

文章编号: 1000-0615(2018)05-0684-10

DOI: 10.11964/jfc.20170710892

## 莱州湾头足类的群落结构及其与环境因子的关系

吴强<sup>1,2</sup>, 陈瑞盛<sup>1</sup>, 左涛<sup>1,2</sup>, 关丽莎<sup>1,2</sup>, 金显仕<sup>1,2\*</sup>

(1. 中国水产科学研究院黄海水产研究所, 山东青岛 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, 山东青岛 266273)

**摘要:** 为了掌握莱州湾头足类的资源现状, 根据2011—2012年进行的9个月份的底拖网调查数据, 研究了莱州湾头足类的群落结构及其与环境因子的关系。结果显示, 148网次共捕获头足类6种, 隶属于3目、3科、4属。头足类生物量及个体数均以10月最高、3月最低, 周年平均值分别为3 111.39 g/h和723.54 个/h。枪乌贼为莱州湾头足类的绝对优势种, 其周年的相对重要性指数为13 097。头足类个体数的空间分布随月份变化, 6—7月以莱州湾中南部密度较高, 8—11月以莱州湾中北部密度较高, 3—5月头足类的密度整体较低。CLUSTER和MDS分析将9个调查月份分为4个群组, ANOSIM分析显示群组两两间的群落结构均呈显著性差异, SIMPER分析表明枪乌贼对群组区分的贡献最大。头足类的个体数分布与浮游动物密度的相关性最高。生殖洄游和越冬洄游是影响莱州湾头足类空间分布季节变化的首要因素。研究结果可为莱州湾头足类资源的可持续利用和保护提供科学依据。

**关键词:** 头足类; 群落结构; 空间分布; 环境因子; 莱州湾

**中图分类号:** S 931.1

**文献标志码:** A

莱州湾位于渤海东南部, 毗邻山东半岛北部, 为渤海最大的半封闭性海湾。由于黄河、小清河、潍河等十余条河流在此入海, 河流冲淡水带来了大量营养盐, 莱州湾具有多样的栖息地及丰富的饵料基础, 是中国北方许多渔业经济种类最重要的产卵场和索饵场<sup>[1-2]</sup>。然而在近几十年, 受过度捕捞、陆源污染和石油开发等影响, 莱州湾渔业生物的群落结构发生了巨大改变<sup>[2-4]</sup>, 伴随鱼类等传统资源的严重衰退, 头足类的比重有所提升<sup>[5]</sup>。头足类具有生命周期短、生长迅速、资源恢复力强的特点, 具有较大的开发潜力, 可以为人类提供重要的优质蛋白源。2015年中国近海头足类捕捞量为69.98万t, 比2014年提高2.31万t<sup>[6]</sup>。本研究根据2011—2012年进行的9个月份的底拖网调查数据, 分析了莱州湾头足类的群落结构及其与环境因子的关

系, 以为莱州湾头足类资源的可持续利用和保护提供科学依据。

### 1 材料与方法

#### 1.1 数据来源

数据来自2011年5月—2012年4月在莱州湾进行的9个航次(月)的底拖网调查(2011年12月—2012年2月因海况差未执行), 调查范围为37°0′~38°30′N、118°45′~120°30′E, 共设调查站位18个(图1)。因天气恶劣、流刺网密集等原因, 2011年11月与2012年4月分别仅完成10个和13个站位的调查。调查船只为257 kW单拖渔船, 底拖网网口周长30.6 m, 网口宽度8 m, 囊网网目20 mm。每站拖曳0.5~1 h, 拖速为3.0 kn。渔获率统一为单位时间网获生物量(g/h)或个体数(个/h)。

收稿日期: 2017-07-05 修回日期: 2017-09-21

资助项目: 国家基础研究计划(2015CB453303); 国家重点研发计划(2017YFE0104400); 公益性行业(农业)科研专项(201303050); 山东省泰山学者专项(2008-67)

通信作者: 金显仕, E-mail: jin@ysfri.ac.cn

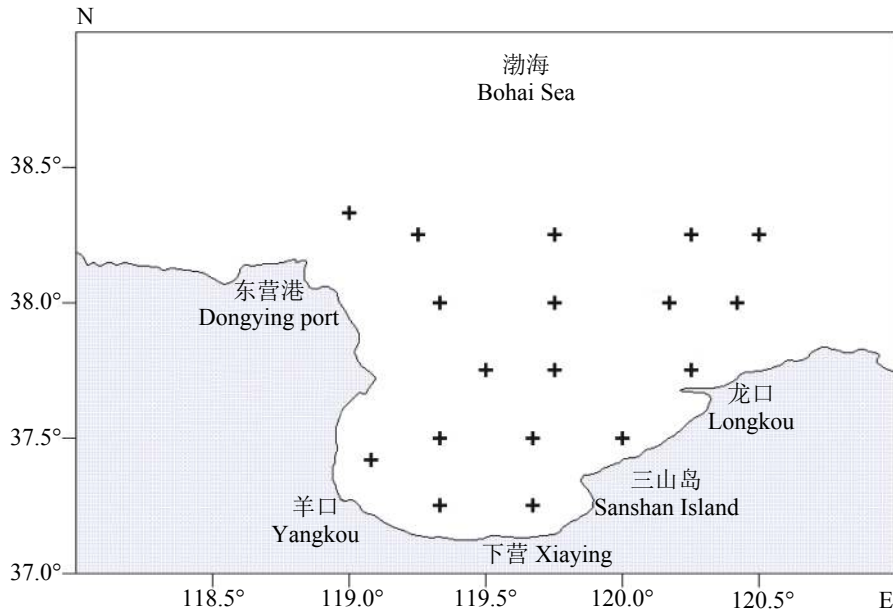


图1 莱州湾调查区域及站位

Fig. 1 Study area and sampling stations in Laizhou Bay

对现场捕获的头足类样品进行计数、称重。由于日本枪乌贼(*Loligo japonica*)和火枪乌贼(*L. beka*)外形极其相似,需要在解剖镜下通过观察触腕齿式进行种类鉴别,调查过程中按同一物种进行生物量和个体数统计。

浮游动物采样参照《海洋调查规范》<sup>[7]</sup>,采用中性浮游生物网(网孔径为160 μm,网口面积为0.2 m<sup>2</sup>),从底至表垂直拖网,样品保存于5%的甲醛海水溶液,带回实验室分析。利用美国ORION520M-01A便携式YSI水质分析仪现场测定海表温度(SST)、溶解氧(DO),盐度(Sal)、pH值等环境因子,利用船载美国Garmin GPSMAP585渔探仪获取水深数据。

## 1.2 数据分析方法

群落中物种的生态优势度采用相对重要性指数(the index of relative importance, *IRI*)<sup>[8]</sup>,其计算公式:

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

式中, $N$ 为某种类的个体数百分率(%), $W$ 为某种类的生物量百分率(%), $F$ 为某种类的出现站位百分率(%)。 $IRI$ 包含了个体数、生物量和出现频率3个信息,常被用来研究群落中各种类的生态优势度,当 $IRI > 1000$ 时定为优势种,  $100 < IRI < 1000$ 时定为重要种,  $10 < IRI < 100$ 时定为常见种,  $1 < IRI < 10$ 时定为偶见种,  $IRI < 1$ 时定为稀有种<sup>[9]</sup>。

利用Bray-Curtis相似性指数计算头足类群落结构的相似性<sup>[10]</sup>,并进行聚类(CLUSTER)和非度量多维标度(MDS)分析,进一步利用ANOSIM (One-Way analysis of similarities)程序对不同组群的群落结构进行差异显著性检验,并利用SIMPRE(Species contributions to similarity)程序分析各种类对群落结构差异的贡献率。Bray-Curtis相似性指数的计算公式:

$$B = 100 \times \left[ 1 - \frac{\sum_{i=1}^S |x_{ij} - x_{im}|}{\sum_{i=1}^S (x_{ij} + x_{im})} \right] \quad (2)$$

式中, $B$ 为群落间的相似性指数, $S$ 为种类数目, $x_{ij}$ 和 $x_{im}$ 分别为第 $i$ 种类在 $j$ 月份和 $m$ 月份的个体数密度(经4次方根转换)。MDS分析用胁迫系数(Stress)来衡量二维点图的优劣,当 $0.1 < \text{Stress} < 0.2$ 时,具有一定的解释意义;当 $0.05 < \text{Stress} < 0.1$ 时,排序效果基本可信;当 $\text{Stress} < 0.05$ 时,二维点图对群落结构排序具有很好的代表性<sup>[11-12]</sup>。

采用SPSS 15软件中的Correlate程序对头足类个体数与环境因子进行Pearson相关(双尾检测)分析。

## 2 结果

### 2.1 种类组成

2011—2012年9个月份共拖网148站次,采

集头足类样本共37 947个，隶属于3目、3科、4属、6种，包括日本枪乌贼、火枪乌贼、短蛸(*Octopus ocellatus*)、长蛸(*O. variabilis*)、四盘耳乌贼(*Euprymna morsei*)和双喙耳乌贼(*Sepiola birostrata*)。莱州湾头足类多为暖温种，如日本枪乌贼、双喙耳乌贼、四盘耳乌贼和短蛸；少数为暖水种，如火枪乌贼和长蛸。

莱州湾头足类的周年平均网获生物量及个体数分别为3 111.39 g/h和723.54个/h。生物量密度以2011年10月最高，达8 157.11 g/h，3月最低，仅49.11 g/h；其月间排序为10月>8月>7月>11月>9月>6月>5月>4月>3月(图2)。个体数密度以10月最高，达2 108.17个/h，3月最低，仅0.39个/h；其月间排序为10月>7月>9月>8月>11月>6月>5月>4月>3月(图3)。

### 2.2 种类优势度

利用头足类各种类的生物量百分比(*W*)、个体数百分比(*N*)和出现频率(*F*)，计算其相对重要性指数(*IRI*)，进而确定其优势度。枪乌贼在8个月份为优势种(仅2012年3月除外)，且在其中的

5个月份为唯一优势种，短蛸在3个月份为优势种，长蛸在1个月份为优势种，其他种类在各月份均未成为优势种(表1)。

综合9个月份148网次的底拖网调查数据，统计出各头足类物种周年的生物量百分比、个体数百分比及出现频率，进一步计算了相对重要性指数(表1)。枪乌贼的周年生物量百分比为79.82%，个体数百分比为98.01%，出现频率为73.65%，其*IRI*高达13 097，成为莱州湾头足类的绝对优势种。此外，短蛸的周年生物量百分比为17.04%，个体数百分比为1.82%，出现频率为37.84%，其相对重要性指数为714；长蛸的周年生物量百分比为3.13%，个体数百分比为0.12%，出现频率为25.00%，其相对重要性指数为81；双喙耳乌贼和四盘耳乌贼的周年生物量百分比和个体数百分比均不足0.1%，其相对重要性指数分别为0.43和0(表1)。

### 2.3 个体数分布

从相对重要性指数分析，除2012年3月莱州湾以蛸类为优势种外，其余8个月份均以枪乌贼

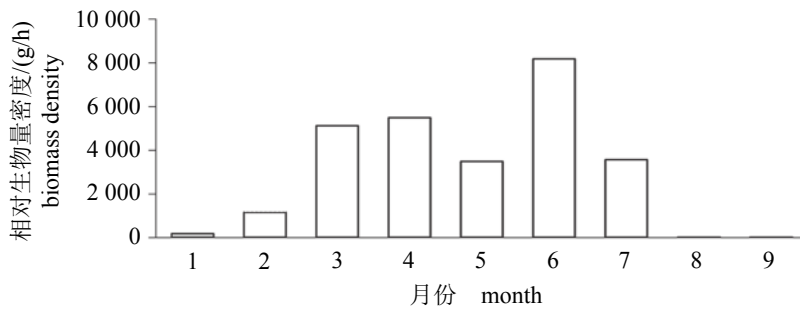


图2 莱州湾头足类生物量密度的月间变化

1. 5月, 2. 6月, 3. 7月, 4. 8月, 5. 9月, 6. 10月, 7. 11月, 8. 3月, 9. 4月, 下同

Fig. 2 Monthly variation in biomass density of cephalopods in Laizhou Bay

1. May, 2. June, 3. July, 4. August, 5. September, 6. October, 7. November, 8. March, 9. April, the same below

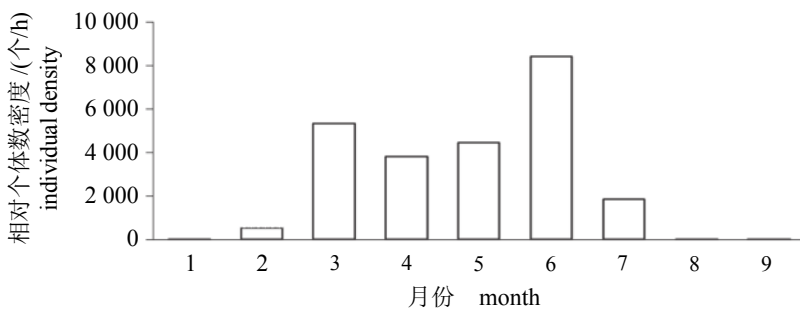


图3 莱州湾头足类个体数密度的月间变化

Fig. 3 Monthly variation in individual density of cephalopods in Laizhou Bay

表 1 莱州湾各头足类的优势度指数

Tab. 1 Dominance index of cephalopods species in Laizhou Bay

调查时间 survey time	种类 species	生物量百分比(W)% percentage of biomass	个体数百分比(N)% percentage of individual	出现频率(F)% frequency of occurrence	相对重要性指数 (IRI) the index of relative importance
2011-05	枪乌贼 <i>Loligo</i> sp.	61.17	94.44	64.71	10 069
	长蛸 <i>O. variabilis</i>	20.77	1.85	11.76	266
	短蛸 <i>O. ocellatus</i>	17.84	2.12	29.41	587
	双喙耳乌贼 <i>S. birostrata</i>	0.21	1.59	11.76	21
2011-06	枪乌贼 <i>Loligo</i> sp.	89.48	98.08		15 630
	长蛸 <i>O. variabilis</i>	9.58	0.33		275
	短蛸 <i>O. ocellatus</i>	0.71	0.21	11.11	10
	双喙耳乌贼 <i>S. birostrata</i>	0.20	1.21	27.78	39
	四盘耳乌贼 <i>E. morsei</i>	0.04	0.17	83.33	1
2011-07	枪乌贼 <i>Loligo</i> sp.	97.68	99.91	27.78	17 564
	长蛸 <i>O. variabilis</i>	2.31	0.09	38.89	93
	短蛸 <i>O. ocellatus</i>	0.01	0.01	5.56	0
2011-08	枪乌贼 <i>Loligo</i> sp.	99.16	99.63	94.44	18 774
	长蛸 <i>O. variabilis</i>	0.11	0.02	11.11	1
	短蛸 <i>O. ocellatus</i>	0.71	0.30	22.22	22
	双喙耳乌贼 <i>S. birostrata</i>	0.02	0.06	5.56	0
2011-09	枪乌贼 <i>Loligo</i> sp.	53.61	94.15	88.89	13 134
	长蛸 <i>O. variabilis</i>	2.98	0.10	38.89	120
	短蛸 <i>O. ocellatus</i>	43.42	5.75	94.44	4 643
2011-10	枪乌贼 <i>Loligo</i> sp.	70.37	98.27	94.44	15 927
	长蛸 <i>O. variabilis</i>	4.55	0.17	72.22	329
	短蛸 <i>O. ocellatus</i>	25.08	1.56	88.89	2 230
2011-11	枪乌贼 <i>Loligo</i> sp.	63.65	97.24	80.00	12 871
	短蛸 <i>O. ocellatus</i>	36.35	2.76	80.00	3 129
2012-03	长蛸 <i>O. variabilis</i>	91.74	85.71	27.78	4 929
	短蛸 <i>O. ocellatus</i>	8.26	14.29	5.56	125
2012-04	枪乌贼 <i>Loligo</i> sp.	65.58	97.27	69.23	11 274
	长蛸 <i>O. variabilis</i>	17.98	0.38	7.69	141
	短蛸 <i>O. ocellatus</i>	16.18	0.96	15.38	264
	双喙耳乌贼 <i>S. birostrata</i>	0.26	1.39	7.69	13
周年 all months	枪乌贼 <i>Loligo</i> sp.	79.82	98.01	73.65	13 097
	长蛸 <i>O. variabilis</i>	3.13	0.12	25.00	81
	短蛸 <i>O. ocellatus</i>	17.04	1.82	37.84	714
	双喙耳乌贼 <i>S. birostrata</i>	0.02	0.05	6.08	0.43
	四盘耳乌贼 <i>E. morsei</i>	0.002	0.004	0.68	0

注: 枪乌贼包括日本枪乌贼和火枪乌贼

Notes: *Loligo* sp. include *L. japonica* and *L. beka*

为绝对优势种(图4)。按月份, 2011年5月以莱州湾湾口及羊口近岸密度较高, 以莱州湾中西部及下营近岸密度较低; 2011年6—7月均以羊口、下营、三山岛和龙口等莱州湾东南近岸水域以及莱州湾中部密度较高, 以莱州湾湾口密度较

低; 2011年8月以龙口北部密度较高, 以东营港近岸密度较低; 2011年9月以龙口北部及莱州湾湾口密度较高, 以莱州湾西南部近岸密度较低; 2011年10月以莱州湾湾口密度较高, 以莱州湾南部近岸密度较低; 2011年11月以莱州湾中部

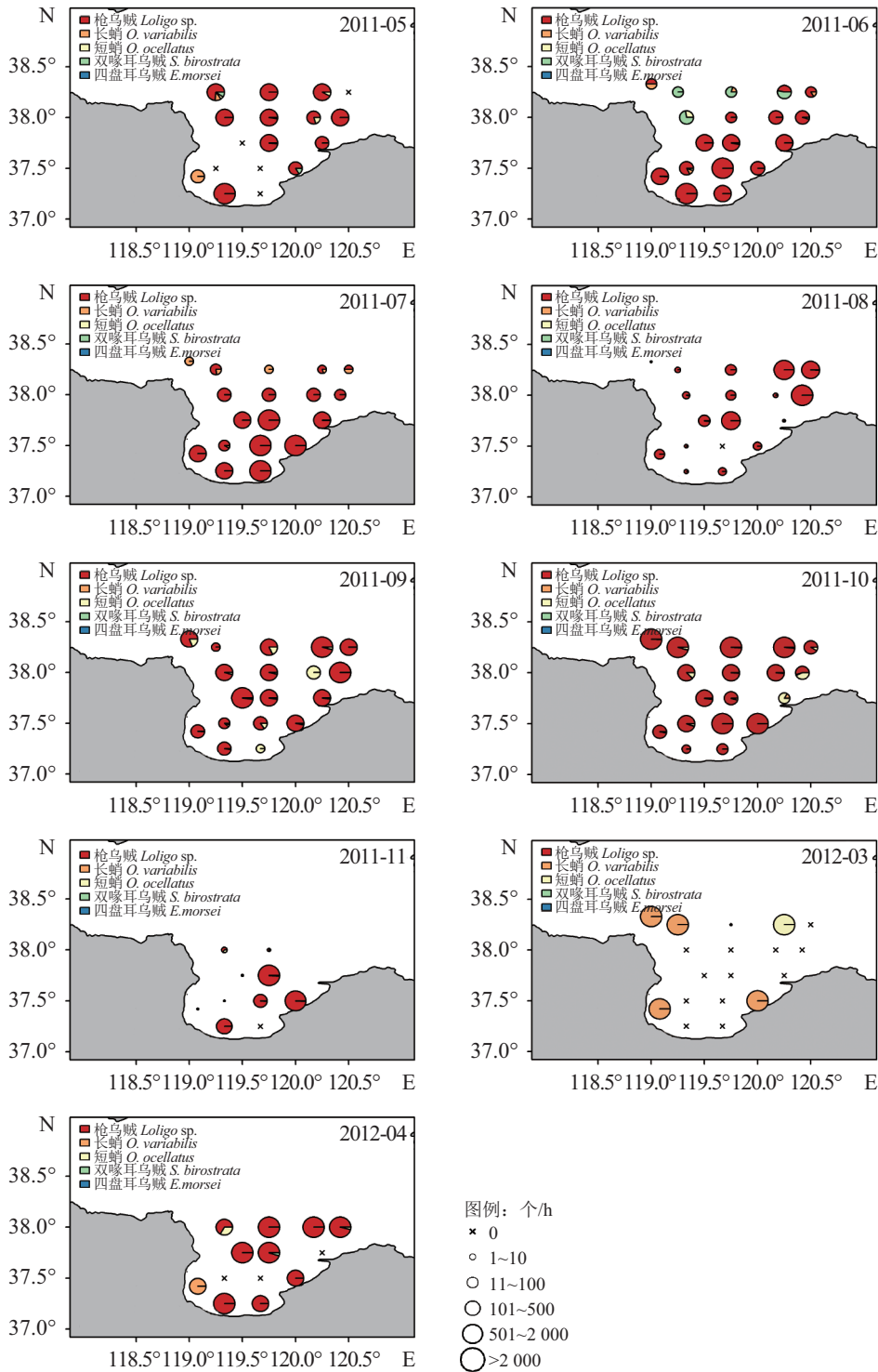


图 4 莱州湾头足类个体数分布的月间变化

Fig. 4 Monthly variation in individual distribution of cephalopods in Laizhou Bay

及羊口近岸密度较高, 以下营近岸水域密度较低; 2012年3月莱州湾头足类的密度整体较低, 且均为蛸类, 分布在莱州湾湾口及羊口、三山岛近岸; 2012年4月莱州湾头足类的密度整体较低, 以羊口近岸及莱州湾中北部密度相对较高。总体分析, 除2012年3月以蛸类为优势种外, 其余8个月份莱州湾头足类均以枪乌贼为主; 头足类个体数的空间分布随月份变化, 其中2011年6—7月以莱州湾中南部密度较高, 2011年8—11月以莱州湾中北部密度较高, 2011年5月及2012年3—4月莱州湾头足类的密度整体较低。

### 2.4 群落结构的相似性

根据2011—2012年莱州湾头足类个体数矩阵, 通过CLUSTER和MDS分析, 9个月份在85%相似性水平上被区分为4个群组。群组I仅包括2012年3月, 群组II包括2011年4月、5月和6月, 群组III包括2011年9月、10月和11月, 群组IV包括2011年7月和8月。2012年3月与其他月份的相似性指数为18%~41%, 远低于其他月份两两间的相似性(71%~95%)。MDS胁迫系数(Stress)为0.01, 说明二维点图对群落结构排序具有很好的代表性(图5)。ANOSIM分析显示, 不同群组的群落结构均呈显著性差异( $P < 0.05$ )。SIMPER分析表明, 枪乌贼对群落区分的贡献最大, 对两两群组间差异的贡献率为22.28%~85.25%, 平均值为60.63%。

### 2.5 个体数分布与环境因子的关系

莱州湾调查站位的水深范围为5.5~25.5 m。SST以2011年8月最高、2012年3月最低, 盐度以

2011年6月最高、2011年11月最低, DO以2012年3月最高、2011年8月最低, pH值以2012年4月最高、2011年5月最低。2011年5月—2012年4月莱州湾的SST、盐度、DO及pH值具体数值参考吴强等<sup>[13]</sup>。

莱州湾头足类个体数于2011年5月与水深呈显著负相关( $P < 0.05$ ), 于2011年8月、9月与浮游动物密度分别呈显著正相关( $P < 0.05$ )和极显著负相关( $P < 0.01$ ), 于2011年10月与pH值呈显著负相关( $P < 0.05$ )。2011年6—7月莱州湾头足类个体数与环境因子的相关性均不显著( $P > 0.05$ )。总体分析, 莱州湾头足类个体数分布与浮游动物密度的相关性最高, 其次是pH值和水深, 与SST、DO及盐度的相关性最低(表2)。

## 3 讨论

### 3.1 种类组成的变化

Voss<sup>[14]</sup>将中国大陆架的浅海性头足类分为2个区系, 黄、渤海被划入日本区, 东、南海划入印度—马来区。董正之<sup>[15]</sup>在充分考虑东海头足类组成的复杂性后, 认为中国海域的头足类应划分为3个区系, I区为舟山群岛以北(黄海和渤海), II区为长江口至福建平潭海坛岛, III区为台湾海峡至北部湾。莱州湾的头足类物种均为浅海性种类, 隶属于舟山群岛以北海域区(I区)。根据地理分布及其分布中心, 中国近海头足类大体分为狭分布种、广分布种、环分布种和地方种4个类型<sup>[15]</sup>, 莱州湾的日本枪乌贼和四盘耳乌贼仅分布于黄、渤海, 属于狭分布种; 火枪乌贼、长蛸、短蛸和双喙耳乌贼在我国各海区均

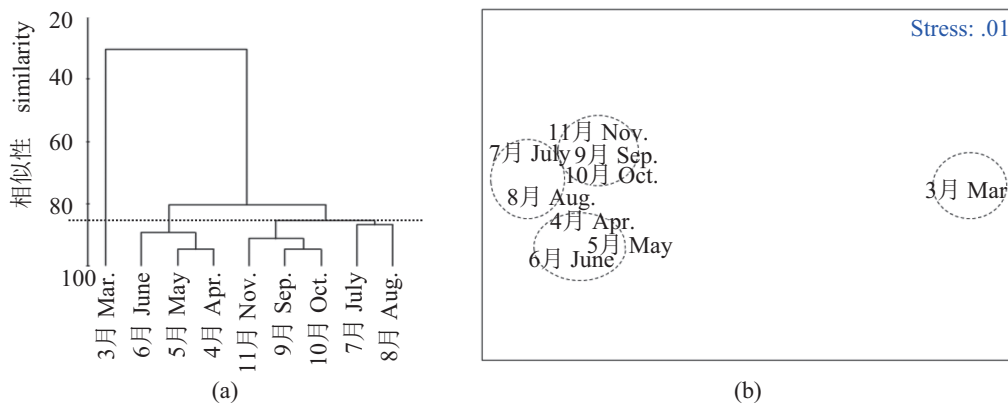


图5 莱州湾头足类个体数密度的时间聚类(a)及MDS(b)分析

Fig. 5 Temporal clustering (a) and MDS (b) analysis on the individual density of cephalopods in Laizhou Bay

表2 头足类个体数密度与环境因子的相关性

Tab. 2 Relationships between density of cephalopods individual and impact factors

调查时间 survey time	海表温度/°C SST	盐度 Sal	溶解氧/(mg/L) DO	水深/m depth	pH	浮游动物( $10^3 \times$ 个/ $m^3$ ) zooplankton
2011-05	0.059	-0.191	-0.152	-0.038*	-0.123	-0.045*
2011-06	0.552	-0.077	-0.547	-0.673	-0.172	-0.075
2011-07	0.37	0.065	-0.552	-0.311	-0.364	-0.177
2011-08	-0.28	-0.106	0.327	0.39	0.068	0.045*
2011-09	-0.423	0.383	-0.449	0.58	-0.274	-0.008**
2011-10	0.374	0.133	0.235	0.108	-0.034*	-0.086

注：“\*\*”表示相关性水平为 $P < 0.01$ ；“\*”表示相关性水平为 $P < 0.05$

Notes: \*\*. correlation is significant at the 0.01 level; \*. correlation is significant at the 0.05 level

有分布,属于广分布种。受季风及陆地气候的影响,渤海水温随季节变化明显<sup>[16]</sup>,这给渔业生物的栖息增加了难度,渤海的头足类物种在中国各海区最少<sup>[15]</sup>。对比1970年的报道<sup>[15]</sup>,本研究中莱州湾头足类物种减少了曼氏无针乌贼(*Sepiella maindroni*)和金乌贼(*Sepia esculenta*),增加了四盘耳乌贼;对比1982—1983年<sup>[17]</sup>,本研究中头足类物种减少了曼氏无针乌贼和太平洋褶柔鱼(*Todarodes pacificus*);对比1984年莱州湾的逐月调查<sup>[18]</sup>,本研究中头足类减少了曼氏无针乌贼,增加了四盘耳乌贼。综上所述,作为20世纪70—80年代常见种的曼氏无针乌贼、金乌贼和太平洋褶柔鱼,目前在莱州湾已基本绝迹。

### 3.2 优势种的变化

自1950年以来,渤海的渔业资源结构发生了巨大变化<sup>[19]</sup>。1982年莱州湾游泳动物生物量前5位的种类依次为黄鲫(*Setipinna taty*)、枪乌贼、日本鳀(*Engraulis japonicus*)、小黄鱼(*Larimichthys polyactis*)和蓝点马鲛(*Scomberomorus niphonius*),1992年变化为日本鳀、黄鲫、斑鲆(*Konosirus punctatus*)、小黄鱼和口虾蛄(*Oratosquilla oratoria*),1998年演变为斑鲆、黄鲫、银鲳(*Pampus argenteus*)、蓝点马鲛和口虾蛄<sup>[20]</sup>。在此期间,枪乌贼的生物量百分比由1982年的10.7%下降至1992年的5.9%,再到1998年的不足4%<sup>[19-20]</sup>。与本研究中枪乌贼为绝对优势种的结论近似,李凡等<sup>[21]</sup>根据2010—2011年在莱州湾的底拖网调查,发现枪乌贼在游泳动物群落中均为优势种;任中华等<sup>[5]</sup>根据2014年秋季对渤海东部海域底层游泳动物种类组成及群落多样性的研究,也发现枪乌贼为绝对优势种。综上所述,枪乌

贼在莱州湾游泳动物中的比重由1959年至1982年上升,此后从1982年到1992年、再到1998年一直下降,2010年以来枪乌贼的比重大幅回升,目前已成为莱州湾头足类的绝对优势种。

### 3.3 群落结构的相似性

莱州湾的头足类可分为常年定居种类和长距离洄游种类,前者季节性迁移距离较小,常年栖息在渤海,包括长蛸、短蛸、四盘耳乌贼和双喙耳乌贼;后者有明显季节性洄游特性,每年春季通过长距离洄游至渤海近岸繁殖,秋冬季则离开渤海进入黄海深水区越冬,包括火枪乌贼和日本枪乌贼<sup>[22]</sup>。2011年6—7月头足类以莱州湾中南部密度较高,因为此时头足类繁殖后仍聚集在近岸浅水区;2011年8—11月以莱州湾中北部密度较高,因为此时头足类已从近岸迁移至渤海深水区;秋季开始离开渤海逐步迁移至黄海深水区,导致2012年3—4月莱州湾头足类的密度整体较低。聚类和MDS分析中,2012年3月与其他月份的相似性指数仅为18%~41%,远低于其他月份之间的相似性(71%~95%),其原因也是2012年3月枪乌贼仍聚集在黄海深水区的缘故。

### 3.4 空间分布与环境因子的关系

渔业生物时空分布的异质性,除了其生理节律等内因的作用外,生活环境中复杂的理化因子、地质地貌等外界因素也影响巨大。李圣法等<sup>[23]</sup>研究了东海区头足类的群聚空间特征后,认为影响头足类空间分布异质性的主要环境因素为温度。陈强等<sup>[24]</sup>研究了闽江口及附近海域头足类的种类组成后,也得出了同样的结论。朱

文斌等<sup>[25]</sup>分析了东海南部头足类群落结构与环境因子的关系后, 认为底层水温是导致头足类生殖洄游和越冬洄游的主要外界因素, 而洄游活动能够直接影响空间分布。需要指出的是, 上述研究在分析影响头足类分布的环境因子时, 只考虑了温度、盐度和水深等理化因子, 却忽略了饵料等生物因子的影响。本研究在分析理化因子影响的同时, 还分析了头足类个体数与浮游动物密度的相关性, 结果发现浮游动物密度与头足类个体数的相关性最高, 其次才是水深、pH值等。这是由于本研究在分析头足类个体数分布的影响因子时, 该调查时段(月)的水温、盐度、DO和pH值等理化因子的变化幅度很小, 且均在头足类栖息的适宜范围内, 此时浮游动物等饵料生物对头足类空间分布的影响更加显著。然而, 如果从空间分布季节变化的角度, 生殖洄游和越冬洄游仍是莱州湾头足类空间分布异质性季节变化的决定因素; 水温作为导引其洄游行为的主要外界因素, 仍是影响头足类空间分布异质性的关键因子。

#### 参考文献:

- [1] 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.  
Jin X S, Deng J Y. Variations in community structure of fishery resources and biodiversity in the Laizhou Bay, Shandong[J]. Chinese Biodiversity, 2000, 8(1): 65-72(in Chinese).
- [2] Luo X X, Zhang S S, Yang J Q, *et al.* Macrobenthic community in the Xiaoqing River estuary in Laizhou Bay, China[J]. Journal of Ocean University of China, 2013, 12(3): 366-372.
- [3] Jin X S, Shan X J, Li X S, *et al.* Long-term changes in the fishery ecosystem structure of Laizhou Bay, China[J]. Science China Earth Sciences, 2013, 56(3): 366-374.
- [4] 杨涛, 单秀娟, 金显仕, 等. 莱州湾鱼类群落的关键种[J]. 水产学报, 2016, 40(10): 1613-1623.  
Yang T, Shan X J, Jin X S, *et al.* Keystone species of fish community in the Laizhou Bay[J]. Journal of Fisheries of China, 2016, 40(10): 1613-1623(in Chinese).
- [5] 任中华, 李凡, 魏佳丽, 等. 渤海东部海域秋季底层游泳动物种类组成及群落多样性[J]. 生态学报, 2016, 36(17): 5537-5547.  
Ren Z H, Li F, Wei J L, *et al.* Autumnal species composition and community diversity of nekton in the eastern Bohai Sea[J]. Acta Ecologica Sinica, 2016, 36(17): 5537-5547(in Chinese).
- [6] 国家统计局. 中国渔业统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2016.  
National Bureau of Statistics of China. 2016. Fishery Statistical Yearbook[M]. Beijing: China Statistics Press, 2016 (in Chinese).
- [7] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 海洋调查规范[M]. 北京: 中国标准出版社, 2007.  
General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, Standardization Administration of the People's Republic of China. Specifications for Oceanographic Survey[M]. Beijing: Standards Press of China, 2007 (in Chinese).
- [8] Pinkas L, Oliphant M S, Iverson I L K. Food habits of albacore, Bluefin tuna, and bonito in California waters[J]. Fish Bulletin, 1971, 152: 1-105.
- [9] 吴强, 王俊, 李忠义, 等. 黄渤海春季甲壳类群落结构的季节变化[J]. 水产学报, 2012, 36(11): 1685-1693.  
Wu Q, Wang J, Li Z Y, *et al.* Spatial variation of crustacean community structure in Yellow Sea and Bohai Sea in spring[J]. Journal of fisheries of China, 2012, 36(11): 1685-1693(in Chinese).
- [10] Bray J R, Curtis J T. An ordination of the upland forest communities of Southern Wisconsin[J]. Ecological Monographs, 1957, 27(4): 326-349.
- [11] Clarke K R, Ainsworth M. A method of linking multivariate community structure to environmental variables[J]. Marine Ecology Progress Series, 1993, 92: 205-219.
- [12] Clarke K R, Warwick R M. Change in marine communities: An approach to statistical analysis and interpretation[M]. 2nd ed. Plymouth: PRIMER-E Ltd, 2001.
- [13] 吴强, 陈瑞盛, 黄经献, 等. 莱州湾口虾蛄的生物学特征与时空分布[J]. 水产学报, 2015, 39(8): 1166-1177.  
Wu Q, Chen R S, Huang J X, *et al.* Fishery biology characteristics, temporal and spatial distribution of *Oratosquilla oratoria* in Laizhou Bay, Bohai Sea[J]. Journal of Fisheries of China, 2015, 39(8): 1166-1177(in Chinese).
- [14] Voss G L, Williamson G. Cephalopods of Hong



- Kong[M]. Hong Kong, China: Hong Kong Government Press, 1971.
- [15] 董正之. 中国近海头足类的地理分布[J]. 海洋与湖沼, 1978, 9(1): 108-116.
- Dong Z Z. On the geographical distribution of the cephalopods in the Chinese waters[J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 1978, 9(1): 108-116(in Chinese).
- [16] 陈大刚, 沈谓铨, 刘群, 等. 莱州湾及黄河口水域地理学特征与鱼类多样性[J]. 中国水产科学, 2000, 7(3): 46-52.
- Chen D G, Shen W Q, Liu Q, *et al.* The geographical characteristics and fish species diversity in the Laizhou Bay and Yellow River Estuary[J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2000, 7(3): 46-52(in Chinese).
- [17] 邓景耀, 朱金声, 程济生, 等. 渤海主要无脊椎动物及其渔业生物学[J]. 渔业科学进展, 1988(9): 91-120.
- Deng J Y, Zhu J S, Cheng J S, *et al.* Main invertebrates in the Bohai Sea and their fishery biology[J]. *Marine Fisheries Research*, 1988(9): 91-120(in Chinese).
- [18] 吴耀泉. 莱州湾主要无脊椎动物资源及其群聚多样性特征[J]. 海洋与湖沼, 1995, 26(6): 606-609.
- Wu Y Q. Abundance and species diversity characteristics of main invertebrate species in Laizhou Bay[J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 1995, 26(6): 606-609(in Chinese).
- [19] 金显仕. 渤海主要渔业生物资源变动的研究[J]. 中国水产科学, 2000, 7(4): 22-26.
- Jin X S. The dynamics of major fishery resources in the Bohai Sea[J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2000, 7(4): 22-26(in Chinese).
- [20] Tang Q S, Jin X S, Wang J, *et al.* Decadal-scale variations of ecosystem productivity and control mechanisms in the Bohai Sea[J]. *Fisheries Oceanography*, 2003, 12(4-5): 223-233.
- [21] 李凡, 张焕君, 吕振波, 等. 莱州湾游泳动物群落种类组成及多样性[J]. 生物多样性, 2013, 21(5): 537-546.
- Li F, Zhang H J, Lü Z B, *et al.* Species composition and community diversity of nekton in Laizhou Bay, China[J]. *Biodiversity Science*, 2013, 21(5): 537-546(in Chinese).
- [22] 吴耀泉, 张宝林. 渤海经济无脊椎动物生态特点的研究[J]. 海洋科学, 1990, 14(2): 48-52.
- Wu Y Q, Zhang B L. Ecology of the economic invertebrates in the Bohai Sea[J]. *Marine Science*, 1990, 14(2): 48-52(in Chinese).
- [23] 李圣法, 严利平, 李惠玉, 等. 东海区头足类群聚空间分布特征的初步研究[J]. 中国水产科学, 2006, 13(6): 936-944.
- Li S F, Yan L P, Li H Y, *et al.* Spatial distribution of cephalopod assemblages in the region of the East China Sea[J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2006, 13(6): 936-944(in Chinese).
- [24] 陈强, 王家樵, 张雅芝, 等. 福建闽江口及附近海域和厦门海域头足类种类组成的季节变化[J]. 海洋学报, 2012, 34(3): 179-184.
- Chen Q, Wang J Q, Zhang Y Z, *et al.* Seasonal composition of cephalopod species in the Minjiang Estuary and its adjacent waters and Xiamen coastal waters of Fujian[J]. *Acta Oceanologica Sinica*, 2012, 34(3): 179-184(in Chinese).
- [25] 朱文斌, 薛利建, 卢占晖, 等. 东南南部海域头足类群落结构特征及其与环境关系[J]. 海洋与湖沼, 2014, 45(2): 436-442.
- Zhu W B, Xue L J, Lu Z H, *et al.* Cephalopod community structure and its relationship with environmental factors in the Southern East China Sea[J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2014, 45(2): 436-442(in Chinese).

## Community structure of Cephalopods and its relationships with environmental factors in Laizhou Bay, Bohai Sea

WU Qiang<sup>1,2</sup>, CHEN Ruisheng<sup>1</sup>, ZUO Tao<sup>1,2</sup>, GUAN Lisha<sup>1,2</sup>, JIN Xianshi<sup>1,2\*</sup>

(1. Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Qingdao 266071, China;

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

Qingdao National Laboratory for Marine Science and Technology, Qingdao 266273, China)

**Abstract:** The community structure of Cephalopods and its relationship with environmental factors were analyzed based on the bottom trawl data of nine months from May 2011 to April 2012, in order to reveal the resource status of Cephalopods in Laizhou Bay. A total of 6 species belonging to 3 orders, 3 families, 4 genera, were collected by 148 hauls. Both the biomass density and the individual density were highest in October 2011 and lowest in March 2012. The annual average of biomass density and individual density were 3 111.39 g/h and 723.54 ind/h, respectively. *Loligo* sp. was the dominant species, with the annual index of relative importance (*IRI*) reaching up to 13097. The spatial distribution of individual density of Cephalopods changed with different month in Laizhou Bay. The individual density of Cephalopods was the highest in the central and southern Laizhou bay from June to July, and the highest in the central and northern Laizhou bay from August to November 2011. The individual density of Cephalopods were very low from March to May. CLUSTER and MDS analysis indicated that 9 months were divided into 4 groups at 85% similarity level. ANOSIM analysis indicated that the community structure of Cephalopods of random two groups were significantly different. SIMPER analysis indicated that *Loligo* sp. contributed the most to the group distinguishing. Pearson correlation analysis indicated that the density of zooplankton matched the density of Cephalopods best. Reproductive migration and wintering migration were the principal influence factors on the variation of spatial distribution of Cephalopods in Laizhou Bay. The present results would be helpful to better utilizing and protecting the Cephalopods resources in Laizhou Bay.

**Key words:** Cephalopods; community structure; spatial distribution; environmental factors; Laizhou Bay

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

**Funding projects:** National Basic Research Program of China (2015CB453303); National Key Research and Development Program of China (2017YFE0104400); the Special Fund for Agro-scientific Research in the Public Interest (201303050); the Taishan Scholar Program of Shandong Province (2008-67)