

铅胁迫下 $\text{La}(\text{NO}_3)_3$ 对油菜抗氧化酶的影响¹⁾

王东红 庞欣 冯雍 彭安

(中国科学院生态环境研究中心, 环境水化学国家重点实验室, 北京, 100085)

摘 要

用盆栽实验研究了 $1\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 和 $2\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 铅胁迫下, 分别以 0.1 , 0.3 和 $0.5\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ $\text{La}(\text{NO}_3)_3$ 溶液浸种, 然后测定油菜幼苗中超氧化物歧化酶 (SOD)、过氧化氢酶 (CAT) 的活性和脂质过氧化产物丙二醛 (MDA) 的含量, 以及油菜幼苗生长的情况. 结果表明, 稀土元素镧可以提高油菜幼苗地上和地下部分超氧化物歧化酶和过氧化氢酶的活性, 并降低丙二醛的含量, 但是对于油菜幼苗生长的影响并不显著, 显示镧能够在一定时间内抑制超氧阴离子自由基的产生以抵御铅的胁迫.

关键词: 镧, 铅胁迫, 超氧化物歧化酶, 过氧化氢酶, 油菜.

稀土元素镧可提高作物对不良环境的适应能力或增加对逆境的抗性, 如低温、高温、干旱和盐渍等. 还可促进植物光合作用, 增加叶绿素含量, 促进根系生长, 并影响质膜透性. 另有研究表明, 稀土元素能减轻重金属 Pb 对植物的伤害作用^[1]. 本实验室已用水培实验研究过小麦幼苗在铅胁迫下喷施硝酸镧后的效果^[2], 实验证明了稀土元素能减轻铅对植物的伤害. 我们认为其机制可能与稀土元素可清除植物的超氧自由基, 提高植物的膜保护系统, 降低脂质过氧化产物丙二醛 (MDA) 有关.

本实验以油菜为试验材料, 采用稀土浸种的方法, 探讨镧对 Pb 胁迫下油菜的生态生理变化, 进一步观察不同物种、不同处理方法时稀土对植物抗重金属胁迫的作用.

1 材料与方法

1.1 实验处理

油菜 (*Brassica campestris*) 品种为五月慢. 油菜种子经 $10\%\text{H}_2\text{O}_2$ 杀菌处理 30min , 用去离子水洗净后吸干水分, 分别以 0.1 , 0.3 和 $0.5\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ 的 $\text{La}(\text{NO}_3)_3$ 溶液浸种 24h ^[3], 然后播于 $95\text{cm}^2 \times 9\text{cm}$ 的塑料钵中, 每钵盛过 2mm 筛的风干土 0.7kg .

土壤为褐土, pH 值为 8.32 , 有机质含量 $16.0\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$, 速效磷 (Olsen P) $23.48\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, 阳离子交换量 (CEC) $10.32\text{cmol}(+) \cdot \text{kg}^{-1}$, 粘粒含量 ($< 0.002\text{mm}$) $364.0\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$. 土壤中分别施入 0.15 , 0.15 , 0.1 , 0.05 , 0.005 , 0.005 和 $0.005\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}\text{N}$, P, K 和微量元素 Mg, Fe, Zn, Cu, 以溶液的方式加入到土壤中, 并使其分散均匀^[4]. 然

1) 国家自然科学基金资助项目 (No. 29890281).

后用Pb(Ac)₂·3H₂O 分两个水平以污灌的方式加入到土壤中, 在不同生长时期分四次采样, 重复四次. 试验处理及代码如下:

代 码	处 理	代 码	处 理
CK	— —		
Pb1	Pb ²⁺ 1g•kg ⁻¹ —	Pb2	Pb ²⁺ 2g•kg ⁻¹ —
Pb1La1	Pb ²⁺ 1g•kg ⁻¹ , La ³⁺ 0 1g•l ⁻¹	Pb2La1	Pb ²⁺ 2g•kg ⁻¹ , La ³⁺ 0 1g•l ⁻¹
Pb1La2	Pb ²⁺ 1g•kg ⁻¹ , La ³⁺ 0 3g•l ⁻¹	Pb2La2	Pb ²⁺ 2g•kg ⁻¹ , La ³⁺ 0 3g•l ⁻¹
Pb1La3	Pb ²⁺ 1g•kg ⁻¹ , La ³⁺ 0 5g•l ⁻¹	Pb2La3	Pb ²⁺ 2g•kg ⁻¹ , La ³⁺ 0 5g•l ⁻¹

出苗一周后定苗, 每钵留 4 株. 常规盆栽管理, 自然光照. 每隔两周采样一次, 测定植株的鲜重、超氧化物歧化酶 (SOD)、过氧化氢酶 (CAT) 和丙二醛 (MDA).

1.2 分析方法

SOD, MDA, CAT 的测试采用南京建成生物工程研究所的方法^[5]进行.

2 结果与讨论

2.1 镧对铅胁迫下油菜 SOD 活性的影响

由图 1 中可以看出, 植株的地上部分在生长初期 (2 星期), Pb1La2 和 Pb2La2 均表现为具有提高 SOD 活性的作用, 但 Pb1La3 和 Pb2La3 的 SOD 的活性稍有降低. 随着时间的延长, 到 4 星期时, 对照组 SOD 的活性有所提高, 两个水平的铅对植株均表现出明显的胁迫作用, 使其 SOD 活性降到最低点. 在这一时期随着镧浸种浓度的增高, 使受到铅胁迫的植株的 SOD 活性明显提高. 这种现象在 6 星期时表现得最为典型, 随着镧浸种浓度的升高, 植株的 SOD 活性也随之增大, Pb1La3 和 Pb2La3 处理组植株中的 SOD 活性均达到两个处理水平的最大值, 分别是 Pb1 和 Pb2 的 1.75 和 2.55 倍, 说明镧可以提高受到铅胁迫的植株的 SOD 活性. 到处理后后期 (8 星期) 时, 各处理组 SOD 活性有趋同的现象, 这也许是植物对于铅胁迫的适应性的一种表现.

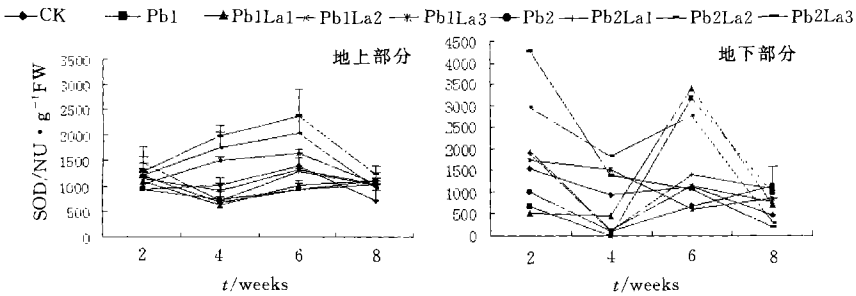


图 1 铅胁迫下镧对油菜幼苗 SOD 的影响

Fig. 1 Effect of La(NO₃)₃ on the activities of SOD of rape seedlings under lead stress

油菜地下部分的 SOD 活性与地上部分相比也存在着随镧浸种浓度的提高而 SOD 活

性增大的规律, 但是这种规律只在生长初期 (2 星期) 表现出来, 受高浓度 ($2\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$) 铅胁迫的植株更为明显. 生长到 4 星期时, 各个处理组植株的 SOD 活性都有一个下降的过程, 在 6 星期时重又升高, 其中 Pb1 和 Pb1La1 都有较大的 SOD 活性, 这可能与铅的刺激有关, 当土壤铅浓度小于 $1.5\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 时, 青菜不减产^[6]. 而 Pb1La2 和 Pb1La3 的 SOD 活性则下降, 其中 Pb1La3 的 SOD 活性甚至比对照组要低, 似乎表现出与铅的协同毒害作用. 对于受 $2\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 铅胁迫的植株来说, Pb2La2 的 SOD 活性较高, 而 Pb2La3 的 SOD 活性显然高于对照组, 但比 Pb2La1 为低, 也表现也与铅的协同毒害作用. 与地上部分相同, 在生长末期, 各个处理组的 SOD 活性也都趋于一致. 但值得注意的是, Pb2La2 和 Pb2La3 这两个处理比对照要低, 其 SOD 活性分别是对照的 56.3% 和 39.8%.

2.2 镧对铅胁迫下油菜 CAT 活性的影响

图 2 显示油菜的地下部分在生长初期 (2 星期) 各处理组之间没有明显的差别. 在 4 星期时, $1\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 和 $2\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 铅污染的土壤中, 经 $0.5\text{g}\cdot\text{l}^{-1}\text{La}^{3+}$ 浸种的油菜 CAT 活性都达到了最大值, 分别是对照组的 2.32 倍和 4.40 倍. 经 $0.3\text{g}\cdot\text{l}^{-1}\text{La}^{3+}$ 浸种的油菜 CAT 值也有较大的提高, 分别是对照组的 1.23 倍和 2.09 倍. $0.1\text{g}\cdot\text{l}^{-1}\text{La}^{3+}$ 则没有什么作用. 到了 6 星期时, 各处理组 CAT 活性虽然有所降低, 但经高浓度镧处理的植株仍可提高 CAT 活性. Pb1La3 和 Pb2La3 分别是 Pb1 和 Pb2 的 2.51 和 6.02 倍. Pb1La2 和 Pb2La2 分别是 Pb1 和 Pb2 的 2.05 和 3.03 倍. 到了生长末期 (8 星期), 各处理组植株的 CAT 值几乎降到了同一水平, 并且比实验初期更低. 说明 La^{3+} 浸种对于油菜生长中期的 CAT 活性有刺激作用, 浓度愈高, CAT 活性提高得愈大, 但在生长末期则用逐渐减弱.

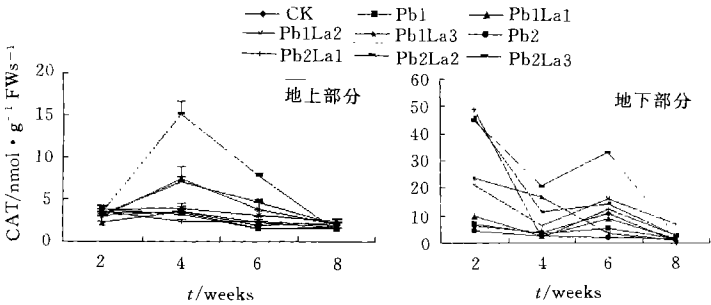


图 2 铅胁迫下镧对油菜幼苗 CAT 的影响

Fig. 2 Effect of $\text{La}(\text{NO}_3)_3$ on the activities of CAT of rape seedlings under lead stress

油菜地下部分在生长初期 (2 星期) 的 CAT 活性与其 SOD 活性的规律相似, 具有较大的 CAT 活性. 在这一时期, 镧对铅胁迫下植株的地下部分有提高其 CAT 活性的作用, 并有随着镧浸种浓度增大而使 CAT 活性增大的趋势. 生长到 4 星期时, 各个处理组植株的 CAT 活性都有一个下降的过程, 在 6 星期时重又升高, 与 SOD 结果不同的是, Pb2La3 有较大的 CAT 活性, 这与地上部分结果一致. 同样的是在生长末期 (8 星期) 各个处理组的 CAT 值也趋于一致.

2.3 镧对铅胁迫下油菜 MDA 值的影响

从图 3 中可以看出, 在生长的早期和中期 (2—6 星期), Pb1 和 Pb2 处理组 MDA 含

量都明显高于对照组 ($P < 0.05$)。经镧浸种后的植株随着镧浓度的增高而使其 MDA 含量下降, 但是仍然高于 CK。到生长末期 (8 星期), MDA 含量则普遍下降较大, 与培养初期的水平接近。由此看来, 经镧浸种后受铅胁迫油菜地上部分的 MDA 含量虽然有一定程度的下降, 但并未降到正常的水平。油菜的地下部分也有同样的规律。但各处理组 MDA 含量明显要高于地上部分 (6 星期时的结果除外), 在培养初期这种规律则更为明显。其中 Pb2La3 中 MDA 含量分别是 Pb2 和 CK 的 15.6% 和 60.3%。到培养结束时 (8 星期), 镧的这种效应近于消失, 各处理组的 MDA 含量除 Pb2La2 稍低外, 其他都几乎相同, 但远远高于地上部分, 因为地下部分受铅的毒害大于地上部分。

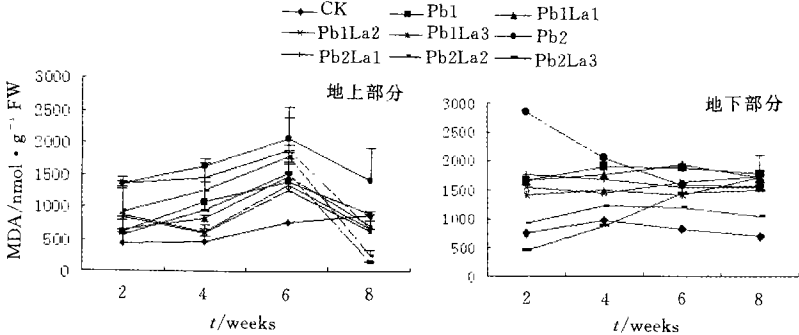


图 3 铅胁迫下镧对油菜幼苗 MDA 的影响

Fig. 3 Effect of La(NO₃)₃ on the content of MDA of rape seedlings under lead stress.

2.4 镧对铅胁迫下油菜生长的影响

在实验中进行了地上部分和地下部分的鲜重及形态学的观察。无论是地上部分还是地下部分, 油菜各处理组的生物量在生长初期和中期 (2—6 星期) 与对照组相比都没有明显的差异。直到生长后期 (8 星期) Pb1 和 Pb1La1 与对照组相比才有明显的增长, 分别是对照的 2.05 和 1.82 倍。这与文献报道的低浓度的铅有刺激蔬菜增长的作用结果相同, 当土壤铅浓度小于 $1.5\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时, 青菜不减产^[6]。随着镧浸种浓度的增加, 植株的生物量逐渐减小。而在 $2\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 铅胁迫下的植株则明显地表现出伤害作用, 叶片表现出现黄斑。经镧处理的植株不但没有任何改善的表现, 而且生物量反而降低, 说明经镧浸种后的油菜虽然可以提高其植株抗氧化酶的活性和降低 MDA 的含量, 但是在铅胁迫下, 油菜的生长仍然受到了很大影响, 并且随镧浸种浓度的提高其生物量有下降的趋势。

3 结论

从试验结果来看, 镧可以提高油菜幼苗地上部分和地下部分的 SOD 和 CAT 活性 (图 1—2), 并在一定程度上降低油菜幼苗地上部分及地下部分的 MDA 含量 (图 3)。当土壤中铅的污染水平是 $1\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时, Pb^{2+} 与用于浸种的 La^{3+} 的摩尔比分别为 1: 0.17, 1: 0.46 和 1: 0.75; 当土壤中铅的污染水平是 $2\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时, Pb^{2+} 与用于浸种的 La^{3+} 的摩尔比分别为 1: 0.08, 1: 0.23 和 1: 0.37。说明镧参与了降低植物体内活性氧自由基的生理生

化反应, 具有减轻铅伤害植物的生态防御作用. 而其防御机理在于减轻重金属污染对植物膜的损伤, 降低植物体内的活性氧水平. 这种效应在培养的初期和中期较为明显, 但在培养末期 (8 星期) 则几乎消失, 这可能与本实验所采用的是浸种的方法有关.

铅胁迫下镧对小麦幼苗抗氧化酶活性的影响^[2], 虽然物种及施加稀土的方法不同, 但所得到的主要结论基本相同. 先前的工作使用的是叶面喷施硝酸镧和营养液培养的方法, 而且使用小麦作为研究对象, 小麦幼苗的生长时间也只有 12d, 因此, 造成了镧对植株抗氧化酶的影响规律略有不同. 本实验采用浸种的方法, 使稀土不直接进入土壤环境, 且不受环境条件如磷肥施用的影响.

镧对改善铅胁迫下油菜幼苗的生物量并不明显, 而且当镧的浓度过高时表现出一定的与铅的协同毒害作用, 我们对小麦的研究也得到了相似的结果. 在本实验的培养末期, 经镧浸种后, 随镧的浓度增大其生物量反而下降, 显示出抑制作用.

参 考 文 献

- [1] 周青, 黄晓华, 黄钢业等, La 对 Pb 伤害大豆幼苗的影响, 应用与环境生物学报, 1999, **5** (1) : 22—25
- [2] 庞欣, 王东红, 彭安, 镧对铅胁迫下小麦幼苗抗氧化酶活性的影响. 环境化学, 2002, **21** (4) : 318—323
- [3] 张家荣, 顾月华, 赵贵文, 稀土浸种对油菜种子萌发及种苗生长的生物效应. 稀土, 1999, **30** (3) : 55—57
- [4] 庞欣, 张福锁, 王敬国, 不同供氮水平对根际微生物量氮及微生物活度的影响, 植物营养与肥料学报, 2000, **6** (4) : 476—480
- [5] 季建平, 超氧化歧化酶超微量快速测定法. SOD 专利号: 921076347
- [6] 窦争霞, 胡荣梅, 土壤中的铅对三种蔬菜的影响, 环境科学学报, 1987, **7** (3) 367—371

2002 年 3 月 6 日收到.

EFFECT OF LANTHANUM ON THE ACTIVITIES OF ANTI-OXIDANT ENZYMES IN RAPE SEEDLINGS UNDER LEAD STRESS

WANG Dong-hong PANG Xin FENG Yong PENG An

(State Key Laboratory of Environmental Aquatic Chemistry, Research Center for
Eor Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing, 100085)

ABSTRACT

The effects of 100, 300 and 500mg·l⁻¹La(NO₃)₃ by soaking of rape seeds under lead stress were studied. The activities of superoxide dismutase (SOD), catalase (CAT), the level of lipid peroxidation (MDA) and its effects on rape seedling growth were determined. A significant effect of La³⁺ comparing to control groups was observed. Activities of SOD and CAT were increased and MDA content was reduced in shoot and root of rape seedlings under lead stress. However, La(NO₃)₃ influence on shoot and root growth of rape seedlings under lead stress was not obvious. The mechanism might be thought inhibiting the superoxide anion radical thereby resist the lead stress.

Keywords: lanthanum, lead stress, superoxide dismutase, catalase, rape seedlings.