

不同 CO₂ 浓度下番茄苗期及果期的光合特性

熊 琚, 曲英华, 范冰琳, 张 淦, 杨娜娜

(中国农业大学 水利与土木工程学院, 北京 100083)

摘 要:以番茄品种“中杂 105”为试验材料,以钢瓶 CO₂ 为碳源,设置 700、1 000、1 300 $\mu\text{mol/mol}$ 3 个 CO₂ 浓度,对照组为不增施 CO₂,研究了不同浓度的 CO₂ 对苗期及果期番茄光合作用、光响应曲线、SPAD 值以及开花日期的影响。结果表明:高浓度 CO₂ 显著提高了叶片的 SPAD 值,提高净光合速率,提高了叶片的最大净光合速率以及光补偿点,有利于开花节位数的降低以及开花日期的提前。

关键词:番茄;增施 CO₂;不同浓度;光合作用

中图分类号:S 641.2 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2015)09-0006-04

CO₂ 是植物光合作用的必要原料。晴天、强光下植物光合能力很强,温室 CO₂ 下降很快^[1];加之温室为增加保温效果,通风换气次数少,温室中 CO₂ 常常处于亏缺状态^[2]。因此有必要在日光温室中增施 CO₂,许多研究表明,温室内增施 CO₂ 有利于培育番茄壮苗,促进番茄的生长发育,并提高产量、改善蔬菜品质^[2-4]。增施 CO₂ 浓度及施碳天数的不同对番茄的光合作用影响不同:增施 800 $\mu\text{mol/mol}$ CO₂ 的光合速率是 400 $\mu\text{mol/mol}$ 下的 1.2 倍以上^[5];增施 1 000 $\mu\text{mol/mol}$ CO₂ 15 d 以上,番茄的净光合速率高于对照组(不增施 CO₂),30 d 后差异反而不显著,45 d 后净光合速率又重新高于对照组^[6]。不同时期增施 CO₂ 对作物的影响也不同,对小麦拔节期、孕穗期、抽穗期、灌浆期进行 FACE 试验,与对照组相比,净光合速率、蒸腾速率、SPAD 值差异不同^[7];水稻结实期中的抽穗前、中、后期,增施 CO₂ 对叶片叶绿素各成分及总含量影响也不同^[8]。而类似的不同时期增施 CO₂ 对番茄光合作用的影响的研究较少。该试验设置了 3 个 CO₂ 浓度梯度,即(700±50)、(1 000±50)、(1 300±50) $\mu\text{mol/mol}$,以大气浓度为对照,探索不同 CO₂ 浓度下的番茄叶片苗期与果期光合特性,以期为提高番茄产量以及品质提供参考依据和数据支持。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试“中杂 105”番茄由北京中蔬园艺良种研究开发

第一作者简介:熊琚(1990-),女,硕士研究生,研究方向为设施园艺。E-mail:Xjun@cau.edu.cn.

责任作者:曲英华(1957-),女,教授,硕士生导师,现主要从事设施园艺等研究工作。E-mail:qyinghua@cau.edu.cn.

基金项目:国家自然科学基金资助项目(31271619)。

收稿日期:2015-01-28

中心提供,基质选用草炭、蛭石、珍珠岩按照 3:1:1(体积比)的比例混合均匀配置。

1.2 试验方法

试验于 2014 年 2—6 月在中国农业大学水利与土木工程学院楼顶日光温室内进行处理。浸种催芽后播入装有蛭石的穴盘中育苗,待四叶一心时,选取生长一致的幼苗,移栽定植,并于 10 d 后开始进行不同 CO₂ 增施(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) $\mu\text{mol/mol}$ (依次记作 C1、C2、C3),以不施 CO₂ 大气浓度为对照(记作 C0)。CO₂ 施肥以钢瓶 CO₂ 为碳源。将 CO₂ 气体通过塑料管均匀地施放到密闭空间中,使用 CO₂ 传感器检测 CO₂ 浓度,并通过自动控制系统控制 CO₂ 气体的施放,通过调整 CO₂ 钢瓶上的流量计控制气体流速,从而使 CO₂ 浓度相对稳定在控制水平。在晴天从 9:00 开始增施 2~3 h 的 CO₂,阴雨天不增施。

1.3 项目测定

于定植后 7、14、21、28、35、42、49 d 对叶片 SPAD 值进行测定。于 2014 年 4 月底及 6 月初采用便携式光合仪(LI-6400,LI-COR INC,USA)测定番茄苗期及果期时生长点以下第 3 片叶的光合特性及光响应曲线。测量时均采用红蓝光 LED 室,叶室温度设置为 25℃,气流速度 500 $\mu\text{mol/s}$ 。

光合特性测定时 CO₂ 浓度为 450 $\mu\text{mol/mol}$,PAR 强度统一设为 600 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。光响应测定时光合有效辐射(PAR)强度设置为 1 800、1 600、1 400、1 200、1 000、800、600、400、200、150、100、50、20、0 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。

测定结果利用经典的 Farquhar 模型进行拟合, Farquhar 模型的公式为, Pn-PAR 曲线拟合: $P_n = (PAR \times AQY + P_{max} - \sqrt{(PAR \times AQY + P_{max})^2 - 4 \times AQY \times P_{max} \times PAR \times K}) / (2 \times K) - R_d$ 。Pn:净光合速

率;PAR:光合有效辐射;AQY:表观量子效率;Pmax:最大净光合速率;K:曲角;Rd:暗呼吸速率。花序节位:第一花序的着生节位;开花时间:第一花序第一朵花花苞完全打开的时间。

1.4 数据分析

采用 Microsoft Excel 2010 和 SPSS 21.0 进行数据的处理和分析,并分别对各测量指标数据进行单因素方差分析,在 0.05 的显著性水平下利用 T 法进行多重比较。图表中不同字母表示 0.05 水平下差异显著。

2 结果与分析

2.1 不同 CO₂ 增施条件对日光温室内番茄叶片 SPAD 值的影响

表 1 表明,增施 CO₂ 有助于提高番茄叶片的 SPAD

表 1

不同 CO₂ 增施条件对番茄叶片 SPAD 值的影响

Table 1

Effect of different CO₂ concentrations on leaves SPAD value of tomatoes

处理组 Treatment	定植天数 Days of planting/d						
	7	14	21	28	35	42	49
C1	42.9±3.7 a	39.0±1.5 a	48.0±2.8 a	50.7±1.9 a	49.8±1.3 a	51.9±1.9 ab	54.9±1.9 ab
C2	42.2±4.7 a	41.1±2.6 a	44.9±5.8 ab	50.4±4.4 a	49.8±2.0 a	54.4±1.8 a	59.1±1.8 a
C3	41.9±3.3 a	39.4±1.6 a	46.3±3.2 a	47.7±3.2 a	46.8±2.5 b	49.5±3.8 b	55.4±3.8 a
C0	42.0±3.2 a	39.0±2.1 a	40.8±2.8 ab	43.1±1.8 b	42.1±1.5 c	46.3±2.3 c	52.6±2.3 c

2.2 不同 CO₂ 增施条件下日光温室番茄苗期及果期叶片光合特性

表 2 结果显示,CO 处理组叶片的净光合速率为 9.42 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,番茄苗期增施 CO₂ 后 C1、

表 2

不同 CO₂ 增施条件下番茄苗期叶片光合特性

Table 2

Leaf photosynthetic characteristic of tomatoes that grow in different CO₂ concentrations during seedling stage

生长期 Stage	处理组 Treatment	净光合速率 Net photosynthesis rate /($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	气孔导度 Stomata conductance /($\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	胞间 CO ₂ 浓度 Interacellular CO ₂ concentration /($\mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$)	蒸腾速率 Transpiration rate /($\text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)
苗期 Seedling stage	C1	10.52±0.84 a	0.12±0.03 a	297.60±25.18 a	2.22±0.40 a
	C2	10.69±2.02 a	0.12±0.03 a	297.80±43.89 a	2.04±0.15 a
	C3	11.07±11.07 a	0.21±0.10 a	334.07±36.29 a	2.72±0.69 a
	C0	9.42±1.10 a	0.16±0.07 a	321.44±32.72 a	2.22±0.27 a

果期光合特性结果表明(表 3),增加 CO₂ 浓度能显著提高番茄果期叶片的净光合速率,提高番茄气孔导度以及增加番茄的胞间 CO₂ 浓度及蒸腾速率。果期 C0 处理组叶片的净光合速率是 8.88 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,C1、C2、C3 处理组叶片的净光合速率分别是 9.41、10.34、12.24 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,比对照组分别增加了 5.97%、16.44%、37.83%;C0 组处理叶片气孔导度是

表 3

不同 CO₂ 增施条件下番茄果期叶片光合特性

Table 3

Leaf photosynthetic characteristic of tomatoes that grow in different CO₂ concentrations during fruiting stage

生长期 Stage	处理组 Treatment	净光合速率 Net photosynthesis rate /($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	气孔导度 Stomata conductance /($\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	胞间 CO ₂ 浓度 Interacellular CO ₂ concentration /($\mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$)	蒸腾速率 Transpiration rate /($\text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)
果期 Fruiting stage	C1	9.41±1.18 b	0.12±0.03 a	283.60±46.59 a	1.99±0.38 a
	C2	10.34±1.71 ab	0.12±0.03 a	280.07±26.48 a	2.19±0.39 a
	C3	12.24±1.04 a	0.16±0.05 a	290.31±27.66 a	2.53±0.82 a
	C0	8.88±1.42 b	0.10±0.03 a	276.27±31.81 a	1.81±0.57 a

值,从定植 21 d 开始,C0 处理组的 SPAD 值显著低于施碳处理组。21 d 时,C0 处理组的 SPAD 值是 40.8,C1、C2、C3 处理组的值分别是 48.0、44.9、46.3,比对照组高了 17.65%、10.05%、13.48%;28 d 时,C0 组的 SPAD 值是 43.1,C1、C2、C3 处理组的值分别是 50.7、50.4、47.7,比对照组高了 17.63%、16.93%、10.67%;35 d 时,C0 组的 SPAD 值是 42.1,C1、C2、C3 处理组的值分别是 49.8、49.8、46.8,比对照组高了 18.29%、18.29%、11.16%;42 d 时,C0 组的 SPAD 值是 46.3,C1、C2、C3 处理组的值分别是 51.9、54.4、49.5,比对照组高了 12.10%、17.49%、6.91%;49 d 时,C0 组的 SPAD 值是 52.6,C1、C2、C3 处理组的值分别是 54.9、59.1、55.4,比对照组高了 4.37%、12.36%、5.32%。

C2、C3 处理组的叶片净光合速率分别是 10.52、10.69、11.07 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,比对照组增加了 5.97%、20.38%、24.66%。处理组的叶片净光合速率高于对照组,但均没有达到显著性差异水平。

0.10 $\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,C1、C2、C3 处理组叶片的气孔导度分别是 0.12、0.12、0.16 $\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,比对照组分别增加了 20.00%、20.00%、60.00%;C0 处理组叶片的蒸腾速率是 1.81 $\text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,C1、C2、C3 处理组叶片的蒸腾速率分别是 1.99、2.19、2.53 $\text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,比对照组分别增加了 9.94%、20.99%、39.77%。

2.3 不同 CO₂ 增施条件下日光温室内苗期及果期番茄植株叶片光响应

表 4 显示,番茄苗期增施 CO₂ 能显著提高番茄叶片光饱和点,C1、C2、C3 处理组的光饱和点分别是 1 704.00、

1 183.00、1 280.10 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,比对照组分别增加了 46.91%、1.99%、10.36%。C1、C2、C3 处理组最大净光合速率是 17.97、15.54、16.71 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,比对照组高了 28.82%、11.40%、19.78%。

表 4 不同 CO₂ 浓度下苗期番茄植株叶片光响应曲线的特征参数

Table 4 Parameters of light response curves of tomatoes that grow in different CO₂ concentrations during seedling stage

生长期 Stage	处理组 Treatment	最大净光合速率 Maximum photosynthetic rate /($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	表观量子效率 Apparent quantum yield /($\mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$)	光补偿点 Light compensation point /($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	光饱和点 Light saturation point /($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)
苗期 Seedling stage	C1	17.97±2.81 a	0.063±0.009 a	11.40±3.54 a	1 704.00±355.20 a
	C2	15.54±3.86 a	0.064±0.016 a	9.36±1.97 a	1 183.00±339.80 b
	C3	16.71±1.68 a	0.063±0.007 a	10.80±4.41 a	1 280.10±90.90 ab
	C0	13.95±1.33 a	0.069±0.013 a	8.64±1.97 a	1 159.90±161.90 b

表 5 同时表明,增施 CO₂ 能显著提高果期番茄最大净光合速率,提高番茄叶片表观量子效率,显著提高番茄光补偿点,提高番茄光饱和点。C0 处理组光响应曲线拟合的最大净光合速率是 15.65 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,C1、C2、C3 处理组的最大净光合速率分别是 16.34、17.42、

21.70 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,比对照组分别增加了 4.41%、11.31%、38.66%。C0 处理组光响应曲线拟合下的叶片光补偿点是 10.08 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,C1、C2、C3 处理组拟合的光补偿点分别是 11.52、13.68、19.44 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,比对照组分别增加了 14.29%、35.71%、92.85%。

表 5 不同 CO₂ 浓度下果期番茄植株叶片光响应曲线的特征参数

Table 5 Parameters of light response curves of tomatoes that grow in different CO₂ concentrations during fruiting stage

生长期 Stage	处理组 Treatment	最大净光合速率 Maximum photosynthetic rate /($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	表观量子效率 Apparent quantum yield /($\mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$)	光补偿点 Light compensation point /($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	光饱和点 Light saturation point /($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)
果期 Fruiting stage	C1	16.34±1.76 b	0.059±0.010 a	11.52±5.92 ab	1 587.60±200.60 a
	C2	17.42±3.03 ab	0.064±0.007 a	13.68±1.61 ab	1 578.20±364.40 a
	C3	21.70±2.82 a	0.069±0.017 a	19.44±5.46 a	1 703.50±374.60 a
	C0	15.65±2.09 b	0.058±0.009 a	10.08±5.92 b	1 497.60±435.50 a

2.4 不同 CO₂ 增施条件对日光温室内番茄植株花序节位和开花时间的影响

表 6 表明,增施 CO₂ 可以使番茄第一穗花开花时间提前,降低第一穗花节位。C0 处理组的开花时间是定植后的 28.300 d,C1、C2、C3 处理组的天数分别是 23.667、24.286、25.889 d,比 C0 组分别提前了 4.633、4.014、2.411 d;C0 处理组的第一花序开花节位是 11.400,C1、C2、C3 处理组的开花节位数是 10.333、10.143、11.222,C1、C2 均比 C0 处理组降低了将近 1 个节位。

表 6 不同 CO₂ 增施条件对番茄植株花序节位和开花时间的影响

Table 6 Effect of different CO₂ concentrations on plant inflorescence node and flowering time of tomatoes

处理组 Treatment	定植至第一穗花开花时间 Flowering time/d	第一穗花节位 Inflorescence node
C1	23.667±2.449 b	10.333±1.220 a
C2	24.286±2.984 b	10.143±1.215 a
C3	25.889±3.018 ab	11.222±0.833 a
C0	28.300±2.111 a	11.400±0.516 a

3 结论与讨论

增施 CO₂ 能提高番茄叶片的 SPAD 值,SPAD 值与叶绿素含量呈显著正相关^[9],SPAD 值越高说明总叶绿

素含量越高,即增施 CO₂ 能提高番茄叶片叶绿素含量^[4,10]。该结果在其它作物上也得到了证实,如增施 CO₂ 能提高水稻^[8]、蒙古栎^[11]、棉花^[12] 等叶片的叶绿素含量。

增施 CO₂ 对不同生长期番茄叶片的光合作用及光响应不同。苗期增施 CO₂ 各处理间净光合速率差异不显著。但是增施 CO₂ 处理组比对照组的净光合速率高。而增施 CO₂ 处理组中,增施 1 300 $\mu\text{mol}/\text{mol}$ CO₂ 处理组的净光合速率最高。说明苗期增施 CO₂ 有提高番茄功能叶片净光合速率的趋势。

增施 CO₂ 持续到番茄果期,1 300 $\mu\text{mol}/\text{mol}$ 比 1 000、700 $\mu\text{mol}/\text{mol}$ 的净光合速率提高了 30.1%、18.38%,差异显著。说明番茄果期高浓度的 CO₂ 能促进番茄的光合作用^[13]。而叶片的气孔导度则在 CO₂ 浓度 1 000 $\mu\text{mol}/\text{mol}$ 和 700 $\mu\text{mol}/\text{mol}$ 下的气孔导度差异不显著,而 1 300 $\mu\text{mol}/\text{mol}$ 比 1 000、700 $\mu\text{mol}/\text{mol}$ 气孔导度高 33.3%、33.3%。叶片蒸腾速率 1 300 $\mu\text{mol}/\text{mol}$ 比 1 000、700 $\mu\text{mol}/\text{mol}$ 高 27.1%、15.52%。叶片气孔导度与叶片蒸腾速率成正比,常常高浓度 CO₂ 伴随的是高浓度的胞间 CO₂,为保持细胞间 CO₂ 分压始终低于大气 CO₂ 分压 20%~30%,植物会通过调节气孔开闭程度来降低胞间 CO₂。气孔对胞间 CO₂ 很敏感,胞间 CO₂ 的增

加常伴随着气孔的关闭和气孔导度的降低,蒸腾速率的降低^[14]。但在光合特征下显示的是增施 CO₂ 处理组气孔导度和蒸腾速率增加,这可能是测量时 CO₂ 浓度设置的是 450 $\mu\text{mol/mol}$,比增施 CO₂ 处理组浓度低,番茄植株适应高浓度 CO₂ 后在低浓度 CO₂ 下生长,气孔导度和蒸腾速率就会增加^[15]。

通过光响应曲线,能计算出番茄的最大净光合速率、表观量子效率、光补偿点以及光饱和点等光响应曲线特征参数。与对照相比,苗期增施 CO₂ 能显著提高番茄光饱和点,700、1 000、1 300 $\mu\text{mol/mol}$ 比对照组分别增加了 46.91%、1.99%、10.36%,这说明增施 CO₂ 能增强番茄幼苗对强光的忍受性^[16],苗期增施 CO₂ 能提高番茄的最大净光合速率,尽管差异不显著,但 700、1 000、1 300 $\mu\text{mol/mol}$ 的最大净光合速率比对照提高了 28.80%、11.39%、19.78%。而增施 CO₂ 持续到果期,结果显示增施 CO₂ 显著提高了叶片的最大净光合速率,并且 1 300 $\mu\text{mol/mol}$ 比 1 000、700 $\mu\text{mol/mol}$ 下提高了 32.80%、24.56%,叶片的最大净光合速率为最大光合速率与呼吸速率的净值,反映了植物的光合作用能力,反映的是植物具有的最大光合潜力^[17],故增施 CO₂ 浓度达 1 300 $\mu\text{mol/mol}$ 处理组植物具有最大的光合潜力。同时增施 CO₂ 也提高了叶片的光补偿点。光补偿点反映了作物利用弱光的能力^[18],光补偿点越低,植物利用弱光能力越强,而增施 CO₂ 处理组光补偿点较对照高,表明对番茄增施 CO₂ 时应注意合理密植^[19]。

增施 CO₂ 能降低第一花序开花节位,使开花时间提前,这与王红玉^[20]、周士力^[21] 等试验显示的结果一致,有助于产品的提前上市,获得经济效益。

参考文献

- [1] 马俊,贺超兴,闫妍,等.影响日光温室 CO₂ 浓度变化的因素与增施效果研究:2011 第二届中国[C].寿光:寿光国际设施园艺高层学术论坛,2011.
- [2] 刘志华,蒋海燕,程建峰.CO₂ 肥对保护地茄果类蔬菜光合作用和产量形成的效应[J].安徽农学通报(上半月刊),2009(5):81-83.
- [3] 赵国锦.高浓度 CO₂ 对温室番茄光合特性的影响[J].北方园艺,

2007(9):79-81.

- [4] 魏珉.日光温室蔬菜 CO₂ 施肥效应与机理及 CO₂ 环境调控技术[D].南京:南京农业大学,2000.
- [5] Kitaya Y, Shibuya T, Yoshida M, et al. Effects of air velocity on photosynthesis of plant canopies under elevated CO₂ levels in a plant culture system[J]. Advances in Space Research, 2004, 34(7): 1466-1469.
- [6] 邹春蕾.高 CO₂ 浓度对番茄生长发育及土壤微生物的影响[D].哈尔滨:东北农业大学,2007.
- [7] 谢英添.农田开放式 CO₂ 浓度和温度增高对冬小麦生长发育和产量的影响[D].南京:南京农业大学,2013.
- [8] 胡健,周娟,杨连新,等.水稻结实期剑叶叶绿素含量和组成对 FACE 的动态响应[J].农业环境科学学报,2007(4):1322-1326.
- [9] 王薇,宋廷宇,王艳,等.番茄叶片 SPAD 值与叶绿素含量的相关性分析[J].北方园艺,2013(23):12-15.
- [10] Li J, Zhou J M, Duan Z Q. Effects of elevated CO₂ concentration on growth and water usage of tomato seedlings under different ammonium/nitrate ratios[J]. Journal of Environmental Sciences, 2007(9): 1100-1107.
- [11] 赵蕊,王秀伟,毛子军.不同氮素浓度下 CO₂ 浓度、温度对蒙古栎(*Quercus mongolica*)幼苗叶绿素含量的影响[J].植物研究,2006(3):337-341.
- [12] 刘瑜,尹飞虎,曾胜和,等.大气 CO₂ 浓度升高对棉花叶绿素和光合指标的影响[J].新疆农业科学,2013(11):1991-1999.
- [13] 邹春蕾,吴凤芝,刘守伟.高浓度 CO₂ 对番茄生长发育及光合作用的影响[J].中国蔬菜,2008(11):14-17.
- [14] 蒋高明,韩兴国,林光辉.大气 CO₂ 浓度升高对植物的直接影响-国外十余年来模拟实验研究之主要手段及基本结论[J].植物生态学报,1997(6):489-502.
- [15] 王建林,温学发,赵风华,等.CO₂ 浓度倍增对 8 种作物叶片光合作用、蒸腾作用和水利用效率的影响[J].植物生态学报,2012(5):438-446.
- [16] 焦裕媚,韦小丽.两种光响应及 CO₂ 响应模型在喀斯特树种中的应用[J].贵州农业科学,2010(4):162-167.
- [17] 申文辉,李志辉,彭玉华,等.格木不同种源光合作用光响应分析研究[J].中南林业科技大学学报,2014(6):13-18.
- [18] 胡举伟,朱文旭,许楠,等.桑树/大豆间作对其生长及光合作用对光强响应的影响[J].中南林业科技大学学报,2013(2):44-49.
- [19] 杨雨华,宗建伟,杨凤岭.3 个核桃品种的光合-光响应特性[J].经济林研究,2014(2):19-23.
- [20] 王红玉.不同 CO₂ 增施条件下养分对日光温室番茄生长发育的影响[D].北京:中国农业大学,2014.
- [21] 周士力.不同 CO₂ 增施条件下水分对日光温室番茄生长发育的影响[D].北京:中国农业大学,2014.

Effect of Different CO₂ on Tomato Photosynthesis in Seedling and Fruiting Stage

XIONG Jun, QU Ying-hua, FAN Bing-lin, ZHANG Gan, YANG Na-na

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

Abstract: With the tomato type 'Zhongza 105' as material and used CO₂ cylinder, 700, 1 000, 1 300 $\mu\text{mol/mol}$ CO₂ concentration were set, with no CO₂ as control group. The effect of different CO₂ concentrations on the photosynthesis, photo response during seedling and fruit stage, SPAD value, the flowering time and inflorescence node of tomato were studied. The results showed that high CO₂ concentration significantly improved SPAD value and net photosynthesis rate, improved maximum photosynthetic rate and light compensation point, lowered the inflorescence node and brought forward the flower time.

Keywords: tomato; CO₂ enrichment; different concentration; photosynthesis