

大气 CO₂ 浓度升高对夏大豆叶片生理生化性状的影响

邸少华^{1,2}, 谢立勇¹, 郝兴宇^{2,3}

(1. 沈阳农业大学 农学院 辽宁 沈阳 110866; 2. 中国农业科学院 农业环境与可持续发展研究所 北京 100081; 3. 山西农业大学 农学院 山西 太谷 030801)

摘要:研究大气 CO₂ 浓度升高对大豆生化指标的影响,有助于人们了解未来气候变化引起的大豆生理的变化。本研究利用 FACE(Free Air CO₂ Enrichment) 系统,在大田条件进行了夏大豆叶片中可溶性糖含量、蛋白质含量和 SOD、POD 活性变化受 CO₂ 浓度升高影响的试验。研究表明:大气 CO₂ 浓度升高后,夏大豆叶片中可溶性糖含量没有显著变化。蛋白含量和 SOD、POD 活性不同品种间有所差异。中黄 13 在开花期蛋白含量增加 44.20%,中黄 35 在鼓粒期蛋白含量增加 49.31%;中黄 13 在开花期 SOD、POD 活性分别降低 17.35%、27.26%,在结荚期 SOD 活性下降 22.38%,中黄 35 在鼓粒期 SOD、POD 活性分别降低 50.85%、47.47%。这些结果说明,在大气 CO₂ 浓度升高下夏大豆叶片蛋白质代谢能力可能提高,但抗性降低,中黄 35 抗性下降幅度较中黄 13 大。

关键词:FACE; 夏大豆; 可溶性糖含量; 蛋白含量; SOD、POD 活性

中图分类号:S565.01 **文献标识码:**A **文章编号:**1000-7091(2012)02-0165-05

Effect of Atmospheric CO₂ Enrichment on Chemical and Physiological Character in Leaf of Summer Soybean

DI Shao-hua^{1,2}, XIE Li-yong¹, HAO Xing-yu^{2,3}

(1. College of Agronomy, Shenyang Agricultural University, Shenyang 110866 China; 2. Institute of Environment and Sustainable Development in Agriculture, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China; 3. College of Agronomy, Shanxi Agricultural University, Taigu 030801, China)

Abstract: Research on biochemical parameter of summer soybean response to elevated CO₂ will benefit to learn about physiological changes of summer soybean under future Climate Change. This study content soluble sugar content, protein content and SOD, POD activity of summer soybean with FACE(Free air CO₂ enrichment) in the field conditions. Results showed that the soluble sugar content of leaf had no obvious changes, however the protein content and the SOD, POD activity in different varieties of summer soybean had different changes with elevation of [CO₂]. Protein content of Zhonghuang13 increased 44.20% in flowering stage, but Zhong huang35 increased 49.31% in seed filling stage. SOD, POD activity of Zhonghuang13 decreased 17.35%, 27.26% in flowering stage, and SOD activity decreased 22.38%, but SOD, POD activity of Zhonghuang35 decreased 50.85%, 47.47% in seed filling stage. The results suggested that protein metabolism in leaf of summer soybean could be intensive, on the country about the resistance, the descending resistance of Zhonghuang35 could be much obvious than Zhonghuang13.

Key words: FACE; Summer Soybean; Soluble sugar content; Content of protein; SOD, POD activity

根据 IPCC 特别情景排放报告(SRES)预测,2000-2030 年间全球 CO₂ 浓度将增加 40%~110%,21 世纪中期全球 CO₂ 浓度将达到约 550 μmol/mol^[1]。大气中 CO₂ 浓度升高会提高碳水化合

物转化效率,作物产量将增加 30% 左右^[2]。大豆是世界及我国主要的油料作物,也是我国人们主要食品之一。由于 CO₂ 的肥料效应,CO₂ 浓度升高对未来大豆的生长发育可能带来促进作用,大豆的生物

收稿日期:2011-12-19

基金项目:国家重点基础研究发展计划(2012CB955904),中英合作项目(H5105001);国家重点基础研究发展计划(2012CB955904)

作者简介:邸少华(1987-),男,甘肃兰州人,在读硕士,主要从事农业气象学研究。

通讯作者:谢立勇(1969-),男,辽宁铁岭人,副教授,博士后,主要从事农业气象和气候变化对农业影响的研究。

郝兴宇(1976-),男,山西文水人,副教授,博士,主要从事农业气象学和植物生态学研究。

量及产量可能会提高^[3]。开放式的自由大气 CO₂ 富集系统(Free Air CO₂ Enrichment, FACE) 是当前研究植物对 CO₂ 浓度升高的响应最理想的手段之一, 在该系统下研究 CO₂ 浓度升高对大豆生产的情况, 将有利于提前采取措施保证我国食品及粮油安全。

叶片可溶性糖含量是叶片重要的生理指标之一, 常被用于光合作用和产量的研究。可溶性糖不仅是高等植物的主要光合产物, 而且是碳水化合物代谢和暂时贮藏的主要形式, 所以在植物代谢中占有重要位置。许多研究结果表明, 可溶性糖含量变化与光合作用和产量密切相关^[4]。

植物叶片中蛋白质主要功能分两类: 一是细胞的结构成分, 如各种生物膜上的蛋白质; 二是细胞内起催化作用的酶。叶片中蛋白含量的多少主要可以反映叶片中蛋白质代谢的程度^[5]。大豆叶片中蛋白含量相对其他植物较高, 而且大豆落叶率高, 高蛋白含量的落叶可以使土壤有机含量增高^[6]。

1969 年, McCord 等^[7] 首先揭示了超氧化物歧化酶(SOD) 的生物学功能。SOD 是一类含金属离子的酶, 它作为清除需氧细胞在代谢过程中产生一系列活性氧簇(reactive oxygen species, ROS) 的第一道防线, 其功能是将 O₂⁻ 歧化为 H₂O₂^[8]。SOD 对于清除氧自由基, 防止氧自由基破坏细胞的组成、结构和功能, 保护细胞免受氧化损伤具有十分重要的作用。过氧化物酶(POD) 是广泛存在于各种动物、植物和微生物体内的一类氧化酶, 在活性氧代谢过程中, POD 发挥了重要作用, 催化由过氧化氢参与的各种还原剂的氧化反应^[7]。许多研究表明, SOD、POD 这 2 种酶活性的高低可以证明植物抗寒能力的强弱, 在抗寒能力强的植物中含量高, 经过抗寒锻炼活性升高^[9]。过氧化物酶(POD) 和超氧化物歧化酶(SOD) 等也是生物体内抗氧化酶系统的主要酶, 其活性变化与胁迫程度有密切关系, 也能大致反映出生物体抗能力的大小^[10]。

目前, 只有美国和我国利用 FACE 系统对大豆进行研究, 其主要集中在大豆生理特性和光合作用等方面^[3], 而利用 FACE 系统对夏大豆可溶性糖含量、蛋白含量和 SOD、POD 活性影响的研究目前报道较少。本研究利用建在我国北京昌平的 FACE 平台, 在国内外首次探讨了 CO₂ 浓度升高对夏大豆开花期后可溶性糖含量、蛋白含量和 SOD、POD 活性的影响, 从而分析在 CO₂ 浓度下夏大豆不同品种品质和抗性的变化, 以便为未来我国粮食安全生产提供相关数据, 也为进一步明确作物响应 CO₂ 浓度升高的机理提供参考依据。

1 材料和方法

1.1 试验地概况、供试土壤

中国农业科学院昌平实验基地位于北京市昌平南部(北纬 40. 13°, 东经 116. 14°), 京昌公路的西侧。土壤类型属褐潮土, 土壤有机质 18. 27 g/kg, 全氮 1. 08 g/kg, 碱解氮含量 94. 83 mg/kg, 速效钾 140. 28 mg/kg, pH 值 8. 36。

1.2 试验材料

选取中黄 13、中黄 35 两个品种, 其皆为华北地区广泛种植品种。中黄 35 夏播平均生育期 102 d, 株高 78 cm, 有效分枝 0. 9 个。中黄 13 夏播平均生育期 105 ~ 108 d, 株高 50 ~ 70 cm, 有效分枝 3 ~ 5 个。

1.3 试验处理设计

利用中国农业科学院农业环境与可持续发展研究所北京昌平 miniFACE 试验系统麦-豆轮作系统进行试验设计。miniFACE 试验系统构成、系统控制等参照郝兴宇等^[3]的方法。2009 年 6 月 17 日播种夏大豆中黄 13 和中黄 35 两个品种, 种植密度为 21 万株/hm²。FACE 圈通 CO₂ 时间从 6 月 28 日开始到 10 月 7 日结束, 每日通气时间为 6: 30 - 18: 30, 夜间不通气。设定 CO₂ 浓度处理为大气 CO₂ 浓度(平均 (389 ± 40) μmol/mol 左右) 与 FACE((550 ± 60) μmol/mol 左右) 2 个水平, 三裂区试验设计, 主处理为 CO₂ 浓度, 副处理为品种, 3 次重复。日常处理 FACE 处理与对照处理一致。

1.4 试验指标与方法

每天观测苗情, 确定夏大豆主要生育期: 中黄 13 开花期(播后 34 d)、结荚期(播后 66 d)、鼓粒期(播后 82 d); 中黄 35 开花期(播后 34 d)、结荚期(播后 56 d)、鼓粒期(播后 80 d)。对于每个生育期的 2 个品种进行破坏性取样, 分别连续取具有代表性的植株 5 株, 然后将叶片全部采下烘干后磨成粉末并分袋标号。在开花期和结荚期测定每个小区每个品种的可溶糖含量。可溶性糖的含量测定采用蒽酮比色法^[11]。在所有生育期测定每个小区每个品种的蛋白质含量和 SOD、POD 活性。蛋白质含量用考马斯亮蓝染色法^[12]; SOD 活性的测定采用 NBT 光化还原反应法^[13]; POD 活性的测定采用联苯胺比色法^[14]。FACE 系统下各指标用 FACE 表示, 对照指标用 CK 表示。

1.5 统计分析方法

以 Excel 进行数据处理和图表绘制, 用单因素方差分析公式进行 CO₂ 处理的显著性分析。

2 结果与分析

2.1 CO₂ 浓度升高对夏大豆可溶性糖含量的影响

从图 1 可以看出,高 CO₂ 浓度下中黄 13、中黄 35 各个生育期可溶性糖含量均无显著变化。

2.2 CO₂ 浓度升高对大豆蛋白质含量的影响

从图 2 可以看出,高 CO₂ 浓度下中黄 13 蛋白含量在开花期增加 44.20%, 达到显著水平, 在结荚期和鼓粒期变化不显著; 而中黄 35 蛋白含量在开花期

和结荚期变化不显著, 在鼓粒期增加 49.31%, 达到显著水平。

2.3 CO₂ 浓度升高对夏大豆 SOD 活性的影响

从图 3 可以看出,高 CO₂ 浓度下中黄 13 SOD 活性在开花期减少 17.35%, 在结荚期减少 22.38%, 均达到显著水平, 在鼓粒期没有明显变化; 中黄 35 SOD 活性开花期和结荚期变化不显著, 在鼓粒期减少 50.85%, 达到显著水平。

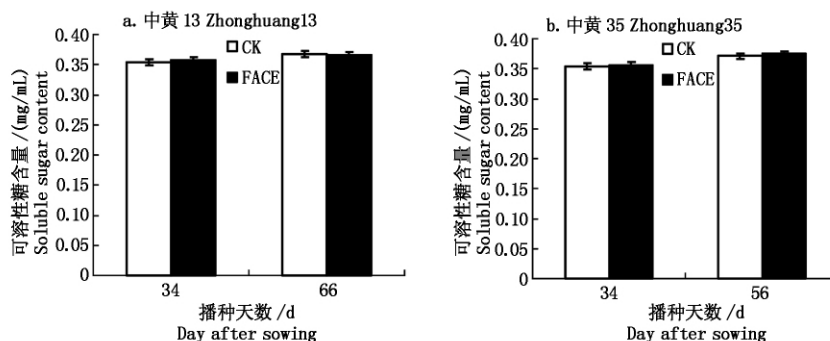
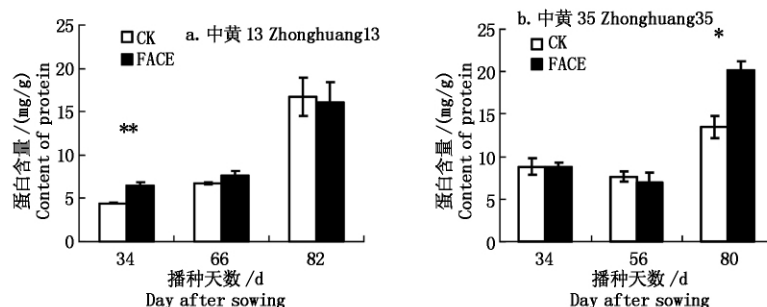


图 1 CO₂ 浓度升高对夏大豆可溶性糖含量影响

Fig. 1 Effect of elevated [CO₂] on soluble sugar content of summer soybean



** . 表示在 $\alpha = 0.01$ 水平显著; * . 表示在 $\alpha = 0.05$ 水平显著。图 3 同。

** . means significant($\alpha = 0.01$); * . Means significant($\alpha = 0.05$). The same as Fig. 3 4.

图 2 CO₂ 浓度升高对中夏大豆蛋白含量影响

Fig. 2 Effect of elevated [CO₂] on protein content of summer soybean

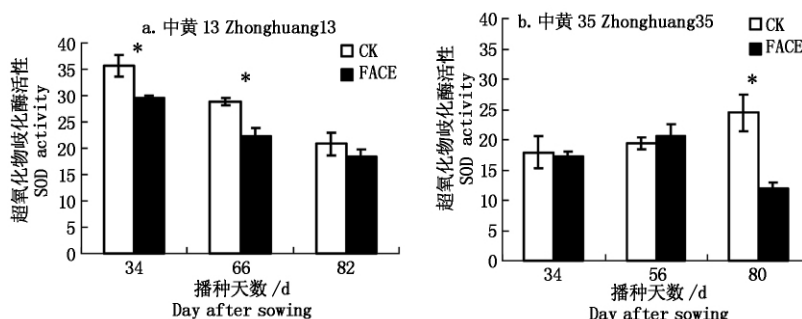


图 3 CO₂ 浓度升高对夏大豆 SOD 活性影响

Fig. 3 Effect of elevated [CO₂] on SOD activity of summer soybean

2.4 CO₂ 浓度升高对夏大豆 POD 活性的影响

从图 4 可以看出,高 CO₂ 浓度下中黄 13 POD 活性在开花期减少 27.26%, 达到显著水平, 在结荚期

和鼓粒期变化不显著; 中黄 35 POD 活性在开花期和结荚期变化不显著, 在鼓粒期减少 47.47%, 达到显著水平。

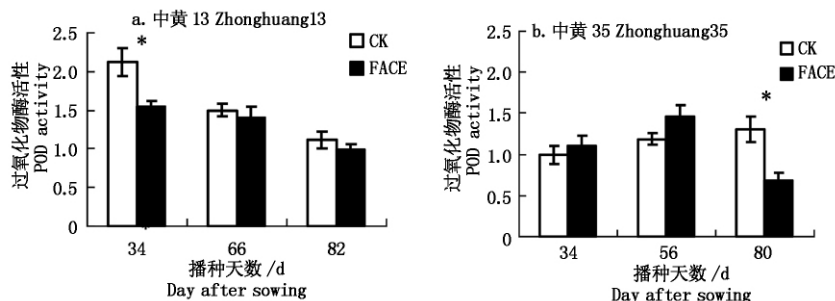


图4 CO_2 浓度升高对中黄 13 POD 活性影响

Fig. 4 Effect of elevated $[\text{CO}_2]$ on POD activity of summer soybean

3 讨论

植物叶片可溶性糖含量的变化是植物碳水化合物代谢的重要指标,它既可反映碳水化合物的合成情况,也与碳水化合物在植物体内的运输和利用情况有关。植物体内可溶性糖含量越高,细胞代谢越旺盛^[15]。本研究得出,中黄 13 和中黄 35 叶片可溶性糖含量在高 CO_2 浓度下变化不显著。说明 CO_2 浓度升高可能对夏大豆叶片可溶性糖含量的积累没有显著影响,可溶性糖可能转化为植物其他代谢物,如淀粉、蛋白质等^[5]。

植物叶片中蛋白含量反映叶片蛋白质代谢能力的大小^[5]。本研究结果表明,高 CO_2 浓度下中黄 13 叶片中蛋白含量在开花期升高,但在结荚期和鼓粒期蛋白含量变化不显著;中黄 35 叶片中蛋白含量在开花期和结荚期没有显著变化,但在鼓粒期明显升高。结果表明,不同时期 CO_2 浓度升高对大豆叶片蛋白含量影响不同。高 CO_2 浓度可能使中黄 13 在开花期蛋白质代谢能力升高,而对其结荚期和鼓粒期并没有太大影响; CO_2 浓度升高使中黄 35 鼓粒期蛋白质代谢能力升高。

SOD 和 POD 是植物适应多种逆境胁迫的重要酶类,统称为植物保护酶系统^[16],在植物有效防御逆境胁迫方面发挥着重要作用。SOD、POD 活性越高,植物对环境改变的抗性越高^[10,17]。同时 SOD、POD 活性与植物的衰老有密切联系, SOD、POD 活性越强植物衰老越慢^[18-21]。本研究表明,高 CO_2 浓度下中黄 13 的 SOD、POD 活性在开花期均显著下降,在结荚期 SOD 活性仍显著下降,而 POD 活性没有显著变化,到鼓粒期 SOD、POD 活性均无显著变化;中黄 35 的 SOD、POD 活性在开花期和结荚期均无显著变化,但在鼓粒期均明显降低。表明高 CO_2 浓度下对不同品种夏大豆 SOD、POD 活性影响不同。高 CO_2 浓度下中黄 13 在开花期和结荚期抗性可能降低,导致 SOD、POD 活性下降;而在鼓粒期该品种适应了高 CO_2 浓度,抗性恢复,所以与对照相比

无显著差异^[18];也有可能因为高 CO_2 浓度使中黄 13 的开花期和结荚期缩短,植株提前老化,导致 SOD、POD 活性降低^[22]。中黄 35 在开花期和结荚期可能对高 CO_2 浓度适应良好,没有出现抗性下降的表现;在鼓粒期抗性降低,引起 SOD、POD 活性降低;也有可能是高 CO_2 浓度下缩短了中黄 35 的鼓粒期,加速了该品种的老化,导致 SOD、POD 活性降低^[23]。

4 结论

研究表明,高 CO_2 浓度对夏大豆可溶性糖含量积累没有显著影响。高 CO_2 浓度对夏大豆蛋白含量的积累,不同品种间有所差异,中黄 13 在开花期显著增加;中黄 35 在鼓粒期显著增加。高 CO_2 浓度对夏大豆 SOD 和 POD 这 2 种酶活性的影响不同品种间有所差异,中黄 13 在开花期 SOD、POD 活性下降,结荚期 SOD 活性下降;中黄 35 在鼓粒期 SOD、POD 活性下降。进而得出结论,高 CO_2 浓度可能使夏大豆叶片蛋白质代谢能力升高,但抗性可能会下降。

参考文献:

- [1] Prentice I C, Farquhar G D, Fasham M J R *et al.* The carbon cycle and atmospheric carbon dioxide//IPCC [C]. Contributions of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press, 2001: 183-238.
- [2] 白莉萍, 林而达. CO_2 浓度升高与气候变化对农业的影响研究进展[J]. 中国生态农业学报, 2003(4): 132-133.
- [3] 郝兴宇, 林而达, 杨锦忠, 等. 自由大气 CO_2 浓度升高对夏大豆生长与产量的影响[J]. 生态学报, 2009(9): 1-9.
- [4] 王晓慧, 徐克章, 李大勇, 等. 大豆品种遗传改良过程中叶片可溶性糖含量和比叶重的变化[J]. 大豆科学, 2007(6): 879-882.
- [5] 王静岩. 生物化学[M]. (3 版) 北京: 高等教育出版社,

- 2007.
- [6] Singh A ,Carsky R J ,Lucas E O *et al.* Soil N balance as affected by soybean maturity class in the Guinea savanna of Nigeria [J]. *Agriculture ,Ecosystems & Environment* , 2003 ,100(2 -3) : 231 - 240.
- [7] McCord J M ,Keele B B ,Fridovich I. An enzyme-based theory of obligate anaerobiosis: the physiological function of superoxide dismutase [J]. *Proc Natl Acad Sci* ,1971 , 68: 1024.
- [8] Alscher R G ,Erturk N ,Heath L S. Role of superoxide dismutase in controlling oxidative stress in plants [J]. *Oxford Journals J Exp Bot* 2002 ,53(372) : 1331.
- [9] 高福元,张吉立,刘振平. 冬季低温对 4 种彩叶植物 SOD、POD 活性影响的研究 [J]. *中国农学通报* 2010 , 26(5) : 169 - 173.
- [10] 马剑敏,靳同霞,李今,等. Hg²⁺、Cd²⁺ 及其联合胁迫对伊乐藻的生长及 POD 和 SOD 活性的影响 [J]. *河南师范大学学报: 自然科学版* 2006(11) : 125 - 127.
- [11] 李合生,孙群,赵世杰,等. 植物生理生化实验原理和技术 [M]. 北京: 高等教育出版社 2000.
- [12] 李娟,张推庭,曾伟,等. 应用考马斯亮蓝法测定总蛋白含量 [J]. *中国生物制品学杂志* 2000 ,13(2) : 118 - 120.
- [13] 沈文庵,徐朗莱,叶茂炳,等. 氮蓝四唑光化还原法测定超氧化物歧化酶活性的适宜条件 [J]. *南京农业大学学报* ,1996 ,19(2) : 101 - 102.
- [14] 孙文全. 联苯胺比色法测定果树过氧化物酶活性的研究 [J]. *果树科学* ,1985 ,5(3) : 105 - 108.
- [15] 王芳,刘鹏,朱靖文. 镁对大豆游离脯氨酸、可溶性糖和可溶性蛋白质含量的影响 [J]. *河南农业科学* 2004(6) : 35 - 38.
- [16] Elstner E F. Oxygen activation and oxygen toxicity [J]. *Annual Review of Plant Physiology* ,1982 ,33: 73 - 96.
- [17] 吴俊江. 大豆接种细菌性斑点病菌后叶片中 SOD、POD 活性和可溶性糖含量的变化 [J]. *黑龙江农业科学* 2006 (2) : 32 - 34.
- [18] 夏铁骑. 自由基、活性氧、SOD 及植物衰老机理研究的现状与进展 [J]. *淮阳职业技术学院学报* 2005 ,5(2) : 23 - 24.
- [19] 王建华,刘鸿先,徐同. 超氧化物歧化酶(SOD) 在植物逆境和衰老生理中的作用 [J]. *植物生理学通讯* , 1989(1) : 1 - 7.
- [20] 梁哲军,赵海桢,王玉香,等. 外源 SOD 对棉花光合性能及抗逆性影响 [J]. *山西农业科学* ,2008 ,36(1) : 45 - 48.
- [21] 黄芳,王建明,徐玉梅. SO₂ 对不同抗性植物几种酶活性的影响 [J]. *山西农业科学* ,2005 ,33(3) : 26 - 28.
- [22] Gustavo G Y ,Susanam G ,Maria L T. Effect of UV-B radiation on the activity and isoforms of enzymes with peroxidase activity in sunflower cotyledons [J]. *Environmental and Experimental Botany* 2006 ,56(2) : 174 - 181.
- [23] 郭建平,白月明,温民,等. CO₂ 浓度倍增对大豆影响的试验研究 [J]. *大气科学* 1996 ,3(20) : 243 - 249.