

Health Assessment of Wetland Ecosystem in Hulan Estuary Wetlands Based on Benthic Macroinvertebrates Integrity Index

Manhong Liu¹, Jingjing Cao¹, Fangying Chai², Guangyu Liu¹, Hongxian Yu^{1*}

¹College of Wildlife Resources, Northeast Forestry University, Harbin Heilongjiang

²Department of Water Resources of Heilongjiang Province, Harbin Heilongjiang

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

Received: Feb. 18th, 2019; accepted: Mar. 19th, 2019; published: Apr. 12th, 2019

Abstract

Benthic Index of Biotic Integrity (B-IBI) index is one of the commonly used indexes for aquatic ecosystem health evaluation. Macroinvertebrate assemblages were collected from 30 sites (among them, 9 were unimpaired or minimally impaired sites and 21 were impaired sites) in Hulan Estuary wetlands. Through the discriminant power analysis by candidate biological parameters of, sensitivity analysis and Pearson's correlation analysis, as the result, the benthic index of biotic integrity (B-IBI) was composed by six metrics: Total number of taxa, EPT (Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera) taxa, Ephemera%, Clingers%, Gatherers-collectors%, Intolerant taxa% and Biotic Index (BI). The establishment of health assessment 5 lever criteria for aquatic ecosystem uses Ratio Method and Three Points Method. The former: > 3.56, health; 2.67 - 3.59, sub-health; 1.78 - 2.66, good-fair; 0.89 - 1.77, fair; < 0.88 poor; the latter: > health; 20 - 26, sub-health, 13 - 19, good-fair; 7 - 12, fair; < 6 poor. The correlation between two scoring methods and four scoring methods was 0.891. Therefore, the two methods were suitable for water ecosystem health assessment in the Hulan estuary wetland and the surrounding waters. The water ecosystem health was assessed based on the establishment standard above-mentioned in the Hulan estuary wetland and the surrounding waters. The result indicated that there was no difference in the assessment result between Ratio Method and Three Points Method. All references were healthy. Hulan Estuary Wetland was in the condition from good fair to sub-health.

Keywords

Hulan Estuary Wetlands, B-IBI, Benthic Macroinvertebrates, Health Assessment

基于底栖动物生物完整性指数(B-IBI)对呼兰河口湿地生态系统健康评价

刘曼红¹, 曹晶晶¹, 柴方营², 刘光宇¹, 于洪贤^{1*}

作者简介: 刘曼红, 出生于 1973 年 9 月, 吉林长春人, 副教授。主要从事水环境生物学方面的教学和科研工作。

*通讯作者。

文章引用: 刘曼红, 曹晶晶, 柴方营, 刘光宇, 于洪贤. 基于底栖动物生物完整性指数(B-IBI)对呼兰河口湿地生态系统健康评价[J]. 水资源研究, 2019, 8(2): 136-145. DOI: 10.12677/jwrr.2019.82016

¹东北林业大学野生动物资源学院, 黑龙江 哈尔滨

²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2月18日; 录用日期: 2019年3月19日; 发布日期: 2019年4月12日

摘要

底栖动物生物完整性指数(B-IBI)是水生态系统健康评价常用指标之一。根据呼兰河口湿地以及周边水域30个样点(9个参照点和21个受损点), 通过对候选生物参数判别能力分析、敏感性分析、Pearson相关性分析, 决定构成B-IBI值的参数共有6个, 即: 总分类单元数、EPT (E蜉蝣目、F襁翅目、T毛翅目)分类单元数、蜉蝣目%、直接集食者%、耐污类群%和生物指数BI。利用比值法和三分法计算得到B-IBI值, 建立了评价水体健康的5级标准。比值法为: >3.56健康, 2.67~3.59亚健康, 1.78~2.66一般, 0.89~1.77差, <0.88极差; 三分法为: >26健康, 20~26亚健康, 13~19一般, 7~12差, <6极差。利用上述标准对呼兰河口湿地水生态系统的健康状况进行评价, 结果表明, 三分法和比值法得到的结果基本一致。本研究选择的参照点评价结果为健康, 呼兰河口湿地样点处于一般到亚健康的状态。

关键词

呼兰河口湿地, B-IBI, 底栖动物, 健康评价

Copyright © 2019 by author(s) and Wuhan University.

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

如果生态系统是稳定的、可持续性的, 它是活跃的并且随着时间的推移能够维持其自身组织, 对外力胁迫且有抵抗力, 那么, 这样的系统是健康的[1]。Karr (1993)认为由于人类的过度干扰造成了生态系统的退化, 生态系统健康就是生态完整性[2], 并首先在对河流的评价中建立和使用了“生物完整性指标”。目前, 该方法在水生态系统健康评价实践中得到了广泛的应用。湿地生态系统健康是指生态系统内的物质循环和能量流动保持正常状态, 系统对长期或突发的、自然或人为干扰能保持着弹性和稳定性。生态系统的整体功能表现出多样性、复杂性和活力[3]。湿地生态系统健康评价的目的是诊断由自然因素和人类活动引起的湿地系统的破坏或退化程度, 以此发出预警, 为管理者和决策者提供目标依据, 更好地利用、保护和管理好流域湿地[4]。

生物完整性指数(IBM)有较强的操作性和推广性, 又可以称为多度量生物指数, 即运用与目标生物群落的结构和功能有关的, 与周围环境关系密切的, 受干扰后反应敏感的多个生物参数对生态系统进行生物完整性健康评价[5]。这是Karr在1981提出的, 最初是以鱼类为研究对象建立的, 随后逐渐被应用于大型底栖无脊椎动物、藻类和高等维管束植物[6], 而底栖动物完整性指数(B-IBI)也已在全球得到广泛使用。我国学者王备新等先后对秦淮河上游和安徽黄山地区溪流进行B-IBI评价[6][7], 东北地区的辽河、挠力河等流域进行B-IBI评价[8][9]。IBM可以反应化学污染物的生物效应及人类活动对流域或景观的影响, 可以作为水资源调查过程中生物资源调查的工作框架。由于我国南方与北方生物区系差异较大, 在生物完整性评价方面还需要大量的实证性研究工作。为此, 本研究选择松花江流域、呼兰河口湿地及周边水域为研究对象, 结合实际构建适于该区河流的B-IBI评价指标与标准, 为我国东北地区湿地生态系统完整性评价体系的建立提供依据。

2. 研究区概况和研究方法

2.1. 研究区域概况

呼兰河口湿地自然保护区位于黑龙江省哈尔滨市呼兰区南部，地处松嫩平原南部，保护区沿松花江北岸，呈东西带状延伸，呼兰河入江口至大顶山大坝，其地理坐标为 N45°53'44"~46°54'04"，E126°41'00"~127°15'00"。保护区东西长 63.5 km，南北宽 21.3 km，周长 179.5 km，总面积为 19262 hm²。根据《中华人民共和国自然保护区类型与级别划分标准》(GB/T15629-93)，呼兰河口湿地自然保护区属“自然生态系统类”中的“内陆湿地与水域生态系统类型”，是以水生和陆栖生物及其生境共同形成的湿地和水域生态系统为保护对象。该湿地是保存较完整、面积较大的沼泽湿地，生物多样性丰富，但近年由于人为工程建设等，使呼兰河口湿地水域面积增大，致使湿地生态系统的生物群落发生复杂变化，造成底栖动物群落的组成和结构发生改变。

2.2. 样品采集与处理

底栖动物样本于 2011 年春夏秋季三季进行采集。根据研究地环境特点，样品来自于不同小生境，利用重复定量采样相结合的方法；定量采集用索伯网和彼德生采泥器(1/16 m²)；同时对水体理化指标进行测量和测定，如水温(WT)、水深(Depth)、pH、溶解氧(DO)、高锰酸盐指数(COD_{Mn})、氨氮(NH₃-N)、硝酸盐氮(NO₃⁻-N)、电导率(EC)、总氮(TN)、总磷(TP)。

2.3. 参照点和受损点的确定

根据底栖动物栖息特点合理布点，本研究共设置 30 个采样点，根据呼兰河口湿地水主要来源设置 4 个区域。受损点已受各种干扰的样点，松江哈尔滨江段设置 5 个采样断面(S1-S5)；呼兰河口湿地水域(HLEWR)设置 8 个采样断面(S6-S13)；呼兰河下游入松花江处(HLH)设置 8 个采样断面(S14-S21)；阿什河是松花江哈尔滨江段的重要支流，参照点根据 Astin A E [10]的方法，选择在阿什河的上游一帽儿山溪流 9 个采样断面(S14-S21) (表 1)。文中所用统计分析方法均在 SPSS13.0 中完成。

Table 1. Locations of the sampling sites in Hulan Estuary Wetland and surrounding waters

表 1. 呼兰河口湿地及周边水域各采样点地理位置

采样点 Sampling sites	全球定位系统 GPS	采样点 Sampling sites	全球定位系统 GPS	采样点 Sampling sites	全球定位系统 GPS
S1 万家	N45°46'20" E126°30'57"	S11 糖坊厂上	N45°59'46.6" E126°54'44.9"	S21 黄鱼圈下口门	N45°55'33.1" E126°46'35.8"
S2 朱顺屯	N45°45'29.2" E126°32'30.3"	S12 大顶山上游	N45°59'46.6" E126°54'04.9"	S22 老爷岭	N45°24'59.5" E127°39'23.1"
S3 东江桥	N45°48'48" E126°41'33.7"	S13 大顶山	N46°60'30" E126°55'53.3"	S23 尖砬子沟	N45°25'27.3" E127°38'32.1"
S4 阿什河口内	N45°49'29.6" E126°42'53"	S14 呼兰河大桥	N 45°58'15.9" E126°35'27.8"	S24 十号桥	N45°24'9.7" E127°37'58.8"
S5 阿什河口下	N45°54'11.2" E126°45'10.4"	S15 兰河屯	N45°57'04.4" E126°40'03.3"	S25 三号	N45°23'52.1" E127°37'35.5"
S6 呼兰河内	N45°55'31.3" E126°46'30.5"	S16 兰河屯下	N 45°56'53.2" E126°40'19.4"	S26 头号桥	N45°21'0.9" E127°34'13.2"
S7 呼兰河口下	N45°56'41.3" E126°47'30.5"	S17 呼口	N 45°56'22.5" E126°40'37.3"	S27 红明桥	N45°20'52.7" E127°34'14.4"
S8 老坑	N45°57'26.6" E126°48'17.0"	S18 呼口下	N45°56'32.6" E126°41'35.3"	S28 富民屯	N45°19'4.9" E127°34'22.8"
S9 大亮子	N45°58'16.1" E126°49'07.2"	S19 东岗村	N45°56'12.9" E126°42'12.2"	S29 李家粉坊	N45°17'16.5" E127°31'13.7"
S10 大亮子下游	N45°59'06.6" E126°49'57.0"	S20 黄鱼圈	N45°55'31.5" E126°44'10.0"	S30 上牌	N45°16'38.7" E127°30'27.1"

3. 结果与分析

3.1. 候选生物参数的判别能力分析

本研究利用 9 个参照点的资料计算了 20 个生物参数的值, 并对其进行了初步分析(表 2)。其中, 毛翅目%和(甲壳动物+软体动物)%, 分位数值都为 0.04, 其值的可变动范围非常窄, 不易准确区分受干扰程度, 因此不适宜参与构建 B-IBI 指标体系的生物参数。同样, Shannon-Wiener 多样性指数、捕食者%、杂食者%、刮食者%、撕食者%, 过滤收集者%, 同样不予考虑。余下的 12 个生物参数, 将做进一步的分析。

3.2. 敏感性分析

敏感性分析指的是通过分析生物参数来区分参照点和受损点的能力。根据 Barbour *et al.* [11]的评判方法, 根据 IQ 值的评定方法和筛选原则, 摇蚊%和双翅目%的 IQ 小于 2, 不再进入下一步分析。总分类单元数、水生昆虫分类单元数、敏感类群单元数、EPT(E 蜉蝣目, P 襁翅目, T 毛翅目)分类单元数、前 3 位优势分类单元%和生物指数 BI 等共 10 个参数的 IQ 都大于或等于 2, 可以保留用作进一步的分析(图 1)。

3.3. Pearson 相关性分析

一个生物参数能否成为 B-IBI 构成生物参数之一, 一是看在不同景观尺度上, 生物参数对外界干扰是否敏感, 其反应是否可以预测; 二是看这个生物参数反映的信息是否与其它参数高度重复[12]。相关性分析是为了考察参数间的信息重叠程度。若两个参数呈显著线性相关, 表明两个指标所反映的信息大部份重叠, 保留其中一个就可以; 若两个指标显著相关, 但为非线性相关或曲线相关, 说明两个指标的信息只有部分重叠, 两个指标都要保留[11] [13]。对经过敏感性分析余下的 10 个参数进行 Pearson 相关分析, 以检验各参数所反映信息的独立性, 使最后构成 IBI 指标体系的每个参数都至少提供一个新的信息, 而不是重复信息。

采用 Maxted *et al.* [13] (2000)的标准, 以 $|r| > 0.75$ 表示 2 个参数间高度相关, 对高度相关的参数, 取其中一个就可以代表相关参数间所包含的大部份信息。本研究决定构成底栖动物完整性指数 B-IBI 值的有总分类单元数、EPT 分类单元数、蜉蝣目%、直接集食者%、耐污类群%、生物指数 BI 等 6 个参数(表 3)。

Table 2. Distribution of values for 20 metrics within 9 reference sites

表 2. 20 个生物参数在 9 个参照点中的分布

指标类型	平均值	标准差	最小值	最大值	25%分位数	中位数	75%分位数
Category	Average	SD	Min.	Max.	25%ile	Median	75%ile
总分类单元数 ¹	22.4	4.28	13	37	17	20	25
水生昆虫分类单元数 ²	20.2	3.13	10	33	14	19	25
敏感类群单元数 ³	13	4.47	6	18	10	14	17
EPT 分类单元数 ⁴	13	2.28	11	17	11	12	14
Shannon-Wiener 指数 ⁵	2.88	0.91	1.32	4.17	1.91	2.16	3.71
摇蚊% ⁶	0.13	0.16	0.01	0.43	0.03	0.10	0.17
(甲壳动物+软体动物)% ⁷	0.06	0.11	0	0.33	0.02	0.04	0.08
前 3 位优势分类单元% ⁸	0.77	0.20	0.42	1	0.67	0.83	0.91
双翅目% ⁹	0.21	0.27	0.04	0.73	0.09	0.10	0.44
捕食者% ¹⁰	0.21	0.08	0.12	0.26	0.07	0.17	0.25
杂食者% ¹¹	0.11	0.05	0.03	0.21	0.04	0.06	0.10

Continued

直接集食者% ¹²	0.32	0.14	0.12	0.51	0.19	0.38	0.41
过滤收集者% ¹³	0.25	0.27	0.10	0.56	0.20	0.27	0.33
刮食者% ¹⁴	0.06	0.03	0.03	0.10	0.04	0.05	0.08
撕食者% ¹⁵	0.07	0.03	0.05	0.10	0.02	0.04	0.07
蜉蝣目% ¹⁶	0.56	0.09	0.44	0.68	0.48	0.57	0.62
毛翅目% ¹⁷	0.09	0.13	0.01	0.53	0.03	0.04	0.09
敏感类群(耐污值≤3)% ¹⁸	0.63	0.07	0.52	0.72	0.58	0.63	0.69
耐污类群% ¹⁹	0.16	0.09	0.05	0.26	0.08	0.15	0.25
生物指数 BI ²⁰	3.54	0.36	2.90	3.86	3.4	3.74	3.79

注: 1. No. of total taxa, 2. No. of aquatic insects taxa, 3. No. of intolerant taxa, 4. EPT taxa, 5. Shannon-Wiener index, 6. Chironomidae%, 7. (Crustacea+Mollusca)%, 8. 3 dominant taxa%, 9. Dipter%, 10. Predators%, 11. Omnivores%, 12. Gatherers%, 13. Filterers%, 14. Scraper%, 15. Shredder%, 16. Ephemeroptera%, 17. Trichoptera%, 18. Intolerant taxa% (tolerance value ≤ 3), 19. Tolerant taxa%, 20. BI.

Table 3. Pearson correlation matrix of 10 candidate metrics (n = 10)

表 3. 10 个候选生物参数间的 Pearson 相关分析(n = 10)

	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10
M1	1									
M2	0.907*	1								
M3	0.933*	0.844	1							
M4	0.595	0.491	0.519	1						
M5	0.937*	0.882*	0.87	0.819	1					
M6	0.889*	0.829	0.891*	0.838	0.979**	1				
M7	0.617	0.452	0.818	0.075	0.441	0.514	1			
M8	0.919*	0.880*	0.984**	0.39	0.818	0.825	0.82	1		
M9	0.883*	0.827	0.818	0.887*	0.991**	0.982**	0.369	0.749	1	
M10	0.218	-0.103	0.445	0.089	0.118	0.239	0.784	0.364	0.105	1

注: M1 总分类单元数 Total number of taxa, M2 水生昆虫分类单元数 No. of aquatic insects taxa, M3 敏感类群单元数 No. of intolerant taxa, M4 EPT 分类单元数 EPT taxa, M5 前 3 个优势单元% 3 dominant taxa%, M6 直接集食者 Gatherers%, M7 蜉蝣目% Ephemeroptera%, M8 敏感类群% Intolerant taxa%, M9 耐污类群% Tolerant taxa%, M10 生物指数 BI; *P < 0.01 显著线性相关 Significance.

3.4. B-IBI 值的计算

按照三分法[7] [10], 首先计算构成 B-IBI 值的 6 个参数(总分类单元数、EPT 分类单元数、蜉蝣目%、直接集食者%、耐污类群%、生物指数 BI)在参照点的统计分布, 拟定其评价指标的评分标准(表 4)。据此将每个样点的参数的评价实测值分别进行评分, 然后将 6 个参数得分进行累加, 最后得到每个样点的 B-IBI 总分。按照比值法[7] [12], 首先计算生物参数在全部样点中的 95%或 5%分位数的值(表 5)。最后将选出的 6 个参数的分值进行累加, 即得出各样点的 B-IBI 总分值。

3.5. B-IBI 评价结果

由 3 分制法和比值法计算而得的 B-IBI 值在参照点和所有样点中的分布, 利用参照点数据和所有样点数据,

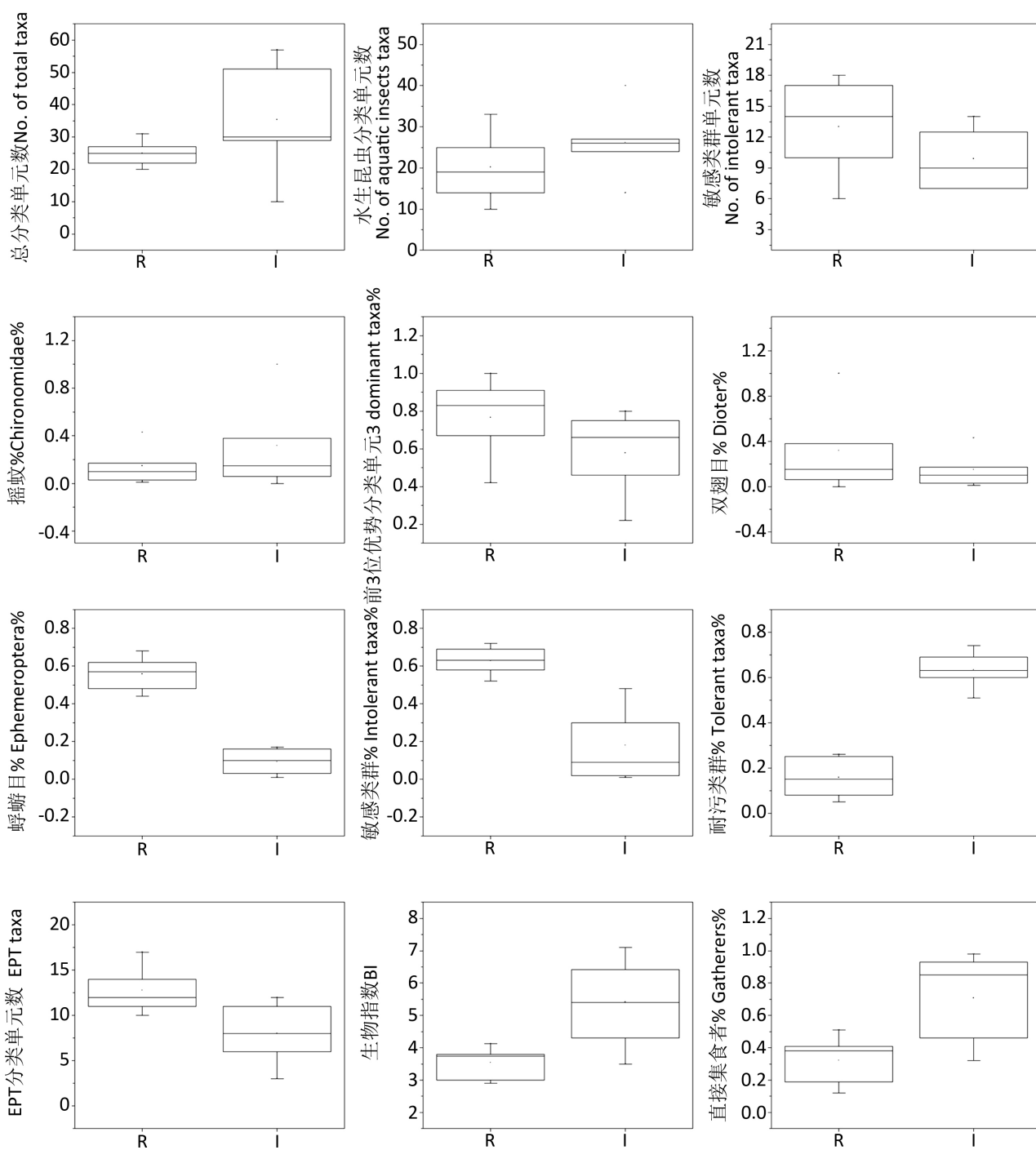


Figure 1. Box-plots of candidate metrics between reference and impaired sites

图 1. 候选生物参数在参照点和受损点的箱线图

采用参照点 B-IBI 值分布的 25%分位数和所有样点 B-IBI 值分布的 95%分位数法，确定 2 种记分方法评价呼兰河口湿地水生态系统健康的标准。采用上述标准，对各样点(参照点和受损点)进行健康评价，结果表明，三分法得到的健康标准为：参照点大于 27 为健康，全部样点大于 26 为健康；比值法得到的健康的标准为：参照点大于 3.64 为健康，全部样点大于 3.56 为健康(表 6)。

Table 4. Descriptive statistics and scores for 6 metrics
表 4. 6 个参数值在参照点中的分布及分值计算标准

生物参数 Metrics	统计分布 Statistics			评分 Scores		
	25%	50%	75%	6	3	0
总分类单元数 No. of total taxa	17	20	25	>17	10~17	<10
EPT 分类单元数 EPT taxa	11	12	14	>11	6~11	<6
蜉蝣目% Ephemeroptera%	0.17	0.48	0.79	>0.16	0.09~0.16	<0.09
直接集食者% Gatherers%	0.19	0.38	0.41	<41	0.42~0.48	>0.48
耐污类群% Tolerant taxa%	0.08	0.15	0.25	<0.25	0.25~0.72	>0.72
生物指数 BI	3.4	3.74	3.79	<3.79	3.80~7.80	>7.80

Table 5. Descriptive statistics of 6 metrics within all sites
表 5. 6 个生物参数值在所有样点中的统计分布

生物参数 Metrics	最小值 Min.	5%分位数 5ile%	中位数 Median	95%分位数 95%ile	最大值 Max.
总分类单元数 No. of total taxa	3	8	26	35	57
EPT 分类单元数 EPT taxa	1	3	8	16	17
蜉蝣目% Ephemeroptera%	0.01	0.25	0.30	0.53	0.68
直接集食者% Gatherers%	0.15	0.20	0.32	0.39	0.45
耐污类群% Tolerant taxa%	0.05	0.23	0.45	0.76	0.94
生物指数 BI	3.8	3.96	4.13	5.52	6.21

Table 6. Criteria of health assessment of B-IBI
表 6. B-IBI 指标体系健康评价标准

	健康 Health	亚健康 Sub-health	一般 Good-fair	差 Fair	极差 Poor
三分法 3 point system	>26	20~26	13~19	7~12	<6
比值法 ratio system	>3.56	2.67~3.59	1.78~2.66	0.89~1.77	<0.88

3.6. 健康评价

利用上述建立的标准来评价呼兰河口湿地及周边水域各样点水体健康状况, 结果表明(表 7), 三分法和比值法得到的结果基本一致。通过线性相关分析, 两种方法得到结果有很好的相关性($r = 0.891$)。在所调查的 30 个样点中, 处于健康状况的样点 9 个, 位于 ASH 水域, 也就是本研究选取的参照点; 6 个样点为亚健康, 评价结果为一般的有 10 个样点, 差的为 4 个, 极差的一个(S4 位于阿什河口内)。呼兰河口湿地样点中, 利用三分法计算的 B-IBI 值, 评价结果为, S6、S7、S10、S11、S12 为一般, S13 评价结果为差, 利用比值法对 S12 和 S13 样点评价结果好于三分法, 即: S12 为亚健康, S13 为一般。

Table 7. Statues of health in sites
表 7. 各样点健康状况

样点 Sites	三分法分值	健康状况	比值法分值	健康状况
Sites	Score for 3 point system	State of health	Score for ratio system	State for health
S1	22	亚健康 Sub-health	2.69	亚健康 Sub-health
S2	19	一般 Good-fair	2.46	一般 Good-fair
S3	11	差 Fair	1.25	差 Fair
S4	5	极差 Poor	0.45	极差 Poor
S5	10	差 Fair	1.75	差 Fair
S6	18	一般 Good-fair	1.79	一般 Good-fair
S7	17	一般 Good-fair	1.2	一般 Good-fair
S8	24	亚健康 Sub-health	2.89	亚健康 Sub-health
S9	25	亚健康 Sub-health	2.86	亚健康 Sub-health
S10	19	一般 Good-fair	2.65	一般 Good-fair
S11	18	一般 Good-fair	2.6	一般 Good-fair
S12	14	一般 Good-fair	2.7	亚健康 Sub-health
S13	12	差 Fair	2.65	一般 Good-fair
S14	11	差 Fair	1.56	差 Fair
S15	15	一般 Good-fair	2.25	一般 Good-fair
S16	17	一般 Good-fair	2.46	一般 Good-fair
S17	17	一般 Good-fair	2.43	一般 Good-fair
S18	19	一般 Good-fair	2.58	一般 Good-fair
S19	22	亚健康 Sub-health	2.68	亚健康 Sub-health
S20	22	亚健康 Sub-health	2.7	亚健康 Sub-health
S21	22	亚健康 Sub-health	2.69	亚健康 Sub-health
S22	28	健康 Health	3.68	健康 Health
S23	29	健康 Health	3.71	健康 Health
S24	29	健康 Health	3.7	健康 Health
S25	30	健康 Health	3.73	健康 Health
S26	29	健康 Health	3.72	健康 Health
S27	27	健康 Health	3.69	健康 Health
S28	27	健康 Health	3.59	健康 Health
S29	28	健康 Health	3.7	健康 Health
S30	28	健康 Health	3.57	健康 Health

注：S22-S30：参照点 Reference sites R；S1-S21：受损点 Impaired sites。

3.7. B-IBI 与水环境因子之间的关系

利用 B-IBI 与水体主要的环境因子进行 Pearson 相关性分析。结果表明，B-IBI 与水温(WT)、溶解氧(DO)、

氨氮(NH₃-N)、硝酸盐氮(NO₃⁻-N)和电导率(EC)显著相关(P < 0.01)。利用三分法得到 B-IBI 与总磷(TP) (春季)之间的相关系数为 0.657, 即显著相关(P < 0.01)。利用比值法得到 B-IBI (秋季)除了水深之外, 与其它环境因子之间显著相关(P < 0.01)。因此, 呼兰河口湿地秋季更适合利用底栖动物 B-IBI 值对水生生态系统进行健康评价。B-IBI 是对底栖动物群落多样性和水体理化指标的综合反映, 当 B-IBI 发生改变后, 通过分析理化指标, 就可以判断引起 B-IBI 发生变化的主要原因, 从而有针对性地采取防治措施, 以便更好地保护和恢复受到损害的水生生态系统。

4. 讨论

利用两种方法计算得到呼兰河口湿地底栖动物完整性指数 B-IBI 值来评价水生生态系统的健康状况。根据三分法计算, 本研究的 30 个样点的 B-IBI 指数值介于 5~30 之间, 根据比值法计算, 全部样点的 B-IBI 指数值介于 1.45~3.73 之间。两种不同的方法得到的评价结果基本一致, 即: 处于健康状况的样点 9 个, 位于 ASH, 也就是本研究选取的参考点; 6 个样点为亚健康, 评价结果为一般的为 10 个样点, 差的为 4 个, 极差的 1 个。

健康的样点位于本研究的 ASH 水体, 这是因为阿什河支流发源于尚志市帽儿山镇的大青山东坡一尖砬子沟, 森林植被覆盖率较高, 主要植被类型为硬阔叶混交林为主的天然次生林和种类繁多的草本植物, 从山上下来的溪水清澈见底、无污染, 一直作为帽儿山镇和周边村屯居民重要用水来源。阿什河自东向西流经尚志、阿城两市交界的西泉眼河附近折向西北, 流经五常、阿城、哈尔滨三市县, 在哈尔滨市东郊注入松花江, 为此中下游为农业生产区, 在流经哈尔滨又受城市生活污水和工业污水的污染较重, 所以源头评价结果为健康, 而汇入江处样点为“一般”的原因。

S6-S13 为呼兰河口湿地自然保护区采样点, 评价结果为亚健康、一般和差。通过分析表明: 呼兰河口湿地自然保护区上游和湿地北部存在大面积的农田, 农田的面源污染通过地表径流汇入呼兰河口湿地, 致使评价结果为亚健康和一般的原因。以上分析也说明呼兰河支流受到的人类的干扰明显小于阿什河支流。S9 (大亮子)位于呼兰河口湿地下游, 研究时发现水体底栖动物生存的基底中泥沙和有机碎屑等沉积物特别多, 在底栖动物组成上以较耐有机污染的摇蚊幼虫和水栖寡毛类为主。S13 大顶山采样断面由于大坝的修建, 采样处厚达约 1 m 的淤泥底质, 并且有机物非常丰富, 此类底质为水栖寡毛类的生存创造了很好的生境, 因为评价结果为差。

5. 结论

1) B-IBI 参数的构建。通过对候选生物参数判别能力的分析、敏感性分析、Pearson 相关性分析, 决定构成 B-IBI 值的参数共有 6 个, 即: 总分类单元数、EPT 分类单元数、蜉蝣目%、直接集食者%、耐污类群%和生物指数 BI。

2) 利用比值法和三分法进行计算得到 B-IBI 值, 建立了评价水体健康的 5 级标准。比值法为: >3.56 健康, 2.67~3.59 亚健康, 1.78~2.66 一般, 0.89~1.77 差, <0.88 极差; 三分法为: >26 健康, 20~26 亚健康, 13~19 一般, 7~12 差, <6 极差。

3) 利用 B-IBI 对呼兰河口湿地进行健康评价。结果表明, 三分法和比值法得到的结果基本一致。所有参照点评价结果为健康, 呼兰河口湿地处于一般到亚健康的状态。

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] BRYAN, G. N., COSTANZA, R., HASKELL, B. D. Ecosystem health: New goals for environmental management. 1st Edition, Island Press, 1992.

- [2] KARR, J. R. Defining and assessment ecological integrity: Beyond water quality. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 1993, 12: 1521-1531. <https://doi.org/10.1002/etc.5620120902>
- [3] 邓培雁, 刘威. 湿地退化的制度成因分析[J]. *生态经济*, 2007(8): 149-151.
DENG Peiyan, LIU Wei. Institution analysis of the wetlands degradation. *Ecology Economy*, 2007(8): 149-151. (in Chinese)
- [4] 崔保山, 杨志峰. 湿地健康生态系统研究进展[J]. *生态学杂志*, 2001, 20(3): 31-36.
CUI Baoshan, YANG Zhifeng. Research review on wetland ecosystem health, 2001, 20(3): 31-36. (in Chinese)
- [5] KARR, J. R. Assessment of biotic integrity using fish communities. *Fisheries*, 1981, 66: 21-27.
- [6] 王备新, 杨莲芳. 用河流生物指数评价秦淮河上游水质的研究[J]. *生态学报*, 2003, 23(10): 2082-2091.
WANG Beixin, YANG Lianfang. Bioassessment of Qinhuai river using a river biological index. *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23(10): 2082-2091. (in Chinese)
- [7] 王备新, 杨莲芳, 胡本进, 等. 应用底栖动物完整性指数 B-IBI 评价溪流健康[J]. *生态学报*, 2005, 25(6): 1481-1490.
WANG Beixin, YANG Lianfang, HU Benjin, et al. A preliminary study on the assessment of stream ecosystem health in south of Anhui Province using Benthic-Index of Biotic Integrity. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(6): 1481-1490. (in Chinese)
- [8] 张远, 徐成斌, 马溪平, 等. 辽河流域河流底栖动物完整性评价指标与标准[J]. *环境科学学报*, 2007, 27(6): 919-927.
ZHANG Yuan, XU Chengbin, MA Xiping, et al. Biotic integrity index and criteria of benthic organism in Liao River Basin. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2007, 27(6): 919-927. (in Chinese)
- [9] 王建华, 田景汉, 吕宪国. 挠力河流域河流的 B-IBI 评价[J]. *生态学报*, 2009, 29(12): 6672-6680.
WANG Jianhua, TIAN Jinghan, LÜ Xianguo. B-IBI assessment of streams in Naoli River Watershed, China. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(12): 6672-6680. (in Chinese)
- [10] 王备新. 大型底栖无脊椎动物水质生物评价研究[D]: [博士学位论文]. 南京: 南京农业大学, 2002: 4-17.
WANG Beixin. Water quality bioassessment using benthic macroinvertebrates. PHD Thesis, Nanjing: Nanjing Agricultural University. (in Chinese)
- [11] BARBOUR, M. T., GERRITSEN, J. Subsampling of benthic samples: A defense of the fixed-count method. *Journal of the North American Benthological Society*, 1996, 15: 386-391. <https://doi.org/10.2307/1467285>
- [12] MAXTED, J. R., BARBOUR, M. T., GERRITSEN, J. Assessment framework for mid-Atlantic coastal plain streams using benthic macroinvertebrates. *Journal of the North American Benthological Society*, 2000, 19(1): 128-144.
<https://doi.org/10.2307/1468286>
- [13] BLOCKSOM, K. A., KURTENBACH, J. P., KLEMM, D. J., et al. Development and evaluation of the lake macroinvertebrate integrity index (LMII) for New Jersey lakes and reservoirs. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2002, 77(3): 311-333.
<https://doi.org/10.1023/A:1016096925401>