

稀土元素镧对红壤微生物区系的影响

褚海燕, 李振高, 谢祖彬, 朱建国*, 曹志洪(中国科学院南京土壤研究所土壤圈物质循环开放研究实验室, 南京 210008, E-mail: hychu@issas.ac.cn.)

摘要: 通过纯培养试验、室内培养试验和水稻盆栽试验研究了稀土元素镧对红壤微生物区系的影响。结果表明: 镧对纯培养细菌、放线菌、真菌均有较强的毒害作用。对镧的敏感性顺序为: 放线菌 > 细菌 > 真菌。在低浓度下, 镧对土壤细菌、放线菌、真菌的作用不明显, 在高浓度下, 表现为抑制作用。在低浓度下, 镧对土壤硝化细菌有强烈的刺激作用, 最大刺激率达到 70%, 随着浓度的升高则产生抑制作用并不断增强。镧对土壤反硝化细菌作用不明显。在低浓度下, 镧对土壤自生固氮菌有某些刺激作用, 随着浓度的升高, 则产生显著的抑制作用。土壤硝化细菌可以作为稀土对作物增产效应的指示菌, 硝化细菌和自生固氮菌可以作为稀土污染土壤生态环境的指示菌。外源稀土对红壤微生物区系产生抑制作用的临界浓度在 150 mg/kg 左右。

关键词: 稀土; 镧; 红壤; 微生物区系

中图分类号: X172 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2000)06-04-0028

Effect of Lanthanum on the Microflora of Red Soil

Chu Haiyan, Li Zhengao, Xie Zubin, Zhu Jianguo, Cao Zhihong (Institute of Soil Sciences, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China, E-mail: hychu@issas.ac.cn.)

Abstract: The effect of Lanthanum (La) on the microflora of red soil was studied by pure culture, soil culture and rice pot culture experiment. La was poisonous to soil bacteria, actinomycetes and fungi in pure culture experiment, the sensitivity of which to La was decreased in order of actinomycetes > bacteria > fungi. La had no significant effect on soil bacteria, actinomycetes and fungi at low concentration while had inhibitory effect at high concentration. La had stimulative effect on soil nitrifier at low concentration and the maximum stimulation ratio reached 70 percent while had inhibitory effect at high concentration and the inhibition was strengthened with increasing concentration. La had slightly stimulative effect on soil azotobacter at low concentration while had inhibitory effect at high concentration. La had no significant effect on soil denitrifier. Nitrifier could be used as indicator bacteria of the biological effect of rare earth, nitrifier and azotobacter could be used as indicator bacteria of rare earth-polluted soil, the critical concentration was about 150 mg/kg.

Keywords: rare earth; lanthanum; red soil; microflora

近年来, 由于广泛推广稀土碳铵复合肥并全部土施, 因而加速了稀土元素在土壤中积累^[1]。土壤微生物是土壤有机质和土壤养分转化和循环的动力, 它参与土壤中有有机质的分解、腐殖质的形成、土壤养分转化和循环的各个过程^[2]。微生物对土壤各种扰动极为敏感, 外源污染物进入土壤后, 对土壤微生物区系必将产生一定的影响^[3-6]。然而, 在土壤微生物与稀土的关系方面研究不多^[7,8]。本文研究稀土元素镧对红壤细菌、放线菌、真菌、硝化细菌(亚硝酸细菌)、反硝化细菌以及自生固氮菌的影响, 为稀

土农用生态环境效应评价提供科学依据。

1 材料和方法

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实验站, 其基本理化性状如表 1。

基金项目: 国家自然科学基金重大基金资助项目(29890282)

作者简介: 褚海燕(1971~), 男, 博士, 主要从事土壤环境微生物学方面的研究。

收稿日期: 2000-01-17

* 通讯联系人

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

有机质	TN	TP	TK	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 纯培养试验

细菌、放线菌、真菌培养基中加入不同浓度的稀土(LaCl_3)溶液,使培养基中的镧浓度分别为 0、25、50、100、150、200、250、500 mg/L ,然后把不同稀释度的土壤悬液接种到这 3 种含稀土的培养基中,在 28°C 下培养,1 周内分别计数。

1.3 室内培养试验

称取过 2 mm 筛的风干土样于培养皿中,加入不同浓度的稀土(LaCl_3)溶液,使外源镧浓度分别为 0、50、100、200、500、1000 mg/kg ,搅拌均匀,调整土壤含水量为田间最大持水量的 60%,每处理 4 次重复,在 28°C 的恒温恒湿状态下培养 1 周。

1.4 水稻盆栽试验

称取 5 kg 过 2 mm 筛的风干土样于白瓷钵中,每钵加入不同浓度的稀土(LaCl_3)溶液,使外源镧浓度分别为 0、6、30、150、300、600、900 mg/kg ,搅拌均匀,每钵栽水稻 2 穴(4 株),施入基肥,定期追肥,每处理 4 次重复,在水稻生长苗期、扬花期、成熟期分别取样。

1.5 测定方法

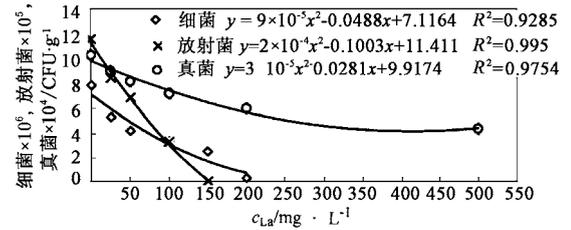
细菌、真菌、放线菌、自生固氮菌采用平板培养法,硝化细菌、反硝化细菌采用 MPN 稀释法。细菌采用牛肉膏蛋白胨培养基,放线菌采用改良高氏 1 号培养基,真菌采用马丁氏培养基,硝化细菌采用改良 Stephenson 培养基,反硝化细菌采用柠檬酸钠培养基,自生固氮菌采用改良 Ashby 无氮琼脂培养基^[9]。

2 结果与讨论

2.1 培养基中添加镧对土壤微生物数量的影响

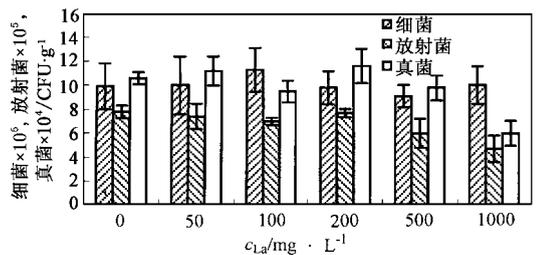
土壤细菌、放线菌、真菌是土壤 3 大类微生物,可以反映土壤中微生物的总量。图 1 可以看出,随着培养基中 La (镧)浓度的升高,培养基

上细菌、放线菌、真菌数量均不断减少。当培养基中 La 浓度 $> 200\text{mg/L}$ 时,细菌已无法存活;当 La 浓度 $> 150\text{mg/L}$ 时,放线菌已无法存活;当 La 浓度为 500mg/L 时,还有 40% 真菌可以存活。由此可知,在纯培养条件下,镧对土壤微生物有较强的毒害作用,微生物对镧的敏感性顺序为:放线菌 $>$ 细菌 $>$ 真菌。

图 1 La 对土壤细菌、放线菌、真菌数量的影响

2.2 土壤中添加镧对土壤微生物数量的影响

(1) 镧对土壤细菌、放线菌、真菌数量的影响 土壤在恒温恒湿状态下培养 1 周,细菌、放线菌、真菌数量的变化如图 2。土壤细菌数量随着 La 的加入,变化不明显;当 La 浓度 $< 200\text{mg/kg}$ 时,土壤放线菌数量未发生明显的变化,当浓度 $> 500\text{mg/kg}$ 时,放线菌数量显著减少,在 1000mg/kg 时,减少幅度达到 40%;当 La 浓度 $< 500\text{mg/kg}$ 时,土壤真菌数量未发生明显的变化,浓度升高时,真菌数量显著减少,在 1000mg/kg 时,减少幅度达到 41%。由此可知,在低浓度下,镧对土壤细菌、真菌、放线菌作用均不明显;在高浓度下,镧对土壤放线菌、真菌表现为抑制作用。

图 2 La 对土壤细菌、放线菌、真菌数量的影响

(2) 镧对土壤硝化细菌、反硝化细菌数量的影响

影响 硝化细菌、反硝化细菌是土壤氮素转化的重要菌群,硝化细菌可以把土壤铵态氮转化为硝态氮,反硝化细菌则能造成土壤氮素的气态损失.图3可以看出:起初,随着La浓度的升高,土壤硝化细菌数量急剧增加,在120mg/kg时达到最大值,增加幅度达到70%,此后,随着浓度的增加,硝化细菌的数量不断减少,在1000mg/kg时,只有未加La土壤的10%.土壤反硝化细菌数量随着La的加入,变化不明显.由此可知,在低浓度下,镧对土壤硝化细菌有强烈的刺激作用,随着浓度的升高,则产生了抑制作用并不断增强;镧对土壤反硝化细菌的作用不明显.

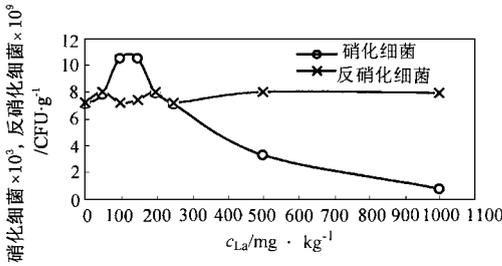


图3 La对土壤硝化、反硝化细菌数量的影响

2.3 镧对水稻盆栽土壤微生物数量的影响

(1) 镧对水稻盆栽土壤细菌、放线菌、真菌数量的影响 水稻成熟期,土壤细菌、放线菌、真菌数量如图4.当La浓度<300mg/kg时,土壤细菌数量有一定的增加,但随着浓度的升高,细菌数量则逐渐减少,在900mg/kg时,减少幅度达到50%;当La浓度<150mg/kg时,土壤放线菌数量也有少量增加,但随着浓度的升高,放线菌数量逐渐减少,在900mg/kg时,减少幅度为22%;随着La浓度的升高,土壤真菌数量逐渐减少,在900mg/kg时,减少幅度为21%.由此可知,在低浓度下,镧对土壤细菌、放线菌有某些刺激作用;在高浓度下,镧对土壤细菌、真菌、放线菌均产生明显的抑制作用.

室内培养试验和盆栽试验表明:在低浓度下,稀土元素镧对土壤细菌、真菌、放线菌作用均不明显,这可能因为镧刺激了细菌、真菌、放线菌中的某些类群,同时也抑制了另外一些类

群,因而细菌总数、放线菌总数、真菌总数没有发生显著的变化;在高浓度时,镧对细菌、放线菌、真菌均表现为抑制作用,说明在高浓度下,镧对土壤微生物产生了毒害作用,其中,放线菌对镧的毒害作用较为敏感.镧浓度相当高(500mg/kg)时对土壤3大类微生物抑制作用才达到显著水平,因此,土壤细菌、放线菌、真菌总数不是稀土污染土壤生态环境的敏感指标.

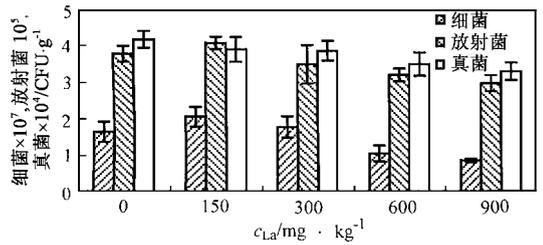


图4 La对土壤细菌、放线菌、真菌数量的影响

(2) 镧对水稻盆栽土壤硝化细菌的影响

图5可以看出,在水稻生长初期,随着La浓度的升高,土壤硝化细菌数量均急剧增加,在某一浓度时达到最大值,此后,硝化细菌数量不断降低.说明在低浓度下,La对土壤硝化细菌有强烈的刺激作用,随着浓度的升高,则产生抑制作用并不断增强.在苗期、扬花期,当浓度<150mg/kg,La对土壤硝化细菌均表现为刺激作用,在30mg/kg时刺激率最大,分别达到50%和84%.当浓度>150mg/kg,La对硝化细菌均表现为抑制作用,在900mg/kg时,抑制率分别达到63%和84%;在成熟期,当浓度<300mg/kg时,La对土壤硝化细菌表现为刺激作用,在100mg/kg时,刺激率最大为50%,当浓度>300mg/kg时,La对硝化细菌则表现为抑制作用,在900mg/kg时,抑制率达到69%.

室内试验和水稻盆栽试验均表明,土壤硝化细菌是对稀土元素La非常敏感的一类细菌.在低浓度下,La对硝化细菌有强烈的刺激作用,说明La能够促进土壤氨态氮向硝态氮转化,有利于作物对土壤氮素的有效利用,这可能是作物增产的原因之一;在高浓度下,La对硝化细菌有强烈的抑制作用,不仅使土壤氮素

循环受阻,也反映了土壤生物活性的降低,土壤生物功能的破坏.低浓度 L_a 对硝化细菌的刺激作用可以衡量稀土添加剂或复混肥对农作物的增产效应,高浓度 L_a 的抑制作用可以反映稀土对土壤的污染状况.因此,土壤硝化细菌是一个既可以评价稀土增产效应又可以评价稀土污染土壤状况的敏感指示菌.可以推荐,外源稀土对微生物区系产生抑制作用的临界浓度为 150mg/kg .

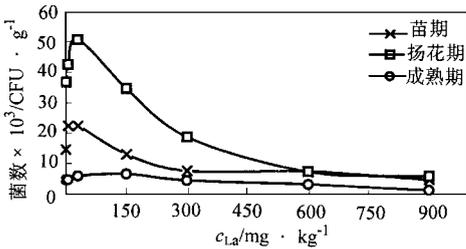


图 5 L_a 对土壤硝化细菌数量的影响

(3) L_a 对水稻盆栽土壤自生固氮菌数量的影响 在水稻成熟期,土壤自生固氮菌数量如图 6: 当 L_a 浓度较低时,土壤自生固氮菌数量有少量增加,当浓度 $> 150\text{mg/kg}$ 时,自生固氮菌数量则明显降低,最大降低幅度达到 40%. 由此可知,在低浓度下,镧对土壤自生固氮菌有一定的刺激作用,在高浓度下,则产生明显的抑

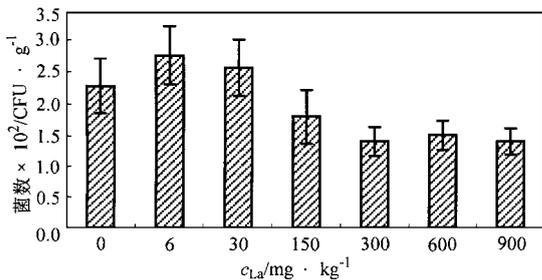


图 6 L_a 对土壤自生固氮菌数量的影响

制作用.土壤自生固氮菌也是稀土污染土壤生态环境的敏感指示菌.

我国是稀土储量最大的国家,稀土已被广泛应用于农业生产,若长期下去,稀土将会在土壤中大量积累.在稀土农用的安全性得到确切回答之前,仍需要从土壤理化性状、土壤生物活性、动植物反应以及对人类健康影响等诸方面寻找敏感指标,对稀土农用的风险性和安全性进行综合评价.

致谢 中国科学院南京土壤研究所微生物生化室王俊华、潘映华、张华勇 3 位同志在研究过程中给予了大量的指导和帮助,在此,向他们表示谢意.

参考文献:

- 竺伟民,张继榛等.稀土在土壤中运移数值模拟研究.中国稀土学报,1996,14(4):341~345.
- 俞慎,李振高.熏蒸提取法测定土壤微生物量研究进展.土壤学进展,1994,22(6):42~50.
- 许炼峰,郝兴仁等.重金属 Cd 和 Pb 对土壤生物活性影响的初步研究.热带亚热带土壤科学,1995,4(4):216~220.
- 曹幼琴,叶定一.六种有机污染物对土壤微生物的影响.土壤学报,1991,28(4):426~433.
- Angle J Scott, Rufus L Chaney, David Rhee. Bacterial resistance to heavy metals related to extractable and total metal concentrations in soil and media. Soil Biol. Biochem., 1993, 25(10):1443~1446.
- Ernst Witter, Ken E Giller, Steve P McGrath. Long-term effects of metal contamination on soil microorganisms. Soil Biol. Biochem., 1994, 26(3):421~422.
- 唐欣昀,张自立等.镧积累对黄褐土中主要微生物类群数量的影响.中国稀土学报,1998,16(1):61~65.
- 陈声明,贾小明等.镧与钕对棕色固氮菌 342 菌株的海藻酸发酵的影响.中国稀土学报,1994,12(1):64~67.
- 许光辉,郑洪元.土壤微生物分析方法手册.北京:农业出版社,1986. 103~119.