

李 宏, 张志刚, 郑朝辉, 等. 新疆红枣林地不同流量对滴灌土壤水分运移特征的影响[J]. 江苏农业科学, 2013, 41(8): 171–174.

# 新疆红枣林地不同流量对滴灌土壤水分运移特征的影响

李 宏<sup>1</sup>, 张志刚<sup>1,2</sup>, 郑朝辉<sup>1</sup>, 李丕军<sup>1</sup>, 杨婵婵<sup>1,3</sup>, 郭光华<sup>1,2</sup>

(1. 新疆林业科学院, 新疆乌鲁木齐 830054; 2. 新疆师范大学, 新疆乌鲁木齐 830054; 3. 新疆农业大学, 新疆乌鲁木齐 830000)

**摘要:** 在新疆林业科学院枣树示范基地进行原状土的滴灌入渗试验, 通过 ECH<sub>2</sub>O 水分测定仪对土壤中的水分进行测定, 研究了在不同的滴头流量、相同的灌水历时条件下地滴灌湿润体特征值的变化规律。结果表明: 湿润体的形状与水分分布均受滴头流量的影响, 灌水初期水平扩散距离大于垂直入渗距离, 随着时间的推移, 垂直入渗距离逐渐大于水平扩散距离; 湿润体的体积随着滴头流量的增加而增大; 随着时间的推移, 湿润体的水平、垂直扩散速率逐渐变小; 滴灌湿润体的水平扩散距离、垂直入渗距离与滴灌时间有显著的幂函数关系,  $r^2$  均在 0.95 以上。根据不同滴头流量条件下湿润峰运移的拟合方程, 可以结合不同径级枣树根系的分布, 制定合理的灌溉计划。

**关键词:** 滴灌; 湿润体特征值; 湿润体含水量; 灌水量

**中图分类号:** S155.4<sup>+</sup>4; S275.6 **文献标志码:** A

**文章编号:** 1002–1302(2013)08–0171–04

滴灌是当今世界最先进的灌水技术之一。在正确的系统设计和高水平的田间作物水分管理条件下, 滴灌系统能够适时适量地进行灌溉, 在作物的根区创造出适宜的水、肥、气、热条件, 从而获得节水、高产、优质的效果<sup>[1–2]</sup>。水资源短缺是新疆干旱地区农林业可持续发展的主要限制因素之一, 近年来新疆林果业发展迅速且微灌面积逐步增大, 但是没有形成统一的灌溉技术模式, 加之水资源的缺乏和浪费, 节水增产的目标一直没有得到全面实现<sup>[2–3]</sup>。红枣作为新疆地区林果业发展的重要支柱, 对推动当地经济发展、增加果农经济收入起着重要的作用。目前国内外学者在滴灌条件下土壤水分运移规律的理论和技术方面作了大量的研究<sup>[1–7]</sup>, 研究方法主要是通过室内试验和野外试验, 对滴灌入渗过程中土壤水分运移规律、水分分布规律以及外界影响因子进行数值模拟和计算。部分学者通过扰动土壤装箱进行室内试验, 该方法破坏了土壤原有的物理结构, 进而导致试验结果与实际情况出现较大的偏差。为保证试验数据的真实性、可靠性, 本研究以“新疆特色林果提质增效关键技术研究示范”专项为依托,

通过在枣树林选取具有代表性的实地原状土为样地, 进行单点源滴灌入渗试验, 提出了不同滴灌流量条件下的土壤水分运移规律特征的经验解, 为当地滴灌系统的设计和运行管理提供理论依据。

## 1 研究区域概况

试验地位于新疆维吾尔自治区阿克苏地区温宿县境内的新疆林业科学院佳木良种试验站, 80°32'E, 41°15'N, 海拔 1 103.8 m。基地总面积 80 hm<sup>2</sup>, 呈长方形, 地势北高南低, 西高东低, 南北长 1 600 m, 东西长 650 m, 地下水位 3.3 m; 属大陆性干旱荒漠气候, 降水量稀少, 四季分配不均, 昼夜温差大; 春季较短, 多大风降温天气, 时常有倒春寒现象发生, 夏季炎热而干燥; 降水量年际变化大, 年均降水量 63.4 cm, 年蒸发量 2 956.3 cm; 年均气温 10.1 ℃, 极端低温–27.4 ℃, 年均日照时数 2 747.7 h, ≥10 ℃积温 2 916.8 ~ 3 198.6 ℃, 无霜期 195 d。土壤发育主要受中温带大陆性干旱气候、山地地形及植被的影响; 试验站所有的土壤均为冲积淤泥土, 土壤质地适中, 主体为沙壤, 沙土和淤泥层相间, 有机质含量在 0.24% ~ 1.62% 之间, pH 值 8.51 ~ 9.75, 呈弱碱性, 土壤中厚, 约为 3 m 以上。试验样地第 1 层为壤土层, 深度地表以下垂直高度 0 ~ 50 cm; 第 2 层是沙土层, 深度地表以下垂直高度 50 ~ 70 cm; 第 3 层是淤泥层, 深度地表以下垂直高度 70 ~ 88 cm; 第 4 层是沙土层, 深度地表以下垂直高度 88 ~ 160 cm。

收稿日期: 2013–01–29

基金项目: 国家公益性行业(林业)重大专项(编号: 201304701–2)。

作者简介: 李 宏(1962—), 男, 研究员, 博士生导师, 主要从事森林培育方面的研究工作。E-mail: hong1962@126.com。

通信作者: 张志刚, 硕士, 主要从事绿洲生态规划与建设、森林培育方面的研究工作。E-mail: 648753460@qq.com。

随着土壤含水量下降, 干旱胁迫加剧,  $F_v/F_m$ 、 $q_p$  值不断减小, 而  $q_N$  值不断增大, 光合速率由最高的  $7.4 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$  降至  $0.45 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 。最终, 光合作用产生的能量不能维持植物的正常生长, 导致植物死亡。 $F_v/F_m$ 、 $q_p$ 、 $q_N$  及光合速率均在 16 ~ 20 d 时有明显变化, 16 d 时的土壤含水量仅为 0.61%。控水 16d 时若及时恢复供水, 植物可继续生长; 控水 18 d 以后则植株萎蔫, 失去观赏价值。试验结果表明紫叶酢浆草具有较强的耐旱性。叶绿素荧光对紫叶酢浆草受干旱胁迫十分敏感, 是研究干旱胁迫对紫叶酢浆草影响的良好探针。

## 参考文献:

- [1] 高平磊, 郭水良, 姜玉霞. 基于叶绿素荧光参数分析铜锤草(*Oxalis corymbosa*)和紫叶酢浆草(*O. triangularis*)对光照因子的适应特点[J]. 上海师范大学学报: 自然科学版, 2011, 40(5): 528–532.
- [2] 韩焕金. 城市绿化树种生态功能研究[D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2002: 45.
- [3] 李 辉, 赵卫智. 北京 5 种草坪地被植物生态效益的研究[J]. 中国园林, 1998, 14(4): 34–36.

## 2 材料与方法

### 2.1 样地选择及布置

在试验区内选择红枣林附近一块比较平整且土壤未经过扰动的田地,结合果树种植株行距,确定的试验用对照样地面积为  $5\text{ m} \times 5\text{ m}$ ,去除表面覆盖土以及杂物,将表层土壤翻修平整。为避免果园的日常管理对试验样地造成影响,在样地边缘设置隔离带,具体为在样地边缘人工挖掘出深度为  $1.8\text{ m}$  的壕沟,选择紧贴样地的一面围上防渗膜,要求防渗膜高出地面  $30\text{ cm}$  以上,防止水分的侧渗影响试验结果,然后将壕沟填满埋实,在样地周围围绕高出地面的防渗膜堆置土垄。为防止果园灌水对样地的冲击,在样地外围(隔离带外)堆置高度为  $0.5\text{ m}$  的土垄作为缓冲带( $14\text{ m} \times 14\text{ m}$ ),缓冲带同样铺设防渗膜。

### 2.2 试验设计

滴灌试验在红枣生长季进行(5—9月),试验采用自制压力设备,由 1 个  $100\text{ kg}$  供水桶、滴灌管、不同流量的滴头以及盲管构成。供水桶由高  $1.5\text{ m}$  的木架架起,上端连接恒定注水管,下端连接出水装置(出水开关+镶有滴头的 PE 管+盲管),滴量的控制通过更换镶有不同流量滴头的 PE 管来实现。试验主要依据不同的滴头流量来分析灌溉时的土壤水分运移特征。滴灌时间为  $6\text{ h}$ ,设计实际滴头流量分别为  $q=4、8、12、16、20\text{ L/h}$ (无重复),总灌水量  $Q=24、48、72、96、120\text{ L}$ 。滴量的控制需要提前模拟,并在供水桶上标记好对应流量刻度。滴灌时采用  $\text{ECH}_2\text{O}$  水分测定仪观测水分在土壤中的运动。以样地中心为原点,垂直于树木行距挖长  $2\text{ m}$ 、宽  $0.5\text{ m}$ 、深  $1.8\text{ m}$  的剖面,将  $\text{ECH}_2\text{O}$  水分探头插入没有经过扰动的土壤剖面,水分探头布置好后再将土壤回埋浇水压实。探头的布置分为水平方向和垂直方向:(1)水平方向。以样地中心  $O$  点为起点,以  $20、40、60、80、100、120、140、160、180\text{ cm}$  的梯度布置探头,探头埋深  $20\text{ cm}$ 。(2)垂直方向。以  $O$  点为顶点,以  $20、40、60、80、100、120、140、160\text{ cm}$  的梯度布置探头。另布置 2 条铺设线路,分别与水平方向成  $30^\circ、60^\circ$  角度,共需探头 31 个。试验进行时每隔  $10\text{ min}$  采集 1 次数据,试验完毕后待试验样地土壤恢复到原物理状态时,再进行下一梯度试验。

### 2.3 数据分析

用 SPSS 18.0、Excel 2003 以及绘图软件 SURFER 进行统计分析。

## 3 结果与分析

### 3.1 滴头流量对土壤湿润体形状变化的影响

在滴灌工程设计中,要制定合理的灌溉制度,确定准确的灌水定额来满足作物需水,如此就需要对土壤中水分运移形成的湿润宽度和深度有一定的了解<sup>[4]</sup>。以滴头流量  $q=8、20\text{ L/h}$  为例来说明不同滴头流量对土壤湿润体形状的影响,图 1 为不同时刻 2 种流量湿润体的轮廓线。滴灌过程中水平方向上水分在土壤中的运动主要受到基质势的作用,而垂直方向上水分的运动在受到基质势作用的同时还会受到重力势的作用<sup>[2,7]</sup>。由图 1 可知,单点源滴灌的湿润体的轮廓线形状近似半个竖直椭圆;在灌水初期,水平方向的基质势比垂直

方向表现明显,因此水平方向扩散速率逐渐明显大于垂直方向;随着时间的推移,水平方向的扩散速率低于垂直方向,导致垂直入渗距离大于水平扩散距离,可能是因为试验样地地表土入渗能力差以及灌水量不断增大,在长时间试验过程中易在地表形成积水,所以在灌水初期( $0\sim 200\text{ min}$ )地表积水较少,重力势作用较弱,水平湿润半径大于垂直湿润距离;随着时间的推移地表积水增多,垂直方向上的重力势作用加强,垂直湿润距离慢慢地与水平湿润距离接近,最终超过水平湿润半径。

对比图 1-A、图 1-B 可知,滴灌入渗过程中湿润体的体积随着滴头流量的增加而增大;随着时间的推移,湿润体的水平、垂直扩散速率逐渐变小,主要是因为湿润体体积不断增大导致水势梯度不断减小;湿润体的水平扩散距离最大值出现在地表以下  $20\text{ cm}$  左右,灌水量越大,最大水平扩散距离出现处越深。相同的水分运移距离,小流量需要的灌溉时间大于大流量,主要是因为滴头流量较大时,地表容易形成积水,灌溉初始阶段,有利于水分的水平方向扩散,不利于水分的垂直方向运移;灌溉初期滴头流量过大不利于湿润峰的垂直方向运动。总之,不同的滴头流量不仅影响着湿润体的形状,还影响着湿润体内部的水分分布规律。

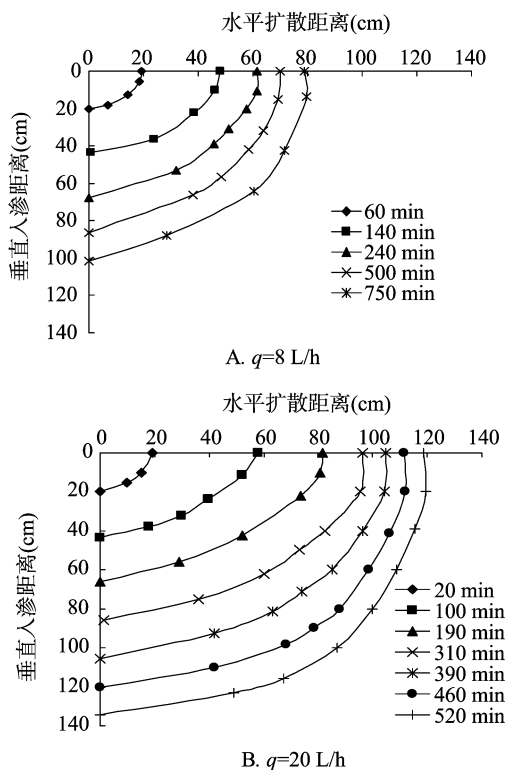


图1 湿润峰运移曲线

### 3.2 滴头流量对土壤湿润体水分分布的影响

了解湿润体内的含水量分布状况对制定正确的滴灌灌溉制度有重要的指导意义<sup>[5]</sup>。利用绘图软件 SURFER 8.0 对灌溉过程中各个  $\text{ECH}_2\text{O}$  水分探头实测的体积含水率进行绘制,并得到不同滴头流量下土壤含水率变化的等值线剖面图。为便于对比分析以及对  $\text{ECH}_2\text{O}$  仪器测定数据的有效校正,取土壤中体积含水率变化 1 个百分点为有效值,根据所测定数值(灌水后测定值-土壤初始含水率)绘制等值剖面图,可以得

出平面上土壤含水率的变化趋势以及土壤湿润峰的最大分布范围(图 2)。

图 2 为滴头流量  $q=4、8、12、16、20\text{ L/h}$  在灌水历时  $6\text{ h}$  条件下滴灌结束时土壤体积含水量分布。对比图 1 可知,灌水结束后土壤含水率在剖面上的分布范围与湿润峰的形状相似;无论是水平方向还是垂直方向含水率等值线由密到疏分布,主要是因为随着湿润体的增大,水势梯度不断减少;土壤含水率在滴头正下方  $40\text{ cm}$  左右处达到最大值,且均高于滴头侧面的含水率。对比图 2 中 5 幅图可知,滴头流量的大小直接影响水分在土壤中分布范围的大小,且点源附近的土壤含水率随着滴头流量的增加而变大。当滴头流量较小时,水

平方向上土壤含水率的分布范围大于垂直方向(图 2-A);反之,由于水重力梯度力的增强,土壤中水分的垂直方向转移速度大于水平方向,分布范围也大于水平方向。由图 2-C、图 2-D、图 2-E 可知,水平方向距原点  $60\text{ cm}$  处出现土壤含水率聚集现象,主要是因为滴灌过程中滴头流量增大,导致在土壤表面形成积水,可见在滴灌过程中形成的土壤表面积水影响着土壤含水率的分布以及湿润体形状。

3.3 滴头流量对土壤湿润峰运移的影响

地表滴灌以地上点源为原点,其湿润峰运移分别沿着垂直向下和水平方向运动。滴灌入渗过程中,水平扩散半径  $X(t)$  与垂直入渗距离  $Z(t)$  是湿润体运移过程中 2 个重要的

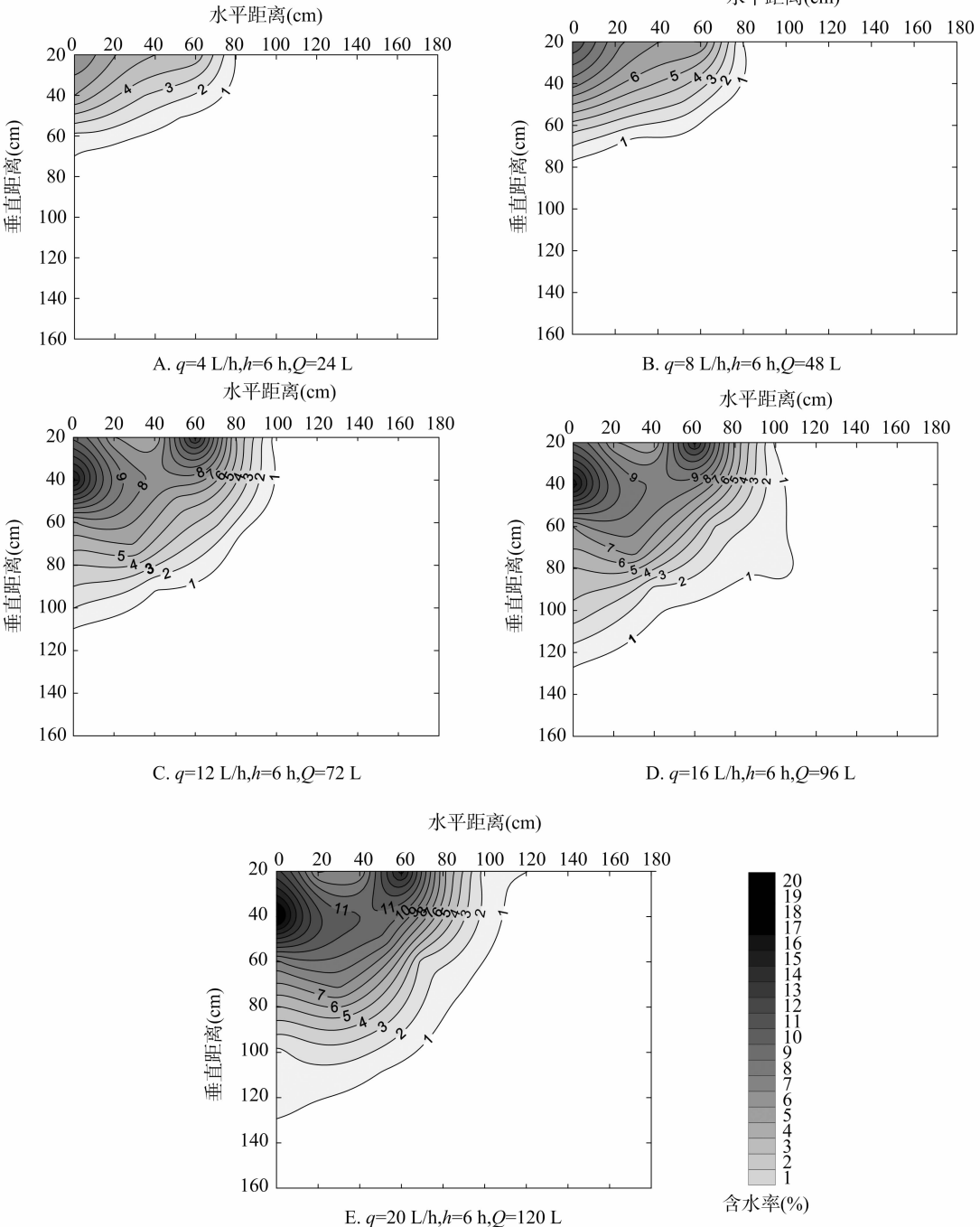


图2 不同滴头流量下湿润体土壤含水率分布

特征值。图 3 为灌水历时 6 h、5 种滴头流量下土壤湿润体水平扩散半径  $X(t)$  和垂直入渗距离  $Z(t)$  随着时间  $t$  的变化过程。由图 3 可知,在相同的灌水历时下,当滴头流量增加时,湿润峰的垂直距离和水平距离也都呈现出增加的趋势,但是水平距离的增加幅度小于垂直距离;水平、垂直方向的入渗速率随着滴头流量的增加而增大;在水平、垂直入渗过程中,当  $q \geq 8 \text{ L/h}$  时,灌水初期 100 ~ 150 min 扩散速率与变化趋势基本一致,随着时间的推移,这 2 个方向的入渗距离出现了明显的变化;而当  $q = 4 \text{ L/h}$  时,水平、垂直入渗过程中入渗速率明显小于其他滴头流量。

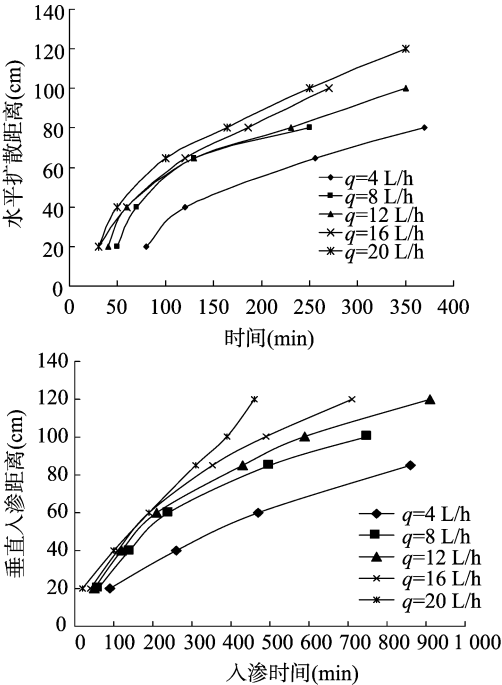


图3 湿润体水平扩散半径与垂直入渗距离变化过程

对滴灌过程中水平扩散半径  $X(t)$ 、垂直扩散距离  $Z(t)$  与灌水入渗时间进行拟合,幂函数较为简单且相关性高,拟合结果见表 1。从表 1 可以看出,它们之间存在显著的幂函数关系,可决系数 ( $r^2$ ) 均大于 0.95。根据不同的灌水时间可以计算出 5 种不同滴头流量的水平扩散距离和垂直入渗距离。滴头流量不变时,水平扩散距离拟合方程为不同灌水时间条件下滴头的布置间距提供了依据;垂直入渗距离拟合方程可以结合枣树根系分布,在保证深层不发生侧漏的条件下确定不同径级枣树的滴灌时间。

4 结论

滴灌过程中,湿润体的体积随着滴头流量的增加而增大;

表 1 不同滴头流量下湿润峰运移的拟合方程参数

滴头流量 (L/h)	水平方向: $X(t) = a \times td$			垂直方向: $Z(t) = c \times tb$		
	$a$	$d$	$r^2$	$c$	$b$	$r^2$
4	0.549	0.855	0.959	1.098	0.646	0.999
8	1.086	0.800	0.952	1.624	0.637	0.979
12	2.009	0.683	0.957	2.011	0.613	0.984
16	1.906	0.719	0.983	2.069	0.628	0.994
20	2.364	0.685	0.966	3.394	0.563	0.981

注:长度单位 cm,对应入渗时间  $t$  单位 min。

随着时间的推移,湿润体的水平、垂直运移速率逐渐变小;湿润体的水平扩散距离最大值出现在地表以下 20 cm 左右,随着滴头流量的增加,最大水平扩散距离出现的位置变深;相同的水分运移距离,小流量需要的灌溉时间大于大流量。

滴头流量的大小直接影响水分在土壤中的分布范围及含水率的大小,且点源附近的土壤含水率随着滴头流量的增加而变大;滴头正下方约 40 cm 处土壤含水率达到最大值,且均高于滴头侧面的含水率;当灌溉量较小时,水平方向上的土壤含水率分布范围大于垂直方向,反之,则会小于垂直方向;滴灌过程中形成的土壤表面积水不仅影响土壤含水率的分布,还影响着湿润体的形状。

滴灌湿润体的水平扩散距离、垂直入渗距离均与时间有显著的幂函数关系, $r^2$  均在 0.95 以上,总体上拟合系数随着滴头流量的增加而增大,二者存在较好的相关关系;且水平扩散距离、垂直入渗距离均随着灌水时间的推移而增大。根据不同滴头流量条件下湿润峰运移的拟合方程,可以结合不同径级枣树根系的分布,制定合理的灌溉计划。

参考文献:

[1] Meshkat M, Warner R C, Workman S R. Evaporation reduction potential in an undisturbed soil irrigated with surface drip and sand tube irrigation[J]. Transactions of the ASAE,2000,43(1):79-86.  
[2] 赵颖娜,汪有科,马理辉,等. 不同流量对滴灌土壤湿润体特征值的影响[J]. 干旱地区农业研究,2010,28(4):30-34.  
[3] 杨直毅,汪有科,汪 星,等. 山地红枣林地滴灌水分运移规律试验研究[J]. 水土保持学报,2009,23(3):213-216.  
[4] 岳海英. 滴灌条件下土壤水分运移规律试验研究[D]. 杨凌:西北农林科技大学,2010.  
[5] 李明思,康绍忠,孙海燕. 点源滴灌滴头流量与湿润体关系研究[J]. 农业工程学报,2006,22(4):32-35.  
[6] 郑园萍. 滴灌条件下土壤水分入渗过程模拟试验研究[D]. 杨凌:西北农林科技大学,2008:15-17.  
[7] 汪志荣,王文焰,王全九,等. 点源入渗土壤水分运动规律实验研究[J]. 水利学报,2000,31(6):39-44.