

稀土元素对酸雨胁迫小麦活性氧清除系统响应的作用*

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

(¹中国科学院环境地球化学国家重点实验室, 贵州贵阳, 550002; ²贵州省环境保护科学研究所, 贵州贵阳, 550002)

提 要 盆栽条件下, 就酸雨胁迫下小麦活性氧清除系统的响应及稀土元素作用进行了研究。结果表明: 酸雨导致小麦活性氧酶促系统的 SOD、CAT、POD 酶活性总体水平发生变化。CAT、SOD 活性减弱, POD 活性增加, 致使体内活性氧清除能力减弱, 稀土元素的施用增加了 CAT、SOD 活性水平, 削弱了由于酸雨胁迫所导致的 POD 活性的增加, 从而增强了清除活性氧的能力, 减弱了由于酸雨胁迫对小麦活性氧清除系统造成的影响。

关键词 稀土元素; 酸雨; 小麦; 活性氧清除系统

Effect of Rare Earth Elements on the Response of the Activated Oxygen Scavenging System in Leaves of Wheat

Yan Chongling¹ Hong Yetang¹ Wang Shijie¹ Fu Shunzhen² Yang Xianke² Zhu Keyong²
Wu Shanyi²

(¹The State Key Laboratory of Environmental Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guizhou, 550002; ²Guizhou Institute of Environmental Protection, Guizhou 550002)

Abstract Based on pot experiment, the authors studied the effect of acid rain on activated oxygen scavenging system of wheat, and the conservation of rare earth elements. The result showed that acid rain could cause decrease of the activities of superoxide dismutase (SOD) and catalase (CAT) and increased of peroxidase (POD) activity, leading to decreased scavenging ability of the activated oxygen. After treated with rare earth elements, the total level of the activities of SOD and CAT increased, and the increasing rate of the POD activity was much reduced scale. All these could improve the activated oxygen scavenging system in wheat leaves and, consequently alleviated the harmful effect of acid rain.

Key words Rare earth elements; Acid rain; Wheat; Scavenging system of activated oxygen

高等植物中, 分子氧(O_2)光还原产生超氧阴离子自由基($O_2^{\cdot-}$)是不可避免的, $O_2^{\cdot-}$ 对生物体具有毒害作用^[1]。通常情况下, 在植物分子氧电子还原过程中, 许多酶促反应和某些低分子化合物也会自动氧化产生 $O_2^{\cdot-}$ 、 $\cdot OH$ 、 1O_2 和 H_2O_2 等活性氧, 这些活性氧能引起脂膜过氧化, 从而破坏膜结构, 影响细胞正常生理功能。生物在其系统进化过程中细胞内形成了一个保护细胞膜免遭 $O_2^{\cdot-}$ 等自由基破坏的活性氧清除系统, 它主要由超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化物酶(POD)和过氧化氢酶(CAT)组成。这三种酶共同作用, 能有效地清除氧自由基, 从

* 国家自然科学基金重大资助项目(批准号 49833002)贵州省自然科学基金资助项目

** 通讯地址: 贵州省环境保护科学研究所, 贵阳, 550002

收稿日期: 1998-12-20

而阻断了它进一步对膜过氧化的可能性。

酸雨能够影响作物生长, 造成体内活性氧清除系统中酶活性的变化^[2, 3, 4]。稀土元素能够提高作物抗逆能力、提高作物品质、增加作物产量, 在生产实践中亦得到不断证实^[5, 6]。本研究针对稀土元素能提高作物抗逆性, 中国西南地区酸雨频繁的实际, 就稀土元素对酸雨胁迫小麦活性氧清除系统的作用进行研究, 以探索减轻或消除酸雨对作物影响的途径提供切实可行的农业防护措施, 并为这些措施提供理论依据和实践经验。

1 材料和方法

1.1 材料

选择酸雨多发区常见并对酸雨敏感的作物-小麦^[6](*Triticum aestivum* L.) 贵花 1 号为研究对象, 种子由遵义龙坪农推站提供, 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	Eu	<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 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^[3], 根据该地区 30 年小麦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 10 mm, 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 0.1%、0.3% 拌种(种皮沾湿晾干后播种)和 0.075% 浸种(浸种 16 h, 阴干后播种)3 个系列, 在 30 cm × 25 cm(上口直径 × 高)的营养钵中

表 2 酸雨离子浓度 ($\mu\text{mol/L}$)

Table 2 Ion composition in acid rain ($\mu\text{mol/L}$)

K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	NH ⁺	H ⁺	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	Cl ⁻	F ⁻
15	18	50	15.5	40.5	36.5	140	21	7.5	7

(30 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。在小麦分蘖期分别测定其体内 CAT、POD 和 SOD 的活性。测定方法按文献[8], 单位分别为 $\text{mg}(\text{H}_2\text{O}_2) \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{g}^{-1}(\text{FW})$; $\text{Units} \cdot \text{mg}^{-1}(\text{FW})$; $\times 10^3 \text{Units} \cdot \text{g}^{-1}(\text{FW})$ 。

2 结果

2.1 小麦 CAT 对酸雨胁迫的响应及稀土元素的作用

CAT(Catalase)是植物活性氧清除系统中一种能够有效地清除细胞内过多 H_2O_2 而维持细胞内 H_2O_2 在一个正常水平上的膜结构保护酶。本实验中, CAT 活性在酸雨胁迫下, 其活性变化曲线呈弱单峰曲线, 酶活性总体水平减小。酸雨胁迫下, 如果施用稀土元素, CAT 活性虽然仍表现出增加后又转而逐渐减小, 但 CAT 活性总体水平增加(图 1)。

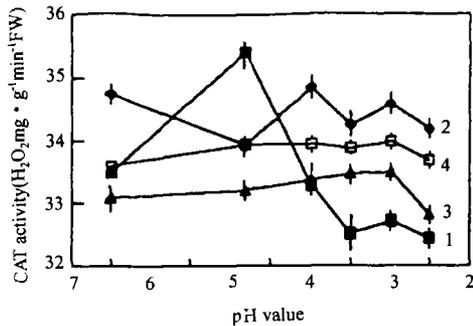


图1 小麦CAT对酸雨胁迫的响应及稀土元素的作用
Fig. 1 Effect of REE on the response of CAT in wheat leaves to acid rain treatment

1. 单一酸雨处理; 2. 酸雨+0.3%稀土拌种;
3. 酸雨+0.1%稀土拌种; 4. 酸雨+0.075%稀土浸种
1. Acid rain(AR); 2. AR+0.3% REE seed dressing;
3. AR+0.1% REE seed dressing;
4. AR+0.75% REE seed soaking

2.2 POD对酸雨胁迫的响应及稀土元素的作用

POD(Peroxidase)是一种普遍存在于植物体内的氧化还原酶,它不仅在生物发育过程中发生明显

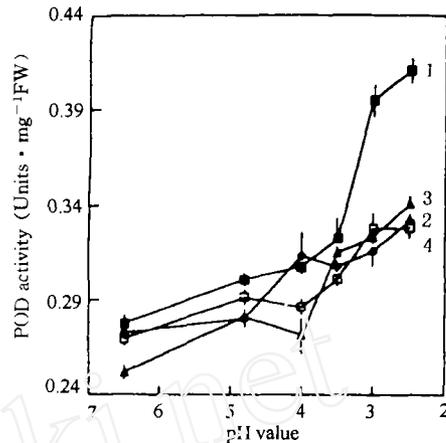


图2 小麦POD对酸雨胁迫的响应及稀土元素的作用
Fig. 2 Effect of REE on the response of POD in wheat leaves to acid rain treatment

1. 单一酸雨处理; 2. 酸雨+0.3%稀土拌种;
3. 酸雨+0.1%稀土拌种; 4. 酸雨+0.075%稀土浸种
1. Acid rain(AR); 2. AR+0.3% REE seed dressing;
3. AR+0.1% REE seed dressing;
4. AR+0.75% REE seed soaking

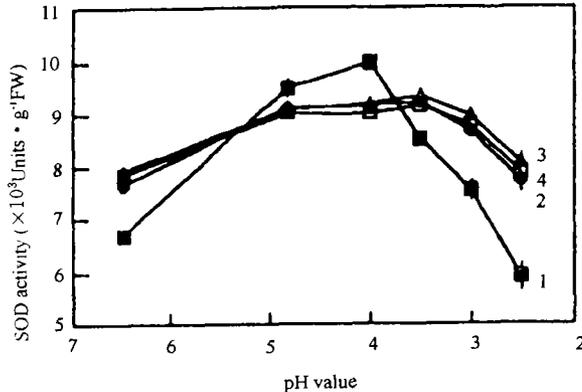


图3 小麦SOD对酸雨胁迫的响应及稀土元素的作用
Fig. 3 Effect of REE on the response of SOD in wheat leaves to acid rain treatment

1. 单一酸雨处理; 2. 酸雨+0.3%稀土拌种;
3. 酸雨+0.1%稀土拌种; 4. 酸雨+0.075%稀土浸种
1. Acid rain(AR); 2. AR+0.3% REE seed dressing;
3. AR+0.1% REE seed dressing;
4. AR+0.75% REE seed soaking

处在酸雨胁迫下的小麦,体内SOD活性变化曲线趋于平缓,变化幅度相对减小,SOD活性总体水平明显增加。

变化,而且对各种环境胁迫反应也十分敏感。POD活性受 H_2O_2 诱导,在酸雨或 SO_2 等环境胁迫下,也会导致POD活性上升^[3]。在本研究中,酸雨胁迫致使POD活性大幅度上升。施用稀土元素后,小麦虽仍处在酸雨胁迫下,但体内POD活性上升趋势却明显减弱,变化曲线走势相对平缓。

2.3 SOD对酸雨胁迫的响应及稀土元素的作用

SOD(Superoxide dismutase)是生物体内活性氧清除系统的一种关键酶。植物在酸雨的胁迫下,其体内SOD活性也会发生一些变化^[2, 3, 4],本研究中,单一酸雨处理致使小麦体内SOD活性随着酸雨酸度的增大,逐渐上升到一定值(峰值)后,又缓慢或急速下降,SOD变化曲线呈单峰曲线。施用稀土元素后,仍

3 讨论

SOD、POD、CAT 是生物体内酶促防御系统中三种非常重要的保护酶。在这个系统中, SOD 处于第一道防线, 它能够催化由新陈代谢中产生的超氧自由基($O_2^{\cdot-}$)歧化为 O_2 和 H_2O_2 , 从而防止 $O_2^{\cdot-}$ 在体内聚积和阻遏其通过 Haber-Weiss ($O_2^{\cdot-} + H_2O_2 \rightarrow \cdot OH + OH^- + O_2$) 反应产生羟自由基($\cdot OH$), 以瓦解 $O_2^{\cdot-}$ 和 $\cdot OH$ 引起的生物膜损伤和核酸、蛋白质等大分子的降解破坏。而 POD 和 CAT 则催化 H_2O_2 形成 H_2O 而阻止了 H_2O_2 在体内的积累或通过 Fenton 反应 ($H_2O_2 + Fe^{2+} \rightarrow \cdot OH + OH^- + Fe^{3+}$) 形成 $\cdot OH$, 减少了 $\cdot OH$ 在形成部位直接攻击细胞内的核酸蛋白质等大分子的可能性, 从而对细胞起到保护作用^[9]。

本实验中, 当酸雨胁迫出现时, 小麦体内 CAT 和 SOD 活性上升, 说明植物在适度的胁迫下, 可激发其体内自身抗逆体系, 诱导 SOD 和 CAT 活性增大, 以抵抗由于酸雨胁迫造成体内的 $O_2^{\cdot-}$ 和 H_2O_2 的增加, 从而减少活性氧对脂膜的过氧化作用。但是随着胁迫强度的增加(酸雨酸度的增大), 当这种胁迫超过作物自身的“应激”(忍耐)限度时, 转而抑制 CAT 和 SOD 活性的增大, 致使 CAT 和 SOD 活性下降, 使图中的 CAT 和 SOD 变化曲线呈单峰曲线型。稀土元素施用后, 酸雨胁迫下的作物 CAT 和 SOD 活性变化曲线趋于平缓, 对照与处理间的变化幅度相对减小, 并且总体活性水平增加。POD 在酸雨胁迫下其活性增加。POD 活性的上升表明细胞内积累了过多的 H_2O_2 , 致使细胞发生了一系列过氧化反应^[10]。由于 POD 具有吡啶乙酸氧化酶的作用, 它可以氧化 IAA(生长素)^[11, 3], 酸雨在一定范围内增加了 POD 活性, 这就破坏和减少了 IAA 的含量或将其转变为不活跃的物质, 改变了体内生长素的含量。由于 IAA 还控制着其它与生长相关的酶而表现出对作物生长的影响。而较低 POD 活性可以减少 IAA 的损失。稀土元素施用后, 与单一酸雨处理组相比, POD 活性相对较低, 从而保持了体内与生长相关的活性物质(如 IAA)的含量而有利于作物生长。

综上所述, 在酸雨胁迫下, 由于稀土元素的施用, 使作物活性氧清除系统中的三种重要保护酶, 在不同 pH 酸雨下调整其活性变化, 增加 CAT、SOD 活性, 削弱 POD 活性的总体水平, 以清除体内过多的活性氧, 进一步使与此相关的生理活动能够协调地进行。这说明, 在酸雨 pH>3.5 时, 酸雨对作物体内的 CAT、POD、SOD 活性造成的影响, 可由稀土元素的施用使作物仍能相对正常生长, 亦可看成稀土元素增强了作物抗酸雨胁迫的能力。

参 考 文 献

- 1 Salin M L. *Physiol Plant*, 1987, 72: 681~689
- 2 刘燕云, 曹洪法. *应用生态学报*, 1993, 2: 223~225
- 3 严重玲, 李瑞智, 钟章成. *应用生态学报*, 1995, 6(supplement): 124~131
- 4 严重玲, 洪业汤, 杨先科等. *科学通报*, 1998, 43(20): 2206~2208
- 5 倪嘉缙. *稀土生物无机化学*. 北京: 科学出版社. 1995. 13~38
- 6 郭伯生. *农业中的稀土*. 北京: 中国农业出版社, 1988
- 7 曹洪法, 高映新, 舒俭民等. *植物生态与地植物学报*, 1989, 13(1): 58~64
- 8 严重玲, 钟章成, 付舜珍等. *环境科学学报*, 1997, 17(4): 494~498
- 9 严重玲, 洪业汤, 付舜珍等. *生态学报*, 1997, 17(5): 487~492
- 10 Sagisaka S. *Plant Physiol*, 1976, 57: 308~309
- 11 Bandurski R S, Nonhebel H M Auxin's. In: Wilkins M B(ed) *Advances Plant Physiology*. London: Pitman Press. 1984. 69