

# 三环泡自然保护区大型底栖动物生物多样性研究

商淋友, 刘笏旻, 徐磊, 刘曼红\*

东北林业大学野生动物与自然保护地学院, 黑龙江 哈尔滨  
Email: 1597301395@qq.com, \*manhong@nefu.edu.cn

收稿日期: 2020年10月27日; 录用日期: 2020年11月17日; 发布日期: 2020年11月24日

## 摘要

2016年夏季在黑龙江省三环泡自然保护区进行了大型底栖动物调查取样, 在物种鉴定的基础上, 利用Simpson指数、Shannon-Wiener指数、Evenness指数对大型底栖动物的生物多样性进行了研究, 同时与水文连通的其他保护区进行了对比。本次共发现大型底栖动物19种, 隶属于2门7目15科, 主要包括软体动物门(9种)和节肢动物门(10种), 其中以软体动物门数量最多, 占93.1%。三环泡自然保护区的大型底栖动物密度为 $303.5 \pm 239.5 \text{ ind}\cdot\text{m}^{-2}$ , 优势物种为软体动物门的椭圆萝卜螺(*Radix swinhoei*)。Simpson优势度指数为 $0.55 \pm 0.21$ , Shannon-Wiener指数为 $1.11 \pm 0.43$ , 处于寡到适中的水平, Evenness指数为 $0.75 \pm 0.24$ , 表明分布具有不稳定性。通过与水文连通的相邻保护区对比, 三环泡自然保护区大型底栖动物种类较另外两保护区略少, 但是物种分布趋于均匀, 群落结构比较稳定。

## 关键词

三环泡自然保护区, 大型底栖动物, 群落结构, 生物多样性

# The Study of Benthic Macroinvertebrates Biodiversity in Sanhuanpao Natural Reserve

Linyou Shang, Jiamin Liu, Lei Xu, Manhong Liu\*

College of Wildlife and Protected Area, Northeast Forestry University, Harbin Heilongjiang  
Email: 1597301395@qq.com, \*manhong@nefu.edu.cn

Received: Oct. 27<sup>th</sup>, 2020; accepted: Nov. 17<sup>th</sup>, 2020; published: Nov. 24<sup>th</sup>, 2020

## Abstract

In the summer of 2016, a survey was conducted on benthic macroinvertebrates biodiversity in

\*通讯作者。

Sanhuanpao Natural Reserve of Heilongjiang Province, on the basis of species identification, the Simpson index, Shannon-Wiener index and Evenness index were used to study the biodiversity of benthic macroinvertebrates, and meanwhile, comparisons were made with other hydrology connected reserves. The result showed that a total of 19 species of benthic macroinvertebrates belonging to 2 phylum, 7 orders and 15 families were identified in this survey. Among them, 9 species were molluscs, accounting for 93.1% of the total species. The density of benthic macroinvertebrates was  $303.5 \pm 239.5 \text{ ind}\cdot\text{m}^{-2}$ , *Radix swinhoei* was the dominant species. Simpson index was  $0.55 \pm 0.21$ , Shannon-Wiener index was  $1.11 \pm 0.43$ , Evenness index was  $0.75 \pm 0.24$ . The species of benthic macroinvertebrates in the Sanhuanpao Natural Reserve were less than those in the other two hydrology connected reserves, but the distribution of species tends to be uniform, and the community structure of benthic macroinvertebrates was stabled.

## Keywords

Sanhuanpao Natural Reserve, Benthic Macroinvertebrates, Community Structure, Biological Diversity

Copyright © 2020 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

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



Open Access

## 1. 引言

底栖动物(Zoobenthos),并非生物分类学上的专有名词,而是生态学研究领域中约定俗成的一种命名习惯。它是指生活史的全部或绝大部分时间生活在水体底部的生物类群。淡水底栖动物范畴涵盖了几乎所有的无脊椎动物,如寡毛纲、蛭纲、昆虫纲以及腹足纲等[1]。为了便于科学研究,通常按照生物体大小将生物个体不能通过 500 微米孔径分样筛的类群定义为大型底栖动物或大型底栖无脊椎动物(Benthic Macroinvertebrates) [2]。

大型底栖动物是组成水生态系统食物链的重要生物类群之一,一些类群即为许多涉禽、鱼类的天然饵料,占据了食物链中相应的生态位。同时大型底栖动物的许多种类能够吞食底质从而加速水底碎屑分解、降低水体有机污染;通过生物扰动促进泥-水界面物质交换等。所以,可通过对某一水域的大型底栖动物生物多样性的研究,了解该水域生态系统稳定程度等[3]。

黑龙江省三环泡自然保护区是三江平原最重要的湿地之一,担负着湿地生物多样性保护,湿地生态系统的保护等重要任务。三环泡自然保护区地理位置特殊,西南部与七星河国家级自然保护区相邻,东南部与挠力河国家级自然保护区相接。三环泡国家级自然保护区浮游动物及水质已有相关研究[4],该文意在通过对该自然保护区大型底栖群落结构的研究为湿地生态系统的保护和可持续发展提供参考。

## 2. 研究地概况与研究方法

### 2.1. 研究地概况及采样点设置

三环泡国家级自然保护区位于黑龙江省三江平原腹地,七星河中下游,与七星河、挠力河流域水文连通;保护区行政区域属佳木斯市富锦市境内,地理坐标为东经  $132^{\circ}12'18''\sim 132^{\circ}57'25''$ ,北纬  $46^{\circ}45'08''\sim 46^{\circ}51'41''$ ,保护区内主体泡沼由三个开阔水域即东环泡、中环泡和西环泡组成,自东向西依次排开,该区域为三江平原典型湿地分布区之一。三环泡国家级自然保护区主要保护对象是内陆湿地生态系统及其栖息的野生动植物资源。

2016年夏季,对三环泡自然保护区地理环境进行了调研。本次采集的大型底栖动物主要集中于三环泡国家级自然保护区内(泡沼/池塘),共设立了11个采样点(图1),自西向东依次排列,其中S1~S5采样点在三环泡国家级自然保护区西部(西环泡),由于中部(中环泡)水域面积较小、生境特殊故只设置S6一个采样点,S7~S11采样点在东部(东环泡)。

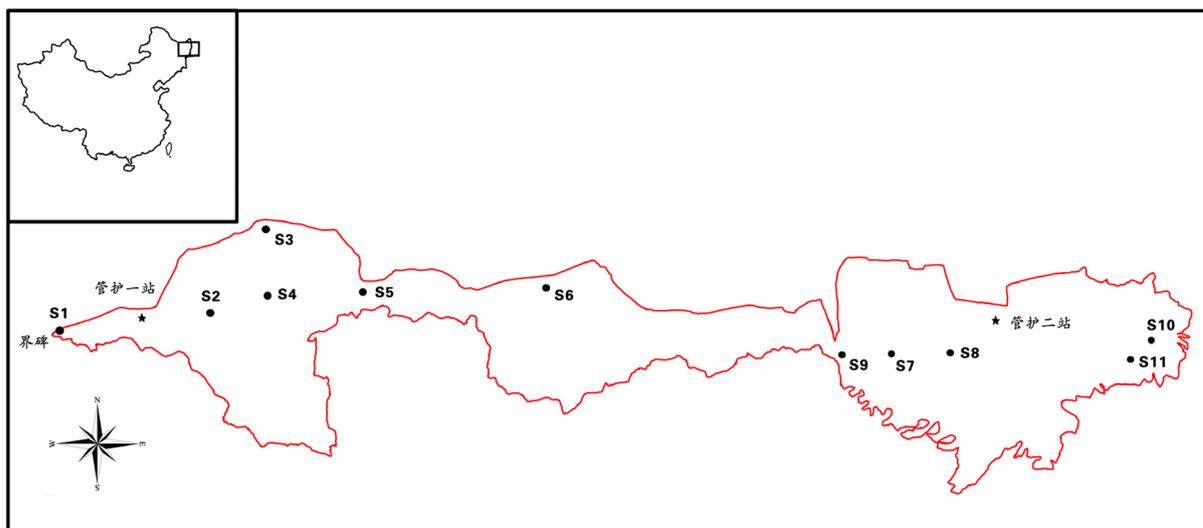


Figure 1. The map of sampling sites in Sanhuanpao natural reserve

图 1. 三环泡自然保护区采样点位置示意图

## 2.2. 样品采集与处理

利用改良彼得生采泥器(单次采样面积  $1/16 \text{ m}^2$ )和矩形网(网框直径  $0.3 \text{ m}$  宽,网纱孔径  $500 \mu\text{m}$ )定量和定性采集大型底栖动物,其中定量采集使用改良彼得生采泥器,采集面积为  $1/16 \text{ m}^2$ 。定性采集主要在沿岸带有水生维管束植物区域,使用矩形网搅动底泥和水体,采集面积为  $1 \text{ m}^2$ 。

样品的洗选:用采泥器在设置的采样点进行采集,将泥样全部倒入容器中,再经  $500 \mu\text{m}$  孔径分样筛筛洗,至筛洗澄清后,将获得的大型底栖动物及其腐屑等剩余物装入带有标记(注明:编号、采样点、时间及周边生境等)的塑料袋中,封紧袋口,带回实验室作进一步分检工作。

样品的固定与保存:软体动物中的螺、蚌,固定前先在  $60^\circ\text{C}$  热水中将其致死,在蚌壳张口处(螺厣、壳口间)塞入一小木片,然后向内脏团中注射 4% 的甲醛,在 4% 甲醛中固定 24 h,然后移入 75% 乙醇中保存。水生昆虫可先用 4% 的甲醛固定,24 h 后移入 75% 乙醇保存。水栖寡毛类应用 4% 的甲醛固定。

把样本带回实验室分别进行镜检分类,即将大型底栖动物样本做整体或部分结构压片,在显微镜下观察样本形态特征,参照相应专业书籍[5] [6]检索表(图谱)进行物种鉴定、计数。

## 2.3. 数据处理与分析

通常从以下两方面分析生物多样性,一是群落中物种的丰富性,二是群落中物种的异质性[7]。本次调研的生物多样性分析包括 Simpson 指数[8]、Shannon-Wiener 指数[9]、Evenness 指数[10],均采用 Past326b 软件进行数据处理分析。

### 2.3.1. Simpson 多样性指数

Simpson 多样性指数[8] (D)是描述群落内每个物种种群优势度的指数,Simpson 指数值越大,就表示各物种在群落内优势度物种越小,反之亦然。计算公式为:

$$D = 1 / \left( \sum (n_i / N)^2 \right) \quad (1)$$

式中,  $D$  为 Simpson 指数,  $n_i$  为  $i$  种的个体数,  $N$  为所有种的个体总数。

### 2.3.2. Shannon-Wiener 指数

Shannon-Wiener 指数[9] ( $H$ )是最常用的多样性指数。它借用了信息论的不定性测量方法预测群落中下一个采集到的样本属于哪一种, 因此, 群落的多样性越高, 采集的不定性就越大。它综合了群落的丰富性和均匀性两方面的影响, 计算方法如下:

$$H = - \sum_{i=1}^S P_i \log_2 P_i \quad (2)$$

式中,  $P_i$  为样品中  $i$  物种的个体数占总个体数的比例, 如样品总个体数  $N$ , 第  $i$  种的个体数  $n_i$ , 则  $P_i = n_i / N$ 。 $H$  值的大小意味着群落多样性的高低, 其值越大, 多样性越高, 反之物种多样性越低。

香农威纳指数对应评价标准如下:

$H \leq 1$  = 物种组成寡, 多样性范畴;

$1 < H \leq 3$  = 物种组成适中, 多样性范畴;

$H \geq 3$  = 物种组成高, 多样性范畴。

### 2.3.3. Evenness 指数

Evenness 指数[10] ( $E$ )是描述群落中各物种个体分布均度的指数。群落中物种间个体分布越均匀, 意味着生态系统就越稳定, 反之亦然。计算公式:

$$E = H / H_{\max} \quad (3)$$

式中  $E$  为 Evenness 即物种的均度指数,  $H$  为香农威纳指数,  $H_{\max}$  为  $\ln S$ ,  $S$  为物种个体数。Evenness 指数的取值区间为 0~1 之间, 具体评价标准如下:

$0 < E \leq 0.5$  = 生态系统脆弱;

$0.5 < E \leq 0.75$  = 生态系统较稳定;

$0.75 < E \leq 1$  = 生态系统稳定。

## 3. 结果与分析

### 3.1. 大型底栖动物种类组成及优势种

由于三环泡自然保护区是典型的沼泽化低河漫滩地貌, 水深在 3~10 米, 所以物种分布以软体动物和水生昆虫幼虫为主, 详细名录如表 1 所示。本研究共鉴定出大型底栖动物 19 种, 隶属于 2 门, 7 目, 15 科。其中软体动物门 9 种, 占总物种数的 93.1%, 基眼目 5 科, 属优势类群, 其他目分布较平均; 节肢动物门 10 种, 占总物种数的 6.9%, 蜻蜓目 4 科, 所占比重较大, 其他目分布较平均。三环泡国家级自然保护区的大型底栖动物优势种为椭圆萝卜螺(*Radix swinhoei*), 隶属于基眼目, 椎实螺科。

### 3.2. 大型底栖动物密度分布特征

如表 2 所示, 三环泡自然保护区水域大型底栖动物的栖息密度为  $303.5 \pm 239.5 \text{ ind} \cdot \text{m}^{-2}$ , 最高值为  $544 \text{ ind} \cdot \text{m}^{-2}$ , 出现在 4# 采样点, 位于水域面积较开阔、水深较浅、挺水植物丰富的偏湖岸地带; 最低值为  $64 \text{ ind} \cdot \text{m}^{-2}$ , 出现在 8# 采样点, 位于水体较深、无挺水植物分布的湖中央位置。其他各采样点生物密度波动不大。

**Table 1.** The list of benthic macroinvertebrates collected in Sanhuanpao Natural Reserve  
**表 1.** 三环泡自然保护区采集的大型底栖动物名录

目	科	种
基眼目 Basommatophora	椎实螺科 Lymnaeidae	椭圆萝卜螺 <i>Radix swinhoei</i>
		卵萝卜螺 <i>Radix ovata</i>
	扁蜷螺科 Planorbidae	凸旋螺 <i>Gyraulus convexiusculus</i>
		半球多脉扁螺 <i>Polypylis hemisphaerula</i>
	田螺科 Viviparidae	乌苏里圆田螺 <i>Cipangopaludina ussuriensis</i>
	盘螺科 Valvatidae	鱼盘螺 <i>Valvata piscinalis</i>
真瓣鳃目 Eulamellibranchia	觶螺科 Hydrobiidae	赤豆螺 <i>Bithynia fuchsiana</i>
	球蚬科 Sphaeriidae	湖球蚬 <i>Sphaerium lacustre</i>
中腹足目 Mesogastropoda	黑螺科 Melaniidae	放逸短沟蜷 <i>Semisulcospira libertina</i>
	划蝽科 Corixidae	
半翅目 Hemiptera	潜水蝽科 Naucoridae	
	鞘翅目 Coleoptera	水龟虫科 Hydrophilidae
蜻科 Libellulidae		<i>Rhinocypha ogasawarensis</i>
		低斑蜻 <i>Libellula angelina</i>
蜻蜓目 Odonata	丝螳科 Lestidae	<i>Lestes temporalis</i>
	螳螂科 Epiophlebiidae	<i>Epiophlebia sinensis</i>
	蜓科 Aeshnidae	<i>Planaeschna</i> sp.1
蜉蝣目 Ephemera	细蜉科 Caenidae	长刺细蜉 <i>Caenis longispina</i>
		近岸细蜉 <i>Caenis rivulorum</i>

**Table 2.** The density of macroinvertebrates at each sampling sites in Sanhuanpao Natural Reserve  
**表 2.** 三环泡自然保护区各采样点大型底栖动物栖息密度

采样点	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11
密度/ind·m <sup>-2</sup>	352	480	144	544	384	160	191	64	176	240	416
平均值±SD			303.5		±	239.5		ind·m <sup>-2</sup>			

### 3.3. 大型底栖动物生物多样性特征

通过 Past326b 软件对三环泡自然保护区的大型底栖动物的三种生物学指数进行分析, 结果如表 3。结果表明 Simpson 指数为  $0.55 \pm 0.21$ , 意味着每个物种数量相对比较均衡, Shannon-Wiener 生物多样性指数为  $1.11 \pm 0.43$ , 表明物种组成处于寡到适中的水平, Evenness 指数  $0.75 \pm 0.24$ , 表明三环泡自然保护区湿地生态系统大型底栖动物在生境的分布具有不稳定性。由于各采样点大型底栖动物生境不同, 如植被覆盖的程度、底质差异等, 均可造成大型底栖动物分布不均匀[11]。

**Table 3.** Diversity index of macroinvertebrates in Sanhuanpao Natural Reserve (means  $\pm$  SD)**表 3.** 三环泡自然保护区大型底栖动物生物多样性指数(平均值  $\pm$  SD)

生物多样性指数	Simpson(D)	Shannon-Wiener(H)	Evenness (E)
平均值 $\pm$ SD	0.55 $\pm$ 0.21	1.11 $\pm$ 0.43	0.75 $\pm$ 0.24

## 4. 讨论

从上述结果可知,三环泡自然保护区大型底栖动物物种组成较均衡,但物种种类较少,整体生物密度较小,造成大型底栖动物生境具有一定的不稳定性。可能与其生态类型较单一、泡沼底质类型,以及植被组成均有着一定的关系[12]。三环泡自然保护区与挠力河自然保护区、七星河自然保护区相邻,彼此之间水文连通,因此,三环泡自然保护区和七星河自然保护区大型底栖动物优势种都为椭圆萝卜螺,由此可知水文连通区域生物物种组成具有相似性[13]。

Shannon-Wiener 指数(H)是最常用的生物多样性指数,可以表明群落的复杂程度,即 H 越大,生物多样性越丰富,群落的复杂程度越高[14]。三环泡湿地大型底栖动物 Shannon-Wiener 多样性指数(1.11  $\pm$  0.43)表明物种组成处于寡到适中的水平,与同季节挠力河流域自然湿地的大型底栖动物 Shannon-Wiener 指数(0.85  $\pm$  0.11) [11],七星河自然保护区大型底栖动物的 Shannon-Wiener 指数(1.09) [12]比较发现,多样性指数都较低,而三环泡水域的个别样点要高一些;由此可知三环泡自然保护区大型底栖动物生物多样性较相邻保护区更丰富,群落结构更为复杂。水环境的异质性造成了大型底栖动物分布的差异,三环泡保护区与其他两个保护区相比,生境类型主要是静水泡沼,相比流水河流生境更适合大型底栖动物群落栖息和繁衍。环境对大型底栖动物的群落结构和多样性的影响具有复杂性,如理化环境对大型底栖动物生物多样性的影响还有待进一步研究。

## 5. 结论

本次研究发现,三环泡自然保护区大型底栖动物密度为 303.5  $\pm$  239.5 ind·m<sup>-2</sup>,优势物种为椭圆萝卜螺,利用 Simpson 指数、Shannon-Wiener 多样性指数 Evenness 指数对大型底栖动物群落的结构和生物多样性的研究发现,物种组成比较均衡、物种多样性处于寡到适中的水平,并且大型底栖动物在生境的分布具有不稳定性。

## 参考文献

- [1] 卢少俊. 南四湖大型底栖动物的群落结构及演替规律[D]: [硕士学位论文]. 曲阜: 曲阜师范大学, 2012.
- [2] 刘曼红, 马成学, 左彦东, 等. 镜泊湖大型底栖动物群落调查[J]. 水生态学杂志, 2009, 2(4): 1-7.
- [3] 管强, 刘吉平, 武海涛, 吕宪国, 卢明珠, 宋洋. 中国自然湿地螺类生态学研究进展[J]. 生态学报, 2016, 36(9): 2471-2481.
- [4] 安睿, 王凤友, 于洪贤, 马成学. 三环泡湿地浮游动物功能群季节变化及其影响因子[J]. 生态学报, 2017, 37(6): 1851-1860.
- [5] 周长发, 苏翠荣, 归鸿. 中国蜉蝣概述[M]. 北京: 科学出版社, 2015.
- [6] 齐钟彦, 马绣同, 刘月英. 中国动物图谱 - 软体动物(第四册) [M]. 北京: 科学出版社, 1985.
- [7] 蔡晓明, 任久长, 宗志祥. 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): 367-370.
- [8] Nouriani, H. and Ezzati, R. (2020) Application of Simpson Quadrature Rule and Iterative Method for Solving Nonlinear Fuzzy Delay Integral Equations. *Fuzzy Sets and Systems*, **400**, 147-161. <https://doi.org/10.1016/j.fss.2020.01.007>
- [9] Shannon, E. and Weaver, W. (1949) *The Mathematical Theory of Communication* [M]. University of Illinois Press, London, 296.
- [10] Xiong, W., Li, J., Chen, Y.Y., et al. (2016) Determinants of Community Structure of Zooplankton in Heavily Polluted

---

River Ecosystems. *Scientific Report*, **6**, Article No. 22043. <https://doi.org/10.1038/srep22043>

- [11] 刘曼红, 孟瑶, 曹晶晶, 崔兴波, Al Mohammedi Nagam. 挠力河湿地大型底栖动物功能特性[J]. 东北林业大学学报, 2019, 47(1): 76-82.
- [12] 孟瑶. 七星河自然保护区大型底栖动物功能群特征及其时空变化研究[D]: [硕士学位论文]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2019.
- [13] 蔡艳, 陈菲, 刘曼红, 刘茂奇. 秋季红旗泡水库及周边水域底栖动物群落结构研究[J]. 水产学杂志, 2016, 29(2): 39-44.
- [14] 马克平, 刘玉明. 生物生境类型多样性的测度方法,  $I\alpha$  多样性测试方法(下) [J]. 生物多样性, 1994, 2(4):231-239.