灌溉条件下黄土层的水盐效应研究

马耀光¹,李书琴³,李世清²,许永功¹,

贺晓峰¹, 焦小立¹, 孙德华¹

(1 西北农林科技大学 水利与建筑工程学院; 2 资源环境学院; 3 信息工程学院, 陕西 杨陵 712100)

[摘 要] 通过灌溉试验配合施尿素,钻探采取土样并对岩土浸提液电导率进行测定,研究了灌溉和施肥条件下非饱和黄土层的水流入渗规律和盐分变化特征。结果表明,黄土层中非饱和水入渗具有明显的含水量峰值带, 其运移速度在 0~ 6m 的埋深带约为 15~ 17 cm /d,同时存在快速的超渗导管流;含盐量为 615 82 和 815 07 mg/L 的灌溉水配合施尿素 454 6和 378 8 kg/hm²的宽畦漫灌,可使上部 6m 黄土层电导率显著增加,最大点电导率增幅在黄土原区为 2 12 倍,在阶地区达 4 倍以上,表明灌溉水中的盐分、化肥的离解和灌溉入渗水流对黄土层的溶 滤与淋洗作用,会显著影响黄土超根层盐分分布、运移和氮沉降。

[关键词] 灌溉; 黄土层; 入渗机理; 水盐效应 [中图分类号] S155. 2⁺ 4 [**文献标识码**] A

JA

[文章编号] 1671-9387(2003)05-0064-05

灌溉与施肥是农业生产活动中两个最重要的环 节, 二者的科学配置对农业生产效益的提高至关重 要, 同时对农业生态环境的保护和农业生产的可持 续发展有明显的影响。因此, 土壤中水盐及氮素运移 问题倍受关注^[1~3]。但目前的研究成果主要限于作 物与土壤根层^[4~6], 超根层及包气带的水盐运移规 律及氮沉降机制还不很清楚, 尤其对黄土地区超根 层和包气带的水盐和氮运移问题研究甚少。本研究 旨在探究灌溉与施肥对黄土地区超根层水盐状况的 影响, 为干旱缺水的黄土农业区制定合理的节水灌 溉制度, 防止灌区水土盐化, 正确认识黄土地区的水 盐形成机理和氮沉降特征, 并为合理灌溉和高效施 肥提供科学依据。

1 试验背景条件

1.1 试验安排

试验区位于黄土原区的西北农林科技大学灌溉 试验站和渭河二级黄土台面阶地区的蔬菜试验站。 试验层为土层上部的 6~ 10 m 黄土层,试验采用地 下水源灌溉并施用尿素,于试验前后钻探取土测定 黄土层的重量含水量和 10 g 土 30 mL 浸提液的电 导率,采样密度为根层样点间距 0 2 m,超根层点距 0 5 m。灌溉采用传统漫灌方式,试验用灌溉水肥定 额及水质见表 1。

表1	水肥定额与灌溉水质

试验点	地貌类型	作物		总盐量/ (kg·	水质/(mg·L ⁻¹) W ater quality							施肥量/ (kg· hm ⁻²)	
Experimen- tal field	L and form types	Стор	Irrtiga- tion quota	hm ⁻²) Total salt	Ca ²⁺	$M \ g^{2+}$	${\rm N}{\rm a}^+$	K^+	HCO 3	SO ²⁻	Cŀ	总离子量 Total irons	U rea app li- cation amount
灌溉试验站 Irrigation testing ground	黄土原 Loess plateau	麦田 W heat field	960 22	591.32	49.43	24 79	124 96	1. 67	28 79	173 48	212 70	615 82	454 6
- 蔬菜站 V egetables fam	黄土台面阶地 Terrace with bess surface	休闲杂草 Fallow with weeds	1 325 76	1 080 59	91. 38	49. 67	94 0	1. 64	162 35	197. 24	218 79	815 07	378 8

Table 1 Water and urea quota and irrigated water quality



[基金项目] 国家自然科学基金项目(50209016);陕西省教育专项科研计划项目(0JK117)

[作者简介] 马耀光(1957-),男,陕西武功人,副教授,主要从事水资源保护和研究。

-7

用人力螺旋取土钻获得 10 m 试验土层岩样, 岩性基本为黄土,现代耕作土壤根层为黄土状砂壤 土,根层以下可见古壤化层底部的细砾状淀积钙质 结核,表明晚期黄土沉积过程中伴随着相对湿润期 程度不等的表层壤化作用,黄土原剖面于 4 8,5.7 和 8 5 m 深处可见细砾钙质结核,阶地黄土台面仅 见 9 0~ 10 0 m 处存在钙质结核,试验区岩土剖面 见表 2。

1.3 黄土层的水盐分布

试验层黄土的水分和盐分分布特征见图 1~4。

图 1 和图 2 为原面黄土的水盐背景分布剖面。

表 2 试验地段黄土层剖面属性

Table 2 Soil type of the testing field									
埋深/m Burying depth	黄土原剖面属性 Soil type on bess p lateau	埋深/m Burying depth	阶地区剖面属性 Soil type of terrace						
$\begin{array}{cccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	黄壤土 Yelbw soil 黄土 Loess 黄壤土夹细粒钙质结核 Yelbw soil with tiny calcium nodules 黄土 Loess 黄壤土夹细粒钙质结核 Yelbw soil with tiny calcium nodules 黄土 Loess	0~ 2 2~ 9 0 9 0~ 10	黄壤土 Yellow soil 黄土Loess 黄壤土夹细粒钙质结核 Yellow soilwith tiny calcium nodules						



图 1 黄土原区灌溉前后土壤含水量分布 -.背景值;--.灌水后 10 d;--.灌水后 20 d

Fig 1 Soil moisture content distribution befor and after irrigation on Loess Plateau

- - . Background value; - - . 10 days after irrigation; - - . 20 days after irrigation



Fig 2 Soil electric-conductivity distribution befor and after riirgation on Loess Plateau area - - . Background value; - - . 10 days after irrigation; - - . 20 days after irrigation 由图 1 可以看出,原面黄土的重量含水量变化 在 9 63% ~ 23 51%,春旱使地表 1.5 m 根层含水 量小于 19%,最上层的 0.5 m 土层含水量小于 13%,1.5~10 m 土层含水量均大于 19%;3 0 和 8 0 m 附近出现 2 个明显的水分高值带,从土层岩 性看基本对应于 2 层古土壤带;背景含水量高于黄 土层约 4%,其体积含水量应更大些。由图 2 可知, 土层盐分的电导率(*Ec*)为 100~270 μs/cm,高值带 分布于 1.0,5 0 和 8 0 m 深处,现代土壤层与古土 壤层离子吸附量明显增加,表明粘性土的离子吸附 量高于黄土。

图 3 和图 4 为二级阶地台面黄土的水盐背景分

布剖面, 其土壤含水量为 13 21% ~ 27. 31%, 对应 于 3 0 和 9 5 m 深处的 2 个古壤化层, 其含水量也 出现 2 个明显的峰值带; 除上层的 1 0 m 处含水量 小于 20%, 深处土层的含水量均大于 20%, 土层平 均含水量为 20 486%, 高于黄土原土层平均含水量 18 978% 约 1 51 个百分点。土层电导率分布明显小 于黄土原区, 其电导率(Ec)为 73~ 220 μ s/cm, 在 0 5, 1 8, 2 5 和 4 0 m 深处分别出现约 150 μ s/cm 的高盐分区, 但明显低于黄土原区的平均值和最大 值, 表明阶地面黄土的离子吸附性低于原面黄土, 且 砂性较好。



Fig 3 Soil moistune content distribution befor and after irrigation on terrace area - Background value; - . 15 days after irrigation; - . 30 days after irrigation



量在现代和古代土壤层中较高,非补给期天然含水 量可达23 5%~ 27.3%,非壤化黄土的天然含水量 也远高于一般砂性土; (3)壤化层的可溶性离子吸附 量高于黄土层 2~3倍,表明粘土颗粒具有较高的化 学吸附性; (4)黄土的盐分测定值在一定程度上还受 到土样含水量的影响,即土样水分中的可溶性盐分 在土样烘干后会成为土样离子吸附量的组成部分, 表现为岩土水盐剖面中含水量与含盐量峰值的一致 性,非壤化层的盐分高值带均有高含水量或水分运 移峰值带的附加影响。

2 灌溉对黄土的水盐效应

对 试 验 田 块 实 施 定 额 分 别 为 960 22 和 1 325.76 m³/hm² 的灌溉之后,在黄土原区每 10 d、 阶地区每 15 d 再进行 2 次土层的水分和盐分测定, 了解水分的入渗特征和盐分变化。灌溉前后黄土的 水分与盐分 Ec 的变化见图 1~ 4。

2 1 灌溉水非饱和入渗特征

从图 1 可见, 在黄土原区, 灌水后 20 d, 上部 3 m 土层含水量均有所增加, 上层 1 m 绝对增幅小于 5 17%, 1.0~3 5 m 绝对增幅小于 1.76%。从图 3 可见, 在阶地台面黄土层中, 灌水后 15 d, 2 0~2 5 m 深处土层含水量明显增加; 2 5~3 3 m 的背景水 分峰值带下移至 3 3~4 5 m, 且峰值绝对值增加了 2 3%, 而峰值带移出区水分释出, 使含水量绝对值 减小了 3 5%; 灌水后 30 d, 0~5 0 m 土层含水量 均明显增加。

由以上分析可知: (1) 黄土层在水分集中补给条 件下,水流入渗的基本特征以非饱和孔隙水渗流为 主,渗流在重力势和基质势的共同作用下向下运移; (2)渗流过程表现为明显的高含水量带的移动,湿润 峰值带宽度为 0 5~ 1 0 m; (3) 灌溉补给较降水补 给更为集中,因此具有较降水渗流较快的渗透速 率^[7]和较高的峰值,但渗透速率小于 0 17~ 0 20 m/d; (4)集中补给条件下,黄土层中渗流还具有沿 垂向裂隙或导管快速运动的超渗导管流,其运动状 态主要为重力流,其作用可使前次湿润峰值增加,但 不足以形成峰值带。

2 2 灌溉对土层盐分的影响

灌溉后土层盐分的变化主要受灌溉水中的溶解 盐分、尿素的水解性离子、入渗水流对土层吸附性离 子的调节及浅层土壤水分蒸发产生的水盐上移等方 面的影响,用电导率表征的土水体含盐量,主要反映 总盐(离子力)的电性效应。 在黄土原区(图 2), 灌溉后 10 d, 黄土层电导率 在 0~ 2 m 深处(除 0 6 m 样点稍有降低) 明显增 加, 最大点增幅为 112 μ s/cm (2 07 倍), 并与土层含 水量的显著增加相对应, 在 3~ 5 m 深处土层电导 率略有增加, 最大点增幅为 40 μ s/cm (1. 37 倍); 灌 溉后 20 d, 黄土层电导率在 0~ 6 m 的全剖面上均 明显增加, 在 2 0 m 处最大点增幅达 182 μ s/cm, 增 加了 2 12 倍, 并较灌后 10 d 亦明显增加。

在阶地台面黄土层中(图 4), 灌溉后 15 d, 土层 电导率在 0~ 6 m 的全剖面上均明显增加, 其中在 0~ 2 5 m 深处, 点增幅较大, 最大值为背景值的 3 41 倍, 与灌溉水入渗带相对应; 2 5~ 6 m 深处电 导率的明显增加, 也从侧面反映了阶地台面黄土层 中较发育的裂隙与根虫孔的超渗导管流快速下渗的 明显影响。灌水后 30 d, 全剖面土层电导率显著增 加, 在 0~ 2 m 深处较灌水后 15 d 增加 2~ 4 倍, 在 2~ 6 m 深处较灌水后 15 d 增加 1. 5~ 2 倍。

上述电导率的变化表明: (1) 灌溉水中的可溶盐 分是土壤含盐量和离子吸附量增加的主要来源,该 试验灌溉水量携带可溶盐分分别为 591.32 和 1 080 59 kg/hm²; (2) 施用化肥的溶解离子随灌溉 水的下渗,不但造成肥分的大量淋失,也是土壤盐分 增加的重要原因,在该试验中,尿素在灌水中的溶解 和缓慢离解与硝化过程,使灌水后土壤盐分持续增 加: (3) 黄土层中水分的运移是盐分运移的主要载 体,土壤盐分只有在水分增加或渗透湿润锋面过后 才会明显增加; (4) 灌溉水流在渗透通过土壤盐分低 值带时使其盐分增加,而在通过盐分高值带时可能 产生淋溶作用,如黄土原面的06~10m 深处的 背景盐分高值带,在灌水后 10 d 和 20 d 时,盐分并 未增加;在1.4~1.6m的盐分背景峰值带下部,渗 流过境后,水分未增加而盐分显著增加,表明在灌溉 水含盐量较低时,会产生对土层盐分的淋洗并使其 向下运移。

3 结 论

黄土层中灌溉,在地下水深埋的条件下,非饱和 带水分及盐分的传输过程具有以下几个特征: 黄 土因其细粒微孔隙特性和干旱成因,具有较大的持 水量、天然含水量、离子吸附性和可溶性,在灌溉条 件下,存在着显著的水盐效应; 黄土层中集中补给 的灌溉水入渗存在非饱和孔隙水渗流和超渗导管流 2种状态,前者可形成明显的湿润峰带,但运移速度 很慢^[8],渗透速度约为 15 cm/d (黄土原区)和 16 7 cm /d(阶地区);后者入渗速度很快且不存在 湿润峰带; 灌溉水是黄土层中外来盐分的主要来 源和超根层黄土的主要吸附离子来源; 灌溉水入 渗在通过高含盐量土层时,具有明显的溶滤和淋洗 作用,并将盐分向下运移^[9],超渗导管流还具有快速 传导高浓度盐分的作用; 在外源引水灌区,强烈的 入渗作用和大量盐分的引入将使黄土渗透带大量积 盐,在地下水浅埋区可产生严重的水土盐化,而在深 埋区正确认识和及时预报土层盐分和污染物的积蓄 与传输规律,对地下水质和土壤生态环境的保护非 常重要。



- [1] Sham rukh M, Corapcioglu M Y, Hassona F A A. Modeling the effect of chemical fertitczers on ground water quality in the nile valley aquifer, egypt[J]. Grourd Water, 2001, 39(1): 59-67.
- [2] C Nelson Neale, Joseph B Hughes, Ward C H. Impacts of Insaturated, one prorertise on oxygen transport and aquifer reaeration [J]. Ground Water, 2000, 38(5): 784-794.
- [3] 彭克明 农业化学[M] 北京: 中国农业出版社, 2000 90- 93
- [4] 沈振荣, 张喻芳, 杨诗秀, 等. 水资源科学实验研究[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 1992 240- 305.
- [5] 崔玉亭,李 秀,靳乐山,等. 化肥与生态环境保护[M]. 北京: 化学工业出版社, 2000 81-84.
- [6] 王遵亲, 祝寿泉, 俞仁培, 等 中国盐渍土 M] 北京: 科学出版社, 1993 353-360
- [7] 马耀光,刘俊民,王晓霞,等.黄土层非饱和水入渗特征分析[J].西北农业大学学报,1995,23(3):170-175.
- [8] 李佩成,刘俊民,魏晓妹 黄土原灌区三水转化机理及调控研究 [1] 西安:陕西科学技术出版社,1999.164-175.
- [9] 马耀光,刘俊民,王纪科,灌溉对黄土层易溶阳离子淋溶的试验研究[7],干旱地区农业研究,1995,13(3):50-53.

Effects of irrigation on water and salt in loess layer

MA Yao-guang¹, L I Shu-q in³, L I Shi-q ing², XU Yong-gong¹, HE Xiao-feng¹, JAO Xiao-li¹, SUN De-hua¹

(1 College of W ater Resources and A rchitectural Engineering; 2 College of Resources and Environment,
3 College of Information Engineering, N orthwest Sci-Tech University of A griculture and Forestry, Yang ling, Shaanxi 712100, China)

Abstract The water infiltration and salt change characteristics were studied by irrigation experiments, urea application and soil sampling, and the electric-conductivity of soil maceration extract was analyzed The results showed that the peak value belt occurred in unsaturated water infiltration, and the movement rate was 0 15- 0 17 m/d in 0- 6 m layer, at the same time, quickly tube water flow also occurred in this layer. The electric conductivity increased significantly, and the biggest increase was 2 12 times in bess plateau area and 4 times in bess terrace area when the salt content in the irrigation amount was 615. 82 mg/L and 815. 07 mg/L, respectively, and urea application rate was 454. 6 kg/hm² and 378. 8 kg/hm². These results indicated the following factors, such as salt in irrigation water, inos produced in fertilizers, chem ical materials stems from dissolution and leaching of irrigation water in bess influence the salt distribution and movement and nitrogen subside in bess layer under root belt

Key words: irrigation; bess layer; infiltration characteristics; water-salt effect