

外源 La 对种植圆叶决明土壤微生物数量的影响

王义祥¹, 姜照伟^{1,2}, 翁伯琦¹, 黄元仿²

(1. 福建省农业科学院农业生态研究所 福建省山地草业工程技术研究中心, 福建 福州 350013; 2. 中国农业大学资源与环境学院, 北京 100094)

摘 要:通过圆叶决明盆栽试验和室内培养分析研究了稀土元素 La 对红壤-牧草系统中土壤微生物数量的影响及其时间效应。结果表明,高浓度 La 对土壤细菌、放线菌、真菌和自生固氮菌数量均有不同程度的抑制作用,低浓度 La 对土壤真菌和放线菌有显著的刺激作用,但对细菌和自生固氮菌没有显著性的影响,土壤细菌、放线菌和自生固氮菌对 La 的敏感性均大于真菌。对 La 浓度-土壤微生物数量的生物学参数模拟的计算结果表明,La 对土壤放线菌和真菌以及自生固氮菌的半抑制浓度值随时间延长而减少,说明随着时间的延长,La 对土壤微生物的影响具有减弱的趋势。

关键词:La; 微生物; 红壤; 圆叶决明

中图分类号:S154.36 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-2043(2008)05-1853-04

Effect of Lanthanum on Microorganism Population in Red Soil of Planting Legume *Chamaecrista rotundifolia*

WANG Yi-xiang¹, JIANG Zhao-wei^{1,2}, WENG Bo-qi¹, HUANG Yuan-fang²

(1.Agricultural Ecology Institute,Fujian Academy of Agricultural Sciences, Fujian Engineering and Technology Research Center for Hilly Prataculturae, Fuzhou, 350013, China; 2.College of Resources and Environment, China Agricultural University, Beijing 100094, China.)

Abstract: Effect of Lanthanum (La) on the microorganism population in red soil was studied by pot culture experiment of forage (*Chamaecrista rotundifolia*). LaCl₃ was applied into soil in plastic pots during the branching period of *Chamaecrista rotundifolia* at levels of 0, 250, 500, 750 and 1 000 mg·kg⁻¹ dry soil in the pot culture experiment. The results showed that La had inhibitory effect on soil bacteria, actinomycetes, fungi and azotobacter at high concentration (>750 mg·kg⁻¹), and had significant stimulative effect on soil fungi and actinomycetes but had no significant effect on soil bacteria and azotobacter at low concentration(<250 mg·kg⁻¹). Thereinto, the population numbers of soil bacteria and azotobacter in La treatments decreased by 4.20%~44.10% and 3.02%~69.75% than those of the control, respectively. So the sensitivity to La was decreased in the order of bacteria, azotobacter > actinomycetes > fungi. It is reasonable that soil bacteria could be used as an indicator for assuming the effects of La accumulation on soil environment. Soil microbial data were analyzed by computer and it was found that the median effect concentrations (EC₅₀) of La were 957.738~1 216.241, 879.378~957.706 and 825.330~902.446 mg·kg⁻¹ for soil fungi, actinomycetes and azotobacter, respectively, and EC₅₀ values were all decreased with the increase of incubation time.

Keywords: Lanthanum; microorganism; red soil; *Chamaecrista rotundifolia*

稀土农用在我国已有 20 多年的研究和应用历史,多数研究者也肯定了稀土元素对作物生长有一定的刺激作用。近年来,由于广泛推广使用稀土复合肥,加速了稀土元素在土壤中积累^[1],由此可能引起的环境问题

也日益受到关注。土壤微生物是土壤的重要组成部分,它对土壤肥力形成及植物营养转化起着积极作用。因此,在确定稀土的土壤环境容量和土壤质量标准时,不仅要考虑稀土对人体健康、农作物、动物以及周边环境的影响,还应该考虑稀土对土壤微生物的影响^[2]。但目前有关施用稀土对土壤微生物生态效应影响的研究不多^[3-8],尤其是对红壤地区的研究相对更少。本研究对不同 La 素水平下牧草土壤微生物状况进行分析,初步探讨土壤微生物对稀土 La 的剂量反应和时间效应,为稀土农用的环境安全评价提供科学依据。

收稿日期:2007-10-24

基金项目:福建省科技计划重点项目(2005N029, 2007Y0003);福建省农科院科技创新团队(STIF-Y01)

作者简介:王义祥(1978—),男,助理研究员,主要从事土壤生态学研究。E-mail:sd_wolong@163.com

通讯作者:翁伯琦 E-mail:boqiwen@yahoo.com.cn

1 材料与方法

1.1 供试材料及处理

供试牧草品种为圆叶决明(*Chamaecrista rotundifolia* cv. CPI86134)。圆叶决明于 4 月 24 日播种,每盆定 3 株。盆子规格直径 27 cm×高 33 cm,装土 10 kg。圆叶决明施尿素 0.34 g·盆⁻¹ (N 27.6 kg·hm⁻²)、过钙 2.39 g·盆⁻¹ (P₂O₅ 50 kg·hm⁻²)、氯化钾 0.38 g·盆⁻¹ (K₂O 40 kg·hm⁻²)。土壤为山地红壤,取自福州北郊。其基本理化性状为:土壤田间持水量 28.2%,有机质 11.0 g·kg⁻¹,pH 5.04,全氮 0.039%,碱解氮 35.01 mg·kg⁻¹,速效磷 4.71 mg·kg⁻¹,缓效钾 154.69 mg·kg⁻¹,速效钾 69.86 mg·kg⁻¹,交换性钙 249.80 mg·kg⁻¹,交换性镁 32.62 mg·kg⁻¹。

试验采用浇施的方法,其中浇施稀土 La 的量分别为 0(CK)、250(Y1)、500(Y2)、750(Y3)、1 000 mg·kg⁻¹ (Y4),制备成 LaCl₃ 溶液于牧草分枝盛期(2004 年 8 月 16 日)一次性施入。施用稀土 La 后第 24 d 开始采集土壤样品,每个处理随机选取 3 盆,每盆均采用无菌土钻 3 点法取样,充分混匀备用。然后每隔 15 d 从剩余的盆栽中按照以上取样方法采集土样,依此类推,共取样 5 次。

1.2 微生物测定方法

土壤微生物类群计数采用平板计数法^[9,10]。细菌用牛肉膏蛋白胨琼脂培养基,1~2 d 后取出培养皿计算菌落数。放线菌用高氏 1 号培养基,4~6 d 计数。真菌用马丁氏培养基,2~4 d 计数。固氮菌用改良的阿须贝培养基,3~4 d 计数。

1.3 数据分析处理

试验数据采用 DPS 统计软件处理,采用 LSD 法进行均值多重比较。按文献[8]方法计算稀土 La 对土壤微生物各类群的半效应浓度 EC₅₀。以微生物数量为 y,La 浓度为 x 进行数学拟合,求得相应的数学关系式($y=ax^2+bx+c$)及相关系数值(R)。求函数极大值 y_{max},令 y'=0.5y_{max},解方程 y'=ax²+bx+c,求得其合理解 x₁ 即为 EC₅₀ 值。

2 结果与分析

2.1 La 对土壤细菌的影响

土壤细菌是土壤微生物中分布最广泛、数量最多的一类,其在土壤有机质和无机质的转化中起着巨大的作用。由图 1 可以看出,施用稀土元素 La 的处理圆叶决明土壤细菌数量均小于对照,其减少幅度达到

4.20%~44.10%;已有研究表明低剂量的 La 可以促进土壤中细菌的增长^[7],本试验中 LaCl₃ 浓度为 250 mg·L⁻¹ 时已抑制圆叶决明土壤中细菌的增长,说明适宜的 LaCl₃ 浓度应小于 250 mg·L⁻¹。通过统计分析表明,对照与 Y1 处理间细菌数量差异并不显著,但与其他处理(Y2、Y3 和 Y4)间的差异均达到显著性水平。另外,Y2、Y3 和 Y4 3 个处理彼此间的差异亦不显著。从图 1 还可以看出,在同一 La 处理水平上,土壤中细菌数量均随着时间延长先增(以 45 d 时最大)后减。通过土壤细菌对 La 浓度的回归分析表明(表 1),不同时期土壤细菌数量随 La 浓度的增加均呈“抛物线”变化。

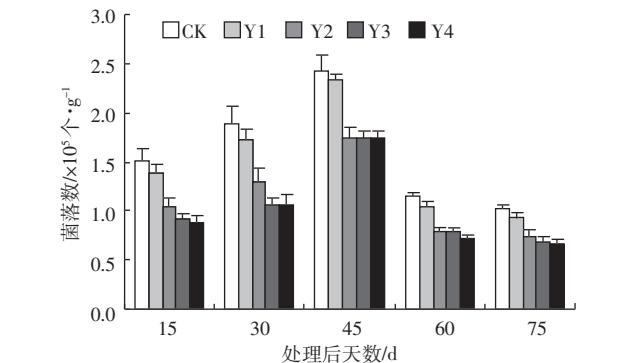


图 1 La 对种植牧草土壤细菌的影响
Figure 1 Effects of La on soil bacteria with pastures

表 1 La 对土壤细菌影响的参数
Table 1 Parameters of the effects of La on soil bacteria

处理后天数/d	方程	R ²	EC ₅₀ /mg·L ⁻¹
15	y=0.046 7x ² -115.8x+155 343	0.894 8**	-
30	y=0.059 1x ² -152.26x+194 431	0.876 5**	-
45	y=0.089 3x ² -166.75x+250 098	0.821 4**	-
60	y=0.034 3x ² -79.336x+116 254	0.897 7**	-
75	y=0.033 9x ² -71.877x+104 303	0.917 7**	-

注:** 表示相关系数极显著,下同。

2.2 La 对土壤真菌的影响

由图 2 可以看出,不同 La 处理种植圆叶决明的土壤中真菌数量均以 Y2 处理最高,比对照增加了 19.28%~69.81%;这同细菌的变化规律不同,说明真菌对 La 的耐性较强。当 LaCl₃ 浓度达到 750 mg·L⁻¹ 时,真菌总数仍然高出对照,说明高浓度的 La 能持续促进真菌数量增长。统计分析表明,处理后 15、30、45 和 60 d,对照与其他各处理间真菌数量均存在显著性差异;处理后 75 d,对照与 Y2 和 Y4 处理间存在显著性差异,而与 Y1 和 Y3 处理间的差异不显著。由图 2 还可以看出,同一 La 处理水平,真菌数量随时间的延长而增加,这与细菌的变化规律也不相同。由表 2 可知,不同时期 La 对种植圆叶决明的土壤中真菌的

EC₅₀ 值随时间延长而增大,说明 La 对土壤真菌的抑制作用随时间延长而减弱。

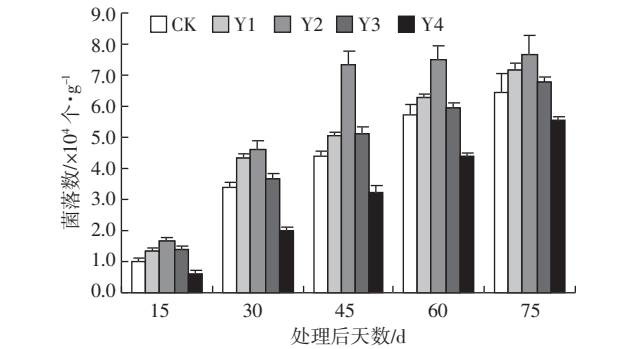


图 2 La 对牧草土壤真菌的影响

Figure 2 Effects of La on soil fungi with pastures

表 2 La 对土壤真菌影响的参数

Table 2 Parameters of the effects of La on soil fungi

处理后天数/d	方程	R ²	EC ₅₀ /mg·L ⁻¹
15	y=-0.032 6x ² +29.933x+9 340.6	0.901 9**	957.738
30	y=-0.073x ² +59.494x+33 527	0.971 0**	966.655
45	y=-0.109 9x ² +100.97x+41 017	0.779 6**	999.855
60	y=-0.079 1x ² +66.771x+56 000	0.841 3**	1 087.689
75	y=-0.060 7x ² +52.207x+63 813	0.797 1**	1 216.241

2.3 La 对土壤放线菌的影响

放线菌也是土壤中有有机质分解的积极参与者,其产生的抗菌素和激素类物质能有效抑制病原菌的生长,与土壤肥力及植物病害防治有着密切的关系。由图 3 可以看出,当 LaCl₃ 浓度<250 mg·L⁻¹ 时,种植圆叶决明的土壤中放线菌数量有一定的增加,其数量是对照的 113.48%~130.63%;统计分析表明,不同时期对照(CK)与 Y1 处理间放线菌数量均存在显著性差异。LaCl₃ 浓度>250 mg·kg⁻¹ 时对放线菌均具有一定的抑制作用,其中以 Y4 处理的抑制作用最大;统计分析表明,Y4 处理与对照及其他处理间放线菌数量均存在显著性差异。由图 3 还可以看出,同一 LaCl₃ 施用水平,放线菌数量均以第 45 d 时最大,然后随着时间的延长逐渐减少。由表 3 可知,La 对土壤放线菌的 EC₅₀ 值约为 879.378~957.706 mg·L⁻¹,且随时间延长而增大。

2.4 La 对土壤自生固氮菌的影响

由图 4 可以看出,土壤中自生固氮菌数量均以 CK 处理为最高,且随着 La 浓度的增加而减小;其中 Y4 处理固氮菌数量减少幅度为 53.26%~69.75%。通过对各时期不同 La 添加水平自生固氮菌数量的差异显著性分析表明,对照与 Y1 处理间自生固氮菌数量无显著性差异性,而对照与其他 3 个处理间(Y2、Y3

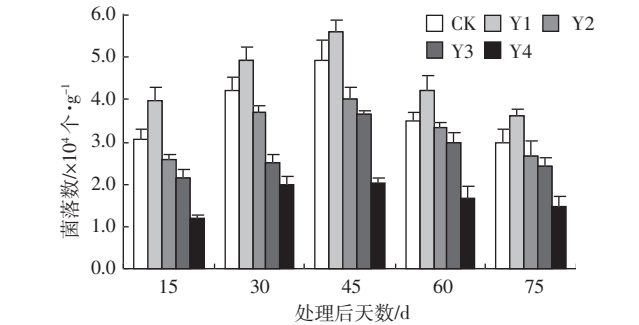


图 3 La 对牧草土壤放线菌的影响

Figure 3 Effects of La on soil actinomycetes with pastures

和 Y4)均存在显著性差异。就 La 对土壤自生固氮菌影响的时间效应而言,同一 La 浓度水平,土壤中自生固氮菌随着时间的延长而增加,其变化规律与真菌相似。由表 4 可知,La 对土壤中自生固氮菌的 EC₅₀ 值约为 825.330~902.446 mg·L⁻¹,且随时间延长而增大,说明 La 对土壤固氮菌的抑制作用随时间延长而减弱。

表 3 La 对土壤放线菌影响的参数

Table 3 Parameters of the effects of La on soil actinomycetes

处理后天数/d	方程	R ²	EC ₅₀ /mg·L ⁻¹
15	y=-0.032 1x ² +9.864 4x+33 055	0.821 0**	879.378
30	y=-0.027x ² -0.516 9x+45 032	0.878 4**	903.648
45	y=-0.038 1x ² +6.870 6x+51 339	0.886 3**	913.454
60	y=-0.041x ² +21.238x+36 182	0.886 3**	948.045
75	y=-0.028x ² +11.06x+31 271	0.805 4**	957.706

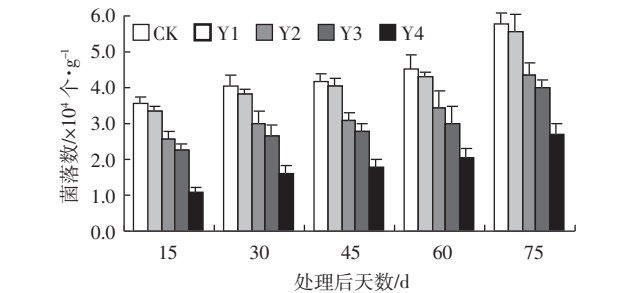


图 4 La 对牧草土壤自生固氮菌的影响

Figure 4 Effects of La on soil azotobacter with pastures

3 小结与讨论

土壤微生物是土壤亚生态系统的重要组成成分,它们在土壤的养分和物质循环、形成和发育、肥力维持与提高的过程中起着重要的作用,但其本身的群落结构与功能极易受土壤、水分、温度、植被、污染物质的影响^[9]。本试验结果表明,稀土元素 La 进入土壤后对土壤细菌、真菌、放线菌和自生固氮菌均有不同程度的影响。当 LaCl₃ 浓度水平<250 mg·L⁻¹ 时,La 对土壤放线菌和真菌均具有显著的刺激作用,而其对细菌具有抑制作用;当 LaCl₃ 浓度水平达到 500 mg·L⁻¹

表 4 La 对土壤自生固氮菌影响的参数				
Table 4 Parameters of the effects of La on soil azotobacter				
处理后天数/d	方程	R ²	EC ₅₀ /mg·L ⁻¹	
15	y=-0.017 3x ² -6.829 1x+35 515	0.951 4**	825.330	
30	y=-0.013 5x ² -10.745x+40 657	0.922 2**	861.006	
45	y=-0.012 3x ² -11.756x+42 245	0.925 8**	875.430	
60	y=-0.011 9x ² -13.18x+45 713	0.884 5**	886.375	
75	y=-0.014x ² -16.931x+58 481	0.914 2**	902.446	

时,La 对真菌仍具有刺激作用,说明高浓度 La 积累对土壤真菌产生持续的刺激作用,这与唐欣昀的研究结果一致^[8]。由此也得出,3 类微生物对 La 的敏感性顺序为:细菌>放线菌>真菌,这与文献^[8,11,12]的结果一致。本试验条件下,不同时期施 La 处理的土壤细菌的数量均低于对照;而 Chu HY 等^[13]研究发现,在 La<150 mg·kg⁻¹ 时土壤细菌数量增加,而后随施 La 水平的提高而减少,这除了与试验所用的植物宿主不同有关外,也有可能本试验选取的 La 的最低剂量偏高;当 LaCl₃ 浓度为 250 mg·L⁻¹ 时,La 对土壤中自生固氮菌均有抑制作用;而褚海燕等研究发现,当 La 浓度较低时,水稻盆栽土壤自生固氮菌数量有少量增加,当浓度>150 mg·kg⁻¹ 时,自生固氮菌数量则明显降低,最大降低幅度达到 40%^[7]。唐欣昀等研究也表明稀土积累至 150 mg·kg⁻¹ 时,土壤中各类微生物的种群结构亦发生显著的改变^[8]。因此,低剂量 La 对土壤微生物的影响将有待于进一步研究。

稀土进入土壤后,很容易被有机质及铁锰氧化物固定或转化,交换态显著减少,随着时间的延长,固定作用越来越明显。因此,稀土对土壤微生物的作用集中于进入土壤后的早期阶段,随着时间的延长有减少的趋势,最后逐渐进入平衡状态^[5]。本研究结果表明,圆叶决明盆栽土壤细菌、放线菌均随着时间的延长先增后减。土壤真菌虽然随时间延长而增加,但从不同处理间差异显著性变化的角度看:施 La 后 15、30、45、60 d,对照与 La 浓度为 250 mg·kg⁻¹ 处理间真菌数量均存在显著性差异;而施 La 后 75 d,对照与 LaCl₃ 浓度为 250 mg·L⁻¹ 处理间的差异均不显著。另外,La 对土壤真菌、放线菌和自生固氮菌的半抑制浓度 EC₅₀ 均随时间延长而增加,这些都说明了 La 对土壤微生物的作用随时间的延长有减弱的趋势。

参考文献:

[1] 竺伟民,张继榛,章力干,等. 稀土在土壤中运移数值模拟研究[J]. 中国稀土学报, 1996, 14(4): 341-345.
ZHU Wei-Min, ZHANG Ji-Zhen, ZHANG Li-Gan, et al. Numerical simulation of RE migration in soils[J]. *Journal of the Chinese Rare*

Earth Society, 1996, 14(4): 341-345.
[2] 何振立. 土壤微生物量及其在养分循环和环境质量评价中的意义[J]. 土壤, 1997, 29(2): 61-69.
HE Zhen-Li. Soil microbial biomass and its role in nutrient cycling and environment quality evaluation[J]. *Soils*, 1997, 29(2): 61-69.
[3] 唐欣昀, 张自立, 程 勇, 等. Ce 积累对黄褐土中土壤微生物区系的影响[J]. 应用生态学报, 1997, 8(6): 585- 588.
TANG Xin-yun, ZHANG Zi-li, CHENG Yong, et al. Effect of Ce accumulation on soil microflora in yellow cinnamon Soil[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 1997, 8(6): 585- 588.
[4] 王娟娟, 钱晓晴, 荆国芳, 等. 外源轻稀土对土壤微生物数量及 pH 的影响[J]. 江苏农业研究, 2001, 22(2): 29-32.
WANG Juan-juan, QIAN Xiao-qing, JING Guo-fang, et al. Effect of light rare earth on microbe number and pH of soil[J]. *Jiangsu Agricultural Research*, 2001, 22(2): 29-32.
[5] 周 峰, 陈 浮, 曹建华, 等. 外源稀土对土壤微生物特征的影响及时间效应[J]. 中国稀土学报, 2003, 21(5): 589-593.
ZHOU Feng, CHEN Fu, CAO Jian-hua, et al. Effects of rare earth elements on microbial characteristics and temporal availability in rice soft[J]. *Journal of The Chinese Rare Earth Society*, 2003, 21(5): 589- 593.
[6] 唐欣昀, 张自立, 周邦兵, 等. 镧积累对黄褐土中主要微生物类群数量的影响[J]. 中国稀土学报, 1998, 16(1): 61 -65.
TANG Xin-yun, ZHANG Zi-li, ZHOU Bang-bing, et al. Effect of lanthanum accumulation on quantity of major microorganism groups[J]. *Journal of The Chinese Rare Earth Society*, 1998, 16(1): 61 -65.
[7] 褚海燕, 李振高, 谢祖彬, 等. 稀土元素镧对红壤微生物区系的影响[J]. 环境科学, 2000, 21(6): 28-31.
CHU Hai-yan, LI Zhen-gao, XIE Zu-bin, et al. Effect of lanthanum on the microflora of red soil[J]. *Environmental Science*, 2000, 21(6): 28-31.
[8] 唐欣昀, 孙亦阳, 夏觅真, 等. 低剂量混合稀土积累对黄褐土微生物主要类群的生态效应[J]. 农业环境科学学报, 2005, 24(2): 279-284.
TANG Xin-yun, SUN Yi-yang, XIA Mi-zhen, et al. Ecological effects of low dosage mixed rare earth elements accumulation on major soil microbial groups in a yellow cinnamon soil[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2005, 24(2): 279-284.
[9] 许光辉, 郑洪元. 土壤微生物分析方法手册[M]. 北京: 农业出版社, 1986. 220-233.
XU Guang-hui, ZHENG Hong-yuan. Analysis Manual of Soil microbial [M]. Beijing: Agriculture Press, 1986. 220-233.
[10] 刘 文, 刘景辉, 李立军, 等. 城市垃圾粗堆肥对废沙坑地土壤微生物数量及作物产量的影响 [J]. 农业环境科学学报, 2006, 25(6): 1459-146.
LIU Wen, LIU Jing-hui, LI Li-jun, et al. Effects of urban refuse rude compost oil soil microbial numbers and crop yields of the scrap sand-pit[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2006, 25(6): 1459-146.
[11] 谢龙莲, 陈秋波, 王真辉, 等. 环境变化对土壤微生物的影响 [J]. 热带农业科学, 2004, 24(3): 39-47.
XIE Long-lian, CHEN Qiu-bo, WANG Zhen-hui, et al. A review of effects of soil environmental changes on soil microb[J]. *Chinese Journal of Tropical Agriculture*, 2004, 24(3): 39-47.
[12] Tang X Y, Zhang Z L, Zhou B B, et al. Effect of lanthanum on quantity of major microorganism groups in yellow cinnamon soil [J]. *J Rare Earths*, 1998, 16(3): 193.
[13] CHU H Y, WANG J H, XIE Z B, et al. Effect of lanthanum on major microbial populations in red soil[J]. *Pedosphere*, 2001, 11(1): 73-76.