

重庆渝东南烟区土壤养分丰缺评价及施肥区划^①

宋曼宁¹, 田野¹, 冷雨轩¹, 周鑫斌^{1*}, 韦育新², 李承荣², 冉茂³

(1 西南大学资源环境学院, 重庆 400715; 2 广西中烟工业有限责任公司, 南宁 530001; 3 中国烟草总公司重庆市烟叶分公司, 重庆 400020)

摘要: 为全面掌握渝东南烟区土壤养分现状, 2021—2022年在渝东南5个区县共采集1421个土壤样品, 测定了土壤养分含量, 并与2012年数据进行比较, 明确了土壤养分演变趋势, 并给出了合理的施肥方案。结果显示: 与2012年相比, 2022年渝东南烟区土壤pH小幅上升, 有机质含量小幅下降, 有效磷、速效钾含量大幅上升。2022年渝东南烟区pH较低和极低的土壤占比36.88%; 有机质偏低的土壤占比23.08%; 碱解氮、有效磷、速效钾、交换性钙和镁适宜的土壤分别占比74.17%、20.97%、11.89%、44.19%和30.96%。总体上, 渝东南烟区土壤酸化较为严重, 土壤有机质较为缺乏, 碱解氮供应能力良好, 有效磷和速效钾整体偏高, 土壤有效锰、锌、钼、硫和硼丰富, 而土壤交换性钙、交换性镁、有效铁和有效铜缺乏占比较大, 且各元素缺乏与过量并存。研究区应根据各区域施肥区划图, 科学合理施肥, 以实现土壤保育与烤烟生产的可持续发展。

关键词: 渝东南烟区; 土壤养分; 丰缺评价; 施肥管理

中图分类号: S158.5 文献标志码: A

Evaluation of Soil Nutrient Status and Fertilization Zoning of Tobacco-growing Region in Southeastern Chongqing

SONG Manning¹, TIAN Ye¹, LENG Yuxuan¹, ZHOU Xinbin^{1*}, WEI Yuxin², LI Chengrong², RAN Mao³

(1 College of Resources and Environment, Southwest University, Chongqing 400715, China; 2 China Tobacco Guangxi Industry Corporation Limited, Nanning 530001, China; 3 Tobacco Leaf Branch of Chongqing Tobacco Company, China National Tobacco Corporation, Chongqing 400020, China)

Abstract: In order to fully understand the current status of soil nutrients in the tobacco-growing areas in southeastern Chongqing, a total of 1 421 soil samples were collected in five districts and counties in southeastern Chongqing from 2021 to 2022, and soil nutrient contents were measured and compared with those in 2012 to clarify their change trend and give a reasonable fertilization plan. The results showed that compared with 2012, soil pH increased slightly, organic matter content decreased slightly, and the contents of available phosphorus and potassium increased significantly in 2022. At present, soil with acidic pH accounted for 36.88%, soil with low organic matter accounted for 23.08%, and soil with suitable alkaline nitrogen, available phosphorus and potassium, exchangeable calcium and magnesium accounted for 74.17%, 20.97%, 11.89%, 44.19% and 30.96%, respectively. In general, soil acidification is serious, soil organic matter is relatively insufficient, alkaline nitrogen is suitable, the available phosphorus and potassium are generally high, available manganese, zinc, molybdenum, sulfur and boron are rich, while exchangeable calcium and magnesium, available iron and copper are insufficient in a large proportion, and the deficiency and excess of each element coexist. Therefore, the tobacco-growing areas in southeastern Chongqing should adopt measures according to the current status of soil nutrients and the fertilizer zoning maps, applying fertilizers scientifically and rationally to achieve the sustainability of soil and flue-cured tobacco production.

Key words: Southeastern Chongqing tobacco-growing region; Soil nutrients; Evaluation of abundance and deficiency; Fertilization management

^①基金项目: 中国烟草总公司重点研发项目(武陵秦巴烟区粮经烟融合根际调控技术研究与应用)和大学生创新创业训练计划项目(S202410635158)资助。

* 通信作者(zxbissas@swu.edu.cn)

作者简介: 宋曼宁(2000—), 女, 山东德州人, 硕士研究生, 研究方向为土壤健康培育。E-mail: 18843572780@163.com

渝东南烟区是重庆优质烟叶主产区,烟叶以其独特的清甜醇润香品格一直深受各卷烟工业企业的青睐^[1-2]。但由于该烟区很多烟田已连续种烟超30年,连作障碍导致的根茎病害近年来日趋严重,烟叶的产量和质量受到了极大影响,严重制约了烟区的可持续发展。土壤是影响烟叶品质的重要生态条件之一,适宜的土壤肥力是保障烟叶品质的关键,土壤营养平衡也是提高烟株营养抗性和抵抗各种病害的坚实基础。充分了解烟区土壤肥力现状,采取针对性施肥策略,是实现烟区优质烟叶可持续生产的基础。各烟区针对肥力现状开展了积极研究。例如,周嵘等^[3]对重庆市万州烟区土壤养分现状和演变趋势进行了研究,并依据施肥分区图给出了分区施肥策略,为保障烟区特色优质烤烟的可持续生产提供了科学支撑。林伟等^[4]研究了福建省南平烟区土壤主要营养元素的丰富度、地域分布以及随时间的变化,并提出了具有针对性的生产管理措施以提高烟叶质量。但迄今还未见关于渝东南烟区土壤养分状况以及其施肥区划的研究报道。为此,本研究对渝东南烟区土壤养分资源整体状况进行了调查与评价,并对烟区土壤进行了施肥区划与管理,以期为烟区土壤培肥、烤烟优质生产和土壤可持

续利用等提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

渝东南烟区包括酉阳县、黔江区、彭水县、武隆区和石柱县,处于长江上游、四川盆地东南部,介于 $107^{\circ}14'E \sim 109^{\circ}19'E$ 和 $28^{\circ}22'N \sim 30^{\circ}33'N$ 。该区属亚热带季风性湿润气候,雨热充足,年日照时数1 000~1 230 h,年均气温16~20℃,年降水量950~1 350 mm,无霜期300 d左右,垂直气候分布明显。主要植烟土壤是黄棕壤和黄壤,烤烟主栽品种为云烟87。

1.2 样品采集与制备

烟田土样于2021年12月—2022年3月(烟叶采收后至起垄施肥前)采集。采样点设置以约 $66\,667\,m^2$ 为1个采样单元,遵循均一性、随机性、代表性原则。每一个采样单元选取能代表该区域土壤肥力且集中连片的大面积烟田,按“S”形采集0~20 cm耕层土壤,剔除杂质后混合均匀,按四分法留取2 kg,带回实验室。本次采样点与2012年样点基本一致,共采集土样1 421个(图1)。土样在实验室内自然风干,然后研磨、过筛、分类、标记并装瓶。

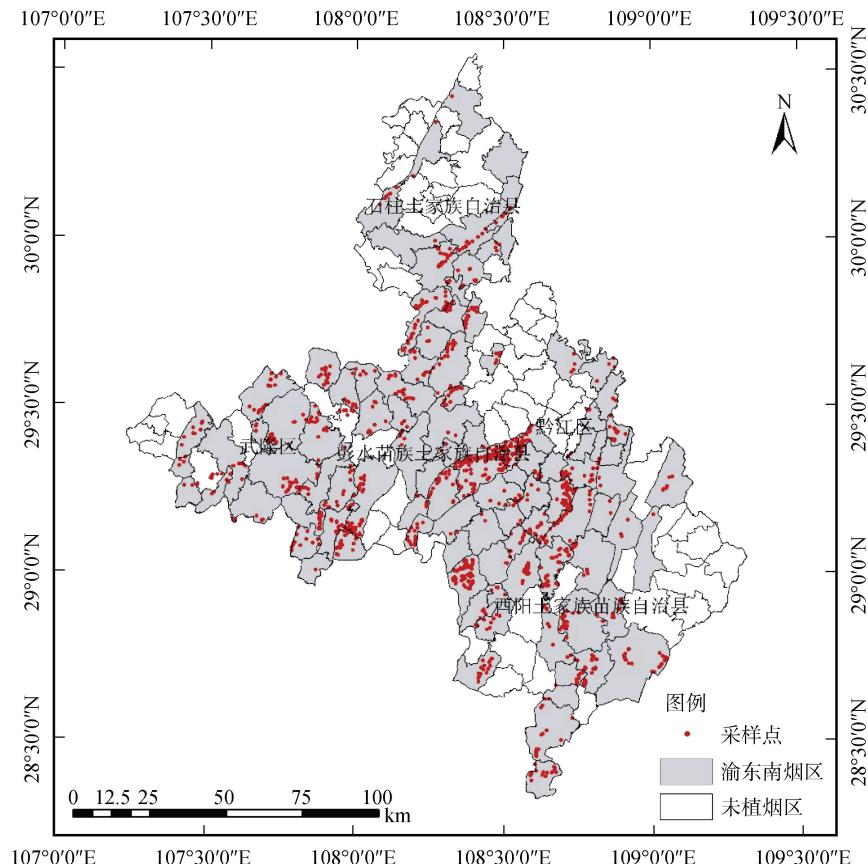


图1 渝东南烟区土壤采样点分布
Fig. 1 Sampling sites of tobacco-growing soils in southeast Chongqing

1.3 测定项目与方法^[5]

土壤 pH: 采用 1:2.5 的水土质量比, 用 pH 计测定。有机质: 重铬酸钾外加热法。碱解氮: NaOH 碱解扩散法。有效磷: 碳酸氢铵浸提-钼锑抗比色法。速效钾: 醋酸铵浸提-火焰光度计法。交换性钙镁: 1 mol/L NH₄Ac 浸提-原子吸收分光光度法。有效硫: 酸性土壤, 2 mol/L 的 Ca(H₂PO₄)₂ 浸提-BaSO₄ 比浊法; 中性和石灰性土壤, pH 8.5 NaHCO₃ 浸提-

BaSO₄ 比浊法。水溶性氯: 1:5 的土水质量比, 硝酸银滴定法, 有效铜、锌、铁、锰、钼、硼: DTPA 浸提-原子吸收分光光度法。

1.4 烟田土壤养分等级划分标准

参照第三次全国土壤普查资料和相关烟区土壤养分评价研究报告^[6-10], 综合烟区土壤实际生产情况后, 研究区土壤主要养分分级标准划分如表 1 所示。

表 1 渝东南烟区土壤 pH 与养分含量分级标准
Table 1 Grading standards for pH and nutrient contents in tobacco-growing soils in southeast Chongqing

指标	极低	较低	适宜	较高	极高
pH	<5.0	5.0~5.5	5.5~6.5	6.5~7.5	≥7.5
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
交换性钙(cmol/kg)	<3	3~6	6~10	10~18	≥18
交换性镁(cmol/kg)	<0.5	0.5~1	1~1.6	1.6~3.2	≥3.2
有效锰(mg/kg)	<5	5~10	10~20	20~40	≥40
有效铜(mg/kg)	<0.2	0.2~0.5	0.5~1	1~3	≥3
有效锌(mg/kg)	<0.5	0.5~1	1~2	2~4	≥4
有效硼(mg/kg)	<0.15	0.15~0.3	0.3~0.6	0.6~1	≥1
有效钼(mg/kg)	<0.1	0.1~0.15	0.15~0.2	0.2~0.3	≥0.3
有效铁(mg/kg)	<2.5	2.5~4.5	4.5~10	10~60	≥60
有效硫(mg/kg)	<10	10~20	20~30	30~50	≥50
水溶性氯(mg/kg)	<5.0	5.0~10	10~30	30~40	≥40

1.5 数据处理与分析

采用 Excel 2016 进行数据处理、方差分析及多重比较(LSD 法), 采用 ArcGIS 软件绘制空间分布图, 插值方法采用反距离权重法(IDW 法)。本文中, 推荐施肥分区原则: 碱解氮, <100 mg/kg 为低氮, 100~180 mg/kg 为中氮, >180 mg/kg 为高氮; 有效磷, <15 mg/kg 为低磷, 15~30 mg/kg 为中磷, >30 mg/kg 为高磷; 速效钾, <150 mg/kg 为低钾, 150~220 mg/kg 为中钾, >220 mg/kg 为高钾, 并以此标准绘制土壤施肥区划图。

2 结果与分析

2.1 土壤 pH

由表 2 和图 2 可知, 2022 年渝东南烟区土壤 pH 均值为 6.01, 其中 pH 极低和较低两个等级为酸性土壤, 其总占比达 36.88%, pH 适宜的土壤占比 32.23%, pH 较高和极高的土壤占比 30.89%。各区县 pH 存在一定差异, 其中黔江和石柱土壤酸化较为严重。分析

2012—2022 年间土壤 pH 均值变化, 发现 5 个区县的 pH 均呈小幅上升, 但整体来看, 土壤酸化形势仍较为严峻。

2.2 土壤有机质含量

由表 3 和图 3 可知, 2022 年渝东南烟区土壤有机质平均含量为 24.38 g/kg, 处于适宜范围的土壤占比 60.74%, 处于较低范围(极低及较低)的土壤占比 23.08%, 处于较高和极高的土壤占比 16.18%; 5 个区县土壤有机质含量均值较为接近。2012—2022 年, 各区县土壤有机质含量均呈下降趋势。

2.3 土壤碱解氮、有效磷和速效钾含量

由表 4 可知, 2022 年渝东南烟区土壤碱解氮含量平均为 142.58 mg/kg, 整体上处于适宜水平。各区县丰缺状况差异较大, 武隆碱解氮缺乏(极低和较低)比例占 26.08%, 彭水碱解氮较高和极高比例占 27.92%, 石柱碱解氮较高比例占 20.0%。2012—2022 年, 黔江、彭水和石柱土壤碱解氮含量增加, 但武隆和酉阳有所减少。

表2 渝东南烟区土壤pH分布频率
Table 2 Proportions of soil pH in tobacco-growing areas of southeastern Chongqing

区县	样本数	各等级pH分布频率(%)					pH	
		极低	较低	适宜	较高	极高	2012年	2022年
武隆	230	6.09	22.61	34.78	26.09	10.43	5.53 a	6.15 a
黔江	210	23.81	24.29	28.09	16.19	7.62	5.29 a	5.81 a
彭水	480	9.17	24.58	41.04	18.33	6.88	5.60 a	5.98 a
石柱	130	22.31	17.69	27.69	26.16	6.15	5.36 b	5.93 a
酉阳	371	17.25	21.29	23.18	24.26	14.02	5.84 a	6.10 a
渝东南	1421	14.14	22.74	32.23	21.53	9.36	5.52	6.01

注: 同列不同小写字母表示不同区县间差异显著($P<0.05$), 下同。

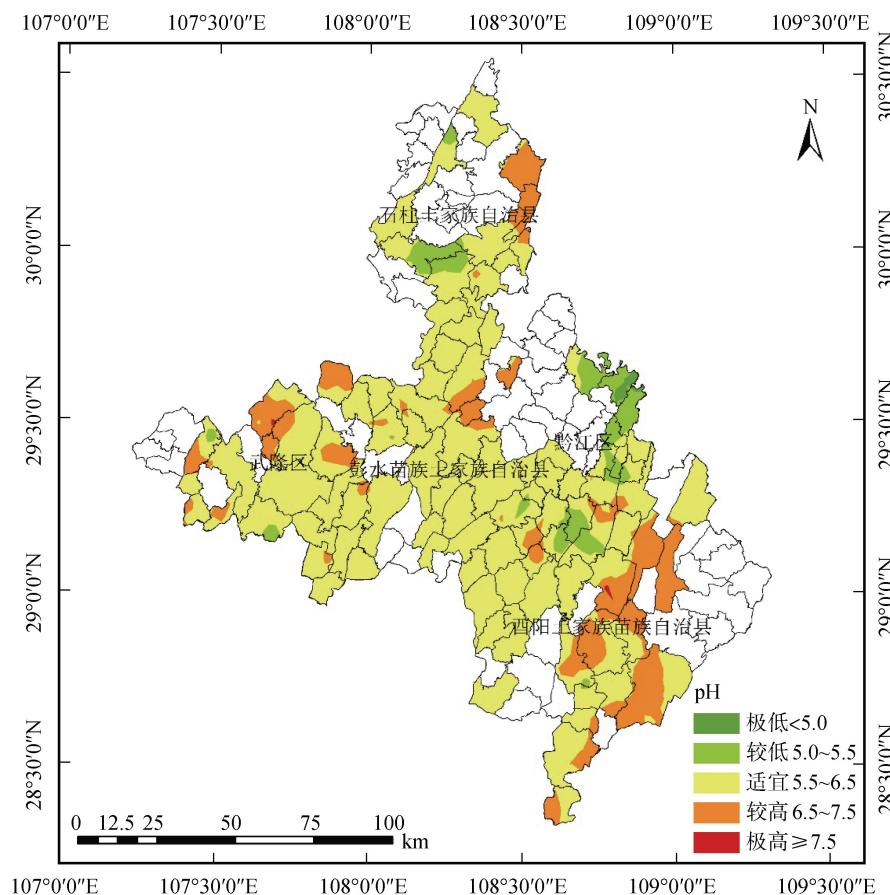


图2 渝东南植烟土壤pH空间分布
Fig. 2 pH spatial distribution of tobacco-growing soils in southeastern Chongqing

表3 渝东南烟区土壤有机质含量分布频率
Table 3 Proportions of soil organic matter contents in the tobacco-growing areas of southeastern Chongqing

区县	样本数	各等级有机质分布频率(%)					有机质含量(g/kg)	
		极低	较低	适宜	较高	极高	2012年	2022年
武隆	230	0.00	25.65	58.26	13.48	2.61	25.81 ab	24.10 ab
黔江	210	0.00	31.90	62.86	5.24	0.00	24.60 b	22.54 b
彭水	480	0.00	11.25	62.92	25.62	0.21	27.76 a	26.50 a
石柱	130	0.00	16.15	63.85	18.46	1.54	30.27 a	25.08 a
酉阳	371	0.00	34.23	57.14	8.09	0.54	25.60 ab	22.62 b
渝东南	1421	0.00	23.08	60.74	15.41	0.77	26.81	24.38

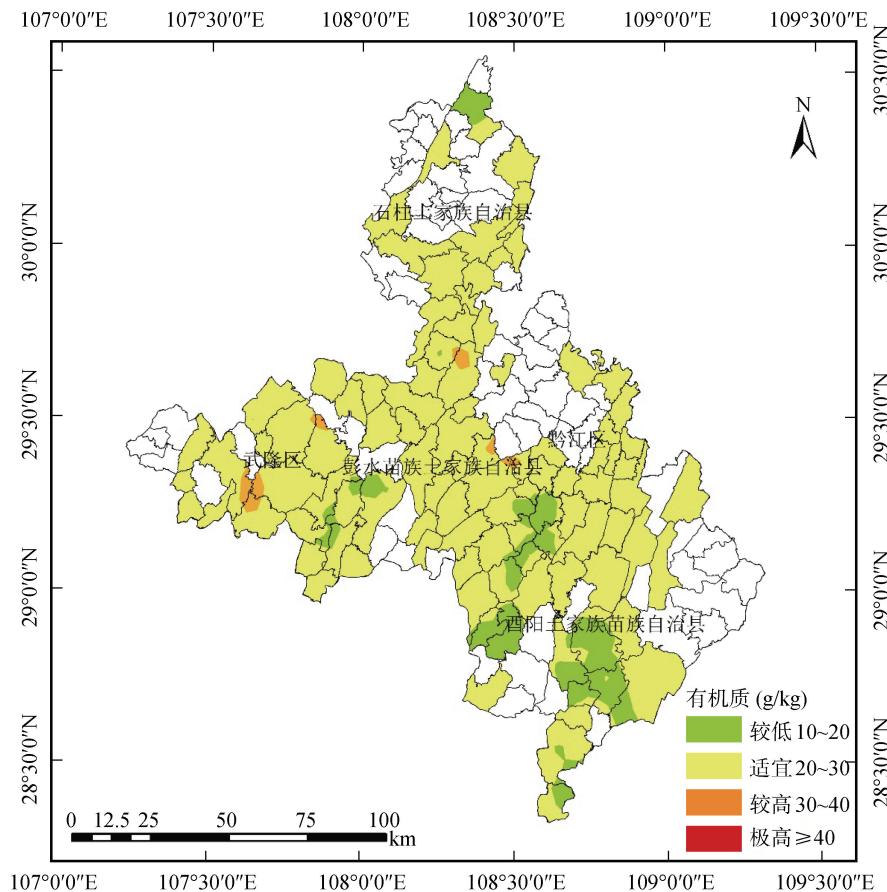


图 3 渝东南植烟土壤有机质含量空间分布
Fig. 3 Organic matter content spatial distribution of tobacco-growing soils in southeastern Chongqing

2022 年渝东南烟区土壤有效磷含量均值为 54.49 mg/kg, 其中 71.22% 的土壤处于较高、极高水平, 处于适宜范围的土壤占比 20.97%, 仅 7.81% 的土壤处于极低和较低水平, 表明该烟区土壤供磷丰富, 特别是黔江和石柱, 其有效磷含量处于极高水平的土壤占比分别为 79.52% 和 89.23%。2012—2022 年, 研究区土壤有效磷含量呈明显增加趋势。

2022 年渝东南烟区土壤速效钾含量平均为 388.96 mg/kg, 整体较为丰富, 速效钾处于较高和极高水平的土壤占比分别为 26.46% 和 53.63%, 处于适宜水平的土壤占比为 11.89%。武隆、黔江、彭水、石柱土壤速效钾含量均超过 400 mg/kg, 偏高现象较为严重。

2.4 氮磷钾施肥区划

通过叠加土壤碱解氮、有效磷和速效钾分布图, 形成研究区综合施肥区划图(图 4), 本研究给出以下科学施肥方案: 高氮、中氮、低氮烟田, 氮施用量分别控制在 6.0~7.0、7.0~7.5 和 7.5~8.0 kg/亩(1 亩=667 m²)^[3,7-8]。氮磷钾比例分别为: 1:1:2.5(中氮中磷中钾)、1:1:2.3(中氮中磷高钾)、1:0.8:2.5(中氮高磷中钾)和 1:0.8:2.3(中氮高磷高钾)。生产上, 可按

照以上施肥方案, 采用“分区施策”的施肥管理方式。

2.5 土壤交换性钙和镁含量

由表 5 可知, 2022 年渝东南烟区土壤交换性钙量均值为 7.01 cmol/kg, 处于适宜水平的土壤占比 44.19%, 处于较低及极低水平的土壤占比 39.56%, 处于较高和高水平的土壤占比 16.25%。土壤交换性镁平均含量为 0.97 cmol/kg, 处于适宜水平的土壤占比 30.96%, 处于较低及极低水平的土壤占比 58.41%, 处于较高和高水平的土壤占比 10.63%。2012—2022 年, 5 个区县的交换性镁含量均呈下降趋势, 除黔江外, 交换性钙含量普遍呈上升趋势。

2.6 土壤微量元素含量

表 6 数据显示, 2022 年渝东南烟区土壤有效铁、铜含量缺乏(较低及极低)的比例分别为 36.17%、24.56%。有效锰、锌、钼和硫含量过量(较高及极高)的比例分别为 81.14%、78.82%、79.03% 和 60.04%。2012—2022 年, 该烟区土壤有效锌、硼和钼含量呈上升趋势, 而有效铁和铜含量则呈明显的下降趋势, 不同区县有效硫、水溶性氯和有效锰含量呈现不同变化趋势。因此, 研究区应适量减少含硫肥料的施用,

表4 渝东南烟区土壤碱解氮、有效磷和速效钾含量分布频率

Table 4 Proportions of soil alkaline hydrolyzable nitrogen, available phosphorus and potassium contents in the tobacco-growing areas of southeastern Chongqing

土壤养分	区县	样本数	各等级分布频率(%)					含量(mg/kg)	
			极低	较低	适宜	较高	极高	2012年	2022年
碱解氮	武隆	230	3.04	23.04	70.01	3.04	0.87	129.72 ab	120.13 b
	黔江	210	0.47	4.29	87.14	8.10	0.00	119.74 b	138.38 ab
	彭水	480	0.62	2.29	69.17	26.88	1.04	127.98 ab	160.69 a
	石柱	130	1.54	7.69	70.77	20.00	0.00	136.22 a	146.77 a
	酉阳	371	0.26	14.56	77.09	7.55	0.54	135.36 a	133.98 ab
	渝东南	1 421	0.99	9.64	74.17	14.57	0.63	129.80	142.58
有效磷	武隆	230	6.09	6.09	33.48	18.69	35.65	33.33 b	35.59 c
	黔江	210	1.90	4.29	7.62	6.67	79.52	31.59 b	75.81 a
	彭水	480	2.71	3.96	19.78	11.67	61.88	29.86 b	55.78 b
	石柱	130	0.77	0	6.15	3.85	89.23	40.58 a	86.01 a
	酉阳	371	3.77	6.20	27.49	17.79	44.75	19.71 c	41.42 c
	渝东南	1 421	3.24	4.57	20.97	12.95	58.27	31.01	54.49
速效钾	武隆	230	0.87	5.22	11.74	24.78	57.39	232.85 a	413.70 a
	黔江	210	0.48	3.81	9.05	25.71	60.95	237.19 a	400.49 a
	彭水	480	0.42	7.50	10.83	22.50	58.75	224.17 b	407.37 a
	石柱	130	0.00	0.78	6.15	27.69	65.38	224.17 b	431.03 a
	酉阳	371	1.08	12.94	16.98	32.61	36.39	183.68 c	328.52 b
	渝东南	1 421	0.63	7.39	11.89	26.46	53.63	220.41	388.96

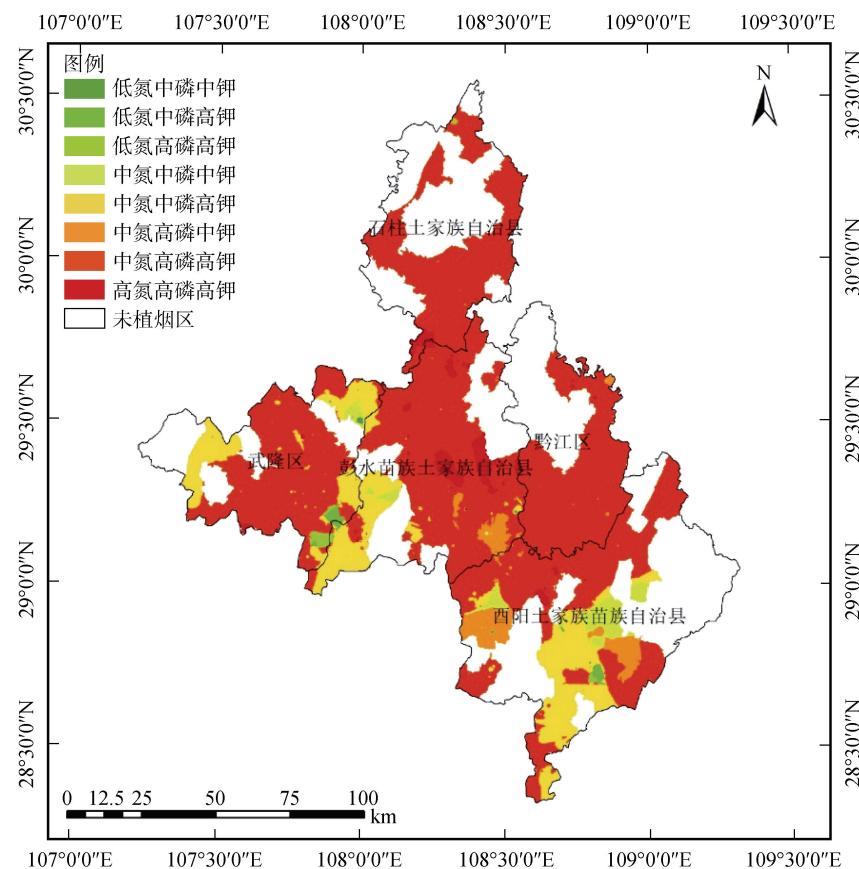


图4 渝东南烟区土壤施肥区划图

Fig. 4 Fertilization zoning map for tobacco-planting soils in southeast Chongqing

表 5 渝东南烟区土壤交换性钙镁含量分布频率

Table 5 Proportions of exchangeable calcium and magnesium contents in tobacco-planting soils in southeast Chongqing

区县	样本数	土壤养分	各等级分布频率(%)					含量(cmol/kg)	
			极低	较低	适宜	较高	极高	2012 年	2022 年
武隆	230	交换性钙	8.26	38.26	29.13	24.35	0.00	6.92 b	7.11 a
		交换性镁	14.78	37.39	35.22	12.61	0.00	1.60 d	1.01 c
黔江	210	交换性钙	9.05	39.52	43.33	8.10	0.00	9.02 a	6.21 b
		交换性镁	17.61	47.62	28.10	6.67	0.00	1.85 d	0.88 d
彭水	480	交换性钙	3.54	28.96	53.54	13.75	0.21	5.74 c	7.21 a
		交换性镁	10.62	58.13	27.92	3.33	0.00	1.19 d	0.85 c
石柱	130	交换性钙	14.61	36.15	33.85	13.85	1.54	4.53 c	6.58 a
		交换性镁	16.16	38.46	30.00	15.38	0.00	1.87 d	1.00 c
酉阳	371	交换性钙	5.39	29.92	45.55	18.60	0.54	5.02 c	7.32 a
		交换性镁	6.74	39.62	34.23	19.41	0.00	1.80 d	1.14 c
渝东南	1 421	交换性钙	6.63	32.93	44.19	15.90	0.35	6.25	7.01
		交换性镁	11.82	46.59	30.96	10.63	0.00	1.66	0.97

表 6 渝东南烟区土壤微量元素含量分布频率

Table 6 Proportions of trace element contents in tobacco-planting soils in southeast Chongqing

地点	样本数	微量元素	各等级分布频率(%)					含量(mg/kg)	
			极低	较低	适宜	较高	极高	2012 年	2022 年
渝东南	1 421	有效铜	2.46	22.10	41.10	32.16	2.18	1.68 c	0.97 d
		有效锌	0.49	3.87	16.82	33.71	45.11	2.43 c	4.40 c
		有效铁	19.91	16.26	21.96	33.92	7.95	62.51 a	19.62 b
		有效锰	3.45	4.08	11.33	15.83	65.31	63.62 a	63.49 a
		有效硼	2.25	12.17	35.75	31.53	18.30	0.24	0.67 d
		水溶性氯	4.79	7.04	82.2	4.64	1.33	10.92 b	19.00 b
		有效钼	2.53	5.91	12.53	26.11	52.92	0.16 c	0.41 d
		有效硫	8.44	16.53	14.99	27.59	32.45	56.57 a	45.03 a

确保硫含量处于适宜范围内, 以协调烟叶正常生理代谢并提高氮磷钾元素的植株利用率。

3 讨论

3.1 土壤 pH、有机质现状及改良对策

2012—2022 年, 渝东南 5 个区县的烟田土壤 pH 均呈小幅上升趋势, 表明过去 10 年, 施用石灰、生物质炭、硅钙钾镁肥、有机肥及采用轮作措施等进行土壤酸化改良已初具成效。但整体来看, 渝东南烟区酸性土壤($\text{pH} < 5.5$)占比 36.88%, 土壤酸化形势仍较为严峻, 仍可严重影响优质烟叶可持续生产。为降低渝东南区域酸性土壤占比, 改善土壤的微生物环境, 促使烟叶正常生长, 可考虑施用富硅土壤改良肥料^[11-12]。有报道表明, 土壤 pH 不仅影响土壤微生物群落, 而且影响土壤养分含量、形态和有效性, 进而影响烤烟产质量^[12]。土壤酸化主要是因为土壤交换性盐基离子 K^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 减少, 盐基

离子输出量大于输入量, 造成土壤盐基离子不平衡, 从而导致土壤胶体吸附的 H^+ 和 Al^{3+} 离子数量不断增加。另外, 氮肥的不合理施用、不均衡养分管理和酸沉降等也会加速烟田土壤酸化。酸化不仅是 H^+ 的毒害, 更重要的是 Al^{3+} 的毒害^[13]。因此, 酸化的烟田可根据土壤 pH 的不同, 采取不同的酸性改良策略。对于强酸性($\text{pH} < 5.0$)土壤, 宜采用 80~140 kg/亩石灰进行处理, 同时增施一定量的农家肥提升土壤生物肥力; 对于弱酸性($\text{pH} 5.0 \sim 5.5$)土壤, 宜采用弱碱性物料, 如白云石粉、硅钙钾镁肥、草木灰和生物质炭等因地制宜地进行改良, 用量在 50~100 kg/亩, 同时可增施生物有机肥提升土壤生物肥力^[14-15]。本研究结果表明, 渝东南烟区土壤酸化与土壤缺乏交换性钙和交换性镁相呼应。这也佐证了该烟区土壤盐基阳离子的缺失是土壤酸化的主要原因之一。因此, 渝东南烟区可以利用“碱度”酸碱平衡原理, 改良酸性烟田^[16]。

渝东南烟区土壤有机质处于较低范围(极低及较低)的土壤占比 23.08%, 建议采用牛粪与烟草秸秆等其他物料混合发酵制成高 C/N 比的有机肥进行施用, 这可提高烤烟各部叶烟叶还原糖含量, 烟叶的化学协调性也优于常规有机肥^[17]。渝东南烟区大都属于高山地区, 牛养殖业不断壮大, 牛粪资源较为丰富, 且渝东南烟区烟杆资源丰富, 如全部进行废弃的烟杆堆肥, 将可大大减少农业环境污染。牛粪与烟草秸秆不仅是重要的有机肥来源, 这些资源若能有效利用, 可为农业可持续发展提供优质有机肥料。有机质是土壤肥力的重要基础, 其不仅可为作物提供各种养分物质, 而且可为土壤微生物活动提供能源, 协调土壤物理结构。适量有机肥的施用有利于微生物活动以提高根际养分有效性和形成良好的土壤物理性状, 并提高土壤的持水保肥能力^[18-20]。基于有机肥对于植烟土壤的重要作用, 建议适量增施有机肥以及种植绿肥, 巩固土壤碳库, 以促进烟叶正常生长发育。综上, 利用废弃烟杆经高温灭菌制成有机肥还田, 是一项值得推广的资源合理化利用措施。烟杆发酵有机肥还田可补充钙、镁、钾等碱性盐基离子和微量元素, 符合“养分归还学说”, 烟秆堆肥还田还可以在一定程度上缓解土壤酸化^[21]。

3.2 土壤大量元素及微量元素含量现状及改良对策

渝东南烟区有 71.22% 的土壤有效磷含量偏高(较高及极高); 有效钾偏高(较高及极高)的土壤占比为 80.09%; 碱解氮含量偏高(较高及极高)的土壤占比为 15.20%, 碱解氮含量偏低(较低及极低)的土壤占比为 10.63%, 这种养分非均衡化现象与近些年肥料的不合理施用有关。目前的肥料配方是根据十多年前土壤养分进行设计的, 当前磷肥和钾肥施用量均已超烤烟需求, 渝东南烟区普遍采取的氮磷钾比例(N:P₂O₅:K₂O)为 1:1:2.5~3.0, 烤烟磷肥当季利用率约为 15%~18%, 急需要根据当前不同区域养分情况进行测土配方施肥。罗倩等^[22]报道, 土壤养分的不平衡, 会直接导致烟叶烘烤后上等烟比例降低, 化学品质欠协调, 因此, 在烤烟移栽前需要进行土壤养分的测定, 根据养分状况进行精准施肥, 这既能满足卷烟工业的要求, 又能使烟农降低生产成本, 获得较高收入。土壤钾过多会阻碍烟株对土壤钙、镁离子的吸收, 导致植物病害的发生, 另外过量的钾肥会使土壤酸度增加, 降低土壤微生物的活性, 降低土壤有机物分解速度^[23]。而土壤磷含量高易造成烟叶晚熟肥厚, 不易落黄, 烘烤特性差, 烟叶产质量降低^[24]。磷过量还会造成烟区小生态环境的污染, 如山地烟田几乎

都是坡地, 降雨会冲击土壤表层, 使表层土壤富集的磷以颗粒态磷流失, 最终导致湖泊水体富营养化, 造成面源污染^[25]。

渝东南烟区土壤微量元素呈现“缺乏与过量并存”的显著特征, 其中有效铁、有效铜缺乏(极低、较低)的土壤分别占 36.17%、24.56%; 有效锰、有效锌、有效钼、有效硫过量(较高、极高)的土壤分别达 81.14%、78.82%、79.03%、60.04%, 需结合渝东南烟区实际开展针对性调控。微量元素虽在烤烟生长中需求量低, 但为必需营养, 其是烤烟体内酶、维生素、激素的重要组成, 直接关联优质烟叶生产。其中, 硼可促进碳水化合物与蛋白质运输, 缺硼会导致烟株顶芽坏死, 进而降低烟叶产量与品质^[26]; 铁是叶绿素合成及细胞呼吸的必需因子, 土壤有效铁与烟叶香气质、香气量、余味、燃烧性呈极显著正相关, 过量则会显著增加烟叶杂气与刺激性^[27]; 铜、锌参与烟株呼吸作用与光合作用, 对提升烟叶质量及抗病能力至关重要^[28]。针对上述问题, 可采取“控过量、补缺乏”两类措施: 对于有效锰、锌、钼、硫过量区域, 控制对应元素肥料的施用量, 并通过调节土壤酸碱度(如酸化土壤增施改良剂)降低元素有效性, 避免烤烟出现毒害反应, 烟叶品质下降, 同时也可节约施肥成本; 对于缺素烟田可采取底肥直接添加的方式进行补充, 建议用量为硼砂(1 kg/亩)、七水硫酸镁(2~4 kg/亩)、硫酸锰(1 kg/亩)、钼酸铵(0.1~0.2 kg/亩)或氯化钾(3~5 kg/亩)。

3.3 渝东南烟区土壤施肥区划

本研究通过对渝东南烟区土壤养分现状及变化趋势的系统分析, 运用 ArcGIS 软件对该烟区各土壤养分含量图进行了空间矢量叠加, 生成了施肥区划图。依据施肥区划图确定各种植单元氮、磷、钾的精确施用量, 制定科学合理的施肥方案, 可实现该烟区施肥“大配方”养分管理策略。在此基础上, 可针对每一地块的土壤养分状况进行地块尺度的“小调整”, 其具体做法是, 将地块土壤养分含量代入专用施肥模型, 计算得出精准肥料施用量, 从而实现地块尺度的精准施肥。然而, 当前我国烟农以分散经营为主, 按地块实施施肥管理存在现实局限性: 一方面, 施肥处方类别过多易导致配套肥料供给不足; 另一方面, 烟农在实际操作中难以精准执行。此外, 降水等自然不可控因素也会导致施肥模型产生误差。因此, 针对山地烟田的特性, 烟区采用烟草种植单元分区的“大配方”养分管理模式, 既符合实际需求, 又具备较强可操作性。

4 结论

1) 渝东南烟区土壤酸化较为严重, 应针对 $\text{pH} < 5.5$ 的酸化烟田进行分段降酸治理($\text{pH} < 4.5$ 与 $\text{pH} 4.5 \sim 5.5$); 部分区域土壤有机质缺乏较为严重, 应针对小于 20 g/kg 的烟田土壤进行分类增施有机肥; 碱解氮、有效磷、速效钾和交换性钙镁不同区县丰缺程度不同, 应根据其丰缺程度因地制宜进行施肥; 土壤微量元素缺乏和过量并存, 铁和铜处于缺乏的比例较大, 锰、锌、钼和硫处于过量的占比较大, 应根据其区域空间分布合理补充微量元素肥料。

2) 渝东南烟区需结合区域内土壤养分丰缺的差异化特征和空间分布规律, 因地制宜选用与当地土壤条件精准匹配的科学施肥方案, 为优质烟叶的可持续生产奠定坚实基础。

参考文献:

- [1] 范幸龙, 褚旭, 贺彪, 等. 我国不同生态区云烟 97 烟叶主要品质性状差异分析[J]. 中国烟草科学, 2019, 40(5): 77–82.
- [2] 罗登山, 王兵, 乔学义. 《全国烤烟烟叶香型风格区划》解析[J]. 中国烟草学报, 2019, 25(4): 1–9.
- [3] 周嵘, 徐宸, 冉茂, 等. 重庆市万州植烟区土壤养分现状及施肥区划[J]. 西南大学学报(自然科学版), 2023, 45(4): 82–92.
- [4] 林伟, 丁应福, 刘永新, 等. 南平烟区植烟土壤主要养分丰缺特征及其时空变异[J]. 中国烟草科学, 2022, 43(6): 9–16.
- [5] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3 版. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [6] 罗渝. 重庆市黔江区植烟土壤养分现状评价[D]. 重庆: 西南大学, 2020.
- [7] 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.
- [8] 吴佳蓉, 冉茂, 周鑫斌. 重庆市酉阳县植烟区土壤养分演变趋势及施肥区划[J]. 山地农业生物学报, 2022, 41(4): 34–40.
- [9] 代先强, 周嵘, 周鑫斌, 等. 重庆市植烟土壤质量评价指标体系的构建与应用[J]. 土壤, 2024, 56(2): 388–397.
- [10] 梁红. 重庆植烟土壤肥力特征及评价[D]. 重庆: 西南大学, 2014.
- [11] 魏康凯, 陈厚任, 张泽林, 等. 富硅土壤改良肥料对旺长期植烟土壤微生物群落结构影响. 中国农学通报, 2025, 41(23): 53–63.
- [12] 谭智勇, 王喜英, 赵辉, 等. 改良剂对酸性植烟土壤化学性质、细菌群落结构和丰度的影响[J]. 江苏农业科学, 2023, 51(16): 240–246.
- [13] 查宇璇, 冉茂, 周鑫斌, 等. 烟田土壤酸化原因及调控技术研究进展[J]. 土壤, 2022, 54(2): 211–218.
- [14] 朱经伟, 李志宏, 刘青丽, 等. 石灰对酸化黄壤整治烟田土壤酸度的影响及其应用效果[J]. 中国土壤与肥料, 2016(3): 43–48.
- [15] 李玉辉, 李源环, 邓小华, 等. 石灰和绿肥对不同种植制度植烟酸性土壤改良效果[J]. 水土保持学报, 2018, 32(6): 365–370.
- [16] 孟红旗, 吕家珑, 徐明岗, 等. 有机肥的碱度及其减缓土壤酸化的机制[J]. 植物营养与肥料学报, 2012, 18(5): 1153–1160.
- [17] 韦建玉, 寇智瑞, 金亚波, 等. 烤烟专用有机肥的优选及肥效验证[J]. 土壤, 2020, 52(3): 464–469.
- [18] 王清奎, 汪思龙, 冯宗炜, 等. 土壤活性有机质及其与土壤质量的关系[J]. 生态学报, 2005, 25(3): 513–519.
- [19] 许跃奇, 阎海涛, 王晓强, 等. 生物炭与有机肥配施对褐土烟田微生物功能多样性的影响[J]. 中国烟草科学, 2020, 41(5): 55–59, 67.
- [20] 孔亚丽, 秦华, 朱春权, 等. 土壤微生物影响土壤健康的作用机制研究进展[J]. 土壤学报, 2024, 61(2): 331–347.
- [21] 李文豪. 烟草秸秆有机肥的研制与土壤改良应用[D]. 武汉: 湖北大学, 2019.
- [22] 罗倩, 范剑渝, 彭玉龙, 等. 氮、磷、钾失调对土壤有效性及烤烟产质量的影响[J]. 湖南农业科学, 2019, (11): 46–51.
- [23] 隋渤海. 钾肥施用对植烟土壤微生物群落的影响研究[D]. 昆明: 云南农业大学, 2023.
- [24] 杨成翠, 朱宣全, 史普西, 等. 不同磷肥施用量对烤烟产质量的影响[J]. 江西农业学报, 2019, 31(3): 97–101.
- [25] 欧阳铖人, 李铭怡, 罗德香, 等. 洱海流域绿色智能肥对烟田氮磷养分流失和烤烟经济效益的影响[J]. 江西农业大学学报, 2024, 46(1): 42–49.
- [26] 任志广, 张勇刚, 项波卡, 等. 植烟土壤有效硼、锌及其交互作用对烟叶硼、锌及品质的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2022, (7): 197–205.
- [27] 孙燕鑫. 马龙与沾益烟区土壤铁元素分布特征及其与烟叶品质的关系分析[D]. 郑州: 河南农业大学, 2021.
- [28] 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.