

灌溉方法对温室栽培番茄产量及水分利用效率的影响

刘 影, 张玉龙, 张 凯, 祁金虎
(沈阳农业大学土地与环境学院, 辽宁 沈阳 110866)

摘 要: 用温室小区栽培试验的方法, 研究滴灌、渗灌、沟灌三种灌溉方法对番茄养分吸收、产量及水分利用效率的影响; 结果表明, 温室番茄栽培采用渗灌灌溉, 在其它条件相同的情况下, 1 m³ 灌溉用水生产出的番茄数量是沟灌的 1.9 倍、滴灌的 1.2 倍, 滴灌则是沟灌的 1.6 倍; 在番茄生长的整个生育期内, 滴灌土壤水吸力平均值最大为 24.20 kPa, 渗灌次之为 23.11 kPa, 沟灌最小为 22.01 kPa; 土壤温度表现出一定差异, 但差异相对较小。沟灌处理番茄果实氮素含量高于滴灌和渗灌, 而滴灌能够促进番茄的营养器官对氮素的吸收。渗灌和滴灌能有效地调控耕层土壤水分, 有利于土壤养分供应, 具有明显的节水、增产效果, 是理想的设施番茄栽培灌溉模式。

关键词: 灌溉方法; 番茄; 养分吸收; 水分利用
中图分类号: S274 **文献标志码:** A

Effect of different irrigation patterns on yield and water use efficiency of Tomato in Greenhouse

LIU Ying, ZHANG Yu-long, ZHANG Kai, QI Jin-hu
(Land and Environment Institution of Shenyang Agricultural University, Shenyang, Liaoning 110866, China)

Abstract: A field plot experiment of tomato was conducted in the greenhouse to study the effect of three irrigation methods, namely subsurface irrigation, furrow irrigation, drip irrigation, on nutrient uptake, yield and water use efficiency to tomato. Results showed that, under the same conditions, the yield of sub irrigation was 1.9 times to furrow irrigation and 1.2 times to drop irrigation, drop irrigation was 1.6 times to furrow irrigation at per cubic meter of water consumed. The soil water suction of drop irrigation was 24.20 kPa, subsurface irrigation was 23.11 kPa, and furrow irrigation was 22.01 kPa. The temperature of soil showed small differences. The nitrogen content of furrow irrigation was higher than drop irrigation and subirrigation. Drip irrigation could promote the absorption of nitrogen in tomato's nutritional organs. The two methods could significant effect water saving and yield improving. Subsurface irrigation and drip irrigation are the ideal irrigation mode in tomato cultivation.

Keywords: different irrigation patterns; tomato; nutrients absorption; water use

我国是一个水资源贫乏的国家, 水资源污染、浪费严重^[1], 尤以农业用水更甚。每年用水量高达六千多亿吨, 农业用水约占 64%, 由于我国技术落后、工程设施不配套等原因, 灌溉水利用系数仅为 0.3 ~ 0.4^[2], 每立方米水的农业产出仅有 0.83 kg, 比世界平均水平低约 30%^[3]。要缓解我国水资源供需日渐短缺的情况, 就必须加快推进我国节水农业的发展。发展节水灌溉, 目前在生产实践中, 特别是在保护地蔬菜栽培上得到逐步推广应用^[4]。刘明池研

究结果表明, 采用滴灌和渗灌栽培, 灌水量显著减少, 可极大提高水分生产率^[5]。陈璟丽研究结果也表明, 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^[6]。

番茄是一种产量高、经济效益好的蔬菜作物, 它的维生素和番茄红素含量都高于其他任何果蔬^[7]。设施栽培已经成为当前番茄的主要生产形式。适宜的土壤水分和温度范围是保证番茄生长良好的重要土壤环境参数^[8]。灌水方法不同, 作物生长期田间

收稿日期: 2014-06-03
基金项目: 国家重点基础研究发展“973”计划子课题项目(2011CB100502); 沈阳市科技攻关项目(F11-117-3-00); 沈阳市科技攻关项目(1091108-3-02)
作者简介: 刘 影(1987—), 女, 硕士, 辽宁省本溪市人, 主要从事农业节水与土壤改良研究。E-mail: 420837421@qq.com。
通信作者: 张玉龙(1954—), 男, 博士, 教授, 博士生导师, 主要从事土壤改良、水资源与农业节水研究。E-mail: ylsau@163.com。

间水热条件改变,会引起土壤理化性质及生物学性质改变,并影响作物的生长和产量^[9]。按照作物的需水和需肥规律灌溉、施肥,不仅能获得高额产量,还能改善农产品品质。本研究以番茄为供试作物,用小区试验的方法,通过比较不同灌溉方式条件下不同生育时期土壤水分、养分变化和番茄吸肥数量差异,探讨灌溉、施肥耦合效应,从中找出水分、养分

调控指标,为设施蔬菜栽培高产高效提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验于 2013 年 5 月—7 月在沈阳农业大学科研基地温室内完成。供试土壤为棕壤,基本性质见表 1。供试作物为番茄,品种为辽源多利。

表 1 供试土壤基本理化性质
Table 1 Physical and chemical properties of experimental soil

pH	有机质 Organic matter /(g·kg ⁻¹)	全氮 Total N /(g·kg ⁻¹)	全钾 Total K /(g·kg ⁻¹)	全磷 Total P /(g·kg ⁻¹)	速效钾 Avai. K /(mg·kg ⁻¹)	碱解氮 Avai. N /(mg·kg ⁻¹)	速效磷 Avai. P /(mg·kg ⁻¹)
5.79	10.88	1.34	22.09	0.43	86.15	55.28	37.08

1.2 试验设计

试验设滴灌、节点渗灌、沟灌三种灌水方法,每一灌水方法为一处理。每一处理重复 3 次。小区长 10 m、宽 2 m,面积 20 m²。小区随机排列;为防止水分相互渗透,各小区间用埋深 60 cm 的塑料薄膜隔开。渗灌使用本课题组自主研发的节点式渗灌管,管壁上出水孔孔径为 1 mm,5 个出水孔为一组,出水孔沿 PVC 管延长方向排列,两出水孔间距为 1 cm,两组出水孔中心点距离 30 cm,渗灌管埋深 30 cm。滴灌使用市售普通滴灌带,两出水孔间距 30 cm,滴灌管铺放在地表,出水孔安放在番茄植株附近。沟灌区按常规灌水方法进行。小区内按 10、20、30、40、50 cm 深度埋设张力计,按 5、10、15、20 cm 和 25 cm 深度埋设曲管地温计,棚内悬挂干湿球温度计。在试验过程中逐日观测土壤水分吸力、土壤温度和室内气温变化。当 20 cm 深处土壤水吸力值达到设定的 30 kPa 时开始灌水,灌水上限(田间持水量)为 6 kPa,灌水时用水表计量并予以记录。使用实测的水分特征曲线将灌水控制上下限土壤水吸力值换算为相应土壤体积含水量,并根据计划湿润层深度(三种灌溉方法均为 0.3 m)、计划湿润比(沟灌、滴灌和渗灌分别取值 1.0、0.5 和 0.33),用以下公式计算单次灌水量:

$$Q = (w_h - w_l)HS\alpha \tag{1}$$

式中, Q 为小区单次灌水量($\text{m}^3 \cdot \text{pot}^{-1}$); w_h 和 w_l 分别为灌水控制上限、下限土壤体积含水量; H 为灌溉计划湿润层深度(m); S 为试验小区面积(m^2); α 为湿润比。

番茄定植株距 30 cm,行距 50 cm,每小区 4 条垄,每垄 27 株。定植前施用 22 500 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 有机肥(腐熟鸡粪);定植时沟施磷酸二铵、硫酸钾各 600 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,尿素 150 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。于番茄第一穗果和第二

穗果膨大期两次追肥,每次追施尿素 150 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。其余田间管理同当地温室蔬菜栽培。

1.3 试验过程与分析方法

5 月 6 日定植。缓苗后定株定时观测番茄植株的生长动态,每小区观测 2 株、每一处理观测 6 株。留三穗果打顶,每穗留 3~4 果实。6 月 6 日进入第一穗果实膨大期,6 月 11 日进入第二穗果实膨大期,6 月 16 日进入第三穗果实膨大期,6 月 29 日和 7 月 14 日分别进入成熟初期和成熟中期,7 月 27 日拉秧,试验结束。于不同生育时期选择代表性番茄植株,分根、茎、叶、果不同部位采集植物样本;样本置于 105℃干燥箱中杀青 30 min,75℃下烘干,粉碎,用浓硫酸及双氧水消煮,测定养分含量;同时采取 0~30 cm 土层土样测定土壤中速效氮等养分含量。

2 结果与分析

2.1 番茄产量及水分利用效率

不同灌溉处理番茄产量、灌溉定额及水分利用效率见表 2,表中数据为三次重复试验结果的平均值。其中番茄干物质量的数据为拉秧期(7 月 27 日)时所测。由表 2 可以看出,三种灌溉处理番茄干物质量以渗灌最高,滴灌次之,沟灌最低,渗灌与滴灌、沟灌处理比较,差异显著。产量同样以渗灌最高,滴灌其次,沟灌最低;但渗灌与滴灌处理间差异不显著,沟灌番茄产量明显低于滴灌和渗灌处理。与番茄产量不同,灌溉定额(总灌水量)以沟灌为最大,滴灌次之,渗灌最小,且三者间差异达到 5% 显著水平。渗灌不仅分别比滴灌、沟灌增产 2.8% 和 9.7%,且灌溉定额减少 13.1%、41.9%。滴灌与沟灌比较,滴灌比沟灌增产量 6.7%、灌溉定额下降了 33.2%。因此,水分利用效率以渗灌最大,滴灌次之,而沟灌最小,渗灌分别是滴灌和沟灌处理的 1.2 和 1.9 倍,滴灌是沟灌的 1.6 倍,且三者差异达到

5%显著水平;即温室番茄栽培用渗灌灌溉,在其它条件相同的情况下,1 m³灌溉用水生产出的番茄数量是沟灌的 1.9 倍、滴灌的 1.2 倍,滴灌则是沟灌的 1.6 倍。

表 2 不同灌溉处理对番茄产量及水分利用效率的影响

Table 2 Effects of different irrigation methods on yield and water use efficiency

灌溉处理 Treatment	干物质量 Dry matter weight /(g·株 ⁻¹)	产量 Yield /(kg·hm ⁻²)	灌溉定额 Irrigation quota /(m ³ ·hm ⁻²)	灌水次数 Irrigation times /次	单次灌水量 Watering levels per once /(m ³ ·hm ⁻²)	水分利用效率 Water use efficiency /(kg·m ⁻³)
滴灌 Drip irrigation	55.6b	95904a	1362b	14	97b	70.41b
渗灌 Subsurface irrigation	60.4a	98580a	1184c	16	74c	83.26a
沟灌 Furrow irrigation	53.8b	89901b	2038a	11	185a	44.11c

注:同列数据后不同小写字母表示差异达到 5%显著水平。下同。
Note: The different small letters shown significant difference at 0.05. The same as below.

2.2 土壤水吸力与土壤温度

试验期间各处理 20 cm 深处土壤水吸力测定结果如图 1 所示。由图可见,各处理土壤水吸力均随灌水-水分消耗至临界值-再灌水而呈周期性变化;即灌水后土壤水吸力大致回复至 7~8 kPa,以后水分消耗、土壤水吸力上升,上升至 30 kPa 时再灌水。在实际操作过程中,一天中灌水时间是统一、固定的,致使灌水时有土壤水吸力超出或不足设定的控制下限土壤水吸力 30 kPa 的情况出现。由图 1 看出,渗灌曲线波动幅度最大,说明渗灌条件水吸力变异程度最大;沟灌最小,变异程度也最小。试验期间每天土壤水吸力观测值的统计结果如表 3,三种灌

溉方法比较滴灌平均值最大为 24.20 kPa,渗灌次之为 23.11 kPa,沟灌最小为 22.01 kPa。沟灌数据最小,显然是由于单次灌水量大造成的。

图 2 是 20 cm 深处的土壤温度观测结果的日平均值,由图可见土壤温度变化剧烈,且主要决定于气温;三灌水处理比较,总体上 20 cm 深处滴灌、沟灌土壤温度略高于渗灌,且变差也大于渗灌。这可能与渗灌地表相对干燥,20 cm 深处土壤温度受气温影响较小有关。可见气温的高低决定着温室土壤温度总体变化趋势,而灌溉方法不同、土壤水分含量各异,也会使土壤温度表现出一定差异,但这种差异相对较小。

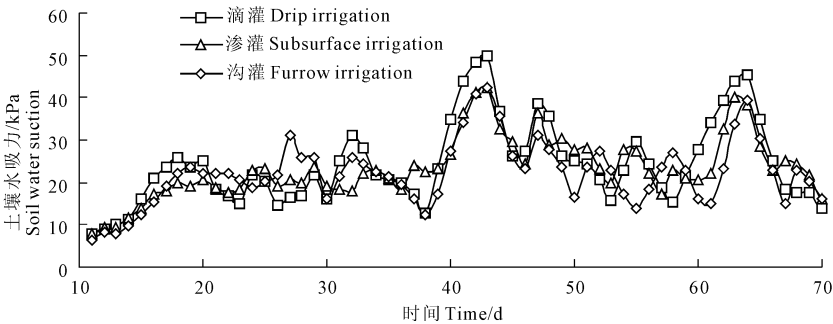


图 1 不同灌溉处理土壤水吸力变化曲线

Fig.1 The curves of different irrigation treatment of soil water suction

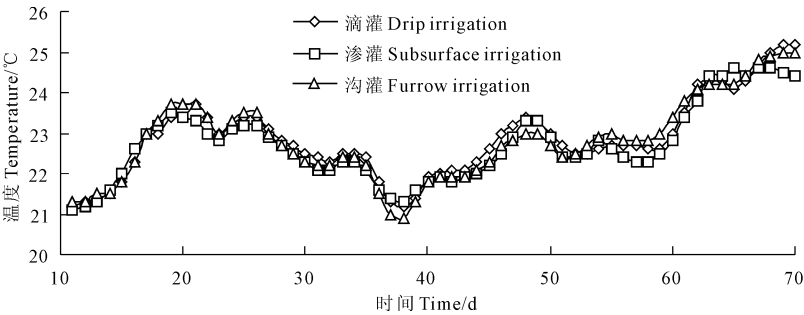


图 2 不同灌溉处理地温变化曲线

Fig.2 The curves of Different irrigation treatment of temperature curve

表 3 不同灌溉处理土壤水吸力及土壤温度

Table 3 Different irrigation treatment on soil water suction and soil temperature				
灌溉处理 Treatment	土壤水吸力/kPa Soil water suction		土壤温度/℃ Soil temperature	
	平均值 Average value	标准差 Standard deviation	平均值 Average value	标准差 Standard deviation
滴灌 Drip irrigation	24.20a	8.1	23.09a	1.21
渗灌 Subsurface irrigation	23.11a	8.5	22.68a	1.77
沟灌 Furrow irrigation	22.01a	4.7	22.99a	1.16

2.3 土壤速效养分与番茄养分吸收

采集 0 ~ 20 cm 土层土样测定土壤养分含量,其碱解氮结果如表 4 所示。

一般来说,可以把碱解氮含量看作是土壤中的速效氮数量。从表 4 可见,三种灌溉方法在番茄不同生育时期土壤碱解氮含量变化表现出了相似的特点。即幼苗期较低,随着生育时期延长、气温和土壤温度上升,土壤碱解氮含量升高,至番茄第三穗果膨

大期达到最大,以后又表现出下降趋势。三种灌溉方法比较,沟灌幼苗期土壤碱解氮含量明显低于渗灌和滴灌,但第三穗果膨大期以后又高于滴灌和渗灌处理。这说明番茄移植之初,沟灌一次灌水量大,灌水后土壤通气性差、温度低,不利于有机态氮素矿化,致使氮素供应低于渗灌和滴灌;到番茄生育后期作物耗水强度增加,气温升高,使得土壤有机氮矿化速度提高、有效态含量高于渗灌和滴灌处理。而滴灌与渗灌比较,幼苗期、拉秧期滴灌处理土壤碱解氮含量略高于渗灌,其它生育时期渗灌高于滴灌,但两者总体差异不明显。

不同灌溉处理各生育时期番茄不同器官全氮含量测定结果见表 5。由表 5 可以看出,在全生育期内除了根系之外,其余器官在第一穗果实膨大期氮素含量达到最大值。番茄各器官氮素含量在其生育期内呈先增大、后减小趋势变化,在第一穗果实膨大期之后番茄植株各器官氮素含量开始明显下降。同一生育时期,各器官比较,其氮素含量由大到小基本上以叶、果实、茎和根顺序排列,叶片氮含量明显高于其它器官。

表 4 番茄不同生育时期 0 ~ 20 cm 土壤碱解氮含量
Table 4 Alkali-hydrolysable nitrogen content of tomato in 0 ~ 20 cm soil

灌溉处理 Treatment	土壤碱解氮 Avai. N/(mg·kg ⁻¹)					
	幼苗期 Seedling stage	第一穗果 实膨大期 The first fruit swelling period	第三穗果 实膨大期 The third fruit swelling period	成熟初期 Incipient maturity	成熟中期 Metaphase maturity	拉秧期 Terminal stage
滴灌 Drip irrigation	110.34a	134.98b	152.95a	153.96a	153.85a	151.76a
渗灌 Subsurface irrigation	101.00ab	150.18a	156.70a	157.90a	158.87a	141.27b
沟灌 Furrow irrigation	91.92b	146.17ab	162.41a	158.11a	162.82a	147.39ab

滴灌、渗灌和沟灌三种灌溉处理番茄植株各器官氮素含量表现出一定差异,相比较而言以滴灌处理为最高,沟灌处理次之,而渗灌处理最低。

通过以上分析可以看出,滴灌与沟灌比较,第三穗果实膨大期及成熟初期叶片氮素含量差异显著,滴灌与渗灌、渗灌与沟灌比较,叶的全氮含量在各个生育期内两个处理间均达到差异显著水平,渗灌比滴灌低了 1.76% ~ 12.64%,在成熟初期达到最大值。由此可知,滴灌对叶片氮素吸收影响更大。沟灌与渗灌相比,成熟期果实氮素含量差异显著,沟灌对番茄果实氮素含量影响更大。而滴灌与渗灌比较,成熟期茎、叶及根氮素含量差异显著,而果实氮素含量差异不显著,即滴灌更有利于番茄果实以外的其它器官对氮素的吸收。

综上所述,沟灌处理番茄果实氮素含量高于滴灌和渗灌,而滴灌能够促进番茄的营养器官对氮素的吸收。

3 讨论及结论

滴灌、渗灌和沟灌三种灌溉方式,对温室耕层土壤水吸力(含量)影响明显^[10];相比较而言,渗灌由于近地表层相对干燥,土壤水分状况相对稳定,沟灌耕层土壤水吸力随着灌水-水分消耗-再灌溉而周期性变化,且一次灌水水量大,渗灌耕层土壤含水量也表现为周期性变化,但这种周期性变化主要发生在灌水湿润的局部土壤体积上。耕层土壤温度随气温变化,也因土壤水分状况不同而使灌溉处理间有所不同。

表 5 不同灌溉处理番茄各器官氮素含量

Table 5 Nitrogen content of tomato in protected field with different irrigation treatments

处理 Treatment	器官 Plant parts	全氮含量 Total N content/%					
		幼苗期 Seedling stage	第一穗果 实膨大期 The first fruit swelling period	第三穗果 实膨大期 The third fruit swelling period	成熟初期 Incipient maturity	成熟中期 Metaphase maturity	拉秧期 Terminal stage
滴灌 Drip irrigation	根 Root	6.97Aa	5.63Bg	4.32Ef	5.24Ce	4.80Def	5.43BCed
	茎 Stem	6.42Bb	7.11Ade	5.46CDe	4.74Ef	5.04DEe	5.82Cc
	叶 Leaf	8.98Bc	11.27Aa	9.87Cb	9.19Ba	7.81Dab	7.11Ea
	果实 Fruit	—	7.57Ac	7.87Acd	7.24Acd	7.58Abc	—
渗灌 Subsurface irrigation	根 Root	6.97Aa	5.55Bg	4.29Cf	4.39Cfi	4.36Cg	5.19Bd
	茎 Stem	6.42Ab	6.38Af	5.26Ce	4.12Ei	4.47Dfg	5.85Bc
	叶 Leaf	8.98Cc	10.78Ab	9.69Bb	8.03Db	6.90Ed	6.35Fb
	果实 Fruit	—	7.37ABcd	7.66Ad	7.00Bd	7.45ABc	—
沟灌 Furrow irrigation	根 Root	6.97Aa	5.56Bg	4.15Ef	4.57Dfi	4.78CDef	5.05Cd
	茎 Stem	6.42Bb	6.82Ae	5.21De	4.45Ffi	4.81Eef	5.70Cc
	叶 Leaf	8.98Cc	11.25Aa	10.33Ba	8.39Db	8.01Ea	7.17Fa
	果实 Fruit	—	7.40Bcd	8.10Ac	7.52Be	7.35Be	—

注:同行数据后不同大写字母表示差异达到 5%显著水平。
Note: The different capital letters shown significant difference at 0.05.

有研究表明,沟灌、滴灌和渗灌处理 20 cm 土层土壤温度差异达显著水平^[11]。受水分和温度的影响,不同灌溉方法之间土壤养分含量也表现出差异,以碱解氮为例,生育前期沟灌耕层土壤碱解氮含量低于滴灌和渗灌,而生育后期又高于滴灌和渗灌。这种不同的水氮供应条件,使灌溉处理间番茄的养分吸收表现出一定差异;由于渗灌水、气、热以及养分含量都优于另外两灌溉处理,致使该处理番茄吸收氮素养分略高于另外两灌溉处理。渗灌、滴灌有助于番茄植株形态指标的建成,为后期产量的形成奠定了基础^[12],但就番茄产量和水分生产效率而论,仍以渗灌最高;即不仅渗灌番茄产量较高、且省水,其提高水分利用效率的效果更为明显。这说明温室蔬菜栽培,在养分供应充足条件下,水分和温度调控对于作物栽培高产、优质、高效更为重要。

总之,渗灌和滴灌能够有效地调控温室土壤的水分和养分状况,更有利于番茄对土壤中水分、养分的吸收,能收到灌水量少、产量高的效果,是理想的保护地番茄生产灌溉模式;而关于适宜的水分、养分调控技术指标尚需深入系统地开展研究,有大量工作要做。

参 考 文 献:

[1] 赵继芳.我国水资源污染的现状、原因及对策[J].科技创新与应用,2013,(35):134.

[2] 江 云,马友华,陈 伟,等.作物水分利用率的影响因素及其提高途径探讨[J].中国农学通报,2007,23(9):269-273.

[3] 夏敬源,彭世琪.我国灌溉施肥技术的发展与展望[J].中国农技推广,2006,(5):4-6.

[4] 逢焕成.我国节水灌溉技术现状与发展趋势分析[J].中国土壤与肥料,2006,(5):1-6.

[5] 刘明池,刘向莉.不同灌溉方式对番茄生长和产量的影响[J].华北农学报,2005,20(1):93-95.

[6] 陈璟丽,张玉龙,王铁良,等.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[J].干旱地区农业研究,2010,28(1):49-53.

[7] 庞胜群,王祯丽,张 润,等.新疆加工番茄产业现状及发展前景[J].中国蔬菜,2005,(2):39-41.

[8] Helms T C, Deckard E, Goos R J, et al. Soil moisture, temperature, and drying influence on soybean emergence[J]. Agron. J, 1996, 88: 662-667.

[9] 韦 彦,孙丽萍,王树忠,等.灌溉方式对温室黄瓜灌溉水分配及硝态氮运移的影响[J].农业工程学报,2010,26(8):67-72.

[10] 王伟承,张玉龙,姬景红,等.灌溉方法对保护地番茄需水特点的影响[J].灌溉排水学报,2008,27(3):93-97.

[11] 邸 博,张玉龙,陈 重,等.不同灌溉方法对保护地土壤温度的影响[J].节水灌溉,2009,(8):29-32.

[12] 杨丽娟,张玉龙,须 晖,等.灌溉方法对保护地土壤耗水量与番茄水分利用效率的影响[J].灌溉排水学报,2004,23(3):49-51.