

不同土壤调理剂对城市搬迁地土壤 pH 值影响研究

Effects of Different Soil Conditioners on Soil pH in Urban Relocation Areas

徐 冰 张 峰 梁 晶*

XU Bing ZHANG Feng LIANG Jing*

基金项目:
上海市绿化和市容管理局科技攻关项目“城市污染土壤生态修复关键技术研发与集成应用”(编号: G190202)

文章编号: 1000-0283 (2021) 05-0094-06
DOI: 10.12193/j.laing.2021.05.0094.015
中图分类号: TU986
文献标识码: A
收稿日期: 2020-07-27
修回日期: 2021-03-05

徐 冰
1990年生/男/上海人/上海市园林科学规划研究院助理工程师/主要从事城市园林绿化土壤调查、评价与改良研究(上海200232)

张 峰
1982年生/男/黑龙江人/上海世博文化公园建设管理有限公司工程师/主要从事城市园林绿化景观营建、管理研究(上海200126)

梁 晶
1981年生/女/山西人/博士/上海市园林科学规划研究院教授级高级工程师/主要从事城市土壤质量评价、修复及有机废弃物再利用研究(上海200232)

摘要
以上海某搬迁地土壤为研究对象,通过室内模拟实验和田间实证实验相结合的方式,研究不同土壤调理剂对搬迁地土壤pH值的影响,并分析评价了施用土壤调理剂的经济成本。结果表明:添加硫酸亚铁、硫酸铵、磷酸二氢钾等土壤调理剂能显著降低搬迁地土壤pH值,且混施较撒施更有助于降低土壤pH值;若以改良1 m³土壤为例,混施4 kg/m³硫酸亚铁对土壤pH值降低效果较好。研究可为城市搬迁地园林绿化土壤改良提供技术支撑和指导。

关键词
土壤调理剂; 搬迁地; 土壤pH值; 降低

Abstract
Taking the soil of a relocation site in Shanghai as the research object, the effects of different soil conditioners on soil pH of the relocation site were studied through the combination of indoor simulation experiment and field empirical experiment, and the economic cost of soil conditioners was analyzed and evaluated. The results showed that the addition of soil conditioners such as ferrous sulfate, ammonium sulfate and potassium dihydrogen phosphate could reduce the soil pH in the relocation area, and the mixed application was more helpful to reduce the soil pH than the scattered application. Taking improved 1 m³ soil as an example, mixed application of 4 kg/m³ ferrous sulfate has a better effect on soil pH reduction. This study can provide technical support and guidance for landscape soil improvement in urban relocation sites.

Key words
soil conditioner; relocation site; soil pH; reduction

随着我国对城市生态环境质量要求的不断提升,国家林草局高度重视城市林业领域开展的生态修复和国土绿化工作。土壤作为植物生长的载体,其质量与植物长势、景观效果息息相关,尤其是土壤酸碱度(pH),土壤pH值过高对植物的生长发育会造成不良影响,即使有丰富的营养物质,其可吸收程度也很低。

受成陆因素的影响,上海土壤多呈碱性或强碱性,如方海兰等研究表明上海新建绿地土壤pH值平均值为8.36±0.51^[1]。而且,伴随着城市的进一步发展,园林绿化多建在城市困难立地上(如城市搬迁地等),如上海已批未建绿地中有70%将建设在困难立地上^[2]。通过对上海搬迁地的调查研究发现,土壤

pH均值高达8.78^[3]，这是影响城市搬迁地园林绿化植物种植的主要障碍因子之一。

目前虽然对不同调理剂改良土壤pH值的研究较多^[4-6]，但对其开展动态变化研究以及实证研究的较少。因此，本文以上海某搬迁地土壤为研究对象，通过室内模拟实验和田间实证实验相结合的方式，研究了不同土壤调理剂对搬迁地土壤pH值的影响，并分析评价了施用土壤调理剂的经济成本，以期城市搬迁地园林绿化土壤改良提供技术支撑和指导，构建城市困难立地绿化造林科技创新体系，全面提升城市困难立地绿化造林科技支撑水平。

1 实验材料与方法

1.1 实验材料

试验中所用的土壤为上海某搬迁地土壤（为灰潮土），多点采集0 ~ 20 cm表层土壤混合后带回实验室，将土壤剔除植物根系及砾石等杂物后自然风干，磨细过2 mm筛备用。供试土壤的pH为8.60，电导率（EC值）为0.24 mS/cm，有机质含量为11.4 g/kg。所用土壤调理剂分别为硫磺、磷酸二氢钾、柠檬酸、硫酸亚铁、硫酸铵、腐殖酸、过磷酸钙和石膏，基本性质见表1。

1.2 实验方法

1.2.1 室内培养

称取上述备用灰潮土800 g于1 L玻璃培养瓶中，并按表2将不同调理剂分别加入培养瓶，混合均匀后，将土壤含水率调至田间持水量的60% ~ 65%，室温条件下培养75 d；同时设不添加土壤调理剂的对照（CK），共25个处理，每个处理设置3个重复，于培养试验的1 d、3 d、7 d、10 d、15 d、45 d和75 d进行土壤样品采集，土壤样品自然风干后测定土壤pH值。

1.2.2 田间实证

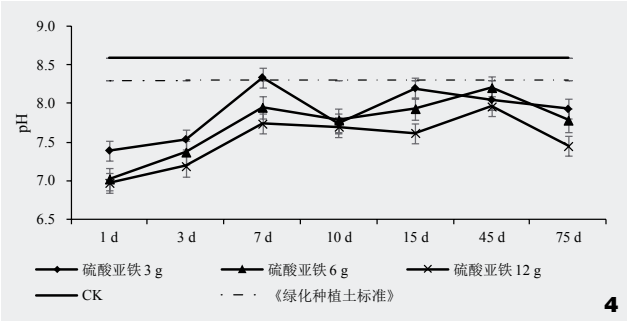
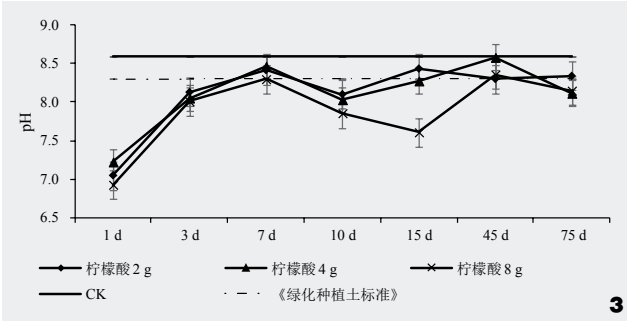
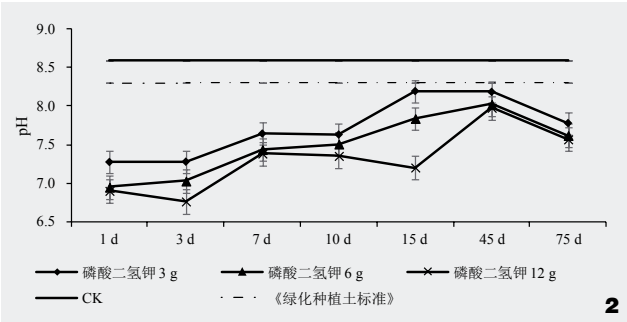
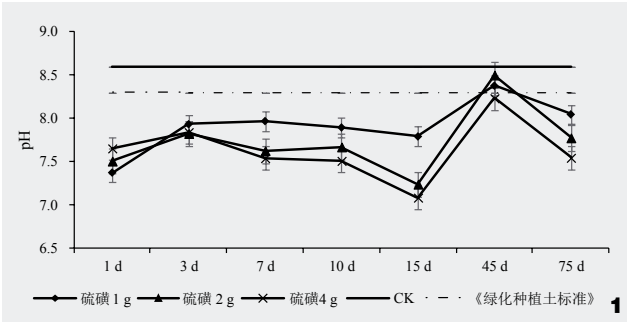
在室内实验的基础上，选择获取简单、材料质量稳定、价格适宜且改良搬迁地土壤pH较好的调理剂硫酸亚铁、硫酸铵和磷酸二氢钾进行田间验证实验研究。实验采用表面撒施（撒施）和0 ~ 30 cm土壤混拌（混施）2种方式。具体为：每种处理设置面积1 m²的微区实验，硫酸亚铁和磷酸二氢钾添加量均为1 200 g/m²，硫酸铵添加量为1 500 g/m²，同时设不添加土壤调理剂的土壤为对照（CK），共7个处理，每个处理设置8个重复。实验于2020年10 ~ 12月进行，共进行60 d，每10 d

表1 土壤调理剂基本性质

序号	土壤调理剂	基本性质
1	硫磺	淡黄色脆性结晶或粉末
2	磷酸二氢钾	无色结晶或白色颗粒状粉末，优级纯98%
3	柠檬酸	白色结晶粉末，工业一级纯
4	硫酸亚铁	蓝绿色单斜结晶或颗粒，纯度农业级
5	硫酸铵	无色结晶或白色颗粒，分析纯
6	腐殖酸	黑色颗粒，腐殖酸≥40%
7	过磷酸钙	灰色或灰白色粉料（或颗粒），纯度99%
8	石膏	无色或白色结晶性粉末，细度1 500目

表2 培养实验设置

处理	处理	添加量/g
1		1
2	硫磺	2
3		4
4		3
5	磷酸二氢钾	6
6		12
7		2
8	柠檬酸	4
9		8
10		3
11	硫酸亚铁	6
12		12
13		4
14	硫酸铵	8
15		16
16		0.5
17	腐殖酸	1
18		2
19		10
20	过磷酸钙	15
21		20
22		5
23	石膏	10
24		20
25		CK



1. 不同添加量硫磺对土壤pH值的影响
2. 不同添加量磷酸二氢钾对土壤pH值的影响
3. 不同添加量柠檬酸对土壤pH值的影响
4. 不同添加量硫酸亚铁对土壤pH值的影响

对土壤多点取样(取样深度为0~30 cm),混合后自然风干磨细过2 mm筛用于土壤pH的测定。土壤pH采用pH值计进行测定(水土比为2.5:1)。

2 结果与分析

2.1 不同调理剂对土壤pH的影响

2.1.1 硫磺

从图1可以看出,施用硫磺后,土壤pH值整体呈现降低趋势。尤其是培养15 d后,添加4 g硫磺时,土壤pH值降低最明显,pH从8.60降低至7.09,这主要是由于硫磺施入土壤后在微生物的作用下氧化成 SO_4^{2-} ,并释放氢离子,致使土壤酸化^[7]。此外,随着硫磺添加量的增多,土壤pH值下降明显。虽然随着培养时间的增加,土壤pH值有增加的趋势,但至培养实验结束时(75 d),添加硫磺的3个处理,土壤pH值均符合《绿化种植土壤CJ/T340-2016》的限值要求。

2.1.2 磷酸二氢钾

与CK处理相比,添加磷酸二氢钾的处理土壤pH值降低

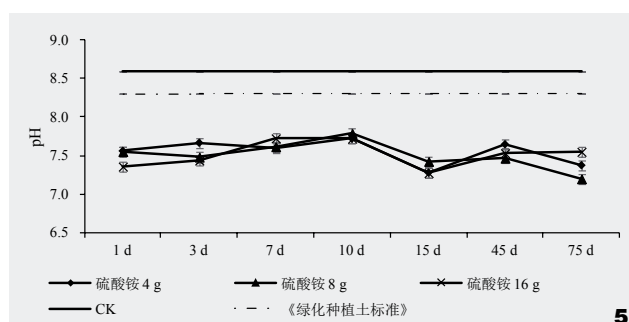
明显,但随着培养时间的增加,土壤pH值有逐渐升高的趋势(图2),且土壤pH的降低幅度与磷酸二氢钾的添加量成正相关关系。这主要是由于磷酸二氢钾施入土壤后,电解作用下会释放出大量 H^+ ,水解作用下会释放出 OH^- ,且电解作用强于水解作用, H^+ 的释放量大于 OH^- ,从而导致土壤pH降低^[8]。与添加硫磺处理相似,随着磷酸二氢钾添加量的增多,土壤pH值下降越明显,且所有添加磷酸二氢钾的处理土壤pH均符合标准限值要求。

2.1.3 柠檬酸

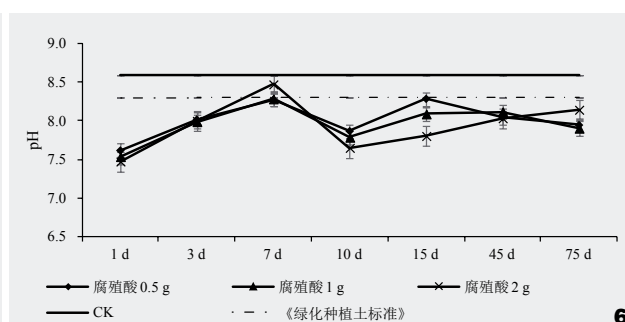
由图3可知,与添加硫磺、磷酸二氢钾处理不同,添加3种不同量柠檬酸的土壤pH值变化都呈明显下降后再上升的趋势。其原因可能是虽然柠檬酸水解后产生较多 H^+ ,但因柠檬酸属酸性易挥发物质,随着培养时间的增加,土壤中柠檬酸含量大大降低,土壤pH则增加^[9]。但就不同添加量而言,仍存在随着柠檬酸添加量增多,土壤pH值下降反而增加的趋势。

2.1.4 硫酸亚铁

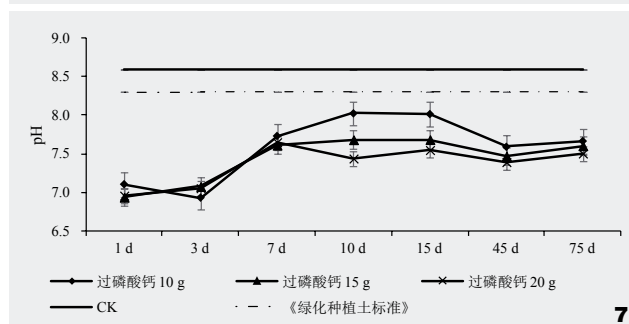
添加硫酸亚铁至土壤后,土壤pH值变化呈先降低后增加



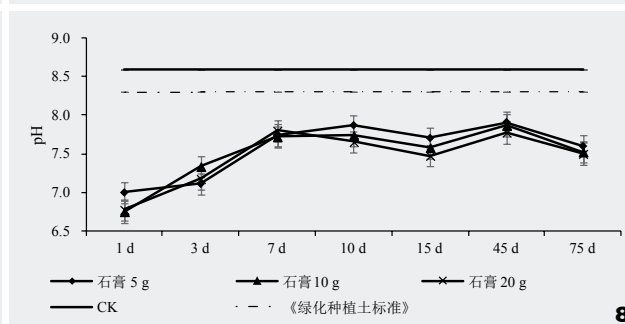
5



6



7



8

5. 不同添加量硫酸铵对土壤pH值的影响 7. 不同添加量过磷酸钙对土壤pH值的影响
6. 不同添加量腐殖酸对土壤pH值的影响 8. 不同添加量石膏对土壤pH值的影响

的趋势。但在培养期间,所有添加硫酸亚铁的处理土壤pH值均低于现行的行业标准限值要求,如添加3 g、6 g和12 g硫酸亚铁培养75 d后,各处理土壤pH值分别下降了0.67、0.82和1.15,但硫酸亚铁添加量为3 g和6 g的处理土壤pH值降低幅度差异不显著。这主要是由于硫酸亚铁属于速效肥,施入土壤中的硫酸亚铁经水解氧化后会产生 H^+ 和 $Fe(OH)_3$, H^+ 可以中和土壤碱性,从而降低土壤的pH值^[10]。

2.1.5 硫酸铵

从图5可以发现,培养15 d后,添加不同量硫酸铵的处理土壤pH值均可由原来的8.6降至7.28~7.43的范围内。与添加其他土壤调理剂的处理不同,添加硫酸铵后,土壤pH值降低明显,且在培养过程中保持较平稳趋势,这是因为硫酸铵属于生理酸性速效肥,其水解后会释放出 H^+ ,能中和土壤碱性,降低土壤pH值^[11]。对比3种添加量的硫酸铵处理,培养1 d时,各处理土壤pH值分别降低了1.04、1.05和1.24;培养75 d时,各处理土壤pH值分别降低了1.23、1.40和1.05。通过配对T检验,同一处理下,培养1 d和培养75 d的土壤pH值降低幅度差异不显著。

2.1.6 腐殖酸

从图6可知,添加不同量腐殖酸后,土壤pH值的变化趋势与添加柠檬酸相似^[12],随着时间的增加土壤pH值呈先降低后升高的趋势。其中,培养第10 d时添加量为2 g的处理,土壤pH值下降最多,降低了0.95,但腐殖酸不同添加量之间没有明显差异。经过75 d的培养实验,3种添加量的腐殖酸处理土壤pH值分别为7.95、7.91和8.15,符合标准限值要求。

2.1.7 过磷酸钙

已有研究表明,过磷酸钙对土壤碱性的治理效果良好^[13],通过图7可以得知,过磷酸钙添加量不同,其对土壤pH值的影响呈先下降后上升再趋于稳定的趋势。这是因为过磷酸钙属于速效肥,初期对土壤影响显著,7~75 d土壤改良效果较为稳定。过磷酸钙添加量对土壤pH值降低幅度的影响较小,不同处理间差异不显著($p>0.05$)。

2.1.8 石膏

如图8所示,添加石膏后,土壤pH值总体呈先增加后趋

于稳定的趋势。在培养75 d后, 3种添加量的石膏处理土壤pH值分别为7.60、7.53和7.50, 较CK分别降低了1.0、1.07和1.1。这主要是由于石膏加入土壤后, 其溶解产生的 Ca^{2+} 置换土壤胶体中的 Na^+ , 从而降低土壤的pH值^[8,14], 但石膏不同添加量对土壤pH值的降低效果差异不显著。

2.2 田间验证实验

虽然8种不同土壤调理剂均能在一定程度上降低土壤pH值(表3), 但硫磺属于易制爆产品, 过磷酸钙和石膏的添加量较大需要投入成本较高。磷酸二氢钾、硫酸亚铁和硫酸铵3种

不同添加量实验显示, 即使添加量最小的处理, 其对土壤pH降低效果也较好, 因此本研究选取磷酸二氢钾、硫酸亚铁和硫酸铵进一步开展撒施和混施2种施用方式的田间验证实验研究, 磷酸二氢钾、硫酸亚铁和硫酸铵的施用量分别为3 g、3 g和4 g。

实验结果表明, 撒施3种调理剂60 d后, 硫酸亚铁对土壤pH值的降低效果最明显, pH值为 5.01 ± 0.72 , 其次为磷酸二氢钾, pH值为 6.22 ± 0.54 , 硫酸铵效果最差为 7.14 ± 0.35 (图9); 而混施3种调理剂60 d后, 硫酸亚铁和硫酸铵均较对土壤pH的降低效果明显, pH值分别为 6.04 ± 0.72 和 6.10 ± 0.68 , 磷酸二氢钾对土壤pH值的降低效果较差, pH值为 7.30 ± 0.35 (图10)。

2.3 不同调理剂成本分析

室内培养实验和田间验证实验结果均表明, 硫酸亚铁、硫酸铵和磷酸二氢钾均对降低土壤pH值具有较好的效果。以混施方式改良 1 m^3 土壤为例(表4), 添加4 kg硫酸亚铁, 降低土壤pH值0.41 ~ 2.28, 成本为64 元/ m^3 ; 加5 kg硫酸铵降低土壤pH值为0.45 ~ 2, 成本为75 元/ m^3 ; 加4 kg磷酸二氢钾降低土壤pH值0.21 ~ 0.69, 成本为39.2 元/ m^3 。综合而言, 硫酸亚铁为较好的土壤改良剂。

3 小结

本研究表明添加硫磺、磷酸二氢钾、硫酸亚铁、硫酸铵等土壤调理剂均能降低土壤pH值。但添加柠檬酸、腐殖酸、过磷酸钙和石膏处理土壤的pH值呈现出短期内下降后期升高的趋势; 硫磺、硫酸亚铁、硫酸铵和磷酸二氢钾处理土壤的pH值变化较平稳; 硫酸铵对pH值降低效果最好。选取硫酸亚铁、硫酸铵和磷酸二氢钾进行的2种不同施用方式田间验证实验得知, 硫酸亚铁与土壤混施后对土壤pH值降低效果更好。因此,

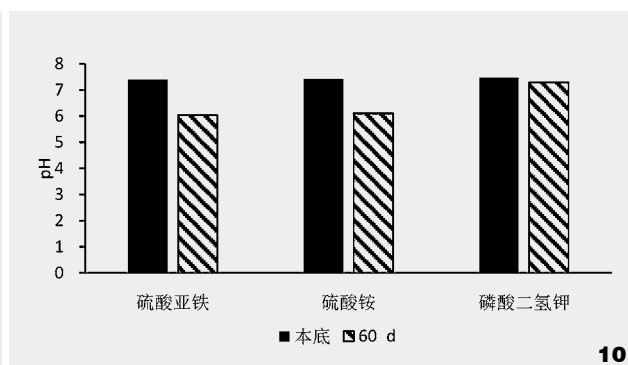
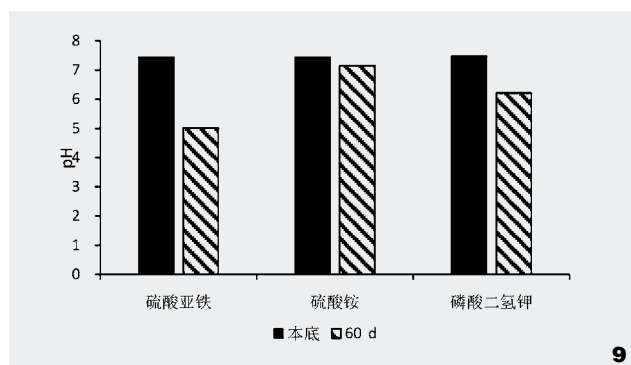
表3 培养75 d后不同土壤调理剂对pH值降低幅度的影响

土壤调理剂	添加量/g	培养75 d后土壤pH	pH降低幅度
硫磺	4	7.55	1.06
	3	7.78	0.82
磷酸二氢钾	6	7.62	0.98
	12	7.57	1.03
硫酸亚铁	3	7.93	0.67
	6	7.79	0.82
	12	7.45	1.15
硫酸铵	4	7.38	1.23
	8	7.20	1.40
	16	7.55	1.05
过磷酸钙	10	7.67	0.94
	15	7.61	0.99
	20	7.51	1.10
石膏粉	5	7.60	1.00
	10	7.53	1.08
	20	7.50	1.10

表4 不同添加量土壤调理剂降低土壤pH值的成本分析

土壤调理剂	用量/(kg/m^3)	单价/(元/kg)	总价/(元/ m^3)	施用60 d后pH降低幅度
硫酸亚铁	4	1.6	6.4	0.41 ~ 2.28
硫酸铵	5	1.5	7.5	0.45 ~ 2
磷酸二氢钾	4	9.8	39.2	0.21 ~ 0.69

注: 土壤调理剂单价为均价, 价格参考阿里巴巴网。



9. 撒施不同土壤调理剂60 d后对土壤pH值的影响

10. 混施不同土壤调理剂60 d后对土壤pH值的影响

结合园林绿化土壤改良实际需求, 混施 4 kg/m^3 硫酸亚铁对降低土壤pH值效果最好, 且成本较其他调理剂更优于城市困难立地绿化造林, 符合我国城市林业发展趋势, 能够为上海和长三角, 乃至全国提供具有先进性、操作性的有用经验, 有效推进城市困难立地绿化林业科技工作快速发展。

参考文献

- [1] 方海兰, 陈玲, 黄懿珍, 等. 上海新建绿地的土壤质量现状和对策[J]. 林业科学, 2007(43): 89-94.
- [2] 张浪. 谈新时期城市困难立地绿化[J]. 园林, 2018(01): 2-7.
- [3] 陈平, 张浪, 李跃忠, 等. 基于园林绿化用途城市搬迁地土壤质量评价的思考[J]. 园林, 2019(08): 78-82.
- [4] 郭庆茹, 陈淑娟, 韩丽英, 等. 不同调理剂对宁夏石嘴山市盐碱地改良效果研究[J]. 农业科技通讯, 2020, 587(11): 79-83.
- [5] 单颖, 邹刚华, 赵凤亮, 等. 土壤调理剂对海南酸性土壤的改良效果[C]//2017年全国热带作物学术年会论文摘要集. 海口: 中国热带学会, 2017.
- [6] 熊管乐, 邵孝候, 张永涛, 等. 土壤调理剂用量对酸性土壤肥力影响的综合评价[J]. 广东农业科学, 2020, 47(1): 53-61.
- [7] 赵敏, 罗开源, 李性范. 硫磺粉对土壤pH及蓝莓幼苗生长的影响[J]. 贵州农业科学, 2017, 45(3): 58-61.
- [8] 张勤生. 从电离平衡看磷酸二氢钾生产过程中pH值的控制范围和最佳值[J]. 应用化工, 1984(01): 30-31.
- [9] 刘强, 姚拓, 马晖玲. 菌肥与柠檬酸互作对石灰性土壤生物学特性及草坪质量的影响[J]. 草业学报, 2014, 23(5): 223-230.
- [10] 周航, 曾敏, 曾维爱, 等. 硫酸亚铁对偏碱烟田土壤及烟草养分吸收的影响[J]. 土壤通报, 2014, 45(4): 947-952.
- [11] 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.
- [12] 高卫国, 黄益宗. 堆肥和腐殖酸对土壤锌铅赋存形态的影响[J]. 环境工程学报, 2009, 3(3): 549-554.
- [13] 任国珍, 张平臣, 李福洋, 等. 稻田土壤调酸研究初报[J]. 北方水稻, 2001(4): 29-31.
- [14] 李芙蓉, 杨劲松, 姚荣江, 等. 施用石膏对苏北滩涂盐渍土浸提液电导率换算关系的影响[J]. 土壤, 2014, 46(6): 1129-1134.