

西北干旱区水资源利用中的生态环境问题及对策

李元寿¹, 贾晓红¹, 鲁文元²

(1. 中国科学院寒区旱区环境与工程研究所, 甘肃 兰州 730000;

2 甘肃省武威市凉州区林业技术推广中心, 甘肃 武威 733000)

摘 要: 通过分析西北干旱区水资源特点及利用现状, 指出由于特殊的地理位置区内水资源本来总体就不足, 加之全球气候变化使得这一地区内陆河的补给水源——冰川雪线上升, 使水的问题在干旱区显得更为重要。而水资源利用上的过度和不当地不仅对水资源造成极大的浪费而且引发了一系列的环境——生态问题。其中最突出的是内陆河中游农灌区盐渍化与下游荒漠化。以期人们在开发利用水资源的同时能加以重视, 从而更好地利用现有的资源为经济发展提供保障。

关键词: 西北干旱区; 水资源; 生态环境

中图分类号: S274; X171.1

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2006)01-0217-03

The Utilization of Water Resource and Its Influence on Eco-environment in Arid Area of Northwest China

LI Yuan-shou¹, JIA Xiao-hong¹, LU Wen-yuan²

(1. Cold & Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute,
Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China;

2 Forest Technology Extend Center of Wuw ei City of Gansu Province, Wuw ei 733000, China)

Abstract: Basing on analysis of characteristics and utilization of water resource in arid area of northwest China, it is pointed out that the utilization and exploitation of water resource in that area have led to a series of impacts on eco-environment because of the economic profit. But people has not recognized the significance, they still unduly harness the water resource even waste it. A set of environment deterioration problems, such as desertization and salinization of soil, have risen during water resource being exploited because the ecosystem is rather weak. All above will further deteriorate environment and hold back the economic development of the northwest of China.

Key words: northwest arid area; water resource; eco-environment

干旱区系指干燥度系数 >3.5 , 大致在贺兰山以西的我国西北地区, 介于 $73^{\circ}\sim 125^{\circ}\text{E}$, $35^{\circ}\sim 50^{\circ}\text{N}$ 之间, 在行政区划上包括新疆、甘肃西部(河西走廊)、柴达木盆地以及内蒙古和宁夏的西部等地^[1], 我国西部干旱区占国土总面积的26.6%, 水资源主要是发源于高山地区冰川、雪山的内陆河流。水资源最大的特点是总水量少, 补给来源单一, 时空分布不均^[2]。水资源分布的特点决定了流域地表径流及其与之密切联系的地下水资源是维系中下游经济发展和生态环境平衡的纽带。水就成为干旱地区最为稀缺的资源, 可以说水资源不仅是维系生态环境的珍贵资源而且也是制约社会经济发展的关键因素。在这种水资源分布与气候条件制约下, 内陆流域生态环境体系具有干湿交替带、农牧交错带、森林边缘带及沙漠边缘带等生态环境脆弱带。一方面, 受全球变暖的影响, 伴随气候加剧上升的同时, 降水量和冰川融水两普遍增加, 而且增加势头强劲, 尤其近20年来冰川径流量明显增加, 内陆湖泊水位大幅度上升, 可利用的水资源增多^[3]。另一方面, 气候由暖干向暖湿转型(施雅风等, 2002), 给西部干旱区水资源带来了良好的前景。然而, 在水资源开发利用过

程中引发的一系列环境恶化问题还没有受到人们的重视, 而水资源的不合理利用, 加剧了西北干旱区脆弱生态环境的演变过程, 影响了干旱区的生态安全。因此, 合理利用水资源是实现干旱区生态环境和经济可持续发展的基本对策。为了更好地利用现有的水资源, 就必须对现有的水资源利用现状和造成的严重后果有一个明确的认识, 意识到现有的利用方式和管理策略不利于水资源的充分利用, 以便更好地利用现有的资源为经济发展提供保障。

1 西北干旱区水资源特点

中国西北干旱区远离海洋, 深居内陆, 具典型大陆性气候特点, 干燥少雨。由于特殊的自然地理条件, 致使区内水资源具有总体水量不足, 空间分布不均的特征。多年平均降水量的分布总体具有由山区向平原区由大变小的规律。降水量不但在平面上分布不均, 而且在垂直方向和地形高度上显示出明显的一致性。山地区一般为200~700 mm, 盆地和走廊一般为40~200 mm, 全区多年平均蒸发量很大, 一般在1500~3000 mm之间, 盆地中心地带高达4000 mm, 是降水

收稿日期: 2005-04-18

基金项目: 国家自然科学基金项目(30270255); 中国科学院2004年成都山地所“百人计划”项目资助

作者简介: 李元寿(1972-), 男, 甘肃民乐人, 中科院寒旱所博士生, 主要从事寒旱区土壤、水文水资源的研究。

量的几十倍到几百倍, 年降水量小于 200 mm^[4]。

由于西北干旱区地貌特征为高山与盆地交错分布, 使所有发源于高山地区的河流都向盆地汇集, 组成向心式水系。受地质构造和自然地理条件控制, 山前平原区为相对沉降的构造盆地, 堆积着巨厚层的松散堆积物, 有利于地表水渗漏补给, 构成了较好的地下水含水系统, 该系统可以接受山区地下水侧向补给, 又具有接受地表水 (包括河道、灌溉渠道和田间灌水) 的入渗补给等良好的水文地质条件, 因而, 山前平原区是西北干旱区地下水相对富集地带, 蕴藏着丰富的地下水资源, 由地表水渗漏补给的地下水量占地下水总补给资源的 60%~87%^[5]。内陆盆地水资源的主要特点之一, 是地表水、地下水相互转化, 而戈壁带实质上是由巨厚卵石层所构成的一个占有巨大空间的地下水库, 具备良好的储水条件与调节功能。高山拦截气流, 在山区形成较多的降水和数量众多的冰雪, 山区的降水、冰川及融雪水是干旱区内陆河流水的补给源泉, 成为内流盆地许多河流的发源地。由于冰川融雪水补给的调节作用, 河川径流量年际间变化不大, 但在年内分配不均, 一般夏季占全年的 60% 以上^[6]。

目前, 西北干旱区水资源在全球变暖水循环加快的大背景下, 已突现出显出一个显著的特征, 即根据 2002 年施雅风等人以降水增加量大于蒸发增加量的结果, 径流量增加与内陆河水位上升为主要的暖湿标准, 可相应的划分为: 水资源生态环境显著转型区、轻度转型区和未转型区。

2 水资源利用现状

西北干旱区降水量和径流量虽然较 1987 年前有所增加, 但仍是水资源缺乏区, 多年平均水资源量为 223.1 × 10⁸ m³, 平均 86.42 m³/hm², 人均约为 3.088 m³, 远远低于全国平均数 (28.62 × 10⁴ m³)^[7]。我国的西北干旱区水资源利用可划分为两个阶段: 一是利用河水 and 溢出带的泉水地表水开发利用阶段, 二为了充分利用来自山区充沛的地表径流, 陆续在河流的上游地区修建了大量水库, 在少数内陆河流域在利用地表水的同时, 又大力开发了地下水资源, 即联合开发利用地表水和地下水。

表 1 西北干旱区水资源量与利用现状^[8] 10⁸ m³/a

地区	地表径流量	利用率/%	地下水补给量	地表水与地下水重复量	地下水利用率/%	水资源总量	利用率/%
河西走廊	74.2	63.67	43.12	37.22	38.15	80.10	72.0
中亚内流区	203.0	35.0	61.2	56.8	2.3	207.4	34.9
准噶尔盆地	127.0	63.9	68.8	49.8	19.0	146.0	64.5
塔里木盆地	407.0	67.0	220.1	196.6	3.9	430.5	65.3
柴达木盆地	45.8	17.1	35.0	31.1	1.8	49.7	17.0
额尔齐斯河	119.0	14.8	20.0	17.7	0.7	121.3	14.6

西北干旱区水资源利用现状如表 1 所示, 河西走廊准葛尔盆地等中国干旱区最主要的平原区, 水资源利用率都超过 65% 以上, 远远超出世界干旱区平均水资源利用率 30% 的水平。在局部地区, 如乌鲁木齐河流域和石羊河流域, 水资源利用率分别已达 108.1% 和 104.7%, 超过流域可更新的水资源量^[8,9]。水资源的高强度利用将引起干旱区内陆河流域上、中、下游的水量时空重新分配和相关的水环境问题, 而当前由于全球气候变暖, 西北地区内陆河流水的补给源泉冰川及融雪水融化速度的加快使得流入内陆河流的水量会减少。在人类活动对内陆河流域水资源系统的破坏作用下, 形成了局部地区因严重缺水而导致生态恶化, 严重时将使整个流域生态系统失调或退化。

3 水资源利用引发的环境变化问题

西北干旱区总的来说水资源生态环境的转型并没改变水资源严重短缺得问题。一方面地表水和地下水大都得到了利用, 开发利用程度较高。很多地方已过度开发, 从而引发了环境问题。另一方面, 有些地方的不合理开发利用也同样产生了负效应, 如河流下游水量锐减, 甚至断流, 河道缩短, 终端湖泊萎缩或干涸, 水质咸化和污染趋势加剧, 土壤沙漠化和盐碱化, 沙漠化土地面积达 674.93 × 10⁴ hm², 盐碱化耕地面积逾 135.56 × 10⁴ hm²; 植被退化, 生物多样性减少, 草地面积减少 16%~92%; 沙尘暴灾害发生频数增加, 灾害程度加剧^[8]。

3.1 湖泊的变化

西北干旱区大多数平原湖泊属内陆流域终端滞水而成的封闭式湖泊, 在干旱荒漠气候条件下, 随入湖淡水减少, 蒸发浓缩作用加强, 使得湖泊水量减少, 水化学特征发生较大改变, 大部分湖泊矿化度增加, 其水体矿化度可高达 100~300 g/L 以上^[10], 湖水干涸后在地表形成较厚的坚硬盐壳。湖泊咸化、萎缩甚至干涸的过程加快, 对湖泊生态环境造成巨大的破坏。

3.2 水质的变化

西北干旱区随流域水资源利用程度的提高, 普遍存在水质恶化现象, 表现在中下游天然水体 (地表水、地下水) 不断咸化和人为污染两方面。流域内水资源的利用加速了地表水与地下水之间的转化过程, 水资源重复利用率提高, 加上下游地表水量减少, 使流域下游区地表水与地下水均表现出明显盐化趋势, 尤其在地下水大规模开采的地区, 地下水水质盐化还呈现溯源现象, 矿化度增高向上游发展。干旱内陆河流域人类活动加剧还引起水体污染, 地表水污染主要分布于流域中下游。

3.3 植被退化

由于水资源的开发缺乏统一规划和科学管理, 一些流域上、下游水资源得不到合理分配, 造成流域上游水资源过量消耗, 资源补给量逐年减少, 下游盆地的天然生态环境平衡遭到破坏。地表水不够用, 就大量开采地下水来维持农田灌溉和部分灌溉造林。地表径流量递减, 地下水的补给量也随之递减, 地下水采补失调, 导致地下水水位持续下降, 林木成片枯死, 天然灌木和草场严重退化。水是维持荒漠绿洲生态系统的决定因素, 水资源的重新分配, 不仅打破了水资源系统的天然平衡, 也影响了 SG-SPAC 系统, 破坏了全流域的生态平衡, 导致生态环境的变化。下游地区来水量的减少, 就会造成河流断流, 湖泊干枯, 地下水位下降, 水质恶化, 土壤层含水量减少, 植被枯萎甚至死亡, 绿洲萎缩退化, 大片土地或绿洲沦为沙地或荒漠戈壁。河流断流与湖泊消亡, 促使气候更趋干旱化; 地下水位持续下降与水质恶化, 加快了绿洲自然植被和人工营造植物的死亡。植被退化使一些建群种和优势种逐渐衰退和消失, 生物多样性下降。绿洲的退化, 随之带来的是风沙的不断扩大, 生态环境的进一步恶化。植被生态的变化主要表现为: 山地森林过伐严重, 林木蓄积量减少; 平原胡杨、灌木林大面积衰败; 草场载畜能力下降, 面积缩小。

3.4 水土流失严重

地处西北部的黄土高原是我国生态环境状况最为脆弱的地区之一, 总土地面积为 62.68 万 km², 其中水土流失面积 53 万 km², 水土流失较为严重的面积达 43 万 km², 占黄土高原总面积的 68.8%, 由该地区每年流入黄河的泥沙达 16 亿 t^[11], 是中国乃至世界上水土流失最为严重的地区。

3.5 土地沙漠化

土地沙漠化是指在风力作用下沙质地表产生风蚀、风沙流、风沙堆积等一系列风沙物理和风沙地貌的环境变化过程。西北由于地表水的利用,减少了地下水的补给,造成区域性地下水位下降,地下水的过量开采从而加剧了区域性地下水位下降的进程。由于水资源量锐减,地下水位过深,使绿洲内外林木及草本植物不断退化、衰败和枯死。由于植被尤其是林地的破坏,使绿洲失去了必要的风沙屏障,加之干涸的河道和干涸的湖泊、弃耕的土地提供了丰富的沙源,失去植被的固定、半固定沙丘活化,在风力作用下极易形成新的沙丘和沙链,整个绿洲迅速沙漠化。同时由于无水而弃耕的土地因土壤过干几乎寸草不生,在风和太阳热作用下,日渐沙化。中国西北干旱区原本就是世界上主要的沙尘暴频发区之一,而有关专家已确认具备强风、干燥、沙源和不稳定大气条件的地区是沙尘暴的源地。随西北干旱区人口的迅速增长和内陆流域水土资源开发程度的提高,引起的植被衰退与土地沙漠化等生态环境问题,加剧沙尘暴发生与发展是可以肯定的。

3.6 水质恶化

西北干旱区随流域水文情势的改变,普遍存在水质恶化现象,表现在中下游天然水体(地表水、地下水)不断咸化和人为污染两方面。流域水资源利用程度的提高,加速地表水与地下水之间的转化过程,水资源重复利用率提高,加上下游地表水量减少,使流域下游区地表水与地下水均表现出明显盐化趋势,尤其在地下水大规模开采的地区,地下水水质盐化还呈现溯源现象,矿化度增高向上游发展,干旱内陆河流域人类活动加剧还引起水体污染,地表水污染主要分布于流域中下游,其中地表水污染以塔里木河、乌鲁木齐河、黑河、疏勒河等流域较为严重^[5]。

3.7 土壤盐渍化

在西北干旱区的干旱条件下,由于水资源的不合理利用,极易引起盐渍化。

随着天然来水量的减少,土壤水分状况变差,植被退化,覆盖度降低,导致潜水蒸发更加强烈,盐分在土壤中累积。当地下水位下降到临界蒸发深度以下时,土壤中的积盐便形成残遗积盐保留下来,造成了天然绿洲的土壤盐渍化。

人工绿洲土壤盐渍化的直接原因是不合理的水利用方式。一方面由于缺乏淡水灌溉,大片土地被迫弃耕,因无灌溉水的淋洗和无耕作措施破坏表土结构来阻之止蒸发,强烈的蒸发作用使盐分迅速聚集地表,土壤很快成盐渍化。另一方面由于大水漫灌和缺乏排水措施,地下水位大幅度抬升,加剧了蒸发作用,使盐分积聚于土壤带造成大面积土壤盐渍化。当然由于上游来水量的减少,下游常因过分缺水而采用咸水抗旱灌溉。灌溉后高矿化水中的盐分残留于土壤中,也使土壤盐渍化。

3.8 地下水咸化

西北干旱区地表水与地下水之间形成了独特的河流-含水层系统,地表水与地下水在这一系统中发生着频繁的转化,同时,地表水、地下水都强烈地消耗于蒸发。水资源的利用也同样受到这种转化关系的影响。尤其是在土壤层中的盐分溶滤作用及水在渠系、河道和土壤层中的蒸发作用,使地下水中的盐分不断积累,浓缩,矿化度上升,发生咸化。

4 水资源利用中的生态环境保护对策

解决西北干旱区水资源利用中的生态环境问题,水资源的可持续利用是关键。我国在面临水资源短缺、水环境污染和生态失衡问题上,水资源的可持续发展利用要将地上水和地下水资源作为有机联系的整体,进行综合规划、合理开发;控制人口增长,以供定需;水资源的开发利用,既要技术上可

行,又要经济上合理。采取水资源可持续利用的正确对策,加强科学管理。通过优化产业结构和种植结构,理顺水资源管理体制,科学合理地界定和明晰水权提高用水效率和节水;提高防治污及生态系统自我修复能力;提高水资源和水环境的承载能力,以水资源的可持续利用支撑和保障经济、社会的可持续发展。

4.1 加大宣传,依法治理

通过媒体多渠道进行宣传教育,转变思想,提高认识,要顾全大局,服从整体利益;同时执法要严,违法从严处理。各方面都要想到,水资源的防患兴利,关系到国计民生,以防不可设想的后果。大力推进战略环境评价制度,实行“污染者收费,受益者补偿”等经济政策,无论什么项目、工程都应同时有水资源环境评价,其环境评价达不到要求其项目工程均不能被批准通过。水资源要统一规划和管理,建立国家级和各流域的水资源管理委员会和各省市区的水务厅局,使江河上下游、城乡工农用水、水量和水质、地表水和地下水、用水和防污实行统一规划和管理。采取立法和行政措施,严格执行。

4.2 节约水资源

一方面对灌溉农业应以地面灌溉为主,井渠结合,节水灌溉设施只用于有条件的农田;采用优质品种、耕作栽培、施肥施肥等措施提高产量和质量,调整夏秋作物种植比例来达到节水目的,使节水灌溉和节水农业结合起来优化轮作制度和灌溉制度。对于旱地农业,要用好土壤水,利用雨水集蓄节灌,建设梯田,提高土壤有机质,建设土壤水库;优化种植结构,采用优质品种,改土培肥,抗旱保墒,地膜覆盖等力争旱地农业增产。另一方面由于工业和城市用水较少,供水不紧缺,未加注意。大力节约用水充分利用当地水资源,包括污水资源化、利用海水、修管网和用节水器具。节水优先,治污为本。多渠道利用当地水资源,包括处理过的污水、雨水、海水等。要控制采用地下水,不超采,丰水年少用,枯水年多用。同时将污水处理,增加可用水资源,减少污染。

4.3 加大投资,水价限水

重新认识水资源投资和水价,以明确责任加强统一管理。防洪建设是福利事业,包括工程体系和非工程设施,由国家和地方政府无偿投资。维护和防汛费用,也主要由中央和地方政府投入,受益企业帮助,抢险时军民投劳。供水建设是兴利事业,包括水源、输水、配套工程,由多渠道有偿投资,包括中央和地方政府投资、银行贷款、发股票等,偿还年限和利率可有照顾。维护和运行费用、节水建设由用水户负担。但灌溉节水建设的投资主要由中央和地方政府无偿帮助,农民也要投入。污水处理建设应该谁污染,谁处理,或交排污费,足以建设和运行污水处理厂。利用处理过的污水也应付费。农田面污染的处理建设投资由中央和地方政府帮助,农民也要投入。水土保持、植被建设、退耕还林还草、平垸行洪、退田还湖、移民建镇等投资,由中央和地方政府补助。关于水价,工业、生活和城市用水水价,要能偿还投资本息和支付维护运行费用。要定额用水,超额用水水价成倍增加。灌溉用水水价要农民能负担,并能促进节约用水,要由中央和地方政府补贴。也要定额用水,超额用水水价成倍增加。

4.4 加大水土流失治理力度,改善生态环境

要深刻认识到保护生态环境与持续发展水资源密切相关。水土保持和植被建设用水,是水资源利用的组成部分不仅能减少下游径流量,而且可减少下游冲沙水量;水土保持和植被建设,能涵养水源,削减小流域洪峰,增加枯水期地下

(下转第242页)

参考文献:

- [1] 邓毅 城市生态公园的发展及其概念之探讨[J] 中国园林, 2003, (12): 51- 53
- [2] 邓毅 城市生态公园设计方法探析[J] 南方建筑, 2004, (2): 50- 52
- [3] 张庆费, 张峻毅 城市生态公园初探[J] 生态学杂志, 2002, 21(3): 61- 64
- [4] 黄绍辉, 王伟臣 珠海万山群岛海上生态公园建设规划构想[J] 热带地理, 2000, 20(3): 228- 232
- [5] 李伟峰, 欧阳志云, 王如松, 等 城市生态系统景观格局特征及形成机制[J] 生态学杂志, 2005, 24(4): 428- 432
- [6] 陈继红 浅析城市生态系统特征[J] 国土与自然资源研究, 2004, (4): 56- 57
- [7] 沈清基 城市生态系统基本特征探讨[J] 华中建筑, 1997, 15(1): 88- 91
- [8] 刘贵利 城市生态规划理论与方法[M] 南京: 东南大学出版社, 2002 132- 154
- [9] Kühn, M. Greenbelt and Green Heart: Separating and Integrating Landscapes in European City Regions[J] Landscape and Urban Planning, 2003, 64: 19- 27
- [10] Bolund, P, Hunhammar, S Ecosystem Services in Urban Areas[J] Ecological Economics, 1999, 29: 293- 301
- [11] Cornelis, J, Hemmy, M. Biodiversity Relationships in Urban and Suburban Parks in Flanders[J] Landscape and Urban Planning, 2004, 69: 385- 401
- [12] Chiesura, A. The Role of Urban Parks for the Sustainable City[J] Landscape and Urban Planning, 2004, 68: 129- 138
- [13] Luymes, D, Tamminga, K Integrating Public Safety and Use into Planning Urban Greenways[J] Landscape and Urban Planning, 1995, 33: 391- 400

(上接第219页)

水补给径流, 还能减少泥沙入河, 对水资源的持续发展是十分有利的。在保证环境用水的前提下, 开发利用水资源以改善生态环境。

5 结 论

西北干旱区的水资源开发已引起了内陆河水量减少、湖泊萎缩、绿洲沙漠化、土地沙漠化、盐碱化、地下水咸化、水土流失、水源枯竭、植被生态退化等一系列互为因果, 并具有蝴蝶效应的环境问题。虽然与干旱区由来已久的干旱气候和沙质土壤有一定的关系, 但最主要的原因还是人们对内陆河流域山地—绿洲—荒漠这一复合生态系统和上、中、下游统一的流域水资源系统特征缺乏足够的理论认识, 在经济利益的驱动下, 对流域水资源系统缺乏科学论证和实践研究的情况下, 进行盲目地掠夺开发利用水资源和开展流域人口、农业、工业、交通以及矿业等产业片面发展的结果。西北干旱区的生态环境问题实质上就是在人类活动对内陆河流域水资源系统的破坏作用下, 形成了局部地区因严重缺水而导致生态

恶化, 严重时将使整个流域生态系统失调或退化。西北干旱区脆弱的生态体系, 水资源的开发对其具有决定性的影响, “有水是绿洲, 无水是沙漠, 水多盐渍化”。在水资源开发中, 也不能片面追求经济效益, 而应以生态环境的可持续性为优先的原则, 以求得生态效益和经济效益的统一。

应按照“以水定地, 以水定人口, 以水定发展规模”的原则, 进行水资源的合理配置; 按照流域是一个完善的地表和地下水相互联系的生态系统的观点, 统筹协调上、中、下游用水关系, 农、林、牧、生态与工矿、城市用水关系, 地表水与地下水联合开发的关系, 以实现水资源的可持续高效利用。而以流域为单元, 切实加强流域水资源保护和管理并进行合理地开发利用, 实现干旱区流域内水土资源的综合平衡, 才是恢复与重建受损生态系统的关键所在。可见, 水资源是西北干旱区保证整个流域生态—经济系统和人地关系地域系统稳定持续发展的决定因素。今后, 西北干旱区生态恢复与重建解决的首要问题应该是流域水资源保护和管理, 以实现水资源对整个流域生态经济系统的持续供应。

参考文献:

- [1] 王根绪, 程国栋 西北干旱区土壤资源特征与可持续发展[J] 地球科学进展, 1999, 14(5): 492- 497
- [2] 张志忠, 武强, 魏学勇 西北干旱区水资源开发与生态环境问题[J] 干旱区地质灾害与环境保护, 2001, 12(3): 12- 28
- [3] 施雅风, 沈永平, 丁永建, 等 中国西北气候由暖干向暖湿转型问题[M] 北京: 气象出版社, 2003 1- 100
- [4] 刘俊民, 马耀光 中国西北干旱区水资源特征及保护利用[J] 干旱地区农业研究, 1998, 16(3): 103- 107
- [5] 邱汉学, 王炳承 干旱区水资源开发利用与可持续发展[J] 海洋地质与第四纪地质, 1998, 18(4): 97- 108
- [6] 陶希东, 石培基, 巨天珍, 等 西部干旱区水资源利用与生态环境重建研究[J] 干旱区资源与环境, 2001, 15(1): 146- 150
- [7] 李文鹏 西北干旱区水资源开发利用与可持续发展[J] 水资源, 1999, (9): 41- 44
- [8] 王根绪, 程国栋, 徐中民 中国西北干旱区水资源利用及其生态环境问题[J], 自然资源学报, 1999, 14(2): 110- 116
- [9] 曲耀光, 马世敏, 曲玮 西北干旱区水资源转化与开发利用模型[J] 中国沙漠, 1998, 18(4): 299- 307
- [10] 张振克, 杨达源 中国西北干旱区湖泊水资源—环境问题与对策[J] 干旱区资源与环境, 2001, 15(2): 7- 10
- [11] 高世铭, 杨封科, 苏永生 陇中黄土丘陵沟壑区生态环境建设与农业可持续发展[M] 河南: 黄河水利出版社, 2003 1- 95
- [12] 王让会, 游先祥 西部干旱区内陆河流域脆弱生态环境研究进展——以新疆塔里木河流域为例[J] 地球科学进展, 2000, 16(1): 39- 44
- [13] 左其亭, 王中根, 陈曙, 等 西部干旱区生态环境质量定量评价理论方法[J] 郑州工业大学学报, 2001, 22(2): 34- 38