

湖南浏阳植烟土壤肥力评价及土壤养分变化

段淑辉^{1,2}, 刘天波^{1,2}, 李建勇², 周志成¹

(1.湖南省烟草科学研究所, 长沙 410010; 2.湖南省烟草公司长沙市公司, 长沙 410010)

摘要:为提高湖南浏阳烟区烤烟施肥针对性,于2000年和2015年,分别对烟区188个烟田土壤样点进行了取样测定,并采用模糊函数方法对土壤肥力适宜性进行了综合评价,研究了15年来土壤养分及肥力变化。结果表明:(1)经过15年的生产利用,土壤pH提高了0.32个单位,有机质和碱解氮分别下降了9.26%和7.26%,土壤有效磷和速效钾分别增加118.84%和63.42%,水溶性氯和有效硫分别下降了55.87%和24.33%,其余微量元素(铜、钼除外)均出现不同幅度增加,全市植烟土壤综合肥力指标由0.536增至0.650,增幅为21.27%。(2)当前浏阳植烟土壤pH和有机质含量偏低,有效磷、有效铜和有效铁含量偏高,有效钼和水溶性氯较缺,其余养分较适宜,综合肥力处于较高(75.76%)和中等(21.21%)等级,各基地单元间无显著差异。因此烟草施肥应稳氮控磷增钾,增施有机肥及钼、氯等中微量元素肥料。

关键词:浏阳;植烟土壤;肥力;评价;变化

中图分类号:S572.061

文章编号:1007-5119(2017)02-0033-06

DOI:10.13496/j.issn.1007-5119.2017.02.006

Evaluation of Soil Fertility and Variability of Nutrient Contents of Tobacco-growing Areas of Liuyang County of Hunan, China

DUAN Shuhui^{1,2}, LIU Tianbo^{1,2}, LI Jianyong², ZHOU Zhicheng¹

(1. Hunan Tobacco Science Institute, Changsha 410010, China; 2. Changsha Tobacco Company of Hunan Province, Changsha 410010, China)

Abstract: The soil nutrient contents of 188 tobacco-planting fields in Liuyang of Hunan were surveyed in 2000 and 2015 in order to instruct fertilization. The soil fertility suitability in 2015 was comprehensively evaluated, and the variations of soil nutrient contents from 2000 to 2015 were studied. The results showed that: 1) From 2000 to 2015, soil pH increased by 0.32 unit. Available P and available K increased by 118.84% and 63.42%. Organic matter and hydrolytic N reduced by 9.26% and 7.26%. Water-soluble Cl and available S decreased sharply by 55.87% and 24.33%. Except available Cu and Mo, all the other microelements increased. The average IFI of soil fertility changed from 0.536 to 0.650, increased by 21.27%. 2) Currently the soil pH and organic matter were relatively low. Available P, Cu and Fe were high while available Mo and water-soluble Cl were deficient. Other nutrient contents were appropriate. IFI of 75.76% tobacco-growing areas in Liuyang were high (75.76%) and 21.21% were medium. The difference in IFI was insignificant between different base units. The reasonable fertilization is to stabilize N, control P, and to increase K, Mo, Cl and organic manure fertilizers.

Keywords: Liuyang; tobacco-growing soil; fertility; evaluation; variability

土壤是影响烟叶产量和质量的首要环境因素,土壤养分丰缺状况和供应强度直接影响着烟草的生长发育^[1]及烤后烟叶的内在化学成分^[2-3]和感官质量^[4]。由于土壤是一个随时间和空间不断变化的动态系统,其肥力演变受人类生产活动影响较大^[5],所以了解土壤养分肥力特点及其时空变化趋势,分

析其变化原因及采取相应调控措施对于植烟土壤养分管理非常重要^[6]。目前,关于植烟土壤肥力评价及养分空间变异方面的研究较多^[7-14],但涉及时间变化方面的研究较少。本研究以湖南省浏阳市植烟土壤为研究对象,利用模糊数学理论及多元统计分析分别对该地区2000及2015年的土壤养分状况

基金项目:中国烟草总公司湖南省公司科技项目“湖南烟叶重金属镉阻控技术研究与应用”(16-19Aa04)

作者简介:段淑辉(1986-),女,硕士,农艺师,主要从事植物营养与烟草栽培研究。E-mail:285234028@qq.com

收稿日期:2016-09-21

修回日期:2016-12-30

进行了综合评价,分析了该烟区近 15 年来的土壤肥力变化情况,旨在为浏阳市植烟土壤养分管理以及科学施肥提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 研究区域概况

浏阳市位于湖南省东部偏北,地处中亚热带季风湿润气候区,年均温度 17.5 °C,降水量 1551 mm,无霜期 268 d 左右,大于 10 °C 积温为 5123 ~ 5447 °C,日均温大于 20 °C 时间为 140 ~ 160 d。浏阳是湖南省烤烟种植第 2 大县,下辖沙市、永安、淳口、北盛、官渡 5 个烟叶基地单元,年种植烤烟 5000 hm²,产量 1 万 t 左右,土壤类型以起源于第四纪红土的水稻土为主,较适宜优质烤烟的生产。

1.2 样品采集

2015 年,在综合考虑各基地单元地形地貌、成土母质、肥力状况等因素的基础上,以 13.33~26.67 hm² 连片基本烟田为最小采样规划片区确定取样地块,取样点尽量与 2000 年保持一致,在 20 个乡镇、141 个烤烟种植村确定采样田块 188 个。每个地块随机取 10 个 0~20 cm 耕层土样充分混合用于分析测定。

1.3 样品测定方法

检测指标包括土壤 pH、有机质、碱解氮、有效磷、速效钾、交换性钙、交换性镁、有效硫、水溶性氯、有效铁、锰、铜、锌、硼、钼等指标,测定方法与 2000 年一致,详见参考文献[15]。

1.4 土壤肥力评价方法

1.4.1 土壤肥力因子隶属函数类型及阈值 采用模糊函数方法对土壤肥力因子进行标准化处理后,根据各土壤肥力因子对烟草产量品质的影响效应,参照他人研究方法^[16-21],采用 S 型和抛物线型两种隶属函数计算土壤肥力因子的隶属度。土壤 pH、有机质、碱解氮、水溶性氯采用抛物线型隶属函数,其表达式为:

$$f(x) = \begin{cases} 0.1, x \leq x_1, x \geq x_4 \\ 0.9 \times \frac{(x-x_1)}{x_2-x_1} + 0.1, x_1 < x < x_2 \\ 1.0, x_2 \leq x \leq x_3 \\ 1.0 - 0.9 \times \frac{(x-x_3)}{x_4-x_3}, x_3 < x < x_4 \end{cases} \quad (1)$$

土壤有效磷、速效钾、有效锌、有效铜、有效锰、有效铁、有效硼、有效钼、有效硫、交换性钙、交换性镁采用 S 型隶属函数,其表达式为:

$$f(x) = \begin{cases} 0.1, x \leq x_1 \\ 0.9 \times \frac{(x-x_1)}{x_4-x_1} + 0.1, x_1 < x < x_4 \\ 1.0, x \geq x_4 \end{cases} \quad (2)$$

根据湖南省植烟土壤养分分级标准^[22],各土壤肥力因子的相应阈值 x 见表 1。

表 1 土壤肥力因子隶属函数及阈值

Table 1 Function types, inflection points of soil fertility indexes

隶属函数类型	指标	x_1	x_2	x_3	x_4
抛物线型	pH	5.0	5.5	7.0	7.5
	有机质/(g·kg ⁻¹)	15	25	35	45
	碱解氮/(mg·kg ⁻¹)	60	110	180	240
	水溶性氯/(mg·kg ⁻¹)	5.0	10	20	40
S 型	有效磷/(mg·kg ⁻¹)	5.0			30
	速效钾/(mg·kg ⁻¹)	80			350
	有效锌/(mg·kg ⁻¹)	0.5			4.0
	有效铜/(mg·kg ⁻¹)	0.2			3.0
	有效锰/(mg·kg ⁻¹)	5.0			40
	有效铁/(mg·kg ⁻¹)	2.5			60
	有效硼/(mg·kg ⁻¹)	0.15			1.0
	有效钼/(mg·kg ⁻¹)	0.05			0.2
	有效硫/(mg·kg ⁻¹)	5.0			40
	交换性钙/[cmol(1/2Ca ²⁺)·kg ⁻¹]	3.0			18
交换性镁/[cmol(1/2Mg ²⁺)·kg ⁻¹]	0.5			2.8	

1.4.2 土壤肥力因子权重 计算各评价因子的隶属度后,通过主成分分析,求得各主成分得分(特征向量),再计算出各评价指标权系数,再将权系数归一,得出各指标权重(表 2)。

1.4.3 土壤肥力综合指标 土壤肥力综合指数 IFI 计算公式为: $IFI = \sum W_i \times N_i$, W_i 和 N_i 分别表示第 i 种土壤肥力指标的权重和隶属度值^[23]。

1.5 数据处理与分析

采用 IBM Statistic SPSS 18.0 和 Microsoft Excel 2010 等统计学软件进行相关数据分析,表格中不同的小写英文字母表示 5%水平差异显著。

表 2 土壤肥力因子权重

Table 2 Weight values of soil fertility indexes

类型	指标	2015 年		2000 年	
		公因子方差	权重/%	公因子方差	权重/%
抛物线	pH	0.746	7.37	0.700	7.06
	有机质	0.738	7.29	0.706	7.12
	碱解氮	0.735	7.26	0.598	6.03
S	水溶性氯	0.480	4.74	0.364	3.67
	有效磷	0.781	7.72	0.629	6.35
	速效钾	0.807	7.97	0.762	7.68
	有效锌	0.661	6.53	0.723	7.29
	有效铜	0.689	6.81	0.738	7.44
	有效锰	0.698	6.90	0.708	7.14
	有效铁	0.733	7.24	0.709	7.15
	有效硼	0.706	6.98	0.697	7.03
	有效铝	0.295	2.92	0.564	5.69
	有效硫	0.774	7.65	0.608	6.13
	交换性钙	0.639	6.31	0.743	7.50
	交换性镁	0.638	6.30	0.666	6.71

2 结果

2.1 2015 年土壤肥力总体特征

由表 3 可以看出,浏阳烟区土壤肥力指标大部分处于适宜区间,且均存在较强变异。从各指标均值及适宜区间比例来看,碱解氮、速效钾、有效锌、有效锰、有效硼、有效硫、交换性钙和交换性镁较适宜,其均值均处于适宜区间,适宜区间分布频率均达到 60%以上;有效磷、有效铜、有效铁含量偏高,偏高样点比例达到 70%及以上;土壤 pH 值平均为 5.69,50%的样点 pH 值小于 5.5(偏酸);土壤有机质含量平均为 29.19 g/kg,32.98%样点的有机质含量在低-极低范围内;中微量元素中有效铝和水溶性氯比较缺乏,其中有 99 个样点(52.66%)未检出水溶性氯。

从各肥力因子的变异系数来看,有效铝和水溶性氯变异性较大,变异系数分别为 122.81%和 192.05%;其余指标变异系数均在 10%~100%;pH 变异最小,变异系数为 11.34%。

表 3 湖南浏阳植烟土壤肥力因子描述性统计分析

Table 3 Descriptive statistics of soil fertility indexes of Liuyang tobacco-planting area

评价指标	均值±标准差	变异系数/%	分布频率/%				
			≤x ₁	(x ₁ , x ₂)	(x ₂ , x ₃)	(x ₃ , x ₄)	≥x ₄
pH	5.69±0.64	11.34	5.85	44.15	43.09	4.79	2.13
有机质/(g·kg ⁻¹)	29.19±7.21	24.69	1.60	31.38	45.74	19.68	1.60
碱解氮/(mg·kg ⁻¹)	144.51±34.53	23.89	0.53	18.09	65.43	15.43	0.53
有效磷/(mg·kg ⁻¹)	42.38±21.19	50.00	0.53	28.72	70.74		
速效钾/(mg·kg ⁻¹)	207.44±93.17	44.91	10.11	82.98	6.91		
有效锌/(mg·kg ⁻¹)	3.40±1.60	47.19	0.00	70.21	29.79		
有效铜/(mg·kg ⁻¹)	4.09±2.46	60.05	0.00	30.85	69.15		
有效锰/(mg·kg ⁻¹)	30.95±24.65	79.65	0.53	75.00	24.47		
有效铁/(mg·kg ⁻¹)	219.77±79.16	36.02	0.00	1.06	98.94		
有效硼/(mg·kg ⁻¹)	0.70±0.31	44.53	0.00	82.98	17.02		
有效铝/(mg·kg ⁻¹)	0.06±0.08	122.61	51.60	45.74	2.66		
有效硫/(mg·kg ⁻¹)	18.35±8.67	47.24	0.00	97.34	2.66		
交换性钙/[cmol(1/2Ca ²⁺)·kg ⁻¹]	7.14±6.82	95.53	7.45	88.30	4.26		
交换性镁/[cmol(1/2Mg ²⁺)·kg ⁻¹]	0.89±0.31	34.18	5.32	94.68			
水溶性氯/(mg·kg ⁻¹)	5.28±10.14	192.05	69.68	9.57	15.96	3.72	1.06

2.2 15 年来土壤肥力因子及综合评价指标变化

通过 2000 年和 2015 年土壤养分指标 t 检验发现(表 4),15 年来,除有效铜和有效铝外,其余土

壤养分指标均发生了显著变化(P<0.01),土壤 pH 值平均提高了 0.32 个单位,有机质含量降低了 9.26%。大量元素中,碱解氮降低比例为 7.26%,有

效磷和速效钾含量均有较大幅度提升，平均增加118.84%和63.42%。中微量元素中，有效锌、有效锰、有效铁、有效硼、交换性钙和镁均有不同程度

增加，增加幅度分别为50.34%、55.31%、39.06%、216.12%、54.12%和46.90%；水溶性氯和有效硫有所降低，特别是水溶性氯急剧下降，下降55.87%。

表4 2000年土壤养分及15年来变化
Table 4 Soil fertility indexes in 2000 and changes from 2000 to 2015

指标	pH	有机质/ (g·kg ⁻¹)	碱解氮/ (mg·kg ⁻¹)	水溶性氯/ (mg·kg ⁻¹)	有效磷/ (mg·kg ⁻¹)	速效钾/ (mg·kg ⁻¹)	有效锌/ (mg·kg ⁻¹)	有效铜/ (mg·kg ⁻¹)
2000年	5.37	32.17	155.82	11.97	19.37	126.93	2.26	4.4
变幅/%	5.96	-9.26	-7.26	-55.89	118.79	63.43	50.44	-7.05
t值	-5.12	4.61	3.90	8.23	-14.16	-11.69	-4.10	1.30
显著性	**	**	**	**	**	**	**	ns

指标	有效锰/ (mg·kg ⁻¹)	有效铁/ (mg·kg ⁻¹)	有效硼/ (mg·kg ⁻¹)	有效铝/ (mg·kg ⁻¹)	有效硫/ (mg·kg ⁻¹)	交换性钙/ [cmol(1/2Ca ²⁺)·kg ⁻¹]	交换性镁/ [cmol(1/2Mg ²⁺)·kg ⁻¹]
2000年	19.93	158.04	0.22	0.07	24.25	4.63	0.61
变幅/%	55.29	39.06	218.18	-14.29	-24.33	54.21	45.9
t值	-5.60	-9.08	-21.19	1.85	5.04	-4.91	-10.01
显著性	**	**	**	ns	**	**	**

注：2000年和2015年养分指标差异采用t检验，*和**分别表示在=0.05和0.01水平显著，ns表示未达到显著水平。

2.3 土壤综合肥力评价及时空变化特征

参照文献[5,12]研究方法 根据土壤综合肥力指标值将土壤肥力划分为高() (IFI 0.8) 较高() (0.8>IFI 0.6) 中等() (0.6>IFI 0.4) 较低() (0.4>IFI 0.2) 和低() (IFI<0.2) 5个等级。浏阳烟区各基地单元土壤综合肥力指标值及各等级分布频率见表5。由表5可知，全市植烟土壤综合肥力指标平均值为0.650，处于较高等级，变异系数为12.61%。从各等级分布频率可以看出，大部分植烟土壤综合肥力处于较高(75.76%)和中等

(21.21%)等级，全市植烟土壤综合肥力指标均大于0.4，无较低和低等级样品。各基地单元间综合肥力差异不显著，变异系数在12.30%~13.63%。各基地单元植烟土壤处于较高的比例最大，分布比例均达到60%以上，处于中等区域次之，在21.21%~34.69%，肥力达到高等级的区域比例为2.65%，主要分布在北盛(3.03%)、沙市(4.08%)和永安(6.25%)3个基地单元内。

浏阳烟区经过15年的生产利用，植烟土壤肥力状况发生了较大变化。2000年浏阳植烟土壤综合

表5 浏阳烟区各基地单元植烟土壤肥力评价及15年来变化

Table 5 Soil quality comprehensive evaluation of five base units and changes from 2000 to 2015 in Liuyang tobacco-planting area

年度	基地单元	土壤综合肥力 指标值 (IFI)	变异系数/%	土壤肥力各等级分布/%				
				高() IFI 0.8	较高() 0.8>IFI 0.6	中等() 0.6>IFI 0.4	较低() 0.4>IFI 0.2	低() IFI<0.2
2015	北盛	(0.662±0.085)a	12.84	3.03	75.76	21.21	0.00	0.00
	淳口	(0.661±0.081)a	12.25	0.00	72.22	27.78	0.00	0.00
	沙市	(0.644±0.081)a	12.58	4.08	61.22	34.69	0.00	0.00
	官渡	(0.634±0.078)a	12.30	0.00	73.68	26.32	0.00	0.00
	永安	(0.653±0.089)a	13.63	6.25	62.50	31.25	0.00	0.00
	全市	(0.650±0.082)a	12.61	2.65	68.62	28.72	0.00	0.00
2000	全市	0.536±0.062	11.57	0.00	14.50	84.50	1.00	0.00

注：用Duncan法在=0.05水平进行多重比较。同列小写字母相同代表基地单元间土壤综合肥力指标差异不显著(P<0.05)。

肥力平均值为0.536，变异系数为11.57%，2015年全市植烟土壤综合肥力指标增加0.114个单位，增幅为21.27%。从土壤肥力各等级分布比例可以看出，

2000年全市植烟土壤99%处于中等和较高肥力等级，分布频率分别为84.5%和14.5%，2015年大部分土壤综合肥力提高一个等级，全市植烟土壤处于

较高等级的区域占 68.62%，相比 2000 年提高 54.12%。说明 15 年来浏阳地区土壤肥力出现明显提升，肥力状况更佳。

3 讨 论

烤烟最适宜生长的土壤 pH 范围为 5.5~6.5。周晓阳等^[24]研究表明，湖南水旱轮作下的水稻土出现显著酸化，pH 下降速率为每年 0.076。而本研究表明，通过 15 年水旱轮作，浏阳植烟土壤 pH 值显著提高，平均提高了 0.32 个单位，这与当地烟草部门和烟农对用生石灰改良土壤酸性工作的重视密不可分，部分乡镇依托当地合作社并配套专项经费用于生石灰改良土壤取得了良好效果。

经过 15 年的生产利用，浏阳植烟土壤有机质下降了 9.26%，这与烟农施肥习惯有关，普遍重视无机肥施用，有机肥施用较少，同时 pH 上升也加速了有机质的分解转化，有机质消耗未得到足量补充。

15 年来，浏阳烟区有效磷、速效钾及大部分中微量元素含量均有所增加，尤其是有效磷增加幅度为 118.84%，变化趋势与李强等^[25]研究结果相同，烟区土壤有效磷环境风险概率显著上升。此外，浏阳植烟土壤铁、锰、锌等微量元素在耕层大量富集，可能对烤烟生产造成毒害^[26-28]，同时对生态环境和人类健康构成威胁^[29]。因此，在今后的生产中一方面继续防止土壤酸化，另一方面要控制重金属元素输入，包括灌溉水、肥料等源头控制，减少其在土壤耕层的积累。

烟草是忌氯作物，但氯同时又是烟草必须的微量营养元素之一，土壤氯过低将导致光合作用受阻^[30]，降低香味和吸味^[31]。2000 年土壤普查结果显示，部分烟区土壤氯含量偏高，为此浏阳烟区全面禁施氯化钾等含氯肥料，但 15 年来氯不断消耗导致土壤氯含量逐渐下降。因此，在烟叶氯含量偏低地区可考虑适当补氯。

从 2015 年土壤养分含量状况及综合评价来看，目前全市植烟土壤 pH 和有机质偏低，氮较适宜、磷偏高、钾稍有缺乏，中微量养分中钼、氯含量缺

乏，其余养分均较丰富。在今后的烟草施肥中，氮可保持目前的施肥水平，适当减少磷肥的用量，提高钾肥的用量，增施有机肥，增施钼、氯等中微量元素肥料，对 pH 值较低的土壤可适量施用生物炭或生石灰等加以调节，定期开展测土配方施肥，及时调整肥料配方。

4 结 论

1) 经过 15 年的生产利用，土壤养分含量发生较大变化，pH 值上升，有机质和碱解氮有小幅下降，有效磷和速效钾大幅增加，水溶性氯急剧下降，全市植烟土壤综合肥力有所提高。

2) 2015 年，浏阳植烟土壤 pH 和有机质含量偏低，有效磷、有效铜和有效铁含量偏高，有效钼和水溶性氯比较缺乏，其余养分指标较适宜。大部分植烟土壤综合肥力处于较高和中等等级。

3) 今后的烟草施肥应稳氮控磷增钾，增施有机肥及钼、氯等中微量元素肥料。同时，定期开展测土配方施肥，促进土壤养分供需平衡。

参考文献

- [1] 李玥, 赖勇林, 王军, 等. 不同养分缺乏对烤烟根系形态及营养生长的影响[J]. 中国烟草科学, 2015, 36(2): 60-65.
- [2] 沈晗, 周冀衡, 赵百东, 等. 云南保山市植烟土壤养分状况与烤烟化学成分相关分析[J]. 中国土壤与肥料, 2012(4): 22-26.
- [3] JU X T, CHAO F C, LI C J, et al. Yield and nicotine content of flue-cured tobacco as affected by soil nitrogen mineralization[J]. Pedosphere, 2008, 18(2): 227-235.
- [4] 钱华, 杨军杰, 史宏志, 等. 豫中不同土壤质地烤烟烟叶中性致香物质含量和感官质量的差异[J]. 中国烟草学报, 2012, 18(6): 17-22.
- [5] 陈泽鹏, 詹振寿, 郭治兴, 等. 广东植烟土壤肥力综合评价[J]. 中国烟草科学, 2006, 27(1): 35-37.
- [6] 许龙, 李忠环, 陈荣平, 等. 昆明市植烟土壤 2002—2006 年养分状况变化动态分析[J]. 土壤, 2009, 41(2): 282-287.
- [7] 王育军, 周冀衡, 孙书斌, 等. 云南罗平县烟区土壤肥力适宜性评价及养分时空变异特征[J]. 土壤, 2015, 47(3): 515-523.
- [8] 李强, 周冀衡, 张一扬, 等. 基于地统计学的曲靖植烟

- 土壤主要养分丰缺评价[J]. 烟草科技, 2012(11): 69-73.
- [9] 李强, 周冀衡, 杨荣生, 等. 马龙县植烟土壤养分空间变异特征及适宜性评价[J]. 土壤, 2011, 43(6): 897-902.
- [10] 张隆伟, 伍仁军, 王昌全, 等. 四川凉攀烟区植烟土壤有效铜和有效锌空间变异特征[J]. 中国烟草科学, 2014, 35(3): 1-6.
- [11] 张倩, 王昌全, 李冰, 等. 攀西植烟土壤有机质和全氮空间变异性研究[J]. 核农学报, 2013, 27(4): 501-508.
- [12] 王军, 丁效东, 何振峰, 等. 广东南雄烟区植烟土壤肥力特征及综合评价[J]. 中国烟草科学, 2015, 36(6): 30-36.
- [13] 张浩, 彭月月, 李斌, 等. 宜宾地区土壤养分空间变异及其丰缺状况评价. 中国烟草科学, 2016, 37(4): 30-36.
- [14] 徐辰生, 陈爱国, 徐茜, 等. 南平烟区植烟土壤肥力评价研究[J]. 中国烟草科学, 2016, 37(4): 24-29.
- [15] 张甘霖, 龚子同. 土壤调查实验室分析方法[M]. 北京: 科学出版社, 2012.
- [16] 罗建新, 石丽红, 龙世平. 湖南主产烟区土壤养分状况与评价[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2005, 31(4): 376-380.
- [17] 谢鹏飞, 邓小华, 何命军, 等. 宁乡县植烟土壤养分丰缺状况分析[J]. 中国农学通报, 2011, 27(5): 154-162.
- [18] 王林, 卢秀萍, 肖汉乾, 等. 浏阳植烟土壤肥力状况的综合评价[J]. 河南农业大学学报, 2006, 40(6): 597-601.
- [19] 黄浩. 湖南宁乡植烟土壤与烟叶质量的综合评价研究[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2014.
- [20] 洛东奇, 白洁, 谢德体. 论土壤肥力评价指标和方法[J]. 土壤与环境, 2002, 11(2): 202-205.
- [21] 许自成, 肖汉乾, 赵献章, 等. 植烟土壤养分丰缺状况评价的统计学方法[J]. 土壤通报, 2004, 35(5): 558-561.
- [22] 赵松义, 肖汉乾. 植烟土壤肥力与平衡施肥技术[M]. 长沙: 湖南科学技术出版社, 2005.
- [23] 廖桂堂, 李廷轩, 王永东, 等. 基于GIS和地统计学的低山茶园土壤肥力质量评价[J]. 生态学报, 2007, 27(5): 1978-1986.
- [24] 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.
- [25] 李强, 唐春闰, 李帆, 等. 水旱轮作植烟土壤有效磷的时空变异及风险评估[J]. 烟草科技, 2016, 49(6): 22-27.
- [26] 葛淑芳, 章艺, 吴玉环, 等. 铜污染对烟草生长及其生理特性的影响[J]. 浙江师范大学学报(自然科学版), 2014(2): 219-224.
- [27] 刘国顺, 习向银, 时向东, 等. 锌对烤烟漂浮育苗中烟苗生长及生理特性的影响[J]. 河南农业大学学报, 2002, 36(1): 18-22.
- [28] 梁宏. 重庆植烟土壤肥力特征及评价[D]. 重庆: 西南大学, 2014: 5-6.
- [29] 陈玉真, 王峰, 王果, 等. 土壤锌污染及其修复技术研究进展[J]. 福建农业学报, 2012, 27(8): 901-908.
- [30] 李永忠, 罗鹏涛. 氯在烟草体内的生理代谢功能及其应用[J]. 云南农业大学学报, 1995(10): 57-61.
- [31] 邓小华, 周冀衡, 陈冬林, 等. 湖南烤烟氯含量状况及其对评吸质量的影响[J]. 烟草科技, 2008(2): 8-12.