

HSO₃⁻、Cl⁻和Na⁺对大豆幼苗光合作用的影响

郝建军,卢环,黄春花,于洋

(沈阳农业大学 生物科学技术学院,辽宁 沈阳 110866)

摘要:以铁丰31大豆幼苗为试材,在大豆幼苗叶片完全展开时以一定浓度的NaCl和NaHSO₃及清水喷施于叶片的正反两面,测定光合速率、可溶性糖、光合色素等生理指标,以探讨HSO₃⁻、Cl⁻和Na⁺对光合作用的影响。结果表明:Na⁺对大豆幼苗叶片可溶性糖含量的增加、ATP合酶活性的提高、叶片Rubisco含量的增加均有一定的促进作用。Cl⁻在整个实验中作用不明显。HSO₃⁻对大豆幼苗叶片叶绿素a和叶绿素b的合成有显著促进作用;并能显著提高全链光合电子传递速率、ATP合酶活性,使光合磷酸化过程加强;HSO₃⁻显著提高了Rubisco羧化活性及PEPC活力和PEPC比活力;并提高了Rubisco和PEPC含量,从而促进大豆幼苗的光合速率增加。

关键词:NaCl;NaHSO₃;大豆幼苗;光合作用;Rubisco

中图分类号:S641.2

文献标识码:A

文章编号:1000-9841(2012)05-0855-03

Influence of HSO₃⁻, Cl⁻ and Na⁺ on Photosynthesis of Soybean Seedlings

HAO Jian-jun, LU Huan, HUANG Chun-hua, YU Yang

(College of Biological Science and Technology, Shenyang Agricultural University, Shenyang 110866, Liaoning, China)

Abstract: Soybean seedlings of Tiefeng No. 31 was sprayed with NaCl and NaHSO₃ solutions, respectively, and determined the photosynthetic rate, soluble sugar, photosynthetic pigment and other physiological indexes. Na⁺ increased soluble sugar content, ATP enzyme activity, and the content of Rubiscoase of soybean leaves. HSO₃⁻ promoted the synthesis of Chl a and Chl b; significantly increased the whole chain photosynthetic electron transfer rate and ATP synthase activity, strengthened the photosynthetic phosphorylation process, and speed up the process of the dark reactions of photosynthesis. Furthermore, HSO₃⁻ significantly improved the Rubiscoase carboxy change activity, PEPCase vitality as well as content of Rubisco and PEPC. Hence, promoted the photosynthetic rate of soybean seedlings.

Key words: NaCl; NaHSO₃; Soybean seedlings; Photosynthesis; Rubisco

在植物光合作用过程中,硫元素对植物的叶面积以及叶绿素含量存在一定的影响,硫也是铁氧还蛋白的重要组分,在光合电子传递中起重要作用。研究表明对水稻^[1]、棉花^[2]、小麦^[3]、水稻^[4]、柑桔^[5]、草莓^[6]喷洒低浓度的NaHSO₃,可抑制光呼吸、加快光合磷酸化,促进弱光下光合磷酸化形成更多的ATP,从而提高光合速率和作物产量。本试验从离子水平探讨HSO₃⁻、Cl⁻、Na⁺对大豆幼苗光合作用及光合速率、Rubisco活性、PEPC酶活性和电子传递等的影响,旨在为NaHSO₃在大豆生产上的应用提供一些理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验设计

试验在沈阳农业大学园艺学院试验基地进行。以“铁丰31”作为试材进行育苗。先将种子清洗干净,然后将种子均匀平铺在大培养皿(底部及顶部放两层湿纱布)中于恒温培养箱中催芽。大约2 d

左右取出,选择幼芽长一致的种子,种于多孔的苗盘中,在温室大棚中进行培养。当大豆幼苗真叶展开时,将苗盘分割,移植到较大的花盆中,待第二片复叶展开时,即可作为试材使用。

试验设清水对照(CK)、650 mg·L⁻¹ NaHSO₃水溶液和650 mg·L⁻¹ NaCl水溶液3个处理,3次重复。当大豆幼苗叶片完全展开时,用手压式喷雾器分别对第一、二片复叶正反两面进行喷施,溶液在叶片表面形成均匀且细密的分布,无液流、无液滴即可。处理时间为下午4:00左右。在喷药后第6天取第一、二片复叶,进行光合生理指标的测定。以确定Na⁺、HSO₃⁻和Cl⁻对光合作用的影响。用于喷施的NaCl和NaHCO₃产于沈阳市化学试剂厂。

1.2 测定项目与方法

采用氧电极法^[7]测定光合速率。以国产CY—II型测氧仪为主机,配以反应杯、磁力搅拌器、超级恒温水浴、自动记录仪、光源等,组装成测定溶解氧的成套设备。

收稿日期:2012-04-23

基金项目:辽宁省教育厅科学技术研究项目(2004A011)。

第一作者简介:郝建军(1955-),男,教授,研究方向为植物光合作用。E-mail: haojianjun106@126.com。

采用蒽酮法^[8]测定叶片中可溶性糖含量, Arnon 法^[9]测定叶片光合色素含量。光合电子传递速率的测定参照陈启林等^[10]和王春梅等^[11]的方法。叶绿体中 ATP 合酶活性采用李合生^[12]的方法, Rubisco 酶含量采用考马斯亮兰 G-250 法^[13], PEPC 酶活性参照冯福生等^[14]、董永华等^[15]的方法测定。

1.3 数据分析

采用 Excel 2003 与 SPSS 13.0 软件进行数据分析。

2 结果与分析

2.1 光合速率

如图 1 所示, NaHSO_3 和 NaCl 处理的光合速率均高于对照处理, 其中 NaHSO_3 处理与对照差异显著, 说明 NaHSO_3 处理对大豆光合作用有促进作用。由于 NaHSO_3 处理的光合速率高于 NaCl 处理, 说明 HSO_3^- 对光合作用的促进作用优于 Cl^- 。

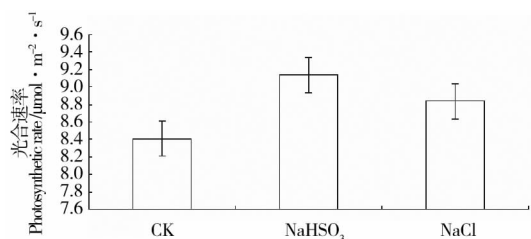


图 1 HSO_3^- 、 Cl^- 和 Na^+ 对大豆幼苗叶片光合速率的影响

Fig. 1 Effects of HSO_3^- , Cl^- and Na^+ on photosynthetic rate of soybean seedlings

2.2 可溶性糖含量

由图 2 中可以看出, NaHSO_3 和 NaCl 处理相对于 CK 都提高了大豆幼苗叶片的可溶性糖含量, 说明其共有的 Na^+ 有促进作用, 并且 NaHSO_3 处理高于 NaCl 处理, 说明 HSO_3^- 促进作用优于 Cl^- 。

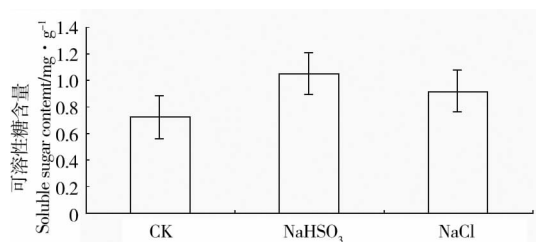


图 2 HSO_3^- 、 Cl^- 和 Na^+ 对大豆幼苗叶片可溶性糖含量影响

Fig. 2 Effects of HSO_3^- , Cl^- and Na^+ on the soluble sugar content of soybean seedlings

2.3 光合色素含量

由图 3 可知, NaHSO_3 处理的大豆幼苗叶片叶绿

素 a 含量、叶绿素 b 含量、总叶绿素含量及类胡萝卜素含量高于 CK 处理, 说明 NaHSO_3 对大豆幼苗叶片各光合色素含量的增加有促进作用。 NaHSO_3 处理的各光合色素含量均高于 NaCl 处理。说明 HSO_3^- 对大豆幼苗叶片叶绿素 a 和叶绿素 b 的合成有显著促进作用。

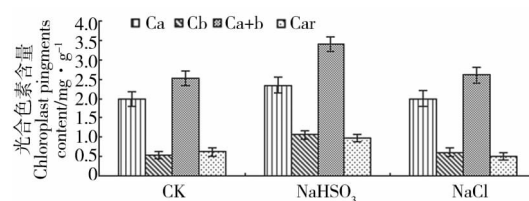


图 3 HSO_3^- 、 Na^+ 和 Cl^- 对大豆幼苗叶片光合色素含量影响

Fig. 3 Effects of HSO_3^- , Na^+ and Cl^- on chloroplast pigments content of soybean seedlings

2.4 光合电子传递速率

由图 4 可知, NaHSO_3 和 NaCl 处理都提高了大豆幼苗叶片光合电子传递速率, 且 NaHSO_3 处理的促进效果明显高于 NaCl 处理, 说明 HSO_3^- 的促进作用显著大于 Cl^- 。

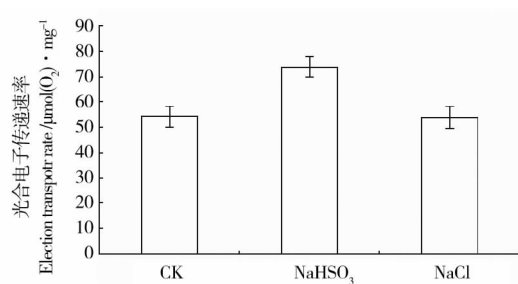


图 4 HSO_3^- 、 Cl^- 和 Na^+ 对大豆幼苗叶片光合电子传递速率的影响

Fig. 4 Effect of the HSO_3^- , Cl^- and Na^+ on the electron transport rate of soybean seedlings

2.5 ATP 合酶活性

由图 5 可知, NaHSO_3 和 NaCl 处理都不同程度提高了大豆幼苗叶片的 ATP 酶活性, NaHSO_3 处理显著提高了大豆幼苗叶片 ATP 酶活性, NaCl 处理促进程度不显著。因此, HSO_3^- 对大豆幼苗叶片的 ATP 合酶活性有显著促进作用。

2.6 Rubisco 含量

由表 1 可知, 与清水对照相比, NaHSO_3 和 NaCl 处理使 Rubisico 羧化活性和羧化比活力均有增加。说明 HSO_3^- 和 Na^+ 对大豆 Rubisico 羧化活性和羧化比活力均有促进作用, 其中 NaHSO_3 处理使 Rubisico 活力显著提高, 说明 HSO_3^- 和 Na^+ 是主要促进因子,

而 Cl⁻ 没有明显促进作用。

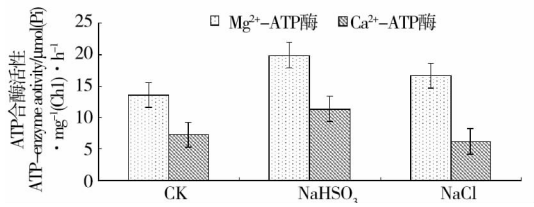


图5 HSO₃⁻、Cl⁻ 和 Na⁺ 对大豆幼苗叶片中 ATP 酶活性的影响

Fig.5 Effects of HSO₃⁻ ,Cl⁻ and Na⁺ on ATP-enzyme activity of soybean seedlings

表1 HSO₃⁻、Cl⁻ 和 Na⁺ 对大豆幼苗叶片 Rubisco 羧化活性的影响

Table 1 Effect of HSO₃⁻ ,Cl⁻ and Na⁺ on Rubisco activity of soybean seedlings

处理	RuBPCase 活力	RuBPCase 比活力
	RuBPCase activity /nmolNADH·mL ⁻¹ ·min ⁻¹	RuBPCase specific activity /nmolNADH·μg ⁻¹ ·min ⁻¹
CK	12. 0470 ± 1. 5300	1. 2405 ± 0. 3011
NaHSO ₃	14. 0260 ± 2. 1864 *	1. 8109 ± 0. 2111 **
NaCl	12. 7246 ± 1. 9600	1. 4246 ± 0. 1329 *

* 和 ** 表示与 CK 相比差异分别达显著 ($P < 0.05$) 和极显著 ($P < 0.01$) 水平。

* and ** indicate significant difference at $P < 0.05$ and $P < 0.01$ probability levels, compared with CK.

2.7 PEPC 酶活性

由表 2 可知,NaHSO₃处理显著提高了大豆幼苗的 PEPC 酶活力和比活力,相对于 CK 分别增加 10.22%、3.57%,NaCl 处理对 PEPC 酶活力和比活力影响不显著,说明 HSO₃⁻ 对 PEPC 酶活力和比活力促进作用大于 Cl⁻。

表2 HSO₃⁻、Cl⁻ 和 Na⁺ 对大豆幼苗叶片 PEPC 酶活性的影响

Table 2 Effects of HSO₃⁻ ,Cl⁻ and Na⁺ on PEPCase activity of soybean seedlings

处理 Treatment	PEPC 酶活力	PEPC 酶比活力
	PEPC enzyme activity /nmol·mL ⁻¹ ·min ⁻¹	PEPC enzyme specific activity /nmol·μg ⁻¹ ·min ⁻¹
CK	4. 8900 ± 0. 9266	3. 9200 ± 0. 6285
NaHSO ₃	5. 3900 ± 0. 7920 *	4. 0600 ± 0. 9477 *
NaCl	4. 8800 ± 1. 1523	3. 9900 ± 0. 3733

* 与 CK 相比差异显著 ($P < 0.05$)。

* indicate significant difference at $P < 0.05$ compared with CK.

3 结 论

试验结果表明:HSO₃⁻ 能够提高全链光合电子传递速率,并促进了光合磷酸化,增加了 ATP 的供应,提高了光合速率;显著提高大豆幼苗叶片叶绿素 a 含量、叶绿素 b 含量、叶绿素总含量及类胡萝卜素含量,从而加快了光合作用的原初反应;通过提高大豆幼苗叶片 ATP 合酶活性、Rubisco 羧化活性、PEPcase 的含量及活性,进而加快了 CO₂ 的固定与还原,从而抑制光呼吸,提高光合速率。

Na⁺ 对大豆幼苗叶片可溶性糖含量的增加、ATP 合酶活性的提高、叶片 Rubisco 含量的增加均有一定的促进作用。Cl⁻ 在整个实验中作用不明显。

参考文献

[1] 彭子模. 亚硫酸氢钠对植物叶片气孔开度的调节作用[J]. 新疆师范大学学报(自然科学版),2000,19(2):41. (Peng Z M. Regulative function of NaHSO₃ to stomatal exposure of plant blade [J]. Journal of Xinjiang Normal University(Natural Sciences Edition),2000,19(2):41.)

[2] 周广业,王宏凯. 光呼吸抑制剂亚硫酸氢钠的增产效果研究[J]. 土壤肥料,2000(6):35-38. (Zhou G Y, Wang H K. Research on the yield increasing effect of photorespiration inhibitor NaHSO₃ [J]. Soil and Fertilizer,2000(6):35-38.)

[3] 张树芹,王宪泽,赵士杰,等. NaHSO₃ 对小麦光合速率、光呼吸及籽粒氨基酸组成的影响[J]. 麦类作物,1999,19(1):44-46. (Zhang S Q, Wang X Z, Zhao S J, et al. The influence of NaHSO₃ on wheat photosynthetic rate, light breathing and the grain amino acid composition [J]. Journal of Triticeae Crops, 1999, 19(1): 44-46.)

[4] Wang H W, Shen Y G. How bisulfite enhances photosynthesis[J]. Journal of Plant Physiology and Molecular Biology, 2002, 28(4): 247-252.

[5] Guo Y P, Hu M J, Zhou H F, et al. Low concentrations of NaHSO₃ increase photosynthesis, biomass, and attenuate photo inhibition in Satsuma mandarin (*Citrus unshiu* Marc.) plants[J]. Photosynthetica, 2006, 44(3): 333-337.

[6] Guo Y P, Peng Y, Lin M L, et al. Different pathways are involved in the enhancement of photo-synthetic rate by sodium bisulfite and benzy ladenine, a case study with strawberry (*Fragaria ananassa* Duch) plants[J]. Plant Growth Regulation, 2006, 48: 65-72.

[7] 郝建军, 刘延吉. 植物生理实验技术[M]. 沈阳: 辽宁科学技术出版社, 2001: 20-23. (Hao J J, Liu Y J. Plant physiology experiment technology [M]. Shenyang: Liaoning Science and Technology press, 2001: 20-23.)

[8] 张宪政. 作物生理研究法(第一版)[M]. 北京: 农业出版社, 1992: 15-16. (Zhang X Z. Crop physiology research (1st edition) [M]. Beijing: Agricultural Press, 1992: 15-16.)

(下转第 860 页)

表 2 M_2 代与 M_3 代成熟期的变异率Table 2 The maturity mutation proportion of M_2 and M_3 generation

世代 Generation	种植株系数 Planted lines	早熟 Early mature		晚熟 Late mature		总变异 Total/%
		数量 Number	比例 Proportion/%	数量 Number	比例 Proportion/%	
M_2	500	98	0.28	131	0.37	0.65
M_3	327	27	0.12	43	0.19	0.31

熟还是晚熟变异比例均低于 M_2 , 约是 M_2 的一半。

3 结论与讨论

M_3 代分枝数的变异系数最大, 其次为单株粒重、单株粒数和单株荚数, 而株高、主茎节数和百粒重的变异系数较小。与 M_2 代相比, M_3 代株高、节数及百粒重的变异系数有所变小, 其它性状的变异系数大致相当。所以在 M_2 代选择的基础上 M_3 代应继续加强选择。

由于 M_3 代存在一定的回复突变, 使得 M_3 代株高、节数的广义遗传力小于 M_2 代, 而分枝数、单株荚数、单株粒数、单株粒重和百粒重的广义遗传力大于 M_2 代, 这一结果与王丕武等^[6]的结果相同。

在本研究中, 从 M_2 代到 M_3 代田间能观察到的最大变异是熟期的变异, 且由株行内变异逐渐变为株行间变异。无论是 M_2 代还是 M_3 代早熟变异的比例都低于晚熟, M_3 代无论是早熟还是晚熟变异比例均低于 M_2 代, 原因是 M_2 代各品种中都诱变出大量的半不育晚熟单株, 而熟期提早的变异只在早熟品种中出现的较多, 到了 M_3 代, 这些熟期发生变异的株行多数恢复到原品种的熟期。

参考文献

- [1] 柳学余. 农作物化学诱变育种[M]. 南京: 东南大学出版社, 1992. (Liu X Y. Crops chemical mutagenesis breeding[M]. Nanjing: Southeastern University Press, 1992.)
- [2] 王长泉, 刘峰, 李雅志. 果树诱变育种的研究进展[J]. 核农学报, 2000, 14(1): 61-64. (Wang C Q, Liu F, Li Y Z. The research progress of the fruit trees mutagenesis breeding[J]. Journal of Nuclear Agricultural Sciences, 2000, 14(1): 61-64.)
- [3] 于秀普, 杜连恩, 魏玉昌. 大豆新品种冀豆 8 号的选育[J]. 中国油料, 1994, 16(4): 58-59. (Yu X P, Du L E, Wei Y C. Breeding of new soybean cultivar Jidou 8 [J]. Chinese Journal of Oil Crop Sciences, 1994, 16(4): 58-59.)
- [4] 李占军, 魏玉昌, 杜连恩. 大豆新品种化诱 5 号的选育及栽培技术[J]. 河北农业科学, 2005, 9(2): 63-64. (Li Z J, Wei Y C, Du L E. Breeding and cultivation technology of new soybean cultivar Huayou 5 [J]. Journal of Hebei Agricultural Sciences, 2005, 9(2): 63-64.)
- [5] 杜连恩, 魏玉昌, 可福存, 等. 大豆化学诱变育种及其规律的研究[J]. 华北农学报, 1989, 4(2): 39-43. (Du L E, Wei Y C, Ke F C, et al. Studies on breeding of soybean by chemical mutation and its rule [J]. Acta Agriculturae Boreali-sinica, 1989, 4(2): 39-43.)
- [6] 王丕武, 许耀奎, 张晓玲. 大豆 EMS 诱变的变异与选择[J]. 核农学通报, 1993, 14(5): 209-213. (Wang P W, Xu Y K, Zhang X L. Induced variations and selection in soybean by EMS [J]. Journal of Nuclear Agricultural Sciences, 1993, 14(5): 209-213.)
- [9] Arnon D I. Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenoloxidase in *Beta vulgaris* [J]. Plant Physiology, 1949, 24(1): 1-15.
- [10] 陈启林, 山仑, 程智慧, 等. 低温弱光对黄瓜类囊体膜偶联状态的影响[J]. 西北农业大学学报, 2000, 28(16): 6-11. (Cheng Q L, Shan L, Cheng Z H, et al. Influence of low temperature and weak light on cucumber thylakoid membrane coupling condition [J]. Journal of Northwest Agricultural University, 2000, 28(16): 6-11.)
- [11] 王春梅, 施定基, 朱水芳, 等. 黄瓜花叶病毒对烟草叶片和叶绿体光合活性的影响[J]. 植物学报, 2000, 42(4): 388-392. (Wang C M, Shi D J, Zhu S F, et al. Influence of cucumber mosaic virus on tobacco leaf and chloroplasts photosynthetically activity [J]. Acta Botanica Sinica, 2000, 42(4): 388-392.)
- [12] 李合生. 植物生理生化试验原理和技术(第一版)[M]. 高等教育出版社, 2000. (Li H S. Principle and technology of plant physiological and biochemical experiments (1st edition) [M]. Beijing: Higher Education Press, 2000.)
- [13] Eckardt N A, Portis A R J. Heat denaturation profiles of ribulose-1,5-bisphosphate carboxylase/oxygenase (Rubisco) and Rubisco activase and the inability of Rubisco activase to restore activity of heat-denatured Rubisco [J]. Plant Physiology, 1997, 113(1): 243-248.
- [14] 冯福生, 马力耕. 低温对玉米叶片 PEP 羧化酶及其调节特性的影响[J]. 植物生理报, 1992, 18(1): 45-49. (Feng F S, Ma L G. Influence of low temperature on PEP carboxylase and its control characteristics of corn leaf [J]. Journal of Plant Physiology, 1992, 18(1): 45-49.)
- [15] 董永华, 史吉平, 李广敏, 等. 干旱条件下乙烯对小麦幼苗 PEP 羧化酶活性的影响[J]. 河北农业大学学报, 1995, 18(3): 26-30. (Dong Y H, Shi J P, et al. Influence of ethylene on wheat seedlings PEP carboxylase activity under drought conditions [J]. Journal of Hebei Agricultural University, 1995, 18(3): 26-30.)

(上接第 857 页)