

DOI: 10.13758/j.cnki.tr.2020.01.015

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. 土壤, 2020, 52(1): 106–112

重庆市涪陵区植烟土壤养分的适宜性评价及变异分析^①

吴杰¹, 李向鹏¹, 陈鑫¹, 罗小飞¹, 刘奇东¹, 钱旒², 王建林², 冉茂¹,
陈涛³, 徐鹏飞⁴, 石孝均⁵, 江厚龙^{6*}

(1 重庆市烟草公司涪陵分公司, 重庆涪陵 408000; 2 重庆中烟工业责任有限公司, 重庆 400060; 3 重庆市烟草公司, 重庆 400023;
4 重庆市烟草公司烟叶分公司, 重庆 400020; 5 西南大学资源环境科学学院, 重庆 400715; 6 重庆烟草科学研究所, 重庆 400715)

摘要: 为明确土壤养分状况及变异特征, 本研究以 2012 年和 2017 年涪陵区烟田土壤样品为研究对象, 采用模糊数学原理对土壤养分适宜性进行综合评价, 运用 t 检验和多重比较方法分析了各肥力指标的变异情况。结果表明: 研究区 56.25% 的土壤 pH 适宜, 变幅在 4.41 ~ 8.12; 有机质含量变幅为 7.62 ~ 39.99 g/kg, 中等水平土壤占 71.88%; 全氮及速效氮、磷含量偏高, 钾含量丰富。适宜性评价显示, 2017 年研究区植烟土壤适宜指数均值为 0.6, 变异系数为 26.17%。适宜性指数分级表明, II 级以上的植烟土壤占 46.88%。与 2012 年相比, 土壤 pH、有机质、全氮、碱解氮、有效磷和速效钾分别增加了 0.54、1.69 g/kg、0.58 g/kg、24.63 mg/kg、17.2 mg/kg 和 66.6 mg/kg。因此, 研究区土壤酸化趋势有所减缓, 氮、磷、钾及有机质等含量有逐渐增加趋势, 生产上要持续进行土壤改良, 严格控制氮肥投入量, 提升磷钾肥的有效性。

关键词: 植烟土壤; 主要养分; 适宜性; 变异分析

中图分类号: S158.3 文献标志码: A

Assessment of Feasibility and Variation Analysis of Nutrient Contents in Tobacco-growing Soil in Fuling County, Chongqing

WU Jie¹, LI Xiangpeng¹, CHEN Xin¹, LUO Xiaofei¹, LIU Qidong¹, QAN Ni², WANG Jianlin², RAN Mao¹, CHEN Tao³, XU Pengfei⁴, SHI Xiaojun⁵, JIANG Houlong^{6*}

(1 Fuling Tobacco Company of Chongqing, Fuling, Chongqing 408000, China; 2 China Tobacco Chongqing Industrial Co., Ltd., Chongqing 400060, China; 3 Chongqing Tobacco Company, Chongqing 400023, China; 4 Tobacco Leaf Branch of Chongqing Tobacco Company, Chongqing 400000, China; 5 College of Resources and Environment, Southwest University, Chongqing 400715, China; 6 Chongqing Tobacco Science Research Institute, Chongqing 400715, China)

Abstract: To analyze the status and changes of soil nutrients, 81 and 96 tobacco-growing topsoil samples in Fuling county were collected in 2012 and 2017, respectively. Soil feasibility index (SFI) and nutrients variation characteristics were evaluated and analyzed based on fuzzy mathematical theory, t-test and multiple comparison. Results showed that soil pH was ranged from 4.41 to 8.12; SOM ranged from 7.62 to 39.99 g/kg, and the middle suitability proportion was 71.88% of the total samples; soil total N and mainly available nutrients were over high. In 2017, the average of SFI of tobacco-growing soil was 0.6, the coefficient of variation was 26.17%, and the fertility was evenly distributed and the spatial variation was small, the proportion of SFI above the II grade was 46.88%. Compared to 2012, soil pH was increased by 0.54, the contents of organic matter, total N, available N, available P and available K increased by 1.69 g/kg, 0.58 g/kg, 24.63 mg/kg, 17.2 mg/kg and 66.6 mg/kg in 2017, respectively. These results suggest that soil acidification has been alleviated, the contents of nitrogen, phosphorus, potassium and organic matter have gradually increased. Therefore, soil improvement need to be continued, meanwhile nitrogen application should be strictly controlled and the effectiveness of phosphate fertilizer should be enhanced in tobacco production.

Key words: Tobacco-planting soil; Main nutrient; Suitability; Variation analysis

①基金项目: 重庆市烟草专卖局项目(NY20150601070011; NY20170403050005)资助。

* 通讯作者(jhl513@163.com)

作者简介: 吴杰(1984—), 男, 重庆人, 硕士, 农艺师, 主要从事土壤肥料及烟草栽培等研究工作。E-mail: 286455165@qq.com

土壤为植物生长发育提供了所需的营养物质及环境条件,其养分状况是土壤的基本属性和本质特征,也是衡量土壤肥力的重要指标^[1]。就烤烟而言,土壤养分丰缺状况直接影响烟株的营养水平和生长发育,进而决定着烟叶产量和品质的形成^[2]。适宜的土壤养分是烟草优质、适产的基础^[3-4]。烟田土壤肥力适宜性通常使用养分因素的综合评分法来确定其对烤烟种植的适宜性程度^[4],研究中大多通过易于量化的统计方法,如聚类分析、因子分析、主成分分析、模糊数学等,来构建数据集,最终形成关于植烟土壤适宜性评价的综合指标^[4-7]或者质量指数^[8-10]。

涪陵是重庆市主要产烟区县之一,同时也是全国闻名的榨菜之乡。烤烟和榨菜天然衔接的生长周期使得“烟-菜”轮作逐渐成为该区烟叶生产的主要种植模式。土壤作为一个时空连续的变体,具有高度的空间异质性^[11]。在特定的研究区域内,人类干扰活动和小尺度生态环境变化对土壤养分含量的变化有着深远影响^[12]。近年来,由于农民习惯在榨菜上通过投入大量化肥提高产量,导致部分轮作土壤肥力水平过高,尤其是氮素营养,严重影响了烤烟的正常生长和成熟落黄。目前,针对重庆植烟土壤适宜性评价的研究主要集中于土壤肥力综合评价指标的构建^[6]、土壤养分空间变异^[13-14]及土壤速效养分含量的主要影响因子^[2]等方面,而关于土壤养分年际间的变异和评价指标构建及与烟叶产值效益的关系等方面则鲜有报道。本研究以涪陵为例,分析了 2012 年和 2017 年植烟土壤养分含量的变异趋势,通过建立植烟土壤质量评价体系来研究其对烤烟产质量的影响程度,以期为该地区优质烟叶生产提供技术支持。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

涪陵区位于重庆市中东部,川东平行岭谷与四川盆地东南边缘的交接地带,地理位置 106°56′ ~ 107°43′E, 29°21′ ~ 30°01′N,属中亚热带湿润季风气候区,四季分明、气候温和、降水丰沛,年均气温 18.1℃,无霜期 317 d,年均日照数 1 248 h,年均降雨量 1 072 mm。烟区主要分布在海拔 500 ~ 1 200 m 范围内,年植烟面积 800 hm²,年产烟叶 1 500 t,主要烤烟品种为 K326。

1.2 样品采集与分析

分别于 2012 年和 2017 年烟叶采收后进行土壤样品采集。采样时,每 8 hm² 左右为一个采样单元;每单元按“S”型取样法取 15 个土壤样品,混匀后经 4 分法保

留土样 2 kg;同时用 GPS 在每个取样单元的中心位置记录地理坐标;取样深度为 0 ~ 20 cm。土壤样品分别为 81 个(2012 年)和 96 个(2017 年),样点分部见图 1。

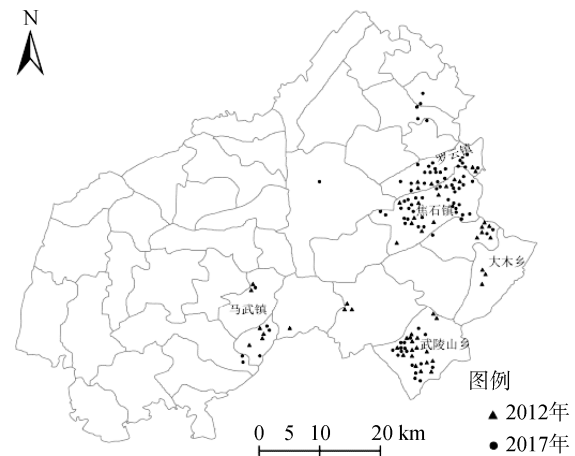


图 1 样点分布图

Fig. 1 Distribution of soil sampling sites

土样经自然风干、去杂、研磨和过筛后,参照文献^[15]的方法测定土壤 pH、有机质、全氮、碱解氮、有效磷、速效钾等指标。

另外,通过重庆市烟叶管理信息系统,获取 2017 年每个采样单元对应烟农交售的上等烟比例、均价等数据(每一个单元采集的土壤均对应一户烟农)。

1.3 土壤适宜性评价指标体系的构建

1.3.1 土壤主要养分评价标准 参照梁红^[6]和江厚龙等^[17]研究方法,本研究将土壤 pH 分为 6 个等级,有机质、全氮、碱解氮、有效磷和速效钾等分为 5 个等级(表 1 ~ 2)。

1.3.2 参评指标隶属度和权重的确定方法 根据相关文献^[6-8],选取 pH、有机质、碱解氮、有效磷、速效钾共 5 项指标作为土壤肥力评价因子。利用隶属函数公式计算各参评指标的隶属度值,土壤 pH、有机质、碱解氮、有效磷用抛物线型隶属度函数,土壤速效钾用 S 型隶属度函数^[18],函数表达式如下。

抛物型:

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

S 型:

$$f(x) = \begin{cases} 0.1 & (x < x_1) \\ 0.9 \times (x - x_1) / (x_2 - x_1) + 0.1 & (x_1 \leq x \leq x_2) \\ 1.0 & (x > x_2) \end{cases} \quad (2)$$

表 1 土壤 pH 等级划分标准
Table 1 Classification standard of tobacco-growing soil pH

指标	强酸性	中强酸性	弱酸性	微酸性	中性	碱性
pH	<4.5	4.5 ~ 5.0	5.0 ~ 5.5	5.5 ~ 6.5	6.5 ~ 7.0	7.0 ~ 8.5

表 2 植烟土壤养分划分标准
Table 2 Classification standard of nutrients of tobacco-growing soil

指标	极高	高	中等	低	极低
有机质(g/kg)	>35	30 ~ 35	20 ~ 30	10 ~ 20	<10
全氮(g/kg)	>2.5	2.0 ~ 2.5	1.0 ~ 2.0	0.5 ~ 1.0	<0.5
碱解氮(mg/kg)	>150	120 ~ 150	90 ~ 120	65 ~ 90	<65
有效磷(mg/kg)	>40	30 ~ 40	15 ~ 30	10 ~ 15	<10
速效钾(mg/kg)	>350	220 ~ 350	150 ~ 220	80 ~ 150	<80

注：本研究中的各项肥力指标单位均与此表同。

权重采用各项肥力指标间的相关系数确定^[5]。其计算方法为：计算单项肥力指标之间的相关系数，然后求某项肥力指标与其他肥力指标间相关系数的平均值，并根据该平均值占所有肥力指标相关系数平均值绝对值总和的比作为该单项肥力指标的权重。

1.3.3 模糊数学综合评价方法 参考文献[19]的研究结果，依据模糊数学原理构建土壤养分指标的隶属函数，计算各项肥力指标的隶属度和权重，再利用加乘法得出土壤养分适宜性指数(soil feasibility index, SFI)。设有 n 个土壤样品， m 个土壤养分指标，则第 i 个土壤养分 SFI 的计算公式为：

$$SHI_i = \sum_{j=1}^m W_{ij} N_{ij} (i=1, 2, L, n, j=1, 2, L, m) \quad (3)$$

式中： N_{ij} 和 W_{ij} 分别为第 i 个土壤样品的第 j 个土壤养分指标的隶属度值和相应的权重系数^[4]。根据隶属度函数曲线中转折点的相应取值，结合相关文献资料分类标准^[6,8]，将 SFI 从优到劣分为 4 个等级，分别是 I 级(0.8, 1]、II 级(0.6, 0.8]、III 级(0.4, 0.6]和 IV 级(0, 0.4)。

1.4 数据处理

采用描述性统计法分析土壤养分状况，采用 t 检验方法和多重比较法比较不同时期土壤养分之间以及土壤养分含量在不同等级土壤下的差异性，采用 Pearson 相关分析和简单回归法分析土壤养分之间以及土壤养分与烤烟上等烟比例和均价的关系，数据处理采用 IBM Statistics SPSS 22.0 和 Microsoft Excel 2016 软件，绘图采用 ArcGIS 10.2 软件。

2 结果与分析

2.1 土壤养分的总体特征

结合土壤养分分级标准(表 1 ~ 2)及研究区土壤

养分含量的统计特征(表 3)可以看出，研究区植烟土壤 pH 在 2012 年处于适宜范围的下限，2017 年则达到最适宜范围；有机质和碱解氮含量在 2012 年和 2017 年均处于中等；全氮含量在 2012 年处于中等，2017 年则处于高水平；有效磷含量在 2012 年处于高水平，2017 年则达到极高水平；速效钾含量在 2012 年处于中等，2017 年达到高水平。各土壤养分指标变异区间 2012 为 17.39% ~ 53.45%，2017 年为 16.77% ~ 38.62%，均表现为中等变异性强度^[8]，以 pH 变异最小，有效磷和速效钾含量变异最大。经单样本 K-S 检验，有机质、碱解氮、有效磷以及速效钾含量服从正态分布，pH 和全氮含量(2017 年)经对数转换后，亦服从正态分布。2017 年各项肥力指标均值较 2012 年均不同程度提高，其中，有机质含量年际差异达到显著水平($P < 0.05$)，其余各项肥力指标年际差异达到极显著水平($P < 0.01$)。

2.2 土壤养分指标隶属度和权重确定

按照土壤养分丰缺评价标准(表 1 ~ 2)，确定土壤主要养分指标的隶属度函数类型、阈值、相关系数的平均值和权重(表 4)。由表 4 可以看出，pH、有机质、碱解氮权重相当且年际间差异不明显，而有效磷和速效钾权重年际间差异明显。

2.3 土壤养分的适宜性指数

2.3.1 土壤养分适宜性指数及分布状况 将土壤养分实测值带入各自函数，计算各参评指标的隶属度，再将各指标隶属度和权重带入 SFI 计算公式，得到 SFI 值。由表 5 可知，2017 年 SFI 均值为 0.60，变异系数为 26.17%，2012 年 SFI 均值为 0.69，变异系数为 25.12%。2017 年 SFI 均值较 2012 年降低 0.09，年际差异达到极显著水平($P < 0.01$)。由图 2 可知，2017 年和 2012 年 SFI 均呈正态分布，II 级以上土壤属于

表 3 植烟土壤 pH 和养分描述性统计
Table 3 Descriptive statistics of pH and nutrient contents of tobacco-growing soil

指标	年份	均值	标准差	变异系数	偏度	峰度	分布类型
pH	2017	5.61	0.94	16.77%	0.86	-0.17	对数正态
	2012	5.07	0.88	17.39%	1.13	0.41	对数正态
	差值	0.54**	0.06	-	-	-	-
有机质	2017	24.78	5.61	22.65%	-0.02	1.19	正态
	2012	23.09	5.13	22.22%	0.31	0.44	正态
	差值	1.69*	0.48	-	-	-	-
全氮	2017	2.3	0.76	32.96%	0.62	-0.51	对数正态
	2012	1.71	0.33	19.50%	-0.05	2.67	正态
	差值	0.59**	0.43	-	-	-	-
碱解氮	2017	131.59	23.98	18.23%	0.52	0.92	正态
	2012	106.95	23.32	21.80%	0.44	1.48	正态
	差值	24.64**	0.66	-	-	-	-
有效磷	2017	55.60	20.81	37.43%	0.13	-0.48	正态
	2012	38.48	20.57	53.45%	0.27	-0.51	正态
	差值	17.12**	0.24	-	-	-	-
速效钾	2017	258.62	99.89	38.62%	0.54	-0.24	正态
	2012	192.03	93.82	48.86%	0.48	-0.63	正态
	差值	66.59**	6.07	-	-	-	-

注: *和**分别表示年份间差异达到显著($P<0.05$)和极显著($P<0.01$)水平, 下同。

表 4 土壤肥力指标值所属隶属函数的类型、阈值以及权重
Table 4 Types of membership function, threshold values and weights of soil fertility indexes

土壤性状	函数类型	转折点				年份	相关系数平均值	各评价指标权重
		x_1	x_3	x_4	x_2			
pH	抛物型	4.5	5.5	6.5	8	2017	0.176	0.201
						2012	0.148	0.254
有机质	抛物型	10	20	30	35	2017	0.379	0.250
						2012	0.160	0.275
碱解氮	抛物型	65	90	120	150	2017	0.311	0.244
						2012	0.141	0.242
有效磷	抛物型	10	15	30	40	2017	0.232	0.265
						2012	0.016	0.028
速效钾	S 型	100	-	-	200	2017	0.063	0.040
						2012	0.117	0.201

表 5 植烟土壤适宜性指数描述性统计

Table 5 Descriptive description of SFIs of tobacco-growing soil in 2017 and 2012

年份	均值	标准差	变异系数	偏度	峰度	分布类型
2017	0.60	0.16	26.17%	0.03	0.06	正态
2012	0.69	0.17	25.12%	-0.17	0.69	正态
年际差值	0.09**	0.01	-	-	-	-

优良土壤, 2017 年和 2012 年占比分别为 46.88% 和 69.13%, 同比下降 22.25 个百分点; III 级以下土壤属于中差等土壤, 2017 年和 2012 年占比分别为

53.13% 和 30.86%, 同比提高 22.27 个百分点。从年际变化看, 2017 年 SFI 整体低于 2012 年。

2.3.2 不同等级植烟土壤养分含量特征 从表 6 可以看出, I 级植烟土壤酸度适宜, 有机质和碱解氮含量中等, 有效磷含量中等或偏高, 速效钾含量丰富; II 级植烟土壤酸度适宜或偏低, 有机质和碱解氮含量中等, 有效磷含量高或偏高, 速效钾含量丰富; III 级植烟土壤酸度偏低, 有机质和碱解氮含量中等, 有效磷含量低, 速效钾含量丰富或偏低; IV 级植烟土壤偏低或低, 有机质含量中等, 碱解氮含量高或中等,

有效磷含量高或中等，速效钾含量丰富或偏低。pH 在不同年份均以 I 级最高，且与其他等级显著差异 ($P<0.05$)；有机质和碱解氮含量在 2017 年均以 IV 级最高，且与其他等级差异显著 ($P<0.05$)，而 2012 年各等级间无显著差异；各等级土壤有效磷含量在不同年份均有显著差异 ($P<0.05$)，但变化趋势相反，2017 年以 IV 级最高，2012 年则以 II 级最高；速效钾含量在 2017 年各等级间无显著差异，但在 2012 年随 SFI 等级下降而降低，且 I、II 级与 III、IV 级有显著差异 ($P<0.05$)。

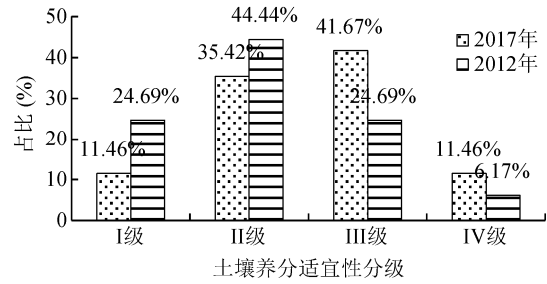


图 2 植烟土壤适宜性指数分布情况
Fig. 2 Distribution of SFI of tobacco-growing soil

表 6 不同等级植烟土壤养分含量
Table 6 Nutrient contents in tobacco-growing soils with different grades

指标	年份	均值±标准差			
		I 级	II 级	III 级	IV 级
pH	2017	6.51 ± 0.88 a	5.75 ± 0.93 b	5.36 ± 0.81 b	5.14 ± 0.87 b
	2012	5.75 ± 0.75 a	4.87 ± 0.64 b	4.91 ± 1.11 b	4.45 ± 0.30 b
有机质	2017	23.24 ± 3.20 b	22.37 ± 2.79 b	25.81 ± 6.01 b	30.05 ± 8.09 a
	2012	24.48 ± 3.13a	22.22 ± 4.35a	23.28 ± 6.14a	23.1 ± 10.93a
碱解氮	2017	115.02 ± 9.54 c	119.03 ± 10.36 c	137.59 ± 22.32 b	165.13 ± 29.26 a
	2012	102.72 ± 11.34a	106.14 ± 14.65a	111.50 ± 33.49a	111.54 ± 53.25a
有效磷	2017	30.03 ± 5.34 c	54.88 ± 16.92 b	58.16 ± 21.60 b	74.05 ± 14.12 a
	2012	39.36 ± 20.2 a	42.19 ± 17.28 a	35.51 ± 25.69 ab	20.08 ± 13.40 b
速效钾	2017	271.27 ± 137.38a	276.03 ± 94.56a	246.38 ± 100.93a	236.70 ± 65.93a
	2012	248.71 ± 65.89 a	208.69 ± 98.96 a	128.63 ± 64.73 b	98.93 ± 18.32 b

注：同行不同小写字母表示不同等级植烟土壤养分指标差异显著 ($P<0.05$)。

2.3.3 植烟土壤养分适宜性指数与烤烟经济指标的关系

通过 2017 年的收购数据和 SFI 的相关分析，

结果显示 SFI 与对应烟农交售的上等烟比例呈显著正相关 ($P<0.05$)，与均价呈极显著正相关 ($P<0.01$) (图 3)。

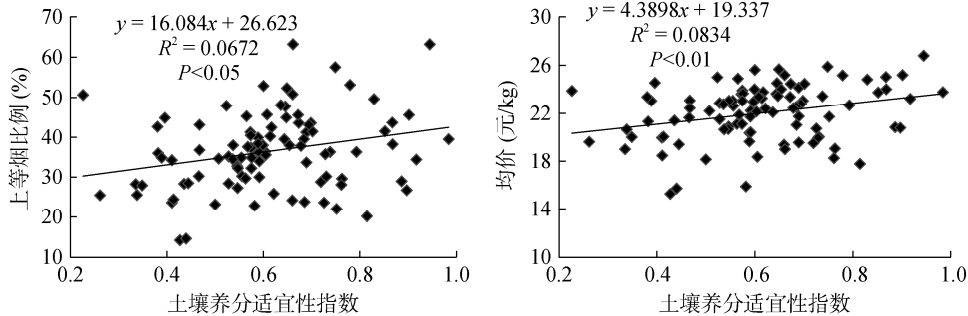


图 3 土壤适宜性指数与烤烟上等烟比例(左)和烤烟均价(右)的相关性分析
Fig. 3 Correlation between SFI with superior tobacco rate (left) and tobacco average price (right)

3 讨论

植烟土壤肥力状况是烟草生长主要的生态因子之一，在很大程度上决定着烟叶的生长发育和品质优劣^[19]。烟草是一种土壤适应性较广的作物，在不同肥力的土壤上均可以生长，但烟叶品质对土壤肥力的反应十分敏感^[20]。土壤中全量养分含量非常丰富，

但绝大部分对植物无效，只有少部分在短期内能被植物根系吸收利用^[2]。土壤是个复杂的环境，其中的元素不是孤立的，每个元素之间都有着紧密的联系和相互作用^[6]，而每种元素的丰缺程度都将对土壤的适宜性产生影响。本研究结果表明，当前研究区植烟土壤 pH、有机质和碱解氮含量在最适宜范围，全氮和速效钾含量丰富，有效磷含量极丰富，各项肥力指标为

中等变异程度；SFI 范围为 0.2 ~ 0.99，均值为 0.6，46.88% 的土壤适宜性处于较高以上水平，仅有 11.46% 处于低水平。作物产量及效益是土壤实际生产力的外在表现，一定程度上能够确切反映土壤质量水平^[8]。本研究通过分析 SFI 与烤烟等级结构和均价关系，发现两者呈显著正相关($P < 0.05$)和极显著正相关($P < 0.01$)，说明本研究对植烟土壤质量状况的评价结果代表了当地烤烟的实际生产状况，且当前植烟土壤质量状况总体可满足生产优质烟叶的需要。

从土壤养分变化情况来看，2017 年研究区植烟土壤各项肥力指标均不同程度提高。pH 从适宜范围的下限转化到最适宜范围。通常认为，生产优质烟叶最佳土壤 pH 范围为 5.5 ~ 6.5^[21-22]，2017 年土壤 pH 达到 5.61，较 2012 年提高了 0.54，变异系数仅为 16.77%，说明经过 5a 的土壤调酸，研究区土壤 pH 明显提高。研究区植烟土壤有机质含量小幅提升，均在最适宜范围。有机质含量为 24.78 g/kg，较 2012 年提高了 1.69 g/kg，变异系数为 22.65%，符合优质烤烟生产对土壤有机质含量的要求^[23]，也说明通过连续 5a 增施有机肥，土壤有机质含量整体提高，这与杨云高等^[24]研究结论相符。研究区植烟土壤碱解氮含量虽有较大幅度提升，但尚处于中等水平。土壤碱解氮含量能较好地反映土壤氮素供应状况和土壤氮素释放速率^[23]。2017 年土壤碱解氮含量为 131.59 mg/kg，较 2012 年提高了 24.63 mg/kg，变异系数为 18.23%，一方面与土壤有机质含量提高有关^[25]，另一方面可能也与前茬作物榨菜种植过程中投入大量氮素肥料有关。江叶枫等^[26]研究认为，氮肥施用量是引起土壤氮磷生态化学计量空间变异的主要因素。当前，工业企业对烤烟品质的要求越来越高，在株型上以培育“中棵烟”为追求，这就需要在生产上，特别在“烟-菜”轮作模式下，进一步减少氮肥用量，注重水肥调节，提高土壤氮的矿化分解速率。研究区植烟土壤有效磷含量提升幅度最大，由高转化为极高等级。过多的磷素营养对于烟叶品质有显著的不利影响^[27]。2017 年土壤有效磷含量为 55.6 mg/kg，较 2012 年提高了 17.2 mg/kg，变异系数为 37.43%，90.63% 的土壤有效磷含量超标，其中 73.96% 为严重超标。近几年研究区肥料氮磷钾投入比例稳定在 1 : 1.1 : 3 左右，而烤烟磷肥的当季利用率仅为 10% 左右^[28]，造成植烟土壤有效磷含量不断积累^[2-3, 29]。鲁艳红等^[30]对水稻土不同施肥下有效磷含量演变特征的研究表明，化学磷肥的长期投入是造成土壤有效磷积累的主要原因。因此，研究区植烟土壤需要在生

产上持续保持低磷投入，直到土壤有效磷含量恢复到适宜范围。研究区植烟土壤速效钾含量丰富，处于较高水平。普遍认为，土壤对烟株持续有效且充足的钾供应是提高烟叶品质的关键^[8, 17, 31]。2017 年土壤速效钾含量为 258.62 mg/kg，较 2012 年提高了 66.6 mg/kg，变异系数为 48.86%，这与研究区重视钾肥施用，特别是不同时期分段追施钾肥密切相关。

2017 年与 2012 年 SFI 均值分别为 0.60 和 0.69，呈现出极显著差异($P < 0.01$)，II 级以上土壤占比分别为 46.88% 和 69.13%，说明 SFI 有降低趋势。根据前文所述，SFI 由隶属度和权重决定，而不同年份隶属度函数是一致的，因此决定 SFI 大小在于各项肥力指标的权重。通过表 4 可以看出，不同年份有效磷和速效钾的权重差异较大，这是由不同年份各项肥力指标的相关系数决定的。邓小华等^[23]认为植烟土壤 pH 与有效磷和速效钾在 pH 低于 5.5 和 5.5 ~ 8.0 区间分别呈现出反向或同向的曲线变化。本研究中，2017 年和 2012 年植烟土壤 pH 均值分别为 5.61 和 5.07，由于不同年份土样所处土壤 pH 范围不同，有效磷和速效钾含量亦呈现不同的变化趋势，造成相关系数的差异，从而影响了各自权重，最终导致 SFI 降低。另外，2017 年有效磷含量均值从高水平到极高水平的变化也是植烟土壤适宜性下降的一个重要原因。

4 结论

研究区当前植烟土壤各项肥力指标变异性中等，总体适宜性有所下降，有 46.88% 的植烟土壤 SFI 较高，SFI 一定程度上能够反映烤烟最终的生产水平和经济效益。植烟土壤的变异分析表明，随着近几年生产技术的优化，特别是平衡施肥技术的广泛推广，涪陵区植烟土壤各项肥力指标均有不同程度提高，但同时也存在高氮和高磷的风险，需要进一步调整施肥配方，将“减氮控磷”作为今后一段时期内的主要施肥策略；在施肥方式上尽可能采取水肥一体化形式补充钾肥，提高钾肥的利用率。

参考文献：

- [1] 陶睿, 王子芳, 高明, 等. 重庆市丰都县紫色土养分空间变异及土壤肥力评价[J]. 土壤, 2017, 49(1): 155-161.
- [2] 江厚龙, 张保全, 李钠钾, 等. 重庆植烟土壤有效养分含量及其影响因素[J]. 中国烟草科学, 2014, 35(5): 67-73.
- [3] 武德传, 罗红香, 宋泽民, 等. 黔南山地植烟土壤主要养分空间变异和管理分区[J]. 应用生态学报, 2014, 25(6): 1701-1707.

- [4] 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.
- [5] 黄俊杰, 李世琛, 杨德海, 等. 大理红塔植烟基地土壤肥力综合评价[J]. 云南农业大学学报(自然科学), 2017, 32(1): 125-133.
- [6] 李晓宁, 高明, 王子芳. 重庆市植烟土壤肥力数值化综合评价[J]. 西南农业学报, 2007, 20(1): 67-71.
- [7] 王政, 张晓龙, 敖金成, 等. 文山市不同生态区土壤养分的时空异质性及适宜性[J]. 中国烟草科学, 2016, 37(6): 37-42.
- [8] 张明发, 田峰, 李孝刚, 等. 基于烤烟生产的湘西植烟土壤质量综合评价[J]. 中国烟草学报, 2017, 23(3): 87-97.
- [9] Cheng J J, Ding C F, Li X G, et al. Soil quality evaluation for navel orange production systems in central subtropical China[J]. Soil & Tillage Research, 2016, 15(5): 225-232.
- [10] Li P, Zhang T L, Wang X X, et al. Development of biological soil quality indicator system for subtropical China[J]. Soil & Tillage Research, 2013, 126: 112-118.
- [11] Huggett R J. Soil chronosequences, soil development, and soil evolution a critical review[J]. Catena, 1998, 32: 155-172.
- [12] Lin H S, Wheeler D, Bell J, et al. Assessment of soil spatial variability at multiple scales[J]. Ecological Modelling, 2005, 182: 271-290.
- [13] 王子芳, 高明, 魏朝富, 等. 植烟土壤养分的空间变异特征及适宜性评价——以重庆市彭水县为例[J]. 西南大学学报(自然科学版), 2008, 30(1): 98-103.
- [14] 王宝峰, 刘国顺, 叶协锋. 坡地植烟土壤速效养分空间分析[J]. 西南农业学报, 2012, 25(1): 217-222.
- [15] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3版. 北京: 中国农业出版社, 2010.
- [16] 梁红. 重庆植烟土壤肥力特征及评价[D]. 重庆: 西南大学, 2014.
- [17] 江厚龙, 张定志, 李钠钾, 等. 重庆烟区植烟土壤养分现状分析[J]. 河南农业科学, 2015, 44(6): 58-63.
- [18] Collins W K, Hawks S N J. Principles of flue-cured tobacco production[M]. Raleigh N C: North Carolina State University, 1994.
- [19] 王彦亭, 谢剑平, 李志宏. 中国烟草种植区划[M]. 北京: 科学出版社, 2010.
- [20] 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: 227-235.
- [21] 唐春闰, 李帆, 杨红武, 等. 浏阳植烟土壤 pH 和有有机质时空变异及丰缺评价[J]. 云南农业大学学报(自然科学), 2017, 32(1): 134-139.
- [22] 符云鹏, 王小翠, 陈雪, 等. 毕节烟区土壤 pH 值分布状况及与土壤养分的关系[J]. 土壤, 2013, 45(1): 46-51.
- [23] 邓小华, 张瑶, 田峰, 等. 湘西植烟土壤 pH 和主要养分特征及其相互关系[J]. 土壤, 2017, 49(1): 49-56.
- [24] 杨云高, 王树林, 刘国, 等. 生物有机肥对烤烟产质量及土壤改良的影响[J]. 中国烟草科学, 2012, 33(4): 70-74.
- [25] 焦永鸽, 李天福, 张云贵, 等. 有机质对红壤烤烟氮素累积分配特征的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2009, 15(4): 923-929.
- [26] 江叶枫, 叶英聪, 郭熙, 等. 江西省耕地土壤氮磷生态化学计量空间变异特征及其影响因素[J]. 土壤学报, 2017, 54(6): 1527-1539.
- [27] 王艳丽, 刘国顺. 磷肥用量对烟叶细胞壁物质含量和烟叶厚度的影响[J]. 烟草科技, 2005(5): 41-44.
- [28] 李洪斌, 张杨珠, 黄运湘, 等. 不同施肥条件对烟草施肥效应及肥料利用率的影响[J]. 湖南农业科学, 2013, 29(13): 48-52.
- [29] 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): 22-29.
- [30] 鲁艳红, 廖育林, 聂军, 等. 长期施肥红壤性水稻土磷素演变特征及对磷盈亏的响应[J]. 土壤学报, 2017, 54(6): 1471-1485.
- [31] 王宏伟, 张留臣, 普云飞, 等. 云南省峨山县植烟土壤肥力的综合评价及变异分析[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2012, 38(5): 530-534.