

西北生态环境建设的水问题*

张 鑫, 蔡焕杰, 王吉成

(西北农林科技大学 水建学院, 陕西 杨陵 712100)

摘 要 水资源短缺是西北地区农业生产和生态环境建设最重要的制约因素。可持续的水资源合理配置是克服水资源短缺制约的重要途径。因此,西北地区的生态环境建设应从“水”实际出发,因地制宜,分区实施,工程措施与生物措施相结合,林、灌、草相结合,经济效益与生态效益相协调。

关键词 生态建设;水约束;水资源配置

中图分类号:X21 文献标识码:A 文章编号:1001-7461(2003)01-0042-04

Water Problem of Construction for Ecological Environment in Northwest China

ZHANG Xin, CAI Huan-jie, WANG Ji-cheng

(College of Water Resources and Architectural Engineering, NW Sci-Tech Univ. of Agr. and For., Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: The sustainable development in northwest China would be seriously influenced if water problem were not solved. The ecological environment could be improved by allocating the water resources rationally and efficient and strengthening ecological environment construction. Therefore, some measures have to be taken according to the water resources and ecological environment conditions in northwest China, such as, enhancing the construction of artificial ecology based on maintaining the natural ecology, combining biological measures with project measures, combining tree planting with grass planting, combining ecological benefit with economical benefit, etc. In this way, The sustainable development of environment, economy and society in northwest China could be realized.

Key words: construction for ecological environment; water restriction; water resources allocation

加快西部地区生态环境建设,是实施西部大开发战略的根本和切入点。不断加剧的水土流失和土地沙漠化,不仅使西部地区生产力严重衰退,生态环境急剧恶化,而且导致长江、黄河中下游地区江河湖泊和水库不断淤积抬高、水患加重。加强西部地区生态环境的保护和建设,已经成为扭转生态环境日益恶化的状况,促进产业结构调整,缩小东西部差距,加快西部发展的关键。西部包括西北和西南,就水问题而言,西北主要是干旱缺水。“水”已经成为西北生态建设的限制因素。西北生态建设的主要任务包括:突破水资源短缺约束,恢复植被,根治水土流失,遏止土地沙漠化不断扩展。因此,西北生态建设应该从“水”实际出发,因地制宜,讲求实效,采取工程措施与生物措施相结合,发挥综合治理效益。

1 西北生态环境现状

1.1 森林生态功能减退

森林在调节气候、涵养水源、保持水土等改善生态环境方面,以及延缓径流、防洪减灾等生态水文效应方面,具有重要的作用。但西北地区的森林生态功能明显减退。

首先,森林呈现数量型增长与质量型下降并存的局面,森林生态系统趋于简单化。其次,林龄构成以幼龄林和中龄林居多,近熟林、成熟林和过熟林所占比例相对较小,林龄结构不合理,生态功能减退。另外,由于西北地区人工林大幅增加,天然林大幅减少,林分结构趋于单一,进而导致林地的抗干扰能力降低,森林生态系统调节能力减弱,病虫害加剧。

* 收稿日期 2002-11-10

基金项目 国家优秀博士论文基金项目(200052) 校青年基金(237092)

作者简介 张鑫(1968-)男,河南淅川人,讲师,在职博士,主要从事水资源开发利用与生态环境效应方面的科学研究及教学工作。

1.2 草地生态承载力降低

草原是西北地区最大的生态系统,是畜牧业发展的主要载体。1999年西北地区草地面积占全国草地面积的45%以上,其中内蒙古和新疆的草地面积最多,分别占西部草地总面积的24.5%和18.2%。

草地植被能有效地降低风速,两草障之间的风速与无草障相比,降低19%~85%。天然草地植被可以减少降水对地表的冲刷,截流可观的降水量。实验表明:农田比草地的水土流失量高40~100倍,种草的坡地与不种草的坡地,地表径流可减少47%,冲刷量减少77%。90年代后5a,西北退化草地中有54.86%转化为耕地,29.80%沦为难利用土地,过牧、樵采、过垦、滥挖屡禁不止,草地植被破坏严重,草地鼠虫害得不到有效控制,草地退化加剧。西北部天然草地的生态屏障作用日渐降低,由此加剧的沙尘暴已严重影响到京津地区的环境质量并波及东南沿海地区。

由于草地质量不断下降,西北的草地承载力大多持续下降,其中内蒙古、新疆、甘肃的承载力显著下降。草地面积减少,牲畜饲养量并没有相应下降,草地超载越来越严重,其中新疆、宁夏、内蒙古超载率分别达到121%、72%及66%。内蒙古每只羊拥有的草场面积从20世纪50年代的3.3 hm²,减少到80年代的0.87 hm²,目前仅为0.42 hm²。

1.3 水土流失面积不断扩大

西北地区是我国水土流失主要分布区域。虽然水土流失蔓延的趋势有所缓减,但没有得到根本性改变。截至1999年,西北地区水土流失面积占全国水土流失总面积的近一半。其中宁夏、陕西水土流失面积均超过土地总面积的一半。青海省境内黄河流域水土流失面积由1990年的760万hm²增加到1999年的980万hm²。青海全省轻度水蚀面积由1990年的134.5万hm²增加到1999年的318.4万hm²,中度侵蚀面积由165.1万hm²增加到185.0万hm²,剧烈侵蚀面积从无发展到2.0万hm²。西北地区耕地、草地水土流失面积大,程度重。内蒙古中度以上水土流失的耕地面积和草地面积分别占到全区耕地和草地总面积的54.2%和63.6%。

1.4 土地沙化和次生盐碱化问题严重

西北地区土地沙化问题非常突出,主要表现在沙化土地面积大、分布广,治理难度大。至1999年,西北地区沙化土地总面积占全国沙化土地总面积的一半以上,且沙化扩展速度快。以内蒙古的毛乌素

沙地为例,20世纪60年代沙地面积为183.6万hm²,70年代为230.8万hm²,80年代为305.5万hm²,90年代则增至382.5万hm²,沙地面积的年扩展速率约为2.5%。此外,西北地区沙化耕地与沙化草地占有面积大,且不少省(区)沙化耕地和沙化草地的面积呈持续增长趋势。与1986年相比,1999年陕西和甘肃沙化耕地面积分别增加了1.7万hm²和0.9万hm²,增幅为19.2%和6.5%;陕西、甘肃、青海、宁夏、内蒙古和新疆六省区的沙化草地面积分别增加了4.2万、1.8万、208.7万、58.1万、421.3万和533.3万hm²,增幅分别为55.7%、18.1%、359.8%、279.4%、85.8%和66.7%。耕地、草地沙漠化的程度较重。耕地沙化主要以中度沙化为主,中度沙化的耕地占全部沙化耕地的82.04%。草地沙化程度甚于耕地,草地沙化以严重沙化为主,严重沙化的草地占全部沙化草地的59.52%。据分析,不合理的灌溉方法、地下水过度开采、过垦、过牧、滥采(挖)、滥樵等不合理的人为活动是导致土地沙化不断加剧的重要因素。

2 西北生态环境建设的水约束

2.1 水资源严重不足,制约生态环境建设

2.1.1 自然环境特点 我国西北地区水资源总量大,但单位面积水资源量小,时空分布不均,气候干旱,生态系统脆弱,水资源短缺现象严重。西北是我国的干旱地区,年均降水量和单位面积产生的年均径流量在全国都是最少的。大部分区域的年降水量在400mm以下,其中有200万km²面积的年降水不足200mm,南疆东部、河西西部和柴达木中西部不足50mm,荒漠戈壁在200m以下,而蒸发量超过1000mm。由于人口密度低,人均水资源量高于全国平均水平的2300m³。但水资源分布不均匀,部分地区人均占有量低,如宁夏人均水资源仅177m³,陕西关中地区人均水资源量仅为446m³,陕北为888m³,远远低于国际公认的人均1700m³的水资源紧张的警戒线(世界上同类地区埃及为923m³/人,以色列为380m³/人,均包括境外流入的水资源)。西北黄土高原(包括河套)土地面积占全国土地面积的6.9%,耕地面积占全国总量的12.2%,而水量仅占1.8%,每hm²耕地水量3720m³,人均水量654m³,单位耕地面积与人均水量分别仅占全国平均水平的14%和24.1%。而强烈的土壤侵蚀不仅使区内生态环境恶化,而且使大量泥沙注入黄河,淤积于下游河床^[1]。陕北、陇东、定西等地是黄河中游水土流失

最严重的地区,河流洪水含沙量高达 900 kg/m^3 ,土壤侵蚀模数达 $6\,000 \sim 10\,000 \text{ t/km}^2$,个别强烈侵蚀地带达 $20\,000 \text{ t/km}^2$ 以上。在河西石羊河流域水资源总量 17.28 亿 m^3 ,而该地区总的水资源耗用量 20.142 亿 m^3 ,占可用水资源量的 116.6% 。地下水严重超采。水资源短缺已经成为西北地区农业生产和生态建设最重要的制约因素。

2.1.2 水资源浪费和污染加剧了水资源短缺 目前西北干旱和半干旱地区,水资源利用粗放、浪费严重。大水漫灌的农业生产方式,不但加剧了水资源的供需矛盾,而且还带来了土地次生盐碱化等环境问题。例如新疆农田灌溉渠系水有效利用率小于 0.4 。农业毛灌溉用水量达 $15\,000 \text{ m}^3/\text{hm}^2$,高出作物实际需求量一倍多。超量灌溉又带来次生盐渍化,盐化土地占耕地面积的 35% ,因盐化弃耕面积达 66.7 万 hm^2 ,几乎相当于历史开垦面积。流域水资源利用缺乏统一管理,经济用水严重挤占生态用水,造成生态环境的严重恶化。如石羊河下游民勤盆地,20世纪50年代来水量 5.8 亿 m^3 ,90年代年下降到 1.7 亿 m^3 ,地下水位下降,矿化度升高,致使 2 万多 hm^2 农田弃耕, 7 万多人 、 12 万余头 牲畜饮水困难。居延海40年代水面为 120 km^2 ,90年代全部干涸,造成近 40 万 hm^2 胡杨林的全部死亡。

随着地区经济建设速度的加快,西部地区河流、湖泊污染不断加重。使原本水资源短缺的西北地区“雪上加霜”。如1999年黄河干流上游青海、甘肃境内河段以Ⅱ~Ⅳ类水质为主,内蒙古境内河段以Ⅳ类及劣Ⅴ类水质为主。河流、湖泊水体污染的不断加重,使西北地区水资源更加紧缺。

2.2 地下水过度开采,减小生态建设效益

由于地表水严重不足,西北一些地区不断加大地下水的开采力度,致使地下水超采严重。如陕西关中地区地下水超采面积达到 $2\,590 \text{ km}^2$,其中严重超采面积达 656 km^2 。甘肃石羊河流域下游的民勤盆地,20世纪60年代以前,大部分地段地下水位埋深小于 3.0 m ,70年代后随着地下水超量开采,至今 30 a 间打井 $11\,000$ 多眼,其中 300 m 深的 250 眼,每年开采地下水 6.5 亿 m^3 ,超过当地合理开采量 3.8 亿 m^3 。超采地下水引起地下水位急剧下降,地下水位以每年 $20 \sim 50 \text{ cm}$ 的速度下降。地下水位已从50年代 $1 \sim 3 \text{ m}$ 降至现在的 13 m 以下,并使水质持续恶化。1979年,民勤县各灌区地下水矿化度均小于 5 g/L ,1995年,矿化度大于 5 g/L 的地下水分布面积达 250 km^2 ,现有 7.614 万人 、 12.41 万头 牲畜饮

用水非常困难。由于灌溉大量开采高矿化度地下水,更加速了区域地下水水质的恶化(矿化度年增幅 $0.1 \sim 0.45 \text{ g/L}$)。地下水矿化度达到 $2.0 \sim 3.0 \text{ g/L}$ 的面积年均向上游扩展约 $2 \sim 6 \text{ km}^2$ 。水位下降、水质恶化导致地表植被衰亡。地下水位的高低对天然植被影响很大。据研究,干旱、半干旱地区地下水埋深小于 1.0 m ,土壤易发生沼泽化; $1 \sim 2 \text{ m}$ 土壤易发生盐渍化; $4 \sim 6 \text{ m}$ 草本植物死亡,存在潜在沙漠化威胁;大于 6 m 时地表乔灌木枯萎,沙漠化出现。干旱区地下水埋深维持在 $2 \sim 4 \text{ m}$ 较为合适。据1991年统计,民勤县70年代以前营造的 1.73 万 hm^2 沙枣林,已有 0.65 万 hm^2 成片死亡, 0.58 万 hm^2 衰败,天然灌木林由 7.24 万 hm^2 减少至 2.37 万 hm^2 ,人造灌木林有近 $1/3$ 死亡。地下水位下降引起的地表植被衰亡使土地沙化速度加快。塔里木河下游区,1958~1993年期间,流动沙丘面积从占土地面积的 44.34% 上升到 64.47% ,强度和极强度沙漠化土地增加了 3.12% 和 3.56% 。河西绿洲边缘沙漠植被的大量枯萎,使已经固定的沙丘重新活化,沙漠化土地、潜在沙漠化土地面积分别达 $4\,656 \text{ km}^2$ 、 $2\,036 \text{ km}^2$,每年沙漠化面积 $400 \sim 500 \text{ km}^2$,风沙线长 $1\,600 \text{ km}$ 。民勤绿洲的部分乡村已沦为沙漠,沙丘每年平均以 $3 \sim 4 \text{ m}$ 的速度向民勤县城逼进,最多的达 $8 \sim 10 \text{ m}$,人民的生存和社会的发展已受到严重威胁。

2.3 用水部门多、耗水量大,生态需水无法满足

随着西北地区经济的不断发展和人口的不断增加,农业、工业、生活、生态用水量持续增加,导致水资源需求量增长,再加上水资源时空分配不均,水资源短缺矛盾加剧。部分地区水资源开发利用程度超过水资源承载能力,生态用水被严重挤占,使生态需水无法满足。

遏制黄土高原地区生态、环境恶化的关键是解决水土流失问题。解决水土流失问题的关键是恢复(或修复)植被,然而,短缺的水资源无法满足受损生态系统的植被恢复所需的水量。在西北地区今后 10 a 造林按 467 万 hm^2 计算,以刺槐林耗水量测算,总耗水量在 $350 \sim 1\,100 \text{ 亿 m}^3$,与目前西北的总可利用水资源量相当。也就是说,西北地区的水资源只能全部用作造林。因此退耕还林还草,应根据西北的水资源状况,分区实施林、灌、草相结合。

2.4 不合理的水资源配置,造成河流下游断流、湖泊萎缩和生态环境退化

西北地区多以内陆河为主,对于维护当地的自然生态和生产发展具有非常重要的意义。然而,许

多内陆河断流正在使该地区原本脆弱的生态环境进一步恶化。实验表明,依靠地下水维持生命的植被年蒸发耗水约需 $2\ 400 \sim 13\ 750\ \text{m}^3/\text{hm}^2$ 。由于河流上中游地区林业用地面积持续增加,耗水加大,水资源短缺矛盾加剧,导致下游水资源严重亏缺,地下水位下降,造成生态环境急剧恶化。河西走廊的石羊河流域年均径流量约 $12 \sim 15\ \text{亿}\ \text{m}^3$,主要流经武威与民勤两个盆地。为了满足中上游所增加耕地的灌溉以及工业用水,上游地区修建了许多水库,山区河川径流量基本上全部被拦截,下游民勤盆地的来水量,由 20 世纪 50 年代的 $5.47\ \text{亿}\ \text{m}^3$,下降到 90 年代 $1.5\ \text{亿}\ \text{m}^3$ 左右,导致下游河流断流,湖泊干涸,河灌改为井灌,地下水位大面积持续下降,大片林木衰败死亡,草场退化,绿洲萎缩,耕地撂荒沙化,生态环境急剧恶化。

3 可持续的水资源合理配置

可持续的水资源合理配置是克服西北生态环境建设水约束的重要途径。

3.1 水源配置

解决西北地区水资源量的不足,首先应立足本地资源,合理调配区内水资源,在保证不影响河流下游生态环境用水的条件下,充分挖掘区内水源。其次是区外跨流域调水。从而实现西北水资源量的突破。

3.2 用水配置

良好的水源配置,为突破西北地区水资源短缺的瓶颈提供了前提条件,但要真正解决水约束问题,还要依赖于合理的用水配置。

目前,生态系统水资源的配置模式主要有三种:

(1) 不考虑生态需水或忽略生态环境的需求

总供水量 = 农业需水量 + 工业需水量 + 生活需水量

我国水资源配置的早期多采用这种模式,主要因为对生态环境需水量的认识不足所造成的,没有意识到生态环境的退化可能带来的严重后果。

(2) 按总需水固定百分比分配给生态环境

总供水量 = 农业需水量 + 工业需水量 + 生活需水量 + 环境需水量 (= 前三者和的固定百分比)

目前我国主要采用该种模式。尽管人们已经意识到在配水过程中,必须考虑生态环境需水量,但是还不够充分。因为人们并不知道生态环境究竟需要多少水,只是人为的象征性的在总需水量中加入一部分作为生态环境需水量,具有很大的盲目性和

随意性,也根本无法保证生态系统的需求。

(3) 在评价生态环境需水量的基础上,权衡经济、社会和环境的价值和利益,然后对水资源进行合理配置。总供水量 = 农业需水量 + 工业需水量 + 生活需水量 + 生态环境需水量

这种配置是维持水资源可持续开发利用和生态系统价值的基础,同时也是加快西北地区生态环境建设,恢复(修复)植被,根治水土流失,遏止生态环境继续退化的必然要求。

该配置中,除了要确定农业需水量、工业需水量、生活需水量外,还必须要确定满足生态系统本身维持系统生物多样性、生态价值、减小系统风险的需水量。一般来说,生态需水量是指一个特定区域内的生态系统的需水量,而并不是指单一的生物体的需水量或者耗水量。它不但与生态区的生物群体结构等有关,更与生态区的气候、土壤、地质,以及地表、地下水文条件及水质等都有关系。计算生态需水量实质上就是要计算维持区域生物群落稳定和可再生维持的栖息地的环境需水量,也即“生态环境需水量”,而不是指生物群落机体的“耗水量”。目前对受损区域生态系统植被恢复和重建所需水量的研究较少。生态需水量的主要计算方法有:① 河流生态需水量的计算方法,包括河道湿周法、曼宁公式法、径流时段曲线分析法、专家评价法、最枯月平均流量法等。② 湿地生态需水量,主要有水量平衡法。陆地生态需水量的计算方法,包括:水量平衡法、面积定额法和植株定额法等^[2]。

就区域而言,水资源的承载力是有阈值的,而且水资源的自然承载力(水资源维持自身更新和保护环境(包括生态占用的承载力)的能力)与社会承载力(人口和经济)之间存在涨落关系^[3]。

从可持续发展的角度看,水资源的合理配置及承载能力与可持续发展之间存在着密切关系。在中国西北地区,可持续的合理的水资源配置,应该是动态反馈式的高效配置^[4]。即在水管理过程中,配水者应随时接收和监测用水者的效益反馈,一旦用水者创造的效益小于或接近于对生态环境的损益值时,就应立即停止或减少配给水量,从而实现既维持生态系统的生态价值、生物多样性与最小系统风险,又保持一定经济增长速度的水资源合理配置。

4 结论

大量的实践表明,在 $450\ \text{mm}$ 降水的山坡种植乔木可以成活,但不成林,在 $550\ \text{mm}$ 降水的山坡造林可以成林,但不能成材。因此,在 $500 \sim 600\ \text{mm}$ 降

- 社,1989.13-18.
- [5] 韩崇选,王明春,杨学军.安全型无公害灭鼠剂—克鼠星的研制[J].西北林学院学报,2002,17(3):44-47.
- [6] 周梅花,马有国.平面直方图在森林病虫害防治中的应用[J].青海农林科技,1999(1):35-37.
- [7] 李翰,徐守成.大通县森林病虫害发生趋势预测及防治策略[J].青海农林科技,1999(3):28-30.
- [8] 李近远.拯救草原 亚洲第一天然草场[N].甘肃日报,2002-09-10.
- [9] 冉江洪,刘少英.四川省人工林鼠害调查初报[J].四川动物,1999,18(1):23-26.
- [10] 项亚平.害鼠猖獗原因分析及防治对策[J].辽宁农业科学,1999(6):23-25.
- [11] 王廷正,李金钢,张越,等.黄土高原啮齿动物区系及鼯鼠成因分析[M].黄土高原林区鼯鼠综合管理研究[M].西安:西北大学出版社,1995.1-11.
- [12] 王明春,韩崇选,杨学军.克鼠星1号防治甘肃鼯鼠研究[J].西北林学院学报,1999,14(2):51-56.
- [13] 杨学军,韩崇选,王明春.生物措施在林业鼠害治理中的应用[J].西北林学院学报,2002,17(3):58-62.
- [14] 杨学军,韩崇选,王明春.林业生态措施在鼠害治理中的应用[J].西北林学院学报,2001,16(3):76-79.
- [15] 杨学军,王明春,陈孝达.林区鼯鼠人工捕杀技术[J].陕西林业科技,1995(1):40-43.
- [16] 韩崇选,胡忠朗,陈孝达.桥山林区甘肃鼯鼠发生规律研究[J].陕西林业科技,1994(4):23-29.
- [17] 韩崇选,胡忠朗,杨学军.林地甘肃鼯鼠空间格局研究[J].西北林学院学报,1995,10(4):74-79.
- [18] 韩崇选,胡忠朗.甘肃鼯鼠对油松危害动态经济阈值研究及应用[J].西北林学院学报,1994,9(3):45-52.
- [19] 韩崇选,胡忠朗,陈孝达.林区甘肃鼯鼠化学防治投饵技术探讨[J].陕西林业科技,1994(1):36-42.
- [20] 韩崇选,杨学军,王明春.克鼠星1号对小白鼠的毒力测定[J].西北林学院学报,2002,17(1):45-48.
- [21] 韩崇选,郑雪莉,杨学军.无公害专一性灭鼠剂的研制[J].陕西林业科技,2002(2):2-6.
- [22] 韩崇选,郑雪莉,王明春.主要啮齿动物引诱剂的研究[J].陕西林业科技,2002(2):7-10.
- [23] 王明春,韩崇选,闫银团.克鼠星1号作用于甘肃鼯鼠的试验研究[J].陕西林业科技,2002(2):19-20.
- [24] 韩崇选,王明春,杨学军.克鼠星1号对甘肃鼯鼠毒杀作用测定[J].陕西林业科技,2002(2):27-31.
- [25] 韩崇选,杨学军,王明春.克鼠星系列灭鼠剂饵料的筛选[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2002,30(4):42-46.
- [26] 王明春,韩崇选,胡忠朗.甘肃鼯鼠取食节律及对不同饵料喜食度的研究[J].西北农业大学学报,1997,25(2):37-41.
- [27] 王明春,韩崇选,杨学军.多效抗旱驱鼠剂对田间小麦促增长产效果研究[J].西北植物学报,2001,21(4):678-683.
- [28] 杨学军,韩崇选,王明春.多效抗旱驱鼠剂室内效果研究[J].西北林学院学报,1999,14(4):63-68.
- [29] 杨学军,韩崇选,王明春.多效抗旱驱鼠剂对种苗生长影响研究[J].西北农业大学学报,2001,10(1):25-28.
- [30] 王明春,韩崇选,杨学军.多效抗旱驱鼠剂对黄豆促长作用的研究[J].陕西林业科技,2000(3):35-37.
- [31] 韩崇选,杨学军,王明春.多效抗旱驱鼠剂的抗旱促长作用研究[J].西北植物学报,2002,22(5):1150-1157.

(上接第45页)

水的地区大规模推进造林工程时,应贯彻林跟水走的原则,把乔木配置在阴坡和集水的沟道里,阳坡种草或灌木。在500 mm以下的地区,最适宜的是种草和灌木。一个地区的降水主要决定于大气环流和地理位置,人工植树种草的基本功能主要是改善地表覆被情况。西部生态环境建设的关键是要加大节水技术研究和推广力度,防止水污染,采用行政、经济和技术等多种途径保障水资源的合理开发利用,突破水资源短缺的瓶颈。因此,在西北生态建设过程中,应遵循自然生态规律,经济发展与生态保护(含生态恢复或修复)相结合,实现经济效益、社会效益与生态效益的协调统一;因地制宜,量水而行,避免造成经济损失,建立生态补偿机制,即对损害生态环境者应做出经济上的处罚以补偿生态恢复或修复者、生态环境受益者应给予生态环境建设者经济补

偿,保证西北地区生态建设的积极性、稳定性和持久性,合理配置水资源,确保生态环境保护和建设用水,实现可持续发展。

参考文献:

- [1] 西北农业大学农业水土工程研究所.农业部农业水土工程重点开放实验室.西北地区农业节水与水资源持续利用[M].北京:中国农业出版社,1999.
- [2] 张鑫,蔡焕杰.区域生态需水量与水资源调控模式研究综述[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2001,29(增):84-88.
- [3] 张鑫,李援农,王纪科.水资源承载力研究现状及其发展趋势[J].干旱地区农业研究,2001(2):17-20.
- [4] 张鑫,蔡焕杰,宋松柏.面向生态的水资源合理配置需要研究的几个问题[A].中国科学技术协会,中国工程院,内蒙古自治区人民政府.加快西部生态环境建设推动区域经济协调发展(中国西部地区科技经济与社会发展论坛专集(五)) [C].成都:四川科学技术出版社,2002:72-76.