

彭东海,秦芳,苏利荣,等. 典型岩溶地区不同土地利用方式对土壤稳定性和养分的影响[J]. 江苏农业科学,2022,50(16):251-259.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2022.16.037

# 典型岩溶地区不同土地利用方式 对土壤稳定性和养分的影响

彭东海<sup>1</sup>, 秦芳<sup>2</sup>, 苏利荣<sup>2</sup>, 李琴<sup>2</sup>, 成城<sup>2</sup>, 苏天明<sup>2</sup>

(1. 广西职业技术学院,广西南宁 530226; 2. 广西农业科学院农业资源与环境研究所,广西南宁 530007)

**摘要:**为探讨不同土地利用方式下典型岩溶地区土壤稳定性和肥力特征及他们之间的相关关系,为该区域的土地利用提供理论依据。以广西壮族自洽区凤山县 2 种典型土壤综合利用区的撂荒地、核桃单种、核桃/春玉米 + 秋大豆、核桃/春大豆 + 秋大豆、核桃/桑树、核桃/十大功劳地为研究对象,测定土壤稳定团聚体性和土壤肥力并进行相关性分析。结果表明,凤山县红壤区核桃单种、核桃/春玉米 + 秋大豆、核桃套种春大豆/秋大豆、核桃/桑树、核桃/十大功劳等 5 种土地利用方式均较撂荒地显著提高 >0.25 mm 机械团聚体和水稳性团聚体含量,降低了 <0.25 mm 机械团聚体含量 76.89% ~ 89.02%,降低 <0.25mm 水稳性团聚体含量 27.68% ~ 56.80%,土壤机械性平均重量直径提高 8.34% ~ 24.19%,土壤水稳性平均重量直径提高 5.34% ~ 36.64%,土壤机械性几何平均直径(GMD)提高 31.74% ~ 76.99%,土壤水稳性几何平均直径(GMD)提高 21.99% ~ 94.37%,土壤团聚体破坏率(PAD)降低 3.10% ~ 16.09%。凤山县棕色石灰土区核桃单种、核桃/春玉米 + 秋大豆、核桃/春大豆 + 秋大豆、核桃/桑树、核桃/十大功劳等 5 种土地利用方式也较撂荒地显著提高 >5 mm 机械团聚体含量 2.44% ~ 19.83%,但只有核桃单种和核桃/十大功劳 2 种模式的土壤平均重量直径、几何平均直径优于撂荒地,这 2 种利用方式的土壤团聚体破坏率(PAD)较撂荒地降低 0.76% ~ 2.55%。通过相关性分析,土壤的有机质含量与土壤稳定性指标间的相关性显著。因此,建议在凤山县红壤区,通过合理的套种来增加土壤的有机质含量,提高土壤的稳定性;在棕色石灰土区,要根据地形来利用土地,在山坡、山腰等有水土流失风险的地放建议采取核桃单种、核桃/十大功劳模式保持土壤的稳定性,低洼无水土流失风险的地块可以结合当地的情况发展核桃套种适宜的粮食作物。

**关键词:**岩溶地区;土地利用方式;土壤稳定性;土壤肥力;养分

**中图分类号:**S153.6;S181 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2022)16-0251-08

岩溶地区生态脆弱,石漠化是岩溶地区最大的生态问题<sup>[1]</sup>,岩溶区石漠化造壤能力低,营养元素匮乏,近 20 年来中国采取了一系列以植被修复为主的石漠化治理措施,如封山育林、退耕还林还草、建设防护林、种植经济作物等<sup>[2]</sup>,大量研究及实践证明植被修复能够有效改善土壤的理化性质,但合理的土地利用可以增强土壤对外界环境变化的抵抗力,不合理的土地利用则会导致土壤质量下降<sup>[3-4]</sup>。广西凤山县属于典型的岩溶山区,近年来当地政府

通过各种措施形成了多种土地利用的生态修复方式,主要是引入核桃产业,在保障生态修复的同时,兼顾了当地经济的发展,取得明显的效果。在兼顾生态恢复与粮食生产的情况下,凤山县多年来形成了比较固定的土地利用方式,如核桃单种、核桃/春玉米 + 秋大豆、核桃/春大豆 + 秋大豆、核桃/桑树、撂荒地等多种模式,近十年来还利用当地中草药资源形成了核桃/十大功劳(中草药)模式,发展面积达到 666.7 hm<sup>2</sup> 左右。岩溶地区土壤脆弱,人为干扰和自然因素影响程度不同,尤其在不同土地利用方式上对土壤的影响存在很多不可确定性<sup>[5]</sup>,因而小尺度的研究往往更加适合作为区域生态修复、植被重建和农业产业结构调整的依据。而针对凤山县 2 种主要土壤类型的不同土地利用方式对土壤稳定性和氮磷钾养分含量特征的影响还没有报道,为此,本研究以广西凤山县 2 种主要土壤类型上的 6 种土地利用方式(自然裸地、核桃单种、核桃套种春

收稿日期:2022-05-09

基金项目:广西农业科学院基本科研业务费项目(编号:桂农科 2021YT041)。

作者简介:彭东海(1987—),男,广西博白人,硕士,讲师,主要从事作物品种选育、栽培技术研究与示范推广工作。E-mail:798067691@qq.com。

通信作者:苏利荣,博士,副研究员,主要从事耕地保护研究。E-mail:lirongsul26@126.com。

玉米 + 秋大豆、核桃套种春大豆 + 秋大豆、核桃 + 桑树、核桃 + 十大功劳) 为研究对象, 研究不同土地利用方式对土壤稳定性和氮磷钾养分含量特征的影响, 以期为该岩溶地区土地利用的合理管控和发展提供一定的理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区域概况

研究区位于广西凤山县 (106° 40′ 50″ N, 24° 36′ 10″ E), 属于典型的岩溶山区, 年平均气温 19.7 °C, 年总降水量 1 628.9 mm, 降雨季节性变化明显, 该县旱地土壤类型主要是红壤和棕色石灰性土壤。样地位于广西凤山县中亭乡柏林村 (棕色石灰土) 和凤城镇弄者村 (红壤)。每种土壤类型均调查撂荒地、核桃单种、核桃套种春玉米 + 秋大豆、核桃套种春大豆 + 秋大豆、核桃套种桑树、核桃套种十大功劳 6 种模式。其中核桃/春玉米 + 秋大豆、核桃/春大豆 + 秋大豆、核桃/桑树连续种植 10 年以上, 核桃/十大功劳均连续种植 5 年以上, 撂荒地、核桃单种模式年限在 15 年以上。

### 1.2 样品采集

样品采样时间为 2019 年 11 月。综合考虑土壤本底值对试验的影响, 同一土壤类型的试验样地分布在 1 km 以内, 各样地选取 25 m × 25 m 样地各 3 处。在样地内随机选择 10 个取样点, 去除土壤表层覆盖后, 用环刀采集原状土, 再用取样刀切取整块土壤, 置于样品盒避免人为扰动, 土样带回实验室经自然风干后, 去除土样中的植物根系和碎石块, 将大土块顺土壤自然结构轻轻地掰碎成粒径 < 10 mm 的小土块, 混合后分成 2 份, 一份用于团聚体分析, 另一份用于土壤理化性质的测定。

### 1.3 样品测定

采用沙维诺夫法测定土壤团聚体水稳性, 包括干筛法和湿筛法 2 部分<sup>[6]</sup>, 干筛法的测定方法是取 200 g 土壤样品, 使其通过一套筛孔直径分别为 5、2、0.5、0.25 mm 的筛组, 一次分离出 > 5.0、5.0 ~ 2.01、2.0 ~ 0.51、0.5 ~ 0.25、< 0.25 mm 的团聚体, 并测定相应的土样质量。记录数据后, 按比例取所需各级团聚体 100 g, 用于湿筛处理。湿筛法为取各级团聚体质量混合土样 100 g 放置于团聚体分析仪套筒内, 所用标准筛从大到小依次为 5、2、0.5、0.25 mm, 缓缓向套筒里加入蒸馏水没过样品, 以 30 次/min 的频率振荡 5 min, 采用烘干法测得每个

粒径土壤团聚体的质量。土壤的土壤容重、孔隙度采用环刀法测定。土壤有机质、碱解氮、速效磷、速效钾、全氮、全磷、全钾分别采用重铬酸钾容量法、碱解扩散法、0.5 mol/L NaHCO<sub>3</sub> 浸提 - 钼蓝比色法、1 mol/L 中性乙酸铵提取 - 火焰光度计法、H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 消煮 - 半微量开氏法、NaOH 熔融 - 钼锑抗比色法、NaOH 熔融 - 火焰光度法进行测定<sup>[7]</sup>。

### 1.4 数据计算与处理

土壤团聚体稳定性特征选取的指标有平均重量直径 (mean weight diameter, MWD)、几何平均直径 (geometric mean diameter, GMD)、团聚体结构破坏率 (aggregate destruction rate, PAD), 计算公式如下:

$$MWD = \sum_i^n \bar{X}_i W_i;$$

$$GMD = \exp\left(\sum_{i=1}^n W_i \ln \bar{X}_i\right);$$

$$PAD = \frac{W_d - W_w}{W_d} \times 100\%。$$

式中:  $i$  为各粒径;  $\bar{X}_i$  为第  $i$  粒级土壤水稳性团聚体的平均直径, mm;  $W_i$  为第  $i$  粒级土壤团聚体质量分数, %;  $W_d$  为 > 0.25 mm 粒级机械稳定性团聚体含量, %;  $W_w$  为 > 0.25 mm 粒级水稳性团聚体含量, %<sup>[8-9]</sup>。

数据运用 Microsoft Excel 处理数据, 用 SPSS 19.0 系统软件分析数据, 用邓肯氏法对样本平均数的差异显著性进行比较。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同利用方式的土壤团聚体稳定性

#### 2.1.1 不同土地利用方式的土壤团聚体分布特征

从表 1 可以看出, 红壤各粒级土壤机械团聚体含量由高到低依次为 > 5.0 mm、5.0 ~ 2.01 mm、1.0 ~ 0.51 mm、2.0 ~ 1.01 mm、< 0.25 mm 和 0.50 ~ 0.25 mm。> 5 mm 粒级团聚体的含量为 60.31% ~ 86.95%, 与撂荒地相比, 各处理均显著提高了 > 5.0 mm 团聚体的含量。核桃单种、核桃/春玉米 + 秋大豆、核桃/春大豆 + 秋大豆、核桃/桑树、核桃/十大功劳分别增加了 44.17%、2.34%、5.06%、2.55%、30.91%。5.0 ~ 2.01 mm 粒级团聚体的含量为 4.26% ~ 17.67%, 与撂荒地相比, 除了核桃单种模式外, 其余模式均提高了 5.0 ~ 2.01 mm 粒级团聚体的含量。2.0 ~ 1.01 mm 粒级团聚体的含量为 3.30% ~ 13.17%, 与撂荒地相比, 除了核桃单种和核桃/十大功劳模式外, 其余模式均提高了 2.0 ~

1.01 mm 粒级团聚体的含量。1.0 ~ 0.51 mm 粒级团聚体的含量为 2.19% ~ 6.39% ,与撂荒地相比,除了核桃单种和核桃/十大功劳模式显著提高 1.0 ~ 0.51 mm 粒级团聚体的含量外,其余模式间差异不显著。0.50 ~ 0.25 mm 粒级团聚体的含量为 0.63% ~ 3.41% ,与撂荒地相比,除了核桃单种和核桃/十大功劳模式显著提高 0.50 ~ 0.25 mm 粒级团聚体的含量外,其余模式间差异不显著。 <0.25 mm 粒级团聚体的含量为 1.81% ~ 16.49% ,与撂荒地相比,各模式均显著降低了 <0.25 mm 粒级团聚体的含量 76.89% ~ 89.02% 。从表 1 还可以看出,棕色石灰土壤各粒级土壤机械团聚体含量由高到低依次为 >5.0 mm、<0.25 mm、5.0 ~ 2.01 mm、2.0 ~ 1.01 mm、1.0 ~ 0.51 mm 和 0.50 ~ 0.25 mm 。 >5.0 mm 粒级团聚体的含量为 73.48% ~ 88.05% ,与撂荒地相比,其余处理均显著提高了

>5.0 mm 团聚体的含量。5.0 ~ 2.01 mm 粒级团聚体的含量为 2.31% ~ 5.27% ,与撂荒地相比,除了核桃单种模式外,其余模式均提高了该粒级团聚体的含量。2.0 ~ 1.01 mm 粒级团聚体的含量为 1.48% ~ 3.51% ,与撂荒地相比,各套种模式均提高了该粒级团聚体的含量。1.0 ~ 0.51 mm 粒级团聚体的含量为 1.00% ~ 2.80% ,与撂荒地相比,除了核桃/春玉米 + 秋大豆和核桃/春大豆 + 秋大豆模式显著降低该粒级团聚体的含量外,其余模式间差异均不显著。0.50 ~ 0.25 mm 粒级团聚体的含量为 0.33% ~ 1.39% ,与撂荒地相比,除了核桃/春大豆 + 秋大豆模式模式显著提高该粒级团聚体的含量外,其余模式间差异不显著。 <0.25 mm 粒级团聚体的含量为 5.73% ~ 19.09% ,与撂荒地相比,各模式均显著降低了该粒级团聚体的含量。

表 1 不同土地利用方式的土壤机械团聚体结构

土壤类型	种植模式	不同大小机械团聚体百分比(%)					
		>5.0 mm	2.01 ~ 5.0 mm	1.01 ~ 2.0 mm	0.51 ~ 1.0 mm	0.25 ~ 0.50 mm	<0.25 mm
红壤	撂荒地	60.31 ± 1.44c	8.62 ± 1.71d	7.20 ± 0.80cd	2.19 ± 0.17a	2.17 ± 0.65b	16.49 ± 1.76a
	核桃单种	86.95 ± 0.78a	4.26 ± 0.36e	3.30 ± 0.22e	6.31 ± 1.30b	0.63 ± 0.15a	2.67 ± 0.14b
	核桃/春玉米 + 秋大豆	61.72 ± 1.89c	12.84 ± 0.56bc	13.17 ± 1.73a	6.39 ± 0.17a	2.15 ± 0.64b	3.81 ± 1.45b
	核桃/春大豆 + 秋大豆	63.36 ± 1.67c	14.60 ± 1.86ab	10.53 ± 0.18ab	5.47 ± 0.24a	3.30 ± 0.12b	1.81 ± 0.40b
	核桃/桑树	61.85 ± 1.04c	17.67 ± 1.56a	8.39 ± 0.88bc	5.20 ± 0.92a	3.41 ± 0.32b	3.22 ± 0.29b
	核桃/十大功劳	78.95 ± 1.28b	8.91 ± 0.97cd	5.21 ± 0.34de	2.48 ± 0.56b	0.66 ± 0.20a	3.80 ± 0.33b
棕色石灰土	撂荒地	73.48 ± 1.57d	3.23 ± 0.07b	1.48 ± 0.16d	1.51 ± 0.31bc	0.53 ± 0.05bc	6.49 ± 0.13d
	核桃单种	88.05 ± 0.70a	2.31 ± 0.37b	3.51 ± 0.36a	1.13 ± 0.08bc	0.67 ± 0.09abc	12.47 ± 0.46b
	核桃/春玉米 + 秋大豆	75.27 ± 1.69cd	5.27 ± 0.77a	2.66 ± 0.22b	2.80 ± 0.51a	1.34 ± 0.12ab	9.82 ± 0.75c
	核桃/春大豆 + 秋大豆	78.39 ± 0.67c	5.05 ± 0.17a	1.87 ± 0.16cd	2.74 ± 0.04a	1.39 ± 0.55a	8.77 ± 0.45c
	核桃/桑树	82.22 ± 1.19b	4.75 ± 0.23a	1.97 ± 0.20bcd	1.00 ± 0.14c	0.73 ± 0.17abc	19.09 ± 1.30a
	核桃/十大功劳	86.11 ± 0.46a	3.45 ± 0.20b	2.25 ± 0.17d	1.98 ± 0.22ab	0.47 ± 0.03c	5.73 ± 0.60d

注:同列数据后不同小写字母表示各处理差异显著( $P < 0.05$ )。下同。

从表 2 可以看出,红壤各粒级土壤水稳性团聚体含量由高到低依次为 >5.0 mm、<0.25 mm、5.0 ~ 2.01 mm、1.0 ~ 0.51 mm、2.0 ~ 1.01 mm 和 0.50 ~ 0.25 mm。 >5.0 mm 粒级团聚体的含量为 29.11% ~ 52.38% ,与撂荒地相比,核桃/春玉米 + 秋大豆和核桃/春大豆 + 秋大豆模式显著降低 >5 mm 团聚体的含量外,核桃单种和核桃/十大功劳模式显著提高 >5 mm 团聚体的含量。5.0 ~ 2.01 mm 粒级团聚体的含量为 9.01% ~ 19.14% ,与撂荒地相比,各模式均提高了该粒级团聚体的含量。2.0 ~ 1.01 mm 粒级团聚体的含量为 3.38% ~ 10.55% ,与撂荒地相比,各模式均提高了 2.0 ~

1.01 mm 粒级团聚体的含量。1.0 ~ 0.51 mm 粒级团聚体的含量为 3.65% ~ 8.76% ,与撂荒地相比,除了核桃/桑树模式显著提高 1.0 ~ 0.51 mm 粒级团聚体的含量外,其余模式间差异不显著。0.5 ~ 0.25 mm粒级团聚体的含量为 1.37% ~ 2.61% ,该粒级各模式间的差异不显著。 <0.25 mm 粒级团聚体的含量为 18.63% ~ 43.13% ,与撂荒地相比,各模式均显著降低了 <0.25 mm 粒级团聚体的含量。

从表 2 还可以看出,棕色石灰土壤各粒级土壤机械团聚体含量由高到低依次为 >5 mm、<0.25 mm、2.0 ~ 1.01 mm、1.0 ~ 0.51 mm、5.0 ~ 2.01 mm 和 0.50 ~ 0.25 mm 。 >5.0 mm 粒级团聚

表 2 不同土地利用方式的土壤水稳性团聚体结构

土壤类型	种植模式	不同大小水稳性聚体百分比(%)					
		>5.0 mm	2.01~5.0 mm	1.01~2.0 mm	0.51~1.0 mm	0.25~0.50 mm	<0.25 mm
红壤	撂荒地	38.69±2.21b	15.51±1.24b	3.38±0.38c	3.65±0.58b	2.16±0.39ab	43.13±1.53a
	核桃单种	52.38±3.20a	9.01±0.37a	7.29±1.63b	4.96±1.63b	1.37±0.18b	18.63±0.37d
	核桃/春玉米+秋大豆	29.11±1.11d	15.39±0.60a	8.94±0.49ab	5.69±0.67b	2.61±0.32a	31.19±1.22b
	核桃/春大豆+秋大豆	36.72±1.12c	19.14±2.38a	7.50±0.60b	5.60±0.70b	1.80±0.29ab	29.63±0.26b
	核桃/桑树	43.70±1.50b	18.81±1.4a	10.55±0.90a	8.76±0.80a	1.75±0.27ab	19.79±0.38cd
	核桃/十大功劳	49.82±1.10a	15.97±0.96a	6.98±0.61b	2.94±0.37b	1.74±0.03ab	22.59±1.74c
棕色石灰土	撂荒地	48.62±1.32c	6.02±1.43bc	4.13±0.44bc	3.26±0.64b	1.61±0.52b	31.12±0.80a
	核桃单种	48.88±1.53c	3.79±0.29c	1.72±0.17c	1.69±0.41b	1.15±0.40b	20.11±1.03c
	核桃/春玉米+秋大豆	66.54±0.30a	11.39±0.93a	7.50±1.42a	10.31±1.79a	7.41±1.44a	31.80±2.38a
	核桃/春大豆+秋大豆	26.60±2.01e	11.41±1.05a	7.07±0.86a	2.69±0.16b	1.77±0.13b	28.28±0.62ab
	核桃/桑树	43.80±1.89d	9.05±1.12ab	6.24±0.69ab	3.17±0.24b	2.54±0.25b	25.39±0.85b
	核桃/十大功劳	55.32±1.02b	11.96±1.01a	5.22±0.57ab	2.91±0.17b	1.81±0.28b	17.79±1.09c

体的含量为 26.60%~48.88%，与撂荒地相比，核桃/春玉米+秋大豆和核桃/十大功劳均显著提高了>5 mm 团聚体的含量，核桃/春大豆+秋大豆和核桃/桑树模式显著降低了>5 mm 团聚体的含量。5.0~2.01 mm 粒级团聚体的含量为 3.79%~11.96%，与撂荒地相比，核桃/春玉米+秋大豆、核桃/春大豆+秋大豆和核桃/十大功劳均提高了 5.0~2.01 mm 粒级团聚体的含量。2.0~1.01 mm 粒级团聚体的含量为 1.72%~7.50%，与撂荒地相比，核桃/春玉米+秋大豆、核桃/春大豆+秋大豆模式提高了 2.0~1.01 mm 粒级团聚体的含量，其余模式间差异不显著。1.0~0.51 mm 和 0.50~0.25 mm 粒级团聚体的含量为 1.69%~10.31%，与撂荒地相比，除了核桃/春玉米+秋大豆显著提高这 2 个粒级团聚体的含量外，其余模式间差异均不显著。<0.25 mm 粒级团聚体的含量为 17.79%~31.80%，与撂荒地相比，除核桃/春玉米+秋大豆、核桃/春大豆+秋大豆模式外，其余模式均显著降低了<0.25 mm 粒级团聚体的含量。

2.1.2 不同土地利用方式的土壤团聚体稳定性特征 目前，常用土壤团聚体破坏率(PAD)、平均重量直径(MWD)、几何平均直径(GMD)反映和分析评价土壤团聚体稳定性。PAD 可直观地反映团聚体在水蚀作用下的分散程度，其数值越小表示土壤团聚体越稳定，土壤结构越好；MWD 和 GMD 越大表明土壤团聚体稳定性越强，土壤结构越好。从表 2、表 3 可以看出，红壤上各模式的 PAD 顺序为核桃/桑树<核桃单种<核桃/十大功劳<核桃/春大豆+秋大豆<核桃/春玉米+秋大豆<撂荒地。其

中核桃/春大豆+秋大豆、核桃/春玉米+秋大豆与撂荒地间差异不显著，说明红壤上不种植植被或者人为经常搅动，很容易导致土壤流失。从 MWD<sub>d</sub>、GMD<sub>d</sub>、MWD<sub>w</sub> 和 GMD<sub>w</sub> 数据看，以撂荒地的最小，核桃单种的最大，说明种植核桃比较利于增加红壤的稳定性，但核桃/春玉米+秋大豆、核桃/春大豆+秋大豆、核桃/桑树、核桃/十大功劳均较核桃单种降低了红壤的 MWD<sub>d</sub>、GMD<sub>d</sub>、MWD<sub>w</sub> 和 GMD<sub>w</sub> 的值，说明人为搅动会影响红壤的稳定性，其中核桃/春玉米+秋大豆最不利于土壤的稳定。

棕色石灰土壤上各模式的 PAD 顺序为核桃/十大功劳<核桃单种<撂荒地<核桃/桑树<核桃/春大豆+秋大豆<核桃/春玉米+秋大豆。其中核桃/春玉米+秋大豆和核桃/春大豆+秋大豆显著高于其他模式，核桃/十大功劳、核桃/桑树、核桃单种和撂荒地的差异不显著，说明人为搅动很容易导致土壤流失。从 MWD<sub>d</sub> 和 GMD<sub>d</sub> 数据看，以核桃/春玉米+秋大豆的最小，而核桃单种和核桃/十大功劳的 MWD<sub>d</sub> 和 GMD<sub>d</sub> 最大，这 2 种模式下的土壤大团聚体比例增加，抵抗机械外力能力较大。从 MWD<sub>w</sub> 和 GMD<sub>w</sub> 数据看，均以核桃单种的最大，说明该土壤下的核桃单种模式比较利于形成大水稳性团聚体，增加土壤对水力侵蚀的抵抗能力。而核桃/春玉米+秋大豆模式下的 MWD<sub>w</sub> 和 GMD<sub>w</sub> 最小，说明人为搅动最不利于该土壤的稳定。

2.2 不同种植模式对土壤容重和孔隙度的影响 土壤容重可以总体地反映土壤质地、结构状况以及腐殖质含量的高低，是土壤重要的物理特性之一。一般耕作层土壤容重 1.0~1.3 g/cm<sup>3</sup> 比较适

表 3 不同土地利用方式的土壤团聚体稳定性指标

土壤类型	种植模式	PAD (%)	MWD <sub>d</sub> (mm)	GMD <sub>d</sub> (mm)	MWD <sub>w</sub> (mm)	GMD <sub>w</sub> (mm)
红壤	撂荒地	29.90 ± 2.66a	3.535 ± 0.018d	2.338 ± 0.056e	2.358 ± 0.106d	1.137 ± 0.068d
	核桃单种	15.77 ± 0.32bc	4.582 ± 0.024a	4.138 ± 0.042a	3.362 ± 0.152a	2.210 ± 0.136a
	核桃/春玉米 + 秋大豆	26.80 ± 0.80a	3.830 ± 0.073c	3.080 ± 0.058d	2.484 ± 0.050cd	1.387 ± 0.039c
	核桃/春大豆 + 秋大豆	25.67 ± 0.04a	3.938 ± 0.019c	3.254 ± 0.028c	2.701 ± 0.020c	1.528 ± 0.019c
	核桃/桑树	13.81 ± 0.29c	3.943 ± 0.009c	3.220 ± 0.029cd	2.995 ± 0.045b	1.884 ± 0.029b
	核桃/十大功劳	18.81 ± 1.57b	4.390 ± 0.035b	3.834 ± 0.060b	3.222 ± 0.058ab	2.021 ± 0.086ab
棕色石灰土	撂荒地	20.02 ± 1.49bc	3.887 ± 0.070d	2.608 ± 0.106e	2.762 ± 0.036d	1.428 ± 0.020c
	核桃单种	19.26 ± 0.91bc	4.538 ± 0.018a	3.879 ± 0.029a	3.512 ± 0.018a	2.146 ± 0.030a
	核桃/春玉米 + 秋大豆	27.15 ± 2.51a	4.069 ± 0.048c	3.029 ± 0.063d	1.974 ± 0.040e	0.995 ± 0.003d
	核桃/春大豆 + 秋大豆	24.65 ± 1.32a	4.199 ± 0.029c	3.263 ± 0.063c	2.751 ± 0.045d	1.488 ± 0.027bc
	核桃/桑树	22.29 ± 1.49abc	4.352 ± 0.048b	3.512 ± 0.090b	2.897 ± 0.020c	1.603 ± 0.019b
	核桃/十大功劳	17.47 ± 1.68c	4.500 ± 0.020a	3.862 ± 0.055a	3.321 ± 0.070b	2.073 ± 0.084a

注:表中带有小写 d 的项目指的是土壤机械团聚体稳定性指标,表中小写 w 的项目指的是土壤水稳性团聚体稳定性指标。

合作物生长,在该范围内土壤容重越小说明土壤结构、通气透水性能越好。从表 4 可以看出,红壤上各模式的土壤容重为 1.16 ~ 1.42 g/cm<sup>3</sup> 之间,顺序为撂荒地 > 核桃/春玉米 + 秋大豆 > 核桃/桑树 > 核桃/春大豆 + 秋大豆 > 核桃单种 > 核桃/十大功劳,其中撂荒地与核桃/春玉米 + 秋大豆差异不显著,但显著高于其余模式。棕色石灰土壤上各模式的土壤容重为 1.32 ~ 1.46 g/cm<sup>3</sup> 之间,也以撂荒地的最大。该土壤上除了核桃/十大功劳模式与撂荒地无显著差异外,其余模式均降低了土壤的容重。

土壤孔隙度反映土壤的透气性,土壤毛管孔隙

度还反映土壤毛管的持水能力。从表 4 可以看出,与撂荒地相比,各模式均增加红壤的总孔隙度和毛管孔隙度,而降低红壤的非毛管孔隙度。其中核桃/春大豆 + 秋大豆、核桃/十大功劳和核桃单种的土壤总孔隙度和土壤毛管孔隙度最大,土壤的通气性和毛管持水性较好。

对于棕色石灰土而言,与撂荒地相比,各模式均增加棕色石灰土壤的总孔隙度和毛管孔隙度,而降低土壤的非毛管孔隙度(表 4)。其中核桃单种、核桃/十大功劳的土壤总孔隙度和土壤毛管孔隙度最大,土壤的通气性和毛管持水性较好。

表 4 不同土地利用方式的土壤容重、孔隙度

土壤类型	种植模式	容重 (g/cm <sup>3</sup> )	总孔隙度 (mm)	毛管孔隙度 (mm)	非毛管孔隙度 (mm)
红壤	撂荒地	1.42 ± 0.04a	46.53 ± 1.33c	14.57 ± 1.07d	31.97 ± 1.28a
	核桃单种	1.19 ± 0.03c	55.10 ± 1.03a	28.17 ± 0.75a	26.93 ± 0.27b
	核桃/春玉米 + 秋大豆	1.35 ± 0.06ab	49.07 ± 2.28bc	22.33 ± 0.52c	26.73 ± 2.05b
	核桃/春大豆 + 秋大豆	1.23 ± 0.01c	53.67 ± 0.43a	28.30 ± 0.93a	25.37 ± 0.56b
	核桃/桑树	1.25 ± 0.01bc	52.70 ± 0.36ab	24.13 ± 0.90bc	28.57 ± 1.19ab
	核桃/十大功劳	1.16 ± 0.04c	56.33 ± 1.70a	26.47 ± 0.72ab	29.87 ± 2.32
棕色石灰土	撂荒地	1.49 ± 0.01a	43.63 ± 0.33c	11.93 ± 0.87c	31.77 ± 0.91a
	核桃单种	1.32 ± 0.03b	50.10 ± 1.20b	26.30 ± 0.92a	23.80 ± 1.91b
	核桃/春玉米 + 秋大豆	1.46 ± 0.01b	45.07 ± 0.37b	20.10 ± 0.90b	24.97 ± 0.81b
	核桃/春大豆 + 秋大豆	1.42 ± 0.03b	46.30 ± 1.03b	22.60 ± 1.34b	23.70 ± 1.91b
	核桃/桑树	1.42 ± 0.02b	46.57 ± 0.61b	22.97 ± 1.02b	23.63 ± 1.59b
	核桃/十大功劳	1.32 ± 0.04a	50.03 ± 1.64a	26.23 ± 1.02a	23.80 ± 2.62b

2.3 不同种植模式对土壤养分的影响

从表 5 可以看出,凤山县的土壤有机质含量较高。2 种类型土壤上的有机质和速效养分均以撂荒

地的最低,其他各种模式均提高了土壤有机质和速效养分含量。2 种类型土壤的核桃/十大功劳和核桃单种的有机质最高,这可能与每年核桃的落叶有

关,加上不翻动土壤,利于有机质在土壤表层的积

豆、核桃/春大豆 + 秋大豆、核桃/桑树模式的含量

累。而土壤的速效养分含量以核桃/春玉米 + 秋大

较高,这可能与不同种植模式的长期施肥有关。

表 5 不同土地利用方式的有机质、速效氮磷钾养分

土壤类型	种植模式	有机质含量 (g/kg)	速效氮含量 (mg/kg)	速效磷含量 (mg/kg)	速效钾含量 (mg/kg)
红壤	撂荒地	28.49 ± 0.54c	52.1 ± 2.5d	5.0 ± 0.3d	35.9 ± 2.7c
	核桃单种	34.86 ± 0.77a	85.4 ± 4.6bc	12.2 ± 1.4c	64.1 ± 3.9b
	核桃/春玉米 + 秋大豆	30.81 ± 0.79b	96.5 ± 3.7ab	15.6 ± 0.6ab	69.4 ± 3.9ab
	核桃/春大豆 + 秋大豆	31.35 ± 0.69b	99.5 ± 1.7a	17.5 ± 0.6a	79.1 ± 4.3a
	核桃/桑树	31.08 ± 0.80b	97.4 ± 2.5ab	16.9 ± 0.5a	70.3 ± 4.2ab
	核桃/十大功劳	34.87 ± 0.43a	81.9 ± 6.6c	13.9 ± 1.0bc	66.6 ± 6.7ab
棕色石灰土	撂荒地	30.56 ± 0.39d	76.7 ± 5.1c	8.0 ± 0.7c	64.0 ± 3.9c
	核桃单种	36.79 ± 0.99a	103.6 ± 5.1b	15.4 ± 1.4b	84.6 ± 5.8b
	核桃/春玉米 + 秋大豆	32.65 ± 0.15c	119.7 ± 4.1ab	18.2 ± 1.0ab	97.9 ± 0.9a
	核桃/春大豆 + 秋大豆	34.16 ± 0.36bc	121.7 ± 5.0ab	19.4 ± 0.5a	103.0 ± 1.7a
	核桃/桑树	33.34 ± 0.68bc	112.6 ± 4.8a	17.1 ± 0.9ab	92.6 ± 2.5ab
	核桃/十大功劳	35.58 ± 0.52ab	104.5 ± 7.2ab	17.8 ± 1.1b	85.2 ± 3.5b

由表 6 可以看出,2 种类型土壤的土壤全量氮

荒地提高了土壤全量氮、磷、钾养分含量,说明合理的

磷钾养分均以撂荒地的最低,其他各种模式均较撂

的土地利用可以提高土壤的可耕性。

表 6 不同土地利用方式的全量氮磷钾养分

土壤类型	种植模式	全氮含量 (g/kg)	全磷含量 (g/kg)	全钾含量 (g/kg)
红壤	撂荒地	0.58 ± 0.08c	0.21 ± 0.03c	9.50 ± 0.51c
	核桃单种	1.06 ± 0.04b	0.34 ± 0.04b	16.72 ± 1.36b
	核桃/春玉米 + 秋大豆	1.29 ± 0.03a	0.41 ± 0.04a	22.27 ± 1.80a
	核桃/春大豆 + 秋大豆	1.24 ± 0.02a	0.41 ± 0.04a	22.70 ± 1.84a
	核桃/桑树	1.23 ± 0.07a	0.43 ± 0.05a	22.52 ± 1.12a
	核桃/十大功劳	0.96 ± 0.05b	0.36 ± 0.02ab	19.05 ± 1.57ab
棕色石灰土	撂荒地	0.81 ± 0.03c	0.29 ± 0.02c	13.68 ± 0.82b
	核桃单种	1.22 ± 0.03b	0.39 ± 0.03ab	20.58 ± 1.80a
	核桃/春玉米 + 秋大豆	1.35 ± 0.02a	0.47 ± 0.02a	28.60 ± 0.89a
	核桃/春大豆 + 秋大豆	1.36 ± 0.03a	0.47 ± 0.03a	29.79 ± 1.10a
	核桃/桑树	1.33 ± 0.03a	0.38 ± 0.02b	25.42 ± 1.01a
	核桃/十大功劳	1.19 ± 0.02b	0.42 ± 0.02ab	22.02 ± 1.80a

2.4 土壤稳定性与土壤肥力的相关性

由表 7 可以看出,红壤区土壤有机质与平均重量直径(MWD)、几何平均直径(GMD)呈极显著正相关,而与土壤团聚体破坏率(PAD)呈极显著负相关,说明有机质含量越高,红壤的平均重量直径(MWD)、几何平均直径(GMD)越大,土壤结构越好,土壤抗水冲刷的能力越强。红壤速效钾与其几何平均直径(GMD<sub>d</sub>)呈显著正相关,说明红壤速效钾含量越高,土壤几何平均直径(GMD<sub>d</sub>)就越高,土壤团聚体破坏率越小,土壤结构越稳定。红壤区土壤其他指标与平均重量直径(MWD)、几何平均直径

(GMD)及土壤团聚体破坏率(PAD)的相关不显著。

由表 8 可以看出,棕色石灰土壤区土壤的有机质与平均重量直径(MWD)、几何平均直径(GMD)呈极显著正相关,说明有机质含量越高,红壤的平均重量直径(MWD)、几何平均直径(GMD)越大,土壤结构越好,土壤抗水冲刷的能力越强。棕色石灰土壤速效磷与其几何平均直径(GMD<sub>d</sub>)呈显著正相关,说明红壤速效磷含量越高,土壤几何平均直径(GMD<sub>d</sub>)就越高,土壤团聚体破坏率越小,土壤结构越稳定。而棕色石灰土壤速效钾与土壤团聚体破坏率(PAD)呈正相关关系,说明红壤速效钾含量高

表 7 红壤不同土地利用方式的土壤稳定性与土壤肥力的相关性

土壤理化 性状	相关系数										
	全氮含量	全磷含量	全钾含量	碱解氮 含量	速效磷 含量	速效钾 含量	有机质 含量	容重	土壤总 孔隙度	土壤毛管 孔隙度	土壤非 毛管孔隙度
MWD <sub>d</sub>	0.217	0.245	0.207	0.29	0.266	0.337	0.912 **	-0.259	0.259	0.099	0.296
GMD <sub>d</sub>	0.377	0.38	0.344	0.431	0.416	0.475 *	0.890 **	-0.192	0.192	0.087	0.197
MWD <sub>w</sub>	0.186	0.202	0.147	0.225	0.283	0.301	0.761 **	-0.247	0.247	0.168	0.157
GMD <sub>w</sub>	0.266	0.287	0.216	0.314	0.356	0.368	0.763 **	-0.214	0.214	0.167	0.099
PAD	-0.324	-0.337	-0.277	-0.37	-0.388	-0.363	-0.606 **	0.146	-0.146	-0.192	0.066

表 8 棕色石灰土不同土地利用方式的土壤稳定性与土壤肥力的相关性

土壤理化 性状	相关系数										
	全氮含量	全磷含量	全钾含量	碱解氮 含量	速效磷 含量	速效钾 含量	有机质 含量	容重	土壤总 孔隙度	土壤毛管 孔隙度	土壤非 毛管孔隙度
MWD <sub>d</sub>	0.426	0.21	0.357	0.279	0.424	0.26	0.839 **	0.348	-0.348	-0.578 *	0.494 *
GMD <sub>d</sub>	0.457	0.261	0.398	0.308	0.473 *	0.298	0.855 **	0.387	-0.387	-0.622 **	0.519 *
MWD <sub>w</sub>	-0.185	-0.285	-0.149	-0.246	-0.105	-0.308	0.627 **	0.027	-0.027	-0.384	0.557 *
GMD <sub>w</sub>	-0.092	-0.165	-0.042	-0.151	-0.001	-0.226	0.709 **	0.107	-0.107	-0.491 *	0.631 **
PAD	0.435	0.314	0.33	0.369	0.253	0.482 *	-0.296	-0.087	0.087	0.404	-0.522 *

反而不利于该土壤类型的稳定。土壤毛管孔隙度与土壤平均重量直径 (MWD)、几何平均直径 (GMD) 呈负相关关系, 其中与 MWD<sub>d</sub>、GMD<sub>d/w</sub> 呈显著负相关; 土壤毛管孔隙度与土壤团聚体破坏率 (PAD) 呈正相关关系。土壤非毛管孔隙度与土壤平均重量直径 (MWD)、几何平均直径 (GMD) 呈显著正相关关系, 而与土壤团聚体破坏率 (PAD) 呈极显著负相关关系。

### 3 讨论

#### 3.1 不同土地利用方式对土壤团聚体分布特征的影响

不同土壤利用方式通过改变土壤黏粒发育、养分累积、有机质胶结等微生态环境进而影响土壤团聚体的含量及分布特征<sup>[10]</sup>。本研究发现, 红壤区和棕色石灰土区各种土地利用方式均较撂荒地显著降低了 <0.25 mm 土壤机械稳定性和水稳性团聚体粒级团聚体的含量。可能是地表覆被能有效抵挡降雨时雨滴的动能冲量以及径流的冲刷侵蚀, 为大粒径团聚体的形成提供有利条件; 同时植被的根系残体和分泌物等的胶结作用可使土壤颗粒黏合成粒径更大的团聚体<sup>[11]</sup>。而核桃单种、核桃套种春玉米 + 秋大豆、核桃套种春大豆 + 秋大豆、核桃套种桑树、核桃套种十大功劳等不同土地同利用方式的土壤土壤团聚体分布特征有明显差异, 如在棕色石灰土区, 核桃/春玉米 + 秋大豆和核桃/十大功劳提

高了 >5.0 mm 团聚体的含量, 而核桃/春大豆 + 秋大豆和核桃/桑树模式降低了 >5.0 mm 团聚体的含量, 这些差异可能是由于不同作物根系的穿插挤压以及腐殖酸生化反应作用差异的结果<sup>[12]</sup>。

#### 3.2 不同土地利用方式对土壤团聚体稳定性的影响

土壤团聚体稳定性是衡量土壤质量优良和健康程度的重要指标。土壤团聚体由机械稳性团聚体和水稳性团聚体组成, 其组成情况可以反映土壤团聚体抵抗机械外营力破坏的能力, 而水稳性团聚体的粒级组成可以反映其稳定性特征。目前, 常用土壤团聚体破坏率 (PAD)、平均重量直径 (MWD)、几何平均直径 (GMD) 反映和分析评价土壤团聚体稳定性。PAD 可直观地反映团聚体在水蚀作用下的分散程度, 其数值越小表示土壤团聚体越稳定, 土壤结构越好; MWD 和 GMD 是评价土壤团聚体稳定性的 2 个重要指标, 其值越大表明土壤团聚体稳定性越强, 土壤结构越好<sup>[13]</sup>。本研究发现, 在红壤区, 撂荒地的 MWD 和 GMD 最小, 核桃单种的最大, 该土壤红壤上各模式的土壤团聚体破坏率 (PAD) 顺序为核桃/桑树 < 核桃单种 < 核桃/十大功劳 < 核桃/春大豆 + 秋大豆 < 核桃/春玉米 + 秋大豆 < 撂荒地; 在棕色石灰土区, 核桃/春玉米 + 秋大豆模式下的 MWD 和 GMD 最小, 土壤团聚体破坏率 (PAD) 也最大, 该区各模式的土壤团聚体破坏率 (PAD) 顺序为核桃/十大功劳 < 核桃单种 < 撂荒地 < 核桃/桑树 < 核桃/春大豆 + 秋大豆 < 核桃/春

玉米 + 秋大豆。可见,不同土壤类型上的不同土地利用方式对土壤的稳定性有不同影响,但该区域核桃单种、核桃/十大功劳是 2 种比较利于土壤稳定的模式,利于对岩溶区土壤的培育。因此,兼顾生态、经济社会的可持续发展,该区域的生态修复必须因地制宜优化种植结构,建议针对坡顶和坡腰地带等不宜频繁耕作的核桃林地,以套种生育周期长的作物,如中药材十大功劳为主,减少人为对土壤的搅动,保持土壤的稳定。在坡脚和坡底土层相对较厚、光照充足的核桃林地以套种粮食作物为主,通过科学施肥,达到提高作物产量并培育土壤的目的,促进提高农民增产增收。

### 3.3 土壤其他指标对土壤团聚体稳定性的影响

土地利用是自然环境与人类活动相互作用的综合过程,土地利用方式直接影响土壤的理化性状,从而影响土壤的稳定性。岩溶山区土地利用以保持土壤稳定性为首要任务。本研究发现,凤山县的 2 种类型土壤上的有机质均高于撂荒地。通过相关性分析发现,有机质与 2 种土壤的平均重量直径(MWD)、几何平均直径(GMD)呈极显著正相关,而与土壤团聚体破坏率(PAD)呈极显著负相关,说明有机质含量越高,红壤的土壤结构越好,土壤抗雨水冲刷的能力越强,这与前人的研究结果<sup>[14-15]</sup>一致。本研究还发现,凤山县的 2 种类型土壤上的土壤养分含量均高于撂荒地。通过相关性分析,发现红壤区土壤的速效钾与其几何平均直径( $GMD_d$ )呈显著正相关外,其他指标与土壤稳定性指标间相关性不明显,说明红壤速效钾含量越高,土壤几何平均直径( $GMD_d$ )就越高,土壤团聚体破坏率越小,土壤结构越稳定。在棕色石灰土区,土壤速效磷与其几何平均直径( $GMD_d$ )呈显著正相关,说明棕色石灰土的土壤速效磷利于土壤结构越稳定,而该区土壤速效钾与土壤团聚体破坏率(PAD)呈正相关关系,说明红壤速效钾含量高反而不利于该土壤类型的稳定。该区的土壤毛管孔隙度与土壤平均重量直径(MWD)、几何平均直径(GMD)呈负相关关系,其中与  $MWD_d$ 、 $GMD_{d/w}$  呈显著负相关;土壤毛管孔隙度与土壤团聚体破坏率(PAD)呈正相关关系。土壤非毛管孔隙度与土壤平均重量直径(MWD)、几何平均直径(GMD)呈显著正相关关系,而与土壤团聚体破坏率(PAD)呈极显著负相关关系。可见,不同土壤类型上的不同土壤理化性状对土壤稳定性的影响不同。

## 4 结论

凤山县红壤区和棕色石灰土区采用核桃单种、核桃套种春玉米 + 秋大豆、核桃/春大豆 + 秋大豆、核桃/桑树、核桃/十大功劳等 5 种土地利用方式均较撂荒地显著提高了土壤的大团聚结构,提高土壤的稳定性。其中核桃单种和核桃套种十大功劳 2 种模式的土壤的稳定最佳。

凤山县 2 种土壤采用核桃单种、核桃/春玉米 + 秋大豆、核桃/春大豆 + 秋大豆、核桃/桑树、核桃/十大功劳等 5 种土地利用方式均较撂荒地提高土壤有机质、土壤速效磷、土壤速效钾、土壤毛管孔隙度、土壤非毛管孔隙度,提高土壤的稳定性。因此,在凤山县红壤区,可通过合理的套种来增加土壤的有机质含量,提高土壤的稳定性;在棕色石灰土区,对坡顶和坡腰地带等有水土流失风险不宜频繁耕作的地块建议采用核桃单种,或者核桃套种生育周期长的作物,如中药材十大功劳为主,减少人为对土壤的搅动,保持土壤的稳定。在坡脚和坡底土层相对较厚、光照充足的核桃林地以套种粮食作物为主。

### 参考文献:

- [1] 舒田,熊康宁,陈丽莎. 石漠化治理下土地利用与景观格局变化[J]. 西南农业学报, 2022, 35(02): 446-452.
- [2] 邵晗,王虎,王妍,等. 岩溶石漠化地区不同利用方式对土壤肥力和重金属质量分数的影响[J/OL]. 浙江农林大学学报: 1-9. [2022-04-15]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/33.1370.S.20220213.1341.002.html>.
- [3] Wang S J, Liu Q M, Zhang D F. Karst rocky desertification in southwestern China: geomorphology, landuse, impact and rehabilitation[J]. Land Degradation & Development, 2010, 15(2): 115-121.
- [4] 李生,任华东,姚小华. 土地利用方式对桂西北石漠化地区土壤理化性质的影响[J]. 水土保持通报, 2013, 33(3): 58-62, 190.
- [5] 朱梓弘,杨程,谢银财,等. 重度石漠化区不同土地利用方式下土壤养分特征[J]. 中国岩溶, 2018, 37(6): 842-849.
- [6] 胡琛,贺云龙,崔鸿侠,等. 神农架 4 种典型人工林对土壤团聚体分布及稳定性的影响[J]. 中南林业科技大学学报, 2020, 40(12): 125-133.
- [7] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3 版. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [8] 王俊,李强,任禾,等. 吉林省西部不同耕作模式下秸秆还田土壤团聚体特征[J]. 植物营养与肥料学报, 2020, 26(4): 603-612.
- [9] 魏亚飞,王辉,谭帅,等. 套种对南方红壤坡耕地经济果园土壤团聚体分布及稳定性的影响[J]. 应用生态学报, 2020, 31(5): 1617-1624.

王磊元,李凤娟,秦翠兰.施用不同土壤改良剂对准格尔盆地盐碱地的改良作用[J].江苏农业科学,2022,50(16):259-264.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2022.16.038

# 施用不同土壤改良剂对准格尔盆地盐碱地的改良作用

王磊元,李凤娟,秦翠兰

(新疆理工学院,新疆阿克苏 843000)

**摘要:**为了促进土壤理化特性的改进,提升土壤肥力和活性状况,在土壤优化过程中常借助于改良剂这一途径,然而该方法在盐碱地土壤是否具有明显的效果,还有待于进行试验观测分析。基于此,选择新疆准格尔盆地盐碱地为试验对象,分别将牡蛎壳粉、生物炭和草木灰作为试验改良剂,开展连续 5 年的试验观测,分析其在盐碱地土壤改良方面的效果,同时对其影响下的微生物群落分布状况加以探究。结果表明:(1)不同改良剂对盐碱地土壤中阳离子  $\text{Ca}^{2+}$  和  $\text{Na}^{+}$  浓度起到一定的增加作用,主要是增加了土壤中  $\text{Ca}^{2+}$  浓度 ( $P < 0.05$ ),对土壤的  $\text{Mg}^{2+}$  和  $\text{Na}^{+}$  浓度的影响并不显著;不同改良剂对土壤阴离子浓度均起到一定的降低作用;虽然改良剂成分具有明显差异,但均降低了土壤 pH 值,其中生物炭处理的效果更为明显。(2)不同改良剂对盐碱地土壤有机碳、全氮、碱解氮、速效磷含量及土壤脲酶活性、过氧化氢酶活性、土壤微生物量碳含量、微生物熵、基础呼吸和微生物代谢熵起到一定的增加作用,对土壤蔗糖酶活性和酸性磷酸酶活性起到一定的降低作用,对土壤全磷含量影响不显著。(3)不同改良剂对盐碱地土壤革兰氏阳性菌、革兰氏阴性菌含量均起到一定的增加作用,其中不同改良剂处理下土壤革兰氏阳性菌、革兰氏阴性菌含量差异显著,并且显著高于对照 ( $P < 0.05$ );然而不同改良剂处理下土壤真菌生物量/细菌生物量、革兰氏阴性菌含量/阳性菌含量差异不显著。(4)主成分分析结果表明,与对照组相比,虽然改良剂成分具有较大差异,但微生物碳源利用水平存在一定差异,群落代谢差异较为显著。综合来看,虽然改良剂不同,但是在改善土壤理化特性方面具有一定的效果,同时促进了微生物群落结构和活性,对盐碱地的改良具有明显的效果,从而可以缓解我国西部土壤盐碱化问题。

**关键词:**准格尔盆地;改良剂;土壤养分;土壤酶活性;土壤微生物

**中图分类号:** X53;S156 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2022)16-0259-06

土壤在植被生长发育过程中起着关键作用<sup>[1-2]</sup>,生产中常常使用改良剂改善土壤理化结构、肥力特征和微生物活性,目前该方法在作物增产方面运用较为广泛<sup>[3]</sup>。土壤微生物在调控土壤肥力中起着重要作用,作为土壤微生物的关键构成部

分,细菌和真菌的占比达到 70% 以上<sup>[4-6]</sup>,微生物的代谢促进了土壤养分的积累,有效改善了土壤肥力。对于土壤菌群而言,具有不同的分类,按照其形状的差异主要有球菌及杆菌等,此外,其营养方式也呈现尤为突出的差异,不仅包括自养、异养,还包括兼性自养<sup>[7]</sup>。土壤改良剂的含量不同,其对土壤的作用效果也呈现较大差异,这是微生物及土壤理化特性共同作用的结果,对于植被的生长发育所产生的效果也存在突出差异。

对于准噶尔盆地而言,虽然它具有辽阔的面积,但是它在生态方面具有明显的脆弱性,无论是

收稿日期:2021-11-08

基金项目:新疆维吾尔自治区自然科学基金(编号:2021D01B44)。

作者简介:王磊元(1988—),男,山东济阳人,硕士,讲师,研究方向为生物质资源化利用。E-mail:wangleiyuan111@163.com。

通信作者:秦翠兰,硕士,讲师,研究方向为生物质资源化利用。

E-mail:qin3729221986@163.com。

[10] Yang Y, Erskine P D, Lechner A M, et al. Detecting the dynamics of vegetation disturbance and recovery in surface mining area via Landsat imagery and LandTrendr algorithm[J]. Journal of Cleaner Production, 2018, 178 (MAR. 20): 353-362.

[11] 童晨晖,王辉,谭帅,等.亚热带丘岗区经果林种植对红壤团聚体稳定性的影响.应用生态学报,2022,33(4):1012-1020.

[12] 史奕,陈欣,沈善敏.有机胶结形成土壤团聚体的机理及理论模型[J].应用生态学报,2002,13(11):1495-1498.

[13] Ran Y, Wu S, Zhu K, et al. Soil types differentiated their responses of aggregate stability to hydrological stresses at the riparian zones of the Three Gorges Reservoir[J]. Journal of Soils and Sediments, 2020, 20(2): 951-962.

[14] 白秀梅,韩有志,郭汉清.庞泉沟自然保护区典型森林土壤大团聚体特征[J].生态学报,2014,34(7):1654-1662.

[15] 耿初,张光辉,洪大林,等.黄土高原农地草地林地土壤团聚体稳定性沿降水梯度的变化特征[J].农业工程学报,2019,35(3):141-148.