

DOI: 10.3724/SP.J.1035.2012.01119

东山湾及其邻近海域游泳动物多样性的分析

林龙山¹ 赵贵根² 李 渊² 高天翔² 张 静³

(1. 国家海洋局第三海洋研究所, 厦门 361005; 2. 中国海洋大学水产学院, 青岛 266003; 3. 集美大学, 厦门 361021)

摘要: 根据2009年11月至2010年8月在东山湾及其邻近海域的调查资料, 统计渔获物物种组成, 计算该海域各物种的相对重要性指数(*IRI*)、相对资源密度、Margalef种类丰富度指数、Shannon-Weiner种类多样性指数以及Pielou均匀度指数, 并分析其时空分布特征。结果表明, 东山湾及其邻近海域的物种组成比例与台湾海峡大体一致。秋冬春夏4个季度优势种种类数均较少, 分别为4、2、1、3种, 且季节更替明显。不同季节多样性指数表现为夏季>春季>秋季>冬季, 各季Margalef种类丰富度均值为3.54, Shannon-Weiner种类多样性均值为1.99, Pielou均匀度均值为0.71; 各调查站位Margalef种类丰富度均值为7.87, Shannon-Weiner种类多样性均值为2.94, Pielou均匀度均值为0.75, 表明该海域生物多样性处于较低水平。分析东山湾及其邻近海域游泳动物多样性, 可为今后开展海洋工程建设渔业资源损益评价、生态环境修复工作和基于生态系统的渔业和海洋管理策略提供科学依据。

关键词: 物种多样性; 相对重要性指数; 相对资源密度; 东山湾及其邻近海域

中图分类号: Q145 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3207(2012)06-1119-09

福建东山湾地处台湾海峡西侧, 三面为山丘环抱, 呈不规则的梨形深入陆地, 海域总面积 247.89 km², 是闽南最大的海湾^[1]。该海域地处亚热带, 夏季受南海的外海水的影响, 秋季受闽浙沿岸流的影响, 还受到台湾海峡逆温跃层的影响, 拥有典型的亚热带海湾生态系统^[2]。

在亚热带海域的生态系统研究中, 游泳生物的种类多样性及群落结构的研究受到越来越多的重视^[3,4]。迄今为止, 科技工作者已经报道了东山湾及其邻近海域浮游动物的种类组成与数量分布特点^[5]、柳珊瑚种类空间分布与多样性^[6]、多毛类的分布^[7]、浮游桡足类的分布^[8]、底栖生物生态学^[9]、渔业资源开发利用状况^[10]、鱼类食物网^[11]、鱼类组成和季节间的变动^[12]等, 但尚未见有关该海域游泳动物多样性方面的报道。分析东山湾及其邻近海域游泳动物的多样性, 可为评估东山湾及其邻近海域游泳动物群落健康指标提供理论基础, 并为今后开展临海工

程建设渔业资源损益评价、生态环境修复工作和基于生态系统的渔业和海洋管理策略提供科学依据。本文根据东山湾及其邻近海域2009—2010年4个季度定点调查资料, 运用物种种类分析和多样性指数等方法分析该海域游泳动物物种多样性, 探讨生物多样性影响因素, 并评价游泳动物群落的多样性现状。

1 材料与方法

1.1 调查区域及站位设置

国家海洋局第三海洋研究所于2009年11月、2010年2月、5月和8月在东山湾及其邻近海域进行了4个航次调查, 共设16个调查站位(图1)。调查站位在湾内和湾外均有设置, 其中湾内站位5个(站号1—5), 湾外站位11个(站号6—16)。

1.2 样品采集和分类鉴定

租用调查船为福建省东山县有翼单囊底拖网船, 渔船功率150千瓦, 渔船吨位36吨, 单囊底拖网网

收稿日期: 2011-10-26; 修订日期: 2012-08-12

基金项目: 国家自然科学基金(41176117); 国家海洋局第三海洋研究所基本科研业务费专项(海三科 2010016); 国家海洋公益性行业科研专项经费(201105012)资助。

作者简介: 林龙山(1974—), 男, 福建龙海人; 博士, 副研究员; 主要从事鱼类生物学和生态学研究。E-mail: linlsh@sh163.net

通讯作者: 张静, E-mail: zhjing@jmu.edu.cn

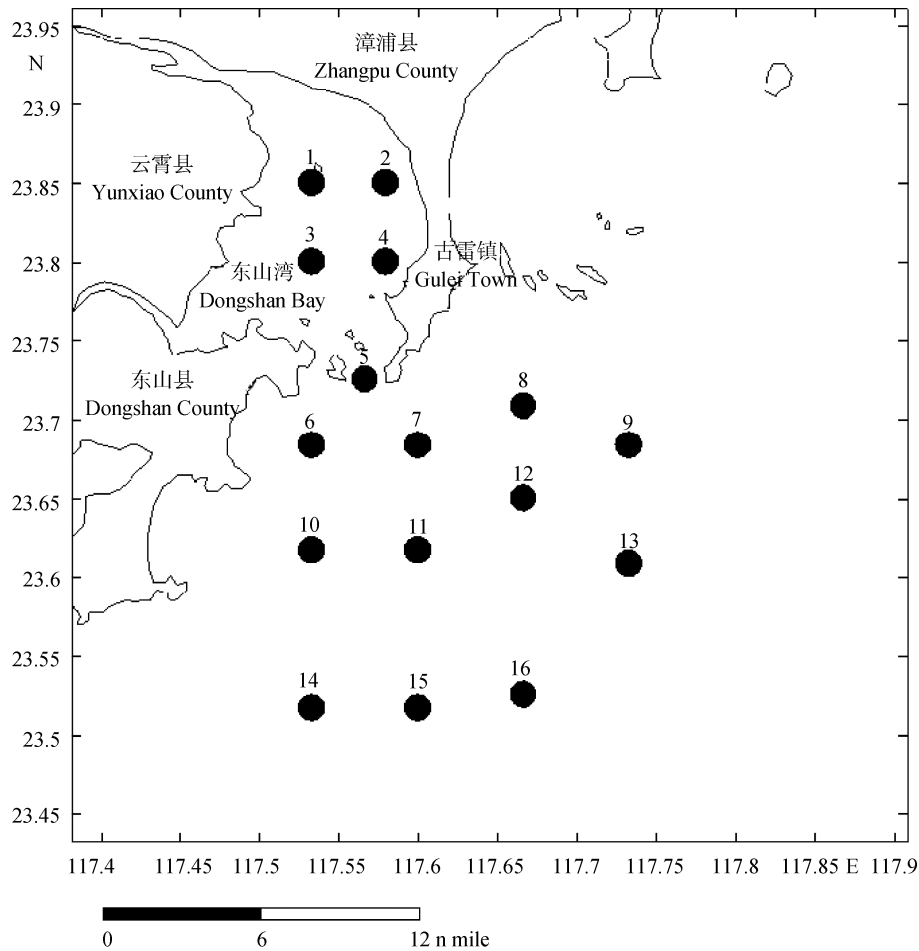


图1 东山湾及其邻近海域调查站位

Fig. 1 Survey stations in Dongshan Bay and adjacent areas

衣长度 35 m, 网口拉紧周长 31 m, 网口高度 2.8 m, 囊网网目 20 mm, 扫海宽度 14 m。根据调查范围内水域底质具体情况和周围环境, 每站位拖网时间在 40 min 左右, 拖网速度平均为 2.83 kn, 拖网时间为拖网曳纲停止投放和拖网着底、曳纲拉紧受力时起至起网绞车开始收曳纲为止计算。

采样及样品分析均按《海洋调查规范》(GB/T 12763.6-2007)进行^[13]。参照戴爱云、董正之等^[14, 15]和 Nelson^[16]分类系统标准, 对东山湾及其邻近海域捕获的游泳动物进行种类鉴定。

1.3 多样性分析指标及计算公式

根据东山湾及其邻近海域的生境特征和调查所获数据, 采用 Pinkas^[17]相对重要性指标 (*IRI*)、Margalef 种类丰富度指数、Shannon-Weiner 种类多样性指数以及 Pielou 均匀度指数^[18-21]对该海域游泳动物种类及其多样性进行分析测定。

(1) 优势种渔获物分析

优势渔获物分析通过 Pinkas^[17]应用的相对重要

性指标 (*IRI*) 来确定:

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

N 为某种类的尾数占总渔获尾数的百分比; *W* 为某种类的质量占总渔获质量的百分比; *F* 为某种类在调查中被捕获的站位数与总调查站位数之比。

东山湾与大亚湾在地理位置上较近, 因此鱼类在群落中的相对重要性指数 (*IRI*) 范围采用王雪辉等^[22]的划分标准: 若 $IRI > 1000$, 则该物种为优势种; 若 $1000 > IRI > 100$, 则该物种为重要种; 若 $100 > IRI > 10$, 则该物种为常见种; 若 $10 > IRI > 1$, 则该物种为一般种; 若 $IRI < 1$, 则该物种为少有种。

(2) 游泳动物多样性分析

生物多样性各指数计算公式如下:

Margalef 种类丰富度指数:

$$D = \frac{S-1}{\ln N} \quad (2)$$

Shannon-Weiner 种类多样性指数:

$$H' = -c \sum_{i=1}^S P_i \ln P_i \quad (3)$$

Pielou 均匀度指数:

$$J' = \frac{H'}{\ln(S)} \quad (4)$$

(2)-(4)式中 S 为种类数, N 为尾数, P_i 为第 i 种鱼渔获重量占总渔获重量的比例, c 为常数, 一般设为 1。由于鱼类种间个体差异和种内个体差异皆较大, Wilhm^[18]认为以生物量代替个体数计算多样性的结果更接近种类间能量的分布, 因此, 研究采用生物量代替个体数的方法计算鱼类多样性指数。

(3)相对资源密度估算

拖网调查海域的资源密度(尾数和重量)按公式(5)计算^[23,24]:

$$D = \frac{C}{q \times A} \quad (5)$$

式中:

D —相对资源密度(重量: kg/km^2 , 尾数: $\text{ind.}/\text{km}^2$);

C —每小时取样面积内的渔获量(kg)或尾数(ind.)

q —网具捕获率, 其中: 底栖鱼类、虾类、蟹类 q 取 0.8, 中上层鱼类(鲱形目、鲈形目的鲹科、鲭亚目、鲱亚目) q 取 0.3, 底层鱼类 q 取 0.5。

A —为网具每小时扫海面积(km^2)。

2 结果

2.1 渔获物种类组成和分布

东山湾及其邻近海域 4 个季节采集的样品共鉴定出游泳动物种类 4 纲 20 目 74 科 109 属 168 种, 其中, 鱼类种类数最多, 为 15 目 57 科 81 属 114 种, 占有出现种类数的 67.86%, 如日本单鳍电鳐(*Narke japonica*)、林氏团扇鳐(*Platyrrhina limboonkengi*); 头足类为 3 目 4 科 5 属 9 种, 占有出现种类数的 5.36%, 如枪乌贼科(*Loliginidae*); 软甲纲为 2 目 13 科 23 属 45 种, 占有出现种类数的 26.79%, 包括虾类为 10 种, 蟹类为 32 种, 口足类为 3 种, 如对虾科(*Penaeidae*)、梭子蟹科(*Portunidae*)、虾蛄科(*Squilla*) (表 1)。

从渔获物种类数平面分布来看, 9 号调查站位的种类数最多, 为 65 种, 主要种类有二长棘犁齿鲷(*Erynnis cardinalis*)、叫姑鱼(*Johnius grypotus*)等, 2 号和 3 号站位的种类数最少, 仅 36 种, 有鹿斑鲷(*Leiognathus ruconius*)等, 所有站位平均出现种类数为 50.56 种(图 2)。从渔获物种类季节分布来看, 春季出现种类数最多, 为 95 种, 主要种类为尖嘴鲷(*Dasyatis zugei*)、六指马鲛(*Polydactylus sextarius*)

等; 夏季次之, 为 91 种, 主要种类为二长棘犁齿鲷、竹荚鱼(*Trachurus japonicus*); 秋季最少, 为 66 种, 主要种类为日本单鳍电鳐、林氏团扇鳐等; 冬季出现 74 种, 主要种类为鹿斑鲷、双斑鲷(*Charybdis bimaculata*)。各季节中均以鱼类出现种类数最高, 均在 60%(秋、冬、春、夏分别为 62.12%、66.22%、63.16%、66.67%)以上, 由此可见鱼类是东山湾及其邻近海域游泳动物的主要类群。

2.2 优势种渔获物

根据 4 个航次采集的样品分析, 得出东山湾及其邻近海域 2009—2010 年 4 个季度主要游泳动物的种类(表 2)。

不同季节种类优势度、数量及其所占各季节总物种数量的比例差异较大, 优势种类季节更替明显。秋季 4 种(7.32%), 分别为日本单鳍电鳐、哈氏仿对虾(*Parapenaeopsis hardwickii*)、拥剑梭子蟹(*Portunus haanii*)与林氏团扇鳐; 冬季 2 种(2.04%), 为鹿斑鲷与双斑鲷; 春季仅有 1 种(3.33%), 为二长棘犁齿鲷; 夏季 3 种(6.67%), 为二长棘犁齿鲷与条尾绯鲤(*Upeneus bensasi*); 仅二长棘犁齿鲷在春夏两季出现, 其他均为单季节出现。秋冬春夏四季优势种数量与所占各季节总物种数量的比例分别为 12(12.20%)、15(14.29%)、17(20.00%)、16(13.33%)种, 其中短蛸(*Octopus ocellatus*)、林氏团扇鳐、日本单鳍电鳐为周年种, 叫姑鱼、鹿斑鲷、拥剑梭子蟹、中国枪乌贼(*Loligo chinensis*)、哈氏仿对虾、口虾蛄(*Oratosquilla oratoria*)为 3 个季节共有的主要种类。

2.3 游泳动物多样性指数特征

季节分布特征 2009—2010 年东山湾及其邻近海域调查站位游泳动物多样性的季节分布指数(表 3)。从季节分布来看, Margalef 种类丰富度指数 D 的变化范围, 为 1.13—6.19; 各季丰富度均值为 3.54, 变化范围在 2.81—3.99, 夏季>春季>秋季>冬季, 但春季丰富度变化范围大于秋季。Shannon-Wiener 种类多样性指数 H' 的变化范围为 0.62—2.72; 各季游泳动物多样性均值为 1.99, 变化范围为 1.75—2.27, 夏季>春季>秋季>冬季, 但春季的游泳动物多样性指数分布范围明显大于秋季。均匀度指数 J' 的变化范围为 0.24—0.91; 各季均匀度均值为 0.71, 各季均匀度的均值变化范围, 在 0.69—0.74, 夏季>春季>秋季>冬季。从总体来看, 夏、春两季的物种多

表 1 东山湾及其邻近海域渔获物种类组成及其所占比例
Tab. 1 Species composition and percentage in Dongshan Bay and adjacent areas

纲 Class	目 Order	科 Family	属 Genus	种 Species
		数量(比例) No.(%)	数量(比例) No.(%)	数量(比例) No.(%)
软骨鱼纲 Elasmobranchii	须鲨目 Orectolobiformes	1 (1.35)	1 (0.92)	1 (0.59)
	鳐形目 Rajiformes	2 (2.70)	2 (1.83)	4 (2.38)
	鲼形目 Myliobatiformes	2 (2.70)	2 (1.83)	5 (2.98)
	电鳐目 Torpediniformes	1 (1.35)	1 (0.92)	1 (0.59)
硬骨鱼纲 Osteichthyes	鲱形目 Clupeiformes	2 (2.70)	6 (5.51)	10 (5.95)
	灯笼鱼目 Myctophiformes	2 (2.70)	2 (1.83)	2 (1.19)
	鳗鲡目 Anguilliformes	6 (8.11)	7 (6.42)	7 (4.17)
	鲑形目 Anguilliformes	2 (2.70)	2 (1.83)	3 (1.79)
	鲻形目 Mugiliformes	3 (4.05)	4 (3.67)	4 (2.38)
	鲈形目 Perciformes	23(31.08)	35 (32.11)	48 (28.57)
	鲉形目 Scorpaeniformes	4 (5.41)	6 (5.51)	8 (4.76)
	鲷形目 Pleuronectiformes	4 (5.41)	5 (4.59)	9 (5.36)
	鲉形目 Tetraodontiformes	3 (4.05)	6 (5.51)	9 (5.36)
	鲛鰩目 Lophiiformes	1 (1.35)	1 (0.92)	2 (1.19)
	海龙目 Syngnathiformes	1 (1.35)	1 (0.92)	1 (0.59)
头足纲 Cephalopoda	乌贼目 Sepioidea	2 (2.70)	3 (2.75)	3 (1.79)
	枪形目 Teuthida	1 (1.35)	1 (0.92)	4 (2.38)
	八腕目 Octopoda	1 (1.35)	1 (0.92)	2 (1.19)
软甲纲 Malacostraca	十足目 Decapoda	12 (16.22)	21 (19.27)	42 (25.00)
	口足目 Stomatopoda	1 (1.35)	2 (1.83)	3 (1.79)
合计 Total	20	74	109	168

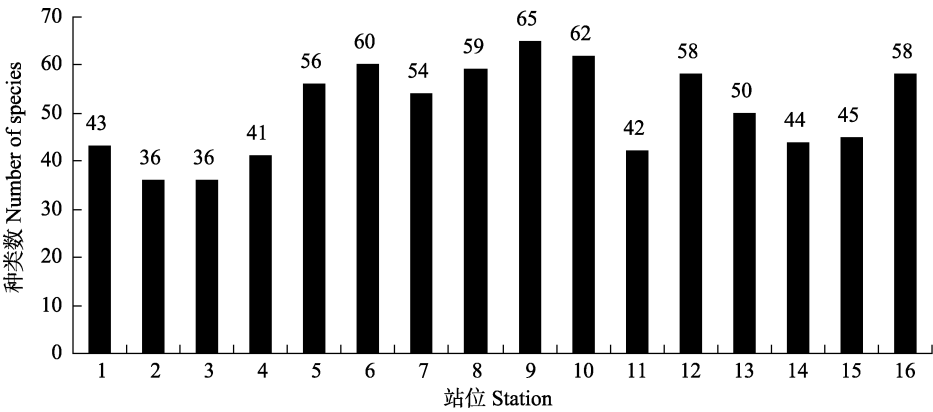


图 2 东山湾及其邻近海域各站位种类数平面分布
Fig. 2 Species distribution of stations in Dongshan Bay and adjacent areas

样性相关指数均高于秋、冬两季。

平面分布特征 东山湾及其邻近海域各调查站位 Shannon-Weiner 种类多样性指数(图 3)的变化范围为 2.68—3.24, 平均值为 2.94, 多样性指数大于 3 的仅有 6 个站, 占总站数量的 37.5%, 生物多样性处于较低水平; 其余各站多样性指数相差不大。

各站 Pielou 均匀度指数的变化范围为 0.68—0.83, 平均值为 0.75。均匀度指数最高的为 13 号站;

最低的为 6 号站。各站 Margalef 种类丰富度指数在 6.08—9.67 变化, 平均值为 7.87。其中, 10 号站位丰富度指数最高; 2 号站位丰富度指数最低。从站位分布来看, 湾内站位(均值为 6.81)低于湾外站位(9.05); 而湾外站位则由北向南递减(图 4)。

2.4 资源量变化

根据相对资源密度估算公式(5), 计算东山湾及其邻近海域的相对资源密度, 该海域 2009—2010 年

表 2 东山湾及其邻近海域主要渔业资源种类优势度
Tab. 2 Dominance index of main fishery species in Dongshan Bay and adjacent areas

秋季 Autumn		冬季 Winter		春季 Spring		夏季 Summer	
种名 Species	IRI	种名 Species	IRI	种名 Species	IRI	种名 Species	IRI
日本单鳍电鳐	4079	鹿斑鲷	2472	二长棘犁齿鲷	1509	二长棘犁齿鲷	2662
<i>N. japonica</i>		<i>L. ruconius</i>		<i>E. cardinalis</i>		<i>E. cardinalis</i>	
哈氏仿对虾	2105	双斑蟳	1187	叫姑鱼	850	条尾绯鲤	1148
<i>P. hardwickii</i>		<i>C. bimaculata</i>		<i>J. grypotus</i>		<i>U. bensasi</i>	
拥剑梭子蟹	1709	林氏团扇鲷	575	鹿斑鲷	650	短尾大眼鲷	1030
<i>P. haanii</i>		<i>P. limboonkengi</i>		<i>L. ruconius</i>		<i>P. macracanthus</i>	
林氏团扇鲷	1657	短蛸	516	中国枪乌贼	644	叫姑鱼	976
<i>P. limboonkengi</i>		<i>O. ocellulus</i>		<i>L. chinensis</i>		<i>J. grypotus</i>	
短蛸	818	中国枪乌贼	458	长蛇鲻	541	中国枪乌贼	596
<i>O. ocellulus</i>		<i>L. chinensis</i>		<i>S. elongata</i>		<i>L. chinensis</i>	
黄鲫	556	口虾蛄	421	林氏团扇鲷	512	竹荚鱼	537
<i>S. taty</i>		<i>O. oratoria</i>		<i>P. limboonkengi</i>		<i>T. japonicus</i>	
远海梭子蟹	551	黄鲷	363	中颌棱鲷	501	黄斑篮子鱼	433
<i>P. pelagicus</i>		<i>D. bennetti</i>		<i>T. mystax</i>		<i>S. punctatus</i>	
锈斑蟳	456	拥剑梭子蟹	357	六指马鲛	413	林氏团扇鲷	374
<i>C. feriatius</i>		<i>P. haanii</i>		<i>P. sextarius</i>		<i>P. limboonkengi</i>	
鹿斑鲷	425	日本单鳍电鳐	302	逍遥馒头蟹	302	六指马鲛	345
<i>L. ruconius</i>		<i>N. japonica</i>		<i>C. philargius</i>		<i>P. sextarius</i>	
口虾蛄	352	横纹东方鲀	283	短蛸	274	火枪乌贼	320
<i>O. oratoria</i>		<i>T. oblongus</i>		<i>O. ocellulus</i>		<i>L. beka</i>	
中国团扇鲷	237	锈斑蟳	259	日本单鳍电鳐	251	红星梭子蟹	316
<i>P. sinensis</i>		<i>C. feriatius</i>		<i>N. japonica</i>		<i>P. sanguinolentus</i>	
银光梭子蟹	228	褐菖鲉	196	尖嘴鲷	202	短蛸	263
<i>P. argentatus</i>		<i>S. marmoratus</i>		<i>D. zugei</i>		<i>O. ocellulus</i>	
		叫姑鱼	191	拥剑梭子蟹	185	白姑鱼	229
		<i>J. grypotus</i>		<i>P. haanii</i>		<i>P. argentatus</i>	
		哈氏仿对虾	112	哈氏仿对虾	115	中国团扇鲷	110
		<i>P. hardwickii</i>		<i>P. hardwickii</i>		<i>P. sinensis</i>	
		龙头鱼	107	火枪乌贼	114	日本单鳍电鳐	108
		<i>H. nehereus</i>		<i>L. beka</i>		<i>N. japonica</i>	
				远海梭子蟹	107	金线鱼	107
				<i>P. pelagicus</i>		<i>N. virgatus</i>	
				口虾蛄	106		
				<i>O. oratoria</i>			

表 3 东山湾及其邻近海域游泳动物多样性指数的季节变化
Tab. 3 Seasonal changes of nekton in diversity in Dongshan Bay and adjacent areas

	Margalef 丰富度指数 <i>D</i>		Pielou 均匀度指数 <i>J</i>		Shannon-Weine 多样性指数 <i>H'</i>	
	均值 Average	范围 Range	均值 Average	范围 Range	均值 Average	范围 Range
秋季 Autumn	3.51	2.36—5.10	0.69	0.48—0.79	1.94	1.24—2.27
冬季 Winter	2.81	1.33—5.23	0.69	0.24—0.82	1.75	0.62—2.65
春季 Spring	3.83	1.13—5.99	0.70	0.50—0.87	2.01	0.89—2.72
夏季 Summer	3.99	2.87—6.19	0.74	0.57—0.91	2.27	1.64—2.72
均值 Average	3.54	1.13—6.19	0.71	0.24—0.91	1.99	0.62—2.72

4 个季度的重量相对资源密度、尾数相对资源密度随季节的变化趋势一致，秋夏季高，冬春季低。而东海区整个大陆架和台湾海峡相对资源密度则是秋春季高、夏冬季低^[24, 25]。各季节重量相对资源密度和尾数相对资源密度均以鱼类为最高，而头足类、虾类、蟹类与口足类所占比例高低则随季节发生变化(表 4)。

秋季所有游泳动物的相对资源密度(390.27 kg/km²)高于东海区整个大陆架秋季相对资源密度(约 383.00 kg/km²)，也高于台湾海峡秋季的相对资源密度(约 55.64 kg/km²)，可以认为，该季节该水域游泳动物资源密度属于相对较好的海域。冬季所有游泳动物的重量相对资源密度(167.01 kg/km²)远低于东海区整个大陆架冬季相对资源密度(约 284.14

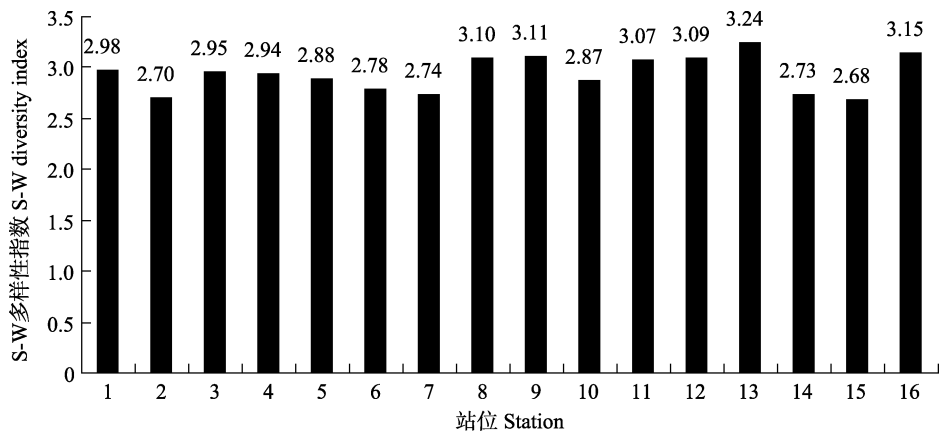


图 3 东山湾及其邻近海域各站位多样性指数

Fig. 3 Diversity index of each station in Dongshan Bay and adjacent areas

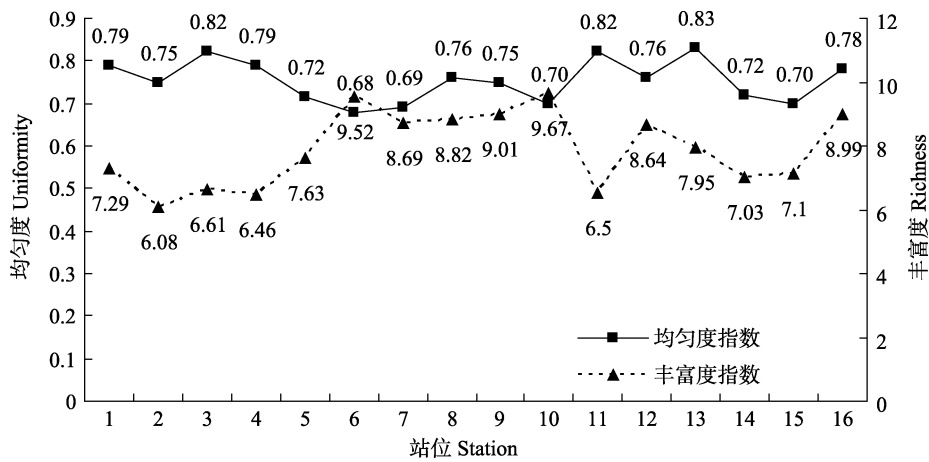


图 4 东山湾及其邻近海域各站位均匀度指数与丰富度指数

Fig. 4 Uniformity index and richness index of the stations in Dongshan Bay and adjacent areas

表 4 东山湾及其邻近海域各季节资源量的变化

Tab. 4 Each season change in the amount of resources in Dongshan Bay and adjacent areas

	秋季 Autumn		冬季 Winter		春季 Spring		夏季 Summer	
	A	B	A	B	A	B	A	B
鱼类 Fish	309.69	6344.4	141.51	5926.27	290.66	7851.72	345.73	10619
头足类 Cephalopods	14.63	451.74	7.17	300.97	39.75	767.55	26.8	813.75
虾类 Shrimp	6.83	1739.19	1.17	121.36	0.71	125.26	2.97	651.87
蟹类 Crabs	56.02	1818.24	14.27	944.18	33.93	429.08	21.81	564.37
口足类 Stomatopoda	3.1	376.45	2.89	206.31	1.62	87.95	1.16	109.37
合计 Total	390.27	10730.02	167.01	7499.1	366.66	9261.55	398.47	12758.37

注: A 重量相对资源密度(kg/km²), B 尾数相对资源密度(ind./km²)

Note: A weight relative resource density (kg/km²), B ending the relative resource intensity (ind./km²)

kg/km²), 可以认为, 该季节该水域游泳动物资源密度属于相对较差的海域。春季所有游泳动物的重量相对资源密度(366.66 kg/km²)略高于东海区整个大陆架春季相对资源密度(约 330.96 kg/km²), 也高于台湾海峡春季相对资源密度(约 111.44 kg/km²), 可以认为, 该季节该水域游泳动物资源密度属于相对较好的海域。夏季所有游泳动物的重量相对资源密

度(398.47 kg/km²)低于东海区整个大陆架夏季相对资源密度(约 585.04 kg/km²), 但高于台湾海峡春季平均资源密度(约 68.15 kg/km²), 可以认为, 该季节该水域游泳动物资源密度属于中等水平。

3 讨论

东山湾位于台湾海峡西侧, 湾口与海峡西岸相

连,湾顶与漳江相通,三面山丘环抱,口小腹大,属于半封闭型海湾,同时又是一个典型的亚热带河口海湾。此外,虽然台湾海峡南部海域由于夏季受南海外海水的影响,秋季受闽浙沿岸流的影响,还受到台湾海峡逆温跃层的影响,其生物种类非常丰富^[2],但由于受过度捕捞^[7]、水域环境污染等综合因素影响,本海域生物多样性处于较低水平。

调查结果显示,该海域共有游泳动物 4 纲 20 目 74 科 109 属 168 种,其中鱼类(114 种)是东山湾及其邻近海域游泳动物的主要类群;此外还有头足类和软甲纲的虾类、蟹类和口足类。总物种数少于同纬度台湾海峡地区游泳动物物种数(365 种)^[25],主要是由于调查区域范围的差异导致,但明显高于同位于台湾海峡西侧的平潭岛海域物种数目(88 种)^[26]。东山湾、台湾海峡、平潭岛海域三个地区各种类组成比例大致相当,鱼类分别为 67.86%、74.52%、70.5%,甲壳类分别为 26.79%、19.18%、25.0%,头足类分别为 5.36%、6.30%、4.50%。

优势种的种类数不高, $IRI>1000$ 的种类最多时仅有 4 种,季节更替明显,这可能与漳江水、南海暖流、闽浙沿岸流等不同水系的影响有关^[7],导致游泳动物的分布状况与上述各种水系的相互推移和季节性演替关系密切。由于本海域常年受到闽浙沿岸流的影响,导致日本单鳍电鳐、二长棘犁齿鲷等暖温性鱼类成为优势种,而夏季由于南海的外海水和台湾暖流的影响,使得条尾绯鲤、短尾大眼鲷等暖水性鱼类成为夏季优势种。

从东山湾及其邻近海域游泳生物多样性的季节特征(表 3)来看,种类丰富度指数 D 和种类多样性指数 H' 表现为夏春两季高、秋冬两季低,且夏季最高,冬季最低。这可能与春季洄游、夏季产卵季节多种游泳生物到沿岸产卵使种类多样性提高有一定关系。均匀度指数 J' 的季节变化,表明环境条件的改变对均匀度指数的影响不明显,这种现象在其他游泳生物群落的研究中也同样存在^[27, 28]。在调查海域多样性指数、丰富度指数和均匀度指数都较低,而该海域游泳生物季节群聚优势种较为明显。游泳生

物多样性特征的变化是由于各季节主要种类的优势度不同引起的,同时与游泳生物的繁殖、生长、洄游^[2]及人类的捕捞都有密切的关系^[7]。冬季是很多游泳生物的越冬洄游季节,使得近岸的种类减少,同时还受到较强的捕捞压力,导致多样性指数降低;到夏季经过伏季休鱼期以及游泳生物的生长使得生物量增大,多样性指数也随着增大;游泳生物个体大小差别较大与环境污染也使得多样性指数保持在较低水平。

从各站位的平面分布(图 3、4)来看,各站种类丰富度指数 D 的差异较大;而从总体趋势来看,湾内站位(均值为 6.81)明显低于湾外站位(9.05);而在湾外站位中,近岸站位明显高于离岸站位。从各站 Shannon-Weiner 种类多样性指数来看,其分布特征与丰富度相似,Shannon-Weiner 种类多样性指数 >3 的站位均为湾外站位,仅为 6 个(37.5%)。这与调查海域游泳动物个体大小差别较大以及季节性分布不均有关。通过对比各站种类数目、多样性指数,并结合(3)式与(4)式分析可知,由于湾口区站位物种受海洋和陆地的双重影响,导致物种变化频繁,物种种类数目较多,均匀度指数降低,呈现出湾内与离岸均匀度指数较高,而湾口区的站位均匀度指数较低的分布特点。

该海域相对资源密度方面表现较为复杂,秋春夏三个季度的重量相对资源密度相差不大,但其均值为冬季的 2.3 倍,而在尾数相对资源密度方面,夏季最高,春秋两季大致相同,冬季最少,夏季为冬季的 1.7 倍。各季节渔获物体重分布(表 5)范围很广,从 0.47—1516 g 不等,而渔获物的平均体重则分布于 26.08—45.26 g,由此可知渔业资源结构以中小型个体为主,这是导致夏冬两季重量相对资源密度比值大于尾数相对资源密度的重要原因。本海域浮游动物较为丰富,是渔业资源洄游、生长、繁殖的重要场所,这也使得其资源密度大于同时期的东海大陆架和台湾海峡。

除了自然因素对多样性的影响外,人为因素的影响正日益加重,而调查水域环境污染较大也是造

表 5 东山湾及其邻近海域各季节渔获物体重数值表
Tab. 5 Body weight of four seasons in Dongshan Bay and adjacent areas (g)

	秋季 Autumn	冬季 Winter	春季 Spring	夏季 Summer
体重范围 Weight range	0.47—1118	0.9—1516	0.6—906	2.52—1132
平均体重 Average weight	35.25	26.08	45.26	31.33

成生物多样性较低的原因之一^[29, 30]。因此, 应做好环境污染的防治工作, 合理进行海洋功能区划, 以保护好东山湾及其邻近海域游泳动物的多样性, 做到渔业资源的合理开发和持续利用。

参考文献:

- [1] Editorial committee of Gulfs Sinica in China, Gulfs Sinica in China [M]. Part 8: Gulfs in the south of Fujian Province. Beijing: Ocean Press. 1994, 311 [中国海湾志编委会, 中国海湾志 第八分册: 福建省南部海湾. 北京: 海洋出版社. 1994, 311]
- [2] Zhou Q L, Chen B H, Yang S Y. The Biodiversity of Four Typical Zones in the South-east Ocean of China [A]. The Study Progress and Protection of Chinese Biodiversity-Proceedings of the Fifth National Seminar of Protection and Sustainable Use of Biodiversity [C]. 2002, 277—284 [周秋麟, 陈宝红, 杨圣云. 中国东南四个典型海域的生物多样性及保护. 中国生物多样性保护与研究进展—第五届全国生物多样性保护与持续利用研讨会论文集. 2002, 277—284]
- [3] Li Y, Li H, L ü S H, *et al.* Species diversity and distribution of phytoplankton in Nanji Islands national nature reserve [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2010, **34**(3): 618—628 [李扬, 李欢, 吕颂辉, 等. 南麂列岛海洋自然保护区浮游植物的种类多样性及其生态分布. 水生生物学报, 2010, **34**(3): 618—628]
- [4] Yu C G, Chen X Q, Hu H Y, *et al.* Species composition and community structure characteristics of zooplankton in the Zhoushan fishing ground and its adjacent area [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2011, **35**(1): 183—193 [俞存根, 陈小庆, 胡颖琰, 等. 舟山渔场及邻近海域浮游动物种类组成及群落结构特征. 水生生物学报. 2011, **35**(1): 183—193]
- [5] Zheng H D. Species composition and distribution of zooplankton in Dongshan Bay [J]. *Journal of Fujian Fisheries*, 2009, (2): 11—17 [郑惠东. 福建东山湾浮游动物的种类组成与数量分布特点. 福建水产, 2009, (2): 11—17]
- [6] Li X B, Huang H, Lian J S, *et al.* Diversity and spatial distribution of gorgonian coral in Dongshan coastal waters in Fujian, China [J]. *Journal of Oceanography in Taiwan Strait*, 2011, **30**(1): 92—96 [李秀保, 黄晖, 练健生, 等. 福建东山海域柳珊瑚种类空间分布与多样性. 台湾海峡, 2011, **30**(1): 92—96]
- [7] He M H. Distribution of polychaeta in subtidal zone, Dongshan Bay, Fujian Province [J]. *Journal of Oceanography in Taiwan Strait*, 1990, **9**(3): 206—211 [何明海. 东山湾潮下带多毛类的分布. 台湾海峡, 1990, **9**(3): 206—211]
- [8] Lin J H, Chen R X. Distribution of planktonic copepods in Dongshan Bay, Fujian Province [J]. *Marine Science Bulletin*, 1992, **11**(4): 11—17 [林景宏, 陈瑞祥. 东山湾浮游桡足类的分布. 海洋通报, 1992, **11**(4): 11—17]
- [9] Zhang Y Z, Hu J C, Zhong Y P, *et al.* Studies on ecology of benthos in Dongshan Bay [J]. *Journal of Oceanography in Taiwan Strait*, 1997, **16**(4): 441—448 [张雅芝, 胡家财, 钟幼平, 等. 东山湾底栖生物生态学研究. 台湾海峡, 1997, **16**(4): 441—448]
- [10] Xiao Z P, Lan X W, Xie Z. Status of the development of fisheries resources and increase utilization in Dongshan Bay area [J]. *Journal of Fujian Fisheries*, 1990, (3): 57—62 [肖志鹏, 蓝希文, 谢真. 东山湾区域渔业资源开发现状及提高利用水平的探讨. 福建水产, 1990, (3): 57—62]
- [11] Zhang Y Z, Li F Z, Liu X Y, *et al.* Food web of fishes in Dongshan Bay, Fujian [J]. *Journal of Fujian Fisheries*, 1994, **13**(1): 52—60 [张雅芝, 李福振, 刘向阳, 等. 东山湾鱼类食物网研究. 台湾海峡, 1994, **13**(1): 52—60]
- [12] Huang Y. Species composition and seasond variations of fishes in Dongshan Bay [J]. *Journal of Fujian Fisheries*, 1996, (2): 55—61 [黄轶. 东山湾鱼类组成及其季节变动. 福建水产, 1996, (2): 55—61]
- [13] General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, Standardization Administration of the People's Republic of China. Marine Survey Specifications Part 6: Marine Biological Survey [M]. Beijing: Standards Press of China. 2007, 56—62 [国家质检总局, 国家标准化委员会. 海洋调查规范 第6部分: 海洋生物调查. 北京: 中国标准出版社. 2007, 56—62]
- [14] Dai A Y, Yang S L, Song Y Z, *et al.* Chinese Marine Crabs [M]. Beijing: Ocean Press. 1986, 13—519 [戴爱云, 杨思谅, 宋玉枝, 等. 中国海洋蟹类. 北京: 海洋出版社. 1986, 13—519]
- [15] Dong Z Z. Biology of Economical Cephalopod Species in World Oceans [M]. Jinan: Shandong Science and Technology Press. 1991, 146—253 [董正之. 世界大洋经济头足类生物学. 济南: 山东科学技术出版社. 1991, 146—253]
- [16] Nelson J S. Fishes of the World (4th edn) [M]. New York: John Wiley and Sons, Inc. 2006, 39—451
- [17] Pinkas E R. Ecology of the agamid lizard *Amphibolurus isolepis* in western Australia [J]. *Copeia*, 1971, **3**: 527—536
- [18] Wilhm J L. Use of biomass units in Shannon's formula [J]. *Ecology*, 1968, **49**(1): 153—156
- [19] Ludwig J A, Reynolds J F. Statistical Ecology [M]. New York: John Wiely and Sons. 1988, 1—337
- [20] Ma K P. Method of biological community diversity: method of $I\alpha$ diversity (a) [J]. *Chinese Biodiversity*, 1994, **2**(3): 162—168 [马克平. 生物群落多样性的测度方法: $I\alpha$ 多样性的测度方法(上). 生物多样性, 1994, **2**(3): 162—168]
- [21] Ma K P, Liu Y M. Method of biological community diversity: method of $I\alpha$ diversity (b) [J]. *Chinese Biodiversity*, 1994, **2**(3): 231—239 [马克平, 刘玉明. 生物群落多样性的测度方法: $I\alpha$ 多样性的测度方法(下). 生物多样性, 1994, **2**(3): 231—239]
- [22] Wang X H, Du F Y, Qiu Y S, *et al.* Variations of fish species diversity, faunal assemblage, and abundances in Daya Bay in 1980—2007 [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2010,

- 21(9): 2403—2410 [王雪辉, 杜飞雁, 邱永松, 等. 1980—2007 年大亚湾鱼类物种多样性、区系特征和数量变化. 应用生态学报, 2010, 21(9): 2403—2410]
- [23] Zheng Y J, Chen X Z, Cheng J H, *et al.* Fishery Recourse and Environment in the Continental Shelf of East China Sea [M]. Shanghai: Science and Technology Press. 2003, 241—331 [郑元甲, 陈雪忠, 程家骅, 等. 东海大陆架生物资源与环境. 上海: 科技出版社. 2003, 241—331]
- [24] Zhan B Y. Fish Stock Assessment [M]. Beijing: China Agriculture Press. 1995, 257—260 [詹秉义. 渔业资源评估. 北京: 中国农业出版社. 1995, 257—260]
- [25] Dai Q S, Lu Z B, Hong M J, *et al.* Fauna composition of nekton and fishery resources in the southern waters of Taiwan Strait [J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2004, 11(4): 360—366 [戴泉水, 卢振彬, 洪明进, 等. 台湾海峡南部海域游泳生物区系组成和渔业资源现状. 中国水产科学, 2004, 11(4): 360—366]
- [26] Dai Q S, Ye Q T, Lu Z B. The resources protection and ecology of nekton in the waters of Pingtan Island, Fujian Province [J]. *Journal of Fujian Fisheries*, 1992, (3): 52—60 [戴泉水, 叶泉土, 卢振彬. 福建平潭岛海域游泳生物生态和资源保护. 福建水产, 1992, (3): 52—60]
- [27] Zhu X H, Wu H Z. A study on seasonal changes of the fish communities in the Yellow Sea and the Bohai Sea [J]. *Acta Oceanologica Sinica*, 1994, 16(3): 102—112 [朱鑫华, 吴鹤洲. 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. 海洋学报, 1994, 16(3): 102—112]
- [28] Liu Y, Li S F. A study on seasonal changes of the fish communities in the East China Sea and the Huanghai Sea [J]. *Acta Oceanologica Sinica*, 2006, 28(4): 104—108 [刘勇, 李圣法. 东海、黄海鱼类群落结构的季节变化研究. 海洋学报, 2006, 28(4): 104—108]
- [29] Li Y Z. Analysis on the water quality state and the counter-measures for the pollution control in Dongshan Bay of Fujian [J]. *Marine Environmental Science*, 2000, 19(1): 64—67 [李亚治. 福建东山湾水质状况分析与污染防治对策. 海洋环境科学, 2000, 19(1): 64—67]
- [30] Chen C Q, Ruan J S, Li X Z, *et al.* Environmental monitoring report of Dongshan Bay fishery [J]. *Journal of Fujian Fisheries*, 1994, (3): 56—65 [陈超群, 阮金山, 李秀珠, 等. 东山湾渔业环境监测调查报告. 福建水产, 1994, (3): 56—65]

DIVERSITY OF NEKTON IN DONGSHAN BAY AND ADJACENT AREAS

LIN Long-Shan¹, ZHAO Gui-Gen², LI Yuan², GAO Tian-Xiang² and ZHANG Jing³

(1. Third Institute of Oceanography, SOA, Xiamen 361005, China; 2. Fisheries College, Ocean University of China, Qingdao 266003, China; 3. Fisheries College, Jimei University, Xiamen 361021, China)

Abstract: The analyses of diversity of nekton in Dongshan Bay and adjacent areas were carried out based on the data of bottom surveys from November 2009 to August 2010. A systematic analysis of the nekton species composition was studied, and the index of relative importance (IRI), relative resource density, Margalef richness index, Shannon-Weiner diversity index and Pielou evenness index were employed to assess the diversity of nekton. Also the spatial-temporal pattern of the nekton species in this area was described. The results showed that there were a total of 168 species involving 20 orders, 74 families and 109 genera in Dongshan Bay and adjacent areas. There were 114 fish species which was the largest category, accounting for 67.86%, and the results were shown the same trend compared with that of Taiwan Strait. In term of seasonal distribution, the most abundant of species was in spring (95) and least in autumn (66); in term of the spatial distribution, the survey station 9 in summer had the largest number of nekton species (37), while the survey station 3 had the least number (5) in the spring. The relative resource densities of spring and autumn were the higher, with winter the lowest and summer moderate. Dominant species had relatively less number of species, no more than four species, the number of dominant species in spring, summer, autumn and winter was 4, 2, 1 and 3 respectively. Dominant species were quite different and there was an obvious seasonal fluctuation. The level of diversity index indicated summer > spring > autumn > winter. In term of the seasonal distribution, the average values of Margalef richness index, Shannon-Weiner diversity index and Pielou evenness index were 3.54, 1.99 and 0.71 respectively. In term of the spatial distribution, the average values of Margalef richness index, Shannon-Weiner diversity index and Pielou evenness index were 7.87, 2.94 and 0.75 respectively. Biodiversity of nekton in the area was at a low level, which was mainly due to over-fishing, water pollution and other comprehensive factors. This study could provide a scientific basis for marine construction, evaluation of fishery resources, marine ecological restoration, ecosystem-based fisheries and marine management strategy.

Key words: Species diversity; Index of relative importance; Relative resource density; Dongshan Bay and adjacent areas