

文章编号:1003-8701(2013)06-0011-03

# 长期 CO<sub>2</sub> 加富对玉米(粤甜 1 号)光合生理与生长发育的研究

惠俊爱<sup>1</sup>,叶庆生<sup>2\*</sup>

(1. 仲恺农业工程学院,广州 510225;2. 华南师范大学,广州 510631)

**摘要:**以塑料薄膜温室为设施,研究了玉米粤甜 1 号叶片光合生理特性对 CO<sub>2</sub> 浓度加富的响应。结果表明:处理 60d 时,玉米处理组 T<sub>1</sub>(600 ± 40) μmol CO<sub>2</sub>·mol<sup>-1</sup> 的净光合速率分别为对照组[大气 CO<sub>2</sub> 浓度,(360 ± 30) μmol CO<sub>2</sub>·mol<sup>-1</sup>]的 103.79%;而处理组 T<sub>2</sub>(900 ± 40) μmol CO<sub>2</sub>·mol<sup>-1</sup> 为对照的 105.18%;CO<sub>2</sub> 浓度加富处理促进了玉米叶片中可溶性糖和淀粉积累,Rubisco 羧化酶活性无显著变化;叶绿素含量下降,CO<sub>2</sub> 浓度加富处理条件下玉米粤甜 1 号反应不明显。

**关键词:**玉米;光合速率;CO<sub>2</sub> 加富;生长发育

中图分类号:Q945.11

文献标识码:A

## Studies on Effect of Long-Time CO<sub>2</sub> Enrichment on Photosynthesis, Growth and Development of *Zea mays* L. var. 'Yuetian 1'

HUI Jun-ai<sup>1</sup>, YE Qing-sheng<sup>2\*</sup>

(1. Zhongkai University of Agriculture and Engineering, GuangZhou 510225;

2. South China Normal University, GuangZhou 510631, China)

**Abstract:** Effect of CO<sub>2</sub> enrichment on photosynthetic characteristics and growth rate of *Zea mays* L. var. 'Yue-tian 1' was studied in plastic chambers. The results showed that plants grown under T1 treatment (600 ± 40 μmol CO<sub>2</sub>·mol<sup>-1</sup>) for 60 d, the net photosynthetic rate was 103.79% of CK (360 ± 30 μmol CO<sub>2</sub>·mol<sup>-1</sup>). Those of T2 treatment (900 ± 40 μmol CO<sub>2</sub>·mol<sup>-1</sup>) was 105.18% of CK. Elevated CO<sub>2</sub> concentration caused rise in soluble sugar and starch accumulation in leaves of *Zea mays* L.. In addition, Rubisco activity had no obviously change. The contents of chlorophyll of leaves were decreased. Elevated CO<sub>2</sub> concentration caused no obviously change in corn 'Yue-tian 1'.

**Keywords:** *Zea mays* L.; Net photosynthetic rate; CO<sub>2</sub> enrichment; Growth and development

正常情况大气中的 CO<sub>2</sub> 浓度成为影响植物光合速率的主要限制因子<sup>[1-2]</sup>。设施栽培条件下,通

过 CO<sub>2</sub> 加富能够提高植物的光合速率,增加生物量<sup>[3-4]</sup>,研究高 CO<sub>2</sub> 浓度环境下植物的响应机制在农业生产上也具有指导意义。近几年我们课题组对观赏凤梨(Bromeliaceae)<sup>[5-7]</sup>在高 CO<sub>2</sub> 浓度下反应已有报道,在此研究基础上我们对 C<sub>4</sub> 植物玉米(粤甜 1 号, *Zea mays* L. 'Yue-tian 1')进行了不同 CO<sub>2</sub> 浓度处理试验,研究其整个生长发育期内光合生理特征对大气 CO<sub>2</sub> 加富的响应,探讨净光合速率、可溶性糖、淀粉、叶绿素含量、光合相关酶活性的变化趋势与规律,为作物增产机理和开发利用寻求新的理论依据。

收稿日期:2013-07-01

基金项目:国家自然科学基金重点项目(40730741);863 项目(2007AA0610-01);广东省自然科学基金团队项目(9351064101000001);华南理工大学自然科学基金项目(E5090550)

作者简介:惠俊爱(1978-),女,博士,讲师,主要从事植物逆境生理、生化与分子生物学研究。

通讯作者:叶庆生,男,博士,教授,

E-mail: ye-lab@scnu.edu.cn

## 1 材料与方 法

### 1.1 材 料

玉米(*Zea mays* L. 'Yue-tian 1', 粤甜 1 号种子购于广东农科院, 在苗床上培育 20 d 后移入温室), 混合基质盆栽置于塑料薄膜温室中。CO<sub>2</sub> 气体施用时间为每天 8:00 ~ 18:00, 由流量计控制 CO<sub>2</sub> 气体, 温室内环境条件: 午间最大光合有效辐射 (650 ± 100) μmol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>; 温度: 白天 (25 ± 4)°C、夜晚 (21 ± 3)°C; 相对湿度: 白天 45% ± 10%, 夜晚 75% ± 10%。

以大气条件下的 CO<sub>2</sub> 浓度作为对照 (360 ± 30) μmol·mol<sup>-1</sup>、处理 T<sub>1</sub> (600 ± 40) μmol·mol<sup>-1</sup> 及处理 T<sub>2</sub> (900 ± 40) μmol·mol<sup>-1</sup> 3 个处理, 3 次重复, 每个重复 10 盆。每隔 30 d 取上数第 4 ~ 5 位、生长健康的叶片测定生理生化指标, 同时取样测定株高。

### 1.2 光 合 作 用 测 定

选取生长健壮的玉米功能叶, 利用光合分析系统 (Li-6400, Li-COR, NE, USA) 在各处理条件下于 12:00 ~ 14:00 测定玉米净光合速率 (Pn), 重复 3 次。

### 1.3 生 理 生 化 指 标 测 定

叶绿素含量, 可溶性总糖量的测定参考张志良等<sup>[8]</sup>的方法; 淀粉含量测定参照徐昌杰等<sup>[9]</sup>的方法; Rubisco 羧化酶活性测定参照叶庆生等<sup>[10]</sup>的方法。

## 2 结 果 与 分 析

### 2.1 CO<sub>2</sub> 加富对叶片光合作用的影响

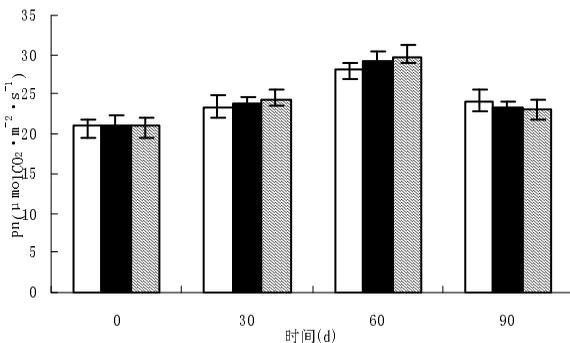


图 1 CO<sub>2</sub> 加富对净光合速率的影响

由图 1 可知随 CO<sub>2</sub> 浓度增加, 玉米叶片的净光合速率 Pn 升高, 如: 处理 60 d 时 T<sub>1</sub> 比同期对照增加 103.79%, T<sub>2</sub> 比同期对照增加 105.18%。但到处理 90 d 时与处理 60 d 相比 Pn 降低, 原因

可能是在此时间段正处于玉米生长发育后期, 叶片呈衰老状态, 同化 CO<sub>2</sub> 的能力也相应下降, 导致 Pn 降低。试验期间, 同一时期不同浓度 CO<sub>2</sub> 处理下玉米的 Pn 变化不明显, 这可能与 C<sub>4</sub> 植物的光合途径有关。C<sub>4</sub> 植物的 CO<sub>2</sub> 补偿点低, 而在 C<sub>3</sub> 作物低 CO<sub>2</sub> 浓度下因光合原料供应不充足, 光合作用受到明显抑制, C<sub>4</sub> 植物由于其光合作用的特殊性, 即使在低 CO<sub>2</sub> 浓度下仍能进行同化作用。

### 2.2 CO<sub>2</sub> 加富对叶片核酮糖 1,5- 二磷酸羧化酶活性的影响

试验表明 (图 2), T<sub>1</sub>、T<sub>2</sub> 处理组 Rubisco 羧化酶活性在整个试验期间玉米高 CO<sub>2</sub> 浓度处理组与同时期的对照组相比基本不变, 统计分析表明差异不显著。C<sub>4</sub> 植物光合途径明显不同于 C<sub>3</sub> 植物, C<sub>4</sub> 植物具有较低的 CO<sub>2</sub> 补偿点和 CO<sub>2</sub> 饱和点, CO<sub>2</sub> 浓度不是其光合作用的限制因子之一, C<sub>4</sub> 植物本身存在的 CO<sub>2</sub> 泵, 能充分利用空气中原有的 CO<sub>2</sub>, 因此对生境中增加的 CO<sub>2</sub> 不敏感。

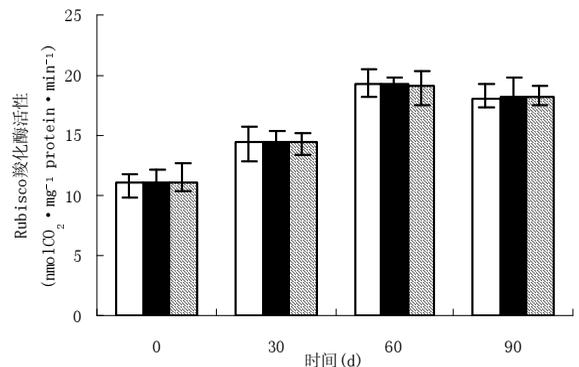


图 2 CO<sub>2</sub> 加富对核酮糖 1,5- 二磷酸羧化酶活性的影响

### 2.3 CO<sub>2</sub> 加富对叶片可溶性糖、淀粉和叶绿素含量的影响

CO<sub>2</sub> 浓度加富处理促进了叶片中可溶性糖和淀粉的积累 (表 1), 可溶性糖含量增加的幅度较大, 处理 90 d 时与 CK 相比 T<sub>1</sub> 处理下玉米叶片中可溶性糖含量分别增加了 27.02%, 而 T<sub>2</sub> 处理下增加了 34.57%。处理 90d 时与 CK 相比 T<sub>1</sub> 处理下玉米叶片中淀粉 (表 1) 含量比处理前增加了 64.51%, 而 T<sub>2</sub> 处理下增加了 109.37%。

在 CO<sub>2</sub> 浓度加富处理条件下, 处理 90d 时与对照相比 T<sub>1</sub> 处理下玉米叶片中叶绿素含量比处理前降低了 19.58%, 而 T<sub>2</sub> 处理下降了 26.44%。玉米处理 60d 左右即开花后叶片中叶绿素 a、b 总量 (表 2) 降低, 整个试验期间随生育期的推进玉米叶绿素 a、b 总量降低。

表 1 CO<sub>2</sub> 加富对叶片可溶性糖和淀粉含量的影响

时间(d)	处理	可溶性糖含量(mg·g <sup>-1</sup> ·DW)	淀粉含量(mg·g <sup>-1</sup> ·FW)
0	CK	8.53 ± 0.67	11.95 ± 0.33
30	CK	12.24 ± 0.17	14.23 ± 0.34
	T <sub>1</sub>	14.35 ± 0.57	15.12 ± 1.45
	T <sub>2</sub>	15.59 ± 0.24	15.87 ± 1.03
60	CK	14.93 ± 0.62b	14.87 ± 1.03b
	T <sub>1</sub>	18.45 ± 0.53ab	16.45 ± 0.45a
	T <sub>2</sub>	20.55 ± 1.07a	16.53 ± 0.69a
90	CK	16.43 ± 0.69b	19.66 ± 1.12c
	T <sub>1</sub>	20.87 ± 1.03ab	22.41 ± 1.69b
	T <sub>2</sub>	22.11 ± 1.09a	25.02 ± 1.23a

注:表中数据为 3 次重复的平均值。同栏数字后大小写字母表示差异达 0.01, 0.05 水平,下同。

表 2 CO<sub>2</sub> 加富对叶片叶绿素含量的影响

时间(d)	处理	a+b (mg·g <sup>-1</sup> ·FW)	a/b
0	CK	5.55 ± 0.25	1.92 ± 0.23
30	CK	6.11 ± 0.65	2.33 ± 0.14
	T <sub>1</sub>	5.81 ± 0.84	1.90 ± 0.18
	T <sub>2</sub>	5.59 ± 0.14	1.75 ± 0.07
60	CK	4.41 ± 0.98a	2.67 ± 0.11
	T <sub>1</sub>	4.19 ± 0.21b	2.65 ± 0.32
	T <sub>2</sub>	4.09 ± 0.27b	2.62 ± 0.25
90	CK	3.37 ± 0.52a	2.39 ± 0.11b
	T <sub>1</sub>	2.71 ± 0.27b	3.08 ± 0.36a
	T <sub>2</sub>	2.48 ± 0.74b	3.02 ± 0.31a

表 3 CO<sub>2</sub> 加富处理对玉米生长发育及株高的影响

处理	苗期日期	株高(cm)	拔节日期	株高(cm)
CK	15/11	23.50 ± 3.55	25/11	115.75 ± 14.50b
T <sub>1</sub>	15/11	21.50 ± 2.35	25/11	121.55 ± 15.50a
T <sub>2</sub>	15/11	22.50 ± 3.25	25/11	117.35 ± 14.55b
处理	抽雄日期	株高(cm)	开花日期	株高(cm)
CK	13/12	174.45 ± 17.50a	15/12	201.55 ± 18.50
T <sub>1</sub>	13/12	168.25 ± 16.50b	15/12	201.55 ± 16.50
T <sub>2</sub>	13/12	166.50 ± 16.35b	15/12	201.55 ± 17.00
处理	抽雄日期	株高(cm)	开花日期	株高(cm)
CK	30/12	201.55 ± 18.50	25/01	201.55 ± 18.50
T <sub>1</sub>	30/12	201.55 ± 16.50	25/01	201.55 ± 16.50
T <sub>2</sub>	30/12	201.55 ± 17.00	25/01	201.55 ± 17.00

玉米移入塑料温室后,经不同 CO<sub>2</sub> 浓度处理,各发育期及株高变化见表 3,由表 3 可知,在同一时间段内 CO<sub>2</sub> 浓度从 CK 增加到 T<sub>1</sub>、T<sub>2</sub>,对玉米生长发育期几乎没有影响,对玉米的株高影响不明显。

### 3 讨论

在低 CO<sub>2</sub> 浓度下 C<sub>3</sub> 植物叶片因光合作用原料 CO<sub>2</sub> 供应不充足,叶片光合作用受到明显抑制,叶片净光合速率 Pn 低于 C<sub>4</sub> 植物,当 CO<sub>2</sub> 浓度升高时 C<sub>3</sub> 植物叶片 Pn 迅速增长,而 C<sub>4</sub> 植物叶片则不如此。这可能是由于 C<sub>4</sub> 植物叶片具有浓缩 CO<sub>2</sub> 的 C<sub>4</sub> 途径,因而对环境高 CO<sub>2</sub> 浓度响应较小,尽管 C<sub>4</sub> 植物玉米在高 CO<sub>2</sub> 浓度下的净光合速率并不增加,但其生物量却增加,有研究认为是叶面积和用水效率增加所致<sup>[11]</sup>。张其德等<sup>[11]</sup>通过研究证明,CO<sub>2</sub> 加富对光合作用的促进效应与光合作

用光反应的促进有关,CO<sub>2</sub> 加富还有利于叶片 PSII 光化学活性的提高从而有利于叶绿体把所捕获的光能以更高的速度和效率转化为化学能。Rubisco 羧化酶具有羧化、加氧两种生理功能,CO<sub>2</sub> 浓度增加,能提高胞间 CO<sub>2</sub> 浓度,增强 CO<sub>2</sub> 对 O<sub>2</sub> 的竞争,抑制加氧酶活性<sup>[12]</sup>。本试验也得到了类似的结果,高浓度 CO<sub>2</sub> 处理组在短期试验中 Rubisco 羧化酶的活性均比对照组增加。

总之,高 CO<sub>2</sub> 浓度促进植物的光合作用,使植物叶片内淀粉、多糖含量增加,这些碳水化合物可能随着植物体内物质运输而转移到根、茎、叶等部位,从而使植物生物量提高。

参考文献:

- [1] Genthon C, Barnola J M, Raynaud D, et al. Vostok ice core: climate response to CO<sub>2</sub> and orbit forcing changes over the last climatic cycle[J]. Nature, 1987(329): 414-418.

- [12] 陈建明, 余晓平, 程家安. 叶绿素荧光动力学及其在植物抗逆生理研究中的应用[J]. 浙江农业学报, 2006, 18(1): 51-55.
- [13] Sarijeva G, Knapp M, Lichtenthaler H K. Differences in photosynthetic activity, chlorophyll and carotenoid levels, and in chlorophyll fluorescence parameters in green sun and shade leaves of Ginkgo and Fagus[J]. Journal of Plant Physiology, 2007, 164(7): 950-955.
- [14] Klughammer C, Schreiber U. Complementary PSII quantum yields calculated from simple fluorescence parameters measured by PAM fluorometry and the Saturation Pulse method [J]. PAM Application Notes, 2008(1): 27-35. <http://walz.asia/downloads/pan/PAN078007.pdf>
- [15] 钱永强, 周晓星, 韩 蕾, 等. Cd<sup>2+</sup> 胁迫对银芽柳 PSII 叶绿素荧光光响应曲线的影响 [J]. 生态学报, 2011, 31(20): 6134-6142.
- [16] 韩 炜, 徐新文, 李 利, 等. 白榆(*Ulmus pumila* L.) 光驯化后的快速光曲线变化特征 [J]. 干旱区研究, 2010, 27(5): 738-744.
- [17] Basu P. S, Sharma Ashoo, Sukumaran N. P. Changes in net photosynthetic rate and chlorophyll fluorescence in potato leaves induced by water stress[J]. Photosynthetica, 1998, 35(1): 13-19.
- [18] Jefferies R. A. Effect of drought on chlorophyll fluorescence in potato. I. Plant water status and the kinetics of chlorophyll fluorescence[J]. Potato Research, 1992(35): 25-34.

(上接第 13 页)

- [2] 苏培玺, 杜明武, 张立新, 等. 日光温室草莓光合特性及对 CO<sub>2</sub> 加富的响应[J]. 园艺学报, 2002, 29(5): 423-426.
- [3] 林伟宏. 植物光合作用对大气 CO<sub>2</sub> 升高的反应 [J]. 生态学报, 1998, 18(5): 529-538.
- [4] Sun J D, Kelly M. Gibson, et al. Interactions of nitrate and CO<sub>2</sub> enrichment on growth, carbohydrates, and rubisco in Arabidopsis starch mutants. Significance of starch and hexose[J]. Plant Physiology, 2002(130): 1573-1583.
- [5] 惠俊爱, 李永华, 李 卓, 等. 高浓度 CO<sub>2</sub> 对紫星凤梨光合作用和生长发育的影响[J]. 园艺学报, 2006, 33(5): 1027-1032.
- [6] 惠俊爱, 叶庆生. 高浓度二氧化碳处理后凤梨光合作用的恢复[J]. 应用生态学报, 2007, 18(5): 1003-1008.
- [7] 王精明, 李永华, 黄胜琴, 等. CO<sub>2</sub> 加富对凤梨叶片生长和光合特性的影响 [J]. 热带亚热带植物学报, 2004, 12(6): 511-514.
- [8] 张志良, 瞿伟菁. 植物生理学实验指导[M]. 北京: 高等教育出版社, 2003: 88-92, 169-170.
- [9] 徐昌杰, 陈文峻, 陈昆松, 等. 淀粉含量测定的一种简便方法—碘显色法[J]. 生物技术, 1998, 8(2): 41-43.
- [10] 叶庆生, 潘瑞焱, 丘才新. 墨兰光合途径的研究[J]. 植物学报, 1993, 35(6): 441-446.
- [11] 张其德, 卢从明, 冯丽洁, 等. CO<sub>2</sub> 加富对紫花苜蓿光合作用原初光能转换的影响[J]. 植物学报, 1996, 38(1): 77-82.
- [12] Hugo H R, Brett R G and Sagar V K. Plant response to atmospheric CO<sub>2</sub> enrichment with emphasis on roots and the rhizosphere[J]. Environmental Pollution, 1994(83): 155-189.

(上接第 65 页) 筛选出的菌株均来自土壤, 对于后续菌株的定殖研究提供了便利的条件, 且具有很好的研究开发前景。

参考文献:

- [1] 程惠珍, 陈 君, 丁万隆. 中药材生产中的植保问题及对策 [J]. 中药材, 2001, 24(1): 11-13.
- [2] 谢文艳. 药用植物病虫害防治存在问题及对策 [J]. 陕西农业科学, 2009(4): 108-109.
- [3] 梁建根, 施跃峰, 竺利红. 生物防治在植物病虫害防治中存在的问题及对策[J]. 现代农业科技, 2008(19): 173.
- [4] 龙汉广. 生物防治在植物病虫害防治中存在的问题及对策 [J]. 农业与技术, 2013, 33(2): 36.
- [5] 郝慧荣, 李振方, 熊 君, 等. 连作怀牛膝根际土壤微生物区系及酶活性的变化研究 [J]. 中国生态农业学报, 2008, 16(2): 307-311.
- [6] 齐艳春. 甜叶菊斑枯病生物防治拮抗菌株的筛选[J]. 中国农学通报, 2008, 24(11): 65-68.
- [7] 张鸿雁, 薛泉宏. 人参连作障碍防治研究进展[J]. 江西农业学报, 2010, 22(6): 68-71.
- [8] 邱德文. 我国植物病害生物防治的现状与发展策略[J]. 植物保护, 2010, 36(4): 15-18.
- [9] 陈新春, 张喜喜, 汪钱龙, 等. 蔬菜根际细菌 R2-2 的鉴定及其抑菌活性 [J]. 湖南农业大学学报 (自然科学版), 2012, 38(2): 177-180.
- [10] 谢永丽, 马莉贞, 徐志伟, 等. 青海柴达木极端干旱沙地分离芽孢杆菌的分子鉴定及拮抗活性分析 [J]. 微生物学通报, 2012, 39(8): 1079-1086.