文章编号:1000-7601(2015)03-0024-06 doi:10.7606/j.issn.1000-7601.2015.03.04

温室甜椒对不同灌溉方式的生理响应

孙华银[1,2],胡笑涛[2]

(1.长江师范学院土木建筑工程学院, 重庆 涪陵 408100;
2.西北农林科技大学教育部旱区农业水土工程重点实验室,陕西 杨凌 712100)

摘 要: 为了分析不同灌溉方式的节水效果和作物对不同灌溉方式条件下的生理响应,通过对温室甜椒进行常规灌溉(GI)和分根交替灌溉(APRI)的试验,分析了不同灌溉方式对甜椒叶片光合特性、水分参数、叶绿素相对含量(CC)、根冠比(R/S)和根系导水率(RHC)的影响,以及不同灌溉方式甜椒对水分胁迫和复水的生理响应。试验结果表明:分根交替灌溉处理能够有效地调节气孔开度,减少无效蒸腾失水,比常规灌溉处理节水 25.93%,WUE、叶片细胞液浓度(CSC)、叶绿素相对含量(CC)和 R/S 分别提高了 3.19%、6.56%、8.04%、15.38%,RHC 减小了3.01%。两种灌溉方式受水分胁迫复水后都表现出叶片光合速率(Tr)、水分饱和亏(WSD)、CSC 值下降,叶鲜重含水率(FWC)值上升,且分根交替灌溉甜椒(APRI)对水分胁迫和复水都具有更优的生理调节功能。

关键词: 甜椒;分根交替灌溉;常规灌溉;水分胁迫;生理响应

中图分类号: S274; S641.3 **文献标志码:** A

Physiological response of greenhouse capsicum to different irrigation methods

SUN Hua-yin[1,2], HU Xiao-tao[2]

(1. *Yangtze Normal University*, *Fuling*, *Chongqing* 408100, *China*; 2. *Key Laboratory of Agricultural Soil and Water Engineering in Arid Areas*, *Ministry of Education*, *Northwest A&F University*, *Yangling*, *Shaanxi* 712100, *China*)

Abstract: In order to analyze the water saving effect and physiological response for different irrigation methods, through the experiment of general irrigation (GI) and alternate partial root-zone irrigation (APRI) of greenhouse capsicum, analyzed the effects of different irrigation methods to the photosynthetic characteristic, water parameter, CC, R/S and RHC of capsicum leaves and physiological responses of water stress and rewatering. The test results showed that: The APRI treatment can be effectively adjusted the stomatal open degree, reduced the invalid transpiration, saving water was 25.98%. Comparing with the GI treatment, the WUE, CSC, CC and R/S increased by 3.19%, 6.56%, 8.04%, 15.38%. While the RHC was reduced by 3.01%. After water stress and rewatering, these two irrigation methods total shown the Tr, WSD and CSC decline, while FWC ascend. Also the alternate partial root – zone irrigation (APRI) for capsicum has better physiological regulating function for water stress and rewatering.

Keywords: capsicum; alternative partial root-zone irrigation; general irrigation; water stress; physiological response

土壤水分的变化对植物生长的各个生理过程都有影响,是最重要的环境因子之一。蔬菜多为柔嫩多汁、需水量大的高产作物,因此,在蔬菜栽培中,土壤水分的管理成为蔬菜高产栽培的技术关键。有关不同灌水量对蔬菜生长的影响,诸葛玉平,余宏军,侯振安等[1-3]都做了相关研究,董宝娣,高明霞,孙景生,何双余等[4-7]研究了灌水方式对粮食作物生长发育的影响;崔秀敏,张寄阳等[8-10]对水分胁迫和复水后作物的生理生化响应有较多研究。大量研究表明,作物光合作用对水分胁迫反应敏感,光合速率随胁迫加强不断下降,是作物后期受旱减产的主要原因[11-13]。水分胁迫下作物叶片叶绿素含量不仅是衡量作物耐旱性的重要生理指标之一,而且也直接关系着作物的光合同化过程。Hsiao[14]曾对水分胁迫期间植物所发生的系列生理、生化及形态响应作过详细综述,而水分胁迫解除即复水后植物响应方面研究相对较少。分根区交替灌溉(APRI)追求的是非充分但适当的灌溉水量与不均匀的土壤水

收稿日期:2014-05-08
基金项目:国家自然科学基金重点项目(50339030)
作者简介:孙华银(1982—),男,江苏淮安人,硕士研究生,讲师,研究方向为农业节水、土木工程。E-mail:sunhuayin123@163.com。
通信作者:胡笑涛(1972—),男,博士,副教授,从事节水灌溉理论与新技术研究。E-mail:huxiaotao11@nwsuaf.edu.cn。

分分布,且灌溉水进入土壤后,将经历一个缓慢的水分再分布过程,这个过程倾向于消除由于灌溉方式所造成的不均匀分布[15-16]。有研究指出[17],水分胁迫后复水阻止植物生长恢复的原因在于根系,但对根系受水分胁迫复水后根系导水率的恢复情况研究较少,且以往对作物生理响应的研究主要集中在单一的灌溉方式或者水分胁迫上[4-6,8-13],对作物在不同灌溉方式和土壤水分相结合的生理响应目前尚鲜见报道。

甜椒(*Capsicum*)是茄科作物中较为不耐旱的品种[18],本文以温室甜椒为研究对象,研究不同灌溉方式以及不同土壤水分条件下甜椒的生理特征的变化和灌水前后甜椒生理指标对水分的响应,为蔬菜栽培优化用水方式提供理论依据。

1　材料与方法

1.1　试验材料

试验在西北农林科技大学旱区农业水土工程教育部重点开放实验室的日光温室内进行。实验室位于东经 108°04′,北纬 34°20′,该区属暖温带季风半湿润气候,年均日照时数 2 163.8 h,无霜期 210 d。温室结构为房脊型,长 36 m,宽 10.3 m,高 4 m。试验站温室内设有自动气象站。温室内南墙和北墙分别配置大型抽风机和湿帘风扇,同时打开风机和湿帘风扇,关闭门和顶窗,可以增强空气流通,及时调节室内温、湿度。土壤为垆土,肥力中等,种植前测得土壤 0~50 cm 土层养分状况如下:土壤有机质含量为 1.92 g·kg^{-1},全磷含量为 1.21 g·kg^{-1},全氮含量为 0.96 g·kg^{-1},全钾含量为 20.19 g·kg^{-1},田间持水量为 24%(体积)。供试作物为茄门甜椒(*Capsicum annuum var. grossum*),于 3 月 30 日开始定植,8 月 25 日全部收获。

1.2　试验设计

试验依据甜椒生长发育特点将其整个生长季节分为三个时期:定植至开花(3 月 30 日至 4 月 29 日)为苗期,开花至第一穗果快速膨大(4 月 30 日至 6 月 1 日)为开花坐果期,第一穗果快速膨大至收获结束(6 月 2 日至 8 月 25 日)为盛果期。三个时期分别采用 10、20、30 cm 三个计划湿润层深度来控制灌水量,分根区交替灌溉和常规灌溉试验采用统一的灌水下限(60%田间持水量)和灌水上限(100%田间持水量),两种灌溉方式均采用沟灌,每个处理三个重复,用自动土壤水分监测仪 EASYAG 定时测量土壤含水量。常规灌溉当土壤含水量降至灌水下限时浇水至灌水上限,分根区交替灌溉当灌水侧土壤水分降至灌水下限时灌水至灌水上限。

1.3　试验方法

试验小区在温室内向下挖出土槽,长 4 m,宽 0.6 m,深 0.5 m,用塑料薄膜铺底及侧面,对于分根区交替灌溉种植的土槽中部纵向用塑料薄膜隔开,形成两个区,防止水分交换。甜椒栽植在土槽的中部,株距 40 cm,每行 10 株,各处理施肥管理措施相同。每行每分区(即塑料布分割的每一个区)埋设 50 cm 深度的自动土壤水分监测仪器 EASYAG,EASYAG 设置为每隔 30 min 采集一次数据,当土壤水分(交替灌上次灌水侧)到灌溉下限时,采用:

$$m = 10 \times \gamma \times h \times Q \times (1 - q) \times \eta \quad (1)$$

式中,m 为灌水量(kg);Q 为田间持水量(质量);γ 为土壤容重(g·cm^{-3});η(灌溉效率)取 100%;q 为土壤水分下限(以相对田间持水量百分比表示);h 为计划湿润层深度(cm)。

1.4　测定项目与方法

(1) 开始水分处理后,设置为每隔 30 min 采集一次数据;记录灌水日期、灌水量。

(2) 各生育期灌水前后采用英国生产的 CIRAS-1 便携式光合作用测定仪测定甜椒的净光合速率(Pn)、蒸腾速率(Tr)、气孔导度(Gs)、细胞间隙 CO_2 浓度(Ci)、环境 CO_2 浓度(Ca)以及光、温、湿等环境参数,数据采用相同位置叶片 6 次测定的平均值。

(3) 各生育期灌水前后,采用烘干法计算测定甜椒叶片鲜重含水量(FWC)和水分饱和亏[19](WSD);采用阿贝折射仪测定甜椒叶片细胞液浓度(CSC);SPAD-502 叶绿素仪测定叶片叶绿素相对含量(CC)等生理指标,数据采用相同位置叶片 3 次测定的平均值。

(4) 甜椒完全采摘后,记录产量,每区取两株茎杆称其鲜重,烘干后称其干重;地下根系与地上茎杆采用美国 Dynamax 公司生产的高压流速仪(high pressure flow meter,HPFM)测其对应的根系导水率,分层取土过湿筛,拣取根毛称重,烘干后称其干重。

(5) 数据采用 DPS v2.00 普及版处理。

2　结果与分析

2.1　不同灌溉方式对甜椒叶片光合速率(Pn)、蒸腾速率(Tr)、气孔导度(Gs)的影响

2.1.1　不同灌溉方式对光合特性日变化的影响

对不同灌溉方式水分充足情况下温室甜椒开花坐果期的叶片光合、蒸腾速率和气孔导度日变化的测定结果表明(图 1),在一天的动态变化中,常规灌溉处理和分根交替灌溉处理分别于 14:00 和 12:00 气孔开度达到最低,近乎关闭,蒸腾几乎停止,常规灌溉处理的叶片气孔导度和蒸腾速率均显著高于分根交

替灌溉处理,尤其在 14:00 以前更为明显,可见分根交替灌溉处理很好地调节了气孔开度,减少了无效蒸腾失水。两种灌溉方式光合速率的日变化都呈双峰曲线,常规灌溉处理尤为明显,两次峰值分别出现在 12:00 和 16:00 左右,而分根交替灌溉处理的两次峰值分别出现于 10:00 和 14:00 左右,常规灌溉处理的光合速率在一天的大部分时间高于分根交替灌溉处理,但这种较高的光合速率是以更多的水分消耗为代价的,其叶片水分利用效率一般低于常规灌溉。

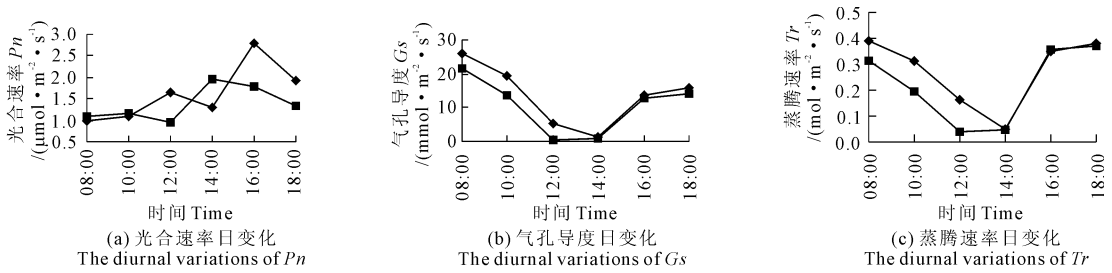

图 1 不同灌溉方式甜椒叶片光合速率、蒸腾速率和气孔导度的日变化

Fig.1 The diurnal variations of *Pn*, *Tr* and *Gs* of capsicum leaves under different irrigation methods

气孔限制值的计算方法依照公式 $Ls = 1 - Ci/Ca$ 进行,式中 *Ls* 为气孔限制值,*Ci* 为胞间 CO_2 浓度,*Ca* 为环境 CO_2 浓度。通过图 1 和表 1 比较可以看出,分根交替灌溉处理 14:00 以前和常规灌溉处理 16:00 以前光合速率的下降主要是气孔限制引起的,在此之后光合速率的下降是非气孔限制引起的,可见,在一天的动态变化中,光合速率下降的气孔限制和非气孔限制状况是呈动态变化的,分根交替灌溉处理尤为明显。在一天中气孔限制值主要受空气温度影响,随着空气温度的升高,两种处理的气孔限制值也有所增大,常规灌溉处理 *Ls* 和空气温度呈较好的正相关关系,分根交替灌溉处理在空气温度没有到达最大时气孔提前关闭,减少自身水分的散失,同时植物又要解决通过气孔呼吸消耗热量降低叶片温度、吸收 CO_2 等,使叶片不能长时间处于气孔关闭状态,造成植物体温度过高导致灼伤,所以植物需要很好地调节气孔开度来适应外界变化的环境,分根交替灌溉处理能够较好地解决这一问题。

表 1 不同灌溉方式甜椒叶片气孔限制值、水分利用效率和空气温度的日变化

Table 1 The diurnal variations of *Ls*, water use efficiency and air temperature of capsicum leaves under different irrigation methods

项目 Item	时间 Time					
	8:00	10:00	12:00	14:00	16:00	18:00
空气温度 Air temperature/℃	25.64	27.65	27.28	28.31	27.98	26.61
常规灌溉气孔限制值 GI *Ls*	0.20	0.27	0.80	1.00	0.92	0.63
分根交替灌溉气孔限制值 APRI *Ls*	0.12	0.40	1.00	0.93	0.66	0.32
常规灌溉 GI WUE/($\mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1} \cdot mmol^{-1}$)	2.50	3.52	10.15	26.00	7.93	5.05
分根交替灌溉 APRI WUE/($\mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1} \cdot mmol^{-1}$)	3.46	5.98	23.75	41.79	5.05	3.65

注:表中数据除空气温度外,均为 3 个重复处理 6 次测定的平均值。

Note: In the table, except air temperature, total are the average value by 3 repeated and 6 measured data.

2.1.2 不同灌溉方式对水分胁迫条件下光合特性的影响 分根交替灌溉处理始终有一部分根系处于相对干燥状态,干旱区域根系所感知的干旱胁迫信号物质(ABA)传递至地上部,使气孔导度降低,气孔开度减小,减少了水分的无效散失,从而大大提高了水分利用效率[20]。对不同灌溉方式下温室甜椒开花坐果期的叶片光合、蒸腾速率和气孔导度灌水前连续 5 d 每天 10:00 的测定同一处理结果的均值变化(图 2)。随着植物根区土壤逐渐干旱,虽然常规灌溉处理灌水量比分根交替灌溉处理增加近一倍,但叶片光合速率并没有显著增加,而蒸腾速率和气孔导度比分根交替灌溉处理有显著升高,增加了无效蒸腾失水和温室内空气湿度,容易引发甜椒病害的发生,给植物生长带来了不利影响。由图 2 可知,在 5 月 16 日以前光合速率并未下降,说明在受到轻度水分胁迫时(60% 田间持水量),植物可以通过气孔调节,减少水分损失而不影响光合速率,在受到重度水分胁迫下(45% 田间持水量),ABA 等参与的气孔调节已不能满足作物对土壤水分的生理需求,气孔的开闭状况对于光合的影响已经微不足道。可

见,水分胁迫时分根交替灌溉处理在没有明显降低光合速率的同时能够更好地减少叶片蒸腾失水,这对温室蔬菜节水灌溉有很好的指导意义。

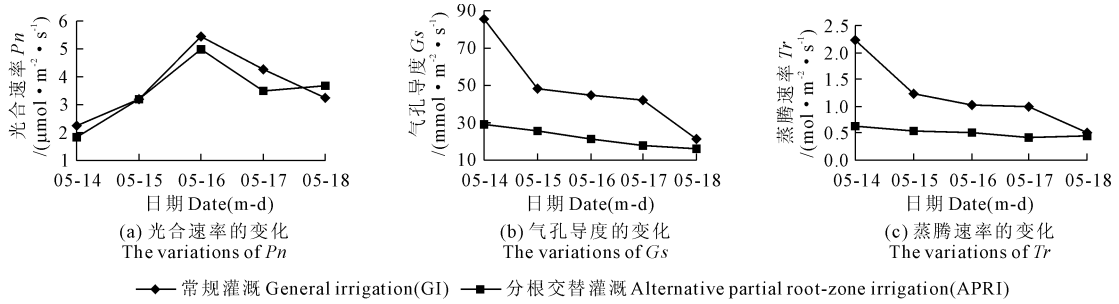

图 2　不同灌溉方式灌水前连续 5 d 甜椒叶片光合速率、气孔导度和蒸腾速率的变化

Fig.2　The variations of *Pn*, *Gs* and *Tr* of capsicum leaves before irrigation 5 d under different irrigation methods

2.1.3　不同灌溉方式对复水前后光合特性的影响　对不同灌溉方式下温室甜椒开花坐果期的叶片光合、蒸腾速率和气孔导度复水前后(复水后 1 d)的测定结果表明(表 2),常规灌溉处理和分根交替灌溉处理在复水后光合速率都出现了明显的下降,常规灌溉处理光合速率下降得较多且低于分根区交替灌溉处理,这充分证明了土壤水分高于适宜含水量时,由于其呼吸系统受阻,从而导致植物生理活性下降,阻碍了光合产物的运输和分配,并最终表现为非气孔限制的光合速率的下降。常规灌溉处理的气孔导度和蒸腾速率都明显增大,分根交替灌溉处理的气孔导度和蒸腾速率略有减小,这是由于复水后 1d 分根交替灌溉处理处于干燥区域的根系,产生的干旱信号还优于处于湿润区域根系产生的湿润信号,扰乱了植物的感知系统,使植物认为还处于缺水状态,应减少水分消耗来度过水分短缺时期,这证明了分根交替灌溉可以达到不牺牲作物光合产物积累而减少其蒸腾耗水的目的,同时也表明补偿效应需要一定的时间才能完全表现出来。

表 2　不同灌溉方式复水前后甜椒叶片参数的变化

Table 2　The parameter variations of capsicum leaves under different irrigation methods

处理 Treatments		光合速率 *Pn* /(μmol·m⁻²·s⁻¹)	气孔导度 *Gs* /(mmol·m⁻²·s⁻¹)	蒸腾速率 *Tr* /(mol·m⁻²·s⁻¹)	鲜椒含水量 FWC/%	水分饱和亏 WSD/%	细胞液浓度 CSC/%
胁迫 Stress	常规灌溉 GI	4.50a	34.50b	1.23ab	76.35b	27.54a	16.50a
	分根交替灌溉 APRI	4.50a	35.83b	1.25ab	77.90ab	33.76a	17.00b
复水 Rewatering	常规 GI	2.25b	51.00a	1.47a	80.11a	24.76a	15.50ab
	分根交替灌溉 APRI	2.28b	32.00b	1.08b	79.71ab	31.14a	16.50ab

注:数据后小写字母为不同处理间 Duncan 多重比较的差异显著性($\alpha = 0.05$),表中数据分别是 3 个重复处理 6 次测定的平均值。

Note: The lower case letters behind the data are the significant differences($\alpha = 0.05$) of Duncan for different treatment; the data in the table total are the average value by 3 repeated and 6 measured data.

2.2　不同灌溉方式对叶片水分参数的影响

2.2.1　不同灌溉方式对叶片鲜重含水量和水分饱和亏的影响　不同灌溉方式下甜椒开花坐果期灌水前后叶片鲜重含水量和水分饱和亏变化见表 2。由表 2 可以看出:灌水后常规灌溉处理和分根交替灌溉处理的叶片 FWC 比灌水前有明显升高,且灌水后常规灌溉处理的叶片 FWC 值大于分根交替灌溉处理的叶片 FWC,这与常规灌溉处理灌水量较大使两边根区同时湿润有很大关系。这里的水分饱和亏(WSD)又称自然饱和亏,其值愈大,表示作物体内水分亏缺愈严重,灌水后两种灌溉方式的水分饱和亏都变小,但 APRI 的 WSD 减小的幅度低于常规灌溉处理,这充分显示了分根交替灌溉处理能使根系部分处于水分胁迫下,调节气孔导度,减少叶片蒸腾和刺激根系补偿功能的优越性。

2.2.2　不同灌溉方式对叶片细胞液浓度的影响　在没有受到水分胁迫(灌水后 2 d)的情况下,不同灌溉方式甜椒开花坐果期叶片细胞液浓度(CSC)的日变化表明(图 3),一天中两个处理的叶片细胞液浓度动态变化趋势很接近,先降低再升高,最后趋于平缓。上午 8:00 的细胞液浓度最高,这是因为夜间气温较低,作物蒸腾较弱,蒸腾拉力较小,到达叶片的土壤水分也就相对较少;12:00 叶片细胞液浓度最低,这是因为叶片气孔开度急剧减小,蒸腾速率明显

降低,使滞留在叶片中的水分相对较多;12:00 后叶片细胞液浓度有开始上升,16:00~18:00 趋于平缓。分根交替灌溉处理的 CSC 略高于常规灌溉处理,充分显示了分根交替灌溉处于干燥一侧的根系对叶片细胞液浓度有影响作用。叶片细胞液浓度与叶片水分含量成反比关系,这也证实了分根交替灌溉处理能够降低叶片水分的无效蒸腾散失。由表 2 可以看出:复水后 CSC 也出现明显的降低情况,且常规灌溉处理的 CSC 下降幅度较大,这与常规灌溉处理灌水量较大有很大关系。

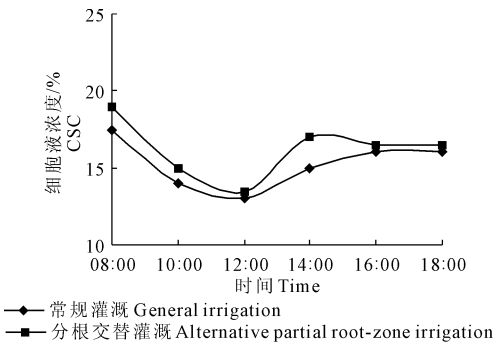

图 3 不同灌溉方式甜椒叶片细胞液浓度的日变化

Fig.3 Diurnal variations of capsicum leaves CSC under different irrigation styles

2.3 不同灌溉方式对叶绿素含量的影响

叶绿素是光合作用的物质基础,是光合作用的光敏化剂,叶片中叶绿素含量直接影响叶片的光合效率。许多研究认为,可以将叶绿素作为衡量叶片光合能力的一项重要指标。不同灌溉方式处理盛果期连续两个灌水周期内每天 10:00 叶片叶绿素相对含量的变化表明(图 4),两种灌溉方式下,随着甜椒的生长叶片叶绿素含量逐渐升高(数据采用多株多叶的平均值),且分根交替灌溉处理的叶绿素含量明显高于常规灌溉处理。7 月 20 日和 8 月 2 日两个处

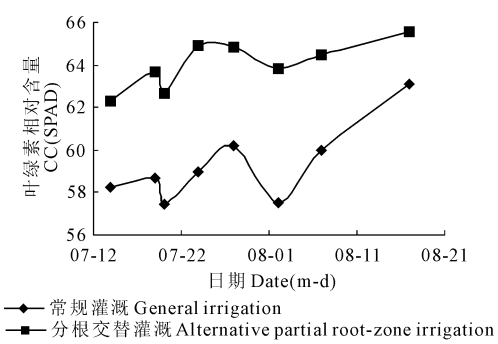

图 4 不同灌溉方式甜椒叶片叶绿素相对含量的变化

Fig.4 Variations of capsicum leaves CC under different irrigation styles

理都有两次叶绿素含量值的降低,这是因为前一天这两个处理都对土壤进行了灌水,同时也为复水后光合速率下降提供了一定的理论依据(见表 2)。一般认为叶绿素含量降低不是因为合成系统受阻,而是由于原有叶绿素受到破坏所致。

2.4 不同灌溉方式对根冠比和根系导水率的影响

甜椒根系不发达,根量少,入土浅,对水分要求严格,水分过高或过低对甜椒生长都会产生严重影响。表 3 给出了不同灌溉方式对甜椒根冠比(R/S)和根系导水率(root hydraulic conductivity)的影响。结果显示分根交替灌溉处理在灌水量减少的条件下其茎杆重、根重和根冠比都有所增加,表明分根交替灌水方式灌水量相对较小,但其地上和地下部分的生长均未受到抑制,相反,通过对根系的干湿交替锻炼对茎杆、根系生长有促进作用,且优化了根冠比。分根交替灌溉处理干重根冠比上升幅度小于鲜重根冠比,表明分根交替灌溉处理的根系含水率相对较低。由表 3 可以看出,常规灌溉处理的甜椒由于灌水量较大,其根系具有更强的导水能力,这充分说明经过干湿交替水分胁迫锻炼的根系,其根重大小已不足以表征根系水分传导能力的大小。

表 3 不同灌溉方式甜椒根冠比和根系导水率的变化

Table 3 Variations of capsicum R/S and root hydraulic conductivity under different irrigation methods

处理 Treatments	常规灌溉 GI	分根交替灌溉 APRI
灌水量 Irrigation water/m^3	0.68	0.54
茎杆鲜重 Stem fresh weight/g	211.44	275.37
茎杆干重 Stem dry weight/g	50.43	63.79
根鲜重 Root fresh weight/g	18.70	33.04
根干重 Root dry weight/g	6.43	9.35
鲜重根冠比 Fresh R/S	0.09	0.12
干重根冠比 Dry R/S	0.13	0.15
根系导水率 Root hydraulic conductivity /(10^{-5}kg·s^{-1}·MPa^{-1})	6.74	5.18

注:表中数字为 3 个重复处理 6 次测定的平均值。

Note: The figures are the average value of 3 repeated and 6 measured data.

2.5 不同灌溉方式对产量和水分利用效率的影响

本文所述水分利用效率即灌溉水利用效率(water use efficiency,WUE),它表示农田灌溉单位体积水量所能收获的农产品的数量[20]。不同灌溉方式产量、水分利用效率的比较表明(表 4),分根交替灌溉处理比常规灌溉处理节水 25.93%,WUE 提高了 3.19%。本试验中分根交替灌溉处理比常规灌溉处理 WUE 提高值较前人研究偏低[4,16,20],这与甜椒需水量较大和本试验制定的灌溉下限有很大关系。常规灌溉处理在产量上高于分根交替灌溉处理,但这是以消耗更多的水分为代价的,其水分生产效率却

低于分根交替灌溉处理;对于保护地生产而言,常规灌溉处理灌入农田的单位体积水量所形成的甜椒产量低于分根交替灌溉,且分根交替灌溉明显减小了甜椒整个生育期内的灌水量,这不仅达到了节水的目的,而且能够降低保护地室内空气湿度,有利于有效地控制作物病害的发生。

表 4　不同灌溉方式甜椒产量和水分利用效率比较

Table 4　Comparing of capsicum yield and WUE under different irrigation styles

处理 Treatments	常规灌溉 GI	分根交替灌溉 APRI	高出百分比*/% Percentage
灌水量/(m^3·667m^{-2}) Irrigation	13.60	10.80	25.93
产量/(kg·hm^{-2}) Yield	2745	2250	22.00
水分利用效率 WUE/(kg·m^{-3})	13.46	13.89	-3.19

注:表中数字为 3 个重复处理 6 次测定的平均值;* 表示后者比前者高出的百分比。

Note: The data in the table are the average value by 3 repeated and 6 measured datas;　* Refers to the high percentage compared between latter and former.

3　结论与讨论

由本试验可知,温室甜椒对不同灌溉方式和土壤水分的生理响应程度是不同的,在水分充足的情况下,分根交替灌溉处理光合日变化的两次峰值在时间上早于常规灌溉处理,影响两种灌溉方式光合速率的气孔限制和非气孔限制状况是呈动态变化的,且分根交替灌溉能够有效地调节气孔开度,减少无效蒸腾失水,提高水分利用效率。在水分胁迫和复水后叶鲜重含水量、水分饱和亏、细胞液浓度等对土壤水分的响应表明,不同灌溉处理都具有明显的补偿效应,但分根交替灌溉的补偿效应相对缓慢,这也是由于分根交替灌溉干燥侧(本次灌水侧)受到的干旱胁迫程度较大所致。复水后不同灌溉处理的光合速率值都下降,这完全是由于叶绿素含量的降低引起,还是由于作物对淹水环境的适应性引起抑或是存在着某种信号调节物质,还有待进一步研究。

在整个生育期中,分根交替灌溉处理的细胞液浓度、叶绿素相对含量一直高于常规灌溉处理,由于根系交替湿润和干燥,分根交替灌溉处理刺激了植株的生长,优化了根冠比,且很好地调节了气孔开度,提高了水分利用效率;常规灌溉处理由于较大的灌水量,使得根系导水率显著高于分根交替灌溉处理。利用叶绿素含量、叶片含水量等对土壤水分的生理响应来判断常规灌溉的土壤水分已经有大量的研究[8-9,21-22],但植物对土壤水分的生理响应是否受灌溉下限等因素影响?能否针对不同植物进行定量诊断以及不同灌溉方式下植物对土壤水分生理响应的差别,这些问题还有待进一步探索。

参 考 文 献:

[1] 诸葛玉平,张玉龙,李爱峰,等.保护地番茄栽培渗灌灌水指标的研究[J].农业工程学报,2002,18(2):53-57.

[2] 余宏军,刘　伟,蒋卫杰.灌水量对基质培番茄生长和产量的影响[J].中国蔬菜,2004,(1):32-33.

[3] 侯振安,刘日明,朱继正,等.不同灌水量对甜菜生长及糖分积累影响的研究[J].中国甜菜糖业,1999,(12):2-6.

[4] 董宝锑,刘孟雨,张正斌.不同灌水对冬小麦农艺性状与水分利用效率的影响[J].中国生态农业学报,2004,12(1):140-143.

[5] 高明霞,王国栋,胡田田,等.不同灌溉方式下垄土玉米根际硝态氮的分布[J].西北植物学报,2004,24(5):881-885.

[6] 孙景生,康绍忠,蔡焕杰,等.交替隔沟灌溉提高农田水分利用效率的节水机理[J].水利学报,2002,(3):64-68.

[7] 何双余,何松银,薛新红,等.水稻中后期不同灌溉方式对产量的影响[J].上海农业科技,2003,(2):29-30.

[8] 崔秀敏,王秀峰,许　衡.甜椒穴盘苗对不同程度水分胁迫-复水的生理生化响应[J].应用与环境生物学报,2006,12(1):5-8.

[9] 张寄阳,刘祖贵,段爱旺,等.棉花对水分胁迫及复水的生理生态响应[J].棉花学报,2006,18(6):398-399.

[10] 陈晓远,罗远培.不同生育期复水对受旱冬小麦的补偿效应研究[J].中国生态农业学报,2002,3(10):35-37.

[11] 徐世昌,戴俊英,沈秀瑛,等.水分胁迫对玉米光合性能及产量的影响[J].作物学报,1995,21(3):356-363.

[12] Boyer J S. Leaf enlargement and metabolic rates in corn, soybean and sunflower at various leaf water potentials[J]. Plant Physiology, 1970, 46:233-235.

[13] Ephrath J E. The effects of drought stress on leaf elongation, photosynthesis and transpiration rates in maize leaves[J]. Photosynthetica, 1991,25(4):607-619.

[14] Hsiao T C. Plant response to water stress[J]. Ann Rev Plant Physiology, 1973, 24:519-570.

[15] Wallach R. Effective irrigation uniformity as related to root zone depth[J]. Irrig Sci, 1990, 11:15-21.

[16] Zhang J, Jia W, Kang S. Partial rootzone irrigation: its physiological consequences and impact on water use efficiency[J]. Acta Botanica Boreali-occidentalia Sinca, 2001, 21:191-197.

[17] Kramer P J. Effects of wilting on the subsequent intake of water by plants[J]. Amer J Bot, 1950, 37:280-284.

[18] 中国农业科学院蔬菜研究所.蔬菜栽培学[M].北京:农业出版社,1987:657-665.

[19] 高俊凤.植物生理学试验技术[M].西安:世界图书出版社,2000:36.

[20] 杜太生,康绍忠,夏桂敏,等.滴灌条件下不同根区交替湿润对葡萄生长和水分利用的影响[J].农业工程学报,2005,21(11):43-48.

[21] 黄红霞,李萍萍,张迎春,等.从生理变化诊断作物缺水的方法[J].农机化研究,2004,(9):101-105.

[22] 陈金平,刘祖贵,段爱旺,等.土壤水分对甜椒叶片某些生理特性的影响[J].山地农业生物学报,2005,24(1):48-52.