

外源稀土镧对茶园土壤有机碳的影响

庞宇, 胡玉福*, 舒向阳, 蒋双龙, 江帆, 冯慧翎

(四川农业大学资源学院, 成都 611130)

摘要:为揭示外源稀土对土壤有机碳库和土壤生态环境的影响,通过土培实验,研究了不同浓度稀土元素镧(La)处理下,茶园土壤有机碳(SOC)及其活性组分易氧化有机碳(ROC)、水溶性有机碳(WSOC)和微生物量碳(MBC)含量的变化特征。结果表明:外源稀土元素 La 对茶园土壤有机碳及其活性组分具有显著的影响,随着处理浓度的增加,La 对 SOC、ROC 和 WSOC 的影响呈现出低促高抑的特征,而对 MBC 的抑制作用不断增强;随处理时间延长,各浓度 La 处理 SOC 和 MBC 含量总体呈下降趋势,而 ROC 和 WSOC 含量总体呈上升趋势。因此,MBC 可作为外源稀土元素对土壤有机碳影响监测和评价的敏感指标。

关键词:稀土元素;镧;茶园土壤;有机碳

中图分类号:S153.6 **文献标志码:**A **文章编号:**1672-2043(2015)12-2426-06 **doi:**10.11654/jaes.2015.12.024

Influence of Exogenous Lanthanum on Soil Organic Carbon in Tea Soil

PANG Yu, HU Yu-fu*, SHU Xiang-yang, JIANG Shuang-long, JIANG Fan, FENG Hui-ling

(College of Resources, Sichuan Agricultural University, Chengdu 611130, China)

Abstract: Rare earth elements have shown beneficial roles in plant growth, yields and quality. However, there is little information available about their effects on soil organic carbon(SOC), an important indicator of soil fertility and soil ecological quality. In this study, a pot experiment was carried out to examine the effects of exogenous lanthanum(La) on SOC and its active components, including readily oxidizable organic carbon(ROC), water-soluble organic carbon(WSOC) and microbial biomass carbon(MBC), in tea garden soil. Lanthanum had significantly effects on SOC and its active components. SOC, ROC and WSOC displayed a promotion at low concentrations but an inhibition at high concentrations, while the inhibitory effect of La on MBC constantly increased with increasing La concentrations. Extending La exposure decreased SOC and MBC content, while it tended to increase ROC and WSOC content. These findings show that MBC can be used as a sensitive index to monitor and evaluate the influence of exogenous rare earth elements on soil organic carbon.

Keywords: rare earth elements; lanthanum; tea garden soil; soil organic carbon

我国是世界上稀土储量最为丰富的国家之一^[1],自 20 世纪 70 年代以来,稀土肥料在我国农业生产中得到广泛应用^[2]。研究表明,适量的稀土元素对促进植物生长发育,提高作物产量和品质等方面具有显著的效果^[3-6]。但长期施用稀土微肥所引发的土壤生态环境风险受到了国内外学者的广泛关注^[7-11]。土壤有机碳(SOC)是土壤碳库中最活跃的部分,对陆地生态系统

碳平衡具有重要影响,也是表征土壤生物学特性、土壤肥力和土壤健康质量的重要指标^[12-13]。易氧化有机碳(ROC)、水溶性有机碳(WSOC)、微生物量碳(MBC)等土壤活性有机碳组分是土壤有机碳中最为活跃的部分^[13-14],其对土壤环境变化的响应更为快速和敏感^[16-18],可作为土壤生态环境变化的早期敏感指标^[19-20]。因此,探讨稀土元素进入土壤后,土壤有机碳及其活性组分的变化特征,对于揭示外源稀土对土壤有机碳库和土壤生态环境的影响具有重要意义。目前,关于外源稀土镧(La)对土壤氮、磷养分及酶活性影响的研究已多见报道,如褚海燕等^[21-22]通过盆栽实验研究了在红壤中外源稀土 La 对土壤氮、土壤磷的

收稿日期:2015-06-12

基金项目:四川省科技计划项目(2014SZ0159);四川省重点科技自筹项目(2011SZZ023)

作者简介:庞宇(1992—),男,四川绵阳人,研究生,主要研究方向为土壤学。E-mail:297439680@qq.com

* 通信作者:胡玉福 E-mail:66433119@qq.com

有效性以及酶活性的影响,鲁鹏等^[23]通过盆栽实验研究了在砂质黏壤土中外源稀土 La 对土壤氮磷养分的影响。但关于外源稀土对土壤有机碳及其活性组分影响的研究还未见报道。

茶树是我国主要的经济作物之一,长期以来,稀土肥料广泛应用于茶树种植以提高茶叶产量^[24]。近年来,我国已出现茶叶稀土含量超标的问题并引起了关注^[25],但对于外源稀土进入茶园土壤后带来的土壤环境风险还未引起足够的重视。La 是地壳中含量仅次于铈(Ce)的稀土元素,也是稀土农用最多的元素之一^[26]。本研究以茶园土壤为研究对象,通过土培实验研究了不同浓度 La 处理下,茶园土壤 SOC、ROC、WSOC 及 MBC 的变化特征,以期为稀土元素农用的土壤生态环境风险评估提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 供试土壤

供试土壤采自四川省雅安市名山县(103°11′~103°13′E,30°12′~30°14′N)蒙顶山植茶土壤,土壤类型为酸性紫色土,基本理化性质见表 1。采用美国热电公司 ICP-AES(IRIS In-trepid II)光谱仪测定供试土壤 La 含量为 41.28 mg·kg⁻¹。供试稀土为北京泛德辰科技有限公司生产的纯度为 99.9%的硝酸镧;供试盆钵为 20 cm×20 cm×15 cm 塑料盆。

表 1 供试土壤基本理化性质

Table 1 Physiochemical properties of soil

有机质 Organic matter/g·kg ⁻¹	pH	全量养分 Total nutrients/g·kg ⁻¹			速效养分 Available nutrients/mg·kg ⁻¹		
		N	P	K	N	P	K
38.06	4.13	1.73	0.74	12.38	78.37	16.79	48.52

1.2 实验方法

试验地位于四川农业大学成都校区(四川,温江 30°44′N,103°48′E),称取过 2 mm 筛的 2 kg 风干土样于塑料盆中,每盆加入不同浓度的 La(NO₃)₃ 溶液,并加入尿素使每盆土样中的 N 含量相同,将一定浓度 La 的水溶液与土壤充分搅拌,混匀,使土壤 La 浓度分别为 0、100、300、600、800、1000 mg·kg⁻¹,加入去离子水,调整土壤含水量为田间最大持水量的 60%,每隔 2~3 d,定期喷洒去离子水,用称重法保持 60% 的田间持水量。5 个浓度水平,另加 1 个空白对照(CK),共计 6 个处理,每个处理 3 个重复,共计 18 个培养样品。试验于 2014 年 5 月上旬开展,在 25℃ 恒

温恒湿状态下培养 56 d,分别在培养第 14、28、42、56 d 取样测定。

1.3 分析方法

土壤 SOC 含量采用重铬酸钾-浓硫酸外加热法测定^[27];土壤 ROC 含量采用 0.333 mol·L⁻¹ 的高锰酸钾氧化-比色法测定^[28];土壤 WSOC 含量采用重铬酸钾容量法-水合热法测定^[29];土壤 MBC 含量采用氯仿熏蒸-K₂SO₄ 提取法测定^[30-32]。

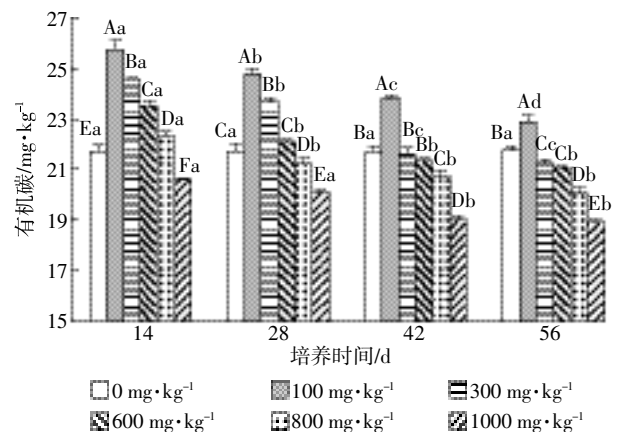
1.4 数据处理

运用 SPSS12.0 和 Excel2007 统计软件进行单因子方差分析,当 $P<0.05$ 时认为各处理数据差异显著。

2 结果与分析

2.1 外源稀土 La 对茶园紫色土 SOC 含量的影响

研究结果表明,实验第 14 d,各浓度 La 处理下茶园土壤 SOC 含量存在显著差异($P<0.05$),随着 La 处理浓度提高,SOC 含量呈先升后降的趋势(图 1)。在 100 mg·kg⁻¹ 浓度 La 处理下 SOC 含量达最大值,为 25.75 mg·kg⁻¹,相对于 CK 升高了 18.55%($P<0.05$);在 La 处理浓度为 1000 mg·kg⁻¹ 时,SOC 含量达最低值,为 20.58 mg·kg⁻¹,相对于 CK 降低了 5.25%($P<0.05$),说明 1000 mg·kg⁻¹ 浓度 La 处理对土壤 SOC 具有显著的抑制作用。在实验第 28、42、56 d,土壤 SOC 含量随 La 处理浓度的增加,呈现出与 14 d 相同的变化趋势,表明低浓度 La 处理对 SOC 含量具有显著促进作用



不同大写字母表示相同时间不同浓度之间差异显著;不同小写字母表示相同浓度不同时间之间差异显著。下同
Capital letters indicate differences in SOC content between different La concentrations at the same time, while lowercase letters indicate differences in SOC content between different times at the same La concentration. The same below

图 1 不同浓度 La 对茶园紫色土有机碳的影响

Figure 1 Effects of different concentrations of La on SOC in purple soil from tea garden

用,而高浓度 La 处理对 SOC 含量具有显著抑制作用 ($P<0.05$)。

随着培养时间的延长,各 La 处理浓度下茶园 SOC 含量呈逐步降低趋势,在实验第 56 d 含量达最低值,100、300、600、800、1000 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 处理较第 14 d 分别降低了 11.15%、13.55%、10.49%、9.96% 和 8.21%。可见随着培养时间的延长,La 对 SOC 含量刺激作用减弱,抑制作用增强。

2.2 外源稀土 La 对茶园紫色土 ROC 含量的影响

实验第 14 d,各浓度 La 处理下茶园紫色土 ROC 含量存在显著差异 ($P<0.05$),随着 La 处理浓度的提高,ROC 含量呈先增加后降低的趋势(图 2)。ROC 含量在 100 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 浓度 La 处理下达到最大值,为 14.48 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,相对于 CK 升高了 1.83% ($P<0.05$);当 La 浓度为 1000 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 时,ROC 含量达最低值,为 10.12 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,相对于 CK 降低了 28.83%,说明 1000 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ La 处理对 ROC 具有显著的抑制作用。在实验第 28、42 d 和 56 d,ROC 含量均在 100 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 浓度 La 处理下达到最大值,相对于 CK 分别升高了 8.14%、5.64% 和 2.01%。300 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ La 处理下,ROC 含量在培养第 56 d 显著低于 CK。其余各浓度处理下,在实验第 28、42 d 和 56 d,ROC 含量均显著低于 CK。这表明,低浓度 La 处理对 ROC 含量具有显著促进作用,而高浓度 La 处理对 ROC 含量具有显著抑制作用。

随着培养时间的延长,各 La 处理浓度下茶园土壤 ROC 整体呈先升后降的趋势,在实验第 28 d,ROC 相对于第 14 d 分别提高了 8.29%、9.61%、13.72%、25.38% 和 12.55%,在实验第 56 d,较第 14 d 分别提

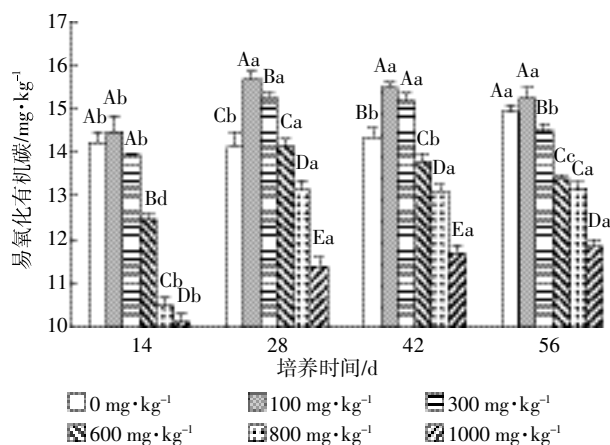


图2 不同浓度 La 对茶园紫色土易氧化有机碳的影响

Figure 2 Effects of different concentrations of La on ROC content in purple soil from tea garden

高了 5.18%、3.95%、7.38%、25.67% 和 17.00%。可见随着培养时间的延长,各 La 处理对 ROC 的刺激作用减弱,抑制作用增强。

2.3 外源稀土 La 对茶园紫色土 WSOC 含量的影响

实验第 14 d,各浓度 La 处理下茶园土壤 WSOC 含量存在显著差异 ($P<0.05$),随着 La 浓度的提高,WSOC 含量呈现先增加后降低的趋势(图 3)。在 100 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 浓度 La 处理下 WSOC 达最大值,为 49.32 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,相对于 CK 升高了 2.54%,在 La 处理浓度为 1000 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 时,WSOC 含量达最低值,为 31.2 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,相对于 CK 降低了 35.14%。这表明,低浓度 La 处理对 WSOC 含量具有显著促进作用,而高浓度 La 处理对 WSOC 含量具有显著抑制作用。

随着培养时间的延长,各 La 处理浓度下茶园土壤 WSOC 含量均呈上升趋势,并均在实验第 56 d 达到最大值,较实验第 14 d 分别上升了 20.15%、26.40%、19.12%、11.49% 和 1.25%。表明随着培养时间的延长,各浓度 La 处理对 WSOC 含量的刺激作用增强,抑制作用减弱。

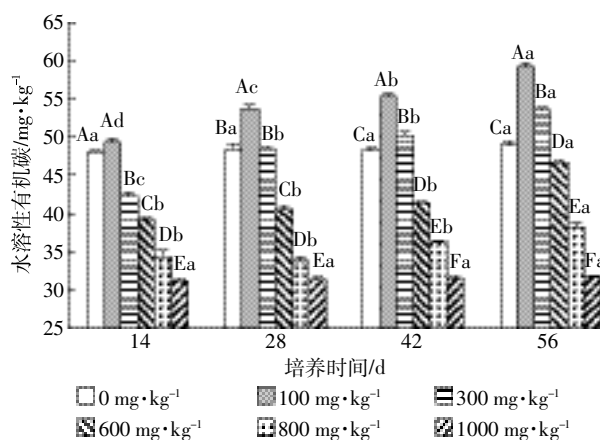


图3 不同浓度 La 对茶园紫色土水溶性有机碳的影响

Figure 3 Effects of different concentrations of La on WSOC in purple soil from tea garden

2.4 外源稀土 La 对茶园紫色土 MBC 含量的影响

实验第 14 d,各浓度 La 处理下茶园土壤 MBC 含量存在显著差异 ($P<0.05$),随着 La 浓度的提高,MBC 含量呈降低的趋势(图 4)。在 100 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 浓度 La 处理下 MBC 含量为 101.54 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,较 CK 降低了 12.00% ($P<0.05$);在 La 处理浓度为 1000 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 时 MBC 含量达最小值,为 83.72 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,较 CK 降低了 27.44%。表明随着 La 浓度升高,La 对 MBC 的抑制作用增强。

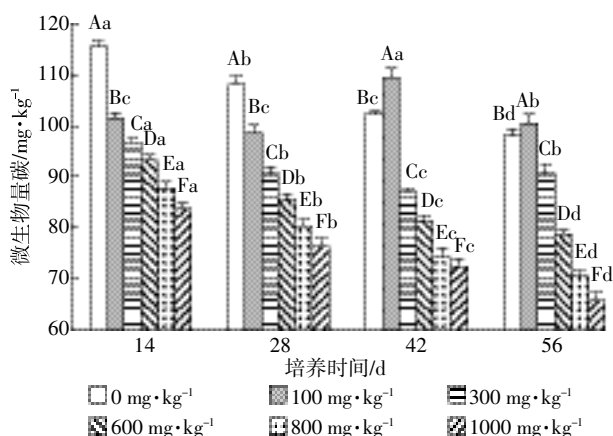


图 4 不同浓度 La 对茶园紫色土微生物量碳的影响

Figure 4 Effects of different concentrations of La on MBC in purple soil from tea garden

随着培养时间的延长,除 $100 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 浓度 La 处理下对 MBC 有少量刺激作用,在实验第 42 d 和 56 d 较 CK 分别上升 7.05% 和 2.60% 外,其余各处理浓度 La 在培养期内均对 MBC 含量呈现抑制作用。在 600、800、1000 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ La 浓度处理下对 MBC 的抑制作用逐步增强,均在培养第 56 d 达到最小值。这说明随着培养时间的增加,低浓度 La 处理表现出对生物量碳具有少量的刺激作用,而高浓度 La 处理下抑制作用不断增强。

3 讨论

土壤有机碳、氮是表征土壤生物特性的重要指标,其转化与迁移又直接影响到温室气体的组成与含量,对生态系统碳氮平衡具有重要影响。目前关于外源稀土元素对土壤氮影响的研究已见报道,如鲁鹏等^[23]的盆栽实验研究表明,低浓度稀土元素可促进砂质黏壤土土壤有效氮含量,而高浓度稀土元素则抑制土壤有效氮,且随着处理浓度增加,土壤有效氮含量明显降低;褚海燕等^[21]盆栽实验研究表明,外源稀土 La 积累会降低红壤氮的有效性,且有效氮含量随着 La 处理浓度的增加而减少。但目前关于外源稀土对土壤有机碳及其活性组分影响的研究还鲜见报道,仅见褚海燕等^[33]关于土壤微生物量碳的研究报道,其通过盆栽实验研究指出,外源稀土 La 对红壤 MBC 具有显著的抑制作用,且随着浓度的增加,抑制作用呈现不断增强的趋势。本文研究结果表明,外源稀土元素 La 对茶园土壤有机碳具有显著影响,随着 La 处理浓度的增加,SOC、ROC 和 WSOC 含量呈现出先增加后下降的趋势。这与鲁鹏等和褚海燕等关于土壤有效

氮的研究结果基本一致,说明低浓度外源稀土 La 对土壤有机碳具有明显促进作用,而高浓度的外源稀土元素 La 对土壤有机碳具有明显抑制作用。其原因是外源稀土进入土壤生态系统影响并改变了土壤理化性质^[7,34],进而影响土壤有机碳。鲁鹏等^[23]研究表明,稀土对土壤中养分及离子均存在影响,褚海燕等^[33]研究表明稀土进入土壤后会导致土壤 pH 降低。另一方面,过量的外源稀土元素进入土壤可能对土壤微生物具有毒害作用,降低了土壤微生物量及其活性,进而导致微生物量碳和土壤有机碳的减少^[35]。有研究指出,大剂量稀土进入土壤后会抑制土壤微生物的生长^[36]。本研究表明,外源稀土元素镧对土壤微生物量碳具有显著的抑制作用,且随着处理浓度的增加抑制作用不断增强,与褚海燕等关于土壤微生物量碳的研究结果一致。这正好说明外源稀土元素对土壤微生物具有毒害作用,进而导致微生物量碳的减少,也说明土壤微生物对外源稀土是比较敏感的。本研究结果初步表明,微生物量碳可作为外源稀土元素对土壤有机碳影响监测和评价的敏感指标。

4 结论

随着处理浓度的增加,La 对 SOC、ROC 和 WSOC 含量的影响呈现出低促高抑的趋势,而对 MBC 含量的抑制作用不断增强。随处理时间延长,各浓度 La 处理明显降低 SOC 和 MBC 含量,同时增加 ROC 和 WSOC 含量,说明低浓度的外源稀土元素 La 对土壤有机碳具有明显促进作用,而高浓度具有明显抑制作用。研究结果初步表明,MBC 可作为外源稀土对土壤有机碳影响监测和评价的敏感指标。

参考文献:

- [1] 金妹兰,黄益宗. 稀土元素对农田生态系统的影响研究进展[J]. 生态学报, 2013, 33(16):4836-4845.
JIN Shu-lan, HUANG Yi-zong. A review on rare earth elements in farmland ecosystem[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2013, 33(16):4836-4845.
- [2] 竺伟民,陈祖义. 稀土在土壤中运移数值模拟研究[J]. 中国稀土学报, 1996, 14(4):341-346.
ZHU Wei-min, CHEN Zu-yi. Numerical simulation RE migration in soils[J]. *Journal of the Chinese Rare Earth Society*, 1996, 14(4):341-346.
- [3] 杜宇,王应军,武阳,等. 镧胁迫对蚯蚓几种重要酶活性的影响[J]. 中国稀土学报, 2014, 32(1):84-93.
DU Yu, WANG Ying-jun, WU Yang, et al. Effects of lanthanum on several important enzyme activities of earthworm [J]. *Journal of the*

- Chinese Rare Earth Society*, 2014, 32(1):84–93.
- [4] Xu X, Zhu W, Wang Z, et al. Distributions of rare earths and heavy metals in field-grown maize after application of rare earth-containing fertilizer[J]. *Science of the Total Environment*, 2002, 293(1):97–105.
- [5] Fang J, Wen B, Shan X Q, et al. Evaluation of bioavailability of light rare earth elements to wheat (*Triticum aestivum* L.) under field conditions[J]. *Geoderma*, 2007, 141(1):53–59.
- [6] Tyler G. Rare earth elements in soil and plant systems: A review[J]. *Plant and Soil*, 2004, 267(1/2):191–206.
- [7] 丁士明, 梁涛, 张自立, 等. 稀土对土壤的生态效应研究进展[J]. 土壤, 2004, 36(2):157–163.
- DING Shi-ming, LIANG Tao, ZHANG Zi-li, et al. Advances of ecological effect of rare earths on soil[J]. *Soils*, 2004, 36(2):157–163.
- [8] Brown P, Rathjen A, Graham R, et al. Rare earth elements in biological systems[J]. *Handbook on the Physics and Chemistry of Rare Earths*, 1990(13):423–452.
- [9] Alonso E, Sherman A M, Wallington T J, et al. Evaluating rare earth element availability: A case with revolutionary demand from clean technologies[J]. *Environmental Science & Technology*, 2012, 46(6):3406–3414.
- [10] Zhang L, Zhou Q, Liu J, et al. Phosphate adsorption on lanthanum hydroxide-doped activated carbon fiber[J]. *Chemical Engineering Journal*, 2012, 185:160–167.
- [11] Wang Z, Zhang X, Mu Y. Effects of rare-earth fertilizers on the emission of nitrous oxide from agricultural soils in China[J]. *Atmospheric Environment*, 2008, 42(16):3882–3887.
- [12] 苏永中, 赵哈林. 土壤有机碳储量, 影响因素及其环境效应的研究进展[J]. 中国沙漠, 2002, 22(3):220–228.
- SU Yong-zhong, ZHAO Ha-lin. Advances in researches on soil organic carbon storages, affecting factors and its environmental effects[J]. *Journal of Desert Research*, 2002, 22(3):220–228.
- [13] Lal R. Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security[J]. *Science*, 2004, 304(5677):1623–1627.
- [14] Belay-Tedla A, Zhou X, Su B, et al. Labile, recalcitrant, and microbial carbon and nitrogen pools of a tallgrass prairie soil in the US Great Plains subjected to experimental warming and clipping[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2009, 41(1):110–116.
- [15] Chen Y, Zhang X, He H, et al. Carbon and nitrogen pools in different aggregates of a Chinese Mollisol as influenced by long-term fertilization[J]. *Journal of Soils and Sediments*, 2010, 10(6):1018–1026.
- [16] Karlen D L, Rosek M J, Gardner J C, et al. Conservation reserve program effects on soil quality indicators[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 1999, 54(1):439–444.
- [17] Saviozzi A, Levi-Minzi R, Cardelli R, et al. A comparison of soil quality in adjacent cultivated, forest and native grassland soils[J]. *Plant and Soil*, 2001, 233(2):251–259.
- [18] 沈宏, 曹志洪, 胡正义. 土壤活性有机碳的表征及其生态效应[J]. 生态学杂志, 1999, 18(3):32–38.
- SHEN Hong, CAO Zhi-hong, HU Zheng-yi. Characteristics and ecological effects of the active organic carbon in soil[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 1999, 18(3):32–38.
- [19] Conteh A, Blair G J, Macleod D A, et al. Soil organic carbon changes in cracking clay soils under cotton production as studied by carbon fractionation[J]. *Australian Journal of Agricultural Research*, 1997, 48(7):1049–1058.
- [20] Yan D, Wang D, Yang L. Long-term effect of chemical fertilizer, straw, and manure on labile organic matter fractions in a paddy soil[J]. *Biology and Fertility of Soils*, 2007, 44(1):93–101.
- [21] 褚海燕, 朱建国, 谢祖彬, 等. 镧积累对红壤有效养分的影响[J]. 农村生态环境, 2000, 16(4):33–35.
- CHU Hai-yan, ZHU Jian-guo, XIE Zu-bin, et al. Effect of lanthanum accumulation on availability of soil nutrients in red soil[J]. *Rural Eco-Environment*, 2000, 16(4):33–35.
- [22] 褚海燕, 朱建国. 稀土元素镧对红壤脲酶、酸性磷酸酶活性的影响[J]. 农业环境科学学报, 2000, 19(4):193–195.
- CHU Hai-yan, ZHU Jian-guo. Effects of lanthanum on urease and acid phosphatase activities in red soil[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2000, 19(4):193–195.
- [23] 鲁鹏, 刘定芳, 马梅, 等. 外源稀土微肥对土壤氮磷养分的影响[J]. 环境科学学报, 1999, 19(5):532–535.
- LU Peng, LIU Ding-fang, MA Mei, et al. Effect of REE-fertilizer on soil nitrogen and phosphorus[J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 1999, 19(5):532–535.
- [24] 汪东风, 王常红. 稀土在茶树上应用研究进展[J]. 稀土, 1996, 17(4):46–50.
- WANG Dong-feng, WANG Chang-hong. Progress in application study of rare earths to tea plants[J]. *Rare Earths*, 1996, 17(4):46–50.
- [25] Pengbo N, Chunmei G, Zhang Y, et al. La, Ce, Pr, Nd and Sm concentrations in Pu'er tea of Yunnan, China[J]. *Journal of Rare Earths*, 2010, 28(4):636–640.
- [26] 胡玉福, 舒向阳, 马可雅, 等. 外源镧对茶园紫色土酶活性的影响[J]. 中国稀土学报, 2015, 33(2):223–230.
- HU Yu-fu, SHU Xiang-yang, MA Ke-ya, et al. Effects of exogenous lanthanum on enzyme activity in tea garden purple soil[J]. *Journal of Chinese Society of Rare Earths*, 2015, 33(2):223–230.
- [27] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000:30–34.
- BAO Shi-dan. Soil agricultural chemical analysis[M]. Beijing: Agricultural Press China, 2000:30–34.
- [28] 沈宏, 曹志洪, 徐志红. 施肥对土壤不同碳形态及碳库管理指数的影响[J]. 土壤学报, 2000, 37(2):166–173.
- SHEN Hong, CAO Zhi-hong, XU Zhi-hong. Effects of fertilization on different carbon pool management index in soils[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2000, 37(2):166–173.
- [29] 王明慧, 王国兵, 阮宏华, 等. 苏北沿海不同土地利用方式土壤水溶性有机碳含量特征[J]. 生态学杂志, 2012, 31(5):1165–1170.
- WANG Ming-hui, WANG Guo-bing, RUAN Hong-hua, et al. Characteristics of soil water-soluble organic carbon under four different land use patterns in coastal area of Northern Jiangsu[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2012, 31(5):1165–1170.
- [30] Wu J, Joergensen R G, Pommerening B, et al. Measurement of soil microbial biomass C by fumigation-extraction: An automated procedure[J]. *Soil Biology & Biochemistry*, 1990, 22(8):1167–1169.

- [31] Brookes P C, Landman A, Pruden G, et al. Chloroform fumigation and the release of soil nitrogen: A rapid direct extraction method to measure microbial biomass nitrogen in soil[J]. *Soil Biology & Biochemistry*, 1985, 17(85):837-842.
- [32] 俞 慎, 李振高. 薰蒸提取法测定土壤微生物量研究进展[J]. 土壤学进展, 1994, 22(6):42-50.
YU Shen, LI Zhen-gao. Fumigation extraction method of determination of soil microbial research progress[J]. *Progress in Soil Science*, 1994, 22(6):42-50.
- [33] 褚海燕, 曹志洪, 谢祖彬, 等. 镧对红壤微生物量碳氮及其呼吸强度的影响[J]. 中国稀土学报, 2001, 19(2):158-161.
CHU Hai-yan, CAO Zhi-hong, XIE Zu-bin, et al. Effects of lanthanum on microbial biomass carbon, nitrogen and respiration in red soil[J]. *Journal of the Chinese Rare Earth Society*, 2001, 19(2):158-161.
- [34] Chu H Y, Zhu J G, Xie Z B, et al. Effects of lanthanum on dehydrogenase activity and carbon dioxide evolution in a Haplic Acrisol[J]. *Soil Research*, 2003, 41(4):731-739.
- [35] 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 micro flora of red soil[J]. *Environmental Science*, 2000, 21(6):28-31.
- [36] 金姝兰, 黄益宗. 土壤中稀土元素的生态毒性研究进展[J]. 生态毒理学, 2014, 9(2):213-223.
JIN Shu-lan, HUANG Yi-zong. A review on ecological toxicity of rare earth elements in soil[J]. *Asian Journal of Ecotoxicology*, 2014, 9(2):213-223.

欢迎订阅 2016 年《农业资源与环境学报》

《农业资源与环境学报》(原《农业环境与发展》)创刊于 1984 年,由农业部主管、农业部环境保护科研监测所与中国农业生态环境保护协会联合主办的国家级学术期刊,被评为中国科技核心期刊、天津市优秀期刊。本刊被美国乌利希期刊指南、化学文摘(CA)、国际农业与生物科学中心(CABI)、EBSCO、中国学术文摘数据库核心版(CSAD)等重要数据库收录。

作为与一级学科“农业资源与环境”对应的学报,《农业资源与环境学报》(Journal of Agricultural Resources and Environment)主要刊登土壤、水、养分及生物质等自然资源的高效利用及生态环境保护方面的研究论文。所设栏目:

- | | |
|---------|--------------|
| 一、战略与综述 | 六、产地环境与农产品安全 |
| 二、土地资源 | 七、生态农业 |
| 三、养分资源 | 八、生物多样性保护 |
| 四、水资源 | 九、乡村环境 |
| 五、生物质资源 | 十、检测分析方法 |

《农业资源与环境学报》为双月刊,大 16 开,96 页,逢单月 10 日出版,每册定价 30.00 元,全年 180.00 元。国际标准刊号:ISSN 2095-6819,国内统一刊号:CN 12-1437/S,国内外公开发行,各地邮电局(所)均可订阅,邮发代号:6-40,国外发行代号:BM3272。有漏订者可直接与编辑部联系订阅。

编辑部地址:天津市南开区复康路 31 号

邮政编码:300191

电话:022-23611149

传真:022-23674336

电子信箱:caed@vip.163.com

网址:www.aed.org.cn

银行:中国农业银行天津滨水西道支行

户名:农业部环境保护科研监测所

帐号:02-190101040001154

纳税人识别号:120104401229113