



基于烤烟生产的湘西植烟土壤质量综合评价

张明发¹, 田峰¹, 李孝刚², 田茂成¹, 李明德³, 彭曙光⁴, 巢进¹, 蔡云帆¹, 吴海勇³,
李双⁵, 张黎明¹, 朱三荣¹, 吕启松¹

1 湖南湘西州烟草公司生产技术中心, 湖南吉首 416000;

2 中国科学院南京土壤研究所, 江苏南京 210008;

3 湖南省土壤肥料研究所, 湖南长沙410128;

4 湖南省烟草公司, 湖南长沙 410004;

5 河南农业大学, 河南郑州450002

摘要: 以湘西植烟土壤为研究对象, 通过烤烟生产调查和土壤性状分析, 采用相关分析和主成分分析构建土壤质量评价的最小数据集, 进而系统性评价植烟土壤质量状况。结果表明: 植烟土壤 pH 和砂粒等特性变异中等 (18%), 而一些微量元素和速效养分含量变异较强 (63%~134%); 土壤 pH 值、有机质、砂粒含量、全氮、全钾和有效硫适宜, 碱解氮、有效磷和速效钾含量偏高, 而土壤全磷和一些微量元素 (钼、硼) 缺乏。筛选出用于评价植烟土壤质量的最小数据集, 包含了土壤有机质、砂粒、速效钾、有效磷、全钾和有效钼; 根据综合质量指标大小将植烟土壤质量分为优、良、中、较差和差 5 个等级, 属于良等级以上土壤植烟区所占比例为 37.4%, 中等级别土壤占比 43.8%, 较差等级以下土壤占比 18.8%。

关键词: 植烟土壤; 土壤质量; 最小数据集; 主成分分析; 综合评价

引用本文: 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)

土壤是发展优质烤烟的必要条件。土壤质量是肥力质量、环境质量和健康质量的综合量度, 就作物生产而言其关键是土壤肥力质量^[1-3]。开展土壤质量评价可为植烟土壤的合理利用、科学管理和土壤养分丰缺诊断提供依据^[1, 4]。评价方法及其指标选取方法都会影响土壤质量评价结果^[1, 5-6]。与土壤定性评价^[5]、土壤质量模型^[7]及土壤相对质量法^[8]等评价手段相比, 土壤质量指数评价法易于量化, 是目前最为常用方法^[1, 9, 10]。对于特定区域, 鉴于土壤属性数据获取的成本及属性间的共线性等因素, 不可能获取所有指标的数据, 而只能从候选数据集中选出能最大限度的代表所有候选参数的指标。于是, Larson 和 Pierce (1991)^[11]提出了最小数据集概念, 已广泛应用于土壤质量的评价^[1, 12-16]。

土壤质量是维持农田生态系统中作物生产和可持续发展的保证, 作物生产状况可作为反映和评价土壤质量的重要指标^[15-16]。研究发现作物产质量与土壤质量

指数显著相关, 可在土壤质量评价过程中应用^[9, 16-17]。通过土壤属性指标与作物产量或效益的相关性构建最小数据集, 并用于土壤质量评价, 已在水稻、小麦、玉米等农作物以及果树 (脐橙) 上成功应用^[9-10, 15-16]。烤烟作为产量与质量并重的经济类作物, 对土壤的要求更为严格^[18]。但目前针对植烟土壤质量评价的研究, 多数仍局限于基于统计方法 (聚类分析、主成份分析和模糊数学等) 直接构建数据集^[19-21]。对此, 本研究以湘西为例, 从烤烟生产应用的角度, 系统调查植烟土壤质量因子和烟叶生产状况, 在分析土壤属性与烤烟生产关系的基础上, 找出影响烤烟产质量的土壤因素, 构建植烟土壤质量评价体系, 以期对烟区规划以及优化烟草栽培技术提供更好的科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

湘西土家族苗族自治州 (简称湘西州) 位于湖南

基金项目: 湖南省烟草公司湘西州公司科技项目 (XX14-16Aa-02)、湖南省烟草公司科技项目 “湖南烟区植烟土壤有机质分布特征及有机肥影响烤烟品质机理研究与应用” (15-18Aa01)

作者简介: 张明发 (1968—), 高级农艺师, 主要从事土壤肥料及烟草栽培等研究工作, Tel: 0743-8568503, Email: zhangmingfa98@163.com

通讯作者: 李孝刚 (1984—), 博士, 副研究员, 硕士生导师, 主要从事土壤生态及土壤质量评价研究, Tel: 025-86881524, Email: xgli@issas.ac.cn

收稿日期: 2016-08-30; **网络出版日期:** 2017-03-09

省西北部的武陵山区，地处东经 109° 10'—110° 23'，北纬 27° 44'—29° 38'，属亚热带季风性湿润气候区，气候温和、四季分明，降水丰沛、雨量集中，光、热、水同季，是湖南省第三大烟叶产区^[22]。该区常年产烟量达 24 000 t。

1.2 土壤样品采集与分析

于 2014 年 12 月，在湖南湘西州下辖的龙山、永顺、凤凰、花垣、保靖、古丈、泸溪等 7 县开展植烟土壤采集。根据烤烟种植情况，成片性好的地块 5~10 hm² 为一取样点，山丘地形区 1~5 hm² 为一取样点。用土钻在每个样点中按梅花采样法取耕层土样 (0~20 cm)，采集 10~15 个采样点混成一个土壤样品，去除植物根系和石块后带回实验室分析。共采集具有代表性的土样 1242 个，其中龙山烟区采集 300 个样点、永顺烟区 360 个、凤凰烟区 155 个、花垣烟区 160 个、保靖烟区 102 个、古丈烟区 95 个、泸溪烟区 70 个。

土壤样品经风干，磨碎，过筛后测定土壤 pH 值、有机质、全氮、全磷、全钾、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、有效锰、有效铜、有效锌、有效硼、有效钼、阳离子交换量、土壤颗粒组成等 20 项性状。根据采样点经纬度信息，参考湖南省第 2 次土壤普查资料，并结合现场地形地貌观察和典型区域土壤剖面，对样区土壤母质类型进行区分。同时，调查每个样点近 3 年烤烟上等烟叶及中等烟叶的产量，单位收益为每公顷烤烟产量乘以当年收购单价而得。指标测定方法如下：土壤 pH 值采用玻璃电极法，土壤有机质采用重铬酸钾氧化法，土壤全氮采用开氏定氮法，土壤全磷和速效磷采用钼锑抗比色法，土壤全钾和速效钾采用火焰光度法，土壤碱解氮采用碱解扩散法，土壤有效钙、有效镁、有效硫、有效铁、有效锰、有效锌和有效铜采用 DTPA 混合溶液浸提原子吸收分光光度计法，土壤有效硼采用甲亚胺比色法，土壤有效钼采用极谱法，土壤水溶性氯采用硝酸银电位滴定法测定，阳离子交换量用乙酸钠—火焰光度法测定，土壤颗粒组成采用湿筛—吸管法^[23]。

1.3 植烟土壤质量评价过程

1.3.1 最小数据集的建立

土壤质量评价必须依据一定的标准先从大量土壤性状中选取对土壤质量敏感的评价指标构成最小数据集 (Minimum Data Set, MDS)。用于烤烟土壤质量评价的最初总数据集包含 pH 值、有机质、全氮、全磷、全钾、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、有效锰、有

效铜、有效锌、有效硼、有效钼、阳离子交换量、粘粒 (<0.002 mm)、粉砂 (0.02~0.002 mm) 和砂粒 (2~0.02 mm)。首先，基于各样点烟叶单位效益，依据土壤性状与烤烟效益之间的 Pearson's 相关性分析结果，筛选出用于后续 MDS 构建的基础数据集；然后采用主成分分析 (Principal Component Analysis, PCA) 法开展数据集冗余分析，并筛选显著指标以最终构建 MDS^[16]。指标筛选标准：选取特征值 >1 的所有主成分，进入 MDS 的构建^[9,24]；每个主成分 (PC) 中，因子荷载值最高及其荷载值 10% 以内的所有因子进入 MDS^[24]。当主成分高因子荷载指标只有 1 个，则该指标进入 MDS。当主成分高因子荷载指标不止 1 个，对其分别做相关性分析 (Pearson's 相关)；若相关系数低 ($r < 0.6$) 时，各高因子荷载指标均被选入 MDS；若相关性高 ($r \geq 0.6$)，则最大的高因子荷载指标被选入 MDS^[9,16]。

1.3.2 指标隶属度值和权重的计算

土壤质量评价指标的隶属度值由隶属度函数计算。隶属度函数是指所要评价的肥力参数与作物生长效应曲线之间关系的数学表达式，它可以将肥力评价参数标准化，转变成范围为 0~1 的无量纲值^[5,16]。据作物效应曲线将隶属度函数分为 S 型和抛物线型 (图 1)，用于本研究所选中的 MDS 因子的转换。

抛物线型隶属度函数：

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

S 型隶属度函数：

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

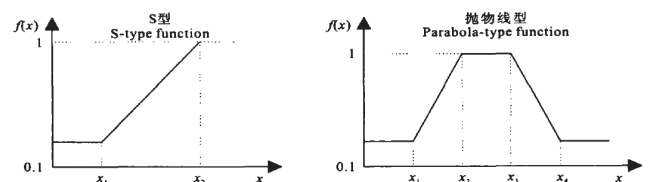


图 1 S 型和抛物线型隶属函数的折线图

Fig. 1 Curve diagram of S-type function and Parabola-type function

1.3.3 土壤质量综合评价

MDS 指标权重值由主成分分析获取。对各指标转化后做主成分分析，获得各个指标的公因子方差，各指标公因子方差占公因子方差和的比例即为数据集

指标的权重值^[26]。采用加权求和模型计算评价单元的土壤质量指数 (Soil Quality Index, SQI), 其数学表达式为:

$$SQI = \sum_{i=1}^p W_i * S_i \quad (3)$$

式中, SQI 为土壤质量指数, W_i 为第 i 项土壤指标的权重, S_i 为第 i 项土壤指标的标准得分, p 为所有参评指标总数。

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^[3, 19, 21], 将得出的土壤质量指数分为 5 个等级, 并对研究区植烟土壤质量状况进行评价分级, 即优 I (FI(0.8,1]), 良 II (FI(0.6,0.8]), 中等 III (FI(0.4,0.6]), 较差 IV (FI(0.2,0.4]) 和差 V (FI(0, 0.2])。

1.4 数据统计分析

利用 SPSS 软件的 Descriptive Statistics 描述统计、Factor Analysis 因子分析和 Pearson's 相关分析以及

Excel 软件对试验数据进行统计分析处理。

2 结果与分析

2.1 湘西植烟土壤性状指标描述性统计分析

对湖南湘西植烟土壤 1242 个土壤样点的统计分析表明, 除有效锌和有效硫外, 其它土壤属性服从正态分布 / 对数正态分布 (表 1)。变异系数 (CV) 是表示观察值变异程度或离散程度的统计变量, $CV \leq 10\%$ 时为弱变异性, $10\% < CV \leq 100\%$ 为中等变异性, $CV > 100\%$ 时为强变异性^[27]。变异系数最小为土壤 pH 和粉砂, 为 18%, 属中等变异强度; 而变异系数较大的因子为一些中微量元素, 如有效锰、有效锌、有效钼和有效硫, 变异强度较高, 远高于其它肥力指标。研究区上等和中等烤烟的平均产量分别为 1254.3 kg/hm^2 、 809.1 kg/hm^2 , 变异系数为 16%, 其中最高产量是最低产量的 4 倍; 烤烟单位效益平均值为 59077 元/hm^2 , 变异系数为 17%, 呈正态分布。

表 1 湘西植烟土壤各属性指标及其产量、效益的描述性统计特征
Tab.1 Descriptive statistics of soil property contents, yield and income in the study area

指标 Indicators	单位 Units	均值 Mean	最小值 Minimum	最大值 Maximum	标准差 Standard deviation	变异系数 Variation coefficient	偏度 Skewness	峰度 Kurtosis	分布类型 Distributive types
pH		6.11	4.17	8.17	1.13	18%	0.18	-1.32	正态
碱解氮	mg/kg	148.08	29.90	366.80	44.34	30%	0.37	0.67	正态
有效磷	mg/kg	38.99	0.84	234.00	34.84	89%	1.78	3.82	对数正态
速效钾	mg/kg	223.99	28.00	1296.90	148.74	66%	1.67	4.55	正态
全氮	g/kg	1.74	0.39	4.47	0.62	35%	0.76	1.22	正态
全磷	g/kg	0.77	0.15	3.23	0.33	43%	1.96	7.66	正态
全钾	g/kg	19.64	8.33	61.30	7.48	38%	1.48	2.38	正态
有机质	g/kg	28.84	4.94	91.30	10.77	37%	1.02	2.36	正态
有效铁	mg/kg	71.92	3.66	432.90	63.36	88%	1.43	2.10	对数正态
有效锰	mg/kg	39.61	1.79	343.50	41.51	105%	2.68	10.16	对数正态
有效铜	mg/kg	1.85	0.03	14.60	1.47	80%	2.04	7.79	对数正态
有效锌	mg/kg	3.49	0.06	82.90	4.69	134%	9.33	136.80	/

续表 1

指标 Indicators	单位 Units	均值 Mean	最小值 Minimum	最大值 Maximum	标准差 Standard deviation	变异系数 Variation coefficient	偏度 Skewness	峰度 Kurtosis	分布类型 Distributive types
有效硼	mg/kg	0.65	0.10	3.30	0.41	63%	2.51	8.92	正态
有效钼	mg/kg	0.19	0.01	3.29	0.25	133%	5.88	57.49	对数正态
有效硫	mg/kg	36.03	4.59	555.15	46.08	128%	3.84	24.73	/
交换性钙	cmol/kg	10.21	0.25	37.21	7.61	75%	1.61	2.43	正态
交换性镁	cmol/kg	1.82	0.02	7.53	1.50	82%	1.36	1.29	正态
阳离子交换量	cmol/kg	18.74	4.20	46.60	6.39	34%	0.78	0.72	正态
砂粒	%	25.76	6.39	69.57	9.39	36%	0.85	0.95	正态
粉砂	%	43.94	3.14	64.17	7.72	18%	-0.55	0.91	正态
粘粒	%	30.30	10.04	77.98	9.16	30%	0.84	1.49	正态
产量(上等烟)	kg/hm ²	1239.3	453.75	1815	206.55	16%	-0.35	1.69	正态
产量(中等烟)	kg/hm ²	809.1	296.25	1185	134.85	16%	-3.25	21.65	/
效益*	元/hm ²	59077	21630	86520	9849.23	17%	-0.88	3.33	正态

注: * 上等烟平均收购价为 32 元/公斤, 中等烟为 24 元/公斤。

2.2 湘西植烟土壤质量最小数据集的确定

通过相关分析得出(表 2), 土壤碱解氮、有效磷、速效钾、全氮、全钾、有机质、有效铁、有效锰、有效钼、砂粒、粉砂等土壤性状与烤烟生产效益呈显著性相关 ($P < 0.05$), 用于基础数据集的构建。在此基础上对参选指标进行主成分分析, 选择特征值大于 1 的主成分(表 3), 根据每个主成分中评价参数的载荷值和参数的相关性, 确定组成最小数据集的评价指标。由各评价因子在主成分中特征向量可知(表 3), PC1 解释了 24.3% 的变异, 其因子载荷值最高及其载荷值 10% 以内的因子分别是有机质和碱解氮, 且有机质和碱解氮呈较高相关性 ($r = 0.71$, $P < 0.01$), 因

此有机质选入最小数据集。PC2 解释了 15.6% 的变异, 其因子载荷值最高的因子为砂粒, 而其他因子都在其载荷值 10% 以外, 所以只有砂粒选入最小数据集。PC3 解释 11.9% 的变异, 其因子载荷值最高及其 10% 以内的因子分别是速效钾和有效磷, 但它们的相关系数小于 0.6, 所以速效钾和有效磷进入最小数据集。PC4 解释 10.4% 的变异, 其因子载荷值最高及其 10% 以内的因子分别是全钾和有效钼, 且全钾和有效钼相关性较差 ($r = 0.09$), 所以全钾和有效钼选入最小数据集。因此, 植烟土壤质量评价的最小数据集包含有机质、砂粒、速效钾、有效磷、全钾和有效钼。

表 2 参选评价指标的相关性分析
Tab.2 Correlations of the soil quality indicators

参选指标 Candidate indicators	效益 Inco me	pH	碱解氮 Availab le N	有效磷 Availab le P	速效钾 le K	全氮 Total N	全磷 Total P	全钾 Total K	有机质 Soil organic matter	有效铁 Availab le Fe	有效锰 Availab le Mn	有效铜 Availab le Cu	有效锌 Availab le Zn	有效硼 Availab le B	有效钼 Availab le Mo	有效硫 Availab le S	交换性钙 Exchan geable Ca	交换性镁 Exchang eable Mg	阳离子 交换量 Cation exchange capacity	砂粒 Sand	粉砂 Silt	粘粒 Clay	
效益	1.00																						
pH	-0.01	1.00																					
碱解氮	0.07	-0.06	1.00																				
有效磷	0.08	-0.03	0.26	1.00																			
速效钾	0.10	0.05	0.13	0.55	1.00																		
全氮	0.23	0.07	0.59	0.14	0.14	1.00																	
全磷	0.02	<u>0.07</u>	0.37	0.70	0.37	0.25	1.00																
全钾	-0.07	-0.16	0.08	0.01	-0.08	-0.03	0.05	1.00															
有机质	0.14	0.14	0.71	0.19	0.11	0.74	0.31	-0.08	1.00														
有效铁	0.07	-0.56	0.33	0.17	-0.14	0.27	0.14	0.24	0.28	1.00													
有效锰	0.10	-0.34	0.00	0.04	0.20	-0.03	0.03	-0.04	-0.13	-0.01	1.00												
有效铜	0.00	-0.16	0.40	<u>0.06</u>	-0.17	0.36	0.19	0.40	0.39	0.66	-0.14	1.00											
有效锌	0.00	-0.02	0.24	0.46	0.31	0.15	0.38	0.02	0.21	0.10	0.04	0.16	1.00										
有效硼	0.03	0.03	0.25	0.68	0.69	0.13	0.49	0.01	0.19	-0.03	0.09	-0.05	0.45	1.00									
有效钼	-0.14	-0.21	0.01	-0.08	<u>-0.06</u>	<u>-0.07</u>	0.02	0.09	<u>-0.07</u>	0.06	0.14	0.23	0.11	<u>-0.07</u>	1.00								
有效硫	0.04	-0.39	<u>0.07</u>	0.26	0.51	<u>0.07</u>	0.11	-0.04	0.04	0.12	0.18	-0.05	0.16	0.46	0.08	1.00							
交换性钙	0.03	0.78	0.11	0.04	0.06	0.25	0.11	-0.18	0.35	-0.35	-0.23	-0.05	0.05	0.04	-0.21	-0.22	1.00						
交换性镁	-0.02	0.63	0.01	0.17	0.28	0.13	0.25	-0.20	0.15	-0.37	-0.15	-0.10	0.08	0.27	-0.17	-0.11	0.33	1.00					
阳离子交换量	0.06	0.19	<u>-0.06</u>	0.02	0.22	0.02	0.10	-0.12	-0.05	-0.23	0.16	-0.18	0.00	0.04	-0.02	0.02	0.16	0.31	1.00				
砂粒	-0.14	0.16	-0.12	0.03	-0.13	-0.15	-0.10	0.06	-0.10	-0.11	-0.18	<u>-0.07</u>	0.04	-0.01	-0.08	-0.18	0.12	-0.04	-0.43	1.00			
粉砂	0.21	<u>0.07</u>	0.33	0.10	-0.02	0.19	0.10	-0.01	0.31	0.11	0.03	0.16	0.05	0.10	-0.04	-0.05	0.10	-0.11	-0.08	-0.44	1.00		
粘粒	-0.03	-0.22	-0.15	-0.11	0.15	-0.01	0.03	<u>-0.06</u>	-0.16	0.02	0.16	<u>-0.06</u>	-0.09	<u>-0.07</u>	0.11	0.23	-0.21	0.13	0.51	-0.65	-0.39	1.00	

注：下划线系数表示有显著相关 ($P < 0.05$)；加粗系数表示有极显著性相关 ($P < 0.01$)。

表 3 湘西植烟土壤性状的主成分分析结果
Tab.3 Results of the principal component analysis of the soil properties

土壤性状 Soil property	PC1	PC2	PC3	PC4
有机质	0.897	-0.032	0.088	-0.106
全氮	0.819	0.044	0.109	-0.076
全钾	0.001	-0.105	0.016	0.643
碱解氮	0.823	0.023	0.169	0.150
有效磷	0.217	-0.073	0.829	0.051
速效钾	0.047	0.209	0.860	-0.144
有效铁	0.428	-0.214	-0.032	0.569
有效锰	-0.162	0.512	0.285	0.284
有效铝	-0.130	0.188	-0.070	0.597
阳离子交换量	-0.120	0.662	0.152	-0.292
砂粒	-0.252	-0.843	0.062	-0.021
粉砂	0.501	0.455	-0.163	0.040
特征值	2.92	1.88	1.42	1.24
方差贡献率	24.32	15.64	11.85	10.35

注：表中加粗数字表示每个主成分中进入最小数据集的潜在指标；下划线数字表示对应指标选入最小数据集。

2.3 指标隶属度值和权重的计算

根据已有研究资料以及研究区域土壤肥力特征^[6, 19-20]，确定了各因子在折线函数中拐点的取值（表4）。然后对各指标转换后的隶属度值进行主成分分

析，确定最小数据集中各指标的权重系数，其中砂粒、速效钾和有机质的权重较高，分别为0.213、0.177和0.175（表4）。

表 4 最小数据集各指标权重及其隶属度函数转折点取值

Tab.4 Values of the turning point in membership function curves and their weights using principal component analysis in MDS

土壤性状 Soil property	转折点 (X1) Turning point (X1)	转折点 (X2) Turning point (X2)	转折点 (X3) Turning point (X3)	转折点 (X4) Turning point (X4)	公因子方差 Communalities	权重 Weight
速效钾	100	250	/	/	0.159	0.177
有效铝	0.1	0.3	/	/	0.146	0.163
全钾	15	30	/	/	0.103	0.115
有效磷	15	60	/	/	0.141	0.158
有机质	15	25	35	45	0.156	0.175
砂粒	15	30	45	60	0.191	0.213

2.4 湘西植烟土壤质量指数计算及分布

经过统计得到各评价指标的权重值以及标准化的指标得分, 计算出各个土壤质量指数(图2)。由图2可知, 植烟区土壤综合质量指数介于0.1~1, 其中有5.6%的土壤质量指数达到0.80以上, 属于优等土壤; 达到良和中等的植烟土壤占比高, 分别为31.8%和43.8%; 而差等土壤占比低, 为2.0%(图2)。进一步通过相关分析发现植烟土壤质量状况与烤烟生产效益呈极显著相关性(图3)。从不同县区的植烟土壤质量分布看, 花垣和龙山的良等以上土壤占比高, 分别为51.3%和52.0%, 凤凰和永顺的中等土壤比例较高, 而差等以下土壤主要分布在古丈和泸溪(图4)。

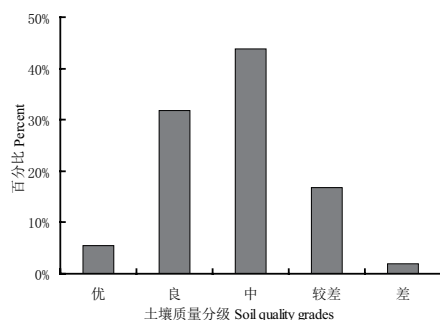


图2 湘西植烟土壤质量指数分级分布情况

Fig. 2 Soil quality grades for the whole tobacco planting soils of Xiangxi region

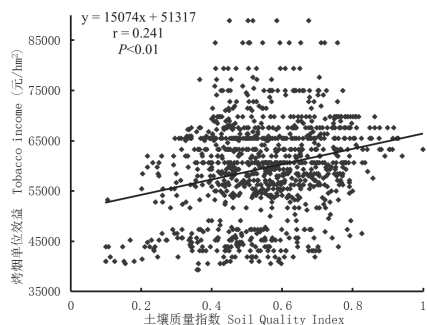


图3 植烟土壤质量综合指数与烤烟单位效益的相关性分析

Fig. 3 Correlation between the tobacco income and the soil quality index

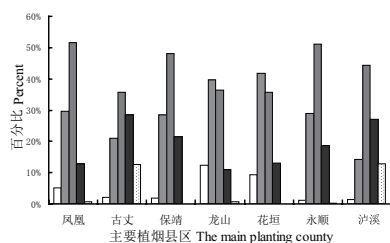


图4 湘西不同县区植烟土壤质量指数分级分布情况

Fig. 4 Distribution of soil quality grades in different counties of the whole tobacco planting soils of Xiangxi region

3 讨论

本研究取样点根据基本烟田的分布情况布置, 考虑到区域内基本烟田的空间分布和烤烟生产布局。与已有关于土壤质量评价研究相比^[3, 21, 28], 本研究取样密度较大, 基本覆盖了研究区植烟土壤分布, 为后续全面评价烟区土壤质量状况奠定基础。研究区植烟土壤pH和粉砂变异强度中等, 而其它肥力因子(如微量元素和土壤速效养分)变异强度较强, 与这些肥力指标易受栽培、施肥等影响相关^[29-31]。土壤质量评价的指标选取应全面、综合地反映土壤质量的各个方面, 即土壤的养分贮存、养分释放和理化性状等^[11, 32, 34]。本研究同时将微量元素纳入土壤质量评价指标体系, 使反映土壤质量的指标更为全面^[20]。先后通过土壤属性与烤烟生产效益的相关性分析和主成分分析, 得出用于评价植烟土壤质量的最小数据集, 包括有机质、砂粒、速效钾、有效磷、全钾和有效钼, 因此这些指标是基于烤烟生产的植烟土壤质量评价的关键因子。

在第一主成分中, 与其它土壤性状相比有机质权重最高, 说明土壤有机质是决定研究区植烟土壤质量状况的第一要素。研究区植烟土壤有机质平均含量(28.8 g/kg)适宜烤烟种植, 但其变幅较大, 有一定比例(22.5%)的植烟土壤有机质含量高于35 g/kg, 此情况下可能会出现土壤氮素供应过量, 造成烟叶生长后期贪青晚熟, 影响烟叶品质^[35-36]。进一步分析发现土壤碱解氮含量与有机质呈极显著正相关($r=0.74$), 这与Tong等研究结果一致^[37]。第二主成分中土壤砂粒的权重远高于其它土壤性状, 说明土壤物理性质好坏也是决定烤烟生长的重要要素^[38]。研究区土壤砂粒含量处于适宜范围(30%~45%)样品占比中等(26.7%), 但有一定比例(9.8%)植烟土壤砂粒含量低于15%, 此情况下会出现土壤通透性不良, 不利于烟株前期生长发育。研究区土壤有效钼平均含量(0.19 mg/kg)低于植烟土壤有效钼临界值(0.2 mg/kg), 其中有效钼缺乏的土壤样点占比达67.7%, 这与近年来报道一些烟区烤烟都表现出不同程度的缺钼症状的结果一致^[37]。研究区植烟土壤偏酸性, 由于土壤中的铁铝氧化物和高岭石等对钼有固定和吸附作用, 导致酸性土壤钼的有效性很低, 再加上生产上没有施钼肥的习惯^[39-40]。因此, 加强钼肥施用是提升烟区烤烟生产的重要措施之一。

烤烟生产对土壤钾素水平要求较高, 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^[41-42]。施

用钾肥可明显提高土壤速效钾和全钾含量,同时能较好地调节烟叶生理代谢,改善烤烟品质^[43]。分析得出速效钾和全钾均进入了最小数据集,说明土壤钾素是影响研究区烤烟生产的重要要素。然而,研究区土壤速效钾含量较高(均值为223.99 mg/kg),说明目前烤烟生产中盲目增施钾肥的现象较普遍,造成土壤中钾的积累^[44]。研究区植烟土壤全磷含量偏低(均值为0.77 g/kg),其中83.0%土壤样点全磷含量属缺乏状态(<1 g/kg),而速效磷含量适宜(39 mg/kg),这与烤烟生产中重视磷肥施用有一定关系^[45-47]。因此,烤烟生产中应进一步深入研究磷、钾肥施用量及施用方式,维持土壤磷、钾素营养平衡,提高其生理效率和农学效率^[48]。

目前,多数针对植烟土壤肥力、质量评价的研究结果表明植烟土壤肥力水平较高,肥力较低土壤占比很低(<10%)^[19, 49]。然而,这些研究得出的土壤肥力质量状况一般仅是一种潜在肥力,缺少结合烤烟生产的实际状况对土壤质量的响应。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。本研究中,烤烟产值兼顾了烤烟产量和质量,检验发现植烟土壤质量指数与烤烟产值呈极显著正相关性($P<0.01$),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。研究发现72.8%的植烟土壤处于中等以上水平,差等土壤占比较低(2.0%),表明研究区植烟土壤质量状况总体可满足生产优质烟叶的需要。这与近年来烟区重视烟草生产,加大肥料投入以提升烟草生产效率不无关系。

4 结论

研究区植烟土壤pH和砂粒等特性变异中等,而一些微量元素和速效养分含量变异较强。土壤pH值、有机质、砂粒含量、全氮、全钾和有效硫适宜,碱解氮、有效磷和速效钾含量偏高,而土壤全磷和一些微量元素(钼、硼)缺乏。研究建立了参评土壤质量的最小数据集指标体系,有机质、砂粒、速效钾、有效磷、全钾和有效钼等指标是基于烤烟生产实际的植烟土壤质量评价的关键因子。对此,加强烟区钼肥施用和适宜调控磷、钾肥用量及施用方式是提升烟草生产的重要措施。土壤质量评价表明研究区植烟土壤质量状况总体较好,可满足生产优质烟叶的需要。研究结果为科学、有效地评价湘西植烟土壤质量状况提供了参考依据,并通过系统评价植烟土壤质量状况,对当地烟草生产具有一定的指导意义。

参考文献

- [1] 曹志洪,周健民.中国土壤质量[M].北京:科学出版社,2006.
CAO Zhihong, ZHOU Jianmin. Soil Quality of China [M]. Beijing: Science Press, 2006.
- [2] 郭亚利,刘锦华,王仕海.植烟土壤保育及改良技术的研究进展[J].贵州农业科学,2016,44(4):79-85.
GUO Yali, LIU Jinhua, WANG Shihai. Advances in conservation and improvement technology of tobacco-growing soils[J]. Guizhou Agricultural Sciences, 2016, 44(4): 79-85.
- [3] 刘占锋,傅伯杰,刘国华,等.土壤质量与土壤质量指标及其评价[J].生态学报,2006,26(3):901-913.
LIU Zhanfeng, FU Bojie, LIU Guohua, et al. Soil quality: concept, indicators and its assessment[J]. Acta Ecologica Sinica, 2006, 26(3): 901-913.
- [4] 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.
WANG Hongwei, ZHANG Liuchen, PU Yunfei, et al. Comprehensive evaluation and variation analysis of fertility of tobacco-growing soil in Eshan county of Yunnan province[J]. Journal of Hunan Agricultural University (Natural Sciences), 2012, 38(5):530-534.
- [5] Ditzler C A, Tugel A J. Soil quality field tools experiences of USDA-NRCS soil quality institute[J]. Agronomy Journal, 2002, 94: 33-38.
- [6] Qi Yanbing, Darilek J L, Huang Biao, et al. Evaluating soil quality indices in an agricultural region of Jiangsu Province, China[J]. Geoderma, 2009, 149: 325-334.
- [7] Doran J W, Parkin T B. Defining and assessing soil quality[C]//Doran J W, et al. Defining soil quality for a sustainable environment. Special Publication, Soil Science Society of America, Madison, WI. 1994, 35: 3-21.
- [8] Wang Xiaojun, Gong Zitong. Assessment and analysis of soil quality changes after eleven years of reclamation in subtropical China[J]. Geoderma, 1998, 81: 339-355.
- [9] Andrews S S, Karlen D L, Mitchell J P. A comparison of soil quality indexing methods for vegetable production systems in Northern California [J]. Agriculture, Ecosystems & Environment, 2002, 90: 25-45.
- [10] Cheng Jinjin, Ding Changfeng, Li Xiaogang, et al. Soil quality evaluation for navel orange production systems in central subtropical China[J]. Soil & Tillage Research, 2016, 15(5): 225-232.
- [11] Larson W E, Pierce F J. Conservation and enhancement of soil quality. In Proc. Of the Int. Workshop on evaluation for sustainable land management in the developing world.

- International Board for Soil Resource and Management (IBSRAM). Proceeding no.123 vol.2, Bangkok, Thailand, 1991.
- [12] 王飞, 李清华, 林诚, 等. 福建冷浸田土壤质量评价因子的最小数据集 [J]. 应用生态学报, 2015, 26(5): 1461-1468.
WANG Fei, LI Qinghua, LIN Cheng, et al. Establishing a minimum data set of soil quality assessment for cold-waterlogged paddy field in Fujian Province, China[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2015, 26(5): 1461-1468.
- [13] 邓绍欢, 曾令涛, 关强, 等. 基于最小数据集的南方地区冷浸田土壤质量评价 [J]. 土壤学报, 2016, 53(5): 230-237.
DENG Shaohuan, ZENG Lingtao, GUAN Qiang, et al. Minimum dataset-based soil quality assessment of waterlogged paddy field in south China. Acta Pedologica Sinica, 2016, 53(5): 230-237.
- [14] 李桂林, 陈杰, 孙志英, 等. 基于土壤特征和土地利用变化的土壤质量评价最小数据集确定 [J]. 生态学报, 2007, 27(7): 2715-2724.
LI Guilin, CHEN Jie, SUN Zhiying, et al. Establishing a minimum dataset for soil quality assessment based on soil properties and land use change[J]. Acta Ecologica Sinica, 2007, 27(7): 2715-2724.
- [15] Govaerts B, Sayre K D, Deckers J. A minimum data set for soil quality assessment of wheat and maize cropping in the highlands of Mexico[J]. Soil & Tillage Research, 2006, 87: 163-174.
- [16] Li Ping, Zhang Taolin, Wang Xingxiang, et al. Development of biological soil quality indicator system for subtropical China[J]. Soil & Tillage Research, 2013, 126: 112-118.
- [17] Chen Yudong, Wang Huoyan, Zhou Jianmin, et al. Minimum data set for assessing soil quality in farmland of northeast China[J]. Pedosphere, 2013, 23: 564-576.
- [18] 刘国顺. 烟草栽培学 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2003.
LIU Guoshun. Tobacco cultivation[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2003.
- [19] 黎妍妍, 许自成, 肖汉乾, 等. 湖南省主要植烟区土壤肥力状况综合评价 [J]. 西北农林科技大学学报 (自然科学版), 2006, 34(11): 179-183.
LI Yanyan, XU Zicheng, XIAO Hanqian, et al. The comprehensive evaluation of soil fertility status for tobacco-growing areas in Hu'nan province. [J]. Jour of Northwest Sci-Tech Univ of Agri and For (Natural Sciences), 2006, 34(11): 179-183.
- [20] 李强, 周冀衡, 杨荣生. 曲靖植烟土壤养分空间变异及土壤肥力适宜性评价 [J]. 应用生态学报, 2011, 22(4): 950-954.
LI Qiang, ZHOU Jiheng, YANG Rongsheng. Soil nutrients spatial variability and soil fertility suitability in Qujing tobacco-planting area[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2011, 22(4): 950-954.
- [21] 刘金山, 胡承孝, 孙学成, 等. 基于最小数据集和模糊数学法的水旱轮作区土壤肥力质量评价 [J]. 土壤通报, 2012, 43(5): 1145-1150.
LIU Jinshan, HU Chengxiao, SUN Xuecheng, et al. Evaluation of soil fertility quality with a minimum data set and fuzzy logic in the paddy-upland rotation region of Hubei province[J]. Chinese Journal of Soil Science, 2012, 43(5): 1145-1150.
- [22] 张黎明, 周米良, 向德明. 湘西山区建设现代烟草农业的思考 [J]. 作物研究, 2010, 24(1): 76-79.
ZHANG Liming, ZHOU Miliang, XIANG Deming. Thinking on the construction of modern tobacco agriculture in the mountainous areas of Xiangxi[J]. Crop Research, 2010, 24(1): 76-79.
- [23] 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: 12-290.
LU Rukun. Analysis methods of soil and agricultural chemistry[M]. Beijing: Chinese Agricultural Science and Technology Press, 2000: 12-290.
- [24] Yemefack M, Jetten V G, Rossiter D G. Developing a minimum data set for characterizing soil dynamics in shifting cultivation systems[J]. Soil & Tillage Research, 2006, 86: 84-98.
- [25] Andrews S S, Carroll C R. Designing a decision tool for sustainable agroecosystem management: soil quality assessment of a poultry litter management case study[J]. Ecological, 2001, 11(6): 1573-1585.
- [26] Shukla M K, Lai R, Ebinger M. Determining soil quality indicators by factor analysis[J]. Soil and Tillage Research, 2006, 87: 194-204.
- [27] 武德传, 陈永安, 张西仲, 等. 黔南山地植烟土壤有效铝空间变异分析 [J]. 云南农业大学学报, 2012, 27(6): 851-857.
WU Dechuan, CHEN Yong'an, ZHANG Xizhong, et al. Spatial variability of tobacco-growing soil available Mo in Qiannan mountainous area[J]. Journal of Yunnan Agricultural University, 2012, 27(6): 851-857.
- [28] 李静鹏, 徐明锋, 苏志尧, 等. 不同植被恢复类型的土壤肥力质量评价 [J]. 生态学报, 2014, 34(9): 2297-2307.
LI Jingpeng, XU Mingfeng, SU Zhiyao, et al. Soil fertility quality assessment under different vegetation restoration patterns. Acta Ecologica Sinica, 2014, 34(9): 2297-2307.
- [29] 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.
- LUO Jianxin, SHI Lihong, LONG Shiping. Appraising on the nutrient state of tobacco-growing soil in main areas of Hunan[J]. Journal of Hunan Agricultural University (Natural Sciences), 2005, 31(4): 376-380.
- [30] 毛辉, 张黎明. 湘西植烟土壤养分状况分析及施肥建议[J]. 作物研究, 2016, 30(3): 299-302.
- MAO Hui, ZHANG Liming. Nutrient status analysis of tobacco growing soil in Xiangxi and fertilization recommendations[J]. Crop Research, 2016, 30(3): 299-302.
- [31] 李艳青, 屠乃美, 田峰. 湘西植烟土壤养分变化趋势分析[J]. 作物研究, 2011, 25(3): 240-244.
- LI Yanqing, TU Naimei, TIAN Feng. Analysis on the change trend of tobacco soil nutrients in Xiangxi. Crop Research, 2011, 25(3): 240-244.
- [32] Liu Zhanjun, Zhou Wei, Shen Jianbo, et al. Soil quality assessment of acid sulfate paddy soils with different productivities in guangdong province, China[J]. Journal of Integrative Agriculture, 2014, 13: 177-186.
- [33] Zornoza R, Acosta J A, Bastida F, et al. Identification of sensitive indicators to assess the interrelationship between soil quality, management practices and human health[J]. Soil, 2015, 1: 173-185.
- [34] Basak N, Datta A, Mitran T, et al. Assessing soil quality indices for sub-tropical rice-based cropping systems in India. Soil Research, 2015, doi.org/10.1071/SR14245
- [35] 王树会, 邵岩, 李天福, 等. 云南植烟土壤有机质与氮含量的研究[J]. 中国土壤与肥料, 2006, 5: 18-20.
- WANG shuhui, SHAO Yan, LI Tianfu, et al. Study on the content of organic matter and nitrogen in Yunnan tobacco growing soils[J]. Soil and Fertilizer Sciences in China, 2006, 5: 18-20.
- [36] 张恒, 王晶君, 孟琳, 等. 贵州省典型植烟土壤氮素矿化研究[J]. 中国烟草科学, 2013, 34(3): 1-5.
- ZHANG Heng, WANG Jingjun, MENG Lin, et al. Nitrogen mineralization of typical tobacco-growing soils in Guizhou province[J]. Chinese Tobacco Science, 2013, 34(3): 1-5.
- [37] Tong Chengli, Xiao Heai, Tang Guoyong, et al. Long-term fertilizer effects on organic carbon and total nitrogen and coupling relationships of C and N in paddy soils in subtropical China[J]. Soil & Tillage Research, 2009, 106:8-14.
- [38] 曹志洪. 优质烤烟生产的土壤与施肥[M]. 南京: 江苏科学技术出版社, 1991: 6-7, 10-14.
- CAO Zhihong. Soil and Fertilization for high quality fluecured tobacco production[M]. Nanjing: Jiangsu Science and Technology Press, 1991: 6-7, 10-14.
- [39] Reisenauer H M, Tabikh A A, Stout P R. Molybdenum reactions with soils and the hydrous oxides of iron, aluminum and titanium[J]. Soil Science Society of America Journal, 1962, 26: 23-27.
- [40] 李晓宁, 高明, 慈恩. 重庆市植烟土壤有效态微量元素含量评价[J]. 中国生态农业学报, 2007, 15(3): 25-28.
- LI Xiaoning, GAO Ming, CI En. Evaluation of available microelement contents in tobacco soils of Chongqing[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2007, 15(3): 25-28.
- [41] 胡国松, 郑伟, 王震东, 等. 烤烟营养原理[M]. 北京: 科学出版社, 2000.
- HU Guosong, ZHENG Wei, WANG Zhendong, et al. Principle of tobacco nutrition [M]. Beijing: Science Press, 2000.
- [42] 曹志洪. 优质烤烟生产的钾素与微肥[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 1995: 24-86.
- CAO Zhihong. Potassium and micronutrients fertilizer for high quality fluecured tobacco production[M]. Beijing: Chinese Agricultural Science and Technology Press, 1995: 24-86.
- [43] 柳太卫, 杨承, 李正, 等. 钾肥施用方式对土壤钾供应能力及烤烟品质的影响[J]. 湖北农业科学, 2013, 52(8): 1771-1776.
- LIU Taiwei, YANG Cheng, LI Zheng, et al. Effects of K fertilizer application on the K supply capacity of soil and the quality of flue-cured tobacco[J]. Hubei Agricultural Sciences, 2013, 52(8): 1771-1776.
- [44] 王树会, 邵岩, 李天福, 等. 云南烟区土壤钾素含量与分布[J]. 云南农业大学学报, 2006, 21(6): 834-837.
- WANG Shuhui, SHAO Yan, LI Tianfu, et al. Content and distribution of potassium in soils of Yunnan tobacco growing areas[J]. Journal of Yunnan Agricultural University, 2006, 21(6): 834-837.
- [45] 刘坤, 周冀衡, 李强. 植烟土壤速效磷含量及其与烟叶化学成分的相关分析[J]. 湖南农业科学, 2014, 13: 3-6.
- LIU Kun, ZHOU Jiheng, LI Qiang. Correlation analysis of available P content in tobacco grown soils with tobacco leaf chemical components[J]. Hunan Agricultural Sciences, 2014, 13: 3-6.
- [46] 贾志红, 易建华, 符建国, 等. 磷肥处理对烤烟生长生理及根系构型的影响[J]. 土壤, 2011, 43(3): 388-391.
- JIA Zhihong, YI Jianhua, FU Jianguo, et al. Effects of phosphorus treatment on flue-cured tobacco growth physiological characteristics and root configuration[J]. Soils, 2011, 43(3): 388-391.
- [47] 王娟, 罗建新, 欧阳志标. 湖南植烟土壤磷的主要形态及其有效性[J]. 中国农学通报, 2016, 32(9): 170-173.
- WANG Juan, LUO Jianxin, OUYANG Zhibiao. Phosphorus

- forms and availability of Hunan tobacco-planting soil[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2016, 32(9): 170-173.
- [48] 李莎, 高明, 李常军, 等. 氮磷钾配施对土壤氮素累积及烤烟产量品质的影响 [J]. 西南师范大学学报 (自然科学版), 2007, 32(6): 104-108.
- LI Sha, GAO Ming, LI Chang Jun, et al. Effects of combining application of N, P, K fertilizers on cumulation of nitrogen, yield and quality of flue-cured tobacco[J]. Journal of Southwest China Normal University (Natural Science), 2007, 32(6): 104-108.
- [49] 汪璇, 吕家恪, 唐国祥, 等. 西南丘陵山区植烟土壤肥力空间分布及适宜性评价 [J]. 西南大学学报 (自然科学版), 2013, 35(7): 106-114.
- WANG Xuan, LV Jiage, TANG Guoxiang, et al. Spatial distribution of tobacco-grown soil nutrients in southwest China hilly mountainous areas and their suitability evaluation[J]. Journal of Southwest University (Natural Science), 2013, 35(7): 106-114.

Comprehensive assessment of soil quality in Xiangxi tobacco growing areas based on tobacco production

ZHANG Mingfa¹, TIAN Feng¹, LI Xiaogang^{2*}, TIAN Maocheng¹, LI Mingde³, PENG Shuguang⁴, CHAO Jin¹, CAI Yunfan¹,
WU Haiyong³, LI Shuang⁵, ZHANG Liming¹, ZHU Sanrong¹, LV Qisong¹

1 Technology Center, Xiangxi Prefectural Tobacco Company, Jishou 416000, Hunan China;

2 Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China;

3 Hunan Academy of Agricultural Sciences, Changsha 410128, China;

4 Hunan Provincial Tobacco Company, Changsha 410004, China;

5 Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002, China

Abstract: Soil physicochemical properties in tobacco growing region of Xiangxi were investigated. Minimum data set (MDS) of soil quality assessment was built based on correlation analysis and principal component analysis respectively, and distribution characteristics of soil quality were comprehensively evaluated. Results showed that soil pH and sand had weaker variation (18%), and certain microelements and available nutrient had strong variation (63%~134%). The investigated tobacco-planting soils had proper situation of pH, total N, total P, soil organic matter, sand and available S, but some available nutrients were higher and total P and certain microelements (available B, available Mo) were deficient. Soil indicators retained in MDS contained soil organic matter, sand, available K, available P and total K and available Mo. Overall, the quality of the tobacco-planting soils was good, in which 37.4% of soil samples was over grade II, and 43.8% for grade III and 18.8% for grade IV and V.

Keywords: tobacco-planting soil; soil quality; minimum data set; principal component analysis; comprehensive assessment

Citation: ZHANG Mingfa, TIAN Feng, LI Xiaogang, et al. Comprehensive assessment of soil quality in Xiangxi tobacco growing areas based on tobacco production [J]. Acta Tabacaria Sinica, 2017, 23(3)

*Corresponding author. Email: xgli@issas.ac.cn