灌溉对土壤水分分布和潜水蒸发的影响*

曹红霞[1], 康绍忠[1,2], 何 华[1,3]

(1 西北农林科技大学 教育部旱区农业水土工程重点实验室, 陕西 杨陵 712100; 2 中国农业大学 水利与土木工程学院, 北京 100083;
3 中国科学院、水利部 水土保持研究所, 陕西 杨陵 712100)

[摘 要] 通过室内土柱试验, 对 3 种灌水处理条件下不同地下水埋深土壤中的水分分布和潜水蒸发规律进行了分析。结果表明, 灌溉制度和地下水埋深对潜水蒸发影响较大。在同一水位下, 总灌水量相同, 灌水频率不同时, 随灌水频率增加, 潜水蒸发量显著减少; 在同一水位下, 低灌水频率土壤随次灌水量增加潜水蒸发减少, 且水位越深, 潜水蒸发量减少越大, 水位越浅, 潜水蒸发量减少越小。

[关键词] 灌溉; 地下水埋深; 潜水蒸发; 土壤水分布

[中图分类号] S152.7+2 [文献标识码] A [文章编号] 1671-9387(2003)05-0069-04

北方干旱地区农田潜水蒸发是引起土壤盐碱化的主要原因之一。目前, 人们对裸地潜水蒸发的机理和过程已有了较深入的认识[1]。近年来, 研究者针对作物生长和土壤冻结条件下潜水蒸发规律[2~6], 以及地下水矿化度对潜水蒸发量的影响[7]等方面进行了研究, 并取得一定成果。但有关不同地下水埋深条件下, 灌溉对土壤水分分布和潜水蒸发的影响研究较少。本研究在不同地下水埋深的土壤上, 结合不同的灌溉模式, 对潜水蒸发和土壤水分分布规律进行了探讨, 并对农田潜水矿化度较高的地区, 提出了防止潜水蒸发造成土壤积盐的最优灌溉模式。

1 材料与方法

1.1 试验装置

有机玻璃土柱 6 个, 高 2 m, 内径 23.8 cm; PVC 土柱 6 个, 高 1.0 m, 内径 10.3 cm。土柱前侧及左右侧各有一排采样孔, 孔距 10 cm, 用橡皮塞塞住, 试验期间用来采土样。土柱底部有一细管嘴, 通过此管嘴用橡皮管将马氏瓶与土柱连通, 调整马氏瓶通气管的高度, 可控制土柱中的地下水埋深。此外灌水后, 马氏瓶的通气管还兼有排水的作用。

土柱内装均质扰动土。土料取自西北农林科技大学节水灌溉实验站, 为重壤土, 经风干过 2 mm 筛, 按干容重 1.30 g/cm^3 控制, 每 5 cm 分层填装。土柱底部装有 10 cm 厚反滤层。土柱装填好后, 根据试验设计控制地下水埋深, 马氏瓶水量在一周内呈稳定缓慢减少时, 则认为各土柱已达到相应控制埋深的水分动态平衡分布, 试验可开始。试验期间采用 250 W 红外线灯泡光照(10 h/d), 模拟蒸发条件。

1.2 试验设计

试验设 9 个处理, 见表 1。

表 1 试验各处理一览表

Table 1 Experiment treatments

处理 Treatment	地下水埋深/m Ground-water table	每次灌水量/mm Irrigation quantity at a time	相邻 2 次灌水间隔时间/d Interval between two irrigations	总灌水量/mm Total irrigation quantity
1	1.7	90	15	360
2	1.7	45	15	180
3	1.7	30	5	360
4	1.2	90	15	360
5	1.2	45	15	180
6	1.2	30	5	360
7	0.8	90	15	360
8	0.8	45	15	180
9	0.8	30	5	360

[收稿日期] 2003-01-17
[基金项目] 教育部科学技术研究重点项目(重点 02075)
[作者简介] 曹红霞(1971-), 女, 新疆昌吉州人, 讲师, 博士, 主要从事农业水土环境研究。

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

各处理土柱从试验的第 1 天起开始灌水, 共持续 60 d。各处理有 4 次灌水时间相同, 在前 3 次同时灌水的前 1 天、灌水后第 4 天及试验结束时取土样, 最后一次同时灌水后未取土样, 只在灌水前取土样。

1.3 测定项目和测定方法

补水量测定 随蒸发作用进行, 马氏瓶中的水补给土柱, 应及时给马氏瓶补充水量以控制地下水埋深, 每次补给的水量用量筒测定。

土壤含水量 采用烘干法测定。

2 结果与分析

2.1 不同地下水埋深的土壤水分分布规律

2.1.1 初始水分分布 图 1 为不同时期各灌水处理的水分分布情况, 其中 0 d 的水分分布为试验处理开始前的初始水分分布。由各处理的初始水分分布状况可知, 随地下水埋深变浅, 土壤剖面水分含量增高, 即非饱和区各深度处含水量表现为: 0.8 m 埋深> 1.2 m 埋深> 1.7 m 埋深。0.8 m 地下水埋深土壤土表含水量特别高, 超过了土壤持水量(25%), 而 1.2 m 比 1.7 m 埋深土壤土表含水量略高, 但均小于 23%, 即低于土壤持水量。且 1.7 m 埋深土壤在土表 50 cm 土层内含水量均低于土壤持水量, 而 1.2 m 埋深土壤在土表 15 cm 土层内低于土壤持水量。此外, 同一埋深处理土壤水分分布差异不大, 有较好的一致性, 说明各处理土壤初始条件控制良好。

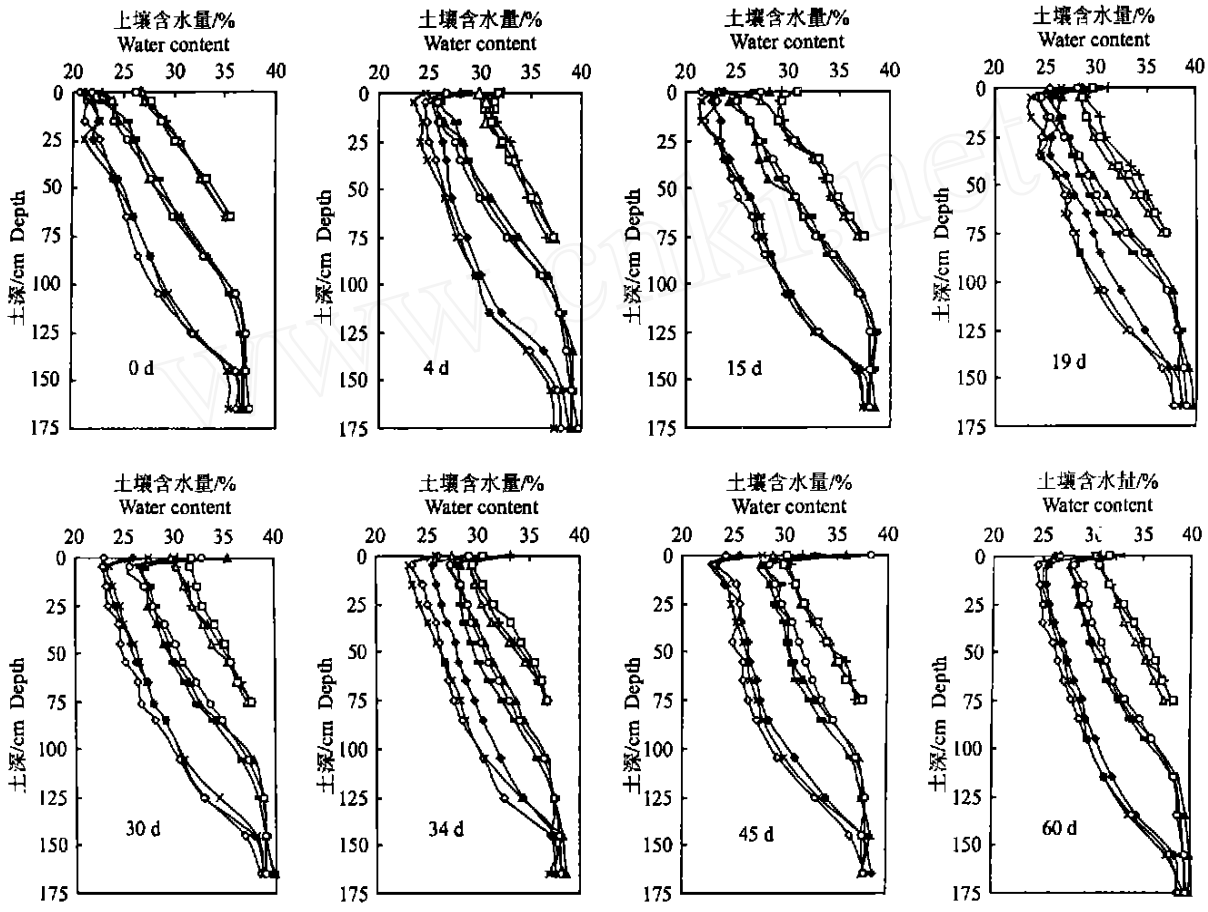

图1 不同时期各灌水处理土壤水分分布

—●—.处理1; —○—.处理2; —×—.处理3; —▲—.处理4; —■—.处理5; —○—.处理6; —+—.处理7; —△—.处理8; —□—.处理9

Fig.1 Soil water distribution of each irrigation treatment in different periods

—●—.Treatment 1; —○—.Treatment 2; —×—.Treatment 3; —▲—.Treatment 4; —■—.Treatment 5; —○—.Treatment 6; —+—.Treatment 7; —△—.Treatment 8; —□—.Treatment 9

2.1.2 灌水前后水分分布规律 图 1 中, 4, 19, 34 d 水分分布图分别为第 1、2、3 次灌水后第 4 天的水分分布状况; 15, 30, 45, 60 d 水分分布图分别为第 2、3、4 次灌水前和试验结束时的水分分布状况。由图 1 可以看出, 除 4 d 外, 19, 34 d 均显示: 1.7 m 埋深土壤中 90 mm/15 d 灌水处理非饱和区水分含量

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

明显高于其他 2 个处理, 而在 1.2 和 0.8 m 埋深土壤中, 各灌水处理水分含量差异很小。对 4 d 和 0 d 水分分布的比较可以看出, 第 1 次灌水主要是提高了土壤表层的含水量, 特别是各处理土壤近地表土层含水量都明显提高, 如 1.7 和 1.2 m 埋深土壤含水量都几乎达到或超过土壤持水量(25%), 0.8 m 埋深土壤则仅达到 30% 左右; 就 1.7 m 埋深土壤而言, 在土表 50 cm 土层范围内, 含水量提高程度表现为 90 mm/15 d> 45 mm/15 d> 30 mm/15 d, 而 1.2 和 0.8 m 埋深土壤中, 各灌水处理水分状况较一致。以上现象说明, 第 1 次灌水有许多水分蓄存在上层土壤中, 提高了上层土壤含水量, 且不同处理土壤对灌水的蓄存情况不同。

对各时期同一处理的水分分布情况(图 1)进行比较可以看出, 各处理的上层土壤水分含量均表现为灌水前低于灌水后, 且此上层土壤的深度随地下水埋深和灌水处理的不同而不同, 而在相应的各上层土深以下的深度范围内无较大差异。此外, 各时期不同处理的上层土壤水分含量均高于初始水分状况, 这反映出第 1 次灌水提高了上层土壤水分含量后, 上层土壤一直保持较高含水量, 并在一定范围内变化, 即经 15 d 水分逐渐降低到下次灌水前含水量, 灌水后又升高, 如此反复。

灌水后水分分布图反映的是灌水后第 4 天的情况, 灌水后至取样的 3 d 时间内, 进入土壤的灌水已经历了一段时间的再分布。地下水埋深浅, 土壤含水量高, 土壤中可容纳灌水的空间少, 灌水渗入土壤后, 土壤下部水分很快从底部被挤而排出; 反之, 水位深, 土壤含水量相对较低, 土壤中有较多孔隙容纳灌水, 排水速度相应较慢。试验期间也观测到, 水位浅的土壤每次灌水后排水早, 水位深则排水晚。再加之, 灌水后第 4 天取样, 此时较浅水位处理(1.2 和 0.8 m)土壤排水几乎结束, 所以灌水后第 4 天的水分分布状况不能反映灌水处理对各处理土壤水分含量的影响, 只是表现为水位深的土壤灌水后, 水分含量增加的上部土层范围大; 水位浅的土壤, 水分含量增加的上部土层范围小。也就是说, 灌水后, 深水位可保证在上部土层中多蓄些灌水, 而在浅水位下, 灌水大都从土壤中迅速排出, 能蓄在上部土层中的灌水减少。

2.2　潜水蒸发规律

表 2 为不同地下水埋深土壤在不同灌水处理下每隔 15 d 的潜水蒸发量。由表 2 可以看出, 在 1.7 m 埋深下, 45 mm/15 d 灌水处理土壤中潜水蒸发量最大, 而 90 mm/15 d 与 30 mm/5 d 潜水蒸发量相差不大; 在 1.2 和 0.8 m 地下水埋深下, 亦表现为 45 mm/15 d 灌水处理土壤中的潜水蒸发最多, 且 90 mm/15 d 比 30 mm/5 d 潜水蒸发量大; 不同地下水埋深下, 30 mm/5 d 灌水处理土壤中潜水蒸发量相差不大, 其余 2 灌水处理则表现为随地下水埋深变浅, 潜水蒸发呈增加趋势。以上现象表明灌水处理对潜水蒸发影响较大。

表 2　不同地下水埋深各灌水处理土壤的潜水蒸发量

Table 2　Evaporation from shallow groundwater of each irrigation treatment under different groundwater table

时段/d Period	1.7 m 埋深 1.7 m groundwater table			1.2 m 埋深 1.2 m groundwater table			0.8 m 埋深 0.8 m groundwater table		
	90 mm/15 d	45 mm/15 d	30 mm/5 d	90 mm/15 d	45 mm/15 d	30 mm/5 d	90 mm/15 d	45 mm/15 d	30 mm/5 d
1～15	14.6	25.64	7.7	41.2	48.2	9.5	48.4	53.0	8.4
16～30	5.6	26.54	5.9	40.1	44.0	8.3	50.6	55.7	8.7
31～45	8.3	28.6	8.8	37.8	46.7	5.9	46.7	52.3	7.6
46～60	8.3	22.5	5.2	39.7	47.2	5.6	47.2	54.2	6.4

由于在 3 种地下水埋深条件下, 各灌水处理土壤土表含水量均在土壤持水量的 70% 以上, 因此各处理土壤的表土蒸发主要受大气蒸发能力的限制, 即各处理土壤表土蒸发量相同。高灌水频率(30 mm/5 d)使得不同埋深的土壤在大多数时期处于缓慢排水阶段, 土壤排水时土表的蒸发主要消耗的是存在于土壤中的水分, 而不引起潜水蒸发, 因此高灌水频率下不同地下水埋深土壤中潜水蒸发均较少。

由前面的水分分析知, 水位深的土壤可储存较多的灌水, 而浅水位土壤储水少, 因此, 在相同表土蒸发量前提下, 水位深的土壤蒸发消耗的水量首先来自土体内部的大量储水, 随土壤水分含量降低, 潜水向上运动补充需求; 而浅水位土壤中, 排水结束后土表蒸发消耗的水大都需潜水上移补给, 从而造成灌水频率低的处理, 随水位变浅, 潜水蒸发量呈增加趋势。

此外, 在 1.7 m 埋深土壤中, 90 mm/15 d 与 45 mm/15 d 灌水处理相比, 在相同灌水间隔期内, 因前者灌水多, 相应排水期较长, 土壤中储水量也较大, 灌水用于蒸发消耗的比例较大, 因而表现为在 1.7 m 埋深土壤中随每次灌水量增加, 潜水蒸发显著减少。1.2 m 埋深土壤中, 因其自身较高的水分含

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

量,使得 45 mm/15 d 和 90 mm/15 d 灌水处理在土壤中蓄存的水量差异较在 1.7 m 埋深土壤中小,因而表现出潜水蒸发差异相对较小。虽如此,但总体仍显示出随每次灌水量增多,潜水蒸发量减少。

3 结论与讨论

(1)在同一地下水埋深条件下,总灌水量相同,灌水频率不同时,随灌水频率增高,潜水蒸发量显著减少。在本试验条件下,各地下水埋深土壤中高灌水频率处理(30 mm/5 d)的潜水蒸发量均较小。

(2)在同一地下水埋深条件下,低灌水频率土壤随每次灌水量增加,潜水蒸发量减少,且在一定地下水埋深范围内,水位越深,潜水蒸发量减少越大,水位越浅,潜水蒸发量减少越小。

(3)低灌水频率下,随地下水埋深变浅,潜水蒸发呈增加趋势。

(4)地下水位加深,灌水对土壤水分分布的影响增大,且灌水在土壤中的蓄存量增加。

(5)根据以上结论可知,在农业生产中,对于矿化度较高的潜水,为了防止由于潜水大量蒸发引起上部土层盐碱化,可采用少量多次灌水(高灌水频率)的方法以减少潜水蒸发,从而达到控制或减弱潜水中的盐分向上部土层聚集的作用。这种灌水方法对于各种地下水埋深的土壤都适宜,且效果显著。而对于多量少次灌水(低灌水频率下的大定额灌溉),当地下水埋深较浅时,其减弱高矿化度的潜水向上运动的效果不显著,而对地下水埋深较大的土壤效果较好。

[参考文献]

[1] 雷志栋,杨诗秀,谢森传. 土壤水动力学[M]. 北京:清华大学出版社,1988.
[2] 程先军. 有作物生长影响和无作物时潜水蒸发关系的研究[J]. 水利学报,1993,(6):37-42.
[3] 郭占荣,荆恩春,聂振龙,等. 不同潜水埋深条件下蒸发蒸腾试验研究[J]. 勘察科学技术,2001,(5):27-31.
[4] 赵东辉. 原状土冻结期间潜水消耗初步研究[J]. 冰川冻土,1997,19(1):73-78.
[5] 雷志栋,王 义. 土壤冻结过程中潜水蒸发规律的模拟研究[J]. 水利学报,1999,(6):6-10.
[6] 郭占荣,荆恩春,聂振龙,等. 种植条件下潜水入渗和蒸发机制研究[J]. 水文地质工程地质,2002,(2):42-46.
[7] 刘广明,杨劲松. 土壤蒸发量与地下水作用条件的关系[J]. 土壤,2002,(3):141-144.

Effects of irrigation on soil water distribution and shallow groundwater evaporation

CAO Hong-xia[1], KANG Shao-zhong[1,2], HE Hua[1,3]

(1 *Key Laboratory of Arid Agricultural Soil and Water Engineering of the Ministry of Education, Northwest Sci-Tech University of Agriculture and Forestry, Yangling, Shaanxi* 712100, *China*;
2 *College of Water Resources and Civil Engineering of China Agricultural University, Beijing* 100083, *China*;
3 *Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling, Shaanxi* 712100, *China*)

Abstract: Water distribution and shallow groundwater evaporation in soil with different groundwater table under three irrigation treatments were investigated through soil column experiments in lab. Results showed irrigation schedule and groundwater table had a great influence on the shallow groundwater evaporation. The evaporation of shallow groundwater would decrease substantially when irrigation frequency increased at the same groundwater table and same irrigation quantity. The evaporation of shallow groundwater decreased at low irrigation frequency under the same groundwater table when the quantity per irrigation increased. Deeper the groundwater table, less the evaporation.

Key words: irrigation; groundwater table; shallow groundwater evaporation; soil water distribution

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net