

胡蓉花, 尼金玉, 肖子康, 等. 基于主成分及聚类分析江西吉安植烟区土壤主要养分含量[J]. 江苏农业科学, 2021, 49(15): 231–238.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2021.15.042

# 基于主成分及聚类分析江西吉安植烟区 土壤主要养分含量

胡蓉花<sup>1</sup>, 尼金玉<sup>2</sup>, 肖子康<sup>1</sup>, 李红霞<sup>3</sup>, 王 俊<sup>2</sup>, 杨帅强<sup>2</sup>, 沈雪婷<sup>4</sup>, 韩助君<sup>5</sup>, 刘齐元<sup>2</sup>

(1. 江西省烟草公司吉安市公司, 江西吉安 343000; 2. 江西农业大学农学院, 江西南昌 330000;  
3. 吉安市烟草公司峡江分公司, 江西峡江 331409; 4. 吉安市烟草公司安福分公司, 江西安福 343200;  
5. 吉安市烟草公司永丰分公司, 江西永丰 331513)

**摘要:**根据江西省吉安市 3 个主产烟区 22 个乡镇 97 个村的 154 份植烟土壤样品的主要养分状况和大中微量元素调查结果, 分析吉安市植烟土壤养分状况, 并对 22 个乡镇 97 个村的植烟土壤进行主成分分析和聚类分析。结果表明: (1) 植烟区土壤平均 pH 值为 5.74, 适宜烤烟种植。土壤有机质含量较为丰富, 平均含量为 31.88 g/kg。土壤水解性氮含量较为丰富, 62.35% 的土壤在适宜烤烟种植范围内, 69.48% 的土壤速效钾含量低于 150 mg/kg, 处于偏低范围内。(2) 土壤交换性钙与交换性镁含量尚为丰富, 微量元素有效硼和有效锰含量较低, 有效铜和有效锌含量偏高, 有效铁、水溶性氯含量极高。(3) 主成分分析和聚类分析显示, 将 97 个村的植烟土壤采用聚类分析最短距离法分成 3 类。Ⅰ类区土壤呈弱酸性、富含有机质, 土壤养分含量中等; Ⅱ类区土壤呈弱酸性、有机质含量较另外 2 区偏低, 土壤养分含量整体偏低; Ⅲ类区土壤基本呈中性, 土壤整体养分含量较高。

**关键词:**烤烟; 土壤养分; 大中微量元素; 适宜性; 主成分分析; 聚类分析

**中图分类号:** S572.06 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2021)15-0231-08

土壤肥力是影响土壤质量的重要指标, 而土壤主要养分含量与土壤肥力密切相关<sup>[1-2]</sup>。不同栽培模式<sup>[3]</sup>、施肥方式<sup>[4-5]</sup>与土壤类型<sup>[6]</sup>导致不同地区

的土壤养分含量产生差异。土壤养分含量的丰缺程度直接影响烤烟生长发育, 进而影响烤烟的产质量<sup>[7-8]</sup>。适宜的土壤肥力是保障优质烟叶生产的根本, 因此, 正确认识与科学评估土壤肥力是准确了解土壤本质及提高作物生产力的手段, 从而有助于可持续的集约化<sup>[9-10]</sup>。

江西省吉安市烟草生产主要分布在峡江县、安福县和永丰县, 以水稻田为主。其中, 峡江县以鳊泥田、潮沙泥田、黄泥田和麻沙泥田为主; 安福县以麻沙泥田、黄沙泥田、黄泥田为主; 永丰县以潮沙泥田、麻沙泥田和红沙泥田为主, 剔除人为因素影响,

收稿日期: 2020-09-25

基金项目: 国家自然科学基金地区科学基金(编号: 31960418); 江西省吉安市烟草专卖局科技项目(编号: 吉烟科[2018]4号)。

作者简介: 胡蓉花(1970—), 女, 江西吉安人, 高级农艺师, 主要从事烤烟生产技术与推广研究, E-mail: 1908479316@qq.com; 共同第一作者: 尼金玉(1994—), 男, 河南漯河人, 硕士研究生, 主要从事作物栽培学与作物生理生化研究, E-mail: nijinyund@163.com。通信作者: 刘齐元, 博士, 教授, 主要从事作物生理生态与遗传育种研究。E-mail: qiyuanl@126.com。

(11): 110–112.

[13] Groenestein C M, van Faassen. Volatilization of ammonia, nitrous oxide and nitric oxide in deep-litter systems for fattening pigs[J]. Journal of Agricultural Engineering Research, 1996, 65: 269–274.

[14] 吴梦婷, 梅 娟, 苏良湖, 等. 硫酸亚铁和过磷酸钙对牛粪秸秆混合堆肥氮损失和腐殖化的影响[J]. 生态与农村环境学报, 2020, 36(10): 1353–1361.

[15] 唐景春, 孙 青, 王如刚, 等. 堆肥过程中腐植酸的生成演化及应用研究进展[J]. 环境污染与防治, 2010, 32(5): 73–77.

[16] 姚 武, 顾燕青, 巫 阳, 等. 畜粪堆肥过程中腐殖质形成特征研究进展[J]. 杭州师范大学学报(自然科学版), 2014, 13(5): 517–522.

[17] Bernal M P, Albuquerque J A, Moral R. Composting of animal manures and chemical criteria for compost maturity assessment: a review[J]. Bioresource Technology, 2009, 100(22): 5444–5453.

[18] Adani F, Genevini P L, Crasperi F, et al. A new index of organic matter stability[J]. Compost Sci Util, 1995, 3(2): 25–37.

[19] Wu J, Zhao Y, Zhao W, et al. Effect of precursors combined with bacteria communities on the formation of humic substances during different materials composting[J]. Bioresource Technology, 2017, 226: 191–199.

[20] 曹 云, 黄红英, 吴华山, 等. 猪粪稻秸超高温预处理促进后续堆肥腐殖化条件优化[J]. 中国环境科学, 2019, 39(5): 2055–2062.

成土母质养分含量往往决定了土壤养分含量<sup>[10-11]</sup>。因此,通过对吉安市烟草主产区土壤主要养分含量的普查、筛选以及丰缺度评价,对于吉安市植烟精准施肥、合理施肥以及提高生产效益具有重要影响。对吉安市植烟区土壤养分含量进行主成分分析并对土壤肥力综合指标进行排序,可为吉安市烟草种植可持续健康发展提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 土壤样品的采集

土壤样品取样于 2018 年 11 月,根据不同主产烟区土壤类型、烟田分布以及耕种制度,取具有代表性的混合土样 154 份(峡江县 66 份、安福县 42 份、永丰县 46 份)。在每个取样单元内,采取“S”路线多点取样,然后制成一个约 1 kg 的混合土样。自然风干,研磨过 60 目筛,供土壤指标测定。

1.2 土壤样品的测定分析

土壤样品测定分析在江西省农业科学院完成,测定项目包括有机质<sup>[12]</sup>、水解性氮<sup>[13]</sup>、有效磷<sup>[12]</sup>、速效钾<sup>[12]</sup>、交换性镁<sup>[12]</sup>、交换性钙<sup>[12]</sup>、有效硼<sup>[12]</sup>、有效硫<sup>[12]</sup>、有效铜<sup>[14]</sup>、有效锌<sup>[14]</sup>、有效铁<sup>[14]</sup>、有效锰<sup>[14]</sup>和水溶性氯<sup>[12]</sup>含量及 pH 值<sup>[12]</sup> 14 项指标。采

用电位法(1:2.5 的土水比)测定土壤的 pH 值;重铬酸钾容量法测定土壤有机质含量;碱解扩散法测定土壤水解性氮含量;Olsen 法测定速效磷含量;乙酸铵浸提-火焰光度法测定速效钾含量;乙酸铵浸提-原子吸收分光光度法测定交换性钙、交换性镁含量;氯化钙提取-硫酸钡比浊法测定有效硫含量;姜黄素比色法测定有效硼含量;二乙基三胺五乙酸(DTPA)浸提-原子吸收分光光度法测定有效铜、有效锌、有效铁、有效锰含量;硝酸银容量法测定水溶性氯含量。

1.3 土壤养分含量指标主成分分析与聚类分析  
运用 SPSS 25.0 及 Excel 2010 对试验数据进行统计。

2 结果与分析

2.1 植烟土壤养分分级

在综合分析吉安市烟区烟草实际生产和多年烟草专用肥试验的基础上,参照我国植烟土壤养分评价标准和相关研究<sup>[15-17]</sup>,确定了土壤养分丰缺评价体系(表 1)。这一体系的建立对于指导吉安市烟草种植精准施肥具有重要的意义。

表 1 吉安市植烟土壤的主要养分指标与等级

| 等级 | pH 值      | 有机质含量<br>(g/kg) | 水解性氮<br>含量(mg/kg) | 有效磷含量<br>(mg/kg) | 速效钾含量<br>(mg/kg) | 交换性钙含量<br>(mg/kg) | 交换性镁含量<br>(mg/kg) |
|----|-----------|-----------------|-------------------|------------------|------------------|-------------------|-------------------|
| 极低 | <4.50     | —               | <65.00            | <5.00            | <80.00           | <400.00           | <50.00            |
| 低  | 4.50~5.50 | <15.00          | 65.00~100.00      | 5.00~10.00       | 80.00~150.00     | 400.00~800.00     | 50.00~100.00      |
| 适宜 | 5.51~6.50 | 15.00~25.00     | 100.01~180.00     | 10.01~20.00      | 150.01~220.00    | 800.01~1 200.00   | 100.01~200.00     |
| 高  | 6.51~7.50 | 25.01~35.00     | 180.01~240.00     | 20.01~30.00      | 220.01~350.00    | 1 200.01~2 000.00 | 200.01~400.00     |
| 很高 | >7.50     | >35.00          | >240.00           | >30.00           | >350.00          | >2 000.00         | >400.00           |

| 等级 | 水溶性氯<br>含量(mg/kg) | 有效硼含量<br>(mg/kg) | 有效硫含量<br>(mg/kg) | 有效铜含量<br>(mg/kg) | 有效锌含量<br>(mg/kg) | 有效铁含量<br>(mg/kg) | 有效锰含量<br>(mg/kg) |
|----|-------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| 极低 | <5.00             | <0.25            | <5.00            | <0.20            | <0.50            | <2.50            | <5.00            |
| 低  | 5.00~10.00        | 0.25~0.50        | 5.00~10.00       | 0.20~0.50        | 0.50~1.00        | 2.50~4.50        | 5.00~10.00       |
| 适宜 | 10.01~20.00       | 0.51~1.00        | 10.01~20.00      | 0.51~1.00        | 1.01~2.00        | 4.51~10.00       | 10.01~20.00      |
| 高  | 20.01~30.00       | 1.01~2.00        | 20.01~40.00      | 1.01~3.00        | 2.01~4.00        | 10.01~60.00      | 20.01~40.00      |
| 很高 | >30.00            | >2.00            | >40.00           | >3.00            | >4.00            | >60.00           | >40.00           |

2.2 植烟土壤养分丰缺状况与评价

2.2.1 土壤 pH 值 对优质烤烟生产而言,最适宜的土壤酸碱度为 5.50~6.50<sup>[18]</sup>。综合表 1 和表 2 可以看出,吉安市烟区土壤偏酸性,比较适合烤烟种植,pH 值平均为 5.74,适宜烤烟种植的土壤占 62.34%。峡江县烟区土壤酸碱度 pH 值平均为

5.57,适宜烤烟种植的土壤只占 51.51%,pH 值低的土壤比例相对较高,为 45.45%。安福县和永丰县土壤 pH 值平均分别为 5.91 和 5.76,适宜烤烟种植的土壤分别占 64.28% 和 76.09%,而安福县 pH 值高的土壤所占比例较高,为 14.29%。因此,仅就酸碱度而言,吉安市植烟土壤应该适当提高 pH 值,

表 2 植烟区土壤 pH 值的不同等级所占比例

| 烟区  | 各级比例(%) |       |       |       |    | 平均值         | 变异系数 (%) |
|-----|---------|-------|-------|-------|----|-------------|----------|
|     | 极低      | 低     | 适宜    | 高     | 很高 |             |          |
| 峡江县 | 0       | 45.45 | 51.51 | 3.04  | 0  | 5.57 ± 0.44 | 7.81     |
| 安福县 | 0       | 21.43 | 64.28 | 14.29 | 0  | 5.91 ± 0.47 | 8.06     |
| 永丰县 | 0       | 19.57 | 76.09 | 4.34  | 0  | 5.76 ± 0.38 | 6.65     |
| 吉安市 | 0       | 31.17 | 62.34 | 6.49  | 0  | 5.74 ± 0.51 | 8.73     |

满足烤烟生长对 pH 值的需求。

2.2.2 土壤有机质 土壤有机质含量过高或过低,均不利于烤烟的正常生长。由表 3 可知,吉安市植烟土壤有机质含量总体较丰富,平均含量达 31.88 g/kg;峡江县、安福县与永丰县土壤有机质平均含量分别为 33.46、32.49、29.55 g/kg,有机质含量大于 25.00 g/kg 分别占 83.33%、85.71% 和 73.91%。大于 35.00 g/kg 的土壤分别占 45.46%、30.95% 和 17.39%。永丰县和安福县的土壤有机质含量较适宜,峡江县的变异系数大,表明不同土壤类型、不同区域的有机质含量差异较大。

表 3 植烟土壤有机质含量不同等级所占比例

| 烟区  | 各级比例(%) |       |       |       | 平均值 (g/kg)   | 变异系数 (%) |
|-----|---------|-------|-------|-------|--------------|----------|
|     | 低       | 适宜    | 高     | 很高    |              |          |
| 峡江县 | 1.52    | 15.15 | 37.87 | 45.46 | 33.46 ± 8.57 | 25.62    |
| 安福县 | 0       | 14.29 | 54.76 | 30.95 | 32.49 ± 5.27 | 16.23    |
| 永丰县 | 0       | 26.09 | 56.52 | 17.39 | 29.55 ± 6.18 | 20.92    |
| 吉安市 | 0.65    | 18.18 | 48.05 | 33.12 | 31.88 ± 7.15 | 22.43    |

2.2.3 土壤水解性氮、有效磷和速效钾 由表 4 可知,吉安市烟区土壤水解性氮含量平均为 168.99 mg/kg,有 32.47% 的土壤水解性氮含量偏高。峡江县、安福县和永丰县土壤水解性氮平均含量分别为 175.71、191.08、133.64 mg/kg。永丰县烟区土壤水解性氮含量比较适宜,安福县整体偏高。峡江县和安福县烟区土壤有效磷平均含量分别为 37.34、32.83 mg/kg,分别有 95.45% 和 73.81% 的土壤有效磷含量偏高;永丰县土壤有效磷含量较为适宜。就速效钾含量而言,峡江县、安福县和永丰县含量均偏低,其中峡江县和永丰县土壤速效钾含量低等级比例分别占 78.79% 和 80.44%,缺钾较为严重。因此,3 个县主烟区在烤烟生产过程中必须通过增施钾肥来提高烤烟对钾元素的需求。

表 4 植烟土壤水解性氮、有效磷和速效钾含量不同等级所占比例

| 养分   | 烟区  | 各级比例(%) |       |       |       |       | 平均值 (mg/kg)    | 变异系数 (%) |
|------|-----|---------|-------|-------|-------|-------|----------------|----------|
|      |     | 极低      | 低     | 适宜    | 高     | 很高    |                |          |
| 水解性氮 | 峡江县 | 0       | 1.52  | 62.12 | 30.31 | 6.05  | 175.71 ± 59.31 | 33.75    |
|      | 安福县 | 0       | 2.38  | 35.72 | 52.38 | 9.52  | 191.08 ± 42.09 | 22.03    |
|      | 永丰县 | 2.17    | 10.87 | 86.96 | 0     | 0     | 133.64 ± 31.67 | 23.71    |
|      | 吉安市 | 0.64    | 4.54  | 62.35 | 27.28 | 5.19  | 168.99 ± 61.47 | 36.37    |
| 有效磷  | 峡江县 | 0       | 1.52  | 3.03  | 25.76 | 69.69 | 37.34 ± 12.02  | 32.19    |
|      | 安福县 | 2.38    | 7.14  | 16.67 | 16.67 | 57.14 | 32.83 ± 16.54  | 50.39    |
|      | 永丰县 | 0       | 17.39 | 41.31 | 26.09 | 15.21 | 20.96 ± 11.84  | 56.48    |
|      | 吉安市 | 0.64    | 7.79  | 18.18 | 23.39 | 50.00 | 31.41 ± 15.17  | 48.30    |
| 速效钾  | 峡江县 | 13.64   | 65.15 | 21.21 | 0     | 0     | 119.46 ± 34.27 | 28.69    |
|      | 安福县 | 2.38    | 40.48 | 33.33 | 19.05 | 4.76  | 176.42 ± 72.08 | 40.85    |
|      | 永丰县 | 41.31   | 39.13 | 17.39 | 2.17  | 0     | 103.33 ± 49.61 | 47.98    |
|      | 吉安市 | 18.83   | 50.65 | 23.38 | 5.85  | 1.29  | 131.70 ± 59.23 | 44.98    |

2.2.4 土壤交换性钙、交换性镁和有效硫 由表 5 可知,峡江县和永丰县土壤交换性钙含量较适宜,平均含量分别为 1 214.05、1 178.29 mg/kg,缺钙土壤比例较少,分别占 13.64% 和 8.69%。相反,安福县有 66.67% 的土壤交换钙含量较高,平均含量为 1 593.44 mg/kg。烟草是以收获叶片为目的经济作物,叶片中约 75% 的镁参与蛋白质合成,植物体内

15% ~ 20% 的镁与叶绿素色素相关,主要作为一系列参与光合固碳和代谢的辅助因子<sup>[19-20]</sup>。3 个主烟区土壤交换性镁含量丰富,峡江县和永丰县分别为 215.51、192.93 mg/kg,安福县 61.90% 土壤交换性镁含量偏高 (231.78 mg/kg)。3 个主产烟区土壤有效硫含量均偏低,其中安福县和永丰县有 78.57% 和 78.26% 的土壤有效硫含量在低等级以下。

表 5 植烟土壤交换钙、交换镁和有效硫含量不同等级所占比例

| 养分   | 烟区  | 各级比例 (%) |       |       |       |       | 平均值<br>(mg/kg)    | 变异系数<br>(%) |
|------|-----|----------|-------|-------|-------|-------|-------------------|-------------|
|      |     | 极低       | 低     | 适宜    | 高     | 很高    |                   |             |
| 交换性钙 | 峡江县 | 0        | 13.64 | 37.88 | 46.96 | 1.52  | 1 214.05 ± 348.81 | 28.73       |
|      | 安福县 | 0        | 4.76  | 28.57 | 47.62 | 19.05 | 1 593.44 ± 588.63 | 36.93       |
|      | 永丰县 | 0        | 8.69  | 52.17 | 39.14 | 0     | 1 178.29 ± 286.14 | 24.28       |
|      | 吉安市 | 0        | 9.74  | 39.61 | 44.81 | 5.84  | 1 305.68 ± 50.54  | 34.51       |
| 交换性镁 | 峡江县 | 0        | 4.55  | 39.39 | 56.06 | 0     | 215.51 ± 66.68    | 30.94       |
|      | 安福县 | 0        | 2.38  | 35.72 | 57.14 | 4.76  | 231.78 ± 93.33    | 40.26       |
|      | 永丰县 | 0        | 6.52  | 56.52 | 36.96 | 0     | 192.93 ± 64.46    | 33.41       |
|      | 吉安市 | 0        | 4.54  | 43.52 | 50.65 | 1.29  | 213.87 ± 76.26    | 35.65       |
| 有效硫  | 峡江县 | 27.27    | 31.82 | 27.27 | 9.09  | 4.55  | 11.95 ± 11.62     | 97.24       |
|      | 安福县 | 33.33    | 45.24 | 16.67 | 4.76  | 0     | 8.33 ± 5.93       | 71.23       |
|      | 永丰县 | 45.65    | 32.61 | 19.56 | 2.18  | 0     | 6.95 ± 4.67       | 67.17       |
|      | 吉安市 | 34.42    | 35.71 | 22.08 | 5.84  | 1.95  | 9.42 ± 8.77       | 93.15       |

2.2.5 土壤微量元素 由表 6 可知,3 个县主产烟区土壤有效硼含量均偏低,平均含量分别为 0.47、0.45、0.28 mg/kg。氯是烟草必需的微量元素,但是烟草对氯比较敏感,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<sup>[21]</sup>。3 个县主产烟区的土壤水溶性氯含量均极高,平均含量分别为 53.34、42.84、46.15 mg/kg。3 个县主产烟区的土壤有效铜含量偏高,平均含量为 3.60、3.77、2.30 mg/kg。3 个县主产烟区的土壤有效铁含量极为丰富,平均含量分别为 532.31、317.08、219.52 mg/kg。土壤有效锰含量 3 个县主产烟区含量均偏低,平均含量分别为 30.45、17.24、11.72 mg/kg。永丰县土壤有效锌含量较为适宜,平均含量为 2.35 mg/kg。相反,峡江县和安福县土壤有效锌含量偏高,平均含量分别为 5.26、5.27 mg/kg。

2.3 吉安市植烟土壤养分指标相关性分析

由表 7 可知,土壤养分指标之间存在显著或极显著相关。为避免各养分指标所反映的信息重叠,采用主成分分析方法提取影响土壤养分的主成分。

2.4 吉安市植烟土壤养分的主成分分析

主成分分析方法是 将众多的变量转变成数量不多的几个因子来表示,并且这些因子包含了原变量提供的大部分信息。各主成分的特征值、方差贡献率和累计方差贡献率见表 8。可以看出,前 7 个主成分的贡献率达到 81.919% (>80%)。说明对 7 个主成分进行分析已经能够反映全部数据的大部分信息。

由表 8、表 9 可知,第一主成分的贡献率为 25.369%,有效铜、有效铁、有机质、有效磷、水解性氮 5 个指标因子在第 1 主成分中起主要作用;第 2 主成分的贡献率为 18.305%,pH 值、交换性钙、交换性镁 3 个指标因子在第 2 主成分中起主要作用;第 3 主成分的贡献率为 10.829%,有效锰和有效铁在第 3 主成分中起主要作用;第 4 主成分的贡献率为 9.037%,有效硫在第 4 主成分中起主要作用;第 5 成分的贡献率为 6.893%,有效硼在第 5 主成分中起主要作用。第 6、第 7 主成分的贡献率分别为 6.275% 和 5.211%。前 7 个主因子得分值分别以 PC1、PC2、PC3、PC4、PC5、PC6 和 PC7 表示,通过回归计算得出主成分得分系数矩阵,主成分得分函数

表 6 植烟土壤有效硼、水溶性氯、有效铜、有效铁、有效锰和有效锌含量不同等级所占比例

| 烟区  | 养分   | 各级比例(%) |       |       |       |        | 平均值<br>(mg/kg)  | 变异系数<br>(%) |
|-----|------|---------|-------|-------|-------|--------|-----------------|-------------|
|     |      | 极低      | 低     | 适宜    | 高     | 很高     |                 |             |
| 峡江县 | 有效硼  | 18.18   | 48.48 | 28.79 | 4.55  | 0      | 0.47 ± 0.32     | 69.03       |
|     | 水溶性氯 | 0       | 0     | 1.52  | 18.18 | 80.30  | 53.34 ± 32.01   | 60.00       |
|     | 有效铜  | 0       | 0     | 0     | 37.88 | 62.12  | 3.60 ± 1.27     | 35.37       |
|     | 有效铁  | 0       | 0     | 0     | 0     | 100.00 | 532.31 ± 187.19 | 35.16       |
|     | 有效锰  | 13.64   | 13.64 | 21.21 | 18.18 | 33.33  | 30.45 ± 26.62   | 87.44       |
|     | 有效锌  | 0       | 0     | 1.52  | 24.24 | 74.24  | 5.26 ± 1.59     | 30.34       |
| 安福县 | 有效硼  | 45.24   | 40.48 | 7.14  | 0     | 7.14   | 0.45 ± 0.69     | 153.45      |
|     | 水溶性氯 | 0       | 0     | 2.38  | 21.43 | 76.19  | 42.84 ± 19.59   | 45.74       |
|     | 有效铜  | 0       | 0     | 0     | 23.81 | 76.19  | 3.77 ± 1.39     | 36.87       |
|     | 有效铁  | 0       | 0     | 0     | 0     | 100.00 | 317.08 ± 110.79 | 34.94       |
|     | 有效锰  | 21.43   | 30.95 | 28.57 | 11.90 | 7.14   | 17.24 ± 21.48   | 124.59      |
|     | 有效锌  | 0       | 0     | 9.52  | 38.10 | 52.38  | 5.27 ± 3.95     | 74.89       |
| 永丰县 | 有效硼  | 50.00   | 39.13 | 10.87 | 0     | 0      | 0.28 ± 0.18     | 63.29       |
|     | 水溶性氯 | 0       | 0     | 8.70  | 30.43 | 60.87  | 46.15 ± 33.78   | 73.20       |
|     | 有效铜  | 0       | 0     | 2.17  | 78.26 | 19.57  | 2.30 ± 0.98     | 42.71       |
|     | 有效铁  | 0       | 0     | 0     | 0     | 100.00 | 219.52 ± 95.15  | 43.34       |
|     | 有效锰  | 17.39   | 32.61 | 34.78 | 15.22 | 0      | 11.72 ± 8.16    | 69.65       |
|     | 有效锌  | 0       | 2.17  | 45.65 | 47.83 | 4.35   | 2.35 ± 0.86     | 36.80       |
| 吉安市 | 有效硼  | 35.06   | 43.51 | 17.53 | 1.95  | 1.95   | 0.41 ± 0.44     | 107.11      |
|     | 水溶性氯 | 0       | 0     | 3.90  | 22.73 | 73.38  | 48.68 ± 31.22   | 64.14       |
|     | 有效铜  | 0       | 0     | 0.65  | 46.10 | 53.25  | 3.27 ± 1.37     | 42.18       |
|     | 有效铁  | 0       | 0     | 0     | 0     | 100.00 | 383.31 ± 199.94 | 52.16       |
|     | 有效锰  | 16.88   | 24.03 | 27.27 | 15.58 | 16.23  | 21.44 ± 22.69   | 105.86      |
|     | 有效锌  | 0       | 0.65  | 16.88 | 35.06 | 47.40  | 4.41 ± 2.71     | 61.60       |

表 7 吉安市植烟土壤养分指标相关性分析

| 指标   | 相关系数      |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |       |       |
|------|-----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-------|-------|
|      | pH 值      | 有机质      | 水解性氮     | 有效磷      | 速效钾      | 交换性镁     | 交换性钙     | 有效硼      | 有效硫      | 有效铜      | 有效锌      | 有效铁      | 有效锰   | 水溶性氯  |
| pH 值 | 1.000     |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |       |       |
| 有机质  | -0.110    | 1.000    |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |       |       |
| 水解性氮 | 0.200 *   | 0.420 ** | 1.000    |          |          |          |          |          |          |          |          |          |       |       |
| 有效磷  | -0.068    | 0.190 *  | 0.330 ** | 1.000    |          |          |          |          |          |          |          |          |       |       |
| 速效钾  | 0.280 **  | 0.031    | 0.260 ** | 0.280 ** | 1.000    |          |          |          |          |          |          |          |       |       |
| 交换性镁 | 0.460 **  | 0.110    | 0.031    | 0.024    | 0.390 ** | 1.000    |          |          |          |          |          |          |       |       |
| 交换性钙 | 0.590 **  | 0.170 *  | -0.020   | -0.094   | 0.320 ** | 0.600 ** | 1.000    |          |          |          |          |          |       |       |
| 有效硼  | 0.066     | 0.092    | 0.100    | 0.240 ** | 0.320 ** | 0.290 ** | 0.110    | 1.000    |          |          |          |          |       |       |
| 有效硫  | 0.065     | 0.140    | 0.340 ** | 0.055    | 0.160 *  | 0.120    | 0.065    | 0.200 *  | 1.000    |          |          |          |       |       |
| 有效铜  | -0.054    | 0.380 ** | 0.310 ** | 0.360 ** | 0.170 *  | 0.150    | 0.110    | 0.330 ** | 0.130    | 1.000    |          |          |       |       |
| 有效锌  | -0.180 *  | 0.270 ** | 0.270 ** | 0.380 ** | 0.130    | -0.043   | -0.008   | 0.077    | 0.130    | 0.550 ** | 1.000    |          |       |       |
| 有效铁  | -0.210 ** | 0.220 ** | 0.230 ** | 0.500 ** | 0.100    | 0.150    | -0.059   | 0.200 *  | 0.240 ** | 0.480 ** | 0.390 ** | 1.000    |       |       |
| 有效锰  | 0.250 **  | -0.046   | -0.082   | 0.013    | 0.110    | 0.220 ** | 0.430 ** | 0.140    | 0.230 ** | 0.230 ** | 0.220 ** | 0.310 ** | 1.000 |       |
| 水溶性氯 | 0.370 **  | 0.067    | 0.480 ** | 0.020    | 0.180 *  | 0.220 ** | 0.160 *  | 0.042    | 0.260 ** | 0.063    | -0.010   | 0.180 *  | 0.120 | 1.000 |

注：\*、\*\* 分别代表在 0.05、0.01 水平上显著相关。

表 8 各主成分的特征值和贡献率

| 主成分 | 特征值   | 贡献率 (%) | 累积贡献率 (%) |
|-----|-------|---------|-----------|
| 1   | 3.552 | 25.369  | 25.369    |
| 2   | 2.563 | 18.305  | 43.674    |
| 3   | 1.516 | 10.829  | 54.503    |
| 4   | 1.265 | 9.037   | 63.540    |
| 5   | 0.965 | 6.893   | 70.433    |
| 6   | 0.879 | 6.275   | 76.708    |
| 7   | 0.730 | 5.211   | 81.919    |
| 8   | 0.656 | 4.682   | 86.601    |
| 9   | 0.491 | 3.509   | 90.110    |
| 10  | 0.389 | 2.779   | 92.889    |
| 11  | 0.347 | 2.482   | 95.371    |
| 12  | 0.276 | 1.971   | 97.342    |
| 13  | 0.210 | 1.497   | 98.840    |
| 14  | 0.162 | 1.160   | 100.000   |

表示为:

$$PC1 = -0.008X_1 + 0.200X_2 + 0.201X_3 + 0.159X_4 + 0.141X_5 + 0.123X_6 + 0.102X_7 + 0.127X_8 + 0.100X_9 + 0.194X_{10} + 0.135X_{11} + 0.178X_{12} + 0.068X_{13} + 0.110X_{14};$$
$$PC2 = 0.337X_1 - 0.058X_2 - 0.070X_3 - 0.120X_4 + 0.165X_5 + 0.284X_6 + 0.291X_7 + 0.039X_8 - 0.040X_9 - 0.070X_{10} - 0.166X_{11} - 0.110X_{12} + 0.032X_{13} + 0.113X_{14};$$

$$PC3 = -0.143X_1 - 0.091X_2 - 0.184X_3 - 0.129X_4 - 0.145X_5 + 0.009X_6 + 0.133X_7 - 0.239X_8 + 0.078X_9 - 0.116X_{10} + 0.046X_{11} + 0.312X_{12} + 0.561X_{13} + 0.225X_{14};$$

$$PC4 = -0.014X_1 + 0.183X_2 + 0.281X_3 - 0.226X_4 - 0.025X_5 - 0.078X_6 - 0.135X_7 - 0.114X_8 + 0.571X_9 - 0.258X_{10} - 0.213X_{11} - 0.125X_{12} - 0.138X_{13} + 0.340X_{14};$$

$$PC5 = -0.044X_1 - 0.360X_2 - 0.204X_3 + 0.375X_4 + 0.238X_5 - 0.022X_6 - 0.326X_7 + 0.510X_8 + 0.089X_9 - 0.250X_{10} - 0.325X_{11} + 0.260X_{12} + 0.032X_{13} + 0.231X_{14};$$

$$PC6 = 0.066X_1 - 0.252X_2 + 0.163X_3 + 0.364X_4 + 0.562X_5 - 0.159X_6 - 0.023X_7 - 0.523X_8 - 0.099X_9 - 0.309X_{10} + 0.390X_{11} - 0.154X_{12} - 0.022X_{13} + 0.163X_{14};$$

$$PC7 = -0.107X_1 - 0.243X_2 - 0.157X_3 - 0.279X_4 + 0.404X_5 - 0.102X_6 + 0.188X_7 + 0.273X_8 + 0.633X_9 - 0.027X_{10} + 0.297X_{11} - 0.097X_{12} + 0.180X_{13} - 0.617X_{14}。$$

$X_1、X_2、X_3、X_4、X_5、X_6、X_7、X_8、X_9、X_{10}、X_{11}、X_{12}、X_{13}、X_{14}$ 为所选土壤样品的 14 个养分指标 (pH 值、有机质、水解性氮、有效磷、速效钾、交换性镁、交换性钙、有效硼、有效硫、有效锌、有效铁、有效锰、水溶性氯含量) 标准化后的值。

表 9 各指标在前 7 个主成分中的特征向量

| 指标   | 特征向量   |        |        |        |        |        |        |
|------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|      | 主成分 1  | 主成分 2  | 主成分 3  | 主成分 4  | 主成分 5  | 主成分 6  | 主成分 7  |
| pH 值 | -0.030 | 0.864  | -0.217 | -0.017 | -0.042 | 0.058  | -0.078 |
| 有机质  | 0.709  | -0.149 | -0.138 | 0.232  | -0.348 | -0.221 | -0.177 |
| 水解性氮 | 0.714  | -0.181 | -0.279 | 0.356  | -0.197 | 0.143  | -0.115 |
| 有效磷  | 0.565  | -0.307 | -0.196 | -0.286 | 0.362  | 0.304  | -0.204 |
| 速效钾  | 0.501  | 0.423  | -0.220 | -0.032 | 0.229  | 0.494  | 0.295  |
| 交换性镁 | 0.436  | 0.727  | 0.014  | -0.099 | -0.021 | -0.140 | -0.075 |
| 交换性钙 | 0.362  | 0.745  | 0.202  | -0.171 | -0.315 | -0.020 | 0.137  |
| 有效硼  | 0.451  | 0.100  | -0.363 | -0.145 | 0.492  | -0.460 | 0.199  |
| 有效硫  | 0.356  | -0.102 | 0.119  | 0.723  | 0.086  | -0.087 | 0.462  |
| 有效铜  | 0.688  | -0.179 | -0.176 | -0.326 | -0.241 | -0.272 | -0.020 |
| 有效锌  | 0.481  | -0.426 | 0.069  | -0.269 | -0.314 | 0.343  | 0.217  |
| 有效铁  | 0.631  | -0.283 | 0.472  | -0.158 | 0.251  | -0.135 | -0.071 |
| 有效锰  | 0.246  | 0.083  | 0.850  | -0.175 | 0.031  | -0.019 | 0.131  |
| 水溶性氯 | 0.392  | 0.289  | 0.342  | 0.430  | 0.223  | 0.143  | -0.450 |

2.5 吉安市植烟土壤质量聚类分析

根据前 7 个主成分的贡献率,生成主成分的综

合得分( $F$ )公式为: $F = 0.309\ 67 \times PC1 + 0.223\ 45 \times PC2 + 0.132\ 17 \times PC3 + 0.110\ 28 \times PC4 + 0.084\ 13 \times$

$PC5 + 0.076\ 63 \times PC6 + 0.063\ 644 \times PC7$ , 得到各产地土壤样品质量的综合得分, 以主成分的综合得分作为新变量, 分别以 3 个植烟县 97 个植烟村为标注个案, 采用聚类分析最短距离法对各产地土壤质量进行聚类分析(图 1)。

在平方欧式距离为 5.0 处可以将所有样品分为 3 类, 第 1 类是硃溪步溪、洋门村沛、硃溪灼岭、横龙枫塘、戈坪舍龙、寮塘株木江、金江城上、平都陂下、硃溪硃溪、巴邱油陂庙、硃溪金坊、福民小析、平都下路、金江庙前、竹江下社、金江金滩、桐林桐林、横龙江口、马埠凰洲、潭城村前、平都小水、石马店下、巴邱洲上、硃溪坪头、沿陂吉江、洋门坊下、石马坊、罗田店前、桐林流源、平都社洲、平都龙蒙、罗田安山、罗田神林、寮塘东岸、金江黑虎、平都思塘、严田土桥、平都沥塘、平都农丰、横龙严田、沿陂芦下、沿陂毛家、仁和新陂、洋溪田里、罗田冬梅、戈坪芳洲、福民田心、横龙杨梅、横龙青桥、寮塘思塘、硃溪鹏溪、竹江中团、洋溪店背、严田花桥, 共 54 个村。第 2 类是平都荆山、沿陂水东、寮塘谷口、洲湖诸桥、平都西边、沿陂涸陂、石马邱林、戈坪戈坪、罗田桂林、横龙横屋、洲湖王屯、陶唐洲上、硃溪因山、横龙南桥、鹿冈鹿冈、横龙南村、鹿冈前村、戈坪汀溪、洋溪牌头、潭城富山、马埠芦溪、平都上里、罗田罗田、马埠夏塘、鹿冈高坑、石马棠阁、鹿冈巷口、金江庙口、潭城鞞川、石马源头、石马星胜、洲湖花车、横龙山背、石马光明、平都竹山、石马梅西、横龙东谷、沿陂涂家、沿陂枳田, 共 39 个村。第 3 类是严田岭溪、平都官田、竹江关溪、平都龙佳, 共 4 个村。各类区的土壤养分情况如表 10 所示, I 区土壤呈弱酸性, 富含有机质, 土壤养分含量中等; II 区土壤呈弱酸性, 有机质含量较另外 2 区偏低, 土壤养分含量整体偏低; III 区土壤基本呈中性, 除有效硼含量以外, 其他土壤养分含量均比其他 2 类高, 土壤整体养分含量较高。

### 3 结论与讨论

通过对吉安市 154 个植烟土样土壤养分指标的检测分析和评价表明, 吉安市大部分植烟土壤 pH 值适宜烤烟种植。峡江县部分植烟土壤呈弱酸性, 可适当施用生石灰来提高 pH 值, 改善土壤酸碱度。

吉安市植烟区土壤有机质含量总体偏高, 土壤水解性氮含量适宜, 但永丰烟区含量偏高。因此, 在烤烟大田期间要控制氮肥施用量。吉安市植烟

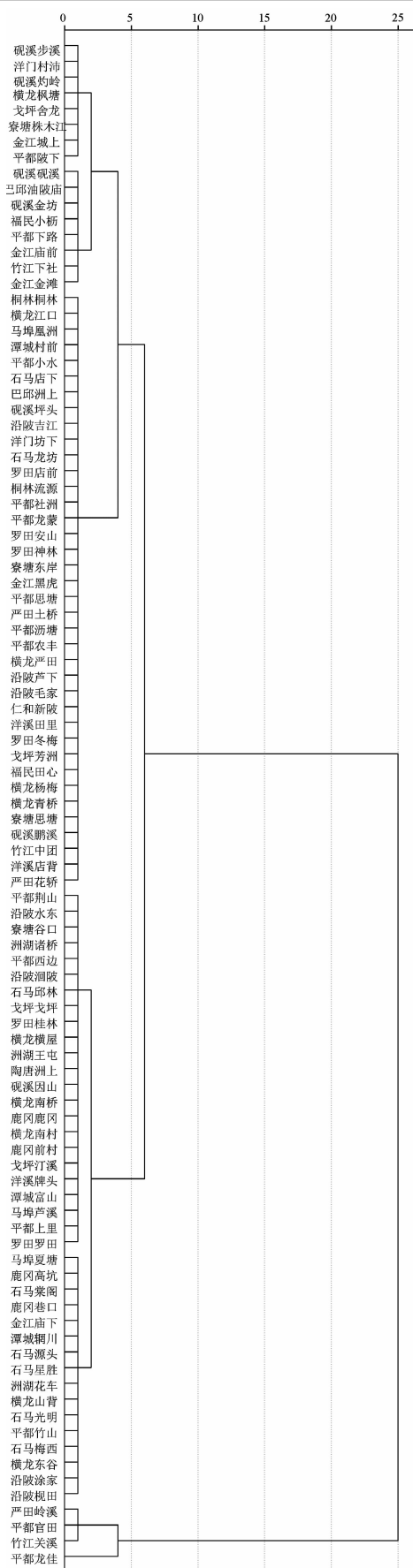


图1 97 个村镇聚类分析谱系

表 10 各类区土壤养分含量情况

| 区类别   | pH 值 | 有机质含量<br>(g/kg) | 水解性氮含量<br>(mg/kg) | 有效磷含量<br>(mg/kg) | 速效钾含量<br>(mg/kg) | 交换性镁含量<br>(mg/kg) | 交换性钙含量<br>(mg/kg) |
|-------|------|-----------------|-------------------|------------------|------------------|-------------------|-------------------|
| I 区   | 5.83 | 33.93           | 188.77            | 33.57            | 155.25           | 241.77            | 1 460.84          |
| II 区  | 5.65 | 29.96           | 154.64            | 27.68            | 107.60           | 168.81            | 1 097.34          |
| III 区 | 6.30 | 36.68           | 195.49            | 35.58            | 294.88           | 358.94            | 2 627.39          |

| 区类别   | 有效硼含量<br>(mg/kg) | 有效硫含量<br>(mg/kg) | 有效铜含量<br>(mg/kg) | 有效锌含量<br>(mg/kg) | 有效铁含量<br>(mg/kg) | 有效锰含量<br>(mg/kg) | 水溶性氯含量<br>(mg/kg) |
|-------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|-------------------|
| I 区   | 0.55             | 11.27            | 3.64             | 4.81             | 421.68           | 22.39            | 54.29             |
| II 区  | 0.23             | 6.35             | 3.15             | 4.25             | 274.47           | 13.19            | 33.60             |
| III 区 | 0.43             | 14.98            | 3.96             | 5.79             | 457.25           | 51.82            | 78.23             |

土壤有效磷比例属适宜以上占 92%,峡江县、安福县和永丰县土壤有效磷含量偏高,可能会影响烟叶的香味<sup>[22]</sup>。因此,应适当控制磷肥的施用。吉安市植烟土壤速效钾含量整体处于偏低水平,其中,峡江县和永丰县较为严重。钾元素缺乏影响烟叶的可燃性、颜色和身份,应在大田期补充钾肥的施入。

吉安市植烟区土壤交换性钙、交换性镁含量丰富,不存在相互拮抗的现象。由于吉安市植烟土壤速效钾含量较为缺乏,因此,烤烟根系对镁离子的吸收并不会减少。植烟土壤微量元素的主要特征是:有效硼、有效锰含量低,水溶性氯、有效铁含量高,有效铜、有效锌含量偏高。其中,低硼现象较突出,针对该类土壤重点是补硼;另外,高氯、高铁的现象较突出,针对此类型土壤,应控氯,另外调节土壤 pH 值,以达到降低土壤有效铁含量的目的。

通过主成分分析,分别以 3 个植烟县 97 个植烟村为标注个案,采用聚类分析最短距离法对各产地土壤质量进行聚类分析,可分成 3 类。为吉安市烤烟种植布局、分区备货、提高烟叶质量均衡性提供科学依据。

参考文献:

[1]郑立臣,宇万太,马 强,等. 农田土壤肥力综合评价研究进展[J]. 生态学杂志,2004,23(5):156-161.

[2]许自成,王 林,王金平,等. 湖南烤烟化学成分与土壤有机质含量的关系[J]. 生态学杂志,2006,25(10):1186-1190.

[3]何红霞,李小涵,包 明,等. 栽培模式对旱地小麦产量和土壤肥力的影响[J]. 应用生态学报,2019,30(2):573-582.

[4]张 翼. 不同施肥措施对植烟土壤生化活性及烤烟产量品质的影响[D]. 武汉:华中农业大学,2013:2-3.

[5]Song K, Xue Y, Zheng X Q, et al. Effects of the continuous use of organic manure and chemical fertilizer on soil inorganic Phosphorus fractions in calcareous soil [J]. Scientific Reports, 2017, 7

(1):1164.

[6]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.

[7]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.

[8]梁 兵,黄 坤,邵小东,等. 红河烟区土壤主要养分含量及肥力适宜性评价[J]. 西南农业学报,2017,30(10):2290-2296.

[9]Vanlauwe B, Descheemaeker K, Giller K E, et al. Integrated soil fertility management in sub-Saharan Africa: unravelling local adaptation[J]. Soil,2015,1:491-508.

[10]盘文政,易 克,韩定国,等. 新型肥料对烤烟生长及产量品质的影响[J]. 江苏农业科学,2020,48(13):107-112.

[11]李 军,梁洪波,宛 祥,等. 烟田土壤养分状况及其与成土母质的关系研究[J]. 中国烟草科学,2013,34(3):21-25.

[12]中华人民共和国农业农村部. 农业土壤检测:NY/T 1121—2006[S].

[13]国家林业局. 森林土壤钾的测定:LY/T 1234—2015[S].

[14]国家林业局. 森林土壤矿质全量素(铁、铝、钛、锰、钙、镁、磷)烧失量的测定:LY/T 1253—1999[S].

[15]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.

[16]王东胜,徐庆凯,王能如,等. 江西烟区土壤中量及微量元素的含量分析[J]. 贵州农业科学,2011,39(2):91-96.

[17]陈江华,刘建利,李志宏. 中国植烟土壤及烟草养分综合管理[M]. 北京:科学出版社,2008:72.

[18]刘国顺. 烟草栽培学[M]. 北京:中国农业出版社,2003:89.

[19]张 国,赵松义,相智华,等. 镁对烤烟生长发育和生理特性的影响[J]. 中国烟草学报,2009,15(4):43-47,54.

[20]Hermans C, Conn S J, Chen J, et al. An update on magnesium homeostasis mechanisms in plants[J]. Metallomics,2013,5(9):1170-1183.

[21]王瑞新,闫克玉,韩锦峰,等. 烟草化学[M]. 北京:中国农业出版社,2003:149.

[22]王艳丽,王 京,刘国顺,等. 磷施用量对烤烟根系生理及叶片光合特性的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2016,22(2):410-417.