

DOI: 10.13758/j.cnki.tr.2021.06.014

陈洁菲, 查宇璇, 杨超, 等. 重庆市石柱县烟田土壤肥力演变与施肥区划. 土壤, 2021, 53(6): 1207–1214.

重庆市石柱县烟田土壤肥力演变与施肥区划^①

陈洁菲¹, 查宇璇¹, 杨超², 陈天才³, 徐宸², 刘忠⁴, 周鑫斌^{1*}

(1 西南大学资源环境学院, 重庆 400715; 2 中国烟草总公司重庆市公司烟草科学研究所, 重庆 400715; 3 中国烟草总公司重庆市公司奉节分公司, 重庆 404600; 4 中国烟草总公司重庆市公司石柱分公司, 重庆 409100)

摘要: 分析 2017 年重庆市石柱县 230 份土壤样品的 pH 和养分指标, 并与 2002、2012 年数据对比, 了解该县植烟土壤肥力状况及其演变趋势, 提出针对性施肥策略。结果表明, 2017 年该县植烟土壤 pH 均值为 5.52, 其中 pH<5.5 的酸性土壤占 49.1%; 土壤有机质平均含量为 30.67 g/kg, 其中>20 g/kg 的比例占 92.6%。土壤碱解氮、有效磷和速效钾平均含量分别为 156.35、108.40、436.25 mg/kg, 其含量过高的比例分别占 21.35%、88.2%、98.0%。比较 2002、2012 和 2017 年数据, 植烟土壤 pH 先下降后上升, 土壤有机质含量稳步上升, 土壤碱解氮、有效磷、速效钾含量显著增长。综上所述, 该县土壤酸化问题仍较严重, 养分含量过于丰富, 整体土壤肥力较低且呈下降趋势, 因此, 可按照“区域大配方, 地块小调整”的原则, 运用施肥区划图和烤烟配方施肥建议卡, 对该县不同种植单元烟田提出具体的施肥方案, 实现该县优质烤烟生产。

关键词: 植烟土壤; 土壤肥力; 施肥区划; 石柱县

中图分类号: S158.5 **文献标志码:** A

Evolution and Fertilization Zoning of Tobacco-growing Soil Fertility of Shizhu County, Chongqing City

CHEN Jiefei¹, ZHA Yuxuan¹, YANG Chao², CHEN Tiancai³, XU Chen², LIU Zhong⁴, ZHOU Xinbin^{1*}

(1 School of Resources and Environment, Southwest University, Chongqing 400715, China; 2 Tobacco Scientific Research Institute of Chongqing Corporation, Chinese Tobacco Corporation, Chongqing 400715, China; 3 Fengjie Branch of Chongqing Tobacco Company, Fengjie, Chongqing 404600, China; 4 Shizhu Branch of Chongqing Tobacco Company, Shizhu, Chongqing 409100, China)

Abstract: This paper analyzed pH and nutrients of 230 typical tobacco-growing soil samples from Shizhu County of Chongqing City in 2017 and compared the corresponding data of 2002 and 2017 in order to understand the condition and evolution of tobacco-growing soil fertility for the rational targeted fertilization strategies. The results showed that the average pH was 5.52 in 2017, soil samples with pH < 5.5 accounted for 49.1% of the total samples. The average SOM content was 30.67 g/kg in 2017, soil samples with SOM>20 g/kg accounted for 92.6% of the total samples. The average contents of soil alkali-hydrolyzed nitrogen, available phosphorus and available potassium were 156.35, 108.40 and 436.25 mg/kg respectively, with the proportions of soil samples at the high grades of 21.35%, 88.2% and 98.0% respectively. Compared with the data in 2002, 2012 and 2017, soil pH was decreased at first and then increased, SOM increased steadily, soil alkali-hydrolyzable nitrogen, available phosphorus and available potassium significantly increased. To sum up, soil acidification was serious and nutrients were exceedingly abundant. The integrated soil fertility was poor and declining. Hence, according to macro-strategy in huge restrict and small-adjustment in the field, through using fertilization zoning map and flue-cured tobacco formula fertilization card, specific fertilization program was put forward aiming at tobacco fields with different planting units to accomplish high-quality flue-cured tobacco production.

Key words: Tobacco-growing soil; Soil fertility; Fertilization zoning; Shizhu County

①基金项目: 中国烟草总公司重庆市重点项目(C20201NY4103)和广西中烟工业有限责任公司项目(2020450000340004)资助。

* 通讯作者(zxbssas@swu.edu.cn)

作者简介: 陈洁菲(1999—), 女, 重庆垫江人, 本科生, 主要从事植烟土壤肥力研究。E-mail: 1114909352@qq.com

烤烟是重庆市石柱县重要经济作物之一,在脱贫攻坚、现代农业发展和乡村振兴中发挥着积极作用^[1]。目前石柱烟叶与国际优质烟叶相比,主要差距表现在致香物质含量低、香气量不足,下部叶身份薄、油分低,上部叶烟碱含量高、杂气重等方面^[2-3]。所以,进一步提高烟叶原料品质是当前首要解决的问题。在相同气候条件下,土壤是对烟叶品质影响最大的环境因子,适宜的土壤肥力是生产优质烟草的基础^[4]。一般认为土壤肥力指标的关键因子包括土壤 pH,有机质及氮、磷、钾速效养分含量。比如土壤 pH 过高或过低会引起土壤养分有效性的变化,导致植株营养失衡,影响烤烟品质和产量^[5]。近年来,为提高烤烟产量,烟农采取连作种植制度和不合理施肥,加剧了植烟土壤养分供给失衡,造成土壤肥力下降^[6]。因此有必要对土壤肥力现状和变化趋势及原因进行分析,为制定土壤质量管理方案与合理施肥策略提供科学依据。

目前对石柱县烟田土壤现状、演变趋势及施肥区划研究还不多,仅有一篇研究 2013 年石柱植烟土壤状况的文章^[7]。为了解其土壤肥力现状和变化趋势及原因,本文采用多年连续监测方法,对 2002、2012、2017 年石柱烟田的定期定点采样数据进行分析,对比植烟土壤 pH 与主要养分的含量变化、分布规律,运用空间插值法生成养分分布图,提出烟草施肥区划,为该县烟田因土施肥提供依据和现实参考。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

重庆市石柱县位于长江上游南岸,29°39′~30°33′N、107°59′~108°34′E,属亚热带季风性湿润气候,雨热充足,以黄壤为主,适宜种植烤烟。2017 年全县烤烟播种面积 2 610 hm²,总产量 4 250 t。

1.2 土样采集与制备

根据重庆市烟草公司在石柱县的土样定期采集点,于 2017 年按照每种植单元取一个耕层(0~20 cm)混合土样的方法,在定位监测点区域内选取代表性地块作为土样取样点,并记录经纬度,共确立 230 个点(图 1)。每个点按“S”型布点法设置 15 个分样点进行垂直取样,去掉表层土 2~4 cm,剔除杂质后混合均匀,用四分法取样 2 kg 进行室内工作。样品自然风干研磨过筛后装瓶,用以室内测定,将测定结果与 2002、2012 年数据进行对比分析。

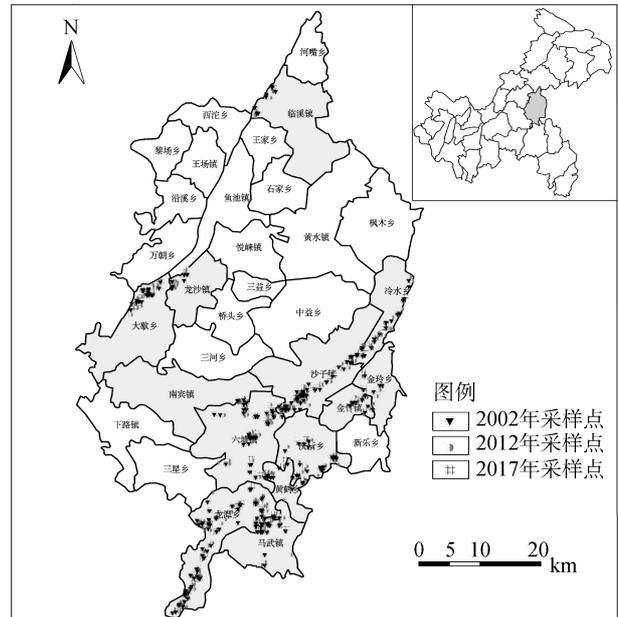


图 1 石柱县烟田土壤样品分布图
Fig. 1 Distribution of soil sampling sites in Shizhu County

1.3 分析方法

土壤 pH、有机质、碱解氮、有效磷、速效钾含量测定参照《土壤农化分析与环境监测》^[8]。土壤 pH 采用水土比 1:2.5(m:V)的悬浊液电位法测定;土壤有机质采用重铬酸钾容量-外加加热法测定;土壤碱解氮采用氢氧化钠碱解扩散法测定;土壤有效磷采用碳酸氢钠浸提-钼锑抗比色法测定;土壤速效钾采用醋酸铵浸提-火焰光度法测定。

1.4 数据分析

采用 SPSS 25.0、Excel 2016、MapGIS 67、Section 2016 软件对试验数据进行统计分析与制图。

1.5 评价标准

结合该县植烟区烤烟生产实际和近年相关研究结果^[9-15],借鉴全国第二次土壤普查资料,并权衡土壤养分状况与烟叶生产质量,制定出石柱县植烟土壤 pH 与养分划分标准,详见表 1。

2 结果与分析

2.1 石柱县植烟土壤 pH 状况

由表 2 可知,该县植烟土壤 pH 平均值在 2002、2012、2017 年分别处于适宜水平、较低水平、适宜水平。3 个年份的变异程度均为中等变异。分布概率曲线均呈右偏态的正态分布,但 2002 年的为尖峰,另两个年份均为低峰。2012 年的平均值最低,与另外两个年份均有显著差异。

表 1 石柱县植烟土壤 pH 与养分划分标准
Table 1 Classification standards of pH and nutrients of tobacco-growing soil in Shizhu County

指标	极低	较低	适宜	较高	极高
pH	<5.0	5.0 ~ 5.5	5.5 ~ 6.5	>6.5	-
有机质(g/kg)	<10	10 ~ 20	20 ~ 30	30 ~ 40	>40
碱解氮(mg/kg)	<65	65 ~ 100	100 ~ 180	180 ~ 240	>240
有效磷(mg/kg)	<10	10 ~ 15	15 ~ 30	30 ~ 40	>40
速效钾(mg/kg)	<80	80 ~ 150	150 ~ 220	220 ~ 350	>350

表 2 石柱县植烟土壤 pH 和养分描述性统计
Table 2 Descriptive statistics of pH and nutrient contents of tobacco-growing soil in Shizhu County

年份	项目	pH	有机质(g/kg)	碱解氮(mg/kg)	有效磷(mg/kg)	速效钾(mg/kg)
2017	平均值	5.64 ± 0.90 a	30.67 ± 8.86 a	156.35 ± 39.06 a	108.40 ± 90.23 a	436.25 ± 126.63 a
	变异系数(%)	16.00	28.88	24.98	83.24	29.03
	偏度	0.55	1.42	0.83	0.85	1.96
	峰度	-0.43	4.86	2.29	1.53	5.45
2012	平均值	5.35 ± 0.97 b	30.16 ± 11.04 a	136.13 ± 41.29 b	40.67 ± 31.69 b	223.14 ± 103.86 b
	变异系数(%)	18.02	36.62	30.33	77.91	46.54
	偏度	0.62	0.92	0.25	1.46	0.64
	峰度	-0.59	2.92	0.31	5.02	1.96
2002	平均值	5.57 ± 0.87 a	29.47 ± 10.13 a	40.86 ± 27.61 c	22.48 ± 12.34 c	148.57 ± 69.68 c
	变异系数(%)	15.30	34.38	67.58	54.88	46.89
	偏度	0.47	1.20	2.28	0.88	0.99
	峰度	0.25	6.66	9.78	2.97	1.33

注: 表中同列数据小写字母不同表示同一指标不同年份间差异显著($P < 0.05$), 下同。

结合表 3 和图 2 可知, 随种植年限的增加, 土壤 pH 大小总体上呈先降低后升高趋势, 酸性土壤的分布呈先增大后减小趋势。

2.2 石柱县植烟土壤有机质状况

由表 2 可知, 该县植烟土壤有机质平均值在 2002 年处于适宜水平, 在另两个年份均处较高水平。

表 3 石柱县植烟土壤 pH 和养分指标各水平比例情况
Table 3 Grade proportions of pH and nutrient contents of tobacco-growing soil in Shizhu County

年份	样本数	pH		有机质		碱解氮		有效磷		速效钾	
		区间	比例(%)	区间(g/kg)	比例(%)	区间(mg/kg)	比例(%)	区间(mg/kg)	比例(%)	区间(mg/kg)	比例(%)
2017	230	<4.5	6.1	<10	0	<65	0.5	<10	0	<80	0
		4.5 ~ 5.5	43.0	10 ~ 20	7.4	65 ~ 100	4.8	10 ~ 15	3.5	80 ~ 150	1.3
		5.5 ~ 6.5	32.2	20 ~ 30	45.7	100 ~ 180	73.5	15 ~ 30	8.3	150 ~ 220	1.7
		6.5 ~ 7.5	16.1	30 ~ 40	33.9	180 ~ 240	18.3	30 ~ 40	10.4	220 ~ 350	22.2
		>7.5	2.6	>40	13.0	>240	3.0	>40	77.8	>350	74.8
2012	332	<4.5	23.5	<10	0.9	<65	3.0	<10	11.8	<80	6.3
		4.5 ~ 5.5	37.1	10 ~ 20	11.7	65 ~ 100	13.9	10 ~ 15	7.8	80 ~ 150	19.6
		5.5 ~ 6.5	24.7	20 ~ 30	39.2	100 ~ 180	71.1	15 ~ 30	26.5	150 ~ 220	25.6
		6.5 ~ 7.5	12.6	30 ~ 40	34.0	180 ~ 240	11.1	30 ~ 40	13.2	220 ~ 350	36.8
		>7.5	2.1	>40	14.2	>240	0.9	>40	40.7	>350	11.7
2002	275	<4.5	10.6	<10	15.6	<65	73.8	<10	15.6	<80	31.6
		4.5 ~ 5.5	45.8	10 ~ 20	12.4	65 ~ 100	23.6	10 ~ 15	12.4	80 ~ 150	29.1
		5.5 ~ 6.5	30.9	20 ~ 30	47.3	100 ~ 180	1.5	15 ~ 30	47.3	150 ~ 220	21.8
		6.5 ~ 7.5	12.0	30 ~ 40	17.8	180 ~ 240	1.1	30 ~ 40	17.8	220 ~ 350	13.5
		>7.5	0.7	>40	6.9	>240	0	>40	6.9	>350	4.0

3 个年份的有机质平均含量均无显著差异, 变异程度均为中等变异, 分布概率曲线均呈低峰、右偏态的正态分布。

结合表 3 和图 3 可知, 随种植年限的增加, 土壤有机质大小总体上呈先降低后升高趋势, 各水平空间分布状况稳定。

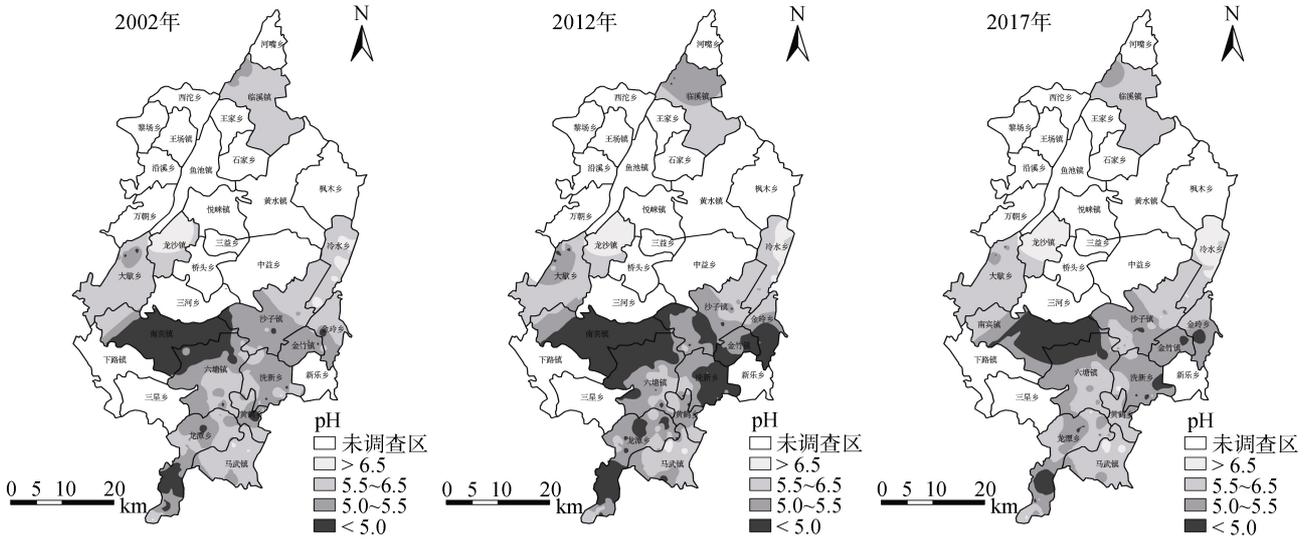


图 2 石柱县植烟土壤 pH 空间分布状况
Fig. 2 Distribution of soil pH in Shizhu County

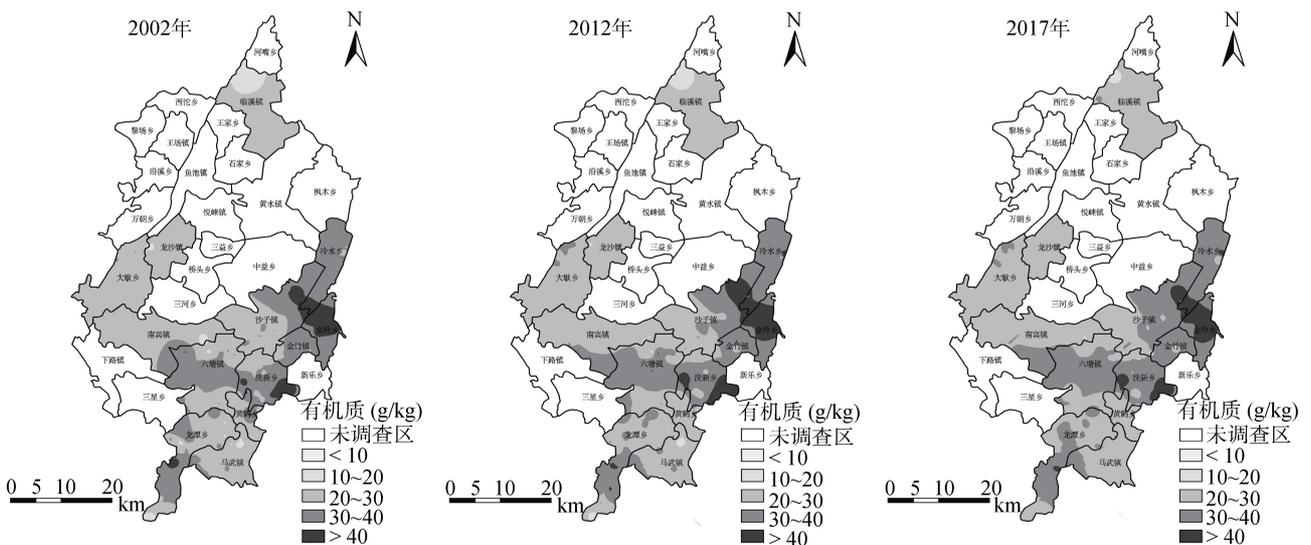


图 3 石柱县植烟土壤有机质空间分布状况
Fig. 3 Distribution of SOM in Shizhu County

2.3 石柱县植烟土壤碱解氮状况

由表 2 可知, 该县植烟土壤碱解氮平均值在 2012、2017 年均处于适宜水平, 但在 2002 年为极低水平。3 个年份的有机质平均含量差异均达显著水平, 变异程度均为中等变异, 分布概率曲线均呈低峰、右偏态的正态分布。

结合表 3 和图 4 可知, 随种植年限的增加, 土壤碱解氮大小总体上呈显著增长趋势, 适宜水平的空间分布显著增加。

2.4 石柱县植烟土壤有效磷状况

由表 2 可知, 该县植烟土壤有效磷平均值在 2002 年处于适宜水平, 在 2012、2017 年均为极高水平。3 个年份的变异程度均为中等变异, 分布概率曲线均呈低峰、右偏态的正态分布。三者的有机质平均含量均呈显著差异。

结合表 3 和图 5 可知, 随种植年限的增加, 土壤有效磷大小总体上呈显著增长趋势, 极高水平的空间分布显著增加。

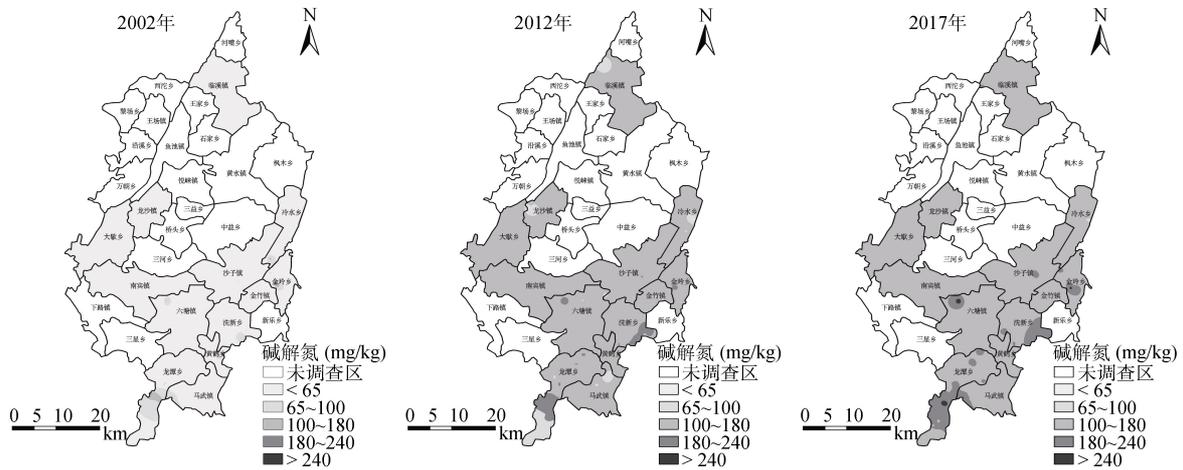


图 4 石柱县植烟土壤碱解氮空间分布状况
Fig. 4 Distribution of soil alkali-hydrolyzable N in Shizhu County

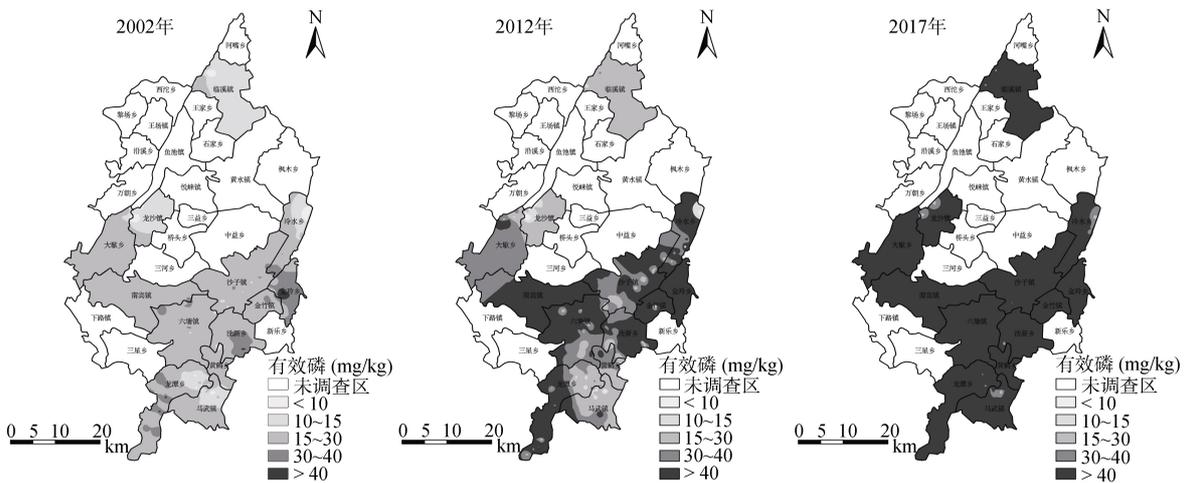


图 5 石柱县植烟土壤有效磷空间分布状况
Fig. 5 Distribution of soil available P in Shizhu County

2.5 石柱县植烟土壤速效钾状况

由表 2 可知，该县植烟土壤速效钾平均值在 2002、2012、2017 年分别处于较低、较高水平、极高水平。3 个年份的有机质平均含量均呈显著差异，变异程度均为中等变异，分布概率曲线均呈低峰、右偏态的正态分布。

结合表 3 和图 6 可知，随种植年限的增加，土壤速效钾大小总体上呈显著增长趋势，极高水平的空间分布显著增加。

3 讨论

3.1 pH 状况及演变分析

土壤 pH 是土壤养分元素含量及有效性的主要影响因素之一，是评价土壤肥力的重要指标^[16]。本研究表明，石柱县植烟土壤酸化较为普遍。比较 3 个年份土壤 pH，总体上呈先下降后上升趋势，土壤酸化

现象改善明显。但相较于同处南方的贵州省遵义市植烟土壤 pH(6.2~7.4)，2017 年石柱县植烟土壤 pH(4.1~8.3)仍较低，土壤酸化较为严重且面积较大，不容忽视^[17]。这与该地烟农为提高烤烟产质量而长期过度施肥和连续耕作密切相关^[18-19]，其中生理酸性肥料、畜禽粪便等未腐熟的有机肥、过量氮肥等均是加剧该地土壤酸化的重要因子^[19-20]。针对酸性土壤，一方面可通过烟田轮作、间作、套作等种植制度促进烟田生态系统的良性循环，提高土壤 pH；另一方面可通过差异化管理措施来改善不同酸化程度的植烟土壤，即：针对 pH 弱酸性土壤(5.0~5.5)，可适当投入生物有机肥^[21]；针对 pH 为 4.5~5.5 的烟田，可撒施 375 kg/hm² 的生石灰与条施 750 kg/hm² 的草木灰来改善土壤的酸性^[22]。

3.2 有机质状况及演变分析

土壤有机质含量是土壤物理、化学和生物学特

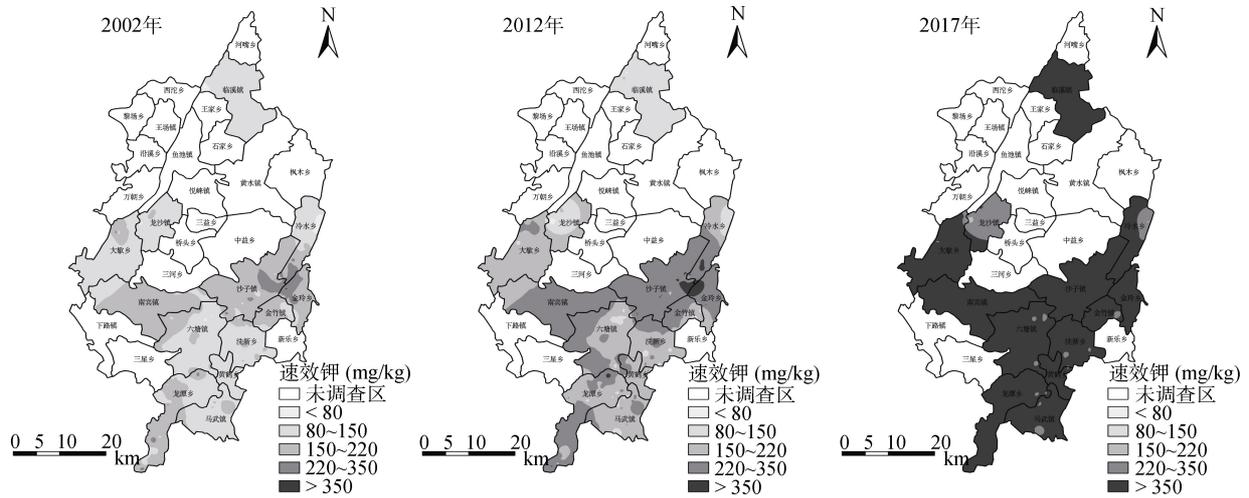


图 6 石柱县植烟土壤速效钾空间分布状况
Fig. 6 Distribution of soil available K in Shizhu County

性的影响因素,对烤烟的正常生长有非常重要的作用^[9]。研究表明,石柱烟田土壤有机质含量呈逐年稳定上升趋势,处于稳定丰富状态,这主要与近年来推行施用有机肥有关。研究显示,土壤有机质含量过高时会大幅度降低烟叶吸味品质^[23]。因此,有必要在有机质含量过高的烟田适当减少有机肥的施用。

3.3 氮、磷、钾速效养分状况及演变分析

土壤碱解氮含量可有效反映土壤氮素供应状况^[24]。研究表明,该县植烟土壤碱解氮含量均呈逐年增长趋势,总体上处适宜水平,这与该地区近年来推行使用含氮复合肥和有机肥有关。研究显示,土壤碱解氮含量过高或过低都会影响烟叶烟碱含量的积累,从而影响烟叶的品质^[25]。因此土壤碱解氮含量较高的区域可适量减少氮肥施用,而含量较低的区域则反之。

磷素是烤烟生长的必需营养元素之一,但磷素施用过多不仅会影响烟草品质,还会破坏生态环境^[12]。研究表明,植烟土壤有效磷平均含量呈逐年显著增加趋势,2017年有效磷呈过剩状态,这与该地区长期不合理施肥及氮磷钾施肥比例失调有关。为确保烟叶质量,可降低该地区磷肥施用,同时调整氮肥、钾肥施用量。

烤烟属喜钾作物,钾素是烤烟的品质元素,速效钾含量直接影响烤烟品质与产量^[26]。研究表明,石柱县植烟土壤速效钾含量呈逐年显著增长趋势,极高水平占比显著增长。这与过量施用钾肥密切相关,长此以往会损害烟叶产质量^[27],因此石柱县可适当减少钾肥施用量,合理调整氮磷钾施肥比例。

3.4 施肥建议

土壤养分丰缺状况和供应强度直接影响烤烟产

质量^[28]。本研究表明,石柱烟田土壤酸化普遍,土壤氮、磷、钾含量过高等问题与烟农长期不合理施肥密切相关,不同程度影响着烤烟产质量。本文根据测土配方结果,并结合上述分析,按照“大配方小调整”的原则,对石柱烟田施肥提出合理建议。

3.4.1 石柱县烟田“大配方”养管理 利用2017年养分数据和 MapGIS 67、Section 2016 软件制图,根据本课题组多年田间试验结果,提出在石柱县高氮区推荐纯氮肥量为 90~97.5 kg/hm²,中氮区为 97.5~105 kg/hm²,低氮区为 105~112.5 kg/hm²。以施纯氮肥量为 1,不同区域的肥力配方建议详见图 7。

石柱县植烟区施肥区划图
石柱县植烟区肥料配方建议

土壤肥力	配方建议
高氮高磷高钾	1:0.8:2.3
中氮高磷高钾	1:0.8:2.3
低氮高磷高钾	1:0.8:2.3
中氮高磷中钾	1:0.8:2.7
中氮中磷高钾	1:1:2.3
中氮低磷低钾	1:1.2:3.1

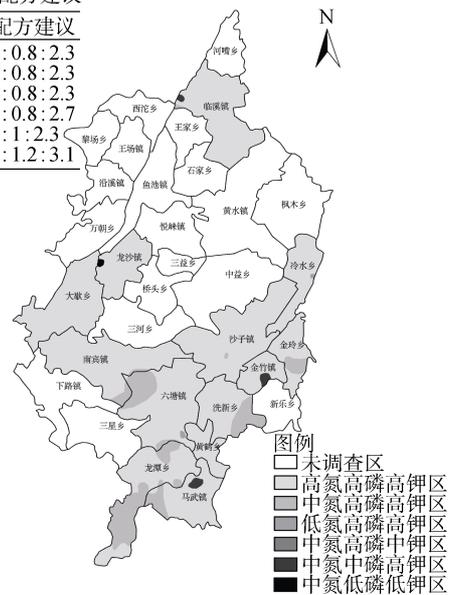


图 7 石柱县烟田施肥区划图

Fig.7 Fertilization zoning map of tobacco-growing soil in Shizhu

3.4.2 石柱县烟田“小调整”养分管理 以石柱县植烟区各基地种植单元为单位，依据测土配方结果、烤烟预期产量及栽培品种生长特性，合理选择肥料品类，制作烤烟配方施肥建议卡，并发放给烟农，以此指导烟农施肥，施肥建议卡举例见表 4。

表 4 石柱县烤烟配方施肥建议卡
Table 4 Flue-cured tobacco formula fertilization card in Shizhu County

基本信息		土壤信息		土壤评价及改良	推荐施肥		
					基肥(kg/hm ²)	苗肥(kg/hm ²)	追肥(kg/hm ²)
基本单元	南宾	pH	5.1	土壤为黄壤，地处山地缓坡。土壤偏酸，有机质和氮磷含量中等，钾含量丰富。在移栽起垄前 2 个月施白云石粉 1 500kg/hm ² (翻地前和翻地后各 50%，均匀撒施)，并且还需补充适量微肥。推荐施用纯氮 97.5~105 kg/hm ² ，纯磷 97.5~105 kg/hm ² ，纯钾 195~240 kg/hm ² 。	6-12-25 复合肥：	20-15-10 复合	硝酸钾：225；
种植单元	龙池竹林	有机质(g/kg)	28.4		750；菜籽饼：	肥：75	硫酸钾：45
乡镇	六塘	碱解氮(mg/kg)	149		300；农家肥：		
村	龙池竹林	有效磷(mg/kg)	114		2 250		
烟农	付光武	速效钾(mg/kg)	363				

4 结论

1) 2017 年石柱植烟土壤 pH<5.5 的占 49.1%，土壤酸化较为普遍；土壤有机质含量较丰富；土壤全氮含量总体水平较高；土壤碱解氮、有效磷与速效钾含量高于适宜范围的占比分别为 21.3%、88.2%、97.0%，属较高至极高水平。

2) 从 3 个年份的数据来看，石柱县植烟土壤 pH 呈先下降后上升趋势，土壤酸化得到明显改善但仍较严重；土壤有机质含量呈缓慢增长趋势，处于稳定丰富状态；土壤碱解氮、有效磷、速效钾含量均显著增长，这与当地烟农不合理施肥密切相关。

3) 根据石柱县烟田土壤肥力现状及其演变趋势，并按照“区域大配方，地块小调整”的原则采用施肥区划图和烤烟配方施肥建议卡，对该县不同种植单元烟田提出具体施肥方案，为石柱县优质烤烟生产提供技术支撑。

参考文献：

[1] 张璐, 徐宸, 石孝均, 等. 重庆市南川植烟区土壤养分演变趋势及施肥区划[J]. 西南大学学报(自然科学版), 2020, 42(8): 17-25.

[2] 刘燕, 阙劲松, 于良君, 等. 烤烟致香物质含量的主要影响因素及其提高的可能途径[J]. 中国农学通报, 2013, 29(22): 83-89.

[3] 江厚龙, 彭奎, 张艳, 等. 重庆烤烟化学成分与感官品质典型相关分析[J]. 中国烟草科学, 2019, 40(2): 80-86.

[4] 秦松, 刘大翠, 刘静, 等. 土壤肥力对烟叶化学成份及品质的影响[J]. 土壤通报, 2007, 38(5): 901-905.

[5] 颜侃, 陈宗瑜, 王娟, 等. 不同生态区烤烟叶片稳定碳同位素组成特征[J]. 生态学报, 2015, 35(11): 3846-3853.

[6] 任杰, 柯美福, 饶智, 等. 陕南山地烟田不同植烟年限土壤养分的变化[J]. 中国烟草学报, 2015, 21(1): 68-71.

[7] 黄崇峻, 卢健. 2013 年重庆市石柱县植烟土壤肥力状况分析[J]. 湖北农业科学, 2016, 55(9): 2211-2213.

[8] 杨剑虹, 王成林, 代亨林. 土壤农化分析与环境监测[M]. 北京: 中国大地出版社, 2008: 26-79.

[9] 韦建玉, 黄崇峻, 金亚波, 等. 重庆市主要烟区土壤肥力状况综合评价[J]. 西南大学学报(自然科学版), 2019, 41(11): 30-36.

[10] 贺彩平, 刘峰, 石孝均, 等. 重庆市巫山县烟草施肥现状调查分析[J]. 中国农学通报, 2013, 29(7): 179-184.

[11] 吴杰, 李向鹏, 陈鑫, 等. 重庆市涪陵区植烟土壤养分的适宜性评价及变异分析[J]. 土壤, 2020, 52(1): 106-112.

[12] 李玉宝, 王鹏, 张永革, 等. 贵州毕节主要植烟区土壤肥力综合评价[J]. 安徽农业科学, 2020, 48(24): 156-160.

[13] 梁红. 重庆植烟土壤肥力特征及评价[D]. 重庆: 西南大学, 2014.

[14] 刘敬珣, 刘晓晖, 陈长清. 湘西烟区土壤肥力状况分析与综合评价[J]. 中国农学通报, 2009, 25(2): 46-50.

[15] 赵福杨, 卢迪, 王鹏, 等. 会理烟区植烟土壤主要理化性状评价[J]. 湖南农业科学, 2014(13): 52-54, 57.

[16] 李强, 闫晨兵, 田明慧, 等. 湘西植烟土壤 pH 时空变异及其主要驱动因素[J]. 植物营养与肥料学报, 2019, 25(10): 1743-1751.

[17] 彭玉龙, 郑梅迎, 刘明宏, 等. 遵义烟田土壤 pH 的空间分布与演变特征[J]. 中国烟草科学, 2019, 40(3): 47-54.

[18] 徐仁扣. 土壤酸化及其调控研究进展[J]. 土壤, 2015, 47(2): 238-244.

[19] 赵书军, 饶雄飞, 袁家富, 等. 恩施州植烟区土壤养分现状及演变趋势[J]. 中国土壤与肥料, 2015(2): 33-37, 62.

[20] Zhang Y T, He X H, Liang H, et al. Long-term tobacco plantation induces soil acidification and soil base cation loss[J]. Environmental Science and Pollution Research, 2016, 23(6): 5442-5450.

- [21] 邓小华, 黄杰, 杨丽丽, 等. 石灰、绿肥和生物有机肥协同改良酸性土壤并提高烟草生产效益[J]. 植物营养与肥料学报, 2019, 25(9): 1577-1587.
- [22] 张东. 重庆烟区植烟土壤酸化现状及改良措施研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2015.
- [23] 代晓燕, 张芊, 刘国顺, 等. 植烟土壤有机碳库修复的研究进展[J]. 中国烟草科学, 2014, 35(3): 109-116.
- [24] 耿明明, 赵建, 贾瑞莲, 等. 烟梗(末)有机肥对烟田土壤养分、病害发生及烟叶产质量的影响[J]. 烟草科技, 2016, 49(12): 28-34.
- [25] 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.
- [26] 张翔, 范艺宽, 黄元炯, 等. 河南省不同茬口烟田土壤养分状况评价[J]. 中国烟草学报, 2009, 15(6): 31-35, 40.
- [27] 常乃杰, 张云贵, 李志宏, 等. 云南玉溪植烟土壤速效养分空间变异特征及应用[J]. 中国土壤与肥料, 2017(1): 7-13.
- [28] 褚旭, 王珂清, 魏建荣, 等. 云南植烟土壤肥力状况的组合评价法研究[J]. 中国烟草学报, 2019, 25(2): 48-54.