

# 涌泉根灌土壤湿润体影响因素的试验研究

樊晓康<sup>1,2</sup>, 陈俊英<sup>1,2</sup>, 牛文全<sup>1,2,3</sup>, 朱德兰<sup>1,2</sup>

(1. 西北农林科技大学水利与建筑工程学院, 陕西 杨凌 712100; 2. 西北农林科技大学中国旱区农业节水研究院, 陕西 杨凌 712100; 3. 中国科学院水利部水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100)

**摘要:** 滴头流量、灌水量及埋深与土壤湿润体的关系是涌泉根灌设计的依据。通过室内土槽试验, 研究了涌泉根灌的滴头流量、灌水量及滴头埋深对均质粘壤土湿润体变化的影响。结果表明: 涌泉根灌土壤入渗湿润体在垂直向下距离和水平扩散距离均与灌水时间成幂函数关系, 相关系数达到 0.98 以上; 滴头流量和灌水器埋深对土壤入渗湿润体影响较大, 而灌水量对土壤入渗湿润体无显著影响。

**关键词:** 涌泉根灌; 土壤湿润体; 影响因素; 入渗

中图分类号: S275.6 文献标识码: A

## Experimental Study on Influencing Factors of Soil Wetted Body of Clay Loam under Bubbled Root Irrigation

FAN Xiao-kang<sup>1,2</sup>, CHEN Jun-ying<sup>1,2</sup>, NIU Wen-quan<sup>1,2,3</sup>, ZHU De-lan<sup>1,2</sup>

(1. College of Water Resources and Architectural Engineering, Northwest Agriculture & Forestry University, Yangling 712100, China; 2. Institute of Water Saving Agricultural in Arid Areas of China, Northwest Agriculture & Forestry University, Yangling 712100, China; 3. Institute of Soil and Water conservation, CAS & MWR, Yangling 712100, China)

**Abstract:** The relationship between the wetted body and the discharge of emitter, the volume of water, and the depth of the emitter is the base of bubbled root irrigation design. The influences of different discharge, volume of irrigation water and the depth on the wetted body of clay loam are gotten through some experiments on lab in this paper. The results shows that the remarkable power functions exist between horizontal and vertical wetting fronts and the infiltration time, and the correlation coefficient are above 0.98. The influence of the discharge and depth of the emitter on the wetted body is significant, while that of the volume of water is not significant.

**Key words:** bubbled root irrigation; soil wetted body; influencing factors; infiltration

## 0 引言

涌泉根灌是一种适合果树灌溉地下灌水技术, 其灌水器埋入地下, 将水分直接输送到果树的根部<sup>[1]</sup>, 有效减少了土壤表层无效水分蒸发, 提高灌水利用效率。涌泉根灌灌水器的出流界面在土壤中形成了典型的地下柱面供水入渗方式, 该入渗方式条件下土壤水分的渗透、扩散规律以及影响因素是科学设计涌泉根灌的依据, 因此研究影响涌泉根灌土壤湿润体变化规律的影响因素具有重要的实用价值。入渗规律以及土壤水分的扩散规律一直是农业水土工程领域研究的重点问题之一, 尤其在点源、线源、面源等供水方式的土壤湿润体变化规律方面取

得了显著的成绩, 对沟灌<sup>[2-4]</sup>、膜孔灌<sup>[5]</sup>、滴灌<sup>[6]</sup>等灌水技术的科学设计提供了技术依据。对于影响土壤入渗特性的因素, 国内外学研究影响灌溉土壤入渗的影响因素有土壤的结构、初始含水量、灌水时间、灌水量等因素有关<sup>[7-9]</sup>。涌泉根灌柱面入渗对土壤湿润体变化的影响相对较少<sup>[10]</sup>。本文通过室内试验研究不同流量、灌水量及滴头埋深情况下涌泉根灌柱体入渗土壤湿润体特性, 为涌泉根灌系统设计提供理论依据。

## 1 材料方法

### 1.1 供试土壤

试验用土壤取自杨凌旱区节水农业研究院试验田表层 0~

收稿日期: 2011-06-20

基金项目: “十二五” 863 计划课题(2011AA100507); 农业转化资金(2010GB2G000470)。

作者简介: 樊晓康(1985-), 男, 硕士研究生, 主要从事节水灌溉新技术的研究工作。E-mail: xiaolabi39@126.com。

通讯作者: 牛文全(1972-), 男, 副研究员, 博士, 主要从事农田灌溉用水以及水土资源高效利用方面的理论与技术研究。E-mail: nwq@vip.sina.com。

40 cm, 土壤的基本物理特性见表 1。

表 1 土壤的基本物理特性

土壤类型	粒径百分比/ %				土壤密度/(g·cm <sup>-3</sup> )
	1~0.05	0.05~0.005	0.005~0.001	< 0.001	
黏壤土	7.71	60.0	30.1	21.4	1.35

### 1.2 试验系统

试验系统由供水系统和试验土箱两部分组成。试验采用矩形土箱, 土箱由厚 10 mm 的有机玻璃制成, 其规格为 120 cm × 60 cm × 80 cm (长 × 宽 × 高)。供水系统由供水箱、马氏瓶和涌泉根灌灌水器组成, 其中马氏瓶提供恒定水头, 在恒定水头下通过调节马氏瓶旋钮开度来控制流量。涌泉根灌灌水器长 15 cm, 外径 4.2 cm, 在滴头外壁打孔, 打孔区域长度 8 cm, 长 7 cm, 密封套在辅助灌水器上部, 延管壁底部向上在管壁上打孔 (打孔长度 8 cm)、开孔度为 15%, 开孔部分用纱布包裹, 防治土壤颗粒进入滴头内产生堵塞, 如图 1、2 所示。

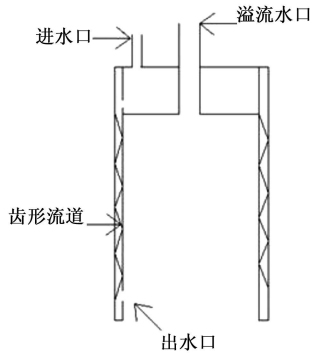


图 1 涌泉根灌灌水器剖面

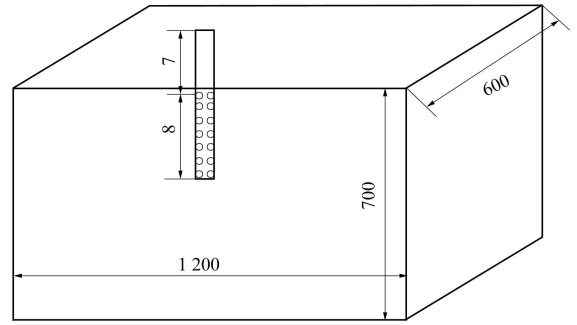


图 2 试验土箱

### 1.3 试验方法和观测内容

试验设置了滴头流量(5 L/h、7 L/h)、灌水量(30 L、50 L、70 L)和滴头埋深(20 cm、30 cm) 3 个因素, 共 12 个处理。将试验用土过 2 mm 筛后按容重 1.35 g/cm<sup>3</sup> 分层装入试验土箱 (每 5 cm 为一层), 层间打毛。

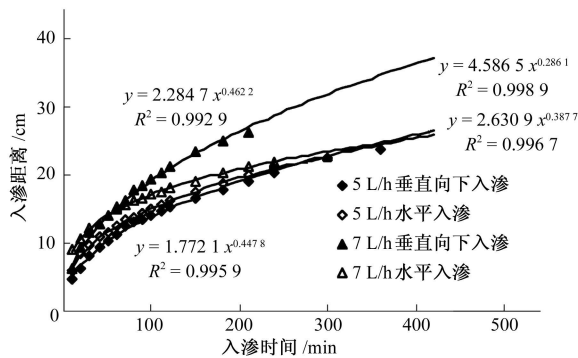
灌水试验开始后用秒表计时, 定时观测土壤湿润体水平扩散半径和垂直的入渗深度, 并同时有机玻璃上描出湿润体形状, 用卷尺量取湿润峰距离。

## 2 结果分析

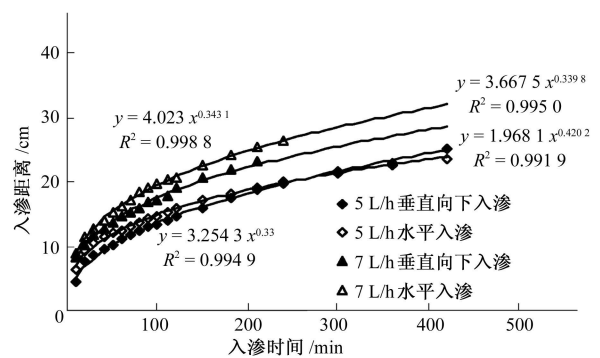
### 2.1 流量对涌泉根灌湿润体特征值的影响

涌泉根灌土壤湿润体水平湿润半径  $R(t)$  和垂向入渗深度  $L(t)$  是描述湿润体形状变化的重要特征参数, 上述参数的影响因素及相关关系是确定涌泉根灌布置方式和滴头间距的重要依据。

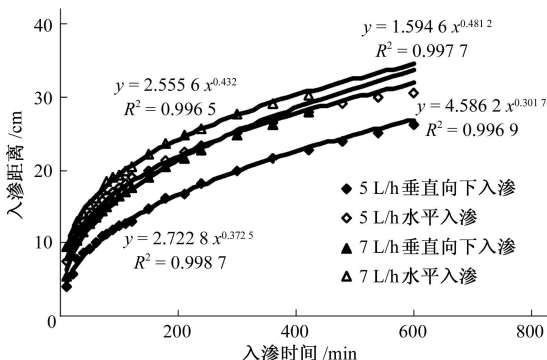
图 3(a)、(c)、(e) 是涌泉根灌 柱体埋深为 20 cm, 灌水量分别为 30 L、50 L、70 L 情况下, 滴头流量在 5 L/h 和 7 L/h 条件下对水平湿润峰运移距离的影响; 图 3(b)、(d)、(f) 是涌泉根灌



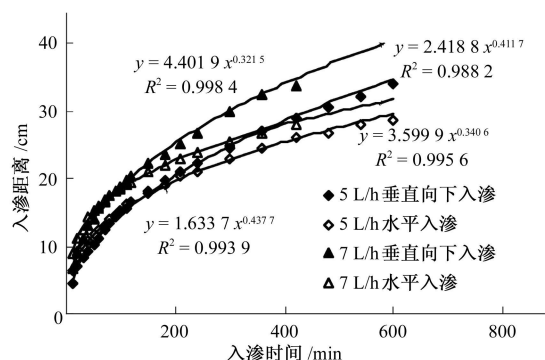
(a) 灌水量 30 L, 灌水器埋深 20 cm



(b) 灌水量 30 L, 灌水器埋深 30 cm



(c) 灌水量 50 L, 灌水器埋深 20 cm



(d) 灌水量 50 L, 灌水器埋深 30 cm

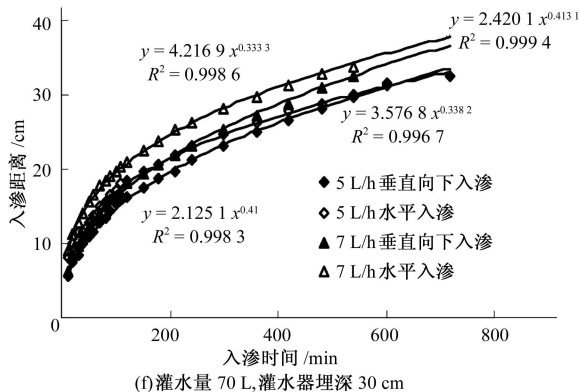
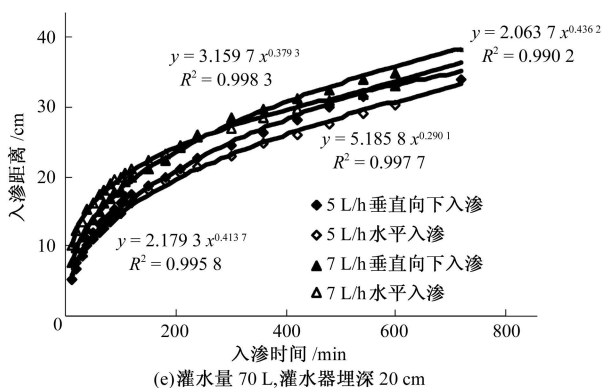


图3 流量对湿润锋运移距离的影响

柱体埋深 30 cm, 灌水量分别是 30 L、50 L、70 L 情况下, 滴头流量在 5 L/h 和 7 L/h 条件下对水平湿润锋运移距离的影响。由图 3 可知, 随着入渗时间的增加, 湿润体的水平湿润距离呈增长趋势, 并随时间的推移, 增长的幅度逐渐变小, 并成幂函数关系, 且  $R^2$  均在 0.98 以上。由图 1 还可以看出, 入渗湿润体随滴头流量的增大, 在相同时刻的入渗距离越大, 这是由于涌泉根灌在辅助灌水器作用下在灌水过程中形成一种垂直柱状入渗, 灌水过程中水是充满了整个柱状体, 不同流量情况下柱状体内产生了一定的不同压力, 流量越大形成的局部压力越

大, 形成了有压灌溉, 流量越大柱状体内产生的压力越大, 导致了大流量情况下, 水平湿润锋扩散距离越大。此研究结果与张振华(2004 年)和李明思(2006 年)等人研究的点源滴灌滴头流量与湿润体变化趋势基本一致。

### 2.2 不同灌水量对湿润体特征值的影响

图 4 中 (a) - (d) 分别是在 (流量为 5 L/h, 埋深 20 cm; 流量为 5 L/h, 埋深 30 cm; 流量为 7 L/h, 埋深 20 cm; 流量为 7 L/h, 埋深 30 cm) 下不同流量对湿润体形状在垂直向下的影响。图 5 为不同流量对湿润体形状在水平向的影响。

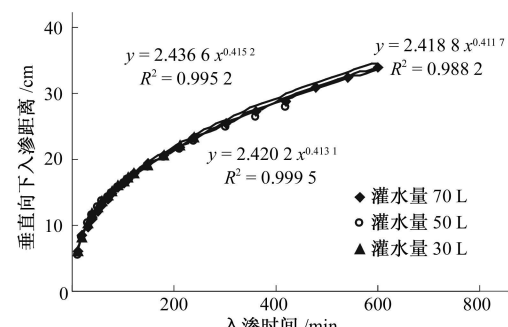
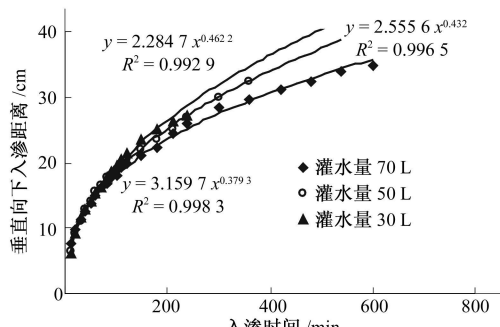
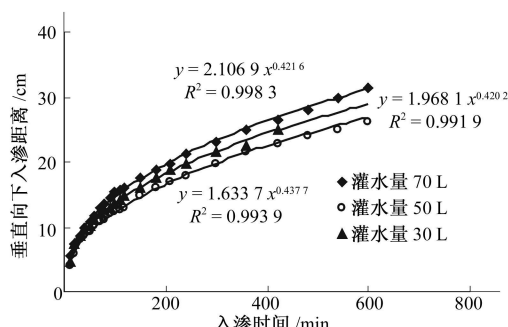
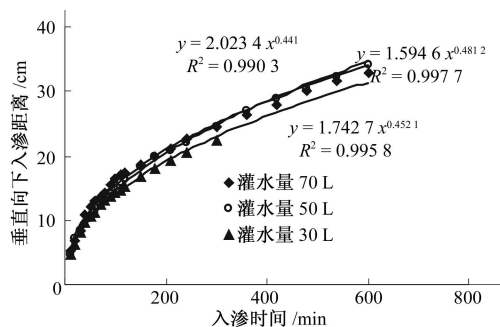


图4 灌水量对垂直向下湿润锋运移距离的影响

由图 4、图 5 还可看出, 在相同时刻, 随着灌水量的不同, 对土壤入渗湿润体的影响在垂直向下和水平方向的变化无显著差异。但当滴头埋深为 20 cm 时, 流量为 5 L/h 时, 灌水量为 70 L 时, 有少量水分渗出地表, 而流量为 7 L/h 时, 70 L 时水分渗出表面较多, 造成了地表无效水分蒸发; 滴头埋深 30 cm 情况下, 流量为 5 L/h 时, 无水分渗出地表, 而流量为 7 L/h 时, 水分有渗出表面现象。

### 2.3 灌水器埋深对湿润体特征值的影响

由于涌泉根灌的特点是由柱体滴头和辅助灌水结构将水直接输送到果树的根部, 只对根部进行灌溉, 有效减少了土壤表层无效水分蒸发, 提高灌水利用效率, 所以, 了解灌水器滴头埋深与土壤湿润体特征值的变化非常重要。

由图 6 可知, 当灌水量较小, 流量也较小时, 即图 6(a), 不同埋深对湿润体在垂直向下和水平方向湿润距离变化的影响无显著差异; 但当灌水量或流量任何一个因素增加时, 即图 6

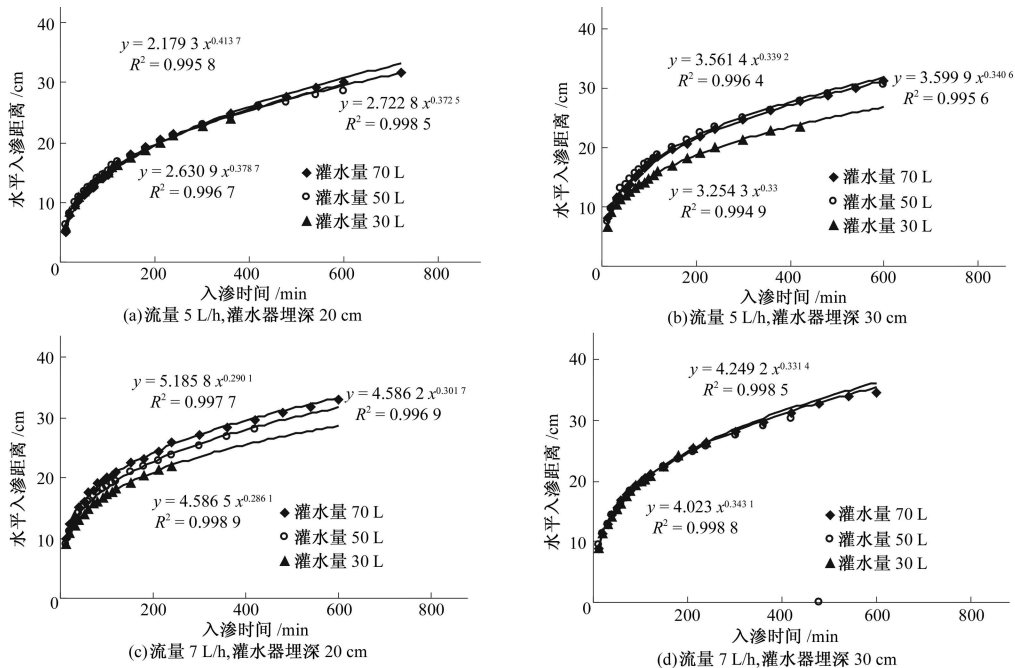


图 5 灌水量对水平湿润锋转移距离的影响

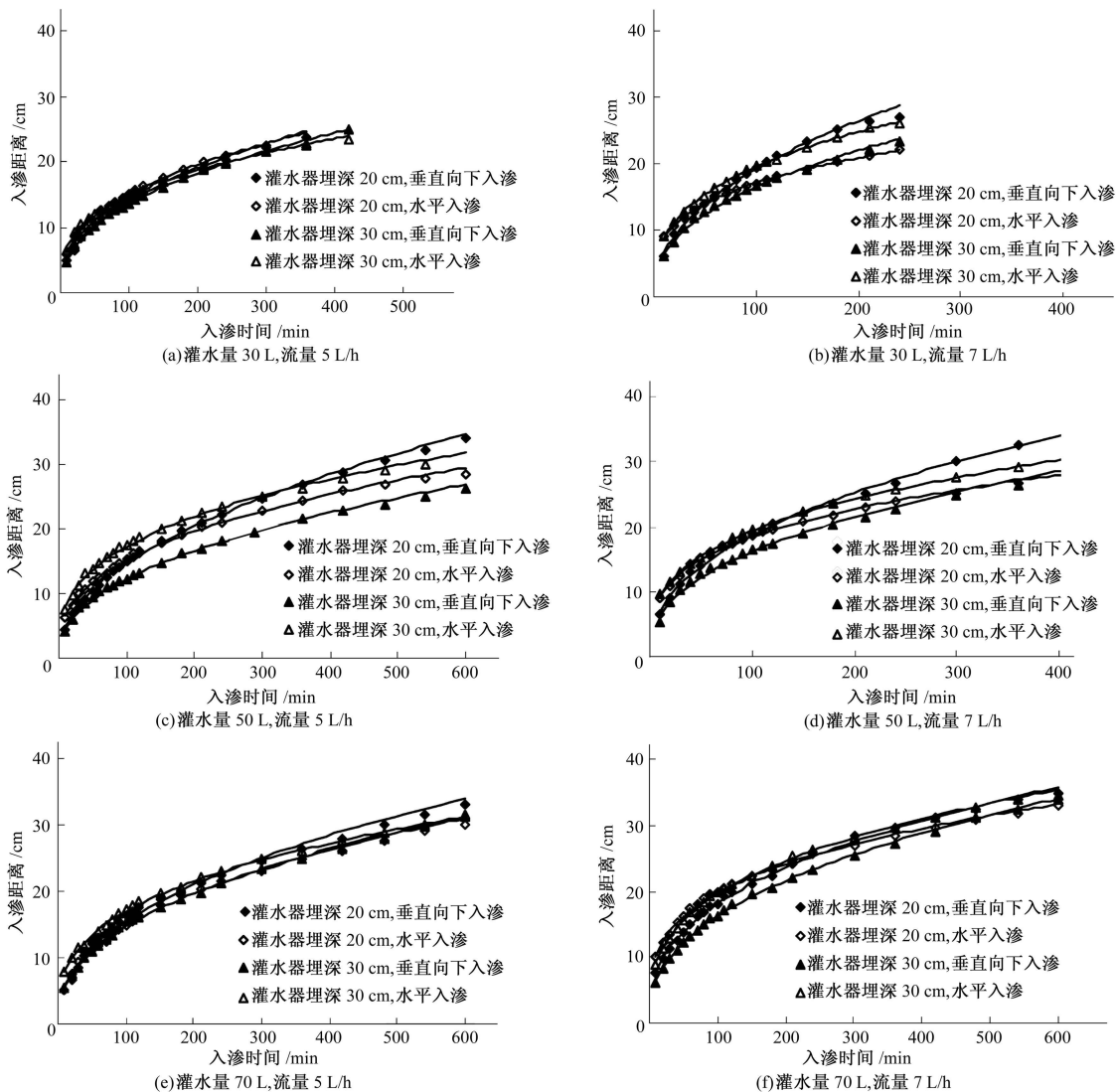


图 6 埋深对对湿润锋转移距离的影响

(下转第 9 页)

- dynamics[J]. Soil & Tillage Research, 2004, 79: 7- 31.
- [5] 匡国明. 我国复混肥发展的新趋势[J]. 贵州化工, 2003, 28(5): 10- 12.
- [6] M. M. 科诺诺娃. 土壤有机质[M]. 北京: 科学出版社, 1966.
- [7] 陈炳东, 王生录, 周广业, 等. 非腐解有机物对新修梯(条) 田土壤的培肥效果[J]. 土壤通报, 2001, (12): 263- 265.
- [8] 杨志臣, 吕贻忠, 张凤荣. 秸秆还田和腐熟有机肥对水稻土培肥效果对比分析[J]. 农业工程学报, 2008, (3): 214- 218.
- [9] Jose Antonio Pascual, Carlos Garcia, Teresa Hernandez. Comparison of fresh and composted organic waste in their efficacy for the improvement of arid soil quality [J]. Bioresource Technology, 1999, 68: 255- 264.
- [10] Samuel Abiven, Samuel Abiven, Safya Menasseri. The effects of organic inputs over time on soil aggregate stability - A literature analysis [J]. Soil Biology & Biochemistry, 2008, 10: 1- 12.
- [11] 王珍, 冯浩, 吴普特, 等. 新型有机无机复合肥料对春玉米产量及水分利用效率的影响[J]. 农业工程学报, 2009, 25(11): 114- 119.
- [12] 陈连海, 冯浩, 杜建. 新型有机无机复合肥料对土壤养分含量及小麦产量影响的试验研究[J]. 生态经济, 2009, (2): 6- 10.
- [13] 董勤各, 冯浩, 杜健. 秸秆粉碎还田与化肥配施对冬小麦产量和水分利用效率的影响[J]. 农业工程学报, 2010, 26(增刊2): 156- 162.
- [14] 王红光, 于振文. 推迟拔节水及其灌水量对小麦耗水量和耗水来源及农田蒸散量的影响[J]. 作物学报, 2010, 36(7): 1183- 1191.
- [15] 李绍飞, 王仰仁, 孙书洪, 等. 不同节水灌溉方案对冬小麦用水效率及效益的影响[J]. 节水灌溉, 2011, (3): 1- 5.
- [16] 李炎, 王仰仁, 迟道才, 等. 不同水肥调控措施对冬小麦产量影响的研究[J]. 节水灌溉, 2009, (8): 1- 3.
- [17] 段敏, 同延安, 魏样. 不同施肥条件下冬小麦氮素吸收、转运及累积的研究[J]. 麦类作物学报, 2010, 30(3): 464- 468.
- [18] 陈林兴, 胡志华, 孙建国, 等. 稻田灌水量与化肥流失关系的研究[J]. 中国农村水利水电, 2008, (3): 51- 54.
- [19] 谷洁. 有机无机复混肥对冬小麦产量及其水分利用效率的影响[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2004, 32(2): 65- 68.
- [20] 周丽华, 李维炯. 长期施用EM生物有机肥对冬小麦生产的影响[J]. 农业工程学报, 2005, 21(增刊): 221- 224.
- [21] 张睿, 刘党校. 氮磷与有机肥配施对小麦光合作用及产量和品质的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2007, 13(4): 543- 547.
- [22] 张永清, 苗果园. 水分胁迫条件下有机肥对小麦根苗生长的影响[J]. 作物学报, 2006, 32(6): 811- 816.
- [23] 孙福来, 张延霞, 庞祥锋, 等. 长期定位施肥对土壤有机质和碱解氮及冬小麦产量的影响[J]. 土壤通报, 2007, 38(5): 1 016- 1 018.
- [24] Rasmussen, P. E., Rohde, C. R. Long-term tillage and nitrogen fertilization effects on organic nitrogen and carbon in semiarid soil. Soil Science Society of America Journal [J]. 1988, 52(4): 1 114- 1 117.
- [25] Mercik, S Nemeth, K Effects of 60-year N, P, K and Ca fertilization on EU F-nutrient fractions in the soil and on yields of rye and potato crops [J]. Plant and soil, 1985, 83(1): 151- 159.
- [26] 刘杏兰, 高宗, 刘存寿, 等. 有机-无机肥配施的增产效应及对土壤肥力影响的定位研究[J]. 土壤学报, 1996, (2): 138- 147.
- [27] 张夫道. 长期施肥条件下土壤养分的动态和平衡. 对土壤氮的有效性和腐殖质氮组成的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 1996, 2(1): 39- 48.
- [28] 宇万太, 姜子少, 马强, 等. 施用有机肥对土壤肥力的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2009, 15(5): 1 057- 1 064.
- [29] 张小莉, 孟琳, 王秋君, 等. 不同有机无机复混肥对水稻产量和氮素利用率的影响[J]. 应用生态学报, 2009, 20(3): 624- 630.

(上接第4页) (b)、6(c)、6(d), 不同埋深对湿润体在垂直向下和水平方向湿润距离变化的影响较显著, 即在同一时刻, 灌水器埋深越大, 垂直向下和水平方向湿润距离越小; 但当灌水量增加到一定量时, 如70 L时, 即图6(e)、6(f), 不同埋深对湿润体在垂直向下和水平方向湿润距离变化的影响无显著差异。

### 3 结语

(1) 涌泉根灌柱体入渗的土壤湿润体垂直向下入渗距离和水平扩散半径受到滴头流量和灌水器埋深的影响, 受灌水量影响不显著。

(2) 涌泉根灌下垂直入渗距离和水平扩散半径都随着时间的延长而增大, 且与入渗时间呈乘幂函数关系, 相关系数达到0.98以上。

(3) 涌泉根灌的系统设计中一般不考虑地表积水问题, 但当流量或灌水量较大时, 地表积水对土壤入渗距离影响较大, 所以, 在灌溉时, 灌水流量和灌水量不应过大。

#### 参考文献:

- [1] 吴普特, 朱德兰. 涌泉根灌技术研究与应用[J]. 灌排机械工程学报, 2010, 28(4): 355- 357.
- [2] 聂卫波, 马孝义, 王术礼. 沟灌土壤水分运动数值模拟与入渗模型[J]. 水科学进展, 2009, 20(5): 668- 675.
- [3] 张新燕, 蔡焕杰, 王健. 沟灌二维入渗影响因素实验研究[J]. 农业工程学报, 2005, 21(9): 38- 41.
- [4] 虎胆, 木拉提. 沟底膜孔灌水条件下土壤水入渗规律的数值模拟[J]. 水科学进展, 2002, 13(1): 69- 73.
- [5] 范严伟, 马孝义, 王波. 雷膜孔灌土壤湿润体水分分布与人渗特性数值模拟[J]. 农业机械学报, 2008, 39(11): 35- 41.
- [6] 陈佰鸿, 曹建东, 王利军, 等. 不同滴灌条件下土壤水分分布与运移规律[J]. 节水灌溉, 2010, (7): 6- 13.
- [7] Ibrahim Mubarak, Jean Claude Mailhol, Rafael Angulo-Jaramillo, et al. Temporal variability in soil hydraulic properties under drip irrigation [J]. Geoderma, 2009, 150: 158- 165.
- [8] Al-Qinna M I, Abu-Awwad A M. Wetting Patterns under Trickle Source in Arid Soils with Surface Crust [J]. J. agric. Engng Res. 2001, 80 (3): 301- 305.
- [9] 赵伟霞, 蔡焕杰, 陈新明, 等. 无压灌溉土壤湿润体含水率分布规律与模拟模型研究[J]. 农业工程学报, 2010, 26(3): 7- 12.
- [10] 黎朋红. 涌泉根灌湿润体特征值变化规律研究[J]. 水土保持学报, 2009, 23(6): 190- 194.