

广建芳,邵孝候,赵廷超,等. 黔西南植烟土壤 pH 值分布与主要养分的相关关系[J]. 江苏农业科学,2019,47(9):280-283.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2019.09.065

黔西南植烟土壤 pH 值分布与主要养分的相关关系

广建芳^{1,2}, 邵孝候^{1,2}, 赵廷超³, 刘 洋³, 刘锦华³, 马 骏³, 杨 绪^{1,2}, 丁福章⁴

(1. 河海大学农业工程学院, 江苏南京 210098; 2. 南方地区高效灌排与农业水土环境教育部重点实验室, 江苏南京 210098;
3. 贵州省烟草公司黔西南州公司, 贵州兴义 562400; 4. 贵州省烟草科学研究院, 贵州贵阳 550003)

摘要:土壤 pH 值是土壤养分有效性的主要影响因素, 研究土壤 pH 值的分布特征及土壤 pH 值与主要养分的相关关系, 对于提高烤烟养分精准管理具有重要意义。对黔西南 6 个县的土壤 pH 值与主要养分的统计和灰色关联分析结果如下: (1) 黔西南州烟区土壤平均 pH 值为 6.23, 总体呈弱酸性, 73.1% 的土壤 pH 值在适宜优质烟叶生产的范围内 (pH 值为 5.5~7.5)。 (2) 黔西南州主要植烟土壤类型平均 pH 值依次为黄红壤土 < 紫色土 < 黄壤土 < 黄棕壤土 < 石灰土。黄壤土、黄红壤土、石灰土三大土壤类型占 86.48%, pH 值适宜的优质烟叶生产比例均达到 70% 以上。 (3) 土壤 pH 值在 6.6~7.5 范围内的有机质、氮、磷、钾含量最高, 黔西南州土壤有机质、全氮、速效氮、速效磷、速效钾含量平均值均达到烤烟种植所需的适宜范围。但速效磷、全钾含量变异系数较大, 有 19.91% 的土壤缺磷, 7.44% 的土壤缺氮。 (4) 土壤养分与土壤 pH 值灰色关联分析的排序结果为速效氮含量 > 速效钾含量 > 有机质含量 > 速效磷含量 > 全磷含量 > 全氮含量 > 全钾含量。

关键词:植烟土壤; pH 值; 黔西南; 土壤养分; 灰色关联分析

中图分类号: S572.06 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2019)09-0280-04

黔西南位于贵州省西南部 (24°38'~26°11'N, 104°35'~106°32'E), 境内土壤有红壤、黄壤土、黄棕壤土、石灰土、紫色土等类型, 植烟土壤大部分系微酸性或中性, 为优质烤烟生产提供了有利的条件, 研究表明最适宜烤烟生长的 pH 值在

5.5~7.5 之间^[1-3]。土壤酸碱性和土壤养分的相关性研究表明, 当土壤的酸性增加时, 土壤中的可溶性磷易与铁、铝形成化合物, 降低磷的有效性, 形成磷酸铁、磷酸铝而降低有效性, 而土壤中的交换性钾、钙、镁等易被置换出来, 当降水量大大超过蒸发量时, 易被淋溶流失; 当土壤 pH 值大于 7.5 时, 土壤中的钙、镁等离子易形成碳酸盐沉淀, 土壤微生物都有一定的适宜酸碱度范围, 过酸或过碱都会影响土壤微生物的数量及种类, 从而影响氮素及其他养分的转化和植物生长^[4-7]。黔西南地区植烟土壤成母土质多, 土壤类型多样, 通过研究土壤 pH 值分布与土壤类型、土壤养分的相关关系, 对于评价植烟土壤的宜种性、调节土壤 pH 值、改变土壤肥力现状和结构, 做到因地制宜、科学管理, 充分发挥土地的生产潜力, 以及烤烟的优质高产具有重要的实践意义。

收稿日期: 2019-01-19

基金项目: 中央高校基本科研业务费专项 (编号: 2016B42414); 贵州省烟草公司黔西南州公司科技项目 (编号: 201502); 中国烟草总公司贵州省公司科技项目 (编号: 201709)。

作者简介: 广建芳 (1983—), 女, 河北邢台人, 博士研究生, 主要从事农业水土工程和农业资源与环境的研究。E-mail: rossditu@163.com。

通信作者: 刘锦华, 农艺师, 主要从事烟草烟叶生产技术与管理工作。E-mail: 25858147@qq.com。

[14] 王明友, 杨秀凤, 郑宪和, 等. 复合微生物菌剂对番茄的光合特性及产量品质的影响[J]. 土壤肥料, 2004(4): 37-39.

[15] 甘小虎, 杨兴明, 常义军, 等. 有机生物菌肥在茄子上的应用效果[J]. 南京农学报, 1998, 14(3): 47-50.

[16] 王素英, 陶光灿, 谢光辉, 等. 我国微生物肥料的应用研究进展[J]. 中国农业大学学报, 2003, 8(1): 14-18.

[17] Wu S C, Cao Z H, Li Z G, et al. Effects of biofertilizer containing N-fixers, P and K solubilizers and AM fungi on maize growth: a greenhouse trial[J]. Geoderma, 2005, 125(1/2): 155-166.

[18] 贺 冰, 赵月平, 邵秀丽, 等. 微生物菌剂与化学肥料配施对番茄幼苗生长的影响[J]. 河南农业大学学报, 2010, 44(5): 528-531.

[19] 解媛媛. 微生物菌剂与化肥不同配比对秸秆还田后土壤酶活性和土壤微生物群落影响的研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2010: 1-6.

[20] 雷先德. 微生物菌剂在作物化肥减量化技术上的应用研究[D]. 上海: 上海交通大学, 2012: 7-16.

[21] 钱海燕, 杨滨娟, 黄国勤, 等. 秸秆还田配施化肥及微生物菌剂对水田土壤酶活性和微生物数量的影响[J]. 生态环境学报, 2012, 21(3): 440-445.

[22] 邵秀丽, 王吉庆, 张慎璞, 等. 微生物菌剂与尿素配施对大蒜氮吸收及产量的影响[J]. 北方园艺, 2013(16): 199-202.

[23] 朱兆良. 农田中氮肥的损失与对策[J]. 土壤与环境, 2000, 9(1): 1-6.

[24] 杨 颂, 杨利民. 微生物菌剂在农业生产上的应用[J]. 吉林农业, 2015(12): 86-87.

[25] 谢 云, 王延华, 杨 浩. 土壤氮素迁移转化研究进展[J]. 安徽农业科学, 2013, 41(8): 3442-3444, 3462.

[26] Galloway J N, Dentener F J, Capone D G, et al. Nitrogen cycles: past, present, and future[J]. Biogeochemistry, 2004, 70(2): 153-226.

[27] 王光祖. 微生物肥料对土壤肥力的影响[J]. 上海农业科技, 2005(1): 101-102.

1 材料与方法

1.1 数据调查与样品采集

2016 年 3—4 月于黔西南州主要植烟区兴义市、兴仁市、普安县、安龙县、贞丰县、晴隆县,选取代表性的植烟地块,取 0~20 cm 土层土样,按照“田”字形均匀采样,制成 1 kg 的混合样品。土样经过编号、土壤类型登记、风干、混匀、磨细、过筛等预处理后分装备用。

1.2 土样测定方法

土壤 pH 值的测定采用 pH 计法(水土质量比为 2.5∶1),土壤有机质含量的测定采用重铬酸钾滴定法;氮、磷、钾含量的测定方法参考文献[8]。

2 结果与分析

2.1 黔西南土壤 pH 值分布状况

烤烟对土壤酸碱度的适应性极强,在 pH 值为 3.5~7.9 的土壤上均能正常生长,但是烤烟的品质却有一个最适 pH 值范围^[9]。最适宜烟草栽培的土壤是 pH 值范围为 5.5~6.5 的微酸性土壤和 pH 值为 6.5~7.5 的土壤^[3,9~14],当 pH 值>7.5 时,烟叶的杂气、刺激性增加,内质评吸总分减少^[15~16]。过酸的根际环境不利于烤烟对氮、磷、钾等元素的吸收,对于 pH 值<5.0 的过酸植烟土壤,宜施用石灰或有机肥改良^[4,17~20]。

黔西南全州土壤 pH 值分布状况见表 1,黔西南全州 73.1% 的土壤 pH 值在烟草栽培适宜范围内,只有 10.9% 的土壤酸度过大,16.0% 的土壤 pH 值偏高。就不同地区而言,以贞丰地区土壤平均 pH 值最高,为 7.1,安龙地区的土壤平均 pH 值最小,为 6.2。贞丰和兴义地区,pH 值在 7.6~8.5 范围内的土壤所占比例分别为 24.7% 和 20.5%,pH 值在 5.5~7.5 范围内的土壤所占比例分别为 68.6% 和 73.2%,pH 值<

5.5 的土壤所占的比例分别为 6.7% 和 6.3%。安龙县与普安县土壤平均 pH 值较低,分别为 6.2 和 6.3,pH 值<5.5 的土壤所占比例分别为 15.8% 和 17.3%(表 2)。

表 1 黔西南植烟区土壤 pH 值区间分布状况

级别	pH 值范围	样品数 (个)	占样品总数比例 (%)	平均 pH 值
强酸	<5.5	102	10.9	5.1
微酸	5.5~6.5	266	30.4	6.3
中性	6.6~7.5	421	42.7	6.8
碱性	7.6~8.5	163	16.0	7.7

表 2 黔西南州市(县)植烟土壤 pH 值分布比例

地区	pH 值各区间百分比(%)				平均 pH 值
	<5.5	5.5~6.5	6.6~7.5	7.6~8.5	
兴义	6.3	20.7	52.5	20.5	6.9
兴仁	8.7	31.4	50.8	9.1	6.6
普安	17.3	39.8	31.0	11.9	6.3
安龙	15.8	43.2	27.3	13.7	6.2
贞丰	6.7	22.9	45.7	24.7	7.1
晴隆	10.6	24.3	49.1	16.0	6.8

2.2 黔西南不同土壤类型的 pH 值分布状况

黔西南州土壤有多种成土母质,土壤类型丰富,主要植烟土壤类型平均 pH 值顺序依次为黄红壤土<紫色土<黄壤土<黄棕壤土<石灰土。不同土壤类型经过长期改良,pH 值逐渐趋于中性,其中黄红壤土的 pH 值均在烟草栽培适宜范围内。紫色土平均 pH 值为 6.3,pH 值<5.5 的土壤占比达到 34.3%。黄红壤土、黄棕壤土、石灰土、黄壤土 pH 值在 5.5~7.5 范围内所占比重分别为 100.0%、74.3%、70.2%、65.7%,紫色土 pH 值在 5.5~7.5 范围内所占比重为 57.1%。石灰土 pH 值在 7.6~8.5 范围内的土壤样本占 27.3%(表 3)。

表 3 黔西南州不同植烟土壤类型土壤 pH 值分布比例

土壤类型	样本比例 (%)	pH 各区间百分比(%)			平均 pH 值
		<5.5	5.5~6.5	6.6~7.5	
黄红壤土	27.4	—	66.4	33.6	6.1
黄壤土	30.9	15.9	28.9	36.8	6.6
黄棕壤土	3.8	10.4	35.8	38.5	6.7
石灰土	28.1	2.5	31.5	38.7	6.9
紫色土	9.8	34.3	9.3	47.8	6.3
平均比例	—	15.8	34.4	39.1	6.5

2.3 黔西南主要植烟土壤养分状况

有机质、全氮、全磷、全钾、速效氮、速效磷和速效钾含量是植烟土壤养分常用评价指标,黔西南地区植烟土壤养分水平差异较大(表 4)。在分析的 7 个土壤养分指标中,全钾含量的最大值是最小值的 20 倍以上。速效磷含量的变异也较大,最大值达 0.020 g/kg,最低值只有 0.004 g/kg。总体来看,全氮和全磷含量的变异系数较小,全钾和速效磷变异系数较大。根据黔西南州多年烤烟生产经验,制定了植烟土壤各养分丰缺标准(表 5)。

由表 4、表 5、表 6 可知,黔西南州速效氮含量和速效磷含量偏低,其平均值分别为 0.046 g/kg 和 0.013 g/kg,低等级和较低等级速效氮、速效磷含量的土壤分别占 58.24% 和

52.86%。速效磷含量变异系数最大,为 0.52,其次为全钾含量,为 0.45,全氮含量的变异系数最小,为 0.03。全氮含量丰富的土壤占 60.48%,低等级和较低等级的全氮含量土壤含量分别占 5.65% 和 0.81%,因此在烤烟生产中要因地制宜调整氮肥用量,避免烟草生长后期土壤氮素过量供应。低等级和较低等级的全磷含量土壤分别占 0.00% 和 15.32%。68.55% 的土壤全磷含量丰富,黔西南州土壤速效磷含量低于 0.005 g/kg 的土样比例达到 19.91%,含量高于 0.020 g/kg 的土样比例达 16.36%,含磷量过高或过低都对烤烟生长不利,在含磷量欠缺或较高的地块可通过施磷肥或优化轮作制度适当调节速效磷含量。43.36% 的土壤有机质含量,52.42% 土壤全钾含量和 51.09% 土壤速效钾含量丰

表 4 黔西南烟区土壤主要养分状况

指标	有机质含量 (g/kg)	全氮含量 (g/kg)	速效氮含量 (g/kg)	全磷含量 (g/kg)	速效磷含量 (g/kg)	全钾含量 (g/kg)	速效钾含量 (g/kg)
全州平均值	34.2	1.5	0.046	0.78	0.013	11.45	0.16
最大值	54.5	3.3	0.064	0.79	0.020	38.30	0.17
最小值	11.1	4.6	0.023	0.38	0.004	1.87	0.04
标准差	4.30	1.20	0.12	0.54	0.13	2.89	0.20
变异系数	0.28	0.03	0.27	0.11	0.52	0.45	0.42

表 5 黔西南烟区土壤养分含量等级标准

分级标准	有机质含量 (g/kg)	全氮含量 (g/kg)	速效氮含量 (g/kg)	全磷含量 (g/kg)	速效磷含量 (g/kg)	全钾含量 (g/kg)	速效钾含量 (g/kg)
低	<15	<0.5	<0.025	<0.3	<0.005	<10	<0.05
较低	15~25	0.5~1.0	0.025~0.045	0.3~0.5	0.005~0.010	10~15	0.05~0.10
中等	26~35	1.1~2.0	0.046~0.060	0.6~0.7	0.011~0.020	16~20	0.11~0.15
丰富	>35	>2.0	>0.060	>0.7	>0.020	>20	>0.15

表 6 黔西南烟区土壤养分含量等级占比

等级	有机质含量 (%)	全氮含量 (%)	速效氮含量 (%)	全磷含量 (%)	速效磷含量 (%)	全钾含量 (%)	速效钾含量 (%)
低	2.75	5.65	7.44	0.00	19.91	7.26	1.37
较低	16.82	0.81	50.80	15.32	32.95	20.16	20.34
中等	37.07	33.06	28.15	16.13	30.78	20.16	27.20
丰富	43.36	60.48	13.61	68.55	16.36	52.42	51.09

富,中等等级和丰富等级的有机质、全氮、全磷、全钾、速效钾含量土壤比例分别为 80.43%、93.54%、84.68%、72.58%、78.29%。

2.4 土壤 pH 值与主要养分含量分布及灰色关联分析

黔西南烟区土壤不同 pH 值范围的主要养分含量见表 7。从表中可以看出,土壤 pH 值在 5.5~6.5 范围内的有机质含量最高,与其他 pH 值范围内有机质含量差异显著,以 pH 值<5.5 的土壤有机质含量最低。全氮含量随着 pH 值的升高先升高后降低,全氮在 pH 值为 6.6~7.5 范围内的含量最高,且与其他 pH 值范围内的全氮含量差异显著,pH 值<5.5、pH 值范围为 5.5~6.5、pH 值范围为 7.6~8.5 组间的总氮含量差异不显著。速效氮含量在 pH 值为 6.6~7.5 范围内的含量最高,pH 值为 5.5~6.5、6.6~7.5 组间的差异

不显著,pH 值<5.5 与 pH 值范围为 7.6~8.5 的组间差异亦不显著,说明过酸和过碱的土壤环境不利于速效氮的积累。pH 值对全磷含量的影响差异不显著。速效磷含量随着 pH 值的升高而增大,当 pH 值范围为 7.6~8.5 时的速效磷含量最高,pH 值<5.5、5.5~6.5、6.6~7.5 组间速效磷含量差异不显著,这可能与黔西南植烟区土壤总体偏酸性,游离态的磷易形成磷酸盐矿物沉积有关,在实际生产中可通过施用石灰或白云石粉改良^[21~26]。全钾含量和速效钾含量均以 pH 值在 6.6~7.5 范围内的含量最高,以 pH 值<5.5 的钾含量和速效钾含量最低,随着 pH 值的升高,钾含量和速效钾含量在 pH 值 6.6~7.5 范围内达到最高之后降低,这可能与黔西南地区以黏性黄壤土、黄红壤土和石灰土居多,它们对钾吸附能力强,不易造成钾的流失有关。

表 7 黔西南植烟区土壤不同 pH 值组的养分含量

pH 值	有机质含量 (g/kg)	全氮含量 (g/kg)	速效氮含量 (g/kg)	全磷含量 (g/kg)	速效磷含量 (g/kg)	全钾含量 (g/kg)	速效钾含量 (g/kg)
<5.5	19c	2.0b	0.041b	0.70a	0.10b	10.63b	0.05c
5.5~6.5	30a	2.2b	0.047a	0.73a	0.11b	11.63b	0.09b
6.6~7.5	25b	2.7a	0.048a	0.76a	0.12b	20.65a	0.16a
7.6~8.5	20c	2.3b	0.040b	0.78a	0.16a	15.83a	0.15a

注:同列数据后不同小写字母表示在 0.05 水平上差异显著。

土壤酸碱度的不同,一方面直接影响烟草根系的生长及对土壤养分吸收的能力,另一方面间接影响土壤中养分的形态及其有效性^[27~28]。胡向丹等对黔西南地区植烟土壤的研究表明,土壤 pH 值与有机质、速效氮、速效磷、速效钾含量相关性达到显著或极显著水平^[29~30]。许自成等对湖南植烟土壤的研究结果表明,土壤 pH 值与速效钾含量呈极显著负相关关系,与土壤有机质、速效磷呈显著或极显著正相关关系^[31~32]。样本来源、地区差异、研究方法可能是植烟土壤 pH

值与土壤养分的相关性结果不一致的原因,为避免样本差异导致不同的结果,本研究采用灰色关联分析将土壤养分信息与 pH 值的影响关系进行比较分析,将 pH 值作为母序列,土壤有机质、全氮、全磷、全钾、速效氮、速效磷、速效钾含量作为子序列,对母序列和子序列进行无量纲化处理并分别量化计算,取 $\Delta_{\min}=0$,分辨系数 $\rho=0.5$,计算出土壤 pH 值与土壤养分的序列关联度,结果见表 8。由表 8 可知,土壤养分与土壤 pH 值关联系数的大小排序为速效氮含量>速效钾含量>有

表8 黔西南烟区土壤养分与土壤pH值灰色关联分析

土壤养分	关联系数	关联排序
有机质含量	0.891 2	3
全氮含量	0.882 4	6
速效氮含量	0.897 9	1
全磷含量	0.885 0	5
速效磷含量	0.888 2	4
全钾含量	0.879 5	7
速效钾含量	0.894 3	2

机质含量>速效磷含量>全磷含量>全氮含量>全钾含量。

3 结论

黔西南州土壤总体呈弱酸性,73.1%的土壤pH值在优质烟叶生产适宜范围内,但有10.9%土壤pH值极低样本和16.0%土壤pH值极高样本不适合优质烟叶生产。

就不同地区而言,黔西南州土壤平均pH值排序为贞丰>兴义>晴隆>兴仁>普安>安龙,以贞丰和兴义植烟区土壤平均pH值较高,pH值在7.6~8.5范围内的土壤所占比例分别为24.7%和20.5%。安龙与普安县土壤平均pH值较低,pH值<5.5的土壤所占比例分别为15.8%和17.3%。

黔西南主要植烟土壤类型按照平均pH值排序为黄红壤土<紫色土<黄壤土<黄棕壤土<石灰土。黄壤土、黄红壤土、石灰土三大土壤类型占全州土壤的86.4%,适合优质烟叶生产pH值土壤比例均达到70%以上。

土壤pH值在6.6~7.5范围内的有机质、氮、磷、钾含量较高。黔西南总体土壤有机质、全氮、速效氮、速效磷、速效钾含量平均值均达到烤烟种植所需的适宜范围。但速效磷和全钾含量变异系数较大,有19.91%的土壤缺磷,7.44%的土样缺氮。土壤养分与土壤pH值灰色关联分析的结果排序为速效氮含量>速效钾含量>有机质含量>速效磷含量>全磷含量>全氮含量>全钾含量。

参考文献:

- [1]黄燕翔,刘淑欣. 福建烟区土壤条件与烤烟品质的关系[J]. 福建农业大学学报,1995,24(2):201-204.
- [2]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.
- [3]唐莉娜,熊德中. 土壤酸度的调节对烤烟根系生长与烟叶化学成分含量的影响[J]. 中国生态农业学报,2002,10(4):69-71.
- [4]郭豪,宋鹏飞,黄嵩,等. 土壤改良剂对酸性土壤改良效应和烤烟产量、质量的影响[J]. 江苏农业科学,2014,42(6):95-98.
- [5]王龙,叶协锋,张梦楚,等. 植烟土壤pH值与土壤养分的相关及通径分析[J]. 江苏农业科学,2013,41(1):359-360,386.
- [6]魏国胜,周恒,朱杰,等. 土壤pH值对烟草根茎部病害的影响[J]. 江苏农业科学,2011,39(1):140-143.
- [7]王美新,邵孝侯,于静,等. EM生物有机肥对植烟土壤理化性质的影响[J]. 江苏农业科学,2012,40(6):323-325.
- [8]鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3版. 北京:中国农业出版社,2000.
- [9]李念胜,王树声. 土壤pH值与烤烟质量[J]. 中国烟草,1986(2):12-14.
- [10]崔喜艳,史岩玲,赵艳,等. 土壤pH值对烤烟叶片光合特性和烟碱含量的影响[J]. 吉林农业大学学报,2005,27(6):591-

593,602.

- [11]崔喜艳,陈展宇,于鸣,等. 土壤pH值对烤烟叶片膜脂过氧化及保护酶活性的影响[J]. 中国烟草学报,2004,10(5):38-41.
- [12]陈建军,钟俊周. 根际pH值与烤烟产量和质量的关系研究[J]. 热带亚热带土壤科学,1996,5(2):98-101.
- [13]杨宇虹,冯柱安,晋艳,等. 酸性土壤的烟株生长及烟叶产质量调控研究[J]. 云南农业大学学报,2004,19(1):41-44.
- [14]黎妍妍,丁伟,李传玉,等. 贵州烟区生态条件及烤烟质量状况分析[J]. 安全与环境学报,2007,7(2):96-100.
- [15]蔡宪杰,杨义方,马永建,等. 腐殖酸类肥料对碱性植烟土壤pH及烤烟产量质量的影响[J]. 中国农学通报,2008,24(6):261-265.
- [16]姜超强,沈嘉,郭卢,等. 硫磺对碱性植烟土壤烤烟生长及烟叶重金属含量的影响[J]. 中国烟草科学,2013,34(5):47-51.
- [17]周冀衡,段灿枝,余佳斌,等. 根际酸度对烤烟生长与养分吸收的影响[J]. 土壤,2000(1):44-47.
- [18]易杰祥,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.
- [19]袁金华,徐仁扣. 生物质炭对酸性土壤改良作用的研究进展[J]. 土壤,2012,44(4):541-547.
- [20]解开治,徐培智,严超,等. 不同土壤改良剂对南方酸性土壤的改良效果研究[J]. 中国农学通报,2009,25(20):160-165.
- [21]赵琼,曾德慧. 陆地生态系统磷素循环及其影响因素[J]. 植物生态学报,2005,29(1):153-163.
- [22]邱燕,张鼎华. 南方酸性土壤磷素化学研究进展[J]. 福建稻麦科技,2003,21(3):14-17.
- [23]沈岳松,张鼎华. 酸性土壤无机磷研究进展[J]. 福建林业科技,2005,32(1):75-78.
- [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]Zheng S J. Crop production on acidic soils: overcoming aluminium toxicity and phosphorus deficiency[J]. Annals of Botany,2010,106(1):183-184.
- [26]Liang C, Piñeros M A, Tian J, et al. Low pH, aluminum, and phosphorus coordinately regulate malate exudation through GmALMT1 to improve soybean adaptation to acid soils[J]. Plant Physiology,2013,161(3):1347-1361.
- [27]谈俊豪,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.
- [28]梁仲哲,齐绍武,谈俊豪,等. 生物炭对镉胁迫下烟草镉含量动态变化及土壤理化性质的影响[J]. 江苏农业科学,2018,46(1):56-59.
- [29]胡向丹,邓小华,王丰,等. 黔西南州植烟土壤pH分布特征及其与土壤养分的关系[J]. 安徽农业大学学报,2014,41(6):1070-1074.
- [30]王丰,邓小华,王少先,等. 黔西南州植烟土壤有机质含量及与其他土壤养分的关系[J]. 山地农业生物学报,2014,11(5):63-67.
- [31]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.
- [32]邹凯,邓小华,李永富,等. 邵阳植烟土壤pH时空特征及其与土壤养分的关系[J]. 北京农学院学报,2014,29(1):6-9.