

曾诗媛, 丁立忠, 马闪闪, 等. 施用沼渣、黄腐酸钾、钙镁磷肥对退化山核桃林的改土和增产效果[J]. 江苏农业学报, 2019, 35(3): 618-623.

doi: 10.3969/j.issn.1000-4440.2019.03.016

施用沼渣、黄腐酸钾、钙镁磷肥对退化山核桃林的改土和增产效果

曾诗媛¹, 丁立忠², 马闪闪¹, 倪 幸¹, 赵伟明³, 叶正钱¹

(1. 浙江农林大学环境与资源学院, 浙江省土壤污染生物修复重点实验室, 浙江 临安 311300; 2. 浙江省临安市林业技术推广中心, 浙江 临安 311300; 3. 浙江省杭州市林科院, 浙江 杭州 310020)

摘要: 为探讨退化山核桃(*Carya cathayensis*)林地酸性土壤改良优化技术措施, 通过室内培养试验研究了沼渣、黄腐酸钾、钙镁磷肥及其组合对土壤有效养分和土壤酸性的影响及动态变化, 通过大田试验研究了黄腐酸钾和钙镁磷肥配施对山核桃树木生长及产量的影响。结果表明: 与对照相比, 各肥料处理都能够提高土壤 pH、有效氮含量、有效磷含量、速效钾含量, 降低土壤交换性铝离子浓度, 但在效果上以施用黄腐酸钾和钙镁磷肥组合处理最优。黄腐酸钾与钙镁磷肥配施对退化的山核桃酸性土壤的有效氮、有效磷、速效钾和 pH 较对照分别提高了 112.4 mg/kg、21.8 mg/kg、192.6 mg/kg 和 1.05 个单位 ($P < 0.05$), 交换性铝离子浓度从 2.54 cmol/kg 降至 0.27 cmol/kg ($P < 0.05$)。大田试验结果表明, 黄腐酸钾和钙镁磷肥单施及配合施用都能够显著改善山核桃生长, 提高山核桃果实产量 ($P < 0.05$), 以黄腐酸钾与钙镁磷肥配合处理最佳, 其效果也显著优于单施黄腐酸钾、钙镁磷肥 ($P < 0.05$)。

关键词: 山核桃; 有机物料; 土壤酸化; 土壤改良

中图分类号: S664.1 文献标识码: A 文章编号: 1000-4440(2019)03-0618-06

Effect of biogas residue, potassium humate and calcium-magnesium phosphate application on improving soil in degraded *Carya cathayensis* forest and its nut yield

ZENG Shi-yuan¹, DING Li-zhong², MA Shan-shan¹, NI Xing¹, ZHAO Wei-ming³, YE Zheng-qian¹

(1. Key Laboratory of Soil Contamination Bioremediation of Zhejiang Province, School of Environmental and Resource Sciences, Zhejiang A&F University, Lin'an 311300, China; 2. Forestry Technology Extension Center of Lin'an, Lin'an 311300, China; 3. Hangzhou Academy of Forestry, Hangzhou 310020, China)

Abstract: An incubation experiment and a field experiment were carried out to study the effects of biogas residue, potassium humate and calcium-magnesium phosphate (CMP) on acid soil improvement in degraded Chinese hickory (*Carya cathayensis*) forest. Results showed that compared with the control, all fertilizer treatments could increase soil pH and available N, available P and available K concentrations, and decreased exchangeable aluminum ion concentration.

Combination of potassium humate and CMP had the greatest effect among all treatments. Compared with the control, soil available N, available P, available K and pH were increased by 112.4 mg/kg, 21.8 mg/kg, 192.6 mg/kg, 1.05 units under the combined application of potassium hu-

收稿日期: 2018-10-02

基金项目: 2017 年杭州市社会发展科研主动设计项目(20172015A01); 浙江省科技厅项目(2018C02004); 国家自然科学基金项目(41201323)

作者简介: 曾诗媛(1993-), 浙江舟山人, 硕士研究生, 从事土壤与植物营养学研究。(E-mail) qq553509270@126.com

通讯作者: 叶正钱, (E-mail) yezhq@zafu.edu.cn

mate and CMP. And soil exchangeable aluminum ion was reduced from 2.54 cmol/kg to 0.27 cmol/kg ($P < 0.05$). Results the field experiment showed that the application of potassium humate and CMP could significantly improve plant growth and nut yield of *Carya cathayensis* trees ($P < 0.05$). Overall, the effect of the combined application of potassium humate and CMP was the best, and the effect was also better than that of single application of potassium humate and CMP.

Key words: *Carya cathayensis*; organic materials; soil acidification; soil improvement

山核桃(*Carya cathayensis*)属于胡桃科(Juglandaceae)山核桃属(*Carya* Nutt),是中国特有的名优干果和木本油料作物,具有很高的经济价值^[1],主要产于浙皖交界的天目山地区,是山核桃产区林农的重要收入来源。然而,随着栽植面积不断扩大,经营管理强度的增加,特别是盲目施肥用药,无论山核桃老树林,还是刚进入结果期的新树林,都相继出现了树木生长不良和树林衰败的问题,严重威胁山核桃产业发展。导致这一问题的根本原因在于土壤管理不善,尤以土壤酸化问题为最,通过施用石灰、有机物料可以改良土壤酸性,使山核桃树木生长得到明显改善^[2-3]。石灰是传统的土壤酸性改良剂,但不当施用会引起土壤板结、养分失调,导致作物减产^[4-6]。钙镁磷肥既是常用的磷肥,也可以作为土壤改良剂^[7-8],含有丰富的钙、镁、硅等元素,能够促进植物生长^[9-10],并且其售价低廉。刘可星等^[11]的模拟试验结果表明,用腐殖酸活化过的钙镁磷肥效果优于普通钙镁磷肥。张亚飞等^[12]在桃树上的试验证明黄腐酸钾与化肥配施能有效提高肥料利用率。有机、无机物料结合施用,不仅能起到改良土壤酸性的作用,还可以增加土壤有机质,改善土壤结构等,从而提高土壤肥力。为此,本研究通过有机肥与钙镁磷肥配施的大田实验,并采取实验室培养试验的方式以探讨其内在机制,以期为田间实际山核桃酸性土壤改良提供更加有效和实用的土壤改良配方,为山核桃生产以及科学经营提供切实可行的方法和理论指导。

1 材料与方法

1.1 培养试验

试验土壤为严重衰败的山核桃林地土壤,2014年采自临安市龙岗镇林坑村。采样深度为0~20 cm,新鲜土壤样品自然风干,过2.00 mm筛,用于土壤pH、土壤潜性酸和土壤有效氮磷钾养分含量测定;过0.15 mm筛,用于土壤有机质分析测定。土壤主要性质:pH 4.4,交换性氢和交换性铝含量分别

为0.28 cmol/kg和4.25 cmol/kg,有机质22.2 g/kg,有效氮、有效磷、速效钾含量分别为147.0 mg/kg、4.8 mg/kg、34.0 mg/kg。

沼渣取自正兴牧业养殖场,pH 5.5,有机质含量28%,氮含量17 g/kg,磷含量2.0 g/kg,钾含量13.4 g/kg。黄腐酸钾有机肥(以下简称黄腐酸钾)为山东高唐嘉和润肥料有限公司产品,黄腐酸含量16%,pH 6.8,有机质含量30%,N含量10.3 g/kg, P_2O_5 含量4.5 g/kg, K_2O 含量13.8 g/kg。钙镁磷肥为浙江浩丰施特肥业有限公司产品,pH 8.5, P_2O_5 含量12.5%,CaO含量25.4%, SiO_2 含量38.2%,MgO含量4.7%。

基于前期试验结果^[2]进行室内土壤培养试验。设置5个肥料添加水平处理:沼渣(T_1),添加10.0 g/kg沼渣;黄腐酸钾(T_2),添加10.0 g/kg黄腐酸钾;钙镁磷肥(T_3),添加1.0 g/kg钙镁磷肥;沼渣+钙镁磷肥(T_4),添加沼10.0 g/kg渣和1.0 g/kg钙镁磷肥;黄腐酸钾+钙镁磷肥(T_5),添加10.0 g/kg黄腐酸钾和1.0 g/kg钙镁磷肥;对照(CK),不添加沼渣、黄腐酸钾和钙镁磷肥。每个处理重复4次。600.0 g风干土壤与肥料充分混匀后装入1.5 L塑料杯中,并用去离子水将土壤含水量调至田间最大持水量的70%,用保鲜膜及橡皮筋封口,在保鲜膜上打孔便于气体互换。将塑料杯置于25℃培养箱中,每周称量1次并补充水份,确保土壤含水量恒定。在培养开始后0 d、10 d、20 d、30 d、60 d、90 d取土壤样品,自然风干,过筛,用于分析测定。

1.2 大田试验

大田试验在临安市龙岗镇一退化山核桃林地酸性土壤上进行,选用黄腐酸钾有机肥(以下简称黄腐酸钾)作为大田试验有机肥料,与钙镁磷肥配合施用。山核桃林地是老树林,树龄60年,主要表现症状有叶片发黄、枝梢死亡,特别是大量根系死亡、细根根尖死亡,已经有2年不施任何肥料。土壤pH 4.9,有机质含量36.8 g/kg,有效氮、有效磷、速效钾含量分别为291.2 mg/kg、3.0 mg/kg、56.0 mg/kg。设置4个施肥

处理:①每株施 2.0 kg 黄腐酸钾;②每株施 2.0 kg 钙镁磷肥;③每株施 2.0 kg 黄腐酸钾和 2.0 kg 钙镁磷肥;④以不施肥作为对照。重复 6 次。于 2014 年 3 月,沿山核桃树冠滴水线进行开沟条施,深度约 20 cm,肥料施入后覆土。围绕每株处理山核桃树四周至少留 1 圈树不作施肥处理,作为隔离保护。记录 2014、2015 年山核桃树的生长、结果情况。

1.3 土壤样品的分析测定

风干土壤样品分别过 20 目和 100 目筛后进行理化性质分析。pH 值采用 pH 计法测定,有效氮含量采用碱解扩散法测定,有效磷含量采用 0.5 mol/L 碳酸氢钠浸提-钼锑抗比色法测定,速效钾含量采用中性 1 mol/L 醋酸铵提取-火焰光度计法测定^[13]。

1.4 数据处理

用 Microsoft Excel 2010 进行数据处理,SPSS 18.0 软件进行统计分析,Origin8.6 软件作图。

2 结果与分析

2.1 施用不同肥料对退化山核桃林土壤养分的影响

室内土壤培养试验结果表明,与不施肥对照相比,各施肥处理都显著提高了土壤有效氮含量,但不同肥料的作用效果不同(图 1)。对照、沼渣处理、沼渣与钙镁磷肥配施处理的土壤有效氮含量随着培养时间延长变化比较平稳,没有呈现显著起伏,对照土壤有效氮含量基本保持在 148~150 mg/kg,沼渣处理 219~228 mg/kg,沼渣与钙镁磷肥配施处理 178~189 mg/kg;而钙镁磷肥单施、黄腐酸钾单施、钙镁磷肥和黄腐酸钾配施 3 个处理的土壤有效氮含量都随培养时间的增加而提高,培养前期 0~30 d 上升速度较快,至 90 d 时黄腐酸钾单施处理和黄腐酸钾与钙镁磷肥配施处理的土壤有效氮含量比对照分别提高 97%和 74%。至 90 d 时各处理土壤有效氮含量大小顺序为:黄腐酸钾>黄腐酸钾+钙镁磷肥>钙镁磷肥>沼渣>沼渣+钙镁磷肥>对照。

随着培养时间的增加,各施肥处理的土壤有效磷含量均呈增加趋势,培养初期 0~10 d 提升迅速,30 d 后变化明显变缓,各处理土壤有效磷含量接近平衡,不同处理间土壤有效磷含量提高的变化速率各异(图 2)。钙镁磷肥处理和黄腐酸钾与钙镁磷肥配施处理的土壤有效磷含量最高,但是黄腐酸钾与钙镁磷肥配施处理的土壤有效磷含量初始时就最

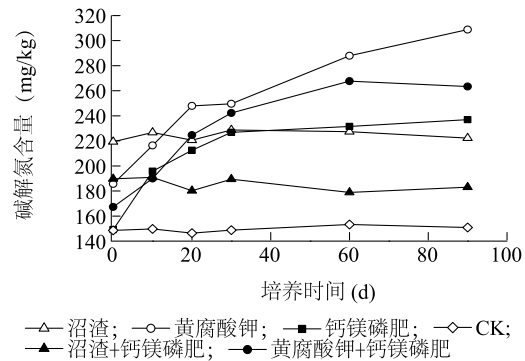


图 1 施加不同肥料后退化山核桃林土壤有效氮含量的变化

Fig. 1 Changes of available nitrogen content affected by different fertilizers in degraded *Carya cathayensis* forest soil

高,后期含量较为稳定,试验结束时(90 d)土壤有效磷含量为 26.7 mg/kg。各处理土壤有效磷含量大小次序为:黄腐酸钾+钙镁磷肥>钙镁磷肥>黄腐酸钾>沼渣>沼渣+钙镁磷肥>对照。

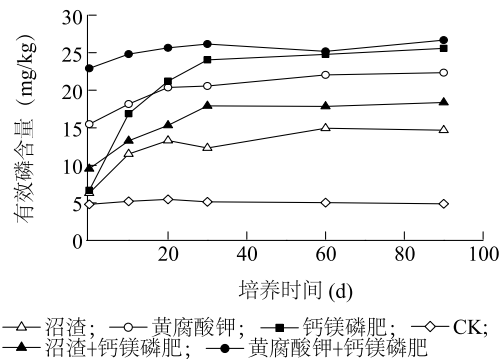


图 2 施加不同肥料后退化山核桃林土壤有效磷含量的变化

Fig. 2 Changes of available phosphorus content affected by different fertilizers in degraded *Carya cathayensis* forest soil

各施肥处理土壤速效钾含量较对照均大幅度增加,且在整个培养期间土壤速效钾含量基本稳定(图 3)。至第 90 d 时,黄腐酸钾单施处理和黄腐酸钾与钙镁磷肥配施处理的土壤速效钾含量较对照分别提高了 225.6 mg/kg 和 226.5 mg/kg,而沼渣单施、钙镁磷肥单施、沼渣+钙镁磷肥配施处理的土壤速效钾含量分别为 110.0 mg/kg、82.0 mg/kg、96.5 mg/kg。

2.2 施用不同肥料对退化山核桃林土壤酸性的改良作用

各施肥处理土壤 pH 值较对照明显升高(图

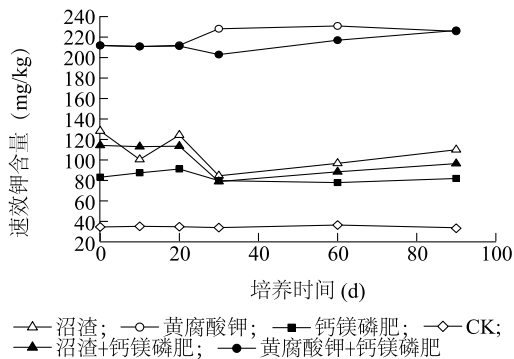


图3 施加不同肥料后退化山核桃林土壤速效钾含量的变化
Fig.3 Changes of available potassium content affected by different fertilizers in degraded *Carya cathayensis* forest soil

4)。至第 90 d 时,各处理土壤 pH 上升幅度均在 0.5 个单位以上,且以黄腐酸钾与钙镁磷肥配合处理最佳。各处理土壤 pH 都随着培养时间的增加而上升,单施有机肥料(沼渣和黄腐酸钾)的 2 个处理土壤 pH 升高最快的时间是 0~10 d,此后上升幅度较小;其他处理在第 0~10 d 土壤 pH 快速上升后,在第 10~30 d 仍有较大的上升,特别是黄腐酸钾与钙镁磷肥配合处理,土壤 pH 仍表现出上升态势。第 90 d 时各处理对土壤酸性的改良效果大小顺序为:黄腐酸钾+钙镁磷肥 (pH5.53) > 沼渣+钙镁磷肥 (pH5.23) > 钙镁磷肥 (pH5.17) > 黄腐酸钾 (pH4.97) > 沼渣 (pH4.90) > CK (pH4.48)。

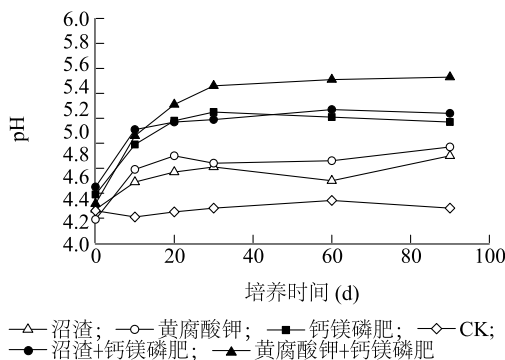


图4 施加不同肥料后退化山核桃林土壤 pH 值的变化
Fig.4 Changes of pH value affected by different fertilizers in degraded *Carya cathayensis* forest soil

由图 5 可见,所有施肥处理土壤的铝活性都明显低于对照,但肥料配合施用对土壤铝活性降低的效果明显优于单施处理,以黄腐酸钾与钙镁磷肥配合为最佳,其次为沼渣与钙镁磷肥配合。与土壤 pH

的变化类似,各施肥处理的土壤铝活性随着培养时间的变化以 0~10 d 最为迅速,此后减缓,至 90 d 时,黄腐酸钾与钙镁磷肥配合处理土壤交换性铝含量仅为 0.2 cmol/kg,而不施肥对照高达 4.0 cmol/kg。各处理土壤交换性铝含量降低率大小顺序为:黄腐酸钾+钙镁磷肥 (93.14%) > 沼渣+钙镁磷肥 (88.95%) > 黄腐酸钾 (80.93%) > 钙镁磷肥 (51.16%) > 沼渣 (34.19%)。

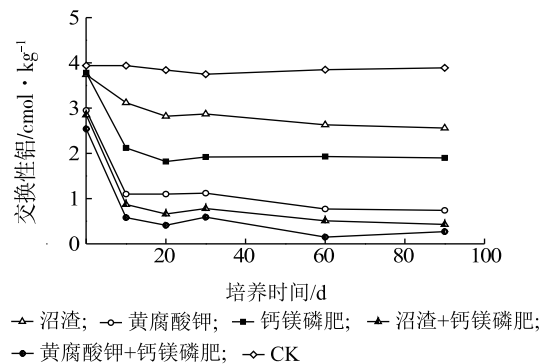


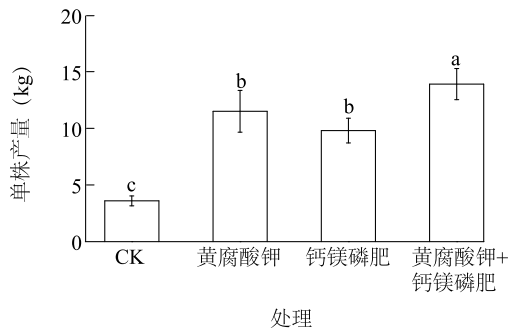
图5 施加不同肥料后退化山核桃林土壤交换性铝含量的变化
Fig.5 Changes of exchangeable aluminum content affected by different fertilizers in degraded *Carya cathayensis* forest soil

2.3 施用不同肥料对退化山核桃林果实产量的影响

山核桃大田试验的结果表明,不同施肥处理对山核桃生长和产量都有良好的作用。对山核桃树木根系及叶片生长状况的改良作用在当年就有明显效果,在山核桃坐果期(6月)、收获期(9月)和落叶期(11月)的跟踪调查中发现,各施肥处理的山核桃根系均长出新根,叶片数量增多,叶片颜色增绿,新枝增加。但是对山核桃当年结果产量没有明显作用,土壤改良效果在第 2 年才开始显现,不同处理山核桃次年产量的增加均达到显著水平 ($P < 0.05$),增产顺序为:黄腐酸钾+钙镁磷肥 (每株 13.9 kg/m²) > 黄腐酸钾 (每株 11.5 kg/m²) > 钙镁磷肥 (每株 9.8 kg/m²) > CK (每株 3.6 kg/m²) (图 6)。

3 讨论

室内土壤培养试验结果表明,单独与组合施加沼渣、黄腐酸钾、钙镁磷肥对提高土壤氮磷钾养分有效性水平都有显著作用,以单施黄腐酸钾及黄腐酸钾与钙镁磷肥配施处理对土壤氮、钾养分有效性的作用最为明显。黄腐酸钾作为一种腐植酸,在活化



不同字母表示差异达到 0.05 显著水平。

图 6 不同施肥处理对山核桃产量的影响

Fig. 6 Effects of different fertilizer treatments on yield of *Carya cathayensis*

土壤中磷、钙、镁等元素时,也为土壤微生物提供丰富的碳源和生长物质,促进土壤中微生物生长^[14]。有研究表明施用腐植酸后土壤细菌、真菌、放线菌等的数量均大幅上升^[15]。由于含有多种具有较强吸附能力的活性基团,腐植酸还能减少土壤氮挥发,吸附铵态氮,从而减少土壤氮素损失^[12],因此对土壤速效氮的提升作用效果显著。单独施用沼渣可使土壤 C/N 比上升,通过微生物的活动,加速分解释放养分,从而迅速提高土壤速效氮含量^[16]。

酸性土壤中活性铁、铝含量高,易与磷形成难溶性的铁磷和铝磷,或是有效性更低的闭蓄态磷,使绝大部分土壤磷转化为固定态磷^[17]。本试验土壤为强酸性土壤(pH4.4),有效磷含量较低,施入有机和无机肥料后土壤有效磷含量明显增加。钙镁磷肥单施和黄腐酸钾与钙镁磷肥配施的 2 个处理提升有效磷含量的效果最佳,这是因为除钙镁磷肥本身富含有效磷外,土壤中原有难利用的无机磷在有机肥施入后被有机质转化的有机物、有机酸络合溶解,进而活化成可利用磷^[18]。可能由于黄腐酸钾富含黄腐酸,而黄腐酸螯合溶解能力强,所以黄腐酸钾提高土壤有效磷含量的效果高于沼渣。

在提高土壤速效钾含量方面,不同肥料处理均有显著效果,但黄腐酸钾有机肥处理的效果最佳。一方面是由于各施肥处理提高了原有土壤钾的有效性,另一方面是由于各有机肥料本身含有较多钾元素,而黄腐酸钾含钾量最为丰富,因此较其他肥料处理效果更优。

土壤酸化是当前山核桃林退化的最重要的土壤障碍因子^[19]。本试验所用肥料都具有提高酸性土

壤 pH 和降低铝活性的土壤改良作用,有机、无机肥料配合施用更佳,以黄腐酸钾与钙镁磷肥配合对退化酸性土壤的改良效果最好。试验中土壤交换性铝含量变化与土壤 pH 值的变化存在明显的负相关关系,这与马闪闪^[19]、宋素灵^[20]的研究结果一致。钙镁磷肥为碱性热制磷肥,能够升高土壤 pH,使交换性铝在土壤中形成沉淀,从而降低土壤活性铝含量。有机肥可以降低铝毒,Shen 等^[21]发现有机肥可降低酸性红壤溶液中 Al^{3+} 浓度,提高矿物质养分含量,改善绿豆的生长。试验中黄腐酸钾与钙镁磷肥配合对土壤交换性铝含量的降低效果最为显著。相关性分析结果显示,土壤 pH 与土壤有效氮、有效磷、速效钾含量均呈极显著的正相关关系。大田试验结果进一步证明黄腐酸钾与钙镁磷肥配合施用具有对土壤培肥改良的效果,说明有机、无机肥料配合对退化山核桃林土壤的综合改良作用效果显著。

山核桃适合生长于微酸性土壤。实际生产中大多数山核桃林农长期施用氮磷钾复合肥,化肥用量较大,有机肥和微量元素肥料少施或不施,导致土壤酸化^[19,22]。有机、无机肥料配施不但能改良土壤酸性,还有利于土壤养分协调,改善土壤理化性质。有机肥料资源丰富,种类繁多,廉价易得,通过与无机肥料配施,可实现对山核桃林酸性土壤的有效改良。

参考文献:

- [1] 程晓建,黄坚钦,郑炳松,等. 山核桃研究进展[J]. 浙江林业科技,2002(3):19-23.
- [2] 马闪闪,赵科理,丁立忠,等. 临安市不同山核桃产区土壤肥力状况的差异性研究[J]. 浙江农林大学学报,2016,6(33):953-960.
- [3] 石红静,马闪闪,赵科理,等. 有机物料对酸化山核桃林地土壤的改良作用[J]. 浙江农林大学学报,2017,4(34):670-678.
- [4] 赵其国,吴志东,张桃林. 我国东南红壤丘陵地区农业持续发展和生态环境建设. 优势、潜力和问题[J]. 土壤,1998,30(3):113-120.
- [5] 淡俊豪,齐绍武,朱益,等. 生石灰对铅污染酸性植烟土壤理化性质和烟草铅含量的影响[J]. 江苏农业科学,2018,46(19):71-75.
- [6] 易洁祥,吕亮雪,刘国道. 土壤酸化和酸性土壤改良研究[J]. 华南热带农业大学学报,2006,12(1):23-28.
- [7] 肖厚军,王正银,何佳芳,等. 磷石膏改良强酸性黄壤的效应研究[J]. 水土保持学报,2008,22(6):62-66.
- [8] 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.

- [9] 纪罗军,陈 强. 我国磷石膏资源化利用现状及发展前景综述[J]. 硫磷设计与粉体工程,2006(6):9-20.
- [10] 陈义群,董元华. 土壤改良剂的研究与应用进展[J]. 生态环境,2008,17(3):1282-1289.
- [11] 刘可星,代 明,王 艳,等. 腐植酸类活化剂对磷铵、钙镁磷肥的促释增效研究[J]. 腐植酸,2010(3):14-16,21.
- [12] 张亚飞,罗静静,彭福田,等. 黄腐酸钾与化肥控释袋促进桃树生长及氮肥吸收利用[J]. 植物营养与肥料学报,2017,23(4):998-1005.
- [13] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京:中国农业出版社,2000.
- [14] 钟子楠. 不同秸秆改良酸土对大豆生理生化作用机制的影响[J]. 商业经济,2010(7):75-76.
- [15] 李九玉,王 宁,徐仁扣. 工业副产品对红壤酸度改良的研究[J]. 土壤,2009,41(6):932-939.
- [16] 李小龙,李红丽,曾 强,等. 钙镁磷肥对青枯病发病烟株根际土壤微生物区系的影响[J]. 中国烟草学报,2016,22(1):71-75.
- [17] 张启明,陈荣府,赵学强,等. 铝胁迫下磷对水稻苗期生长的影响及水稻耐铝性与磷效率的关系[J]. 土壤学报,2011,48(1):103-111.
- [18] 章永松,林咸永,罗安程,等. 有机肥(物)对土壤中磷的活化作用及机理研究-I.有机肥(物)对土壤不同形态无机磷的活化作用[J]. 植物营养与肥料学报,1998,4(2):145-150.
- [19] 马闪闪. 土壤酸化与山核桃林退化的关系及其改良[D]. 杭州:浙江农林大学,2016.
- [20] 宋素灵. 山核桃林地土壤退化现状和施肥改良研究[D]. 杭州:浙江农林大学,2014.
- [21] SHEN Q R, SHEN Z G. Effects of pig manure and wheat straw on growth of mung bean seedlings grown in aluminium toxicity soil [J]. Bioresource Technology, 2001, 76:235-240.
- [22] 蒋 雯,黄程鹏,姚宇清,等. 山核桃林土壤养分渗漏动态变化规律研究[J]. 浙江林业科技,2012,32(2):19-22.

(责任编辑:张震林)