

doi: 10.3969/j.issn.2095-0780.2012.01.001

## 海南岛近岸海域鱼类物种组成和多样性的季节变动

孙典荣<sup>1</sup>, 李渊<sup>1,2</sup>, 王雪辉<sup>1</sup>

(1. 中国水产科学研究院南海水产研究所, 广东 广州 510300;  
2. 中国海洋大学海水养殖教育部重点实验室, 山东 青岛 266003)

**摘要:** 根据2006年~2007年间在海南岛近岸海域进行的4个航次底拖网调查资料, 分析了该海域鱼类物种组成和生物多样性特征。发现该海域鱼类种类较为丰富, 调查共采集到鱼类292种, 隶属于21目100科172属; 其中暖水性种类数占83.32%, 暖温性种类数占16.78%; 与中国黄渤海共有种76种, 与东海共有种220种, 与南海大陆架、大陆坡和南海诸岛海域共有种分别为279种、42种和51种。鱼类优势种[相对重要性指数(IRI) > 500]依次为发光鲷(*Acropoma japonicum*)、斑鳍天竺鱼(*Apogonichthys carinatus*)、黄斑鲷(*Leiognathus bindus*)、皮氏叫姑鱼(*Johnius belengeri*)、大头白姑鱼(*Argyrosomus macrocephalus*)、𧄸(*Therapon theraps*)、棕斑腹刺鲀(*Gastrophysus spadiceus*)和麦氏犀鲨(*Bregmaceros maccllellandi*)。以生物量为基础采用5个指数研究了该海域鱼类多样性现状, 并采用季节更替指数(AI)和迁移指数(MI)对各季节鱼类群落的稳定性进行了分析。结果显示, 该海域鱼类多样性水平较高, 相邻季节的鱼类物种相似性也较高, 随着鱼类的洄游, 群落的稳定性出现较大波动。

**关键词:** 鱼类多样性; 优势种; 海南岛近岸; 季节变动

中图分类号: S 932.4

文献标志码: A

文章编号: 2095-0780-(2012)01-0001-07

## Seasonal changes of species composition and diversity of fishes in coastal waters of Hainan Island, China

SUN Dianrong<sup>1</sup>, LI Yuan<sup>1,2</sup>, WANG Xuehui<sup>1</sup>

(1. South China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Guangzhou 510300, China;  
2. Key Lab. of Mariculture, Ministry of Education, Ocean University of China, Qingdao 266003, China)

**Abstract:** In base of the data of the trawl surveys from 2006 to 2007, we investigate the species composition and diversity of fishes in the coastal waters of Hainan Island. The results show that the area is rich in fishes with 292 species collected, belonging to 21 orders, 100 families and 172 genera. Warm-water and warm-temperate species account for 83.32% and 16.78% of the total number of species, respectively. Mutual species in the coastal waters of Hainan Island with the Yellow-Bohai Sea and East China Sea are 76 and 220, respectively; those with the continental shelf, continental slope and waters around islands in South China Sea are 279, 42 and 51, respectively. The dominant fish species with IRI index > 500 are: *Acropoma japonicum*, *Apogonichthys carinatus*, *Leiognathus bindus*, *Johnius belengeri*, *Argyrosomus macrocephalus*, *Therapon theraps*, *Gastrophysus spadiceus* and *Bregmaceros maccllellandi*. Five indices of species diversity based on biomass are used for analysis, and seasonal dynamics of replacement index and migratory index are also applied to assess the stability of fish community. Results indicate that the fish diversity is high in the waters; the fish species in adjacent seasons are similar, and the community becomes unstable because of seasonal migration of fish.

**Key words:** fish diversity; dominant species; coastal waters of Hainan Island; seasonal change

收稿日期: 2011-06-12; 修回日期: 2011-07-28

资助项目: 农业部近海渔业资源调查项目(070404)

作者简介: 孙典荣(1973-), 男, 副研究员, 从事海洋渔业与海洋生态研究。E-mail: drsun73@163.com

近年来,中国已经对周边近海海域的鱼类多样性现状展开了大量调查研究工作,例如对黄海鱼类种类组成、多样性和群落结构<sup>[1-4]</sup>,以及对东海海域鱼类多样性和群落结构变化的相关研究等<sup>[4-5]</sup>。南海是中国面积最大、资源量及物种种类最为丰富的海域,也是世界海洋物种多样性较高的海域之一。南海北部大陆架已记录的鱼类有1 064种,南海诸岛海域有512种,南海大陆坡海域初步鉴定出200余种<sup>[6]</sup>。有关南海鱼类种类组成和多样性的调查研究已经覆盖了珠江口、大亚湾、南海北部大陆架、北部湾和珊瑚礁海域等重要生境类型<sup>[7-16]</sup>。

海南岛为中国第二大离岸岛,地处热带,属热带季风气候区域,其海洋鱼类区系具有暖水区系的特点<sup>[13-16]</sup>。田明诚和刘静<sup>[13-14]</sup>曾于1994年和1996年分别对海南岛海域的鱼类多样性进行了研究,并对鱼类名录进行增补,据此,海南岛海域共记录鱼类27目,153科,807种。但有关海南岛近岸海域鱼类多样性尚未见进一步的研究报道。为进一步探讨海南岛近岸海域鱼类的多样性,该研究根据2006年~2007年春、夏、秋和冬四季对海南岛近岸海域的底拖网调查和捕获鱼类的鉴定分析,研究了该海域的鱼类组成和多样性现状,以期增加对海南岛周边海域鱼类的组成、多样性及其季节变动的认识,为该海域鱼类多样性的保护及资源的开发与管理提供相关参考资料。

## 1 材料与方法

### 1.1 调查时间和调查站位

2006年7月(夏季)、2007年1月(冬季)、4月(春季)和10月(秋季)对海南岛近岸海域的鱼类资源进行底拖网调查。于海南岛的近岸海域布设17个调查站位(琼州海峡及附近海域由于海底状况复杂和海流较急的原因不适合底拖网作业而未能采样)(图1)。站位调查均按照《海洋生物生态调查技术规程》和《海洋调查规范》(GB 12763.1-2007)进行,拖网调查均在白天进行,每站点每季节拖网调查1次,每次作业时间1 h,平均拖速3.5 kn。

### 1.2 调查船和采样网具

调查租用北海渔业总公司“北渔60011”渔轮,该船总吨位为242 t,船体全长为36.8 m,船体宽度为6.8 m,吃水深度为3.8 m,主机功率为441 kW。调查网具底拖网主尺度为80.80 m × 60.54

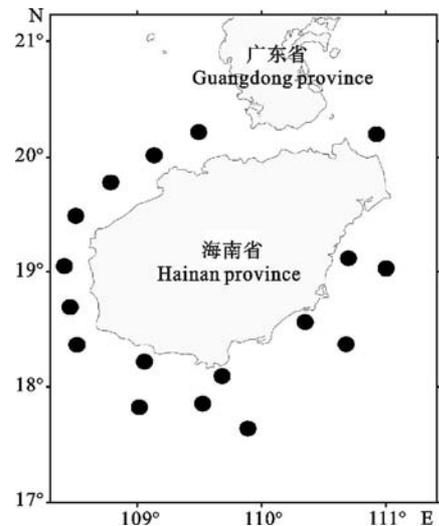


图1 采样站位  
Fig. 1 Sampling stations

m,浮纲长37.70 m,网衣全长60.54 m,网口周目数为404目,网口目大200 mm,网囊目大40 mm。

### 1.3 多样性数据分析

根据海南岛近岸海域的生境特征和调查所获数据,该研究采用相对重要性指数(index of relative important, IRI)、Margalef种类丰富度指数( $D$ )、Shannon-Wiener多样性指数( $H'$ )、Simpson多样性指数( $C$ )、Pielou均匀度指数( $J'$ )、Jaccard相似性指数( $J_s$ )等分析鱼类物种多样性,并采用季节更替指数(seasonal dynamics of replacement index, AI)和迁移指数(migratory index, MI)对各季节鱼类群落的稳定性进行了分析。由于鱼类种间个体差异和种内个体差异皆较大,WILHM<sup>[17]</sup>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。上述各项指数的计算方法如下:

1)运用PINKAS等<sup>[18]</sup>提出的相对重要性指数IRI来研究鱼类群落优势种组成,  $IRI = n_i/N + w_i/W \times F$ 。

某种鱼类在群落中的重要性由IRI来判断,该研究采用 $IRI \geq 500$ 为优势种,  $100 \leq IRI < 500$ 为常见种,  $10 \leq IRI < 100$ 为一般种,  $IRI < 10$ 为少见种<sup>[15]</sup>。

2)Margalef种类丰富度指数<sup>[19]</sup>,  $D = (S - 1) / \log_2 W$ 。

3)Shannon-Wiener多样性指数<sup>[20]</sup>,  $H' = - \sum_{i=1}^S (w_i/W) \log_2 (w_i/W)$ 。

基于物种数目和生物量反映群落结构的复杂程度, 是一种适应性较强的多样性指数, 群落中物种的数目增加和已存在的物种的生物量分布越均匀, 多样性也就越高。

4) Simpson 多样性指数<sup>[21]</sup>,  $C = 1 - \sum_{i=1}^S (w_i/W)^2$ 。

该指数是对多样性反面即集中性的度量, 集中性越高, 优势度就越高, 也就意味着多样性低。

5) Pielou 均匀度指数<sup>[22]</sup>,  $J' = H'/\log_2 S$ 。

该指数是群落的多样性指数与该群落理论上最大多样性指数比。

6) Jaccard 相似性指数<sup>[23]</sup>,  $J_s = c/(a + b - c)$ 。

表示 2 个或者多个群落或季节间鱼类多样性的相似性程度。

7) 季节更替指数 (AI) 和迁移指数 (MI)<sup>[9]</sup>,  $AI = \frac{C+D}{A-R} \times 100\%$  和  $MI = \frac{C-D}{A-R} \times 100\%$ 。

AI 反映物种更替导致群落稳定性降低的季节规律, 其值越大表示该群落稳定性越小; MI 反映该季节迁入与迁出种类在群落中的相对比例, 当  $C$  接近  $D$  时, 表示该群落处于动态平衡。

以上各式中,  $n_i$  表示第  $i$  种的个体数量,  $w_i$  表示第  $i$  种的生物量,  $N$  为所有渔获物种类的总个体数量,  $W$  为所有渔获物种类的总生物量,  $F$  为某一类出现站位数占调查总位数的百分比, 即出现频率,  $S$  为渔获物种类总数;  $a$  为在 a 季节出现的种类数,  $b$  表示在 b 季节出现的种类数,  $c$  为 a 季节和 b 季节的共有种类数,  $A$  为各季节实际出现的种类数,  $C$  为该季度新迁入的种类数,  $D$  为该季度迁出的种类数,  $R$  为全年均出现的种类数。

## 2 结果

### 2.1 种类组成

根据 NELSON<sup>[24]</sup> 分类系统标准, 通过对 4 个季节调查鉴定出来的鱼类物种组成进行系统整理, 共鉴定出鱼类 292 种, 分别隶属 21 目、100 科、172 属。硬骨鱼类共有 16 目 92 科 164 属 278 种, 占全部鱼类种数的 95.21%, 其中鲈形目 (Perciformes) 占绝对优势, 有 45 科 80 属 156 种 (53.42%); 其次为鲉形目 (Scorpaeniformes), 有 8 科 21 属 26 种 (8.90%); 鲽形目 (Pleuronectiformes), 6 科 10 属 18 种 (6.16%); 鲱形目 (Clu-

peiformes), 3 科 7 属 16 种; 其他 17 个目的种类均较少。就各科所包含的种类而言, 鲹科 (Carangidae) 最多 (24 种); 其次为鳀科 (Engraulidae) (11 种); 第三为石首鱼科 (Sciaenidae) 和 鲷科 (Serranidae) (各 10 种); 其余各科种类均在 9 种以下。软骨鱼类共有 5 目 8 科 8 属 14 种, 占鱼类种数的 4.79%, 其中以鳃形目 (Myliobatiformes) 种类最多 (5 种); 其次为鳐形目 (Rajiformes), 有 4 种。

调查结果显示, 全年 4 个季节均出现的鱼类有 82 种, 占鱼类总数的 28.08%, 主要为斑鳍白姑鱼 (*Argyrosomus pawak*)、大头白姑鱼 (*A. macrocephalus*)、斑鳍方头鱼 (*Branchiostegus auratus*)、刺鲷 (*Psenopsis anomala*)、带鱼 (*Trichiurus haumela*)、多齿蛇鲻 (*Saurida tumbil*) 和二长棘鲷 (*Parargyrops edita*) 等。从目级水平上来看, 夏季最高, 21 个目均有出现, 其余三季相差不大; 从科级和属级水平上来看四季差别不大; 四季种类数最多的出现在冬季 (187), 春季最少 (159), 夏季和秋季渔获种类数相差无几 (表 1)。

### 2.2 相对重要性指数 (IRI)

依据 4 个航次的调查结果, 选用 IRI 作为生态优势度的度量指标。该次调查海域同在南海, 因此, 采用与陈国宝等<sup>[15]</sup> 同样的优势种划分标准。

春季调查结果中优势种有 3 种, 分别为发光鲷 (*Acropoma japonicum*) (IRI = 6 614)、斑鳍天竺鱼 (*Apogonichthys carinatus*) (991) 和黄斑鲷 (*Leiognathus bindus*) (796), 仅占总种类数的 1.88%; 常见种有 5 种, 分别为大头白姑鱼 (271)、鹿斑鲷 (*Leiognathus ruconius*) (249)、带鱼 (224)、花斑蛇鲻 (*Saurida undosquamis*) (177) 和多齿蛇鲻 (130), 合占总种类数的 3.14%; 一般种为 15 种, 占总种类数的 9.43%; 少见种为 136 种, 占 85.53%。

夏季调查结果中优势种有 5 种, 分别为发光鲷 (6 596)、黄斑鲷 (978)、大头白姑鱼 (811)、棕斑腹刺鲷 (*Gastrophysus spadiceus*) (795) 和麦氏犀鲷 (*Bregmaceros maccllellandi*) (731), 仅占总种类数的 2.92%; 常见种有 7 种, 分别为黄斑蓝子鱼 (*Siganus oramin*), 鹿斑鲷、赤鼻梭鲷 (*Thryssa kammalensis*)、鰺 (*Therapon theraps*)、斑鳍天竺鱼、刺鲷和竹筴鱼 (*Trachurus japonicus*), 占总种类数的 4.09%; 一般种有 16 种, 占总种类数的 9.35%; 少见种有 143 种, 占 83.62%。

表1 海南岛近岸海域鱼类4季种类组成

Tab.1 Fish species compositions in the coastal waters of Hainan Island by seasons

	目 order		科 family		属 genus		种 species	
	数量 number	比例 %	数量 number	比例 %	数量 number	比例 %	数量 number	比例 %
春 spring	17	80.95	74	74	109	63.37	159	54.45
夏 summer	21	100.00	75	75	114	66.28	171	58.56
秋 autumn	18	85.71	73	73	113	65.70	174	59.59
冬 winter	17	80.95	77	77	119	69.19	187	74.21
四季 all seasons	21		100		172		292	

秋季调查结果中优势种有4种,分别为发光鲷(5 581)、黄斑鲷(1 329)、鲷(738)和大头白姑鱼(586)、仅占总种类数的2.29%;常见种有10种,分别为丽叶鲷(*Carangoides kalla*)(406)、竹筴鱼(365)、皮氏叫姑鱼(*Johnius belengeri*)(269)、鹿斑鲷(231)、刺鲳(184)、黄带绯鲤(*Upeneus sulphureus*)(179)、带鱼(149)、月腹刺鲳(*Gastrophysus lunaris*)(127)、乳香鱼(*Lactarius lactarius*)(116)和六指马鲛(*Polynemus sextarius*)(111),占总种类数的5.74%;一般种有30种,占总种类数的17.24%;少见种有130种,占74.71%。

冬季调查结果中优势种有2种,分别为发光鲷(4 124)和皮氏叫姑鱼(637),仅占总种类数的1.06%;常见种有16种,为花斑蛇鲷(432)、黄魮(*Dasyatis bennetti*)(358)、白姑鱼(*Pennahia argentatus*)(357)、斑鳍天竺鱼(269)、竹筴鱼(243)、条尾绯鲤(*Upeneus bensasi*)(218)、鲷(212)、带鱼(197)、鹿斑鲷(196)、尖嘴魮(*D. zugei*)(192)、二长棘鲷(177)、杜氏叫姑鱼(171)、齐氏魮(*D. gerrardi*)(166)、多齿蛇鲷

(150)、六指马鲛(128)和斑鳍白姑鱼(119),占总种类数的8.55%;一般种有21种,占总种类数的11.22%;少见种有148种,占79.14%。

### 2.3 鱼类多样性

运用  $D$ 、 $H'$ 、 $C$ 、 $J'$ 、 $Js$  分析海南岛近岸海域鱼类物种多样性。以上各多样性指数均以生物量为基础进行计算。结果显示,海南岛近岸海域鱼类  $D$  变化范围为 17.71 ~ 26.33, 最高值出现在冬季,最低值出现在夏季;  $H'$  冬季达到最高值(3.51),春季达到最低值(2.21);  $C$  最高值出现在冬季,最低值出现在春季;  $J'$  在秋冬季较高,而在春夏季较低。各指数的比较可看出  $H'$ 、 $C$  和  $J'$  变动趋势呈现一致性,都是冬季最高,春季最低(表2)。相邻季节鱼类物种相似性指数变化范围为 0.45 ~ 0.55, 其相似性较高,其中秋季和冬季的相似性最高,春季和秋季相似性最低(表3)。

### 2.4 季节更替指数(AI)和迁移指数(MI)

采用 AI 和 MI 对各季节鱼类的群落稳定性进行分析。由图2可以看出,夏季和冬季的 AI 比春季和秋季的要高,表明夏冬季的群落稳定性要比

表2 鱼类多样性指数的季节变化

Tab.2 Seasonal variation of biodiversity indices of fish species

季节 season	种类数 species number	$D$		$H'$		$C$		$J'$	
		指标 index	排序 rank	指标 index	排序 rank	指标 index	排序 rank	指标 index	排序 rank
春 spring	159	19.34	3	2.21	4	0.74	4	0.44	4
夏 summer	171	17.71	4	2.49	3	0.81	3	0.48	3
秋 autumn	174	23.49	2	3.16	2	0.88	2	0.61	2
冬 winter	187	26.33	1	3.51	1	0.94	1	0.67	1

表 3 各季节间的鱼类相似性指数 ( $J_s$ )

Tab. 3 Jaccard similarity index ( $J_s$ ) of fish species among seasons

季节 season	春 spring	夏 summer	秋 autumn	冬 winter
春 spring		0.54	0.45	0.48
夏 summer			0.48	0.47
秋 autumn				0.48
冬 winter				

春秋季节低。四季群落的 MI 变化范围在 -14.81 ~ 16.84 之间，春季 MI 为 5，表示迁入种类数略大于迁出种类数；夏季 MI 为 -4.35，最接近群落的动态平衡，迁出种数略大于迁入种数；秋季 MI 为 16.84，偏离平衡状态最严重，迁入种数明显大于迁出种数；冬季 MI 为负，迁出种数明显大于迁入种数。AI 和 MI 呈现相反的变化趋势。

### 2.5 生态类型

2.5.1 适温性 海南岛近岸海域属热带季风气候区，其海洋鱼类区系也具有暖水区系的特点，其

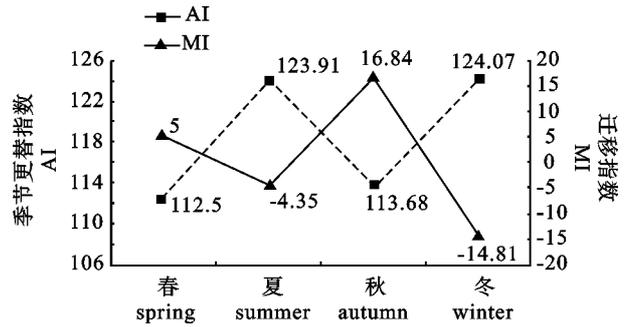


图 2 海南岛近岸海域鱼类群落更替指数和迁移指数的季节变化

Fig. 2 Seasonal changes of replacement index (AI) and migration index (MI) of fish community in coastal waters of Hainan Island

中暖水性热带种占绝对优势，约占 83.32%，有 243 种；暖温性鱼类有 49 种，仅占 16.78%；未发现有真正意义上的冷温性鱼种定居，更无冷水性鱼种的分布<sup>[16]</sup>。该海域四季鱼类适温性比较发现：冬季暖水性和暖温性种类数最多，春季暖水性种类数最少，秋季暖温性种类数最少(表 4)。

表 4 海南岛近岸海域四季暖温性、暖水性鱼类组成比例

Tab. 4 Composition of warm temperature and warm water species in coastal waters of Hainan Island in different seasons

季节 season	种类数 species number	暖水性鱼类 warm-water species		暖温性鱼类 warm-temperature species	
		数量 number	比例/%	数量 number	比例/%
春 spring	159	132	83.02	27	16.98
夏 summer	171	145	84.79	26	15.20
秋 autumn	174	150	86.21	24	13.79
冬 winter	187	156	83.42	31	16.58

2.5.2 地理分布 与中国的东海、黄海和渤海相比较，该海域鱼类与东海共有种为 220 种，占鱼类总种数的 75.34%；与黄渤海共有种为 76 种，占鱼类总种数的 26.03%；该海域涉及的所有鱼类在南海均有发现，其中与大陆坡的共有种为 42 种，仅占鱼类总种数的 14.38%，与南海诸岛海域的共有种为 51 种，占 17.47%，与南海北部大陆架的共有种为 279 种，占 95.54%。

### 3 讨论

该研究通过对海南岛近岸海域进行底拖网渔业资源调查，捕获鱼类种类多达 292 种。该海域与南海北部大陆架<sup>[11]</sup>及北部湾海域<sup>[25]</sup>相比，种类较为

丰富。这可能与该海域所在的特殊地理位置有关，西邻北部湾渔场，东邻南海北部大陆架，而且海南岛周边的水文环境比较复杂。由于该海域地处热带区域，同时受南海暖流的影响，导致该海域鱼类具有明显的暖温带特点，暖水性种类占主导地位，多达 243 种(83.32%)，而在春冬季受到自北向南的沿岸流的影响，也有不少暖温性的鱼类出现。4 个季节中  $J'$  整体变化范围在 0.44 ~ 0.67 之间，表明不同鱼种之间多样性分布的均匀程度在季节间有一定的差别<sup>[26]</sup>。造成不同季节间鱼类种类差异的原因除了与鱼类自身的分布特点有关外，与鱼类的垂直迁移导致底拖网采样局限也有一定的关系。

优势种群在生态系统中占有重要地位，其变化

能影响整个群落数量和能量流动,同时也是海洋生态系统中的关键因子<sup>[12]</sup>。在该研究所调查的海南岛近岸海域春、夏、秋和冬四季的优势鱼种分别为8种、12种、14种和18种,不同季节的IRI差异较大,优势种群组成的季节变化较大,发光鲷、大头白姑鱼和鹿斑鲷为四季常见的优势鱼种,其余主要种类均交替出现在各季节中。由图2可以看出,该海域鱼类季节AI的变化与种类多样性的季节变化并无明显的相关性,而王雪辉等<sup>[9]</sup>在大亚湾的群落季节更替研究中发现两者具有一致的变化规律。MI波动较大,这是由于春季很多鱼类洄游到近岸繁殖,使近岸幼鱼增多,此时MI为正;夏季幼鱼在此海域进行索饵育肥,此时群落结构最接近动态平衡;秋季近岸水温升高,北部湾渔场和南海北部大陆架的鱼类洄游频繁,导致MI为正,较明显偏离平衡状态;冬季长大的幼鱼大部分逐渐向较深海域迁移,此时MI为负。从鱼类的适温性来看,不同季节中暖水性和暖温性鱼类的迁入迁出,同样也是造成AI和MI变化的一个重要原因。

由于该海域与南海北部大陆架同属南海海域且地理位置上较近,生境相似性较高,导致南海北部大陆架的鱼类与该海域交流最为频繁、联系最为密切,共有种达279种(95.54%)。同中国其他海域相比较,与东海的联系最为密切,共有种为220种(75.34%),最主要的原因是受南海暖流的影响,尤其是仔、稚鱼可以借助洋流进行远距离的扩散。

该海域属于热带海区,且位于较特殊的地理位置,右靠南海北部大陆架左邻北部湾这两个著名的渔场,该海域的周边地理环境和水文条件比较复杂,致使该海域物种种类繁多,物种多样性水平较高,此研究正好为该海区的鱼类物种组成和多样性的季节变化提供参考。今后要依据鱼类群落的季节变化规律,引导渔民合理、有序地开发利用海南岛周边海域的渔业资源,生产得到发展的同时保障渔业稳定的发展。

#### 参考文献:

- [1] 曾晓起,朴成华,姜伟,等. 胶州湾及其邻近水域渔业生物多样性的调查研究[J]. 中国海洋大学学报:自然科学版, 2004, 34(6): 977-982.  
ZENG Xiaoqi, PIAO Chenghua, JIANG Wei, et al. Biodiversity investigation in Jiaozhou Bay and neighbouring waters[J]. Periodic Ocean Univ China: Natural Science, 2004, 34(6): 977-982. (in Chinese)
- [2] 董婧,刘海映,许传才,等. 黄海北部近岸鱼类的群落结构[J]. 大连水产学院学报, 2004, 19(2): 132-137.  
DONG Jing, LIU Haiying, XU Chuancan, et al. Community structure of fish in the coast of northern Yellow Sea[J]. J Dalian Fish Univ, 2004, 19(2): 132-137. (in Chinese)
- [3] 陈晓娟,薛莹,徐宾铎,等. 胶州湾中部海域秋、冬季大型无脊椎动物群落结构及多样性研究[J]. 中国海洋大学学报:自然科学版, 2010, 40(3): 78-84.  
CHEN Xiaojuan, XUE Ying, XU Binduo, et al. Community structure and diversity of macroinvertebrates during autumn and winter in the central waters of Jiaozhou Bay[J]. Periodic Ocean Univ China: Natural Science, 2010, 40(3): 78-84. (in Chinese)
- [4] 程济生,俞连福. 黄、东海冬季底层鱼类群落结构及多样性变化[J]. 水产学报, 2004, 28(1): 29-34.  
CHENG Jisheng, YU Lianfu. The change of structure and diversity of demersal fish communities in the Yellow Sea and East China Sea in winter[J]. J Fish China, 2004, 28(1): 29-34. (in Chinese)
- [5] 姜亚洲,程家骅,李圣法. 东海北部鱼类群落多样性及其结构特征的变化[J]. 中国水产科学, 2008, 15(3): 453-459.  
JIANG Yazhou, CHENG Jiahua, LI Shengfa. Variation in fish community structure and biodiversity in the north of the East China Sea between two periods[J]. J Fish Sci China, 2008, 15(3): 453-459. (in Chinese)
- [6] 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和渔业资源[M]. 北京:科学出版社, 2004: 499-520.  
JIA Xiaoping, LI Yongzhen, LI Chunhou, et al. Fishery ecotope and resource of South China Sea exclusive economic zone and continental shelf[M]. Beijing: Science Press, 2004: 499-520. (in Chinese)
- [7] 李永振,陈国宝,孙典荣. 珠江口鱼类组成分析[J]. 水产学报, 2000, 24(4): 312-317.  
LI Yongzhen, CHEN Guobao, SUN Dianrong. Analysis of the composition of fishes in the Pearl River estuarine waters[J]. J Fish China, 2000, 24(4): 312-317. (in Chinese)
- [8] 王迪,林昭进. 珠江口鱼类群落结构的时空变化[J]. 南方水产, 2006, 2(4): 37-45.  
WANG Di, LIN Zhaojin. Spatial and temporal variations of fish community structure in the Pearl River estuary waters[J]. South China Fish Sci, 2006, 2(4): 37-45. (in Chinese)
- [9] 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[J]. 应用生态学报, 2010, 21(9): 2403-2410.  
WANG Xuehui, DU Feiyan, QIU Yongsong, et al. Variations of fish species diversity, faunal assemblage, and abundances in Daya Bay in 1980~2007[J]. Chin J Appl Ecol, 2010, 21(9): 2403-2410. (in Chinese)
- [10] 邱永松. 南海北部大陆架鱼种组群初步分析[J]. 水产学报, 1990, 14(4): 267-276.  
QIU Yongsong. A preliminary analysis of fish species groups on the

- northern continental shelf of South China Sea[J]. *J Fish China*, 1990, 14(4): 267–276. (in Chinese)
- [11] 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.  
JIANG Yan'e, LIN Zhaojin, HUANG Zhirong. Biodiversity of fishery resources in the continental shelf of northern South China Sea [J]. *South China Fish Sci*, 2009, 5(5): 32–37. (in Chinese)
- [12] 袁蔚文. 北部湾底层渔业资源的数量变动和种类更替[J]. *中国水产科学*, 1995, 2(2): 57–65.  
YUAN Weiwen. Dynamics and succession of demersal resources in Beibu Gulf[J]. *J Fish Sci China*, 1995, 2(2): 57–65. (in Chinese)
- [13] 刘静, 田明诚. 海南岛珊瑚礁鱼类的初步研究及前景探讨[J]. *海洋科学*, 1995(5): 28–32.  
LIU Jing, TIAN Mingcheng. A preliminary study and review of the coral reef fishes Hainan Island[J]. *Mar Sci*, 1995(5): 28–32. (in Chinese)
- [14] 田明诚, 刘静. 海南岛海洋鱼类名录增补[J]. *海洋科学*, 1996(1): 63–68.  
TIAN Mingcheng, LIU Jing. A supplemental list of marine fishes from Hainan Island[J]. *Mar Sci*, 1996(1): 63–68. (in Chinese)
- [15] 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.  
CHEN Guobao, LI Yongzhen, CHEN Xinjun. Species diversity of fishes in the coral reefs of South China Sea[J]. *Biodivers Sci*, 2007, 15(4): 373–381. (in Chinese)
- [16] 孙典荣, 李渊, 林昭进, 等. 海南岛近岸海域鱼类群落结构研究[J]. *中国海洋大学学报: 自然科学版*, 2011, 41(4): 33–38.  
SUN Dianrong, LI Yuan, LIN Zhaojin, et al. Community structure of fish in the coastal waters of Hainan Island[J]. *Periodic Ocean Univ China: Natural Science*, 2011, 41(4): 33–38. (in Chinese)
- [17] WILHM J L. Use of biomass units in Shannon's formula[J]. *Ecology*, 1968, 49(1): 153–156.
- [18] PINKAS L, OLIPHANT M S, IVERSON I L K. Food habits of albacore, bluefin tuna, and bonito in California waters[J]. *Fish Bull*, 1971, 152: 11–46.
- [19] MARGALEF R. Information theory in ecology[J]. *Gen Syst*, 1958(3): 36–71.
- [20] SHANNON C E, WIENER W. *The mathematical theory of communication*[M]. Urbana: University of Illinois Press, 1963: 1–65.
- [21] SIMPSON E H. Measurement of species diversity[J]. *Nature*, 1949, 163: 688.
- [22] PIELOU E C. The use of information theory in the study of ecological succession[J]. *J Theor Biol*, 1966, 10(2): 370–383.
- [23] JACCARD P. The distribution of flora in the alpine zone[J]. *New Phytol*, 1912, 11: 37–50.
- [24] NELSON J S. *Fishes of the world*[M]. 4<sup>th</sup> edition. New York: John Wiley and Sons, Inc, 2006: 39–451.
- [25] 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: 自然科学版*, 2008, 26(1): 100–104.  
QIAO Yanlong, LIN Zhaojin, QIU Yongsong. Change of fishery species community structure during autumn and winter in Beibu Gulf[J]. *J Guangxi Normal Univ: Natural Science*, 2008, 26(1): 100–104. (in Chinese)
- [26] 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.  
CHEN Wenhe, LIU Xuedong, LU Huosheng. Research on seasonal changes of the fish structure community in Nansha Islands waters [J]. *J Trop Oceanogr*, 2010, 29(4): 118–124. (in Chinese)