

DOI: 10.13718/j.cnki.xdzk.2018.10.001

# 云南省植烟土壤理化性状及其相关性研究<sup>①</sup>

李晓婷<sup>1</sup>, 张静<sup>2</sup>, 吕凯<sup>1</sup>, 王超<sup>2</sup>, 李伟<sup>2</sup>

1. 云南瑞升烟草技术(集团)有限公司, 昆明 650106;

2. 红云红河烟草(集团)有限责任公司, 昆明 650202

**摘要:** 为进一步了解云南省植烟土壤理化性状分布特征及其关系, 于 2014 年和 2015 年对云南省 12 个州(市)采集 2 127 份土壤样品进行测定分析. 结果表明: 1) 云南省植烟土壤物理性粘粒质量分数平均 50.91%, 偏重壤土, pH 值以及养分平均质量分数除有机质偏高外, 均适宜优质烤烟生产. 2) 12 个州(市)间植烟土壤的物理性粘粒和养分质量分数差异有统计学意义( $p < 0.01$ ), 红河和文山物理性粘粒质量分数最高, 保山和大理的有机质和速效氮质量分数最丰富, 曲靖和昭通速效钾最丰富, 昆明、楚雄和临沧有效硼最丰富, 德宏和普洱的 pH 值和养分质量分数较低. 3) 文山 43.08% 和红河 52.34% 的土壤物理性粘粒质量分数大于 60%, 需适当调节土壤通透性; 德宏 66.67%, 临沧 54.78% 和普洱 53.69% 的土壤 pH 值小于 5.5, 需调节土壤酸碱度; 普洱 58.40% 和 41.61% 的土壤速效氮和速效磷质量分数缺乏, 需增施氮肥和磷肥; 各州(市)均存在 35.41%~66.67% 土壤速效钾质量分数缺乏, 需增施钾肥; 红河 49.99% 土壤有效硼质量分数缺乏, 需增施硼肥; 大理 30.41%, 曲靖 20.80% 和昭通 16.66% 的植烟土壤水溶性氯质量分数大于 30 mg/kg, 应当适当控制含氯肥料施用. 4) 云南省植烟土壤有机质、速效氮、速效钾和有效硼质量分数与物理性粘粒质量分数的  $R^2$  值较高(0.696 2~0.885 9), 有机质和速效氮和有效硼质量分数存在随物理性粘粒质量分数升高而先升高再降低趋势, 速效钾质量分数存在随物理性粘粒质量分数升高而升高的趋势.

**关键词:** 云南省; 植烟土壤; 物理性粘粒; 养分特性; 相关性

**中图分类号:** S144.1

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1673-9868(2018)10-0001-11

适宜的土壤环境条件是优质烟叶赖以生存的物质基础, 对烤烟生长发育、风格特色彰显和品质形成起着至关重要的作用<sup>[1-2]</sup>. 近年来, 关于我国不同烟区土壤养分状况的报道较多<sup>[3-7]</sup>. 云南省作为全国烤烟第一大省, 对于植烟土壤的研究方面颇多, 王树会等<sup>[8-9]</sup>和刘江<sup>[10]</sup>研究了 2004 年到 2005 年云南省植烟土壤的养分状况及生产对策; 宋淑芳等<sup>[11]</sup>、李强等<sup>[12]</sup>、邱学礼等<sup>[13]</sup>分别对大理、曲靖和昆明等州(市)的植烟土壤养分状况进行了适宜性分析, 这些研究主要集中在土壤养分状况方面, 而对云南省及其不同州(市)的植烟土壤物理性粘粒质量分数和养分质量分数分布特征及其相互关系的研究较少. 因此, 本文以 2014 年到 2015 年云南省 12 个州(市)植烟土壤为研究对象, 分析了土壤物理性粘粒质量分数和养分状况, 并进行了相关分析, 旨在系统了解云南省植烟土壤理化状况, 以期为科学合理的土壤改良、制定施肥策略和优质烟叶生产提供理论基础.

① 收稿日期: 2017-11-20

基金项目: 云南中烟工业有限责任公司科技项目(2016YL05).

作者简介: 李晓婷(1983-), 女, 农艺师, 硕士研究生, 主要从事烟草栽培的研究.

通信作者: 李伟, 农艺师.

# 1 材料与amp;方法

## 1.1 土样采集

根据样品能代表当地烟叶生产水平及典型生态条件的原则,2014 年至 2015 年分别在云南省的昆明、曲靖、红河、保山、文山、楚雄、大理、德宏、临沧、普洱、玉溪和昭通等 12 个州(市)共 95 个植烟县选择代表性田块进行取样,共采集土壤样品 2 127 份,土壤类型主要有红壤、黄壤、水稻土和紫色土,具体土样采集点见表 1。在烤烟移栽前尚未施用底肥时,选取 0~20 cm 的耕层土壤,采用“s”形取样法采集 5 个点土壤,剔除根系等杂物后混匀,按照四分法制成 1 kg 的混合土样,装袋、编号、记录,然后风干、研磨、过筛,供土壤质地和养分测定备用。

表 1 土壤样品采集点

地州	取 样 县	取样数/个	海拔分布/m
昆明	安宁、嵩明、寻甸、宜良、禄劝、富民、石林、晋宁	148	1 563~2 300
曲靖	师宗、麒麟、富源、陆良、宣威、罗平、会泽、沾益、马龙	399	1 200~2 523
红河	石屏、个旧、屏边、开远、蒙自、弥勒、泸西、建水	300	1 150~2 154
保山	隆阳、腾冲、昌宁、施甸、龙陵	147	1 230~2 163
文山	丘北、马关、西畴、广南、文山、麻栗坡、砚山	137	1 199~1 912
楚雄	禄丰、楚雄、永仁、元谋、牟定、南华、武定、双柏、大姚、姚安	212	1 162~2 460
大理	巍山、南涧、祥云、鹤庆、云龙、剑川、漾濞、洱源、弥渡、大理、永平、宾川	171	1 400~2 632
德宏	陇川、芒市、梁河、盈江	48	807~1 960
临沧	永德、凤庆、临翔、双江、耿马、镇康、沧源、云县	115	980~2 160
普洱	景谷、镇沅、宁洱、景东、思茅、墨江、澜沧	149	940~1 941
玉溪	新平、易门、江川、元江、华宁、通海、澄江、红塔、峨山	205	1350~2 331
昭通	镇雄、彝良、大关、永善、威信、巧家、鲁甸、昭阳	96	1 165~2 333

## 1.2 土样测定

土壤的物理性粘粒质量分数采用比重计法测定,pH 值采用电位测定法(水土比 2.5 : 1);有机质、速效氮、有效磷、速效钾、水溶性氯和有效硼分别采用重铬酸钾外加热法、碱解扩散法、碳酸氢钠浸提钼蓝比色法、醋酸铵浸提—火焰光度法、硝酸银滴定法和甲亚胺比色法测定;测定方法均参照《土壤农化分析》<sup>[14]</sup>。

## 1.3 土壤理化性状分级标准

应用卡庆斯基土壤质地基本分类标准,并参考适宜优质烤烟生产的土壤质地为砂壤土至中壤土<sup>[15]</sup>,对云南省植烟土壤<0.01 mm 物理性粘粒质量分数进行分级评价;土壤养分参照全国第二次土壤普查分级标准、中国植烟土壤养分评价标准<sup>[16-17]</sup>和云南烟草栽培学的烟草生长土壤需求<sup>[18]</sup>对各项指标进行适宜性评价,分级标准见表 2(取值范围包括后值)。

表 2 植烟土壤理化性状指标等级

指标	很低	低	适中	高	很高
<0.01 mm 物理性粘粒/%	≤5	5~10	10~45	45~60	>60
pH 值	≤4.5	4.5~5.5	5.5~7.0	7.0~7.5	>7.5
有机质/%	≤1.0	1.0~2.0	2.0~3.0	3.0~4.0	>4.0
速效氮/(mg·kg <sup>-1</sup> )	≤60	60~100	100~150	150~200	>200
速效磷/(mg·kg <sup>-1</sup> )	≤5	5~10	10~20	20~40	>40
速效钾/(mg·kg <sup>-1</sup> )	≤80	80~150	150~220	220~350	>350
水溶性氯/(mg·kg <sup>-1</sup> )	≤5	5~10	10~30	30~45	>45
有效硼/(mg·kg <sup>-1</sup> )	≤0.2	0.2~0.5	0.5~1.0	1.0~2.0	>2.0

## 1.4 数据处理

采用描述性统计法和回归法分析土壤理化性状, 应用 SPSS 18.0 和 Excel 2010 对数据进行处理。

# 2 结果与分析

## 2.1 物理性粘粒质量分数分析

由表 3 可知, 云南省植烟土壤的物理性粘粒质量分数平均值为 50.91%。其中, 粘粒质量分数在适中范围内(10%~45%)的样品占 32.35%, 粘粒质量分数高的样品占 45.70%, 粘粒质量分数很高的样品占 21.95%。可见, 全省近 22%植烟土壤粘粒质量分数很高, 应注意调节土壤通透性。12 个州(市)间植烟土壤物理性粘粒质量分数差异有统计学意义, 红河和文山极显著较高, 德宏极显著低于其他州(市)。从样品分布看, 德宏、楚雄、普洱和临沧的植烟土壤物理性粘粒质量分数以适中比例最高; 昆明、曲靖、保山、大理、玉溪和昭通 6 个州(市)的粘粒质量分数在高范围内占比最大; 而文山和红河的粘粒质量分数在很高范围内占比最大, 分别达到 43.08%和 52.34%。

表 3 植烟土壤物理性粘粒质量分数状况与分布

地点	均值/ %	变幅/ %	CV/ %	占总数比例/%		
				适中	高	很高
昆明	50.93±10.30BCD	26.00~74.00	20.23	27.70	55.41	16.89
曲靖	52.58±10.30B	22.00~78.00	19.58	24.31	53.38	22.31
红河	59.04±12.62A	20.00~80.00	21.37	16.00	31.66	52.34
保山	48.40±12.56CDE	18.00~78.00	25.94	38.09	48.31	13.60
文山	57.59±10.43A	24.00~78.00	18.11	16.06	40.14	43.80
楚雄	45.91±9.18E	28.00~72.00	20.00	50.94	41.04	8.02
大理	47.33±9.24DE	26.00~68.00	19.52	39.18	55.56	5.26
德宏	37.88±10.06F	20.00~62.00	25.56	75.00	22.92	2.08
临沧	45.37±13.81E	14.00~72.00	30.43	44.35	42.61	13.04
普洱	45.33±11.14E	22.00~72.00	24.57	53.02	38.93	8.05
玉溪	51.43±13.14BC	14.00~78.00	25.55	26.35	49.75	23.90
昭通	51.02±9.38BCD	26.00~72.00	18.38	29.16	57.30	13.54
云南	50.91±12.19	14.00~80.00	23.94	32.35	45.70	21.95

注: 大写字母不同表示 12 个州(市)间的差异有统计学意义( $p < 0.01$ )。

## 2.2 土壤养分分析

### 2.2.1 pH 值

云南省植烟土壤 pH 平均值为 6.08。其中, pH 值在适中范围内的样品占比最多, 为 39.02%; 在低和很低范围的样品占 36.38%, 在高和很高范围的样品占 24.60%, 表明全省 36.38%偏酸和 24.60%偏碱的植烟土壤需要采取相应的改土措施进行调节。12 个州(市)间植烟土壤 pH 值差异有统计学意义, 大理和文山的植烟土壤 pH 值最高, 普洱、德宏和临沧的植烟土壤 pH 值最低。从样品分布看, 昆明、曲靖、红河、文山、楚雄、大理和昭通 7 个州(市)的植烟土壤 pH 值在适中范围内样品占比最多, 达到 39.34%~54.17%; 保山、德宏、临沧、普洱和玉溪的植烟土壤 pH 在低范围内样品占比最多(表 4)。

### 2.2.2 有机质

云南省植烟土壤有机质质量分数平均值为 2.83%。其中, 有机质质量分数在适中范围内的样品占 31.74%, 小于 2.0%的样品占 28.82%, 3.0%~4.0%的样品占 22.80%, 大于 4.0%的样品达到 16.64%。可见, 全省近 40%的植烟土壤有机质质量分数较丰富, 生产上应主要控制氮肥施用, 防止氮素

供应过量,影响烟叶正常落黄. 12 个州(市)的植烟土壤有机质质量分数差异有统计学意义,大理、保山和曲靖的土壤有机质质量分数极显著高于其他州(市),普洱极显著最低,其他州(市)间差异无统计学意义. 从样品分布看,昆明、红河、文山和昭通 4 个州(市)的植烟土壤有机质质量分数在适中范围的样品占比较高;曲靖、保山、楚雄和大理 4 个州(市)的植烟土壤有机质质量分数在高和很高范围内的样品占比较多;而德宏、临沧、普洱和玉溪 4 个州(市)的植烟土壤有机质质量分数在低和很低范围内的样品占比较多,其中普洱达到 56.37%(表 5).

表 4 植烟土壤 pH 及分布

地点	均值	变幅	CV/ %	占总数比例/%				
				很低	低	适中	高	很高
昆明	5.92±0.94B	4.41~8.06	15.89	2.02	36.49	45.27	9.46	6.76
曲靖	6.21±0.86AB	4.25~7.97	13.78	0.50	27.07	50.37	18.05	4.01
红河	6.21±1.05AB	4.02~8.09	16.85	5.33	25.67	39.34	17.33	12.33
保山	6.15±1.11AB	4.52~8.06	18.00	0.00	39.45	27.21	17.69	15.65
文山	6.37±1.09A	3.85~8.05	17.17	6.56	16.79	43.80	14.60	18.25
楚雄	6.22±1.01AB	4.26~7.99	16.18	1.89	26.42	41.51	16.03	14.15
大理	6.39±1.01A	4.43~8.06	15.83	1.75	22.22	41.53	18.71	15.79
德宏	5.42±0.71C	4.54~7.53	13.17	0.00	66.67	29.16	4.17	0.00
临沧	5.40±0.93C	4.18~8.07	17.14	13.04	54.78	24.36	3.47	4.35
普洱	5.49±0.93C	4.09~8.10	16.94	10.07	53.69	27.52	2.01	6.71
玉溪	6.00±1.19B	4.28~8.22	19.84	4.39	41.95	23.90	11.22	18.54
昭通	6.20±0.91AB	4.44~7.75	14.71	2.08	21.88	54.17	14.58	7.29
云南	6.08±1.03	3.85~8.22	17.01	3.67	32.71	39.02	13.83	10.77

注:大写字母不同表示 12 个州(市)间的差异有统计学意义( $p < 0.01$ ).

表 5 植烟土壤有机质质量分数及分布

地点	均值/ %	变幅/ %	CV/ %	占总数比例/%				
				很低	低	适中	高	很高
昆明	2.78±1.17B	0.50~7.18	42.25	5.40	18.92	37.84	23.65	14.19
曲靖	3.39±1.50A	0.22~9.88	44.24	2.75	12.83	26.38	28.47	29.57
红河	2.47±1.13BC	0.33~6.58	45.69	9.33	25.00	34.67	23.00	8.00
保山	3.40±1.67A	0.36~8.44	48.99	4.76	13.61	29.93	23.81	27.89
文山	2.48±0.99BC	0.49~7.69	39.92	5.84	24.08	42.34	24.82	2.92
楚雄	2.88±1.28B	0.47~7.39	44.46	3.78	23.10	30.19	26.42	16.51
大理	3.49±1.70A	0.61~9.21	48.77	3.51	14.73	27.65	24.29	29.82
德宏	2.46±1.19BC	1.12~6.65	48.14	0.00	43.75	33.34	14.58	8.33
临沧	2.41±1.21BC	0.16~6.02	50.06	16.52	20.00	33.92	19.13	10.43
普洱	2.04±1.06C	0.28~5.75	51.84	12.08	44.29	26.85	11.41	5.37
玉溪	2.48±1.31BC	0.16~7.74	52.74	9.27	31.22	31.22	17.07	11.22
昭通	2.72±1.41B	0.37~8.46	51.80	8.34	19.03	40.00	21.17	11.46
云南	2.83±1.41	0.16~9.88	49.90	6.91	21.91	31.74	22.80	16.64

注:大写字母不同表示 12 个州(市)间的差异有统计学意义( $p < 0.01$ ).

### 2.2.3 速效氮、速效磷和速效钾

云南省植烟土壤速效氮质量分数平均值为 126.69 mg/kg. 其中,速效氮质量分数在适中范围内的样

品占 37.56%, 在低和很低范围内的样品占 32.82%, 在高和很高范围内的样品占 29.62%。可见, 全省部分植烟土壤速效氮质量分数偏低或偏高, 生产中需要根据土壤速效氮质量分数增施或调控氮肥的施用。12 个州(市)植烟土壤速效氮质量分数差异有统计学意义, 大理和保山的植烟土壤速效氮质量分数极显著高于其他州(市), 普洱最低。从样品分布看, 昆明、曲靖、红河、保山、文山、楚雄、临沧、玉溪和昭通 9 个州(市)的植烟土壤速效氮质量分数在适中范围内的样品占比最高; 但是在 9 个州(市)中, 红河、文山、临沧和玉溪在速效氮质量分数低和很低范围内样品合计占到 37.39%~47.66%; 而曲靖和保山在高和很高范围内, 样品比例较高, 分别为 40.10%和 43.15%。大理的植烟土壤速效氮质量分数在高范围内的样品占比最高。德宏和普洱的植烟土壤速效氮质量分数在低和很低范围内的样品占比较大, 分别为 41.67%和 58.40%(表 6)。

表 6 植烟土壤速效氮质量分数及分布

地点	均值/ (mg · kg <sup>-1</sup> )	变幅/ (mg · kg <sup>-1</sup> )	CV/ %	占总数比例/%				
				很低	低	适中	高	很高
昆明	127.62±50.90BCD	41.08~324.45	39.88	8.11	20.93	43.25	20.95	6.76
曲靖	142.90±49.20AB	15.09~317.85	34.43	4.01	13.29	42.60	26.32	13.78
红河	106.86±46.03EF	16.98~249.94	43.07	16.00	31.66	35.34	13.67	3.33
保山	155.31±69.28A	21.00~333.88	44.61	6.12	13.74	36.99	19.34	23.81
文山	110.50±41.05DEF	22.82~288.61	37.15	10.22	29.92	46.72	11.68	1.46
楚雄	127.83±51.59BCD	19.17~322.24	40.36	8.49	20.76	40.09	23.11	7.55
大理	157.62±65.94A	26.47~381.57	41.83	7.02	11.10	28.08	30.41	23.39
德宏	122.95±51.18CDE	54.77~329.54	41.63	2.08	39.59	31.25	20.83	6.25
临沧	116.98±56.07CDE	14.42~350.86	47.93	17.39	20.00	38.26	19.13	5.22
普洱	95.68±43.99F	12.78~251.95	45.97	21.48	36.92	27.51	12.08	2.01
玉溪	113.72±54.86CDE	7.67~328.98	48.25	15.61	26.83	36.10	13.66	7.80
昭通	131.07±61.37BC	20.08~314.02	46.82	10.42	19.79	35.41	23.96	10.42
云南	126.69±56.05	7.67~381.57	44.24	10.53	22.29	37.56	19.89	9.73

注: 大写字母不同表示 12 个州(市)间的差异有统计学意义( $p < 0.01$ )。

云南省植烟土壤速效磷质量分数平均值为 31.39 mg/kg。其中, 速效磷质量分数在适中范围内的样品占 21.58%, 在低和很低范围内的样品占 20.78%, 在高和很高范围内的样品占 57.64%, 表明全省超过一半的植烟土壤速效磷质量分数较丰富, 而近 21%的植烟土壤速效磷缺乏, 需要增施磷肥。12 个州(市)的植烟土壤速效磷质量分数差异有统计学意义, 玉溪的植烟土壤速效磷质量分数最高, 普洱最低。从样品分布看, 普洱、临沧和红河的植烟土壤速效磷质量分数在低和很低范围内的样品占比相对较高, 分别为 41.61%, 33.91%和 30.34%, 处于速效磷质量分数缺乏状态(表 7)。

云南省植烟土壤速效钾质量分数平均值为 181.28 mg/kg, 其中, 速效钾质量分数在适中范围内的样品占 21.58%, 在高和很高范围内的样品占 32.86%, 在低范围内的样品占 30.75%, 在很低范围内的样品占 14.81%, 表明全省 45.56%的植烟土壤需增施钾肥。12 个州(市)的植烟土壤速效钾质量分数差异有统计学意义; 红河、曲靖、昭通和玉溪的土壤速效钾质量分数极显著高于临沧、普洱和德宏, 后三者间差异无统计学意义。从样品分布看, 12 个州(市)的植烟土壤速效钾质量分数在低和很低范围内(小于 150 mg/kg)的样品占比相对较高, 主要是昆明、楚雄、德宏、临沧和普洱为 53.91%~66.67%, 保山、文山和大理为 40.14%~47.95%, 以及曲靖、红河、玉溪和昭通 35.41%~39.51%, 其植烟土壤速效钾质量分数缺乏(表 8)。

表 7 植烟土壤速效磷质量分数及分布

地点	平均值/ (mg · kg <sup>-1</sup> )	变幅/ (mg · kg <sup>-1</sup> )	CV/ %	占总数比例/%				
				很低	低	适中	高	很高
昆明	39.80±32.22AB	0.81~144.41	80.96	4.73	12.16	18.92	25.00	39.19
曲靖	30.52±24.54BCD	0.57~146.74	80.40	4.01	10.53	26.32	37.34	21.80
红河	29.42±29.61CD	0.24~231.42	100.63	15.67	14.67	18.99	24.00	26.67
保山	28.89±22.38CD	1.43~108.62	77.46	10.88	12.24	18.38	33.33	25.17
文山	26.47±26.10DE	0.65~219.73	98.59	11.68	15.33	24.08	29.20	19.71
楚雄	30.77±26.01BCD	1.50~172.32	84.52	6.61	10.38	21.21	37.74	24.06
大理	38.23±31.32ABC	2.47~245.80	81.94	2.33	10.53	12.87	38.01	36.26
德宏	27.42±18.40DE	3.99~74.61	67.09	2.08	12.50	25.00	41.67	18.75
临沧	26.41±27.18DE	0.19~180.41	102.91	19.13	14.78	20.00	21.74	24.35
普洱	18.28±18.22E	0.37~79.89	99.66	27.52	14.09	24.16	24.16	10.07
玉溪	41.41±33.92A	1.00~155.70	81.90	3.41	5.41	24.02	30.57	36.59
昭通	35.33±29.97ABCD	1.21~137.76	84.82	7.29	6.25	22.92	33.33	30.21
云南	31.39±28.06	0.19~245.80	89.38	9.31	11.47	21.58	31.36	26.28

注：大写字母不同表示 12 个州(市)间的差异有统计学意义( $p < 0.01$ )。

表 8 植烟土壤速效钾质量分数及分布

地点	平均值/ (mg · kg <sup>-1</sup> )	变幅/ (mg · kg <sup>-1</sup> )	CV/ %	占总数比例/%				
				很低	低	适中	高	很高
昆明	177.76±97.56ABC	18.88~433.87	54.88	8.11	47.30	16.89	18.24	9.46
曲靖	194.99±101.40A	20.84~441.61	52.00	11.78	27.01	23.17	30.02	8.02
红河	197.24±97.42A	24.04~440.47	49.39	8.67	29.00	25.33	29.00	8.00
保山	173.65±90.07ABC	26.18~380.42	51.87	17.01	29.25	20.41	30.61	2.72
文山	188.53±95.99AB	31.15~435.02	50.92	9.48	30.66	25.55	25.55	8.76
楚雄	169.42±95.24ABC	40.54~433.17	56.22	16.04	38.21	18.40	20.75	6.60
大理	179.96±100.60ABC	23.85~435.33	55.90	15.20	32.75	17.54	27.49	7.02
德宏	127.48±82.20D	13.58~339.77	64.48	31.25	35.42	18.75	14.58	0.00
临沧	156.80±92.11BCD	15.44~404.91	58.74	22.61	31.30	23.48	20.00	2.61
普洱	149.07±95.59CD	15.37~415.77	64.13	28.85	32.21	14.77	20.81	3.36
玉溪	191.40±101.77A	21.59~432.49	53.17	15.61	23.90	24.40	28.29	7.80
昭通	194.61±101.30A	45.95~433.87	52.05	16.66	18.75	25.00	30.21	9.38
云南	181.28±98.73	13.58~441.61	54.46	14.81	30.75	21.58	26.04	6.82

注：大写字母不同表示 12 个州(市)间的差异有统计学意义( $p < 0.01$ )。

#### 2.2.4 水溶性氯和有效硼

云南省植烟土壤水溶性氯质量分数平均值为 15.67 mg/kg, 小于临界水平 30 mg/kg. 其中, 水溶性氯质量分数在适中范围内的样品占 32.68%, 在低和很低范围内的样品占 56.23%, 大于 30 mg/kg 即在高和很高范围内的样品占 11.09%. 表明全省 11.09% 的植烟土壤需严格控制含氯肥料的施用. 12 个州(市)的植烟土壤氯质量分数差异有统计学意义, 大理、曲靖和昭通的植烟土壤中水溶性氯质量分数极显著高于其他州(市), 而文山最低. 从样品分布看, 12 个州(市)的植烟土壤水溶性氯质量分数在很低到适中范围内的样品占比相对较高, 主要表现为大理 69.59%, 曲靖 79.20%, 昭通 83.34% 和其他 9 个州(市)在 90.73%~99.27% 之间. 但是, 大理 30.41%, 曲靖 20.80% 和昭通 16.66% 的植烟土壤水溶性氯质量分

数大于 30 mg/kg, 属于高和很高状态, 生产上应控制含氯肥料的施用, 以免影响烟叶阴燃性(表 9)。

表 9 植烟土壤水溶性氯质量分数及分布

地点	均值/ (mg · kg <sup>-1</sup> )	变幅/ (mg · kg <sup>-1</sup> )	CV/ %	占总数比例/%				
				很低	低	适中	高	很高
昆明	11.67±8.96CD	1.07~48.73	76.73	27.70	27.70	39.20	4.05	1.35
曲靖	21.62±25.52B	1.88~174.44	118.04	9.77	32.08	37.35	7.27	13.53
红河	8.83±12.61CD	1.73~162.37	142.78	35.33	46.00	14.66	1.33	2.68
保山	13.39±17.64CD	2.72~138.71	131.68	15.65	46.25	30.61	3.40	4.09
文山	7.08±4.93D	1.95~39.63	69.65	41.61	40.87	16.79	0.73	0.00
楚雄	11.77±12.56CD	2.41~122.71	106.71	23.11	38.21	32.08	4.72	1.88
大理	28.81±22.93A	3.49~110.35	79.60	1.17	4.68	63.74	9.36	21.05
德宏	13.54±17.89C	2.80~102.65	132.14	22.92	35.41	33.34	0.00	8.33
临沧	10.32±8.72CD	2.61~71.03	84.56	15.65	50.43	26.10	2.61	5.21
普洱	11.47±14.96CD	2.87~126.34	130.44	29.53	34.90	30.87	1.34	3.36
玉溪	12.52±19.16CD	1.56~133.64	153.04	34.63	40.00	16.10	2.44	6.83
昭通	24.21±23.31B	4.83~128.65	96.29	1.04	5.21	77.09	6.25	10.41
云南	15.67±21.23	1.07~174.44	135.47	21.72	34.51	32.68	4.09	7.00

注: 大写字母不同表示 12 个州(市)间的差异有统计学意义( $p < 0.01$ )。

云南省植烟土壤有效硼质量分数平均值为 1.01 mg/kg. 其中, 有效硼质量分数在适中范围内的样品占 37.09%, 在低和很低范围内的样品占 23.42%, 在高和很高范围内的样品占 39.49%, 表明全省 23.42% 植烟土壤有效硼质量分数较缺乏需补施硼肥. 12 个州(市)的植烟土壤有效硼质量分数差异有统计学意义, 楚雄的植烟土壤有效硼质量分数极显著高于其他州(市), 红河最低. 从样品分布看, 昆明、曲靖、保山、文山、德宏和普洱的植烟土壤有效硼质量分数在适中范围内的样品比例较高, 在 36.49%~50.75% 之间; 楚雄、大理、临沧、玉溪和昭通的土壤有效硼质量分数在高范围内的样品比例较多, 达到 38.26%~56.14%; 红河土壤有效硼质量分数在低和很低范围内的样品占到 49.99%, 表明红河州近 50% 的植烟土壤缺硼(表 10)。

表 10 植烟土壤有效硼质量分数及分布

地点	均值/ (mg · kg <sup>-1</sup> )	变幅/ (mg · kg <sup>-1</sup> )	CV/ %	占总数比例/%				
				很低	低	适中	高	很高
昆明	1.11±0.68BC	0.11~4.08	61.21	0.68	17.57	36.49	34.45	10.81
曲靖	0.78±0.60DEF	0.09~4.28	76.53	3.51	27.39	50.75	14.09	4.26
红河	0.63±0.46F	0.02~3.26	73.46	12.67	37.32	35.67	12.67	1.67
保山	0.96±0.51CDE	0.09~2.68	53.53	4.08	13.61	42.86	35.37	4.08
文山	0.83±0.51DEF	0.20~2.89	60.97	0.73	29.20	41.61	25.55	2.91
楚雄	1.67±0.89A	0.11~4.48	53.54	2.36	3.30	17.45	46.70	30.19
大理	1.24±0.62B	0.19~3.62	49.93	1.17	5.26	28.07	56.14	9.36
德宏	0.77±0.47EF	0.22~2.22	61.74	0.00	33.33	41.67	20.83	4.17
临沧	1.17±0.80BC	0.12~4.73	68.13	2.61	11.30	36.53	38.26	11.30
普洱	1.00±0.75CD	0.09~4.74	74.73	4.03	23.49	36.91	26.85	8.72
玉溪	1.13±0.63BC	0.24~3.80	55.57	0.00	12.68	35.13	44.39	7.80
昭通	1.23±0.73B	0.17~4.99	59.23	1.04	8.33	33.34	48.96	8.33
云南	1.01±0.71	0.02~4.99	69.76	3.67	19.75	37.09	30.98	8.51

注: 大写字母不同表示 12 个州(市)间的差异有统计学意义( $p < 0.01$ )。

### 2.3 物理性粘粒与养分质量分数回归分析

分别统计不同的植烟土壤物理性粘粒质量分数对应的养分质量分数平均值,从而采用回归分析方法探索土壤物理性粘粒质量分数与养分的关系.由图 1 至图 6 可知,植烟土壤有机质、速效氮、速效钾和有效硼质量分数与物理性粘粒质量分数的  $R^2$  值较高,表明彼此拟合关系较好;而速效磷和水溶性氯质量分数与物理性粘粒质量分数的  $R^2$  值较低.其中,植烟土壤有机质和速效氮质量分数呈随土壤物理性粘粒质量分数升高而先升高,当粘粒质量分数达到 56% 时再降低的趋势;植烟土壤速效钾质量分数呈随土壤物理性粘粒质量分数升高而升高的趋势;植烟土壤有效硼质量分数呈随土壤物理性粘粒质量分数升高而先升高,当粘粒质量分数达到 40% 时再降低的趋势.

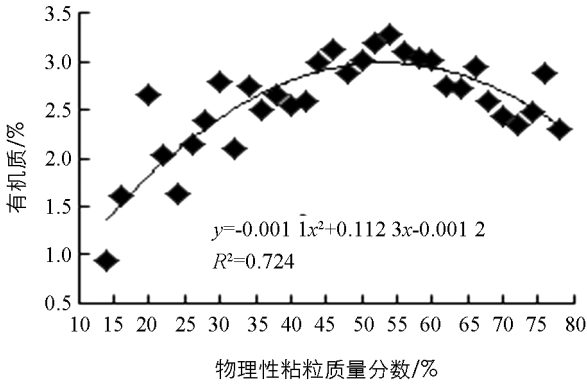


图 1 物理性粘粒与有机质关系

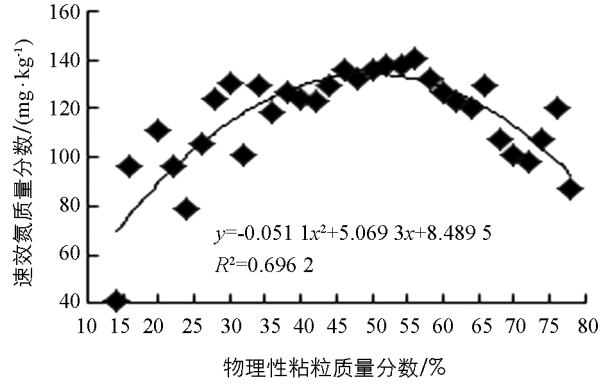


图 2 物理性粘粒与速效氮关系

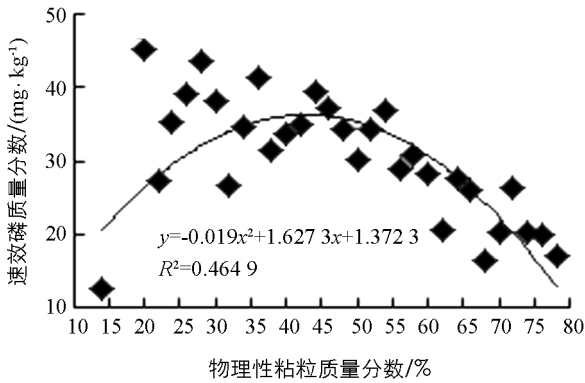


图 3 物理性粘粒与速效磷关系

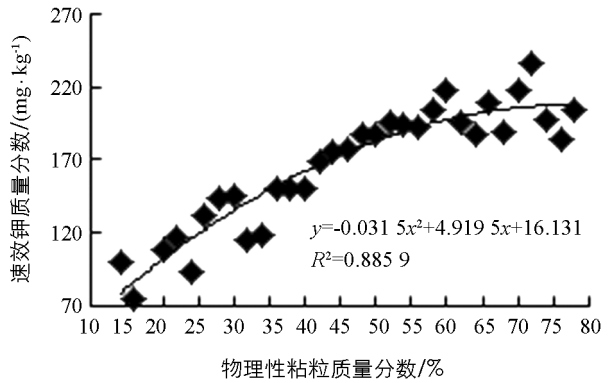


图 4 物理性粘粒与速效钾关系

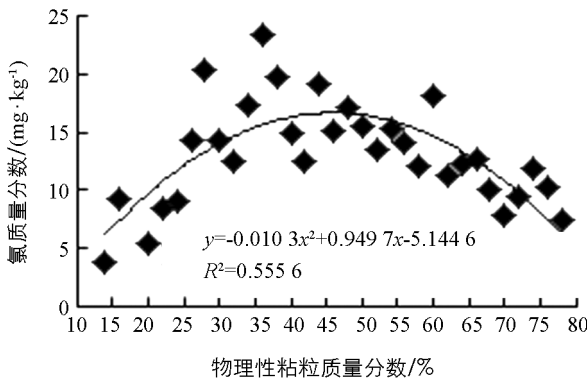


图 5 物理性粘粒与水溶性氯关系

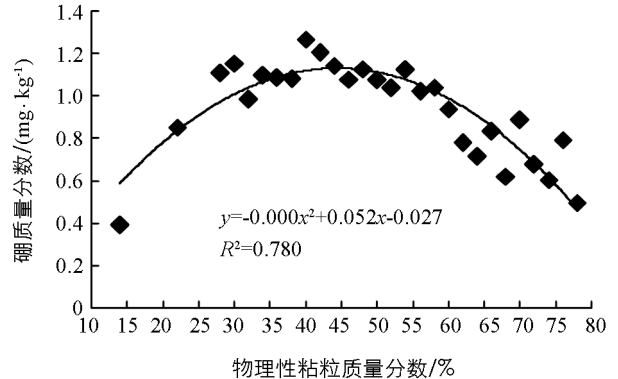


图 6 物理性粘粒与有效硼关系



### 3 讨 论

根据卡庆斯基土壤质地分类标准(取值范围包括后值), 红壤 $<0.01$  mm 的物理性粘粒质量分数在 10%~20% 为砂壤土, 20%~30% 为轻壤土, 30%~45% 为中壤土, 45%~60% 为重壤土,  $>60\%$  为粘土。本研究发现云南省植烟土壤的物理性粘粒质量分数在 10%~45% 的样品占 32.35%, 45%~60% 占 45.70%,  $>60\%$  占 21.95%, 可见全省植烟土壤质地以壤土为主, 略偏重壤土, 且有近 22% 的粘土。罗华元等研究报道云南省 16 个基地单元的土壤质地均以壤土为主, 其中 60% 基地单元偏中壤土, 40% 偏重壤土<sup>[19]</sup>。12 个州(市)中德宏、楚雄、普洱和临沧的植烟土壤质地以砂壤土到中壤土为主; 昆明、曲靖、保山、大理、玉溪和昭通的土壤质地以重壤土为主, 这与李肃对曲靖 614 个土样的研究结果相似<sup>[20]</sup>; 而文山和红河土壤质地偏粘土。因此, 文山和红河分别 43.08% 和 52.34% 的物理性粘粒质量分数较高的植烟土壤, 需在烤烟生产中通过翻耕松土或增施有机肥等改善土壤结构, 注意调节土壤的通透性。

根据研究结果, 云南省植烟土壤 pH 值平均为 6.08, 在 5.5~7.0 占 39.02%, 呈微酸性至中性, 适宜优质烤烟生长; 但有 36.38% 的样本 pH 值小于 5.5, 其中德宏、临沧和普洱的土壤样本高达 60% 以上小于 5.5, 在烤烟生产中可通过增施石灰、有机肥或选用碱性肥料等措施减轻酸性土壤对烤烟的影响<sup>[21]</sup>。不同研究者由于采样地点和时间等原因所得的结果也不完全一致, 常乃杰分析 2011 年云南全省植烟土壤 pH 值平均为 6.34, 16.8% 偏酸<sup>[22]</sup>; 胡玲等研究报道云南全省植烟土壤 pH 值平均为 6.20, 19% 左右偏酸<sup>[23]</sup>; 李天福等<sup>[24]</sup>对普洱, 杨美仙等<sup>[25]</sup>对临沧的植烟土壤 pH 研究结果与本文较一致。普洱、德宏和临沧植烟土壤 pH 偏低可能是当地多雨的原因, 全省各州(市)年降雨量平均 1 104.8 mm, 最多的是普洱 1 588.3 mm, 其次德宏 1 514.9 mm, 临沧 1 300 mm<sup>[26]</sup>。降雨易造成土壤溶液中的盐基离子在淋溶作用下随水分下移, 土壤中易溶盐减少引起土壤酸化<sup>[27]</sup>, 具体影响因素需进一步验证分析。

从平均值来看, 云南省植烟土壤的有机质、速效氮、速效钾和水溶性氯质量分数在适宜范围内, 速效磷和有效硼质量分数较丰富。但从样品分布看, 云南省和 12 个州(市)的植烟土壤样本存在肥力差异显著的情况, 植烟土壤有机质质量分数缺乏的样本以德宏、临沧、普洱和玉溪较高, 为 36.52%~56.37%; 速效氮质量分数缺乏的样本以德宏和普洱较高, 分别为 41.67% 和 58.40%; 速效磷质量分数缺乏的样本以普洱、临沧和红河较高, 达到 30.34%~41.61%; 12 个州(市)的植烟土壤速效钾质量分数缺乏的样本占到 35.41%~66.67%; 大理 30.41%, 曲靖 20.80% 和昭通 16.66% 的植烟土壤水溶性氯质量分数大于 30 mg/kg, 这可能与烟农施肥、轮作制度等栽培措施有关, 如应用农家肥、有机肥或其他化肥等原因也可能带入氯元素, 需进一步调研分析; 有效硼质量分数表现为, 楚雄、大理、临沧、玉溪和昭通的植烟土壤样本 38.26%~56.14% 硼质量分数较丰富, 这与前人研究结果有出入<sup>[13, 25]</sup>; 研究报道当土壤中的有效硼质量分数高于 1.0 mg/kg 时, 下部叶的边缘会出现轻微的毒害<sup>[28]</sup>, 在植烟土壤有效硼丰富的烟区需控制硼肥的施用; 而红河近 50% 的植烟土壤缺硼需增施硼肥。因此, 根据云南省的植烟土壤养分质量分数分布特征, 全省近 40% 有机质和近 30% 速效氮质量分数丰富的植烟土壤, 需调控氮肥的施用量, 以免氮素供应过量, 影响烟叶正常落黄; 而近 21% 的速效磷, 45.56% 的速效钾和 23.42% 的有效硼质量分数缺乏, 需分别增施磷肥、钾肥和硼肥等, 因地制宜选择适合当地烤烟生产需要的施肥方法, 指导烤烟生产工作。

关于土壤 $<0.01$  mm 物理性粘粒质量分数与养分的关系以往多采用简单相关分析进行研究, 未能真实反映两个相关变量间的量化关系。本研究结果中采用回归方法分析揭示了土壤物理性粘粒质量分数与养分间的量化关系, 其中有机质和速效氮质量分数呈现随土壤物理性粘粒质量分数升高而先升高, 当粘粒质量分数达到 56% 时再降低趋势; 有效硼质量分数呈现随土壤物理性粘粒质量分数升高而先升高, 当粘粒质量分数达到 40% 时再降低趋势。回归分析结果解释了文山和河红的植烟土壤物理性粘粒质量分数较高, 而有机质、速效氮和有效硼质量分数不一定最高的原因。这与曲靖市植烟土壤物理性粘粒质量分数与养分的线性关系研究结果较一致<sup>[29]</sup>, 即有机质和速效氮随土壤物理性粘粒质量分数上升而先上升后增加, 在粘土范

围内,质量分数逐渐减少.而李井军等对湖南嘉禾烟区的研究发现植烟土壤的物理性粘粒质量分数与养分相关性不显著<sup>[30]</sup>.李晓婷等对豫中烟区的研究报道植烟土壤的物理性粘粒与速效钾质量分数呈极显著的正相关<sup>[31]</sup>.曾强等研究发现土壤有机质、速效氮和速效钾总体随物理性粘粒质量分数上升呈不同幅度的上升趋势<sup>[32]</sup>.因此,云南省各州(市)需结合当地植烟土壤的物理性状和养分特性,制订合理的烤烟生产施肥方案,提高烟叶品质,满足工业企业需求.

### 参考文献:

- [1] 宋莹丽,陈翠玲,焦哲恒,等.土壤质地分布与烟叶品质和风格特色的关系[J].烟草科技,2014(7):75-78.
- [2] 秦松,刘大翠,刘静,等.土壤肥力对烟叶化学成分及品质的影响[J].土壤通报,2007,38(5):901-905.
- [3] 李井军,彭海峰,刘学莉,等.湖南嘉禾植烟土壤肥力特征和物理性状分析[J].云南农业大学学报,2013,28(2):211-217.
- [4] 邓小华,张瑶,田峰,等.湘西植烟土壤 pH 和主要养分特征及其相互关系[J].土壤,2017,49(1):49-56.
- [5] 庞夙,陶晓秋,黄玫,等.四川省植烟区土壤肥力评价[J].中国烟草科学,2013,34(1):40-44.
- [6] 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),2006,34(11):179-183.
- [7] 秦钟立.贵州植烟土壤养分特征研究[D].重庆:西南大学,2007.
- [8] 王树会,邵岩,李天福,等.云南 12 个地州植烟土壤养分状况与施肥对策[J].土壤通报,2006,37(4):684-687.
- [9] 王树会,邵岩,邓云龙,等.云南植烟土壤主要养分特征及在生产上的对策[J].云南农业大学学报,2005,20(5):690-693,701.
- [10] 刘江.云南植烟土壤主要养分状况与施肥对策研究[D].长沙:湖南农业大学,2008.
- [11] 宋淑芳,周冀衡,邓小华,等.大理植烟土壤养分含量及其对烟叶生产的适宜性[J].湖南农业大学学报(自然科学版),2012,38(1):16-21.
- [12] 李强,周冀衡,杨荣生,等.曲靖植烟土壤养分空间变异及土壤肥力适宜性评价[J].应用生态学报,2011,22(4):950-956.
- [13] 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.
- [14] 鲍士旦.土壤农化分析[M].3版.北京:中国农业出版社,2000.
- [15] 郝葳,田孝华.优质烟区土壤物理性状分析与研究[J].烟草科技,1996(5):34-35.
- [16] 陈江华,刘建利,李志宏,等.中国植烟土壤及烟草养分综合管理[M].北京:科学出版社,2008.
- [17] 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.
- [18] 云南省烟草科学研究所.云南烟草栽培学[M].北京:科学出版社,2006.
- [19] 罗华元,吴涛,常寿荣,等.红云集团原料基地植烟土壤质地和 pH 特性研究[J].云南农业大学学报,2009,24(6):876-881.
- [20] 李肃.曲靖烟区不同土壤质地烤烟清香型风格和品质指标的比较[D].郑州:河南农业大学,2013.
- [21] 蒋珍茂,赵秀兰,魏世强,等.翻耕与改良剂施用对土壤植烟适应性的影响[J].西南大学学报(自然科学版),2015,37(11):122-130.
- [22] 常乃杰.生态因素对云南烤烟品质影响[D].北京:中国农业科学院,2016.
- [23] 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.
- [24] 李天福,黄成江,王树会,等.思茅市主要植烟土壤养分特征及推荐施肥技术[J].中国土壤与肥料,2008(1):18-21.
- [25] 杨美仙,亚平,何元胜,等.临沧植烟土壤养分丰缺状况分析[J].云南农业大学学报,2014,29(2):269-277.
- [26] 贺升华,任炜.烤烟气象[M].昆明:云南科技出版社,2001.
- [27] 张东,扈强,杜咏梅,等.植烟土壤酸化及改良技术研究进展[J].中国烟草科学,2013,34(5):113-117.
- [28] 潘文杰,姜超英.烟草硼素营养研究进展[J].贵州农业科学,2003,31(1):56-57.
- [29] 杨荣生.曲靖市植烟土壤分析与评价[M].北京:科学出版社,2012.
- [30] 李井军,彭海峰,刘学莉,等.湖南嘉禾植烟土壤肥力特征和物理性状分析[J].云南农业大学学报,2013,28(2):211-217.

- [31] 李晓婷, 詹军, 王维超, 等. 豫中烟区土壤物理性状与养分特性及其关系 [J]. 河南农业大学学报, 2016, 50(6): 715-719.
- [32] 曾强, 吴平, 陈星峰, 等. 南平植烟土壤质地状况及其与土壤养分的关系 [J]. 安徽农业科学, 2012, 40(5): 2763-2765.

## Study on Physical and Chemical Properties of Tobacco-Growing Soils in Yunnan Province and the Correlation Between Them

LI Xiao-ting<sup>1</sup>, ZHANG Jing<sup>2</sup>, LV Kai<sup>1</sup>,  
WANG Chao<sup>2</sup>, LI Wei<sup>2</sup>

1. Yunnan Reascend Tobacco Technology (Group) Co., Ltd, Kunming 650106, China;

2. Hongyun Honghe Tobacco (Group) Co., Ltd, Kunming 650202, China

**Abstract:** In order to have a better understanding of the physico-chemical properties of the major tobacco-growing soils in Yunnan and the nutrient contents in them, 2127 soil samples were collected from 12 prefectures/cities of the province and analyzed in 2014 and 2015. The average physical clay contents in the soil samples averaged 50.91% and soil texture was mainly heavy loam. The average pH and nutrient contents were suitable for good-quality tobacco cultivation, except that organic matter was a bit over-abundant. Highly significant differences ( $p < 0.01$ ) existed in the contents of soil physical clay and nutrients among the 12 tobacco-planting prefectures/cities. Soil physical clay content was the highest in Honghe and Wenshan. Soil organic matter and available N were the most abundant in Baoshan and Dali. Soil available K was the highest in Qujing and Zhaotong. Soil available B content was the highest in Kunming, Chuxiong and Lincang. The soil pH and nutrient contents in Dehong and Pu'er were relatively low. Of the tobacco-growing soils in Honghe and Wenshan 3.08% and 52.34% had a soil physical clay content of more than 60%, respectively, and so adjustment of soil permeability is necessary. In Dehong, Lincang and Pu'er, 66.67%, 54.78% and 53.69% of the tobacco-growing soils had a pH less than 5.5 and, therefore, adjustment of soil pH is recommended. In Pu'er, 58.40% of the soil samples were found to be insufficient in available N and 41.61% was insufficient in available P, indicating the need to apply more N and P fertilizers. In all the 12 prefectures/cities, 35.41%~66.67% of the soils were insufficient in available K, indicating that K fertilizer application must be increased. Of the soil samples in Honghe, 49.99% were lacking in available B, and B fertilization is required. Of the soil samples in Dali, Qujing and Zhaotong, 30.41%, 20.80% and 16.66% had a water-soluble chlorine content of higher than 30 mg/kg, suggesting that chlorine-containing fertilizer should be applied carefully. The R squared value was quite high between the contents of organic matter, and available N, K and B, on the one hand, and physical clay, on the other, being 0.696 2~0.885 9. With the rise of soil physical clay contents, the contents of organic matter, available N and available B first increased and then decreased, while the content of available K increased steadily.

**Key words:** Yunnan province; tobacco-growing soil; physical clay; nutrient characteristic; correlation