

UV-B胁迫对大豆幼苗光呼吸的影响

戴浩¹, 周青^{1,2}

(¹江南大学环境与土木工程学院环境科学教研室, 江苏 无锡 214122; ²江南大学工业生物技术教育部重点实验室, 江苏 无锡 214122)

摘要:紫外辐射对农作物的生态效应是影响农业生产的重要问题。为研究紫外辐射对农作物光呼吸的影响,在温室模拟增强紫外辐射 UV-B (280~320 nm) 环境下,以大豆 (*Glycine max*) 为材料,用溶液培养试验法研究 UV-B 胁迫对大豆幼苗光呼吸速率 (Pr), 光合速率 (Pn), 乙醇酸氧化酶 (GO) 和谷氨酰胺合成酶 (GS) 的影响。结果表明:在 UV-B 胁迫下,光呼吸关键酶 GO 和 GS 活性显著提高,大豆幼苗的 Pr 显著提高, Pn 显著降低,光呼吸关键酶 GO 和 GS 活性的显著提高导致了 Pr 的显著提高。T1 和 T2 组 Pr 与 Pn 的动态变化表明,UV-B 辐射与 Pr、Pn 间存在明显的剂量效应。因此,UV-B 胁迫可以通过对光呼吸关键酶的影响调控光呼吸速率的变化。

关键词:UV-B 辐射;大豆幼苗;光呼吸速率

中图分类号:S565.1

文献标识码:A

文章编号:1000-9841(2008)03-0447-04

Effect of UV-B Stress on Photorespiration in Soybean Seedlings

DAI Hao¹, ZHOU Qing^{1,2}

(¹ Laboratory of Environmental Science, School of Environmental and Civil Engineering, Jiangnan University, Wuxi 214122, Jiangsu; ² Key Laboratory of Industrial Biotechnology, Ministry of Education, Jiangnan University, Wuxi 214122, Jiangsu, China)

Abstract: As an important problem affecting agricultural productivity, ecological effect of UV-B radiation on crop seeds germination is highly concerned by researchers at domestic and abroad. To study the effect of UV-B radiation stress on photorespiration (Pr), photosynthesis (Pn), and the key enzyme of glycolate oxidase (GO) and glutamine synthetase (GS) in soybean seedlings. Soybean seedlings were exposed to two levels of ultraviolet-B radiation (UV-B, 280~320 nm) under laboratory hydroponics conditions. Three ultraviolet radiant intensity treatment of 0 (CK), 0.15 W·m⁻² (T1) and 0.45 W·m⁻² (T2) were exposed when the third euphylla of the soybean seedlings was expanded. Each treatment was irradiated six hours every day (9:00~15:00) and lasted for five days, then recovered for ten days. Results showed that when seedlings were intimidated by UV-B, the key enzymes of photorespiration as glycolate oxidase and glutamine synthetase were effectively increased, so as photorespiration rate, while photosynthetic rate was effectively decreased, speculating the increasing of glycolate oxidase and glutamine synthetase led to the increasing of photorespiration rate. Obvious dosage effect was lied among UV-B radiation and glycolate oxidase and glutamine synthetase. Results suggest that the photorespiration rate could be regulated by key enzyme of photorespiration when under UV-B radiation stress.

Key words: UV-B radiation; Soybean seedlings; Photorespiration rate

近年来,由于臭氧层变薄,到达地球表面的 UV 辐射增强,从而对人类健康、动植物生长^[1]、生态系统^[2]等多个方面造成影响和危害。其中由于臭氧层变薄而到达地面的 UV 辐射,主要是 UV-B 辐射的增强,会危害陆地植物,破坏植物的光合作用,导致作物减产^[3]。研究表明,通过抑制光呼吸可以提高光合速率,进而提高产量和品质^[4],前期的研究着重于如何抑制光呼吸加强光合作用,近期一些研

究又表明光呼吸在耗散过剩光能、保护光合机构和避免光氧化等方面起重要作用^[5],因而研究逆境胁迫下光呼吸对植物的协调效应显得尤为重要。通过研究不同 UV-B 辐射剂量下大豆幼苗光呼吸、光合作用及光呼吸的关键酶乙醇酸氧化酶和谷氨酰胺合成酶的动态变化,为进一步探讨紫外辐射等逆境胁迫对农作物的光呼吸的影响及其环境生态价值提供理论依据。

收稿日期:2007-12-20

基金项目:国家发改委稀土专项基金资助项目 (IFZ20051210)。

作者简介:戴浩(1984-),男,硕士研究生,研究方向为环境生态学。E-mail: daihao_1314@163.com。

通讯作者:周青,教授。E-mail: zhouqeco@yahoo.com.cn。

1 材料和方法

1.1 试材培养

大豆 (*Glycine max*) “台湾 292” 种子用 0.1% HgCl_2 消毒 5 min, 去离子水冲洗 4 次后置铺有 3 层纱布的培养皿中, 于恒温培养箱 (25℃) 中萌发。待胚根长至 1 cm 移入塑料杯中去离子水培养 (3 株/杯), 每天换水 1 次。待第 2 片真叶出现时, 改用 1/2 Hoagland 全营养液、室温 (25℃/30℃) 下培养, 每天光照 12 h (10 klx), 早晚通气各 1 次, 3 d 换 1 次营养液。至第 3 片真叶展开后, 开始进行紫外处理。

1.2 试材处理

处理光源由 2 只 40 W 的 UV-B (313 nm) 构成, 将其并排悬挂于试验材料上方, 发射的 UV-B 辐射强度经 UV-B 双通道紫外辐照计 (北京师范大学光电仪器厂) 测定。调整灯管与受试材料间的距离以达到设定的紫外辐射强度。设置: 0 (CK)、0.15 $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ (T1) 和 0.45 $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ (T2) 3 种紫外辐射强度。每天照射 6 h (9:00 ~ 15:00), 连续照射 5 d。5 d 后停止照射, 进入恢复期, 共 10 d。

1.3 测定方法

光呼吸速率 (Pr) 测定。将大豆幼苗在光下照

射 30 min, 然后迅速在暗室中用 CIRAS-1 光合系统 (PP System, UK) 测定此时叶片的光合速率, 用以表征光呼吸速率。CIRAS-1 光合系统设置同上。净光合速率 (Pn) 测定采用 CIRAS-1 光合系统测定, 设定光强 400 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, 闭合气路 (CO_2 340 $\mu\text{L} \cdot \text{L}^{-1}$)。乙醇酸氧化酶 (GO) 用盐酸苯肼-铁氰化钾比色法测定^[6], 谷氨酰胺合成酶 (GS) 参考^[7]测定。

2 结果与分析

2.1 UV-B 胁迫对大豆幼苗光合、光呼吸速率的影响

图 1 是 UV-B 胁迫下大豆幼苗 Pr、Pn 连续 10 d 的变化过程。由图 1a 可见, UV-B 胁迫下 T1 和 T2 组 Pr 均高于 CK 组, 并呈现先上升后下降的趋势。胁迫期, T1 组 Pr 低于 T2 组; 进入修复期后, T1 组 Pr 高于 T2 组, 至修复期结束时, T1 组 Pr 高于 T2 组 34.92%。由图 1b 可见, UV-B 胁迫下 T1 和 T2 组 Pn 均低于 CK 组, 并呈现先下降后上升的趋势。胁迫期, T1 组 Pn 高于 T2 组; 进入修复期后, T1 组 Pn 上升速度明显高于 T2 组, 至修复期结束时, T1 组 Pn 高于 T2 组 20%。

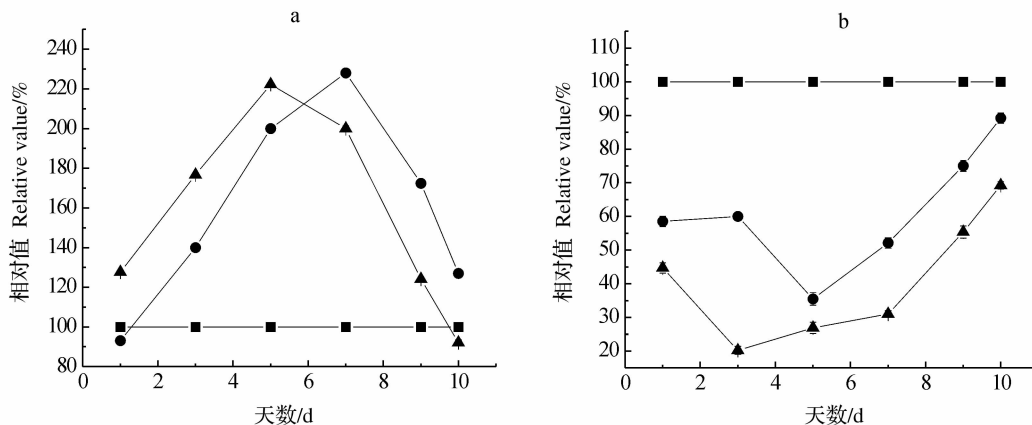


图 1 UV-B 胁迫对大豆幼苗 Pr(a)、Pn(b) 的动态影响

Fig. 1 Dynamic effects on Pr(a), Pn(b) of soybean seedlings under UV-B radiation stress

2.2 UV-B 胁迫对大豆幼苗光呼吸关键酶的影响

乙醇酸氧化酶 (GO) 是光呼吸的一个关键酶^[8], 其作用是将光合碳代谢中形成的乙醇酸氧化成乙醛酸, 并生成副产物过氧化氢。乙醇酸氧化酶活性的高低, 代表了光呼吸作用的强弱。谷氨酰胺合成酶 (glutamine synthetase, GS) 不仅是高等植物铵同化途径中一种重要的酶, 也是光呼吸过程中的关键酶, GS 活性的高低直接影响到大麦、烟草等植物

的光呼吸速率^[9], 而当植物受到胁迫时, GS 活性会受到抑制^[10]。

图 2a 是 UV-B 胁迫下大豆幼苗 GO 连续 10 d 的变化过程。由图 2a 可见, UV-B 胁迫下 T1 和 T2 组 GO 均高于 CK 组, 并呈现先上升后下降的趋势。胁迫期间, T1 组 GO 上升速率低于 T2 组; 进入修复期后, T2 组 GO 下降速率高于 T1 组, 至修复期结束时, T1 组 GO 高于 T2 组 8.8%。

图 2b 是 UV-B 胁迫下大豆幼苗 GS 连续 10 d 的变化过程。由图 2b 可见,UV-B 胁迫下 T1 和 T2 组 GS 均高于 CK 组,并呈现先上升后下降的趋势。

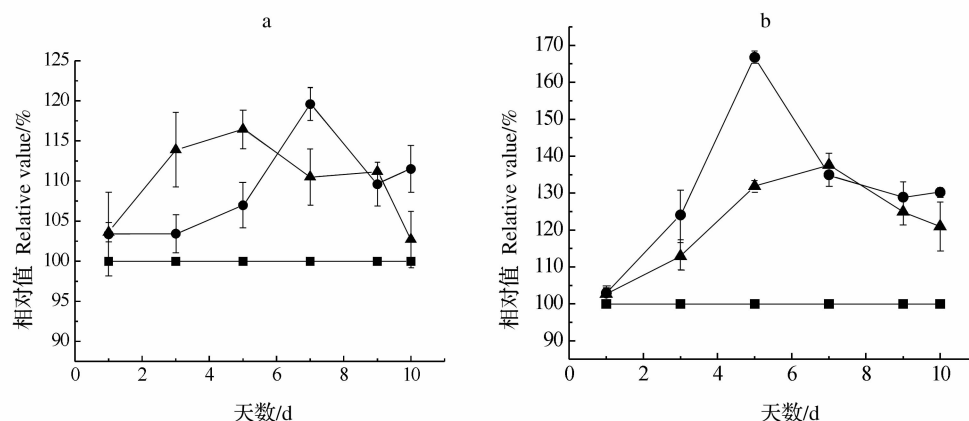


图 2 UV-B 胁迫对大豆幼苗 GO(a)、GS(b) 的动态影响

Fig. 2 Dynamic effects on GO(a), GS(b) of soybean seedlings under UV-B radiation stress

3 讨论

T1 和 T2 组的 Pr 与 Pn 动态变化表明,UV-B 辐射与 Pr、Pn 间存在明显的剂量效应,低剂量 UV-B 辐射通过提高 Pr 缓解了 Pn 的下降,而高剂量 UV-B 辐射下虽通过提高 Pr 一定程度上缓解了 Pn 的降低,但已表现出一定程度上的光抑制。试验表明,UV-B 胁迫下,植物的 Pr 升高,Pn 降低,此结果与侯扶江等^[11]、孙谷畴等^[12]、师生波等^[13]对 UV-B 胁迫下植物的 Pr、Pn 变化情况相同,即 UV-B 胁迫能够显著提高植物的 Pr,降低 Pn;师生波等^[13]对具有天然高 UV-B 辐射环境的青藏高原植物研究认为,在 UV-B 胁迫下植物的 Pn 降低,并通过提高 Pr 减轻 UV-B 辐射伤害。Pr 既可消耗强光和高温条件下的过剩光能,又可防止气孔导度下降导致的细胞间隙 CO₂浓度的过度降低,这在一定程度上起到保护光合作用中心免受强光破坏的作用^[5]。

T1 和 T2 组的 Pr 与 Pn 动态变化表明,UV-B 辐射与 GO、GS 间存在一定的剂量效应关系,低剂量 UV-B 辐射相对高剂量 UV-B 辐射能够提高光呼吸关键酶活性,高剂量 UV-B 辐射在提高酶活的同时可能对酶活具有一定的限制,对酶活的影响效应低于低剂量 UV-B 辐射。刘厚诚等^[14]通过对强光处理下的节瓜幼苗的研究表明,强光诱导了乙醇酸氧化酶活性提高,较强的光呼吸活性有利于防御逆境下光抑制造成的伤害。黄少百等^[15]研究表明,紫外胁迫下 GS 活性明显升高,而 GS 酶活性的升高将有

助于氮的同化。而另一些研究则表明,GO 的活性与光活化及底物诱导有关^[16],高浓度氮磷促进水稻产生较多的乙醇酸,也提高了 Pr^[17]。研究也表明光呼吸可以有效提高氮素循环,提高逆境下植物体内的氮素含量。上述事实表明,UV-B 胁迫可以通过提高光呼吸关键酶—GO 和 GS 的活性,进而提高 Pr,促进 N 循环利用,缓解 N 不足对光合作用的抑制,从而间接减少或消除潜在过剩光能的产生而减轻光抑制。

参考文献

- [1] 王传海,何都良,郑有飞,等.连续两年紫外线-B 辐射增强对玉米种子发芽及幼苗生长的影响[J].农村生态环境,2003,19(3):23-25. (Wang C H, He D L, Zheng Y F, et al. Effects of enhanced UV-B radiation for two years on seed germination and seedling growth of maize[J]. Rural Eco-environment, 2003, 19(3):23-25.)
- [2] 岳明,王勋陵.紫外线 B 辐射对几种植物种间竞争的影响[J].应用生态学报,2003,14(8):1322-1326. (Yue M, Wang X L. Effect of enhanced UV-B radiation on competition among several plant species[J]. Journal of Applied Ecology, 2003, 14(8):1322-1326.)
- [3] Scotto J, Cotton G, Urbach F, et al. Biologically effective ultraviolet radiation: surface measurements in the United States, 1974 to 1985[J]. Science, 1988, 239: 762-764.
- [4] 朱永友,吴丽芳,阚晟,等. NaSO₃ 对草莓生理学的影响[J].安徽师范大学学报(自然科学版),1999,22(4):326-328. (Zhu Y Y, Wu L F, Kan S, et al. Effect of NaHSO₃ on the physiology of strawberries[J]. Journal of Anhui Normal University(Natural Science), 1999, 22(4):326-328.)

- [5] 孟庆伟,赵世杰,许长成,等. 田间小麦叶片光合作用的光抑制和光呼吸的防御作用[J]. 作物学报,1996,22(4): 470-475. (Meng Q W,Zhao S J,Xu C C,et al. Photoinhibition of photosynthesis and protective effect of photorespiration in winter wheat leaves under field conditions[J]. Acta Agronomica Sinica, 1996,22(4): 470-475.)
- [6] 章汤城. 现代植物生理学试验指南[M]. 上海: 上海科学出版社,2004: 92-93. (Tang Z C. Modern plant-physiology experiment guide [M]. Shanghai: Shanghai Scientific Press, 2004: 92-93.)
- [7] 章汤城. 现代植物生理学试验指南[M]. 上海: 上海科学出版社,2004: 157-158. (Tang Z C. Modern plant-physiology experiment guide [M]. Shanghai: Shanghai Scientific Press, 2004: 157-158.)
- [8] Esquivel M G,Ferreira R B,Teixeira A R. Protein degradation in C3 and C4 plants with particular reference to ribulose biphosphate carboxylase and glycolate oxidase[J]. Journal of Experimental Botany,1998,49: 807-816.
- [9] Wallsgrove R M,Turner J C,Hall N P. Barley mutants lacking chloroplast glutamine synthetase biochemical and genetic analysis[J]. Plant Physiology,1987,83: 155-158.
- [10] Gouia H,Ghorbal M H,Meyer C. Effects of cadmium on activity of nitrate reductase and on other enzymes of the nitrate assimilation pathway in bean[J]. Plant Physiol Biochemistry,2000,38: 629-638.
- [11] 侯扶江,李广,袁桂英. 增强的 UV-B 辐射对黄瓜(*Cucumis sativus*)不同叶位叶片生长、光合作用和呼吸作用的影响[J]. 应用与环境生物学报,2001,7(4): 321-326. (Hou F J,Li G,Ben G Y. Effects of enhanced ultraviolet-B radiation on growth, photosynthesis and respiration of *Cucumis Sativus* leaves on different positions[J]. Chinese Journal of Applied and Environmental Biology,2001,7(4): 321-326.)
- [12] 孙谷畴,赵平,曾小平,等. 柚树(*Citrus grandis*)叶片光合作用对补增 UV-B 辐射的响应[J]. 广西植物,2001,21(1): 72-76. (Sun G C,Zhao P,Zeng X P,et al. Photosynthetic response in leaves of *Citrus grandis* to supplementary UV-B irradiation[J]. Guihaia,2001,21(1): 72-76.)
- [13] 师生波,李惠梅,王学英,等. 青藏高原几种典型高山植物的光合特性比较[J]. 植物生态学报,2006,30(1): 40-46. (Shi S B,Li H M,Wang X Y,et al. Comparative studies of photosynthetic characteristics in typical alpine plants of the Qinghai-Tibet plateau[J]. Acta Phytocologica Sinica,2006,30(1): 40-46.)
- [14] 刘厚诚,黄红星,孙光闻,等. 温光处理对节瓜幼苗光合作用的影响[J]. 沈阳农业大学学报,2006,37(3): 386-389. (Liu H C,Huang H X,Sun G W,et al. Effect of temperature and light treatments on photosynthesis of *Chiehqua* seedlings[J]. Journal of Shenyang Agricultural University,2006,37(3): 386-389.)
- [15] 黄少白,戴秋杰,王志霞. 紫外光 B 辐射对菠菜和小白菜叶片氮代谢的影响[J]. 江苏农业学报,1999,15(1): 12-16. (Huang S B,Dai Q J,Wang Z X. Effect of ultraviolet B radiation on nitrogen metabolism in spinach and Chinese cabbage leaves[J]. Jiangsu Journal of Agricultural Sciences,1999,15(1): 12-16.)
- [16] 李启明. 植物的乙醇酸氧化酶[J]. 植物生理学通讯,1988,(6): 67-71. (Li Q M. Plant Glycolate Oxidase[J]. Plant Physiology Communications,1988,(6): 67-71.)
- [17] 崔克辉,何之常,张甲耀,等. 模拟污水中氮、磷对水稻幼苗过氧化物酶和乙醇酸氧化酶的影响[J]. 武汉大学学报(自然科学版),1995,41(2): 245-250. (Cui K H,He Z C,Zhang J Y,et al. Effects of mimic wastewater containing N,P on activities of catalase and glycolate oxidase in the seedlings of rice[J]. Wuhan University Journal (Natural Science Edition), 1995, 41(2): 245-250.)
- (上接第 446 页)
- [17] 李军,高新昊,郭世荣,等. 外源亚精胺对盐胁迫下黄瓜幼苗光合作用的影响[J]. 生态学杂志,2007,26(10): 1595-1599. (Li J,Gao X H,Guo S R,et al. Effects of exogenous spermidine on photosynthesis of salt-stressed *Cucumis sativus* seedlings[J]. Chinese Journal of Ecology,2007,26(10): 1595-1599.)
- [18] 李颖畅,郝建军,于洋,等. 碳酸氢钾和亚硫酸氢钠对茄子幼苗光合作用的影响[J]. 沈阳农业大学学报,2007,38(4): 508-511. (Li Y C,Hao J J,Yu Y,et al. Effect of KHCO_3 and NaHSO_3 on photosynthesis of eggplant seedling[J]. Journal of Shenyang Agricultural University,2007,38(4): 508-511.)
- [19] 陈杭芳,胡民强,杨勇,等. 喷布低浓度 NaHSO_3 溶液对茶树抗寒性的影响[J]. 浙江农业学报,2007,19(3): 184-187. (Chen H F,Hu M Q,Yang Y,et al. Effect of foliage spraying sodium bisulfite at low concentration on resistance to coldness of tea trees[J]. Agriculturae Zhejiangensis,2007,19(3): 184-187.)
- [20] 周慧芬,郭延平,林建勋,等. NaHSO_3 对枇杷和毛枣叶片光合速率的促进作用[J]. 果树学报,2003,20(3): 239-241. (Zhou H F,Guo Y P,Lin J X,et al. Promotion of NaHSO_3 to photosynthetic rate in leaf of *Eriobotrya japonica* and *Zizyphus mauritiana*[J]. Journal of Fruit Science,2003,20(3): 239-241.)
- [21] 郭金华,牛志电,梅建设,等. NaHSO_3 对桑树光合作用及蚕茧产量和质量的影响[J]. 蚕业科学,2001,27(2): 83-86. (Guo J H,Niu Z D,Mei J S,et al. Effects of NaHSO_3 on the photosynthesis of mulberry and yield,quality of silkworm cocoon[J]. Science of Sericulture 2001,27(2): 83-86.)