

# 灌溉施肥技术对温室辣椒干物质积累及叶片光合特性的影响

韩广泉<sup>1,2</sup>, 刘慧英<sup>1</sup>, 徐巍<sup>1</sup>, 刁明<sup>1</sup>, 史为民<sup>1</sup>

(1. 石河子大学 农学院, 新疆 石河子 832003; 2. 山东华盛农业科学研究所, 山东 青州 262500)

**摘要:**以“洛椒 98A”辣椒为试材, 以沟灌冲施肥为对照, 研究比较了处理 I (滴灌+滴施冲施肥) 和处理 II (滴灌+滴施专用滴灌肥) 2 种灌溉施肥技术对温室辣椒干物质积累和叶片光合特性及叶绿素荧光参数的影响, 结果表明: 2 种滴灌施肥处理下的辣椒植株较沟灌施肥处理在盛花期和盛果期有较高的地上部干物质积累量, 在盛果期有较高的净光合效率(Pn)、胞间 CO<sub>2</sub> 浓度(Ci)、水分利用效率(WUE)和 PSII 的原初光能转换效率、光合电子传递活性及光化学量子效率; 2 种滴灌施肥技术相比, 以处理 II 的地上部干物质积累量、净光合效率、水分利用效率值显著高于处理 I。因此, 2 种滴灌施肥技术均可有效促进辣椒植株地上部干物质积累、提高辣椒叶片光合同化能力; 施用辣椒滴灌专用肥的辣椒干物质积累和叶片光合同化能力优于施用冲施肥。

**关键词:**灌溉施肥技术; 辣椒; 干物质积累; 光合特性; 叶绿素荧光参数

**中图分类号:**S 641.3 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2013)21-0048-05

随着设施园艺的大力发展, 设施蔬菜种植业已成为农业增效、农民增收的重要途径。蔬菜为需肥需水较多的作物, 为探索设施蔬菜可持续发展, 克服大水漫灌、盲目施肥引起的水资源利用率低、肥料养分严重流失、环境污染加剧和产品品质下降等问题, 生产上推广应用水肥一体化技术已成为必然, 因此探讨和研究科学的灌溉施肥技术对设施蔬菜产业的发展具有重要意义, 可以为生产上的科学、合理应用提供必要的依据。水肥一体化技术作为灌溉和施肥制度上的一项重要的技术革新, 近年来已在设施蔬菜种植过程中推广应用并体现出较好的效果<sup>[1-5]</sup>, 但目前在水肥一体化实际生产中存在滴灌专用肥品种少, 使用专用滴灌肥成本较高, 同时种植农户对滴灌肥认识还不够等诸多因素, 造成农户习惯性将市场上的一般商品冲施肥代替用作滴灌专用肥进行滴灌施肥, 这种习惯性作法是当前普遍的沟灌冲施肥方式下的肥料选择习惯, 不能按照蔬菜需肥特点及时供肥, 同时由于商品冲施肥可溶性较差, 进而损害并缩短滴灌设备使用寿命。近年来有关施肥种类对水肥一体化应

用效果的研究已有少量报道, 马建芳<sup>[6]</sup>研究认为保护地春茬和秋冬茬种植的番茄在滴灌施肥条件下, 采用商品冲施肥比滴灌专用肥的肥料投入成本要高、肥料纯养分投入量也大, 产量相比却较低; 田丽萍等<sup>[7]</sup>研究认为在覆膜滴灌条件下, 加工番茄滴灌专用液肥能显著增强加工番茄的生长, 增加有效分枝及单株果数, 提高果实中可溶性固形物含量和提高产量。韩广泉等<sup>[8]</sup>研究认为施用辣椒滴灌专用肥的辣椒株高、茎粗、根系活力、产量和果实可溶性蛋白质含量显著高于施用冲施肥。但目前有关施肥种类对温室作物光合生理特性影响的研究相对较少。因此, 现以“洛椒 98A”辣椒为试材, 研究了沟灌冲施肥(CK)、滴灌+滴施冲施肥(处理 I)和滴灌+滴施专用滴灌肥(处理 II) 3 种灌溉施肥技术对温室辣椒干物质积累、叶片光合作用及叶绿素荧光参数的影响, 旨在明确几种灌溉施肥技术的差异, 以期在水肥一体化技术在设施蔬菜生产上的科学、合理应用提供必要的参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

供试辣椒品种为“洛椒 98A”。供试基肥为有机肥、过磷酸钙、硫酸钾。供试追肥随水滴施冲施肥采用农户常规使用的尿素、磷酸二铵和复合肥、硫酸钾。随水滴施辣椒滴灌专用肥为 13 : 20 : 15 (N : P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> : K<sub>2</sub>O) 和 14 : 8 : 25 (N : P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> : K<sub>2</sub>O) 2 种。Li-6400 便携式光合作用测定系统(美国 LI-COR 公司); 脉冲调制荧光仪

**第一作者简介:**韩广泉(1983-), 男, 硕士, 研究方向为设施园艺。E-mail: wanggy006@yahoo. com. cn.

**责任作者:**刁明(1968-), 男, 博士, 副教授, 研究方向为农业信息化与设施园艺。E-mail: diaoming001@yahoo. com. cn.

**基金项目:**国家科技支撑计划子专题资助项目(2009BADA4B04-04-01-03); 国家星火计划重点资助项目(2012GA8910033)。

**收稿日期:**2013-07-24

Dual-PAM-10(德国 WALZ 公司)。

## 1.2 试验方法

试验在石河子大学农学院试验站日光温室内进行。定植前随机采集耕作层 0~25 cm 和 25~50 cm 土壤混样进行分析化验,土壤相关理化指标见表 1。

1.2.1 试验设计 试验采用早春茬栽培。辣椒植株于 2 月 21 日定植于温室。共设 2 个不同滴灌施肥处理,以沟灌冲施肥为对照(CK);处理 I:滴灌+滴施冲施肥;处理 II:滴灌+滴施滴灌专用肥。各灌溉方式之间用塑料膜埋入地下 80 cm 处隔开,其余管理方式相同。

1.2.2 施肥方式 基施肥:3 个处理的基肥施用量相

同,均是在移栽前整地时试验区按每 1 hm<sup>2</sup> 施优质农家肥 60 000 kg、三元复合肥 300 kg、过磷酸钙 525 kg,折合纯 N 为 473.1 kg/hm<sup>2</sup>、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 345.9 kg/hm<sup>2</sup>、K<sub>2</sub>O 323.7 kg/hm<sup>2</sup>。追施肥:分次冲施和滴施滴灌专用肥与商品冲施肥。除定植水外,均于门椒坐住后开始浇第 1 水并进行第 1 次追肥,以后每隔 1 次灌水追肥 1 次;沟灌冲施的追肥方式是将肥料均匀放在沟灌水上水口后灌水,肥料随水冲入。滴灌施肥是先将肥料溶解在桶中,再将肥料溶液通过压差式施肥罐随水注入到灌溉系统中,滴施在根际处。试验各处理的灌水施肥方案见表 2。

表 1 试验地土壤养分状况

Table 1 Soil nutrient status of test plots

土壤深度 Soil depth/cm	有机质含量 Organic matter content /g · kg <sup>-1</sup>	碱解氮含量 Alkali-hydrolyzale nitrogen content /mg · kg <sup>-1</sup>	速效磷含量 Available phosphorus content /mg · kg <sup>-1</sup>	速效钾含量 Available kalium content /mg · kg <sup>-1</sup>	EC /mS · cm <sup>-1</sup>	pH
0~25	14.31	94.73	80.33	131.47	0.47	6.43
25~50	10.29	76.42	60.46	116.2	0.39	6.61

表 2 灌水施肥方案

Table 2 Irrigation and fertilization scheme

处理 Treatment	次数 Frequency	灌水 Irrigation			基肥纯量 Basal fertilizer amount /kg			追肥纯量 Topdressing amount/kg		
		次数	灌水量 Irrigation amount/m <sup>3</sup>		N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
CK	10		5 850		473.1	354.9	323.7	267.0	86.7	221.7
I	14		3 675		473.1	354.9	323.7	267.0	86.7	221.7
II	14		3 675		473.1	354.9	323.7	106.2	98.4	165.0

## 1.3 项目测定

1.3.1 生长指标测定 分别于初花期、盛花期和盛果期在每个小区随机采集 3 株植株,将根与地上部分分开,用自来水冲洗干净,称鲜重后,105℃杀青 30 min,70℃烘干,称干重。

1.3.2 光合作用相关指标测定 3 个不同处理于盛果期,用 Li-6400 便携式光合作用测定系统对辣椒植株自上向下第 3 片功能叶进行测定。测定时间为白天 13:00。测定气孔导度(Gs)、蒸腾速率(Tr)、净光合速率(Pn)、胞间 CO<sub>2</sub> 浓度(Ci)等,每个处理选择 3 株幼苗。水分利用效率 WUE=Pn/Tr、气孔限制值 Ls=1-Ci/Ca。Ca 表示外界大气 CO<sub>2</sub> 浓度。

1.3.3 叶绿素荧光参数测定 3 个不同处理于盛果期,于 13:00 测定植株自上向下第 3 片功能叶,采用脉冲调制荧光仪 Dual-PAM-100 测定叶绿素荧光动力学参数。测定前暗适应 20 min,测定时打开检测光 PAR 约为 0.2 μmol · m<sup>-2</sup> · s<sup>-1</sup> 测定初始荧光(F<sub>0</sub>),然后照射饱和脉冲光 PAR 约为(12 000 μmol · m<sup>-2</sup> · s<sup>-1</sup>,2.5 s,1 个脉冲),测定最大荧光(F<sub>m</sub>)以及最大光化学效率(F<sub>v</sub>/F<sub>m</sub>),ΦPSII。在光下不经过暗适应测得 F<sub>0</sub>'和 F<sub>m</sub>',计算非光化学猝灭系数(qN)和光化学猝灭系数(qP)。所有指标均重复测定 3 次,结果以平均值±标准误差表示。

## 1.4 数据分析

采用 Microsoft Excel 和 SPSS 17.0 进行数据处理和分析,并对平均数的差异显著性进行 Duncan 多重比较。

## 2 结果与分析

### 2.1 滴灌施肥技术对温室辣椒地下部和地上部干物质积累的影响

干物质是植物对光合碳同化和土壤吸收养分的积累,其差异体现了光合碳同化能力的大小。从图 1 可以看出,自定植后至初花期,处理 I 和处理 II 与 CK 对番茄植株地上部和地下部的干物质积累无显著影响。在盛花期和盛果期,处理 I 和处理 II 显著提高了番茄植株地上部的干物质积累,降低了地下部的干物质积累。表现为处理 II 的地上部干样质量在盛花期和盛果期均显著高于 CK (P<0.05),分别比对照水平提高了 31.91%和 20.52%;处理 I 的地上部干样质量在盛花期和盛果期亦均显著高于对照,分别较对照提高了 15.99%和 12.72%;处理 II 的地下部干样质量在盛花期和盛果期分别比对照水平降低了 25.00%和 17.36%,而处理 II 的地下部干样质量在盛花期和盛果期分别比对照水平降低了 23.44%和 29.17%;2 种滴灌施肥技术相比,处理 II 对番茄植株地上部和地下部的干物质积累的促进效果优于处理 I,地上部干

样质量在盛花期和盛果期分别较处理I提高 13.73%和 6.91%;地下干样质量在盛花期与处理I无显著差异,但在盛果期较处理I提高了 16.67%。由此可见,处理I和处理II的地上部干物质质量均显著高于 CK,滴灌肥方式可以提高番茄地上部分干物质的分配,而降低了地下部分

干物质质量,这是由于滴灌施肥方式下的水肥分布主要集中在土壤表层且水分供应均匀缓慢,同时水肥供给状况与辣椒植株需求符合程度高,从而导致根系主要集中于土壤表层且根系生物量小,地上生物量大。

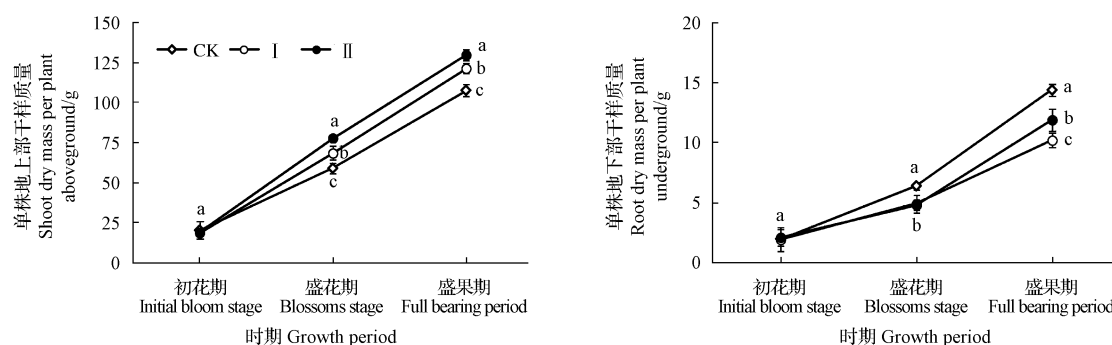


图1 滴灌施肥技术对辣椒植株地下部干样质量和地上部干样质量的影响

Fig. 1 Effects of integrative water and fertilizer planting technology on root dry mass underground and shoot dry mass aboveground of pepper in greenhouse

## 2.2 滴灌施肥技术对温室辣椒叶片气体交换参数的影响

光合作用为作物生长提供物质和能量,是作物生长发育的基础和生产力高低的决定性因素,同时又是一个对生态因子敏感的复杂生理过程。由图2可以看出,在

盛果期3种不同灌溉施肥技术对温室辣椒叶片的光合特性具有显著影响。以处理II的植株叶片  $P_n$  值最高且显著高于其它2个处理,CK植株叶片  $P_n$  最低且显著低于处理I、II;处理I、II植株叶片  $Tr$  值和气孔限制值  $L_s$  均显著低于CK、 $C_i$  值显著高于CK;而处理I、II间辣椒叶片

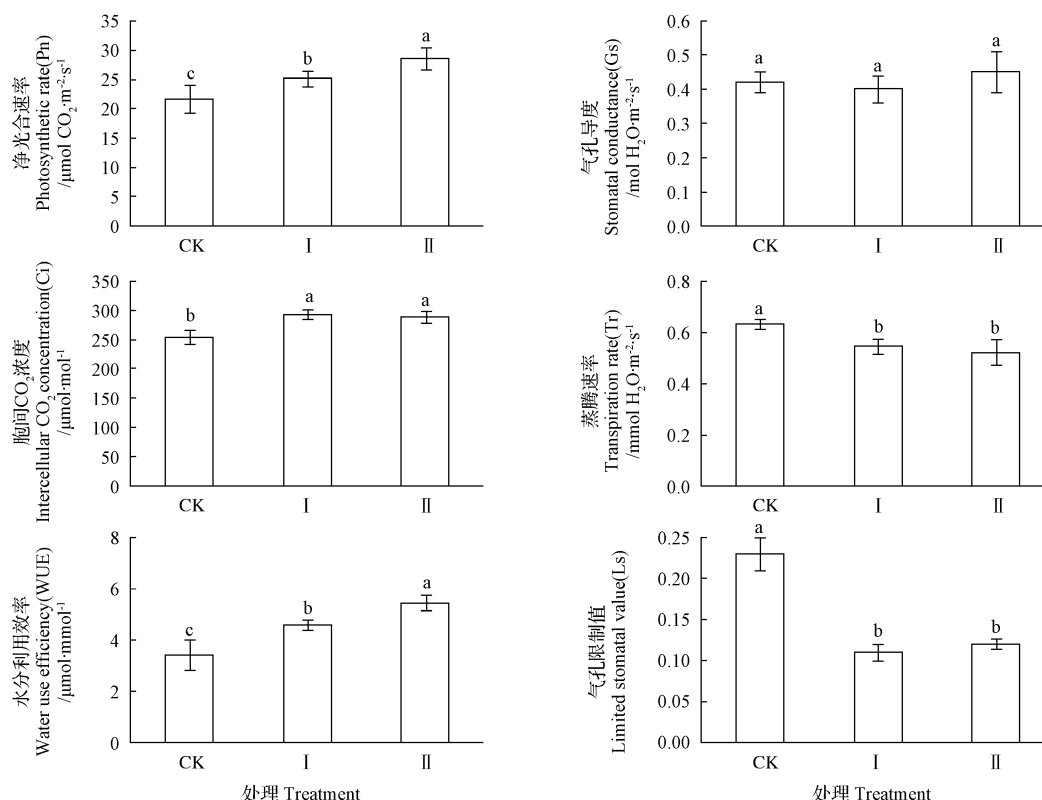


图2 滴灌施肥技术对温室辣椒叶片光合参数的影响

Fig. 2 Effects of integrative water and fertilizer planting technology on photosynthetic characteristics in leaves of pepper in greenhouse

的  $C_i$ 、 $T_r$  和  $L_s$  值无显著差异;方差分析表明 3 个处理间的植株叶片  $G_s$  值不存在显著差异。水分利用效率(WUE)是指作物消耗单位水量所产生的光合同化产物的量,是节水农业研究的一项重要指标。从图 2 可以看出,在盛果期,处理 I、II 的植株叶片 WUE 值显著高于对照沟灌冲施处理,处理 I、II 分别较对照高 34.60% 和 59.82%。说明沟灌冲施肥处理下光合效率低而且叶面蒸腾的强度大,而处理 I、II 可有效降低叶片的蒸腾强度、增加胞间  $CO_2$  浓度和提高光合效率。2 种滴灌施肥处理中处理 II 的  $P_n$  显著高于处理 I,而叶片  $C_i$ 、 $G_s$  和  $T_r$  等光合参数无差异说明造成处理 II 光合速率优于处理 I 的原因是与处理 II 的水肥供给满足辣椒植株需求的符合度高有关。

### 2.3 滴灌施肥技术对温室辣椒叶片叶绿素荧光参数的影响

$F_v/F_m$  为 PSII 最大光化学量子产量,它表示光反应中心 PSII 原初光能转化效率。 $\Phi PSII$  则反映 PSII 光化学

量子效率。由图 3 可知,处理 I、II 的 PSII 最大光化学效率( $F_v/F_m$ )和 PSII 光化学量子效率( $\Phi PSII$ )均显著高于 CK,且处理间无显著差异; $qP$  是 PSII 光化学猝灭系数,反映的是被 PSII 天线色素吸收并用以光合作用的能量部分, $qP$  越大即 PSII 的电子传递活性愈大。 $qN$  指由非光辐射能量耗散等引起的荧光猝灭,与光合电子传递和光合气体交换无直接关系。它反映的是 PSII 天线色素吸收的光能不能用于光合电子传递而以热的形式耗散掉的光能部分。图 3 显示,处理 I、II 的  $qP$  值显著高于 CK, $qN$  值显著低于 CK,而处理 I、II 间辣椒叶片的  $qP$  值无显著差异,但处理 II 辣椒叶片的  $qN$  值则显著低于处理 I 的。说明 2 种滴灌施肥处理下的辣椒叶片较沟灌施肥处理有较高的 PSII 的原初光能转换效率、光合电子传递活性和光化学量子效率。而 CK 处理需通过耗散多余能量以减少光合机构免于受到伤害,这可能是辣椒植株对较多水分产生的适应性反应。

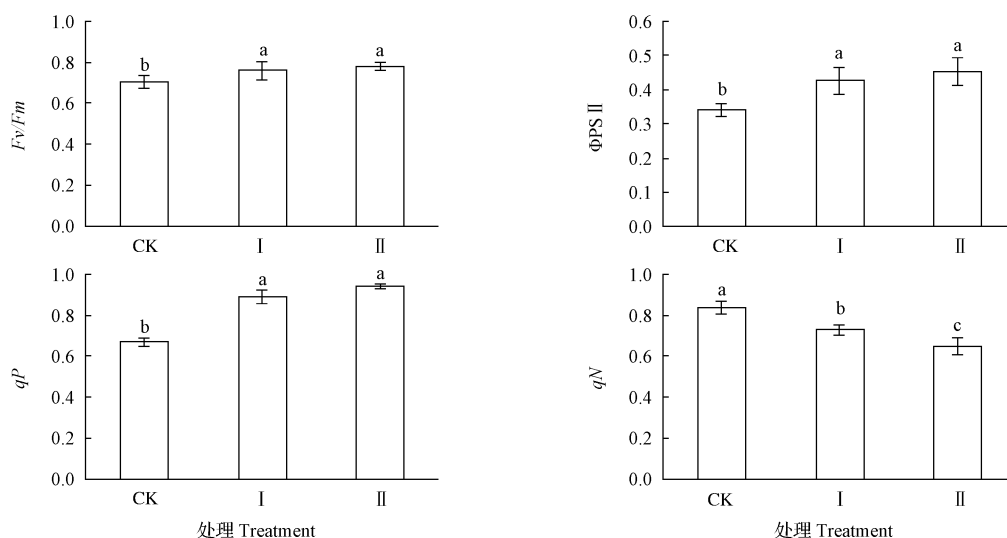


图 3 滴灌施肥技术对温室辣椒叶片叶绿素荧光参数的影响

Fig. 3 Effects of integrative water and fertilizer planting technology on chlorophyll fluorescence parameters in leaves of pepper in greenhouse

### 3 结论与讨论

水肥是作物生长的主要限制因子<sup>[9-10]</sup>。在作物生产中传统的灌溉施肥对水肥资源利用不合理,不仅浪费水肥资源,而且严重威胁环境,因此,对水肥施用技术的研究日益受到重视。近年来大力推广的水肥一体化滴灌施肥技术,是灌溉技术与施肥技术有机结合的农业新技术,从根本上改变了土壤施肥的传统,将肥料与灌水融为一体,直接滴在作物根际周围,具有水肥同步、集中供给的特点。能在灌水量、施肥量及其灌溉、施肥时间控制等方面都达到很高的精度,可显著提高作物的产量和水肥利用效率,降低养分的损失,达到高产、优质、高效

的目的<sup>[1-5]</sup>。

在该试验中,CK 和处理 I 的基肥与追肥的施肥量及施肥种类是完全相同的,处理 I 的灌水量是 CK 的 62.8%,试验结果还显示处理 I 的地上部干样质量在盛花期和盛果期分别较对照提高了 28.61% 和 9.81%、地下部干样质量在盛花期和盛果期分别比对照水平降低了 23.44% 和 29.17%,同时在盛果期处理 I 的  $P_n$ 、 $C_i$ 、WUE 和  $F_v/F_m$ 、 $qP$  值显著高于 CK, $qN$ 、 $T_r$  和  $L_s$  值显著低于 CK。说明在同样的施肥水平下,传统的大水漫灌、施肥引起水分下渗和养分的移动流失严重、水肥利用率低,植株地上部生长势减弱。而改变灌水施肥方式能有效



提高水肥利用率,促进植株生长和叶片同化能力显著增强。因此生产中改变传统的灌溉施肥方式,采用水肥一体滴灌施肥技术是提高水肥利用效率、实现高产优质的有效途径。

滴灌专用肥是针对作物的营养特点研制的适合滴灌的复混肥料,具有平衡供应养分的特点,不但使产品品质保持稳定,还可提高产量,对作物的生产和科学施肥具有重要意义。该试验中,处理I、II 2种滴灌施肥技术的灌水量和基肥施用量是相同的,而处理II的 N、 $P_2O_5$ 、 $K_2O$  的折纯追肥量分别仅是处理I的 39.8%、113%和 74.42%;试验结果表明,2种滴灌施肥技术中施用滴灌专用肥的处理II的地上部、地下部干物积累量、净光合效率  $P_n$ 、水分利用效率 WUE 显著高于处理I,处理I、II间辣椒叶片的  $C_i$ 、 $T_r$  和  $L_s$  值无显著差异,因此施用辣椒滴灌专用肥(处理II)的辣椒植株干物质积累及叶片光合能力优于施用冲施肥(处理I)。以上研究结果进一步说明滴灌结合科学的肥料配比并减少肥料用量的滴灌施肥技术,能创造适宜的植物营养条件和土壤供水条件,植物依靠地上部良好的生长和地下部根系的吸收是高产、优质、节水、节肥的机制之一。

综合以上分析结果可以认为,滴灌施肥(滴灌+滴施滴灌专用肥)一体化处理可以精确控制水肥的供给,滴灌施肥一体化处理的水肥供给状况与需求符合程度

高,根系主要集中在表层,根系活力高,促进水和营养的吸收,从而促进了植株地上部分的生长和地上生物量增加,同时良好的水肥条件使滴灌施肥一体化处理的净光合速率和水分利用效率维持在较高的水平,促进了营养元素的转化和干物质积累,最终可导致产量提高。

### 参考文献

- [1] 温变英.水肥一体化技术在温室蔬菜中的应用[J].现代园艺,2010(1):24-25.
- [2] 方剑,王春青,徐建东,等.水肥一体化技术对冬暖大棚黄瓜生产的影响[J].河北农业科学,2010,14(5):43-45,47.
- [3] 于舜章.山东省设施黄瓜水肥一体化滴灌技术应用研究[J].水资源与水工程学报,2009(6):173-176.
- [4] 隋方功,王运华,长友诚.滴灌施肥技术对大棚甜椒产量与土壤硝酸盐的影响[J].华中农业大学学报,2001,20(4):358-362.
- [5] 李娟萍.山旱地日光节能温室辣椒滴灌施肥技术[J].青海大学学报(自然科学版),2008,26(6):28-30,39.
- [6] 马建芳.滴灌条件下商品肥与配方肥应用效果研究[J].天津农林科技,2008(2):5-7.
- [7] 田丽萍,晋绿生,孔祥耀,等.覆膜滴灌条件下加工番茄专用肥肥效的研究[J].石河子大学学报(自然科学版),2006,24(6):678-681.
- [8] 韩广泉,冯雪程,郑群,等.灌溉施肥技术对温室辣椒生长、产量和品质的影响[J].中国农学通报,2013,29(7):88-92.
- [9] 彭世琪.微灌施肥实用技术[M].北京:中国农业出版社,2006:1-115.
- [10] 李晓林,张福锁,米国华.平衡施肥与可持续优质蔬菜生产[M].北京:中国农业大学出版社,2000:318-322.

## Effect of Fertigation Technology on Dry Matter Accumulation and Photosynthetic Characteristics of Pepper in Greenhouse

HAN Guang-quan<sup>1,2</sup>, LIU Hui-ying<sup>1</sup>, XU Wei<sup>1</sup>, DIAO Ming<sup>1</sup>, SHI Wei-min<sup>1</sup>

(1. Department of Horticulture, Shihezi University, Shihezi, Xinjiang 832003; 2. Shandong Huasheng Academy of Agricultural Sciences, Qingzhou, Shandong 262500)

**Abstract:** Taking 'Luojiao98A' pepper as test material, with furrow irrigation and water flush fertilizer as control, the effects of two kinds of fertigation technology including (treatment I) drip irrigation + drip water flush fertilizer and (treatment II) drip irrigation + drip-irrigation specific fertilizer on dry matter accumulation, photosynthetic characteristics and chlorophyll fluorescence parameters of pepper in greenhouse were studied. The results showed that the shoot dry matter accumulation, leaf net photosynthetic efficiency ( $P_n$ ), intercellular  $CO_2$  concentration ( $C_i$ ), water use efficiency (WUE) and chlorophyll fluorescence parameters  $F_v/F_m$ ,  $\Phi PSII$  and  $qP$ ,  $qN$  in leaves of pepper under treatment I and treatment II were significantly higher than those of CK. Between treatment I and treatment II, the shoot dry matter accumulation, net photosynthetic efficiency, water use efficiency and  $qN$  in leaf of pepper under treatment II were significantly higher than those of treatment I. These results indicated that two integrative drip irrigation and fertilizer planting technology could promote plant dry matter accumulation and increase photosynthetic carbon assimilation capability in leaves of pepper and the effects of drip-irrigation specific fertilizer on dry matter accumulation and photosynthetic carbon assimilation capability of pepper in greenhouse were better than that of drip water flush fertilizer.

**Key words:** integrative water and fertilizer planting technology; pepper; dry matter accumulation; photosynthetic characteristic; chlorophyll fluorescence parameter