

西北大开发中废水资源化的地位与作用

南忠仁¹⁾ 程国栋¹⁾ 王文瑞^{1 2)}

(1)中国科学院寒区旱区环境与工程研究所冻土工程国家重点实验室 ,甘肃 兰州 ,730000 ;

2)兰州大学地理科学系 ,甘肃 兰州 ,730000)

摘 要 从西北地区水情分析出发 ,论述了水情形势变化与区域生态环境之演变 ,在定量分析废水量的概念及废水利用带来的生态环境效益与经济社会效益的同时 ,指出解决西北干旱区水资源紧缺及生态环境建设用水缺乏的可行途径之一 ,即废水开发利用。并提出推进西北干旱区废水资源化的若干合理化建议。

关键词 西北大开发 生态环境建设 废水资源化 地位与作用

The Role and Function of Wastewater Utilization in Northwestern China Development

NAN Zhongren¹⁾ CHENG Guodong¹⁾ WANG Wenrui^{1 2)}

(1)State Key Laboratory of Frozen Soil Engineering , Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute ,

CAS , Lanzhou , Gansu , 730000 ; 2)Department of Geography , Lanzhou University , Lanzhou , Gansu , 730000)

Abstract Northwestern China , which includes Xinjiang , Qinghai , Gansu , Ningxia and Shaanxi , has an area of $348.6 \times 10^4 \text{ km}^2$, making up 35 % of Chinese total territory. The key problem facing Northwestern China Development is the ecosystem construction , and the water resource plays an important role in it. It is predicted that the basic ecosystem construction demands $1300 \times 10^8 \sim 1400 \times 10^8 \text{ m}^3$ water. Because of the shortage of water , northwestern China is encountered with many problems , such as the lowering of the underground water level , the growth of the desertification area and the increase of dust storm frequency. The efficient utilization of wastewater therefore constitutes a significant problem. This paper analyzes the benefits of economic and ecological utilization of wastewater : ① it can supply soil water , restore soil surface vegetable and change the landscape ; ② it also can reduce the amount of underground wastewater seeping so as not to pollute underground water , and can even make the urban landscape clean ; ③ in many cases , wastewater instead of fresh water can be used to irrigate trees and meadow , thus increasing the total water resource amount ; ④ it can reduce the financial burden of the local government and also make regional development sustainable in economy and ecosystem. At last , the paper puts forward some constructive suggestions on the exploitation of wastewater resources : ① to study the relationship between wastewater utilization and ecosystem , and find a better scheme of wastewater exploitation , and then get maximal profit among ecosystem , economy and society ; ② to reestablish the value system of fresh water in arid areas , and compel these areas to use wastewater from cities by value or price leverage ; ③ to enforce infrastructure construction in large cities , and optimize the drainpipe net system , so as to form a better circumstance for wastewater utilization ; ④ to establish the legal ordinance and standard system for wastewater recycle , and coordinate profits of society , economy and environment , thus reaching sustainable development in arid regions.

Key words Northwestern China Development ecosystem construction wastewater utilization role and function

西北地区 ,因干旱缺水、生态环境极为脆弱 ,使得生态环境面临严峻的挑战。为此 ,改善生态环境已成为西部大开发必须首先研究和解决的重大课题 ,生态环境保护和建设也就成为西部大开发的战略重点之一。

然而 ,长期以来由于自然和人为因素的共同影响 ,西北地区生态环境日趋恶化 ,成为制约区域经济

社会发展的重大障碍因素。改善生态环境 ,再造山川秀美的大西北 ,成为全面实现西部大开发的当务之急。

1 水资源分析

西北地区包括新疆、青海、甘肃、宁夏、陕西 (包括关中和陕北)和内蒙古西部。面积达 348.6×10^4

km^2 , 占国土面积的 35%。西北地区多年平均降水量 235 mm, 蒸发量 1 000~2 600 mm, 淡水资源约为 $2344.3 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。但据分析, 在这 2 300 多亿立方米的水量中, 长江中上游山区及澜沧江源头区的 $710 \times 10^8 \text{ m}^3$ 水量绝大部分难以利用, 地处青藏高原高寒地带约 $140 \times 10^8 \text{ m}^3$ 的水量无法利用, 国际河流的水资源不能全部支配。据此, 西北地区可使用的水量约为 $1\ 100 \times 10^8 \text{ m}^3$, 其中内陆河流域为 $870 \times 10^8 \text{ m}^3$, 黄河流域为 $521 \times 10^8 \text{ m}^3$ (鞠荣华, 2002)。

改善生态环境, 建设山川秀美的大西北, 就要防治森林枯衰、草场退化、土地荒漠化、河湖干枯、水质恶化、恶劣沙尘天气的发生等。为此, 中国水利规划总院专家对西北地区生态环境建设需水给出了初步估算, 包括遏制荒漠化、改造土壤盐渍化、整治退化草场、维护森林、防止河湖萎缩、还林还草等 6 项指标, 合计需水约 $(1\ 300 \sim 1\ 400) \times 10^8 \text{ m}^3$ 左右 (未扣除各个生态项目间用水的重复计算)。实际上生态环境建设用水大部分集中于内陆河流域。另外, 工农业及生活现状用水为 $858 \times 10^8 \text{ m}^3$, 占可用水量的 78%。从西北地区发展规划看, 即使在充分节水的情景下, 未来该区总需水量极有可能在 $1\ 500 \times 10^8 \text{ m}^3$ 以上 (鞠荣华, 2002), 缺水 $400 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。即使将来南水北调西线工程建成后, 调水量也仅有 $200 \times 10^8 \text{ m}^3$, 不能弥补缺水之差额。

由“南水北调”工程设计得知, 西线由长江上游引通天河 ($100 \times 10^8 \text{ m}^3$)、雅砻江 ($50 \times 10^8 \text{ m}^3$) 和大渡河 ($50 \times 10^8 \text{ m}^3$) 所引计 $200 \times 10^8 \text{ m}^3$ 的水进入了甘肃、青海境内的黄河上游干流, 仅向西北干旱区、半干旱地区的东部补水 (曲耀光, 2001), 内陆河流域缺水态势的缓解甚微。

2 水情变化与区域生态环境之演变

西北著称干旱缺水。近 50 a 来气温持续变暖使得西北干旱区降水量有所增加, 但温度升高也大大增加了蒸发量, 降水量的少许增加不足以抵消蒸发量的增大, 导致大多数冰川消融退缩, 平原盆地积雪减少, 河川径流量减少, 湖泊萎缩, 可利用水资源量日显不足, 生态环境恶化日益严重。

超采超用与补给不足使得地下水位不断下降, 河川断流次数增加, 断流区不断扩大, 下游沿岸植被大面积退化枯亡。塔里木河因上游过量引水, 致使下游彻底断流, 300 多公里流域内约 $309 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 天然胡杨林枯萎而死, 同时河水矿化度逐年上升, 水质劣化, 罗布泊因流入河流被截流, 3 000 多平方公里的大湖逐渐干涸成茫茫荒原, 青海湖因来水减少,

水位下降, 鸟岛已成“半岛”; 720 km^2 的居延海在短期内就变成了名副其实的“干海”。

植被枯萎消亡, 沙化面积不断扩大。青海沙漠化面积已达 $12.52 \times 10^4 \text{ km}^2$, 并且沙化面积仍以每年 13 km^2 的速度扩展。新疆沙漠化面积已达 $9.61 \times 10^4 \text{ km}^2$, 风化面积 $2.26 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。甘肃、宁夏、陕西北部都存在沙漠化加剧问题。沙漠化的扩展使草场退化、草地植被消亡。青海草场退化面积已达 $1\ 173 \times 10^4 \text{ hm}^2$, 占草场面积的 32.3%, 沙化草地 $193 \times 10^4 \text{ hm}^2$, 严重沙化的“黑土滩”面积达 $333 \times 10^4 \text{ hm}^2$, 新疆草场退化面积达 $2\ 133 \times 10^4 \text{ hm}^2$, 占草场面积的 37.2%, 现在仍以每年 $29 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 速度退化, 内蒙古呼伦贝尔草原和锡林郭勒草原退化面积分别达 23% 和 41%, 鄂尔多斯草原退化面积高达 68%。

沙尘暴日益严重且发生频率呈上升之态势。2000 年, 中国北方地区连续发生了 16 次沙尘暴天气, 涉及面积接近 1/4 国土。近 50 a 来西北地区沙尘暴发生频率呈上升之势, 甘肃省出现强沙尘暴 46 次, 平均每年 0.9 次, 1995~2000 年出现 17 次, 平均每年 2.8 次, 而 2000 年就有 9 次之多; 青海、内蒙、新疆等地区的沙尘暴发生次数也呈上升趋势 (李家勇, 2001; 樊自立, 2001)。

大气降水是地表水的主要补给源。对未来 50~100 a 时间尺度的气候情景预测研究表明: 到 2050 年, 气温可能明显变暖约 $1.9 \sim 2.3 \text{ }^\circ\text{C}$ 。在 2010 年, 自然的降冷作用与人类的增暖作用基本相互抵消, 其后人类活动的增暖作用越来越明显, 西北干旱区增温幅度大 (丁一汇, 2002), 降水可能明显增加, 约增加 19%, 其中甘肃增加约 23%, 内蒙古增加约 14%, 在 2050 年, 由于西北“增多”的降水弥补不了气温升高引起的水分损耗, 土壤水分有减少趋势, 土壤干旱会进一步加剧土地沙漠化, 严重影响生态环境的改善和重建。综合分析看, 在气温升高和降水增加的综合影响下, 极有可能趋向干旱 (王苏民, 2002)。

3 现实、问题与出路

土地沙漠化、草原退化成为西北大开放首先遇到的环境问题。追根究源, 应该说干旱化不断加剧大背景下迫于人口激增和追求短期经济效益引起的掠夺式开发是生态急剧恶化之根源。干旱缺水制约着西北干旱区经济社会与生态环境的协调持续发展。尽管地方政府和科研部门在合理高效开发利用水资源方面作了大量的工作, 但由于区域社会经济的持续发展, 城市化水平的不断提高, 干旱化程度的

逐步加重,使得原本就十分紧缺的水资源日显紧缺,难以平衡区域经济社会发展与维护生态环境稳定用水之需要。

但特别需指出,西北地区一方面水资源短缺,另一方面存在严重的水体污染问题(李新琪等,2001;南忠仁等,2001)。关于水危机一事,钱易先生指出“中国已经出现了水危机,在某些地区某些方面还十分严重,决不可以等闲视之”。认为造成水危机的根源“固然有先天的客观的原因,...但也不能回避也不可否认...后天的主观的原因是造成当前严重水危机的主要根源;并且明确指出了中国战胜与解决水危机的两项战略性技术措施:一是节约用水,二是污水资源化,并指出污水资源化可以一举多得(钱易,2000)。针对西北干旱区“有水为绿洲,无水即荒漠”的生境特征,在做好淡水资源合理配置与高效开发利用的同时,应认识到并应高度重视废水资源化对增加土壤水分、改良土壤、防治沙化、改造荒漠的地位与作用,要逐步重视对废水在生态环境建设中的开发利用工作。

4 废水的概念与量的界定

废水是人类在工农业生产和生活活动过程中排出的使用过的水的总称。分为城市污水和农村废水两大类。城市污水由生活污水和工业污水组成。城市居民居住集中,生活污水排放管网化程度高,形成规模排放,使得城市生活污水成为城市污水的重要组成部分之一。1999年,西北五省城市年供水量为 $24.5 \times 10^8 \text{ m}^3$,污水排放总量为 $18.2 \times 10^8 \text{ m}^3$,可见这一排放量相当于石羊河或疏勒河的年出山口径流量[($16.99 \sim 17.48$) $\times 10^8 \text{ m}^3$,陈隆亨,1988]。河西走廊城市供水量 $2.52 \times 10^8 \text{ m}^3$,若按照清污转换率80%计,约有 $2.16 \times 10^8 \text{ m}^3$ 的污水排放量。这些水量相当于现行的以开发河水为主的黑梨方案(黑河与梨园河河水调配方案)中向西输水以供应临泽、高台、肃南明花区垦荒用的水量[($2.0 \sim 2.5$) $\times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$,丁宏伟,2000]。

农村废水主要由农业生产退水组成。在干旱区则主要为农业生产中排出的矿化度较高的水。农业退水因农业用水量大而排放多。塔河上游阿拉尔垦区每年由灌区泄出退水约 $7.04 \times 10^8 \text{ m}^3$ (樊自立,2001),宁夏灌区有较完善的排水渠干体系,年排回归水高达($30 \sim 35$) $\times 10^8 \text{ m}^3$ 。据研究在西北干旱区,土壤稳定脱盐的灌排比例应达到2:1~4:1,目前多数地方为10:1~20:1(贾宝全,2001)。西北干

旱区因水资源利用效率低下目前灌水量很大,仅新疆每年引入灌区水量可达($440 \sim 460$) $\times 10^8 \text{ m}^3$,到2010年,西北内陆河流域农田灌溉需水约 $440.7 \times 10^8 \text{ m}^3$ (王苏民,2001),若能实现4:1的灌排比例,则将有约 $110 \times 10^8 \text{ m}^3$ 的农业退水。

2001年,西北地区农业用水量为 $770 \times 10^8 \text{ m}^3$,工业和城市生活用水总约 $90 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。如按照4:1的灌排比和80%的清污转换率计,年可得到废水 $260 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。结合西线调水计划,有望缓解缺水状况。

5 废水开发利用的生态环境与经济社会效益分析

人类出于充分利用污水资源,减小旱灾影响,提高土地生产力等目的,在其发展史上就已大量利用污水进行灌溉(李森照等,1995)。废水利用对水资源极为短缺的干旱地区有着非常重要的现实意义和深远的历史意义。中国耕地受旱灾面积年均达 $2\,000 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 左右,其中10%农田受旱减产三成以上。所以,在缺水地区,污水作为一种农业水源将被广泛加以利用,污水灌溉的行为将继续下去^①。废水得到合理处理并加以开发利用,不仅可使区域水资源量得以放大,缓解水资源短缺,增加区域经济社会发展与生态环境建设的可用水量,而且对防止土壤盐渍化,治理沙化土地,防止荒漠化蔓延,改善生态环境。其经济社会效益可从4方面体现:

(1)补充土壤水分,恢复自然植被,增加植被覆盖度,防风固沙,改善生态环境。农业退水是一种高矿化度的非农用水,这部分水量很大。在灌排比例科学合理时用于荒地绿化灌溉,并不会造成土壤积盐(周智彬,2000)。新疆自治区新和地区用农业退水浇灌荒漠戈壁,经过几年的改造现已建成 65 hm^2 的人工草场,芦苇和柽柳生长良好。阿拉尔垦区的12团和11团是靠近沙漠边沿的连队,将支干渠中的农业退水引入沙漠,使这些地段沙丘中的柽柳比无退水灌溉的地段生长状况要好,而且有些枯死的胡杨也萌发出新芽。说明尽管农田退水矿化度很高,但引入荒漠区域仍能够使耐盐的植物生长,增加植被覆盖度(季方,2000)。

(2)消除废水污染源,修复城市景观,营造健康的人居环境。污水中不仅含有丰富的N、P、S等营养物质,同时也含有无机和有机的有害有毒物质(重金属物质、病原体等)。这些污水大量地无组织排放,或未经处理直接排放,可造成地面人居环境严重

① 农业部环境监测总站,1991.全国农业环境质量状况及发展趋势调查报告。

污染。河西地区中小城镇可见污水无组织排放现象,城区污水呈现四面八方外排的局面,市区到处可见污水排放沟,使承接水体受到严重污染(包括地表和地下水体)。还有一些地区利用地表浅层渗水良好的卵石层结构,将城市工业和生活污水用渗坑的方式排向地下,使地下水源受到严重污染,如河西的山丹河、黑河等地表水体及下游水库就被严重污染。城市是生活污水和工业污水的主要集中产生源地,年污水排放量大。这些污水的妥善处理与开发利用,无疑对于净化人居环境、建设优美的生存空间意义重大。

(3) 放大水资源总量,保护淡水资源,保障山川秀美工程的实现。在西北干旱地区,由于水资源短缺,使得用于生态修复与建设的水资源极为不足。废水土地处理系统是科学地利用土地生态系统,对经过一定处理的废水加以开发利用。废水土地处理得到的中水,完全可用于种草种树,防治沙漠化、荒漠化,建设生态环境,实现水资源总量的放大(贾宏宇等,2000)。按年供水总量计,2001年西北干旱区可获得城市污水转化放大水量 $16 \times 10^8 \text{ m}^3$;新疆城郊生态环境建设可获转化放大水量 $3.8 \times 10^8 \text{ m}^3$;河西绿洲区可获得 $2.2 \times 10^8 \text{ m}^3$ 水资源的放大量。至于农业退水的量值就更大,按稳定脱盐的灌排比4:1计,到2010年内陆河流域将得到约 $110 \times 10^8 \text{ m}^3$ 的放大水量。同时,由于地表再无废水自由排放,有效地避免了对下游地面水与地下水的污染,保护了区域水资源。

(4) 缓解资金短缺矛盾,推进区域经济社会与生态环境的可持续发展。地处典型半干旱地区的内蒙古霍林河区,因煤矿开发使该区原本脆弱的生态环境受到更大的压力。为解决水资源匮乏问题,建立了处理规模达 $10\,000 \text{ m}^3/\text{d}$ 的森林型慢渗滤污水土地处理系统,灌溉林地面积 880 hm^2 ,实现了污水资源化之目的。同常规污水二级处理相比,土地处理的基建投资与运行费用分别为其 $1/2$ 与 $1/5$ 。同时,污水作为一种资源得到有效利用,使矿区生态系统的结构与功能发生了重大变化,原来逐渐退化的草原生态系统正向包括水生生态系统、塘前湿地系统、人工林系统等在内的复合人工生态系统转变,原来具有退化趋势的草原生态系统开始发生正向演替。同时取得了明显的经济效益。据测算 880 hm^2 林地平均每年净增值为 130×10^4 元人民币(贾宏宇等,2000)。

6 推进废水开发利用的若干建议

(1) 以科技为先导,开展废水资源化过程中可能

出现的亟待解决问题的攻关研究,制作废水再生利用规划方案,使干旱区废水资源化的生态、经济与社会效益达到最大化。

废水土地生态处理涉及到处理废水的动植物、微生物种类,土壤环境的生态变化及承载力问题,干旱区污染物迁移转化规律,废水利用涉及到陆地动、植物生态系统组织、结构、功能及信息传递的影响等基础性问题。同时还涉及到土地生态处理系统方案设计、技术指标,生态处理所选菌类、草本植物、灌木等的选择与培育,废水稀释浓度配比方案技术指标等技术性问题。因此,应开展前期性研究,使废水资源化的土地生态处理系统运作可行化、合理化、科学化。同时,要开展废水再生利用规划方案的编制工作,使废水再生利用在技术科学分析、经济可行分析、工程运行与法规分析等方面合理,并可操作。

(2) 加强资源价值与稀缺关系的讨论,树立新时期水资源的价值观,调整国家政策导向,促进对区域淡水资源,特别是干旱区淡水资源价值的再认识,促进对城市废水的开发利用,真正作到开源与节流并举。

由于水资源价值定论的误导,形成了目前的重淡水资源开发利用,轻废水资源的二次或多次开发利用的局面。调查发现,近淡水资源的城市,普遍因城市废水处理或初步处理,以及铺设中水管网线与管理运行费用大于淡水利用费用,就大量利用宝贵的淡水资源进行城区绿化工程建设及清洗冲刷工作,同时将大量的城市废水不加任何处理排向戈壁荒漠。既浪费了大量可利用水资源,又对地下水资源、大气环境造成一定的污染。建议国家在政策导向上,在实际资金投入上采取切实有效的政策与措施,促进对城市废水的开发利用。

(3) 加快城市基础设施建设,按照污水类型完善分流排水管网体系,加强环境管理,形成区域规模污水排放,为废水资源化创造条件。

西北干旱区为中国经济发展落后区域之一,区域城市化水平较低,城市建设发展缓慢。目前许多城市都没有完整的污水排放系统,城区污水就近自由外排,这不仅污染城区环境,而且无法做到规模排放,难以实施效益型废水资源化。因此,要抓住西北大开发的历史机遇,加快城市基础实施建设,完善排水管网建设,形成污水规模排放,努力做到污水分型排放(工业污水与市政生活污水双管系统),为效益型废水利用创造条件。同时,在城市建设规划中,应开展城市废水再生利用规划研究,进行废水再生利用风险分析与评价,在条件允许的情况下,建立切合实际的废水再生利用示范工程,为实际推广应用做

准备。

(4)建立健全污水再生回用处理要求的法规条文与标准体系,使不同用途的污水处理有法可依,使得社会效益与生态环境效益相协调,实现区域可持续发展。

废水再生利用的目的与对象不同,理论上对废水处理的深度要求应是有区别的。废水再生利用的主要方式有:城建、工业回用、大农业利用及生态恢复与建设。在各种景观回用(风景湖泊河流等)、绿地灌溉、各种清洗与厕所冲刷、灌溉商业性作物农田与饲料地、循环冷却用水等方面,对再生水水质有不同的水质要求。因此,应加紧有关不同用途再生水水质标准的研制,特别是应用于生态环境建设的标准体系,使废水处理再生回用有标可据,有法可依,推动区域可持续发展的实施。

(5)运用价值规律、启动经济杠杆原理,调整现行水价,分行业、分量级制定水资源价格,促进水资源的充分合理利用。

对于社会来讲,许多人只知道水来自自然界,可被用来冲刷人类产生的废物,满足人类的各种需要,并不知道水,特别是淡水真正的社会价值。如果人类的饮用水源不再能提供可引用的水,那么人类将要为此付出长远、沉重的代价。干旱区淡水资源短缺,这是人皆共知的事实,但是在调查中发现干旱区大多数城市绿化园林建设中大量使用淡水资源,只有极少数的城市在局部城区利用污水进行园林建设。原因是淡水资源的利用,在这些地区既方便又便宜。这种表现不能不说是进入21世纪的人们对现有水价值仍存在的重大而可悲的误解。因此,要充分运用价值规律、启动经济杠杆原理,调整现行水价,分行业、分量级制定水资源价格,促进水资源的充分合理利用。

(6)出台相关政策,以政策或资金形式,鼓励集体或个人出资兴建满足不同功能用途的废水土地处理系统,并规定相应的效益回报与财政补贴。

在干旱区实施废水土地处理,不仅可以净化人居环境生态环境,而且还能得到大量的生态建设用水。这一行为弥补了干旱区水资源的短缺。因此,政府要出台相应的政策,以政策或资金形式,鼓励集体或个人出资兴建满足不同功能用途的废水土地处理系统,实施财政津贴等政策,使投资者能得到预期的利益回报。

(7)制定与实施有利于中水利用者利益的政策,鼓励废水土地生态处理后中水的再次利用,使废水土地生态处理系统工程下游流畅。

低价位或免费使用中水,甚至推行政府财政补

贴的政策取向,是中水使用者利益与生态环境效应相统一的强有力的推动力。利用中水治理成功的退化、沙化土地、草场等土地类型,应赋予治理者一定时期(如20 a、50 a)的使用权,在拥有的使用期中从土地上获得经济利益,应最大限度地归治理者所有。但同时要明确治理者在使用这一土地时应负有的生态环境保护的责任。

(8)大力开展农田基本建设,科学用水排水,完善农田排水体系的同时,要充分利用农田退水开展生态环境建设,实现发展中的生态保护与建设。

西部大开发的宗旨在于全面推进西部地区经济社会的大发展。人类社会发展历程已证明:没有环境保护,就不可能有持续的发展;而没有发展,就不可能保持高质量的环境和健康的人类生活。从西北干旱区实际出发,一方面对区域水资源的利用要彻底由粗放型水资源利用向经济、合理和高效利用转变,发展节水农业,提高水资源的有效利用率,防止土地盐渍化;另一方面要充分利用健全的排水系统,引农业退水向荒漠,建立绿色屏障,改善小气候,提高绿洲生命力,预防河流干流水质因农业退水引起的高矿化度污染,做到区域健康发展。

参考文献

- 陈隆亨,曲耀光.1988.河西地区水、土资源的合理开发利用.地理学报,43(1):11~18.
- 丁宏伟,赫明林,曹炳媛等.2000.黑河中下游水资源开发中出现的环境地质问题.干旱区研究,17(4):11~16.
- 丁一汇主编.2002.中国西部环境变化的预测.北京:科学出版社,43,87.
- 樊自立,马英杰,季方等.2001.塔里木河生态环境演变及整治途径.干旱区资源与环境,15(1):11~17.
- 季方,樊自立.2000.塔里木盆地盐分循环变化与调控.干旱区研究,17(4):33~38.
- 贾宝全,任一萍,杨洁泉.2001.绿洲景观生态建设的理论思考.干旱区资源与环境,15(1):56~63.
- 贾宏宇,孙铁珩,李培军等.2000.污水土地处理技术最新进展.见:中科院综计局编,创新者的报告(4).北京:科学出版社,174~179.
- 鞠华荣.2002.西北地区开发与西北水资源问题研究.调研世界(1):32~34,42.
- 李家勇.2001.西北地区生态环境现状及对策.水电站设计,17(4):21~24.
- 李森照,罗金发等.1995.中国污水灌溉与环境质量控制.北京:气象出版社.
- 李新琪,海热提·尔逊.2001.乌鲁木齐市水资源开发利用现状、问题及对策.干旱区研究,18(2):11~18.
- 南忠仁,程国栋,王文瑞,宋晰宇.2001.废水土地生态处理对西部环境健康发展的影响.环境科学,22(增刊):63~68.
- 钱易.2000.水危机引发的思考.刊于“面向21世纪的环境科学与可持续发展”.北京:环境科学出版社,297~304.
- 曲耀光.2001.“南水北调”西线工程与中国西北开发和生态环境的改善.干旱区资源与环境,15(1):1~10.
- 王苏民,林而达,余之祥主编.2002.环境演变对中国西部发展的影响及对策.北京:科学出版社,30~36.
- 周智彬,徐新文,李丙文.2000.塔克拉玛干沙漠腹地人工绿洲水盐动态的研究.干旱区研究,17(1):21~26.