

The Water Resources Rational Allocation and High-Efficiency Use Technology in Southern Junggar Basin*

Guang Yang¹, Xinlin He¹, Zhenhua Wang¹, Jia Zhang², Kai He²

¹Key Laboratory of Modern Water-Saving, College of Water Conservancy and Architectural Engineering, Shihezi University, Shihezi

²Irrigation of the Xinjiang Production and Construction Corps, Shihezi

Email: mikeyork@163.com

Received: May 2nd, 2013; revised: May 16th, 2013; accepted: May 28th, 2013

Abstract: Based on the total water resources and trend analysis of the Southern Junggar Basin, we evaluated the water supply and demand balance and its development potential. Through the regional natural vegetation conservation and artificial vegetation planting moisture regulation technology, unconventional water resources high-efficiency technology and regional water resources optimal allocation technology, we put forward the water resources rational allocation and high-efficiency use technology ideas and frameworks in southern Junggar Basin, which provides scientific basis for the realization of the balance between exploitation of water resources with local economic development and the ecological environmental protection.

Keywords: Moisture Regulation; Unconventional Water; Optimal Allocation; The Southern Edge of Junggar Basin

准噶尔盆地南缘水资源合理配置及高效利用技术研究*

杨 广¹, 何新林¹, 王振华¹, 张 佳², 何 恺²

¹石河子大学水利建筑工程学院现代节水灌溉兵团重点实验室, 石河子

²新疆生产建设兵团第八师水利局, 石河子

Email: mikeyork@163.com

收稿日期: 2013年5月2日; 修回日期: 2013年5月16日; 录用日期: 2013年5月28日

摘 要: 本文分析了准噶尔盆地南缘水资源供需平衡及开发潜力, 通过区域自然植被保育和人工植被建植水分调控技术、非常规水资源高效利用技术、区域水资源优化配置技术研究, 提出了准噶尔盆地南缘水资源合理配置及高效利用技术体系, 为实现水资源开发利用与当地经济发展、生态环境保护之间的平衡协调发展提供了科学依据。

关键词: 水分调控; 非常规水; 优化配置; 准噶尔盆地南缘

1. 引言

准噶尔盆地南缘是天山北坡与古尔班通古特沙漠

*基金项目: 国家自然科学基金项目(U1203282)(51269026); 973 计划前期研究专项(2011CB411905); 兵团国际合作项目(2012BC004); 石河子大学杰出青年项目(2012ZRKXJQ08)。

作者简介: 杨广(1983-), 男, 汉族, 讲师, 主要从事农业水资源高效利用方向的研究工作。

交界的东西狭长地带, 包括以乌鲁木齐市为核心的天山北坡经济带, 是新疆现代农业、工业、文化、科教的中心, 是新疆社会经济发展最快的区域, 其政治、经济和文化地位极其重要。同时, 区域也是新疆水资源开发利用最充分、供需矛盾最突出的地区之一。由于水资源的不合理开发利用, 导致绿洲盐渍化面积日

益增加, 河道断流, 沙漠入侵, 自然植被退化等生态环境问题日趋严重, 对区域经济发展、人民生活、政治安定构成直接威胁, 因此对区域有限水资源进行优化配置和高效利用技术研究迫在眉睫。基于此, 课题组承担了国家“十一五”科技支撑计划项目《准噶尔盆地南缘荒漠化生态系统恢复与重建技术与示范》(2007BAC17B00), 围绕准噶尔盆地南缘荒漠化生态系统恢复与重建“整体改善、局部优良”的总体目标, 研究准噶尔盆地南缘自然植被和绿洲防护林的生态需水量, 探索区域自然植被保育和人工植被建植水分调控的方法; 研究利用非常规水资源生态恢复与重建的高效利用技术, 建立非常规水资源安全性评价指标体系; 确定天然水循环通量和人工水循环通量的基本比例; 对区域水资源进行合理配置, 研发准噶尔盆地南缘水资源合理配置及高效利用技术, 以实现水资源开发利用与当地社会经济发展、生态环境保护之间的协调关系。

2. 区域水资源开发利用现状及潜力分析

玛纳斯河流域在农业用水量大、工业用水持续上升、供需矛盾突出等方面表现显著。流域内的农八师垦区及沙湾、玛纳斯两县均处于天山北坡经济带的核心区域, 且玛纳斯河是准噶尔盆地南缘年径流量最大的河流, 近年来, 该流域国民经济发展迅速, 水资源供需矛盾尖锐, 因此选择农八师玛纳斯河灌区(简称玛河灌区)作为准噶尔盆地南缘典型区进行研究。

2.1. 水资源供需平衡分析

水资源供需平衡分析是在 $P = 75\%$ 和 $P = 50\%$ 的保证率下, 在玛河渠首(将地下水也折算到渠首)按月进行供需平衡计算(如图 1 和图 2)。

2.2. 水资源开发利用潜力分析

玛河灌区水资源现状主要表现为资源型缺水。由于水利工程的调蓄能力及水库调度手段限制, 导致在年供水量不足的情况下, 在汛期有弃水, 说明玛河灌区存在工程型缺水; 而单一的种植模式使水资源供需矛盾更加尖锐。而种植结构的调整对日趋尖锐的供需有缓解作用。

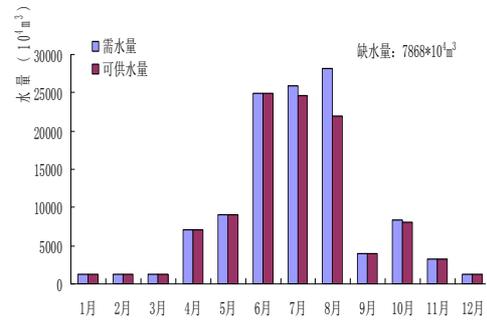


Figure 1. Water supply and demand balance calculations in Manas River irrigation district of the eighth group ($P = 75\%$)
图 1. 农八师玛河灌区水资源供需平衡计算($P = 75\%$)

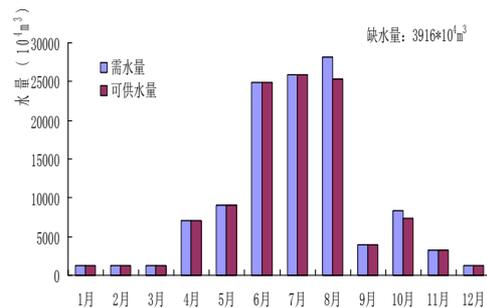


Figure 2. Water supply and demand balance calculations in Manas River irrigation district of the eighth group ($P = 50\%$)
图 2. 农八师玛河灌区水资源供需平衡计算($P = 50\%$)

3. 植被生态需水分析

3.1. 研究方法 with 内容

研究方法采用小区定位观测与野外试验相结合。主要分析天然降水及地下水对自然植被及绿洲防护林的生态影响, 包括荒漠灌木林地土壤水分时空变化特征、人工种植梭梭、柽柳和沙枣的耗水规律及适宜生态需水分析及防护林树种生长需水量研究。

3.2. 研究成果

研究表明, 准噶尔盆地南缘由于有漫长的冬季, 冬季的低蒸发、高凝结特征, 积雪在春季的集中融化春季自然植被提供了充足的水分, 提高了自然降水的有效性, 同时梭梭等自然植被由于具有良好的自集水功能(树干茎流、植株凝结水)以及低耗水特征^[1,2], 使得准噶尔盆地南缘依靠自然降水仍可以维持良好的植被状况。基于以上结果, 对准噶尔盆地南缘生态需水的配置有如下认识:

1) 目前准噶尔盆地南缘自然植被群落的更新与演替过程总体情况良好, 自然植被处于正常生长状

态,生态需水的配置重点是农田维持水盐平衡的水量以及防护林的用水。

2) 维持具有基本生态功能的绿洲内部和外围地带性自然植被,只要采取封育措施,可以依靠天然降水,不需要水利口径的水资源配置,但绿洲内部的防护林需水以及绿洲外围人工种植的具有经济价值的高盖度荒漠灌木植被需要从水利口径配置水资源、通过灌溉方式补水。

3) 玛纳斯河流域农田防护林需水为 $0.5175 \times 108 \sim 0.6900 \times 108 \text{ m}^3$,防护林需水约占流域地表水资源总量的 7.02%~9.36%。对于林木灌溉建议采取管网输配水,沟灌方法灌溉。

4. 非常规水资源化及高效安全利用技术

准噶尔盆地南缘水资源开发利用程度非常高,由于资源性缺水和生产生活用水量不断增加以及不合理的利用造成水资源供需矛盾十分突出,区域中河流水资源开发利用程度高。据《新疆地下水资源》,分布在准噶尔盆地南缘平原区的地下水资源总量 $25.42 \times 108 \text{ m}^3/\text{a}$,其中矿化度在 1 g/L 以上的有 $2.304 \times 108 \text{ m}^3/\text{a}$,占区域地下水资源总量的 9.06%, 2 g/L 以上的有 $0.26 \times 108 \text{ m}^3/\text{a}$ 。这些矿化度大于 1 g/L 的地下水资源构成了区域主要的非常规水资源。因此,开发利用非常规水资源用于生态恢复与重建,是实现区域水资源进一步开发利用的新途径,开展非常规水资源化和高效利用研究,为准噶尔盆地南缘生态恢复重建提供技术支撑。

4.1. 试验方法

试验共分为野外监测和测坑试验。选择一年生胡杨、红柳、梭梭荒漠植物,采用现场取土和美国 CPN503DR 中子仪测定相结合方法测定土壤含水率,采用 L-6400 光合仪测定植株生理指标光合速率、气孔导度和蒸腾速率,采用 DDB-2 型便携式数字电导率仪测定土壤盐分,同时测定植株生长指标株高、枝长、径粗等。

4.2. 研究成果

1) 随灌溉水矿化度升高荒漠植被耗水量减小。在土壤含水率为田间持水率的 40%~45%,矿化度分别为 1 g/L 、 3 g/L 、 6 g/L 条件下,梭梭耗水量分别为 338.5

mm、287 mm、264.2 mm;柽柳耗水量分别为 458.5 mm、417.7 mm、401.7 mm。

2) 荒漠植物随灌溉水矿化度升高生长生理指标下降,生态效应减弱。荒漠植被的生长和生理指标随矿化度增大而呈减小趋势。梭梭、柽柳高矿化度处理下分枝数、新枝长、冠幅等指标比低矿化度处理相应下降 15%~30%。在生长旺盛期,梭梭的光合速率、蒸腾速率、气孔导度均随灌溉水矿化度的增大而显著减少,而柽柳则呈先上升后下降趋势,在 3 g/L 达到最大。

3) 梭梭土壤含水率下限指标为 5%(质量含水率),约占田间持水率的 40%左右,灌溉水矿化度上限指标为 12 g/L ;柽柳和胡杨土壤含水率下限指标为 7%(质量含水率),耐盐能力均比较强,在 18 g/L 矿化度处理仍具有生态功能。

研究成果说明,准噶尔盆地南缘 1 g/L 以上的地下水非常规水资源可以用于梭梭、柽柳和胡杨等荒漠植物补充灌溉使用,为区域生态恢复节约淡水资源。

5. 基于种植结构优化的水资源优化配置技术

农业灌溉节水的途径主要包括降低灌溉定额、提高灌溉水利用系数、优化种植结构三个措施^[3,4]。降低灌溉定额是指用现状的实际灌溉定额减去作物生育期内有效降雨量和直接耗用的地下水,得到净灌溉定额^[5-7];提高灌溉水利用系数可以通过和提高管理措施及改善节水工程设施等方法实现^[8];在满足研究区水量限制、经济需求、生活需求等条件下,以农业产出的净效益最大为目标函数,建立非线性动态优化模型来实现种植结构的优化。本文以准噶尔盆地南缘莫索湾灌区 150 团为例,主要研究上述第三个措施的节水潜力。

5.1. 种植结构优化模型

5.1.1. 目标函数

150 团种植结构优化的目的在于在保证灌区不缺水的的前提下,通过调整各作物的种植面积,以达到农业产出的净收益最大,同时降低农业灌溉需水量。目标函数为:

$$\text{Max } f_1 = \sum_{i=1}^7 \left(\sum_{j=1}^9 S_i \lambda_{i,j} \omega_j \right) \quad (1)$$

其中, S_i ($i = 1,2,3,4,5,6,7$)为第 i 个支渠子灌区的面积, $\lambda_{i,j}$ ($j = 1,2,3,4,5,6,7,8,9$)为第 i 支渠第 j 种作物的种植比例, ω_j 第 j 种作物的单位面积的净收益。

5.1.2. 约束条件

1) 耕地面积约束

$$S_i \leq \bar{S}_i \quad (2)$$

2) 种植结构约束(公式见下)

3) 地下水约束:

$$D' \leq D \leq D'', D'_{i,k} \leq D_{i,k} \leq D''_{i,k}$$

4) 供需水偏差约束

$$\min f_i = \sum_{k=10}^{30} \left[\sum_{i=1}^7 (G_{ik} - X_{ik}) \right]^2,$$

$$X_{ik} = \sum_{j=1}^9 \frac{\beta S_i \lambda_{i,j,k} q_{i,k}}{\alpha_{i,j}} + s_{i,k}$$

5) 150 团来水约束:

$$\begin{cases} x_{1,k} + x_{4,k} + x_{5,k} + x_{8,k} + x_{9,k} \leq L_k \\ x_{2,k} + x_{3,k} = x_{9,k} \\ x_{6,k} + x_{7,k} = x_{8,k} \end{cases}$$

6) 渠系安全约束:

$$\begin{cases} 0 \leq x_{i,k} \leq c_i \\ x_{1,k} \leq c_1, x_{2,k} \leq c_2, x_{3,k} \leq c_3, x_{4,k} \leq c_4, \\ x_{5,k} \leq c_5, x_{6,k} \leq c_6, x_{7,k} \leq c_7, x_{8,k} \leq c_8, \\ x_{9,k} \leq c_9; \\ x_{2,k} + x_{3,k} \leq c_9, x_{6,k} + x_{7,k} \leq c_8 \end{cases}$$

7) 各月可用水量约束(可用地下水、水库水), 各需水量约束(最低农业用水, 工业用水、生活用水、牲畜用水)。

$$G_{i,k} = D_{i,k} + x_{i,k} (1 - \gamma_i) \geq \beta \frac{\sum_{j=1}^m S_i \lambda_{i,j} q_{i,k}}{\alpha_{i,j}} + s_{i,k} = X_{i,k};$$

8) 所有决策变量非负约束

式中, \bar{S}_i 为第 i 个支渠的子灌区的多年平均面积; D', D'' 为地下水量的下限值和上限值, $D'_{i,k}, D''_{i,k}$ 为第 i 个支渠子灌区的第 k 个时段的地下水的下限值和上限值, $k = 10, 11, \dots, 30$; f_i 为第 i 个支渠子灌区供水偏差; G_{ik} 为第 i 个支渠子灌区第 k 个时段的供水; X_{ik} 为第 i 个支渠子灌区第 k 个时段的最低需水量; β 为灌溉保证率; $\lambda_{i,j,k}$ 为第 i 个支渠子灌区的第 j 种作物的第 k 个时段的种植比例; $q_{i,k}$ 为第 i 个支渠子灌区的第 k 个时段的灌溉定额; $\alpha_{i,j}$ 为第 i 个支渠的子灌区第 j 种作物的田间水利用系数; $s_{i,k}$ 为专项用水(生活工业牲畜需水); $x_{i,k}$ 是实际过水量; $x_{i,k}$ 为第 i 个支渠子灌区的第 k 个计算时段的来水量; c_i 是最大允许量; $D_{i,k}$ 为地下水量; γ_i 为第 i 个支渠的渠道渗透系数。

5.2. 优化结果

根据上述约束方程, 选用 MATLAB 语言编程求解程序。通过输入不同水平年下的数据资料, 在微机运行模型求解程序, 得到了在不同水平年下 150 团的水资源的分配方案及相应的作物种植结构(如表 1)。

150 团调整后总播种面积在调整前的基础上减少了 0.71%, 春麦, 苜蓿, 葡萄, 经济林, 防护林, 其他林的面积相对于调整前都有所减少, 防护林面积增加的显著, 因为调整前的防护林比例未达到占总播种面积的 8%, 模型计算之后达到规范要求; 青贮和瓜菜下降的比较多, 分别达到了 10.49% 和 11.04%, 棉花为 6.01%。

5.3. 经济效益分析

现状年 P = 50% 来水条件, 在不计入防护林和其他林经济效益的条件下, 调整后经济效益下降 547.34 万元。调整前后防护林从 9000 亩增加为 15,756 亩, 其他林从 2140 亩增加为 2340 亩, 防护林和其他林共计增加 6956 亩, 防护林和其他林的经济效益按照 870

$$\begin{cases} \sum_{j=1}^9 \lambda_{ij} = 1 \\ \lambda_{i1} \text{ (粮食下限为固定值, 与政策有关),} \\ \lambda_{ij} \text{ (在十一五规划比例上下10%之间, } j = 2, 3, 4, 5, 6), \\ \lambda_{ij} = 0.08 \text{ (林为人工生态, 占总种植面积的8%, } j = 7, 8, 9) \end{cases}$$

Table 1. Structure adjustment after planting (unit: mu)
表 1. 调整后的种植结构(单位: 亩)

分区	春麦	棉花	青贮	苜蓿	葡萄	瓜菜	经济林	防护林	其他林	各作物汇总
一营一支渠	320	6668	89	-	273	-	19	642	18	803
一营二支渠	1911	37,546	691	629	2002	191	458	3813	424	47,665
一营三支渠	114	7579	161	-	216	-	62	712	58	8903
二营一支渠	1692	23,991	451	320	1168	-	223	2439	207	30,492
团直二支渠	1791	32,460	395	420	1834	-	1112	3395	1036	42,442
三营四支渠	3701	35,679	554	573	1033	432	639	3757	596	46,964
三营三支渠	1375	9757	242	-	82	-	-	996	-	12,451
全团	10,904	153,679	2583	1942	6608	623	2512	15,756	2340	196,948

元/亩来算, 其经济效益为 605.172 万元, 调整后经济效益增加值为 57.832 万元。

现状年 $P = 75\%$ 来水条件, 在不计入防护林和其他林经济效益的条件下, 调整后经济效益下降 581.94 万元。调整前后防护林从 9000 亩增加为 15,713 亩, 其他林从 2140 亩增加为 2336 亩, 防护林和其他林共计增加 6909 亩, 防护林和其他林的经济效益按照 870 元/亩来算, 其经济效益为 601.083 万元, 调整后经济效益增加值为 19.143 万元。

6. 结语

本文从准噶尔盆地南缘水资源供需平衡及开发潜力分析出发, 通过区域自然植被保育和人工植被建植水分调控技术、非常规水资源高效利用技术及区域水资源优化配置技术研究, 提出了准噶尔盆地南缘水资源合理配置及高效利用技术体系, 并对优化配置后的种植结构及经济效益进行了深入分析, 论证了水资源优化配置的合理性, 研究结果为实现水资源开发利用与当地经济发展、生态环境保护之间的平衡协调发展提供了科学依据。

参考文献 (References)

- [1] CERMAK, J., KUCERA, J. and NADEZHINA, N. Sap flow measurements with some thermodynamic methods, flow integration within trees and scaling up from sample trees to entire forest stands. *Trees*, 2004, 18: 529-546.
- [2] LU, P., URBAN, L. and ZHAO P. Granier's Thermal Dissipation Probe (TDP) method for measuring sap flow in trees: Theory and practice. *Acta Botanica Sinica*, 2004, 46(6): 631-646.
- [3] 周惠成, 彭慧, 张弛, 等. 基于水资源合理利用的多目标农作物种植结构调整与评价[J]. *农业工程学报*, 2007, 9: 45-49.
- [4] ZHOU Huicheng, PENG Hui, ZHANG Chi, et al. Optimization and evaluation of multi-objective crop pattern based on irrigation water resources allocation. *Transactions of the CSAE*, 2007, 9: 45-49.
- [5] 贾宝全, 慈龙骏. 绿洲景观生态规划研究: 以新疆石河子垦区 150 团场为例[J]. *干旱区地理*, 1999, 22(4): 62-70.
- [6] JIA Baoquan, CI Longjun. Landscape ecological planning of oasis—A case study on 150th regiment of Shihezi Reclamation Area. *Arid Land Geography*, 1999, 22(4): 62-70.
- [7] 徐万林, 粟晓玲. 基于作物种植结构优化的农业节水潜力分析——以武威市凉州区为例[J]. *干旱地区农业研究*, 2010, 5: 161-165.
- [8] XU Wanlin, SU Xiaoling. Agricultural water-saving potential analysis based on crop planting structure optimization—A case study of Liangzhou. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2010, 5: 161-165.
- [9] 刘迪, 胡彩虹, 吴泽宁. 基于定额定量分析的农业用水需求预测研究[J]. *灌溉排水学报*, 2008, 27(6): 88-91.
- [10] LIU Di, HU Cailong and WU Zening. Predicting method for demand of agriculture water based on quantitative analysis. *Journal of Irrigation and Drainage*, 2008, 27(6): 88-91.
- [11] 蔡甲冰, 蔡林根, 刘钰, 等. 在有限供水条件下的农作物种植结构优化——簸箕李引黄灌区农作物需、配水初探[J]. *节水灌溉*, 2002, 1: 20-22.
- [12] CAI Jiabing, CAI Lingen, LIU Yu, et al. Optimization of crop planting structure in the limited water supply condition—Measures of Li Yinhuang irrigation area, water distribution of crop. *Water Saving Irrigation*, 2002, 1: 20-22.
- [13] 刘俊. 缺水地区农业种植结构调整与经济灌溉定额研究[D]. 中国水利水电科学研究院, 2007.
- [14] LIU Jun. Research on agriculture structure adjustment and economical irrigation quota on water shortage area. *China Institute of water resources and Hydropower Research*, 2007.