

DOI: 10.5846/stxb202111163221

刘明智, 蒋日进, 陈峰, 李德伟, 印瑞, 周永东, 梁静香. 乐清湾贝类群落组成及其粒径谱结构特征. 生态学报, 2023, 43(2): 777-788.

Liu M Z, Jiang R J, Chen F, Li D W, Yin R, Zhou Y D, Liang J X. Analysis on community structure of shellfish and its characteristics of biomass particle size spectrum in Yueqing Bay, China. Acta Ecologica Sinica, 2023, 43(2): 777-788.

乐清湾贝类群落组成及其粒径谱结构特征

刘明智^{1,2}, 蒋日进^{2,*}, 陈峰², 李德伟², 印瑞², 周永东², 梁静香^{1,2}

¹ 浙江海洋大学海洋与渔业研究所, 舟山 316021

² 浙江省海洋水产研究所, 农业农村部重点渔场渔业资源科学观测实验站, 浙江省海洋渔业资源可持续利用技术研究重点实验室, 舟山 316021

摘要: 为了解乐清湾贝类资源情况及群落稳定性特征, 基于 2016—2017 年乐清湾定点调查数据, 分析了不同季节乐清湾贝类组成、优势种、资源密度、以及物种多样性, 并首次建立乐清湾海域贝类生物量粒径谱与标准化生物量粒径谱。结果显示: 1) 本次共采集到贝类共计 45 种, 隶属于 12 目, 25 科, 31 属。焦河蓝蛤 (*Potamocorbula ustulata*) 为乐清湾绝对优势种; 2) 资源密度表现为夏季最高, 其次为春季, 秋季与冬季次之; 4 个季节的丰富度指数 (D)、多样性指数 (H') 和均匀度指数 (J') 平均为 3.26、1.61、0.45, 3 种多样性指数均处于较低水平; 3) ABC 曲线显示乐清湾贝类的生物群落处于中度干扰状态; 4) 乐清湾生物量粒径谱谱型复杂, 优势种控制着生物量粒径谱的峰值, 且与我国其他海域的结果也存在差异; 5) 标准化生物量粒径谱的斜率范围为 -1.5539 — -0.7373 , 在我国近海海域中属于偏低水平, 表明营养循环水平较低。截距范围在 16.673—21.597, 高于我国其他海域, 说明乐清湾贝类生产力水平较高。

关键词: 贝类; 种类组成; 资源密度; 粒径谱; 乐清湾

Analysis on community structure of shellfish and its characteristics of biomass particle size spectrum in Yueqing Bay, China

LIU Mingzhi^{1,2}, JIANG Rijin^{2,*}, CHEN Feng², LI Dewei², YIN Rui², ZHOU Yongdong², LIANG Jingxiang^{1,2}

¹ Marine and Fishery Institute, Zhejiang Ocean University, Zhoushan 316021, China

² Key Laboratory of Sustainable Utilization of Technology Research for Fisheries Resources of Zhejiang Province, Scientific Observation and Experimental Station of Fishery Resources of Key Fishing Grounds, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Zhejiang Marine Fisheries Research Institute, Zhoushan 316021, China

Abstract: The sediment environment is the cultured area for shellfish mudflats, its quality will directly affect the survival of shellfish. Shellfish is a filter feeding animal with powerful filtering ability. In recent years, with the rapid development, the mudflat deterioration of the environment threatens shellfish's living severely. As a result, the shellfish community was changed. Therefore, understanding the resource biomass changes is especially important for policy-makers. The research provides scientific evidence for protecting the marine resources and sustainable development. It discusses the resource and community stability by abundance-biomass curve and size spectra. One point should be noted that the biomass size spectrum (BSS) and normalized biomass size spectra (NBSS) were applied to the shellfish community firstly. In some ways, the BBS method is easier to achieve, in which calculation errors caused by inaccurate shellfish identification may be avoided. In order to understand the marine ecosystems, the fields of application for the BSS theory have been adopted into benthic communities, fish and so on. The species composition, dominance, resource biomass and density and community diversity

基金项目: 国家重点研发计划资助 (2020YFD0900805); 浙江省重点研发计划 (2019C02056); 浙江省海洋水产研究所自选课题 (HYS-ZX-202101); 中国水产科学研究院南海水产研究所自选课题项目 (2021HZ064)

收稿日期: 2021-11-16; **网络出版日期:** 2022-09-26

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: jiangridge@163.com

were studied using data collected from four surveys from May 2016 to February 2017 in Yueqing Bay, Zhejiang Province. The main results showed that 45 shellfish species were identified, which belonged to 12 orders, 25 families and 31 genera. The absolute dominant species was *Potamocorbula ustulata*; the level of resource biomass and density was the highest level in summer, followed by winter, spring and autumn. The average values for species abundance index (D), species diversity index (H') and species evenness index (J') were 3.26, 1.61 and 0.45, respectively, indicating that shellfish community diversity was on a low level. The ABC curve showed that the shellfish community was unstable. The biomass size spectrum was complicated, which dome was controlled by dominant species. Compared with other Chinese offshore areas, it was also different from others results. The slopes of NBSS ranged from -1.5539 to -0.7373 , and the intercepts ranged from 16.673 to 21.597. The slope values were lower than those of most other area of Chinese offshore area, and it stood for a lower circulatory efficiency of nutrients in Yueqing Bay. In addition, the intercept values inferred that the production in Yueqing Bay was higher than other Chinese offshore areas. As an ecological research method, biomass particle size spectrum can compare the productivity levels of different ecosystems, describe the trend of biomass change, and is very sensitive to environmental changes, providing a new way to understand the biological law at different levels and environmental monitoring.

Key Words: shellfish; species composition; resource density; size spectra; Yueqing Bay

乐清湾是浙江省内最大的半封闭式海湾^[1],由于其特殊的地理优势,促使它成为滩涂贝类繁殖生长的优良场所^[2]。自从 20 世纪 80 年代以来,乐清湾网箱养殖、滩涂养殖等多种类型的养殖业迅速发展^[3],给临近水域和底栖环境带来巨大威胁,造成严重污染^[4-5],导致乐清湾处于中潜在水平生态风险^[6]。此外,有报道显示野生海洋生物种群的大幅度减少与养殖逃逸有着密切的关系,造成生物资源衰退,物种多样性下降^[7]。同样,乐清湾也存在着养殖逃逸的现象,综合上述原因导致乐清湾景观破碎化,许多贝类群落结构改变,产生衰退演替,湾区生态系统脆弱性增加。贝类对水体中有机污染物、重金属具有一定的清除能力,可以起到生态修复与生物调控作用^[8-10],此外贝类还具有生命周期较长、活动范围相对固定(稚贝以后)、生活习性相对稳定等特点,其群落结构的改变能够表征群落的变化趋势与环境状况^[11]。因此,了解乐清湾贝类群落组成与结构变化显得十分必要。

目前,有关乐清湾的研究主要集中在浮游生物和大型底栖动物生态位研究和季节变动^[12-16],另外一些是报道底栖生物群落组成以及时空变化等^[17-20],而滩涂贝类群落结构季节性的变化与生物量粒径谱特征却未见报道。为此,作者在乐清湾滩涂开展海洋资源调查,旨探明该湾区贝类资源的物种多样性,丰富我国海湾地区软体动物地理区系的资料基础,通过分析不同季节的贝类生物量粒径谱,以期为乐清湾生态保护提供科学依据,也为生态动力学研究提供基础。

1 材料与方法

1.1 数据来源

本文数据取自 2016 年 5 月(春)、2016 年 8 月(夏)、2016 年 11 月(秋)和 2017 年 2 月(冬),每个季度调查持续 10 天。共设置调查站位 12 个(S1—S12),站位分布如图 1 所示。在乐清湾滩涂选择具有代表性的、潮面底质类型相对均匀、潮带较为完整、无人破坏或人为扰动较小且相对稳定的区域,布设了 12 条断面,各个断面底质均为泥质底。在调查海区,选择不同生境的滩涂断面,在大潮水退潮期间,在每条断面又布设 3 站(即高潮带、中潮带和低潮带)。硬相(岩石岸)生物取样,用 25cm×25cm 的定量框取 2 个样方;软相(泥滩、泥沙滩、沙滩)生物取样,用 25cm×25cm×30cm 的定量框随机取 3 个样方,用筛网孔目为 1.0mm 进行筛洗底栖动物标本。同时,在站位的周围广泛采集定性样品,以补充定量样品的不足。样本用 5% 甲醛溶液固定,带回实验室鉴定、计数、称重,按照湿重:干重=5:1 换算为干重^[21]。计算不同季节资源密度分布。生物种类尽可能

鉴定到最小分类单元。生物种类名称及分类地位以《中国海洋生物名录》^[22]、《浙江动物志》^[23]为依据,上述调查采样及测定均按《海洋调查规范第6部分:海洋生物调查(GB/T12763.6—2007)》^[24]的有关标准进行。

1.2 分析方法

1.2.1 优势种与重要种

采用 Pinkas 的相对重要性指数(Index of relative importance, IRI)^[25]确定优势种与重要种。相对重要性指数的计算公式如下:

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

式中, N 为某一种类的丰度占总丰度的百分比; W 为某一种类的生物量占总生物量的百分比; F 为某一种类出现的站数占调查总站数的百分比。根据不同贝类和螺类优势度(IRI)的大小,确定不同种类在群落内的重要性。相对重要性指数(IRI)大于1000的种类定为优势种,100—1000为重要种,10—100之间的为常见种,1—10为一般种,小于1为稀有种。

1.2.2 群落多样性

本文群落多样性分析采用以下公式计算^[26]:

Shannon-wiener 多样性指数:

$$H' = - \sum_{i=1}^S p_i \ln p_i$$

Margalef 物种丰富度指数: $H'/\ln N$

Pielou 均匀度指数 $H'/\ln S$

1.2.3 群落 ABC 曲线

描绘 ABC 曲线,分析乐清湾滩涂贝类群落受干扰情况。ABC 曲线能较好的反应种群结构受污染扰动的变化;ABC 曲线由生物量曲线与丰度曲线组成,前者在上方时,表明群落处于未受干扰的状态;当两者相交,表明处于中度干扰;后者在上时,表明群落处于严重干扰的状态。用 W 统计量(W -statistic)作为 ABC 曲线方法的一个统计量,其公式为:

$$W = \sum_{i=1}^S \frac{(B_i - A_i)}{50 \times (S - 1)}$$

式中, B_i 和 A_i 为 ABC 曲线中种类序号对应的生物量和丰度的累积百分比, S 为出现物种数。当生物量优势曲线在丰度优势度曲线之上时, W 为正,反之 W 为负^[27]。

1.2.4 贝类粒径谱的构建

贝类生物量粒径谱以 $\log_2$ 转换的个体干重生物量为横坐标划分粒径,以 $\log_2$ 转化的单位面积上的各粒径级的总干重生物量为纵坐标,构建生物量粒径谱。标准化生物量粒径谱以 $\log_2$ 转换的个体干重生物量为横坐标划分粒径,在单位面积上每个粒径级的总干重生物量与该粒径级上个体干重的变化幅度的比值,经过 $\log_2$ 转化后为纵坐标。对标准化生物量粒径谱上的点作回归直线,同时得到斜率 a 与截距 b ^[28]。由于贝类生物个体大小差别较大,丰度不同,加之采样误差,因此绘制标准化生物量粒径谱时,应对数据进行筛选。数据分析与处理时,群落多样性指数、资源密度及生物量粒径谱的绘制均使用 EXCEL 进行处理;ABC 曲线及 W 统计量使用 PRIMER 5.0 软件进行绘图;站位图、资源密度分布图利用 surfer 13.0 作图软件进行绘制。

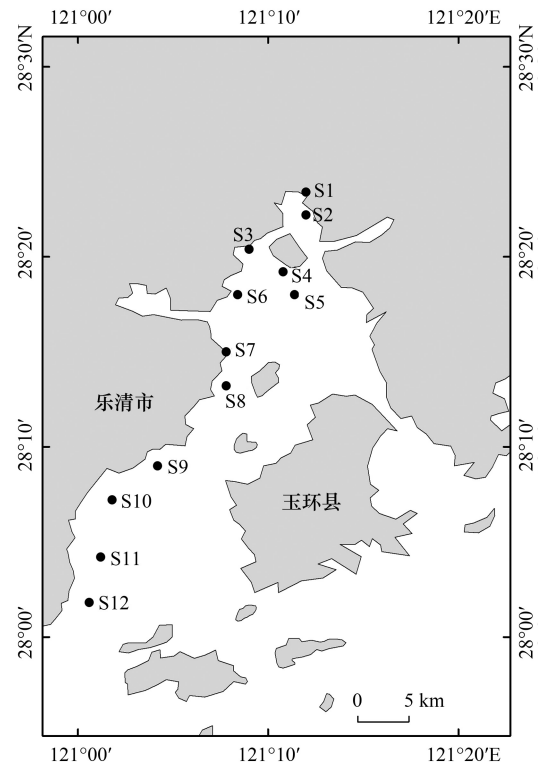


图1 乐清湾滩涂贝类调查站分布图

Fig.1 Sampling station of shellfish in Yueqing Bay

S1—S12, 第1至第12采样站位, site1—site12

2 结果

2.1 物种组成与优势种

2016—2017 年在乐清湾滩涂调查中,根据 4 个季节的定性与定量样本分析,共鉴定软体动物总计 45 种(表 1),隶属于 12 目,26 科,31 属。以织纹螺科(*Nassariidae*)为主,有 7 种;其次为樱蛤科(*Tellinidae*)4 种;蚶科(*Arcidae*)、汇螺科(*Potamodidae*)和玉螺科(*Naticidae*)分别为 3 种;骨螺科(*Muricidae*)、蓝蛤科(*Corbulidae*)、帘蛤科(*Veneridae*)、角贝科(*Dentaliidae*)和拟沼螺科(*Assimineidae*)为 2 种;其余科均出现 1 种。从时间尺度分析,夏季出现的生物种类最多,为 32 种;春季为 30 种;秋季和冬季分别为 27 种和 26 种。从空间尺度可以看出,S12 站位出现的种类最多,为 20 种。S3 和 S7 站位出现的种类最少,分别为 12 种。

由表 1 可知,焦河蓝蛤(*Potamocorbula ustulata*)是乐清湾第一优势种,4 个季节的平均优势度为 5824.6,因其较强的环境适应能力,优势地位极其明显。春季的优势种主要是彩虹明樱蛤(*Moerella iridescens*)(3933.32);夏季分别为扁玉螺(*Neverita didyma*)(2612.18)、微黄镰玉螺(*Lunatia gilva*)(2708.59)、光滑狭口螺(*Stenothyra glabra*)(2497.79)和珠带拟蟹守螺(*Cerithidea cingulata*)(2258.16);秋季为婆罗囊螺(*Retusa boenensis*)(1657.36)、微黄镰玉螺(5423.76)和珠带拟蟹守螺(1658.11);冬季为半褶织纹螺(*Nassarius sinarus*)(2059.43)、彩虹明樱蛤(1489.83)、泥螺(*Bullacta exarata*)(1497.7)、婆罗囊螺(1096.77)。除了焦河蓝蛤之外,其他优势种在不同季节基本上为重要种或常见种。

2.2 资源密度

资源密度 2016—2017 年乐清湾滩涂调查总计 12 个站位,其中春季贝类平均栖息密度为 41.58×10^3 个/ m^2 ,平均生物量密度为 $1434.99 \text{g}/\text{m}^2$ (图 2、图 3)。从春季的栖息密度分布图看呈现南北多,中部少的趋势,生物量密度图分布沿岸趋势较为均匀;夏季贝类平均栖息密度为 58.65×10^3 个/ m^2 ,平均生物量密度为 $1939.78 \text{g}/\text{m}^2$,夏季的栖息密度分布图与春季相反,呈现出中间多两边少的情况,生物量密度分布趋势与春季基本相同,但要大于春季的生物量密度;秋季贝类平均栖息密度为 14.98×10^3 个/ m^2 ,平均生物量密度为 $557.74 \text{g}/\text{m}^2$,秋季的栖息密度图表现最为平均,只有 S3 站位栖息密度最高,为 153×10^3 个/ m^2 ,生物量密度图表现为两边多,中间少;冬季贝类平均栖息密度为 13.18×10^3 个/ m^2 ,平均生物量密度为 $472.69 \text{g}/\text{m}^2$,栖息密度表现较为均匀,只有 S1 站位的栖息密度较大,生物量密度图呈现出由北向南逐渐减少的趋势。从 2016—2017 年调查的贝类的资源密度分布图看,夏季的栖息密度与生物量密度最大,其次为春季,秋季和冬季的资源密度相当。

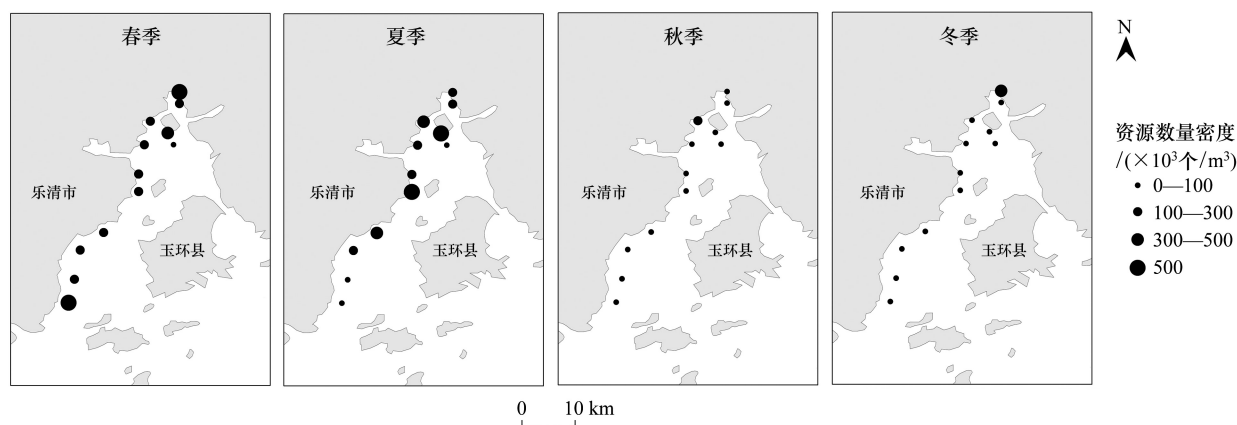


图 2 2016—2017 年乐清湾贝类资源数量密度

Fig.2 The distribution of shellfish resource density of individual in 2016 and 2017

表 1 乐清湾贝类群落种类组成及优势度
Table 1 The species composition and dominance of shellfish community

序号 Number	目 Order	科 Family	种名 Species	优势度 IRI (Index of relative importance)			
				春季 Spring	夏季 Summer	秋季 Autumn	冬季 Winter
1	新腹足目 Neogastropoda	骨螺科 Muricidae	疣荔枝螺 <i>Thais clavigera</i>	—	0.09	—	—
2			爪哇荔枝螺 <i>Thais javanica</i>	—	0.06	—	—
3			半褶织纹螺 <i>Nassarius semiplicata</i>	41.58	170.07	833.81	2059.43
4	海螂目 Myoida	织纹螺科 Nassariidae	群栖织纹螺 <i>Nassarius gregaria</i>	0.00	—	—	1.29
5			西格织纹螺 <i>Nassarius siquijorensis</i>	0.00	0.71	—	0.11
6			细肋织纹螺 <i>Zeuxis scalaris</i>	—	0.27	0.07	—
7			秀丽织纹螺 <i>Nassarius festiva</i>	0.33	0.44	1.52	3.06
8			秀长织纹螺 <i>Nassarius oreolatus</i>	2.44	1.00	337.87	29.82
9			纵肋织纹螺 <i>Nassarius variciferus</i>	0.17	—	1.39	0.24
10			褐管螺 <i>Siphonalia spadicea</i>	0.08	—	—	—
11			丽小笔螺 <i>Mitrella bella</i>	—	—	0.01	—
12			光滑河蓝蛤 <i>Potamocorbula laevis</i>	—	0.07	—	—
13			焦河蓝蛤 <i>Potamocorbula usulata</i>	9655.55	5336.61	1722.07	6584.18
14	蚌目 Arcoida	蚌科 Arcidae	毛蚌 <i>Scapharca kagoshimensis</i>	—	—	0.02	—
15			泥蚌 <i>Tegillarca granosa</i>	18.30	48.97	72.60	371.89
16			青蚌 <i>Barbatia obliquata</i>	—	—	—	0.25
17	胡桃蛤目 Nuculanoida	吻状蛤科 Nuculanidae	薄云母蛤 <i>Yoldia similis</i>	—	0.03	—	—
18			薄壳镜蛤 <i>Dosinia corrugata</i>	0.64	0.09	0.15	2.97
19			青蛤 <i>Cyclina sinensis</i>	0.22	0.08	0.01	8.35
20	帘蛤目 Veneroida	樱蛤科 Tellinidae	彩虹明樱蛤 <i>Moerella iridescens</i>	3933.32	52.09	181.95	1489.83
21			刀明樱蛤 <i>Moerella culter</i>	0.04	—	—	—
22			虹光亮樱蛤 <i>Nitidolaelina iridella</i>	0.04	0.31	—	—
23	列齿目 Taxodontia	刀蛸科 Cultellidae	江户明樱蛤 <i>Moerella jadoensis</i>	0.09	—	—	0.06
24			小刀蛸 <i>Cutellus attenuatus</i>	—	0.08	—	3.75
25			缢蛏 <i>Sinonotacula constricta</i>	611.97	46.18	75.50	721.78
26	列齿目 Taxodontia	绿螂科 Glauconomidae	中国绿螂 <i>Glauconome chinensis gray</i>	—	0.06	—	—
27			橄榄蚌 <i>Estelarca olivacea</i>	0.93	2.63	3.73	10.24

续表

序号 Number	目 Order	科 Family	种名 Species	优势度 IRI (Index of relative importance)			
				春季 Spring	夏季 Summer	秋季 Autumn	冬季 Winter
28	笋螂目 <i>Pholadomyoidea</i>	鸭嘴蛤科 <i>Laternulidae</i>	渤海鸭嘴蛤 <i>Laternula marilina</i>	0.29	8.05	—	—
29	头楯目 <i>Cephalaspidea</i>	阿地螺科 <i>Atyidae</i>	泥螺 <i>Bullacta exarata</i>	279.18	20.59	675.38	1497.70
30		囊罗科 <i>Retusidae</i>	婆罗囊螺 <i>Retusa boenensis</i>	888.16	972.72	1657.36	1096.77
31		壳蛞蝓科 <i>Philinidae</i>	经氏壳蛞蝓 <i>Philine kinglipini Tchang</i>	0.28	0.02	0.95	—
32	象牙贝目 <i>Dentalioidea</i>	角贝科 <i>Dentaliidae</i>	钝角贝 <i>Dentalium obtusum</i>	0.13	—	—	—
33			肋变角贝 <i>Dentalium octangulatum Donovan</i>	0.31	—	0.04	0.03
34	原始腹足目 <i>Archaeogastropoda</i>	马蹄螺科 <i>Trochidae</i>	丽口螺 <i>Calliostoma aculeatum</i>	—	—	0.01	—
35	异腹足目 <i>Heterogastropoda</i>	玉螺科 <i>Naticidae</i>	扁玉螺 <i>Glossaulax didyma</i>	148.42	2612.18	139.50	442.14
36			微黄镰玉螺 <i>Lunatia gilva</i>	665.81	2708.59	5423.76	360.90
37			斑玉螺 <i>Natica tigrina</i>	—	—	0.87	0.05
38		光螺科 <i>Eulimidae</i>	马氏光螺 <i>Melanella martinii</i>	0.02	—	0.22	0.03
39	中腹足目 <i>Mesogastropoda</i>	滨螺科 <i>Littorinidae</i>	粗糙滨螺 <i>Littorina scabra</i>	1.23	—	—	0.06
40		拟沼螺科 <i>Assimineidae</i>	葦拟沼螺 <i>Assiminea violacea</i>	0.01	—	0.04	1.93
41			绯拟沼螺 <i>Assiminea latericea</i>	0.02	0.00	—	—
42		狭口螺科 <i>Stenohyridae</i>	光滑狭口螺 <i>Stenohyra glabra</i>	12.17	2497.79	946.94	676.92
43		汇螺科 <i>Potamodidae</i>	红树拟蟹守螺 <i>Cerithidea rhizophorarum</i>	—	0.00	—	—
44			尖锥拟蟹守螺 <i>Cerithidea largillierii</i>	0.31	0.27	6.97	—
45			珠带拟蟹守螺 <i>Cerithidea cingulata</i>	395.36	2258.16	1658.11	—

“—”表示未采集到数据

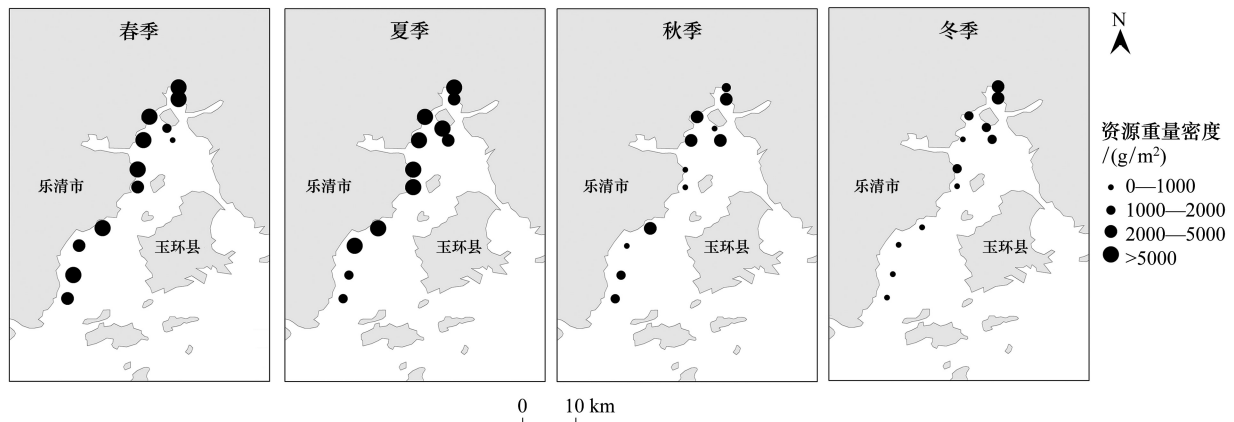


图3 2016—2017年乐清湾贝类资源重量密度

Fig.3 The distribution of shellfish resource density of weight in 2016 and 2017

2.3 群落多样性

不同季节贝类的多样性指数结果显示(表2),丰富度指数(D)随季节的变化逐渐减小,春季最高,冬季最低;多样性指数(H')秋季最高,夏季和冬季次之,春季最低;均匀度指数(J')以秋季最高,夏季和冬季相差无几,春季最低。利用多样性指数在季节序列上进行 *Pearson* 相关性分析,得出4个季节中只有均匀度指数与多样性指数显著相关($R=0.993, P<0.05$),其余指数之间在时间尺度上均不相关。

表2 乐清湾贝类生物多样性指数的季节变化

Table 2 The shellfish community diversity index in Yueqing Bay from spring to winter

季节 Season	丰富度指数 Richness index(D)	多样性指数 Diversity index(H')	均匀度指数 Evenness index(J')	季节 Season	丰富度指数 Richness index(D)	多样性指数 Diversity index(H')	均匀度指数 Evenness index(J')
春季 Spring	3.77	1.14	0.30	秋季 Autumn	3.18	2.07	0.59
夏季 Summer	3.37	1.68	0.45	冬季 Winter	2.73	1.54	0.44

不同滩涂断面的多样性指数显示(表3),四季的丰富度指数(D)平均值随着潮位的降低呈现递增的趋势,在春季和夏季,不同潮位间丰富度指数(D)变化较明显,秋季和冬季随着潮位的降低,丰富度指数(D)越来越大;四季多样性指数(H')的平均值在中潮带最高,高潮带次之,低潮带最低。春季多样性指数(H')随着

表3 乐清湾不同潮间带生物多样性指数的季节变化

Table 3 Diversity index of shellfish in the intertidal zone of Yueqing Bay in the four seasons

多样性指数 Diversity index	潮带 Intertidal zone	春 Spring	夏 Summer	秋 Autumn	冬 Winter	四季平均值 Seasonal mean
丰富度指数 D	高潮带	1.26±0.39	1.26±0.38	1.38±0.74	1.43±0.45	1.33
	中潮带	1.27±0.46	1.38±0.58	1.40±0.50	1.59±0.29	1.41
	低潮带	1.25±0.25	1.35±0.43	1.49±0.42	1.63±0.53	1.43
多样性指数 H'	高潮带	1.50±0.45	1.29±0.68	1.96±0.92	1.78±0.74	1.63
	中潮带	1.29±0.66	1.24±0.79	1.98±0.73	2.10±0.56	1.65
	低潮带	1.11±0.61	1.42±0.43	1.90±0.85	1.96±0.63	1.60
均匀度指数 J'	高潮带	0.50±0.21	0.38±0.18	0.58±0.24	0.50±0.18	0.49
	中潮带	0.44±0.21	0.35±0.21	0.70±0.11	0.60±0.17	0.52
	低潮带	0.34±0.13	0.43±0.10	0.55±0.23	0.55±0.16	0.47

潮位升高,多样性指数(H')增加,秋冬两季多样性指数(H')均在中潮位最高,夏季在低潮带多样性指数(H')最高。四季的均匀度指数(J')平均值变化复杂,以中潮带的均匀度指数(J')最高,高潮带和低潮带紧随其后。春季,随着潮位上升,均匀度指数(J')增加,在夏季,低潮带均匀度指数(J')最高,秋冬两季中潮带均匀度指数(J')最大。

2.4 群落 ABC 曲线

4 个季节的 ABC 曲线表明(图 4),乐清湾贝类的生物量优势度曲线和丰度优势度曲线均相交,对应的 W 值分别为-0.041、0.026、-0.017、-0.095, W 值小于 0 或者微大于 0,说明乐清湾贝类的生物群落处于中度干扰状态。

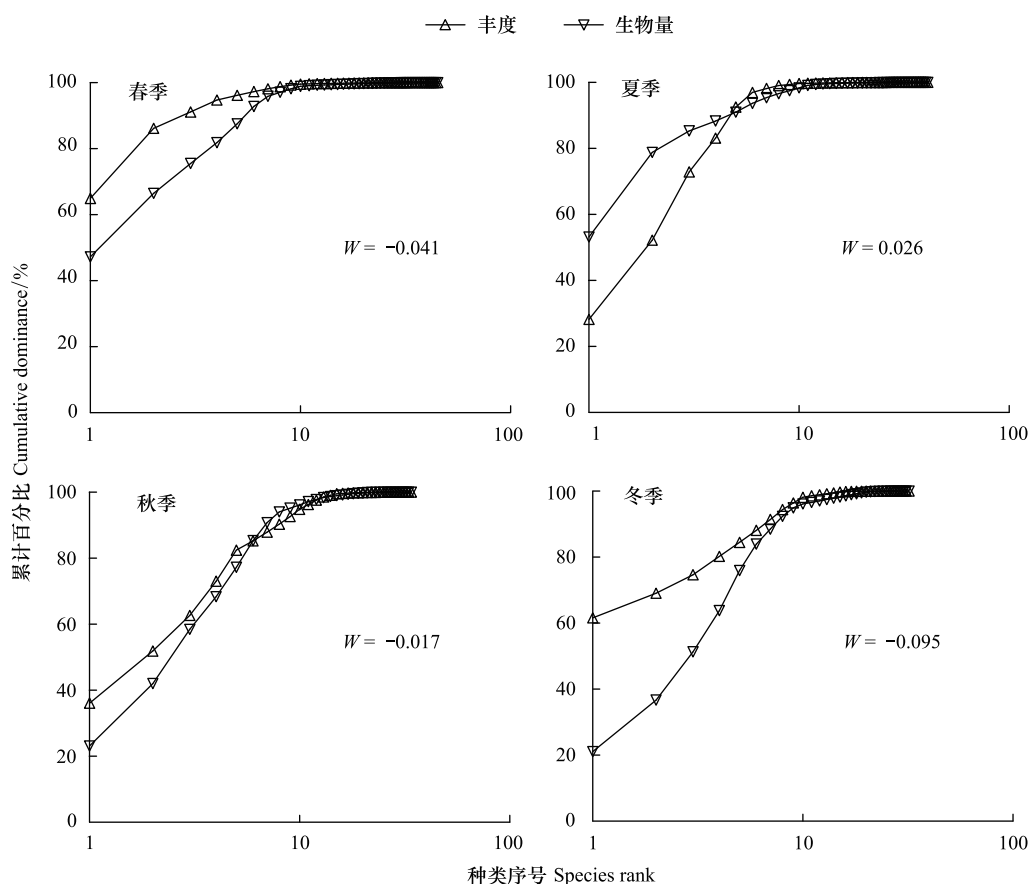


图 4 乐清湾不同季节贝类 ABC 曲线

Fig.4 ABC curve and W value of shellfish community in Yueqing Bay from different seasons

ABC curve, 丰度生物量曲线 abundance-biomass curve

2.5 乐清湾不同季节贝类生物量粒径谱

对乐清湾滩涂不同季节贝类绘制生物量粒径谱图形(图 5),发现四种谱型形状均不相同。春季出现了 3 个波峰与波谷,且波峰与波谷呈现的趋势相反。起初在 0—2 粒级出现最低波谷,接着曲线直线上升,在 2—4 出现了最高波峰;夏季的谱型呈“W”形,为双波谷,单波峰型。波峰出现在 4—6 粒级;秋季的双波谷在夏季的基础上分别移向两端,且生物量与夏季对应的波谷相比减小;冬季生物量粒径谱表现出“V”形,波谷出现在 2—4 粒级。除波谷外其余粒级上生物量分布较为均匀。

2.6 乐清湾不同季节贝类标准化粒径谱

对不同季节的贝类生物量进行分析,描绘标准化生物量粒径谱图形并建立回归直线(图 6),斜率变化范围在-1.5539—-0.7373 之间,斜率最大的季节为秋季,最小为春季。只有秋季的斜率大于-1,表明除了秋季

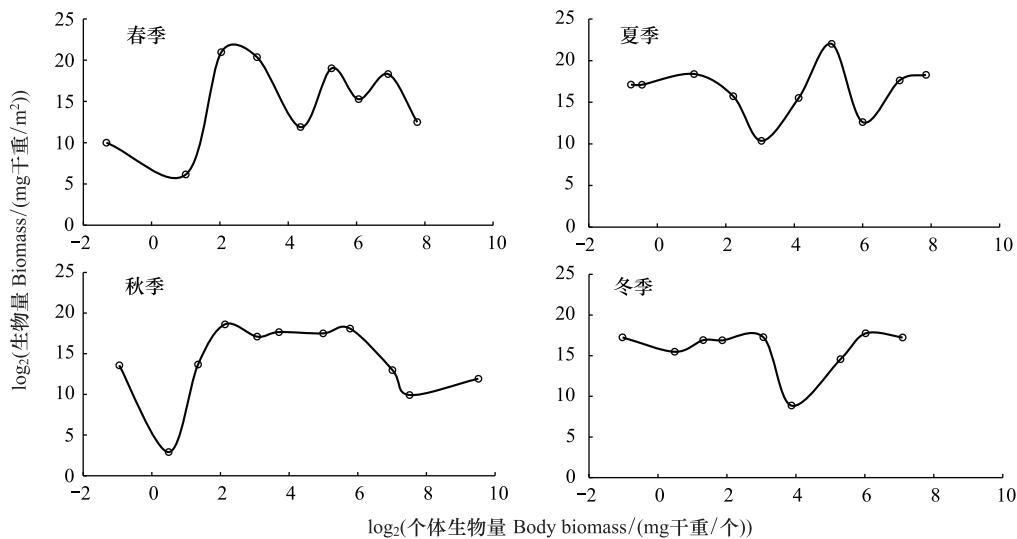


图5 乐清湾滩涂不同季节贝类生物量粒径谱

Fig.5 Biomass size spectra of shellfish community in different seasons in Yueqing Bay

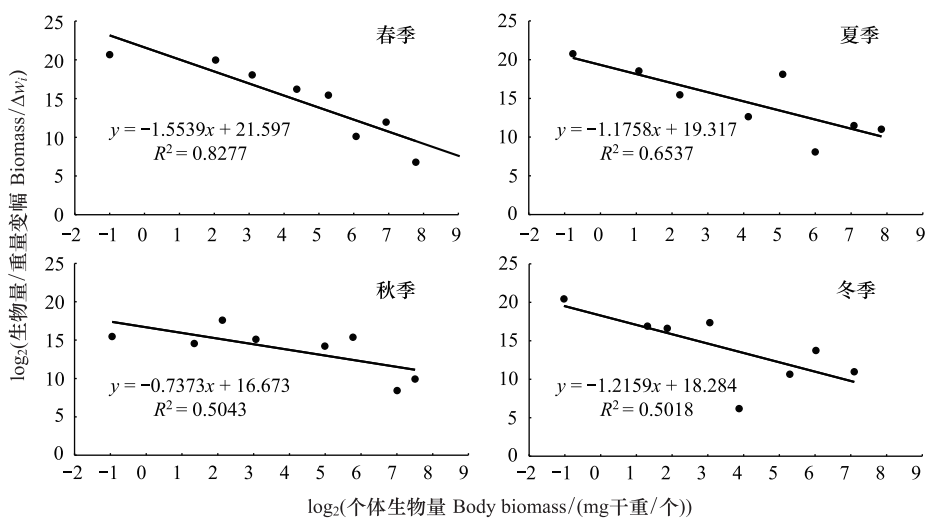


图6 乐清湾滩涂不同季节贝类标准化生物量粒径谱

Fig.6 Normalized biomass spectra of shellfish community in different seasons in Yueqing Bay

外,其余季节的贝类生物量随生物个体增大反而减小;截距范围在 16.673—21.597 之间,截距最小在秋季,春季相反。结果表明春季的生产力最高,秋季生产力最低。

3 讨论

3.1 物种组成和优势种

与 1996 的调查相比,2016 年的贝类由 73 种减少到 45 种,一些野生经济种尚未出现^[29—30];乐清湾的优势种在织纹螺科类、玉螺科、汇螺科等基础上增加樱蛤科、狭口螺科、蓝蛤科、囊螺科等,优势群落逐渐发生转变,说明贝类物种群落结构具有次生演替的趋势^[28]。2016 年乐清湾的贝螺种类按照夏、春、秋、冬呈现出逐渐递减的趋势。在不同季节,水温对贝类的数量分布有一定的限制作用,且与季节存在一定的相关性^[29—30]。从采样站位分析,贝类的种类数量分布由北向南逐渐增多,水温随着纬度降低而逐渐升高,这一结论在前人的一

些研究中也体现^[31-34]。由此可以得出贝类的分布与温度有着密切的关系。

本次贝类资源密度调查显示:四季的平均栖息密度和平均生物量密度分别为 32.09 个/m²和 1103g/m²。调查站位的栖息密度分布特点随着季节的变化,由两边向中间聚集,最后呈均匀分布。春季气温开始回升,加之 S1 站位与 S12 站位的海水交换量相对较少,栖息环境较为稳定,栖息密度在这两个站位相对较大。到了夏天,正是人工养殖的黄金时期,中部地区有许多养殖区域,许多种类的外逃可能造成栖息密度向中间聚集的趋势。秋天与冬天的栖息密度较小,这可能是与环境温度存在关联;生物量密度的分布特点是夏季最大,春季次之,秋季较小,冬季最小,这也与前面的结论相同,再次证明贝类的分布受温度影响较大^[30]。此外,资源密度分布和种类组成在不同季节变化趋势基本一致。

3.2 生物多样性指数

多样性是表征群落水平和群落稳定性的重要生态特征,与人类的生存与发展密切相关。以时间尺度结合贝类多样性指数的研究结果分析,春夏的物种丰富度高于秋冬两季,由此可以说明季节对贝类的生长有着一定的影响,春夏水温逐渐升高,贝类的生长速度加快,生物丰富度指数较高,优势种资源密度的表现更加明显。从空间尺度分析,高潮带与中潮带的生物多样性要高于低潮带,这主要是由于高潮带被海水冲刷的较少,生境较为稳定,为贝类栖息创造了良好的环境。中潮带的生境分化程度较低,植被较为稀疏,环境也较为稳定,因此高中潮带的生物多样性较高,生物种类组成复杂,但冬夏两季的多样性指数低潮带要高于高潮带,这也说明潮带的变化不是唯一影响贝类栖息的因素^[35]。结合时序与潮间带的结果显示,乐清湾贝类的均匀度始终处于较低水平,优势种始终由几种贝类控制,导致均匀分布程度较低,同时也表明乐清湾的贝类结构组成较为单一。

3.3 群落结构的稳定性分析

结合 ABC 曲线特征及 W 统计值,根据 Clarke 和 Warwick 的划分标准,结果显示:在 4 个季节中,丰度曲线与生物量曲线先分离后相交,原来的优势种减少,群落向随机化、小型化种类方向演替,导致丰度曲线与生物量曲线优势度很难辨别,说明调查海域贝类群落处于中度扰动状态。究其原因主要有两方面,一是生境的不稳定性,湾区贝类生境常常遭到破坏。近几十年来,乐清湾沿岸的经济迅速发展,海岸工程的大量兴起,大量工厂建筑拔地而起,在施工及运作过程中,给乐清湾滩涂带来巨大影响,导致生境破碎,造成生物多样性下降;二是水质条件的恶化。根据 2016—2017 年中国海洋生态环境状况公报显示乐清湾海域为劣四类海水,主要污染物为无机氮和活性磷酸盐。水质条件差的原因主要归结为围塘养殖与污水的排放。为了满足人们对于海产品的需求,围塘养殖模型风靡于此,在此过程中农药的大量使用给周围滩涂生境带来了“灾难性”影响,加之沿岸的工农污水、生活污水等排放严重影响滩涂水域环境;抛开上述因素外,养殖逃逸对野生种群的冲击也很大。养殖品种逃逸后,侵占土著种栖息环境,产生食物竞争,逐渐导致原有种群结构出现衰退。多种因素的耦合作用才导致了乐清湾生物群落结构稳定性差、生物量与栖息密度低,生态系统处于中风险。因此应该以生态本底和自然禀赋为基础,坚持人与自然和谐相处,实现生物多样性保护和经济高质量发展相匹配。

3.4 乐清湾贝类生物量粒径谱与标准化粒径谱特征分析

通过分析不同季节生物量粒径谱可知,大型底栖生物与粒径谱往往较为复杂,表现出一定的不规则性。焦河蓝蛤等相对重要性指数较高的底栖生物通常位于不同粒级的波峰区,这表明绝对优势种始终控制着生物量粒径谱的峰值。波谷通常由一些处于幼体状态的底栖动物组成,这些幼体通常具有生长速度快、死亡率高的特性,所以生物量处于较低水平^[35]。因此可以推测出粒径级的改变可能与生物体生长速率存在某些关联。

标准化粒径谱的斜率、截距、最小粒级的生物量往往可以揭示不同季节潮间带生态系统的特征。斜率可以描述生态系统中生物量的变化趋势:当斜率为-1 时,作为生物量与个体大小变化之间的一个平衡点,二者不发生变化;当斜率大于-1 时,生物量随着生物个体的增大而增大;当斜率小于-1 时,则相反。乐清湾不同季节的贝类标准化生物量粒径谱的斜率在春、夏、冬均小于-1,说明生物量随着个体的增大而减小。乐清湾贝类标准化生物量粒径谱斜率小于国内大多数海域^[36-39],这可能与标准化粒径谱选取的生物种类有关。由

于本次只研究贝类,而其他学者多数是研究较为完整的底栖生物,包括一些线虫和小型底栖生物等,这可能是导致斜率较小的原因之一。同时,对比斜率还可以得出乐清湾相较其他海域,其营养循环处于较低水平。此外斜率还与 ABC 曲线的 W 值有着一定的关联,两者通常呈正相关^[40]。标准化生物量粒径谱的截距与最小粒级生物量(BMS)可以反映生态系统中生产力水平的高低。对乐清湾不同季节的标准化生物量粒径谱截距、BMS 进行比较可以发现,春季的截距、BMS 高于其他季节,说明春季的生产力水平较高。春季乐清湾出现大量焦河蓝蛤,其为河口常见种,有着较强的适应能力,数量较多,其 IRI 指数达到了 9655.55,导致了次级生产力升高,这与瓯江口、鼓浪屿海域生产力水平较高的原因相似^[41-42]。

4 结论

本次调查发现乐清湾贝类物种数量与 20 年前相比减少了 28 种,优势种较为单一,如焦河蓝蛤等。生物量粒径谱峰值区域始终由优势种控制。湾区营养循环水平在我国处于较低水平,但贝类生产力水平较高。

生物量粒径谱作为一种生态学研究方法,可以比较不同生态系统的生产力水平,描述生物量的变化趋势,并且对环境的变化非常敏感,为认识不同层次的生物规律和环境监测提供了新的途径。但是由于采样范围不足和粒级单位不统一等原因,造成结果可能不会反应出完整的真实情况,这也导致了生物量粒径谱发展缓慢。随着人们对海洋生态系统结构和功能认识更加深入,相信粒径谱理论的应用将更加广泛^[43-44]。

参考文献(References):

- [1] 周航. 浙江海岛志. 北京: 高等教育出版社, 1998.
- [2] 吴奋武, 李熹. 浙江省温州市滩涂贝苗增殖情况介绍. 福建水产, 1992, (1): 77-79.
- [3] 王炬, 郭远明, 胡红美, 应忠真, 李子孟, 鲍静姣. 2016 年乐清湾北部海域富营养化现状与评价. 现代农业科技, 2019(17): 176-178.
- [4] 吕晓婷, 温艳萍. 江夏潮汐电站库区滩涂水产养殖现状及对策. 中国农学通报, 2013, 29(20): 69-72.
- [5] 杨辉. 浙江乐清湾资源优势及其开发中的矛盾处理. 海洋通报, 2003, (6): 49-55.
- [6] 陈思杨, 宋琍琍, 刘希真, 刘瑞娟, 余骏. 浙江典型海湾潮间带沉积物污染及生态风险评价. 中国环境科学, 2020, 40(4): 1771-1781.
- [7] Yeates S E, Einum S, Fleming I A, Holt W V, Gage M J G. Assessing risks of invasion through gamete performance: farm Atlantic salmon sperm and eggs show equivalence in function, fertility, compatibility and competitiveness to wild Atlantic salmon. Evolutionary Applications, 2014, 7(4): 493-505.
- [8] Owen G. Feeding and Digestion in the Bivalvia. Advances in Comparative Physiology & Biochemistry. 1974, (5): 1-35.
- [9] Smaal A C, Vonck W, Prins T C. The functional role of mussels in the oosterschelde estuary. J Shellfish Res, 1989, 8(2): 472-478.
- [10] Reeders H H, Vaate A B D. Zebra Mussels (*Dreissena polymorpha*): A New Perspective for Water Quality Management. Hydrobiologia, 1990, 200-201(1): 437-450.
- [11] 赵永强, 曾江宁, 高爱根, 陈全震, 廖一波, 寿鹿. 椒江口滩涂大型底栖动物群落格局与多样性. 生物多样性, 2009, 17(3): 303-309.
- [12] 徐晓群, 曾江宁, 陈全震, 刘晶晶, 杜萍, 王桂忠. 浙江三门湾浮游动物优势种空间生态位. 应用生态学报, 2013, 24(3): 818-824.
- [13] 董静瑞, 水柏年, 胡成业, 水玉跃, 杜肖, 田阔. 温州南部沿岸海域主要鱼类的生态位及种间联结性. 应用生态学报, 2017, 28(5): 1699-1706.
- [14] 刘镇盛, 王春生, 张志南, 蔡昱明, 张东声. 乐清湾浮游动物的季节变动及摄食率. 生态学报, 2005, (8): 1853-1862.
- [15] 宋琍琍, 赵聪蛟, 龙华, 陈雷, 余骏, 吕宝强, 刘亚林. 2009 年夏季乐清湾网采浮游植物群落结构特征. 海洋学研究, 2010, 28(3): 34-42.
- [16] 彭欣, 谢起浪, 陈少波, 黄晓林, 仇建标, 仲伟, 关万春. 乐清湾潮间带大型底栖动物群落分布格局及其对人类活动的响应. 生态学报, 2011, 31(4): 954-963.
- [17] 高爱根, 陈全震, 曾江宁, 廖一波, 杨俊毅. 西门岛红树林区大型底栖动物的群落结构. 海洋学研究, 2005, (2): 33-40.
- [18] 郑荣泉, 张永普, 李灿阳, 周芸. 乐清湾滩涂大型底栖动物群落结构的时空变化. 动物学报, 2007, (2): 390-398.
- [19] 龙华, 余骏, 周燕. 大型底栖动物污染指数在乐清湾潮间带环境质量评价中的应用. 海洋学研究, 2008, 26(4): 97-104.
- [20] 彭欣, 谢起浪, 陈少波, 黄晓林, 仇建标, 仲伟, 陈万东. 南麂列岛潮间带底栖生物时空分布及其对人类活动的响应. 海洋与湖沼, 2009, 40(5): 584-589.
- [21] 林岩璇, 张志南, 王睿照. 东、黄海典型站位底栖动物粒径谱研究. 生态学报, 2004, (2): 241-245.
- [22] 刘瑞玉. 中国海洋生物名录. 北京: 科学出版社, 2008.

- [23] 董聿茂. 浙江动物志两栖类爬行类. 杭州: 浙江科学技术出版社, 1990.
- [24] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫局. 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, 2008, 56-62.
- [25] Pinkas L, Oliphant M, Iverson I L K. Food habits of albacore, bluefin tuna, and bonito in California waters. *Water Research*, 1971, 18(6): 653-594.
- [26] Margalef R. Information theory in ecology. *General Systematics Advancing Frontiers Plant Science*, 1957, 3:37-71.
- [27] Clarke K R, Warwick R M. *Change in Marine Communities: an Approach to Statistical Analysis and Interpretation* (2nd ed). Plymouth: PRIMPER-E. 2001, 1-91.
- [28] Sprules W G, Munawar M. Plankton size spectra in relation to ecosystem productivity, size, and perturbation. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 1986, 43(9): 1789-1794.
- [29] 张永普, 郑汉森, 叶文俊, 余存春. 乐清湾潮间带贝类的区系研究. *温州师范学院学报: 自然科学版*, 1996, (3): 75-79.
- [30] 贾胜华, 曾江宁, 廖一波, 寿鹿, 黄伟, 高爱根, 汤雁滨. 洞头列岛及邻近海域大型底栖动物群落结构的研究. *海洋学研究*, 2016, 34(2): 83-92.
- [31] 施华宏. 滨海采捕对岸带生物资源的影响及管理对策. *海洋开发与管理*, 2001, (2): 32-34.
- [32] 李冠国, 范振刚. *海洋生态学*. 北京: 高等教育出版社, 2004: 85-325.
- [33] 安传光, 赵云龙, 林凌, 吕敢堂, 陈亚瞿. 长江口九段沙潮间带大型底栖动物季节分布特征的初步研究. *水产学报*, 2007, (S1): 52-58.
- [34] 卢占晖, 朱文斌, 徐开达, 周永东, 戴乾, 卢衍尔. 浙江沿岸海域春季螺类群落结构特征及其与环境因子的关系. *水生生物学报*, 2018, 42(3): 606-615.
- [35] Strayer D. The size structure of a lacustrine zoobenthic community. *Oecologia*, 1986, 69(4): 513-516.
- [36] 张青田, 胡桂坤. 渤海湾近岸底栖动物的生物量粒径谱研究. *天津师范大学学报: 自然科学版*, 2013, 33(2): 81-88.
- [37] 华尔, 张志南. 黄河口邻近海域底栖动物粒径谱研究. *中国海洋大学学报: 自然科学版*, 2009, 39(5): 971-978.
- [38] 林岿璇, 张志南, 王睿照. 东、黄海典型站位底栖动物粒径谱研究. *生态学报*, 2004, (2): 241-245.
- [39] 邓可. 南黄海两种不同生境底栖动物粒径谱研究 [D]. 青岛: 中国海洋大学, 2006.
- [40] Pagola-Carte S. ABC Method and Biomass Size Spectra: What About Macrozoobenthic Biomass on Hard Substrata? *Hydrobiologia*, 2004, 527(1): 163-176.
- [41] 周细平, 蔡立哲, 梁俊彦, 傅素晶, 林和山, 黄昆. 厦门海域大型底栖动物次级生产力的初步研究. *厦门大学学报: 自然科学版*, 2008, (6): 902-906.
- [42] 贾胜华, 廖一波, 曾江宁, 寿鹿, 黄伟, 高爱根, 汤雁滨. 近岸典型生态系统大型底栖动物的次级生产力—以瓯江口、洞头列岛为例. *生态学报*, 2017, 37(21): 7140-7151.
- [43] 周林滨, 谭焯辉, 黄良民, 连喜平. 水生生物粒径谱/生物量谱研究进展. *生态学报*, 2010, 30(12): 3319-3333.
- [44] 王睿照, 张志南. 海洋底栖生物粒径谱的研究. *海洋湖沼通报*, 2003(4): 61-68.