

复合稀土对 Cd 胁迫下玉米保护酶系统的影响

金玉进¹ 徐蕊² (苏州科技学院化学与生物工程学院, 江苏苏州 215009)

摘要 [目的] 研究复合稀土对镉胁迫下玉米幼苗叶和根保护酶系统的影响及其机制。[方法] 通过水培试验研究了中度镉污染对玉米幼苗保护酶系统的影响及复合稀土的缓解效应。[结果] 镉胁迫1、3、5和7 d的玉米幼苗叶片的SOD活性分别为对照组的114%、130%、147%和155%,复合稀土处理组中镉胁迫1、3、5、7和9 d的玉米幼苗叶片的SOD活性依次为:79.8、87.2、95.0、103.9和106.0 U/ml。玉米幼苗根的SOD活性在镉胁迫的第5天为对照组的2.13倍。玉米幼苗叶片和根的SOD活性峰值分别为124.2和134.1 U/ml。镉胁迫1、3、5、7和9 d叶片的POD活性分别是对照组的1.81、1.73、1.54、1.47和1.54倍。镉胁迫玉米幼苗根和叶片的POD活性最高分别为对照组的288%和181%。复合稀土处理组在第9天的POD活性是镉胁迫组的1.05倍。镉胁迫玉米幼苗叶和根的CAT活性在第3天分别为对照组的1.08和1.42倍。[结论] 复合稀土对玉米幼苗镉胁迫损伤的修复作用比单一稀土元素镧好。

关键词 玉米; 镉胁迫; 复合稀土; 修复; 生理指标

中图分类号 S513 文献标识码 A 文章编号 0517-6611(2009)17-07928-04

Effect of Composite Rare Earth on the Protective Enzyme System in Maize under Cd Stress

JIN Jin et al (College of Chemistry and Biological Engineering, Suzhou University of Science and Technology, Suzhou, Jiangsu 215009)

Abstract [Objective] The purpose was to study the effect of composite rare earth on the protective enzyme system in the leaves and roots of maize seedlings and its mechanism. [Method] The effect of moderate cadmium pollution on the protective enzyme system in maize seedlings and the buffer effect of composite rare earth were studied in solution culture experiment. [Result] The activities of SOD in the leaves of maize seedlings treated by cadmium stress for 1, 3, 5 and 7 d were 114%, 130%, 147% and 155% of that in the controlled group resp. The activities of SOD in the leaves of maize seedlings treated by composite rare earth and then treated by cadmium stress for 1, 3, 5, 7 and 9 d were 79.8, 87.2, 95.0, 103.9 and 106.0 U/ml in order. The activities of SOD in the roots of maize seedlings treated by cadmium stress were 2.13 times of that in the controlled group on the 5th day. The peak values of SOD activity in the leaves and roots of maize seedlings were 124.2 and 134.1 U/ml resp. The activities of POD in the leaves of maize seedlings treated by cadmium stress for 1, 3, 5, 7 and 9 d were 1.81, 1.73, 1.54, 1.47 and 1.54 times of that in the controlled group resp. The highest activities of POD in the roots and leaves of maize seedlings treated by cadmium stress were 288% and 181% of that in the controlled group resp. The POD activity in the groups treated by composite rare earth was 1.05 times of that in the group only treated by cadmium stress on the 9th day. The activities of CAT in the leaves and roots of maize seedlings treated by cadmium stress were 1.08 and 1.42 times of that in the controlled group resp. on the 3rd day. [Conclusion] The repairing function of composite rare earth on the injury caused by cadmium stress in maize seedlings was better than that of single rare earth element lanthanum.

Key words Maize; Cadmium stress; Composite rare earth; Repair; Physiological indices

镉(Cd)能抑制植物光合作用和蒸腾作用,干扰植物的代谢过程^[1-3],导致植物膜透性、丙二醛、叶绿素含量、SOD、POD、CAT活性等生理指标发生变化^[4],抑制种子的发芽率^[5],造成叶与根中蛋白质损伤^[6],并且Cd可以累积在植物体内,进而影响机体的细胞分裂、诱发染色体畸变及微核形成等毒害效应^[7]。稀土微肥能提高作物抗性。试验证明,稀土元素对植物有以下作用:可促进冬小麦等植物的种子萌发和初期生长;对植物扦插生根有特殊的促进作用;有助于增加植物的叶绿素含量,提高光合效率;能促进大豆根系的生长,增加其结瘤数,提高根瘤固氮活性,从而增加大豆产量等^[4,8-10]。研究虽证实适当与适量稀土(RE)能够缓解环境污染对植物造成的伤害,但大多是单一稀土的修复作用,且动态、地上与地下部分比较的研究较少。该文以重要的粮食作物玉米为试验材料,采用模拟Cd污染的水培试验法,选择作物生活史中感知环境胁迫敏感的苗期为研究时段,分析复合稀土(镧La+铈Ce)对Cd胁迫下玉米幼苗叶和根保护酶系统影响及其机制,为Cd污染环境的农业安全生产提供借鉴。

1 材料与试验方法

1.1 材料 玉米(苏糯二号,由苏州市种子公司提供)。

1.2 方法 种子经10% H₂O₂消毒30 min,去离子水冲洗后,恒温箱28℃浸种24 h,然后移入培养皿中,用双层滤纸培养,每12 h进行换水,待芽长至4 cm左右,移入光照培养室(25℃,光暗=12:12,光照强度2 000 lx),培养,每12 h换水。待下胚轴长至4~5 cm时移入盛有完全培养液的黑色塑杯中,每杯3株,每日向塑杯通气2次,5 d换1次完全培养液。待20 d苗龄时,叶面喷施已筛选出的最佳复合稀土溶液(La+Ce)或单一氯化镧进行预处理,滴液为限,24 h后进行Cd胁迫处理(1/2的完全营养液配制Cd胁迫液,浓度为0.01 mmol/L,并用1/2的完全营养液作对照),分别于第1、3、5、7、9天测定指标。

指标测定^[11-12]:超氧化物歧化酶(SOD)活性用南京建成生物工程研究所提供的试剂盒测定,在超氧化物歧化酶活性测定中,以能抑制反应50%的酶量为1个酶单位,测定过氧化氢酶(CAT)活性、过氧化物酶(POD)活性。所有数据均以3次重复平均值计,用统计软件SPSS 11.0进行数据处理。

2 结果与分析

2.1 复合稀土最适浓度的选择 为确定对玉米幼苗生理功能的最佳效应浓度,试验中配制了2.5、5.0、7.5、10.0 mg/L(5 mg/L氯化镧+5 mg/L氯化亚铈)4种浓度梯度的复合稀土溶液,用喷雾器喷洒于玉米幼苗的叶片,滴液为限,对照喷等量蒸馏水,24 h后,以质膜透性为指标,进行复合稀土效应剂量筛选。由表1可知,在所设定的4个浓度范围内,稀土对玉米表现出低促高抑的作用,具体表现为 < CK < < < 。据此,以下关于复合稀土对Cd污染伤害玉米幼苗的修复试验浓度皆采用2.5 mg/L。

基金项目 苏州科技学院科研基金(Z976);江苏省高校自然科学基金项目(05KJD180191)。

作者简介 金玉进(1964-),女,江苏淮安人,副教授,从事植物生理和环境生理的教学和科研工作。

收稿日期 2009-03-17

表1 4种浓度复合稀土质膜透性比较

Table 1 The comparison of plasma membrane permeability among 4 kinds of concentrations of composite rare-earth

处理 Treatment	浓度 ng/L Concentration	S1 $\mu\text{S}/\text{cm}$	S2 $\mu\text{S}/\text{cm}$	质膜透性 % Plasma membrane permeability
(CK)	0	20.9 \pm 0.3	79.8 \pm 0.7	19.5
	2.5	15.0 \pm 0.5	78.5 \pm 0.5	12.0
	5.0	21.8 \pm 0.8	77.2 \pm 0.9	21.6
	7.5	29.5 \pm 0.6	76.4 \pm 0.4	32.9
	10.0	33.4 \pm 0.5	79.9 \pm 1.3	36.6

2.2 复合稀土对Cd胁迫下玉米幼苗保护酶系统的影响

植物在受到Cd胁迫下,体内产生了大量的活性氧,从而导致蛋白质、膜脂、DNA及其他细胞组分严重损伤。植物对氧胁迫也具有相应的适应和抵抗能力,表现在具有完善的活性氧清除系统。主要有酶促系统和非酶促系统2类。前者主要包括超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化氢酶(CAT)、过氧化物酶(POD)、抗坏血酸过氧化物酶(APX)和谷胱甘肽还原酶(GR);后者主要指抗坏血酸(AsA)、类胡萝卜素(Car)以及一些含巯基的低分子化合物等。重金属胁迫下,抗氧化系统清除活性氧能力的高低直接与植物对重金属的耐性强弱有关。

2.2.1 复合稀土对Cd胁迫下超氧化物歧化酶(SOD)动态变化的影响。SOD是植物体内清除自由基的最关键酶类之一,是活性氧清除反应过程中第一个发挥作用的抗氧化酶,它能催化生物体内分子氧活化的第一个中间产物 $\text{O}_2^{\cdot-}$ 发生歧化反应,生成 O_2 和 H_2O_2 ,从而清除自由氧,维持氧代谢的平衡。因此SOD活性的上升说明其作为氧自由基清除剂的作用已经开始显现,植物的保护酶系统开始起作用。

由图1可知,Cd胁迫下叶片SOD的活性在1~7 d一直维持升高状态,Cd处理组分别为对照组的114%、130%、147%、155%,胁迫的程度一直在加剧。而SOD活性越高,说明其底物浓度越高,这就表明1~7 d,在Cd的胁迫下,植物体内的氧代谢失调,活性氧的产生也在加快,从而诱导了SOD活性增高以消除活性氧。而到了7~9 d,SOD活性出现了下降,说明随着胁迫时间的延长,超越植物的适应能力,最终重金属Cd破坏了以SOD为主的保护酶系统,可能是因为Cd干扰了其分子结构或改变了其空间结构或产生的活性氧自由基超过了它们的清除能力。而加了复合稀土的处理组,SOD的活性依次为79.8、87.2、95.0、103.9、106.0 U/ml ,均低于没有施加稀土组,且在第1天即胁迫时间较短、Cd组差异极显著的情况下,加了复合稀土的处理差异只是达到显著水平,也就是说复合稀土表现出了较强的防护效应,有效地阻止了大量氧自由基的产生,从而使SOD活性升高幅度较平缓。

由图2可知,Cd胁迫时,复合稀土对玉米幼苗根系中SOD活性的影响趋势与对地上部分SOD活性的影响有所不同。在处理的前期(1~3 d)SOD活性小于叶片的SOD活性,而在第5天活性大于叶片,同时,由相对值也可看出根的SOD活性变化幅度较大,处理前期显著增加,达到了对照组的2.13倍,且从第5天SOD活性就开始迅速下降,比叶片SOD活性下降时间早。由此,不难发现根受到胁迫的程度明

显大于叶。另外,叶片达到的峰值为124.2 U/ml ,而根达到的峰值为134.1 U/ml ,可见植物根与叶SOD活性阈值是不同的。

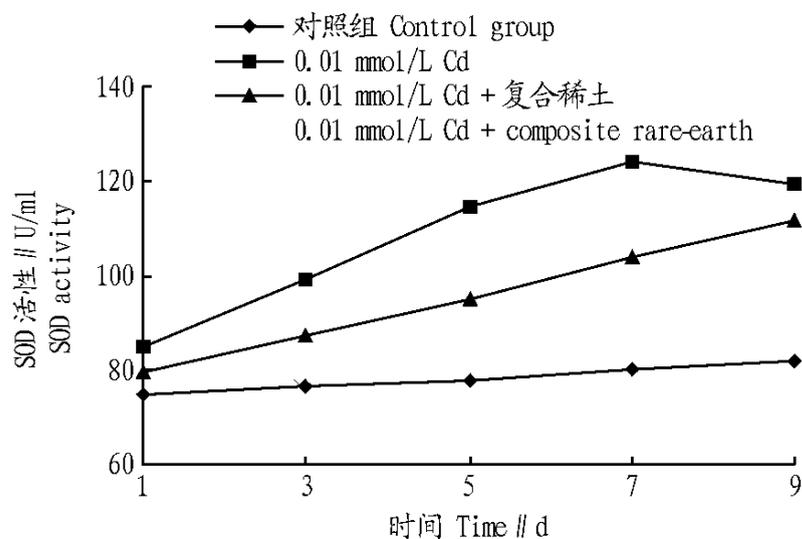


图1 玉米叶片SOD活性的变化

Fig.1 The changes of SOD activity in corn leaves

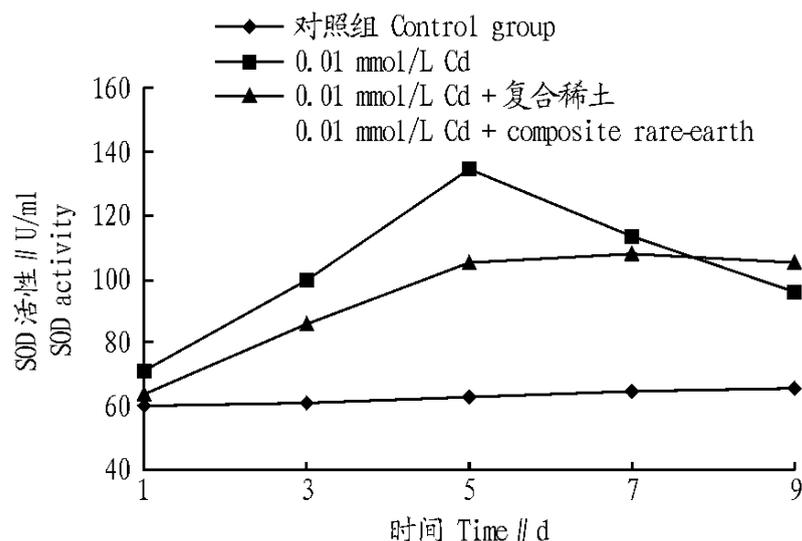


图2 玉米根SOD活性的变化

Fig.2 The changes of SOD activity in corn roots

对比加入复合稀土的处理组,SOD 1~7 d 小于Cd处理组,而7~9 d 却高于Cd处理组。前7 d 复合稀土的防护效应使植物体内产生的活性氧较少,因而SOD活性较低,而7~9 d 恰恰也是由于复合稀土的防护效应使植物的SOD为主的保护酶没有过早受到了不可逆的破坏。因而,随着时间的延长,在稀土和Cd的双重作用下,SOD活性仍旧维持着一个缓慢的上升趋势,高于Cd处理组,从而可以更好地清除活性氧,植物更好地减缓活性氧的伤害。

2.2.2 复合稀土对Cd胁迫下玉米幼苗过氧化物酶(POD)活性的影响。植物细胞内产生的 $\text{O}_2^{\cdot-}$ 经SOD催化反应生成形成 H_2O_2 , H_2O_2 可使卡尔文循环中的酶失活,若 H_2O_2 不及时清除,则叶绿体的光合能力会很快丧失。高等植物叶绿体内没有CAT酶, H_2O_2 的清除是由具有较高活性的POD来完成的^[9]。POD对各种环境胁迫反应敏感,其活性受 H_2O_2 诱导会上升,因此,在玉米受到Cd胁迫后,诱发体内产生了大量的氧自由基,SOD与其发生歧化反应生成 H_2O_2 后,由POD将其分解为对植物体没有毒害的 H_2O ,从而防御Cd胁迫引起的损伤。

由图3可知,在测定的9 d中,玉米叶片的POD发挥了较强的防御能力,Cd处理组的活性分别是对照组的1.81、1.73、1.54、1.47、1.54倍,t检验都达到了极显著差异的水平,减轻了对植物细胞的危害。纵向比较9 d的测量过程,处理前期1~3 d活性上升比较迅速,而5~9 d上升比较平缓,说

明在后期,随着Cd胁迫时间的延长,POD的活性也受到了抑制。而加了复合稀土的处理组同样有效地阻止了大量活性氧的产生,进而也降低了 H_2O_2 的积累,在处理前期POD活性并没有Cd处理组升高迅速,尤其是第1天与对照组做t检验分析,差异同样只是显著水平,而在第7天当单一Cd胁迫组POD活性出现下降时,经复合稀土预处理组的POD活性却显著上升,说明随着Cd胁迫时间的延长,体内积累了大量的 H_2O_2 ,在复合稀土的防护效应下,POD快速上升,清除自由基,而减少Cd对植物的损伤。

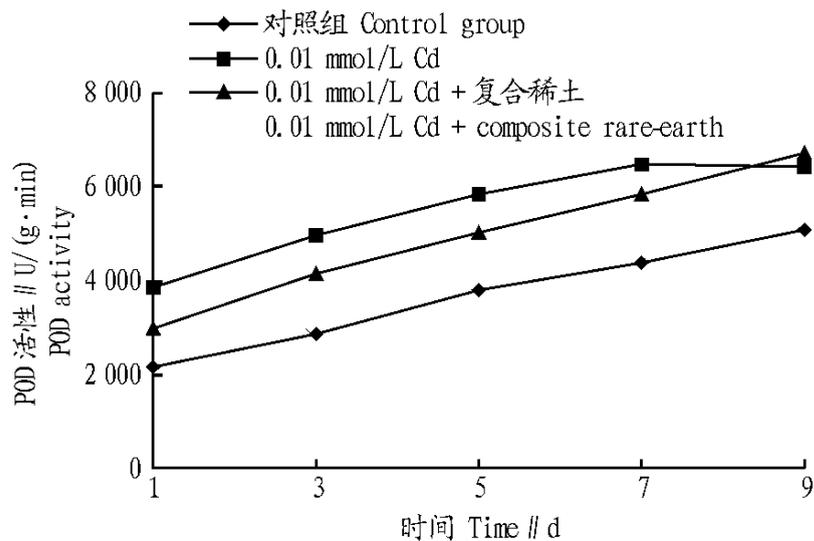


图3 玉米叶片POD活性的变化

Fig.3 The changes of POD activity in corn leaves

由图3、图4可知,根的POD活性大于叶片POD活性,且根POD的变化趋势也是先上升后下降,上升幅度比叶片上升幅度大,与对照组相比,最高达到了288%,而叶片最高仅为181%。由于受到了较强的胁迫于第7天开始下降,说明随着Cd胁迫时间的延长,植物体内会产生高氧化性的氧自由基,导致保护酶系统无法清除并且受到了破坏。加入复合稀土的处理组,POD活性一直处于上升状态,且第9天是Cd处理组的1.05倍。

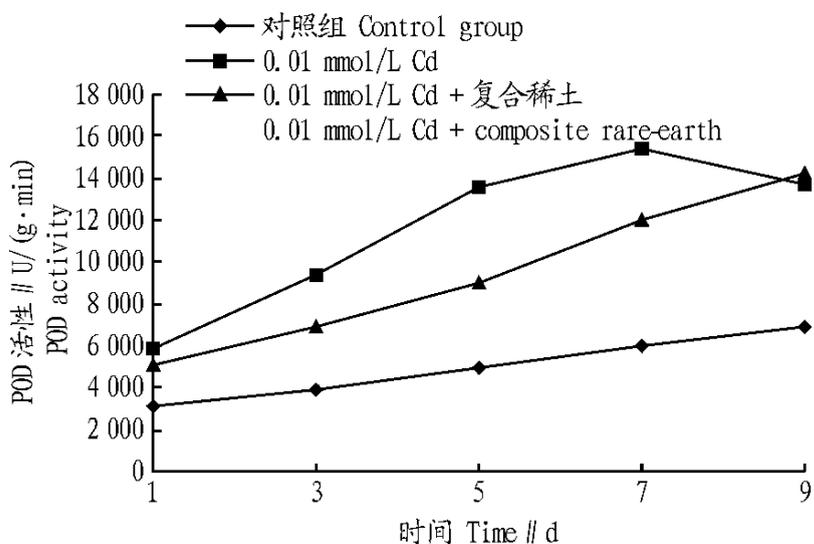


图4 玉米根POD活性的变化

Fig.4 The changes of POD activity in corn roots

2.2.3 复合稀土对Cd胁迫下玉米幼苗过氧化氢酶(CAT)活性的影响。CAT也是细胞内消除氧自由基的保护酶系之一,它催化 H_2O_2 分解为 H_2O 和 O_2 。CAT在细胞内主要存在于过氧化体中,负责过氧化体中产生的 H_2O_2 的清除,其他部分产生的 H_2O_2 可扩散到过氧化体中而被CAT分解清除,在植物呼吸代谢中起重要作用。

由图5、图6可知,前期Cd处理均显著提高了玉米幼苗根和叶的CAT活性,在第3天时,与对照组差距最大,叶为对照组的1.08倍,根为对照组的1.42倍。但从第3天开始,根

与叶CAT活性随着时间的延长显著降低,根降低幅度更大。

CAT降低可能是因为 H_2O_2 的积累引起了CAT分子空间构型的改变,进而导致了活性抑制的放大作用。并且单一Cd处理组叶片与根的CAT活性于第3天就开始下降,说明在这3种保护酶当中,CAT受到Cd胁迫的影响最大。

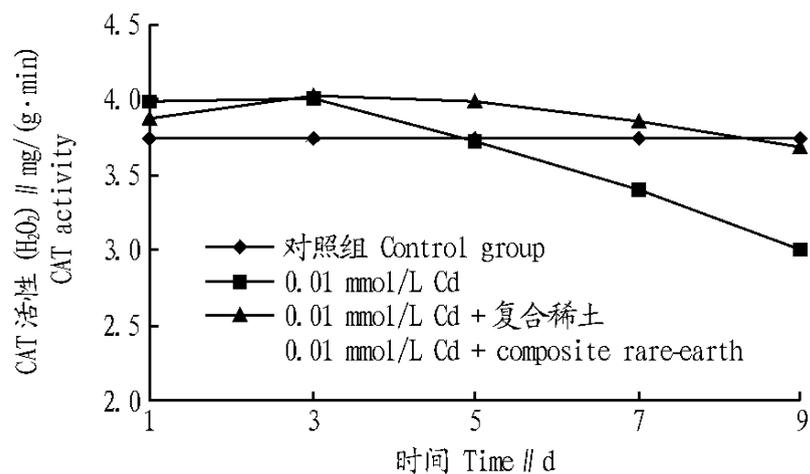


图5 玉米叶片CAT活性的变化

Fig.5 The changes of CAT activity in corn leaves

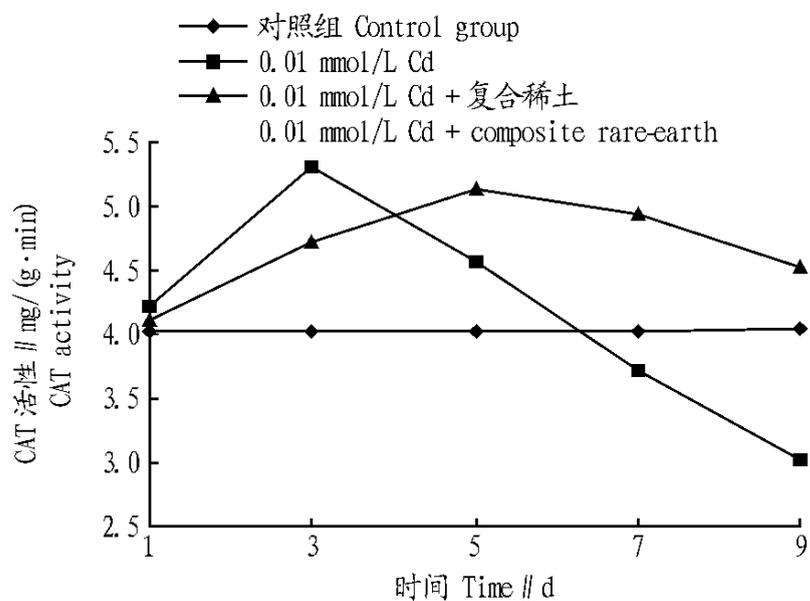


图6 玉米根系CAT活性的变化

Fig.6 The changes of CAT activity in corn roots

3 讨论

3.1 复合稀土提高玉米幼苗保护酶系统的活性玉米在受到Cd胁迫时,体内活性氧产生增加,保护酶系统发挥作用。分析复合稀土对Cd胁迫下玉米幼苗SOD、CAT、POD这3种保护酶类的影响可知,玉米幼苗的SOD、POD、CAT酶活性在Cd胁迫下呈现先上升后下降的变化趋势,说明中度Cd胁迫初期,玉米幼苗通过自身调节机制提高SOD、POD和CAT活性以适应重金属Cd的胁迫,随着胁迫时间延长,达到了活性氧的伤害阈值,SOD、POD和CAT活性均下降,活性氧逐渐积累,导致氧胁迫发生。但是三者达到伤害阈值的时间不同,如叶片的SOD和POD为第7天,CAT为第3天。结果也说明重金属干扰植物正常氧代谢,而给保护酶系统带来双重影响,即一方面使活性氧产生加快,诱导保护酶系统起作用,而另一方面却又引起一系列生理生化反应破坏或降低了保护酶的结构、活性和含量,钝化了保护酶的活性,造成活性氧防御系统瓦解,活性氧数量骤增^[13],最终造成叶绿素含量下降,质膜透性增加。

加入2.5 ng/L复合稀土的处理组,提高了保护酶的活性和稳定性,表现出了较好的修复作用。在处理前期阻碍活性氧大量产生,而使SOD、POD、CAT活性没有单一Cd处理组

高,而在处理后期活性却高于单一 Cd 处理组,推迟了3个酶类活性下降的时间,如玉米叶片的CAT活性,单一Cd处理组第3天就开始下降,而在复合稀土的防护下,第5天才开始缓慢下降,也就是说复合稀土使3种重要抗氧化酶活性保持相对稳定,进而使活性氧的清除和生成处于相对的低水平平衡状态,这样植物的保护酶系统就发挥了较强的、时间较长的清除自由氧的功能,从而减少Cd引起的膜脂过氧化作用,确保细胞膜结构完整和物质、能量代谢功能的正常进行,使植物的抗Cd能力得到了提高。

3.2 复合稀土与单一稀土镧修复作用的比较 镧和铈对重金属污染的植物都具有一定的修复作用,与以前的报道结果基本一致。但是以前研究结果中稀土的最适浓度通常为5.0和10.0 mg/L,高于该次试验所选稀土浓度,可能与玉米品种、所选镉浓度以及镧与铈的相互作用有关。这与它们的化学性质是分不开的。镧系元素都是具有较强还原性的活泼金属,尤其是镧与铈的还原性最强,因而可以抵抗活性氧引起的氧化胁迫。当然,稀土防护还有一些其他的机制,王金盛^[14]等研究了铈离子清除超氧化物自由基的机理,探讨了铈离子清除活性氧的机理为: $Ce^{3+} + O_2^- + 2H^+ \rightarrow Ce^{4+} + H_2O_2$, $Ce^{4+} + O_2^- \rightarrow Ce^{3+} + O_2$;叶亚新等^[4]研究了镧可降低小麦体内的脯氨酸和MDA含量的积累,提高POD和SOD的活性;罗玉明等报道了有超级钙之称的稀土离子激活了细胞膜上的钙离子通道,促进细胞内Ca²⁺浓度增多有利于第二信使Ca²⁺·CaM的形成,从而激活许多酶参与植物体内的解毒过程。

镧和铈在减轻重金属给植物带来的损伤作用上,虽然具有相似的机理,如它们都可以提高SOD、POD的活性,降低膜脂过氧化程度,但是侧重点又有所不同,如铈可以明显降低植物幼苗茎叶及根系中Cd的生物富集量,从而减少Cd沿食物链的迁移,但是铈对Cd引起的生长抑制及营养障碍却无明显的防护作用,而镧却能显著促进根系生长发育,优化苗期素质,缓解Cd污染对株高、主根长、叶绿素含量的损伤。因此,推断在该次试验中胁迫前期,镧发挥了较为主导的作用,而在后期,镧与铈协同作用,充分发挥了2种稀土元素的生理调节功能,共同增强了防护效应。马建军等^[15]也报道了单一稀土和混合稀土处理均使油菜干物质产量呈不同程

度的增加且均以混合稀土处理增产幅度最大。当然仅以2个生理指标来比较,并且复合稀土修复的最适浓度又不一定是单一镧修复的最适浓度,因此尚需大量的工作来进一步研究。

参考文献

- [1] 王鸿飞. 环境镉污染及镉对环境暴露人群影响的研究[J]. 广东微量元素科学,2002(7):24-26.
- [2] 杜瑜,尚琪. 环境镉污染人群健康影响研究回顾[J]. 卫生研究,2006(3):241-243.
- [3] 刘建新. 镉对燕麦幼苗生长和某些生理特性的影响[J]. 植物生理学通讯,2004(1):54-55.
- [4] 叶亚新,金玉进,王金虎. 稀土镧对镉胁迫小麦的防护效应[J]. 安徽农业科学,2005(5):761-763.
- [5] 姜虎生. Cd²⁺ 对小麦种子萌发及生理指标的影响[J]. 陕西农业科学,2006(5):25-27.
- [6] 谭晓荣,戴媛,李欢庆. 重金属镉对小麦幼苗生物大分子损伤的研究[J]. 安徽农业科学,2006,34(17):4227-4229.
- [7] 曹莹,黄瑞冬,李建东,等. 铅和镉复合胁迫下玉米对镉吸收特性的影响[J]. 生态学杂志,2006,25(11):1425-1427.
- [8] 胡忻,陈逸君,王晓蓉,等. 稀土元素铈对小麦幼苗镉伤害的防护效应[J]. 南京大学学报:自然科学版,2001,37(6):671-677.
- [9] 周青,黄晓华,曹玉华,等. La对Pb,Cd复合污染大豆幼苗的缓解作用[J]. 中国稀土学报,1998(4):123-128.
- [10] 金玉进,叶亚新. 镧对铅胁迫下小麦生理指标的影响[J]. 安徽农业科学,2005,33(12):2260-2262.
- [11] 李合生. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 北京:高等教育出版社,2004.
- [12] 张志良,瞿伟菁. 植物生理学实验指导[M]. 3版. 北京:高等教育出版社,2003.
- [13] 周青,黄晓华. 镧对水培菜豆和玉米幼苗镉胁迫的缓解作用[J]. 中国稀土学报,2005(2):245-249.
- [14] 王金盛,郭春绒,程香,等. 铈离子清除超氧化物自由基的机理[J]. 中国稀土学报,1997,15(2):151-154.
- [15] 马建军,朱京涛,张淑霞,等. 稀土对缓解油菜镉胁迫的研究[J]. 植物营养与肥料学报,2006(10):221-224.
- [16] ZHAO Y C. Effects of Cu²⁺ and Cd²⁺ stress on growth and POD activity of tomato seedling[J]. Agricultural Science & Technology,2008,9(2):106-108,125.
- [17] 王瑞妍,刘冰,周青,等. La对镉胁迫下玉米幼苗膜脂过氧化作用的影响[J]. 玉米科学,2006,14(4):90-92.
- [18] HU W Z, CHENG K, YAN J, et al. Effect of chemical germinicide EXP on membrane lipid peroxidation and protective enzyme activity in rapeseed (Brassica napus) [J]. Agricultural Science & Technology,2008,9(4):18-20,33.
- [19] WANG L, WANG L S, WANG L, et al. Effects of Hg²⁺ on isozymes of peroxidase, catalase and superoxide dismutase in wheat seedlings[J]. Agricultural Science & Technology,2008,9(5):19-23.
- [20] 马占强,李娟,郑跃进. 镧对汞胁迫下玉米幼苗膜脂过氧化的影响[J]. 安徽农业科学,2007,35(33):10613-10614.
- [1] YAMAUCHI T, KAMONJI, MINOKOSHI Y, et al. Adiponectin stimulates glucose utilization and fatty acid oxidation by activating AMP-activated protein kinase [J]. Nature Med,2002,8(11):1288-1295.
- [2] 张辉,丛立新,张才,等. 围产期酮病牛脂联素mRNA和甘油三酯脂肪酶mRNA的表达[J]. 中国兽医学报,2008(4):465-468.
- [3] 丛立新,张才,车英玉,等. 胰岛素、胰高血糖素对体外培养的牛脂肪细胞HSL mRNA和ADPN mRNA丰度的影响[J]. 中国兽医学报,2007(5):741-743.
- [4] SCHERER P E, WILLIAMS S, FOGLIANO M, et al. A novel serum protein similar to C1q, produced exclusively in adipocytes [J]. J Biol Chem,1995,270:26746-26749.
- [5] 张辉,杨沛林,张才,等. 围产期健康奶牛脂肪组织ADPN mRNA和HSL mRNA丰度[J]. 黑龙江畜牧兽医,2007(9):12-14.
- [6] 黄宇虹,高秀梅,张伯礼. 脂联素的研究进展[J]. 中国临床药理学与治疗学,2004,9(9):961-965.
- [7] LI MY, XUB Y, YANG X L, et al. Cloning and sequence analysis of M14-3-3d encoding a homologue 14-3-3 protein from barbara [J]. Agricultural Science & Technology,2008,9(3):75-79.
- [8] 张辉,王哲,张才,等. 牛脂联素基因cDNA克隆[J]. 黑龙江畜牧兽医,2006(11):10-13.
- [9] SUN P, GUO Y H, QI J J, et al. Cloning and sequence analysis of adiponectin gene from Rehmannia glutinosa [J]. Agricultural Science & Technology,2008,9(2):42-44,66.
- [10] 王会中,陈竞新,詹林盛,等. 小鼠脂联素受体2基因编码区的克隆及序列分析[J]. 生物技术通讯,2005,16(1):9-12.

(上接第7896页)

克隆牛ADPN全基因671 bp cDNA,为进一步研究ADPN的功能和研究牛脂联素的表达与育肥牛的脂肪代谢的关系提供试验基础。

参考文献

- [1] YAMAUCHI T, KAMONJI, MINOKOSHI Y, et al. Adiponectin stimulates glucose utilization and fatty acid oxidation by activating AMP-activated protein kinase [J]. Nature Med,2002,8(11):1288-1295.
- [2] 张辉,丛立新,张才,等. 围产期酮病牛脂联素mRNA和甘油三酯脂肪酶mRNA的表达[J]. 中国兽医学报,2008(4):465-468.
- [3] 丛立新,张才,车英玉,等. 胰岛素、胰高血糖素对体外培养的牛脂肪细胞HSL mRNA和ADPN mRNA丰度的影响[J]. 中国兽医学报,2007(5):741-743.
- [4] SCHERER P E, WILLIAMS S, FOGLIANO M, et al. A novel serum protein similar to C1q, produced exclusively in adipocytes [J]. J Biol Chem,1995,270:26746-26749.