

## CO<sub>2</sub> 浓度倍增对大豆生长及光合作用的影响

张 朋, 张文会, 苗秀莲, 李 会, 刘丽丽, 张雯雯

(聊城大学 生命科学学院, 山东 聊城 252059)

**摘 要:**以‘齐黄 27’大豆为材料,研究人工气候室模拟大气 CO<sub>2</sub>浓度倍增(700  $\mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$ )的环境条件下大豆植株在生长、色素含量及光合作用相关指标的变化。结果表明:CO<sub>2</sub>倍增显著增加株高、干鲜重和根瘤数,显著降低根冠比;CO<sub>2</sub>浓度倍增处理增加了叶绿素、花青素和类胡萝卜素含量,使光合速率、Rubsico 的活性、气孔导度和 PS II 的功能都有所增加。CO<sub>2</sub>浓度倍增处理对大豆植株的生长具有促进作用,主要是由于高浓度 CO<sub>2</sub>增加了根瘤的数量,增加了叶片叶绿素和类胡萝卜素含量,提高了 Rubsico 活性,增强了 PS II 功能并且提高了气孔导度,最终使光合速率增加所致。

**关键词:**CO<sub>2</sub>倍增;大豆;光合作用

中图分类号:Q948

文献标识码:A

文章编号:1000-9841(2010)01-0064-04

## Effects of Doubled CO<sub>2</sub> Concentration on Growth and Photosynthesis of Soybean

ZHANG Peng, ZHANG Wen-hui, MIAO Xiu-lian, LI Hui, LIU Li-li, ZHANG Wen-wen

(School of Life Sciences, Liaocheng University, Liaocheng 252059, Shandong, China)

**Abstract:** The effects of doubled carbon dioxide concentration(700  $\mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$ ) on some relevant indicators of growth and development, biomass accumulation and photosynthesis in soybean (*Glycine max* Merr.) were investigated in artificial climate room with soybean cultivar Qihuang 27 as material. Doubled CO<sub>2</sub> significantly increased plant height, dry weight, fresh weight and the number of root nodule while significantly decreased the root/shoot ratio; Doubled CO<sub>2</sub> significantly increased the contents of chlorophyll, carotenoid and anthocyanin; Doubled CO<sub>2</sub> increased photosynthesis rate, rubisco activity, stomatic conductance, and  $F_v/F_m$ . Results suggest doubled CO<sub>2</sub> enhanced photosynthesis by increasing related physiological traits, hence, promoted the growth of soybean plants.

**Key words:** Doubled CO<sub>2</sub>; Soybean; Photosynthesis

地球温暖化是指大气中如 CO<sub>2</sub>、CH<sub>4</sub>、O<sub>3</sub> 等气体增加及其造成的全球性升温等相关变化。该变化可能会导致一系列生物生态学效应,是当今全球性关注的热门课题之一<sup>[1-3]</sup>。其中全球大气 CO<sub>2</sub> 浓度的升高主要是由于人类活动和工业生产的发展所致,大气 CO<sub>2</sub> 浓度已由工业革命前 260 ~ 280  $\mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$  上升到目前的 350  $\mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$  左右,并且以每年 1 ~ 2  $\mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$  的速度递增<sup>[4]</sup>。CO<sub>2</sub> 作为植物光合作用的原料,其浓度的高低,对植物光合作用及一系列生理生化过程产生直接影响,研究大气 CO<sub>2</sub> 浓度升高对植物,尤其对经济作物的

影响,已成为国内外农业研究的热点。CO<sub>2</sub> 增加对植物和作物光合作用、生长发育及产量形成的正效应已有大量的报道。研究表明,CO<sub>2</sub> 浓度升高导致叶片气孔开度减小<sup>[5]</sup>,叶面积增加<sup>[6]</sup>,光合速率提高<sup>[7-8]</sup>,生物量增加<sup>[9]</sup>。

该文以大豆为材料,在人工气候室内模拟大气 CO<sub>2</sub> 浓度增加条件下,研究大豆生长、光合作用相关指标的变化。为进一步阐明 CO<sub>2</sub> 对大豆植株生长的影响机制,以及为大豆高产优质栽培提供科学依据。

收稿日期:2009-09-08

基金项目:国家自然科学基金资助项目(30771156);山东省自然科学基金资助项目(2005ZX10,2009ZRB01762);教育部留学回国科研启动资助项目(2005)。

第一作者简介:张朋(1984-),男,在读硕士,研究方向为细胞生物学。E-mail:zhangpeng68068@163.com。

通讯作者:张文会,博士,副教授。E-mail:whzhang@lccu.edu.cn。

1 材料与方法

1.1 供试材料

大豆品种齐黄 27。

1.2 试验方法

1.2.1 培养方法 选取籽粒饱满,大小均匀的大豆种子 2 000 粒,分别放在医用搪瓷盘中室温下浸种。待种子吸水膨胀后于 25℃ 培养箱中催芽,选取胚根长度一致的发芽种子播种于长、宽、高分别为 50、40、30 cm 的塑料箱中。箱内铺 20 cm 厚的大田土(除去表层土 2 ~ 3 cm),每箱施硫酸钾型复合肥 15 g(相当于 750 kg·hm<sup>-2</sup>)。播种深度约 2 cm,每穴呈品字形播种 3 粒,每箱 20 穴。播种后放入人工气候室内培养,昼/夜室温分别为 25℃ 和 20℃,光照时间 8:00 ~ 20:00,光照强度 600 μmol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>。待长出第 1 对真叶后间苗,株行距均为 10 cm,每箱留苗 20 株。间苗后进行 CO<sub>2</sub> 处理。

1.2.2 CO<sub>2</sub> 处理 设高浓度 CO<sub>2</sub> 处理(+ CO<sub>2</sub>),浓度为(700 ± 100) μmol·mol<sup>-1</sup>,对照组 CO<sub>2</sub> 浓度控制在(350 ± 100) μmol·mol<sup>-1</sup>,6 次重复。

1.3 测定项目与方法

1.3.1 形态指标 将大豆拔出,测量生根处到茎尖端生长点的长度作为株高指标。将根系小心从土中取出,洗净后用吸水纸吸干,测定鲜重;将根系从生根处剪开,与地上部分一同放在 80℃ 干燥箱中烘干 48 h,取出冷却后测定干重,并计算根冠比,每处理共测定 10 株。将根系连土从箱子中取出,用水轻轻地洗掉泥土及其它附着物,记录着生的根瘤数,每处理测定 10 株。

1.3.2 色素含量及光合作用相关指标 用 SPAD-502 测量叶绿素和类胡萝卜素的值,测定大豆植株最上部第 2 片完全展开叶中部小叶,每株测 1 个叶片,每个叶片测 3 次取平均值,每个处理测定 10 个叶片。净光合速率采用 CI-340 测定,测定部位同叶绿素,每处理测定 5 个叶片。采用考马斯亮蓝 G-250 法<sup>[10]</sup>测定最上部完全展开叶片的可溶性蛋白质含量,重复 5 次。气孔导度采用 EGM4/PMR-5 衡态气孔计测定,测定部位同上,每个处理测定 10 个叶片。将待测叶片暗适应 20 min 后用 OS-30P 荧光仪测定叶片的荧光参数(*F<sub>v</sub>*/*F<sub>m</sub>*),测定部位及叶数同上。

1.4 数据分析

采用 Excel 和 SPSS13.0 进行数据分析。

2 结果与分析

2.1 CO<sub>2</sub> 浓度倍增处理对大豆生长的影响

大豆形态指标的测定结果表明(表 1),CO<sub>2</sub> 浓度倍增对大豆生物量的生长和积累具有促进作用。高浓度 CO<sub>2</sub> 处理极显著的促进株高的生长(*P* < 0.01),与 CK 相比,高浓度 CO<sub>2</sub> 处理使株高增加 36.7%。干、鲜重在 CO<sub>2</sub> 处理下分别比对照增加 33.1% (*P* < 0.05) 和 10.6%。与 CK 相比,植株的根冠比在 CO<sub>2</sub> 处理下显著降低了 21.9% (*P* < 0.05),表明 CO<sub>2</sub> 处理显著促进了地上生物量的积累。CO<sub>2</sub> 处理极显著地促进了根瘤的生长,使植株的根瘤数增加 170.2% (*P* < 0.01),根瘤数目增多,从而促进对土壤中氮素的固定。

表 1 CO<sub>2</sub> 浓度倍增对大豆株高、鲜重、干重、根冠比和根瘤数的影响

Table 1 Effects of CO<sub>2</sub> doubling on height, fresh weight, dry weight, root/shoot and number of root nodule of soybean

CO <sub>2</sub> 浓度	株高	单株鲜重	单株干重	根冠比	根瘤数
CO <sub>2</sub> concentration/ μmol·mol <sup>-1</sup>	Height/cm	Fresh weight /g·plant <sup>-1</sup>	Dry weight /g·plant <sup>-1</sup>	Root/Shoot	Number of root nodule/ No·plant <sup>-1</sup>
350	39.60 ± 3.42Bb	32.78 ± 5.11Aa	5.68 ± 1.06Ab	26.70 ± 4.97Aa	16.38 ± 3.91Bb
700	54.15 ± 4.73Aa	36.24 ± 4.87Aa	7.56 ± 1.15Aa	20.85 ± 4.35Ab	44.25 ± 3.92Aa

表中数据为平均值 ± 标准差,不同大小写字母分别表示处理间在 0.01 和 0.05 水平差异显著;

Data in the table are expressed as mean ± SD; Values within a column followed by different capital and normal letters show significant difference among treatments at 0.01 and 0.05 level, respectively.

2.2 CO<sub>2</sub> 浓度倍增处理对色素含量的影响

对大豆色素含量测定结果表明(表 2),CO<sub>2</sub> 浓度倍增使大豆叶片中叶绿素、花青素和类胡萝卜素

都有所增加。与 CK 相比,CO<sub>2</sub> 浓度倍增处理使叶片中叶绿素含量增加 27.43%,达到显著水平(*P* < 0.05),表明 CO<sub>2</sub> 浓度倍增处理使叶绿素含量增加,

有利于叶片进行光合作用。 $\text{CO}_2$ 处理下花青素仅增加 4.89%,未达显著水平( $P < 0.05$ )。类胡萝卜素是光合作用的辅助色素,能将所吸收的光能传递给叶绿素,使被它们吸收的光能最终用于光合作用<sup>[11]</sup>。 $\text{CO}_2$ 处理下类胡萝卜素增加 13.64%,虽未达到显著水平( $P < 0.05$ ),但在一定程度上促进了光能的吸收和传递。

表2  $\text{CO}_2$ 倍增处理对大豆色素含量的影响

Table 2 Effects of  $\text{CO}_2$  doubling on pigments content of soybean

$\text{CO}_2$ 浓度	叶绿素	花青素	类胡萝卜素
$\text{CO}_2$ concentration	Chlorophyll	Anthocyanin	Carotenoid
$/\mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$			
350	15.80 $\pm$ 4.62Ab	4.61 $\pm$ 0.80Aa	18.39 $\pm$ 4.29Aa
700	20.13 $\pm$ 3.61Aa	4.84 $\pm$ 1.14Aa	20.85 $\pm$ 3.62Aa
%	27.4	4.9	13.6

表3  $\text{CO}_2$ 浓度倍增对大豆叶片光合速率、可溶性蛋白、气孔导度和  $F_v/F_m$  的影响

Table 3 Effects of  $\text{CO}_2$  doubling on photosynthesis rate, solubility protein, stomatic conductance, and  $F_v/F_m$

$\text{CO}_2$ 浓度	光合速率	可溶性蛋白	气孔导度	荧光
$\text{CO}_2$ concentration $/\mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$	$P_n/\mu\text{molCO}_2 \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}$	$\text{Spc}/\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$	$G_s/\mu\text{molH}_2\text{O} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}$	$F_v/F_m$
350	15.48 $\pm$ 4.73Bb	22.95 $\pm$ 5.84Ab	86.33 $\pm$ 4.51Aa	0.76 $\pm$ 0.04Ab
700	19.90 $\pm$ 4.06Aa	32.92 $\pm$ 4.37Aa	101.16 $\pm$ 4.97Aa	0.80 $\pm$ 0.02Aa
%	28.6	43.4	14.7	5.9

$P_n$ : photosynthesis rate,  $\text{Spc}$ : solubility protein content,  $G_s$ : stomatic conductance

### 3 讨论

$\text{CO}_2$ 浓度增加能够促进叶片的光合作用,影响植物的生长发育。Reinert 等<sup>[15]</sup>研究结果表明, $\text{CO}_2$ 浓度升高,叶片、茎秆、根及总干重都会增加。 $\text{CO}_2$ 浓度升高,将提高  $\text{C}_3$ 植物的生物量<sup>[16]</sup>。 $\text{CO}_2$ 浓度增加使豆科植物根瘤数增加,在已往的研究中已被证实<sup>[13,17]</sup>。 $\text{CO}_2$ 浓度上升可以提高大豆根瘤固氮能力,植株可获得更多氮素。在研究中,高浓度  $\text{CO}_2$ 处理促进了株高的生长,植株生物量及根瘤数的增加,同时降低了植株的根冠比,与前人的结论一致。 $\text{CO}_2$ 对地上部生物量的促进作用大于对地下生物量的促进,处理使根冠比下降,这一结果与蒋跃林等<sup>[18]</sup>研究结果相反,与白月明等<sup>[19]</sup>的研究结果相同。

高浓度  $\text{CO}_2$ 处理显著增加了叶片光合速率,与多数报道相同<sup>[7-8,20]</sup>。分析认为,光合速率的增加主要是由于高浓度  $\text{CO}_2$ 增加了根瘤的数量,增加了叶片叶绿素和类胡萝卜素含量,提高了 Rubisco 活

### 2.3 $\text{CO}_2$ 浓度倍增对大豆光合相关指标的影响

大豆光合作用相关指标测定结果表明(表3), $\text{CO}_2$ 处理对光合速率影响极显著( $P < 0.01$ ),处理比对照增加 28.55%。表明  $\text{CO}_2$ 处理有利于叶片进行光合作用。核酮糖 1,5-二磷酸羧化酶/加氧酶(Rubisco)是  $\text{CO}_2$ 同化的重要限速酶<sup>[12-13]</sup>。 $\text{CO}_2$ 处理显著影响了大豆叶片的 Rubisco 活性,比对照增加 43.40%,表明高浓度  $\text{CO}_2$ 处理有利于光合作用的碳同化。 $\text{CO}_2$ 处理对气孔导度的影响不显著( $P < 0.05$ ),仅比对照增加 14.66%。表明处理在一定意义上促进  $\text{CO}_2$ 进入大豆叶片。 $F_v/F_m$ 是暗适应下 PS II 反应中心完全开放时的最大光化学效率,反映 PS II 最大光能转换效率<sup>[14]</sup>。 $F_v/F_m$ 受  $\text{CO}_2$ 浓度倍增的影响不显著( $P < 0.05$ ),仅比对照增加 5.89%。表明  $\text{CO}_2$ 浓度倍增对 PS II 反应中心的功能具有较小的促进作用。

性,增强了 PS II 功能,以及提高了气孔导度所致。

Eamus<sup>[21]</sup>及张彤等<sup>[22]</sup>在研究中指出, $\text{CO}_2$ 浓度升高和适度光照,会引起气孔关闭,蒸腾速率降低,气孔导度变小,导致水分利用效率提高。在试验中, $\text{CO}_2$ 处理下气孔导度有所增加,但增加不显著,与 Eamus<sup>[21]</sup>及张彤等<sup>[22]</sup>的结论稍有不同。

### 参考文献

- [1] Andrew D B L, Martin U, Elizabeth A A, et al. Photosynthesis, productivity, and yield of maize are not affected by open air elevation of  $\text{CO}_2$  concentration in the absence of drought[J]. Plant Physiology, 2006, 140: 779-790.
- [2] David M O, David T T. Joint action of  $\text{O}_3$  and  $\text{SO}_2$  in modifying plant gas exchange[J]. Plant Physiology, 1986, 82: 401-405.
- [3] Elizabeth A A, Alistair R, Lila O V, et al. The effects of elevated  $\text{CO}_2$  concentration on soybean gene expression an analysis of growing and mature leaves[J]. Plant Physiology, 2006, 142: 135-147.
- [4] Keeling C D, Whorf T P, Wahlen M, et al. Interannual extremes in the rate of rise of atmospheric carbon dioxide since 1980[J]. Nature, 1995, 375: 660-670.
- [5] Cure J D, Acock B. Crop responses to carbon dioxide doubling: A

- literature survey [J]. Agriculture for Meteorology, 1986, 38: 127-145.
- [6] Brooks T J, Wall G W, Pinter Jr P J, et al. Acclimation response of spring wheat in a free air CO<sub>2</sub> enrichment (FACE) atmosphere with variable soil nitrogen regimes 3. Canopy architecture and gas exchange [J]. Photosynthesis Research, 2001, 66: 97-108.
- [7] Kimball B A, 朱建国, 程磊, 等. 开放系统中农作物对空气 CO<sub>2</sub> 浓度增加的响应 [J]. 应用生态学报, 2002, 13 (10): 1323-1338. (Kimball B A, Zhu J G, Cheng L, et al. Responses of agricultural crops to free-air CO<sub>2</sub> enrichment [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2002, 13 (10): 1323-1338.)
- [8] 张彤, 胡楠, 王磊. CO<sub>2</sub> 浓度增高对大豆光合生理的影响 [J]. 河南大学学报 (自然科学版), 2006, 36 (2): 68-70. (Zhang T, Hu N, Wang L. Effects of CO<sub>2</sub> enrichment on photosynthetic physiology of soybean [J]. Journal of Henan University (Natural Science), 2006, 36 (2): 68-70.)
- [9] 黄辉, 王春乙, 白月明, 等. O<sub>3</sub> 与 CO<sub>2</sub> 浓度倍增对大豆叶片及其总生物量的影响研究 [J]. 中国生态农业学报, 2005, 13 (4): 52-55. (Huang H, Wang C Y, Bai Y M, et al. Impact of O<sub>3</sub> and CO<sub>2</sub> concentration doubling on the soybean leaf development and biomass [J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2005, 13 (4): 52-55.)
- [10] 胡明祥, 李开明, 于德洋, 等. 大豆高产株型研究 [J]. 吉林农业科学, 1980 (3): 1-14. (Hu M X, Li K M, Yu D Y, et al. A Study on high-yielding plant shape in soybean [J]. Journal of Jilin Agricultural Sciences, 1980 (3): 1-14.)
- [11] 蒋跃林, 姚玉刚, 张庆国, 等. 大气二氧化碳浓度升高条件下大豆光合色素含量的变化 [J]. 作物研究, 2006 (2): 144-146. (Jiang Y L, Yao Y G, Zhang Q G, et al. Changes of photosynthetic pigment contents in soybean under elevated atmospheric CO<sub>2</sub> concentrations [J]. Crop Research, 2006 (2): 144-146.)
- [12] People M B, Rato J S, Atkins C A. Mobilization of nitrogen in fruiting plants of acultivar of cowpea [J]. Journal of Experimental Botany, 1983, 34: 563-578.
- [13] 张文会, 刘立科, 苗秀莲, 等. CO<sub>2</sub> 倍增及 UV-B 增强对大豆植株生长和根际微生物的影响 [J]. 西北植物学报, 2009, 29 (4): 724-732. (Zhang W H, Liu L K, Miao X L, et al. Effects of doubled carbon dioxide and enhanced UV-B radiation on growth and rhizosphere microorganisms in soybean (*Glycine max* Merr.) [J]. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica, 2009, 29 (4): 724-732.)
- [14] 张文会, 张朋, 刘立科, 等. 紫外线 B 辐射增强对大豆生长及光合作用相关指标的影响 [J]. 大豆科学, 2009, 28 (2): 229-232, 238. (Zhang W H, Zhang P, Liu L K, et al. Effects of enhanced UV-B radiation on growth and photosynthesis in soybean (*Glycine max* Merr.) [J]. Soybean Science, 2009, 28 (2): 229-232, 238.)
- [15] Reinert R A, Ho M C. Vegetative growth of soybean as affected by elevated carbon dioxide and ozone [J]. Environmental Pollution, 1995, 89 (1): 89-96.
- [16] 王修兰, 徐师华. CO<sub>2</sub> 浓度倍增对大豆各生育期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. (Wang X L, Xu S H. Effect of CO<sub>2</sub> concentration doubling on photosynthesis and dry matter production in different growth stages of soybean plant [J]. Acta Agronomica Sinica, 1994, 20 (5): 520-527.)
- [17] Kimball B A. Carbon dioxide and agricultural yield: an assemblage and analysis of 430 prior observations [J]. Agronomy Journal, 1983, 75: 779-788.
- [18] 蒋跃林, 张庆国, 张仕定, 等. 大气 CO<sub>2</sub> 浓度升高对大豆根瘤量及其固氮活性的影响 [J]. 大豆科学, 2006, 25 (1): 53-57. (Jiang Y L, Zhang Q G, Zhang S D, et al. Effect of elevated atmospheric CO<sub>2</sub> concentration on root nodules and nitrogenase activity in soybean [J]. Soybean Science, 2006, 25 (1): 53-57.)
- [19] 白月明, 王春乙, 温民, 等. CO<sub>2</sub> 和 O<sub>3</sub> 浓度倍增及其交互作用对大豆影响的试验研究 [J]. 应用气象学报, 2003, 14 (2): 245-251. (Bai Y M, Wang C Y, Wen M, et al. Experimental study of single and interactive effects of double CO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub> concentration on soybean [J]. Journal of Applied Meteorological Science, 2003, 14 (2): 245-251.)
- [20] 王春乙, 郭建平, 王修兰, 等. CO<sub>2</sub> 浓度增加对 C<sub>3</sub>、C<sub>4</sub> 作物生理特性影响的实验研究 [J]. 作物学报, 2000, 26 (6): 813-817. (Wang C Y, Guo J P, Wang X L, et al. The experimental study of the effects of CO<sub>2</sub> concentration enrichment on physiological feature of C<sub>3</sub> and C<sub>4</sub> crops [J]. Acta Agronomica Sinica, 2000, 26 (6): 813-817.)
- [21] Eamus D. The interaction of rising CO<sub>2</sub> and temperatures with water use efficiency [J]. Plant Cell and Environment, 1991, 14: 843-852.
- [22] 张彤, 王磊, 杨俊兴. CO<sub>2</sub> 倍增对干旱胁迫下大豆光合效应的影响 [J]. 河南农业科学, 2005 (8): 47-50. (Zhang T, Wang L, Yang J X, et al. Effect of elevated CO<sub>2</sub> concentration on photosynthetic efficiency soybean under drought stress [J]. Journal of Henan Agricultural Sciences, 2005 (8): 47-50.)