

基于 WEAP 模型的董志塬水资源合理利用研究

王帅兵^{1,2}, 李常斌^{1,2}, 杨林山^{1,2}, 张雪蕾², 杨文瑾², 王雄师³

(1. 兰州大学资源环境学院, 甘肃 兰州 730000; 2. 兰州大学西部环境教育部重点实验室, 甘肃 兰州 730000;

3. 甘肃省科学院, 甘肃 兰州 730000)

摘要: 以董志塬为研究区, 依据地区经济社会状况及发展规划计算水资源需求量。选用影响该区水资源供给及利用的三个主要因素(开源、推行节水措施和缩减地下水开采)构造 8 种水资源配置预案, 基于 WEAP 模型预测董志塬三个规划年的水资源供需状况并进行最佳预案遴选。结果表明: 8 种配置预案在不同年份供需关系差异较大; 考虑台塬区地下水系统健康的减采措施的最佳预案下, 2015 年(缩减开采)和 2020 年(缩减开采 + 节水措施)水资源供需基本达到平衡, 2030 年(缩减开采 + 节水措施 + 基于立地便利的开源)董志塬总体处于缺水状态, 供水缺口为 1 482 万 m³。可见, 经济社会发展背景下, 水资源利用结构发生转变, 水资源稀缺地区水资源配置的思路也应该作出相应的调整。从长远来看, 积极寻求外调水源是实现黄土台塬区可持续发展的唯一途径。

关键词: WEAP 模型; 水资源利用; 供需关系; 董志塬

中图分类号: TV213.9 **文献标志码:** A

Reasonable utilization of water resources based on WEAP simulations in the Dongzhi Loess Tableland

WANG Shuai-bing^{1,2}, LI Chang-bin^{1,2}, YANG Lin-shan^{1,2}, ZHANG Xue-lei²,
YANG Wen-jin², WANG Xiong-shi³

(1. College of Earth and Environment Science, Lanzhou University, Lanzhou, Gansu 730000, China;

2. Key Laboratory of Western China's Environmental Systems (Ministry of Education), Lanzhou University, Lanzhou, Gansu 730000, China;

3. Academy of Sciences of Gansu Province, Lanzhou, Gansu 730000, China)

Abstract: We selected the Dongzhi Loess Tableland as target area. Regional water demand was quantified according to socio-economic survey and forecasting. The three main factors including additional water sources, water savings and deduction of groundwater abstraction, which influenced the local water supply, were adopted to compose eight scenarios to predict future water allocation in the area. Then, the WEAP model (Water Evaluation and Planning System) was used to simulate the relationship between water supply and demand in the selected three planning years, best strategies were defined for each planning year based on a comprehensive analysis of the model outputs. Results showed obvious differences between water supply and demand analysis among the eight scenarios simulations. As from the best strategies analysis, under the scenario of groundwater abstraction deduction, it was very near to a budget balance between water supply and demand in the year of 2015, while a similar trend was noted for the year of 2020, with adding the other implementation of water savings. In the planning year of 2030, along with the increase of water demand due to socio-economic development, water deficit ($1.482 \times 10^7 \text{ m}^3$) was found although all the three supply methods were included in the scenario. Collectively, we can see that under a background of locally socio-economic development, structure of water utilization would change, ideas for water allocation should be adjusted along with it, especially in the water-scarce region. For a sustainable future in the loessial tableland area, water diversion might be the only way to maintain the local socio-economic development.

收稿日期: 2014-06-06

基金项目: 兰州大学中央高校基本科研业务费专项资金(lzujbky-2014-118); 国家自然科学基金项目(41001014); 高等学校博士学科专项科研基金项目(2011021110011)

作者简介: 王帅兵(1991—), 女, 满族, 辽宁清原人, 硕士研究生, 主要从事生态水文方面的研究。E-mail: wangshb13@lzu.deu.cn

通信作者: 李常斌(1976—), 男, 甘肃靖远人, 博士, 副教授, 主要从事旱区流域科学与水资源方面的研究。E-mail: lich@lzu.edu.cn。

Keywords: WEAP model; reasonable utilization of water resources; relationship between water supply and demand; Dongzhi Loess Tableland

2012年3月在法国举办的第六届“世界水论坛”再次强调了水资源在世界和平和地区稳定方面的重要性,提出通过强化各种涉水管理,实现“捍卫所有人的共同福利”的宣言^[1]。“宣言”的核心理念是通过行之有效的水政举措,减少或避免水资源规划决策中的“管理型”疏漏导致的各种不良后果。

世界各国在水政管理上的理念和投入各不相同。以色列的用水实践表明,在水资源稀缺地区,有效的管理往往产生良好效益^[2]。因而,作为实现水资源有效管理的必不可少的科学储备,水资源系统供需分析及优化配置等内容显得迫切而重要。

因涉及自然-人工二元体系的多个层面^[3],水资源管理的对象往往是一个复杂巨系统^[4]。相应地,水资源分析的内容和水资源配置的手段也呈现综合化和模式化特点^[5]。近几十年,经济社会发展的内在需求促使水资源需量不断增加,基于经济效益最大化的用水方式导致的资源和环境危机日益凸显。在可持续发展框架下,人们越来越重视水资源开发利用和生态环境的平衡问题,逐渐地把水环境健康纳入到水资源系统分析及配置工作中,并采用水系统规划综合模型,模式化构建水资源开发利用预案,全面考虑经济社会发展和区域水资源供、用结构,在此基础上进行情景分析^[6],为合理有效的水政管理决策提供科学数据支撑。

黄土高原降水稀少,生态环境本底脆弱,水资源是该区经济-社会-生态复合系统健康稳定发展的瓶颈^[7-9]。黄土台塬区周边河谷深切,可用地表水有限,地下水成为经济社会发展的主要水源。近几十年,随着地下水开发利用程度不断趋高,地下水位连续下降,部分地区的降落漏斗甚至出现叠加连并,地下水系统健康面临严重危机^[10]。从黄土台塬区社会水资源系统运行的有效性和可持续性考虑,需要开展综合考虑地区经济发展和水环境健康的水资源系统评估工作,以对该区水资源管理决策形成支撑^[11-13]。

在众多的水资源系统优化配置方法中,WEAP (Water Evaluation And Planning System) 兼顾考虑了水质和生态效益等环境热点问题,模型界面友好,计算过程明晰,近年来在国内外得到了广泛应用^[14-18]。本文以甘肃董志塬为研究区,根据该区经济社会发展及水资源供用实际,设置8种配置预案,基于WEAP就各预案下董志塬水资源供需矛盾进行模

拟,模拟结果用于供水效益对比分析和最优方案遴选,并就最优方案在不同规划年的供水效益进行探讨。研究可为董志塬地区水资源合理利用提供科学数据支撑,也可为黄土台塬区水资源系统规划评估提供模式借鉴。

1 研究区概况

董志塬地处甘肃省东部庆阳市境内,位于E107°26'~107°51'、N35°19'~36°06'之间,行政区域包括庆阳市西峰区全部、庆城县、合水县和宁县的部分区域。董志塬海拔在1200~1500m之间,塬区总面积2800km²,坡度小于10°,塬面面积1042km²,是我国黄土高原面积最大、保存最完整、黄土沉积最厚的黄土塬。董志塬塬面无河流水系发育,塬体东侧为马莲河,西侧为蒲河(图1)。具有明显的温带大陆性季风气候特征,年均气温8.6℃,年均降水量525mm,年均小型蒸发皿蒸发量1600mm。

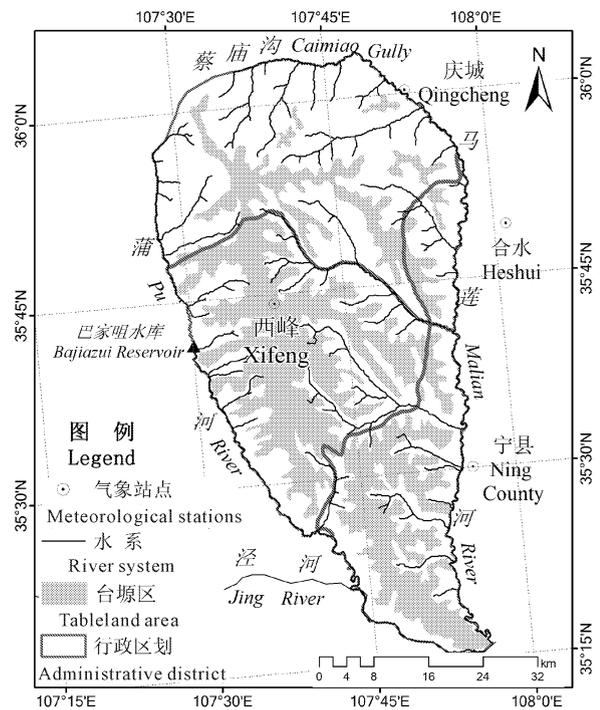


图1 董志塬行政区划及水系图

Fig.1 Map for distribution of the administrative districts and stream networks in Dongzhi Loess Tableland

董志塬社会水资源供给包括地表水和地下水两个来源。地表水方面,西峰区由蒲河巴家咀水库(图1)经7级泵站提至自来水公司和农灌系统,其余三县在河道取水便宜之处经小型塘坝蓄引取水。2010

年,四县区(西峰、宁县、庆城、合水)地表水供水量分别为 4 633、1 301、867 万 m^3 和 217 万 m^3 ,总量 7 018 万 m^3 。地下水方面,基于水均衡法和开采系数法计算的董志塬地区地下水允许开采量分别为 1 708 万 m^3 和 1 745 万 m^3 ,考虑到该区地下水位下降、地下水系统退化的事实,采用水均衡法计算结果,以四县区在董志塬的水井数为权重进行供水分摊,用于供需平衡及规划分析。

董志塬社会水资源需求量按生活(人均用水定额法)、工业(产值相关法)、农业(作物面积定额法)及生态保留(林草面积定额法)等四个方面进行统计。2010 年,四县区(西峰、宁县、庆城、合水)需水总量分别为 4 762、1 927、1 342 万 m^3 和 336 万 m^3 ,需水总量 8 366 万 m^3 。

表 1 2010 年董志塬水资源供需平衡/ 10^4 m^3

Table 1 Balance of water supply and demand in Dongzhi Loess Tableland in 2010

行政区划县 Administrative district	需水 Water demand	供水 Water supply			均衡 Water balance
		地表 Surface water	地下 Groundwater	合计 Total	
西峰 Xifeng	4762	4633	960	5593	831
宁县 Ning County	1927	1301	408	1709	- 218
庆城 Qingcheng	1342	867	272	1139	- 203
合水 Heshui	336	217	68	285	- 51
合计 Total	8366	7018	1708	8726	360

2010 年,董志塬地区除西峰外,其余三县均为供需失衡。随着社会经济的发展,上述情形有可能进一步加重。特别是在负衡压力的驱使下,董志塬地下水资源的持续开发,将导致该区地下水位继续下降。由于董志塬地区河流深切,地表水不能补给地下水,而深埋地下水接受降水补给的比例通常很小^[19],地下水系统一旦破坏很难恢复。从这个角度,兼顾考虑地区经济发展和区域地下水系统健康的综合水资源规划及评估工作就很有意义。

2 研究方法

2.1 WEAP 模型简介

WEAP 在一定时空尺度框架下对水资源系统进行概化。用户可对水资源系统的构成如河流、需水点、输水连接与回流连接等进行定义;可设置现状年水资源供需及污染荷载;也可基于假设进行预案设定。在上述工作的基础上,用户根据用水满足度和环境目标可达性,对各预案结果进行分析和比较(图 2),实现对水资源系统的综合评估。

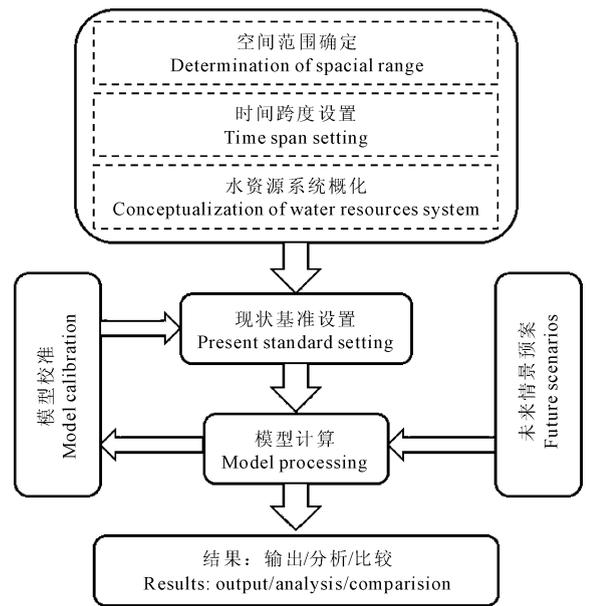


图 2 WEAP 模型框架

Fig. 2 Description of the WEAP model's framework

2.2 基于 WEAP 的董志塬水资源评估模型构建

2.2.1 空间范围 用户可直接在 WEAP 内置地图上选择相应区域,也可加载具统一投影的矢量与栅格电子图。本文以董志塬边界为模型边界,董志塬所在的行政区划县、河流、水库等数据经统一投影后加载,作为水资源系统概化的空间依据。

2.2.2 时间跨度 时间跨度包括时间范围、步长和水文起始年的设置。时间范围指的是现状基准年至预案的最后一年,模型在该时间跨度内进行逐月计算;步长是指模型运行的最小时间单位,一般为月,也可以进行手动调整;水文起始年指模型运行的第一年或日历年中的某年,可根据实际情况选择,如灌溉开始月份或水库开始蓄水月份所对应的年份等。本文以月为步长,根据 2005—2010 年调查资料率定模型;以 2010 年 1 月为起始年月,对 2010—2030 年期间董志塬水资源在不同开发利用预案下的供需情况进行模拟;并以 2015、2020 和 2030 年为评价年,对董志塬水资源供需平衡进行分析。

2.2.3 供水端 地表水方面,蒲河中游巴家咀水库以提灌方式为西峰区供水,此外尚有部分就近取用的河道水源。地下水方面,董志塬共有抽水井 957 眼,其中,西峰有 637 眼、宁县有 208 眼,庆城县有 97 眼,合水县有 15 眼。根据库容、水位、缓冲系数和入流等参量体系进行水库调度过程计算,将塬区所属县区的抽水井概化为地下水源节点进行模型赋值。

2.2.4 需水端 基于 WEAP 的董志塬水资源系统设置和定义如图 3 所示。以 X、N、Q 和 H 表示西峰、

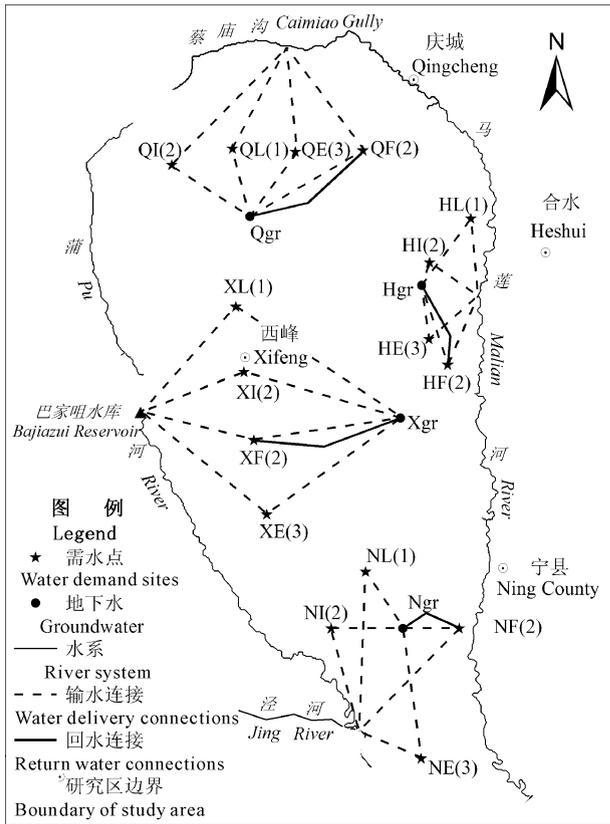


图 3 董志塬水资源系统 WEAP 模型概化

Fig.3 Simplification of water resources system in Dongzhi Loess Tableland based on WEAP framework

宁县、庆城和合水等 4 个行政区;根据董志塬水资源利用情况将需水端划分为生活、工业、农灌和生态等 4 个大类,分别以 L、I、F 和 E 表示;用 Gr 表示地下水供水。需水端供水优先顺序为:1、生活、2、工业、3、农田和生态。

2.3 水资源配置预案

2.3.1 社会经济发展规划 根据《庆阳市十二五发展规划纲要》和《甘肃省全面建设小康社会规划纲要》等资料,对塬区人畜增长、城镇化、工农业发展及生态保护等用水单位的变化进行预测。包括种植农业和人工生态在内的灌溉面积维持 2010 年水平,人畜及工业规模扩大是未来董志塬水资源耗用变化的主要原因。各规划年董志塬社会经济指标构成如表 2 所示。

2.3.2 水资源系统配置预案 水资源系统配置预案是在特定社会经济环境和政策技术条件下,水资源系统能够提供的水资源数量和方法的统一描述^[20]。在前述经济社会发展预测的基础上,按开源、高效利用和地下水系统健康等三个思路规划近期(2015 年)和中、长期(2020 和 2030 年)水资源开发利用预案。

(1) 开源是解决董志塬未来水资源供需矛盾的有力手段。董志塬周边水资源条件较好的水系,如蒲、泾交汇段和马莲河及所属支流规划和建设一定

表 2 规划年社会经济指标构成

Table 2 Socio-economic index in the three planning years

行政区县 Administrative district	年份 Year	人口/万人 Population		牲畜/万头 Livestock		工业增加值/亿元 Industrial added value /10 ⁶ yuan	农灌面积/hm ² Agricultural irrigation area			生态面积 Irrigated area for ecology /hm ²
		城镇 Urban	农村 Rural	大牲畜 Big livestock	小牲畜 Small livestock		水田 Paddy	水浇地 Irrigated frmland	菜田 Backyard vegetables	
西峰 Xifeng	2015	6.80	28.25	8.98	31.78	65.14	104	6508	1496	671
	2020	7.01	29.09	9.24	32.71	109.76	104	6508	1496	671
	2030	8.67	35.90	9.33	33.84	236.94	104	6508	1496	671
宁县 Ning County	2015	2.92	12.11	3.85	13.62	27.92	45	2789	641	124
	2020	3.00	12.47	3.96	14.02	47.04	45	2789	641	124
	2030	3.71	3.71	4.11	14.5	101.56	45	2789	641	124
庆城 Qingcheng	2015	1.94	8.07	2.57	9.08	18.61	30	1859	427	82
	2020	2.00	8.31	2.64	9.35	31.36	30	1859	427	82
	2030	2.48	10.29	2.74	9.67	67.7	30	1859	427	82
合水 Heshui	2015	0.49	2.02	0.64	2.27	4.65	7	465	107	21
	2020	0.50	2.08	0.66	2.34	7.84	7	465	107	21
	2030	0.62	2.57	0.68	2.42	16.93	7	465	107	21
合计 Total	2015	12.15	50.45	16.04	56.75	116.32	186	11621	2671	898
	2020	12.51	51.95	16.50	58.42	196.00	186	11621	2671	898
	2030	15.48	52.47	16.86	60.43	423.13	186	11621	2671	898

规模的小型蓄、提、引工程,可新增供水量 900 万 $\text{m}^3 \cdot \text{a}^{-1}$;此外,可在西峰新城区规划“雨洪集蓄保源生态灌溉工程”,预计年供水量 260 万 m^3 。

(2) 高效利用方面,可通过降低工、农业用水定额等节水措施,提高水资源利用率。随着科技进步,

产业用水效率将进一步提高,工业用水定额和农灌用水定额将逐年减少,至 2030 年,工业用水定额减少到 20 $\text{m}^3 \cdot \text{万元}^{-1}$,水田、水浇地和菜田的灌溉定额分别减少至 2 200、1 900 $\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ 和 1 600 $\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ (表 3)。

表 3 规划年行业用水定额

Table 3 Industrial water quota in the three planning years

年份 Year	生活用水 Living/ $(\text{m}^3 \cdot \text{人}^{-1})$				工业用水 Industry $/(\text{m}^3 \cdot \text{万元}^{-1})$	农业用水 Agriculture/ $(\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2})$			生态用水 Ecology $/(\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2})$
	城镇 Urban	农村 Rural	大牲畜 Big livestock	小牲畜 Small livestock		水田 Paddy	水浇地 Irrigated farmland	菜田 Backyard vegetables	
2015	29.66	14.83	9.24	2.24	30	2800	2600	2500	2100
2020	29.77	15.81	9.27	2.25	25	2500	2300	2000	2100
2030	29.91	15.61	9.30	2.26	20	2200	1900	1600	2100

(3) 过去 30 年(1981—2010 年),董志塬地下水位持续下降,可用地下水资源锐减。按照当前的开采规模,董志塬地下水资源将快速枯竭,严重威胁到该区地下水资源的可持续利用。从区域地下水系统健康的角度,当可开采量与实际开采量的比值为 0.8

时,可认为采补基本达到平衡^[21]。基于此,可得董志塬地下水达到采补平衡的开采量为 1 700 万 $\text{m}^3 \cdot \text{a}^{-1}$,未来宜逐步减少地下水开采量,使董志塬地下水在 2030 年达到采补平衡。

上述思路经组合得到 8 种预案,如表 4 所示。

表 4 董志塬水资源系统配置预案

Table 4 Scenarios for water resources allocation in Dongzhi Loess Tableland

因素 Elements	选项 Options	预案 1 Scenario 1	预案 2 Scenario 2	预案 3 Scenario 3	预案 4 Scenario 4	预案 5 Scenario 5	预案 6 Scenario 6	预案 7 Scenario 7	预案 8 Scenario 8
开源 Developing water resources	是 Yes					✓	✓	✓	✓
	否 No	✓	✓	✓	✓				
高效利用 Efficient utilization	是 Yes		✓	✓			✓	✓	
	否 No	✓			✓	✓			✓
缩减开采 Deduction of abstraction	是 Yes		✓		✓			✓	✓
	否 No	✓		✓		✓	✓		

3 结果与分析

3.1 模型精度评价

以 2005—2010 年董志塬水资源利用调查数据为输入,在模型输出值与调查值之间进行比较,结果如图 4 所示,各行政区在不同年份的需水规模对应较好,总体来看,整个模拟期间,模型模拟的需水规模和调查值相对误差西峰最小,为 1.67%,庆城最大,为 4.50%,塬区平均为 3.33%。表明模型结果与实际值较吻合,结果可信度高,可用来预测规划期水资源供需规模。

3.2 需水预测

WEAP 模型框架下,开源和地下水开采量缩减在供水端发生作用,节水与否对水资源需求产生影

响,在需水端发生作用。按董志塬社会经济各指标预测值,针对节水与否进行模型模拟。各规划年生活需水和工业需水平均到每月,农灌与生态需水平均到 4—9 月,进行 WEAP 模型赋值,各规划年模拟需水量如表 5 所示。

由上表可知,不考虑节水措施,三个规划年需水总量分别为 10 289、13 530 万 m^3 和 22 609 万 m^3 ;考虑节水,三个规划年需水总量分别为 8 818、9 783 万 m^3 和 12 860 万 m^3 。节水措施有望使董志塬水资源利用量在三个规划年分别减少 1 471、3 747 万 m^3 和 9 749 万 m^3 ,减少比例分别为 14%、28% 和 43%。可见,采取节水措施和提高水资源利用效率,能在很大程度上缓解董志塬地区的用水压力。

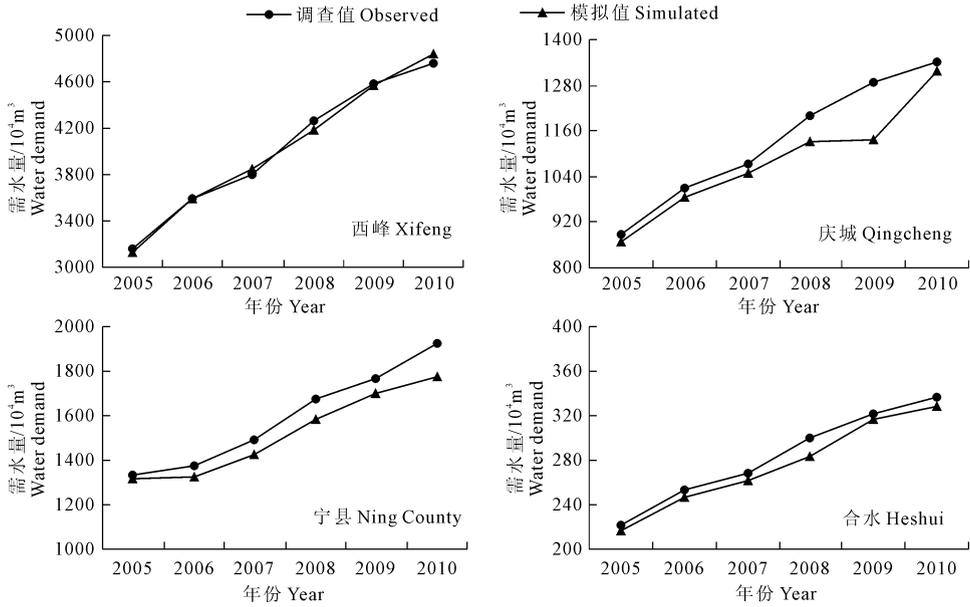


图 4 董志塬各行政区 WEAP 模拟值和实测值对比

Fig.4 Comparison between the observed and simulated water demands in different districts of Dongzhi Loess Tableland

表 5 节水预案下各行业需水量/10⁴ m³

Table 5 Industrial water demands under water saving scenarios

类型 Type	规划年份 Planning Year	生活 Living	工业 Industry	农业 Agriculture	生态 Ecology	合计 Total
不节水 No water saving	2015	1399	4670	4031	188	10289
	2020	1441	7869	4031	188	13530
	2030	1400	16989	4031	188	22609
节水 Water saving	2015	1399	3489	3742	188	8818
	2020	1441	4900	3254	188	9783
	2030	1400	8495	2677	188	12860

3.3 供水预测

针对前文设定的开源和地下水减采预案进行供水规模预测,结果如图 5 所示。

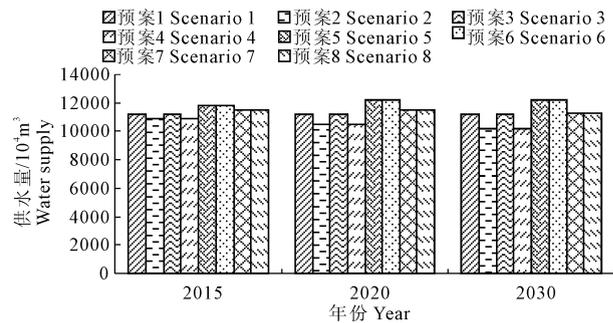


图 5 规划年不同预案下的供水量

Fig.5 Simulated water supply under different water allocation scenarios in the three planning years

开源和地下水减采对董志塬供水量的影响较大,两个因素构成 4 类供水预案。预案 1 和 3 为不开源和维持地下水开采现状下的供水规模;预案 2 和 4 为不开源和地下水减采后的供水规模;预案 5

和 6 为开源和维持地下水开采现状下的供水规模;预案 7 和 8 为开源和地下水减采后的供水规模。可知,预案 2 和 4 供水量最小,预案 5 和 6 供水量最大。图中,预案 1、4、5、8 对应现状水资源利用效率,其余预案对应需水端高效利用。

3.4 推荐预案筛选及供需关系分析

WEAP 框架下,进行董志塬各用水单位供水优先度、保证率等参量设置,模拟水资源供需矛盾并进行分析。模拟结果表明,2015 年,所有预案都实现了供需正均衡,其中预案 4 供水盈余最小,表明 2015 年预案 4 为最优(供水压力和浪费最小且能满足需求,下同)。2020 年,预案 2、3、6 和 7 为正均衡,预案 2 所产生的盈余水量最小,2020 年,预案 2 为最优。2030 年,所有预案均为负均衡,预案 6 缺水最小,预案 7 次之。由于预案 6 未进行地下水减采,不利于地下水系统的维护,以预案 7 为最优,该预案下的缺水,可通过区域调水指标或压减社会经济指标来予以解决。由上述分析可以看出,随着社会经济和技术水平的发展,区域水资源供需状况发生变化,所

对应的预案选择标准也随之变化。

以上述不同规划年最优预案为推荐预案,在董志塬各行政区间进行 WEAP 模型设置,基于模型模拟,探讨各行政单元水资源供需关系,如表 6 所示。由表可知,上述推荐预案下,2015 年和 2020 年董志塬水资源供需总体实现正均衡。分区来看,2015

年,西峰供水有所盈余;2020 年,西峰、宁县供水有盈余;其余各规划年各行政区均略有缺水。随着经济社会发展对水资源内在需求的进一步增加,2030 年董志塬总体处于缺水状态,供水缺口为 1 482 万 m^3 ,行政单元以宁县和庆城最突出,分别短缺 618 万 m^3 和 544 万 m^3 。

表 6 推荐预案下各区水资源供需关系/ $10^4 m^3$

Table 6 Relationship between water supply and demand in different districts under recommended scenarios

年份 Year	行政区 Administrative district	需水 Water demand					供水 Water supply					供需 均衡 Water balance
		生活 Living	工业 Industry	农灌 Irrigation	生态 Ecology	合计 Total	地表 Surface water	地下 Groundwater		其它 Others	合计 Total	
								泉水 Spring	机井 Pumping			
2015	西峰 Xifeng	812	2615	2256	141	5824	3867	840	1343	260	6310	486
	宁县 Ning County	283	1120	967	26	2396	1086	360	575	216	2237	- 159
	庆城 Qingcheng	243	747	645	17	1652	724	240	384	144	1492	- 160
	合水 Heshui	61	187	162	4	414	181	60	96	36	373	- 41
	合计 Total	1399	4669	4030	188	10286	5858	1500	2398	656	10412	126
2020	西峰 Xifeng	836	1822	2258	141	5057	3867	840	1082	260	6049	992
	宁县 Ning County	291	781	968	26	2066	1086	360	464	216	2126	60
	庆城 Qingcheng	251	521	645	17	1434	724	240	309	144	1417	- 17
	合水 Heshui	63	130	161	4	358	181	60	77	36	354	- 4
	合计 Total	1441	3254	4031	188	8914	5858	1500	1932	656	9946	1032
2030	西峰 Xifeng	875	4757	1499	141	7272	4633	840	952	764	7189	- 83
	宁县 Ning County	296	2039	642	26	2903	1301	360	408	216	2285	- 618
	庆城 Qingcheng	263	1359	428	17	2067	867	240	272	144	1523	- 544
	合水 Heshui	66	340	107	4	517	217	60	68	36	381	- 136
	合计 Total	1500	8495	2677	188	12860	7018	1500	1700	1160	11378	- 1482

3.5 推荐预案供水满足度

WEAP 可基于水资源供需关系得出分区供水满足度。模拟结果表明,2015 年和 2020 年各分区供水满足度都在 0.9 以上,总体供水满足度大于 1,表明在这两个规划年地区的需水基本得到满足,社会发展指标与水资源管理措施配合得当;到 2030 年,除西峰之外的三个地区供水满足度都低于 0.8,呈现一定程度的水资源缺口。

表 7 推荐预案下供水满足度

Table 7 Water requirement satisfaction degrees under recommended scenarios

行政区 Administrative district	2015	2020	2030
西峰 Xifeng	1.08	1.20	0.99
宁县 Ning County	0.93	1.03	0.79
庆城 Qingcheng	0.90	0.99	0.74
合水 Heshui	0.90	0.99	0.74
董志塬 Dongzhi Loess Tableland	1.01	1.12	0.88

4 结 论

基于 WEAP 模型框架,构建董志塬水资源系统规划和评估模型,模型率定后用于开源、节水和地下水减采等三种因素组合的 8 种预案情景模拟,并根据模拟结果进行供需关系分析和确定推荐预案。

8 种配置预案在不同年份供需关系差异较大,2015 年预案 4(不开源、不节水、缩减开采)为最佳方案,2020 年预案 2(不开源、节水、缩减开采)为最佳方案,2030 年预案 7(开源、节水、缩减开采)为最佳方案。水资源合理配置措施随着经济社会发展用水量的增加存在一定的演化和渐变特征。推荐预案下,2015 年和 2020 年水资源供需基本实现平衡,2030 年依然存在较大水资源缺口,不考虑放缓经济发展的背景下,为维系区域地下水系统健康稳定,积极寻求外调水源是实现黄土台塬区可持续发展的唯一途径。

参考文献:

- [1] 第六届世界水论坛部长宣言[J].中国水利,2012,(6):6-8.
- [2] 郇 际.中国和以色列水资源战略比较分析[J].人民黄河,2010,32(7):36-37.
- [3] 王 浩,严登华,贾仰文,等.现代水文水资源学科体系及研究前沿和热点问题[J].水科学进展,2010,21(4):479-489.
- [4] 李晓洋,成自勇,张 芮,等.河西走廊石羊河流域民勤县水资源优化配置研究[J].干旱地区农业研究,2013,31(3):217-221.
- [5] 严登华,王 浩,王建华,等.国际水文计划发展与中国水资源研究体系构建[J].地理学报,2004,59(2):249-259.
- [6] 王忠静,赵建世,熊雁晖.现代水资源规划若干问题及解决途径与技术方法[J].海河水利,2003,(3):15-19.
- [7] 沈 红,刘文兆.基于宏观地理因子估算黄土高原地区降水水资源空间分布[J].干旱地区农业研究,2011,29(1):237-241.
- [8] 张 勃,张调风.1961—2010年黄土高原地区参考作物蒸散量对气候变化的响应及未来趋势预估[J].生态学杂志,2013,32(3):733-740.
- [9] 赵红岩,张旭东,王有恒,等.陇东黄土高原气候变化及其对水资源的影响[J].干旱地区农业研究,2011,29(6):263-268.
- [10] Sun Y Q, Qian H, Wu X H. Hydrogeochemical characteristics of groundwater depression cones in Yinchuan City, Northwest China [J]. Chinese Journal of Geochemistry, 2007,26(4):350-355.
- [11] 周 斌,魏玉涛.陇东盆地地下水环境问题及防治意见探讨[J].地下水,2010,(1):119-120.
- [12] Cai Q G. The Relationships between Soil Erosion and Human Activities on the Loess Plateau [C]//Proceedings of the 12th International Soil Conservation Organisation Conference. Beijing: Soil Conservation Organisation, 2002:26-31.
- [13] Taylor CJ, Alley WM. Ground-water-level monitoring and the importance of long-term water-level data[R]. Reston: US Geological Survey, 2002.
- [14] 吴钦孝,赵鸿雁.黄土高原水土保持目标及对策[J].水土保持研究,1999,6(2):77-80.
- [15] Al - Omari A, Al - Quraan S, Al - Salihi A, et al. A water management support system for amman zarqa basin in jordan[J]. Water Resource Management, 2009,(23):3165-3189.
- [16] Giertz S, Diekkrüger B, Höllemann B. Assessment of the current and future water balance of the Ouémécatchment (Benin) for an integrated water resource management by using the WEAP water planning model[C]//EGU General Assembly Conference Abstracts. Vienna: EGU General Assembly, 2010,12:8934.
- [17] Linsen M, Rodrigues L. The role of water balance accounting in the decision-making process leading to new small dams in the Preto River Basin in the Federal District, Brazil [C]//EGU General Assembly Conference Abstracts. Vienna: EGU General Assembly, 2010,12:2691.
- [18] 马金辉,沈巨龙,马正耀,等.基于 WEAP 模型水管理方案影响的量化分析[J].甘肃科技学报,2009,21(4):121-124.
- [19] Li C, Qi J, Wang S, et al. A holistic system approach to understanding underground water dynamics in the loess tableland: A case study of the dongzhi loess tableland in northwest China [J]. Water Resources Management, May 17, 2014.
- [20] Yang JS, Chung ES, Kim SU, et al. Prioritization of water management under climate change and urbanization using multi-criteria decision making methods [J]. Hydrology & Earth System Sciences, 2012,16(3):801-814.

(上接第 237 页)

参考文献:

- [1] 姜 彤,许朋柱.自然灾害研究中的社会易损性评价[J].中国科学院院刊,1996,(3):34-39.
- [2] 许彦平,姚晓红,朱德强.20世纪天水干旱气候演变对农业影响及对策研究[J].干旱地区农业研究,2002,20(1):120-124.
- [3] 李世奎,霍治国,王道龙,等.中国农业气象灾害风险评估与对策[M].北京:气象出版社,1999.
- [4] 刘 毅,吴绍洪,徐中春,等.自然灾害风险评估与分级方法论探研[J].地理研究,2011,30(2):195-208.
- [5] 徐良炎,高 歌.近50年台风变化特征及灾害年景评估[J].气象,2005,31(3):41-45.
- [6] 山义昌.冬小麦风雹灾害的等级划分与灾情评估[J].气象,1998,24(2):49-51.
- [7] 魏 丽,王保生.江西省区域性洪涝灾害模糊综合评判方法的研究[J].中国农业气象,1998,19(1):49-52.
- [8] 许彦平,姚晓红,万 信,等.天水蜜桃开花坐果期霜冻灾害气象风险评估[J].中国农业气象,2013,34(05):606-610.
- [9] 许彦平,姚晓红,袁雅萍,等.农业气象灾害对天水苹果生产的影响研究[J].果树学报,2009,26(5):593-598.
- [10] 许彦平,姚晓红,袁亚萍.气象灾害对天水苹果生产影响的评估技术研究[J].自然资源学报,2010,25(1):155-161.
- [11] 欧阳海,郑步忠,王雪娥,等.农业气候学[M].北京:气象出版社,1990.
- [12] 潘瑞炽,董愚得.植物生理学(下册)[M].北京:高等教育出版社,1988.
- [13] 华东师范大学,上海师范学院,南京师范学院.植物学(上册)[M].北京:高等教育出版社,1985.
- [14] 霍治国,李世奎,王素艳,等.主要农业气象灾害风险评估技术及其应用研究[J].自然资源学报,2003,18(6):692-703.
- [15] 张 星,郑有飞,周乐照.农业气象灾害灾情等级划分与年景评估[J].生态学杂志,2007,26(3):418-421.
- [16] 葛全胜,邹 铭,郑景云,等.中国自然灾害风险综合评估初步研究[M].北京:科学出版社,2008.