

## 微润灌水头压力对温室番茄生长及水分利用效率的影响

李朝阳<sup>1,2</sup>, 王兴鹏<sup>1,2\*</sup>, 张强伟<sup>1</sup>

(1. 塔里木大学水利与建筑工程学院, 新疆阿拉尔 843300;

2. 塔里木大学现代农业工程重点实验室, 新疆阿拉尔 843300)

**摘要:**【目的】探明微润灌条件下温室番茄适宜的水头压力,提高水分利用效率。【方法】以滴灌灌溉为对照(CK),设置水头压力1 m(T<sub>1</sub>)、1.5 m(T<sub>2</sub>)、2 m(T<sub>3</sub>)、2.5 m(T<sub>4</sub>)4种试验处理,研究了微润灌条件下不同水头压力对土壤水分分布、番茄生长、耗水规律、产量及水分利用效率的影响。【结果】微润灌水头压力显著影响土壤含水率和湿润区范围,与滴灌处理相比,微润灌处理土壤含水率始终处于较高状态,形成持续稳定的水分环境;T<sub>1</sub>、T<sub>2</sub>、T<sub>3</sub>、T<sub>4</sub>处理定植100 d的土壤含水率较定植20 d的下降24.9%、21.54%、19.18%和16.93%,水头压力越高,下降幅度越小,土壤水分环境越稳定;定植初期,滴灌土壤水分环境对植株生长有利,番茄生长较好,随着生育期的延长,微润灌地理优势充分发挥,后期微润灌番茄生长明显优于滴灌处理;在整个生育期内,番茄株高及茎粗的生长量、生长速率均随着水头压力的提高逐渐增大;番茄在开花坐果期和结果盛期耗水量较大,苗期和结果末期耗水量相对较低,全生育期T<sub>1</sub>、T<sub>2</sub>、T<sub>3</sub>、T<sub>4</sub>处理耗水量分别为192.3、216.4、235.8、262.3 mm,水头压力越高,耗水量越大;各处理水分利用效率表现为CK < T<sub>4</sub>处理 < T<sub>1</sub>处理 < T<sub>2</sub>处理 < T<sub>3</sub>处理。【结论】相比于滴灌,微润灌可显著提高番茄的水分利用效率,水头压力为2 m时,同时获得较高的番茄产量和水分利用效率。

**关键词:**微润灌;水头压力;土壤水分;番茄;水分利用效率;温室

中图分类号:S275.4

文献标志码:A

doi:10.13522/j.cnki.gggs.20180559

李朝阳,王兴鹏,张强伟.微润灌水头压力对温室番茄生长及水分利用效率的影响[J].灌溉排水学报,2018,38(4):25-30.

### 0 引言

微润灌溉是近年来发明的一种应用半透膜技术的全新地下精准微灌技术<sup>[1]</sup>。该技术将利用功能性半透膜制成的微润带埋设在作物根系附近,以膜内外水势梯度为驱动,根据作物需水需求,以缓慢出流的方式为作物根区输送水分。微润带出水孔均匀密集,水分出流可以看作“线源”状,可有效防止地表蒸发、减少深层渗漏,其抗堵塞性能强、运行成本低,是一种省水、高效的连续地下灌溉技术<sup>[2-4]</sup>。

相对于传统灌溉,微润灌溉更有利于作物植株生长、产量形成,进而提高水分利用效率<sup>[5-6]</sup>。但微润灌土壤湿润体特征受到土壤质地、初始含水率、水头压力和埋深等诸多因素的影响。土壤质地越黏重,湿润锋运移速率越慢,湿润体体积越小<sup>[7]</sup>。土壤初始含水率对微润灌溉线源扩散有较大的影响,对湿润体形状影响非常小<sup>[8]</sup>。微润灌灌水参数的不同亦造成土壤水分分布差异,直接影响作物的生长。土壤湿润锋运移距离及湿润体体积均随水头压力的增大而增大,土壤水分分布范围越广,土壤平均含水率越高<sup>[9]</sup>。微润管埋深30 cm、间距30 cm红枣幼苗成活率及根系生长幅度较优于其他处理<sup>[10]</sup>。微润带埋深为20 cm时土壤含水率最高,青椒株高、产量均为最大<sup>[11]</sup>。

已有研究成果表明,微润灌灌水技术参数对土壤水分运移和作物生长有显著影响,但针对南疆地区特殊条件下,具体土壤和作物类型的微润灌技术设计方面还有待于进一步完善。试验以南疆温室番茄为研究对象,针对微润灌的主要影响因素—水头压力开展田间试验,分析不同水头压力对土壤水分分布、番茄生

收稿日期:2018-10-15

基金项目:国家自然科学基金项目(51469029);塔里木大学现代农业工程重点实验室开放课题(TDNG20160601);兵团中青年科技创新领军人才计划项目(2016BC001)

作者简介:李朝阳(1986-),男,讲师,主要从事干旱区节水灌溉理论与技术研究。E-mail: lizhaoyang2i1@163.com

通信作者:王兴鹏(1978-),男,教授,主要从事极端干旱荒漠区农业水土环境和节水灌溉方面的研究。E-mail: sjywxp@taru.edu.cn

长、耗水及产量的影响,提出南疆温室番茄较为适宜的水头压力,以期为微润灌技术在南疆地区的推广应用提供一定参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

试验于2017年3—7月在新疆阿拉尔塔里木大学节水灌溉试验基地日光温室内进行。该区海拔1 020 m,年均气温10.89℃,年均降水量40.1~82.5 mm,年均蒸发量1 976.6~2 558.9 mm,地下水埋深在3 m左右,为典型极端干旱气候区。试验田0~60 cm土层内平均干体积质量为1.39 g/cm<sup>3</sup>,土壤质地为砂壤土(国际制),田间持水率为27.6%(体积含水率)。

### 1.2 试验材料与设计

供试番茄品种为“金棚一号”,定植时间为2017年3月18日,试验结束时间为2017年7月10日。试验依据番茄生长发育特点将其划分为苗期(3月18日—4月20日)、开花坐果期(4月21日—5月18日)、结果盛期(5月19日—6月26日)和结果末期(6月27日—7月10日)。起垄种植,垄宽50 cm,高20 cm,垄长6 m,垄间距为70 cm。种植模式为1垄2行,株行距为30 cm×40 cm。试验共设置4个水头压力:1 m(T<sub>1</sub>)、1.5 m(T<sub>2</sub>)、2 m(T<sub>3</sub>)、2.5 m(T<sub>4</sub>),另设置滴灌处理作为对照(CK),共5个处理,每个处理重复3次,共计15个试验小区。微润带由深圳微润科技有限公司提供,微润带上微孔数量为10万个/cm<sup>2</sup>以上,微孔孔径为10~900 nm。微润带及滴灌带布设模式均为1管2行,其中微润带埋设在垄中间20 cm深处土层,滴灌带布设在垄中间地表处。从番茄定植开始,微润灌利用恒压水箱提供水头压力,全生育期持续灌水,T<sub>1</sub>、T<sub>2</sub>、T<sub>3</sub>、T<sub>4</sub>处理全生育期灌水量分别为203.2、231.4、256.3、286.9 mm。为防止土壤水分横向渗透运移,相邻小区之间用埋深为1 m的塑料布隔离。结合当地生产实践经验,CK全生育期灌水量设置为350 mm,灌水次数10次,其中苗期1次,定植当天进行灌水,开花坐果期5次,分别在4月21、28日、5月4、11、18日进行灌水,结果盛期4次,分别在5月27日、6月6、16、26日进行灌水。每次灌水量一致。

### 1.3 测试项目及方法

1)土壤含水率测定。采用烘干法测定土壤含水率。取样位置分别为水平距离微润带(滴灌带)0、10和20 cm处,每个取样位置取样深度为0~60 cm,每隔10 cm为1层,微润灌处理每10 d取样1次,滴灌处理灌前和灌后24 h进行取样。

2)番茄株高和茎粗。本试验中番茄定植60 d打顶,打顶后番茄植株生长缓慢,因此番茄株高及茎粗均监测到定植60 d。每隔10 d测定1次,每个处理选取5株样本测量。株高利用卷尺从番茄根部开始量取;茎粗利用游标卡尺测量根部直径。

3)番茄田间耗水量。根据水量平衡原理计算番茄各个观测期的田间耗水量<sup>[12]</sup>,计算式为:

$$ET_{1-2} = 10 \sum_{i=1}^n \gamma_i H_i (W_{i1} - W_{i2}) + M + P + K - C, \quad (1)$$

式中:ET<sub>1-2</sub>为阶段生育期田间耗水量(mm);i为土壤层数;n为土壤总层数;γ<sub>i</sub>为第i层土壤体积质量(g/cm<sup>3</sup>);H<sub>i</sub>为第i层土壤厚度(cm);W<sub>i1</sub>为第i层土壤初始时段含水率;W<sub>i2</sub>为第i层土壤末尾时段含水率;M为观测期内灌水量(mm);P为观测期内的降水量(mm);K为观测期内地下水补给量(mm);C为观测期内排水量(mm)。试验区处于温室内,无降雨补充及排水量,同时地下水位置较深,因此P=0,C=0,K=0。式(1)可以简化为:

$$ET_{1-2} = 10 \sum_{i=1}^n \gamma_i H_i (W_{i1} - W_{i2}) + M. \quad (2)$$

4)番茄产量测定。番茄成熟时每个处理选取5株番茄测定产量,分别采摘称取鲜质量,生育期末番茄采摘完成后,计算求得平均产量值即为该处理的产量值。

采用Excel 2007作图,SPSS18.0数据软件对数据进行处理、方差分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 水头压力对土壤水分分布的影响

本试验是在日光温室内进行,不受降雨影响,地下水位较深,可以忽略地下水补给量,因此土壤中水分

变化主要是由灌水处理的不同引起的。图1是不同灌水处理下0~60 cm土层土壤含水率在生育期内的动态变化(以水平方向3个取样位置的平均土壤含水率为依据)。由图1可知,番茄定植20 d,微润灌处理土壤含水率较定植0 d明显升高,土壤含水率及土壤湿润区范围均达到全生育期最大值。定植初期,土壤初始含水率相对较低,微润带膜内外水势梯度相对较大,间接提高了微润带出流量,同时,由于该阶段土壤蒸发及植株根系吸水能力较弱,导致土壤含水率及土壤湿润区范围明显升高,T<sub>4</sub>处理20~60 cm土层土壤含水率均达到20%以上,水头压力越高,该现象越明显。随着生育期的延长,根系吸水及蒸发逐渐加强,土壤含水率及土壤湿润区范围逐渐下降。经计算,T<sub>1</sub>、T<sub>2</sub>、T<sub>3</sub>、T<sub>4</sub>处理,0~60 cm土层平均土壤含水率从定植20 d的19.03%、19.17%、21.16%、21.92%下降到定植100 d的14.29%、15.04%、17.1%和18.21%,降幅分别为24.9%、21.54%、19.18%和16.93%,水头压力越高,土壤含水率下降幅度越小,说明高水头压力,有利于维持较高的土壤水分环境。

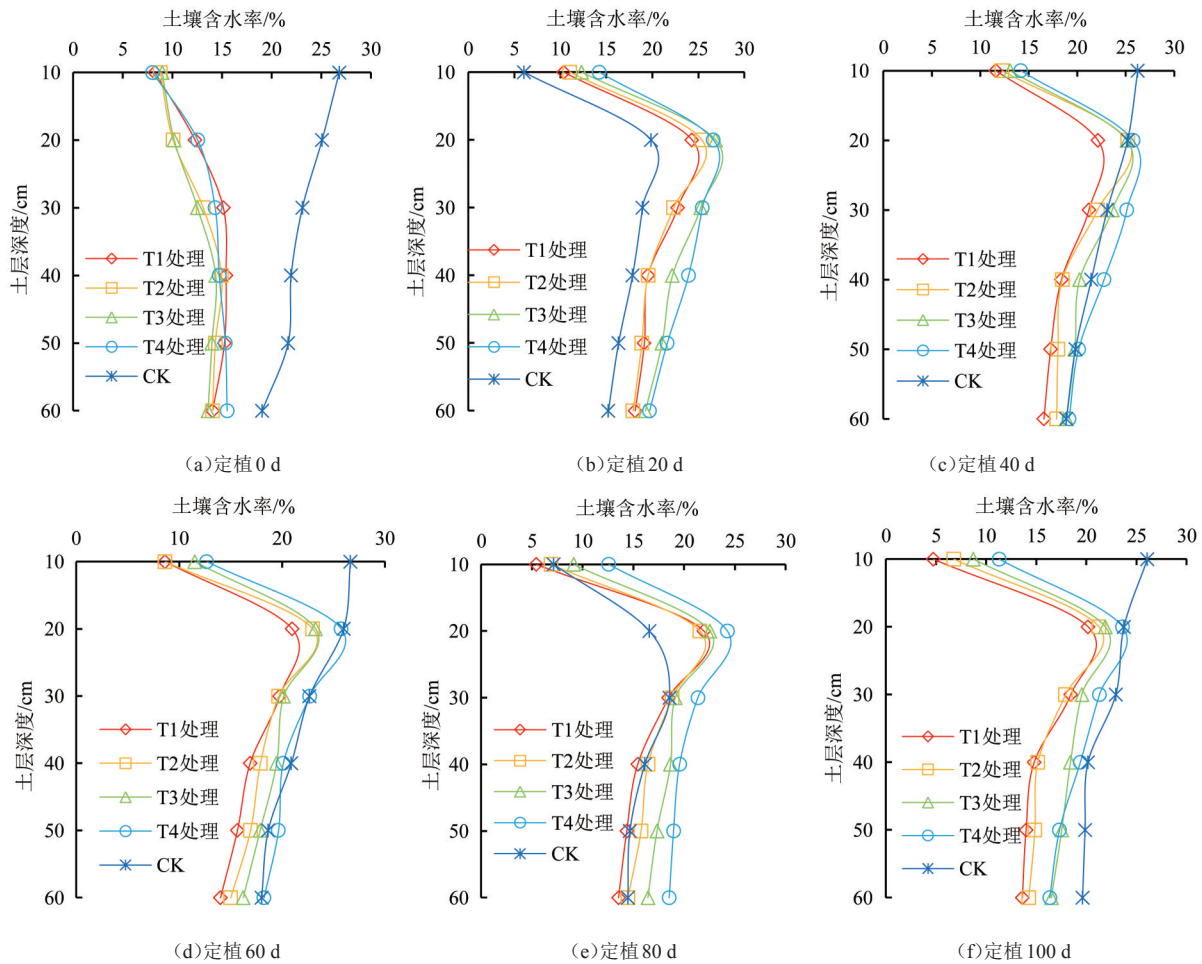


图1 不同处理下生育期内土壤水分动态变化

滴灌处理,定植当天进行灌水,土壤含水率高于微润灌处理,定植20 d内无灌水补充,土壤含水率下降明显,微润灌在持续灌水作用下,土壤含水率逐渐升高。定植40、60、100 d均为灌后24 h取样,土壤含水率明显升高。定植80 d为灌前取样,与灌后相比,土壤含水率相对较低。说明滴灌土壤含水率受灌水影响较大,灌水时,短时间内,大量水分进入土壤,土壤含水率急剧升高,灌水结束后,直至下次灌水,没有水分补给来源,在土壤蒸发及根系吸水的作用下,土壤含水率短时间内逐渐下降。经计算,滴灌0~60 cm土层土壤平均含水率在灌前基本下降到15%左右,灌水后,土壤含水率在短时间内达到23%左右,土壤含水率始终在较高和较低之间动态波动。

## 2.2 水头压力对番茄株高和茎粗的影响

以定植40、60 d监测的生长数据对比分析不同灌水处理下番茄株高和茎粗的变化,具体见表1。从表1可以看出,微润灌条件下番茄株高和茎粗生长规律基本一致,在监测期内大致可分为3个阶段。第1个阶段为定植10 d内,该阶段番茄主要处于缓苗期,生长缓慢,株高及茎粗基本没有变化。第2个阶段为定植10~



40 d,株高及茎粗明显升高,株高由定植10 d时20 cm增长到63.7~83.2 cm,增长速率为1.46~2.11 cm/d,茎粗则由定植10 d时3.7 mm增长到6.7~8.4 mm,增长速率为0.1~0.16 mm/d。第3阶段为定植40~60 d内,株高达到112.9~146 cm,增长速率为2.46~3.14 cm/d,茎粗达到10.1~12.4 mm,增长速率为0.17~0.2 mm/d,该阶段株高和茎粗增速达到最大值。在整个生育期内,水头压力对植株生长影响较大,各处理间差异显著,总体表现为株高及茎粗的生长量、生长速率均随着水头压力的提高逐渐增大。定植40 d, T<sub>1</sub>、T<sub>2</sub>、T<sub>3</sub>处理番茄株高低于CK,差异显著,定植60 d, T<sub>3</sub>、T<sub>4</sub>处理番茄株高显著高于CK。

表1 不同处理下番茄株高和茎粗

处理	定植10 d		定植40 d		定植60 d	
	株高/cm	茎粗/mm	株高/cm	茎粗/mm	株高/cm	茎粗/mm
T <sub>1</sub>	20.0	3.7	63.7 d	6.7 d	112.9 d	10.1 d
T <sub>2</sub>	20.0	3.7	69.6 c	7.1 c	128.1 c	10.7 c
T <sub>3</sub>	20.0	3.7	76.6 b	7.6 b	135.6 b	11.3 b
T <sub>4</sub>	20.0	3.7	83.2 a	8.4 a	146.0 a	12.4 a
CK	20.0	3.7	83.1 a	8.2 a	129.5 c	10.6 c

### 2.3 水头压力对番茄耗水规律的影响

表2为不同处理番茄各生育期阶段耗水量。从表2可看出,微润灌条件下,番茄在开花坐果期和结果盛期耗水量较大,苗期和结果末期耗水量相对较低。苗期植株个体相对较小,需水强度较低,同时该阶段土壤蒸发微弱,导致该阶段耗水量较低。开花坐果期,番茄植株快速生长,植株蒸腾及土壤蒸发逐渐增大,根系吸水能力较苗期有所提高,耗水量明显增大。结果盛期,番茄进入到生殖生长及营养生长的主要时期,大部分果实在此期间达到成熟状态,植株对水分的需求达到了峰值,该阶段耗水量达到全生育期最大值。结果末期,由于较多果实成熟且逐渐采摘,植株个体进入到生育期末,生理活动衰弱降低,需水强度下降,耗水量减少。从表2还可以看出,不同水头压力下,番茄在开花坐果期、结果盛期及结果末期阶段及全生育期耗水量处理间差异显著,其中, T<sub>4</sub>处理全生育期耗水量达到了262.3 mm, T<sub>1</sub>处理仅为192.3 mm,耗水量随着水头压力的提高逐渐增大。

滴灌处理,由于生育期内灌水量较多,水分从地表向深层土壤入渗,浅层土壤含水率较高,地表无效蒸发较大。而微润灌处理,微润带埋设在20 cm深处土层,浅层土壤含水率相对较低,地表无效蒸发低于滴灌处理,导致滴灌处理番茄全生育期耗水量显著高于微润灌的。

表2 不同处理下番茄各生育期阶段耗水量、产量和水分利用效率

处理	耗水量/mm					产量/(kg·hm <sup>2</sup> )	水分利用效率/(kg·m <sup>-3</sup> )
	苗期	开花坐果期	结果盛期	结果末期	全生育期		
T <sub>1</sub>	25.69c	46.75e	90.08e	29.79d	192.3e	66 245e	34.45c
T <sub>2</sub>	26.53c	56.25d	96.49d	37.16c	216.4d	82 075d	37.93b
T <sub>3</sub>	29.33bc	63.04c	102.14c	41.31b	235.8c	92 879a	39.39a
T <sub>4</sub>	31.6b	70.49b	114.76b	45.49a	262.3b	89 042b	33.95c
CK	40.5a	99.65a	143.66a	38.12c	321.9a	86 350c	26.83d

### 2.4 水头压力对产量和水分利用效率的影响

由表2可知,微润灌不同水头压力处理下,番茄产量为66 245~92 879 kg/hm<sup>2</sup>, T<sub>1</sub>处理产量最低为66 245 kg/hm<sup>2</sup>, T<sub>3</sub>处理产量最高为92 879 kg/hm<sup>2</sup>,处理间差异显著。其中2.5 m水头压力的T<sub>4</sub>处理产量为89 042 kg/hm<sup>2</sup>,虽高于T<sub>1</sub>和T<sub>2</sub>处理,但低于T<sub>3</sub>处理,差异显著,说明一味地提高水头压力,增加土壤含水率,并不能有效地提高番茄的产量。滴灌CK全生育期耗水量达到了321.9 mm,明显高于微润灌处理,但产量仅为86 350 kg/hm<sup>2</sup>,与T<sub>3</sub>处理相比,耗水量增加36.5%,而产量降低7.6%。

各处理水分利用效率表现为CK<T<sub>4</sub>处理<T<sub>1</sub>处理<T<sub>2</sub>处理<T<sub>3</sub>处理,滴灌CK水分利用效率为26.83 kg/m<sup>3</sup>,水头压力2 m处理下,番茄的水分利用效率最大,达到了39.39 kg/m<sup>3</sup>,为滴灌CK的1.47倍。1~2 m水头压力下产量及水分利用效率均随着水头压力的提高逐渐上升,水头压力2.5 m的产量较2 m处理有所下降,仍高于1 m和1.5 m处理,但水分利用效率却降低到了最低值。

### 3 讨论

微润灌作为持续性灌溉方式,土壤湿润类型与漫灌、喷灌<sup>[13]</sup>和滴灌<sup>[14]</sup>等灌溉技术不同,微润流量根据膜内外水势梯度进行调节,通过微润带渗出水分进行地下灌溉。本研究发现,不同水头压力处理均可作为作物生长提供稳定的水分环境,土壤含水率及湿润区范围下降幅度随着水头压力的提高逐渐降低,表明水头压力越大,土壤含水率越大,土壤水分环境越稳定,这与文献[15-17]在微润灌水分运动的研究结论基本一致。

微润灌条件下,由于微润带埋设在20 cm处土层,浅层土壤含水率相对较低,而定植初期的番茄根系较短,主要分布在浅层土壤,不利于根系吸水。滴灌条件下,水分从地表向下入渗,浅层含水率相对较高,因此,生育期初,滴灌处理番茄的生长指标高于微润灌处理。随着生育期的延长,根系不断向下生长,微润灌地理优势充分发挥,且水分环境相对稳定,后期滴灌番茄生长指标低于微润灌处理,这一研究结果与薛万来等<sup>[18]</sup>关于微润灌溉对日光温室番茄生长的影响研究结论基本一致。同时本研究还发现,微润灌条件下,定植初期,不同水头压力处理下植株生长指标差异相对较小,到开花结果后期,处理间差异较为明显。整个生育期内,株高及茎粗的生长量、生长速率均随着水头压力的提高逐渐增大。

不同的灌水方式为作物生长提供的土壤水分环境有所差异,进而影响作物的耗水规律。张子卓<sup>[19]</sup>研究表明,微润灌高水头压力处理下,番茄耗水量高于低水头压力,这与本试验研究结果基本一致。水头压力越大,微润带膜内外水势梯度也就越高,间接增大了微润带出流量,浅层土壤含水率相应高于低水头处理,导致土壤棵间蒸发量较大,加上高水头压力对应植株生长较为旺盛,其对应的耗水量也随之升高。王燕<sup>[20]</sup>研究表明,负压灌溉条件下,番茄在苗期耗水量最大,开花结果期次之,结果期最小,与本试验研究结果差异较大,产生差异的原因主要是其番茄苗期处于8—9月,日照较强,温度比较高,土壤棵间蒸发比较大,因而耗水强度比较高,开花结果期,虽然营养生长与生殖生长并存,但由于气温逐渐降低,耗水量逐渐下降。

合理的土壤水分分布有利于将更多的光合产物分配到番茄果实,提高其产量的形成。各处理水分利用效率表现为CK<T<sub>4</sub>处理<T<sub>1</sub>处理<T<sub>2</sub>处理<T<sub>3</sub>处理,可见,当微润灌水头压力为1~2 m之间时,产量及水分利用效率均随着水头压力的提高逐渐上升,并显著高于滴灌处理。有研究发现微润灌玉米<sup>[21]</sup>、冬小麦<sup>[22]</sup>的水分利用效率等均高于滴灌,与本研究温室番茄试验结果基本一致。本研究还发现在1~2 m水头压力范围内,产量及水分利用效率均随着水头压力的提高逐渐上升,2.5 m水头压力的产量较2 m有所下降,水分利用效率较低。主要是因为未受到水分胁迫,作物根系要和结实器官竞争光合产物,导致光合产物向产量的转化效率低,最终导致其水分利用效率较小<sup>[23]</sup>。

### 4 结论

1)微润灌土壤含水率及湿润区范围在生育期初逐渐增大,中后期,逐渐下降,水头压力越高,下降幅度越小,土壤水分环境越稳定。生育期内,土壤含水率及湿润区范围均随着水头压力的提高逐渐增大。

2)生育期初,滴灌土壤水分环境对植株生长有利,番茄生长指标值较大,中后期,微润灌土壤水分环境相对稳定,生长指标明显高于滴灌。生育期内,水头压力越高,株高及茎粗的生长量、生长速率越大。

3)微润灌条件下,开花坐果期和结果盛期耗水量较大,苗期和结果末期耗水量相对较低,水头压力越高,全生育期耗水量越大。水头压力处于1~2 m范围内,产量及水分利用效率逐渐提高。2.5 m水头压力,产量较2 m处理有所下降,水分利用效率较低。各处理水分利用效率表现为CK<T<sub>4</sub>处理<T<sub>1</sub>处理<T<sub>2</sub>处理<T<sub>3</sub>处理。

#### 参考文献:

- [1] 邹小阳,全天惠,周梦娜,等. 微润灌溉技术研究进展及展望[J]. 水土保持通报,2017,37(4):150-155.
- [2] KOUMANOV K S, HOPMANS J W, SCHWANKL L W. Spatial and temporal distribution of root water uptake of an almond tree under micro sprinkler irrigation [J]. Irrigation Science, 2006, 24(4): 267-278.
- [3] GÖLCÜ M, PANCAR Y, SEKMEN Y. Energy saving in a deep well pump with splitter blade [J]. Energy Conversion and Management, 2005, 47(5): 638-651.
- [4] 赵彤,范严伟,赵廷红. 水平微润灌土壤水分运动数值模拟与验证[J]. 灌溉排水学报,2018,37(3):28-34.
- [5] 于秀琴,窦超银,于景春. 温室微润灌溉对黄瓜生长和产量的影响[J]. 中国农学通报,2013,29(7):159-163.
- [6] 陈绍民,张胜江,曹伟. 不同灌溉方式对土壤水分及棉花光合特性的影响分析[J]. 灌溉排水学报,2016,35(6):26-30.
- [7] 范严伟,赵彤,白贵林,等. 水平微润灌湿润体 HYDRUS-2D 模拟及其影响因素分析[J]. 农业工程学报,2018,34(4):115-124.
- [8] 张俊,牛文全,张琳琳,等. 初始含水率对微润灌溉线源入渗特征的影响[J]. 排灌机械工程报,2014,32(1):72-79.

- [9] 牛文全,张俊,张琳琳,等. 埋深与压力对微润灌湿润体水分运移的影响[J]. 农业机械学报,2013,44(12):128-134.
- [10] 刘国宏,谢香文,王则玉. 微润灌毛管不同布设方式对新定植红枣生长的影响[J]. 新疆农业科学,2016,53(2):248-253.
- [11] 王坚,雷明杰,毕远杰. 微润灌管带埋深对土壤水分及青椒生长的影响[J]. 中国农村水利水电,2017(7):6-9.
- [12] 灌溉试验规范:SL13—2004[S]. 北京:中国水利水电出版社,2004.
- [13] 郭学良,李卫军. 不同灌溉方式对紫花苜蓿产量及灌溉水利用效率的影响[J]. 草地学报,2014,22(5):1 086-1 090.
- [14] 王允喜,李明思,蓝明菊. 膜下滴灌土壤湿润区对田间棉花根系分布及植株生长的影响[J]. 农业工程学报,2011,27(8):31-38.
- [15] 薛万来,牛文全,张俊,等. 压力水头对微润灌土壤水分运动特性影响的试验研究[J]. 灌溉排水学报,2013,32(6):7-11.
- [16] 李朝阳,王兴鹏,杨玉辉,等. 不同水头压力的微润灌对土壤水盐运移的影响[J]. 灌溉排水学报,2017,36(6):22-26.
- [17] 张珂萌,牛文全,薛万来,等. 间歇和连续灌溉土壤水分运动的模拟研究[J]. 灌溉排水学报,2015,34(3):11-16.
- [18] 薛万来,牛文全,张子卓,等. 微润灌溉对日光温室番茄生长及水分利用效率的影响[J]. 干旱地区农业研究,2013,31(6):61-66.
- [19] 张子卓. 膜下微润灌对温室番茄土壤水盐运移影响[D]. 杨凌:西北农林科技大学,2015.
- [20] 王燕. 根区局部控水无压地下灌溉对番茄生理特性及耗水规律的影响研究[D]. 杨凌:西北农林科技大学,2007.
- [21] 何玉琴,成自勇,张芮,等. 不同微润灌溉处理对玉米生长和产量的影响[J]. 华南农业大学学报,2012,33(4):566-569.
- [22] 张明智,牛文全,路振广,等. 微润灌对冬小麦生长和水分利用效率的影响[J]. 灌溉排水学报,2018,37(1):8-15.
- [23] RAJANIEMI T K, ALLISON V J, GOLDBERG D E. Root competition can cause a decline in diversity with increased productivity[J]. Journal of Ecology, 2003, 91: 407-416.

## The Effects of Water Pressure in the Micro-tube on Growth and Water Use Efficiency of Greenhouse Tomato under Micro-tube Irrigation

LI Zhaoyang<sup>1,2</sup>, WANG Xingpeng<sup>1,2\*</sup>, ZHANG Qiangwei<sup>1</sup>

(1. College of Water Resource and Architectural Engineering, Tarim University, Alaer 843300, China;

2. Key Laboratory of Modern Agricultural Engineering, Tarim University, Alaer 843300, China)

**Abstract:**【Conclusion】 Micro-tube irrigation is a technique used in greenhouse irrigation, and the aim of this paper is to investigate the impact of water pressure in the micro-tube on growth and water use efficiency of greenhouse tomato. 【Method】 We examined four pressures: 1 m ( $T_1$ ), 1.5 m ( $T_2$ ), 2 m ( $T_3$ ) and 2.5 m ( $T_4$ ), and compared them with standard drip irrigation (CK). For each pressure, we measured soil moisture distribution, tomato growth and yield, as well as water consumption and water use efficiency of the crop. 【Result】 The pressure significantly affected soil moisture content and the size of the wetting zone. Soil moisture content under micro-tube irrigation was higher than that under CK, forming a continuous and stable water environment for crop to grow. The drying rate of soil moisture increased inversely with the pressure. For example, 100 days after irrigation, the soil moisture associated with  $T_1$ ,  $T_2$ ,  $T_3$  and  $T_4$  decreased by 24.9%, 21.54%, 19.18% and 16.93% respectively, compared to those after 20 days; increasing the pressure improved soil water stability. The standard drip irrigation worked better for plant growth during its early stage, whereas as plant grew, the micro-tube irrigation edged ahead. Growth rate, height and stem diameter of the plant were all proportional to the pressure. Water consumption during flowering and fruiting stage was higher than at seedling and harvest stages. During the whole growing season, water consumption under  $T_1$ ,  $T_2$ ,  $T_3$  and  $T_4$  was 192.3, 216.4, 235.8, 262.3 mm, respectively, with their water use efficiency ranked in  $CK < T_4 < T_1 < T_2 < T_3$ . 【Conclusion】 The preliminary results revealed that micro-tube irrigation significantly improved water use efficiency, compared to standard drip irrigation. The yield and water use efficiency were best balanced at pressure of 2 m.

**Key words:** micro-irrigation; head pressure; soil moisture; tomato; water use efficiency; greenhouse

责任编辑:陆红飞