

灌溉方式和灌水下限对温室青茄生长、 耗水特性及产量的影响

胡 兰^{1,2}, 翟国亮^{1*}, 邓 忠¹, 蔡九茂¹, 张文正¹, 高剑民^{1,2}

(1. 中国农业科学院 农田灌溉研究所/农业部节水灌溉工程重点实验室, 河南 新乡 453002;

2. 中国农业科学院 研究生院, 北京 100081)

摘 要:【目的】探明插入式地下滴灌和地表滴灌条件下,不同灌水下限对温室新乡糙青茄(*Solanum melongena* L.)的生长、耗水特性及产量的影响。【方法】试验设置2种灌溉方式:插入式地下滴灌(SDI-R)、地表滴灌(DI)。灌水下限设置4个水平:开花坐果期60% θ_f 、成熟采摘期60% θ_f (F60M60);开花坐果期60% θ_f 、成熟采摘期70% θ_f (F60M70);开花坐果期70% θ_f 、成熟采摘期60% θ_f (F70M60);开花坐果期70% θ_f 、成熟采摘期70% θ_f (F70M70),处理简称为T1(DI, F60M60)、T2(SDI-R, F60M60)、T3(DI, F60M70)、T4(SDI-R, F60M70)、T5(DI, F70M60)、T6(SDI-R, F70M60)、T7(DI, F70M70)、T8(SDI-R, F70M70)。研究了不同处理对温室青茄的株高、根干物质、产量、耗水特性及水分利用效率的影响。【结果】SDI-R处理的青茄株高和总根干质量均高于DI处理的;SDI-R处理的总耗水量和各生育阶段的耗水量均小于DI处理的,2种灌水方式中T7处理和T8处理总耗水量最大,分别为338.09 mm和331.25 mm,4种灌水下限下,DI处理较SDI-R处理分别高2.06%~16.67%;SDI-R灌水方式中的T4处理的产量和水分利用效率最大,分别为56 046.30 kg/hm²和20.43 kg/m³,DI条件下T7处理的产量和水分利用效率最高,分别为51 546.30 kg/hm²和15.24 kg/m³,T4处理显著高于T7处理($P<0.05$)。【结论】插入式地下滴灌相对于地表滴灌能达到增产节水的目的,且插入式地下滴灌开花坐果期和成熟采摘期的灌水下限宜分别设为田间持水率的60%和70%。

关键词:滴灌;灌水下限;生长特性;耗水量;产量

中图分类号:S275.4;S641.1

文献标志码:A

doi:10.13522/j.cnki.ggps.20180245

胡兰,翟国亮,邓忠,等. 灌溉方式和灌水下限对温室青茄生长、耗水特性及产量的影响[J]. 灌溉排水学报,2019,38(2):16-21.

0 引 言

滴灌技术不仅能够节约灌溉用水、提高水分利用效率,而且对作物增产具有正效应^[1]。地下滴灌作为一种新兴的高效节水灌溉技术,具有节水增产、自动化程度高、减少地表蒸发和深层渗漏等优点,被认为是最具有发展潜力的微灌技术之一^[2]。但地下滴灌系统中的灌水器位置和滴水点不具移动性,需配套成千上万个灌水器来实现均匀灌溉,这势必会增大系统的投资^[3]。因此,在保证地下滴灌优点的前提下,增加地下滴灌的可移动功能,从而提高灌溉装置的重复利用率^[4-5],将是实现有效降低灌溉系统设备投资的理想途径之一。

中国农业科学院农田灌溉研究所研发的插入式地下滴灌灌水器是在借鉴现有的各种滴头和滴箭等滴灌灌水器产品的结构和出流方式的基础上,以产品既能达到地下滴灌的效果,又具备迅速、方便移动功能为原则^[3]的基础上设计得到。整体上设计为快速组装、插地深度可调节、抗堵塞性较强的杆状锥形滴水装置,在结构上主要由迷宫型滴头、插管、滴水插头和抗堵浮球共4个组件构成,各组件间均以简单、快速的承插方式相互插接而成^[6]。图1为插入式地下滴灌灌水器实物图。插入式地下滴灌灌水器在出流方式上是从灌水器的底端出水,在滴水插

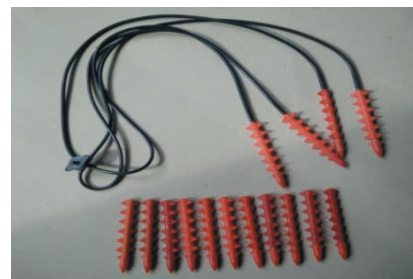


图1 插入式地下滴灌灌水器实物图

收稿日期:2018-04-26

基金项目:中国农业科学院基本科研业务费专项(Y2017XM08)

作者简介:胡兰(1992-),女,安徽安庆人。硕士研究生,主要从事节水灌溉理论与技术研究。E-mail: lanhu15090339460@126.com

通信作者:翟国亮(1963-),男,河南周口人。研究员,主要从事微灌技术研究。E-mail: zhai3393@126.com

头上设置浮球和3个出水口可防止因负压引起的泥沙倒流堵塞滴水器,保证了使用的可靠性,且灌水器插入土壤的深度和位置可以根据作物根系的生长情况进行调节,从而能减少地表无效蒸发,提高作物水分利用效率。冯俊杰等^[3,6]研究表明,插入式地下滴灌灌水器具有较稳定的水力性能和较强的抗堵塞性能,较适用于移动式地下滴灌系统中,但对于该灌水器在温室蔬菜中的应用还未进行相关研究。故以青茄为供试作物,在插入式地下滴灌和地表滴灌条件下,研究不同灌水下限对青茄的生长、耗水特性及产量的影响,以期明确不同灌水方式和灌水下限对青茄影响,为插入式地下滴灌在设施蔬菜生产上的科学合理应用提供必要参考。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试验在中国农业科学院河南新乡七里营综合试验基地进行,该地位于35°19'N、113°53'E,海拔73.2 m。试验区光热资源丰富,全年日照时间2 398.8 h,多年平均气温14.1℃,无霜期210 d,多年平均蒸发量2 000 mm,多年平均降雨量582 mm,7—9月降水量占全年降水量的70%~80%。

温室(长55 m、宽8 m)东西走向,聚乙烯薄膜覆盖,室内没有补温设施。试验地土质为壤土,耕层土壤体积分量为1.32 g/cm³,田间质量持水率(θ_f)为24.8%,地下水埋深大于5 m。

1.2 试验处理

供试作物品种为新乡糙青茄,2017年4月25日进行移栽种植,同年8月8日拉秧,幼苗期为4月25日—5月22日,开花坐果期为5月23日—6月22日,成熟采摘期为6月23日—8月8日。试验采用二因素完全随机设计,2种灌水方式分别为插入式地下滴灌(SDI-R)和地表滴灌(DI)。插入式地下滴灌灌水器插于作物根部土层以下10 cm的位置,滴灌带1行1带布设,滴头间距30 cm,两者流量均为2 L/h,工作压力均为0.1 MPa。根据文献[7]得知,青茄在开花坐果期和成熟采摘期的最佳灌水下限均为70%,故4个灌水下限设为:开花坐果期60% θ_f 、成熟采摘期60% θ_f (F60M60);开花坐果期60% θ_f 、成熟采摘期70% θ_f (F60M70);开花坐果期70% θ_f 、成熟采摘期60% θ_f (F70M60);开花坐果期70% θ_f 、成熟采摘期70% θ_f (F70M70),处理简称为T1(DI, F60M60)、T2(SDI-R, F60M60)、T3(DI, F60M70)、T4(SDI-R, F60M70)、T5(DI, F70M60)、T6(SDI-R, F70M60)、T7(DI, F70M70)、T8(SDI-R, F70M70)。各处理幼苗期灌水下限均设为60% θ_f ,灌水上限均设为90% θ_f 。当土壤含水率达到灌水下限即灌水。由于灌水下限不容易实现精准控制,因此,设定5%的范围值,即60%~65%,70%~75%。为防止水分侧向渗透,各处理间用保护区隔开。

试验小区宽1.2 m,长8 m,青茄南北向种植,种植方式为宽窄行种植,宽行65 cm,窄行40 cm,株距50 cm。按照当地习惯,移栽前整地时施入干鸟粪和磷酸二胺,施入量分别为8 500 kg/hm²和500 kg/hm²。开花坐果期追施1次三元复合肥(N、P、K质量比为15:5:25)225 kg/hm²,肥料是由压差式比例施肥泵随水施入。试验期间,除草、病虫害防治等田间管理各处理保持一致。

1.3 测定项目和方法

1)土壤含水率。土壤含水率通过Trime管(产自德国IMKO公司,型号为TRIME-PICO-IPH)测定,Trime管安装在水平方向距离植株根部10 cm的位置,苗期每7 d测1次,开花坐果期和成熟采摘期每5 d测1次,采用烘干法进行校核,测定深度为80 cm,灌水后加测1次。

2)灌水定额:灌水定额计算式为:

$$M=100(90\%\theta_f-\theta_i)\gamma HP, \quad (1)$$

式中: M 为次灌水量(m³/hm²); θ_f 为田间持水率; θ_i 为土层平均质量含水率; γ 为土壤体积质量(g/cm³); H 为计划湿润层深度(m)(苗期20 cm,开花坐果期40 cm,成熟采摘期40 cm); P 为湿润比(滴灌 P 取1)。

3)作物耗水量。采用水量平衡法^[8-9]计算,计算式为:

$$ET=I+P+U-D+(W_0-W_i), \quad (2)$$

式中: ET 为青茄耗水量(mm); I 为灌水量(mm); P 为降雨量(mm),本试验在温室中进行,故 $P=0$; U 为地下水补给量(mm),由于试验区地下水埋深大于5 m,故忽略不计, $U=0$; D 为深层渗漏量(mm),本试验采用滴灌,灌水定额较小,灌溉基本上不会产生深层渗漏,所以 $D=0$; W_0 和 W_i 分别为时段初和时段末的土壤储水量(mm)。

4)水分利用效率:定义为消耗单位水量所生产的经济产品数量。实际计算时,作物水分利用效率可由

同一面积上收获的经济产品总量除以消耗的总水量得到^[10]。计算式^[9,11]为：

$$WUE=0.1Y_a/ET_a,$$

(3)

式中： WUE 为水分利用效率(kg/m^3)； Y_a 为作物产量(kg/hm^2)； ET_a 为作物实际耗水量(mm)。

- 5)株高。随机选取6株长势均匀植株,每隔7 d,用卷尺测量(茎基部到植株生长点的长度),取平均值。
- 6)根干质量。在8月8日,每个处理选取3株长势均匀的植株,除去地上部分,采用直径10 cm的根钻,以植株茎秆为圆心,每20 cm为1层取至80 cm。小心将每层根系冲洗干净,洗净后放入烘箱中于105 ℃杀青30 min,75 ℃烘干至恒定质量并用精度为0.000 1 g的天平称量。
- 7)产量。每次采摘后,用精度为10 g的电子秤分别测定各小区收获的产量,记录,累加。

1.4 数据处理

采用Excel对数据进行处理制图,用SPSS 22.0软件对试验数据进行方差分析和多重比较。

2 结果与分析

2.1 不同灌溉方式和灌水下限对青茄生长的影响

2.1.1 不同灌溉方式和灌水下限对株高的影响

图2为各处理株高在整个生育期内变化情况。从图2可以看出,2种灌溉方式各处理的植株都随着时间推移增高,不同生育阶段植株的生长速率有所差异,依次是开花坐果期(5月23日—6月22日)、成熟采摘初期(6月23日—7月9日)、成熟采摘中后期(7月10日—8月8日)。同一灌水下限下,除了F60M70水平,全生育期内DI灌水处理植株株高和生长速率均低于SDI-R处理,灌水下限为F60M60水平这一规律最明显,其次是F70M70水平。F60M60水平下SDI-R处理和DI处理的株高差异最大,在开花坐果期两者没有明显差异,6月23日植株进入成熟采摘期,SDI-R灌水处理株高明显高于DI处理。8个处理的株高在开花坐果期都没有明显差异,在成熟采摘期差异逐渐增大,说明开花坐果期灌水下限在60%~70%对青茄株高不会产生较大影响,而在成熟采摘期下调灌水下限可能会影响青茄的生长。4种灌水下限条件下,成熟采摘期SDI-R处理的株高比DI处理依次高6.36%、5.20%、4.64%、9.80%。

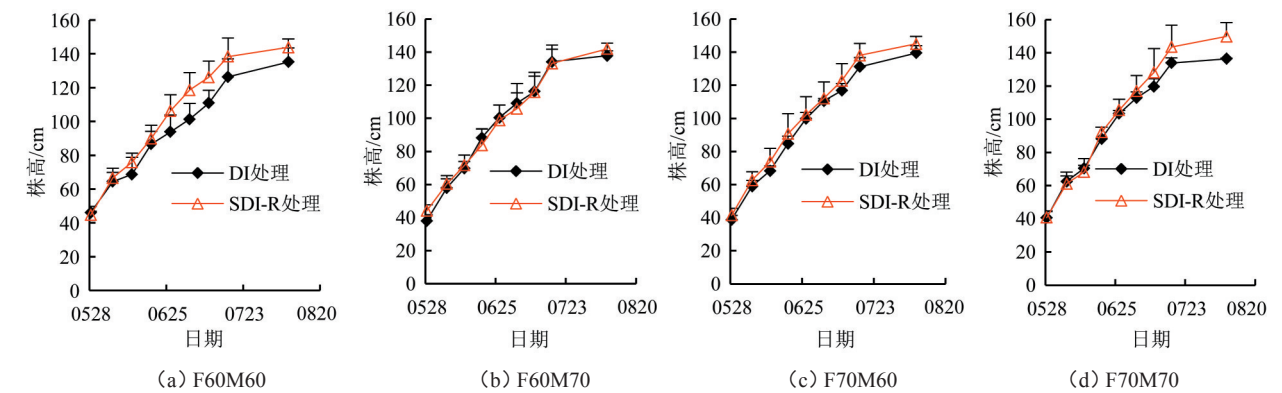


图2 不同灌溉方式和灌水下限下青茄株高
表1 各土层根干质量及其占总根干质量的百分比

处理	0~20 cm土层		20~40 cm土层		40~80 cm土层		总根干质量/g
	干质量/g	占比/%	干质量/g	占比/%	干质量/g	占比/%	
T1	2.895 9±0.283 1	89.74	0.271 1±0.009 8	8.40	0.060 0±0.007 4	1.86	3.227 0±0.258 6e
T2	3.744 8±0.465 7	85.80	0.496 2±0.060 9	11.37	0.123 5±0.001 6	2.83	4.364 5±0.152 3bc
T3	4.167 8±0.388 3	89.44	0.440 4±0.062 1	9.45	0.051 7±0.008 1	1.11	4.659 9±0.169 9abc
T4	4.174 6±0.267 9	85.34	0.520 0±0.023 6	10.63	0.197 1±0.004 9	4.03	4.891 8±0.246 7a
T5	3.249 1±0.332 9	87.81	0.395 5±0.008 4	10.69	0.055 5±0.004 5	1.50	3.700 2±0.326 2d
T6	3.775 9±0.310 3	87.68	0.469 4±0.013 6	10.90	0.061 2±0.008 7	1.42	4.306 5±0.275 8c
T7	4.198 3±0.220 2	87.00	0.536 6±0.006 2	11.12	0.090 7±0.012 8	1.88	4.825 6±0.216 1ab
T8	2.805 0±0.364 9	88.89	0.318 4±0.024 1	10.09	0.032 2±0.006 7	1.02	3.155 5±0.341 4e

注 同一列中不同字母表示不同处理总耗水量在 $\alpha=0.05$ 水平下有显著差异 ,下同。

2.1.2 不同灌溉方式和灌水下限对青茄根干质量的影响

表1为各处理不同土层根干质量及其占总根干质量的百分比。从表1可以看出,T4处理的总根干质量

最大,为4.891 8 g,显著大于其他处理(除了T3、T7处理)($P<0.05$)。除了T7处理和T8处理,SDI-R处理的总根干质量均显著大于DI处理($P<0.05$),说明插入式地下滴灌较地表滴灌能促进植株根系生长。各处理根系主要集中在0~40 cm土层内,40~80 cm土层根干质量仅0.032 2~0.197 1 g。0~20 cm和20~40 cm土层各处理根干质量均值分别为3.626 4 g和0.431 0 g。40~80 cm土层内,T4处理的干质量最大,其次为T2处理,说明插入式地下滴灌能促进作物根系向更深土层生长。T1处理和T2处理的总根干质量分别大于T5处理和T6处理,SDI-R条件下,随着开花坐果期灌水下限的增加,总根干质量减少,说明在开花坐果期,适度降低土壤含水率反而有利于作物根系生长。

2.2 不同灌溉方式和灌水下限对青茄产量的影响

各处理的产量如图3所示。从图3可以得出,8个处理中产量最高的为T4处理,产量为56 046.30 kg/hm²,其次是T7处理,产量为51 546.30 kg/hm²,T4处理相对于T7处理增产8.7%。T4处理和T7处理差异显著($P<0.05$)。2种灌溉方式下,成熟采摘期灌水下限为70%的处理产量高于灌水下限为60%的处理。这是因为成熟采摘期青茄主要进行生殖生长,是青茄产量形成的重要时期,土壤水分亏缺势必会影响青茄的产量。SDI-R处理下,各灌水下限产量依次是F60M70、F70M70、F60M60、F70M60,说明在SDI-R条件下,开花坐果期适度降低灌水下限有利于作物生长,而成熟采摘期灌水下限为60%会导致减产。DI处理下,灌水下限为F70M70产量最高,说明在DI条件下,开花坐果期和成熟采摘期灌水下限过低都可能会导致产量降低。

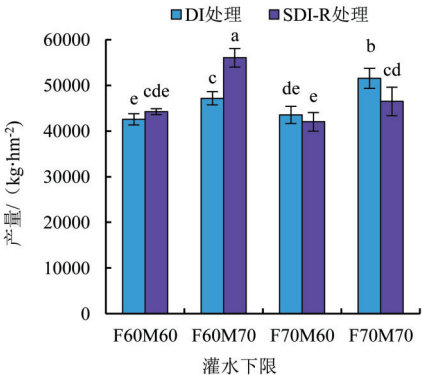


图3 不同灌溉方式和灌水下限下青茄产量

2.3 不同灌溉方式和灌水下限对青茄耗水特性的影响

表2为不同处理下青茄的总耗水量及各个生育阶段的耗水量和耗水强度。由表2可知,各处理的总耗水量、各生育阶段耗水量及耗水强度均随着灌水下限的提高而增大,且SDI-R处理均小于DI处理。T7处理和T8处理分别是DI和SDI-R条件下总耗水量最大的处理,为338.09 mm和331.25 mm,T1处理和T2处理的总耗水量最小,分别为299.85 mm和260.27 mm,4种灌水下限下,DI处理的总耗水量较SDI-R处理提高了2.06%~16.67%。T1处理和T2处理、T3处理和T4处理、T5处理和T6处理之间差异显著($P<0.05$),T7处理和T8处理之间差异不显著,表明随着灌水下限的增大灌水方式对总耗水量的影响逐渐变小。各生育阶段的耗水量和耗水强度表现为成熟采摘期>开花坐果期>幼苗期。各处理苗期的耗水强度为1.36~1.88 mm/d,其中T8处理最大,T2处理最小。在开花坐果期和成熟采摘期存在差异,分别为2.52~3.61 mm/d和2.88~4.15 mm/d,这是因为在苗期(4月25日—5月22日),植株本身的需水强度不大(1.36~1.88 mm/d),且温室内温度还不太高(约20 ℃),植株棵间蒸发较小,而在开花坐果期和成熟采摘期,气温逐渐增高,此时温室温度较高,且植株的需水强度增大,因而成熟采摘期的耗水强度最大。

表2 不同处理青茄耗水强度和耗水量

处理	苗期		开花坐果期		成熟采摘期		总耗水量/mm
	耗水量/mm	耗水强度/(mm·d ⁻¹)	耗水量/mm	耗水强度/(mm·d ⁻¹)	耗水量/mm	耗水强度/(mm·d ⁻¹)	
T1	43.12	1.54	86.4	2.79	170.33	3.62	299.80±15.43d
T2	38.08	1.36	78.12	2.52	144.07	3.07	260.27±8.93f
T3	46.76	1.67	93.89	3.03	179.37	3.82	320.02±26.89c
T4	43.96	1.57	95.17	3.07	135.16	2.88	274.29±24.68e
T5	47.88	1.71	92.19	2.97	184.54	3.92	324.61±15.87c
T6	42.56	1.52	90.74	2.93	159.83	3.41	293.13±18.25d
T7	49.03	1.75	95.14	3.07	193.92	4.13	338.09±23.67a
T8	52.64	1.88	93.34	3.01	195.27	4.15	331.25±23.79ab

2.4 不同灌溉方式和灌水下限对青茄水分利用效率的影响

表3为不同灌溉方式和灌水下限下青茄的水分利用效率。从表3可以看出,SDI-R处理的最大水分利用效率为20.43 kg/m³,比DI处理的最大水分利用效率(15.24 kg/m³)提高了34%。2种灌溉方式下,随着开花坐果期灌水下限的增大,水分利用效率逐渐减小(T3处理和T7处理除外),在成熟采摘期,灌水下限越高,水分

利用效率呈增大的趋势。灌水下限为 F60M60 和 F60M70, SDI-R 处理的水分利用效率高于 DI 处理, 随着灌水下限的提高, SDI-R 处理的水分利用效率逐渐减小, 并低于 DI 处理。究其原因, SDI-R 条件下, 灌水下限较低时, 耗水量和产量均较小, 随着灌水下限提高, 青茄的耗水量有增大的趋势, 因而, 随着灌水下限的增大, 水分利用效率反而在减小。T1、T3、T5、T7 处理间差异不显著, 说明 DI 条件下, 不同灌水下限对于青茄的水分利用效率没有显著影响。T4、T2 处理水分利用效率显著大于 T6、T8 处理, 说明 SDI-R 条件下, 灌水下限对于水分利用效率的影响有显著差异。

表 3 不同灌溉方式和灌水下限下青茄水分利用效率

处理	全生育期耗水量/mm	产量/(kg·hm ²)	WUE/(kg·m ⁻³)
T1	299.80	42 564.81	14.19±1.17bc
T2	260.27	44 217.59	16.98±0.84b
T3	320.02	47175.93	14.74±1.08bc
T4	274.29	56 046.30	20.43±0.83a
T5	324.61	43 513.89	13.40±0.92c
T6	293.13	42 013.89	14.33±0.87bc
T7	338.09	51 546.30	15.24±0.76bc
T8	331.25	46 476.85	14.03±1.23c

3 讨论

国内外学者针对地下滴灌对作物生长、产量、水分利用效率的影响研究较多。本试验表明, 插入式地下滴灌较地表滴灌增产了 8.7%、总耗水量降低了 23.26%, 水分利用效率提高了 34%。这与相关学者研究结果^[12-13]一致。插入式地下滴灌之所以能节水增产, 可能是因为灌水器插在土层 10 cm 的位置, 灌水时能减少棵间蒸发。李道西等^[14]研究表明, 在温室滴灌条件下, 辣椒耗水量组成中, 棵间蒸发占主导, 棵间蒸发量是日均蒸腾量的 1.3~1.7 倍, 因此插入式地下滴灌的耗水量小于地表滴灌。其次, 由于插入式地下滴灌条件下, 灌溉水直接从灌水器中流出到达作物根部, 在灌水施肥过程中, 地下滴灌的作物就可以更好地利用水分和养分, 因而插入式地下滴灌能促进作物和作物根系生长。番茄生育期内根区的根长密度在 0~20 cm 土层中随毛管埋深的增加而降低, 在 20~70 cm 土层中随毛管埋深的增加而增大^[15], 这与本研究结果一致, 即插入式地下滴灌的植株在 40~80 cm 土层的根干质量百分比大于滴灌的, 说明了地下滴灌能促进根系向更深的土层生长。本研究中, 除了 F70M70 水平, 其他灌水下限下, 插入式地下滴灌的总根干质量均大于地表滴灌, 可能是因为插入式地下滴灌条件下的土壤表层含水率低于地表滴灌, 下层含水率正好相反, 因而插入式地下滴灌处理的青茄根系周围土壤含水率大于地表滴灌, 而是否需要灌水是根据 0~40 cm 土层的平均含水率, 因此当灌水下限较小时, 插入式地下滴灌较地表滴灌更适宜作物根系生长, 而随着灌水下限的提高, 土壤水分也在增大, 插入式地下滴灌反而不利于青茄生长, 这与适度水分胁迫反而有利于作物生长^[16]相吻合。

蔬菜的水分状况与产量密切相关, 水分的变化直接引起内部的生理变化, 经过一系列信号传导, 最终表现在产量形成上^[17]。插入式地下滴灌条件下, F60M70 灌水下限青茄的株高适宜, 0~80 cm 土层的总根系干质量、产量和水分利用效率最大, 说明开花坐果期的灌水下限不宜设为 70% θ_r , 因为开花坐果期的耗水强度相对较小, 适度的水分胁迫不会影响青茄的生长, 反而促进根系生长, 提高青茄的产量, 而成熟采摘期灌水下限设为 70% θ_r 最佳, 可能是因为这一时期青茄以生殖生长为主, 耗水强度增大, 因而土壤含水率较低会影响青茄的果实形成, 从而影响青茄的产量。

4 结论

- 1) 相对地表滴灌, 插入式地下滴灌能促进青茄植株生长和根系向土层更深处生长。
- 2) 在同一灌水下限条件下, 插入式地下滴灌的耗水强度和总耗水量均小于地表滴灌, 总耗水量较地表滴灌减小了 2.06%~16.67%。各生育阶段耗水量大小依次为成熟采摘期、开花坐果期、苗期。
- 3) 插入式地下滴灌的青茄产量平均较地表滴灌增加了 8.73%, 水分利用效率平均较地表滴灌提高了 34%。
- 4) 插入式地下滴灌条件下, 灌水下限为 F60M70, 总耗水量为 274.29 mm, 较最小耗水量(F60M60) 提高了 5.39%, 但青茄的产量和 WUE 最高, 分别为 56 046.30 kg/hm² 和 20.43 kg/m³。从经济效益和节水效益考虑得出, SDI-R 条件下开花坐果期灌水下限宜设为田间持水率的 60%, 成熟采摘期宜设为田间持水率的 70%。

参考文献:

- [1] 魏永霞, 马瑛瑛, 刘慧, 等. 调亏灌溉下滴灌玉米植株与土壤水分及节水增产效应[J]. 农业机械学报, 2018, 49(3): 252-260.
- [2] 仝炳伟, 张娜, 鲍子云. 地下滴灌条件下不同水肥处理对苜蓿生长和产量的影响[J]. 灌溉排水学报, 2018, 37(3): 35-40.
- [3] 冯俊杰, 费良军, 翟国亮, 等. 插入式地下滴水器的研制与水力性能试验分析[J]. 节水灌溉, 2009(8): 17-20, 25.

- [4] 冯俊杰, 翟国亮, 仵峰, 等. 可移动地下滴灌装置的研制开发[J]. 中国农村水利水电, 2007(11):34-36.
- [5] PLEBAN S, SHACHAM D, LOFTIS J. Minimizing capital costs of multi-outlet pipelines[J]. Journal of Irrigation & Drainage Engineering, 1984, 110(2):165-178.
- [6] 冯俊杰, 李明臣, 翟国亮, 等. 移动插入式灌水器的结构研究与抗堵塞试验分析[J]. 中国农村水利水电, 2008(11):39-42.
- [7] 刘浩, 孙景生, 王聪聪. 土壤水分状况对温室青椒水分利用和外观品质的影响[J]. 中国生态农业学报, 2011, 19(4):812-817.
- [8] MOFOKE A L E, ADEXUMI J K, BABATUNDE F E, et al. Yield of tomato grown under continuous-flow drip irrigation in Bauchi state of Nigeria[J]. Agricultural Water Management, 2006, 84(1/2): 166-172.
- [9] ERTEK A, SENSOY S, GEDIK İBRAHİM, et al. Irrigation scheduling based on pan evaporation values for cucumber (*Cucumis sativus* L.) grown under field conditions[J]. Agricultural Water Management, 2006, 81(1/2): 159-172.
- [10] 段爱旺. 水分利用效率的内涵及使用中需要注意的问题[J]. 灌溉排水学报, 2005, 24(1):8-11.
- [11] KANBER R, YAZAR A, KOKSAL H, et al. Evapotranspiration of grape fruit in the Eastern Mediterranean region of Turkey[J]. Scientia Horticulturae, 1992, 52(1/2):53-62.
- [12] 孔清华, 李光永, 王永红, 等. 不同施肥条件和滴灌方式对青椒生长的影响[J]. 农业工程学报, 2010, 26(7):21-25.
- [13] 王京伟, 牛文全, 郭丽丽, 等. 适宜的毛管埋深提高温室番茄品质及产量[J]. 农业工程学报, 2017, 33(20):90-97.
- [14] 李道西, 李自辉, 刘增进, 等. 温室滴灌条件下辣椒耗水特性的研究[J]. 节水灌溉, 2016(10):44-46.
- [15] 刘玉春, 李久生. 毛管埋深和土壤层质地对地下滴灌番茄根区水氮动态和根系分布的影响[J]. 水利学报, 2009, 40(7):782-790.
- [16] 张宪法, 于贤昌, 张凌云. 水分对蔬菜生长动态和生理活动的影响[J]. 中国蔬菜, 2000(4):48-50.
- [17] 杨再强, 邱译萱, 刘朝霞, 等. 土壤水分胁迫对设施番茄根系及地上部生长的影响[J]. 生态学报, 2016, 36(3):748-757.

Effects of Critical Soil Moistures for Different Drip Irrigations on Growth, Water Consumption and Yield of Greenhouse Green Eggplant

HU Lan^{1,2}, ZHAI Guoliang^{1*}, DENG Zhong¹, CAI Jiumao¹, ZHANG Wenzheng¹, GAO Jianmin^{1,2}

(1. Chinese Academy of Agricultural Sciences Farmland Irrigation Research Institute/

Key Laboratory of Water-saving Agriculture Project of Ministry of Agriculture, Xinxiang 453002, China;

2. Graduate School of Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China)

Abstract:【Objective】The critical moisture for irrigation is a parameter in determining irrigation schedule, and this paper studies its effect on growth, water consumption and yield of greenhouse eggplant under surface drip irrigation and plug-in subsurface drip irrigation.【Method】The plug-in subsurface drip irrigation was to insert the emitter into the root zone (SDI-R) and the surface drip irrigation was to drip water over the soil surface (DI). We examined four critical soil moisture: 60% of the field capacity (θ_F) at flowering/fruit-setting stage and 60% of θ_F at maturing stage (F60M60), 60% of θ_F at flowering/fruit-setting stage and 70% of θ_F at maturing stage (F60M70), 70% of θ_F at flowering/fruit-setting stage and 60% of θ_F at maturing stage (F70M60), 70% of θ_F at flowering/fruit-setting stage and 70% of θ_F at maturing stage (F70M70). In each treatment, we measured plant height, root dry matter, yield, water consumption and water use efficiency.【Result】Both plant height and total dry root mass were higher under SDI-R than under DI, and the total water consumption and water consumption during each growth stage were lower under SDI-R than under DI. The maximum total water consumption under DI+F70M70 and SDI-R+F70M70 was 338.09 mm and 331.25 mm respectively, lower than under other treatments. Under the four critical soil moistures, the water consumption under DI was 2.06% to 16.67%, higher than those under SDI-R. SDI-R+F60M70 gave the highest yield and water use efficiency at 56 046.30 kg/hm² and 20.43 kg/m³ respectively. Under DI, the yield under F70M70 was 51 546.30 kg/hm², with the highest water use efficiency of 15.24 kg/m³.【Conclusion】Plug-in subsurface drip irrigation increased yield and water use efficiency compared to surface drip irrigation in all treatments, especially when the critical moisture at flowering/fruit-setting stage was 60% of θ_F and at maturing stage was 70% of θ_F .

Key words: drip irrigation; critical soil moisture; plant growth; water consumption; yield

责任编辑:白芳芳