

# 干旱区绿洲多介质环境中氮素和磷素分布研究

古丽米热·艾米肉拉<sup>1,2</sup>, 艾尼瓦尔·买买提<sup>3</sup>, 海米提·依米提<sup>2</sup>

(1. 新疆大学 资源与环境科学学院, 乌鲁木齐 830046;

2. 绿洲生态教育部重点实验室, 乌鲁木齐 830046; 3. 新疆大学 化学工程学院, 乌鲁木齐 830046)

**摘要:**通过对绿洲内部不同环境介质定点采样和室内分析,研究了绿洲主要非点源污染物氮素和磷素在绿洲内部不同环境介质中的分布和相互迁移规律。研究发现绿洲河流中的氮和磷的含量呈现出沿河流流向上升趋势,河水中氮素含量最低值(0.399 mg/L)出现在河流出口,最高值(1.707 mg/L)出现在人类活动密集区的绿洲核心地区,该值比源头的第一个最低值增加了 3 倍,相当于每 1 km 约增加了 9.6  $\mu\text{g/L}$ ;河水中的磷素含量最低值同样是出现在了河流出口,含量为 3.13 mg/L,最高值出现在绿洲末端,为 26.46 mg/L。农田土壤中的氮和磷的含量普遍高于农田边缘地区的非耕作土壤,不同农作物土壤中的氮和磷的含量也有所不同,稻田土壤中氮含量相对于别的农田较高为 0.338 g/kg,果园土壤中的磷含量较高为 0.367 g/kg。采集的农田排水中氮和磷的含量普遍比河水中的含量高,最高已高出 3 倍以上。不同环境介质中氮素和磷素含量相关性而言农田排水和河水氮素含量,农田土壤和河水中的磷素之间的相关性较高说明它们之间氮素和磷素的相互转移比较明显。

**关键词:**环境行为;全氮;全磷;绿洲

中图分类号:X522

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2012)02-0248-05

## Study on the Phosphorus and Nitrogen Environmental Behavior in the Oasis of the Arid Region

Gulimira · Amirula<sup>1,2</sup>, Anwar · Mohamme<sup>3</sup>, Hamit · Yimit<sup>2</sup>

(1. College of Resources and Environment Science, Xinjiang University,

Urumqi 830046, China; 2. Key Laboratory of Oasis Ecology, Ministry of Education, Urumqi

830046, China; 3. College of Chemistry & Chemical Engineering, Xinjiang University, Urumqi 830046, China)

**Abstract:** In this article we sampled soil, river water and seepage and total phosphorus, total nitrogen in these samples are analyzed. According to the obtained data, the distribution character of total phosphorus and total nitrogen in each environment and its change character were identified. And we also analyzed the impact between each index. The result showed that: the concentrations of total phosphorus and total nitrogen bring forward the increasing tendency along with the river's streamline. The lowest nitrogen (0.399 mg/L) and the phosphorus (3.13 mg/L) appear in the oasis area where is at the end of irrigation land. The highest nitrogen (1.707 mg/L) and phosphorus (26.46 mg/L) appear in the beginning of the river. Through the comparison between the soil on the field and uncultivated soil, it shows that 66.67%~77.78% of field soil component of total phosphorus, total nitrogen in the whole sampling area is higher than those in uncultivated soil. The correlation analysis brings out that the total phosphorus in soil and river water and total nitrogen in river water and seepage water show correlative.

**Key words:** environment behavior; total phosphorus; total nitrogen; oasis

近年来,氮磷污染受到越来越广泛的关注,尤其是河流向湖泊及海洋的氮磷输送问题、氮磷来源与影

响因素、氮磷在不同环境介质中的存在形式、转化方式等成为研究的热点领域<sup>[1]</sup>。Smith 等发现美国大

收稿日期:2011-08-04

修回日期:2011-10-11

资助项目:国家自然科学基金项目(40661002)。

作者简介:古丽米热·艾米肉拉(1978—),女(维吾尔族),新疆库尔勒人,博士研究生,主要从事干旱区水资源与环境研究。E-mail: gulimira994@126.com

通信作者:海米提·依米提(1960—),男(维吾尔族),教授,博士生导师,从事水资源与环境、旅游资源开发与管理方面的教学和科研工作。E-mail: hyimit@yahoo.com.cn

多数河流的氮浓度在近几十年中不断升高,而且近 300 多条河流的氮污染来源是非点源输入。众多研究表明,绝大部分地表水体的氮磷负荷来源与农业生产有关,灌溉农业被认为是地表水体最大的氮磷输入源<sup>[2-4]</sup>。

据估计全世界每年大约有  $(3\sim 4)\times 10^6$  t 磷从土壤迁移到水体中。在欧洲国家的地表水体中农业排磷所占的污染负荷比例为 24%~71%;美国每年由化肥和土壤进入水生系统的磷素高达 0.45 亿 kg;日本稻田是湖泊最大污染源,日本水田磷的排出负荷量为 0.3~8.4 kg/(hm<sup>2</sup>·a)<sup>[5-7]</sup>。我国陕西黄土高原侵蚀最严重的地区府谷县、米脂县农田中磷素流失量分别为 9.9 kg/(hm<sup>2</sup>·a)和 8.7 kg/(hm<sup>2</sup>·a);目前对氮磷污染的研究更多的指向了氮磷在环境中的分布规律、转化方式等<sup>[8-9]</sup>。如龙天渝等在地理信息系统 GIS 支持下,估算了各单元的土壤流失量,并对嘉陵江流域吸附态氮磷污染负荷进行了数值模拟与定量分析<sup>[10]</sup>;卢少勇等研究了灭菌、抑制剂添加和磷添加对沉积物—水模拟系统中氮磷转化的影响<sup>[11]</sup>;吴永红等以 3 cm 分层的方式测试了沉积物柱状样中的有机质、总磷及赋存形态磷、总氮、亚硝酸盐氮、硝酸盐氮和氨氮等指标,提出了 24~39 cm 处可作为疏浚层厚度的观点<sup>[12]</sup>;曲丽梅研究了辽东湾海域氮磷营养盐的时空变化特征,对各种形态的氮磷营养盐之间进行了相关分析,做出了潜在性富营养化评价<sup>[13]</sup>;张少源等利用定点监测的方法研究了三峡库区两个小流域水体中可溶性硅、可溶性无机氮和可溶性磷含量及其变规律,以及三者之间的比例关系及可能引起的环境问题等<sup>[14]</sup>。

上述研究通过化学分析,地理信息系统等方法从微观和宏观的角度分析研究了氮素和磷素在环境中的分布、流失、转化等。而忽略了在不同的环境介质中氮素和磷素的分布和关系。本研究主要是以绿洲为研究区,以整个绿洲中氮素和磷素存在于几个不同的环境介质中的分布转化为研究目标进行系统的研究。随着绿洲灌溉农业的高度发展以及农药和化肥使用量的增加,氮磷对绿洲环境的影响已日趋严重。就于田绿洲而言,灌溉面积从 1949 年的 15.85 万 hm<sup>2</sup> 增加到了 2004 年的 24.49 万 hm<sup>2</sup>。而化肥从 1949 年的零使用量增加到了 2004 年 1 490 t。随着灌溉量的增加,携带大量农药和化肥等污染物的农田排水对河流的污染加剧,对当地的环境造成了破坏,对当地居民的健康产生了一定危险,同时对下游的生态环境造成了危害,因此系统研究绿洲不同环境介质中氮磷的存在方式和迁移更加紧迫。

## 1 研究区概况

本文选择干旱半干旱区典型的绿洲单元即克里雅河流域作为研究区。克里雅河流域属于我国著名的塔里木盆地南缘于田县,土地面积为 4.03 万 km<sup>2</sup>。于田绿洲的地形南北长,成带状。地势南高北低,具有鲜明的垂直地带差异<sup>[15]</sup>。气候属于暖温带内陆干旱沙漠气候,降水量少,气候干燥,多年平均降水量为 47.3 mm,历年平均气温 11.6℃。于田县南靠雄伟的昆仑山脉,克里雅河是塔里木盆地中深入塔克拉玛干沙漠的最长河流之一。它发源于昆仑山脉中段,主要接受冰雪融水的补给,其中冰雪融水补给为 71%,降水为 9%,地下水为 20%<sup>[16]</sup>,径流年内变化大,而年际变化较稳定,出山口多年平均径流量为 7.049 亿 m<sup>3</sup>。

克里雅河从源头至出山口普鲁村为上游,山体高耸,客流深切侵蚀作用强烈。从普鲁村至于田绿洲为中游,河流深深切入山前冲积扇的砾石层中形成箱状谷。从于田绿洲至达里雅博依以被深入沙漠腹地为下游,形成了一条被沙漠包围的绿色走廊<sup>[16]</sup>。仅近 50 a 来于田绿洲的人口增长了 184.7%,年均人口增长率达到 3.2%。人口的增加引起了粮食需求的增加,人们大量的开荒增加了耕地面积,统计 1958—1990 年于田地区开荒面积为 80 667 hm<sup>2</sup>,其中 1 667~5 333 hm<sup>2</sup> 是以毁林和毁坏草场为代价的<sup>[17]</sup>。近 50 a 于田境内的耕地面积快速增长,年均增长速度为 1.18%。但人口的增长速度远远超过了耕地面积的扩张速度。人均耕地面积不断下降,人地矛盾日益尖锐。这导致人类不顾生态效益,不合理的开发利用自然资源,破坏生态平衡,加重了生态环境的压力<sup>[18]</sup>。

## 2 研究方法 with 材料

### 2.1 样品采集

本文于 2008 年 9 月在河水、农田土壤和农田排水中以赵蕊新的“环境污染化学”的采样标准进行随机采样<sup>[19]</sup>。共采集 27 个农田土壤样品,农田排水样品 19 个以及河水样品 28 个。

2.1.1 河流水样的采集 从上游到下游沿着河流进行随机采样,布设 14 个断面。断面 1 普鲁至断面 4 努尔水文站位于研究区上游,断面 5 中闸口至断面 11 检查站位于绿洲内部,而断面 12 喀瓦艾热克质、断面 14 沙丘位于河流下游的开端。并在每个断面取了两个水样,水样采集于河流表层。水样装入塑料水瓶运回实验室备用。

2.1.2 土壤样品的采集 土壤样品的采集主要是分

成不同的耕作地,包括稻田、玉米地、棉田及果园进行随机采样。在所选择的样地中进行了直线方向采样,并在每个耕地周围采集自然土壤作为比较参照样品。土壤样品取自土壤表面 1—20 cm 处,并用混合采样方式。将土壤样品装袋运回实验室进行晒干,过筛备用。

2.1.3 农田排水的采集 采集河流水样的同时,对进入河流的稻田农田排水进行随机采样。对于别的耕作土壤而言农田排水是以下渗的方式进入河流,因此本文只能选择比较容易采集的稻田农田排水进行采样。样品主要采集于稻田农田排水的表层,装入塑料器皿中运回实验室备用。

## 2.2 样品处理与分析

样品运回实验室后进行全氮和全磷含量的测定。测定按照赵蕊新的“环境污染化学”的标准进行<sup>[8]</sup>;土壤中全氮的测定用半微量开氏法,土壤全磷的测定用高氯酸—硫酸法;水样中的全氮用过硫酸钾氧化—紫外分光光度法测定,而全磷测定运用钼锑抗分光光度法。

## 3 结果与分析

### 3.1 氮在不同环境介质中的分布

3.1.1 克里雅河水中全氮的分布特征 图 1 表明河流全氮含量呈现从上游到下游递增趋势。河流全氮含量在流域出山口的断面 1 为 0.399 mg/L。进入绿洲内部后在断面 4 增加到了 1.572 mg/L,与第一个取样点相比增加了两倍,相当于每 1 km 约增加 0.031 mg/L;然而断面 4 至第 9 个断面下降到增加交替出现,并且在断面 9 出现了一个较小的值 1.002 mg/L;在断面 10 全氮含量增加到了 1.552 mg/L,并且在河流约进入沙漠处出现了整个河流中全氮含量总高的值 1.707 mg/L,该值比源头的第一个最低值增加了 3 倍,相当于每 1 km 约增加了 9.6  $\mu\text{g}/\text{L}$ 。从该最高值开始河水全氮含量出现下降趋势,并一直下降到 1.435 mg/L。从总的线性趋势线可以看出河流沿程全氮呈现上升趋势。河流进入绿洲内部后上升趋势较明显,河水全氮含量沿程变化梯度较高。这可能与河流中下游接受携带不同程度农业污染物的大量的田间灌溉农田排水直接相关,而随后河流流出绿洲进入沙漠时出现较明显的下降趋势可能与河流自净能力有关。

3.1.2 克里雅河流域土壤中全氮含量特征 土壤是一个复杂的有机环境,不同的耕作土壤长期种植作物和使用化肥、喷洒农药而产生不同的理化性质。同时土壤的不同理化性质又以农田回归水的方式直接或

间接影响河流和地下水水质。图 2 中可以看出,在 4 种不同的耕作土壤中,稻田土壤中的全氮含量为最高为 0.339 g/kg。依次为玉米地、果园和棉花地。其中棉花地土壤全氮含量为最低只有 0.202 g/kg。然而耕作土壤全氮含量和邻近的非耕作土壤全氮含量相比,耕作土壤全氮含量明显高于非耕作土壤。如稻田土壤中的全氮含量 0.338 g/kg 比邻近的非耕作土壤 0.231 g/kg 高出了 42.33%。就相对于别的耕作土壤全氮含量较低的棉花地为例,全氮含量 0.202 g/kg 比邻近的非耕作土壤的 0.180 g/kg 高出了 24.8%,这表明水田的氮污染要比旱田的氮污染严重。

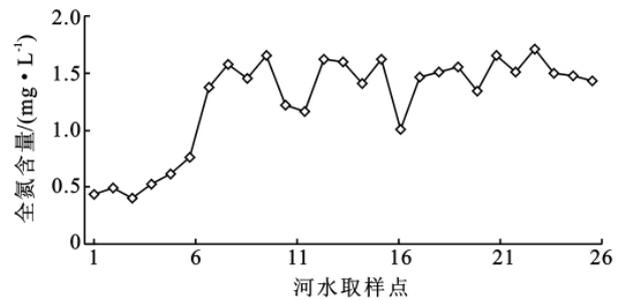


图 1 克里雅河全氮含量沿程非等距离分布

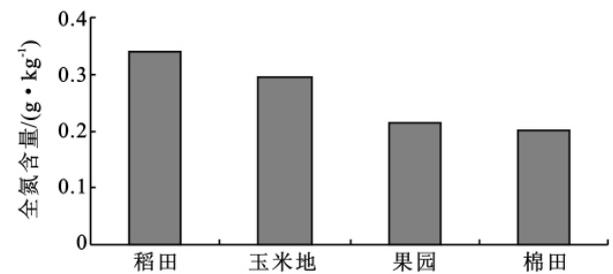


图 2 不同耕作土壤全氮含量比较

### 3.1.3 克里雅河流域内部农田排水中氮的含量特征

对于 19 个样点的农田排水中全氮含量测试结果表明,农田排水全氮含量在不同的样带出现了较明显的浮动,全氮含量为 1~3 mg/L。农田排水和河水全氮含量平均值和最高值的比较可以得出农田排水中的全氮含量明显高于河水中的全氮含量(图 3)。农田排水中的全氮平均值比河水高出 61.8%,最高值高出 54.98%。

### 3.1.4 绿洲内部不同环境介质中氮素的环境行为

对克里雅河流域不同环境介质中全氮含量和分布特征的分析发现,氮素的存在和分布与不同的环境介质有着一定的有机联系。将得到的样点数据进行相关分析,农田排水和河水全氮含量之间的相关系数为  $r=0.346$ ,按照相关分析理论并无相关;河水和耕作土壤全氮含量之间的相关系数为  $r=0.144$ ,无相关性;耕作土壤和农田排水全氮含量之间的相关系数为  $r=0.145$ ,同样不相关。

对于流域内主要三种不同的环境介质中全氮含量

之间的相关分析表明,虽然三者之间并无明显的相关,但是相对而言,农田排水和河水全氮含量之间的相关性比其他环境介质中的全氮含量之间的相关性较高,而这样的结果也表明农田排水和河水之间物质的相互迁移关系较大,使得耕作土壤中各种形式的氮素以农田排水携带入河流,造成了河流的非点源农业污染。

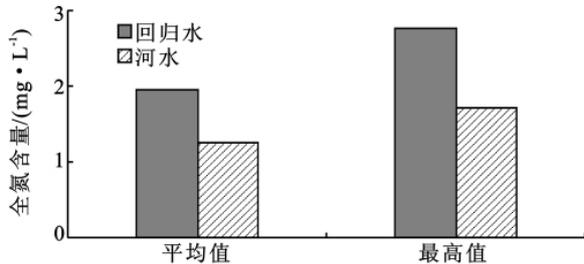


图3 河水和农田排水全氮含量比较

### 3.2 磷在绿洲不同环境介质中的分布

3.2.1 克里雅河中全磷的分布特征 对于克里雅河沿程取样点河水中全磷的含量分析结果如图4所示。从沿程变化图中可以看出河水中的全磷含量呈现从流域出山口至下游递增的趋势。全磷含量在流域出山口断面1为3.13 mg/L,进入绿洲以后在断面6增加到14.57 mg/L,含量增加3.5倍相当于每1 km增加0.28 mg/L。然而从断面6到第9个断面全磷含量下降与增加交替出现,并在第9个样点出现了较小的值3.4 mg/L;在断面10全磷含量上升到了25.46 mg/L,并且一直从该点开始下降到15.55 mg/L;总的趋势表明河水全磷含量沿程呈现上升趋势,最高值出现在绿洲内部人类活动比较密集区域。

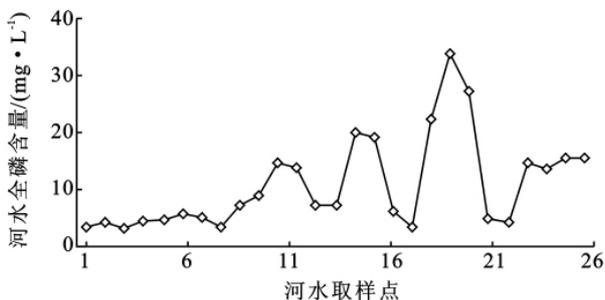


图4 克里雅河全磷含量沿程分布

3.2.2 克里雅河流域土壤中全磷含量特征 从图5可以看出,在主要的几个耕作土壤全磷含量平均值中果园土壤中全磷含量最高为0.367 g/kg。然而三种不同的旱地土壤中的全磷含量比较接近即从0.34~0.36 g/kg。稻田土壤全磷平均值只有0.21 g/kg,这表明水田土壤全磷含量相对于旱田比较低。耕作地邻近的非耕作土壤全磷含量之间的比较研究表明稻田土壤全磷含量要比邻近的非耕作土壤全磷含量高3.3倍,然而耕作土壤中全磷含量较高的果园土壤与邻近的非耕作土壤全磷含量相比只是高出了61.6%。

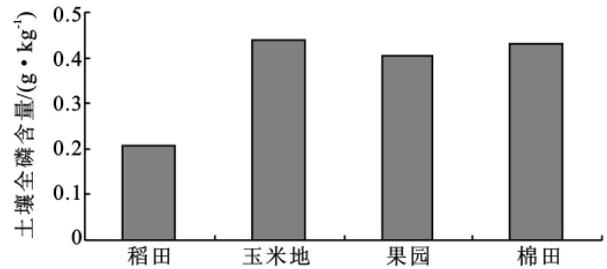


图5 不同耕作土壤全磷含量比较

#### 3.2.3 克里雅河流域内部农田排水中磷的含量特征

对于稻田农田排水全磷含量结果分析表明,在不同取样点之间全磷含量并无明显的变化规律可循。但是稻田农田排水中的全磷含量普遍比河水所含的全磷要高。不管是最高值还是平均值稻田农田排水中的全磷含量要比河水中的高,分别高出69.47%和3倍。

#### 3.2.4 绿洲内部不同环境介质中磷素的环境行为

本文对于流域内不同的环境介质中的全磷含量之间相互关系作了典型相关分析。从分析结果中可以看到不同的环境介质中全磷含量之间并无显著相关性,相对而言河水和耕作土壤中的全磷含量之间的相关性较高,即 $r=0.377$ ,耕作土壤与农田排水全磷含量之间的相关系数为 $r=0.169$ ,即两者无相关性;河水和农田排水全磷含量之间相关系数为 $r=-0.119$ ,也无明显的相关性。上面的分析结果表明磷素在河水和耕作土壤之间的相互转移行为与别的环境介质相比较明显。

磷素和氮素在不同环境介质中的行为不一致,在河水和农田排水氮素之间的相关性相对较高。两种元素都属于非点源污染所造成的主要污染物,但是因两种污染物的物化性质的不同,它们在不同的环境介质中的迁移、积累等环境行为表现也不同。

## 4 结论

(1) 河流环境中的氮磷含量具有沿程变化特征,即河水中的全磷和全氮含量在上游较低,而进入绿洲后含量开始逐渐上升并在绿洲核心地区达到最高值。就全氮和全磷含量而言,河流中的全磷含量比全氮含量较高。按照中华人们共和国国家标准(GB3838—2002)地表水环境质量标准,河水磷含量达到一类水标准,并且最高值与二类水质非常接近,只相差27%。

(2) 农田排水中的全氮和全磷含量普遍比河水中的全磷和全氮含量较高。不仅是平均值较高而且二者之间的最高值的比较也表明农田排水中的全磷和全氮含量高。最高高出三倍,最低也高出了54.9%。

这样的结果说明农田土壤中的氮磷在灌溉水中溶解后以农田排水的方式进入河流,使得河流中的氮磷含量高出了自然水中的氮磷含量。

(3)对于耕作土壤中的全磷和全氮含量的分析表明,耕作土壤中的全磷和全氮含量普遍比非耕作土壤中的全磷和全氮含量高。不同的耕作土壤与相邻的非耕作土壤全磷和全氮比较而言,稻田土壤中的全磷和全氮都比别的耕作土壤高。稻田土壤中的全氮含量较高,果园土壤中的全磷含量较高。

(4)不同环境介质中全磷和全氮含量之间的相关分析结果表明河水中的全磷含量和耕作土壤中的全磷含量之间呈正相关,农田排水全氮含量和河水全氮含量之间的相关性与别的环境介质之间的相关性相比较,但没有达到显著水平。

#### 参考文献:

- [1] 王颖,沈珍瑶,呼丽娟,等. 三峡水库主要支流沉积物的磷吸附/释放特性[J]. 环境科学学报,2008,28(8):1654-1661.
- [2] 张从. 中国农村面源污染的环境影响及其控制对策[J]. 环境科学动态,2001(4):10-14.
- [3] 董艳强,陈长虹,黄成,等. 长江三角洲地区人为源氨排放清单及分布特征[J]. 环境科学学报,2009,29(8):1611-1617.
- [4] 刘文兆. 小流域水分行为、生态效应及其优化调控研究方面的若干问题[J]. 地球科学进展,2000,10(5):541-545.
- [5] CHEN Xuechu, KONG Hainan, WU Deyi, et al. Phosphate removal and recovery through crystallization of hydroxyapatite using xonotlite as seed crystal[J]. Journal of Environmental Sciences,2009,21:575-580.
- [6] Franoise B, Jacques B. Land Landscape Ecology: Concepts, Methods and Applications[M]. New Hampshire: Science Publishers Inc,2003.
- [7] Wang G, Cheng J, Lai Y. Eco-environmental degradation and causal analysis in the south region of the Yellow River[J]. Environmental Geology,2001,40(2):884-890.
- [8] 章程,袁道先. 典型岩溶地下河流域水质变化与土地利用的关系:以贵州普定后寨地下河流域为例[J]. 水土保持学报,2004,18(5):134-137.
- [9] 陈静生,夏星辉. 我国河流水化学进展[J]. 地理科学,1999(4):290-293.
- [10] 龙天渝,刘腊美,李崇明,等. GIS的嘉陵江流域吸附态氮磷污染负荷研究[J]. 重庆建筑大学学报,2008,30(3):89-96.
- [11] 卢少勇,金相灿,郭建宁,等. 沉积物—水系统中氮磷变化与上覆水对藻类生长的影响[J]. 环境科学,2007,28(10):2169-2173.
- [12] 吴永红,胡俊,金向东,等. 滇池典型湖湾沉积物氮磷化学特性及疏浚层推算[J]. 环境科学,2005,26(4):126-132.
- [13] 曲丽梅,姚德,丛丕福. 辽东湾氮磷营养盐变化特征及潜在性富营养评价[J]. 环境科学,2006,27(2):65-71.
- [14] 张少源,冯明磊,林杉,等. 三峡库区小流域河流可溶性硅、无机氮和磷的研究[J]. 环境科学,2008,29(10):2716-2722.
- [15] 克里雅河吉塔克拉玛干科学探险考察队. 克里雅河吉塔克拉玛干科学探险考察报告[M]. 北京:科学出版社,1991.
- [16] 塔西普拉提·特依拜. 干旱区环境演变与遥感应用研究[M]. 乌鲁木齐:新疆大出版社,1996.
- [17] 嘉凌云,海米提·依米提. 于田平原绿洲及其绿洲—荒漠交错带景观局变化分析[M]. 乌鲁木齐:新疆大学出版社,2005.
- [18] 黄玉瑶. 内陆水域污染生态学:原理与应用[M]. 北京:科学出版社,2001.
- [19] 赵蕊新. 环境污染化学[M]. 北京:工业出版社,2004.