

基于主成分分析的布尔津河水质评价

胡玥¹ 王文栋² 叶尔江·拜克吐尔汗^{1*}

1 新疆农业大学林学与风景园林学院/新疆干旱区林业生态与产业技术重点实验室

2 新疆林科院森林生态研究所

DOI:10.32629/hwr.v9i11.6662

[摘要] 通过2019年7月对额尔齐斯河支流布尔津河上的17个监测点的8项水质指标进行监测。采用主成分分析法,运用R语言统计分析软件,分析了pH、化学需氧量(COD)、五日生化需氧量(BOD)、氨氮含量、氯化物含量、溶解性总固体含量(TDS)、总硬度、砷等8个指标对布尔津河水质的影响程度,并从8项指标中降维得出影响布尔津河水质的4个主成分,根据各主成分的方差贡献率及各监测点在主成分上的得分,对布尔津河水质进行综合评价。结果表明,布尔津河中下游水质优于喀纳斯湖流域水质,但以布尔津镇水质污染程度最严重,这与旅游人群活动集中的区域,产生的生活垃圾污染较多,人为活动影响较大的情况有关。

[关键词] 水质评价; 主成分分析法; 布尔津河

中图分类号: TU991.21 **文献标识码:** A

Principal Component Analysis Based Evaluation of Water Quality in Burqin River

Yue Hu¹ Wendong Wang² Ye-erjiang·Baiketuerhan^{1*}

1 College of Forestry and Landscape Architecture, Xinjiang Agricultural University/Key Laboratory of Forestry Ecology and Industrial Technology in Arid Areas of Xinjiang

2 Institute of Forest Ecology, Xinjiang Academy of Forestry

[Abstract] 8 water quality indicators were monitored at 17 monitoring points on the Burqin River, a tributary of the Ertix River, in July 2019. Using principal component analysis and R language statistical analysis software, the impact of eight indicators, including pH, chemical oxygen demand (COD), five day biochemical oxygen demand (BOD), ammonia nitrogen content, chloride content, total dissolved solids content (TDS), total hardness, and arsenic, on the water quality of the Burqin River was analyzed. Four principal components affecting the water quality of the Burqin River were obtained by dimensionality reduction from the eight indicators. Based on the variance contribution rate of each principal component and the scores of each monitoring point on the principal components, the water quality of the Burqin River was comprehensively evaluated. The results show that the water quality in the middle and lower reaches of the Burqin River is better than that in the Kanas Lake basin, but the water pollution level is most severe in Burqin Town, which is related to the fact that areas where tourist activities are concentrated produce more domestic waste pollution and human activities have a greater impact.

[Key words] PPFs; Flocculating reagent; Electroplating wastewater

引言

在我国,有超过五万条河流,基本上所有的自然生态区、水库和人文环境都以河流为中心,形成了一个以生活用水、工业用水和农业用水为中心的多方面的水资源综合利用体系^[1]。江河水资源对生态环境起着重要的作用,使河流内外的生态环境具有多样性。然而,随着社会的迅速发展,水资源的消耗也越来越大,再加上对农业的投资越来越大,导致河流生态环境发生变化,生

态退化以及生物多样性下降等问题也越来越严重,大多数河流都存在不同程度的生态问题^[2]。因此,为进一步保障河流的生态安全,对影响河流水质的因素进行分析从而探讨改善河流水质的有效方法是必须且有效的。以往研究中,在对水环境质量进行综合评价时,涉及到的因子众多,不仅使研究工作量庞大,而且由于存在许多因素,一些重要信息被大量信息所遮蔽,甚至可能无法抓住研究目标的重点^[3-4]。因此,要科学、合理地处理评估

因素的重要程度。目前,国内外普遍采用指数法、模糊综合评判法、灰色数学、神经网络等方法。尽管这几种方法都可以很好的评价水质,但都不能克服这个问题。主成分分析法可对许多变量中的相关因素进行筛选,选出少数主要独立综合因子,而这为数不多的综合因子就可以很好地解释本研究的结论^[5]。对河流水环境质量进行客观评估,对流域的生态环境保护、污染防治具有重要意义^[6]。从20世纪80年代起,国内已采用统一的单因素评估方法,对各大河流、湖泊的水质进行评估。本文介绍了一种基于模糊综合评判的方法,并对其进行了分析。而主成分分析法可以最大程度地保持原始信息,对多个指标变量进行最优的综合和简化,并且可以对每一项指标的权重进行客观的确定,已经在各种水环境质量的评估中得到了广泛的运用,本论文所用的是主成分分析法^[7]。

中蒙边界阿尔泰山南麓的额尔齐斯河,是全国唯一流入北冰洋水系的河流,是新疆第二大河流^[8]。额尔齐斯河有七条支流,布尔津河是其中最大的一条,其径流总量占总流域的50%以上。其发源于阿尔泰山南麓的友谊峰,从北向南贯穿布尔津县,最后注入布尔津镇西部的额尔齐斯河,全长269.6km,流域总面积达到9960km²,年均径流量为42.73亿m³^[9]。地处布尔津上游的喀纳斯湖谷,其自然风光、生态环境、生物多样性保存、人文历史等多个方面都有很高的保存与利用价值。额尔齐斯河谷是一个由农业、林业、畜牧业、水资源和气候等多种因素,以及自然、社会、经济等因素构成的复杂生态系统^[10]。近年来,社会经济规模迅猛发展,人民生活水平不断提高,因此人口的不断增加与额河流域资源开发利用、生态环境保护、农林牧等关键方面之间的矛盾冲突日益明显。流域的生态环境虽经治理局部有所改善,但总体环境却趋于恶化^[11]。其总体水质环境受农业生产、生活用水、工业用水等多方面输入因素的共同影响^[12]。要对额尔齐斯河水资源进行合理开发利用,就必须了解资源的承载能力,了解决定额尔齐斯河水质的关键因子,而不能盲目开发利用资源。否则,一旦超过资源的承载能力,其流域水质就会遭到破坏,也会影响到额尔齐斯河流域整体生态系统的健康发展^[13]。

近年来关于布尔津河水质的系统研究较少,鲜有关于布尔津河上游喀纳斯湖流域水体的研究,1987年李桂镁研究得出喀纳斯湖水的水化学类型为HCO₃⁻-Na⁺型,矿化度较低,水质良好,达国家一级水平^[14]。2013年文芳等得出喀纳斯湖COD_{Mn}与TOC具有良好相关性的结论^[15]。2015年马晓婷研究得出喀纳斯湖流域主要污染物为石油类、总磷、总氮^[16]。当前,国内外普遍采用的方法都能对水质做出较好地评价,但都无法克服不能筛选主要影响因素的问题。主成分分析法从众多的变量中剔除具有相关性的因子,筛选出主要少数独立综合因子,而通过较少的综合因子可对研究结论做出充分合理的解释。本文以布尔津河17个监测点2019年监测数据为研究对象,通过R语言软件,采用主成分分析方法对布尔津河水质进行研究,分析水质污染的主要驱动因素,以期为布尔津县资源科学管理和保护提供参考依据。

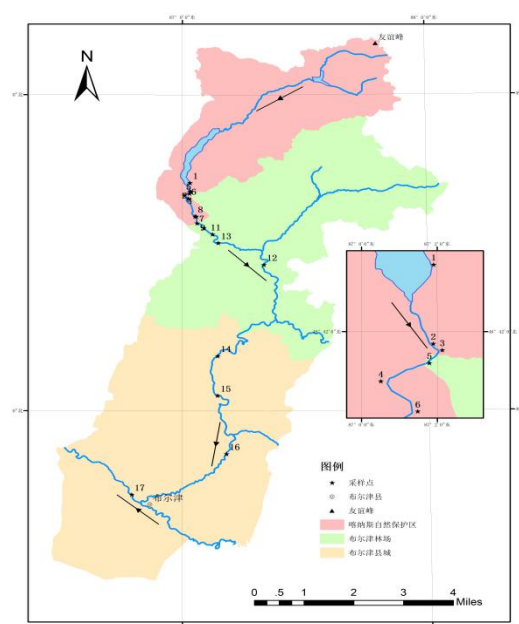


图1布尔津河水质监测点位分布

1 研究方法

1.1 样品采集和分析

2019年7月,在受人为干扰较少的流域,对喀纳斯湖南端至布尔津县额尔齐斯河大桥区段内的17个河流样点由北向南编号,进行了现场测试和水样采集,采样点见图1。1-8号监测点位于喀纳斯自然保护区,9-13号监测点位于布尔津林区,14-18号监测点位于布尔津县城。pH为现场测定,采集水样经预处理后冷藏保存,由实验室分析化学需氧量(COD)、五日生化需氧量(BOD)、氨氮、氯化物、溶解性总固体(TDS)、总硬度、砷等,分析方法参照《水和废水监测分析方法》^[17]。

1.2 主成分分析法

主成分分析法的基本原理是通过降维的思想来进行正交变换,把由多个成分关联的原始随机变量转化为少量不希望关联的新变量。主成分分析的计算方法以及步骤主要如下^[18-19]:(1)将原始数据标准化,并转化为无量纲数据;(2)对标准化后的数据的一系列相关系数矩阵进行计算,其中包括相关系数矩阵的特征向量和特征根;(3)根据各特征根占比,按从大到小排序,选取累积占比>85%的前几项特征根作为主成分;(4)用相应的本征根的绝对值来划分本征向量,从而得到主成分系数矩阵;(5)用标准数据乘以主成分系数矩阵,得出各主成分分值;(6)每个主成分得分和相应主成分在各个主成分上的比例相加,就是主成分综合得分。

2 结果与讨论

2.1 布尔津河水水质化学指标相关性

对喀纳斯湖流域17个样品的水质检测数据标准化处理后进行相关性分析,结果如表1以及图2,根据表1相关系数矩阵以及图2相关系数图可看出,pH值与氯化物、溶解总固体之间相关系

数为0.73、0.67,总硬度与溶解性总固体的相关性系数达到了0.88,可以看出许多变量之间存在显著相关关系,说明进行主成分分析是可靠的。

表1 水质污染物相关系数矩阵

项目	pH	COD	BOD	AN	CL	TDS	HR	As
pH	1							
COD	0.13	1						
BOD	0.44	0.06	1					
AN	0.53	0.31	-0.17	1				
CL	0.73	0.18	0.33	0.5	1			
TDS	0.67	0.19	0.26	0.42	0.79	1		
HR	0.5	0.07	0.21	0.37	0.65	0.88	1	
As	-0.03	-0.22	-0.02	-0.34	-0.05	0.28	0.27	1

分为主成分。

表2 水质污染物的特征值、方差及累积方差贡献率

主成分	1	2	3	4	5	6	7	8
特征值	3.61	1.56	1.1	0.82	0.41	0.27	0.15	0.06
贡献率(%)	45.18	19.49	13.79	10.25	5.15	3.42	1.91	0.8
累积贡献率(%)	45.18	64.67	78.46	88.71	93.87	97.29	99.2	1

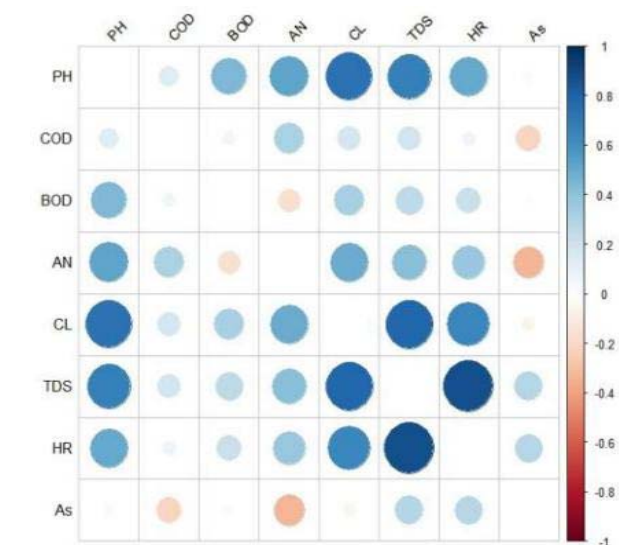


图2 相关系数图

2.2水质化学特征主要影响因子

表2是17个样品监测数据的特征值、贡献率以及累积贡献率表,可知第一主成分的贡献率较大,占45%,前四个成分的合计贡献率达到了89%,说明前四个成分可以反映原有变量89%的信息。图3则是根据表2画出的崖底碎石图以及累积贡献率图,可以分析出各因子对水质影响程度大小的排序。从图中可以看出,前四个成分的特征值的贡献值占了很大比例,剩下的特征值都很小。根据被选取的成分累积贡献率应达到85%以上,所以取前四个成

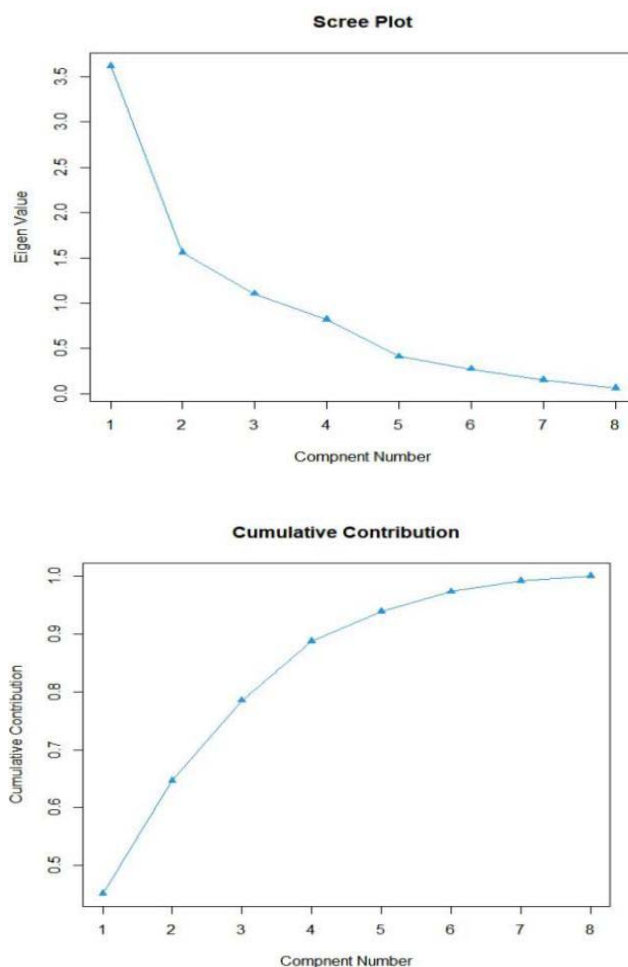


图3 崖底碎石图和累积贡献率图

各水质指标与四个主成分的载荷矩阵结果显示(表3),矩阵中数字的绝对值体现了主成分与原始变量之间的相关性。分析原始变量与前两个主成分的载荷图(图5),载荷图每一点的横坐标是相应变量与第一主成分的线性相关系数,而其纵坐标则为该变量与第二主成分的线性相关系数。结合表3与图4可知,第一主成分上pH、溶解性总固体、总硬度、氯化物的载荷较大,指示为有机物固体杂质污染;第二主成分砷的载荷显著高于其他变量,指示为砷污染;第三主成分生化需氧量,第四主成分化学需氧量的载荷较高,指示为有机物污染^[20-22]。

表3 各水质指标的主成分载荷矩阵

指标	F ₁	F ₂	F ₃	F ₄
pH	0.44	-0.04	0.21	-0.22
COD	0.14	-0.44	0.04	0.87
BOD	0.2	0.19	0.82	0.09
氨氮	0.32	-0.48	-0.33	-0.22
氯化物	0.47	-0.04	0.06	-0.12
TDS	0.48	0.19	-0.16	0.12
总硬度	0.43	0.24	-0.23	0.05
As	0.03	0.67	-0.3	0.31

表4为17个监测点样品在各主成分上的得分以及综合得分和综合排名表, 监测点样品在主成分上得分越高, 说明该主成分对该监测点水质影响越大; 而综合得分的绝对值越大说明污染越严重。从表中可知在第一主成分上得分最高的是第17监测点, 第二主成分上得分最高的是第7号监测点样品; 综合排名第一且综合得分远远高于其他监测点, 说明17号监测点污染较严重。

综上所述, 近年来由于布尔津县旅游业的开发, 布尔津镇作为前往哈巴河景区、喀纳斯景区以及禾木景区的必经之地, 在研究流域区段内水质污染最为严重, 主要是由于旅游业带动的餐饮业等第三产业以及当地居民逐年增多造成的生活垃圾的污染^[23-26], 表现为该区域水体有机固体以及高重金属离子污水等类型污染较严重^[27-28]; 由于采样时贾登峪监测点正在进行建设, 因此建设楼体所造成的工业垃圾对水体的污染, 表现为该区域的水体受砷污染的影响较严重; 从总体上来说, 布尔津镇区域水质污染最严重, 而贾登峪至布尔津镇区段的水质污染程度比喀纳斯湖流域水质污染程度较轻, 这与旅游活动集中区域受人为活动影响较大的事实相符^[29-31]。

3 讨论

水资源是人类赖以生存, 社会发展, 经济发展的根本^[32-34]。河流是人类赖以生存的主要水源, 也是人类赖以生存和发展的主要水源。河流水环境的污染问题, 直接关系到人类的健康与社会经济的发展, 也关系到人民生命安全。随着社会经济的迅速发展, 人民生活水平的提高, 水资源的供求矛盾日趋突出。为了满足人们的生产生活需要, 很多地方的河流都受到了很强的人为干扰, 导致河流干涸, 水质恶化^[35]。布尔津河是额尔齐斯河流域

的一条重要支流, 其流经天然河谷林集中分布区, 孕育了四大杨树派系, 植物资源珍贵^[36]。近年来, 随着人类活动的频繁, 放牧、山口水库建设、水利工程建设等对河谷林生存、种群更新和群落结构产生了严重影响^[37]。因此, 了解额尔齐斯河流域的布尔津河上游、中游以及下游水质现状以及影响因子对提出以县域为尺度的水质科学保护措施具有重要意义。

表4 各监测点水质综合评判结果

监测点	F1	F2	F3	F4	综合得分	综合排名
1	-1.67	-0.57	-0.01	1.4	-0.81	14
2	-2.19	-0.25	-0.3	0.85	-1.12	17
3	0.36	0.45	-0.17	-0.07	0.25	6
4	1.63	1	-0.05	-1.17	0.91	2
5	0.57	-0.71	0.25	-0.99	0.06	8
6	0.05	0.25	1.66	-0.45	0.29	4
7	-0.95	4.22	-1.47	0.43	0.27	5
8	-0.48	0.16	2.35	0.06	0.17	7
9	-1.09	0.59	1.65	-0.88	-0.27	10
10	-0.81	-1.4	-0.9	0.83	-0.76	13
11	-1.78	-0.48	-0.18	0.56	-0.98	16
12	-1.27	-0.23	0.14	0.5	-0.62	11
13	2.78	-0.83	-1.6	-1.16	0.85	3
14	-1.18	-0.23	-0.83	-1.28	-0.93	15
15	-0.56	-0.89	-0.43	-0.78	-0.64	12
16	0.85	-1.5	-0.79	0.53	0.04	9
17	5.73	0.41	0.66	1.62	3.3	1

20世纪70年代以后, 我国对水质及其影响因素进行了细致研究, 因此该研究方向取得了很大的进展, 并逐渐形成了一套完善的环境质量评价指标体系。最开始是以1973年北京西郊为起点, 开展了松花江, 滇池, 太湖, 武昌东湖等地区的水环境质量评估。我国首次国家水环境质量评估是在1981年进行的, 并且在此基础上, 提出了一种基于网络的水质评价方法。另外, 近年来GIS技术的发展, 将GIS技术应用于水质评估工作, 特别是能够对

水体的空间变异进行研究,能够从宏观地理学的视角来研究水体的总体状况^[38]。罗锋和杨玥等人通过对东引渠干、支流污染物含量的观测和分析,探讨了东引河干、支流污染物的贡献率对主河道污染的贡献,并为提高东引渠水环境质量提供相应的对策和建议。周开锡、罗德康等人通过对内江市湖泊、水库以及一些河道的水环境质量进行了研究,运用断面水质评估方法,对内江市水环境恶化的原因进行了剖析,并对改善内江市水环境的对策与措施进行了探讨^[39]。彭莹莹拟以洞庭湖14个断面为研究对象,采用主成分分析方法与改进后的模糊评判方法,从时空尺度上对洞庭湖水环境质量进行全面评估,明确洞庭湖水环境质量的时空演变规律,为洞庭湖水环境保护提供理论依据^[40]。李海华和邢静利用2010-2013年济源断面的实测资料,利用MATLAB建立了一层BP神经网络模型,并对BP神经网络应用于水质评估进行了探索^[41]。任宗仲、陈艳艳等人使用WASP模式,对鄱阳湖南矶山河段的水环境可达性进行了研究,并对该河段的水环境质量进行了评估,并对该河段的水质状况进行了评价^[42]。戴捷、陈丽君等通过对长江荆州段水质演变规律的研究,运用聚类分析方法对各断面在时空上进行分级,并利用PCA方法对主要污染源进行定性辨识及分值计算^[43]。杜麦、陈小威等运用主成分分析法,对西安市泾灞河14个断面8个水质指标进行了分析和评估,找出了该地区的主要污染因素和污染源,反映了该地区的水质状况^[44]。

水质预报是水环境质量评估的一种深化和扩展,对水环境的预防和治理有着十分重要的作用。提出了一种基于神经网络的水质预测模型,并对其进行了分析。水质仿真模式预报就是根据特定的水文和污水排放条件,运用数学模型对某一特定的水体进行数值模拟。孟祥仪应用WASP方法构建了清水河流域的水环境质量模型,并对流域内各污染源对河流水质的贡献进行了数值模拟^[45]。混沌预测方法是美国爱德华于1963年首先提出的一种基于混沌理论的预测方法,该方法对数据量要求很高,适合于对复杂水库群的水质进行预报,目前该方法在水质预报中的应用尚属初级,但未来必将有广阔的应用前景。数学统计预测法是应用最为广泛的一种方法,包括多变量线性回归法、时间序列分析法、指数平滑法等,这些方法都比较有效,特别是在对水质进行单因子预测时,其方法较为简便,可以用于分析研究^[46-49];灰色预测方法是解决问题的一种有效方法,但存在准确性不高、无法支撑长期水质预报的问题。

河流水质退化是当前面临的重大环境问题,其水质受到人为因素和人为因素的双重影响。其中,地形地貌、气候变迁是其形成的主要原因;其中,人为因素主要有社会经济因素、畜牧业生产及土地使用等,其中,人为因素的作用更为重要^[50]。河流水环境对人类生存具有重要意义,但在对水的利用过程中,也会向水体中排放大量的生产、生活废物,这既是点源污染,也是非点源污染的重要来源。如农业生产中过度使用农药化肥、城市生活污水、家畜饲养废弃物以及城乡垃圾等。因此,对流域内人类活动对水环境的影响进行量化研究,能够为改善流域水环境质

量提供理论依据。从土地利用变化的角度出发,探讨了河流环境质量与人类活动的关系。近几年来,国内外学者对土地利用方式的研究越来越多,从多个视角对土地利用方式进行了分类,同时也将土地利用变化、流域面积、河岸带等与土地利用类型相关的要素纳入其中^[51]。Li等人在2005-2006年对中国汉江流域进行了42个采样点的采样,采集252份样品,通过方差分析、相关分析、回归分析等方法,研究不同下垫面条件下的水质变化特征,并对其进行定量评价。方差分析表明,各河流的水质参数,电导率,浊度等都有显著的空间变异性,而在雨季,氧化还原势和浑浊度指数较高^[52]。岳隽等以深圳市5个中型小流域为研究对象,通过对表层水主要水质指示因子的解析,选取5个中型小流域作为研究对象,开展多年来水环境质量时空变化规律的研究。研究发现,深圳市5条主要河流1996~2004年的有机污染物含量呈逐年上升的趋势,耕地、园地和建设用地与各流域河流有机污染物的含量呈显著的正向相关^[53]。

4 结论

本文利用R语言统计分析软件,对2019年布尔津河17个监测点的8项水质指标进行主成分分析,提取出4个主成分,代表了原有变量89%的信息,通过计算得出各监测点的主成分综合得分及排名。研究结果表明布尔津河上游污染程度高于布尔津河中下游的污染程度,其中布尔津镇的水质污染程度最严重。这与旅游活动集中区域,人为干扰较严重,造成的生活垃圾以及放牧带来的污染影响水质的实际相符。利用主成分分析法不仅能更好地反映布尔津河水环境质量,而且能更精确地反映出各地区的主要污染物种类及污染水平,对布尔津县水资源的合理开发及污染控制具有重要意义。

[基金项目]

新疆阿尔泰山森林生态系统国家定位观测研究站开放基金。

[参考文献]

- [1]余彬境.面向河流健康的区域水资源优化调控研究[D].重庆交通大学,2022.
- [2]李明都.不同水资源开发利用程度河流生态流量计算与生态调度模拟[D].兰州大学,2022.
- [3]赵益新.论多因素统计分析在兽医科研实际中的应用[J].西南民族学报自然科学版,1996,16(1):101-106.
- [4]赵益新.多因素主成分分析及其在生态环境研究中的应用[J].西南民族大学学报:自然科学版,2008,34(2):203-206.
- [5]冯利华.环境质量的主成分分析[J].数学的实践与认识,2003,33(8):32-35.
- [6]曾永,樊引琴,王丽伟,等.水质模糊综合评价法与单因子指数评价法比较[J].人民黄河,2007,29(2):45-65.
- [7]李斯婷.地表水质评价方法的研究:以流溪河为例[D].广州:华南理工大学,2013.
- [8]陈晓茹,陈文爱.南方片《水文资料整汇编软件》在布尔津站水文资料整编中的应用[J].新疆水利,2008(02):27-29.

- [9]刘时栋,刘琳,张建军,等.基于生态系统服务能力提升的干旱区生态保护与修复研究——以额尔齐斯河流域生态保护与修复试点工程区为例[J].生态学报,2019,39(23):8998-9007.
- [10]王宁.新疆额尔齐斯河流域生态承载力研究[D].新疆农业大学,2005.
- [11]黄锡欢.用S.D模型研究新疆额尔齐斯河流域森林资源承载力[D].新疆农业大学,2004.
- [12]桑昶.基于水质指数与生物完整性指数(周丛藻类和底栖动物)的新疆额尔齐斯河水质评价[D].华中农业大学,2020.
- [13]高军凯.额尔齐斯河水质预测研究[D].西安理工大学,2006.
- [14]李桂镁,周华.喀纳斯湖的水化学特征[J].新疆大学学报(自然科学版),1987,(03):91-94.
- [15]文方,程艳,王显丽.赛里木湖和喀纳斯湖水体中CODMn与TOC相关性分析[J].新疆环境保护,2013,35(03):43-46.
- [16]马晓婷,李燕,文方,等.新疆喀纳斯湖流域水质现状调查及评价研究[J].新疆环境保护,2015,37(03):33-39.
- [17]魏复盛.水和废水监测分析方法[M].北京:中国环境科学出版社,2002.
- [18]吉祝美,方里,张俊,等.主成分分析法在SPSS软件中的操作及在河流水质评价中的应用[J].环保科技,2012,18(4):38-43.
- [19]张海平,郝彩侠,郝敏霞,等.主成分分析法在河流水质评价中的应用[J].河北建筑工程学院学报,2015,33(3):52-55.
- [20]李治俊.地表水监测指标在环境影响评价中的应用初探[J].绿色环保建材,2020(2):67.
- [21]陈正梁.环境影响评价中的地表水监测指标探讨[J].节能与环保,2020(Z1):90-91.
- [22]刘衍.地表水监测指标在环境影响评价中的应用[J].价值工程,2019,38(33):217-218.
- [23]王德厚.喀纳斯湖水生物资源的调查研究与保护利用[J].新疆环境保护,1999,21(2):25-26.
- [24]李豫.大喀纳斯旅游区社会经济发展与其生态系统服务价值的关系研究[D].新疆农业大学,2017.
- [25]姚娟.新疆大喀纳斯旅游区生态系统服务价值评估与消耗研究[D].新疆农业大学,2014.
- [26]唐高溶.旅游干扰下喀纳斯草地景观美学价值变化及其影响因素分析[D].新疆农业大学,2016.
- [27]Vassiliki M,Angeliki M,Elias D.Assessing the impacts of human activities and soil erosion on the water quality of Plastira mountainous Mediterranean Lake,Greece[J]. Environmental Earth Sciences,2016,75(10):1-14.
- [28]Sun D,Walsh D.Review of studies on environmental impacts of recreation and tourism in Australia[J].Journal of Environmental Management,1998,53(4):323-338.
- [29]王文栋,白志强,刘端,等.喀纳斯景区土壤重金属污染及其潜在生态风险评价[J].水土保持通报,2018,38(06):352-357.
- [30]全占东.基于生态水文理念下的流域水资源评价[J].黑龙江水利科技,2016(12):108-111.
- [31]罗锋,杨玥,李伟,等.东引运河断面水质分析[J].低碳世界,2017,(22):22-24.
- [32]Li P,Tian R,Liu R.Solute geochemistry and multivariate analysis of water quality in the Guohua phosphorite mine,Guizhou Province,China[J].Exposure and Health,2019,11(2):81-94.
- [33]Li P,Wu J.Drinking water quality and public health[J].Exposure and Health,2019,11(2):73-79.
- [34]Li P,Qian H.Water resources research to support a sustainable China [J].International Journal of Water Resources Development,2018,34(3):327-336.
- [35]李茜茜.沁河流域晋城段水质评价及影响因素分析[D].太原:山西财经大学,2019.
- [36]刘小龙,张子东,薛志方,等.额尔齐斯河支流哈巴河河谷林植物多样性特征[J].植物资源与环境学报,2024,33(03):89-96.
- [37]邓铭江.金山南面大河流(下)——额尔齐斯河生态调度和生态修复研究与实践[J].中国水利,2023,(17):67-72.
- [38]刘静,于众,刘建奎,等.基于GIS的地表水水质污染成因研究——以兴神大桥国考断面为例[J].环境科学与管理,2023,48(09):42-47.
- [39]周开锡,罗德康.断面水质评价法在内江市主要河流及湖库水环境质量分析中的应用[J].环境研究与监测,2017,30(3):56-59+68.
- [40]彭莹莹.洞庭湖水质综合评价研究[D].湖南师范大学,2016.
- [41]李海华,邢静,李喜柱.基于BP神经网络的黄河小浪底济源断面水质评价模型研究[J].节水灌溉,2014,(6):57-59.
- [42]任宗仲,陈艳艳,曹俊秀.基于WASP模型的水质模拟研究——以鄱阳湖南矶山断面为例[J].广东化工,2017,44(19):67-68+33.
- [43]戴捷,陈丽君,吴先威,等.基于多元统计的长江干流荆州断面水质分析[J].长江大学学报(自科版),2018,15(13):17-24+4-5.
- [44]杜麦,陈小威,王颖.基于多元统计分析的泸灞河水质污染特征研究[J].华北水利水电大学学报(自然科学版),2017,38(6):88-92.
- [45]孟祥仪.基于WASP模型的宁夏清水河水水质预警研究[D].长安大学,2017.
- [46]刘颖.浙江省主要市界交界断面水质评价研究[J].廊坊师范学院学报(自然科学版),2018,18(4):34-37.
- [47]孙世辉,王寒涛,涂洋.水环境治理过程中的控制断面水质恶化原因分析[J].水电与新能源,2018,32(11):74-78.
- [48]胡小阳,徐源,王红萍.沙颍河重要闸控断面水质变化及影响因素分析[J].水力发电,2018,44(11):1-5.
- [49]王彦丽,赵敏宁.近10年辽河干流水质综合评价[J].水

资源与水工程学报,2018,29(5):53-59.

[50]李怀恩,李越,蔡明.河流水质与流域人类活动之间的关系[J].水资源与水工程学报.2004,27(6):24-28.

[51]陈佳勃.人类活动和自然因子对流域水质影响的定量评估与河流营养物基准研究[D].浙江大学,2014.

[52]Li S,Gu S,Liu W,Han H,Zhang Q.Water quality in relation to land use and landcover in the upper Han River Basin, China

[J].Catena.2008,75:216-222.

[53]岳隽,王仰麟,李正国,等.河流水质时空变化及其受土地利用影响的研究——以深圳市主要河流为例[J].水科学进展,2006,(03):359-364.

作者简介:

胡玥(1995—),女,汉族,新疆人,硕士,主要从事水质监测方面的研究工作。