

韦小了,何季,何腾兵,等. 种植年限对刺梨园土壤微生物数量和酶活性的影响[J]. 江苏农业科学,2019,47(13):280-284.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2019.13.067

种植年限对刺梨园土壤微生物数量和酶活性的影响

韦小了¹,何季¹,何腾兵^{1,2},向仰州³,易维洁¹

(1. 贵州大学农学院,贵州贵阳 550025; 2. 贵州大学新农村发展研究院,贵州贵阳 550025;

3. 贵州省林业调查规划院,贵州贵阳 550003)

摘要:以种植 4、9、15 年的刺梨园土壤为研究对象,测定 0~20、20~40 cm 土层土壤微生物数量和酶活性,旨在探究种植年限对刺梨园土壤微生物数量和酶活性的影响,为刺梨种植的土壤养分管理和科学施肥等提供依据。结果表明,0~20、20~40 cm 土层土壤细菌和放线菌数量、过氧化氢酶和脲酶活性、细菌与真菌以及放线菌与真菌数量比随着种植年限增加呈先增加后减少的趋势,种植年限为 9 年时最大,真菌数量随着种植年限的增加而增加,而酸性磷酸酶活性则随种植年限的增加呈下降的趋势;0~20 cm 土层土壤微生物数量和酶活性高于 20~40 cm 土层。随着种植年限的增加,土壤细菌与真菌以及放线菌与真菌数量比先增加后降低,说明种植年限较长会抑制细菌和放线菌的生长而促进真菌的生长,以及降低酶活性进而使土壤质量下降,因此建议长期种植的刺梨园土壤采取施肥、更换耕作方式等管理措施增加土壤肥力。

关键词:种植年限;刺梨园;土壤酶活性;土壤微生物

中图分类号:S154.2;S154.3 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2019)13-0280-05

刺梨(*Rosa roxbunghii* Tratt),学名缙丝花,为蔷薇科多年生落叶小灌木,最早开始生长于我国,以贵州省盛产,被赋予“三王水果”的称号^[1]。刺梨适合生长在微酸性土壤中,贵州大部分地区的土壤都具备刺梨生长条件。刺梨的经济、生态

与社会效益较好,是贵州石漠化地区生态修复的一种重要经济树种^[2]。此外,刺梨生长迅速,易于繁殖,因此被广泛地引种种植^[3]。但是,随着人口增长和人为活动对环境的破坏以及病虫害的发生,刺梨产量下降^[4]。有些刺梨生长在质量差的土壤上,植株生长不好,产量少,果实品质和口感不佳。

土壤是植物生长的基础,为植物生长提供必需的水、肥、气、热等。土壤酶活性能反映微生物数量和分布状况,而土壤微生物是土壤质量以及健康的评价指标之一,因此两者可以共同作为评价土壤肥力的一种评价指标^[5-8]。有研究表明,土壤肥力对作物产量及品质有重要影响^[9-10]。种植年限的延长会导致土壤质量下降^[11]。而土壤质量下降会抑制放线菌、细菌生长,酶活性降低,土壤相应功能也会随之下降^[12]。而随着种植年限的延长,细菌与真菌数量比值下降,说明土壤

收稿日期:2018-06-27

基金项目:贵州大学引进人才科研基金(编号:贵大人基合字[2015]08号);贵州省林业厅项目(编号:黔林科合[2015]6号);国家自然科学基金委员会-贵州省人民政府喀斯特科学研究中心项目(编号:U1612442)。

作者简介:韦小了(1993—),女,贵州三都人,硕士研究生,主要从事土壤学方向研究。E-mail:1285733928@qq.com。

通信作者:何季,博士,讲师,主要从事农业资源与环境等研究。E-mail:heji15@163.com。

交联网络结构,其结构表面比较粗糙,存在一定褶皱和孔隙,说明单体接枝到了纤维素骨架上,使样品表面的多孔结构增加,这种结构有利于水分子的渗入与保持,增强了树脂的吸水保水能力。

3 结论

以经过预处理的水稻秸秆为原料,采用水溶液聚合法,以过硫酸钾为引发剂,*N*-羟甲基丙烯酸胺为交联剂,将单体丙烯酸接枝共聚到秸秆纤维素骨架中,合成水稻秸秆基高吸水树脂。树脂制备的最佳工艺条件为 $m_{\text{水稻秸秆}}:m_{\text{单体丙烯酸}}=1:7$ 、交联剂用量 0.15%、单体中和度 65%、引发剂用量 0.5%。水稻秸秆基高吸水树脂具有良好的吸水性和保水性能,可重复利用,有着很好的应用前景。

参考文献:

[1]余响林,曾艳,李兵,等. 新型功能化高吸水性树脂的研究进

展[J]. 化学与生物工程,2011,28(3):8-12.

[2]Liu Z X, Miao Y G, Wang Z Y, et al. Synthesis and characterization of a novel super-absorbent based on chemically modified pulverized wheat straw and acrylic acid[J]. Carbohydrate Polymers, 2009, 77(1):131-135.

[3]祝宝东,马东卓,何乾坤,等. 玉米秸秆接枝丙烯酸-丙烯酰胺树脂的制备与吸水性能[J]. 化工进展,2015,34(1):198-202.

[4]金鑫,王可答,刘利军,等. 玉米秸秆制取高吸水树脂及性能研究[J]. 化学世界,2008,49(10):598-600,597.

[5]王可答,鲍迪,刘利军,等. 不同方法制备高吸水性树脂性能的研究[J]. 应用化工,2010,39(9):1296-1299.

[6]郭焱,李小燕,李存本,等. 小麦秸秆制备农用高吸水性树脂[J]. 精细化工,2006,23(4):322-326.

[7]戴勋,张娜,苏阔伟. 棉花秸秆接枝丙烯酸制备高吸水性树脂[J]. 化学工程与装备,2012(10):27-30.

[8]孙琳,王存国,刘维,等. 小麦秸秆接枝丙烯酸制备高吸水性树脂[J]. 化工科技,2008,16(2):18-19.

中细菌与放线菌生长环境变差,细菌和放线菌生长受阻会促进真菌生长而影响土壤肥力和生态系统平衡^[13]。赵亚丽等的研究表明,土壤耕作方式结合秸秆还田能有效提高作物产量以及土壤微生物数量和酶活性^[10]。向仰州等采用 3 种管理方式研究其对刺梨园的影响^[14]和陶梦慧等研究不同肥料配施对土壤中微生物数量和酶活性的影响^[15],结果表明,间作黑麦草和自然生草 2 种方式以及施用生物有机肥均能提高土壤微生物数量和酶活性。针对不同种植年限条件下土壤微生物和酶活性对土肥力的影响等方面也有不少研究报道,张珍明等和董艳等的研究表明,土壤细菌、放线菌数量以及酶活性随着种植年限的延长呈先增加后减少的趋势,不仅真菌数量持续增加而且微生物多样性和均匀度指数连续降低,引起土壤肥力下降,导致根系病毒增加^[11,16]。

目前有关刺梨的研究主要集中在土壤养分状况和土壤质量评价^[3,17]、果实品质^[18]、气候适宜性^[19]以及土壤酶活性和土壤肥力等方面^[20],而关于不同种植年限对刺梨园土壤微生物和酶活性的研究鲜见报道。因此本研究以不同种植年限刺梨园土壤为研究对象,采取野外采样和室内分析相结合的方法,研究种植年限对土壤微生物和酶活性的影响,揭示不同种植年限下刺梨园土壤微生物数量和酶活性变化特征,探讨不同种植年限刺梨园土壤微生物和酶活性与土壤肥力的关系,为刺梨种植的土壤养分管理和科学施肥等提供依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区位于贵州省龙里县洗马镇,地处 107°29'E、26°18'N,海拔 1 150 m,属于亚热带季风湿润气候,年平均气温 14.6℃,年降水量 1 100 mm,年日照时数 1 160 h,无霜期 280 d 以上。该地区属典型喀斯特地貌,土壤类型为黄壤,土层厚度为 50~80 cm。刺梨是该区脱贫攻坚、退耕还林以及石漠化治理的一种经济植物,种植面积达上万余亩。

1.2 样品采集

根据野外实地调查,在考虑不同年限刺梨园的综合情况的基础上,选择成土母质相同、地理位置、施肥情况、病虫害防治等管理方式相似的种植年限分别为 4、9、15 年的刺梨园土壤为研究对象。刺梨品种为贵农 5 号,每个种植年限设置 3 个重复,共 9 个试验小区,小区面积 225 m² (15 m×15 m)。于 2017 年 3 月,在每个小区按“S”形布置 5 个点采集,挖取土壤剖面,按照 0~20、20~40 cm 土层分层采样,混合均匀并除去石块以及残留杂物后,取 1 kg 土样装入无菌自封袋中运回实验室。一部分采好的土样按顺序分开装在无菌袋中,扎好,标记,记录采样时间、地点等后立即放在 4℃冰箱中暂存,用

于测定微生物数量;另一部分在室内风干并过 1 mm 筛,分开装好放置于无菌袋中室内保存,用于测定酶活性。

1.3 土壤微生物和酶活性测定方法

土壤微生物数量采用稀释涂布平板法^[21]测定,采用牛肉膏蛋白胨培养基培养细菌,马丁氏培养基培养真菌,改良高氏一号培养基培养放线菌。利用高锰酸钾滴定法测定过氧化氢酶活性,苯酚钠比色法测定脲酶活性,磷酸苯二钠比色法测定酸性磷酸酶活性^[22]。

1.4 数据处理与分析

采用 Excel 2010 和 SPSS 21.0 对数据进行统计及相关性和显著性分析。

2 结果与分析

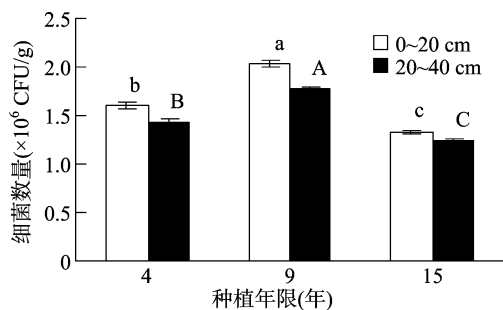
2.1 不同种植年限刺梨园土壤微生物数量

土壤微生物活动能影响土壤质量,其数量和分布受多种因素影响,有研究表明,种植年限也是其中之一^[11]。本研究中,刺梨园土壤 0~20 cm 土层的细菌数量最多,为 1.30×10⁶~2.00×10⁶ CFU/g;放线菌次之,为 1.14×10⁵~1.65×10⁵ CFU/g;真菌数量最少,为 4.76×10³~5.24×10³ CFU/g。由表 1 可知,种植年限为 4 年时,细菌、放线菌、真菌的数量占微生物总数的百分比分别为 91.70%、8.02%、0.27%;种植年限为 9 年时,细菌、放线菌、真菌占微生物总数的百分比分别为 92.26%、7.50%、0.24%;种植年限为 15 年时,细菌、放线菌、真菌占微生物总数的百分比分别为 91.72%、7.92%、0.36%。20~40 cm 土层微生物数量细菌数量最多,为 1.24×10⁶~1.77×10⁶ CFU/g;放线菌次之,为 0.41×10⁵~0.83×10⁵ CFU/g;真菌最少,为 0.92×10³~1.12×10³ CFU/g。种植年限为 4 年时,细菌、放线菌、真菌占微生物总数的百分比分别为 95.27%、4.66%、0.06%;种植年限为 9 年时,细菌、放线菌、真菌占微生物总数的百分比分别为 95.42%、4.53%、0.06%;种植年限为 15 年时,细菌、放线菌、真菌占微生物总数的百分比分别为 96.73%、3.20%、0.08%。0~20 cm 土层的土壤微生物数量明显高于 20~40 cm 土层,主要是因为土壤表层积累大量腐殖质,有机质含量高、营养源丰富,水热和通气状况较好等为微生物的生长提供良好的生长环境^[23]。说明在相同的种植情况下,0~20 cm 土层的土壤更利于微生物生长。

随着种植年限的增加,刺梨园土壤细菌、放线菌数量呈先增加后减少的趋势,种植年限为 9 年时数量最大(图 1、图 2);真菌数量随种植着年限的增加而增加(图 3)。0~20 cm 土层,不同种植年限条件下,细菌、放线菌数量之间有显著差异($P<0.05$),种植年限为 9 年时显著高于种植年限为 4、15 年

表 1 不同种植年限的刺梨园土壤细菌、放线菌、真菌数量占微生物总量百分比

土层 (cm)	指标	种植年限为 4 年时占微生物总数比 (%)	种植年限为 9 年时占微生物总数比 (%)	种植年限为 15 年时占微生物总数比 (%)
0~20	细菌	91.70	92.26	91.72
	放线菌	8.02	7.50	7.92
	真菌	0.27	0.24	0.36
20~40	细菌	95.27	95.42	96.73
	放线菌	4.66	4.53	3.20
	真菌	0.06	0.06	0.08



柱上不同小写字母代表 0~20 cm 土层土壤微生物数量在不同种植年限间有显著差异 ($P < 0.05$)；不同大写字母代表 20~40 cm 土层土壤微生物数量在不同种植年限间有显著差异 ($P < 0.05$)。图 2 至图 5 同

图1 不同种植年限刺梨园土壤的细菌数量

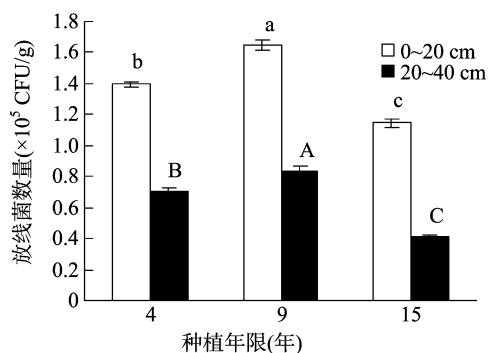


图2 不同种植年限刺梨园土壤的放线菌数量

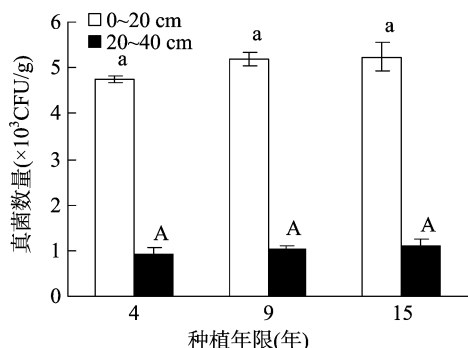


图3 不同种植年限刺梨园土壤的真菌数量

时 ($P < 0.05$)，种植年限为 4 年时显著高于种植年限为 15 年时 ($P < 0.05$)；种植 4、9、15 年真菌数量之间无显著差异。20~40 cm 土层，不同种植年下条件下，细菌、放线菌数量之间有显著差异，种植年限为 9 年时显著高于种植年限为 4、15 年时 ($P < 0.05$)，种植年限为 4 年时显著高于种植年限为 15 年时 ($P < 0.05$)；种植 4、9、15 年真菌数量之间无显著差异。

由图 4、图 5 可知，细菌和真菌数量比以及放线菌和真菌数量比在 0~20、20~40 cm 土层中随着种植年限的增加呈现先增加后减少的趋势，说明随种植年限的增加土壤微生物由细菌型向真菌型转化^[11]。

2.2 不同种植年限刺梨园土壤的酶活性

有研究表明，土壤微生物活动能够分泌土壤酶，两者关系密切^[24]。本研究中，刺梨园土壤过氧化氢酶和脲酶活性随着种植年限的增加呈先增加后减少的趋势（图 6、图 7），与微生物数量细菌、放线菌的变化趋势相似，而酸性磷酸酶活性逐渐降低（图 8）。0~20 cm 土层中，种植年限为 9 年的过氧化氢

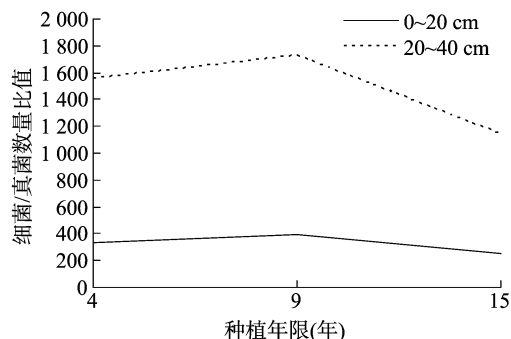


图4 不同种植年限刺梨园土壤的细菌/真菌数量比值

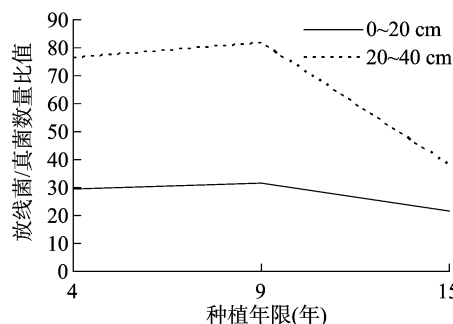
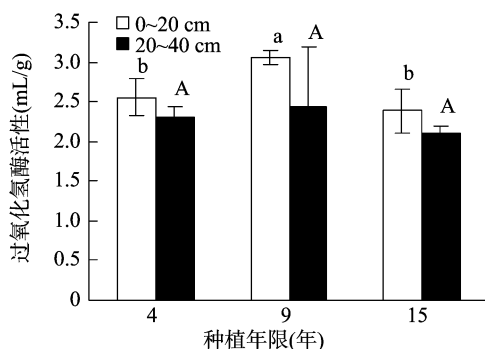


图5 不同种植年限刺梨园土壤的放线菌/真菌数量比值



图中不同小写字母代表 0~20 cm 土层土壤酶活性有显著差异 ($P < 0.05$)，不同大写字母代表 20~40 cm 土层土壤酶活性有显著差异 ($P < 0.05$)。图 7、图 8 同

图6 不同种植年限刺梨园土壤的过氧化氢酶活性

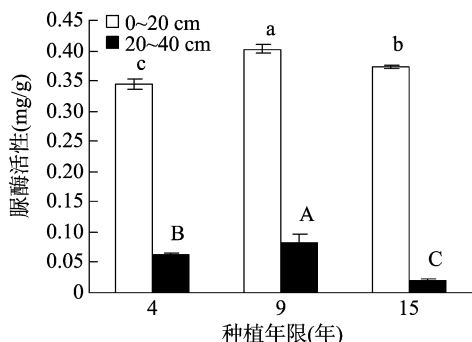


图7 不同种植年限刺梨园土壤的脲酶活性

酶活性显著高于 4、15 年 ($P < 0.05$)，4、15 年无显著差异；种植年限为 9 年的脲酶活性显著高于 4、15 年 ($P < 0.05$)，15 年的显著高于 4 年 ($P < 0.05$)；种植年限为 4、9 年的酸性磷酸酶显著高于 15 年 ($P < 0.05$)，4、9 年之间差异不显著。20~40 cm 土层中，不同种植年限条件下，3 个种植年限的过氧化

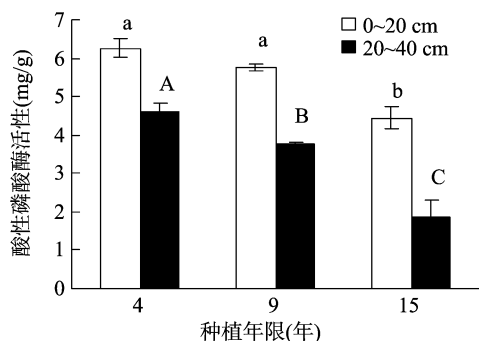


图8 不同种植年限刺梨园土壤的酸性磷酸酶活性

氢酶活性之间均差异不显著;种植年限为9年的脲酶活性显著高于4、15年($P < 0.05$),4年显著高于15年($P < 0.05$);种植年限为4、9年的酸性磷酸酶活性显著高于15年($P < 0.05$),4年显著高于9年($P < 0.05$)。0~20 cm 土层的土壤

酶活性高于20~40 cm 土层,主要是因为表层土壤养分充足有利于微生物生长,且呼吸、新陈代谢作用活跃^[25]。种植年限为9年时,土壤酶活性总体上高于4年,说明9年时土壤酶活性处于较高水平,土壤供氮、解毒能力以及土壤质量处于较好状态;而到第15年时,土壤酶活性降低,土壤供氮、解毒能力以及土壤质量下降。

2.3 刺梨园土壤微生物数量与酶活性的相关性

由表2可以看出,刺梨园土壤微生物数量与土壤酶活性之间存在正相关关系,其中,细菌数量与放线菌数量、过氧化氢酶数量呈极显著正相关($P < 0.01$),与酸性磷酸酶活性呈显著正相关($P < 0.05$);真菌数量与放线菌数量、脲酶活性、酸性磷酸酶活性呈极显著正相关($P < 0.01$);放线菌与过氧化氢酶、脲酶、酸性磷酸酶活性呈极显著正相关($P < 0.01$);过氧化氢酶活性与脲酶活性、酸性磷酸酶活性呈显著正相关($P < 0.05$);脲酶活性与酸性磷酸酶活性呈极显著正相关($P < 0.01$)。

表2 土壤微生物数量与酶活性的相关关系

指标	相关系数				
	真菌数量	放线菌数量	过氧化氢酶活性	脲酶活性	酸性磷酸酶活性
细菌数量	0.310	0.698 **	0.643 **	0.416	0.567 *
真菌数量		0.877 **	0.476 *	0.987 **	0.673 **
放线菌数量			0.648 **	0.928 **	0.862 **
过氧化氢酶活性				0.518 *	0.519 *
脲酶活性					0.748 **

注: *、** 分别表示在0.05、0.01水平显著、极显著相关。

3 讨论与结论

3.1 讨论

本研究中,微生物数量表现为细菌>放线菌>真菌,细菌数量占微生物数量优势,这说明细菌是刺梨园土壤微生物生命活动的主体,与范玉贞等的研究结果^[12,26~27]一致。这可能与细菌营养类型多、呼吸机制繁杂和细菌代谢快以及繁殖迅速等原因致使细菌数量最多^[28]有关。随着土层深度的增加,土壤微生物数量和酶活性呈降低趋势,主要是因为土壤表层积累了大量腐殖质,有机质含量高,满足微生物生长需要的营养源,其次是表层水热条件和通气状况好,有利于微生物繁殖,随着土层深度的加深,土壤的孔隙度、含水量等减少,导致土壤环境条件变差,从而不利于微生物的生长^[23]。表层土壤酶活性较高的主要原因是表层微生物生长旺盛,呼吸作用活跃^[29~30]。

土壤酶活性是土壤质量的评价标准之一^[31]。每种土壤酶都有特定功能,有研究表明,土壤过氧化氢酶可以水解损坏植物的过氧化氢,不同土壤过氧化氢酶活性的大小可以用来表示土壤解毒能力的级别,活性越高,说明土壤解毒能力越强;相反,容易积累有毒物质,会对土壤和植物产生毒害作用^[5]。而土壤有机氮能被脲酶分解和转化,在土壤脲酶的作用下,促使尿素生成更加容易被植物吸收、利用的氨、二氧化碳和水,土壤磷酸酶的作用是将有机磷转化为无机磷供给植物吸收利用^[32]。本研究中,过氧化氢酶和脲酶活性随着种植年限延长呈先增加后减少的趋势,这与范玉贞等的研究结果^[12]相同。而酸性磷酸酶活性随着种植年限的增加逐渐降低,与张珍明等的研究结果^[11]略有不同,可能与土壤类型、种植作物种类等有关,具体原因需要进行更深入的研究。本研

究结果表明,刺梨园土壤种植年限为9年时土壤酶活性整体水平较高,说明种植年限为9年的土壤解毒能力强,分解有机氮、磷的能力强,从而促进植物对氮、磷素的吸收和利用。而当刺梨种植年限为15年时,土壤酶活性降低,土壤供氮供磷和解毒能力减弱,土壤环境质量下降。

有研究表明,耕作方式结合秸秆还田^[10]、管理方式^[14]及施肥^[15]等都能影响土壤微生物数量和酶活性,本研究中随着种植年限的延长导致土壤细菌和放线菌数量逐渐减少,而真菌数量逐渐增加,说明长期种植同种作物的土壤,因营养状况恶化使得土壤微生物区系发生改变,导致植物受病害的可能性增加^[33]。本研究中,种植年限为9年时,种植时间相对不是很长,土壤含水量充足、疏松多孔、容重小以及有机质、氮磷钾等养分供应充足。此外,种植中期时,发现刺梨带来的经济效益高,在管理模式和施肥等方面都投入了大量的精力,种植年限为9年时有利于微生物和酶活性的生长。9年以后随着年限的增加,由于刺梨结果期时期消耗的土壤养分多,养分输出大于输入以及人为原因等造成土壤的容重增大,孔隙度减小,土壤和外界的交换作用变弱,不能给微生物的生长提供足够氮源而导致土壤微生物数量和酶活性下降。此外,植物与残留物质分解后形成的苯甲酸和氢氰酸等酚酸类物质的累积会破坏土壤环境及生态平衡;长时间种植同种植物并重复施肥,也会使作物对养分需求不足,缺少互补性致使土壤养分失衡;从而导致土壤质量下降^[12]。

土壤微生物数量与土壤酶活性有显著相关性,微生物活动分泌是土壤酶主要来源之一,土壤中真菌的分泌活动频繁可以增强脲酶和磷酸酶活性,而脲酶和磷酸酶与C、N、P等养分循环有相关关系^[24]。土壤微生物和酶对壤土的物质转化

和能量流动有促进作用,两者一起成为评价土壤肥力指标之一^[8]。本研究中,细菌和真菌数量与脲酶活性虽然呈正相关的关系,但相关性不显著,与张珍明等的研究^[11,34]有些区别,这可能与土壤植物、土壤类型、施肥、耕作方式等有关,导致土壤酶活性不一样,从而影响微生物数量和酶活性的相关性。

细菌和真菌数量比及放线菌和真菌数量比是表示土壤肥力的一种指标^[35],反映土壤环境质量的基本情况。细菌与真菌比及放线菌与真菌数量比随着种植年限的延长呈先增加后减少的趋势,种植年限为9年时为最大值。9年之后,细菌与真菌数量比下降主要是由于细菌和放线菌竞争作用减小而促进真菌生长,均可导致土壤肥力降低及生态系统失调^[13]。所以,种植年限为15年时,由于刺梨园土壤细菌、放线菌数量和酶活性降低以及真菌数量增加,导致刺梨根系病菌增加,土地生产力降低,进而影响刺梨的产量和品质,因此,建议采取科学施肥、更换耕作方式等管理措施增加土壤肥力。

3.2 结论

种植年限为4、9、15年,刺梨园土壤0~20、20~40 cm微生物数量分布均为细菌>放线菌>真菌,细菌数量占微生物数量优势。

0~20 cm土层土壤微生物数量和酶活性大于20~40 cm土层。随着种植年限的增加,0~20、20~40 cm土层细菌、放线菌的数量和过氧化氢酶、脲酶的活性都呈现先上升后下降的趋势,最大值为9年时,真菌数量不断增加,细菌和真菌数量比以及放线菌和真菌数量比先增加后下降,而酸性磷酸酶活性则一直下降。

参考文献:

- [1] 敖芹,谷晓平,于飞,等. 贵州刺梨气候适宜性研究[J]. 中国农学通报,2013,29(34):177-185.
- [2] 杨皓,李婕玲,范明毅,等. 喀斯特山区无籽刺梨种植基地土壤质量特性[J]. 江苏农业科学,2016,44(3):385-389.
- [3] 李婕玲,李朝娣,胡继伟,等. 典型喀斯特山区无籽刺梨基地土壤质量评价[J]. 水土保持研究,2017,24(1):54-60.
- [4] 杨皓,李婕玲,范明毅,等. 无籽刺梨研究进展与展望[J]. 江苏农业科学,2016,44(10):38-42.
- [5] 李妮. 不同种植年限大蒜近根区土壤微生物学特性研究[D]. 泰安:山东农业大学,2013:1-3.
- [6] Shishido M, Sakamoto K, Yokoyama H, et al. Changes in microbial communities in an apple orchard and its adjacent bush soil in response to season, land-use, and violet root rot infestation[J]. Soil Biology & Biochemistry, 2008, 40(6):1460-1473.
- [7] Bandick A K, Dick R P. Field management effects on soil enzyme activities[J]. Soil Biology and Biochemistry, 1999, 31(11):1471-1479.
- [8] 高明,周保同,魏朝富,等. 不同耕作方式对稻田土壤动物、微生物及酶活性的影响研究[J]. 应用生态学报,2004,15(7):1177-1181.
- [9] 杨皓,胡继伟,黄先飞,等. 喀斯特地区金刺梨种植基地土壤肥力研究[J]. 水土保持研究,2015,22(3):50-55.
- [10] 赵亚丽,郭海斌,薛志伟,等. 耕作方式与秸秆还田对土壤微生物数量、酶活性及作物产量的影响[J]. 应用生态学报,2015,26(6):1785-1792.
- [11] 张珍明,乐乐,林昌虎,等. 不同种植年限山银花根区土壤生物特性[J]. 水土保持通报,2015,35(5):71-76.
- [12] 范玉贞,崔兴国. 不同种植年限深州蜜桃土壤微生物及酶活性的变化[J]. 北方园艺,2011(16):181-182.
- [13] 周宝利,徐妍,尹玉玲,等. 不同连作年限土壤对茄子土壤生物学活性的影响及其嫁接调节[J]. 生态学杂志,2010,29(2):290-294.
- [14] 向仰州,刘英,何季,等. 生草栽培对刺梨园土壤养分、微生物和酶活性的影响[J]. 北方园艺,2018,42(6):96-101.
- [15] 陶梦慧,索全义,张曙光,等. 不同施肥对土壤微生物量和酶活性的影响[J]. 北方园艺,2017,41(9):154-159.
- [16] 董艳,董坤,郑毅,等. 种植年限和种植模式对设施土壤微生物区系和酶活性的影响[J]. 农业环境科学学报,2009,28(3):527-532.
- [17] 丁小艳,杨皓,陈海龙,等. 喀斯特山区刺梨种植基地的土壤养分状况[J]. 贵州农业科学,2015,43(5):120-124.
- [18] 李朝娣,李婕玲,邓青芳,等. 套袋对贵州无籽刺梨果实品质的影响[J]. 中国南方果树,2018,47(2):120-122.
- [19] 韩会庆,朱健,苏志华. 气候变化对贵州省刺梨种植气候适宜性影响[J]. 北方园艺,2017(5):161-164.
- [20] 杨皓,范明毅,李婕玲,等. 喀斯特山区无籽刺梨种植基地土壤酶活性与肥力因子的关系[J]. 山地学报,2016,34(1):28-37.
- [21] 许光辉,郑洪元. 土壤微生物分析方法手册[M]. 北京:农业出版社,1986:3-109.
- [22] 关松荫. 土壤酶及其研究法[M]. 北京:农业出版社,1986:260-313.
- [23] 陈蓓,张仁陟. 免耕与覆盖对土壤微生物数量及组成的影响[J]. 甘肃农业大学学报,2004,39(6):634-638.
- [24] 刘善江,夏雪,陈桂梅,等. 土壤酶的研究进展[J]. 中国农学通报,2011,27(21):1-7.
- [25] 陈永川,杨春霞,黎小清,等. 管理模式对胶园土壤酸性磷酸酶活性动态的影响[J]. 热带作物学报,2013,34(7):1213-1217.
- [26] 张向东,何伟. 不同种植年限黄芩田土壤微生物数量特征研究[J]. 陕西农业科学,2011,57(4):3-4,8.
- [27] 王冠玉,黄宝灵,唐天,等. 灰木莲等5种林地春季土壤微生物数量和土壤酶活性的分析[J]. 安徽农业科学,2010,38(28):15696-15698,15701.
- [28] 姚槐恩,黄昌勇. 土壤微生物生态学及其实验技术[M]. 北京:科学出版社,2006:4-29.
- [29] 沈芳芳,袁颖红,樊后保,等. 氮沉降对杉木人工林土壤有机碳矿化和土壤酶活性的影响[J]. 生态学报,2012,32(2):517-527.
- [30] 杜连凤,张维理,武淑霞,等. 长江三角洲地区不同种植年限保护菜地土壤质量初探[J]. 植物营养与肥料学报,2006,12(1):133-137.
- [31] 曹慧,孙辉,杨浩,等. 土壤酶活性及其对土壤质量的指示研究进展[J]. 应用与环境生物学报,2003,9(1):105-109.
- [32] 张焱华,吴敏,何鹏,等. 土壤酶活性与土壤肥力关系的研究进展[J]. 安徽农业科学,2007,35(34):11139-11142.
- [33] 李志刚,刘爱勤,祖超,等. 不同种植年限胡椒园土壤理化性质及微生物生态特征研究初报[J]. 热带作物学报,2012,33(7):1245-1249.
- [34] 张向前,黄国勤,卞新民,等. 间作对玉米品质、产量及土壤微生物数量和酶活性的影响[J]. 生态学报,2012,32(22):7082-7090.
- [35] 周德平,褚长彬,刘芳芳,等. 种植年限对设施芦笋土壤理化性状、微生物及酶活性的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2012,18(2):459-466.