- 10 Means A R, Tash T S, Chafouleas T G. Physiological implications of the presence, distribution, and regulation of calmodulin in eukaryotic cells. *Physiol Rev*, 1982, 62(1): 1~ 39
- 11 Goddard R H, Wick S W, Silflow C D, et al. Microtubule components of the plant cell cytoskeleton. *Plant Physiol*, 1994, 104: 1~ 6
- 12 Fisher D D, Gilroy S, Cyr R J. Evidence for opposing effects of calmodulin on cortical microtubules. *Plant Physiol*, 1996, 112: 1 079~ 1 087
- 13 Knight M R, Smith S M, Trewavas A J. Wind induced plant motion immediately increases cytosolic calcium. *Proc Natl Acad Sci USA*, 1992, 89: 4 967~ 4 972
- 14 Oh S A, Kwark J M, Kwun I C, et al. Rapid and transient induction of calmodulin encoding gene(s) of *Brassica napus* by a touch stimulus. *Plant Cell Rep*, 1996, 15: 586~ 590
- 15 Dauwalder M, Roux S J, Hardison L. Distribution of calmodulin in pea seedlings: immunocytochemical localization in plumules and root apices. *Planta*, 1986, 168: 461~ 470
- 16 Lin C T, Sun D, Song G X, et al. Calmodulin: localization in plant tissue. *J Histochem Cytochem*, 1986, 34: 561~ 567

(1998-02-10 收稿, 1998-05-08 收修改稿)

稀土元素对酸雨胁迫小麦抗氧化酶的生物学效应

严重玲^④ 洪业汤 杨先科^④ 付舜珍^④ 吴善绮^④

(中国科学院环境地球化学国家重点实验室, 贵阳 550002; ④贵州省环境保护科学研究所, 贵阳 550002)

摘要 利用盆栽实验, 研究了稀土元素对酸雨胁迫小麦抗氧化酶的生物学效应. 结果表明, 酸雨和稀土元素均能不同程度地影响小麦抗氧化酶活性. 酸雨胁迫使小麦抗氧化酶(CAT, SOD)活性随其 pH 值减小而呈单峰曲线, 施用稀土元素后, 抗氧化酶活性变化相对稳定, 变化曲线峰值向酸度加大的方向后移. 在酸雨酸度不大的条件下, 稀土元素明显减弱了小麦抗氧化酶对酸雨胁迫的敏感性, 增强了小麦抗酸雨的能力.

关键词 酸雨胁迫 稀土元素 小麦 抗氧化酶

活性氧等自由基能引起脂膜过氧化作用, 破坏膜及细胞的正常生理过程. 生物体内存在着一个防止自由基破坏的膜保护系统——抗氧化系统, SOD(超氧化物歧化酶)、CAT(过氧化氢酶)就是这个系统中的两种重要保护酶. SOD 清除 $O_2^{\cdot -}$ 而形成 H_2O_2 , CAT 则是催化 H_2O_2 形成 H_2O , 有效地阻止 $O_2^{\cdot -}$ 和 H_2O_2 在体内的积累, 排除它们对细胞膜结构潜在伤害的可能性^[1]. 酸雨对作物的一些抗氧化酶的影响^[2, 3]以及稀土元素能提高作物的抗逆性^[4]已有文献报道, 但稀土元素对酸雨影响作物抗氧化酶的防护效应尚未见报道. 本文首次报道稀土元素对酸雨胁迫下小麦抗氧化酶的生物学效应.

1 材料与方法

选择我国酸雨多发区常见并对酸雨敏感的植物——小麦^[5](*Triticum aestivum*, L) 贵花一号为研究材料, 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

<https://engine.scichina.com/doi/10.1360/csb1998-43-20-2206>

组成见表 1. 酸雨配置和喷洒按文献[3]¹⁾, 设置 5 个处理组(pH= 4.8, pH= 4.0, pH= 3.5, pH= 3.0, pH= 2.5) 和一个对照组(CK, pH= 6.5); 在 5 个酸雨处理组的基础上, 设置稀土 0.1%, 0.3% 拌种和 0.075% 浸种 3 个系列. 每处理 4 次重复, 进行盆栽. 测定方法: SOD 和 CAT 按文献[6]方法进行测定, 单位分别以酶活力单位/毫克鲜重($\text{U} \cdot \text{mg}^{-1}$) 和毫克鲜重小时所分解 H_2O_2 的微摩尔数($\mu\text{mol} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{mg}^{-1}$) 表示.

表 1 稀土元素组成

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

2 结果与讨论

2.1 酸雨对小麦 SOD 活性的影响及稀土元素的作用

实验结果表明, 酸雨和稀土元素均能不同程度地影响 SOD 活性(图 1). 酸雨出现时小麦体内 SOD 活性逐渐增加, 表明小麦在适度的酸雨胁迫下能启动(激发)体内自身抗逆体系. 诱导 SOD 活性增加以抵抗由于酸雨胁迫造成体内 $\text{O}_2^{\cdot -}$ 的增加, 从而抑制活性氧对脂膜的过氧化作用. 但随着胁迫强度的进一步增加(pH 值减小), SOD 活性转而急剧或缓慢下降. 施用稀土元素后, 小麦虽仍处在酸雨胁迫下, 但其体内 SOD 活性变化曲线中的峰值后移, 各处理间变

图 1 酸雨对小麦苗期(a)、拔节期(b)、成熟期(c) SOD 活性的影响及稀土元素的作用

1 ——酸雨+ 0.3% 稀土拌种, 2 ——酸雨+ 0.075% 稀土浸种, 3 ——酸雨+ 0.1% 稀土拌种, 4 ——单一酸雨处理

1) 严重玲. 稀土元素对酸雨影响农作物的防护效应. 中国科学院地球化学研究所(博士论文), 1997
<https://engine.scichina.com/doi/10.1360/csb1998-43-20-2206>

化幅度减小. 表明酸雨对小麦 SOD 活性的影响由于稀土元素的施用而减小. 研究还发现, 随着小麦的生育期进程, 从幼苗→分蘖→拔节→成熟, 体内 SOD 活性也经历一个从低到高再到低的过程, 这是由于其自身生理特性所决定的. 小麦拔节前后生理活动较强, 光合作用处在整个生育期的高峰点上, 为作物幼穗分化、成熟作物物质上的准备, 因此其抗逆性最强. SOD 活性在这个时段表现出相对于整个生育期较高的水平, 从幼穗到成熟, 伴随着叶片的老化, SOD 活性减小, 活性氧将逐渐积累从而引起对酶和膜的严重损伤.

2.2 酸雨对小麦 CAT 活性的影响及稀土元素的作用

实验表明(图2): 由于酸雨胁迫激发了体内自身防御系统而诱导 CAT 活性增加, 随着胁迫强度的进一步增加, CAT 活性受到抑制而出现逐渐减小的趋势. 施用稀土元素后, 小麦虽仍处在酸雨胁迫下, CAT 活性变化则表现出一种相对稳定状态, 实验还表明, 凡施用稀土元素的处理, 其 CAT 活性均高于同生育期的单一酸雨相同 pH 处理. 明显地表现出稀土元素提高了小麦的抗酸雨胁迫的能力. 随着小麦的生长发育, 其 CAT 活性也出现一个低→高→低的变化, 这是由于幼苗处在生长发育的早期阶段, 抗逆能力弱, 随着生长发育期的推移, CAT 活性增高, 到抽穗后期, 衰老速度加快, CAT 活性减弱.

图2 酸雨对小麦拔节期(a)、成熟期(b) CAT 活性的影响及稀土元素的作用

1——酸雨+ 0.3% 稀土拌种, 2——酸雨+ 0.075% 稀土浸种, 3——酸雨+ 0.1% 稀土拌种, 4——单一酸雨处理

酸雨胁迫下, 植物体内自由基积累影响了植物体内活性氧代谢的平衡, 破坏或降低了活性氧清除剂(抗氧化酶)的产量, 增加了活性氧, 导致膜脂过氧化^[2], 同时由于 SOD, CAT 活性的下降, 使更多的 $O_2^{\cdot-}$, H_2O_2 扩散到叶绿体中参与叶绿素的降解^[7, 8]. 稀土元素施用后这 2 种酶活性保持在一种相对稳定的水平上, 叶绿素含量及叶绿素 a/b 值增大, 叶面积增加, 千粒重增大¹⁾. 明显地减弱了小麦对酸雨的敏感性, 增大了对酸雨 pH 的耐受范围, 亦可看成小麦由于稀土元素的施用而增强了对酸雨胁迫的抗性. 研究中也发现, 酸雨酸度较大的几个处理 (pH3.5~ 2.5), 稀土元素的这种作用有所减弱, 这是因为酸雨的淋洗造成土壤中稀土元素的形态发生变化, 较高的酸度提供了更多的 H^+ 以置换稀土离子^[9], 被置换的稀土离子随淋溶而流失, 由于无论拌种和浸种, 小麦植株中稀土元素仍然主要来自土壤并受其影响^[10], 因此随着酸雨酸度增大而对土壤中可溶态稀土淋洗作用增强, 作物可吸收利用的稀土元素含量减少, 造成小麦体内的稀土总量也减少¹⁾而未能明显表现出对酸雨的防护作用所致. 但是, 在自然界

1) 同 2007 页脚注

中, 酸雨 pH 小于 3.5 的概率非常小, 因此利用稀土元素提高小麦抗酸雨胁迫的能力仍是可行的。
致谢 感谢审稿人为本文提出有益的修改建议。本工作为贵州省自然科学基金(批准号: 943029)资助项目。

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~ 17
- 2 刘燕云, 曹洪法. 酸雨和 SO₂ 作用下 SOD 酶活性与菠菜叶片损伤相关性研究. 应用生态学报, 1993, 2: 223~ 225
- 3 严重玲, 李瑞智, 钟章成. 模拟酸雨对绿豆、玉米生理生态特征的影响. 应用生态学报, 1995, 6(Supp): 124~ 131
- 4 倪嘉缙. 稀土生物无机化学. 北京: 科学出版社, 1995. 13~ 38
- 5 曹洪法, 高映新, 舒俭民, 等. 模拟酸雨对农作物生产和产量影响的初步研究. 植物生态学与地植物学报, 1989(13): 484~ 490
- 6 严重玲, 钟章成, 付舜珍, 等. 土壤中 pH, Hg 及其相互作用对烟草叶片抗氧化酶的影响. 环境科学学报, 1997, 17(3): 58~ 64
- 7 Huff A. Peroxidase_catalysed oxidation of chlorophyll by hydrogen peroxide. Phytochemistry, 1982(21): 261~ 265
- 8 Brennan T, Frenkel C. Involvement of hydrogen peroxide in the regulation of senescence in pear. Plant Physiol, 1997(59): 411~ 416
- 9 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): 33
- 10 孙景信, 赵航, 王玉琦. 小麦与水稻植株中稀土元素的含量及其分布研究. 科学通报, 1992, 37(24): 2 273~ 2 276

(1998-02-20 收稿, 1998-05-27 收修改稿)

人肝组织中新的 C₂H₂ 型锌指蛋白 编码序列的批量分离与克隆

吴国俊 余 龙* 孙喜元 吴梦楚 范玉新 姜春玲 郑其平
张 琪 许月芳 赵寿元

(遗传工程国家重点实验室, 复旦大学遗传学研究所, 上海 200433. * 联系人)

摘要 为了探讨人肝组织中 C₂H₂ 型锌指蛋白基因的分布数目以及克隆新的锌指蛋白基因, 设计了简并 PCR 引物, 扩增基因组 DNA, 以其中的 2 个扩增片段为探针筛选人肝 cDNA 文库, 获得了近百个阳性克隆. 对其中的 20 个 cDNA 片段进行了末端测序和同源检索, 证明 15 个为新的锌指基因片段. 对其中的 4 个 cDNA 片段进行了组织表达谱分析, Northern 杂交显示: L5_5 为肝、胰脏高度表达; 其余为广谱表达. 利用 FISH 将其中的 2 个片段 L2_9 和 L5_5 分别定位于 19q13.3 和 18q12.1.

关键词 C₂H₂ 型锌指蛋白基因 人肝组织 同源性比较

锌指蛋白被视为一类重要而典型的反式作用因子. 目前的研究表明, 它不仅与基因的表达、细胞分化、配子形成、胚胎发育等生命过程紧密相关^[1, 2], 而且它的分子结构变异还与多种疾病以及肿瘤相关^[3, 4]. 肝脏是人体的重要器官, 具有造血、代谢、解毒以及参与消化等生理功能. 因此, 从肝组织表达基因顺序中分离和克隆出新的锌指蛋白基因, 特别是肝组织特异表