

内蒙古河套灌区灌溉入渗对地下水的补给规律及补给系数

张志杰¹, 杨树青^{1*}, 史海滨¹, 马金慧¹, 李瑞平¹, 韩文光², 张武军²

(1. 内蒙古农业大学水利与土木建筑工程学院, 呼和浩特 010018; 2. 永济灌域管理局试验站, 临河 015000)

摘 要: 为准确估计内蒙古河套灌区灌溉水入渗补给地下水量, 采用试验研究与数值模拟相结合的方法, 分别根据灌水前后地下水位变化和土壤含水率变化计算了灌溉水入渗补给地下水系数, 并依据土壤水动力学原理, 采用数值模拟验证, 得到作物生育期灌溉补给地下水系数为 0.15, 秋浇灌溉补给地下水系数为 0.3。河套灌区地下水位埋深相对较浅, 通过灌水前后的土壤含水率变化情况和数值模拟结果显示, 灌水 2~4 d 补给地下水量达到最大, 8~10 d 后即完成对地下水的入渗补给, 不同灌水量灌溉水入渗规律基本一致, 入渗补给量和入渗时间与灌溉水量直接相关。研究结果将为确定维持灌区生态环境良性发展的引水量阈值提供参考。

关键词: 灌溉, 试验, 数值方法, SWAP, 补给地下水系数

doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2011.03.011

中图分类号: S273.1, S273.4

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2011)-03-0061-06

张志杰, 杨树青, 史海滨, 等. 内蒙古河套灌区灌溉入渗对地下水的补给规律及补给系数[J]. 农业工程学报, 2011, 27(3): 61—66.

Zhang Zhijie, Yang Shuqing, Shi Haibin, et al. Irrigation infiltration and recharge coefficient in Hetao irrigation district in Inner Mongolia[J]. Transactions of the CSAE, 2011, 27(3): 61—66. (in Chinese with English abstract)

0 引 言

内蒙古河套灌区以引黄灌溉为主, 干旱少雨, 浅层地下水属于灌溉入渗补给—潜水蒸发型, 水分运动以垂直交替为主。每年的 5—8 月份是主要的灌水季节, 同时也是作物消耗水分的主要时期。9 月下旬至 10 月下旬为秋浇期, 在此期间, 秋浇灌溉水大量回补地下水, 灌溉入渗补给量是地下水量的重要组成部分。因此, 农田灌溉入渗补给与地下水补排关系是本地区农田水分动态的主要形式, 其直接影响灌区的水盐动态与区域用水量。内蒙河套灌区的引黄水量面临着政策性锐减, 引水状况的巨大改变将使区域环境发生变迁, 确定维持灌区环境良性发展的引水量阈值已势在必行。灌溉入渗对地下水的补给规律及灌溉入渗补给系数的研究将为引黄水量阈值的确定提供参考。

灌溉水入渗补给系数是指灌溉水入渗补给地下水量与灌溉水量之比。近年来对灌溉水的研究主要集中在灌溉水利用效率上^[1], 提出了净灌溉效率、回归水利用^[3-5]等相对成熟的理论, 而分析灌溉水入参与地下水补排关

系较少。关于地下水的补给情况, 部分学者揭示了降雨入渗、河流等对地下水的补给及不同地下水埋深、土壤质地^[7]等影响补给地下水的因素^[6-10]。由于河套灌区的特殊气候条件和环境因素决定灌溉水不但对农业生产具有重要意义, 在很大程度上也影响地下水位的变化, 如果没有灌溉水入渗补给地下水来补充潜水蒸发量, 地下水位将大幅度降低, 从而引起区域生态环境破坏^[11-13]。因此, 分析研究灌溉水对地下水的补给情况对节约水资源和维持灌区的良性发展至关重要, 根据河套灌区的灌溉情况, 灌溉水入渗补给系数可分为作物生育期灌溉水入渗补给系数和秋浇灌溉水入渗补给系数。

本文通过田间试验和数值模拟, 研究河套灌区农田灌溉入渗补给地下水的规律, 分析灌溉入渗补给地下水系数。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

本研究以内蒙古河套灌区为背景, 田间试验在河套灌域隆胜试验区进行, 试验区主要种植小麦和玉米两种作物, 灌水 6 次, 总灌溉水量 1 166.39 mm。隆胜试验区位于河套灌区中部临河市隆胜乡境内, 属于永济干渠上游、永刚分干渠的西济支渠灌域。地理坐标为东经 107°27'~107°32', 北纬 40°49'~40°54'。试验区南北长约 10.5 km, 东西宽约 3.8 km, 总控制面积约 2 800 hm²。土壤质地主要以壤土(轻壤、中壤、沙壤)为主, 表层土体积质量一般在 1.40 t/m³, 孔隙度为 46.43%~49.73%, 土壤饱和含水率为 38%。隆胜示范区含水层底板为一相

收稿日期: 2010-09-30 修订日期: 2011-03-12

基金项目: 国家自然科学基金项目(50769004); 内蒙古自然科学基金重点项目(20050810303); 内蒙古政府专项基金(nsn2007067)资助

作者简介: 张志杰(1984—), 女, 内蒙古人, 主要从事节水灌溉理论与新技术研究。呼和浩特 内蒙古农业大学水利与土木建筑工程学院, 010018。Email: zhangzhijie0919@yahoo.cn

*通信作者: 杨树青(1966—), 女, 内蒙古人, 博士, 副教授, 主要从事水土环境和节水灌溉新技术的研究。呼和浩特市昭乌达路 306 号内蒙古农业大学西区 1471 信箱, 010018。Email: nmndysq@126.com

对隔水的黏土，不考虑局部越流。试验区西、北以永刚分干沟为界，东至永成支沟，南临永刚分干渠，地下水在垂直方向上接受降雨入渗补给、灌溉入渗补给，地下水主要消耗于潜水蒸发。

1.2 试验内容与方法

本论文采用田间试验与数值模拟相结合的方法，研究农田灌溉水入参与地下水的补排规律及灌溉水入渗补给地下水系数。数值模拟采用瓦赫宁根大学集成的SWAP (soil-water-atmosphere-plant) 模型^[14]。试验区内共设置12眼地下水位观测井和相应的土壤取样点，试验观测内容为：气象观测、灌溉水量观测、排水量观测、地下水动态与土壤水动态观测。观测井和土壤取样点的具体布置见图1。

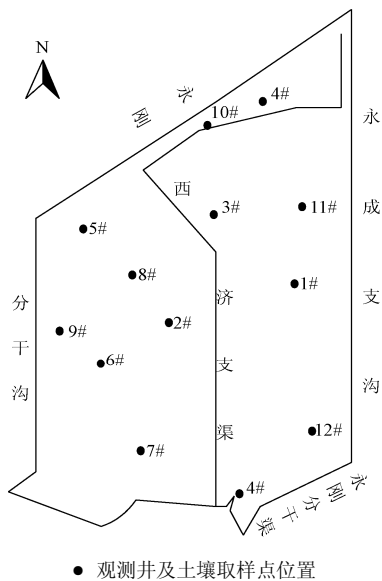


图1 示范区观测井和土壤取样点布置图
Fig.1 Arrangement plan of observation wells and soil sample points in demonstration area

1.3 模型率定与检验

SWAP 模型在垂直方向上将土层分为不同的单元，非饱和带中 SWAP 主要考虑土壤水分的垂向运动，模型上边界为作物冠层顶部，下边界至地下潜水位。本文选

用简单作物生长模型，根据观测的土层深度和年内地下水位的变化情况确定模拟的土层深度为2.8 m，并按土壤质地分为3层（如表2所示），输入气象、作物、灌排、下边界条件、初始土壤含水率等数据，按初始参数进行模拟。通过参数率定获得最佳组合，利用2008年的实测数据率定模型。2009年的实测数据对模型进行检验，率定期和检验期土壤含水率模拟值与观测值的对比图见图2（本文只列举部分土层对比图，图中的土壤含水率为各个观测点的平均值），模拟值与观测值的均方差(RMSE)见表1，参数率定结果见表2。模拟的土壤含水率和实测的土壤含水率值较吻合，RMSE 计算结果都在4%以内，表明率定后的模型可以用于对土壤水分状况的模拟和预测。

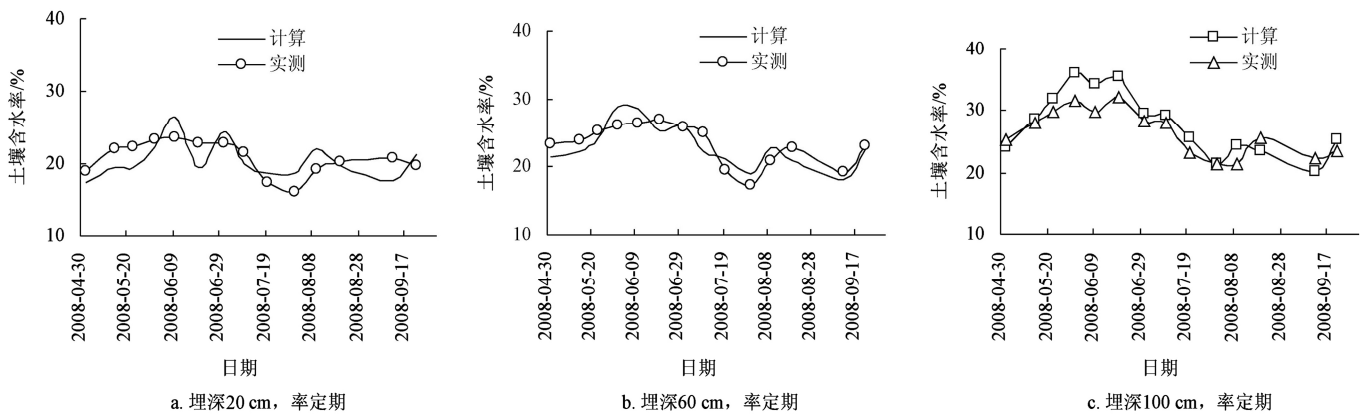
表1 SWAP 模拟的不同土层深度土壤含水率均方差 RMSE 计算结果

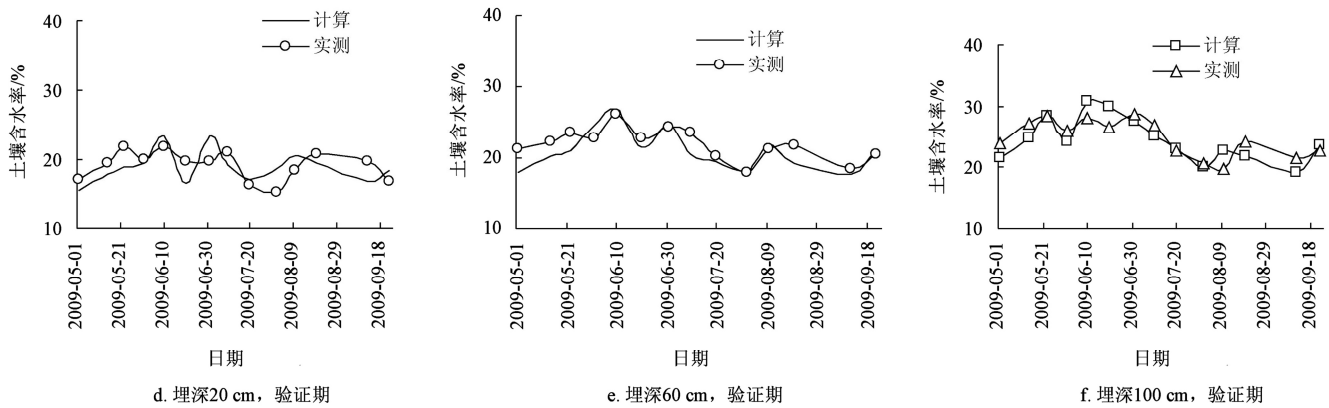
土层深度/cm	不同埋深土层的 RMSE	
	率定期 (2008 年)	验证期 (2009 年)
20	2.31	2.28
40	2.78	3.01
60	1.88	1.85
80	2.13	2.89
100	2.08	2.57
120	2.79	3.2

表2 率定后的土壤水力参数
Table 2 Soil hydraulic parameters after calibration

土壤 分层	深度/ cm	θ_r / ($\text{cm}^3\cdot\text{cm}^{-3}$)	θ_s / ($\text{cm}^3\cdot\text{cm}^{-3}$)	K_s / ($\text{cm}\cdot\text{d}^{-1}$)	α / cm^{-1}	λ	n
I	0~40	0.001	0.375	17.46	0.024	-1.51	1.57
II	>40~140	0.01	0.38	43.9	0.028	-1.38	1.58
III	>140~285	0.001	0.38	17.9	0.0249	-1.53	1.552

注： θ_r 为残余含水率； θ_s 为饱和含水率； K_s 为饱和导水率； α 为经验参数； λ 为形状参数； n 为曲线形状参数。





注: 土壤含水率为各测点的平均值

图2 模型识别图

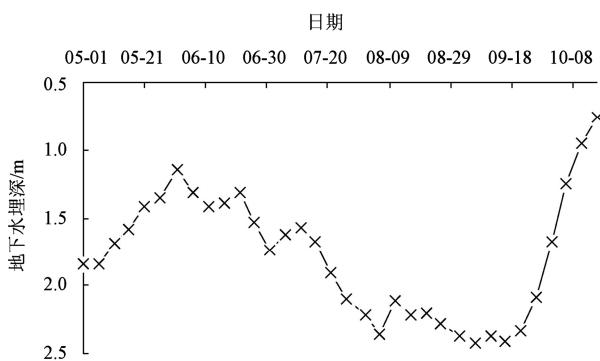
Fig.2 Model identification picture

2 结果与分析

2.1 田间试验结果分析

2.1.1 试验区地下水位变化情况

如图3所示的试验区2009年5—10月地下水位(各个观测井地下水位平均值)变化主要分为两次上升和一次下降。5月初至9月中旬为地下水的消耗和区域水分交替强烈期, 05-01—06-01地下水位主要受到灌溉的补给, 此阶段的水量消耗相对较小, 地下水位约上升0.7 m; 6月初到9月上旬, 由于灌溉、降雨、潜水蒸发等因素的影响地下水成波动下降趋势, 但总体呈下降趋势, 下降了约1.13 m, 说明在生育期作物要消耗部分地下水, 地下水也是作物需水的重要组成部分。9月下旬至10月底为灌区秋浇期, 大量的灌水对地下水的补给作用使得地下水位上升了约1.6 m。



注: 地下水位为各个观测井地下水位平均值

图3 2009年地下水位变化情况图

Fig.3 Change of groundwater level in 2009

2.1.2 试验区土壤含水率变化

通过图4可以看出不同剖面土壤水分随着土层深度的增加含水量逐渐增加。土层厚度小于80 cm时含水率集中在15%~30% (占干土质量) 之间, 土壤含水率的波动变化受灌水、降雨、蒸发蒸腾影响较大; 土层厚度大于80 cm时含水率受地下水位的变化影响较大, 且各层的变化趋势基本一致, 5月初到6月初土壤含水率主要呈

上升趋势, 6月至9月下旬含水率主要呈下降趋势, 秋浇后土壤含水量迅速升至饱和, 深层土壤的含水率随时间的变化情况和地下水位的变化情况基本一致。

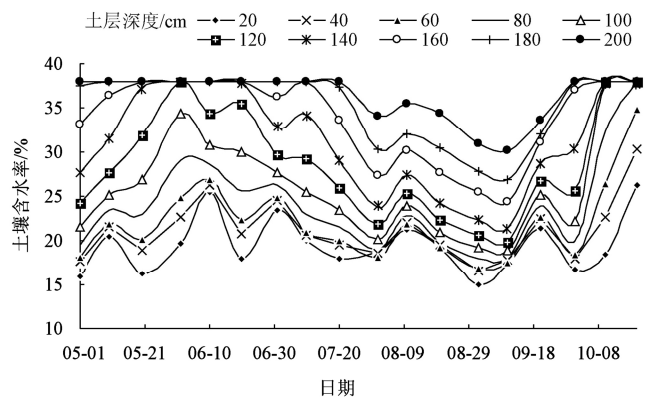


图4 不同剖面土壤含水率图

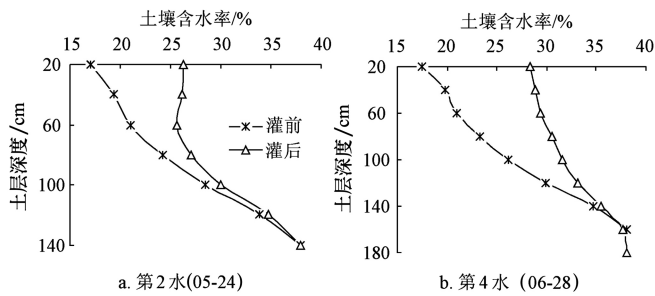
Fig.4 Soil moisture content in different profiles

2.2 灌溉水入渗过程分析

灌溉水入渗到土壤后, 当灌溉量足够大时, 超出土壤田间持水量部分的水量将下渗, 部分补给地下水。入渗补给地下水要经过包气带调节过程才能实现, 除灌溉的短时间内, 年内绝大部分时间包气带土壤处于非饱和状态。灌溉后, 入渗水主要在土壤水吸力和重力作用下逐层运动^[15-16]。图5(数据为两次灌水前后各个取样点的含水率均值)分别为两次灌水前后的土壤剖面含水率变化情况(灌溉水量见表3), 从图5中可以看出相同土壤质地不同水位埋深的灌溉水入渗补给地下水的時間不同, 埋深越大所需的补给时间越长, 灌溉水量越大, 入渗的速率越大。灌水后浅层土壤含水率迅速增大, 随着时间的推移灌溉水不断下渗, 深层含水率逐渐增加, 最后补给地下水。

由SWAP模型计算的试验区2009年5—10月份地下水位处土壤水分通量变化情况如图6所示, 图中负值为土壤水补给地下水通量, 正值为地下水补给非饱和带通量。每次灌水后入渗量由小到大, 2~4 d后达到最大, 随后逐渐减小, 8~10 d基本完成。补给量的多少及时间

的长短与灌水量直接相关。作物生育期内各次灌水受灌水量、蒸发、降雨以及灌溉时间间隔不同等影响，土壤水与地下水转化较频繁复杂；秋浇灌水量较大，补给地下水量明显较生育期灌溉多。秋浇后地下水得到大量的补给，埋深较浅，相应的潜水蒸发量也会较大。灌溉制度和地下水埋深对土壤水与地下水转化有明显的影 响，充分灌溉会在一定程度上产生深层渗漏补给地下水，在灌溉实践中可以适当的减少灌水定额以提高灌溉水的有效性。



注：土壤含水率为各取样点均值

图5 灌水前后土壤含水率变化情况
Fig.5 Change of soil moisture content before and after irrigation

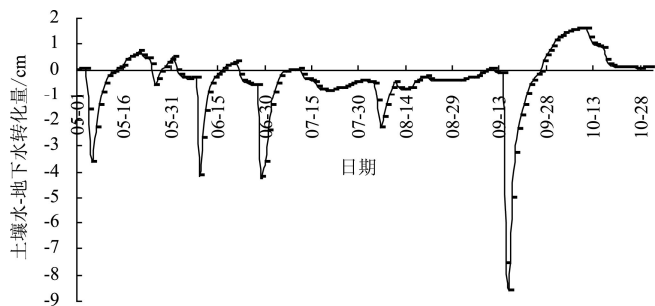


图6 土壤水-地下水转化量
Fig.6 Inversion quantity between soil water and groundwater

2.3 灌溉水入渗补给系数计算

2.3.1 利用地下水位变化计算

灌溉水入渗对地下水补给量的计算可以分为一次灌水入渗补给地下水量、作物生育期灌溉水入渗补给地下水量和秋浇期灌溉水入渗补给地下水量 3 部分。根据试验区实测的灌水前后地下水位观测资料，且由气象资料可知，在计算时段内没有降雨或是降雨量与灌水量相比非常小，从而可以忽略降雨的影响，试验区侧向补给较小可以忽略，一次灌水后，引起的地下水位上升是由于灌水入渗补给所致。根据地下潜水位 的上升值可以推算出灌水对地下水的补给量。根据隆胜试验区土壤类型，查各种岩层的给水度^[17]确定土壤的给水度为 $\mu=0.07$ ，灌水后地下水位 的上升值为 Δh ，则本次灌水对地下水的补给量 $I_r=\mu \cdot \Delta h$ ，次灌水入渗补给地下水系数为 $\alpha=I_r/I_g$ ，其中 I_g 为灌溉水量。利用地下水位的变化，分别计算各次的灌溉水补给系数、生育期和秋浇的补给系数，计算结果见表 3。

表 3 灌溉水入渗补给地下水系数计算结果

Table 3 Recharge coefficient by irrigation water infiltration

试验区 灌水 情况	灌水量/ mm	地下水位变化计算		土壤含水率计算		数值模拟计算	
		地下水位 变化量/ mm	补给 系数	灌水前后 土壤含水量 变化量/mm	补给 系数	数值计算 补给量/ mm	补给 系数
第 1 水	183.72	428	0.164	27.82	0.212	36.1	0.196
第 2 水	60.18	110	0.127	5.2	0.121	6.13	0.102
第 3 水	114.78	213	0.13	15.49	0.189	16.44	0.143
第 4 水	152.49	242	0.111	18.88	0.173	23.86	0.156
第 5 水	164.22	218	0.093	18.06	0.154	22.82	0.139
第 6 水	491	1803	0.257	107.94	0.308	150.16	0.306
作物 生育期	1 166.39	230.8	0.118	17.09	0.17	21.07	0.147
秋浇	491	1 803.00	0.257	107.94	0.308	150.16	0.306

2.3.2 利用剖面土壤含水率变化计算

本文设定土壤初始含水率是灌水后的土壤含水率，灌水后土壤含水率大于田间持水率部分的水量将向下渗漏补给地下水，逐层计算土壤含水率与田间持水率的差，累积至地下水位的各层土壤水量与灌溉水量的比为各次灌水的补给地下水系数。第 1 水至第 5 水为作物生育期内灌水，第 6 水是秋浇灌水，生育期和秋浇期灌水的补给地下水系数利用同样的方法计算。计算公式采用式 (1)，具体计算结果见表 3。

$$\Delta Q = \int_0^Z (Q_t - Q_o) dz \quad (1)$$

式中， Q_t 为土壤田间持水量，mm，该项由试验测得； Q_o 为土壤初始含水量，mm； Z 为土层深度（取至地下水位），mm。

2.3.3 灌溉入渗补给系数的数值计算

根据率定后的 SWAP 模型计算了试验区 2009 年 5—10 月的土壤水分变化情况，利用模拟结果输出的土壤水分通量确定灌溉水入渗补给地下水量，计算的土层厚度取至地下潜水位，各次灌水补给地下水系数计算结果见表 3。

表 3 根据野外实测资料对河套灌域隆胜示范区的灌溉水入渗补给地下水系数按不同的灌水轮次、作物生育期和秋浇期分别进行计算，并与利用 SWAP 模型模拟计算各次灌水的灌溉水入渗补给系数进行对比，结果显示利用实测数据计算和数值计算的绝对值误差在 0.06 以内。采用灌水前后地下水位的变化计算的补给地下水系数比相应的用土壤含水率的变化计算的灌溉水入渗补给地下水系数略小，可能由于用土壤含水率的变化计算时没有考虑计算时段内土壤蒸发的影响所致。

3 结论与讨论

1) 灌水后相同土壤质地不同地下水位埋深，入渗补给地下水所需的时间不同，灌水量越大，水分入渗速率越大，对于河套灌区灌水后 2~4 d 补给量达到最大，8~10 d 内基本完成对地下水的补给，灌溉水量多少直接影

响入渗补给地下水量。

2) 作物生育期内的灌溉水入渗补给系数受灌水量、作物消耗水量、降雨等主要因素的影响, 生育期的补给系数为 0.15 左右, 秋浇期的灌水量较大, 相应的消耗水量相对较小, 秋浇灌溉的地下水补给系数约为 0.30。

3) 在土壤蒸发较小的情况下土壤含水率变化的计算方法可以用来计算灌溉水入渗对地下水的补给水量。灌溉水入渗补给地下水系数的正确计算将为确定维持灌区生态环境良性发展的引黄水量阈值提供参考。

[参 考 文 献]

- [1] 崔远来, 熊佳. 灌溉水利用效率指标研究进展[J]. 水科学进展, 2009, 20(4): 590—597.
Cui Yuanlai, Xiong Jia. Advances in assessment indicators of irrigation water use efficiency[J]. Advances in Water Science, 2009, 20(4): 590—597. (in Chinese with English abstract)
- [2] 王景雷, 吴景社, 齐学斌, 等. 节水灌溉评价研究进展[J]. 水科学进展, 2002, 13(4): 521—525.
Wang Jinglei, Wu Jingshe, Qi Xuebin et al. Advances in water saving irrigation evaluation[J]. Advances in Water Science, 2002, 13(4): 521—525. (in Chinese with English abstract)
- [3] 汪富贵. 大型灌区灌溉水利用系数的分析方法[J]. 武汉水利电力学报, 1999, 32(6): 28—21.
Wang Hugui. Analytical method of irrigation efficiency of large size irrigation district[J]. Journal of Wuhan University of Hydraulic and Electric Engineering, 1999, 32(6): 28—21. (in Chinese with English abstract)
- [4] 高传昌, 张世宝, 刘增进. 灌溉渠系水利用系数的分析与计算[J]. 灌溉排水, 2001, 20(3): 50—54.
Gao Chuanchang, Zhang Chibao, Liu Zengjin. Analysis and calculation of conveyance efficiency of an irrigation canal system[J]. Irrigation and Drainage, 2001, 20(3): 50—54. (in Chinese with English abstract)
- [5] 康绍忠, 蔡焕杰, 冯绍元. 现代农业与生态节水的技术创新与未来研究重点[J]. 农业工程学报, 2004, 20(1): 1—6.
Kang Shaozhong, Cai Huanjie, Feng Shaoyuan. Technique innovation and research fields of modern agricultural and ecological water-saving in the future[J]. Transactions of the CSAE, 2004, 20(1): 1—6. (in Chinese with English abstract)
- [6] 张光辉, 费宇红, 申建梅, 等. 降雨补给地下水过程中包气带变化对入渗的影响[J]. 水力学报, 2007, 38(5): 611—618.
Zhang Guanghui, Fei Yuhong, Shen Jianmei, et al. Influence of unsaturated zone thickness on perception infiltration for recharge of groundwater[J]. Suilixuebao, 2007, 38(5): 611—618. (in Chinese with English abstract)
- [7] 周春华, 徐海芳, 何锦. 大埋深条件下降雨入渗补给的初步分析[J]. 地下水, 2007, 29(1): 47—49.
Zhou Chunhua, Xu Haifang, He Jin. Elementary analysis of rainfall infiltration replenishment under great condition[J]. Ground Water, 2007, 29(1): 47—49. (in Chinese with English abstract)
- [8] 邸爱民, 王兵. 降雨入渗对地下水补给的试验研究[J]. 吉林水利, 2010, 5(336): 42—45.
Di Aimin, Wang Bing. The experimental research of precipitation recharge for the undergroundwater[J]. Jilinshuili, 2010, 5(336): 42—45. (in Chinese with English abstract)
- [9] 郭会荣, 靳孟贵, 齐登红, 等. 基于地中渗透仪的入渗补给方式分析[J]. 水文地质工程地质, 2007(4): 107—115.
Guo Huirong, Jin Menggui, Qi Chenghong. Characterization of groundwater recharge processes based on large lysimeters[J]. 2007(4): 107—115. (in Chinese with English abstract)
- [10] 陈志辉, 程旭学. 河西走廊灌溉水田间入渗补给地下水机理研究[J]. 西安工程学院学报, 2002, 24(1): 33—38.
Chen Zhihui, Cheng Xuxue. Research on the irrigation water's mechanism of infiltration to supply ground water in the field in Hexi corridor's irrigation region[J]. 2002, 24(1): 33—38. (in Chinese with English abstract)
- [11] 陈亚新, 屈忠义, 高占义. 基于 ANN 技术的大型灌区节水改造后农田水环境预测[J]. 农业工程学报, 2009, 25(1): 1—5.
Chen Yaxin, Qu Zhongyi, Gao Zhanyi. Prediction of farmland water environment after reconstruction of water-saving in the large-scale irrigation district based on the ANNCTransactio[J]. Transactions of the CSAE, 2009, 25(1): 1—5. (in Chinese with English abstract)
- [12] 杨路华, 沈荣开, 曹秀玲. 内蒙古河套灌区地下水合理利用的方案分析[J]. 农业工程学报, 2003, 19(5): 56—59.
Yang Luhua, Shen Rongkai, Cao Xiuling. Scheme of groundwater use in Hetao irrigation district in Inner Mongolia[J]. Transactions of the CSAE, 2003, 19(5): 56—59. (in Chinese with English abstract)
- [13] 高鸿永, 伍靖伟, 段小亮, 等. 地下水位对河套灌区生态环境的影响[J]. 干旱区资源与环境, 2008, 22(4): 134—138.
Gao Hongyong, Wu Jingwei, Duan Xiaoliang. The impact of water-table on the ecological environment of Hetao irrigation area[J]. Journal of Arid Land Resources and Environmen, 2008, 22(4): 134—138. (in Chinese with English abstract)
- [14] Huygen J, van Dam J C, Kroes J G. SWAP graphical user interface[Z]. 2000.
- [15] 曹红霞, 康绍忠, 何华. 灌溉对土壤水分分布和潜水蒸发的影响[J]. 西北农林科技大学学报, 2003, 31(5): 69—72.
Cao Hongxia, Kang Shaozhong, He Hua. Effects of irrigation on soil water distribution and shallow groundwater evaporation[J]. Jour of northwest Sci-tech Univ of Agir and for, 2003, 31(5): 69—72. (in Chinese with English abstract)
- [16] 霍在林, 冯绍元, 郑艳艳, 等. 冬小麦农田不同地下水位时土壤水-地下水转化试验研究[C]//农业水土资源利用与保护. 昆明: 云南大学出版社, 2010: 195—200.
Huo Zailin, Feng Shaoyuan, Zheng Yanyan. er al. Experimental study on transform of soil water and groundwater at different water table in field of winter wheat[C]//Agricultural Soil and Water, Kunming: Yunnan University Press, 2010: 195—200. (in Chinese with English abstract)
- [17] 张蔚榛. 土壤的给水度和自由孔隙率[C]//张蔚榛论文集.

武汉: 武汉大学出版社, 2002.

Zhang Weizhen. The specific yield and pore ration of

soils[C]//Zhang Weizhen Memoir. Wuhan: Wuhan University Press, 2002. (in Chinese with English abstract)

Irrigation infiltration and recharge coefficient in Hetao irrigation district in Inner Mongolia

Zhang Zhijie¹, Yang Shuqing^{1*}, Shi Haibin¹, Ma Jinhui¹, Li Ruiping¹, Han Wenguang², Zhang Wujun²

(1. *Water Conservancy and Civil Engineering College, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot 010018, China;*

2. *Yongji Administration Bureau Experiment Station, Linhe 015000, China*)

Abstract: In order to accurately estimate the groundwater recharge due to irrigation deep percolation, the groundwater recharge coefficients were calculated based on changes of groundwater level and soil water content before and after water application jointly using field experiment method and numerical simulation method, and the results were verified using numerical simulation based on principles of soil water dynamics. The groundwater recharge coefficients were 0.15 and 0.3 for crop growth period and autumn respectively. With a shallow groundwater level in Hetao irrigation district, the results from change of groundwater and numerical simulation showed that the groundwater recharge reached maximum at 2-4 days after water application and groundwater recharge process completed at 8-10 days after water application. The deep percolations of different water applications followed the same pattern and the groundwater recharge and time were closely related to water application. The research results may provide a reference to the determination of threshold value of water diversion for sound development of ecological environment of the district.

Key words: irrigation, experiments, numerical methods, SWAP, recharge coefficient of groundwater