

基于线性规划和MODFLOW耦合技术的 人民胜利渠灌区水资源优化配置研究

胡艳玲^{1,2,3}, 黄仲冬^{1,2,3}, 齐学斌^{1,2,3*}, 张彦^{1,2,3}, 梁志杰^{1,2,3}, 赵志娟^{1,2,3}

(1. 中国农业科学院 农田灌溉研究所, 河南 新乡 453002; 2. 中国农业科学院

河南新乡农业水土环境野外科学观测试验站, 河南 新乡 453002;

3. 中国农业科学院农业水资源高效安全利用重点开放实验室, 河南 新乡 453002)

摘要:【目的】确定人民胜利渠灌区合理的农业水资源优化配置方案,为灌区水资源管理和机井布置提供科学依据。【方法】针对人民胜利渠灌区水资源分配不合理及灌区生态环境恶化问题,按照灌区地形地貌、工程类型和灌溉水源特点将灌区分分为Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ共3个计算单元,基于线性规划方法和MODFLOW地下水数值模型对灌区各计算单元进行不同水文年水资源优化配置,并模拟优化配置后地下水位动态变化。【结果】确定了不同水文年灌区的水资源优化配置方案:灌区计算单元Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ区不同水文年的井渠比例有所不同,平水年井渠比分别为1/3.14、1/3.25、1/2.92,丰水年分别为1/3.47、1/3.66、1/3.24,枯水年分别为1/2.75、1/2.77、1/2.60;平水年计算单元Ⅰ区模拟地下水埋深相比初始埋深下降0.01 m,水资源总量基本处于平衡状态;计算单元Ⅱ、Ⅲ区模拟地下水埋深相对于初始埋深分别上升了0.12、0.15 m;丰水年灌区计算单元Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ区模拟地下水埋深相比初始埋深分别上升了0.1、0.23、0.3 m;枯水年灌区计算单元Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ区模拟地下水埋深相比初始埋深分别下降了0.17、0.08、0.04 m。【结论】线性规划方法和MODFLOW地下水数值模型相结合能较好地模拟灌区地下水流场和预测地下水动态变化趋势,进而确定合理的水资源优化配置方案。

关键词:井渠结合灌区;线性规划;MODFLOW;水资源优化配置

中图分类号:S512.11

文献标志码:A

doi:10.13522/j.cnki.ggps.2019159

胡艳玲,黄仲冬,齐学斌,等. 基于线性规划和MODFLOW耦合技术的人民胜利渠灌区水资源优化配置研究[J]. 灌溉排水学报,2019,38(12):85-92.

0 引言

受全球气候变化及人类活动的影响,持续干旱发生的频率升高,持续时间变长,波及范围变广,再加上对水资源的不合理开采和分配,给水资源尤其农业水资源带来更大的压力。目前,灌区缺水现象严重,水资源欠缺合理的分配和统一的管理,导致地下水位逐渐下降,因此,合理的水资源优化配置尤其重要。地表水和地下水优化配置的方法主要有线性规划方法、非线性规划、动态规划、多目标决策技术、随机优化方法等,如齐学斌等^[1]建立了井渠结合灌区多水源联网优化调度模型,提高了灌区水资源的利用效率和灌溉保证率;杨玲等^[2]采用动态规划方法对灌区多水源优化配置进行研究;付银环等^[3]运用区间2阶段随机规划的方法建立了地表水和地下水联合调度的灌区之间水资源优化配置模型;岳卫峰等^[4]通过地下水动态耦合模型与地表水和地下水的联合优化模型,建立了灌区水资源联合调度模型。MODFLOW地下水数值模拟在地下水动态模拟中的应用较为广泛^[5]。张玉芳^[6]以内蒙李井灌区为研究对象,利用Visual MODFLOW软件建立了研究区二维数值模拟模型,对现状灌溉条件和优化灌溉条件下10 a后的地下水位进行了预测。但将线性规划方法和MODFLOW地下水数值模型相结合,用于井渠结合灌区水资源优化配置和调控研究的不多。因此,

收稿日期:2019-08-05

基金项目:中国农业科学院农田灌溉研究所所筹项目(FIRI2016-12,FIRI2016-10)

作者简介:胡艳玲(1981-),女,助理研究员,硕士,主要从事农业水资源高效利用研究。E-mail: huyanling_888@163.com

通信作者:齐学斌(1963-),男,研究员,博士生导师,主要从事农业水资源与环境方面的研究工作。Email: qxb6301@sina.cn

针对人民胜利渠灌区水资源利用现状,将线性规划方法和MODFLOW地下水数值模型相结合研究分析灌区水资源优化配置,为灌区水资源优化调度和管理提供科学依据。

1 研究区概况

人民胜利渠灌区位于河南省北部黄河北岸,E113°31′—114°25′,N35°0′—35°30′,是由黄河古河道冲积平原和太行山前冲击扇所组成的自西南向东北倾斜的一个条形地带,地势平坦。灌区地下水有2个含水层组,第1个含水层组为潜水含水层,底板埋深40~60 m;第2个含水层组为深含水层组,底板埋深90~100 m,灌区地下水流向与地面坡向一致,都是从西南至东北。灌区多年平均年降雨量600 mm左右,年内雨量分配不均,主要集中在6—9月,春旱夏涝的特点很明显,多年平均蒸发量为1 864 mm。灌区内主要作物有小麦、玉米、水稻、花生等,大部分实行小麦与玉米、花生、水稻轮作,一年二熟。灌区是典型的井渠结合灌区,灌溉水源主要包括引黄水、降雨和地下水,水资源利用方面存在空间分布不合理及超采地下水问题,导致地下水埋深加大,且水位呈下降趋势,甚至出现漏斗区域。针对这些问题对灌区引黄水和地下水进行合理的水资源优化配置,为解决灌区水资源短缺提供技术依据。

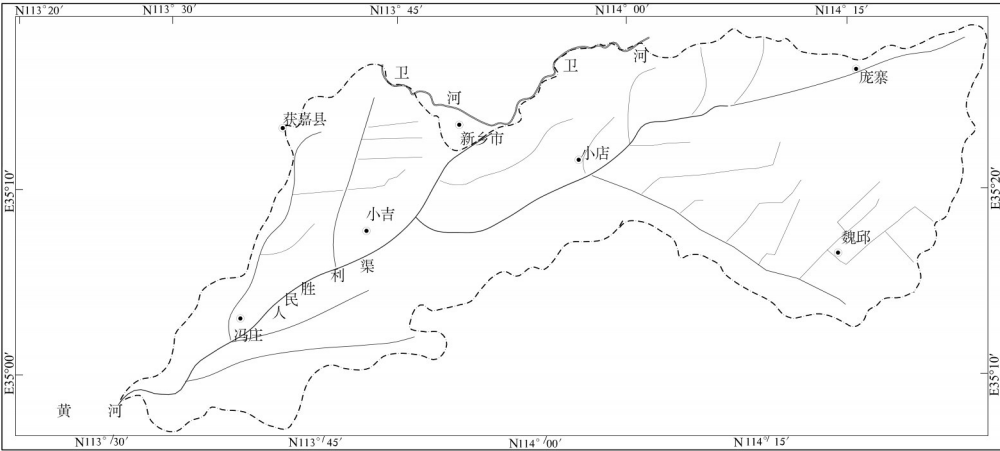


图1 人民胜利渠灌区位置图

2 研究方法

2.1 灌区计算单元划分

按照地形地貌、灌区内灌溉供水系统和灌溉水源的不同,在保证行政分区的完整性、利于灌区地下水资源开发利用、规划和管理的基础上,对灌区进行单元划分,分成I、II、III共3个计算单元,见图2。

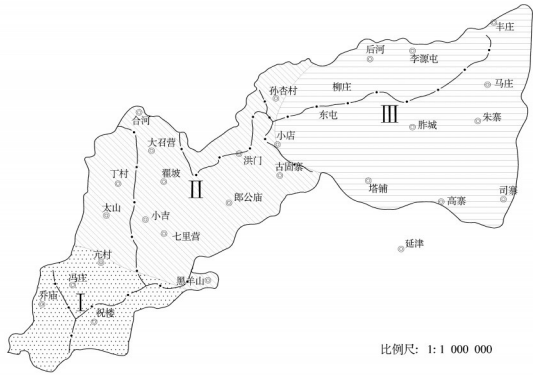


图2 人民胜利渠灌区单元划分

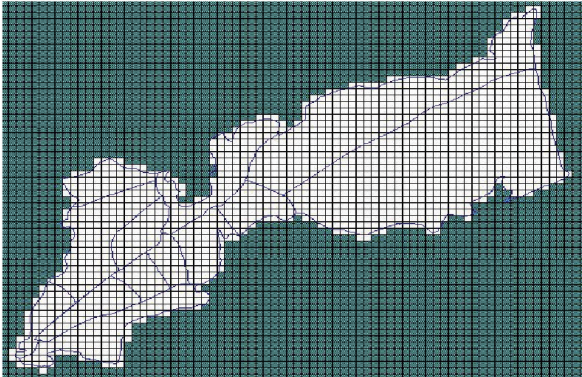


图3 人民胜利渠灌区单元格剖分

计算单元I区主要以渠灌为主,计算单元II区主要以井渠结合灌溉方式为主,计算单元III区以井灌为主。人民胜利渠灌区地下水埋深受地下水开采量、引黄水量、降水量和渠系布置的影响,时空分布上存在差异性,灌区计算单元I引黄水量大,地下水开采量较少,地下水埋深在5 m以内,靠近黄河的渠首区域多在2~3 m,甚至有些区域地下水水位在雨季接近地面;灌区计算单元II主要是井渠结合灌区,部分区域是纯井

灌区,地下水埋深多在6~10 m;灌区计算单元III位于渠末,引黄水相对难以到达,灌溉用水主要开采地下水,地下水埋深相对深,有的区域达到15 m以上。

2.2 数据来源

本文采用的数据主要包括人民胜利渠灌区1952—2014年的地下水埋深、降雨量、灌溉引水量、地下水开采量、水文地质参数。其中地下水埋深和灌溉引水量数据来源于引黄科研中心,降雨量来源于新乡市气象站,地下水开采量来源于新乡市水利年度统计报表,水文地质参数通过抽水试验取得。由于灌区内不同计算单元的水文地质参数不同,因此对各个计算单元模拟时需进行分区赋值。

2.3 地下水动态数值模型的建立

根据能量守恒定律、质量守恒定律和达西(Darcy)定律建立地下水动态数学模型,即:

$$S_s \frac{\partial h}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(K_x \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_y \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_z \frac{\partial h}{\partial z} \right) + W, \quad (1)$$

式中: S_s 为孔隙介质的贮水率; h 为地下水水头(m); K_x 、 K_y 、 K_z 为沿 x 、 y 、 z 轴方向上的渗透系数(m/d); W 为源汇项,流入为正,排出为负(m/d)。

1)时间的离散处理

通过对人民胜利渠灌区多年地下水埋深、降雨量、灌溉引水量以及地下水开采量等资料进行分析,把地下水埋深数据较为完整的2011年和2012年作为模型的率定期,将2013年作为模型的验证期,以月为应力期,时间以天计。

2)空间离散

根据研究区域水文地质图可知灌区渗流区属于潜水单一含水层。在Visual MODFLOW数值模型中仅设置1层含水层,以人民胜利渠灌区实际控制范围为边界,把经GIS矢量化的灌区边界图作为MODFLOW模型的底图,长度是92 400 m,宽约42 700 m,即有75行,160列(图3)。白色单元格、绿色单元格分别为有效单元格、无效单元格,其中绿色单元格不进行数值计算。

3)边界条件

灌区的补给排泄包括垂直方向和水平方向,垂直补给主要是渠灌入渗补给、井灌入渗补给和降雨入渗补给,垂直排泄主要包括地下水开采、潜水蒸发;水平补给排泄主要指通过灌区边界进行水资源交换,根据水文地质特点,灌区西南是渠首,定为定水头边界,灌区北边卫河设定为河流边界,灌区东边和南边与地下水等水位线基本垂直,设定为隔水边界。

4)初始条件

以2011年1月灌区地下水流场作为初始流场,把灌区地下水监测点的高程点加载到MODFLOW数值模型中,根据人民胜利渠灌区高程分布图和实际观测点的地下水埋深,计算出观测点的地下水位,通过插值得出灌区地下水的初始水位。

5)模型的识别率定与验证

模型的识别率定需要的确定参数是含水层的渗透系数和给水度。通过不断调整灌区的水文地质参数、边界值,使其地下水动态和空间分布状态接近实际情况,误差值在允许范围之内。模型以灌区2012年实测地下水位资料为率定水文地质参数,得出模拟地下水位与实际地下水位标准均方差、相关系数分别为2.1%、0.997;利用2013年实测地下水位参数进行验证,对模型参数进一步调整,得出模型模拟结果与验证参数标准均方差、相关系数分别为1.9%、0.998。模型的识别率定和验证效果均在0.99以上,所建立的地下水数值模型符合灌区地下水动态的实际情况。

2.4 线性规划方法

采用线性规划方法,以总用水量最小为目标,确定人民胜利渠灌区农业水资源优化配置方案,线性规划方程如式(2)所示。

$$\min F_{(x)} = \min \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^I [W_{t,i} R_{t,i} + (1 - w_{t,i}) G_{t,i}], \quad (2)$$

式中: t 为计算时段(旬); i 为计算单元, $i=1,2,\dots,I$; w 为每个计算单元在各个时段水资源优先级指数; R 为地表水量(万 m^3); G 为地下水量(万 m^3)。

约束条件为:

1) 引黄水可供水量

人民胜利渠井渠结合灌区 3 个计算单元各个时段利用的地表水总量之和不超过年引黄水总量:

$$\sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^I R_{t,i} \leq Q_R, \quad (3)$$

式中: Q_R 为年引黄水总量, 初始地表水总量取渠首多年平均引水量 $4.4 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。

2) 地下水可供水量

人民胜利渠井渠结合灌区 3 个计算单元各个时段的地下水开采量之和不超过年地下水可利用量:

$$\sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^I G_{t,i} \leq Q_G, \quad (4)$$

式中: Q_G 为年地下水可开采量, 初始灌区地下水可开采量 $1.84 \times 10^8 \text{ m}^3$;

2) 需水量

根据 3 个计算单元的种植结构及作物灌溉制度的不同, 考虑优先使用地表水还是地下水, 使得供水满足作物需水量。

$$R_{t,i} + G_{t,i} \geq W_{t,i}, \quad (5)$$

式中: $W_{t,i}$ 为计算单元 i 区第 t 个时段的需水量 (万 m^3)。

3) 分区缺水率平等约束

$$|\max(\eta_{t,i}) - \min(\eta_{t,i})| \leq \varepsilon, \quad (6)$$

$$\eta_{t,i} = \frac{S_{t,i}}{D_{t,i}}, \quad (7)$$

式中: $\eta_{t,i}$ 为计算单元 i 区第 t 时段的缺水率; $\max(\eta_{t,i})$ 为计算单元 i 区第 t 时段的最大缺水率; $\min(\eta_{t,i})$ 为计算单元 i 区第 t 时段的最小缺水率; $S_{t,i}$ 为计算单元 i 区第 t 时段的缺水量 (万 m^3); $D_{t,i}$ 为计算单元 i 区第 t 时段的需水量 (万 m^3); ε 为不同计算单元缺水率偏差值 (%)。

4) 实际蒸散发

$$E_{t,i} < 677.65 \text{ mm}, \quad (8)$$

式中: $E_{t,i}$ 为第 t 个时段、第 i 个计算单元实际蒸散发 (mm)。

5) 作物根部土壤质量含水率上下限

$$5\% < S_{t,i} < 40\%, \quad (9)$$

式中: $S_{t,i}$ 为第 t 时段计算单元 i 区作物根部土壤含水率 (%)。

6) 地下水埋深上下限

$$D_{\min} < D_{t,i} < D_{\max}, \quad (10)$$

式中: $D_{t,i}$ 为第 t 时段计算单元 i 区地下水埋深 (m); $D_{\min}$ 为合理的地下水最小埋深 (m); $D_{\max}$ 为合理的地下水最大埋深 (m)。

7) 非负约束: $i, t, R, G, Q, W, D \geq 0$ 。

3 结果与分析

3.1 不同水文年降雨量分析

人民胜利渠灌区自开灌以来每年均测有降雨量, 通过对灌区 1994—2013 年降雨资料的频率分析 (图 4) 知, 2000—2013 年是一个包括了丰、平、枯在内的代表性降水周期, 丰水年 (25%)、平水年 (50%)、枯水年 (75%) 代表年分别是 2004 年 (672.1 mm)、2008 年 (563.1 mm)、2012 年 (412.5 mm)。根据灌区多年降水入渗补给资料分析, 降水入渗补给系数取其平均值, 确定为 0.18。

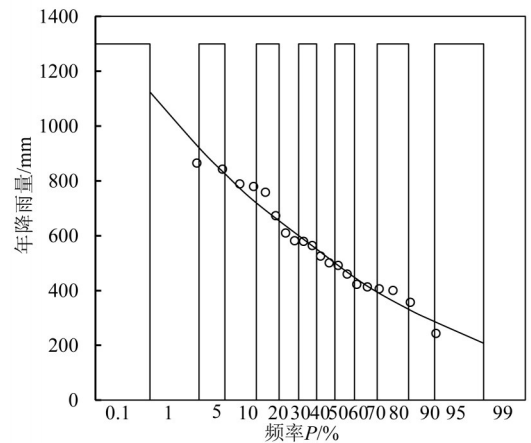


图 4 灌区降雨量频率曲线适配结果

3.2 灌区水资源优化配置方案分析

3.2.1 灌区水资源优化配置方案

在人民胜利渠灌区耕地面积、作物种植结构、灌水方式、管理制度等均维持现状的情况下,分年将平水年、丰水年和枯水年作物需水量对应的灌溉定额作为起始约束条件,综合考虑用水习惯、作物需水量及地下水埋深等因素,控制灌区总用水量,不断调整井渠用水比例,得到平水年(2008年)、丰水年(2004年)和枯水年(2012年)水资源优化配置方案如表1—表3所示。不同计算单元的最佳农业水资源(井渠比例)配置方案见表4。从表1—表3可以看出,人民胜利渠灌区引黄水和地下水不同区域时间上的分布情况:枯水年、平水年和丰水年灌区农业用水量分别为49 862.82万、43 307.80万和38 290.26万 m³,其中,枯水年灌区用水量最大,其次是平水年,丰水年最小;不同水平年,灌区计算单元 I 区5月引黄水和地下水使用量最大;灌区计算单元 II、III区则是7月引黄水量最大,6月地下水用水量最大,和水稻、小麦、玉米生长期需水量相吻合;灌区计算单元 I、II、III区不同水文年的井渠比例有所不同,平水年分别为1/3.14、1/3.25、1/2.92,丰水年分别为1/3.47、1/3.66、1/3.24,枯水年分别为1/2.75、1/2.77、1/2.60。

表1 人民胜利渠灌区平水年农业水资源优化配置方案 万 m³

水源	分区	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
引黄水	I	0	0	1 601.1	273	1 701.1	965.3	1 353.1	225	150	0	1 621.1	0
	II	0	0	1 396.6	231	1 397.6	4 035.9	5 220.4	2 802.5	1 875	0	1 397.8	0
	III	0	0	999	136.5	999	805	1 772	517	145	0	1 262.3	0
地下水	I	0	0	300.3	273	581.1	365.3	360.1	225	76	0	331.1	0
	II	0	0	406.6	441	727.6	1 002.8	840.4	892.5	696.5	0	637.5	0
	III	0	0	162.3	220.5	291.3	806	275.8	117.5	160	0	235.3	0

表2 人民胜利渠灌区丰水年农业水资源优化配置方案 万 m³

水源	分区	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
引黄水	I	0	0	1 424.98	242.97	1 513.98	859.12	1 204.26	200.25	133.50	0	1 442.78	0
	II	0	0	1 289.06	213.21	1 289.98	3 725.14	4 818.43	2 586.71	1 730.63	0	1 290.17	0
	III	0	0	883.12	120.67	883.12	711.62	1 566.45	457.03	128.18	0	1 115.87	0
地下水	I	0	0	241.74	219.77	467.79	294.07	289.88	181.13	61.18	0	266.54	0
	II	0	0	333.41	361.62	596.63	822.30	689.13	731.85	571.13	0	522.75	0
	III	0	0	129.35	175.74	232.17	642.38	219.81	93.65	127.52	0	187.53	0

表3 人民胜利渠灌区枯水年农业水资源优化配置方案 万 m³

水源	分区	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
引黄水	I	0	0	1 729.19	294.84	1 837.19	1 042.52	1 461.35	243.00	162.00	0	1 750.79	0
	II	0	0	1 550.23	256.41	1 551.34	4 479.85	5794.64	3 110.78	2 081.25	0	1 551.56	0
	III	0	0	1 145.85	156.57	1 145.85	923.34	2032.48	593.00	166.32	0	1 447.86	0
地下水	I	0	0	369.37	335.79	714.75	449.32	442.92	276.75	93.48	0	407.25	0
	II	0	0	528.58	573.30	945.88	1 303.64	1 092.52	1 160.25	905.45	0	828.75	0
	III	0	0	209.37	284.45	375.78	1 039.74	355.78	151.58	206.40	0	303.54	0

表4 人民胜利渠灌区井渠比例

水平年	引黄水/万 m ³			地下水/万 m ³			井渠比例		
	I	II	III	I	II	III	I	II	III
平水年	7 889.70	18 356.80	6 635.80	2 511.90	5 644.90	2 268.70	1/3.14	1/3.25	1/2.92
丰水年	7 021.83	1 6943.33	5 866.05	2 022.08	4 628.82	1 808.15	1/3.47	1/3.66	1/3.24
枯水年	8 520.88	20 376.05	7 611.26	3 089.64	7 338.37	2 926.62	1/2.75	1/2.77	1/2.60

3.2.2 地下水位模拟

通过线性规划方法优化出灌区不同计算单元不同水文年的农业水资源优化配置方案,为了进一步证明其的合理性,利用MODFLOW地下水数值模型模拟不同水平年灌区各计算单元地下水位变化情况,图5、图6、图7分别为

表5 不同水平年水资源优化配置后地下水位变化

研究区	平水年	丰水年	枯水年
计算单元 I 区	-0.01	0.1	-0.17
计算单元 II 区	0.12	0.23	-0.08
计算单元 III 区	0.15	0.3	-0.04

平水年、丰水年和枯水年计算单元 I、II、III 区引黄水和地下水优化配置后地下水位月变化情况。从图 5—图 7 可以看出,不同水平年各个计算单元地下水埋深均是先快速下降,在 6 月达到最低,然后逐渐回升,10 月左右处于基本稳定期,之后有所降低;平水年灌区水资源优化配置后模拟地下水埋深相比初始埋深 3.13 m 下降 0.01 m,水资源总量基本处于平衡状态;计算单元 II 模拟地下水埋深为 9.04 m,相对于初始埋深 9.16 m 上升了 0.12 m;计算单元 III 模拟地下水埋深为 7.86 m,相对于初始埋深 8.01 m 上升了 0.15 m;丰水年灌区计算单元 I、II、III 区模拟地下水埋深相比初始埋深分别上升了 0.1、0.23、0.3 m;枯水年灌区计算单元 I、II、III 区模拟地下水埋深相比初始埋深分别下降了 0.17、0.08、0.04 m。灌区计算单元 I 引黄水和地下水充足,地下水埋深浅,经农业水资源用水量经优化配置后,增加地下水开采量,减少引黄水使用量,把引黄水输送给计算单元 II、III,减少其地下水开采量,使其地下水埋深在平水年和丰水年均有一定程度的上升,且枯水年地下水位呈不明显下降趋势。

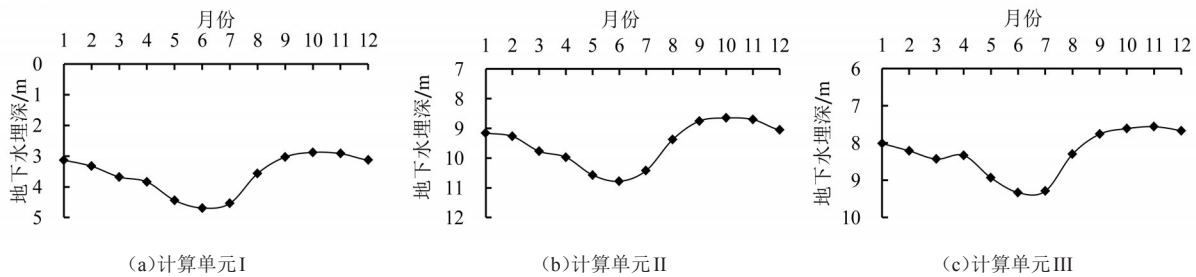


图 5 平水年灌区水资源优化配置后地下水埋深变化

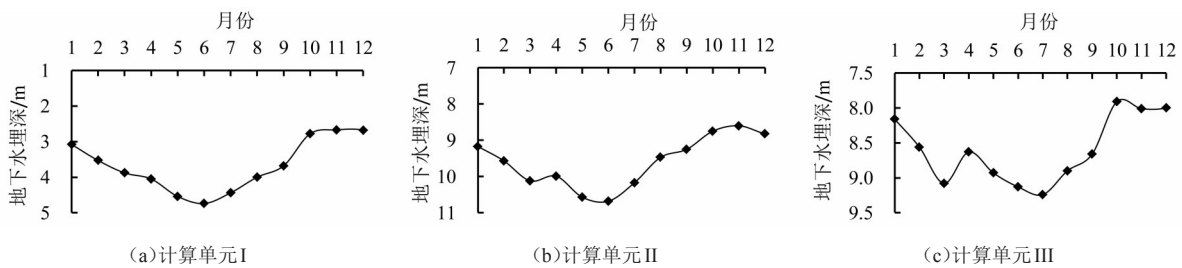


图 6 丰水年灌区水资源优化配置后地下水埋深变化

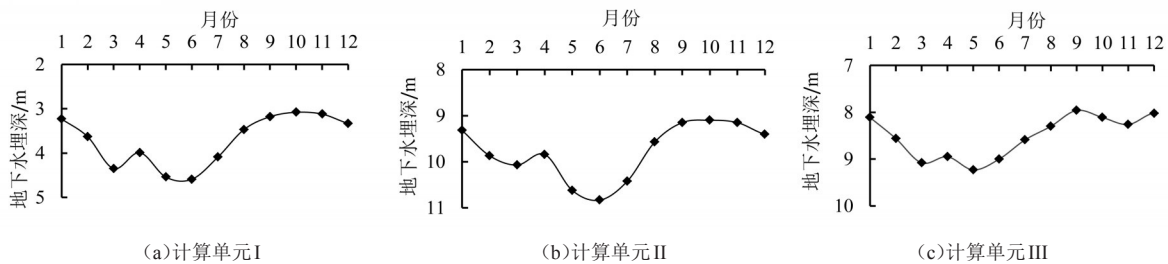


图 7 枯水年灌区水资源优化配置后地下水埋深变化

4 讨论

线性规划方法和 MODFLOW 地下水数值模型相结合确定了灌区水资源配置方案,一些研究^[7-8]也证明了该方案的合理性。灌区计算单元 I 把多余的地表水资源输送给计算单元 II、III,充分利用地下水资源,避免出现返盐,消除土壤次生盐碱化问题,且计算单元 II、III 得到地表水的补充,减少了地下水的开采量,使其平水年计算单元 I 区模拟地下水埋深相比初始埋深下降 0.01 m,计算单元 II、III 区模拟地下水埋深相对于初始埋深分别上升了 0.12、0.15 m;丰水年灌区计算单元 I、II、III 区模拟地下水埋深相比初始埋深分别上升了 0.1、0.23、0.3 m;枯水年灌区计算单元 I、II、III 区模拟地下水埋深相比初始埋深分别下降了 0.17、0.08、0.04 m。人民胜利渠灌区 5—7 月,雨水少,作物需水量大,引黄难以满足作物需水量,需加大地下水开采量来补充,地下水位会出现明显的下降;8、9 月雨水多,基本可以满足作物需水量,地下水开采量减少,地下水位逐渐回升;加上冬季引黄水的补源,使计算单元 II、III 地下水得到一定程度的补充,总体变化趋势符合农

业用水规律,且水资源的合理分配提高了水资源的利用率,一定程度上降低了农业水资源短缺的压力。

线性规划方法和MODFLOW地下水数值模型相结合客观、形象地模拟了灌区种植条件、种植结构^[9]、各作物种植面积等不发生变化时水资源的优化配置,是灌区现状年水资源管理的依据,如果考虑其随机性,模拟结果会更精确;另外,本文仅仅把灌区分成3个计算单元,利用均值进行研究,但每个计算单元渠首、渠末水资源利用情况和地下水位各有差异,在小区域内如何进行水资源分配,需进一步研究。

5 结 论

1)基于线性规划方法和MODFLOW地下水数值模型对灌区分区进行水资源优化配置和地下水动态变化模拟,确定了不同水平年灌区合理的水资源优化配置方案。且地下水位总体呈上升趋势。

2)经过水资源优化配置,平水年和丰水年模拟地下水埋深相对于初始埋深均呈明显上升趋势,枯水年地下水埋深相对于初始埋深呈不明显下降,进一步验证了水资源优化配置方案的合理性。

参考文献:

- [1] 齐学斌,樊向阳,李平,等.井渠结合灌溉类型区多水源联网优化调度模式研究[J].灌溉排水学报,2007,26(2):17-20.
- [2] 杨玲,文俊,李靖,等.蜻蛉河大型灌区水资源优化配置模型[J].云南农业大学学报,2012,27(4):566-572.
- [3] 付银环,郭萍,方世奇,等.基于两阶段随机规划方法的灌区水资源优化配置[J].农业工程学报,2014,30(5):73-81.
- [4] 岳卫峰,杨金忠,占车生.引黄灌区水资源联合利用耦合模型[J].农业工程学报,2011,27(4):35-40.
- [5] SONG Yanxun, FANG Yuan, QIAN Hui. Research and Application of Groundwater Numerical Simulation-A Case Study in Balasu Water Source[J]. Procedia Environmental Sciences, 2011(8):146-152.
- [6] 张玉芳.内蒙李井灌区地下水数值模拟及水资源优化配置研究[D].青岛:中国海洋大学,2009.
- [7] 吕伟.井渠结合灌区农业水资源优化调配耦合模型研究[D].郑州:郑州大学,2016.
- [8] 周文静.人民胜利渠灌区地下水时空动态变化分析及模型研究[D].郑州:郑州大学,2016.
- [9] 张嘉星,齐学斌,MAGZUM Nuroi la,等.人民胜利渠灌区适宜井渠用水比研究[J].灌溉排水学报,2017,36(2):58-63.

Study on Optimal Allocation of Water Resources in Irrigation District Based on Linear Programming and MODFLOW Coupling Technology

HU Yanling^{1,2,3}, HUANG Zhongdong^{1,2,3}, QI Xuebin^{1,2,3*},
ZHANG Yan^{1,2,3}, LIANG Zhijie^{1,2,3}, ZHAO Zhijuan^{1,2,3}

(1. Irrigation Research Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Xinxiang 453002, China;
2. Agriculture Water and Soil Environmental Field Science Research Station of Xinxiang City of Henan Province,
Chinese Academy of Agricultural Sciences, Xinxiang 453002, China; 3. Key Laboratory of High Efficient and
Safe Utilization of Agriculture Water Resources, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Xinxiang 453002, China)

Abstract: 【Objective】The linear programming method is combined with MODFLOW groundwater numerical model to determine the reasonable optimal allocation scheme of agricultural water resources in the Peoples Victory Canal Irrigation Area. **【Method】**The distribution of water resources was unreasonable, and the ecological environment was deteriorating gradually in the Peoples Victory Canal Irrigation Area. The irrigation area was divided into three calculation units(I, II and III) according to the landform, engineering type and irrigation water source characteristics of the irrigation area. Based on the linear programming method and MODFLOW groundwater numerical model, the optimal allocation of water resources was carried out for each calculation unit in different hydrological years, and the dynamic change of groundwater level was simulated. **【Result】**The optimal allocation scheme of water resources was determined in irrigation districts in different hydrological years: well-canal ratios of the irrigation district calculation units I, II and III were different in different hydrological years. Well-canal ratio were 1/3.14, 1/3.25 and 1/2.92 respectively in flat water years, 1/3.47, 1/3.66 and 1/3.24 respectively in wet years and 1/2.75, 1/2.77 and 1/2.60 respectively in dry years.

Compared with the initial depth of groundwater, the simulated depth of groundwater decreased by 0.01 meters in Area I in flat water years, and the total amount of water resources was basically balanced. The simulated groundwater depth increased by 0.12 m and 0.15 m relative to the initial depth in the calculation units II and III; The simulated groundwater depth respectively increased by 0.1 m, 0.23 m and 0.3 m compared with the initial depth in the calculation units I, II and III of the irrigation area in rainy years; In dry years, the simulated groundwater depth in calculation units I, II and III of irrigation district decreased by 0.17 m, 0.08 m and 0.04 m respectively compared with the initial depth. 【Conclusion】The combination of linear programming method and MODFLOW groundwater numerical model can better simulate the groundwater flow field and predict the dynamic change trend of groundwater in the irrigation district, and then a reasonable optimal allocation scheme of water resources is defined.

Key words: well-canal irrigation area; linear programming; MODFLOW; optimal allocation of water resources

责任编辑:陆红飞

关于评选优秀论文的公告

为鼓励创新,本刊已开启优秀论文评选活动,每年评选优秀论文10篇,每篇奖励800元,并颁发获奖证书,届时将在期刊网站首页展示,同时微信公众号推送。欢迎广大读者、作者积极向我刊投稿。

《灌溉排水学报》编辑部