

• 研究简报 •

福建三都澳游泳动物种类组成及群落结构稳定性

宋普庆 林龙山* 李 渊 钟指挥 张 然

(国家海洋局第三海洋研究所, 福建厦门 361005)

摘要: 利用2012–2013年三都澳渔业资源的定置张网调查资料, 应用物种多样性指数、数量生物量比较曲线(ABC曲线)及鱼类分类多样性指数等方法分析三都澳游泳动物种类组成特征和群落结构的稳定性。调查中共出现游泳动物195种, 隶属于17目64科125属, 其中鱼类143种, 甲壳类47种, 头足类5种。大黄鱼(*Larimichthys crocea*)在三都澳4个航次的调查中都是最主要的优势种类, 其他优势种类还包括叫姑鱼(*Johnius belangerii*)、白姑鱼(*Argyrosomus argentatus*)、虾虎鱼类和一些甲壳类。大黄鱼多为养殖群体, 其他优势种类的共同特征是个体小, 繁殖周期短, 生物量季节或年际间波动剧烈。物种多样性分析表明, 三都澳游泳动物群落平均Shannon-Wiener多样性指数为2.61, 9、10月高, 1、5月低。ABC曲线分析表明, 4次调查中群落结构存在明显的变化, 繁殖群体的补充、个体生长、捕捞、伏季休渔等是影响群落结构稳定性的因素。本次研究表明, 大黄鱼生物量的比例与Shannon-Wiener多样性指数呈极显著负相关($P < 0.01$, $R = -0.890$), 与种类数呈显著负相关($P < 0.05$, $R = -0.563$)。结合近年来的调查数据, 统计得到三都澳的现存鱼类约224种, 其平均分类差异指数(Δ^+)为59.5, 分类差异变异指数(Δ^+)为260.8。相对于中国沿海其他海域, 三都澳鱼类群落分类学范围较小, 且群落间的分类地位关系极不均匀, 群落抗干扰的能力较差。

关键词: ABC曲线, 生物多样性, 分类多样性, 三都澳

Species composition and stability of nekton community structure in Sandu Bay, Fujian Province

Puqing Song, Longshan Lin*, Yuan Li, Zhihui Zhong, Ran Zhang

Third Institute of Oceanography, State Oceanic Administration, Xiamen, Fujian 361005

Abstract: In order to analyze the species composition and evaluate the stability of nekton community structure in Sandu Bay of Fujian Province, species diversity, an Abundance Biomass Comparison (ABC) curve and taxonomic diversity were described based on a net fishing survey conducted in Sandu Bay from October 2012 to September 2013. A total of 195 species belonging to 125 genera, 64 families and 17 orders were recorded including 143 fish species, 47 crustacean species and 5 cephalopod species. *Larimichthys crocea* was the most dominant species identified in all four surveys and most were escaped groups from fish farms. The other dominant species included *Johnius belangerii*, *Argyrosomus argentatus*, gobies, and several crustacean species, which were characterized by small body size, short breeding period and seasonal or annual drastic fluctuations in biomass. The average Shannon-Wiener diversity index in Sandu Bay was 2.61, and higher in September and October than in January and May. ABC curve analysis showed that the community structure had obvious seasonal changes and the impacting factors may include internal factors and external factors such as the supplement of breeding groups, individual growth, fishery production, and summer fishing moratoriums. This study revealed that the biomass proportion of the large yellow croaker has a very significant negative correlation with Shannon-Wiener diversity index ($P < 0.01$, $R = -0.890$) and a significant negative correlation with species number ($P < 0.05$, $R = -0.563$). Combined with survey data from recent years, there were 224 fish species in Sandu Bay; based on this data, the average taxonomic distinctness (Δ^+) and the variation in taxonomic distinctness (Δ^+) were tested. The result showed that the value of Δ^+ in Sandu Bay

收稿日期: 2014-10-20; 接受日期: 2015-04-03

基金项目: 国家海洋局第三海洋研究所基本科研业务费专项基金(海三科 2012013)、国家海洋局海洋国际合作及履约项目(2200207)、国家海洋专项资助项目(908-02-01-02; 908-02-04-01)

* 通讯作者 Author for correspondence. E-mail: linlsh2005@126.com

was 59.5 and the value of Δ^+ was 260.8. Compared with other coastal waters in China, the average taxonomic range in Sandu Bay was relatively narrow and the taxonomic status was extremely uneven, indicating the anti-interference ability of the fish community in Sandu Bay was poor.

Key words: ABC curve, biodiversity, taxonomic diversity, Sandu Bay

河口和海湾是近岸典型的海洋生态系统, 其独特的地理位置和水动力条件有利于海洋生物的生存和繁衍, 是许多海洋生物与鸟类的重要栖息地, 也是鱼类、虾类、蟹类等主要海洋经济生物的产卵、育幼和索饵场所, 被称为海洋哺育场, 具有重要的生态价值和经济价值(Hobbie, 2000; 杜建国等, 2010)。游泳动物在海洋生态系统中占有重要的地位, 很多种类是海洋生态系统中的高级消费者, 形成了海洋的高级生产力(沈国英和施并章, 2002)。由于鱼类对污染物质和环境变化敏感, 国际上通常把游泳动物(或鱼类)作为生态系统健康监测的指标(Knap, 2002)。研究游泳动物对渔业生产、海洋生态系统动力学以及海洋环境健康评价等方面都有重要意义。

三都澳位于福建省宁德市东南部, 是由东冲半岛、鉴江半岛合抱成口小腹大的一个近封闭性港湾, 曾经是大黄鱼(*Larimichthys crocea*)等多种洄游性鱼类产卵繁育的主要场所, 也是福建渔业生产的重要港湾之一。目前对三都澳鱼类和浮游生物的种类组成、物种多样性分析已有较多报道(戴燕玉, 2006; 王建茹等, 2010; 沈长春, 2011a, b)。但是近年来由于过度捕捞、海水养殖、富营养化以及涉渔工程等因素的影响, 三都澳的环境和生物群落结构发生了很大变化, 生态平衡受到破坏(蔡清海, 2007); 此外, 大规模水产养殖带来的养殖逃逸群体对自然群落也具有潜在的生态风险(周颖和钟昌标, 2008)。三都澳游泳动物群落正面临着各种压力和干扰。本文利用2012–2013年4个季度的现场调查资料, 在分析游泳动物种类组成、多样性特征及其变化趋势的基础上, 结合ABC曲线、分类多样性、营养级水平等方面的研究, 探讨三都澳游泳动物群落结构稳定性及其抗干扰能力, 以期三都澳生物多样性保护、渔业资源管理以及渔业生态环境的评价提供参考。

1 方法

1.1 站位布设及采样方法

根据三都澳内的实际渔业生产情况, 分散设置

了4个定置网调查站位(图1), 分别于2012年10月、2013年1月、5月和9月初进行了4个航次的定点调查。采用的网具为多桩竖杆张网, 网口规格为24 m × 12 m, 网囊网目大小为20 mm。每个航次的调查都在大潮期间进行, 每个站位依据潮周期调查5次。若渔获物总重量在40 kg以下, 全部取样分析; 大于40 kg, 从中挑出大型及稀有的标本后, 再随机取出20 kg样品, 分类后进行标本拍照并做好记录, 核对无误后及时速冻保存。本文调查的游泳动物包括鱼类、甲壳类和头足类, 种类鉴定参考《中国海洋生物图集》(黄宗国和林茂, 2012)、《福建鱼类志》(福建鱼类志编写组, 1985)等。海上取样以及室内资料分析方法均按《建设项目对海洋生物资源影响评价技术规程》(SC/T 9110-2007)和《海洋调查规范》(GB/T 12763.6-2007)进行。



图1 福建三都澳游泳动物调查站位 (S1–S4: 调查站位)
Fig. 1 The investigation stations of nekton in Sandu Bay, Fujian. S1–S4, Sampling stations.

1.2 数据处理

1.2.1 数据标准化

张网调查由于受到水流流速、作业时间等因素影响, 各网次所获得的数据不能直接进行比较分析, 因此需要对数据进行标准化处理, 得到调查海域平均资源密度数据, 公式如下:

$$S = \frac{C}{V \times t \times a \times q} \quad (1)$$

式中, S 为调查水域资源密度(ind./km³或kg/km³); C 为单位网次平均渔获量(尾或kg); V 为涨、落潮平均流速(km/h); t 为有效作业时间, 平均取6 h; a 为迎流网口面积(km²); q 为捕捞效率, 取值为0.5。

1.2.2 优势种和物种多样性

优势度用Pinkas相对重要性指数(IRI)表示(Pinkas, 1971):

$$IRI = (W\% + N\%) \times F\% \quad (2)$$

其中: $W\%$ 为该种重量占总重量的百分比, $N\%$ 为该种尾数占总尾数的百分比, $F\%$ 为该种出现的站数占调查总站数的百分比。本文将各航次 IRI 排在前10位的种类作为主要优势种类进行分析。

物种多样性采用Shannon-Wiener多样性指数(H')测度, 由于游泳动物不同种类以及同种类个体之间差异很大, 因此在计算多样性时用生物量代替尾数(Wilhm, 1968), 计算公式为:

$$H' = -\sum P_i \ln P_i \quad (3)$$

式中, P_i 为第 i 种渔获物生物量在总生物量中所占的比例。

采用Pearson相关系数分析Shannon-Wiener多样性指数(H')与大黄鱼生物量及种类数的相关性。相关系数由SPSS 17.0软件求得。

1.2.3 数量生物量曲线

数量生物量曲线(Abundance Biomass Comparison curve, 简称ABC曲线), 即在同一坐标系中, 通过比较生物量优势度曲线和数量优势度曲线的分布情况来分析群落受到的干扰。如果生物量优势度曲线在数量优势度曲线之上, 则群落稳定; 若两条曲线相交, 则群落受到中等程度干扰; 若数量优势度曲线在生物量曲线之上, 则表明群落受到严重干扰(Warwick, 1986)。本文数量生物量曲线用PRIMER 5.0软件绘制。

1.2.4 分类多样性

平均分类差异指数(average taxonomic distinctness, Δ^+)是指群落中随机选择的两个种类之间平均分类等级路径的长度, 平均值不受样本大小和取样性质的影响(Clarke & Warwick, 1998; 李娜娜等, 2011), 其大小反映了群落间亲缘关系的远近。分类差异变异指数(variation in taxonomic distinctness, Δ^+), 即两个种类之间平均分类等级路径的长度与平均分类差异指数偏离程度的理论平均值, 反映了种类组成亲缘关系分布的均匀程度。计算公式如下:

$$\Delta^+ = (\sum \sum_{i < j} \omega_{ij}) / [S(S-1)/2] \quad (4)$$

$$\Delta^+ = \sum \sum_{i < j} (\omega_{ij} - \Delta^+)^2 / [S(S-1)/2] \quad (5)$$

式中, ω_{ij} 为第 i 和 j 个种类在分类系统树中的路径长度, S 为种类数。由于鱼类都属于脊索动物门, 因此本研究中的分类阶元确定为纲、目、科、属、种5个分类阶元, 不同分类阶元之间的加权路径长度(ω)的权重取值参考史贇荣等(2009)。

由于目前对中国近海游泳动物分类多样性的研究仅见对鱼类的报道, 为了便于对比, 本文也只计算鱼类的分类多样性。在本次调查的基础上结合近年来所报道的数据, 统计出三都澳现存鱼类种类组成, 使用的历史数据包括2008年春秋两个季度的拖网数据(沈长春, 2011a)和2010–2011年4个季度的定置张网数据(叶金清, 2012)^①。

分类多样性指数值由PRIMER 5.0软件的TAXDTEST求得。

2 结果

2.1 游泳动物种类组成

四次调查共鉴定出游泳动物195种(附录1), 隶属于17目64科125属, 其中鱼类13目52科99属143种(软骨鱼类4种, 硬骨鱼类139种), 占游泳动物总种数的73.33%; 甲壳类2目10科24属47种, 占24.10%; 头足类2目2科2属5种, 占2.56%。四次调查游泳动物种类数差异不大(5月102种, 9月107种, 10月103种, 1月92种), 但物种组成差异显著。4个航次均出现的种类只有35种, 主要为大黄鱼、斑鰹(*Clupanodon punctatus*)、叫姑鱼(*Johnius belengerii*)、舌鳎类(*Cynoglossus* sp.)、虾虎鱼类和一些甲壳类, 占总种类数的17.95%; 只在1个航次出现的种类高达84种, 占43.08%。4个航次中都出现的种类的渔获量占总渔获量的63.26%, 而只在1个航次中出现的种类的渔获量只占4.29%。

2.2 优势种

表1展示了三都澳游泳动物主要种类的组成情况, 从中可以看出大黄鱼在4次调查中都是最主要的优势种类, 其他的优势种类虽然随着调查时间不同而有所变动, 但相对优势度指数(IRI)排在前几位的种类多以虾虎鱼和虾蟹类为主, 如5月的髯缟虾虎鱼(*Tridentiger barbatus*)、日本囊对虾(*Marsu-*

① 叶金清 (2012) 官井洋大黄鱼的资源和生物学特征. 硕士学位论文, 上海海洋大学, 上海。

penanaeus japonicus)、鲜明鼓虾(*Alpheus distinguendus*)、葛氏长臂虾(*Palaemon gravieri*)等; 9月的孔虾虎鱼(*Trypauchen vagina*)、日本囊对虾、中华管鞭虾(*Solenocera crassicornis*)等; 10月的葛氏长臂虾、中华管鞭虾、孔虾虎鱼等; 1月的鲜明鼓虾、矛尾虾虎鱼(*Chaeturichthys stigmatias*)等。此外, 一些季节性大量出现的种类也是构成三都澳游泳动物渔获量的重要组成部分, 如5月的白姑鱼(*Argyrosomus argentatus*), 9月和10月的龙头鱼(*Harpodon nehereus*), 1月的斑鲷等。这些优势种类的营养级多在3级左右, 为低级肉食性或杂食性种类。

2.3 多样性指数

三都澳4个航次的Shannon-Wiener多样性指数(*H'*)平均值为2.61, 处于中下水平, 季节变动明显,

波动范围为2.03–3.01, 整体上来看是9、10月较高, 1、5月较低。从站位来看, S3站*H'*值波动尤其剧烈, 最低值出现在5月, 只有0.73 (图2)。

相关性分析表明, 大黄鱼生物量的比例与*H'*值呈极显著负相关($P < 0.01$, $R = -0.890$), 与种类数呈显著负相关($P < 0.05$, $R = -0.563$)。就本调查所获得的数据来看, 在大黄鱼生物量比例超过30%时, *H'*值会有明显的降低, 而物种数在大黄鱼生物量比例在10–20%时较多, 比例过小或过大, 种类数都有降低的现象(图3)。

2.4 ABC曲线分析

4个航次的ABC曲线的趋势如图4所示, 5月份和1月份生物量优势度曲线位于数量优势度曲线之上, 10月份数量优势度曲线位于生物量优势度曲线之上, 而9月份两优势度曲线相交叉。表明5月和

表1 三都澳游泳动物主要种类的相对重要性指数(*IRI*)
Table 1 Index of relative importance (*IRI*) of major species of nekton in Sandu Bay, Fujian

种类 Species	采样月份 Sampling month			
	5	9	10	1
大黄鱼 <i>Larimichthys crocea</i>	4,966	3,147	2,175	4,813
龙头鱼 <i>Harpodon nehereus</i>		1,351	1,993	
孔虾虎鱼 <i>Trypauchen vagina</i>		1,334	695	
白姑鱼 <i>Argyrosomus argentatus</i>	1,393			
髯缟虾虎鱼 <i>Tridentiger barbatus</i>	634			
日本蟳 <i>Charybdis japonica</i>	475	663	707	479
日本囊对虾 <i>Marsupenanaeus japonicus</i>	460	473		
拟矛尾虾虎鱼 <i>Parachaeturichthys polynema</i>	452			
鲜明鼓虾 <i>Alpheus distinguendus</i>	421			1,432
须赤虾 <i>Metapenaeopsis barbata</i>	294			
葛氏长臂虾 <i>Palaemon gravieri</i>	284		1,639	
海鳗 <i>Muraenesox cinereus</i>	277			
哈氏仿对虾 <i>Parapenaeopsis hardwickii</i>		1,067		
棘头梅童鱼 <i>Collichthys lucidus</i>		953	671	658
纤手梭子蟹 <i>Portunus gracilimanus</i>		406		
中华管鞭虾 <i>Solenocera crassicornis</i>		391	1,133	
横纹东方鲀 <i>Fugu oblongus</i>		324		
红星梭子蟹 <i>Portunus sanguino</i>			1,248	
七丝鲚 <i>Coilia grayii</i>			643	
黑鳃舌鳎 <i>Cynoglossus roulei</i>			573	
斑鲷 <i>Clupanodon punctatus</i>				1,894
直额蟳 <i>Charybdis truncata</i>				958
褐斑三线舌鳎 <i>Cynoglossus trigrammus</i>				405
叫姑鱼 <i>Johnius belengerii</i>				354
矛尾虾虎鱼 <i>Chaeturichthys stigmatias</i>				309
双斑蟳 <i>Charybdis bimaculata</i>				282

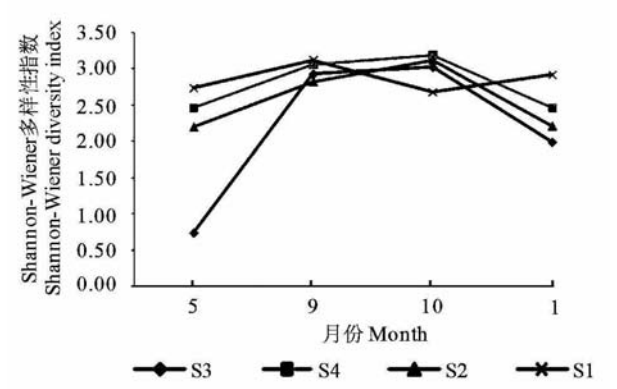


图2 三都澳游泳动物多样性指数的季节变化(S1-S4: 调查站点)
Fig. 2 Seasonal variation of nekton species diversity indices in Sandu Bay, Fujian. S1-S4, Sampling stations.

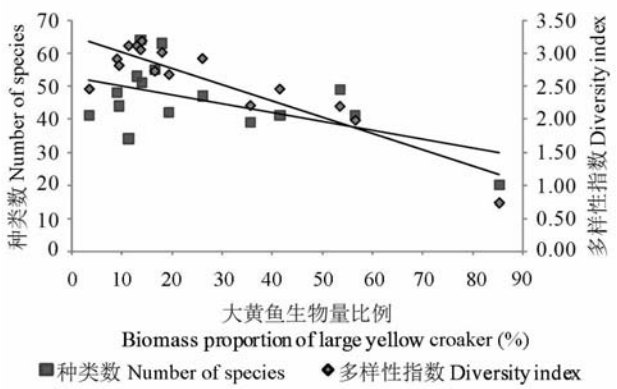


图3 大黄鱼生物量比例与种类数和多样性指数的关系
Fig. 3 Relationships between biomass proportion of large yellow croaker with diversity index and species number

1月游泳动物群落结构较为稳定, 而9月和10月群落分别受到中度干扰和严重干扰。

2.5 分类多样性

根据本次调查数据和现有的文献资料统计, 三都澳现有鱼类约224种, 隶属于16目63科133属。根据分类等级多样性权重值计算三都澳现有鱼类平均分类差异指数(Δ^+)为59.5, 分类差异变异指数(Δ^+)为260.8 (图5)。

3 讨论

3.1 游泳动物种类组成特征

三都澳历史上水质优良, 水产资源丰富, 曾经是多种洄游性鱼类如带鱼(*Trichiurus haumela*)、真鲷(*Pagrosomus major*)、黄鳍鲷(*Sparus latus*)、大黄

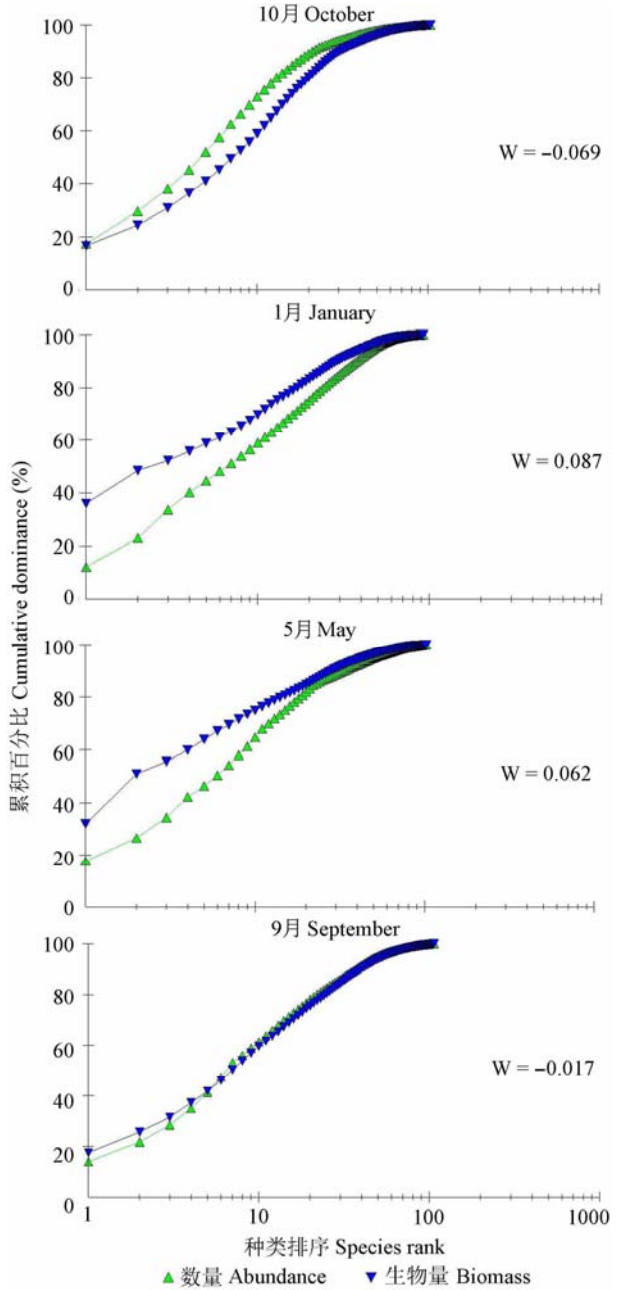


图4 三都澳游泳动物ABC曲线
Fig. 4 ABC curves of nekton in Sandu Bay, Fujian

鱼等重要经济鱼类产卵繁育的场所, 也是多种经济鱼类索饵、越冬的场所。近年来, 由于人为的过度捕捞和生活污水、工业废水排放以及涉渔工程等不利因素的影响, 水域环境发生了较大变化, 富营养化问题日趋严重, 赤潮也时有发生, 导致渔业资源组成结构及其优势种发生了变化(沈长春, 2011a)。从本次的调查结果来看, 优势种类大多数为4个航

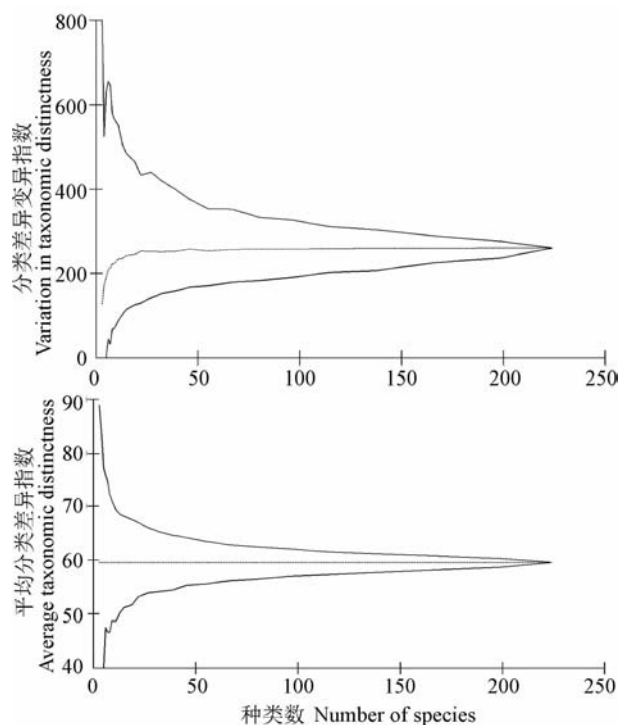


图5 三都澳鱼类的平均分类差异指数和分类差异变异指数
Fig. 5 The average taxonomic distinctness and the variation in taxonomic distinctness of fish species in Sandu Bay, Fujian

次均有出现的种类,但又可以分为2个类型,一类是在3—4个航次中都稳定出现的种类,渔获量变动不大,如日本蟳(*Charybdis japonica*)、口虾蛄(*Oratosquilla oratoria*)等栖居性种类;还有一类为虽然在三都澳存在周期较长,但是却集中分布在1—2个航次的洄游性种类,如叫姑鱼、白姑鱼、斑鲷等,这一类型的种类是构成三都澳优势种类的主要类型。

从本次调查和文献资料来看,三都澳传统的经济种类数量急剧减少,多数只作为偶现种出现,而作为主要优势种类的大黄鱼,其野生群体极少,多数为养殖逃逸和增殖放流群体(沈长春, 2011a)。替代的主要自然种群大多为近岸洄游性(白姑鱼、叫姑鱼)、河口性(斑鲷)和栖居性(虾虎鱼类、甲壳类)种类,这些种类的共同特点是繁殖周期短、繁殖力强、生长快,同时个体小、营养级低、经济价值低。三都澳游泳动物主要种类的营养级以3级左右(食物链中的次级消费者)为主,多为底栖动物食性或杂食性种类,顶级消费者(游泳动物食性)在群落中不占优势。由于群落中顶级捕食者种类极少,不能通过

下行控制机制对低营养级游泳动物的数量进行有效控制,并且这些低营养级种类本身即具有种群剧烈波动的特点(种群规模在有利和不利条件下的增长与衰退很快),导致种群规模年间剧烈波动,增加了群落结构的不稳定性(李凡等, 2013, 2014)。

为恢复传统优质经济种类的产量,近年来在三都澳进行了多次增殖放流活动,种类包括大黄鱼、对虾、鲈鱼(*Lateolabrax japonicus*)、曼氏无针乌贼(*Sepiella maindroni*)等,但是从调查结果来看,除大黄鱼外,其他种类的产量并未从根本上恢复,有些种类甚至根本没有渔获。由此可见,增殖放流未能从根本上改变三都澳游泳动物的群落结构,放流群体种类的选择和成活率问题值得进一步关注。

3.2 物种多样性

三都澳游泳动物Shannon-Wiener多样性指数(H')季节变化明显,主要原因可能是5月到10月大量种类到湾内产卵洄游以及伏季休渔保护了当年生幼鱼。S3站Shannon-Wiener多样性指数值波动剧烈,其原因可能是S3站靠近湾口,受海洋和陆地的双重影响,导致物种变化频繁;同时该站Shannon-Wiener多样性指数值在5月出现极低值,其原因可能是由于S3站正好处于青山岛北侧大黄鱼产卵场核心区域,5月份大量大黄鱼产卵群体在此聚集,使得大黄鱼的优势度极高,该航次S3站大黄鱼生物量和数量分别占85%和71%以上,使得物种均匀度较低,同时此站位在春季出现的种类只有20种,远低于其他站位40种以上的数量,这两个方面的因素都使得此站Shannon-Wiener多样性指数值偏低。

Mills(1982)研究认为,网箱逃逸或有意移植的鱼类可能会通过掠食或摄食竞争造成当地种群灭绝。大黄鱼养殖是宁德市的支柱产业,近年来养殖规模不断扩大,同时逃逸群体数量巨大,目前三都澳渔获的大黄鱼群体多为养殖逃逸和增殖放流的群体。本研究表明,大黄鱼生物量的比例与 H' 值和种类数量都存在明显的负相关关系,因此三都澳大黄鱼逃逸群体潜在的生态风险不容忽视,三都澳生态系统对逃逸群体的承载力需要进一步评估。

3.3 三都澳游泳动物群落结构稳定性及其变动原因

从三都澳4个航次的ABC曲线可以看出,游泳动物群落存在明显的季节变化趋势。我们推测可能与繁殖群体进出湾内、补充群体的生长以及捕捞

表2 不同海域鱼类分类多样性指数的比较
Table 2 Comparison of taxonomic diversity indices of fish species between Sandu Bay and other areas

区域 Area	平均分类差异指数 Average taxonomic distinctness	分类差异变异指数 Variation in taxonomic distinctness	参考文献 Reference
三都澳 Sandu Bay	59.5	260.8	本次调查 This investigation
东海陆架 East China Sea Continental Shelf	65.7	120.0	李圣法, 2005
东山湾 Dongshan Bay	65.8	129.5	林龙山等, 2012
大亚湾 Daya Bay	62.2	110.0	李娜娜等, 2011
东沙群岛 Dongsha Islands	55.2	110.0	史赞荣等, 2009

量的季节性变化等多种因素有关。5月由于大量繁殖群体进入湾内, 游泳动物大个体比例较高, 生物量优势度曲线位于数量优势度曲线之上; 9月由于补充群体的作用, 小个体群体数量增加, 游泳动物的平均体重也降低, 生物量优势度曲线与数量优势度曲线出现交叉; 10月由于秋季补充群体的作用和近距离洄游种类退出湾内, 游泳动物平均体重也进一步降低, 生物量优势度曲线位于数量优势度曲线之下, 群落结构处于严重干扰状态; 1月随着补充群体的生长及冬季捕捞量的降低, 群落结构状况也随之好转。

此外, 对游泳动物种类组成特征的分析表明游泳动物种类组成已发生显著变化。沈长春(2011b)对鱼卵仔稚鱼的调查也表明, 该海域几乎没有大黄鱼、带鱼、真鲷等重要经济鱼类产卵, 繁殖力强、繁殖周期短且数量季节及年际变动剧烈的低质鱼类取代营养级高、繁殖力低的优质鱼类的现象明显。由于ABC曲线是通过生物量优势度曲线和数量优势度曲线的相对位置来反映群落结构的状况, 反映了群落中大型种类和小型种类相对数量的变化以及个体大小组成的变化(李圣法, 2008), 因此三都澳游泳动物种类组成上的这种改变, 可能使得补充群体数量波动剧烈, 一定程度上也放大了群落结构的不稳定性。

另一方面, 在人类活动影响和环境变化扰动下, 鱼类群落的分类学范围对维持系统的稳定性是十分重要的(徐宾铎等, 2007)。一般来说, 未受扰动的群落往往包括形态差异显著, 以及不同门类的种类, 而在受到严重扰动的生境中, 物种多样性较低, 且往往由一些密切关联的种类组成。对于2个不同群落来说, 其物种多样性可能相同, 但多样性的等级水平可能不同, 因而其对干扰的承受能力也不同(Warwick & Clarke, 1998; 徐宾铎等, 2007)。三都澳

现有鱼类的分类多样性指数计算结果表明其多样性较低。对比我国近岸其他海域已有报道的分类多样性指数(分类等级多样性权重值相同), 三都澳鱼类平均分类差异指数(Δ^+)只高于东沙群岛, 分类差异变异指数(Δ^+)明显高于其他海域(表2)。这表明, 相对于其他海域, 三都澳鱼类群落分类学范围较小, 种类组成亲缘关系较近, 且群落间的分类地位关系极不均匀, 多数种类集中在极少的几个目里。从本次的调查结果来看, 三都澳鱼类种类组成逐渐演变成以鲈形目(51.79%)中的虾虎鱼类(14.73%)、鲹形目(11.61%)和鲱形目(8.48%)等体型小、繁殖能力强的种类为主的结构, 致使三都澳物种多样性只能维持在中下水平, 分类学范围收窄。因此, 要修复三都澳游泳动物群落, 除了降低捕捞量, 减少对生境的破坏, 执行伏季休渔和增殖放流政策外, 在增殖放流种类的选择上除了要考虑经济价值外, 还要考虑种类的适应性和成活率以及是否能提高整个群落的分类学范围和功能多样性, 以提高群落抗干扰和恢复能力。

参考文献

Cai QH (蔡清海) (2007) Study on marine ecological environment of Sansha Bay in Fujian. *Environmental Monitoring in China* (中国环境监测), **23**(6), 101–105. (in Chinese with English abstract)
Clarke KR, Warwick RM (1998) A taxonomic distinctness index and its statistical properties. *Journal of Applied Ecology*, **35**, 523–531.
Dai YY (戴燕玉) (2006) Distribution of fish eggs, larvae and juveniles in Sansha Bay, Fujian. *Journal of Oceanography in Taiwan Strait* (台湾海峡), **25**, 256–261. (in Chinese with English abstract)
Du JG (杜建国), Chen B (陈彬), Lu ZB (卢振彬), Song PQ (宋普庆), Xu ZC (许章程), Yu WW (俞炜炜), Song XK (宋希坤) (2010) Changes of fish diversity and trophic levels in Quanzhou Bay. *Biodiversity Science* (生物多样性), **18**,

- 420–427. (in Chinese with English abstract)
- Editorial Committee of Fishes of Fujian Province (福建鱼类志编写组) (1985) *The Fishes of Fujian Province* (福建鱼类志). Fujian Science and Technology Press, Fuzhou. (in Chinese)
- Hobbie JE (2000) *Estuarine Science: A Synthetic Approach to Research and Practice*. Island Press, Washington, DC.
- Huang ZG (黄宗国), Lin M (林茂) (2012) *The Living Species and Their Illustrations in China's Seas* (中国海洋生物图集). China Ocean Press, Beijing. (in Chinese)
- Knap AH (2002) Indicators of ocean health and human health developing a research and monitoring framework. *Environmental Health Perspectives*, **110**, 839–845.
- Li F (李凡), Xu BQ (徐炳庆), Ma YQ (马元庆), Lü ZB (吕振波), Wang TT (王田田) (2014) Seasonal changes of functional guilds of fish community in Laizhou Bay, East China. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), **34**, 1736–1745. (in Chinese with English abstract)
- Li F (李凡), Zhang HJ (张焕君), Lü ZB (吕振波), Xu BQ (徐炳庆), Zheng L (郑亮) (2013) Species composition and community diversity of nekton in Laizhou Bay, China. *Biodiversity Science* (生物多样性), **21**, 537–546. (in Chinese with English abstract)
- Li NN (李娜娜), Dong LN (董丽娜), Li YZ (李永振), Ai H (艾红), Li X (李夏), Chen GB (陈国宝), Shi YR (史赞荣) (2011) Taxonomic diversity of fish species in the Daya Bay, the South China Sea. *Journal of Fisheries of China* (水产学报), **35**, 863–870. (in Chinese with English abstract)
- Li SF (李圣法) (2005) *The Ecological Study for Fish Community in the East China Sea Continental Shelf: the Spatial Pattern and Diversity* (东海大陆架鱼类群落生态学研究——空间格局及其多样性). PhD dissertation, East China Normal University, Shanghai. (in Chinese with English abstract)
- Li SF (李圣法) (2008) Status of fish community in East China Sea using the method of Abundance Biomass Comparison (ABC) curve. *Journal of Fishery Sciences of China* (中国水产科学), **15**, 136–144. (in Chinese with English abstract)
- Lin LS (林龙山), Wang YP (王燕平), Li Y (李渊), Zhang J (张静), Gao TX (高天翔) (2012) Taxonomic diversity of fish species in Dongshan Bay, China and adjacent areas. *Journal of Fishery Sciences of China* (中国水产科学), **19**, 1060–1067. (in Chinese with English abstract)
- Mills DH (1982) Britain's native trout is floundering. *New Scientist*, **96**, 199–213.
- Pinkas ER (1971) Ecology of the agamid lizard *Amphibolurus isolepis* in western Australia. *Copeia*, **3**, 527–536.
- Shen GY (沈国英), Shi BZ (施并章) (2002) *Marine Ecology* (海洋生态学). Science Press, Beijing. (in Chinese)
- Shen CC (沈长春) (2011a) Fish community composition and diversity in Sansha Bay of Fujian. *Marine Fisheries* (海洋渔业), **33**, 258–264. (in Chinese with English abstract)
- Shen CC (沈长春) (2011b) Species composition and abundance temporal-spatial distribution of fish egg, larvae and juveniles in Sansha Bay of Fujian. *Marine Fisheries* (海洋渔业), **33**, 361–367. (in Chinese with English abstract)
- Shi YR (史赞荣), Li YZ (李永振), Lu WH (卢伟华), Sun DF (孙冬芳) (2009) Taxonomic diversity of fish species in coral reef area from Dongsha Islands. *South China Fisheries Science* (南方水产), **5**(2), 10–16. (in Chinese with English abstract)
- Wang JR (王建茹), Lin YS (林元烧), Zhou MY (周美玉), Liu YS (刘育莎) (2010) The ecological distribution of fish eggs and larvae in Sansha Bay, Fujian. *Journal of Xiamen University (Natural Science)* (厦门大学学报), **49** (1), 116–121. (in Chinese with English abstract)
- Warwick RM (1986) A new method for detecting pollution effects on marine macrobenthic communities. *Marine Biology*, **92**, 557–562.
- Warwick RM, Clarke KR (1998) Taxonomic distinctness and environmental assessment. *Journal of Applied Ecology*, **35**, 532–543.
- Willhm JL (1968) Use of biomass units in Shannon's formula. *Ecology*, **49**, 153–156.
- Xu BD (徐宾铎), Ren YP (任一平), Ye ZJ (叶振江), Zeng XQ (曾晓起) (2007) The taxonomic diversity of fish community in the coastal water of Qingdao. *Periodical of Ocean University of China* (中国海洋大学学报), **37**, 907–910. (in Chinese with English abstract)
- Zhou Y (周颖), Zhong CB (钟昌标) (2008) The analysis of offshore aquaculture influence on marine fishery environment. *Fisheries Economy Research* (渔业经济研究), (6), 11–16. (in Chinese with English abstract)

(责任编辑: 李新正 责任编辑: 闫文杰)

附录 Supplementary Material

附录1 福建三都澳游泳动物种类名录

Appendix 1 A checklist of nekton species in Sandu Bay, Fujian
<http://www.biodiversity-science.net/fileup/PDF/w2014-223-1.pdf>

附录1 三都澳游泳动物种类名录

Appendix 1 A checklist of nekton species in Sandu Bay

中文名 Name in Chinese	学名 Scientific name	5月 May	9月 September	10月 October	1月 January
条纹斑竹鲨	<i>Chiloscyllium plagiosum</i>			√	
日本单鳍电鳐	<i>Narke japonica</i>		√		
黄魮	<i>Dasyatis bennetti</i>	√			√
尖嘴魮	<i>Dasyatis zugei</i>			√	
青鳞小沙丁鱼	<i>Sardinella zunasi</i>	√		√	
中华小沙丁鱼	<i>Sardinella nymphaea</i>			√	
金色小沙丁鱼	<i>Sardinella aurita</i>		√		
斑鲹	<i>Clupanodon punctatus</i>	√	√	√	√
花鲹	<i>Clupanodon thrissa</i>	√			√
脂眼鲱	<i>Etrumeus micropus</i>			√	
康氏小公鱼	<i>Stolephorus commersonii</i>	√	√		√
赤鼻棱鲮	<i>Thrissa kammalensis</i>	√			√
黄吻棱鲮	<i>Thrissa vitirostris</i>	√	√		√
汉氏棱鲮	<i>Thrissa hamiltonii</i>		√		
中颌棱鲮	<i>Thrissa mystax</i>		√	√	√
黄鲫	<i>Setipinna taty</i>	√			√
凤鲚	<i>Coilia mystus</i>	√	√		√
七丝鲚	<i>Coilia grayii</i>			√	
龙头鱼	<i>Harpodon nehereus</i>		√	√	√
长蛇鲻	<i>Saurida elongata</i>		√	√	
花斑蛇鲻	<i>Saurida undosquamis</i>			√	
海鳗	<i>Muraenesox cinereus</i>	√		√	
尖尾鳗	<i>Uroconger lepturus</i>	√	√	√	√
黑尾吻鳗	<i>Rhynchoconger ectenurus</i>	√		√	
尖吻蛇鳗	<i>Ophichthys apicalis</i>	√	√	√	
短尾蛇鳗	<i>Ophichthys brevicaudatus</i>	√			
大头蜆鳗	<i>Moringua macrocephalus</i>		√	√	
食蟹豆齿鳗	<i>Pisoodonophis cancrivorous</i>	√	√	√	√
短鳍虫鳗	<i>Muraenichthys hattae</i>			√	
中华海鲶	<i>Arius sinensis</i>		√		√
六指马鲛	<i>Polydactylus sextarius</i>		√	√	√
四指马鲛	<i>Eleutheronema tetradactylum</i>				√
棱鲛	<i>Liza carinatus</i>	√	√		
鲛	<i>Liza haematocheila</i>	√			
鲻	<i>Mugil cephalus</i>		√		√
硬头鲻	<i>Mugil strongylocephalus</i>			√	
油鲳	<i>Sphyraena pinguis</i>		√		
眶棘双边鱼	<i>Ambassis gymnocephalus</i>				√
玳瑁石斑鱼	<i>Epinephelus quoyanus</i>			√	
花鲈	<i>Lateolabrax japonicus</i>	√	√		
短尾大眼鲷	<i>Priacanthus macracanthus</i>		√		
四线鹦竺鲷	<i>Ostorhinchus fasciatus</i>		√		
细条天竺鲷	<i>Apogon lineatus</i>			√	
大甲鲈	<i>Megalaspis cordyla</i>		√		
丽叶鲈	<i>Caranx kalla</i>		√	√	
多鳞鲳	<i>Sillago sihama</i>	√		√	√
少鳞鲳	<i>Sillago japonica</i>				√
中国鲳	<i>Sillago sinica</i>				√

中文名 Name in Chinese	学名 Scientific name	5月 May	9月 September	10月 October	1月 January
白姑鱼	<i>Argyrosomus argentatus</i>	√	√		
叫姑鱼	<i>Johnius belengerii</i>	√	√	√	√
条纹叫姑鱼	<i>Johnius fasciatus</i>			√	√
黄姑鱼	<i>Nibea albiflora</i>	√			
棘头梅童鱼	<i>Collichthys lucidus</i>	√	√	√	√
鲢鱼	<i>Müichthys miiuy</i>	√		√	
大黄鱼	<i>Larimichthys crocea</i>	√	√	√	√
尖头黄鳍牙鲷	<i>Chrysochir aureus</i>				√
短吻鲷	<i>Leiognathus brevirostris</i>	√			√
短棘银鲈	<i>Gerres lucidus</i>	√		√	√
五带笛鲷	<i>Lutianus spilurus</i>		√		
约氏笛鲷	<i>Lutianus johnii</i>		√		
勒氏笛鲷	<i>Lutianus russelli</i>				√
二长棘犁齿鲷	<i>Evynnis cardinalis</i>	√	√		
平鲷	<i>Rhabdosargus sarba</i>		√		
黑鲷	<i>Sparus macrocephalus</i>		√	√	
黄鲷	<i>Taius tumifrons</i>			√	
真鲷	<i>Pagrosomus major</i>	√	√	√	
黄鳍棘鲷	<i>Acanthopagrus latus</i>	√	√		
灰鳍棘鲷	<i>Acanthopagrus berda</i>	√			
金线鱼	<i>Nemipterus virgatus</i>			√	
横带髭鲷	<i>Hapalogenys mucronatus</i>	√	√	√	√
斜带髭鲷	<i>Hapalogenys nitens</i>	√	√	√	
伏氏眶棘鲈	<i>Scolopsis vosmeri</i>			√	
尖吻鲷	<i>Therapon oxyrhynchus</i>	√	√	√	√
鲷	<i>Therapon theraps</i>		√	√	√
细鳞鲷	<i>Therapon jarbua</i>			√	
日本鲱鲤	<i>Upeneus japonicus</i>	√	√	√	√
黄带鲱鲤	<i>Upeneus sulphureus</i>		√		
斑点鸡笼鲷	<i>Dreane punctata</i>				√
六带拟鲈	<i>Parapercis sexfasciatus</i>	√		√	√
鲱鲷	<i>Callionymus beniteguri</i>	√	√		
丝棘鲷	<i>Callionymus flagris</i>		√	√	
锯塘鳢	<i>Prionobutis koilomatodon</i>	√	√	√	√
横带寡鳞虾虎鱼	<i>Oligolepis fasciatus</i>				√
矛尾虾虎鱼	<i>Chaeturichthys stigmatias</i>	√	√		√
六丝矛尾虾虎鱼	<i>Chaeturichthys hexanema</i>	√		√	√
拟矛尾虾虎鱼	<i>Parachaeturichthys polynema</i>	√	√	√	√
纹缟虾虎鱼	<i>Tridentiger trigonocephalus</i>	√	√	√	√
髭缟虾虎鱼	<i>Tridentiger barbatus</i>	√	√	√	√
触角沟虾虎鱼	<i>Oxyurichthys tentacularis</i>	√			
小鳞沟虾虎鱼	<i>Oxyurichthys microlepis</i>		√		
犬牙细棘虾虎鱼	<i>Acentrogobius caninus</i>	√	√	√	
绿斑细棘虾虎鱼	<i>Acentrogobius chlorostigmatoides</i>	√		√	√
凯氏细棘虾虎鱼	<i>Acentrogobius campbelli</i>			√	
中华钝牙虾虎鱼	<i>Apocryptichthys sericus</i>			√	√
斑尾复虾虎鱼	<i>Synechogobius ommaturus</i>	√			√
矛尾复虾虎鱼	<i>Synechogobius hasia</i>	√			
舌虾虎鱼	<i>Glossogobius giuris</i>	√	√		
斑纹舌虾虎鱼	<i>Glossogobius olivaceus</i>	√			

中文名 Name in Chinese	学名 Scientific name	5月 May	9月 September	10月 October	1月 January
长丝虾虎鱼	<i>Cryptocentrus filifer</i>	✓	✓		✓
短吻栉虾虎鱼	<i>Ctenogobius brevirostris</i>		✓		
孔虾虎鱼	<i>Trypauchen vagina</i>	✓	✓	✓	✓
大弹涂鱼	<i>Boleophthalmus pectinirostris</i>			✓	
青弹涂鱼	<i>Scartelaos viridis</i>		✓	✓	
须鳗虾虎鱼	<i>Taenioides cirratus</i>	✓	✓	✓	✓
红狼牙虾虎鱼	<i>Odontamblyopus rubicundus</i>	✓	✓	✓	✓
带鱼	<i>Trichiurus haumela</i>				✓
黄斑篮子鱼	<i>Siganus oramin</i>	✓			
褐篮子鱼	<i>Siganus fuscescens</i>	✓	✓	✓	✓
中国鲳	<i>Pampus chinensis</i>		✓		
吉氏豹鲂鲷	<i>Dactylopterus gilberti</i>		✓		
褐鲳鲷	<i>Sebastiscus marmoratus</i>	✓		✓	✓
绿鳍鱼	<i>Chelidonichthys spinosus</i>	✓			
日本红娘鱼	<i>Lepidotrigla japonice</i>				✓
鲷	<i>Platycephalus indicus</i>	✓	✓	✓	✓
鳄鲷	<i>Cociella crocodila</i>			✓	✓
粒突鳞鲷	<i>Onigocia tuberculatus</i>	✓			
五点斑鲆	<i>Pseudorhombus quinquocellatus</i>		✓		
少牙斑鲆	<i>Pseudorhombus oligodon</i>		✓		
褐牙鲆	<i>Paralichthys olivaceus</i>	✓			✓
卵鲷	<i>Solea ovata</i>	✓	✓		
条鲷	<i>Zebrias zebra</i>		✓	✓	
蛾眉条鲷	<i>Zebrias quagga</i>			✓	
缨鳞条鲷	<i>Zebrias crossolepis</i>		✓		
角鲷	<i>Aesopia cornuta</i>		✓		
日本须鲷	<i>Paraplagusia japonica</i>		✓		
斑头舌鲷	<i>Cynoglossus puncticeps</i>	✓	✓	✓	✓
半滑舌鲷	<i>Cynoglossus semilaevis</i>	✓	✓	✓	✓
大鳞舌鲷	<i>Cynoglossus macrolepidotus</i>	✓	✓	✓	✓
断线舌鲷	<i>Cynoglossus interruptus</i>				✓
短吻红舌鲷	<i>Cynoglossus joyneri</i>	✓	✓	✓	✓
宽体舌鲷	<i>Cynoglossus robustus</i>		✓		
黑鳃舌鲷	<i>Cynoglossus roulei</i>	✓		✓	
褐斑三线舌鲷	<i>Cynoglossus trigrammus</i>	✓			✓
角木叶鲷	<i>Pleuronichthys cornutus</i>			✓	✓
丝背细鳞鲷	<i>Stephanolepis cirrhifer</i>		✓		
绒纹线鳞鲷	<i>Arotrolepis sulcatus</i>		✓	✓	
横纹东方鲀	<i>Fugu oblongus</i>	✓	✓	✓	✓
黄鳍东方鲀	<i>Fugu xanthopterus</i>		✓		✓
铅点东方鲀	<i>Fugu alboplumbeus</i>		✓	✓	
暗纹东方鲀	<i>Fugu obscurus</i>				✓
棕腹刺鲀	<i>Gastrophysus spadiceus</i>			✓	
月尾兔头鲀	<i>Lagocephalus lunaris</i>		✓		
毛躄鱼	<i>Antennarius hispidus</i>		✓		
中华管鞭虾	<i>Solenocera crassicornis</i>	✓	✓	✓	✓
斑节对虾	<i>Penaeus monodon</i>			✓	
墨吉对虾	<i>Penaeus merguensis</i>			✓	
凡纳滨对虾	<i>Litopenaeus vannamei</i>	✓			
长毛明对虾	<i>Fenneropenaeus penicillatus</i>	✓	✓	✓	

中文名 Name in Chinese	学名 Scientific name	5月 May	9月 September	10月 October	1月 January
日本囊对虾	<i>Marsupenaeus japonicus</i>	✓	✓		
哈氏仿对虾	<i>Parapenaeopsis hardwickii</i>	✓	✓	✓	✓
亨氏仿对虾	<i>Parapenaeopsis hungerfordi</i>	✓	✓		
刀额仿对虾	<i>Parapenaeopsis cultrirostris</i>	✓	✓	✓	✓
细巧仿对虾	<i>Parapenaeopsis tenella</i>	✓			✓
刀额新对虾	<i>Metapenaeus ensis</i>	✓		✓	
周氏新对虾	<i>Metapenaeus joyneri</i>	✓	✓	✓	✓
中型新对虾	<i>Metapenaeus intermedius</i>		✓		
近缘新对虾	<i>Metapenaeus affinis</i>		✓		
须赤虾	<i>Metapenaeopsis barbata</i>	✓	✓	✓	✓
鹰爪虾	<i>Trachypenaeus curvirostris</i>	✓	✓	✓	✓
鞭腕虾	<i>Hippolysmata vittata</i>			✓	
葛氏长臂虾	<i>Palaemon gravieri</i>	✓		✓	✓
巨指长臂虾	<i>Palaemon macrodactylus</i>	✓	✓	✓	✓
脊尾白虾	<i>Palaemon carinicauda</i>	✓		✓	✓
鲜明鼓虾	<i>Alpheus distinguendus</i>	✓		✓	✓
日本鼓虾	<i>Alpheus japonicus</i>	✓	✓	✓	✓
短脊鼓虾	<i>Alpheus brevicristatus</i>	✓			✓
刺螯鼓虾	<i>Alpheus hoplocheles</i>	✓			
单肢虾	<i>Sicyonia cristata</i>				✓
日本螯	<i>Charybdis japonica</i>	✓	✓	✓	✓
锐齿螯	<i>Charybdis acuta</i>			✓	✓
锈斑螯	<i>Charybdis feriatus</i>			✓	✓
变态螯	<i>Charybdis variegata</i>	✓	✓		✓
双斑螯	<i>Charybdis bimaculata</i>	✓			✓
直额螯	<i>Charybdis truncata</i>	✓		✓	✓
东方螯	<i>Charybdis orientalis</i>		✓		
红星梭子蟹	<i>Portunus sanguino</i>	✓	✓	✓	✓
矛形梭子蟹	<i>Portunus hastatoides</i>	✓	✓		✓
三疣梭子蟹	<i>Portunus trituberculatus</i>	✓	✓	✓	✓
远海梭子蟹	<i>Portunus pelagicus</i>	✓			
纤手梭子蟹	<i>Portunus gracilimanus</i>		✓	✓	✓
捆剑梭子蟹	<i>Portunus haanii</i>			✓	
锯缘青蟹	<i>Scylla serrata</i>		✓		
双额短桨蟹	<i>Thalamita sima</i>			✓	
隆线强蟹	<i>Eucrate crenata</i>	✓			
字纹弓蟹	<i>Varuna litterata</i>	✓		✓	✓
狭颚绒螯蟹	<i>Eriocheir leptognathus</i>		✓		
口虾蛄	<i>Oratosquilla oratoria</i>	✓	✓	✓	✓
断脊小口虾蛄	<i>Oratosquilla interrupta</i>		✓		
条尾近虾蛄	<i>Anchisquilla fasciata</i>	✓			
圆尾绿虾蛄	<i>Clorida rotundicauda</i>		✓		
小管枪乌贼	<i>Loligo oshimai</i>		✓		
火枪乌贼	<i>Loligo beka</i>			✓	✓
短蛸	<i>Octopus ocellatus</i>	✓		✓	
真蛸	<i>Octopus vulgaris</i>		✓		
长蛸	<i>Octopus variabilis</i>	✓		✓	