

中国西北戈壁地区 12 条河流水文水质调查

李少华¹, 尹书乐¹, 王学全¹, 崔向慧¹, 高琪²

(1. 中国林业科学研究院 荒漠化研究所, 北京 100093; 2. 内蒙古农业大学 生态环境学院, 呼和浩特 010019)

摘要: 2014 年 9 月对我国塔里木盆地南缘与柴达木盆地戈壁地区的 12 条典型河流进行实地调查, 通过野外采集水样、测定流速、室内查阅资料和化验分析, 获得了研究区河流的最新水文水质资料。结果表明: (1) 戈壁地区修建的水库和防渗渠道, 对河流正常发展产生了不利影响; (2) 水样中的 F^- 含量均超过 1 mg/L, 不能满足人们直接饮用的要求, F^- 与 Ca^{2+} 含量呈现负相关关系; (3) 水样中阳离子浓度大小关系为 $Ca^{2+} > Na^+ > Mg^{2+} > K^+$, 水化学类型总体上为氯化物·硫酸盐·碳酸氢盐/钠质·钙质水; (4) 水样的 TDS 变化范围在 718.3~8 254.1 mg/L, 含量普遍偏高, 水样 pH 变化范围在 7.44~8.07, 表现为弱碱性。

关键词: 戈壁; 水文调查; 防渗渠道; 水化学

中图分类号: X824

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2016)02-0148-04

Survey on Hydrology and Water Quality in the Gobi Desert Region of Northwestern China

LI Shaohua¹, YIN Shule¹, WANG Xuequan¹, CUI Xianghui¹, GAO Qi²

(1. Institute of Desertification Studies, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100093, China;

2. College of Ecology and Environmental Science, Inner Mongolia Agriculture University, Hohhot 010019, China)

Abstract: In order to find out the current situation of hydrology and water chemistry of rivers in Gobi region, we went to the Tarim Basin and the south of the Qaidam Basin in September 2014 and surveyed 12 typical rivers. We reached our goals through collecting water samples, measuring the flow rate in the field, acquiring data analyzing samples in laboratory. The results showed that: (1) the impermeable channel and reservoir built in Gobi region had the adverse influence on normal development of rivers; (2) the contents of F^- were more than 1 mg/L, so it couldn't meet the drinking standard, however, F^- and Ca^{2+} showed negative correlation; (3) cation intensity of water decrease in the order: $Ca^{2+} > Na^+ > Mg^{2+} > K^+$, the mainly chemical type of river water were $Cl^- \cdot SO_4^{2-} \cdot HCO_3^- / Na^+ \cdot Ca^{2+}$; (4) the total dissolved solid (TDS) in river water was general high, and ranged between 718.3 mg/L and 8 254.1 mg/L; pH varied between 7.44 and 8.07, and presented the alkalinity.

Keywords: gobi; hydro-graphic survey; impermeable channel; water chemistry

戈壁是指在干旱区或极端干旱区因受到长期强烈风蚀或物理风化的作用, 而广泛分布在地势开阔的地带, 并且地表覆盖砾石的荒漠景观^[1]。戈壁在我国西北地区分布较广, 主要位于新疆的东部、河西走廊、准噶尔盆地、塔里木盆地和柴达木盆地等区域^[2]。戈壁地区的河流多为内陆河, 依靠冰雪融水、山区降水或地下水泄出补给, 具有年径流量小和流程短的特征^[3], 它们流经沙漠、戈壁等荒漠地区, 最终消失在沙漠中或在末端形成尾间湖泊^[4]。戈壁地区的河流是绿洲存在的基础, 水资源是制约社会经济可持续发展

和影响生态环境安全的主导因子, 河流的流量和水质状况将决定着绿洲乃至整个流域生态系统的发展趋势^[5]。随着西部大开发和新农村建设的有序推进, 我国戈壁绿洲内的社会经济得到迅速发展, 同时绿洲内人口也迅速增加^[6], 河流受到人为干扰的因素不断增多, 导致原本就脆弱的戈壁地区河流面临着新的挑战。为了摸清我国西北戈壁地区河流的现状水质情况, 于 2014 年 9 月对塔里木盆地南缘和柴达木盆地戈壁地区的 12 条河流进行水文调查, 通过野外采集水样、室内查阅资料^[7-9] 和进行水质分析, 获得了河

流同期最新的水文水质资料,以期能为我国戈壁区河流的利用管理和进一步研究提供数据支持。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区位于我国塔里木盆地南缘和柴达木盆地,地理坐标范围在 $35^{\circ}54'—40^{\circ}38'N$, $79^{\circ}54'—96^{\circ}39'E$,北部为塔克拉玛干沙漠和河西走廊,南部为青藏高原。该区域深居大陆内部,四周高山环绕,海拔 915~4 350 m,降水集中在山区,盆地内具有气候干燥,降水量少,年均降水量不足 300 mm^[10],且蒸发量大的特点,年均蒸发量超过 2 000 mm^[11],是我国生态环境最脆弱的地区之一^[12-13];但矿产资源丰富,如石油、天然气和盐矿分布广泛。本次调查的河流全为内陆河流,主要依靠昆仑山、阿尔金山和祁连山的冰雪融化补给或山区降水补给,河流出山口以上为径流形成区,地形陡峭,地表基岩透水性差,产流和汇流能力较强;山前戈壁为径流消散区,地形平缓,河道宽阔,多为宽浅型砂质河床,河床渗透能力较强,河流最终因蒸发渗漏而消失于沙漠中或形成尾间盐湖。

1.2 研究方法数据来源

在综合考虑地理位置、水文站点分布等因素的基础上,确定本次调查的 12 条河流。在野外主要进行垂直梯度调查取样和使用 LS45A 型旋杯式流速仪测定流速。将采集的水样经密封后运回北京,在国家林业局森林生态环境重点实验室进行化验分析,运用电感耦合等离子体光谱仪(ICP)进行阳离子检测;未酸化处理的样品用来检测阴离子,用离子色谱仪(IC)测定;pH 用玻璃电极法测定;矿化度用重量法测定。

数据来源于室内查阅资料、野外实测和在 Google Earth 上量取,共获得了河流长度 L 、防渗渠道长度 L_1 、河流弯曲系数 ϕ 、河道纵比降 J 、山区集水面积 F 、瞬时流量 Q_1 和多年年均径流量 Q 等基础数据,数据统计分析采用 SPSS 19.0 和 Aq·QA 1.1 等软件完成。

2 结果与分析

2.1 河流特征及水文现状分析

本次调查的 12 条河流基本特征如表 1 所示,它们分属柴达木内流区和塔里木内流区,除塔塔陵河发源于祁连山脉和红柳沟发源于阿尔金山外,其余均发源于昆仑山脉。通过野外调查发现,河流在径流形成区均保持天然河道的状态,在径流消散区受到不同程度的人类活动影响,主要表现为出山口处建有水库和河流下游防渗渠道的修建。

塔塔陵河、铁木里克河保持天然状态,在出山口处潜入戈壁地下,在河流下游以湿地形式冒出地表,汇成多条河道,形成大片湿地草原,最终分别注入小柴旦湖和尕斯库勒湖。红柳沟沟道两侧形成带状红柳和芦苇湿地,主要靠地下水补给,在出山后不远处因蒸散和渗漏而消失在戈壁滩。车尔臣河、策勒河和玉龙喀什河在流入绿洲前保持天然河道状态,但在各绿洲内修建了完善的防渗渠道,形成了干支斗农灌溉系统,以保农业生产和居民生活对水资源的需求。

诺木洪河、五龙沟、大格勒河、米兰河、尼雅河和达木沟受到人类活动的影响较为明显,均从出山口建有人工防渗渠道,把河道裁弯取直,将水直接引到下游绿洲中。修建防渗渠道造成河流形态的规则化,降低河道形态的多样性,违背了河流弯曲型正常发展规律;这 6 条河流的平均弯曲系数为 1.39,其余 6 条河流的平均河流弯曲系数为 2.12。另外在出山口处修建水库,因水库削减洪峰流量和滞洪的作用,使河流的水文节律受到不可逆的影响,河流径流量的年内分配发生变化,集中分布在农作物的灌溉期;以诺木洪河为例,9 月初诺木洪农场正值最后一次灌溉,为保证枸杞产量和质量,水库增加泄水量,在下游 109 国道南 50 m 处实测瞬时流量为 13.4 m³/s,比 2010 年同期没建水库时增加 8.16 m³/s。

本次调查的河流因地处西北干旱区,河流补给方式主要为山区降水、冰雪融化及地下水侧渗补给,故河流的年径流量与集水面积大小没有直接关系。因此,虽然车尔臣河的集水面积最大,但玉龙喀什河的多年年均径流量最大。

2.2 河水水化学主要离子组成

河流是下游绿洲存在和发展的前提,河水的水化学组成与人类生存有非常密切的关系,因此分析河水主要离子组成规律非常重要。水样的离子组成虽各具特色,但是具有以下特征。如表 2 中所示,在所调查河流中 Cl⁻ 浓度含量均较高;河水中阴离子以 HCO₃⁻、Cl⁻ 和 SO₄²⁻ 为主;自东向西沿经度方向 12 条河流中 NO₃⁻ 离子浓度变化幅度最小,平均为 5.69 mg/L;F⁻ 浓度最低,但均超 1 mg/L;红柳沟除 F⁻ 外,其余各离子含量均最高;河水中阳离子浓度含量满足 Ca²⁺ > Na⁺ > Mg²⁺ > K⁺ 的关系。地表水中的 F⁻ 是与人畜健康有密切关系的离子,本次采集的水样中 F⁻ 浓度均超过 1 mg/L,已不能满足人们可以直接饮用的要求。用 SPSS 19.0 对本次所调查的 12 条河流进行离子间典型相关分析,发现 F⁻ 和 Ca²⁺ 浓度呈现显著负相关的关系,其他离子间的相关关系均不显著,可能因两离子结合形成的 CaF₂ 在水中的溶解度非常小,导致出现此结果。

表 1 调查河流特征表

流域划分	河流名称	L/km	L ₁ /km	ψ	J/‰	F/km ²	Q/10 ⁸ m ³	Q ₁ /(m ³ ·s ⁻¹)
柴内 达流 木区	诺木洪	155	27.7	2.04	12.6	3773	1.57	13.4
	五龙沟	81	20.6	1.26	22.3	1260	0.27	0.9
	大格勒河	90	21.7	1.28	21.2	1880	0.39	1.17
	塔塔陵河	227	0	2.25	5.98	4771	1.19	—
塔内 里流 木区	铁木里克河	306	0	2.41	5.27	14178	1.03	6.37
	红柳沟	78	0	1.63	26.6	1184	0.05	0.09
	米兰河	170	30.2	1.35	20.3	4108	1.31	10.91
	车尔臣河	859	0	2.81	4.43	24692	6.84	36.63
	尼雅河	205	53.6	1.27	17.6	1485	1.65	2.12
	达木沟	141	22.5	1.14	20.8	1327	0.29	—
	策勒河	157	0	1.3	20.5	1735	1.26	10.58
	玉龙喀什河	510	0	2.32	6.44	14575	22.74	—

表 2 水样中主要离子浓度

河流	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	F ⁻
诺木洪河	136.85	44.52	63.86	4.92	213.29	127.66	122.11	5.29	4.84
五龙沟	201.21	39.94	150.39	5.39	169.41	255.48	338.28	5.52	3.98
大格勒河	176.65	44.18	176.27	6.03	232.36	210.37	394.5	4.48	4.31
塔塔陵河	146.42	31.92	63.04	4.26	124.31	492.28	804.64	5.17	4.52
铁木里克河	226.33	35.83	75.08	4.93	69.72	146.42	167.9	3.21	3.82
红柳沟	1636.51	189.46	978.29	36.23	160.38	2947.44	2398.38	7.84	1.33
米兰河	176.62	45.37	82.88	6.47	96.45	392.93	249.9	4.23	4.31
车尔臣河	227.01	71.09	213.37	17.28	139.81	424.44	508.86	3.71	3.57
尼雅河	508.42	56.81	91.74	5.42	87.24	545.33	159.41	6.49	2.95
达木沟	218.37	29.14	58.43	10.21	276.35	187.65	146.59	2.97	3.91
策勒河	313.65	52.03	117.51	8.48	134.21	377.28	242.5	14.36	3.11
玉龙喀什河	188.48	16.24	48.26	6.14	275.53	141.14	81.84	5.07	4.17

为研究区域内河水的水化学性状,通过测定水体硬度、电导率、pH 值和 TDS,进而计算出水化学类型和盐浓度危险系数的高低,最终摸清了不同水体的化学组成特征,如表 3 中所示。

12 条河流之间的主离子浓度变化幅度较大,但大部分河流中 Ca²⁺ 含量最高,说明水中 K⁺ 和 Mg²⁺ 相对较少,而 Ca²⁺ 和 Cl⁻ 相对较多,是主要组成部分;诺木洪河、达木沟和玉龙喀什河的水化学类型为

Cl⁻·HCO₃⁻/Ca²⁺,五龙沟、大格勒河、塔塔陵河、米兰河和车尔臣河的水化学类型为 Cl⁻·SO₄²⁻/Na⁺·Ca²⁺,铁木里克河、红柳沟、尼雅河和策勒河的水化学类型为 Cl⁻·SO₄²⁻/Ca²⁺;水样的 TDS 普遍偏高,变化范围 718.43~8 254.14 mg/L,平均含量为 1 745.5 mg/L;pH 变化范围 7.46~8.07,平均为 7.83,显弱碱性;研究区内地表河水的盐危系数均处于高或非常高的水平。

表 3 河流水样的水化学特征

河流	pH	TDS/(mg·L ⁻¹)	电导率/(mS·cm ⁻¹)	硬度/(mg·L ⁻¹)	水化学类型	盐危系数
诺木洪河	7.89	718.43	1.06	524.92	Ca-HCO ₃	高
五龙沟	7.46	1157.36	1.72	666.37	Ca-Cl	高
大格勒河	7.75	1244.27	1.89	622.65	Ca-Cl	高
塔塔陵河	7.76	1671.53	2.38	797.01	Ca-Cl	非常高
铁木里克河	7.98	728.32	1.24	412.25	Ca-Cl	高
红柳沟	7.55	8254.14	9.21	4867.94	Ca-SO ₄	非常高
米兰河	8.07	1054.35	1.59	627.52	Ca-SO ₄	高
车尔臣河	7.97	1605.27	2.35	859.57	Ca-Cl	非常高
尼雅河	7.79	1360.69	2.42	703.46	Ca-SO ₄	高
达木沟	7.87	929.23	1.35	565.09	Ca-HCO ₃	高
策勒河	7.88	1259.44	1.89	697.57	Ca-SO ₄	高
玉龙喀什河	8.04	762.43	1.04	342.81	Ca-HCO ₃	高

3 讨论

3.1 河流水质的影响因素分析

河流的水质受到自然因素和人为因素的双重作用,人为因素主要为在山区修建水库、中下游修建防渗渠道和绿洲内生产、生活用水的排放。修建水库可以使大坝上游河水从急流转成静水,导致水的流动性大幅降低,对水质产生不容忽视的影响^[14];防渗渠道使河流不再接受矿物质补充,对河水中的矿化度和离子含量产生影响;绿洲内耕地的洗盐排碱措施,造成排盐水重新汇入河流下游,导致水的矿化度增加^[15],进而影响地表河流的水质。

自然因素是形成河流水质现状的根本原因,本次研究区域地处大陆腹地,具有降水量少和蒸发量大的气候特点^[16]。地表河水中离子主要源于沿途土体、风化壳及易溶盐的不断溶解^[17],其中 Na^+ 和 K^+ 主要源于蒸发岩或硅酸盐的风化产物的溶解, Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 源于碳酸盐、蒸发岩或硅酸盐的溶解, Cl^- 和 SO_4^{2-} 主要源于蒸发岩的溶解^[18], F^- 主要源自黑云母、绢云母及云母石英和原生盐渍化土壤、盐土和风沙土^[19]。研究区因极度干燥、日照强烈和蒸发旺盛,河水经强烈蒸发浓缩,且沿途不断溶解易溶盐类矿物质,导致河水的 TDS 含量普遍较高,并且梯度变化十分明显,即由河流的上游向中、下游不断增大,如红柳沟的平均 TDS 为 8 254.1 mg/L,可能与近期该流域没有降水有关,并且水流不断溶解易溶盐和矿物质,导致河水 TDS 在出山口处增至 8 917.6 g/L。

3.2 修建防渗渠道对绿洲可持续发展的影响

可持续发展是戈壁地区绿洲发展的终极目标,应该在促进社会进步和经济发展的同时满足生态环境的可持续发展^[20]。西北戈壁地区河流下游修建防渗渠道是一项重要的水利工程,可以有效地缓解水资源紧缺的现状,促进绿洲内社会经济发展。但随着防渗渠道的修建,河道基本不发生侧渗,河岸植被开始出现由沿河道带状生长转为带状死亡的现象,导致生态环境恶化。戈壁绿洲地处典型的内陆干旱区,气候干燥,绿洲外部的环境十分恶劣,属于干旱和风沙危害严重的区域,为典型的生态脆弱区。众所周知,水是威胁绿洲生存安全的主导因子,由于近几年绿洲在引水量增加的同时,灌溉面积也迅速扩大,然而却继续采用落后的灌溉方式,导致农业用水量不断增加,在作物灌溉期存在“能引多少就用多少”的现象。因此,目前实施的“山区水库—防渗渠道”工程是否能够更好地促进戈壁绿洲实现可持续发展值得进一步研究。

4 结论与建议

本次调查的水样中,阳离子浓度满足 $\text{Ca}^{2+} > \text{Na}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{K}^+$ 的关系;水化学类型总体上为氯化物·硫酸盐·碳酸盐/钠质·钙质水; F^- 与 Ca^{2+} 浓度含量呈负相关的关系; F^- 浓度含量均超过 1 mg/L,因此为了绿洲内人们的饮水安全,应该建立集中式饮用水水源保护区,以保证喝到健康的水。

河流的水质状况的不仅受到蒸发强、降水少和可溶性岩石溶解等自然因素的影响,还受到绿洲内耕地灌溉排盐、修建水库和防渗渠道等人为因素影响。人类活动的干扰对戈壁地区河流正常发展和水文规律产生了不容忽视的影响。因此,戈壁绿洲区应该在严格限制增加耕地面积的基础上,改进灌溉方式,控制农业用水量,合理分配“三水”,进而实现我国西北干旱区绿洲的可持续发展。

参考文献:

- [1] 冯益明,吴波,周娜,等.基于遥感影像识别的戈壁分类体系研究[J].中国沙漠,2013,33(3):635-641.
- [2] 王涛,陈广庭.西部地标:中国的沙漠、戈壁[M].上海:上海科学技术文献出版社,2008:216-224.
- [3] 李静,孙虎,邢东兴,等.西北干旱与半干旱区湿地特征与保护[J].中国沙漠,2003,23(6):670-674.
- [4] 毛德华,夏军,黄友波.西北地区水资源与生态环境问题及其形成机制分析[J].自然灾害学报,2004,13(4):55-61.
- [5] 刘蔚,王涛,高晓清,等.黑河流域水体化学特征及其演变规律[J].中国沙漠,2004,24(6):755-762.
- [6] 陈亚宁,杨青,罗毅,等.西北干旱区水资源问题研究思考[J].干旱区地理,2012,35(1):1-9.
- [7] 迪丽努尔·阿吉,艾克巴尔.新疆主要河流径流量变化的时空特征研究[J].干旱区资源与环境,2009,23(11):100-104.
- [8] 谭毅.柴达木盆地水系、地表水资源及其特点[J].水利科技与经济,2014,20(4):51-54.
- [9] 中国地质调查局.柴达木盆地地下水资源及其环境问题调查评价[M].北京:地质出版社,2008:25-28.
- [10] 郭慕萍,王志伟,秦爱民.54a 来中国西北地区降水量的变化[J].干旱区研究,2009,26(1):120-125.
- [11] 卢爱刚,熊友才.全球气候变化背景下近五十年中国湿度区域变化趋势[J].水土保持研究,2013,20(1):141-143.
- [12] 王建,韩海东,赵求东,等.塔里木河流域水化学组成分布特征[J].干旱区研究,2013,30(1):10-15.
- [13] 郝永娟,吐尔逊·哈斯木,杨家军,等.塔里木河径流量变化对下游沙漠化的影响研究[J].水土保持研究,2013,20(6):145-150.

为土地退化>劳动力利用率>农产品商品率>恩格尔系数>土地利用率>土地利用结构>人均粮食产量>贫困人口比例。

(2) 小流域综合效益得分值为 0.091 6,各准则层效益表现为社会效益>调水保土效益>生态效益>经济效益。

(3) 对丁家河小流域治理后的水土保持综合效益进行评价,小流域综合效益得分值为 0.091 6,各准则层效益表现为社会效益>调水保土效益>生态效益>经济效益,评价结果与当地实际相符合,表明本研究所建立的评价指标体系合理,评价方法可行,可应用于川东丘陵区水土保持综合效益评价,为川东丘陵区水土保持综合治理提供依据。

5 结论

(1) 水土保持综合效益评价指标众多,不同地区由于自然、社会和经济条件相差很大,评价指标的选取也不同。本研究在对川东丘陵地区进行实地调查、走访、查阅当地资料、专家咨询的基础上确定了三级评价指标体系,包括 20 个评价指标,这些指标以量化为主,基本能够反映区域水土保持综合效益。

(2) 在对不同效益评价方法进行分析的基础上,确定了利用层次分析法进行水土保持综合效益评价的方法,该方法将定量和定性相结合,它把问题的各个组成因素划分为相互联系的有序层次,对每个层次组成要素的相对重要性给予数量标定,然后运用严密的数学方法,运用计算机软件进行数据处理,求得各个因子的重要程度,最后根据结果的排序来分析和解

决问题。通过本研究确定的评价方法,能够对该区域水土保持综合效益得出比较准确的评价结果。

(3) 由于小流域治理完成时间仅一年,各项指标效益的发挥尚处于初期,因此目前各项水保效益得分值较低,随着治理年限的增长,各项指标将发挥更大的效益,小流域综合效益也将不断提高,直至达到最大效益。

参考文献:

- [1] 陈国建,李锐,杨勤科,等.黄土高原水土保持的社会经济效应评价研究[J].中国农学通报,2005,21(8):384-387.
- [2] 梁会民,赵军.小流域综合治理的生态经济效益评估研究[J].生态经济,2001(8):12-14.
- [3] 赵力仪,马国力,祁永新,等.水土保持社会效益的监测与评价[J].人民黄河,2000,22(6):23-26.
- [4] 魏强,柴春山.半干旱黄土丘陵沟壑区小流域水土流失治理综合效益评价指标体系与方法[J].水土保持研究,2007,14(1):87-89.
- [5] 金瑾,蓝明菊.水土保持综合治理效益评价研究[J].山西建筑,2008,34(1):349-350.
- [6] 林积泉,王伯铎,马俊杰,等.小流域治理环境质量综合评价指标体系研究[J].水土保持研究,2005,12(1):68-71.
- [7] 余海龙,吴普特,冯浩,等.黄土高原小流域雨水利用环境效应评价的方法与指标体系[J].中国沙漠,2005,25(1):50-54.
- [8] 潘文,王鹤立.层次分析法在污染场地修复技术优选中的应用[J].环境科学与技术,2012(S):322-326.
- [9] 高吉喜.可持续发展理论探索[M]北京:中国环境科学出版社,2001.
- [10] 王根绪,程国栋.黄土高原小流域综合治理效益评价研究[J].水土保持研究,2002,9(1):1-6.
- [11] 王根绪,程国栋.黄土高原小流域综合治理效益评价研究[J].水土保持研究,2002,9(1):1-6.
- [12] 王根绪,程国栋.黄土高原小流域综合治理效益评价研究[J].水土保持研究,2002,9(1):1-6.
- [13] 王根绪,程国栋.黄土高原小流域综合治理效益评价研究[J].水土保持研究,2002,9(1):1-6.
- [14] 冉景江,陈敏,陈永柏.三峡工程影响下游水生态环境的径流调节作用分析[J].水生态学杂志,2011,32(1):1-6.
- [15] 刘蔚,王涛,高晓清,等.黑河流域水体化学特征及其演变规律[J].中国沙漠,2004,24(6):755-761.
- [16] 严平,李文赞,王学全,等.库姆塔格沙漠水文调查初步结果[J].中国沙漠,2011,31(1):242-246.
- [17] 周长进,董锁成.柴达木盆地主要河流的水质研究及水环境保护[J].资源科学,2002,24(2):37-41.
- [18] Meybeck M. Global chemical weathering of surficial rocks estimated from river dissolved loads [J]. American Journal of Science, 1987,287(5):401-428.
- [19] 王根绪,程国栋.西北干旱区水中氟的分布规律及环境特征[J].地理科学,2000,20(2):153-159.
- [20] 张芳,段汉明,张婷.北疆城镇区域社会经济与绿洲生态系统协调发展评价[J].干旱区资源与环境,2014,28(5):7-12.

(上接第 151 页)