

# Biodiversity of Benthic Macroinvertebrates and Bioassessment for Water Quality in Sun Island Bund Wetlands

Jingjing Cao<sup>1</sup>, Yan Cai<sup>2</sup>, Yao Meng<sup>1</sup>, Fangying Chai<sup>3</sup>, Manhong Liu<sup>1\*</sup>, Hongxian Yu<sup>1</sup>

<sup>1</sup>College of Wildlife Resources, Northeast Forestry University, Harbin Heilongjiang

<sup>2</sup>Hunan Platzer Biological Technology Co., Ltd., Changsha Hunan

<sup>3</sup>Department of Water Resources of Heilongjiang Province, Harbin Heilongjiang

Email: \*manhong@nefu.edu.cn, china.yhx@163.com

Received: Mar. 24<sup>th</sup>, 2019; accepted: Apr. 8<sup>th</sup>, 2019; published: Apr. 15<sup>th</sup>, 2019

---

## Abstract

Survey was conducted in Sun Island Band Wetland in 2016 about benthic macroinvertebrates, having analyzed the horizontal distribution characteristics of species, according to the relationship between benthic macroinvertebrates and the habitats, studied 4 biodiversities of different habitats, using Biological Contamination Index (BPI) and Chandler Biological Index (CBI) to evaluate the water pollution status for the wetlands. The results showed that the water quality showed a transition from mild pollution to clean. A total of 64 species of benthic macroinvertebrates, which belonged to 26 families were collected, 38 species of aquatic insects, 17 species of molluscs, 6 species of annelids and only 3 species of crustaceans. The species density of various points was between 52 ind/m<sup>2</sup> to 923 ind/m<sup>2</sup>, the Hexiangze and the Yingtianchi were the hot area of species distribution. Based on the comparison of 4 biodiversity Indices in different habitats, it turned out that different sediments have different biological diversity, the maximum Simpson diversity index (d) is 10.04 in the Mud-sand (M-S) type, and the Margalef index (D) and the Shannon-Wiener index (H') were 2.51 and 2.56. There was no significant difference among them (P > 0.05). Only the Pielou index (J') was 0.91 ± 0.02, and it showed significant difference among different sediments (P < 0.05). There are 3 kinds of water flowing in Sun Island Band Wetland: open lotic, seasonal lotic and closed lentic. The maximum of seasonal lotic (d) was 10.76, and the minimum of open lotic (d) was 2.00. The most complex Submergent-flouting-emergent plant community (S-F-E), d was 7.96, the largest, D and H' were 1.54 and 2.20 respectively, the largest as well.

## Keywords

Sun Island Band Wetland, Benthic Macroinvertebrates, Habitats, Biodiversity, Water Quality Evaluation

---

\*通讯作者。

# 哈尔滨太阳岛外滩湿地大型底栖动物多样性与水质生物评价

曹晶晶<sup>1</sup>, 蔡艳<sup>2</sup>, 孟瑶<sup>1</sup>, 柴方营<sup>3</sup>, 刘曼红<sup>1\*</sup>, 于洪贤<sup>1</sup>

<sup>1</sup>东北林业大学野生动物资源学院, 黑龙江 哈尔滨

<sup>2</sup>湖南普拉特泽生物科技有限公司, 湖南 长沙

<sup>3</sup>黑龙江省水利厅, 黑龙江 哈尔滨

Email: \*manhong@nefu.edu.cn, china.yhx@163.com

收稿日期: 2019年3月24日; 录用日期: 2019年4月8日; 发布日期: 2019年4月15日

## 摘要

2016年在太阳岛外滩湿地对大型底栖动物进行了调查, 分析了物种的水平分布特征, 根据大型底栖动物群落与栖境的关系, 研究了不同栖境下4种生物多样性, 利用生物学污染指数(BPI)和Chandler生物指数(CBI)对该湿地水体污染状况进行了评价, 结果表明水质呈现轻度污染向清洁过渡的阶段。研究结果表明, 共发现大型底栖动物26科64种, 水生昆虫种类最多, 为38种, 其次为软体动物17种, 环节动物6种, 甲壳动物只发现3种。各样点物种密度在52~923 ind/m<sup>2</sup>之间, 荷香泽和映天池为物种分布的热点区域。基于对不同栖境类型4种生物多样性指数的比较分析, 发现底质类型不同, 生物多样性也不同, 其中泥-沙类型(M-S)的Simpson多样性指数(d)最大为10.04, Margalef丰富度指数(D)和Shannon-Wiener多样性指数(H')分别为2.51和2.56, 这三种生物多样性指数差异都不显著(P > 0.05)。只有Pielou均匀度指数(J')为0.91 ± 0.02, 并且在不同的底质类型中表现差异显著(P < 0.05)。太阳岛外滩湿地水流类型分为流水、季节性流水和静水三种类型, 季节性流水(SL) d最大为10.76, 而流水水体(OL)最小为2.00。生境最为复杂的沉水-浮水-挺水植物群落(S-F-E), d最大为7.96, D和H'也最大, 分别为1.54和2.20。

## 关键词

太阳岛外滩湿地, 大型底栖动物, 栖境, 生物多样性, 水质评价

Copyright © 2019 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

太阳岛外滩湿地位于哈尔滨市太阳岛国家湿地公园, 属于松花江哈尔滨江段沿江湿地, 岛内有野菱湖、荷香泽、云鹭池等众多湖泊泡沼, 湿地保护完好, 是众多水禽、两栖爬行类和鱼类的栖息地。该湿地水源充沛, 水生生物丰富, 大型底栖动物是水生态系统碎屑食物链的重要生物类群之一, 在营养物质的矿化、调节泥水界面物质交换及促进水体自净等方面具有重要生态功能, 在生态系统物质循环和能量

流动中具有重要的作用，也是常用的水生态系统重要的指示生物之一，广泛应用于水质生物监测、水生态系统健康评价、水生态修复评价等[1] [2] [3] [4]。

随着国家对湿地保护的日益重视，国家湿地公园也相继建立，对其研究和评价方法也越来越完善。常用的方法有生物多样性指数评价、Chandler 生物指数(CBI)评价等，都是通过研究环境生物状况来评价湿地水环境质量。迄今，孟瑶等[5]对太阳岛外滩湿地大型底栖动物群落结构进行了一些研究，发现大型底栖动物 34 种，其中水生昆虫种类最多，为 19 种。并且得出影响其物种分布的主要水体理化因子为磷酸盐和氧化还原电位的结论。太阳岛湿地公园旅游业发展比较迅速，游客的活动等人为干扰较大，水环境发生了巨大变化。本研究再次对太阳岛外滩湿地不同水域的大型底栖动物生物多样性和水质进行评价，为太阳岛湿地公园生物多样性保护、生态恢复和管理提供科学依据。

## 2. 研究地概况和研究方法

### 2.1. 研究地概况

哈尔滨太阳岛外滩湿地西起阳明滩湿地，东至太阳岛湿地公园西区规划堤防，是包括松花江河漫滩、江边沼泽地、众多岗丘及丘间洼池等地貌类型的江漫滩湿地，属于温带大陆性季风气候，冬季漫长、夏季较短。年平均气温 3℃，年平均降水量约为 580 mm，集中在夏季 6~8 月。太阳岛外滩湿地中挺水植物优势种主要为香蒲(*Typha orientalis*)、芦苇(*Phragmites australis*)、桃叶蓼(*Polygonum persicaria*)和长秆苔草(*Carex kirganica*)等，浮水植物优势种主要为东北菱(*Trapa manshurica*)、浮萍(*Lemna minor*)和荇菜(*Nymphoides peltatum*)，沉水植物主要以穗状狐尾藻(*Myriophyllum spicatum*)、刚毛藻(*Cladophora*)、眼子菜(*Potamogeton distinctus*)和水绵(*Spirogyra* sp.)等优势种群。

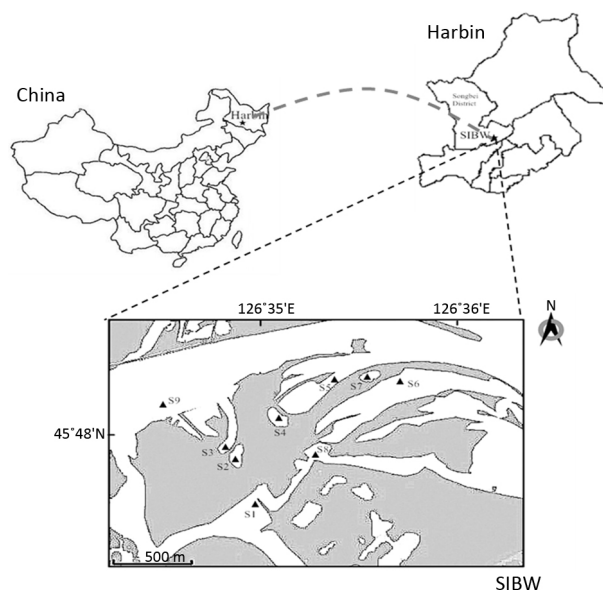
### 2.2. 采样点设置和水环境类型划分

在不同的采样点之间，水环境有所差异。根据太阳岛外滩湿地大型底栖动物栖境特点(地质、水流类型和水生维管束植物群落状况)进行样本采集，共设置 9 个采样点(图 1)。根据底质类型的不同，将 9 个样点分为淤泥 - 腐殖质底质(silt-humus, S-H)、泥 - 砂底质(mud-gravel, M-G)和泥 - 沙底质(mud-sand, M-S)三种类型；根据水流类型的不同，将 9 个样点分为流水水域(open lotic, OL)、季节性流水水域(seasonal lotic, SL)和静水水域(closed lentic, CL)三种类型；根据水生维管束植物组成类型的不同，将 9 个样点分为沉水 - 浮水 - 挺水植物水域(submergent-flloating-emergent plants, S-F-E)、浮水 - 挺水植物水域(flloating-emergent plants, F-E)和挺水植物水域(emergent plants, E)三种类型(表 1)。其中 S1 安利桥、S2 云鹭池和 S4 荷香泽均为淤泥底质，腐殖质比较丰富，着生大量的芦苇、东北菱和浮萍等水生植物。S3 揽月泊、S5 云水湾和 S6 野菱湖共 3 个样点，底质主要以泥沙和砂石为主，伴有少量的淤泥，此类型底质生长着较多的芦苇、桃叶蓼、长梗苔草(*Carex glossostigma*)和东北菱等漂浮植物，除了 S6 野菱湖，其他样点含有丰富的腐殖质。S7 映天池、S8 彩虹桥和 S9 江道，底质主要为砂石底和沙底类型，岸边主要以香蒲、芦苇为优势种的挺水植物(表 1)。

### 2.3. 样本采集与处理

大型底栖动物样本采集工具主要为 D-型抄网(直径 0.3 m, 40 目尼龙纱)和彼得生采泥器(1/16 m<sup>2</sup>)。在浅水区采集样本使用 D-型抄网，进行搅动水体以及底泥，采集 1 m<sup>2</sup>样方，在沙底的深水区域使用彼得生采泥器进行采集，将收集到的样本放入 40 目分样筛中进行过滤，挑选大型底栖动物样本保存在 85%的酒精溶液中。

样本鉴定利用肉眼直接观察，解剖镜或显微镜等工具，对照大型底栖动物的外部形态结构特征进行分类鉴定，大多数的样本鉴定至种，少数样本鉴定至科或属。



**Figure 1.** Map of sampling sites in Sun Island Bund Wetland (SIBW)

**图 1.** 太阳岛外滩湿地采样点图示

**Table 1.** Classification of habitat types in Sun Island Bund Wetland

**表 1.** 太阳岛外滩湿地栖息地类型划分

分类依据 Classification basis	类型 Habitat Types	样点 Sampling sites
底质类型 Sediment	淤泥 - 腐殖质 Silt-humus	S-H S1、S2、S4
	泥 - 砂 Mud-gravel	M-G S3、S5、S6
	泥 - 沙 Mud-sand	M-S S7、S8、S9
水流类型 Water state	流水 Open lotic	OL S5、S6、S9
	季节性流水 Seasonal lotic	SL S1、S3、S8
	静水 Closed lentic	CL S2、S4、S7
水生维管束植物类型 Composition of aquatic vascular vegetation	沉水 - 浮水 - 挺水植物 Submergent-flouting-emergent vegetation	S-F-E S2、S4、S7
	浮水 - 挺水植物 Flouting-emergent vegetation	F-E S1、S3、S5
	挺水植物 Emergent vegetation	E S6、S8、S9

## 2.4. 数据分析

对鉴定的样本进行整理，建立相应的数据文件。采用 Simpson 多样性指数(D) [6]，Margalef 物种丰富度指数(d) [7]、Shannon-Wiener 多样性指数(H') [8]和 Pielou 均匀度指数(J') [9]这 4 项指数对太阳岛外滩湿地大型底栖动物生物多样性进行分析。

根据大型底栖动物对水环境污不同的染耐受性，环境中的敏感种类会随着污染加重而快速减少甚至消失，而耐污种类在一定污染程度内，能够忍受污染存活下来，甚至形成一定数量的种群。通过对寡毛类、摇蚊幼虫等耐污种与 EPT (E 蜉蝣目, P 襁翅目和 T 毛翅目)和甲壳类等敏感种的多度进行数据转换，计算生物学污染指数(BPI)，以评价水质污染程度[10] [11] [12]。

Chandler 生物指数(CBI)是根据大型无脊椎动物不同类群对水体污染的敏感性差异及各类群出现的多度分别给予记分。根据计算出的总分评价各样点水质状况,总分为 0 表示严重污染;0~45 表示重污染;45~300 表示中度污染;>300 表示轻度污染或未污染[13]。

### 3. 研究与分析

#### 3.1. 基于不同栖境类型的大型底栖动物物种多样性

于 2016 年调查期间,在太阳岛外滩湿地共采集到大型底栖动物 14 目 26 科 64 种,隶属于节肢动物门 Arthropoda、软体动物门 Mollusca 和环节动物门 Annelida。水生昆虫种类最多,为 38 种,其次为软体动物 17 种,环节动物 6 种,甲壳动物只发现 3 种(图 2)。

太阳岛外滩湿地不同地质类型,大型底栖动物物种数差异不显著( $P > 0.05$ ),淤泥-腐殖质(SH)物种数最大( $31 \pm 11$  种),其次是泥-沙地质类型( $24 \pm 6$  种),最少的是泥-砂地质为  $11 \pm 5.5$  种(图 2)。

水体流动状况影响大型底栖动物物种丰富度,本研究表明静水水体(S2 云鹭池、S4 荷香泽和 S7 映天池),为物种最丰富为  $36 \pm 3.8$  种,其次为流水 OL 的生境( $28 \pm 4.6$  种),季节性流水的生境物种数最小为  $8 \pm 1.2$  种,并且差异显著( $P = 0.02, P < 0.05$ )。

#### 3.2. 大型底栖动物密度时空分布特征

通过对太阳岛外滩湿地大型底栖动物数据的整理分析(图 3),结果表明物种密度在  $26 \sim 923 \text{ ind/m}^2$  之间,年平均值为  $263 \text{ ind/m}^2$ ,其中春季平均密度为  $157.44 \text{ ind/m}^2$ ,夏季平均密度为  $340.89 \text{ ind/m}^2$ ,秋季平均密度为  $290.33 \text{ ind/m}^2$ 。单因素方差分析结果表明:太阳岛外滩湿地大型底栖动物密度季节间不存在显著差异( $P = 0.239, P > 0.05$ )。

春季,密度最大值出现在 S5 云水湾,为  $325 \text{ ind/m}^2$ ,最小值出现在 S8 彩虹桥,为  $26 \text{ ind/m}^2$ ;夏季,密度最大值出现在 S4 荷香泽,为  $871 \text{ ind/m}^2$ ,最小值出现在 S3 揽月泊,为  $26 \text{ ind/m}^2$ ;秋季,密度最大值出现在 S7 映天池,为  $923 \text{ ind/m}^2$ ,最小值出现在 S5 云水湾,为  $39 \text{ ind/m}^2$ 。可见荷香泽和映天池为太阳岛外滩湿地大型底栖动物物种分布的热点区域。

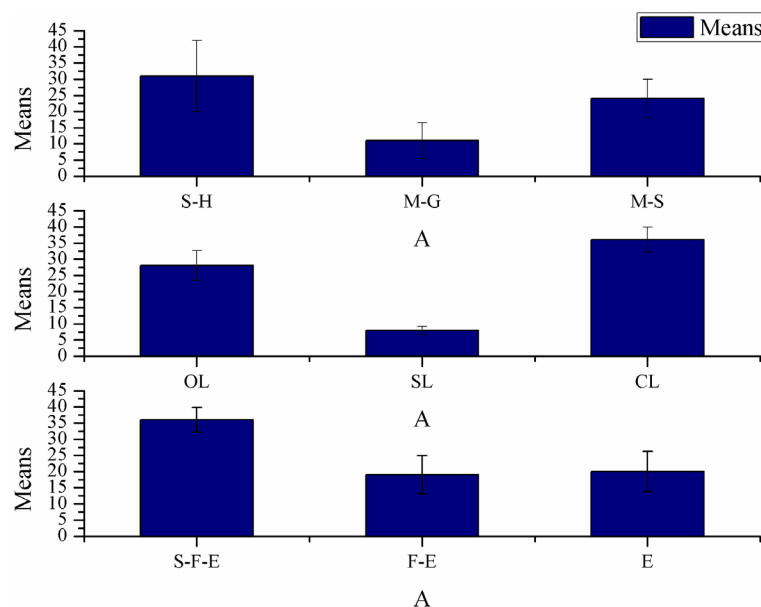
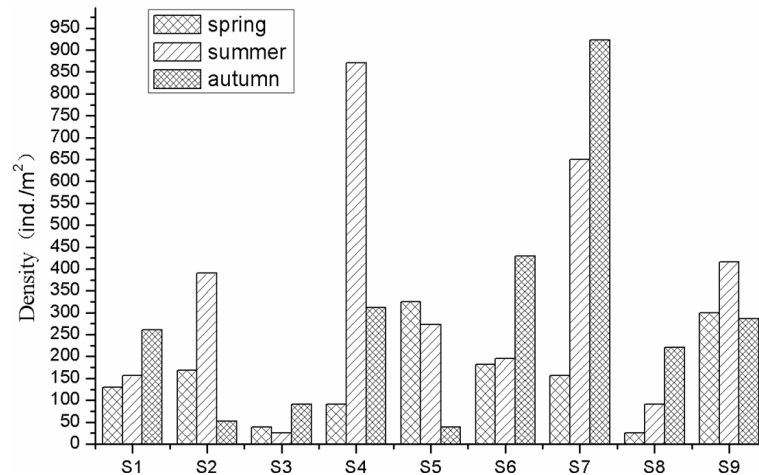


Figure 2. Benthic macroinvertebrates species richness based on habitats  
图 2. 不同栖境下大型底栖动物物种丰富度





**Figure 3.** Horizontal distribution for benthic macroinvertebrates density  
**图 3.** 大型底栖动物密度的水平分布

### 3.3. 基于不同栖境类型四种生物多样性指数

对太阳岛外滩湿地大型底栖动物多样性指数的比较分析,地质类型不同生物多样性也不同,其中泥-沙类型(M-S)的 Simpson 多样性指数最大为 10.04 ( $7.27 \pm 3.34$ ), Margalef 丰富度指数和 Shannon-Wiener 多样性指数( $H'$ )分别为  $1.65 \pm 0.97$  和  $2.05 \pm 0.67$ ,这三种生物多样性指数差异都不显著( $P > 0.05$ ),只有 Pielou 均匀度指数为  $0.91 \pm 0.02$ ,并且在不同的地质类型中表现差异显著( $P < 0.05$ ) (表 2)。

太阳岛外滩湿地水流类型分为流水、季节性流水和净水三种类型,本研究涉及的三种生物多样性指数(Simpson 多样性指数, Margalef 丰富度指数和 Shannon-Wiener 多样性指数)差异显著( $P > 0.05$ ),季节性流水(SL) Simpson 多样性指数最大为 10.76,而流水水体 OL 最小为 2.00, Margalef 丰富度指数和 Shannon-Wiener 多样性指数,在季节性流水(SL)中也表现最大,分别为 2.14 和 2.47;这三种类型的水体生物在生境中的分布具有均匀性,并且差异不显著( $P = 0.30$ ,  $P > 0.05$ ) (表 3)。

在湿地生态系统中,水生维管束植物是湿地大型底栖动物重要的栖息环境,根据太阳岛湿地水生植物类型,各采样点的环境分为三种类型,沉水-浮水-挺水植物群落(S-F-E),浮水-挺水植物群落(F-E)和完全是挺水植物群落(E)分布的生境,这个太阳岛外滩湿地 Simpson 多样性指数为  $5.03 \pm 2.56$ ,生境复杂的 S-F-E 类型水体,表现最大,为 7.96,并且 Margalef 丰富度指数和 Shannon-Wiener 多样性指数值也最大,分别为 1.54 和 2.20。本研究涉及的四种生物多样性指数,在不同的水生维管束生境类型中差异不显著( $P > 0.05$ ) (表 4)。

**Table 2.** Biodiversity indexes of benthic macroinvertebrates based on sediments

**表 2.** 不同地质下大型底栖动物生物多样性指数

生物指数	D	d	$H'$	$J'$
S-H	3.43	0.59	1.29	0.93
M-G	8.33	1.84	2.29	0.92
M-S	10.04	2.51	2.56	0.89
Mean $\pm$ SD	$7.27 \pm 3.34$	$1.65 \pm 0.97$	$2.05 \pm 0.67$	$0.91 \pm 0.02$
P-value	0.75	0.64	0.74	0.03

**Table 3.** Biodiversity indexes of benthic macroinvertebrates based on water state  
**表 3.** 不同水流类型的大型底栖动物生物多样性指数

生物指数	D	d	H'	J'
OL	2.00	0.31	0.69	1.00
SL	10.76	2.14	2.47	0.96
CL	5.77	1.14	1.84	0.95
Mean ± SD	6.18 ± 4.39	1.20 ± 0.92	1.67 ± 0.90	0.97 ± 0.03
P-value	0.04	0.03	0.02	0.30

**Table 4.** Biodiversity indexes of benthic macroinvertebrates based on composition of aquatic vascular vegetation  
**表 4.** 不同水生维管束植物群落生境下的大型底栖动物生物多样性指数

生物指数	D	d	H'	J'
S-F-E	7.96	1.54	2.20	0.92
F-E	3.27	0.67	1.28	0.92
E	3.85	0.82	1.42	0.92
Mean ± SD	5.03 ± 2.56	1.01 ± 0.47	1.64 ± 0.50	0.92 ± 0.01
P-value	0.22	0.16	0.18	0.10

### 3.4. 水质生物评价结果

通过对太阳岛外滩湿地研究水域的大型底栖动物群落的调查与分析,利用生物学污染指数(BPI)和BPI评价标准评价该湿地公园水体状况,结果如表5,安利桥和彩虹桥水体轻度污染,荷花池β-中度污染,云鹭池、揽月泊、荷香泽等水体为清洁,江道水体中污染水体,太阳岛外滩湿地水体整体属于清洁水体;根据Chandler生物指数(CBI)评价标准,安利桥、揽月泊、彩虹桥和江道是个水域呈中污染;荷香泽和映天池水体清洁;云鹭池、云水湾和野菱湖水域水体轻度污染,太阳岛外滩湿地水体整体呈清洁状态;根据CBI评价标准,荷花池重污染,其它3个水域中污染,太阳岛外滩湿地水体整体呈轻度污染状态。两种评价水质的方法得到的结果基本一致,由此可知,太阳岛外滩湿地水体状况在清污染到清洁的过度状态。

**Table 5.** Water quality status of Sun Island Band Wetland  
**表 5.** 太阳岛外滩湿地水质等级

	S1 安利桥	S2 云鹭池	S3 揽月泊	S4 荷香泽	S5 云水湾	S6 野菱湖	S7 映天池	S8 彩虹桥	S9 江道
生物学污染指数(BPI)	0.21	0.08	0.05	0.06	0.032	0.02	0.08	0.35	0.054
水质等级	轻污染	清洁	清洁	清洁	清洁	清洁	清洁	轻污染	β-中污染
Chandler生物指数(CBI)	45	186	55	325	215	226	440	65	88
水质等级	中污染	轻度污染	中污染	清洁	轻度污染	轻度污染	清洁	中污染	中污染

## 4. 讨论

### 4.1. 底质对大型底栖动物生物多样性的影响

大型底栖动物的生活史几乎全部都在水体底部度过,底质环境是决定不同种类底栖动物生存的必备

条件, 河流底质为底栖动物栖息、避敌等生命活动提供了直接的生存环境, 因此河流底质成分、表面构造、颗粒大小、营养成分和稳定程度等因素直接影响了底栖动物的群落结构及其分布。

对太阳岛外滩湿地大型底栖动物多样性指数的比较分析, 地质类型不同, 生物多样性也不同, 其中泥-沙类型(M-S)的 Simpson 多样性指数最大为 10.04, Pielou 均匀度指数为  $0.91 \pm 0.02$ , 并且在不同的地质类型中表现差异显著( $P < 0.05$ )。

底质对大型底栖动物分布的影响包括不同的基质, 如岩石、砾石、沙、泥沙等。底质是影响底栖生物分布的重要因子[14]。首先, 底质能影响大型底栖动物分布的种类, 比如岩石底质适合一些爬行和滑行的种类以及营固着生活的种类分布[15]。而泥质底和泥沙底则适合一些爬行、底埋和穴居的种类分布[16]。其次, 底质也会影响到大型底栖动物的栖息密度。另外, 底质还影响着大型底栖动物的多样性指数, 多样性指数不仅反映物种种类的多少, 同时反映了物种间的均匀程度[17]。本文调查结果显示, 由于泥质底中腐殖质多, 有机质丰富, 为大型底栖动物的生长繁殖提供了丰富多样的食物来源, 因此该生境中反映出物种数多、多样性高的生物分布特征; 泥砂底质的水体中软体动物种类远远少于泥质底和泥砂底, 说明软体动物更倾向于生活在粒径较小的底质类型中。

#### 4.2. 水生维管束植物对大型底栖动物的影响

水生维管束植物是湿地生态系统中较为明显的生物特征, 并通过多种途径影响湿地生态系统。不同水生植物组成不同的栖息环境, 因而影响着淡水生境的结构和功能[18], 其中沉水植物还能在水体中大型底栖动物提供饵料和栖息繁衍场所。并且, 湿地植物种类丰富, 不同湿地植物的根系形态、对土壤有机物的积累贡献、输氧能力等方面有很大不同, 这直接或间接地影响着湿地大型底栖动物群落。所以水生维管束植物在维护淡水水生生态系统多样性方面具有重要作用[19]。谢志发等[20]对长江口崇明东滩湿地大型底栖动物群落研究发现, 水生植物群落随着植被类型的丰富, 大型底栖动物种类和生物量逐渐增加。郑莉等[21]通过对黄河三角洲湿地大型底栖动物与植物研究中发现, 植物群落多样性与大型底栖动物多样性密切相关。本研究的结果显示, 太阳岛外滩湿地水生植物类型最为丰富的沉水-浮水-挺水型植被所在的水域中, 主要分布在云鹭池、荷香泽和映天池三个封闭水域, 大型底栖动物物种组丰富, 并且 Simpson 多样性指数, Margalef 丰富度指数和 Shannon-Wiener 多样性指数也最高, 其原因是这类水域植被类型丰富, 生境多样化高, 为不同大型底栖动物的生长繁殖提供了多种多样的栖息繁殖、摄食和隐蔽环境。

#### 基金项目

13.5 国家重点研发计划“迁徙水鸟重要栖息底食源增殖技术与示范”项目(2016YF0500406)资助。

#### 参考文献

- [1] Metzeling, L. and Miller, J.T. (2001) Evaluation of the Sample Size Used for the Rapid Bioassessment of Rivers Using Macroinvertebrates. *Hydrobiologia*, **444**, 159-170. <https://doi.org/10.1023/A:1017571200859>
- [2] 王璐, 杨海军, 李玲, 等. 长白山地区溪流冻结初期凋落叶分解与底栖动物定殖的关系[J]. 应用生态学报, 2017, 28(11): 3775-3783.
- [3] 何凡, 寇冀蒙, 曾旖志, 等. 帽儿山溪流中大型底栖动物的定殖对两种树叶分解速率的影响[J]. 东北林业大学学报, 2016, 44(1): 85-89.
- [4] 刘曼红. 呼兰河口保护区及周边水域水生动物生态监测与健康评价[D]: [博士学位论文]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2012.
- [5] 孟瑶, 蔡艳, 耿飞飞, 刘曼红, 陈菲. 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[J]. 中国农业大学学报, 2018, 23(5): 142-150.
- [6] Simpson, E.H. (1949) Measurement of Diversity. *Nature*, **163**, 688. <https://doi.org/10.1038/163688a0>



- [7] Margalef, R. (1968) *Perspective in Ecological Theory*. University Chicago Press, Chicago.
- [8] Shannon, C.E. and Weaver, W. (1949) *The Mathematical Theory of Communication*. University of Illinois Press, Urbana.
- [9] Pielou, E.C. (1975) *Ecological Diversity*. Wiley: Inters, New York.
- [10] 蔡晓明, 任久长, 宋志祥, 等. 青龙河底栖无脊椎动物群落结构及其水质评价[J]. 应用生态学报, 1992, 3(4): 364-370.
- [11] 李中宇, 胡显安, 王岚. 从底栖动物群落看江水污染情况[J]. 黑龙江环境通报, 2001, 25(2): 66-67.
- [12] 周凤霞. 生物监测[M]. 北京: 化学工业出版社, 2006.
- [13] Chandler, J.R. (1970) Applying a New Score System of Zoobenthos for Assessing Water Quality. *Water Pollution Control*, **69**, 415-421.
- [14] 李冠国, 范振刚. 海洋生态学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2011.
- [15] 杨万喜, 陈永寿. 嵊泗列岛潮间带群落生态学研究 II. 岩相潮间带底栖动物的群落结构[J]. 应用生态学报, 1998, 9(1): 75-78.
- [16] 寿鹿, 高爱根, 曾江宁, 等. 底质环境对浙江衢山岛潮间带大型底栖动物分布的影响[J]. 动物学杂志, 2007, 42(3): 79-83.
- [17] Magurran, A.E. (1988) *Ecological Diversity and Its Measurement*. Princeton University Press, Princeton.  
<https://doi.org/10.1007/978-94-015-7358-0>
- [18] Grenouillet, G., Pont, D. and Seip, K.L. (2002) Abundance and Species Richness as a Function of Food Resources and Vegetation Structure: Juvenile Fish Assemblages in Rivers. *Ecography*, **25**, 641-650.  
<https://doi.org/10.1034/j.1600-0587.2002.250601.x>
- [19] Körner, S. (2002) Loss of Submerged Macrophytes in Shallow Lakes in North-Eastern Germany. *International Review of Hydrobiology*, **87**, 375-384. [https://doi.org/10.1002/1522-2632\(200207\)87:4<375::AID-IROH375>3.0.CO;2-7](https://doi.org/10.1002/1522-2632(200207)87:4<375::AID-IROH375>3.0.CO;2-7)
- [20] 谢志发, 何文珊, 刘文亮, 等. 不同发育时间的互花米草盐沼对大型底栖动物群落的影响[J]. 生态学杂志, 2008, 27(1): 63-67.
- [21] 郑莉, 李传荣, 许景伟, 等. 黄河口湿地大型底栖动物名录初报[J]. 山东农业大学学报(自然科学版), 2010, 41(1): 60-64.

**知网检索的两种方式:**

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>  
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2164-5485, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>  
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: [aep@hanspub.org](mailto:aep@hanspub.org)