

酸雨胁迫下, 稀土元素对菠菜膜保护系统作用

严重玲^{1,2}, 洪业汤¹, 林鹏³, 王世杰¹, 杨先科², 付舜珍², 朱克勇², 吴善绮²

(1. 中国科学院国家环境地球化学重点实验室, 贵州 550002; 2. 贵州环境保护科学研究所; 3. 厦门大学生物系)

摘要: 利用盆栽实验, 探讨了酸雨胁迫下对菠菜膜保护酶系统的防护效应。实验结果表明: 单一酸雨处理会造成超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化酶(CAT)活性总体水平下降, 其变化曲线呈“U”形, 并使过氧化物酶(POD)活性明显增加。施用稀土元素后酸雨胁迫下的植株叶片中SOD、CAT活性总体水平上升, 变化曲线的峰值向酸度较大的方向移动, POD活性上升幅度减小, 3种膜保护酶的活性与单一酸雨处理组相比, 处在一种相对稳定的状态下, 表现出在酸度不大的情况下, 稀土元素对酸雨影响菠菜膜保护系统有明显的防护作用。

关键词: 酸雨胁迫; 稀土元素; 菠菜; 膜保护系统

The effect of acid rain stress on membrane protective system of spinach and the conservation of rare earth elements

YAN Chong-Ling^{1,2}, HONG Ye-Tang¹, LIN Peng³, YANG Xian-Ke², FU Shun-Zhen², ZHU

Ke-Yong², WU Shan-Qi² (1. The State Key Laboratory of Environmental Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang, 550002, China; 2. Guizhou Institute of Environmental Protection, China; 3. Dep. of Biology, Xiamen University, China)

Abstract Based on pot experiments, the effect of acid rain stress on membrane protective system of spinach and the conservation of rare earth elements were studied. The stress of acid rain resulted in decreases of overall levels of superoxide dismutase activity and catalase activity, and on increase of peroxidase activity. After being treated by rare earth elements, the overall level of superoxide dismutase activity and catalase activity were increase and the peak value of activity variation curve moved forward to the direction of higher acidity. POD activity only increased in a small scale, comparing with no treatment by rare earth elements under same acid rain condition, and the three important enzymes of membrane protective system could be kept on a relatively stable level. It concluded that rare earth elements could conserve membrane protective system from being affected by acid rain at the low acidity conditions.

Key words: acid rain stress; rare earth elements; Spinach; membrane protective system

文章编号: 1000-0933(1999)04-0543-03 中图分类号: X171 文献标识码: A

植物在正常的新陈代谢中会产生 O_2^- 、 H_2O_2 和 $\cdot OH$ 等活性氧。活性氧对植物的毒害作用通常由于其自身的产生和清除处于低水平平衡状态而未能表现出来。但在环境污染^[1,2]干旱^[3]染病^[4]等逆境胁迫下, 植物活性氧产生与清除系统间的平衡会被打破, 从而引起膜的伤害。SOD(超氧化物歧化酶)、CAT(过氧化氢酶)、POD(过氧化物酶)是植物体内活性氧清除系统中酶促子系统的3种重要保护酶, SOD催化反应 $O_2^- + 2H^+ = H_2O_2 + O_2$, POD和CAT则催化 H_2O_2 形成 H_2O 。有效地阻止活性氧在植物体内的积累, 排除了 O_2^- 、 H_2O_2 和 $\cdot OH$ 等活性氧对细胞潜在伤害的可能性。

酸雨^[2,5]和稀土元素^[6,7]对植物膜保护系统影响的研究已有报道, 但是酸雨胁迫下, 稀土元素对植物膜保护系统作用的研究国内外尚无报道。本研究试图弄清酸雨胁迫下, 稀土元素是否对植物膜保护系统有一

基金项目: 国家自然科学基金重点资助项目(49833002); 贵州省自然科学基金资助项目

第一作者通讯地址: 贵州省环境保护科学研究所, 贵阳, 550002

收稿日期: 1998-03-28; 修订日期: 1998-12-05

定防护作用。为进一步寻求防护酸雨对植物(尤其是作物)影响的农业措施提供理论依据和实践经验。

1 材料和方法

1.1 材料 选择我国酸雨多发区常见并对酸雨敏感的植物——菠菜^[2](*Spinacia oleracea*) 华菠 1 号为研究材料。供试稀土由河南商丘稀土微肥厂提供,其元素组成见表 1。

表 1 稀土元素含量

Table 1 Content of REE

元素 Elements	含量(%) Content	元素 Elements	含量(%) Content	元素 Elements	含量(%) Content	元素 Elements	含量(%) Content
La	21.32~22.87	Nd	12.85~14.57	En	<0.086	Er	<0.087
Ce	39.08~41.51	Sm	<0.258	Tb	<0.081	Yb	<0.087
Pr	4.14~4.97	Dy	<0.087	Ho	<0.087	Ln	<0.089
Y	<0.078						

1.2 方法 酸雨配置及喷洒:模拟西南地区自然降雨中各离子浓度比(表 2),用稀硫酸液配置^[5],根据该地区菠菜生育期中自然降雨量的平均数进行喷洒,每周 2 次,每次酸雨量 10mm,酸雨设置 5 个处理组(pH4.8、pH4.0、pH3.5、pH3.0、pH2.5 和一个对照 CK pH6.5)。在 5 个酸雨处理的基础上,设置稀土 0.01%、0.03%、0.05% 叶喷和 0.03%、0.05% 浸种(浸 16h,阴干后播种)5 个系列,在 30cm × 25cm (上口直径 × 高)的营养钵中(15 株/盆),每处理 4 次重复,进行盆栽。以简易塑料棚遮盖,使之不受自然降雨的影响。在菠菜成苗期分别测定其体内 CAT、POD 和 SOD 的活性。测定方法按文献^[3],单位分别为 H₂O₂ mg / min · g (FW); U nits/mg (FW); × 10³ U nits/g (FW)。

表 2 酸雨离子浓度(μmol/L)

Table 2 Ion composition in acid rain

K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	NH ⁺	H ⁺	O ₃ ²⁻	NO ₃ ⁻	Cl ⁻	F ⁻
15	18	50	15.5	40.5	36.5	140	21	7.5	7

2 实验结果

2.1 酸雨胁迫下菠菜 SOD 活性变化及稀土元素

的作用 研究结果(图 1, a)表明:酸雨胁迫下,菠菜 SOD 活性随着其胁迫强度(酸度)的增加而在胁迫初期上升。当活性上升到一个峰值后转而逐渐下降,对照与各处理之间以及各处理之间的 SOD 活性变化幅度较大。施用稀土元素后,虽然植株仍处在酸雨胁迫下,SOD 活性也随着酸雨胁迫强度的增大,由逐渐上升后转而下降,其峰值向酸度较大的方向移动,SOD 活性总体水平升高,对照与各处理之间的变化幅度明显减少。

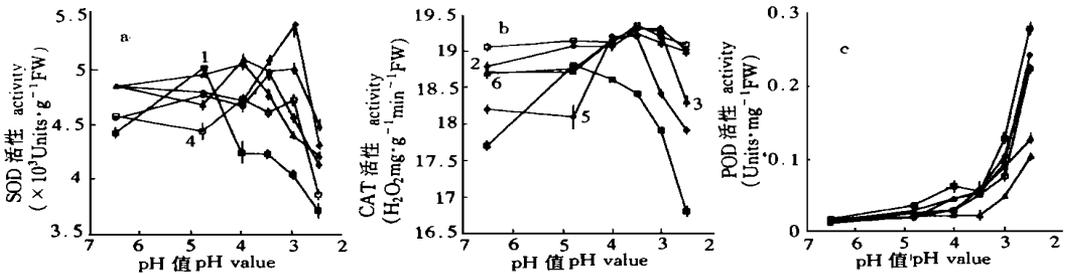


图 1 酸雨对菠菜 SOD (a), CAT (b), POD (c) 活性的影响及稀土元素的作用

Fig. 1 The effect of acid rain (AR) on activity of SOD (1), CAT (2), POD (3) of spinach and the conservation of rare earth elements (REE)

1 单一酸雨处理 AR; 2 酸雨+ 0.01% 稀土叶喷 AR+ 0.01% REE foliar spray; 3 酸雨+ 0.03% 稀土叶喷 AR+ 0.03% REE foliar spray; 4 酸雨+ 0.05% 稀土叶喷 AR+ 0.05% REE foliar spray; 5 酸雨+ 0.03% 稀土浸种 AR+ 0.03% REE soaked; 6 酸雨+ 0.05% 稀土浸种 AR+ 0.05% REE soaked seed

2.2 酸雨胁迫下菠菜的 CAT 活性变化及稀土元素的作用 研究结果(图 1, b)表明:单一酸雨胁迫下 CAT 活性被诱导呈上升趋势。但随着胁迫强度的增加, CAT 活性又转而下降,整个变化曲线呈“ ”形。施用稀土元素后, CAT 活性在酸雨处理下其变化曲线仍呈“ ”形,但峰值向 pH 减小的方向推移。

2.3 酸雨胁迫下菠菜 POD 活性变化及稀土元素的作用 研究结果(图 1, c)表明菠菜叶片中 POD 活性随酸雨胁迫强度增大而缓慢增加。到 pH3.5 急剧上升。施用稀土后,急剧上升的起点后移至 pH3.0 处, POD

活性变化曲线远不及单一酸雨胁迫的高。

3 讨论

酸雨胁迫能够影响植物体内活性氧代谢系统的平衡^[2,5]、破坏和降低活性氧清除剂的活性及含量水平。SOD 在清除 O_2^- 的同时,还能阻止 Fe^{3+} 重新受 O_2^- 作用还原生成 Fe^{2+} ($O_2^- + Fe^{3+} \rightarrow Fe^{2+} + O_2$)而催化 Fenton 反应($H_2O_2 + Fe^{2+} \rightarrow \cdot OH + OH^- + Fe^{3+}$)产生更多的 $\cdot OH$ 。CAT、POD 则通过对 H_2O_2 的消除而阻遏了 Haber-Weiss 反应($O_2^- + H_2O_2 \rightarrow \cdot OH + OH^- + O_2$)产生 $\cdot OH$,也避免了对过多的 H_2O_2 向叶绿体内渗透而加速叶绿素的降解^[9]。同时由于 POD 具有 IAA 氧化酶的性质^[1,6,8,10],POD 活性的降低,也减弱了 IAA 氧化的作用而利于植株的生长。本研究表明,在酸雨胁迫出现时,植株体内活性氧增加,自身膜保护系统和具抗性的生理活动被诱导而加快。CAT、SOD 活性也因此被诱导而逐渐上升。随着胁迫强度的增加(pH 减小),CAT、SOD 的底物浓度逐渐超过最适范围,转而抑制 CAT、SOD 的活性,使之逐渐下降。而其体内 POD 活性在酸雨胁迫下则表现出由缓慢上升转而急剧增加。稀土元素施用后,这 3 种酶的活性变化曲线波动性减小,出现一种相对稳定状态,变化曲线的拐点向酸度加大的地方推进。CAT、SOD 活性总水平较单一酸雨处理为高,而 POD 活性水平则相对于单一酸雨处理为低。高的 SOD 和 CAT 活性和低 POD 活性有利于清除活性氧的积累而防止酸雨胁迫伤害。因此,由于稀土元素的施用,减弱了菠菜对酸雨的敏感性,增加了菠菜耐受酸雨酸度的范围,亦可看成稀土元素对酸雨影响菠菜膜保护系统的一种防护作用。

酸雨对作物生理影响的生理机制之一是增加膜透性,由于细胞内抗氧化酶系统间的平衡失调,清除氧伤害能力减弱,而活性氧生成量增加,加速了 O_2^- 、 H_2O_2 向毒性更强的 $\cdot OH$ 转化,造成膜脂过氧化,使膜透性增加^[5,12],细胞内含物外渗,代谢失调。另一方面,由于酸雨的淋洗作用,植物叶片中的 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 等阳离子被淋洗出来^[13]。施用稀土元素后,由于稀土元素具有似钙的作用而占据钙的吸收位置或替代了蛋白质中钙的结合^[6]扮演了钙的“角色”,补充了膜系统上钙的流失,提高了膜系统的完整性,同时稀土元素也使 3 种重要抗氧化酶活性相对稳定,进而使活性氧的清除和生成处于相对的低水平平衡状态,而表现出对酸雨影响膜系统的防护作用。

稀土元素能有效的与植物细胞中的 Fe^{2+} 共同参与叶绿素蛋白质复合物和 110KD 多肽以及 PSI(光系统 I)的形成,而有利于光合磷酸化和碳同化作用的加强^[6]。由于稀土元素充分地利用因酸雨胁迫所产生大量的 O_2^- 使 $O_2^- + Fe^{3+} \rightarrow Fe^{2+} + O_2$ 反应无法形成更多的 Fe^{2+} ,这就阻断了 Fe^{2+} 通过 Fenton 反应产生更多的 $\cdot OH$ 而有效的避免了对菠菜的膜伤害。研究还发现稀土元素对酸雨影响菠菜膜保护系统有一定的防护作用。但随着酸雨胁迫作用加强(pH 3.5~ 2.5),这种作用有逐渐减弱的趋势。这种现象是由于酸雨酸度的增大,对土壤中可溶态稀土元素淋溶作用加强^[11],植物可吸收,利用稀土元素的量减小,植物体内稀土元素含量也减小^[14]所致。因此,而未能明显地表现出这种防护作用。

参考文献

- [1] 严重玲,洪业汤,付舜珍,等. Cd、Pb 胁迫对烟草叶片中活性氧清除系统的影响. 生态学报, 1997, 17(5): 42~ 47.
- [2] 刘燕云,等. 酸雨和 SO_2 作用下 SOD 酸活性与菠菜叶片损伤相关性研究. 应用生态学报, 1993, 4(2): 223~ 225.
- [3] Price A H, A therton N M, Herdry G A F. Plants under drought stress generate activated oxygen. *Free Radical Res Comm*, 1980, 8: 61~ 66.
- [4] Adam A, Frakas T, Somlyai G, et al. Consequence of O_2^- in tobacco: deterioration of membrane lipids. *Physiol Plant Pathol*, 1989, 34: 13~ 26.
- [5] 严重玲,李瑞智,钟章成. 模拟酸雨对绿豆、玉米生理生态特性的影响. 应用生态学报, 1995, 6(supp): 124~ 131.
- [6] 倪嘉缙. 稀土生物无机化学. 北京: 科学出版社, 1995. 13~ 37.
- [7] 焦根林,汤锡珂,吴兆明. 氯化镉对玉米根组织膜透性的影响. 中国稀土学报, 1992, 10(1): 86~ 88.
- [8] 严重玲,钟章成,等. 土壤中 Pb、Hg 及其相互作用对叶片抗氧化酶的影响. 环境科学学报, 1997, 17(1): 494~ 498.
- [9] 严重玲,洪业汤,等. 稀土元素对酸雨胁迫下小麦抗氧化酶的生物学效应. 科学通报, 1998, 43(20): 2206~ 2208.
- [10] Bandurskir, Nonhebel H M. *Auxins in advanced plant physiology*. London: Pitman Press, 1984. 1~ 16.
- [11] 陈照喜,王晓蓉,田笠卿. 模拟酸雨下土壤中稀土元素的环境行为和植物可利用性研究. 环境科学学报, 1995, 15(1): 32~ 37.
- [12] Baker M, et al. The effect of pH on the conversion of O_2^- to HO. *Arch Biochem. Biology*, 1984, 234: 258~ 164.
- [13] Gary D. Hogan. Physiological effects of direct impact of acidic deposition on foliage, *Agriculture. Ecosystems and Environment*, 1992, 42: 307~ 319.
- [14] 严重玲,洪业汤,杨先科,等. 酸雨胁迫下稀土元素对小麦的生物学效应. 中国农业科学, 1998, 31(5): 89~ 91.