



广东省增城区不同耕地利用类型下赤红壤酸度变化

蔡泽江, 余强毅, 吴文斌, 文石林

引用本文:

蔡泽江, 余强毅, 吴文斌, 等. 广东省增城区不同耕地利用类型下赤红壤酸度变化[J]. 农业资源与环境学报, 2021, 38(6): 980–988.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.13254/j.jare.2021.0508>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

重庆农田土壤硫分布特征及其影响因素

罗曼琳, 窦添元, 向秋洁, 胡翔宇, 木志坚

农业资源与环境学报. 2019, 36(3): 287–297 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2018.0306>

余江县水稻土剖面酸缓冲性能与酸化速率

唐贤, 蔡泽江, 徐明岗, 文石林, 高强, 姚晨, 陈玲英

农业资源与环境学报. 2019, 36(6): 774–782 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2018.0220>

山东棕壤耕地地力评价及其特征分析

张颖, 赵庚星, 王卓然, 陈晓娜, 宿宝巍

农业资源与环境学报. 2018, 35(4): 359–366 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2017.0246>

典型岩溶流域不同土地利用类型土壤腐植酸与钙的关系

吴丽芳, 倪大伟, 王妍, 刘云根, 王艳霞

农业资源与环境学报. 2021, 38(2): 259–267 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2020.0217>

茶叶氟含量与茶园土壤特性的相关性及其影响因素

赵明, 蔡葵, 王文娇, 赵征宇, 孙永红

农业资源与环境学报. 2016, 33(3): 276–280 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2015.0250>



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

蔡泽江, 余强毅, 吴文斌, 等. 广东省增城区不同耕地利用类型下赤红壤酸度变化[J]. 农业资源与环境学报, 2021, 38(6): 980-988.
CAI Z J, YU Q Y, WU W B, et al. Changes in soil acidity under different land use in Zengcheng District, Guangdong Province[J]. *Journal of Agricultural Resources and Environment*, 2021, 38(6): 980-988.



开放科学 OSID

广东省增城区不同耕地利用类型下赤红壤酸度变化

蔡泽江^{1,2}, 余强毅^{1*}, 吴文斌¹, 文石林^{1,2}

(1. 中国农业科学院农业资源与农业区划研究所/耕地培育技术国家工程实验室, 北京 100081; 2. 中国农业科学院农业资源与农业区划研究所/湖南祁阳农田生态系统国家野外科学观测研究站, 湖南 祁阳 426182)

摘要:为研究典型区域不同耕地利用类型下土壤酸度变化特征及主要影响因素,通过调查采样分析增城区三种耕地利用类型(水田、水浇地和旱地)下土壤的pH、交换性酸、有机质、阳离子交换量、全量养分、速效养分含量及其相互关系。结果表明:83.7%的土壤样品pH低于6.5,其中pH区间为(5.5, 6.5]和(4.5, 5.5]的样品均占37.8%,低于4.5和高于6.5的样品比例分别为8.1%和16.3%;水田土壤pH最高,其次为水浇地,再次为旱地,平均pH分别为6.02、5.51和4.87。水浇地和旱地土壤交换性氢含量显著高于水田;旱地土壤交换性铝含量最高,其次为水浇地,再次为水田,分别为1.38、0.72、0.31 cmol·kg⁻¹。土壤pH与土壤碳酸钙和全钾含量均呈显著正相关,而与土壤交换性酸、Olsen-P含量呈显著负相关。土壤交换性氢与Olsen-P和有效钾呈显著正相关,而与土壤碳酸钙含量呈显著负相关;土壤交换性铝与土壤阳离子交换量、Olsen-P含量呈显著正相关,与土壤碳酸钙和全钾含量呈显著负相关。研究表明,增城区耕地土壤以弱酸性和酸性为主,且耕地利用类型是影响土壤酸度的主要因素之一,旱地土壤酸度最强,其次为水浇地,再次为水田,但其作用机理还有待进一步研究。

关键词:土壤酸化;pH;交换性酸;有机质;碳酸钙

中图分类号:X825

文献标志码:A

文章编号:2095-6819(2021)06-0980-09

doi: 10.13254/j.jare.2021.0508

Changes in soil acidity under different land use in Zengcheng District, Guangdong Province

CAI Zejiang^{1,2}, YU Qiangyi^{1*}, WU Wenbin¹, WEN Shilin^{1,2}

(1. National Engineering Laboratory for Improving Quality of Arable Land, Institute of Agricultural Resources and Regional Planning, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China; 2. National Field Observation and Research Station of Farmland Ecosystem in Qiyang, Hunan Province / Institute of Agricultural Resources and Regional Planning, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Qiyang 426182, China)

Abstract: Assessing changes in soil acidity and its potential influencing factors is significant for preventing soil acidification and improving soil quality. Ninety-seven soil samples were collected across Zengcheng District, Guangdong Province, which covered three land use types, i.e., paddy rice field, irrigated land, and dryland. Soil pH, exchangeable acid, organic matter (SOM), cation exchange capacity, calcium carbonate, total and available nutrients were determined, and their inner relationship was analyzed. The 83.7% and 16.3% of collected soil samples had pH lower or higher than 6.5, respectively; 37.8%, 37.8%, and 8.1% of total soil samples were located in the range: 5.5 < pH ≤ 6.5, 4.5 < pH ≤ 5.5, and pH ≤ 4.5, respectively. Under different land uses, the pH following the order: paddy soil (6.02) > irrigable land (5.51) > dry land (4.87). The concentration of soil exchangeable hydrogen was much higher in irrigable land and dry land than that from paddy soil; the concentration of soil exchangeable aluminum was following the order: dry land (1.38 cmol·kg⁻¹) > irrigable land (0.72 cmol·kg⁻¹) > paddy soil (0.31 cmol·kg⁻¹). Soil pH had positively correlation with soil calcium carbonate and total potassium, and negatively correlation

收稿日期: 2021-08-10 录用日期: 2021-10-20

作者简介: 蔡泽江(1982—),男,河北迁西人,博士,副研究员,从事土壤酸化机制与改良技术研究。E-mail: caizejiang@caas.cn

*通信作者: 余强毅 E-mail: yuqiangyi@caas.cn

基金项目: 国家自然科学基金项目(U1901601)

Project supported: The National Natural Science Foundation of China(U1901601)

with soil exchangeable acid and Olsen-P; soil exchangeable hydrogen had positively correlation with Olsen-P and available potassium, and negatively correlation with calcium carbonate; soil exchangeable aluminum had positively correlation with cation exchange capacity and Olsen-P, and negatively correlated with calcium carbonate and total potassium. Our study indicated that land use was one of the important factors influencing soil acidity, and dry land and irrigable land had much strong acidity than that from paddy soil, and the mechanism need to be further research.

Keywords: soil acidification; pH; exchangeable acid; soil organic matter; calcium carbonate

近30年来,我国红黄壤区土壤酸化加剧,成为农田土壤质量退化的主要形式^[1-2],其中广东省以赤红壤酸化尤为严重^[3]。土壤酸化导致钙、镁、磷等养分有效性降低,铝等作物毒害元素活性增加,严重限制了作物生长^[1]。大量研究表明,长期过量施用化学氮肥是驱动农田土壤酸化的主要因素^[4-5],其中铵态氮硝化过程释放氢离子和硝态氮淋溶损失是引起土壤酸化的主要机制^[6]。水田、水浇地和旱地是红黄壤区的主要土地利用类型^[7],且三种利用方式具有截然不同的水分、养分管理以及耕作方式,土壤水分和氧化还原环境也随之发生变化,从而改变了土壤微生物特性,以及相应的碳、氮等元素转化过程,进而影响土壤酸碱度^[8-10]。因此,探明典型区域土壤酸度分布特征及其与土地利用方式的关系,对该区耕地质量提升具有重要意义。WU等^[11]和DAI等^[12]的研究表明,旱地和水浇地较水田土壤含水量降低,土壤以有氧为主,三者具有不同的土壤微生物群落结构和活性。QIN等^[13]通过调查分析发现,旱地较水田具有更强的土壤硝化微生物活性,氮肥硝化作用强,土壤硝态氮含量较高;杨东伟等^[14]也发现,相邻的旱地较水田土壤好氧细菌与厌氧细菌比值显著增加,土壤全氮和碱解氮含量均显著降低。WANG等^[15]和CHEN等^[16]的研究表明,与水田相比,旱地显著降低了土壤有机碳含量。土壤氢离子产生与消耗伴随着碳氮转化过程发生,因此水田和旱地具有不同的土壤氢离子平衡,进而影响酸化的程度。唐贤等^[17]通过对江西省余江县土壤调查研究发现,相同母质发育的稻田土壤平均pH为5.69,显著高于旱地的4.71;周晓阳等^[18]基于监测数据分析发现,与持续种稻模式相比,水旱轮作模式加速了土壤酸化。然而,前人关于不同利用类型(水田、水浇地和旱地)的研究主要关注土壤微生物特性、温室气体排放以及碳储量,而关于不同土地利用类型下土壤酸度变化特征的研究还鲜见报道。为此,本研究以红黄壤区内土壤酸化非常典型的一个县域——广东省增城区为研究对象,通过调查采样,分析该区土壤酸度与土壤性质和土地利用方式的关系,旨在为该区域土壤酸化防治与耕地质量

提升提供科学依据。

1 研究方法

1.1 试验区概况

采样点位于广东省增城区内(113°32'~114°00'E, 23°05'~23°37'N)。该区属于南亚热带海洋性季风气候,年均气温22.2℃,最高温度38.6℃,全年平均降水量为1922mm,降雨多集中在春、夏两季。该区北部地势较高,南部较低,全区山地、丘陵地、台地和平原分别占全区总面积的8.3%、35.1%、23.2%和35.4%,其中丘陵地和台地主要分布在中南部,南部是三角洲平原和河谷平原,是耕地主要分布区。该区母岩以花岗岩为主,主要土壤类型为赤红壤。

1.2 土壤样品采集与分析

该区耕地利用类型主要包括水田(指有水源保证和灌溉设施,在一般年景能正常灌溉,用于种植水生作物的耕地)、水浇地(指除水田外,有水源保证和灌溉设施,在一般年景能正常灌溉的耕地)、旱地(指无灌溉设施,主要靠天然降水种植旱生农作物的耕地)。2020年9月选取具有代表性的样点97个,其中水田46个、水浇地34个、旱地17个,具体采样点见图1。在每个采样点上,选取具有代表性且面积大于2668m²(4亩)的田块,采用“S”型取样法,用土钻取0~20cm土壤样品,混成一个土样,挑出杂物,风干、研磨、过筛制成20目和60目土样,备用。土壤样品测定方法参考文献[19]。土壤pH值采用电位法测定(水土比2.5:1);土壤交换性酸、交换性铝采用1mol·L⁻¹氯化钾浸提-0.02mol·L⁻¹氢氧化钠中和滴定法;土壤有机质采用重铬酸钾-外加热法;土壤碳酸钙含量采用0.5mol·L⁻¹盐酸中和滴定法;土壤全氮用凯氏定氮法;土壤全磷用NaOH熔融-钼锑抗比色法;土壤全钾用NaOH熔融-火焰光度法;土壤碱解氮采用1.0mol·L⁻¹氢氧化钠碱解扩散法;土壤Olsen-P和速效钾分别采用0.5mol·L⁻¹碳酸氢钠和1mol·L⁻¹乙酸铵浸提,再分别采用钼锑抗比色法、火焰光度法测定;土壤阳离子交换量用1mol·L⁻¹乙酸铵交换法测定。

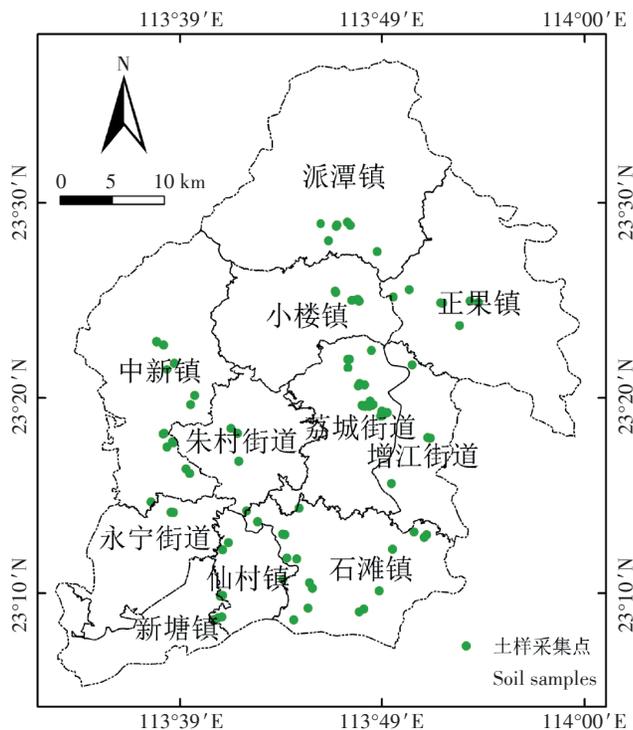


图1 广东增城区采样点位置

Figure 1 The location of soil sample sites in Zengcheng District, Guangdong Province

1.3 数据处理

采用 Sigmaplot 12.0 绘图, 其中土壤交换性铝对 pH 的响应关系采用双直线模型 (Piecewise-2 segment linear) 模拟; 不同处理间的显著性采用 SPSS 16.0 软件 Duncan 法检验, 相关分析采用 R 语言 (3.6.2) 中 “corrplot” 软件包。基于 ArcGIS 10.2 地理信息系统平台, 利用反距离加权插值法 (Inverse distance weighted, IDW) 对土壤 pH 作空间插值处理, 获得土壤 pH 分布图^[20-21]。

2 结果与分析

2.1 土壤酸度

2.1.1 土壤 pH

增城区土壤 pH 平均值为 5.64, 标准偏差为 0.84, pH 最小值和最大值分别为 3.90 和 7.79。该区土壤样品 pH 各区间占比如图 2 所示, 83.7% 的土壤样品 pH 低于 6.5, 其中 (5.5, 6.5] 和 (4.5, 5.5] pH 区间样品均占 37.8%, 低于 4.5 和高于 6.5 的比例分别为 8.1% 和 16.3%。可见该区土壤以弱酸性和酸性土壤为主。酸性和强酸性土壤主要分布在南部和西部地区 (图 3)。

不同利用类型下以水田土壤 pH 为最高, 其次为水浇地, 再次为旱地, 土壤平均 pH 分别为 6.02、5.51 和

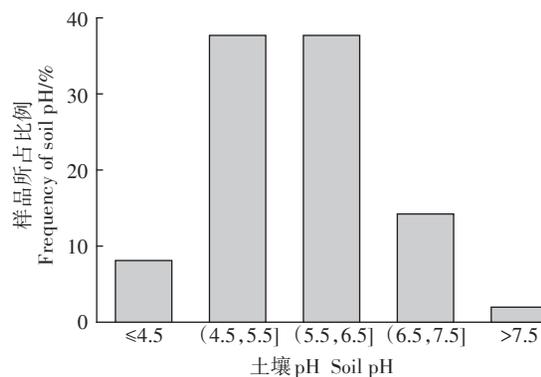


图2 土壤 pH 各区间所占比例

Figure 2 The frequency of soil pH in different ranges

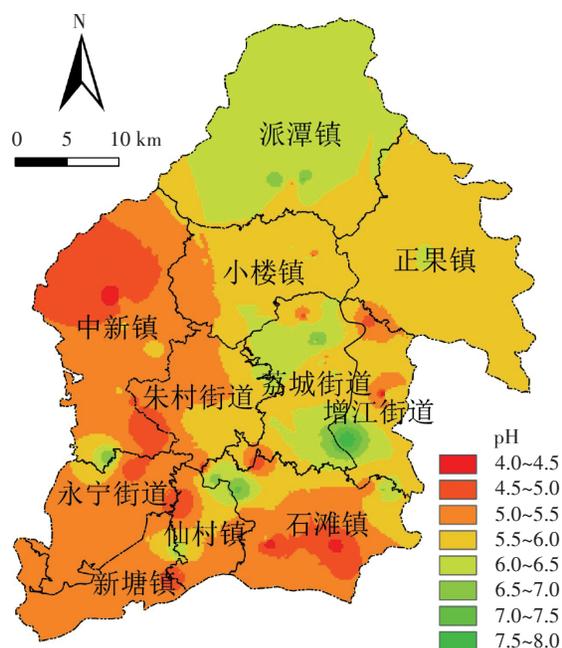


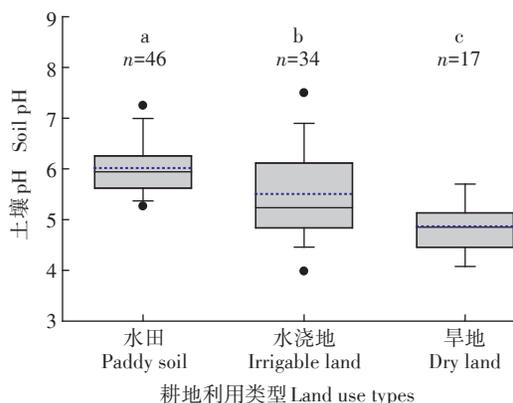
图3 广东省增城区土壤 pH 空间分布

Figure 3 Spatial distribution for soil pH in Zengcheng, Guangdong Province

4.87, 变异系数分别为 9.51%、17.40% 和 11.24% (图 4)。可见, 三种耕地利用类型下土壤 pH 存在显著差异。

2.1.2 土壤交换性酸

不同利用类型下土壤交换性氢和交换性铝含量变化如图 5 所示。水浇地和旱地土壤交换性氢含量均显著高于水田, 且二者间无显著差异。土壤交换性铝含量以旱地为最高, 其次为水浇地, 再次为水田, 土壤交换性铝含量分别为 1.38、0.72 $\text{cmol} \cdot \text{kg}^{-1}$ 和 0.31 $\text{cmol} \cdot \text{kg}^{-1}$, 变异系数分别为 117.9%、125.0% 和 69.9%。当土壤 pH 低于 6.01 时, 土壤 pH 每降低 1 个单位土壤交换性铝含量增加 0.95 $\text{cmol} \cdot \text{kg}^{-1}$, 而当土壤 pH 高于



不同小写字母表示各利用类型间差异显著($P < 0.05$)。下同
Different lowercase letters indicate significant differences among different land use ($P < 0.05$). The same below

图4 不同利用类型下土壤pH变化

Figure 4 Change in soil pH under different land use

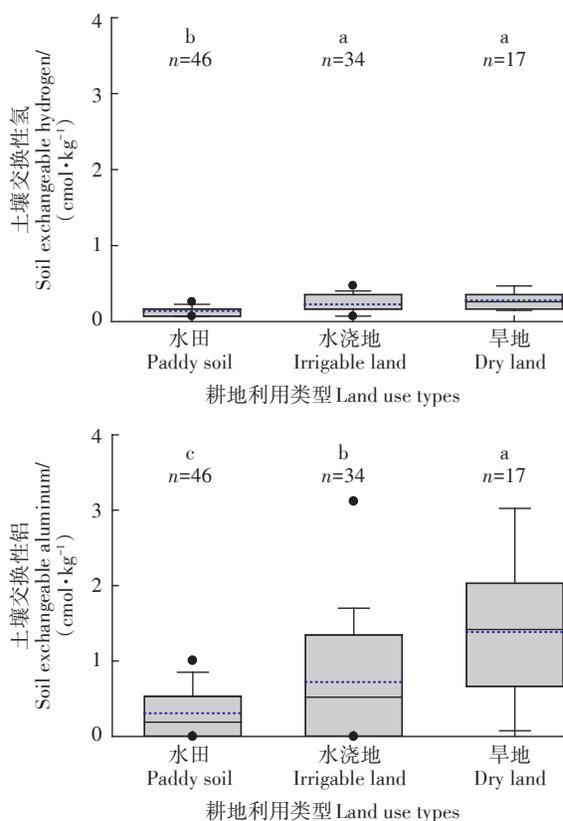


图5 不同利用类型下土壤交换性酸变化

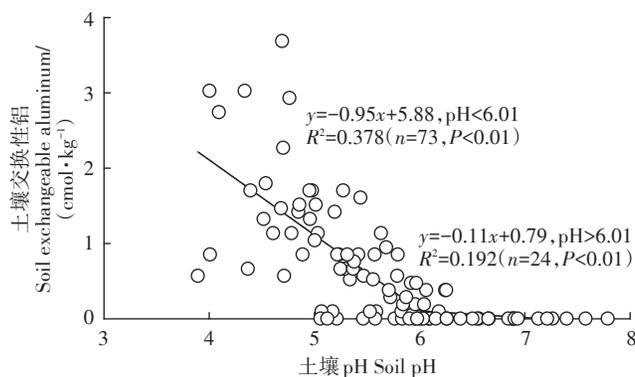
Figure 5 Change in soil exchangeable acid under different land use

6.01时,伴随土壤pH降低,交换性铝含量增加缓慢(图6)。

2.2 土壤全量养分

2.2.1 土壤有机质、阳离子交换量和碳酸钙含量

不同利用类型下土壤有机质含量、土壤阳离子交



拐点pH为6.01
Inflection point of the regression line was pH 6.01

图6 土壤pH与土壤交换性铝的回归分析

Figure 6 Regression analysis between pH and exchangeable aluminum

换量和碳酸钙含量均无显著差异(图7a、7b、7c),但与水田相比,水浇地和旱地土壤有机质和碳酸钙含量具有降低的趋势。

2.2.2 土壤全氮、全磷、全钾含量

不同利用类型下土壤全氮含量无显著差异(图8a)。土壤全磷含量以水浇地为最高,其次为旱地,再次为水田,平均含量分别为1.40、1.12 $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 和1.00 $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$,变异系数分别为29%、54.4%和43.0%(图8b)。全钾含量以水田为最高,且与水浇地无显著差异,旱地土壤最低,平均含量分别为26.93、22.59 $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 和20.04 $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$,变异系数分别为30.5%、38.2%和27.8%(图8c)。

2.3 土壤有效养分

不同利用类型下土壤有效氮含量无显著差异(图9a)。水田土壤Olsen-P含量显著低于水浇地和旱地,平均含量分别为57.9、110.0 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 和103.4 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,变异系数分别为58.9%、37.9%和60.0%(图9b)。水田土壤有效钾含量也显著低于水浇地和旱地,平均含量分别为75.6、136.8 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 和139.6 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,变异系数分别为57.4%、53.2%和77.7%(图9c)。

2.4 土壤酸度与土壤性质的相关性

土壤酸度与土壤性质的相关性分析如图10所示。由图10可知,土壤pH与土壤碳酸钙和全钾含量均呈显著正相关,而与土壤交换性酸(H^+ 和 Al^{3+})、有效磷含量呈显著负相关。土壤交换性氢(H^+)与交换性铝、有效磷和有效钾含量呈显著正相关,而与土壤碳酸钙含量呈显著负相关;土壤交换性铝(Al^{3+})与土壤阳离子交换量、有效磷含量呈显著正相关,与土壤

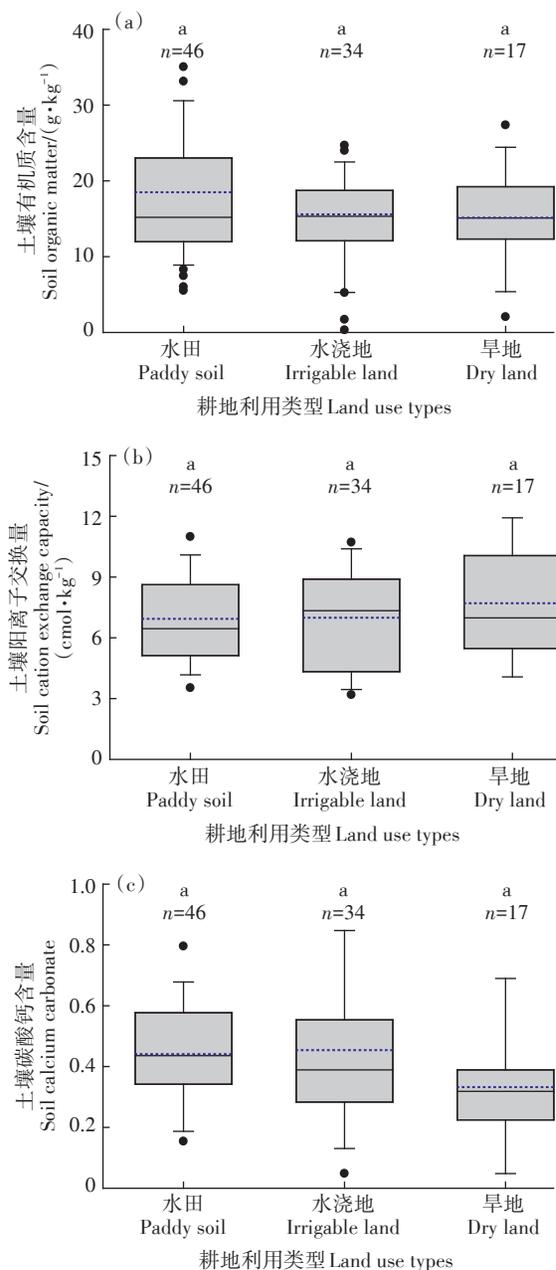


图7 不同利用类型下土壤有机质(a)、阳离子交换量(b)和碳酸钙含量(c)变化

Figure 7 Change in soil organic matter(a), cation exchange capacity(b), and calcium carbonate(c) under different land use

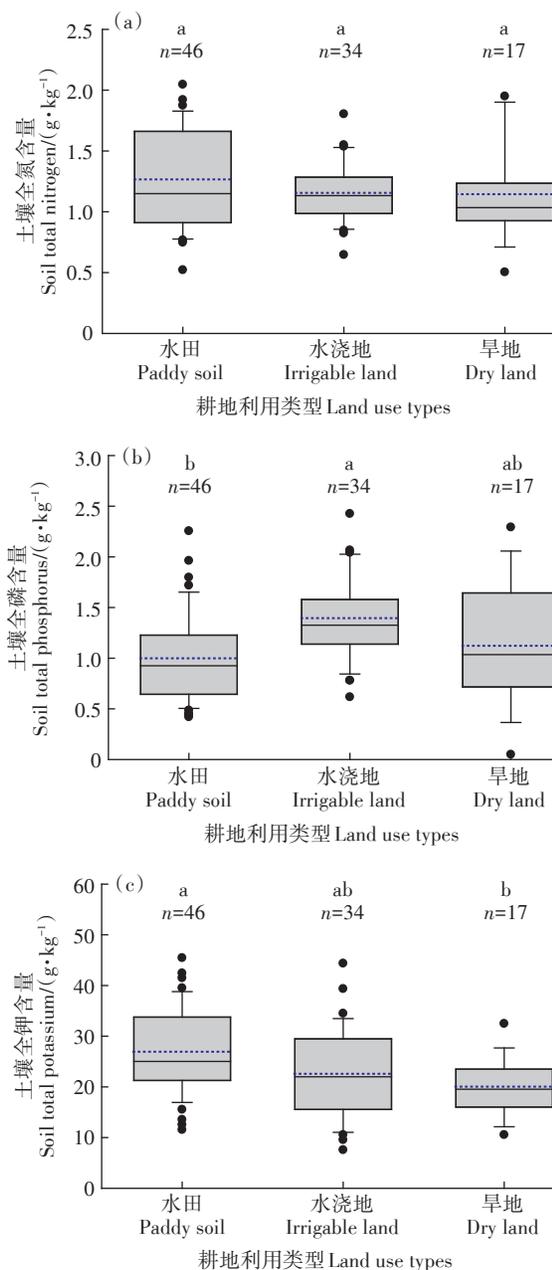


图8 不同利用类型下土壤全氮(a)、全磷(b)、全钾(c)含量变化
Figure 8 Changes in soil total nitrogen(a), phosphorus(b), and potassium(c) under different land use

碳酸钙含量和全钾含量呈显著负相关。土壤阳离子交换量与土壤碳酸钙、有机质、全氮和有效氮含量均呈显著正相关,而与土壤全钾含量呈显著负相关。可见,土壤碳酸钙含量是影响土壤酸度的因素之一。

3 讨论

3.1 土壤酸度变化

本研究表明,土壤酸度与土地利用类型密切相

关,水田土壤pH显著高于水浇地和旱地,而水浇地土壤pH又显著高于旱地(图4),但土壤交换性酸铝的变化趋势相反(图5)。水田、水浇地和旱地的水分、养管理以及耕作方式截然不同,土壤水分和氧化还原环境也随之发生变化,从而改变了土壤微生物特性,以及相应的碳、氮等元素转化过程,进而影响土壤酸碱度^[8-10]。QIN等^[13]通过调查分析发现,旱地土壤硝化微生物数量和活性较水田增加,氮肥硝化作用强,土壤硝态氮含量显著增加,土壤氢离子产生与消耗伴

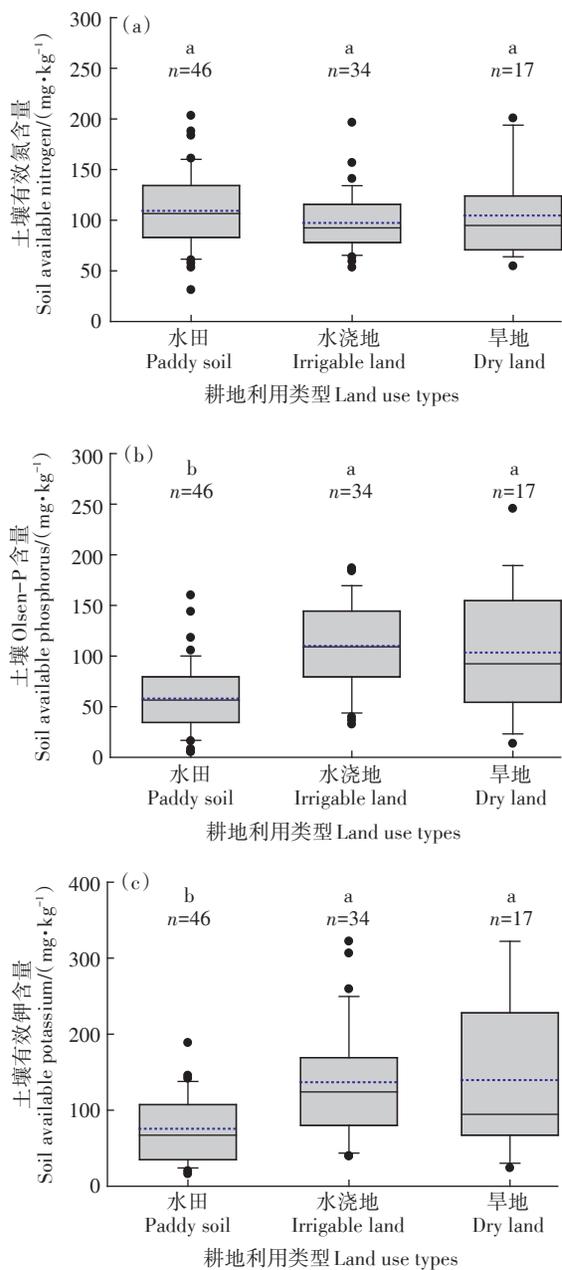
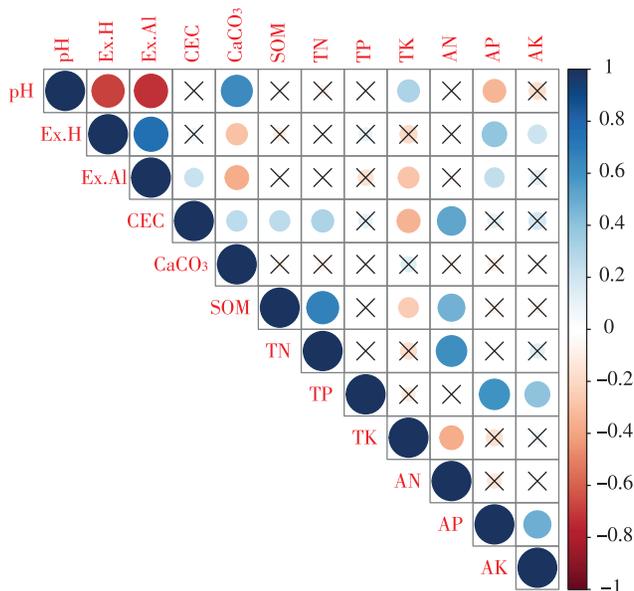


图9 不同利用类型下土壤有效氮(a)、Olsen-P(b)、有效钾(c)含量变化

Figure 9 Changes in soil available nitrogen(a), Olsen-P(b), and available potassium(c) under different land use

随着碳氮转化过程发生,因此旱地较水田在很大程度上增加了土壤氢离子净释放。周晓阳等^[18]也基于监测数据分析发现,与持续种稻模式相比,水旱轮作模式加速了土壤酸化,其原因为水田淹水期(厌氧条件)土壤中硝化产生的NO₃-N发生反硝化作用,消耗质子,能够在一定程度上维持土壤pH,而水旱轮作方式下土壤有相对较长的时间处于好气条件,硝化产生的NO₃-N易淋失,而质子在土壤中富集而导致



Ex.H:土壤交换性氢;Ex.Al:土壤交换性铝;CEC:土壤阳离子交换量;SOM:土壤有机质;TN:土壤全氮;TP:土壤全磷;TK:土壤全钾;AN:土壤有效氮;AP:土壤Olsen-P;AK:土壤有效钾。图中叉号和圆圈分别表示土壤性质间无相关(P>0.05)和显著相关(P<0.05)关系

Ex.H: soil exchangeable hydrogen; Ex.Al: soil exchangeable aluminum; CEC: soil cation exchange capacity; SOM: soil organic matter; TN: soil total nitrogen; TP: soil total phosphorus; TK: soil total potassium; AN: soil available nitrogen; AP: soil Olsen-P; AK: soil available potassium. The crosses and circle indicate no or significant correlation among soil properties at 0.05 level, respectively

图10 土壤酸度与土壤性质的相关性分析

Figure 10 The correlation between soil acidity and soil properties

酸化。

酸性和强酸性土壤主要分布在南部和西部地区,包括石滩镇、仙村镇、新塘镇、永宁街道、朱村街道和中新镇,其中中新镇和石滩镇土壤酸性最强;而其他镇以pH>5.5的弱酸性土壤和中性土壤为主(图3)。这与土地利用类型相匹配,石滩镇、仙村镇、新塘镇、永宁街道、朱村街道和中新镇以水浇地和旱地为主,特别是中新镇和石滩镇以旱地为主,因此土壤酸度较强,是土壤酸度改良的重点考虑区域。当土壤pH低于6.01时,土壤pH每降低1个单位土壤交换性铝含量增加0.95 cmol·kg⁻¹,而CAI等^[4]在湖南红壤上的研究表明当土壤pH低于5.6时,土壤交换性铝的增加速率为4.00 cmol·kg⁻¹。土壤交换性铝增加速率的差异可能与土壤有机质含量有关。本研究水田、水浇地和旱地土壤有机质平均含量分别为18.5、15.6 g·kg⁻¹和15.1 g·kg⁻¹,高于CAI等的研究结果(13.4 g·kg⁻¹)。土壤有机质是一种复杂的高分子芳香多聚化合物,含有大量的羧基、醇羟基、酚羟基等官能团,具有很高的反应活性,且比表面积大,对铝等金属离子

具有强络合作用^[22-23]。大量研究表明,有机质对土壤交换性铝含量具有重要影响,且随土壤有机质含量的增加,土壤交换性铝含量显著降低,有机络合态铝含量增加,铝毒性减轻^[24]。WANG等^[25]研究发现长期施用有机肥促进了土壤交换性铝向有机络合态铝转化,并采用冗余分析发现土壤pH和有机质含量共同解释了各处理土壤铝形态变异性的84%。可见,增加土壤有机质含量可能是减缓土壤酸化、降低交换性铝含量的原因之一。此外,将部分特殊点位,即低pH且低交换性铝含量(图11蓝色标记的点位),与其他点位(黑色标记)分成两组作回归分析可知,土壤交换性铝快速增加点分别发生在pH 5.21和pH 5.99,且伴随土壤pH降低1个单位,交换性铝含量分别增加0.59、1.32 $\text{cmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。这些特殊点位以水浇地为主,可见利用类型不同可能是引起土壤交换性铝对pH响应差异的原因之一,其作用机理还有待进一步研究。

3.2 土壤酸度与土壤性质的相关性分析

本研究表明,土壤碳酸钙含量是影响土壤酸度的主要指标之一,这在很大程度上取决于土壤酸缓冲体系。ULRICH^[26]将土壤酸缓冲体系分为:碳酸盐缓冲体系($6.2 < \text{pH} < 8.6$)、硅酸盐缓冲体系($\text{pH} > 5.0$)、阳离子交换缓冲体系($4.2 < \text{pH} < 5.0$)、铝缓冲体系($\text{pH} < 4.2$)、铁/铝缓冲体系($\text{pH} < 3.8$)和铁缓冲体系($\text{pH} < 3.2$)。本研究弱酸性、酸性和碱性土壤分别占37.8%、37.8%和16.3%,其平均pH分别为5.05、5.92和6.99,土壤以硅酸盐和碳酸盐缓冲体系为主,而水浇地和旱地硝化等过程释放的氢离子首先消耗碳酸盐,缓解交换性铝的增加。本研究也表明,当土壤pH高于6.01时,pH每降低1个单位,土壤交换性铝的增加量仅为

$0.11 \text{ cmol}\cdot\text{kg}^{-1}$,进一步证明土壤以碳酸盐缓冲体系为主。李学垣等^[27]和YU等^[28]的研究结果也表明,游离碳酸钙的土壤与酸进行中和反应,首先产生重碳酸盐,随着中和反应的进行,重碳酸盐从土壤表层淋出,随着土壤的碳酸盐缓冲容量被慢慢耗尽,土壤pH逐渐降低,交换性铝逐渐溶出。

此外,本研究发现土壤酸度与有效磷含量呈显著正相关。这可能有两方面的潜在原因:①水浇地和旱地的作物类型以蔬菜和水果为主,养分投入量大,磷肥中的硫酸对土壤具有一定的酸化作用^[29];②高量养分投入带来高量的农产品收获,并带走了更多的碱性物质,从而加剧土壤酸化^[30]。由此可见,研究区土壤酸度在很大程度上取决于土地利用类型,其影响机制还有待进一步分析研究。本研究表明水浇地和旱地较水田具有更低的土壤pH,而提高土壤有机质含量对减缓酸化和降低交换性铝含量具有一定的调控作用,为此对于赤红壤区水浇地和旱地的酸化防治可以考虑提升有机质含量。

此外,本研究还发现,不同利用类型下水田pH最高,其次为水浇地,再次为旱地,这表明不同耕地利用类型与土壤酸度有关。然而,除耕地利用类型外,不同耕地利用方式(例如复种强度、作物类型、作物轮作等)对土壤酸度也可能产生影响。耕地利用方式存在明显区域特点,且大范围获取耕地利用方式的技术手段还十分有限,因此在区域尺度探讨土壤酸度与耕地利用方式的时空特征规律面临一定挑战。本课题组尝试利用遥感技术在区域尺度监测耕地利用类型、利用方式等方面的特征(数据尚未发表),借鉴这些研究成果,未来可进一步深入关联耕地类型、作物类型、种

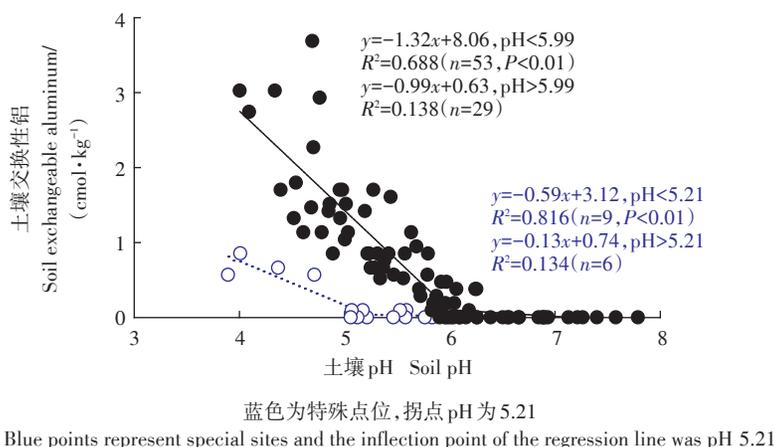


图11 土壤pH与土壤交换性铝的回归分析(两组)

Figure 11 Regression analysis between soil pH and exchangeable aluminum (two groups)

植强度、轮作方式、地形地貌、气象水文等要素与土壤酸度的关系,构建大数据驱动的土壤酸度时空差异评估技术体系,支撑跨尺度耕地质量监测、评价与提升机制研究。

4 结论

(1)广东省增城区土壤以弱酸和酸性土壤为主,且主要分布在石滩镇、仙村镇、新塘镇、永宁街道、朱村街道和中新镇,其中中新镇和石滩镇土壤酸性最强。

(2)耕地利用类型是影响土壤酸度的主要因素之一,土壤pH表现为水田>水浇地>旱地;土壤交换性氢含量表现为水田<水浇地、旱地,土壤交换性铝含量表现为水田<水浇地<旱地。

(3)土壤pH与土壤碳酸钙含量呈显著正相关,而与土壤速效磷含量呈显著负相关。

本研究表明,增城区水浇地和旱地土壤酸度强于水田,在土壤酸化防治和耕地质量提升中应重点考虑。

参考文献:

[1] GUO J H, LIU X J, ZHANG Y, et al. Significant acidification in major Chinese croplands[J]. *Science*, 2010, 327(5968): 1008–1010.

[2] ZHU Q C, DE VRIES W, LIU X J, et al. Enhanced acidification in Chinese croplands as derived from element budgets in the period 1980–2010[J]. *Science of the Total Environment*, 2018, 618: 1497–1505.

[3] 郭治兴,王静,柴敏,等.近30年来广东省土壤pH值的时空变化[J].应用生态学报,2011,22(2):425–430. GUO Z X, WANG J, CHAI M, et al. Spatiotemporal variation of soil pH in Guangdong Province of China in past 30 years[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2011, 22(2):425–430.

[4] CAI Z J, WANG B R, XU M G, et al. Intensified soil acidification from chemical N fertilization and prevention by manure in an 18-year field experiment in the red soil of southern China[J]. *Journal of Soils and Sediments*, 2015, 15: 260–270.

[5] 徐仁扣.土壤酸化及其调控研究进展[J].土壤,2015,47(2):238–244. XU R K. Research progresses in soil acidification and its control[J]. *Soils*, 2015, 47(2):238–244.

[6] CAI Z J, WANG B R, XU M G, et al. Nitrification and acidification from urea application in red soil (Ferralic Cambisol) after different long-term fertilization treatments[J]. *Journal of Soils and Sediments*, 2014, 14: 1526–1536.

[7] 陈飞香,陈长成,胡月明,等.农田土壤养分不确定性评价在高标准农田划定中的应用——以广州市增城区为例[J].江苏农业科学,2016,44(12):410–414. CHEN F X, CHEN C C, HU Y M, et al. Application of soil nutrient uncertainty evaluation in high standard farmland designation: A case study of Zengcheng District, Guangzhou City[J]. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2016, 44(12):410–414.

[8] SHENG R, MENG D L, WU M N, et al. Effect of agricultural land use change on community composition of bacteria and ammonia oxidizers[J]. *Journal of Soils and Sediments*, 2013, 13: 1246–1256.

[9] 章明奎,杨东伟.南方丘陵地水改旱后土壤发生学性质与类型的变化[J].土壤通报,2013,44(4):786–792. ZHANG M K, YANG D W. Changes in genetic characteristics and types of soils in hilly regions after alteration from paddy fields to upland[J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 2013, 44(4):786–792.

[10] 姚玉才,邱志腾,陈小梅,等.水耕人为土长期改旱后土壤类型演变的探讨[J].土壤通报,2016,47(5):1029–1035. YAO Y C, QIU Z T, CHEN X M, et al. Evolution of soil types after long-term land-use conversion from paddy fields into dryland[J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 2016, 47(5):1029–1035.

[11] WU X, NGUYEN-SY T, SUN Z, et al. Soil organic matter dynamics as affected by land use change from rice paddy to wetland[J]. *Wetlands*, 2020, 40:2199–2207.

[12] DAI X Q, YUAN Y, WANG H M. Changes of anaerobic to aerobic conditions but not of crop type induced bulk soil microbial community variation in the initial conversion of paddy soils to drained soils[J]. *Catena*, 2016, 147:578–585.

[13] QIN H L, QUAN Z, YUAN H, et al. Response of ammonium-oxidizing (*amoA*) and nitrate-reducing (*narG*) gene abundances in groundwater to land use change[J]. *Water, Air, & Soil Pollution*, 2014, 225: 1908.

[14] 杨东伟,章明奎,张鹏启,等.水田改果园后土壤微生物学特性演变[J].土壤学报,2018,55(1):182–193. YANG D W, ZHANG M K, ZHANG P Q, et al. Evolution of soil in microbiology after reclamation of paddy into orchard[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2018, 55(1): 182–193.

[15] WANG H, GUAN D S, ZHANG R D, et al. Soil aggregates and organic carbon affected by the land use change from rice paddy to vegetable field[J]. *Ecological Engineering*, 2014, 70:206–211.

[16] CHEN R R, ZHONG L H, JING Z W, et al. Fertilization decreases compositional variation of paddy bacterial community across geographical gradient[J]. *Soil Biology & Biochemistry*, 2017, 114: 181–188.

[17] 唐贤,蔡泽江,徐明岗,等.红壤不同利用方式下的剖面酸度特征[J].植物营养与肥料学报,2018,24(6):1704–1712. TANG X, CAI Z J, XU M G, et al. Acidity characteristics of red soil profile under different land use patterns[J]. *Journal of Plant Nutrition and Fertilizers*, 2018, 24(6):1704–1712.

[18] 周晓阳,徐明岗,周世伟,等.长期施肥下我国南方典型农田土壤的酸化特征[J].植物营养与肥料学报,2015,21(6):1615–1621. ZHOU X Y, XU M G, ZHOU S W, et al. Soil acidification characteristics in southern China's croplands under long-term fertilization[J]. *Journal of Plant Nutrition and Fertilizer*, 2015, 21(6):1615–1621.

[19] 鲍士旦.土壤农化分析[M].北京:中国农业出版社,2000. BAO S D. Analysis of soil agrochemistry[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2000.

[20] 王辛芝,张甘霖,俞元春,等.南京城市土壤pH和养分的空间分布

- [J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2006(4):69-72. WANG X Z, ZHANG G L, YU Y C, et al. Spatial distribution of soil pH and nutrients in urban Nanjing[J]. *Journal of Nanjing Forestry University (Natural Sciences Edition)*, 2006(4):69-72.
- [21] 李增兵, 赵庚星, 赵倩倩, 等. 县域耕地地力评价中土壤养分空间插值方法的比较研究[J]. 中国农学通报, 2012, 28(20):230-236. LI Z B, ZHAO G X, ZHAO Q Q, et al. Comparison of spatial interpolation methods for soil nutrients in cultivated land fertility evaluation[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2012, 28(20):230-236.
- [22] GRUBA P, MULDER J. Tree species affect cation exchange capacity (CEC) and cation binding properties of organic matter in acid forest soils[J]. *Science of the Total Environment*, 2015, 511:655-662.
- [23] JIANG J, WANG Y P, YU M X, et al. Soil organic matter is important for acid buffering and reducing aluminum leaching from acidic forest soils[J]. *Chemical Geology*, 2018, 501:86-94.
- [24] 肖厚军, 王正银, 何佳芳, 等. 贵州黄壤铝形态及其影响因素研究[J]. 土壤通报, 2009, 40(5):1044-1048. XIAO H J, WANG Z Y, HE J F, et al. Aluminum forms and their effect factors in yellow soils in Guizhou[J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 2009, 40(5):1044-1048.
- [25] WANG L, BUTTERLY R C, TIAN W, et al. Effects of fertilization practices on aluminum fractions and species in a wheat soil[J]. *Journal of Soils and Sediments*, 2016, 16:1933-1943.
- [26] ULRICH B. Natural and anthropogenic component of soil acidification [J]. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 1986, 149(6):702-717.
- [27] 李学垣. 土壤化学[M]. 北京:高等教育出版社, 2001. LI X Y. Soil chemistry[M]. Beijing:Higher Education Press, 2001.
- [28] YU T R. Aluminum ions chemistry of variable charge soils[M]. New York:Oxford University Press, 1997:369-385.
- [29] 侯萌瑶, 张丽, 王知文, 等. 中国主要农作物化肥用量估算[J]. 农业资源与环境学报, 2017, 34(4):360-367. HOU M Y, ZHANG L, WANG Z W, et al. Estimation of fertilizer usage from main crops in China[J]. *Journal of Agricultural Resources and Environment*, 2017, 34(4):360-367.
- [30] DONG Y, YANG J L, ZHAO X R, et al. Contribution of different proton sources to the acidification of red soil with maize cropping in subtropical China[J]. *Geoderma*, 2021, 392:114995.