

doi:10.3969/j.issn.1674-8530.2013.06.016

## 不同水分处理对茄子生长与产量品质的影响

全国栋<sup>1</sup>, 刘洪禄<sup>2,3</sup>, 吴文勇<sup>2,3</sup>, 李法虎<sup>1</sup>, 宝哲<sup>2,3</sup>, 牛勇<sup>2,3</sup>

(1. 中国农业大学水利与土木工程学院, 北京 100083; 2. 北京市水利科学研究所, 北京 100044; 3. 北京市非常规水资源开发利用与节水工程技术研究中心, 北京 100044)



全国栋

**摘要:** 为指导日光温室节水灌溉和增产,以京茄一号为对象,控制灌水下限为田间持水率(FC)的90%(T1),80%(T2),70%(T3),60%(T4),在日光温室内研究了滴灌条件下不同水分处理对茄子冠层发育、根系生长、果实产量及品质的影响.结果表明:株高、茎粗、叶面积和地上部干重均随着土壤水分下限的降低呈先增大后减小的趋势,T2(80%FC)大于其他3个处理.茄子根系主要分布在0~40 cm土层,随着深度的增加迅速减少,不同处理总根长密度和总根表面积密度均随灌水下限降低呈下降趋势.T2处理产量最高,分别为T1的1.03倍、T3的1.13倍、T4的1.14倍,不同处理之间差异无统计学意义.土壤含水率过高或过低会降低果实中的粗纤维质量分数和硝态氮质量分数,较高的土壤水分下限有利于果实中氨基酸的形成,而还原性VC质量分数随着土壤水分下限的降低而降低.灌水下限为80%FC时对茄子的生长最为有利,该处理下冠层发育、根系生长、果实产量及品质均处于较高水平.

**关键词:** 茄子;生长指标;根系发育;产量;品质;日光温室

**中图分类号:** S274.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1674-8530(2013)06-0540-06

全国栋,刘洪禄,吴文勇,等.不同水分处理对茄子生长与产量品质的影响[J].排灌机械工程学报,2013,31(6):540-545.

## Effects of different water treatments on growth, yield and quality of greenhouse eggplant

Tong Guodong<sup>1</sup>, Liu Honglu<sup>2,3</sup>, Wu Wenyong<sup>2,3</sup>, Li Fahu<sup>1</sup>, Bao Zhe<sup>2,3</sup>, Niu Yong<sup>2,3</sup>

(1. College of Water Resources and Civil Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China; 2. Beijing Hydraulic Research Institute, Beijing 100044, China; 3. Beijing Engineering Technique Research Center for Exploration and Utilization of Non-Conventional Water Resources and Water Use Efficiency, Beijing 100044, China)

**Abstract:** In order to improve water-saving irrigation and eggplant yield in greenhouse, through experiments under drip irrigation in the greenhouse, the effect of different field water capacities (respective irrigation minima of 90% of FC, 80% of FC, 70% of FC, 60% of FC, hereinafter referred as T1, T2, T3 and T4) on the crop growth, root development, fruit yield and quality were studied. The results show that, as soil water content threshold declined, plant height, stem diameter, leaf area and aboveground biomass first increased and then decreased. T2 is better than the other three treatments. Eggplant roots are mainly distributed in soil depth between 0-40 cm, which is rapidly reduced as soil depth increases. Total root length density and total root surface area density decreased as irrigation minima decreased. The highest yield was obtained under T2, which is 1.03 of T1, 1.13 of T3 and 1.14 of T4 respectively. There is no significant difference between the four different treatments. The crude fiber content and nitrate content in the fruit are reduced when soil moisture content is too high or

收稿日期: 2012-11-26; 网络出版时间: 2013-06-03

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/32.1814.TH.20130603.1131.009.html>

基金项目: 北京市重大科技攻关项目(Z111100056811035)

作者简介: 全国栋(1984—),男,山西大同人,博士研究生(tgd2006@sina.com),主要从事农业节水方向研究.

刘洪禄(1963—),男,辽宁营口人,教授级高工(通信作者,liuhonglu@yeah.net),主要从事再生水灌溉、农业节水方向的研究.

too low. Higher soil moisture is conducive to the amount of amino acids in the fruit, whereas reducing VC content decreased as irrigation minima decreased. To sum, T2 is the best irrigation minimum treatment for the growth of eggplant. Under T2, the growth, yield and quality of eggplant is better.

**Key words:** eggplant; growth index; root development; yield; quality; greehouse

近年来,我国设施农业发展迅速,设施总面积已居世界之首,然而单位面积产量仅为世界先进国家产量水平的1/3<sup>[1]</sup>.蔬菜是设施农业的主要栽培作物,生长过程中的土壤水分亏缺、水分过量以及土壤水分波动太大都会影响蔬菜产量和质量,因此需要确定适宜的灌溉下限,来避免生产中的水分浪费,实现蔬菜的优质高产栽培.

土壤含水率的大小与作物的生长有着密切的关系,对某一种类的作物、某一类型的土壤和气候区,当土壤含水率降到一定的范围时,作物生长受到限制.通过对土壤水分下限的合理调控,可减少地表无效蒸发量和过度蒸腾,进而提高作物水分利用效率.根系为植物的吸水器官,其发育数量和时空分布除了受遗传因素制约以外,很大程度上依赖于土壤水分<sup>[2]</sup>.Eapen等<sup>[3]</sup>认为干旱导致根系呼吸速率下降,根系ABA含量增加,根系衰老加速,但也有研究<sup>[4]</sup>表明,适度干旱可以促进根系的生长.土壤水分对作物的影响最终要通过各部分生物量的累积和果实产量品质体现<sup>[5]</sup>.合适的土壤含水率可以提高产量<sup>[6]</sup>,而过低或过高的土壤含水率会对产量产生不利影响<sup>[7]</sup>.不仅是产量,随着灌水量下限的降低,果实的品质比如维生素C等<sup>[8]</sup>也会受到影响.文中在前人的基础之上,研究日光温室滴灌条件下,营养生长和生殖生长期不同水分下限对茄子根系生长、冠层发育、果实产量及品质的影响,提出滴灌条件下适合茄子栽培的灌水下限,旨在为建立北京郊区日光温室滴灌条件下茄子的灌溉制度提供理论依据.

## 1 材料与方法

### 1.1 试验区概况

本次试验是在北京市灌溉试验中心站(位于北京市通州区永乐店镇)的日光温室内进行,其地处北纬39°20',东经114°20',多年平均降雨量565 mm,多年平均水面蒸发量1140 mm,多年平均气温11.5℃,无霜期185 d,地下水埋深超过8 m,因此地下水补给可以忽略.

试验在站内3号日光温室内进行,温室为东西

走向,全长80 m,净宽8.5 m,占地面积680 m<sup>2</sup>.温室共12个小区,尺寸为6.5 m×4.8 m.温室内两端各设置宽为2.5 m的保护区.土壤质地为粉壤土,田间持水率28%,容重为1.55 g/cm<sup>3</sup>.

本次试验品种为京茄一号,于3月27日移栽,南北向种植.每小区9行,每行13株左右,行距为60 cm,株距为50 cm.每行布置1条滴管带,滴头间距为30 cm.播种前统一施加有机肥22 500 kg/hm<sup>2</sup>.为确保幼苗成活率,定植后各处理均进行1次灌水.根据茄子的生长特性,整个生育期分为:苗期(3月27日—5月1日)、花果期(5月1日—6月1日)、盛果期(6月1日—7月24日),共118 d.第一朵雌花开放后(4月26日)开始按不同处理灌水,直到7月24日,茄子不再结果,随即拉秧,试验结束.

### 1.2 试验设计

试验在全生育期内对各小区进行不同的水分处理,共4个处理,每处理3个重复.具体设计如表1所示.其中, $\theta$ 为灌水下限, $H$ 为计划湿润层深度.

表1 试验处理设计  
Tab.1 Experimental design scheme

处理	苗期		开花坐果期		盛果期	
	$\theta$ /%	$H$ /cm	$\theta$ /%	$H$ /cm	$\theta$ /%	$H$ /cm
T1	90	20	90	40	90	40
T2	80	20	80	40	80	40
T3	70	20	70	40	70	40
T4	60	20	60	40	60	40

注:表中数字灌水下限,即当土层的平均土壤体积含水率(占田间持水量百分数)达到这一数值后,则灌溉至设定的灌水上限(100%田间持水量)

每2 d用TRIME-IPH土壤含水测量仪监测各小区土壤水分,达到下限左右即灌水,各小区灌水量

$$M = (\theta_j - \theta_i)AH/\eta,$$

式中: $M$ 为灌水量; $\theta_j, \theta_i$ 分别为计划湿润层内平均土壤体积含水率的上下限; $A$ 为各小区面积; $H$ 为计划湿润层深度; $\eta$ 为灌溉水利用系数,取0.95.试验结束时,T1到T4各处理灌水量分别为337.01, 354.7, 318.25, 303.65 mm.

### 1.3 试验观测项目及方法

#### 1.3.1 土壤含水率测定

试验区内每个处理选择3个典型点布置了140

cm 的 TDR 纤维管,分别位于行间、株间和垄间.每 2 d 用 TRIME-IPH 土壤含水率测量仪测定各处理小区内 0~120 cm 各土层土壤体积含水率,每 20 cm 为 1 层,取 3 个点的平均值.

### 1.3.2 植株生长指标测定

开始按处理灌水后,每个处理选取 5 株典型植株进行形态指标的监测,每 7 d 左右测量 1 次.株高使用精度为 1 mm 的直尺测量,茎粗采用精度 0.02 mm 的游标卡尺测量,采用十字交叉法量取茄子基部茎秆直径,测量部位始终位于茎秆基部第 3 节间处.叶面积采用换算法,用直尺量出叶长和叶宽,相乘后再除以经验系数 1.2,可估算出叶面积.由于茄子要在花果期和盛果期进行打叶处理,摘掉下部多余的叶片,因此叶面积选在试验结束前测量.拉秧后每处理取样 3 株测量地上部干重,样品在烘箱中 105 °C 杀青 30 min,然后在 75 °C 条件下烘干至恒重,用精度 0.01 g 的电子天平称量.

### 1.3.3 植株的根系参数的测定

根系在生育阶段末期用根钻法取得,见图 1.每个处理选取 1 棵典型植株,以植株为中心,分别沿滴灌管铺设方向和垂直于滴灌管方向打 6 个钻孔,①为植株的位置.每 10 cm 取 1 层,取到 50 cm.清洗完毕后采用 EPSON PERFECTION 4870 PHOTO 扫描器扫描根样,再用 Win RHIZO 分析软件得到根长密度、根表面积密度、总根体积和平均直径等参数.

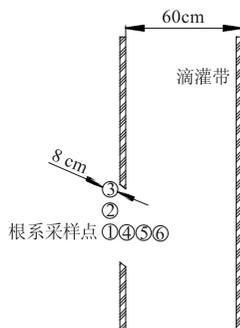


图 1 根系采样点示意图  
Fig. 1 Root sampling location

### 1.3.4 果实产量测定

果实成熟后,不同小区按垄分别记录果实产量,用精度为 0.01 kg 的天平称量,拉秧后计算每个处理的总产量.

### 1.3.5 果实品质测定

7 月 9 日茄子生长旺盛时期对各处理进行了取样,每个处理随机选取 5 个样本,测其鲜重和干重,

计算果实含水率,再随机选取 5 个样本送往北京市农林科学研究院植物营养与资源研究所进行粗纤维、硝态氮、氨基酸和还原型 VC 含量测定.

### 1.4 数据处理

本次试验用 Excel 2010 软件处理制图,用 spss 17.0 软件对试验数据进行单因素方差分析和多重比较,分析差异的统计学意义.

## 2 结果与分析

### 2.1 不同水分处理对茄子根系发育的影响

图 2、表 2 分别对比了不同处理的整根特征参数和不同深度  $d$  下根长密度  $\rho$  与根表面积密度  $\rho_s$ .  $v_R$  为总根体积,  $D$  为平均直径.

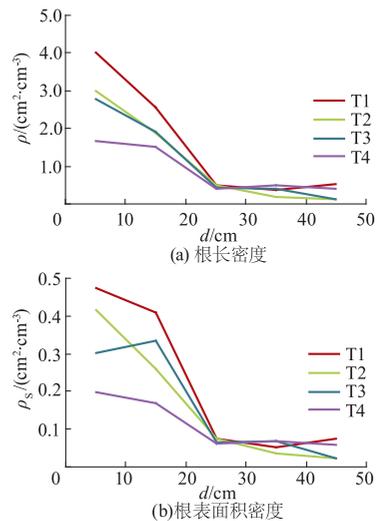


图 2 不同水分处理根长密度和根表面积密度对比  
Fig. 2 Effects of water treatments on root length density and root surface area density

表 2 整根特征参数

Tab. 2 Characteristic parameters for whole roots

灌水处理	$\rho / (\text{cm} \cdot \text{cm}^{-3})$	$\rho_s / (\text{cm}^2 \cdot \text{cm}^{-3})$	$V_R / \text{m}^3$	$D / \text{mm}$
T1	1.59	0.22	0.002 5	$0.47 \pm 0.14\text{a}$
T2	1.10	0.15	0.001 8	$0.49 \pm 0.10\text{a}$
T3	1.04	0.13	0.001 6	$0.48 \pm 0.11\text{a}$
T4	0.84	0.10	0.001 1	$0.43 \pm 0.15\text{a}$

注:表中数值为平均值  $\pm$  标准偏差,同一生育阶段同列数据后相同字母表示在  $p < 0.05$  水平下,差异无统计学意义.

结果表明,随着灌水下限的降低,茄子的总根长、总根表面积和总根体积  $V_R$  均呈现逐渐减小的趋势. T1 土壤含水率一直处于较高水平,总根长密度和总根表面积密度均为最大,分别为  $1.59 \text{ cm}^2/\text{cm}^3$  和  $0.22 \text{ cm}^2/\text{cm}^3$ ,根系最为发达. T1 总根长密度分别为其他 3 个处理的 1.43 倍、1.53 倍和 1.89 倍,显著大于其他 3

个处理;总根长密度分别是其他3个处理的1.47倍、1.69倍和2.2倍,显著大于其他3个处理.T2处理的平均直径最大,分别比T1,T3,T4大4.26%,2.08%,13.9%,各处理之间差异无统计学意义.

本次试验表明,全生育期内保持较高的土壤水分下限有利于根系的生长发育,增加根系的数量,但对根系的直径无显著影响,这与Eapen等<sup>[3]</sup>的研究成果类似.T1处理根系最为发达,但其冠层发育指标和产量并未达到最大,可能的原因是根区含水率过高,使得氧气含量减少,减弱了根系的呼吸作用,进而对根系的活力造成不利影响.T2处理既保证了充足的水分,又有充足的氧气含量,最有利于根系吸收水分,因此其冠层发育以及耗水量均为最大.

如图2所示,各处理0~30 cm土层根系占总根系85%以上,0~40 cm可达到95%,随着土层深度的增加,根长密度和根表面积密度迅速递减,40 cm以下根系占总根系已不足5%.因此,茄子的计划湿润层深度不应超过40 cm.同一土层内不同处理之间也有显著差异,0~20 cm浅土层,T1处理的平均根长密度为7.94 cm/cm<sup>3</sup>,T2和T3分别为5.66 cm/cm<sup>3</sup>和5.64 cm/cm<sup>3</sup>,T4最小,为4.50 cm/cm<sup>3</sup>,T1处理显著大于其他3个处理,而在20 cm以下的深土层中,T4处理最大,为0.45 cm/cm<sup>3</sup>,T2处理最小,为0.26 cm/cm<sup>3</sup>.

本次试验中,在土壤水分正常条件下,根系主要集中在浅土层,而土壤干旱时根系在深层的分布增多<sup>[9]</sup>,有利于作物从深层土壤中吸收水分.

## 2.2 不同水分处理对茄子冠层发育的影响

### 2.2.1 对茄子株高和茎粗的影响

如图3所示,随着生育期的延长,各处理的株高 $h$ 逐渐增大.在苗期和花果期,茄子的水分和养分主要用于营养生长,株高增加迅速,花果期平均株高表现为T2>T1>T3>T4,T2最大为95.0 cm,T1,T3,T4分别为92.0,90.5,88.6 cm,由于该时期刚开始按不同处理灌水,土壤水分亏缺还未对植株的生长造成影响,故各处理之间,差异无统计学意义.进入盛果期后,养分和水分主要用于生殖生长,株高增加变缓,此时,土壤水分亏缺已经对植株的生长造成影响,不同处理之间有了差异.盛果期平均株高表现为T2>T1>T3>T4,与灌水量顺序相同.其中,T2最大,为185.2 cm,较T1,T3,T4分别大1.9%,10.1%,12.6%,T1,T2处理之间差异无统计学意义,但均显著大于T3,T4.茎粗 $r$ 的增加趋势和株高相同,均表现为花果期增长迅速,进入盛果期

后增长变缓.花果期各处理平均茎粗分别为12.78,13.63,12.67,12.53 mm,T2最大,T4最小,各处理之间差异无统计学意义.盛果期平均茎粗分别为17.81,18.83,17.29,17.28 mm,T2最大,分别是其他处理的1.06倍、1.09倍、1.09倍,各处理之间差异无统计学意义.

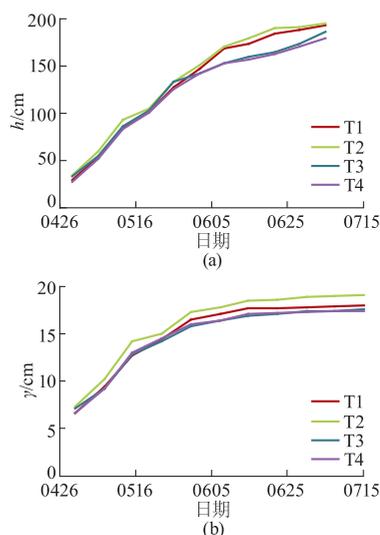


图3 不同灌水处理对茄子植株株高和茎粗的影响  
Fig.3 Effects on plant height and stem thick under different irrigation treatments

### 2.2.2 对茄子叶面积和地上干重的影响

果实成熟期(7月10日)测量各处理叶面积 $A$ 如图4所示,随着土壤水分下限的降低,茄子叶面积 $A$ 呈先增加后减小的趋势,T2处理最大,为10924 cm<sup>2</sup>,较其他3个处理分别大7.8%,13.3%,23.8%.T2处理显著大于T3和T4处理.

拉秧之后测各处理地上部分干重 $m$ ,即茄子的叶片和茎秆的干重(图4).与叶面积结果类似,随着土壤水分下限的降低,茄子地上部分干重呈先增大后减小的趋势,T2为149.8 g,分别是其他3个处理的1.08倍、1.20倍、1.49倍,T2处理显著大于T3和T4,不同土壤水分下限对茄子地上部分干重产生了显著影响.

株高和茎粗是衡量植株是否健壮的一个重要指标,在一定程度上反映了植株输送营养物质及水分的能力.本次试验结果表明:在茄子主蔓打顶前,株高和茎粗都呈现先快后慢的生长速率,表明该时期植株吸收的水分大多用于营养生长.在其他条件相同的情况下,作物地上部分的生长取决于土壤水分,该时期的土壤水分下限过低会不利于株高、茎粗和叶面积的生长,T3和T4处理对茄子生长形成了水分胁迫,而T1和T2处理满足了茄子正常生长

的土壤水分需求. T1 各项指标均小于 T2 表明:土壤水分过高也会对植株的生长造成不利影响,可能的原因是土壤含水率过高,导致根区土壤通气性差,氧气含量减少,限制了根系的吸水能力. 同时,灌水频繁、蒸发量大均会降低土壤的温度,也影响根系的吸水能力.

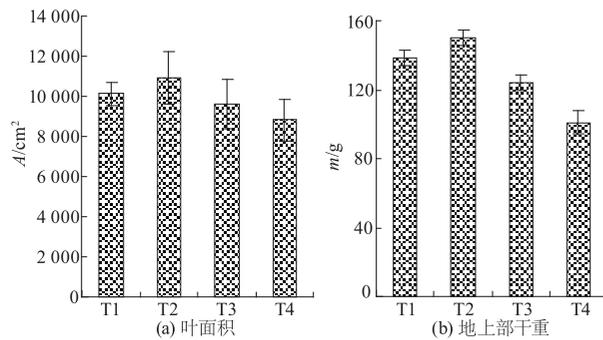


图4 不同灌水处理对茄子叶面积和植株地上部干重的影响

Fig. 4 Effects on leaf area and above biomass of eggplant under different irrigation treatments

### 2.3 不同水分处理对茄子产量和品质的影响

如表3所示,不同处理下茄子产量  $Y$  表现为  $T2 > T1 > T3 > T4$ ,与灌水量顺序相同. T2 产量最高为  $5.93 \text{ kg/m}^2$ ,分别为 T1 的 1.03 倍、T3 的 1.13 倍、T4 的 1.14 倍,各处理之间差异无统计学意义. 产生这种现象的原因可能是:盛果期果实生长速度较快,对水分的需求也大,高水分下限土壤含水率高,土水势较大,植株能够更容易从土壤中吸收水分满足生长需求,而低水分处理土壤含水率较低,土水势较小,不利于植株吸收水分,导致果实生长受限. 但土壤含水率过高会导致土壤中氧气减少,根系呼吸作用减弱,生殖生长减弱,营养生长旺盛,造成生长冗余,进而影响产量<sup>[10]</sup>. 这一结论与其他的 research 结果是一致的.

如表3所示,不同处理之间平均单果重  $g_A$  表现为  $T2 > T1 > T3 > T4$ . T2 处理最大,为  $284.62 \text{ g}$ ,比其他3个处理分别大  $3.3\%$ ,  $9.7\%$ ,  $11.4\%$ ,且差异无统计学意义. 各处理茄子果实含水率  $\eta$  都在  $90\%$  左右,且差异无统计学意义,不同灌水下限处理并未对果实的含水率造成显著影响. 中等水分下限 (T2, T3) 处理粗纤维质量分数 ( $w(\text{粗纤维})$ ) 要显著高于低水分下限 (T4) 和高水分下限 (T1) 处理,说明根区水分过高或者过低均会对果实的粗纤维质量分数造成不利影响;氨基酸质量分数 ( $w(\text{氨基酸})$ ) 表现为  $T2 > T1 > T3 > T4$ ,与耗水量顺序相同, T1 和 T2 之间差异无统计学意义,但都显著高于 T3 和 T4 处理,说明茄子果实中氨基酸质量分数会随着植株耗水量的增加而增加;中等水分 (T2, T3) 处理的硝态氮质量分数 ( $w(\text{硝态氮})$ ) 要显著高于高、低水分 (T1, T4) 处理,其中 T2 最高,达到  $74.97 \text{ mg/kg}$ ,而 T1 最低,为  $56.5 \text{ mg/kg}$ ;还原型 VC 质量分数 ( $w(\text{还原性 VC})$ ) 随土壤水分下限的降低而显著降低,质量分数最高的 T1 ( $72.03 \text{ mg/kg}$ ) 是最低 T4 ( $35.21 \text{ mg/kg}$ ) 的 2.04 倍.

本次试验结果表明,不同土壤水分下限会对茄子品质的各项指标造成不同程度的影响,随着土壤水分下限的降低,平均单果重呈现先增加后减少的趋势,而对果实含水率并无显著影响,土壤水分的亏缺并未反映到果实含水率上;土壤水分过高或过低都会影响果实中粗纤维、硝态氮和氨基酸的质量分数,还原型 VC 质量分数随着灌水下限的降低而显著下降. 总体而言,适度的水分亏缺不会影响茄子的品质,但是当土壤水分下限下降到  $60\% \text{ FC}$  时,亏缺程度过大,水分胁迫过重,造成后期植株合成等营养物质的功能显著降低,从而导致茄子的果实品质降低<sup>[11]</sup>.

表3 不同水分处理对果实产量及品质的影响  
Tab.3 Effects of water treatments on fruit yield and quality

处理	$Y/(\text{kg} \cdot \text{m}^{-2})$	$g_A/\text{g}$	$\eta/\%$	$w(\text{粗纤维})/\%$	$w(\text{氨基酸})/(\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1})$	$w(\text{硝态氮})/(\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1})$	$w(\text{还原性 VC})/(\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1})$
T1	$5.79 \pm 0.52a$	$275.55a$	$89.66a$	$1.26 \pm 0.12a$	$47.27 \pm 2.46a$	$56.52 \pm 8.27a$	$72.03 \pm 5.55a$
T2	$5.93 \pm 0.08a$	$284.62a$	$88.89a$	$1.58 \pm 0.20b$	$49.00 \pm 0.91a$	$74.97 \pm 9.84b$	$61.93 \pm 3.47b$
T3	$5.23 \pm 0.44a$	$269.18a$	$90.03a$	$1.50 \pm 0.18b$	$43.53 \pm 1.50b$	$65.52 \pm 5.28ab$	$53.92 \pm 3.10c$
T4	$5.13 \pm 0.59a$	$255.19a$	$89.03a$	$1.28 \pm 0.03a$	$39.50 \pm 0.79c$	$57.33 \pm 8.50a$	$35.21 \pm 3.55d$

注:表中数值为平均值  $\pm$  标准差,同一生育阶段同列数据后相同字母表示在  $p < 0.05$  水平下,差异无统计学意义

## 3 结论

1) 不同处理间总根长密度,总根表面积密度和

总根体积均表现为  $T1 > T2 > T3 > T4$ ,随灌水下限降低而减小,不同处理之间的平均直径差异无统计学意义. 在当地土壤条件下,茄子根系  $95\%$  以上分布在  $0 \sim 40 \text{ cm}$  土层中,根系随着土层深度的增加迅速

减少,因此计划湿润层深度不要超过 40 cm.

2) 不同处理间株高和茎粗均表现为  $T2 > T1 > T3 > T4$ ,各处理之间差异无统计学意义;不同处理间叶面积与地上部分干重均表现为  $T2 > T1 > T3 > T4$ , $T4$  的叶面积显著小于其他处理.较高的土壤水分更有利于植株地上部分的生长,但土壤水分过高则会对植株的生长起抑制作用.

3) 不同处理间果实产量表现为  $T2 > T1 > T4 > T3$ , $T2$  分别为  $T1$  的 1.03 倍、 $T3$  的 1.13 倍、 $T4$  的 1.14 倍,不同处理之间差异无统计学意义.土壤含水率在 80% FC 时对果实生长最为有利,产量最高,土壤水分过高或过低均会对果实生长有抑制作用,降低产量和平均单果重.土壤水分对果实的品质也有影响,土壤含水率过高或过低会降低果实中的粗纤维质量分数和硝态氮质量分数,较高的土壤水分有利于果实中氨基酸的形成,而还原性 VC 质量分数随着土壤水分下限的降低而显著降低.

4) 综合根系生长、冠层发育和果实产量品质几个方面, $T2$  处理是最为合适的灌水下限,土壤水分过高或过低都不利于植株的栽培.

#### 参考文献 (References)

- [ 1 ] 程冬玲,邹志荣. 高效设施农业中的水分调控与节水灌溉技术[J]. 西北农林科技大学学报,2001,29(1): 122 - 125.  
Cheng Dongling, Zou Zhirong. Moisture regulation and control and water saving irrigation technique in high benefit installation agriculture [J]. Journal of Northwest Sci - Tech University of Agriculture and Forestry, 2001, 29(1): 122 - 125. (in Chinese)
- [ 2 ] Chaves M M, Maroco J P, Pereira J S. Understanding plant responses to drought—from genes to the whole plant[J]. Functional Plant Biology, 2003, 30(3): 239 - 264.
- [ 3 ] Eapen D, Barroso M L, Ponce G, et al. Hydrotropism: Root growth responses to water[J]. Trends in Plant Science, 2005, 10(1): 44 - 50.
- [ 4 ] 白文明,左强,黄元仿,等. 乌兰布和沙区紫花苜蓿根系生长及吸水规律的研究[J]. 植物生态学报,2001, 25(1):35 - 41.  
Bai Wenming, Zuo Qiang, Huang Yuanfang, et al. Effect of water supply on root growth and water uptake of alfalfa in Wulanbuhe sandy region[J]. Chinese Journal of Plant Ecology, 2001, 25(1): 35 - 41. (in Chinese)
- [ 5 ] 郑健,蔡焕杰,王健,等. 日光温室西瓜产量影响因素通径分析及水分生产函数[J]. 农业工程学报,2009, 25(10):30 - 34.  
Zheng Jian, Cai Huanjie, Wang Jian, et al. Path analysis of yield components and water production function of water melon in greenhouse [J]. Transactions of the CSAE, 2009, 25(10): 30 - 34. (in Chinese)
- [ 6 ] Lincoln Zotarelli, Johannes M Scholberg, Michael D Dukes, et al. Tomato yield, biomass accumulation, root distribution and irrigation water use efficiency on a sandy soil, as affected by nitrogen rate and irrigation scheduling [J]. Agricultural Water Management, 2009, 96 (1): 23 - 34.
- [ 7 ] Mao Xuesen, Liu Mengyu, Wang Xinyuan, et al. Effects of deficit irrigation on yield and water use of greenhouse grown cucumber in North China plain [J]. Agricultural Water Management, 2003, 61 (3): 219 - 228.
- [ 8 ] 李建明,王平,李江. 灌溉量对亚低温下温室番茄生理生化与品质的影响[J]. 农业工程学报,2010,26(2): 129 - 134.  
Li Jianming, Wang Ping, Li Jiang. Effect of irrigation amount on physiology, biochemistry and fruit quality of greenhouse tomato under sub-low temperatures [J]. Transactions of the CSAE, 2010, 26(2): 129 - 134. (in Chinese)
- [ 9 ] Xue Q, Zhu Z, Musick J T, et al. Root growth and water uptake in winter wheat under deficit irrigation [J]. Plant and Soil, 2003, 257(1): 151 - 161.
- [ 10 ] 孙华银,康绍忠,胡笑涛,等. 根系分区交替灌溉对温室甜椒不同灌水下限的响应[J]. 农业工程学报, 2008,24(6):78 - 84.  
Sun Huayin, Kang Shaozhong, Hu Xiaotao, et al. Response of greenhouse sweet pepper under alternate partial root-zone irrigation to different irrigation low limits [J]. Transactions of the CSAE, 2008,24(6): 78 - 84. (in Chinese)
- [ 11 ] 李毅杰,原保忠,别之龙,等. 不同土壤水分下限对大棚滴灌甜瓜产量和品质的影响[J]. 农业工程学报, 2012,28(6):132 - 138.  
Li Yijie, Yuan Baozhong, Bie Zhilong, et al. Effects of drip irrigation threshold on yield and quality of muskmelon in plastic greenhouse [J]. Transactions of the CSAE, 2012, 28(6): 132 - 138. (in Chinese)

(责任编辑 徐云峰)