中国水产科学 2016 年 1 月, 23(1): 177–187
Journal of Fishery Sciences of China

研究论文

DOI: 10.3724/SP.J.1118.2016.15133

南沙群岛西南部海域和北部湾口海域底层游泳动物多样性

李渊[1,4], 张静[2,4], 张然[1], 宋普庆[1], 钟指挥[1], 王燕平[1], 林龙山[1], 窦硕增[3]

1. 国家海洋局 第三海洋研究所, 海洋生物与生态实验室, 福建 厦门 361005;
2. 集美大学 水产学院, 福建 厦门 361021;
3. 中国科学院 海洋研究所, 海洋生态与环境科学重点实验室, 山东 青岛 266071;
4. 福建省海洋渔业资源与生态环境重点实验室, 福建 厦门 361021

摘要: 根据 2012—2013 年在南沙群岛西南部和北部湾口海域进行的秋季和春季两个航次的调查资料, 分析了这两个区域游泳动物的种类组成, 计算渔获种类的相对重要性指数(IRI)、Margalef 种类丰富度指数(D)、Shannon-Weiner 种类多样性指数(H')、Pielou 均匀度指数(J')和资源密度。结果表明, 南海调查海域春秋两个航次的渔获物中, 共鉴定出游泳动物 663 种, 隶属于 4 纲 36 目 171 科 374 属; 其中鱼类为 504 种, 占所有渔获种类的 76.0%。优势种种数较少, 且季节变化较大。春季游泳动物的多样性指数高于秋季, 这主要是由于春季出现大量补充群体, 并且有许多种类在秋季向较深海区移动所造成的。南沙群岛西南部海域游泳动物多样性指数高于北部湾口海域, 这可能是由于南沙群岛西南部海域受水温和洋流的影响较大所造成的。目前, 南海北部渔业资源处于过度捕捞状态, 资源结构呈现小型化和低值化。对南北海域资源调查结果进行比较发现, 南沙群岛西南部海域资源相对较好。应合理开发利用该海域渔业资源, 同时加强物种多样性的保护工作。

关键词: 南海; 游泳动物; 物种多样性; 相对重要性指数
中图分类号: S931 文献标志码: A 文章编号: 1005–8737–(2016)01–0177–11

南海是地处东亚热带、热带的陆缘海, 物种丰富、资源富饶, 是世界海洋生物多样性较高的海区之一[1], 也是广东省、广西壮族自治区和海南省渔民从事渔业活动的主要海域。中国对南海渔业资源的调查和研究已有很多, 但主要集中在北部大陆架、南海诸岛和珊瑚礁海域, 研究内容包括渔业资源数量[2–4]、群落结构[5–6]、种类组成[7–8]、物种多样性[8–10]、分类多样性[11–12]和声学评估[13]等方面, 而针对南沙群岛西南部陆架区的调查相对较少, 仅见 1990—1993 年的 5 个航次和 2003 年的 2 个航次[8, 14–15]。对于南海大面积海域的调查以及同步开展南海西南部和北部渔业资源底拖网调查和研究尚未见报道。为此, 本研究根据 2012—2013 年南海春秋两季大面积调查取得的底拖网资料, 对南海这两个区域的游泳生物多样性进行了初步分析, 并在时间和空间上与历史相关资料进行比较, 为进一步了解南海游泳动物物种多样性提供基础资料, 为中国开发利用和管理南海渔业资源提供决策依据。

1 材料和方法

1.1 调查区域和样品鉴定

2012 年 9—10 月(秋季)和 2013 年 3—4 月(春季)在南海进行了两个航次的底拖网调查, 共设

收稿日期: 2014-04-07; 修订日期: 2014-07-09.
基金项目: 全球变化与海气相互作用专项(GASI-02-SCS-YSWspr, GASI-02-SCS-YSWaut); 国家自然科学基金委员会–山东省人民政府联合资助海洋科学研究中心项目(U1406403); 福建省海洋渔业资源与生态环境重点实验室开放基金资助项目.
作者简介: 李渊, 男, 博士, 从事渔业资源及海洋生态学研究. E-mail: liyuan1@tio.org.cn
通信作者: 林龙山, 研究员. E-mail: linlongshan@tio.org.cn

31 个调查站位(图 1), 调查范围在 5°15′~18°00′N, 109°00′~112°00′E。为了比较南海南、北游泳动物多样性差异, 按照图 1 所示, 将调查海域分为北部湾口海域(SN, 包括 11 个站位)和南沙群岛西南部海域(SS, 包括 20 个站位)。

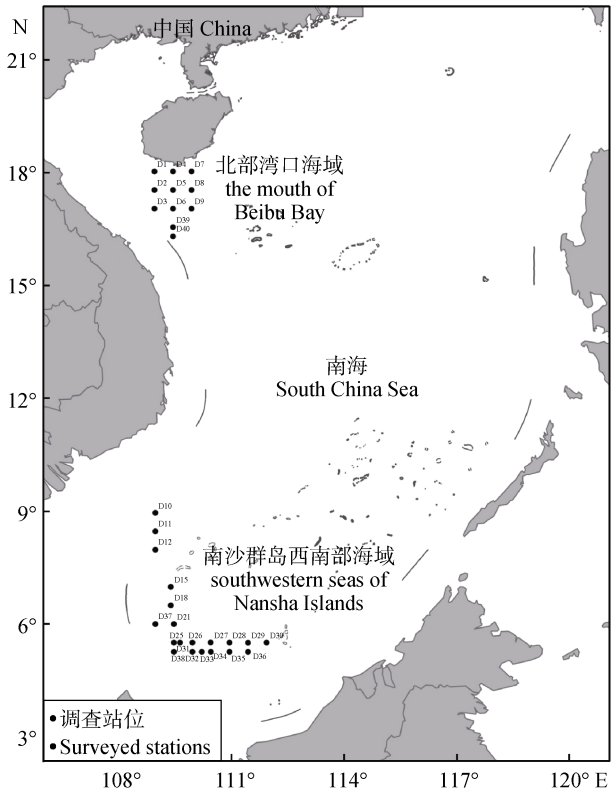

图 1 南海调查站位

Fig. 1 Surveyed stations in South China Sea

调查船为“桂北渔 60011”, 渔船钢质, 总吨位 300 t, 总长 36.8 m, 型宽 6.8 m, 型深 3.8 m, 主机功率 441 kW。单囊底拖网网衣长度为 59.5 m, 网口拉紧周长为 80.8 m, 网口宽度为 37.7 m, 网囊网目为 40 mm。根据调查海域底质情况和水文环境, 每站拖网 1 次, 时间为 1 h, 平均拖网速度为 3 kn。采样及样品分析严格按照《海洋调查规范》(GB/T 12763.6—2007)进行[16]。

1.2 多样性分析

采用相对重要性指数(IRI)、季节更替率(R)、Margalef 种类丰富度指数(D)、Shannon-Weiner 种类多样性指数(H')及 Pielou 均匀度指数(J')[17–21]对两个海域游泳动物种类及其多样性进行分析。鉴于不同种类之间及同种类的个体差异较大, 故用渔获质量代替种类个数, 来计算物种多样性指数, 结果会更接近种类间能量的分布[19]。

$$\mathrm{IRI}=(N+W)\times F \tag{1}$$

式中, 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。

$$R = m/M \tag{2}$$

式中, m 为两个季节间不相同的物种数, M 为两个季节总物种数。

Margalef 种类丰富度指数: $$D=\frac{(S-1)}{\ln N} \tag{3}$$

Shannon-Weiner 种类多样性指数:

$$H'=-\mathrm{c}\sum_{i=1}^{S}P_i\ln P_i \tag{4}$$

式(3)和式(4)中, S 为种类数, N 为尾数, P_i 为第 i 种渔获物重量占总渔获重量的比例, c 为常数, 一般设为 1。

Pielou 均匀度指数: $$J'=\frac{H'}{\ln(S)} \tag{5}$$

资源密度: $$P=\frac{C}{q\times A} \tag{6}$$

式中, P 为资源密度(质量: kg/km^2, 尾数: ind/km^2); C 为每小时取样面积内的渔获量(kg)或尾数(ind); q 为网具捕获率, 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、鲳亚目) 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 结果与分析

2.1 渔获游泳动物种类组成

在南海调查海域, 从春季和秋季两个航次捕获的渔获物主要依据戴爱云等[22]、董正之[23]和 Nelson[24]分类系统标准进行鉴定, 共鉴定游泳动物 663 种, 隶属于 36 目 171 科 374 属(表 1)。鱼类种类数最多, 共 31 目 129 科 294 属 504 种, 约占出现种类总数的 76.0%; 其中软骨鱼纲为 9 目 19 科 25 属 33 种, 如梅花鲨(*Halaelurus buergeri*)、许氏犁头鳐(*Rhinobatos schlegelii*)等; 辐鳍鱼纲为 22 目 110 科 269 属 471 种, 如深水金线鱼

(*Nemipterus bathybius*)、六指多指马鲅(*Polydactylus sextarius*)等。头足纲为 3 目 7 科 13 属 32 种, 约占出现种类总数的 4.8%, 如太平洋褶柔鱼(*Todarodes pacificus*)、条纹蛸(*Octopus marginatus*)等。软甲纲为 2 目 35 科 67 属 127 种, 约占出现种类总数的 19.2%, 包括口足类 14 种、虾类 75 种、蟹类 38 种, 如日本齿指虾蛄(*Odontodactylus japonicus*)、波罗门赤虾(*Metapenaeopsis palmensis*)、长崎无毛蛛蟹(*Eplumula phalangium*)等。调查海域中, 有 7 个站的水深超过 200m (D9、D15、D19、D29、D37、D39、D40), 最深站位在秋季航次的 D9 站(820 米)。在这 7 个深海站位, 共捕获游泳动物 274 种, 其中出现大量深海种类, 如白斑深海鳐(*Bathyraja albomaculata*)、亮乌鲨(*Etmopterus lucifer*)、安的列斯塔氏鱼(*Talismania antillarum*)、短颌灯笼鱼(*Myctophum brachygnathum*)、中华后海螯虾(*Metanephrops sinensis*)、鳞纹真寄居蟹(*Dardanus arrosor*)等。

在北部湾口海域, 出现游泳动物 414 种, 隶属于 31 目 132 科 252 属。鱼类有 301 种, 其中, 软骨鱼纲为 6 目 9 科 9 属 14 种, 辐鳍鱼纲为 20 目 91 科 186 属 287 种。头足纲为 3 目 7 科 12 属 28 种; 软甲纲为 2 目 25 科 45 属 85 种。在南沙群岛西南部海域出现游泳动物 460 种, 隶属于 32 目 135 科 264 属。鱼类有 357 种, 其中, 软骨鱼纲为 8 目 16 科 21 属 26 种, 辐鳍鱼纲为 19 目 92 科 198 属 331 种。头足纲为 3 目 6 科 10 属 19 种; 软甲纲为 2 目 25 科 47 属 84 种。同时出现在北部湾口海域和南沙群岛西南部海域的种类有 206 种, 隶属于 26 目 90 科 141 属, 如暗影绒毛鲨(*Cephaloscyllium isabellum*)、深水金线鱼(*Nemipterus bathybius*)、神户乌贼(*Sepia kobiensis*)等。

2.2　相对重要性指数

依据 2012—2013 年南海调查海域两个航次的游泳动物调查结果, 计算每个渔获种类的相对重要性指数(IRI)(表 2)。因同属南海海域, 所以采用陈国宝等[9]和江艳娥等[10]的 IRI 范围划分标准: 若 IRI≥500, 则该物种为优势种; 若 500>IRI≥100, 则该物种为主要种; 若 100>IRI≥10, 则该物种为一般种; 若 IRI<10, 则该物种为少见种。春秋两季共有种类数为 187 种, 季节更替率为 71.8%, 表明调查海域游泳动物的季节更替较明显。

在南海调查海域的秋季优势种有 3 种(占总种数 0.9%), 分别为日本发光鲷(*Acropoma japonicum*)、日本竹荚鱼(*Trachurus japonicus*)和锯棘尖牙鲈(*Synagrops serratospinosus*)。主要种有 7 种(占 2.0%), 为日本绯鲤(*Upeneus japonjcus*)、密斑马面鲀(*Thamnaconus tessellatus*)、日本尖牙鲈(*Synagrops japonicus*)等。一般种有 32 种(占 9.2%), 主要有黑鲛鳚(*Lophiomus setigerus*)、剑尖枪乌贼(*Uroteuthis edulis*)、弓背鳄齿鱼(*Champsodon atridorsalis*)等。少见种有 304 种, 占秋季出现总种类数的 87.9%, 主要有棕斑兔头鲀(*Lagocephalus spadiceus*)、黄犁齿鲷(*Evynnis tumifrons*)、猛虾蛄(*Harpiosquilla harpax*)等。

在南海调查海域的春季优势种仅 1 种, 为菲律宾尖牙鲈(*Synagrops philippinensis*)。主要种有 21 种, 主要为大鳞拟棘鲆(*Citharoides macrolepis*)、何氏瓮鳐(*Okamejei hollandi*)、神户乌贼、方板赤虾(*Metapenaeopsis tenella*)、深水金线鱼等。一般种有 49 种(占 9.7%), 主要有密斑马面鲀、双斑蟳(*Charybdis bimaculata*)、短蛸(*Octopus fangsiao*)等。少见种有 435 种, 占春季出现总种类数的 86.0%, 主要有乌鲹(*Parastromateus niger*)、太平洋褶柔鱼(*Todarodes pacificus*)、大管鞭虾(*Solenocera melantho*)等。

在北部湾口调查海域, 优势种有 3 种, 为日本竹荚鱼、日本发光鲷和蓝圆鲹(*Decapterus maruadsi*)。主要种有 8 种, 为弓背鳄齿鱼、假长锋拟对虾(*Parapenaeus fissuroides*)、短尾大眼鲷(*Priacanthus macracanthus*)、金乌贼(*Sepia esculenta*)、黄鳍马面鲀(*Thamnaconus hypargyreus*)等。一般种有 28 种, 主要有灰软鱼(*Malakichthys griseus*)、日本绯鲤、剑尖枪乌贼、刺鲳(*Psenopsis anomala*)等。少见种有 315 种, 占总种类数的 76.1%, 主要有叉斑狗母鱼(*Synodus macrops*)、虎斑乌贼(*Sepia pharaonis*)、乌鲹等。

表 1 南海调查海域渔获物种类数量组成及其所占比例

Tab. 1 Species composition and proportion in the research areas of South China Sea

纲 class	目 order	科 family	属 genus	种 species
软骨鱼纲 Elasmobranchii	银鲛目 Chimaeriformes	1(0.6)	1(0.3)	1(0.2)
	须鲨目 Orectolobiformes	1(0.6)	1(0.3)	1(0.2)
	真鲨目 Carcharhiniformes	3(1.8)	6(1.6)	8(1.2)
	六鳃鲨目 Hexanchiformes	1(0.6)	1(0.3)	1(0.2)
	角鲨目 Squaliformes	4(2.3)	4(1.1)	5(0.8)
	扁鲨目 Squatiniformes	1(0.6)	1(0.3)	2(0.3)
	电鳐目 Torpediniformes	1(0.6)	1(0.3)	1(0.2)
	鳐目 Rajiformes	3(1.8)	5(1.3)	9(1.4)
	鲼目 Myliobatiformes	4(2.3)	5(1.3)	5(0.8)
辐鳍鱼纲 Actinopterygii	鳗鲡目 Anguilliformes	6(0.4)	18(4.8)	34(5.1)
	鲱形目 Clupeiformes	3(1.8)	4(1.1)	5(0.8)
	鼠鳐目 Gonorynchiformes	1(0.6)	1(0.3)	1(0.2)
	水珍鱼目 Argentiniformes	2(1.2)	3(0.8)	3(0.5)
	巨口鱼目 Stomiiformes	4(2.3)	16(4.3)	23(3.5)
	辫鱼目 Ateleopodiformes	1(0.6)	1(0.3)	1(0.2)
	仙女鱼目 Aulopiformes	3(1.8)	5(1.3)	18(2.7)
	灯笼鱼目 Myctophiformes	2(1.2)	9(2.4)	21(3.2)
	月鱼目 Lampriformes	1(0.6)	1(0.3)	1(0.2)
	须鳃目 Polymixiiformes	1(0.6)	1(0.3)	1(0.2)
	鳕形目 Gadiformes	3(1.8)	8(2.1)	16(2.4)
	鼬鳚目 Ophidiiformes	1(0.6)	8(2.4)	10(1.5)
	鮟鱇目 Lophiiformes	4(2.3)	8(2.1)	15(2.3)
	颌针鱼目 Beloniformes	1(0.6)	1(0.3)	1(0.2)
	金眼鲷目 Beryciformes	5(2.9)	6(1.6)	8(1.2)
	奇金眼鲷目 Stephanoberyciformes	1(0.6)	1(0.3)	1(0.2)
	海鲂目 Zeiformes	4(2.3)	7(1.9)	9(1.4)
	刺鱼目 Gasetrosteiformes	2(1.2)	2(0.5)	3(0.5)
	鲉形目 Scorpaeniformes	8(4.7)	40(10.7)	71(10.7)
	鲈形目 Perciformes	45(26.3)	89(23.8)	158(23.8)
	鲽形目 Pleuronectiformes	7(4.1)	25(6.7)	46(6.9)
	鲀形目 Tetraodontiformes	5(2.9)	15(4.0)	25(3.8)
头足纲 Cephalopoda	枪形目 Myopsida	4(2.3)	7(1.9)	11(1.7)
	乌贼目 Sepiida	2(1.2)	4(1.1)	11(1.7)
	八腕目 Octopoda	1(0.6)	2(0.5)	9(1.4)
软甲纲 Malacostraca	口足目 Stomatopoda	4(2.3)	11(2.9)	14(2.1)
	十足目 Decapoda	31(18.1)	56(15.0)	113(17)
合计 total	36	171	374	663

注: 括号中数值为所占比例(%).

Note: Values in brackets mean the percentage (%).

在南沙群岛西南部调查海域, 优势种有 1 种, 为锯棘尖牙鲈。主要种有 14 种, 如密斑马面鲀、深水金线鱼、燕赤鲌(*Chelidoperca hirundinacea*)等。一般种有 28 种, 主要有何氏瓮鳐、短蛇鲻(*Rexea prometheoides*)、剑尖枪乌贼、绿尾低线鱼(*Chrionema chlorotaenia*)等。少见种有 401 种, 主要有鳄鲬(*Cociella crocodilus*)、黑线银鲛(*Chimaera phantasma*)、银光梭子蟹(*Portunus argentatus*)等。

表 2　南海调查海域主要渔业资源种类相对重要性指数

Tab. 2　Index of relative importance (IRI) of main fishery species in the research areas of South China Sea

季节 season				调查海域 research area			
秋季 autumn		春季 spring		南沙群岛西南部海域 southwestern sea of Nansha Islands		北部湾口海域 the mouth of Beibu Bay	
种名 species	IRI	种名 species	IRI	种名 species	IRI	种名 species	IRI
锯棘尖牙鲈 *S. serratospinosus*	1762	菲律宾尖牙鲈 *S. philippinensis*	696	锯棘尖牙鲈 *S. serratospinosus*	1571	日本竹荚鱼 *T. japonicus*	3816
日本竹荚鱼 *T. japonicus*	1046	深水金线鱼 *N. bathybius*	475	密斑马面鲀 *T. tessellatus*	370	日本发光鲷 *A. japonicum*	1733
日本发光鲷 *A. japonicum*	536	日本发光鲷 *A. japonicum*	384	单棘鲹鱼 *C. fimbriatus*	263	蓝圆鲹 *D. maruadsi*	1188
蓝圆鲹 *D. maruadsi*	410	叉斑狗母鱼 *S. macrops*	380	深水金线鱼 *N. bathybius*	229	黄鳍马面鲀 *T. hypargyreus*	427
黄鳍马面鲀 *T. hypargyreus*	224	多齿蛇鲻 *Saurida tumbil*	376	高菱鲷 *Antigoniacapros*	208	短尾大眼鲷 *P. macracanthus*	209
短尾大眼鲷 *P. macracanthus*	190	杜氏枪乌贼 *Uroteuthis duvaucelii*	292	多齿蛇鲻 *S. tumbil*	204	日本带鱼 *Trichiuruslepturus*	166
日本尖牙鲈 *S. japonicus*	163	长体蛇鲻 *Saurida elongata*	271	叉斑狗母鱼 *S. macrops*	200	日本尖牙鲈 *S. japonicus*	151
密斑马面鲀 *T. tessellatus*	155	短尾大眼鲷 *P. macracanthus*	236	菲律宾尖牙鲈 *S. philippinensis*	198	金乌贼 *S. esculenta*	131
灰软鱼 *M. griseus*	145	鹿儿岛水珍鱼 *A. kagoshimae*	227	短尾大眼鲷 *P. macracanthus*	189	细羊舌鲆 *Arnoglossus tenuis*	124
日本绯鲤 *U. japonjcus*	119	南非鳄齿鱼 *Champsodon capensis*	204	黑鲛鳣 *L. setigerus*	167	假长缝拟对虾 *P. fissuroides*	118
		中国枪乌贼 *Uroteuthis chinensis*	203	弓背鳄齿鱼 *C. atridorsalis*	114	弓背鳄齿鱼 *C. atridorsalis*	103
		弓背鳄齿鱼 *C. atridorsalis*	198	日本绯鲤 *U. japonjcus*	108		
		燕赤鲌 *C. hirundinacea*	183	土佐副眶棘鲈 *P. tosensis*	106		
		土佐副眶棘鲈 *Parascolopsis tosensis*	181	燕赤鲌 *C. hirundinacea*	102		
		单棘鲹鱼 *Chaunax fimbriatus*	160	长体蛇鲻 *Sauridaelongata*	101		
		黑鲛鳣 *L. setigerus*	152				
		花斑蛇鲻 *Saurida undosquamis*	147				
		方板赤虾 *M. tenella*	145				
		神户乌贼 *S. kobiensis*	141				
		何氏瓮鳐 *O. hollandi*	127				
		绿尾低线鱼 *C. chlorotaenia*	113				
		大鳞拟棘鲆 *C. macrolepis*	106				

2.3 游泳动物多样性指数

2012—2013 年南海调查海域游泳动物多样性的区域和季节变化见表 3。从季节来看，Margalef 种类丰富度指数(*D*)的波动最大，为 1.85~12.86，两个季节的平均值为 6.66；春季的平均值>秋季的平均值，并且秋季丰富度指数变化略小于春季。Shannon-Wiener 种类多样性指数(*H*′)的变化范围为 0.43~3.53，两个季节的平均值为 2.55；春季的平均值>秋季的平均值，但春季的游泳动物多样性指数的变化明显小于秋季。均匀度指数(*J*′)的变化范围为 0.12~0.88，两个季节的平均值为 0.68，春季的平均值略高于秋季的平均值。从整体来看，春季的物种多样性相关指数均高于秋季。

表 3 南海调查海域游泳动物多样性指数的季节变化

Tab. 3 Seasonal changes of biodiversity indices of nekton in the research areas of South China Sea

季节 season		Margalef 丰富度指数(*D*)		Shannon-Weine 多样性指数(*H*′)		Pielou 均匀度指数(*J*′)	
		均值 average	范围 range	均值 average	范围 range	均值 average	范围 range
秋季 autumn	SN	5.15	1.85~8.38	2.12	1.13~3.23	0.57	0.37~0.81
	SS	5.80	3.00~8.39	2.39	0.43~3.05	0.69	0.12~0.88
	ALL	5.54	1.85~8.39	2.28	0.43~3.23	0.64	0.12~0.88
春季 spring	SN	7.05	2.93~12.01	2.75	2.09~3.53	0.74	0.58~0.87
	SS	8.16	5.27~12.86	2.85	1.83~3.45	0.69	0.49~0.83
	ALL	7.77	2.93~12.86	2.81	1.83~3.53	0.71	0.49~0.87
均值 average		6.66		2.55		0.68	

综合春秋两个季节调查数据(图 2)，北部湾口海域种类丰富度指数(*D*)平均为 6.10，略低于南沙群岛西南部海域 6.98；多样性指数(*H*′)在南沙群岛西南部海域平均为 2.62，北部湾口海域略低，为 2.44；均匀度指数(*J*′)在南沙群岛西南部海域平均为 0.69，同样略高于北部湾口海域(0.66)。从整体来看，南沙群岛西南部海域的游泳动物物种多样性相关指数均高于北部湾口海域。

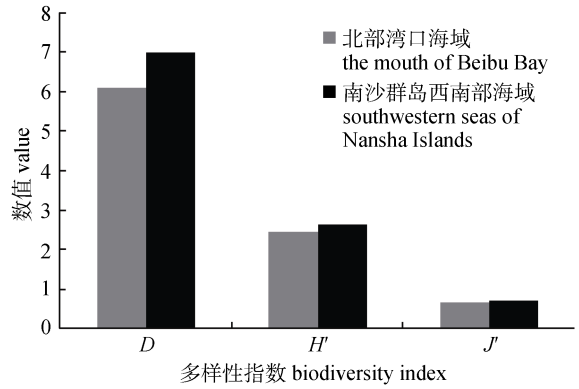

图 2 南海调查海域各区域游泳动物多样性指数比较

Fig. 2 Variation of biodiversity indices of nekton in different areas in the research areas of South China Sea

2.4 资源密度变化

依据资源密度估算公式计算南海调查海域游泳动物的资源密度，春秋两季游泳动物的质量资源密度范围为 1.45~33745.05 kg/km^2，平均为 1991.02 kg/km^2；尾数资源密度范围为 172~5340238 ind/km^2，平均为 157445 ind/km^2。游泳动物的质量渔获率范围为 0.10~2277.56 kg/h，平均为 140.76 kg/h，尾数的渔获率范围为 12~360429 ind/h，平均为 11047 ind/h。其中，春季游泳动物的质量资源密度均值为 1152.79 kg/km^2，尾数的资源密度均值为 55182 ind/km^2；秋季游泳动物的质量资源密度均值为 2829.26 kg/km^2，尾数的资源密度均值为 259709 ind/km^2。

在北部湾口海域，游泳动物的质量资源密度平均为 1482.00 kg/km^2，尾数的资源密度平均为 97434 ind/km^2；游泳动物的质量渔获率平均为 116.07 kg/h，尾数的渔获率平均为 7793 ind/h。在南沙群岛西南部海域，游泳动物的质量资源密度平均为 2292.23 kg/km^2，尾数的资源密度平均为 195524 ind/km^2；游泳动物的质量渔获率平均为 154.83 kg/h，尾数渔获率平均为 13098 ind/h。

调查海域底拖网渔获物主要由鱼类、头足类和

甲壳类三大类群组成, 各类群所占比例的高低显示该类群在渔获物中的重要性。鱼类、头足类和甲壳类三大类群的质量渔获率季节变化情况见表 4。春秋两季三大类群的比例为 94∶4∶2, 这与 1964—1965 年南海北部海区调查结果的三大类群的比例(93∶5∶2)[14]相近。秋季, 鱼类所占的比例明显高于春季; 春季, 头足类的资源密度呈明显上升趋势, 表明头足类获得了更大的生长繁殖空间。

表 4　南海调查海域游泳动物不同类群资源量构成

Tab. 4　Resources composition of nektonic groups in the research areas of the South China Sea

资源量指数 resource index	种类 species	秋季 autumn	春季 spring	合计 total
平均质量渔获率/(kg·h^{-1}) average catch rate in weight	鱼类 Fish	204.06	68.25	136.16
	头足类 Cephalopods	5.15	6.57	5.86
	甲壳类 Crustacea	2.39	1.89	2.14
各类群质量百分比/% percentage of average catch rate in weight	鱼类 Fish	96	89	94
	头足类 Cephalopods	3	9	4
	甲壳类 Crustacea	1	2	2

3　讨论

南海是我国最大的边缘海, 海域宽广, 为热带、亚热带海域。南海的地貌呈现多样性, 从而造就了渔业生态系统和海洋生物的多样化[25]。

3.1　渔获游泳动物种类组成分析

马彩华等[26]统计南海已报道过的种类, 鱼类为 2321 种, 虾类为 135 种, 头足类为 73 种。本次调查共鉴定出游泳动物 663 种, 南沙群岛西南部海域出现的种类数(460 种)高于北部湾口海域出现的种类数(414 种), 但均明显低于已报道的种类数。这主要是因为本次调查仅进行两个航次, 并且是采用底拖网的调查方式, 调查海域仅局限在适合底拖网的海域, 对中上层海域和珊瑚礁海域取样有限。出现种类数高于南海北部大陆架(617 种)[10]和北部湾(329 种)[27]游泳动物的调查结果。1990—1993 年进行的南沙群岛西南部大陆架调查[14], 在整理资料时, 将非经济鱼类及幼鱼剔除, 主要经济鱼类为 360 余种, 略高于本次南沙群岛西南部调查出现的鱼类种类数(357 种)。黄线紫鱼(*Pristipomoides multidens*)、黑斑条尾魟(*Taeniura melanospilos*)、斜鳞鲷(*Pinjalo pinjalo*)、摩鹿加绯鲤(*Moluccan goatfish*)等经济鱼类在本次调查中没有出现。由此可见, 该海域游泳动物资源种类组成已经发生改变。

比较发现, 本次调查所出现游泳动物的种类数高于过去南海北部海域调查所出现的游泳动物种类数, 而这次南沙群岛西南部海域出现鱼类的种类数低于历史调查结果。分析原因可能有以下几点: (1) 本次调查海域纬度更低, 常年较高的水温孕育了相对较高的生物多样性, 且此次调查海域拥有更为复杂的海流、底质和生态环境等[10, 26], 这也为较多的游泳动物提供了各种生境条件。(2) 经过几十年的开发利用, 目前南海北部海域的资源已被过度开发, 造成一些物种的消失, 种类数减少[25]。(3) 本次调查仅为两个航次, 低于 1990—1993 年的调查次数, 一些种类特别是洄游特征明显的种类没有采集到, 同时, 近年来对南海中南部海域的逐渐开发利用也可能是造成种类数降低的一个原因。

3.2　相对重要性指数和多样性指数分析

在自然条件下, 海洋渔业资源的种类更替是比较缓慢的, 种类组成结构处于相对稳定状态。而本次调查显示, 春季的重要种类(包括优势种和主要种)明显多于秋季, 而且游泳动物更替较明显, 表明目前该海域受到人类活动的干扰在加强, 特别是捕捞业的影响加速了种类季节间的更替过程, 种类组成结构明显改变[25]。本次调查统计结果, 优势种仅为 4 种, 而且季节更替明显, 明显低于过去南海北部大陆架调查和北部湾调查统计得出的优势种种数[10, 28], 在调查海区内南沙群岛西南部海域优势种数量同样低于北部湾口海域优势种

数量，这与过去的调查统计结果一致，表明优势种种数随纬度升高而增加的变化趋势。

从本次南海调查海域游泳动物多样性的季节变化(表 3)来看，Margalef 种类丰富度指数、Shannon-Wiener 种类多样性指数和均匀度指数均表现为春季高于秋季，这可能与春季出现大量补充群体而许多种类在秋季向较深海区移动有关[25]。从南海调查海域游泳动物多样性的空间分布(图 2)来看，Margalef 种类丰富度指数、Shannon-Wiener 种类多样性指数和均匀度指数均表现为南沙群岛西南部海域高于北部湾口海域，这可能是由于南沙群岛西南部海域受水温和洋流的影响较大，导致种类变化较大，使多样性指数较高[29]。

3.3 资源密度变化分析

我们将本次调查海域的资源量变化情况与过去南海北部海域的调查结果(表 5)进行比较，从年平均值来看，本次调查的渔获率(140.76 kg/h)和资源密度(1991.02 kg/km^2)明显高于大陆架浅海、近海、北部湾和中南部海域，是它们的 2~5 倍。从季节特征来看，春季和秋季的渔获率和相对资源密度同样高于南海北部各海域，是其 1~3 倍和 2~9 倍。依据海洋学特征，渔业资源密度和生产力以沿岸海域最高，并随着水深增加而逐渐下降，但就目前调查来看，南海北部海域和本次调查海域资源密度的分布情况正好相反，南海北部海域资源密度明显低于本次调查海域，这种现象主要是南海北部海域承受持续多年的过度捕捞造成的，而众多的调查研究也表明，南海北部陆架区的渔业资源持续衰退，目前已处于严重捕捞过度状态，并且其资源结构已向小型化和低值化转变[25, 30]。

表 5 南海北部海域渔获率和资源密度[30]

Tab. 5 The catch rate and resource density of fishery resources in northern seas of South China Sea[30]

海区 area	渔获率/(kg·h^{-1})catch rate			资源密度/(kg·km^{-2})stock density		
	年平均 annual average	秋季 autumn	春季 spring	年平均 annual average	秋季 autumn	春季 spring
大陆架浅海 shallow sea of continental shelf	26.5	20.1	23.8	394	299	353
近海 coastal sea	36.0	23.8	31.3	535	353	464
外海 open sea	37.1	26.7	41.4	550	397	610
北部湾沿岸 coast along Beibu Bay	60.9	71.1	72.2	902	1054	1071
中南部 central and southern seas	53.7	51.1	58.9	796	78	873

南海是世界上海洋生物多样性最高的海域之一，具有其他海域不可比拟的优越性，而且南海游泳动物的高多样性使之成为重要的渔业资源宝库，具有重大的开发价值，但是高物种多样性并非意味着高生物量[26]。目前，南海北部海域的渔业资源已充分开发，甚至处于过度捕捞状态，今后应加强渔业管理和物种多样性保护，指导渔民合理、有序地开发南海中南部渔业资源，以保障整个南海渔业的可持续性。

参考文献：

[1] Fisheries Department of the Ministry of Agriculture, Animal Husbandry and Fishery. Survey and Division of Fishery Resources of South China Sea[M]. Guangdong: Guangdong Science Press, 1989: 115–149. [农牧渔业部水产局, 农牧渔业部南海区渔业指挥部. 南海区渔业资源调查和区划[M]. 广东: 广东科技出版社, 1989: 115–149.]

[2] Li Y Z, Chen G B, Yuan W W. Exploitive statusquo and potential of coral reef fishery resources in Nansha Islands waters[J]. Journal of Tropical Oceanography, 2004, 23(1): 69–75. [李永振, 陈国宝, 袁蔚文. 南沙群岛海域岛礁鱼类资源的开发现状和开发潜力[J]. 热带海洋学报, 2004, 23(1): 69–75.]

[3] Yan Y K, Zhou M H. Study on sustainable utilization route of marine fishery resources in South China Sea[J]. Chinese Fisheries Economics, 2010, 28(1): 110–116. [阎玉科, 周明华. 南海海洋渔业资源可持续利用路径探讨[J]. 中国渔业经济, 2010, 28(1): 110–116.]

[4] Liu W D, Lin Z J, Jiang Y E, et al. Spatial distribution of demersal fishery resources in the continental shelf of the northern South China Sea[J]. Journal of Tropical Oceanog-

raphy, 2011, 30(5): 95–103. [刘维达, 林昭进, 江艳娥, 等. 南海北部陆架区底层渔业资源的空间分布特征[J]. 热带海洋学报, 2011, 30(5): 95–103.]

[5] Wang X H, Lin Z J, Du F Y, et al. Fish species composition and community pattern in the continental shelf of northwestern South China Sea[J]. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(7): 2225–2235. [王雪辉, 林昭进, 杜飞雁, 等. 南海西北部陆架区鱼类的种类组成与群落格局[J]. 生态学报, 2013, 33(7): 2225–2235.]

[6] Chen W H, Liu X D, Lu H S. Research on seasonal changes of the fish structure community in Nansha Islands waters[J]. Journal of Tropical Oceanography, 2010, 29(4): 118–124. [陈文河, 刘学东, 卢伙胜. 南沙群岛海域鱼类群落结构的季节性变化研究[J]. 热带海洋学报, 2010, 29(4): 118–124.]

[7] Sun D R, Li Y, Wang X H. Seasonal changes of species composition and diversity of fishes in coastal waters of Hainan Island, China[J]. South China Fisheries Science, 2012, 8(1): 1–7. [孙典荣, 李渊, 王雪辉. 海南岛近岸海域鱼类物种组成和多样性的季节变动[J]. 南方水产科学, 2012, 8(1): 1–7.]

[8] Zhong Z H, Chen Z Z, Liu G M. Species composition and quantity dynamics of main economical fishes from bottom trawl in southwestern continental shelf of Nansha Islands[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2005, 12(6): 796–800. [钟智辉, 陈作志, 刘桂茂. 南沙群岛西南陆架区底拖网主要经济渔获种类组成和数量变动[J]. 中国水产科学, 2005, 12(6): 796–800.]

[9] Chen G B, Li Y Z, Chen X J. Species diversity of fishes in the coral reefs of South China Sea[J]. Biodiversity Science, 2007, 15(4): 373–381. [陈国宝, 李永振, 陈新军. 南海主要珊瑚礁水域的鱼类物种多样性研究[J]. 生物多样性, 2007, 15(4): 373–381.]

[10] Jiang Y E, Lin Z J, Huang Z R. Biodiversity of fishery resources in the continental shelf of northwestern South China Sea[J]. South China Fisheries Science, 2009, 5(5): 32–37. [江艳娥, 林昭进, 黄梓荣. 南海北部大陆架区渔业生物多样性研究[J]. 南方水产, 2009, 5(5): 32–37.]

[11] Shi Y R, Li Y Z, Lu W H, et al. Taxonomic diversity of fish species in coral reef area from Dongsha Islands[J]. South China Fisheries Science, 2009, 5(2): 10–16. [石赟荣, 李永振, 卢伟华, 等. 东沙群岛珊瑚礁海域鱼类物种分类多样性研究[J]. 南方水产, 2009, 5(2): 10–16.]

[12] Li Y Z, Shi Y R, Ai H, et al. Large scale distribution patterns of taxonomic diversity of fish in coral reef waters, South China Sea[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2011, 18(3): 619–628. [李永振, 石赟荣, 艾红, 等. 南海珊瑚礁海域鱼类分类多样性大尺度分布格局[J]. 中国水产科学, 2011, 18(3): 619–628.]

[13] Yang Q, Li Y Z, Zhang P, et al. Acoustic survey of the *Symplectoteuthis oualaniensis* resources in the South China Sea based on light falling-net[J]. Journal of Fisheries of China, 2013, 37(7): 1032–1039. [杨权, 李永振, 张鹏, 等. 基于灯光罩网法的南海鸢乌贼声学评估技术研究[J]. 水产学报, 2013, 37(7): 1032–1039.]

[14] Academia Sinica to the Nansha Islands, South China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences. Research Report on Bottom Trawl Fishery Resources Investigation in Southwestern Continental Shelf Sea Waters of Nansha Islands[C]. Beijing: China Ocean Press, 1996: 1–57. [中国科学院南沙综合科学考察队, 中国水产科学研究院南海水产研究所. 南沙群岛西南部陆架海区底拖网渔业资源调查研究专集[C]. 北京: 海洋出版社, 1996: 1–57.]

[15] Li H Q. A preliminary study on fisheries biology of main commercial fishes in the continental shelf to the southwest of Nansha Island[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 1996, 3(1): 27–31. [李辉权. 南沙群岛西南部陆架海区主要经济鱼类渔业生物学的初步研究[J]. 中国水产科学, 1996, 3(1): 27–31.]

[16] The Quality and Technology Supervision Bureau. Specifications for Oceanographic Survey — Part 6: Marine Biological Survey[S]. 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[S]. 北京: 中国标准出版社, 2007, 56–62.]

[17] Pianka E R. Ecology of the agamid lizard *Amphibolurus isolepis* in Western Australia[J]. Copeia, 1971, 1971(3): 527–536.

[18] Sun R X, Wang Y G, Lian G S, et al. Distribution and community characteristics of planktonic copepods in the northwest coastal waters off Hainan Island[J]. Biodiversity Science, 2014, 22(3): 320–328. [孙柔鑫, 王彦国, 连光山, 等. 海南岛西北沿岸海域浮游桡足类的分布及群落特征[J]. 生物多样性, 2014, 22(3): 320–328.]

[19] Wilhm J L. Use of biomass units in Shannon's formula[J]. Ecology, 1968, 49(1): 153–156.

[20] Ludwig J A, Reynolds J F. Statistical Ecology[M]. New York: John Wiley and Sons, 1988.

[21] Ma K P. Measurement of biological community diversity: measurement of Iα diversity[J]. Chinese Biodiversity, 1994, 2(3): 162–168. [马克平. 生物群落多样性的测度方法: Iα 多样性的测度方法(上)[J]. 生物多样性, 1994, 2(3): 162–168.]

[22] Dai A Y, Yang S L, Song Y Z, et al. Chinese Marine Crabs

[M]. Beijing: China Ocean Press, 1986: 13–519. [戴爱云, 杨思谅, 宋玉枝, 等. 中国海洋蟹类[M]. 北京: 海洋出版社, 1986: 13–519.]

[23] 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[M]. 济南: 山东科学技术出版社, 1991: 146–253.]

[24] Nelson J S. Fishes of the World. [M]. 4th ed. New York: John Wiley and Sons, Inc, 2006: 39–451.

[25] Qiu Y S, Zeng X G, Chen T, et al. Fishery Resources and Fisheries Management of South China Sea[M]. Beijing: China Ocean Press, 2008: 115–179, 202–208. [邱永松, 曾晓光, 陈涛, 等. 南海渔业资源与渔业管理[M]. 北京: 海洋出版社, 2008: 115–179, 202–208.]

[26] Ma C H, You K, Li F Q, et al. A study on the relationship of the fish biodiversity and the faunal distribution in the South China Sea[J]. Periodical of Ocean University of China, 2006, 36(4): 665–670. [马彩华, 游奎, 李凤岐, 等. 南海鱼类生物多样性与区系分布[J]. 中国海洋大学学报, 2006, 36(4): 665–670.]

[27] Qiao Y L, Lin Z J, Qiu Y S. Change of fishery species community structure during autumn and winter in Beibu Gulf[J]. Journal of Guangxi Normal University, 2008, 26(1): 100–104. [乔延龙, 林昭进, 邱永松. 北部湾秋、冬季渔业生物群落结构特征的变化[J]. 广西师范大学学报, 2008, 26(1): 100–104.]

[28] Qiao Y L, Chen Z Z, Lin Z J. Changes of community structure of fishery species during spring and autumn in Beibu Gulf[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2008, 15(5): 816–821. [乔延龙, 陈作志, 林昭进. 北部湾春、秋季渔业生物群落结构的变化[J]. 中国水产科学, 2008, 15(5): 816–821.]

[29] Lin L S, Zhao G G, Li Y, et al. Diversity of nekton in Dongshan Bay and adjacent areas[J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2012, 36(6): 1119–1127. [林龙山, 赵贵根, 李渊, 等. 东山湾及其邻近海域游泳动物多样性的分析[J]. 水生生物学报, 2012, 36(6): 1119–1127.]

[30] Jia X P, Li Y Z, Li C H, et al. Environment and Fishery Resources in the Exclusive Economic Zone and the Continental Shelf of South China Sea[M]. Beijing: Science Press, 2004: 339–542. [贾晓平, 李永振, 李纯厚, 等. 南海专属经济区和大陆架渔业生态环境与渔业资源[M]. 北京: 科学出版社, 2004: 339–542.]

Diversity of demersal nekton in the southwestern sea of the Nansha Islands and the mouth of Beibu Bay

LI Yuan[1, 4], ZHANG Jing[2, 4], ZHANG Ran[1], SONG Puqing[1], ZHONG Zhihui[1], WANG Yanping[1], LIN Longshan[1], DOU Shuozeng[3]

1. Laboratory of Marine Biology and Ecology, the Third Institute of Oceanography, State Oceanic Administration, Xiamen 361005, China;
2. Fisheries College, Jimei University, Xiamen 361021, China;
3. Key Laboratory of Marine Ecology and Environmental Sciences, Institute of Oceanography, Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266071, China;
4. Fujian Provincial Key Laboratory of Marine Fishery Resources and Eco-environment, Xiamen 361021, China

Abstract: We performed a fixed-point survey in the southwestern sea of the Nansha Islands (SS) and the mouth of Beibu Bay (SN) in the South China Sea from 2012 to 2013. Catch species composition, the index of relative importance of each species, the Margalef richness index, the Shannon-Weiner diversity index, the Pielou evenness index, and the relative density of resources were calculated. We identified 663 species in four classes, 36 orders, 171 families, and 374 genera from catch resources in researched areas of the South China Sea. A total of 504 fish species were detected, which accounted for 76.0% of the catch. The number of dominant species in autumn was higher than that in spring, and the number of species captured in the SS was higher than that caught in the SN, with obvious seasonal fluctuations. All diversity indices were higher during the spring than those during the autumn because supplemental groups occurred in spring and many species moved to deep sea in autumn. However, all diversity indices in the SS were higher than those in the SN owing to greater effects of sea temperature and currents in the SS. Fisheries resources in the northern South China Sea were highly overfished, making the fishery resource smaller compared with historical fishery resource data. Fisheries resources in the SS were supposed to be reasonably exploited under nationally supported policies with better relative stock density. Stability of the South China Sea fishery is based on high species diversity; therefore, it is important to reasonably exploit the fisheries resources while protecting species diversity.

Key words: South China Sea; nekton; species diversity; index of relative importance(IRI)

Corresponding author: LIN Longshan. E-mail: linlongshan@tio.org.cn