

doi:10.6041/j.issn.1000-1298.2014.S0.029

# CO<sub>2</sub> 增施与养分交互作用对日光温室番茄生长的影响\*

王红玉 曲英华 周士力 熊 珺

(中国农业大学水利与土木工程学院, 北京 100083)

**摘要:**以“中杂105”番茄为试验材料,在日光温室基质栽培条件下研究了CO<sub>2</sub>增施浓度和养分水平对番茄生长的影响。试验设置4个CO<sub>2</sub>水平,分别为不增施(C0)、(700±50) μmol/mol(C1)、(1000±50) μmol/mol(C2)、(1300±50) μmol/mol(C3);以山崎番茄配方营养液浓度1个剂量(S)为基准设3个养分水平,分别为1/2S(F1)、1S(F2)、2S(F3)。结果表明:在相同CO<sub>2</sub>处理条件下,提高养分有利于番茄茎粗、叶片SPAD值、植株干、鲜质量和第一穗果质量的增加,并使开花日期提前;在相同养分处理条件下,增施CO<sub>2</sub>可以显著增加番茄的茎粗、叶片SPAD值、植株干、鲜质量和第一穗果质量,显著降低第一花序节位,并使开花日期提前;增施(1000±50) μmol/mol和(1300±50) μmol/mol的CO<sub>2</sub>可以显著提高叶片中氮含量。中低养分条件下,增施(1000±50) μmol/mol CO<sub>2</sub>即可使番茄第一花序节位降低1.0个节位、开花日期提早5~8 d,还使第一穗果质量显著高于对照。高养分条件下,增施(1300±50) μmol/mol CO<sub>2</sub>的处理番茄第一花序节位最低,比对照(C0F3)降低1.7个节位,开花日期最早,比对照提前10 d,第一穗果质量最大,比对照高出24.15%。番茄的第一花序节位、开花日期和第一穗果质量对CO<sub>2</sub>响应的程度依赖于养分水平,高养分使这些指标对CO<sub>2</sub>响应的程度提高。综合各项生长指标,C3F3处理番茄茎粗最大、第一花序节位最低、开花最早,是最优水平组合。

**关键词:**日光温室 CO<sub>2</sub> 增施 养分 第一花序节位 叶片氮含量

**中图分类号:** S641.2; S625.5 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2014)S0-0182-07

## 引言

CO<sub>2</sub>是绿色植物进行光合作用所必需的原料之一,在植物生长过程中它与水、肥同样重要,是一种“气体肥料”。在冬春温室蔬菜生产中,为了保温,温室大部分时间处于密闭状态,阻碍了室内、外气体的交换,容易导致室内CO<sub>2</sub>缺乏,从而造成作物光合效率降低。CO<sub>2</sub>浓度最低时仅有100 μmol/mol,远低于植物光合作用所需要的最佳CO<sub>2</sub>浓度。因此,过低的CO<sub>2</sub>浓度已成为温室蔬菜作物光合作用的主要限制因素,它制约了植株的生长发育,降低了蔬菜的产量和品质<sup>[1]</sup>。多数研究表明<sup>[2-8]</sup>,在温室内增施CO<sub>2</sub>有利于培育壮苗,促进植株的生长发育,并提高产量、改善蔬菜品质。

增施CO<sub>2</sub>气肥,可以促进蔬菜生物产量的增加,同时其相关的栽培管理也相应改变,如水分管理、肥料用量等。所以,在进行CO<sub>2</sub>施肥时还需要研究以下问题:如何让CO<sub>2</sub>施肥与矿质营养水平协调起来;如何避免长期施用CO<sub>2</sub>导致其增产效应的

减弱;温度、光照、肥料、水分的综合调控及高浓度CO<sub>2</sub>的维持和监测也有待解决<sup>[9]</sup>。由于CO<sub>2</sub>施肥后,作物生物量成积累趋势,而增加了各矿质营养元素的需求,所以适当增加肥料、水分的供应及管理是必须且必要的。查阅文献发现,关于CO<sub>2</sub>与养分互作的研究大多以小麦、玉米、稻谷等农作物为研究对象,对蔬菜作物的研究较少,尤其是在日光温室基质栽培条件下。

本研究在日光温室内进行番茄的栽培,研究不同CO<sub>2</sub>增施条件下养分对番茄生长的影响,建立CO<sub>2</sub>气肥和养分的科学管理策略,以期对日光温室内番茄的栽培提供理论依据和技术参考。

## 1 材料与试验方法

### 1.1 试验材料

以“中杂105”番茄(北京中蔬园艺良种研究开发中心)为供试材料,基质选用蛭石和珍珠岩按照2:1(体积比)的比例混合均匀配制。

### 1.2 试验设计

试验于2013年9月—2014年3月在中国农业

收稿日期:2014-07-29 修回日期:2014-08-25

\*国家自然科学基金资助项目(31271619)

作者简介:王红玉,硕士生,主要从事设施园艺研究,E-mail:wanghy1015@yeah.net

通讯作者:曲英华,教授,博士生导师,主要从事设施园艺研究,E-mail:qyinghua@cau.edu.cn

大学水利与土木工程学院楼顶日光温室内进行。用摩尔比表示 CO<sub>2</sub> 处理浓度, 试验设置 3 个 CO<sub>2</sub> 处理浓度(用塑料薄膜做成 2.5 m × 0.6 m × 1.9 m 的密闭空间), 分别为(700 ± 50)、(1 000 ± 50)、(1 300 ± 50) μmol/mol(依次记作 C1、C2、C3), 以不施 CO<sub>2</sub> 为对照(记作 C0); 以山崎番茄配方营养液浓度 1 个剂量(S)为基准设置 3 个养分水平, 分别为 1/2S(F1)、1S(F2)、2S(F3)。基本营养液选用日本山崎番茄营养液配方配制; 微量元素采用通用配方。CO<sub>2</sub> 施肥采用钢瓶气体法。将 CO<sub>2</sub> 气体通过塑料管均匀地施放到密闭空间中, 使用 CO<sub>2</sub> 传感器检测 CO<sub>2</sub> 浓度, 并通过自动控制系统控制 CO<sub>2</sub> 气体的施放, 通过调整 CO<sub>2</sub> 钢瓶上的流量计控制气体流速, 从而使 CO<sub>2</sub> 浓度相对稳定在控制水平。在晴天的 9:00 左右开始进行 2~3 h 的 CO<sub>2</sub> 增施, 阴雨天不增施。浸种催芽后播入装有蛭石的穴盘中育苗, 等到 2 片真叶完全展开后, 选取生长一致的幼苗, 移栽定植, 并于 10 d 后开始进行不同 CO<sub>2</sub> 增施和养分处理。待番茄第一花序长出后, 在其上部留 2 片叶摘心。

### 1.3 测定项目与方法

于定植后 17、24、31、38 和 45 d 对植株茎粗(距茎基部 1 cm 处)、叶片数(以叶长度大于 1 cm 的叶片算起)和叶片 SPAD 值进行测定。2013 年 11 月 7 日(定植后 40 d)对开花前期各处理植株的地上部生物量和地下部生物量进行测定。将地上部和地下部

分开, 用自来水小心冲洗表面杂物, 吸水纸吸干后用精确度为 0.01 g 的电子天平称量地上部鲜质量和地下部鲜质量。地上部和地下部鲜物质在 105℃ 干燥箱中杀青 2 h, 后于 80℃ 干燥至恒质量(72 h 以上), 冷却至室温后用精确度为 0.000 1 g 的电子天平称量地上部干质量和地下部干质量。将叶片研磨后, 用蒸馏法对其氮含量进行测定。在植株生长过程中, 随时记录各处理番茄的第一花序节位和开花日期。番茄果实成熟后, 对各处理第一穗果质量进行称量。

### 1.4 数据分析

采用 Microsoft Excel 2010 和 SPSS 18.0 进行数据的处理和分析, 并分别对各测量指标数据进行双因素方差分析, 在  $P_{0.05}$  的显著性水平下利用 LSD 法进行多重比较。图表中不同字母表示  $P_{0.05}$  水平下差异显著。

## 2 结果与分析

### 2.1 CO<sub>2</sub> 增施和养分对番茄茎粗和叶片数的影响

由图 1 可知, 番茄在生长过程中, 各处理茎粗变化趋势相似, 茎粗增长速率均表现为定植 17~24 d 最大, 之后有所减小。在相同 CO<sub>2</sub> 水平下, 番茄植株茎粗均随养分水平的提高而增加, 且随着生长天数的增加, 养分各水平间差异逐渐变大。在相同养分水平下, C1、C2 和 C3 处理番茄植株的茎粗均大于 C0。增施 CO<sub>2</sub> 可以促进番茄植株茎粗的增加。

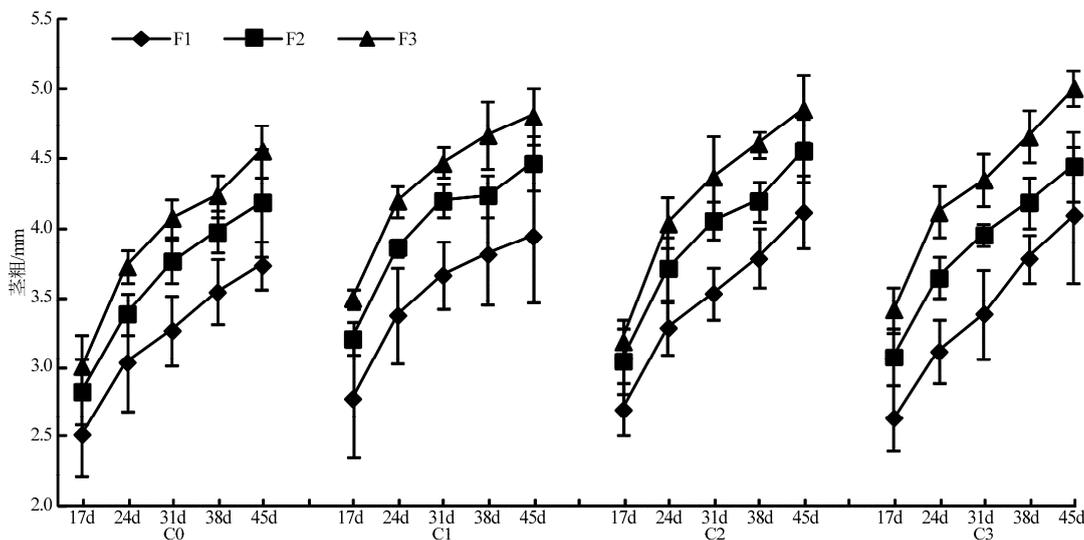
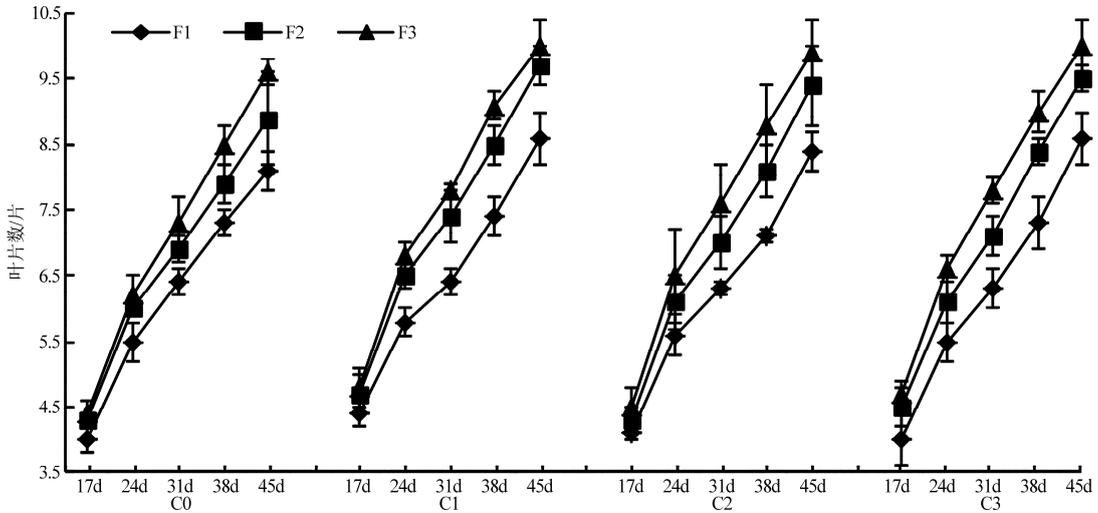


图 1 CO<sub>2</sub> 增施和养分对番茄茎粗的影响

Fig. 1 Effect of CO<sub>2</sub> enrichment and nutrient on stem diameter of tomato plants

番茄在生长过程中, 各处理叶片数变化趋势相似(图 2), 叶片数增长速率均表现为定植 17~24 d 最大, 之后有所减小。定植 17 d 时, 在相同 CO<sub>2</sub> 水平下, 养分各水平间番茄的叶片数差异不大; 定植

17 d 之后, 在相同 CO<sub>2</sub> 水平下, 养分各水平间, 番茄叶片数均表现为 F3 > F2 > F1, 且随着生长天数的增加, 差异逐渐变大。但在相同养分水平下, CO<sub>2</sub> 各水平间番茄的叶片数差异不大。增施 CO<sub>2</sub> 对番茄叶

图2 CO<sub>2</sub> 增施和养分对番茄叶片数的影响Fig. 2 Effect of CO<sub>2</sub> enrichment and nutrient on leaf numbers of tomato plants

片数的促进效果不是很明显。

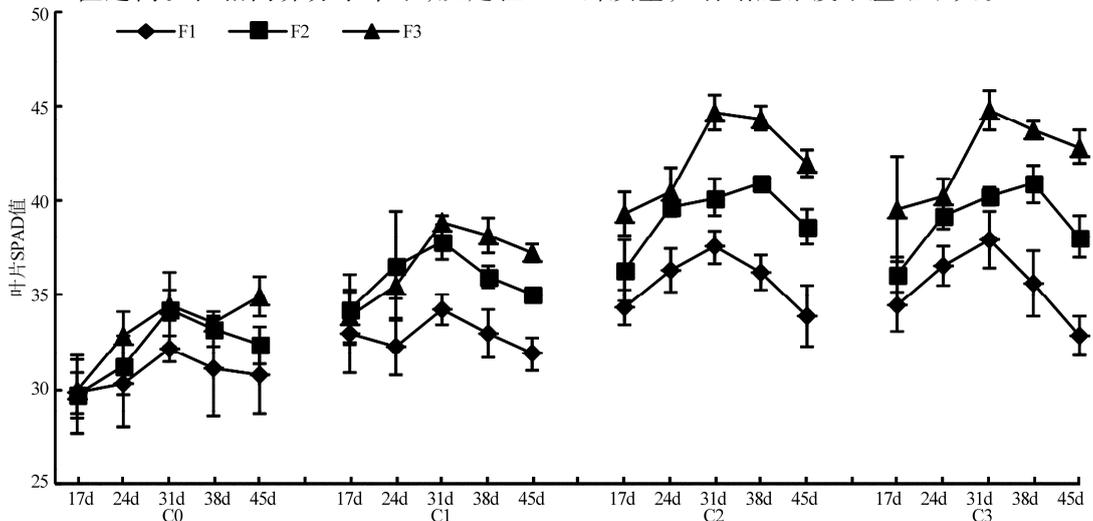
## 2.2 CO<sub>2</sub> 增施和养分对番茄叶片 SPAD 值的影响

叶绿素是叶片生理活性变化的重要指标之一,其含量对光合作用有着重要的影响。番茄在生长过程中,各处理叶片 SPAD 值基本均呈现先升高后降低的趋势(图 3),在定植 31~38 d 时达到最大值。在 C0 水平上,定植 17 d 时,养分各水平间番茄植株叶片 SPAD 值差异不大,定植 24~45 d, F2 和 F3 均高于 F1; 在 C1 水平上,定植 17 d 时,养分各水平间番茄叶片 SPAD 值差异不大,定植 24 d 时,养分各水平间叶片 SPAD 值表现为 F2 > F3 > F1, 定植 31 d、38 d 和 45 d 时,养分各水平间叶片 SPAD 值均表现为 F3 > F2 > F1; 在 C2 和 C3 水平上,从定植 17~45 d, 养分各水平间番茄叶片 SPAD 值均表现为 F3 > F2 > F1。在本试验设置的 CO<sub>2</sub> 浓度条件下,养分越高番茄叶片 SPAD 值越高。在相同养分水平下,从定植

17~45 d, 番茄叶片 SPAD 值均表现为: C1、C2 和 C3 均大于 C0, C2 和 C3 均大于 C1, 但 C2 和 C3 差异不大。增施 CO<sub>2</sub> 可以显著提高番茄叶片 SPAD 值,且中浓度和高浓度 CO<sub>2</sub> 下差异不大,但均显著高于低浓度 CO<sub>2</sub> 处理。

## 2.3 CO<sub>2</sub> 增施和养分对番茄植株鲜质量和干质量的影响

由图 4 可知,在相同 CO<sub>2</sub> 水平下,养分各水平间番茄植株地上部鲜质量和干质量均表现为 F3 > F2 > F1。在本试验设置的 CO<sub>2</sub> 浓度条件下,高养分更有利于番茄植株地上部干质量和鲜质量的增加。在相同养分水平下,CO<sub>2</sub> 各水平间番茄植株地上部干质量和鲜质量均表现为 C1、C2 和 C3 显著大于 C0, C1、C2 和 C3 两两之间差异不显著。这表明增施 CO<sub>2</sub> 可以显著增加番茄植株的地上部干质量和鲜质量,3 种增施浓度下差距不大。

图3 CO<sub>2</sub> 增施和养分对番茄叶片 SPAD 值的影响Fig. 3 Effect of CO<sub>2</sub> enrichment and nutrient on SPAD value of tomato leaves

由图5可知,在C0水平上,F3和F2番茄植株的地下部鲜质量显著大于F1,F3的地下部干质量显著大于F2和F1;在C1水平上,F3和F2的地下部鲜质量显著大于F1,F3的地下部干质量显著大于F1;在C2水平上,F3和F2地下部鲜质量显著大于F1,养分各水平间番茄植株地下部干质量则表现为F3>F2>F1;在C3水平上,养分各水平间,番茄植株地下部干质量和鲜质量均表现为F3>F2>F1。在本试验设置的CO<sub>2</sub>浓度条件下,养分水平越高番

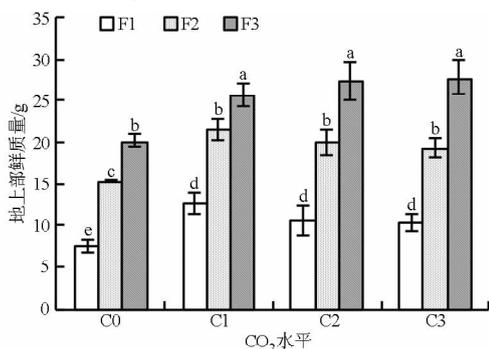


图4 CO<sub>2</sub>增施和养分对番茄植株地上部质量的影响

Fig. 4 Effect of CO<sub>2</sub> enrichment and nutrient on above-ground weight of tomato plants

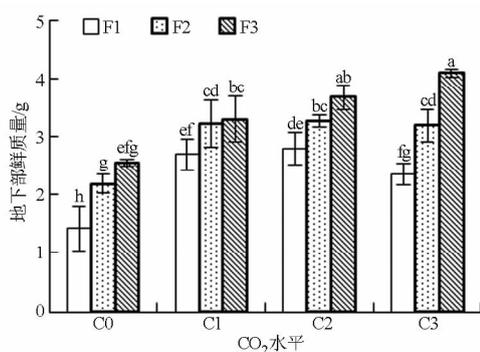


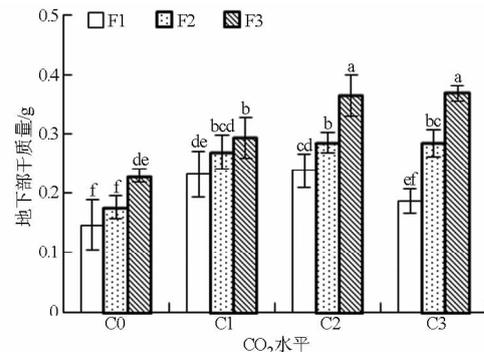
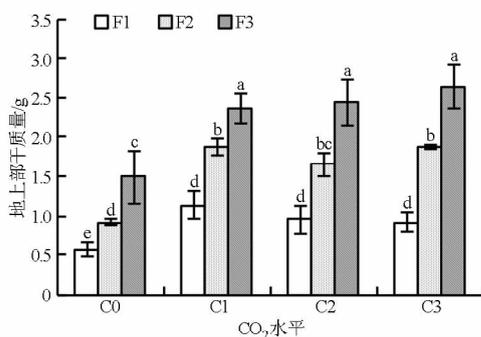
图5 CO<sub>2</sub>增施和养分对番茄植株地下部质量的影响

Fig. 5 Effect of CO<sub>2</sub> enrichment and nutrient on below-ground weight of tomato plants

## 2.4 CO<sub>2</sub>增施和养分对番茄第一花序节位和开花日期的影响

由表1可知,在C0水平上,养分各水平间番茄的第一花序节位差异不显著,F3和F2的开花日期比F1分别早5d和1d;在C1水平上,F2和F3的第一花序节位显著低于F1,F3和F2的开花日期比F1分别早10d和4d;在C2水平上,养分各水平间番茄的第一花序节位差异不显著,F3和F2的开花日期比F1分别早9d和4d;在C3水平上,F3的第一花序节位显著低于F1和F2,F3和F2的开花日期比F1分别早11d和5d。在本试验设置的CO<sub>2</sub>浓度条件下,养分越高,番茄开花越早。在F1水平上,C2和C3的第一花序节位显著低于C0,C1、C2和C3的开花日期比C0分别早2、5和4d;在F2水平上,C1、C2和C3的第一花序节位显著低于C0,C1、C2和C3的开花日期比C0分别早5、8和8d;在F3

茄植株地下部鲜质量和干质量越高。在F1水平上,C1、C2和C3番茄植株地下部鲜质量均显著大于C0,C1和C2地下部干质量均显著大于C0;在F2水平上,C1、C2和C3的地下部鲜质量和干质量均显著大于C0;在F3水平上,C1、C2和C3的地下部鲜质量和干质量均显著大于C0,C3地下部鲜质量显著大于C1,C3和C2地下部干质量显著大于C1。增施CO<sub>2</sub>可以显著增加番茄植株的地下部鲜质量和干质量。



水平上,C1、C2和C3的第一花序节位显著低于C0,且C3显著低于C1和C2,C1、C2和C3的开花日期比C0分别早7、9和10d。增施CO<sub>2</sub>可以降低番茄第一花序节位,并使其开花日期提前;在低养分和中养分条件下,增施(1000±50)μmol/mol的CO<sub>2</sub>对番茄第一花序节位和开花日期的作用效果与(1300±50)μmol/mol差别不大;在高养分条件下,增施(1300±50)μmol/mol的CO<sub>2</sub>使得番茄第一花序节位最低,开花日期最早。

## 2.5 CO<sub>2</sub>增施和养分对番茄叶片氮含量的影响

由图6可知,在C0水平上,F3和F2叶片中氮含量(质量比)均显著高于F1;在C1、C2和C3水平上,养分各水平间番茄叶片中氮含量均表现为F3>F2>F1。在本试验设置的CO<sub>2</sub>浓度条件下,养分水平越高叶片中氮含量越高。在F1水平上,C2和C3叶片中氮含量均显著高于C0;在F2水平上,C2和

表1 CO<sub>2</sub> 增施和养分对番茄第一花序节位和开花日期的影响

Tab.1 Effect of CO<sub>2</sub> enrichment and nutrient on position of the first inflorescence and florescence of tomato

CO <sub>2</sub> 处理	养分处理	第一花序节位	开花日期
C0	F1	10.5 ± 0.5 <sup>a</sup>	2013-11-25
	F2	10.5 ± 0.8 <sup>a</sup>	2013-11-24
	F3	10.2 ± 0.4 <sup>ab</sup>	2013-11-20
C1	F1	10.5 ± 0.5 <sup>a</sup>	2013-11-23
	F2	9.7 ± 0.5 <sup>bc</sup>	2013-11-19
	F3	9.3 ± 0.8 <sup>c</sup>	2013-11-13
C2	F1	9.5 ± 0.5 <sup>c</sup>	2013-11-20
	F2	9.5 ± 0.5 <sup>c</sup>	2013-11-16
	F3	9.2 ± 0.4 <sup>c</sup>	2013-11-11
C3	F1	9.8 ± 0.4 <sup>bc</sup>	2013-11-21
	F2	9.2 ± 0.4 <sup>c</sup>	2013-11-16
	F3	8.5 ± 0.5 <sup>d</sup>	2013-11-10

C3 叶片中氮含量显著高于 C0 和 C1, 但 C1 略低于 C0; 在 F3 水平上, C2 和 C3 叶片中氮含量均显著高于 C0 和 C1。增施(1 000 ± 50) μmol/mol 和(1 300 ± 50) μmol/mol 的 CO<sub>2</sub> 可以显著提高番茄叶片中氮含量。

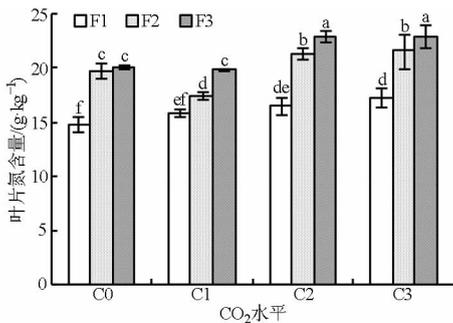


图6 CO<sub>2</sub> 增施和养分对番茄叶片中氮含量的影响

Fig.6 Effect of CO<sub>2</sub> enrichment and nutrient on nitrogen content of tomato leaves

## 2.6 CO<sub>2</sub> 增施和养分对番茄第一穗果质量的影响

由图7可知,在C0、C1和C2水平上,F3和F2番茄第一穗果质量均显著大于F1;在C3水平上,养分各水平间番茄的第一穗果质量表现为F3 > F2 > F1。在本试验设置的CO<sub>2</sub>浓度条件下,养分越高番茄第一穗果质量越大。在F1水平上,C1、C2和C3的第一穗果质量均显著大于C0,且C2显著大于C1和C3;在F2水平上,C1、C2和C3的第一穗果质量均显著大于C0、C2和C3均显著大于C1;在F3水平上,CO<sub>2</sub>各水平间,番茄的第一穗果质量表现为C3 > C2 > C1 > C0,且两两之间差异显著。增施CO<sub>2</sub>可以显著增加番茄的第一穗果质量;在低养分和中养分条件下,增施浓度为(1 000 ± 50) μmol/mol的CO<sub>2</sub>时,番茄的第一穗果质量最大;在高养分条件下,增施浓度为(1 300 ± 50) μmol/mol的CO<sub>2</sub>时,番

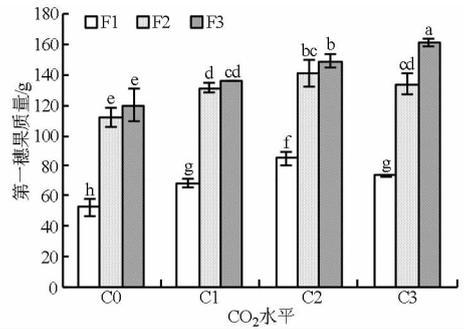


图7 CO<sub>2</sub> 增施和养分对番茄第一穗果质量的影响

Fig.7 Effect of CO<sub>2</sub> enrichment and nutrient on weight of the first spike fruit

茄的第一穗果质量最大。

## 3 讨论

魏珉等<sup>[10]</sup>在番茄苗期进行了增施CO<sub>2</sub>的试验,结果表明,增施CO<sub>2</sub>使苗期番茄植株的株高、茎粗、叶面积、干重和鲜重均得到了增加,明显促进了番茄幼苗的生长,有利于培育壮苗。植物花芽分化需要一定的营养物质,当C/N较大时,才能促进花芽分化,CO<sub>2</sub>施肥使C/N升高,从而使植物开花日期提前,加快植物的生殖生长<sup>[5]</sup>。范双喜等<sup>[11]</sup>试验表明,增施1 200 mg/kg的CO<sub>2</sub>可使番茄提早7 d成熟,且着果节位也有所降低。本研究结果表明,增施CO<sub>2</sub>可以明显促进番茄生长,增加茎粗、叶片SPAD值、生物量和第一穗果质量,并降低第一花序节位,提前开花日期,这与前人的研究结果基本一致。

增施CO<sub>2</sub>促进了植株的生长,并使植株的生物量有所增加,所以其生长所需要的养分也会随之增加。李娟<sup>[12]</sup>研究得出,CO<sub>2</sub>浓度升高增加了番茄幼苗叶中氮百分含量。于承艳等<sup>[13]</sup>研究结果表明,增施CO<sub>2</sub>显著增加了番茄幼苗氮的总吸收量,但对氮含量没有太大的影响。也有一些研究认为,增施CO<sub>2</sub>后植株对养分的总吸收量通常是增加的,但是各器官中养分含量(浓度)却有所降低<sup>[14-15]</sup>。对于这种效应,可能有以下几个方面的原因:①增施CO<sub>2</sub>后,养分缺乏。②增施CO<sub>2</sub>后,养分利用效率得到提高。③增施CO<sub>2</sub>后,养分的吸收增加速率低于作物干物质积累速率,即碳水化合物积累和植株快速生长对养分浓度产生的稀释效应<sup>[16-17]</sup>。本试验得出,增施(1 000 ± 50) μmol/mol和(1 300 ± 50) μmol/mol的CO<sub>2</sub>可以显著提高叶片中氮含量。这与前人不完全一致,可能是由于植株生长环境不同造成。

李娟<sup>[12]</sup>试验表明,幼苗期番茄植株对CO<sub>2</sub>响应的程度依赖于营养液浓度的高低,营养液浓度较高

时,植株对 CO<sub>2</sub> 的响应程度也会较高。本研究发现,番茄的第一花序节位、开花日期和第一穗果质量也出现了这样的规律。王月<sup>[15]</sup>发现,在供磷充足时,CO<sub>2</sub> 浓度升高使番茄光合速率明显提高,而磷缺乏则限制了 CO<sub>2</sub> 浓度升高对光合作用的促进作用。由此推测,可能是因为在开花期和盛果期低养分和中养分条件下的养分供应相对不足,从而限制了 CO<sub>2</sub> 施肥对其光合作用的促进效果,减少了光合产物的形成,进而影响了第一花序节位、开花日期和第一穗果质量。

## 4 结论

(1) 增施 CO<sub>2</sub> 可以明显促进番茄生长,增加茎

粗、叶片 SPAD 值、植株干、鲜质量和第一穗果质量,并降低第一花序节位,提前开花日期;增施(1 000 ± 50) μmol/mol 和(1 300 ± 50) μmol/mol 的 CO<sub>2</sub> 可以显著提高叶片中氮含量。

(2) 番茄部分生长指标和第一穗果质量对 CO<sub>2</sub> 响应的程度依赖于养分水平,高养分使这些指标对 CO<sub>2</sub> 响应的程度提高。

(3) 综合各项指标来看,C3F3((1 300 ± 50) μmol/mol,2 倍山崎营养液)为本试验最佳 CO<sub>2</sub> 增施和养分运筹模式。

## 参 考 文 献

- 1 Tongbai P, Kozai T, Ohyama K. CO<sub>2</sub> and air circulation effects on photosynthesis and transpiration of tomato seedlings[J]. *Scientia Horticulturae*, 2010,126(3):338-344.
- 2 孙艳军,徐刚,吕夫成,等. 增施 CO<sub>2</sub> 对日光温室茄子生长发育的影响[J]. *江苏农业科学*, 2013(11):166-167.
- 3 杜中平. 日光温室 CO<sub>2</sub> 对蔬菜的影响及施肥技术[J]. *青海农林科技*, 2002(3):51-52.  
Du Zhongping. Fertilizer practice and CO<sub>2</sub> impact analysis to vegetable in sunlight greenhouse[J]. *Science and Technology of Qinghai Agriculture and Forestry*, 2002(3):51-52. (in Chinese)
- 4 刘文莉,张俊栋. 日光温室 CO<sub>2</sub> 施肥对几种果菜产量品质和抗病性的影响(简报)[J]. *河北农业技术师范学院学报*, 1998,12(4):68-71.  
Liu Wenli, Zhang Jundong. Effect of applying CO<sub>2</sub> in sunlight greenhouse on yield and quality and resistance to diseases of several fruit and vegetables (bulletin)[J]. *Journal of Hebei Agrotechnical Teachers College*, 1998,12(4):68-71. (in Chinese)
- 5 张志明. 二氧化碳施肥对番茄果实品质的影响[D]. 杭州:浙江大学,2012.  
Zhang Zhiming. Effect of carbon dioxide enrichment on tomato fruit quality[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2012. (in Chinese)
- 6 杨元洪,姜俊,孟祥锋,等. CO<sub>2</sub> 气肥在保护地黄瓜栽培中的应用效果[J]. *河南农业科学*, 2002(8):34-35.
- 7 樊琳,都韶婷,黄利东,等. 农业有机废弃物发酵 CO<sub>2</sub> 施肥对大棚番茄产量及品质的影响[J]. *浙江大学学报:农业与生命科学版*, 2009,35(6):626-632.  
Fan Lin, Du Shaoting, Huang Lidong, et al. Effects of CO<sub>2</sub> enrichment by fermentation of agricultural organic wasters on yield and quality of tomato in the greenhouse[J]. *Journal of Zhejiang University: Agriculture and Life Sciences*, 2009,35(6):626-632. (in Chinese)
- 8 张丽华,程智慧. 保护地 CO<sub>2</sub> 施肥研究进展[J]. *长江蔬菜*, 2000(10):1-4.
- 9 李晓静. 增施 CO<sub>2</sub> 对马铃薯生长及氮素营养的影响[D]. 呼和浩特:内蒙古农业大学,2010.  
Li Xiaojing. Effect of elevated CO<sub>2</sub> on nitrogen nutrition and growth of potato[D]. Huhhot: Inner Mongolia Agricultural University, 2010. (in Chinese)
- 10 魏珉,邢禹贤,马红,等. 果菜苗期 CO<sub>2</sub> 施肥壮苗效果研究[J]. *山东农业大学学报:自然科学版*, 2000,31(2):196-200.  
Wei Min, Xing Yuxian, Ma Hong, et al. Effects of CO<sub>2</sub> enrichment in raising vigorous seedlings of fruited vegetable[J]. *Journal of Shandong Agricultural University: Natural Science*, 2000,31(2):196-200. (in Chinese)
- 11 范双喜,谷建田,韦强,等. 增施 CO<sub>2</sub> 对 4 种果菜生长发育的影响[J]. *中国农学通报*, 1996,12(6):14-16.
- 12 李娟. 番茄设施栽培中 CO<sub>2</sub> 与养分交互作用的研究[D]. 南京:中国科学院南京土壤研究所,2006.  
Li Juan. The interactive effects of CO<sub>2</sub> enrichment and nutrients on tomato under protected culture conditions[D]. Nanjing: Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, 2006. (in Chinese)
- 13 于承艳,都韶婷,邢承华,等. CO<sub>2</sub> 浓度对番茄幼苗生长及养分吸收的影响[J]. *浙江大学学报:农业与生命科学版*, 2006,32(3):307-312.  
Yu Chengyan, Du Shaoting, Xing Chenghua, et al. Effect of CO<sub>2</sub> concentration on the growth and nutrient uptake of tomato seedlings[J]. *Journal of Zhejiang University: Agriculture and Life Sciences*, 2006,32(3):307-312. (in Chinese)
- 14 Rogers H H, Runion G B, Krupa S V. Plant responses to atmospheric CO<sub>2</sub> enrichment with emphasis on roots and the rhizosphere[J]. *Environmental pollution*, 1994,83(1-2):155-189.
- 15 王月. CO<sub>2</sub> 浓度升高对不同供磷番茄根系生长和根系分泌物的影响[D]. 杭州:浙江大学,2008.  
Wang Yue. Effects of elevated CO<sub>2</sub> on the root growth and root exudation in tomato (*Lycopersicon Mill.*) plants under different

phosphorus supply[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2008. (in Chinese)

- 16 Porter M A, Grodzinski B. Acclimation to high CO<sub>2</sub> in bean carbonic anhydrase and ribulose biphosphate carboxylase[J]. *Plant Physiology*, 1984,74(2):413 - 416.
- 17 Porter M A, Grodzinski B. Growth of bean in high CO<sub>2</sub>: effects on shoot mineral composition[J]. *Journal of Plant Nutrition*, 1989,12(2):129 - 144.

## Interactive Effect of CO<sub>2</sub> Enrichment and Nutrient on Growth of Tomato in Solar Greenhouse

Wang Hongyu Qu Yinghua Zhou Shili Xiong Jun

(College of Water Resources & Civil Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

**Abstract:** Taking “Zhongza 105” tomato as tested material, the experiment focused on the effect of different CO<sub>2</sub> enrichment concentrations and different nutrient supply intensities on the growth of tomato cultivated in substrate in solar greenhouse. This study set up 4 CO<sub>2</sub> levels, including no enrichment (C0), (700 ± 50) μmol/mol (C1), (1 000 ± 50) μmol/mol (C2), (1 300 ± 50) μmol/mol (C3) and 3 nutrient levels based on a dose (S) of Yamazaki tomato recipe nutrient solution concentration, including 1/2S (F1), 1S (F2), 2S (F3). The results indicated that stem diameter, SPAD value of leaves, fresh and dry weight of plants, nitrogen content of leaves and weight of the first spike fruit were increased significantly with increasing nutrient quantity at the same CO<sub>2</sub> level, and blooming date was advanced. CO<sub>2</sub> enrichment increased stem diameter, SPAD value of leaves, fresh and dry weight of plants and weight of the first spike fruit, but reduced the position of the first inflorescence and made blooming date ahead of time at the same nutrient. When the concentration of CO<sub>2</sub> enrichment was (1 000 ± 50) μmol/mol or (1 300 ± 50) μmol/mol, the nitrogen content of leaves was elevated. The promoting effect of CO<sub>2</sub> enrichment on the growth of tomato was associated with nutrient quantity, under low and moderate nutrient conditions, CO<sub>2</sub> enrichment at (1000 ± 50) μmol/mol was adequate for reducing the position of the first inflorescence of 1.0 compared with the control (C0F1 or C0F2), advancing the florescence for 5 ~ 8 d and increasing the weight of the first spike fruit significantly. Under high nutrient condition, CO<sub>2</sub> enrichment at (1 300 ± 50) μmol/mol made the position of the first inflorescence lowest, 1.7 lower than the control (C0F3), the florescence was the earliest, which was 10 d earlier than the control, and the weight of the first spike fruit was the maximum, 24.15% higher than the control. The response of position of the first inflorescence, florescence and weight of the first spike fruit to CO<sub>2</sub> enrichment depended strongly on the level of nutrient supply. High nutrient level improved the response of these indexes to CO<sub>2</sub> enrichment. According to the entire growth index, C3F3 was the best combination of CO<sub>2</sub> and nutrient, its stem diameter and weight of the first spike fruit were the maximum, position of the first inflorescence was the lowest and blooming date was the earliest.

**Key words:** Solar greenhouse CO<sub>2</sub> enrichment Nutrient Position of the first inflorescence Nitrogen content of leaf