

# 空间电场与 CO<sub>2</sub>对黄瓜幼苗光合特性的影响

彭炳惠<sup>1,2</sup>, 王秀峰<sup>1\*</sup>, 丁 飞<sup>1</sup>

(<sup>1</sup> 山东农业大学园艺科学与工程学院, 作物生物学国家重点实验室, 山东泰安 271018; <sup>2</sup> 山西省榆次区农业局, 山西榆次 030600)

**摘 要:** 于塑料薄膜拱棚中研究了空间电场和 CO<sub>2</sub>对黄瓜 (*Cucumis sativus* L.) 幼苗光合作用的影响。结果表明: 电场和 CO<sub>2</sub>能显著提高黄瓜的净光合速率 ( $P_n$ ), 增强植株的光合能力, 并且随着光合有效辐射 (PAR) 的增强, 各处理间差距也增大。各处理间光合能力的差异主要是由非气孔限制引起的。电场和 CO<sub>2</sub>处理间黄瓜表观量子效率 (AQY) 无显著差异。电场显著降低黄瓜 CO<sub>2</sub>饱和点 (CSP) 和 CO<sub>2</sub>补偿点 (CCP), 显著提高植株的羧化效率 (CE) 和 RuBP最大再生速率, 同时显著提高植株的光呼吸速率 ( $R_p$ )。CO<sub>2</sub>能显著降低黄瓜光补偿点 (CCP)。

**关键词:** 黄瓜; 电场; CO<sub>2</sub>; 光合特性

**中图分类号:** S 642.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 0513-353X (2009) 03-0431-06

## Effects of Space Electro Static Field and CO<sub>2</sub> on Photosynthetic Characteristics in Cucumber Seedlings

PENG Bing-hui<sup>1,2</sup>, WANG Xiu-feng<sup>1\*</sup>, and DING Fei<sup>1</sup>

(<sup>1</sup> State Key Laboratory of Crop Biology, College of Horticulture Science and Engineering, Shandong Agricultural University, Tai'an, Shandong 271018, China; <sup>2</sup> Yuci District Agricultural Pursuits, Yuci, Shanxi 030600, China)

**Abstract:** The effects of space electro static field and CO<sub>2</sub> on cucumber (*Cucumis sativus* L.) seedling's photosynthesis were studied in plastic chambers. The results showed space electro static field can significantly promoted cucumber's net photosynthetic rate ( $P_n$ ), strengthened the plant's photosynthesis, and each treatment's diversity elevated with the increasing of photosynthetically active radiation (PAR). The diversity of photosynthesis was mainly caused by non-stoma restriction in each treatment. There were no significant differences on cucumber's apparent quantum efficiency (AQY) which treated by electro static field and CO<sub>2</sub>. Electro static field decreased obviously CO<sub>2</sub> saturation point (CSP) and CO<sub>2</sub> compensation point (CCP) in cucumber, also increased obviously plant's carboxylation efficiency (CE) and max regeneration velocity of RuBP, plant's photorespiration rate ( $R_p$ ) has a marked rise. CO<sub>2</sub> can decrease significantly cucumber's light compensation point (LCP).

**Key words:** cucumber; electro static field; CO<sub>2</sub>; photosynthetic characteristic

前人研究证明空间电场与 CO<sub>2</sub>同补技术在蔬菜上的应用, 具有防治病害、促进生长、提高产量、增加果实含糖量和耐贮性的作用 (韩德成和刘滨疆, 2002; 刘滨疆和钱宏光, 2002; 刘滨疆和雍红波, 2002; 刘滨疆等, 2005, 2006), 在设施农业无公害生产方面展现出良好的应用前景。空间电场生物效应技术是目前国际上广为关注的微能生物技术的一项重要内容, 属于多学科交叉的新兴边缘学科, 其研究多集中于我国, 绝大多数都是以植物种子为研究对象。大量试验证明了电场处理种子将会

收稿日期: 2008 - 08 - 12; 修回日期: 2009 - 01 - 21

基金项目: 山东省农业重大应用技术创新项目 (2007)

\* 通讯作者 Author for correspondence (E-mail: xfwang@sdu.edu.cn)

对其以后的生长发育产生明显的影响 (Tsong, 1994)。目前基础方面的研究 (Sidaway & Aspray, 1968; 島山英雄, 1982; 重光司, 1987; 那日和冯璐, 2003; 马正义, 2005a, 2005b) 还很薄弱, 特别是对植物光合特性影响的研究报道 (曹学成 等, 2006) 极少。本试验旨在探求空间电场与  $\text{CO}_2$  对黄瓜幼苗光合作用的影响, 力图为设施绿色产品生产提供理论依据, 为电场设备的更新提供参考。

## 1 材料与方法

试验于 2006 年 3—11 月在山东农业大学园艺实验站的 3 个长 10 m, 宽 5 m, 高 2.2 m 拱棚中进行。棚间用铝箔纸屏蔽电场干扰。每个拱棚设 1 个空间电场水平, 棚中间隔离密封设两个  $\text{CO}_2$  浓度水平。试验设空间电场和  $\text{CO}_2$  两个因素共 6 个处理, 每个处理 150 株苗。空间电场 (A) 设 3 个水平, 即  $A_1$  为  $0.12 \text{ kV} \cdot \text{m}^{-1}$  的大气自然电场 (对照),  $A_2$  为  $28 \text{ kV} \cdot \text{m}^{-1}$ 、 $A_3$  为  $40 \text{ kV} \cdot \text{m}^{-1}$  的人工空间电场。 $\text{CO}_2$  (B) 设两个水平, 即  $B_1$  为  $370 \mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$  的大气自然  $\text{CO}_2$  浓度 (对照),  $B_2$  为初始  $5\,000 \mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$  的人工  $\text{CO}_2$  浓度。人工空间电场设备采用大连市农业机械化研究所研制的 3DFC-300 型温室电除雾防病促生系统。从种子播后开始施加全天候间歇式 (工作 25 min, 停歇 45 min) 正高压空间静电场。人工增施  $\text{CO}_2$  ( $B_2$ ) 由流量计控制进行均匀释放,  $\text{CO}_2$  气体采用山东省泰安市迎春气体有限公司生产的化学纯  $\text{CO}_2$ 。幼苗真叶显现后开始每天上午 8:30 和下午 2:30 定时将处理室内  $\text{CO}_2$  浓度充至  $5\,000 \mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$ ; 中午通风 3 h, 其它均按常规管理。

试验材料为 ‘津春四号’ 黄瓜 (*Cucumis sativus* L.)。基质采用山东农业大学教学基地生产的花卉蔬菜育苗专用基质。 $\text{CO}_2$  增施处理 3 周后, 从顶部数选取完全展开的第 2 片真叶进行各项光合特性指标的测定。每处理测定 5 株, 重复 3 次。

气体交换参数用英国 PP Systems 公司的 CRAS-2 型便携式光合系统进行测定。测定时的叶温、光合有效辐射 (PAR) 及  $\text{CO}_2$  浓度等均用该仪器自控系统控制。净光合速率 ( $P_n$ ) 采用接近自然光强的 PAR  $1\,200 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ,  $\text{CO}_2$   $400 \mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$  条件下的测定值。光合—光强响应曲线及光合— $\text{CO}_2$  响应曲线测定时的条件为: PAR  $600 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ,  $\text{CO}_2$   $400 \mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$ , 温度  $25^\circ\text{C}$ , 相对湿度 75%; 从  $10 \sim 2\,000 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  分 18 个光照梯度进行光合—光强响应曲线测定, 每一光强下适应 10 min 后测定, 用直线回归求得  $P_n$ -PAR 响应曲线的初始斜率为表观量子效率 (AQY), 同时计算光补偿点 (LCP), 以拟合曲线方程 ( $y = ax^2 + bx + c$ ) 计算出光饱和点 (LSP) 以及光饱和时的最大光合速率; 从  $50 \sim 2\,000 \mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$  分 16 个  $\text{CO}_2$  浓度梯度进行光合— $\text{CO}_2$  响应曲线测定, 用直线回归求得  $P_n$ —细胞间隙  $\text{CO}_2$  浓度 ( $C_i$ ) ( $P_n$ - $C_i$ ) 响应曲线的初始斜率为羧化效率 (CE), 利用外推法求出光呼吸速率 ( $R_p$ ) (赵世伟 等, 2002)。以  $C_i$  饱和时的  $P_n$  为核酮糖-1, 5-二磷酸 (RuBP) 最大再生速率, 以  $P_n$ —环境  $\text{CO}_2$  浓度 ( $C_a$ ) 响应曲线方程计算  $\text{CO}_2$  补偿点 (CCP) 与  $\text{CO}_2$  饱和点 (CSP); 以没有气孔限制时的同化速率 (即  $C_i$  为  $350 \mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$  的  $P_n$ ) 代表光合能力; 并计算气孔限制值  $L_s = 1 - C_i/C_a$  ( $C_a$  为  $350 \mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$  时)。采用 DPS 数据处理系统进行统计分析 (LSD 法)。

## 2 结果与分析

### 2.1 空间电场与 $\text{CO}_2$ 处理黄瓜幼苗的光合对光强的响应

黄瓜叶片净光合速率 ( $P_n$ ) 对光强的响应如图 1, A 所示, 在 PAR  $0 \sim 100 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  范围内,  $P_n$  与 PAR 呈线性关系, 随 PAR 的增强而增大; 之后  $P_n$  随 PAR 增强缓慢增大, 尤其是在  $400 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  以后又进入一个更缓慢的增长时期, 而各处理间差距继续增大, 但未出现光抑制现象。电场和  $\text{CO}_2$  处理明显影响了  $P_n$ -PAR 响应。PAR 为  $1\,200 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  时, 各处理的  $P_n$  数值

顺序为： $A_3B_2$  (7.50) >  $A_2B_2$  (6.40) >  $A_1B_2$  (5.77) >  $A_3B_1$  (4.93) >  $A_2B_1$  (4.83) >  $A_1B_1$  (4.63)，各处理分别比最低值的  $A_1B_1$ 增加了 61.99%、38.23%、24.62%、6.48%、4.32%。 $B_2$ 处理平均比  $B_1$ 处理的  $P_n$ 值增加了 36.67%， $B_2$ 处理中  $A_3$ 比  $A_2$ 、 $A_1$ 分别增加了 17.19%、29.98%， $A_2$ 比  $A_1$ 增加了 10.92%。 $B_1$ 处理中  $A_3$ 比  $A_2$ 、 $A_1$ 分别增加了 2.07%、6.48%， $A_2$ 比  $A_1$ 增加了 4.32%，明显低于  $B_2$ 中的各处理间的差异。

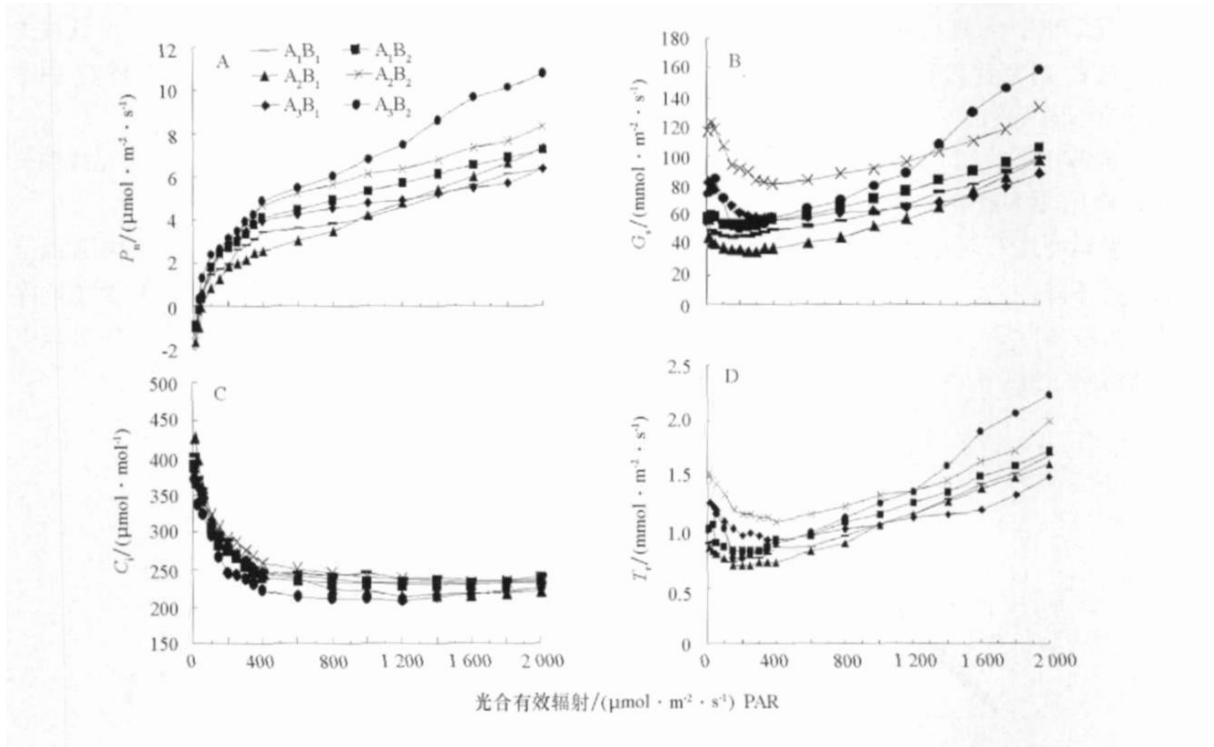


图 1 不同电场与 CO<sub>2</sub>处理黄瓜叶片光合作用对光照强度的响应

Fig 1 Response of photosynthesis to light intensity in leaves of cucumber under different electro static field and CO<sub>2</sub>

黄瓜叶片气孔导度 ( $G_s$ ) 对光强的响应如图 1, B 所示, 在 PAR 0 ~ 400  $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  范围内,  $G_s$  随 PAR 增强逐渐下降, 之后各处理均随 PAR 的增强而出现不同程度的增长。电场和 CO<sub>2</sub> 处理明显影响了  $G_s$  - PAR 响应, PAR 为 1 200  $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  时, 各处理的  $G_s$  数值顺序为:  $A_2B_2$  (96.67) >  $A_3B_2$  (89.33) >  $A_1B_2$  (76.33) >  $A_1B_1$  (67.00) >  $A_3B_1$  (66.00) >  $A_2B_1$  (58.00)。 $B_2$  处理平均比  $B_1$  处理的  $G_s$  值增加了 37.33%。 $B_2$  处理中  $A_2$  分别比  $A_3$ 、 $A_1$  增加了 8.22%、26.52%， $A_3$  比  $A_1$  增加了 17.03%， $B_1$  处理中  $A_1$  分别比  $A_3$ 、 $A_2$  增加了 1.52%、15.52%， $A_3$  比  $A_2$  增加了 13.79%。之后各处理的  $G_s$  数值顺序变化为:  $A_3B_2$  >  $A_2B_2$  >  $A_1B_2$  >  $A_1B_1$  >  $A_2B_1$  >  $A_3B_1$ ，并且  $B_2$  中各处理间的差距明显大于  $B_1$  中各处理。

黄瓜叶片细胞间隙 CO<sub>2</sub> 浓度 ( $C_i$ ) 对光强的响应如图 1, C 所示, 在 PAR 0 ~ 150  $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  范围内,  $C_i$  随 PAR 的增强呈直线下降; 在 150 ~ 600  $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  范围内, 随 PAR 的增强  $C_i$  下降速度变缓; 之后  $C_i$  的变化保持相对平稳, 各处理间数值非常接近。

黄瓜叶片蒸腾速率 ( $T_r$ ) 对光强的响应如图 1, D 所示,  $T_r$  随 PAR 的增强先下降而后又上升。电场和 CO<sub>2</sub> 处理影响了  $T_r$  - PAR 响应。低谷值对照在 PAR 150 ~ 400  $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  之间。PAR 为 1 200  $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  时, 各处理的  $T_r$  数值顺序为:  $A_3B_2$  (1.37) =  $A_2B_2$  (1.37) >  $A_1B_2$  (1.27) >  $A_1B_1$  (1.17) =  $A_2B_1$  (1.17) >  $A_3B_1$  (1.13)， $B_2$  处理平均比  $B_1$  处理的  $T_r$  值增加了 15.52%， $B_2$  处理中

$A_3$ 、 $A_2$ 均比  $A_1$ 增加了 7.87%， $B_1$ 处理中  $A_1$ 、 $A_2$ 均比  $A_3$ 增加了 3.54%。

## 2.2 空间电场与 $CO_2$ 处理黄瓜幼苗的光合作用对 $CO_2$ 的响应

黄瓜叶片  $P_n$ 对环境  $CO_2$ 浓度 ( $C_a$ ) 的响应如图 2, A所示, 在  $C_a$  0~1 000  $\mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$ 范围内,  $P_n$ 与  $C_a$ 呈线性关系, 随  $C_a$ 增大而增大; 在 1 000~1 800  $\mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$ 范围内, 叶片的  $P_n$ 随  $C_a$ 增大缓慢增大; 之后叶片  $P_n$ 又出现一个急剧的增长。

黄瓜叶片  $G_s$ 对  $C_a$ 的响应如图 2, B所示, 在  $C_a$  0~400  $\mu mol \cdot mol^{-1}$ 范围内,  $G_s$ 与  $C_a$ 呈线性关系, 随  $C_a$ 增大而下降; 在  $C_a$  400~1 600  $\mu mol \cdot mol^{-1}$ 范围内,  $G_s$ 保持相对稳定; 之后  $G_s$ 随  $C_a$ 的增大均有不同程度的下降。

黄瓜叶片  $C_i$ 对  $C_a$ 的响应如图 2, C所示, 在  $C_a$  0~2 000  $\mu mol \cdot mol^{-1}$ 范围内,  $C_i$ 与  $C_a$ 呈线性关系, 随  $C_a$ 增大而增大。

黄瓜叶片  $T_r$ 对  $C_a$ 的响应如图 2, D所示, 在  $C_a$  0~350  $\mu mol \cdot mol^{-1}$ 范围内,  $T_r$ 随  $C_a$ 的增加而呈直线型下降; 之后  $T_r$ 保持相对稳定略有下降趋势。 $C_a$ 为 350  $\mu mol \cdot mol^{-1}$ 时, 各处理的  $T_r$ 数值顺序为:  $A_1B_1$  (1.53) >  $A_3B_2$  (1.40) >  $A_2B_1$  (1.20) >  $A_2B_2$  (1.19) >  $A_1B_2$  (1.07) >  $A_3B_1$  (0.97),  $B_1$ 处理中  $T_r$ 数值顺序为:  $A_1$  >  $A_2$  >  $A_3$ ,  $B_2$ 处理中为:  $A_3$  >  $A_2$  >  $A_1$ 。

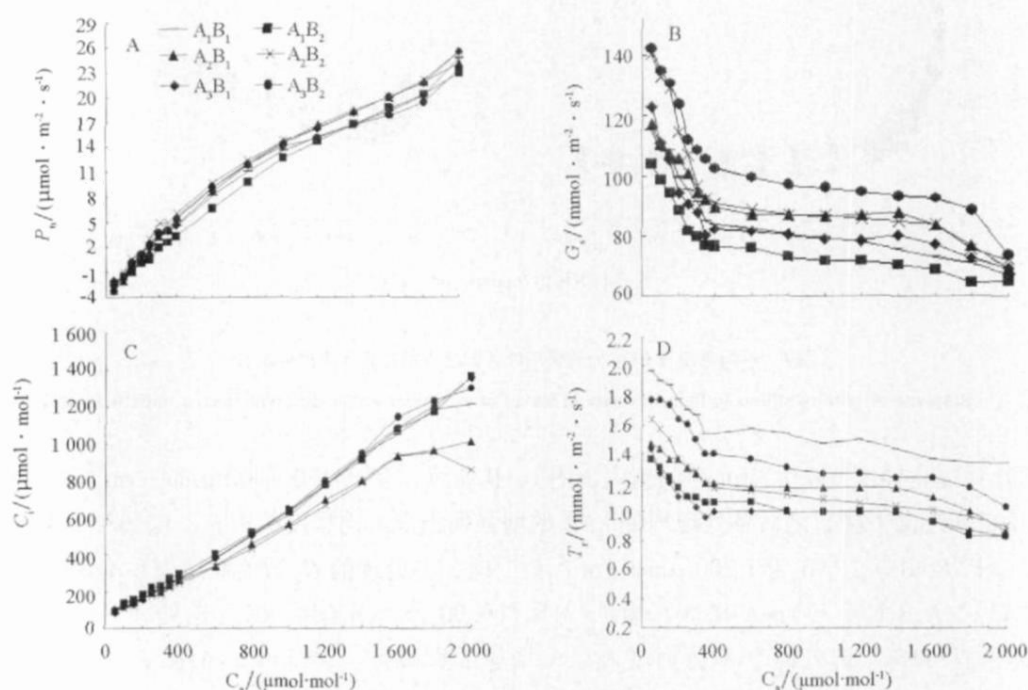


图 2 不同电场与  $CO_2$ 处理黄瓜叶片光合作用对  $CO_2$ 浓度的响应

Fig. 2 Response of photosynthesis to  $CO_2$  density in leaves of cucumber under different electro static field and  $CO_2$

## 2.3 空间电场与 $CO_2$ 处理黄瓜幼苗的光合参数的差异

如表 1所示, 黄瓜幼苗的光合参数对电场响应与  $CO_2$ 处理是不同的。净光合速率对电场强度的响应不明显,  $CO_2$ 浓度的增加使净光合速率, 特别是在高强度电场刺激下提高效果更明显。光饱和时最大光合速率与净光合速率的变化相一致。 $CO_2$ 浓度的增加明显的降低了黄瓜叶片的光补偿点, 在较高的电场强度 ( $A_3$ ) 下, 光补偿点更低。 $CO_2$ 的饱和点、补偿点基本不受空间电场及  $CO_2$ 浓度处理的影

响, 而 RuBP最大再生速率与羧化效率 (CE) 则随空间电场强度及 CO<sub>2</sub>浓度的提高有增加的趋势。光呼吸速率 ( $R_p$ ) 对空间电场强度有一定的反应, 但对 CO<sub>2</sub>浓度的处理反应不敏感。

表 1 不同电场与 CO<sub>2</sub>处理黄瓜光合参数的差异Table 1 Differences in photosynthetic parameters of cucumber treated by different electro static field and CO<sub>2</sub>

处理 Treatment	净光合速率 ( $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ) Net photosynthetic rate	光合能力 ( $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ) Photosynthetic capacity	光补偿点 ( $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ) Light compensation point	光饱和时最大光合速率 ( $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ) $P_n$ at light saturation point	表观量子效率 ( $\text{CO}_2 \mu\text{mol} \cdot \mu\text{mol}^{-1} \cdot \text{photon}^{-1}$ ) Apparent quantum efficiency
A <sub>1</sub> B <sub>1</sub>	4.63 $\pm$ 0.25d	5.95 $\pm$ 0.39cd	45.75 $\pm$ 3.20b	5.20 $\pm$ 0.41e	0.0197 $\pm$ 0.0047a
A <sub>1</sub> B <sub>2</sub>	5.77 $\pm$ 0.31c	4.91 $\pm$ 0.43d	39.47 $\pm$ 3.80c	6.87 $\pm$ 0.27c	0.0242 $\pm$ 0.0060a
A <sub>2</sub> B <sub>1</sub>	4.83 $\pm$ 0.47d	8.32 $\pm$ 1.12b	69.52 $\pm$ 4.21a	5.55 $\pm$ 0.19de	0.0208 $\pm$ 0.0038a
A <sub>2</sub> B <sub>2</sub>	6.40 $\pm$ 0.32b	10.01 $\pm$ 0.62a	45.91 $\pm$ 2.91b	7.77 $\pm$ 0.35b	0.0254 $\pm$ 0.0052a
A <sub>3</sub> B <sub>1</sub>	4.93 $\pm$ 0.25d	6.93 $\pm$ 0.43bc	37.53 $\pm$ 3.01c	5.95 $\pm$ 0.28d	0.0251 $\pm$ 0.0031a
A <sub>3</sub> B <sub>2</sub>	7.50 $\pm$ 0.28a	7.22 $\pm$ 1.32bc	21.63 $\pm$ 1.85d	10.54 $\pm$ 0.33a	0.0246 $\pm$ 0.0042a

续 Continuation

处理 Treatment	CO <sub>2</sub> 饱和点 ( $\mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$ ) CO <sub>2</sub> saturation point	CO <sub>2</sub> 补偿点 ( $\mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$ ) CO <sub>2</sub> compensation point	RuBP最大再生速率 ( $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ) Max regeneration velocity of RuBP	羧化效率 ( $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ) Carboxylation efficiency	光呼吸速率 ( $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ) Photorespiration rate	气孔限制值 Stomatal limited value
A <sub>1</sub> B <sub>1</sub>	3150 $\pm$ 138a	188.40 $\pm$ 10.13ab	24.46 $\pm$ 3.05cd	0.0205 $\pm$ 0.0029b	2.62 $\pm$ 0.30c	0.305 $\pm$ 0.038a
A <sub>1</sub> B <sub>2</sub>	3100 $\pm$ 143a	197.10 $\pm$ 13.00a	23.41 $\pm$ 1.50d	0.0223 $\pm$ 0.0034b	3.96 $\pm$ 0.25b	0.236 $\pm$ 0.033b
A <sub>2</sub> B <sub>1</sub>	2340 $\pm$ 157c	169.82 $\pm$ 15.12bc	25.99 $\pm$ 2.70bcd	0.0308 $\pm$ 0.0041a	4.58 $\pm$ 0.32a	0.341 $\pm$ 0.036a
A <sub>2</sub> B <sub>2</sub>	2650 $\pm$ 71b	162.78 $\pm$ 18.10cd	28.54 $\pm$ 2.42ab	0.0359 $\pm$ 0.0032a	4.31 $\pm$ 0.38ab	0.364 $\pm$ 0.035a
A <sub>3</sub> B <sub>1</sub>	2250 $\pm$ 58cd	142.48 $\pm$ 11.30d	27.81 $\pm$ 1.32abc	0.0348 $\pm$ 0.0040a	4.66 $\pm$ 0.42a	0.336 $\pm$ 0.041a
A <sub>3</sub> B <sub>2</sub>	2120 $\pm$ 43d	148.30 $\pm$ 9.23cd	30.63 $\pm$ 2.08a	0.0360 $\pm$ 0.0038a	4.76 $\pm$ 0.38a	0.330 $\pm$ 0.042a

注: LSD法显著性检验, 小写字母为 5%水平显著性差异。

Note: LSD multiple test, the small letters indicated the significant differences at 5% level

### 3 讨论

空间电场与 CO<sub>2</sub>处理黄瓜幼苗的光合—光强响应表明, 随着 PAR的增强, 电场和 CO<sub>2</sub>处理对黄瓜  $P_n$  的影响呈递增的趋势, 并且 CO<sub>2</sub>能明显促进电场对黄瓜的光合效应, 说明在强光下, 空间电场和 CO<sub>2</sub>协同作用能显著增强植物的光合能力, 促进植物生长。这与有关生长试验的报道 (刘滨疆和雍红波, 2002; 韩德成和刘滨疆, 2002; 马正义, 2005a, 2005b) 相吻合; 随着 PAR的增强, 高浓度 CO<sub>2</sub>能明显增强不同电场强度对黄瓜  $G_s$  的影响。电场和 CO<sub>2</sub>处理能提高黄瓜  $G_s$  值, 减小气孔阻力, 加速气孔内外气体和水分的交换, 有利于光合效率的提高, 与促进生长的报道也是相一致的; 电场和 CO<sub>2</sub>处理对  $C_i$  - PAR响应影响很小; 随着 PAR的增强, 高浓度 CO<sub>2</sub>能促进电场对黄瓜  $T_r$  的影响, 电场加大, 黄瓜蒸腾作用加快, 各种代谢活动也加速, 从而促进植物生长。低浓度 CO<sub>2</sub>处理时, 电场增强,  $T_r$  也在上升, 只是幅度较小。

空间电场与 CO<sub>2</sub>处理黄瓜幼苗的光合—CO<sub>2</sub>响应表明, 电场和 CO<sub>2</sub>处理对  $P_n$  -  $C_a$ 、 $C_i$  -  $C_a$ 、 $G_s$  -  $C_a$  响应影响不大, 但明显影响了  $T_r$  -  $C_a$  响应。低浓度 CO<sub>2</sub>处理的植株,  $T_r$  随着电场强度增强而降低, 水分代谢减缓。高浓度 CO<sub>2</sub>处理的植株,  $T_r$  则随着电场强度的增强而增大, 水分代谢加速。

空间电场与 CO<sub>2</sub>处理对黄瓜幼苗各处理间的  $P_n$  差异表明, 电场与 CO<sub>2</sub>对黄瓜幼苗  $P_n$  的提高有正协同作用, 能明显提高植物的同化作用。光饱和时各处理的最大  $P_n$  也同样反映了这一点, 这与有关生长试验的报道 (韩德成和刘滨疆, 2002; 刘滨疆和雍红波, 2002; 马正义, 2005a, 2005b; 那日和冯璐, 2003; 曹学成等, 2006) 是吻合的; CO<sub>2</sub>处理能显著降低黄瓜幼苗的光补偿点 (LCP), 提高植株对弱光的利用率。高强度电场和高浓度 CO<sub>2</sub>处理组合能显著扩大植株对光的利用范围, 提高植株

对光的利用率,从而促进植株的生长;电场和  $\text{CO}_2$  处理对黄瓜光合作用电子传递和光合磷酸化效率无明显影响;电场处理能显著降低黄瓜幼苗  $\text{CO}_2$  饱和点 (CSP) 和  $\text{CO}_2$  补偿点 (CCP), 电场强度越大, CSP 和 CCP 越小, 植株对低浓度  $\text{CO}_2$  的固定能力越强;羧化效率 (CE) 和 RuBP 最大再生速率数据表明人工空间电场处理可以提高黄瓜幼苗对不同浓度  $\text{CO}_2$  的利用率,从而提高同化作用的效率;电场处理还能显著增强黄瓜幼苗的光呼吸,加速其生理代谢;气孔限制值 ( $L_s$ ) 表明电场和  $\text{CO}_2$  处理后黄瓜光合能力的差异主要是由非气孔限制引起的。

## References

- Cao Xue-cheng, Yuan Suo-jia, Li Yong-geng, Guo Hua-bei 2006 Effects of photosynthesis about cucumber seeds growing and seeding by high voltage electrostatic field North Horticulture, (5): 4 - 6. (in Chinese)
- 曹学成, 原所佳, 李永庚, 郭华北. 2006 高压静电场对黄瓜种子萌发及幼苗光合特性的影响. 北方园艺, (5): 4 - 6.
- Han De-cheng, Liu Bin-jiang 2002 Supplied technique of space electric field and  $\text{CO}_2$  in hight-sugar big tomato's product Changjiang Vegetables, (S1): 54 - 55. (in Chinese)
- 韩德成, 刘滨疆. 2002 高糖度大果番茄生产的空间电场与  $\text{CO}_2$  同补技术. 长江蔬菜, (S1): 54 - 55.
- Liu Bin-jiang, Qian Hong-guang 2002 Matching technique equipment of livestock-birds house conforming to environment and safety Applied Engineering Technology in Rural Areas, (4): 20 - 21. (in Chinese)
- 刘滨疆, 钱宏光. 2002 环境安全型畜禽舍的配套技术装备. 农村实用工程技术, (4): 20 - 21.
- Liu Bin-jiang, Yong Hong-ba 2002 Apply of adjustment technique about space electric field in green farm products World Agriculture, (12): 39 - 41. (in Chinese)
- 刘滨疆, 雍红波. 2002 空间电场调控技术在无公害农产品生产中的应用. 世界农业, (12): 39 - 41.
- Liu Bin-jiang, Zhang Guang, Xu Wei-hui, Zhao Jing-hui, Cui Hai-zhen 2005 Application in strawberry's product by supplied technique of space electric field and  $\text{CO}_2$  ( ). Applied Engineering Technology in Rural Areas, (12): 50 - 51. (in Chinese)
- 刘滨疆, 张光, 许维辉, 赵京慧, 崔海珍. 2005 空间电场/ $\text{CO}_2$ 同补技术在草莓生产中的应用 (上). 农村实用工程技术, (12): 50 - 51.
- Liu Bin-jiang, Zhang Guang, Xu Wei-hui, Zhao Jing-hui, Cui Hai-zhen 2006 Application in strawberry's product by supplied technique of space electric field and  $\text{CO}_2$  ( ). Applied Engineering Technology in Rural Areas, (1): 56 - 57. (in Chinese)
- 刘滨疆, 张光, 许维辉, 赵京慧, 崔海珍. 2006 空间电场/ $\text{CO}_2$ 同补技术在草莓生产中的应用 (下). 农村实用工程技术, (1): 56 - 57.
- Ma Zheng-yi 2005a Theory and practition by suppling space electric field and  $\text{CO}_2$  in green house ( ). Applied Engineering Technology in Rural Areas, (4): 31 - 32. (in Chinese)
- 马正义. 2005a 温室空间电场/ $\text{CO}_2$ 同补理论与实践 (上). 农村实用工程技术, (4): 31 - 32.
- Ma Zheng-yi 2005b Theory and practition by suppling space electric field and  $\text{CO}_2$  in green house ( ). Applied Engineering Technology in Rural Areas, (5): 38 - 39. (in Chinese)
- 马正义. 2005b 温室空间电场/ $\text{CO}_2$ 同补理论与实践 (下). 农村实用工程技术, (5): 38 - 39.
- Na Ri, Feng Lu 2003 Mechanism of the biological effects of electrostatics Physics, 32 (2): 87 - 93. (in Chinese)
- 那日, 冯璐. 2003 我国静电生物学效应机理研究新进展. 物理, 32 (2): 87 - 93.
- Sidaway G H, Aspray G F 1968 Influence of electrostatic field on plant respiration Int J Biometeor, 12: 321 - 329.
- Tsong T Y 1994 Electric activation of membrane enzymes First East Asian symposium on biophysics Hyogo: Biophysical Society of Japan: 39.
- Zhao Shi-wei, Liu Dong-huan, Liu Yu-jun, Zhang Zuo-shuang, Gao Rong-fu 2002 The photosynthetic characters of *Alocasia odora* C. Koch and *Canellia japonica* L. in greenhouse in summer Acta Horticulturae Sinica, 29 (5): 457 - 461. (in Chinese)
- 赵世伟, 刘东焕, 刘玉军, 张佐双, 高荣孚. 2002 海芋、山茶夏季温室条件下的光合特征. 园艺学报, 29 (5): 457 - 461.
- 島山英雄. 1982 野外植物の生体電位. 静電学会誌, 6 (5): 276 - 284.
- 重光司. 1987 電界の植物への効果. 静電学会誌, 11 (6): 431 - 436.