

管冠,张思,郭富鹏,等.加药防草布覆盖对赣南脐橙土壤生物学性质和根系的影响[J].江苏农业科学,2023,51(24):147-154.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2023.24.020

# 加药防草布覆盖对赣南脐橙土壤生物学性质和根系的影响

管冠<sup>1</sup>,张思<sup>1</sup>,郭富鹏<sup>1</sup>,郭等等<sup>1</sup>,霍书怀<sup>2</sup>

(1.赣南师范大学生命科学学院/国家脐橙工程技术研究中心,江西赣州 341000; 2.中国纺织科学研究院共青分院,江西共青城 332020)

**摘要:**柑橘黄龙病作为一种严重的病害,对柑橘的生长造成了巨大影响。在黄龙病流行区域利用加药防草布防草防虫,有利于柑橘黄龙病的防治,与化学农药防治柑橘木虱相比对环境更为友好。为明确土壤生物学性质及根系生长对加药防草布覆盖的响应过程,以赣南脐橙土壤为研究对象,设置不同加药防草布覆盖处理,开展盆栽试验。通过土壤农化分析、土壤微生物数量检测、土壤酶活性分析及根系扫描等技术手段对土壤理化性质、土壤生物学性质和根系生长进行测定分析。结果表明,随着处理时间的延长,防草布覆盖处理的微生物数量和土壤酶活性较清耕处理更高,但加药处理对微生物数量的提高有所抑制,且加药处理的磷酸酶、蔗糖酶活性总体高于不加药处理;各处理根系活力整体呈先升高后降低再升高的趋势,且加药防草布处理的根系形态总体要好于清耕处理。综上所述,适当浓度的加药防草布处理有利于提高脐橙根系活力,形成良好的根系形态;但加药防草布覆盖对细菌、真菌、放线菌的生长有一定的抑制作用。

**关键词:**加药防草布;赣南脐橙;根系;土壤生物学性质;柑橘黄龙病

**中图分类号:**S666.404 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2023)24-0147-08

赣南地区属于柑橘黄龙病流行区,严重制约赣南脐橙的可持续发展。目前,化学防治柑橘木虱是防治柑橘黄龙病的重要措施<sup>[1]</sup>。柑橘木虱的发生与抽发新梢密切相关,且柑橘叶片相对密集,要保护柑橘树免受其危害,就必须实现对木虱的全面、高效、长期防治。叶面施药时喷洒不均匀,施药时间和次数难以控制,造成用药过度频繁且效果不佳<sup>[2]</sup>。与叶面喷雾相比,滴灌施药具有诸多优势:药剂能够定向分布;降低农药使用的投入成本;减少对土壤和作物的机械损伤;可以代替叶面施药或减少叶面施药的用药量;降低对非靶标生物的影响等<sup>[3-6]</sup>。滴灌作为一种导向的施药方式,定向将农药施用于根部区域,并通过根系吸收转移到新嫩梢,对柑橘木虱进行精准化、简约化防治,减少和消除黄龙病传播的机会,能有效防控黄龙病的传播<sup>[7]</sup>。加药防草布就是利用滴灌的原理,将药物放

入防草布中,最后通过自然降雨降解到土壤中,达到除草防虫的效果。

土壤微生物作为土壤生态系统中的重要生物组分,在植物生长及土壤微环境调节过程中发挥着不可替代的重要作用<sup>[8]</sup>。土壤微生物推动着土壤有机质分解、养分转化以及矿质元素循环等一系列生化反应过程,对土壤肥力的形成、维持生态系统稳定具有重要意义<sup>[9]</sup>。土壤微生物的数量和群落结构多样性可以有效而敏感地反映出土壤环境中的细微变化,可以用来衡量土壤质量状况<sup>[10-11]</sup>。近年来,众多研究表明,实施地表覆盖对土壤微生物有较好的影响,同时还具有增肥、保肥和提高土壤营养元素有效性的作用。这是因为覆盖层内水汽的胀缩运动使层内土壤变得越来越疏松,同时覆盖造成了高温多湿的土壤环境,有利于微生物的生产与繁衍,土壤理化性质得以改善,土壤微生物丰富度和多样性也随之提高。李旺霞等研究发现,防草布有利于提高土壤微生物数量、土壤酶活性以及马铃薯产量<sup>[12]</sup>。宋凤斌研究发现,在玉米不同生育时期,防草布覆盖处理的土壤细菌、放线菌、真菌数量均高于清耕栽培<sup>[13]</sup>。罗玲等在避雨栽培的葡萄园中的试验研究结果表明,地布、透明防草布和反光

收稿日期:2023-11-01

基金项目:国家自然科学基金(编号:32260728);江西省科技计划(重点研发计划)(编号:20192ACB80009);江西省自然科学基金(编号:20202BAB1215029)。

作者简介:管冠(1985—),男,湖北黄石人,博士,副教授,主要从事土壤生物学研究。E-mail:guanguan\_1985@aliyun.com。

膜的覆盖可以提高土壤细菌和真菌的数量,降低放线菌数量<sup>[14]</sup>。

土壤酶是土壤中具有催化作用的重要生物活性物质,参与土壤中各种生化过程和系统中物质的循环过程。土壤动植物残体、植物根系分泌物和土壤微生物是土壤酶的主要来源。土壤酶活性能够表征土壤酶的存在,也是评价土壤肥力的指标,通常被认为是反映土壤质量的重要指标<sup>[15-16]</sup>。目前,防草布覆盖对土壤酶活性的影响研究结果不尽相同。张剑研究发现,防草布覆盖有效提高了土壤脲酶、过氧化氢酶、蔗糖酶、碱性磷酸酶的活性,这是因为在水热状况适宜的情况下土壤酶活性得到显著提高<sup>[17]</sup>。孙萌等研究发现,在核桃生长期,有机物覆盖处理的土壤过氧化氢酶、中性蛋白酶、脲酶、纤维素酶活性均有不同程度的提高,这是由于有机物覆盖改变了园地土壤环境,同时随着覆盖材料的不断分解,增加了土壤养分含量,即增加了酶促反应的底物,有利于反应的正向进行,从而提高了土壤酶活性<sup>[18]</sup>。樊俊等对烟草的研究表明,防草布覆盖处理主要提高了烟草田土壤酸性磷酸酶活性,而对脲酶、蔗糖酶和纤维素酶活性影响规律不明显<sup>[19]</sup>。

根系作为植物生长的重要器官,不仅具有许多重要的生理功能,如吸收、固定、贮藏、合成和繁殖,而且还深深地影响植物对环境的适应性<sup>[20]</sup>。根的生长情况和活力水平直接影响植株地上部生长、营养状况及产量水平。前人研究表明,与常规处理相比,覆盖栽培处理提高了苹果根系的鲜质量和活力,而且还改善了苹果根系的形态参数,使苹果根系的总根长、根系表面积和根系体积均有所提高<sup>[21]</sup>。李泽斌研究发现,与对照相比,防草布覆盖的柑橘根系总长度、根总表面积、根总体积、根干质量和根系活力分别上涨了 37.7%、46.0%、54.3%、41.7%、103.8%<sup>[22]</sup>。王进的试验证明,无覆盖表土层土壤容易出现板结,根系发育相对较差,而覆盖处理改善了土壤理化性状,使土壤保持疏松状态,土壤中的水气更加容易进行交换,对树体根系生长发育更加有利<sup>[23]</sup>。平地全降解膜覆盖种植、垄覆降解膜沟种植、连垄全降解膜覆盖种植 3 种覆盖处理的根长、根表面积、根体积以及根干质量均显著高于 CK 处理,根系密度较 CK 分别增加了 9.23%、13.85%、16.92%<sup>[24]</sup>。防草布覆盖还能够促进板栗细根生长,防草布覆盖使板栗初花期的根长、根表面积、根体积分别提高了 34.01%、34.72%、

37.60%,成熟期分别提高了 12.85%、27.45%、40.36%<sup>[25]</sup>。

本试验主要研究了加药防草布覆盖栽培对赣南脐橙土壤性质、根系及叶片的影响。系统分析影响脐橙长势的各种因素以及加药防草布对柑橘黄龙病的防治效果,以期研发出脐橙栽培专用的加药防草布,这对于江西省脐橙果园土壤的可持续利用及提高脐橙果品质量具有重要意义。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验地点位于江西省赣州市赣南师范大学校内温网室试验基地(114.8°E,25.8°N),取样时间为 2022 年 5—10 月。本试验选用赣南脐橙的代表性品种纽荷尔,以目前江西省黄龙病流行区中性土壤为研究对象,采用加药防草布覆盖。盆栽土壤与有机肥按体积比 3:1 充分混合,有机肥质量约 3.5 kg/盆。混合前土壤的基础理化性质见表 1。各处理水、肥条件等管理措施均一致。每个处理包含 3 次重复,设计 6 个小区,15 株/小区,共 90 株。

试验根据不同加药量共设置 5 个处理:(1)清耕(CK);(2)覆盖防草布有效成分为 0 g/m<sup>2</sup> 浓度噻虫嗪(T0);(3)覆盖防草布有效成分为 0.379 7 g/m<sup>2</sup> 噻虫嗪(T1);(4)覆盖防草布有效成分为 0.759 4 g/m<sup>2</sup> 噻虫嗪(T2);(5)覆盖防草布有效成分为 1.139 1 g/m<sup>2</sup> 浓度噻虫嗪(T3)。

表 1 土壤基础理化性质

碱解氮含量 (mg/kg)	速效磷含量 (mg/kg)	速效钾含量 (mg/kg)	有机质含量 (g/kg)	pH 值
45.5	2.37	80.6	3.39	6.68

1.2 取样方法

盆栽试验布置完毕后,1 个月取样 1 次,取样方式为破坏性取样,持续半年时间。待测土壤样品取自 0~15 cm 土层,土壤样品分为 2 份:第 1 份先用不锈钢铲以块状挖取,分成粒径 1~2 cm 大小的土块,剔除杂质后,自然晾干,用于土壤理化性质、微生物数量、酶活性的测定;第 2 份新鲜土样剔除杂物后,4℃冰柜保存,用于土壤磷酸单酯酶活性的测定。脐橙根系从盆栽中取出后,装入自封袋,然后用清水洗净,用于根系活力及根系形态参数的测定。

1.3 试验方法

1.3.1 土壤中噻虫嗪含量的测定 准确称取过 20 目筛的土壤样品 5 g,分别添加 0.1、0.5、1.0 mg/L

的标准溶液,置于 50 mL 离心管中,加入 2.5 mL 纯水,涡旋 2 min;加入 5 mL 色谱纯乙腈,涡旋 2 min;超声 30 min,放入  $-18^{\circ}\text{C}$  冰箱;称取 2.0 g 无水硫酸镁和 0.5 g 氯化钠,加入上述离心管中,在 4 000 r/min 状态下离心 5 min,准确吸取上清液 1 mL,减压浓缩 ( $40^{\circ}\text{C}$ ) 至干,用 2.0 mL 甲醇重新溶解后过  $0.22\text{ }\mu\text{m}$  有机滤膜,在高效液相色谱仪上测定。

**1.3.2 土壤微生物数量测定** 采用牛肉膏蛋白胨培养基平板混菌法进行细菌数量的测定;采用孟加拉红培养基平板混菌法进行真菌数量的测定;采用高氏 1 号培养基平板混菌法测定放线菌数量<sup>[26]</sup>。

**1.3.3 土壤酶活性测定** 采用靛酚蓝比色法测定土壤脲酶的活性<sup>[27]</sup>;采用对硝基苯磷酸盐法测定土壤磷酸单酯酶的活性<sup>[28]</sup>;采用 3,5-二硝基水杨酸比色法测定土壤蔗糖酶的活性<sup>[29]</sup>。

**1.3.4 根系活力测定** 植株根系活力测定采用

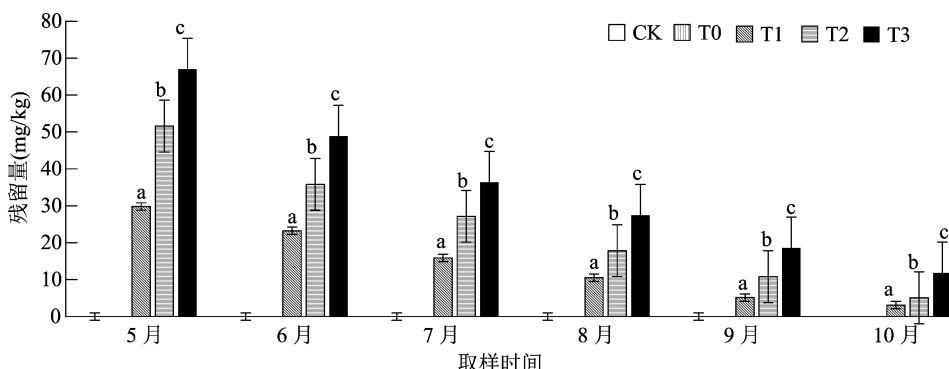
TTC 法<sup>[30]</sup>;根系形态参数采用 Epson 扫描仪获得,并使用 WinRHIZO 图像分析软件分析:将根系从营养钵中小心取出,洗净后轻放在测根盘上并将根系铺展开来,然后打开根系扫描仪扫描获取根系构型扫描图片,用植物图像分析仪测定各根系参数。

**1.3.5 数据处理与分析** 试验所得数据用 Excel 2019 进行处理和绘图,采用 SPSS 21 进行差异性检验(最小显著差异法)和相关性分析(皮尔逊相关系数法)。

## 2 结果与分析

### 2.1 农药残留

由图 1 可知,随着试验时间延长,加药处理的土壤噻虫嗪残留量都呈下降趋势,且都呈  $\text{T3} > \text{T2} > \text{T1}$  的趋势。加药防草布覆盖栽培 6 个月后,加药处理的噻虫嗪残留量相比第 1 个月都明显下降。



柱上不同小写字母表示同一时间处理间差异显著( $P < 0.05$ )。下同

图1 土壤噻虫嗪残留量

由图 2 可知,随着试验时间延长,叶片的噻虫嗪残留量先上升后下降,且每个月的噻虫嗪残留量都

是  $\text{T3} > \text{T2} > \text{T1}$ ,在 7 月达到峰值后又快速下降,10 月时残留量较低。

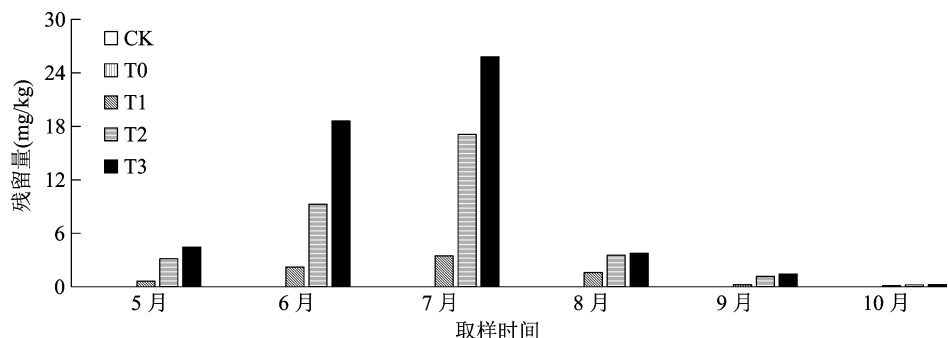


图2 叶片中噻虫嗪残留量

### 2.2 加药防草布栽培对脐橙根系活力的影响

防草布覆盖栽培后,5—6 月,各处理根系活力都上升,加药处理的根系活力大都低于 CK (T2 高于 CK);6—7 月,除 CK 外,其他处理根系活力都呈下

降趋势;7—10 月,CK、T0 都是先下降后上升,T2 先下降后上升再下降,T1 先上升后下降再上升,T3 则一直上升。整体而言,各处理都呈先升高后降低再升高的趋势,呈“N”字形。前期防草布覆盖处理的

根系活力大都低于 CK;后期加药防草布处理除 T2 外逐渐呈趋于或高于 CK 的趋势(图 3)。

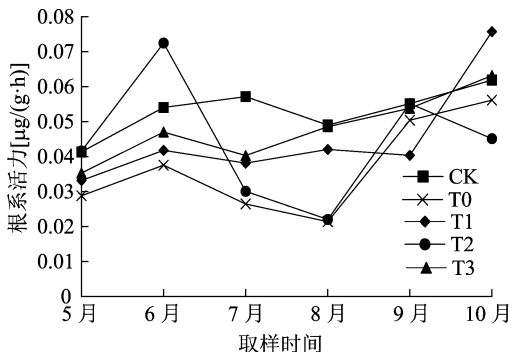


图3 加药防草布栽培对脐橙根系活力的影响

2.3 加药防草布栽培对脐橙根系形态参数的影响

由表 2 可知,防草布覆盖栽培 1 个月后,根总长、根表面积和根平均直径都是 CK 处理组最低,T1 处理组最高;T1 处理根体积最大,与 T3 差异最明显;T0 处理的根尖数最少,加药处理组根尖数均高于不加药处理。2 个月后,各个处理的根总长都有所上升,根总长、根表面积、根平均值直径和根尖数都是 CK 处理最低,T3 处理最高;CK 处理的根体积最低,且只与 T0 存在显著性差异。3 个月后,各个处理根形态参数都大幅提升,且各形态参数都是 CK 处理的最高,T2 处理的最低。4 个月后,T3 处理的各项形态参数大幅上升,根总长、根表面积、根体积

表 2 加药防草布栽培对脐橙根系形态参数的影响

取样时间	处理	根总长 (cm)	根表面积 (cm <sup>2</sup> )	根平均直径 (mm)	根体积 (cm <sup>3</sup> )	根尖数 (个)
5 月	CK	1 327 ± 205.39c	313 ± 16.37c	1.36 ± 0.12b	5.95 ± 0.72b	5 553 ± 224.86bc
	T0	1 692 ± 134.33abc	385 ± 3.42b	1.46 ± 0.10ab	7.07 ± 0.5ab	4 453 ± 533.87c
	T1	2 238 ± 203.41a	483 ± 49.36a	2.06 ± 0.44a	9.13 ± 1.32a	6 445 ± 775.70ab
	T2	2 082 ± 398.04ab	409 ± 1.09b	1.56 ± 0.15ab	6.58 ± 1.22b	6 863 ± 473.05ab
	T3	1 511 ± 6.50bc	360 ± 19.09bc	1.53 ± 0.22ab	5.67 ± 0.72b	7 036 ± 323.85a
6 月	CK	4 150 ± 135.21d	993 ± 34.72b	4.01 ± 0.21c	16.70 ± 1.06b	8 484 ± 612.35b
	T0	5 451 ± 158.62b	1 113 ± 72.67ab	4.75 ± 0.29ab	20.50 ± 1.67a	8 978 ± 714.18ab
	T1	5 591 ± 270.94b	1 110 ± 34.37ab	4.55 ± 0.42abc	19.90 ± 1.51ab	9 712 ± 574.17ab
	T2	4 795 ± 66.78c	1 013 ± 40.55b	4.07 ± 0.22bc	18.00 ± 0.25ab	8 832 ± 255.27ab
	T3	6 150 ± 212.76a	1 205 ± 77.59a	5.09 ± 0.13a	19.80 ± 1.09ab	10 222 ± 313.25a
7 月	CK	12 299 ± 1 693.10a	2 494 ± 262.35a	10.70 ± 1.67a	39.00 ± 1.74a	17 742 ± 2 152.43a
	T0	8 426 ± 1 025.72bc	1 669 ± 222.38b	6.50 ± 0.77b	28.40 ± 5.73bc	13 053 ± 1 400.07bc
	T1	10 845 ± 515.11ab	2 178 ± 144.24a	7.87 ± 0.17b	35.00 ± 1.42ab	16 541 ± 2 024.45ab
	T2	7 059 ± 611.83c	1 398 ± 145.56b	6.06 ± 0.78b	22.30 ± 5.56c	10 556 ± 1 517.45c
	T3	8 974 ± 251.11bc	1 686 ± 82.82b	6.78 ± 0.76b	29.10 ± 1.88abc	11 396 ± 912.17c
8 月	CK	11 637 ± 900.95e	2 272 ± 102.23e	10.50 ± 0.76d	35.20 ± 1.64d	23 493 ± 891.66c
	T0	21 495 ± 88.04b	4 274 ± 88.55b	18.70 ± 0.92a	70.80 ± 1.14b	40 351 ± 497.10b
	T1	18 561 ± 479.09c	3 366 ± 61.11c	13.70 ± 0.96bc	49.00 ± 1.35c	40 094 ± 1 248.04b
	T2	15 352 ± 623.88d	2 983 ± 117.20d	11.80 ± 1.12cd	48.90 ± 1.25c	41 955 ± 1 371.08b
	T3	31 163 ± 706.23a	6 171 ± 100.63a	14.50 ± 0.76b	99.40 ± 1.95a	51 378 ± 1 948.08a
9 月	CK	24 859 ± 598.93d	5 073 ± 103.39c	23.70 ± 0.95c	83.60 ± 2.32d	36 748 ± 1 057.12b
	T0	29 189 ± 638.88c	6 104 ± 29.14b	28.70 ± 1.06a	102.00 ± 2.01b	31 859 ± 837.21c
	T1	31 850 ± 777.29b	6 110 ± 138.68b	24.90 ± 1.26bc	94.80 ± 1.63c	30 512 ± 724.08c
	T2	29 049 ± 381.60c	6 088 ± 91.96b	27.60 ± 0.81a	104.00 ± 2.09b	27 044 ± 920.65d
	T3	37 079 ± 363.56a	7 475 ± 90.43a	26.60 ± 0.86ab	122.00 ± 1.44a	39 579 ± 829.44a
10 月	CK	27 602 ± 286.00d	5 085 ± 87.90d	16.80 ± 0.50d	76.70 ± 1.00c	34 407 ± 1 565.53b
	T0	39 936 ± 254.74b	7 311 ± 76.92b	29.50 ± 0.71a	109.00 ± 0.76a	44 315 ± 463.86a
	T1	22 852 ± 717.59e	3 961 ± 92.26e	12.60 ± 0.88e	54.40 ± 2.02d	22 021 ± 205.06c
	T2	35 736 ± 380.95c	6 475 ± 60.97c	19.60 ± 0.84c	94.90 ± 1.35b	35 458 ± 1 417.04b
	T3	41 753 ± 732.41a	7 622 ± 140.63a	24.20 ± 1.67b	112.00 ± 2.54a	43 424 ± 1 508.26a

注:同栏同列数据后不同小写字母表示处理间差异显著(P<0.05)。表 3 同。

和根尖数都为最高,且防草布覆盖处理的数值都要高于 CK 组;根平均直径则是 T0 最高,CK 处理组最低。5 个月后,根总长、根表面积和根体积都是 T3 最高,CK 最低;T0 的根平均直径最高,与 CK、T1 存在显著差异;T3 的根尖数亦是最高,T2 最低。6 个月后,除根尖数和根平均直径 T0 最高外,其余各项形态参数都是 T3 处理组的最高,T1 处理的各项参数都是最低,且与其他处理有显著差异。

#### 2.4 加药防草布覆盖栽培对土壤微生物的影响

由表 3 可知,防草布覆盖栽培 1 个月后,CK 处理的细菌和真菌数量最高,最低的分别是 T1 和 T2。CK 的放线菌数量最低,较最高的 T2 处理减少了 30.0%。2 个月后,各处理微生物数量都有所上升。细菌和真菌的数量都是 T3 处理最低,T1 处理最高。放线菌数量是 CK 处理最低。3 个月后,各处理微生物数量都明显下降,T0 的细菌数量最低,CK 最高。真菌、放线菌都是 T3 处理最高。微生物数量在加药处理组呈 T3 > T2 > T1 的趋势。4 个月后,T1 的细菌、真菌、放线菌数量都是最高,且加药处理随浓度增高,微生物数量降低。5 个月后,CK 处理组细菌、放线菌数量最高,T1 的真菌数量最高,加药处理中只有 T1 处理的真菌、放线菌数量高于 T0 处理,细菌数量则呈 T3 > T0 > T1 > T2。6 个月后,T2 细菌的数量最高,T3 处理组最低。T2 处理的真菌和放线菌数量最低,不加药处理的真菌数量低于加药处理(除 T2 外),在放线菌数量方面则相反,且 T0 数量最高。

#### 2.5 加药防草布覆盖栽培对土壤酶活性的影响

2.5.1 土壤脲酶活性 由图 4 可知,防草布覆盖栽培 1 个月后,T1 的土壤脲酶活性最高,T2 的脲酶活性最低;2 个月后,T1 和 CK 的脲酶活性更高,T3 的脲酶活性降到了最低;3 个月后,T1 的活性大幅下降至最低,T0 的脲酶活性最高,加药处理组土壤脲酶活性呈 T3 > T2 > T1;4 个月后,T1 的脲酶活性最高,且 T2 > T3;5 个月后,T1 脲酶活性最高,CK、T0、T3 处理间无显著差异;6 个月后,与 CK 相比,防草布覆盖处理的脲酶活性都增加了。

2.5.2 土壤磷酸酶活性 由图 5 可知,防草布覆盖栽培 1 个月后,T1 和 T2 的磷酸酶活性最高,T0 的磷酸酶活性最低,且 CK > T3;2 个月后,T0 处理的磷酸酶活性有所上升,加药处理的活性都下降,且 T1、T2 的磷酸酶活性最低;3 个月后,加药处理的磷酸酶活性都开始上升,CK 活性最高;4 个月后,各处

表 3 加药药防草布栽培对微生物数量的影响

取样时间	处理	细菌数量 ( $\times 10^6$ CFU/g)	真菌数量 ( $\times 10^5$ CFU/g)	放线菌数量 ( $\times 10^6$ CFU/g)
5 月	CK	3.22 $\pm$ 0.19a	0.52 $\pm$ 0.08a	1.82 $\pm$ 0.18a
	T0	1.91 $\pm$ 0.05b	0.43 $\pm$ 0.06ab	2.53 $\pm$ 0.46a
	T1	1.78 $\pm$ 0.18b	0.31 $\pm$ 0.05bc	2.17 $\pm$ 0.05a
	T2	1.89 $\pm$ 0.48b	0.23 $\pm$ 0.01c	2.60 $\pm$ 0.40a
	T3	2.67 $\pm$ 0.66ab	0.39 $\pm$ 0.08abc	2.03 $\pm$ 0.31a
6 月	CK	4.83 $\pm$ 1.38a	5.27 $\pm$ 0.52a	9.96 $\pm$ 0.06c
	T0	4.13 $\pm$ 0.74a	3.82 $\pm$ 0.61b	16.65 $\pm$ 0.14a
	T1	6.05 $\pm$ 0.21a	6.25 $\pm$ 0.45a	15.75 $\pm$ 2.33a
	T2	5.13 $\pm$ 0.88a	3.72 $\pm$ 0.03b	11.58 $\pm$ 0.39bc
	T3	3.93 $\pm$ 0.67a	3.65 $\pm$ 0.52b	14.06 $\pm$ 1.5ab
7 月	CK	2.89 $\pm$ 0.21a	0.55 $\pm$ 0.16d	2.95 $\pm$ 0.07b
	T0	1.31 $\pm$ 0.25b	0.92 $\pm$ 0.01c	2.98 $\pm$ 0.45b
	T1	1.89 $\pm$ 0.58ab	0.49 $\pm$ 0.1d	2.19 $\pm$ 0.07c
	T2	1.92 $\pm$ 0.26ab	1.24 $\pm$ 0.05b	3.93 $\pm$ 0.10a
	T3	2.71 $\pm$ 0.63a	1.50 $\pm$ 0.09a	4.10 $\pm$ 0.02a
8 月	CK	1.47 $\pm$ 0.33a	0.27 $\pm$ 0.08ab	2.66 $\pm$ 0.22a
	T0	1.2 $\pm$ 0.07a	0.35 $\pm$ 0.08ab	1.92 $\pm$ 0.17b
	T1	1.88 $\pm$ 0.6a	0.42 $\pm$ 0.05a	1.92 $\pm$ 0.09b
	T2	1.35 $\pm$ 0.13a	0.29 $\pm$ 0.06ab	1.32 $\pm$ 0.18c
	T3	1.27 $\pm$ 0.40a	0.20 $\pm$ 0.04b	1.21 $\pm$ 0.30c
9 月	CK	3.63 $\pm$ 0.39a	0.78 $\pm$ 0.14a	4.78 $\pm$ 0.25a
	T0	2.25 $\pm$ 0.14ab	0.48 $\pm$ 0.06b	3.35 $\pm$ 0.36b
	T1	2.10 $\pm$ 0.07ab	0.80 $\pm$ 0.05a	3.78 $\pm$ 0.11b
	T2	1.73 $\pm$ 1.24b	0.32 $\pm$ 0.05b	3.23 $\pm$ 0.18b
	T3	3.42 $\pm$ 0.45a	0.36 $\pm$ 0.06b	2.58 $\pm$ 0.25c
10 月	CK	2.69 $\pm$ 0.08c	0.97 $\pm$ 0.10b	3.00 $\pm$ 0.14ab
	T0	3.40 $\pm$ 0.29b	0.92 $\pm$ 0.08b	3.38 $\pm$ 0.46a
	T1	2.73 $\pm$ 0.04c	1.06 $\pm$ 0.15b	2.18 $\pm$ 0.11cd
	T2	4.43 $\pm$ 0.04a	0.38 $\pm$ 0.09c	1.70 $\pm$ 0.14d
	T3	1.83 $\pm$ 0.11d	1.29 $\pm$ 0.13a	2.63 $\pm$ 0.18bc

理的磷酸酶活性都上升了,T2 大幅上升至活性最高;5 个月后,各处理磷酸酶活性持续上升,CK 磷酸酶活性最低,T3 磷酸酶活性最高。6 个月后,T0 的磷酸酶活性高于 CK,且加药处理 T1、T2、T3 的磷酸酶活性都低于不加药处理 T0,同时 T1、T2、T3 之间的磷酸酶活性与加药浓度呈负相关,即三者的磷酸酶活性由大到小为 T1 > T2 > T3。

2.5.3 土壤蔗糖酶活性 由图 6 可见,防草布覆盖栽培 1 个月后,T0 处理蔗糖酶活性最高,加药处理中只有 T1 活性比 CK 低;2 个月后,CK 的蔗糖酶活性最高,加药处理中只有 T1 的活性高于 T0;3 个月后,CK 的蔗糖酶活性最高,加药处理的蔗糖酶活性

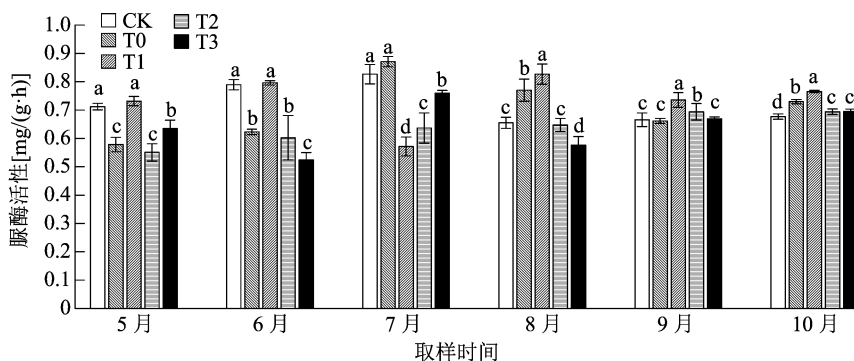


图4 加药防草布栽培对土壤脲酶活性的影响

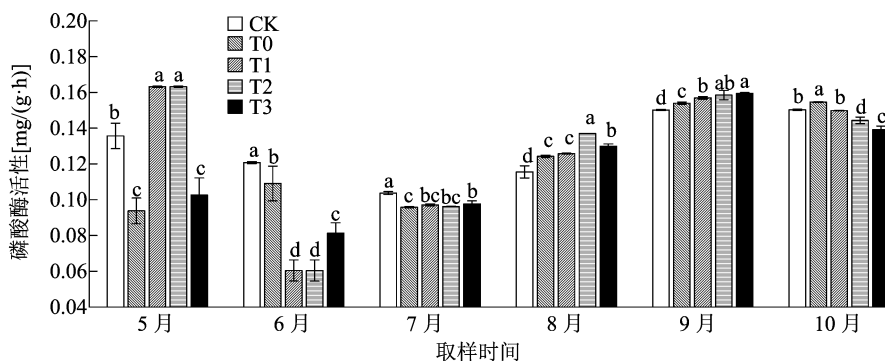


图5 加药防草布栽培对土壤磷酸酶活性的影响

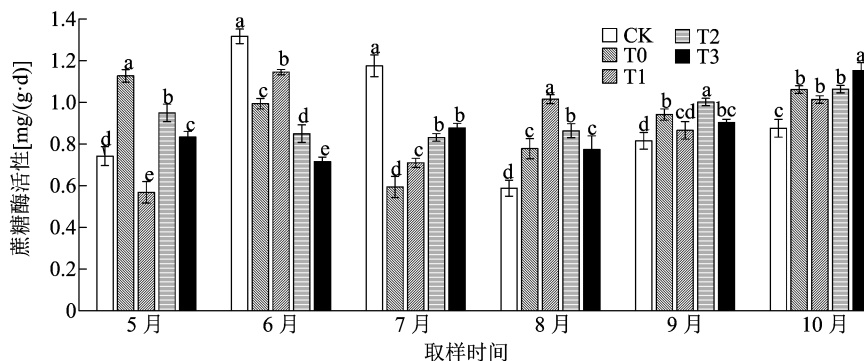


图6 加药防草布栽培对土壤蔗糖酶活性的影响

高于不加药处理;4 个月后,CK 处理蔗糖酶活性最低,且加药处理的蔗糖酶活性高于不加药处理;5 个月,CK 的蔗糖酶活性仍是最低,T2 的蔗糖酶活性最高,且  $T0 > T3 > T1$ ;6 个月后,各处理的蔗糖酶活性都有所提高,CK 处理的蔗糖酶活性最低,T3 的蔗糖酶活性最高,且  $T0 > T2 > T1$ 。

## 2.6 微生物数量和土壤酶活性相关性分析

由表 4 可知,防草布覆盖栽培下,细菌、真菌和放线菌三者间的数量都呈极显著正相关,其中 1 个的数量增长,另外 2 个的数量也会增长;细菌、真菌、放线菌的数量与土壤脲酶活性不存在显著相关性,与土壤磷酸酶活性呈极显著负相关,而与土壤蔗糖酶活性则呈显著或极显著正相关;土壤酶活性之间

除蔗糖酶和脲酶呈显著正相关外,其他酶活性之间不存在相关性。

## 3 讨论与结论

杨志晓等对烤烟根系活力的研究发现,覆盖栽培下的根系活力显著高于清耕栽培<sup>[31]</sup>。本试验研究结果与之相似,随着覆盖栽培时间的延长,各处理的根系活力均有所提高,防草布覆盖处理的根系活力总体趋于或高于 CK,且加药处理的根系活力大都高于不加药处理,加药处理的增长幅度除 T2 外都高于 CK,这说明加药防草布覆盖栽培有助于提高赣南脐橙的根系活力。从试验结果来看,防草布覆盖处理的根系形态参数较 CK 整体显著增加,尤其

表 4 微生物和土壤酶活性相关性分析

指标	相关系数					
	细菌数量	真菌数量	放线菌数量	脲酶数量	磷酸酶活性	蔗糖酶活性
细菌数量	1.000					
真菌数量	0.770 **	1.000				
放线菌数量	0.718 **	0.911 **	1.000			
脲酶活性	0.045	0.080	-0.104	1.000		
磷酸酶活性	-0.350 **	-0.571 **	-0.552 **	0.049	1.000	
蔗糖酶活性	0.413 **	0.361 **	0.214 *	0.208 *	0.018	1.000

注：\*、\*\* 分别表示在 0.05、0.01 水平（双侧）上显著相关。

T3 处理,这与杨萍对苹果根系的研究结果<sup>[21]</sup>相似,覆盖处理使苹果根系总根长、根系表面积和根系体积有所提高,说明防草布覆盖处理有助于促进植株根系形态的生长。但加药处理组除 T3 外的其他处理根系形态参数均低于 T0,这可能与加药浓度有关,一定范围内,浓度越高,根系形态表现越好。

本试验研究结果表明,随着处理时间的延长,后期防草布覆盖处理组的细菌和真菌数量增长幅度大体上要高于 CK,且整体上加药处理的数量比不加药处理低,这说明防草布覆盖处理能促进微生物的生长,加药处理抑制细菌、真菌的生长,后期出现的加药处理下细菌或者真菌数量更高的情况,可能是因为农药降解、浓度变低。放线菌的数量基本上都是 T0 处理高于 CK,这说明防草布覆盖可以促进放线菌数量增长。这与李正鹏等在烟田进行覆盖栽培试验的结果相似:覆盖处理的根际土壤放线菌总量显著高于不覆盖处理 ( $P < 0.05$ )<sup>[32]</sup>。但加药处理的放线菌数量又要比 CK 处理的低,这说明加药防草布抑制了放线菌的数量增长。

本试验研究结果表明,整体上 CK 和 T0 处理的脲酶活性都先增后减,T1 处理的脲酶活性大都高于 T2 和 T3 处理。随着处理时间的延长,CK 的脲酶活性低于不加药防草布覆盖处理,说明防草布覆盖在一定程度上可以提高脲酶活性,前期出现的 CK 处理活性更高的现象,可能与降水有关,未加防草布覆盖的土壤透气性更好,对微生物影响更小。这与要凯等的研究结果相似:覆盖栽培可提高马铃薯连作田土壤脲酶活性<sup>[33]</sup>。不同时期加药处理的脲酶活性无明显规律,这说明土壤脲酶活性与加药处理没有绝对的关系,但与加药浓度有关。总体上加药处理的磷酸酶活性先降低后升高,随着处理时间的延长,加药防草布处理的磷酸酶活性高于 CK,且呈

现低浓度促进,高浓度抑制的规律,这说明加药防草布在一定程度上可以提高磷酸酶活性。防草布覆盖栽培前期,CK 的磷酸酶活性较高,后期防草布覆盖栽培的活性高于 CK,说明防草布覆盖有利于提高土壤磷酸酶的活性。有研究也表明,地膜覆盖处理的碱性磷酸酶和蔗糖酶活性较无地膜处理高<sup>[34]</sup>。与脲酶、磷酸酶活性规律一样,总体上在防草布覆盖栽培的前期,CK 处理的蔗糖酶活性较防草布覆盖处理更高,后期防草布覆盖的蔗糖酶活性会高于 CK。陈俊朴等在樱桃园的覆盖栽培试验显示,防草布覆盖栽培下土壤的蔗糖酶、脲酶活性均显著高于清耕处理<sup>[35]</sup>,且加药处理的蔗糖酶活性基本高于不加药处理,这说明加药防草布覆盖可以提高蔗糖酶活性。

综上所述,可得出以下结论:加药防草布覆盖栽培前期各处理根系活力都上升,防草布覆盖处理的根系活力大都低于 CK。各处理都呈先升高后降低再升高的趋势,整体规律呈“N”字形。后期加药防草布处理根系活力总体趋于或高于 CK。防草布覆盖栽培在一定程度上确实有利于微生物数量的生长。但加药防草布覆盖对其有一定的抑制作用,且影响效果与加药浓度密切相关。对比 CK 而言,防草布覆盖有利于提高脲酶、磷酸酶、蔗糖酶的活性,加药防草布对磷酸酶、蔗糖酶的活性有促进作用,且 T3 处理效果较好,但对脲酶活性的影响无绝对的关系。

参考文献:

[1] 姚廷山,周彦,周常勇. 亚洲柑橘木虱的发生与防治研究进展[J]. 果树学报,2018,35(11):1413-1421.  
[2] Meyer M D, Hausbeck M K. Using soil-applied fungicides to manage *Phytophthora* crown and root rot on summer squash[J]. Plant Disease,2013,97(1):107-112.

- [3] Byrne F J, Humeres E C, Urena A A, et al. Field evaluation of systemic imidacloprid for the management of avocado thrips and avocado lace bug in California avocado groves[J]. Pest Management Science, 2010, 66(10): 1129 – 1136.
- [4] Leib B G, Jarrett A R. Comparing soil pesticide movement for a finite – element model and field measurements under drip chemigation[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2003, 38(1): 55 – 69.
- [5] Mansour R, Youssfi F E, Lebdi K G, et al. Imidacloprid applied through drip irrigation as a new promising alternative to control mealybugs in Tunisian vineyards[J]. Journal of Plant Protection Research, 2010, 50(3): 314 – 319.
- [6] Reding M E, Zhu H P, Derksen R. Drip chemigation with imidacloprid and nematodes for control of scarab larvae in nursery crops[J]. Journal of Environmental Horticulture, 2008, 26(2): 93 – 100.
- [7] 孟华岳. 滴灌施药对柑橘木虱的防治效果及药剂分布[D]. 广州: 华南农业大学, 2018.
- [8] 熊淑萍, 王严峰, 王小纯, 等. 不同冬小麦品种根际土壤氮素转化微生物及酶活性分析[J]. 麦类作物学报, 2014, 34(6): 782 – 786.
- [9] 黄召存, 陈 娇, 熊 瑛, 等. 保护性耕作对蚕豆根际土壤微生物数量和酶活性的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2018, 36(3): 79 – 85.
- [10] 林雁冰, 薛泉宏, 颜 霞. 覆膜条件下小麦和玉米根系化感作用对土壤微生物的影响[J]. 西北农业学报, 2010, 19(1): 92 – 95.
- [11] Brennan E B, Boyd N S, Smith R F, et al. Comparison of rye and legume – rye cover crop mixtures for vegetable production in California[J]. Agronomy Journal, 2011, 103(2): 449 – 463.
- [12] 李旺霞, 陈彦云, 陈科元, 等. 不同覆膜栽培对马铃薯土壤酶活性和土壤微生物的影响[J]. 西南农业学报, 2015, 28(5): 2154 – 2157.
- [13] 宋凤斌. 玉米地膜覆盖增产的土壤生态学基础[J]. 吉林农业大学学报, 1991, 13(2): 4 – 7, 93.
- [14] 罗 玲, 钟 奇, 王 进, 等. 不同覆盖材料对避雨葡萄园土壤微生物特征及葡萄生长与品质的影响[J]. 核农学报, 2021, 35(2): 471 – 480.
- [15] Paz – Ferreira J, Fu S L. Biological indices for soil quality evaluation: perspectives and limitations[J]. Land Degradation & Development, 2016, 27(1): 14 – 25.
- [16] 管 冠, 郭富鹏, 郭等等, 等. 生草栽培对赣南脐橙土壤生物学性质及根系分泌物的影响[J]. 江苏农业科学, 2023, 51(11): 202 – 212.
- [17] 张 剑. 垄膜集雨种植对土壤特性及早作向日葵生长发育的影响[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2018.
- [18] 孙 萌, 刘 洋, 李 寒, 等. 有机物覆盖对核桃园土壤有机碳库及酶活性的影响[J]. 植物营养与肥科学报, 2018, 24(1): 270 – 278.
- [19] 樊 俊, 谭 军, 邓建强, 等. 不同地膜的降解性能及对烟株生长和土壤环境的影响[J]. 中国烟草科学, 2019, 40(4): 22 – 28, 36.
- [20] Zhang K, Tian C Y, Li C J. Root growth and spatio – temporal distribution of three common annual halophytes in a saline desert, northern Xinjiang[J]. Journal of Arid Land, 2012, 4(3): 330 – 341.
- [21] 杨 萍. 表层土壤调控措施对红富士苹果根系形态及生理的影响[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2013.
- [22] 李泽斌. 防草布覆盖对柑橘果园土壤环境及柑橘树体生长发育的影响[D]. 广州: 华南农业大学, 2019.
- [23] 王 进. 覆盖对山地李园土壤性状和树体生长发育的影响[D]. 重庆: 西南大学, 2008.
- [24] 周昌明, 李援农, 银敏华, 等. 连垄全覆盖降解膜集雨种植促进玉米根系生长提高产量[J]. 农业工程学报, 2015, 31(7): 109 – 117.
- [25] 马天爽. 板栗根系及土壤环境对地膜覆盖的响应[D]. 北京: 北京林业大学, 2020.
- [26] 许光辉. 土壤微生物研究法[M]. 北京: 科学出版社, 1985.
- [27] 黄 娟, 李 稹, 张 健. 改良靛酚蓝比色法测土壤脲酶活性[J]. 土木建筑与环境工程, 2012, 34(1): 102 – 107.
- [28] 钟 敏, 黄益宗, 伍 文, 等. 丛枝菌根真菌群落对白三叶草植株生物量磷吸收和土壤磷酸单酯酶活性的影响[J]. 农业环境科学学报, 2012, 31(9): 1770 – 1776.
- [29] 王艮梅, 罗琳琳, 郑聚锋. 苏北不同代次和林龄杨树人工林土壤酶活性季节变化特征[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2014, 38(4): 45 – 50.
- [30] 朱秀云, 梁 梦, 马 玉. 根系活力的测定(TTC 法)实验综述报告[J]. 广东化工, 2020, 47(6): 211 – 212.
- [31] 杨志晓, 张小全, 毕庆文, 等. 不同覆盖方式对烤烟成熟期根系活力和叶片衰老特性的影响[J]. 华北农学报, 2009, 24(2): 153 – 157.
- [32] 李正鹏, 时 焦, 王海波, 等. 单株立体覆膜栽培对烟田土壤微生物数量的影响[J]. 烟草科技, 2017, 50(12): 38 – 43.
- [33] 要 凯, 赵章平, 康益晨, 等. 沟垄覆膜对连作马铃薯土壤酶活性、理化性状及产量的影响[J]. 作物学报, 2019, 45(8): 1286 – 1292.
- [34] 马晓楠, 杨振兴, 周怀平, 等. 不同地膜覆盖对谷子土壤水热动态及酶活性的影响[J]. 山西农业科学, 2022, 50(6): 836 – 845.
- [35] 陈俊朴, 黄圣杰, 陈 涛, 等. 不同地面覆盖模式对櫻桃园土壤活性有机碳组分及相关酶活性的影响[J]. 西南农业学报, 2021, 34(11): 2465 – 2472.