

镧、铈对铜胁迫下豌豆幼苗抗氧化酶系统的影响

王蕊 王应军 马星宇

(四川农业大学资源与环境学院,四川 成都 611130)

摘要:本试验以豌豆为研究对象,研究了豌豆幼苗在受到高浓度 Cu 离子($100\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)胁迫下,经 2 种稀土(La,Ce)元素分别处理后对豌豆幼苗的细胞抗氧化酶活性及脂质过氧化产物 MDA 含量的影响。结果表明,Cu 离子胁迫降低了豌豆幼苗 SOD、POD 和 CAT 活性,增加了膜脂过氧化产物 MDA 含量。适宜浓度的 La($5\sim 10\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)和 Ce($5\sim 20\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)可分别有效提高豌豆幼苗的 3 种抗氧化酶活性并降低 MDA 含量,显著减轻了 Cu 胁迫对豌豆幼苗造成的毒害效应($P<0.05$)。这说明 La、Ce 处理能有效提高细胞清除活性氧的能力,一定程度上缓解了 Cu 离子胁迫对豌豆幼苗膜系统带来的伤害。进一步研究还表明,La 处理后对提高豌豆幼苗抗氧化酶活性和降低 MDA 含量的能力要显著优于 Ce。但高浓度($\geq 40\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)的两种稀土反而会加剧 Cu 对豌豆幼苗抗氧化酶系统的伤害,表现出与 Cu 离子协同胁迫的毒害效应。

关键词:镧;铈;铜胁迫;豌豆;抗氧化酶

随着矿产资源的大量开发利用、工业生产的迅猛发展和各种化学产品的广泛使用,往往造成土壤重金属的污染和扩散^[1]。铜是植物生长发育必需的几种微量元素之一,它是多酚氧化酶,细胞色素氧化酶及抗坏血酸氧化酶等多种酶类的组成成分之一。但 Cu 具有累积性,过量的 Cu 会导致植物体的 Cu 毒害,抑制植物根的伸长和分支以及植物的光合作用、干扰细胞代谢和离子平衡。同时,Cu 又是有毒的环境污染物质,随着冶金工业的迅猛发展,大量 Cu 进入环境,造成污染,特别是对农作物的生长产生明显危害。若农产品中铜含量超标,就会影响到人类的身体健康^[2-3]。国内外对铜的研究主要涉及植物铜缺乏症、铜的生理毒害作用以及土壤铜污染治理等方面,对铜与植物代谢方面的研究较少,而对植物幼苗萌发和幼苗生长影响的研究更为少见。

我国稀土元素储量丰富,因其自身能够应用在农业领域的特点,受到了越来越多学者的重视^[4-8]。大量研究表明,稀土元素确实对植物和作物的生长起着不可替代的作用,喷施适量的稀土可以促进作物幼芽萌发和幼苗生长,并有效缓解外界胁迫对植物或作物

的毒害,显示出较为显著的抗逆作用^[9-11]和缓解重金属伤害的效应^[12-14]。镧、铈作为稀土元素之一,在有机体中含量虽然很少,但对生命活动具有重要的调节作用^[15]。但是由于大多数相关研究都以单一稀土镧元素或铈元素居多,而关于将镧、铈两种稀土结合起来进行比较的研究却很少,而且有关镧、铈浸种对豌豆幼苗抗氧化酶系统的生物学效应及某些生理变化尚未见报道,因此,本文以豌豆为供试材料,采用水培的方法进行实验室模拟试验,探讨镧、铈两种稀土作为植物抗重金属胁迫拮抗剂的可行性,为土壤作物运用稀土进行重金属污染的防护提供一定的理论依据。

豌豆在我国已有两千多年的栽培历史,现在各地均有栽培,因其丰富的营养价值以及极强的环境适应力,并且其本身具有一定的抵抗外界胁迫的能力^[16],因此研究更具实用价值。

1 材料与方法

1.1 试验材料

本试验所用豌豆(*Pisum sativum* L.)品种为中豌

收稿日期:2012-08-13 接受日期:2012-03-20

基金项目:四川省教育厅重点基金项目(10ZA059)

作者简介:王蕊(1987-),女,辽宁阜新人,硕士,研究方向为环境生态工程。E-mail:635762096@qq.com

通讯作者:王应军(1972-),男,贵州沿河人,博士,教授,研究方向为环境生态工程。E-mail:wwyjj1972@163.com

五号,购于四川省成都市种子分公司温江分公司。供试稀土为四川省成都市科龙化学试剂公司生产的纯度为99.9%的氯化镧和氯化铈。

1.2 试验设计与实施

选取均匀饱满的豌豆种子,用0.1% HgCl₂ 溶液消毒15min,分别用自来水和去离子水洗净,以铺有双层滤纸的培养皿作为发芽床,每份样品30粒。设置100mg·L⁻¹的CuSO₄ 溶液作为豌豆幼苗抗氧化酶活性的胁迫因子^[17-20],以LaCl₃ 和CeCl₃ 溶液进行5、10、20、30、40、60mg·L⁻¹梯度浓度(纯La、Ce计)的处理。每组选取30粒,以蒸馏水(CK)和100mg·L⁻¹的Cu²⁺ 溶液作为对照组,各处理均设3个重复。

文中T1~T6表示向100mg·L⁻¹的Cu²⁺ 溶液中分别加入5、10、20、30、40、60mg·L⁻¹的La³⁺、Ce³⁺后的混合溶液的处理浓度。

1.3 指标测定及方法

超氧化物歧化酶(SOD)活性测定采用氮蓝四唑(NBT)法;过氧化氢酶(CAT)活性测定采用紫外分光光度计法;过氧化物酶活性(POD)采用愈创木酚法。以上均参照张志良方法^[21]。丙二醛(MDA)采用TBA法测定^[22]。具体步骤如下:

酶液的提取:豌豆幼苗处理10d待长到三叶一心后,分别取不同处理组的豌豆叶片0.5g于预冷的研钵中,加入预冷的0.1mol·L⁻¹磷酸缓冲液(pH值7.8)3mL,并加入少量石英砂,在冰浴中充分研磨成匀浆,匀浆移入10mL离心管中,残渣再用缓冲液冲洗,使终体积为8mL,匀浆液于低温离心机上10000r·min⁻¹离心15min,上清液即为酶提取液。5℃保存备用。

1.4 数据分析

数据处理及统计分析采用Excel和SPSS 17.0完成,采用单因素方差分析法(One-way ANOVA)进行统计分析,显著性测验采用最小差异显著法(LSD)法。

2 结果与分析

2.1 镧、铈对抗氧化酶活性的影响

2.1.1 SOD的变化 从图1可以看出,SOD活性随加入不同浓度La³⁺、Ce³⁺溶液后呈现不同幅度的变化,总体表现出“低促高抑”的变化趋势。当La³⁺的处理浓度为5~30mg·L⁻¹时,豌豆幼苗的SOD活性随LaCl₃ 溶液浓度的升高而呈现不同程度的增加,处理浓度为5mg·L⁻¹和10mg·L⁻¹时与对照差异显著($P < 0.05$),分别比对照增加了20.05%和36.64%,以10mg·L⁻¹的La处理浓度对豌豆幼苗的SOD活性促进作用最佳。而当实施

40mg·L⁻¹和60mg·L⁻¹的La处理时,豌豆幼苗SOD活性显著低于对照,分别只有对照的49.22%和28.43%,当La³⁺处理浓度为60mg·L⁻¹时,比单一Cu处理降低30.25%,说明高浓度的La³⁺与Cu²⁺发生协同作用,加剧了对豌豆幼苗的伤害。

Ce的各个处理浓度显示的效应变化规律与La对豌豆幼苗SOD活性的影响变化规律完全一致,呈现明显的低促高抑的趋势。不同的是当Ce³⁺的处理浓度≥20mg·L⁻¹时,SOD活性开始下降,比对照降低了10.64%,但未达到显著差异。

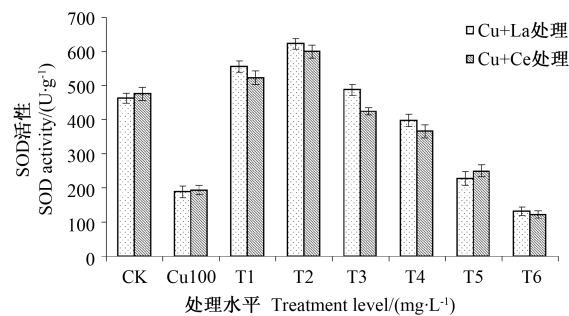


图1 镧,铈对豌豆幼苗SOD活性的影响

Fig. 1 Effects of La, Ce on SOD activities of pea seedlings

2.1.2 POD的变化 稀土元素La、Ce对豌豆幼苗POD活性的影响如图2所示,在浓度为100mg·L⁻¹的Cu胁迫下,豌豆幼苗POD活性显著低于对照($P < 0.05$),仅为对照的37.66%。与单一Cu处理相比,POD活性在T1~T4处理时随La处理浓度的升高而升高。在T2处达到峰值,即10mg·L⁻¹的La处理浓度对Cu胁迫的缓解效果最佳,幼苗POD活性比单一Cu处理增加157.88%,与对照相比增加50.55%。而在T5~T6处理时,即实施40和60mg·L⁻¹的La处理浓度时,POD活性急剧下降,分别比对照下降35.37%和59.78%,当La的处理浓度为60mg·L⁻¹时,POD活性比单一Cu处理下降33.34%。

与La相比,Ce处理的表现有所不同(图2)。100mg·L⁻¹的Cu处理对豌豆幼苗的POD活性起到明显的抑制作用,与张杰等^[23]和王东红等^[24]对水稻和油菜的研究结果一致。各浓度Ce处理与对照差异显著,低于T2处理时随La处理浓度的升高而升高,以10mg·L⁻¹的Ce处理表现最高,POD活性比单一Cu处理增加251.29%,比对照增加61.89%。随着Ce处理浓度的增加,POD活性开始下降,至60mg·L⁻¹处理时,比对照下降70.06%,比单一Cu处理降低35.03%。

可见 $60\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 的 Ce 与 $100\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 的 Cu 共同形成了对豌豆幼苗 POD 活性的伤害。La、Ce 比较而言, Ce 对豌豆幼苗 POD 活性的影响更加显著, 峰值处 Ce 的处理效果更好。

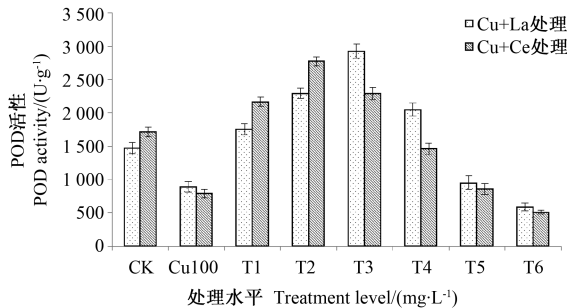


图2 镧、铈对豌豆幼苗 POD 活性的影响

Fig. 2 Effects of La, Ce on POD activities of pea seedlings

2.1.3 CAT 的变化 La、Ce 对 Cu 胁迫下豌豆幼苗 CAT 活性的影响如图 3 所示。在浓度为 $100\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 的 Cu 胁迫下, 豌豆幼苗 CAT 活性显著低于对照, 分别加入 La 的各处理浓度后, CAT 活性整体呈现先增高后降低的趋势, 在 T2 处达到峰值, 即以 $10\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 的 La 处理浓度效果最佳, 比对照增加 64.76%, 比单一 Cu 处理增加 153.29%。T3 处理时, 豌豆幼苗 CAT 活性开始急剧下降, 至 T6 处理时, 即实施 $60\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 的 La 时, CAT 活性比对照下降 59.69%, 比 Cu 处理下降 38.04%。

加入 Ce 的各处理浓度后所显示的 CAT 活性变化规律与 La 的变化规律趋于一致, 峰值同样出现在 T2 处, 比对照增加 59.71%, 比单一铜处理增加 191.15%。

2.2 镧、铈对铜胁迫下豌豆幼苗 MDA 的影响

如图 4 所示, 在浓度为 $100\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 的 Cu 胁迫下, MDA 含量显著高于对照, 为对照的 170.59%。随着 T1、T2 La 处理浓度的增加, MDA 含量呈阶梯状下降, 在 T2 处出现峰值, MDA 含量比对照降低 47.06%, 比单一 Cu 处理降低 68.97%。随 La 处理浓度的增加, MDA 含量在 T3 处开始上升, 至加入 $60\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 的 La 处理时, MDA 含量比对照增加 105.82%, 比单一 Cu 处理增加 20.68%。各 La 的处理浓度分别与 Cu 的单一处理浓度达到显著差异。

与加入 La 处理后对 MDA 含量的影响有所不同的是, 分别加入各浓度的 Ce 处理后, 如图 6 所示, 峰值出

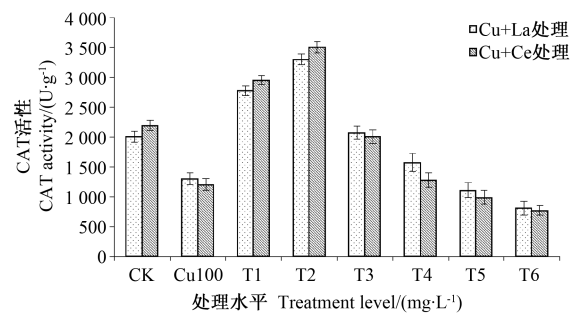


图3 镧、铈对豌豆幼苗 CAT 活性的影响

Fig. 3 Effects of La, Ce on CAT activities of pea seedlings

现在 T1 处, 即 $5\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 的 Ce^{3+} 对 Cu 胁迫下豌豆幼苗 MDA 含量的缓解效果最佳, 分别比对照和单一 Cu 处理降低了 42.11% 和 56.00%。高浓度 ($\geq 40\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$) 处理下 La 与 Cu 共同作用对豌豆幼苗 MDA 含量的破坏要高于 Ce 对其的影响。但整体趋势仍然与 La 处理保持一致, 呈现低促高抑的趋势。与沙莎等^[25]对汞胁迫下豌豆质膜过氧化程度的研究结果相类似。

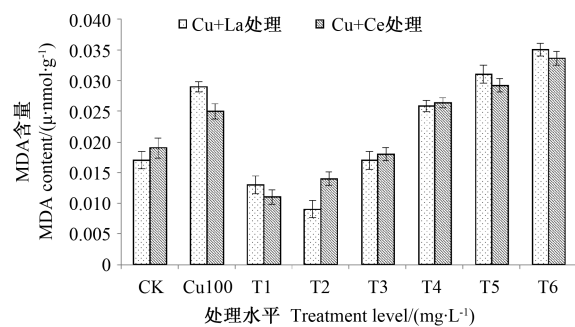


图4 镧、铈对豌豆幼苗 MDA 含量的影响

Fig. 4 Effects of La, Ce on MDA content of pea seedlings

3 讨论

在逆境条件下, 植物体内活性氧代谢系统的平衡会受到影响, 活性氧如 O_2^- 、 $\cdot\text{OH}$ 、 H_2O_2 、 O_2 等的产生量增加。体内活性氧含量的升高导致膜脂过氧化或膜脂脱脂作用, 从而破坏膜结构。自由基、活性氧浓度过高就会对细胞造成伤害, 为抵抗这种不利影响, 植物细胞需要有一个功能强大的抗氧化防御系统, 其清除活

性氧的能力高低对植物的逆境能力具有十分重要的意义^[26-27]。

稀土元素可以增加植物的抗逆性,激发并增加植物体内一些酶的活性。有研究表明,La、Ce 等对植物受重金属污染具有较好的缓解作用,对植物受重金属胁迫下的保护作用主要与清除自由基有关^[28]。SOD 是植物体内清除自由基的关键酶之一,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 O_2^- 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。CAT 有降解 H_2O_2 的能力,在防止自由基伤害中起着重要作用。POD 是生物体内抗氧化酶系统中主要的保护酶之一,能与机体内相关酶类,有效地清除超氧化物自由基。而 H_2O_2 的清除必须依赖 POD 和 CAT 的共同作用,组织中高浓度的 H_2O_2 需要 CAT 来清除,低浓度 H_2O_2 的清除主要是通过 POD 在氧化相应基质时被消除。这 3 种酶协调作用,使植物体内氧自由基的产生和清除处于动态平衡状态。MDA 含量的变化是反映逆境下植物受伤害程度的指标之一。通常利用 MDA 作为过氧化指标,表示细胞膜脂过氧化程度和植物衰老指标以及对逆境条件反应的强弱。本试验随着 La、Ce 处理浓度的逐渐增加,作物自身通过合成大量的抗氧化酶来应对逆境胁迫下所带来的伤害,从而保护自己,加快生长。但当浓度升至作物本身所能承受的最大限度时,两种稀土离子与 $100\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 的 Cu 形成对豌豆幼苗的双重胁迫,造成抗氧化防御系统功能紊乱,导致豌豆幼苗细胞膜脂过氧化加强,从而抑制保护酶的活性并降低抗氧化物含量^[29],其细胞膜选择透性机能也受到了较大影响,MDA 含量相应地升高,说明植物膜发生了膜脂过氧化作用。

本研究表明,在 $100\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 的 Cu 胁迫作用下,豌豆幼苗的 POD、SOD、CAT 活性与对照相比有较大幅度的下降,同时 MDA 含量升高。适当浓度 La、Ce 的加入在一定程度上促进了 3 种酶的活性和脂质过氧化产物含量的恢复,说明适宜浓度的 La($5\sim 10\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$) 和 Ce($5\sim 20\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$) 能够提高逆境条件下作物体内的抗氧化酶活性,降低过高浓度的自由基和活性氧对细胞造成的伤害。前人在对黄瓜^[30]、菱叶^[28]、菠萝^[31]、水稻^[32] 等的研究中有类似报道。但是当 La、Ce 浓度增至 $40\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 和 $60\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 时,3 种酶活性呈现明显的下降趋势,MDA 含量增加。说明较高浓度下两种稀土元素已不再起到防护酶系统的作用,相反与重金属 Cu 发生了协同伤害作用,加重了对豌豆幼苗的伤害,这与张美萍等^[33] 对小麦在 UV-B 辐照下对其抗氧化

酶的影响所报道的结果一致。表明使用稀土作为调节作物生长的元素时,必须注意有效剂量的使用,不恰当的施用可能会造成植物生产的损失。

本试验采用了两种稀土元素进行了同步研究。总体趋势来看,La 对提高豌豆幼苗抗氧化酶活性和降低 MDA 含量的作用要优于铈,相对稳定且效果显著。但无论是 La 还是 Ce,若使用浓度得当,适宜的剂量均有提高作物抗氧化酶活性的作用。庞欣等^[34] 对小麦的研究显示,稀土虽然对植物抗重金属胁迫有一定的保护作用,但与胁迫的程度和胁迫时间的长短都具有密切的关系^[35]。表明稀土元素的使用在注意有效剂量的同时还要注意喷施的时间以及其他条件和因素,只有各方面达到较好的配合才能将稀土的有利作用应用到最大化。这方面的研究本文未涉及,有待深入研究。另外,La 促进催化超氧自由基降解的能力是否一定高于 Ce,还要设置更多的试验条件予以确认,对于其减轻胁迫的机理也有待进一步研究。

4 结论

随着稀土元素及其化合物的广泛应用,大量可溶性稀土直接或间接进入土壤,对土壤中微生物和作物产生不同程度的影响。因此,在广泛应用稀土元素及其化合物的同时,应充分考虑其对生态环境造成的影响,尤其对土壤生态环境造成的破坏不容忽视。本文研究了在铜胁迫条件下两种稀土元素 La、Ce 对铜胁迫作用的交互效应,试验表明较低浓度的稀土元素对重金属铜胁迫下豌豆幼苗抗氧化酶系统有一定的防护作用,高浓度的两种稀土则协同外界胁迫共同对作物造成伤害。最佳处理浓度普遍在 $5\sim 20\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$,对于指导在重金属铜污染的情况下施用稀土来缓解铜的胁迫具有一定的现实意义。

参考文献:

- [1] 常红岩,孙百晔,刘春生. 植物铜素毒害研究进展[J]. 山东农业大学学报,2000,31(2): 227-230
- [2] 丁圆. 重金属污染土壤的治理方法[J]. 环境与开发,2000,15(2): 25-28
- [3] 刘登义,王友保. Cu、As 对作物种子萌发和幼苗生长影响的研究[J]. 应用生态学报,2002,13(2): 179-182
- [4] Diatloff E, Smith F W. Rare earth elements and plant growth: I. Effect of Lanthanum and Cerium on root elongation of corn and mungbean[J]. Journal of Plan Nutrition, 2008, 18(10): 1963-1976
- [5] Liu X S, Zhang H, Zhang Z Y, Li X E, Han X W, Wu Y P. Content of rare earth elements in *Salvia miltiorrhiza bunge* from different areas

- [J]. *Journal of Rare Earths*, 2010, 28(1): 510–512
- [6] Sun L H, Gui H R, Chen S. Rare earth element geochemistry of groundwaters from coal bearing aquifer in Renlou coal mine, northern Anhui Province, China[J]. *Journal of Rare Earths*, 2011, 29(1): 185–192
- [7] 谢永荣, 杨娉娉, 马巧. 稀土元素对作物生长的影响[J]. *作物*, 2011, 1: 5–9
- [8] 何跃君, 薛立. 稀土元素对植物的生物效应及其作用机理[J]. *应用生态学报*, 2005, 16(10): 1983–1989
- [9] Ding S M, Ling T, Zhang C S, Wang L J, Sun Q. Accumulation and fractionation of rare earth elements (REEs) in wheat: controlled by phosphate precipitation, cell wall absorption and solution complexation[J]. *Journal of Experimental Botany*, 2005, 56(420): 2765–2775
- [10] 陆晓民, 王兵, 刘红. 模拟酸雨下稀土元素铈对糯玉米幼苗生长的影响[J]. *核农学报*, 2010, 24(1): 114–117
- [11] 姜照伟, 翁伯琦, 黄元仿, 王义祥, 应朝阳. 喷施和土施镧对圆叶决明生长影响的比较[J]. *作物学报*, 2008, 34(7): 1273–1279
- [12] 周青, 陆敢超, 张辉, 梁婵娟, 黄晓华, 陆天虹. 稀土 La 对 Cd 胁迫下玉米幼苗生长影响[J]. *农业环境科学学报*, 2004, 23(1): 18–21
- [13] 马建军, 朱京涛, 张淑霞, 吴贺平, 邹德文. 稀土对缓解油菜镉胁迫的研究[J]. *植物营养与肥料学*, 2004, 10(2): 221–224
- [14] 王学, 徐恒, 戩刘涛. 白菜对铈、铅胁迫响应的比较研究[J]. *核农学报*, 2010, 24(3): 634–638
- [15] 邓国富. 富镧稀土对水稻的增产效果及应用前景[J]. *广西农业科学*, 2006, 37(5): 553–555
- [16] 吕阳, 程文达, 黄珂, 李晓卿, 曹卫东, 申建波. 低磷胁迫下箭筈豌豆和毛叶苕子根际过程的差异比较[J]. *植物营养与肥料学报*, 2011, 17(3): 674–679
- [17] 刘柏玲, 张凯, 聂恒林, 翟胜男. 铜对荞麦种子萌发及幼苗生长的影响[J]. *山东农业科学*, 2009, 9: 30–32
- [18] 张国军, 邱栋梁, 刘星辉. Cu 对植物毒害研究进展[J]. *福建农林大学学报: 自然科学版*, 2004, 33(3): 289–294
- [19] 苟本富. 铜胁迫对蚕豆种子萌发及幼苗生长的影响[J]. *西南师范大学学报: 自然科学版*, 2010, 35(5): 116–120
- [20] 郑曦, 肖炜. Cu 对小麦种子萌发及幼苗生长的影响[J]. *徐州师范大学学报: 自然科学版*, 2003, 21(3): 64–66
- [21] 张志良. 植物生理学实验指导(第二版)[M]. 北京: 高等教育出版社, 1990
- [22] 汤章城. 现代植物生理学实验指南[M]. 北京: 科学出版社, 1999: 305–306
- [23] 张杰, 黄永杰, 周守标. 铜胁迫下镧对水稻幼苗生长及抗氧化酶活性的影响[J]. *环境化学*, 2010, 29(5): 932–937
- [24] 王东红, 庞欣, 冯雍, 彭安. 铅胁迫下 $\text{La}(\text{NO}_3)_3$ 对油菜抗氧化酶的影响[J]. *环境化学*, 2002, 21(4): 324–328
- [25] 沙莎, 吴国荣, 刘少华, 章浩, 吴晓慧, 王习达. 镧对汞胁迫下豌豆幼苗光合能力的影响[J]. *安徽农业大学学报*, 2004, 31(3): 298–303
- [26] Tripathi B N, Gaur J P. Relationship between copper and zinc-induced oxidative stress and proline accumulation in *Scenedesmus* [J]. *Planta*, 2004, 10: 425–427
- [27] 庞欣, 王东红, 彭安. 铅胁迫对小麦幼苗抗氧化酶活性的影响[J]. *环境化学*, 2001, 22(5): 108–111
- [28] 罗玉明, 保曙琳, 丁秉中, 丁小余, 杨晋彬. 稀土元素铈缓解镉对菱叶的毒害效应研究[J]. *土壤学报*, 2006, 43(5): 808–813
- [29] 邱昌恩, 毕永红, 胡征宇. Zn^{2+} 胁迫对绿藻生长、生理特性及细胞结构的影响[J]. *水生生物学报*, 2007, 31(4): 503–508
- [30] 高青海, 王秀峰, 史庆华, 杨凤娟, 魏珉. 镧对硝酸盐胁迫下黄瓜幼苗生长及叶片抗氧化酶活性的影响[J]. *应用生态学报*, 2008, 29(5): 976–980
- [31] 姚艳丽, 张秀梅, 刘忠华, 苏倚, 窦美安, 孙光明. 硝酸镧和硝酸铈对菠萝产量品质和抗氧化酶系统的影响[J]. *热带作物学报*, 2010, 31(8): 1372–1376
- [32] 徐秋曼, 陈宏, 程景胜. 铈减轻铅对水稻幼苗毒害的机理初探[J]. *稀土*, 2009, 30(1): 26–30
- [33] 张美萍, 江玉珍, 于光辉, 苑中原, 陈国祥. 稀土元素对增强 UV-B 辐照下小麦抗氧化酶的影响[J]. *核农学报*, 2009, 23(2): 316–319
- [34] 庞欣, 王东红, 邢晓燕, 彭安. 汞胁迫下 $\text{La}(\text{NO}_3)_3$ 对小麦幼苗抗氧化酶活性的影响[J]. *中国稀土学报*, 2002, 20(2): 159–163
- [35] Zahra N, Muhammad A. Assessment of variation in antioxidative defense system in salt-treated pea (*Pisum sativum*) cultivars and its putative use as salinity tolerance markers [J]. *Journal of Plant Physiology*, 2009, 166(16): 1764–1774

Effect of La And Ce on Antioxidant Enzymes System of Pea Seedlings under Copper Stress

WANG Rui WANG Ying-jun MA Xing-yu

(College of Sichuan Agricultural University, Chengdu, Sichuan 611130)

Abstract: In the present study, the impact of two rare earth (La and Ce) treatment to the response of enzymatic protective systems and MDA content variations of pea seedlings under high copper stress ($100\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$) were researched. The results showed that the Cu stress decreased the activities of SOD, POD and CAT in pea seedling leaves and increased the content of membrane lipid peroxidation products MDA. Appropriate concentration of Lanthanum ($0\sim 10\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$) and Cerium ($0\sim 20\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$) could effectively increase the activities of SOD, POD and CAT, meanwhile, decrease the content of MDA and significantly alleviated the toxic effect of Cu stress to pea seedlings ($P < 0.05$). It means that the capability of active oxygen removing could be effectively improved under La, Ce processing, and alleviated the damage of cell membrane system to some degree. Further study also showed that the ability of improving pea seedling antioxidant activity and decreasing the content of MDA La was significantly better than Ce. However, high concentration ($\geq 40\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$) treatment of the two earth could aggravate the toxic effect of Cu on pea seedlings, which showed the stress of collaborative effect with Cu ion.

Key words: Lanthanum; Cerium; Copper stress; Pea; Antioxidant enzymes