

红壤中 La 对油菜的剂量效应和临界浓度

曾青, 朱建国*, 谢祖彬, 褚海燕, 曹志洪(中国科学院南京土壤研究所物质循环开放实验室, 南京 210008, E-mail: sszymmh@163.net China)

摘要:通过盆栽试验,研究了红壤中不同浓度 La 对油菜的生长、产量、叶绿素含量和过氧化物酶活性的影响。结果表明:低浓度 La 可促进油菜生长并增加产量,但达不到显著水平;300 mg·kg⁻¹以上的高浓度 La 则显著抑制油菜生长和降低产量。La 浓度为 600 mg·kg⁻¹时油菜死亡,油菜产量降低一半时的 EC₅₀ = 300 mg·kg⁻¹。La 浓度为 15 mg·kg⁻¹时油菜叶片叶绿素和叶绿素 a/b 分别减少,POD 活性随 La 的浓度的增加和施加时间的延长而逐渐增加。

关键词:稀土;剂量效应;临界浓度;叶绿素;过氧化物酶活性

中图分类号: X173 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2001)04-04-0077

Does Response of Rape to La and Critical Concentration of La in Red Earth

Zeng Qing, Zhu Jianguo, Xie Zhubin, Chu Haiyan, Cao Zhihong(Laboratory of Material Cycling in Pedosphere, Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China E-mail: sszymmh@163.net China)

Abstract: The effects of different concentration of La added in red soil on the growth, yield, content of chlorophyll and peroxidase (POD) activity of rape were studied by pot experiments. The results showed that the growth and yield of rape could be improved by low concentration of La³⁺, however there was no significant difference between the treatment and the control, and inhibited when the dose were more than 300 mg kg⁻¹ and killed after 600 mg kg⁻¹ La was added. The decrease of chlorophyll content and chlorophyll a/b was observed when the exogenous concentration of La was more than 15 mg kg⁻¹. POD activity increased gradually with increasing concentration and prolonging reaction. The feasible application level of La was suggested to be below 15 mg kg⁻¹.

Key words: rare earth; dose response; critical concentration; chlorophyll; POD activity

稀土元素的开发利用,特别是稀土农用的大力推广,进入农田等生态环境的稀土正迅速增加^[1]。由于农用稀土是可溶形态,稀土本身又是具有一定毒性的重金属元素,而且至今尚未证明稀土是生物的必需元素,因此,稀土农用于农业的可持续发展和对环境的安全性影响,引起国内外社会和科技界的广泛关注。针对我国稀土农用的实际情况,迫切需要从农业可持续发展角度,对稀土长期使用进行安全性评价。

过氧化物酶(peroxidase, POD)在植物体内广泛存在,并具有多种生理功能,对环境变化反应灵敏,可利用它来作为鉴别环境污染对植物

毒性及临界含量的指标^[2,3]。叶绿素含量和叶绿素 a/b 也是衡量叶片生长状况的重要指标^[4,5]。由于 La 在稀土化合物中是占据大分量的元素,所以本文结合了稀土农用的实际情况,首先研究了不同浓度的 La 对油菜生物量、产量、叶绿素含量和过氧化物酶活性的影响,探讨稀土对植物的剂量效应及其安全农用的临界浓度。

基金项目:国家自然科学基金重大项目(29890282);中国科学院红壤试验站开放基金资助项目(2000k06)

作者简介:曾青(1971~),女,硕士,主要从事土壤学与植物学研究。

收稿日期:2000-09-29

* 通讯联系人

1 材料与方法

1.1 供试土壤

红壤,是我国南方地区代表性土壤,采自中国科学院红壤生态试验站,其基本理化性状如表 1.

表 1 供试土壤的基本理化性状/ $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$

Table 1 Some Properties of the soil tested

有机质	全氮	全磷	全钾	CEC / $\text{mmol}\cdot\text{kg}^{-1}$	pH	质地
9.3	0.59	0.50	11.5	101.6	5.6	壤质粘土

1.2 温室盆栽试验

称取 LaCl_3 和过 5 mm 筛的风干土样,搅拌均匀,使外源镧浓度分别为 0,0.15,0.75,1.5,3,15,75,150,300,450,600 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ (经 ICP 测定校准后取整).分别称取 5 kg 拌匀土样装于白瓷钵中,钵直径为 19 cm,高 19 cm,每处理 4 次重复.每钵分别移栽叶数和长势一致的油菜(*Brassica juncea* L.)(浥优 2 号)1 株,施入基肥,定期追肥,在油菜移栽后每 30 d 取样测定.

1.3 生物量和产量测定

油菜移栽后 180 d 收割并测量油菜的地上及地下部分干重和产量.采用 SSR 法进行数据差异显著性分析.

1.4 叶绿素的测定

叶绿素含量的测定按照波契诺夫的方法^[6],各设 3 次重复.

1.5 POD 活力测定

称取 0.25 g 鲜重的油菜叶片,加入 5 ml 50 $\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 磷酸缓冲液(含 1 %PVP,pH7.0),在冰浴中研磨匀浆,3000 r/min,4℃,离心 20 min,上清供酶活性测定.POD 活性测定采用愈创木酚氧化法,单位以 $\Delta A_{470}\cdot\text{mgDW}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ 表示,各设 3 次重复.

2 结果与分析

2.1 La 对油菜生物量和产量的影响

实验结果表明,低浓度 La 对油菜有一定促进生长和增加产量的作用,高浓度 La 则对油菜的生长和产量起抑制作用(表 2).外源 La 浓度 $< 75\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 油菜生物量、叶面积、株高和产

表 2 红壤中外源 La^{3+} 对油菜生长和产量的影响¹⁾

Table 2 Effect of lanthanum on the growth and harvest of oilseed rape on red soil

La^{3+} / $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$	株高/cm		叶面积/ cm^2		地上部分	地下部分	单株产量
	90d	120d	60d	90d	干重/g	干重/g	/g
0	7.37 Aa	59.93 Aa	345.46 Aa	640.14 Aa	15.31 Aa	3.67 Aa	4.24 Aa
0.15	11.67 Aa	83.05 Aa	430.28 Aa	714.49 Aa	18.20 Aa	3.92 Aa	4.21 Aa
1.5	19.57 Aa	77.53 Aa	451.25 Aa	662.50 Aa	18.41 Aa	5.00 Aa	4.25 Aa
15	17.95 Aa	89.40 Aa	398.32 Aa	767.93 Aa	19.10 Aa	4.15 Aa	4.86 Aa
75	15.00 Aa	71.38 Aa	381.73 Aa	696.24 Aa	18.77 Aa	3.60 Aa	3.57 Aa
150	11.95 Aa	74.25 Aa	365.03 Aa	695.34 Aa	19.61 Aa	3.46 Aa	4.34 Aa
300	4.50 Ac	42.15 Bb	201.51 Bc	458.60 Bb	12.59 Ab	2.32 Aa	2.26 Ab
450	6.13 Ab	39.32 Cc	121.25 Bc	291.94 Cc	6.46 Ac	2.01 Bb	0.40 Bc
600	1.30 Bd	9.13 Dd	121.55 Bc	95.25 Dd			

1) A~D 和 a~d 分别表示各指标数据间的差异显著性(SSR 法) $P<0.01$ 和 $P<0.05$

量均有增加,但这种增加达不到显著水平($P>0.05$).1.5~15 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ La 对油菜的株高、产量、叶面积和生物量的增加最多.外源 La 浓度

$> 75\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 时,油菜根重和产量逐渐减少,外源 La 浓度 $> 300\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 时,油菜生长和产量均受到显著抑制($P<0.01$).外源 La 浓度

= 600 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时,油菜死亡.油菜产量降低一半的 $\text{EC}_{50} = 297.83 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$.在油菜生长期还可观察到外源 La 浓度 $> 75 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时,油菜叶片特别是幼叶出现叶色暗绿并略微发紫的现象,这与油菜缺磷症状类似,可能是 La 加入后使油菜缺磷而引起的间接中毒现象.以上结果表明,1.5 ~ 15 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 为对油菜具有刺激作用的最佳浓度,而 75 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 为油菜营养生长和生殖生长显著受抑制时的浓度.

2.2 La 对油菜叶绿素含量的影响

移栽 30 d 后,外源 La 浓度 $< 150 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 叶绿素含量均有显著增加 ($P < 0.05$),以 15 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时增加最多,外源 La 浓度 $> 300 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时叶绿素含量显著下降 ($P < 0.01$);60 d 后以上现象消失,各处理叶绿素含量均低于对照,外源 La 浓度 $> 15 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时叶绿素含量即显著下降 ($P < 0.01$),外源 La 浓度为 0.15 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时油菜叶绿素含量与对照无显著差异(见图 1).

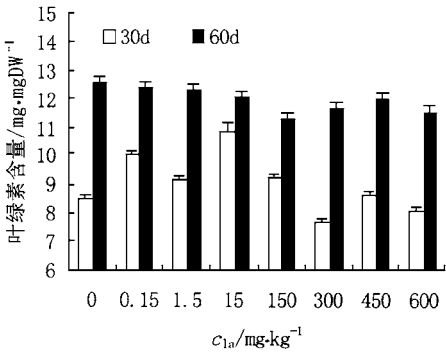


图 1 La 对油菜叶绿素含量的影响
Fig.1 Effect of lanthanum on the content of chlorophyll of rape on red soil

叶绿素 a/b 是比叶绿素更为敏感的指标^[5],30 d 时,外源 La 浓度 $< 150 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时叶绿素 a/b 均有显著增加 ($P < 0.01$),外源 La 浓度 $> 150 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时叶绿素 a/b 即显著低于对照 ($P < 0.01$),这与叶绿素含量的变化规律相一致;60 d 时,外源 La 浓度 $> 15 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时叶绿素 a/b 亦显著低于对照 ($P < 0.01$),叶

绿素 a/b 降低幅度显著大于叶绿素含量的降低幅度(图 2).结果表明,15 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 以上的 La 对叶绿素形成特别是叶绿素 a 的形成有显著的抑制作用,可见,用叶绿素 a/b 作为稀土对植物生长安全性指标较生物量等更为敏感.

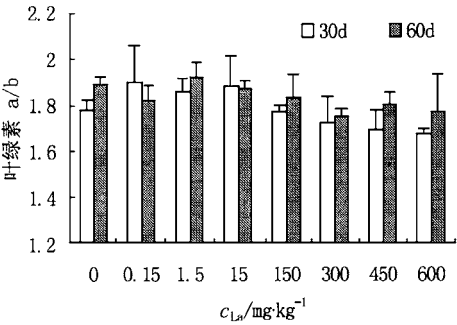


图 2 La 对油菜叶绿素 a/b 的影响
Fig.2 Effect of lanthanum on chlorophyll a/b of rape on red soil

2.3 La 对油菜 POD 活性的影响

施加低浓度 La 油菜 POD 活性降低,而施加高浓度 La 油菜 POD 活性则明显增高(图 3).移栽 30 d 后,外源 La 浓度 $< 1.5 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时 POD 活性有所下降 ($P < 0.01$),在外源 La 浓度为 15 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 处,POD 活性出现第一个峰值,这表明 15 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 为红壤上油菜的 La 临界浓度.此结果与叶绿素 a/b 值作为敏感指标的结果相一致,当外源 La 浓度 $> 450 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时油菜 POD 活性显著增加 ($P < 0.01$),此时油菜的生长已受到严重抑制;60 d 时外源 La 浓度 $< 150 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 油菜 POD 活性与对照无显著差异,外源 La 浓度 $> 300 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时则 POD 活性显著增加 ($P < 0.01$);油菜移栽 90 d 后外源 La 浓度 $> 0.15 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时 POD 活性均有增加,300 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时这种增加均达显著水平 ($P < 0.01$).

3 讨论

从不同剂量的稀土对油菜生物量的影响结果来看,本研究与熊金莲的研究结果具有一致性^[7],但以往的研究在油菜增产与抑制生长方

面并未进行差异显著性分析,显然不能反映出稀土农用的实际效果.本研究结果表明,适宜浓度的 La 可使油菜株产量相应增加,但达不到显著水平,而高浓度的 La 对油菜的营养生长和生殖生长具有显著的抑制作用.

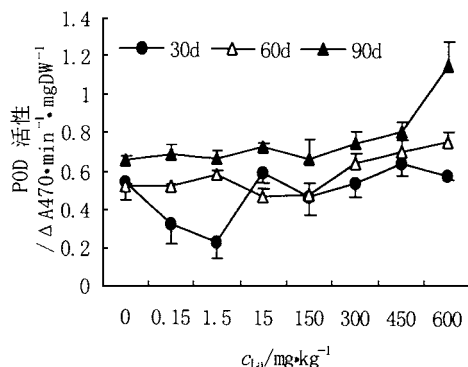


图3 La对油菜 POD活性的影响

Fig.3 Effect of lanthanum on the activity of POD of rape on red soil

叶绿素 a/b 值为植物对环境变化的敏感指标之一.结果表明,对 La 而言,油菜叶绿素 a/b 值对 La 的剂量变化最为敏感,在 $15 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 处即出现临界峰值,而叶绿素含量的下降则在 $75 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 以下. POD 活性是植物对环境变化的另一敏感指标,其数值大小往往与植物的生长成负相关^[8].植物体内的 POD 具有多种功能,首先它可清除植物体内的 H_2O_2 ,其次它具有促进木质化的作用,另外,POD 还参与植物组织衰老过程中叶绿素的降解,并引发多不饱和酸的过氧化,为衰老组织中不断累积的活性氧来源之一,因此,POD 活性的上升是植物对逆境的适应性反应^[9,10].本文研究结果表明,低于 $15 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 的 La 加入红壤后,油菜 POD 活性降低,油菜的生长受到促进;高于 $15 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 的 La 加入红壤后,油菜 POD 活性逐渐上升,油菜的生长受到抑制.

可见,La 为低毒的重金属,其大规模和长期农用的污染积累问题不可忽视.我国稀土农用已有 20 多年的历史,是目前世界上唯一将稀土在农副业生产上大面积施用的国家,进入环境的人工形态的稀土为世界之最^[1].然而,稀土农用的科学性和安全性尚待深入研究,应吸取重金属元素对农村生态环境污染及其危害的教训,以确保农田生态系统的持续效应.

参考文献:

- 1 郭佰生,熊炳昆,刘铮等.农业中的稀土.北京:中国农业出版社,1988. 2.
- 2 颜丽英,朱天玑,陈家汉.硫酸厂的空气对植物叶片中过氧化物酶的影响.环境科学,1985,6(2):7~12.
- 3 吴家燕,夏增禄,巴音.土壤重金属污染的酶学诊断——紫色土中的镉、铜、铅、砷对水稻根系过氧化物酶的影响.环境科学学报,1990,10(1):73~77.
- 4 Shimazaki K, Sakaki T, Kondo Net al. Active oxygen participation in chlorophyll destruction and lipid peroxidation in SO_2 -fumigated leaves of spinach. Plant Cell & Physiol., 1980,21(7):1193~1204.
- 5 任安芝,高玉堡,刘爽.铬、镉、铅胁迫对青菜叶片几种生理生化指标的影响.应用与环境生物学报,2000,6(2):112~116.
- 6 波钦诺克.植物生物化学分析方法.北京:科学出版社,1981. 255~259.
- 7 熊金莲,张自立.稀土最大容量阈值与作物生长.生态学报,1997,16(1):1~7.
- 8 潘瑞炽,董愚得.植物生理学.北京:高等教育出版社,1986. 63.
- 9 Wittsuwannakul R, Sattaysevana B, Pasitkul P. Peroxidase from *Hevea brasiliensis* Bark: purification and properties. Phytochemistry, 1997, 44(2): 237~241.
- 10 Huff A. Peroxidase-catalyzed oxidation of chlorophyll by hydrogen peroxide. Phytochemistry, 1982, 21:261~265.