

拉萨河流域高寒湿地水质影响因子分析

周晨霓, 潘 刚, 任德智

(西藏大学农牧学院高原生态研究所, 西藏 林芝 860000)

摘要: 西藏高寒湿地在生态平衡、生态建设和经济社会发展中发挥着重要作用。本文以西藏拉萨河流域内各个典型高寒湿地为研究对象,通过系统聚类法和综合污染指数法,对流域内各项水质指标进行综合分析和评价。结果表明:各个湿地的总 N、Cu 元素含量都超出了 I 类水质标准;总 P、Zn 没有超标;Mn 元素含量除了塘嘎郭湿地超标 3 倍外,其他均小于国家标准;Fe 元素含量除了塘嘎郭湿地超标 7 倍外,其他均小于标准。总 N、总 P、pH 值、Cu、Fe 等因子对拉萨河流域内各个高寒湿地水质污染贡献最大。拉萨河水体有机污染较重,其余各个湿地有水体富营养化的趋势,同时流域内湿地独特的自然因素造成该流域内重金属污染偏高。对策建议包括应加大对城市污水的治理,加强流域内及周边矿藏资源的开发管理等。

关键词: 拉萨河;高寒湿地;水质因子;评价

中图分类号:X824

文献标志码:A

文章编号:2095-6819(2014)05-0411-06

doi: 10.13254/j.jare.2014.0161

Analysis of Water Quality Pollution of Alpine Wetlands in the Lhasa River Basin, China

ZHOU Chen-ni, PAN Gang, REN De-zhi

(Research Institute of Plateau Ecology, Tibet Agriculture and Animal Husbandry College, Linzhi 860000, China)

Abstract: Tibet alpine wetlands play an important role in ecological balance, ecological construction and social development. In this study, combining methods of system analysis and comprehensive pollution index were used to analyze and evaluate the water quality of alpine wetlands in Lhasa River basin. The results indicated that, the content of total nitrogen and Cu of every wetland exceeded the water quality standard level I, and the content of total phosphorus and Zn did not exceed. The content of Mn did not exceed the standard level I except Tang Ga-guo wetland, and the content of Fe did not exceed the standard level I except Tang Ga-guo wetland. Total nitrogen, total phosphorus, pH, Cu and Fe were major factors affecting the water quality. Organic pollution was serious in Lhasa River, the tendency of eutrophication occurred on the other alpine wetlands. At the same time, as for the unique natural factors of the basin, the heavy metal pollution was serious in the alpine wetlands. Some measures for example to increase the intensity of governance of city sewage, and the governance of mineral resources in and near Lhasa River basin were put forward.

Keywords: Lhasa river; alpine wetlands; water factors; evaluation

拉萨河是雅鲁藏布江的主要支流,流经西藏自治区首府拉萨市,是拉萨河流域主要的生活饮用、农业灌溉、工业用水、生态用水水源^[1-2]。拉萨河流域特殊的地理位置和环境造就了流域各高寒湿地在西藏生态平衡、生态建设和经济社会建设发展中的作用显得更加举足轻重。保护西藏碧水蓝天、构建青藏高原国家生态安全屏障和对拉萨河流域环境保护的重视使得对拉萨河流域水体水质进行监测和保护势在必行,对

从源头上控制该流域内水质质量具有意义。近年来,对拉萨河流域高寒湿地的研究主要集中在水质净化功能研究^[3],水体铅、锌含量的初步研究^[4-5],湿地鱼类现状与保护^[6]以及湿地大型土壤动物的研究等方面^[7],而对该流域内各高寒湿地水质的全面调查监测和评价却罕见报道。

水质分析中常涉及多个指标和多个监测点,如何客观综合地评价水质质量至关重要。目前常用的评价方法有综合污染指数法、简单指数法、主成分分析法和聚类分析法^[8]。而影响水环境质量的因素往往很多,采用单因子评价很难取得满意的结果,必须同时考虑多方面的因素^[9]。水环境质量评价问题就是一个多维的复杂系统,采用单一的评价方式往往得出的结果与

收稿日期:2014-06-19

基金项目:国家科技支撑计划项目(2007BAC06B03);西藏大学农牧学院定位站开放课题(XZA-211-0713-D)

作者简介:周晨霓(1984—),女,讲师,主要从事西藏高原生态研究工作。E-mail: 106732825@qq.com

客观环境不等,评价时常会存在一定的片面性。本研究选择拉萨河流域内察巴朗湿地、雅让湿地、塘嘎郭湿地和江夏湿地为研究对象,对各高寒湿地水质进行多指标全方位监测,并将系统聚类分析与综合污染指数法相结合,应用于该流域湿地水质分析与评价,以期对拉萨河流域高寒湿地水环境治理、指导区域发展和决策提供依据。

1 材料与方法

1.1 拉萨河流域概况

拉萨河发源于念青唐古拉山脉南麓的澎错东南约 15 km 的澎错孔玛朵山峰下,峰顶海拔 5 571 m。拉萨河流域介于北纬 29°20′~31°15′和东经 90°05′~93°20′之间,流域东西长约 300 km,南北宽近 200 km,流域面积 32 588 km²,约占雅鲁藏布江流域面积的 13.6%^[10-11]。拉萨河流域从源头澎错孔玛沟开始流经嘉黎县、那曲县、当雄县、墨竹工卡县、林周县、达孜县、拉萨市城关区、堆龙德庆县和曲水县,最后在曲水县汇入雅鲁藏布江;流域人口大约有 60 万;流域内矿产资源丰富,主要有铅、锌、水晶、铜、盐、砂硼、煤、锑、金、银、石灰石、铁等矿产资源;野生动植物资源丰富,主要有黑颈鹤、鹿、獐子、藏雪鸡、黄羊、虫草、贝母、红景天、人参果等;流域农作物主要有青稞、小麦、豆类、油菜;流域内主要饲养牦牛、黄牛、犏牛、绵羊、山羊、马、驴、猪、家禽等;流域工业主要以小型粮油加工、发电业、建筑业、采矿业为主,民族手工业发达^[12]。

本研究选择了以拉萨为中心的拉萨河流域上段的林周县和下段曲水县境内的高寒湿地为研究对象。两县均属高原温带半干旱季风气候。林周县平均海拔 3 860 m,地势平坦,谷地开阔,气候温和,水量充沛,年平均气温 5.8 ℃,为半农半牧区,是拉萨市的主要粮食生产基地。曲水县年平均气温 7.18 ℃,最高气温 29.4 ℃,年平均降水量 441.9 mm,雨季主要集中在夏秋两季,全年无霜期平均 231 d,日温差较大,日照时间长,辐射强,年日照时数近 3 000 h。

1.2 采样方法及分析指标

本次试验中所涉及的湿地,都分别以拉萨河为主干而分布于其上游和下游。江夏湿地和雅让湿地位于拉萨河的上游,察巴朗湿地和塘嘎郭湿地则位于拉萨河的下游。按《湿地生态系统观测方法》、《水样采样方案设计技术规定》(GB 12997—1991)及《水质监测规范》中的规定进行^[13-14],于 2010 年 7 月对拉萨河及其流域 4 处典型湿地的 17 个点进行水样采集,每个点取

样 4×500 mL,具体取样点如下:(1)察巴朗湿地取样点:进水口(水渠),养鱼塘,养鱼塘对面,出水口;(2)雅让湿地取样点:进水口(闸口处),坏水闸口下 30 m,坏水闸口下 30 m 对面,出水口(水渠);(3)江夏湿地取样点:进水口(水渠),塘颈处,直道水沟处,出水口(水渠);(4)塘嘎郭湿地取样点:进水口(水渠),塘水(静止),中间水渠流动水,大水塘水,出水口。

监测指标有:pH 值、总 N、总磷、锌、锰、铜、铁、Cl⁻、SO₄²⁻、总硬度、COD。水样测定方法:氨氮、硝态氮采用半微量开氏法(GB 11891—1989);总磷采用酸溶-钼锑抗比色法(GB 11893—1989);铜、锌、锰、铁、总硬度采用火焰原子吸收法(GB/T 7475—1987、GB/T 11911—1989);Cl⁻采用氯离子选择电极法;SO₄²⁻采用硫酸钡比浊法;COD 采用重铬酸钾法测定。

1.3 评价指标与方法

研究以拉萨河流域 4 个高寒湿地水质调查的 11 项参数作为水环境质量评价因子,以《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)为主要评价标准,将察巴朗湿地、雅让湿地、塘嘎郭湿地、江夏湿地及拉萨河各监测断面的水质指标监测数据进行系统聚类及污染指数评价。

1.3.1 数据标准化

由于观测数据量纲不同,且数据大小相差大,需要对原始数据按公式(1)进行标准化处理。

$$X_i = C_i / S_i \quad (1)$$

式中: X_i 为某污染物的污染指数; C_i 为某污染物的实测浓度; S_i 为某污染物地面水环境质量的 I 级标准值。

1.3.2 聚类分析方法

为了客观地将污染状况相近的指标归为一类,研究以水质指标为样本、监测断面为变量进行聚类。对经过标准化的数据 X 矩阵,选择了具有较强分辨能力的卡方距离计算,见式(2)。

$$d_{ij} = \sum_{k=1}^m \{ (x_{ik} - e_{ik})^2 / e_{ik} + (x_{jk} - e_{jk})^2 / e_{jk} \} \quad (2)$$

式中, $e_{ijk} = (x_{ik} - x_{jk}) / T_{ij}$, $T_i = \sum_{k=1}^m x_{ik}$, $T_{ij} = T_i + T_j$ ($k=1, 2, \dots, m$; $i, j=1, 2, \dots, n$)。然后采用最短距离法进行系统聚类分析,见式(3)。

$$D_{pq} = \min(i \in G_p, j \in G_q d_{ij}) \quad (3)$$

式中: $i \in G_p$ 表示 i 在 G_p 类内, $j \in G_q$ 表示 j 在 G_q 类内, D_{pq} 为两类中所有距离最小距离。

水质指标样本 $n=11, i, j=1, 2, \dots, 11$; 监测断面变量 $X=4, k=1, 2, 3, 4$ 。 X_{ik}, X_{jk} 表示不同水质指标在各监测断面的污染指数。

1.3.3 水质污染指数分析方法

根据水质指标监测数据标准化值, 计算水质污染指数, 计算见式(4)。

$$P_i = \sum_{k=1}^n X_{ik} \tag{4}$$

式中: P_i 为水质污染指数, X_{ik} 为水质指标的污染指数(水质指标监测数据标准化值), n 为水质指标个数 $1, 2, \dots, n$ 。

2 结果与分析

2.1 拉萨河流域各高寒湿地水质状况

根据《水和废水监测分析方法》中的水质分析方法对水样进行了水质分析, 得到各湿地不同采样点的综合平均水体营养元素(N、P)含量、重金属离子(Cu、Zn、Mn、Fe)含量及其硬度的测定结果^[10], 再将测定结果与主要适用于源头水和国家自然保护区《地面水环境质量标准》(GB 3838—2002)的Ⅰ类水质标准进行比较, 结果见表 1。

与《地面水环境质量标准》(GB 3838—2002)的Ⅰ类水质标准进行比较, 由表 1 中可以看出各个湿地的总 N、Cu 元素含量都超出了标准, 总 N 超标在 158~280 倍之间, Cu 元素超标在 14~24 倍之间; 总 P、Zn 元素含量均小于国家标准; Mn 元素含量除了塘嘎郭湿地超标为 3 倍外, 其他均小于国家标准; Fe 元素含量除了塘嘎郭湿地超标 7 倍外, 其他均小于标准。

2.2 水质指标系统聚类分析

根据各湿地水质指标标准化值和式(2)、式(3)将各指标间的距离进行并类, 用最短距离法直到并为一类为止。最后得到各高寒湿地水质指标间聚类分类图 1~图 5。

依据各样本距离由小到大的次序, 除了塘嘎郭湿地, 4 个重金属 Zn、Mn、Cu、Fe 在各个湿地中的污染程度接近并为一类, 在塘嘎郭湿地 Fe 和 COD、总 N、总硬度污染程度接近, 而和其他 3 个重金属未并为一类; 拉萨河总 N 的污染程度和 pH 值以及 Mn、氯化物接近, 并为一类, 在雅让湿地各指标中, pH 值和硫酸盐各自单独成类, 而总硬度、氯化物和总 N 的污染程度接近并为一类; 在江夏湿地各指标中, 总 N 和 COD 污染程度接近, pH 值和氯化物、总硬度并为一类, 硫

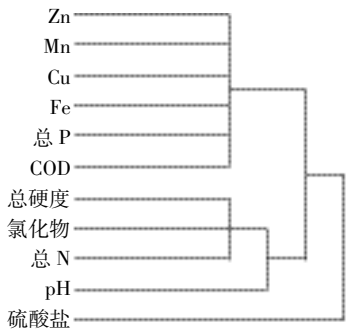


图 1 雅让湿地水质指标聚类图

Figure 1 The cluster picture of water-quality index of Yangrang wetland

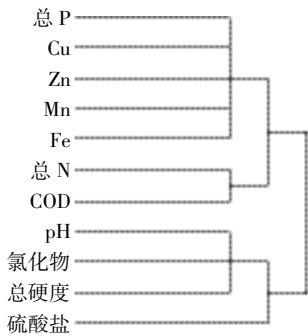


图 2 江夏湿地水质指标聚类图

Figure 2 The cluster picture of water-quality index of Jiangxia wetland

表 1 拉萨河流域各湿地水质监测结果(mg·L⁻¹)

Table 1 The water quality monitoring results in the wetlands of Lhasa River basin (mg·L⁻¹)

湿地名称	总 N	总 P	Cu	Zn	Mn	Fe	总硬度
江夏湿地	3.178 7	0.156 1	0.169 6	0.019 8	0.080 8	0.294 8	8.580 7
雅让湿地	4.425 7	0.151 8	0.242 7	0.013 4	0.036 0	0.306 7	5.373 0
察巴朗湿地	5.614 3	0.150 0	0.139 5	0.018 5	0.040 6	0.152 6	4.910 9
塘嘎郭湿地	3.530 9	0.148 3	0.193 3	0.017 2	0.344 3	2.203 8	3.174 1
拉萨河	3.868 1	0.150 8	0.186 7	0.040 4	0.002 1	0.232 7	5.827 7
Ⅰ类水质标准	≤0.02	≤0.2	≤0.01	≤0.05	≤0.1	≤0.3	/

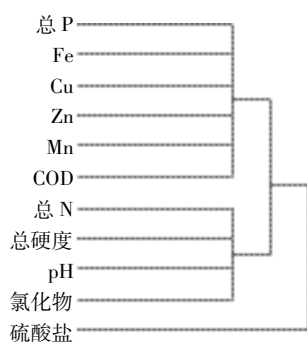


图 3 察巴朗湿地水质指标聚类图

Figure 3 The cluster picture of water-quality index of Chabalong wetland

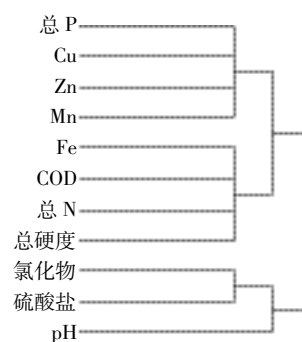


图 4 塘嘎郭湿地水质指标聚类图

Figure 4 The cluster picture of water-quality index of Tanggaguo wetland

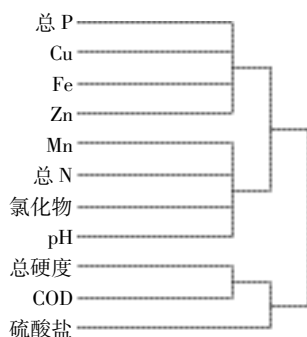


图 5 拉萨河水水质指标聚类图

Figure 5 The cluster picture of water-quality index of Lhasa River

酸盐单独成类;在察巴朗湿地各指标中,硫酸盐单独成类,总 N 和总硬度、pH 值、氯化物距离最近;在塘嘎郭湿地各指标中,氯化物和硫酸盐污染程度接近,pH 值单独成类;在拉萨河各指标中,COD 值和总硬度污染程度接近,硫酸盐并为一类。

2.3 水质污染指数分析

通过聚类分析,水质指标中污染水平接近的聚为一类,但不能区分影响水质优劣的主要因子和次要因子,而水质污染指数分析能进一步说明系统聚类分析的效果和区分每个污染因子对污染的贡献度。

据式(4)计算各湿地的污染指数,并依据 P_i 将各湿地水质指标进行分类,见表 2。

在系统聚类分析中,总 P 和各重金属的污染程度接近,距离较近,被并为一类,但是否为主要污染物还需污染指数值进一步说明。采用系统聚类分析对拉萨河流域各高寒湿地水质指标相近污染程度的分类效果较好,但不能对水质指标的影响程度进行排序,需要结合综合污染指数进一步分析和评判。由表 2 可以看出,综合污染指数对各湿地水质指标的综合分析进一步表明,总 N、总 P、Cu、pH 值对水体污染的贡献最大,是水体综合污染的主要影响因子,而整个流域内各湿地水质硬度较低、盐化程度也较低。

表 2 拉萨河流域各高寒湿地水质 P_i 值及其分类Table 2 P_i and its classification of alpine wetlands in Lhasa River basin

湿地名称	pH 值	总 N	总 P	Cu	Zn	Mn	Fe	总硬度	COD	氯化物	硫酸盐
雅让湿地	3.44	63.72	30.84	67.46	1.66	2.17	3.92	0.43	0.65	0.11	0.21
江夏湿地	3.89	87.99	30.89	97.17	1.21	1.41	4.06	0.27	0.49	0.08	0.28
察巴朗湿地	3.88	110.73	31.00	55.85	1.45	1.67	2.06	0.25	0.49	0.12	0.34
塘嘎郭湿地	3.11	70.81	29.32	81.41	1.38	13.57	29.38	0.16	0.61	0.13	0.15
拉萨河	3.25	69.85	30.25	75.23	2.30	0.08	3.13	0.29	4.29	0.04	0.37
最主要($p > 3.00$)		主要($1.00 < p_i \leq 3.00$)				较主要($p_i \leq 1.00$)					
雅让湿地	Cu、总 N、总 P、Fe、pH				Zn、Mn		总硬度、COD、氯化物、硫酸盐				
江夏湿地	Cu、总 N、总 P、Fe、pH				Zn、Mn		总硬度、COD、氯化物、硫酸盐				
察巴朗湿地	Cu、总 N、总 P、pH				Zn、Fe、Mn		总硬度、COD、氯化物、硫酸盐				
塘嘎郭湿地	Cu、总 N、总 P、pH、Fe、Mn				Zn		总硬度、COD、氯化物、硫酸盐				
拉萨河	Cu、总 N、总 P、pH、Fe、COD				Zn、Mn		总硬度、氯化物、硫酸盐				

3 讨论

高原湿地是万水之源,在防治全球水危机方面发挥着关键作用,而且还涉及全流域的生态环境问题^[15]。由于自然和人为因素的综合作用,青藏高原湿地退化现象也日趋显著。前人的研究发现,西藏沼泽已经疏干,变成泥炭裸地;湖泊湿地也呈现出矿化度高,湖水退缩,地表出现盐霜现象^[16]。高寒湿地土壤也出现了盐渍化现象^[17]。但在本研究中,拉萨河流域各高寒湿地的可溶性盐类污染较轻,水体总硬度较低,说明该流域水质不会造成湿地土壤盐渍化。

拉萨河流域各湿地水质总 N、总 P、pH 值、Cu、Fe 污染较严重,说明该流域内各湿地水体自净功能已经受到了一定程度的影响,水环境容量受到了破坏。其中 N、P 超标可能会造成水体富营养化,但是具体各个湿地的 N、P 含量是否能够造成水体富营养化还需进一步量化评判^[18]。近年来,由于拉萨市城市规模的不断扩大,城市人口的急剧增加,城市生活污水还有不经处理直接排入的现象发生,致使拉萨河水体有机污染程度较高。而拉萨河作为该流域内各个湿地的主要水源,故对其他湿地水质也产生了不利的影响。同时,分别看来,察巴朗湿地已被人多年承包进行鱼类的养殖,在鱼类的养殖过程中人为在其中投入大量饲料,使其 N 的含量偏高;雅让湿地中水的主要来源为上游的卡孜水库,卡孜水库也多以鱼类养殖和蓄水为主,因此也较其他湿地氮元素含量高;塘嘎郭湿地中氮元素含量相对较少是因为该湿地属于季节性草甸湿地,湿地植物较为丰富,植物消耗大量营养元素,最后被用于牧草喂养家畜,营养元素循环得不到补充;江夏湿地四周为农田,农田肥水流入湿地,含氮化肥导致湿地氮元素含量增加。

各个湿地的重金属(Cu、Fe)污染也较重,这与其周边地质环境有关。近年来在拉萨市曲水县和墨竹工卡县先后发现了不少矿产,这其中不乏有铜矿和铁矿。而在各个湿地中,塘嘎郭湿地的重金属污染表现尤其明显,其原因是周围山体矿质元素含量丰富,其水源为山泉水,而不是拉萨河水,一方面山泉水中自身含带有大量的矿质元素,并且塘嘎郭湿地的地势低洼,雨水冲刷山体将矿质元素长期汇聚在该湿地中。

通过上述因子的超标原因分析,可以看出既有自然因素也有人为因素。但必须明确的是,湿地的排水和自净能力有限,一旦污染将很难恢复。至于湿地环境固有的一些因素造成的某些因子(如 Cu、Fe 等)的

超标,这正是该流域内湿地保护的独特性所在。正是由于拉萨河流域湿地生态系统独特的水环境,才孕育了高原独特的湿地植被类型,进而决定了其独特的动物群落与类型^[19]。

4 结论

通过系统聚类分析和综合污染指数的分类评判,拉萨河流域内各个高寒湿地水体受总 N、总 P、pH 值、Cu、Fe 等因子污染较重,拉萨河水体有机污染较重,其余各个湿地有水体富营养化的趋势,同时流域内湿地独特的自然因素造成该流域内重金属污染偏高。针对这一现状,采取相应的调控措施如减少生活污水的排放并加强污水管理治理,加强流域内及周边矿产资源管理和开发,对于该流域内野生动物以及湿地生态系统的恢复和保护是十分必要的。

参考文献:

- [1] 吕宪国, 刘晓辉. 中国湿地研究进展[J]. 地理科学, 2008, 28(3): 301-308.
LÜ Xian-guo, LIU Xiao-hui. Wetland research progress in China[J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2008, 28(3): 301-308. (in Chinese)
- [2] 钱 芳. 论湿地功能及其保护[J]. 哈尔滨学院学报, 2003(9): 54-59.
QIAN Fang. Functions and protection on wetland[J]. *Journal of Harbin University*, 2003(9): 54-59. (in Chinese)
- [3] 布 多, 李明礼, 德 吉, 等. 拉萨河流域甲玛湿地水质净化功能研究[J]. 资源科学, 2010, 32(9): 1650-1656.
BU Duo, LI Ming-li, DE Ji, et al. Study on water purification functions of the Jama wetland in the Lhasa River basin[J]. *Resources Science*, 2010, 32(9): 1650-1656. (in Chinese)
- [4] 朱万泽, 钟祥浩, 范建容. 青藏高原湿地生态系统特征及其保护对策[J]. 山地学报, 2003, 12(S1): 7-12.
ZHU Wan-ze, ZHONG Xiang-hao, FAN Jian-rong. The characteristics and conservational measurs of wetlands ecosystem in Tibet[J]. *Journal of Mountains Science*, 2003, 12(S1): 7-12. (in Chinese)
- [5] 布 多, 罗文培, 王燕飞, 等. 拉萨河流域水体铅、锌含量的初步研究[J]. 西藏大学学报: 自然科学版, 2010, 25(2): 18-22.
BU Duo, LUO Wen-pei, WANG Yan-fei, et al. A preliminary study on lead and zinc content in water of the Lhasa river[J]. *Journal of Tibet University*, 2010, 25(2): 18-22. (in Chinese)
- [6] 范丽卿, 土艳丽, 方江平, 等. 拉萨市拉鲁湿地鱼类现状与保护[J]. 资源科学, 2011, 33(9): 1742-1749.
FAN Li-qing, TU Yan-li, FANG Jiang-ping, et al. Fish assemblage at the Lhalu wetland: Does the native fish exist?[J]. *Resources Science*, 2011, 33(9): 1742-1749. (in Chinese)
- [7] 殷秀琴, 安静超, 陶 岩, 等. 拉萨河流域健康湿地与退化湿地大型土壤动物群落比较研究[J]. 资源科学, 2010, 32(9): 1643-1649.
YIN Xiu-qin, AN Jing-chao, TAO Yan, et al. Community changes of

- soil macrofauna in native and degenerative wetlands of the Lhasa river [J]. *Resources Science*, 2010, 32(9): 1643–1649. (in Chinese)
- [8] 兰文辉, 安海燕. 环境水质评价方法的分析与探讨[J]. 干旱环境监测, 2002, 16(3): 167–169.
LAN Wen-hui, AN Hai-yan. Discussion on wetlands of water quality assessment[J]. *Arid Environmental Monitoring*, 2002, 16(3): 167–169. (in Chinese)
- [9] 沈珍瑶, 谢彤芳. 环境质量评价中若干评价方法的比较[J]. 干旱环境监测, 1998, 12(1): 25–27.
SHEN Zhen-yao, XIE Tong-fang. Comparison of several methods in environmental quality assessment[J]. *Arid Environment Monitoring*, 1998, 12(1): 25–27. (in Chinese)
- [10] 吴滔, 袁鹏, 戴露, 等. 西藏拉萨河径流预测方法研究[J]. 水利科技与经济, 2005, 11(2): 77–79, 113.
WU Tao, YUAN Peng, DAI Lu, et al. Research on the streamflow forecast methods of Tibet Lhasa river[J]. *Water Conservancy Science and Technology and Economy*, 2005, 11(2): 77–79, 113. (in Chinese)
- [11] LIN Xuedong, ZHANG Yili, YAO Zhijun, et al. The trend on runoff variations in the Lhasa River Basin[J]. *J Geogr Sci*, 2008, 18: 95–106.
- [12] 尹嘉珉. 西藏自治区地图册(第一版)[M]. 北京: 中国地图出版社, 2007.
YIN Jia-min. The Tibet autonomous region atlas (first edition)[M]. Beijing: China Map Publishing House, 2007. (in Chinese)
- [13] 奚旦立, 孙裕生, 刘秀英. 环境监测(第三版)[M]. 北京: 高等教育出版社, 2007.
XI Dan-li, SUN Yu-sheng, LIU Xiu-ying. Environmental monitoring (third edition)[M]. Beijing: Higher Education Press, 2007. (in Chinese)
- [14] 国家环境保护部. 水和废水监测分析方法(第四版)[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2002.
The State Environmental Protection Department. Water and wastewater monitoring analysis method (4th edition)[M]. Beijing: China Environmental Science Press, 2002. (in Chinese)
- [15] 白军红, 欧阳华, 徐惠凤, 等. 青藏高原湿地研究进展[J]. 地理科学进展, 2004, 23(4): 1–7.
BAI Jun-hong, OUYANG Hua, XU Hui-feng, et al. Advances in studies of wetlands in Qinghai-Tibet Plateau[J]. *Progress in Geography*, 2004, 23(4): 1–7. (in Chinese)
- [16] 赵魁义. 西藏沼泽植被的基本特征[M]//陈宜瑜. 中国沼泽研究. 北京: 科学出版社, 1988: 242–250.
ZHAO Kui-yi. The basic characteristics of Tibetan swamp vegetation [M]//Chen Yi-yu. Marsh research in China. Beijing: Science Press, 1988: 242–250. (in Chinese)
- [17] 王德斌. 西藏沼泽土壤特征及其开发利用[M]//陈宜瑜. 中国沼泽研究. 北京: 科学出版社, 1988: 236–241.
WANG De-bin. Tibet swamp soil characteristics and its development and utilization[M]//Chen Yi-yu. Marsh research in China. Beijing: Science Press, 1988: 236–241. (in Chinese)
- [18] 周静波, 张宗应. 我国水体富营养化的产生根源与治理对策[J]. 安徽农业科学, 2009, 37(21): 10126–10128.
ZHOU Jing-bo, ZHANG Zong-ying. Research on origin and counter-measures of eutrophication in China[J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2009, 37(21): 10126–10128. (in Chinese)
- [19] 田应兵, 熊明标. 若尔盖湿地国家级自然保护区水质评价[J]. 湖北农学院学报, 2004, 24(3): 161–165.
TIAN Ying-bing, XIONG Ming-biao. Water quality assessment of native nature reserve in Ruorgai wetland, Sichuan, China[J]. *Journal of Hubei Agricultural College*, 2004, 24(3): 161–165. (in Chinese)