

doi: 10.3969/j.issn.2095-0780.2017.02.004

南海柘林湾鱼类群落结构季节变动的研究

袁华荣, 陈丕茂, 秦传新, 黎小国, 周艳波, 冯雪,
余景, 舒黎明, 唐振朝, 佟飞

(中国水产科学研究院南海水产研究所, 中国水产科学研究院海洋牧场技术重点实验室, 农业部南海渔业资源环境科学观测实验站, 广东省渔业生态环境重点实验室, 广东广州 510300)

摘要: 为阐明南海柘林湾鱼类群落结构的动态变化, 基于2011年4月(春季)、8月(夏季)、11月(秋季)和2012年2月(冬季)对南海柘林湾拖网调查的数据, 对柘林湾鱼类群落结构季节动态、鱼类营养级指数季节变化进行了初步分析。结果显示, 各季节调查共捕获鱼类99种, 底层鱼类占49.49%, 暖水性鱼类占78.78%, 肉食性鱼类占79.79%。各季节质量百分比和数量百分比优势种以拟矛尾鰕虎鱼(*Parachaeturichthys polynema*)、龙头鱼(*Harpodon nehereus*)、皮氏叫姑鱼(*Johnius belengeri*)等为主。柘林湾鱼类资源密度和资源尾数密度最高季节为夏季, 各季节鱼类个体体质量大多小于15 g。春、秋季鱼类组成相对丰富, 冬季生物量优势度最高。柘林湾鱼类以中级肉食性和高级肉食性为主, 年度平均营养级指数为3.478, 属于中级水平, 夏季高营养级鱼类平均体质量最高。

关键词: 鱼类; 群落结构; 季节变动; 营养级; 南海柘林湾

中图分类号: S 922.9⁺5

文献标志码: A

文章编号: 2095-0780-(2017)02-0026-10

Seasonal variation of fish community structure in Zhelin Bay, the South China Sea

YUAN Huarong, CHEN Pimao, QIN Chuanxin, LI Xiaoguo, ZHOU Yanbo, FENG Xue,
YU Jing, SHU Liming, TANG Zhenzhao, TONG Fei

(Key Lab. of Marine Ranch Technology, Chinese Academy of Fishery Sciences; Scientific Observing and Experimental Station of South China Sea Fishery Resources and Environment, Ministry of Agriculture; Guangdong Provincial Key Lab. of Fishery Ecology and Environment; South China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Guangzhou 510300, China)

Abstract: Based on the data collected by quarterly otter trawl surveys in Zhelin Bay from 2011 to 2012, we analyzed the fish species composition, resources structure and trophic level. A total of 99 fishes were collected during the surveys. The proportions of demersal fish, tropical fish, and carnivorous fish were 49.49%, 78.78% and 79.79%, respectively. The composition of the dominant species of biomass and abundance percentages was similar, including *Parachaeturichthys polynema*, *Harpodon nehereus* and *Johnius belengeri*. The maximal biomass and abundance of fish were in summer in Zhelin Bay. The average body weight of fish in four seasons was less than 15 g. The composition of fish was more abundant in spring and autumn. The dominance of biomass of fish was the highest in winter. The feeding habit of fish in Zhelin Bay was mainly intermediate carnivorous and advanced carnivorous. The change of trophic level of four seasons was inconspicuously. The annual average trophic level index was 3.478 of intermediate level. It was in summer

收稿日期: 2016-04-27; 修回日期: 2016-06-27

资助项目: 公益性行业(农业)科研专项经费项目(201003068); 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金(中国水产科学研究院南海水产研究所)资助项目(2014TS07); 农业部东海与远洋渔业资源开发利用重点实验室开放课题(2013K07)

作者简介: 袁华荣(1987-), 男, 硕士, 助理研究员, 从事海洋牧场、音响驯化研究。E-mail: yhr_gd@163.com

通信作者: 陈丕茂(1969-), 男, 研究员, 从事资源养护与海洋牧场研究。E-mail: chenpm@scsfri.ac.cn

that the average body weight of high trophic level fish peaked.

Key words: fish; community structure; seasonal variation; trophic level; Zhelin Bay of the South China Sea

海湾是重要的渔业资源生产和养殖区域^[1],也是人类对海域利用率较大的区域。柘林湾位于粤闽交界处,具有典型的不规则半日潮,退潮速度大于涨潮速度,底质为泥沙,是一个半封闭的河口湾,是多种鱼类栖息、索饵、洄游与繁殖生长的场所^[2]。自20世纪90年代以来,柘林湾大力发展海水网箱养殖,目前已成为广东省海水增殖养殖密度最大的海湾之一^[3];然而,高密度的养殖一方面阻碍了柘林湾内外海水交换,另一方面网箱养殖本身残饵累积和废弃物增加,加上周边人口密度大,人类活动频繁,水体交换减弱,严重影响了柘林湾生态环境。

鱼类的分布与其栖息的生态环境密切相关,其数量和结构的变动直接影响渔业资源量,同时又是了解海域生态系统结构和功能的重要内容之一^[4]。鱼类群落结构与功能可反映海洋生态系统状态,因此常作为评价海洋生态系统健康的指标^[5]。近年来,中国学者对鱼类群落结构的年际变化、季节动态开展了大量研究,主要有北部湾鱼类群落结构划分及群落与环境因子的关系^[6],北部湾局部海域鱼类的多样性^[7],莱州湾渔业资源群落结构和生物多样性变化^[5],南海主要珊瑚礁鱼类物种多样性以及珊瑚礁鲷科鱼类的组成和分布^[8-9],马鞍列岛岩礁生境鱼类和枸杞岛潮下带沙地生境鱼类群落结构时空格局^[10-11],南海鱼类生物多样性与区系分布^[12],北部湾秋、冬季渔业生物群落结构特征的变化^[13]等。然而,尚未见到关于柘林湾鱼类群落结构动态变化的研究报道。为阐明近年来柘林湾鱼类的种类组成、优势种、生物量时空趋势、生物多样性等季节变化,文章基于2011年~2012年对柘林湾鱼类拖网调查的数据,对柘林湾鱼类种类更替、生物量变动、生物多样性及营养级季节变动进行了分析,以期为柘林湾鱼类群落结构季节变化提供基础资料,为柘林湾鱼类资源的保护、可持续利用和海湾生态保护策略提供依据。

1 材料与方法

1.1 研究区域

研究区域为南海柘林湾海域,其位于海山岛、汛洲岛、碧洲岛之间和南澳岛北部及东北部海域,

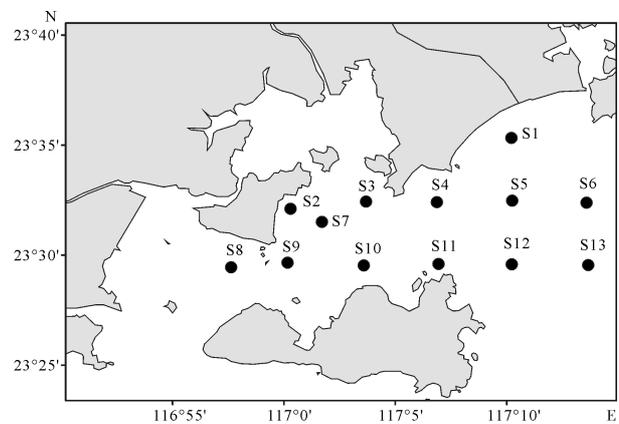


图1 柘林湾海域和采样站点分布

Fig. 1 Survey area and sampling sites in Zhelin Bay

在该海域布设13个站位对鱼类资源进行调查,站位分布见图1。其中S2、S7~S10站位于贝类养殖区,S1、S3~S5、S11~S12站位于增殖放流区,S6、S13站位于对比区。

1.2 材料来源

数据来自2011年4月、8月、11月和2012年2月拖网渔船“粤饶平46177”在柘林湾调查渔获物分析所得数据,分别对应春季、夏季、秋季和冬季。调查和分析均按《海洋监测规范》(GB17378—2007)、《海洋调查规范-海洋生物调查》(GB/T 12763.6—2007)中规定的方法进行。每站渔获物现场鉴定称量,渔获物鉴定到种。

1.3 研究方法

按季度月对鱼类群落结构进行动态研究。所有鱼类按适温性分为暖水种、暖温种和冷温种,根据鱼类喜好的活动水层将其分为中上层、近底层和底层鱼类^[11]。计算各季度鱼类资源密度及栖息密度的分布;计算群落多样性指标,包括Shannon-Winener多样性指数(H')、Pielou均匀度指数(J')、Margalef丰富度指数(D);该研究尝试用生物量优势度曲线分析鱼类的群落格局及其季节变化。通过营养级与平均体质量关系曲线分析不同季度月鱼类群落营养结构的动态变化,南海区鱼类营养级数据来自FishBase网站。各群落多样性指标计算公式为:

$$H' = - \sum_{i=1}^s P_i \log_2 P_i \quad (1)$$

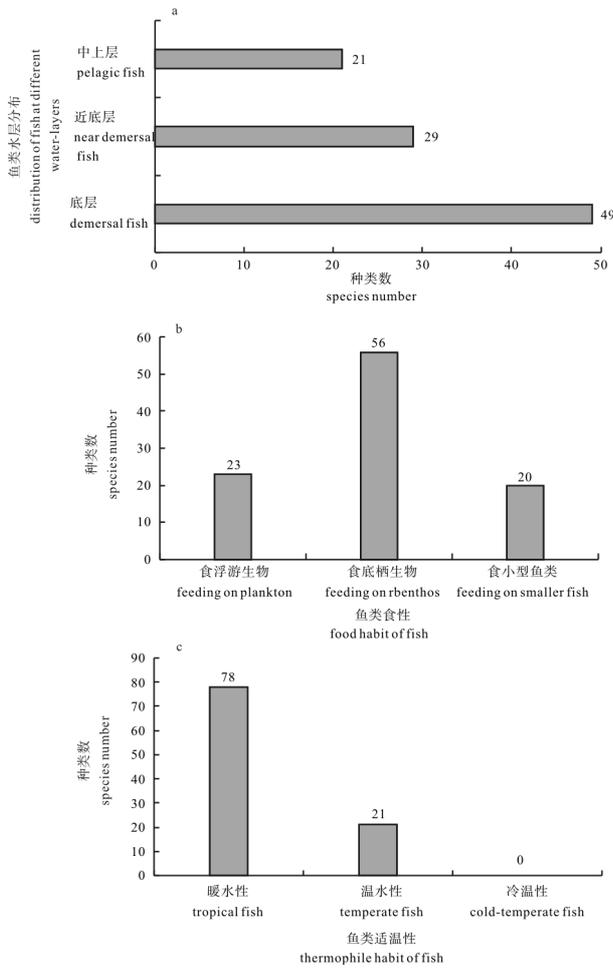


图 2 柘林湾海域鱼类各水层、食性和适温性种类数组成

Fig. 2 Number of fish species of different water course, food habit and thermophile habit in Zhelin Bay

$$J' = \frac{H'}{\log_2 S} \quad (2)$$

$$D = \frac{(S-1)}{\ln N} \quad (3)$$

鱼类平均营养级指数： $\overline{TL}_k = \frac{\sum_{i=1}^m TL_i y_{ik}}{Y_k}$ (4)

式中 S 为鱼类种数, P_i 为第 i 种鱼占鱼类总个体数的百分比, N 为鱼类总尾数, TL_i 为生物 i 的营养级, Y_{ik} 为 i 种类在 k 季节的生物量, Y_k 为 k 季节 m 个种类的总生物量。

2 结果

2.1 鱼类种类组成和空间生态型组成

南海柘林湾海域 4 个季节共渔获鱼类 99 种, 隶属 9 目 43 科 76 属, 其中以鲈形目最多, 为 57 种。按照鱼类生态类群划分, 全年调查渔获均为海

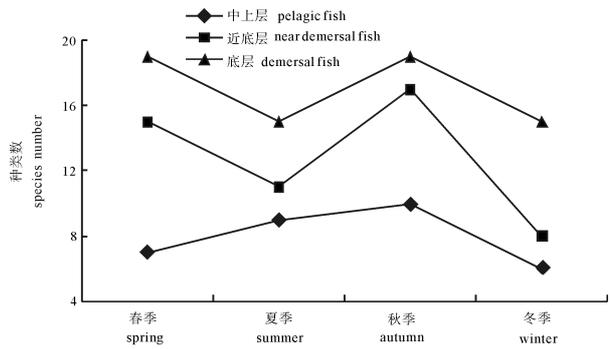


图 3 鱼类群落空间生态类型种数随季节变动情况
Fig. 3 Change of number of ecological species of fish in four seasons

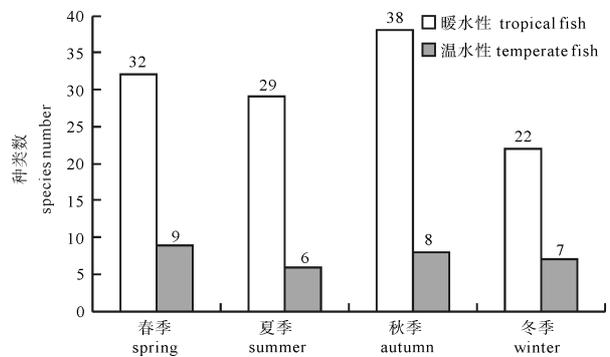


图 4 鱼类适温性类型种数随季节变动情况

Fig4 Change of number of thermophile of fish in four seasons

洋鱼类, 在湾内及湾外分布均匀。不同生态类型种类数组成上, 暖水性鱼类明显多于温水性鱼类, 未出现冷温性鱼类; 底层鱼类明显多于中上层、近底层鱼类; 以底栖生物为食的鱼类明显多于以浮游生物和小型鱼类为食的鱼类(图 2)。

4 个季节鱼类均以底层、近底层鱼类为主, 底层鱼类所占鱼类总数比例从高到低依次为冬季 > 春季 > 夏季 > 秋季; 近底层鱼类所占鱼类总数比例从高到低依次为春季 = 秋季 > 夏季 > 冬季; 中上层鱼类所占鱼类总数比例从高到低依次为夏季 > 秋季 > 冬季 > 春季。春季渔获 41 种鱼类, 隶属 8 目 19 科, 中上层鱼类 7 种, 近底层 15 种, 底层鱼类 19 种; 夏季渔获 38 种鱼类, 隶属 7 目 25 科, 中上层鱼类 9 种, 近底层 11 种, 底层鱼类 15 种; 秋季渔获鱼类 46 种, 隶属 8 目 26 科, 中上层鱼类 10 种, 近底层 17 种, 底层鱼类 19 种; 冬季渔获鱼类 28 种, 隶属 6 目 14 科, 中上层鱼类 6 种, 近底层 8 种, 底层鱼类 15 种(图 3)。

4 个季节渔获鱼类适温性组成见图 4, 可见暖

水性鱼类明显多于温水性，4个季节暖水性鱼类所占当季渔获总数的比例均在75%以上。

2.2 优势种季节变化特征

周年各季节柘林湾海域鱼类的质量优势种和数量优势种类有所差异，各季节鱼类质量百分数和数量百分数前5位的种类见表1和表2。质量百分数前5位的鱼类中，没有在4个季节均出现的种类；在4个季节中出现3次的种类为拟矛尾鰕虎鱼(*Parachaeturichthys polynema*)、龙头鱼(*Harpodon nehereus*)、皮氏叫姑鱼(*Johnius belengeri*)；在4个季节中出现2次的种类为带鱼(*Trichiurus haumela*)、白姑鱼(*Argyrosomus argentatus*)。数量百分数前5位的鱼类中，同样没有在

各季节中均出现的种类；在4个季节中出现3次的种类为拟矛尾鰕虎鱼、皮氏叫姑鱼；在4个季节中出现2次的种类为矛尾鰕虎鱼(*Chaeturichthys stigmatias*)、龙头鱼。

从周年各季节鱼类质量和数量百分比前5位来看，春季和夏季经济种类多于秋季和冬季，但均以小型低质鱼类为主。4个季节鱼类的平均体质量浮动较大，春季、夏季、秋季、冬季鱼类平均体质量分别为 $8.12 \text{ g}\cdot\text{尾}^{-1}$ 、 $14.11 \text{ g}\cdot\text{尾}^{-1}$ 、 $4.39 \text{ g}\cdot\text{尾}^{-1}$ 和 $14.62 \text{ g}\cdot\text{尾}^{-1}$ 。各季节渔获单种中，夏季渔获鹿斑鲷(*Leiognathus ruconius*)尾数显著多于其他种，占总渔获尾数的54.06%，且该种类属小型鱼类，体质量小。

表1 柘林湾海域周年各季度月质量百分比前5位鱼类

Tab.1 Top five fishes in terms of biomass percentages in Zhelin Bay

春季 spring	%	夏季 summer	%	秋季 autumn	%	冬季 winter	%
拟矛尾鰕虎鱼 <i>Parachaeturichthys polynema</i>	22.17	鹿斑鲷 <i>Leiognathus ruconius</i>	38.70	花鲈 <i>Lateolabrax japonicus</i>	21.22	拟矛尾鰕虎鱼 <i>Parachaeturichthys polynema</i>	30.12
皮氏叫姑鱼 <i>Johnius belengeri</i>	15.92	杜氏梭鲈 <i>Thrixa dussumieri</i>	11.32	龙头鱼 <i>Harpodon nehereus</i>	4.95	龙头鱼 <i>Harpodon nehereus</i>	14.77
龙头鱼 <i>Harpodon nehereus</i>	11.59	白姑鱼 <i>Argyrosomus argentatus</i>	8.00	矛尾鰕虎鱼 <i>Chaeturichthys stigmatias</i>	3.44	皮氏叫姑鱼 <i>Johnius belengeri</i>	12.54
白姑鱼 <i>Argyrosomus argentatus</i>	8.82	四指马鲛 <i>Eleutheronema tetradactylum</i>	7.04	拟矛尾鰕虎鱼 <i>Parachaeturichthys polynema</i>	2.52	钝孔鰕虎鱼 <i>Amblyotrypauchen arctocephalus</i>	8.20
花鲈 <i>Clupanodon thrissa</i>	5.47	带鱼 <i>Trichiurus haumela</i>	6.33	皮氏叫姑鱼 <i>Johnius belengeri</i>	2.21	带鱼 <i>Trichiurus haumela</i>	7.58

表2 柘林湾海域周年各季度月数量百分比前5位鱼类

Tab.2 Top five fishes in terms of abundance percentages in Zhelin Bay

春季 spring	%	夏季 summer	%	秋季 autumn	%	冬季 winter	%
拟矛尾鰕虎鱼 <i>Parachaeturichthys polynema</i>	41.87	鹿斑鲷 <i>Leiognathus ruconius</i>	54.06	矛尾鰕虎鱼 <i>Chaeturichthys stigmatias</i>	34.00	拟矛尾鰕虎鱼 <i>Parachaeturichthys polynema</i>	29.47
皮氏叫姑鱼 <i>Johnius belengeri</i>	12.52	杜氏梭鲈 <i>Thrixa dussumieri</i>	24.60	拟矛尾鰕虎鱼 <i>Parachaeturichthys polynema</i>	15.84	灰康吉鲷 <i>Conger cinereus</i>	27.51
鳙 <i>Ilisha elongata</i>	8.20	白姑鱼 <i>Argyrosomus argentatus</i>	8.51	龙头鱼 <i>Harpodon nehereus</i>	6.62	矛尾鰕虎鱼 <i>Chaeturichthys stigmatias</i>	13.56
龙头鱼 <i>Harpodon nehereus</i>	4.17	尖吻小公鱼 <i>Anchoxiella heteroloba</i>	2.59	皮氏叫姑鱼 <i>Johnius belengeri</i>	5.44	钝孔鰕虎鱼 <i>Amblyotrypauchen arctocephalus</i>	6.09
红狼牙鰕虎鱼 <i>Odonamblyopus rubicundus</i>	4.17	鲷 <i>Leiognathus insidiator</i>	1.56	孔鰕虎鱼 <i>Trypauchen vagina</i>	5.20	皮氏叫姑鱼 <i>Johnius belengeri</i>	4.52

2.3 鱼类生物量时空分布及个体生物量变化

柘林湾春季、夏季、秋季、冬季鱼类的平均资源密度分别为 $3.248 \text{ kg}\cdot\text{km}^{-2}$ 、 $4.350 \text{ kg}\cdot\text{km}^{-2}$ 、 $3.483 \text{ kg}\cdot\text{km}^{-2}$ 、 $2.311 \text{ kg}\cdot\text{km}^{-2}$ ，年度平均资源密度为 $3.348 \text{ kg}\cdot\text{km}^{-2}$ ；春季、夏季、秋季、冬季鱼类平均资源尾数密度分别为 $231.5 \text{ 尾}\cdot\text{km}^{-2}$ 、 $980.4 \text{ 尾}\cdot\text{km}^{-2}$ 、 $264.7 \text{ 尾}\cdot\text{km}^{-2}$ 、 $291.3 \text{ 尾}\cdot\text{km}^{-2}$ ，年度平均资源尾数密度为 $441.9 \text{ 尾}\cdot\text{km}^{-2}$ 。可见夏季柘林湾鱼类资源密度和资源尾数密度相对最高。夏季、秋季鱼类资源密度变化不大，与冬季相差较大；夏季鱼类资源尾数密度明显高于春、秋、冬三季。

春季，S3、S7、S9和S12站鱼类资源密度相对较高，S3、S7、S9站组成的断面与岸线平行，S12站位于南澳岛东北部；S2、S3和S12站鱼类资

源尾数密度相对最高，S2、S3站组成的断面与岸线平行(图5)。夏季，S1、S4和S10站鱼类资源密度相对较高，该3站组成的断面与岸线平行；S5、S9、S10和S11站鱼类资源尾数密度相对较高，主要位于南澳岛与大陆之间海域和南澳岛东北部海域。秋季，S3、S8、S9和S13站鱼类资源密度相对较高，S3、S8和S10站尾数资源密度相对较高，生物量相对较高的站位主要分布在南澳岛和大陆之间海域和南澳岛东部海域。冬季，S3、S7、S8站鱼类资源密度相对较高，该三站组成的断面与岸线平行；S2、S3站鱼类资源尾数密度相对较高，位于南澳岛和大陆之间海域的西北部。

柘林湾各季度鱼类个体体质量大多小于15g。春季，柘林湾鱼类以体质量5~10g的个体为主，

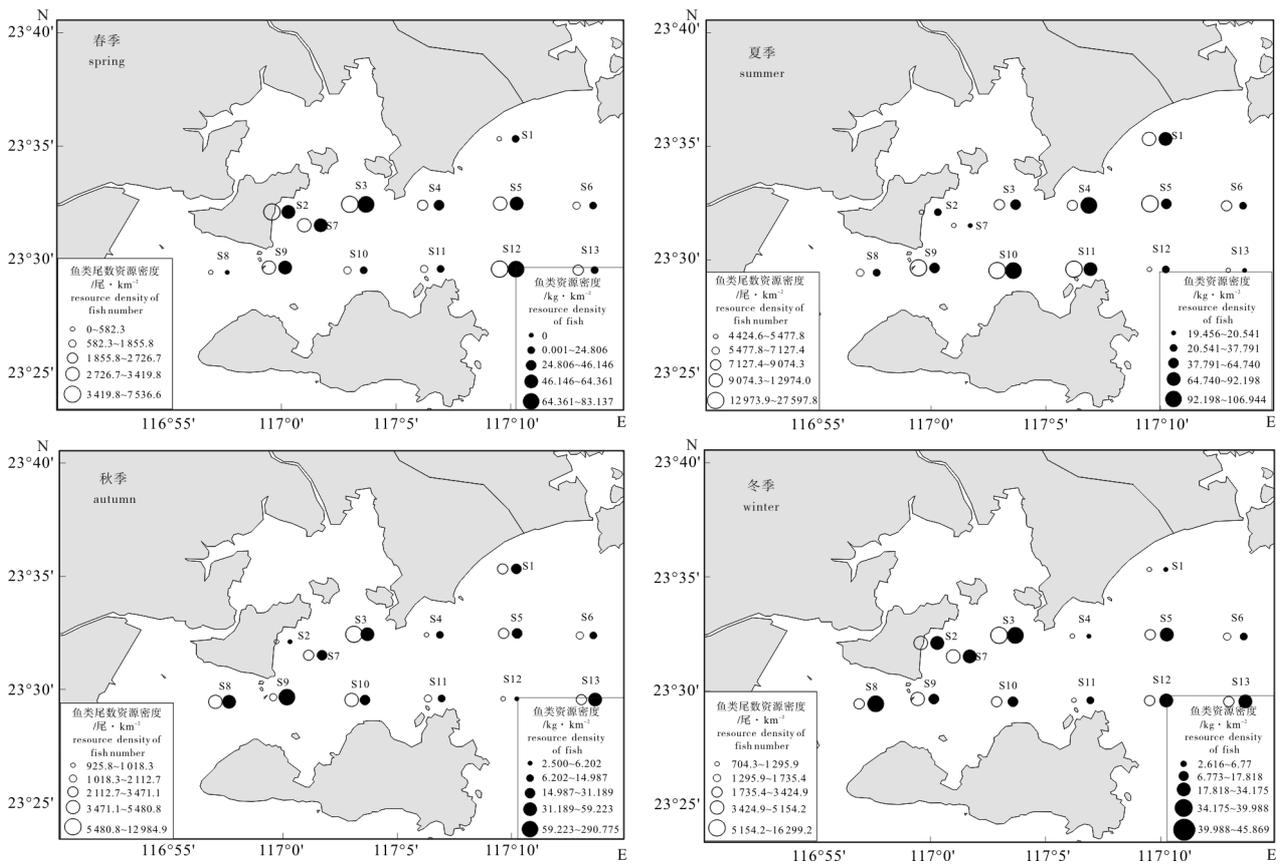


图5 南海柘林湾海域鱼类生物量分布
Fig. 5 Distribution of fish biomass in Zhelin Bay

占春季总个体数的 52.52%；夏季，柘林湾鱼类以体质量小于 5 g 的个体为主，占夏季总个体数的 94.52%；秋季，柘林湾鱼类以体质量小于 5 g 的个体为主，占秋季总个体数的 43.50%，体质量 5 ~ 10 g 的个体占秋季总个体数的 35.93%；冬季，柘林湾鱼类以体质量小于 5 g 的个体为主，占冬季总个体数的 43.03%，体质量在 5 ~ 10 g 的个体所占冬季总个体数的 37.13% (图 6)。

2.4 鱼类群落多样性和生物量优势度

柘林湾各季节鱼类生物多样性指数为 4.33 ~ 7.44，从高到低依次是秋季 > 春季 > 夏季 > 冬季；各季节均匀度指数为 2.18 ~ 3.77，从高到低依次是秋季 > 春季 > 冬季 > 夏季；各季节丰度指数为 0.36 ~ 0.68，从高到低依次是秋季 > 冬季 > 夏季 > 春季(图 7)。从鱼类生物多样性、种类均匀度和丰度指数季节变动可见，三者变动趋势基本一致，春、秋两季柘林湾鱼类组成相对丰富。

根据各种类占总样品质量的比例大小排列，累加各种类占总渔获量的百分比而绘制的优势度曲线，能够较直观地表示生物群落的均匀度和种

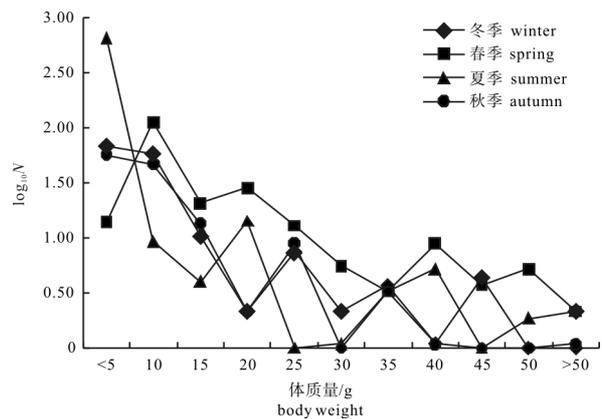


图6 柘林湾海域鱼类个体生物量谱
Fig. 6 Biomass spectra of fish species in Zhelin Bay

类丰度^[14-15]。各季节生物量优势度与多样性指数的趋势相反：冬季生物量优势度最高，位于其他季度生物量优势度曲线之上，其曲线上升较快，其他三季生物量优势度由高到低依次是春季 > 夏季 > 秋季，春季曲线上升趋势较夏季和秋季快 (图 8)。

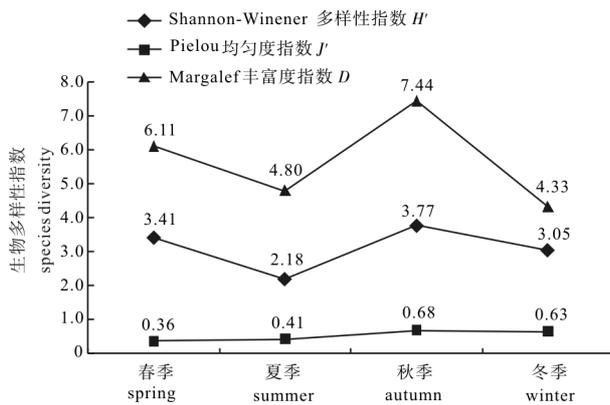


图7 南海柘林湾鱼类生物多样性指数季节变动

Fig. 7 Diversity indices of fishery species in Zhelin Bay of the South China Sea

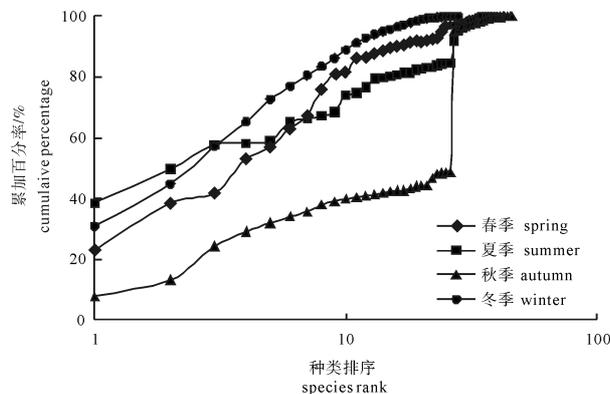


图8 南海柘林湾鱼类生物量优势度曲线

Fig. 8 K-dominance curves by weight in Zhelin Bay of the South China Sea

2.5 鱼类营养级指数

按照杜建国等^[16]报道, 鱼类营养级在 1.4 ~ 1.9 的为杂食性鱼类, 在 2.0 ~ 2.8 的为低级肉食性鱼类, 在 2.9 ~ 3.4 的为中级肉食性鱼类, 大于 3.5 的为高级肉食性鱼类。南海柘林湾海域鱼类, 低级肉食性有 5 种, 占 5.05%; 中级肉食性有 44 种, 占 44.44%; 高级肉食性有 50 种, 占 50.51%, 可见南海柘林湾鱼类以中级肉食性和高级肉食性为主(表 3)。另外, 2011 年至 2012 年, 南海柘林湾春季、夏季、秋季、冬季鱼类平均营养级指数分别为 3.521、3.570、3.393、3.426, 年度变动不大, 年度平均营养级指数为 3.478, 营养级属于中级水平。

2.6 营养级与平均体质量季节变化

营养级-平均体质量关系曲线能够反映每季节样品中不同营养级水平鱼类的平均体质量的变化情

况, 营养级与平均体质量的变动也能体现群落结构的变化^[17]。趋势线斜率越大, 表明高营养级鱼类的平均体质量越高, 趋势线斜率越小, 表明高营养级鱼类平均体质量越小。比较 4 个季节关系曲线可见, 夏季趋势线斜率最大, 其次为春季、冬季, 秋季最小(图 9)。

不同营养级鱼类平均体质量的变动体现了鱼类群落结构的变化, 同时反映了伏季休渔和捕捞影响的结果^[9]。伏季休渔之前, 即春季各个营养级水平鱼类的平均体质量相对较小; 经过伏季休渔后夏季各营养级鱼类平均体质量有所增加, 特别是高营养级鱼类平均体质量增加明显, 并且各营养级水平鱼类的平均体质量达到一年中的最大值。休渔期结束后, 捕捞努力量剧增, 以大个体经济种类为主要捕捞对象, 致使秋季鱼类平均体质量下降, 但高营养级种类仍保持较高水平; 冬季高营养级鱼类平均体质量下降, 大、中个体高营养级鱼类增加。

3 讨论

3.1 鱼类种类组成的季节变动

南海柘林湾海域鱼类生态类型以底层、暖水性、肉食性鱼类为主, 群落结构和能量由少数优势种控制。在种类数方面, 各季节之间差异较小。在种类组成方面存在季节性差异, 这可能与鱼类季节性洄游有关, 鱼类会因为温度和饵料的变化而产生产卵、索饵和越冬洄游^[18]。4 个季节中, 拟矛尾鰕虎鱼和鹿斑蝠在渔获量组成、个体数及出现频率方面均为绝对优势种, 在质量百分比和尾数百分比中均占 30% 以上, 这些经济价值低的种类不仅以其他经济种类的幼体为食, 而且与许多经济种类成鱼存在较为明显的食物竞争关系, 从食物结构方面也加速了鱼类群落结构的变化。

在鱼类群落的组成方面, 春季和夏季经济种类多于秋季和冬季, 但均以小型低质鱼类为主: 各季节优势种中主要经济种仅有带鱼、白姑鱼、花鲷 (*Clupanodon thrissa*)、皮氏叫姑鱼、鰺 (*Ilisha elongata*) 等, 其他均为经济价值较低的种类, 如拟矛尾鰕虎鱼、矛尾鰕虎鱼、钝孔鰕虎鱼 (*Amblyotrypauchen arctocephalus*)、杜氏棱鲷 (*Thrisa dussumieri*)、鹿斑蝠、尖吻小公鱼 (*Anchoviella heteroloba*) 等。伏季休渔后, 南海柘林湾海域小型低质鱼类仍占较大比重, 这可能是以商业目的的过度捕捞导致

表3 南海柘林湾海域各季节鱼类营养级

Tab. 3 Trophic level of fish of Zhelin Bay in the South China Sea in different seasons

春季 spring		夏季 summer	
鱼种 species	营养级 trophic level	鱼种 species	营养级 trophic level
斑鲷 <i>Clupanodon punctatus</i>	3.0	中华小沙丁鱼 <i>Sardinella nymphaea</i>	2.7
花鲷 <i>Clupanodon thrissa</i>	3.0	尖吻小公鱼 <i>Stolephorus heteroloba</i>	3.3
鲷 <i>Ilisha elongata</i>	3.8	赤鼻棱鲷 <i>Thrissa kammalensis</i>	3.3
印度鲷 <i>Ilisha indica</i>	3.8	杜氏棱鲷 <i>Thrissa dussumieri</i>	3.7
康氏小公鱼 <i>Anchoiella commerson</i>	3.3	多齿蛇鲻 <i>Saurida tumbil</i>	4.4
赤鼻棱鲷 <i>Thrissa kammalensis</i>	3.3	尖尾鲷 <i>Uroconger lepturus</i>	3.5
七丝鲷 <i>Coilia grayi</i>	3.3	海鲷 <i>Muraenesox cinereus</i>	4.1
多齿蛇鲻 <i>Saurida tumbil</i>	4.4	裸鳍虫鲷 <i>Muraenichthys gymnopterus</i>	4.0
龙头鱼 <i>Harpodon nehereus</i>	3.5	艾氏蛇鲷 <i>Ophichthus evermanni</i>	4.5
黑尾前肛鲷 <i>Dysomma melanitrum</i>	4.0	四指马鲛 <i>Eleutheronema tetradactylum</i>	4.4
鲷 <i>Plotosus anguillaris</i>	3.5	六指马鲛 <i>Polynemus sextarius</i>	3.7
六带石斑鱼 <i>Epinephelus sexfasciatus</i>	3.8	六带石斑鱼 <i>Epinephelus sexfasciatus</i>	3.8
多鳞鲷 <i>Sillago sihama</i>	3.4	网纹石斑鱼 <i>Epinephelus cholorstigma</i>	4.0
杜氏叫姑鱼 <i>Johnius dussumieri</i>	4.1	短尾大眼鲷 <i>Priacanthus macracanthus</i>	4.1
皮氏叫姑鱼 <i>Johnius belengeri</i>	3.3	斑鳍天竺鱼 <i>Apogonichthys carinatus</i>	3.5
红牙鲷 <i>Otolithes ruber</i>	3.6	四线天竺鱼 <i>Apogon quadrifasciatus</i>	3.5
勒氏短须石首鱼 <i>Umbrina russelli</i>	4.1	中线天竺鱼 <i>Apogon kiensis</i>	3.5
白姑鱼 <i>Argyrosomus argentatus</i>	4.5	沟鲷 <i>Atropus atropus</i>	3.6
浅色黄姑鱼 <i>Nibea chui</i>	3.4	丽叶鲷 <i>Caranx kalla</i>	3.8
棘头梅童鱼 <i>Collichthys lucidus</i>	3.7	蓝圆鲷 <i>Decapterus maruadsi</i>	3.4
短棘鲷 <i>Leiognathus equulus</i>	3.0	竹筴鱼 <i>Trachurus japonicus</i>	3.4
短吻鲷 <i>Leiognathus brevirostris</i>	3.0	白姑鱼 <i>Argyrosomus argentatus</i>	4.5
黄斑鲷 <i>Leiognathus bindus</i>	3.3	短吻鲷 <i>Leiognathus brevirostris</i>	3.0
胡椒鲷 <i>Plectorhynchus pictus</i>	3.0	静鲷 <i>Leiognathus insidiator</i>	3.2
李氏鲷 <i>Callionymus richardsoni</i>	3.2	鹿斑鲷 <i>Leiognathus ruconius</i>	3.0
小带鱼 <i>Eupleurogrammus muticus</i>	4.2	日本金线鱼 <i>Nemiptera japonicus</i>	3.6
带鱼 <i>Trichiurus haumela</i>	4.2	吕宋绯鲤 <i>Upeneus luzonius</i>	3.4
斑纹舌鰕虎鱼 <i>Glossogobius olivaceus</i>	3.0	李氏鲷 <i>Callionymus richardsoni</i>	3.2
长丝鰕虎鱼 <i>Cryptocentrus filifer</i>	3.0	黄斑蓝子鱼 <i>Siganus oramin</i>	2.3
美岸栉鰕虎鱼 <i>Ctenogobius viganensis</i>	3.0	带鱼 <i>Trichiurus haumela</i>	4.2
拟矛尾鰕虎鱼 <i>Parachaeturichthys polynema</i>	3.1	印度无齿鲷 <i>Ariomma indica</i>	3.6
红狼牙鰕虎鱼 <i>Odontamblyopus rubicundus</i>	3.5	刺鲷 <i>Psenopsis anomala</i>	4.0
孔鰕虎鱼 <i>Trypauchen vagina</i>	3.5	犬牙细棘鰕虎鱼 <i>Acentrogobius caninus</i>	3.0
褐菖鲈 <i>Sebastiscus marmoratus</i>	3.2	拟矛尾鰕虎鱼 <i>Parachaeturichthys polynema</i>	3.1
褐斑栉鳞鲷 <i>Aseraggodes kobensis</i>	3.5	矛尾鰕虎鱼 <i>Chaeturichthys stigmatias</i>	3.5
娥眉条鲷 <i>Zebrias quagga</i>	3.5	圆鳞斑鲆 <i>Pseudorhombus levisquamis</i>	3.5
半滑舌鲷 <i>Cynoglossoides semilaevis</i>	3.2	纤羊舌鲆 <i>Arnoglossus tenuis</i>	3.5
大鳞舌鲷 <i>Cynoglossus macrolepidotus</i>	3.2	棕斑腹刺鲷 <i>Gastrophysus spadiceus</i>	3.0
横纹东方鲀 <i>Fugu oblongus</i>	3.2		
红鳍东方鲀 <i>Fugu rubripes</i>	3.0		
网纹东方鲀 <i>Fugu reticularis</i>	3.0		

续表3 (to be continued)

秋季 autumn		冬季 winter	
鱼种 species	营养级 trophic level	鱼种 species	营养级 trophic level
裘氏小沙丁鱼 <i>Sardinella jussieu</i>	2.7	康氏小公鱼 <i>Stolephorus commerson</i>	3.3
中华小沙丁鱼 <i>Sardinella nymphaea</i>	2.7	赤鼻棱鯷 <i>Thrissa kammalensis</i>	3.3
康氏小公鱼 <i>Stolephorus commerson</i>	3.3	杜氏棱鯷 <i>Thrissa dussumieri</i>	3.7
赤鼻棱鯷 <i>Thrissa kammalensis</i>	3.3	凤鲚 <i>Coilia mystus</i>	3.0
黄吻棱鯷 <i>Thrissa vitirostris</i>	3.7	龙头鱼 <i>Harpodon nehereus</i>	3.5
黄鲫 <i>Setipinna taty</i>	3.2	灰康吉鳗 <i>Conger cinereus</i>	4.4
凤鲚 <i>Coilia mystus</i>	3.0	黑尾前肛鳗 <i>Dysomma melantrum</i>	4.0
七丝鲚 <i>Coilia grayi</i>	3.3	前鳞骨鲷 <i>Osteomugil ophuyseni</i>	2.3
龙头鱼 <i>Harpodon nehereus</i>	3.5	杜氏叫姑鱼 <i>Johnius dussumieri</i>	4.1
尖尾鳗 <i>Uroconger lepturus</i>	3.5	皮氏叫姑鱼 <i>Johnius belengeri</i>	3.3
海鳗 <i>Muraenesox cinereus</i>	4.1	白姑鱼 <i>Argyrosomus argentatus</i>	4.5
大头鲷 <i>Moringua macrocephalus</i> (Bleeker)	4.0	斑鳍白姑鱼 <i>Argyrosomus pawak</i>	4.5
六指马鲛 <i>Polynemus sextarius</i>	3.7	棘头梅童鱼 <i>Collichthys lucidus</i>	3.7
花鲈 <i>Lateolabrax japonicus</i>	3.4	鹿斑鲷 <i>Leiognathus ruconius</i>	3.0
六带石斑鱼 <i>Epinephelus sexfasciatus</i>	3.8	少鳞腹鳕 <i>Uranoscopus oligolepis</i>	3.0
中线天竺鲷 <i>Apogon kiensis</i>	3.5	李氏鲷 <i>Callionymus richardsoni</i>	3.2
多鳞鳢 <i>Sillago sihama</i>	3.4	带鱼 <i>Trichiurus haumela</i>	4.2
丽叶鲷 <i>Caranx kalla</i>	3.8	睛斑阿胡鰕虎鱼 <i>Awaous ocellaris</i>	2.8
布氏鲷 <i>Trachinotus blochii</i>	3.7	斜带栉眼鰕虎鱼 <i>Ctenogobius aurocingulus</i>	3.5
杜氏叫姑鱼 <i>Johnius dussumieri</i>	4.1	拟矛尾鰕虎鱼 <i>Parachaeturichthys polynema</i>	3.1
皮氏叫姑鱼 <i>Johnius belengeri</i>	3.3	六丝矛尾鰕虎鱼 <i>Chaeturichthys hexanema</i>	3.1
白姑鱼 <i>Argyrosomus argentatus</i>	4.5	矛尾鰕虎鱼 <i>Chaeturichthys stigmatias</i>	3.0
斑鳍白姑鱼 <i>Argyrosomus pawak</i>	4.5	红狼牙鰕虎鱼 <i>Odontamblyopus rubicundus</i>	3.5
大头白姑鱼 <i>Argyrosomus macrocephalus</i>	4.5	孔鰕虎鱼 <i>Trypauchen vagina</i>	3.5
短吻鲷 <i>Leiognathus brevirostris</i>	3.0	神农吻鰕虎鱼 <i>Rhinogobius shennongensis</i>	3.5
黄斑鲷 <i>Leiognathus bindus</i>	3.3	钝孔鰕虎鱼 <i>Amblyotrypauchen arctocephalus</i>	3.5
鹿斑鲷 <i>Leiognathus ruconius</i>	3.0	半滑舌鳎 <i>Cynoglossoides semilaevis</i>	3.2
短棘银鲈 <i>Gerres lucidus</i>	3.5	横纹东方鲀 <i>Fugu oblongus</i>	3.2
细鳞鲷 <i>Therapon jarbua</i>	3.0		
赤刀鱼 <i>Cepola schlegeli</i>	3.4		
六带拟鲈 <i>Parapercis sexfasciata</i>	3.4		
李氏鲷 <i>Callionymus richardsoni</i>	3.2		
沙带鱼 <i>Lepturacanthus savala</i>	4.3		
带鱼 <i>Trichiurus haumela</i>	4.2		
巴布亚沟鰕虎鱼 <i>Oxyurichthys papuensis</i>	3.0		
南方沟鰕虎鱼 <i>Oxyurichthys visayanus</i>	3.0		
犬牙细棘鰕虎鱼 <i>Acentrogobius caninus</i>	3.0		
拟矛尾鰕虎鱼 <i>Parachaeturichthys polynema</i>	3.1		
矛尾鰕虎鱼 <i>Chaeturichthys stigmatias</i>	3.0		
孔鰕虎鱼 <i>Trypauchen vagina</i>	3.0		
褐菖鲉 <i>Sebastes marmoratus</i>	3.2		
大鳞鳞鲷 <i>Onigocia macrolepis</i>	3.5		
鲷 <i>Platycephalus indicus</i>	3.6		
卵鲷 <i>Solea ovata</i>	3.5		
大鳞舌鳎 <i>Cynoglossus macrolepidotus</i>	3.2		
日本细鳞鲷 <i>Stephanolepis japonicus</i>	3.0		

注：鱼类营养级数据来自 FishBase 网站。

Note: The trophic data are taken from FishBase website.

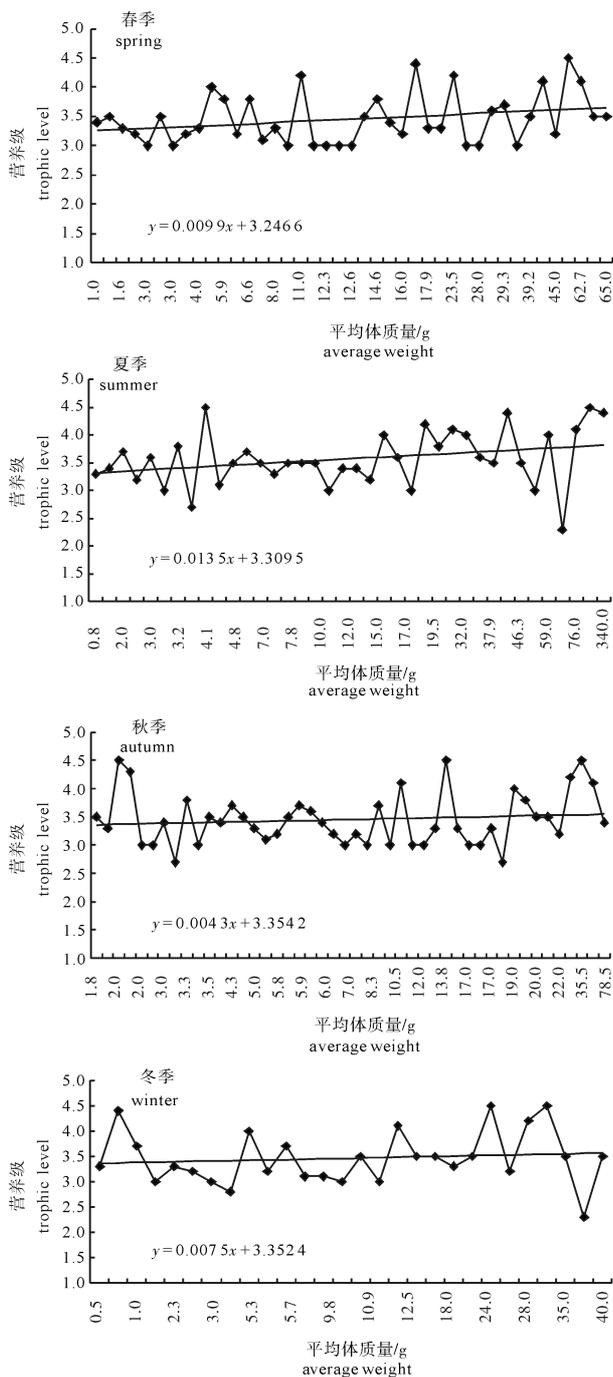


图9 柘林湾海域4个季节鱼类营养级-平均体质量关系曲线

Fig.9 Relationship curves of trophic level-average body weight for fish in four seasons in Zhelin Bay

经济价值较高、个体大的种类资源衰退，甚至消亡所引起的。鱼类各季节群落结构的变化，是其内部生态位分化导致，另外是受到外界干扰后在种群内发生了响应方式的变化^[19]。

3.2 鱼类生物量时空分布

南海柘林湾海域鱼类生物量存在明显的季节变

化，鱼类生物量由高到低依次为夏季>秋季>春季>冬季，经过一年的持续捕捞后，伏季休渔前鱼类群落结构已经变化，鱼类群落资源密度明显下降，伏季休渔后夏季鱼类资源密度达到一年的最大值。AOYAMA^[20]估算了广东浅海海域的原始渔业资源密度和最适资源密度分别为 $6\ 700\ \text{kg}\cdot\text{km}^{-2}$ 和 $3\ 300\ \text{kg}\cdot\text{km}^{-2}$ ，广东省1960年~1973年渔业资源密度为 $1\ 700\ \text{kg}\cdot\text{km}^{-2}$ ，1978年为 $1\ 345\ \text{kg}\cdot\text{km}^{-2}$ ，1998年为 $175\ \text{kg}\cdot\text{km}^{-2}$ ^[21]，根据南海柘林湾海域研究结果，2011年~2012年鱼类资源密度为 $3.348\ \text{kg}\cdot\text{km}^{-2}$ ，鱼类是渔业资源组成中主要类群，可一定程度反映渔业资源量，由此可见，柘林湾渔业资源量已出现了明显的衰退。虽然伏季休渔措施对鱼类群落资源密度的恢复具有积极作用，但与广东浅海海域渔业资源最适密度相差甚远，需加强实施伏季休渔等资源养护行动。

由生物量季节分布特征可以看出，柘林湾与岸线平行的断面鱼类生物量较丰富；夏季较春季而言，生物量相对较高的站位呈现由湾内向湾外移动的状态，秋冬季，生物量相对较高的站位又呈现向湾内移动的状态，这可能与水温和饵料的季节动态有关。据调查资料显示，生物量相对较高站位的底层温度均为 $20.3\sim 21.3\ ^\circ\text{C}$ ，程济生和俞连福^[22]、TANG^[23]证明鱼类群落组成在很大程度上存在温度依赖性，JIN^[24]、单秀娟等^[18]研究结果表明渔业生物种类与水温等环境因子呈正相关。

由柘林湾各季节鱼类个体质量变动来看，柘林湾鱼类均以体质量小于 $10\ \text{g}$ 的个体为主，只有春季和夏季才出现体质量 $50\ \text{g}$ 以上的个体，但所占比例为 $0.267\%\sim 2.446\%$ ，各季节鱼类个体体质量的分布总体趋势一致。推测是由于大型高营养层次的渔业种类资源量降低导致，从而改变渔业种类组成和群落结构，同种个体大小组成的变化主要是由其营养级年间变动引起。该观点与JIN等^[25]、JIN和TANG^[26]的研究结论相同。

3.3 鱼类群落多样性及优势度季节变动

南海柘林湾是多种鱼类的产卵场和索饵场，冬季、春季进入该海域的不同种类的鱼类群体差别较大且主要由成鱼组成，造成渔业资源群落的均匀度降低、生物量优势度高；而夏季、秋季的生物资源主要是由补充群体组成，种类组成丰富且个体较小，因此资源较均匀、多样性较高、生物量优势度较低。多样性指数在5月较高，说明5月鱼类种类

丰富度较高，这一结果与5月低营养级的小个体种类比例较高相吻合。秋季渔获花鲈的体质量显著高于其他渔获种类，占秋季总渔获率的50%，因此，在鱼类秋季生物量优势度曲线中出现一个突增变动，这种变动属偶然性，是拖网调查的随机性造成的。

3.4 鱼类营养级季节变动

在海洋生态系统中，鱼类的营养级在食物网中处于相对较高的层次^[8]，在鱼类营养级中，高营养级的鱼类通常是重要渔业资源种类，可以反映海域渔业资源的开发程度，在过度开发水域，鱼类平均体长减小，个体成熟提前^[27]，营养级中低水平鱼类增多。柘林湾各季节研究结果显示，鱼类营养级平均为中级水平，可见柘林湾鱼类资源过度开发。

由鱼类营养级-平均体质量关系曲线各季节变动看，夏季高营养级鱼类平均体质量最大，其次为春季、冬季，秋季最小。经过休渔期，渔业资源得到一定程度的恢复，鱼类平均体质量增加明显，且资源量相对为一年中最丰富时段；休渔期结束后，捕捞强度急剧增加，同时捕捞网具选择性小，因此，经过短时间高强度的捕捞，鱼类资源量急剧降低，秋季鱼类平均体质量和平均营养级指数达到一年中最小值。随着鱼类资源量的急剧降低，捕捞成本高于捕捞产出，在秋季捕捞强度逐渐减小，冬季和春季鱼类平均体质量逐渐增大，平均营养级指数逐渐增加。

参考文献：

- [1] 于海婷, 丁月晏, 钱薇薇, 等. 荣成湾渔业资源群落结构季节变化特征[J]. 海洋湖沼通报, 2013(2): 67-75.
- [2] 乔永民, 黄长江. 柘林湾表层沉积物重金属分布及污染初步评价[J]. 海洋科学, 2006, 30(3): 41-45.
- [3] 马继波, 董巧香, 黄长江. 粤东大规模海水增养殖区柘林湾浮游细菌的时空分布[J]. 生态学报, 2007, 27(2): 477-485.
- [4] 史赞荣, 晁敏, 全为民, 等. 2010年春季长江口鱼类群落空间分布特征[J]. 中国水产科学, 2011, 18(5): 1141-1151.
- [5] 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[J]. 生物多样性, 2000, 8(1): 65-72.
- [6] 王雪辉, 邱永松, 杜飞雁, 等. 北部湾鱼类群落格局及其与环境因子的关系[J]. 水产学报, 2010, 34(10): 1579-1586.
- [7] 陈嘉欣, 区又君, 廖银萍, 等. 北部湾雷州近海春、夏季鱼类群落结构初探[J]. 生态科学, 2006, 25(4): 354-358.
- [8] 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.
- [9] 陈国宝, 李永振. 南海主要珊瑚礁鲷科鱼类的组成与分布[J]. 南方水产, 2005, 1(3): 18-25.
- [10] 汪振华, 赵静, 王凯, 等. 马鞍列岛岩礁生境鱼类群落结构时空格局[J]. 生态学报, 2013, 33(19): 6218-6226.
- [11] 汪振华, 王凯, 赵静, 等. 枸杞岛潮下带沙地生境鱼类群落结构和季节变化[J]. 应用生态学报, 2011, 22(5): 1332-1342.
- [12] 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(自然科学版), 2006, 36(4): 665-670.
- [13] 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.
- [14] CLARKE K R. Comparisons of dominance curves[J]. J Exp Mar Bio Ecol, 1990, 138(1/2): 143-157.
- [15] 任一平, 徐宾铎, 叶振江, 等. 青岛近海春、秋季渔业资源群落结构特征的初步研究[J]. 中国海洋大学学报(自然科学版), 2005, 35(5): 792-798.
- [16] 杜建国, 陈彬, 卢振彬, 等. 泉州湾海域鱼类多样性及营养级变化[J]. 生物多样性, 2010, 18(4): 420-427.
- [17] 王迎宾, 郑基, 郑献之, 等. 舟山渔场禁渔线以外海域单拖网鱼类群落结构变动分析[J]. 南方水产科学, 2012, 8(1): 8-15.
- [18] 单秀娟, 孙鹏飞, 金显仕, 等. 黄海典型断面渔业资源结构的季节变化[J]. 水产学报, 2013, 37(3): 425-435.
- [19] 单秀娟, 金显仕. 长江口近海春季鱼类群落结构的多样性研究[J]. 海洋与湖沼, 2011, 42(1): 32-40.
- [20] AOYAMA T. The South China Sea fisheries (demersal resources) [M]. Rome: UNDP and FAO, 1973: 59-67.
- [21] 王跃中, 袁蔚文. 南海北部底拖网渔业资源的数量变动[J]. 南方水产, 2008, 4(2): 26-33.
- [22] 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.
- [23] TANG Q S. Effects of long-term physical and biological perturbations on the contemporary biomass yields of the Yellow Sea ecosystem [M] // Large marine ecosystems: stress, mitigation, and sustainability. Washington, D. C.: AAAS Press, 1993: 79-93.
- [24] JIN X S. Seasonal changes of the demersal fish community of the Yellow Sea [J]. Asian Fish Sci, 1995, 8: 177-190.
- [25] JIN X, XU B, TANG Q. Fish assemblage structure in the East China Sea and southern Yellow Sea during autumn and spring [J]. J Fish Biol, 2003, 62(5): 1194-1205.
- [26] JIN X S, TANG Q S. Changes in fish species diversity and dominant species composition in the Yellow Sea [J]. Fish Res, 1996, 26(3/4): 337-352.
- [27] 纪炜炜, 李圣法, 陈雪忠. 鱼类营养级在海洋生态系统研究中的应用[J]. 中国水产科学, 2010, 17(4): 878-887.