

## 玉溪典型烟区土壤砾石空间分异及其关联因子<sup>①</sup>

田育天<sup>1</sup>, 刘魁<sup>1</sup>, 李湘伟<sup>1</sup>, 朱云聪<sup>1</sup>, 谢新乔<sup>1</sup>, 者靖雄<sup>1</sup>, 徐梓荷<sup>1</sup>, 曹静<sup>1</sup>, 孙维侠<sup>2\*</sup>, 孙华<sup>3</sup>, 史学正<sup>2</sup>

(1 红塔烟草(集团)有限责任公司, 云南玉溪 653100; 2 土壤与农业可持续发展全国重点实验室(中国科学院南京土壤研究所), 南京 211135;

3 玉溪市烟草公司峨山县分公司, 云南玉溪 653200)

**摘要:** 采用野外实地调研采样、实验室分析和空间分析等方法, 探讨了云南省玉溪市典型烟区土壤砾石空间分异特征及其与土壤类型、坡地地形和土壤质地的关联, 以指导特色小产区筛选和优质烟叶生产。结果表明: 玉溪烟区含砾石土壤占比高于 2/3; 不同县(区)间土壤砾石含量以江川区最高, 华宁县次之, 峨山县最低, 呈高度变异性; 典型村间以及不同土属间土壤砾石含量变化较为明显, 与成土母质区域分布有关, 基性结晶岩类黄红壤和红壤、碳酸盐岩类红壤及红壤性水稻土土属土壤砾石含量较高, 紫色砂、页岩类风化碎屑物母质和冲积性母质发育的土壤砾石含量相对较低; 土壤砾石含量与坡度没有显著相关性; 不同土类间土壤砾石含量有所不同, 红壤最高, 水稻土次之, 紫色土最低, 但均高度变异; 土壤质地为黏土、粉质黏壤土和粉砂壤土的土壤砾石含量较低, 质地为砂质壤土、壤土和黏壤土的土壤砾石含量较高。综上, 区域土壤砾石含量差异与不同类型母岩风化壳经受风化、淋溶和富铁铝化成土过程不同阶段的土壤特征有关, 山地土壤坡面侵蚀引起土壤粗骨化也是重要原因。

**关键词:** 烟田; 土壤砾石; 影响因子; 玉溪

中图分类号: S158.3 文献标志码: A

## Spatial Differentiation and Influential Factors of Soil Gravel Contents in Typical Tobacco Growing Areas of Yuxi City

TIAN Yutian<sup>1</sup>, LIU Kui<sup>1</sup>, LI Xiangwei<sup>1</sup>, ZHU Yuncong<sup>1</sup>, XIE Xinqiao<sup>1</sup>, ZHE Jingxiong<sup>1</sup>, XU Zihe<sup>1</sup>, CAO Jing<sup>1</sup>, SUN Weixia<sup>2\*</sup>, SUN Hua<sup>3</sup>, SHI Xuezheng<sup>2</sup>

(1 Hongta Tobacco Group Company Limited, Yuxi, Yunnan 653100, China; 2 State Key Laboratory of Soil and Sustainable Agriculture, Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 211135, China; 3 Eshan Branch of Yuxi Tobacco Co., Ltd., Yuxi, Yunnan 653200, China)

**Abstract:** In this study, field survey sampling, laboratory analysis, and spatial analysis were used to explore the spatial differentiation characteristics of soil gravels in typical tobacco growing areas of Yuxi City, Yunnan Province, and its correlations with soil type, terrain slope, and soil texture, in order to provide scientific basis for the selection of characteristic small production areas and the production of high-quality tobacco leaves. The results showed that the proportion of soils containing gravels was relatively high, accounted for more than two-thirds of the total soils; Soil gravel content was highly diverse in different regions, which was the highest in Jiangchuan District, followed by Huaning County, and the lowest in Eshan County. Soil gravel content varied significantly between different typical villages and different soil families, which was related to the regional distribution of soil parent materials. Gravel contents were higher in yellow red soil and red soil derived from basic crystalline salt rocks, lateritic soils and lateritic paddy soils derived from carbonate rocks, while were lower in soils derived from purple sand, shale weathering debris and alluvial parent materials. There was no significant correlation between soil gravel content and terrain slope. Gravel content varied among different soil group types, the highest in red soil, followed by paddy soil, and the lowest in purple soil, but highly variable in all the three soil groups. Gravel content was lower in soils with clay, silty clay loam, and silty loam textures, but higher in soils with sandy loam, loam, and clay loam textures. In conclusion, gravel contents in different regions are varied

①基金项目: 红塔烟草(集团)有限责任公司科技重点项目(HTJT-2023-1519, 363231)资助。

\* 通信作者(wxsun@issas.ac.cn)

作者简介: 田育天(1968—), 男, 四川内江人, 农艺师, 主要从事烟草农业科技研究和原料基地管理。E-mail: tyt@hongta.com

with the distribution of different parent rocks/materials and soil characteristics at different stages of soil formation process of ferritization and allitization of the weathering crusts, and slope erosion of mountains also leads soil coarsening.

**Key words:** Tobacco field; Soil gravel; Influential factors; Yuxi

砾石是指土壤中大于 2 mm 的矿质颗粒<sup>[1]</sup>。其对土壤水、气、热等生态因子变化, 以及物质迁移、能量传递过程均会产生不同程度的影响<sup>[2-5]</sup>, 进而对植株–土壤生态系统的生产力造成影响。适宜的土壤砾石含量有利于提高烟草产量, 改善烟草品质<sup>[6-7]</sup>。河南和安徽烟区丘陵坡地含砾石的壤土烟田所产烟叶品质较优, 烟叶色黄, 油分足, 有光泽和弹性, 烟农有言“土中一颗砾石三两油”<sup>[8]</sup>。然而, 砾石含量过多或过少都会对烟草产质量形成产生不利影响, 系统研究植烟土壤砾石的空间分异特征及其关联因子, 有利于指导我国西南山区的烟草种植规划和植烟土壤高效管理。

砾石自身不具备土壤的水肥供应和缓冲调节功能, 而被作为土壤风化程度的指标之一。不同砾石含量对土壤容重会产生不同的影响。有研究认为土壤砾石可以提高土壤容重<sup>[9-11]</sup>, 但也有相反研究结果报道<sup>[7]</sup>, 这可能与不同研究涉及砾石物理特性和土壤紧实度上的差异及其他因素影响有关<sup>[12]</sup>。土壤中砾石的存在还会对土壤的孔隙结构产生影响, 其容易导致大孔隙, 促进优势流的形成, 从而提高土壤入渗速率, 降低地表径流, 有利于水土保持<sup>[13-14]</sup>。但过高砾石含量也会降低土壤饱和持水量和有效持水量<sup>[15]</sup>。有研究表明, 旱区土壤砾石覆盖可降低蒸发、增加入渗、保持水土, 且保温隔热, 是一种特有的保护性耕作措施<sup>[16]</sup>。

云贵高原是我国重要的烟草种植区, 但已有针对该区域的研究多集中于土壤理化性质或肥力对烟草生产的影响<sup>[17-20]</sup>, 对土壤砾石的研究也仅重点关注其对土壤物理特性和水土界面特征的影响, 尚未涉及土壤砾石含量的区域空间分异特征及其地理关联因子。云南省玉溪市是我国重要的传统烟草产区<sup>[21]</sup>, 区域以山地为主, 高原盆地占有一定比例, 由于受地质、地形及自然气候条件和人为管理措施的影响, 土壤砾石含量具有多样性分布特征。因此, 本研究以玉溪植烟土壤为研究对象, 采用实地调查采样和室内统计分析、GIS 空间分析相结合, 定量分析不同行政区域、土壤类型、地形坡度及土壤质地条件下土壤砾石含量变异性特征, 研究影响土壤砾石的关键地理因子, 旨在为玉溪地区植烟土壤区域空间高效管理提供理论依据。

## 1 土壤样品采集与研究方法

### 1.1 土壤样品采集

选择玉溪市烟草种植面积较大的 3 个代表性区(县), 依据第二全国土壤普查的土壤分布图和其他相关成果, 分别于 2018 年调查了华宁县青龙镇和宁州镇共计 50 个烟田; 2023 年调查了江川区和峨山县两个县(区)6 个乡镇, 共计 200 个典型烟田。在每个烟田采用五点取样法采集耕层(0~20 cm)土样, 并采用“四分法”留取 1 kg 左右放入样品袋, 密封保存带回实验室, 同时用 GPS 定位获取采样点经纬度。

### 1.2 研究方法

采集的土样在室内自然风干, 用木棒研碎, 过 2.0 mm 孔径筛以区分砾石(>2 mm)和细土(≤ 2.0 mm), 并分别称重, 计算砾石含量(g/kg)。土壤砾石含量(g/kg)=土壤砾石质量×10/(土壤砾石质量+细土质量)。细土组分中, 土壤机械组成采用沉降法测定, 土壤质地采用美国分级制, 砂粒分为 3 级, 即 0.5~2.0、0.25~0.5 和 0.05~0.25 mm。

依据第二次全国土壤普查土壤分类规范进行命名, 本文土壤逐级类型名称和成土母质名称均引自玉溪市各县土种志<sup>①②③</sup>。

采用 Excel 2016、SPSS 26.0 和 ArcGIS 10.8 软件进行数据处理、统计分析、空间分析及制图。

## 2 结果与分析

### 2.1 土壤砾石含量统计特征

调查区域 250 个典型烟田中, 无砾石土样点数 88 个, 少砾质土、中砾质土和多砾质土样点数 155 个, 轻砾石土样点数为 7 个(表 1), 研究区植烟土壤以含砾质土为主。

### 2.2 不同行政区划级别土壤砾石含量

对不同行政区的统计分析结果(表 2)表明, 江川区平均土壤砾石含量最高, 华宁县其次, 峨山县最低; 从变异系数来看, 不同行政区的平均砾石含量变异均

① 玉溪地区土壤普查办公室, 江川县土壤普查队. 江川土壤, 1987.

② 玉溪地区土壤普查办公室, 峨山县土壤普查队. 峨山土壤, 1983.

③ 玉溪地区土壤普查办公室, 华宁县土壤普查队. 华宁土壤, 1985.

较高, 属高强度变异。

**表 1 土壤砾石含量分级和不同砾石含量烟田样点数**  
Table 1 Grade of soil gravel content and number of samples with different gravel contents

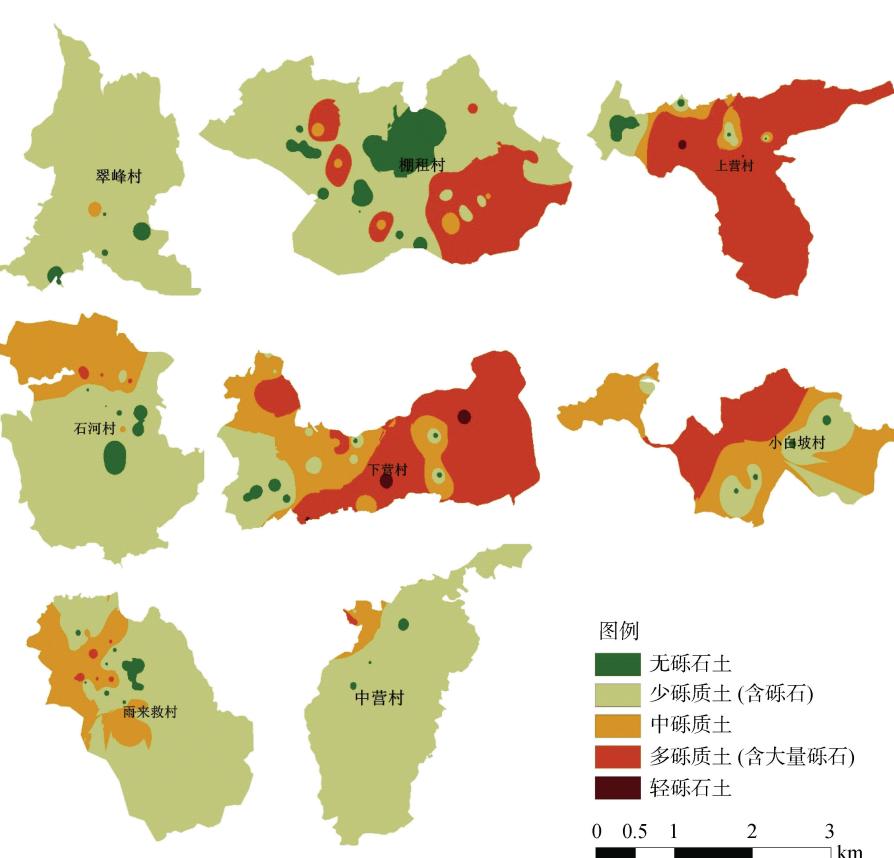
砾石含量等级	砾石含量范围(g/kg)	样点数
无砾石	0 ~ 10	88
少砾质土(含砾石)	10 ~ 50	69
中砾质土	50 ~ 100	36
多砾质土(含大量砾石)	100 ~ 300	50
轻砾石土	300 ~ 500	7
合计		250

**表 2 研究区 3 个县(区)土壤平均砾石含量统计特征**  
Table 2 Statistical characteristics of soil average gravel contents in three counties and districts

县(区)	样点数	平均砾石含量 (g/kg)	标准差 (g/kg)	变异系数 (%)
峨山	77	40.7	50.2	123.3
华宁	50	68.4	89.1	130.4
江川	123	70.9	92.7	130.7

由于玉溪市地处山地高原, 地质地貌和土壤条件空间变异大<sup>[22]</sup>, 从县域尺度进行统计分析, 虽然可

以为区域烟田管理提供参考, 但难以准确分析生态因子与植烟土壤砾石含量差异性变化的关系, 因此本研究进一步选择采样样本数量大的典型村进行统计分析。本研究将已经空间化后的 8 个典型村共计 190 个样点, 根据各村行政边界, 采用反距离权重法进行空间插值分析和计算, 得到 8 个村的土壤砾石含量等级分布图(图 1)。从图 1 中可以看出, 翠峰村、棚租村、石河村、雨来救村和中营村以少砾质土为主; 上营村、下营村有大面积多砾质土分布; 无砾石土在各典型村均有分布, 以棚租村分布面积最大, 石河村其次; 中砾质土主要分布于棚租村、石河村、雨来救村、下营村和小白坡村; 轻砾石土仅上营村和下营村有局地斑块存在。从空间分布图可以看出, 典型村之间, 土壤砾石含量差异明显。村级幅度所处地貌单元相对一致, 地质条件、地形和土壤属性空间变异相对较小, 土壤砾石含量状况特色较为鲜明。这也说明, 土壤砾石含量变化与地质条件、地形和土壤属性空间变异密切相关。因此, 进一步分析地面坡度、土壤类型、土壤质地与土壤砾石含量变化的关系, 更有助于揭示区域土壤砾石含量多样性的形成特征。



**图 1 研究区 8 个典型村土壤砾石含量等级空间分布**  
Fig. 1 Spatial distributions of soil gravel content levels in 8 typical villages in study area

### 2.3 不同地面坡度土壤砾石含量

根据获取的 DEM 数字高程数据(<http://www.gscloud.cn/>)，基于 ArcGIS 软件系统空间分析得到 8 个典型村的地形坡度分布，将 8 个典型村共计 190 个样点叠加到坡度分布图上，得到 190 个样点相对应的坡度情况。根据全国国土资源标准化技术委员会颁发的《土地利用现状分类》<sup>[23]</sup>国家标准，将 8 个典型村的坡度按照 5 个等级梯度标准进行划分，并利用 SPSS 软件进行简单的统计分析，得到不同坡度梯度下土壤平均砾石含量分布特征(表 3)。从统计结果可以看出，不同坡度下土壤平均砾石含量和变异系数变化与坡度没有明显的关系，换言之，土壤砾石含量的变化可能主要决定于土壤母质类型。该区域地处新构造运动抬升区，地质、地形条件复杂多样，不同地质时期岩层出露<sup>[22]</sup>，母岩、母质复杂多样，发育的土壤具有一定的砾石继承性特征。

表 3 不同坡度平均砾石含量统计特征

Table 3 Statistical characteristics of average gravel contents on different slopes

坡度梯度	样点数	平均砾石含量 (g/kg)	标准差 (g/kg)	变异系数 (%)
≤2°	18	102.9 a	112.1	109.0
2°~6°	66	48.4 a	68.4	141.4
6°~15°	91	63.0 a	80.6	127.9
15°~25°	14	66.9 a	89.7	134.2
>25°	1	80.2 a	—	—
总计	190	62.1	81.3	131.0

注：同列不同小写字母表示组间差异显著( $P<0.05$ )。

### 2.4 不同类型土壤砾石含量

调查区域植烟土壤类型主要包括红壤、水稻土和紫色土 3 个土类，7 个亚类，14 个土属。从土类级次来看，3 个土类土壤砾石含量为 47.3~84.1 g/kg，红壤的砾石含量最高，其次为水稻土，而以紫色土较低；土壤砾石含量变异系数均在 110% 以上，属于高度变

异，变异系数大小顺序为：水稻土>红壤>紫色土(表 4)。

表 4 不同土类平均砾石含量统计特征

Table 4 Statistical characteristics of average gravel contents in different soil groups

土类	样点数	平均砾石含量 (g/kg)	标准差 (g/kg)	变异系数 (%)
红壤	79	84.1	105.0	124.9
水稻土	75	55.8	81.7	146.4
紫色土	94	47.3	52.2	110.2

进一步从亚类级次来看，7 个亚类土壤砾石平均含量为 41.6~194.6 g/kg，从高到低依次为棕红壤>黄红壤>红壤>淹育型水稻土>酸性紫色土>潴育型水稻土>中性紫色土。7 个亚类各自平均土壤砾石含量变异系数为 88.0%~153.4%，其中酸性紫色土亚类属中等变异，其余亚类均为高度变异(表 5)。

研究区 14 个土属平均砾石含量为 0~194.6 g/kg(表 6)。其中，2 个砂岩类红壤土属样本数为 2，砾石含量均为 0，为最低；其次为淹育型紫色性水稻土，平均砾石含量仅为 7.8 g/kg，但呈高度变异性；淹育型冲积性水稻土平均砾石含量为 28.1 g/kg，且变异系数仅为 53.9%。此外，砂岩类黄红壤、中性紫色土砂页岩土、潴育型紫色性水稻土砾石含量均低于 50 g/kg，呈中、高度变异性。酸性紫砂土、潴育型冲积性水稻土、碳酸盐岩类红壤、基性结晶岩类红壤土属土壤砾石平均含量为 50.0~100.0 g/kg，呈中、高度变异性。基性结晶岩类黄红壤、淹育型红壤性水稻土土壤砾石平均含量均高于 100.0 g/kg，呈高度变异性。由于样本数差异较大，选样本数 10 个以上的土属进行比较，发现砾石含量高的土壤类型主要包括基性结晶岩类黄红壤、淹育型红壤性水稻土、碳酸盐岩类红壤，而这些土壤主要分布于上营村、下营村，小白坡村亦有一定分布<sup>[24-26]</sup>；砾石含量较低的土壤主要是酸性紫砂土、中性紫色土、砂页岩土、潴育型冲积性水稻土和淹育型冲积性水稻土。

表 5 不同亚类平均砾石含量统计特征

Table 5 Statistical characteristics of average gravel contents in different soil subgroups

土类	亚类	样点数	平均砾石含量(g/kg)	标准差(g/kg)	变异系数(%)
红壤	红壤	46	78.1	94.7	121.3
红壤	黄红壤	32	89.3	119.3	133.7
红壤	棕红壤	1	194.6	—	—
水稻土	淹育型水稻土	21	74.1	113.6	153.4
水稻土	潴育型水稻土	54	48.7	65.3	134.1
紫色土	酸性紫色土	30	59.5	52.4	88.0
紫色土	中性紫色土	64	41.6	51.5	123.7

表 6 不同土属平均砾石含量统计特征  
Table 6 Statistical characteristics of average gravel contents in different soil families

亚类	土属	样点数	平均砾石含量(g/kg)	标准差(g/kg)	变异系数(%)
红壤	基性结晶岩类红壤	3	86.4	65.1	75.4
红壤	砂岩类红壤	2	0.0	0.0	-
红壤	碳酸盐岩类红壤	41	81.3	97.7	120.2
黄红壤	基性结晶岩类黄红壤	19	126.5	140.9	111.4
黄红壤	砂岩类黄红壤	13	34.9	40.0	114.7
棕红壤	基性结晶岩类棕红壤	1	194.6	-	-
淹育型水稻土	冲积性水稻土	6	28.1	15.1	53.9
淹育型水稻土	红壤性水稻土	10	134.8	143.2	106.2
淹育型水稻土	紫色性水稻土	5	7.8	15.7	203.0
潴育型水稻土	冲积性水稻土	35	54.0	74.3	137.7
潴育型水稻土	紫色性水稻土	19	38.9	44.1	113.4
酸性紫色土	红紫泥士	1	99.1	-	-
酸性紫色土	紫砂岩	29	58.2	52.8	90.8
中性紫色土	砂页岩土	64	41.6	51.5	123.7

综合上述分析可以看到, 基性结晶岩类、碳酸盐岩类出露形成的山地或盆地断裂带风化壳上发育的红壤类<sup>[22]</sup>, 以及红壤类土壤形成的低势冲积物人为熟化的水稻土是高砾石含量土壤。

## 2.5 不同质地土壤砾石含量

对不同土壤质地的分类统计结果(表 7)表明, 200个样点中, 黏壤土样点占 28.0%, 砂质壤土占 27.5%, 壤土占 18.5%, 砂质黏壤土占 12.5%, 黏土占 10.0%, 粉质黏土、粉质砂土分别仅占 2.0% 和 1.5%。其中, 无砾石土壤样点占比以黏壤土最高, 占总样点数 11.5%; 其次为黏土和砂质黏壤土, 均为 6.0%; 砂质壤土、壤土分别占 5.5% 和 4.0%; 粉砂壤土、粉质黏壤土分别仅占 1.0% 和 0.5%。少砾质土样点占比以砂质壤土最高, 为 9.0%; 其次为黏壤土, 达 7.0%; 壤土、粉质黏壤土和黏土分别为 5.0%、4.5% 和 3.0%; 粉质黏壤土和粉砂壤土分别仅占 1.0% 和 0.5%。中砾质土样点占比以砂质壤土、壤土、黏壤土较高, 分别为 5.0%、4.0% 和 3.0%; 砂质黏壤土样点占比为 1.5%, 其余质地土壤样点占比均较低。质地砂质壤土、黏壤土和壤土多砾质土样点占比分别为 6.5%、6.0% 和 4.5%; 粉砂质壤土和黏土仅为 0.5%。轻砾石土仅包括粉砂壤土、壤土和黏壤土, 样点占比分别为 1.5%、1.0% 和 0.5%。

分类统计结果表明, 不同质地类型的土壤砾石含量等级有一定差异, 黏土、粉质黏壤土和粉砂壤土砾石含量较低, 砂质壤土、壤土和黏壤土砾石含量相对较高; 其余质地土壤砾石含量居中, 变化规律不明显。总体而言, 质地细的土壤砾石含量相对较低, 而质地

粗的土壤砾石含量相对较高, 这与玉溪地区地质、地貌与土壤利用状况相吻合<sup>[21]</sup>。

## 3 讨论

土壤条件对烟草产量、品质都有重要的影响, 这些条件包括土壤质地、结构、土体构型、土壤养分和基本化学性质等<sup>[17-18]</sup>。砾石虽然不是土壤, 但存在于土壤中的砾石作用于土壤的水、肥、气、热等生态因子调控, 从而影响烟草的产量和品质。有研究表明<sup>[7]</sup>, 由于砾石含量增加有助于降低土壤容重, 改善土壤透气性、透水性, 调节土壤水热状况, 植烟土壤适宜的砾石含量有利于增产提质; 薛小平等<sup>[6]</sup>采用盆栽试验证实, 砾石含量 400.0 g/kg 的轻砾石土烟草生长最好; 红壤和水稻土施用火山灰砾石可以增加烟草产量, 改善品质<sup>[2-3]</sup>。砾石覆盖还可以有效降低地面蒸发, 增加土壤入渗且改善储水量<sup>[16]</sup>。多孔性火山灰砾石可以降低土壤容重, 提高土壤孔隙度<sup>[2-3]</sup>。然而一般情况下, 砾石自身孔隙度远低于土壤, 相对密度与土壤基本相近, 因此, 在土壤紧实的条件下, 砾石的存在反而有可能提高土壤容重<sup>[10-12]</sup>。可见, 土壤中添加砾石必须考虑砾石类型和物理特性, 同时辅以相应的土壤管理措施才能确保其生态效应; 其次, 土壤添加砾石虽然具有一定的生态效应, 但过量砾石添加同样会引起土壤砾质化和粗骨化, 从而引起土壤退化。另外, 砾石的添加, 也可能会影响农机的田间运行。因此土壤添加砾石这一管理方式需要慎用。土壤中砾石含量多少能否作为烟草种植适宜性的根本指标, 值得商

表7 不同质地类型下土壤砾石含量分类统计特征  
Table 7 Statistical characteristics of gravel contents in soils with different textures

质地类型	砾石含量等级	砾石含量范围(g/kg)	样点数	平均砾石含量(g/kg)	标准差(g/kg)
砂质壤土	无砾石	0~10	11	1.9	3.4
	少砾质土(含砾石)	10~50	18	27.0	12.9
	中砾质土	50~100	10	73.8	13.3
	多砾质土(含大量砾石)	100~300	13	161.8	67.7
	轻砾石土	300~500	3	328.7	29.2
砂质黏壤土	无砾石	0~10	12	1.1	2.7
	少砾质土(含砾石)	10~50	9	23.8	10.0
	中砾质土	50~100	3	73.0	20.8
	多砾质土(含大量砾石)	100~300	1	118.7	—
壤土	无砾石	0~10	8	0.9	2.5
	少砾质土(含砾石)	10~50	10	29.2	10.3
	中砾质土	50~100	8	78.1	11.0
	多砾质土(含大量砾石)	100~300	9	172.6	59.2
粉砂壤土	无砾石	300~500	2	417.4	63.8
	少砾质土(含砾石)	0~10	2	0.0	0.0
	多砾质土(含大量砾石)	10~50	1	18.5	—
黏壤土	无砾石	0~10	23	0.7	2.3
	少砾质土(含砾石)	10~50	14	29.9	13.0
	中砾质土	50~100	6	76.5	17.9
	多砾质土(含大量砾石)	100~300	12	140.6	41.9
	轻砾石土	300~500	1	326.3	—
粉质黏壤土	无砾石	0~10	1	0.0	—
	少砾质土(含砾石)	10~50	2	26.3	2.7
	中砾质土	50~100	1	56.1	—
黏土	无砾石	0~10	12	1.3	3.1
	少砾质土(含砾石)	10~50	6	30.6	13.0
	中砾质土	50~100	1	99.1	—
	多砾质土(含大量砾石)	100~300	1	265.4	—
总计			200	59.0	82.3

榷。本研究认为,结合砾石特性、土壤结构特性和烟田耕作措施进行综合分析,才能获得较为准确的结论,相关内容有待深入研究。

需要说明的是采用砾石体积来表征砾石含量更为准确,但由于难以精确获取砾石的体积数据,且研究区的母岩比重差别不大,对结果影响可以忽略,因此本研究采用了砾石质量法进行分析比较。

本研究表明,研究区植烟土壤砾石含量以无砾石土和少砾质土为主,在250个样点中,中砾质土、多砾质土和轻砾石土样点占37.2%(表1)。从土壤砾石含量的土壤土类分布来看,研究区植烟土壤主要包括红壤、水稻土和紫色土3个土类的7个亚类。红壤土类为亚热带区域土壤母质经过脱硅富铁铝化形成的地带性土壤<sup>[24]</sup>,这些母质包括第三和第四纪红土、

各类岩石风化壳等,由于富铁铝化强弱不同可分为红壤、黄红壤和棕红壤3个亚类,红壤亚类主要分布于相对较低海拔区域,随着海拔增高依次分布黄红壤和棕红壤<sup>[22]</sup>。本项调查显示,黄红壤和棕红壤砾石含量相对较高,与成土风化壳残遗特征有关;红壤亚类由于成土母质具有多样性特征,因此其砾石含量高低不等。而水稻土以长期淹水稻作形成,以犁底层形成为主要特征,由于剖面结构不同而划分为淹育型水稻土、潴育型水稻土2个亚类;前者土壤位于位置较高的山坡上,土壤多继承了成土母岩(质)特征,造成土壤砾石含量高低不均;而后者位于较平坦的地区,土层深厚,成土母质多以冲积物为主,土壤砾石含量一般较低。紫色土是以成土母岩为分类标准的我国特有的土壤类型,由于母质酸碱性差异而区分为酸性紫色

土、中性和石灰性紫色土 2 个亚类, 这类土壤发育于易风化成土的紫色砂、页岩, 成土年龄越长, 风化程度越高, 砾石含量越低; 侵蚀严重区域, 土壤退化, 砾石含量增高。因此, 土壤土类、亚类的划分与土壤砾石含量之间虽然有一定的关联, 但难以采用土类、亚类作为土壤砾石含量的区分标准。从调查结果来看, 不同土类、亚类土壤平均砾石含量虽有所差异, 但均具有较高的变异性(表 4 和表 5)。土属主要以成土母质作为分类依据, 且一般土壤属性与成土母质具有一定的继承性。从表 6 可以看到, 基性结晶岩类棕红壤、黄红壤和红壤, 碳酸盐岩类红壤及红壤性水稻土砾石含量处于高位且变异性有所下降。基性结晶岩类为侵入性杂岩体, 存在难以风化的矿物残余从而形成矿质颗粒; 碳酸岩类成因复杂, 矿物众多, 同样由于难以风化的矿物残余引起土壤砾石含量偏高; 而基性结晶岩和碳酸盐岩风化碎屑物形成土壤处于相对高位, 坡面侵蚀引起黏粒流失造成土壤粗骨化, 也是砾石含量相对较高的重要原因。由此可见, 研究区土壤砾石含量多少受土壤母质影响较大, 山地土壤坡面侵蚀引起细颗粒流失也是重要原因。这一点从土壤质地与砾石含量关系的分析得到验证。从表 7 可以看到, 砾石含量高的土壤主要质地类型为砂质壤土、壤土和黏壤土, 无砾石土壤质地类型主要为黏化程度高的黏土、黏壤土和砂质黏壤土。因此, 可以认为区域土壤砾石含量的差异与不同类型母岩风化壳经受风化淋溶和富铁铝化成土过程不同阶段的土壤特征相关联, 同时与坡面侵蚀引起的土壤粗骨化亦相关。

## 4 结论

玉溪典型烟区含砾石土壤占比高于 2/3。不同土类和亚类之间、不同县(区)之间土壤砾石含量有所差异, 且均为高度变异。不同典型村、不同土属之间土壤砾石含量变化均较为明显, 土壤砾石含量与成土母岩(质)及土壤经历的富铁铝化不同阶段及山地土壤坡面侵蚀有关。基性结晶岩、碳酸盐岩类发育的红壤及红壤性水稻土砾石含量较高, 紫色砂、页岩类风化碎屑物母质和冲积性母质发育的土壤砾石含量相对较低。质地细(黏土、粉质黏壤土和粉砂壤土)土壤砾石含量较低, 较粗质地(砂质壤土、壤土和黏壤土)土壤砾石含量高。

## 参考文献:

- [1] 解迎革, 李霞. 土壤中砾石含量的测定方法研究进展[J]. 土壤, 2012, 44(1): 17–22.
- [2] 江子勤. 土壤掺施火山灰石砾对烤烟生长及产质量的影响[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2013: 1–35.
- [3] 沈晗, 周冀衡, 赵百东, 等. 火山灰石砾对烤烟生长及产质量的影响[J]. 云南农业大学学报(自然科学), 2012, 27(5): 722–726, 732.
- [4] 董学涛, 吴华勇, 宋效东, 等. 风化壳颗粒大小是决定典型干旱区硝态氮深部累积特征的关键因素[J]. 土壤学报, 2024, 61(5): 1236–1246.
- [5] 张紫薇, 赵文俊, 李奇, 等. 表层土壤结构对红壤坡耕地产流及产沙过程的影响[J]. 土壤学报, 2024, 61(2): 434–444.
- [6] 薛小平, 陈波, 孟玉山, 等. 砾质土及砾石土对烤烟生长的影响[J]. 浙江农业科学, 2011, 52(5): 1054–1056.
- [7] 邓江. 砾石和坡度对植烟土壤物理性质及烤烟生长的影响[D]. 雅安: 四川农业大学, 2015: 1–36.
- [8] 李仲林, 周秀如, 凌云霄. 论我国优质烤烟基地的土壤环境//曹志洪. 优质烤烟生产的土壤与肥料[M]. 南京: 江苏科学技术出版社, 1991.
- [9] 李秀芝, 胡聪月, 王德彩, 等. 土壤容重数据的不确定性对有机碳密度估算的影响[J]. 四川师范大学学报(自然科学版), 2022, 45(6): 800–805.
- [10] 简尊吉, 雷蕾, 倪妍妍, 等. 砾石对马尾松人工林土壤有机碳密度评估的影响[J]. 应用生态学报, 2023, 34(8): 2073–2081.
- [11] 刘慧霞, 孙宗玖, 崔雨萱, 等. 新疆北疆荒漠草地土壤容重空间分布格局及其影响因素[J]. 中国草地学报, 2021, 43(2): 82–91.
- [12] Rücknagel J, Götze P, Hofmann B, et al. The influence of soil gravel content on compaction behaviour and pre-compression stress[J]. Geoderma, 2013, 209: 226–232.
- [13] 刘中. 三峡库区紫色土中砾石对土壤性质及优先流的影响[D]. 武汉: 华中农业大学, 2014.
- [14] 毛天旭, 朱元骏, 邵明安, 等. 模拟降雨条件下含砾石土壤的坡面产流和入渗特征[J]. 土壤通报, 2011, 42(5): 1214–1218.
- [15] 李燕, 刘吉振, 魏朝富, 等. 砾石对土壤水分入渗(扩散)的影响研究[J]. 土壤学报, 2011, 48(2): 435–439.
- [16] 李王成, 马东祥, 贾振江, 等. 砾石覆盖下的农田土壤环境效应: 研究进展与展望[J]. 江西农业大学学报, 2024, 46(2): 278–288.
- [17] 徐勇贤, 梁强, 周勇, 等. 抚仙湖流域典型农田土壤质量状况及烟草种植障碍因素[J]. 土壤, 2024, 56(1): 103–111.
- [18] 苏欣悦, 王晋峰, 程晓梅, 等. 云南省典型县域烟田土壤肥力演变及综合评价[J]. 土壤, 2023, 55(6): 1380–1388.
- [19] Reichert J M, Pellegrini A, Rodrigues M F. Tobacco growth, yield and quality affected by soil constraints on steeplands[J]. Industrial Crops and Products, 2019, 128: 512–526.
- [20] 徐兴阳, 邱学礼, 杨树明, 等. 昆明烟区植烟土壤 pH 与中微量元素时空变异性研究[J]. 土壤, 2023, 55(4): 887–893.
- [21] 杨丽珍, 吕伟. 玉溪市土地资源可持续发展研究[J]. 玉溪师范学院学报, 2001, 17(S1): 76–78.

- [22] 虞光复, 陈永森. 论云南土壤的地理分布规律[J]. 云南大学学报 1998, 20(1): 55–58.
- [23] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 土地利用现状分类: GB/T 21010—2017[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
- [24] 陆景冈, 毛昆明. 云南省新构造运动与土壤形成及分布的关系[J]. 云南农业大学学报, 1992, 7(1): 6–12.
- [25] 戴翠婷, 刘窑军, 王天巍, 李朝霞, 谭学艺. 三峡库区高砾石含量紫色土优先流形态特征[J]. 2017, 31(1): 103–115.
- [26] 夏栋, 蔡崇法, 龙莉, 丁树文, 邓羽松. 鄂东南花岗岩区不同崩岗侵蚀程度的农田土壤质量评价[J]. 江苏农业科学, 2017, 45(15): 254–258.