

文章编号:1000-694X(2004)04-0381-04

中国内陆河流域尺度的水资源利用率提高研究 ——黑河流域水-生态-经济管理试验示范

肖洪浪¹, 赵文智¹, 冯起¹, 赵兴全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. 中国科学院 西北高原生物研究所, 青海 西宁 810001)

摘 要: 水资源是人类生存和社会发展中最重要的成分, 中国内陆河的可持续发展所面临的生态问题源自有限的水资源和高的人口压力这两个方面的不协调。通过总结“黑河流域水-生态-经济系统试验示范研究”项目近几年在涵养水源、绿洲尺度的水利用率提高和流域水-生态-经济系统中的水资源配置的部分试验成果和研究进展, 以实际事例展示了在流域尺度上提高水资源利用率的可行性和潜力。加强基础研究、引入“虚拟水”等创新意识、通过专家和管理层的结合可进一步提高流域水资源利用率。

关键词: 水-生态-经济; 水利用率; 流域尺度; 内陆河; 试验示范

中图分类号: F323.213

文献标识码: A

黑河流域发源于青藏高原北缘的祁连山区, 北流穿越河西走廊、阿拉善高原的戈壁、沙漠, 曾止于居延古泽, 流域面积 13 万 km², 跨越甘、蒙、青三省区, 是一个多民族聚居的流域。黑河是中国西北地区典型的内陆河流域, 是西北地区灌溉农业大规模开发最早的流域, 是急剧恶化的水-生态环境明显影响可持续发展的流域, 是中亚内陆干旱区形成演变和西北水土资源开发利用具有良好代表性的流域。从提高单位体积水的效益(生态和经济)出发去缓解流域水资源矛盾不失为一个可探讨的途径。

1 中国内陆河水资源与生态问题

水资源是人类生存和社会发展中最重要的成分, 水资源稀缺是我国西北干旱区的特色, 也是生态安全和经济发展面临的巨大挑战。“资源”通常是对利用而言的, 常说的水资源主要包括地表水、地下水和土壤水等, 在利用过程中经常以地表水为主, 忽略地下水, 不考虑土壤水。我国水资源 28 124 亿 m³, 内陆河地区仅占 4.27% (表 1), 天生的格局成就了内陆河地区的“缺水”。千百年来西北内陆河地区在干湿交替中干旱化程度不断加强, 区域水环境不断退化^[1-3]。一提到“缺水”, 就想要“开源节流”; 当水资源利用率逼近生产力的极限时, 尚未认识的流域水循环、水平衡已经向新的模式演变。近 50 a 来河川

断流、湖泊干涸、绿洲迁移、沙漠化扩展^[4-6]。中国内陆河地区是“缺水”还是“用水”问题应该深思。

表 1 内陆河与全国水资源对比

Tab. 1 Water resources comparison between China inland river basin and whole country

区域	降水量 /(亿 m ³)	地表水 /(亿 m ³)	地下水/ 产水模数/ (亿 m ³) (万 m ³ km ⁻²)	面积 / km ²
内陆河	5 113	1 063.7	137.0 3.61	332.17
全 国	61 589	27 115.2	1 009.2 29.46	954.53

2 涵养水源

2.1 山区水源涵养能力建设

涵养水源并不是为了涵养区的节水, 而是强调合理用水, 致力于流域尺度的水资源利用率提高。近些年生态环境恶化使得古之“储水于山”得以重视, 但水源地的建设必然会有更多的水消耗在涵养区, 山区的水源涵养旨在保护山地生态系统, 形成一个良好的水环境, 能够比较稳定地供给平原地区的需水。土壤-植被系统的建设是储水于山的关键工程, 重点是植被的恢复和重建。

草场建设是主要措施, 在提高草地生产力的同时提高利用率, 改良高寒草地的水源涵养功能; 结合羔羊育肥出栏解决草畜季节不平衡, 推动畜群结构

收稿日期: 2004-04-04; 改回日期: 2004-04-15

基金项目: 中国科学院知识创新项目 (KZCX1-09; KZCX3-SW-324) 资助

作者简介: 肖洪浪 (1956—), 男 (汉族), 四川重庆人, 研究员, 博士生导师, 主要从事水土资源研究。E-mail: xhl@ns.lzb.ac.cn

和畜种结构的调整,保证水资源的时空合理配置;初步形成天然草场改良与人工草地建设同步、放牧与舍饲相结合的新型高效养殖模式,粮、经、草比例由过去的 56 22 22 调整到今年的 53 13 34,山地-河谷农牧业系统耦合格局基本成形;以公司加农户模式实施产业化运作,构建种植业与放牧畜牧业的重要桥梁,牛羊贩销成为农民增收、农业增效的有力手段,以局部地段的集约开发推动区域性的生态建设。

729 个示范户推广燕麦+毛苕子、燕麦+箭舌豌豆、燕麦、碱草、无芒雀麦、冰草人工草地 216 hm²,推广面积 600 hm²,提高干草产量 20%左右,降低牲畜越冬死亡率 50%以上,提高仔畜成活率 10%,增加产值约 280 万元。完成草地围栏 6 200 hm²,保证各季草场休牧期有一个休养生息的机会,增加饲草贮存量共 265 万 kg。封育改良的草场,地上生物量增加 440 kg·hm²,可食牧草比例提高 17%。灭除狼毒、棘豆改良 1.4 万 hm² 天然草场。

2.2 荒漠地区水源涵养意识缺乏

荒漠平原的水源涵养至今仍未得到关注,黑河流域正在步入地下水规模开采的时期;开生态水之源,补生产需水之缺。黑河下游上百万亩的天然梭梭林在还不及认识其生态水文功能时就已消失殆尽。荒漠植被赖以生存的地下水经常是在千年的尺度上形成循环,今天的水资源利用已经改变了过去的平衡。举个极端的例子看看荒漠地区水源涵养的意义,流动沙丘区如果 2~3 个月无降水,可形成 20 cm(迎风坡)~40cm(背风坡)干沙层,2~3 h 的起沙风将吹蚀掉 20 cm 的干沙层,其后风蚀速率将呈指数递减,这就是沙漠地区冬末春初通常只是最初的几场风能引起较强沙尘天气的原因,如果没有下伏的湿沙层,沙尘暴将无休止地继续。

3 绿洲尺度的水利用率提高

提高水利用率在田间尺度上有很多简单、具体的途径,比如地膜覆盖、耐旱物种、水肥优化配置等;也可通过工程措施来实现,如修渠、建坝、减少灌溉定额等,但它们更多的是在改变尚不清楚的大自然千百年来形成的水循环。提高水资源利用率常以价值衡量,水资源的生态利用及其环境安全价值很少关注,如荒漠植物的利用。

3.1 荒漠绿洲过度带

绿洲水利用率的提高,林网是重要组成部分,绿

洲防护林是除农田外的耗水大户。通过林系结构、物种配置和管理等组建低耗水、高防护效益的林网是实现单位体积水效益提高的主要途径之一。合理配置低耗水树种,增加雨养梭梭林等,保护和恢复绿洲边缘的天然植被,在防护林网内建植生态和经济效益兼顾的人工草地,完成改、建荒漠-绿洲过渡带防护林系近 1 000 hm²,涵养水源、节水、防风沙效益明显提高。

防护林主要树种的耗水量的初步排序为:杨树>沙枣>榆树>非杨柳科树种(樟子松等),从防护效益考虑杨树应是主导树种^[7]。荒漠植被的年耗水量多在人工林的 20%以下,如盖度 40%~50%的柽柳,在有地下水供给时年耗水量也仅 1 500~2 200 m³·hm⁻²。引进美、加、荷等地的耐旱、耐寒、耐贫瘠的饲草料品种 100 多个,结合 20 多个防护林树种引进,在高台县组建 10 hm²三鑫苗木化基地。在此基础上的林网改造节水 20%左右,防护林补灌定额和频率已纳入地方水制改革中。

3.2 荒漠河岸林

黑河下游的生态系统可概分成荒漠河岸林和荒漠两大类。80%以上的人类活动集中在荒漠河岸林及其周围地段,该类型的合理管理应该是下游用水价值的体现,其显然不能在流域层次上评价其水利用率的高低,生态系统的服务功能应该有更高的价值。为此,从绿洲的结构、布局和生态系统配置上寻求水效益整体提高是主要途径。

依靠人工抚育更新、封育、合理灌溉等措施恢复重建生态系统主体——荒漠河岸林系统,完成示范面积 5 000 hm²,推广 12 554 hm²;效益明显。河岸林外围戈壁滩实施破土、补灌、封育的人工建植技术完善从河岸林到荒漠的过渡、保护带——梭梭林系统,建成人工梭梭林 2 898 hm²,初步形成河岸林-梭梭林的生态建设模式。近两年在梭梭林下嫁接肉苁蓉 3 000 株,14 hm²,经济效益 15~30 万元。

选择地下水和土壤条件较好的地段建立开发利用的核心地段——荒漠河滩草库伦系统,已建成 3 950 hm²,草场承载力由 1 羊单位·hm⁻²提高到 5 羊单位·hm⁻²,安置移民 297 户 873 人,养羊 20 053 只,骆驼 1 659 峰,为绿洲生态区限牧、禁牧实现舍饲、半舍饲提供条件,极大地缓解了荒漠草场的畜群压力。

4 流域水-生态-经济系统中的水资源配置

中国内陆河的可持续发展所面临的生态问题源

自有限的水资源和高的人口压力这两个方面的不协调。应用生态水文学的原理和方法认识流域水文过程、水循环, 尤其生态系统中的水流过程, 提高对水资源的认识。生态经济学的发展试图以同样的指标平衡自然和社会系统, 通过生态系统服务价值和功能评估, 可以在水-生态-经济系统的层次上配置水资源。在生态水文和生态经济研究基础上开始了黑河水资源管理决策支持系统的构建。

4.1 生态系统服务价值

水-生态-经济系统作为一个整体单元需有统一的度量指标, 水和生态的“价值”评估是系统耦合的桥梁^[8]。水资源管理决策支持系统将多样性理论引入生态足迹的研究, 结合系统属性细分法和绿色国内生产总值等方法, 提出万元产值的生态足迹指标, 建立了区域尺度的环境经济综合核算框架和张掖市环境经济账户, 计算了黑河流域生态系统的服务价值、黑河流域与水有关的生态环境损失的价值、额济纳生态系统恢复的价值^[9,10]。

在流域水资源管理决策支持系统支撑下, 建立

了内陆河流域水资源分配模型和水价模型, 探讨内陆河流域水权的优化配置模式; 提出用 20 a 的时间将额济纳旗的生态系统恢复到 20 世纪 80 年代初的水平, 给黑河流域居民带来福利的总经济价值的现值为 3.67 亿元; 结合试验示范研究的阶段成果优化了黑河流域用水、投资、用地和粮-经-草结构, 显示出提高流域生态-经济综合效益潜力较大。

4.2 流域水管理的先导试验

着眼于流域尺度的水管理模式研究的先导试验初步在临泽绿洲平川灌区进行。以 1/30 hm² 为单位规范灌溉单元。以土壤-植被系统水量平衡为依据, 提出了适宜的灌溉时期、灌水次数及定额, 对各种作物按需供水。春小麦全生育期需水量为 435.0 mm, 玉米 651.6 mm, 春小麦 + 玉米带田 754.6 mm, 棉花 675.5 mm, 花生 360.6 mm; 其相应的灌水次数分别为: 4 次、6 次、7 次、6 次和 4 次。同时协同水管部门实施水票制, 灌溉定额 7 500 m³ · hm⁻²。灌区用水量也减少了 23%, 推动种植业结构向着低耗水高产方向发展(表 2)。

表 2 示范前后作物种植面积和用水量比较

Tab. 2 Comparison of cultivated area and water consumption between before and after demonstration

年度平均	作物面积/ hm ²										用水量 / 万 m ³
	小麦	玉米	制种	水果	油料	棉花	其他	蔬菜	瓜类	林草	
示范前	1 038	792	206	428	75	214	297	159	35	187	6 309
示范后	550	120	1 223	256	42	133	240	175	3	167	4 868
变化率/ %	- 47	- 85	493	- 40	- 45	- 38	- 19	10	- 91	- 11	- 23

5 问题与展望

5.1 加强流域生态水文、生态经济等基础研究

水、土、气、生、环境、经济等基础工作的缺乏, 流域尺度的水资源、水平衡、水循环研究滞后影响着流域生态水文和生态经济研究进展, 以至难以正确确定水-生态-经济综合系统的发展目标, 提不出合理的产业结构、水资源配置模式, 在流域层面上提高单位体积水效益仍然是一个长期的任务。

5.2 加强流域虚拟水研究

虚拟水是生产某产品所利用或需要的水资源。虚拟水战略强调缺水地区通过非水交易从富水区获得水密集型产品, 从而保证本区水安全。在我国西北干旱地区的内陆河流域, 实施虚拟水战略, 推进水

资源的社会化管理, 缓解人口、资源和环境之间的矛盾, 实现水-生态-经济综合系统的可持续发展。

5.3 专家和管理层共建的流域模型

流域管理模型研发既是流域科学研究的热点, 又是管理层梦寐以求的决策工具。一个多学科的、管理层参与的流域管理模型仍然是在探索、开发之中, 建模有助于科学知识在时间和空间上拓展, 有助于试验成果的形式化, 完善数据平台建设, 进而提出可操作性的水资源、水安全的决策依据和管理模式。

参考文献(References):

- [1] 竺可桢. 中国近五千年来气候变迁的初步研究[J]. 中国科学, B 辑, 1973, (2): 168 - 189.
- [2] 康兴成, 程国栋, 康尔泗, 等. 利用树轮资料重建黑河近千年来出山口径流量[J]. 中国科学, D 辑, 2002, 32(8): 675 - 685.
- [3] Mischke S, Demske D, Schudack. Hydrologic and climatic implications

- of a multidisciplinary study of the mid to late Holocene lake Eastern Juyanze[J]. *Chinese Science Bulletin*, 2003, 48(14): 1411 - 1477.
- [4] 肖洪浪. 中国水情——水源、水患、水利[M]. 北京: 开明出版社, 2000.
- [5] Xiao Honglang. Land degradation in the lower reaches of inland rivers in the arid zone of China[J]. *Chinese Journal of Arid Land Research*, 1998, 11(4): 275 - 284.
- [6] 王涛. 中国沙漠与沙漠化[M]. 石家庄: 河北科学技术出版社, 2003.
- [7] 苏培玺, 杜明武, 赵爱芬, 等. 荒漠绿洲主要作物及不同种植方式需水规律研究[J]. *干旱地区农业研究*, 2002, 20(2): 79 - 85.
- [8] 张志强, 徐中民, 程国栋. 黑河流域生态系统服务的价值[J]. *冰川冻土*, 2001, 23(4): 360 - 366.
- [9] 徐中民, 程国栋, 张志强. 生态足迹方法: 可持续性定量研究的新方法——以张掖地区 1995 年的生态足迹计算为例[J]. *生态学报*, 2001, 21(9): 1484 - 1493.
- [10] 徐中民, 张志强, 程国栋, 等. 额济纳旗生态系统恢复的总经济价值评估[J]. *地理学报*, 2002, 57(1): 107 - 116.

Research on Heightening Water Use Rate on River Basin Scale in Chinese Inland

——Experiment and demonstration of water-ecology-economy management in the Heihe river basin

XIAO Hong-lang¹, ZHAO Wen-zhi¹, FENG Qi¹, ZHAO Xing-quan²

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

2. Northwest Institute of Plateau Biology, Chinese Academy of Sciences, Xining 810001, China)

Abstract: Water resource is one of the most important factors in human survival and social development. The ecological problem that limits the sustainable development of Chinese inland river basin, originates from the inharmony between low water resources capacity and high population pressure. The study summarized partly recent achievements of experiment and research on water source conservation, water use rate improvement on river basin scale as well as water resource distribution in the water-ecology-economy system of Heihe river basin. It has revealed the feasibility and potential in improving water use rate on the basin scale with practical example. To strengthen basic study, to introduce innovation such as virtual water and to combine between experts and managers are going to further increase water use rate on basin scale.

Key words: water-ecology-economy; water use rate; basin scale; inland river; experiment and demonstration