

DOI:10. 3880/j. issn. 1004 - 6933. 2017. 05. 024

焉耆盆地农排渠水质变化特征及其污染源分析

胡 洋¹,巴图那生²,蔡 舰¹,白承荣¹,高 光¹

(1. 中国科学院南京地理与湖泊研究所,江苏 南京 210008;
2. 新疆巴州博斯腾湖科学研究所,新疆 库尔勒 841000)

摘要:选取 8 项水质指标,对 2005—2013 年焉耆盆地内的 7 条主要农田排渠的水质进行评价,并采用主成分分析法寻找主要污染物。结果表明,2005—2013 年 7 条主要农田排渠的水质基本处于 V 类水状态,并以微咸水和咸水为主;各排渠水体中以 TN 和 NH_4^+-N 为主要污染物, COD_{Mn} 和 BOD 是农排渠水体中第二污染物,TDS 是农田排渠水体中第三污染物。农业活动和工业废水以及博斯腾流域气候是造成农排渠水体中矿化度成为污染物的因子。

关键词:水质评价;农排渠;污染源分析;主成分分析法;焉耆盆地

中图分类号:X592 **文献标志码:**A **文章编号:**1004 - 6933 (2017)05 - 0154 - 05

Aanalysis of water quality change characteristics of agricultural drainage canals and their pollutant sources in Yanqi Basin

HU Yang¹,BATU Nasheng²,CAI Jian¹, BAI Chengrong¹, GAO Guang¹

(1. Nanjing Institute of Geography and Limnology, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China;
2. Insitute of Bosten Lakes, Environmental Protection Bureau of Bayingolin Mongolia Autonomous Prefecture, Korle 841000, China)

Abstract: In this study, 7 main farmland drainage canals were evaluated by selecting 8 water quality indictors in Yanqi Basin from the year 2005 to 2013. Furthermore, the major pollutants were trackeded by Principle Component Analysis (PCA). Study results showed that the water quality in the said 7 canals was basically classified as V grade, mainly characterized by brackish water or saline water. The major pollutants of water body in the agricultural drainage cannals firstly consisted of total nitrogen and ammonia; secondly, of the Chemical Oxygen Demand (COD_{Mn}) and Biological Oxygen Demand (BOD); and thirdly, of the total dissolved solids (TDS).

Key words:water quality evaluation; agricultural drainage canal; pollutant source analysis; principle component analysis; Yanqi Basin

农排渠通常是指天然形成的裸露在地表的水道或者以排水为目的而挖掘的水道^[1],农排渠排水目前已经成为影响湖泊生态系统中物质循环和能量流动的关键因子^[2-3]。在我国西北干旱半干旱地区,这种形式的污染已日趋严重^[4]。农田排渠作为地表径流进入湖泊水体的主要通道,其水体中丰富的营养盐和矿物质对湖泊水质产生了强烈的副作用。一方面,干旱地区年降水量较小,基本小于 400 mm^[5]。这种情况下,地表径流的冲刷、携带能力较弱,使得营养物质在农田生态系统中长时间

基金项目:国家水体污染控制与治理科技重大专项(2013ZX07104 - 004);环保公益性行业科研专项(201309041)
作者简介:胡洋(1988—),男,博士研究生,主要从事环境生态学研究。E-mail: huyang027@163.com

累积。当强降雨发生时,大量营养物质通过农田排渠在短时间内脉冲式进入湖泊水体中,从而极大地影响水生动植物的自然演替过程,降低生态系统的多样性^[6]。另一方面,除了氮、磷等营养盐物质,西北地区的农业面源污染物主要由含盐量高的农田排水组成^[7],这些污水进入湖泊水体后,破坏了湖泊生态系统中盐平衡,加剧了水体的咸化过程。

博斯腾湖地处我国西北干旱半干旱地区,位于新疆巴音郭楞蒙古自治州焉耆盆地最低处,是我国最大的内陆淡水湖。随着农业的发展,盆地内的农田排水大多汇集于博斯腾湖。近年来,农排渠排放的污水已逐渐成为博斯腾湖水质恶化的重要原因^[8-9]。2003 年农排渠水体中 TN 和 TP 的负荷量分别为 1 193t 和 9.6t^[10];2007 年通过农排渠排放进入博斯腾湖水体中的 TN、TP 占入湖污染物总负荷的 21%,农排渠中的盐量贡献率甚至高达 48%^[7]。因此,研究农排渠水体中污染物特征对治理博斯腾湖及博斯腾湖可持续发展至关重要。以往相关研究主要聚焦于分析单个时间节点上农排渠水质的特点,而对长时间尺度上农排渠水质的时空变化趋势以及主要污染物的确定,目前国内的研究尚不足。本文选取焉耆盆地入博斯腾湖的 7 条主要农田排渠为研究对象,分析其水质的时空变化情况,并采用主成分分析法判别主要的污染物,以期博斯腾湖的治理提供一定的数据支撑和理论依据。

1 研究区概况与研究方法

1.1 研究区概况

焉耆盆地地处博尔托乌拉山与库鲁克塔格之间的中生代断陷盆地(位于 85°50′~88°00′E 和 42°23′~40°40′N 之间)。该盆地是一个半封闭的山间盆地,盆地地形北高南低,地势由西北向东南倾斜。盆地内日照长,温差较大,平均降水量仅为 50.7~79.9 mm,相对湿度 50%~60%,蒸发量为 2 000~2 450 mm。焉耆盆地农田排渠经历了“旱排水”、排水渠建立以及排水渠逐步完善 3 个阶段。2003—2009 年,焉耆盆地有效灌溉面积从 57.89 万 hm²增加至 136.08 万 hm²。大部分农田灌溉后的排盐水通过农田排渠直接或间接排入湖体。本研究选取焉耆盆地入博斯腾湖的主要农田排渠中的 7 条:黄水总干排、南干排、胜利干排、北大渠干排、本布图镇干排、才坎诺尔乡西干排以及 27 团干排(表 1)。

表 1 7 条主要入湖农田排渠及其排水构成

汇入区域	农田排渠	排水构成
大湖区	黄水总干排	农田、生活
	胜利干排	农田、生活、工业
	北大渠干排	农田
	本布图镇干排	农田
	南干排	农田、生活
小湖区	才坎诺尔乡西干排	农田
	27 团干排	农田

1.2 数据来源

本研究数据主要来源于 2005—2013 年巴州水文水资源勘测局及巴州博斯腾湖科学研究所的野外监测结果,监测指标主要为:TN、TP、NH₄⁺-N、NO₃⁻-N、BOD、COD_{Mn}、SS 和 TDS。这些指标数据的获取方法分别是:TN 采用碱性过硫酸钾消解紫外分光光度法(GB 11894—89);NO₃⁻-N 使用酚二磺酸分光光度法(GB 7840—87);NH₄⁺-N 使用纳氏试剂分光光度法(GB 7479—87);TP 采用磷钼蓝比色法(GB/T 8538—1995);BOD 采用稀释与接种法(HJ 505—2009);COD_{Mn}采用高锰酸盐法(GB 11892—89);SS 采用滤膜过滤后的烘干称重法(GB 11901—1989);TDS 采用重量法(SL 79—1994)^[11]。

1.3 数据处理

本研究数据利用 R-3.2.3 软件平台进行处理,利用 Vegan 程序包中的 princom() 命令对农排渠水质进行主成分分析;所有绘图利用 ggplot2 程序包中的 ggplot() 命令进行^[12]。

为避免计算结果受变量量纲和数量级不同的影响,以保证数据的客观性和科学性,在进行主成分分析之前对原始数据进行标准化。该过程利用 scale() 命令进行。标准化公式为

$$X_{ij} = (X_{ij,原} - \bar{X}_j) / S_j \tag{1}$$

式中: X_{ij} 为标准化后的数据; $X_{ij,原}$ 为原始数据; $\bar{X}_j$ 为第 j 个指标的平均数; S_j 为第 j 个指标的标准差。

标准化结束后计算 p 个指标的两两相关矩阵 R_{ij} ,然后继续计算相关矩阵 R 的特征根 λ_j 、特征向量 r_j 及各个主成分的方差贡献率 b_j 、累积贡献率 $\sum b_j$ 。最终选择累积贡献率超过 80% 的前 k 个主成分。

2 研究结果

2.1 农排渠水质质量评价

为了对农田排渠的水质有整体了解,以 2005—2013 年为调查期,对现有的水质基础指标均值进行计算,并以环境标准为依据,判断污染指标的超标情况(表 2)。调查期间,农排渠的各种水质指标质量均较差。根据《地表水环境质量标准》(GB 3838—

2002), TN、COD_{Mn} 以及 BOD 在 2005—2013 年内一直维持为 V 类。其中, TN 超过地表水 V 类标准限值 1.15 ~ 2.69 倍; COD_{Mn} 和 BOD 超标最为严重, 分别超过 V 类标准限值 1.09 ~ 7.19 倍和 2.13 ~ 9.56 倍。NH₄⁺-N 在 2005—2010 年为 V 类, 而在 2011—2013 年逐渐恢复至 IV 类。与此类似, TP 在 2005—2011 年内为 V 类, 而在 2011—2013 年逐渐恢复至 IV 类。根据《中国湖泊志》分类, 农排渠水体的 TDS 均保持较高水平, 为微咸水 (1 000 ~ 3 500 mg/L) 或咸水 (3 500 ~ 5 000 mg/L) 状态 (表 2)。

表 2 2005—2013 年水质指标评价结果

年份	TN	NH ₄ ⁺ -N	TP	COD	BOD	TDS
2005	V	Ⅲ	Ⅱ	V	V	咸水
2006	V	V	V	V	V	咸水
2007	V	V	V	V	V	咸水
2008	V	V	V	V	V	微咸水
2009	V	V	V	V	V	微咸水
2010	V	V	V	V	V	微咸水
2011	V	V	Ⅳ	V	V	微咸水
2012	V	Ⅳ	Ⅲ	V	V	微咸水
2013	V	Ⅳ	Ⅳ	V	V	微咸水

注: 参见《中国湖泊志》。

2.2 农排渠水质变化特征

对农排渠水质在 2005—2013 年的变化特征进行分析 (图 1), 在无机营养物质方面, 选取 TN、NH₄⁺-N、NO₃⁻-N 和 TP 作为研究指标, 这些营养盐物质在监测调查期间中均保持较高的浓度, TN 的质量浓度为 1.72 ~ 6.79 mg/L; NH₄⁺-N 的质量浓度为 0.61 ~ 2.69 mg/L; NO₃⁻-N 的质量浓度为 0.10 ~ 1.52 mg/L; TP 的质量浓度为 0.08 ~ 1.84 mg/L。从中可以发现, 农排渠水体中 NH₄⁺-N 的平均质量浓度是 NO₃⁻-N 的 2.62 倍, 说明 NH₄⁺-N 是氮素的主要形态。在有机污染物方面, 选取 BOD 和 COD_{Mn} 为研究指标。在调查期间内, BOD 年平均质量浓度为 2.13 ~ 9.56 mg/L, COD_{Mn} 年平均质量浓度为 87 ~ 287 mg/L。在水体物理性质方面, 选取 SS 和 TDS 为研究指标。在调查期间内, SS 的质量浓度为 12.57 ~ 61.14 mg/L, TDS 的质量浓度为 2 491 ~ 3 389 mg/L。

2.3 农排渠水体主要污染因子

对原始数据进行标准化消除量纲的影响后, 通过主成分分析发现, 累积贡献率达 80% 以上的主因子有 3 个, 其中 PCA1 的方差贡献率为 49.71%, PCA2 的方差贡献率为 21.45%, PCA3 的贡献率为 15.49% (表 3)。从旋转后的因子载荷来看, 与 PCA1 密切相关的水质指标为 TN 和 NH₄⁺-N, 代表着农排渠水体中无机营养盐污染属性; 与 PCA2 密切

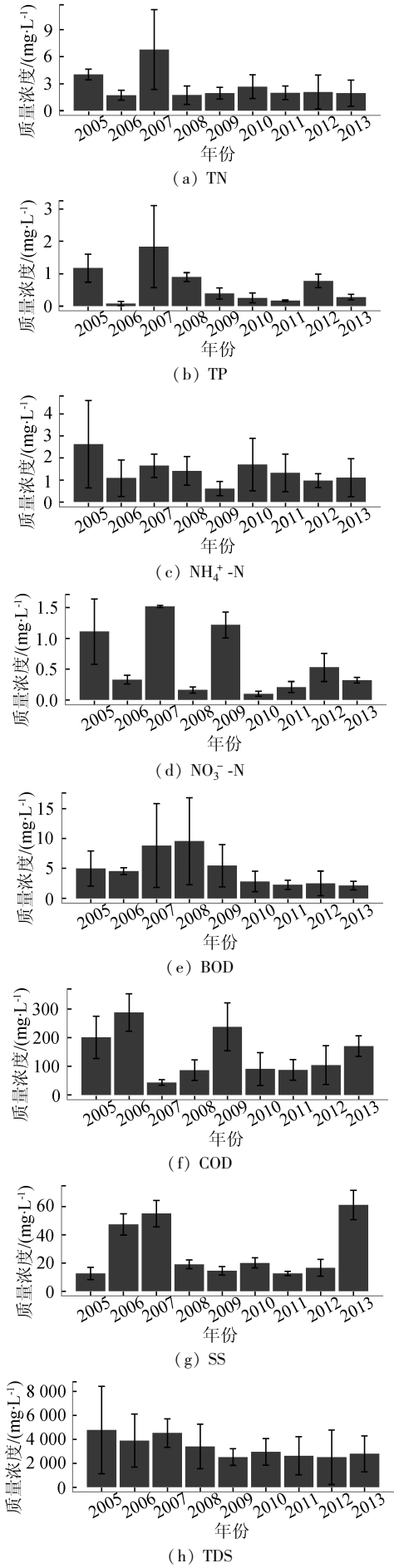


图 1 各水质指标 2005—2013 年变化特征

相关的是 BOD 和 COD_{Mn},代表着农排渠水体中有机污染属性;与 PCA3 相关程度最大的水质指标是 SS 与 TDS,代表着水体中物理污染属性。因此,以 TN 和 NH₄⁺-N 为主的营养盐污染对整个排水水质污染的贡献最大。除此之外,可以获取各排渠的因子得分和综合污染得分,并进行污染排名(表 4)。从表 4 可以发现,黄水总干排和本布图镇干排综合得分为前两名,反映其综合污染程度较高;南干排的综合得分最小,反映其综合污染程度较小。

表 3 农排渠水体主要污染物与主成分之间的相关性

水质指标	第一主成分 (PCA1)	第二主成分 (PCA2)	第三主成分 (PCA3)
TN	0.524	0.316	0.137
TP	0.267	0.365	0.423
NH ₄ ⁺ -N	0.502	0.326	-0.221
NO ₃ ⁻ -N	0.312	0.259	0.374
BOD ₅	0.376	-0.563	0.104
COD _{Mn}	0.483	-0.485	0.285
SS	0.113	-0.153	-0.68
TDS	-0.123	-0.291	0.527
贡献率/%	49.71	21.45	15.49
累积贡献率/%	49.71	71.16	86.65

表 4 各农排渠的因子得分和综合得分及排名

干排名称	第一主成分	第二主成分	第三主成分	综合得分	排名
黄水总干排	3.128	5.173	3.489	11.789	1
南干排	-2.025	0.088	-6.479	-8.416	7
胜利干排	7.228	-2.231	-6.169	-1.173	6
北大渠干排	-2.579	1.355	0.491	-0.733	5
本布图镇干排	4.572	3.808	2.777	11.157	2
才坎诺尔乡西干排	-1.231	1.689	2.038	2.496	3
27 团干排	-2.838	0.463	3.854	1.480	4

3 讨 论

作为博斯腾湖地表径流入湖的主要途径,农排渠水体质量是影响博斯腾湖水质状况的重要因素。通过研究发现,7 条主要农排渠中各水质指标的质量均较差,TN 和 NH₄⁺-N 是农排渠水体中最主要的污染物;COD_{Mn}和 BOD 是农排渠水体中的第二污染物,代表着农排渠水体中有机物污染;SS 和 TDS 是农排渠水体的第三污染物。

TN 和 NH₄⁺-N 是农排渠水体中最为主要的污染源:TN 质量浓度为 1.72 ~ 6.79 mg/L,超过地表水 V 类标准限值的 1.15 ~ 2.69 倍;NH₄⁺-N 质量浓度为 0.61 ~ 2.69 mg/L,也大大超过了地表水 V 类标准。这些结果与赵婷等^[4]的研究结果基本一致。农排渠水体中高浓度的 TN 和 NH₄⁺-N 可能与博斯腾湖流域的农业活动具有密切关系^[13]。根据前期调研可知,博湖周边流域年化肥施用量逐年持续增

加^[14]。和静县化肥施用量由 2002 年的 12 200 t/a 增加至 2009 年的 22 715 t/a;和硕县则从 8 800 t/a 增加至 23 597 t/a;焉耆县由 16 200 t/a 增加到 24 375 t/a;博湖县由 5 700 t/a 增加至 16 069 t/a。李含慧等^[9]通过野外调查与实验室分析,发现在博斯腾湖流域典型农田灌溉条件下,田间施肥利用率较低,使得土壤中 TN 和 NH₄⁺-N 大量累积在农田土壤中。一方面,这可能主要是由于焉耆盆地土壤类型主要为草甸土、盐土、风化土,其涵养水分能力非常弱;另一方面农田灌溉水量巨大,且灌溉方式主要为大水漫灌。这两个因素导致农田土壤中累积的 TN 和 NH₄⁺-N 极易随着地表径流或地下水进入农排渠中^[13-14]。同时,值得注意的是,农排渠水体中 NH₄⁺-N 质量浓度要远高于 NO₃⁻-N,从侧面说明农业活动对农排渠水质的影响,因为 NH₄⁺-N 在水体中极易在氨氧化细菌的作用下通过硝化作用被氧化为 NO₃⁻-N^[15]。在农业活动中,复合肥、磷肥以及尿素等化学肥料中丰富的 NH₄⁺-N 成为农排渠水体中 NH₄⁺-N 的重要来源^[16]。

BOD 和 COD_{Mn}也是农排渠水体中次要的污染源。在调查期间,BOD 和 COD_{Mn}均处于 V 类,说明农排渠水体中有机物污染十分严重。李勇等^[17]发现有机物是焉耆盆地农排渠水体的主要污染物。分析其原因,首先,这可能是由博斯腾湖周边日益兴起的畜禽养殖业引起的。据统计,2007 年博斯腾湖流域农业面污染产生 10.06 万 t 的 COD_{Mn}^[7],而北 4 县的畜禽养殖就可产生 9.82 万 t^[18]。焉耆盆地的养殖业主要包括在农区饲养的猪、禽、牛、羊等农区畜牧业和牧区养殖业,其中以放牧为主。由于各种畜禽场的布局不合理,对粪尿处理能力较弱,粪尿还田利用率不足,粪尿堆放过程中在降雨的动力冲刷下成为农排渠水体中的重要污染源^[19]。其次,据庄晴等^[10]研究发现,农排渠水体的污染方式除了农业污染外,工业污染也占一定比例。具体地说,农排渠收纳了周边区域各种工厂的污水,包括番茄厂、辣子厂和芦苇厂^[4]。这些工厂废水中含多种强还原性有机物,如糖类、有机酸、腐殖酸等^[20]。由于绝大多数工厂废水处理装置设备陈旧,污染物去除率较低,使得废水中 BOD 和 COD_{Mn}仍然保持较高浓度水平。另外,新疆地区特殊的自然气候,也给废水处理,尤其是生物法处理,带来了一定的难度^[20]。

矿化度是农排渠水体中的第三污染物。以矿化度为主的盐类污染对排渠水质的贡献较大,大量相关研究发现了类似的结果。早在 20 世纪 80 年代,排渠水体中的矿化度就引起了广大学者的关注^[21]。

卢文君等^[22]通过影响因子定量分析,发现农排渠水体中过量的矿化度是造成博斯腾湖咸化作用加剧的重要因素。除了上述农业活动和工厂废水的影响外,博斯腾湖流域气候也是造成农排渠水体中矿化度成为主要污染物的因子。据调查,近 70 年来,尤其 20 世纪 90 年代以来,博斯腾湖流域呈现明显的增温趋势,在这种情况下,农排渠水体蒸发量升高和降雨量不足的共同作用使得水体中矿化度增加^[23]。除此之外,在干旱半干旱地区,通过毛细作用,盐碱地的“洗盐”过程也会将土壤中的盐分携带进入农排渠水体中^[24]。

4 结 论

焉耆盆地农排渠排水是影响博斯腾湖水质的的重要因素。对焉耆盆地农排渠排水水质进行分析,结果显示,焉耆盆地主要农排渠水体的水质基本属于 V 类水平,且为微咸水或咸水。主成分分析结果表明:TN 和 NH₄⁺-N 是农排渠水体中最主要的污染物,其次为 BOD 和 COD_{Mn},最后是 SS 和 TDS。

参考文献:

[1] 陆海明,孙金华,邹鹰,等. 农田排水沟渠的环境效应与生态功能综述[J]. 水科学进展,2010,21(5): 719-725. (LU Haiming, SUN Jinhua, ZOU Ying, et al. Review of environmental impact and ecological function of agricultural drainage ditches [J]. Advances in Water Science, 2010, 21(5): 719-725. (in Chinese))

[2] 王坚. 影响河流水质的因素分析[J]. 山西煤炭管理干部学院学报, 2003, 16(3): 86-87. (WANG Jian. The analysis of factors related to the riverine water quality [J]. Journal of Shanxi Institute of Energy, 2003, 16(3): 86-87. (in Chinese))

[3] 余辉,燕姝雯,徐军. 太湖出入湖河流水质多元统计分析[J]. 长江流域资源与环境, 2010, 19(6): 696-702. (YU Hui, YAN Shuwen, XU Jun. Multivariate statistical analysis of water quality in the inflow and outflow rivers of Lake Taihu [J]. Resources and Environment in The Yangtze Basin, 2010, 19(6): 696-702. (in Chinese))

[4] 赵婷,周孝德,郭梦京,等. 焉耆盆地农田排水水质变化及其空间分布[J]. 灌溉排水学报, 2015, 34(9): 66-71. (ZHAO Ting, ZHOU Xiaode, GUO Mengjing, et al. Change of water quality and its spatial distribution of agricultural drainages in Yanqi Basin [J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2015, 34(9): 66-71. (in Chinese))

[5] 任福文,塔西甫拉提·特依拜,任朝霞,等. 中国西北干旱地区水资源特点及存在的问题与对策[J]. 石河子科技, 2003(3): 12-15. (REN Fuwen, TAXIPULATI Teyibai, REN Chaoxia, et al. The characteristics of water

resources in northwestern China, with their problem and solution [J]. Shihezi Science and Technology, 2003(3): 12-15. (in Chinese))

[6] 牛海凤,冯剑丰,周慧敏,等. 不同温度下脉冲式磷酸盐输入对裸甲藻生长的影响[J]. 海洋科学, 2014, 38(3): 31-38. (NIU Haifeng, FENG Jianfeng, ZHOU Huimin, et al. Effect of pulsed phosphate supply on the growth of *Gymnodinium* sp. at different temperatures [J]. Marine Sciences, 2014, 38(3): 31-38. (in Chinese))

[7] 赛·巴雅尔图,陈敏鹏,冯丽. 博斯腾湖流域农业面源污染现状分析[J]. 水资源保护, 2012, 28(2): 25-29. (SAI Bayaertu, CHEN Minpeng, FENG Li. Agricultural non-point source pollution of Bosten Lake Basin [J]. Water Resources Protection, 2012, 28(2): 25-29. (in Chinese))

[8] 张明. 博斯腾湖面源污染现状及对策[J]. 现代农业科学, 2015, 18: 213-214. (ZHANG Ming. Current situation and countermeasures of pollution in Bosten Lake [J]. Modern Agricultural Science and Technology, 2015, 18: 213-214. (in Chinese))

[9] 李含慧,雷晓云,李阳,等. 博斯腾湖流域典型农田与排渠氮磷的变化特征分析[J]. 节水灌溉, 2014(9): 57-59. (LI Hanhui, LEI Xiaoyun, LI Yang, et al. Analysis of variation characteristics of nitrogen and phosphorus in typical farmland and drainage ditches of Bosten Lake basin [J]. Water Saving Irrigation, 2014(9): 57-59. (in Chinese))

[10] 庄晴,盈丽莎,张建平. 博斯腾湖农田排水及其污染物空间分布特征[J]. 环境保护前沿, 2015, 5(5): 91-102. (ZHUANG Qing, YING Lisha, ZHANG Jianping. The characteristics of spatial distribution of the agricultural drainage and pollutions into Bosten Lake [J]. Advances in Environmental Protection, 2015, 5(5): 91-102. (in Chinese))

[11] 黄祥飞,陈伟民,蔡启铭. 湖泊生态调查与观测分析[M]. 北京:中国标准出版社, 2000.

[12] DIXON P. Vegan, a package of R functions for community ecology[J]. Journal of Vegetation Science, 2003, 14(6): 927-930.

[13] 宋永梅. 博斯腾湖流域面源污染分析[J]. 水利科技与经济, 2015, 21(8): 52-58. (SONG Yongmei. The analysis of non-point pollution in Lake Bosten basin [J]. Water Conservancy Science and Technology and Economy, 2015, 21(8): 52-58. (in Chinese))

[14] 穆振侠,姜卉芳. 全球气候变化对高寒山区融雪径流的影响及其敏感性分析[J]. 中国农村水利水电, 2010(4): 8-11. (MU Zhenxia, JIANG Huifang. The effects of global climate change on snowmelt-runoffs in high cold alpine areas and s sensitivity analysis of them [J]. China Rural Water and Hydropower, 2010(4): 8-11. (in Chinese))

(下转第 176 页)

- [22] 李焕利,刘超,陆建松,等. 人工浮床技术在污染水体生态修复中的研究[J]. 环境科学与管理,2015,40(1): 114-116. (LI Huanli, LIU Chao, LU Jiansong, et al. Research progress of artificial floating bed technology in polluted water ecological restoration [J]. Environmental Science and Management, 2015, 40 (1): 114-116. (in Chinese))
- [23] 许珍,陈进,殷大聪. 河流生态功能退化原因及修复措施分析[J]. 人民珠江,2016,37(6): 16-19. (XU Zhen, CHEN Jin, YIN Dacong. Analysis on degradation reasons and restoration of fluvial ecological function [J]. Pearl River,2016,37(6): 16-19. (in Chinese))
- [24] 陈兴茹,许凤冉. 城市河流水质原位净化技术综述[J]. 水利水电技术,2011,42(7): 19-23. (CHEN Xingru, XU Fengran. A review on in-situ water purifying technologies for urban rivers [J]. Water Resources and Hydropower Engineering,2011,42(7): 19-23. (in Chinese))
- [25] 蒋跃平,葛滢,岳春雷,等. 人工湿地植物对观赏水中氮磷去除的贡献[J]. 生态学报,2004,24(8): 1720-1725. (JIANG Yueping, GE Ying, YUE Chunlei, et al. Nutrient removal role of plants in constructed wetland on sightseeing water [J]. Acta Ecologica Sinica, 2004, 24 (8): 1720-1725. (in Chinese))
- [26] 王韶伟,徐劲草,许新宜. 河流生态修复浅议[J]. 北京师范大学学报(自然科学版),2009(增刊1): 626-630. (WANG Shaowei, XU Jincao, XU Xinyi. Ecological restoration of rivers [J]. Journal of Beijing Normal University(Natural Science),2009(sup1): 626-630. (in Chinese))
- [27] 董哲仁. 试论河流生态修复规划的原则[J]. 中国水利,2006(13): 11-13, 21. (DONG Zheren. Discussion on principles of river ecological restoration planning [J]. China Water Resources, 2006 (13): 11-13, 21. (in Chinese))

(收稿日期:2016-10-14 编辑:彭桃英)

(上接第158页)

- [15] 刘志培,刘双江. 硝化作用微生物的分子生物学研究进展[J]. 应用环境生物学报,2004,10(4): 521-525. (LIU Zhipai, LIU Shuangjiang. Advances in the molecular biology of nitrifying microorganisms [J]. China Journal of Applied and Environmental Biology, 2004, 10 (4): 521-525. (in Chinese))
- [16] 赵伟,梁斌,杨学云,等. 长期不同施肥对小麦-玉米轮作体系土壤残留肥料氮去向的影响[J]. 中国农业科学,2013,46(8): 1628-1634. (ZHAO Wei, LIANG Bin, YANG Xueyun, et al. Effects of long-term different fertilizations on the fate of residual fertilizer N in a wheat-maize rotation system [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2013, 46(8): 1628-1634. (in Chinese))
- [17] 李勇,孙卫刚. 新疆博斯腾湖污染源调查分析[J]. 地下水,2010,32(4): 177-179. (LI Yong, SUN Weigang. The analysis of pollution source of Lake Bosten in Xinjiang [J]. Ground Water, 2010, 32 (4): 177-179. (in Chinese))
- [18] 廖丹. 博斯腾湖水质评价与污染源分析[D]. 成都:四川师范大学,2008.
- [19] 楼成林,喇国静. 畜禽养殖场污水中BOD与COD相关性探讨[J]. 北方环境,2003,28(3): 40-42. (LOU Chenglin, LA Guojing. The correlations between BOD and COD in sewage of livestock farming [J]. North Environment,2003,28(3): 40-42. (in Chinese))
- [20] 李维军,曹鹏,李春,等. 好氧-厌氧耦合法处理番茄酱加工有机废水[J]. 化工学报,2006,57(2): 2970-2975. (LI Weijun, CAO Peng, LI Chun, et al. Treatment of organic wastewater from tomato paste processing by coupled aerobic-anaerobic process [J]. Journal of Chemical Industry and Engineering (China), 2006, 57 (2): 2970-2975. (in Chinese))
- [21] 新疆荒地资源综合考察队. 博斯腾湖的盐化原因及其控制途径[J]. 地理学报,1982(2): 144-154. (Xinjiang comprehensive expedition team of wasteland resources. The cause of the salinization of the bisiteng lake and the ways of its control [J]. Acta Geographica Sinica, 1982(2): 144-152. (in Chinese))
- [22] 卢文君,刘志辉,习阿幸. 博斯腾湖水体矿化度影响因子分析及调控措施[J]. 中国农村水利水电,2015(5): 97-101. (LU Wenjun, LIU Zhihui, XI Axing. An analysis of the influencing factor of water mineralization and regulation strategies Bosten [J]. China Rural Water and Hydropower, 2015(5): 97-101. (in Chinese))
- [23] 肖开提·阿不都热衣木,汤世珍. 新疆艾比湖水矿化度变化过程及原因分析[J]. 水资源保护,2010,26(4): 35-38. (XAWKAT Abudureyimu, TANG Shizhen. Study on change and cause of water mineralization in Ebinur Lake of Xingjiang [J]. Water Resources Protection, 2010, 26(4): 35-38. (in Chinese))
- [24] 杨建军,沈根祥,姚政,等. 灌水洗盐对设施农业中土壤养分的影响[J]. 上海农业学报,2004,20(2): 63-66. (YANG Jianjun, SHEN Genxiang, YAO Zheng, et al. Effect of watering and salt leaching on soil nutrient in agriculture under structure [J]. Acta Agriculturae Shanghai, 2004, 20(2): 63-66. (in Chinese))

(收稿日期:2016-10-25 编辑:彭桃英)