

# 不同二氧化碳浓度与栽培方式对番茄生长的影响

李 宁<sup>1,2</sup>, 王 龙 昌<sup>2</sup>, 郭 文 忠<sup>1</sup>, 毛 金 柱<sup>1,3</sup>, 张 敏<sup>1,4</sup>, 薛 绪 掌<sup>1</sup>

(1. 国家农业智能装备工程技术研究中心, 北京 100097; 2. 西南大学 农学与生物科技学院, 重庆 400715;

3. 中国农业大学 农学与生物技术学院, 北京 100193; 4. 西北农林科技大学 理学院, 陕西 西安 712100)

**摘 要:**以“莎丽”番茄为试材,通过温室内增施 CO<sub>2</sub>,比较了负水头营养液灌溉、基质栽培和土培 3 种栽培方式对番茄生长发育、产量及对营养液利用效率的影响。结果表明:较高浓度 CO<sub>2</sub> 可以增加番茄的株高、茎粗和叶片数,提高叶片的相对叶绿素含量,促使开花期和成熟期提前,增加干物质积累,提高营养液利用效率并使果实增产,降低根冠比;在栽培方式上,土培番茄生长发育前期势头良好,随后基质栽培和负水头供营养液栽培要好于土培,后二者之间的差异很小。

**关键词:**番茄;CO<sub>2</sub> 浓度;负水头灌溉;基质栽培;土培;产量;营养液

**中图分类号:**S 641.2 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2014)01-0006-06

番茄是世界范围内广泛种植的主要蔬菜之一<sup>[1]</sup>,在中国的栽培历史虽不到百年,但发展的速度很快<sup>[2]</sup>。随着番茄在中国种植面积的不断上升,提高番茄产量,增加农民收入显得尤为重要。CO<sub>2</sub> 是植物光合作用的原料,大气中 CO<sub>2</sub> 浓度增加必然会对植物的光合作用<sup>[3-4]</sup>、全球气候和农业生态环境产生巨大影响<sup>[5]</sup>。近几十年来,在设施园艺栽培中,提高 CO<sub>2</sub> 浓度已被广泛用作促进园艺作物生长和提高产量的一项有效措施<sup>[6-9]</sup>。增施 CO<sub>2</sub> 不仅可以增加番茄的生物量<sup>[10-11]</sup>、提高番茄的产量<sup>[12-13]</sup>,而且可以改善番茄的品质<sup>[14-15]</sup>以及减轻病虫害的发生<sup>[16-17]</sup>。在温室大棚内施用的 CO<sub>2</sub> 大约有 40% 可被番茄吸收利用<sup>[18]</sup>。相对于土培来讲,基质栽培是无土栽培的主要形式<sup>[19-20]</sup>。无土基质栽培是用基质代替土壤,用营养液的施入代替传统的“基肥-追肥-灌水”的养分水分供应方式的新型栽培方式。负水头供水控水技术是将供水器埋入土壤中,利用植株水分生理特征和土壤张力特性,实现植株对水分“连续自动获取”,使土壤水分“持续恒定”的控制在某一水平。关于 CO<sub>2</sub> 浓度、负水头供水控水<sup>[21]</sup>、基质栽培和土培对番茄生长发育影响的已有许多报道,但是营养液应用于蔬菜的研究尚鲜见报道。

该试验通过每隔 3 d 对负水头供营养液盆栽番茄

所消耗水(营养液)量的计算,观察全生育期内番茄耗水动态变化,同时根据所消耗量对传统基质栽培和土培番茄进行灌溉,进而比较负水头灌溉、基质栽培和土培 3 种栽培方式对番茄生产的影响,并且通过 CO<sub>2</sub> 的增施来探讨不同 CO<sub>2</sub> 浓度下 3 种栽培方式对番茄生长发育、产量及营养液利用效率的影响。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

供试番茄品种为“莎丽”。试验盆钵为高 22 cm、内径 30 cm 的塑料花盆。基质配方为草炭:硅藻土:蛭石体积比为 2:2:1,每盆装基质 6 kg。基质基本理化性质:容重 0.219 g/cm<sup>3</sup>、总孔隙度 80.5%、pH 6.98、电导率 0.98 mS/cm、有机质质量分数 22.54%、全氮质量分数 0.958%、全磷含量 4.32 mg/kg、全钾含量 330 mg/kg。试验用土为院内试验田表层褐土,过孔径 50 目筛,每盆 12 kg(体积与基质基本一致)。试验营养液配方为基于华南番茄营养液配方优化后的营养液配方,其中 Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>·2H<sub>2</sub>O 590 mg/L、KNO<sub>3</sub> 404 mg/L、KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> 340 mg/L、MgSO<sub>4</sub>·7 H<sub>2</sub>O 246 mg/L。

### 1.2 试验方法

试验于 2012 年 2 月 27 日至 2012 年 6 月 13 日在北京市农林科学院日光温室内进行,采用负水头供营养液盆栽、基质栽培和土培 3 种栽培方法。CO<sub>2</sub> 补充主要通过 CO<sub>2</sub> 钢瓶(CO<sub>2</sub> 体积分数为 99.9%)、CO<sub>2</sub> 传感器和电磁阀进行调控。试验在 2 个相同的日光温室内进行,并针对 3 种栽培方法,设置 6 个处理,随机排列。处理 F1、J1、T1 分别表示早上 08:00~11:00 CO<sub>2</sub> 浓度为 1 964~2 357 mg/m<sup>3</sup> 的负水头供营养液栽培、基质栽培和土培;F2、J2、T2 分别表示早上 08:00~11:00 CO<sub>2</sub> 浓度为

**第一作者简介:**李宁(1986-),男,山西晋城人,硕士研究生,研究方向为设施农业。E-mail:lining136@126.com.

**责任作者:**薛绪掌(1967-),男,陕西韩城人,研究员,现主要从事节水灌溉等研究工作。E-mail:xuexz@nrcita.org.cn.

**基金项目:**国家“863”计划资助项目(2012AA101903-1);国家科技支撑计划资助项目(2012BAF07B02)。

**收稿日期:**2013-07-26

982~1 375 mg/m<sup>3</sup> 的负水头供营养液栽培、基质栽培和土培。为了保证 CO<sub>2</sub> 吸收的效率和 2 个温室环境的一致,风机、雨帘等用塑料膜封住;为了最大限度的减小基质和土壤表面水分的蒸发,每个盆都用塑料薄膜覆盖。

2 月 27 日选取长势一致的植株,每盆定植 1 株,定植时每盆浇 1 L 的水。定植后开始供营养液,同时进行 CO<sub>2</sub> 试验处理,消耗营养液的量由 6 个负水头供营养液盆栽番茄(供水吸力为 5 kPa)水位管的液面变化来确定。每隔 3 d 计算负水头供营养液盆栽消耗的营养液,并给基质栽培和土培番茄进行表面浇灌。番茄定期进行整枝打杈,5 月 2 日打顶,番茄采收期为 5 月 18 日至 6 月 13 日,6 月 13 日拉秧。为方便试验的管理和数据的分析,将处理 F1、J1、T1 的番茄生育期分为苗期(2 月 27 日至 4 月 9 日)、开花结果期(4 月 10 日至 5 月 20 日)、盛果期(5 月 21 日至 6 月 13 日);将处理 F2、J2、T2 的番茄生育期分为苗期(2 月 27 日至 4 月 11 日)、开花结果期(4 月 12 日至 5 月 20 日)、盛果期(5 月 21 日至 6 月 13 日)。

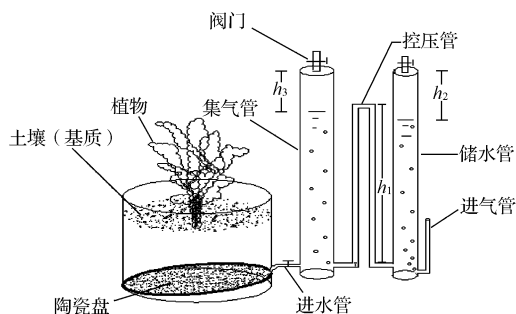


图 1 负水头灌溉控水盆栽装置

注:  $h_2$  为储水管水面下降的高度值;  $h_3$  为集气管内水面下降的高度值(单位: m)。

Fig. 1 Sketch map of negative pressure irrigation in pot device

Note:  $h_2$  is the height of water drop value of standpipe;  $h_3$  is the height of water drop of gas collecting tube(unit: m).

负水头供水控水盆栽装置原理及功能见图 1。集气管内压强由于陶瓷盘内灌溉水缓慢渗入土壤而减小,储水管内水在大气压的作用下通过控压管进入集气管,储水管通过进气管与外界气压回归一致。如此不断循环,灌溉水在负压控制下连续输送到盆栽装置的土壤层供作物吸收利用。此时控压管提供给集气管出水的压强为  $\rho gh_1$ , 其中  $h_1$  为控压管高度,将其定义为供水吸力;  $\rho$  为灌溉水的密度;  $g$  为重力常数。通过调节控压管的高度即可调节盆栽系统所需要的不同土壤含水量值。全天储水管水面下降的高度值  $h_2$  与集气管内水面下降的高度值  $h_3$  为盆栽植物全天的蒸散量。当供水平衡时,集气管内因水中溶解气体逸出而导致水面下降的高度极小,故  $h_3$  可以忽略不计。根据储水管内径值和储水

管水面下降的高度值  $h_2$ , 即可以算出盆栽植物日蒸散值<sup>[22-23]</sup>。

### 1.3 项目测定

1.3.1 形态指标 从番茄定植后定期记录,打顶后停止记录。番茄株高用卷尺测定从地面到生长点的高度;茎粗用游标卡尺测定。

1.3.2 相对叶绿素含量 相对叶绿素含量采用 SPAD-502 叶绿素仪测定(Soil and Plant Analyzer Development)(产地中国,精度  $\pm 1.0$ , SPAD 测量范围 0.0~99.9 SPAD),选取番茄的植株的倒 6 叶,直接测定叶片的相对叶绿素含量,每个叶片测 5 次,5 次的平均值为该叶片的相对叶绿素含量。

1.3.3 果实产量及各部分生物量 番茄产量采用累积称质量法测定;各部分生物量采用烘干称质量测定;番茄根系以水洗法获取,烘干后称取干质量。

1.3.4 植株消耗营养液量及营养液利用效率 每隔 3 d 从负水头盆栽装置储水管的标尺上直接读取水位高度,根据储水管内径换算蒸散量,累积法计算番茄苗期、开花结果期、盛果期及全生育期内营养液消耗量。营养液利用效率=果实产量/全生育期内营养液消耗总量。

### 1.4 数据分析

采用 Stateview(SAS 2002)软件进行方差分析,其它分析利用 Excel 软件。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同 CO<sub>2</sub> 浓度对负水头供营养液栽培条件下番茄营养液消耗动态的影响

由图 2 可以看出,上午 08:00~11:00 不同 CO<sub>2</sub> 浓度下负水头供营养液栽培番茄营养液消耗动态变化的趋势相同,F2 处理番茄苗期消耗营养液均较少,进入开花结果期和盛果期后营养液消耗较多。全生育期内,F1 处理的番茄营养液消耗总量要比 F2 的番茄营养液消耗总量多,平均多 3.27 kg/盆,说明在上午 08:00~11:00

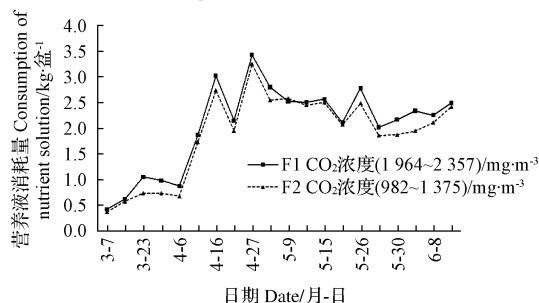


图 2 不同 CO<sub>2</sub> 浓度对负水头供营养液栽培条件下番茄营养液消耗动态

注: CO<sub>2</sub> 质量浓度测定时间为上午 08:00~11:00。

Fig. 2 Daily nutrient solution use trends of tomato under CO<sub>2</sub> concentration of negative pressure irrigation device

Note: The CO<sub>2</sub> concentration was determined at 8:00~11:00 AM.

内提高  $\text{CO}_2$  浓度,番茄植株的光合速率相对较快,累积植株合成光合产物所需水分和营养元素相对较多。

## 2.2 不同 $\text{CO}_2$ 浓度对不同栽培方式下番茄株高、茎粗和叶片数的影响

株高、茎粗和叶片数是反映植株长势的重要指标。由图 3 可以看出,各处理番茄的生长趋势基本一致,株高、茎粗、叶片数都随着生育进程而增加。但是处理 F1、J1、T1 番茄的生长速率大于处理 F2、J2、T2 的,其中在苗期表现的尤为明显。在不同的  $\text{CO}_2$  浓度下,在番茄开花坐果之前,土培番茄的长势要稍好于负水头供营养液栽培和基质栽培,随后负水头营养液灌溉和基质栽培的生

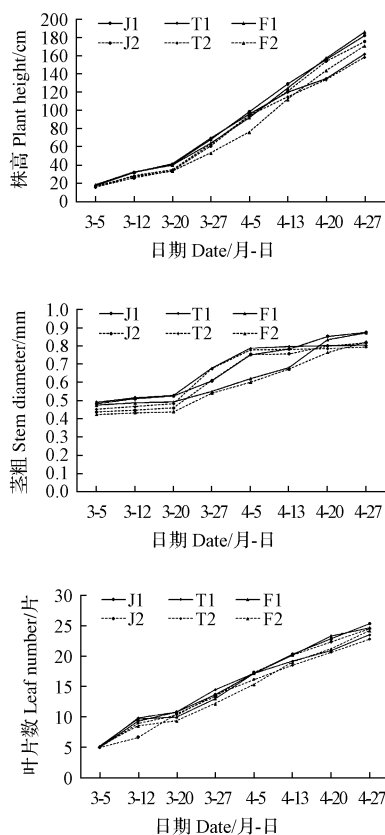


图 3 不同  $\text{CO}_2$  浓度对不同栽培方式下番茄株高、茎粗和叶片数的影响

注: F1、T1、J1 处理: 苗期(2月27日至4月9日)、开花结果期(4月10日至5月20日)、盛果期(5月21日至6月13日); F2、T2、J2 处理: 苗期(2月27日至4月11日)、开花结果期(4月12日至5月20日)、盛果期(5月21日至6月13日); 下同。

Fig. 3 Effects of  $\text{CO}_2$  concentration on height, stem diameter and leaves number of tomato under different cultivation methods

Note: Treatment of F1, T1, J1: seedling stage (from 27<sup>th</sup> February to 9<sup>th</sup> April), blooming and fruit-setting stage (from 10<sup>th</sup> April to 20<sup>th</sup> May), full bearing stage (from 21<sup>st</sup> May to 13<sup>th</sup> June); Treatment of F2, T2, J2: seedling stage (from 27<sup>th</sup> February to 11<sup>th</sup> April), blooming and fruit-setting stage (from 12<sup>th</sup> April to 20<sup>th</sup> May), full bearing stage (from 21<sup>st</sup> May to 13<sup>th</sup> June); the same below.

长势头要好于土培,但二者番茄的生长状况相当。较高  $\text{CO}_2$  浓度下,在番茄全生育期内,基质栽培、土培和负水头供营养液栽培番茄的株高分别平均增加了 3.62%、2.21%和 8.89%,茎粗分别平均增加了 7.08%、1.20%和 5.96%,叶片数分别平均增加了 3.40%、3.07%和 2.07%。

## 2.3 不同 $\text{CO}_2$ 浓度对不同栽培方式下番茄叶片相对叶绿素含量的影响

叶绿素是与光合作用有关的一种重要色素,是植物重要的生理指标之一。研究表明植物叶片叶绿素含量与其 SPAD 值(叶色值)呈线性相关,可以用来表示叶绿素相对含量。该试验测定了 3 月 30 日、4 月 15 日、5 月 10 日的番茄倒 6 叶的相对叶绿素含量。从图 4 可以看出,在试验处理前期,各处理番茄叶片的相对叶绿素含量随着时间的增长而增加,但随着时间的推进,在番茄生长后期,各处理番茄倒 6 叶的相对叶绿素含量减少。在较高的  $\text{CO}_2$  浓度下,番茄植株叶片的相对叶绿素含量相对较高。在不同的  $\text{CO}_2$  浓度下,土培番茄叶片的相对叶绿素含量之间存在显著性差异( $P < 0.05$ )。

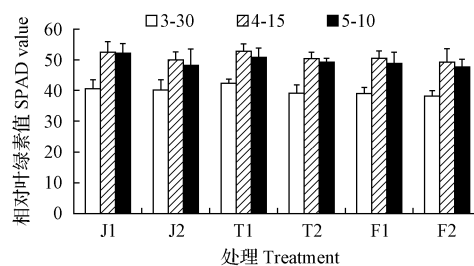


图 4 不同  $\text{CO}_2$  浓度对不同栽培方式下番茄叶片相对叶绿素含量的影响

Fig. 4 Effects of different  $\text{CO}_2$  concentration on SPAD in tomato leaf under different cultivation methods

## 2.4 不同 $\text{CO}_2$ 浓度对不同栽培方式下番茄开花期和成熟期的影响

通过试验观察记录,4 月 10 日番茄在  $\text{CO}_2$  浓度为  $1\ 964 \sim 2\ 357\ \text{mg}/\text{m}^3$  时第 1 穗花,比  $\text{CO}_2$  浓度为  $982 \sim 1\ 375\ \text{mg}/\text{m}^3$  下的番茄开花期提前了 3 d,而基质栽培、负水头供营养液栽培和土培 3 种栽培方式对番茄开花影响差异不显著;另外,5 月 8 日番茄在  $\text{CO}_2$  浓度为  $1\ 964 \sim 2\ 357\ \text{mg}/\text{m}^3$  时第 1 穗果成熟,比  $\text{CO}_2$  浓度为  $982 \sim 1\ 375\ \text{mg}/\text{m}^3$  下的番茄成熟期提前了 4 d,同样基质栽培、负水头供营养液栽培和土培 3 种栽培方式对番茄在成熟时间上无显著差异。

## 2.5 不同 $\text{CO}_2$ 浓度对不同栽培方式下番茄果实产量、干物质积累及营养液利用效率的影响

从表 1 可以看出,不同栽培方式下随  $\text{CO}_2$  浓度的增加,番茄叶干重、茎干重和地上部干重都有所增加。在



不同的 CO<sub>2</sub> 浓度下,负水头供营养液栽培、基质栽培与土培的番茄叶干质量、茎干质量、地上部干质量及根冠比之间均存在显著性差异( $P<0.05$ )。提高 CO<sub>2</sub> 浓度,除处理 F1 和 F2 番茄茎干重之间存在显著性差异外( $P<0.05$ ),J1 和 J2、T1 和 T2、F1 和 F2 各处理在番茄叶干重、茎干重和地上部干重上无显著性差异( $P<0.05$ )。全生育期内,CO<sub>2</sub> 浓度为 1 964~2 357 mg/m<sup>3</sup> 与 982~1 375 mg/m<sup>3</sup> 相比,基质栽培、土培和负水头供营养液栽培番茄地上部干重分别平均增加了 6.8%、4.2%和 8.7%。

表 1 不同 CO<sub>2</sub> 浓度对不同栽培方式番茄植株生物产量的影响

Table 1 Effect of different CO<sub>2</sub> concentration on tomato biological yield under different cultivation methods

处理 Treatment	叶干质量 Leaf dry weight/g	茎干质量 Stem dry weight/g	地上部干质量 Shoot dry weight/g	根系干质量 Root dry weight/g	根冠比 Root shoot ratio
J1	39.53 a	28.23 ab	67.76 a	5.37 a	0.081 c
J2	37.47 a	26.00 b	63.47 a	5.34 a	0.084 c
T1	30.52 b	19.60 c	50.12 b	5.98 a	0.119 ab
T2	29.53 b	18.59 c	48.12 b	5.91 a	0.120 a
F1	39.06 a	30.81 a	69.87 a	6.22 a	0.090 c
F2	38.38 a	25.89 b	64.27 a	6.08 a	0.095 bc

注:同列不同字母表示差异显著( $P<0.05$ ),下同。

Note: Different letters within the same column means significant difference ( $P<0.05$ ), the same below.

随 CO<sub>2</sub> 浓度的增加,全生育期内,基质栽培、土培和负水头供营养液栽培番茄根系干重分别增加了 0.6%、

表 2 不同 CO<sub>2</sub> 浓度对不同栽培方式下番茄果实产量及营养液生产效率的影响

Table 2 Effect of different CO<sub>2</sub> concentration on tomato fruit yield and nutrient solution production efficiency under different cultivation methods

处理 Treatment	果实产量 Fruit yield /g·盆 <sup>-1</sup>	苗期营养液消耗量 Nutrient solution consumption in seeding period/kg·盆 <sup>-1</sup>	开花结果营养液消耗量 Nutrient solution consumption in flowing period/kg·盆 <sup>-1</sup>	盛果期营养液消耗量 Nutrient solution consumption in full bearing period/kg·盆 <sup>-1</sup>	营养液消耗总量 Total nutrient solution consumption/kg·盆 <sup>-1</sup>	营养液利用效率 Nutrient solution use efficiency/g·kg <sup>-1</sup>
J1	879.91 a	5.86 a	21.09 a	14.05 a	41.00 a	21.46 a
J2	741.88 bc	4.89 b	20.12 b	12.72 b	37.73 b	19.66 ab
T1	782.33 bc	5.86 a	21.09 a	14.05 a	41.00 a	19.08 b
T2	702.68 c	4.89 b	20.12 b	12.72 b	37.73 b	18.63 b
F1	816.70 ab	5.86 a	21.09 a	14.05 a	41.00 a	19.91 ab
F2	735.19 bc	4.89 b	20.12 b	12.72 b	37.73 b	19.49 ab

### 3 讨论与结论

该试验研究表明,提高 CO<sub>2</sub> 浓度可以增加番茄植株的株高、茎粗和叶片数,可提高叶片的相对叶绿素含量,促使开花期提前 3 d,成熟期提前 4 d;增加干物质积累,提高营养液利用效率以及果实产量,同时降低了根冠比。相对于基质栽培和负水头供营养液栽培番茄,提高 CO<sub>2</sub> 浓度对土培番茄的影响不如前二者大。基质栽培、土培和负水头供营养液栽培番茄产量分别增加了 18.6%、11.3%和 11.1%,这可能是由于 CO<sub>2</sub> 补充的时间稍短,也可能是 CO<sub>2</sub> 浓度 982~1 375 mg/m<sup>3</sup> 比一般温室

1.2%和 2.3%,各处理间无显著性差异( $P<0.05$ )。但是处理 J1、F1 与 T1 根冠比存在显著性差异( $P<0.05$ ),J2 与 T2、T2 与 F2 根冠比存在显著性差异( $P<0.05$ )。不同栽培方式下较高 CO<sub>2</sub> 浓度番茄的根冠比均有所降低。

从表 2 可以看出,不同栽培方式下,番茄产量随 CO<sub>2</sub> 浓度的增加而增加;相比 J2,处理 J1 对番茄果实产量增加的作用达显著性差异( $P<0.05$ ),产量增加 18.6%,处理 F1 相对于 F2, T1 相对于 T2,番茄产量分别增加了 11.1%和 11.3%,但二者之间无显著性差异( $P<0.05$ )。在较高的 CO<sub>2</sub> 浓度下,基质栽培与土培番茄产量之间存在显著性差异( $P<0.05$ )。CO<sub>2</sub> 浓度为 1 964~2 357 mg/m<sup>3</sup> 时,番茄产量由大到小依次是基质栽培>负水头供营养液栽培>土培;CO<sub>2</sub> 浓度为 982~1 375 mg/m<sup>3</sup>,基质栽培和负水头供营养液栽培番茄的产量相当,二者均大于土培产量。

上午 08:00~11:00 CO<sub>2</sub> 浓度为 1 964~2 357 mg/m<sup>3</sup> 的番茄植株所消耗的营养液的量比 982~1 375 mg/m<sup>3</sup> 的番茄植株所消耗的营养液量要多。开花结果期、盛果期及全生育期内,在不同的 CO<sub>2</sub> 浓度下,番茄营养液消耗量均存在显著性差异( $P<0.05$ )。在较高的 CO<sub>2</sub> 浓度下,基质栽培与土培番茄营养液利用效率之间存在显著性差异( $P<0.05$ )。在不同的 CO<sub>2</sub> 浓度下,营养液利用效率从高到低依次是基质栽培、负水头供营养液栽培和土培。同时,较高的 CO<sub>2</sub> 浓度可以提高番茄营养液利用效率。

大棚 CO<sub>2</sub> 浓度高,而 1 964~2 357 mg/m<sup>3</sup> 与其之间的浓度差较小。适当延长番茄光合利用时间和创造适宜番茄生长的环境条件是番茄高产的重要因素。因此,除在早上适度提高 CO<sub>2</sub> 浓度外,在下午温度等条件适宜时,可以通过人工光源和与 CO<sub>2</sub> 结合实现番茄的高产。

较高 CO<sub>2</sub> 浓度下,负水头供营养液栽培与基质栽培番茄在叶片相对叶绿素含量、叶干重和果实产量上的差异比在较低 CO<sub>2</sub> 浓度下的差异要大。这可能是由于相邻植物保护试验的温室对与其距离相对较近的负水头供营养液栽培番茄造成了影响,使番茄发病,在一定程度上损伤了叶片,影响了其正常的光合和生长,从而对

番茄的生长发育造成了不良影响。

在试验期间,发现土培更容易造成“干旱”现象,这可能是因为在长时间高温和多次灌溉下,土壤大多板结,使得部分浇灌的营养液不能很好的渗入土壤,而是直接沿盆内壁流至土壤底部,造成了土培供水不足,使得植株短暂时缺水发生萎蔫。

在较低  $\text{CO}_2$  浓度下,基质栽培和负水头供营养液栽培的番茄长势良好,在地上部、根系干物质积累上,基质栽培相对于负水头供营养液栽培较少。在果实产量上,基质栽培较负水头供营养液栽培增产不到 1%,这在一定程度上说明了负水头供营养液栽培和基质栽培番茄的生产潜力相当,因此,可以实时地依据负水头供水控水装置营养液消耗量为其它栽培方式提供灌溉决策。该试验结果可能是由于试验灌水的频率和次数所决定的基质含水量的变化,而负水头供营养液基质中相对稳定的含水量对番茄生产的影响不大,但对于基质湿度和干湿交替对番茄生长影响的结论还不能够确定,因为基质含水率不同、基质干湿程度不同、灌水频率不同等都会导致结果存在差异,董宝娣等<sup>[24]</sup>在小麦、梁宗索等<sup>[25]</sup>在玉米以及张慎凤<sup>[26]</sup>在水稻的研究中,分别对于干湿交替给作物带来的影响做了初步论述,但就干湿交替对番茄的影响还需更进一步深入研究。负水头供水控水装置可以通过在不同生育期调节负水头盆栽装置的控压管的高度来实现调控基质中的含水率,从而也可以达到基质的干湿交替,这为后续的研究奠定了基础。

该试验表明, $\text{CO}_2$  浓度与栽培方式对番茄生长的影响较大。上午 08:00~11:00  $\text{CO}_2$  浓度为  $1\ 964 \sim 2\ 357\ \text{mg}/\text{m}^3$  的处理相比  $982 \sim 1\ 375\ \text{mg}/\text{m}^3$  的负水头供营养液栽培、基质栽培和土培番茄株高分别增加了 8.89%、3.62%、2.21%,茎粗分别增加了 5.96%、7.08%、1.20%,叶片数分别增加了 2.07%、3.40%、3.07%,地上部干重分别增加了 8.7%、6.8%、4.2%,根系干重分别增加了 2.3%、0.6%、1.2%,番茄产量分别增加了 11.1%、18.5%和 11.3%。提高  $\text{CO}_2$  浓度可以提高番茄叶片的相对叶绿素含量,提高番茄营养液利用效率,促使其开花和结果期提前。负水头供营养液栽培和基质栽培相对于土培方式能够改善番茄的生长特性,提高营养液利用效率和促进果实增收。

(该文作者还有陈菲,单位:国家农业智能装备工程技术研究中心。)

#### 参考文献

- [1] 徐鹤林.最新番茄品种与高效栽培法[M].北京:中国农业科技出版社,1996.
- [2] 沙海宁,孙权,李建设,等.不同施磷量对设施番茄生长、产量的影响及最佳施用量研究[J].长江蔬菜,2010(20):59-62.
- [3] 赵天宏,王美玉,张巍巍,等.大气  $\text{CO}_2$  浓度升高对植物光合作用的影响[J].生态环境,2006,15(5):1096-1100.

- [4] Thongbai P, Kozai T, Ohyama K.  $\text{CO}_2$  and air circulation effects on photosynthesis and transpiration of tomato seedlings[J]. Scientia Horticulturae, 2010, 126(3): 338-344.
- [5] 王春乙,郭建平,王修兰,等.  $\text{CO}_2$  浓度增加对  $\text{C}_3$ 、 $\text{C}_4$  作物生理特性影响的实验研究[J].作物学报,2000,26(6):813-817.
- [6] Reinert R A, Eason G, Barton J. Growth and fruiting of tomato as influenced by elevated carbon dioxide and ozone[J]. New Phytologist, 1997, 137(3):411-420.
- [7] 王修兰,徐师华.  $\text{CO}_2$  浓度倍增对大豆各生育阶段的光合作用及干物质积累的影响[J].作物学报,1994,20(5):520-527.
- [8] 王修兰,徐师华,李佑祥,等.环境  $\text{CO}_2$  浓度增加对玉米生育生理及产量的影响[J].农业工程学报,1995,11(2):109-114.
- [9] He Jie, Austin P T, Nichols M A, et al. Elevated root-zone  $\text{CO}_2$  protects lettuce plants from midday depression of photosynthesis[J]. Environmental and Experimental Botany, 2007, 61(1):94-101.
- [10] De Gelder A, Dieleman J A, Bot G P A, et al. An overview of climate and crop yield in closed greenhouses[J]. Journal of Horticultural Science and Biotechnology, 2012, 87(3):193-202.
- [11] Wang Y, Du S T, Li L L, et al. Effect of  $\text{CO}_2$  elevation on root growth and its relationship with indole acetic acid and ethylene in tomato seedlings[J]. Pedosphere, 2009, 19(5):570-576.
- [12] Juknys R, Duchovskis P, Sliesaravicius A, et al. Response of different agricultural plants to elevated  $\text{CO}_2$  and air temperature[J]. Zemdirbyste-Agriculture, 2011, 98(3):259-266.
- [13] Dannehl D, Huber C, Rocksche T, et al. Interactions between changing climate conditions in a semi-closed greenhouse and plant development, fruit yield, and health-promoting plant compounds of tomatoes[J]. Scientia Horticulturae, 2012, 138:235-243.
- [14] 李云波.日光温室二氧化碳气肥的施用技术[J].吉林蔬菜,2011(3):71.
- [15] Helyes L, Lugasi A, Nemenyi A, et al. The simultaneous effect of elevated  $\text{CO}_2$ -level and nitrogen-supply on the fruit components of tomato[J]. Acta Alimentaria, 2012, 41(2):265-271.
- [16] 王兴民.蔬菜大棚栽培与  $\text{CO}_2$  施肥[J].北京农业,1990(1):28.
- [17] Jwa N S, Walling L L. Influence of elevated  $\text{CO}_2$  concentration on disease development in tomato[J]. New Phytologist, 2001, 149(3):509-518.
- [18] Herbert Z E, Israel C, Rounick J S, et al. Use of carbon isotopes to estimate in corporation of added  $\text{CO}_2$  by greenhouse-grown tomato plants[J]. Plant Physiology, 1984, 76:1083-1085.
- [19] 刘士哲.现代实用无土栽培技术[M].北京:中国农业出版社,2001:4-25.
- [20] 董静,张运涛,王桂霞,等.日光温室草莓基质栽培与有土栽培比较试验[J].北方园艺,2008(3):8-10.
- [21] 李邵,薛绪掌,郭文善,等.负水头灌溉对温室番茄生长、产量及品质的影响[J].农业工程学报,2008,24(Supp. 2):225-229.
- [22] 邹朝望,薛绪掌,张仁铎,等.负水头灌溉原理与装置[J].农业工程学报,2007,23(11):17-21.
- [23] 李邵,薛绪掌,郭文善,等.负水头供水控水盆栽装置及灌溉系统的研究与应用[J].上海交通大学学报(农业科学版),2008,26(5):478-482.
- [24] 董宝娣,张正斌,徐萍,等.小麦干湿交替条件下的水分利用效率与生物学性状[J].干旱地区农业研究,2005,23(3):28-32.
- [25] 梁宗锁,康绍忠,邵明安,等.土壤干湿交替对玉米生长速度及其耗水量的影响[J].农业工程学报,2000,16(5):38-40.
- [26] 张慎凤.干湿交替灌溉对水稻生长发育、产量与品质的影响[D].扬州:扬州大学,2009.