

土壤改良剂和套种作物对幼龄橘园酸性土壤理化性质的影响

陈小明¹, 吴岳庭², 蒋 艺², 朱旺冲², 欧阳国春², 唐利忠^{2*}

(1. 湖南科技学院化学与生物工程学院, 湖南 永州 425100;

2. 永州市农业科学研究所, 湖南 永州 425100)

摘 要: 为明确施用酸性土壤改良剂配合套种对幼龄橘园土壤理化性质及养分含量的影响, 选取了生石灰、生石灰+火土灰为酸性土壤改良剂, 绿豆和红薯为套种作物, 以土壤清耕为对照, 系统研究了不同酸性土壤改良剂和套种作物组合对土壤理化性质、全量和速效养分含量以及活性铝含量的影响。结果表明, 较土壤清耕处理, 各施用土壤改良剂配合套种处理均能显著降低土壤容重、增大土壤孔隙度、提高土壤饱和持水量和田间持水量, 显著提高土壤 pH 值和有机质含量且降低活性铝含量 ($P<0.05$), 能不同程度提高土壤全量和速效养分。较施用生石灰处理, 长期施用生石灰+火土灰累加效应明显, 在改善土壤物理特性、提高土壤 pH 值和有机质含量、降低活性铝含量、提高土壤全钾、速效钾和有效磷含量等方面效果更好。套种绿豆和套种红薯在多数土壤理化特性指标上无显著差异, 但套种红薯对提高土壤田间持水量、有机质含量方面效果更好, 而套种绿豆则更有利于提升土壤全氮、全磷、碱解氮含量。总体来看, 施用生石灰+火土灰配合套种红薯/绿豆均能有效改善橘园土壤理化性质。

关键词: 酸性土壤; 土壤改良; 柑橘; 套种; 理化性质

湖南省江永县毗邻广西壮族自治区, 光温条件好, 雨水充沛, 适合种植柑橘等经济作物, 其独特的气候和土壤条件, 造就了江永“五香”品牌。柑橘产业是江永县重要的支柱产业, 据统计, 该县 2020 年柑橘种植面积达 $1.1 \times 10^4 \text{ hm}^2$, 柑橘年产量达 $1.8 \times 10^5 \text{ t}$, 产值达 6 亿元以上^[1]。该县柑橘优势产区土壤成土母质多为第四纪红色黏土, 土层颜色多为红色和赤红色, 土层较厚, 岗地多盆地少, 岗地土壤质地多为中壤或轻壤, 土壤黏性中等, 保水保肥能力差, 酸性较强, 且土壤酸化等土壤障碍因子已逐渐成为该地区柑橘产业提质增效的主要制约因素^[2]。

近年来, 由于黄龙病肆虐^[3], 加之品种更新需求紧迫^[4], 该县新建、重建果园面积逐年攀升。据江永县农业农村局统计, 2020 年该县未挂果幼龄柑橘园面积达 3533.3 hm^2 , 占总柑橘种植面积的 32.1%。新建果园由于橘苗冠幅小且生长缓慢, 导致橘园水土流失严重, 土壤保水保肥能力差, 经济投入压力较大, 当地种植户往往在橘园中套种辣椒、

西瓜、大豆、绿豆、红薯等作物, 而在坡地橘园尤以大豆、绿豆和红薯为甚, 但套种作物长势和产量均不理想。前人对幼龄柑橘套种粮食作物、绿肥、经济作物等做了大量研究^[5-8], 结果一致表明, 幼龄柑橘套种作物可以有效改善土壤结构, 提高土壤含水量, 还能有效增加土壤有机质和养分含量^[9], 有利于实现增产增收。此外, 前人对酸性土壤改良研究较多, 所用改良剂多为纯化学改良剂、微生物菌剂、营养型土壤改良剂、生物菌肥、秸秆或动物发酵粪便等有机质、综合性改良剂等, 土壤改良效果好, 见效快, 但多数存在价格昂贵, 不易获取或酸性反弹快等缺点^[10-12]。由此可见, 有必要针对当地地形、土壤和气候特征, 综合开展土壤酸性改良配合不同套种模式的研究, 而目前针对幼龄柑橘套种的研究多集中在套作模式优化、套种栽培技术和绿肥培肥效果等方面, 而针对同时开展酸性土壤改良和林下套种对土壤理化性质的影响研究还较少。

本研究根据江永县当地坡地多、地表水资源匮乏、土壤酸性强等特点, 选取了价格低廉且易获取的生石灰和自制火土灰作为土壤改良剂, 选取了柑橘套种春绿豆、红薯两种当地较为适宜的套种作物, 以清耕为对照, 对比分析了连续 3 年不同土壤改良剂配合套种模式下土壤理化性质, 以期为该地区幼龄柑橘林下套种提供理论基础。

收稿日期: 2023-03-22; 录用日期: 2023-06-10

基金项目: 湖南省现代农业发展专项(湘财农指[2020]37号、湘财农指[2021]42号)。

作者简介: 陈小明(1983-), 副教授, 硕士, 主要从事天然产物研究和作物生态栽培技术。E-mail: 45737620@qq.com。

通讯作者: 唐利忠, E-mail: 975624569@qq.com。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验地位于湖南省永州市江永县桃川镇一新建果园, 25° 10' N、111° 10' E, 属中亚热带湿润季风气候, 年平均气温 19.6℃, 年均降水量为 1645 mm, 年日照总时数 1562 h, 无霜期 362 d。土壤为酸性红壤, 成土母质为第四纪红色黏土。有机质含量 22.32 g/kg, 全氮 1.23 g/kg, 全磷 0.38 g/kg, 全钾 10.67 g/kg; 碱解氮 97.64 mg/kg, 有效磷 6.87 mg/kg, 速效钾 58.46 mg/kg, pH 值 4.12。

1.2 试验材料

柑橘品种为特早熟温州蜜桔‘宫本’, 绿豆品种为‘中绿一号’, 红薯品种为‘广薯 87’。复合肥 (N : P₂O₅ : K₂O=15 : 15 : 15), 过磷酸钙 (P₂O₅ 12.42%), 尿素 (N 45.81%), 自制火土灰 (N 0.34%, P₂O₅ 0.28%, K₂O 0.68%), 硫酸钾 (K₂O 54.24%)。

1.3 试验设计

柑橘为 2019 年冬造林, 苗龄 2 年。行株距为 4.5 m × 2.5 m。厢作, 每厢面宽 4.2 m, 两侧 1.6 m 宽为套作区。柑橘施肥采用“一梢二肥”原则, 前 2 年均采用 1% 水溶性均衡复合肥 (N:P:K=15-15-15) 浇施, 2021 年冬于株间开对沟埋施冬肥, 单株冬肥施用量为菌肥

1 kg + 平衡复合肥 0.2 kg + 中微量元素 0.1 kg, 其他促梢肥仍采用 1% 水溶性均衡复合肥。

试验设置了生石灰 + 套种绿豆 (SL)、生石灰 + 套种红薯 (SH), 生石灰 + 火土灰 + 套种绿豆 (SHL), 生石灰 + 火土灰 + 套种红薯 (SHH) 4 个处理, 以土壤清耕 (CK) 为对照, 具体设置如表 1 所示。每厢为 1 个小区, 小区面积 126 m², 3 次重复, 完全随机排列。套作区内按不同套作模式管理, 套作区外人工清耕管理。于 2020—2022 年每年 3 月初, 除清耕处理外, 所有处理均人工均匀撒施生石灰、基肥过磷酸钙和复合肥, 后用小型旋耕机进行一次旋耕混土。套种绿豆和套种红薯均采用条播/栽, 播前人工开浅沟, 沟 (行) 距 0.4 m, 施用火土灰处理 (SHL、SHH) 先在沟内施用火土灰, 套种绿豆播种量为 25 kg/hm², 播种后回土压实, 4 ~ 5 片真叶期配合中耕除草施用追肥, 其他管理如常。套种红薯均匀摆放秧苗, 株行距为 0.3 m × 0.4 m, 回土压实, 伸蔓期结合中耕除草提蔓开沟条状施用追肥, 其他管理如常。套种作物收获后采取秋、冬闲处理 (秋季高温干旱, 不适宜套种), 下茬栽种前 (3 月初) 将前茬秸秆旋耕入土 (红薯秸秆收获后人工切段后再还田); 清耕模式 (CK) 参照套种作物播栽及中耕时间适机清耕 2 次。

表 1 套作区套种作物及施肥处理

处理	套种作物	生石灰 (t/hm ²)	火土灰 (t/hm ²)	基施过磷酸钙 (kg/hm ²)	基施复合肥 (kg/hm ²)	追施尿素 (kg/hm ²)	追施硫酸钾 (kg/hm ²)
CK	—	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
SL	绿豆	3.0	0.0	450.0	300.0	75.0	300.0
SH	红薯	3.0	0.0	450.0	300.0	75.0	300.0
SHL	绿豆	3.0	15.0	450.0	300.0	75.0	300.0
SHH	红薯	3.0	15.0	450.0	300.0	75.0	300.0

1.4 样品采集及测定

分别于 2020—2022 年 12 月初连续 3 年采集土样, 5 点“S”形取样, 刮去表面浮土残枝, 用环刀取 0 ~ 20 cm 深原状土, 备用, 测定土壤物理性质。以同样的方法取 0 ~ 20 cm 土层土样, 充分混匀, 风干备用, 测定土壤 pH 值、有机质含量、全量和速效养分含量以及活性铝含量。

土壤饱和持水量、田间持水量、容重和孔隙度测定参照《森林土壤水平—物理性质的测定》(LY/T 1215—1999)。参照《土壤农化分析》^[13], 采用重铬酸氧化—外加加热法测定土壤有机质, 连续流动分析仪测定土壤全氮、全磷、有效磷, 火焰光

度法测定土壤全钾和速效钾, 碱解扩散法测定土壤碱解氮, 电位法测定土壤 pH 值, 土壤活性铝含量采用酸性草酸—草酸铵浸提氟化钾取代 EDTA 容量法测定。

1.5 数据统计及分析

采用 Excel 2010 进行数据统计, SPSS 22.0 进行方差分析, GraphPad Prism 6 作图。

2 结果与分析

2.1 土壤改良剂配合套种对酸性土壤物理性质的影响

土壤容重和土壤孔隙度是土壤质量评价的重要

指标,且在一定程度上决定了土壤保水性、导水性和透气性等物理特性,直接影响着作物根系生长和发育。2020—2022年连续3年对不同酸化土壤改良和套种组合处理下土壤物理性质进行了测定,结果如图1所示。较土壤清耕处理,施用土壤改良剂+套种各处理均能显著降低土壤容重、增大土壤孔隙度、提高土壤饱和持水量和田间持水量($P<0.05$)。

从2020—2022年数据来看,长期施用生石

灰+火土灰具有累加效益,可以明显降低土壤容重、增加土壤孔隙度、提升土壤饱和持水量和田间持水量;套种红薯较套种绿豆对提高田间持水量效果更为明显(图1d)。整体来看,施用生石灰+火土灰作为土壤改良剂效果较施用生石灰好,套种绿豆较套种红薯对土壤物理特性影响差异不大,2021—2022年套种红薯土壤田间持水量高于套种绿豆。

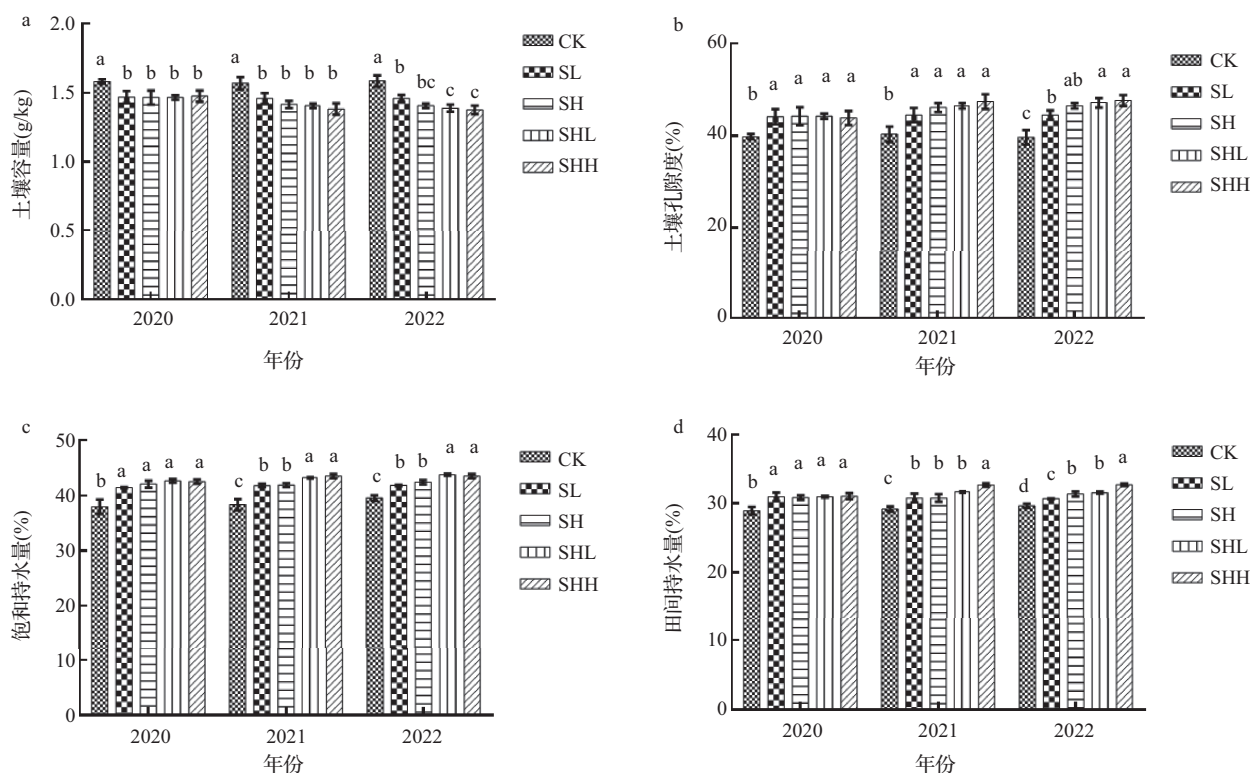


图1 土壤改良剂配合套种对酸性土壤物理性质的影响

注:同一年份不同小写字母代表在0.05水平下差异显著。下同。

2.2 土壤改良剂配合套种对酸性土壤 pH 值的影响

2020—2022年,较土壤清耕处理,施用土壤改良剂+套种处理土壤 pH 值显著提高($P<0.05$,图2)。2020—2021年,施用土壤改良剂+套种各处理间土壤 pH 值无显著差异;2022年,施用生石灰+火土灰(SHL、SHH)处理土壤 pH 值显著高于单独施用生石灰(SL、SH)处理($P<0.05$)。同一土壤改良措施下,套种绿豆或套种红薯对土壤 pH 值影响差异不显著。

2.3 土壤改良剂配合套种对酸性土壤活性铝含量的影响

如图3所示,2020—2022年,土壤清耕处理

土壤活性铝含量显著高于其他土壤改良剂+套种处理($P<0.05$);施用生石灰+火土灰(SHL、SHH)土壤活性铝含量显著低于单独施用生石灰(SL、SHL),而同一土壤改良措施下,不同作物套种处理间无显著差异。

2.4 土壤改良剂配合套种对酸性土壤有机质含量的影响

2020—2022年,施用土壤改良剂+套种处理较土壤清耕处理土壤有机质含量显著提高($P<0.05$,图4)。2020年施用土壤改良剂+套种各处理间土壤有机质含量无显著差异;2021年施用生石灰+火土灰+套种红薯(SHH)处理土壤有机质含量

显著高于其他 3 种处理；2022 年施用生石灰 + 火土灰 (SHL、SHH) 处理土壤有机质含量显著高于单独施用生石灰 (SL、SH) 处理 ($P<0.05$)。可见，长期施用生石灰 + 火土灰较单独施用生石灰效果更好，且长期套种红薯更有利于提升土壤有机质含量。

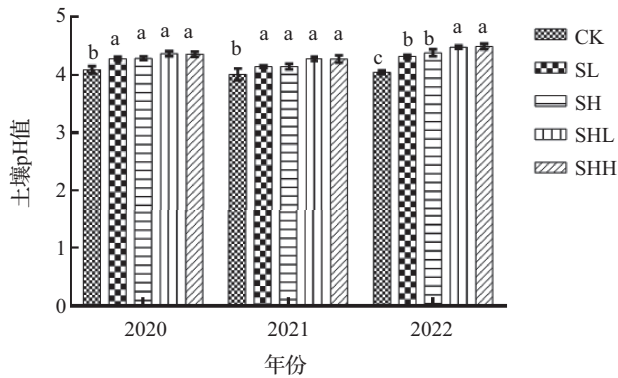


图 2 土壤改良剂配合套种对酸性土壤 pH 值的影响

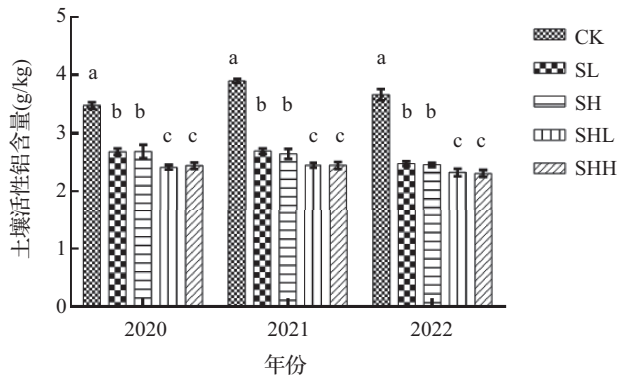


图 3 土壤改良剂配合套种对酸性土壤活性铝含量的影响

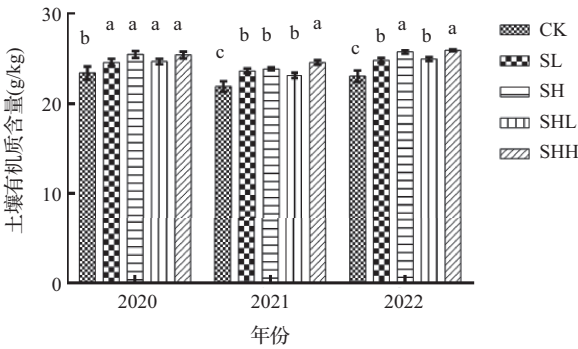


图 4 土壤改良剂配合套种对酸性土壤有机质含量的影响

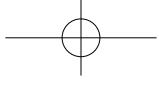
2.5 土壤改良剂配合套种对酸性土壤养分含量的影响

如表 2 所示，2020—2022 年，清耕处理土壤全量和速效养分均不同程度地低于其他土壤改良剂 + 套种处理，且除 2020—2021 年土壤全氮及 2021—2022 年土壤全磷含量外，其他年份和养分含量均达显著差异水平 ($P<0.05$)。2020—2022 年，套种绿豆 (SL、SHL) 处理土壤全氮、全磷、碱解氮含量均高于套种红薯 (SH、SHH) 处理，且部分达显著性差异水平 (如 2020 年全氮、全磷， $P<0.05$)；施用生石灰 + 火土灰 (SHL、SHH) 处理土壤全钾、速效钾和有效磷含量高于单独施用生石灰 (SL、SH) 处理，且部分达显著性差异水平 (如 2020—2021 年土壤全钾，2020、2022 年土壤速效钾，2020 年土壤有效磷， $P<0.05$)。总体来看，套种绿豆较套种红薯更有利于提升土壤全氮、全磷、碱解氮含量，施用生石灰 + 火土灰较单独施用生石灰更能提升土壤全钾、速效钾和有效磷含量。

表 2 土壤改良剂配合套种对酸性土壤土壤养分含量的影响

年份	处理	全氮 (g/kg)	全磷 (g/kg)	全钾 (g/kg)	碱解氮 (mg/kg)	有效磷 (mg/kg)	速效钾 (mg/kg)
2020	CK	1.22 ± 0.03c	0.32 ± 0.04b	11.23 ± 0.26c	97.78 ± 0.75c	6.75 ± 0.23c	59.61 ± 0.67e
	SL	1.38 ± 0.04a	0.46 ± 0.03a	13.82 ± 0.21b	105.96 ± 1.48ab	8.70 ± 0.24b	64.49 ± 1.06d
	SH	1.31 ± 0.02b	0.35 ± 0.02b	14.05 ± 0.24b	104.71 ± 0.65b	8.67 ± 0.16b	65.89 ± 0.52c
	SHL	1.39 ± 0.02a	0.46 ± 0.04a	14.89 ± 0.38a	108.07 ± 1.91a	9.20 ± 0.20a	68.37 ± 0.58b
	SHH	1.29 ± 0.05b	0.36 ± 0.03b	14.80 ± 0.60a	105.10 ± 0.86b	9.24 ± 0.23a	70.01 ± 0.41a
2021	CK	1.19 ± 0.06b	0.29 ± 0.02b	10.65 ± 0.30d	95.74 ± 1.31c	6.50 ± 0.23b	58.26 ± 0.89d
	SL	1.34 ± 0.04a	0.38 ± 0.04a	12.34 ± 0.35c	104.63 ± 0.94a	8.56 ± 0.26a	60.96 ± 1.06c
	SH	1.26 ± 0.02ab	0.34 ± 0.04ab	13.66 ± 0.35b	100.53 ± 1.32b	8.57 ± 0.28a	62.81 ± 0.54b
	SHL	1.34 ± 0.03a	0.40 ± 0.04a	14.42 ± 0.38a	104.85 ± 0.67a	8.99 ± 0.11a	63.46 ± 0.52ab
	SHH	1.27 ± 0.03ab	0.32 ± 0.05ab	14.52 ± 0.31a	103.08 ± 0.97a	9.02 ± 0.09a	64.62 ± 0.51a
2022	CK	1.23 ± 0.04c	0.35 ± 0.03b	11.22 ± 0.63c	97.59 ± 0.42c	7.03 ± 0.12c	62.54 ± 0.51e
	SL	1.40 ± 0.05ab	0.49 ± 0.04a	13.94 ± 0.35c	108.20 ± 1.11ab	8.77 ± 0.18b	68.14 ± 0.61d
	SH	1.38 ± 0.02b	0.45 ± 0.03a	15.23 ± 0.58a	107.08 ± 0.78b	9.00 ± 0.21ab	70.69 ± 0.50c
	SHL	1.46 ± 0.04a	0.52 ± 0.04a	15.33 ± 0.43a	109.76 ± 0.76a	9.03 ± 0.11ab	72.22 ± 0.87b
	SHH	1.35 ± 0.03b	0.39 ± 0.04b	15.45 ± 0.46a	107.14 ± 1.49b	9.30 ± 0.05a	74.78 ± 0.80a

注：同一年份不同小写字母代表 0.05 水平下差异显著。



3 讨论

3.1 对土壤物理性质的影响

酸性土壤改良不仅是对土壤酸碱度的改良,还包含对土壤紧实度、透气性、保水保肥性、微生物丰度等诸多物理、化学和生物特性的改良,而土壤容重、孔隙度和含水率则是反映土壤紧实度、透气性和保水性的重要指标。前人研究表明,酸性植烟土壤施用石灰+绿肥+生物有机肥组合可有效提高土壤有机质含量 39.3%,提高土壤孔隙度 3.02%,提高土壤水分 24.2%,降低土壤容重 4.10%^[14];而施用火土灰能有效降低土壤容重,增大土壤孔隙度^[15]。本研究中,较土壤清耕处理,施用土壤改良剂+套种处理均能显著降低土壤容重、增大土壤孔隙度、提高土壤饱和持水量和田间持水量,且长期施用生石灰+火土灰具有累加效益,可以明显降低土壤容重、增加土壤孔隙度、提升土壤饱和持水量和田间持水量。这与前人研究结果基本一致。

本研究还发现,套种红薯较套种绿豆对提高田间持水量效果更为明显,这可能是因为套种红薯导致封行后土壤荫蔽更为完全,土壤孔隙结构发育较好,红薯不定根、落叶和根际分泌物对土壤团聚体的形成更为有利导致,如魏亚飞等^[16]研究发现,不同套种作物对土壤团聚体的形成和粒径分布具有较大影响,且最终影响土壤保水保肥能力,其具体原因还有待进一步分析。

3.2 对土壤 pH 值及活性铝含量的影响

一般认为,长江以南的酸性土壤多是由粘土矿物中铝氧层中的铝在强酸性条件下释放出来形成代换性的铝离子而导致,活性铝含量不仅是强酸性土壤酸度的指示,更有可能对作物产生“铝毒害”^[17]。通过模拟酸雨对土壤活性铝的释放研究表明,当土壤 pH 值低于 4.3,会导致土壤活性铝大量释放^[18]。本研究中,土壤清耕处理土壤 pH 值在 4.01 ~ 4.09,土壤活性铝含量在 3.48 ~ 3.90 g/kg,而施用土壤改良剂+套种处理土壤 pH 值显著提高至 4.14 ~ 4.49,土壤活性铝含量降低至 2.31 ~ 2.69 g/kg (图 2、图 3),由此可见,在进行套种时同步开展土壤酸度改良是十分必要的。王宇函等^[19]对比研究了腐植酸、生物炭和生石灰作物酸化土壤调理剂对土壤酸度和活性铝含量的影响,结果表明,三者交换性铝含量较对照分别下降 11.81%、59.63% 和 87.82%,说明生石灰对活性铝的释出具

有较强的抑制作用。

本研究中,施用生石灰+火土灰 (SHL、SHH) 土壤 pH 值显著高于单独施用生石灰 (SL、SHL) 且活性铝含量显著较低,说明火土灰作为碱性物料,不仅能直接中和土壤 H^+ ,且作为生石灰的补充,能在较长的时间跨度内降低土壤潜性酸特别是土壤交换性铝含量。胡敏^[20]研究表明,生石灰短期内降低土壤 pH 值和潜在酸的效果显著,随着时间延长,在淋溶作用和土壤缓冲作用下,非过量石灰对提高土壤 pH 值效果有限,但降低土壤潜在酸效果仍然显著,仅以 pH 值来评估酸性土壤改良效果并不全面,说明本研究综合分析土壤 pH 值和土壤活性铝含量是较为科学的。

3.3 对土壤有机质和养分含量的影响

土壤有机质含量是土壤适耕性和土壤肥力的重要指标。酸性红壤有机质累积与分解不仅与覆盖作物、水肥气热等密切相关,还与红壤本身化学组成、土壤酸度量、质地等能够影响微生物活动的因素密切相关。李忠佩等^[21]研究表明,瘠薄红壤与一般红壤第一年有机物料分解速率大致为 56% 和 74%,且不同肥力土壤有机物料分解速率差异主要体现在前两年。加入生石灰对前两年有机物料分解影响最大,可使第一年分解速率提升 8% 左右。本研究中,施用土壤改良剂+套种处理较土壤清耕处理土壤有机质含量显著提高 (图 4),说明套种作物秸秆还田对土壤有机质提升具有明显效果,且能掩盖因施用石灰和火土灰导致的有机质分解加速效果。通过对比分析不同处理在不同年际间土壤有机质变化 (图 4),发现随着土壤改良剂+套种处理时间延长,施用生石灰+火土灰,以及生物量较大的红薯秸秆还田的累加效应逐步凸显。韦广泼等^[22]研究表明,赤红壤有机物料 2 年后的腐解残存率仅为 10.0% ~ 16.03%,通过腐解-添加平衡进行预测,采用加大秸秆、有机肥等有机物料投入的方法可以有效提高土壤有机质含量。这与本研究结果一致。

土壤养分形成实际上是肥料投入、作物吸收、土壤淋溶、自然挥发等因素共同作用的结果。本研究中,连续 3 年清耕处理土壤全量和速效养分均不同程度地低于其他土壤改良剂+套种处理,且除 2020—2021 年土壤全氮及 2021—2022 年土壤全磷含量外,其他年份和养分含量均达显著差异水平 ($P<0.05$)。试验结果说明,外源肥料的投入是提升土壤养分含量的重要措施;而施肥处理部分年份土

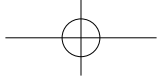
壤全氮、全磷与清耕处理间无显著差异,可能是与作物对氮、磷的吸收差异有关。本研究发现,连续3年套种绿豆(SL、SHL)处理土壤全氮和碱解氮含量均高于套种红薯(SH、SHH)处理,说明豆科作物根瘤的固氮功能发挥了重要作用。如李志玉等^[23]研究表明,同等施肥条件下,红壤种植大豆后其土壤氮、磷含量明显高于种植芝麻、油菜等作物。本研究中,施用生石灰+火土灰(SHL、SHH)处理土壤全钾、速效钾和有效磷含量高于单独施用生石灰(SL、SH)处理,一方面是年均火土灰养分带入折合氮、磷、钾达3.4 kg N、2.8 kg P₂O₅、6.8 kg K₂O,另一方面可能与火土灰+生石灰能较好地改善土壤物理结构(图1),提高土壤有机质含量,从而减少养分流失有关,具体还有待进一步研究。

4 结论

酸化土壤改良是酸性红壤橘园开展套种、提高经济效益的前提。通过对土壤理化性质和养分含量的分析,科学评价和优化土壤改良措施与套种模式,可以在提高经济效益的同时,改良橘园酸性红壤,减少水土流失,提升柑橘品质。本研究结果表明,连续3年施用土壤改良剂+套种能有效改善土壤物理特性,提高土壤pH值和有机质含量,提高土壤全量和速效养分,减少土壤活性铝含量。单从改良土壤理化特性和提升土壤肥力来看,施用生石灰+火土灰+套种红薯/绿豆为该地区较为合适的套种模式,但具体采用哪种作物套种还需要结合套种的投入和产值等情况来合理选择。

参考文献:

- [1] 伍鑫嘉,唐文胜. 抓机遇,促发展,跻身柑橘产业集群[J]. 湖南农业, 2021(3): 6.
- [2] 朱丽芬,骆检兰,黄逢秋,等. 湖南省江永县香柚产区地球化学特征及适生地质环境研究[J]. 国土资源导刊, 2021, 18(3): 47-53.
- [3] 刘亚娟,付爱斌. 浅谈江永柑橘黄龙病病因与综合防控措施[J]. 安徽农学通报, 2019, 25(11): 92-93, 110.
- [4] 伍兴甲,何青英,黄荣荣. 2019年产季江永县柑桔产销形势预测及对策建议[J]. 中国果业信息, 2019, 36(8): 18-20.
- [5] 史明会,李念祖,邵明珠,等. 幼龄柑橘套种春季西瓜——秋季马铃薯高效栽培模式[J]. 中国瓜菜, 2019, 32(12): 96-97.
- [6] 徐水林. 柑橘幼龄果园套种冬油菜高效栽培技术要点[J]. 上海农业科技, 2019(4): 52, 61.
- [7] 杨迎春,施昌华,姚玉玲,等. 幼龄柑橘-玉米-柴胡套种模式与综合效益分析[J]. 湖北农业科学, 2022, 61(20): 98-100.
- [8] 林秋吉,唐志康,余马,等. 内江市柑橘林药发展模式探讨[J]. 安徽农业科学, 2019, 47(12): 233-235.
- [9] 钟珍梅,詹杰,李振武,等. 紫色土侵蚀区柑橘园套种印度豇豆对土壤水稳性团聚体的影响[J]. 草业科学, 2015, 32(12): 1940-1944.
- [10] 郭和蓉,陈琼贤,郑少玲,等. 营养型土壤改良剂对酸性土壤中钾的调节及玉米吸钾量的影响[J]. 土壤肥料, 2004(2): 20-22.
- [11] 黄耀蓉,王强锋,朱彭玲,等. 土壤改良剂对酸性土壤改良的影响[J]. 西南农业学报, 2014, 27(4): 1637-1640.
- [12] 李菊,杨永志,甘良,等. 土壤改良剂和有机肥对旱改水砖红壤稻田的改良效果[J]. 中国土壤与肥料, 2022(4): 91-98.
- [13] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 1981.
- [14] 蔡东,肖文芳,李国怀. 施用石灰改良酸性土壤的研究进展[J]. 中国农学通报, 2010, 26(9): 206-213.
- [15] 匡传富,李宏光,许清孝,等. 施用火土灰改良烤烟根际环境技术研究[J]. 农业开发与装备, 2013(9): 52-53.
- [16] 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.
- [17] 徐明岗,文石林,周世伟,等. 南方地区红壤酸化及综合防治技术[J]. 科技创新与品牌, 2016(7): 74-77.
- [18] 傅柳松,吴杰民. 模拟酸雨对土壤活性铝释出影响研究[J]. 环境科学, 1993, 14(1): 20-24, 93.
- [19] 王宇函,吕波,张林,等. 不同土壤改良剂对酸性铝富集红壤毒性缓解效应的差异[J]. 华中农业大学学报, 2019, 38(2): 73-80.
- [20] 胡敏. 恩施州耕地土壤酸化现状及石灰等土壤调理剂降酸效果初探[D]. 武汉: 华中农业大学, 2017.
- [21] 李忠佩,刘明,江春玉. 红壤典型区土壤中有机质的分解、积累与分布特征研究进展[J]. 土壤, 2015, 47(2): 220-228.
- [22] 韦广波,江泽普,田忠孝. 赤红壤果园有机质累积矿化及平衡预测[J]. 广西农业科学, 2003(3): 51-52.
- [23] 李志玉,郭庆元,涂学文. 红壤旱地施用氮磷钾肥对不同作物的增产效果及对土壤肥力的影响研究[J]. 中国土壤与肥料, 2002(2): 22-24.



Effects of soil amendments combined with intercropping on physical and chemical properties of acid soil in young citrus orchards

CHEN Xiao-ming¹, WU Yue-ting², JIANG Yi², ZHU Wang-chong², OUYANG Guo-chun², TANG Li-zhong^{2*}

(1. Department of Chemical and Biological Engineering, Hunan University of Science and Engineering, Yongzhou Hunan 425100; 2. Yongzhou Institute of Agricultural Sciences, Yongzhou Hunan 425100)

Abstract: In order to clarify the effects of acid soil amendments combined with intercropping on soil physical and chemical properties and nutrient content in young citrus orchards, quicklime and quicklime + fire soil ash were selected as acid soil amendments, mung bean and sweet potato were used as intercropping crops, and soil clean tillage was used as control. The effects of different acid soil amendments and intercropping crop combinations on soil physical and chemical properties, total and available nutrient contents and active aluminum content were systematically studied. The results showed that compared with the soil clean tillage treatment, the application of soil amendments combined with intercropping significantly reduced soil bulk density, increased soil porosity, soil saturated water holding capacity and field water holding capacity, significantly increased soil pH value and organic matter content and reduced active aluminum content ($P < 0.05$), and increased soil total and available nutrients to varying degrees. Compared with the application of quicklime, the cumulative effect of long-term application of quicklime + fire soil ash was obvious, which was better in improving soil physical properties, increasing soil pH and organic matter content, reducing active aluminum content, and increasing soil total potassium, available potassium and available phosphorus content. There was no significant difference in most soil physical and chemical properties between intercropping mung bean and intercropping sweet potato, but intercropping sweet potato had better effect on improving soil field capacity and organic matter content, while intercropping mung bean was more conducive to improving soil total nitrogen, total phosphorus and alkali-hydrolyzable nitrogen content. In general, the application of quicklime + fire soil ash combined with interplanting sweet potato / mung bean could effectively improve the physical and chemical properties of citrus orchard soil.

Key words: acid soil; soil improvement; citrus; interplanting; physical and chemical properties