

保护地番茄栽培渗灌灌水指标的研究

诸葛玉平, 张玉龙, 李爱峰, 陈 彬  
(沈阳农业大学)

摘 要: 通过对大棚番茄栽培渗灌灌水试验, 从土壤水分含量、作物长势及果实产量、灌水次数及灌水量几方面进行分析研究, 得出在渗灌管理深 30 cm 和灌水上限土壤水吸力值设定为 6 kPa 时, 其灌水下限土壤水吸力值在苗期可控制在 25 kPa, 在开花-果实膨大期可控制在 25~ 40 kPa, 而每次灌水量以 0193 m<sup>3</sup> hm<sup>2</sup> 左右时, 水分生产效率和番茄的产量均较高。  
关键词: 渗灌; 保护地; 番茄; 灌水指标  
中图分类号: S62515<sup>+</sup> 8 文献标识码: A 文章编号: 100226819(2002)0220053205

渗灌是通过埋在地下的渗灌管直接给作物根区供水的新型节水灌溉技术, 在保护地中应用具有明显的节水、增产、增温、降温、防病虫和便于施肥加药等优点<sup>[1, 2]</sup>。在美国、法国、澳大利亚、日本等国于温室、果园和城市绿化的灌溉中广泛应用<sup>[3, 4]</sup>; 我国在保护地、果园甚至大田生产中也有应用。但是, 有关渗灌灌水指标的研究却报导较少, 在生产中渗灌灌水主要凭经验, 灌水量和灌水时间存在一定的盲目性和随意性, 影响了渗灌技术优势的发挥。本文通过探讨在大棚栽培不同渗灌灌水下限和灌水量情况下对番茄生长的影响, 为渗灌应用提供理论依据和实践指导。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验在沈阳农业大学校内实验基地进行。供试土壤为草甸土, 土壤质地为黏壤土(国际制), 0~ 50 cm 土壤容重为(1143 ± 0102) g · cm<sup>-3</sup>, 土壤理化性质如表 1 和表 2 所示。

表 1 供试土壤养分含量和 pH 值

Table 1 Nutrients and pH value of experimental soil							mg · kg <sup>-1</sup>
pH	有机质	全氮	碱解氮	全磷	速磷	全钾	速钾
6185	9155	11053	9919	01619	12314	251700	12916

表 2 供试土壤的物理性状

Table 2 Physical properties of experimental soil				cm <sup>3</sup> · cm <sup>-3</sup>		
机械组成				总孔隙度	田间持水量	萎蔫含水率
> 012 mm	012~ 0102 mm	0102~ 01002 mm	< 01002 mm			
12180	39145	24110	23165	49163	01351 0	01145 3

按 10 cm 分层采集 0~ 50 cm 土层土壤样品, 用水头法(0~ 22 kPa)和压力板法(22~ 100 kPa)测定 0~ 100 kPa 吸力段土壤水分特征曲线, 为便于应用将各层次土壤水分曲线平均, 得到 0~ 50 cm 土层代表性曲线, 再按  $H\theta H = [1 + (ah)^n]^{-m}$  公式[5]拟合, 结果为

$$H = 01496 3 [1 + (11372 1h)^{161192 2}]^{-01009 93}$$
$$(N = 11, r = 01999 8) \quad (1)$$
式中  $H$ ——土壤含水率, cm<sup>3</sup> · cm<sup>-3</sup>;  $H$ ——土壤饱和含水率, cm<sup>3</sup> · cm<sup>-3</sup>;  $n, m$ ——拟合参数;  $h$ ——土壤水分吸力, kPa;  $N$ ——测定数据组数;  $r$ ——拟合相关系数, 该曲线如图 1 所示。

供试番茄的品种为 L 2402, 移栽时苗高 515 cm, 叶数 318(30 株平均值); 试验所用渗灌管为外径 20 mm、内径 16 mm 的黑色多微孔渗灌管(河南省济源市华源渗灌有限公司), 外壁较粗糙, 单位长质量 63 g · m<sup>-1</sup>。

收稿日期: 2001209219 修订日期: 2002202201  
基金项目: 国家教育部高等学校博士学科点专项科研基金资助项目(970304)  
作者简介: 诸葛玉平(1969- ), 男, 山东农业大学副教授, 沈阳农业大学博士研究生, 从事土壤水分与灌溉技术方面的研究。沈阳 沈阳农业大学土地与环境学院, 110161

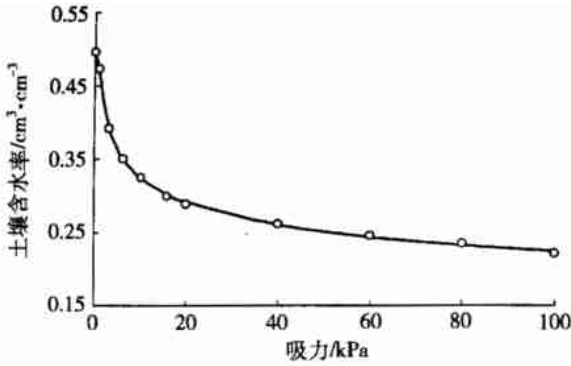


图 1 供试土壤水分特征曲线

Fig 1 Characteristic curve of experimental soil water

112 试验方法

按照灌水时土壤含水率(土壤水吸力)不同(简称灌水下限),设 5 个处理试验,其土壤水分吸力分别为 10、16、25、40、63 kPa,记为 A、B、C、D、E 处理;小区面积 715 m<sup>2</sup>,随机排列,两次重复。各处理渗灌管埋深均为 30 cm<sup>[6]</sup>。为减少灌水时水分过多地向作物根层以下渗漏,管下铺 10 cm 宽的防塑塑料薄膜,管上盖 3 cm 厚的稻壳作为过滤层以防土壤颗粒堵塞渗灌管(这两项措施在生产中可据实际情况决定是否采用);各小区之间用埋深 60 cm 塑料薄膜隔开,以防水分互渗。在各小区中部埋设张力计,其位置与渗灌管水平距离 10 cm,埋深为 15 cm 和 30 cm 两深度。以上午 8 点 30 cm 深处土壤水分吸力读数指示灌溉,灌水量按灌水后使 10~50 cm 土层含水率达田间持水量(简称灌水上限)为标准,使用图 1 所示的水分特征曲线计算确定。以 6 kPa 土壤水分吸力时的含水率作为田间持水量<sup>[7]</sup>。灌水时用水表计量,灌水水头 210 m,由于渗灌管长度较短,所以灌水均匀度能够满足灌水质量要求。

2000 年 8 月 24 日定植。番茄行距 015 m,株距 013 m,每小区 48 株。定植时沟施磷酸二铵、硫酸钾各 600 kg·hm<sup>-2</sup>,尿素 150 kg·hm<sup>-2</sup>;灌足一次定植水,第二天覆土,一周后开始正常的渗灌水分处理。其余田间管理同当地保护地栽培。9 月 23 日(盛花期)和 10 月 13 日(果实膨大期)两次调查株高、茎粗(3~4 叶间)等,并采样测量根、冠生物量等。从 8 月 31 日开始,每天 8:00 记录各区土壤水分张力计读数。

2 试验结果与分析

211 土壤含水率和通气状况

土壤水分是土壤肥力诸要素中最为活跃的因素之一,它不仅应满足作物对水分的需求,而且影响土

壤养分、空气、温度及诸肥力因子的协调。灌溉是保护地土壤水重要的、甚至是唯一来源,因此是保护地作物栽培土壤肥力与环境调控的核心措施。图 2 是试验期间 30 cm 深处土壤水分变化过程曲线,从图中可看出各处理该深处土壤含水率均呈周期性变化,其周期长短和土壤水分吸力变化幅度因灌水下限不同而不同。15 cm 深处土壤含水率变化趋势(图略)与 30 cm 相似,只是同一时间 15 cm 深处土壤水分吸力(含量)始终高(低)于 30 cm 深处。

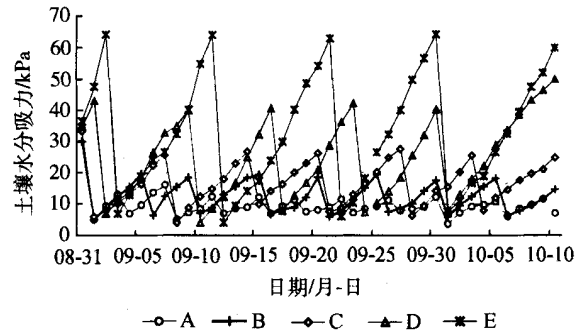


图 2 不同处理 30 cm 深处土壤水分吸力的变化

Fig 2 Soil water suction changes in 30 cm soil layer of different treatments

表 3 和表 4 是根据土壤水吸力观测值使用式(1)算得的各灌水周期 30 cm 深处和 15 cm 深处土壤含水率、通气孔隙数量的平均值。从表 3 和图 2 可以看出,A、B、C、D、E 各处理 30 cm 深处土层土壤的最大、最小含水率和平均含水率均依次减小,变化幅度则依次增大,即在不同灌水处理间,灌水下限的土壤水吸力越小,土壤含水率最大值与最小值越大,但两者之差越小,而灌水下限的土壤水吸力越大,土壤含水率最大值与最小值越小,但两者之差越大。

土壤通气孔隙数量受土壤含水率制约,土壤通气孔隙数量和含水率互为消长。表 3 和表 4 所列各处理不同土层通气孔隙数据说明,灌水下限不同土壤中通气孔隙数量最大值和最小值差异明显,如处理 A 通气孔隙数量的最小值为 01112 4 cm<sup>3</sup>·cm<sup>-3</sup>,而 E 处理通气孔隙数量最大值为 01253 9 cm<sup>3</sup>·cm<sup>-3</sup>,虽然这一最大值和最小值尚处在适宜范围之内,但 A 处理土壤通气孔隙偏少,而 E 处理偏多<sup>[8]</sup>。

同一灌水下限处理 15 cm 深处土层与 30 cm 深处土层相比,土壤含水率的最大值和最小值更小,而通气孔隙最大值与最小值则更大,含水率和通气孔隙数量变幅增加,不过两深度的土壤含水率与通气孔隙数量相差较小,最大差值为 01035 7 cm<sup>3</sup>·cm<sup>-3</sup>。

表 3 不同处理 30 cm 深处土壤含水率和通气孔隙数量的统计值

Table 3 Comparison of soil water content and aeration porosity in 30 cm soil layers of different treatments								
处理	土壤含水率				通气孔隙			
	cm <sup>3</sup> · cm <sup>-3</sup>							
	最小	最大	平均	变幅	最大	最小	平均	变幅
A (10 kPa)	01301 9	01383 9	01330 0	01082 0	01194 4	01112 4	01166 3	01082 0
B (16 kPa)	01292 4	01364 2	01323 3	01081 8	01213 9	01132 1	01173 0	01081 8
C (25 kPa)	01277 3	01377 5	01306 8	01100 2	01219 0	01118 8	01189 5	01100 2
D (40 kPa)	01252 2	01377 5	01291 1	01125 3	01244 1	01118 8	01205 2	01125 3
E (63 kPa)	01242 4	01377 5	01281 2	01135 1	01253 9	01118 8	01215 1	01135 1

表 4 不同处理 15 cm 深处土壤含水率与通气孔隙数量的统计值

Table 4 Comparison of soil water content and aeration porosity in 15cm soil layers of different treatments								
处理	土壤含水率				通气孔隙			
	cm <sup>3</sup> · cm <sup>-3</sup>							
	最小	最大	平均	变幅	最大	最小	平均	变幅
A (10 kPa)	01269 8	01346 8	01306 5	01077 0	01226 5	01149 5	01189 8	01077 0
B (16 kPa)	01257 8	01353 8	01300 3	01096 0	01238 5	01142 5	01196 0	01096 0
C (25 kPa)	01258 2	01334 1	01288 1	01075 9	01238 1	01162 2	01208 2	01075 9
D (40 kPa)	01245 0	01334 0	01278 0	01089 0	01251 3	01162 3	01218 3	01089 0
E (63 kPa)	01237 5	01350 2	01272 5	01112 7	01258 8	01146 1	01223 8	01112 7

灌水下限不同, 每次灌水量各异, 从而影响到土壤水分消耗的速度, 也决定各处理的灌水周期长度; 从图 2 可以看出, A、B、C、D、E 各处理的平均灌水周期分别为 317、511、618、812 和 1013 d。综合考察各处理 15 cm 和 30 cm 深处土层土壤含水率变化范围、平均含水率大小及其通气孔隙状况可以看出, 不同灌水下限对作物主要根系层次土壤含水率及通气孔隙数量差异较小, 这也是渗灌调控土壤水分的主要优点之一; 但 B、C、D 3 处理土壤含水率和通气孔隙数量更有利于创造适宜于番茄生长的土壤环境, 且灌水次数相对较少, 便于实际操作。

212 不同处理对番茄生长的影响

21211 不同处理对幼苗生长的影响

株高、茎粗和生物量等都是反映幼苗生长状况的重要指标。从表 5 可以看出, 不同水分处理对株高的影响达到极显著水平, 对表中数据做相关分析, 得

$$H = - 01143 3S + 271974 \quad (2)$$

式中 H —— 株高, cm; S —— 灌水下限土壤水吸力, kPa; 相关系数  $r = - 01968$ , 达 1% 显著水平 ( $r_{0101} = 01959, n = 5$ ), 即灌水下限土壤水吸力值越小, 土壤含水率越高, 苗期番茄植株越高。

表 5 不同处理幼苗生长性状(2000 年 9 月 23 日)

Table 5 Comparison of tomato seedling character among different treatments(Sept 23, 2000)						
处理	株高öcm	茎粗öcm	生物量ög	冠生物量ög	根冠比	壮苗指数 <sup>1</sup>
A (10 kPa)	2712aA	01726a	3154aA	3118aA	01111cC	01094bC
B (16 kPa)	2514bAB	01771a	3148abA	3111aAB	01123bBC	01106bBC
C (25 kPa)	2313bBC	01796a	3151aA	3111aAB	01128bB	01120aAB
D (40kPa)	2311bcC	01754a	3118bAB	2183bBC	01127bB	01104bBC
E (63kPa)	1818dD	01720a	2190cB	2152cC	01151aA	01111aA

11 壮苗指数= 生物量 × 茎粗ö株高

灌水下限对番茄茎粗影响相对较小, 在 5 个处理中以 C 处理的茎粗最大, 处理 B 和处理 C 次之, 而以处理 E 最小。从表 5 可知, 生物量在 A、B、C 处理间差异不显著, 而处理 E 和处理 D 明显低于其它 3 个处理。从表 5 还可看出, 不同水分处理对幼苗根

和冠的影响也不同, 但总的趋势是随着灌水下限土壤水吸力的增加番茄植株冠生物量减少, 根ö冠增加; 即 A 处理根ö冠最小, E 处理根ö冠最大, 这说明灌水下限为 10 kPa 时, 株冠生长过旺而根系生长相对不足, 而灌水下限为 63 kPa 时有利于根系下扎,

但由于水分供应受到限制而使冠的长势变弱。

为了综合考察不同处理对番茄幼苗长势的影响,使用生物量、株高和茎粗等数据计算壮苗指数<sup>[9]</sup>,壮苗指数越大,作物幼苗长势越好;从表 5 可以看出,处理 C 的壮苗指数明显高于其它处理,即灌水下限 25 kPa 时壮苗指数有一最大值,土壤供水

不足,番茄植株高度低、生物量小,供水过多虽然植株较大,但组织幼嫩,节间过长,也不利于后期植株生长和果实生产。

21212 不同处理对番茄开花2果实膨大期生长的影响

从表 6 可以看出,不同处理株高、茎粗差异都达

表 6 不同处理对番茄开花2果实膨大期生长状况的影响(2000 年 10 月 13 日)

Table 6 Effects of different treatments on tomato growth character from florescence to fruit fomation stage (Oct 13, 2000)

处理	株高öcm	茎粗öcm	生物量ög	果实干重ög	根冠比	经济系数
A (10 kPa)	5117aA	11247bcC	18197aA	3198cC	01100cC	01210cB
B (16 kPa)	4915bB	11257aAB	18187aA	4121bB	01103bcBC	01223bB
C (25 kPa)	4811cBC	11261aA	17191bB	4150aA	01111abABC	01251aA
D (40 kPa)	4812cBC	11250bBC	17189bB	4143aA	01115aAB	01247aA
E (63 kPa)	4716cCD	11243cC	17112bB	4117bBC	01119aA	01243aA

经济系数= 果料生物量÷生物量

到极显著水平,株高以 A 处理最大,B 次之,C、D、E 处理明显低于 A、B 处理,且它们之间差异不显著;茎粗随灌水下限土壤水吸力增加而呈抛物线状变化,以 C 处理为最大,E 处理最小。生物量和灌水下限土壤水分吸力值间呈显著负相关,其方程为

$$B = - 01034 2S + 191207$$

$$(r = - 01944, r_{0101} = 01878, n = 5)$$
 (3)

式中 B ——番茄生物量, g · 株<sup>-1</sup>; S ——灌水下限土壤水吸力值, kPa; 即灌水下限土壤水吸力值越小,番茄生物量越大。表 6 数据表明,不同处理根ö冠和灌水下限土壤水吸力值之间呈正相关关系

$$R_s = 01000 4S + 01098 7$$

$$(r = 01945, r_{0105} = 01878, n = 5)$$
 (4)

式中 R<sub>s</sub> 和 S 分别为根ö冠和灌水下限土壤水吸力值 kPa。这说明适当提高灌水下限土壤水吸力值,即使作物生长进入生殖生长阶段,依然能够促进作物根系下扎,不过与苗期相比这一时期各处理番茄的根ö冠都有不同程度减小,说明同化产物更多地用于果实膨大,而向根系分配的比例减少。

在 5 个处理中以处理 C 果实干重最大,其次是处理 D,而其它处理果实干重均明显低于 C 处理和 D 处理。这说明以较高土壤含水率为灌水下限值虽然能够获得较大的番茄植株和较多的生物量,但果实干物质质量并不最大,经济系数较小,当然以较小的土壤含水率作为灌水下限由于供水不充分不利于番茄果实膨大生长,也会导致经济系数下降。由此可以看出,在开花2果实膨大期灌水下限依然以 25 kPa 为宜,不过从减少灌水次数、便于农事操作考虑,可以将其灌水下限扩大至 40 kPa。

213 不同处理灌水次数、灌水量及水分生产效率的比较

表 7 是有关灌水次数及水分生产效率的统计结果,由表可以看出,不同处理间灌水次数相差很大, A 处理最多,达 12 次, E 处理最少,只有 5 次。各处理灌水量按 A、B、C、D、E 的顺序依次减少,而平均一次灌水量依次增加。各处理间干物质生产率基本相同,而水分生产效率以 C 处理最高, A 处理为最低。

表 7 不同处理灌水次数灌水量及水分生产效率的比较

Table 7 Comparison of irrigation frequency, irrigation quantity and water use efficiency among different treatments

处理	灌水次数	灌水量 öm <sup>3</sup> · hm <sup>-2</sup>	平均一次灌水量 öm <sup>3</sup> · hm <sup>-2</sup>	干物质生产率 <sup>1)</sup> ök g · m <sup>-3</sup>	水分生产效率 <sup>2)</sup> ök g · m <sup>-3</sup>
A (10 kPa)	12	1 60318	13317	01613	23142
B (16 kPa)	9	1 58512	17611	01596	23103
C (25 kPa)	7	1 45216	20715	01614	26129
D (40 kPa)	6	1 45218	24211	01613	25118
E (63 kPa)	5	1 36216	27219	01625	25141

1) 水分干物质生产率= 各处理总生物量÷灌水量

2) 水分生产效率= 各处理果实鲜重÷灌水量

3 讨论与结论

试验结果表明, 灌水下限不同, 土壤含水率及通气孔隙数量多少各异, 灌水周期长短差异较大; 灌水下限土壤水吸力取值过小, 灌水次数多, 每次灌水量小, 灌水后土壤含水率过高, 虽然番茄植株个体大, 生物量较高, 但果实产量并不高, 水分利用效率较低; 同样灌水下限土壤水吸力取值过大, 灌水次数少, 一次灌水量大, 灌水前土壤含水率偏低, 作物生物量及果实产量均较低。但不同灌水下限引起的土壤含水率差异较小, 适当减少灌水次数, 提高劳动生产率, 应是选择灌水下限优先要考虑的因素之一。综合评价, 在渗灌番茄栽培试验条件下, 灌水上限确定为 6 kPa 时, 其灌水下限土壤水吸力值在苗期可控制在 25 kPa, 进入开花2果实膨大期以后可控制在 25~ 40 kPa, 每次相应的灌水量以控制在 0193 m<sup>3</sup>öhm<sup>2</sup> 左右为宜。

[参 考 文 献]

[1] 张树森, 雷勤明 日光温室蔬菜渗灌技术研究[J] 灌溉排水, 1994, 13(2): 30~ 32

[2] 全国农牧渔业丰收计划办公室 节水灌溉和旱作农业技术[M] 北京: 经济科学出版社, 1996

[3] 李英能 节水农业新技术[M] 南昌: 江西科学技术出版社, 1998

[4] Su Dan2dan, L iu Gang, et al The present situation and development tendency of percolation irrigation in China [A] In: Proceedings of International Symposium on Northeastern Asia Agricultural Development in 21st Century (NEAAD'98) [C] Shenyang: L iaoning Nationalities Press, China, 1998 412~ 414

[5] Zhang Yulong, et al Evaluation of some estimating equations for scaling regarding soil2water characteristic curve[J] Transactions of the Japanese Society of Irrigation, Drainage and Reclamation Engineering, 1993, 61(4): 11~ 19

[6] 诸葛玉平, 王淑红, 张玉龙 保护地番茄栽培渗灌技术的研究[J] 沈阳农业大学学报, 2001, 32(1): 32~ 36

[7] 张玉龙等 田间持水量含水状态下土水势的研究[M] 沈阳农业大学学报, 1996, 27(2): 154~ 157

[8] 黄昌勇等 土壤学[M] 北京: 中国农业出版社, 2000

[9] 张振贤 蔬菜生理[M] 北京: 中国农业科技出版社, 1993

Irrigation Scheduling of Tomato by Subsurface Irrigation  
W ith Porous Pipe in Greenhouse

Zhuge Yuping, Zhang Yulong, L iAifeng, Chen B in

(L and and Enviromment College, Shenyang A gricultural University, Shenyang 110161, China)

**Abstract:** Experiments of subsurface irrigation w ith porous pipe w ith different soil water lower lim its for irrigation was conducted in greenhouse cultivated w ith tomato, and the results showed that the optimal soil water lower lim it for subsurface irrigation w ith porous pipe was 25~ 40 kPa The soil water lower lim it for subsurface irrigation w ith porous pipe is 25 kPa during seedling stage, 25~ 40 kPa during flowering and fruit2bearing stage, and the corresponding applied water is about 0193 m<sup>3</sup>öhm<sup>2</sup>.

**Key words:** subsurface irrigation w ith porous pipe; protected field; tomato; irrigation scheduling