

DOI: 10.13758/j.cnki.tr.2021.06.019

刘传和, 贺涵, 何秀古, 等. 菠萝不同连作年限对土壤理化性状和微生物群落丰度的影响. 土壤, 2021, 53(6): 1244–1249.

菠萝不同连作年限对土壤理化性状和微生物群落丰度的影响^①

刘传和¹, 贺涵¹, 何秀古^{2*}, 刘开¹, 邵雪花¹, 赖多¹, 林伟³, 林望达⁴, 匡石滋¹, 肖维强¹

(1 广东省农业科学院果树研究所/农业农村部亚热带果树生物学与遗传资源利用重点实验室/广东省热带亚热带果树研究重点实验室, 广州 510640; 2 广东省农业科学院, 广州 510640; 3 湛江市农业科学研究院, 广东湛江 524094; 4 徐闻县水果蔬菜研究所, 广东徐闻 524100)

摘要: 以未种植菠萝的空地土壤为对照, 研究分析了连续种植菠萝 5 a 和 15 a 的土壤理化指标、酶活性及微生物群落丰度的变化及其规律。结果表明, 与对照相比, 连续种植菠萝 5 a 和 15 a 的土壤 pH 分别降低了 0.39 和 0.57 个单位, 酸化明显; 有机质、全氮、铵态氮、有效磷含量显著增加; 土壤速效钾及交换性 Mg、Ca 含量降低; 有效 B、Na 含量升高; 土壤微生物生物量碳较对照提高了 1.74 倍和 1.71 倍; 土壤微生物生物量氮较对照提高了 56.01% 和 72.96%, 但差异不显著。连续种植菠萝 5 a 的土壤酸性磷酸酶活性升高 1.60 倍, 差异显著; 土壤细菌、真菌丰度提高了 1.56 倍和 26.54 倍, 放线菌丰度降低了 35.39%。连续种植菠萝 15 a 的土壤过氧化氢酶活性较对照降低了 52.63%; 土壤细菌、放线菌丰度分别降低 37.18% 和 13.78%, 真菌丰度提高了 40.74 倍。

关键词: 菠萝; 连作; 土壤; 理化性状; 微生物群落丰度

中图分类号: S668.3 文献标志码: A

Effects of Different Years of Continuous-cropping of Pineapple on Soil Physiochemical Properties and Microbial Community Abundance

LIU Chuanhe¹, HE Han¹, HE Xiugu^{2*}, LIU Kai¹, SHAO Xuehua¹, LAI Duo¹, LIN Wei³, LIN Wangda⁴, KUANG Shizi¹, XIAO Weiqiang¹

(1 Institute of Fruit Tree Research, Guangdong Academy of Agricultural Sciences/Key Laboratory of South Subtropical Fruit Biology and Genetic Resource Utilization, Ministry of Agriculture and Rural Affairs/Guangdong Provincial Key Laboratory of Tropical and Subtropical Fruit Tree Research, Guangzhou 510640, China; 2 Guangdong Academy of Agricultural Sciences, Guangzhou 510640, China; 3 Zhanjiang Academy of Agricultural Sciences, Zhanjiang, Guangdong 524094, China; 4 Fruit and Vegetable Research Institute of Xuwen County, Xuwen, Guangdong 524100, China)

Abstract: In this study, uncultivated soil was taken as the control (TR0), and then the differences in soil physiochemical characteristics, enzyme activities and microbial community abundances were compared between TR0 and continuous-cropping pineapple for 5 and 15 years (TR5 and TR15). The results indicated that, compared with TR0, TR5 and TR15 decreased soil pH by 0.39 and 0.57 unites, respectively, showing obvious acidification. TR5 and TR15 significantly increased the contents of organic matter, total nitrogen, ammonium nitrogen and available phosphorus, increased the contents of available boron and sodium, while decreased the contents of available potassium and exchangeable calcium and magnesium. TR5 and TR15 increased the content of microbial biomass carbon by 1.74 and 1.71 times, respectively; increased the content of microbial biomass nitrogen by 56.01% and 72.96%, respectively; but neither significant difference was observed. TR5 significantly increased the activity of soil acid phosphatase by 1.60 times, increased the abundances of soil bacteria and fungi by 1.56 and 26.54 times, respectively; while decreased that of actinomycetes by 35.39%. TR15 decreased the activity of catalase by 52.63% and the abundances of bacteria and actinomycetes by 37.18% and 13.78%, respectively; while increased that of fungi by 40.74 times.

Key words: Pineapple; Continuous cropping; Soil; Physiochemical properties; Microbial community abundance

①基金项目: 乡村振兴战略专项资金(403-2018-XMZC-0002-90, TS-3-1)、国家重点研发计划项目(2019YFD1001100)和广东省现代农业产业技术体系创新团队建设专项资金(2020KJ109、2021KJ109)资助。

* 通讯作者(hexiugu@gdaas.cn)

作者简介: 刘传和(1976—), 男, 江西吉安人, 博士, 副研究员, 主要研究方向为菠萝优质高效种植技术。E-mail: founderlch@126.com

土壤环境质量不仅影响作物的生长发育,而且与作物的产量、品质形成密切相关。连作常造成土壤养分失衡、土壤质量和微生物多样性下降。随着连作年限的延长,土壤 pH 下降^[1],可溶性盐含量逐渐升高^[2],土壤中的全钾、全磷和有效磷含量增加,有机质、全氮、速效氮、铵态氮和有机碳含量下降^[1-4]。

土壤微生物是土壤的重要组成部分,微生物的数量、种类、多样性以及群落结构的稳定对维持土壤系统的健康和质量非常关键^[5],在调节土壤生态系统功能,如有机质分解、土壤结构维持、养分循环、温室气体排放和土壤环境净化等方面起着重要作用^[6]。土壤微生物群落结构的变化直接影响土壤功能的发挥,对植物生长有显著影响^[2-3]。连作则常导致土壤细菌多样性降低,真菌多样性增加^[1,4]。连作后土壤过氧化氢酶活性增强^[7],磷酸酶、蛋白酶、蔗糖酶和脲酶活性下降^[8]。植物根系分泌物的化感自毒作用常因连作而加剧^[8],农作物品质降低,果实中的可溶性蛋白含量下降^[9]。因此,连作障碍是植物和土壤两个系统内部诸多因素综合作用的结果^[8]。

菠萝(*Ananas comosus* (L.) Merr.)又称凤梨,属凤梨科(Bromeliaceae)凤梨属(*Ananas*)多年生草本作物,是著名的热带水果。连作在我国各菠萝产区较为普遍,菠萝果实收获后,将茎叶粉碎还田再种植菠萝,并施用大量化肥,循环往复,常连续种植 10 余年甚至更长^[10]。随着连作年限的增加,菠萝果实大小、品质明显降低,产业发展受到影响。然而从土壤环境系统角度看,不同连作年限菠萝园土壤理化性状、微生物群落结构的变化及其规律仍不清楚。

本研究旨在通过对不同连作年限菠萝园土壤理化性状、酶活性及微生物群落结构进行研究,探讨菠萝连作对土壤环境的影响,以期揭示菠萝园土壤质量退化的原因,为我国菠萝种植的土壤管理、科学施肥及提质增效提供参考指导。

1 材料与方 法

1.1 研究区概况

本研究取样区域选择在我国最大的菠萝产区广东省湛江市徐闻县。徐闻县位于广东省西南部的雷州半岛,地处 109°52' ~ 110°35'E、20°13' ~ 20°43'N,东、西、南三面环海;属热带季风气候,一年四季阳光充足,年平均气温 23.3 °C,年平均降雨量 1 364 mm。本次采集的土壤样品来自徐闻县菠萝的主要种植区曲界镇,土壤类型为砖红壤。

菠萝园种植品种为‘巴厘’,吸芽苗种植,每公

顷种植 60 000 棵。每季菠萝果实收获后,茎叶经机械粉碎后全量还田;每季菠萝从种植到收获施尿素 1 500 kg/hm²、复合肥(N-P₂O₅-K₂O=15-15-15)2 250 kg/hm²,分别于种植后的第 4 个月(尿素 750 kg/hm²、复合肥 750 kg/hm²)和第 8 个月(尿素 750 kg/hm²、复合肥 1 500 kg/hm²)分两次施完。

1.2 样品采集

土壤取样于 2020 年 3 月中旬进行。选择连续种植了菠萝 5 a、15 a 的菠萝园土壤(分别简称为 TR5、TR15)及未种植菠萝的空地土壤(TR0),其中 TR0 为对照。每个连作年限分别选择 3 个菠萝种植园作为 3 次重复(每个种植园间隔 100 m 以上,种植园坡向、坡度和种植管理措施基本一致)。取样时菠萝种植园当季菠萝未施首次肥。在每个种植园的东部、西部两处进行取样,每处随机选取两个取样点(取样点间隔 5 m)。取样时先除去地表 5 cm 厚的表层土壤,采用内径为 5 cm 土钻采集 0 ~ 20 cm 土层样品,每个取样点平行钻取 2 钻。同一种植园各取样点的土样混合均匀,带回实验室。取样后,用于理化性状测定的样品经风干、研磨、过筛后备用;用于酶活性、微生物多样性测定的样品置于 4 °C 冰箱保存。

1.3 测定方法

1.3.1 土壤 pH、有机质和矿质元素测定 土壤 pH 参考标准 LY/T 1239—1999^[11]采用去离子水浸提法测定;有机质参考标准 LY/T 1237—1999^[12]用重铬酸钾-硫酸氧化法测定;全氮参考标准 LY/T 1228—2015^[13]用定氮法测定,铵态氮参考标准 LY/T 1231—1999^[14]用氧化镁浸提-扩散法测定,硝态氮参考标准 HJ/T 84—2001^[15]用酚二磺酸比色法测定;有效磷参考标准 LY/T 1232—2015^[16]用钼锑抗比色法测定;速效钾参考标准 LY/T 1234—2015^[17]用乙酸铵浸提-火焰光度计法测定;有效硼(参考标准 NY/T 149—1990^[18])及交换性钙、交换性镁(参考标准 LY/T 1245—1999/4^[19])用火焰原子吸收光谱仪测定;钠含量参考标准 LY/T 1254—1999^[20]用火焰原子吸收光谱仪测定。

1.3.2 土壤酶活性和微生物测定 土壤脲酶参照史长青^[21]的方法用碱皿扩散法测定,酶活以 1 kg 土壤在 37 °C 下培养 1 h 内分解尿素产生的 NH₃-N 的 mg 数表示。过氧化氢酶参照中国科学院南京土壤研究所微生物室的方法用高锰酸钾滴定法测定^[22],酶活以 1 g 土壤 1 h 内消耗 0.1 mol/L 高锰酸钾的 ml 数表示。酸性磷酸酶参照赵兰坡和姜岩^[23]的方法用 4-氨基-安替比林比色法测定,酶活以 1 kg 土壤在 37

℃下 1 h 内产生的酚的 mg 数表示。蔗糖酶和纤维素酶用硫代硫酸钠滴定法测定, 蔗糖酶活性以 1 kg 土壤 1 h 内消耗 0.1 mol/L $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 的 ml 数表示, 纤维素酶活性以 1 kg 土壤 1 d 内消耗 0.1 mol/L $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 的 ml 数表示。蛋白酶参照蔡红和沈仁芳^[24]的方法用茚三酮比色法测定, 酶活以 1 g 土壤 1 h 内产生甘氨酸的 μg 数表示。土壤微生物生物量碳采用氯仿熏蒸-硫酸钾浸提-重铬酸钾容量法测定, 土壤微生物生物量氮采用氯仿熏蒸-硫酸钾浸提-定氮蒸馏法测定。土壤细菌、放线菌及真菌群落丰度采用稀释平板计数法测定^[25]。

1.4 数据统计分析

用 SPSS Statistics 17.0 进行数据分析, 采用邓肯氏新复极差法进行多重比较; 用 Excel 2007 进行制图。

2 结果与分析

2.1 不同连作年限菠萝园土壤理化性状

表 1 所示为不同连作年限菠萝园土壤理化性状。

表 1 不同连作年限菠萝园土壤理化性状

Table 1 Soil physiochemical characteristics under different continuous-cropping years of pineapple

连作年限	pH	有机质(g/kg)	全氮(g/kg)	铵态氮(mg/kg)	硝态氮(mg/kg)	有效磷(mg/kg)	速效钾(mg/kg)
TR0	4.62 ± 0.12 a	23.55 ± 5.45 b	0.90 ± 0.19 b	1.30 ± 0.12 a	22.57 ± 2.78 ab	2.67 ± 0.67 c	200.00 ± 46.19 a
TR5	4.23 ± 0.05 b	48.42 ± 3.38 a	1.68 ± 0.04 a	2.02 ± 0.52 a	34.90 ± 1.16 a	43.33 ± 3.33 b	186.67 ± 26.67 a
TR15	4.05 ± 0.07 b	41.73 ± 1.47 a	1.57 ± 0.06 a	2.26 ± 0.43 a	20.99 ± 5.64 b	80.00 ± 5.77 a	63.33 ± 5.90 b

注: 表中数据为平均值 ± 标准误差, 同列数据小写字母不同表示不同连作年限间差异达 $P < 0.05$ 显著水平, $n=3$, 下同。

图 1 所示为不同连作年限菠萝园土壤矿质元素 B、Mg、Ca 及 Na 含量水平。由图可知, 菠萝连作后土壤有效 B 含量提高, 其中 TR5 土壤的有效 B 含量较 TR0 提高了 1.38 倍, 差异显著($P < 0.05$)。与 TR0 相比, TR5、TR15 土壤的交换性 Mg 和交换性 Ca 含量均降低。TR5 土壤的交换性 Mg 和交换性 Ca 含量较 TR0 分别降低了 28.20% 和 19.94%, 其中交换性 Mg 含量显著降低; TR15 土壤的交换性 Mg 和交换性 Ca 含量较 TR0 分别降低了 65.45% 和 74.70%, 差异均显著。连续种植菠萝后土壤中 Na 积累增多, TR5 土壤中 Na 含量较 TR0 提高了 3.88%, 差异不显著; TR15 土壤中 Na 含量较 TR0 提高了 16.70%, 差异显著。

2.2 不同连作年限菠萝园土壤酶活性

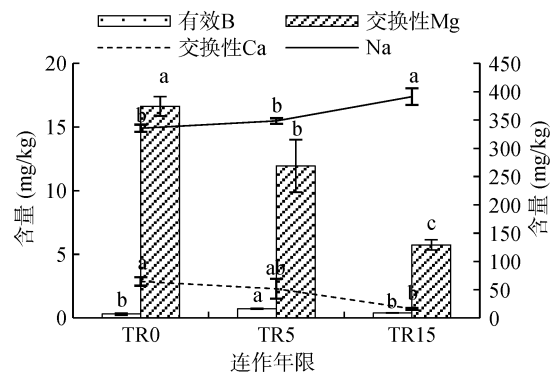
由表 2 所示, 与 TR0 相比, 菠萝连作后土壤脲酶、酸性磷酸酶和蔗糖酶活性升高, 其中 TR5 土壤提高的幅度更大, 尤其是 TR5 的土壤酸性磷酸酶活性较 TR0 提高了 1.60 倍, 差异显著($P < 0.05$)。菠萝

可以看出, TR0(CK)土壤 pH 为 4.62, 连续种植了菠萝 5 a(TR5)、15 a(TR15)的土壤 pH 显著降低($P < 0.05$), 分别比 TR0 降低了 0.39 和 0.57 个单位。表 1 还显示, TR0 土壤有机质含量为 23.55 g/kg, TR5、TR15 土壤有机质分别比 TR0 提高了 105.61% 和 77.20%, 差异显著。

由表 1 可见, TR5、TR15 土壤全氮、铵态氮含量均高于 TR0。TR5 土壤全氮、铵态氮含量分别较 TR0 提高了 86.67% 和 55.38%, TR15 土壤全氮、铵态氮含量分别较 TR0 提高了 74.45% 和 73.85%; TR5、TR15 的全氮含量均与 TR0 间差异显著。TR0 土壤硝态氮含量为 22.57 mg/kg, TR5 土壤硝态氮含量较 TR0 提高了 54.63%, 而 TR15 土壤硝态氮含量较 TR0 下降了 7.00%, 差异均不显著。

此外, 菠萝连作后土壤有效磷含量升高, TR0 的有效磷含量为 2.67 mg/kg, TR5、TR15 土壤有效磷含量分别为 43.33 mg/kg 和 80.00 mg/kg, 差异显著。菠萝连作后土壤速效钾含量降低, 尤其是 TR15 土壤速效钾含量较 TR0 降低了 68.34%, 差异显著。

连作后, 土壤的过氧化氢酶活性下降, TR5、TR15 土壤较 TR0 分别下降了 4.21% 和 52.63%, 其中 TR15



(图中有效 B、交换性 Mg 含量匹配左纵坐标轴, 交换性 Ca、Na 含量匹配右纵坐标轴; 小写字母不同表示不同连作年限间差异达 $P < 0.05$ 显著水平, 下同)

图 1 不同连作年限菠萝园土壤有效 B、交换性 Mg、交换性 Ca 和 Na 含量

Fig.1 Contents of soil available B, exchangeable Mg, Ca and Na under different continuous-cropping years of pineapple

与 TR0 间差异显著。菠萝连作对土壤纤维素酶和蛋白酶活性的影响相似, TR5 土壤纤维素酶和蛋白酶活性均高于 TR0, 而 TR15 均低于 TR0; TR5、

TR15 土壤纤维素酶和蛋白酶活性与 TR0 间均差异不显著, 但 TR15 土壤纤维素酶和蛋白酶活性显著低于 TR5。

表 2 不同连作年限菠萝园土壤酶活性
Table 2 Soil enzymatic activities under different continuous cropping years of pineapple

连作年限	脲酶 (NH ₃ ,mg/(kg·h))	过氧化氢酶 (0.1 mol/L KMnO ₄ , (ml/g·h))	酸性磷酸酶 (酚, mg/(kg·h))	蔗糖酶 (0.1 mol/L Na ₂ S ₂ O ₃ , (ml/(kg·h))	纤维素酶 (0.1 mol/L Na ₂ S ₂ O ₃ , (ml/(kg·d))	蛋白酶(甘氨酸, μg/(g·h))
TR0	242.67 ± 14.65 a	0.95 ± 0.10 a	72.00 ± 14.83 b	1.61 ± 0.58 a	0.74 ± 0.21 ab	2.60 ± 0.42 ab
TR5	250.00 ± 3.61 a	0.91 ± 0.05 a	187.00 ± 26.41 a	3.14 ± 0.05 a	1.30 ± 0.30 a	4.86 ± 1.31 a
TR15	246.67 ± 13.53 a	0.45 ± 0.02 b	136.73 ± 39.65 ab	1.94 ± 0.49 a	0.32 ± 0.16 b	0.84 ± 0.25 b

2.3 不同连作年限菠萝园土壤微生物生物量碳、氮含量

由图 2 可知, TR5、TR15 土壤微生物生物量碳、氮含量均高于 TR0。其中, TR5、TR15 土壤的微生物生物量碳含量分别比 TR0 提高了 1.74 倍和 1.71 倍, 差异显著($P<0.05$); 而 TR5、TR15 土壤微生物生物量氮分别比 TR0 提高 56.01% 和 72.96%, 差异不显著。

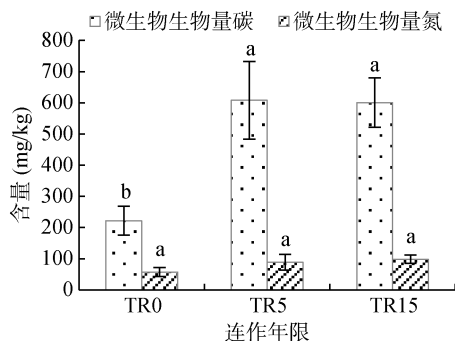


图 2 不同连作年限菠萝园土壤微生物生物量碳、氮含量
Fig.2 Contents of soil microbial biomass C and N under different continuous-cropping years of pineapple

2.4 不同连作年限菠萝园土壤微生物群落丰度

由表 3 可见, 无论是 TR0 还是 TR5、TR15, 土壤中细菌总数占微生物总数的比值均最高。TR5 土壤的细菌、真菌丰度均显著高于 TR0($P<0.05$); 而放线菌丰度较 TR0 略低, 差异不显著。TR15 土壤细菌、放线菌丰度均低于 TR0, 但差异不显著; 而真菌丰度显著高于 TR0。

表 3 不同连作年限菠萝园土壤微生物群落丰度
Table 3 Soil microbial community abundances under different continuous-cropping years of pineapple

连作年限	细菌(10^6 cfu/g)	真菌(10^3 cfu/g)	放线菌(10^4 cfu/g)
TR0	3.47 ± 0.54 b	1.15 ± 0.68 b	4.21 ± 2.45 a
TR5	8.87 ± 1.84 a	31.67 ± 4.49 a	2.72 ± 2.11 a
TR15	2.18 ± 0.74 b	48.00 ± 9.17 a	3.63 ± 1.92 a

3 讨论

3.1 连作对土壤理化性状的影响

植物与土壤是一个相互作用的有机整体。同一作物连续种植年限过长引起土壤养分消耗过多, 不利于保持养分供给平衡, 引起土壤微生物群落结构变化, 降低植物养分利用效率^[3,26]。菠萝连作在我国各产区非常普遍, 在一块地上连续种植多季菠萝。而且, 果农为了追求产量, 大量施用化肥。本研究结果显示, 与对照相比, 菠萝连作后土壤中全氮、铵态氮、有效磷含量增加, 土壤 pH 下降, Na 含量提高。表明菠萝连作后土壤酸化明显、Na 盐积累增多, 而且随着连作年限的延长, 土壤酸化和盐分积累呈现加重的趋势, 与张敬敏等^[27]研究结果相似。采用暗管排盐技术, 增加碳源促进氮素的微生物同化作用具有缓解土壤盐渍化与酸化的作用^[28-29]。酸性土壤中 B 的有效性提高^[30], 这是本研究中菠萝连作后有效 B 含量提高的原因。与全氮、铵态氮、有效磷含量的提高不同, 菠萝连作后土壤中速效钾以及交换性 Ca、Mg 含量降低, 且连续种植了 15 a 菠萝的土壤中降低更严重。表明菠萝连作中, 果实收获后带走了土壤中大量的 K、Mg、Ca 营养, 土壤中可供菠萝吸收利用的 K、Mg、Ca 营养在减少, 植株抗逆性降低, 不利于菠萝果实的品质形成, 生产中需增施 K、Mg、Ca 肥的施用以提高土壤营养供给。连作后土壤有机质含量降低, 氮、磷积累增多, 与连作中长期重施化肥、少施有机肥有关^[31-32]。随着种植年限的延长, 植物逐年对土壤有机物质利用, 使土壤肥力较低, 同时较高的收获指数和树体修剪等导致土壤有机碳大量消耗, 系统内部碳总量逐年减少^[4]。而本研究中, 与对照相比, 菠萝连作后土壤有机质以及微生物生物量碳、氮含量并未降低反而增加, 这与菠萝生产中果实收获后茎叶资源还田增加了土壤有机质, 土壤微生物数量增加有

关^[10]。

3.2 连作对土壤微生物群落丰度的影响

土壤微生物是农田生态系统的重要组成部分,在土壤营养循环、能量转换、有机物分解转化以及养分形成中有重要作用^[4]。植物连作常引起土壤微生物的多样性发生变化,真菌种群数量增加,而细菌和放线菌数量减少,微生物区系由“细菌型”向“真菌型”转变^[33]。细菌型土壤向真菌型土壤转变是作物连作障碍的主要特征之一^[34]。本研究中,无论是对照土壤还是连续种植了 5 a、15 a 菠萝的土壤,细菌都是最丰富的土壤微生物。但与对照土壤相比,菠萝连作 5 a 的土壤真菌数量明显增多、放线菌数量减少,但同时细菌数量也增多,总体上仍属“细菌型”;而菠萝连作 15 a 的土壤细菌、放线菌数量减少,真菌数量显著增多,土壤向“真菌型”转变,这与连作对植烟土壤微生物群落结构的影响结果相似^[35]。土壤中细菌的多样性与 K 含量水平和 pH 密切相关^[36],本研究中菠萝连作 15 a 的土壤中 K 含量和 pH 显著降低可能是细菌数量减少的重要原因。生产中应通过增施钾肥、钙镁磷肥提高土壤 pH,控制土壤酸化,并通过轮作等提高土壤细菌群落丰度、降低真菌群落丰度^[7-8]。土壤微生物高通量测序研究进一步表明,连作土壤中细菌优势菌属赖氨酸芽孢杆菌属(*Lysinibacillus*)占比降低^[36],有益菌属分枝杆菌属(*Mycobacterium*)、藤黄单胞菌属(*Luteimonas*)、芽单胞菌属(*Gemmatimonas*)和浮霉菌属(*Planctomyces*)的多样性减少^[37]。本研究暂未对土壤微生物进行目、属水平上的丰度与多样性研究,为更深入地了解菠萝连作对土壤微生物群落结构的影响,有待继续开展 16S rDNA 和 18S rDNA 测序相关研究。

3.3 连作对土壤酶活性的影响

土壤酶主要来自土壤微生物,种植作物的品种及年限影响着土壤微生物数量和种群多样性,从而使土壤酶活性发生变化^[7]。在枸杞^[4]上的研究表明,随着种植年限的增加,土壤脱氢酶活性未见显著变化,但土壤磷酸酶活性一直处于升高趋势,而土壤脲酶、过氧化氢酶、多酚氧化酶以及蔗糖酶活性均呈现先降低后上升的变化。本研究结果也表明,菠萝连作后土壤酸性磷酸酶活性升高。酸性磷酸酶是催化有机磷水解转化为无机磷的关键酶,菠萝连作后土壤酸性磷酸酶活性升高与本研究中菠萝连作后土壤中有效磷含量升高的结果一致。菠萝连作 5 a 的土壤脲酶、过氧化氢酶、蔗糖酶、纤维素酶以及蛋白酶的活性总体上变化不明显。但连续种植 15 a 后过氧化氢酶、纤维素

酶、蛋白酶活性降低,尤其是过氧化氢酶活性显著降低,这与连作 15 a 后土壤酸化、盐分积累加剧有关。过氧化氢酶催化土壤中的过氧化氢分解为水和氧气,从而消除和减轻过氧化氢的危害,在土壤生态系统循环中起着重要作用。菠萝连作后过氧化氢酶活性降低会加深过氧化氢在土壤中的积累,导致土壤酸化,对土壤及生物产生毒害作用^[38],这与本研究中菠萝连作后尤其是连作 15 a 后的土壤 pH 降低一致。生产中应减少化肥的施用量,控制土壤酸化。土壤蔗糖酶、纤维素酶影响着植物残体的分解及土壤微生物活动的能源供给^[39]。本研究表明,菠萝连作 5 a 后土壤蔗糖酶、纤维素酶活性升高,这与本研究中菠萝连作后土壤有机质及微生物生物量碳含量升高的趋势一致。但是,菠萝连作 15 a 后土壤蔗糖酶、纤维素酶活性明显低于连作 5 a 的,表明连作年限过长,土壤蔗糖酶、纤维素酶活性降低,不利于土壤中植物残体的分解,要清除植物残体或增加有益微生物菌剂促进植物残体的分解。土壤脲酶、蛋白酶的水解产物是植物的主要氮源之一,与土壤全氮含量呈正相关^[40]。在本研究中,菠萝连作后土壤脲酶活性略提高(差异不显著)。菠萝连作 5 a 后土壤蛋白酶活性明显提高,但连作 15 a 后土壤蛋白酶活性降低。菠萝连作后土壤全氮含量也呈现相似的变化趋势,菠萝连作地土壤全氮含量升高。生产中应减施氮肥、增施有机肥,提高土壤养分有效性。

4 结论

菠萝连作引起土壤 pH 下降,有机质、全氮、铵态氮、有效磷、Na 和微生物生物量碳、氮含量增加,速效钾及交换性 Mg 和交换性 Ca 含量下降。菠萝连作影响了土壤酶活性及微生物群落丰度,尤其是连作 15 a 后过氧化氢酶、纤维素酶、蛋白酶活性降低更明显,土壤细菌、放线菌数量下降,真菌数量增加。菠萝连作对土壤质量影响大,存在一定连作障碍,需加强土壤管理以消除障碍,控制土壤酸化,增施 K、Ca、Mg 肥。

参考文献:

- [1] 邢树文, 李云, 李金林, 等. 不同种植年限蕉柑根际土壤线虫群落及营养类群结构特征[J]. 果树学报, 2017, 34(12): 1599-1609.
- [2] 纳小凡, 郑国琦, 彭励, 等. 不同种植年限宁夏枸杞根际生物多样性变化[J]. 土壤学报, 2016, 53(1): 241-252.
- [3] 叶雯, 李永春, 喻卫武, 等. 不同种植年限香榧根际土壤生物多样性[J]. 应用生态学报, 2018, 29(11): 3783-3792.

- [4] 胥生荣, 张恩和, 马瑞丽, 等. 不同种植年限对枸杞根系及土壤环境的影响[J]. 作物学报, 2018, 44(11): 1725–1732.
- [5] Garbeva P, van Veen J A, van Elsas J D. Microbial diversity in soil: Selection microbial populations by plant and soil type and implications for disease suppressiveness[J]. Annual Review of Phytopathology, 2004, 42: 243–270.
- [6] 刘株秀, 刘俊杰, 徐艳霞, 等. 不同大豆连作年限对黑土细菌群落结构的影响[J]. 生态学报, 2019, 39(12): 4337–4346.
- [7] 刘建国, 张伟, 李彦斌, 等. 新疆绿洲棉花长期连作对土壤理化性状与土壤酶活性的影响[J]. 中国农业科学, 2009, 42(2): 725–733.
- [8] 王海斌, 陈晓婷, 丁力, 等. 连作茶树根际土壤自毒潜力、酶活性及微生物群落功能多样性分析[J]. 热带作物学报, 2018, 39(5): 852–857.
- [9] 王才斌, 吴正锋, 成波, 等. 连作对花生光合特性和活性氧代谢的影响[J]. 作物学报, 2007, 33(8): 1304–1309.
- [10] Liu C H, Liu Y, Fan C, et al. The effects of composted pineapple residue return on soil properties and the growth and yield of pineapple[J]. Journal of Soil Science and Plant Nutrition, 2013, 13 (2): 433–444.
- [11] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会, 中华人民共和国林业部. 中华人民共和国林业行业标准: 森林土壤 pH 值的测定: LY/T1239—1999[S]. 北京: 中国标准出版社, 1999.
- [12] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会, 中华人民共和国林业部. 中华人民共和国林业行业标准: 森林土壤有机质的测定及碳氮比的计算: LY/T1237—1999[S]. 北京: 中国标准出版社, 1999.
- [13] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会, 中华人民共和国林业部. 中华人民共和国林业行业标准: 森林土壤氮的测定: LY/T1228—2015[S]. 北京: 中国标准出版社, 2015.
- [14] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会, 中华人民共和国林业部. 中华人民共和国林业行业标准: 森林土壤铵态氮的测定: LY/T1231—1999[S]. 北京: 中国标准出版社, 1999.
- [15] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会, 中华人民共和国国家环境保护局. 中华人民共和国环境保护行业标准: 水质-无机阴离子的测定-离子色谱法: HJ/T 84—2001[S]. 北京: 中国标准出版社, 2001.
- [16] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会, 中华人民共和国林业部. 中华人民共和国林业行业标准: 森林土壤磷的测定: LY/T1232—2015[S]. 北京: 中国标准出版社, 2015.
- [17] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会, 中华人民共和国林业部. 中华人民共和国林业行业标准: 森林土壤钾的测定: LY/T1234—2015[S]. 北京: 中国标准出版社, 2015.
- [18] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会, 中华人民共和国农业部. 中华人民共和国国家标准: 土壤有效硼测定方法: NY/T149—1990[S]. 北京: 中国标准出版社, 1990.
- [19] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会, 中华人民共和国林业部. 中华人民共和国林业行业标准: 森林土壤交换性钙和镁的测定: LY/T1245—1999[S]. 北京: 中国标准出版社, 1999.
- [20] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会, 中华人民共和国林业部. 中华人民共和国林业行业标准: 森林土壤全钾、全钠的测定: LY/T1254—1999[S]. 北京: 中国标准出版社, 1999.
- [21] 史长青. 重金属污染对水稻土酶活性的影响[J]. 土壤通报, 1995, 26(1): 34–35.
- [22] 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.
- [23] 赵兰坡, 姜岩. 土壤磷酸酶活性测定方法的探讨[J]. 土壤通报, 1986, 17(3): 138–141.
- [24] 蔡红, 沈仁芳. 改良茚三酮比色法测定土壤蛋白酶活性的研究[J]. 土壤学报, 2005, 42(2): 306–312.
- [25] 章家恩. 生态学常用实验研究方法与技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2007.
- [26] Qin S H, Yeboah S, Xu X X, et al. Analysis on fungal diversity in rhizosphere soil of continuous cropping potato subjected to different furrow-ridge mulching managements[J]. Frontiers in Microbiology, 2017, 8: 845.
- [27] 张敬敏, 隋申利, 李艳玮, 等. 不同年限温室土壤盐分变化及对土壤退化的影响[J]. 土壤, 2019, 51(6): 1183–1187.
- [28] 张凯凯, 赵爽, 陈慧杰, 等. 暗排技术对设施连作土壤改良及切花菊品质的影响[J]. 土壤, 2020, 52(1): 139–144.
- [29] 李九玉, 邓开英, 章威, 等. 添加葡萄糖对红壤农田肥料氮转化及其酸化的影响[J]. 土壤学报, 2021, 58(1): 162–168.
- [30] 张超博, 邱洁雅, 王敏, 等. 桂北柑橘园土壤化学性状研究[J]. 土壤, 2020, 52(6): 1187–1195.
- [31] 杨艳菊, 王娟娟, 柯帅, 等. 不同种植年限设施西瓜土壤可溶性盐组分变化特征[J]. 中国农学通报, 2018, 34(35): 79–85.
- [32] 李炎龙, 刘梓雅, 严景, 等. 华北平原典型农田土壤微生物量碳氮磷库的县域分布特征——以河北省曲周县为例[J]. 土壤学报, 2021, 58(1): 235–245.
- [33] Wu L K, Wang J Y, Huang W M, et al. Plant-microbe rhizosphere interactions mediated by *Rehmanniaglutinosa* root exudates under consecutive monoculture[J]. Scientific Reports, 2015, 5: 15871.
- [34] 刘晔, 姜瑛, 王国文, 等. 不同连作年限对植烟土壤理化性状及微生物区系的影响[J]. 中国农学通报, 2016, 32(13): 136–140.
- [35] 高林, 王新伟, 中国明, 等. 不同连作年限植烟土壤细菌和真菌群落结构差异[J]. 中国农业科技导报, 2019, 21(8): 147–152.
- [36] 许广, 王梦姣, 邓百万, 等. 不同植茶年限茶树根际土壤细菌多样性及群落结构研究[J]. 生物技术通报, 2020, 36(3): 124–132.
- [37] 董艳辉, 于宇凤, 温鑫, 等. 基于高通量测序的藜麦连作根际土壤微生物多样性研究[J]. 华北农学报, 2019, 34(2): 205–211.
- [38] 刘姣姣, 何静, 陈伟, 等. 花椒连作对土壤化学性质及酶活性的影响[J]. 分子植物育种, 2019, 17(22): 7545–7550.
- [39] 侯文军, 邹明, 李宝福, 等. 草甘膦对桉树人工林土壤酶活性的影响[J]. 东北林业大学学报, 2020, 48(11): 76–79.
- [40] 马书琴, 汪子微, 陈有超, 等. 藏北高寒草地土壤有机质化学组成对土壤蛋白酶和脲酶活性的影响[J]. 植物生态学报, 2021, 45(5): 516–527.