

# 南平烟区植烟土壤肥力评价研究

徐辰生<sup>1</sup>, 陈爱国<sup>2</sup>, 徐茜<sup>1</sup>, 戴培刚<sup>2</sup>, 刘光亮<sup>2</sup>, 陶健<sup>2\*</sup>

(1.福建省烟草公司南平市公司, 福建 南平 353000; 2.中国农业科学院烟草研究所, 青岛 266101)

**摘要:** 基于烟田土壤采样数据, 对南平烟区土壤肥力进行综合评价, 为烟田土壤营养诊断和管理提供科学依据。选择 Fuzzy 综合评价法 (IFI) 对采样点土壤肥力进行评价, 然后采用 ANUSplin 方法由采样点插值得到土壤肥力空间格局, 并按照分位数原则分级 (由高至低: I 至 VI) 后进行分析。结果表明, 土壤有机质和氮元素含量是影响研究区土壤肥力的重要因素, 在土壤肥力综合评价中的权重系数较大。研究区土壤肥力呈西部高而东北部低的空间格局, 空间异质性大。其中, 邵武市和光泽县土壤 IFI 平均值较高, 土壤肥力质量好。邵武市土壤肥力均在 II 等级以上, 而光泽县土壤肥力均在 III 等级以上, 两县中的 I 等级土壤占 I 等级土壤总面积的 84.54%。采用 Fuzzy 综合评判法能够准确、有效地评价土壤肥力等级, 结合插值方法适于把握区域土壤肥力的空间格局特征。

**关键词:** 土壤肥力; Fuzzy 评价; ANUSplin 插值; 空间格局

中图分类号: S572.06 文章编号: 1007-5119 (2016) 04-0024-06

DOI: 10.13496/j.issn.1007-5119.2016.04.005

## Integrated Evaluation of Soil Fertility in Nanping Tobacco Planting Areas

XU Chensheng<sup>1</sup>, CHEN Aiguo<sup>2</sup>, XU Qian<sup>1</sup>, DAI Peigang<sup>2</sup>, LIU Guangliang<sup>2</sup>, TAO Jian<sup>2\*</sup>

(1. Nanping Tobacco Company, Nanping, Fujian 353000, China; 2. Tobacco Research Institute of Chinese Academy of Agricultural Sciences, Qingdao 266101, China)

**Abstract:** soil nutrient data derived from field sampling was used to evaluate soil fertility of tobacco planting areas in Nanping. The evaluation could provide basic information for soil diagnosis and management. The soil fertility indexes of all sampling plots were evaluated by Fuzzy integrated fertility index (IFI) method, and then were interpolated to a raster dataset by ANUSplin interpolation method. The dataset was graded to six levels (from high to low: I to VI) by quantile method. The results showed that soil organic matter and nitrogen content exerted as crucial factors affecting the soil IFI index, due to their important roles in the biogeochemical cycle. Spatial pattern of the soil IFI showed a decreasing trend from west to northeast with a highly spatial variation in the studied areas. The highest index was found in the west part including Shaowu City and Guangze County, which accounted for 84.54% of total I-level soil areas. The soil IFI of the entire Shaowu City exceeded II-level, while the soil IFI of the entire Guangze County exceeded III-level. The Fuzzy IFI method provides an efficient approach to quantify soil fertility, and could detect spatial patterns of regional soil fertility when coupled with the interpolation method.

**Keywords:** soil fertility; fuzzy evaluation method; ANUSplin interpolation; spatial pattern

土壤肥力是土壤的养分针对植物的供应能力, 以及土壤养分供应植物时环境条件的综合体现<sup>[1]</sup>。其中, 土壤养分是土壤肥力的核心部分, 是土壤肥力综合评价的根本。烟田土壤肥力是烟叶产量和品质形成的重要影响因子, 对烤烟种植前的烟田土壤肥力进行综合评价不仅能够为烟草种植过程中养

壤和烟草作物营养诊断提供科学依据<sup>[2-4]</sup>。

前人研究表明, 土壤肥力评价指标已由单一养分指标的丰缺诊断发展到多因子综合定量评价<sup>[5-9]</sup>, 虽然不同地区的指标选取存在不同的侧重点, 但仍集中在土壤养分指标。当前, 对小区域土壤肥力的定量化评价方法<sup>[10]</sup>, 主要是运用地理信息系统 (GIS) 及地统计学原理开展土地适宜性评价和农用地分

基金项目: 福建省烟草公司南平市公司科技项目 (NYK2015-03-03); 福建省烟草公司南平市公司技术开发项目 [闽烟合同(2014)182 号]

作者简介: 徐辰生 (1978-), 硕士, 农艺师, 主要研究方向为烟草栽培生理。E-mail: xvchensheng@126.com。\*通信作者, E-mail: taojiancaas@163.com

收稿日期: 2016-01-21

修回日期: 2016-07-05

等定级,以及采用主成分分析法、灰色关联法、专家分析法、模糊综合评价法、信息熵法等统计学方法对土壤肥力进行综合评价。中国植烟区土壤肥力的综合评价主要集中在各种营养元素的丰缺诊断方面,评价方法趋于定量化。但是,对南平烟区土壤肥力的空间格局分析,以及土壤肥力关键指标分析方面仍有所欠缺。因此,本研究基于烤烟种植前的烟田土壤采样数据,选择 Fuzzy 综合评判法对土壤肥力进行定量化评价,采用隶属度函数量化养分指标在土地系统中的状态及其对作物产量的驱动作用。然后,结合空间插值方法获取整个研究区土壤肥力质量状况,对土壤肥力的空间格局进行评价,并分析土壤肥力的关键决定指标。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区域

研究区为福建省南平烟区,位于福建省北部、武夷山脉东南侧,东西宽230 km,南北长230.4 km,总土地面积约为  $2.6 \times 10^4 \text{ km}^2$ ,植烟区土地面积约为  $210 \text{ km}^2$ <sup>[11]</sup>,为中国东南烟区典型的山地田烟。区域内武夷山脉和鹫峰山脉环抱构成“闽北盆地”,自西北向东南倾斜,地形复杂,土壤肥力空间变异度高。土壤类型以灰泥田和黄泥田为主,灰泥田熟化层较厚,质地中至重壤,耕性松软,有机质含量丰富;黄泥田土质黏重,耕性不良,肥力较低。

### 1.2 数据与方法

1.2.1 土壤采样数据 根据2014年统计资料可知,研究区内各县市植烟面积比例由高至低依次为邵武市(20.85%)、建阳市(15.74%)、光泽县(13.60%)、浦城县(11.20%)、武夷山市(10.11%)、顺昌县(8.98%)、政和县(6.97%)、松溪县(6.40%)、延平区(3.08%)和建瓯市(3.06%)。因此,本研究按照各县植烟面积比例大小,在各县市采集共计287个土壤样品数据(图1),其中邵武市71个、建阳市43个、光泽县36个、浦城县32个、武夷山市26个、顺昌县15个、政和县17个、松溪县20个、延平区15个、建瓯市12个。土壤样品采集时间在2014年冬季或春季,在典型烟田中,按照“随机”、

“等量”和“多点混合”的原则进行采样,采用“S”形布点采样,采样深度为0~30 cm耕作层。检测指标共计8项,包括:土壤pH、有机质、总氮、总磷、总钾、碱解氮、有效磷、速效钾。



图1 研究区农田面积比例及采样点分布示意图

Fig. 1 Spatial patterns of cropland percentage and soil samples in the studied areas

按照土壤农业化学的常规分析方法对各养分指标含量进行测定<sup>[12]</sup>:土壤pH值用pH计法(水比土为1:2.5);有机质用重铬酸钾滴定法;总氮用硫酸-硫酸钾-硫酸铜消煮滴定法;碱解氮用碱解扩散法;总磷、有效磷用钼锑抗比色法;总钾、速效钾用火焰光度计法。

1.2.2 烟田分布数据 研究区内农田种植制度主要为烟-稻复种,年初首先种植烤烟,收获后种植水稻。因此研究首先界定农田分布位置及范围,以准确分析烟区土壤肥力的空间格局。本研究选用了中国科学院资源环境数据中心的1:100000土地利用数据集(图1),该数据集基于Landsat TM/ETM+遥感数据,以遥感图像计算机人机交互判读技术为核心,形成了较成熟的土地利用分类技术体系,并且已广泛应用于中国土地利用研究中<sup>[13-14]</sup>。

1.2.3 研究方法 (1) Fuzzy 综合评价法:采用Fuzzy 综合评价法对土壤综合肥力进行定量化评价,该方法根据模糊数学中的加乘法原则,将土壤综合肥力指标(IFI)定义为各养分指标隶属度与权重系数的乘积之和。其计算公式为:

$$IFI = (q_i \times w_i) \quad (1)$$

式中,  $q_i$  是第  $i$  项养分指标的隶属度;  $w_i$  是第  $i$  项养分指标的权重系数。IFI 值在 0~1 之间, 数值越高, 表明土壤肥力质量越好。其中, 养分指标的隶属度函数依据养分指标对作物产量的效应曲线, 反映了养分指标在土地系统中的状态<sup>[10]</sup>, 是养分指标对作物产量驱动作用的定量化表达。隶属度函数有 S 型 (公式 2) 和抛物线型 (公式 3) 两种:

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

$$q(x) = \begin{cases} 0.1 & x \leq x_1 | x \geq x_2 \\ 0.9 \times \frac{x-x_1}{x_2-x_1} + 0.1 & x_1 < x < x_2 \\ 1.0 & x_2 \leq x \leq x_3 \\ 1.0 - 0.9 \times \frac{x-x_3}{x_4-x_3} & x_3 < x < x_4 \end{cases} \quad (3)$$

式中,  $x_1$ 、 $x_2$ 、 $x_3$ 、 $x_4$  分别为隶属度函数曲线的转折点阈值。参照烤烟生长发育对各土壤养分指标的需求并结合前人研究<sup>[3,7,15]</sup>, 分别确定各养分指标的隶属度函数曲线及其转折点阈值 (表 1)。在对各养分指标进行数值特征分析的同时, 也依据各养分指标的隶属度对其适宜性进行分析。

权重系数反映了养分指标在土壤肥力评价中的相对贡献, 采用相关系数法确定<sup>[16-17]</sup>。此外, 相关系数还反映了各养分指标间的相关性。

(2) 空间插值方法: 基于各采样点采用 Fuzzy 综合评价法所得到的 IFI 值, 采用 ANUSplin 方法插值得到南平烟区土壤 IFI 空间栅格数据。该方法采用优化薄板平滑样条函数, 考虑了气象站点的地理坐标, 并将高程作为协变量引入插值过程中, 还可添加其他辅助数据。与传统插值方法 (如 Kriging、IDW 等) 从  $x$ 、 $y$  二维角度衡量采样点指标的相关程度相比, ANUSplin 采用多维薄板样条抽样法, 将高程作为协变量时从  $x$ 、 $y$ 、 $z$  三维角度衡量采样点指标的相关程度, 比传统插值方法拥有更高的精度和灵活性<sup>[18]</sup>。

## 2 结果

### 2.1 各指标含量、隶属度与权重系数分析

由表 2 可以看出, 研究区土壤 pH、有机质、总氮、总磷、总钾、碱解氮和有效磷 7 项指标在各县市间差异明显。研究区土壤 pH 的平均值为 5.34, 最高为延平区 (5.53), 最低为武夷山市 (5.19); 土壤有机质的平均值为 34.28 g/kg, 最高为光泽县 (38.98 g/kg), 最低为松溪县 (26.75 g/kg); 土壤总氮平均值为 1.62 g/kg, 最高为光泽县 (1.97 g/kg), 最低为延平区 (1.21 g/kg); 土壤总磷的平均值为 0.55 g/kg,

表 1 各评价指标所属隶属度函数及其转折点阈值

Table 1 Membership function and its threshold values of each evaluation indicator

| 阈值    | 抛物线型 |                           |                          |                           | S 型                      |                          |                            |                            |
|-------|------|---------------------------|--------------------------|---------------------------|--------------------------|--------------------------|----------------------------|----------------------------|
|       | pH   | 有机质/(g·kg <sup>-1</sup> ) | 总氮/(g·kg <sup>-1</sup> ) | 碱解氮/(g·kg <sup>-1</sup> ) | 总磷/(g·kg <sup>-1</sup> ) | 总钾/(g·kg <sup>-1</sup> ) | 有效磷/(mg·kg <sup>-1</sup> ) | 速效钾/(mg·kg <sup>-1</sup> ) |
| $x_1$ | 5.0  | 15                        | 0.9                      | 30                        | 0.5                      | 9                        | 10                         | 100                        |
| $x_2$ | 5.5  | 25                        | 1.4                      | 50                        | 1.2                      | 20                       | 20                         | 150                        |
| $x_3$ | 7.0  | 35                        | 2.5                      | 70                        |                          |                          |                            |                            |
| $x_4$ | 7.5  | 45                        | 3.5                      | 100                       |                          |                          |                            |                            |

表 2 研究区各养分指标平均值

Table 2 Averaged values of each nutrient content in the studied areas

| 县    | pH        | 有机质/(g·kg <sup>-1</sup> ) | 总氮/(g·kg <sup>-1</sup> ) | 总磷/(g·kg <sup>-1</sup> ) | 总钾/(g·kg <sup>-1</sup> ) | 碱解氮/(mg·kg <sup>-1</sup> ) | 有效磷/(mg·kg <sup>-1</sup> ) | 速效钾/(mg·kg <sup>-1</sup> ) |
|------|-----------|---------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| 光泽县  | 5.2856bc  | 38.9831a                  | 1.9683a                  | 0.7304a                  | 36.2375a                 | 157.7036ab                 | 33.1933c                   | 132.9511a                  |
| 建瓯市  | 5.4333ab  | 27.3050de                 | 1.3843de                 | 0.4129b                  | 20.0143cd                | 101.1617e                  | 59.6458ab                  | 82.7667                    |
| 建阳市  | 5.2358bc  | 38.7030a                  | 1.8907ab                 | 0.5829ab                 | 19.3464cd                | 144.5674ab                 | 34.3002c                   | 134.2653                   |
| 浦城县  | 5.3078abc | 37.1150ab                 | 1.7525abc                | 0.4383b                  | 28.1500b                 | 166.3181a                  | 37.7550c                   | 165.5356                   |
| 邵武市  | 5.4235ab  | 33.7975bc                 | 1.5347cde                | 0.5939ab                 | 26.9639b                 | 130.8546bcde               | 47.1183bc                  | 125.7320                   |
| 顺昌县  | 5.2573bc  | 31.6953cd                 | 1.5720bcd                | 0.5220b                  | 17.2400d                 | 138.2727abc                | 49.0340abc                 | 141.7787                   |
| 松溪县  | 5.4350ab  | 26.7455e                  | 1.3300de                 | 0.5425ab                 | 21.8417cd                | 103.7510de                 | 62.9740a                   | 124.5755                   |
| 武夷山市 | 5.1850c   | 32.1431cd                 | 1.6412abcd               | 0.4594b                  | 21.1706cd                | 132.5858bcd                | 40.3065c                   | 123.7562                   |
| 延平区  | 5.5340a   | 28.2100de                 | 1.2080e                  | 0.4830b                  | 24.0200bc                | 102.7127de                 | 44.2107bc                  | 143.4487                   |
| 政和县  | 5.3488abc | 34.4765abc                | 1.2083e                  | 0.4150b                  | 21.5667cd                | 110.7835cde                | 45.9271bc                  | 120.7829                   |

注: 小写字母代表差异达显著性水平 ( $p < 0.05$ ), 下同。

最高为光泽县(0.73 g/kg),最低为建瓯市(0.41 g/kg);土壤总钾的平均值为 24.72 g/kg,最高为光泽县(36.24 g/kg),最低为顺昌县(17.24 g/kg);土壤碱解氮的平均值为 134.99 mg/kg,最高为浦城县(166.32 mg/kg),最低为建瓯市(101.16 mg/kg);土壤有效磷平均值为 43.30 mg/kg,最高为松溪县(62.97 mg/kg),最低为光泽县(33.19 mg/kg);土壤速效钾含量差异不显著,平均值为 131.77 mg/kg。

由表 3 可知,研究区土壤 pH、有机质、总氮、总钾和碱解氮 5 项指标的隶属度值在各县市间的差异明显。其中,土壤 pH 的隶属度值平均为 0.64,最高为政和县(0.84),最低为武夷山市(0.38);土壤有机质的隶属度值平均为 0.69,最高为邵武市(0.85),最低为光泽县(0.50);土壤总氮的隶属度值平均为 0.83,最高为光泽县(0.95),最低为延平

区(0.58);土壤总钾的隶属度值平均为 0.90,最高为光泽县和浦城县(均为 1.00),最低为顺昌县(0.77);土壤碱解氮的隶属度值平均为 0.19,最高为松溪县(0.38),最低为邵武市(0.12)。研究区土壤总磷、有效磷和速效钾 3 项指标的隶属度值差异不显著,其平均值分别为 0.23、0.89 和 0.47。

由表 4 可知,在各土壤养分指标中,总氮、碱解氮和有机质的权重系数最高,分别为 0.18、0.17 和 0.15,而总钾、pH 和有效磷的权重系数最低,分别为 0.04、0.08 和 0.10。结合相关系数和权重系数可知,pH 与其他 6 项指标的相关系数通过显著性检验,表明该指标是衡量土壤肥力的重要指标,是影响土壤养分元素循环的关键要素,但是其权重系数较低,在土壤肥力本底评价中的贡献较小。

表 3 研究区各养分指标隶属度平均值

Table 3 Averaged membership values of each nutrient content in the studied areas

| 县    | pH        | 有机质      | 总氮         | 总磷     | 总钾        | 碱解氮      | 有效磷    | 速效钾    |
|------|-----------|----------|------------|--------|-----------|----------|--------|--------|
| 光泽县  | 0.6003abc | 0.5032b  | 0.9486a    | 0.3695 | 1.0000a   | 0.1336b  | 0.8555 | 0.5268 |
| 建瓯市  | 0.7557ab  | 0.6069ab | 0.6477cd   | 0.1551 | 0.7919bc  | 0.3289a  | 0.9748 | 0.3323 |
| 建阳市  | 0.6111abc | 0.6191ab | 0.9168ab   | 0.2511 | 0.7753c   | 0.1283b  | 0.8936 | 0.5665 |
| 浦城县  | 0.5830abc | 0.6248ab | 0.8748ab   | 0.1236 | 1.0000a   | 0.1305b  | 0.8228 | 0.4761 |
| 邵武市  | 0.7050ab  | 0.8512a  | 0.9055ab   | 0.2704 | 0.9345abc | 0.1248b  | 0.9260 | 0.4760 |
| 顺昌县  | 0.5590bc  | 0.6797ab | 0.7228abcd | 0.2131 | 0.7742c   | 0.2429ab | 0.9165 | 0.5668 |
| 松溪县  | 0.7420ab  | 0.7637ab | 0.7105bcd  | 0.2061 | 0.9448ab  | 0.3835a  | 1.0000 | 0.3649 |
| 武夷山市 | 0.3816c   | 0.7557ab | 0.8634abc  | 0.1476 | 0.9013abc | 0.1399b  | 0.9088 | 0.3892 |
| 延平区  | 0.7876ab  | 0.7630ab | 0.5806d    | 0.1643 | 0.8863abc | 0.3761a  | 0.8916 | 0.3625 |
| 政和县  | 0.8410a   | 0.6787ab | 0.6220d    | 0.1632 | 0.8534abc | 0.3187a  | 0.7570 | 0.4000 |

表 4 各养分指标间的相关系数、平均值和权重系数

Table 4 Correlation coefficient, its averaged value and weight coefficient of each nutrient content

| 指标  | 相关系数      |          |          |          |         |          |          | 平均值 | 权重系数   |        |
|-----|-----------|----------|----------|----------|---------|----------|----------|-----|--------|--------|
|     | pH        | 有机质      | 总氮       | 总磷       | 总钾      | 碱解氮      | 有效磷      |     |        | 速效钾    |
| pH  | 1         |          |          |          |         |          |          |     | 0.1651 | 0.0842 |
| 有机质 | -0.1504*  | 1        |          |          |         |          |          |     | 0.3020 | 0.1540 |
| 总氮  | -0.2798** | 0.7255** | 1        |          |         |          |          |     | 0.3539 | 0.1804 |
| 总磷  | 0.1205    | 0.2710** | 0.3309** | 1        |         |          |          |     | 0.2975 | 0.1517 |
| 总钾  | 0.1213*   | 0.0548   | -0.0270  | 0.1817*  | 1       |          |          |     | 0.0698 | 0.0356 |
| 碱解氮 | 0.1609*   | 0.5499** | 0.7436** | 0.3386** | 0.0643  | 1        |          |     | 0.3297 | 0.1681 |
| 有效磷 | 0.1593*   | -0.0795  | -0.0830  | 0.5744** | -0.0326 | 0.0486   | 1        |     | 0.1907 | 0.0973 |
| 速效钾 | 0.1638*   | 0.2831** | 0.2874** | 0.2658** | -0.0072 | 0.4020** | 0.3577** | 1   | 0.2524 | 0.1287 |

注：\*代表相关系数差异达到极显著性水平 ( $p < 0.05$ ), \*\*代表相关系数差异达到极显著性水平 ( $p < 0.01$ )。

2.2 土壤肥力空间格局分析

图 3 为研究区土壤 IFI 空间分布图,按照分位数原则分级后统计各等级土壤在各县市中的面积

百分比,以对比各县市间土壤肥力状况的差异。由图 3 可知,研究区土壤肥力质量呈西部高而东北部低的空间格局,土壤 IFI 均在 0.52 以上,土壤肥力

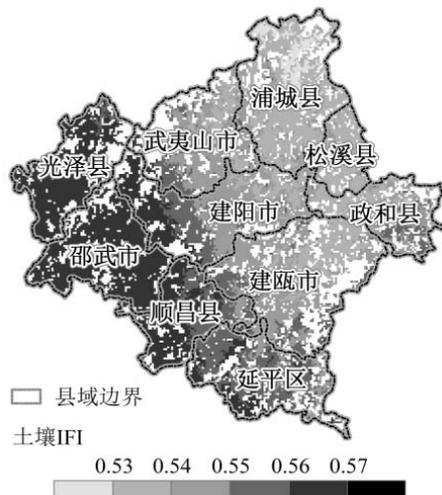


图3 研究区土壤IFI空间格局

Fig. 3 Spatial pattern of soil IFI in the studied areas

状况较好,但空间异质性大。其中,邵武市和光泽县土壤肥力质量最好,土壤IFI均在0.55以上。结合表3可知邵武市土壤肥力均在II等级以上,而光

泽县土壤肥力均在III等级以上;浦城县和松溪县土壤IFI较低,浦城县土壤肥力等级在IV级及以下的土壤面积占99.04%,松溪县有99.64%土壤的肥力等级在IV级及以下。

按照各等级土壤在各县市中的面积百分比来看(表5),I等级土壤主要分布在邵武市和光泽县,两者占I等级土壤总面积的84.54%;II等级土壤主要分布在顺昌县、建阳市、延平区和光泽县,4个县、市、区的II等级土壤占总面积的86.98%;III等级土壤主要分布在延平区、建瓯市、建阳市、顺昌县和武夷山市,5个县、市、区中的III等级土壤占总面积的90.01%;IV等级土壤主要分布在建瓯市、建阳市和武夷山市,3个市的IV等级土壤占总面积的71.33%;V等级土壤主要分布在浦城县、建瓯市、松溪县和政和县,4个县、市的V等级土壤占总面积的83.80%;VI等级土壤均分布在浦城县。

表5 研究区各土壤肥力等级在各县域内的面积百分比

Table 5 Area percentage of each soil quality grade in different counties of the studied areas

| 县    | I       | II          | III         | IV          | V           | VI       |
|------|---------|-------------|-------------|-------------|-------------|----------|
|      | >0.570  | 0.561~0.570 | 0.551~0.560 | 0.541~0.550 | 0.530~0.540 | <0.530   |
| 光泽县  | 29.7205 | 17.2789     | 2.0067      | -           | -           | -        |
| 建瓯市  | -       | 1.9048      | 16.9352     | 27.5469     | 17.1276     | -        |
| 建阳市  | 4.7918  | 19.5011     | 15.0502     | 24.0112     | 8.2036      | -        |
| 浦城县  | -       | 0.0454      | 0.7297      | 8.4299      | 40.9714     | 100.0000 |
| 邵武市  | 54.8203 | 8.8435      | -           | -           | -           | -        |
| 顺昌县  | 8.6994  | 32.1542     | 14.9285     | 1.3384      | -           | -        |
| 松溪县  | -       | -           | 0.0912      | 2.9964      | 15.6635     | -        |
| 武夷山市 | 0.4564  | 2.2222      | 10.0030     | 19.7763     | 7.9944      | -        |
| 延平区  | 1.5117  | 18.0499     | 33.1104     | 6.4722      | -           | -        |
| 政和县  | -       | -           | 7.1450      | 9.4287      | 10.0395     | -        |

### 3 讨论

(1)采用土壤IFI定量化评价表明,研究区土壤肥力呈西部高而东北部低的空间格局。其中邵武市和光泽县土壤肥力质量最好,邵武市土壤肥力均在II等级以上,而光泽县土壤肥力均在III等级以上;浦城县和松溪县土壤肥力等级较低。

基于采样点养分含量和隶属度数据可知,邵武市和光泽县的土壤总氮、总钾和有效磷含量非常适宜于烤烟生长,土壤肥力质量好,与土壤IFI空间格局一致。基于土壤IFI空间格局,结合各县、市、区土壤样品中各养分指标的隶属度和权重系数可

知,邵武市和光泽县土壤肥力的状况最好,主要归因于:邵武市土壤有机质、总氮、总钾和有效磷的含量适宜,隶属度高,尤其是土壤有机质和氮元素含量对土壤肥力的贡献率大,权重系数高;光泽县土壤总氮、总钾和有效磷的含量适宜,隶属度高,尤其是所有采样点的总钾含量均达到最适宜程度,且总氮含量的隶属度值最高;浦城县土壤肥力主要受限于土壤总磷和碱解氮含量,松溪县土壤肥力则受限于土壤总磷和速效钾含量。

(2)由各指标权重系数可知,土壤有机质和氮元素含量是影响研究区土壤肥力的重要因素,总氮、

碱解氮和有机质的权重系数最高，三者之和超过了0.50。土壤pH与有机质、总氮、总钾、碱解氮、有效磷、速效钾6项指标均显著相关，表明pH是影响土壤养分元素循环的关键要素，但其权重系数仅为0.08，在土壤肥力本底评价中的贡献较小。

研究区土壤养分指标的权重系数依次为总氮、碱解氮、有机质、总磷、速效钾、有效磷、pH、总钾；隶属度值依次为总钾、有效磷、总氮、有机质、pH、速效钾、总磷、碱解氮。权重系数反映了营养指标在土壤肥力评价中的贡献率，隶属度则反映了土壤营养指标对烤烟种植的适宜性程度。综合两者来看，研究区土壤总钾、有效磷、总氮含量适宜，pH和有机质含量适中，速效钾含量略低，而总磷、碱解氮含量明显不足。烤烟种植前土壤有效磷含量仍然保持适宜水平，碱解氮含量不足，但总氮含量较高。因此，研究区烟田土壤肥力提升需要从增强总磷和速效氮元素含量入手，同时提升碱解氮、有效磷、速效钾的均衡性，保证根系的均衡吸收。

## 4 结 论

(1) 南平烟区土壤肥力状况呈西部高而东北部低的空间格局，邵武市和光泽县土壤肥力质量最好，浦城县和松溪县土壤肥力等级较低。邵武市土壤有机质、总氮、总钾和有效磷的含量适宜，尤其是土壤有机质和氮元素含量对土壤肥力的贡献率大，光泽县土壤总氮、总钾和有效磷的含量适宜，尤其是总氮和总钾含量的适宜度最高，浦城县土壤肥力主要受限于土壤总磷和碱解氮含量，松溪县土壤肥力则受限于土壤总磷和速效钾含量。

(2) 总体来看，南平烟区土壤总钾、有效磷、总氮含量适宜，pH和有机质含量适中，速效钾含量略低，而总磷、碱解氮含量明显不足。土壤有机质和氮元素含量是影响土壤肥力的重要因素，总氮、碱解氮和有机质三者土壤肥力评价中的权重系数最高。土壤pH与有机质、总氮、总钾、碱解氮、有效磷、速效钾6项指标均显著相关，表明土壤pH是影响土壤养分元素循环的关键要素，但在土壤肥力本底评价中的贡献较小。

## 参考文献

- [1] 骆东奇,白洁,谢德体. 论土壤肥力评价指标和方法[J]. 土壤与环境, 2002(2): 202-205.
- [2] 刘建利,李志宏,陈江华,等. GIS应用于植烟土壤肥力分区及施肥区划的研究[J]. 中国烟草学报, 2004(3): 23-28.
- [3] 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(11): 179-183.
- [4] 陈泽鹏,詹振寿,郭治兴,等. 广东植烟土壤肥力综合评价[J]. 中国烟草科学, 2006, 27(1): 35-37.
- [5] 孙波,张桃林,赵其国. 我国东南丘陵山区土壤肥力的综合评价[J]. 土壤学报, 1995(4): 362-369.
- [6] 张大克,王玉杰,叶海江. 水稻土肥力水平分类中主要土壤肥力因素指标的筛选模型[J]. 农业工程学报, 1997(2): 97-101.
- [7] 吕晓男,陆允甫,王人潮. 土壤肥力综合评价初步研究[J]. 浙江大学学报:农业与生命科学版, 1999(4): 38-42.
- [8] 蔡崇法,丁树文,史志华,等. GIS支持下乡镇域土壤肥力评价与分析[J]. 土壤与环境, 2000(2): 99-102.
- [9] 温延臣,李燕青,袁亮,等. 长期不同施肥制度土壤肥力特征综合评价方法[J]. 农业工程学报, 2015(7): 91-99.
- [10] 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(5): 156-161.
- [11] 黄廷炎,沈长华,邱泉成,等. 南平市烤烟生产气象条件分析与气象服务[J]. 亚热带农业研究, 2009(3): 188-192.
- [12] 李西开. 土壤农业化学常规分析方法[M]. 北京:科学出版社, 1983: 15-21.
- [13] 刘纪远. 国家资源环境时空数据基础及其在资源环境研究中的应用[J]. 地理教育, 2002(2): 4-6.
- [14] Dong J, Liu J, Tao F, et al. Spatio-temporal changes in annual accumulated temperature in China and the effects on cropping systems, 1980s to 2000[J]. Climate Research, 2009, 40: 37-48.
- [15] 许自成,刘国顺,刘金海,等. 铜山烟区生态因素和烟叶质量特点[J]. 生态学报, 2005(7): 1748-1753.
- [16] 王军艳,张凤荣,王茹,等. 应用指数和法对潮土农田土壤肥力变化的评价研究[J]. 农村生态环境, 2001(3): 13-16, 20.
- [17] 张雯雯,李新举,陈丽丽,等. 泰安市平原土地整理项目区土壤质量评价[J]. 农业工程学报, 2008(7): 106-109.
- [18] Hutchinson M F. Interpolating mean rainfall using thin plate smoothing splines[J]. International Journal of Geographical Information Systems, 1995, 9(4): 385-403.