

基于主成分分析和聚类分析的牟定植烟土壤养分特征分析

刘羿男¹, 汪应华¹, 肖毅为¹, 吴佳¹, 王永平¹, 董少坤¹, 丁从凯¹, 胡小东^{1,2}

(1. 云南省烟草公司楚雄州公司, 云南楚雄 675000; 2. 云南农业大学, 云南昆明 650201)

摘要 [目的]探索牟定县各乡镇的轮作植烟土壤养分状况,为改善楚雄州烤烟产质量和植烟土壤可持续化利用水平提供理论依据。[方法]基于长期对牟定县植烟区耕作制度调查数据的基础上,于2018年对全县7个乡镇的植烟土壤进行0~20 cm取样。检测并分析土壤有机质、pH、电导率、总氮、水解性氮、速效磷和水溶性氯。[结果]全县植烟土壤有机质含量属于云南省植烟土样同类指标的中上水平,变异较小;牟定县植烟土壤pH平均值为6.43,符合优质烤烟栽培要求,其中33.85%的土样满足烤烟最适pH区间,变异较小;全县植烟土壤电导率变异较大,但有利于水溶态离子运动和烤烟生长;全县植烟土壤养分含量变异较大,较云南省植烟土样同类指标而言,其中有机质、速效磷属于中上水平,碱解氮、全氮属于较高水平,水溶性氯属于适宜水平;全县各乡镇中,以江坡镇最能代表全县pH和养分含量水平,安乐乡次之。根据主成分分析和聚类分析结果,牟定县植烟土壤可以分为4种类型。[结论]牟定县植烟区土壤pH和主要养分含量适宜优质烤烟生产,但应控制氮、磷化肥的过量施用,减小各乡镇的养分差异,保证烟叶的稳定优产。

关键词 植烟土壤;pH;有机质;养分;牟定县

中图分类号 S158 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2023)01-0151-07

doi:10.3969/j.issn.0517-6611.2023.01.034



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

Analysis of Soil Nutrients Characteristics Based on Principal Component Analysis and Cluster Analysis in Mouding Tobacco Growing Area

LIU Yi-nan, WANG Ying-hua, XIAO Yi-wei et al (Chuxiong Company of Yunnan Provincial Tobacco Corporation, Chuxiong, Yunnan 675000)

Abstract [Objective] To explore the soil nutrient status of tobacco plantation in each township of Mouding County, and to provide scientific and theoretical basis for improving the quality of flue-cured tobacco production and sustainable utilization of tobacco plantation soil in Chuxiong. [Method] Based on the long-term survey data of the cultivation system in the tobacco planting area of Mouding County, the soil of tobacco planting in seven townships in the county was sampled from 0-20 cm in 2018. Soil organic matter, pH, electrical conductivity, total nitrogen, alkali hydrolyzed nitrogen, available phosphorus and water-soluble chlorine content were detected and analyzed. [Result] The soil organic matter content of tobacco-planted soils in the county was in the middle to upper level of similar indicators of tobacco-planted soils in Yunnan Province, with small variation. The average pH of soil planted with tobacco in Mouding County was 6.43, which met the requirements of high-quality flue-cured tobacco cultivation, of which 33.85% of the soil samples met the conditions of the optimum pH range for roasted tobacco, with small variation. The soil electrical conductivity of tobacco-planted soils in the county was highly variable, but it was favorable to the movement of water-soluble ions and the growth of flue-cured tobacco. The nutrient content of tobacco-planted soils in the county was highly variable, among which soil organic matter and available phosphorus were in the middle to upper level, alkali hydrolyzed nitrogen and total nitrogen were in the higher level, and water-soluble chloride was in the appropriate level compared with similar indicators of tobacco-planted soil samples in Yunnan Province. Among the townships in the county, Jiangpo Township best represented the county's pH, soil organic matter and nutrient content levels, and Anle Township was second. According to the results of principal component analysis and cluster analysis, the soil for tobacco planting in Mouding County could be divided into four types. [Conclusion] The soil pH, soil organic matter and main nutrient content of the tobacco planting area in Mouding County were suitable for high-quality flue-cured tobacco production, but the excessive application of nitrogen and phosphorus fertilizers should be controlled to reduce the nutrient differences between townships and ensure stable and excellent tobacco production.

Key words Tobacco planting soils;pH;Organic matter;Nutrients;Mouding County

适宜条件的植烟土壤是优质烟叶生产的基础,土壤养分是衡量土壤综合生产力的重要指标^[1],优质烟叶的生产与植烟土壤的养分状况有着密切联系,直接影响烟叶的外在和内在质量评价^[2]。

楚雄州是云南省重要的植烟地州之一,其海拔和气候因子适宜优质烟叶原料的生产^[3-4]。牟定县作为楚雄州光、热、降水条件较好的县份之一,是楚雄州主要的植烟区。牟定县2020年烟叶种植面积2733 hm²,收购烟叶110.7 t,上等烟比例70%以上,烟叶收购等级合格率80%以上,综合等级纯度90%以上,国家局工商交接合格率达到全省平均水平,等级质量和品种纯度符合工业卷烟配方需要^[5]。

酸碱度是土壤化学性质和综合肥力的重要指标之一,直接影响土壤物理结构稳定性、养分转化及有效性和微生物群落多样性结构^[6]。烤烟作为喜偏酸土壤的作物,优质烤烟的土壤pH是5.5~6.5^[7]。土壤电导率是反映盐分、水分、温度、有机质含量和质地结构的重要指标之一,对于土壤养分综合评价和盐基离子转运规律具有指导性意义^[8-10]。

土壤养分是土壤肥力的主要基础指标,包括有机态、水溶态和交换态等^[11]。烤烟生长过程所需的养分较多,其中有机质、氮、磷和钾作为较为主要的养分,对烤烟的生长发育起到关键性作用^[12]。近年来对于云南省各植烟区的土壤养分研究较多^[13-16],但针对楚雄州牟定县植烟土壤pH和主要养分特征分析的研究较少,科学、准确地了解牟定县植烟土壤肥力状况,对更好地利用楚雄州植烟土壤资源、改善土壤肥力、调节土壤养分供给、指导烤烟合理施肥和促进烤烟可持续生产发展具有重要意义。

基金项目 中国烟草总公司云南省公司科技项目(2020530000242029, 2022530000241029)。**作者简介** 刘羿男(1985—)男,彝族,云南姚安人,助理农艺师,农业推广硕士,从事烟草农业技术推广工作。**收稿日期** 2022-02-21

1 材料与方

1.1 研究区概况 牟定县位于云南省中北部,楚雄彝族自治州中部。地跨 101°19′~101°51′E,25°09′~25°40′N,境内最低海拔 1 140 m,最高海拔 2 897 m,县城所在地共和镇平均海拔 1 758 m;牟定县总面积 1 464 km²,下辖 4 个镇 3 个乡。牟定县地处亚热带季风气候区,常年平均气温为 15.8 ℃,年平均降雨量为 872 mm,无霜期 238 d,全年日照时数为 2 359 h。日照充足,气候温和。

1.2 云南省主要植烟区土壤养分调查 收集并分析了云南省^[2]、大理州^[17]、丽江市^[18]、施甸县^[19]、昆明市^[20]等植烟区土壤的养分含量,并与牟定县的同类别指标进行对比。

1.3 样品采集 2018年3—4月,在前茬作物采收后,烤烟移栽前,根据地貌和植烟区域分布情况,选择有代表性的地块,在全县植烟区域取样 195 个,分别是安乐乡 14 个、凤屯镇 29 个、共和镇 60 个、江坡镇 43 个、蟠猫乡 8 个、新桥镇 31 个、戍街乡 10 个。

采用梅花采样法,在植烟地块表层 0~20 cm 采集 5 个土样,四分法取约 1 kg 混合土样装于样品袋中。

前作以冬闲田、蚕豆、油菜、小麦为主,其中,前作为冬闲田的取样点有 105 个,前作为蚕豆的取样点有 34 个,前作为油菜的有 22 个,前作为小麦的有 11 个,前作为其他的有 23 个。

1.4 样品检测方法 土样经自然风干后研磨过 60 目筛,送入云南省烟草农业科学研究院实验室进行测定。有机质、pH、电导率、总氮、水解性氮、有效磷和水溶性氯分别按照 NY/T 1121.6—2006(有机质)、NY/T 1121.7—2014(有效磷)、HJ 962—2018(pH)、HJ 802—2016(电导率)、LY/T 1228—2015(总氮)、DB64 / 1734—2020(水解性氮)、NY/T 1378—2007(水溶性氯)规范测定。

1.5 数据分析 运用 IBM Statistics SPSS 22.0 和 Excel 2010 对试验数据进行描述统计分析、方差分析、主成分分析和聚类分析。主成分分析,首先对同一类别指标在对数据进行正态性检验后,采用 Z-Score 消除量纲来解释原变量的协方差结构;其次采用因子分析判定 KMO 检验统计量(Kaiser-Meyer-Olkin Measure of Sampling Adequacy.) > 0.5,且 Bartlett's Test of Sphericity 相伴概率 $P < 0.05$,表明所有数据通过检验可用于主成分分析。根据初始特征值 > 1 和累计贡献率 > 80% 的原则,筛选各分析类别的主成分数目。多重比较采用 Student-Newman-Keuls 方法。

2 结果与分析

2.1 牟定县与云南省主要植烟区土壤养分比较 由表 1 可知,牟定县植烟土壤 pH、有机质、速效磷、全氮、水解性氮、水溶性氯等各项指标均处于云南省主要植烟区同类指标适中范围内。

表 1 牟定县与省内其他植烟区土壤养分比较

Table 1 Comparison of soil nutrients between Mouding County and other tobacco planting areas in the province

地区 Region	年份 Year	pH	有机质 Organic matter//g/kg	速效磷 Available phosphorus//mg/kg	水解性氮 Hydrolyzable nitrogen//mg/kg	水溶性氯 Water-soluble chlorine//g/kg	全氮 Total nitrogen//g/kg
牟定 Mouding	2018	6.43	29.61	26.01	126.91	32.44	1.91
云南滇中 The middle region of Yunnan	2012	6.16	27.88	37.25	150.93	—	1.69
丽江 Lijiang	2011—2013	6.60	40.35	30.50	187.01	—	2.09
施甸 Shidian	2009	6.75	30.40	15.59	94.67	24.52	—
大理 Dali	2014	6.39	31.59	35.70	137.60	40.00	—
昆明 Kunming	2011	6.18	32.55	37.16	122.68	25.38	1.73

2.2 牟定县植烟土壤养分状况 由表 2 可知,牟定县植烟土壤 pH 平均值为 6.43,对烤烟种植而言较为适宜;有机质、速效磷含量中上,全氮含量较高,但水解性氮相对缺乏,水溶

性氯在适宜范围内。水溶性氯和电导率变异系数较大,分别为 124.62% 和 80.57%,空间变异较大。

表 2 牟定县植烟土壤养分状况

Table 2 Nutrient status of tobacco planting soil in Mouding County

项目 Item	pH	电导率 Conductivity μS/cm	有机质 Organic matter g/kg	速效磷 Available phosphorus mg/kg	水解性氮 Hydrolyzable nitrogen//mg/kg	水溶性氯 Water-soluble chlorine//g/kg	全氮 Total nitrogen g/kg
平均数 Average	6.43	178.83	29.61	26.01	126.91	32.44	1.91
标准偏差 Standard deviation	0.96	144.08	13.25	19.94	55.78	40.43	0.75
最小值 Minimum	4.40	2.69	3.79	2.24	14.34	4.21	0.49
最大值 Maximum	8.21	857.00	95.50	160.83	413.37	250.44	5.73
变异系数 Coefficient of variation//%	14.96	80.57	44.77	76.66	43.95	124.62	39.23

2.3 牟定县各乡镇土壤养分状况 在综合分析楚雄州烟区烟草实际生产和多年烟草专用肥试验的基础上,参照云南植

烟土壤养分评价标准和相关研究^[21],确定了土壤养分丰缺评价体系(表 3)。

表 3 牟定县各乡镇植烟土壤分级标准

Table 3 Grading standards for tobacco planting soils in each township of Mouding County

级别 Level	pH	有机质 Organic matter g/kg	速效磷 Available phosphorus mg/kg	水解性氮 Hydrolyzable nitrogen//mg/kg	水溶性氯 Water-soluble chlorine//g/kg	全氮 Total nitrogen g/kg
1	<4.50(强酸性)	<10(缺乏)	<11.45(缺乏)	<60(缺乏)	<30(最适宜)	<0.75(缺乏)
2	4.50~<5.50(酸性)	10~<20(中下)	11.45~<22.90(中下)	60~<90(中下)	30~<45(适宜)	0.75~<1.00(中下)
3	5.50~<6.50(偏酸性)	20~<30(中上)	22.90~<45.80(中上)	90~<120(中上)	45~60(次适宜)	1.00~<1.50(中上)
4	6.50~7.50(中性)	30~40(较高)	45.80~91.60(较高)	120~150(较高)	>60(不适宜)	1.50~2.00(较高)
5	>7.50(碱性)	>40(丰富)	>91.60(丰富)	>150(丰富)		>2.00(丰富)

2.3.1 pH. 土壤酸碱度常影响烟草生长和施肥效果,是土壤肥力的一项指标。普遍认为,烤烟适宜的土壤 pH 为 5.5~7.0^[22]。从表 4 可以看出,牟定县各乡镇的土壤 pH 总体上均在适宜范围内,其变异系数不大,各乡镇的均值在 5.56~7.24,戌街乡的 pH 最低,均值为 5.56,蟠猫乡的 pH 平均值

最高,为 7.24。尽管牟定县大部分土壤适宜烤烟种植,pH 微酸性(pH 5.50~<6.50)的比例为 33.85%,但仍有 15.90%的土壤 pH>7.50,对这部分土壤应注意施用农家肥或有机肥,减少施用碱性肥料。

表 4 牟定县各乡镇 pH 分布

Table 4 pH distribution of each township in Mouding County

序号 No.	乡镇 Township	平均值 Average	标准偏差 Standard deviation	变异系数 Coefficient of variation//%	各区间占比 Proportion//%				
					<4.50	4.50~<5.50	5.50~<6.50	6.50~7.50	>7.50
1	安乐乡	6.22 bc	1.13	18.23	0	21.43	50.00	7.14	21.43
2	凤屯镇	6.41 bc	1.02	15.88	0	24.14	27.59	27.59	20.69
3	共和镇	6.41 bc	0.73	11.40	1.67	5.00	45.00	43.33	5.00
4	江坡镇	6.65 ab	0.88	13.18	0	11.63	27.91	41.86	18.60
5	蟠猫乡	7.24 a	0.57	7.91	0	0	12.50	62.50	25.00
6	新桥镇	6.35 bc	1.18	18.64	0	32.26	29.03	12.90	25.81
7	戌街乡	5.56 c	1.04	18.78	0	60.00	20.00	10.00	10.00
全县 Whole county		6.43	0.96	14.96	0.51	17.44	33.85	32.31	15.90

注:同列不同小写字母表示不同乡镇间差异显著($P<0.05$)。

Note: Different lowercase letters in the same column indicated significant difference between different townships at 0.05 level.

2.3.2 电导率. 土壤电导率反映了一定水分条件下土壤盐分的实际状况,在一定浓度范围内,土壤溶液含盐量与电导率呈正相关关系,溶解的盐类越多,电导率越大^[23]。土壤溶液电导率是影响植物和微生物活性的重要因素,通过电导率反映土壤盐渍化程度,可及时诊断农业生产问题^[24]。

牟定县植烟土壤 195 个取样点电导率分布情况见表 5,从表 5 可以看出,各乡镇植烟土壤电导率平均值在 74.39~

281.57 $\mu\text{S}/\text{cm}$,变异系数均在 40%以上,从全部取样点数据来看,电导率最大值为 857 $\mu\text{S}/\text{cm}$,最小值为 2.69 $\mu\text{S}/\text{cm}$,差异十分明显,说明牟定县植烟土壤电导率差异较为明显。当土壤电导率超过 600 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 时,作物根系吸收水分、养分受阻。牟定 195 个取样点中,仅有 5 个取样点的电导率超过 600 $\mu\text{S}/\text{cm}$,占比仅为 2.56%,说明牟定县的植烟土壤盐化程度较低,对烤烟种植影响较小。

表 5 牟定县各乡镇电导率分布情况

Table 5 Distribution of conductivity in each township of Mouding County

序号 No.	乡镇 Township	平均值 Average $\mu\text{S}/\text{cm}$	标准偏差 Standard deviation// $\mu\text{S}/\text{cm}$	变异系数 Coefficient of variation//%	最大值 Maximum $\mu\text{S}/\text{cm}$	最小值 Minimum $\mu\text{S}/\text{cm}$
1	安乐乡	131.18 b	102.35	78.02	410	29.10
2	凤屯镇	144.83 b	131.93	91.09	754	47.20
3	共和镇	281.57 a	183.67	65.23	857	48.20
4	江坡镇	154.25 b	72.25	46.84	320	2.69
5	蟠猫乡	140.81 b	107.03	76.01	332	4.91
6	新桥镇	110.88 b	58.78	53.01	270	41.20
7	戌街乡	74.39 b	48.97	65.83	203	31.60
全县 Whole county		178.83	144.08	80.57	857	2.69

注:同列不同小写字母表示不同乡镇间差异显著($P<0.05$)。

Note: Different lowercase letters in the same column indicated significant difference between different townships at 0.05 level.

2.3.3 有机质. 土壤有机质是土壤中最活跃的部分,是植物矿质营养的重要来源之一,是衡量肥力水平的主要标志,

是土壤肥力的物质基础。有机质能促使土壤形成团粒结构,改善土壤物理、化学及生物学过程,提高土壤的吸收性能和缓冲性能^[25]。有机质含量 10~40 g/kg 适宜于优质烟的生产,在温暖多雨的地区有机质含量高于 60 g/kg 以上也能产

出优质烟叶,关键在于氮的调控^[26]。从表 6 可以看出,牟定县各乡镇的植烟土壤有机质含量较为丰富,有 75.38% 的取样点有机质含量分布在 10~40 g/kg,低于 10 g/kg 的取样点仅占比 5.13%,高于 40 g/kg 占比 19.49%。

表 6 牟定县各乡镇有机质分布

Table 6 Distribution of organic matter in each township of Mouding County

序号 No.	乡镇 Township	平均值 Average g/kg	标准偏差 Standard deviation g/kg	变异系数 Coefficient of variation//%	各区间占比 Proportion//%				
					<10 g/kg	10~<20 g/kg	20~<30 g/kg	30~40 g/kg	>40 g/kg
1	安乐乡	28.20 bc	9.95	35.30	0	21.44	35.71	35.71	7.14
2	风屯镇	35.63 b	14.02	39.34	0	6.90	31.03	27.59	34.48
3	共和镇	35.20 b	9.15	25.98	0	3.33	26.67	41.67	28.33
4	江坡镇	26.89 bc	10.26	38.16	4.65	25.58	30.23	27.91	11.63
5	蟠猫乡	44.92 a	22.70	50.54	0	12.50	0	37.50	50.00
6	新桥镇	16.19 d	7.49	46.26	19.35	48.39	29.03	3.23	0
7	戌街乡	21.55 cd	11.86	55.05	20.00	50.00	0	20.00	10.00
全县 Whole county		29.61	13.25	44.77	5.13	20.00	26.66	28.72	19.49

注:同列不同小写字母表示不同乡镇间差异显著($P < 0.05$)。

Note: Different lowercase letters in the same column indicated significant difference between different townships at 0.05 level.

2.3.4 全氮。氮是决定烟草产量及品质最重要的营养元素,烟株生长的农艺性状、产质量和内在化学成分、致香物质和品吸效果均取决于土壤氮的供应。从表 7 可以看出,牟定县各乡镇的全氮平均值在 1.38~3.02 g/kg,属于中上到丰富

水平,全县仅有 3.59% 的取样点全氮属于缺乏水平,43.59% 取样点全氮含量属于丰富水平,说明牟定县植烟土壤的供氮潜力较好,在生产中要注意控制氮肥水平。

表 7 牟定县各乡镇全氮分布情况

Table 7 Distribution of total nitrogen in each township of Mouding County

序号 No.	乡镇 Township	平均值 Average g/kg	标准偏差 Standard deviation g/kg	变异系数 Coefficient of variation//%	各区间占比 Proportion//%				
					<0.75 g/kg	0.75~<1.00 g/kg	1.00~<1.50 g/kg	1.50~2.00 g/kg	>2.00 g/kg
1	安乐乡	1.90 b	0.50	26.24	0	0	28.57	28.57	42.86
2	风屯镇	2.28 b	0.71	31.15	0	0	13.79	27.59	58.62
3	共和镇	2.13 b	0.50	23.48	0	0	8.33	33.33	58.33
4	江坡镇	1.82 b	0.68	37.58	4.65	4.65	30.23	20.93	39.53
5	蟠猫乡	3.02 a	1.36	45.10	0	0	12.50	0	87.50
6	新桥镇	1.16 c	0.37	31.86	12.90	22.58	41.94	19.35	3.23
7	戌街乡	1.38 c	0.57	41.70	10.00	10.00	50.00	10.00	20.00
全县 Whole county		1.91	0.75	39.23	3.59	5.13	23.08	24.62	43.59

注:同列不同小写字母表示不同乡镇间差异显著($P < 0.05$)。

Note: Different lowercase letters in the same column indicated significant difference between different townships at 0.05 level.

2.3.5 水解性氮。土壤水解性氮是植物可以直接吸收利用的水溶性氮,其含量与植物生长具有密切的关系,是土壤肥力的重要指标。从表 8 可以看出,牟定县各乡镇的水解性氮平均值在 83.41~145.79 mg/kg,属于中上到丰富水平,全县

仅有 17.44% 取样点水解性氮属于缺乏水平。各乡镇中,风屯、共和和蟠猫 3 个乡镇水解性氮含量超过 150 mg/kg 的取样点占比较高,需要在施肥时注意控制氮肥用量。

表 8 牟定县各乡镇水解性氮分布情况

Table 8 Distribution of hydrolytic nitrogen in each township of Mouding County

序号 No.	乡镇 Township	平均值 Average mg/kg	标准偏差 Standard deviation mg/kg	变异系数 Coefficient of variation//%	各区间占比 Proportion//%				
					<60 mg/kg	60~<90 mg/kg	90~<120 mg/kg	120~150 mg/kg	>150 mg/kg
1	安乐乡	115.17 bc	52.55	45.62	14.28	14.29	21.43	28.57	21.43
2	风屯镇	145.79 b	48.39	33.19	3.46	13.79	10.34	31.03	41.38
3	共和镇	143.14 b	43.41	30.33	0	3.33	26.67	33.33	36.67
4	江坡镇	123.60 bc	60.89	49.26	2.33	30.23	23.26	18.60	25.58
5	蟠猫乡	184.53 a	97.99	53.11	0	12.50	0	37.50	50.00
6	新桥镇	83.41 c	31.15	37.35	29.04	29.03	22.58	19.35	0
7	戌街乡	94.24 c	40.11	42.56	20.00	30.00	20.00	20.00	10.00
全县 Whole county		126.91	55.78	43.95	7.69	17.44	21.03	26.67	27.18

注:同列不同小写字母表示不同乡镇间差异显著($P < 0.05$)。

Note: Different lowercase letters in the same column indicated significant difference between different townships at 0.05 level.

2.3.6 速效磷。磷是植物必需营养元素之一,参与组成烤烟体内许多重要化合物,对植物的抗逆性具有重要作用,因土壤对磷有很强的化学固定能力,一般土壤的供磷水平通常用速效磷含量表示。由表 9 可知,牟定县植烟土壤速效磷含量

在缺乏和中下的占比 53.33%,中上至丰富的占比 46.67%。戌街乡速效磷含量平均为 14.76 mg/kg,中下和缺乏占比 90%,要注意肥料配方中调整磷肥比例。全县速效磷变异系数为 76.66%,属于强变异,说明牟定县速效磷含量空间变异较大。

表 9 牟定县各乡镇速效磷分布情况

Table 9 Distribution of available phosphorus in each township of Mouding County

序号 No.	乡镇 Township	平均值 Average mg/kg	标准偏差 Standard deviation mg/kg	变异系数 Coefficient of variation/%	各区间占比 Proportion/%				
					<11.45 mg/kg	11.45~<22.90 mg/kg	22.90~<45.80 mg/kg	45.80~91.60 mg/kg	>91.60 mg/kg
1	安乐乡	25.39 a	21.26	83.75	28.57	35.71	21.43	14.29	0
2	风屯镇	20.64 a	15.05	72.94	27.59	37.93	31.03	3.45	0
3	共和镇	30.37 a	16.17	53.26	8.33	25.00	53.34	13.33	0
4	江坡镇	28.15 a	22.07	78.39	16.28	37.21	30.23	13.95	2.33
5	蟠猫乡	33.87 a	51.68	152.57	25.00	50.00	12.50	0	12.50
6	新桥镇	21.53 a	13.43	62.41	35.49	22.58	35.48	6.45	0
7	戌街乡	14.76 a	6.29	42.64	30.00	60.00	10.00	0	0
全县 Whole county		26.01	19.94	76.66	20.51	32.82	35.90	9.74	1.03

注:同列不同小写字母表示不同乡镇间差异显著($P < 0.05$)。

Note: Different lowercase letters in the same column indicated significant difference between different townships at 0.05 level.

2.3.7 水溶性氯。氯是烟草必需的微量元素,但烟草对氯比较敏感,氯肥供应过量时,叶片厚而脆,弹性不足,燃烧性下降,品质变劣。由表 10 可知,牟定县水溶性氯总体情况较好,全县近 70%均在最适宜范围内,但仍有 13.85%在不适宜范围内,应引起重视。全县水溶性氯变异系数为 124.62%,

属于强变异,说明牟定县水溶性氯含量空间变异较大。各乡镇中,共和镇平均含量为 53.60 g/kg,变异系数 85.53%,总体含量偏高,变异系数在各乡镇中最小,因为共和镇近年来蔬菜种植区规模逐步扩大,与植烟区域重合度较高,对植烟土壤水溶性氯离子影响较大。

表 10 牟定县各乡镇水溶性氯分布情况

Table 10 Distribution of water soluble chlorine in each township of Mouding County

序号 No.	乡镇 Township	平均值 Average g/kg	标准偏差 Standard deviation g/kg	变异系数 Coefficient of variation/%	各区间占比 Proportion/%			
					<30 g/kg	30~<45 g/kg	45~60 g/kg	>60 g/kg
1	安乐乡	22.73 ab	25.14	110.60	71.43	14.29	7.14	7.14
2	风屯镇	17.61 ab	20.49	116.40	86.21	6.90	3.45	3.45
3	共和镇	53.60 a	45.84	85.53	36.67	16.67	16.67	30.00
4	江坡镇	31.69 ab	39.58	124.92	74.42	11.63	4.65	9.30
5	蟠猫乡	44.67 ab	83.41	186.71	87.50	0	0	12.50
6	新桥镇	11.80 b	10.52	89.16	96.77	0	0	3.23
7	戌街乡	19.56 ab	22.73	116.19	90.00	0	0	10.00
全县 Whole county		32.44	40.43	124.62	69.23	9.74	7.18	13.85

注:同列不同小写字母表示不同乡镇间差异显著($P < 0.05$)。

Note: Different lowercase letters in the same column indicated significant difference between different townships at 0.05 level.

2.4 牟定县各乡镇土壤养分状况主成分分析 为明确各个养分指标的相对重要性,应用 SPSS 22.0 统计软件对土壤中 7 个养分指标进行了主成分分析^[27]。从表 11 可以看出,各个公因子的方差比,仅速效磷的提取比例为 57.6%,其他 6 个变量的提取量均超过 80%,说明总体上各变量的信息提取比较充分。

表 11 各公因子方差比

Table 11 Variance ratio of different factors

标准化变量 Standardized variable	起始 Origination	提取比例 Extraction proportion
Zscore(pH)	1.000	84.6
Zscore(电导率)	1.000	85.1
Zscore(有机质)	1.000	90.3
Zscore(速效磷)	1.000	57.6
Zscore(水解性氮)	1.000	93.0
Zscore(水溶性氯)	1.000	82.7
Zscore(全氮)	1.000	93.3

所有特征根及其占相应特征根的百分比(贡献率)和累计百分比见表 12(按从大到小的顺序排列)。第一个主成分的特征根为 3.726,贡献率为 53.234%;第二个主成分的特征根为 1.164,贡献率为 16.629%;第三主成分的特征根为 0.975,贡献率为 13.928%,三者累计贡献率为 83.791%,超过 80%,因此,确定选取 3 个主成分。第一主成分主要包含有机质、速效磷、水解性氮、水溶性氯和全氮的信息,具有较大的载荷;第二主成分主要包含 pH、电导率和水溶性氯的信息;第三主成分主要包括水溶性氯、pH 和电导率的信息(表 13)。

在 SPSS 中计算 3 个主成分的综合得分。由 SPSS 根据成分得分系数矩阵(表 14)自动计算,得到每个主成分的结果分别是 FAC1、FAC2 和 FAC3。然后按照以下公式计算综合得分:综合得分 $F = (\text{主成分 1 对应的方差百分比}) / (\text{总方差百分比}) \times \text{FAC1} + (\text{主成分 2 对应的方差百分比}) / (\text{总方差百分比}) \times \text{FAC2} + (\text{主成分 3 对应的方差百分比}) / (\text{总方差百分比}) \times \text{FAC3}$ 。

百分比)×FAC2+(主成分 3 对应的方差百分比)/(总方差百分比)×FAC3。

表 12 各变量的特征根及相应的贡献率

Table 12 Characteristic roots and corresponding contribution rates of variables

成分 Component	初始特征值 Initial characteristic value			提取平方和载入 Extract square sum load		
	总计	贡献率 %	累计贡献率/%	总计	贡献率 %	累计贡献率/%
1	3.726	53.234	53.234	3.726	53.234	53.234
2	1.164	16.629	69.863	1.164	16.629	69.863
3	0.975	13.928	83.791	0.975	13.928	83.791
4	0.651	9.298	93.089			
5	0.348	4.971	98.060			
6	0.099	1.421	99.481			
7	0.036	0.519	100.000			

表 13 3 个主成分的特征向量

Table 13 Eigenvectors of the three principal components

标准化变量 Standardized variable	成分 Component		
	1	2	3
Zscore(pH 值)	0.189	0.753	0.492
Zscore(电导率)	0.546	0.601	-0.437
Zscore(有机质)	0.924	-0.051	0.219
Zscore(速效磷)	0.638	-0.388	-0.134
Zscore(水解性氮)	0.917	-0.237	0.181
Zscore(水溶性氯)	0.666	0.147	-0.601
Zscore(全氮)	0.920	-0.062	0.286

表 14 成分得分系数矩阵

Table 14 Component score coefficient matrix

标准化变量 Standardized variable	成分 Component		
	1	2	3
Zscore(pH)	-0.002	-0.037	0.822
Zscore(电导率)	-0.192	0.651	0.169
Zscore(有机质)	0.308	-0.073	0.116
Zscore(速效磷)	0.216	0.019	-0.335
Zscore(水解性氮)	0.347	-0.123	-0.036
Zscore(水溶性氯)	-0.090	0.601	-0.242
Zscore(全氮)	0.333	-0.129	0.149

2.5 牟定县各乡镇土壤养分状况聚类分析 聚类分析作为一种探索性的分类方法,是一种建立分类的多元统计分析方法,它能够将一批样本(或变量)数据根据其诸多特征,按照性质上的亲疏程度在没有先验知识的情况下进行自动分类,产生多个分类结果^[27]。为减少土壤养分分类的指标数量,保证样品分类结果的可信度与科学性,将主成分分析的结果(即 195 个样品的 3 个主成分的综合得分)进行聚类分析。在方法上采用组之间的链接,采用平方 Euclidean 距离方法,3 个主成分的综合得分为聚类变量,可将 195 个样品分成四大类,聚类结果见图 1。

4 类土壤特性见表 15,其土壤养分特性具有明显差异:I 类占比 43.08%,pH 居中;电导率高;氯离子、有机质、速效

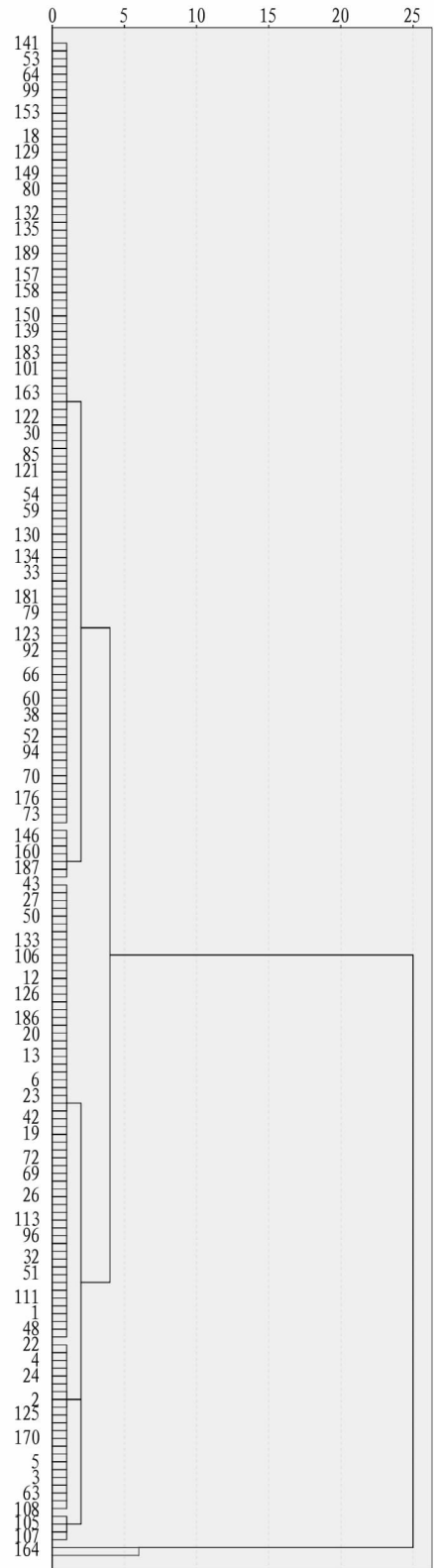


图 1 195 个土壤样品聚类分析

Fig. 1 Cluster diagram of 195 soil samples

磷、水解性氮和全氮居中;II类占比 55.90%,pH 较低;电导率居中;有机质、速效磷、水解性氮和全氮较低;III类占比 0.51%,pH 居中;电导率较低;有机质、速效磷、氯离子、水解性氮和全氮含量较高;IV类占比 0.51%,pH 较高;电导率较低;有机质、速效磷、氯离子、水解性氮和全氮含量最高。

表 15 各类别土壤主要养分指标

Table 15 Main nutrient indexes of different types of soils

分类 Category	pH	电导率 Conductivity μS/cm	有机质 Organic matter g/kg	速效磷 Available phosphorus mg/kg	水解性氮 Hydrolyzable nitrogen mg/kg	水溶性氯 Water-soluble chlorine g/kg	全氮 Total nitrogen g/kg	样品数 Sample number
I	6.738	272.554	39.895	30.720	161.327	47.354	2.477	84
II	6.180	109.882	20.908	20.301	95.162	17.017	1.424	109
III	6.760	2.690	47.340	118.080	413.370	242.920	3.740	1
IV	7.380	4.910	95.500	160.830	410.510	250.440	5.730	1
全县 Whole county	6.429	178.868	29.605	26.012	126.913	32.441	1.912	195

3 结论

该研究结果表明,牟定县植烟土壤综合养分情况较为适宜,全县 7 个乡镇的相关指标较为合理,均为适宜植烟区域。牟定县各乡镇的土壤 pH 总体上都在适宜范围内,且变异系数不大,但要注意部分地区 pH 偏高,需要注意避免施用碱性肥料,适当增施农家肥或有机无机复合肥进行调节;牟定植烟土壤电导率较为适宜,说明土壤盐化程度较低,但电导率空间分布差异较为明显。

牟定植烟土壤的有机质含量较为丰富,但戛街和新桥有机质含量较低;牟定县植烟土壤的全氮和水解性氮表明供氮潜力和能力较好,在生产中要注意采取适当的控氮措施,控制氮肥水平,避免烟株生长后期因氮素过多推迟落黄,增加烘烤难度,降低内在品质。

牟定县有近 50% 的植烟土壤速效磷含量丰富,但空间变异较大,戛街乡速效磷含量较低,在施肥中应适当补充;烟草对氯反应比较灵敏,土壤含氯量过低会对烟草生长不利,但过高会影响烟叶含氯量^[28]。我国一般要求烟叶中含氯量小于 1%,以 0.3%~0.8% 为宜。牟定县植烟土壤中水溶性氯总体情况较好,但要注意空间变异较大,且共和镇的水溶性氯含量偏高、变异较强。

按照主成分分析和聚类分析结果,牟定县植烟土壤可以分为 4 类,但 98.98% 的植烟土壤分为 2 类,这 2 类的 7 个指标基本在适宜范围内,但第 1 类要注意水溶性氯和电导率稍微偏高。

参考文献

- [1] 胡国松,傅建政,张丙孝,等.目前我国烤烟烟叶质量的若干限制因子[J].中国烟草科学,1999,20(4):12-15.
- [2] 胡玲,周丽娟,王娟,等.云南烟区植烟土壤养分状况综合评价[J].河南农业科学,2014,43(7):52-59.
- [3] 林昆,马林,罗华元,等.云南烟区原料差异化烟叶生产基地生态环境探究[J].昆明学院学报,2010,32(6):1-5.
- [4] 鲁永新,王恩超,张映翠,等.楚雄州烤烟的种植生态区划[J].烟草科技,2009,42(2):57-60.
- [5] 牟定县人民政府.牟定县人民政府关于 2020 年烟叶工作的意见[EB/

- OL].(2020-07-06)[2020-07-06].http://www.mdx.gov.cn/info/egovinfo/1007/overt_cencent/11532323015172622Y-/2020-0806002.htm.
- [6] VANLAUWE B,DESCHEEMAER K,GILLER K E et al. Integrated soil fertility management in sub-Saharan Africa: Unravelling local adaptation[J]. SOIL,2015,1(1):491-508.
- [7] 周炼川,徐天养,张长征,等.文山烟区植烟土壤 pH 分布特点及其与主要养分的相关关系[J].中国烟草学报,2014,20(1):61-64.
- [8] 李成保,季国亮,孔晓玲.红壤耕层电导率动态变化的初步研究[J].土壤,1997,29(3):156-157,160.
- [9] 尹辉,李晖,蒋忠诚,等.广西果化岩溶区土壤电导率的空间异质性[J].中国沙漠,2014,34(3):786-794.
- [10] 尹建道,生愿喜久雄,龚洪柱,等.山东滨海地区盐碱地土壤分析研究[J].林业科技通讯,1998(6):13-16.
- [11] 陆欣,谢英荷.土壤肥科学[M].2版.北京:中国农业大学出版社,2011.
- [12] 梁红.重庆植烟土壤肥力特征及评价[D].重庆:西南大学,2014.
- [13] 李晓婷,张静,吕凯,等.云南省植烟土壤理化性状及其相关性研究[J].西南大学学报(自然科学版),2018,40(10):1-11.
- [14] 谭智勇,周冀衡,王超,等.云南保山市植烟土壤养分含量及肥力适应性评价[J].湖南农业大学学报(自然科学版),2013,39(4):429-434,444.
- [15] 许自成,杜娟,解燕,等.云南曲靖土壤因素对烤烟风格和品质的影响[J].中国生态农业学报,2011,19(6):1277-1282.
- [16] 孙永波,张四杰,段恒曦,等.德宏州植烟土壤养分丰缺状况评价[J].安徽农业科学,2021,49(5):151-154,188.
- [17] 黄俊杰,杨志娟,李世琛,等.大理红塔植烟基地土壤养分状况分区评价[J].土壤通报,2016,47(2):384-390.
- [18] 蔡寒玉,廖文程,李兰周,等.云南丽江植烟土壤养分状况综合评价[J].云南农业大学学报(自然科学),2016,31(2):341-347.
- [19] 何轶,何伟,周冀衡,等.云南施甸烟区植烟土壤养分状况综合评价[J].湖南农业大学学报(自然科学版),2009,35(5):537-541.
- [20] 邱学礼,高福宏,李忠环,等.昆明市植烟土壤肥力状况评价[J].中国土壤与肥料,2012(5):11-16.
- [21] 邵岩.基于 GIS 的云南烤烟种植区划研究[M].北京:科学出版社,2009:39-50.
- [22] 陈江华,李志宏,刘建利,等.全国主要烟区土壤养分丰缺状况评价[J].中国烟草学报,2004,10(3):14-18.
- [23] 鲍士旦.土壤化学分析[M].3版.北京:中国农业出版社,2000.
- [24] 张华,张甘霖.土壤质量指标和评价方法[J].土壤,2001,33(6):326-330,333.
- [25] 谢德体.土壤肥科学[M].北京:中国林业出版社,2004:43.
- [26] 徐宝,夏立峰.土壤有机质对烟叶品质的影响[J].中国新技术新产品,2009(3):153.
- [27] 赵月玲,林玉玲,曹丽英,等.基于主成分分析和聚类分析的土壤养分特性研究[J].华南农业大学学报,2013,34(4):484-488.
- [28] 王瑞新.烟草化学[M].北京:中国农业出版社,2003:149.