

# Comprehensive Evaluation of Soil Fertility and Spatial-Temporal Characteristics in Sichuan's Renhe Tobacco-Growing Areas

Wenlong Feng<sup>1</sup>, Peng Yang<sup>1</sup>, Jianchun Yang<sup>1</sup>, Fuguo Luo<sup>1</sup>, Lili Tang<sup>1</sup>, Chenglin Peng<sup>2</sup>, Jiafu Yuan<sup>2</sup>, Xiangyu Xu<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Panzhihua Branch, Sichuan Tobacco Company, Panzhihua Sichuan

<sup>2</sup>Plant Protection, Soil and Fertilizer Institute, Hubei Academy of Agricultural Sciences, Wuhan Hubei  
Email: xuxiangyu2004@sina.com

Received: Dec. 24<sup>th</sup>, 2019; accepted: Jan. 7<sup>th</sup>, 2020; published: Jan. 14<sup>th</sup>, 2020

## Abstract

Harmonious soil nutrient and highly comprehensive fertility are guaranteed of high quality and high yield of crops. In this paper, principal component analysis and equidistant cluster analysis were used to evaluate the status of soil nutrients and fertility. The results showed that: 1) The pH value and available nitrogen were suitable; organic matter and water-soluble chlorine were low; available phosphorus, available potassium, exchangeable calcium and exchangeable magnesium were rich. From 2011 to 2017, pH value was slightly increased, organic matter and water-soluble chlorine were decreased gradually; available phosphorus, available potassium, exchangeable calcium and exchangeable magnesium increased significantly. 2) The IFI value of the whole soil samples range from 0.19 to 0.82 in 2017 year, with the average IFI value was 0.52, which was higher than that in 2010, but the coefficient of variation was lower than that in 2010. Comparing with 2010 year, IFI value of medium and low altitude in 2017 year was increased, while that of high altitude was decreased. The soil integrated fertility index of different altitudes was medium altitude > high altitude > low altitude. 3) Our results also showed that the contribution of various indexes of soil nutrients to the IFI value varied greatly, which indicated that the application of fertilizers in successive years led to the aggravation of soil nutrient imbalance.

## Keywords

Soil Fertility, Spatial-Temporal, Comprehensive Evaluation, Principal Component Analysis

# 仁和烟区土壤肥力状况时空变化综合评价

冯文龙<sup>1</sup>, 杨鹏<sup>1</sup>, 杨建春<sup>1</sup>, 罗富国<sup>1</sup>, 唐李丽<sup>1</sup>, 彭成林<sup>2</sup>, 袁家富<sup>2</sup>, 徐祥玉<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>四川省烟草公司攀枝花市公司, 四川 攀枝花

\*通讯作者。

文章引用: 冯文龙, 杨鹏, 杨建春, 罗富国, 唐李丽, 彭成林, 袁家富, 徐祥玉. 仁和烟区土壤肥力状况时空变化综合评价[J]. 农业科学, 2020, 10(1): 59-68. DOI: 10.12677/hjas.2020.101009

<sup>2</sup>湖北省农业科学院植保土肥研究所, 湖北 武汉  
Email: xuxiangyu2004@sina.com

收稿日期: 2019年12月24日; 录用日期: 2020年1月7日; 发布日期: 2020年1月14日

## 摘要

协调的土壤养分状况和较高的土壤综合肥力是作物优质高产的保障。本文采用主成分分析和等间距聚类分析方法对攀枝花市仁和烟区植烟土壤养分和肥力状况进行综合评价。研究表明: 1) 土壤pH值和碱解氮适中, 有机质、水溶性氯偏低; 速效磷、速效钾、交换性钙、交换性镁丰富; 2011~2017年pH值稍有升高、有机质和水溶性氯稍有降低, 速效磷、速效钾、交换性钙、交换性镁大幅度上升。2) 2015~2017年土壤肥力综合得分IFI值的变幅为0.19~0.82, 变异系数较2009~2010年降低, IFI平均值为0.52, 较2009~2010年提高; 主要是中、低海拔IFI值提高, 高海拔降低; 不同海拔高度土壤的综合肥力指标值大小为中海拔 > 高海拔 > 低海拔。3) 两次普查显示土壤养分各个指标对肥力综合评价贡献变异较大, 说明连年化肥施用导致土壤养分不平衡加剧。

## 关键词

土壤肥力, 时空演变, 综合评价, 主成分分析

Copyright © 2020 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

土壤肥力是指土壤为植物生长提供营养元素和适宜环境条件的一种能力[1] [2], 是土壤作为生产力的基础指标[3] [4]。土壤肥力状况受到自然条件和人为因素影响, 调查和评估土壤肥力时空变化对指导后续农业生产中肥料施用、制定施肥技术参数具有重要意义。我国烟草种植结构比较单一, 常年基本固定的养分投入导致植烟土壤养分不平衡问题比较突出, 植烟土壤肥力状况变化直接影响烟草生长发育、产量和产值[5]。

攀枝花市位于四川西南角, 是我国优质烤烟生产基地之一[6]。仁和烟区是攀枝花烟叶主产区之一, 与云南省永仁县接壤, 地理坐标为北纬 26°06'~26°47'、东经 101°24'~101°56'之间, 气候类型为南亚热带-北温带的多种气候类型, 被称为“南亚热带为基带的立体气候”, 气温日变化大, 年变化小, 年平均气温 20.3℃, 年降雨 850 毫米左右, 四季不分明而干雨季分明, 小气候呈复杂多样的特点, 立体气候明显。由于海拔变化大, 土壤养分在不同海拔差异明显。本研究以主成分分析法和模糊数学法相结合, 通过对比分析 2010 年和 2017 年度两次取样土壤养分状况, 对该区域土壤养分状况时空变化进行综合评价, 旨在揭示人为和自然因子对土壤肥力状况时空变化的影响, 为制定后续烤烟生产施肥方案提供科学依据。

## 2. 材料与方法

### 2.1. 样品采集与分析

通过对母质、地形、植烟面积等因素综合考虑, 在 2010 和 2017 年进行定位取样, 取样数量分别为

123 个和 104 个。取样时间为烟田尚未进行整地施肥以前。为了反映真实土壤养分状况, 每个采样点采集 8~10 个 0~20 cm 表层土壤混合为一个样本。所有样品经过风干、研磨过筛、混匀, 分析土壤 pH 值、有机质、碱解氮、速效磷、速效钾、有效性、水溶性氯、有效硼等 8 个指标, 分析方法参见鲁如坤[7]和鲍士旦[8]。

## 2.2. 数据分析与评价方法

为了提高数据的准确度, 首先采用拉依达法(3 倍方差法)监测离群值并剔除[9] [10], 以 R 语言 mice 包进行缺失值插值处理, 以 R 语言 psych 包进行主成分分析并进一步计算各项指标的权重; 根据烟草生产发育效应曲线和实践经验确定土壤肥力指标之间的隶属度函数类型, 通过对曲线转折点取值计算出每个样品的隶属度值, 通过权重和隶属度值计算土壤肥力综合指标值 *IFI* (Integrated Fertility Index) [3] [4]。计算公式为(1):

$$IFI = \sum_{i=1}^n W_i \times N_i \quad (1)$$

公式中, *IFI* 为土壤肥力综合指标值,  $W_i$  为第  $i$  种养分指标权重系数,  $N_i$  为第  $i$  种养分指标隶属度值。*IFI* 值的取值范围为 0~1, 数值越大表示该土壤综合肥力越高。

## 3. 结果与分析

### 3.1. 土壤养分状况描述性统计分析

从土壤养分指标看(图 1), 2009~2010 年普查结果全体土壤 pH 值介于 4.90~7.70 之间, 均值为  $6.45 \pm 0.52$ , 变异系数为 6.5%, 其中海拔 < 1600 m 土壤 pH 值最高, 海拔 > 1800 m 土壤 pH 值最低, 土壤 pH 值与海拔呈现出明显负相关; 2015~2017 年结果显示总体土壤 pH 值介于 4.31~8.12 之间, 均值为  $6.88 \pm 0.91$ , 变异系数为 13.2%, 其中海拔 1600~1800 m 土壤 pH 值最低, 海拔 > 1800 m 土壤 pH 值最高, 土壤 pH 值与海拔无相关关系。两次普查结果 pH 值差异较大, 连年施肥和有意识的改良土壤酸化状况, 致使高海拔土壤 pH 大幅度上升(增幅为 13.4%), 同时导致土壤 pH 值变异系数增加。

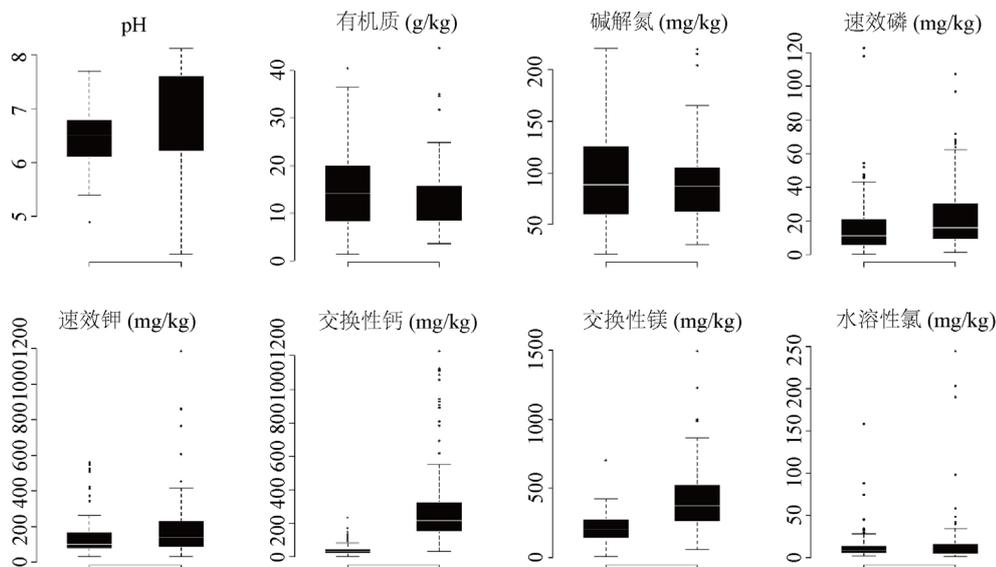


Figure 1. Descriptive statistical of soil fertility indexes in Renhe tobacco-growing areas  
图 1. 仁和烟区土壤养分指标值的描述统计

2009~2010 年结果显示, 总体土壤有机质平均含量为  $15.23 \pm 8.88 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ , 且与海拔呈现明显正相关, 而 2017 年显示总体土壤有机质平均含量为  $12.09 \pm 4.88 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ , 且与海拔无相关关系。可见两次普查之间施肥措施致使土壤有机质降低。两次普查显示土壤碱解氮、水溶性氯保持稳定, 基本无变化, 且其含量与海拔无明显关系。2017 年土壤速效磷、速效钾、交换性钙、交换性镁四个指标明显高于 2010 年, 总体均值分别提高 50.0%、36.4%、695.0%和 95.2%; 2010 年土壤速效钾含量随海拔升高而升高, 交换性镁、交换性钙则随海拔升高而降低, 2017 年则土壤速效磷、速效钾在 1600~1800 m 海拔范围最高, 交换性钙在此海拔最低, 交换性镁则随海拔升高而降低。

变异系数结果显示, 在时间尺度上, 从 2010 年至 2017 年, 除有机质和碱解氮变异系数降低, 其他指标变异系数均有所增加, 其中速效钾和交换性钙变异系数增加最高, 说明这些肥力指标空间变异性增加。在空间尺度上, 2010 年土壤有机质、碱解氮、速效钾等指标变异系数随海拔升高而降低, 交换性钙、镁则随海拔升高而升高; 速效磷、氯含量则在 1600~1800 m 海拔变异系数最高; 2017 年则速效磷、速效钾、交换性镁、水溶性氯在 1600~1800 m 海拔变异系数最低, pH 值、交换性钙在 1600~1800 m 海拔变异系数最高。

### 3.2. 土壤养分状况时空变化及综合分析

#### 3.2.1. 隶属度函数确定及赋值

隶属度函数是指肥力指标与作物生长曲线之间的数学表达式, 通过函数计算得到隶属度值, 其大小能反映土壤肥力状况。常用的隶属度函数类型有抛物线型和 S 型隶属函数[11]。S 型隶属函数表达式为(2):

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

抛物线型隶属函数表达式为(3):

$$f(x) = \begin{cases} 0.1 & (x < x_1, x > x_4) \\ 0.9 \times (x - x_1) / (x_2 - x_1) + 0.1 & (x_1 \leq x < x_2) \\ 1.0 & (x_2 \leq x \leq x_3) \\ 1.0 - 0.9 \times (x - x_4) / (x_2 - x_4) & (x_3 < x \leq x_4) \end{cases} \quad (3)$$

式(2)和式(3)中,  $x_1$ 、 $x_2$ 、 $x_3$ 、 $x_4$  分别为下限、下限最优、上限最优和上限。根据生产实践和有关专家建议, 同时结合相关文献[11], 确定各个养分指标的隶属度函数类型和曲线转折点取值, 见表 1。

#### 3.2.2. 肥力指标权重值

不同养分指标对土壤综合肥力的贡献程度不同, 因此在评价土壤肥力时应对各项指标进行权重值计算。确定不同养分指标权重的方法较多, 本研究选用主成分分析法[3] [4] [11], 通过 R 语言主成分分析为主成分选取条件, 取得评价因子主成分的特征值和贡献率, 进而求出公因子方差, 公因子方差的大小反映了该指标对总体变异的贡献。通过成分矩阵、特征根、贡献率计算出不同养分因子的权重值, 见表 2。

表 2 结果显示, 总体上 2009~2010 年土壤肥力各项指标中有机质、交换性钙、交换性镁权重值最高, pH 值最低; 2015~2017 年则碱解氮和有机质权重, 速效磷、速效钾和氯的权重最低。由此可见不论是时间尺度上还是空间尺度上, 土壤养分各项指标对综合肥力贡献处于不断变化状态。

**Table 1.** Types of membership function and threshold values of each soil fertility index  
**表 1.** 各指标的隶属函数类型及曲线转折点取值

	函数类型 Type of membership function	下限( $x_1$ ) Lower limit value	下限最优( $x_2$ ) Optimal value of lower limit value	上限最优( $x_3$ ) Optimal value of Upper limit value	上限( $x_4$ ) Upper limit value
pH		4.5	5.5	7	7.5
有机质 g/kg		10	15	25	45
碱解氮 mg/kg	抛物线型 Parabola-type function	30	50	70	100
交换性钙 mg/kg		600	1600	2000	3400
交换性镁 mg/kg		72	180	420	840
氯含量 mg/kg		10	20	35	45
速效磷 mg/kg	S 型 S-type function	10			20
速效钾 mg/kg		80			150

**Table 2.** Communalities and weight value of each fertility index  
**表 2.** 各指标公因子方差和权重

	2009~2010 年		2015~2017 年	
	权重 Weight value	公因子方差 Community	权重 Weight value	公因子方差 Community
pH	0.108	0.33	0.114	0.66
有机质 g/kg	0.138	0.71	0.146	0.62
碱解氮 mg/kg	0.126	0.71	0.179	0.8
速效磷 mg/kg	0.114	0.38	0.088	0.43
速效钾 mg/kg	0.110	0.49	0.088	0.37
交换性钙 mg/kg	0.133	0.57	0.132	0.76
交换性镁 mg/kg	0.139	0.58	0.121	0.24
氯 mg/kg	0.133	0.38	0.089	0.43

### 3.2.3. 土壤肥力综合评价

在土壤肥力综合评价中, 一般使用等间距法将土壤肥力综合指标值(*IFI*)进行划分, 本研究中参照[4]的方法, 将土壤肥力综合指标值划分为 4 个等级: I 级( $IFI \geq 0.75$ ), II 级( $0.50 \leq IFI < 0.75$ ), III 级( $0.25 \leq IFI < 0.50$ ), IV 级( $IFI < 0.25$ )。由表 3 可知, 2009~2010 年土壤肥力综合指标 *IFI* 值平均为 0.51, 最高为 0.79, 最低为 0.27, 且 *IFI* 值随海拔升高而提高; 2015~2017 年 *IFI* 值平均为 0.52, 最高和最低分别为 0.82 和 0.19, 且以 1600~1800 m 海拔 *IFI* 值最高, 可见随着种植时间延长, 总体上土壤肥力在提高, 但是不同海拔变化并不相同。从分布状况看, 随着种植年限延长, 在 <1600 m 海拔上土壤肥力变异增大; 在 1600~1800 m 海拔上以 II 级和 III 级为主(2009~2010 年)转变为以 II 级为主(2015~2017 年); >1800 m 海拔则基本没有变化, 总体上, 土壤肥力 *IFI* 值以 III 级比例在降低、II 级比例在提高。

## 4. 讨论与结论

### 4.1. 各个肥力指标时空变化

土壤肥力时空变化描述性统计见图 1, 植烟土壤适宜 pH 值为 5.5~7.0 [12] [13], 以这个标准来看, 仁

和烟区土壤 pH 值适宜。从表 1 看出, 2010 年土壤 pH 值比较适中, 但高海拔土壤 pH 值有酸化趋势, 故在此基础上进行施肥调整, 注意进行土壤酸化改良, 在 2017 年结果显示, 总体土壤 pH 值有所提高仍然比较适中, 但高海拔土壤 pH 值大幅度增加, 这说明前期普查结果后制定的缓解土壤酸化的措施作用显著并且存在过量的可能性, 这进一步表明在土壤酸化改良的措施上应该特别慎重。

**Table 3.** Comprehensive evaluations of soil fertility status  
**表 3.** 土壤肥力综合评价

	各等级比例 The proportion of each grade				土壤肥力综合指标值(IFI) Integrated fertility index					
	I (IFI ≥ 0.75)	II (0.50 ≤ IFI < 0.75)	III (0.25 ≤ IFI < 0.50)	IV (IFI < 0.25)	平均值 Mena	标准差 S	最小值 Min	最大值 Max	变异系数 CV%	
2009~2010	<1600 m	0.00	32.56	67.44	0.00	0.47	0.11	0.27	0.73	23.40%
	1600~1800	0.00	59.38	40.62	0.00	0.53	0.12	0.30	0.70	22.64%
	>1800	6.25	50.00	43.75	0.00	0.53	0.12	0.29	0.79	22.64%
	总体 Total	2.44	46.34	51.21	0.00	0.51	0.12	0.27	0.79	23.53%
2015~2017	<1600 m	4.00	36.00	48.00	12.00	0.48	0.15	0.19	0.80	31.25%
	1600~1800	5.26	84.21	10.52	0.00	0.64	0.11	0.37	0.82	17.19%
	>1800	0.00	56.67	41.67	1.66	0.51	0.11	0.21	0.74	21.56%
	总体 Total	1.92	56.73	37.50	3.85	0.52	0.13	0.19	0.82	25.00%

总体上, 仁和烟区土壤有机质较低, 属于偏低范畴, 且从 2010 年至 2017 年呈现下降趋势, 总体上降低 12.5%。不同海拔看, 三个海拔高度土壤有机质均有降低, 以 >1800 m 海拔降幅最大(降幅为 31.07%), 这主要可能与该海拔上土壤有机质本身较高、相同种植制度下降幅最快有关。

土壤碱解氮、速效磷、速效钾、交换性钙镁、水溶性氯等养分含量受化学肥料施用影响巨大。植烟土壤碱解氮含量适宜范围为 65~120 mg·kg<sup>-1</sup> [14], 以这个标准看, 不论是 2010 年还是 2017 年, 仁和烟区土壤碱解氮含量适宜。从空间看, 1600~1800 m 海拔碱解氮稍高于其他两个海拔高度, 从时间尺度上看, 土壤碱解氮基本没有变化, 这说明目前的施氮量适宜。

2010 年至 2017 年交换性钙、交换性镁含量大幅度上升, 尤其是交换性钙, 总体上升幅度达到 695%, >1800 m 海拔高度交换性钙增幅更是达到 962%, 不论是增幅还是含量, 本研究结果与前人研究结果基本一致[15]这与土壤 pH 值结果完全一致, 基本可以肯定是受到酸化土壤改良措施的影响, 该烟区主要的改良土壤酸化措施为使用石灰, 该改良剂使用广泛、改良效果好, 同时可补充土壤钙含量, 但过量和不合理使用石灰会引起短期内土壤 pH 值急剧升高[16], 并由此导致部分土壤碱化, 因此在施用石灰时应该注意用量和频率。

随着种植时间的延长, 土壤速效磷和速效钾也大幅度提高, 磷、钾分别提高 50%和 36.4% (图 1), 这主要和施肥有关, 2011~2017 年该烟区氮磷钾年均投入量为 N:P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:K<sub>2</sub>O = 100:116:320 kg·hm<sup>-1</sup>, 而烟株氮、磷、钾含量约为 6~10 g、1~1.5 g 和 8~12 g/株[17], 若分别以 8.0、1.2、10.0 g/株计算烟株氮、磷、钾累积量, 每公顷按 16500 株计算, 则每公顷烟株带走氮、磷、钾分别为 132、19.8 和 165 kg, 由此可见氮素投入量稍低于烟株带走量, 并由此导致土壤碱解氮稍有降低、有机质下降, 同时磷钾投入量远远高于烟株需要量, 即使降雨会导致钾素流失, 但长期高量投入肯定引起土壤磷钾累积, 这可以从前人研究得

到印证[18]。

烟草是忌氯作物，但氯也是烟草必需营养元素之一[19]。烟叶氯含量的 61.8%来自土壤，土壤水溶性氯含量是植烟土壤一个重要指标[20] [21]。植烟土壤适宜水溶性氯含量为 20~30 mg·kg<sup>-1</sup> [22]，2010 年结果表明仁和烟区总体土壤水溶性氯含量 11.41 ± 7.84 mg·kg<sup>-1</sup>，2017 年为 11.02 ± 7.93 mg·kg<sup>-1</sup>，氯含量主要受施肥和降雨的影响，说明目前的施肥水平和降雨两下土壤水溶性氯含量有缓慢降低风险。从不同海拔看，不同海拔上土壤水溶性氯含量基本一致，说明海拔对此无明显影响。

#### 4.2. 海拔与各个指标的相关关系

2009~2010 年结果表明，土壤有机质、速效钾含量与海拔显著正相关，而交换性钙、交换性镁、pH 与海拔显著负；2015~2017 年结果显示，交换性镁与海拔显著负相关，其他因子均不相关(图 2)。海拔是影响山地植烟土壤的重要因子，土壤理化性质随海拔高度而变化，如低海拔土壤碱解氮、有机质、有效硫含量明显低于中高海拔[11]。

pH 值与交换性钙显著正相关，与有机质、碱解氮极显著负相关。植烟土壤 pH 值与土壤养分的关系已经有大量报道[6] [12]，且已有报道结果并不完全一致，这说明样本量大小、土壤母质、气候条件以及种植制度等对土壤 pH 值与养分之间关系均有影响，但即便如此，所有报道均表明土壤 pH 值与土壤交换性钙、交换性镁显著正相关，这与本研究结果一致，说明在更大尺度范围内，交换性钙镁与土壤 pH 值的关系会更加紧密。

土壤有机质对土壤肥力至关重要，通常情况下认为土壤有机质的高低直接反应了土壤肥力的高低。本研究显示两次调查土壤有机质与速效氮磷钾极显著正相关，但 2015~2017 年的相关性比 2009~2010 年相关系数降低；与交换性钙镁呈现显著或不显著负相关，这从侧面反应了土壤有机质可以直接反应养分指标的高低。

土壤速效钾、水溶性氯含量直接影响烟叶中钾和氯的含量，因此在植烟土壤养分管理中尤为重要。本研究显示，两次调查均显示土壤速效钾与有机质、碱解氮、速效磷极显著正相关，与其他因子无相关关系；2009~2010 年水溶性氯与碱解氮、交换性镁显著正相关，2015~2017 年则与有机质、碱解氮、速效磷极显著正相关。土壤中的速效钾、水溶性氯含量输入主要受施肥量的影响，而输出受到降雨量和作物吸收的影响强烈，相关系数表明施肥对钾、氯两种营养元素影响巨大。

#### 4.3. 综合肥力评价指标值时空变化

综合肥力指标值来源于隶属度值和权重值，其中隶属度值受函数类型影响较大，如 S 型函数中，当养分含量超过上限后，含量越高对总体贡献无负影响，而抛物线型则养分含量过高或过低均不好。不同作物营养元素函数类型选择不同，由于烟草对氮、氯、钾等营养元素的敏感性和偏好性，本研究中速效磷和速效钾为 S 型，其他指标均为抛物线型。

从 2009~2010 年至 2015~2017 年两次普查结果显示，总体上土壤肥力综合指标值 *IFI* 有升高趋势(表 3, 图 3)，这主要受到有机质和碱解氮的贡献上升，速效磷、速效钾、水溶性氯的贡献则降低，其中速效磷和速效钾影响最大，交换性钙对 *IFI* 值基本无影响。同时可以看出，上述指标对 *IFI* 的贡献与该指标的权重的变化完全一致、与隶属度值变化基本相反，这说明权重值在 *IFI* 中的贡献可能大于隶属度值。

从不同海拔看，两次结果显示<1600 m 海拔 *IFI* 值稍有升高(增幅 6.98%)，1600~1800 m 海拔范围 *IFI* 值明显升高(增幅 20.76%)，>1800 m 海拔则稍有降低(降幅 7.23%)，同时，<1600 m、1600~1800 m 和>1800 m 样品数量分别占两次普查总样品数量的 34.69%、26.02%、39.02%和 24.03%、15.38%、57.69%，可见烟草种植海拔在逐步提高，而高海拔的 *IFI* 值在降低，高海拔(>1800 m)植烟土壤上有机质、碱解氮两个

指标的含量在降低而权重值在增加，同时速效磷、速效钾、交换性钙三个指标含量在提高而权重值降低，说明养分不均衡度在增加，由此可见平衡施肥比单纯提高某一个养分指标更重要。在仁和烟区植烟土壤的海拔逐步攀升的条件下，注重高海拔地区平衡施肥对提升整个植烟土壤肥力有重要影响。

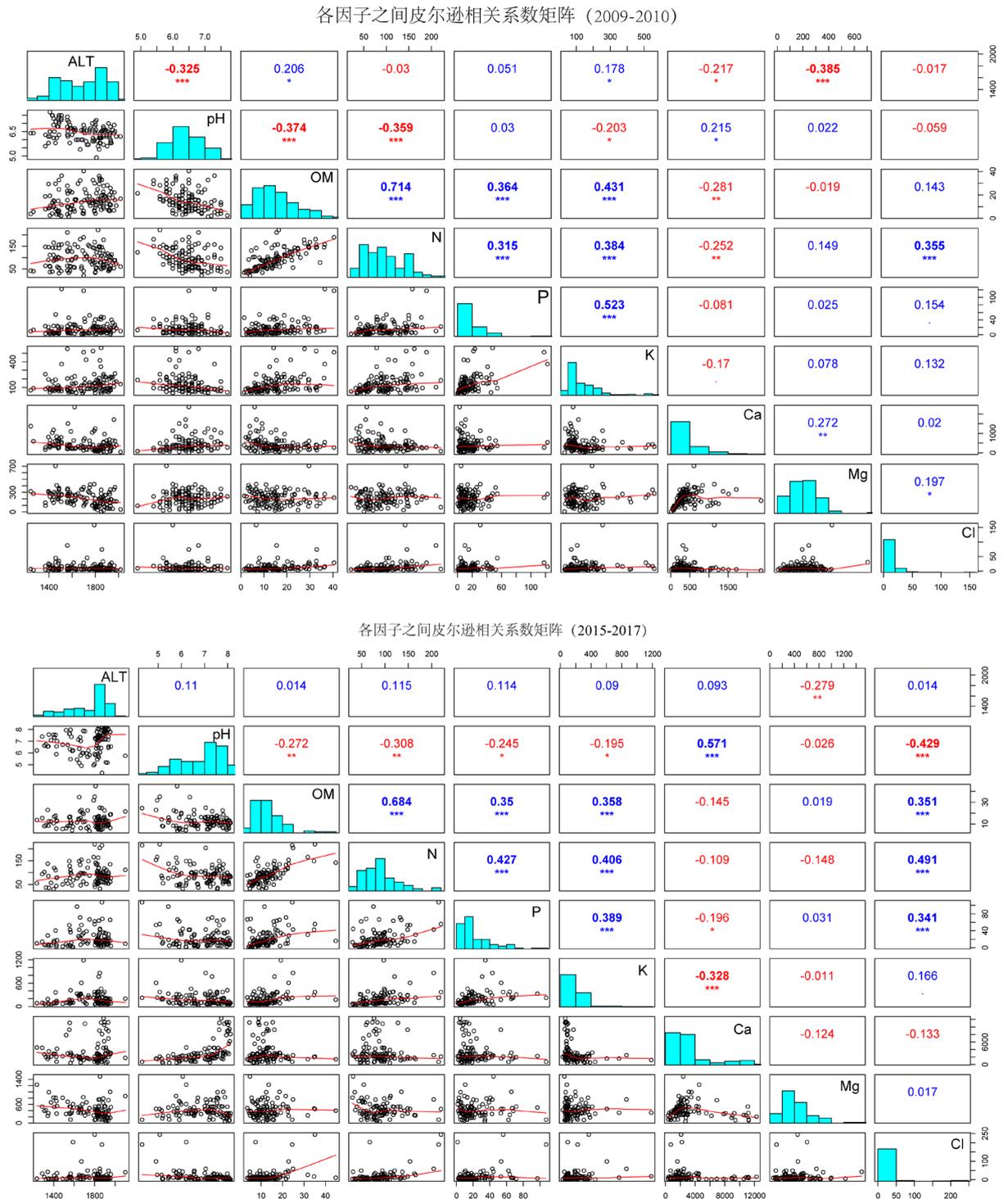
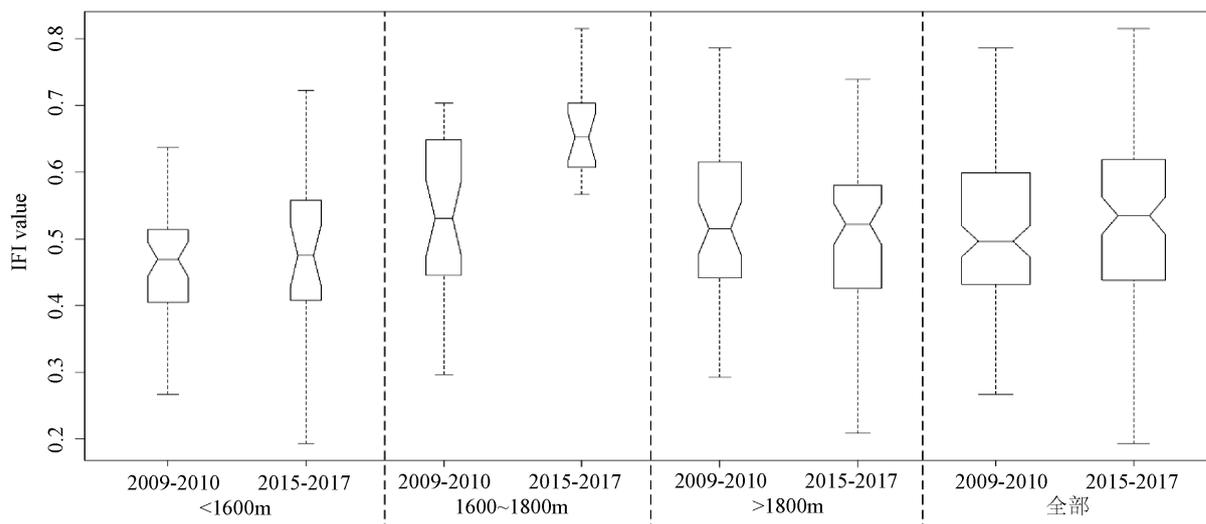


Figure 2. Correlation coefficient among elevation, pH and soil nutrients  
图 2. 海拔、pH 与土壤养分之间相关系数



**Figure 3.** IFI values of different elevation in both years  
**图 3.** 不同海拔 IFI 值

## 基金项目

四川省烟草公司攀枝花市公司科技项目：土壤保育及平衡施肥技术研究与应用(合同号 2016009)。

## 参考文献

- [1] Schnitzer, M. (1991) Soil Organic Matter—The Next 75 Years. *Soil Science*, **151**, 41-58.  
<https://doi.org/10.1097/00010694-199101000-00008>
- [2] 曹志洪, 周建民. 中国土壤质量[M]. 北京: 科学出版社, 2008: 30-39.
- [3] 马强, 宇万太, 赵少华, 等. 黑土农田土壤肥力质量综合评价[J]. 应用生态学报, 2004, 15(10): 1916-1920.
- [4] 王林, 卢秀萍, 肖汉乾, 等. 浏阳植烟土壤肥力状况的综合评价[J]. 河南农业大学学报, 2006, 40(6): 597-600.
- [5] 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, 25(7): 1748-1753.
- [6] 王晖, 邢小军, 许自成. 攀西烟区紫色土 pH 值与土壤养分的相关分析[J]. 中国土壤与肥料, 2007(6): 19-22.
- [7] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2000.
- [8] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 第 3 版. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [9] 周学文, 赵小敏, 胡国瑞, 等. 南方丘陵地区水田土壤养分变异分析[J]. 江西农业大学学报, 2009, 31(5): 919-926.
- [10] 赵辉, 邵素华, 谢东坡. 分析数据中离群值的处理方法[J]. 周口师范学院学报, 2004, 21(5): 70-71, 115.
- [11] 刘琼峰, 李明德, 吴海勇, 等. 张家界烟区不同海拔高度植烟土壤特征与综合评价[J]. 中国农学通报, 2013, 29(11): 132-138.
- [12] 郭明全, 胡建新, 张宗锦. 攀枝花烟区土壤 pH 分布特点及其与土壤有效养分的关系[J]. 西南农业学报, 2012, 25(4): 1338-1341.
- [13] 曾庆宾, 杨军伟, 徐祥玉, 等. 攀枝花烟区土壤酸碱及钙、镁变化分析[J]. 湖北农业科学, 2017, 56(6): 1052-1055.
- [14] 杨军伟, 曾庆宾, 张瑞平, 等. 攀枝花市烟区土壤有机质及氮素变化分析[J]. 湖北农业科学, 2016, 55(9): 2195-2197.
- [15] 田飞, 罗建新, 严红星, 等. 常德市植烟土壤养分状况与评价[J]. 粮食科技与经济, 2019, 44(1): 133-136.
- [16] 孟赐福, 傅庆林, 水建国, 等. 浙江中部红壤施用石灰对土壤交换性钙、镁及土壤酸度的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 1999, 5(2): 129-136.
- [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.
- [18] 刘刚, 李浩, 董贤春, 等. 宜昌植烟土壤养分含量变化特征[J]. 安徽农业科学, 2019, 47(16): 187-190, 268.

- [19] 胡国松, 郑伟, 王震东. 烤烟营养原理[M]. 北京: 科学出版社, 2000: 55-57.
- [20] 李强, 周冀衡, 何伟, 等. 中国主要烟区烤烟氯含量区域特征研究[J]. 中国土壤与肥料, 2010(2): 49-54.
- [21] 张翔, 范艺宽, 黄元炯, 等. 烤烟吸收氯的主要来源及其在体内分布的研究[J]. 土壤肥料, 2006(2): 62-64.
- [22] 闫芳芳, 苏兆俊, 张映杰, 等. 攀枝花烟区土壤水溶性氯含量及其氯肥适宜用量研究[J]. 天津农业科学, 2018, 24(11): 69-74.