

保护地低压节点渗灌水肥处理对番茄灌水量、产量和品质的影响

陈璟丽¹, 张玉龙¹, 王铁良², 邹洪涛¹, 李 波², 虞 娜¹

(1. 沈阳农业大学土地与环境学院, 农业部东北土壤与环境重点开放实验室, 辽宁省农业资源与环境重点实验室, 辽宁 沈阳 110161;
2. 沈阳农业大学水利学院, 辽宁 沈阳 110161)

摘 要: 在保护地低压节点渗灌条件下, 采用 2 因素 3 水平完全组合设计, 研究了灌水上限和施肥量的耦合效应对番茄灌水量、产量和品质的影响。研究表明: 提高灌水上限, 可减少水分的无效损耗, 进而影响番茄的水分利用效率; 施肥量对番茄产量影响最大, 灌溉上限与施肥的交互作用次之, 灌溉上限的影响最小; 同一施肥水平下, 大量灌水引起番茄 Vc、可溶性糖含量和糖酸比降低; 不同施肥水平仅对番茄糖酸比影响达极显著。综合考虑节水、增产和品质等多种因素, 以肥料纯 N 75.0 kg/hm²、纯 K₂O 75.0 kg/hm² 处理, 灌溉上限和灌溉下限土壤水吸力分别为 15.8 kPa 和 30.0 kPa, 番茄产量最高, 品质较佳。

关键词: 保护地; 低压节点渗灌; 灌溉上限; 施肥量; 灌水量; 番茄; 产量; 品质

中图分类号: S641.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2010)01-0049-05

随着我国保护地生产的迅速发展, 水资源短缺、水肥的粗放管理等问题已成为保护地良性发展的限制因子。生产中单纯为追求产量和经济效益, 大量施用化肥引起蔬菜生理障碍及品质下降, 与此同时, 以常规地面灌溉为主的灌水方法, 造成水资源浪费, 蔬菜病虫害加重, 两者共同制约了蔬菜高产和优质生产。如何实现蔬菜的高产优质生产, 因地制宜地调节水分和肥料的使用, 提高蔬菜产量和品质将成为今后我国保护地产业发展中亟待解决的关键问题之一^[1-4]。为此, 保护地合理的水肥管理模式的研究对于实现农业的可持续发展具有重要意义。以往在保护地水肥联合调控对作物产量和品质方面已开展了一定的研究, 但多以水分数量指标控制灌溉^[5,6], 关于灌溉上限的研究近年才见报道^[7-9]。

以水分的能量指标控制灌溉, 研究不同灌溉上限与施肥量耦合效应的研究还较少^[10,11]。为此, 本文研究保护地低压节点渗灌施肥条件下, 不同水肥处理对番茄灌水量、产量和一些品质指标的影响, 以期为保护地农业节水灌溉条件下的合理水肥管理提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验于 2008 年 5~8 月在沈阳农业大学科研基地的塑料大棚内进行。供试土壤为耕型草甸土, 其主要理化性质见表 1, 土壤水分特征曲线见图 1。供试作物为番茄, 品种为辽圆多丽。

表 1 供试土壤(0~20 cm)基本理化性质

Table 1 Physical and chemical properties of the experimental soil

pH	有机质 Organic matter (g/kg)	碱解氮 Alkali-hydrolysable N (mg/kg)	有效磷 Available P (mg/kg)	有效钾 Available K (mg/kg)	全氮 Total N (g/kg)	全磷 Total P (g/kg)	全钾 Total K (g/kg)
6.85	9.18	99.90	123.40	129.60	1.05	0.62	25.68
容重 Soil bulk density (g/cm ³)	田间持水量 Field capacity (cm ³ /cm ³)	机械组成 Soil texture (%)					
		> 0.2 mm	0.2 ~ 0.02 mm	0.02 ~ 0.002 mm	< 0.002 mm		
1.43	0.351	12.80	39.45	24.10	23.65		

收稿日期: 2009-01-04
基金项目: 辽宁省重大攻关项目(20080112-311); 辽宁省博士启动项目(No. 20061043); 辽宁省教育厅创新团队项目(2007T156)
作者简介: 陈璟丽(1984—), 女, 河北石家庄人, 硕士研究生, 主要从事保护地节水研究。
通讯作者: 虞 娜(1975—), 辽宁省沈阳人, 副教授, 主要从事水资源与农业节水的研究。E-mail: sausoilyn@163.com。

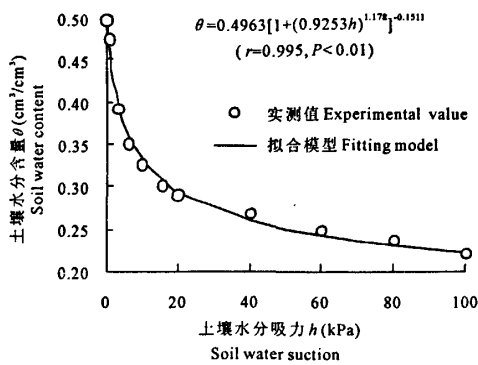


图 1 供试土壤水分特征曲线

Fig.1 Water characteristic curve of the experimental soil

1.2 试验设计

试验采用 2 因素(肥料用量和灌溉上限)、3 水平完全组合设计,设计方案见表 2。

表 2 试验设计方案

Table 2 Experimental design scheme

处理 Treatments	实施方案 Implemental scheme	
	肥料用量(N/K ₂ O (kg/hm ²)) Dosage of pure N/pure K ₂ O	灌溉上限土 壤水吸力 kPa(pF) Soil water suction
1	75.0/75.0(低量 Low)	6.3 (1.8)
2	300.0/300.0(中量 Middle)	6.3 (1.8)
3	525.0/525.0(高量 High)	6.3 (1.8)
4	75.0/75.0(低量 Low)	10.0 (2.0)
5	300.0/300.0(中量 Middle)	10.0 (2.0)
6	525.0/525.0(高量 High)	10.0 (2.0)
7	75.0/75.0(低量 Low)	15.8 (2.2)
8	300.0/300.0(中量 Middle)	15.8 (2.2)
9	525.0/525.0(高量 High)	15.8 (2.2)

1.3 试验方法

试验共设 9 个处理,2 次重复,18 个小区,小区面积 3.6 m²,番茄 24 株。小区设有保护行。在定植前,各小区之间用埋深 60 cm 的塑料布做防渗透隔离处理,防止小区间水分、养分的互渗或迁移。埋设隔离层时表土和底土分别放置、分别回填。进行旋耕机整地,作业深度为 30 cm,起垄,番茄平均栽植行距 55 cm,株距 30 cm。

灌溉采用节点渗灌方法,其灌水管由聚乙烯制成,φ_外 = 16 mm,φ_内 = 15 mm,灌水管出水孔 5 个一组,每组孔距离 260 mm,每组孔中心点距离 300 mm,组内相邻两个孔间距离均为 10 mm。渗灌管埋深度 30 cm,每条垄埋设一根渗灌管,埋设时渗灌管水平放置,出水孔向上。为防止水分渗漏,埋管前,在管的下方铺设宽 20 cm 的塑料薄膜,并在上面铺设稻

壳做防堵塞层。灌水时先引水至距地面 1.5 m 的塑料桶内,再由塑料桶放水到渗灌管以达到减压的目的。低压灌溉不仅可以延长渗灌管的使用寿命,还能有效防止管涌现象,使灌溉水出流均匀。

试验前施入膨化鸡粪 26 388.89 kg/hm² 作为底肥,试验所用肥料分别为尿素、磷酸二铵、硫酸钾。按照表 2,计算设计氮肥和钾肥用量的 1/3 作为基肥施入,其余 2/3 平均在番茄第一穗果膨大期、第二穗果膨大期平均分二次随灌溉水以溶液形式追施。各处理施用等量的磷酸二铵用做磷肥基肥,其用量为 P₂O₅ 150 kg/hm²,折算其氮肥用量,不足部分以尿素补充。

番茄定植时浇灌定植水,并浇一次缓苗水后,进行水分处理。各小区分层埋设张力计指示土壤水分变化、确定灌水时间。控制灌溉下限土壤水吸力均为 30 kPa(pF = 1.52),灌溉上限土壤含水量由设计土壤水吸力值算出,当张力计读数(早 7:30 时、30 cm 深)达到灌溉下限土壤吸力值时,依据该观测值,使用水分特征曲线分别换算成灌溉上限和下限土壤含水量。然后再以下式计算每次小区灌水量:

$$Q(m^3) = (Q_f - Q_l) \times H \times R \times S$$

式中, Q 为一次灌水水量(m³/小区); Q_f 和 Q_l 分别为灌溉上限和下限土壤含水量(m³/m³); H 为计划湿润层厚度(m),取 $H = 0.3$ m; R 为土壤湿润比,取 $R = 0.5$; S 为小区面积(m²)。

1.4 测定项目与方法

开始水分处理后,每天上午 7:30 观测并记录张力计读数;记录灌水日期和灌水量。

番茄留三穗打顶,电子秤记录整个种植期间的果实产量。并在番茄盛果期采集每小区相同部位的果实 10 个左右,打浆混均备用。果实品质测定的指标和采用的方法为:Vc 含量,分光光度计法测定;有机酸含量,碱滴定法测定;可溶性糖含量,蒽酮比色法测定^[12]。

2 结果与分析

2.1 水肥处理对灌水量及番茄产量的影响

不同水肥条件影响作物吸水吸肥的多寡,进而影响灌水量的高低。施肥量和灌溉上限对灌水量、水分利用效率及产量的影响见表 3。可以看出,提高灌溉上限,灌水较频繁,但一次灌水量较小,这对于田间减少水分的渗漏损耗将有重要意义。受不同水肥耦合作用,番茄产量随灌水上限和施肥量增加而呈无规则变化,进而水分的利用效率各异。经方差分析进一步比较不同灌溉上限和肥料用量对番茄

产量的影响,灌溉上限对番茄产量影响显著 $F_{\text{水}} = 4.51 > F_{0.05}(2,9) = 4.26$,肥料水平和水肥交互作用对番茄产量的影响达到极显著水平,其影响大小顺序为:肥料作用 ($F_{\text{肥}} = 15.92^{**} > F_{0.01}(2,9) = 8.02$) > 水肥交互作用 ($F_{\text{交互}} = 15.76^{**} > F_{0.01}(4,9) = 6.42$)。水肥交互作用显著,表明水肥组合对番茄产量的影响不是单因素效应的简单相加,而不是

同施肥量与灌溉上限的互相作用的结果^[13]。水肥耦合作用以灌溉上限 10.0 kPa、高肥的处理 6 番茄产量最高,但与处理 2、7、8 差异不显著。单因素比较对番茄产量的影响,不同灌溉上限仅 15.8 kPa 和 6.3 kPa 间达显著差异,不同施肥水平,中肥和高肥处理间差异不显著,均与低肥处理差异极显著。

表 3 施肥量和灌溉上限对番茄产量、灌水量及水分利用效率的影响

Table 3 Effects of fertilization amount and irrigation upper limit on yield of tomato, irrigation amount and water use efficiency

处理 Treatments	灌溉上限 Irrigation upper limit (kPa)	肥料用量 Fertilization amount	灌水量 Irrigation amount (m ³ /hm ²)	灌溉次数 Irrigation times	平均一次 灌水量 Average single irrigation amount (m ³ /hm ²)	水分利用效率 Water use efficiency (kg/m ³)	番茄产量 Yield of tomato [kg/(10 ⁴ ·hm ²)]	肥料用量 Fertilization amount	番茄果 实产量 Yield of tomato [kg/(10 ⁴ ·hm ²)]
1	6.3	低量 Low	1911.11	13	147.01	47.18	9.016 ± 0.127e	中量 Middle	9.788 ± 0.084a
2	6.3	中量 Middle	1582.92	11	143.90	62.53	9.897 ± 0.031ab	高量 High	9.730 ± 0.103a
3	6.3	高量 High	1919.03	14	137.07	50.43	9.678 ± 0.064bcd	低量 Low	9.406 ± 0.159b
4	10.0	低量 Low	1807.64	18	100.42	51.87	9.377 ± 0.142d	灌溉上限 Irrigation upper limit (kPa)	番茄果 实产量 Yield of tomato [kg/(10 ⁴ ·hm ²)]
5	10.0	中量 Middle	2114.31	21	100.68	45.09	9.534 ± 0.086cd		
6	10.0	高量 High	1634.31	15	108.95	61.34	10.025 ± 0.018a		
7	15.8	低量 Low	1969.17	33	59.67	49.90	9.826 ± 0.125abc	15.8	9.750 ± 0.093a
8	15.8	中量 Middle	1877.92	31	60.58	52.90	9.934 ± 0.005ab	10.0	9.645 ± 0.131ab
9	15.8	高量 High	2171.11	26	83.50	43.70	9.488 ± 0.085d	6.3	9.531 ± 0.172b

注:表中数值表示为平均值 ± 标准误;小写字母表示 5% 差异显著水平。表 4、表 5、图 2 同。

Notes: The values represent the mean ± standard error(S.E.); The small letters indicate significant at 5% levels. They are the same in Table 4, Table 5 and Fig.2.

2.2 水肥处理对番茄部分品质指标的影响

2.2.1 对番茄果实 Vc 含量的影响 灌溉上限和水肥交互作用对番茄 Vc 含量影响都达极显著水平,其影响大小顺序为:水分作用 ($F_{\text{水}} = 29.48^{**} > F_{0.01}(2,9) = 8.02$) > 水肥交互作用 ($F_{\text{交互}} = 23.118^{**} > F_{0.01}(4,9) = 6.42$)。比较各个处理间的差异,如表 4 所示,处理 4 果实中 Vc 含量最高,但

与处理 6、8 差异不显著。不同灌溉上限之间,10.0 kPa 和 15.8 kPa 两种处理与 6.3 kPa 处理间 Vc 含量差异都达到显著水平,以 10.0 kPa 处理 Vc 含量最高。在相同施肥水平下,大量灌水引起番茄 Vc 含量的降低,这可能与稀释作用有关。不同施肥水平之间无显著差异。说明灌水对番茄 Vc 含量影响较大,而施肥量对番茄 Vc 含量影响不显著。

表 4 施肥量和灌溉上限对番茄果实 Vc 含量的影响

Table 4 Effects of fertilization amount and irrigation upper limit on Vitamin C content of tomato

处理 Treatments	灌溉上限 Irrigation upper limit (kPa)	肥料用量 Fertilization amount	番茄 Vc 含量 Vitamin C content of tomato (mg/100g)	灌溉上限 Irrigation upper limit (kPa)	番茄 Vc 含量 Vitamin C content of tomato (mg/100g)
4	10.0	低量 Low	12.918 ± 0.028a	10.0	12.195 ± 0.326a
8	15.8	中量 Middle	12.482 ± 0.348ab	15.8	11.788 ± 0.286a
6	10.0	高量 High	12.374 ± 0.473ab	6.3	10.682 ± 0.508b
3	6.3	高量 High	12.027 ± 0.149bc		
7	15.8	低量 Low	11.807 ± 0.227bcd		
5	10.0	中量 Middle	11.292 ± 0.041cde		
9	15.8	高量 High	11.073 ± 0.240de		
2	6.3	中量 Middle	10.737 ± 0.287e		
1	6.3	低量 Low	9.282 ± 0.009f		

2.2.2 对番茄果实可溶性糖含量的影响 不同灌溉上限和肥料用量对番茄可溶性糖含量影响是不同的,经方差分析可知,灌溉上限和水肥交互作用对番茄可溶性糖含量影响都达极显著水平,水肥交互作用($F_{交互} = 19.253^{**} > F_{0.01}(4,9) = 6.42$) > 水分作用($F_{水} = 14.819^{**} > F_{0.01}(2,9) = 8.02$)。由表 5 可

见,灌溉上限为 10.0 kPa、肥料中量的处理 5 番茄可溶性糖含量最高,但与处理 7 差异不显著。不同灌溉上限对果实可溶性糖含量影响与其对 Vc 含量影响一致,以 10.0 kPa 处理含量最高。施肥水平对番茄果实可溶性糖无显著影响。

表 5 不同施肥和灌溉上限对番茄可溶性糖含量的影响

Table 5 Effects of fertilization amount and irrigation upper limit on soluble sugar content of tomato					
处理 Treatments	灌溉上限 Irrigation upper limit (kPa)	肥料用量 Fertilization amount	果实可溶性糖含量 Soluble sugar content (%)	灌溉上限 Irrigation upper limit (kPa)	果实可溶性糖含量 Soluble sugar content (%)
5	10.0	中量 Middle	13.858 ± 0.177a	10.0	13.197 ± 0.249a
7	15.8	低量 Low	13.651 ± 0.050ab	15.8	12.967 ± 0.311a
9	15.8	高量 High	13.231 ± 0.058bc	6.3	12.455 ± 0.117b
4	10.0	低量 Low	13.072 ± 0.136c		
2	6.3	中量 Middle	12.759 ± 0.122cd		
6	10.0	高量 High	12.656 ± 0.380cd		
3	6.3	高量 High	12.382 ± 0.023de		
1	6.3	低量 Low	12.217 ± 0.190de		
8	15.8	中量 Middle	12.017 ± 0.109e		

2.2.3 水肥处理对番茄糖酸比含量的影响 糖酸比是评价番茄口感的综合指标,糖酸比大则品质较好。统计分析表明,不同肥料用量之间果实糖酸比均达极显著差异,不同灌溉上限之间,10.0 kPa 和 15.8 kPa 差异不显著,均与 6.3 kPa 差异达极显著水平。不同水肥处理果实糖酸比变化如图 2 所示,低肥和中肥处理番茄糖酸比随着灌溉上限的增大先升高后降低,以灌溉上限 10.0 kPa 处理糖酸比最大。高肥处理糖酸比较低,说明在水量适宜的情况下较少的肥料用量有利于番茄糖酸比的增大。

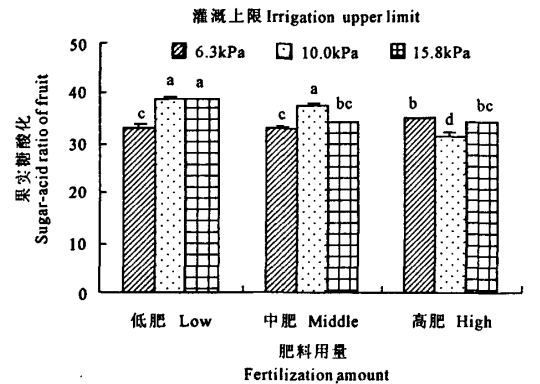


图 2 不同施肥量和灌溉上限番茄果实糖酸比的变化
Fig.2 Variation of sugar - acid ratio of tomato fruits with different water and fertilizer

3 结 论

本文通过对沈阳草甸土地区,保护地低压节点渗灌灌溉上限和施肥量对灌水量、番茄产量和品质影响的研究,得出结论如下:

1) 不同水肥调配对灌水量的影响表明,提高灌溉上限,可减少水分的无效损耗,进而影响作物的水分利用效率。灌溉上限对番茄产量影响显著,肥料水平和水肥交互作用对番茄产量的影响达到极显著水平,其影响大小顺序为:肥料作用 > 水肥交互作用。

2) 灌溉上限对番茄 Vc、可溶性糖含量、糖酸比影响均达到极显著水平,且变化一致,在同一施肥水平下,大量灌水引起番茄 Vc、可溶性糖含量和糖酸比均降低。不同施肥水平仅对番茄糖酸比的影响达到极显著水平。

综上所述,在本试验条件下,综合考虑节水、增产和品质等多种因素,以肥料纯 N 75.0 kg/hm²、纯 K₂O 75.0 kg/hm²处理,灌溉上限 15.8 kPa,番茄产量最高,品质较佳。

参 考 文 献:

[1] 肖自添. 温室基质培番茄水氮耦合效应研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2008.
[2] 谢 伟, 黄 瑛, 沈建凯. 植物水肥耦合研究进展[J]. 作物研究, 2007, 21(5): 541—546.

- [3] 邹洪涛,虞娜,黄毅,等.节点式PE渗灌管灌水效果的研究[J].水土保持研究,2007,14(5):113—114.
- [4] Neeteson J J, Carton O T, Rahn C. The environmental impact of nitrogen in field vegetable production[J]. Acta Horticulturae, 2001: 21—28.
- [5] 陈碧华,邵庆炉,段爱旺.水肥耦合对番茄产量和硝酸盐含量的影响[J].河南农业科学,2007,(5):87—90.
- [6] 周博,陈竹君,周建斌.水肥调控对日光温室番茄产量、品质及土壤养分含量的影响[J].西北农林科技大学学报,2006,34(4):58—62,68.
- [7] 李清明,邹志荣,刘彬彬.灌溉上限对温室黄瓜初花期生理特性的影响[J].西北农林科技大学学报,2007,35(6):113—118.
- [8] 李清明,邹志荣,郭晓冬,等.不同灌溉上限对温室黄瓜初花期生长动态、产量及品质的影响[J].西北农林科技大学学报,2005,33(4):47—51,56.
- [9] 裴芸,别之龙.塑料大棚中不同灌水量上限对生菜生长、品质及生理特性的影响[J].农业工程学报,2007,23(9):176—180.
- [10] 姚静,邹志荣,杨猛.日光温室水肥耦合对甜瓜产量影响研究初[J].西北植物学报,2004,24(5):890—894.
- [11] Contreras, Segura J I, Galindo M L, et al. Response of greenhouse pepper crop to fertilizer levels and different qualities of irrigation water[J]. Acta Horticulturae, 2006,700:203—206.
- [12] 郝建军,刘延吉.植物生理学实验技术[M].沈阳:辽宁科学技术出版社,2001.
- [13] Cassel S F, Miller S D, Vance G F. Assessment of drip and flood irrigation on water and fertilizer use efficiencies for sugarbeets[J]. Agricultural Water Management, 2001,46(3):241—251.

Effects of different water and fertilizer on irrigation amount, yield and fruit quality of tomato with low pressure of node subsurface irrigation in protected field

CHEN Jing-li¹, ZHANG Yu-long¹, WANG Tie-liang², ZOU Hong-tao¹, Li Bo², YU Na¹

(1. College of Land and Environmental Sciences, Shenyang Agricultural University, Key Laboratory of Northeastern Soil and Environment of Ministry of Agriculture, Liaoning Key Laboratory of Agricultural Resources and Environment;

2. College of Water Resources, Shenyang Agricultural University, Shenyang, 110161, China)

Abstract: The coupling effects of the irrigation upper limit and fertilization amount on irrigation amount, yield and fruit quality of tomato were studied by means of 2-factor 3-level full combination experiment design under the condition of low pressure of node subsurface irrigation in protected field. The results indicated that the ineffective wastage of water could be reduced by increasing the irrigation upper limit, which further influenced the water use efficiency of tomato. The effect of fertilization amount on the tomato yield was the maximal, and the interaction of the irrigation upper limit and fertilization amount was the second factor, while the effect of the irrigation upper limit was minimal. The Vitamin C content, soluble sugar content and sugar-acid ratio of tomato all decreased by using plentiful irrigation in the same fertilization. The different fertilization amount could merely affect the sugar-acid ratio of tomato significantly. By comprehensive consideration of water saving, increasing yield and fruit quality, when the fertilization amount was pure N 75.0 kg/hm², pure K₂O 75.0 kg/hm², soil water suction of the irrigation upper limit and lower limit were respectively 15.8 kPa and 30.0 kPa, the yield of tomato was the highest and the fruit quality was preferable.

Keywords: protected field; low pressure of node subsurface irrigation; irrigation upper limit; fertilization amount; tomato; yield; quality