

La 与 La(POA)₃ 对 Cd 胁迫绿豆幼苗生理活性的作用曹勇^{1,2}, 梁利芳, 莫美聪, 宋书巧*

(1. 广西师范学院化学系, 广西南宁 530001; 2. 安庆师范学院生命科学系, 安徽安庆 246011)

摘要 [目的] 探讨 La 及 La(POA)₃ 对 Cd 损伤绿豆幼苗的生理生态效应。[方法] 以绿豆幼苗为试材, 研究了 La 及 La(POA)₃ 对镉胁迫绿豆幼苗光合作用、碳水化合物和氮素代谢的影响。[结果] 单一 Cd(10 ng/L) 胁迫下, 绿豆幼苗的叶绿素含量、可溶性蛋白含量、NR 活性下降, 可溶性糖含量上升; 5~30 ng/L 的 La 及 La(POA)₃ 能明显促进绿豆幼苗生长, 缓解 Cd 对绿豆幼苗的胁迫作用; 高浓度(100 ng/L) La 及 La(POA)₃ 对 Cd 污染的缓解作用都减弱; 较低浓度(10、15、30 ng/L) 的 La(POA)₃ 对 Cd 胁迫的缓解作用较 La 更明显; 随着作用时间的延长, La 及 La(POA)₃ 对 Cd 污染的缓解作用均逐渐下降。[结论] 低浓度的 La 及 La(POA)₃ 能缓解 Cd 对绿豆幼苗的胁迫, 而高浓度时有毒害作用。

关键词 La; La(POA)₃; Cd 胁迫; 绿豆幼苗; 氧化胁迫

中图分类号 S643.9 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2008)30-13032-04

Effects of La and La(POA)₃ on Physiological Activity of Mung Bean Seedlings Stressed by Cd

CAO Yong et al (Department of Chemistry, Guangxi Teachers University, Nanning, Guangxi 530001)

Abstract [Objective] The study was to explore the physiological and ecological effects of La and La(POA)₃ on mung bean seedlings damaged by Cd. [Method] With mung bean seedling as tested material, the effects of La and La(POA)₃ on photosynthesis, carbohydrate and nitrogen metabolism of mung bean seedlings stressed by Cd were studied. [Result] Under alone stress by Cd at 10 ng/L, the content of chlorophyll and soluble protein and NR activity of mung bean seedling were decreased, and the soluble sugar content was increased. La and La(POA)₃ at 5~30 ng/L could obviously promote the growth of mung bean seedling and relieve the stress of Cd on mung bean seedling. The mitigative effects of La and La(POA)₃ with high concn. (100 ng/L) on Cd stress were all weakened. The mitigative effects of La(POA)₃ with lower concn. (10, 15 and 30 ng/L) on Cd stress was obvious than that of La. With the delay of action time, the mitigative effects of La and La(POA)₃ on Cd stress were all decreased gradually. [Conclusion] La and La(POA)₃ with low concn. could relieve the stress of Cd on mung bean seedlings, while they with high concn. had toxic effects.

Key words La; La(POA)₃; Cd stress; Mung bean seedling; Oxidative stress

近年来, 我国农田重金属污染日益严重, 大量研究表明, 重金属镉对生物有机体的毒性和蓄积性均较强, 受其毒害的植物不能正常生长, 生物量下降趋势明显^[1-3]。而稀土作为微肥在我国已被大规模施用于农田, 其促进农作物增产的机理已有许多报道^[4]。施用稀土微肥后, 可促进作物生长; 在逆境条件下添加稀土, 可增强作物代谢活力, 有助于清除植物机体代谢所产生的活性氧, 促进植物抗逆境能力, 且施用含有机或无机配体的稀土对稀土生物可利用性有非常有利的影响^[5-6]。目前对稀土影响植物的作用机理仍知之甚少, 从生态防护原理来提高植物抗胁迫的研究也不多见^[7-9]。笔者采用模拟镉污染的静态试验设计方法, 以绿豆幼苗为试材, 探讨以 La 及 La(POA)₃ 为调节因子, 对镉损伤绿豆幼苗的生理生态效应。

1 材料与方法

1.1 材料 试材为绿豆幼苗。试剂为 CdCl₂·2.5H₂O(AR, 上

海亭新化工厂); LaCl₃、La(POA)₃(合成方法见文献[6]); 其余试剂均为分析纯。

1.2 水培试验 绿豆(Mung bean) 采用市售东北绿豆品种。种子经 0.1 g/L KMnO₄ 浸泡消毒, 无菌水中吸胀, 待种皮较软时, 移栽到 30 cm 水槽中, 拟每盆 100 颗, 无菌水浸没, 于人工光照培养温室中培养, 光照 12 h/d, 光强 2 000 lx, 恒温 24℃, 每 3 d 换 1 次无菌水, 待有胚芽长出时更换为 Hoagland 营养液培养, 于第 2 片真叶展开时用做试验材料。选长势相当的植株移入 250 ml 烧杯中, 每杯 10 株。先用营养液培养 3 d, 之后对照加入配制溶液, 以浸没根部 3/5 为准, 每 3 d 更换 1 次药液。配制溶液分为空白对照组 CK(加 Hoagland 营养液)、纯 Cd²⁺(以 CdCl₂ 形式加入)、纯 La³⁺(以 LaCl₃ 形式加入)、La(POA)₃(以下称镧-配)以及复合浓度组 Cd + La、Cd + La-配, 具体见表 1。每组设 3 次重复。

1.3 测定方法 绿豆幼苗生理指标测定于施药品后第 4 天

表 1 配制溶液

Table 1 Preparing solution

分组	浓度 Concentration					
	1 ng/L	2 ng/L	3 ng/L	4 ng/L	5 ng/L	6 ng/L
(Cd + La)	10 + 5	10 + 10	10 + 15	10 + 30	10 + 50	10 + 100
(Cd + La(POA) ₃)	10 + 5	10 + 10	10 + 15	10 + 30	10 + 50	10 + 100

和第 8 天进行。叶绿素含量的测定参照文献[10]的方法; 可溶性糖测定用蒽酮比色法^[11]; 可溶性蛋白测定采用福林酚

法^[12]; 硝酸还原酶(NR)活性测定参照文献[13]的方法。

2 结果与分析

2.1 La 及 La(POA)₃ 对镉胁迫绿豆幼苗光合作用的影响

由图 1 可知, 组绿豆幼苗在镉处理后第 4 天和第 8 天, 叶绿素含量比 CK 组分别下降 19.20% 和 36.00%。说明植物受重金属的毒害作用较大, 可能是重金属离子被植物吸收后, 细胞内的 Cd²⁺ 与叶绿素生物合成途径的几种酶的肽链中富含

基金项目 广西科学研究与技术开发计划项目(桂科攻 0719005-2-2A); 广西科学基金(桂科自 0679019)。

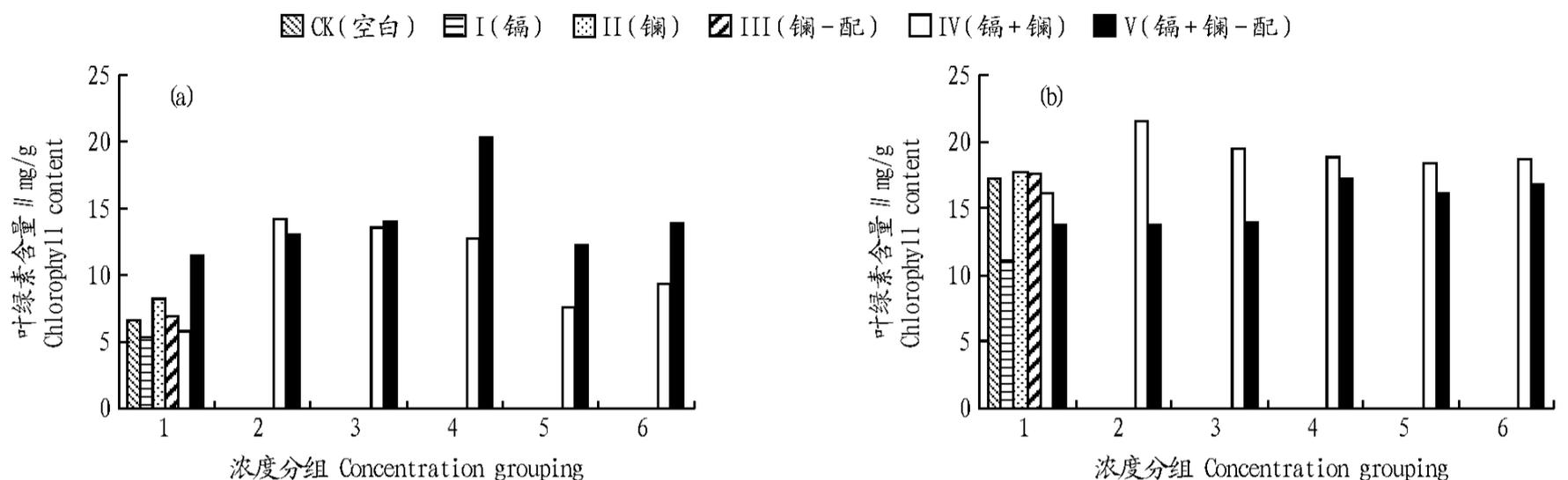
作者简介 曹勇(1980-), 男, 安徽安庆人, 硕士, 助教, 从事稀土环境化学方面的研究。* 通讯作者, E-mail: sshuq@163.com。

收稿日期 2008-07-24

-SH 的部分作用,改变了它们的正常构型,抑制了光合酶的活性,进而阻碍叶绿素的合成^[14],致使叶绿素含量下降。第 组叶绿素含量在第 4 天和第 8 天分别比对照 CK 上升 24.04% 和 3.26%。说明加入 10 ng/L 镧可促进幼苗光合作用,原因可能是镧能促进叶绿体蛋白质的合成或者是延缓叶

绿体衰老,同时使叶绿素含量增加^[14]。第 组叶绿素含量在第 4 天和第 8 天比 CK 分别上升 5.30% 和 1.16%。说明 La(POA)₃ 对植物叶绿素含量增加有促进作用,但比镧的作用要小。

比较第 组和第 组浓度 2 (Cd+La 10 ng/L) 的试验结



注:(a) ,4 d;(b) ,8 d。下图同。

Note : (a) 4 d; (b) 8 d. The same as follows .

图1 不同处理La 及La- 配对镉污染绿豆幼苗叶绿素的影响

Fig.1 Effects of La and La(POA)₃ on chlorophyll of mung bean seedling under Cd stress

果,在第 4 天和第 8 天, 组叶绿素含量分别是 组的 1.73 倍和 1.88 倍;比较第 组和第 组浓度 2 [Cd + La(POA)₃ 10 ng/L], 第 4 天和第 8 天 组叶绿素含量分别是第 组的 1.21 倍和 0.783 倍。说明在 La 及 La(POA)₃ 存在的情况下,加入一定量的镧能提高绿豆幼苗的叶绿素含量,导致植物体内应激机制发生作用,促进光合作用以提高叶绿素含量。

第 组和第 组对叶绿素含量的影响有较大差异。第 4 天和第 8 天,第 组叶绿素含量随镧浓度增大先升后降,且浓度为 10 ng/L 时叶绿素含量达峰值,其含量分别为 组的 2.66 倍和 1.99 倍。说明浓度为 10 ng/L 的镧对绿豆苗缓解镉胁迫作用较明显,其中 5 ng/L 的镧缓解绿豆苗的镉胁迫作用最弱。第 组,第 4 天 6 个浓度梯度的叶绿素含量依次

为 组的 2.15、2.44、2.64、3.79、2.32、2.62 倍。其中 La(POA)₃ 浓度为 30 ng/L 时达峰值;第 8 天的叶绿素含量随浓度变化趋势与第 4 天相似。此外,叶绿素含量从第 4 天到第 8 天逐渐呈上升趋势,说明 10 ng/L 的镧虽然对叶绿体有破坏作用,但植物自身对这种胁迫的应激体系发生作用,并借助稀土及稀土配合物对植物光合作用的促进从而提高叶绿素的含量。

2.2 La 及 La(POA)₃ 对镉污染绿豆幼苗氮素代谢的影响

2.2.1 对幼苗可溶性蛋白含量的影响。由图 2 知,在加镉后第 4 天和第 8 天, 组可溶性蛋白含量分别降至 CK 的 0.837 和 0.690,第 组的蛋白含量分别为 CK 的 1.56 和 1.55 倍,第 组为 CK 的 1.49 和 1.38 倍。

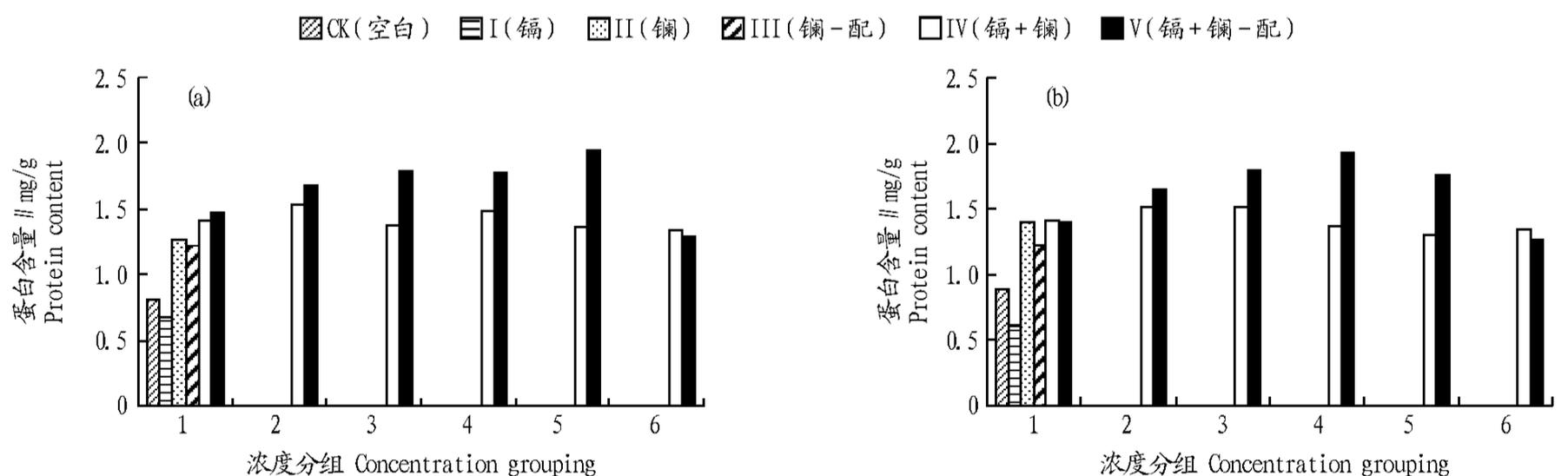


图2 不同处理La 及La- 配对镉污染绿豆幼苗可溶性蛋白的影响

Fig.2 Effects of La and La(POA)₃ on soluble protein of mung bean seedling under Cd stress

比较 组和 组浓度 2 (Cd+La 10 ng/L)、 组和 组浓度 2(Cd+La- 配 10 ng/L) 的幼苗蛋白含量,在第 4 天和第 8 天, 组分别是 组的 1.21 和 1.38 倍, 组分别是 组的 1.09 和 1.34 倍,均表现为蛋白含量升高。说明在镧或镧- 配存在情况下,加入一定量的镧能提高绿豆幼苗的蛋白含量。再比较 组和 组,发现镉胁迫下幼苗体内的可溶性蛋白含量

自加入镧或镧- 配之后有较大的提高。总体而言,镧对镉胁迫的缓解作用低于镧- 配的影响。

试验结果表明,绿豆幼苗在镉胁迫下可溶性蛋白含量降低幅度较大,因为在植物蛋白合成的启动阶段需要 Mg²⁺ 的参与,而镉胁迫下 Mg²⁺ 与 Cd²⁺ 可能发生交换,故蛋白合成无法启动,导致蛋白质的合成受阻^[15]。另外,镧与带负电荷核

酸结合会降低 RNA、DNA 活性,进而降低幼苗可溶性蛋白的含量^[16]。单一加入 La 及 La(POA)₃ 之后,幼苗可溶性蛋白含量较 CK 升高,原因可能是稀土或稀土配合物通过调节 iPA (异戊烯基 呤)的水平,进而提高可溶性蛋白的含量^[17]。在镉污染体系,由于 Cd²⁺ 与酶活性中心或蛋白巯基结合,部分取代蛋白反应中心的必需金属元素 Ca、Fe、Zn,释放自由离子,诱发氧化胁迫,引起膜脂的过氧化,导致膜的损伤;而加入镧或镧-配会对作物的镉胁迫起一定的缓解作用,减小 Cd²⁺ 对抗氧化酶活性的抑制,加剧活性氧的释放,降低镉污

染对植物生长的影响。另外,在镧或镧-配中加镉后幼苗可溶性蛋白含量升高,原因可能是在镉与 La 及 La(POA)₃ 共同作用下,植物氮素的吸收和同化受抑制,蛋白质代谢失调,导致蛋白含量升高。

2.2.2 对幼苗 NR 活性的影响。由图 3 可知,第 4 天和第 8 天,组 NR 活性比 CK 由 0.44 倍升至 0.62 倍,第组 NR 的活性分别升至 CK 的 2.89 和 2.25 倍,第组加 La(POA)₃ 使 NR 活性分别升至 CK 的 1.12 和 1.33 倍。

第组随着镉浓度的增加,NR 活性整体呈现先升后降

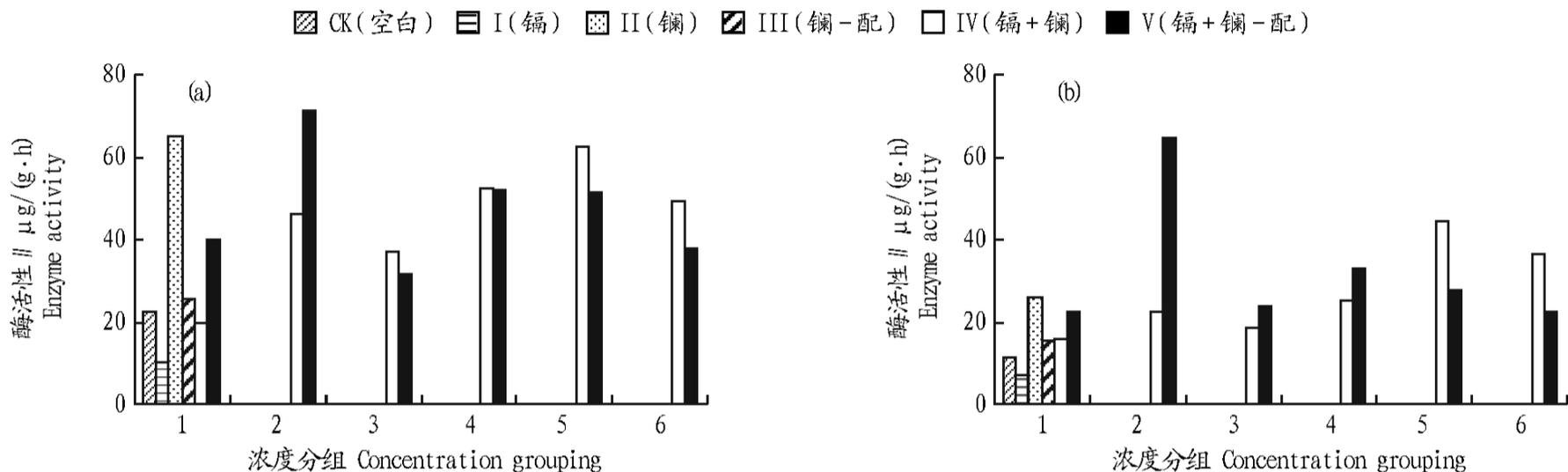


图3 不同处理 La 及 La-配 对镉污染绿豆幼苗硝酸还原酶的影响

Fig.3 Effects of La and La(POA)₃ on NR activity of mung bean seedling under Cd stress

的趋势,第4天和第8天的NR活性均在镉浓度为50 ng/L 时达峰值,分别为第组的6.27、6.24倍,说明绿豆幼苗的NR活性对稀土浓度的变化有较大的响应。同样,第组的NR活性随着La(POA)₃浓度的增加也整体呈现先升后降的趋势,但第4天和第8天的NR活性均在浓度为10 ng/L 时达到峰值,分别为组的7.13和9.08倍。说明施加一定浓度的La及La(POA)₃对镉胁迫有较好的缓解作用,原因可能是镉胁迫下同时加入La及La(POA)₃能促进作物氮素的吸收和同化,导致植物体内氨基酸水平发生较明显地改变,进而提高作物体内NR的含量。另外,组和组在第8天的NR活性绝对值均比第4天有所下降,说明随胁迫时间的延长,镉

对幼苗的毒害作用逐渐增大,超过幼苗自身可以承受的限度,降低NR活性,阻碍了植物正常的氮素代谢。

2.3 La及La(POA)₃对镉污染绿豆幼苗可溶性糖含量的影响由图4可知,镉胁迫的第4天和第8天,组绿豆幼苗的可溶性糖含量由CK的1.24倍上升到1.32倍,说明Cd胁迫诱导了幼苗体内可溶性糖含量的增加,减小了Cd胁迫的影响,使幼苗具有一定的耐Cd特性。组中可溶性糖含量由组的1.27倍上升到1.65倍,组由组的1.32倍上升到1.66倍。表明随时间的延长,La及La(POA)₃能显著提高幼苗可溶性糖含量,原因可能是镉通过促进植物系统光合作用,提高植物光合色素含量,使植物对CO₂的固定增加^[18]。

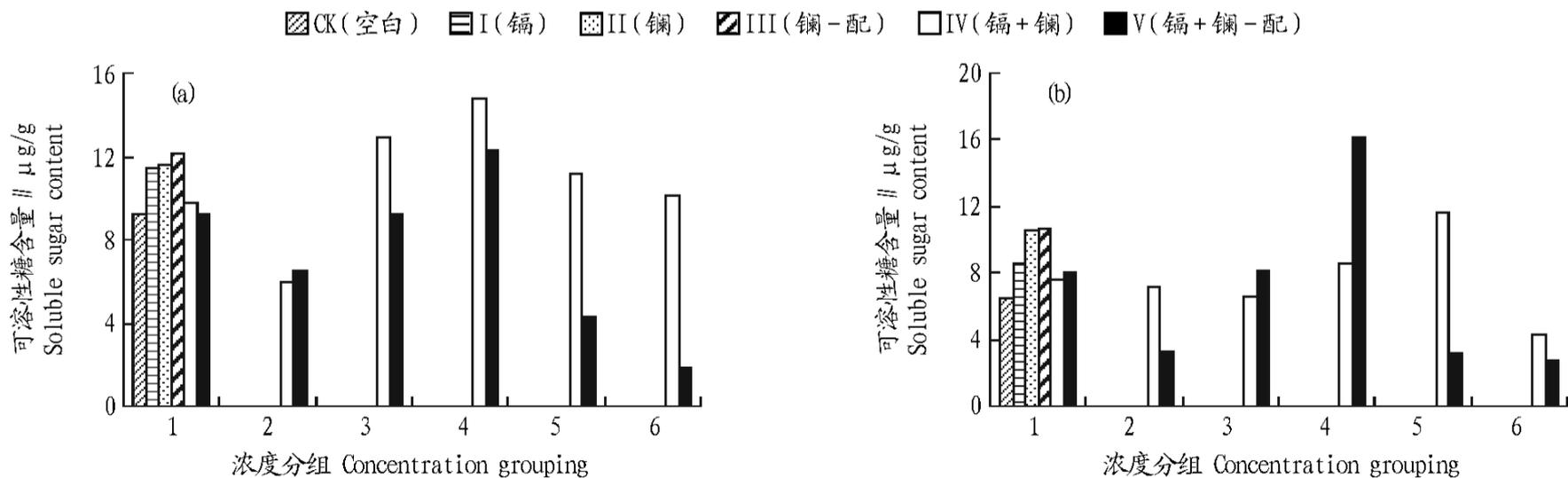


图4 不同处理 La 及 La-配 对镉污染绿豆幼苗可溶性糖的影响

Fig.4 Effects of La and La(POA)₃ on soluble sugar of mung bean seedling under Cd stress

组中可溶性糖的含量随着镉浓度的增加变化明显。其中第4天的含量在镉浓度为30 ng/L 时达峰值,说明在胁迫初期该浓度镉对幼苗的可溶性糖含量提高有较好地促进作用。第8天则在镉浓度为50 ng/L 时达峰值,为组的1.36倍,可能是施药时间的延长能促使较高浓度稀土元素对

幼苗的影响作用。第组幼苗在第4天和第8天的可溶性糖含量都在镉浓度为30 ng/L 时达到峰值,分别为CK的1.08和1.90倍。进一步增加La及La(POA)₃的浓度会使糖含量有较大幅度的下降,说明较低浓度的La及La(POA)₃能促进镉胁迫下绿豆幼苗叶片的光合作用,提高可溶性糖的含量,

而高浓度的稀土或稀土配合物与镉共同作用于绿豆幼苗时对幼苗的生长有毒害作用,阻碍植物碳水化合物的代谢。

总体而言,第8天的绿豆幼苗可溶性糖绝对含量比第4天有所降低,原因可能是随胁迫时间的延长,镉在植物体内蓄积到一定程度,破坏了植物光合作用系统,阻碍了植物碳水化合物在体内的合成代谢,从而降低了可溶性糖的含量。

3 结论与讨论

10 ng/L 镉作用后,绿豆幼苗生长明显受到抑制,出现叶片变黄、褪绿现象,最终导致可见损伤出现,这是植物受重金属毒害后出现的普遍现象^[19]。和空白CK对比,其叶绿素含量、可溶性蛋白含量,NR 活性下降,可溶性糖含量上升。

经La及La(POA)₃后,对幼苗镉胁迫缓解作用明显,提高可溶性糖、叶绿素、可溶性蛋白含量、NR 活性,促进植物碳水化合物、氮素代谢,促进光合作用及促使活性氧清除系统中的酶发挥应有的作用,使与此相关的生理活动能够协调进行。在胁迫处理后的第4天和第8天,缓解胁迫作用逐渐下降,这可能与镉在植物体内蓄积程度有关,进而阻碍植物正常生理代谢。一定浓度(10、15、30 ng/L) La(POA)₃对胁迫的缓解作用随胁迫时间的延长而优于镉,这可能与La(POA)₃在植物中富积需要时间有关,前人也有试验证明植物对稀土配合物的吸收量远大于稀土盐^[20]。较低浓度(10~50 ng/L)的稀土或稀土配合物对植物的镉胁迫缓解作用明显,浓度低于100 ng/L的配合物一般可以使植物正常生长,且对镉胁迫有不同程度的缓解,高浓度(100 ng/L)则抑制植物生长。

目前,稀土配合物对植物生长及胁迫缓解研究较少,其作用机理有待于进一步试验验证。

参考文献

[1] 陈志良,莫人伦,仇荣亮.镉污染对生物有机体的危害及防治对策[J].

(上接第13031页)

- [3] QURESH MI, ABIN MZ, QADR S, et al. Lead-induced oxidative stress and metabolic alterations in *Cassia angustifolia* Vahl [J]. *Biologia Plantarum*, 2007, 51: 121-128.
- [4] ROMANOWSKA E, IGAMBERDEV A U, PARYS E, et al. Simulation of respiration by Pb²⁺ in detached leaves and mitochondria of C₃ and C₄ plants [J]. *Physiologia Plantarum*, 2002, 116: 148-154.
- [5] RULEY A T, SHARMA N C, SAH S V, et al. Effects of lead and chelates on growth, photosynthetic activity and Pb uptake in *Sesbania drummondii* grown in soil [J]. *Environmental Pollution*, 2006, 144: 11-18.
- [6] LIUD, LI T Q, YANG X E, et al. Effect of Pb on leaf antioxidant enzyme activities and ultrastructure of the two ecotypes of *Sedum alfredii* Hance [J]. *Russian Journal of Plant Physiology*, 2008, 55: 68-76.
- [7] 吴晓,熊治廷.不同品种苋菜对铅抗性的研究[J].武汉大学学报:理学版,2005,51(S2):294-296.
- [8] 柯世省.铜对苋菜幼苗光合参数和活性氧代谢的影响[J].中国农业科学,2008,41(5):1317-1325.
- [9] 黄昀,刘光德,李其林,等.农产品对土壤中重金属的富集能力研究[J].中国农学通报,2004,20(6):285-289.
- [10] 杜应琼,何江华,陈俊坚,等.铅、镉和铬在叶类蔬菜中的累积及其生长的影响[J].园艺学报,2003,30(1):51-55.
- [11] 中国科学院上海植物生理研究所,上海市植物生理学会.现代植物生理学实验指南[M].北京:科学出版社,1999.
- [12] GIANNOPOLITIS C N, RES S K. Superoxide dismutase II. Purification and quantitative relationship with water-soluble protein in seedlings [J]. *Plant Physiology*, 1977, 59: 315-318.
- [13] 林植芳,李双顺,林桂珠,等.衰老叶片和叶绿体中H₂O₂的累积与膜

- 环境保护科学,2001(4):37-39.
- [2] 倪嘉騫.稀土生物无机化学[M].北京:科学出版社,1995.
- [3] 王宪泽.农用稀土的效果、影响因素及其作用的生理基础[J].稀土,1994,15(1):47-49.
- [4] 曾路生,廖敏.镉污染对水稻土微生物量、酶活性及水稻生理指标的影响[J].应用生态学报,2005,16(11):2162-2167.
- [5] ANGLIER L. On the antitumor activity of gallium and lanthanides [J]. *J. Aereimforsch*, 1975, 25: 793-795.
- [6] 张丽霞,梁利芳,莫乙娟,等.稀土-苯氧乙酸二元、三元配合物的表征及其对植物铅、镉污染的影响[J].稀土,2006,27(2):66-69.
- [7] 周青,黄晓华.La对Pb伤害大豆幼苗的影响[J].应用与环境生物学报,1999,5(1):22-25.
- [8] 周青,黄晓华,彭方晴,等.镧-甘氨酸配合物对镉伤害小白菜的影响[J].环境科学,1999,20(1):91-94.
- [9] 金进,叶亚新,许明霞,等.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.
- [10] 中科院上海植物生理研究所,上海植物生理学会.现代植物生理学实验指导[M].北京:科学出版社,1995:95.
- [11] 李合生.植物生理生化实验技术与原理[M].北京:高等教育出版社,2001:112-115.
- [12] 萧浪涛,王三根.植物生理学实验技术[M].北京:中国农业出版社,2005:53-57.
- [13] 王品英.植物生理生化实验技术与原理[M].北京:化学工业出版社,2004:75-77.
- [14] 杨居荣,贺建群,黄翌,等.农作物Cd耐性的种类和种间差异种间差[J].应用生态学报,1994,5(2):192-196.
- [15] 魏正贵,张惠娟,李辉信,等.稀土元素超积累植物研究进展[J].中国稀土学报,2006,24(1):21-32.
- [16] ZHANG Y X. Toxicity of heavy metals to *Hordeum vulgare* [J]. *Acta Sci. Circumstantiae*, 1997, 17(2):199-201.
- [17] 贺志理,王洪春.盐胁迫下苜蓿中盐蛋白的诱导产生[J].植物生理与分子生物学报,1991(1):71-79.
- [18] LIUF R, CHENHY, LIUY, et al. Changes in soluble content of different genotypes under salt stress [J]. *Journal of Plant Physiology and Molecular Biology*, 2004, 30(1):99-104.
- [19] 周青,黄晓华,张剑华,等.稀土配合物对大豆幼苗防护效应实验[J].上海环境科学,1998,17(5):16-17.
- [20] 聂呈荣,黎振兴.稀土对花生光合作用和氮素代谢的影响[J].广东农业科学,1996(5):25-27.

- 脂过氧化物的关系[J].植物生理学报,1988,14(1):16-22.
- [14] WU Y X, VON TIEDEMANN A. Impact of fungicides on active oxygen species and antioxidant enzymes in spring barley (*Hordeum vulgare* L.) exposed to ozone [J]. *Environmental Pollution*, 2002, 116: 37-47.
- [15] TRKAN I, BOR M, ZEMER F, et al. Differential responses of lipid peroxidation and antioxidants in the leaves of drought-tolerant *P. acutifolius* Gray and drought-sensitive *P. vulgaris* L. subjected to polyethylene glycol mediated water stress [J]. *Plant Science*, 2005, 168: 223-231.
- [16] MALKOVSKI E, KITA A, GALAS W, et al. Lead distribution in corn seedlings (*Zea mays* L.) and its effect on growth and the concentrations of potassium and calcium [J]. *Plant Growth Regulation*, 2002, 37: 69-76.
- [17] KOPTTKE P M, ASHER C J, KOPTTKE R A, et al. Toxic effects of Pb²⁺ on growth of cowpea (*Vigna unguiculata*) [J]. *Environmental Pollution*, 2007, 150: 280-287.
- [18] SEREGINI V, IVANOV V B. Histochemical investigation of cadmium and lead distribution in plants [J]. *Russian Journal of Plant Physiology*, 1997, 44: 791-796.
- [19] TANHAN P, KRUAIRACHUE M, POKETHIYOOK P, et al. Uptake and accumulation of cadmium, lead and zinc by Sam weed (*Chromolaena odorata* (L.) King & Robinson) [J]. *Chemosphere*, 2007, 68: 323-329.
- [20] SALIN M L. Toxic oxygen species and protective systems of the chloroplast [J]. *Physiologia Plantarum*, 1988, 72: 681-689.
- [21] DEMIREVSKA KEPOVA K, SIMOVA STOILOVA L, STOYANOVA Z, et al. Biochemical changes in barley plants after excessive supply of copper and manganese [J]. *Environmental and Experimental Botany*, 2004, 52: 253-266.
- [22] DRAZKIEWICZ M, SKORZYNSKA POLIT E, KRUPA Z. Copper-induced oxidative stress and antioxidant defence in *Arabidopsis thaliana* [J]. *Bonitas*, 2004, 17: 379-387.