

哈尔滨太阳岛外滩湿地春季大型底栖无脊椎动物群落结构及与环境因子的关系

孟瑶¹ 蔡艳¹ 耿飞飞¹ 刘曼红* 陈菲²

(1. 东北林业大学 野生动物资源学院, 哈尔滨 150040;

2. 东北林业大学 林学院, 哈尔滨 150040)

摘要 为了解哈尔滨太阳岛外滩湿地大型底栖无脊椎动物群落特征及其与环境因子的关系,于2016年5月对其进行了春季大型底栖无脊椎动物采样调查。此次调查共采集到大型底栖无脊椎动物10目12科34种。其中水生昆虫19种,占总物种数的55.88%;软体动物9种,占26.47%;环节动物4种,占11.76%;甲壳动物2种,占5.88%。优势种有3种,分别为步行多足摇蚊(*Polypedilum pedestre*)、黄色多足摇蚊(*Polypedilum flavum*)和圆顶珠蚌(*Unio douglasiae*)。研究地大型底栖无脊椎动物的栖息密度和生物量分别为 $157.44 \pm 103.28 \text{ ind/m}^2$ 和 $229.61 \pm 517.29 \text{ g/m}^2$ 。3种生物指数的分析结果如下:Simpson多样性指数为 4.11 ± 1.85 ,Margalef丰富度指数为 0.83 ± 0.48 ,Shannon-Weiner多样性指数为 1.35 ± 0.66 。影响大型底栖无脊椎动物分布的主要水体理化因子为磷酸盐和氧化还原电位。通过典范对应分析和灰色系统关联度分析,表明与太阳岛外滩湿地大型底栖无脊椎动物的物种组成和密度关系最为密切的水体理化因子为酸碱度,而对生物量影响最大的为亚硝酸盐。

关键词 大型底栖无脊椎动物;群落结构;生物多样性;环境因子;哈尔滨太阳岛外滩湿地

中图分类号 X171

文章编号 1007-4333(2018)05-0142-09

文献标志码 A

Macroinvertebrates community structure and its relationship with environmental factors in Sun Island Bund Wetland of Harbin in spring

MENG Yao¹, CAI Yan¹, GENG Feifei¹, LIU Manhong*, CHEN Fei²

(1. College of Wildlife Resources, Northeast Forestry University, Harbin 150040, China;

2. College of Forestry, Northeast Forestry University, Harbin 150040, China)

Abstract To investigate the structure of macroinvertebrates community and its relationship with environmental factors in Sun Island Bund Wetland of Harbin in spring, a survey was carried out on May, 2016. A total of 34 species of macroinvertebrates, which belonged to 10 orders and 12 families, were collected. The aquatic insect class had the highest number of 19 species contributing 55.88% of the total species, which was followed by mollusk 9 species contributing 26.47%. Four species of annelid and 2 species of crustacean accounted for 11.76% and 5.88% of the total species, respectively. *Polypedilum pedestre*, *P. flavum* and *Unio douglasiae* were the most dominant species of all. The density of the macroinvertebrates in the Sun Island Bund Wetland was $157.44 \pm 103.28 \text{ ind/m}^2$, and the biomass was $229.61 \pm 517.29 \text{ g/m}^2$. The Simpson diversity index, Margalef richness index and Shannon-Weiner index were 4.11 ± 1.85 , 0.83 ± 0.48 , and 1.35 ± 0.66 , respectively. The main water physical and chemical factors affecting the distribution of macroinvertebrates were total phosphorus and oxidation-reduction potential. The study showed that pH had the closest relationship with the species composition and density of macroinvertebrates in Sun Island Bund Wetland of Harbin, while the nitrite displayed the greatest impact on biomass.

Keywords macroinvertebrates; community structure; biological diversity; environmental factors; Sun Island Bund Wetland of Harbin

收稿日期: 2017-07-03

基金项目: 中央高校基本科研业务费专项资金项目(2013CAQ01)

第一作者: 孟瑶, 硕士研究生, E-mail: 652204718@qq.com

通讯作者: 刘曼红, 副教授, 主要从事水环境生物学研究, E-mail: lmhwetland@163.com

哈尔滨太阳岛国家湿地公园是哈尔滨市观光旅游的著名风景区,它包括对游客开放的中心景区内面积约为 4 km² 的湿地景观,和相对封闭的用以研究的保护区域即外滩湿地,外滩湿地动植物资源比较丰富,其水域中有许多种类的大型底栖无脊椎动物,它们在物质循环和能量流动方面发挥着重要作用,在水生态系统的食物链中占有重要地位,食物网同位素研究也证明了能量从藻类-大型无脊椎动物-鱼类的传递过程^[1]。大型底栖无脊椎动物与水环境相互依存,相互影响,是水生态系统中重要的生态类群。与其他水生生物相比,大型底栖无脊椎动物具有种类多、活动场所比较固定、易于采集,且不同种类对水质的敏感性差异大等一系列优点,受外界干扰后群落结构的变化趋势经常用以预测水环境变化,所以一直是了解水生生态系统结构功能及健康状况的关键类群^[2]。本研究旨在通过对采集到的大型底栖无脊椎动物分类鉴定和物种特征分析,并对其进行典范对应分析和灰色系统关联度分析,以期阐明太阳岛外滩湿地大型底栖无脊椎动物的物种组成、密度、生物量、空间分布格局及其与环境因子的关系。

1 研究地概况

太阳岛国家湿地公园位于黑龙江省哈尔滨市南、北城区之间,西起十九号肇东公路,东至滨洲铁路,北起改线前进堤,南至松花江南岸,包括松花江主航道及两侧滩岛湿地,总面积为 88 km²,其中规划范围面积为 38 km²,外围保护地带面积为 50 km²。太阳岛外滩湿地(SIBW)位于太阳岛西区,总面积>1 600 hm²。

太阳岛外滩湿地(SIBW)西起阳明滩,东至太阳岛西区规划堤防,是包括河漫滩、沼泽地、岗丘及丘间洼池等地貌类型的江漫滩湿地^[3]。太阳岛湿地属于中温带半湿润大陆性季风气候,冬季长夏季短。年平均气温 3 ℃,最热月(7月)平均气温约 23 ℃,最冷月(1月)平均气温约-20 ℃。年平均降水量约为 578.8 mm,集中在 6—8 月^[4]。主要植被类型为水生植物和地下水湿生植物^[5]。

2 材料与方法

2.1 采样点设置

根据太阳岛外滩湿地底质类型、植被类型等的不同,共选取了 9 个采样区进行研究(图 1 和表 1)。

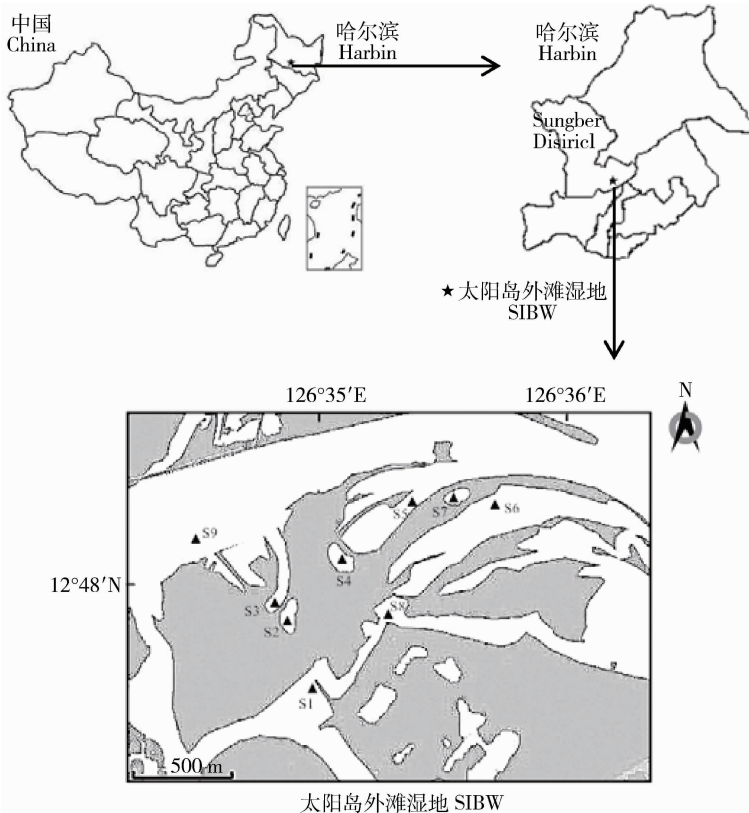


图 1 采样点分布图

Fig. 1 Distribution of sampling sites

表1 太阳岛外滩湿地采样点地理坐标及环境特征
Table 1 Geographic coordinates and environmental characteristics of SIBW

采样点 Sampling site	地理坐标 Geographic coordinate	环境特征 Environmental characteristic
1 [#] 安利桥	45°47'44.6" N, 126°35'00.4" E	淤泥底, 腐殖质丰富; 芦苇、东北菱和浮萍为主
2 [#] 云鹭池	45°47'54.2" N, 126°34'52.8" E	淤泥底, 含腐殖质; 挺水、浮水、沉水植物均存在
3 [#] 揽月泊	45°47'56.5" N, 126°34'50.6" E	泥砂底, 含腐殖质; 芦苇、桃叶蓼和长杆苔草为主
4 [#] 荷香泽	45°48'07.6" N, 126°35'04.1" E	淤泥底, 腐殖质较多; 挺水、浮水、沉水植物均存在
5 [#] 云水湾	45°48'10.9" N, 126°35'21.3" E	泥砂底, 腐殖质丰富; 芦苇、荇菜和浮萍为主
6 [#] 野菱湖	45°48'13.2" N, 126°35'27.8" E	泥砂底; 芦苇、浮萍为主
7 [#] 映天池	45°48'13.9" N, 126°35'26.5" E	泥砂底, 腐殖质丰富; 挺水、浮水、沉水植物均存在
8 [#] 彩虹桥	45°47'54.8" N, 126°35'16.7" E	砂石底; 香蒲、芦苇为主
9 [#] 江道	45°48'03.6" N, 126°34'34.3" E	沙底; 香蒲、芦苇为主

研究样点中底质类型最多为泥砂底, 包括 3[#] 揽月泊、5[#] 云水湾、6[#] 野菱湖和 7[#] 映天池 4 个样点, 该种底质环境水生维管束植物种类较多, 均以挺水植物为主, 例如香蒲 (*Typha orientalis*)、芦苇 (*Phragmites australis*)、桃叶蓼 (*Polygonum persicaria*) 和长杆苔草 (*Carex kirganica*) 等; 浮水植物次之, 包括东北菱 (*Trapa manshurica*)、荇菜 (*Nymphoides peltatum*) 和浮萍 (*Lemna minor*) 等; 也伴随着穗状狐尾藻 (*Myriophyllum spicatum*)、眼子菜 (*Potamogeton distinctus*) 等一些沉水植物; 大多含有丰富的腐殖质, 仅 6[#] 野菱湖不具腐殖质; 其中 1[#] 安利桥、2[#] 云鹭池和 4[#] 荷香泽均为淤泥底, 一般也含有丰富的腐殖质, 水生维管束植物比较丰富, 挺水、浮水、沉水植物均有发生; 仅 8[#] 彩虹桥为砂石底、9[#] 江道为沙底, 且 2 个样点都不具有腐殖质, 水生维管束植物零星分布, 水域以明水区为主, 仅有少量香蒲和芦苇着生在沿岸带。

2.2 样品采集与处理

样品采集工具主要为 D-型抄网 (直径 0.3 m, 40 目尼龙纱)、彼得生采泥器 (1/16 m²) 和大型底栖无脊椎动物诱集袋。在浅水区采集大型底栖无脊椎动物使用 D-型抄网, 在软沙底质的深水区使用彼得生采泥器, 将采集的底泥倒入 40 目分样筛中清洗过滤, 剩余部分倒入白瓷盘中, 挑拣出大型底栖无脊椎动物后保存在浓度为 85% 的酒精溶液中。

本研究设计及使用的大型底栖无脊椎动物诱集

袋是一种装有落叶和石块的网袋, 规格为 40 cm × 20 cm, 孔径为 1 mm, 目的是给大型底栖无脊椎动物制造一个栖息场所, 缝制好后投掷在采样的水域中, 用粗制尼龙绳绑在岸边的固定物上。放置时间为 14 d 及以上, 随后采样时取回诱集袋, 经 40 目分样筛后挑拣出大型底栖无脊椎动物置于体积分数为 85% 的酒精溶液中进行保存待鉴定。

在现场采样的同时使用 Hi8424 便携式酸度计测量酸碱度、水温和氧化还原电位。并采集水样 500 mL 装入棕色瓶中带回实验室, 24 h 内使用水质多参数分析仪 (哈希 DRB200、DR1900) 测量磷酸盐、总氮、NH₄⁺ 质量浓度和亚硝酸盐等理化指标。

2.3 大型底栖无脊椎动物鉴定与统计

依据分类检索表, 在肉眼、解剖镜或显微镜下, 主要根据大型底栖无脊椎动物的外部形态进行鉴定, 物种鉴定借鉴 SOLDAN^[6]、Merritt 等^[7] 和周长发^[8] 的方法, 大多样本鉴定至种, 少数鉴定不到种的鉴定至科或属。

根据采集样方的面积、采集数量及重量, 换算成密度和生物量, 并按照不同采样点进行统计和比较分析。

2.4 数据处理与分析

本研究采用物种优势度指数 (Y) 确定大型底栖无脊椎动物的优势种类, 用 Shannon-Weiner 多样性指数 (H')^[9] 和 Margalef 物种丰富度指数 (d_M)^[9]、Simpson 多样性指数 (D)^[9] 分析大型底栖

无脊椎动物的多样性^[10]。具体计算公式如下：

$$Y = P_i \times f_i$$

$$H' = - \sum P_i \ln P_i$$

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

$$D = 1 / \sum P_i^2$$

式中： P_i 为种 i 的个体数占所有种总个体数的比例； f_i 为出现种 i 的样点个数占总样点个数的比例； S 为总种类数； N 为所有种类的个体总数。当种 i 的优势度指数 $Y > 0.02$ 时，种 i 即为优势种。

本研究选取水温、酸碱度、 NH_4^+ 质量浓度、亚硝酸盐、磷酸盐、总氮和氧化还原电位共 7 个水体理化指标，与太阳岛外滩湿地中出现频率在 15% 以上的大型底栖无脊椎动物种类进行典范对应分析 (CCA)，统计各环境因子对大型底栖无脊椎动物的影响大小采用灰色关联分析，分别使用 CANOCO 4.5 和 DPS 12.0 进行分析。

3 结果与分析

3.1 研究区域水体理化因子

本研究选取水温 $\text{WT}(\text{℃})$ 、 pH 和 NH_4^+ 质量浓度 (mg/L)、亚硝酸盐 NO_2^- (mg/L)、磷酸盐 PO_4^{3-}

(mg/L)、总氮 $\text{TN}(\text{mg/L})$ 、氧化还原电位 $\text{Eh}(\text{mv})$ 共 7 个水体理化指标进行监测。对太阳岛外滩湿地各样点水体理化因子进行比较分析，4[#] (20.5 ℃) 和 6[#] (21.2 ℃) 水温较高，而其余样点均在 18 ℃ 及以下，原因是其他水域与松花江连通，春季江水解冻时间不长，水温偏低，而这 2 个采样点是相对独立的小池塘，未与江水直接相通，水温相对偏高；9 个研究样点的水体 pH 比较均衡，4[#] (8.34) 最高和 1[#] (7.93) 最低相差并不多，但 pH 均 > 7 即为弱碱性； NH_4^+ 质量浓度最高的为 3[#] (1.6 mg/L)，2[#]、6[#] 和 7[#] 相同为最低值 (0.9 mg/L)，且只有这 3 个点的 NH_4^+ 质量浓度 $> 1 \text{ mg/L}$ ；9 个样点的亚硝酸盐质量浓度比较相近，其中 1[#]、2[#]、4[#]、6[#] 和 8[#] 最高 (0.003 mg/L)，3[#]、7[#] 和 9[#] 最低 (0.001 mg/L)，仅 5[#] 不同 (0.002 mg/L)；所有样点的磷酸盐质量浓度也差距不大，最高的为 8[#] (1.37 mg/L)，最低的则是 7[#] (0.87 mg/L)；总氮含量仅 1[#] (2.6 mg/L)、2[#] (2.9 mg/L) 2 个样点的值 $> 2 \text{ mg/L}$ ，最低的是 5[#] 和 7[#] (1.4 mg/L)；研究样点的氧化还原电位值相差较大，氧化还原电位值最大的是 6[#] (-98.6 mv)，最小的是 2[#] (-41.3 mv)，且是唯一一个电位绝对值 < 70 的样点，影响其变化的环境因素比较复杂。(表 2)。

表 2 采样点水体理化因子

Table 2 Physical and chemical factors of water at the sampling sites

采样点 Sampling site	水温/℃ WT	pH	NH_4^+ 质量浓度/ (mg/L) NH_4^+	亚硝酸盐/ (mg/L) NO_2^-	磷酸盐/ (mg/L) PO_4^{3-}	总氮/ (mg/L) TN	氧化还原 电位/ mv Eh
1 [#]	14.8	7.93	1.2	0.003	0.99	2.6	-80.4
2 [#]	14.9	8.12	0.9	0.003	0.92	2.9	-41.3
3 [#]	18.4	7.97	1.6	0.010	1.04	1.8	-84.2
4 [#]	20.5	8.34	1.1	0.003	0.97	1.8	-90.7
5 [#]	14.4	8.09	1.0	0.020	1.16	1.4	-95.1
6 [#]	21.2	8.23	0.9	0.003	1.08	1.5	-98.6
7 [#]	14.1	8.02	0.9	0.010	0.87	1.4	-79.6
8 [#]	17.2	7.96	1.3	0.003	1.37	1.6	-76.3
9 [#]	15.2	7.99	1.0	0.010	1.17	1.7	-72.5
均值±标准差 Average± Standard deviation	16.744± 2.715	8.072± 0.138	1.100± 0.235	0.007± 0.006	1.063± 0.153	1.856± 0.534	-79.856± 16.859

3.2 大型底栖无脊椎动物群落基本组成及优势种分析

如表3所示,在太阳岛外滩湿地共采集到大型底栖无脊椎动物10目12科34种,包括水生昆虫、软体动物、甲壳动物、环节动物四大类群。其中水生昆虫的种类丰富,共3目4科19种,占总物种数的55.88%,尤其是双翅目摇蚊科的物种数最多,为15种,占总物种数的44.12%;软体动物3目4科9

种,占26.47%,其中基眼目椎实螺科有5种,占总物种数的14.71%;环节动物2目2科4种,占11.76%;甲壳动物2目2科2种,占5.88%。通过优势度指数分析,发现研究地优势种有3种,分别为步行多足摇蚊(*Polypedilum pedestre*) (优势度 $Y=0.037$)、黄色多足摇蚊(*Polypedilum flavum*) ($Y=0.031$)、圆顶珠蚌(*Unio douglasiae*) ($Y=0.020$)。

表3 太阳岛外滩湿地春季大型底栖无脊椎动物名录

Table 3 Macroinvertebrates list of SIBW in spring

类群 Group	目 Order	科 Family	种 Specie
水生昆虫	双翅目	摇蚊科	云集多足摇蚊 <i>Polypedilum nubifer</i>
			步行多足摇蚊 <i>Polypedilum pedestre</i>
			黄色多足摇蚊 <i>Polypedilum flavum</i>
			等小突摇蚊 <i>Microsectra chuzeprima</i>
			提氏直突摇蚊 <i>Orthocladus thienemanni</i>
			散流环足摇蚊 <i>Rheocricotopus effusus</i>
			泽尼寡角摇蚊 <i>Diamesa zernyi</i>
			费氏真开氏摇蚊 <i>Eukiefferiella fittkaui</i>
			白色环足摇蚊 <i>Cricotopus albiforceps</i>
			轮环足摇蚊 <i>Cricotopus annulator</i>
			附叶真开氏 <i>Eukiefferiella lobifera</i>
			柔申直突摇蚊 <i>Orthocladus roussellae saponis</i>
			稀见寡角摇蚊 <i>Diamesa insignipes</i>
			冷水直突摇蚊 <i>Orthocladus frigidus</i>
			浮得真开氏摇蚊 <i>Eukiefferiella fuldensis</i>
广翅目	大蚊科	<i>Dicranomyia</i> sp.	
		泥蛉科	古北泥蛉 <i>Sialis sibirica</i>
蜻蜓目	春蜓科	白齿日春蜓 <i>Nihonogomphus ruptus</i>	
		黄足扩腹春蜓 <i>Stylurus flavipes</i>	
甲壳动物	十足目	长臂虾科	安氏白虾 <i>Exopalaemon annandalei</i>
	端足目	钩虾科	淡水钩虾 <i>Gammarus pulex</i>
软体动物	基眼目	椎实螺科	椭圆萝卜螺 <i>Radix swinhoei</i>
			截口土蜗 <i>Galba truncatula</i>
			小土蜗 <i>Galba pervia</i>
			狭萝卜螺 <i>Radix lagotis</i> Schrank
			卵萝卜螺 <i>Radix ovata</i>
			中腹足目
		赤豆螺 <i>Bithynia fuchsiana</i>	
		田螺科	梨形环棱螺 <i>Bellamyia purificata</i>
	蚌目	蚌科	圆顶珠蚌 <i>Unio douglasiae</i>
环节动物	颤蚓目	颤蚓科	瑞士水丝蚓 <i>Limnodrilus helveticus</i>
			裸泽蛭 <i>Helobdella nuda</i>
	吻蛭目	舌蛭科	静泽蛭 <i>Helobdella stagnalis</i>
			异面舌蛭 <i>Glossiphonia heteroclita</i>

如表 4 所示,为太阳岛外滩湿地各样点大型底栖无脊椎动物 4 个类群的密度水平分布,其中水生昆虫的分布最为广泛,各个样点均有发生,并且密度比较大,尤其 6# 野菱湖和 8# 彩虹桥仅存在于水生昆虫;其次为软体动物,于 1# 安利桥、2# 云鹭池、3# 揽

月泊、4# 荷香泽和 9# 江道均有分布,密度也比较大;环节动物分布于 1# 安利桥、5# 云水湾和 7# 映天池,密度比较小但比较均衡;最后甲壳动物仅分布于 1# 安利桥和 5# 云水湾,但 2 个样点的密度差距较大(最小为 26 ind./m²,最大为 104 ind./m²)。

表 4 太阳岛外滩湿地各样点大型底栖无脊椎动物 4 个类群密度水平分布

Table 4 Horizontal distribution for groups' density of macroinvertebrates in SIBW ind./m²

类群 Group	1#	2#	3#	4#	5#	6#	7#	8#	9#
水生昆虫	78	52	13	52	195	182	117	26	39
甲壳动物	26				104				
软体动物	13	117	26	39					260
环节动物	13				26		39		

3.3 大型底栖无脊椎动物种类、密度及生物量空间分布特征分析

如表 5 所示,太阳岛外滩湿地春季大型底栖无脊椎动物种类数在 5# 云水湾最多,共 9 种,在 8# 彩虹桥最少,只有 1 种。密度平均值为 157.44 ± 103.28 ind./m²,密度最大值出现在 5# 云水湾,为

325 ind./m²,最小值出现在 8# 彩虹桥,为 26 ind./m²。生物量为 229.61 ± 517.29 g/m²,生物量最大值出现在 9# 江道,为 1 603.26 g/m²,最小值出现在 8# 彩虹桥,为 0.13 g/m²。9# 江道的生物量明显大于其他采样点,是因为该采样点优势种为圆顶珠蚌。

表 5 太阳岛外滩湿地各样点大型底栖无脊椎动物种类、密度及生物量

Table 5 Species, density and biomass of macroinvertebrates in SIBW

项目 Item	样点 Sampling site									均值±标准差 Average±Standard deviation
	1#	2#	3#	4#	5#	6#	7#	8#	9#	
种类数	7	6	3	5	9	5	7	1	3	5.11±2.47
密度/(ind./m ²)	130	169	39	91	325	182	156	26	299	157.44±103.28
生物量/(g/m ²)	80.73	141.64	84.54	97.84	28.47	4.26	25.59	0.13	1 603.26	229.61±517.29

3.4 大型底栖无脊椎动物生物多样性分析

对太阳岛外滩湿地大型底栖无脊椎动物多样性指数进行分析,如表 6 所示,Simpson 多样性指数(D)为 4.11 ± 1.85,在 1# 安利桥最高,为 6.25,在 8# 彩虹桥最低,为 1;Margalef 丰富度指数(d_M)为 0.83 ± 0.48,在 5# 云水湾最高,为 1.383,在 8# 彩虹桥最低,为 0;Shannon-weiner 多样性指数(H')为 1.35 ± 0.66,在 5# 云水湾最高,为 1.912,在 8# 彩虹桥最低,为 0。8# 彩虹桥的 Margalef 丰富度指数和 Shannon-Weiner 多样性指数值均为 0,是因为其

大型底栖无脊椎动物的种类很少,数量很小,仅存在摇蚊科幼虫,所以数值为 0 是指 8# 彩虹桥的生物多样性相对于其他样点极小,而不是指其不具有任何大型底栖无脊椎动物。

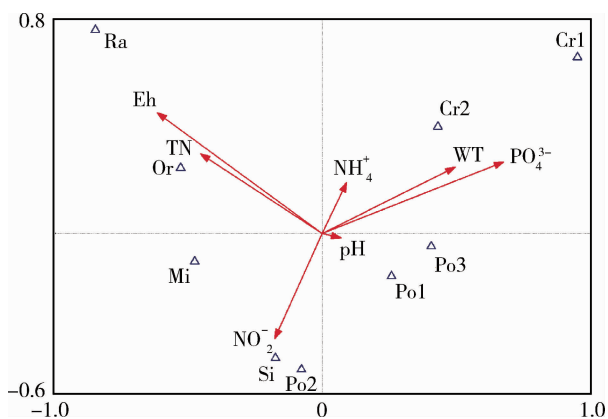
3.5 大型底栖无脊椎动物与环境因子的关系

CCA 排序图中带箭头的线段长度反应出该环境因子对物种分布的影响大小。如图 2 表示,影响太阳岛外滩湿地大型底栖无脊椎动物分布的主要环境因子是磷酸盐(PO₄³⁻)和氧化还原电位(Eh),影响最小的是 pH。

表6 太阳岛外滩湿地各样点大型底栖无脊椎动物多样性指数

Table 6 Diversity index of macroinvertebrates in SIBW

项目 Item	样点 Sampling site									均值±标准差 Average±Standard deviation
	1#	2#	3#	4#	5#	6#	7#	8#	9#	
D	6.250	5.121	3.000	4.455	5.435	3.920	6.000	1.000	1.800	4.11±1.85
d_M	1.233	1.181	0.546	0.887	1.383	0.769	1.188	0.000	0.273	0.83±0.48
H'	1.887	1.698	1.099	1.550	1.912	1.470	1.864	0.000	0.637	1.35±0.66



Cr1-白色环足摇蚊 *Cricotopus albiforceps*; Cr2-轮环足摇蚊 *Cricotopus annulator*; Po1-黄色多足摇蚊 *Polypedilum flavum*; Po2-步行多足摇蚊 *Polypedilum pedestre*; Po3-云集多足摇蚊 *Polypedilum nubifer*; Or-提氏直突摇蚊 *Orthocladius thienemanni*; Mi-等小突摇蚊 *Micropsectra chuzeprima*; Si-古北泥蛉 *Sialissibirica*; Ra-椭圆萝卜螺 *Radix swinhoei*

图2 春季大型底栖无脊椎动物与环境因子间的 CCA 排序图

Fig. 2 CCA sort graph between macroinvertebrates and environmental factors in spring

通过灰色系统关联度分析,太阳岛外滩湿地水体理化因子与大型底栖无脊椎动物种类数、密度、生物量之间的关联度是不一样的,说明其影响程度也不同。对大型底栖无脊椎动物种类数影响最大的是 pH,影响最小的是亚硝酸盐(NO_2^-);对密度影响最大的是 pH,影响最小的是总氮(TN);对生物量影响最大的为亚硝酸盐(NO_2^-),影响最小的为总氮(TN)(表7)。

4 讨论

生境的复杂性是决定大型底栖无脊椎动物多样性的关键因素,国内外关于环境因子与大型底栖无脊椎动物多样性关系的研究较多,认为大型底栖无脊椎动物群落结构与水质、底质、植被、温度和盐度等环境因子有关^[11-17]。

本研究以哈尔滨太阳岛外滩湿地大型底栖无脊椎动物为研究对象,将调查所得大型底栖无脊椎动物分为4种类群,通过统计分析其密度,结果表明:

表7 太阳岛外滩湿地大型底栖无脊椎动物与环境因子间的关联度

Table 7 Correlation between macroinvertebrates and environmental factors in SIBW

环境因子 Environmental factor	种类数 Specie		密度 Density		生物量 Biomass	
	关联系数 Correlation	排序 Sort	关联系数 Correlation	排序 Sort	关联系数 Correlation	排序 Sort
水温	0.588 0	6	0.561 0	3	0.434 2	5
pH	0.670 9	1	0.603 3	1	0.429 8	6
NH_4^+ 质量浓度	0.617 2	4	0.499 0	6	0.437 4	4
亚硝酸盐 NO_2^-	0.546 9	7	0.512 5	5	0.543 9	1
磷酸盐 PO_4^{3-}	0.632 1	3	0.569 5	2	0.446 5	2
总氮 TN	0.669 5	2	0.475 0	7	0.423 2	7
氧化还原电位 Eh	0.612 1	5	0.559 0	4	0.439 0	3

春季水生昆虫种类丰富(19种),密度较大,分布甚广,尤其是摇蚊科幼虫(15种),每个样点均有发现,其余依次为软体动物(9种)、环节动物(4种)及甲壳动物(2种),甲壳动物分布较少但集中。1#安利桥、5#云水湾、7#映天池样点的物种数及多样性指数均相对较高,而8#彩虹桥、9#江道样点均较低。造成这个差异的原因包括以下2个方面:1)水生植物是湿地系统中最明显的生物特征^[18],并通过多种途径影响湿地生态系统,也影响了大型底栖无脊椎动物的分布。1#安利桥、5#云水湾、7#映天池3个样点的水生维管束植物类型丰富,既有挺水植物香蒲(*Typha orientalis*)、芦苇(*Phragmites australis*)、桃叶蓼(*Polygonum persicaria*)和长杆苔草(*Carex kirganica*),又有浮水植物东北菱(*Trapa manshurica*)、荇菜(*Nymphaoides peltatum*)和浮萍(*Lemna minor*),也包括穗状狐尾藻(*Myriophyllum spicatum*)、眼子菜(*Potamogeton distinctus*)等一些其他植物种类,使其生境多样化,为不同大型底栖无脊椎动物的生长繁殖提供了多种多样的栖息避敌环境。2)大型底栖无脊椎动物长期生活于水体底部,底质成分组成对大型底栖无脊椎动物的种类组成、密度及多样性有着直接的影响^[19],结合采样点的环境特征分析,可以发现6#野菱湖和8#彩虹桥底质以泥砂为主,不含有腐殖质,大型底栖无脊椎动物种类单一且生物量较小,仅发现摇蚊科幼虫;1#安利桥和5#云水湾底质不同,但均腐殖质丰富,含有挺水、浮水植物,其大型底栖无脊椎动物群落结构比较复杂;仅9#江道底质是沙底,以挺水植物为主,环境尤其适合蚌类栖息;其余样点腐殖质比较丰富,大型底栖无脊椎动物群落相对复杂,生物量居中。研究表明底质环境是影响大型底栖无脊椎动物分布的重要因子^[20]。此外,本研究发现底质环境还影响着大型底栖无脊椎动物的多样性指数。如9#江道的底质为沙底,粒径小,密度大,不符合多数淡水种类的大型底栖无脊椎动物生存要求,其种类及多样性也较小。

不同水域水体理化因子对大型底栖无脊椎动物种类分布、密度及生物量的影响不尽相同,即使同一水域,在不同时期,水体理化因子对大型底栖无脊椎动物的影响也有差异。如松花江流域在平水期时,大部分清洁种,如扁蜉属(*Heptagenia*),与DO、pH、BOD有极强的正相关关系,而在丰水期,大部分的清洁种,都与WT、COD_{Cr}和COD_{Mn}相关性较强^[21]。研究结果表明:春季影响太阳岛外滩湿地大

型底栖无脊椎动物分布的主要环境因子是磷酸盐(PO₄³⁻)和氧化还原电位(Eh),影响最小的环境因子是pH。在对大型底栖无脊椎动物密度和生物量的影响上,有对松花江哈尔滨段的研究表明:春季对密度影响最大的为总氮,对生物量影响最大的为NH₄⁺质量浓度^[22],而本研究结果为对密度影响最大的是pH,对生物量影响最大的是亚硝酸盐,对种类数影响最大的是pH。由于太阳岛外滩湿地各样点地理位置相近,各项水体理化因子没有显著差异,所以尽管各项理化因子与密度、生物量的关联系数不一样,但并无显著差异。由此得出:影响太阳岛外滩湿地各样点间大型底栖无脊椎动物群落结构的并非单一水体理化因子,而是包括水质、底质、植被、人为干扰等在内的整体环境特征,这些因素对大型底栖无脊椎动物的具体影响程度有待进一步的研究。

哈尔滨太阳岛西区外滩湿地公园是一个生态旅游及保护景区,本研究对湿地内大型底栖无脊椎动物的调查研究为太阳岛的管理和生物多样性的保护提供了理论依据。

参考文献 References

- [1] Peterson B J, Deegan L, Helfrich J, Hobbie J E, Hullar M, Moller B, Ford T E, Hershey A, Hiltner A, Kipphut G, Lock M A, Fiebig D M, McKinley V, Miller M C, Vestal J R, Ventullo R, Volk G. Biological responses of a tundra river to fertilization [J]. *Ecology*, 1993, 74(3): 653-672
- [2] Ricciardi A, Rasmussen J B. Extinction rates of North American freshwater fauna [J]. *Conservation Biology*, 1999, 13(5): 1220-1222
- [3] 吴妍, 赵志强, 龚文峰, 王晓春. 太阳岛湿地景观生态安全综合评价 [J]. 东北林业大学学报, 2010, 38(1): 101-104
Wu Y, Zhao Z Q, Gong W F, Wang X C. Ecological security evaluation of wetland landscape in the Sun Island Scenic Spot [J]. *Journal of Northeast Forestry University*, 2010, 38(1): 101-104 (in Chinese)
- [4] 肖鸿. 太阳岛风景区空间活力营造研究 [D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2016
Xiao H. Research on creating a space vitality of Sun-Island Scenic Spot [D]. Harbin: Northeast Forestry University, 2016 (in Chinese)
- [5] Wu J, Wang L, Ma F, Yang J X, Li S Y, Li Z. Effects of vegetative-periodic-induced rhizosphere variation on the uptake and translocation of metals in *Phragmites australis* (Cav) Trinex Steudel growing in the Sun Island Wetland [J]. *Ecotoxicology*, 2013, 22(4): 608
- [6] SOLDAN. Book review: Aquatic insects of China useful for

- monitoring Water Quality[J]. *European Journal of Entomology*, 2013,94(1):152
- [7] Merritt R W, Cummins K W. An introduction to the aquatic insects of North America[J]. *Freshwater Science*, 1996, 15(3):593-595
- [8] 周长发. 中国大陆蜉蝣目分类研究[D]. 天津:南开大学, 2002
Zhou C F. A taxonomic study on mayflies from mainland China (Insecta: Ephemeroptera)[D]. Tianjin: Nankai University, 2002 (in Chinese)
- [9] Woodiwiss F S. The biological system of stream classification used by the Trent River Board[J]. *Chemistry and Industry*, 1964,11:443-447
- [10] 赵彩云, 柳晓燕, 白加德, 吕凤春, 李俊生. 广西北海西村港互花米草对红树林湿地大型底栖动物群落的影响[J]. 生物多样性, 2014,22(5):630-639
Zhao C Y, Liu X Y, Bai J D, Lv F C, Li J S. Impact of *Spartina alterniflora* on benthic macroinvertebrates communities on mangrove wetland in Xicungang Estuary, Guangxi [J]. *Biodiversity Science*, 2014,22(5):630-639 (in Chinese)
- [11] 谢志才, 张君倩, 陈静, 马凯, 刘瑞秋, 汪亚平, 蔡庆华. 东洞庭湖保护区大型底栖动物空间分布格局及水质评价[J]. 湖泊科学, 2007,19(3):289-298
Xie Z C, Zhang J Q, Chen J, Ma K, Liu R Q, Wang Y P, Cai Q H. Spatial distributional pattern of macrozoobenthos and pollution evaluation in East Lake Dongting Reserve [J]. *Journal of Lake Sciences*, 2007,19(3):289-298 (in Chinese)
- [12] 王银东, 熊邦喜, 陈才保, 胡宏胜. 环境因子对底栖动物生命活动的影响[J]. 浙江海洋学院学报:自然科学版, 2005,24(3):253-257
Wang Y D, Xiong B X, Chen C B, Hu H S. The effect of environment factors on life activity of zoobenthos[J]. *Journal of Zhejiang Ocean University: Natural Science*, 2005,24(3):253-257 (in Chinese)
- [13] Shostell J M, Williams B S. Habitat complexity as a determinate of benthic macroinvertebrate community structure in cypress tree reservoirs[J]. *Hydrobiologia*, 2007, 575(1):389-399
- [14] Armonies W, Reise K. Empty habitat in coastal sediments for populations of macrozoobenthos[J]. *Helgoland Marine Research*, 2003,56(4):279-287
- [15] Kaiser M J, Broad G, Hall S J. Disturbance of intertidal soft-sediment benthic communities by cockle hand raking [J]. *Journal of Sea Research*, 2001,45(2):119-130
- [16] Bakri D A, Behbehani M, Khuraibet A. Quantitative assessment of the intertidal environment of Kuwait I; Integrated environmental classification[J]. *Journal of Environmental Management*, 1997,51(4):321-332
- [17] Wu R S S, Shin P K S. Sediment characteristics and colonization of soft-bottom benthos; A field manipulation experiment[J]. *Marine Biology*, 1997,128(3):475-487
- [18] 吴建强, 阮晓红, 王雪. 人工湿地中水生植物的作用和选择[J]. 水资源保护, 2005,21(1):1-6
Wu J Q, Ruan X H, Wang X. Selection and function of aquatic plants in constructed wetlands[J]. *Water Resources Protection*, 2005,21(1):1-6 (in Chinese)
- [19] 董雪, 蔡艳, 贾铭宇, 刘曼红. 阿什河春季不同河段大型底栖动物群落结构与环境因子[J]. 东北林业大学学报, 2016,44(1):90-93
Dong X, Cai Y, Jia M Y, Liu M H. Macrobenthos community structure and environmental factors in summer in different segment of Ashihe River[J]. *Journal of Northeast Forestry University*, 2016,44(1):90-93 (in Chinese)
- [20] 李冠国, 范振刚. 海洋生态学[M]. 北京:高等教育出版社, 2004
Li G G, Fan Z G. *Marine Ecology* [M]. Beijing: Higher Education Press, 2004 (in Chinese)
- [21] 赵然. 松花江大型底栖无脊椎动物种群分布与水质相关性分析[D]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学, 2014
Zhao R. Correlation analysis between macroinvertebrates populations distribution and water quality of Songhua River [D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2014 (in Chinese)
- [22] 张静. 松花江哈尔滨段大型底栖动物群落结构及水质生物学评价研究[D]. 哈尔滨:东北林业大学, 2010
Zhang J. Macrobenthos community structure and biological evaluational research of water quality in Songhua River along Harbin City[D]. Harbin: Northeast Forestry University, 2010 (in Chinese)

责任编辑:王燕华