

地下滴灌条件下土壤水能态研究

仵峰^{1,2}, 吴普特^{1*}, 范永申², 宰松梅², 冯俊杰²

(1. 西北农林科技大学水利与建筑工程学院, 杨凌 712100; 2. 中国农业科学院农田灌溉研究所, 新乡 453003)

摘 要: 研究灌水器与土壤界面处的能态是研究地下滴灌土壤水分运动的关键之一。该文通过理论和试验相结合的方法, 探讨了地下滴灌土壤水势的分布状况。结果表明: 根据灌水器的流量和土壤的导水性之间的关系, 将其分为两种情况, 在灌水器流量不大于土壤扩散能力时, 灌水器出口处的土壤水势等于该处的土壤吸力, 为非正压状态; 否则, 灌水器出口处的土壤水势为正。理论分析和室内试验结果均表明, 对同一土壤, 影响地下滴灌土壤水势分布的主要因素是灌水器的额定流量和土壤初始含水率, 在一定的流量范围内, 灌水器出口的稳端正压随灌水器流量的增大而增加, 随土壤初始含水率的增大而降低。在此基础上, 提出地下滴灌条件下土壤水势分布的近似计算式, 并简要分析了这一特殊土壤水分分布对地下滴灌系统的影响。

关键词: 地下滴灌, 灌水器, 正压, 土壤水势

中图分类号: S275.6

文献标识码: A

文章编号: 1002-6819(2008)-12-0031-05

仵峰, 吴普特, 范永申, 等. 地下滴灌条件下土壤水能态研究[J]. 农业工程学报, 2008, 24(12): 31-35.

Wu Feng, Wu Pute, Fan Yongshen, et al. Distribution of soil water potential energy under subsurface drip irrigation[J]. Transactions of the CSAE, 2008, 24(12): 31-35.(in Chinese with English abstract)

0 引言

地下滴灌与其他灌溉方式不同。在地下滴灌中, 有压水流通过灌水器消能后直接到达作物根区的土壤, 土壤水分通过灌水器出口与灌水系统形成一个连续的能量分布系统。在地下滴灌灌水初期, 由于土壤含水率较低, 在灌水器出口处通常存在一定的负压; 随着灌水时间的延长, 出水口周围的土壤含水率逐渐增加到饱和状态, 随之, 土壤水势由负压变为零, 进而形成一定的正压。目前, 国内外对此研究较少, 在进行数学模拟时, 多采用恒定通量边界来规避这一问题^[1,2]。仵峰等^[3]在模拟地下滴灌土壤水运动时, 发现在灌水器出口处赋以微小的正压, 有利于提高模拟精度。许迪等^[4]在模拟滴头出流量对土壤水分布的影响时, 根据土壤负压水头的变化趋势, 认为滴头附近的土壤水压力可能会接近正压, 且滴头出流量越大, 距离滴头越近, 出现正压的可能性也越大。Shani U^[5]通过试验测定了地下滴灌灌水器出口处的水势, 结果显示出比重力势高的正压, 通过理论分析给出了该正压的计算公式。仵峰等^[6]利用自制的试验装置, 测定了不同条件下地下滴灌灌水器出口处的正压。然而, 灌水器出口处何时出现正压、正压的大小及变化规律如何以及对土壤水势的分布和土壤水分运动的影响等问题, 有待进一步探讨。

本文结合已有的国内外地下滴灌研究成果, 以土壤水动力学原理为基础, 分析研究地下滴灌条件下灌水器出口处可能出现的土壤水能态, 通过与室内试验结果相比较, 分析影响灌水器出口处能态分布的主要因素。在此基础上, 推求地下滴灌条件下土壤水能态分布计算公式, 为研究地下滴灌条件下土壤水分运动规律, 以及合理确定地下滴灌设计参数等提供参考。

1 地下滴灌灌水器出口处土壤水势

地下滴灌灌水过程中, 灌水器出口位置全部被土壤包围, 同时, 灌水器内存在一定的压力, 灌水器的流出状态及土壤水分运动规律是由土壤条件和系统压力二者共同作用的结果。灌水器的流量存在3种情况^[7], 即小于、等于和大于其周围土壤的入渗力。当灌水器的出流量小于土壤入渗能力时, 入渗问题实际上是非饱和土壤水的扩散问题; 在灌水器出流量等于土壤入渗能力时, 灌水器流出的水将在其下方形成小的无压饱和带, 水分扩散过程实际上是无压水在土壤中的扩散; 也可将二者合为一种, 即无压入渗。一旦灌水器出流量大于土壤入渗能力时, 在灌水器的下方将形成一定的饱和带, 水分扩散过程将是有压水在土壤中的扩散, 即有压入渗。

针对上述可能出现的情况, 对地下滴灌灌水器出口处的土壤水能态进行分析。

1.1 无压入渗

1.1.1 供水流量小于土壤扩散能力时灌水器出口处土壤水能态

近年来出现的利用土壤负压进行灌溉是地下滴灌的一种形式, 将低透水性的多孔管埋在透水性较强的土壤中, 在管中充水利用土壤负压进行灌溉, 多孔管的供水流量小于土壤的扩散能力(试验用透水管的透水系数为 $1 \times 10^{-6} \sim 1 \times 10^{-5}$ cm/s, 土壤透水系数为 3.6×10^{-4} cm/s)^[8]。

收稿日期: 2007-01-11 修订日期: 2008-11-23

基金项目: 国家 863 计划资助项目(2006AA100213); 国家自然科学基金项目(50309016)

作者简介: 仵峰(1969—), 男, 副研究员, 博士研究生。主要从事节水灌溉技术及相关理论研究。河南省新乡市建设路173号 中国农业科学院农田灌溉研究所, 453003。Email: ntggswf@yahoo.com.cn

*通讯作者: 吴普特(1963—), 男, 研究员, 博士, 博士生导师。主要从事节水灌溉技术与水土保持研究。杨凌 西北农林科技大学国家节水灌溉工程中心(杨凌), 712100。Email: gjzwpt@vip.sina.com

在灌水初期,靠管道内壁的正压和作用在管道外壁的土壤负压(吸力)使管道中的水分湿润其周围的土体,土壤水分运动为非饱和入渗;随着灌水量的增加,管壁外的负压逐渐减少,直到与管内压力相同时,灌溉即停止;待土壤水分消耗后,再开始灌溉。

在整个灌溉过程中,土壤始终处于不饱和状态,在多孔管周围一般为负压。即:

$$\psi_e = \psi_s \leq 0 \quad (1)$$

式中 ψ_e 、 ψ_s ——分别表示多孔管出水口处压力和多孔管出水口处土壤水势。

1.1.2 供水流量与土壤扩散能力相当时灌水器出口处土壤水能态

灌水器流量与土壤扩散能力相当时,在灌水器的出口处将产生一个局部饱和区,Philip^[9]利用基尔霍夫变换方法,采用无因次空间柱坐标,推导得出地埋点源非充分供水条件下,稳定入渗的基质势通量分布为:

$$\phi = \frac{Q}{4\pi\rho} \exp\left(\frac{\alpha(z-\rho)}{2}\right) \quad (2)$$

式中 ϕ ——非充分供水条件下稳定入渗的点源处基质势通量; Q ——灌水器埋入土壤后的流量; ρ ——以灌水器为中心的湿润土体半径; α ——非饱和土壤水力传导度 $K(\psi)=K_s \exp(\alpha\psi)$ 中的指数,其中 K_s 为饱和土壤水力传导度; z ——滴头中心距离地表的距离。

灌水时,在灌水器出口处会存在一个土壤水势大于零的局部饱和区域。该灌水器出口处的土壤水势:

$$\psi_e = \psi_0 (1 + \alpha\psi_{sat}) \quad \psi_s > 0 \quad (3)$$

式中 ψ_0 、 ψ_{sat} ——分别表示土壤初始水分及土壤饱和水分时所对应的土水势。

1.2 有压入渗

当灌水器的供水能力大于土壤水扩散能力时,将会出现有压入渗。在额定工作压力(10 m 水头)下,滴灌灌水器的流量不大于 12 L/h^[10]。若将该类灌水器用于地下滴灌,则灌水过程应属于充水供水。通常,地下滴灌灌水器的流量在 1 L/h 左右,即便如此,灌水器的流量仍远大于土壤的扩散能力。Cote^[11]研究表明,即使对于土壤水扩散能力较强的砂土和粉砂土,与土壤水入渗能力相当的灌水器流量分别为 0.38 L/h 和 0.003 L/h。

根据土壤水运动的基本方程,Shani U 等^[5]导出了灌水器出口处正压计算公式:

$$\psi_s = \left(\frac{2 - \alpha r_0}{8\pi K_s r_0} \right) Q - \frac{1}{\alpha} \quad (4)$$

式中 r_0 ——与灌水器流量及土壤性能有关的特征半径,可采用 $r_0 = 1/(\psi_0 + 1)$ 估算。

由式(4)可知,当供水能力远大于土壤扩散能力时,灌水器出口处就会有正压出现。然而,实际灌水时,土壤水分将优先在大孔隙中形成通道,有可能与地表连通,这时灌水器出口处的正压也可能下降到与该处重力势相等。即:

$$\psi_e = h_g \quad (5)$$

研究表明^[12,13],一些土壤(如黏土)中存在起始水

力坡降和偏离达西定律现象,这种现象在分层土壤中表现更加明显,加上土壤中大孔隙流的存在,在实际土壤中正压的分布规律较为复杂,可能与以上分析有所偏差。

2 地下滴灌灌水器出口压力测试

2.1 材料与方法

试验在中国农业科学院农田灌溉研究所微灌试验大厅进行,采用自制的圆形土槽($D \times H = 0.5 \text{ m} \times 0.5 \text{ m}$),试验土壤取自农田灌溉研究所试验地,土壤的主要物理参数见表1。灌水器出口处土壤水的能态通过预先埋设在灌水器附近的陶土头进行测量,埋设陶土头时,尽可能靠近灌水器出口,每个灌水器出口对应一个陶土头,并由与其连通的“U”形压差计显示;试验时每个试验内容设3个以上的重复。

试验前,预先调整土壤初始含水率达到设计土壤水分,然后按容重分层装填在土槽内,在土槽中央的预定位置,分别埋入滤定好的不同流量的灌水器 and 陶土头($D \times L = 0.01 \text{ m} \times 0.03 \text{ m}$),观测灌水器出口处的压力变化过程。

表1 供试土壤主要物理参数

Table 1 Physical parameters of experimental soil

剩余含水率 θ_r	饱和含水率 θ_s	饱和导水率 $K_s / \text{cm} \cdot \text{h}^{-1}$	V-G 模型参数		
			α	m	n
0.011	0.32	2.51	0.0045	0.51	2.05

为保证各灌水器正常工作,试验开始前,先灌水排除灌水器内部的空气。试验时,同时向各槽供水,记录灌水器出口处压力随时间的变化,直到湿润锋到达土槽边沿时结束。

2.2 结果与分析

2.2.1 灌水器流量对其出口处土壤水势的影响

灌水器出口处正压的形成,主要是由于灌入土壤中的水量来不及扩散到土壤中。因而,灌水器的流量大小直接影响到灌水器出口处正压的形成。结合理论分析,不同流量的灌水器出口处正压测试结果及变化趋势线如图1所示。

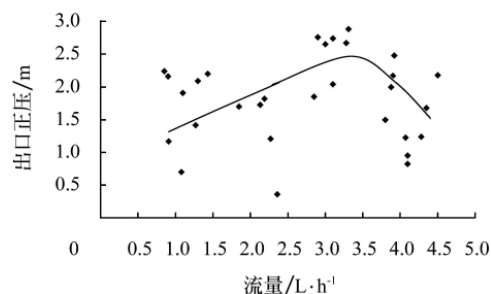


图1 灌水器流量与其出口处正压的关系

Fig.1 Relationship between emitter flow and positive pressure of emitter outlet

由图1可以看出,在灌水器流量小于一定值(试验时对应的流量为 3.4 L/h)时,灌水器出口压力与流量呈正相关,即灌水器出口的稳定正压随流量的增大而增加,

与式(4)结论一致。

超过该流量范围后, 出口正压开始下降。由前分析知, 当饱和区到达地表与大气连通后, 灌水器出口处的稳定土壤水势与该处的重力势保持一致; 灌水器流量继续增大时, 灌水器出口处正压将不再发生变化。

2.2.2 土壤初始含水率对灌水器出口处正压的影响

土壤初始水分状态不仅直接影响着地下滴灌灌水器出口处的土壤水势, 同时, 由于非饱和土壤导水率 K 是土壤水势的函数, 即土壤水分不同, K 值随之发生变化, 进而影响到土壤中水分的扩散。一般来说, 土壤的含水率升高, 水分在土壤中运移的速度加快, 灌水器出口处土壤水势降低。图 2 为不同土壤初始含水率条件下灌水器出口处稳定正压的测试结果。

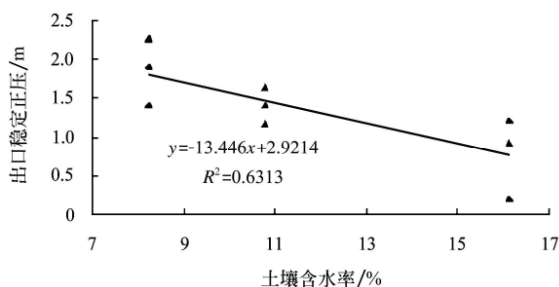


图 2 土壤初始含水率与灌水器出口处稳定压力的关系

Fig.2 Relationship between initial soil water content and constant pressure of emitter outlet

从图 2 中可以看出, 土壤初始含水率与灌水器出口处稳定正压二者呈负线性关系, 即随着土壤初始含水率的增大, 灌水器出口处稳定正压线性下降。这与式(3)的结果一致。

2.3 地下滴灌灌水器出口处正压成因探讨

由以上分析和试验可以看出, 地下滴灌条件下, 在灌水器出口处可能存在高于重力势的正压力势, 影响该正压形成的主要因素是土壤和灌水器流量。当灌水器流量超过土壤的入渗能力时, 灌入土壤中的水量来不及入渗, 在灌水器出口处就会有较大的正压出现。产生该正压的原因主要有以下几个方面:

首先是与土壤导水性和土壤含水率有关, 通常为非线性。典型土壤水分扩散系数与土壤含水率的关系可用指数型曲线表示(如 Grandner 模型), 即土壤的含水率越低, 水分运动的速度就越慢; 当土壤水分超过一定值后, 水分运动的速度呈指数快速增加。灌水时, 在灌水器周围的土壤首先湿润, 即具有较高的含水率, 也就意味着土壤水的扩散速度较高, 而与之紧临且未湿润的土壤含水量低, 水分运动的速度小。当该区内土壤水的扩散速度小于灌水速度时, 就会阻碍内部湿润区水分向外扩散, 使内部的饱和区产生过饱和现象, 进而形成有压区。

其次是土壤中排气过程对水分入渗的影响。仵峰等^[14]在研究地下滴灌灌水器流量时, 发现部分灌水器不能正常出水, 即使在较高的工作压力下, 也不能使之正常工作。挖开剖面后, 在灌水器出口处可见局部湿润, 出现该现象主要是由于试验条件下所填土壤过于密实,

致使土壤排气不畅所造成的。李援农^[9]研究了地下滴灌条件下的土壤空气阻渗特性, 结果表明, 地下点源入渗过程中产生了一定的禁锢土壤空气压力, 该作用力虽对入渗的影响很小, 但由于禁锢土壤空气压力的存在, 将改变土壤与水的接触角, 从而使入渗率降低。

此外, 严格地讲, 地下滴灌条件下土壤水运动是一个多相流, 即使忽略土壤中固体颗粒的运动, 也是一个水、气两相流, 有可能在气相中产生液滴或水相中产生气泡, 出现贾敏效应^[15], 即液滴或气泡在直径变化的毛管中运动时, 由于变形而产生附加的毛管阻力, 减缓土壤水分的运动。

3 地下滴灌条件下土壤水势分布

3.1 点源入渗

不考虑灌水器间土壤水分的交互影响时, 地下滴灌灌水器在灌水时可视为点源入渗。由于在灌水过程中, 饱和区以内是以压力势为主, 饱和区以外则主要由基质势所控制, 即重力势的作用相对较小, 其影响可略, 因而, 通过以灌水器出口为中心、半径为 r 的各同心球面的水量相同。由达西定律知, 单位球面水分通量的微分形式为:

$$Q = -K \cdot \text{grad}\phi = -4\pi r^2 K \frac{d\psi}{dr} \quad (6)$$

式中 $\text{grad}\phi$ ——土壤水势梯度; 负号表示水流方向与水势梯度方向相反。

将式(6)积分, 并写成 ψ 的显式格式如下:

$$\psi = \frac{Q}{4\pi K} \cdot \frac{1}{r} + c \quad (7)$$

式中 c ——常数。

由于地下滴灌属于局部灌溉, 即在灌水时, 只是毛管周围局部土壤湿润, 因此各灌水器之间的土壤水仍为其初始状态。设土壤水运动的边界处距灌水器出口的距离为 r_0 , 即在 r_0 处土壤水势为初始土壤水势 (ψ_0), 代入式(7), 得:

$$c = \psi_0 - \frac{Q}{4\pi K} \cdot \frac{1}{r_0} \quad (8)$$

将式(8)代入式(7), 得:

$$\psi(r) = \frac{Q}{4\pi K} \left(\frac{1}{r} - \frac{1}{r_0} \right) + \psi_0 \quad (9)$$

式中 r_0 可按参考文献[4]计算得出, 对内镶式滴头也可近似为毛管半径。

式(9)即为点源入渗条件下土壤水势分布的近似计算式。

3.2 线源入渗

灌水器的间距远小于毛管间距时, 灌水过程中不可避免使相邻两灌水器的水量相互交叉, 需要考虑灌水器间土壤水分的交互影响, 这时地下滴灌又可视为线源入渗, 即以灌水器出口为中心、毛管为对称轴、半径为 r 的各圆柱体。对于稳定流, 由水流运动的连续方程知, 通过各圆柱体表面的水量均等于滴头的实际供水流量,

土壤水分运动符合达西定律。由前述分析可知：地下滴灌土壤水能态分布概况是：在灌水器出口至饱和区的边界存在正压区（ ψ_e ），其外层为一水分扩散的负压区，最外层为土壤水的初始能量状态。土壤水分运动是在前两区域内的饱和——非饱和二维流动，遵循达西定律和连续流方程。

利用 Gardner 提出的非饱和土壤水力传导度 $K(\psi)=K_s \exp(\alpha\psi)$ 模型，得单位圆柱表面水分通量的微分形式为^[16]：

$$Q=q=-2\pi rK \frac{d\psi}{dr}=-2\pi rK_s e^{\alpha\psi} \frac{d\psi}{dr} \quad (10)$$

分离变量，式（10）改写为

$$\frac{Q}{-2\pi rK_s} dr = e^{\alpha\psi} d\psi \quad (11)$$

积分后，得

$$\frac{1}{\alpha} (e^{\alpha\psi} - e^{\alpha\psi_0}) = \frac{Q}{-2\pi rK_s} \ln \frac{r}{r_0} \quad (12)$$

写成 ψ 的显式，即

$$\psi(r) = \frac{1}{\alpha} \ln \left(e^{\alpha\psi_0} - \frac{\alpha Q}{2\pi rK_s} \ln \frac{r}{r_0} \right) \quad (13)$$

式（13）即为线源入渗条件下土壤水势分布的近似计算式。

以上分析表明，地下滴灌条件下，土壤水的能态分布为非线性，土壤质地和灌水器的流量决定了土壤水势的分布状况；对同一土壤，主要是与灌水器的流量和土壤的初始水分状况有关，而它们又是影响灌水器出口处土壤水势的两个主要因素，只要知道灌水器出口处的土壤水势，即可利用式（9）或式（13）求得地下滴灌条件下土壤水势的分布状况。

4 结论与讨论

以往有关地下滴灌系统的水力性能和土壤水分运动的研究中，常把二者分别作为一个独立的系统进行研究，实际上，土壤水通过灌水器出口与灌水系统形成了一个连续的整体。

灌水器出口处所形成的正压，一方面作用于与之相接触的土壤，通过影响土壤水分入渗过程，影响土壤水势的分布，这可能是以往地下滴灌模拟中偏离实际的主要原因之一^[17]；按照理论计算，地下滴灌灌水器的影响半径应为 30~50 cm，而生产实践中，毛管间距可达 1.0 m 以上^[17]，两者之间产生较大偏差的一个主要原因，就是在地下滴灌的设计时，多参考地表滴灌进行，没有充分考虑地下滴灌可能出现的有压入渗。地下滴灌条件下的土壤水势宜按照有压（灌水器附近）——零（饱和区）——负压（非饱和区）在不同的地下滴灌系统所起的作用，分别加以分析，提高现行理论对生产指导的准确性。

另一方面，灌水器出口处出现的正压，还可通过灌水器、管网与整个地下滴灌系统连通，影响灌水器乃至系统的工作状况。在新疆地下滴灌生产实践中已有表现，

如管网压力和流量与设计偏差较大，使系统运行在高效区之外，能耗增加，造成一定的浪费。此外，如使用大流量滴头，不仅会在灌水器周围产生较高的正压，若水分运动过快，还有可能引起土壤水正压，造成周边紧邻土壤结构的破坏，影响滴头的正常工作^[14]。

通过分析、研究地下滴灌灌水器出口处土壤水势可能存在的状态，并与室内观测试验的灌水器出口处土壤水势进行对比，分析了地下滴灌灌水器出口处正压产生的原因，得出了地下滴灌条件下土壤水能态分布计算公式。取得主要结论如下：

1) 地下滴灌条件下，灌水器的流量直接影响到灌水器出口处的土壤水能态。在灌水器流量小于土壤扩散能力时，灌水器出口处的土壤水势等于该处的土壤吸力，土壤水分运动为非饱和入渗；灌水器流量与土壤扩散能力相当时，灌水器出口处存在一个局部饱和区，灌水器出口处的土壤水势可按非充分供水时稳定入渗求得；若灌水器的流量超过土壤的扩散能力，将在灌水器出口处产生一定的正压。

2) 影响地下滴灌灌水器出口处土壤水势的主要因素是灌水器的流量和土壤的导水性。同一土壤中，影响地下滴灌土壤水势分布的主要因素是灌水器的额定流量和土壤初始含水率，在一定的流量范围内，灌水器出口的稳端正压随灌水器流量的增大而增加，随土壤初始含水率的增大而降低。

3) 地下滴灌灌水器出口处正压产生的主要原因是由于灌水器流量大于土壤水分扩散能力。此外，土壤排气过程以及土壤中多相流运动的贾敏效应等，也是灌水器出口处产生正压的重要原因。

4) 地下滴灌条件下，土壤水的能态分布为非线性，土壤质地和灌水器的流量决定了土壤水势的分布状况。给出了求解点源或线源入渗条件下土壤水势分布的数学方程。

[参 考 文 献]

- [1] 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.
- [2] 李光永, 郑耀泉, 曾德超, 等. 地理点源非饱和土壤水运动的数值模拟[J]. 水利学报, 1996, 11: 12—16.
- [3] 仵峰, 彭贵芳, 吕谋超, 等. 地下滴灌条件下土壤水分运动模型[J]. 灌溉排水, 1996, 15(3): 24—29.
- [4] 许迪, 程先军. 地下滴灌土壤水运动和溶质运移数学模型的应用[J]. 农业工程学报, 2002, 18(1): 27—30.
- [5] Shani U, Xue S, Gordin Katz R, et al. Soil limiting flow from subsurface emitters. I: pressure measurements [J]. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 1996, 122(5): 291—295.
- [6] 仵峰, 李王成, 范永中, 等. 地下滴灌灌水器出口正压试验研究[J]. 灌溉排水学报, 2003, (2): 48—50.
- [7] 李援农. 不同灌溉方式入渗条件下的土壤空气阻渗特性试验研究[D]. 西安: 西安理工大学, 2007.
- [8] 吴景社. 低压渗灌原理与基础试验研究[J]. 灌溉排水, 1992, 11(2): 35—38.
- [9] Philip J R. What happens near a quasi-linear point source? [J].

- Water Resources Research, 1995, 128(1): 47—52.
- [10] 付 琳, 董文楚, 郑耀泉, 等. 微灌工程技术指南[M]. 北京: 水利电力出版社, 1988.
- [11] Cote C M, Bristow K L, Philip B C, et al. Analysis of soil wetting and solute transport in subsurface trickle irrigation[J]. Irrig Sci, 2003, 22: 143—156.
- [12] 钱家欢. 土力学[M]. 南京: 河海大学出版社, 1988.
- [13] 叶和才, 华 孟, 张君常, 等译. 土壤物理学[M]. 北京: 农业出版社, 1983.
- [14] 仵 峰, 李王成, 李金山, 等. 地下滴灌灌水器水力性能试验研究[J]. 农业工程学报, 2003, 19(2): 85—88.
- [15] 葛家理. 现代油藏渗流力学原理(上册)[M]. 北京: 石油工业出版社, 2003.
- [16] Warrick A W. Time dependent linearized infiltration: I. Point source [J]. Soil Sci Soc Am Proc, 1974, 38: 383—386.
- [17] 段守明, 仵 峰, 李富强. 浅谈对新疆棉花地下滴灌的认识[J]. 节水灌溉, 2007, (1): 12—14.

Distribution of soil water potential energy under subsurface drip irrigation

Wu Feng^{1,2}, Wu Pute^{1*}, Fan Yongshen², Zai Songmei², Feng Junjie²

(1. College of Water Resources and Architectural Engineering, Northwest Agriculture and Forestry University, Yangling 712100, China;

2. Farmland Irrigation Research Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Xinxiang 453003, China)

Abstract: The research on the state of soil water potential adjacent to emitters (SWPAE) is the key to study soil water movement under subsurface drip irrigation (SDI). Distribution of soil water potential energy under SDI was studied by theoretical analyses and tests. The results showed that there were two kinds of SWPAE according to the relationship between emitter flow and soil water conductivity. The SWPAE equaled to the soil suction, which was negative, when emitter flow was not larger than the capacity of soil water diffusion. Otherwise, it was positive. Both theoretical analyses and tests showed that SWPAE was mainly decided by emitter rated flow and the initial soil water content in the same soil. Under a certain range of emitter flow, SWPAE increased with the increasing of emitter flow, while it would decrease with the increasing of the initial soil water content. On the basis, formulas were built to calculate the distribution of soil water potential under SDI, and effects of distribution of soil water potential on SDI system were brief analyzed.

Key words: subsurface drip irrigation, emitter, positive pressure, soil water potential