

王涛, 童春富, 吴逢润, 等. 崇明岛内河大型底栖动物群落组成及分布特征[J]. 海洋学报, 2021, 43(9): 71–80, doi:10.12284/hyxb2021152
Wang Tao, Tong Chunfu, Wu Fengrun, et al. Community composition and distribution characteristics of the benthic macroinvertebrates in the inland rivers of Chongming Island[J]. Haiyang Xuebao, 2021, 43(9): 71–80, doi:10.12284/hyxb2021152

崇明岛内河大型底栖动物群落组成及分布特征

王涛^{1,2}, 童春富^{1,2*}, 吴逢润^{1,2}, 从婷婷^{1,2}, 赵成建^{1,2}, 陈振涛^{1,2}

(1. 华东师范大学河口海岸学国家重点实验室, 上海 200241; 2. 崇明生态研究院, 上海 200241)

摘要: 大型底栖动物是河流生态系统中重要的生态类群, 研究其群落组成及分布特征能为河流生态系统管理提供理论支撑。2018年6月(夏季)和11月(秋季), 在崇明岛内河设置16个固定站点, 开展了拖网和地笼相结合的大型底栖动物调查, 分析研究了崇明岛内河大型底栖动物群落的组成与分布特征及影响因子。调查期间共采集到大型底栖动物14种, 分属5目8科, 主要为节肢动物。其中, 淡水型10种, 河口半咸水型3种, 降海洄游型1种。从空间分布来看, 北横引河记录12种, 南横引河记录6种, 竖河记录11种; 不同河道大型底栖动物群落组成均以淡水型种类为主, 主要优势物种为日本沼虾(*Macrobrachium nipponense*)和秀丽白虾(*Exopalaemon modestus*); 北横引河大型底栖动物群落的物种数、多度及生物量均高于南横引河; 而竖河介于两者之间。夏季大型底栖动物群落的物种数、多度和生物量均高于秋季, 季节变化是崇明岛内河大型底栖动物群落组成变化的重要特征之一。综合来看, 崇明岛内河大型底栖动物群落组成特征兼具内陆河流和河口区特点, 它与崇明岛区位特征、河流水文及生境条件、水质特征及区域人类活动等多种因素有关。

关键词: 崇明岛; 内河; 大型底栖动物; 群落组成; 分布特征

中图分类号: Q178.53

文献标志码: A

文章编号: 0253-4193(2021)09-0071-10

1 引言

大型底栖动物是河流生态系统中重要的生态类群, 在生态系统食物网的物质运输和能量流动中起重要作用^[1]; 其摄食、排泄、洄游和扰动等行为也是影响区域生态系统动态变化的重要因子^[2]; 同时, 大型底栖动物大部分运动能力较弱, 活动范围相对较小, 对环境胁迫敏感, 因此, 其群落结构及多样性特征常可以用于指示生态系统的健康状况^[3]。目前, 我国针对河流大型底栖动物群落的研究主要集中在大型底栖动物的物种多样性特征分析^[4-5]、群落时空分布格局及其与环境的关系^[6-7]以及水质评价^[8]等。

崇明岛位于长江入海口, 是中国第三大岛, 是世

界上最大的河口冲积岛, 也是上海市重要的生态屏障。崇明岛地表水资源约90%源自长江^[9], 河道引水南进北出, 基本受水闸控制, 以阻挡盐水入侵, 这在一定程度上导致了河道的水动力不足^[10]。崇明岛内河南北向、东西向的盐度变化明显, 盐度范围为0.2~2.6^[11]。受咸淡水交互作用的影响以及人工水闸的调控作用, 岛中内河形成了独特的水环境条件、生物群落组成及分布格局^[12]。崇明岛区域已有大型底栖动物的研究主要集中于周边滩涂、水域, 特别是潮间带盐沼湿地大型底栖动物的群落组成、多样性差异及群落演替^[13-14], 而对内河大型底栖动物的研究则鲜见报道。

本文通过在不同季节对崇明岛内河大型底栖动

收稿日期: 2020-02-28; 修订日期: 2020-05-27。

基金项目: 上海市科学技术委员会项目(19DZ1203801); 国家自然科学基金(41761144062)。

作者简介: 王涛(1993—), 男, 安徽省宿州市人, 从事湿地生态学研究。E-mail: 51163904025@stu.ecnu.edu.cn

* 通信作者: 童春富(1977—), 男, 副研究员, 从事湿地生态学与系统生态学研究。E-mail: cftong@sklec.ecnu.edu.cn

物群落的取样调查,研究区域大型底栖动物群落的组成和分布特征,探讨影响崇明岛内河大型底栖动物群落特征的可能原因,以期为区域水生生物资源的合理利用和水生生态系统保护提供科学依据。

2 研究区域与方法

2.1 研究区域

崇明岛地区属北亚热带季风气候区,夏季气温较高、降雨量大,冬季气温较低、降雨量小;年平均气温约为 15℃,降雨量约为 1 022 mm^[15]。岛内河网密布,两条市级河道北横引河和南横引河,横贯东西;县级竖河 31 条,呈南北走向,河宽为 20~30 m,水深为 1.5~3 m。北横引河河岸多为自然直立护坡,易受径流冲刷影响造成水土流失,导致河道淤浅;南横引河作为岛内主要航运航道,同时承担重要的防汛除涝功能,河岸多为石驳岸,硬质化明显^[10,16]。近年来,随着生活污水、工业废水和农业面源污染加剧,岛内河流出现了水体富营养化的问题,以崇明岛北横引河中下游地区最为明显^[17]。

2.2 调查方法

本研究选择 2 条市级河流(南横引河和北横引河)和 3 条县级河流(庙港、堡镇港、八岔港),共布设 16 个采样站位,如图 1 所示。其中,2 条市级河流各设 5 个取样点,3 条竖向河流各设 2 个取样点。

2018 年 6 月(夏季)和 11 月(秋季)采用单拖网定

量采集和地笼定性采集相结合,分别对 16 个站位的大型底栖动物进行了取样调研。单拖网网身长为 37 m,网囊长为 8 m,网口高为 3.5 m,有效宽度为 11 m;网身网目尺寸为 3.5 cm,网囊网目尺寸为 2 cm;地笼长为 10 m,由 24 节组成,每节断面尺寸为 25 cm×25 cm,网目尺寸为 0.5 cm。单拖网在每个站位拖网约为 15 min,采用 GPS 记录拖网时间和距离;每次每个站位投放 1 条地笼,投放 24 h 后收回。采集得到的大型底栖动物样品现场冷藏保存,带回实验室进行鉴定、计数,测定生物量(湿重,单位:g)。

2.3 数据分析

使用相对多度(%N),相对生物量(%B)和 Pinkas 相对重要性指数(Index of relative importance, IRI)反映大型底栖动物群落组成特征,并用 IRI 大于 20 作为物种优势度的表征^[18-19]。

$$\%N = \frac{n_i}{N} \times 100, \quad (1)$$

$$\%B = \frac{b_i}{B} \times 100, \quad (2)$$

$$IRI = (\%N + \%B) \times \frac{f_i}{F}, \quad (3)$$

式中, n_i 为第*i*种的个体数; b_i 为第*i*种的生物量; f_i 为第*i*种出现的调查频次; N 为总个体数; B 为总生物量; F 为总调查频次。

在 SPSS Statistics 22 统计软件中,采用单因素方差分析(One-way ANOVA)对同一河段不同季节和不

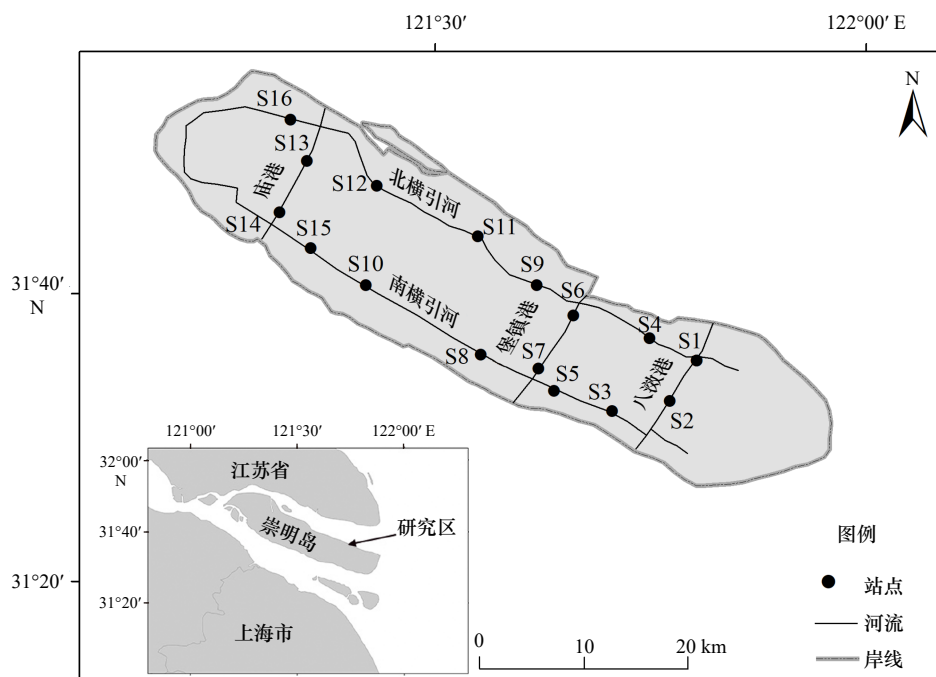


图 1 崇明岛内河采样站位示意图

Fig. 1 Map of sampling sites in the inland rivers of Chongming Island

同河段同一季节大型底栖动物的多度、生物量的差异进行显著性分析,再选用最小显著差法(LSD)进行均数间多重比较^[20]。对不具备方差齐性的数据经转化后进行分析,以 $p<0.05$ 表示显著差异。使用PRIMER 5.2.8对不同站位的大型底栖动物进行聚类和非度量多维尺度排序(non-Metric multi-Dimensional Scaling, nMDS),分析不同站位大型底栖动物组成的差异^[21]。使用肋强系数进行排序,可信度判定:0~0.01,完全可信;0.01~0.05,可信的;0.05~0.1,基本可信;0.1~0.2,有一定参考价值;0.2~0.3,几乎是任意的,不可信^[19]。

3 研究结果

3.1 大型底栖动物群落组成

调查期间,共记录大型底栖动物14种,隶属于2门3纲5目8科,如表1所示。其中,节肢动物8种,占总数的57%;软体动物6种,占总数的43%。

根据生态类型划分,淡水型10种,河口半咸水型3种,降海洄游型1种。其中,地笼调查到淡水型5种,河口半咸水型1种,降海洄游型1种;拖网调查到淡水型9种,河口半咸水型2种,降海洄游型1种。

北横引河、南横引河和竖河物种组成及优势种略有差异,具体见表1。物种数由多到少依次为北横引河、竖河、南横引河。其中,北横引河共记录大型底栖动物5目7科12种,其中,淡水型9种,占75%,河口半咸水型2种,降海洄游型1种;优势种为秀丽白虾(*Exopalaemon modestus*)和日本沼虾(*Macrobrachium nipponense*)(IRI>20);相对多度和相对生物量最高的物种分别是秀丽白虾和日本沼虾。南横引河共记录大型底栖动物2目5科6种,其中淡水型4种,占67%,河口半咸水型和降海洄游型各1种;优势种为日本沼虾、秀丽白虾以及中华绒螯蟹(*Eriocheir sinen-*

表1 崇明岛内河不同河段大型底栖动物群落组成特征

Table 1 Characteristics of the benthic macroinvertebrate assemblages in the different reaches of the inland rivers of Chongming Island

种类	北横引河			南横引河			竖河		
	%N	%B	IRI	%N	%B	IRI	%N	%B	IRI
十足目 Decapoda									
日本沼虾 <i>Macrobrachium nipponense</i> ^{1,a,b}	41.14	52.36	93.50	23.14	24.45	47.59	12.93	21.32	34.24
罗氏沼虾 <i>Macrobrachium rosenbergii</i> ^{1,b}	0.12	0.55	0.13	0.00	0.00	0.00	0.03	0.63	0.11
秀丽白虾 <i>Exopalaemon modestus</i> ^{1,a,b}	56.90	34.38	91.28	73.98	32.33	106.31	86.13	65.73	151.86
脊尾白虾 <i>Exopalaemon carinicauda</i> ^{2,b}	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.25	0.05
安氏白虾 <i>Exopalaemon annandalei</i> ^{2,b}	0.04	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
克氏原螯虾 <i>Procambarus clarkii</i> ^{1,a}	0.00	0.00	0.00	0.19	1.36	0.31	0.00	0.00	0.00
中华绒螯蟹 <i>Eriocheir sinensis</i> ^{3,a,b}	0.04	1.48	0.30	1.67	29.42	24.87	0.22	4.95	1.72
无齿螯臂相手蟹 <i>Chiramantes dehaani</i> ^{2,a}	0.27	4.75	4.02	0.93	11.43	12.36	0.03	0.32	0.06
腹足目 Mesogastropoda									
铜锈环棱螺 <i>Bellamya aeruginosa</i> ^{1,a,b}	1.08	4.63	2.28	0.00	0.00	0.00	0.19	0.96	0.19
梨形环棱螺 <i>Bellamya purificata</i> ^{1,a,b}	0.12	0.56	0.27	0.00	0.00	0.00	0.03	0.17	0.03
蚌目 Unionoida									
背角无齿蚌 <i>Anodonta woodiana</i> ^{1,b}	0.12	0.33	0.09	0.00	0.00	0.00	0.06	1.23	0.22
三角帆蚌 <i>Hyriopsis cumingii</i> ^{1,b}	0.04	0.13	0.03	0.00	0.00	0.00	0.03	0.32	0.06
帘蛤目 Veneroida									
河蚬 <i>Corbicula fluminea</i> ^{1,b}	0.12	0.76	0.18	0.09	1.01	0.22	0.32	4.11	1.47
异柱目 Anisomyaria									
湖沼股蛤 <i>Limnoperna lacustris</i> ^{1,b}	0.04	0.04	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

注: 1. 淡水型; 2. 河口半咸水型; 3. 降海洄游型; a. 地笼; b. 拖网。

sis)(IRI>20), 无齿螳臂相手蟹 (*Chiromantes dehaani*) 也具有一定优势特征 ($10 < \text{IRI} < 20$); 个体数最多和生物量最高的物种均是秀丽白虾。竖河共记录大型底栖动物 4 目 6 科 11 种, 其中淡水型 8 种, 占 73%, 河口半咸水型 2 种, 降海洄游型 1 种; 优势种为秀丽白虾和日本沼虾 (IRI>20); 个体数最多和生物量最高的物种均是秀丽白虾。总体上, 安氏白虾 (*Exopalaemon annandalei*) 和湖沼股蛤 (*Limnoperna lacustris*) 仅出现在北横引河, 克氏原螯虾 (*Procambarus clarkii*) 仅出现在南横引河, 脊尾白虾 (*Exopalaemon carinicauda*) 仅在竖河有记录。

3.2 大型底栖动物群落分布特征

不同季节、不同河段大型底栖动物的物种数如图 2 所示。从地笼调查结果来看 (图 2A), 各个河段夏季物种数均多于秋季; 其中, 克氏原螯虾、中华绒螯蟹和梨形环棱螺 (*Bellamyia purificata*) 仅在夏季调查到。夏季, 北横引河和南横引河物种数多于竖河; 秋季, 北横引河物种数多于南横引河和竖河。从拖网调查结果来看 (图 2B), 北横引河和竖河夏季物种数高于秋季, 而南横引河则相反; 其中, 脊尾白虾、梨形环棱螺、背角无齿蚌 (*Anodonta woodiana*)、三角帆蚌 (*Hyriopsis cumingii*) 和湖沼股蛤仅在夏季调查到, 而罗氏沼虾、安氏白虾以及中华绒螯蟹则仅出现在秋季。无论夏季还是秋季, 南横引河物种数都相对较小, 且在夏季未调查到软体动物, 仅调查到日本沼虾和秀丽白虾两种十足目动物。调查期间, 夏季共记录有 11 种大型底栖动物, 秋季记录有 8 种。

不同季节、不同河段大型底栖动物的多度特征存在明显差异 (图 3)。从同一河段、不同季节对比来看, 南横引河和竖河夏季大型底栖动物多度均显著高于秋季 ($p < 0.05$), 而北横引河大型底栖动物多度季节间差异不显著 ($p > 0.05$)。从同一季节不同河段对比

来看, 夏、秋季表现出的特征也明显不同。夏季, 不同河段大型底栖动物的多度差异均不显著 ($p > 0.05$)。秋季, 从地笼调查结果来看 (图 3A), 不同河段大型底栖动物多度存在显著差异 ($p < 0.05$), 北横引河多度显著高于南横引河和竖河 ($p < 0.05$), 而南横引河和竖河间差异不显著 ($p > 0.05$); 而从拖网调查结果来看 (图 3B), 不同河段多度差异不显著 ($p > 0.05$)。结果表明, 北横引河大型底栖动物多度高于南横引河和竖河, 夏季高于秋季。

不同季节、不同河段大型底栖动物的生物量特征也存在明显差异 (图 4)。从地笼调查结果来看 (图 4A), 各个河段, 夏季生物量均显著高于秋季 ($p < 0.05$); 夏季, 不同河段大型底栖动物的生物量差异不显著 ($p > 0.05$); 秋季, 不同河段多度差异显著 ($p < 0.05$), 北横引河生物量显著高于南横引河和竖河 ($p < 0.05$), 而南横引河和竖河间差异不显著 ($p > 0.05$)。从拖网调查结果来看 (图 4B), 南横引河和竖河夏季生物量显著高于秋季 ($p < 0.05$), 而北横引河季节间生物量差异不显著 ($p > 0.05$); 夏季, 不同河段生物量差异显著 ($p < 0.05$), 竖河生物量显著高于南横引河 ($p < 0.05$), 竖河和北横引河之间以及南横引河与北横引河之间的差异均不显著 ($p > 0.05$); 秋季, 不同河段生物量差异不显著 ($p > 0.05$)。结果表明, 北横引河和竖河大型底栖动物生物量较南横引河高, 而且基本也是夏季高于秋季。

3.3 大型底栖动物群落聚类与 nMDS 特征

基于地笼调查结果的聚类和 nMDS 分析如图 5A1 和图 5A2 所示。不同站位大型底栖动物组成基本分为两组, 除 S9 独立为一组, 其余所有站位均存在 70% 以上的群落组成相似性。其中, 位于竖河生境的 S1、S2 和 S13 存在 90% 左右的群落组成相似性并聚为一类; 位于竖河生境的 S7 和 S14 存在 95% 以上群落组

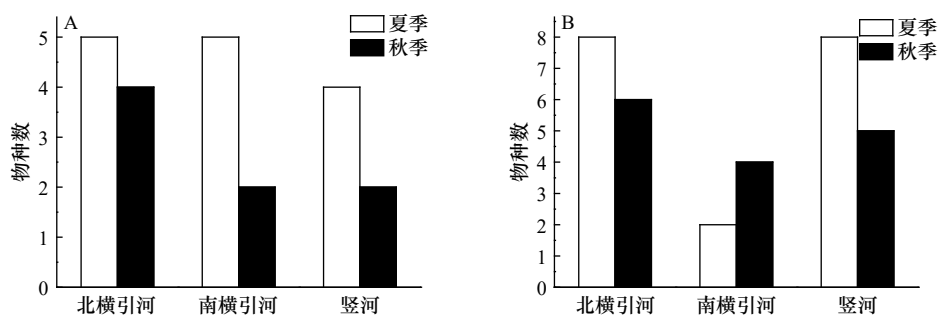


图 2 不同河段大型底栖动物物种数

Fig. 2 The number of species of the benthic macroinvertebrate in the different reaches

A. 地笼; B. 拖网

A. Ground cage; B. trawl

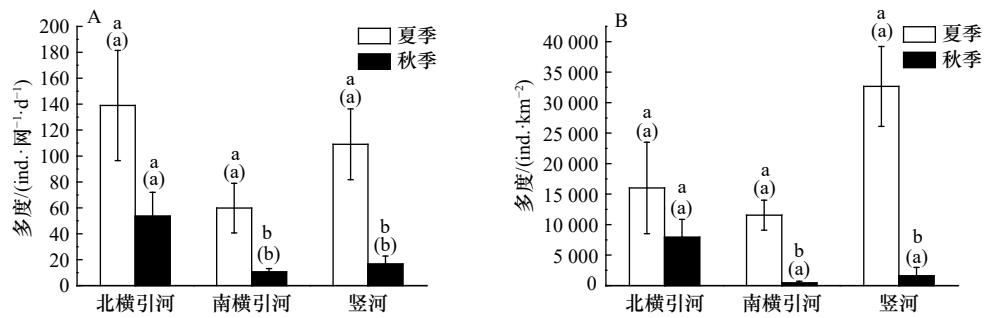


图3 不同河段大型底栖动物多度

Fig. 3 The abundance of the benthic macroinvertebrate in the different reaches

A. 地笼; B. 拖网; 不同小写字母表示同一河段不同季节之间存在显著差异 ($p < 0.05$), 括号中不同的小写字母表示同一季节不同河段之间存在显著差异 ($p < 0.05$)

A. Ground cage; B. trawl; different lowercase letters indicate that there are significant differences between different seasons in the same river ($p < 0.05$), and different lowercase letters in parentheses indicate that there are significant differences between different rivers in the same season ($p < 0.05$)

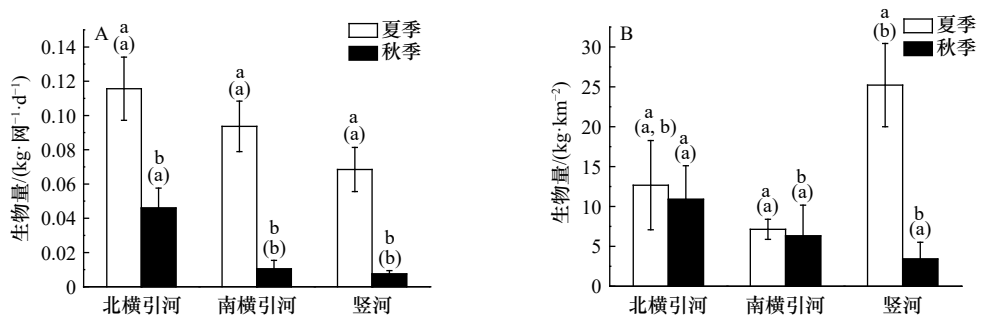


图4 不同河段大型底栖动物生物量

Fig. 4 The biomass of the benthic macroinvertebrate in the different reaches

A. 地笼; B. 拖网; 不同小写字母表示同一河段不同季节之间存在显著差异 ($p < 0.05$), 括号中不同的小写字母表示同一季节不同河段之间存在显著差异 ($p < 0.05$)

A. Ground cage; B. trawl; different lowercase letters indicate that there are significant differences between different seasons in the same river section ($p < 0.05$), and different lowercase letters in parentheses indicate that there are significant differences between different river sections in the same season ($p < 0.05$)

成相似性并聚为一类; 位于北横引河的 S4、S12 与 S16 和位于南横引河的 S5、S8 与 S15 均存在 90% 以上群落组成相似性并聚为一类。排序结果与聚类分析结果基本一致, 且胁强系数等于 0.12, 小于 0.2, 说明结果有一定参考价值。

基于拖网调查结果的聚类和 nMDS 分析如图 5B1 和图 5B2 所示。不同站位大型底栖动物组成基本分为 3 组。位于北横引河的 S4 独立为一组; 位于北横引河的 S9 与 S11 和位于竖河的 S1 聚为一组; 其余 12 个站位聚为一组且存在 70% 以上的群落组成相似性。排序结果与聚类分析结果基本一致, 且胁强系数等于 0.11, 小于 0.2, 说明结果有一定参考价值。

综上所述, 崇明内河不同站点大型底栖动物群落组成相似性相对较高; 北横引河部分站点的群落组成相对独特。其中, 北横引河与竖河的相似性较高, 而与南横引河的差异相对较大。

4 讨论

4.1 河流大型底栖动物的组成与分布特征

从生态类群的组成特征来看, 已有研究表明, 内陆河流大型底栖动物优势类群基本为淡水型; 在河口区, 大型底栖动物优势类群主要包括广盐型、河口半咸水型和淡水型 [5,8,22-23]。从本文研究结果来看, 崇明岛内河大型底栖动物群落组成兼具内陆河流和河口区特点。从生态类型来看, 淡水型大型底栖动物是崇明岛内河的绝对优势类群, 无论物种数还是多度均明显高于其他类群; 而河口半咸水型种类无齿螳臂相手蟹和降海洄游型种类中华绒螯蟹在南横引河也具有一定的优势特征, 河口半咸水型种类脊尾白虾和安氏白虾也出现在北横引河和竖河中。同样作为海岛内河的南渡江是海南岛第一大河, 其大型底栖动物基本为淡水型, 物种组成与崇明内河有明显差异 [24]。崇明

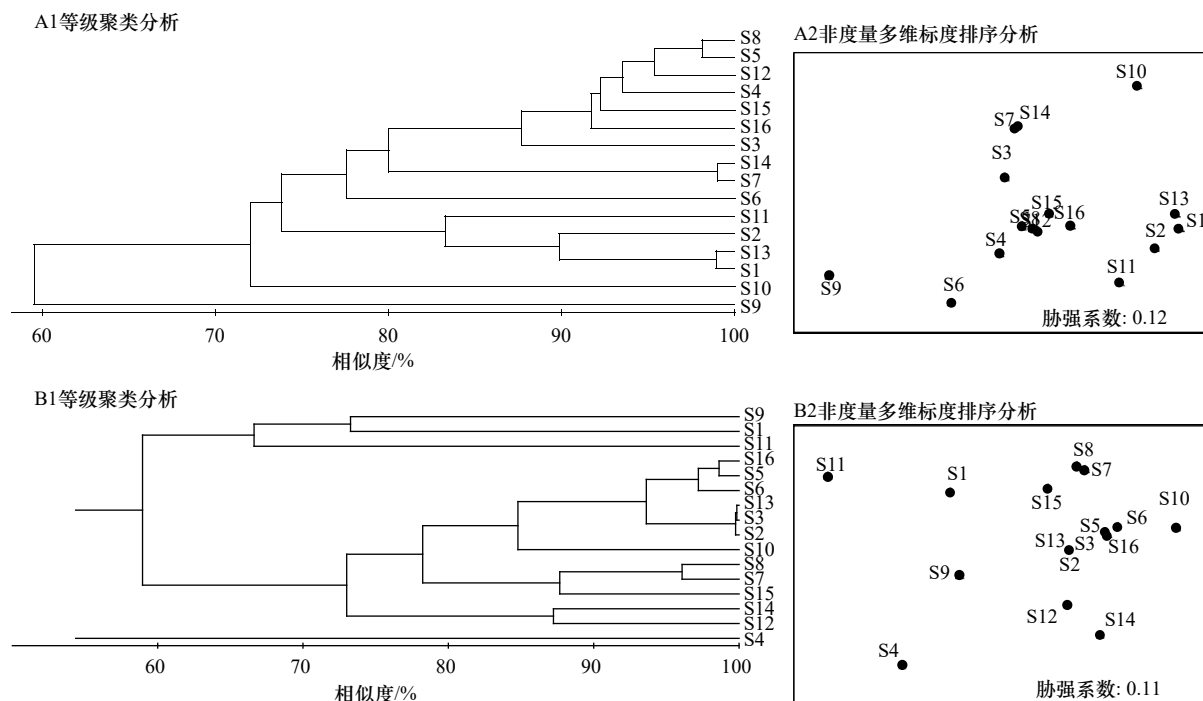


图 5 大型底栖动物群落的聚类和 nMDS 分析

Fig. 5 Cluster and non-metric multi-dimensional scaling analysis on the benthic macroinvertebrates

A. 地笼; B. 拖网

A. Ground cage; B. trawl

岛内河温盐条件适宜,可作为索饵洄游生物的索饵和育幼场,中华绒螯蟹的幼蟹和成熟个体均在此分布和生长^[25]。

同时,同一河流流域各生境中,通常共有种占据优势,且物种相似性普遍较高,少数物种的不同则在一定程度上反映出生境间的差异^[5,8]。本文研究结果与此类似,各河段大型底栖动物的群落组成整体相似,且绝对优势种均为日本沼虾和秀丽白虾;但部分种类,如罗氏沼虾仅分布于北横引河,安氏白虾仅出现在北横引河和竖河中,在一定程度上也反映了不同河段生境的差异。

此外,已有研究表明,季节变化通常是河流中主要大型底栖动物群落结构变化的重要特征之一^[7,26-28],在不同河流,大型底栖动物的季节动态也不尽相同^[29]。部分研究表明^[5,29-31],秋季河流大型底栖动物的多度和生物量高于夏季。如郑子叶等^[30]对香溪河大型底栖动物群落结构季节动态的研究发现,秋季大型底栖动物密度、生物量和多样性指数均高于夏季。而另一部分研究则表明^[7,32],夏季河流大型底栖动物的多度和生物量高于秋季,如刘祥等^[7]在淮河流域大型底栖动物调查研究时发现,夏季大型底栖动物的个体数、生物量等都明显大于秋季;苏华武等^[32]对清江流域底

栖动物群落结构的研究,从物种多度的季节动态来看,夏季高于秋季。本文研究结果表明,崇明岛内河夏季大型底栖动物在物种数、多度和生物量均高于秋季,这与已有研究结果类似。

4.2 影响崇明岛内河大型底栖动物群落结构的主要因素

崇明岛特殊区位特征、水文条件是决定岛域内河大型底栖动物群落结构特征的重要因素。崇明岛岛域地势低平、水网密集,不同河流水系之间的连通性较强^[11,33],这也是崇明岛内河不同河段大型底栖动物群落相似性较高、共有优势种广泛分布的重要原因。崇明岛位于长江河口,内河主要从长江引水,引水后关闭水闸^[11],由此造成崇明内河水体以淡水为主;但同时,崇明岛引排水受潮流、海平面上升,以及盐水入侵和北支盐水倒灌等因素的影响^[34-37],崇明岛内河水体又具有一定的盐度变化特征,其盐度范围为 0.2~2.6^[9]。盐度是决定河口区大型底栖动物分布的重要因素^[38-39]。因此,崇明岛内河大型底栖动物群落物种组成以淡水种为主,也有一定的半咸水和降海洄游型种类分布,很大程度受水体盐度条件的影响。而除了内河自有的物种,水闸引水输入的物种可能是影响内河大型底栖动物群落结构的重要因素,如西湖

自钱塘江引水后,其大型底栖动物种类组成、密度和生物量均发生显著变化^[40]。

河流大型底栖动物群落组成和空间分布受到生境异质性、稳定性、底质条件等因素的影响^[41-44]。自然岸段通常能够为底栖动物提供更加适宜的栖息地^[45]。从崇明岛内陆不同河道生境条件来看,北横引河河岸主要以自然岸段为主,生境异质性高,河道通航强度低,相应人为干扰活动强度低,生境条件稳定;南横引河河岸以石驳岸为主,硬化化程度高,生境均质性程度高,河道通航强度高,相应人为干扰活动强度高;而竖河为两者之间的过渡类型,生境条件也介于两者之间。而从底质条件来看,北横引河以自然淤积泥沙为主^[22],而南横引河在现场调查时发现较多的生活垃圾。这种河道生境条件的差异,可能是造成崇明北横引河、竖河大型底栖动物群落物种数、多度、生物量等均较南横引河高的重要原因。崇明岛内河大型底栖动物群落结构表现出的季节差异,可能是由于夏季温度相对较高,丰富的降雨将河岸大量的有机碎屑饵料冲刷至崇明内河,使其初级生产力升高,从而满足更多生物的栖息和摄食^[15]。

此外,河流水质条件、pH、营养盐、溶解氧和流速等也是影响大型底栖动物群落结构的重要因素^[46-49]。Thomsen 和 Friber^[47]的研究表明,pH 较低时,相应大型底栖动物多样性较低。Duran^[48]在 Behzat 河的研究发现,氮磷含量较高的河段,对应较低的底栖动物丰度。任淑智^[49]的研究表明,大型底栖动物的多

样性与水中溶氧呈显著正相关关系。崇明岛内河水质富营养化趋势明显^[50],这可能也是本文调查发现崇明岛内河大型底栖动物丰度和生物量相对较低的重要原因。

最后,在本文的研究中,采用了两种不同的调查方法,得到的结果存在一定差异。而已有研究也表明,即使在同一区域,由于调查方法不同,得到的结果往往也存在差异。如方光杰等^[51]在威海人工鱼礁区基于地笼和刺网的渔获物研究表明,不同网具渔获物的种类、生物量和规格均具有一定差异。Harms 等^[52]在人工鱼礁区的调查研究表明,可以使用被动网具调查弥补拖网调查方法的不足。本文研究中采用的拖网为主动型渔具,覆盖水层广,更适合底质平坦的深水作业,能获得较为全面的生物组成信息^[53],如本文研究中的软体动物背角无齿蚌、三角帆蚌、河蚬(*Corbicula fluminea*)和湖沼股蛤等种类,仅在拖网调查中有记录;地笼作为被动型渔具,具有物种自主选择的特点,更适合底质环境复杂的水域^[51],如本研究中,栖息在近岸水域水草中或石隙间的克氏原螯虾和无齿螳臂相手蟹仅被地笼捕获。因此,两种方法结合使用,所得结果比一种更好。

综上所述,崇明岛内河大型底栖动物群落组成及分布受崇明岛区位特征、河流水文及生境条件、水质特征等多种因素的影响。未来需要采用多种调查监测方法,在系统监测基础上开展综合研究。

参考文献:

- [1] Jiang Xiaoming, Xiong Jing, Xie Zhicai. Longitudinal and seasonal patterns of macroinvertebrate communities in a large undammed river system in Southwest China[J]. *Quaternary International*, 2017, 440: 1-12.
- [2] 沈国英, 施并章. 海洋生态学[M]. 2版. 北京: 科学出版社, 2002.
Shen Guoying, Shi Bingzhang. *Marine Ecology*[M]. 2nd ed. Beijing: Science Press, 2002.
- [3] Chi Shiyun, Gong Yutian, Wang Hongjun, et al. A pilot macroinvertebrate-based multimetric index (MMI-CS) for assessing the ecological status of the Chishui River Basin, China[J]. *Ecological Indicators*, 2017, 83: 84-95.
- [4] 邢圆, 吴小平, 欧阳珊, 等. 赣江水系大型底栖动物多样性与胁迫因子初探[J]. *生物多样性*, 2019, 27(6): 648-657.
Xing Yuan, Wu Xiaoping, Ouyang Shan, et al. Assessment of macrobenthos biodiversity and potential human-induced stressors in the Ganjiang River system[J]. *Biodiversity Science*, 2019, 27(6): 648-657.
- [5] 闫云君, 李晓宇. 汉江流域上游支流大型底栖动物群落结构特征与生物多样性[J]. *湖泊科学*, 2007, 19(5): 585-591.
Yan Yunjun, Li Xiaoyu. Community structure and biodiversity of macrozoobentos in a tributary of upper reaches of Hanjiang River[J]. *Journal of Lake Sciences*, 2007, 19(5): 585-591.
- [6] 张宇航, 彭文启, 刘培斌, 等. 永定河流域春季大型底栖动物群落结构和空间格局[J]. *中国环境监测*, 2019, 35(4): 31-39.
Zhang Yuhang, Peng Wenqi, Liu Peibin, et al. Study on the community structure and spatial pattern of macroinvertebrate in the Yongding River Basin in spring[J]. *Environmental Monitoring in China*, 2019, 35(4): 31-39.
- [7] 刘祥, 陈凯, 陈求稳, 等. 淮河流域典型河流夏秋季底栖动物群落特征及其与环境因子的关系[J]. *环境科学学报*, 2016, 36(6): 1928-1938.
Liu Xiang, Chen Kai, Chen Qiuwen, et al. The community structure of macroinvertebrate and its relationship to the environmental factors in summer and autumn within typical reaches of Huai River Basin[J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2016, 36(6): 1928-1938.
- [8] 江晶, 温芳妮, 顾鹏, 等. 湖北清江流域胡家溪大型底栖动物群落结构及水质评价[J]. *湖泊科学*, 2009, 21(4): 547-555.

- Jiang Jing, Wen Fangni, Gu Peng, et al. Community structure of macrozoobentos and bioassessment of water quality in Hujixi Stream of Qingjiang River Basin, Hubei Province[J]. *Journal of Lake Sciences*, 2009, 21(4): 547–555.
- [9] 应荣弟, 徐华, 王振锋. 浅谈咸潮入侵对崇明水水资源的影响及对策[J]. *上海水务*, 2002(3): 37–41.
Ying Rongdi, Xu Hua, Wang Zhenfeng. Talking on the influence of saltwater intrusion on water resources in Chongming and the corresponding countermeasures[J]. *Shanghai Water*, 2002(3): 37–41.
- [10] 张颖纯, 姜德刚, 李建华. 崇明岛“闸控型”河网水体富营养化特征及其影响因素[J]. *湖泊科学*, 2013, 25(3): 366–372.
Zhang Yingchun, Jiang Degang, Li Jianhua. Characteristics of eutrophication and its affecting factors in gate-controlled river network system of Chongming Island[J]. *Journal of Lake Sciences*, 2013, 25(3): 366–372.
- [11] 乐观. 崇明岛河道水质理化指标及其与三种主要浮游动物分布的相关性研究[D]. 上海: 华东师范大学, 2008.
Le Guan. Studies on physico-chemical parameter and its correlation with distribution of three main zooplanktons collected from rivers in Chongming Island[D]. Shanghai: East China Normal University, 2008.
- [12] 袁兴中, 陆健健, 刘红. 长江口新生沙洲底栖动物群落组成及多样性特征[J]. *海洋学报*, 2002, 24(2): 133–139.
Yuan Xingzhong, Lu Jianjian, Liu Hong. Community structure and biodiversity characteristics of macrobenthos in the new shoal of the Changjiang Estuary[J]. *Haiyang Xuebao*, 2002, 24(2): 133–139.
- [13] 张衡, 张瑛瑛, 刁山洲, 等. 长江口盐沼湿地不同亚生境的大型底栖动物群落组成和多样性差异[J]. *生态学杂志*, 2019, 38(10): 3102–3109.
Zhang Heng, Zhang Yingying, Diao Shanzhou, et al. Difference of macrobenthos community composition and diversity in different sub-habitats in salt marsh wetland of the Yangtze River Estuary[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2019, 38(10): 3102–3109.
- [14] 章飞军, 童春富, 谢志发, 等. 长江口潮间带大型底栖动物群落演替[J]. *生态学报*, 2007, 27(12): 4944–4952.
Zhang Feijun, Tong Chunfu, Xie Zhifa, et al. The re-colonisation progress of intertidal benthic fauna community in the Changjiang Estuary[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(12): 4944–4952.
- [15] 孙文. 崇明岛主要植物群落类型、分布及其生态景观协调性评价[D]. 上海: 华东师范大学, 2013.
Sun Wen. The main community types and distribution of Chongming Island and ecology and landscape coordination assessment of its plant communities[D]. Shanghai: East China Normal University, 2013.
- [16] 徐东. 浅谈崇明南横引河综合整治[J]. *吉林水利*, 2005(2): 34–35.
Xu Dong. Talking on the integrative regulation for diversion channel of Chongmingnanheng[J]. *Jilin Water Resources*, 2005(2): 34–35.
- [17] 姜德刚, 李建华, 徐金燕, 等. 崇明岛富营养化河道溶解有机质的三维荧光光谱特征[J]. *水生态学杂志*, 2019, 40(3): 33–40.
Jiang Degang, Li Jianhua, Xu Jinyan, et al. Three-dimensional fluorescence spectra of dissolved organic matter in a eutrophic river on Chongming Island[J]. *Journal of Hydroecology*, 2019, 40(3): 33–40.
- [18] 汪振华, 章守宇, 王凯. 三横山鱼礁生境鱼类和大型无脊椎动物群落特征[J]. *生态学报*, 2010, 30(8): 2026–2035.
Wang Zhenhua, Zhang Shouyu, Wang Kai. Fish and macroinvertebrates community structure in artificial habitat around Sanheng Isle, Shengsi, China[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(8): 2026–2035.
- [19] 童春富. 长江河口潮间带盐沼植被分布区及邻近光滩鱼类组成特征[J]. *生态学报*, 2012, 32(20): 6501–6510.
Tong Chunfu. Characteristics of the fish assemblages in the intertidal salt marsh zone and adjacent mudflat in the Yangtze Estuary[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2012, 32(20): 6501–6510.
- [20] Wang Jinqing, Tang Long, Zhang Xiaodong, et al. Fine-scale environmental heterogeneities of tidal creeks affect distribution of crab burrows in a Chinese salt marsh[J]. *Ecological Engineering*, 2009, 35(12): 1685–1692.
- [21] 杨泽华, 童春富, 陆健健. 盐沼植物对大型底栖动物群落的影响[J]. *生态学报*, 2007, 27(11): 4387–4393.
Yang Zehua, Tong Chunfu, Lu Jianjian. Effects of saltmarsh on the benthic macroinvertebrate community in Yangtze Estuary[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(11): 4387–4393.
- [22] 徐兆礼, 蒋玫, 白雪梅, 等. 长江口底栖动物生态研究[J]. *中国水产科学*, 1999, 6(5): 59–62.
Xu Zhaoli, Jiang Mei, Bai Xuemei, et al. An ecological study on benthos in the Changjiang Estuary[J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 1999, 6(5): 59–62.
- [23] 彭松耀, 赖子尼, 蒋万祥, 等. 珠江口大型底栖动物的群落结构及影响因子研究[J]. *水生生物学报*, 2010, 34(6): 1179–1189.
Peng Songyao, Lai Zini, Jiang Wanxiang, et al. Study on community structure of macrozoobentos and impact factors in pearl river estuary[J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2010, 34(6): 1179–1189.
- [24] 许栋, 张博曦, 及春宁, 等. 梯级水库对南渡江干流底栖动物丰枯水期沿程变化的影响[J]. *水资源保护*, 2019, 35(2): 60–66, 84.
Xu Dong, Zhang Boxi, Ji Chunning, et al. Streamwise variation of zoobenthos along main stream of Nandujiang River in wet and dry seasons under influence of cascade reservoirs[J]. *Water Resources Protection*, 2019, 35(2): 60–66, 84.
- [25] 堵南山. 中华绒螯蟹的洄游[J]. *水产科技情报*, 2004, 31(2): 56–57, 94.
Du Nanshan. Migration of Chinese mitten-handed crab *eriocheir sinensis*[J]. *Fisheries Science & Technology Information*, 2004, 31(2): 56–57, 94.
- [26] Jakobsson E. Seasonal community dynamics of macroinvertebrates in an Arctic stream[J]. *Journal of Ecology*, 2019, 35(5): 893–900.
- [27] Bass D, Gaskin B, Tedford K. Macroinvertebrate community structure and physicochemical conditions of a Northwestern Oklahoma Spring[C]//Proceedings of the Oklahoma Academy of Science. 2019, 98: 6–13.

- [28] Su Ping, Wang Xinxin, Lin Qidong, et al. Variability in macroinvertebrate community structure and its response to ecological factors of the Weihe River Basin, China[J]. *Ecological Engineering*, 2019, 140: 105595.
- [29] 王璐, 杨海军, 李昆, 等. 长白山源头溪流底栖动物群落结构季节动态[J]. *生态学报*, 2018, 38(13): 4834-4842.
Wang Lu, Yang Haijun, Li Kun, et al. Seasonal dynamics of macroinvertebrate community structure in a headwater stream in the Changbai Mountains[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2018, 38(13): 4834-4842.
- [30] 郑子叶, 许亚红, 张郢, 等. 香溪河大型底栖无脊椎动物群落结构季节动态研究[J]. *生物资源*, 2019, 41(6): 524-531.
Zheng Ziye, Xu Yahong, Zhang Ying, et al. Seasonal dynamics of community structure of large benthic invertebrates in Xiangxi river[J]. *Biotic Resources*, 2019, 41(6): 524-531.
- [31] 蒋万祥, 贾兴焕, 周淑婵, 等. 香溪河大型底栖动物群落结构季节动态[J]. *应用生态学报*, 2009, 20(4): 923-928.
Jiang Wanxiang, Jia Xinghuan, Zhou Shuchan, et al. Seasonal dynamics of macrozoobenthos community structure in Xiangxi River[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2009, 20(4): 923-928.
- [32] 苏华武, 江晶, 温芳妮, 等. 湖北清江流域叹气沟河底栖动物群落结构与水质生物学评价[J]. *湖泊科学*, 2008, 20(4): 520-528.
Su Huawu, Jiang Jing, Wen Fangni, et al. Community structures of macrozoobenthos and bioassessment of water quality in Tanqigou Stream of Qingjiang River Basin, Hubei Province[J]. *Journal of Lake Sciences*, 2008, 20(4): 520-528.
- [33] 庞翠超, 陶静, 吴小慧, 等. 强感潮河网生态治理工程综合评价[J]. *人民长江*, 2016, 47(1): 15-22.
Pang Cuichao, Tao Jing, Wu Xiaohui, et al. Comprehensive assessment of ecological harnessing project in strong tide river net[J]. *Yangtze River*, 2016, 47(1): 15-22.
- [34] 吴逢润, 童春富. 近30年长江口北支演变及其对物种多样性的影响[J]. *海洋学报*, 2017, 39(2): 72-85.
Wu Fengrun, Tong Chunfu. Evolution of the North Branch of Yangtze Estuary in last 30 years and corresponding effects on species diversity[J]. *Haiyang Xuebao*, 2017, 39(2): 72-85.
- [35] 朱建荣, 吴辉, 顾玉亮. 长江河口北支倒灌盐通量数值分析[J]. *海洋学研究*, 2011, 29(3): 1-7.
Zhu Jianrong, Wu Hui, Gu Yuliang. Numerical analysis of the inverted salt flux from the North Branch into the South Branch of Changjiang River Estuary[J]. *Journal of Marine Sciences*, 2011, 29(3): 1-7.
- [36] Li Lu, Zhu Jianrong, Wu Hui. Impacts of wind stress on saltwater intrusion in the Yangtze Estuary[J]. *Science China Earth Sciences*, 2012, 55(7): 1178-1192.
- [37] Zhang Erfeng, Savenije H H G, Wu Hui, et al. Analytical solution for salt intrusion in the Yangtze Estuary, China[J]. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2011, 91(4): 492-501.
- [38] Laprise R, Dodson J J. Nature of environmental variability experienced by benthic and pelagic animals in the St. Lawrence Estuary, Canada[J]. *Marine Ecology Progress Series*, 1993, 94: 129-139.
- [39] 张敬怀, 珠江口及邻近海域大型底栖动物多样性随盐度、水深的变化趋势[J]. *生物多样性*, 2014, 22(3): 302-310.
Zhang Jinghui. The variation of biodiversity of macrobenthic fauna with salinity and water depth near the Pearl Estuary of the northern South China Sea[J]. *Biodiversity Science*, 2014, 22(3): 302-310.
- [40] 虞左明, 李瑾, 蔡飞. 西湖引水治理前后底栖动物群落的比较研究[J]. *杭州大学学报(自然科学版)*, 1997, 24(1): 93-94.
Yu Zuoming, Li Jin, Cai Fei. The comparative study on the changes of zoobenthic communities of the West Lake after drawing water from Qiantang River[J]. *Journal of Hangzhou University (Natural Science)*, 1997, 24(1): 93-94.
- [41] Beisel J N, Usseglio-Polatera P, Thomas S, et al. Stream community structure in relation to spatial variation: the influence of mesohabitat characteristics[J]. *Hydrobiologia*, 1998, 389(1/3): 73-88.
- [42] 张超文, 张堂林, 朱挺兵, 等. 洪泽湖大型底栖动物群落结构及其与环境因子的关系[J]. *水生态学杂志*, 2012, 33(3): 27-33.
Zhang Chaowen, Zhang Tanglin, Zhu Tingbing, et al. Community structure of macrozoobenthos and its relationship with environmental factors in Lake Hongze[J]. *Journal of Hydroecology*, 2012, 33(3): 27-33.
- [43] Chen Liping, Zhang Ying, Liu Qigen, et al. Spatial variations of macrozoobenthos and sediment nutrients in Lake Yangcheng: Emphasis on effect of pen culture of Chinese mitten crab[J]. *Journal of Environmental Sciences*, 2015, 37: 118-129.
- [44] Merz J E, Chan L K O. Effects of gravel augmentation on macroinvertebrate assemblages in a regulated California River[J]. *River Research and Applications*, 2005, 21(1): 61-74.
- [45] Downes B J, Lake P S, Schreiber E S G, et al. Habitat structure and regulation of local species diversity in a stony, upland stream[J]. *Ecological Monographs*, 1998, 68(2): 237-257.
- [46] 任海庆, 袁兴中, 刘红, 等. 环境因子对河流底栖无脊椎动物群落结构的影响[J]. *生态学报*, 2015, 35(10): 3148-3156.
Ren Haiqing, Yuan Xingzhong, Liu Hong, et al. The effects of environment factors on community structure of benthic invertebrate in rivers[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2015, 35(10): 3148-3156.
- [47] Thomsen A G, Friberg N. Growth and emergence of the stonefly *Leuctra nigra* in coniferous forest streams with contrasting pH[J]. *Freshwater Biology*, 2002, 47(6): 1159-1172.
- [48] Duran M. Monitoring water quality using benthic macroinvertebrates and physicochemical parameters of Behzat stream in Turkey[J]. *Polish Journal of Environmental Studies*, 2006, 15(5): 709-717.
- [49] 任淑智. 北京地区河流中大型底栖无脊椎动物与水质关系的研究[J]. *环境科学学报*, 1991, 11(1): 31-46.
Ren Shuzhi. Investigation on macroinvertebrate community and water quality in streams in Beijing area[J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*,

- 1991, 11(1): 31–46.
- [50] 陈松, 姜德刚. 崇明岛河网水系营养状态分析与富营养化评价[J]. *中国水利*, 2010(13): 35–37.
Chen Song, Jiang Degang. Nutrition condition analysis and eutrophication assessment of river network in Chongming island[J]. *China Water Resources*, 2010(13): 35–37.
- [51] 方光杰, 孙利元, 唐衍力, 等. 基于刺网和地笼渔获物的人工鱼礁区资源丰度比较研究[J]. *中国海洋大学学报(自然科学版)*, 2018, 48(S1): 23–33.
Fang Guangjie, Sun Liyuan, Tang Yanli, et al. A comparative study on fishery resource of artificial reefs based on gillnet and cage catches[J]. *Periodical of Ocean University of China*, 2018, 48(S1): 23–33.
- [52] Harms J H, Wallace J R, Stewart I J. Analysis of fishery-independent hook and line-based data for use in the stock assessment of bocaccio rockfish (*Sebastes paucispinis*)[J]. *Fisheries Research*, 2010, 106(3): 298–309.
- [53] 陈勇, 郑小贤, 朱敬博, 等. 人工鱼礁区鱼类和大型无脊椎动物的调查方法[J]. *水产科学*, 2008, 27(6): 316–319.
Chen Yong, Zheng Xiaoxian, Zhu Jingbo, et al. Assessing methods of fish and macroinvertebrate in artificial reef areas[J]. *Fisheries Science*, 2008, 27(6): 316–319.

Community composition and distribution characteristics of the benthic macroinvertebrates in the inland rivers of Chongming Island

Wang Tao^{1,2}, Tong Chunfu^{1,2}, Wu Fengrun^{1,2}, Cong Tingting^{1,2}, Zhao Chengjian^{1,2}, Chen Zhentao^{1,2}

(1. State Key Laboratory of Estuarine and Coastal Research, East China Normal University, Shanghai 200241, China; 2. Institute of Eco-Chongming, Shanghai 200241, China)

Abstract: The benthic macroinvertebrate is the important ecological group in river ecosystem. The study of the community composition and distribution characteristics on the benthic macroinvertebrate can provide theoretical support for river ecosystem management. In June (summer) and November (autumn) 2018, surveys on the benthic macroinvertebrate with trawl and ground cages were carried out in 16 fixed sampling sites in the inland rivers of Chongming Island. The community composition, distribution characteristics and corresponding influencing factors of the benthic macroinvertebrates were analyzed then. A total of 14 species belonging to 5 orders, 8 families of the benthic macroinvertebrates were collected in the surveys. Most of them were arthropods. Among them, 10 species were freshwater type, 3 species were estuarine brackish water type and 1 species was catadromous migration type. And 12, 6 and 11 benthic macroinvertebrate species were recorded in the Beiheng Canal, Nanheng Canal, and the vertical canals respectively. The dominants of the benthic macroinvertebrates were freshwater species, and the common species were *Macrobrachium nipponense*, and *Exopalaemon modestus*. The number of species, abundance and biomass of the benthic macroinvertebrates in the Beiheng Canal and the vertical canals were higher than those in the Nanheng Canal. The number of species, abundance and biomass of the benthic macroinvertebrates in the summer were higher than those in the autumn. Seasonal variations were one of the important features of the characteristics of the benthic macroinvertebrate assemblages in the inland rivers of Chongming Island. Add all these together, the inland rivers of Chongming Island had some characteristics of both estuaries and inland rivers, which were related to the geographical location, hydrological conditions, riverine habitats, water quality characteristics and regional human activities of the Chongming Island.

Key words: Chongming Island; inland river; benthic macroinvertebrate; community composition; distribution characteristics