

西藏拉鲁湿地水质综合状况时空变化特征及污染源分析

李梁婷, 邵蓓, 卓玛曲西, 姜贞贞, 郑琴, 德珍, 次巴拉松, 邱豪*

(西藏自治区地质矿产勘查开发局中心实验室, 西藏拉萨 850000)

摘要 依据2019年1月(枯水期)、5月(平水期)和7月(丰水期)西藏拉鲁湿地的采样点数据,利用改进后的内梅罗污染指数评价方法,研究不同时期拉鲁湿地水质综合状况时空变化特点,分析大致的污染物来源。结果表明,湿地不同水体环境指标浓度均表现为降低趋势,其 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、TP、COD和TN的平均值处于随时间推移呈现降低的趋势,而水体pH和DO的平均值表现为随时间变化先升高再降低的趋势;湿地在平水期和丰水期的水质情况比枯水期表现更为良好。枯水期,东北部表现为II类水质,其余地区皆为I类水质,其水质综合状况区域分布特点为由东北部向西部逐渐变好;平水期和丰水期,整体水质表现为I类水质。枯水期,TN与 $\text{NH}_3\text{-N}$ 存在极显著正相关($P<0.01$);平水期,TP与 $\text{NH}_3\text{-N}$ 存在显著正相关($P<0.05$),TN与 $\text{NH}_3\text{-N}$ 存在极显著正相关($P<0.01$);丰水期,TN与 $\text{NH}_3\text{-N}$ 存在极显著正相关($P<0.01$)。从枯水期到丰水期,西藏拉鲁湿地水体中DO、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、TP、COD和TN质量浓度分别降低了61.05%、54.55%、50.00%、2.41%和50.00%,并且其水质综合状况由枯水期到丰水期逐渐变好。拉鲁湿地东北部北入口水体质量治理和附近的污染防治是下一步西藏拉鲁湿地水体质量治理和管控的重点。

关键词 水质综合状况;污染等级;内梅罗污染指数;时空变化;污染源;西藏拉鲁湿地

中图分类号 X52 **文献标识码** A

文章编号 0517-6611(2022)12-0067-08

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2022.12.018

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Analysis of Spatial-temporal Variation Characteristics and Pollution Source of Water Quality Comprehensive Conditions in Lulu Wetland, Tibet

LI Liang-ting, SHAO Bei, Zhuomaquxi et al (Central Laboratory of Geology and Mineral Exploration and Development Bureau of Tibet Autonomous Region, Lhasa, Tibet 850000)

Abstract According to the sampling data of Lulu Wetland in January 2019 (dry season), May 2019 (normal season) and July 2019 (wet season), the improved Nemerow pollution index evaluation method was used to study the temporal and spatial variation characteristics of the comprehensive water quality of Lulu wetland in different periods, and to analyze the approximate sources of pollutants. The results showed that the concentrations of environmental indicators in different water bodies of wetland showed a decreasing trend, and the average values of $\text{NH}_3\text{-N}$, TP, COD and TN showed a decreasing trend with time, while the average values of pH and DO in water bodies showed a trend of increasing first and then decreasing with time. The water quality of wetlands in normal and wet periods was better than that in dry periods. During the dry season, the northeast showed Class II water quality, while the rest areas were Class I water quality, and the regional distribution characteristics of its comprehensive water quality were gradually getting better from northeast to west. During the normal season and wet season, the overall water quality was class I. During the dry season, there was a significant positive correlation between TN and $\text{NH}_3\text{-N}$ ($P < 0.01$). During the normal season, there was a significant positive correlation between TP and $\text{NH}_3\text{-N}$ ($P < 0.05$), and there was a very significant positive correlation between TN and $\text{NH}_3\text{-N}$ ($P < 0.01$). During the wet season, there was a significant positive correlation between TN and $\text{NH}_3\text{-N}$ during the wet season ($P < 0.01$). From dry season to wet season, the mass concentrations of DO, $\text{NH}_3\text{-N}$, TP, COD and TN decreased by 61.05%, 54.55%, 50.00%, 2.41% and 50.00%, respectively. Moreover, the comprehensive situation of its water quality gradually improved from dry season to wet season. Water quality control and pollution prevention in the north inlet of northeast Lulu Wetland are the key points of water quality control and control in Lulu Wetland of Tibet in the next step.

Key words Comprehensive conditions of water quality; Pollution level; Nemerow pollution index; Spatio-temporal variation; Pollution source; Lulu Wetland in Tibet

湿地是水陆相互作用形成的独特的生态系统^[1],不但具有丰富的资源,还具有巨大的环境调节功能和生态、社会、经济效益^[2]。近年来,随着经济社会的快速发展和城镇化进程的加快,导致湿地面临着区域生态环境破坏、水体功能弱化、面积不断减少等问题,从而制约了湿地的进一步保护、开发和利用^[3]。因此,许多学者将湿地的水质综合状况分析与评价列为重点研究课题,陈瑞红等^[4]对会仙岩溶湿地水质进行了综合状况监测与分析,王佐霖等^[5]对深圳坝光湿地水资源环境综合状况及其污染程度进行了分析与评价,杨海江等^[6]利用贝叶斯评价法对星海湖湿地水质综合状况进行分析与评价。由此可见,对湿地开展水质综合状况分析与评价也成为水资源环境研究热点。针对湿地地表水常用的评价方法

有单因子评价法^[7]、综合污染指数法^[8]、模糊数学综合评价法^[9]和内梅罗指数法^[10]等。其中成熟的内梅罗指数法是目前国内应用较为广泛的水污染评价方法,该方法是一种统筹了极值或者突出最大值的计权型多因子环境质量指数^[11],但因为该指数法过于注重最大污染因子对水体质量的影响^[12],进而忽视其他污染因子对于水体质量的贡献,而改进后的内梅罗指数法将污染因子的相关权重重新计入,以此来权衡不同水质因子对整体水体质量的影响,同时统筹考虑了不同评价指标相互间的差异性与相对重要性^[13],以此使研究结果更具有客观性。

西藏拉鲁湿地国家级自然保护区是世界上海拔最高、面积最大的城市天然湿地。与拉鲁湿地相关的河流主要有拉萨河、流沙河和堆龙河,相关的渠系主要包括从拉萨河引水的北干渠、中干渠和南干渠^[14]。拉鲁湿地在增加拉萨市空气中氧气含量和相对湿度,调蓄流沙河洪水和湿地区域地下水,维持拉萨市生态平衡等方面发挥巨大作用,同时具有科

作者简介 李梁婷(1994—),女,重庆人,助理工程师,从事水质样品分析与检测研究。*通信作者,工程师,从事水质样品分析与检测研究。

收稿日期 2021-09-15

研教育等功能^[15]。但随着拉萨市高原开放型城镇化发展不断推进,由于拉鲁湿地地处拉萨市城区,人口的增加、农业和生活污水的排放,致使该湿地水环境质量不容乐观,并且路飞等^[16]的研究也表明其面积日渐萎缩,可能对拉鲁湿地的生态环境进一步造成影响。由此许多学者从不同角度对拉鲁湿地开展了水体质量研究,如张文驹等^[17]采用标准指数法对拉鲁湿地水体环境质量情况进行了分析与评价;白永飞等^[18]测定了拉鲁湿地水体环境中不同重金属含量并对其分布和来源进行了分析;巴桑等^[19]采用 Pantle 和 Buck 污生指数法对拉鲁湿地水体环境质量情况进行了综合评价。然而,以往的研究主要关注拉鲁湿地某几种指标的水体环境状况,从时空变化角度对拉鲁湿地不同水体环境指标开展综合评价的研究鲜见报道。笔者对 2019 年 1 月、5 月和 7 月拉鲁湿地水体 pH、溶解氧(DO)、氨氮(NH₃-N)、总磷(TP)、化学需氧量(COD)和总氮(TN)这 6 个指标进行分析,采用改进后的内梅罗指数法对拉鲁湿地水质综合状况进行评价,研究其时空变化趋势,并对污染源进行分析,以为拉鲁湿地管理制定综合保护和防治措施提供科学依据,同时将对西藏地区乃至整个青藏高原的湿地水体环境保护具有良好的示范作用。

1 资料与方法

1.1 研究区概况 西藏拉鲁湿地国家级自然保护区(91°03′41″~91°06′48″E,29°39′25″~29°42′08″N)位于拉萨市区西北角,呈东西带状分布,海拔 3 650 m,年降水主要集中在 6—9 月。湿地北面为高山;东北面与发源于拉萨市西北部山区的夺底和娘热 2 条山沟支流汇合而成的流沙河相接;东面与拉萨市城关区拉鲁乡拉鲁村居民生活区接壤;南面紧邻拉萨市区,以中干渠和当热路为界;西面以北京西路与北

面高山交接处的顺通建材城为终点。同时拉鲁湿地被通往西藏自治区党校的鲁定北路分为东西两片湿地^[18],两片湿地之间通过涵洞相连。拉鲁湿地水源补给主要由中干渠与流沙河提供。中干渠补给水引自献多水电站尾水^[20],引用流量为 55.44 m³/s。流沙河补给水具有典型的山区河流特点,其流量变化存在明显的枯平丰季现象,冬季基本无流量处于枯水期,春末处于平水期,夏季进入汛期,降水较多处于丰水期,由此可见,流沙河是一条典型的季节性河流。综上所述,拉鲁湿地受季节性河流影响,其存在明显的枯水期、平水期和丰水期。

1.2 数据来源及处理 结合拉鲁湿地地形及水流流向特征,于 2019 年 1 月(枯水期)、5 月(平水期)和 7 月(丰水期)在拉鲁湿地北入水口(1 号采样点)、中干渠拉鲁湿地进水口(2 号采样点)、拉鲁湿地观景台区域(3 号采样点)、拉鲁湿地鲁定北路出水口(4 号采样点)、拉鲁湿地西区出水口(5 号采样点)、拉鲁湿地西北门(6 号采样点)和拉鲁湿地鲁定北路西门(7 号采样点)共设置 7 个采样点进行水质采样(图 1)。利用采水器于各采样点采集 5~15 cm 处水质样品 1 L,现场测定 pH,所有采样点都取 3 组平行样,并放置于聚乙烯瓶中带回实验室,用于测定 DO、NH₃-N、TP、COD 和 TN。采用玻璃电极法测定水样 pH;采用碘量法测定 DO;采用纳氏试剂比色法测定 NH₃-N;采用钼酸铵分光光度法测定 TP;采用重铬酸盐法测定 COD;采用碱性过硫酸钾消解紫外分光光度法测定 TN。同时利用 Excel 2007 和 SPSS 24 对 1 月、5 月和 7 月的水质指标进行 Pearson 相关系数分析并用 ArcGIS 10.7 中克里金插值分析法(空间局部插值法)对不同单项水质指标和水质综合状况评价结果进行空间分析。

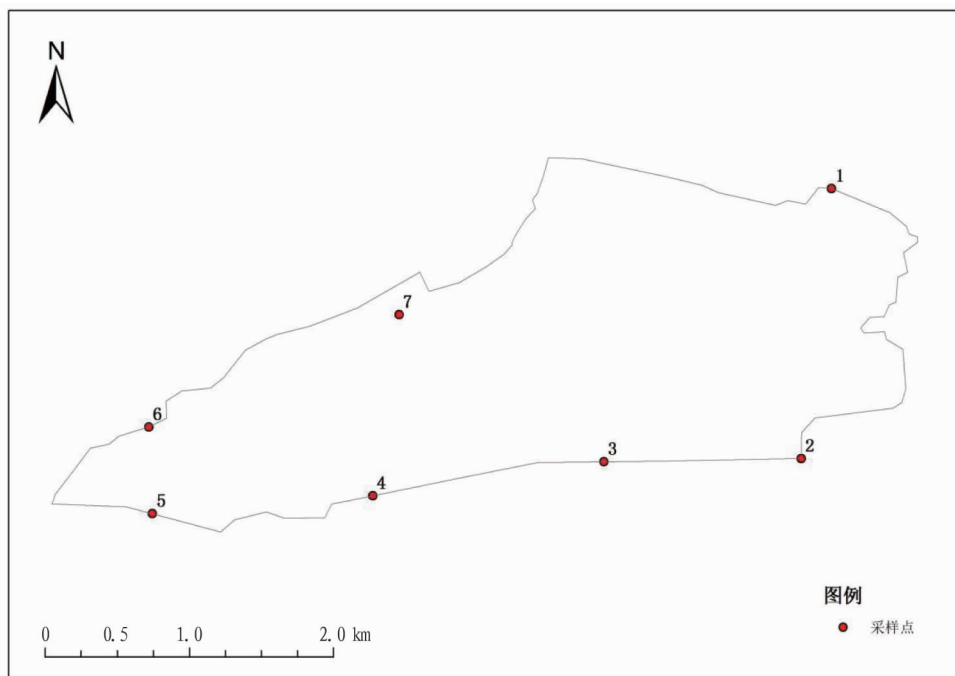


图 1 拉鲁湿地采样点分布

Fig.1 Sampling points distribution in Laru Wetland

1.3 评价方法 改进后的内梅罗指数法是基于传统内梅罗

指数法上统筹考虑最大污染因子、不同因子平均指数与污染

因子权重,使其水质评价结果能够将最大污染因子与权重相对较大的污染因子对于水质的影响更好地反映出来。因此该研究采用改进后的内梅罗污染指数法对拉鲁湿地不同污染因子(DO、NH₃-N、TP、COD 和 TN)的权重进行计算,同时综合考虑不同评价指标之间的差异性。

1.3.1 单项污染指数确定。单项污染指数的计算公式如下^[21]：

$$F_i = \frac{C_i}{S_i}$$

(1)

式(1)中, F_i 表示第*i*项水质指标的单项污染指数; C_i 表示第*i*项水质指标的实测值; S_i 表示第*i*项水质指标的标准值,按照西藏拉鲁湿地整体水域功能定位要求,结合其为国家级自然保护区,此次以《地表水质量标准》(GB 3838—2002)Ⅰ类为计算标准。

1.3.2 污染因子权重计算。按照不同水质标准^[22],计算不同污染因子权重,此次选取Ⅰ类水环境为标准,计算方法如下^[11,21]：

$$W_i = \frac{\frac{S_{\max}}{S_i}}{\sum_{i=1}^n \frac{S_{\max}}{S_i}}$$

(2)

式(2)中, W_i 表示第*i*个污染因子权重; n 表示污染因子个数; S_i 表示第*i*个污染因子计算标准值; $S_{\max}$ 表示*n*个污染因子计算标准值最大值。

1.3.3 改进后的内梅罗污染指数确定。改进后的内梅罗污染指数计算方法如下^[21]：

$$P^* = \sqrt{\frac{\left(\frac{F_{i,\max} + F_w}{2}\right)^2 + (\bar{F}_i)^2}{2}}$$

(3)

式(3)中, P^* 表示第*i*个水质样品改进后的内梅罗污染指数; $F_{i,\max}$ 表示单项污染指数最大值; $\bar{F}_i$ 表示单项污染指数平均值; F_w 表示权重 W_i 最大的污染因子的 F 值。

2 结果与分析

2.1 拉鲁湿地枯水期、平水期和丰水期区域水体监测指标变化特征 从拉鲁湿地枯水期、平水期和丰水期的水体 pH、DO、NH₃-N、TP、COD 和 TN 的变化特征(表 1)可以看出,该湿地从枯水期到丰水期不同监测指标间变化较大,主要表现为 pH 平均值由 8.27 降低至 8.24,DO 平均值由 6.11 mg/L 降低至 2.38 mg/L, NH₃-N 平均值由 0.22 mg/L 降低至 0.10 mg/L,TP 平均值由 0.02 mg/L 降低至 0.01 mg/L, COD 平均值由 4.97 mg/L 降低至 4.85 mg/L, TN 平均值由 0.26 mg/L 降低至 0.13 mg/L。总体而言,在枯水期到丰水期,拉鲁湿地不同水体环境指标浓度均表现为降低趋势,其 NH₃-N、TP、COD 和 TN 的平均值处于随时间推移呈现降低的趋势,其缘由为丰水期湿地整体水位上升,水体本身稀释功能得到增强,故而致使污染物浓度降低,同时由于水生植物本身对水质具有净化能力,在丰水期水生植物处于大量繁殖阶段,通过水生植物除去污染物的作用得到加强,也使丰水期污染物浓度低于枯水期,这与李红海等^[23]的研究结果基本一致;而水体 pH 和 DO 的平均值表现为随时间变化先升高再降低的趋势,其中 DO 降低幅度达到 61.05%,DO 降低幅度较大的原因为丰水期湿地中的水生动植物处于大量繁殖阶段,需要损耗较多氧气,同时由于 7 月和 8 月拉萨市处于主汛期,天气状况不是很好,多为阴雨天,水生植物光合作用较少导致产生氧气不足,致使水体 DO 浓度降低,该研究结果与陈瑞红等^[4]的研究结果类似,即丰水期湿地中水生动植物处于繁殖阶段,需要损耗大量氧气,同时由于夏季阴雨天较多,水生植物光合作用较少,致使水体 DO 浓度降低。

表 1 拉鲁湿地不同时期水体环境指标描述性统计

Table 1 Descriptive statistics of water environmental indicators in different periods of Lahu Wetland

时期 Period	项目 Item	pH	DO mg/L	NH ₃ -N mg/L	TP mg/L	COD mg/L	TN mg/L
枯水期 Dry season	最大值	8.95	8.66	0.43	0.04	11.42	0.49
	最小值	7.82	1.31	0.11	0.01	1.20	0.15
	平均值	8.27	6.11	0.22	0.02	4.97	0.26
平水期 Normal season	最大值	8.74	7.55	0.17	0.04	11.70	0.22
	最小值	7.96	3.30	0.06	0.01	2.65	0.10
	平均值	8.38	6.59	0.10	0.02	4.89	0.14
丰水期 Wet season	最大值	8.51	3.66	0.17	0.02	14.24	0.19
	最小值	8.10	1.50	0.05	0.01	2.48	0.09
	平均值	8.24	2.38	0.10	0.01	4.85	0.13
枯水期—丰水期 Dry season-wet season	变化率//%	-0.36	-61.05	-54.55	-50.00	-2.41	-50.00

根据图 2~7 可以得出,枯水期湿地东北部水体 pH 较大,平水期湿地东北部、南部中段和西部水体 pH 较大,丰水期湿地东南部和北部中段水体 pH 较大。枯水期和平水期湿地除西部 DO 浓度处于较低水平外,其余 DO 浓度处于较高水平;丰水期湿地东北部、北部中段 DO 浓度较高。枯水期湿地东北部和西南部 NH₃-N 浓度较高,平水期湿地东北部

NH₃-N 浓度较高,丰水期湿地西南部 NH₃-N 浓度较高。枯水期湿地西南部 TP 浓度较高,平水期和丰水期湿地东北部 TP 浓度较高。枯水期、平水期和丰水期湿地西部 COD 浓度都处于较高水平。枯水期湿地东北部和西南部 TN 浓度较高,平水期湿地东北部 TN 浓度较高,丰水期湿地西南部 TN 浓度较高。整体而言,枯水期湿地污染主要集中在东北部和

西南部,污染原因可能由于东北部靠近城市居民生活区,该区域为流沙河入口、西南部靠近道路交通十字路口且水位处于较低水平。平水期和丰水期湿地较高浓度污染所占面积较小且分散分布在东部和中部,其缘由为丰水期湿地整体水

位上升,水体本身稀释功能得到增强,故而致使污染物浓度降低,该研究结果与曾凯等^[24]的研究结果类似。从枯水期到丰水期拉鲁湿地不同水体环境指标浓度均表现为降低趋势。

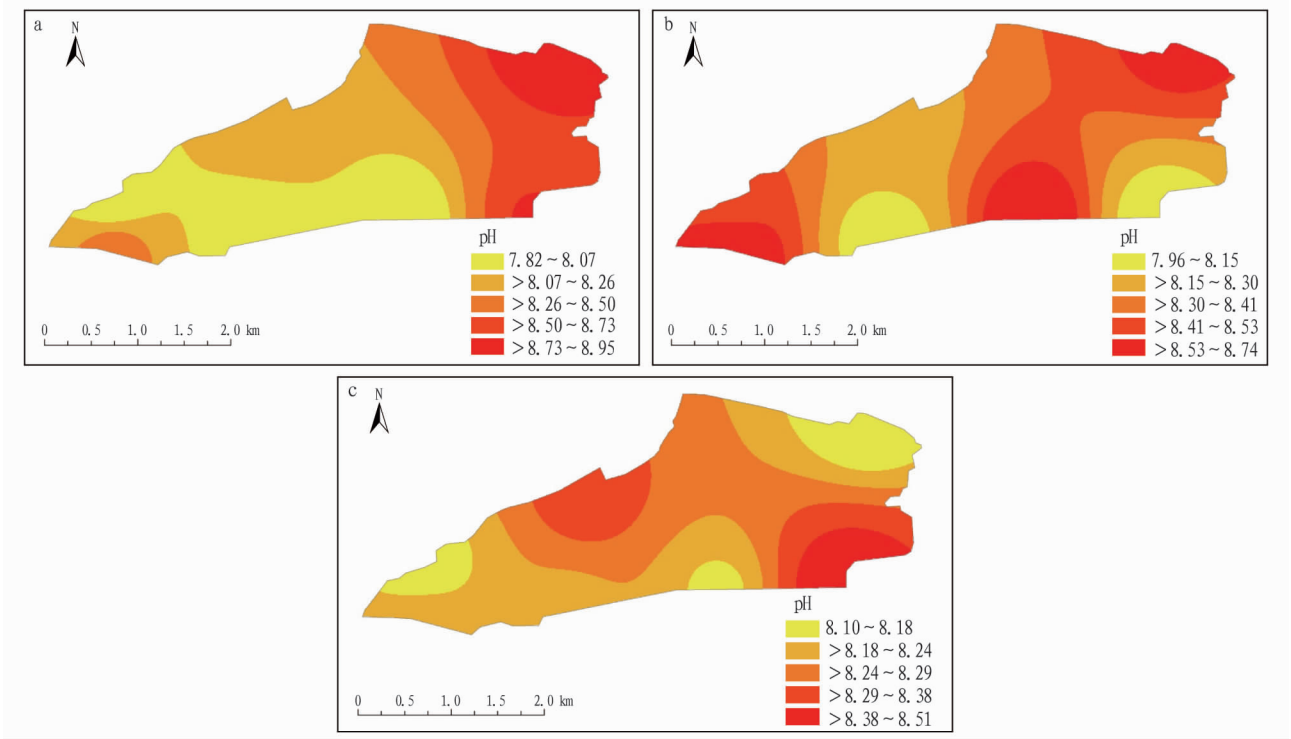


图2 拉鲁湿地枯水期(a)、平水期(b)、丰水期(c) pH 分布特征

Fig.2 Distribution characteristics of pH in Lalü Wetland during dry season(a) ,normal water season(b) and wet season(c)

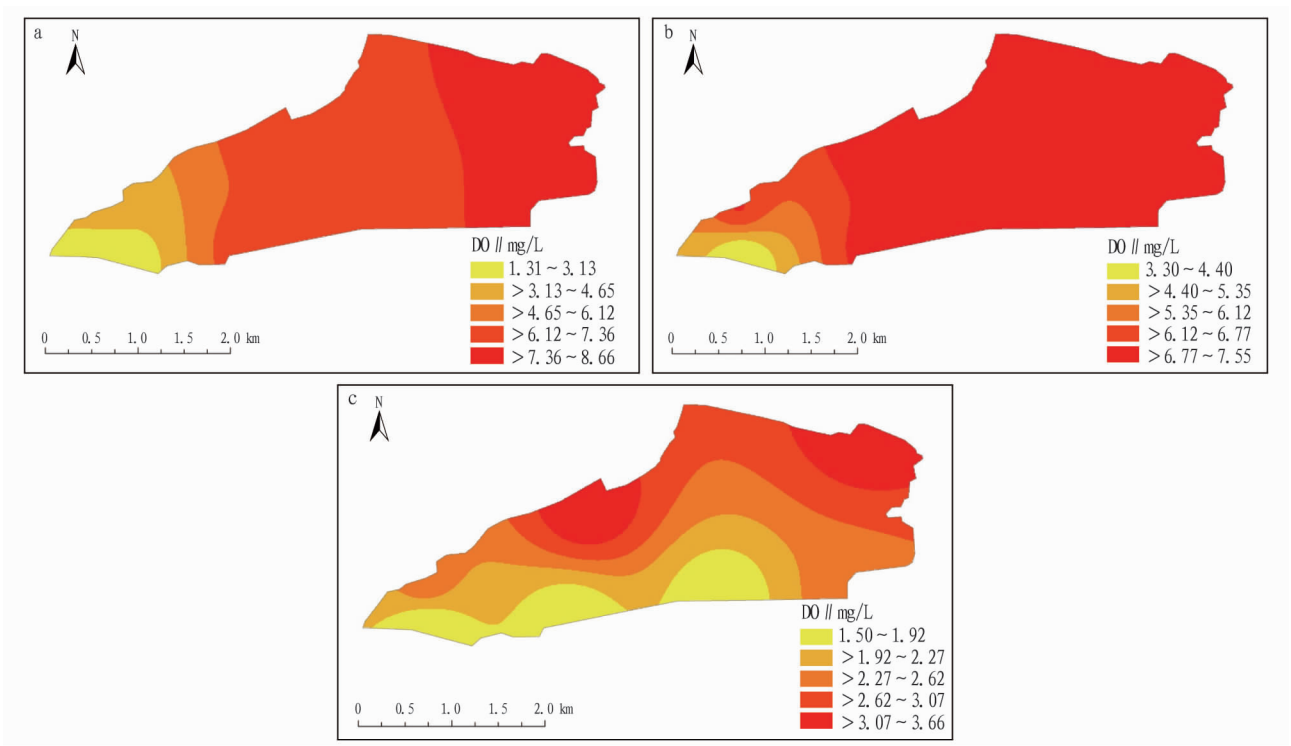


图3 拉鲁湿地枯水期(a)、平水期(b)、丰水期(c) DO 含量分布特征

Fig.3 Distribution characteristics of DO content in Lalü Wetland during dry season(a) ,normal water season(b) ,and wet season(c)

2.2 拉鲁湿地不同时期区域水质综合状况变化特征 西藏 拉鲁湿地水体质量按照Ⅰ类水环境为标准不同污染因子权

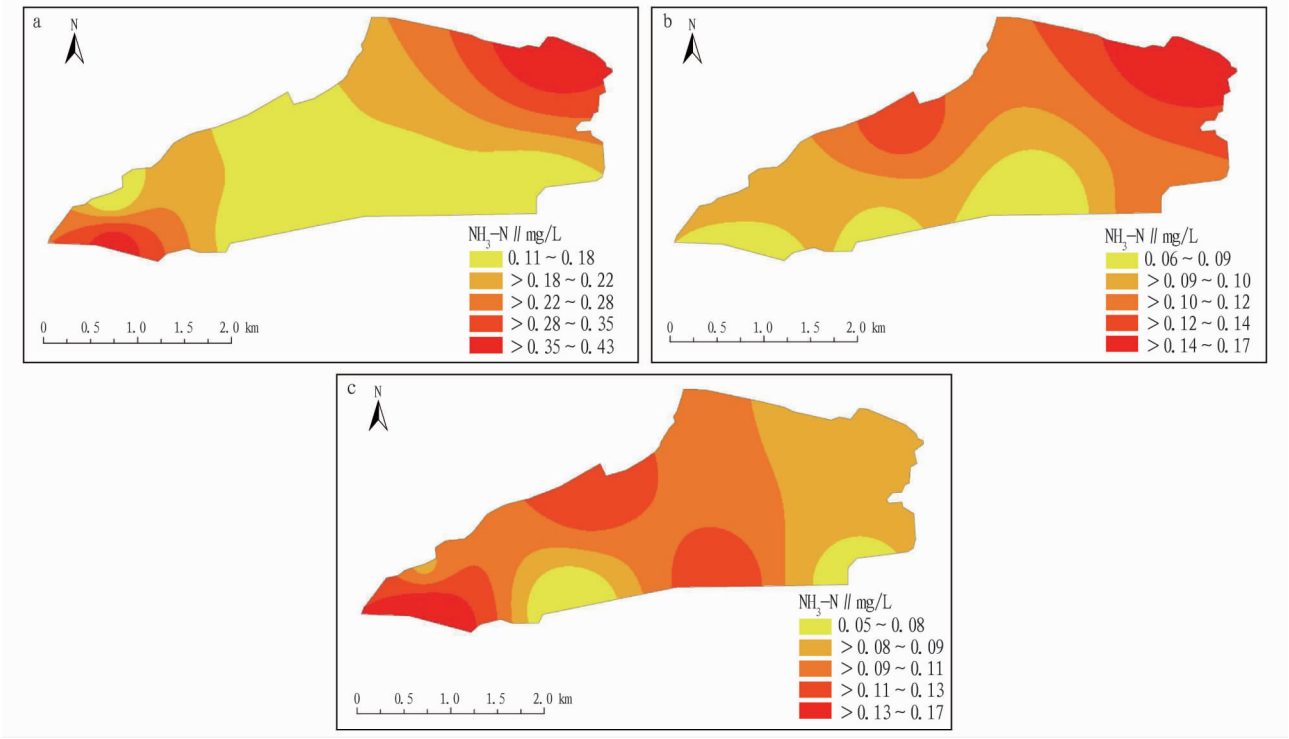


图 4 拉鲁湿地枯水期(a)、平水期(b)、丰水期(c) $\text{NH}_3\text{-N}$ 含量分布特征

Fig.4 Distribution characteristics of $\text{NH}_3\text{-N}$ content in Lahu Wetland during dry season (a) ,normal water season (b) ,and wet season (c)

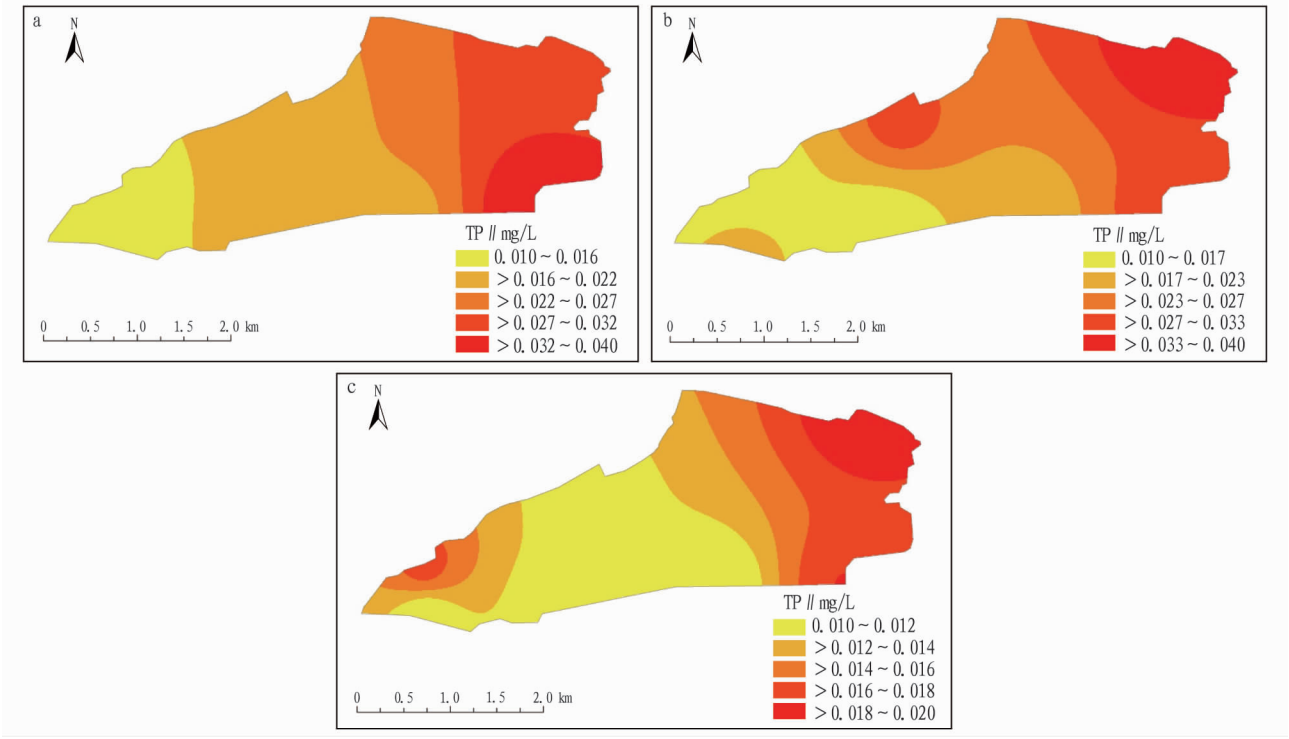


图 5 拉鲁湿地枯水期(a)、平水期(b)、丰水期(c) TP 含量分布特征

Fig.5 Distribution characteristics of TP content in Lahu Wetland during dry season (a) ,normal water season (b) ,and wet season (c)

重见表 2,可以得出污染因子 TP 的权重最高,由此可以判定 TP 污染贡献率最大。

按照改进的内梅罗污染指数法进行计算,参照李苏等^[25]和关云鹏^[26]对各类别污染等级的表达,可以得出西藏拉鲁湿地不同水质类别临界值的划分关系: I 类水质标准,

$P^* \leq 3.961\ 3$; II 类水质标准, $3.961\ 3 < P^* \leq 7.823\ 2$; III 类水质标准, $7.823\ 2 < P^* \leq 11.698\ 7$; IV 类水质标准, $11.698\ 7 < P^* \leq 15.582\ 4$; V 类水质标准, $P^* > 15.582\ 4$ 。

根据改进的内梅罗污染指数法对每个采样点进行评价,结果发现,枯水期,1 号、2 号、3 号、4 号、5 号、6 号、7 号采样

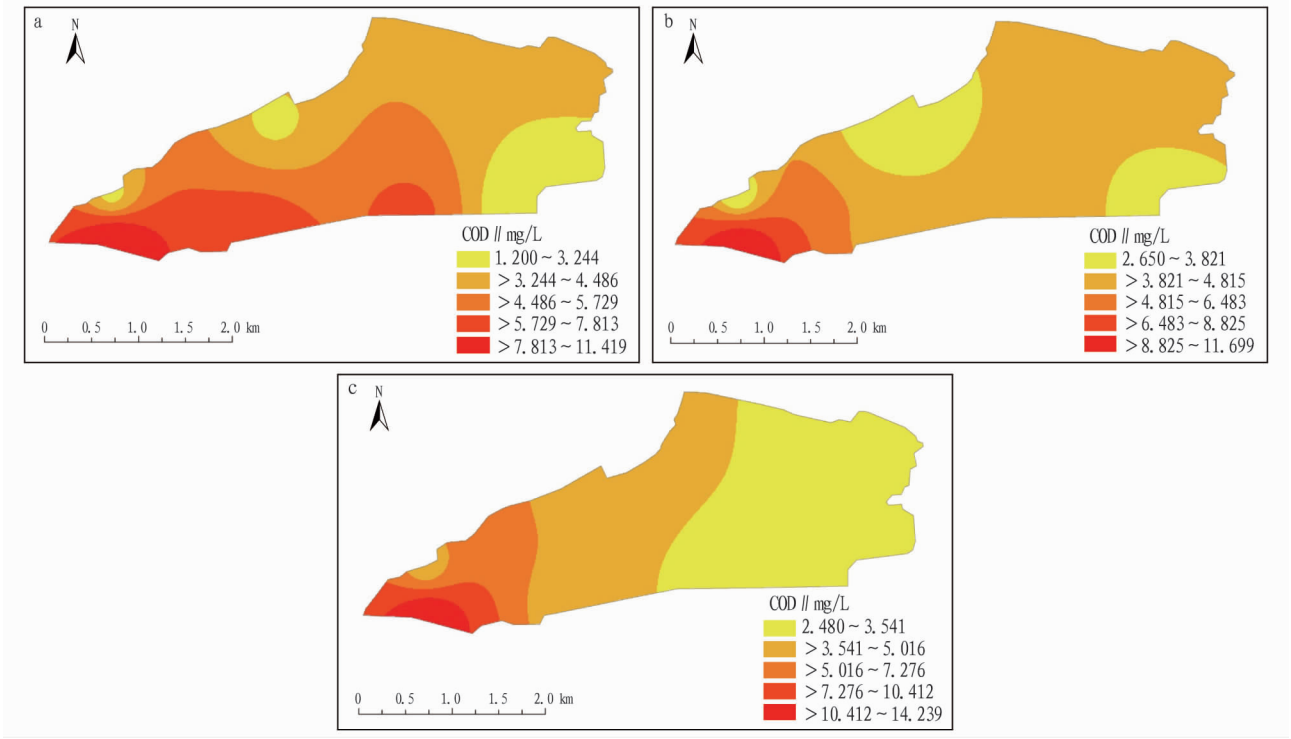


图 6 拉鲁湿地枯水期(a)、平水期(b)、丰水期(c) COD 含量分布特征

Fig.6 Distribution characteristics of COD content in Lalu Wetland during dry season(a),normal water season(b),and wet season(c)

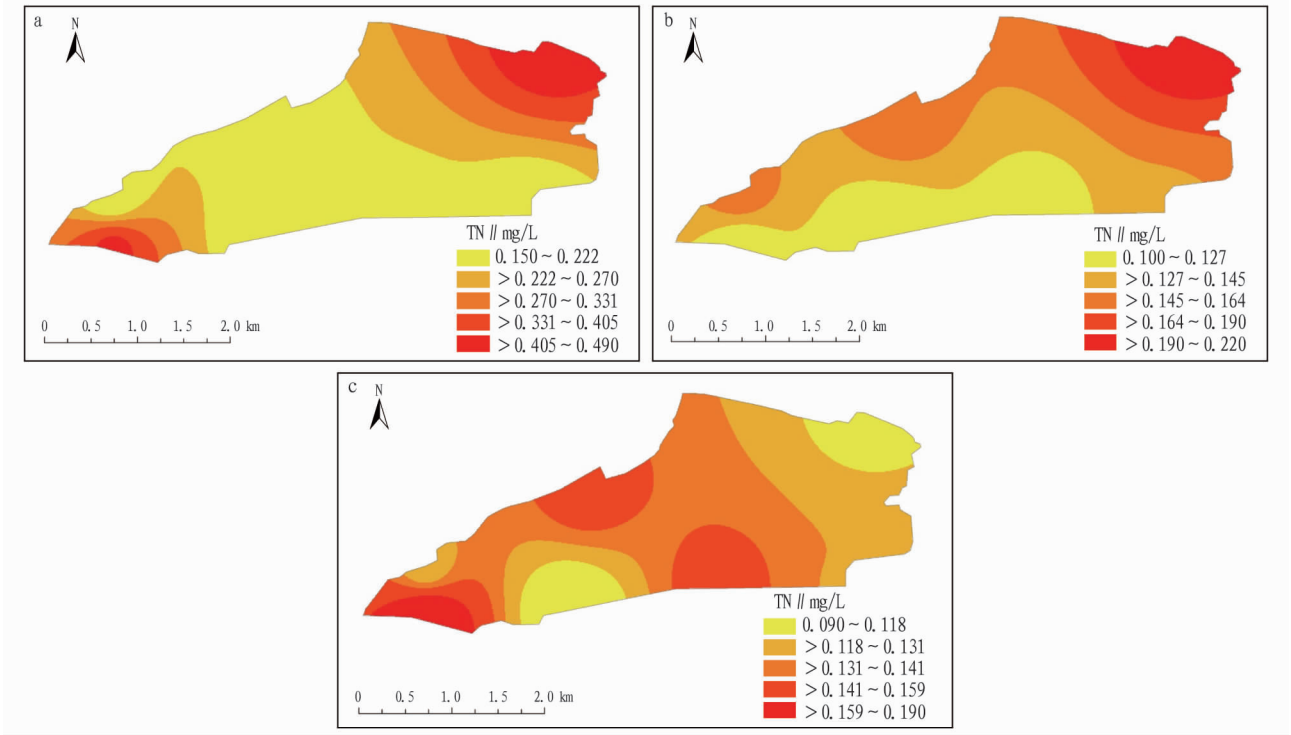


图 7 拉鲁湿地枯水期(a)、平水期(b)、丰水期(c) TN 含量分布特征

Fig.7 Distribution characteristics of TN content in Lalu Wetland during dry season(a),normal water season(b),and wet season(c)

点的 P^* 分别为 3.983、1.563、0.927、0.931、1.431、0.627、0.935；平水期，1 号、2 号、3 号、4 号、5 号、6 号、7 号采样点的 P^* 分别为 1.613、1.211、0.837、0.646、0.843、0.661、1.226；丰水期，1 号、2 号、3 号、4 号、5 号、6 号、7 号采样点的 P^* 分别为 0.805、0.728、0.573、0.431、0.781、0.707、0.629。根据不同水质类别临界值的划

分关系可以得出，枯水期，除 1 号采样点位 II 类水质标准外，其余采样点皆为 I 类水质标准；平水期，所有采样点皆为 I 类水质标准；丰水期，所有采样点皆为 I 类水质标准。

根据图 8 可以得到，枯水期，西藏拉鲁湿地除东北部表现为 II 类水质外，其余地区皆为 I 类水质，可见在枯水期拉

表 2 不同污染因子所占权重
Table 2 Weight of different pollution factors

标准 Standard	TP	NH ₃ -N	DO	COD	TN
I类 Class I	0.808 2	0.107 8	0.002 1	0.001 1	0.080 8
II类 Class II	0.702 6	0.140 5	0.011 7	0.004 7	0.140 5
III类 Class III	0.689 7	0.137 9	0.027 6	0.006 9	0.137 9
IV类 Class IV	0.662 3	0.132 5	0.066 2	0.006 6	0.132 4
V类 Class V	0.621 1	0.124 2	0.124 2	0.006 2	0.124 3

鲁湿地水质综合状况区域分布特点为由东北部向西部逐渐变好;在平水期和丰水期,西藏拉鲁湿地整体水质表现为 I 类水质。由此可见,西藏拉鲁湿地在平水期和丰水期的水质

情况比枯水期更为良好,这进一步表明湿地水体质量的改变趋向与水位紧密相连。王玮^[27]通过开展水生植物对污水中的污染物去除净化能力进行研究,发现水生植物对 N、P 的吸收率皆达到 70% 以上,表明水生植物能有效去除净化污水中的 N、P 和有机物等污染物;萨茹拉^[28]通过对纳水河水生植物群落修复其受损生境研究,结果表明水生植物对湿地水体质量与生态环境具有明显的净化效果。因此,拉鲁湿地在丰水期水生植物处于大量繁殖阶段,通过水生植物除去污染物的作用得到加强,使得丰水期污染物浓度低于枯水期,同时丰水期湿地整体水位上升,水体本身稀释功能得到增强^[29],故而进一步使污染物浓度降低,使其水体质量好于枯水期。

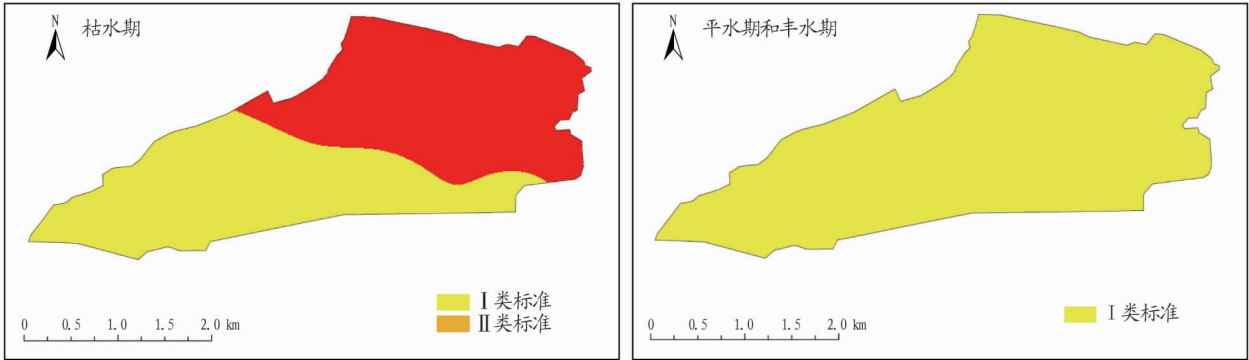


图 8 拉鲁湿地不同时期区域水质综合状况分布特点
Fig.8 Distribution characteristics of regional water quality in different periods of Lahu Wetland

2.3 拉鲁湿地不同时期水体监测指标间相关性分析 利用 Pearson 相关系数^[30]分析各个监测指标之间是否具有同源性是学术研究中经常用到的相关性分析方法,不同监测指标之间相关系数越高则表明其具有相近的污染源或者移动特点。从西藏拉鲁湿地不同时期各个因子之间的相关系数(表 3)可以看出,枯水期,TN 与 NH₃-N 存在极显著正相关($P<0.01$),其余监测指标之间均无明显的相关性,可以推断出在枯水期 TN 和 NH₃-N 这 2 个指标间可能具有相同污染源;平水期,TP 与 NH₃-N 存在显著正相关($P<0.05$),TN 与 NH₃-N 存在极显著正相关($P<0.01$),其余监测指标之间均无明显的相关性,可以推断出在平水期 TP、TN 和 NH₃-N 这 3 个指标之间可能具有相似的污染源或存在相互转移变化的作用;丰水期,TN 与 NH₃-N 存在极显著正相关($P<0.01$),其余监测指标之间均无明显的相关性,可以推断出在丰水期 TN 和 NH₃-N 也许有着相同的污染源或存在相互移动变化的作用。同时从表 3 可以得到,NH₃-N 与 TN 从枯水期到丰水期均存在极显著正相关,表明湿地水体中 TN 主要以 NH₃-N 的形态存在,该结果与文泽伟^[31]的研究结果一致。并且从表 3 也可以得出,西藏拉鲁湿地不同时期各个因子之间的相关性主要随着湿地的整体水位和季节性水量的变化而变化,这与马广文等^[29]的研究结果基本相似。

2.4 拉鲁湿地水质综合状况变化与污染源分析 从枯水期到丰水期,西藏拉鲁湿地水体中 DO、NH₃-N、TP、COD 和 TN 质量浓度分别降低了 61.05%、54.55%、50.00%、2.41% 和 50.00%(表 1),并且其水质综合状况由枯水期到丰水期逐渐

变好。西藏拉鲁湿地东北部(1 号采样点)在枯水期表现为 II 类水质,而在平水期和丰水期则表现为 I 类水质,其原因可能与东北部紧邻城乡居民生活区易产生生活污水,并且由于枯水期拉鲁湿地水位处于较低水平,导致其污染物浓度增加,而在平水期和丰水期水位相比于枯水期处于较高水平,通过水体 DO 的增加和水量稀释作用的增强进而提高水质综合状况。这与吴青梅等^[32]的研究结果一致。因此,拉鲁湿地北入口水体质量治理和附近的污染防治是下一步西藏拉鲁湿地水体质量治理和管控的重点。同时随着拉萨市高原开放型城镇化发展不断推进,由于拉鲁湿地地处拉萨市城区,人口的增加、农业和生活污水的排放,以及高原旅游业加速推进带来的人类活动越来越频繁等原因,也给拉鲁湿地水环境质量带来更大挑战。

3 结论

(1) 西藏拉鲁湿地从枯水期到丰水期不同监测指标间变化较大,主要表现为 pH 平均值由 8.27 降低至 8.24,DO 平均值由 6.11 mg/L 降低至 2.38 mg/L, NH₃-N 平均值由 0.22 mg/L 降低至 0.10 mg/L,TP 平均值由 0.02 mg/L 降低至 0.01 mg/L,COD 平均值由 4.97 mg/L 降低至 4.85 mg/L,TN 平均值由 0.26 mg/L 降低至 0.13 mg/L。总体而言,西藏拉鲁湿地不同水体环境指标浓度均表现为降低趋势,其NH₃-N、TP、COD 和 TN 的平均值处于随时间推移呈现降低的趋势,而水体 pH 和 DO 的平均值表现为随时间变化先升高再降低的趋势。

表 3 西藏拉鲁湿地不同时期各个因子之间的相关系数

Table 3 Correlation coefficient between various factors in different periods of Lahu Wetland in Tibet

时期 Period	因子 Factor	pH	DO	NH ₃ -N	TP	COD	TN
枯水期 Dry season	pH	1					
	DO	0.296	1				
	NH ₃ -N	0.591	-0.247	1			
	TP	0.648	0.825	-0.111	1		
	COD	-0.198	-0.683	0.498	-0.605	1	
	TN	0.622	-0.185	0.995**	-0.042	0.477	1
平水期 Normal season	pH	1					
	DO	-0.506	1				
	NH ₃ -N	-0.092	0.433	1			
	TP	0.125	0.216	0.766*	1		
	COD	0.484	-0.971	-0.393	-0.113	1	
	TN	0.166	0.367	0.942**	0.694	-0.371	1
丰水期 Wet season	pH	1					
	DO	0.099	1				
	NH ₃ -N	-0.083	-0.162	1			
	TP	0.009	0.567	-0.474	1		
	COD	-0.025	-0.355	0.788	-0.442	1	
	TN	0.184	-0.184	0.956**	-0.418	0.744	1

注：* 表示显著相关 ($P<0.05$)，** 表示极显著相关 ($P<0.01$)
Note: * indicates significant correlation ($P<0.05$), ** indicates extremely significant correlation ($P<0.01$)

(2) 枯水期, 西藏拉鲁湿地除东北部表现为Ⅱ类水质外, 其余地区皆为Ⅰ类水质, 其水质综合状况区域分布特点为由东北部向西部逐渐变好。平水期和丰水期, 西藏拉鲁湿地整体水质表现为Ⅰ类水质。由此可见, 西藏拉鲁湿地在平水期和丰水期的水质情况比枯水期表现更为良好。

(3) 枯水期, 西藏拉鲁湿地 TN 与 NH₃-N 存在极显著正相关 ($P<0.01$)。平水期, TP 与 NH₃-N 存在显著正相关 ($P<0.05$), TN 与 NH₃-N 存在极显著正相关 ($P<0.01$)。丰水期, TN 与 NH₃-N 存在极显著正相关 ($P<0.01$)。湿地水体中 TN 主要以 NH₃-N 的形态存在。综合来看, 西藏拉鲁湿地不同时期各个因子之间的相关性主要随着湿地的整体水位和季节性水量的变化而变化。

(4) 从枯水期到丰水期, 西藏拉鲁湿地水体中 DO、NH₃-N、TP、COD 和 TN 质量浓度分别降低了 61.05%、54.55%、50.00%、2.41% 和 50.00%, 并且其水质综合状况由枯水期到丰水期逐渐变好。但是拉鲁湿地东北部北入口水体质量治理和附近的污染防治是下一步西藏拉鲁湿地水体质量治理和管控的重点。

参考文献

[1] 殷书柏, 李冰, 沈方. 湿地定义研究进展[J]. 湿地科学, 2014, 12(4): 504-514.
[2] COSTANZA R, D'ARCE R, DE GROOT R, et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital[J]. Nature, 1997, 387: 253-260.
[3] 张永泽, 王烜. 自然湿地生态恢复研究综述[J]. 生态学报, 2001, 21(2): 309-314.
[4] 陈瑞红, 莫德清, 李金城, 等. 会仙岩溶湿地水质监测及评价[J]. 山东化工, 2018, 47(6): 156-160.
[5] 王佐霖, 马鹏飞, 张卫强, 等. 深圳坝光湿地地表水水环境质量评价[J]. 林业与环境科学, 2019, 35(4): 9-17.
[6] 杨海江, 钟艳霞, 罗玲玲, 等. 基于贝叶斯的星海湖湿地水质评价及特征分析[J]. 节水灌溉, 2018(4): 92-95, 104.

[7] 徐好. 南四湖水质时空分布及评价研究[D]. 济南: 济南大学, 2019.
[8] 杨梅玲, 胡忠军, 刘其根, 等. 利用综合营养状态指数和修正的营养状态指数评价千岛湖水质变化(2007 年—2011 年)[J]. 上海海洋大学学报, 2013, 22(2): 240-245.
[9] 温晓君, 陈辉, 白军红. 基于模糊矩阵的衡水湖水环境质量评价及分析[J]. 水土保持研究, 2016, 23(2): 292-296.
[10] 寇文杰, 林健, 陈忠荣, 等. 内梅罗指数法在水质评价中存在问题及修正[J]. 南水北调与水利科技, 2012, 10(4): 39-41, 47.
[11] 马腾飞, 邱一富. 改进的内梅罗污染指数法在鉴江水质评价中的应用[J]. 广东石油化工学院学报, 2019, 29(3): 91-94.
[12] 韩术鑫, 王利红, 赵长盛. 内梅罗指数法在环境质量评价中的适用性与修正原则[J]. 农业环境科学学报, 2017, 36(10): 2153-2160.
[13] 吴喜军, 董颖, 张亚宁. 改进的内梅罗污染指数法在黄河干流水质评价中的应用[J]. 节水灌溉, 2018(10): 51-53, 58.
[14] 宗浩, 王成善, 黄川友, 等. 西藏拉萨市拉鲁湿地的生态特征与退化机理的探讨[J]. 西南民族大学学报(自然科学版), 2005, 31(1): 72-78.
[15] 李春. 拉鲁湿地生态环境及动植物物种资源变化特征研究[J]. 自然资源学报, 2005, 20(1): 145-151.
[16] 路飞, 许先鹏, 鲜明睿, 等. 拉萨市城市规划区湿地保护现状与对策[J]. 林业调查规划, 2019, 44(1): 143-147, 152.
[17] 张文驹, 张潇潇. 拉鲁湿地水质评价与分析[J]. 安徽农业科学, 2014, 42(5): 1477-1478, 1502.
[18] 白永飞, 黄伟, 罗笑娟, 等. 拉鲁湿地水中主要金属元素分布分析评价[J]. 环境科学与技术, 2016, 39(6): 174-178.
[19] 巴桑, 黄香, 普布, 等. 拉鲁湿地肉鞭虫群落特征及其水环境评价[J]. 湿地科学, 2014, 12(2): 182-191.
[20] 王佳俊, 田瀚鑫, 周磊, 等. 拉鲁湿地水生植物群落多样性与水环境因子的关系[J]. 环境科学, 2020, 41(4): 1657-1665.
[21] 周欢欢, 刘引鸽, 胡浩楠. 宝鸡市东沙河流域水质污染评价[J]. 四川环境, 2019, 38(3): 30-35.
[22] 国家环境保护总局. 地表水环境质量标准: GB 3838—2002[S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2002.
[23] 李红海, 夏梦雨, 冯德金. 襄阳汉江国家湿地公园水质分析及植物分布与水质的关系[J]. 江汉大学学报(自然科学版), 2019, 47(6): 572-576.
[24] 曾凯, 王家生, 章运超, 等. 华阳河湖群水位变化对水质的影响[J]. 长江科学院院报, 2020, 37(8): 49-53, 68.
[25] 李苏, 闫志宏, 徐丹, 等. 改进的内梅罗指数法在水库水质评价中的应用[J]. 科学技术与工程, 2020, 20(31): 13079-13084.

地总量的增加导致耕地总量的减少;土地利用的功能空间格局比较稳定,变化不明显;整体生态环境质量降低,但是空间

格局变化较小。

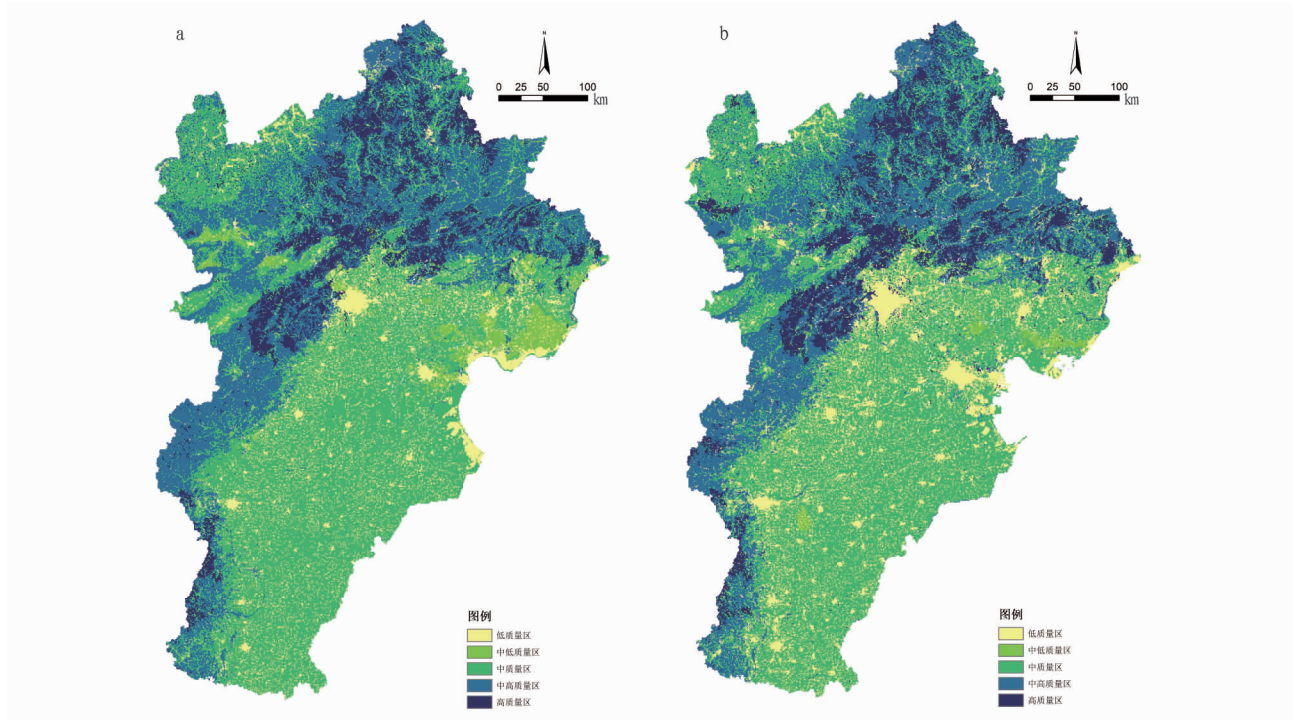


图3 2000年(a)和2018年(b)京津冀地区生态环境质量空间分布

Fig.3 Spatial distribution of ecological environment quality in Beijing-Tianjin-Hebei region in 2000 (a) and 2018 (b)

从时间上看,京津冀地区整体生态环境质量以中质量区为主,各类型生态环境质量区较为稳定;从空间上看,京津冀地区北部山区生态环境质量高,中部和南部平原区域生态环境质量较低。

随着京津冀地区城市的进一步发展,生活用地需求的上升,土地供需矛盾加剧,城市生活功能用地的发展以占用一定面积的生产用地为代价,影响京津冀地区的生态环境质量。

参考文献

- [1] 许凤娇,吕晓.基于土地利用变化的江苏沿海地区生态风险格局[J].生态学报,2018,38(20):7312-7325.
- [2] 安悦,周国华,贺艳华,等.基于“三生”视角的乡村功能分区及调控:以长株潭地区为例[J].地理研究,2018,37(4):695-703.
- [3] 龙花楼.论土地利用转型与土地资源管理[J].地理研究,2015,34(9):1607-1618.
- [4] 龙花楼.论土地利用转型与乡村转型发展[J].地理科学进展,2012,31(2):131-138.
- [5] 吴宜进,赵行双,奚悦,等.基于MODIS的2006—2016年西藏生态质量综合评价及其时空变化[J].地理学报,2019,74(7):1438-1449.
- [6] 韩美,孔祥伦,李云龙,等.黄河三角洲“三生”用地转型的生态环境效应及其空间分异机制[J].地理科学,2021,41(6):1009-1018.
- [7] 唐秀美,刘玉,任艳敏,等.基于需求的京津冀地区生态系统服务价值时

空变化研究[J].北京大学学报(自然科学版),2021,57(1):173-180.

- [8] 赵瑞,刘学敏.京津冀都市圈“三生”空间时空格局演变及其驱动力研究[J].生态经济,2021,37(4):201-208.
- [9] 李智礼,匡文慧,赵丹丹.京津冀城市群人口城镇化与土地利用耦合机理[J].经济地理,2020,40(8):67-75.
- [10] 吕立刚,周生路,周兵兵,等.区域发展过程中土地利用转型及其生态环境响应研究:以江苏省为例[J].地理科学,2013,33(12):1442-1449.
- [11] 张红旗,许尔琪,朱会义.中国“三生用地”分类及其空间格局[J].资源科学,2015,37(7):1332-1338.
- [12] 崔佳,臧淑英.哈大齐工业走廊土地利用变化的生态环境效应[J].地理研究,2013,32(5):848-856.
- [13] 程梦林.基于“三生”的山区土地利用转型及其生态环境效应研究:以河北省阜平县为例[D].石家庄:河北经贸大学,2020.
- [14] 杨清可,段学军,王磊,等.基于“三生空间”的土地利用转型与生态环境效应:以长江三角洲核心区为例[J].地理科学,2018,38(1):97-106.
- [15] 李晓文,方创琳,黄金川,等.西北干旱区城市土地利用变化及其区域生态环境效应:以甘肃河西地区为例[J].第四纪研究,2003,23(3):280-290.
- [16] 罗刚,廖和平,李强,等.基于“三生空间”的土地利用主导功能转型及其生态环境响应:以重庆市巴南区为例[J].西南大学学报(自然科学版),2018,40(4):105-113.
- [17] 王国梁,周生路,赵其国.土壤颗粒的体积分形维数及其在土地利用中的应用[J].土壤学报,2005,42(4):545-550.
- [18] 路昌,张傲.东北地区土地利用转型及其生态环境效应[J].中国农业大学学报,2020,25(4):123-133.

(上接第74页)

- [26] 关云鹏.利用内梅罗指数法模型评价地下水水质的探讨[J].山西水利科技,2012(1):81-84.
- [27] 王伟.水生和陆生物对污水中污染物的净化功能及其机理[D].南宁:广西大学,2019.
- [28] 萨茹拉.妫水河受损生境特征分析与水生植物群落修复生境研究[D].郑州:华北水利水电大学,2019.

- [29] 马广文,王业耀,香宝,等.阿什河丰水期氮污染特征及其来源分析[J].环境科学与技术,2014,37(11):116-120,155.
- [30] 王磊,汪文东,刘懂,等.象山港流域入湾河流水体中重金属风险评价及其来源解析[J].环境科学,2020,41(7):3194-3203.
- [31] 文泽伟.典型黑臭风水塘水体pH值对底泥中氨氮、总磷释放影响的研究[J].广东化工,2019,46(6):158-159.
- [32] 吴青梅,罗慧东,孙国萍,等.典型感潮内河涌水质污染特征调查研究[J].环境科学学报,2011,31(10):2210-2216.