赣南地区土壤 pH 值分布的影响因素及其强度变化

刘雪松，张智印，魏建朋

（中国地质调查局水文地质环境地质调查中心，河北 保定 071051）

摘　要：[目的] 研究赣南地区土壤 pH 值的影响因素和强度，为该区土壤酸化防治提供科学依据。[方法] 以江西省赣州市南康区 8 167 组表层土壤为研究对象，利用卡方检验、相关系数等统计学方法，对土壤 pH 值分布特征及影响因素进行分析。[结果] 研究区 83.1%的土壤为强酸性（pH＜5.0），中性及碱性土壤比例小于 17%。土壤 pH 值主要受成土母质和地质背景等自然因素的影响，影响强度表现为：成土母质＞地质背景＞高程＞用地类型＞地貌。酸性土壤分布在古生代火成岩和地势较高的元素流失区；中生代沉积岩和地势低洼元素富集区中土壤呈现碱性化，同时人类活动对土壤酸化的贡献不容忽视。[结论] 赣南地区土壤 pH 值形成主要受成土母质和地质背景控制，人类活动促使土壤 pH 值在不同土地利用类型上出现一定程度的异化。

关键词：赣南丘陵区；土壤 pH 值；影响因素；强度对比

文献标识码：A　　**文章编号**：1000-288X(2021)04-0100-06　　**中图分类号**：S147.2

文献参数：刘雪松，张智印，魏建朋.赣南地区土壤 pH 值分布的影响因素及其强度变化[J].水土保持通报，2021，41(4)：100-105. DOI：10.13961/j.cnki.stbctb.2021.04.014；Liu Xuesong，Zhang Zhiyin，Wei Jianpeng. Influencing factors and intensity change of soil pH value in South Jiangxi Province [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation，2021，41(4)：100-105.

Influencing Factors and Intensity Change of Soil pH Value in South Jiangxi Province

Liu Xuesong，Zhang Zhiyin，Wei Jianpeng

（*Hydrogeology and Environmental Geology Survey Center of CGS*，*Baoding*，*Hebei* 071051，*China*）

Abstract：[Objective] The influencing factors and intensity of soil pH value in Southern Jiangxi Province were studied to provide a scientific basis for soil acidification prevention and control. [Methods] 8 167 surface soil samples in Nankang District，Ganzhou City were collected，and the distribution characteristics and influencing factors of soil pH value were analyzed by using Chi-square test and correlation coefficient methods. [Results] 83.1% of the soil in the study area was highly acidity (pH＜5.0)，and the proportion of neutral and alkaline soil was less than 17%. The soil pH value was mainly affected by natural factors such as soil parent material and geological background. The influence intensity was as follows：parent material＞geological background＞elevation＞land type＞landform. Acidic soil was distributed in Paleozoic igneous rocks and the element loss areas with higher terrain，the soil in Mesozoic sedimentary rocks and low-lying areas with rich elements was alkaline. At the same time，the contribution of human activities to soil acidification could not be ignored. [Conclusion] The soil pH value in Southern Jiangxi Province is mainly controlled by soil parent material and geological background，and human activities have caused a certain difference in soil pH value in different land use types.

Keywords：**hilly areas in Southern Jiangxi Province；soil pH value；influencing factors；intensity contrast**

土壤 pH 值是土壤重要的化学性质，是土壤酸性程度的量化表征，是土壤形成过程中多种因子综合作用的结果[1]，它深刻影响着土壤微生物活性和地表作物的生长[2-6]，也影响土壤物化性质和养分有效

收稿日期：2021-01-14　　**修回日期**：2021-05-06

资助项目：中国地质调查局大调查项目“海峡西岸经济区土地质量地球化学调查”(DD20179303)

第一作者：刘雪松(1977—)，男(汉族)，河北省保定市人，硕士，高级工程师，主要从事土壤与地下水污染调查与评价方面的工作。Email：26426556@qq.com。

性[7-9]。现代土壤 pH 值是自然因素和人为因素综合作用的结果,自然因素指地质背景、土壤母质、水热条件等诸多非人力控制的因素,自然因素对土壤 pH 值的影响是个漫长的过程[10]。人类因素主要指人类对土地的利用与改造,包括农业活动、工业活动、城市化活动和生活活动等,人类活动对土壤影响主要体现在土地利用类型的改变,进而改变了土壤的物化性质。自然因素对土壤 pH 值影响研究方面:赵凯丽、王亚男、张元培等[11-13]在湖南祁阳县、毕节市和湖北土壤 pH 值影响因素研究中发现,成土母质和土壤类型对土壤 pH 值形成存在显著性影响,并对比研究了不同成土母质和类型土壤 pH 值的分配规律;魏辉等[14]研究发现,土壤 CEC 和黏土含量对缓冲酸雨影响方面具有重要的作用;谢天洋[15]研究发现不同类型的土壤 pH 值显著不同。人类活动对土壤 pH 值影响研究方面,周宏冀[16]认为人类施肥活动是土壤酸化的主要原因;朱小琴等[17]研究发现种植结构会影响土壤 pH 值的变化,此外工企业周围土壤 pH 值会明显降低,而在城镇周围及公路两侧土壤 pH 值则会明显较高;邵文静等[18]认为苏南地区间土地利用格局和利用方式的时空差异是造成土壤 pH 值时空变化区域差异的主要驱动力。以上研究说明现代土壤 pH 值的形成是自然因素和人为因素叠加影响、综合作用的结果。自然因素和人为因素对土壤 pH 值形成的影响程度,上述研究各有所表,缺乏横向的对比,尤其在人类因素和自然因素差异性研究方面,系统深入的研究还较欠缺。

为此,本文以江西赣州南康区土壤的 pH 值为分析对象,利用反距离权重插值法对其空间分布进行插值,通过描述性统计,对其分配规律及影响因素进行分析。采用列联分析方法,对土壤 pH 值的影响因素强度进行分析,为土壤酸碱度的控制和土壤生态的良性保持提供思路和参考。

1　材料与方法

1.1　研究区概况

研究区位于江西省赣州市西部,地处赣江上游章江段。研究区总体地貌属于赣南丘陵区,中高山较少,平地、低丘分布较多。研究区中南部河流众多,属于河流冲洪积区域,地势低平,北部区域低山丘陵较多,地势起伏较大。土壤类型有山地黄壤、红壤、黄红壤、紫色土、水稻土等类型,以水稻土、红壤和黄红壤居多。根据土壤酸碱度分类标准[19],该区强碱性、碱性、中性、酸性和强酸性土壤都有分布,其中酸性土壤面积占比为 92% [20]。南康区经济较为发达,2019 年 GDP 总量 338.56 亿元,位居赣州市县域经济总量第 2 位[21]。

1.2　样本数据及处理

样本数据来自赣州市南康区土地质量地球化学调查项目,采样时间为 2018 年 5—10 月。样品量 8 167组,样品采集深度 0—20 cm。样品以网格法布置,样品之间无空白网格,样品平均密度为 7.6 个/km^2。采样单元以农用地为主,兼顾林草地、城区用地及工矿企业用地。土壤样品经干燥、去杂质和过1.7 mm 孔径筛后,送国土资源部南昌矿产资源监督检测中心进行分析,分析方法采用玻璃电极电位法测定。土壤样品 pH 值数据正态性检验显示为右偏分布,不是标准正态分布类型。为使分析更具科学性,对异常数据进行剔除。剔除方法采用切比雪夫不等式法,剔除四倍的标准差,保证至少 94%的数据在分析范围内[22]。异常数据剔除后,统计结果详见表 1。异常数据全部来自强碱性土壤,剔除率为 0.12%,保留了 99.88%的数据。

表 1　异常数据剔除后南康区土壤样本酸碱性分布统计

项 目	强碱性土壤 (≥8.5)	碱性土壤 (7.5～<8.5)	中性土壤 (6.5～<7.5)	酸性土壤 (5.0～<6.5)	强酸性土壤 (<5.0)	离群数据	离群比例
剔除前样本量	93	353	247	3 433	4 041	10	0.12%
剔除后样本量	83	353	247	3 433	4 041		

注:表中土壤酸碱度分类引自《土地质量地球化学评价规范》中的“土壤酸碱度分级标准”。

研究区样品采用网格化均匀布点法,采样点不聚集,满足反距离权重插值法应用条件;土壤 pH 值数据不服从标准正态分布,不满足克里金插值条件;综上采用反距离权重插值法绘制土壤 pH 值的空间分布图[23]。

2　土壤 pH 值分布特征及其影响因素

2.1　土壤 pH 值分布特征

剔除后数据总体统计特征详见表 2。研究区土壤总体以酸性土壤为主,变异系数 0.17,属于低变异状

态，土壤 pH 值全距为 5.33，变化幅度较大，数据为右偏尖峰分布。研究区 95%以上区域的土壤为酸性土壤，其中强酸性土壤占到了 83%以上(图 1)。对比土壤 pH 值分布图、成土母质和地质背景以及地貌情况，可得碱性土壤主要分布在研究区中部河流冲积形成的低平区域。该区域也是人类活动频率最为密集的区域，成土母质以第四系松散沉积物为主。中性土壤主要分布在碱性土壤的外围和丘陵山区的小盆地区域，成土母质以第四系松散沉积物和砂岩等沉积岩为主，人类活动频率稍密集。酸性土壤主要分布在中性土壤的外围，分布面积较中性土壤有所扩大，分布区域较为一致，成土母质主要以砂岩等沉积岩类为主。强酸性土壤在研究区大面积分布，主要分布在研究区北部和南部丘陵山地区，成土母质以火成岩和变质岩为主，该区域山高林密，交通不便，人类活动稀疏。

综上所述，研究区土壤酸化程度比较严重，土壤 pH 值分布和成土母质、地质背景及地势存在一定的空间相关性。

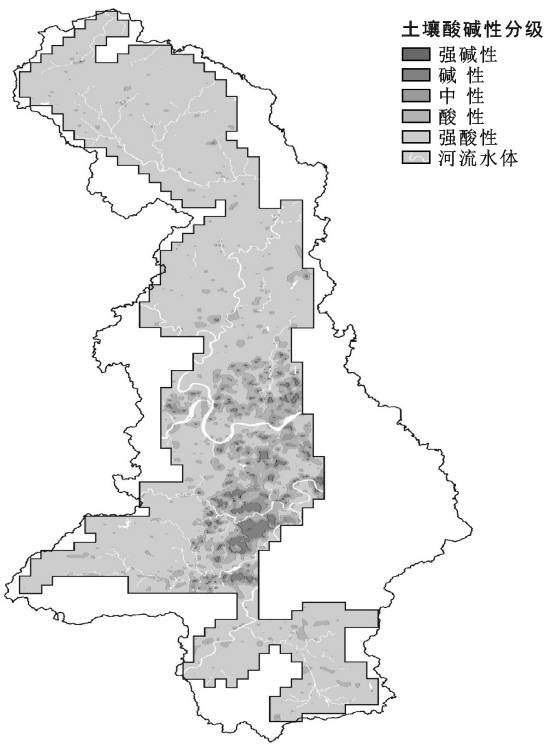


图 1 南康区土壤酸碱性分布图

2.2 土壤 pH 值影响因素分析

影响因素从地质背景、成土母质、用地类型、地形地貌、土壤质地 5 个方面进行分析(表 2)。①研究区土壤地质背景横跨元古代、古生代、中生代和新生代。从 pH 值变异系数看，地质年代越老，变异系数越低，整体处于低变异状态。从均值上看，地质年代由新及老，土壤 pH 值有降低的趋势，数据分布都呈右偏分布，除白垩纪外，都呈尖峰分布。地质年代由新及老，土壤 pH 值全距变化幅度呈缩小趋势。综上说明地层年代愈古老，土壤 pH 值扰动愈小；地层越新，扰动性越大(白垩纪地层例外)。②研究区样本具有统计意义的成土母质岩类主要有砂岩、砾岩、砂砾岩、花岗岩、凝灰岩、板岩、变砂岩 7 类。为便于统计，按照岩石成因划为 4 类：第四纪松散沉积物、沉积岩(砂岩、砾岩、砂砾岩)、变质岩(板岩、变砂岩)和火成岩(花岗岩、凝灰岩)4 类。4 类成土母质岩性的土壤 pH 均值和变异系数变化趋势一致，即由火成岩—变质岩—第四纪松散沉积物—沉积岩顺序逐渐变大，且从松散沉积物到沉积岩，变幅较大。土壤 pH 值全距，由火成岩—变质岩—沉积岩—第四纪松散沉积物顺序逐渐变大。综上分析土壤 pH 值在不同成土母质中的分配规律和不同成土母质之间的关系，可得岩石形成演变时间越短，受地表自然风化和人类影响越小的成土母质形成的土壤 pH 值越低，变异程度越轻，全距变化幅度越小。③土地利用类型，按照用途特征划分为 3 类，草地和林地合称为林草地，水田、旱地、果园等为农用地，工业和城建用地为工矿城区地。土壤 pH 值均值由林草地—农用地—工矿城区地顺序逐渐变大；土壤 pH 值变异系数农用地变异程度最低，工矿城区地和林草地变异程度相当；土壤 pH 值全距农用地略高于工矿城区地和林草地。林草地土壤熟化程度低，人类影响程度小，土壤腐殖层厚，在南方多雨湿热多雨环境下盐基离子淋失严重，致酸离子(氢和铝离子)富集，因此其 pH 值表现最低；赣南地区农用地多为水田，经过耕种和中低产田改造，发育程度和熟化程度高，土壤酸化程度会受到一定的抑制[24-25]，因此农用地土壤 pH 值较原始林草地稍高一些，但是化肥的使用，从纵向时间轴上看农用地还是趋于一种酸化的趋势；工矿城区地，多位于人类聚居的丘陵河谷冲洪积区域，河流携带的盐基离子会使冲洪积土层中盐基离子增加，另外非农化土地不再耕地，土壤密实度升高，渗透淋滤变差，化肥不再施用等，都有助于减缓了酸化的程度。综上表明人类部分活动对南方土壤的自然酸化有一定的抑制作用。④依据研究区地形地貌分布特征，分为平地区域和丘陵山地区域两大类。丘陵山地区域土壤 pH 均值明显低于平地区域；变异系数、峰度、偏度和全距两者比较接近。平地区域是人类活动较为频繁的区域，土壤 pH 值地貌上的差异也证明人类活动是促使土壤 pH 值升高的一个因素。⑤土壤质地是土壤形成后的物理属性，主要体现土壤矿物颗粒的组合状况。从统计意义上看，壤土的 pH 均值略低于砂土，变异系数并无差异。

表 2　南康区土壤 pH 值影响因素描述性统计结果

项目		pH 值						
		样本数	最小值	最大值	均值	变异系数 C_v	偏度	峰度
新生代	全新世	2 611	3.51	8.74	5.23	0.13	2.13	6.45
	更新世	162	3.96	8.62	5.35	0.21	1.43	1.09
中生代	白垩纪	1 968	3.70	8.84	5.80	0.23	0.95	−0.41
	侏罗纪	411	3.88	8.01	4.95	0.08	2.00	13.49
古生代	志留纪	1 012	3.88	7.53	4.87	0.08	1.73	7.42
	寒武纪	860	3.54	8.53	4.91	0.10	1.91	9.81
元古代	震旦纪	1 028	3.83	7.26	4.91	0.09	0.91	2.34
	南华纪	84	4.05	6.55	4.87	0.07	1.79	7.41
母质岩性	沉积岩	2 286	3.70	8.84	5.70	0.23	−0.14	1.07
	变质岩	1 210	3.54	8.53	4.91	0.10	8.23	1.69
	火成岩	2 029	3.88	8.01	4.90	0.08	5.93	1.40
	松散沉积物	2 611	3.51	8.74	5.23	0.13	6.45	2.13
用地类型	林草地	1 334	3.86	8.84	5.11	0.22	2.12	3.56
	农业用地	6 640	3.51	8.83	5.23	0.15	2.23	5.68
	工矿城区地	183	3.88	8.82	6.13	0.23	0.30	−1.36
地貌	平地	4 091	3.84	8.84	5.31	0.15	2.07	4.60
	丘陵山地	4 066	3.51	8.83	5.15	0.19	2.23	4.80
质地	砂土	7 496	3.51	8.84	5.24	0.17	2.11	4.56
	壤土	661	3.88	8.73	5.12	0.17	2.28	5.83
总体特征		8 157	3.51	8.84	5.23	0.17	2.12	4.64

3　土壤 pH 值分布特征影响因素强度分析

便于土壤 pH 值分布特征影响因素强度分析，将影响因素中的地貌和高程进一步划分，地貌中的丘陵山地细分为丘陵坡地和丘陵谷地；高程按照 150，330 m 等高线分为 3 类，并做交叉频数统计(表 3)。若土壤酸碱度按照强碱性、碱性、中性、酸性、强酸性 5 类进行分析，则在成土母质、地质背景和高程 3 个影响因素中，将有碱性和强碱性观测值为零的情况，在卡方检验会出现期望频数小于 5 的情况，为避免此种情况，将强碱性和碱性归并为碱性土壤，中性土壤仍然为中性，酸性和强酸性归并为酸性土壤，这样土壤酸碱度划分为 3 类。

此外地质背景将地质年龄大于等于古生代的归为一类，不再划分元古代。

表 3　土壤 pH 值地貌高程影响因素交叉频数统计

高程/m	碱性	中性	酸性	合计	地貌位置	碱性	中性	酸性	合计
≥300	1	6	849	856	平地	186	156	3 761	4 103
150～300	82	49	3 976	4 107	丘陵坡地	206	48	1 954	2 208
<150	353	192	2 649	3 194	丘陵谷地	45	43	1 759	1 847
合计	436	247	7 474	8 157	合计	437	247	7 474	8 158

根据以上方案将影响因素划分和合并后，进行卡方检验，检验各类影响因素和土壤酸碱度之间是否存在依赖关系，检验结果详见表 4。除了土壤质地因素 $\chi^2<\chi^2_{0.05}$，$p=0.432>0.05$ 外，其余影响因素均为 $\chi^2>\chi^2_{0.05}$，$p=0.000\ll0.05$。即土壤质地和土壤酸碱度是相互独立的，不存在依赖关系，其他影响因素或多或少和土壤酸碱度都存在依赖的关系。表 2 统计分析中壤土和砂土的 pH 均值存在一定差异，但是不能说明土壤质地和土壤 pH 值之间就存在相关性，需要从数学统计角度进行验证，通过上述卡方检验，证明不同质地的土壤 pH 均值差异只是偶然性事件，土壤 pH 值和土壤质地间不存在必然联系，即土壤质地这个物理属性对土壤 pH 值这个由土壤溶液中氢离子和氢氧根离子浓度决定的化学参数之间无显著相关性。

影响因素和土壤酸碱度相关程度采用 V 相关系数进行判定，该系数不受行列数影响，适合本例行列数不一致的情形。判定结果详见表 4。影响强度的

关系为:成土母质>地质背景>高程>用地类型>地貌。其中成土母质、地质背景、高程、用地类型都属于弱相关类型,地貌属于基本不相关类型。

综上所述,成土母质、地质背景对土壤 pH 值分布的影响最为显著,其次是高程和用地类型,地貌对土壤 pH 值分布影响最弱。这与赵凯丽等在"我国南方不同母质土壤 pH 值剖面特征及酸化因素分析"中提到母质是影响土壤理化性质的主要因素结果一致。也和吴正祥、周勇等"鄂西北山区耕层土壤 pH 值空间变异特征及其影响因素研究"中的结论"成土母质是研究区土壤 pH 值空间变异的主控因素,其次是海拔高度,较弱的是土地利用方式,坡度几乎没有独立解释能力…"相契合,说明成土母质和地质背景等自然因素是土壤 pH 值分布形成的基础,人类耕作和生活活动对土壤用途的改变对土壤 pH 值分布形成的影响是自然因素基础之上的叠加。

表 4 土壤酸碱度影响因素卡方检验及强度测量统计结果

指 标	土壤酸碱度影响因素					
	地质背景	成土母质	用地类型	地貌	高程	质地
$\chi^2_{0.05}$	9.488	12.592	9.488	9.488	9.488	5.992
χ^2	761.658	924.850	297.859	121.079	523.094	1.678
p 值	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.432
V 系数	0.216	0.238	0.135	0.086	0.179	*

注:* 表示卡方检验 $p>0.05$,说明土壤 pH 值和质地不存在关联关系。

此外,从影响因素调整标准残差分析中可以看出土壤酸碱度更直观的分布规律。出于保守估计,多重比较选择调整标准残差绝对值的大小以 3 为分界点,调整标准残差绝对值大于 3 时,认为该数值的观测频数和期望频数之间的差异存在统计意义[22-24]。由表 5 可知,碱性土壤调整标准残差全部具有统计意义,酸性土壤调整标准残差的 90%具有统计意义,中性土壤调整标准残差的 55%具有统计意义。从自然影响因素来看,碱性土壤更趋向于分布于中生代沉积岩背景土壤中,酸性土壤较趋向于分配在古生代火成岩背景土壤中。

表 5 土壤酸碱度影响因素调整标准残差分析

项 目		碱性	中性	酸性
地质背景	新生代	−7.8	0.4	6.1
	中生代	24.9	8.8	−25.6
	古生代	−15.8	−8.7	18.2
成土母质	沉积岩	27.2	11.2	−29.0
	变质岩	−8.5	−4.5	9.7
	火成岩	−12.0	−7.1	14.2
	松散沉积物	−8.5	−0.8	7.4
用地类型	林草地	5.3	−1.6	−3.3
	农业用地	−9.9	−2.0	9.2
	工矿城区地	12.7	9.4	−16.1
地 貌	平地	−3.3	4.1	0.2
	丘陵坡地	9.7	−2.7	−6.2
	丘陵谷地	−6.3	−2.0	6.4
高程/m	≥300	−7.2	−4.2	8.4
	150~300	−13.5	−9.7	17.0
	<150	18.4	12.6	−22.7

从人类影响因素来看,碱性土壤趋向分布于人类生活和工矿业类型土壤中,而酸性土壤最不可能出现在此类土壤中,反而农业用地中酸性土壤最容易分布;高程小于 150 m,人类活动频率较高地方的土壤更趋向于碱性,高程大于 150 m,人类活动频率较低地方的土壤则趋向于酸性。

5 结 论

(1) 影响赣南典型丘陵区土壤整体为酸性,且以强酸性土壤为主,对土壤 pH 值分布有显著影响的因素主要为成土母质、地质背景、高程、用地类型、地貌,土壤质地无显著影响。土壤 pH 值在上述几种影响因素中的数据分配都呈现为一种右偏的分布,且主要以尖峰为主,数据的变异程度整体较低。

(2) 赣南典型丘陵区土壤 pH 值分配主要受成土母质和地质背景等自然因素的影响,影响强度的关系为:成土母质>地质背景>高程>用地类型>地貌。人类耕作和生活活动是次要影响因素,是自然因素影响基础之上的叠加。说明赣南地区土壤 pH 值形成规律和中国南方地表土壤 pH 值总体形成规律一致,没有表现出特异性。

(3) 赣南典型丘陵区酸性土壤趋向于分配在古生代火成岩背景区和人类活动频率较低的较高丘陵区。碱性土壤趋向于分配在中生代沉积岩背景区和人类活动频率密集低海拔区域。该现象充分表明土壤 pH 值形成是自然因素和人类影响的叠加过程,自然过程中,岩石形成和演化过程对土壤 pH 值形成具有决定性作用;人类影响因素中,生活和工矿业活动

对土壤是一种显著的 pH 值升高的促进作用,农业耕作主要表现出为匀化作用。

致谢:感谢中国地质调查局土地质量工程—海西西岸经济区土地质量地球化学调查项目提供的数据支持。

[参 考 文 献]

[1] 赵其国.中国土壤科学战略发展研究的新思路—土壤学战略发展研究的顶层设计与路线图[J].生态环境学报,2013,22(10):1639-1646.

[2] 王富国,宋琳,冯艳,等.不同种植年限酸化果园土壤微生物学性状的研究[J].土壤通报,2011,42(1):46-50.

[3] 王海斌,叶江华,陈晓婷,等.连作茶树根际土壤酸度对土壤微生物的影响[J].应用与环境生物学报,2016,22(3):480-485.

[4] Puissant J, Jones B, Goodall T, et al. The pH optimum of soil exoenzymes adapt to long term changes in soil pH [J]. Soil Biology & Biochemistry, 2019, 138(9):3-7.

[5] 李春越,王益, Philip Brookes,等. pH 对土壤微生物 C/P 比的影响[J].中国农业科学,2013,46(13):2709-2716.

[6] 唐琨,朱伟文,周文新,等.土壤 pH 对植物生长发育影响的研究进展[J].作物研究,2013,27(2):207-212.

[7] 许自成,王林,肖汉乾.湖南烟区土壤 pH 分布特点及其与土壤养分的关系[J].中国生态农业学报,2008,16(4):830-834.

[8] 黄运湘,曾希柏,张杨珠,等.湖南省丘岗茶园土壤的酸化特征及其对土壤肥力的影响[J].土壤通报,2010,41(3):633-638.

[9] 张强,魏钦平,齐鸿雁,等.北京果园土壤养分和 pH 与微生物数量的相关分析及优化方案[J].果树学报,2011,28(1):15-19.

[10] 郭治兴,王敏,柴静,等.近三十年来广东省土壤 pH 值的是空变化[J].应用生态学报,2011,22(2):425-430.

[11] 赵凯丽,王伯仁,徐明岗,等.我国南方不同母质土壤 pH 剖面特征及酸化因素分析[J].植物营养与肥料学报,2019,25(8):1308-1315.

[12] 王亚南,徐梦洁,代圆凤,等.毕节市耕地土壤 pH 的空间变异特征与影响因素[J].土壤,2018,50(2):385-390.

[13] 张元培,吴颖,郑雄伟.湖北省土壤酸碱度趋势分析及影响因素[J].资源环境与工程,2018,32(A1):30-34.

[14] Wei Hui, Liu Yalan, Xiang Huimin, et al. Soil pH responses to simulated acid rain leaching in three agricultural soils [J]. Sustainability, 2020,12(1):1-12.

[15] 谢天洋.石门县耕地土壤 pH 和有机质时空变化研究[D].湖南 长沙:湖南农业大学,2016.

[16] 周宏冀.江西省耕地土壤 pH 空间变异与管理分区研究[D].江西 南昌:江西财经大学,2019.

[17] 朱小琴,孙维侠,黄标,等.长江三角洲城乡交错区农业土壤 pH 特征及影响因素探讨:以江苏省无锡市为例[J].土壤学报,2009,46(4):594-602.

[18] 邵文静,宋垠先,王成,等.近 30 年来苏南耕地土壤 pH 时空变化特征及影响因素分析[J].高校地质学报,2016,22(2):264-273.

[19] 杨忠芳,余涛,李敏,等.土地质量地球化学评价规范[S].北京:地质出版社,2016.26.

[20] 刘雪松,魏建朋,张智印,等.江西省南康区 1∶5 万土地质量地球化学调查成果报告[R].河北 保定:中国地质调查局水文地质环境地质调查中心,2019.

[21] 赣州市统计局.赣州市 2019 年国民经济和社会发展统计公报[R].江西 赣州:赣州市统计局,2019.

[22] 贾俊平,何晓群,金勇进.统计学[M].北京:中国人民大学出版社,2018.

[23] 靳国栋,刘衍聪,牛文杰.距离加权反比插值法和克里金插值法的比较[J].长春工业大学学报,2003,24(3):53-56.

[24] 徐仁扣.土壤酸化及其调控研究进展[J].土壤,2015.47(2):238-244.

[25] Agresti A. Categorical Data Analysis [M]. 2nd ed. New York: Wiley, 2002.

[26] 吴正祥,周勇,木合塔尔·艾买提,等.鄂西北山区耕层土壤 pH 值空间变异特征及其影响因素研究[J].长江流域资源与环境,2020,29(2):488-498.