

河套灌区咸水灌溉试验研究

王卫光¹, 王修贵¹, 沈荣开¹, 张仁铎¹, 杨树青²

(1. 武汉大学水资源与水电工程科学国家重点实验室, 武汉 430072; 2 内蒙古农业大学水利与土木建筑学院, 呼和浩特 010018)

摘要: 以内蒙古河套灌区红卫节水示范园的咸水灌溉试验为基础, 以荷兰 Wageningen 农业大学等单位开发的土壤—水分—大气—作物系统模拟软件 SWAP 为工具, 应用示范园的土壤、水、盐分试验资料对模型的参数进行了率定和验证。在此基础上设计了示范园不同灌溉水量、不同灌溉方式、不同灌溉次数的多种灌溉方案, 并应用 SWAP 模拟了各种方案的水盐平衡。以作物产量为指标, 采用正交设计进行直观分析, 提出了适合当地条件的以咸淡水轮灌作为灌溉方式, 灌水 3 次, 灌溉定额 2812 5 m³/hm² 的咸水灌溉指导方案。研究结果对河套地区的咸水利用具有一定的借鉴意义。

关键词: 水资源; 咸水灌溉; SWAP 模型; 土壤水分; 土壤盐分

中图分类号: S274

文献标识码: A

文章编号: 1002-6819(2004)05-0092-05

0 引言

很多国家或地区淡水资源相对贫乏, 但却有着丰富的地下咸水(或海水)资源, 因此, 咸水灌溉的研究一直受到重视。如中国、美国、印度、日本、德国、突尼斯、阿尔及利亚、伊拉克、科威特、荷兰、以色列、前苏联的中亚地区等都有咸水灌溉的历史, 咸水灌溉在农业生产中发挥了重要作用^[1]。中国淡水资源极其缺乏, 而西北干旱半干旱地区存在着较丰富的地下咸水, 微咸水资源却未能得到有效地开发利用^[2]。各地的咸水灌溉试验证明了咸水可以用来进行农田灌溉^[3-5], 但采用什么样的灌溉方式、灌溉制度才能获得更理想的效果仍然需要结合地区的土壤、气候及作物的种类和种植结构进行研究。不当的咸水灌溉会破坏当地土壤的水盐平衡, 造成土壤的盐碱化^[6-8]。因此, 为了让土壤盐分不因为灌溉咸水而引起积累, 为让灌溉咸水后土壤水盐仍然能达到平衡, 形成良性循环, 因地制宜地制定咸水灌溉制度非常必要。

1 田间试验

1.1 试验区概况

内蒙古乌拉特前旗红卫田间节水灌溉试验示范园于 2000 年建成, 系水利部全国大型灌区续建配套及节水改造规划项目的一部分, 占地约 500 hm², 是一个以种植小麦、玉米、油菜、甜菜、枸杞、瓜菜为主的农业区。

示范园的水源为引黄水及灌区的机井抽水。引黄水从三分渠、经斗渠和农渠灌到田间。试区内各级渠道都采用混凝土衬砌。三分渠上设上游常水位水力自动闸门一座, 以调节和控制试区引水渠上游渠道中的水位, 确保在引水期间向试区的供水。试区内共有 26 眼机井, 其中 18 口井水的矿化度大于 2 g/L, 属于咸水, 需要对其灌溉方式及灌水效果进行研究。田间排水农沟与农渠相间布置, 农渠间距 250m, 农沟深 1.5 m, 主要作用是控制地下水位, 并排出秋浇期间的淋洗盐分的水量。示范

园在中温带大陆性多风干旱气候区, 冬寒夏热, 昼夜温差大, 光热充足, 降雨量小, 蒸发量大。土壤以灌淤土、盐土为主, 土壤质地为砂壤土、轻壤土, 肥力中等。

1.2 试验方法

在农渠 2-7 与农沟 1-8 之间选取 3 种作物: 小麦、向日葵、玉米进行咸淡水混合灌溉试验, 3 种作物的灌溉面积均为 0.1 hm²。同时, 在农渠 2-21 与农沟 1-22 之间分别选取 3 种作物相同面积的试验对比田, 进行淡水灌溉, 以便与咸水灌溉的试验田试验结果对比分析。试验田和对比田块位置如图 1 所示。

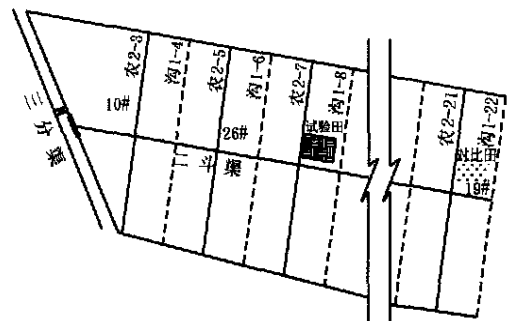


图 1 试验选取田块的位置示意图

Fig 1 Location of experimental field

在供试验的 3 种作物: 小麦、玉米、向日葵的生育期内进行两次咸淡水混合灌溉, 试验从 6 月 1 日开始至 7 月 30 日结束。在此期间分别在 6 月 20 日和 7 月 20 日进行了两次咸淡水混合灌溉。试验过程中, 将在二斗渠方向位于试验田块上游的 10#, 26# 的井水通过水泵抽水由管道输送至二斗渠与黄河水进行混合, 通过农渠 2-7 灌溉到试验田块内, 进行混合灌溉时, 根据参与混灌水井的矿化度和引黄渠水的矿化度, 按当次灌水的灌溉流量(渠灌引水流量与参与混灌水井出水流量之和)计算并渠水混合后的水质, 混合后的水质可用下式计算

$$\alpha = \frac{Q \cdot \alpha_1 + q_i \cdot \alpha_i}{Q + q_i} \quad (1)$$

式中 $\alpha, \alpha_1, \alpha_i$ ——混合水、渠水、井水的矿化度, g/L; Q, q_i ——渠水、第 i 号井水的流量, m³/s; i ——井号。

在灌溉过程中, 由于机电井的流量及水质都是恒定

收稿日期: 2003-10-20 修订日期: 2004-04-22

基金项目: 国家高技术研究发展计划(863 计划)资助项目(2001AA 242121); 国家自然科学基金(20239090)

作者简介: 王卫光(1979-), 男, 河南开封人, 博士生, 主要从事灌溉排水和溶质运移理论方面的研究。武汉市 武汉大学博 03 级水电 1 班, 430072

的, 通过改变二斗渠首的节制闸门的开度大小来控制引黄水量, 这样就可以按照公式(1)来计算混合水的水质, 将混合水的矿化度调到满足试验要求的矿化度。

1.3 土样测定方法

从第一次灌水前一天在将要进行咸水灌溉的向日葵田块里抽取土样开始, 每 5 d 一次进行土壤含盐量和土壤含水量测定。取土深度在 1 m 以内, 分别在 5, 20, 40, 70, 100 cm 土层深度取土测定, 每次处理重复 3 次。同时在作物生育期内用淡水进行灌溉的对照田里也进行上述取土观测。此外, 10 月份秋浇前后也各取土一次。土壤含盐量的测定过程是: 制取 1/5 土样水浸提液, 测定其矿化度后换算成土壤全含盐量。具体的操作过程为: 首先, 取 10 g 烘干后的土样, 用 50 mL 蒸馏水将其溶解, 通过滤纸过滤, 然后用数字电导仪测定过滤后溶液的矿化度。土壤的含盐量用下式计算

$$Y = \frac{50X}{10 \times 1000 \times 1000} \times 100 = \frac{X}{2000} \quad (2)$$

式中 Y——土样全盐含量, %; X——土样 1/5 水浸提液的矿化度, mg/L。

1.4 灌溉制度

在整个作物生长期中, 试验田内利用咸水和淡水混合对作物进行了两次微咸水灌溉, 在对比田内进行了两次淡水灌溉, 并且在非生育期的 10 月份, 进行了秋浇。秋浇效果不仅与秋浇水量有关, 还与秋浇时间、土壤质地、水文地质条件、秋浇后的保墒措施以及蒸发、降水、气温、地温等因素有关。长期的秋浇灌溉经验表明^[10]: 合理的秋浇定额应满足以下条件: 作物苗期时, 0~10 cm 土壤盐分应小于 0.2%; 春播期 0~10 cm 及苗期 0~40 cm 土壤含水率达到 18%~22%; 封冻前地下水位控制在 1.5 m 左右。总之, 秋浇定额为 1500~1950 m³/hm², 比较符合河套灌区节水、保墒、淋盐的目的。这次试验选定对比田的秋浇定额为 1725 m³/hm², 考虑到试验田内因采用咸水灌溉, 土壤剖面上的盐分积累可能较多的缘故, 试验田的秋浇定额为 2415 m³/hm²。表 1 给出了作物在试验期间的灌溉制度表。

表 1 试验期间对比田和试验田的灌溉制度

Table 1 Irrigation schedules of all the crops in experimental and control field

田块	灌溉要素				
	灌水次序	灌水时间 /月-日	灌水定额 /m ³ ·hm ⁻²	灌溉水矿化度 /mg·cm ⁻³	灌水方式
试验田	第一次	06-20	495	2.25	畦灌
	第二次	07-20	1890	1.59	
	第三次	10-25	2415	0.702	
对比田	第一次	06-20	975	0.702	畦灌
	第二次	07-20	675	0.702	
	第三次	10-25	1725	0.702	

2 咸水灌溉下土壤水分动态模拟

限于试验条件, 本次试验没有进行不同灌溉方式(咸水轮灌、咸水混灌)的对比试验, 也没有进行不同咸水灌溉定额的对比试验, 难以直接根据试验确定咸水最

优利用方式。但研究表明, 建立适当的水盐动态模型, 根据有限的试验资料确定模型的参数, 以模型为手段, 通过对不同的咸水灌溉方式、灌溉定额和灌溉时间组成的灌溉方案进行模拟, 根据模拟结果进行方案的优选, 以指导咸水灌溉实践是一种经济而可行的途径。

由荷兰 Wageningen 农业大学等单位开发的用于模拟田块尺度的非饱和带水流及盐分运移、热量传递和作物生长与产量的模型(SWAP)在世界上一些地区的应用表明, 该模型是进行水盐动态和作物生长及产量模拟的有效工具。SWAP 是一种模拟水、溶质和热量在非饱和土壤剖面上传输及作物生长和产量的计算机模型。传输的过程发生在田间尺度上和作物整个生长期。系统上边界条件为裸露或有作物生长土壤表面和相应的大气条件。下边界位于非饱和地带或地下水位的上层, 并考虑区域地下水与非饱和带模拟单元的相互影响。SWAP 模型主要包括土壤水流运动、溶质运移、作物腾发量计算、作物生长模拟等几个部分。SWAP 模型原理的详细介绍可以参考有关文献^[14]。

2.1 土壤参数的率定

通过调整土壤水力参数实现模拟的土壤剖面水盐数据最大程度的接近实测的土壤剖面水盐数据, 使二者之间的差的平方和最小, 便可以近似得到示范园区田间尺度的土壤水力参数。模拟的土壤剖面水分数据与实测的土壤剖面水分数据之间的差的平方和 TSE 计算式为

$$TSE = \min_i \sum (\theta_i - \theta_i)^2 \quad (3)$$

式中 TSE——测量与模拟土壤含水率之差的平方总和; m——所有的土壤含水量测点数; θ_i ——测量的土壤含水率, %; θ_i ——模拟的土壤含水率, %。盐分参数的率定方法与土壤水分率定方法相同。经过率定, 可以得到率定后溶质运移参数: 分子扩散系数为 0.55 cm²/d; 扩散长度为 12 cm; 自由水和吸附水之间的溶质交换率为 0.01 d⁻¹。率定后的土壤水力参数如表 2。

表 2 率定后的土壤水力参数

Table 2 Calibrated soil hydraulic function parameters

土层深度 /cm	土壤水力参数					
	θ	θ_r	K_s	α	λ	n
0~55	0.38	0.10	5	0.01	0.414	1.15
55~100	0.42	0.08	15	0.015	0.368	1.20

以 5 cm 土层和 100 cm 土层为例, 图 2 和图 3 分别给出了调整土壤水力参数后, 土壤水分计算与实测的对比效果和土壤盐分计算与实测的对比效果。从图 2 中可以看出, 6 月 20 日~7 月 30 日时间序列上土壤水分的动态变化趋势基本与实测结果相符, 土壤水分大小与实测值比较接近, 模拟结果总体上效果良好。

图 3 为土壤剖面盐分实测与模拟结果的对比。从图中可以看出, 土壤的盐分的实测值随时间变化较大, 而模拟值与实测值有较好的吻合, 从盐分变化的整体过程上看模拟的盐分变化基本反映了实际的盐分变化过程。

2.2 模型验证

用率定后的参数计算秋浇前后的土壤剖面盐分和

水分, 再利用秋浇前后的两次实测数据对模型进行验证, 以秋浇前 10 月 18 日为例, 验证结果如图 4, 图 5。

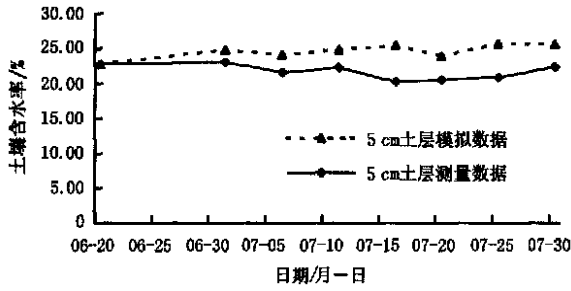


图 2 水分动态变化模拟与实测结果的对比

Fig. 2 Measured and simulated soil moisture in experimental site

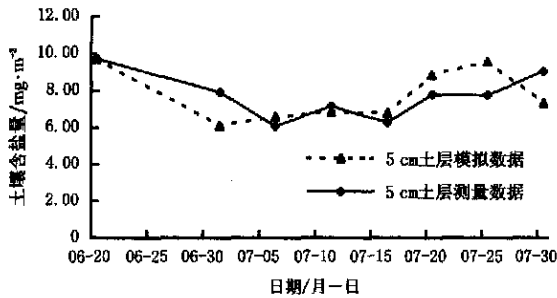
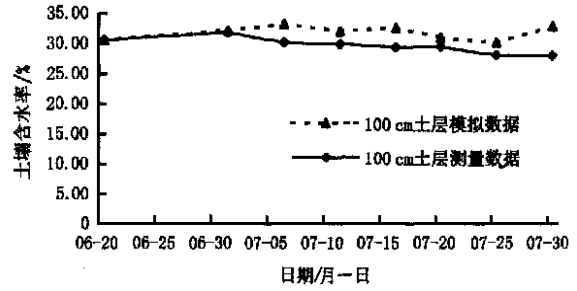


图 3 盐分动态变化模拟与实测结果的对比

Fig. 3 Measured and simulated soil salinity in experimental site

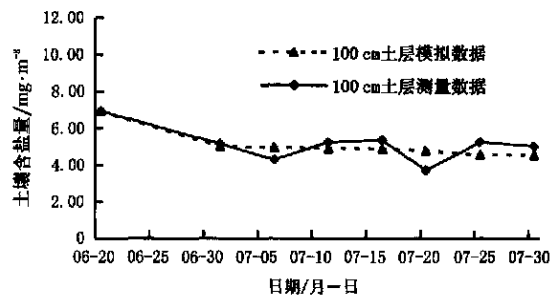


图 4 土壤剖面水分模型验证结果

Fig. 4 Model validation of soil moisture profiles

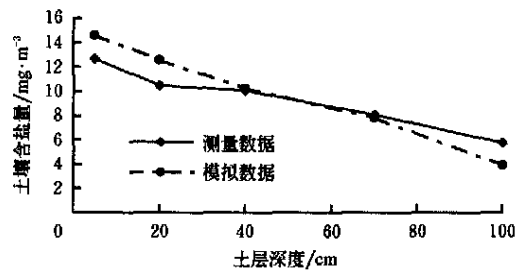


图 5 土壤剖面盐分模型验证结果

Fig. 5 Model validation of soil salinity profiles

从图中可以看出整个模拟过程基本反映了土壤剖面水盐的实际变化趋势, 所以认为模型可以用于该示范区的计算预测。

3 咸水灌溉方案模拟

3.1 灌溉方案的拟定

以春小麦为生长作物, 针对影响咸水利用的各种因素, 这里主要从咸水灌溉定额、灌溉次数和时间、灌溉方式上列举不同的灌溉方案进行计算。根据当地的灌溉习惯, 将作物生育期灌水次数分为 4, 3, 2, 4 次灌水时分别为春小麦分蘖、拔节、抽穗和灌浆。3 次灌水时分别为分蘖、拔节和灌浆。2 次灌水时分别为分蘖、灌浆。按照不同的灌溉定额、灌水次数、灌水方式进行组合, 这里列举了可能的 18 种作物生育期的灌溉方案(表 3)。每种灌溉方案都在 10 月 20 日进行了灌溉定额为 $2250 \text{ m}^3/\text{hm}^2$

的作物非生育期的秋浇。

3.2 各方案水盐平衡分析

表 4 给出了每一种灌溉方案的水量平衡、盐分平衡模拟结果。

从表 4 显示的各种灌溉方案模拟的盐分平衡可知, 到作物生育期结束的 9 月 30 日为止, 18 个灌溉方案都有不同程度的盐分积累。因此, 为将咸水带进的盐分排出土壤, 实现年内及多年的盐分平衡, 必须保持传统的秋浇灌溉习惯, 大定额的淡水灌溉对土壤中多余的盐分能起到充分的淋洗作用。以积盐最多的方案 3 为例, 图 6 显示了方案 3 从 4 月到 10 月底秋浇后的土壤含盐量变化, 其中 10 月 20 日秋浇灌溉定额为 $2250 \text{ m}^3/\text{hm}^2$, 从图 6 可以看出经过秋浇灌溉以后方案 3 的土壤含盐量可以降至模拟时段初(4 月 1 日)的水平。

表 3 灌溉方案要素组合表

Table 3 Combined elements in each simulation of irrigation schedule

方案号	灌溉要素			方案号	灌溉要素			方案号	灌溉要素		
	灌溉定额 /m ³ ·hm ⁻²	灌溉方式	灌溉次数 /次		灌溉定额 /m ³ ·hm ⁻²	灌溉方式	灌溉次数 /次		灌溉定额 /m ³ ·hm ⁻²	灌溉方式	灌溉次数 /次
1	3750	轮灌	4	7	2812.5	轮灌	4	13	1875	轮灌	4
2	3750	轮灌	3	8	2812.5	轮灌	3	14	1875	轮灌	3
3	3750	轮灌	2	9	2812.5	轮灌	2	15	1875	轮灌	2
4	3750	混灌	4	10	2812.5	混灌	4	16	1875	混灌	4
5	3750	混灌	3	11	2812.5	混灌	3	17	1875	混灌	3
6	3750	混灌	2	12	2812.5	混灌	2	18	1875	混灌	2

表 4 各种灌溉方案的模拟单元体水量平衡计算结果

Table 4 Water balance components in each simulation scenario

方案号	田间土层含水总量 /mm			减少的 水量 /mm	土壤储盐量 /mg·cm ⁻³		增加的 盐量 /mg·cm ⁻³
	模拟时 段初 /04-01	作物生 育期末 /09-30	模拟时 段初 /04-01		作物生 育期末 /09-30		
	1	924.9	730.9		194	1.395	
2	924.9	730.1	194.8	1.395	1.595	0.200	
3	924.9	831	93.9	1.395	1.707	0.311	
4	924.9	720.2	204.7	1.395	1.553	0.158	
5	924.9	727	197.9	1.395	1.578	0.183	
6	924.9	847.8	77.1	1.395	1.623	0.228	
7	924.9	714.3	210.6	1.395	1.629	0.234	
8	924.9	717.8	207.1	1.395	1.570	0.175	
9	924.9	689.8	235.1	1.395	1.617	0.222	
10	924.9	698.7	226.2	1.395	1.526	0.131	
11	924.9	711.3	213.6	1.395	1.547	0.152	
12	924.9	683.9	241	1.395	1.534	0.138	
13	924.9	670	254.9	1.395	1.564	0.168	
14	924.9	673	251.9	1.395	1.521	0.126	
15	924.9	666.5	258.4	1.395	1.551	0.156	
16	924.9	665.1	259.8	1.395	1.499	0.104	
17	924.9	673	251.9	1.395	1.521	0.126	
18	924.9	662.2	262.7	1.395	1.485	0.087	

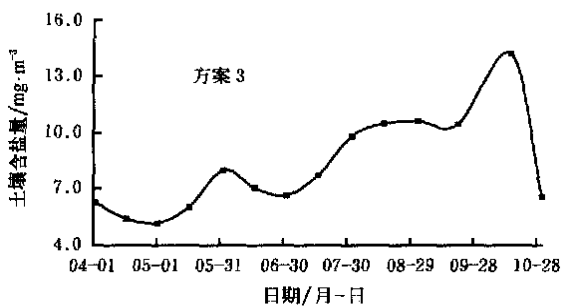


图 6 土壤含盐量变化过程

Fig 6 Simulated soil salinity in simulation of irrigation schedule

从表 4 显示的各种灌溉方案模拟的水量平衡可以看出, 由于河套灌区位于我国干旱、半干旱气候区, 在整个作物生育期内, 气候干旱、多风少雨、蒸发强烈, 土壤水分大量散失, 在作物生长期末的 9 月 30 日所有方案的土壤储水量都小于模拟时段初(4 月 1 日)的土壤储水量。来年春播作物苗期生长的关键时刻, 如果土壤墒情不足, 无法适时播种, 也无法保证作物对水分的需求, 再加上土壤有大量的积盐, 更不利于出苗。因此, 从水量

平衡上来说也必须实行非生育期的秋浇以便土壤充分储水。以水分亏缺最多的方案 18 为例, 图 7 显示了方案 18 从 4 月份到 10 月底秋浇后土壤含水率变化过程, 其中 10 月 20 日秋浇灌溉定额为 2250 m³/hm², 从图 7 可以看出经过秋浇灌溉以后方案 18 的土壤含水率都可以升至模拟初(4 月 1 日)水平。

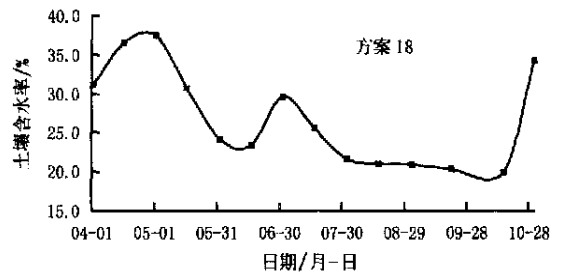


图 7 土壤含水率变化过程

Fig 7 Simulated soil moisture in simulation of irrigation schedule

所有的咸水灌溉方案, 都给土壤带来了一定的盐分积累, 在当地仅仅有作物生育期的灌溉很难实现土壤作物生育期前后的水盐平衡。经过秋浇灌水, 可以淋洗掉多余的盐分, 也能增加土壤的储水量。土壤的盐分含量和水分含量都能基本恢复到作物生育期前的水平, 实现土壤的水盐平衡, 咸水灌溉在当地是可行的。

3.3 灌溉方案优选

由上面对各方案水盐平衡分析可知: 咸水灌溉进行了具有保墒、洗盐、储水多项作用的秋浇灌水后可以实现土壤水分和盐分的平衡, 下面主要以作物的产量来选择相对较好的咸水灌溉方案。最优方案的选取采用正交设计的直观分析方法, 选择灌溉定额、灌溉方式、灌溉次数为因素, 分别以 A、B、C 表示, 每个因素设置 3 个水平(表 5)。以春小麦的相对产量(实际产量与潜在产量的比值)为指标, 正交试验设计的直观分析结果见表 6。

从表 6 可以看出: R_A 、 R_B 、 R_C 均大于 R_D , 说明所选各因素对作物产量的影响是可靠的, 即不同方案的作物相对产量的差异是所选各因素的影响产生的, 不是因试验误差造成的; $R_B > R_A > R_C$, 表明所选的 3 个因素中对作物相对产量影响最大的是灌溉方式, 其次是灌溉定额, 灌溉次数是最次要的因素; 正交方案的直观分析结果表明咸淡水轮灌、灌溉次数 3 次、灌溉定额 2812.5 m³/hm² 是可以获得较好产量的最优方案。

表 5 正交设计的因素水平表

Table 5 Factors and levels of orthogonal design

水平	因 素		
	A 灌溉定额/ $m^3 \cdot hm^{-2}$	B 灌溉方式	C 灌水次数
1	3750.0	咸淡水轮灌	4
2	2812.5	咸淡水混灌	3
3	1875.0	咸水直接灌	2

表 6 设计方案的直观分析结果

Table 6 Direct analysis of design

组合	因素及水平			D 空列	相对产量 /%
	A	B	C		
1	1	1	1	1	77
2	1	2	2	2	76
3	1	3	3	3	62
4	2	1	2	3	78
5	2	2	3	1	70
6	2	3	1	2	68
7	3	1	3	2	68
8	3	2	1	3	67
9	3	3	2	1	63
K_1	71.7	74.3	70.7	70	
K_2	72	71	72.3	70.7	
K_3	66	64.3	70	69	
R	5.2	10	2.3	1.9	

4 结 论

1) 以 SWAP 模型为工具, 通过对多种灌溉方案模拟结果的分析后, 认为咸水灌溉后, 土壤盐分有一定积累, 但在秋浇条件下, 能实现咸水灌溉后作物生育周期内的水盐平衡, 咸水灌溉在当地是可行的。

2) 应用正交设计直观分析得出了以咸淡水轮灌作为灌溉方式, 灌水次数 3 次, 灌溉定额 $2812.5 m^3/hm^2$ 作为作物生育期指导咸水灌溉模式效果较好。

3) 由于试验条件所限, 作者在红卫示范园只进行了小面积和一年咸水灌溉试验, 试验的处理也很有限, 运用数值模拟所得到的优化方案也只能对所涉及方案而言。显然, 据此所得出的结论只是初步的, 要应用于生

产实际, 则需要开展多处理和多年的试验观测。

[参 考 文 献]

[1] 王卫光, 王修贵, 沈荣开, 等. 咸水灌溉研究进展[J]. 节水灌溉, 2003, (2): 06- 11.

[2] 刘昌明, 陈志恺. 中国水资源现状评价和供需发展趋势分析[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2001.

[3] 尉宝龙. 咸水灌溉技术试验研究[J]. 山西水利科技, 1999, (3): 88- 90.

[4] 赵 清. 咸水灌溉高冰草试验研究[J]. 节水灌溉, 1998, (6): 12- 14.

[5] 王明治. 咸水灌溉芹菜试验研究[J]. 东北水利水电, 2000, 18(8): 25- 26.

[6] 尹美娥. 咸水灌溉下的土壤水盐运动规律[J]. 水利水电技术, 2000, 31(7): 22- 24.

[7] 张 利. 咸水利用若干问题的探讨[J]. 自然资源学报, 1994, 9(4): 375- 378.

[8] 肖振华. 灌溉水质对土壤水盐动态的影响[J]. 土壤学报, 1994, 31(1): 8- 17.

[9] 刘亚传, 常厚春. 干旱区咸水资源利用与环境[M]. 甘肃兰州: 甘肃科学技术出版社, 1992.

[10] 王伦平, 陈亚新, 曾国芳. 内蒙古河套灌区灌溉排水与盐碱化防治[M]. 北京: 水利电力出版社, 1993.

[11] 张蔚榛. 地下水与土壤水动力学[M]. 北京: 中国水利电力出版社, 1996.

[12] 张展羽, 郭相平. 作物水盐动态响应模型[J]. 水利学报, 1998, (12): 66- 70.

[13] 朱勇华, 邵淑彩, 孙毓玉. 应用数理统计[M]. 武汉: 武汉水利电力大学出版社, 2000.

[14] Dam van J C, et al. Theory of SWAP version 2.0, Simulation of Water Flow, Solute Transport and Plant Growth in the Soil-Water-Atmosphere-Plant environment [Z]. Article 71, Department of Water resources, Wageningen Agricultural University, Technical Document 45, Arterra, Wageningen, the Netherlands, 1997.

[15] Ritzen H P. Drainage Principles and Applications, International Institute for Land Reclamation and Improvement/LRI[M]. Wageningen, The Netherlands, 1994.

Experimental research on saline-water irrigation in Hetao Irrigation District

Wang Weiguang¹, Wang Xiugui¹, Shen Rongkai¹, Zhang Renduo¹, Yang Shuqing²

(1. State Key Laboratory of Water Resources and Hydropower Engineering Science, Wuhan University, Wuhan 430072, China;

2. Water Conservancy and Civil Engineering College, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot 010018, China)

Abstract: Based on field experiments of the saline water irrigation which have been conducted in the Hongwei Water Saving Demonstration Plot in Inner Mongolia Autonomous Region, SWAP (Soil-Water-Atmosphere-Plant) model developed by Wageningen Agricultural College was used as an analyzing tool. The parameters in the model were calibrated with the data of this saline-water irrigation experiment. Then, different irrigation schedules of saline-water irrigation based on the different irrigation ratios, the different irrigation times and the different irrigation types were simulated and the results were analyzed, the optimal irrigation schedule was selected.

Key words: water resources; saline water irrigation; SWAP model; soil moisture; soil salinity