

DOI: 10.5846/stxb201011291700

王雪辉, 邱永松, 杜飞雁, 林昭进, 孙典荣, 黄硕琳. 北部湾秋季底层鱼类多样性和优势种数量的变动趋势. 生态学报, 2012, 32(2): 0333-0342.

Wang X H, Qiu Y S, Du F Y, Lin Z J, Sun D R, Huang S L. Dynamics of demersal fish species diversity and biomass of dominant species in autumn in the Beibu Gulf, northwestern South China Sea. Acta Ecologica Sinica 2012, 32(2): 0333-0342.

北部湾秋季底层鱼类多样性和优势种数量的变动趋势

王雪辉^{1,2}, 邱永松¹, 杜飞雁^{1,3}, 林昭进¹, 孙典荣¹, 黄硕琳^{2,*}

(1. 中国水产科学研究院南海水产研究所, 广州 510300; 2. 上海海洋大学海洋科学学院, 上海 201306;

3. 厦门大学海洋与环境学院博士后流动站, 厦门 361005)

摘要:根据 1992 年、2001 年和 2006 年秋季在北部湾进行的底拖网调查数据, 对该海域鱼类的种类组成、物种多样性、优势种及其数量的变动趋势进行分析。1992 年共记录鱼类 171 种, 隶属 17 目 77 科; 2001 年记录鱼类 156 种, 隶属 18 目 71 科; 2006 年记录 157 种, 隶属 17 目 67 科。3 个年代记录的鱼类均以鲈形目的种类数最多, 其中 1992 年为 96 种(占 56.14%)、2001 年 90 种(占 57.69%) 和 2006 年 89 种(占 56.69%)。鱼类的 Pielou 均匀度指数(J') 和 Shannon-Wiener 多样性指数(H') 的变化趋势一致: 以 2001 年最高, 为 0.72 和 3.64; 其次为 1992 年, 为 0.64 和 3.27; 2006 年最低, 分别为 0.52 和 2.64。丰富度指数(D) 呈逐年下降的趋势: 为 1992 年的 21.03、2001 年的 20.74 和 2006 年的 19.61。建立非线性回归模型对北部湾 3 个年代出现的 6 种共有优势种(发光鲷 *Acropoma japonicum*、带鱼 *Trichiurus haumela*、二长棘鲷 *Parargyrops edita*、黄斑鲷 *Leiognathus bindus*、竹荚鱼 *Trachurus japonicus* 和黄带鲷 *Upeneus sulphureus*) 的数量变化趋势进行分析。结果表明: 北部湾鱼类中的经济价值较高的优势种逐渐被低值和小型的鱼类所替代, 但繁殖力较强和寿命较短的鱼类变动较小。在 6 种共同优势种中, 黄斑鲷和发光鲷的渔获率呈上升趋势; 带鱼和黄带鲷的渔获率呈下降趋势; 而二长棘鲷和竹荚鱼的渔获率基本保持不变。研究结果表明, 北部湾鱼类的优势种更替明显, 总体变化趋势是 k 选择种类(以红笛鲷和黑印真鲨等为代表) 逐渐被 r 选择种类(发光鲷、鲷科和天竺鱼科等为代表) 所替代, 即寿命长、个体大和营养级高的鱼类数量减少, 寿命短、个体小和营养级较低的种类增多。

关键词: 鱼类; 物种多样性; 优势种; 数量变化; 北部湾

Dynamics of demersal fish species diversity and biomass of dominant species in autumn in the Beibu Gulf, northwestern South China Sea

WANG Xuehui^{1,2}, QIU Yongsong¹, DU Feiyan^{1,3}, LIN Zhaojin¹, SUN Dianrong¹, HUANG Shuolin^{2,*}

1 South China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Guangzhou 510300, China

2 College of Marine Sciences, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China

3 Post-doctor Research Station, College of Oceanography and Environmental Science, Xiamen University, Xiamen 361005, China

Abstract: The Beibu Gulf is a semi-enclosed gulf located in the northwestern South China Sea and surrounded by the land territories of China and Vietnam. The region has a tropical to subtropical climate. Thousands of fish and shellfish species have been identified in the Beibu Gulf and support some very important fisheries throughout the year in the region. Large scale resource surveys have been conducted over the last few decades to assess fisheries resources in the Beibu Gulf, and a large quantity of biological and environmental data have been collected. Such scientific data are perfect for evaluating changes in the ecosystem and answers questions such as what changes have occurred over the last few decades to the fisheries ecosystem in the Beibu Gulf? In the study, we analyzed data collected in otter trawl surveys in the Beibu Gulf in

基金项目: 农业部近海渔业资源调查项目(070404); 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项(2007TS08, 2007ZD08, 2009TS08, 2010YD10); 广东省海洋渔业资源综合评价(GD908-02-05)

收稿日期: 2010-11-29; 修订日期: 2011-05-03

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: slhuang@shou.edu.cn

autumn 1992, 2001 and 2006 to evaluate fish species composition and diversity, dominant species, and their biomasses. The analysis showed that 171 fish species caught in the 1992 autumn survey in the Beibu Gulf belonged to 77 families and 17 orders, a total of 156 fish species belonging to 71 families and 18 orders were found in the 2001 survey and 157 species belonging to 67 families and 17 orders were identified in 2006. Perciformes had the highest number of fish species, 96 species (accounting for 56.14%) in 1992, 90 species (57.69%) in 2001 and 89 species (56.69%) in 2006. The Pielou evenness index (J') had the same temporal trend as the Shannon-Wiener diversity index (H'). Both indices were the highest in 2001, followed by those in 1992 and 2006. The Margalef richness index (D) reduced from 21.03 in 1992 to 20.74 in 2001 and to 19.61 in 2006. Nonlinear regression models were developed to quantify the temporal trends of biomass of the 6 dominant species (*Acropoma japonicum*, *Trichiurus haumela*, *Parargyrops edita*, *Leiognathus bindus*, *Trachurus japonicus* and *Upeneus sulphureus*) in the Beibu Gulf. The dominant species were found to shift from the high-value fish species to the low-value species, but no significant changes for fish species with high reproduction rates and short life spans. The catch rates increased during the survey period for *A. japonicum* and *L. bindus*, decreased for *T. haumela* and *U. sulphureus*, and remained similar for *P. edita* and *T. japonicus*. This study shows an apparent succession of the dominant species with an overall trend of the K-selection species (such as *Lutjanus sanguineus* and *Carcharhinus menisorrhah*) being replaced by the r-selection species (such as *A. japonicum*, *Leiognathus*, and *Apogonichthys*). The abundance of fish species with long life span, large size and high trophic levels decreased, while short-lived and small-sized fish species in low trophic levels increased their abundance over the time period covered by the survey. The study provides important evidence of changes occurring in the Beibu Gulf ecosystem.

Key Words: fish; species diversity; dominant species; temporal trend; Beibu Gulf

北部湾位于南海西北部,东接雷州半岛和海南岛,北依广西,西靠越南,属热带-亚热带气候,是天然半封闭海湾。北部湾生物资源丰富,是我国优良的传统渔场之一。为了解北部湾的渔业资源状况,在北部湾多次开展了较大规模的渔业资源调查,积累了大量的渔业数据。袁蔚文^[1]、孙典荣等^[2]和孙德雄等^[3]对北部湾的渔业资源状况进行了研究并提出保护对策,陈作志等^[4]和孙典荣等^[5]估算了北部湾海域主要经济鱼类的生长、死亡参数,王雪辉等对北部湾鱼类的群落格局进行划分并分析群落与环境因子的关系^[6],陈嘉欣等^[7]和乔延龙等^[8]对北部湾局部海域鱼类的多样性也有过探讨。十几年来,北部湾鱼类的种类组成、优势种和多样性等究竟发生了怎样的变化?本文根据1992年、2001年和2006年在北部湾进行的底拖网渔业资源调查数据,分析该海域鱼类物种多样性和优势种。并通过建立非线性回归模型对北部湾鱼类优势种的数量变化趋势进行分析,深入了解北部湾鱼类优势种变动趋势。结果以期为研究北部湾鱼类群落演替提供基础资料,为北部湾鱼类资源的保护和可持续利用提供科学管理依据。

1 材料与方法

1.1 材料来源及网具参数

本研究所用数据取自1992年9月、2001年11月和2006年10月在北部湾进行的3个航次的底拖网渔业资源调查资料,且取其共同调查站位22个。3次调查使用的采样网具均为404型底拖网,该网具上纲长度37.7 m,网口网目尺寸200 mm,网衣全长60.5 m,网囊网目尺寸39 mm。采样时每站位拖网1 h,拖速均换算为3.5 kn进行分析。

采样区域见图1,站位经纬度详见表1。采样方法及过程均按《海洋调查规范》(GB/T 12763.6—2007)进行^[9]。

1.2 计算公式

(1) 种类相对重要性指数^[10]:

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

式中 N 为某一种类的尾数占总尾数的百分比; W 为某一种类的重量占总重量的百分比; F 为某一种类出现的站数占调查总站数的百分比。

(2) 种类 Margalef 丰富度指数:

$$D = (S - 1) / \ln N$$

式中 S 为底拖网样本中的种类总数; N 为样本中的生物总个体数。

(3) Shannon-Wiener 多样性指数采用 Wilhm 改进公式^[11]:

$$H' = - \sum_{i=1}^s (W_i / W) \ln(W_i / W)$$

式中 S 为样本中的种类总数; W_i 为第 i 种鱼类的重量; W 为样本的总重量。

(4) Pielou's Evenness Index 均匀度指数它是先估计理论上的最大 Shannon-Wiener 指数 (H_{max}) 然后以实际测得的 H' 对 H_{max} 的比值获得, 其计算式为:

$$J = H' / H_{max}$$

式中 J 为表示均匀度; H' (3) 种类多样性指数值; H_{max} 为 $\ln S$, 表示多样性指数的最大值; S 为样本中总种类数。

丰富度 (D)、Shannon-Wiener 多样性指数 (H') 和均匀度 (J) 用 PRIMER v5 软件计算得出^[12]。

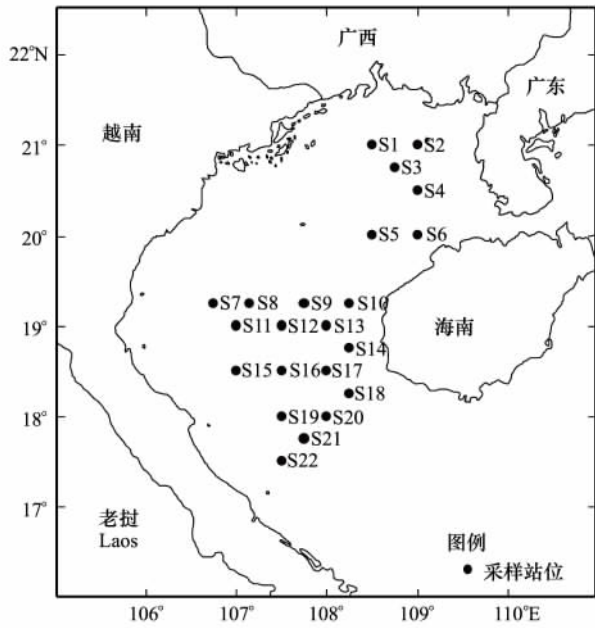


图 1 1992—2006 年北部湾底拖网采样共同站位示意图

Fig.1 A sketch map showing the common otter trawl sampling stations in the Beibu Gulf during 1992—2006

表 1 调查站位的地理位置

Table 1 Geographical positions of the sampling stations

站位 Station	经度 Longitude	纬度 Latitude	站位 Station	经度 Longitude	纬度 Latitude
S1	108°30' E	21°00' N	S12	107°30' E	19°00' N
S2	109°00' E	21°00' N	S13	108°00' E	19°00' N
S3	108°45' E	20°45' N	S14	108°00' E	18°45' N
S4	109°00' E	20°30' N	S15	107°00' E	18°30' N
S5	109°30' E	20°00' N	S16	107°30' E	18°30' N
S6	109°00' E	20°00' N	S17	108°00' E	18°30' N
S7	107°00' E	19°45' N	S18	108°15' E	18°45' N
S8	107°09' E	19°45' N	S19	108°30' E	18°00' N
S9	108°45' E	19°45' N	S20	108°00' E	18°00' N
S10	108°45' E	19°45' N	S21	107°45' E	17°45' N
S11	107°00' E	19°00' N	S22	108°00' E	17°30' N

1.2.5 优势种数量的变动趋势

优势种鱼类的数量用渔获率来表示。用非线性回归模型模拟北部湾优势种鱼类数量的变化趋势^[13]。各年度各站次的渔获率均作对数转换, 以满足正态分布要求:

$$Y_i = a + b \times t_i + c \times \cos \left[\frac{2\pi}{T} \times (t_i + d) \right] \quad (1)$$

式中 Y_i 为资源密度的对数值; t_i 为时间 (d); T 为一年天数, 取 365.25 d; a, d 为常数项 b, c 为对应于 t_i 的偏回归系数 a, b, c 和 d 通过非线性回归迭代求算。该回归模型由两部分组成, 其中 $a + b \times t_i$ 反映鱼类数量的线

性年际变动趋势; $c \times \cos \left[\frac{2\pi}{T} \times (t_i + d) \right]$ 反映鱼类数量的周期性(季节)变动情况。

2 结果

2.1 种类组成

1992年秋季北部湾调查共获得鱼类171种,隶属17目77科。2001年秋季记录鱼类156种,隶属18目71科。2006年秋季记录鱼类157种,隶属17目67科。统计表明,1992—2006年间秋季北部湾共出现鱼类计284种,隶属19目92科,均以鲈形目种类数最多,分别为1992年的96种(占总种类数的56.14%)、2001年的90种(占57.69%)和2006年的89种(占56.69%)。可见,虽然不同年代北部湾秋季的鱼类种类组成有所变化,但其种类数相对较为稳定,且优势种均为鲈形目种类,换句话说,鲈形目种类是北部湾鱼类的主要类群。

2.2 优势种组成

以 $IRI > 100$ 为划分优势种的标准,表2列出1992—2006年秋季北部湾鱼类的优势种。3个年代出现的共同优势种分别为发光鲷 *Acropoma japonicum*、带鱼 *Trichiurus haumela*、二长棘鲷 *Parargyrops edita*、黄斑鲷 *Leiognathus bindus*、竹荚鱼 *Trachurus japonicus* 和黄带鲷 *Upeneus sulphureus*,且均以发光鲷居首位,分别占该年度鱼类渔获重量的29.90%、10.76%和36.99%。

在3个阶段鱼类的优势种中,1992年经济鱼类(长尾大眼鲷 *Priacanthus tayenus*、花斑蛇鲷 *Saurida undosquamis*、白姑鱼 *Argyrosomus argentatus*、带鱼、条尾鲷 *Upeneus bensasi*、二长棘鲷、马六甲鲷 *Upeneus moluccensis*、蓝圆鲷 *Decapterus maruadsi*、竹荚鱼、羽鳃鲷 *Rastrelliger kanagurta* 和黄带鲷)的重量百分比合计为37.54%,而低值鱼类(发光鲷、粗纹鲷 *Leiognathus lineolatus*、黄斑鲷、何氏鲷 *Raja hollandi* 和斑鳍红娘鱼 *Lepidotrigla punctipectoralis*)合计占34.02%;2001年经济鱼类(竹荚鱼、二长棘鲷、带鱼、

短尾大眼鲷 *Priacanthus macracanthus*、黄带鲷、多齿蛇鲷 *Saurida tumbil*、金线鱼 *Nemipterus virgatus*、大头白姑鱼 *Argyrosomus macrocephalus*、白姑鱼和花斑蛇鲷)分别占34.15%和36.05%;2006年经济鱼类(竹荚鱼、二长棘鲷、带鱼、大头白姑鱼、短尾大眼鲷和黄带鲷)则为30.99%和49.76%。由此可见,在1992年、2001年和2006年3个阶段中,北部湾秋季经济鱼类随时间逐年较少,而低值鱼类则逐年增加。

2.3 优势种数量的变动趋势

以采样时间 t_i 为自变量,用经对数转化后的鱼类渔获率值为 Y_i ,根据式(1)通过非线性迭代回归分析求算各共同优势种(发光鲷、带鱼、二长棘鲷、黄斑鲷、竹荚鱼和黄带鲷)的相关参数(表3)。

将非线性回归结果进行方差检验后,得出其相关系数 R 在0.327—0.591之间,表明模拟结果与实际没有显著性差异,即 Y_i 与 t_i 之间的密切程度较强。因此,3个年代鱼类共同优势种渔获率的年际和季节变化回归模型确定为:

$$Y_{\text{黄斑鲷}} = -12.187 + 5.000 \times 10^{-4} t_i - 6.217 \times \cos [0.0172 \times (t_i + 53.186)]$$

$$Y_{\text{发光鲷}} = -10.012 + 5.432 \times 10^{-4} t_i - 6.669 \times \cos [0.0172 \times (t_i + 50.267)]$$

$$Y_{\text{带鱼}} = 2.440 - 6.833 \times 10^{-5} t_i + 0.619 \times \cos [0.0172 \times (t_i + 48.188)]$$

$$Y_{\text{黄带鲷}} = 2.964 - 4.583 \times 10^{-5} t_i + 1.311 \times \cos [0.0172 \times (t_i - 113.151)]$$

$$Y_{\text{二长棘鲷}} = -4.176 + 1.546 \times \cos [0.0172 \times (t_i - 110.637)]$$

$$Y_{\text{竹荚鱼}} = -6.921 - 0.846 \times \cos [0.0172 \times (t_i + 45.422)]$$

根据以上回归方程拟合的北部湾鱼类渔获率的变动趋势见图2。

表2 1992—2006年间北部湾鱼类共同优势种的相对重要性指数 (IRI)

Table 2 The IRI of the common dominant fish in the Beibu Gulf during 1992—2006

种名 Species	1992	2001	2006
发光鲷 <i>A. japonicum</i>	6153.9	4552.7	3223.0
带鱼 <i>T. haumela</i>	370.1	509.3	344.2
二长棘鲷 <i>P. edita</i>	219.8	698.7	575.5
黄斑鲷 <i>L. bindus</i>	188.8	533.9	3223.0
竹荚鱼 <i>T. japonicas</i>	140.0	744.1	1516.4
黄带鲷 <i>U. sulphureus</i>	113.0	299.5	109.8

表3 根据鱼类渔获率用非线性回归分析估算的模型参数
Table 3 Parameters estimated from the nonlinear regression models of catch rates

种类 Species	参数 Parameter	估算值 Estimate	标准差 Std. error	95% 置信区间 95% Confidence interval		相关系数 Correlation coefficient
				下限 Lower bound	上限 Upper bound	
黄斑鲷 <i>L. bindus</i>	<i>a</i>	-12.187	2.710	-17.602	-6.771	0.591
	<i>b</i>	5.000×10^{-4}	0.000*	0.000*	0.001	
	<i>c</i>	-6.217	2.839	-11.890	-0.544	
	<i>d</i>	53.186	4.376	44.441	61.931	
发光鲷 <i>A. japonicum</i>	<i>a</i>	-10.012	3.603	-17.214	-2.811	0.558
	<i>b</i>	5.432×10^{-4}	0.000*	8.635×10^{-5}	0.001	
	<i>c</i>	-6.669	3.822	-14.310	0.972	
	<i>d</i>	50.267	6.713	36.847	63.686	
带鱼 <i>T. haumela</i>	<i>a</i>	2.440	2.324	-2.198	7.078	0.152
	<i>b</i>	-6.833×10^{-5}	0.000*	0.000*	0.000*	
	<i>c</i>	0.619	2.347	-4.064	5.303	
	<i>d</i>	48.188	54.793	-61.150	157.525	
黄带绯鲤 <i>U. sulphureus</i>	<i>a</i>	2.964	2.464	-1.955	7.883	0.327
	<i>b</i>	-4.583×10^{-5}	0.000*	0.000*	0.000*	
	<i>c</i>	1.311	2.538	-3.757	6.379	
	<i>d</i>	-113.151	17.477	-148.044	-78.257	
二长棘鲷 <i>P. edita</i>	<i>a</i>	-4.176	2.694	-9.543	1.191	0.330
	<i>b</i>	0.000*	0.000*	0.000*	0.000*	
	<i>c</i>	1.546	2.754	-3.941	7.032	
	<i>d</i>	-110.637	19.658	-149.798	-71.476	
竹荚鱼 <i>T. japonicus</i>	<i>a</i>	-6.921	3.680	-14.260	0.418	0.377
	<i>b</i>	0.000*	0.000*	0.000*	0.001	
	<i>c</i>	-0.846	3.664	-8.155	6.462	
	<i>d</i>	45.422	76.695	-107.543	198.386	

* $< 1 \times 10^{-5}$

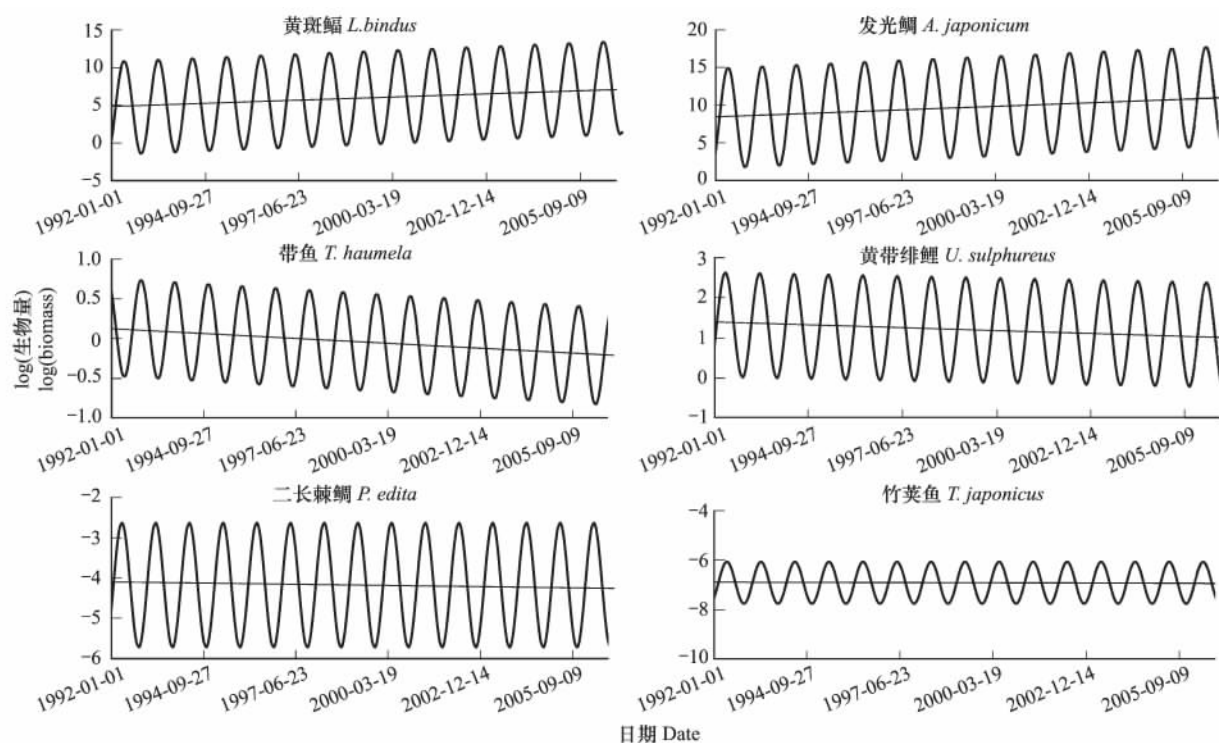


图2 北部湾主要优势种鱼类渔获率变化趋势

Fig. 2 Trends of catch rates for the main dominant fishes in the Beibu Gulf

在 6 种共同优势种(图 2)中,黄斑鲷和发光鲷的渔获率均呈上升趋势,其趋势线斜率分别为 5.000×10^{-4} 和 5.432×10^{-4} ;带鱼和黄带绯鲤的渔获率呈下降趋势,其趋势线斜率分别为 -6.833×10^{-5} 和 -4.583×10^{-5} ;而二长棘鲷和竹荚鱼的渔获率基本保持不变,趋势线斜率小于 1×10^{-5} 。由此可见,北部湾鱼类的优势种逐渐由价值较高的鱼类(带鱼和黄带绯鲤)向低值和小型的鱼类(鲷类和发光鲷)演替,而繁殖力较强和寿命较短的鱼类(竹荚鱼和二长棘鲷)变动较小。

2.4 物种多样性

表 4 为 1992—2006 年间北部湾秋季鱼类的多样性指数。从表 4 中可以看出,丰富度指数(D)虽然变化不大,但呈逐年下降的趋势:分别为 1992 年的 21.03;2001 年的 20.74 和 2006 年的 19.61。均匀度指数(J')和多样性指数(H')的变化趋势一致:以 2001 年最高,为 0.72 和 3.64;其次为 1992 年,为 0.64 和 3.27;2006 年最低,分别为 0.52 和 2.64。

表 4 北部湾鱼类多样性指数的年际变化

Table 4 Annual variations of the fish diversity indices in the Beibu Gulf

年代 Years	丰富度指数 D	均匀度指数 J'	多样性指数 H'
1992	21.03	0.64	3.27
2001	20.74	0.72	3.64
2006	19.61	0.52	2.64

根据鱼类种类在总样品中的重量和尾数的比例大小绘制的优势度曲线(k -dominance)已被广泛应用于群落结构的数据分析,该曲线能够较直观地表示群落中种类的均匀度和丰度^[14-15]。图 3 中为 1992 年秋季、2001 年秋季和 2006 年秋季北部湾鱼类生物量优势度曲线的变化情况。从图 3 可见,2006 年秋季鱼类优势度曲线明显高于 2001 年和 1992 年的优势度曲线,优势度居前的 5 种鱼类生物量累计比例高达 70.58%,优势种为发光鲷(36.99%)、竹荚鱼(14.85%)、黄斑鲷(8.77%)、二长棘鲷(5.34%)和大头白姑鱼(4.64%)等。其次为 1992 年的优势度曲线,前 5 种的生物量累计比例为 52.17%,优势种分别为发光鲷(29.90%)、白姑鱼(7.20%)、长尾大眼鲷(5.80%)、羽鳃鲷(4.66%)和花斑蛇鲷(4.61%)等。优势度曲线最低的为 2001 年,前 5 位生物量累计比例仅 39.93%,优势种依次为鳃斑石鲈 *Pomadasys grunniens* (12.82%)、发光鲷(10.76%)、带鱼(5.71%)、竹荚鱼(5.52%)和二长棘鲷(5.10%)等(表 5)。

3 讨论

3.1 北部湾秋季鱼类种类数的年际变化

北部湾地处热带-亚热带海域,中、南部水域具有热带海洋性质,海区水质优良,饵料充足,为鱼类提供了良好的产卵、育肥和栖息场所。因此,北部湾海域的鱼类具有种类繁多的特征。如 1960—1961 年的苏越联合科学考察中,记载了北部湾海域的鱼类 450 种^[16];在 1962 年的中越北部湾联合调查中,记录鱼类种数多达 487 种^[17];李显森等调查北部湾沿岸鱼类的区系,记录鱼类 361 种^[18];罗春业等结合文献较为系统的统计北部湾的鱼类种类有 472 种^[19];1997—1999 年中国开展的海洋勘测专项调查中,在北部湾海域共捕获鱼类 463 种^[20];2001—2002 年(秋季和冬季)进行的北部湾补充调查中,记录鱼类 244 种^[21];2006 年(四个季节)出现的鱼类共 308 种。可见,虽然不同年代由于调查频率和

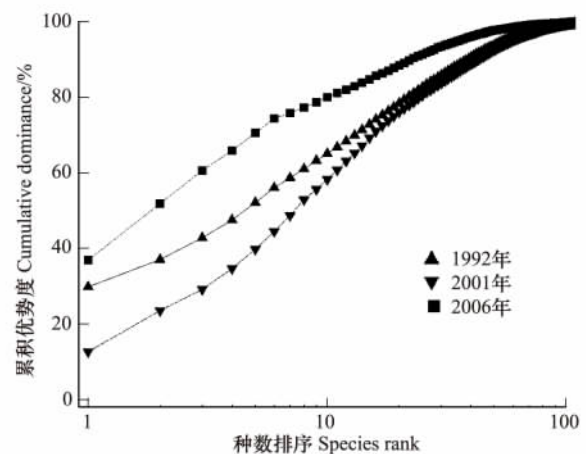


图 3 1992—2006 年秋季北部湾鱼类生物量优势度曲线
Fig. 3 K-dominance curves by biomass in autumn during 1992—2006 in the Beibu Gulf

调查区域的差异,北部湾出现的鱼类种类数变化较大,但栖息于北部湾的鱼类种数较多是客观事实,据文献记载^[22],北部湾海域鱼类约有 500 种。

表 5 不同时期北部湾优势种类鱼的重量百分比组成(不包括头足类和甲壳类)

Table 5 Percentage for weight of the dominant fish in deferent years in the Beibu Gulf (excluding cephalopods and crustaceans)

年代 Years	优势种组成 Dominant species composition
1957—1960 ^[23]	金线鱼属 <i>Nemipterus</i> 19.4%; 红笛鲷 10.7%; 大眼鲷属 <i>Priacanthus</i> 9.6%; 绯鲤属 <i>Upeneus</i> 8.1%; 马拉巴裸胸鲷 <i>Caranx malabaricus</i> 4.0%; 海鲂 <i>Arius</i> 3.4%; 二长棘鲷 2.4%; 五棘银鲈 <i>Pentaron longimanus</i> 1.5%; 断斑石鲈 <i>Pomadasys hasta</i> 1.1%; 白姑鱼属 <i>Argyrosomus</i> 0.9%。
1961—1962 ^[17]	红笛鲷 10.87%; 摩鹿加绯鲤 <i>Upeneus moluccensis</i> 4.81%; 黄带绯鲤 4.24%; 短尾鳍金线鱼 <i>Nemipterus tolu</i> 3.84%; 长棘银鲈 3.42%; 鲷 <i>Therapon theraps</i> 3.25%; 黑印真鲨 1.88%; 马拉巴裸胸鲷 <i>Caranx malabaricus</i> 1.52%; 短尾大眼鲷 1.51%; 灰裸顶鲷 1.47%。
1992	发光鲷 29.90%; 白姑鱼 7.20%; 长尾大眼鲷 5.80%; 羽鳃鲷 4.66%; 花斑蛇鲷 4.61%; 带鱼 3.94%; 马六甲绯鲤 2.54%; 条尾绯鲤 2.41%; 蓝圆鲷 2.28%; 二长棘鲷 1.74%; 何氏鲷 1.69%; 竹荚鱼 1.42%; 斑鳍红娘鱼 1.08%; 黄带绯鲤 0.94%; 粗纹鲷 0.83%; 黄斑鲷 0.52%。
2001	鳃斑石鲈 12.82%; 发光鲷 10.76%; 带鱼 5.71%; 竹荚鱼 5.52%; 二长棘鲷 5.10%; 短尾大眼鲷 4.68%; 大头白姑鱼 4.17%; 尖嘴鲷 <i>Dasyatis zugei</i> 4.12%; 白姑鱼 2.77%; 月腹刺鲷 <i>Gastrophysus lunaris</i> 2.65%; 斑鳍天竺鱼 <i>Apogonichthys carinatus</i> 2.49%; 金线鱼 2.27%; 黄带绯鲤 2.08%; 棕腹刺鲷 <i>Gastrophysus spadiceus</i> 2.02%; 多齿蛇鲷 1.20%; 黄斑鲷 1.18%; 花斑蛇鲷 0.64%。
2006	发光鲷 36.99%; 竹荚鱼 14.85%; 黄斑鲷 8.77%; 二长棘鲷 5.34%; 大头白姑鱼 4.64%; 带鱼 3.82%; 短尾大眼鲷 1.49%; 棕腹刺鲷 1.44%; 鹿斑鲷 <i>Leiognathus ruconius</i> 0.96%; 斑鳍天竺鱼 0.90%; 黄带绯鲤 0.85%; 细纹鲷 <i>Leiognathus berbis</i> 0.70%。

1992 年、2001 年和 2006 年 3 个年代秋季鱼类的数据分析表明,北部湾鱼类的种类数有减少的趋势,如从 1992 年的 171 种减至 2006 年的 157 种。近年来,由于加强了渔业资源的保护与管理(如实行休渔政策),北部湾鱼类种类数处于一个较为稳定的状态(2001 年为 156 种,2006 年为 157 种)。

3.2 优势种的变化特征

表 5 中为不同时期北部湾鱼类的优势种组成,可以看出,不同年代北部湾鱼类优势种组成的更替非常明显。红笛鲷 *Lutjanus erythropterus* 曾是北部湾盛产的优质名鱼,在 1957—1960 年和 1961—1962 年红笛鲷是北部湾渔获的重要组成部分,分别占渔获的 10.7% 和 10.87%。此后,随着红鱼(红笛鲷的俗名)子母钓和拖网的迅速发展,红笛鲷的资源密度急剧下降。1961—1962 年红笛鲷资源密度高达 229.5 kg/km²,到 1992—1993 年只有 9.0 kg/km²,1998—1999 仅为 0.48 kg/km²^[2]。资源衰竭的鱼类还有长棘银鲈 *Gerres filamentosus*、黑印真鲨 *Carcharhinus menisorrhah* 和灰裸顶鲷 *Gymnocranius griseus* 等优质鱼类。由于红笛鲷等优质鱼类的个体大,寿命长和生长缓慢,其生活史属于 *k* 选择类型,资源一旦被破坏需要很长的时间才能逐步恢复。在近年的北部湾海洋调查中,只有较小的红笛鲷幼鱼零星出现。2006 年,红笛鲷仅占渔获组成的 0.02%。

从 2006 年北部湾鱼类的优势种还可以看出,小型的发光鲷居渔获量的首位,高达 36.99%。发光鲷在 1960 年代渔获比例很小,并不引起人们的注意^[1]。由于发光鲷、鲷等小型鱼类的生命短、生长快,属于 *r* 选择类型且随着个体较大鱼类的减少,发光鲷、鲷等小型鱼类在渔获的比例逐渐增大。在近年调查中^[1],发光鲷所占比例逐渐增多,如 1992 年秋季占渔获比例的 29.90%,2001 年秋季占 10.76%,本次高达 36.99%。

二长棘鲷、白姑鱼属(白姑鱼、大头白姑鱼和斑鳍白姑鱼 *Argyrosomus pawak*)、蛇鲷(多齿蛇鲷和花斑蛇鲷)、蓝圆鲷和竹荚鱼是北部湾较为稳定的资源种类,尽管这些鱼在不同年代的渔获有所差别,但是基本都为各次调查的优势种类,属正常的季节波动。

可见,北部湾鱼类优势种更替的总体趋势为 *k* 选择种类被 *r* 选择种类替代,即寿命长、个体大和营养级高的鱼类减少(以红笛鲷和黑印真鲨等为代表),寿命短、个体小和营养级较低的种类增多(发光鲷、鲷类和天竺鱼等为代表)。

北部湾鱼类优势种的更替是海洋食物网控制机理中“下行控制(top-down control)”的具体表现,较高营养

级的肉食性鱼类(红笛鲷、黑印真鲨和灰裸顶鲷等)减少,势必使被捕食者(发光鲷、蝠类和天竺鱼等)的量增加^[24]。研究表明,北部湾海洋生态系统的营养结构发生了明显的变化,游泳动物食性鱼类和底栖生物食性鱼类的种类数日益减少,而浮游生物食性鱼类的种类数及其渔获比例明显增加。

3.3 生物多样性

比较 1992 年、2001 年和 2006 年北部湾秋季鱼类多样性(表 4),可见 2001 年秋季北部湾鱼类的多样性最高。由于鱼类多样性是根据渔获物统计的,所以分析渔获率对分析鱼类多样性的变化具有重要的意义。渔获率的变动除受自然环境的影响外,更重要的是捕捞效应的结果。从南海乃至全国海洋渔业的发展来看,1950 年代后期机轮渔业可是发展,渔业劳动力的自然增长和非渔业劳动力向捕捞业的转移,我国的海洋捕捞能力持续增长。从 1980 年代初开始,随着渔业经营方式的变化,海洋捕捞能力在一次急剧增加。捕捞业的快速扩张和捕捞能力的增强导致渔业资源呈现快速下降趋势。袁蔚文等^[25]和邱永松^[26]分别对北部湾 1992—1993 年底拖网鱼类资源状况和主要经济鱼类的评估和分析结果表明,与海洋渔业开发初期的 1960 年代初相比,鱼类资源衰退十分明显,总资源量显著下降。自 1980 年代以来,北部湾的海洋捕捞能力一直处于过剩状态,鱼类资源持续衰退。自 1999 年起,南海区开始实施伏季休渔制度,严格控制捕捞业的发展,休渔使渔业资源下滑的趋势得到控制,使北部湾渔业资源在近年有所恢复。因此,休渔后的 2001 年北部湾鱼类资源有所恢复,多样性指数呈上升趋势,达到 3 个阶段的最高值。个体较大的红笛鲷、黑印真鲨和灰裸顶鲷等优质鱼类的衰退,小型底层鱼类发光鲷的大量繁殖而形成较大的群体,并在渔获组成中所占比例上升,从而导致 2006 年秋季北部湾鱼类多样性和均匀度下降。

表 6 不同海域鱼类多样性指数的比较

Table 6 Comparison of the diversity index among different regions

年份 Years	区域 Region	范围 Range	平均 Average	文献 Reference
2000	黄海南部 Southern Yellow Sea	0.82—1.99	1.45	[27]
2000	黄海 Yellow Sea	0.40—2.34	1.58	[28]
1998—1999	莱州湾 Laizhou Bay	1.32—2.25	1.93	[29]
2000	东海北部 Northern East China Sea	0.54—2.74	1.84	[27]
2000	东海中部 Central East China Sea	0.31—2.78	1.88	[27]
2000	东海 East China Sea	0.31—3.15	1.79	[28]
2004—2005	西沙群岛 Xisha Islands	1.95—3.86	3.24	[30]
2004—2005	中沙群岛 Zhongsha Islands	2.70—4.10	3.47	[30]
2004—2005	南沙群岛 Nansha Islands	0.92—3.71	2.58	[30]
1992	北部湾 The Beibu Gulf	—	3.27	本文
2001	北部湾 The Beibu Gulf	—	3.64	本文
2006	北部湾 The Beibu Gulf	—	2.64	本文

表 6 列出了国内几个海域的 Shannon-Wiener 多样性指数分布范围和平均值。从表 6 多可以看出,南海鱼类多样性指数明显高于东海和黄海。这种现象与各海域所处的地理位置有密切关系,一般低纬度海域的物种多样性比高纬度海域高。

3.4 北部湾渔业资源保护其可持续利用对策

北部湾地处纬度较低的南海西北部海域,低纬度海域捕捞过度的结果不一定是总渔获量的下降,更大程度上表现为种类的更替和渔获质量的下降。本文的研究结果进一步证实以上观点。北部湾的渔业资源因捕捞作业量大大超过最适作业量,已处于过度利用状态,但目前的实际渔获量可能高于上述最大持续产量的估计值,资源过度的结果是渔获质量和捕捞业效益的下降。为了使资源得到合理利用,必须大量减少捕捞作业量。根据北部湾的现实情况,大量缩减渔船或转移渔场是不可能的,但可以通过缩减各渔船的作业时间和渔具数量,在一定程度上达到减少捕捞作业量的目的^[21]。

渔业资源管理是一种多目标决策,可以选择最大持续产量、最大经济效益产量,或综合考虑各种政治、社会经济因素的所谓最适产量。对于北部湾的具体情况,在最大持续产量和最大经济效益产量两者之间,显然应该选择前者,它可安置更多的渔船。使更多的渔民得以就业,应该是北部湾资源管理的最重要目标之一。北部湾的海况比南海北部其它区域更适合于小型渔船作业,为了缓解就业压力,北部湾海域应尽可能多地用于安置小型渔船,并尽量安排大型底拖网渔船到北部湾以外海域生产^[21]。

致谢:美国缅因大学陈勇教授对写作给予帮助;中国水产科学研究院南海水产研究所王跃中、梁新同志参加外业调查;梁小芸高级实验师负责数据录入;广西北海渔业公司“北渔 60011”吴福禧船长和全体船员参加样品采集工作,在此一并致谢。

References:

- [1] Yuan W W. Dynamics and succession of demersal resources in the Beibu Gulf. *Journal of Fishery Sciences of China*, 1995, 2(2): 57-65.
- [2] Sun D R, Lin Z J. Variations of major commercial fish stocks and strategies for fishery management in the Beibu Gulf. *Journal of Tropical Oceanography*, 2004, 23(2): 62-68.
- [3] Sun D X, Liu X, Ou Y J, Li J E, Ou C X, Jiang H S. Studies on status of fishery resources in coastal waters of Leizhou Peninsula in Beibu Gulf. *Journal of Tropical Oceanography*, 2008, 27(3): 66-71.
- [4] Chen Z Z, Qiu Y S. Estimation of growth and mortality parameters of *Parargyrops edita* Tanaka in Beibu Bay. *Journal of Fisheries of China*, 2003, 27(3): 251-257.
- [5] Sun D R, Qiu Y S. Estimation of growth and mortality parameter of *Priacanthus tayenus* in the Beibu Gulf. *Transactions of Oceanology and Limnology*, 2004, (3): 27-34.
- [6] Wang X H, Qiu Y S, Du F Y, Lin Z J, Sun D R, Huang S L. Fish community pattern and its relation to environmental factors in the Beibu Gulf. *Journal of Fisheries of China*, 2010, 34(10): 1579-1586.
- [7] Chen J X, Ou Y J, Liao Y P, Lu H, Chen R B, Peng H L, Jiang H S. Preliminary study on fish community structure in the coastal waters of Leizhou in Beibu Gulf during spring and summer. *Ecology Science*, 2006, 25(4): 354-358.
- [8] Qiao Y L, Chen Z Z, Lin Z J. Changes of community structure of fishery species during spring and autumn in Beibu Gulf. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2008, 15(5): 816-821.
- [9] Standardization Administration of China. GB/T 12763. 6—2007 Specifications for oceanographic (survey-Part 6: Marine biological survey). Beijing: Standards Press of China, 2007.
- [10] Pinkas L, Oliphant M S, Iverson I L K. Food habits of albacore, bluefin tuna, and bonito in California waters. *California Department of Fish and Game Fish Bulletin*, 1971, (152): 1-105.
- [11] Wilhm J L. Use of biomass units in Shannon's formula. *Ecology*, 1968, 49: 153-156.
- [12] Clarke K R, Warwick R M. Change in Marine Communities: An Approach to Statistical Analysis and Interpretation. 2nd ed. Plymouth: PRIMPER-E, 2001.
- [13] Legendre L, Legendre P. Numerical Ecology. New York: Elsevier Scientific Press, 1983: 339-369.
- [14] Clarke K R. Comparisons of dominance curves. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 1990, 138(1/2): 143-157.
- [15] Jin X S, Deng J Y. Variations in community structure of fishery resources and biodiversity in the Laizhou Bay, Shandong. *Chinese Biodiversity*, 2000, 8(1): 65-72.
- [16] Institute of Oceanography, USSR Academy of Sciences, Institute of Fishery and Oceanography, Pacific Ocean (Vladivostok). South China Sea Fisheries Research Institute, Translation. Several characteristic fauna of fishes in the Beibu Gulf. 1964: 1-28.
- [17] Yuan W W, Qiu Y S, Guo J F, Chen Z X, Zhong Z R. Survey of fishery resources by otter trawl in the Beibu Gulf. South China Sea Fisheries Research Institute, 1994: 22-76.
- [18] Li X S, Liang Z H, Jiang M X. A preliminary study on the fish fauna in the northern Beibu Gulf along our coastal area. *Journal of Guangxi Academy of Science*, 1987, 3(2): 95-116.
- [19] Luo C Y, Li Y, Zhu Y, Nong X W. A further faunistic study of fisher from the Beibu Bay. *Journal of Guangxi Normal University(Natural Science)*, 1999, 17(2): 85-89.
- [20] Jia X P, Li C H, Qiu Y S. Assessment and Sustainable Utilization of Marine Fisher Resources in Guangdong Province. Beijing: Ocean Press, 2005: 319-322.
- [21] Jia X P, Li C H, Lin Z J. Fishery Environment and Fishery Resources in the Beibu Gulf. Beijing: Science Press, 2003: 111-116.

- [22] Institute of Zoology, Chinese Academy of Science. Fishes in South China Sea. Beijing: Science Press, 1962: 1-1127.
- [23] Hu J Y, Yang S Y. Collection of Marine Science in the Beibu Gulf. Beijing: Ocean Press, 2008: 290-299.
- [24] Parsons T R. The removal of marine predators by fisheries and the impact of trophic structure. Marine Pollution Bulletin, 1992, 25(1/4): 51-53.
- [25] Yuan W W, Qiu Y S, Guo J F. Stock assessment on the fishery resources by otter trawl in the Beibu Gulf. South China Sea Fisheries Research, 1995, (11): 10-21.
- [26] Qiu Y S. Distribution of the commercial fishes in the Beibu Gulf. South China Sea Fisheries Research, 1995, (11): 1-9.
- [27] Liu Y, Li S F, Chen X G, Cheng J H. The structure and diversity of demersal fish communities in winter 2000 in the East China Sea and the Yellow Sea. Marine Sciences. 2007, 31(10): 19-24.
- [28] Chen J S, Yu L F. The change of structure and diversity of demersal fish communities in the Yellow Sea and East China Sea in winter. Journal of Fisheries of China. 2004, 28(1): 29-34.
- [29] Jin X S, Deng J Y. Variations in community structure of fishery resources and biodiversity in the Laizhou Bay, Shandong. Chinese Biodiversity, 2000, 8(1): 65-72.
- [30] Chen G B, Li Y Z, Chen X J. Species diversity of fishes in the coral reefs of South China Sea. Biodiversity Science, 2007, 15(4): 373-381.

参考文献:

- [1] 袁蔚文. 北部湾底层渔业资源的数量变动和种类更替. 中国水产科学, 1995, 2(2): 57-65.
- [2] 孙典荣, 林昭进. 北部湾主要经济鱼类资源变动分析及保护对策探讨. 热带海洋学报, 2004, 23(2): 62-68.
- [3] 孙德雄, 刘宣, 区又君, 李加儿, 欧春晓, 江海声. 北部湾雷州沿岸鱼类资源现状研究. 热带海洋学报, 2008, 27(3): 66-71.
- [4] 陈作志, 邱永松. 北部湾二长棘鲷生长和死亡参数估计. 水产学报, 2003, 27(3): 251-257.
- [5] 孙典荣, 邱永松. 北部湾长尾大眼鲷生长和死亡参数估计. 海洋湖沼通报, 2004, (3): 27-34.
- [6] 王雪辉, 邱永松, 杜飞雁, 林昭进, 孙典荣, 黄硕琳. 北部湾鱼类群落格局及其与环境因子的关系. 水产学报, 2010, 34(10): 1579-1586.
- [7] 陈嘉欣, 区又君, 廖银萍, 鲁慧, 陈锐彬, 彭海龙, 江海声. 北部湾雷州近海春、夏季鱼类群落结构初探. 生态科学, 2006, 25(4): 354-358.
- [8] 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. 中国水产科学, 2008, 15(5): 816-821.
- [9] 中国国家标准化管理委员会. GB/T 12763.6—2007 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.
- [15] 金显仕, 邓景耀. 莱州湾渔业资源群落结构和生物多样性的变化. 生物多样性, 2000, 8(1): 65-72.
- [16] 苏联科学院海洋研究所, 太平洋渔业与海洋科学研究所(海参崴). 水产部南海水产研究所, 译. 北部湾鱼类区系的若干特点. 1964: 1-28.
- [17] 袁蔚文, 邱永松, 郭金富, 陈正兴, 钟振如. 北部湾底拖网渔业资源调查. 南海水产研究, 1994, 22-76.
- [18] 李显森, 梁志辉, 蒋明星. 北部湾北部我国沿岸海区鱼类区系初步调查. 广西科学院学报, 1987, 3(2): 95-116.
- [19] 罗春业, 李英, 朱瑜, 农新闻. 广西北部湾鱼类区系的再研究. 广西师范大学学报(自然科学版), 1999, 17(2): 85-89.
- [20] 贾晓平, 李纯厚, 邱永松. 广东海洋渔业资源调查评估与可持续利用对策. 北京: 海洋出版社, 2005: 319-322.
- [21] 贾晓平, 李纯厚, 林昭进. 北部湾渔业生态环境与渔业资源. 北京: 科学出版社, 2003: 111-187.
- [22] 中国科学院动物研究所. 南海鱼类志. 北京: 科学出版社, 1962: 1-1127.
- [23] 胡建宇, 杨圣云主编. 北部湾海洋科学研究论文集. 北京: 海洋出版社, 2008: 290-299.
- [25] 袁蔚文, 邱永松, 郭金富. 北部湾底拖网渔业资源评估. 南海水产研究, 1995, (11): 10-21.
- [26] 邱永松. 北部湾主要经济鱼类分布. 南海水产研究, 1995, (11): 1-9.
- [27] 刘勇, 李圣法, 陈学刚, 程家骅. 东、黄海2000年冬季底层鱼类群落结构及其多样性. 海洋科学, 2007, 31(10): 19-24.
- [28] 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. 水产学报, 2004, 28(1): 29-34.
- [29] 金显仕, 邓景耀. 莱州湾渔业资源群落结构和生物多样性的变化. 生物多样性, 2000, 8(1): 65-72.
- [30] 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. 生物多样性, 2007, 15(4): 373-381.