

马铃薯连作对土壤理化性质和生物学特性的影响

周华兰^{1,2}, 彭亚丽^{1,2#}, 李婷^{1,2}, 谢鹰飞^{1,2}, 唐丽梅^{1,2}, 王榕^{1,2}, 熊兴耀³, 王万兴³, 胡新喜^{1,2*}

(1.湖南农业大学园艺园林学院, 湖南 长沙 410128; 2.湖南省马铃薯工程技术研究中心, 湖南 长沙 410128;
3.中国农业科学院蔬菜花卉研究所, 北京 100081)

摘 要: 为揭示南方马铃薯连作障碍产生的机理, 以金湘为材料, 研究马铃薯连作对南方土壤理化性质、微生物数量、酶活性的影响。结果表明: 新开垦土壤种植的马铃薯产量为 43.69 t/hm², 未见块茎发生疮痂病, 连作土壤马铃薯产量显著降低, 为 25.63 t/hm², 疮痂病薯率显著增加, 为 6.7%; 种植 1 季春马铃薯后, 连作土壤和新开垦土壤 pH 均降低, 有效磷、全磷、全氮、碱解氮、速效钾和有机质含量增加, 土壤放射菌总数降低, 细菌总数和真菌总数均增加, 土壤蔗糖酶活性、过氧化氢酶活性、磷酸酶活性、脲酶活性增加, 转化酶活性降低; 与新开垦土壤和第 1 季土壤相比, 连作土壤的 pH 值及全氮、有机质含量显著降低, 碱解氮含量降低, 全磷、有效磷和速效钾含量显著增加; 连作土壤的细菌总数和放射菌总数减少, 真菌总数增加, 真菌总数与细菌总数的比值显著增加; 连作土壤的过氧化氢酶活性、转化酶活性和蔗糖酶活性增加, 脲酶活性和磷酸酶活性降低。

关 键 词: 马铃薯; 连作; 土壤酶活性; 土壤微生物; 土壤理化性质

中图分类号: S532.01 文献标志码: A 文章编号: 1007-1032(2019)06-0611-06

Effects of potato continuous cropping on soil physicochemical and biological properties

ZHOU Hualan^{1,2}, PENG Yali^{1,2#}, LI Ting^{1,2}, XIE Yingfei^{1,2}, TANG Limei^{1,2}, WANG Rong^{1,2},
XIONG Xingyao³, WANG Wanxing³, HU Xinxi^{1,2*}

(1.College of Horticulture and Landscape, Hunan Agricultural University, Changsha, Hunan 410128, China; 2.Hunan Provincial Engineering Research Center for Potatoes, Changsha, Hunan 410128, China; 3.Institute of Vegetables and Flowers, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China)

Abstract: Continuous cropping affects the yield and quality of potatoes. In order to reveal the potential mechanism of potato continuous cropping obstacles in southern China, we set up a serial experiments in this study to investigate the effects of potato continuous cropping on soil physical and chemical properties, microbial biomass and enzyme activities. The results showed that the potato planted in newly reclaimed soil yielded in 43.69 t/hm² without showing common scab symptoms of tubers. The potato yield in continuous cropping soil was significantly reduced to 25.63 t/hm² with the scab symptoms on tubers, accounting for 6.7%. After planting potatoes for one season in spring, the soil pH decreased, while the available phosphorus, total phosphorus, total nitrogen, alkali-hydrolyzed nitrogen, available potassium and organic matter increased. At the same time, the total number of soil radiobacterium decreased and the total number of bacteria and fungi increased. Moreover, the activities of soil invertase, catalase, phosphatase and urease increased, while the invertase activity decreased. Compared with newly reclaimed soil and the first season soil, the pH, total nitrogen, and organic matter of continuous cropping soil decreased significantly with alkali-hydrolyzed nitrogen decreasing and the available phosphorus, total phosphorus, and available potassium increased significantly. In addition, the total number of soil

收稿日期: 2019-06-13

修回日期: 2019-07-31

基金项目: 农业部马铃薯产业技术体系(CARS-09-ES16); 马铃薯化肥农药减施技术集成研究与示范项目(2018YFD0200800); 湖南省大学生创新创业训练计划项目(SCX1710)

作者简介: 周华兰(1977—), 女, 汉族, 湖南隆回人, 博士研究生, 主要从事马铃薯栽培生理生态研究, zhouhlnet@163.com; #并列第一作者, 彭亚丽(1995—), 女, 土家族, 湖南龙山人, 硕士研究生, 主要从事马铃薯栽培生理生态研究, 1325831480@qq.com;

*通信作者, 胡新喜, 博士, 教授, 主要从事马铃薯栽培生理生态研究, huxinxi163@163.com

radiobacterium and bacteria decreased in continuous cropping soil, while the total number of fungi increased and the ratio of total number of fungi to total number of bacteria increased significantly. Moreover, the activities of catalase, invertase, and sucrose increased, however the activities of phosphatase and urease decreased in continuous cropping soil.

Keywords: potato; continuous cropping; soil enzyme activity; soil microorganism; soil physicochemical properties

马铃薯是世界上仅次于水稻、小麦、玉米的第四大粮食作物,也是重要的粮菜兼用作物和工业原料。自 2000 年以来,中国马铃薯种植面积逐年增加,已成为世界马铃薯生产第一大国,播种面积和产量均居世界首位^[1]。据联合国粮农组织(FAO)数据显示,2017 年中国马铃薯种植面积为 5 76.7 万 hm^2 ,鲜薯产量为 9 920.6 万 t(<http://www.fao.org>)。由于土地资源有限、种植规模偏小等原因,马铃薯连作栽培现象普遍,特别是在西南混作区和二季作区还存在周年连作的现象。与番茄等茄科作物一样,马铃薯连作会造成严重的连作障碍,病虫害增多,产量和品质下降。

作物连作障碍发生的原因很多,包括土壤理化性质劣变、土传病害增多、化感物质的自毒作用增强等,每种作物连作障碍发生的原因不尽相同。土壤微生物量、种群多样性及土壤酶活性等参数已成为评价土壤质量和肥力的重要内容^[2-5]。ROWE 等^[6]研究发现,马铃薯连作栽培易引起早疫病;EMMOND 等^[7]研究发现,马铃薯轮作可降低枯萎病的发生率。中国在马铃薯连作障碍机理方面也开展了较为深入的研究:沈宝云等^[8]发现马铃薯连作土壤出现了诱发枯萎病的病原菌;李金花等^[9]发现马铃薯连作土壤出现了黑痣病的病原菌;马玲等^[10]研究发现,马铃薯连作导致马铃薯根际土壤细菌多样性水平降低,真菌多样性水平升高,破坏了根际土壤微生物群落的平衡,使其根际土壤微生态环境恶化;牛秀群等^[11]研究表明,在甘薯干旱灌区,随着连作年限的增加,马铃薯根际土壤镰刀菌数量呈上升趋势;刘星等^[12]研究表明,随着连作年限的延长,马铃薯连作障碍也愈加严重,引起干腐病的镰刀菌属真菌在根际土壤中的富集;白艳茹等^[13]研究表明,土壤蔗糖酶和脲酶活性随连作年限的增加呈下降趋势,中性磷酸酶和过氧化氢酶活性在不同茬次间无显著差异;杜茜等^[14]发现连作土壤添加马铃薯残茬后,土壤脲酶和过氧化氢酶活性升高。这些研究主要是针对马铃薯北方一季作区,但有关南方

作区马铃薯连作障碍的研究少有报道,而且中国南方作区的土壤理化性质、生态环境和耕作制度均不同于北方一季作区;因此,笔者研究连作对马铃薯南方作区土壤理化性质和生物学特性的影响,以解析南方作区马铃薯连作障碍发生的机理,为连作障碍干预提供依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料

供试马铃薯品种为金湘,由湖南省马铃薯工程技术研究中心提供。

1.2 试验方法

本试验于 2014—2016 年在湖南省益阳市资阳区沙头镇富兴村进行。试验所选地块紧邻资江,土质为河流冲积沙土。2014 年春季开垦,2014 年秋季、2015 年春季、2015 年秋季连续种植 3 季马铃薯,马铃薯收获后秸秆还田。采用大区对比法,设 2 个试验大区,大区面积 45 m^2 。2015 年 12 月收获第 3 季马铃薯时,在连作 3 季处理大区分 3 点取薯块和根系周边土壤样品(T3,冬季采样);在紧邻马铃薯种植区 2014 年开垦的未种植任何作物地块按 3 点取样法取土壤样品,设为对照大区(T,冬季采样)。2016 年 1 月上旬,在连作处理大区和对照大区种植马铃薯,整地时均一次性施入硫酸钾型复混肥(N、 P_2O_5 、 K_2O 的比例为 15 15 15)1 500 kg/hm^2 。采用大垄宽窄行地膜栽培,宽行 80 cm,窄行 40 cm,株距 20 cm。田间管理按文献^[15]进行。2016 年 5 月上旬收获。在连作处理和对照大区内均随机取 3 垄测产,每垄面积 6 m^2 ,计算实际产量。按 3 点取样法,取薯块和根系周边土壤样品,分别为连作 4 季土壤(T4,春季采样)和第 1 季土壤(T1,春季采样)。土壤样本带回实验室后,相同处理的土壤样本充分混匀,一部分自然风干,用于测定理化性质;另一部分于 4 $^{\circ}\text{C}$ 冰箱保存,用于测定酶活性和微生物群落计数。

1.3 测定项目及方法

土壤 pH 和理化性状测定 :参照文献[16]测定 T、T1、T3、T4 土壤样品的 pH、全氮、全磷、全钾、碱解氮、速效磷、速效钾和有机质含量。

土壤酶活性的测定 :参照文献[16]测定 T、T1、T3、T4 土壤样品蔗糖酶、过氧化氢酶、磷酸酶、转化酶和尿酶的活性。

土壤微生物类群的测定 :细菌、真菌和放射菌的计数均采用稀释涂抹平板法 ,从 3 个稀释梯度 (10^{-3} 、 10^{-5} 、 10^{-6})中分别吸取 200 μ L 土壤悬液 ,涂在细菌固体培养基、真菌固体培养基和放线菌固体培养基上 ,置于 30 $^{\circ}$ C 恒温培养箱中 ,培养 3 d 后计数。具体测定方法参照文献[17]进行。

1.4 数据分析方法

运用 Excel 2010 进行数据整理 ;采用 SPSS 16.0 进行显著性分析。

2 结果与分析

2.1 连作对马铃薯产量和疮痂病发生的影响

新开垦土壤种植的第 1 季马铃薯产量为 43.69 t/hm² ,显著高于第 3 季连作土壤种植的第 4 季马铃薯的产量(25.63 t/hm²)。第 4 季马铃薯疮痂病块茎占 6.7% ,而第 1 季马铃薯块茎未见疮痂病发生。

2.2 连作对土壤 pH 和养分的影响

从表 1 可以看出 ,种植 1 季马铃薯后 ,即同一块土地的 T1 与 T 相比 ,T4 与 T3 相比 ,土壤 pH 降低 ,有效磷、全磷、全氮、碱解氮、速效钾和有机质含量均有所增加 ,但都未达显著水平 ;全钾含量的变化没有规律。与 T 和 T1 相比 ,T3 和 T4 的 pH 值及全氮、有机质含量显著降低 ,碱解氮含量也有所降低 ,但 T3 和 T4 的全磷、有效磷和速效钾含量显著增加 ,且随着连作次数的增加 ,土壤 pH 呈降低趋势 ,全磷、有效磷和速效钾含量呈增加趋势。

表 1 马铃薯种植前后土壤的 pH 和养分含量

Table 1 The soil pH and nutrients before and after potato planting								g/kg
土壤样品	pH	全氮含量	全磷含量	全钾含量	有机质含量	碱解氮含量	有效磷含量	速效钾含量
T	(6.02±0.10)a	(1.37±0.13)a	(0.55±0.05)b	25.43±0.29	(17.80±1.80)a	106.67±11.72	(5.59±0.60)b	(83.67±2.67)b
T1	(5.79±0.00)a	(1.40±0.06)a	(0.63±0.01)b	25.83±0.09	(18.03±1.45)a	109.67±9.39	(15.17±2.59)b	(93.67±5.36)b
T3	(5.04±0.16)b	(1.04±0.06)b	(0.88±0.05)a	25.57±0.22	(13.17±0.50)b	93.33±3.53	(123.63±21.53)a	(125.33±2.52)a
T4	(4.93±0.05)b	(1.10±0.02)b	(0.93±0.01)a	25.23±0.54	(13.40±0.35)b	94.00±1.15	(148.63±4.20)a	(130.00±8.50)a

同列数据后不同字母示在 0.05 水平差异显著。

2.3 连作对土壤微生物数量与结构的影响

从图 1 中可以看出 ,各处理土壤细菌总数在 $56.18\times10^5\sim125.41\times10^5$ cfu/g(图 1-I) ,真菌总数在 $51.93\times10^3\sim85.87\times10^3$ cfu/g (图 1-II) ,两者变化幅度较大 ,放射菌总数在 $200.24\times10^4\sim256.89\times10^4$ cfu/g (图 1-III) ,变化幅度较小。

种植 1 季春马铃薯后 ,同一块土地的 T1 与 T 相比 ,细菌总数显著增加 ,T4 与 T3 呈相同变化趋势 ,但是连作土壤和新开垦土壤的细菌总数增加幅度不同 ,T1 的细菌总数比 T 的增加 83.42% ,而 T4 的细菌总数比 T3 的只增加 47.56% ;连作土壤 T4、T3 的细菌总数与同季节的 T1 和 T 相比 ,T4 的细菌总数显著低于同季节 T1 的 ,T3 的细菌总数低于同季节 T 的 ,分别降低 33.9%和 17.83%(图 1-I)。

同一块土地的 T1 与 T 相比 ,真菌总数显著增加 ,T4 与 T3 呈相同变化趋势 ,但是连作土壤和新

开垦土壤的真菌总数增加幅度不同 ,T1 的真菌总数比 T 的增加 32.72% ,T4 的真菌总数比 T3 的增加 43.84% ;连作土壤 T4、T3 的真菌总数与同季节 T1 和 T 的相比 ,T4 的真菌总数显著高于同季节 T1 的 ,T3 的真菌总数高于同季节 T 的 ,分别增加 24.6%和 14.96%(图 1-II)。

同一块土地的放射菌总数相比 ,T1 的比 T 的减少了 2.66% ,而 T4 的放射菌总数与 T3 的差异显著 ,减少了 20.54% ;连作土壤 T4、T3 的放射菌总数与同季节 T1 和 T 的相比 ,T4 的放射菌总数显著低于同季节 T1 的 ,T3 的真菌总数低于同季节 T 的 ,分别降低 19.92%和 1.91%(图 1-III)。

综上所述 ,种植 1 季春马铃薯后 ,连作土壤和新开垦土壤的放射菌总数降低 ,细菌总数和真菌总数均增加 ;但是与新开垦土壤和第 1 季土壤相比 ,连作土壤 T3 和 T4 细菌总数和放射菌总数减少或显

著减少,但是真菌总数和真菌总数与细菌总数的比

值显著增加(图 1-IV)。

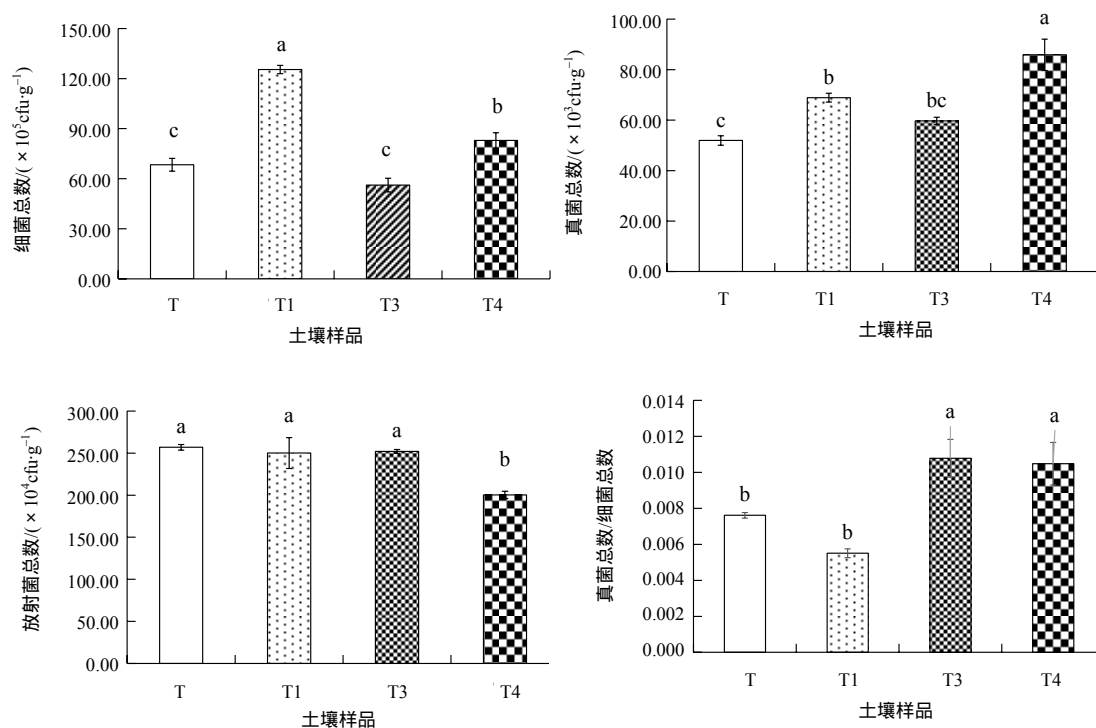


图 1 连作处理的土壤微生物数量及比例

Fig.1 The soil microbial biomass and ratio under continuous cropping

2.4 连作对土壤酶活性的影响

从图 2-I 可以看出,种植 1 季春马铃薯后,T1 的蔗糖酶活性比 T 的增加了 9.26%,T4 的蔗糖酶活性比 T3 的显著增加(增加了 31.86%)。连作土壤 T4、T3 的蔗糖酶活性与同季节 T1 和 T 的相比,T4 的蔗糖酶活性高于同季节 T1 的,T3 的蔗糖酶活性低于同季节 T 的,但差异均不显著。

T1 的过氧化氢酶活性比 T 的增加了 20.38%,T4 的过氧化氢酶活性比 T3 的显著增加(增加了 115.63%)。连作土壤 T4、T3 的过氧化氢酶活性与同季节 T1 和 T 的相比,T4 的过氧化氢酶活性显著高于同季节 T1 的,T3 的过氧化氢酶活性略高于同季节 T 的,分别增加 80.89%和 0.99%(图 2-II)。

T1 的磷酸酶活性比 T 的显著增加,为 T 的 2.54 倍,T4 的磷酸酶活性也显著高于 T3 的,为 T3 的 2.37 倍;连作土壤 T4、T3 的磷酸酶活性与同季节 T1 和 T 的相比,T4 的磷酸酶活性显著低于同季节 T1 的,T3 的磷酸酶活性低于同季节 T 的,分别降

低 11.55%和 3.97%(图 2-III)。

从图 2-IV 可以看出,T1 的脲酶活性比 T 的显著增加,达 T 的 2.22 倍;T4 的脲酶活性是 T3 的 2.03 倍;连作土壤 T4、T3 的脲酶活性与同季节 T1 和 T 的相比,T4 的脲酶活性显著低于同季节 T1 的,T3 的脲酶活性低于同季节 T 的,分别降低 13.53%和 5.57%。

与上述酶不同的是,T1、T4 的转化酶活性分别显著低于 T 和 T3 的;连作土壤 T4、T3 的转化酶活性与同季节 T1 和 T 的相比,T4 的转化酶活性比 T1 的增加 30.67%,T3 的转化酶活性比 T 的降低 3.32%,但差异均不显著(图 2-V)。

综上所述,种植 1 季春马铃薯后,连作土壤和新开垦土壤蔗糖酶活性、过氧化氢酶活性、磷酸酶活性、脲酶活性均有不同程度的增加,转化酶活性降低;但是与第 1 季土壤相比,连作 4 季土壤过氧化氢酶活性显著增加,转化酶活性和蔗糖酶活性增加,脲酶和磷酸酶活性降低。

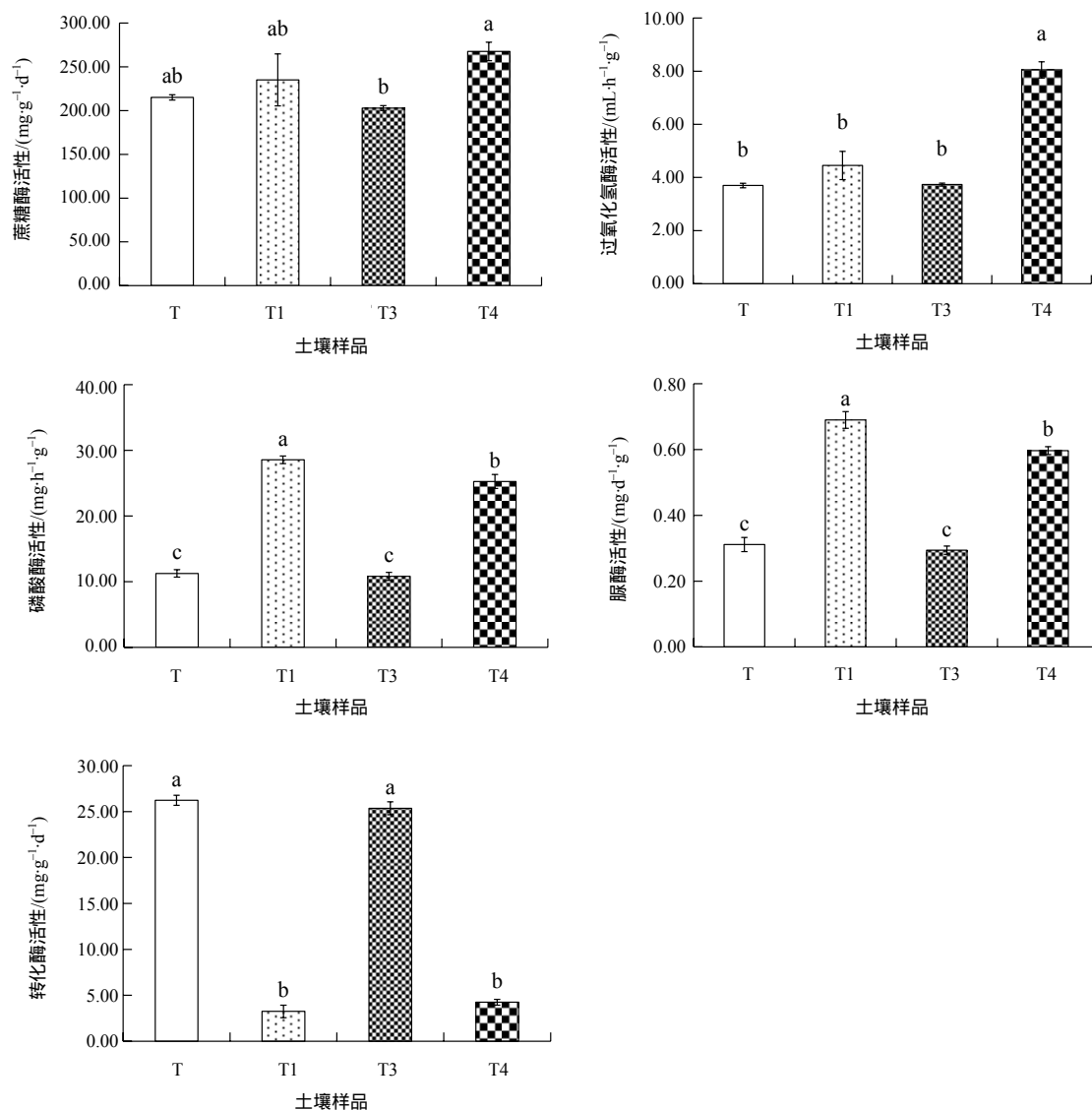


图 2 连作处理的土壤酶活性

Fig.2 The soil enzyme activity under continuous cropping

3 结论与讨论

近年来,研究人员对中国北方一季作区马铃薯连作障碍的机理进行了探讨^[10-13,18-21],马铃薯连作后,土壤 pH 显著降低^[13-14],土壤脲酶和过氧化氢酶活性升高,有机质、全氮、全磷、速效钾、速效磷、碱解氮含量显著增加^[14];连作破坏了根际土壤微生物群落的平衡,根际土壤细菌数量与真菌数量的比值降低或升高^[10,20],镰孢菌等致病菌增加^[10,21]。

中国南方作区土壤多为酸性,冬季气温相对较高,年内种植 2 季或 3 季作物,土壤休耕期短。本研究中,连作土壤种植的马铃薯产量显著低于新开垦土壤种植的。连作土壤和新开垦土壤种植 1 季马铃薯后, pH 降低,有效磷、全磷、全氮、碱解氮、

速效钾和有机质含量增加,且随着连作次数的增加,土壤 pH 呈降低趋势,全磷、有效磷和速效钾含量呈增加的趋势,这与杜茜等^[14]的研究结果类似。种植 1 季春马铃薯后,土壤放射菌总数降低,细菌总数和真菌总数均增加,土壤蔗糖酶活性、过氧化氢酶活性、磷酸酶活性、脲酶活性不同程度增加,转化酶活性降低,可能是由于 T 和 T3 处理的土壤取样时间是冬季,T1 和 T4 土壤的取样时间是春季,其温度、水分等环境条件差异较大,影响了微生物和酶活性。与 T 和 T1 土壤相比,连作土壤 T3 和 T4 细菌总数和放射菌总数减少,真菌总数及真菌总数与细菌总数的比值显著增加,微生物由“细菌型”土壤向“真菌型”土壤转化,与黄瓜、大蒜

连作土壤变化趋势^[22-24]相似,但与杨桂丽等^[20]的研究结果不同。与第 1 季土壤相比,连作 4 季土壤过氧化氢酶活性显著增加,转化酶活性和蔗糖酶活性增加,脲酶和磷酸酶活性降低,与杜茜等^[14]的研究结果类似,与白艳茹等^[13]的研究结果不同。南方马铃薯连作土壤块茎产量显著降低、疮痂病薯率显著增加,可能是连作引起土壤理化性质、土壤酶活性、土壤微生物群落发生改变,特别是土壤 pH 显著降低、过氧化氢酶活性显著增加以及土壤微生物群落结构失衡,土壤微生态环境恶化所致。后续还需通过多年的定位试验和宏基因组测序等技术进一步分析马铃薯连作土壤微生物群落结构的具体变化及致病微生物的种类,进一步阐明南方马铃薯连作障碍发生的机理。

参考文献:

- [1] 胡新喜,冯艳青,雷艳,等.不同施氮水平下秋马铃薯的生长以及StNR和StAT的表达[J].园艺学报,2015,42(10):1974-1982.
- [2] 曹慧,杨浩,孙波,等.不同种植时间菜园土壤微生物生物量和酶活性变化特征[J].土壤,2002,34(4):197-200.
- [3] 章家恩,刘文高,胡刚.不同土地利用方式下土壤微生物数量与土壤肥力的关系[J].土壤与环境,2002,11(2):140-143.
- [4] DOUGLAS C L, ALLMARAS R R, RASMUSSEN P E, et al. Wheat straw composition and placement effects on decomposition in dryland agriculture of the Pacific Northwest[J]. Soil Science Society of America Journal, 1980, 44(4): 833-837.
- [5] ESKELINEN A, STARK S, MÄNNISTÖ M. Links between plant community composition, soil organic matter quality and microbial communities in contrasting tundra habitats[J]. Oecologia, 2009, 161(1): 113-123.
- [6] ROWE R C, POWELSON M L. Potato early dying: management challenges in a changing production environment[J]. Plant Disease, 2002, 86(11): 1184-1193.
- [7] EMMOND G S, LEDINGHAM R J. Effects of crop rotation on some soil-borne pathogens of potato[J]. Canadian Journal of Plant Science, 1972, 52(4): 605-611.
- [8] 沈宝云,刘星,王蒂,等.甘肃省中部沿黄灌区连作对马铃薯植株生理生态特性的影响[J].中国生态农业学报,2013,21(6):689-699.
- [9] 李金花,王蒂,柴兆祥,等.甘肃省马铃薯镰刀菌干腐病优势病原的分离鉴定[J].植物病理学报,2011,41(5):456-463.
- [10] 马玲,马琨,杨桂丽,等.马铃薯连作栽培对土壤微生物多样性的影响[J].中国生态农业学报,2015,23(5):589-596.
- [11] 牛秀群,李金花,张俊莲,等.甘肃省干旱灌区连作马铃薯根际土壤中镰刀菌的变化[J].草业学报,2011,20(4):236-243.
- [12] 刘星,邱慧珍,王蒂,等.甘肃省中部沿黄灌区轮作和连作马铃薯根际土壤真菌群落的结构性差异评估[J].生态学报,2015,35(12):3938-3948.
- [13] 白艳茹,马建华,樊明寿.马铃薯连作对土壤酶活性的影响[J].作物杂志,2010(3),34-36.
- [14] 杜茜,马琨.马铃薯连作对土壤理化性质及酶活性的影响[J].黑龙江农业科学,2013(5):20-23,39.
- [15] 刘明月,秦玉芝,何长征,等.南方冬闲田马铃薯播种技术[J].湖南农业大学学报(自然科学版),2011,37(2):156-160.
- [16] 鲍士旦.土壤农化分析[M].北京:中国农业出版社,1999.
- [17] 姚槐应,黄吕勇.土壤微生物生态学及其实验技术[M].北京:科学出版社,2007.
- [18] 韩晓增,许艳丽.大豆重迎茬减产控制与主要病虫害防治技术[M].北京:科学出版社,1999.
- [19] 杜茜,卢迪,马琨.马铃薯连作对土壤微生物群落结构和功能的影响[J].生态环境学报,2012,21(7):1252-1256.
- [20] 杨桂丽,马琨,卢斐,等.马铃薯连作栽培对土壤化感物质及微生物群落的影响[J].生态与农村环境学报,2015,31(5):711-717.
- [21] 李继平,李敏权,惠娜娜,等.马铃薯连作田土壤中主要病原真菌的种群动态变化规律[J].草业学报,2013,22(4):147-152.
- [22] 马云华,魏琨,王秀峰.日光温室连作黄瓜根区微生物区系及酶活性的变化[J].应用生态学报,2004,15(6):1005-1008.
- [23] 杨建霞,范小峰,刘建新.温室黄瓜连作对根际微生物区系的影响[J].浙江农业科学,2005,46(6):441-443.
- [24] 刘素慧,刘世琦,张自坤,等.大蒜连作对其根际土壤微生物和酶活性的影响[J].中国农业科学,2010,43(5):1000-1006.

责任编辑:毛友纯

英文编辑:柳正