

塑料大棚番茄栽培不同渗灌量对耕层土壤性质的影响

张玉龙, 张继宁, 黄毅, 杨丽娟

(沈阳农业大学土地与环境学院, 沈阳 110161)

摘要: 该文通过连续两年大棚栽培番茄的小区渗灌试验, 分析比较了灌水控制下限对耕层(0~30 cm)土壤盐分积累及其离子组成、酸化等性状的影响。试验结果表明, 渗灌灌水技术是防止棚内土壤退化的重要因素, 灌水控制下限土壤水分吸力值越小, 灌溉定额越大, 耕层土壤的盐分积累越严重, pH 下降幅度也越大。从土壤盐分积累、酸度变化以及作物产量、灌水次数及灌水总量等方面评价, 大棚渗灌栽培番茄, 当渗灌管理深为 30 cm 时, 将灌水控制下限土壤水吸力值选定在 16~25 kPa 范围内是适宜的。

关键词: 渗灌; 塑料大棚; 番茄栽培; 灌水量; 盐分

中图分类号: S625.5⁺1

文献标识码: A

文章编号: 1002-6819(2004)02-0105-04

0 引言

渗灌, 是将灌水管理在地下, 灌溉水通过渗灌管壁上的微孔向外渗出浸润周围土壤, 从而实现对作物根层土壤水分补给的一种灌溉方法。这一灌溉方法是靠毛管作用湿润土壤, 因此具有节水、灌水后土壤结构遭破坏程度小和水、气、热条件协调等优点, 在我国已被应用于温室大棚、果园甚至大田生产。这一灌水方法被用于保护地, 可使其优点得到充分发挥; 如冬、春等低温季节有利于提高作物根层土壤的温度, 在整个作物生长季地面一直保持干燥状态, 不仅减少地面水分蒸发损失, 还会明显地降低保护地内的空气湿度, 从而有力地控制病虫害的发生等^[1-3]。但这种灌溉方法投资较大, 施工技术要求较高, 还会因灌水过量造成水分深层渗漏, 作物苗期根层土壤水分常常不足和易于引发土壤表层积盐以及渗灌管理深较浅时易受农事操作影响等, 而这些缺点在保护地栽培过程中表现得也很突出。显然, 渗灌的

优点能否得到充分发挥, 缺点能否得到有效克服, 与灌水控制下限, 即耕层土壤含水量降低至何种程度开始灌水以及一次灌水水量多少等灌水技术规范关系十分密切, 而这方面的研究则很少^[4]。为此, 本文以番茄为供试作物进行保护地作物栽培渗灌试验, 从作物产量、灌溉定额和土壤酸化及盐分积累等几个方面对保护地渗灌的灌水控制下限指标进行研究, 以期为提高保护地作物产量, 防止土壤退化提供依据, 使渗灌这一灌溉方法得到更为广泛的应用。

1 试验材料与方法

1.1 供试材料与试验方法

试验于 2000 年和 2001 年连续两年在沈阳农业大学校内试验基地塑料大棚内进行, 两年试验地点、试验材料及试验方法相同。供试土壤为潮棕壤, 其土壤理化性质如表 1 所示。

表 1 供试土壤理化性质

Table 1 Chemical and physical properties of experimental soil

pH	有机质 /g · kg ⁻¹	全氮 /g · kg ⁻¹	碱解氮 /mg · kg ⁻¹	全磷 /g · kg ⁻¹	速效磷 /mg · kg ⁻¹	全钾 /g · kg ⁻¹	速效钾 /mg · kg ⁻¹
6.85	9.55	1.053	99.9	0.619	123.4	25.68	129.6
机械组成/%				田间持水量		EC	
> 0.2 mm	0.2~0.02 mm	0.02~0.002 mm	< 0.002 mm		/cm ³ · cm ⁻³	/mS · cm ⁻¹	
12.80	39.45	24.10	23.65		0.3510	0.238	

按照开始灌水时土壤含水量不同设 5 个处理, 每个处理两次重复, 小区随机排列, 小区面积 7.5 m²; 各小区之间用埋深 60 cm 塑料薄膜隔开, 以防水分互渗。渗灌管理深 30 cm, 管下铺宽 10 cm 的塑料薄膜防渗, 管

上撒 2 cm 厚的稻壳作为过滤层。渗灌管使用河南省济源塑料厂生产的黑色多微孔渗灌管, 外径 20 mm、内径 16 mm, 灌水过程中管壁无堵塞现象。每小区按 20、30、40 cm 深度埋设张力计(澳大利亚 ICT 公司生产); 在试验过程中使用张力计逐日观测土壤水分吸力变化, 确定开始灌水时间。灌水时用水表计测灌水量。从作物根系分布和张力计埋设方便考虑, 把 20 cm 作为灌水指示深度, 即当 20 cm 深处土壤水吸力分别达 10、16、25、40、63 kPa 时进行灌水; 这一水吸力被称作灌水控制下限, 相应地将各处理记为处理 A、处理 B、处理 C、处理 D 和

收稿日期: 2003-03-06 修订日期: 2003-12-12

基金项目: 辽宁省重大项目“节水栽培与节水灌溉技术的研究”(99212001)

作者简介: 张玉龙(1954-), 男, 教授, 博士生导师, 主要从事土壤物理与农业节水方面的研究工作。沈阳市 沈阳农业大学土地与环境学院, 110161

处理 E。各处理的计划湿润层深度均设定为渗灌管上下各 20 cm (即 10~ 50 cm), 灌水控制上限各处理亦相同, 均取土壤水吸力 6 kPa。测得的计划湿润层代表性土壤持水特征曲线为^[1]

$$\theta = 0.4963 \times [1 + (1.3721h)^{16.1922}]^{-0.0099}$$

式中 θ ——土壤体积含水量, $\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$; h ——土壤水分吸力, kPa。使用土壤持水特征曲线由灌水控制上限和灌水控制下限计算出灌水量, 即理论上灌水后应使计划湿润层土壤含水量自灌水控制下限达到灌水控制上限。

供试番茄品种为 L 402, 定植时沟施磷酸二铵、硫酸钾各 $600 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, 尿素 $150 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。定植株距为 30 cm, 行距为 50 cm, 每小区 48 株。每年春季 4 月中旬至下旬定植, 7 月中旬拉秧结束。2001 年番茄拉秧后, 采集土壤样品(多点混合样本), 取样层次分为 0~ 5、5~ 10、10~ 20、20~ 30 cm 四层。

1.2 测定项目和测定方法

采样后立即用酚二磺酸比色法测定土壤硝态氮含量, 其它土壤物理化学性质的测定使用风干土样。土壤 pH 值用雷磁 pH S-25C 型酸度计(土水比为 1:2.5)、EC 值用雷磁 DDC-307 电导仪测定(土水比为 1:5), 土壤全盐用烘干残渣法、盐分组成用容量法测定, 其中 K^+ 、 Na^+ 和 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 分别使用火焰光度计和原子吸收分光光度法测定。其它项目用常规方法测定^[6]。

2 试验结果与讨论

2000 年的试验结果与 2001 年相似, 这里仅就 2001 年试验结果进行讨论。

2.1 灌水控制下限对番茄产量及灌水总量、灌水次数的影响

不同灌水控制下限处理的番茄产量、灌水量及灌水次数统计结果列于表 2, 从表 2 可以看出灌水控制下限不同, 番茄产量不同, 以 B 处理, 即 16 kPa 灌水控制下限的产量为最高, 灌水控制下限 63 kPa 的 E 处理产量最低, 这是由于灌水控制下限不同, 使作物根层的土壤含水量变化范围各异所致。从灌水总量(灌溉定额)来看, 灌水总量 $w (\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2})$ 随着灌水控制下限土壤水吸力值 $h (\text{kPa})$ 升高而迅速减少, 两者之间关系可用 $w = 7731.700h^{-0.365}$ 表示 ($r = -0.916^*$, $r_{0.05} = 0.878$, $n = 5$)。

表 2 不同处理番茄产量、灌水量及灌水次数的比较

Table 2 Comparison of tomato yield, watering nom and watering frequency of different treatments

处理编号	产量 / $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$	灌水量 / $\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$	灌水次数	平均一次灌水量 / $\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$
A (10)	85960.0	3773.5	21	179.69
B (16)	87113.5	2480.0	13	190.77
C (25)	76833.5	2220.0	7	317.14
D (40)	76326.5	1820.0	5	364.00
E (63)	72300.0	1886.5	5	377.30

注: 括号内为灌水控制下限土壤水吸力值(kPa)。

2.2 灌水控制下限对耕层土壤 pH、EC、全盐及离子组

成的影响

耕层部分土壤化学性质测定结果列于表 3。

表 3 表层 0~ 20 cm 土壤的 pH、EC 和全盐含量测定结果

Table 3 pH, EC and total salt content of the soil in layer of 0~ 20 cm

处理编号	pH	EC/ $\text{mS} \cdot \text{cm}^{-1}$	全盐含量/%
A	6.18	0.603	0.424
B	6.42	0.416	0.245
C	6.36	0.466	0.261
D	6.43	0.349	0.184
E	6.72	0.436	0.233

1) pH

表 3 所列土壤 pH 测定结果表明, 与土壤最初 pH 值 6.85 相比, 各处理 0~ 20 cm 土层土壤均表现出了酸化的倾向, 这可能是由于 $\text{NO}_3^- \text{N}$ 表层积聚引起的。而且耕层土壤 pH 值随灌水控制下限土壤水吸力 $h (\text{kPa})$ 增高呈逐渐升高的趋势, 两者之间关系可以 $\text{pH} = 0.0084h + 6.1647$ 表示, 且达到显著水平 ($r = 0.9128^*$, $r_{0.05} = 0.878$, $n = 5$)。

在 0~ 30 cm 土层内, 不同处理的土壤 pH 值随土壤深度的增加而增大(图 1), 相关分析结果表明各处理土壤 pH 值与土层深度之间相关性均达到了显著水平 ($P < 0.05$) (表 4)。

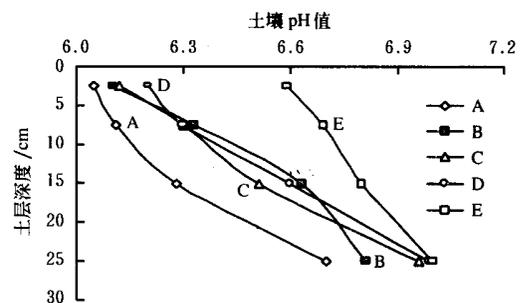


图 1 不同灌水控制下限的土层 pH 的剖面变化

Fig 1 Variation of pH value in soil profile of different irrigation treatments

表 4 土壤 pH 值与土层深度间的相关关系

Table 4 Correlation between soil pH value and soil depth

处理编号	pH 值与土层深度 (z) 间相关方程	相关系数 r
A	$\text{pH} = 5.9198 + 0.0292z$	0.975*
B	$\text{pH} = 6.0740 + 0.0315z$	0.978*
C	$\text{pH} = 6.0127 + 0.0368z$	0.995**
D	$\text{pH} = 6.0714 + 0.0361z$	0.995**
E	$\text{pH} = 6.5461 + 0.0179z$	0.998**

注: “*”、“**”分别表示显著和极显著。

2) 全盐含量

表 3 表明, 栽培两茬番茄之后, 不同处理间 0~ 20 cm 土层土壤盐分含量随灌水控制下限土壤水吸力值降低而升高, 且处理 A 的全盐含量明显高于其它处理, 这说明按土壤水吸力 10 kPa 控制灌水, 其表层土壤含水量高, 地表水分蒸发量大, 盐分积累相对迅速^[7]。同一灌水控制下限, 不同深度土层间盐分积累又表现出差异。从图 2 中可见各处理 0~ 30 cm 土层的盐分剖面分布都

表现出了明显的表聚性,即以 0~ 5 cm 层次土壤盐分含量最高;不同处理间 0~ 5 cm 土层全盐含量排列顺序为处理 A > 处理 B > 处理 C > 处理 D > 处理 E,且以 A 处理与 B 处理间差异最大;5~ 10 cm 及其以下层次虽然全盐含量亦表现出随灌水控制下限土壤水吸力值升高而下降的趋势,但处理间这一差异远较 0~ 5 cm 土层要小。

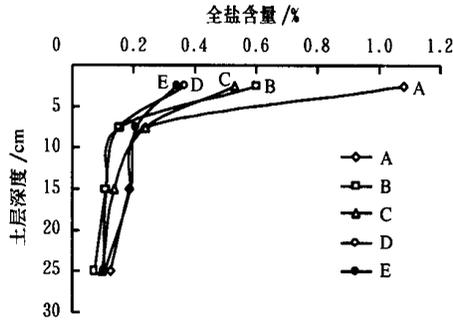


图 2 不同灌水控制下限的土层盐分随深度的变化

Fig 2 Variation of total salt in soil profile of different irrigation treatments

表 3 还表明 0~ 20 cm 土层的土壤 EC 值随灌水控制下限土壤水吸力值的变化趋势与全盐含量相同,且以 A 处理明显高于其它各处理。由于土壤中的盐分含量及其离子组成决定着土壤 EC 值的大小,所以 EC 值与土壤全盐含量间可能会表现出某种相关关系;对各层土壤全盐含量与 EC 测定结果做相关分析,得图 3。图 3 表明土壤全盐含量与 EC 值之间存在着极显著的正相关关系 ($r = 0.989^{**}$, $r_{0.05} = 0.561$, $n = 20$),这说明在该保护地土壤上可以用易测的 EC 值对土壤全盐含量做推断与估计,进而间接地判断保护地土壤盐化程度乃至养分丰缺状况,以指导施肥及其它田间管理作业。

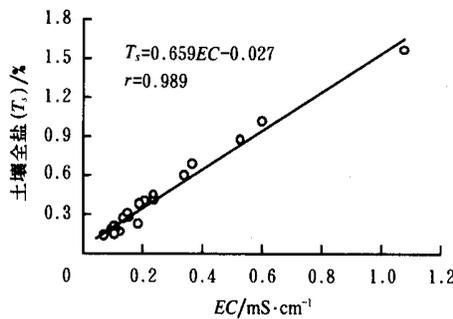


图 3 土壤全盐含量 (T_s) 与 EC 值间关系

Fig 3 Correlation between soil total salt content and EC value

3) 土层剖面盐分组成的变化

硝态氮 ($\text{NO}_3^- \text{N}$) 是植物可直接利用的氮素形态,由于保护地生产中不断地大量施用有机肥和化学氮肥,加上硝态氮不易被土壤颗粒吸附而易随水移动,且保护地缺乏降水向下淋洗,所以硝酸盐积累已经成为当前保护地生产中存在的最为严重的土壤退化问题之一^[8-13]。图 4 是各处理不同深度土壤 $\text{NO}_3^- \text{N}$ 含量测定结果,从图中可以看出各处理 0~ 5 cm 土层土壤 $\text{NO}_3^- \text{N}$ 含量明显高于其下层次土壤;且各处理间 0~ 5

cm 土层土壤 $\text{NO}_3^- \text{N}$ 含量差异明显,其高低顺序为:处理 A > 处理 B > 处理 C > 处理 D > 处理 E, A 处理的含量大大高于其它 4 个处理。这一方面与灌水控制下限不同、水分蒸发数量不同有关,水分蒸发数量越多,携带至表层的 $\text{NO}_3^- \text{N}$ 数量也越多,另一方面尽管 A 处理控制灌水下限土壤水吸力值较小,灌水后渗灌管所在的 30 cm 深处土壤水分含量较高,但地表始终保持着干燥状态,表层土壤通气条件依然良好,也有利于氮素更多地以硝酸根形态存在^[14]。

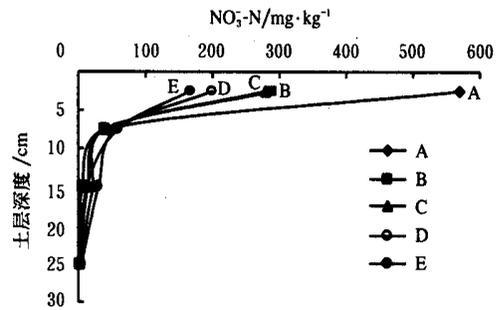


图 4 不同灌水控制下限土层 $\text{NO}_3^- \text{N}$ 含量随深度的变化

Fig 4 Variation of $\text{NO}_3^- \text{N}$ content in soil profile of different irrigation treatments

4) 土层剖面其它阴离子及阳离子组成

从表 5 可以看出,除 NO_3^- 外,向表层土壤移动并发生积累,且数量较大的阴离子还有 SO_4^{2-} 和 Cl^- ,而 HCO_3^- 含量较低, CO_3^{2-} 则未测出;可溶性盐分中的阳离子以 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 为主。表 5 中所列数据表明,0~ 20 cm 土层 HCO_3^- 、 Cl^- 和 Na^+ 、 K^+ 离子含量与灌水控制下限土壤水吸力之间关系未表现出规律性,而 SO_4^{2-} 和 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 含量则随灌水控制下限土壤水吸力值增大而依次降低,即以 A 处理的含量最高, E 处理含量最低。

表 5 各处理 0~ 20 cm 土层几种主要阴离子和阳离子含量测定结果

Table 5 Cation and anion content of the soil in layer 0~ 20 cm of different irrigation treatments

处理 编号	阴离子/ $\text{mol} \cdot \text{kg}^{-1}$			阳离子/ $\text{mol} \cdot \text{kg}^{-1}$			
	HCO_3^-	Cl^-	SO_4^{2-}	K^+	Na^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}
A	0.108	0.226	1.852	0.017	0.017	1.148	0.306
B	0.138	0.271	0.834	0.026	0.126	0.877	0.187
C	0.257	0.249	0.757	0.072	0.147	0.764	0.199
D	0.152	0.260	0.761	0.063	0.116	0.715	0.154
E	0.202	0.215	0.727	0.038	0.091	0.713	0.164

由以上讨论可以看出,灌水控制下限对土壤 pH、全盐含量以及阴离子、阳离子含量等理化性质影响明显,而这种影响从根本上来说是由于灌入田间的水量不同、水分剖面分布各异造成的。0~ 20 cm 土层全盐含量 T_s (%) 与灌溉定额 w ($\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$) 呈极显著正相关 $T_s = 0.0001w - 0.0015$ ($r = 0.9689^{**}$, $r_{0.01} = 0.9587$, $n = 5$),即灌溉后水分蒸发而将盐分带至表层土壤,蒸发的水分越多,残留在土壤中的盐分也越多的缘故。另外,盐分含量的高低又直接影响到土壤的 pH 值,相关分析结

果表明土壤 pH 值和盐分含量 T_s (%) 之间呈极显著幂函数负相关关系 ($pH = 5.9540T_s^{-0.0535}$, $r = -0.7693^{**}$, $r_{0.01} = 0.5614$, $n = 20$), 从积累盐分的离子组成可以看出, 阴离子中硝酸根、硫酸根含量差异显著, 这些离子浓度升高是引起土壤酸化的原因。由此可以得出灌溉控制指标不同, 不但影响到作物产量、水分消耗的多少, 也直接左右着盐分积累、酸化等土壤退化的进程。

3 结 论

在沈阳地区建于潮棕壤的塑料大棚内, 连续两年渗灌(渗灌管理深为 30 cm)栽培番茄, 从土壤——作物系统不同方面进行的灌水控制下限研究, 得到如下结论:

1) 番茄产量因灌水控制下限不同而不同, 且灌水总量和灌水次数均随灌水控制下限土壤水吸力升高呈幂函数形式减少; 在 5 个灌水控制下限处理中, 以土壤水吸力 16 kPa 处理的产量最高, 以 10 kPa 处理的灌水总量最大, 以 40 kPa 和 63 kPa 处理的灌水次数最少。

2) 0~20 cm 土层土壤全盐含量、EC、 NO_3^- -N 含量均随灌水控制下限土壤水吸力值的增大而减小, 且灌水控制下限土壤水吸力值 10 kPa 的处理明显高于其它处理; 土壤中水溶性阴离子以 NO_3^- 和 SO_4^{2-} 为主, 阳离子以 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 为主。

3) 各处理 0~30 cm 土层不同深度的土壤均表现出酸化趋势, 但以灌水控制下限土壤水吸力 10 kPa 处理的酸化最为明显, 土壤水吸力 63 kPa 处理的 pH 值下降幅度最小; 越接近地表土壤 pH 值下降的幅度越大。

4) 土壤 pH 值、EC、全盐含量之间关系密切, 其相关程度均达到显著或极显著水平。

综上所述, 从保证作物产量和防止土壤次生盐渍化、酸化出发, 在质地砂粘中等的土壤上, 使用渗灌进行保护地番茄一类蔬菜灌溉时, 应将灌水控制下限土壤水吸力控制在 16~25 kPa 范围内, 这样既能够节约用水,

实现作物高产, 又不至于灌水次数过于频繁, 且能够有效地抑制盐分积累, 减轻土壤酸化, 从而达到保护土壤资源、经济持续发展的目的。

[参 考 文 献]

- [1] Bella A. Mechanisms of subsurface drip irrigation-mediated suppression of lettuce drop caused by *Sclerotinia minor* [J]. *Phytopathology*, 1998, 88(3): 252-259.
- [2] Subbarao K V. Comparison of lettuce diseases and yield under subsurface drip and furrow irrigation [J]. *Phytopathology*, 1997, 87(8): 877-883.
- [3] El Gindy A M. Vegetable crop response to surface and subsurface drip under calcareous soil [A]. *Evapotranspiration and Irrigation Scheduling Proceedings of the International Conference* [C]. San Antonio, Texas, USA, 1996, 1021-1028.
- [4] 诸葛玉平, 张玉龙, 李爱峰, 等. 保护地番茄栽培渗灌灌水指标的研究 [J]. *农业工程学报*, 2002, 18(2): 53-57.
- [5] 位田藤久太郎. 施設園芸の環境と土壤 [M]. 诚文堂新光社 [日], 1971: 172-181.
- [6] 劳家桢. 土壤农化分析手册 [M]. 北京: 农业出版社, 1988.
- [7] 程美廷. 温室土壤盐分积累、盐害及其防治 [J]. *土壤肥料*, 1990, (1): 1-4.
- [8] 孟鸿光, 李中, 刘乙俭, 等. 沈阳近郊温室土壤特性调查研究 [J]. *土壤通报*, 2000, 31(2): 70-72.
- [9] 童有为, 陈淡飞. 温室土壤次生盐渍化的形成和治理途径研究 [J]. *园艺学报*, 1991, 18(2): 159-162.
- [10] 李文庆, 李光德. 大棚栽培对土壤盐分状况影响的研究 [J]. *山东农业大学学报*, 1995, 26(2): 165-169.
- [11] 张春兰, 张耀栋, 周权锁, 等. 不同作物茬口对减轻蔬菜保护地土壤盐害及连作障碍的作用 [J]. *土壤通报*, 1995, 26(6): 257-259.
- [12] 吴志行, 石海仙, 童明光, 等. 大棚蔬菜连作障碍及土壤次生盐渍原因与防治 [J]. *长江蔬菜*, 1994, 5: 21-23.
- [13] 薛继澄, 毕德义, 李家宝, 等. 保护地栽培蔬菜生理障碍的土壤因子与对策 [J]. *土壤肥料*, 1994, 1: 4-9.
- [14] 李俊良, 崔德杰, 孟祥霞, 等. 山东寿光保护地蔬菜施肥现状及问题的研究 [J]. *土壤通报*, 2002, 33(2): 126-128.

Effect of subsurface irrigation quota on salt accumulation of soil in plastic greenhouse cultivated with tomato

Zhang Yulong, Zhang Jining, Huang Yi, Yang Lijuan

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

Abstract Subsurface irrigation experiments with tomato cultivated were conducted for two years to investigate the effect of watering lower limit on salt accumulation of soil surface (0~30 cm) in plastic greenhouse. The results showed that soil water suction should be controlled between 16 kPa and 25 kPa with the pipe under 30 cm soil depth, which benefited to salt accumulation control, tendency of soil pH, tomato yield, irrigation frequency and amount.

Key words subsurface irrigation; plastic greenhouse; tomato cultivation; irrigation quantity; salt content