

余小兰, 杨福锁, 周 丹, 等. 钙镁磷肥对水稻土和砖红壤土壤化学性状的动态影响[J]. 江苏农业学报, 2018, 34(5): 1042-1047.
doi:10.3969/j.issn.1000-4440.2018.05.011

钙镁磷肥对水稻土和砖红壤土壤化学性状的动态影响

余小兰¹, 杨福锁², 周 丹³, 刘 琴³, 戚志强⁴, 李晓亮⁴

(1. 中国热带农业科学院环境与植物保护研究所, 海南 海口 571101; 2. 云南云天化农资连锁有限公司, 云南 昆明 650228; 3. 海南大学热带农林学院, 海南 儋州 571700; 4. 中国热带农业科学院热带作物品种资源研究所, 海南 儋州 571700;)

摘要: 研究添加钙镁磷肥对土壤理化性状的动态影响, 从侧面反映其转化过程, 为生产应用提供理论依据。采用土壤培养方法, 以酸性砖红壤和水稻土为材料, 分别按每 1 kg 干土添加 0 mg、50 mg、100 mg P_2O_5 的量加入钙镁磷肥, 置于 22 ℃ 培养 10 d、30 d、60 d、120 d 后取样, 分析土壤 pH、有效磷、碱解氮、有机质和有效钾的动态变化, 研究钙镁磷肥对土壤理化性状的影响, 从侧面反映钙镁磷肥的转化规律。结果表明, 土壤 pH 和碳酸氢钠提取的有效磷含量随培养时间的延长显著提高, 碱解氮在培养 60 d 后开始快速提高。土壤有机质除了在培养 30 d 时略微降低外, 其他培养时间之间无显著差异。钙镁磷肥添加量和培养时间均对土壤有效钾含量无显著影响。因此, 在南方酸性土壤中施用钙镁磷肥, 可逐渐提高土壤 pH 和有效磷含量, 有利于改善土壤质量, 提高磷肥利用率。

关键词: 钙镁磷肥; 酸性土壤; 水稻土; 砖红壤; 化学性状

中图分类号: S153 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4440(2018)05-1042-06

Dynamic effect of calcium-magnesia phosphate fertilizer on chemical properties of paddy soil and laterite

YU Xiao-lan¹, YANG Fu-suo², ZHOU Dan³, LIU Qin³, QI Zhi-qiang⁴, LI Xiao-liang⁴

(1. Environment and Plant Protection Institute, Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences, Haikou 571101, China; 2. Yunnan Yuntianhua Agriculture Materials Chain Co. Ltd., Kunming 650228, China; 3. Institute of Tropical Agriculture and Forestry, Hainan University, Danzhou 571700, China; 4. Tropical Crops Genetic Resources Institute, Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences, Danzhou 571700, China)

Abstract: The dynamic effect of calcium-magnesia phosphate fertilizer on chemical properties of soil was studied, which could reflect transformation process of calcium-magnesia phosphate fertilizer and provide theoretical basis for its application in the field. The soil cultivation method was adopted in the study. Acid laterite and paddy soil were used as the experimental materials, calcium-magnesia phosphate fertilizer with the doses of 0 mg, 50 mg, 100 mg P_2O_5 per kilogram dry soil was added to the soil, respectively. And then homogenized soils were sampled after culturing at 22 ℃ for 10 d, 30 d, 60 d and 120 d. The dynamic variation of soil pH, available phosphorus (P), available nitrogen (N), organic matter and available potassium (K) was analyzed to explore the effect of calcium-magnesia phosphate fertilizer on soil physical and

chemical properties. The results showed that soil pH and available P extracted by $NaHCO_3$ significantly increased with the prolongation of culture time, while available N increased after culturing for 60 d. Soil organic matter decreased slightly after culturing for 30 d, and there was no significant difference among other culture time. Addition of calcium-magnesia phosphate fertilizer and culture time had no significant effect on the content of soil available K. In

收稿日期: 2018-05-16

基金项目: 中国热带农业科学院基本科研业务费专项(1630042018005、pzsyl-201818、1630032017028)

作者简介: 余小兰(1985-), 女, 广西桂林人, 硕士, 研究实习员, 研究方向为废弃物综合利用。(E-mail) 2005myschool@163.com

通讯作者: 李晓亮, (E-mail) xlli199777@163.com

conclusion, the application of calcium-magnesia phosphate fertilizer in acid soils in south China could gradually improve soil pH and available P content, which was beneficial to improve soil quality and increase the utilization efficiency of phosphatic fertilizer.

Key words: calcium-magnesia phosphate fertilizer; acid soil; paddy soil; laterite; chemical properties

磷是植物生长发育的必要元素。近年来,中国农业生产中的磷肥投入急剧增加,各种磷肥、磷复肥实物产量 5.127×10^7 t, P_2O_5 1.795×10^7 t^[1],其中水溶性磷肥达到 99.1%,枸溶性磷肥(钙镁磷肥)仅占 0.9%^[2]。然而,中国南方土壤以酸性为主,水溶性磷肥易与土壤中丰富的铁、铝结合,并转化为难溶性磷,导致磷的利用率下降^[3-5]。近年来南方蔬菜产业快速发展,2013 年的栽培面积达 1.20×10^7 hm²,远超北方的 9.02×10^6 hm²^[6]。由于科学施肥技术普及程度不高,农民过量施肥和不合理施肥的现象非常普遍,例如,福建省叶菜类蔬菜土壤有效磷高产临界指标为 52 mg/kg,而 81.3%的菜田土壤超过这个临界指标^[7]。因此,土壤有效磷过量积累,造成资源浪费和环境污染^[8],如何提高磷肥利用效率是南方土壤面临的重要问题。

钙镁磷肥是碱性枸溶性磷肥,肥效平缓,磷素利用率高,同时可以提高土壤 pH 以及钙、镁等南方土壤普遍缺乏的营养元素含量^[9],具有较大应用潜力。然而,目前的研究主要关注施用钙镁磷肥对作物收获后土壤理化性状的影响,对其在土壤中的转化规律仍不清楚,无法将钙镁磷肥养分释放规律与作物需肥规律匹配,限制了其在南方农业生产中的应用。因此,本研究以南方酸性水稻土和旱地砖红壤为材料,采用土壤培养的方法,研究添加钙镁磷肥对土壤理化性状的动态影响,从侧面反映其转化过程,为钙镁磷肥生产应用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料

砖红壤和水稻土分别采自位于海南省的中国热

带农业科学院五队和二队试验基地,基本理化性状详见表 1。钙镁磷肥中的 P_2O_5 含量为 10%。

1.2 试验设计

本试验采用砖红壤和水稻土为供试土壤。土壤风干后过 2 mm 筛,分别按每 1 kg 干土添加 0 mg、50 mg、100 mg P_2O_5 的添加量加入钙镁磷肥。取 300 g 拌匀的土壤装入玻璃瓶中,每种土壤的每个磷水平分别装 16 瓶,共计 96 瓶。向瓶中加入去离子水至其最大持水量的 70%,用封口膜封口,置于 22 ℃ 培养,分别在 10 d、30 d、60 d、120 d 取样。每个处理每次取 4 瓶,将土壤样品风干,用于测定土壤养分。

1.3 样品分析

土壤 pH 测定采用土水比为 1:10 (质量体积比)进行测定;使用重铬酸钾外加热法测定土壤有机质含量;使用碱解扩散法测定土壤碱解氮;使用乙酸铵提取土壤,用火焰光度计测定有效钾含量;由于氟化铵提取剂会将钙镁磷肥中的枸溶性磷溶解,不能反映土壤中有效磷的变化动态,因此本研究分别使用碳酸氢钠 (AP- $NaHCO_3$) 和氟化铵-盐酸 (AP- NH_4F) 提取土壤,并用钼蓝比色法测定土壤有效磷含量^[10]。

1.4 数据处理

在 SPSS 18.0 中使用 One-way ANOVA 分析各采样时期的土壤理化性状,采用 Tukey's HSD 进行多重比较,使用 Two-way ANOVA 分析采样时期、磷水平及其交互效应对土壤理化性状的影响。

表 1 供试土壤基本性质

Table 1 Basic properties of the tested soils

土壤类型	pH	有机质 (g/kg)	碱解氮 (mg/kg)	有效钾 (mg/kg)	有效磷 (AP- NH_4F) (mg/kg)	有效磷 (AP- $NaHCO_3$) (mg/kg)
水稻土	5.81	28.62	143.25	382.30	53.20	23.41
砖红壤	5.67	8.83	86.23	51.60	1.43	6.24

2 结果与分析

2.1 添加钙镁磷肥对土壤理化性状的影响

由表 2 可知,添加钙镁磷肥显著影响水稻土土壤 pH、碱解氮、有效磷和有机质的含量,培养时间显著影响土壤 pH、碱解氮、AP-NaHCO₃ 和有机质,二者

的交互效应显著影响 pH、碱解氮和 AP-NaHCO₃。对于砖红壤,添加钙镁磷肥对土壤理化性状的影响与水稻土一致,培养时间显著影响土壤 pH、碱解氮和 AP-NaHCO₃,二者交互效应显著影响 pH、碱解氮和有效磷。

表 2 磷添加量和共培养时间对土壤理化性状影响的二维方差分析

Table 2 Two-way ANOVA results of soil physical and chemical properties affected by level of added phosphorus and cultivation time

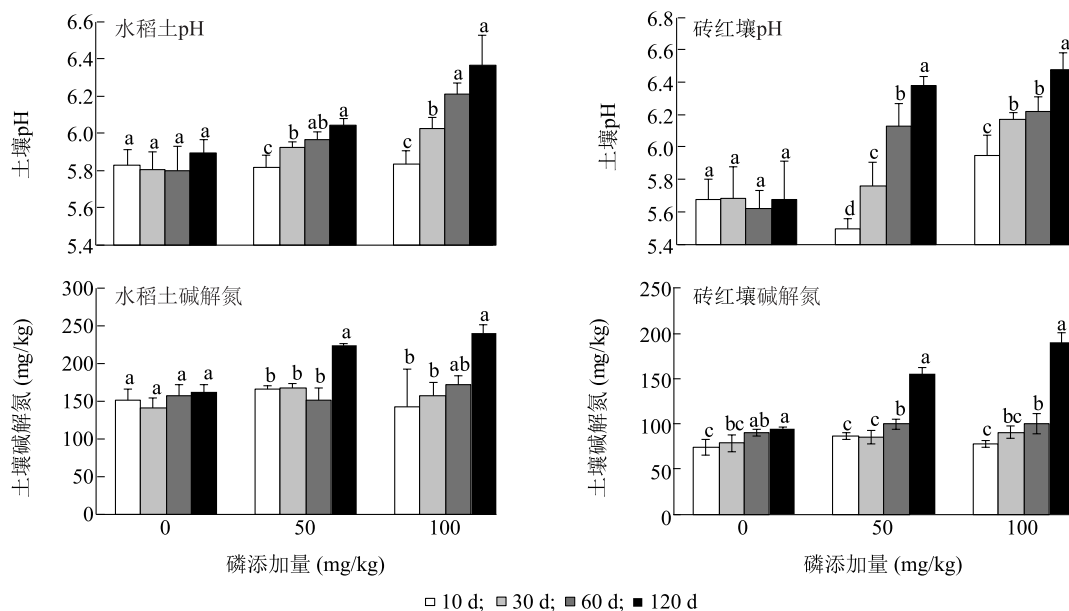
土壤类型	指标	pH	碱解氮	有效磷 (AP-NH ₄ F)	有效磷 (AP-NaHCO ₃)	有机质	速效钾
水稻土	培养时间 (CT)	<0.001	<0.001	NS	<0.001	0.004	NS
	磷水平 (PL)	<0.001	0.001	<0.001	<0.001	0.004	NS
	培养时间×磷水平 CT×PL	<0.001	<0.001	NS	<0.001	NS	NS
砖红壤	培养时间 (CT)	<0.001	<0.001	NS	<0.001	NS	NS
	磷水平 (PL)	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.001	NS
	培养时间×磷水平 CT×PL	<0.001	<0.001	0.034	<0.001	NS	NS

表中数值为显著性水平, $P < 0.01$ 为极显著, $P < 0.05$ 为显著, $P > 0.05$ 为不显著,并以 NS 表示。

2.2 土壤 pH 和碱解氮的动态变化

总体来说,随培养时间的延长,50 mg/kg 和 100 mg/kg 添加量对 2 种土壤的理化性状的影响趋势一致,但 100 mg/kg 处理对各项指标的影响更加明显。对于水稻土,50 mg/kg 和 100 mg/kg 处理,土壤 pH 随着培养时间的延长逐渐升高,从培养前的 5.81 逐

渐上升到 6.36 (图 1)。碱解氮在前 30 d 无明显变化,60 d 后开始显著提升,分别达到 223.0 mg/kg 和 240.0 mg/kg (图 1)。对于砖红壤,土壤 pH 从培养前的 5.67 分别上升到 6.38 和 6.48 (图 1),碱解氮分别提高到 156.0 mg/kg 和 189.7 mg/kg (图 1)。



在每个磷添加量处理中,分别对不同培养时间之间的 pH 和碱解氮进行多重比较,不同字母表示相同磷添加量处理中不同时期有显著差异 ($P < 0.05$)。

图 1 添加不同量钙镁磷肥后,土壤 pH 和碱解氮随培养时间的变化

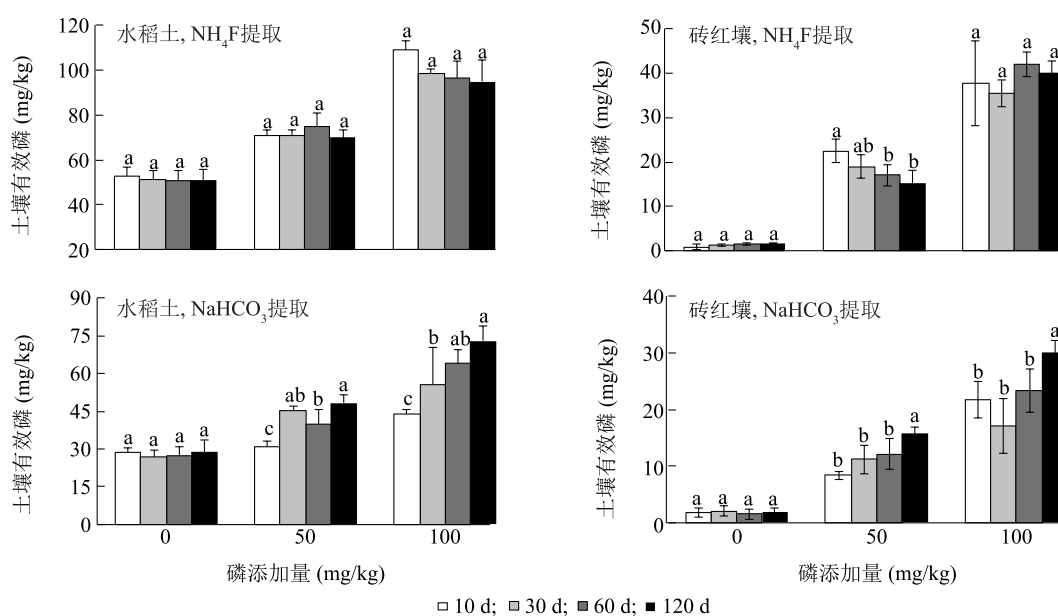
Fig.1 Variation of soil pH and available nitrogen with changes of cultivation time after adding different amounts of calcium-magnesia phosphate fertilizer

2.3 土壤有效磷的动态变化

由于氟化铵浸提剂会将钙镁磷肥中的枸溶性磷溶解,不能反映土壤中有效磷的变化动态,因此本研究同时采用 NaHCO_3 提取剂测定土壤有效磷。对于水稻土,在各种磷添加量下, $\text{AP-NH}_4\text{F}$ 在不同培养时间之间均无显著差异(图2)。对于砖红壤,随培养时间的延长,不添加钙镁磷肥和 100 mg/kg 处理在各培养时期之间 $\text{AP-NH}_4\text{F}$ 无显著变化, 50 mg/kg 处理中

$\text{AP-NH}_4\text{F}$ 随培养时间的延长显著下降(图2)。

添加钙镁磷肥后,水稻土和砖红壤中的 AP-NaHCO_3 均随培养时间的延长显著提升,而不添加处理则无明显的变化规律。培养 120 d 后, 50 mg/kg 和 100 mg/kg 处理的水稻土中 AP-NaHCO_3 分别比不添加处理提升了 19.46 mg/kg 和 44.08 mg/kg (图2),砖红壤中 AP-NaHCO_3 分别提升了 14.07 mg/kg 和 28.37 mg/kg (图2)。



在每个磷添加量处理中,分别对不同培养时间之间的氟化铵提取有效磷和碳酸氢钠提取有效磷含量进行多重比较,不同字母表示相同磷添加量处理中不同时期有显著差异($P < 0.05$)。

图2 添加不同量钙镁磷肥后,氟化铵和碳酸氢钠提取的土壤有效磷随培养时间的变化

Fig.2 Variation of soil available phosphorus extracted by using NH_4F and soil NaHCO_3 with changes of cultivation time after adding different amounts of calcium-magnesium phosphate fertilizer

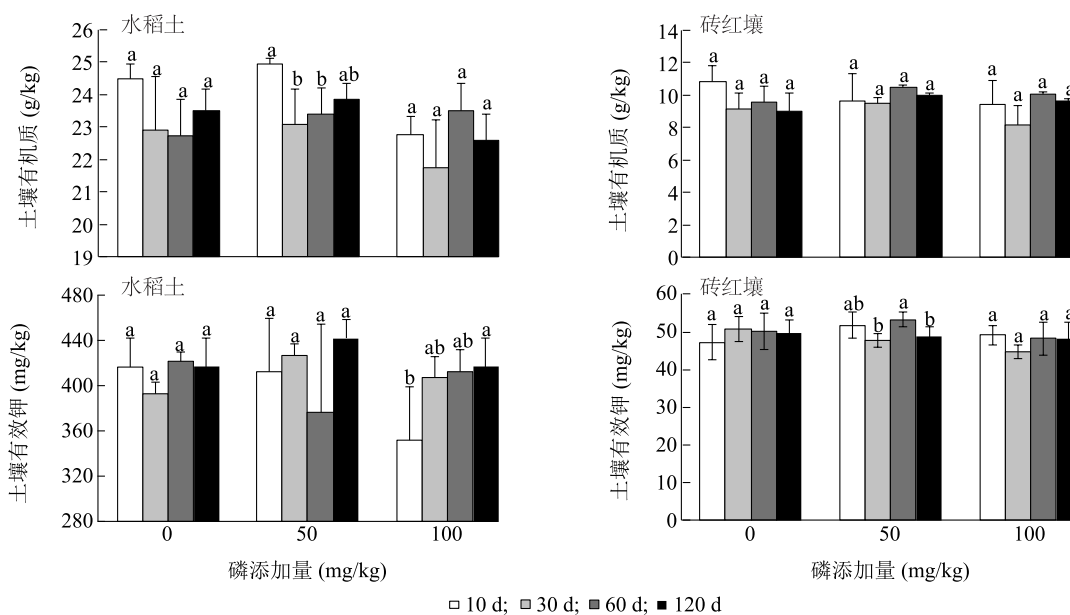
2.4 土壤有机质和有效钾的动态变化

总体来说,除水稻土中 50 mg/kg 处理下的有机质随培养时间的延长显著降低外,其他添加量处理随培养时间的延长无显著变化(图3)。 50 mg/kg 处理下水稻土的有效钾在 30 d 时有显著提升,砖红壤中的有效钾在 60 d 时最高,在 30 d 和 120 d 时最低(图3)。

3 讨论

本研究发现水稻土和旱地红壤添加钙镁磷肥后,土壤 pH 缓慢升高,表明钙镁磷肥施入土壤后是逐渐转化的。土壤培养 120 d 后,水稻土和旱地红壤 pH 分别提升了 0.55 和 0.81 ,该结果与之前的很多研究结果一致,施用钙镁磷肥普遍能提高酸性土壤 pH,

主要是由于钙镁磷肥属于碱性肥料,对酸性土壤具有一定的改良效果^[11]。在广西红壤上栽培玉米,土壤 pH 随钙镁磷肥施用量的增加而升高,而且当施磷量达到 600 kg/hm^2 时,土壤 pH 比对照提高了 0.55 ^[12]。在湖南酸性水稻土中每 1 kg 土壤添加 3 g 钙镁磷肥,种植油菜后的土壤 pH 比对照提升 0.53 ^[13]。在江西,每 1 kg 菜田土壤中添加 12 g 钙镁磷肥,种植叶菜后土壤 pH 可提高 1 个单位^[14]。此外,本研究在保持较高土壤湿度的条件下培养土壤,并使用封口膜避免水分蒸发,由此可能导致土壤处于一定的厌氧条件,从而对土壤 pH 提升有一定促进作用^[15]。土壤 pH 的提升,有利于土壤细菌、放线菌数量的增加^[16],降低真菌数量,同时提高土壤中过氧化氢酶、多酚氧化酶、脲酶活性^[17-18],进而促进土壤中氮磷等养分的活化^[18-19]。



在每个磷添加量处理中,分别对不同培养时间之间的土壤有机质和有效钾进行多重比较,不同的字母表示相同磷添加量处理中不同时间期间有显著差异($P < 0.05$)。

图3 添加不同量钙镁磷肥后,土壤有机质和有效钾随共培养时间的变化

Fig.3 Variation of soil organic matter and available potassium with changes of cultivation time after adding different amounts of calcium-magnesium phosphate fertilizer

2种有效磷提取条件下的土壤有效磷含量差异显著,表明在分析施用钙镁磷肥土壤中的有效磷含量时,使用 $\text{NH}_4\text{F-HCl}$ 提取液会将钙镁磷肥中的磷提取出来,不能准确反映磷的有效性。因此,在开展相关研究时有必要同时采用 NaHCO_3 提取液同时测定。培养120 d后,50 mg/kg和100 mg/kg处理的水稻土中 AP-NaHCO_3 分别比不添加处理提升了19.46 mg/kg和44.08 mg/kg,砖红壤中 AP-NaHCO_3 分别提升了14.07 mg/kg和28.37 mg/kg。该结果表明,水稻土中 AP-NaHCO_3 的提升幅度比砖红壤更高,可能是由于砖红壤中有效磷本底值过低^[20],枸溶性磷活化以后更易被土壤中的活性铁、铝固定^[21]。因此,在相同的生产条件下,砖红壤耕地中的钙镁磷肥用量要高于水稻土,才能满足作物需求。

通过对土壤有效磷的动态监测发现,砖红壤不添加钙镁磷肥和100 mg/kg添加量的 $\text{AP-NH}_4\text{F}$,在不同采样期之间均无显著差异,50 mg/kg处理随着培养时间延长显著降低。该结果表明,由于砖红壤属于铁铝土,在土壤有效磷浓度较高的条件下,会将土壤中的有效磷固定,形成植物难以利用的磷酸铁、磷酸铝和闭蓄态磷导致磷的有效性下降^[5,22]。

参考文献:

- [1] 许秀成. 应多关注我国氮肥、磷肥基础肥料产业[J]. 磷肥与复肥, 2017, 32(12): 2.
- [2] 黄高强,武良,李宇轩,等. 我国磷肥产业发展形势及建议[J]. 现代化工, 2013, 33(11): 1-4.
- [3] 徐仁扣,季国亮. pH对酸性土壤中铝的溶出和铝离子形态分布的影响[J]. 土壤学报, 1998, 35(2): 162-171.
- [4] 鲁如坤,时正元,钱承梁. 磷在土壤中有有效性的衰减[J]. 土壤学报, 2000, 37(3): 323-329.
- [5] WANG L, YINGMING X U, SUN G, et al. Effect and mechanism of immobilization of paddy soil contaminated by cadmium and lead using sepiolite and phosphate[J]. Ecology & Environmental Sciences, 2012, 21(2): 314-320.
- [6] 董静,赵志伟,梁斌,等. 我国设施蔬菜产业发展现状[J]. 中国园艺文摘, 2017, 33(1): 75-77.
- [7] 章明清,姚宝全,李娟,等. 福建菜田氮、磷积累状况及其淋失潜力研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2014, 20(1): 148-155.
- [8] 刘海,邹冬生,吴金水,等. 亚热带稻田土壤有效磷饱和容量及氮磷淋失[J]. 湖南生态科学学报, 2017, 4(2): 1-8.
- [9] 孙志立,姚之琦. 钙镁磷肥的贡献与发展思考[J]. 化肥工业, 2017, 44(5): 1-4.
- [10] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京:中国农业出版社, 2000.
- [11] 张济国,王雄生,江保如,等. 酸性土壤上早稻施用钙镁磷肥试验[J]. 中国农技推广, 1996(5): 26..

- [12] 区惠平,刘昔辉,黄金生,等. 广西典型红壤旱地施用钙镁磷肥对玉米产量及其镉累积的影响[J]. 生态学报, 2014, 34(18):5300-5305.
- [13] 钱海燕,王兴祥,黄国勤,等. 钙镁磷肥和石灰对受 Cu、Zn 污染的菜园土壤的改良作用[J]. 农业环境科学学报, 2007, 26(1):235-239.
- [14] 王朋超,孙约兵,徐应明,等. 施用磷肥对南方酸性红壤镉生物有效性及土壤酶活性影响[J]. 环境化学, 2016, 35(1):150-158.
- [15] 甲卡拉铁,喻 华,冯文强,等. 淹水条件下不同氮磷钾肥对土壤 pH 和镉有效性的影响研究[J]. 环境科学, 2009, 30(11):3414-3421.
- [16] DELGADO-BAQUERIZO M, REICH P B, KHACHANE A N, et al. It is elemental: soil nutrient stoichiometry drives bacterial diversity[J]. *Environmental Microbiology*, 2017, 19(3): 1176-1188.
- [17] KOTROCZÓ Z, VERES Z, FEKETE I, et al. Soil enzyme activity in response to long-term organic matter manipulation[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2014, 70: 237-243.
- [18] 刘炳君,杨 扬,李 强,等. 调节茶园土壤 pH 对土壤养分、酶活性及微生物数量的影响[J]. 安徽农业科学, 2011, 39(32):19822-19824.
- [19] SU J Q, DING L J, XUE K, et al. Long-term balanced fertilization increases the soil microbial functional diversity in a phosphorus-limited paddy soil.[J]. *Molecular Ecology*, 2015, 24(1):136.
- [20] 罗 凯. 雷州半岛与海南岛砖红壤养分含量的比较研究[J]. 海南岛农业科技, 1995(1):14-17.
- [21] 令狐荣云,王荣萍,梁嘉伟,等. 铁还原菌对红壤菜地土壤磷形态转化的影响[J]. 农业环境科学学报, 2016, 35(9):1742-1749.
- [22] 张鼎华,涂传进,沈兵松,等. 福建山地几种主要土类土壤磷的研究[J]. 林业科学, 2008, 44(8):29-36.

(责任编辑:陈海霞)