

灵昆岛东滩潮间带大型底栖动物功能群 及营养等级构成

葛宝明^{1,2,3}, 鲍毅新^{1,*}, 程宏毅¹, 李欢欢¹, 胡知渊¹

(1. 浙江师范大学生态研究所, 浙江 金华 321004; 2. 中国科学院动物研究所, 北京 100101; 3. 中国科学院研究生院, 北京 100049)

摘要: 2003 年 11 月至 2004 年 8 月, 在温州湾的灵昆岛东滩针对大型底栖动物群落进行了取样调查, 利用调查数据进行功能群和营养等级构成研究。共得到大型底栖动物 33 种, 隶属 7 门 8 纲 21 科, 主要为软体动物、节肢动物甲壳类和环节动物多毛类。其中, 高潮带 25 种, 中潮带 30 种, 低潮带 14 种。Margalef 物种丰富度指数和 Shannon-Weiner 多样性指数均表现为: 高潮带 > 中潮带 > 低潮带; Pielou 均匀度指数和 Simpson 优势度指数表现为: 高潮带 < 中潮带 < 低潮带。定性取样得到的浮游生物食者 4 种, 植食者 12 种, 肉食者 8 种, 杂食者 7 种, 碎屑食者 2 种, 定量取样得到的分别为: 3, 8, 5, 3 种和 2 种。定量取样获得数据中各个功能群种类数和密度季节间差异均不显著, 不考虑季节变化因素肉食者和植食者密度在潮带间存在差异, 杂食者和植食者种类数在潮带间存在差异, 其他功能群密度和种类数数据在潮带间的差异不显著。研究显示了功能群的生境梯度变化, 高潮带主导的功能群为肉食者, 植食者和浮游生物食者; 中潮带主导的功能群为肉食者和浮游生物食者; 低潮带主导的功能群为肉食者, 这些变化反映了不同潮带营养等级构成和食物来源的差异, 由于生境中能提供的植物沿着高潮带, 中潮带和低潮带方向递减, 至低潮带未发现植食者; 且由于中潮带的生境最为复杂, 其功能群的构成也最为复杂; 3 个潮带的碎屑食者数量比较稳定。大型底栖动物群落与其食物来源一起共有 4 个营养等级, 其中大型底栖动物占据了第 2、3、4 级, 第 1 级主要碎屑、浮游生物和植物, 第 2 级包括了碎屑食者、浮游生物食者和植食者, 第 3 级主要是杂食者, 第 4 级是肉食者, 各个营养级、食物来源之间构成一张复杂的食物网。

关键词: 功能群; 营养等级; 大型底栖动物; 潮间带; 灵昆岛

文章编号: 1000-0933(2008)10-4796-09 中图分类号: Q143, Q958.15 文献标识码: A

The trophic functional groups and trophic levels of the macrobenthic community at the east tidal flat of Lingkun Island

GE Bao-Ming^{1,2,3}, BAO Yi-Xin^{1,*}, CHENG Hong-Yi¹, LI Huan-Huan¹, HU Zhi-Yuan¹

1 Institute of Ecology, Zhejiang Normal University, Jinhua 321004, China

2 Institute of zoology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China

3 Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(10): 4796 ~ 4804.

Abstract: From Nov. 2003 to Aug. 2004, macrobenthic assemblages were investigated seasonally at the east tidal flat of Lingkun Island, Wenzhou Bay. A total of 33 taxa, including 21 families, 8 classes and 7 phyla, were found. Most of them

基金项目: 浙江省自然科学基金重大资助项目 (ZE0204)

收稿日期: 2007-06-06; **修订日期:** 2007-09-16

作者简介: 葛宝明 (1981 ~), 男, 安徽绩溪人, 博士生, 主要从事动物生态学研究. E-mail: ahgebaoming@163.com, gebm@ioz.ac.cn

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: baoyix@21cn.com

致谢: 感谢温州大学生命与环境科学学院张永普教授帮助鉴定分类大型底栖动物, 感谢 Texas A&M University-Corpus Christi, Harte Research Institute 的 Paul A. Montagna 教授对英文摘要的润色。

Foundation item: The project was financially supported by Natural Science Foundation of Zhejiang Province (No. ZE0204)

Received date: 2007-06-06; **Accepted date:** 2007-09-16

Biography: GE Bao-Ming, Ph. D. candidate, mainly engaged in animal ecology. E-mail: ahgebaoming@163.com, gebm@ioz.ac.cn

were mollusks, crustaceans and polychaetes. The species numbers found at three tidal flat (high, middle and low) were 25, 30 and 14. The average value of Margalef's and Shannon-Wiener's indices were the highest at high tidal flat (2.26 and 2.04), following by middle (2.04 and 2.10) and low (1.02 and 1.50) tidal flat. The average values of Pielou's and Simpson's dominance indices had the opposite trend: high (0.89 and 0.14) < middle (0.85 and 0.16) < low (0.96 and 0.25) tidal flat. The species belonged to five different trophic functional groups: Phytophagous (12), Camivorous (8), Omnivorous (7), Planktrophagous (3) and Detritivorous (2) in qualitative samplings. Then 3, 8, 5, 3 and 2 kinds of species belonged to Planktrophagous group, Phytophagous group, Camivorous group, Omnivorous group and Detritivorous group respectively in quantitative sampling. The density and species number of each functional group did not display seasonal variation by the two-way ANOVA method. Without regarding the seasonal variation, density of the Phytophagous group (54.00 ± 1.41 , 32.00 ± 6.32 and 0 respectively to high, middle and low tidal flat) and Camivorous group (54.00 ± 4.76 , 64.50 ± 4.65 and 22.00 ± 3.37 respectively to high, middle and low tidal flat) had distinct difference among the different zones of tidal flat, the species number of the Phytophagous group (5.25 ± 0.25 , 3.75 ± 0.48 and 0 respectively to high, middle and low tidal flat) and Omnivorous group (1.25 ± 0.48 , 1.75 ± 0.25 and 0.25 ± 0.25 respectively to high, middle and low tidal flat) had distinct difference among the different zones of tidal flat. The results show that there was variation of functional groups among habitats. The Planktrophagous group, Phytophagous group and Camivorous group were the primary components of the macrobenthic community at high tidal flat, the Planktrophagous group and Camivorous group are the primary components of the macrobenthic community at middle tidal flat, then the Camivorous group was the primary component of the macrobenthic community at low tidal flat. The change of components of macrobenthic community reflected the change of food source in different zones of tidal flat. Because the plants decreased in the gradient from high, middle to low tidal flat, the Phytophagous group decreased along the direction of high, middle and low tidal flat. There was no Phytophagous group at low tidal flat. The density and species number of the Detritivorous group was similar in the three zones of the tidal flat. In conclusion, there were 5 functional groups in the macrobenthic community including the Planktrophagous group, Phytophagous group, Detritivorous group, the Omnivorous group, and the Camivorous group; there were 4 nutrition levels at the macrobenthic community with the food resource, then the macrobenthos were the second, third and fourth level in the system, the first level included the dross, plankton and plant, the second level included the Planktrophagous group, Phytophagous group and Detritivorous group, the third level was the Omnivorous group, the fourth level was the Camivorous group; which implies the tidal flat with a complicated food web.

Key Words: functional group; trophic level; macrobenthos; tidal flat; Lingkun Island

潮间带是滩涂湿地生态系统的重要类型,由于处于海陆过渡地带,海陆理化因子的交替作用,物质交换过程复杂多变,其中的大型底栖动物又由于其在食物网链中的重要作用,一直倍受关注。国外如关于大型底栖动物种群空白栖息地的研究^[1],底栖动物与环境因子的控制试验研究^[2],大型底栖动物群落与环境因子关系研究等^[3,4],国内主要有大型底栖动物群落的定量研究^[5,6],以及大型底栖动物的种群研究^[7,8],同时在浙江温州灵昆岛进行了较为深入和系统的大型底栖动物群落生态学研究,主要是滩涂及潮沟大型底栖动物群落的群落动态和物种生态位分析^[9~11]。

以往的研究主要侧重群落生物多样性,生物量,生活型及生态位的定量分析,很少有涉及群落功能结构的划分和研究。功能群组成及功能群间的相互作用对群落生产力及其稳定性具有很重要的作用,功能群的研究能更好地认识生物多样性与生物群落结构和功能的关系。将生物群落中的物种分成不同的功能群的意义表现在:(1)使复杂的生物群落简化,有利于认识系统的结构和功能;(2)弱化了物种的个别作用,从而强调了物种功能群的集体作用^[12]。功能群的划分使得研究群落内部能量物质流动能简单化,因此采用功能群划分在研究生态系统物质能量流动方面广泛应用,特别是在植物群落生态领域,如荒漠草原地区不同载畜率对功能

群特征及其多样性的影响^[13]、内蒙古锡林河流域草原群落植物功能群组成沿水热梯度变化的样带研究^[14]等,但是动物群落生态学中应用功能群手段相对植物生态学的研究报道较少,由于无脊椎动物群落相对比较复杂,特别是昆虫、海洋无脊椎动物群落领域的研究中,功能群的研究是具有很好的可操作性。朱晓君、陆健健对长江河口潮间带湿地底栖动物功能群底栖动物作过功能群分析^[15],而对于国内其他河口湿地,如胶州湾、深圳湾、杭州湾等的底栖动物未见有功能群方面的报道。

本文的假设在滩涂大型底栖动物群落的时空变化条件下,群落功能群组成及营养等级结构也相应有一定的变化。以滩涂大型底栖动物群落季节调查资料为基础,进行群落功能结构分析,探讨灵昆岛东滩大型底栖动物群落功能群的季节变化及各不同营养级别构成的季节变化规律,并验证假设。

1 研究方法

1.1 研究地点

灵昆岛是位于温州湾和瓯江入海口交汇处的河口岛屿,亚热带气候,潮汐为非正规半日浅海潮,平均盐度 10~30。研究的地点为浙江温州市灵昆岛东滩,潮间带为软相底质沉积物,淤泥为主。潮间带地貌特征结合潮汐作用程度可以明显分为高潮带、中潮带和低潮带,整个潮间带宽 900~1100m 左右,其中,高潮带大部已被围垦,剩余部分较窄,宽约 100~200m,狭小的高潮带上植被为较密集的互花米草(*Spartin alterniflora*),底质淤泥细腻,颗粒细小;中潮带宽 500~700m 左右,大部分无植被,只有在和高潮带交接的位置有稀疏的互花米草,底质颗粒稍大;低潮带宽 150~250m 左右,无植被,底质颗粒较粗,泥沙为主。

1.2 样本处理

在最低潮时,用 33cm×30cm×20cm 的 0.1m² 自制采样器采集泥样,采样深度为 20cm,在高潮带、中潮带和低潮带,各采集 5 个样方,所采泥样用 1mm 孔径的分样筛进行淘洗,获取大型底栖动物样本。动物样本用 10% 福尔马林固定,带回实验室内后,分类计数。除采集定量样品外,调查期间还在高潮带、中潮带和低潮带采集定性样品。以上操作参考《全国海岸带和海涂资源综合调查简明规程》(1986)的操作规范^[16]。

采样每个季度一次,具体取样时间分别为:2003 年 11 月和 2004 年 2 月、5 月、8 月,分别对应秋季、冬季、春季和夏季。

1.3 数据处理

根据滩涂底栖动物群落的特点及取样数据,进行数据及结果分析:

Margalef 种类丰度 $S = (S - 1) / \ln N$

Shannon-Wiener 指数 $H' = - \sum P_i \ln P_i$

Pielou 的均匀度指数 $J = (- \sum P_i \ln P_i) / \ln S$

Simpson 优势度指数 $D = \sum P_{i2}$

数据分析依靠 Spss11.0 (SPSS Inc. 2004) 和 Microsoft Excel 2003 (Microsoft Corporation 2002) 进行,通过单因素方差分析,无重复双因素方差分析进行数据的单元统计。

底栖动物功能群是具有相同生态功能的底栖动物的组合^[17~19]。本文主要根据滩涂大型底栖动物的食性类型划分功能群,所鉴别的各种大型底栖动物可归纳为浮游生物食者 (planktophagous group, Pl)、植食者 (phytophagous group, Ph)、肉食者 (camivorous group, C)、杂食者 (omnivorous group, O) 和碎屑食者 (detritivorous group, D)^[20,21]。参考张青田等的研究并结合营养等级考虑底栖动物的食性关系,拟定和划分物种所在营养等级^[22],并对数据进行整理和归类。

2 结果

2.1 种类组成

共采获大型底栖动物 33 种(表 1),隶属 7 门 8 纲 21 科。其中,高潮带 25 种,中潮带 30 种,低潮带 14 种。

表 1 定性调查发现的大型底栖动物

Table 1 The macrobenthos species been found in the investigation

门 Phylum	纲 Class	科 Family	种 Specie	物种出现的潮带位置 The tidal flat the species been found	功能群 Functional group
软体动物门 Mollusca	腹足纲 Gastropoda	拟沼螺科 Assmineidae	短拟沼螺 <i>Assiminea brevicula</i>	HM	PI
		汇螺科 Potamididae	珠带拟蟹守螺 <i>Cerithidea cingulata</i>	HM	Ph
			尖锥拟蟹守螺 <i>C. largillierti</i>	HM	Ph
		滨螺科 Littorinidae	粗糙滨螺 <i>Littorina scabra</i>	HM	Ph
		狭口螺科 Stenothyridae	光滑狭口螺 <i>Stenothyra glabra</i>	HM	Ph
		阿地螺科 Atyidae	泥螺 <i>Bullacta exarata</i>	HM	O
	瓣鳃纲 Lamellibranchia	竹蛭科 Solenidae	缢蛭 <i>Sinonovacula constricta</i>	HM	PI
		蓝蛤科 Corbulidae	焦河蓝蛤 <i>Potamocorbula ustulata</i>	HML	PI
		樱蛤科 Tellinidae	彩虹明樱蛤 <i>Moerella iridescen</i>	HM	PI
节肢动物门 Arthropoda	甲壳纲 Crustacea	方蟹科 Grapsidae	沈氏厚蟹 <i>Helice sheni</i>	HM	Ph
			伍氏厚蟹 <i>H. wuana</i>	HM	Ph
			红螯相手蟹 <i>Sesarma haematocheir</i>	HM	Ph
			中华绒螯蟹 <i>Eriocheir sinensis</i>	M	C
			沈氏长方蟹 <i>Metaplex sheni</i>	HM	Ph
			日本大眼蟹 <i>Macrophthalmus japonicus</i>	M	Ph
		沙蟹科 Ocypodidae	弧边招潮 <i>Uca arcuata</i>	HM	Ph
			清白招潮 <i>U. lactea lactea</i>	HM	Ph
			泥蟹 <i>Ilyoplax</i> sp.	HML	Ph
		玉蟹科 Leucosiidae	豆形拳蟹 <i>Philyra pisum</i>	ML	O
			橄榄拳蟹 <i>P. olivacea</i>	L	O
		鼓虾科 Alpheidae	日本鼓虾 <i>Alpheus japonicus</i>	L	C
		长臂虾科 Palaemonidae	秀丽白虾 <i>Exopalaemon modestus</i>	L	O
环节动物门 Annelida	多毛纲 Polychaeta	齿吻沙蚕科 Nephtyidae	齿吻沙蚕 <i>Nephtys caeac</i>	HML	C
		吻沙蚕科 Glyceridae	长吻沙蚕 <i>Glycera chirori</i>	HM	C
		沙蚕科 Nereidae	日本刺沙蚕 <i>Neanthes japonica</i>	HML	C
			日本沙蚕 <i>Nereis japonica</i>	HML	C
			疣吻沙蚕 <i>Tylorrhynchus heterochaeta</i>	HM	C
纽虫动物门 Nemertina			纽虫 nemertean	HML	C
线形动物门 Nemathelminthes			线虫 eelworm	HML	D
脊索动物门 Chordata	硬骨鱼纲 Osteichthyes	弹涂鱼科 Periphalimidae	青弹涂鱼 <i>Scartelaos viridis</i>	HML	O
			大弹涂鱼 <i>Boleophthalmus pectinirostris</i>	HML	O
		鰕虎鱼科 Gobiidae	鰕虎鱼 <i>Rhinogobius</i> sp.	HM	O
星虫动物门 Sipuncula	革囊星虫纲 Phascolosomida	革囊星虫科 Phascolosomatidae	可口革囊星虫 <i>Phascolosoma esculenta</i>	HML	D

低潮带 Low tidal flat, L; 中潮带 Middle tidal flat, M; 高潮带 High tidal flat, H; 浮游生物食者 Planktophagous group, PI; 植食者 Phytophagous group, Ph; 肉食者 Carnivorous group, C; 杂食者 Omnivorous group, O 和碎屑食者 Detritivorous group, D

调查发现的底栖动物以软体动物、节肢动物和环节动物为主,分别为 13,9,5 种,合计达 27 种,占总数的 81.82%。不同季节的定量取样,潮间带滩涂发现种类数有所不同(图 1)。通过无重复双因素方差分析得到结果认为:定量取样得到的种类数,在不同潮带间差异极显著($F_{2,6} = 33.76, p < 0.01$),但是季节间无显著差异($F_{3,6} = 1.72, p > 0.05$)。

2.2 生物多样性及季节动态

分别进行 4 个多样性指数的季节-潮带无重复双因素方差分析,得到的结果分别是:Margalef 指数不同潮带间差异极显著($F_{2,6} = 58.40, p < 0.01$),季节间差异不显著($F_{3,6} = 1.94, p > 0.05$);Shannon-weiner 指数不同

潮带间差异极显著 ($F_{2,6} = 123.71, p < 0.01$), 季节间差异显著 ($F_{3,6} = 5.59, p < 0.05$); Pielou 指数不同潮带间差异极显著 ($F_{2,6} = 29.05, p < 0.01$), 季节间差异不显著 ($F_{3,6} = 4.15, p > 0.05$); Simpson 指数不同潮带间差异极显著 ($F_{2,6} = 35.21, p < 0.01$), 季节间差异不显著 ($F_{3,6} = 1.35, p > 0.05$)。由上可知除 Shannon-weiner 指数存在显著的季节性差异外, 其他指数季节性差异均不显著。将以上项目四季平均得到图 2。

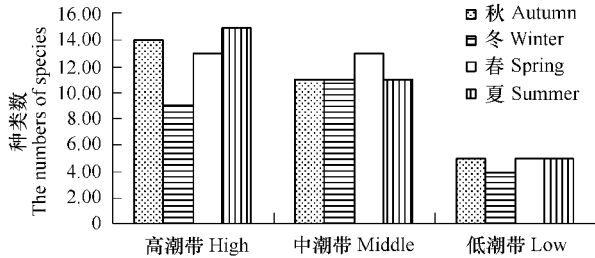


图 1 不同潮带不同季节定量取样获得大型底栖动物种类数

Fig. 1 The species composition of macrobenthic communities at different habitats

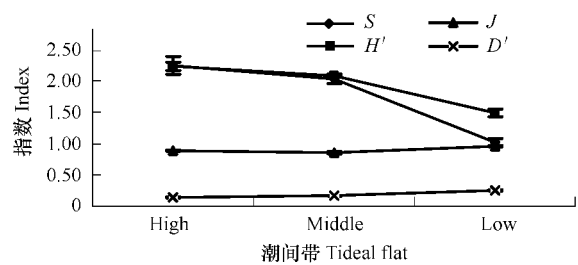


图 2 潮间带不同潮带大型底栖动物群落的多样性指数

Fig. 2 The diversity indices of the macrobenthic communities at different habitats

表 2 各站大型底栖动物群落多样性指数

Table 2 The diversity of the macrobenthic communities at different sites

季节 Season	指数 Index											
	Margalef S			Shannon-weiner H'			Pielou J			Simpson D		
	高潮带 High	中潮带 Middle	低潮带 Low	高潮带 High	中潮带 Middle	低潮带 Low	高潮带 High	中潮带 Middle	低潮带 Low	高潮带 High	中潮带 Middle	低潮带 Low
秋 Autumn	2.54	2.12	1.17	2.27	2.01	1.49	0.86	0.81	0.93	0.13	0.19	0.24
冬 Winter	1.88	2.07	0.90	2.04	2.08	1.33	0.93	0.87	0.96	0.15	0.16	0.27
春 Spring	2.22	2.14	1.07	2.29	2.16	1.58	0.89	0.84	0.98	0.13	0.14	0.26
夏 Summer	2.39	1.82	0.95	2.37	2.14	1.58	0.88	0.89	0.98	0.13	0.15	0.21
平均 Average	2.26 ± 0.14	2.04 ± 0.07	1.02 ± 0.06	2.24 ± 0.07	2.10 ± 0.03	1.50 ± 0.06	0.89 ± 0.01	0.85 ± 0.02	0.96 ± 0.01	0.14 ± 0.01	0.16 ± 0.01	0.25 ± 0.01

2.3 功能群构成及季节动态

定性取样得到的浮游生物食者 4 种, 植食者 12 种, 肉食者 8 种, 杂食者 7 种, 碎屑食者 2 种, 定量取样得到的分别为: 3, 8, 5, 3 种和 2 种。浮游生物食者代表性物种为彩虹明樱蛤, 焦河蓝蛤和短拟沼螺; 植食者代表性物种为尖锥拟蟹守螺, 泥蟹和珠带拟蟹守螺; 肉食者代表性物种为纽虫和日本沙蚕, 杂食者代表性物种为青弹涂鱼和泥螺; 碎屑食者代表性物种为线虫。各功能群数量分布和种类数分布见表 3。

通过对定量取样获得数据(表 3)进行各类群无重复双因素方差分析, 得到结论如表 4。

表 3 定量取样获得的大型底栖动物功能群数据

Table 3 The data of microbenthic functional groups in quantitative sampling

项目 Item	功能群 Functional group	潮间带 Tidal flat											
		高潮带 High				中潮带 Middle				低潮带 Low			
		秋 Autumn	冬 Winter	春 Spring	夏 Summer	秋 Autumn	冬 Winter	春 Spring	夏 Summer	秋 Autumn	冬 Winter	春 Spring	夏 Summer
密度 Density	肉食者 C	64	44	48	60	58	56	76	68	18	18	20	32
	碎屑食者 D	16	12	12	10	10	12	16	14	6	6	16	22
	杂食者 O	4	0	28	18	10	4	40	20	2	0	0	0
	植食者 Ph	52	52	58	54	28	16	40	44	0	0	0	0
种类数 Number of species	浮游生物食者 Pl	32	12	76	88	6	36	98	100	4	4	6	12
	肉食者 C	4	2	2	4	3	3	2	2	2	2	2	2
	碎屑食者 D	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2
	杂食者 O	1	0	2	2	2	1	2	2	1	0	0	0
	植食者 Ph	6	5	5	5	4	3	5	3	0	0	0	0
	浮游生物食者 Pl	2	1	3	3	1	3	3	3	1	1	1	1

功能群代码见表 1 The means of functional group Code see table 1

由于功能群物种和密度分布在季节间差异均不显著($p > 0.05$), 对数据进行不考虑季节变化影响的单因素方差分析, 得到结果见表 5。

由表 4、5 可以认为: 肉食者种类数在潮带间及季节间差异不显著, 密度在潮带间存在显著差异, 但高潮带和中潮带之间的差异不显著; 碎屑食者种类数和密度在潮带间及季节间差异不显著; 杂食者密度在潮带间及季节间差异不显著, 种类数在潮带间存在显著差异, 但高潮带和中潮带之间、中潮带和低潮带之间的差异不显著; 植食者种类数和密度在潮带间差异显著, 但季节间差异不显著; 浮游生物食者种类数和密度在潮带间及季节间差异不显著。

表 4 各功能群季节潮带无重复双因素方差分析统计分析表

Table 4 The Two-way ANOVA analyze on density and number of species of functional groups

项目 Item	功能群 Functional groups	潮带间 Among tidal flats		季节间 Among seasons	
		$F_{2,6}$	p	$F_{3,6}$	p
密度 Density	肉食者 C	32.02	$p < 0.01^{**}$	1.63	$p > 0.05$
	碎屑食者 D	0.01	$p > 0.05$	0.84	$p > 0.05$
	杂食者 O	4.40	$p > 0.05$	3.45	$p > 0.05$
	植食者 Ph	61.44	$p < 0.01^{**}$	1.50	$p > 0.05$
	浮游生物食者 Pl	5.63	$p < 0.05^{*}$	3.89	$p > 0.05$
种类数 Number of species	肉食者 C	1.80	$p > 0.05$	1.00	$p > 0.05$
	碎屑食者 D	3.00	$p > 0.05$	1.00	$p > 0.05$
	杂食者 O	7.00	$p < 0.05^{*}$	2.25	$p > 0.05$
	植食者 Ph	81.00	$p < 0.01^{**}$	1.23	$p > 0.05$
	浮游生物食者 Pl	4.43	$p > 0.05$	1.29	$p > 0.05$

功能群代码见表 1 The means of functional group code see Tab. 1

表 5 功能群数据在不考虑季节影响下的单因素方差分析

Table 5 The One-way ANOVA analyze on density and number of species of functional groups without the effect of seasonal variation

项目 Item	潮带 Tidal flat	肉食者 C	碎屑食者 D	杂食者 O	植食者 Ph	浮游生物食者 Pl
密度 Density	高潮带 High	54.00 ± 4.76^a	12.50 ± 1.26	12.50 ± 6.45	54.00 ± 1.41^a	52.00 ± 17.92
	中潮带 Middle	64.50 ± 4.65^a	13.00 ± 1.29	18.50 ± 7.89	32.00 ± 6.32^b	60.00 ± 23.34
	低潮带 Low	22.00 ± 3.37^b	12.50 ± 3.95	0.50 ± 0.50	0.00 ± 0.00^c	6.50 ± 1.89
种类数 Number of species	高潮带 High	3.00 ± 0.58	1.00 ± 0.00	1.25 ± 0.49^a	5.25 ± 0.25^a	2.25 ± 0.48
	中潮带 Middle	2.50 ± 0.29	1.00 ± 0.00	1.75 ± 0.25^{ab}	3.75 ± 0.28^b	2.50 ± 0.50
	低潮带 Low	2.00 ± 0.00	1.50 ± 0.29	0.25 ± 0.25^b	0.00 ± 0.00^c	1.00 ± 0.00

上标不同表示差异显著, SNK 多重比较, $\alpha = 0.05$ The means with different superscripts are significantly different (SNK test, $\alpha = 0.05$); 功能群代码见表 1 The means of functional group code see Table 1

2.4 营养等级构成及季节动态

以功能群划分为基础, 将底栖动物群落的营养等级及食物网划分如图 3。

可以看出, 滩涂大型底栖动物群落主要包括 4 个营养级别, 除去第 1 级别即植物, 浮游生物和碎屑(作为食物来分析)外, 大型底栖动物实际所占的有 3 个级别。结合表 1 来看, 二级主要是瓣鳃纲、腹足纲软体动物、植食性的甲壳纲节肢动物、线虫和星虫, 3 级主要是杂食性的软体动物、甲壳纲和鱼类, 4 级主要是环节动物沙蚕类和肉食性的甲壳纲动物。

由表 6 可以看出, 大型底栖动物群落中, 处于二级的种类数和密度均是最高, 且各个营养等级基本上是秋冬季小于春夏季。在滩涂生态系统中, 还有其他的动物如鱼类、鸟类和兽类等, 即存在更高的营养级别^[23,24]。本文只讨论了底栖动物群落中的营养级别, 因此会和生态系统中营养等级的真实情况有一定的区别, 因为底栖动物群落的物质能量流动相对简单。

3 讨论

通过本研究发现,滩涂大型底栖动物群落的功能群组成是与生境条件密切相关的,且季节间的差异不显著,这是由于研究地点所处的气候环境决定的,研究地处于亚热带季风暖湿性沿海区域,且很多大型底栖动物的生活史周期超过 1a,所以导致群落的结构的季节性差异不显著,可以判断生境情况的差异是大型底栖动物群落物种构成和数量的主导因素。群落结构从中高潮带的比较复杂到低潮带的相对简单,这也与袁兴中等的研究结论相吻合^[25]。通过统计分析表明,影响灵昆东滩大型底栖动物群落密度和生物量的主要因素是潮带的位置,同一潮带的大型底栖动物密度和生物量的季节之间差异不显著。且在功能群密度和种类数潮带和季节变化分析中也展示了相同的结果,即各个功能群密度和种类在季节间差异不显著。

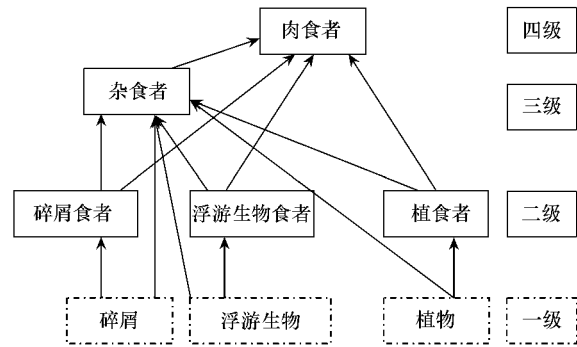


图3 大型底栖动物营养等级与食物网

Fig. 3 The trophic levels and food web

碎屑: dross; 浮游生物: plankton; 植物: plant; 浮游生物食者: Planktrophagous; 植食者: Phytrophagous; 肉食者: Camivorous; 杂食者: Omnivorous; 碎屑食者: Detritivorous; 一级: The first level; 二级: The second level; 三级: The third level; 四级: The forth level

表6 定量取样获得的大型底栖动物营养等级构成

Table 6 The data of microbenthic trophic levels in quantitative sampling

项目 Case	潮间带 Tidal flat 季节 Season	高潮带 High				中潮带 Middle				低潮带 Low			
		秋 Autumn	冬 Winter	春 Spring	夏 Summer	秋 Autumn	冬 Winter	春 Spring	夏 Summer	秋 Autumn	冬 Winter	春 Spring	夏 Summer
密度	四级	64	44	48	60	58	56	76	68	18	18	20	32
Density	三级	4	0	28	18	10	4	40	20	2	0	0	0
	二级	100	76	146	152	44	64	154	158	10	10	22	34
种类数	四级	4	2	2	4	3	3	2	2	2	2	2	2
Number of	三级	1	0	2	2	2	1	2	2	1	0	0	0
species	二级	9	7	9	9	6	7	9	7	2	2	3	3

二级: The second level; 三级: The third level; 四级: The forth level

生物多样性分析中, Margalef 丰富度指数和 Shannon-Wiener 多样性指数均为: 高潮带 > 中潮带 > 低潮带, 而 Pielou 均匀度指数和 Simpson 优势度指数均为: 高潮带 < 中潮带 < 低潮带。这也与生境分化程度有关。本研究与袁兴中等^[25]的研究结果有所不同, 他们的研究地点是长江口, 植被情况比较复杂, 除了高潮带有互花米草外, 中潮带和高潮带下缘为互花米草和海三棱藨草 (*Scirpus mariqueter*) 的混合区域, 他们得到的结果是, 多样性情况为: 中潮带 > 高潮带 > 低潮带。而本文的研究区域, 高潮带大部已被围垦, 高潮带的宽度只有 100 ~ 200m, 且互花米草的生长不密集, 这些说明了研究区域的高潮带其实是高潮带的下缘部分, 即靠近中潮带的位置, 中潮带没有海三棱藨草。由于群落结构季节变化不大, 所以多样性的变化也不是明显, 除 Shannon-Wiener 指数外, 其他多样性指数的季节差异均不显著。

滩涂湿地底栖动物群落物种类型和种类较多, 主要包括软体动物的双壳类和腹足类, 环节动物的多毛类, 节肢动物的甲壳类等, 同时也还包括其他一些种类如环节动物的寡毛类、线虫、纽虫等, 这些种类中有很多能促进有机质分解、营养物质的转化、污染物的代谢, 及能量的流转和加速自净过程等作用, 并参与对植物落叶的粉碎、细化及部分分解作用, 维系着湿地食物网的稳定, 并为迁徙中的鸟类提供食物, 是维持健康生态系统的关键成员^[23]。通常认为, 潮间带上的大型底栖动物群落结构和功能群组成与所处潮位和季节有关, 并且得到一些研究的证实, 如: 袁兴中等用功能群方法对长江口南岸潮滩底栖动物与河口环境梯度和生境变化的关系进行了研究, 结果表明底栖动物物种数和功能群类型数主要表现出与河口盐度梯度呈正相关的动物地理分

布格局,沿着河口梯度,不同采样断面,优势功能群不同,说明底栖动物功能群多样性是对河口环境梯度和生境质量的综合反映^[20];另外通过对长江口九段沙潮间带底栖动物的功能群的研究,发现各潮区的功能群种类有显著差异^[15],证实了底栖动物功能群结构是潮间带生境梯度及环境因子变化的综合反映^[26]。本研究同样显示了功能群的生境梯度变化,高潮带主导的功能群为肉食者,植食者和浮游生物食者;中潮带主导的功能群为肉食者和浮游生物食者;低潮带主导的功能群为肉食者,这些变化反映了不同潮带营养等级构成和食物来源的差异,由于生境中能提供的植物沿着高潮带,中潮带和低潮带方向递减,至低潮带未发现植食者,植食者功能群的比例也随之减少导致肉食者的比例提高;且由于中潮带的生境最为复杂,其功能群的构成也最为复杂;3个潮带的碎屑食者数量比较稳定。

关于滩涂湿地大型底栖动物群落结构研究主要集中在物种结构和多样性分析上,关于营养等级结构和功能结构的研究偶见报道,尤其是关于营养等级结构的研究更为稀少。张青田等分析和报道了天津塘沽海区潮间带大型底栖动物群落结构的水平格局和垂直格局,结果表明绝大部分种类在水平格局上明显的成群分布,在垂直分布格局上更是反映出不同物种生活习性的区别,并且划分了群落的营养等级结构^[22]。针对温州湾灵昆东滩湿地大型底栖动物群落时空变化物种生态位等问题进行了研究,结果发现高潮带、中潮带和低潮带中物种的种类组成不同,优势种不同,3个潮带之间的物种分布的差异明显,说明大型底栖动物的分布呈一定的水平变化,但未进行群落功能结构和营养等级结构分析^[11]。本研究显示,滩涂大型底栖动物群落处于第二、三、四级,即第二级的植食者、碎屑食者和浮游生物食者,第三级的杂食者,第四级的肉食者,并且各个营养等级与食物来源一起构成一个复杂的食物网。

References:

- [1] Armonies W, Reise K. Empty habitat in coastal sediments for populations of macrozoobenthos. *Helgoland Marine Research*, 2003, 56:279—287.
- [2] Wu R S S, Shin P K S. Sediment characteristics and colonization of soft-bottom benthos: a field manipulation experiment. *Marine Biology*, 1997, 128: 475—487.
- [3] Al Bakri D, Behbehani M, Khuraibet A. Quantitative assessment of the intertidal environment of Kuwait I: Integrated environment classification. *Journal of Environmental Management*, 1997, 51:321—332.
- [4] Al Bakri D, Behbehani M, Khuraibet A. Quantitative assessment of the intertidal environment of Kuwait II: Controlling factors. *Journal of Environmental Management*, 1997, 51:333—341.
- [5] Ma Z Y, Liu H, Wang H Q, *et al.* Multivariate analysis of community structure on macrobenthos. *China Environmental Science*, 1997, 17(4): 297—230.
- [6] Yuan X Z, Liu H, Lu J J. Community structure and biodiversity characteristics of macrobenthos in the new shoal of the Changjiang estuary. *Acta Oceanologica Sinica*, 2002, 24(2): 133—139.
- [7] Ye S F, Lu J J. Analysis on the Spatial Distribution of *Bullacta exarata* (Mollusca:Gastropoda: Atyidae) Population in Yangtze River Estuary, China. *Zoological Research*, 2001, 22(2): 131—136.
- [8] Ge B M, Bao Y X, Cheng H Y, *et al.* Population Distribution of *Bullacta exarata* in Cixi Shore, Southern Hangzhou Bay in Summer. *Fisheries Science*, 2006, 25(11): 545—548.
- [9] Hu Z Y, Bao Y X, Ge B M, *et al.* Macrobenthic community and niche analysis of creeks during autumn in diked tidal flat. *Acta Zoologica Sinica*, 2006, 52(4): 800—809.
- [10] Ge B M, Bao Y X, Zheng X. Macrobenthic community ecology of a tidal flat in different habitats and creeks dyked in different years at Lingkun Island. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(3): 446—453.
- [11] Ge B M, Bao Y X, Zheng X, *et al.* The structure of the macrobenthic community and niche analysis at a tidal flat of Linkun Island. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(11): 3037—3043.
- [12] Shen G Y, Shi B Z. *Ocean Ecology* (2nd ed). Beijing: Science Press, 2002. 230—247.
- [13] Jiao S Y, Han G D, Zhao M L, *et al.* The Effects of Different Stocking Rates on Grassland Functional Group Characteristics and Diversities in Desert Steppe Area. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2006, 20(1): 161—165.
- [14] Bai Y F, Zhang L X, Zhang Y, *et al.* Changes in plant functional composition along gradients of precipitation and temperature in the Xilin River Basin, Inner Mongolia. *Acta Phytocologica Sinica*, 2002, 26:308—316.

- [15] Zhu X J, Lu J J. Functional groups of zoobenthos in the intertidal zone of Jiuduansha the Yangtze River Estuary. *Zoological Research*, 2003, 24 (5): 355—361.
- [16] Compiling Group of Concise Regulation of National Coastal Zone and Coastal Resources Comprehensive Survey. *Concise Regulation of National Coastal Zone and Coastal Resources Comprehensive Survey*. Beijing: Ocean Press, 1986.
- [17] Fauchald K, Jumars P A. The diet of worms: A study of Polychaete feeding guilds. *Oceanogr. Mar. Biol. Annu. Rev.*, 1979, 17: 193—284.
- [18] Anderson A N. A classification of Australian ant communities, based on functional groups which parallel plant life-forms in relation to stress and disturbance. *Journal of Biogeography*, 1995, 22: 15—29.
- [19] Tong C F, Lu J J. Studies on species diversities and functional groups of invertebrate communities in an artificial turf. *Biodiversity Science*, 2002, 10(2): 149—155.
- [20] Yuan X Z. Ecology study on the zoobenthic community in the wetland of the estuarine tidal flat. Ph. D. thesis, Shanghai: East China Normal University, 2002.
- [21] Lai T H, He B Y. Studies on the macrobenthos species diversity for Guanlxixi mangrove area. *Guangxi Science*, 1998, 5 (3): 166—172.
- [22] Zhang Q T, Hu G K, Ni R, *et al.* A preliminary study on the trophic structure of macrobenthos in the Tanggu littoral zone. *Transactions of Oceanology and Limnology*, 2005, 17 (3): 73—78.
- [23] Lu J J. *Estuary Ecology*. Beijing: Ocean Press, 2003.
- [24] Yuan X Z, Lu J J. Influence of diking on the benthic macro-invertebrate community structure and diversity in the south bank of the Changjiang Estuary. *Acta Ecologica Sinica*, 2001, 21(10): 1642—1647.
- [25] Yuan X Z, Lu J J. Studies on zoobenthos resources in the islands of the Changjiang Estuary. *Journal of Natural Resources*, 2001, 16(1): 37—41.
- [26] Engle V D, Summers J K. Latitudinal gradients in benthic community composition in western Atlantic estuaries. *Journal of Biogeography*, 1999, 26: 1007—1023.

参考文献:

- [5] 马藏允, 刘海, 王惠卿, 等. 底栖生物群落结构变化多元变量统计分析. *中国环境科学*, 1997, 17(4): 297~230.
- [6] 袁兴中, 刘红, 陆健健. 长江口新生沙洲底栖动物群落组成及多样性特征. *海洋学报*, 2002, 24(2): 133~139.
- [7] 叶属峰, 陆健健. 长江口泥螺种群夏季的空间格局分析. *动物学研究*, 2001, 22(2): 131~136.
- [8] 葛宝明, 鲍毅新, 程宏毅, 等. 夏季杭州湾南岸慈溪滩涂泥螺种群空间分布格局. *水产科学*, 2006, 25(11): 545~548.
- [9] 胡知渊, 鲍毅新, 葛宝明, 等. 围垦滩涂潮沟秋季大型底栖动物群落和生态位分析. *动物学报*, 2006, 52(4): 800~809.
- [10] 葛宝明, 鲍毅新, 郑祥. 灵昆岛围垦滩涂潮沟大型底栖动物群落生态学研究. *生态学报*, 2005, 25(3): 446~453.
- [11] 葛宝明, 鲍毅新, 郑祥, 等. 灵昆岛潮间带大型底栖动物群落结构与生态位分析. *生态学报*, 2005, 25(11): 3037~3043.
- [12] 沈国英, 施并章. *海洋生态学(第二版)*. 北京: 科学出版社, 2002. 230~247.
- [13] 焦树英, 韩国栋, 赵萌莉, 等. 荒漠草原地区不同载畜率对功能群特征及其多样性的影响. *干旱区资源与环境*, 2006, 20(1): 161~165.
- [14] 白永飞, 张丽霞, 张焱, 等. 内蒙古锡林河流域草原群落植物功能群组成沿水热梯度变化的样带研究. *植物生态学报*, 26: 308~316.
- [15] 朱晓军, 陆健健. 长江口九段沙潮间带底栖动物的功能群. *动物学研究*, 2003, 24(5): 355~361.
- [16] 全国海岸带和海涂资源综合调查简明规程编写组. *全国海岸带和海涂资源综合调查简明规程*. 北京: 海洋出版社. 1986.
- [19] 童春富, 陆健健. 草坪无脊椎动物群落物种多样性及功能群研究. *生物多样性*, 2002, 10(2): 149~155.
- [20] 袁兴中. 河口潮滩湿地底栖动物群落的生态学研究. 上海: 华东师范大学博士学位论文, 2002.
- [21] 赖廷和, 何斌源. 广西红树林区大型底栖动物种类多样性研究. *广西科学*, 1998, 5 (3): 166~172.
- [22] 张青田, 胡桂坤, 倪蕊, 等. 塘沽大型底栖动物营养结构初步分析. *海洋湖沼通报*, 2005, 17 (3): 73~78.
- [23] 陆健健. *河口生态学*. 北京: 海洋出版社, 2003.
- [24] 袁兴中, 陆健健. 围垦对长江口南岸底栖动物群落结构及多样性的影响. *生态学报*. 2001, 21(10): 1642~1647.
- [25] 袁兴中, 陆健健. 长江口岛屿湿地的底栖动物资源研究. *自然资源学报*, 2001, 16(1): 37~41.