

管冠,郭等等,李倩磊,等. 生草栽培对纽荷尔脐橙根系生长及土壤微生物群落的影响[J]. 江苏农业科学,2021,49(17):220-225.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2021.17.039

生草栽培对纽荷尔脐橙根系生长 土壤微生物群落的影响

管冠,郭等等,李倩磊,姚锋先,刘桂东

(赣南师范大学国家脐橙工程技术研究中心,江西赣州 341000)

摘要:赣南地区是我国脐橙主产区,脐橙产业已经成为赣南地区的支柱产业,然而传统清耕果园土壤退化现象日益突出,严重制约了当地脐橙产业的发展。采用生草盆栽试验,以裸露土壤为对照,比较各生草处理的 pH 值、有机质含量、碱解氮含量、速效磷含量、速效钾含量及根系生长状况、土壤微生物数量、土壤微生物多样性。结果表明,相比裸露土壤,无分隔处理 SC4 和尼龙袋分隔处理 SC3 显著提高了土壤有机质含量、脐橙根系生长发育、微生物数量、AWCD 值和 Shanon - Wiener、PD - Whole - tree 指数,且尼龙袋分隔处理 SC3 中独有的 OTU 数量显著高于其他处理。生草栽培有利于纽荷尔脐橙根系生长、土壤理化性状改善及脐橙产业的可持续发展。

关键词:生草栽培;纽荷尔脐橙;根系;土壤微生物;赣南地区

中图分类号:S666.406 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2021)17-0220-06

赣南地区年产百万吨脐橙,是全国面积最大、产量最高的产区,在世界脐橙产业中也数一数二,被誉为“世界橙乡”^[1]。其中,纽荷尔脐橙种植面积最大^[2],赣南脐橙有肉质脆嫩、化渣,风味芳香,口感酸甜适中等特色,果实远销海内外。近年来,其种植规模大大增加,已经成为赣南地区经济发展的支柱产业。赣南地域主要以山地和丘陵为主,土壤有机质含量低、酸度高,赣南地区的果农主要采用传统的清耕栽培技术。由此,土壤肥力下降问题越

来越严重,果园的品质和产量也日益下降^[3],这不仅影响果农的经济情况,也严重制约我国脐橙产业的可持续发展。为了解决这一问题,政府引进生草栽培技术,并大力推广。果园生草栽培就是在果园全园或果树行间人工种草或者自然生草的栽培模式。它具有改善土壤结构、提高土壤肥力^[4-6]、提高果园的品质和产量的优势^[7]。

植物根系直接影响植物地上部碳水化合物的合成和转化。植物根系越发达、根表面积越大,则对土壤养分吸收能力越强。根系的生长发育受土壤理化性质及土壤养分含量的影响,同时,根系的生长状况又会对土壤环境产生影响。土壤理化性质越优越、养分含量越高,越能促进植物根系的生长发育,进而促进植物的营养生长^[7]。根际土壤微生物是土壤生态结构中最活跃的组成部分,它在腐

收稿日期:2021-03-12

基金项目:江西省重点研发计划重大项目(编号:20192ACB80009);

江西省教育厅科技项目(编号:GJJ180759);江西省自然科学基金(编号:20202BABL215029)。

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。

[21]肖琼,王齐齐,邬磊,等. 施肥对中国农田土壤微生物群落结构与酶活性影响的整合分析[J]. 植物营养与肥料学报,2018,24(6):1598-1609.

[22]Geisseler D, Linquist B A, Lazicki P A. Effect of fertilization on soil microorganisms in paddy rice systems—a meta-analysis[J]. Soil Biology & Biochemistry, 2017, 115:452-460.

[23]Luo G W, Li L, Friman V P, et al. Organic amendments increase crop yields by improving microbe-mediated soil functioning of agroecosystems: a meta-analysis[J]. Soil Biology & Biochemistry, 2018, 124:105-115.

[24]Sarathchandra S U, Ghani A, Yeates G W, et al. Effect of nitrogen and phosphate fertilisers on microbial and nematode diversity in pasture soils[J]. Soil Biology & Biochemistry, 2001, 33(7/8):953-964.

[25]韩新忠,朱利群,杨敏芳,等. 不同小麦秸秆还田量对水稻生长、土壤微生物生物量及酶活性的影响[J]. 农业环境科学学报, 2012, 31(11):2192-2199.

[26]刘云. 黄河三角洲盐碱地不同防护林类型的土壤酶活性[D]. 泰安:山东农业大学,2013:22-31.

[27]洪常青,何忠俊,鱼海霞. 三江并流区暗棕壤酶活性特征研究[J]. 云南农业大学学报(自然科学),2013,28(6):857-864.

殖质的形成、有机质及矿物质的分解、土壤养分的循环和转化过程中发挥着重要作用^[8]。根际微生物群落组成不仅反映生物活性水平,其代谢产物和植物根系分泌物还作用于土壤环境,影响土壤养分的吸收利用以及植物根系生态系统^[9]的稳定性。因此,研究根际土壤微生物的影响因素,对于改善土壤环境、提高土壤肥力、促进根系生长和土壤的可持续利用具有重要意义^[10]。大量研究表明,影响根际土壤微生物的因素主要有土壤环境、土壤微生物自身、植被多样性、动物多样性等^[11-12]。而生草栽培模式有助于改善土壤物理性质,增加土壤养分含量与土壤微生物种类数量^[13],促进植物根系和果树的生长。植物土壤-根系-微生物三者相互影响,相互促进。

脐橙果园土壤退化是长期性的持续过程,在笔者前期的田间试验中发现,生草栽培模式能够很好地提高土壤酶活性,有效地控制果园土壤的退化过程,但对于其中的机制研究还不够深入。因此,探讨生草栽培对脐橙根系生长和土壤微生物群落的影响具有重要意义。本研究以赣南脐橙园土壤为研究对象,设计盆栽试验探讨生草栽培对脐橙根系、土壤微生物群落的影响。研究结果有助于明确脐橙根系生长对生草栽培的响应机制,从理论上丰富脐橙根际环境的微生物动态变化过程。

1 材料与方法

1.1 试验材料与盆栽试验设计

选取长势基本均一的枳砧纽荷尔为供试植株,购于赣州江口无病毒苗木繁育基地,设计盆栽试验。试验于 2019 年 12 月在赣南师范大学脐橙学院西侧网棚进行,生草栽培草种选用田间常见的百喜草(*Paspalum notatum* Flugge),播种量为 2 g/盆,以裸露土壤的清耕栽培模式为对照。试验共设置 5 个处理:(1)裸露土壤,无植株种植,无百喜草覆盖(CK);(2)种植纽荷尔植株,无百喜草覆盖(SC1);(3)种植纽荷尔植株,覆盖百喜草,塑料盆分隔(SC2);(4)种植纽荷尔植株,覆盖百喜草,尼龙袋分隔(SC3);(5)种植纽荷尔植株,覆盖百喜草,无分隔(SC4)。试验采用完全随机区组试验设计,共设置 6 个小区,每小区包含 5 个处理,每处理包含 3 次重复。

塑料盆分隔(完全分隔):将纽荷尔脐橙苗移栽于直径 40 cm、高 35 cm 的塑料花盆中,然后将其整体栽种在直径 50 cm、高 45 cm 的营养钵内(总装土

量为 40 kg,下同)。在塑料盆和营养钵之间种植百喜草 2 g(下同)。此分隔方式下,脐橙根系和草根完全隔离,草根本体及其根系分泌物均不可对脐橙根系产生影响。

尼龙袋分隔:将纽荷尔脐橙苗移栽于直径 40 cm、高 35 cm 的 300 目尼龙袋中,然后将其整体栽种在直径 50 cm、高 45 cm 的营养钵内。在尼龙袋和营养钵之间种植百喜草。此分隔方式下,草根本体对脐橙根系没有影响,但草根根系分泌物可对脐橙根系产生影响,且水、肥也可自由通过。

无分隔种植:将纽荷尔脐橙幼苗移栽于直径 50 cm、高 45 cm 的营养钵内。在距离树干 15 cm 外的周围种植百喜草。此栽培情况下,脐橙根系和草根均可自由生长,二者的根系本体及根系分泌物均可互相作用。

1.2 土壤及植物根系样品的采样时间与采样方法

在盆栽试验布置完毕后,6 个月后取样 1 次、12 个月后取样 1 次,试验持续 1 年。将土样剔除杂物后,装入自封袋内,并放入冰盒。带回实验室后分成 2 份,一份新鲜土样过筛(2 mm)后 4 ℃ 保存,用于微生物多样性分析;另一份土样经去杂风干过筛后 4 ℃ 保存,用于土壤理化性质的测定。把脐橙根系从盆栽里小心取出,清水冲洗干净,装入牛皮纸信封后带回实验室待测。

1.3 试验方法

1.3.1 土壤基本理化性状分析 土壤基本理化性质的测定参照文献[14]进行。土壤 pH 值的测定采用 pH 计法测定(水土比 2:1);土壤有机质含量的测定采用 $H_2SO_4-K_2CrO_7$ 高温外热-容量法;土壤碱解氮含量的测定采用碱解扩散法;土壤速效磷含量的测定采用碳酸氢钠浸提-钼锑抗比色法;土壤速效钾含量的测定采用 NH_4OAc 浸提、火焰光度法。

1.3.2 脐橙根系分析 主要测定指标包括根总长、根平均直径、根总面积、根总体积、根直径等级分布及根尖端长分布等根系形态信息。具体采用多功能根系扫描仪测定相应指标^[15]。

1.3.3 土壤三大类群微生物数量测定 细菌、真菌、放线菌分别采用牛肉膏蛋白胨培养基平板混菌法、孟加拉红培养基平板混菌法、高氏 1 号培养基平板混菌法培养,并测定其数量^[16]。

1.3.4 土壤微生物群落功能多样性的测定 称取 10 g 新鲜土样与 100 mL 生理盐水混匀后制备土壤悬液,置于三角瓶中,25 ℃、200 r/min 振荡 10 min(摇床),

稀释至 10^{-3} 浓度梯度,用移液枪吸取 150 μL 接种于 Biolog Eco 微平板,25 $^{\circ}\text{C}$ 恒温培养 7 d,每隔 24 h 使用多功能酶标仪读数(590 nm),通过计算获取平均颜色变化率(average well colourdevelopment,AWCD)^[17]。

1.3.5 土壤细菌群落结构分析 土壤细菌 16S 特异区段建库测序:在试验 12 个月后,选择合格的根际土壤总 DNA,使用 16S 小亚基核糖体片段的特异引物加接头及 barcode 的融合引物对总 DNA 进行 PCR 扩增。PCR 扩增产物通过试剂盒进行磁珠吸附回收,并使用 LabChip GX(Caliper,美国)检测回收片段的大小及浓度,委托北京诺禾致源科技股份有限公司对柑橘根际的 16S 小亚基核糖体特异片段进行高通量测序。测序引物序列为:534f,5′-CCAG CAGCCGCGGTA AT-3′;783r,5′-ACCMGGGTATC TA ATCCKG-3′。

1.4 数据统计分析

试验测定数据采用 Excel 2007 进行处理,采用

SAS 10.0 统计分析软件进行方差分析、显著性分析。

2 结果与分析

2.1 不同生草栽培对土壤基本理化性质的影响

由表 1 可知,与土壤本底相比,除土壤速效磷、速效钾外,生草栽培显著提高了脐橙土壤 pH 值、有机质含量、碱解氮含量。试验开始 6 个月后,与 CK 相比,脐橙土壤 pH 值、速效磷含量下降,SC4 处理土壤有机质含量最高,显著高于 SC2、SC1、CK、SC3 处理,其增幅分别为 38.86%、38.52%、34.12%、21.66%。试验 12 个月后,与试验 6 个月相比,各生草处理组土壤 pH 值、碱解氮、速效钾含量均下降,SC3、SC4 处理土壤速效磷含量上升,其中 SC4 处理的土壤有机质含量显著高于 SC1、CK、SC2 处理,其幅度分别为 50.12%、49.76%、49.03%,SC3 处理的土壤有机质含量与 SC4 没有显著差异。试验结果表明,生草栽培有利于改善土壤环境。

表 1 不同生草栽培下土壤基本理化性质

时间 (个月)	处理	pH 值	有机质含量 (g/kg)	碱解氮含量 (mg/kg)	速效磷含量 (mg/kg)	速效钾含量 (mg/kg)
0	土壤本底	4.73 ±0.08d	7.34 ±0.31d	33.8 ±5.1b	6.73 ±1.03c	127 ±21.0b
6	CK	5.50 ±0.04a	8.50 ±0.23c	45.6 ±4.9a	10.10 ±0.56a	177 ±15.0a
	SC1	4.98 ±0.07c	8.23 ±0.26c	50.8 ±3.7a	8.21 ±0.70b	169 ±14.0a
	SC2	5.06 ±0.05c	8.21 ±0.15c	54.5 ±3.8a	7.71 ±0.36c	164 ±8.3a
	SC3	5.24 ±0.09b	9.37 ±0.07b	46.2 ±3.1a	9.26 ±0.07b	182 ±6.0a
	SC4	5.45 ±0.09a	11.40 ±0.48a	50.2 ±6.7a	9.95 ±0.36a	171 ±9.9a
12	CK	5.32 ±0.09a	8.18 ±0.12b	43.7 ±3.2a	9.40 ±0.35a	137 ±9.0a
	SC1	4.84 ±0.09b	8.16 ±0.05b	42.0 ±1.9a	6.86 ±0.55c	110 ±14.0b
	SC2	4.86 ±0.10b	8.22 ±0.14b	42.7 ±1.0a	7.51 ±0.32b	119 ±15.0ab
	SC3	5.23 ±0.09a	9.88 ±0.52a	46.2 ±2.3a	9.58 ±0.48a	134 ±11.0a
	SC4	5.33 ±0.11a	12.25 ±0.61a	44.9 ±2.6a	10.10 ±0.55a	125 ±14.0ab

注:数据以“平均值±标准差”表示。同列数据后不同小写字母表示处理间差异显著($P<0.05$)。表 2 至表 5 同。

2.2 生草栽培对纽荷尔脐橙根系生长的影响

由表 2 可知,随盆栽种植时间的推移,除根平均直径外,脐橙根总长、根表面积、根体积、根尖数均显著增加。试验开始 6 个月后,与幼苗根相比,SC4、SC3、SC2、SC1 处理脐橙根总长、根表面积、根体积、根尖数均显著增加,其中 SC4、SC3 处理增加最显著。试验 12 个月后,与试验 6 个月相比,除脐橙根平均直径明显下降外,脐橙根总长、根表面积、根体积、根尖数均明显增加,其中 SC4、SC3 处理增加最明显。试验结果表明,生草栽培可以促进脐橙根系的生长发育。

2.3 生草栽培对纽荷尔脐橙土壤微生物数量的影响

由表 3 可知,生草栽培下,脐橙土壤微生物中细菌数量最高,放线菌数量最稳定。试验开始 6 个月后,SC2 处理细菌数量最多,显著高于 CK、SC1 处理,其幅度分别为 80.00%、28.57%;SC4、SC3 处理细菌数量分别为 3.3×10^5 、 3.2×10^5 CFU/g,且与 SC2 处理差异不显著。试验 12 个月后,各生草处理土壤微生物数量与 6 个月时趋势类似,SC3 处理细菌数量最多,显著高于 CK、SC1、SC4 处理,其幅度分别为 76.19%、42.31%、19.35%,SC2 与 SC3 处理

表 2 不同生草栽培下纽荷尔脐橙的根系生长指标

时间 (个月)	处理	根总长 (cm)	根表面积 (cm ²)	平均直径 (mm)	根体积 (cm ³)	根尖数 (个)
0	幼苗根	1 384 ± 114c	479 ± 128c	1.14 ± 0.17b	9.36 ± 0.23f	1 342 ± 232d
6	SC1	3 031 ± 143b	826 ± 78b	1.86 ± 0.09b	17.15 ± 0.21c	2 753 ± 32c
6	SC2	2 996 ± 82b	835 ± 66b	1.95 ± 0.08b	16.21 ± 0.24d	2 679 ± 110c
	SC3	3 596 ± 103a	1 116 ± 78a	2.49 ± 0.14a	25.51 ± 0.74b	3 372 ± 113b
	SC4	3 691 ± 143a	1 177 ± 106a	2.54 ± 0.18a	28.29 ± 1.10a	3 807 ± 134a
12	SC1	6 207 ± 140c	1 799 ± 127b	1.07 ± 0.02a	38.70 ± 1.62b	9 624 ± 144b
	SC2	6 742 ± 198b	1 860 ± 82b	0.95 ± 0.03b	38.98 ± 0.30b	9 842 ± 293b
	SC3	9 298 ± 187a	3 697 ± 220a	1.06 ± 0.06ab	84.77 ± 5.24a	13 386 ± 78a
	SC4	8 910 ± 316a	4 039 ± 136a	0.99 ± 0.03b	91.86 ± 4.87a	13 235 ± 479a

表 3 不同生草栽培下纽荷尔脐橙土壤中的微生物数量

处理	细菌数量(×10 ⁵ CFU/g)		放线菌数量(×10 ⁵ CFU/g)		真菌数量(×10 ⁴ CFU/g)	
	栽培 6 个月	栽培 12 个月	栽培 6 个月	栽培 12 个月	栽培 6 个月	栽培 12 个月
CK	2.0 ± 0.26c	2.1 ± 0.21d	0.3 ± 0.02c	0.4 ± 0.02c	0.7 ± 0.02d	0.7 ± 0.03d
SC1	2.8 ± 0.12b	2.6 ± 0.09c	0.5 ± 0.01b	0.6 ± 0.01b	0.8 ± 0.02c	0.8 ± 0.02c
SC2	3.6 ± 0.22a	3.6 ± 0.17a	0.7 ± 0.02a	0.7 ± 0.04a	1.0 ± 0.01b	1.0 ± 0.02b
SC3	3.2 ± 0.21ab	3.7 ± 0.08a	0.7 ± 0.02a	0.7 ± 0.02a	1.2 ± 0.03a	1.1 ± 0.02a
SC4	3.3 ± 0.12ab	3.1 ± 0.17b	0.7 ± 0.03a	0.7 ± 0.01a	1.0 ± 0.04b	1.1 ± 0.07a

差异不显著。试验结果表明,生草栽培下土壤微生物数量增加,且细菌数量增加最显著。

2.4 生草栽培对纽荷尔脐橙盆栽土壤微生物功能多样性的影响

由表 4 可知,试验开始 6 个月后,经过完全培养 120 h 后 SC3 处理的 AWCD 值最高,显著高于 CK、SC1、SC2 处理,其幅度分别为 76.67%、29.58%、

9.05%。试验 12 个月后,土壤样品经过完全培养 120 h 后,各处理的 AWCD 值与 6 个月时趋势类似,SC3 处理的 AWCD 值最高,其次是 SC4 处理,分别为 0.743 和 0.717。另外,随着培养时间的推移,各生草处理(SC1、SC2、SC3、SC4)土壤样品的 AWCD 值呈上升趋势(表 4)。结果表明,生草栽培有利于提高 AWCD 值。

表 4 不同生草栽培下纽荷尔脐橙盆栽土壤的 AWCD

时间 (月)	处理	AWCD				
		培养 24 h	培养 48 h	培养 72 h	培养 96 h	培养 120 h
0	土壤本底	0.104 ± 0.005a	0.128 ± 0.004a	0.267 ± 0.009ab	0.380 ± 0.004ab	0.403 ± 0.004d
6	CK	0.091 ± 0.002a	0.124 ± 0.002a	0.258 ± 0.008b	0.280 ± 0.005c	0.300 ± 0.007e
	SC1	0.090 ± 0.005a	0.125 ± 0.003a	0.268 ± 0.006ab	0.388 ± 0.005ab	0.409 ± 0.006d
	SC2	0.094 ± 0.004a	0.124 ± 0.004a	0.266 ± 0.006ab	0.377 ± 0.001b	0.486 ± 0.005c
	SC3	0.102 ± 0.003a	0.128 ± 0.002a	0.289 ± 0.005a	0.395 ± 0.002a	0.530 ± 0.001a
	SC4	0.100 ± 0.004a	0.131 ± 0.003a	0.277 ± 0.005ab	0.385 ± 0.003ab	0.502 ± 0.002b
12	CK	0.021 ± 0.001c	0.062 ± 0.003c	0.051 ± 0.005d	0.107 ± 0.005d	0.145 ± 0.002e
	SC1	0.059 ± 0.004a	0.067 ± 0.005c	0.272 ± 0.005b	0.485 ± 0.004b	0.657 ± 0.006c
	SC2	0.048 ± 0.003b	0.069 ± 0.002c	0.246 ± 0.006c	0.482 ± 0.005b	0.629 ± 0.009d
	SC3	0.061 ± 0.002a	0.107 ± 0.003a	0.314 ± 0.011a	0.499 ± 0.004a	0.743 ± 0.019a
	SC4	0.046 ± 0.004b	0.093 ± 0.003b	0.242 ± 0.002c	0.440 ± 0.009c	0.717 ± 0.011b

2.5 生草栽培对纽荷尔脐橙盆栽土壤根际微生物群落结构的影响

本试验采用 Shanon - Wiener、ACE 及 PD - Whole - tree 指数等表征土壤细菌的群落多样性,所

有处理的测序深度(goods - coverage)均在 0.98 以上(表 5)。高通量测序结果表明,SC4 处理的 Shanon - Wiener 指数最高(9.74),显著高于 CK、SC1 处理及 SC2 处理,其幅度在 9.56% ~ 15.13%

间;SC3 处理的 Shanon – Wiener 指数为 9.73,与 SC4 处理差异不显著。PD – Whole – tree 指数是基于系统发生树来计算的多样性指数,与 Shanon – Wiener

指数类似,SC4 及 SC3 处理的 PD – Whole – tree 指数较高,分别为 224、231。但在本试验中各处理的 ACE 值则没有出现显著差异。

表 5 不同生草栽培下土壤细菌多样性指标

处理	Shanon – Wiener	ACE	PD – Whole – tree	测序深度
CK	8.46 ± 0.33b	4 145 ± 334a	192 ± 6.3b	0.986
SC1	8.63 ± 0.31b	3 803 ± 350a	199 ± 13.3ab	0.987
SC2	8.89 ± 0.13b	3 998 ± 222a	209 ± 6.3ab	0.986
SC3	9.73 ± 0.11a	3 866 ± 549a	231 ± 26.1a	0.989
SC4	9.74 ± 0.38a	4 397 ± 427a	224 ± 17.4a	0.987

韦恩图(Venn 图)可用于统计多个样本中所共有和独有的 OTU 数目,可以直观地表现环境样本的 OTU 数目及组成的相似性及重叠情况(图 1)。在本试验中,CK、SC1、SC2、SC3 及 SC4 的 OTU 数量分别为 5 358、5 058、5 461、5 145 及 5 255,其中所有处理共有的 OTU 数量为 2 768,分别占 5 组处理 OTU 总数的 51.7%、54.7%、50.7%、53.8% 及 52.7%。值得注意的是,SC3 处理中发现了 605 种独有的 OTU,占该处理总 OTU 数量比例的 11.8%,显著高于其他处理(CK、SC1、SC2、SC4)独有的 OTU 数量比例(7.6%、6.4%、6.0%、6.9%)。

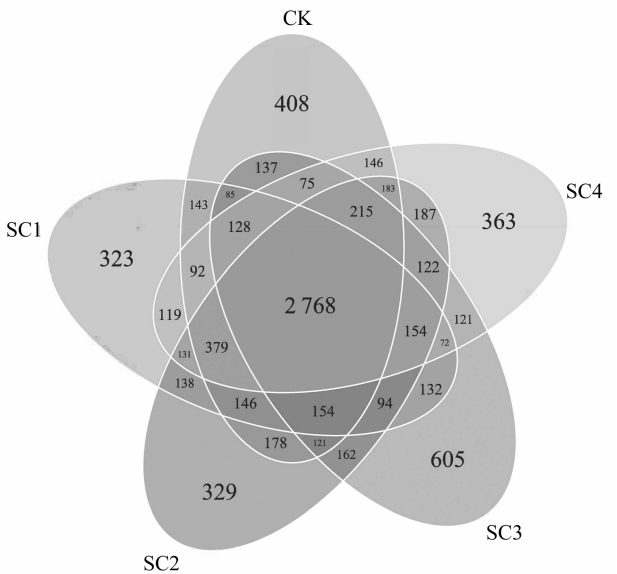


图1 生草栽培下的 OTU 分布韦恩图

3 讨论与结论

目前,果园生草栽培技术仍未被我国广大果农接受,一般认为,果园生草会影响果树的正常生长,降低果实的产量和品质^[18]。其实不然,大量研究表明,生草栽培极大地改善土壤结构、提高土壤营养。段敏杰等研究表明,与清耕相比,枇杷园种植黑麦

草 3 年后,果园土壤结构得到改善,土壤肥力显著提高,其中在 0 ~ 20 cm 土层,土壤有机质含量增加了 22.4%^[19]。土壤有机质不仅是土壤中各种营养元素(N、P 等)的来源,还是土壤微生物生命活动的能源^[12]。霍颖等研究也表明,果园行间种植白三叶、黑麦草、紫花苜蓿、鸭毛草等均能提高土壤有机质含量^[20–22]。本试验结果表明,与裸露土壤相比,试验 12 个月后生草栽培下脐橙土壤 pH 值上升,土壤有机质、碱解氮含量显著增加,且无分隔处理 SC4 的有机质含量最高,尼龙袋分隔处理 SC3 与 SC4 差异不显著。这说明生草栽培可以提高土壤肥力,且草根本体及其分泌物均作用于脐橙土壤。碱解氮和速效钾含量均有所下降,说明百喜草在生长过程中消耗了大量的土壤养分,因此,需要对果园及时进行追肥,以免影响果树的生长发育。

一般认为,植物根系越发达、根表面积越大,则对土壤养分吸收能力越强。宋佳承等研究表明,间作生草显著提高了油橄榄根系活力和根系活跃吸收面积,且间作百喜草最佳^[23]。惠竹梅等研究表明,葡萄园行间生草促进了葡萄根系生长,提高了土壤肥力,加强了葡萄根系对土壤养分的吸收^[21]。这与本研究结果相似,生草栽培下,脐橙根总长、根表面积、根体积、根尖数等均显著增加,其中无分隔生草 SC4 和尼龙袋分隔生草 SC3 增加最显著,说明生草栽培能够促进脐橙根系的生长、提高根系活力。

果园土壤中微生物数量越多,越有助于土壤有机质的分解以及果树对土壤养分的吸收^[13],因此,研究土壤微生物的影响因素,对提高微生物数量、促进果树生长发育具有重要意义^[24]。王倩等研究表明,生草栽培可显著提高微生物数量,且细菌数量最多^[25]。这与本研究结果一致,生草栽培下,与裸露土壤 CK 相比,各生草处理微生物数量均显著增加,其中塑料盆分隔 SC2 处理细菌数最多,与无分隔处理 SC4 和尼龙袋分隔处理 SC3 差异不显著。土壤微生物功能多

样性越高,土壤微生物对碳源的利用能力越强,土壤微生物的代谢活性越高。有研究表明,生草栽培显著提高了梨园土壤微生物对碳源的利用程度,增强了土壤微生物代谢活性^[26]。本试验结果表明,经过完全培养 120 h 后的尼龙袋分隔处理 SC3 的 AWCD 值最高,其次是无分隔处理 SC4 的 AWCD 值,显著高于裸露土壤 CK、无百喜草种植 SC1、塑料盆分隔处理 SC2,说明生草栽培后,脐橙土壤微生物的代谢活性显著增强,且主要受草根根系分泌物的影响。土壤微生物种群越丰富、数量越高,根系生态环境越活跃、越稳定^[27]。另外,在本研究中采用无分隔处理 SC4 的 Shanon - Wiener 指数最高(9.74),显著高于 CK、SC1 及 SC2 处理,采用尼龙袋分隔处理 SC3 的 Shanon - Wiener 指数与 SC4 处理没有显著差异,PD - Whole - tree 指数与 Shanon - Wiener 指数类似。说明生草栽培能够显著提高脐橙土壤微生物群落多样性,且在尼龙袋分隔处理 SC3 中发现了 605 种独有的 OTU,占该处理总 OTU 数量比例的 12.0%,显著高于其他处理(CK、SC1、SC2、SC4)独有的 OTU 数量比例。综上,这很大程度上是由于生草栽培改善了脐橙土壤微生物的生态环境,而百喜草的凋落物及其根系分泌物会给土壤微生物提供大量的营养物质,使得土壤微生物数量、组分和功能发生变化,进一步优化土壤微生物群落结构的多样性。

研究生草栽培对纽荷尔脐橙根系生长及土壤微生物群落影响的试验结果表明,生草栽培显著提高了脐橙土壤有机质含量,改善了土壤理化性状,促进了脐橙根系生长发育。同时,也有利于脐橙土壤微生物数量特别是细菌数量的增加,并优化了土壤微生物群落结构的多样性,提升了土壤微生物功能多样性。科学的生草栽培模式有利于脐橙土壤的可持续利用能力的维持。

参考文献:

- [1]舒畅. 赣南脐橙产业现代化的路径探究[J]. 北方经贸,2019(7):132-133.
- [2]王瑞东,姜存仓,刘桂东,等. 赣南脐橙园立地条件及种植现状调查与分析[J]. 中国南方果树,2011,40(1):1-3.
- [3]卢占军,钟八莲,郭慧. 赣南脐橙产业可持续发展的探讨[J]. 企业经济,2015(4):149-152.
- [4]曾丹娟,黄玉清,莫凌,等. 果园套种牧草地上生物量的动态变化及其对土壤肥力的影响[J]. 草业科学,2011,28(12):2170-2174.
- [5]李华,惠竹梅,张振文,等. 行间生草对葡萄园土壤肥力和葡萄叶片养分的影响[J]. 农业工程学报,2004,20(增刊1):116-119.
- [6]彭玲,文昭,安欣,等. 果园生草对 15N 利用及土壤累积

- 的影响[J]. 土壤学报,2015,52(4):950-956.
- [7]孙洪强,吕德国,杜国栋,等. 杂草还田对盆栽草莓植株生长发育的影响[J]. 北方园艺,2007(4):39-40.
 - [8]Steenwerth K L, Jackson L E, Calderón F J, et al. Soil microbial community composition and land use history in cultivated and grassland ecosystems of coastal California[J]. Soil Biology and Biochemistry,2003,34(11):1599-1611.
 - [9]Finkel O M, Castrillo G, Herrera P S, et al. Understanding and exploiting plant beneficial microbes[J]. Current Opinion in Plant Biology,2017,38:155-163.
 - [10]Preston - Mafham J, Boddy L, Randerson P F. Analysis of microbial community functional diversity using sole - carbon - source utilisation profiles - a critique[J]. FEMS Microbiology Ecology, 2002,42(1):1-14.
 - [11]胡亚林,汪思龙,颜绍旭. 影响土壤微生物活性与群落结构因素研究进展[J]. 土壤通报,2006,37(1):170-176.
 - [12]李娜,张利敏,张雪萍. 土壤微生物群落结构影响因素的探讨[J]. 哈尔滨师范大学自然科学学报,2012,28(6):70-74.
 - [13]吕德国,赵新阳,马怀宇,等. 覆草对苹果园土壤养分和微生物的影响[J]. 贵州农业科学,2010,38(6):104-107.
 - [14]鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京:中国农业出版社,2000.
 - [15]魏清江,冯芳芳,马张正,等. 干旱复水对柑橘幼苗叶片光合、叶绿素荧光和根系构型的影响[J]. 应用生态学报,2018,29(8):2485-2492.
 - [16]中国科学院南京土壤研究所微生物室. 土壤微生物研究法[M]. 北京:科学出版社,1985.
 - [17]杜毅飞,方凯凯,王志康,等. 生草果园土壤微生物群落的碳源利用特征[J]. 环境科学,2015,36(11):4260-4267.
 - [18]吴玉森,张艳敏,冀晓昊,等. 自然生草对黄河三角洲梨园土壤养分、酶活性及果实品质的影响[J]. 中国农业科学,2013,46(1):99-108.
 - [19]段敏杰,伊洪伟,王进,等. 黑麦草生草栽培对枇杷园土壤理化性质的影响[J]. 南方农业,2020,14(31):47-49.
 - [20]霍颖,张杰,王美超,等. 梨园行间种草对土壤有机质和矿物质元素变化及相互关系的影响[J]. 中国农业科学,2011,44(7):1415-1424.
 - [21]惠竹梅,李华,张振文,等. 葡萄园行间生草对植株生长的影响[J]. 园艺学进展,2004(6):204-208.
 - [22]刘蝴蝶,郝淑英,曹琴,等. 生草覆盖对果园土壤养分、果实产量及品质的影响[J]. 土壤通报,2003,34(3):184-186.
 - [23]宋佳承,焦润安,王天,等. 不同水分条件下间作牧草对油橄榄幼苗根系生理及根系形态的影响[J]. 草业科学,2020,37(6):1140-1149.
 - [24]李春宏,殷剑美,王立,等. 连作对芋头根际土壤理化性状和微生物特性的影响[J]. 江苏农业学报,2019,35(4):825-833.
 - [25]王倩,安贵阳,李世芳,等. 不同覆盖模式对旱地苹果园土壤养分、微生物和酶活性的影响[J]. 西北农业学报,2015,24(7):69-74.
 - [26]王艳廷. 自然生草对黄河三角洲梨园土壤物理性状及微生物多样性影响[D]. 泰安:山东农业大学,2015:17-22.
 - [27]徐文静,靳晓东,杨秋生. 植物根际微生物的影响因素研究进展[J]. 河南农业科学,2014,43(5):6-12.