微润灌溉对日光温室番茄生长及水分利用效率的影响

薛万来[1],牛文全[1,2*],张子卓[3],张珂萌[3]

(1.中国科学院水利部水土保持研究所,陕西 杨凌 712100;
2.西北农林科技大学水土保持研究所,陕西 杨凌 712100;
3.西北农林科技大学水利与建筑工程学院,陕西 杨凌 712100)

摘 要:在日光玻璃温室内,通过微润灌溉和滴灌的对比试验,来研究微润灌溉这项新型灌水方式对番茄生长及水分利用率的影响。研究结果表明:滴灌处理土壤水分的动态变化大于微润灌溉,滴灌处理最大变幅达60.9%,微润灌处理含水量基本维持在20%左右;至生育期末,微润灌溉处理株高、茎粗比滴灌处理分别高6.36%、3.11%,微润灌溉更有利于植物生长;同时两种处理番茄的光合速率日变化呈近似双峰曲线,叶片的蒸腾速率和气孔导度日变化呈单峰曲线;滴灌处理的折算产量为98 654.45 kg·hm^{-2},微润灌溉处理的折算产量为99 142.25 kg·hm^{-2},水分利用效率滴灌为53.33 kg·m^{-3},微润灌溉为60.42 kg·m^{-3},无论是单位面积产量还是水分利用,微润灌溉处理都优于滴灌处理;两种灌水方式下,番茄的耗水规律较为相似,但滴灌处理番茄的耗水量大于微润灌溉处理。

关键词:微润灌溉;番茄;生长;水分利用率;滴灌;日光温室

中图分类号:S275.4 **文献标志码**:A **文章编号**:1000-7601(2013)06-0061-06

Effects of the tomato growth and water use efficiency in sunlight greenhouse by moistube-irrigation

XUE Wan-lai[1], NIU Wen-quan[1,2*], ZHANG Zi-zhuo[3], ZHANG Ke-meng[3]

(1. *Institute of Soil and Water conservation, CAS & MWR, Yangling, Shaanxi* 712100, *China*;
2. *Institute of Soil and Water conservation, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi* 712100, *China*;
3. *College of Water Resources and Architectural Engineering, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi* 712100, *China*)

Abstract: A comparative test between moistube-irrigation and drip irrigation was conducted to study the effect of the tomato growth and water use efficiency in sunlight greenhouse by the new irrigation method of moistube-irrigation. The resulted showed that: The dynamic change of soil moisture by drip irrigation was more than the moistube-irrigation, the maximal amplitude of variation of drip irrigation has reached 60.9%, but the soil moisture by the moistube-irrigation was basically maintained about 20%. Up to the end of growing season, the plant height and stem diameter by the moistube-irrigation was higher than drip irrigation 6.36% and 3.11% respectively, so the moistube-irrigation was more favor to plant growth. Meanwhile the daily variation of the tomato photosynthetic rate by two treatments was similar to bimodal curve, the leaf transpiration rate and daily change of the stomatal conductance was shown a single peak curve. The crop yield of drip irrigation was 98 654.45 kg·hm^{-2} and for moistube-irrigation was 99 142.25 kg·hm^{-2}. For the water use efficiency, drip irrigation and moistube-irrigation was 53.33 kg·m^{-3} and 60.42 kg·m^{-3} respectively, so whether the yield or the water use efficiency, the moistube-irrigation was total better than the drip irrigation theatment. Under these two irrigation methods, the water consumption rules were rather, but the water consumption by the drip irrigation was bigger than the moistube-irrigation.

Keywords: moistube-irrigation; tomato; growth; water use efficiency; drip irrigation; sunlight greenhouse

收稿日期:2013-06-29
基金项目:国家高技术研究发展技术(863 计划)"低能耗微灌技术与产品"(2011AA100507)
作者简介:薛万来(1989—),男,江苏涟水人,硕士研究生,研究方向为水土资源高效利用。E-mail:xuewanlai@126.com。
* **通信作者**:牛文全(1972—),男,甘肃甘谷人,研究员,博士生导师,主要从事水土资源高效利用与节水灌溉新技术研究。E-mail:nwq@vip.sina.com。

近年来微灌技术(如滴灌、渗灌、地下滴灌等)已经应用到温室大棚生产中,并取得了明显的节水效果和经济效益[1]。现有研究表明[2-3],微灌能显著降低相对湿度,提高空气温度和土壤温度。与传统的沟灌相比,微灌具有调控土壤水分、温度,提高作物抗病性等优势。众多学者对温室中灌水方式对蔬菜生长和产量的影响进行了大量研究[4-11],尤其是针对滴灌技术对温室蔬菜生长的影响的研究。原保忠、康跃虎等人[12]研究发现日光温室内的水面蒸发量与番茄的需水量和灌溉需水量存在很好的一致性,赵伟霞、蔡焕杰等人[13]以 Φ20 cm 蒸发皿蒸发量作为灌溉水量计算标准,研究了无压灌溉日光温室番茄产量和形态指标。而目前设施农业中微灌方式主要以滴灌为主,一次性投资较大、容易堵塞、设计和使用均需要一定技术基础,尤其在中国广大地区设施种植主要以个人经营为主,单户土地少等特点均限制了滴灌技术的推广运用,所以在现阶段条件下亟需一种既简单又节约资金的小型微灌技术。

微润灌溉是近年来发明的应用半透膜技术的一种全新地下精准微灌技术[14]。它利用功能性半透膜制成的灌水器,以膜内外水势梯度为驱动,根据作物需水需求,以缓慢出流的方式为作物根区输送水分。与滴灌相比,它具有可有效防止地表蒸发、减少深层渗漏,抗堵塞性能好、运行成本低、容易操作等优点[15],在设施农业中具有广泛的运用前景。但目前对微润灌溉技术的研究主要集中在室内模拟研究方面,主要研究了微润灌溉土壤湿润体特性、对水盐运移的影响等方面[16],在田间研究较少。笔者以番茄为供试作物,研究微润灌溉对温室番茄生长及水分利用的影响,探索其水分利用规律,以期为微润灌溉在设施农业中利用提供一定的依据。

1 试验材料与方法

1.1 试验材料

试验于 2012 年 11 月—2013 年 2 月在西北农林科技大学南校区温室内进行,温室结构为房脊型,长 8 m,宽 3.5 m,高 3.8 m。温室位于东经 108°04′,北纬 34°20′,所处地理位置属暖温带季风半湿润气候区,年均日照时数 2 163.8 h,无霜期 210 d。试验土壤为垆土,60 cm 土层内土壤平均容重为 1.40 $g\cdot cm^{-3}$,田间持水量为 23.8%(质量含水率),体积饱和含水率为 51.7%。土壤 pH 为 7.4,有机质含量为 16.09 $g\cdot kg^{-1}$,全氮含量为 1.83 $g\cdot kg^{-1}$,全磷含量为 1.23 $g\cdot kg^{-1}$,全钾含量 20.23 $g\cdot kg^{-1}$,土壤肥力中等。

土壤水分特征曲线是反映土壤水的能量与数量之间的关系,是反映土壤水分运动基本特征的曲线。利用高速离心机测得根系层土壤的水分特征曲线为:

$$S = 5.8642\theta^{-3.2891} \qquad R^2 = 0.9816$$

式中,S 为土壤水吸力(cm),θ 为土壤含水量($cm^3\cdot cm^{-3}$)。

试验供试番茄品种为荷兰普罗旺斯,属中晚熟品种。定植时间为 2012 年 11 月 5 日,结束时间为 2013 年 2 月 25 日,番茄种植起垄,垄宽 50 cm,高 15 cm,长 4.0 m,垄顶做成平顶,垄与垄间距 50 cm,株距 35 cm,行距 40 cm,每行种植番茄 10 棵。

1.2 试验设计

本次试验设置两个处理:滴灌和微润灌溉,每个处理重复 2 次,共计 4 个小区,每个小区面积为 2.0 m^2。微润灌溉试验供水装置为马氏瓶,压力水头为 1.5 m,管带埋深为 15 cm,每两行埋设一条微润带,由于微润灌溉为连续灌水,所以灌水时间在整个生育期不间断;滴灌处理为每一行布设一条滴灌带,滴头铺设间距为 30 cm,滴灌处理小区通过测定土壤含水量和控制下限来确定灌水时间,苗期的土壤水分下限设定为田间持水量的 60%,开花结果期土壤水分下限设定为田间持水量的 65%,灌水上限相同,均为土壤田间持水量。为防止各小区间水分相互渗透,相邻小区间用埋深 60 cm 的塑料布隔开。

1.3 测试项目

土壤含水量采用烘干法测定,取样深度为 0 ~ 30 cm,每 10 cm 一层,每 7 d 测定 1 次,灌水前后及生育期始、末加测;株高采用米尺从番茄基部开始量取;茎粗采用游标卡尺取基部茎秆直径;同时每个生育期采用英国生产的 CIRAS - 1 便携式光合测定仪测定净光合速率(Pn)、蒸腾速率(Tr)、气孔导度(Gs);每个处理选取 4 株测定果实产量。

2 结果与分析

2.1 不同灌水方式下土壤水分动态变化

本试验是在日光温室内进行,不受降雨影响,地下水位也在 85 m 以下,可以忽略地下水补给作用。因此土壤中水分变化主要是由不同灌水量和植物根系对水分吸收差异引起的。由于本次试验温室为新修建的,30 cm 以下土层为坚硬的地基土壤,植物根系很难扎进去,所以本次番茄根系主要分布在 0 ~ 30 cm,取 0 ~ 30 cm 深度的土壤水分动态变化来分

析。图 1 是不同灌水方式下番茄根区土壤水分的动态变化,由图 1 可知,滴灌方式下,土壤含水量的变化呈现出苗期土壤含水量较小,生育中期逐渐变大,生育末期又逐渐变小,且整个生育期土壤含水量变幅巨大,最大达到 60.9%,基本呈现出灌水后土壤含水量变大,而后逐渐减少的趋势。

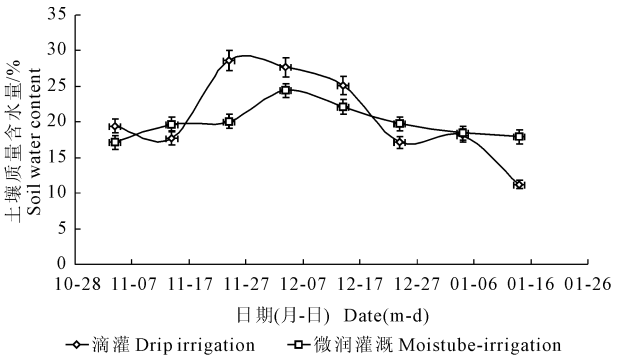

图 1　不同灌水方式下 0 ~ 30 cm 土壤水分动态变化

Fig.1　Dynamic variation of soil water content under different irrigation methods at the depth of 0 ~ 30 cm

与滴灌相比,微润灌溉在整个生育期内土壤水分变化幅度较小,没有出现剧烈的变化,且土壤含水率基本维持在 20%左右。土壤水分含量的变化趋势为苗期较小,开花坐果期逐渐增大,随后坐果后期又开始缓慢减低,且坐果后期大于苗期的土壤含水率,这也验证了微润灌溉的设计原理,即能根据土壤中膜内外的水势差和植物需水量自动地调节灌溉[15]。

2.2　不同灌水方式对番茄生长形态的影响

2.2.1　*对番茄株高生长变化的影响*　图 2 是不同灌水方式下番茄株高生长变化曲线图。由图 2 可以看出,两种灌水方式下番茄的生长曲线均呈现出“S”型。两种灌水方式下番茄株高的总体变化趋势是:前期(定植 55 d)滴灌处理的番茄株高大于微润灌溉,后期正好相反。滴灌条件下番茄株高由苗期的 14.1 cm 增长到生育末期的 113.3 cm;微润灌溉条件下,番茄株高由 11.3 cm 增长到 121.0 cm,至生育期末,微润灌溉处理株高比滴灌处理高出 6.36%。分析原因可能是,在生长初期番茄根系较短,主要分布在土壤表层,滴灌的水分是从地表向下入渗,因而土壤含水量的大小是由表层向下逐渐减少;而微润灌溉是地埋的方式,土壤水分是由管带向四周运动,土壤含水量分布管带附近最大,表层最小,所以前期滴灌处理番茄的株高较微润灌溉大;而随着番茄的生长,根系不断向下生长,此时微润灌溉由于是地埋方式,根系主要生长层水分充足,因而后期微润灌溉处理番茄的株高较大。由此可见,不同灌水方式对番茄株高生长的影响较大,从整个生育期来看,微润灌溉更有利于番茄株高的生长。

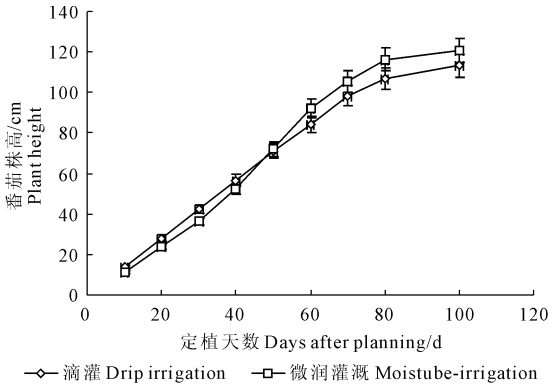

图 2　不同灌水方式下番茄株高生长变化

Fig.2　Variations of tomato height under different irrigation methods

2.2.2　*对番茄茎粗生长变化的影响*　图 3 是不同灌水方式下番茄茎粗的生长变化图。由图 3 可以看出,两种灌水方式下番茄茎粗的生长呈现相同的变化趋势,即随着生育时间的延长,番茄茎粗不断增加,微润灌溉下番茄茎粗由 5.124 mm 增长到 12.567 mm,增长了 7.443 mm;滴灌条件下,番茄茎粗由 4.773 mm 增长到 11.200 mm,增长了 6.427 mm。从生育期开始到结束,微润灌溉处理的番茄茎粗始终大于滴灌处理,从苗期、开花坐果期到成熟期,微润灌溉处理比滴灌处理茎粗分别高7.02%、8.75%和 3.11%。

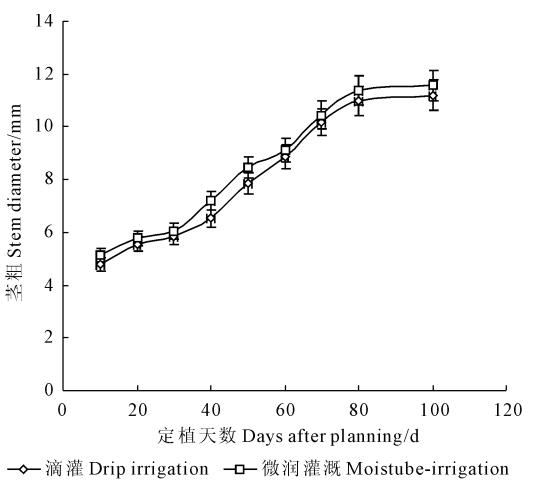

图 3　不同灌水方式下番茄茎粗生长变化

Fig.3　Variations of tomato stem diameter under different irrigation methods

2.3　不同灌水方式对番茄光合蒸腾作用的影响

土壤中水分是植物光合作用的原材料,水分的

多少直接影响着植物光合速率的大小,水分亏缺会导致植物光合速率的下降,水分过多又会造成根系通气不佳,影响植株的正常生长,间接地影响植物的光合速率,同时也会影响植物的蒸腾速率和气孔导度。图 4 是苗期不同灌水方式下番茄光合蒸腾作用的日变化曲线,由图 4 可知,两种灌水方式下番茄叶片光合速率日变化呈近似双峰曲线,且两个波峰分别出现在 10:00 和 14:00,两个峰值的大小分别为 6.8、5.4 $\mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-2}$和 5.3、5.8 $\mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-2}$;番茄叶片的蒸腾速率和气孔导度日变化规律较为相似,呈单峰曲线,番茄蒸腾速率的峰值出现在13:00,气孔导度的峰值出现在 12:00。

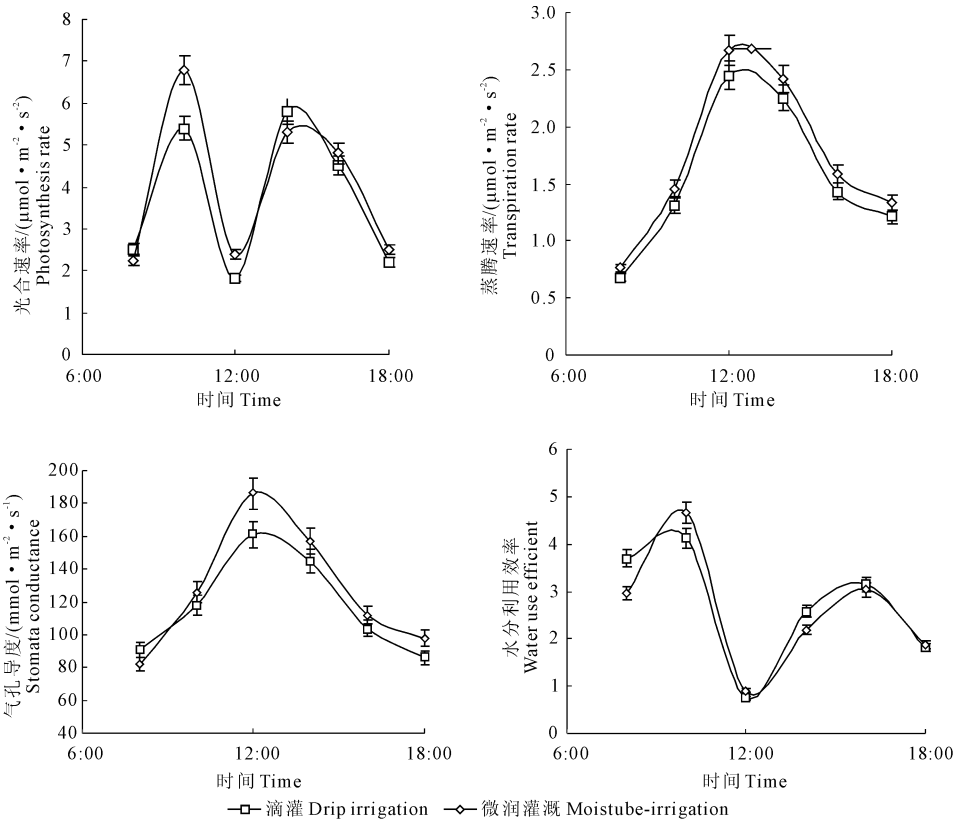

图 4 不同灌水方式对番茄光合速率(*Pn*)、蒸腾作用(*Tr*)气孔导度(*Gs*)及单叶水分利用效率的影响

Fig.4 Variations of photosynthesis rate, transpiration, stomatal conductance and water use efficiency by single leaf under different irrigation methods

分析原因在于,随着光照强度的增加,气孔受到太阳光的刺激后慢慢张开,到中午 12:00 时达到最大,同时植物的蒸腾速率也随着气孔的张开和光照的增强而逐渐增强,所以番茄蒸腾速率相对于气孔导度而言,有一定的滞后性,故其峰值出现在13:00;随后,为了维持植物体内水分的平衡,迫使气孔慢慢变小,气孔导度也随之减小,蒸腾速率也逐渐减小,形成单峰曲线。而植物叶片的水分利用效率(此处水分利用效率为光合速率与蒸腾速率的比值)作为植物生理生化过程中消耗水分形成有机质的基本效率。叶片水分利用效率上午 8:00 和中午 12:00 以后是滴灌处理大于微润灌溉,其余时间则相反。从日平均水分利用效率来看,滴灌处理为 2.61,微润灌溉为 2.68,这说明微润灌溉提高了叶片的水分利用效率,节水效果明显。

2.4 灌水方式对番茄产量与水分利用效率的影响

水分是作物获得高产不可或缺的重要因素。表 1 是不同灌水方式下番茄产量和水分利用效率的对比。

表 1 灌水方式对番茄产量和水分利用效率的影响

Table 1 Effect on tomato yield and water use efficiency by different irrigation methods

处理 Treatment	产量 Yield /(kg·hm⁻²)	灌水量 Irrigation water /(m³·hm⁻²)	水分利用效率 Water use efficiency /(kg·m⁻³)
滴灌 Drip irrigation	98659.45	1850	53.33
微润灌溉 Moist-tube irrigation	99142.25	1823	60.42

由表 1 可以看出,滴灌处理的折算产量为 98 654.45 kg·hm^{-2},微润灌溉处理的折算产量为 99 142.25 kg·hm^{-2},微润灌溉处理略大于滴灌处理;从灌水量上来看,微润灌溉比滴灌更加节水,每公顷大约节水 27 m^3;水分利用效率滴灌为 53.33 kg·m^{-3},微润灌溉为 60.42 kg·m^{-3},微润灌溉比滴灌节水约为 10%。由此可以看出,无论是单位产量还是水分利用效率,微润灌溉都优于滴灌。

2.5　不同灌水方式对番茄耗水规律的影响

土壤水分是植物生长发育和产量形成的重要因子,同时不同灌溉方式下植物耗水量的多少也是评价灌溉方式好坏的重要指标。表 2 是不同灌水方式下番茄各生育阶段的耗水情况,从表 2 可以看出:(1) 在整个生育期内,番茄的耗水强度呈现出滴灌 > 微润灌溉,这可能是由于不同灌水方式下水分入渗特点及灌水量的不同而引起的。滴灌灌水量较大,并且水分是从地表向下入渗,地表无效蒸发较大,而微润灌溉是地下灌溉方式,灌溉水直接进入土体,这样导致无效蒸发量较少,所以微润灌溉番茄的耗水强度小。(2) 从整个生育期来看,两种灌水处理下,番茄耗水强度呈现出中间大、两头小的耗水规律,即在开花坐果期与结果盛期耗水量大,在苗期和结果末期耗水量较小。

3　结　论

1) 滴灌条件下,整个生育期内土壤水分变化较大;而微润灌溉下,整个生育期土壤水分动态变化较小。可见,微润灌溉能够根据作物不同生育期自动调节灌水量,使土壤保持适宜的含水量,满足作物正常生长需求。

表 2　不同灌水方式下番茄各生育阶段耗水量

Table 2　Water consumption of tomato in different growing periods under different irrigation methods

生育期 Growth stage	时间 Date	天数 Days/d	项目 Items	滴灌 Drip irrigation	微润灌 Moistube-irrigation
苗期 Seeding	11 – 05 ~ 12 – 05	30	阶段灌水量/mm Irrigation amount	28	20
			土壤水变化量/mm Variation of soil water	5.28	3.01
			阶段耗水量/mm Water consumption	33.28	23.01
			阶段耗水强度/(mm·d^{-1}) Water consumption intensity	1.11	0.767
开花结果期 Blooming and fruit-bearing	12 – 05 ~ 12 – 31	26	阶段灌水量/mm Irrigation amount	55	41
			土壤水变化量/mm Variation of soil water	8.32	– 2.25
			阶段耗水量/mm Water consumption	63.32	38.75
			阶段耗水强度/(mm·d^{-1}) Water consumption intensity	2.435	1.49
结果盛期 Full bearing	次年 01 – 01 ~ 02 – 05	35	阶段灌水量/mm Irrigation amount	230	126
			土壤水变化量/mm Variation of soil water	– 28.43	1.21
			阶段耗水量/mm Water consumption	201.57	127.21
			阶段耗水强度/(mm·d^{-1}) Water consumption intensity	5.76	3.63
结果末期 Fruit maturity	02 – 05 ~ 02 – 25	20	阶段灌水量/mm Irrigation amount	48	18
			土壤水变化量/mm Variation of soil water	12.47	– 3.22
			阶段耗水量/mm Water consumption	60.47	14.78
			阶段耗水强度/(mm·d^{-1}) Water consumption intensity	3.0235	0.739

2) 两种灌水方式下番茄的株高及茎粗生长曲线均呈现出“S”型;株高在前期(定植 55 d)滴灌处理的番茄株高大于微润灌溉,后期正好相反;茎粗在整个生育期内,微润灌溉都略大于滴灌处理。微润灌溉相对于滴灌而言,更有利于番茄的生长。

3) 两种灌水方式下番茄叶片光合速率日变化呈近似双峰曲线,且两个波峰分别出现在 10:00 和 14:00;番茄叶片的蒸腾速率和气孔导度日变化规律较为相似,呈单峰曲线,番茄蒸腾速率的峰值出现在 13:00,气孔导度的峰值出现在 12:00。这一结论与王杰等[17]对番茄利用无压灌溉方式得出的结论较为一致。

4) 不同灌水方式对番茄产量和水分利用效率影响较大。无论是单位面积产量还是水分利用,微润灌溉都优于滴灌。

5) 两种灌水方式下番茄生育期耗水规律都表现出在开花坐果期与结果盛期大,在苗期和结果末期较小;不同灌水方式对比发现,滴灌处理番茄的耗水量都大于微润灌溉处理。这一结论与郑建等[18]对比无压灌溉和滴灌方式下番茄耗水规律得出的结论相似。

参 考 文 献:

[1] 王淑芳.我国节水灌溉技术的发展现状与展望[J].灌溉排水学报,2007,16(4):38 – 42.

[2] 梁称福,陈正法,李文祥,等.温室内膜下滴灌降温效应研究[J].蔬菜,2007,(2):43-45.

[3] 沈红芬,陈莉静,张依群.大棚番茄滴灌试验[J].长江蔬菜,2010,(16):40-41.

[4] 康绍忠,蔡焕杰.作物根系分区交替灌溉和调亏灌溉的理论与实践[M].北京:中国农业出版社,2002.

[5] Kirda C, Cetin M, Dusqan Y, et al. Yield response of greenhouse grown tomato to partial root drying and conventional deficit irrigation [J]. Agricultural Water Management, 2004,69:191-201.

[6] 陈新明,蔡焕杰,王 健.作物根区无压地下灌溉技术灌水指标研究[J].灌溉排水学报,2005,24(2):5-9.

[7] 张国红,袁丽萍,郭英华,等.不同施肥水平对日光温室番茄生长发育的影响[J].农业工程学报,2005,21(12):151-154.

[8] 张 辉,张玉龙,虞 娜,等.温室膜下滴灌灌水下限与番茄产量、水分利用效率的关系[J].中国农业科学,2006,39:425-432.

[9] 李 亮,张玉龙,马玲玲,等.不同灌溉方法对日光温室番茄生长、品质和产量的影响[J].北方园艺,2007,(2):75-78.

[10] 单志杰,蔡焕杰,陈新明,等.无压灌溉埋管深度的机理性研究及大田试验[J].中国农村水利水电,2007,(3):44-47.

[11] 胡笑涛,康绍忠,张建华,等.番茄垂向分根区交替控制滴灌室内试验与节水机理[J].农业工程学报,2005,21(7):1-5.

[12] 原保忠,康跃虎.番茄滴灌在日光温室内耗水规律的初步研究[J].节水灌溉,2000,(3):25-27.

[13] 赵伟霞,蔡焕杰,单志杰,等.无压灌溉日光温室番茄高产指标[J].农业工程学报,2009,25(3):16-21.

[14] Petty J J, Huckins D, Martin, et al. Use of semipermeable membrane devices (SPMDS) to determine bioavailable organochlorine pesticide residues in streams receiving irrigation drainwater[J]. Chemosphere, 1995,30(10):1891-1903.

[15] 杨文君,田磊,杜太生,等.半透膜节水灌溉技术研究进展[J].水资源与水工程学报,2008,19(06):60-63.

[16] 张 俊,牛文全,张琳琳,等.微润灌溉线源入渗湿润体特性试验研究[J].中国水土保持科学,2012,10(06):32-38.

[17] 王 燕,蔡焕杰,陈新明,等.根区局部控水无压地下灌溉对番茄生理特性及产量、品质的影响[J].中国农业科学,2007,40(2):322-329.

[18] 郑 健,蔡焕杰,王 燕,等.不同灌水方式下番茄产量构成因素分析及耗水规律研究[J].塔里木大学学报,2008,20(2): 56-61.

(上接第 60 页)

参 考 文 献:

[1] 陈善福,舒庆尧.植物耐干旱胁迫的生物学机理及其基因工程研究进展[J].植物学通报,1999,16(5):555-556.

[2] 朱钟麟,赵燮京,王昌桃,等.西南地区干旱规律与节水农业发展问题[J].生态环境,2006,15(4):876-880.

[3] Jeong J S, Kim Y S, Baek K H, et al. Root-specific expression ofosnac10 improves drought tolerance and grain yield in rice under field drought conditions[J]. Plant Phsiology, 2010,153:185-197.

[4] Bouman B A M, Peng S, castañeda A R, et al. Yield and water use of irrigated tropical aerobic rice systems[J]. Agricultural Water Management, 2005,74:87-105.

[5] 张万诚,郑建萌,任菊章.云南极端气候干旱的特征分析[J].灾害学,2013,28(1):59-64.

[6] 吴才文,赵 俊,刘家勇,等.强宿根抗旱甘蔗新品种云蔗 03 – 194 的选育[J].中国糖料,2012,(3):4-6.

[7] 广东省甘蔗糖业食品科学研究所.甘蔗制糖化学管理统一分析方法[M].北京:轻工业出版社,1976.

[8] 杨丽涛,李杨瑞.干旱条件下后期灌溉对不同甘蔗产量、蔗糖分和某些生理生化特性的效应研究[J].作物学报,1995,21(1):76-82.

[9] 梁兆新.甘蔗深松深耕技术及其效益分析[J].广西蔗糖,2004,(1):21-35.

[10] 刘云援.旱地甘蔗深沟深植板土栽培技术[J].云南农业,1994,(3):12.

[11] 崔雄维,张跃彬,郭家文,等.蔗叶不同还田模式对土壤水分和甘蔗产量的影响[J].中国糖料,2010,(4):21-23.