

# 新疆砾石地葡萄滴灌带合理设计及布设参数的数值分析

陈若男<sup>1</sup>, 王全九<sup>1\*</sup>, 杨艳芬<sup>2</sup>

(1. 西安理工大学水资源研究所, 西安 710048; 2. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101)

**摘要:**为了摸清新疆含砾石复杂土壤条件下土壤水分运动规律, 优化葡萄滴灌系统设计中的各项设计参数及合理布设, 该文通过田间交汇试验确定合适的滴头间距为 30 cm, 并借助 Hydrus-2D 数值模型确定了土壤水力参数, 同时运用该数值模型模拟了不同滴头流量和滴灌带水平间距布设形式下地表滴灌土壤水分分布特征。根据土壤湿润体特征结合葡萄根系分布规律, 确定新疆砾石地葡萄滴灌系统合理的滴头流量为 2.5~3.0 L/h, 滴灌带水平间距为 60 cm。该结果可为新疆砾石地复杂土壤葡萄滴灌系统的科学设计和田间合理布设提供参考。

**关键词:**数值分析, 土壤, 土壤含水率, 分布, 水力参数, 滴头流量, 滴灌带间距,

doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2010.12.007

中图分类号: S275.6

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2010)-12-0040-07

陈若男, 王全九, 杨艳芬. 新疆砾石地葡萄滴灌带合理设计及布设参数的数值分析[J]. 农业工程学报, 2010, 26(12): 40-46.

Chen Ruonan, Wang Quanjiu, Yang Yanfen. Numerical analysis of layout parameters and reasonable design of grape drip irrigation system for stony soil in Xinjiang Uighur Autonomous Region[J]. Transactions of the CSAE, 2010, 26(12): 40-46. (in Chinese with English abstract)

## 0 引言

微灌方式旨在提高水分利用效率, 从而达到节水、增产的目的。特别是在干旱缺水地区, 微灌技术的应用对于缓减水资源短缺问题显得尤为重要。新疆吐哈地区是我国著名的葡萄生产基地, 该地区工业发展迅速, 但水资源缺乏, 发展葡萄节水灌溉技术是该地区缓解水资源供需矛盾的重要途径。滴灌是一种得到广泛应用的节水灌溉技术<sup>[1]</sup>。合理的田间滴灌系统布设可以有效提高水分利用效率和灌水质量, 从而最大限度地发挥滴灌这一新型灌水技术的节水、增产作用。

许多学者就田间滴灌系统参数的确定进行了大量研究<sup>[2-7]</sup>, 大多是根据实际入渗湿润体特征值进行分析。本文所研究的土质是吐哈盆地中具有代表性的戈壁砾石地, 上下分层, 变异性大。有学者对层状土滴灌灌水器土壤水分分布特征进行研究<sup>[8]</sup>, 但难以通过传统方法获得准确水力参数。同时由于极端干旱气候与沙质土壤持水性较差等原因, 葡萄树根系分布较广, 合理的滴灌系统设计参数的确定也比较困难。本文通过田间交汇试验确定合理的滴头间距, 并在借助 Hydrus-2D 数值模型确定土壤水力参数的基础上, 通过对模拟的不同滴头流量和滴灌带间距组合入渗条件下土壤水分分布特征对比分

析, 确定最佳的滴头流量和管带间距。以期能为田间滴灌带合理设计参数的确定及田间合理布设提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验区概况

试验地位于新疆维吾尔自治区鄯善县自治区葡萄瓜果开发研究中心 1 号地。试验地土质分为 2 层, 以葡萄栽培沟底平面为基准面, 0~45 cm 土层土壤质地为砂壤土, 混有少量碎石, 碎石体积占整体积的 34.5%; 45 cm 以下碎石含量较多, 碎石体积占整体积的 49.6%, 为土石混合介质。试验地土壤基本物理性质见表 1。

### 1.2 试验材料与方法

由于田间土壤条件复杂, 土壤水力参数难以直接测定。为此, 本文首先测定了试验地 0~45 cm 和 45 cm 深度以下 2 层土壤的饱和含水率和饱和导水率, 再根据点源入渗试验湿润峰和含水率分布, 利用 Hydrus-2D 数值模型反推, 从而获得合理的土壤水分运动模型参数。

试验供水装置为马氏瓶和医用输液器。点源入渗试验选取 2 个滴头流量 (1.5 和 2.7 L/h), 灌水量均为 30 L; 交汇入渗选取 2 个滴头流量 (1.5 和 2.7 L/h), 2 个滴头间距 (30、40 cm), 每个滴头灌水量均为 20 L。以上每组试验均设 2 个重复, 每个试验含水率值取 2 个重复的平均值。试验在葡萄架下进行, 试验前铲掉表面浮土, 使滴头与栽培沟底面齐平。滴头流量用输水管上面的滚轮装置控制, 试验前按设计流量率定, 试验时连续观测马氏瓶读数, 保证试验按计划滴头流量进行。为防止蒸发, 在土壤表面覆盖塑料膜。待入渗水量达到设计水量时结束试验, 立即取土测定土壤含水率剖面。点源入渗试验取土点布置在滴头至湿润峰的线上, 在水平和垂直方向上均以 10 cm 为间隔, 网格状取样; 交汇入渗试验

收稿日期: 2010-04-22 修订日期: 2010-11-07

基金项目: 国家科技支撑项目 (2007BAD38B03); 新疆自治区重大专项 (200731136-5)

作者简介: 陈若男 (1986-), 女, 内蒙古赤峰人, 主要从事农业水土工程与水文水资源方面的研究。西安 西安理工大学水资源研究所, 710048。

Email: chenruonan321@sina.com

\*通信作者: 王全九 (1964-), 男, 内蒙丰镇人, 教授, 中国农业工程学会会员 (E041200065S), 主要从事农业水土工程方面研究。西安 西安理工大学水资源研究所, 710048。Email: wquanjiu@163.com

表 1 试验地含砾石土壤基本物理性质  
Table 1 Basic physical properties of stony soil of experimental site

| 深度/<br>cm | 土壤机械组成/%  |               |            | 国际制土壤<br>质地分类 | 饱和含水率/<br>(cm <sup>3</sup> ·cm <sup>-3</sup> ) | 田间持水率/<br>(cm <sup>3</sup> ·cm <sup>-3</sup> ) | 体积质量/<br>(g·cm <sup>-3</sup> ) |
|-----------|-----------|---------------|------------|---------------|--|--|--------------------------------|
|           | <0.002 mm | 0.002~0.02 mm | >0.02~2 mm |               |  |  |                                |
| 0~45      | 8.5       | 22.2          | 69.4       | 砂壤土           | 0.31   | 0.22   | 1.50                           |
| >45~120   | 2.5       | 23.9          | 73.6       |               | 0.21   | 0.12   | 1.88                           |

取土点布置在滴头连线中垂线和滴头至湿润峰且平行于中垂线的线上，如图 1 所示，取土方法与点源入渗试验相同。土壤含水率用烘干法测定。

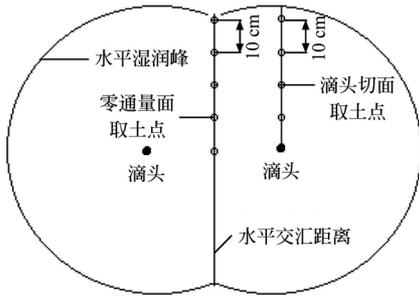


图 1 交汇入渗试验取土示意图

Fig.1 Borrow schematic diagram of interference infiltration experiment

1.3 相关理论

1.3.1 土壤水分运动方程与定解条件

点源入渗下的土壤水分运动属于三维问题，若假定土壤为各向同性、骨架不变形的多孔介质，则可看作为轴对称条件下的二维问题<sup>[9]</sup>。一些学者根据合理的假定，也把水流运动方程简化为二维运动问题<sup>[10-14]</sup>。以土壤吸力为因变量的直角坐标下的土壤水分运动方程为

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} (K(h) \frac{\partial h}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial z} (K(h) \frac{\partial h}{\partial z}) + K(h) \quad (1)$$

式中， $\theta$ 为土壤体积含水率，cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup>； $h$ 为土壤吸力，cm； $t$ 为时间，min； $x$ 为水平距离，cm； $z$ 为垂向距离，cm； $K(h)$ 为土壤非饱和导水率，cm/min。

1.3.2 定解条件

求解土壤水运动方程的初始条件为

$$h(r, z, t=0) = h_i(r, z) \quad 0 \leq r \leq R, \quad 0 \leq z \leq Z, \quad t=0 \quad (2)$$

式中， $r, z$ 为分别为计算点的径向和垂直位置坐标，cm； $R, Z$ 为模拟计算区域的径向和垂直的最大距离，cm； $h_i(r, z)$ 为土壤初始吸力，cm。

边界条件为：灌水过程中流量  $q$  大于地表饱和导水率，因此在地表很快形成近似的饱和圈。地表( $z=0$ )边界条件为饱和圈内土壤饱和，水头为 0。

$$H=0(r, z) \in D_s(t) \quad (3)$$

式中， $H$ 为压力水头，cm； $D_s(t)$ 为饱和区域；不考虑蒸发作用。

左边界为滴头下方深度线，水通量为 0；右边界超过水流到达位置，所以边界通量也为 0；由于地下水很深 (>70 m)，下边界条件设为自由排水。

1.3.3 土壤水力参数

土壤水分特征曲线  $\theta(h)$ 和非饱和土壤导水率  $K(h)$ 采

用土壤吸湿过程的 van-Genuchten (van-Genuchten et al, 1980) 模型进行描述

$$\theta(h) = \begin{cases} \theta_r + \frac{(\theta_s - \theta_r)}{(1 + |\alpha h|)^m}, & h < 0 \\ \theta_s, & h \geq 0 \end{cases} \quad (4)$$

$$K(h) = \begin{cases} K_s S_e^l [(1 - (1 - S_e^{1/m})^m)^2], & h < 0 \\ K_s, & h \geq 0 \end{cases} \quad (5)$$

其中， $S_e = \frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r}$ ， $m = 1 - \frac{1}{n}$

式中： $S_e$ 为有效土壤含水率，cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup>； $\theta_r$ 为残余土壤含水率，cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup>； $\theta_s$ 为饱和土壤含水率，cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup>； $K_s$ 为土壤饱和导水率，cm/min； $l$ 为毛细管弯曲度； $n, m$ 和 $\alpha$ 均为经验参数，其中  $n$  和  $m$  是形状系数， $m=1-1/n$ ， $\alpha$ 是与进气吸力相关的参数，1/cm。

1.3.4 参数率定方法

采用滴头流量为 1.5 和 2.7 L/h，灌水量为 30 L 的点源入渗试验结果率定土壤水力参数。将模拟计算区域划分为三角形单元，设定边界节点数为 250，其中在滴头处，由于水流等变量的梯度较大，故加密网格，固定网格密度值为：(0.7, 1)。上、下层土壤的初始含水率根据实测值分别取为 0.045 和 0.04 cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup>，根据采用的土壤水分特征曲线计算出相应的土壤初始基质势。上边界条件根据实测的积水半径范围，设定为压力水头为  $h=0$  恒压。本文 1.5 和 2.7 L/h 2 种滴头流量的最大积水半径分别为 4 和 7.9 cm。

在停止供水后田间土壤水分再分布迅速。为符合实际情况，模拟取值需考虑停止供水后取土时间内的土壤水分再分布变化。根据试验取土顺序，将模拟观察点的取值简化成若干个时段，从滴头到湿润峰每 10 cm 的剖面为一个时段，每个时段再分布时间为 5 min。

2 结果与分析

2.1 模型参数的确定与准确性分析

通过点源入渗试验湿润峰、含水率剖面以及累积入渗量的模拟值与实测值的对比分析，反复率定土壤水力参数，最终得到合适的参数见表 2。

表 2 田间含砾石土 Van-Genuchten 模型参数  
Table 2 Parameters of Van-Genuchten model for stony soil

| 深度/<br>cm | 残余土壤<br>含水率 $\theta_r$ /<br>(cm <sup>3</sup> ·cm <sup>-3</sup> ) | 饱和土壤<br>含水率 $\theta_s$ /<br>(cm <sup>3</sup> ·cm <sup>-3</sup> ) | 进气吸力<br>相关参数 $\alpha$ /<br>(1·cm <sup>-1</sup> ) | 形状<br>系数<br>$n$ | 土壤饱和<br>导水率 $K_s$ /<br>(cm·min <sup>-1</sup> ) | 毛细管<br>弯曲度<br>$l$ |
|-----------|--|--|--|-----------------|--|-------------------|
| 0~45      | 0.035  | 0.31   | 0.057  | 2.2             | 0.1  | 0.5               |
| >45       | 0.025  | 0.21   | 0.080  | 2.4             | 0.5  | 0.5               |

采用表 2 中的土壤水力参数, 模拟滴头流量为 1.5 和 2.7 L/h 时 2 种入渗情况下的累积入渗量分别为 27.9 和 32.3 L, 与实际入渗量 30 L 的相对误差分别为 7% 和 7.6%, 说明模拟结果精度较高。图 2 给出试验结束后水平距滴头 0、10 和 20 cm 位置模拟计算得到的土壤含水率剖面与试验实测结果间的对比情况, 可以看出模拟结果与观测结果之间具有较好的吻合性。除距滴头水平距离 20 cm

外的地表含水率的模拟值和实测值相对误差较大, 其余观察点的相对误差均在 12% 以内。滴头流量为 1.5 L/h 的整体相对误差要小于滴头流量 2.7 L/h, 这与刘晓英得到的滴头流量越小实测结果和模拟结果吻合越好的结论一致<sup>[10]</sup>。以上分析表明, 与其他学者模拟结果相同<sup>[15]</sup>, Hydrus-2D 数值模型模拟计算值具有较高的精度, 确定的水力参数能比较好的反映实际水分分布情况。

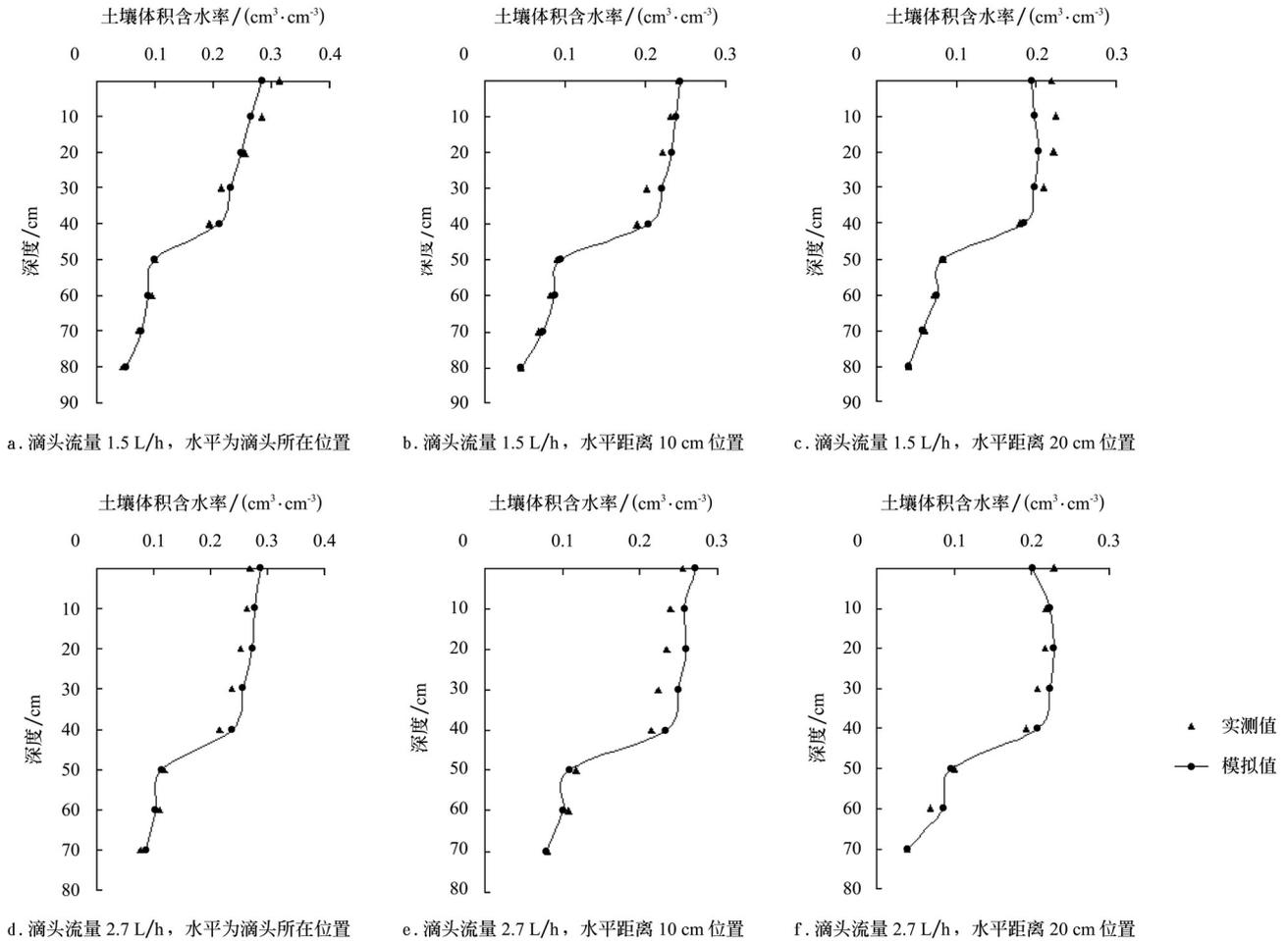


图 2 土壤含水率模拟值与实测值对比

Fig.2 Comparison between simulated and measured values of soil moisture

## 2.2 模拟区域的选定

土壤湿润体是滴灌系统对作物根系的作用区域, 其与作物根系合理匹配是滴灌系统优化的关键<sup>[16]</sup>。因此了解葡萄根系的分布范围及分布特征是确定湿润范围的依据。采用网格法取土挖根调查, 得到试验点滴灌试验葡萄树直径小于 2 mm 的有效吸收根主要集中在 20~80 cm 深度范围内, 在 110 cm 深度时根系密度减少一个数量级。在沟垄水平方向上, 主要集中在以主根为轴心 110 cm 范围内, 向两侧逐渐减少。垄上有极少数细根分布。

假定沿着栽培沟方向葡萄根系均匀分布, 结合根系分布情况确定灌水区域在水平方向为 220 cm 和深度为 110 cm 的范围内。另外, 由于葡萄地栽培垄上分布极少的根系, 且试验区蒸发力很强, 如果在 30 cm 高的垄上直接安放滴灌带, 会增加无效灌水。为了提高水分利用效率, 在垄上往下挖 30 cm 安放滴灌带。滴灌带布设方

式见示意图 3。

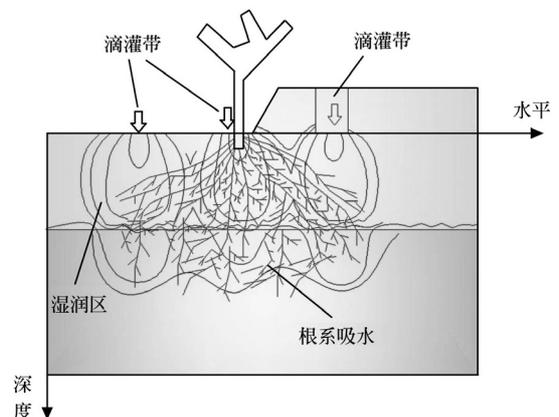


图 3 滴灌带布设示意图

Fig.3 Schematic diagram of drip irrigation pipeline layout

### 2.3 滴头间距的确定

在尽量减少投资的前提下，寻找合适的滴头间距来保证滴灌系统灌水的均匀度和灌水质量。由交汇试验取得的土壤含水率数据分析发现，当滴头间距为 40 cm 时，滴头流量为 1.5 和 2.7 L/h 2 种情况下，滴头切面与零通量面一半以上对应观察点含水率的差值都在 3% 以上，湿润峰差值大于 4 cm。当滴头间距为 30 cm 时，点源滴灌湿润体衔接较好，湿润体内水分分布均匀，90% 观察点的差值在 1.5% 以内，最大差值不大于 3%。另外，图 4 直观的显示了 2 种滴头流量的滴头切面与零通量面湿润体对比情况，可以看出，湿润体形状类似，大小接近，吻合较好，说明交汇入渗可以达到较理想的湿润效果。因此，滴头间距为 30 cm，不同滴头流量下的水分分布特征与实际要求比较吻合。

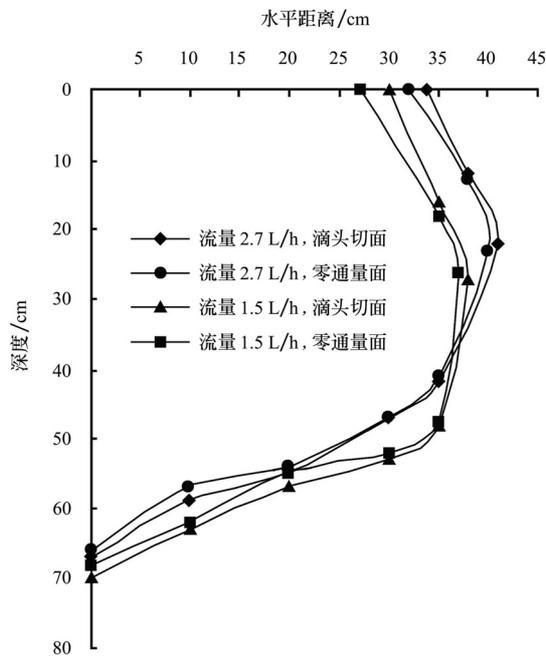


图 4 滴头间距为 30 cm 时滴头切面和零通量面湿润体形状比较

Fig.4 Comparison of wetted bodies under emitter and zero transmission surface with pipeline spacing of 30 cm

### 2.4 滴头流量与滴灌管带水平间距的确定

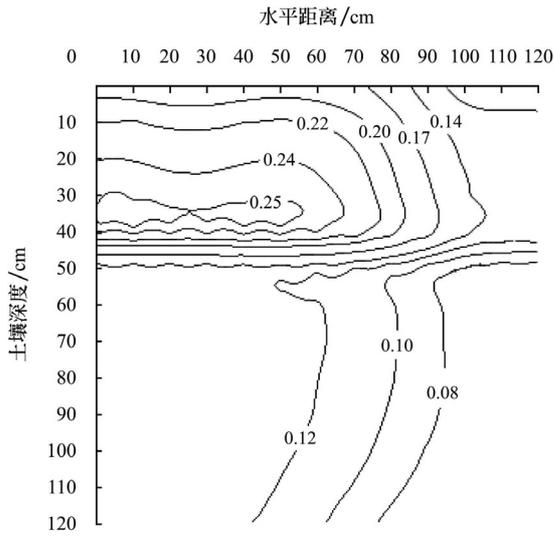
当入渗过程结束后，土体内部水分在基质势梯度和重力势梯度的作用下仍在运动。此时土壤湿润体不断扩大，湿润体内的含水率也重新分布，所以考虑水分再分布对土壤湿润体的影响对确定合理的灌水技术参数非常重要。陈渠昌等<sup>[17]</sup>对土箱沙质土壤滴灌入渗试验得出，土壤水分明显的再分布过程要持续 3~5 h。王永东等<sup>[18]</sup>研究得出风沙土水分再分布 1 h 后，湿润锋速率趋向于平缓状态。由于本文所研究土质较粗，且从田间试验可以看出土壤水分再分布过程较快，故将再分布时间定为 1 h。

取长 30 cm 的土体为研究单元，将水流运动简化成二维问题进行模拟。根据  $Q=L \cdot H \cdot V(\theta_{\text{持}} - \theta_0)$  计算研究单元

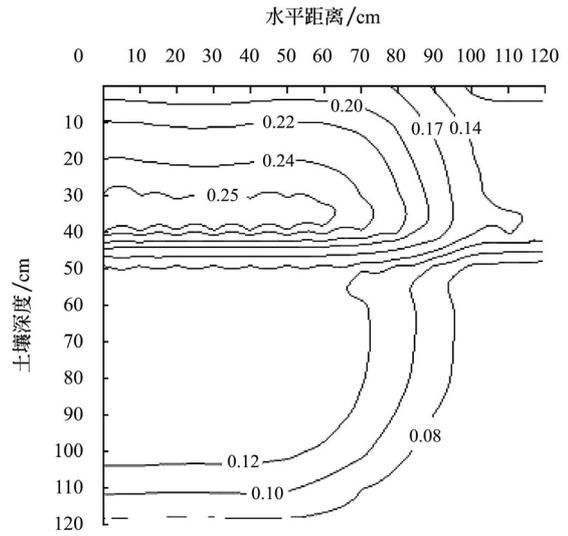
的灌水量为 46.8 L (其中  $Q$  为单元灌水量,  $\text{cm}^3$ ;  $L$  为单元宽度,  $\text{cm}$ ;  $H$  为单元深度,  $\text{cm}$ ;  $V$  为单元长度,  $\text{cm}$ ;  $\theta_{\text{持}}$  为田间持水率,  $\text{cm}^3/\text{cm}^3$ ;  $\theta_0$  为初始含水率,  $\text{cm}^3/\text{cm}^3$ )。将土壤田间持水率的 60% 作为灌溉的初始条件, 0~45 cm 深度和 45 cm 以下土壤初始体积含水率分别为 0.132 和  $0.072 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ 。由于湿润范围较广, 布置 3 条滴灌带。数值模拟设定了 4 个滴头流量和 3 个管带间距, 滴头流量分别为 2.0、2.5、3.0 和 3.2 L/h, 滴灌带间距为 50、60 和 70 cm。根据对称性取一半湿润剖面作为观察对象。

滴头流量能主动改变湿润体形状<sup>[19]</sup>。滴头流量越大, 水平和垂直湿润距离的比值在入渗过程中也越大<sup>[20]</sup>。模拟结果显示, 在 3 种管带间距下 (50、60 和 70 cm), 滴头流量从 2.0 增加到 3.2 L/h, 水平湿润距离逐渐增大, 垂直湿润距离逐渐减小。且随着滴头流量增大, 达到田间持水率的区域横向扩展, 剖面含水率分布均匀性变高。另外, 同一滴头流量下, 随着滴灌带水平间距增加, 水平湿润范围增大, 滴灌入渗湿润体内的土壤含水率降低, 含水率分布均匀性变差。图 5 给出了部分滴头流量和管带间距组合入渗, 以中间滴头为对称轴的含水率分布剖面一半。从图 5 中可以看出, 当管带间距为 50 cm 时, 试验的最大和最小滴头流量下的垂直湿润深度均超过根系分布范围, 且水平湿润半径达不到 110 cm, 造成了水分的不合理分配。当管带间距为 60 cm, 滴头流量为 2.0 L/h 时, 最大湿润深度超过 120 cm, 超出根系分布范围。当流量为 2.5 和 3.0 L/h 时, 地表湿润峰在 95~100 cm 之间, 最大水平湿润峰出现在 30~40 cm 深度之间, 水平湿润半径达到 110 cm, 最大湿润深度在 110 cm 附近, 并且含水率较高的深度在 10~100 cm 之间, 与根系高密度区域的匹配较好, 土壤湿润效果较为理想。另外, 两管带之间越远离滴头位置其含水率要比滴头下方同一深度逐渐减小, 但差值小于 1%, 说明含水率分布均匀性较高。当流量为 3.2 L/h 时, 土壤中达到田间持水率的区域增大, 但最大湿润深度小于 110 cm, 零通量面的垂直湿润深度仅为 105 cm, 且管带之间交汇效果不理想, 满足不了部分根系对水分的要求。当管带间距为 70 cm 时, 由于入渗时间较短, 各滴头流量下湿润体含水率分布均匀性较差, 滴灌带间出现含水率很小的区域, 管带之间交汇效果不理想, 且地表湿润峰大于 100 cm, 增大了土表的蒸发, 减弱了滴灌的节水作用。

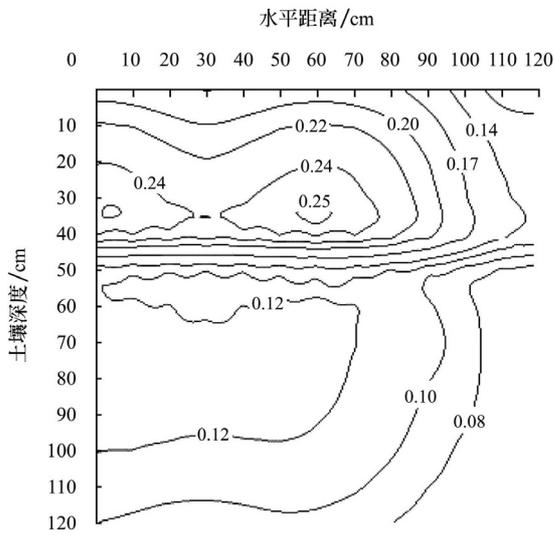
通过滴头流量与管带间距的组合分析, 依据得到的土壤剖面含水率、土壤湿润体几何形状和其在作物根区内的位置, 确定地表滴灌流量在 2.5 到 3.0 L/h 之间, 管带间距为 60 cm 时, 得到的湿润体范围和含水率分布与根系分布匹配较优, 能达到较好的灌溉效果。这与杨艳芬等<sup>[21]</sup>在该地区不同滴灌条件下, 通过对葡萄植株的生理指标、产量进行对比分析而得出的滴灌 3 管布设 2.7 L/h 流量灌水效果最好, 优于 3.3 L/h 流量的结论较为符合, 从而证明了模拟的可靠性。



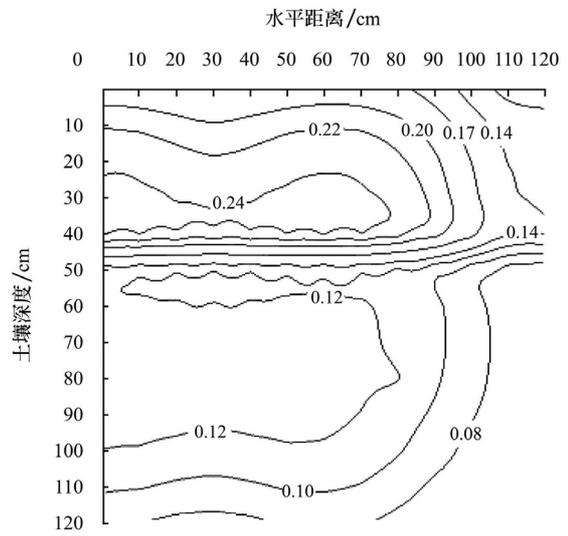
a. 滴头流量 2.0 L/h, 管带间距 50 cm



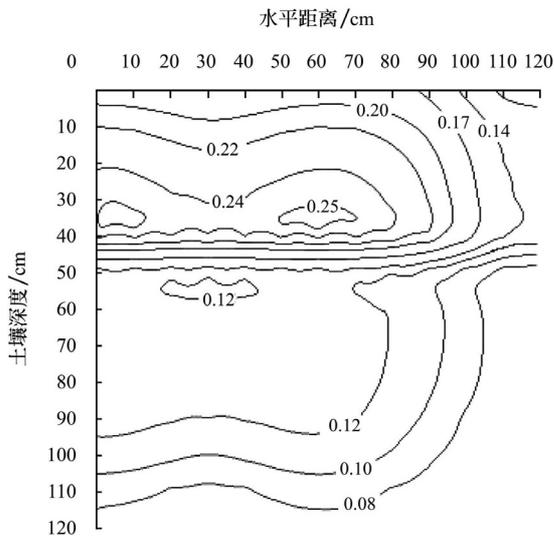
b. 滴头流量 3.2 L/h, 管带间距 50 cm



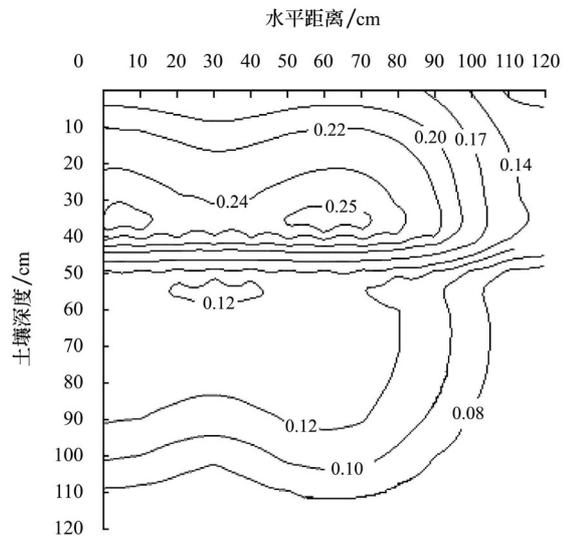
c. 滴头流量 2.0 L/h, 管带间距 60 cm



d. 滴头流量 2.5 L/h, 管带间距 60 cm



e. 滴头流量 3.0 L/h, 管带间距 60 cm



f. 滴头流量 3.2 L/h, 管带间距 60 cm

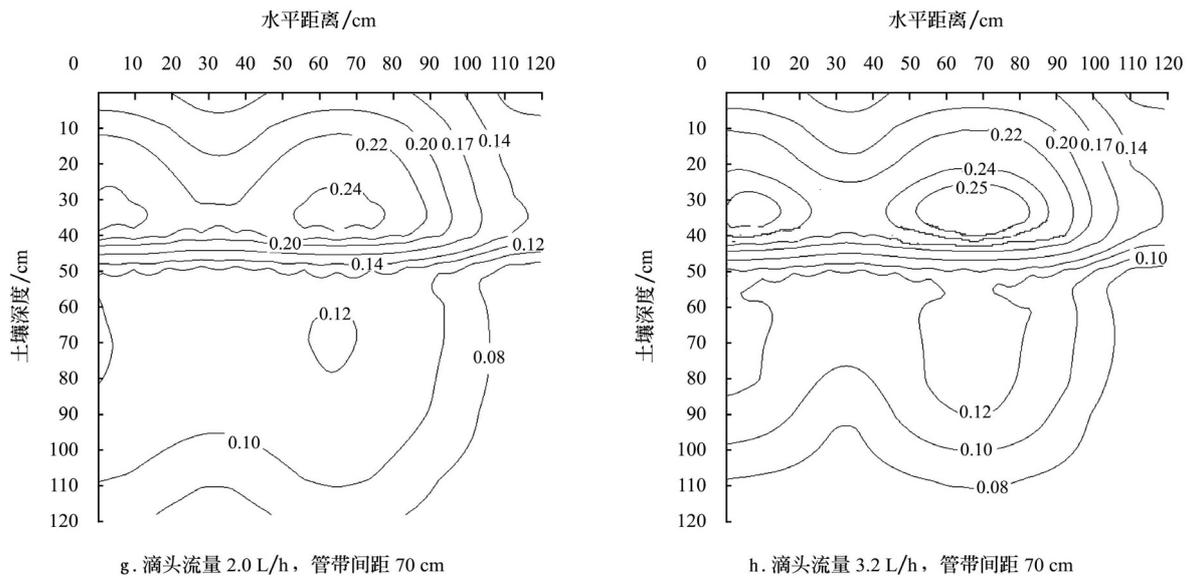


图 5 不同滴头流量与管带间距下模拟的土壤含水率分布剖面

Fig.5 Simulated soil moisture distribution in different dripper discharge rates and pipeline spacing

### 3 结 论

1) 根据田间实测资料运用 Hydrus-2D 数值模型反推获得了新疆砾石地土壤的水力学参数。所获得的参数与以往研究结论一致，参数较为合理，可用于分析含石砾复杂土壤条件下的水分分布，为复杂土壤条件下滴灌系统的合理设计及运行提供一定的理论依据。

2) 对于新疆含砾石土壤葡萄滴灌系统，适合的滴灌带滴头间距为 30 cm，滴头流量为 2.5~3.0 L/h 之间，滴灌带水平间距为 60 cm。

#### [参 考 文 献]

- [1] 张克翠. 滴灌技术的应用[J]. 农业科技与信息, 2009, (3): 58—59.
- [2] 孔繁宇, 胡同军. 不同滴灌带和不同铺设间距的地下滴灌效果试验[J]. 中国农学通报, 2004, 20(6): 331—333.  
Kong Fanyu, Hu Tongjun. Underground drip irrigation test in different drip irrigation zone with different lay intervals[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2004, 20(6): 331—333. (in Chinese with English abstract)
- [3] Fekadu Y, Teshome T. Effect of drip and furrow irrigation and plant spacing on yield of tomato at Dire Dawa Ethiopia[J]. Agricultural Water Management, 1998, 35(3): 201—207.
- [4] 蔡焕杰, 邵光成, 张振华. 棉花膜下滴灌毛管布置方式的试验研究[J]. 农业工程学报, 2002, 18(1): 45—48.  
Cai Huanjie, Shao Guangcheng, Zhang Zhenhua. Lateral layout of drip irrigation under plastic mulch for cotton[J]. Transactions of the CSAE, 2002, 18(1): 45—48. (in Chinese with English abstract)
- [5] 王舒, 李光永, 孟国霞, 等. 日光温室滴灌条件下滴头流量和间距对黄瓜生长的影响[J]. 农业工程学报, 2005, 21(10): 167—170.  
Wang Shu, Li Guangyong, Meng Guoxia, et al. Effects of dripper discharge and spacing on growth of cucumber in Chinese solar greenhouse under drip irrigation[J]. Transactions of the CSAE, 2005, 21(10): 167—170. (in Chinese with English abstract)
- [6] Patel N, Rajput T B S. Effect of drip tape placement depth and irrigation level on yield of potato[J]. Agricultural Water Management, 2007, 88(3): 209—223.
- [7] 刘庆胜. 不同毛管间距玉米滴灌的试验研究[J]. 山西科技, 2009, 5(3): 109—110.  
Liu Qingsheng. Experimental study on the dripping irrigation of corns with different capillary spaces[J]. Shanxi Science and Technology, 2009, 5(3): 109—110. (in Chinese with English abstract)
- [8] 李久生, 杨凤艳, 刘玉春, 等. 土壤层状质地对小流量地下滴灌水器特征的影响[J]. 农业工程学报, 2009, 25(4): 1—6.  
Li Jiusheng, Yang Fengyan, Liu Yuchun, et al. Performance of low-discharge emitters buried in soil as affected by layered-textural soils[J]. Transactions of the CSAE, 2009, 25(4): 1—6. (in Chinese with English abstract)
- [9] 程先军, 许迪. 地下滴灌土壤水运动和溶质运移的数学模型及验证[J]. 农业工程学报, 2001, 17(6): 1—4.  
Cheng Xianjun, Xu Di. Mathematical model for simulating water flow and solute transport during non-steady diffusion from subsurface trickle source[J]. Transactions of the CSAE, 2001, 17(6): 1—4. (in Chinese with English abstract)
- [10] 刘晓英, 杨振刚, 王天俊. 滴灌条件下土壤水分运动规律的研究[J]. 水利学报, 1990, 21(1): 11—22.  
Liu Xiaoying, Yang Zhengang, Wang Tianjun, et al. Study on water movement under trickle irrigation[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 1990, 21(1): 11—22. (in Chinese with English abstract)
- [11] Skaggs T H, Trout T J, Simunek J, et al. Comparison of HYDRUS-2D simulations of drip irrigation with experimental observations[J]. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, ASCE, 2004, 130(4): 304—310.

- [12] Elmaloglou S, Malamos N. Estimation of the wetted soil volume depth under a surface trickle line source, considering evaporation and water extraction by roots[J]. *Irrigation and Drainage*, 2005, 54(4): 417—430.
- [13] 周青云, 康绍忠. 葡萄根系分区交替滴灌的土壤水分动态模拟[J]. *水利学报*, 2007, 38(10): 1245—1252.  
Zhou Qingyun, Kang Shaozhong. Simulation of soil water dynamics under alternately partial root-zone drip irrigation for grape roots[J]. *Journal of Hydraulic Engineering*, 2007, 38(10): 1245—1252. (in Chinese with English abstract)
- [14] 池宝亮, 黄学芳, 张冬梅, 等. 点源地下滴灌土壤水分运动数值模拟及验证[J]. *农业工程学报*, 2005, 21(3): 56—58.  
Chi Baoliang, Huang Xuefang, Zhang Dongmei, et al. Numerical simulation and validation of soil water movement under subsurface drip irrigation with point-source emitter[J]. *Transactions of the CSAE*, 2005, 21(3): 56—58. (in Chinese with English abstract)
- [15] 张林, 吴普特, 范兴科. 多点源滴灌条件下土壤水分运动的数值模拟[J]. *农业工程学报*, 2010, 26(9): 40—45.  
Zhang Li, Wu Pute, Fan Xingke. Numerical simulation of soil water movement with drip irrigation of multiple point source[J]. *Transactions of the CSAE*, 2010, 26(9): 40—45. (in Chinese with English abstract)
- [16] 张妙仙. 滴灌土壤湿润体与作物根系优化匹配研究[J]. *中国生态农业学报*, 2005, 13(1): 104—107.  
Zhang Miaoxian. Optimum matching between soil infiltration body and crop root system under trickle irrigation[J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2005, 13(1): 104—107. (in Chinese with English abstract)
- [17] 陈渠昌, 吴忠渤, 余国英, 等. 滴灌条件下沙地土壤水分分布与运移规律[J]. *灌溉排水*, 1999, 18(1): 28—38.  
Chen Quchang, Wu Zhongbo, Yu Guoying, et al. Water distribution and transport in sandy soil under drip irrigation[J]. *Irrigation and Drainage*, 1999, 18(1): 28—38. (in Chinese with English abstract)
- [18] 王永东, 张宏武, 徐新文, 等. 风沙土水分入渗与再分布过程中湿润锋运移试验研究[J]. *干旱区资源与环境*, 2009, 23(8): 190—194.  
Wang Yongdong, Zhang Hongwu, Xu Xinwen, et al. Study on the wetting front of water infiltration and soil water redistribution in aeolian sandy soil[J]. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2009, 23(8): 190—194. (in Chinese with English abstract)
- [19] 李明思. 膜下滴灌灌水技术参数对土壤水热盐动态和作物水分利用的影响[D]. 陕西: 西北农林科技大学, 2006: 21—24.  
Li Mingsi. Effects of Irrigation Parameters on the Soil Moisture, Heat, Solute Dynamics, and Crop Water Use under Drip Irrigation with Plastic Film Mulch[D]. Shaanxi: Northwest A&F University, 2006: 21—24. (in Chinese with English abstract)
- [20] 张振华, 蔡焕杰, 杨润亚, 等. 地表积水条件下滴灌入渗特性研究[J]. *灌溉排水学报*, 2004, 23(6): 2—4.  
Zhang Zhenhua, Cai Huanjie, Yang Yarun, et al. The characteristic pattern of drip irrigation infiltration under surface ponding[J]. *Journal of Irrigation and Drainage*, 2004, 23(6): 2—4. (in Chinese with English abstract)
- [21] 杨艳芬, 王全九, 白云岗, 等. 极端干旱地区滴灌条件下葡萄生长发育特征[J]. *农业工程学报*, 2009, 25(12): 45—49.  
Yang Yanfen, Wang Quanjiu, Bai Yungang, et al. Characteristics of grape growth under drip irrigation condition in extremely arid regions[J]. *Transactions of the CSAE*, 2009, 25(12): 45—49. (in Chinese with English abstract)

## Numerical analysis of layout parameters and reasonable design of grape drip irrigation system for stony soil in Xinjiang Uighur Autonomous Region

Chen Ruonan<sup>1</sup>, Wang Quanjiu<sup>1\*</sup>, Yang yanfen<sup>2</sup>

(1. Institute of Water Resource, Xi'an University of Technology, Xi'an 710048, China;

2. Institute of Geographical Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China)

**Abstract:** In order to understand the laws of soil water movement under complex stony soil condition and optimize the design parameters and layout parameters of grape drip irrigation system in Xinjiang Uighur Autonomous Region, field experiments were carried out to determine the appropriate distance between the emitters should be 30 cm. Hydrus-2D numerical model was performed to estimate the hydraulic parameters of stony soil and simulate the soil water distribution characters of surface drip infiltration under different emitter discharge rates and lateral pipeline layout distance styles. According to the simulated wetted body feature and grape root distribution character, the rational discharge rates should be between 2.5 L/h and 3.0 L/h, and the reasonable lateral spacing of drip irrigation pipeline should be 60 cm. The results can provide some guidelines for scientific design and rational filed layout of grape irrigation system under stony soil.

**Key words:** numerical analysis, soils, soil moisture, distribution, hydraulic parameters, dripper discharge, pipeline spacing