

温室地下滴灌灌水控制下限对番茄生长发育、果实品质和产量的影响

田义, 张玉龙*, 虞娜, 张辉, 邹洪涛

(沈阳农业大学土地与环境学院, 辽宁 沈阳 110161)

摘要: 用温室小区试验的方法, 通过对番茄株高和茎粗、果实品质和产量以及水分生产效率进行比较, 探讨了温室栽培茄果类地下滴灌灌水控制下限的适宜取值范围。结果表明: 在壤质土壤的试验地上, 当地下滴灌管理深为 30 cm、计划湿润层深为 15 cm~45 cm (厚度 30 cm)、湿润比取 0.7、灌水控制上限取田间持水量时, 将土壤水吸力 30 kPa 作为控制灌水的下限, 有利于番茄植株生长发育, 可以达到高产、优质、节水的目的。

关键词: 番茄; 地下滴灌; 果实品质; 产量; 温室

中图分类号: S275.6 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2006)05-0088-05

地下滴灌是通过埋在地下的毛管上的灌水器将水或水肥混合液输入到作物根区土壤中的一种灌水方法^[1,2]。灌溉水进入土壤后, 在毛管或重力作用下扩散到根系层, 省水、增产效果明显^[3,4]。已有研究表明, 与传统的地面灌溉方法——沟灌相比, 地下滴灌能够减少地表无效蒸发, 改善作物根区条件, 其增产幅度在 1%~50%, 节约灌溉用水的幅度可高达 75%^[5~9]。此外, 还具有方便田间管理, 防止毛管老化, 节省劳力、能源以及有效地抑制杂草生长等诸多优点^[9~11]。

我国地下滴灌技术的初步应用始于 20 世纪 80 年代初期, 主要用于果树生产^[12,13]。1991 年, 山西省万荣县农民自发投资用塑料管打孔做成地下滴灌管, 使用后省水效果显著。“九五”期间, 中国水利水电科学院对自行研制开发的地下滴灌灌水器进行了田间试验研究, 取得了明显的节水增产效果和良好的社会效益^[10,11]。2001 年起, 新疆等地对棉花进行地下滴灌试验, 也取得了良好的效益^[10]。

另一方面, 地下滴灌也具有建设投资较大且埋设技术要求高、滴头易堵塞且维护困难, 在干旱半干旱地区易引起土壤积盐等缺点, 因此, 与大田相比更适合于温室、塑料大棚等蔬菜、经济作物生产。然而, 到目前为止关于温室作物栽培条件下地下滴灌灌水技术参数方面的研究尚很少见, 生产上对于灌水控制下限(灌水时间和一次灌水量)的掌握基本上

依经验而行^[14~16]。

为此, 本文以温室小区作物栽培试验的方法, 就不同灌水控制下限对作物生长发育、果实品质、产量以及水分利用效率的影响进行研究, 并对灌水控制下限进行综合评价, 以期为我国北方温室应用地下滴灌提供理论依据和实践指导。

1 试验材料与方法

1.1 试验材料

田间试验于 2004 年 4 月末至 8 月初在沈阳农业大学科研基地内的日光温室进行, 该温室使用年限已经达到 7 a; 供试土壤为草甸土, 供试土壤的基本理化性质如表 1、表 2。

灌水毛管为 PVC 管, $\varphi_{外} = 20.4 \text{ mm}$, $\varphi_{内} = 17.9 \text{ mm}$, 每米重 0.1 kg; 在其管壁上打孔制成出水孔, 出水孔孔径为 1 mm, 4 个出水孔为一组, 出水孔沿 PVC 管延长方向排列, 两出水孔中心点距离 20 mm, 出水孔组中心点之间距离为 300 mm。

根据作物根系活动层厚度及耕作深度, 毛管的埋设深度确定为 30 cm; 毛管长度与温室蔬菜栽培垄长相同, 为 6 m; 考虑到其长度较短, 毛管坡度按水平控制。一条垄下埋设灌水毛管一根; 埋设时出水孔向上, 为了防止灌水时有泥土进入, 在出水孔上覆盖厚度为 2 cm 左右的稻壳作为过滤层。供试作物为番茄, 品种为辽园多丽。

收稿日期: 2006-04-26

基金项目: 科技部农业科技成果转化基金项目(04EFN212100055); 辽宁省科委“十五”重大项目(2001212001)

作者简介: 田义(1980—), 男, 辽宁营口人, 硕士, 研究方向为土壤改良与节水灌溉。E-mail: tianyi8019@126.com。

* 通讯作者: 张玉龙, E-mail: ylzau@163.com, Tel: 024-88421121。

表 1 供试土壤化学性质

Table 1 Chemical properties of experiment soil

pH	有机质 Organic matter (g/kg)	全氮 Total nitrogen (g/kg)	碱解氮 Alkali hydrolyzable nitrogen (mg/kg)	全磷 Total phosphorous (g/kg)	速磷 Available phosphorous (mg/kg)	全钾 Total potassium (g/kg)	速钾 Available potassium (mg/kg)
6.98	20.54	1.66	89.90	1.70	162.70	14.79	100.70

表 2 供试土壤物理性质

Table 2 Physical properties of experiment soil

土壤性质 Soil properties	土层 Soil layer (cm)				
	0~20	20~40	40~60	60~80	
机械组成(%) Mechanical composition	2~0.2 mm	23.18	21.14	17.42	12.61
	0.2~0.02 mm	40.84	42.62	39.89	35.15
	0.02~0.002 mm	20.63	20.11	23.93	31.99
	<0.002 mm	15.34	16.13	18.76	20.25
质地(国际制)Soil texture	砂质粘壤土 Sandy clay soil	砂质粘壤土 Sandy clay soil	砂质粘壤土 Sandy clay soil	粘壤土 Clay soil	
容重 Bulk density (mg/m ³)	1.50	1.57	1.55	1.46	
总孔隙度 Total porosity (%)	43.44	41.85	42.44	46.22	
饱和含水量 Saturated moisture content (m ³ /m ³)	0.421	0.409	0.414	0.418	

1.2 试验设计与方法

试验采用小区番茄栽培方法进行。共设置 4 个灌水控制下限,即 30 cm 土层深处土壤水吸力分别达到 15 kPa、30 kPa、45 kPa 和 60 kPa 时开始灌水;为了表达方便,以下将该土壤水吸力值作为处理的代号使用。小区面积为 12.15 m²,按灌水后计划湿润层(15~45 cm 土层)土壤体积有 70% 被湿润(湿润比 0.7)、湿润后土壤的含水量达田间持水量确定一次灌水量。试验设两次重复,共 8 个小区。小区之间埋有 70 cm 深的塑料布相隔,以防止水分、盐分互渗。每个小区 4 条垄;每垄等间距定植番茄 18 株,定植位置与地下滴灌管出水孔位置相对。施肥、管理同当地温室栽培。

在各处理小区内相同位置分层埋设张力计(Trase 公司),监控土壤水分变化和指示灌水。在番茄生育期内记录各小区灌水量、灌水时间,观测番茄株高、茎粗和产量。待番茄果实成熟后,分别采用分光光度计法、蒽酮法、酸碱滴定法和 AA³ 自动分析仪测定第三穗果实(每种灌水控制下限处理取 6 个果实)中 Vc、可溶性糖、有机酸和硝酸盐含量。

2 结果与分析

2.1 不同灌水控制下限对番茄株高、茎粗的影响

株高、茎粗是反映植株长势的重要指标。不同生育期植物的株高、茎粗既决定于自身的遗传特性,

也受到土壤水分、养分等环境条件的影响^[17,18]。从秧苗移栽后 25 d(开始水分处理)起,至移栽后的第 47 d(进行打顶处理)时止,不同灌水控制下限处理各 10 株番茄株高、茎粗观测数据的平均值及其差异比较结果列于表 3。从表 3 可以看出,不同水分处理间番茄株高差异达到了 1% 或 5% 显著水平;其中,30 kPa 处理番茄株高、茎粗值最大。即当 30 cm 土层处土壤水吸力达到 30 kPa 时开始灌溉,其水分条件有利于番茄植株生长发育,可获得壮苗。

2.2 不同灌水控制下限处理对番茄果实品质指标的影响

目前,我国蔬菜生产基本上还处于追求产量的初级阶段,农民依靠肥、水的大量投入追求作物的高产和高效益;但这极易使蔬菜品质降低和风味下降^[19,20]。为此,本文对不同灌水控制下限对番茄品质指标的影响、适宜的灌溉控制下限指标进行探讨。

2.2.1 维生素 C 维生素 C(简称 Vc),又称抗坏血酸,是广泛存在于新鲜水果、蔬菜以及许多生物体中的一种重要维生素。Vc 也是一种很好的天然抗氧化剂,具有可逆的氧化还原作用,参与生物体内诸多的代谢过程,与生物生长发育关系密切。因此,Vc 含量高低是衡量新鲜果品蔬菜品质好坏的重要指标。不同灌水处理番茄果实 Vc 含量如表 4 所示。从表 4 可见,随着灌水控制下限土壤水吸力值增大,番茄果实中 Vc 含量总体上呈现出升高的趋

势。这表明随着灌水控制下限土壤水吸力值增大,即在整個生长季中灌水量逐渐减少,水分愈亏缺,愈有利于果实中 Vc 含量的提高。不同灌水控制下限处理(土壤水吸力)的番茄 Vc 含量大小排列顺序为 45 kPa>60 kPa>30 kPa>15 kPa。土壤水吸力 60

kPa、45 kPa、30 kPa 各处理与 15 kPa 处理间番茄 Vc 含量差异达到 1% 显著水平,而 60 kPa、45 kPa、30 kPa 三处理间差异不显著。因此,从提高果实 Vc 含量的角度来考虑,可将灌水下限土壤水吸力控制在 30 kPa~60 kPa。

表 3 不同灌水控制下限处理的番茄株高和茎粗的比较

Table 3 Comparison of plant height and stem diameter of tomato under different treatments

移栽后天数(d) Days after transplantation	指标 Index	处理 Treatment(cm)			
		15 kPa	30 kPa	45 kPa	60 kPa
25	株高 Plant height	44.3 bB	47.4 aA	46.8 aAB	45.7 abAB
	茎粗 Stem diameter	0.81 bcB	0.87 aA	0.84 bAB	0.80 cB
32	株高 Plant height	66.2 abA	68.6 aA	66.0 bA	65.2 bA
	茎粗 Stem diameter	1.00 aA	1.02 aA	1.01 aA	0.99 aA
39	株高 Plant height	89.0 aA	93.0 aA	91.2 aA	90.6 aA
	茎粗 Stem diameter	1.06 abAB	1.09 aA	1.04 bcB	1.01 cB
47	株高 Plant height	119.5 bAB	125.1 aA	118.8 bAB	118.2 bB
	茎粗 Stem diameter	1.08 bAB	1.14 aA	1.09 bAB	1.06 bB

注:经 Duncan 检验,大、小写字母分别表示 1% 和 5% 差异显著水平,同表 4,表 5。

Notes: The capital and small letters indicate significant difference at 1% and 5% levels with duncan test, respectively. The same for Table 4 and Table 5.

表 4 不同灌水控制下限处理番茄品质指标的比较

Table 4 Comparison of fruit quality of tomato under different treatments

处理 Treatment	Vc(mg/100g) Vitamin C	可溶性糖 Soluble sugar(%)	有机酸(苹果酸) Malic acid(%)	糖酸比 Sugar/acid ratio	硝酸盐(mg/kg) NO ₃ -N
15kPa	13.77 bB	15.70 bA	3.09 cC	5.08	105.30 aA
30kPa	15.70 aA	17.75 abA	3.32 cBC	5.36	106.10 aA
45kPa	16.20 aA	18.02 abA	3.66 bB	4.92	114.00 aA
60kPa	16.09 aA	19.22 aA	4.45 aA	4.31	103.73 aA

2.2.2 可溶性糖 碳水化合物的充足供应是保证果实品质的重要条件。不同灌水处理番茄果实中可溶性糖含量测定结果如表 4 所示。从表 4 可以看出,随着灌水控制下限土壤水吸力值增大,番茄果实可溶性糖含量逐渐升高,这与前人的研究结果相一致^[21]。从表 4 可见,灌水控制下限土壤水吸力 60 kPa 处理与 15 kPa 处理间番茄可溶性糖含量差异达到 5% 显著水平,而其它处理间差异未达到 5% 显著水平。从上述不同灌水处理番茄果实可溶性糖含量比较分析可以看出,与 Vc 变化规律相似,水分亏缺也有利于果实中可溶性糖含量的提高。因此,从提高果实可溶性糖含量的角度来考虑,可将灌水下限土壤水吸力控制在 30 kPa~60 kPa。

2.2.3 有机酸 有机酸和可溶性糖往往共同影响着果实的风味。有机酸在果实中的总含量通常随着作物体生长期延长而不断提高,故测定果实中有机酸的含量,可以鉴别其品质的变化。有机酸种类很

多,本文测定番茄果实中的有机酸折算成苹果酸来表达,不同灌水处理番茄果实中有机酸含量如表 4 所示。从表 4 可以看出,随着灌水控制下限土壤水吸力值增大,番茄中有机酸含量逐渐升高;这与可溶性糖随灌水控制下限变化的规律相似,前人的研究也得出了类似的结果^[21]。而各处理间番茄果实有机酸含量差异达到 1% 显著水平,其中以 60 kPa 处理番茄有机酸含量最高。

从上述不同灌水处理有机酸含量比较分析可以看出,与 Vc 和可溶性糖含量变化规律相似,水分亏缺也同样使得有机酸含量升高。但在实际生产中,有机酸含量升高往往使得果实甜酸风味下降,是人们所不希望的。因此,从降低有机酸含量,提高果实风味的角度来考虑,可将灌水下限土壤水吸力值控制在相对较低范围。

2.2.4 糖酸比 如上所述,果实风味品质既受糖分含量的影响,也决定于酸度的大小,即决定于果实中

可溶性糖含量与有机酸含量的比值。表4列出了不同灌水处理番茄果实糖酸比值。从表4可以看出,不同灌水处理(土壤水吸力值)番茄果实糖酸比大小排列顺序为:30 kPa>15 kPa>45 kPa>60 kPa;即30 kPa处理糖酸比最大、果实酸甜风味最好,60 kPa处理糖酸比最小、果实风味最差。因此,从提高果实糖酸比的角度来考虑,可将灌水下限土壤水吸力值控制在30 kPa。

2.2.5 硝酸盐 人们对果实品质的要求除营养成分外,还有卫生品质指标。在众多的卫生指标中,以 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 含量最易受到水、肥管理措施的影响而发生变化,加之它能够引起人体中毒和具有致癌作用,所以倍受人们关注^[19,20,22]。表4列出了不同灌水处理番茄果实中硝酸盐含量测定值。从表4可以看出,不同灌水控制下限(土壤水吸力值)处理的番茄果实中硝酸盐含量大小排列顺序为:45 kPa>30 kPa>15 kPa>60 kPa;即以45 kPa处理番茄果实中硝酸盐含量最高,60 kPa处理番茄果实中硝酸盐含量最低。按照中国目前蔬菜硝酸盐允许量432 mg/kg的标准来判断,在本试验条件下各个灌水处理的番茄果实硝酸盐含量均低于国家规定标准,完全达到了卫生指标要求。另外,从表4还可以看出,

不同灌水处理间番茄果实硝酸盐含量总体差异未达到显著水平,即在本试验条件下,不同灌水下限处理对番茄果实硝酸盐含量影响不明显。

综上所述,通过对上述番茄果实品质指标比较分析可以看出:随着灌水控制下限土壤水吸力值增大,番茄果实中Vc含量、可溶性糖含量和有机酸(苹果酸)含量逐渐升高,这可能是因为随着灌水控制下限增大,在整个生长季中灌水量逐渐减少,番茄植株体内生物化学过程随之改变,从而使得果实中干物质质量积累不断增加的缘故。其中,以30 kPa处理糖酸比最高,果实甜酸风味最好。而在本试验条件下,不同灌水控制下限处理对番茄果实中硝酸盐含量影响不明显。综合比较可以得出:在本试验条件下,将土壤水吸力值30 kPa作为灌水控制下限进行番茄栽培可以使得番茄果实中有较高的Vc含量、较低的硝酸盐含量,糖酸比最高,从而达到优质生产的目的。

2.3 不同灌水控制下限处理对番茄产量和水分生产效率的影响

对不同灌水控制下限处理番茄前3穗果产量以及灌水次数、灌水周期、累计灌水量和水分生产效率值进行统计,结果列于表5。

表5 不同灌水处理灌溉效果比较

Table 5 Comparison of irrigation effect under different treatments

处理 Treatment	产量(kg/hm ²) Yield	灌水次数 Irrigation frequency	灌水周期(d) Irrigation interval	累计灌水量(m ³ /hm ²) Total irrigation volume	水分生产效率(kg/m ³) Water use efficiency
15	110474 abA	18	3.3	1893.786	58.335
30	119928 aA	10	5.9	1602.282	74.848
45	109922 abA	8	7.4	1413.875	77.745
60	98313 bA	5	11.8	949.857	103.502

从表5可以看出,不同灌水控制下限(土壤水吸力值)处理番茄产量大小排列顺序为:30 kPa>15 kPa>45 kPa>60 kPa。其中,30 kPa处理与60 kPa处理间番茄产量差异达到5%的显著水平,而与15 kPa、45 kPa处理间番茄产量差异未达到显著水平。15 kPa、45 kPa和60 kPa三种灌水处理间番茄产量差异也未达到显著水平。另外,表5中数据还表明随着灌水控制下限土壤水吸力值增大,番茄的灌水次数和累计灌水量逐渐减少,灌水周期逐渐增长。不同灌水控制下限处理番茄水分生产效率大小排列顺序为:60 kPa>45 kPa>30 kPa>15 kPa。其中,60 kPa处理虽然番茄产量最少,但因其灌水量也最少,使得水分生产效率最高,但低产量为人们所不希望。而15 kPa处理尽管番茄产量较高,但其灌水量

最大,使得水分生产效率最低,没有达到节水的目的。相比之下,30 kPa处理番茄产量最高,具有较高的水分生产效率,灌水次数适中,具有节水、高产和省工的良好效果。

3 结 论

通过温室地下滴灌番茄栽培试验,对不同灌水控制下限处理下番茄的株高、茎粗和果实品质指标Vc、可溶性糖、有机酸、硝酸盐含量以及产量、水分生产效率等指标进行分析比较,可以得出如下结论:在壤质土壤的试验地上,当地下滴灌管理深为30 cm、计划湿润层深度为15 cm~45 cm、湿润比取0.7、灌水控制上限取田间持水量时,土壤水吸力30 kPa灌水控制下限的效果要优于45 kPa、60 kPa灌

水控制下限,也优于 15 kPa 灌水控制下限。据此,初步确定土壤水吸力 30 kPa 为该番茄栽培条件下的最佳灌水控制下限值。

参考文献:

- [1] Phene C J. Maximizing water use efficiency with subsurface drip irrigation[J]. ASAE Paper 922090, Charlotte, NC. 1992. 21—24.
- [2] Camp C R. Subsurface drip irrigation; a review [J]. Transactions of the ASAE, 1998, 41(5): 1353—1367.
- [3] Phene C J. 张爱莉译. 最经济的灌水法—地下滴灌[J]. 灌溉排水, 1995(1).
- [4] Caspari H W, Behboudian M H, Chalmers D J. Water use, growth and fruit yield of 'Hosui' Asian pears under deficit irrigation[J]. Amer Soc Hort Sci, 1994, 119: 383—388.
- [5] Adamsen F J. Irrigation method water quality effects on corn yield in the Mid-Atlantic Coastal Plain[J]. Agron J, 1992, 84(5): 837—843.
- [6] DeTar W R, Phene C J, Clark D A. Subsurface drip vs furrow irrigation; 4 years of continuous cotton on sandy soil[A]. Beltwide Cotton Conf, Memphis, Tenn; Nat Cotton Council [C], 1994. 542—545.
- [7] Henggeler J C. A history of drip-irrigated cotton in Texas[J]. Lamn. F R Proc. 5th Int¹. Microirrigation Congress, ed, 1995. 669—674.
- [8] Phene C J, Beale O W. High-frequency of irrigation for water nutrient management in humid regions[J]. Soil Sco Soc Am J, 1976, 40(3): 430—436.
- [9] 胡笑涛, 康绍忠, 马孝义. 地下滴灌灌水均匀度研究现状及展望[J]. 干旱地区农业研究, 2000, 18(2): 113—117.
- [10] 程先军, 许迪, 张昊. 下滴灌技术发展及应用现状综述[J]. 节水灌溉, 1999, (8): 13—15.
- [11] 黄兴法, 李光永. 地下滴灌技术的研究现状与发展[J]. 农业工程学报, 2002, 18(2): 176—181.
- [12] 张腾福, 郭来珍, 张雪珍. 保护地蔬菜滴灌技术的应用[J]. 中国蔬菜, 1993, (5): 40—42.
- [13] 王增发. 我国节水灌溉技术的研究与推广[J]. 节水灌溉, 1998, (1): 38—40.
- [14] 杨丽娟, 张玉龙, 杨清海. 灌溉方法对番茄生长发育及吸收能力的影响[J]. 灌溉排水, 2000, 19(3): 58—61.
- [15] 杨丽娟, 张玉龙, 李晓安, 等. 灌溉方法对塑料大棚土壤一植株硝酸盐分配的影响[J]. 土壤通报, 2000, 31(2): 63—65.
- [16] 杨丽娟, 张玉龙, 须晖. 设施栽培条件下节水灌溉技术[J]. 沈阳农业大学学报, 2000, 31(1): 130—132.
- [17] 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.
- [18] 诸葛玉平. 保护地渗灌土壤水分调控技术及作物增产节水机理的研究[D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2001.
- [19] 徐胜利, 陈小青. 膜下调亏灌溉对香梨产量和品质的影响[J]. 新疆农业科学, 2003, 40(1): 6—9.
- [20] 齐红岩, 李天来, 曲春秋, 等. 亏缺灌溉对设施栽培番茄物质分配及果实品质的影响[J]. 中国蔬菜, 2004, (2): 10—12.
- [21] 刘明池, 陈殿奎. 亏缺灌溉对樱桃番茄产量和品质的影响[J]. 中国蔬菜, 2002, (6): 4—6.
- [22] 程福厚, 李绍华, 孟昭清. 调亏灌溉条件下鸭梨营养生长、产量和果实品质反应的研究[J]. 果树学报, 2003, 20(1): 22—26.

Effect of different low irrigation limit on growth, quality and yield of tomato under subsurface drip irrigation in greenhouse

TIAN Yi, ZHANG Yu-long, YU Na, ZHANG Hui, ZOU Hong-tao

(College of Land and Environment, Shenyang Agricultural University, Liaoning 110161, China)

Abstract: Plot experiment was carried out to determine the suitable numeric range of low irrigation limit under subsurface drip irrigation in greenhouse, by comparing the plant height, stem diameter, fruit quality, yield and water use efficiency of tomato under different treatments. The results indicated that when the drip tubes were buried at 30cm underground, the depth of designed moistening layer of soil was 15 cm~45 cm and the wetted ratio was 0.7, and the upper irrigation limit was field capacity on loam soil while the low irrigation limit was 30 kPa in soil water suction, the growth of tomato was good, and the objectives of high-yield, high quality and water-saving could be achieved.

Keywords: tomato; subsurface drip irrigation; fruit quality; yield; greenhouse