

DOI: 10.13718/j.cnki.xdsk.2023.12.008

代先强, 肖鹏, 冉茂. 渝东北烟区土壤退化现状剖析 [J]. 西南大学学报(自然科学版), 2023, 45(12): 65-75.

渝东北烟区土壤退化现状剖析

代先强¹, 杨盛刚², 肖鹏¹, 冉茂¹

1. 中国烟草总公司重庆市烟叶分公司, 重庆 400023; 2. 贵州中烟工业有限责任公司, 贵阳 550001

摘要: 以重庆市渝东北烟区 6 个区县典型烟田为调查对象, 通过土壤样品采集和实地调研相结合的方法, 对连作烤烟田的土壤理化及生物学性状、水肥管理和病虫害现状等进行了系统调查。结果显示, 渝东北烟区土壤酸化比例为 32.78%, 酸化趋势明显; 有 25.55% 的土壤有机质质量分数偏低, 有 75.5% 的烟田碳氮比偏低; 80.0% 的烟田耕作层平均厚度为 12 cm, 耕作层以下是坚硬的犁底层, 犁底层较 10 年前上移 6 cm, 12 cm 以下土层严重板结, 存在坚硬犁底层, 贯穿阻力显著增加, 土壤水稳性大团聚体比例骤减, 土壤各项物理指标变差; 烟田连作 5 年以上显著降低了土壤细菌群落的多样性; 烟田养分非均衡化现象突出, 磷钾不同程度累积, 而钙镁等中微量元素缺失比例较大。渝东北烟区常年连作, 用养结合不够, 土壤退化现象突出, 土壤“五大平衡”被破坏, 土壤处于亚健康状态是近年来根茎病害日趋严重的根本原因之一, 开展山地烟田土壤退化阻控及修复关键技术研究势在必行, 以使土壤和烟叶质量协同提升, 为渝东北烟区特色优质烤烟可持续生产保驾护航。

关键词: 土壤退化; “五大平衡”破坏; 黄壤; 土壤保育

中图分类号: S572

文献标志码: A

文章编号: 1673-9868(2023)12-0065-11

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Analysis of Soil Degradation Status in the Northeast Chongqing Tobacco-Growing Region

DAI Xianqiang¹, YANG Shenggang², XIAO Peng¹, RAN Mao¹

1. China Tobacco Corporation, Chongqing Tobacco Branch, Chongqing 400023, China;

2. Guizhou Tobacco Industry Co. Ltd., Guiyang 550001, China

Abstract: This study conducted a comprehensive investigation on the physicochemical and biological properties, water and fertilizer management, and pest status of continuous cropping tobacco fields in six typical tobacco-growing districts in the northeast of Chongqing City, China, through a combined approach of soil sample collection and field surveys. The results revealed that the proportion of acidified soil in the northeast tobacco-growing region of Chongqing was 32.78% with a significant trend of acidification. Additionally, 25.55% of the soils had low organic matter content, and 75.5% of the tobacco fields showed low car-

收稿日期: 2022-12-25

基金项目: 国家自然科学基金项目(32002139); 中国烟草总公司重庆市公司重点项目(B20221NY1314)。

作者简介: 代先强, 高级农艺师, 主要从事土壤改良学研究。

通信作者: 冉茂, 高级农艺师。

bon-to-nitrogen ratio. The average depth of plowing layer in 80.0% of the tobacco fields was 12 cm, with a hard plow pan below the plowing layer that had moved up 6 cm over the past 10 years. The soil structure below 12 cm was severely hardened with increased penetration resistance, reduced proportion of stable soil aggregates, and degraded physical properties. Continuous cultivation of tobacco for more than 5 years significantly reduced soil bacterial community and diversity. Nutrient imbalance was obvious with varying degrees of accumulation of phosphorus and potassium, and a relatively large proportion of calcium, magnesium, and other trace elements deficiencies. The long-term continuous cultivation coupled with improper management practices led to severe soil degradation, and the destruction of the ‘five major balances’ of soil, resulting in the sub-healthy status of soil, which was a fundamental cause of the increased incidence of root and stem diseases in recent years. Therefore, it is essential to carry out key studies on prevention and control, and restoration of soil degradation for mountainous tobacco fields, for enhancing the quality of soil and tobacco leaves simultaneously, and securing the sustainable production of distinctive and high-quality roasted tobacco in the northeast of Chongqing City.

Key words: soil degradation; ‘five major balance’ disruptions; loess; soil conservation

土壤生态环境是决定烟叶质量的最基本要素,是生产优质和安全烟叶的重要基础及保障.重庆渝东北烟区是我国烟叶八大香型之一——醇甜香型的典型产地,醇甜香突出,该烟区所种植的烟叶是卷烟配方中必不可少的原料.该地区地貌以山地为主,地质岩层以古生代、中生代碳酸盐类地层为主,属于三峡库区,土层瘠薄,生态环境十分脆弱,如持续过度利用土壤,生态环境将遭受彻底破坏直至无法利用.烤烟是渝东北山区居民脱贫致富的主导产业,据走访调查,由于人多地少,目前 80% 的烟田超 30 年连作,复合肥投入单一,山区烟田有机肥施用不便,用养结合不够,致使烟田退化严重,土传病害逐年加重,烟叶质量不稳,烟叶不能满足工业需求,损害了烟农种烟的积极性,极大地影响了现代烟草农业的可持续发展.寇智瑞等^[1]研究指出,烟田连作 5 年以上连作障碍就会凸显出来,严重降低了土壤细菌群落多样性,并且导致化学性状如 pH、有机质、活性有机碳和有效磷含量的显著降低.烟田长期连作会造成养分与土壤微生物区出现非均衡性变化,土传病害的发生与土壤细菌多样性及种群结构的变化有直接关系^[2]. Li 等^[3]也证实了土壤 pH 值与烟草青枯病的发生存在密切联系,降低土壤酸度可有效防控烟草青枯病的发生.渝东北烟区的奉节县土壤酸化非常严重,酸化面积达 53.0%,土壤养分空间分布不均^[4].左梅等^[5]研究证实,连作与休耕模式相比,提高了致病菌青枯雷尔氏菌的相对丰度,降低了有益菌玫瑰弯菌属的相对丰度.通过有针对性的改良措施可有效克服烟田连作障碍,如有机肥和无机肥长期配施,可显著提升烟田土壤微生物群落的平衡性和丰富度,提高关键酶活性,从而提高烟叶品质^[6].通过平衡施肥可以增加烟田有益菌群的数量,减轻烤烟连作障碍^[7].可见,明确烟区主要障碍因子,是实现土壤保育与修复、烟株绿色生长、品质提升和烟叶特色彰显的前提.本研究采用土壤样品采集和实地调研相结合的方法,对渝东北烟区烤烟土壤理化、生物学性状和病虫害现状等进行了系统全面调查,摸清渝东北烟区土壤存在的主要障碍因子,为后续烟田可持续利用、保育与修复提供支撑.

1 材料与方法

1.1 研究区概括

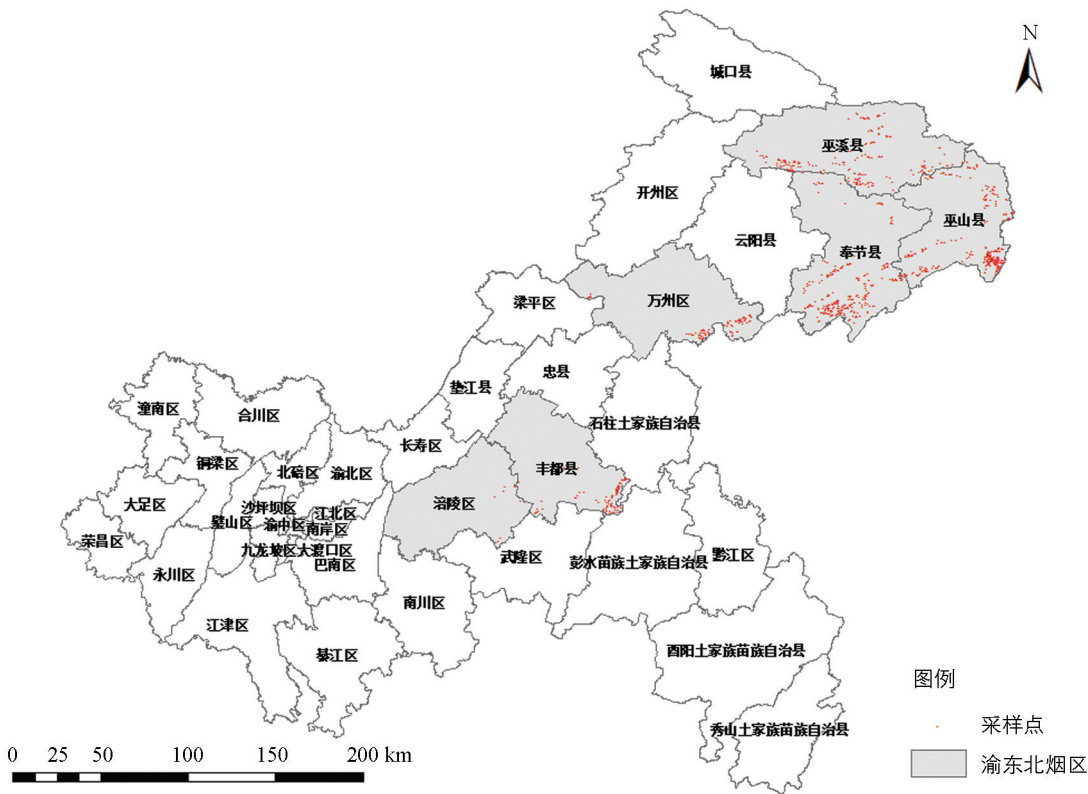
研究区包括重庆市渝东北地区 6 个代表性植烟区县:巫溪县、巫山县、奉节县、万州区、丰都县、涪陵区,该区域地层岩性以古生代、中生代碳酸盐类地层为主,地理坐标范围为 $106^{\circ}56'34.959''$ — $110^{\circ}11'53.328''$ E, $29^{\circ}20'16.491''$ — $31^{\circ}45'19.607''$ N,海拔 654~1 634 m,地貌主要以山地为主,属中亚热带季风湿润气候.

1.2 样品采集与分析方法

1.2.1 样品采集与制备

于 2021 年 11 月和 2022 年 2 月对重庆市渝东北 6 个代表性植烟区县共 57 个乡镇取样,按照现代烟草

农业规划, 每个种植单元(约 6.7 hm²)采集一个样品, 在每个种植单元选择代表性的土壤类型, 并对集中连片烟田进行耕作层(20 cm)取样调查, 共采集 1 097 个土壤样品, 具体采样点分布如图 1 所示, 采用 8 点法混合取样, 采集 0~20 cm 耕层土壤样品, 装入硬质塑料盒带回实验室自然风干, 过筛后用于土壤理化性质测定. 同时采用 8 点混合样法, 采集 1,3,5,7,9,11,13 a 的土样, 迅速放入冰盒中低温保存带回, 冷冻鲜样用于土壤细菌 DNA 提取与基因测序.



底图审图号: 渝 S(2022)033 号.

图 1 渝东北土壤样品采集分布图

1.2.2 土壤理化性质测定

依据土壤常规理化指标的测定方法, 按照土: 水=1: 2.5 浸提, 用精密 pH 计(型号: IS128C)直接测定 pH 值; 采用碳酸氢钠浸提法测定土壤速效磷质量分数; 采用浓硫酸—重铬酸钾外加热法测定土壤有机碳质量分数; 采用碱解扩散法测定碱解氮质量分数; 有效钙和有效镁质量分数采用原子吸收分光光度计法测定; 有效硫采用氯化钙浸提—硫酸钡比浊法测定; 其余土壤各理化指标测定均参考鲁如坤^[8]的《土壤农业化学分析方法》; 土壤容质量、毛管孔隙度、非毛管孔隙度、总孔隙度等物理性质测定采用环刀法测定; 土壤团粒结构采用土壤团粒分析仪测定, 同时计算土壤团聚体平均重量直径(MWD)^[8]. 土壤细菌 DNA 提取与基因测序运用 16S rRNA 高通量测序技术测定^[1]. 用土壤紧实度仪(SC900)测定土壤穿透阻力.

1.3 数据处理

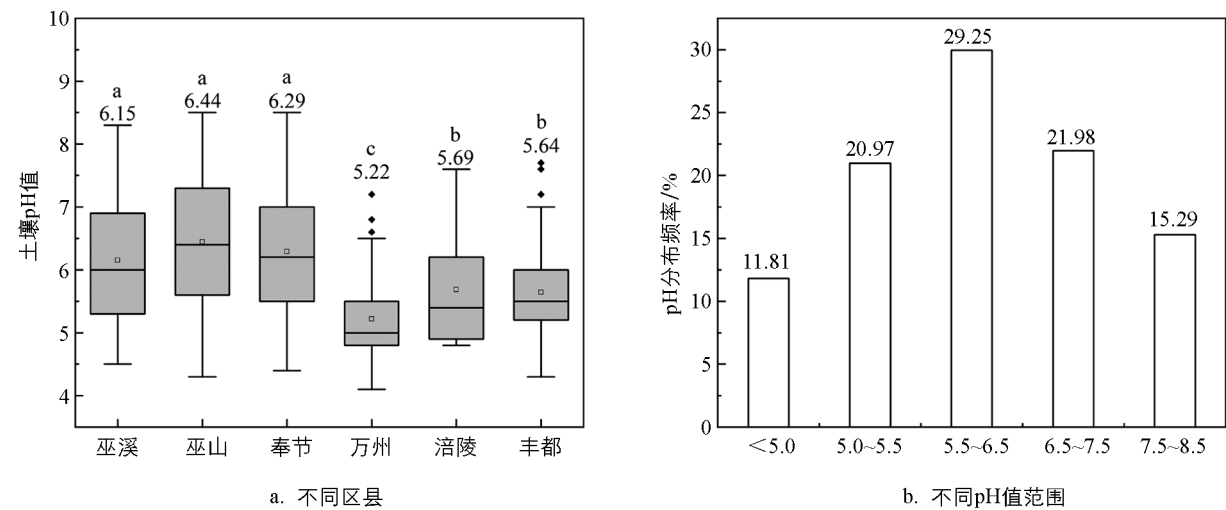
试验数据采用 Excel 2010 处理, 显著性分析采用 SPSS 25.0 统计软件和 Origin 2021 进行, 最小显著差异法(LSD)进行多重比较($P<0.05$). 数据插值和土壤肥力指标空间叠加分布分析采用 AcrGIS 10.4 作图.

2 结果分析

2.1 渝东北烟区土壤酸化趋势明显

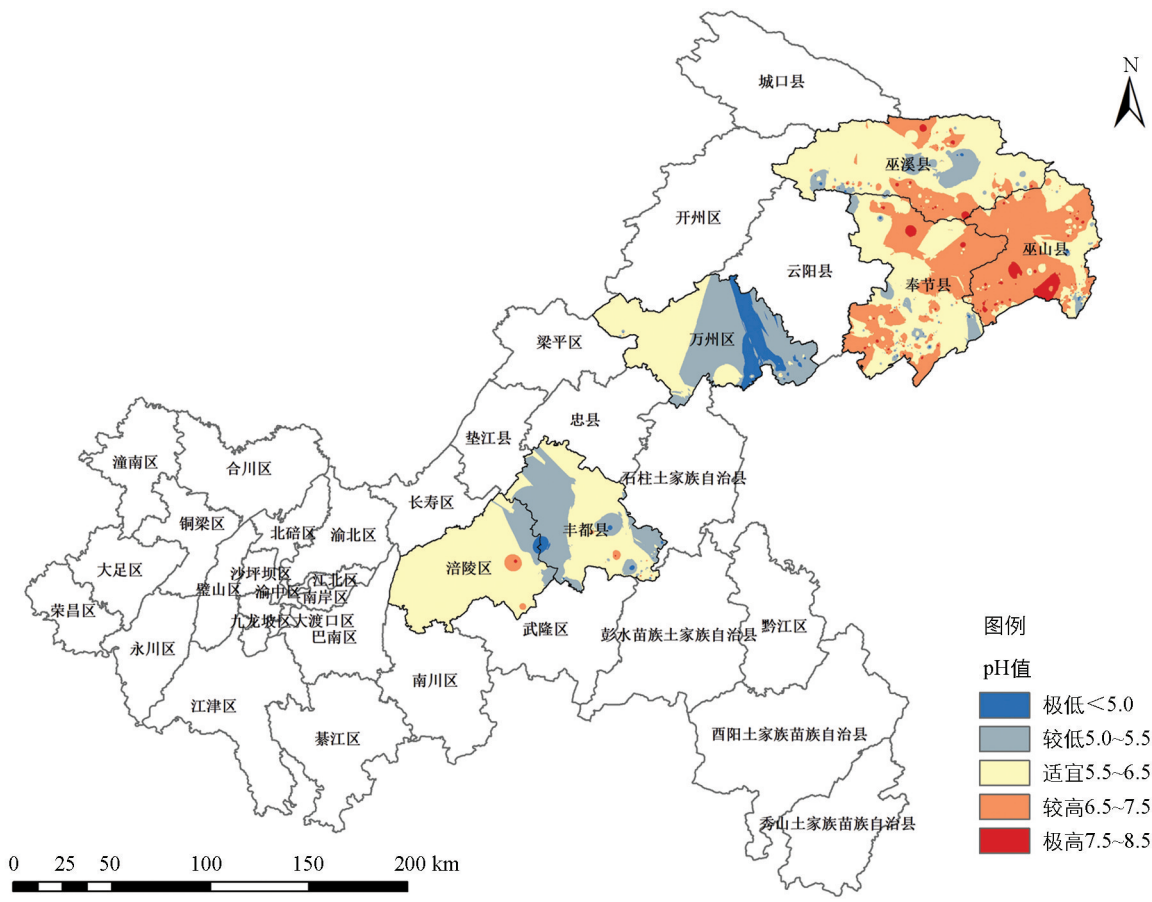
渝东北烟区烟草种植存在长期连作的情况, 部分烟田连作超 30 年, 烟田土壤酸化趋势较为严重, 渝东

北烟区 32.78% 的土壤酸化(图 2b)，需要改良。从图 2a 可以看出，巫山、巫溪和奉节的土壤 pH 值整体相对较高，而万州、涪陵、丰都的整体较低，酸化趋势更强(图 3)，具体来说，万州、涪陵、丰都、巫溪、奉节、巫山不同地区土壤酸化的比例分别为 74.1%，53.3%，50.0%，33.17%，22.7% 和 22.5%。可见，渝东北烟区土壤酸化现象非常突出。



图中不同小写字母代表差异在 0.05 水平有统计学意义，下同。

图 2 渝东北烟区土壤 pH 值总体情况



底图审图号：渝 S(2022)033 号。

图 3 渝东北烟区土壤 pH 值分布图

2.2 渝东北烟区土壤碳氮平衡被打破

由图 4 和图 5 可知, 渝东北烟区有 25.55% 土壤有机质质量分数偏低, 由于土壤全氮质量分数较高, 导致土壤碳氮比严重偏低, 有 75.5% 的烟田碳氮比偏低。具体来说, 万州、涪陵、丰都、巫溪、奉节、巫山不同地区土壤有机质偏低的比例分别为 67.86%, 6.67%, 4.0%, 15.53%, 25.75% 和 24.73%, 急需针对性的改良措施。

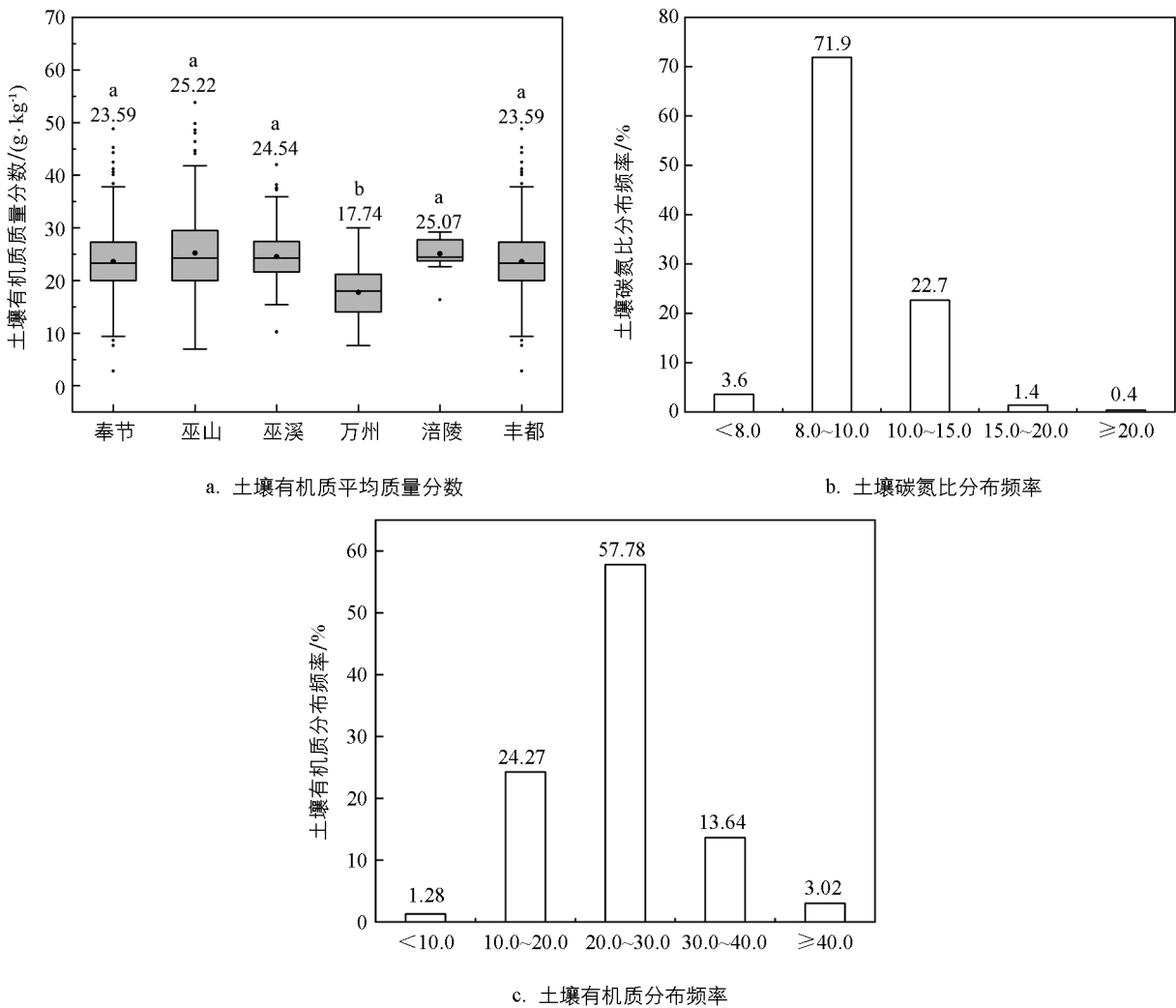
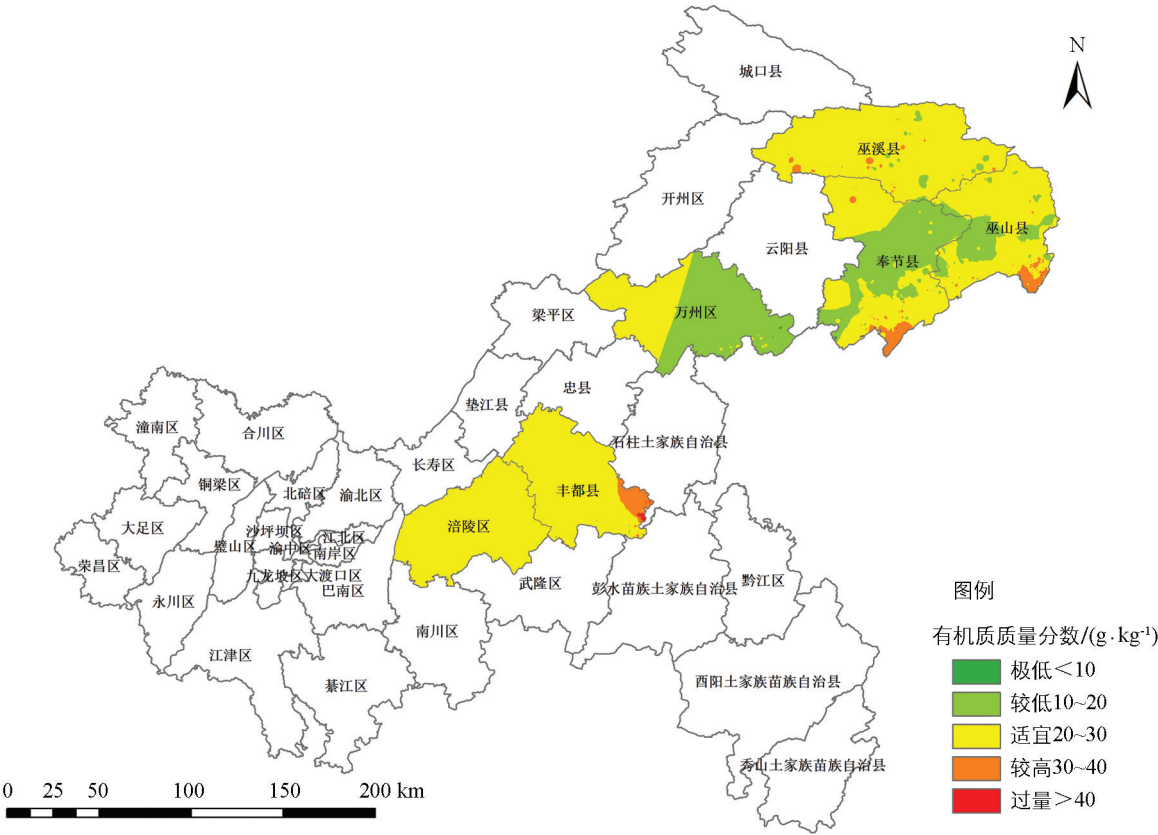


图 4 渝东北烟区土壤有机碳整体情况

2.3 渝东北烟区土壤板结, 物理结构失衡

通过实地调研, 发现烟田常年连作使土壤结构失衡, 主要表现在两个方面: 一是土壤耕作层变浅, 80% 的烟田耕作层平均厚度为 12 cm, 而犁底层上移, 犁底层较 10 年前上移 6 cm, 通过调查发现, 12 cm 以下土层严重板结, 容质量达到 1.5 g/cm³, 根系难以下扎, 20 cm 以下土层难见根系生长(图 6); 二是土壤团聚结构破坏, 大团聚体和小团聚体的比例失衡, 致使土壤水、肥、气、热不协调。

在渝东北地区选择有代表性的烟田, 调查了该地区土壤剖面现状, 包括土壤的耕层厚度、容质量、孔隙度、机械组成、穿透阻力等指标, 获取植烟土壤耕作层的现状。土壤剖面物理性状如表 1 所示, 土壤含水量为 0.18~0.40 cm³/cm³, 土壤容质量为 1.22~1.68 g/cm³, 土壤总孔隙度为 32.94%~54.03%, 田间持水量为 0.16~0.44 cm³/cm³, 毛管孔隙度为 37.88%~46.45%。随着剖面土层的加深, 土壤各项物理指标变差, 耕层厚度仅为 10~15 cm, 其以下则为坚硬的犁底层, 土壤的贯穿阻力在 15~20 cm 以下陡然增加(图 7), 极不利于根系下扎, 造成烤烟耐旱涝能力显著降低。随着土壤深度的增加, 土壤团聚体 <0.25 mm 粒级显著增多(表 2)。



底图审图号：渝 S(2022)033 号。
图 5 渝东北烟区土壤有机质分布图

表 1 土壤物理性状

剖面土层/ cm	土壤含水量/ ($\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$)	容质量/ ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)	总孔隙度/ %	田间持水量/ ($\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$)	毛管孔隙度/ %
5~10	0.40	1.22	54.03	0.44	53.89
10~15	0.18	1.42	32.94	0.16	29.71
15~20	0.18	1.54	34.52	0.20	34.84
20~40	0.18	1.68	32.94	0.17	30.96

表 2 不同土层不同粒级土壤团聚体分布

土层深度/ cm	>5 mm/ %	3~5 mm/ %	2~3 mm/ %	1~2 mm/ %	0.5~1 mm/ %	0.25~0.5 mm/ %	<0.25 mm/ %	平均重量 直径/mm
5~10	2.5	4.4	3.0	19.4	22.3	10.5	37.9	1.09
10~15	3.0	5.5	8.7	11.3	9.1	14.6	47.8	1.09
15~20	5.2	1.6	5.4	14.8	12.3	9.1	51.6	1.00
20~40	1.8	2.2	1.3	10.9	15.9	11.1	56.8	0.61

2.4 渝东北烟田长期连作致使土壤微生态失衡，烟田病害加重

由图 8 和图 9 可知，随着连作年限加长，优势细菌门分类组成比例存在一定差异，其中，绿弯菌门(Chloroflexi)、芽单胞菌门(Gemmatimonadota)、厚壁菌门(Firmicutes)、甲基孢囊菌门(Methylomirabilota)相对丰度均有一定程度的增加，而放线菌门(Actinobacteriata)、变形菌门(Proteobacteria)、酸杆菌门(Acidobacteriota)、粘球菌门(Myxococcota)、拟杆菌门(Bacteroidota)、硝化螺旋菌门(Nitrospirota)相对丰度随着连作年限增加有不同程度的下降。对不同连作年限的渝东北烟田土壤细菌群落进行属水平层面上的组成及相对丰度分析，结果发现，连作会对土壤各菌属丰度产生显著影响。CK 细菌菌属有 347 个，种植

1 年后, 菌属个数为 338, 当连作 3 年时, 菌属个数下降到 331 个, 连作 5 年后菌属个数下降到 322 个, 连作 7 年后菌属个数降为 319 个, 当连作 13 年时, 细菌菌属的种类明显减少, 菌属个数降至 288 个; 连作 5 年后, 类诺卡氏菌属(*Nocardioidea*)消失, 主要菌属的相对丰度产生较大变化, 细菌菌属群落结构多样性降低, 多年连作的烟田病害明显增加. 目前渝东北烟区根茎病害较为严重, 得病率在 21.5% 左右, 主要出现的根茎病害包括根黑腐病、黑胫病、青枯病、枯萎病等.

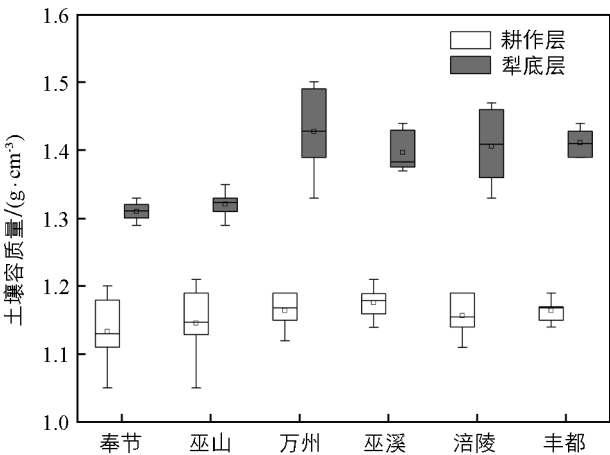


图 6 渝东北烟区土壤容重调查

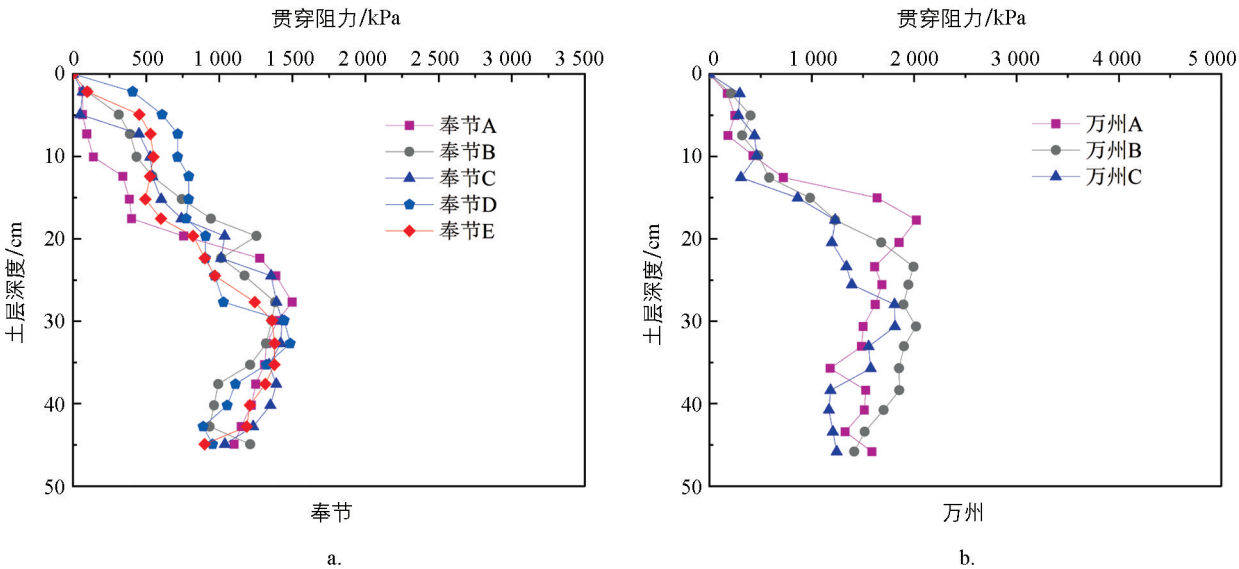


图 7 奉节和万州烟田土壤紧实度

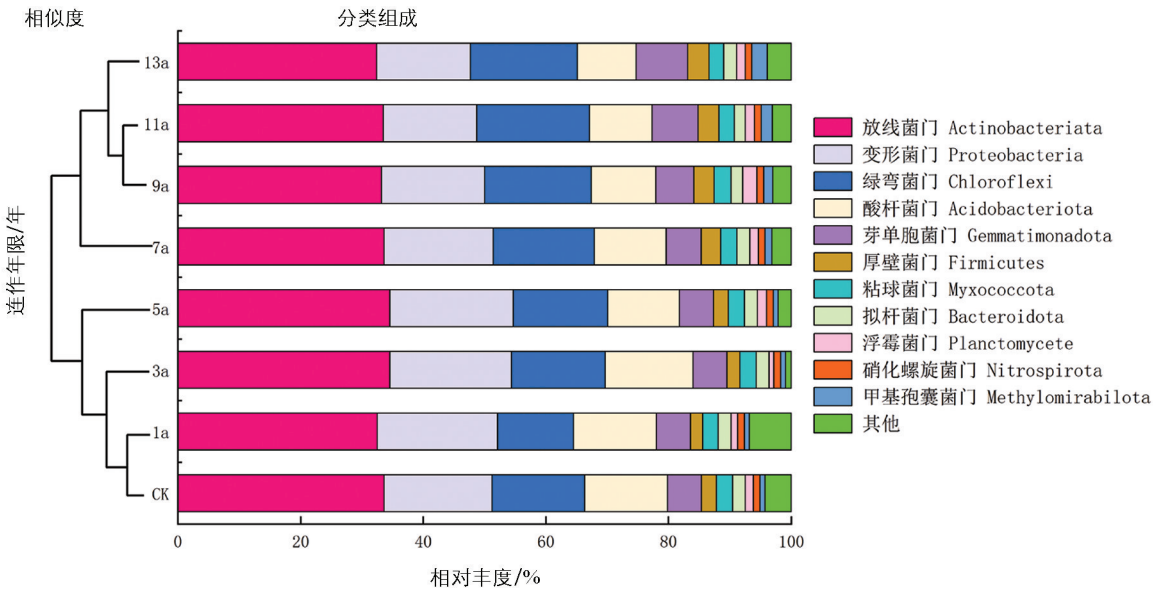


图 8 不同连作年限细菌门水平上的群落结构柱状图和聚类树

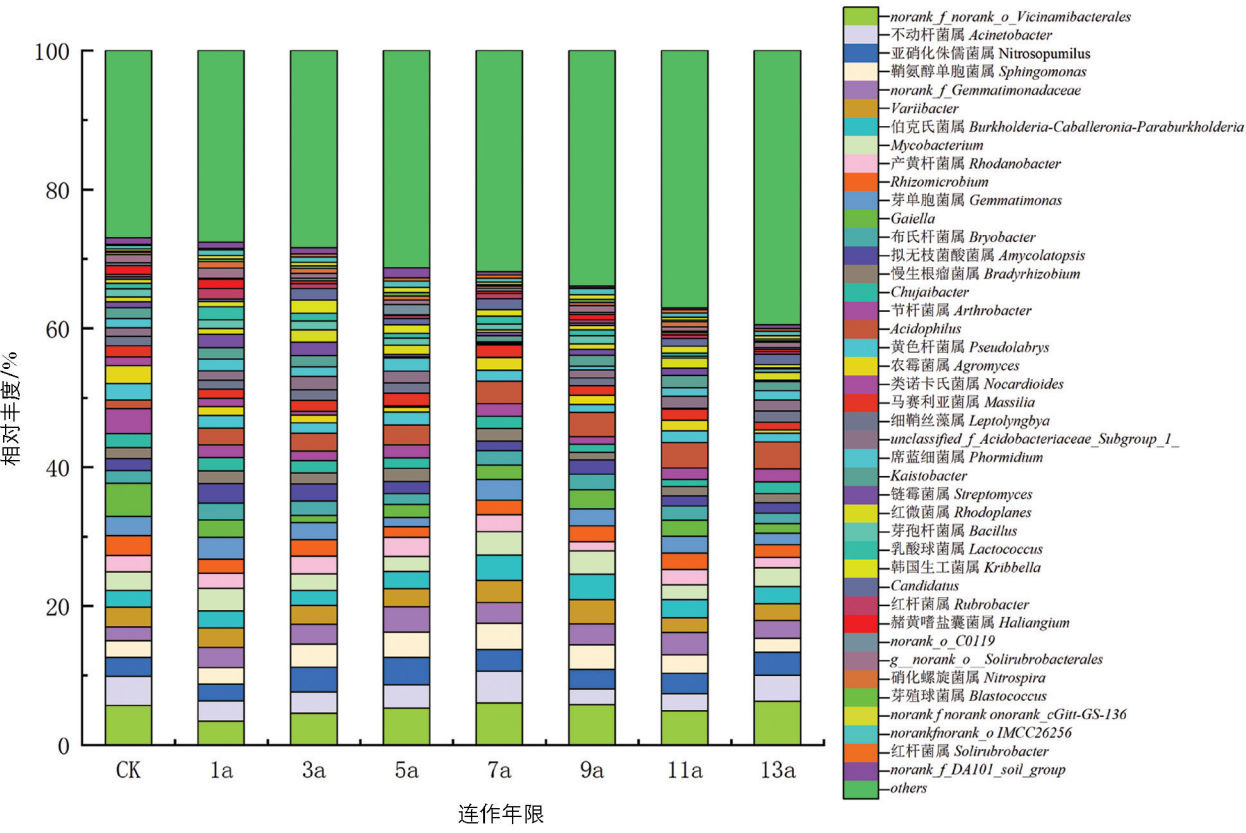


图 9 土壤细菌群落属水平组成及相对丰度

2.5 渝东北烟田土壤养分非均衡化现象突出

从表 3 中可以看出,渝东北烟区土壤各养分非均衡化现象突出,主要表现在碱解氮、有效磷、速效钾养分缺乏和过量并存,磷、钾无效积累现象严重;中量元素钙、镁缺乏比例较大,土壤盐基饱和度和阳离子交换量缺乏比例较大;微量元素过量与缺乏并存,渝东北烟区氯的缺乏非常严重.各养分在空间上均呈现斑块化分布.

表 3 渝东北烟区土壤肥力指标分级占比 (n=1 097)

指标	养分适宜范围	各指标分级占比/%				
		极低	较低	适宜	较高	极高
全氮/(g·kg ⁻¹)	1~2	0.09	9.34	81.96	6.14	2.47
碱解氮/(mg·kg ⁻¹)	100~180	3.11	21.61	67.67	5.68	1.93
有效磷/(mg·kg ⁻¹)	15~30	7.97	9.62	30.31	16.39	35.71
速效钾/(mg·kg ⁻¹)	150~220	2.29	9.34	18.22	30.22	39.93
交换性钙/(cmol·kg ⁻¹)	6~10	6.32	21.98	27.66	5.94	38.10
交换性镁/(cmol·kg ⁻¹)	1.0~1.6	7.88	35.35	14.56	4.40	37.81
交换性阳离子/(cmol·kg ⁻¹)	10~20	2.20	36.26	32.88	21.34	7.32
有效锰/(mg·kg ⁻¹)	10~20	0.64	5.77	19.96	19.32	54.4
有效铜/(mg·kg ⁻¹)	0.5~1.0	3.94	27.29	39.56	27.75	1.46
有效锌/(mg·kg ⁻¹)	1~2	3.39	9.62	23.53	34.07	29.3
有效硼/(mg·kg ⁻¹)	0.3~0.6	1.83	14.01	43.32	37.27	3.57
有效钼/(mg·kg ⁻¹)	0.15~0.2	7.97	5.04	12.82	36.45	37.72
有效铁/(mg·kg ⁻¹)	4.5~10	9.98	14.19	25.73	46.43	3.67
有效硫/(mg·kg ⁻¹)	16~30	2.66	11.17	32.60	20.60	32.97
水溶性氯/(mg·kg ⁻¹)	10~30	23.79	55.14	18.15	1.51	1.41

3 讨论

针对渝东北烟区土壤退化情况模糊、土壤保育技术和产品的针对性差、改良效率低等突出问题,通过全面调查摸清了渝东北烟区存在的主要土壤退化问题,烟田长期连作,致使土壤酸碱平衡、碳氮平衡、微生物平衡、土壤结构平衡和营养平衡的“五大平衡”被打破,土壤处于亚健康状态,土传病害(青枯病、黑胫病、根黑腐病、根结线虫病)日趋加重(整体发病率大于 30%)是土壤亚健康的直观表现。优质烟产区逐步萎缩,严重影响着渝东北优质烟叶的可持续生产。

烟田土壤酸化是近年来我国各地烟区普遍存在的问题,课题组经过多年研究,揭示了烟叶生产过程中盐基阳离子(K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} 等)输出(流失、烟叶带走、烟秆带走)远大于输入(肥料)的现象,烟农施用的所有肥料中是不含中微量元素的,这是烟田酸化的主要原因^[9]。另外,氮肥的不合理投入也是酸化的原因之一^[10]。利用“碱度”作为酸碱平衡的杠杆,可有效控制土壤酸度^[11]。具体来说,针对 $pH < 5.0$ 的强酸性土壤采用 3 t/hm^2 高温堆肥和 1.3 t/hm^2 石灰配施,提升土壤酸度的同时,增强土壤微生物活性,恢复土壤微生物生态^[12];对于 pH 值为 $5.0 \sim 5.5$ 的弱酸性土壤,施用 1.3 t/hm^2 硅钙钾镁肥和 1.5 t/hm^2 有机肥,可有效改善土壤酸碱平衡。因此,针对不同酸化程度的土壤可因地制宜地选择不同的改良物料,利用“碱度”作为杠杆可实现烟田的“精准降酸”。

渝东北烟田氮肥长期过量施用,忽视了有机肥的施用,导致土壤有机质质量分数低,因而碳氮比偏低,而碳氮比关系着微生物的活性与群落组成。微生物将有机物质腐殖化和矿质化共同作用于土壤,对优质烟叶的生产有重要的意义。施用高碳氮比($18.0 \sim 26.2$)的有机肥提高了上部烟还原糖含量,提高了各部位烟叶含钾量,改善了烟叶品质^[13]。李昂等^[14]提出, $9\ 000\text{ kg/hm}^2$ 碳氮比为 30 的腐熟有机肥提升了烟叶中性香气总量,施用不同碳氮比有机肥,提高了土壤溶解性有机质质量分数。高碳氮比有机物料显著促进了土壤微生物功能多样性,诱导了对碳源利用类型有差异的微生物种群增多,使土壤微生物功能群落变异^[15]。在烟草生产实际中,因地制宜选择当地有机物料,根据土壤性质的差异合理施用,充分发挥不同有机物料的效应,实现渝东北烟区土壤固碳、提质增效的目标。

渝东北烟区超 30 年的连作,细菌门属水平发生了较明显的变化,土壤微生物生态失衡,会直接造成土传病害发病率增加^[16]。连作年限超 5 年,土壤中对土壤生态系统功能构建和提升的关键菌门,如变形菌门和酸杆菌门相对丰度下降,而甲基孢囊菌门增加。而土壤细菌的哪些菌门或菌属是指示烟草根茎病害的关键菌还未得到证实,尚需进一步研究。长期连作烤烟根际会分泌积累酚酸类化感物质,其中邻苯二甲酸、苯甲酸、对苯二甲酸等物质^[17]。长此以往,降低了土壤微生物多样性,寡营养细菌群落将代替富营养细菌群落,土壤生物因子是病害发生的主要原因^[18]。根据微生物组装的生态学理论,我国科学家实现土壤微生物群落可控组装、调控和病害控制,植物生长早期宿主根际微生物群落产生显著分异,找到并纯培养获得协助植物抗病部分菌株,这些菌株可使青枯病发病降低 $30.4\% \sim 100.0\%$ ^[19]。该研究为后续的土壤微生物生态调控奠定了基础。选取对青枯雷尔氏菌有较好拮抗作用的枯草芽孢杆菌(*Bacillus subtilis*)和多黏类芽孢杆菌(*Paenibacillus polymyxa*),制成菌肥与烟草育苗基质混合,对烟草青枯病的室内和大田防效达 63.64% 和 24.95% ^[20]。在烟叶生产实践中,有机肥拌菌技术(荧光假单胞菌与牛粪有机肥复配)对青枯病相对防效达 55.21% ^[21]。这项技术可能使烟草根系表面形成微生物生物防御层,防止或减少病原菌的侵入。对于根茎病害严重的烟田采用棉隆熏蒸,对青枯病防控效果达 52.27% ,连续使用 2 年其防控效果更佳,其原理是棉隆熏蒸后可有效杀灭烟田有害微生物数量,对土传病害起到一定的防治作用^[22]。

渝东北烟区土壤水稳性团粒结构减少,土壤板结,犁底层上移,阻碍耕作层与心土层的水、肥、气、热的交换,导致地力下降。针对这种复合障碍类型,邓小华等^[23]采用垂直深旋耕 $30 \sim 35\text{ cm}$ 结合施用石灰、绿肥、生物有机肥等重构烟田土壤耕层,实现了土壤酸度改良与培肥同步、表层与表下层土壤酸度改良同步的改良效果。深耕 30 cm 与有机肥 $9\ 000\text{ kg/hm}^2$ 二者交互可快速提高植烟土壤肥力^[24],已在云南保山

植烟区大面积推广应用。

渝东北烟区土壤养分非均衡化现象突出，养分含量过量和缺乏现象并存，目前生产上施用的肥料配方是根据十多年前的土壤肥力研究的配方，肥料配方均不含中微量元素是导致目前养分不均衡分布的主要原因之一。另外，山地烟田土壤养分空间变异较大。陈天才等^[4]报道渝东北奉节县烟田总体氮供应良好，有机质含量适中，而磷钾累积现象明显。总之，应根据土壤养分空间分布特征，按照测土配方施肥原理，建立配方施肥区划图，采用“区域大配方”和“地块小调整”的养分管理策略，实现烟叶质量和土壤质量的协同提升。

渝东北常年连作，用养结合不够，土壤退化现象突出，土壤“五大平衡”被破坏，植烟土壤处于亚健康状态是近年来根茎病害日趋严重的重要原因。为保障烟叶优质可持续生产，按照“分类控制、分区施策”的总体思路和土壤退化的防治必须“以防为主，治为辅”的控制原则，形成土壤改良关键集成技术，通过一系列综合改良措施，使烟田回归到健康的生态循环中(图 10)。

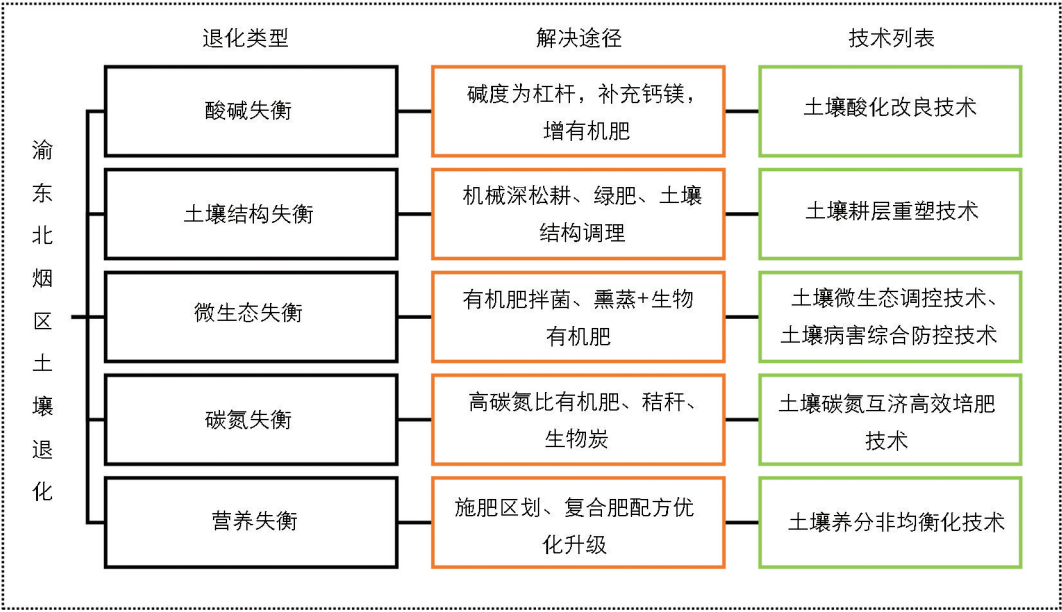


图 10 渝东北烟区土壤退化类型及技术列表

4 结论

渝东北烟区土壤退化十分严重，破坏了土壤“五大平衡”，导致烟田土壤亚健康，是根茎病害日益加剧的重要原因。该地区土壤酸化比例为 32.78%，有机质质量分数偏低的土壤比例为 25.55%，烟田碳氮比偏低的比例为 75.5%，耕作层厚度在 12 cm 以下的烟田占 80.0%，土壤板结现象严重。此外，烟田连作 5 年以上显著降低了土壤细菌群落的多样性。为了解决土壤退化问题，我们应该按照“分类控制、分区施策”的总体思路和“以防为主，治为辅”的控制原则，通过整合土壤改良关键集成技术，开展山地烟田土壤退化阻控及修复关键技术研究，协同提升土壤及烟叶质量。

参考文献：

[1] 寇智瑞, 周鑫斌. 不同连作年限黄壤烟田土壤细菌群落的差异 [J]. 植物营养与肥料学报, 2020, 26(3): 511-521.

[2] 焦永吉, 程功, 马永健, 等. 烟草连作对土壤微生物多样性及酶活性的影响 [J]. 土壤与作物, 2014, 3(2): 56-62.

[3] LI S L, LIU Y Q, WANG J A, et al. Soil Acidification Aggravates the Occurrence of Bacterial Wilt in South China [J]. Frontiers in Microbiology, 2017, 8: 703.

[4] 陈天才, 韦建玉, 陈伦飞, 等. 重庆市奉节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, 2021,

40(6): 53-58.

[5] 左梅, 谭军, 向必坤, 等. 休耕对连作障碍植烟土壤酶活性及细菌群落结构的影响 [J]. 烟草科技, 2019, 52(11): 10-16.

[6] 李想, 刘艳霞, 陈风雷, 等. 长期不同施肥处理对贵州植烟土壤酶活及微生物群落的影响 [J]. 中国烟草学报, 2019, 25(6): 50-59.

[7] 黄功标, 杨秉业, 陈均. 连续 2 年稻草还田腐熟对连作烟田土壤性状及烤烟产质量的影响 [J]. 江西农业学报, 2014, 26(4): 46-49.

[8] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法 [M]. 北京: 中国农业科技出版社, 2000.

[9] 查宇璇, 冉茂, 周鑫斌. 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.

[10] 谭智勇, 湛潇雄, 刘杰, 等. 贵州铜仁市植烟土壤 pH 特征及其酸化驱动因子分析 [J]. 西南大学学报(自然科学版), 2021, 43(10): 52-57.

[11] 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.

[12] 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.

[13] 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.

[14] 李昂, 陆引罡. 有机肥碳氮比对土壤有机质组分及烟叶香气量的影响 [J]. 湖南农业科学, 2021(1): 45-49.

[15] 李孝刚, 彭曙光, 靳志丽, 等. 有机物料对植烟土壤氮素矿化及微生物性质的影响 [J]. 土壤学报, 2021, 58(1): 225-234.

[16] 胡骞予, 蔡永占, 韩小女, 等. 健康与感染黑胫病烟株根际土壤细菌群落结构与多样性 [J]. 福建农业学报, 2022, 37(2): 233-239.

[17] 孙敬国, 王昌军, 孙光伟, 等. 连作年限对植烟根际土壤化感物质积累的影响——以湖北黄棕壤烟田为例 [J]. 土壤, 2021, 53(1): 148-153.

[18] 刘晓姣. 烟草根际抑病土壤有益微生物的组学特征及对青枯病的拮抗作用研究 [D]. 重庆: 西南大学, 2018.

[19] GU Y A, BANERJEE S, DINI-ANDREOTE F, et al. Small Changes in Rhizosphere Microbiome Composition Predict Disease Outcomes Earlier than Pathogen Density Variations [J]. The ISME Journal, 2022, 16(10): 2448-2456.

[20] LIU X J, ZHANG S T, JIANG Q P, et al. Using Community Analysis to Explore Bacterial Indicators for Disease Suppression of Tobacco Bacterial Wilt [J]. Scientific Reports, 2016, 6: 36773.

[21] 张玉霞, 王珍珍, 张水翔, 等. 荧光假单胞菌与有机肥复配对黔江烟草青枯病防控效果研究 [J]. 植物医学, 2022, 1(1): 41-47.

[22] 秦平伟, 陈代明, 陈瑜欣, 等. 棉隆不同年限熏蒸对烟草生长及青枯病发生的影响 [J]. 植物医生, 2021, 34(2): 41-45.

[23] 邓小华, 何铭钰, 陈金, 等. 山地酸性土壤耕层重构的理化性状及酶活性动态变化 [J]. 中国烟草科学, 2021, 42(4): 17-23.

[24] 何京, 王津军, 尹兴盛, 等. 深耕配施有机肥对云南保山植烟土壤肥力的快速提升效应 [J]. 中国烟草科学, 2022, 43(1): 27-34.

责任编辑 包颖