

DOI: 10.3724/SP.J.1118.2017.16154

渤海鱼类群落结构的年际变化

李忠义^{1,2}, 吴强^{1,2,3}, 单秀娟^{1,2,3}, 王新良^{1,2,3}, 金显仕^{1,2,3}

1. 中国水产科学研究院 黄海水产研究所, 农业部海洋渔业可持续发展重点实验室, 山东 青岛 266071;

2. 中国水产科学研究院 黄海水产研究所, 山东省渔业资源与生态环境重点实验室, 山东 青岛 266071;

3. 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 266235

摘要: 基于 2010 年和 2012–2014 年每年 8 月渤海渔业资源底拖网调查数据, 根据优势种、单位个体重、相对资源量、Jaccard 种类组成相似性系数和群落结构数量生物量曲线等指标, 研究渤海鱼类群落结构的年际变化, 结果显示: (1) 2010 年和 2012–2013 年, 总鱼类和底层鱼类种类数一直呈下降趋势, 2014 年有所恢复; 2010 年和 2012–2014 年暖温种种类数基本上呈下降趋势; (2) 底层鱼类优势种由小个体的虾虎鱼(*Gobiini* sp.)代替大个体的小黄鱼(*Pseudosciaena polyactis*), 中上层鱼类优势种则由植食性为主的黄鲫(*Setipinna taty*)和斑鲆(*Konosirus punctatus*)转向浮游动物食性的鳀(*Engraulis japonicus*); (3) 2010 年和 2012–2014 年渤海底层鱼类和总鱼类年间站位相对资源量两两间都不存在显著性差异($P>0.05$), 2013 年与 2014 年间总鱼类及 2014 年与 2010 年底层鱼类年间站位相对资源量方差无显著性差异($P>0.05$), 其他年份两两间都为方差不齐($P<0.05$), 底层鱼类和总鱼类站位相对资源量年际存在极端异常值; (4) 2010 年和 2012–2014 年单位数量鱼体的个体重逐年下降, 渤海鱼类这几年严重趋向小型化; (5) 5 种组内相似、组间相异贡献率高的鱼类种类, 其年度相对资源量和分布变化较大; 根据生物量与数量优势度曲线及 W 统计值判断, 2010 年渤海鱼类群落结构比较稳定, 2012 年相对稳定, 2013 年和 2014 年处于干扰状态, 特别是 2013 年的鱼类群落结构处于比较严重的干扰状态。综上所述, 渤海鱼类群落结构在 2010 年和 2012–2014 年发生了较大改变, 处于受干扰不稳定状态。

关键词: 渤海; 鱼类; 群落结构; 年际变化

中图分类号: S931

文献标志码: A

文章编号: 1005–8737–(2017)02–0403–11

渤海作为中国唯一的半封闭性内海, 是许多海洋生物资源的产卵场、索饵场和育肥场。目前渤海是中国四大海域受人类活动影响最为显著的海域, 过度捕捞、环境污染和人造工程等诸多原因使得渤海鱼类群落结构已经发生了很大的变化。表现为渔业资源衰退严重、生物多样性下降、渔业资源结构发生明显变化, 种类交替出现, 渔获小型化和低质化, 重要渔业资源已不能形成渔汛, 对渤黄海渔业的支持功能日益衰退^[1–4]。

本文基于 2010 年、2012–2014 年每年 8 月渤海渔业资源拖网的调查数据, 通过分析鱼类的优

势种类、单位个体重、相对资源量、Jaccard 种类组成相似指数和数量与生物量累积曲线等指标, 对渤海鱼类群落结构的年际变化进行研究, 展开鱼类群落结构受扰动程度评价, 为渤海海洋捕捞产业的调整及各项资源养护管理措施的制定与完善提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 数据来源

鱼类资源数据来源于 2010 年、2012–2014 年各年份 8 月的渔业拖网调查, 调查区域为 37°00′~

收稿日期: 2016-06-06; 修订日期: 2016-10-09.

基金项目: 国家 973 计划项目(2015CB453303); 农业部公益性行业科研专项(2013030503); 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; 青岛海洋科学与技术国家实验室鳌山科技创新计划(2015ASKJ02).

作者简介: 李忠义(1974–), 副研究员, 主要从事海洋生态研究. E-mail: lizy@ysfri.ac.cn

通信作者: 金显仕. E-mail: jin@ysfri.ac.cn

41°00'N; 118°00'~122°00'E (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。因天气、军事和生产渔船作业原因, 每年的调查站位有所不同, 具体调查站位见表 3。

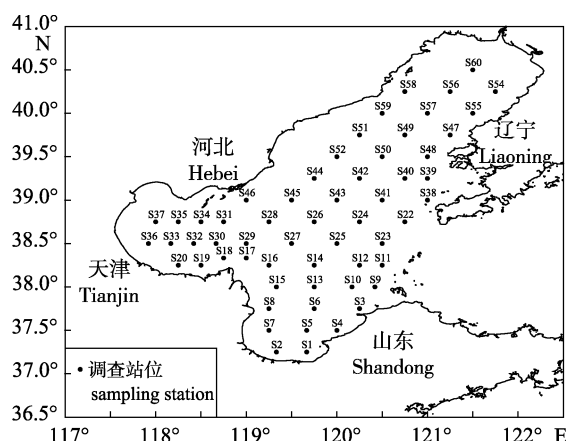


图 1 渤海渔业资源调查站位

Fig. 1 Sampling stations in Bohai Sea

1.2 分析方法

利用 Pinkas 相对重要性指数[IRI, 公式(1)]计算鱼类群落优势种类^[5]; 采用 Jaccard 种类组成相似性系数 $[S_j]$, 公式(2)]比较年间鱼类群落种类相似性程度^[6]; 选用扫海面积法计算鱼类相对资源量 $[D]$, 公式(3)]^[7]; 应用数量与生物量累积曲线法(abundance biomass comparison curves, 简称 ABC 曲线)及 W 统计值判断鱼类群落受干扰程度 $[W]$, 公式(4)]^[8]。变量间相关性计算用 SPSS16.0, 计算公式如下:

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

$$S_j = c / (a + b - c) \quad (2)$$

$$D = C / (q \times A) \quad (3)$$

$$W = \sum_{i=1}^s \frac{B_i - A_i}{50(s-1)} \quad (4)$$

公式(1)中, N 为鱼类的密度百分率, W 为生物量百分率, F 为站数百分率, $IRI > 500$ 定义为优势种。公式(2)中, a 、 b 、 c 分别为比较年份鱼类种数和共有种类数, 当 S_j 为 0~0.25 时, 群落之间极不相似;

当 S_j 为 0.25~0.50 时, 群落之间中等不相似; 当 S_j 为 0.50~0.75 时, 群落之间中等相似; 当 S_j 为 0.75~1.00 时, 群落之间极相似。公式(3)中, C 为每小时取样面积内的渔获量, q 为网具捕获率(底层鱼类 q 取 0.5, 中上层鱼类 q 取 0.3), A 为网具每小时扫海面积(因本文进行年际间的比较, 进行 D 计算时没有将 A 计算在内, D 最后单位为 kg/h 或 ind/h)。公式(4)中, B_i 和 A_i 为 ABC 曲线中种类序号对应的生物量和数量的累积百分比, s 为出现物种数。

数量与生物量累积曲线 x 轴为物种序号, y 轴为物种生物量或数量的累积百分比。生物量优势度曲线在数量优势度曲线之上表示群落结构比较稳定, 此时 W 为正; 生物量优势度曲线与数量优势度曲线相交表示群落相对稳定; 生物量优势度曲线位于数量优势度曲线之下表示群落处于干扰状态, 此时 W 为负。

2 结果与分析

2.1 种类组成

2010 年捕获鱼类 40 种, 隶属于 9 目 25 科 37 属, 其中底层鱼类 32 种, 中上层鱼类 8 种, 冷温种 5 种, 暖水种 10 种, 暖温种 25 种; 2012 年捕获鱼类 34 种, 隶属于 9 目 24 科 32 属, 其中底层鱼类 25 种, 中上层鱼类 9 种, 冷温种 6 种, 暖水种 9 种, 暖温种 19 种; 2013 年捕获鱼类 29 种, 隶属于 6 目 19 科 25 属, 其中底层鱼类 20 种, 中上层鱼类 9 种, 冷温种 5 种, 暖水种 8 种, 暖温种 16 种; 2014 年捕获鱼类 33 种, 隶属于 6 目 21 科 29 属, 其中底层鱼类 24 种, 中上层鱼类 9 种, 冷温种 3 种, 暖水种 13 种, 暖温种 17 种; 所有年份底层种和暖温种数量与生物量都占优势, 具体情况见表 1~表 3。

2010 年和 2012~2014 年渤海鱼类群落年间 β 相似性指数 S_j 为 0.51~0.64, 都处于 0.50~0.75 区间, 群落之间为中等相似, 年度两两间的相似性见表 2。各站位鱼类相对资源量见表 3。

2.2 优势种

2010 年和 2012~2014 年渤海鱼类的优势种比较见表 4。

表 1 2010 年和 2012–2014 年渤海鱼类基本情况
Tab. 1 The species structure of fish in Bohai Sea in 2010 and 2012–2014

年份 year	目 order	科 family	属 genus	种 species	底层种 demersal species	中上层种 pelagic species	冷温种 cold-temperate species	暖水种 warm-water species	暖温种 warm-temperature species
2010	9	25	37	40	32	8	5	10	25
2012	9	24	32	34	25	9	6	9	19
2013	6	19	25	29	20	9	5	8	16
2014	6	21	29	33	24	9	3	13	17

表 2 2010 年和 2012–2014 年渤海鱼类群落
年间 β 相似性指数

Tab. 2 The β similarity index of communities in
Bohai Sea in 2010 and 2012–2014

年份 year	2010	2012	2013	2014
2010		0.64	0.53	0.52
2012	0.64		0.58	0.52
2013	0.53	0.58		0.51
2014	0.52	0.52	0.51	

渤海鱼类的优势种在 2010 年至 2014 年发生了明显转变。其中 2010 年斑鲆为绝对优势种, 优势度达 4945.75; 2012 年以鲢、小黄鱼、黄鲫、矛尾虾虎鱼、斑鲆和小带鱼为主, 优势度处于 526.78~1079.20; 2013 年鲢占较大优势, 优势度达 8545.79; 2014 年鱼类优势种则转变为鲢、黄鲫和六丝矛尾虾虎鱼, 鲢的优势度仍高达 4403.50。

表 3 2010 年和 2012–2014 年渤海各站位鱼类相对资源量
Tab. 3 The relative catches of fish in Bohai Sea in 2010 and 2012–2014

站位 station	年份 year				站位 station	年份 year			
	2010	2012	2013	2014		2010	2012	2013	2014
S1	323.28		23.14	6.42	S31	644.73	0.65	5.42	0.26
S2	3945.93				S32	36.36	10.88	306.18	2.18
S3	7.54	11.12	1.84	0.53	S33	59.52	10.97	9.89	182.97
S4	255.40	12.32		1.50	S34	13.57	4.80	2.38	5.06
S5	41.92	24.98	27.77	0.02	S35	31.13	2.97	5.61	1.45
S6	45.02	94.58			S36		14.57		
S7	736.14	141.81	23.12	18.56	S37		10.93		
S8	14.79	38.92		2.21	S38		0.72	0.68	1.68
S9		12.87	4.83	0.97	S39		15.91	4.89	3.62
S10	1.70	17.69	0.03	0.53	S40	12.63	5.64	1.47	2.11
S11			2.61	0.95	S41	33.79	14.99	0.31	0.44
S12	0.51	12.46	3.06	2.90	S42	10.34	10.13	0.35	1.10
S13	113.60	16.14	1.86	3.81	S43	0.64	5.61	2.82	5.41
S14	3.49	14.66	0.67	3.01	S44	4.57	1.13	0.04	13.61
S15	57.81	2.61	18.49	0.38	S45	0.32	0.03	1.49	12.55
S16	21.08	1.11	8.69	23.38	S46	2.04		20.88	
S17	5.55	7.10	0.48	10.31	S47				3.40
S18			28.83	28.69	S48	3.05	1.30	1.08	0.20
S19		2.76			S49	2.14	0.20	0.99	9.66
S20		36.69			S50	1.80	0.04	8.25	1.22
S21				0.42	S51	13.56	0.47		2.07
S22		12.58	0.66	2.07	S52	2.29	1.68	0.32	
S23		7.10	0.46	0.52	S53	3.03			
S24	3.83	32.80	2.28	1.05	S54	27.00	0.08	3.58	
S25	0.50	0.60	0.03	2.14	S55	7.78	0.06	0.73	0.92
S26	1.04	0.87	4.87	5.75	S56			2.10	
S27	0.79	0.36	0.76	111.89	S57	0.65	0.16	1.80	3.29
S28	1.36	1.65	0.79	3.34	S58	1.05	2.06	2.57	
S29	19.55	0.36	0.34	35.18	S59	2.66		11.48	201.35
S30	74.81	2.18	9.86	3.82	S60	5.28			

表 4 2010–2014 年渤海游泳生物优势种(IRI>500)
Tab. 4 The dominant species (IRI>500) of Bohai Sea in 2010 and 2012–2014

年份 year	种类/species	F/%	N/%	W/%	IRI
2010	斑鲷 <i>Konosirus punctatus</i>	33.33	66.47	81.90	4945.75
2012	鲮 <i>Engraulis japonicus</i>	47.06	20.06	2.87	1079.20
	小黄鱼 <i>Pseudosciaena polyactis</i>	54.90	3.14	15.36	1015.52
	黄鲫 <i>Setipinna taty</i>	45.10	6.93	11.27	820.79
	矛尾虾虎鱼 <i>Chaeturichthys stigmatias</i>	64.71	7.70	1.99	626.52
	斑鲷 <i>Konosirus punctatus</i>	23.53	11.31	14.99	618.84
	小带鱼 <i>Eupleurogrammus muticus</i>	50.98	7.42	2.91	526.78
2013	鲮 <i>Engraulis japonicus</i>	65.31	79.84	51.01	8545.79
2014	鲮 <i>Engraulis japonicus</i>	55.32	48.37	31.23	4403.50
	黄鲫 <i>Setipinna taty</i>	34.04	8.28	12.92	721.74
	六丝矛尾虾虎鱼 <i>Chaeturichthys hexanema</i>	80.85	3.59	5.25	714.44

2.3 渤海鱼类相对资源量年间相关性

对 2010 年和 2012–2014 年渤海鱼类年间站位进行相对资源量差异性检验发现(表 5), 相对资源量两两间都不存在显著性差异($P>0.05$), 相比 2010 年, 2012 年至 2014 年鱼类站位平均相对资源量下降剧烈, 下降幅度分别为 94.20%、94.56%和 92.67%, 下降幅度基本不变, 恢复缓慢。底层鱼类站位相对资源量两两间也无显著性差异($P>0.05$), 相比 2010 年, 2012 年至 2014 年底层鱼类站位平

表 5 渤海鱼类站位相对资源量年间相关关系
Tab. 5 Correlations between annual relative resources of fish in stations in the Bohai Sea

类别 type	年份 year	总相对资源 量/(kg·h ⁻¹) resource	P			
			2010	2012	2013	2014
所有鱼类 all fish	2010	210408.03		0.29	0.29	0.30
	2012	12201.99	0.29		0.90	0.71
	2013	11444.10	0.29	0.90		0.84
	2014	15423.77	0.30	0.71	0.84	
底层鱼类 demersal fish	2010	3044.68		0.63	0.44	0.57
	2012	3525.05	0.63		0.37	0.42
	2013	1190.32	0.44	0.37		0.89
	2014	1570.39	0.57	0.42	0.89	

注: $P<0.05$ 表示差异显著, $P<0.01$ 表示差异极显著, $P>0.05$ 表示差异不显著。
Note: $P<0.05$ means significant difference; $P<0.01$ means extremely significant difference; $P>0.05$ means no significant difference.

均相对资源量变化幅度分别为 15.77%、-60.91%和-48.42%, 波动相对较大。

2.4 鱼类群落结构的数量生物量曲线

从 2010 年、2012 年、2013 年和 2014 年每年 8 月鱼类数量与生物量的 ABC 曲线图(图 2)可知, 2010 年 8 月渤海鱼类群落的生物量优势度曲线位于数量优势度曲线之上, ABC 曲线 W 统计量值大于零, 群落结构比较稳定; 生物量排序居前 4 位的种类分别为斑鲷、银鲳、黄鲫和蓝点马鲛, 累积生物量百分比达 97.55%, 其中斑鲷为 86.74%; 数量排序居前 4 位的种类分别为斑鲷、鲮、黄鲫和矛尾虾虎鱼, 累积数量百分比达 95.11%, 其中斑鲷为 83.07%; 2012 年 8 月渤海鱼类群落数量优势度曲线与生物量优势度曲线相交, W 统计量值小于零。生物量排序居前 4 位的种类分别为斑鲷、黄鲫、小黄鱼和青鳞沙丁鱼, 累积生物量百分比达 75.03%, 其中斑鲷为 28.30%; 数量排序居前 4 位的种类分别为鲮、斑鲷、青鳞沙丁鱼和黄鲫, 累积数量百分比达 74.21%, 其中鲮为 31.14%; 2013 年渤海鱼类群落数量优势度曲线位于生物量优势度曲线之上, ABC 曲线 W 统计量值小于零, 生物量排序居前 4 位的种类分别为鲮、黄鲫、斑鲷和赤鼻棱鲮, 累积生物量百分比达 82.33%, 其中鲮为 63.35%; 数量排序居前 4 位的种类分别为鲮、赤鼻棱鲮、青鳞沙丁鱼和黄鲫, 累积数量百分比达 96.16%, 其中鲮为 86.42%; 2014 年渤海鱼类群落数量优势度曲线位于生物量优势度曲线之上, ABC 曲线 W 统计量值小于零, 生物量排序居前 4 位的种类分别为鲮、黄鲫、青鳞沙丁鱼和六丝矛尾虾虎鱼, 累积生物量百分比达 87.77%, 其中鲮为 51.81%; 数量排序居前 4 位的种类分别为鲮、黄鲫、大银鱼和六丝矛尾虾虎鱼, 累积数量百分比达 90.85%, 其中鲮为 69.06%。

2010 年渤海鱼类单位数量的个体重为 13.39 g, 2012 年单位数量的个体重 7.70 g, 2013 年单位数量的个体重为 3.75 g, 2014 年单位数量的个体重为 2.30 g, 逐年下降。2010 年至 2014 年渤海鱼类单位数量的个体重变化情况见图 3。

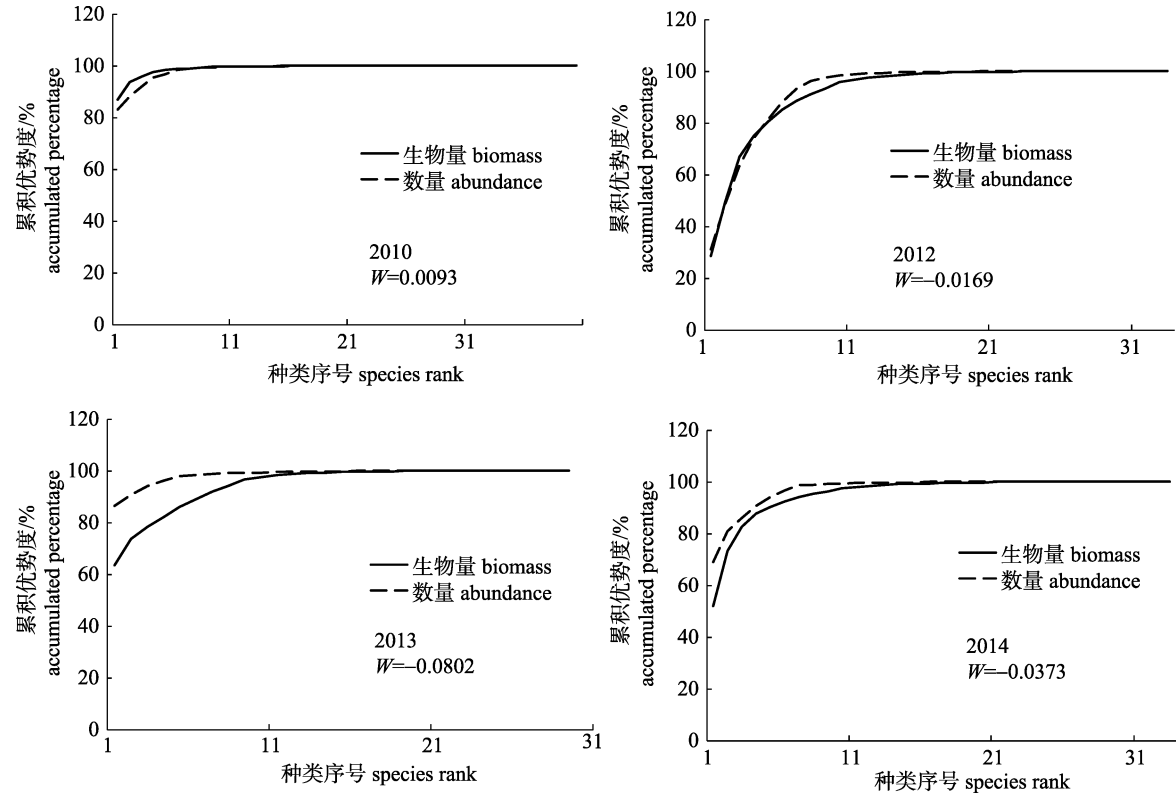


图 2 渤海鱼类群落结构的数量生物量曲线
Fig. 2 Abundance biomass comparison curves of fish community in Bohai Sea

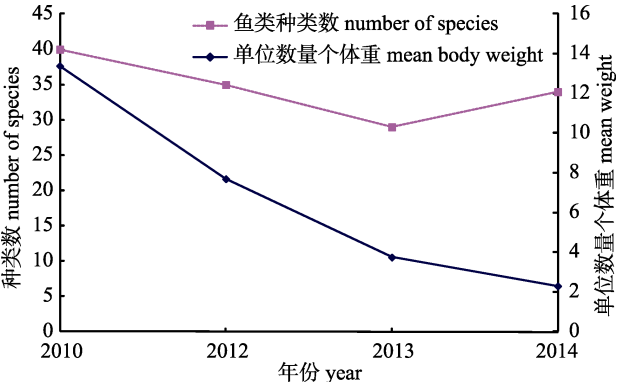


图 3 渤海鱼类的种类数和单位数量个体重变化
Fig. 3 Individual average body weight of all fish from 2010 to 2014 in Bohai Sea

2.5 群落结构多样性的年际变化

根据 2010 年和 2012–2014 年 8 月渤海鱼类相对资源量四次方根转换计算的 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 4 所示。

根据相似性系数进行聚类分析的结果表明, 在 40.2% 的相似性水平上, 可以把 2010 年 8 月渤海调查站位分成 7 组, 其中 1 组只有 1 个站位, 其

余 6 组的组内相似性百分比为 46.20%~56.73%, 平均为 51.32%; 在 32% 的相似性水平上, 可以把 2012 年 8 月渤海调查站位分成 7 组, 其中 1 组只有 1 个站位, 其余 6 组的组内相似性百分比为 44.41%~73.14%, 平均为 55.52%; 在 35.49% 的相似性水平上, 可以把 2013 年 8 月渤海调查站位分成 9 组, 其中 2 组只有 1 个站位, 其余 7 组的组内相似性百分比为 35.49%~54.56%, 平均为 48.22%; 在 35.69% 的相似性水平上, 可以把 2014 年 8 月渤海调查站位分成 6 组, 其中 2 组只有 1 个站位, 其余 4 组的组内相似性百分比为 38.65%~53.03%, 平均为 48.50%。

2010 年和 2012–2014 年应力系数分别为 0.18、0.16、0.14 和 0.18, 都小于 0.2, 拟合度相对较好, 能较好地解释分组情况, 其中 2010 年、2013 年和 2014 年的 MDS 标序结果与 CLUSTER 聚类分析结果相对一致。

单因子相似性分析(ANOSIM)表明, 2010 年和 2012–2014 年各年度不同组群种类组成差异都极显著($R=0.76, P=0.001$; $R=0.74, P=0.001$; $R=$

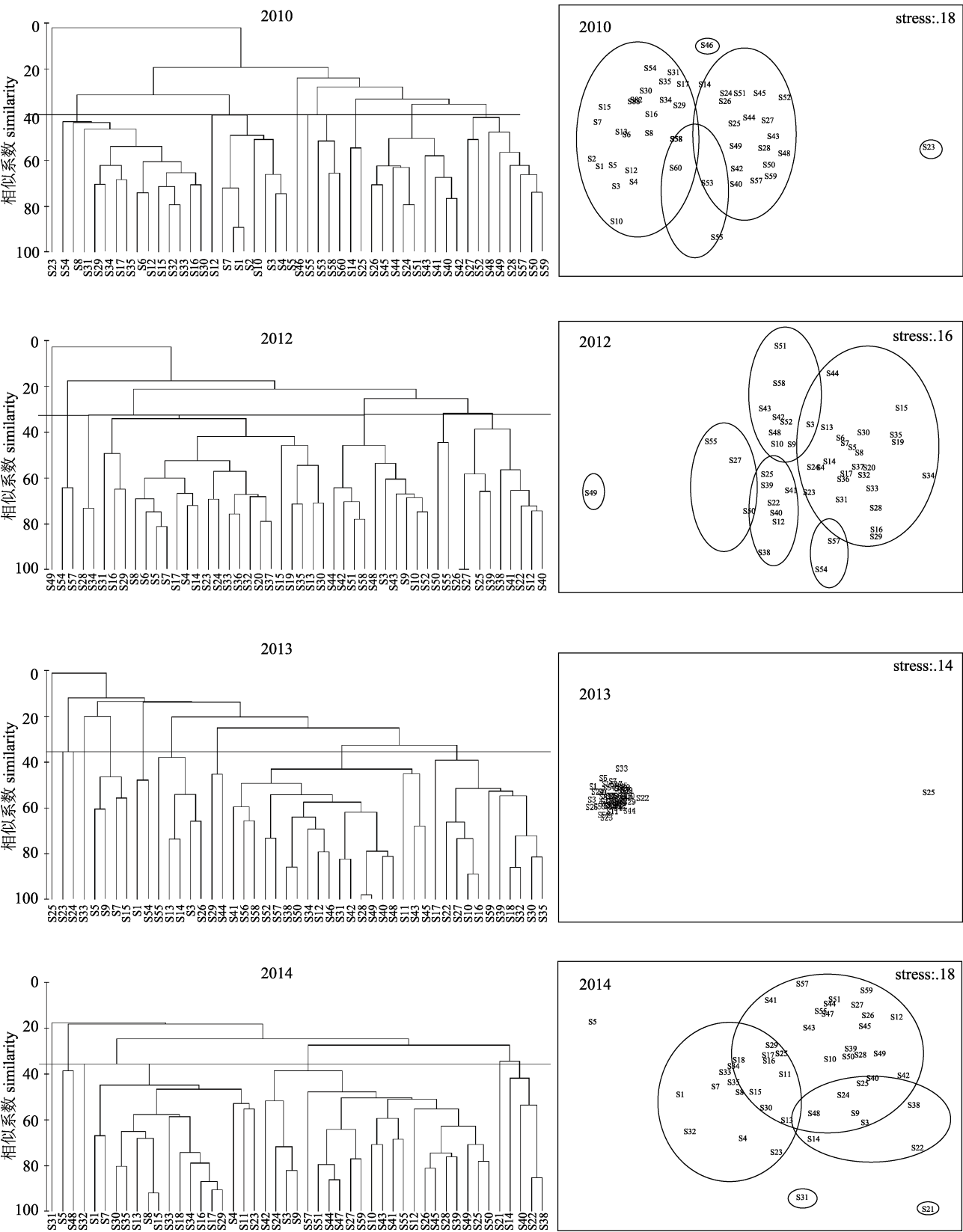


图 4 CLUSTER 聚类分析和 MDS 标序结果
Fig. 4 CLUSTER analysis dendrogram and MDS results

0.84, $P=0.001$; $R=0.78$, $P=0.001$)。对种群结构进行 SIMPER 分析, 结果如图 4 所示。

2010 年组间差异性指数范围为 64.60%~93.75%, 组间相异性贡献率大于 10% 的有斑鲈、黄鲫、银鲳、矛尾虾虎鱼、小带鱼、鲢、青鳞沙丁鱼、大银鱼和蓝点马鲛共 9 种生物, 组群两两间种类差异性比较显示, 鲢贡献了 10 次, 斑鲈、黄鲫、银鲳和青鳞沙丁鱼贡献了 6 次, 银鲳、小带鱼与矛尾虾虎鱼分别贡献了 5 次和 4 次, 仅大银鱼贡献 1 次。

2012 年组间异性指数范围为 67.49%~100%, 组间相异性比较贡献率大于 10% 的种类有黄鲫、小黄鱼、矛尾虾虎鱼、细纹狮子鱼、鲢、小带鱼、蓝点马鲛、许氏平鲉和青鳞沙丁鱼共 9 种生物。组群两两间种类差异性比较显示, 黄鲫和小黄鱼贡献了 11 次, 矛尾虾虎鱼和细纹狮子鱼贡献了 10 次, 鲢贡献了 9 次, 小带鱼、蓝点马鲛和许氏平鲉分别贡献了 7 次、6 次和 5 次, 仅青鳞沙丁鱼贡献了 1 次。

2013 年组间异性指数范围为 67.33%~100%, 组间相异性贡献率大于 10% 的生物有 16 种。组群两两间种类差异性比较贡献超过 10 次的有矛尾复虾虎鱼、鲢、青鳞沙丁鱼和黄鲛, 贡献次数分别为 11 次、15 次、13 次和 14 次; 赤鼻棱鲈贡献了 9 次, 斑鲈、银鲳、小带鱼、蓝点马鲛、日本鲭和绿鳍马面鲈都贡献了 8 次, 细纹狮子鱼贡献了 5 次, 黄鲫和大银鱼贡献了 3 次, 长吻红舌鲷与鲱鲷分别只贡献了 2 次和 1 次。

2014 年组间异性指数范围为 65.58%~94.66%, 组间相异性贡献率大于 10% 的生物有 11 种, 组群两两间种类差异性比较贡献次数多集中在 5~7 次。其中鲢和绿鳍马面鲈都贡献了 7 次, 蓝点马鲛贡献了 6 次, 青鳞沙丁鱼、细纹狮子鱼、长吻红舌鲷和方氏云鲷贡献了 5 次, 斑鲈和黄鲫贡献了 4 次, 六丝矛尾虾虎鱼和大银鱼分别贡献了 3 次和 2 次。

2010 年渤海调查站位分组后, 组内相似性贡献率超过 10% 的有斑鲈、蓝点马鲛、黄鲫、矛尾虾虎鱼、银鲳、小带鱼、尖海龙、鲢、大银鱼、细纹狮子鱼、黄鲛共 11 种生物; 2012 年渤海调

查站位分组后, 组内相似性贡献率超过 10% 的有蓝点马鲛、鲢、小黄鱼、黄鲫、小带鱼、矛尾虾虎鱼、许氏平鲉共 7 种生物; 2013 年渤海调查站位分组后, 组内相似性贡献率超过 10% 的有斑鲈、长吻红舌鲷、蓝点马鲛、鲢、赤鼻棱鲈、小带鱼、青鳞沙丁鱼、矛尾复虾虎鱼、黄鲫、黄鲛、日本鲭共 11 种生物; 2014 年渤海调查站位分组后, 组内相似性贡献率超过 10% 的有青鳞沙丁鱼、六丝矛尾虾虎鱼、赤鼻棱鲈、小带鱼、黄鲫、鲢、蓝点马鲛、长吻红舌鲷、绿鳍马面鲈共 9 种。

3 讨论

3.1 种类变化

2010 年至 2013 年, 总鱼类、底层鱼类的种类数变化较大, 一直呈下降趋势, 2014 年有所恢复; 冷温种和暖水种的种类数 2010 年至 2013 年相对变化不大, 2014 年则有所波动; 相比 2010 年, 2012 年至 2014 年生态类型种类数变化最大的为暖温种, 基本上一直呈下降趋势。2010 年至 2014 年渤海鱼类种类数量变化较大。

2010 年因气候原因, 斑鲈为该年度的唯一优势种。2012 年, 渤海鲢的优势度大幅增加, 斑鲈优势度大幅减少; 中上层鱼类的优势种为鲢与黄鲫, 小带鱼和小黄鱼为底层鱼类优势种。2013 年与 2014 年, 优势种类数大大减少, 基本上以鲢为主, 六丝矛尾虾虎鱼在 2014 年为底层鱼类优势种。从时间上看, 渤海中上层鱼类优势种群按照斑鲈→黄鲫→鲢的顺序, 底层鱼类按照小黄鱼→虾虎鱼的顺序, 向小型化方向演替, 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; 小型中上层种类替代大型底层种类成为优势种, 底层鱼类由小个体的虾虎鱼主导。中上层鱼类由植食性为主的黄鲫和斑鲈转向浮游动物食性的鲢。金显仕等^[9]在分析莱州湾 1959 年至 1999 年渔业资源历史数据时就已发现鱼类优势种这种演替规律, 如今本文重现这种规律的演替, 可能与渤海和莱州湾渔业资源的恢复衰竭循环反复有关。

郭学武等^[10]研究发现斑鲈以浮游植物为主食, 兼食沉积碎屑和桡足类, 不会轻易由于食物网结

构的变化而被淘汰。本研究中,2013 年与 2014 年斑鲈已不再成为优势种,说明 2010 年至 2014 年渤海鱼类群落结构已发生较大改变。

3.2 鱼类群落结构的变化

数量生物量曲线法由 Warwick 依据 Connell 的中度干扰假说以及 Huston 的多样性广义假说,在 Lambs head 与 Shaw K-优势曲线的基础上发展而来的^[8]。ABC 曲线最初用于评估底栖生物受干扰的程度,因为底栖生物只作短距离活动,栖息地相对固定。近年来,随着分析手段的不断加强,ABC 法在鱼类及游泳生物群落结构研究中的应用越来越多^[11-12]。本研究将渤海作为一个整体研究,可消除迁移对鱼类群落结构研究的影响;5-6 月是多数鱼类洄游至渤海的繁殖时间,6 月 1 日渤海开始进入休渔期,因此选取 8 月作为调查时间,可排除渔民生产作业对渔业调查产生的影响;此时幼鱼已长大,摒弃了小鱼对 ABC 曲线解释的干扰,且此时渤海基本上无迁入迁出的鱼类,能够客观有效地反映渤海鱼类群落结构的变化情况。实验设计遵循曲方圆等^[13]对丰度生物量比较法应用局限性的研究结果。

鱼类群落 ABC 曲线特征可反映群落中大型鱼类和小型鱼类相对数量的变化以及个体大小组成的变化,群落中优势种类的大小决定了生物量优势度曲线和数量优势度曲线的位置^[8]。根据 *W* 统计值划分标准,2010 年渤海鱼类群落结构比较稳定,2012 年相对稳定,2013 年和 2014 年处于干扰状态,特别是 2013 年的鱼类群落处于相对比较严重的干扰状态。从各年度种类生物量与数量优势度累积情况也可以看出,2010 年生物量排序前四位的有银鲳和蓝点马鲛大个体鱼类,2012 年有小黄鱼,而 2013 年和 2014 年生物量占绝对优势的同为小个体的鲢。渤海年际鱼类群落结构已发生较大改变,小个体鱼类生物量和数量已占绝对优势。2010 年至 2014 年单位数量鱼体的个体重也佐证了此观点,相比于 2010 年,2012 年至 2014 年渤海鱼类严重趋向小型化。总体而言,渤海鱼类的变化趋势是 *k* 选择种类(小黄鱼和银鲳等为代表)逐渐被 *r* 选择种类(鲢和虾虎鱼等为代表)所替代,即寿命长、个体大和营养级高的鱼类数量减

少,寿命短、个体小和营养级较低的种类增多(图 3)。

与 2010 年相比,2012 年至 2014 年鱼类站位相对资源量下降剧烈,但相互间却无显著性差异($P>0.05$),可能是由于年间鱼类相对资源量的减少或增加主要集中于某一站位或某一海域,存在极端异常值。在所有相同调查站中,相比 2010 年,2012 年至 2014 年鱼类相对资源量减少的站位分别占 65.71%、77.14%和 57.14%;站位平均捕捞生物量减少为 0.17~1197.58 kg/h,增加为 0.09~267.74 kg/h。鱼类站位相对资源量的变化也说明 2010 年至 2014 年渤海鱼类的群落结构发生了极大改变。

对 2010 年和 2012-2014 年年度渤海鱼类站位组内相似性和组间差异性贡献率较大的共有种进行分析发现,组内相似性贡献率超过 10%的共有种类有蓝点马鲛、黄鲫、小带鱼、鲢;组间差异性贡献率超过 10%的共有种类有蓝点马鲛、青鳞沙丁鱼、黄鲫、鲢。贡献率较大的组内相似种和组间差异种种类差别不大,推测渤海鱼类群落结构生态多样性较低,群落结构的差异性可能是上述 5 种鱼类相对资源量分布变化所致。

对组内相似和组间相异种的年际分布情况进行分析,发现黄鲫的分布范围呈逐年缩小的趋势,分布集中于渤海湾和莱州湾,2013 年和 2014 年分布范围大幅缩小。

青鳞沙丁鱼的分布范围波动较大,2010 年主要集中于渤海湾的少数几个站点,莱州湾有零星分布;2012 年则相反,集中于莱州湾的几个站点,渤海湾则呈零星分布;2013 年莱州湾和渤海湾分布站位都减少;2014 年则在渤海湾和莱州湾交界处有大量分布。

蓝点马鲛的分布呈逐年向渤海中部聚集的趋势,2010 年主要集中于辽东湾东部、渤海中部的中间水域,莱州湾的中部及南部水域;2012 年在辽东湾的分布转向西南水域,在莱州湾向北偏移,中部则向东偏移;2013 年则集中于莱州湾东北部;2014 年仅在整個渤海中部水域有零星分布。

鲢在 2010 年集中分布于渤海中部的中间水域,2012 年则集中出现于莱州湾东北水域,渤海

中部的相对资源量大幅减少; 2013 年主要出现在辽东湾、渤海湾及莱州湾 3 个海湾与渤海中部的交界水域; 2014 年则集中于渤海中部的西南水域。

小带鱼在渤海的相对资源量较少, 但分布相对集中, 且变化较大。2010 年主要分布于莱州湾的东北水域, 2012 年分布范围迅速扩大, 莱州湾和渤海湾是集中分布区; 2013 年分布范围则急剧缩小, 莱州湾的南部和辽东湾的中间水域有一定量的资源分布; 2014 年分布范围则又迅速扩大, 渤海湾的中部与东南部、莱州湾的西边沿岸及北部、渤海中部的中间水域及东边都是小带鱼的集中分布区, 另在辽东湾的东南角有少许分布。

分析发现 5 种组内相似、组间相异贡献率大的鱼类种类, 其年度相对资源量和分布变化都较大, 从另一个方面解释了渤海鱼类种群结构波动较大。

Bianchi 等^[14]及 Jennings 等^[15]研究发现过度捕捞是影响各水域渔业资源可持续性的最大因素。研究结果^[16-17]证实过度捕捞直接引起生态系统中物种的捕食和被捕食关系不匹配, 造成渔业资源和补充量的关系失衡, 导致渔业资源生物种群退化和数量下降, 种群的稳定性降低、波动性增大。经查渔业统计年鉴, 相比 2010 年, 2012 年至 2014 年渤海捕捞产量都有所减少, 减少幅度分别为 2.37%、8.74% 和 4.21%。统计的捕捞种类包括鱼类、甲壳类、贝类、藻类、头足类和海蜇, 但主要捕捞量由鱼类贡献, 数据年间对比性较强^[18-21]。渤海鱼类总捕捞量年际变化不大, 且逐年还有所减少, 但本研究发现鱼类群落结构却发生了极大改变, 因缺乏各种鱼类的年际捕捞量, 推测鱼类群落结构的改变可能是环境扰动和捕捞共同贡献所致。2010 年至 2014 年渤海鱼类群落年间为中等相似, β 相似性指数 S_j 无论是从 2010 年开始还是从 2012 年开始, 都是逐年减小, 群落差异性越来越大, 显示鱼类群落结构受到外界环境干扰, 因渤海鱼类不含外来种, 此时的年际变化可对应于环境变化。2010 年至 2013 年鱼类群落的种类逐渐减少, 其中中上层鱼类变化不大, 种类减少主要发生于底层鱼类, 2014 年底层鱼类的种类较 2012 年和 2013 年有所增加。但年间站位相对资

源量两两间却无显著性差异($P>0.05$), 与所有鱼类年间站位相对资源量相似, 可能是某一站位或某一海域相对资源量的极端异常值弱化了底层鱼类相对资源量的年间差异, 推测环境的改变影响了渤海底层鱼类与总鱼类的种类组成与分布。一些研究也发现底层生物易受环境波动的干扰, 杨尧尧等^[22]发现黄河入海泥沙年际通量与鱼类种数、底层鱼类数和渔业资源数存在显著相关性, 与底层鱼类生物量存在极显著相关性。林龙山等^[23]研究发现黄海冷水团的北移使得底层小黄鱼的产卵场变大, 向北部和海外迁移。

2010 年至 2014 年渤海发生的大事件莫过于 2011 年 6 月蓬莱 19-3 油田先后发生两起溢油事故。鱼类群落结构的改变是否由溢油所致, 其对渤海的渔业资源和海洋生态环境会造成什么影响, 程度如何, 潜在影响怎样, 这些都需要其他学科的研究联合佐证。

综上所述, 渤海鱼类在 2010 年至 2014 年, 其种类组成、优势种、种类相似度、生物量和数量都发生了改变, 群落结构处于受干扰不稳定状态。

参考文献:

- [1] Wu Y K. The study on the trend of environment change and management in Laizhou Bay[J]. Ocean Development and Management, 2011, 28(9): 90-92. [吴云凯. 莱州湾海洋环境变化趋势及管理措施研究[J]. 海洋开发与管理, 2011, 28(9): 90-92.]
- [2] Xu S S, Song J M, Li X G, et al. Variation characteristics of catch structure in the Bohai Sea and its influencing factors[J]. Journal of Natural Resources, 2014, 29(3): 500-506. [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[J]. 自然资源学报, 2014, 29(3): 500-506.]
- [3] Zhang B, Wu Q, Jin X S. Interannual variation in the food web of commercially harvested species in Laizhou Bay from 1959 to 2011[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2015, 22(2): 278-287. [张波, 吴强, 金显仕. 1959-2011 年莱州湾渔业资源群落食物网结构的变化[J]. 中国水产科学, 2015, 22(2): 278-287.]
- [4] Yang Y Y, Li Z Y, Wu Q, et al. Interannual variations in the community structure and species diversity of fishery resources in the Laizhou Bay[J]. Progress in Fishery Sciences, 2016, 37(1): 22-29. [杨尧尧, 李忠义, 吴强, 等. 莱州湾渔业资源群落结构和多样性的年际变化[J]. 渔业科学进展, 2016, 37(1): 22-29.]

- [5] Pinkas L, Oliphant M S, Iverson I L K. Food habits of albacore, bluefish tuna, and bonito in California waters[J]. Water Res, 1971, 18(6): 653–594.
- [6] Ma K P, Liu C R, Liu Y M. Measurement of biotic community diversity II— β diversity[J]. Biodiversity Science, 1995, 3(1): 38–43. [马克平, 刘灿然, 刘玉明. 生物群落多样性的测度方法 II β 多样性的测度方法[J]. 生物多样性, 1995, 3(1): 38–43.]
- [7] Song W H. Study on seasonal variations of community structure of fishery in Rushan Bay and its adjacent waters[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2013: 21. [宋文豪. 乳山湾及邻近海域渔业生物群落结构及季节变化的研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2013: 21.]
- [8] Warwick R M. A new method for detecting pollution effects on marine macrobenthic communities[J]. Mar Biol, 1986, 92: 557–562.
- [9] Jin X S, Deng J Y. Variations in community structure of fishery resources and biodiversity in the Laizhou Bay[J]. Chinese Biodiversity, 2000, 8(1): 65–72. [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[J]. 生物多样性, 2000, 8(1): 65–72.]
- [10] Guo X W, Tang Q S, Sun Y, et al. The consumption and ecological conversion efficiency of dotted gizzard shad (*Clupanodon punctatus*)[J]. Marine Fisheries Research, 1999, 20(2): 17–25. [郭学武, 唐启升, 孙耀, 等. 斑鲈的摄食与生态转换效率[J]. 海洋水产研究, 1999, 20(2): 17–25.]
- [11] Yemane D, Field J G, Leslie R W. Exploring the effects of fishing on fish assemblages using abundance biomass comparison (ABC) curves[J]. ICES J Mar Sci, 2005, 62: 374–379.
- [12] Jouffre D, Inejih C A. Assessing the impact of fisheries on demersal fish assemblages of the Mauritanian continental shelf, 1987–1999, using dominance curves[J]. ICES J Mar Sci, 2005, 62: 380–383.
- [13] Qu F Y, Yu Z S, Sui J X, et al. The limitations of abundance biomass comparison method[J]. Marine Sciences, 2009, 33(6): 118–121. [曲方圆, 于子山, 隋吉星, 等. 丰度生物量比较法应用局限性[J]. 海洋科学, 2009, 33(6): 118–121.]
- [14] Bianchi G, Gislason H, Graham K, et al. Impact of fishing on size composition and diversity of demersal fish communities[J]. ICES J Mar Sci, 2000, 57(3): 558–571.
- [15] Jennings S, Nicholson M D, Dinmore T A, et al. Effects of chronic trawling disturbance on the production of infaunal communities[J]. Mar Ecol Prog Ser, 2003, 243: 251–269.
- [16] Edwards M, Richardson A J. Impact of climate change on marine pelagic phenology and trophic mismatch[J]. Nature, 2004, 430: 881–884.
- [17] Hsieh C H, Yamauchi A, Nakazawa T, et al. Fishing effects on age and spatial structures undermine population stability of fishes[J]. Aquat Sci, 2010, 72: 165–178.
- [18] National Bureau of Statistics of China. 2010 Fishery Statistical Yearbook[M]. Beijing: China Statistics Press, 2010: 45. [国家统计局. 2010 渔业统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2010: 45.]
- [19] National Bureau of Statistics of China. 2012 Fishery Statistical Yearbook[M]. Beijing: China Statistics Press, 2012: 44. [国家统计局. 2012 渔业统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2012: 44.]
- [20] National Bureau of Statistics of China. 2013 Fishery Statistical Yearbook[M]. Beijing: China Statistics Press, 2013: 45. [国家统计局. 2013 渔业统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2013: 45.]
- [21] National Bureau of Statistics of China. 2015 Fishery Statistical Yearbook[M]. Beijing: China Statistics Press, 2015: 46. [国家统计局. 2015 渔业统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2015: 46.]
- [22] Yang Y Y, Li X Q, Jin X S, et al. Effects of annual sediment flux from the Yellow River on the fishery resources structures in the Laizhou Bay[J]. Journal of Fisheries of China, 2016, 39(5): 130–138. [杨尧尧, 李秀启, 金显仕, 等. 黄河入海泥沙年际通量对莱州湾渔业资源结构的影响[J]. 水产学报, 2016, 39(5): 130–138.]
- [23] Lin L S, Chen J H, Jiang Y Z, et al. Spatial distribution and environmental characteristics of the spawning grounds of small yellow croaker in the southern Yellow Sea and the East China Sea[J]. Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(8): 3485–3494. [林龙山, 程佳骅, 姜亚洲, 等. 黄海南部和东海小黄鱼(*Larimichthys polyactis*)产卵场分布及其环境特征[J]. 生态学报, 2008, 28(8): 3485–3494.]

Interannual variations in fish community structure in the Bohai Sea

LI Zhongyi^{1,2,3}, WU Qiang^{1,2,3}, SHAN Xiujuan^{1,2,3}, WANG Xinliang^{1,2,3}, JIN Xianshi^{1,2,3}

1. Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences; Key Laboratory of Sustainable Development of Marine Fisheries, Ministry of Agriculture, Qingdao 266071, China;
2. Shandong Provincial Key Laboratory for Fishery Resources and Eco-environment, Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Qingdao 266071, China
3. Laboratory for Marine Fisheries and Aquaculture, Qingdao National Laboratory for Marine Science and Technology, Qingdao 266235, China

Abstract: We evaluated variations of in fish community structure in the Bohai Sea using data collected during trawl surveys in August 2010–2014. The dominant species, individual mean body weight, relative resource, Jaccard's similarity coefficient, an abundance biomass comparison curve and multivariate statistical analyses were used to evaluate the data. The results showed that the abundance of all fish species decreased from 2010 to 2013, the abundance of a few species increased in 2014, but the abundance of all warm-temperate species decreased from 2010 to 2014. The dominant fish species changed drastically from 2010 to 2014, and the dominant demersal fish species changed from *Pseudosciaena polyactis* to *Gobiini* sp., whereas the dominant pelagic fish species changed from *Konosirus punctatus* and *Setipinna taty*, which feed on phytoplankton, to *Engraulis japonicus*, which feed on zooplankton. No differences ($P>0.05$) among mean station resource were observed for any of the fish during 2010–2014, and the mean station resource data had hetero generous variances ($P<0.05$) during 2010–2014, except data of all fish between 2013 and 2014, and those of demersal fish between 2010 and 2014. The abundance biomass comparisons and statistical W values showed that the fish community was stable in 2010, relatively stable in 2012, but disturbed in 2014, and seriously disturbed in 2013. The annual relative resource and distribution of the five fish species with the highest contribution rate to similarity in the groups and differences between groups changed significantly. Mean weight of all fish decreased from 2010 to 2014, as the sizes of all fish in the Bohai Sea has tended to decrease in recent years. In conclusion, the fish community in the Bohai Sea changed dramatically from 2010 to 2014 and remains in a disturbed state.

Key words: Bohai Sea; fish; community structure; interannual variation

Corresponding author: JIN Xianshi. E-mail: jin@ysfri.ac.cn