

# 云南文山州土壤磷素含量与烤烟质量的关系

沈毅<sup>1</sup>, 孙婷婷<sup>2</sup>, 顾毓敏<sup>1</sup>, 徐天养<sup>3</sup>, 李鹏飞<sup>3</sup>, 殷红慧<sup>3</sup>, 窦玉青<sup>2\*</sup>, 闫鼎<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup>上海烟草集团有限责任公司物资采购中心, 上海

<sup>2</sup>中国农业科学院烟草研究所, 山东 青岛

<sup>3</sup>云南省烟草公司文山州公司, 云南 文山

收稿日期: 2024年3月25日; 录用日期: 2024年5月17日; 发布日期: 2024年5月28日

## 摘要

【目的】为了探讨云南文山州植烟土壤磷含量与所产烟叶质量的关系,【方法】以云南省文山州7个县(市)的222份土壤和烟叶样品为研究对象,通过相关分析和差异显著性分析,研究了土壤磷含量与烟叶外观质量、物理特性、常规化学成分、感官评吸质量的相关性及不同磷含量档次土壤所产烟叶的外观质量、物理指标、常规化学成分、感官评吸质量的差异性。【结果】:(1)土壤全磷含量与烟叶的颜色、油分、成熟度、色度呈显著或极显著负相关关系;随植烟土壤全磷含量档次升高,烟叶的颜色、成熟度、色度得分均表现为下降趋势。(2)土壤磷含量与烟叶平衡含水率、含梗率均呈显著负相关,与烟叶填充值极显著负相关;在一定范围内,随土壤全磷含量档次升高,烟叶平衡含水率得分有降低趋势;随土壤全磷含量档次升高,烟叶填充值得分表现为明显的上升趋势。(3)土壤全磷含量与烟叶总氮含量极显著正相关,与烟叶总糖、还原糖、糖碱比均为极显著负相关;烟叶总植物碱、总氮含量随土壤磷含量档次升高而增加,烟叶总糖、还原糖含量和糖碱比有随土壤磷含量档次升高而下降的趋势。(4)土壤全磷含量与烟气圆润感、余味显著负相关;随土壤速效磷含量档次升高,香气质、杂气、圆润感、干燥感4个指标得分和评吸总分均表现为下降趋势,随土壤全磷含量档次升高,余味指标得分和评吸总分总体表现为下降趋势。【结论】综合分析初步认为,土壤全磷含量大于1.5%时,如果仍然按传统施磷量施肥,对烟叶外观质量造成不利影响;土壤速效磷含量大于10 mg/kg时,如果仍然按传统施磷量施肥,对烟叶评吸质量造成不利影响。

## 关键词

烤烟, 土壤磷含量, 外观质量, 常规化学成分, 感官评吸质量

## Analysis on the Relationship between Soil Phosphorus Content and Flue-Cured Tobacco Leaf Quality in Wenshan Prefecture, Yunnan Province

\*通讯作者。

文章引用: 沈毅, 孙婷婷, 顾毓敏, 徐天养, 李鹏飞, 殷红慧, 窦玉青, 闫鼎. 云南文山州土壤磷素含量与烤烟质量的关系[J]. 植物学研究, 2024, 13(3): 328-338. DOI: 10.12677/br.2024.133035

Yi Shen<sup>1</sup>, Tingting Sun<sup>2</sup>, Yumin Gu<sup>1</sup>, Tianyang Xu<sup>3</sup>, Pengfei Li<sup>3</sup>, Honghui Yin<sup>3</sup>, Yuqing Dou<sup>2\*</sup>, Ding Yan<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Shanghai Tobacco Group Co. Ltd. Material Procurement Center, Shanghai

<sup>2</sup>Tobacco Research Institute of Chinese Academy of Agriculture Sciences, Qingdao Shandong

<sup>3</sup>Yunnan Tobacco Company Wenshan Prefecture Company, Wenshan Yunnan

Received: Mar. 25<sup>th</sup>, 2024; accepted: May 17<sup>th</sup>, 2024; published: May 28<sup>th</sup>, 2024

## Abstract

In order to explore the relationship between phosphorus content in tobacco planting soil and the quality of tobacco leaves produced in Wenshan Prefecture, Yunnan Province, 222 soil samples and 222 tobacco leaf samples from seven counties in Wenshan Prefecture were used as research objects, correlation analysis and difference significance analysis were used to analyze the relationship between soil phosphorus content and tobacco leaf appearance quality, physical characteristics, conventional chemical composition, sensory evaluation quality, as well as the differences of appearance quality, inner quality of tobacco leaves produced in different phosphorus content grades of soil. The results showed that: (1) there was a significant or extremely significant negative correlation between the total phosphorus content in soil and the color, oil content, maturity, and chromaticity of tobacco leaves; as the total phosphorus content of tobacco planting soil increases, the color, maturity, and chromaticity scores of tobacco leaves show a downward trend. (2) The phosphorus content in soil is significantly negatively correlated with the equilibrium moisture content and stem content of tobacco leaves, and extremely significantly negatively correlated with the filling value of tobacco leaves; within a certain range, the equilibrium moisture content score of tobacco leaves tends to decrease with the increase of total phosphorus content in the soil; the score of tobacco leaf filling value shows a significant upward trend as the total phosphorus content in the soil increases. (3) The total phosphorus content in soil is highly significantly positively correlated with the total nitrogen content of tobacco leaves, while it is highly significantly negatively correlated with the total sugar, reducing sugar, and sugar alkali ratio of tobacco leaves; the total alkaloids and total nitrogen content of tobacco leaves increase with the increase of soil phosphorus content, while the total sugar, reducing sugar content, and sugar alkali ratio of tobacco leaves show a downward trend with the increase of soil phosphorus content. (4) The total phosphorus content in soil is significantly negatively correlated with the roundness and aftertaste of smoke; as the content of available phosphorus in the soil increases, the scores of the four indicators of aroma quality, impurities, roundness, and dryness, as well as the total score of absorption, all show a downward trend; and the total phosphorus content in the soil increases, the overall score of aftertaste indicators and total evaluation scores show a downward trend. Based on comprehensive analysis, it is preliminarily believed that when the total phosphorus content in soil is greater than 1.5%, if the traditional phosphorus application rate is still applied, it will have a negative impact on the appearance quality of tobacco leaves; When the soil available phosphorus content is greater than 10 mg/kg, if the traditional phosphorus application rate is still applied, it will have a negative impact on the smoking quality of tobacco leaves.

## Keywords

Flue-Cured Tobacco, Soil Phosphorus Content, Appearance Quality, Conventional Chemical Composition, Sensory Evaluation Quality

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

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



Open Access

## 1. 引言

1982~2016年,我国磷肥年施用量由130万吨增至1600万吨,34年间增加了10倍多[1];我国农田总体磷投入大于总产出,2016年比1998年增加了423.43% [2]。磷肥投入的增多与我国土壤磷素的变化密切相关。全国磷素盈余一方面提高了我国土壤速效磷含量,使我国土壤磷素养分状况明显改善[3];另一方面,盲目追求高产通常会选择过量施用磷肥,导致土壤磷富集状况愈加严重[4]。烤烟中的磷元素一般约占总干重的0.15%~0.6%,按每公顷总干重1000 kg计算,烤烟的需磷量每公顷1.5~6.0 kg,而烤烟种植平均施磷量(按P计)每公顷约26~60 kg,因此烟农施用的磷肥远远大于烤烟所需。不合理的施用磷肥使土壤磷富集愈加严重,最终就会造成磷的奢侈吸收[5] [6]。一般认为土壤速效磷含量在10~20 mg/kg之间,烤烟生长最佳,土壤磷富集过于严重反而会对烤烟生长及产量和品质产生不良影响。研究表明,当磷肥施用量( $P_2O_5$ )在一定范围内,增施磷肥能提高烤烟K326的经济性状,超过此范围经济性状反而不如低磷处理杨成翠等[7]。适宜施磷量对烤烟产质性状表现有较好的正面效应,在有效磷含量高的田块,适当降低磷肥施用量能获得理想的产量,过度施用磷肥对烟叶质量提升效果不大,甚至会有负效应[8]在土壤磷含量较高的情况下,再大量施用磷肥一般对烤烟产量不会有较明显影响,但会带来常规化学成分协调性趋劣,香气量减少,感官评吸质量下降[10] [11] [12]。据文献,2005~2020年期间,文山州烟田土壤有效磷含量总体处于烤烟种植的适宜~偏高水平[9]。为了掌握云南文山土壤磷含量与烟叶质量关系,开展本研究,旨在为云南文山烟区土壤合理施用磷肥提供技术支持。

## 2. 材料与方法

### 2.1. 研究材料

#### 2.1.1. 土壤样品

在烟叶样品采集地块,取耕层0~20 cm代表性土壤样品。每一采样点按S型取10个位点的土壤,然后混合均匀,用四分法保留1 kg样品,风干过筛(2 mm),共计采集土壤样品222个。

#### 2.1.2. 烟叶样品

本研究烟叶样品来自云南省文山州的7个烤烟种植县,分别是砚山(8个烟叶站)、丘北(11个工作站)、广南(6个工作站)、文山(7个工作站)、马关(4个工作站)、西畴(4个工作站)、麻栗坡(4个工作站),共计采集烟叶样品222份,等级为C3F。

### 2.2. 样品分析鉴定方法

#### 2.2.1. 土壤样品全磷和速效磷的测定

土壤全磷含量采用GB 9837-1988土壤全磷测定法;土壤速效磷含量采用碳酸氢钠浸提-钼锑抗比色法。

#### 2.2.2. 烟叶样品外观质量鉴定

按照烤烟国标GB2635-92的赋分规则,对烟叶样品的颜色、成熟度、叶片结构、身份、油分、色度6项指标进行赋分评价,6项指标权重依次为0.30、0.25、0.15、0.12、0.10、0.08计算外观质量总分[15]。

#### 2.2.3. 烟叶样品物理指标检测

参照文献[4]的方法测定烟叶叶长、叶宽、单叶重、平衡含水率、含梗率、填充值6项物理指标,参照文献[10]对单叶重、平衡含水率、含梗率、填充值4项物理指标进行赋分,总分为单叶重、平衡含水率、

含梗率、填充值得分之和。

#### 2.2.4. 烟叶样品常规化学成分测定

总植物碱：按照 YC/T 160-2002 烟草及烟草制品总植物碱的测定连续流动分析法分析测定。总糖、还原糖：按照 YC/T 159-2002 烟草及烟草制品水溶性糖的测定连续流动分析法分析测定。总氮：按照 YC/T 161-2002 烟草及烟草制品总氮的测定连续流动分析法分析测定。钾：按照 YC/T 173-2003 烟草及烟草制品钾的测定连续流动分析法分析测定。氯：按照 YC/T 162-2002 烟草及烟草制品氯的测定连续流动分析法分析测定。

采用指数和法计算化学成分评价分值，见公式(1)。

$$J = \sum K_i \times L_i \quad (1)$$

式中：

$J$ ——烤烟化学成分协调性综合质量分值；

$K_i$ ——第  $i$  个化学成分指标分值；

$L_i$ ——第  $i$  个化学成分指标的权重。

总植物碱、总氮、还原糖、钾、氮碱比值、糖碱比、钾氯比、两糖比的权重分别为 0.17、0.09、0.14、0.08、0.07、0.25、0.11、0.09 [15]。

#### 2.2.5. 烟叶样品感官质量评吸鉴定

由上海烟草集团技术中心原料与配方研究人员按照行业标准 YC/T138-1998 进行评价，对烟气浓度、劲头、香气质、香气量、透发性、杂气、细腻柔和程度、圆润感、刺激性、干燥感、余味 11 个指标分别赋分(单项最高分为 9 分)，计算出感官质量总分。

### 2.3. 数据处理

将土壤样本按《全国土壤全磷和有效磷含量分级标准》从低到高分为 5 类，原始数据采用 Excel 整理，应用 DPS 软件分别统计 5 类土壤的速效磷、全磷含量与所产烟叶外观质量分数、物理指标实测值、物理指标得分、常规化学成分、常规化学成分得分、感官评吸质量得分的相关关系；分别统计 5 类土壤所产烟叶外观质量分数、物理指标实测值、物理指标得分、常规化学成分、常规化学成分得分、感官评吸质量分数之间的差异显著性。

## 3. 结果与分析

### 3.1. 植烟土壤磷素含量与烟叶外观质量得分关系

表 1 数据显示，土壤全磷含量与烟叶外观质量得分相关性较强。其中，植烟区土壤全磷的含量与烟叶的颜色、油分 2 项指标呈极显著负相关关系，与烟叶成熟度、色度 2 项指标呈显著负相关关系；而土壤速效磷含量与烟叶外观质量 6 项指标和总分均未达到显著相关性。

由表 2 可知，土壤速效磷方面，当植烟土壤速效磷含量为“<5 mg/kg”档次时，烟叶的 6 项外观质量指标和总分均为最高值；速效磷含量为“<5 mg/kg”、“10~20 mg/kg” 2 档土壤所产烟叶的颜色、油分、色度、外观总分 4 项指标得分均极显著高于“20~40 mg/kg”档次。土壤全磷方面，随植烟土壤全磷档次升高，烟叶的颜色、成熟度、色度 3 项指标得分均表现为下降趋势；土壤全磷含量为“<0.50%”档次土壤所产烟叶的颜色、油分得分极显著高于“>1.50%”土壤，土壤全磷含量为“<0.50%”档次土壤所产烟叶的成熟度、叶片结构得分显著高于“>1.50%”土壤。

**Table 1.** Correlation coefficient between soil phosphorus content and tobacco appearance quality score**表 1.** 土壤磷素含量与烟叶外观质量得分相关系数

种类 Category	颜色 Color	成熟度 Maturity	叶片结构 Leaf Structure	身份 Body	油分 Oil	色度 Chroma	外观总分 score of appearance quality
速效磷	-0.0817	-0.1048	0.0137	-0.0196	-0.1042	-0.0769	-0.0647
全磷	-0.1998**	-0.1658*	0.0426	0.0622	-0.1839**	-0.1705*	-0.1248

注: \*代表 5% 显著水平, \*\*代表 1% 显著水平。

**Table 2.** Differences in appearance quality scores of tobacco leaves produced in soil with different grades of available phosphorus content**表 2.** 不同档次速效磷含量土壤所产烟叶的外观质量分数差异性

种类 Category	档次 grades	颜色 Color	成熟度 Maturity	叶片结构 Leaf Structure	身份 Body	油分 Oil	色度 Chroma	外观总分 score of appearance quality
速效磷 (mg/kg)	<5	8.44a, A	8.25a, A	8.33a, A	8.11a, A	7.17a, A	6.56a, A	55.06a, A
	5~10	7.99ab, AB	7.91ab, A	7.80a, A	7.56b, A	6.84ab, AB	6.01ab, AB	52.09ab, AB
	10~20	8.15a, AB	8.00a, A	7.99a, A	7.85ab, A	6.85a, AB	6.21a, AB	53.08a, AB
	20~40	7.81b, B	7.62b, A	7.95a, A	7.70ab, A	6.56b, B	5.77b, B	51.23b, B
	>40	8.05ab, AB	7.83ab, A	8.07a, A	7.79ab, A	6.76ab, AB	6.17ab, AB	52.81ab, AB
全磷 (%)	<0.50	8.45a, A	8.23a, A	8.13a, A	7.94ab, A	7.15a, A	6.50a, A	54.64a, A
	0.50~0.75	8.04b, AB	7.95ab, A	7.82b, A	7.59b, A	6.82ab, AB	6.14ab, AB	52.33ab, AB
	0.75~1.00	8.09ab, AB	7.84ab, A	7.90ab, A	7.69ab, A	6.69bc, AB	6.06ab, AB	52.23ab, AB
	1.00~1.50	7.98bc, AB	7.82ab, A	8.25a, A	8.01a, A	6.83ab, AB	6.00b, AB	52.90a, AB
	>1.50	7.57c, B	7.50b, A	7.81b, A	7.67ab, A	6.31c, B	5.64b, B	50.19b, B

注: 小写字母代表 5% 显著水平, 大写字母代表 1% 显著水平。

### 3.2. 植烟土壤磷素含量与烟叶物理指标关系

#### 3.2.1. 植烟土壤磷素含量与烟叶物理指标相关性

**Table 3.** Correlation coefficient between soil phosphorus content and physical indicators of tobacco leaves**表 3.** 土壤磷素含量与烟叶物理指标相关系数

种类 Category	叶长 Leaf length	叶宽 Leaf width	单叶重 Leaf weight	平衡含水率 Equilibrium moisture content	含梗率 Stem Containing rate	填充值 Filling power
速效磷	0.0766	0.0243	0.0244	-0.1336*	0.0411	0.1422*
全磷	-0.0776	-0.1982**	-0.1187	-0.2174**	0.1284	0.2156**

注: \*代表显著相关; \*\*代表极显著相关。

植烟区土壤磷素含量与烟叶物理指标得分相关性分析如表 3 所示, 可知土壤速效磷含量与烟叶平衡含水率呈显著负相关, 与烟叶填充值显著正相关; 土壤全磷含量与烟叶叶宽、平衡含水率极显著负相关, 与烟叶填充值极显著正相关。

### 3.2.2. 植烟土壤磷素含量与烟叶物理指标得分的相关性

**Table 4.** Correlation coefficient between soil phosphorus content and physical index scores of tobacco leaves

**表 4.** 土壤磷含量与烟叶物理指标得分相关系数

种类 Category	单叶重 Leaf weight	平衡含水率 Equilibrium moisture content	含梗率 Stem containing rate	填充值 Filling power
速效磷	-0.0126	-0.1407*	-0.0543	0.1443*
全磷	0.1430*	-0.2307**	-0.1535*	0.2335**

注：\*代表显著相关；\*\*代表极显著相关。

表 4 数据显示，文山植烟区土壤磷素含量与烟叶物理指标得分存在较强相关关系；土壤速效磷含量与烟叶平衡含水率得分显著负相关，与烟叶填充值得分显著正相关；土壤全磷含量与烟叶单叶重得分、填充值得分分别为显著和极显著正相关，与烟叶平衡含水率得分、含梗率得分分别为极显著和显著负相关。

### 3.2.3. 不同档次磷素含量土壤所产烟叶的物理指标得分差异性比较

表 5 数据显示，速效磷含量“5~20 mg/kg”档次的土壤所产烟叶平衡含水率得分最高，超过此档次烟叶平衡含水率开始下降；随土壤速效磷含量增加，烟叶填充值得分有趋高现象。植烟土壤全磷含量高于“>1.5%”档次时，随全磷含量档次增加烟叶平衡含水率大幅下降；随土壤全磷含量档次增加，烟叶填充值得分表现为明显的上升趋势。

**Table 5.** Differences in physical Index scores of tobacco leaves in soils with different phosphorus content

**表 5.** 不同档次磷素含量土壤所产烟叶的物理指标得分差异性

种类 Category	档次 grades	单叶重 Leaf weight	平衡含水率 Equilibrium moisture content	含梗率 Stem containing rate	填充值 Filling power
速效磷 (mg/kg)	<5	64.29a, A	95.25ab, A	84.92a, A	38.60b, A
	5~10	64.90a, A	96.71a, A	81.94a, A	43.01ab, A
	10~20	70.51a, A	96.19a, A	83.14a, A	44.33ab, A
	20~40	64.18a, A	93.92b, A	81.90a, A	46.58ab, A
	>40	67.44a, A	94.00ab, A	81.46a, A	50.27a, A
全磷 (%)	<0.50	65.31abc, A	95.29a, AB	83.13ab, AB	3.09bc, B
	0.50~0.75	64.95bc, A	96.78a, A	83.69a, AB	3.08c, B
	0.75~1.00	62.76c, A	95.67a, A	85.24a, A	3.18bc, AB
	1.00~1.50	70.42ab, A	94.63 a, AB	81.21ab, AB	3.23ab, AB
	>1.50	74.72a, A	91.21b, B	75.07b, B	3.41a, A

注：小写字母代表 5% 显著水平，大写字母代表 1% 显著水平。

## 3.3. 植烟土壤磷素含量与烟叶常规化学成分关系

### 3.3.1. 植烟土壤磷素含量与烟叶常规化学成分含量的相关性

植烟区土壤磷素含量与烟叶常规化学成分及衍生指标相关性分析如表 6 所示，土壤速效磷含量与烟叶常规化学成分的 10 项指标相关性较弱，都未达到显著水平。土壤全磷含量与烟叶常规化学成分及衍生指标相关性较强，土壤全磷含量与烟叶总氮含量为极显著正相关；与烟叶总糖、还原糖、糖碱比均呈极显著负相关。

**Table 6.** Correlation coefficient between soil phosphorus content and conventional chemical composition content of tobacco leaves  
**表 6.** 土壤磷素含量与烟叶常规化学成分含量相关系数

种类 Category	总植物碱 Total alkaloids	总糖 Total sugar	还原糖 Reducing sugar	总氮 Total nitrogen	钾 Potassium	氯 Chloride	糖碱比 Reducing sugar/alkali	氮碱比 Nitrogen/alkaloid	两糖比 Reducing sugar/Total sugar	钾氯比 Potassium/chloride
速效磷	0.1043	-0.1279	-0.0731	0.0756	-0.0576	-0.0031	-0.1215	-0.0855	0.0839	-0.0216
全磷	0.1242	-0.2593**	-0.2188**	0.1923**	-0.0466	0.1210	-0.1751**	-0.0157	0.1064	-0.1168

注: \*\*代表极显著相关。

### 3.3.2. 植烟土壤磷素含量与烟叶常规化学成分得分的相关性

**Table 7.** Correlation coefficient between soil phosphorus content and conventional chemical composition scores of tobacco leaves  
**表 7.** 土壤磷素含量与烟叶常规化学成分得分相关系数

种类 Category	总植物碱 Total alkaloids	还原糖 Reducing sugar	总氮 Total nitrogen	钾 Potassium	糖碱比 Reducing sugar/alkali	氮碱比 Nitrogen/alkaloid	两糖比 Reducing sugar/Total sugar	钾氯比 Potassium/chloride	总分 Total score
速效磷	-0.0793	-0.0872	-0.0259	0.0129	-0.0577	-0.0073	-0.0028	-0.1156	-0.0746
全磷	-0.0134	0.0305	0.0299	-0.0627	0.0206	0.0549	0.0281	-0.1066	-0.0538

土壤速效磷和全磷含量与烟叶常规化学成分及衍生指标的相关性较弱, 都未达到显著水平, 见表 7。

### 3.3.3. 不同磷含量档次的植烟土壤所产烟叶常规化学成分差异性分析

**Table 8.** Differences in conventional chemical composition content of tobacco leaves produced in soils with different levels of phosphorus content

**表 8.** 不同档次磷素含量土壤所产烟叶的常规化学成分含量差异性

种类 Category	档次 Grades	总植物碱 Total alkaloids	总糖 Total sugar	还原糖 Reducing sugar	总氮 Total nitrogen	钾 Potassium	氯 Chloride	糖碱比 Reducing sugar/alkali	氮碱比 Nitrogen/alkaloid	两糖比 Reducing sugar/Total sugar	钾氯比 Potassium/chloride
速效磷 (mg/kg)	<5	2.12b, A	34.18a, A	26.59a, A	1.79b, B	1.82a, A	0.14a, A	16.98a, A	0.86a, A	0.78a, A	14.01a, A
	5~10	2.37ab, A	31.58b, AB	23.43b, B	1.94ab, AB	1.88a, A	0.17a, A	14.20abc, AB	0.84a, A	0.75a, A	12.68a, A
	10~20	2.33ab, A	31.68b, AB	23.35b, B	2.00a, AB	1.94a, A	0.17a, A	14.99ab, AB	0.89a, A	0.74a, A	12.93a, A
	20~40	2.56a, A	30.72b, B	22.75b, B	2.04a, A	1.88a, A	0.17a, A	12.75c, B	0.81a, A	0.75a, A	12.98a, A
	>40	2.45ab, A	30.35b, B	23.55b, B	2.04a, A	1.84a, A	0.17a, A	13.35bc, AB	0.85a, A	0.78a, A	12.34a, A
全磷(%)	<0.50	2.19c, A	32.99a, A	25.22a, A	1.86b, A	1.92a, A	0.15b, A	16.73a, A	0.88a, A	0.77ab, A	14.32a, A
	0.50~0.75	2.30bc, A	32.23ab, A	23.84ab, AB	1.95ab, A	1.93a, A	0.16ab, A	15.11ab, A	0.87a, A	0.74ab, A	13.38a, A
	0.75~1.00	2.52c, A	31.46ab, A	23.09bc, BC	1.99ab, A	1.83a, A	0.16b, A	13.24b, A	0.81b, A	0.74b, A	12.53a, A
	1.00~1.50	2.48ab, A	30.89b, AB	23.32b, ABC	2.05a, A	1.91a, A	0.17ab, A	13.33b, A	0.84ab, A	0.76ab, A	12.68a, A
	>1.50	2.42abc, A	28.52 c, B	21.77c, C	2.10a, A	1.86a, A	0.19a, A	13.00b, A	0.89a, A	0.77a, A	11.57a, A

注: 小写字母代表 5% 显著水平, 大写字母代表 1% 显著水平。

表 8 数据显示, 不同档次磷素含量土壤所产烟叶的常规化学成分含量差异性较大。土壤速效磷含量方面, 烟叶总植物碱、总氮含量随土壤速效磷档次升高而增加; 烟叶总糖、还原糖含量和糖碱比有随土壤速效磷档次升高而下降的趋势。土壤全磷含量方面, 表现出相同趋势, 烟叶总植物碱、总氮含量随土壤全磷档次升高而上升; 烟叶总糖、还原糖含量和糖碱比有随土壤全磷档次升高而下降的趋势。

### 3.3.4. 不同磷素含量档次植烟土壤所产烟叶常规化学成分得分差异性分析

**Table 9.** Differences in conventional chemical composition scores of tobacco leaves produced in soils with different levels of phosphorus content

**表 9.** 不同档次磷素含量土壤所产烟叶的常规化学成分得分差异性

种类 Category	档次 Grades	总植物碱 Total alkalo- ids	还原糖 Reducing sugar	总氮 Total ni- trogen	钾 Potassium	糖碱比 Reducing sugar/alkali	氮碱比 Nitrogen /alkaloid	两糖比 Reducing sugar/Total sugar	钾氯比 Potassium /chloride	总分 Total score
速效磷 (mg/kg)	<5	91.54a, A	94.76a, A	94.78a, A	87.51a, A	79.85a, A	91.09ab, A	72.94a, A	99.06a, A	87.86a, A
	5~10	85.20a, A	92.40a, A	92.71a, A	87.05a, A	76.51a, A	87.27b, A	68.38a, A	99.76a, A	84.73a, A
	10~20	89.26a, A	92.19a, A	89.70a, A	86.15a, A	76.73a, A	91.25a, A	71.24a, A	98.86a, A	85.91a, A
	20~40	86.74a, A	91.97a, A	90.50a, A	85.56a, A	76.27a, A	89.24ab, A	68.27a, A	98.42a, A	84.69a, A
	>40	83.27a, A	89.36a, A	91.09a, A	85.12a, A	76.42a, A	89.69ab, A	65.31a, A	99.49a, A	83.70a, A
全磷 (%)	<0.50	89.46a, A	91.66a, A	88.42ab, A	88.44a, A	78.01a, A	92.70a, A	72.62a, A	99.18ab, A	86.70a, A
	0.50~0.75	91.29a, A	91.94a, A	91.58ab, A	85.54a, A	83.34a, A	89.03a, A	71.84a, A	99.30a, A	87.43a, A
	0.75~1.00	78.08b, B	91.93a, A	88.35b, A	85.67a, A	70.79a, A	89.11a, A	66.06a, A	97.80b, A	81.77b, B
	1.00~1.50	90.34a, A	92.79a, A	94.37a, A	86.05a, A	74.75a, A	89.10a, A	69.18a, A	99.49a, A	85.47a, A
	>1.50	87.07ab, AB	90.45a, A	89.29ab, A	88.02a, A	76.19a, A	92.76a, A	66.09a, A	99.16ab, A	84.91ab, AB

注: 小写字母代表 5% 显著水平, 大写字母代表 1% 显著水平。

由表 9 可知, 不同速效磷档次土壤所产烟叶的常规化学成分得分存在一定差距。速效磷方面, 随植烟土壤速效磷档次升高, 所产烟叶的还原糖和钾得分呈现下降趋势; 速效磷“>40 mg/kg”档次土壤所产烟叶的两糖比得分明显偏低。全磷方面, 未有规律性结果。

## 3.4. 植烟土壤磷素含量与烟叶感官评吸质量关系

### 3.4.1. 植烟土壤磷素含量与烟叶感官评吸质量相关性分析

**Table 10.** Correlation coefficient between soil phosphorus content and sensory evaluation scores of flue-cured tobacco

**表 10.** 土壤磷含量与烤烟感官评吸得分相关系数

种类 Cate- gory	浓度 Smoke richness	劲头 Impact	香气质 Quality of aro- ma	香气量 Volume of aroma	透发性 Penetra- bility	杂气 Offen- sive odors	细腻柔 和程度 Softness	圆润感 Round- ness	刺激性 Irritat- ing	干燥感 Dry sensa- tion	余味 aftertaste	评吸总分 Total score
速效磷	-0.0588	0.1044	-0.0842	-0.0752	-0.0632	-0.0377	-0.1023	-0.1296	0.0137	-0.0798	-0.0938	-0.0626
全磷	0.0222	0.1404*	-0.1143	-0.1067	-0.1194	-0.0431	-0.1105	-0.1871**	-0.0515	-0.1007	-0.1558*	-0.0465

注: \*代表显著相关; \*\*代表极显著相关。

植烟区土壤磷素含量与烤烟感官评吸得分相关性如表 10 所示, 土壤速效磷含量与烟叶感官评吸质量相关性较弱, 均未达到显著水平; 土壤全磷含量与烤烟的劲头得分显著正相关, 与圆润感、余味 2 项指



标得分分别为极显著、显著负相关关系。

香气质 香气量 杂气 劲头 刺激性 干燥感 苦涩感 Bitter feeling 残留 Residual 稳定性 Stability 总分

### 3.4.2. 不同磷素含量植烟土壤所产烟叶感官评吸质量差异性分析

如表 11 所示, 植烟土壤磷素含量档次与烟叶感官评吸质量存在一定相关关系。土壤速效磷含量方面, 随土壤速效磷档次升高, 劲头指标得分有增加趋势, 其中速效磷“20~40 mg/kg”和“>40 mg/kg”2 个档次土壤所产烟叶的劲头得分显著高于速效磷 5~10 mg/kg; 但香气质、杂气、圆润感、干燥感 4 个指标得分和评吸总分均表现为下降趋势; 其中, “<5 mg/kg”土壤所产烟叶的圆润感得分极显著高于“20~40 mg/kg”和“>40 mg/kg”2 个档次, 速效磷“5~10 mg/kg”档次土壤所产烟叶的干燥感得分显著高于“20~40 mg/kg”和“>40 mg/kg”2 个档次。

土壤全磷含量方面, 随土壤全磷含量档次升高, 劲头指标得分有明显的增加趋势, 其中全磷含量“1.00~1.50%”和“>1.50%”2 个档次土壤所产烟叶的劲头、圆润感得分分别显著、极显著高于全磷“<0.50%”档次; 但余味指标得分和评吸总分总体表现为下降趋势, 其中, “<5 mg/kg”、“0.75~1.00%”2 个档次土壤所产烟叶的余味得分显著高于“20~40 mg/kg”和“>40 mg/kg”2 个档次。

**Table 11.** Differences in sensory evaluation and smoking quality between soils with different levels of phosphorus content and flue-cured tobacco

**表 11.** 不同档次磷含量土壤与烤烟的感官评吸质量差异性

种类 Category	档次 Grades	浓度 Smoke richness	劲头 Impact	香气质 Quality Of aroma	香气量 Volume of aroma	透发性 Pene- trability	杂气 Offen- sive odors	细腻柔 和程度 Softness	圆润感 Round- ness	刺激性 Irritating	干燥感 Dry sen- sation	余味 after- taste	评吸总分 Total score
速效磷 (mg/kg)	<5	5.82a, A	5.20ab, A	5.81ab, A	5.79a, A	5.67a, A	5.65a, A	5.89a, A	5.85a, A	5.76ab, A	5.64ab, A	5.80a, A	68.55a, A
	5~10	5.72a, A	5.19b, A	5.83a, A	5.61a, A	5.54a, A	5.61a, A	5.92a, A	5.70ab, AB	5.80a, A	5.78a, A	5.80a, A	68.09a, A
	10~20	5.84a, A	5.30ab, A	5.78ab, A	5.75a, A	5.63a, A	5.16b, A	5.85a, A	5.70ab, AB	5.70ab, A	5.69ab, A	5.71a, A	67.39a, A
	20~40	5.83a, A	5.37a, A	5.69b, A	5.71a, A	5.60a, A	5.40ab, A	5.76a, A	5.62b, B	5.67b, A	5.63b, A	5.67a, A	67.38a, A
	>40	5.73a, A	5.35a, A	5.71ab, A	5.62a, A	5.55a, A	5.21ab, A	5.80a, A	5.63b, B	5.78ab, A	5.60b, A	5.70a, A	67.24a, A
全磷(%)	<0.50	5.78ab, A	5.20b, A	5.69a, A	5.84a, A	5.63a, A	5.65a, A	5.94a, A	5.60b, B	5.76a, A	5.68ab.A B	5.77a, A	68.03a, A
	0.50~0.75	5.81ab, A	5.27ab, A	5.76a, A	5.80a, A	5.63a, A	5.28ab, A	5.85ab, A	5.64b, AB	5.75a, A	5.73a, A	5.77a, A	67.76a, A
	0.75~1.00	5.71b, A	5.28ab, A	5.67a, A	5.75a, A	5.57a, A	5.47ab, A	5.83ab, A	5.65b, AB	5.70a, A	5.69ab.A B	5.71ab, A	67.40a, A
	1.00~1.50	5.88a, A	5.37a, A	5.70a, A	5.70a, A	5.61a, A	5.20b, A	5.77b, A	5.71ab, AB	5.70a, A	5.59b, B	5.67b, A	67.34a, A
	>1.50	5.81ab, A	5.36a, A	5.63a, A	5.70a, A	5.54a, A	5.29ab, A	5.79ab, A	5.81a, A	5.67a, A	5.64ab.A B	5.67b, A	67.57a, A

注: 小写字母代表 5% 显著水平; 大写字母代表 1% 显著水平。

## 4. 讨论

1) 据龙梦洁的研究, 随土壤速效磷的增加可提高土壤中的活性磷, 但活性磷的增加会影响烟叶的外观品质, 比如油分、成熟度、颜色[14]。本文数据统计结果发现, 随土壤全磷含量的增加, 烟叶的颜色、

成熟度、色度 3 项指标得分均表现为下降趋势；烟叶的颜色、油分、成熟度、色度 4 项指标均与土壤全磷含量呈显著或极显著负相关关系。这可能与植烟土壤磷含量较高时，在不减少磷肥施用量的情况下，土壤磷含量较低的土壤更好地满足了烟株的生长发育对磷营养的需求，而中高磷含量土壤反而奢侈吸收了磷营养造成了品质下降。

2) 本文研究显示，植烟区土壤磷素含量与烟叶物理指标得分相关性较强，表现为土壤速效磷含量、土壤全磷含量与烟叶平衡含水率、含梗率均呈显著负相关，说明文山部分植烟土壤磷含量水平较高，应该减少磷肥得施用量。刘坤的研究结果显示，在云南罗平富磷土壤上，平衡含水率随着施磷量增加而减少，减量施磷降低了含梗率[12]，印证了本文研究结果。

3) 本研究数据显示，不同档次磷素含量土壤所产烟叶的常规化学成分含量差异性较大。方秀等研究显示，烟叶锌含量随土壤有效磷含量的升高而降低，土壤有效磷对烟叶锌含量存在极显著影响，高含量的土壤有效磷会拮抗烟株对土壤有效锌的吸收，而土壤有效锌含量与烟叶化学成分含量的相关性较密切[15]。因此，文山州植烟土壤磷含量是否影响了土壤锌的有效性，需要进一步研究。土壤速效磷和全磷含量对烟叶总糖、还原糖、总氮含量和糖碱比的影响相似，随土壤磷含量增加烟叶总糖、还原糖含量表现为下降的趋势；总氮表现为上升趋势，常规化学成分协调性趋劣，这与刘坤[12]等研究结论相近。

4) 本研究结果显示，随土壤速效磷、土壤全磷含量增加，劲头指标得分均有增加趋势；但是，随土壤速效磷含量增加，香气质、杂气、圆润感、干燥感 4 个指标得分和评吸总分均表现为下降趋势；随土壤全磷含量增加，余味指标得分和评吸总分总体表现为下降趋势。这与章新、陈利军的研究结果相吻合，章新、陈利军等认为，在富磷土壤上大量施用磷肥可导致烟叶质量，特别是香气质得分的下降[16][17]；郭光东等研究表明，随着施磷量的增加，香气特征、感官质量都表现为先上升后下降的变化趋势[12]。作为烟草最重要的营养元素之一，磷含量及磷与其它营养之间的相互作用会影响烟叶的内在化学组成，其中包括糖、氮、有机酸、醇类、酮类等的合成与含量，从而造成对烟叶香吃味的间接影响；原因可能是磷过多还会降低烟株对锌、铁、锰等的吸收，甚至会诱导这些元素的缺乏，从而对烟叶品质和香气产生更大的不良的影响[18]。因此，云南文山土壤磷含量不同的植烟土壤应探索不同的磷肥施用策略。

## 5. 结论

文山州不同磷含量档次植烟土壤所产烟叶的外观质量、物理特性、常规化学成分及感官评吸质量均有明显差异。

1) 土壤全磷含量与烟叶的颜色、油分、成熟度、色度呈负相关关系；随植烟土壤全磷含量增加，烟叶的颜色、成熟度、色度得分均表现为下降趋势。土壤磷含量与烟叶平衡含水率、含梗率均呈显著负相关，与烟叶填充值极显著负相关。植烟土壤全磷含量大于 0.5% 时，随全磷含量增加烟叶平衡含水率得分有降低趋势；随土壤全磷含量增加烟叶填充值得分表现为明显的上升趋势。

2) 土壤全磷含量与烟叶总氮含量正相关，与烟叶总糖、还原糖、糖碱比均为负相关；烟叶总植物碱、总氮含量随土壤磷含量增加而上升，烟叶总糖、还原糖含量和糖碱比有随土壤磷含量增加而下降的趋势。随土壤磷含量增加，劲头指标得分均有增加趋势；随土壤速效磷含量增加，香气质、杂气、圆润感、干燥感 4 个指标得分和评吸总分均表现为下降趋势；随土壤全磷含量增加，余味指标得分和评吸总分总体表现为下降趋势。

3) 综合分析初步认为，文山州土壤全磷含量大于 1.5% 时，如果仍然按传统施磷量施肥，对烟叶外观质量造成不利影响；土壤速效磷含量大于 10 mg/kg 时，如果仍然按传统施磷量施肥，对烟叶评吸质量造成不利影响。因此，文山州烤烟生产应重视不同磷含量土壤进行分类推荐磷肥施用量，在土壤全磷含量大于 1.5%、土壤速效磷含量大于 10 mg/kg 的植烟区域减少磷肥施用量。

## 基金项目

上海烟草集团有限责任公司项目[上烟集团文山州根茎类病害综合防治技术研究与推广20223100001-40542]。

## 参考文献

- [1] 王永壮, 陈欣, 史奕, 等. 低分子量有机酸对土壤磷活化及其机制研究进展[J]. 生态学杂志, 2018, 37(7): 2189-2198.
- [2] 刘晓永. 中国农业生产中的养分平衡与需求研究[D]: [博士学位论文]. 北京: 中国农业科学院, 2018.
- [3] 林诚, 王飞, 李清华, 等. 长期不同施肥下南方黄泥田有效磷对磷盈亏的响应特征[J]. 植物营养与肥料学报, 2017, 23(5): 1175-1183.
- [4] 龙梦洁. 不同土壤速效磷水平对土壤磷素形态、烤烟产量和品质的影响[D]: [硕士学位论文]. 武汉: 华中农业大学, 2022.
- [5] 韦建玉, 黄崇峻, 金亚波, 等. 重庆市主要烟区土壤肥力状况综合评价[J]. 西南大学学报(自然科学版), 2019, 41(11): 30-36.
- [6] 李自林, 陆亚春, 赵磊峰, 等. 广西隆林县植烟土壤肥力评价[J]. 土壤通报, 2020, 51(5): 1042-1048.
- [7] 杨成翠, 朱宣全, 史普酉, 等. 不同磷肥施用量对烤烟产质量的影响[J]. 江西农业学报, 2019, 31(3): 97-101.
- [8] 孙书斌, 徐海清, 王家洲, 等. 宣州“黄鹤楼”烟叶原料基地土壤养分丰缺状况及施肥对策[J]. 安徽农学通报, 2020, 26(24): 131-134+164.
- [9] 胡加云, 朱艳梅, 徐天养, 等. 云南省文山州烟田土壤主要肥力指标多年度动态变化[J]. 土壤, 2022, 54(1): 95-102.
- [10] 刘坤. 土壤磷素运筹对烤烟产质量的影响研究[D]: [硕士学位论文]. 长沙: 湖南农业大学, 2016.
- [11] 张晓龙, 薛红芬, 罗华元, 等. 云南植烟土壤养分含量、微生物数量、烟叶品质的相互关系[J]. 河南农业科学, 2015, 44(6): 68-71.
- [12] 郭光东, 李顺忠, 龚文俊, 等. 施磷量对黔南烤烟感官质量的影响[J]. 安徽农业科学, 2015, 43(7): 35-36, 39.
- [13] 王彦亭, 谢剑平, 李志宏. 中国烟草种植区划[M]. 北京: 科学出版社, 2010.
- [14] 龙梦洁, 徐大兵, 邓建强, 等. 富磷土壤磷肥用量对烟株养分累积和烤烟产质量的影响[J]. 中国烟草科学, 2022, 43(5): 15-21, 30.
- [15] 方秀, 王林, 卢秀萍, 等. 曲靖烟区土壤磷锌互作对烟叶磷锌含量和品质的影响[J]. 土壤, 2018, 50(5): 894-901.
- [16] 章新, 李明, 杨硕媛, 等. 磷素水平对烟叶化学成分和感官评吸质量的影响[J]. 安徽农业科学, 2010(38): 91-93, 109.
- [17] 陈利军, 蒋瑀霁, 王浩田, 等. 长期施用有机物料对旱地红壤磷组分及磷素有效性的影响[J]. 土壤, 2020, 52(3): 451-457.
- [18] 汤宏, 李向阳, 王建伟, 等. 施磷量对黔东南州烤烟产量品质及磷吸收利用的影响[J]. 土壤通报, 2019, 50(6): 1418-1425