

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第36卷 第2期

Vol.36 No.2

2015

中国科学院生态环境研究中心 主办
科学出版社 出版



目次

霾与非霾期间汞在不同粒径颗粒物上的分布特征	朱琮宇,程金平,魏雨晴,薄丹丹,陈筱佳,江璇,王文华(373)
大气传输路径对上甸子本底站气溶胶光学特性的影响	蒲维维,石雪峰,马志强,赵秀娟,张小玲,徐晓峰(379)
近3年太原市夏季降水的化学特征研究	郭晓方,崔阳,王开扬,何秋生,王新明(388)
太原市PM _{2.5} 中有机碳和元素碳的污染特征	刘珊,彭林,温彦平,白慧玲,刘凤娴,史美鲜,李丽娟(396)
青海省西宁市和天峻县大气颗粒物中有机氯农药和类二噁英多氯联苯的水平与分布	李秋旭,何畅,马召辉,马丽花,扎西卓玛,王英,金军(402)
北京10个常绿树种颗粒物吸附能力研究	王兵,张维康,牛香,王晓燕(408)
人工湿地空气微生物群落碳源代谢特征	宋志文,王琳,徐爱玲,吴等等,夏岩(415)
春季融雪补给后巩乃斯河水物理化学性质空间分布特征研究	刘翔,郭玲鹏,张飞云,马杰,牟书勇,赵鑫,李兰海(421)
青藏高原湖泊小流域水体离子组成特征及来源分析	李鹤,李军,刘小龙,杨曦,张伟,王洁,牛颖权(430)
亚热带深水水库——龙滩水库季节性分层与富营养化特征分析	张垒,李秋华,黄国佳,欧腾,李钊,吴迪,周黔兰,高廷进(438)
长江河口水库沉积物磷形态、吸附和释放特性	金晓丹,吴昊,陈志明,宋红军,何义亮(448)
黄河口溶解无机碳时空分布特征及影响因素研究	郭兴森,吕迎春,孙志高,王传远,赵全升(457)
苕溪干流悬浮物和沉积物的磷形态分布及成因分析	陈海龙,袁旭音,王欢,李正阳,许海燕(464)
滇池表层沉积物氮污染特征及其潜在矿化能力	孟亚媛,王圣瑞,焦立新,刘文斌,肖焱波,祖维美,徐天敏,丁帅,周童(471)
城郊排水沟渠溶质传输的暂态存储影响及参数灵敏性	李如忠,钱靖,董玉红,唐文坤,杨继伟(481)
艾比湖表层沉积物重金属的来源、污染和潜在生态风险研究	张兆永,吉力力·阿不都外力,姜逢清(490)
工矿业绿洲城郊排污渠沉积物重金属的形态分布规律及风险评价	臧飞,王胜利,南忠仁,王兆炜,任业萌,王德鹏,廖琴,周婷(497)
山东省典型工业城市土壤重金属来源、空间分布及潜在生态风险评价	戴彬,吕建树,战金成,张祖陆,刘洋,周汝佳(507)
UV协同ClO ₂ 去除三氯生及其降解产物的研究	李玉瑛,何文龙,李青松,金伟伟,陈国元,李国新(516)
氯化铁絮凝-直接过滤工艺对地下水中As(V)的去除机制研究	康英,段晋明,景传勇(523)
负载纳米零价铁铜藻基活性炭的制备及其去除水中Cr(VI)的研究	曾淦宁,武晓,郑林,伍希,屠美玲,王铁杆,艾宁(530)
磁性石墨烯吸附水中Cr(VI)研究	刘伟,杨琦,李博,陈海,聂兰玉(537)
TiO ₂ @酵母复合微球固定床吸附荧光增白剂-VBL的研究	吴菲,张凯强,白波,王洪伦,索有瑞(545)
MnO ₂ /CFP复合电极的制备及电吸附Pb ²⁺ 特性的研究	刘方园,胡承志,李永峰,梁乾伟(552)
吸附相反应技术制备微弱光响应的多组分掺杂TiO ₂ 催化剂	王挺,祝轶琛,孙志轩,吴礼光(559)
掺铁TiO ₂ 纳米管阵列模拟太阳光光电催化降解双酚A的研究	项国梁,喻泽斌,陈颖,徐天佐,彭振波,刘钰鑫(568)
天然矿物负载Fe/Co催化H ₂ O ₂ 氧化降解阳离子红3R	马楠,刘华波,谢鑫源(576)
臭氧微气泡处理酸性大红3R废水特性研究	张静,杜亚威,刘晓静,周玉文,刘春,杨景亮,张磊(584)
碳源类型、温度及电子受体对生物除磷的影响	韩芸,许松,董涛,王斌帆,王显耀,彭党聪(590)
低温低溶解氧EBPR系统的启动、稳定运行及工艺失效问题研究	马娟,李璐,俞小军,魏雪芬,刘娟丽(597)
O池溶解氧水平对石化废水A/O工艺污染物去除效果和污泥微生物群落的影响	丁鹏元,初里冰,张楠,王星,王建龙(604)
改善污泥脱水性能的丝状真菌的分离及其促进污泥脱水的机制初探	周雨璐,付豪逸,范先锋,王振宇,郑冠宇(612)
热碱处理对污水处理厂污泥特性的影响研究	杨世东,陈霞,刘操,肖本益(619)
不同退化程度羊草草原碳收支对模拟氮沉降变化的响应	齐玉春,彭琴,董云社,肖胜生,贾军强,郭树芳,贺云龙,闫钟清,王丽芹(625)
地表臭氧浓度升高对旱作农田N ₂ O排放的影响	吴杨周,胡正华,李岑子,陈书涛,谢燕,肖启涛(636)
亚热带次生林不同土壤呼吸组分的多年观测研究	刘义凡,陈书涛,胡正华,沈小帅,张旭(644)
川中丘陵县域土壤氮素空间分布特征及其影响因素	罗由林,李启权,王昌全,李冰,张新,冯文颖,翁倩,吴冕(652)
黄土丘陵区土地利用变化对深层土壤活性碳组分的影响	张帅,许明祥,张亚锋,王超华,陈盖(661)
汶川地震灾区不同气候区土壤微生物群落碳源代谢多样性	张广帅,林勇明,马瑞丰,邓浩俊,杜锟,吴承祯,洪伟(669)
土壤电动修复的电极空间构型优化研究	刘芳,付融冰,徐珍(678)
有机氯农药污染场地挖掘过程中污染物的分布及健康风险	张石磊,薛南冬,杨兵,李发生,陈宣宇,刘博,孟磊(686)
水稻不同生育期根际及非根际土壤砷形态迁移转化规律	杨文骏,王英杰,周航,易开心,曾敏,彭佩钦,廖柏寒(694)
植物根系体外溶液提取方法研究:以多环芳烃为例	朱满党,都江雪,乐乐,李金凤,杨青青,陆守昆,占新华(700)
垂序商陆叶细胞壁结合锰机制研究	徐向华,刘翠英,李平,郎漫,赵小艳,杨建军,官敏(706)
1株筛自柴油污染土壤的铜绿假单胞菌对萘的降解特性研究	刘文超,吴彬彬,李晓森,卢滇楠,刘永民(712)
CdSe/ZnS量子点对斑马鱼胚胎发育的毒性效应	陈慕飞,黄承志,蒲德永,郑朝依,袁开米,金星星,张耀光,金丽(719)
锯齿新米虾对Cu ²⁺ 和毒死蜱毒性的生理响应	李典宝,张玮,王丽卿,张瑞雷,季高华(727)
同步衍生超声乳化微萃取气相色谱法测定环境水样中的苯胺类化合物	田立勋,戴之希,王国栋,翁焕新(736)
热水环境中Na ⁺ 活化斜发沸石吸附钙离子除硬过程研究	张硕,王栋,陈远超,张兴文,陈贵军(744)
区域经济-污染-环境三维评价模型的构建与应用	樊新刚,米文宝,马振宁(751)
《环境科学》征订启事(401)	
《环境科学》征稿简则(437)	
信息(489,522,726,735)	

春季融雪补给后巩乃斯河水物理化学性质空间分布特征研究

刘翔^{1,2}, 郭玲鹏^{1,2}, 张飞云^{1,2}, 马杰^{1,2}, 牟书勇¹, 赵鑫^{1,2}, 李兰海^{1*}

(1. 中国科学院新疆生态与地理研究所, 荒漠与绿洲生态国家重点实验室, 乌鲁木齐 830011; 2. 中国科学院大学, 北京 100049)

摘要: 在春季融雪补给后对巩乃斯河 19 个采样点 8 个水物理化学指标进行了监测, 运用聚类分析(CA)、判别分析(DA)和主成分分析(PCA)方法分析了巩乃斯河水物理化学性质的空间分布特征。聚类分析结果表明, 按各采样点之间河水物理化学性质的相似性可将巩乃斯河大致分为 3 个河段, 分别代表河流的上游、中游和下游; 判别分析的结果证实了此种分类的可靠性, 并表明 DO、Cl⁻ 以及 BOD₅ 是影响这种分类的显著性指标; 主成分分析共提取了 3 个主成分, 对应特征值的累积方差贡献率达到 86.90%, 表明影响河水物理化学性质的主要指标为 EC、ORP、NO₃⁻-N、NH₄⁺-N、Cl⁻ 和 BOD₅。对各采样点的主成分得分进行排序, 结果显示 DO 主要影响上游水质, pH 主要影响中游水质, 其余指标则是影响下游水质的主要因素。主成分综合得分的排序则表明上游水质最优, 其次为中游, 而下游最差, 恰好对应聚类分析所划分的 3 个河段。人类活动及污染物的沿河积累可能是造成这种空间差异的主要原因。

关键词: 水质; 空间分布; 多元统计分析; 融雪补给; 巩乃斯河

中图分类号: X142 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2015)02-0421-09 DOI: 10.13227/j.hj.kx.2015.02.008

Spatial Distribution Characteristics of the Physical and Chemical Properties of Water in the Kunes River After the Supply of Snowmelt During Spring

LIU Xiang^{1,2}, GUO Ling-peng^{1,2}, ZHANG Fei-yun^{1,2}, MA Jie^{1,2}, MU Shu-yong¹, ZHAO Xin^{1,2}, LI Lan-hai^{1*}

(1. State Key Laboratory of Desert and Oasis Ecology, Xinjiang Institute of Ecology and Geography, Chinese Academy of Sciences, Urumqi 830011, China; 2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: Eight physical and chemical indicators related to water quality were monitored from nineteen sampling sites along the Kunes River at the end of snowmelt season in spring. To investigate the spatial distribution characteristics of water physical and chemical properties, cluster analysis (CA), discriminant analysis (DA) and principal component analysis (PCA) are employed. The result of cluster analysis showed that the Kunes River could be divided into three reaches according to the similarities of water physical and chemical properties among sampling sites, representing the upstream, midstream and downstream of the river, respectively; The result of discriminant analysis demonstrated that the reliability of such a classification was high, and DO, Cl⁻ and BOD₅ were the significant indexes leading to this classification; Three principal components were extracted on the basis of the principal component analysis, in which accumulative variance contribution could reach 86.90%. The result of principal component analysis also indicated that water physical and chemical properties were mostly affected by EC, ORP, NO₃⁻-N, NH₄⁺-N, Cl⁻ and BOD₅. The sorted results of principal component scores in each sampling sites showed that the water quality was mainly influenced by DO in upstream, by pH in midstream, and by the rest of indicators in downstream. The order of comprehensive scores for principal components revealed that the water quality degraded from the upstream to downstream, i. e., the upstream had the best water quality, followed by the midstream, while the water quality at downstream was the worst. This result corresponded exactly to the three reaches classified using cluster analysis. Anthropogenic activity and the accumulation of pollutants along the river were probably the main reasons leading to this spatial difference.

Key words: water quality; spatial distribution; multivariate statistical analysis; supply of snowmelt; Kunes River

融雪径流作为水资源的重要组成部分, 为世界约 1/6 的人口提供水源^[1]。近年来, 大气污染的加剧导致空气中的悬浮颗粒等污染物质的含量不断升高, 并通过降雪、积雪及积雪融化等过程逐渐向积雪中迁移富集。在春季融雪期, 融雪水的淋溶作用会将冬季积雪期积累的污染物淘洗出积雪层, 随着融雪径流对河水的补给, 这些污染物最终会被带入

河流^[2]。此外, 秋冬季节和春季冻融交替作用会降低土壤抗蚀性能, 从而增加土壤中污染物质的溶出,

收稿日期: 2014-08-06; 修订日期: 2014-10-08

基金项目: 新疆维吾尔自治区重点实验室专项资金项目(2014KL015); 国家重点基础研究发展计划(973)项目(2012CB956204)

作者简介: 刘翔(1990~), 男, 博士研究生, 主要研究方向为生态水文学, E-mail: liuxiang12@mails.ucas.ac.cn

* 通讯联系人, E-mail: lilh@ms.xjb.ac.cn

在融雪径流流经的区域,会将这些污染物冲刷进入水体^[3]. 因此,季节性融雪径流的补给对河水物理化学性质的影响不容忽视,尤其对于我国的西北干旱地区,由积雪转化而来的融雪径流作为该地区河流的重要补给源,对于流域内的工农业生产及社会经济的可持续发展具有十分重要的意义^[4],而河流水质的好坏制约着水资源的可利用程度,所以应该逐渐加大季节性融雪补给后河水物理化学性质的监测力度.

巩乃斯河起源于天山中段西部的阿吾拉勒山和依连哈比尔尕山交界处,积雪融水为流域的重要水源,为下游河谷地区工农牧业生产、人民生活以及生态环境建设提供了大量的水资源^[5]. 其流域内还分布着包括铁矿、金矿和钨矿等丰富的矿产资源^[6]. 随着流域内农牧业的不断发展和扩大,工业的逐渐兴起以及即将实施的矿藏开采,势必会增加对巩乃斯河水环境保护的压力. 迄今为止,关于巩乃斯河水物理化学性质空间分布情况的报道为数不多^[7],尤其缺少春季融雪补给后河水理化性质空间分布特征的研究. 鉴于此,本研究在对春季融雪后巩乃斯河水物理化学指标进行监测的基础上,综合运用聚类分析(cluster analysis, CA)、判别分析(discriminant analysis, DA)和主成分分析(principal component analysis, PCA)的方法,结合已有的流域环境背景资料,探求春季融雪补给后巩乃斯河水物理化学性质的空间分布特征,分析巩乃斯河水物理化学性质空间分布差异的原因,以期对巩乃斯河流域水资源的科学管理与可持续利用决策提供科学依据.

1 材料与方法

1.1 研究区概况

巩乃斯河是伊犁河三大支流之一,发源于阿吾拉勒山和依连哈比尔尕山交界处,河源区海拔为3 500 m以上的高山区,河流自东向西流,下游在新疆新源县境内,沿河形成较大的河漫滩,河床年年增高,水流分散,支流众多,谷地北侧多于南侧,在流域内形成多个天然岛状地形. 其主流在哈拉苏与其主支恰甫河汇合,最终与特克斯河在巩乃斯种羊场西部汇合后注入伊犁河,全长258 km,集水面积3 532 km²,多年平均流量50.4 m³·s⁻¹,多年平均径流量 1.589×10^9 m³,属季节性融雪型河流,径流量变化不大^[8,9]. 研究区域的降水在空间上分布不均匀,总的来说山区降水量大于平原,且随高程的增加而增加. 巩乃斯河55%的河水来自地下水补给,3.27%

来自雪冰融水,另外41.73%来自雨水及季节性积雪融水补给. 冬季封冻将近5个半月,一年中有两次汛期,集中在春夏两季. 春汛量小,时间一个月左右;6月至7月中旬,受降雨影响,径流量最大^[9].

巩乃斯河流域主要分布在新源县境内,该县位于新疆维吾尔自治区西北部,天山北麓,伊犁河谷东端,总面积6 446.7 km²,辖6镇5乡77个行政村,总人口29.85万人,有哈、汉、维、回等34个民族^[10]. 新源县自然地理条件优越,矿产和水土等资源丰富的,是新疆重点牧业县、重要的农牧业生产基地和连接南北疆的交通要冲^[11]. 此外,新源县也是全疆的工业大县,拥有伊犁钢铁有限责任公司、兴源钢铁有限责任公司、伊力特股份有限公司和肖尔布拉克酒业公司等企业. 境内的那拉提草原是国家5A级旅游景区,年游客113万人次(2012年),在一定程度上促进了当地的经济. 由于地势东高西低,该县人口多集中在海拔较低的中西部,东部除旅游季的那拉提景区之外,人类活动较弱^[10].

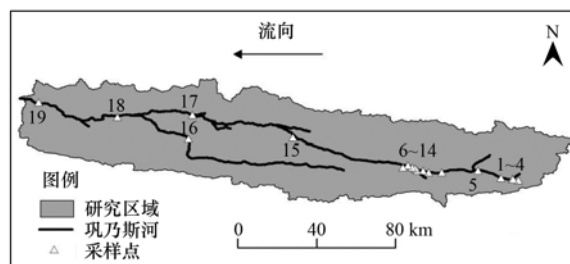


图1 采样点分布示意

Fig. 1 Sampling site distribution

1.2 样品采集与分析

本次野外采样与分析时间为2014年5月3~6日. 为对巩乃斯河水理化性质的空间分布有一个比较清晰全面的了解,并考虑到实际操作的可操作性以及支流的分布情况,沿巩乃斯河干流共设置19个采样点(图1),采样点的基本情况见表1. 河水的理化性质采用美国维赛公司生产的YSI-Pro Plus型便携式多参数水质测量仪进行测定. 分析的水物理化学指标包括:pH值(pH)、电导率(EC)、溶解氧(DO)、氧化还原电位(ORP)、硝态氮(NO₃⁻-N)、铵态氮(NH₄⁺-N)、氯离子(Cl⁻)和5日生化需氧量(BOD₅). 其中除BOD₅之外,其余指标均在野外河流处现场测定. 在野外测定之前,要使用各指标的标准溶液在实验室内提前对各个指标进行校准. 测样时,首先将待测指标的传感器安装于四口电缆上,并旋紧传感器保护套以免传感器被河水中的石块等杂物破坏;然后将电缆柔和、缓慢地放入河水中.

采样点尽可能地选取在离河岸较远的地方,对于河岸较高的地方,使用粗麻绳捆绑 5 L 容量的折叠水桶进行河水的采集. 由于巩乃斯河水位较低,采样深度多集中在 0.2 ~ 0.5 m 之间. 最后,待仪表中各指标的读数稳定之后进行数据的记录. 测试水样的同时,使用手持式 GPS 测定采样点的经纬度及海拔. 考虑到电缆只有 4 个传感器端口(包括 1 个电导率传感器端口,1 个 DO 传感器端口和 2 个离子传感器端口),所以在测定完一组指标后需要进行传感器的更换,一般测定的顺序为:①pH、ORP、EC 和 DO; ② $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 和 $\text{NO}_3^- \text{-N}$; ③ Cl^- . 其中第一组指

标读数一般会迅速稳定,后两组指标读数稳定的时间稍长. 每个采样点测定时间约为 1 h,共进行 3 次重复测定. 各指标的测量范围和分辨率见表 2.

此外,考虑到 BOD_5 培养的天数以及野外采样分析所需的时间有所冲突,因此将水样用 500 mL 的聚乙烯塑料瓶收集(每个采样点各采集 2 瓶水样),并在采集时将瓶中气泡尽可能排出,然后放入冷藏箱中运回中国科学院新疆生态与地理研究所干旱区水循环与水利用实验室,并冷藏保存直至进行 BOD_5 的测定. 水样的预培养采用黄伟等人的方法^[12],使用水质测量仪自带的 BOD 探头进行测定.

表 1 采样点描述

Table 1 Description of sampling sites

编号	纬度	经度	高程/m	河水描述
1	43°13'22"N	84°45'1"E	2 257	清澈
2	43°13'48"N	84°43'21"E	2 185	清澈
3	43°14'4"N	84°40'19"E	2 115	清澈
4	43°13'37"N	84°43'40"E	2 204	清澈
5	43°16'2"N	84°34'2"E	1 960	清澈
6	43°15'33"N	84°24'8"E	1 750	稍浑
7	43°15'32"N	84°20'32"E	1 698	清澈
8	43°15'57"N	84°19'01"E	1 674	稍浑
9	43°16'23"N	84°17'3"E	1 640	稍浑
10	43°16'1"N	84°17'28"E	1 652	稍浑
11	43°16'40"N	84°16'51"E	1 648	浑浊
12	43°16'55"N	84°16'4"E	1 613	浑浊
13	43°17'28"N	84°14'53"E	1 610	稍浑
14	43°17'30"N	84°13'34"E	1 590	浑浊
15	43°24'59"N	83°43'29"E	1 078	浑浊
16	43°24'35"N	83°14'57"E	954	浑浊
17	43°31'8"N	83°16'5"E	854	浑浊
18	43°30'34"N	82°55'34"E	616	浑浊
19	43°34'35"N	82°34'7"E	795	浑浊

表 2 各参数测量范围及分辨率¹⁾

Table 2 Measurement ranges and resolutions of each index

参数	测量范围	分辨率
pH	0 ~ 14	0.01
EC/ $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$	0 ~ 200	0.001 ~ 0.1
DO/%	0 ~ 500	0.1
ORP/mV	-1 999 ~ 1 999	0.1
$\text{NO}_3^- \text{-N}/\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	0 ~ 200 (0 ~ 40℃)	0.1
$\text{NH}_4^+ \text{-N}/\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	0 ~ 200 (0 ~ 40℃)	0.1
$\text{Cl}^-/\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	0 ~ 1 000 (0 ~ 40℃)	0.1

1) 参考《YSI-Pro Plus 型水质测量仪用户手册》

1.3 数据分析方法

1.3.1 数据分布特征分析

在河流水质评价中,聚类分析,判别分析和主成分分析的应用最为广泛^[13]. 首先,这类多元统计方法要求水质指标呈正态或接近正态分布^[14],所以在

进行各项分析之前,需要采用偏度和峰度指标对巩乃斯河水质的原始数据进行指标分布特征检验,本研究采用的方法为 Kurtosis 和 Skewness 检验. 对于偏正和偏负的数据分别采用自然对数法和平方法进行转化,使水质指标接近正态分布,以提高后续多元统计方法的可信度. 同时,考虑到各指标数量级和计量单位的差异,在进行 CA 和 PCA 分析时,需要对数据进行标准化^[15].

1.3.2 聚类分析

聚类分析在水质空间分析的研究中应用较为广泛,其实质是根据数据间的亲疏程度,以逐次聚合的方法,把相似程度最大的数据或属性聚合为一类^[14]. 本研究采用欧式距离来计算变量间的亲疏程度,并用 Ward 法进行采样点的空间相似性分析,使水物理化学性质相似的采样点聚类在一起.

1.3.3 判别分析

相对于聚类分析,判别分析首先要明确采样点分类情况,通过判别函数判断未知样本的归属,并可以识别显著性的污染指标.其基本原理是按照一定的判别准则,建立一个或多个判别函数,用研究对象的大量资料确定判别函数中的待定系数,并计算判别指标,据此即可确定某一样本属于何类^[14].

1.3.4 主成分分析

主成分分析是在不损失或少损失原有信息的前提下,将多指标问题转化为较少的新指标问题以累计贡献率 $\geq 85\%$ 确定主因子个数.这种方法充分考虑到各指标之间的信息重叠,将多维指标纳入同一系统进行定量研究,能够最大限度地保留原有信息的基础上,对高维变量进行最佳的综合降维,且更客观地确定各个指标的权重,避免了主观随意性,在解决很多实际问题时已取得较好效果^[13].

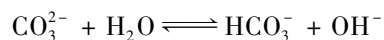
1.3.5 数据处理

数据的处理和分析使用 SPSS 16.0 和 EXCEL 软件,并使用 Origin 9.0 软件进行绘图.

2 结果与讨论

2.1 各指标空间分布特征

本研究分析的巩乃斯河各采样点水物理化学指标值列于表3.从中可以看出,春季融雪后巩乃斯河河水的 pH 主要分布在 7.70~8.27 之间,属弱碱性水.河水 pH 从上游到下游表现为上下波动的趋势[图 2(a)].由于流域内地形复杂,降水量与蒸发量在不同河段间会存在差异.总体上,因 15 号采样点之前全部为河流的源头区,这里大多处于海拔较高的山区,因此拥有较大的降水量和相对较弱的蒸发强度;在 14 号采样点之后,地形由山区转变为了冲积平原,降水量明显减少,蒸发强度增加^[7].这种降水量与蒸发量沿河的变化特征,使得上游河水中 HCO_3^- 和 CO_3^{2-} 离子的浓度较低,而下游较高.此外,平原区的温度普遍高于山区,进一步促进了 HCO_3^- 和 CO_3^{2-} 离子的水解. CO_3^{2-} 水解后可产生 HCO_3^- 和 OH^- , HCO_3^- 的水解也会产生 OH^- , 因此最终影响了河水的 pH 值^[7,16]. CO_3^{2-} 和 HCO_3^- 离子水解过程如下:



然而,位于河流上游的 8、9 和 11 号采样点的 pH 相对较高,这可能是由于这 3 个点位于河流干流与支流交汇处,由支流带入较多盐类,使得 HCO_3^-

和 CO_3^{2-} 离子浓度升高而引起的.

除 pH 之外,其余各项指标的值在河流的下游地区都普遍高于上游地区(图 2).由表 3 可知,在 14 号采样点之后,河水的电导率逐渐增大,在 19 号采样点达到其峰值 $[(512 \pm 0.1) \mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}]$.电导率(EC)是水体中总溶解离子浓度的总体反映,伴随着河水的运移,围岩、土壤以及人类活动产生的溶解性盐类不断溶解进入河水,并发生离子交换,在没有与电导率较小的水体混合、气体析出和溶解性固体沉淀的情况下,水体的电导率是逐渐升高的^[17].在本研究中,采样点 7、10、13 和 14 分别选取在巩乃斯河的不同支流,而其电导率相比干流表现出较低的数值,在不断汇入干流的情况下,导致上游地区干流的河水也表现为较低的电导率,而在 14 号采样点之后,由于基本没有支流汇入干流,因此中下游地区河水电导率的值大幅升高,和上述理论基本一致[图 2(a)].另一方面,由于河流的中下游流经人类活动较为频繁的地区,其中包括伊犁钢铁厂以及新疆最大的酒厂之一伊力特酒厂,因此流入河流中的盐类可能会急剧升高,这也是造成中下游地区河水电导率升高的可能原因之一.

春季巩乃斯河河水 DO 与 ORP 的空间变化如图 2(b)所示.与其他河段相比,班禅沟地区河水的 DO 值普遍较低.离开该区域后,河水的 DO 值突然升高并保持相对稳定的状态,直至下游地区才开始降低.DO 的主要影响因素之一是水温,水温越高,DO 的值越低^[18,19].然而本研究中 DO 值对水温的变化并没有呈现出一定的响应规律,表明在该时段其他因素如盐分、氮磷含量等可能对巩乃斯河河水 DO 值的影响更大.有研究表明,水体中的 DO 与氮磷含量呈负相关^[22],而本文的研究结果与该结论有一定的相似之处.从图 2(b)和 2(c)可以看出, NO_3^- -N 和 NH_4^+ -N 的含量较低时,DO 较高,而在下游随着 NO_3^- 和 NH_4^+ 的含量大幅升高,DO 表现出降低的趋势.与 DO 相比,ORP 也表现为上游低,中下游高的特征.有研究表明,ORP 与 pH 和水温呈明显的负相关^[21];但也有研究指出,在环境温度波动的影响下 ORP 的变化趋势基本不受影响^[22].本研究中 pH 与水温对 ORP 的变化没有表现出明显的关系,因此要找出春季巩乃斯河河水 ORP 的影响因素仍需做进一步研究.

从表 3 可以看出,融雪径流补给后巩乃斯河河水的 NO_3^- -N、 NH_4^+ -N、 Cl^- 和 BOD_5 的值表现为较低水平,但从上游到下游逐渐升高[图 2(c)和 2(d)].

这类指标可以代表有机污染,与人类活动造成的农业、工业和生活污染紧密相关^[23]。人口密度从上游到下游的不断增大使得人类活动逐渐频繁,从而导致河流水质逐渐变差。

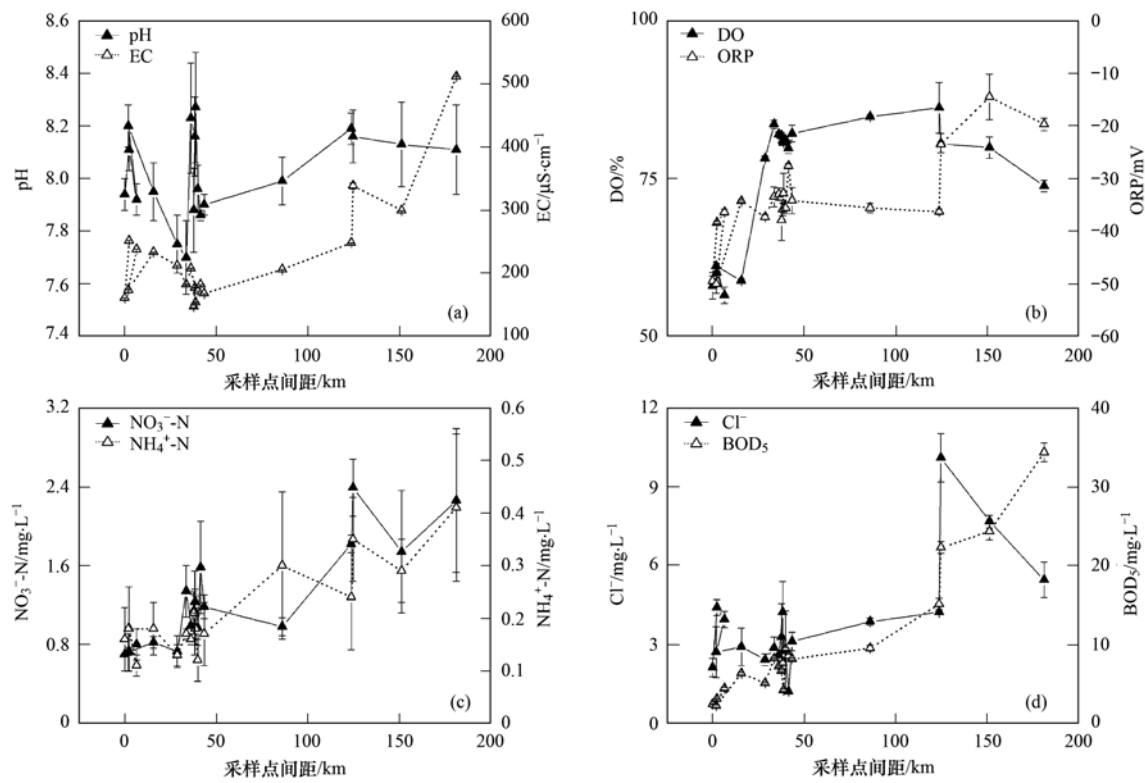


图2 各指标空间变化特征

Fig. 2 Spatial variation characteristics of each water physical and chemical index

表3 采样点水物理化学性质统计

Table 3 Statistical description of water physical and chemical properties at the sampling sites									
编号	水温/℃	pH	EC/ $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$	DO/%	ORP/mV	$\text{NO}_3^-/\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	$\text{NH}_4^+/\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	$\text{Cl}^-/\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	$\text{BOD}_5/\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$
1	11.7	7.94±0.06	161.0±0.1	58.0±2.1	-49.5±1.0	0.70±0.01	0.16±0.06	2.12±0.35	2.41±0.06
2	12.1	8.11±0.08	251.6±0.1	60.1±0.2	-38.4±0.2	0.73±0.04	0.18±0.08	4.40±0.3	3.11±0.07
3	12.0	7.92±0.06	237.7±0.1	56.5±1.3	-36.4±0.6	0.80±0.16	0.11±0.02	3.95±0.31	4.40±0.17
4	8.6	8.20±0.08	173.6±0.2	61.1±0.3	-50.1±1.7	0.72±0.19	0.18±0.0	2.70±0.97	2.21±0.12
5	13.8	7.95±0.11	233.0±0.2	58.8±0.3	-34.3±0.2	0.82±0.06	0.18±0.05	2.91±0.71	6.31±0.12
6	11.8	7.75±0.11	212.1±0.1	78.2±0.4	-37.3±0.5	0.73±0.16	0.13±0.02	2.42±0.22	5.08±0.10
7	11.7	7.70±0.14	182.2±0.5	83.6±0.6	-33.5±1.9	1.34±0.26	0.17±0.01	2.87±0.41	8.19±0.11
8	11.8	8.23±0.21	207.4±0.1	82.0±0.4	-33.0±1.2	0.99±0.02	0.16±0.01	2.60±0.01	7.18±0.09
9	10.7	8.16±0.15	176.8±0.6	81.0±0.5	-35.9±1.2	1.23±0.13	0.21±0.08	4.23±1.15	7.66±0.27
10	12.9	7.88±0.16	147.3±1.6	81.8±0.5	-37.9±3.9	1.14±0.17	0.21±0.04	3.28±1.27	6.66±0.11
11	9.5	8.27±0.21	153.4±0.5	80.7±0.1	-32.8±3.8	1.23±0.06	0.18±0.03	2.75±0.4	4.19±0.14
12	10.9	7.96±0.09	171.8±0.2	81.1±0.5	-35.6±1.1	0.97±0.18	0.12±0.04	2.76±1.52	9.45±0.16
13	16.1	7.86±0.02	182.0±0.1	79.8±0.8	-27.6±0.4	1.58±0.47	0.10±0.02	1.21±0.03	8.52±0.23
14	11.1	7.90±0.04	167.6±0.1	82.1±1.3	-34.2±2.5	1.18±0.12	0.17±0.06	3.11±0.35	8.16±0.12
15	15.6	7.99±0.09	205.9±0.1	84.8±0.2	-35.6±0.9	0.98±0.09	0.30±0.14	3.87±0.13	9.52±0.35
16	14.3	8.19±0.06	247.8±0.3	86.2±4.0	-36.3±0.5	1.82±0.09	0.24±0.1	4.23±0.05	15.14±0.72
17	18.6	8.16±0.10	338.4±5.0	80.6±1.5	-23.5±0.5	2.39±0.29	0.35±0.08	10.15±0.91	22.03±0.73
18	16.2	8.13±0.16	299.3±0.1	79.9±1.7	-14.5±4.3	1.74±0.62	0.29±0.06	7.68±0.24	24.33±1.11
19	18.5	8.11±0.17	512.0±0.1	73.8±0.9	-19.7±1.2	2.26±0.73	0.41±0.14	5.46±0.67	34.36±1.18

2.2 原始数据处理

巩乃斯河水物理化学指标的分布特征,其结果分别为-0.995~2.343和-0.902~6.610(置信度为

针对原始数据,采用 Skewness 和 Kurtosis 检验

岸虽然人口稀疏,但是农牧业较为发达,且沿河干流修筑有若干水电站和水库.此外,不断有其他大小支流汇入干流,但这些支流都发源于人类活动影响极弱的山区,因此可能会改善干流的水质;相比前两组,第3类采样点位于巩乃斯河的中下游地区,不仅受到上游来水污染,而且流经的新源县和那拉提景区人类活动频繁,尽管当地工业化水平较低,但是生活污水、农业灌溉以及畜牧污染物也会对水质造成一定程度的污染,因此第3类可能代表水质较差的河段.

2.4 空间判别分析

采样 DA 分析,将采样点作为因变量,各项水物理化学指标作为自变量,针对上述3类空间分组,对 CA 得到的结果进行分析,并进一步识别显著差异性水物理化学指标.检验后得到的 Wilks' λ 值和卡方系数分别为 0.007 ~ 0.224 和 22.455 ~ 73.453,显著程度小于 0.05,说明空间判别分析的结果拥有可信且有效的辨别能力.此外,从表 5 可知,将采样点分为 3 类的正确率可达 100%.

表 5 空间判别分析结果

Table 5 Space discriminant analysis results				
类型	正确率/%	第 1 类	第 2 类	第 3 类
第 1 类	100	11	0	0
第 2 类	100	0	5	0
第 3 类	100	0	0	3

表 6 表明识别水物理化学性质空间差异的显著性指标为 DO 浓度、Cl⁻ 浓度以及 BOD₅,并得到巩乃斯河的 Fisher 线性判别函数(F):

$$F_1 = 18.662 \text{ DO} - 3.952 \text{ Cl}^- - 0.332 \text{ BOD}_5 - 7.244 \tag{1}$$

$$F_2 = -39.869 \text{ DO} + 6.984 \text{ Cl}^- - 3.325 \text{ BOD}_5 - 33.796 \tag{2}$$

$$F_3 = -1.990 \text{ DO} + 2.852 \text{ Cl}^- + 6.759 \text{ BOD}_5 - 9.664 \tag{3}$$

表 6 空间尺度判别分析的分类函数及其系数

Table 6 Classification functions and their coefficients for spatial DA			
指标	第 1 类	第 2 类	第 3 类
DO	18.662	-39.869	-1.980
Cl ⁻	-3.952	6.984	2.852
BOD ₅	-0.332	-3.325	6.759
常数	-7.244	-33.796	-9.664

2.5 主成分分析

在进行主成分分析之前,分别对巩乃斯河采样点的水物理化学指标数据进行 Kaiser-Meyer-Olkin

(KMO) 和 Bartlett's 球形检验,检验后得到 KMO 值为 0.752,表明适宜进行主成分分析.

基于特征值大于 1 的评判标准,由图 4 可以看出,特征值大于 1 对应的主成分有 2 个.水物理化学指标相关矩阵的特征向量和特征值见表 7. 从中可以看出,前 2 个主成分分量的累计贡献率为 75.51%,低于所要求的 85.00%,因此增加一个主分量,以更好地反映原始指标的信息.

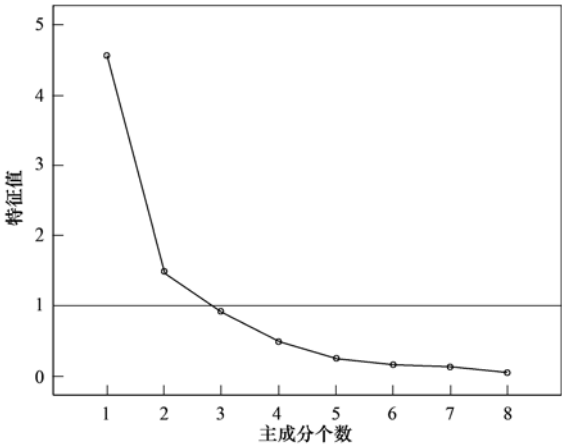


图 4 巩乃斯河主成分碎石图

Fig. 4 Principal component screeplot of Kunes River

表 7 中的结果表明,第一主成分方差贡献率为 57.10%,且除 pH 和 DO 以外,其余指标在第一主成分上都有较高的载荷,说明第一主成分反映了除 pH 和 DO 外的其他指标的信息,这些指标可以用来体现人类活动如农业(累积在土壤中)、畜牧业、工业以及日常生活对河水水质的影响.第二主成分 的方差贡献率稍低,为 18.45%,主要体现了 DO 的信息,可以反映温度和水中有有机质对水质带来的影响^[18];第三主成分为增加的主成分,方差贡献率为 11.35%,其中 pH 的载荷较高,说明第三主成分主要体现的 pH 可以表示地形地貌对水质的影响^[17]. 综上所述可以看出,3 个主成分的累计方差贡献率为 86.90%,可以基本反映全部指标的信息,所以决定用 3 个新变量来代替原来的 8 个变量.用表 7 中的数据除以主成分相对应的特征值开平方根便得到 3 个主成分中每个指标所对应的系数,然后与标准化后的数据相乘,便可得到主成分表达式^[25].

此外,将因子的数值分别乘以各自主成分的特征值的算数平方根,便可得出不同采样点各主成分的得分,然后根据各主成分表达式及主成分综合模型即可计算出综合得分(表 8),按照分值排序后即可对不同采样点的水质进行分级评价.从表 8 可以看出,许多邻近采样点的 3 个主成分得分以及主成

表 7 主成分分析结果

Table 7 Result of principal component analysis

变量	PC1	PC2	PC3
pH	0.38	0.55	0.64
EC	0.77	0.36	-0.44
DO	0.46	-0.73	0.45
ORP	0.85	-0.25	-0.24
NO ₃ ⁻ -N	0.88	-0.30	0.08
NH ₄ ⁺ -N	0.81	0.32	0.18
Cl ⁻	0.78	0.43	-0.01
BOD ₅	0.93	-0.28	-0.13
特征值	4.56	1.48	0.91
方差贡献率/%	57.10	18.45	11.35
累计方差贡献率/%	57.10	75.55	86.90

分综合得分大致相同,说明这些采样点的水物理化学性质相似,但是同时也反映了采样点过于冗余.从得分的排序来看,主成分 1 的得分表现为上游 < 中游 < 下游,说明以 EC、ORP、NO₃⁻-N、NH₄⁺-N、Cl⁻ 和 BOD₅ 为综合指标的水质以上游最佳,中游其次,下游最差;对于主成分 2,表现为中游 < 下游 <

上游,说明主要表征信息 DO 是影响上游水质的主要原因;主成分 3 的得分情况为上游 < 下游 < 中游,表明 pH 主要影响了中游的水质,其次为下游,对上游影响最小;主成分综合模型 F 得分情况大致为:上游 < 中游 < 下游,说明春季巩乃斯河水质以上游最佳,中游次之,下游最差.综合聚类分析的结果,说明 3 个空间分类中,代表下游的第一类采样点水质较差,其次为代表中游的第三类采样点,而第二类采样点则说明上游有较好的水质.这一结果恰好反映出了流域人类活动的特点:在河流上游,人口稀少使得人类活动极弱,因此对河水的污染能力也十分低下,上游良好的水质情况同时也反映出补给该河流的积雪受到的污染极弱;中游多为河谷地区,人口密度仍然很低,但是沿河人类活动如放牧和耕作不断增强,发电站、水库的修筑同样会对河流的水质产生一定的污染;河流的下游人口密集,城镇化水平较高,伴随着生活、工业废水的排放,以及中上游污染物的积累,使得下游水质情况不断恶化.

表 8 主成分得分及排序

Table 8 Scores and grades of the principal components

采样点	第一主成分 F1	排序	第二主成分 F2	排序	第三主成分 F3	排序	综合主成分 F	排序
1	-3.22	19	1.08	4	-0.2	11	-1.93	19
2	-1.08	17	2.1	1	-0.41	13	-0.32	9
3	-1.61	18	1.09	3	-1.6	19	-1.04	15
4	-2.53	16	1.97	2	0.97	5	-1.13	16
5	-0.96	15	0.95	5	-1.22	18	-0.59	12
6	-1.74	9	-0.95	15	-1.06	16	-1.48	18
7	-0.36	8	-1.86	18	-0.73	15	-0.72	13
8	-0.18	7	-0.08	11	1.05	4	0.01	7
9	0.32	14	0.1	9	1.21	2	0.39	6
10	-0.63	11	-0.94	14	0.47	7	-0.55	11
11	-0.43	10	-0.03	10	1.8	1	-0.06	8
12	-0.93	12	-1.11	16	0.08	9	-0.84	14
13	-0.99	5	-2.47	19	-0.66	14	-1.26	17
14	-0.38	13	-1.14	17	0.12	8	-0.47	10
15	0.58	2	-0.19	13	0.56	6	0.41	5
16	1.78	3	-0.16	12	1.11	3	1.29	4
17	4.16	6	0.69	7	0.06	10	2.9	2
18	3.7	4	0.14	8	-0.36	12	2.43	3
19	4.5	1	0.79	6	-1.19	17	2.98	1

3 结论

(1)春季融雪径流补给后,巩乃斯河不同河段处的水物理化学性质存在差异,pH 沿河上下游表现为上下波动的特征,其余水物理化学指标的大小则逐渐升高.

(2)通过聚类分析,按照各采样点水物理化学

性质组成的相似性将巩乃斯河划分为 3 类,判别分析的结果证明了聚类分析的结果有效可信,并表明影响这种分类结果的指标为 DO、Cl⁻ 以及 BOD₅.

(3)运用主成分分析共提炼出了 3 个主成分,从各主成分得分可以看出,EC、ORP、NO₃⁻-N、NH₄⁺-N、Cl⁻ 和 BOD₅ 是影响下游水质的主要指标,而上游和中游水质则分别受 DO 和 pH 的影响.

(4)综合主成分的得分排序表明,上游的水质最优,其次为中游,下游最差,分别对应了聚类分析结果的第2类采样点、第3类采样点和第1类采样点,表明在河流的上游地区,作为巩乃斯河重要补给源的积雪未受到严重污染,而水质沿河不断变差则可能与人类活动密切相关。

参考文献:

- [1] Hock R, Rees G, Williams M W, *et al.* Contribution from glaciers and snow cover to runoff from mountains in different climates [J]. *Hydrological Processes*, 2006, **20** (10): 2089-2090.
- [2] 汪太明, 王业耀, 刘玉萍, 等. 东北地区春季融雪期非点源污染负荷估算方法及应用[J]. *农业环境科学学报*, 2012, **31**(4): 807-812.
- [3] Fitzhugh R D, Driscoll C T, Groffman P M, *et al.* Effects of soil freezing disturbance on soil solution nitrogen, phosphorus, and carbon chemistry in a northern hardwood ecosystem [J]. *Biogeochemistry*, 2001, **56**(2): 215-238.
- [4] 包安明, 陈晓娜, 李兰海. 融雪径流研究的理论与方法及其在干旱区的应用[J]. *干旱区地理*, 2010, **33**(5): 684-691.
- [5] 李梅英, 徐俊荣, 刘志兴, 等. 新疆巩乃斯河水中微量重金属元素的特征分析[J]. *水资源保护*, 2009, **25**(5): 44-48.
- [6] 王庆明, 林卓斌, 黄诚, 等. 新疆西天山艾肯达坂火山机体与成矿[J]. *新疆地质*, 2000, **18**(3): 236-244.
- [7] 刘志兴, 徐俊荣, 李梅英, 等. 新疆巩乃斯河水化学分析[J]. *干旱区地理*, 2010, **33**(1): 23-28.
- [8] 胡汝骥. 中国天山自然地理[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2004. 234-236.
- [9] 王云才. 巩乃斯河流域游憩景观生态评价及持续利用[J]. *地理学报*, 2005, **60**(4): 645-655.
- [10] 闫玲, 夏依木拉提·艾依达尔艾力. 近50 a来新疆新源县气温变化趋势分析[J]. *甘肃水利水电技术*, 2010, **46**(7): 52-53.
- [11] 杨晓. 新源县草地退化的社会经济成因分析与应对草地退化的对策研究[D]. 北京: 中央民族大学, 2012. 10-17.
- [12] 黄伟, 杨翠英, 徐鑫, 等. 用溶氧仪测定水样 BOD₅ 的方法[J]. *实验技术与管理*, 2006, **23**(5): 25-27.
- [13] López-López J A, Mendiguchía C, García-Vargas M, *et al.* Multi-way analysis for decadal pollution trends assessment: The Guadalquivir River estuary as a case study [J]. *Chemosphere*, 2014, **111**: 47-54.
- [14] Lattin J M, Carroll J D, Green P E. Analyzing multivariate data [M]. Pacific Grove, CA, USA: Thomson Brooks/Cole, 2003.
- [15] Wang Y B, Liu C W, Liao P Y, *et al.* Spatial pattern assessment of river water quality: implications of reducing the number of monitoring stations and chemical parameters [J]. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2014, **186**(3): 1781-1792.
- [16] Barbot E, Vidic N S, Gregory K B, *et al.* Spatial and temporal correlation of water quality parameters of produced waters from devonian-age shale following hydraulic fracturing [J]. *Environmental Science & Technology*, 2013, **47**(6): 2562-2569.
- [17] 徐华山, 赵同谦, 孟红旗, 等. 河岸带地下水理化指标变化及与洪水的响应关系研究[J]. *环境科学*, 2011, **32**(3): 632-640.
- [18] 张莹莹, 张经, 吴莹, 等. 长江口溶解氧的分布特征及影响因素研究[J]. *环境科学*, 2007, **28**(8): 1649-1654.
- [19] Sear D A, Pattison I, Collins A L, *et al.* Factors controlling the temporal variability in dissolved oxygen regime of salmon spawning gravels [J]. *Hydrological Processes*, 2014, **28**(1): 86-103.
- [20] 赵海超, 王圣瑞, 赵明, 等. 洱海水体溶解氧及其与环境因子的关系[J]. *环境科学*, 2011, **32**(7): 1952-1959.
- [21] 尹军, 刘志生. 饮用水 ORP 的健康意义及影响因素探讨[J]. *中国给水排水*, 2005, **21**(9): 25-28.
- [22] 高大文, 王淑莹, 彭永臻, 等. 温度变化对 DO 和 ORP 作为过程控制参数的影响[J]. *环境科学*, 2003, **24**(1): 63-69.
- [23] Mustapha A, Aris A Z, Juahir H, *et al.* River water quality assessment using environmentric techniques: case study of Jakara River Basin [J]. *Environmental Science and Pollution Research*, 2013, **20**(8): 5630-5644.
- [24] 张玉明, 张保平, 宋迎蔚, 等. 遥感异常提取法在西天山班禅沟一带铜、铁找矿中的应用[J]. *新疆地质*, 2006, **24**(4): 450-453.
- [25] 石广. 基于主成分分析法的再生水水源水质综合评价[J]. *环境科学与技术*, 2013, **36**(12M): 416-423.

CONTENTS

Size Distribution Characteristics of Particulate Mercury on Haze and Non-haze Days	ZHU Qiong-yu, CHENG Jin-ping, WEI Yu-qing, <i>et al.</i> (373)
Impact of Atmospheric Pollutants Transport Pathways on Aerosol Optical Properties at Shangdianzi Background Station	PU Wei-wei, SHI Xue-feng, MA Zhi-qiang, <i>et al.</i> (379)
Chemical Characteristics of 3-year Atmospheric Precipitation in Summer, Taiyuan	GUO Xiao-fang, CUI Yang, WANG Kai-yang, <i>et al.</i> (388)
Pollution Characteristics of Organic and Elemental Carbon in PM _{2.5} in Taiyuan	LIU Shan, PENG Lin, WEN Yan-ping, <i>et al.</i> (396)
Levels and Distribution of Organochlorine Pesticides and Dioxin-Like Polychlorinated Biphenyls in Atmospheric Particulates in Xining and Tianjun, Qinghai Province, China	LI Qiu-xu, HE Chang, MA Zhao-hui, <i>et al.</i> (402)
Particulate Matter Adsorption Capacity of 10 Evergreen Species in Beijing	WANG Bing, ZHANG Wei-kang, NIU Xiang, <i>et al.</i> (408)
Carbon Sources Metabolic Characteristics of Airborne Microbial Communities in Constructed Wetlands	SONG Zhi-wen, WANG Lin, XU Ai-ling, <i>et al.</i> (415)
Spatial Distribution Characteristics of the Physical and Chemical Properties of Water in the Kunes River After the Supply of Snowmelt During Spring	LIU Xiang, GUO Ling-peng, ZHANG Fei-yun, <i>et al.</i> (421)
Composition Characteristics and Source Analysis of Major Ions in Four Small Lake-watersheds on the Tibetan Plateau, China	LI He, LI Jun, LIU Xiao-long, <i>et al.</i> (430)
Seasonal Stratification and Eutrophication Characteristics of a Deep Reservoir, Longtan Reservoir in Subtropical Area of China	ZHANG Lei, LI Qiu-hua, HUANG Guo-jia, <i>et al.</i> (438)
Phosphorus Fractions, Sorption Characteristics and Its Release in the Sediments of Yangtze Estuary Reservoir, China	JIN Xiao-dan, WU Hao, CHEN Zhi-ming, <i>et al.</i> (448)
Spatial-Temporal Distributions of Dissolved Inorganic Carbon and Its Affecting Factors in the Yellow River Estuary	GUO Xing-sen, LÜ Ying-chun, SUN Zhi-gao, <i>et al.</i> (457)
Distributions of Phosphorus Fractions in Suspended Sediments and Surface Sediments of Tiaoxi Mainstreams and Cause Analysis	CHEN Hai-long, YUAN Xu-yin, WANG Huan, <i>et al.</i> (464)
Characteristics of Nitrogen Pollution and the Potential Mineralization in Surface Sediments of Dianchi Lake	MENG Ya-yuan, WANG Sheng-rui, JIAO Li-xin, <i>et al.</i> (471)
Influence of Transient Storage on Solute Transport and the Parameter Sensitivity Analysis in a Suburban Drainage Ditch	LI Ru-zhong, QIAN Jing, DONG Yu-hong, <i>et al.</i> (481)
Sources, Pollution Statue and Potential Ecological Risk of Heavy Metals in Surface Sediments of Aibi Lake, Northwest China	ZHANG Zhao-yong, Jilili Abuduwaili, JIANG Feng-qing (490)
Speciation Distribution and Risk Assessment of Heavy Metals in Sediments in Suburban Outfall of Industrial Oasis Region	ZANG Fei, WANG Sheng-li, NAN Zhong-ren, <i>et al.</i> (497)
Assessment of Sources, Spatial Distribution and Ecological Risk of Heavy Metals in Soils in a Typical Industry-based City of Shandong Province, Eastern China	DAI Bin, LÜ Jian-shu, ZHAN Jin-cheng, <i>et al.</i> (507)
Removal of Triclosan with the Method of UV/ClO ₂ and Its Degradation Products	LI Yu-ying, HE Wen-long, LI Qing-song, <i>et al.</i> (516)
Mechanism of Groundwater As(V) Removal with Ferric Flocculation and Direct Filtration	KANG Ying, DUAN Jin-ming, JING Chuan-yong (523)
Preparation of Nano Zero-valent Iron/ <i>Sargassum horneri</i> Based Activated Carbon for Removal of Cr(VI) from Aqueous Solution	ZENG Gan-ming, WU Xiao, ZHENG Lin, <i>et al.</i> (530)
Adsorption of Cr(VI) on Magnetic Graphene from Aqueous Solution	LIU Wei, YANG Qi, LI Bo, <i>et al.</i> (537)
Adsorption of the TiO ₂ @Yeast Composite Microspheres for Adsorbing Fluorescent Whitening Agent-VBL in Fixed Bed	WU Fei, ZHANG Kai-qiang, BAI Bo, <i>et al.</i> (545)
Preparation and Pb ²⁺ Electrosorption Characteristics of MnO ₂ /CFP Composite Electrode	LIU Fang-yuan, HU Cheng-zhi, LI Yong-feng, <i>et al.</i> (552)
Preparation of Weak Light Driven TiO ₂ Multi Composite Photocatalysts via Adsorption Phase Synthesis	WANG Ting, ZHU Yi-chen, SUN Zhi-xuan, <i>et al.</i> (559)
Photoelectrocatalytic Degradation of Bisphenol A in Water by Fe Doped-TiO ₂ Nanotube Arrays Under Simulated Solar Light Irradiation	XIANG Guo-liang, YU Ze-bin, CHEN Ying, <i>et al.</i> (568)
Oxidation of Cationic Red 3R in Water with H ₂ O ₂ Catalyzed by Mineral Loaded with Fe/Co	MA Nan, LIU Hua-bo, XIE Xin-yuan (576)
Characteristics of Acid Red 3R Wastewater Treatment by Ozone Microbubbles	ZHANG Jing, DU Ya-wei, LIU Xiao-jing, <i>et al.</i> (584)
Effects of Carbon Sources, Temperature and Electron Acceptors on Biological Phosphorus Removal	HAN Yun, XU Song, DONG Tao, <i>et al.</i> (590)
Startup, Stable Operation and Process Failure of EBPR System Under the Low Temperature and Low Dissolved Oxygen Condition	MA Juan, LI Lu, YU Xiao-jun, <i>et al.</i> (597)
Effects of Dissolved Oxygen in the Oxidative Parts of A/O Reactor on Degradation of Organic Pollutants and Analysis of Microbial Community for Treating Petrochemical Wastewater	DING Peng-yuan, CHU Li-bing, ZHANG Nan, <i>et al.</i> (604)
Isolation of Filamentous Fungi Capable of Enhancing Sludge Dewaterability and Study of Mechanisms Responsible for the Sludge Dewaterability Enhancement	ZHOU Yu-jun, FU Hao-yi, FAN Xian-feng, <i>et al.</i> (612)
Impacts of Alkaline Thermal Treatment on Characteristics of Sludge from Sewage Treatment Plant	YANG Shi-dong, CHEN Xia, LIU Cao, <i>et al.</i> (619)
Responses of Ecosystem Carbon Budget to Increasing Nitrogen Deposition in Differently Degraded <i>Leymus chinensis</i> Steppes in Inner Mongolia, China	QI Yu-chun, PENG Qin, DONG Yun-she, <i>et al.</i> (625)
Impacts of Elevated Ozone Concentration on N ₂ O Emission from Arid Farmland	WU Yang-zhou, HU Zheng-hua, LI Cen-zi, <i>et al.</i> (636)
Multi-Year Measurement of Soil Respiration Components in a Subtropical Secondary Forest	LIU Yi-fan, CHEN Shu-tao, HU Zheng-hua, <i>et al.</i> (644)
Spatial Variability of Soil Nitrogen and Related Affecting Factors at a County Scale in Hilly Area of Mid-Sichuan Basin	LUO You-lin, LI Qi-quan, WANG Chang-quan, <i>et al.</i> (652)
Effects of Land Use Change on Soil Active Organic Carbon in Deep Soils in Hilly Loess Plateau Region of Northwest China	ZHANG Shuai, XU Ming-xiang, ZHANG Ya-feng, <i>et al.</i> (661)
Carbon Source Metabolic Diversity of Soil Microbial Community Under Different Climate Types in the Area Affected by Wenchuan Earthquake	ZHANG Guang-shuai, LIN Yong-ming, MA Rui-feng, <i>et al.</i> (669)
Optimization of Electrode Configuration in Soil Electrokinetic Remediation	LIU Fang, FU Rong-bing, XU Zhen (678)
Distribution and Health Risk of HCHs and DDTs in a Contaminated Site with Excavation	ZHANG Shi-lei, XUE Nan-dong, YANG Bing, <i>et al.</i> (686)
Transformation and Mobility of Arsenic in the Rhizosphere and Non-Rhizosphere Soils at Different Growth Stages of Rice	YANG Wen-tao, WANG Ying-jie, ZHOU Hang, <i>et al.</i> (694)
Extraction of Plant Root Apoplast Solution; A Case Study with Polycyclic Aromatic Hydrocarbons	ZHU Man-dang, DU Jiang-xue, YUE Le, <i>et al.</i> (700)
Mechanism of Manganese Binding to Leaf Cell Wall of <i>Phytolacca americana</i> L.	XU Xiang-hua, LIU Cui-ying, LI Ping, <i>et al.</i> (706)
Degradation Characteristics of Naphthalene with a <i>Pseudomonas aeruginosa</i> Strain Isolated from Soil Contaminated by Diesel	LIU Wen-chao, WU Bin-bin, LI Xiao-sen, <i>et al.</i> (712)
Toxic Effects of CdSe/ZnS QDs to Zebrafish Embryos	CHEN Mu-fei, HUANG Cheng-zhi, PU De-yong, <i>et al.</i> (719)
Physiological Response of <i>Neocaridina denticulata</i> to the Toxicity of Cu ²⁺ and Chlorpyrifos	LI Dian-bao, ZHANG Wei, WANG Li-qing, <i>et al.</i> (727)
Determination of Anilines in Environmental Water Samples by Simultaneous Derivatization and Ultrasound Assisted Emulsification Microextraction Combined with Gas Chromatography-Flame Ionization Detectors	TIAN Li-xun, DAI Zhi-xi, WANG Guo-dong, <i>et al.</i> (736)
Adsorption of Calcium Ion from Aqueous Solution Using Na ⁺ -Conditioned Clinoptilolite for Hot-Water Softening	ZHANG Shuo, WANG Dong, CHEN Yuan-chao, <i>et al.</i> (744)
Construction and Application of Economy-Pollution-Environment Three-Dimensional Evaluation Model for District	FAN Xin-gang, MI Wen-bao, MA Zhen-ni (751)

《环境科学》第6届编辑委员会

主 编: 欧阳自远

副主编: 赵景柱 郝吉明 田 刚

编 委: (按姓氏笔画排序)

万国江 王华聪 王凯军 王绪绪 田 刚 田 静 史培军
朱永官 刘志培 汤鸿霄 陈吉宁 孟 伟 周宗灿 林金明
欧阳自远 赵景柱 姜 林 郝郑平 郝吉明 聂永丰 黄 霞
黄 耀 鲍 强 潘 纲 潘 涛 魏复盛

环 境 科 学

(HUANJING KEXUE)

(月刊 1976年8月创刊)

2015年2月15日 第36卷 第2期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 36 No. 2 Feb. 15, 2015

主 管	中国科学院	Superintended	by	Chinese Academy of Sciences
主 办	中国科学院生态环境研究中心	Sponsored	by	Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences
协 办	(以参加先后为序) 北京市环境保护科学研究院 清华大学环境学院	Co-Sponsored	by	Beijing Municipal Research Institute of Environmental Protection School of Environment, Tsinghua University
主 编	欧阳自远	Editor-in -Chief		OUYANG Zi-yuan
编 辑	《环境科学》编辑委员会 北京市2871信箱(海淀区双清路 18号, 邮政编码:100085) 电话:010-62941102, 010-62849343 传真:010-62849343 E-mail: hjkx@ rcees. ac. cn http://www. hjkx. ac. cn	Edited	by	The Editorial Board of Environmental Science (HUANJING KEXUE) P. O. Box 2871, Beijing 100085, China Tel:010-62941102, 010-62849343; Fax:010-62849343 E-mail: hjkx@ rcees. ac. cn http://www. hjkx. ac. cn
出 版	科 学 出 版 社 北京东黄城根北街16号 邮政编码:100717	Published	by	Science Press 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷 装 订	北京北林印刷厂	Printed	by	Beijing Bei Lin Printing House
发 行	科 学 出 版 社 电话:010-64017032 E-mail: journal@ mail. sciencep. com	Distributed	by	Science Press Tel:010-64017032 E-mail: journal@ mail. sciencep. com
订 购 处	全国各地邮电局	Domestic		All Local Post Offices in China
国外总发行	中国国际图书贸易总公司 (北京399信箱)	Foreign		China International Book Trading Corporation (Guoji Shudian), P. O. Box 399, Beijing 100044, China

中国标准刊号: ISSN 0250-3301
CN 11-1895/X

国内邮发代号: 2-821

国内定价: 120.00元

国外发行代号: M 205

国内外公开发行