

膜下滴灌水分调控对番茄产量影响和经济效益评价的研究

王忠鹏, 成自勇, 张 芮, 张晓霞, 徐 斌, 黄 英
(甘肃农业大学工学院, 甘肃 兰州 730070)

摘 要: 通过膜下滴灌条件下不同灌水定额对番茄生长及产量的研究, 分析了充分灌水和不同水分胁迫下土壤水分动态变化规律, 进而讨论了在不同水分处理和不同灌水方式下番茄的营养生长、产量、水分利用效率以及经济效益的差异。结果表明: (1) 膜下滴灌不同水分处理的土壤各层水分变幅不同, 重度胁迫的变幅最大, 各次灌水均比充分灌溉大 4% ~ 5%; (2) 水分对番茄株高的影响成正效应, 对茎粗的影响不明显, 充分灌溉株高、茎粗分别比重度胁迫分别大 44.7% 和 18.5%, 各胁迫处理在灌水后表现出不同的补偿生长效应; (3) 滴灌充分供水处理条件下的水分利用效率、产量、经济效益分别为 26.64 kg·m⁻³、75 349 kg·hm⁻²、49 747 元·hm⁻², 均比沟灌高 37.1%、3.8%、3.7%。

关键词: 番茄; 膜下滴灌; 水分调控; 水分利用效率; 经济效益; 产量
中图分类号: S275.6 **文献标志码:** A

Study of water regulation on tomato yield and economic benefit evaluation by drip irrigation under film

WANG Zhong-peng, CHENG Zi-yong, ZHANG Rui, ZHANG Xiao-xia, XU Bin, HUANG Ying
(Engineering College, Gansu Agricultural University, Lanzhou, Gansu 730070, China)

Abstract: Research on drip irrigation about different irrigation quota for growth and yield of tomato, analyzes the full irrigation and different water stress on the dynamic changes of soil moisture, and discussed tomatoes nutrition growth、yield、WUE and economic benefits at different water treatments and irrigation methods. The results showed that: (1) The water amplitude are differents in different layers of different water treatments on mulch drip irrigation, severe stress amplitude maximum, full irrigation less than it 4% ~ 5% for each time; (2) the trends is consistency about soil moisture and the height of tomato, the impact was not obvious on stem diameter, the plant height、stem diameter large than severe stress were 44.7% and 18.5%, tomato exhibited different growth compensation after each stress irrigation treatment; (3) The WUE、yield and economic benefits respectively were 26.64 kg·m⁻³、75 349 kg·hm⁻²、49 747 yuan·hm⁻² after full water drip irrigation treatment, higher than furrow irrigation were 37.1%、3.8% and 3.7%.

Keywords: tomato; drip irrigation under film; water regulation; water use efficiency; economic benefit; yield

在我国工农业生产中, 灌溉用水占了很大的比重(约占全国总用水量的 70%)^[1], 其中蔬菜生产用水约占农业用水的 30%, 且集中分布在城镇郊区^[2]。地处城镇边缘的郊区发展蔬菜产业有着得天独厚的地理优势, 同时又面临着水资源紧缺的限制。在我国农业节水的空间很大, 通过对不同灌水方式和作物对水分胁迫反应的研究, 改变传统的灌水方式和确立科学合理的灌溉制度, 使有限的水分供给获得较高的产量, 提高水分利用效率和单位耗水量的效益^[3], 建立合理的水量与产量的关系模式, 力求在水分利用效率、产量、经济效益三方面达到有效的统一^[4], 对农业节水和提高农业经济效益具有重要的作用。同时也有助于减少土壤盐碱化, 改善土壤结构, 减轻土壤板结, 抑制有害菌的繁殖, 为作物生长提供一个更为良好的土壤环境^[5]。国外在该领域的研究主要集中在土壤盐分及其气象因子对番茄生

收稿日期: 2014-05-28
基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51269001)
作者简介: 王忠鹏(1980—), 男, 甘肃通渭人, 硕士, 研究方向为节水灌溉理论与技术。E-mail: 1987193498@qq.com。
通信作者: 成自勇(1956—), 男, 甘肃秦安人, 教授, 博士生导师, 主要从事生态水利的科研工作。E-mail: chengzy@gsau.edu.cn。

长的影响方面^[6-9],国内在这方面的研究报道较少。因此,对滴灌番茄需水规律和经济效益的研究具有十分重要的意义,有利于节水农业的发展和提高农民收入,对于干旱地区提高田间水利用系数和水分生产效率均具有重要的价值,可为该地区制定合理的灌溉制度和优化的管理措施提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验安排

试验于 2012 年 4—8 月在甘肃省张掖市水务局灌溉试验中心进行。该中心位于东经 100°26′,北纬 38°56′,海拔 1 482.7 m。该区属于典型的大陆性干旱气候地带,气候干燥,降雨量小,多年平均降雨量为 125 mm,年平均蒸发量为 2 047.2 mm。供试土质为中壤土,pH 值是 8.7,比重 2.7,容重为 1.47 g·cm⁻³,田间最大持水量(质量)为 22.8%。供试品种是‘祁连巨峰 198’,番茄于 2 月 25 日在小拱棚内育苗,4 月 19 日移栽定植,行距 50 cm,株距 40 cm,每公顷约 28 500 株。滴头间距为 40 cm,和株距大小相符,移栽后浇定植水。试验小区随机排列并设有保护区,各小区之间用塑料薄膜隔开以防水分互渗。试验共设 5 个处理,即膜下滴灌充分灌溉(F1)、轻度胁迫(F2),中度胁迫(F3),重度胁迫(F4)和一个膜垄沟灌(CK)。以膜垄沟灌作为膜下滴灌的对照,膜垄沟灌设为充分灌水。计划湿润层深度为 60 cm,灌水下限分别是田间持水量的 80%,70%,60%和 50%。灌水上限为田间持水量,5 个处理随机排列,每个处理设 3 个重复,共设 15 个小区。试验设计如表 1 所示。

表 1 番茄膜下滴灌水分调控试验设计
Table 1 Experimental design for Tomato under film drip irrigation

处理 Treatment	灌水下限/% (占田间持水率的%) Lower limit of irrigation (Field moisture rate)	灌水上限/% (占田间持水率的%) Irrigation upper limit (Field moisture rate)
F1	80	100
F2	70	100
F3	60	100
F4	50	100
CK	80	100

1.2 测定方法

利用土钻取土,烘干测定土壤含水率,每 5 天取土一次,取土最大深度 100 cm,每 20 cm 取一个土样装在铝盒内待测,每个点取 5 盒土,每小区两个点。每一小区选三株番茄定株测量,每 5 天对番茄进行

一次株高和茎粗的测量,灌水后连续加测。收获时各小区分开采摘,单独计产。

2 结果分析

2.1 土壤水分动态变化

2.1.1 番茄全生育期 0~100 cm 内土壤水分变化

从图 1 可以看出,在番茄的整个生育期内,充分灌水处理灌水处理次数比重度胁迫处理多,灌水频率高,土壤含水率变幅小,土壤含水率相对较高。在番茄移植—缓苗期内,两种处理的土壤水分变化相一致,且变化相对平缓,这是因为在番茄移植后为确保幼苗成活,两种处理都进行了充分灌水,在番茄苗期,植株小,蒸腾弱,地膜覆盖又有效地阻碍了棵间蒸发,故导致在番茄苗期土壤水分变化相对平稳。进入开花坐果期时,营养生长和生殖生长都比较旺盛,蒸腾蒸发量变大,耗水量加大,土壤水分变化剧烈。此时,重度胁迫的土壤含水率相对较低,植株生长缓慢,蒸腾相对较小,当土壤含水率在 14% 以下时,变化较为平缓,这可能有两方面的原因,一方面当土壤质量含水率较低时,植物根部从土壤吸水困难,为维持体内水分平衡,叶片气孔导度相对变小,一日内气孔关闭时间较长,蒸腾作用减弱,另一方面,当土壤质量含水率较低时,土壤吸力变大,从土壤中蒸发出一定水分所需要的能量变大,蒸发也相应减弱。在这两方面的作用下,土壤质量含水率变化趋于平缓。

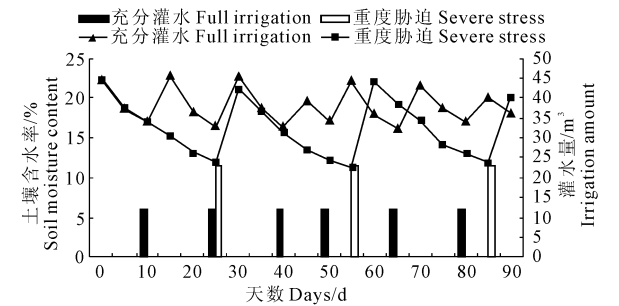


图 1 膜下滴灌 0~100 cm 土壤水分变化动态
Fig. 1 Dynamics of soil moisture in 0~100 cm soil by drip irrigation under film

2.1.2 不同处理土壤各层水分动态变化分析 参照李卫军等^[10]的研究方法,在本研究中也把 0~100 cm 内的土壤根据其水分变化幅度从上到下分为活跃层、次活跃层和深墒较稳层;其活跃层范围是 0~20 cm,次活跃层范围是 20~60 cm,深墒较稳层范围是 60~100 cm。图 2 和图 3 所反映的是番茄膜下滴灌在不同灌溉制度下土壤各层水分动态变化情况。从图中可以看出,活跃层水分变化最大,因为在活跃

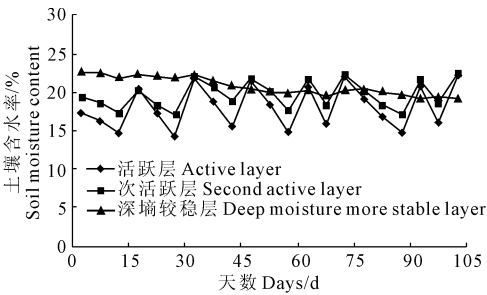


图 2 番茄膜下滴灌充分灌水土壤各层水分动态变化
Fig.2 Dynamic changes of soil moisture in each layer under full irrigation

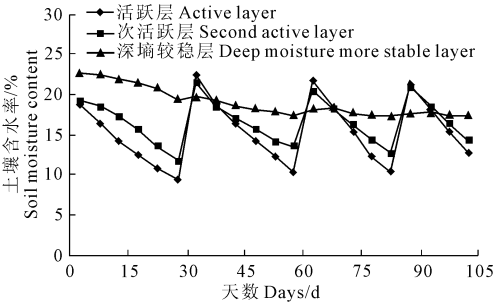


图 3 番茄膜下滴灌重度胁迫土壤各层水分动态变化
Fig.3 Dynamic changes of soil moisture in each layer under severe water stress condition

层水分的降低主要受作物根系吸水和蒸发两重因素的影响,且这两种因素对其影响都比较剧烈,故导致活跃层土壤水分降低快,变幅大;次活跃层仍然是作物根系主要活动区,这层土壤水分的消耗主要是供应作物根系吸水,当活跃层土壤含水率较低时,次活跃层的水分会在土壤毛管内上升补充活跃层,但毛管水上升时需要克服重力做功,这在一定程度上限

制了毛管水的上升量,使得除了刚灌水之后一小段时间外,其余的大部分时间里活跃层的土壤含水率均低于次活跃层。不管是活跃层还是次活跃层,其土壤含水率的升高都依赖于灌水和降雨。对于深墒较稳层而言,尽管番茄根系的活动对它的影响相当微弱,但在整个生育期内,由于计划湿润层的深度是 60 cm,滴灌灌水对这层水分补充量极少,当上层土壤含水率较低时,深墒较稳层的水分也会以上升毛管水的形式补充上层土壤,导致在整个生育期里,深墒较稳层的土壤含水率呈缓慢下降趋势。在番茄整个生育期内,重度胁迫处理比充分灌水处理的土壤含水率变幅大,这主要是因为重度胁迫处理的灌水周期长,不能及时补充所消耗的土壤水分,使得深墒较稳层内的水分消耗加大。

2.2 水分胁迫对植株生长的影响

2.2.1 水分胁迫对番茄株高和茎粗的影响 由表 2 可以看出,番茄苗期水分胁迫在各处理之间对株高和茎粗都有一定的影响,随着水分胁迫的加剧,株高和茎粗生长均变得缓慢。F1 与 F3、F4 之间的茎粗差异显著。通过对番茄盛果期的观测,株高仍然与水分存在着正相关性,且充分灌水处理与中度胁迫、重度胁迫处理之间有极显著差异。但茎粗与水分之间并不完全相关,其中 F2 的茎粗值最大,F3 次之,且均比 F1 大,但无显著性差异,只与 F4 有显著性差异。可见适当的水分胁迫有利于植株长得更为健壮。当植物体的茎粗/株高之比值较大时,植株本身对果实有更强的支撑能力,也更能抵御风力的破坏,减轻风力的伤害。

表 2 番茄苗期和盛果期各处理的株高和茎粗情况

Table 2 Plant heights and stem diameters with each treatment during seedling stage and full fruit periods

处理编号 Treatment	株高 Stem length/cm				茎粗 Plant diameter/cm			
	20 d	40 d	60 d	80 d	20 d	40 d	60 d	80 d
F1	30.23aA	50.82aA	93.46aA	167.7aA	0.537abA	0.748aA	0.916cB	1.382aA
F2	30.46abA	46.38abAB	87.24abAB	156.8aA	0.543aA	0.736aA	0.968aA	1.462aA
F3	28.45cB	43.62bcAB	80.36bB	121.4bB	0.512bA	0.740aA	0.936bB	1.432aA
F4	29.36bcAB	39.26bB	67.58cC	92.8cC	0.516bA	0.632bB	0.836dC	1.126bB
CK	29.42abcAB	46.86abAB	94.21aA	163.2aA	0.523abA	0.735aA	0.925bcB	1.398aA

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 3,表 4。
Notes: The capital and small letters indicate significant difference at 1% and 5% levels by duncan test, respectively, and hereinafter in Table 3 and Table 4.

2.2.2 番茄苗期和盛果期各处理灌水后植株的补偿生长效应 补偿生长是指水分胁迫结束后植物可通过快速地生长而部分或完全地弥补前期干旱所减少的生物量^[11],表 3 是各处理在苗期和盛果期灌水后 5 天内株高的生长速率。从表中可以看出,番茄

苗期各处理在灌水后生长速率有较大的差别,充分灌水(F1)处理的生长速率最小,其它各处理生长速率都较大,其中轻度胁迫(F2)处理的生长速率最大,各处理在灌水后生长速率为 F2>F3>F4>F1,前三者分别比 F1 高出 0.84 cm·d⁻¹,0.72 cm·d⁻¹和 0.39

表 3 各处理在苗期和盛果期灌水
后株高生长速率/(cm·d⁻¹)

Table 3 Growth rates of height with each treatment after
irrigation during seedling and full fruit periods

处理编号 Treatment	苗期灌水后 Seedling stage after irrigation	盛果期灌水后 Full fruit period after irrigation
F1	1.64b	1.12ab
F2	2.48a	1.38a
F3	2.36a	1.26a
F4	2.03ab	0.93b
CK	1.62b	1.08ab

cm·d⁻¹。可见在灌水后各水分胁迫处理都表现出了不同程度的补偿生长效应。在番茄生育中后期,当各胁迫处理灌水之后,F2 和 F3 的生长速率仍然比 F1 大,但无显著性差异,F4 处理的生长速率最小,与 F2、F3 之间存在显著性差异,可见番茄的补偿

生长能力是有限的,当它在长期的干旱胁迫之后,补偿生长能力将会减弱或丧失。在番茄生育后期,株高的生长速度变慢,此时主要以生殖生长为主。

2.3 产量与水分利用效率

番茄的产量、耗水量、水分利用效率如表 4 所示,从表中可以看出,随着水分胁迫的加重,单位面积上产量呈递减趋势,F1 处理与 F4 处理之间有显著性差异,滴灌番茄的产量随耗水量的增加而增加,且有极好的线性相关性,其回归方程是 $y = 32.876x - 18504$,决定系数为 0.99,具有极好的相关关系。

随着水分胁迫程度的加重,水分生产效率也随着降低,但灌溉水生产效率却在增高,这主要是因为随着水分胁迫程度的加重,植物为了存活,从土壤水库中吸收了更多的水分,土壤水消耗量增大。膜下滴灌(F1)与沟灌(CK)相比,膜下滴灌的产量高,但灌水量却节约了 40.6%,水分生产效率和灌溉水生产效率均比沟灌高出 58.85% 和 74.87%。

表 4 番茄产量与水分利用效率

Table 4 Yields and water use efficiencies of Tomato

处理编号 Treatment	产量 Yield /(kg·hm ⁻²)	灌水量 Irrigation quantity /m ³	耗水量 Water consumption /m ³	水分生产效率 Water production efficiency /(kg·m ⁻³)	灌溉水生产效率 Irrigation water productivity /(kg·m ⁻³)
F1	75349a	2211	2829	26.64	34.1
F2	69236ab	2007	2711	25.54	34.5
F3	61202ab	1650	2418	25.31	37.1
F4	55019b	1191	2233	24.63	46.2
CK	72464a	3720	4322	16.77	19.5

2.4 不同处理下的经济效益分析

番茄产量随水分胁迫程度的加重而降低,但次品果的产出随着水分胁迫程度的加重而增加,果实商品率随水分胁迫程度的加重而降低,从 F1 到 F4 的果实商品率依次是 81.9%、80.6%、77.9%、74.1%。沟灌充分灌水处理(CK)的果实商品率为 81.2%。番茄种植的收入完全依赖于产品出售,商品果的当年收购价是 0.8 元·kg⁻¹,次品果的收购价是 0.5 元·kg⁻¹,提高果实的商品率可相应增加收入,收入的提高依赖于产量和商品率的提高。从表 5 中看,F1 处理的产量和果实商品率均最高,可见在滴灌条件下,充分灌水对番茄产量和商品率的提高最为有利。从 F1 和 CK 处理的比较可以看出,在充分灌水条件下,滴灌处理的产量、果实商品率都比沟灌处理要高,由传统的沟灌方式改变为现在的滴灌方式,对番茄产量和果实商品率的提高有利,这可能是在滴灌灌水方式下可减轻土壤板结,改善作物根

系的呼吸条件,有利于作物的生长和产量的提高。

番茄种植收入的净效益为毛收入与生产投入的差值,毛收入 = 商品果产量 × 商品果单价 + 次品果产量 × 次品果单价,生产投入 = 水费 + 肥料费 + 滴灌设备费,在本试验中,净收入最高的是 F1 处理,其主要原因是 F1 处理的产量和果实商品率都是最高的,在所有的滴灌处理中,由于 F1 有较高水费投入,它的生产投入也是最高的,但它的净收入仍然最高。随着水分胁迫的加重,水费支出在降低,但由于产量和果实商品率的降低最终导致净收入的降低,可见在滴灌条件下要获得最大经济效益需要充分灌水。在沟灌条件下的处理 CK,虽然没有滴灌设备的投入,但水费和肥料费都很高,加之产量和果实商品率比 F1 低,故净收入比 F1 低。沟灌的灌水量和施肥量都比较大,造成了资源的浪费,同时也会引起地下水资源的污染和加快土壤盐碱化的进程,所以与滴灌相比,沟灌是一种比较落后灌溉方式,需要尽快以滴灌代替。

表 5 番茄产出收入与成本投入
Table 5 Tomato production incomes and costs

处理 Treatment	商品果 Commodity fruit /(kg·hm ⁻²)	次品果 Defective fruit /(kg·hm ⁻²)	水费 Charge for water /(元·hm ⁻²)	肥料费 Fertilizer cost /(元·hm ⁻²)	设备投入 Equipment investment /(元·hm ⁻²)	毛收入 Gross income /(元·hm ⁻²)	净收入 Net income /(元·hm ⁻²)
F1	61690	13660	442	3000	3000	56189	49747
F2	55810	13430	401	3000	3000	51363	44962
F3	47720	13480	330	3000	3000	42518	36188
F4	40760	14260	238	3000	3000	39738	33500
CK	58860	13600	744	5250	0	53888	47894

3 讨论与结论

番茄苗期土壤含水率变化较小,当进入开花坐果期后,营养生长和生殖生长并进,日耗水量增大,土壤含水率变幅增大,当土壤质量含水率降为 14% 时,土壤含水率的变化又趋于平稳,此时亟需灌水。随着土壤深度的增加,含水率的变幅减小,充分灌水与重度胁迫相比,充分灌水处理各层土壤含水率变幅较小。

随着水分胁迫程度的加重,番茄株高的生长速度变得缓慢,重度胁迫的株高最小,充分灌水的株高最大。但茎粗的生长速度与株高的生长并不完全同步,轻度胁迫处理下的茎粗最大。在番茄苗期胁迫后复水,各胁迫处理均表现出了明显的补偿生长,但在生育的中后期,重度胁迫处理的番茄植株已丧失了补偿生长功能。

膜下滴灌番茄的产量与耗水量有极好的线性相关性,随着水分胁迫程度的加重,水分利用效率也在降低。充分灌水条件下滴灌比沟灌的水分利用效率高 9.87 kg·m⁻³,灌水量节约了 40.6%。

膜下滴灌充分灌水处理的产量和果实商品率最高,净收入也最高,虽然沟灌处理的净收入也比较高,但它的水肥投入也最高,资源浪费严重,同时对地下水资源和土壤都有潜在的威胁,不利于农业的可持续发展。

参 考 文 献:

[1] 石玉琳,卢良恕.中国农业需水与节水高效农业建设[M].北京:中国水利水电出版社,2004.

[2] 李建明,邹志荣,王晓燕.蔬菜节水灌溉指标的研究现状及存在问题[J].干旱地区农业研究,2000,18(2):118-123.

[3] 徐淑贞,张双宝,鲁俊奇,等.日光温室滴灌番茄蓄水规律及水分生产函数的研究与应用[J].节水灌溉,2001,(4):26-28.

[4] 吕金印,山 仑,高俊凤.非充分灌溉及其生理基础[J].西北植物学报,2002,22(6):1512-1517.

[5] 李 毅,王文焰,王全九.论膜下滴灌技术在干旱半干旱地区节水抑盐灌溉中的应用[J].灌溉排水,2001,(2):42-46.

[6] Maria C B, Maria T E, Manuel C, et al. Relationship between tomato fruit growth and fruit osmotic potential under salinity[J]. Plant Science, 2001,160:1153-1159.

[7] Javier L, Nicolas T, Wim V, et al. Effects of varying sulphate concentrations on growth, physiology and yield of the greenhouse tomato[J]. Scientia Horticulturae, 1996,67:207-217.

[8] Cherubino L, Soraya G, Nadia B. High vapour pressure deficit influences growth, transpiration and quality of tomato fruits[J]. Scientia Horticulturae, 2000,84:285-296.

[9] Willits D H, Peet M M. The effect of night temperature on greenhouse grown tomato yields in warm climates[J]. Agricultural and Forest Meteorology, 1998,92:191-202.

[10] 李卫军,李来运.秦巴山地浅山丘陵区土壤水分动态规律初探[J].土壤侵蚀与水土保持学报,1999,5(5):99-101.

[11] 赵丽英,邓西平,山 仑.水分亏缺下作物补偿效应类型及机制研究概述[J].应用生态学报,2004,15(3):523-526.