W) \times F$$

式中,  $N$  为某一种类的个体数占总个体数的百分率;  $W$  为某一种类的生物量占总生物量的百分率;  $F$  为出现频率, 即某一种类出现的站数占调查总站数的百分率。

$IRI$  包含了生物的个体数、生物量及出现频率 3 个重要信息, 常被用来研究群落中各种类的生态优势度。一般来说,  $IRI$  值大于 500 定为优势种,  $IRI$  值在 100–500 之间为重要种,  $IRI$  值在 10–100 之间的为常见种,  $IRI$  值小于 10 为少见种(程济生, 2000)。

**1.2.2 群落生态多样性指数** 采用 Margalef 的种群丰度指数  $R$ 、Shannon-Wiener 的多样性指数  $H'$  以及 Pielou 的均匀度指数  $J'$  来研究群落结构的多样性。

Margalef 种群丰度指数(Margalef, 1958):  $R=(S-1)/\ln N$

Shannon-Wiener 多样性指数(Shannon *et al.*, 1948):

$$H' = -\sum_{i=1}^S P_i \times \ln P_i$$

Pielou 均匀度指数(Pielou, 1977):  $J'=H'/\ln S$

式中,  $S$  为种类总数;  $N$  为总渔获重量;  $P_i$  为  $i$  种鱼平均网获重量占各月总渔获重量的比例。

**1.2.3 多元统计分析** 根据相对生物量(kg/h)平方根转化计算的 Bray-Curtis 相似性系数矩阵, 采用多元统计分析软件 PRIMER 中等级聚类分析(CLUSTER)和非度量多维标度分析(MDS)研究莱州湾 8 月份渔业

资源群落结构(Clarke *et al.*, 1993a、b、2001)。采用单因素相似性分析(ANOSIM)检验不同群落组群之间的差异(Clarke *et al.*, 2001), 并通过相似性百分比分析(SIMPER)研究造成各族群内群落结构相似性的典型种以及造成不同组群结构差异的分歧种(Clarke *et al.*, 2001; Clarke, 1993a、b)。

## 2 结果

### 2.1 种类组成

调查共捕获渔业资源种类 100 种, 其中鱼类 56 种, 占总种数的 56.6%, 均属于硬骨鱼类。按鱼类的适温性, 由暖温性、暖水性和冷温性 3 种区系组成, 暖温性鱼类种类 32 种, 占 57.1%, 暖水性种类 16 种, 冷温性种类只有 8 种, 分别占鱼类种数的 28.6% 和 14.3%。按鱼类的生态类型, 底层鱼类较多, 为 45 种, 占 80.4%; 中上层鱼类 11 种, 占 19.6%。甲壳类中虾类 10 种, 主要以口虾蛄(*Oratosquilla oratoria*)为主; 蟹类 13 种, 其中日本蟳(*Charybdis japonica*)、三疣梭子蟹(*Portunus trituberculatus*)资源量较为丰富。调查中捕获日本枪乌贼(*Loligo japonica*)、长蛸(*Octopus variabilis*)、短蛸(*Octopus ocellatus*)、火枪乌贼(*Loligo beka sasaki*)共 4 种头足类, 以日本枪乌贼最为丰富。另外, 贝类有 4 种, 其他 13 种。

2009–2013 年 8 月莱州湾平均网获重量如图 2 所示。由于 2010 年斑鲆(*Konosirus punctatus*)资源量的大量暴发, 因此该年渔获量丰富, 平均网获量达到 268.046 kg/h。其他年份, 平均渔获量逐年下降, 由 2009 年的 72.27 kg/h 下降到 2013 年的 5.644 kg/h。

### 2.2 优势种组成的变化

莱州湾 2009–2013 年 8 月份渔业资源优势种具有明显的年际变化(表 1)。其中, 莱州湾常年优势种为

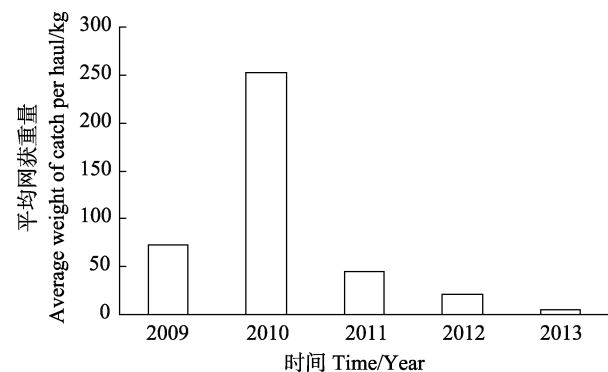


图 2 2009–2013 年 8 月莱州湾平均网获重量

Fig.2 Average weight of catch per haul in the Laizhou Bay in August from 2009 to 2013

表 1 莱州湾渔业资源优势种相对重要性指数  
Tab.1 IRI of key species in the Laizhou Bay

日期(年-月) Dat(Year-month)	种类 Species	W(%)	F(%)	IRI
2009-08 Aug, 2009	斑鲈 <i>K. punctatus</i>	20.67	100.00	8120.47
	小黄鱼 <i>Pseudosciaena polyactis</i>	16.33	80.00	1752.49
	黄鲫 <i>Setipinna taty</i>	16.82	50.00	1222.78
	口虾蛄 <i>O. oratoria</i>	10.86	90.00	1165.80
	日本鳀 <i>C. japonica</i>	9.38	100.00	1164.37
	日本枪乌贼 <i>L. japonica</i>	5.73	100.00	1019.01
2010-08 Aug, 2010	斑鲈 <i>K. punctatus</i>	93.07	100.00	18519.62
2011-08 Aug, 2011	矛尾鰕虎鱼 <i>Chaeturichthys stigmatias</i>	8.96	90.91	2752.55
	口虾蛄 <i>O. oratoria</i>	20.86	81.82	2702.70
	日本枪乌贼 <i>L. japonica</i>	7.06	90.91	1664.30
	斑鲈 <i>K. punctatus</i>	8.94	81.82	1613.35
	日本鳀 <i>C. japonica</i>	7.35	100.00	991.22
	焦氏舌鳎 <i>Arelicus joyneri</i> Günther	4.07	90.91	690.92
2012-08 Aug, 2012	斑鲈 <i>K. punctatus</i>	28.22	60.00	2513.76
	口虾蛄 <i>O. oratoria</i>	15.46	90.00	2114.82
	青鳞沙丁鱼 <i>Sardinella zunasi</i>	7.39	70.00	1659.15
	小带鱼 <i>Eupleurogrammus muticus</i>	3.65	100.00	1605.19
	日本枪乌贼 <i>L. japonica</i>	6.83	80.00	1313.23
	鳀 <i>Engraulis japonicus</i>	3.56	60.00	1297.29
	小黄鱼 <i>P. polyactis</i>	10.95	90.00	1144.12
	黄鲫 <i>S. taty</i>	5.00	60.00	674.52
2013-08 Aug, 2013	赤鼻棱鳀 <i>Thrissa kammalensis</i>	11.33	50.00	2220.80
	小带鱼 <i>E. muticus</i>	11.62	50.00	1667.14
	口虾蛄 <i>O. oratoria</i>	10.74	70.00	1114.68

W 为渔获生物量百分比; F 为出现频率; IRI 为相对重要性指数

W: Percentages of biomass; F: Occurrence frequency; IRI: Index of relative importance

斑鲈和口虾蛄, 作为优势种出现频率为 80%。日本枪乌贼为 3 年优势种, 其次为小黄鱼(*P. polyactis*)、黄鲫(*S. taty*)、日本鳀、小带鱼(*E. muticu*), 均为两年优势种。矛尾鰕虎鱼(*C. stigmatias*)、焦氏舌鳎(*A. Günther*)、青鳞沙丁鱼(*S. zunasi*)、鳀(*E. japonicus*)和赤鼻棱鳀(*T. kammalensis*)均为某一年的优势种。

2009 年 8 月优势种有 5 种, 相对重要性指数均超过 1000, 其中斑鲈相对重要性指数为 8120.47; 2010 年优势种较为单一, 只有斑鲈一种, 资源量丰富, 相对重要性指数为 18519.62; 2011 年 8 月优势种 6 种, 其中矛尾鰕虎鱼和口虾蛄产量最为丰富, 相对重要性指数分别为 2752.55 和 2702.70; 2012 年 8 月优势种较其他年份丰富, 有 8 种, 其中斑鲈、小黄鱼、青鳞沙丁鱼、小带鱼、鳀鱼、口虾蛄和日本枪乌贼相对重要性指数均超过 1000; 2013 年 8 月优势种有小带鱼、赤

鼻棱鳀和口虾蛄 3 种, 相对重要性指数分别为 1667.14、2220.80 和 1114.68。

### 2.3 物种多样性变化

莱州湾 2009–2013 年 8 月渔业资源群落物种多样性指数变化如表 2 所示。2009 年和 2011 年资源种类最为丰富, 种数均为 63 种, 2013 年种类数最少, 有 38 种。种类丰富度指数 *R* 变化范围为 2.67–3.95, 2011 年最高, 2010 年最低; 多样性指数 *H'* 变化范围为 0.70–3.83, 变化趋势与种类丰富度指数一致, 最大值和最小值分别出现在 2011 年和 2010 年; 均匀度指数 *J'* 变化范围为 0.12–0.63, 2010 年最小, 2011 年和 2012 年最大。各生态多样性指数的 Pearson 相关性分析表明, 种类丰富度指数 *R* 与多样性指数 *H'*、均匀度指数 *J'* 之间均无显著相关性( $P>0.05$ ), 而多样性指数 *H'* 和均匀度指数 *J'* 之间呈显著正相关( $P<0.05$ )。

表 2 莱州湾海域渔业资源物种多样性指数的年际变化  
Tab.2 Interannual variations in diversity indices of fishery community in the Laizhou Bay

年-月 Year-month	种数 Number of species	多样性指数 Diversity index		
		<i>R</i>	<i>H'</i>	<i>J'</i>
2009-08	63	3.74	2.34	0.38
2010-08	47	2.67	0.70	0.12
2011-08	63	3.95	3.83	0.63
2012-08	45	3.06	3.52	0.63
2013-08	38	2.94	3.34	0.62

#### 2.4 群落结构多样性的年际变化

根据 2009–2013 年 8 月莱州湾渔业资源相对生物量平方根转换计算的 Bray-Curtis 相似性系数矩阵所做的群落 CLUSTER 聚类分析和 MDS 标序结果如图 3 所示。

2009 年, 以 32% 的相似性可以将 8 月渔业资源群落划分为 a1(5274、6183、5183 和 5084) 和 a2(6151、6274、6294、6251、7252 和 7342) 组群。其中, a1 组内各站位间的平均相似性为 43.14%, 对 a1 组内相似性贡献较大的种类有斑鲆、三疣梭子蟹、日本鳎、口虾蛄和日本枪乌贼, 相似性累积贡献百分比达到 72.74%; a2 组内各站位间的平均相似性为 51.18%, 对 a2 组内相似性贡献比较大的种类有黄鲫、斑鲆、口虾蛄和水母。CLUSTER 聚类分析和 MDS 标序结果基本一致。对在 32% 的相似性划分的两个组群之间种群结构进行 ANOSIM 分析, 表明不同的站位组间差异极显著( $R=0.706$ ,  $P=0.005$ )。由 SIMPER 进一步分析可以看出, a1、a2 组群间的平均相异性达到为 69.22%, 主要分歧种为小黄鱼、黄鲫、斑鲆、口虾蛄和水母。

2010 年, CLUSTER 聚类分析以相似性百分比 32% 可以将渔业站位群落分为 b1、b2 和 b3 组群。组群间差异较明显, b1、b2 组群分别只有 1 个站位, 为 5274 和 6151, b3 组群 8 个站位间平均相似性为 42.53%, 相似性贡献比最大的种类为斑鲆, 相似性贡献达到 41.30%。分析结果与 MDS 标序结果一致。对种群结构进行 ANOSIM 分析, 表明不同的站位组间差异显著( $R=0.857$ ,  $P=0.022$ )。SIMPER 分析得到: b1、b2 组群间的平均相异性达到为 83.15%, 主要分歧种为脊腹白虾(*Exopalamon carinicauda*)和矛尾复鰕虎鱼(*Synechogobius hasta*); b1、b3 组群间的平均相异性达到为 82.22%, 主要分歧种为斑鲆; b2、b3 组群间的平均相异性达到为 74.26%, 主要分歧种为斑鲆。

2011 年, 根据相似性系数进行聚类分析表明, 在

32% 的相似性水平上, 可以把站位分为 c1、c2 组。c1(7342、7252 站位)组内相似性百分比为 50.91%, 相似性贡献比较大的有矛尾复鰕虎鱼、斑鲆、日本枪乌贼和水母; c2 组内平均相似性百分比为 46.96%, 组内相似性贡献较大的为矛尾复鰕虎鱼、口虾蛄、日本鳎和日本枪乌贼。单因子相似性分析(ANOSIM)表明, 不同组群种类组成差异显著( $R=0.787$ ,  $P=0.018$ )。由 SIMPER 分析得到: c1、c2 组间平均相异性为 70.20%, 组间相异性贡献比较大的分歧种为口虾蛄和水母。

根据相似性系数进行聚类分析表明, 在 32% 的相似性水平上, 可以把 2012 年 8 月站位分为 d1(5084 站位)、d2(6294、6274、6183、6251, 组内相似性百分比为 58.69%)、d3(5294、5274、6351、6151、5183, 组内相似性百分比为 40.74%) 组群。单因子相似性分析(ANOSIM)表明, 不同组群种类组成极显著( $R=0.698$ ,  $P=0.005$ )。对种群结构进行 SIMPER 分析, 对 d1、d2 相异性贡献较大的是斑鲆和口虾蛄, 组间平均相异性为 85.27%, 对 d2、d3 相异性贡献较大的是斑鲆、中国明对虾(*Fenneropenaeus chinensis*)和口虾蛄, 组内平均相异性为 66.28%, 对 d1、d3 相异性贡献较大的是小黄鱼、鳎、青鳞沙丁鱼、小带鱼和日本枪乌贼, 组内平均相异性为 86.60%。

2013 年, 在 15% 相似性水平上, 可以把站位分为 e1、e2、e3 3 个组群。组群划分与 2010 年情况相似, e1、e2 组群分别只有 6151 和 7342 1 个站位, e3 组内平均相似性百分比为 22.04%, 相似性贡献比, 较大的为赤鼻棱鳎、小带鱼、口虾蛄和火枪乌贼。单因子相似性分析(ANOSIM)表明, 不同组群种类组成显著( $R=0.895$ ,  $P=0.02$ )。对种群结构进行 SIMPER 分析, e1、e2 组间平均相异性百分比为 100%, 主要分歧种为鲷(*Platycephalus indicus*)、斑鲆和葛氏长臂虾(*Palaemon gravieri*), 相异性贡献比累积到 79.59%, e1、e3 组间平均相异性为 100%, 主要分歧种为赤鼻棱鳎和火枪乌贼, e2、e3 组间平均相异性百分比为 92.49%, 主要分歧种为斑鲆、鲷和葛氏长臂虾。

### 3 讨论

莱州湾水域是多种水生生物生长、发育的重要产地, 是渤海群落结构重要组成部分。研究调查共捕获资源种类 100 种, 其中鱼类 56 种, 主要以暖温性和暖水性鱼类为主, 而与历史调查相比, 仅为 1982–1985 年捕获鱼类种类数的 49.1%, 1992–1993 年捕获鱼类种类数的 76.7%(朱鑫华等, 2001)。2009–2013 年 8 月渔业资源种类数整体呈下降趋势, 2013 年渔业资源

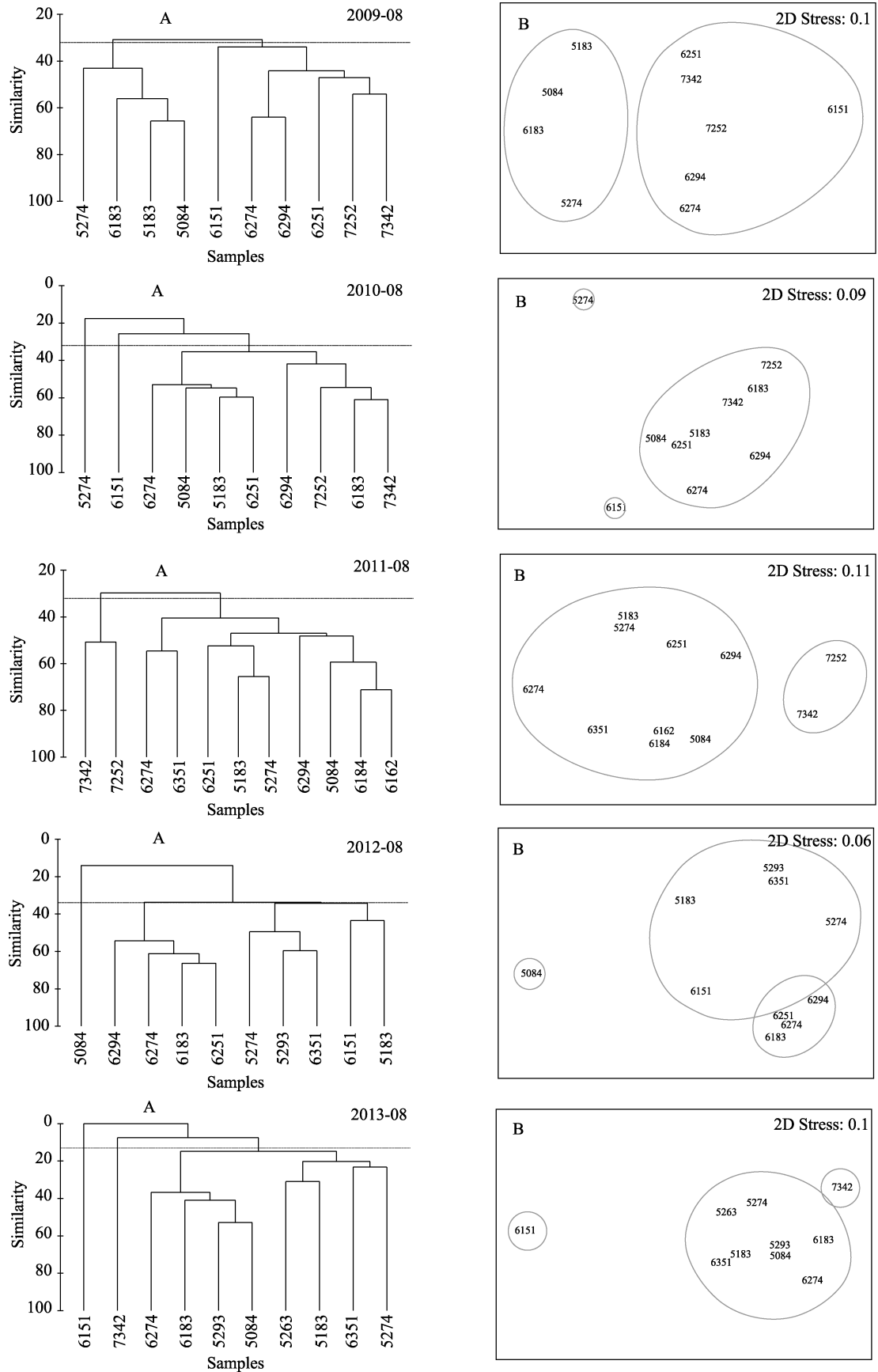


图 3 CLUSTER 聚类分析(A)和 MDS 标序结果(B)  
Fig.3 CLUSTER analysis dendrogram (A) and MDS results (B)

种类数为 2012 年种类的 84.4%, 仅为 2009 年和 2011 年的 60.3%。鱼类按生态类型分时, 底层鱼类与整体资源种数变化趋势相同, 呈下降趋势; 而中上层鱼类资源种数基本保持稳定不变, 因此, 整体鱼类资源种数的变化主要受底层鱼类变化的影响。底层鱼类中, 在调查初期占优势的小黄鱼、焦氏舌鳎、鲮、白姑鱼等种类在后面的调查中没有出现。按适温性分, 冷温性种类和暖温性种类数减少后趋于稳定, 暖水性种类数变化较大, 种类数减少达 69.2%。甲壳类和头足类种类数基本保持稳定, 捕捞的生物量与数量却有显著降低, 如甲壳类 2013 年的生物量为 2009 年生物量的 9.93%, 而头足类仅为 3.36%, 同时生物数量降低到 16.07% 和 4.43%。莱州湾海域捕捞强度的不断增大、海岸带开发面积的不断加大等人类活动和环境变化的影响, 致使生物多样性遭到严重的破坏, 一定程度上影响了莱州湾鱼类种类组成与渔业资源生物量。

莱州湾优势种在 2009–2013 年间发生了明显变化。其中 2009 年以斑鲈、小黄鱼、黄鲫为主; 2010 年斑鲈为绝对优势种, 这可能是由于其具有沉积碎屑食性和杂食性, 斑鲈主要以摄食浮游植物为主, 但其能以沉积碎屑和桡足类为食, 对食物环境具有灵活适应性, 把与其他浮游生物食性鱼类(如某些小型中上层鱼类)的食物竞争降低到最低水平, 不会轻易由于食物网结构的变化而被淘汰, 从而保证了种群的大量增长(郭学武等, 1999); 2011 年以矛尾鰕虎鱼和斑鲈为主; 2012 年斑鲈、青鳞沙丁鱼和小带鱼占较大优势; 2013 年鱼类优势种为赤鼻棱鳀和小带鱼, 而前几年常见的优势种斑鲈资源量大幅度减小。中上层鱼类的优势种由斑鲈、黄鲫成为赤鼻棱鳀, 小带鱼代替小黄鱼成为优势底层鱼类。目前, 莱州湾水域鱼类优势种群按照斑鲈→矛尾鰕虎鱼→赤鼻棱鳀顺序向着更加小型化方向演替, 由经济价值高、个体大、年龄结构复杂向着经济价值低、个体小、年龄结构简单的类群演替(李凡等, 2013)。金显仕等(2000a)对莱州湾渔业资源调查的数据中演替相似, 小型中上层种类替代大型底层种类成为优势种, 而斑鲈的优势度明显增加, 但在 1992–1993 年才出现(5 月, 10 月), 而 8 月没有捕获到; 1998–1999 年同样只出现在 5 月和 10 月, 8 月没有捕获到样本; 而 2009–2012 年 8 月斑鲈作为优势种在莱州湾渔业中占非常大的比例, 有重要的意义。小型鱼则由植食性为主的黄鲫和斑鲈, 转向浮游动物食性的赤鼻棱鳀。甲壳类与头足类优势种类无显著变化, 甲壳类主要以口虾蛄、日本蟳为优势种; 头足类中日本枪乌贼为优势种类, 其组成结构保持稳定。

多样性是表征群落结构和功能的重要因素

(Washington, 1984)。莱州湾水域渔业群落各生态多样性指数年际变化趋势基本一致, 多样性指数、种类丰富度指数和均匀度指数均呈现下降趋势, 在不同的年份呈现一定的波动状况, 其中 2010 年 8 月各生态多样性指数出现明显下降, 主要是斑鲈的渔获量丰富, 推测斑鲈的生长和发育限制了其他资源种类的生长和发育, 使其成为绝对优势种。在同样的相似性水平上, 通过 CLUSTER 聚类和 MDS 标序结果发现, 对组内相似性百分比比较, 2009 年组内平均相似比为 47.15%, 2010 年为 42.53%, 2011 年、2012 年分别为 48.94% 和 49.72%, 组内相似性基本呈增大趋势, 2013 年 8 月若是与其他年份相同相似性水平时, 组内平均相似性百分比会更大。当生态系统扰动为中等强度时, 其生物多样性最高, 当扰动处于两极时, 生物多样性则较低(Washington, 1984; Connell, 1978), 莱州湾群落结构生态多样性的降低, 表明渔业群落结构的持续性和稳定性呈现逐年降低和减弱的趋势。

莱州湾渔业群落结构和多样性的年际变化主要受两方面影响。首先, 近些年来, 随着网具的不断改进和船舶马力的增大, 捕捞水平大大提高。2009 年山东海洋捕捞机动渔船功率基本在 441 kW 以下, 441 kW 以上的只有 36 艘, 2011 年已经增长到 124 艘, 而到 2013 年在已经增为 201 艘, 平均年增长率为 112%(渔业统计年鉴)。在捕捞能力和技术不断增大和改进下, 2009 年渤海捕捞产量达到 105.96 万 t, 之后产量持续下降, 到 2013 年渤海捕捞产量为 97.53 万 t, 较 2009 年下降 7.96%(渔业统计年鉴)。渔船数量和功率的增加、机械化程度的提高、选择性下降、捕捞对象扩大和时间的延长等高强度捕捞对渔业资源造成了极大地压力, 对资源破坏更加严重, 一些高营养级生物数量锐减, 甚至消失。其次, 海洋溢油、城市生活污水、沿岸养殖工程建设等造成的环境污染日趋严重, 引起赤潮频发, 且面积增大, 破坏了原有的生态系统结构, 给渔业资源带来了很大的负面影响(孙振中等, 2008)。莱州湾沿岸有黄河、小清河、潍河等主要河流入海, 河水带来大量泥沙和营养物质的同时带来了大量的生活污水和工农业污染物, 其中含大量的氮、磷。氮、磷是海洋浮游植物生长必需营养盐(宋金明, 2000), 氮、磷比重的不同通常会影响到浮游植物中硅藻和甲藻的含量。硅藻支撑的食物链: 硅藻→浮游动物→中小型鱼类(如鳀鱼和黄鲫)→游泳动物食性鱼类。甲藻通常是经浮游动物最终被水母利用, 而水母较少被上层捕食者利用。水母对浮游动物的摄食, 导致高营养级渔业资源饵料基础减少, 加剧其资源量锐减(崔毅等, 1996)。张锦锋等(2014)发现,

20世纪年代末以来,磷是限制莱州湾浮游植物生长的限制性营养盐,硅藻支撑食物链被削弱,甲藻支撑的食物链被增强,进而导致了莱州湾高营养级生物种群的衰退。冷春梅等(2012)对浮游植物组成研究的调查发现,硅藻与甲藻比宁璇璇等(2011)对莱州湾近岸海域浮游植物群落结构调查相比发生明显变化,甲藻比重有明显提高。2009–2012年8月资源丰富的优势种斑鲦,在2013年8月资源量大幅减小,而水母产量非常丰富,推测可能就是由于斑鲦主要以浮游植物中的硅藻为食,而水母的基础饵料为甲藻,使其大量暴发,抑制斑鲦等大中上层和底层鱼类繁殖和生长,造成种群结构的小型化。河流入海带来的污染严重影响资源结构变化,莱州湾近海捕获的鱼类、无脊椎动物种类明显减少,鱼卵的种类和数量亦明显锐减,其在小清河附近海域的分布范围也在缩小,在20世纪末开始,仔稚鱼的分布数量,已开始由小清河附近海域北移至黄河口至刁口一带,仔稚鱼有回避该区污染的现象,耐污染种逐渐增加(田家忆等,1996;吴云凯,2011)。污染不仅破坏了渔业资源,更重要的是破坏了产卵场,使得环境污染成为渔业资源衰退仅次于过度捕捞的重要影响因素之一(崔毅等,2003)。

然而,在我国渔业管理还是一个薄弱环节,生产和管理者的法制观念、长远观念不强,有法不依、执法不严,对待海洋资源滥捕滥开发现象严重。为了保护渔业资源,应调整渔业结构,改变捕捞方式,禁止和改造损害幼鱼的渔具渔法;在渔业生物栖息地和幼鱼索饵场设置禁渔区和禁渔期;经济种群种苗的放流是保护和增加渔业生物多样性和结构稳定性的重要举措。同时保护和改善栖息地的生态环境,对维持海区的生态多样性和渔业结构具有重要意义。莱州湾有黄河等多条河流入海,河流流经时陆源污染物的排放治理至关重要,对可能存在的污染源污染物的排放行为要加大执法力度和监督力度。

从渔业统计年鉴可以看出,渔业生产对莱州湾渔业群落结构和多样性有一定的影响;环境污染如何影响莱州湾渔业群落结构和多样性,影响程度如何;抑或渔业生产和环境污染协同作用莱州湾渔业群落结构和多样性,这一切还有待深入研究。

目前,渔业资源由单种管理向实现基于生态系统管理策略转变,群落水平层次的鱼类研究是重要的环节,是科学的进行渔业资源管理的基础(程家骅等,2008)。但目前国内这方面的研究较少(程济生等,2004;程家骅等,2000;金显仕等,2000a、b;徐宾铎等,2003;程济生,2000),对渔业群落结构和多样性的认识不足,因此严格执行休渔禁渔政策,加强水域生态环境

的监测保护,减少支持甲藻生长污染物的排放,对提高鱼类群落结构的多样性和稳定性至关重要。

## 参 考 文 献

- 邓景耀,孟田湘,任胜民. 渤海鱼类食物关系的初步研究. 生态学报, 1986, 6(4): 356–364
- 邓景耀,金显仕. 莱州湾及黄河口水域渔业生物多样性及其保护研究. 动物学研究, 2000, 21(1): 76–82
- 邓景耀. 渤海渔业资源增殖与管理的生态学基础. 渔业科学进展, 1988, 3(9): 1–10
- 田家忆,慕金波. 山东小清河流域水污染问题与水质管理研究. 东营市: 石油大学出版社, 1996, 202–240
- 宁璇璇,纪灵,王刚,等. 2009年莱州湾近岸海域浮游植物群落结构的结构特征. 海洋湖沼通报, 2011, (3): 97–104
- 农业部渔业局主编. 中国渔业统计年鉴(2010–2014). 北京: 中国农业出版社, 2010–2014
- 许思思,宋金明,李学刚,等. 渤海渔获物资源结构的变化特征及其影响因素分析. 自然资源学报, 2014, 29(3): 500–506
- 孙振中,戚隼渊,曾智超,等. 长江口九段沙水域环境及生物体内多氯联苯分布. 环境科学研究, 2008, 21(3): 92–97
- 朱鑫华,杨纪明,唐启升. 渤海鱼类群落结构特征的研究. 海洋与湖沼, 1996, 27(1): 6–13
- 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. 海洋科学集刊, 2001, (43): 141–151
- 李凡,吕振波,魏振华,等. 2010年莱州湾底层渔业生物群落结构及季节变化. 中国水产科学, 2013, 20(1): 137–147
- 吴云凯. 莱州湾海洋环境变化趋势及管理措施研究. 海洋开发与管理, 2011, 9: 90–92
- 宋金明. 海洋沉积物中的生物种群在生物物质循环中的功能. 海洋科学, 2000, 24(4): 34–38
- 冷春梅,王亚楠,董贯仓,等. 黄河三角洲河口区浮游植物组成及多样性分析. 环境生态, 2012, 38(1): 37–40
- 张锦峰,高学鲁,庄文,等. 莱州湾渔业资源与环境变化趋势分析. 海洋湖沼通报, 2014, (3): 82–90
- 金显仕,邓景耀. 莱州湾渔业资源群落结构和生物多样性的变化. 生物多样性, 2000a, 8(1): 65–72
- 金显仕. 渤海主要渔业生物资源变动的研究. 中国水产科学, 2000b, 7(4): 22–26
- 郭学武,唐启升,孙耀,等. 斑鲦的摄食与生态转换效率. 海洋水产研究, 1999, 20(2): 17–25
- 徐宾铎,金显仕,梁振林. 秋季黄海底层鱼类群落结构的变化. 中国水产科学, 2003, 10(2): 148–154
- 崔毅,马绍赛,李云平,等. 莱州湾污染及其对渔业资源的影响. 海洋水产研究, 2003, 24(1): 35–41
- 崔毅,宋云利. 渤海海域营养现状研究. 海洋水产研究, 1996, 17(1): 56–62
- 程家骅,丁峰元,李圣法,等. 夏季东海北部近海鱼类群落结构变化. 自然资源学报, 2000, 21(5): 775–781
- 程家骅,姜亚洲. 捕捞对海洋鱼类群落影响的研究进展. 中

- 国水产科学, 2008, 15(2): 359–366
- 程济生. 东、黄海冬季底层鱼类群落结构及多样性变化. 海洋水产研究, 2000, 21(3): 1–13
- 程济生, 俞连福. 黄、东海冬季底层鱼类群落结构及多样性变化. 水产学报, 2004, 28(1): 29–34
- Clarke KR. Non-parametric multivariate analyses of changes in community structure. *Austral Ecol*, 1993a, 18(1): 117–143
- Clarke KR, Ainsworth M. A method of linking multivariate community structure to environmental variables. *Mar Ecol Progr Ser*, 1993b, (92): 205–219
- Clarke KR, Warwick RM. *Changes in Marine Communities: an approach to statistical analysis and interpretation (PRIMER-E)*. Plymouth: Marine Laboratory, 2001
- Connell JH. Diversity in tropical rain forests and coral reefs. *Science*, 1978, 199(4335): 1302–1310
- Margalef DR. Information theory in ecology. *Gen System*, 1958, (3): 36–71
- Pielou EC. *Mathematical Ecology*. New York: John Wiley, 1977
- Pinkas L, Oliphant MS, Iverson ILK. Food habits of albacore, bluefin tuna, and bonito in California waters. *Fish bulletin* 152, 1971, 18(6): 653–594
- Shannon EC, Weaver W. *The Mathematical Theory of Communication*. Urbana: University of Illinois Press, 1948
- Washington HG. Diversity biotic and similarity indices: a review with special relevance to aquatic ecosystems. *Water Res*, 1984, 18(6): 653–694

(编辑 江润林)

## Interannual Variations in Community Structure and Species Diversity of Fishery Resources in the Laizhou Bay

YANG Yaoyao<sup>1,2</sup>, LI Zhongyi<sup>1,2</sup>①, WU Qiang<sup>1,2</sup>, WANG Jun<sup>1,2</sup>

(1. Key Laboratory of Sustainable Development of Marine Fisheries, Ministry of Agriculture, Shandong Provincial Key Laboratory of Fishery Resources and Ecological Environment, Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Qingdao 266071; 2. Function Laboratory for Marine Fisheries Science and Food Production Processes, Qingdao National Laboratory for Marine Science and Technology, Qingdao 266071)

**Abstract** In this study we evaluated the community structure and species diversity of the fish resources in the Laizhou Bay using ecological diversity indices and multivariate statistical analysis. Data were collected during the trawl surveys in August from 2009 to 2013. There were 100 species found in the survey, 56 of which were fish species. The relative biomass and species varied dramatically annually. The number of fishery species in 2013 dropped to 84.4% of the value in 2012, and only 60.3% of 2009. The average weight of catch per haul was also obviously decreased. The composition of dominant species displayed a pattern of interannual variation, and both the economic values and the sizes of the dominant species were continuously reduced over years. The ecological index showed a decreasing trend too. The Margalef species richness index ( $R$ ), the Shannon-Wiener diversity index ( $H'$ ), and the Pielou evenness index ( $J'$ ) varied from 2.67 to 3.95, 0.70 to 3.83, and 0.12 to 0.63 respectively. Cluster analysis and multidimensional scaling (MDS) analysis showed that average similarity within the group and diversity between groups with interannual variation were increased at the same similarity level. ANOSIM analysis indicated that there were significant differences in the community structure from 2009 to 2013 ( $P < 0.05$ ). Our study suggested that the fishery resources had been declining and that there was a yearly substitution in the dominant species. The community structure of fishery resources has varied remarkably.

**Key words** Laizhou Bay; Community structure; Species diversity; Interannual variations

① Corresponding author: LI Zhongyi, E-mail: lizy@ysfri.ac.cn