

# 挠力河自然保护区退耕后水环境质量监测

王金武<sup>1</sup>, 孔祥武<sup>1</sup>, 王广鑫<sup>1</sup>, 崔兴波<sup>1</sup>, 姜海霞<sup>2</sup>, 安雪<sup>2</sup>, 刘曼红<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>黑龙江挠力河国家级自然保护区管理局, 黑龙江 双鸭山

<sup>2</sup>东北林业大学野生动物与自然保护地学院, 黑龙江 哈尔滨

收稿日期: 2021年8月20日; 录用日期: 2021年9月22日; 发布日期: 2021年9月29日

## 摘要

为研究耕地退耕后对挠力河自然保护区的水环境质量, 分别于2019年7月和10月, 在保护区自然湿地与退耕湿地内共选取12个采样点进行理化监测。利用地表水环境质量监测标准(总氮和总磷)和综合营养状态指数, 对挠力河自然保护区的水质进行评价, 研究表明, 挠力河保护区水质处于III-V类, 自然湿地水体质量高于退耕湿地, 主要污染物为 $\text{NH}_4^+$ 、TN与TP; 保护区自然湿地内水质呈现一定程度的中度营养状态, 退耕湿地水质由于受农田退水的影响, 水质呈现富营养和轻度富营养状态, 因此退耕湿地富营养化程度明显高于自然湿地。

## 关键词

挠力河自然保护区, 水环境因子, 营养状态指数, 水质评价

# Monitoring of Water Environment Quality after Returning Farmland in Naolihe Nature Reserve

Jinwu Wang<sup>1</sup>, Xiangwu Kong<sup>1</sup>, Guangxin Wang<sup>1</sup>, Xingbo Cui<sup>1</sup>, Haixai Jiang<sup>2</sup>, Xue An<sup>2</sup>, Manhong Liu<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Heilongjiang Naolihe National Nature Reserve Administration, Shuangyashan Heilongjiang

<sup>2</sup>College of Wildlife and Protected Areas, Northeast Forestry University, Harbin Heilongjiang

Received: Aug. 20<sup>th</sup>, 2021; accepted: Sep. 22<sup>nd</sup>, 2021; published: Sep. 29<sup>th</sup>, 2021

\*通讯作者。

文章引用: 王金武, 孔祥武, 王广鑫, 崔兴波, 姜海霞, 安雪, 刘曼红. 挠力河自然保护区退耕后水环境质量监测[J]. 环境保护前沿, 2021, 11(5): 877-883. DOI: 10.12677/aep.2021.115105

## Abstract

In order to study the water environment quality of Naolihe Nature Reserve after returning farmland, 12 sampling sites were selected in the natural wetland and returning farmland wetland of the reserve for physical and chemical monitoring in July and October of 2019 respectively. The water quality of Naolihe Nature Reserve was evaluated by using the surface water environmental quality monitoring standard and comprehensive nutritional status index. The results showed that the water quality of Naolihe Nature Reserve was grade III-V level, the water quality of natural wetland was better than that of returning farmland wetland, and the main pollutants were  $\text{NH}_4^+$ , TN and TP; The water quality in the reserve was mesotropher. Due to the impact of farmland return water, the returning farmland wet land is rich in nutrients, so the eutrophication degree of the returned farmland wetland was significantly higher than that of the natural wetland.

## Keywords

Naolihe Nature Reserve, Water Environment Factors, Nutritional Status Index, Water Quality Evaluation

Copyright © 2021 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

挠力河流域的自然湿地受农田排水等人类活动干扰, 地表及地下水水质均呈明显下降趋势, 其水源通过大气降水补给, 地下水丰富度受地形地貌的影响导致水量分布不均匀。这不仅直接造成了巨大的经济损失, 还导致湿地生态功能社会效益锐减, 抵御自然灾害能力减弱[1]。保护区内景观的破碎化程度增加, 其中景观格局特征由简单变为复杂, 这也导致挠力河国家级自然保护区中沼泽地面积减少以及生物多样性下降[2]。

国外于 19 世纪末便已经开始了水质监测工作, 如 1890 年对英国泰晤士河等进行水质监测[3]。近百年来, 科学家们不断研究改善河流污染状况, 增加相应的水质监测指标[4]。我国一直应用理化监测的方法, 按照《水监测分析方法》(第 4 版)(国家环保总局编委会, 2002)相关规定分析测试总磷浓度(TP)、pH、总氮(TN)、氨离子( $\text{NH}_4^+$ )、硝态氮( $\text{NO}_3^-$ )、化学需氧量( $\text{COD}_{\text{Cr}}$ )、五日生化需氧量( $\text{BOD}_5$ )等, 根据测定的结果与《地表水环境质量标准(GB3838-2002)》, 对所选取的理化因子进行单因子评价和相应的评价标准。利用 Chla、TN、TP、透明度(SD)和  $\text{COD}_{\text{Cr}}$  进行的综合营养状态指数(TLI)也在广泛应用到水环境监测中。

为改善水环境质量和湿地生态环境, 2014 年开始退耕还湿地进行生态修复, 需要对水环境质量进行评价, 通过挠力河湿地水体理化因子调查, 尝试利用多种方法对水环境进行监测和评价, 从中判别出最适合该保护区的水环境监测方法和对水环境质量作出评价, 在水资源保护和防治工作中, 水环境监测占据重要地位, 为水环境管理、污染源控制、环境规划等提供科学依据及技术支撑, 因此监测数据的准确与可靠就显得尤为重要[5]。本研究在挠力河自然保护区进行, 对比自然湿地与退耕湿地的水质差异, 为三江平原湿地恢复和保护提供参考[6]。

## 2. 研究地概况与研究方法

### 2.1. 研究地概况

黑龙江挠力河国家级自然保护区地处三江平原腹地，地理位置为 E132°22'29"~134°13'45"，N46°30'22"~47°24'32"，总面积为 160,601 ha<sup>2</sup>，保护区于 2002 年 7 月 3 日经国务院以(国办发[2002] 34 号)文件批准成立。挠力河流经黑龙江的农垦红兴隆、建三江管理局的十一个农场，是三江平原中最大的湿地集中分布区，湿地面积达 105,138.1 ha<sup>2</sup>，主要保护对象为水生和陆栖生物及其与生境共同形成的湿地和水域生态系统。

本研究选取了黑龙江挠力河国家级自然保护区的退耕湿地为实验地点，该退耕湿地面积为 1672 ha<sup>2</sup>，开始退耕 2014 年开始实施还湿，对退耕湿地水质进行检验和分析是非常必要的。流域中下游为平原区，地势低平，地表径流不畅，形成大面积沼泽，该流域相邻的湿地的水体互相连通，水质容易相互影响[7]。

### 2.2. 采样点设置

本研究于 2019 年 7 月和 10 月进行，参考挠力河自然保护区的退耕区域，在具代表性的退耕湿地和自然湿地分别设置 6 个采样点，其中 N1-N6 为自然湿地、R1-R6 为退耕湿地，并记录采样点的环境特征和人为干扰程度，采样点分布见图 1。

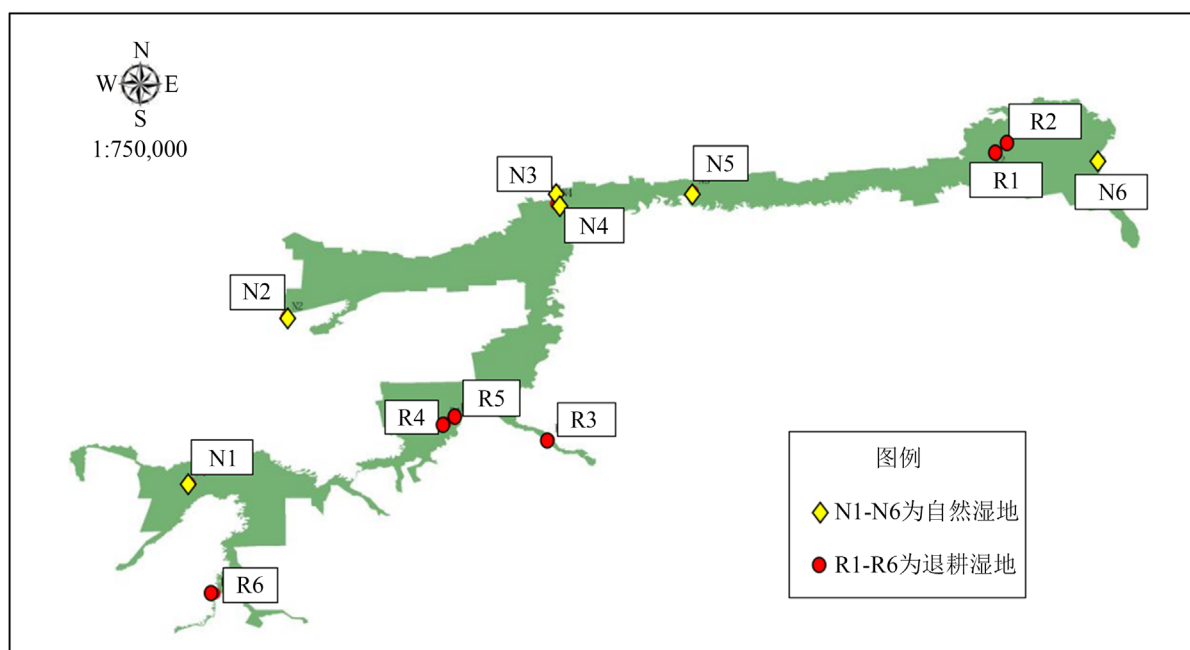


Figure 1. The geographical location of sampling sites

图 1. 采样点的地理位置示意图

### 2.3. 数据处理与分析

本文通过综合营养状态指数[8]对挠力河保护区内水环境富营养化现状进行评价。

$$TLI(\Sigma) = \sum_{j=1}^m W_j * TLI(j)$$

式中： $W_j$ 代表第  $j$  种参数营养状态指数的相关权重， $TLI(j)$ 代表第  $j$  种参数的营养状态指数，以 Chla 为基

准参数,第  $j$  种参数的归一化相关权重计算公式为:

$$W_j = \frac{r_{ij}^2}{\sum_{j=1}^m r_{ij}^2}$$

式中:  $r_{ij}$  表示第  $j$  种参数与基准参数的相关系数;  $m$  表示评价参数的个数。水环境基准参数 Chla 与其它参数之间的相关关系( $r_{ij}$  和  $r_{ij}^2$  为相关系数)见表 1。

**Table 1.** Correlation between some parameters of water environment and Chla  
**表 1.** 水环境部分参数与 Chla 的相关关系

参数	Chla	TP	TN	SD	COD <sub>Cr</sub>
$r_{ij}$	1	0.84	0.82	-0.83	0.83
$r_{ij}^2$	1	0.7056	0.6724	0.6889	0.6889

通过 0~100 中的数字对水体营养状态进行分级: TLI( $\Sigma$ ) < 30 为贫营养状态(Oligotropher), 30 ≤ TLI( $\Sigma$ ) ≤ 50 为中营养状态(Mesotropher), TLI( $\Sigma$ ) > 50 为富营养状态(Eutropher), 50 < TLI( $\Sigma$ ) ≤ 60 为轻度富营养状态(Light eutropher), 60 < TLI( $\Sigma$ ) ≤ 70 为中度富营养状态(Middle eutropher), TLI( $\Sigma$ ) > 70 为重度富营养状态(Hyper eutropher)。当处于同一营养状态时,指数值越高,水体营养程度越重[9]。

### 3. 结果与分析

#### 3.1. 水体理化因子分析

根据挠力河保护区的实际情况,选取了 12 种水体理化因子进行分析。分别是水温(WT)、电导率(EC)、pH 值、Cl<sup>-</sup>、铵根(NH<sub>4</sub><sup>+</sup>)、硝酸盐(NO<sub>3</sub><sup>-</sup>)、浊度(TUR)、叶绿素(Chla)、溶氧(DO)、总氮(TN)、总磷(TP)和化学需氧量(COD<sub>Cr</sub>)。将所得各样点水体理化指标统计综合(表 2)。

在保护区 12 个水质监测的样点发现总氮总磷含量较高,各采样点差异不大,退耕湿地含量高于自然湿地,化学需氧量(COD<sub>Cr</sub>) 在 7 月和 10 月自然湿地都明显低于自然湿地。通过《地表水环境质量标准(GB3838-2002)》,对所选取的理化因子进行单因子评价,利用 TN 和 TP 评价结果表明,挠力河保护区水质大部分处于 III-V 类水;在自然水体 TN 评价结果为 III 类水,而退耕湿地为 V 类水;TP 在自然湿地为 V 类水,而在退耕湿地总体上为劣 V 类水,这可能与退耕湿地曾是农田,使用过大量农药化肥。由于季节原因,7 月与 10 月水温变化明显,各采样点水温差异不大;pH、EC 变化不明显,NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 在自然湿地含量低于退耕湿地;7 月 TUR、Chla 的含量与 10 月差异较大,且从标准差中来看,各采样点的差异较大,可能是由于个别样点受退耕湿地退水的影响,7 月水中悬浊物较多从而导致 TUR、Chla 增大。Cl<sup>-</sup>、NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 含量符合水质标准,但 7 月 Cl<sup>-</sup> 含量高于 10 月,各采样点 Cl<sup>-</sup> 含量差异较大。10 月 DO 明显高于 7 月,水质处于 I 类水。

**Table 2.** Physical and chemical factors of water body in Naolihe Nature Reserve (mean ± standard deviation)  
**表 2.** 挠力河保护区水体理化因子(平均值 ± 标准差)

水体理化因子	Environmental Factors	7 月自然湿地	7 月退耕湿地	10 月自然湿地	10 月退耕湿地
水温	WT (°C)	23.86 ± 2.05	25.95 ± 1.72	7.92 ± 1.38	7.20 ± 0.94
电导率	EC (mS/m)	0.29 ± 0.12	0.18 ± 0.06	0.14 ± 0.09	0.11 ± 0.05
pH	pH	7.12 ± 0.53	7.65 ± 0.43	7.96 ± 0.51	7.93 ± 0.18

## Continued

Cl <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup> (mg/L)	3.40 ± 0.65	5.40 ± 2.05	2.11 ± 0.19	4.92 ± 0.75
铵根	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg/L)	0.69 ± 0.09	1.85 ± 0.84	1.17 ± 0.84	1.73 ± 0.82
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/L)	1.29 ± 0.15	1.97 ± 0.60	2.19 ± 0.52	2.15 ± 0.90
浊度	TUR (NTU)	15.83 ± 21.77	25.15 ± 34.16	1.84 ± 0.67	3.57 ± 0.98
叶绿素	Chla (mg/L)	10.39 ± 2.27	15.52 ± 6.70	11.52 ± 4.43	9.20 ± 2.28
溶氧	DO (mg/L)	6.85 ± 0.34	6.40 ± 0.58	7.70 ± 0.98	10.03 ± 1.75
总氮	TN (mg/L)	0.54 ± 0.01	1.50 ± 0.05	0.73 ± 0.13	1.93 ± 0.64
总磷	TP (mg/L)	0.17 ± 0.09	0.32 ± 0.08	0.14 ± 0.10	0.40 ± 0.15
化学需氧量	CODcr (mg/L)	13.23 ± 2.31	19.78 ± 1.21	12.28 ± 0.78	18.34 ± 2.29

## 3.2. 水体理化因子均值 t 检验分析

将 7 月不同研究样点、10 月不同研究样点以及同一采样点 7 月与 10 月的水体理化因子数据进行均值方程 t 检验分析, 结果见表 3。结果表明, 7 月自然湿地与退耕湿地的 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>、NO<sub>3</sub><sup>-</sup>、TN 和 CODcr 存在显著差异(p < 0.05), 且退耕湿地含量均显著高于自然湿地; 10 月自然湿地与退耕湿地的 TUR、TN、TP 存在显著差异(p < 0.05), 且退耕湿地含量显著高于自然湿地; 综合两个月份采样数据的 t 检验分析表明: WT、EC、Cl<sup>-</sup>、NO<sub>3</sub><sup>-</sup>、TUR、DO、TN 和 CODcr 存在显著差异(p < 0.05)。其中, 7 月水体 WT、EC、Cl<sup>-</sup>、TUR 含量显著高于 10 月, 而 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>、DO 和 TN 显著低于 10 月。

Table 3. Significance test of physical and chemical factors

表 3. 水体理化因子差异显著性检验

不同处理	7 月(退耕湿地和自然湿地)		10 月(退耕湿地和自然湿地)		不同时间(7 月和 10 月)	
	F 值	P 值	F 值	P 值	F 值	P 值
WT (°C)	0.010	0.086	0.107	0.317	6.532	0.000
EC (μS/cm)	1.818	0.062	2.594	0.454	2.127	0.008
pH	0.226	0.124	2.326	0.895	3.890	0.761
Cl <sup>-</sup> (mg/L)	0.002	0.325	3.192	0.107	2.923	0.000
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg/L)	18.132	0.007	0.001	0.269	0.429	0.609
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/L)	4.033	0.023	2.537	0.913	1.617	0.047
Tur (NTU)	2.160	0.586	0.774	0.005	22.874	0.048
Chla (mg/L)	1.845	0.777	4.012	0.281	3.598	0.117
DO (mg/L)	5.231	0.137	2.892	0.135	2.467	0.000
TN (mg/L)	10.015	0.048	6.845	0.006	3.005	0.000
TP (mg/L)	0.089	0.336	1.316	0.050	2.210	0.680
CODcr (mg/L)	1.340	0.003	2.781	0.168	4.349	0.002

## 3.3. 水环境综合营养状态评价

通过综合营养状态指数对挠力河自然保护区水环境营养状态进行分级评价, 结果见表 4。同一营养状态下, TLI(Σ)值越高, 其营养程度越高[9]。根据营养状态评价标准, 7 月挠力河保护区自然湿地均为

中度富营养状态，退耕湿地 R1 采样点为中度富营养状态，其余为轻度富营养状态；10 月自然湿地为中度富营养状态，退耕湿地 R2、R3、R5 采样点为中度富营养状态，其余为轻度富营养状态。

**Table 4.** Assessment of water environment nutrition status in Naolihe Nature Reserve

**表 4.** 挠力河自然保护区水环境营养状态评价表

采样点	7 月	10 月	7 月	10 月
	TLI( $\Sigma$ )		营养状态评价	
N1	46.681	48.454	中度营养	中度营养
N2	45.114	47.532	中度营养	中度营养
N3	45.849	40.981	中度营养	中度营养
N4	47.038	45.691	中度营养	中度营养
N5	49.478	48.672	中度营养	中度营养
N6	44.723	49.032	中度营养	中度营养
R1	63.569	58.624	中度富营养	轻度富营养
R2	58.484	60.276	轻度富营养	中度富营养
R3	58.434	62.628	轻度富营养	中度富营养
R4	54.225	57.284	轻度富营养	轻度富营养
R5	56.381	61.766	轻度富营养	中度富营养
R6	58.907	57.845	轻度富营养	轻度富营养

#### 4. 讨论

挠力河保护区水质监测结果表明：挠力河自然保护区水质类别处于 II-III 类，主要污染物为  $\text{NH}_4^+$ 、TN 与 TP。受季节影响，7 月与 10 月水温(WT)差异明显，而各月份不同采样点水温无明显差异；EC 在 7、10 两月中存在明显差异。电导率大小由溶解在水体中的离子种类、浓度等决定，可以反应水体中富营养化发生程度[10]。7 月水体中离子浓度显著高于 10 月，水体富营养化程度也高于 10 月；pH 值在各月份，各采样点差别不大，水体均呈弱碱性；水体中  $\text{Cl}^-$  主要来源于矿物风化以及人类活动污染。同月份，原湿地与退耕湿地  $\text{Cl}^-$  含量差异不大，而不同月份的含量差异较大，且 7 月含量远大于 10 月。这可能由于夏季降水量增多，保护区周边人类活动所产生的污染物随降水进入水体，从而导致  $\text{Cl}^-$  含量升高。

铵态氮( $\text{NH}_4^+$ )含量显示自然湿地水质级别均高于退耕湿地。 $\text{NH}_4^+$  是有机质污染的标志，退耕湿地含量高于自然湿地；硝态氮( $\text{NO}_3^-$ )各采样点 7 月含量显著低于 10 月； $\text{NO}_3^-$  是氮循环中较稳定的形态，与水体中有机物质和水生生物吸收利用相关。夏季水生生物生长较快， $\text{NO}_3^-$  含量也相对较低。

7 月水体浊度(TUR)显著高于 10 月，且 10 月自然湿地的浊度与退耕湿地存在显著差异，退耕湿地浊度较高；叶绿素(Chla)各区域含量差异不大；7 月各采样点水体溶解氧(DO)较低，而 10 月各采样点水体溶解氧较高。这可能由于夏季水体中耗氧有机物较多，从而导致夏季水体溶氧较低，使 10 月水质显著高于 7 月。

水体总氮(TN)评价 7 月和 10 份水体等级均为 III 类水，且退耕湿地含量显著高于自然湿地，10 月各采样点 TN 含量显著高于 7 月；总磷(TP)评价水体等级较差，均为 III 类水，且退耕湿地含量均高于自然湿地。水体中 N、P 含量均表现出退耕湿地含量高于自然湿地，这可能由于留存于退耕湿地中的农药化肥在经过长时间恢复后，仍未被充分稀释及吸收，在水体中仍有残留。

这与退耕还湿前长期耕作中所使用的农药化肥，依旧残留在土壤中有关。即使耕地重新恢复成为湿

地, 雨水、地表水汇入湿地, 在长期的水淹、浸泡过程中, 滞留在土壤中的 N、P 等有机物物会逐渐转移至水体中, 成为水体的富营养物质。退耕后的湿地难以通过自净作用去除和转化污染物, 其水质受农田退水的影响, 从而导致水体富营养化较为严重。

湖泊水环境营养状态分析表明, 挠力河保护区自然湿地水体呈现中至中度营养化状态。其中, 退耕湿地富营养化程度高于自然湿地, 退耕湿地可能由于受农田退水的影响。水体富营养化是由于 N、P 等营养物质含量过多导致, 可能导致溶解氧的过饱和、水中含有过量硝酸盐和亚硝酸盐[11], 综合分析, 综合营养状态指数的评价结果结合保护区的实际情况, 综合营养状态指数较单个理化因子(TN 或 TP)更适合用于挠力河保护区退耕湿地的水质评价。

## 5. 结论

利用 TN 和 TP 对挠力河保护区水体理化因子进行评价的结果为, 水质处于 III-V 类, 且自然湿地水质好于退耕湿地, 表现为退耕湿地 TN、TP 含量显著高于自然湿地。综合营养状态指数评价结果表明, 保护区自然湿地内水体呈中度营养化状态, 且退耕湿地富营养化程度高于自然湿地。退耕湿地水质由于受农田退水的影响, 水质呈现富营养和轻度富营养状态, 因此退耕湿地水质明显比自然湿地差。

## 参考文献

- [1] 崔兴波, 刘曼红, 马玉堃. 黑龙江挠力河国家级自然保护区退耕还湿工程及效益分析[J]. 黑龙江科学, 2016, 7(19): 153-155.
- [2] 张弘强, 罗春雨, 崔玲, 等. 挠力河国家级自然保护区景观格局特征分析[J]. 国土与自然资源研究, 2017(5): 84-85.
- [3] Sjerps, R.M.A., ter Laak, T.L. and Zwolsman, G.J.J.G. (2017) Projected Impact of Climate Change and Chemical Emissions on the Water Quality of the European Rivers Rhine and Meuse: A Drinking Water Perspective. *Science of the Total Environment*, **601-602**, 1682-1694. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.05.250>
- [4] Griffith, J.F., Weisberg, S.B., Arnold, B.F., et al. (2016) Epidemiologic Evaluation of Multiple Alternate Microbial Water Quality Monitoring Indicators at Three California Beaches. *Water Research*, **94**, 371-381. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2016.02.036>
- [5] 叶洋宏, 梁庆勋. 水环境监测质量控制措施分析[J]. 资源节约与环保, 2021(5): 36-37.
- [6] 王晓东, 褚丽娟, 姜明, 王国栋, 孙嘉鸿. 挠力河流域恢复湿地与天然湿地水质对比分析[J]. 湿地科学, 2018, 16(2): 179-184.
- [7] 姚允龙, 王蕾. 基于 SWAT 的典型沼泽性河流径流演变的气候变化响应研究——以三江平原挠力河为例[J]. 湿地科学, 2008, 6(2): 198-203.
- [8] 王明翠, 刘雪芹, 张建辉. 湖泊富营养化评价方法及分级标准[J]. 中国环境监测, 2002, 18(5): 47-49.
- [9] 中国环境监测总站. 湖泊(水库)富营养化评价方法及分级技术规定[Z]. 北京: 中国环境监测总站, 2001.
- [10] 胡胜华, 高云霓, 张世羊, 周巧红, 徐栋, 吴振斌. 武汉月湖水体营养物质的分布与硅藻的生态指示[J]. 生态环境学报, 2009, 18(3): 856-864.
- [11] 鲁芳, 寸黎辉. 蒋家寨水库富营养化状况评价[J]. 环境科学导刊, 2020, 39(1): 75-77.