

连作年限对辣椒不同生育期土壤养分、酶活性及微生物数量的影响

邓廷飞^{1,2}, 柳小兰^{1,2}, 王道平^{1,2}, 颜秋晓^{1,2}, 管正策³, 杨小生^{1,2*}

(1 贵州医科大学 省部共建药用植物功效与利用国家重点实验室, 贵阳 550014; 2 贵州省天然产物研究中心, 贵阳 550014; 3 贵州力合农业科技有限公司, 贵阳 550025)

摘要 目的: 研究不同连作年限对辣椒不同生育期土壤养分、酶活性、微生物量以及整体的变化趋势的影响。方法: 以连作1年(1 a)、连作3年(3 a)和连作5年(5 a)的辣椒各生育期土壤为研究对象, 对土壤理化指标(土壤pH、电导率、有机质、全氮、全磷和速效钾), 酶活性(过氧化氢酶、脲酶、蔗糖酶和酸性磷酸酶)以及微生物量(细菌、放线菌和真菌)进行测定。结果: 不同连作年限中, 6个土壤养分指标含量在辣椒3个生育时期中有66.67%呈现出3 a最大, 有55.56%呈现出1 a最小, 且除速效钾外, 其余5个指标含量均在3 a的开花期达到最大值。在辣椒3个生育时期中, 4个土壤酶活性指标含量有75%呈现出3 a最大, 而5 a为最小, 占比高达91.67%; 3个土壤微生物量指标呈现出5 a最大, 而3 a为最小, 占比均为44.44%。总之, 随着连作年限的延长, 土壤pH、电导率、全氮、全磷、过氧化氢酶、脲酶、蔗糖酶、放线菌以及土壤B/F值先增加后降低, 真菌先降低后增加, 有机质和酸性磷酸酶逐年下降, 速效钾和细菌逐年上升。结论: 短期连作能够为辣椒生长提供良好的土壤养分环境, 但连作超过一定年限后会导致土壤养分失衡, 土壤酶活性降低, 土壤微生物群落由“细菌型”向“真菌型”转变, 进而导致土壤质量下降。

关键词 辣椒; 连作年限; 土壤理化性质; 土壤酶活性; 微生物数量

中图分类号 S158.3; S154.36 文献标志码 A 文章编号 1672-4321(2025)01-0028-08

doi: 10.20056/j.cnki.ZNMDZK.20250745

Effects of continuous cropping years on soil nutrients, enzyme activities and microbial numbers in different growth stages of pepper

DENG Tingfei^{1,2}, LIU Xiaolan^{1,2}, WANG Daoping^{1,2}, YAN Qiuxiao^{1,2}, GUAN Zhengce³, YANG Xiaosheng^{1,2*}

(1 State Key Laboratory of Functions and Applications of Medicinal Plants, Guizhou Medical University, Guiyang 550014, China; 2 Natural Products Research Center of Guizhou Province, Guiyang 550014, China; 3 Guizhou Lihe Agricultural Technology Co., LTD, Guiyang 550025, China)

Abstract Objective: To study the effects of different continuous cropping years on the changes of soil nutrients, enzyme activities, microbial biomass and the overall change trends of pepper at different growth stages. Method: Soil physical and chemical indexes (soil pH, electrical conductivity, organic matter, total nitrogen, total phosphorus and available potassium), enzyme activities (catalase, urease, sucrase and acid phosphatase) and microbial biomass (bacteria, actinomycetes and fungi) were measured for soils in each growth period of continuous cropping for 1 year (1 a), 3 years (3 a) and 5 years (5 a). Results: In different continuous cropping years, 66.67% of the six soil nutrient indexes showed a maximum in continuous cropping for 3 a, and 55.56% showed a minimum in continuous cropping for 1 a. Except for available potassium, the contents of the other five indexes reached the maximum in the flowering period of continuous cropping for 3 a. During the three growth stages of pepper, 75% of the four soil enzyme activity indexes showed that 3 a was the largest, while 5 a was the smallest, accounting for 91.67%; the three soil microbial biomass indexes showed that 5 a

收稿日期 2022-10-20

* 通信作者 杨小生(1966-), 男, 研究员, 博士, 研究方向: 民族药用资源化学研究及其新产品开发, E-mail: gzcnp@sina.cn

基金项目 贵州省科技计划资助项目(黔科合支撑[2020]1Y121, 黔科合支撑[2022]一般177, 黔科合服务企业[2020]4013)

was the largest, while 3 a was the smallest, accounting for 44.44%. Overall, with the extension of continuous cropping years, soil pH, electrical conductivity, total nitrogen, total phosphorus, catalase, urease, sucrase, actinomyces and soil B/F value first increased and then decreased, fungi first decreased and then increased, organic matter and acid phosphatase decreased year by year, available potassium and bacteria increased year by year. Conclusion: Short-term continuous cropping can provide a good soil nutrient environment for pepper growth; however, continuous cropping over a certain number of years leads to the imbalance of soil nutrients, the decrease of soil enzyme activity, and the transformation of soil microbial community from "bacterial type" to "fungal type", thus leading to the decline of soil quality.

Keywords pepper; continuous cropping years; physical and chemical properties of soil; soil enzyme activity; number of microorganisms

辣椒(*Capsicum annuum* L.)属茄科,是我国重要的经济作物,我国在辣椒种植和产量上位居世界第一^[1].辣椒作为贵州省重点推进的农村产业革命 12 个特色优势产业之一,其种植面积逐年扩大,但产量品质却不佳.这与农民种植辣椒过程中为求高产而过量施用化肥、农药和常年单一种植所引起的土壤养分失调、病虫害严重、微生物菌群改变等造成的连作障碍有很大关系^[2-3].不同作物连作对土壤理化性质的影响各不相同,党参土壤有机碳、全磷、全氮、速效磷含量在党参各生育期随连作年限的增加呈先上升后下降的趋势,且总体有所下降^[4];灵芝连作 2 年后土壤 pH、有机质、速效磷、速效钾和氨态氮含量显著降低^[5];连作甜瓜土壤 pH 值和容重不断下降,有机质和速效氮快速积累,而速效磷和速效钾大量流失,土壤营养严重失调^[6].

土壤酶是反映土壤健康状况变化的敏感因子^[7],脲酶、蔗糖酶、过氧化氢酶、酸性磷酸酶是评价土壤熟化程度、肥力水平和生物转化的指标^[8],有研究显示作物连作后土壤磷酸酶、蛋白酶、过氧化氢酶、蔗糖酶和脲酶活性下降,从而导致土壤养分转化和供应受阻^[9-10].土壤微生物是微生物群落结构能够直观地反映土壤微生态状况和病害的发生趋势^[11-12],LIU 等研究发现土壤菌群结构随作物连作年限的增加发生明显变化^[13],土壤微生物多样性指数降低^[14],真菌种群数量与细菌和放线菌数量呈负相关,微生物区系由“细菌型”向“真菌型”转变^[15],而这一转变通常被认为是土壤衰竭的标志^[16].连作障碍已成为影响辣椒产量和质量的重要因素,严重制约了贵州辣椒产业的发展,成为辣椒生产上的一大限制因子和急需解决的问题.目前,关于辣椒连作的研究来看,大多集中在对土壤理化性质、微生物、酶活性的影响、抗性品种的研究、病虫害防治和改良措施等方面,连作对辣椒不同生育期土壤特性的影响如何尚不清楚.因此,本文以辣椒在不同连作

年限的不同生育期土壤为研究对象,探讨其土壤理化性状、酶活性特征以及微生物数量的影响,从土壤环境角度缓解辣椒连作障碍提供实践依据.

1 材料与方 法

1.1 材料和仪器

辣椒植株:香辣四号辣椒(108A×017),由贵州力合农业科技有限公司提供[GPD 辣椒(2020)520012];试验材料:辣椒幼苗期、开花期和结果期的表层土壤.

ME104E 电子天平(梅特勒-托利多);pHS-3E 酸度计、DDS-307A 电导率仪(上海仪电);HH-S 数显恒温油浴锅(金泰科析);THZ-92A 气浴恒温振荡器(上海博讯);SKD-100 自动凯氏定氮仪(上海沛欧);Prodigy XP 电感耦合等离子发射光谱仪(ICP-OES,北京利曼);HP8453 紫外-可见分光光度计(惠普研发有限合伙公司);微生物培养皿(美国 Corning).

1.2 试验概况

研究区分别为花溪麦坪二官(种植 1 年,1 a)、安顺平坝(种植 3 年,3 a)和花溪力合农业种植基地(种植 5 年,5 a),均属黄壤地带,高原湿润亚热带季风气候,于 2021 年 3—7 月在各基地开展试验,辣椒于 2 月中下旬在大棚中育苗,3 月底起垄施肥后,覆膜,按株行距 30 cm × 50 cm 移栽定植.各基地均按照相同的施肥水平、灌溉方式等进行田间管理.具体采样信息见表 1.

1.3 样品采集与制备

采用 GPS 定位,于三个区域采集不同生长期(幼苗期、开花期和结果期)的辣椒表层土样,按“S”型采集土壤,采样深度为 0~5 cm,每个区域分别采集各个时期土样各 3 个土样,每个土样为 5 点混合后,按四分法处理,将约 2 kg 样品带回实验室,共采集土样 27 个.剔除植物残体及大砾石等非土壤物

表 1 采样信息表

Tab. 1 Sampling information table

种植年限/a	采样地点	经纬度	平均海拔/m	年均气温/°C	年均降雨量/mm	无霜期/d
1	花溪麦坪二官 018	东经:106°32'4",北纬:26°29'6"	1236	14.0	1102	270
3	安顺平坝	东经:106°5'34",北纬:26°22'54"	1250	14.8	1065	310
5	花溪力合农业种植基地 014	东经:106°45'42",北纬:26°19'2"	1342	15.6	1100	285

质,一部分保存于 4 °C 冰箱内,供土壤酶活性及微生物数量的测定;一部分样品自然风干后研磨先过 2 mm 尼龙筛,混匀后取 100 g 样品,再研磨后全部过 0.25 mm 尼龙筛,分别贮存,用于土壤养分的测定.

1.4 方法

1.4.1 土壤养分测定

土壤 pH 值:水土比为 2.5:1 的电位法;土壤容重:环刀法;电导率:电导法;土壤有机质:丘林法;土壤全氮:半微量开氏法;土壤全磷:HClO₄-H₂SO₄法-钼锑抗比色法;土壤速效钾:NH₄OAC 浸提-火焰原子吸收法.为确保测试结果的准确性,分析过程中每批样品设 2 个空白,分析样品重复数 10%~15%,所用水均为去离子水(明澈 TM-D24UV 纯水系统),试剂均采用分析纯.

1.4.2 土壤酶活性测定

脲酶、蔗糖酶、酸性磷酸酶、过氧化氢酶分别采用苯酚钠-次氯酸钠比色法、3,5-二硝基水杨酸比色法、磷酸苯二钠法、紫色分光光度法测定.

1.4.3 土壤微生物数量测定

土壤中细菌、放线菌和真菌分别用牛肉膏蛋白胨培养基、高氏一号培养基和马丁氏培养基培养.土壤微生物的测定采用稀释涂布平板计数法(CFU

法).公式:每克土壤中的活菌数(CFU/g)=同一稀释度几次重复的菌落平均数×稀释倍数.

1.5 统计与分析

数据统计分析采用 Excel 2013 和 DPS (7.05) 软件.

2 结果与分析

2.1 不同连作年限对不同生育期辣椒土壤养分的影响

不同连作年限对不同生育期辣椒土壤养分的影响结果见表 2.由表 2 可知:随着连作年限的延长,幼苗期土壤 pH、结果期土壤有机质、全生育期土壤全氮表现为 3 a > 1 a > 5 a;开花期和结果期土壤 pH、开花期和结果期土壤电导率、全生育期土壤全磷表现为 3 a > 5 a > 1 a;幼苗期土壤电导率、幼苗期和开花期土壤有机质、开花期和结果期土壤速效钾表现为 5 a > 3 a > 1 a;幼苗期土壤速效钾表现为 5 a > 1 a > 3 a.因此,不同连作年限中 6 个土壤养分指标含量在辣椒 3 个生育时期中有 66.67% 呈现出连作 3 a 最大,有 55.56% 呈现出连作 1 a 最小.

随着生育期的推移,连作 1 a 的辣椒土壤 pH 呈

表 2 不同连作年限的辣椒不同生育期土壤养分含量

Tab. 2 Soil nutrient content of pepper at different growth stages with different continuous cropping years

年限/a	时期	pH	电导率 /($\mu\text{s}\cdot\text{cm}^{-1}$)	有机质含量 /($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)	全氮含量 /($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)	全磷含量 /($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)	速效钾含量 /($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)
1	幼苗期	6.02±1.26a	76.83±16.36b	40.32±4.33b	2.12±0.32a	0.90±0.28a	266.97±66.73a
	开花期	5.03±0.29a	288.33±126.52a	46.30±1.52a	2.94±1.02a	1.15±0.12a	468.40±173.42a
	结果期	5.45±0.27a	71.67±21.22b	47.22±2.08a	2.29±0.16a	1.01±0.11a	286.27±89.11a
	平均值	5.50	145.61	44.61	2.45	1.02	340.55
3	幼苗期	6.09±0.27a	96.00±19.08b	36.16±2.07a	2.18±0.06b	1.26±0.15a	185.63±19.27b
	开花期	6.17±0.87a	1560.00±37.24a	51.88±16.87a	3.47±0.82a	1.56±0.18a	628.75±220.75a
	结果期	6.08±1.13a	1119.83±396.98a	42.96±3.60a	2.81±0.38ab	1.54±0.18a	534.44±242.59ab
	平均值	6.11	925.28	43.67	2.82	1.45	449.61
5	幼苗期	5.71±0.55a	851.00±205.90a	27.86±1.23b	1.62±0.01a	1.10±0.21b	734.37±129.65a
	开花期	5.50±0.63a	628.67±451.35a	27.83±4.13b	1.67±0.08a	1.21±0.03ab	653.70±88.28a
	结果期	6.07±0.53a	381.33±337.40a	34.91±3.53a	1.92±0.92a	1.40±0.07a	634.73±338.31a
	平均值	5.76	620.33	30.20	1.74	1.24	674.27

注:1. 幼苗期、开花期和结果期数据为相对应各时期 3 次重复的平均值;“平均值”为该年限下 3 个生育时期数据的平均数(下同).

2. 表中小写字母表示幼苗期、开花期和结果期土壤养分含量在 $\alpha=0.05$ 水平上的差异显著性.

先降低后增加的趋势,无显著性差异,土壤酸度由中性变化为酸性;电导率呈先显著增加而后显著降低的趋势,变化幅度较大,开花期分别为幼苗期和结果期的3.75倍和4.02倍;土壤有机质呈持续增加的趋势,幼苗期显著增加到开花期,而后缓慢增加到结果期;土壤全氮、全磷和速效钾均呈先显著增加后显著降低的趋势,且结果期均高于幼苗期.随着生育期的推移,连作3 a的辣椒土壤pH呈先增加后降低的趋势,无显著性差异,各时期土壤酸度均为中性,且变化较小;土壤电导率、有机质、全氮、全磷和速效钾含量均呈现出先增加后降低的趋势,且结果期均高于幼苗期,其中电导率和速效钾含量从幼苗期到开花期变化幅度较大,开花期电导率和速效钾含量分别为幼苗期的16.25倍和3.39倍,其中开花期电导率的显著增大,这可能是在幼苗期和结果期时恰逢连续多日的降雨,使得土壤水分增多.随着生育期的推移,连作5 a的辣椒土壤pH呈先降低后增加的趋势,土壤酸度均为中性,其中结果期pH高于幼苗期;电导率和土壤速效钾含量均呈持续下降趋势,且均无显著性差异;土壤有机质含量同pH变化一致,即呈先降低后增加的趋势,其中开花期到结果期显著增加;土壤全氮和全磷均呈持续增加趋势,前者无显著性差异,后者反之.

整体而言,随着连作年限的延长,土壤pH、电导率、全氮和全磷整体平均值含量均呈先增加后降低的趋势,有机质平均含量呈逐年下降趋势,而速效钾平均含量呈逐年增加趋势.连作3 a和连作1 a相比,土壤有机质平均含量降低2.11%、而全氮、全磷和速效钾平均含量分别增加15.10%、42.16%和32.03%;连作5 a和连作1 a相比,土壤有机质和全氮平均含量分别降低32.30%和28.98%,土壤全磷和速效钾平均含量分别增加21.57%和97.99%.这表明辣椒长期连作会导致土壤养分降低,与下文土壤酶活性下降有关.

2.2 不同连作年限对不同生育期辣椒土壤酶活性的影响

不同连作年限对不同生育期辣椒土壤酶活性的影响结果见表3.由表3可知:随着连作年限的增加,全生育期土壤过氧化氢酶活性、开花期和结果期的土壤脲酶活性和蔗糖酶活性、开花期土壤酸性磷酸酶活性表现为3 a > 1 a > 5 a;幼苗期土壤脲酶活性和土壤酸性磷酸酶活性表现为1 a > 3 a > 5 a;幼苗期土壤蔗糖酶活性表现为3 a > 5 a > 1 a;结果期土壤酸性磷酸酶活性表现为1 a > 3 a = 5 a.由此可知:不同连作年限中4个土壤酶活性指标含量在辣椒3个生育时期中有75%呈现出连作3 a最大,而连作5 a为最小.

表3 不同连作年限下辣椒不同生育期土壤酶活性变化

Tab. 3 Changes of soil enzyme activities at different growth stages of pepper under different continuous cropping years

年限/a	时期	过氧化氢酶活性 (0.1 mol 1/5 KMnO ₄)/(mL·g ⁻¹ ·d ⁻¹)	脲酶活性(NH ₃ -N) /(mg·g ⁻¹ ·d ⁻¹)	蔗糖酶活性(葡萄糖) /(mg·g ⁻¹ ·d ⁻¹)	酸性磷酸酶(酚) /(mg·g ⁻¹ ·d ⁻¹)
1	幼苗期	8.59±4.70a	0.55±0.10b	0.74±0.37a	6.93±0.51a
	开花期	4.90±0.67a	1.01±0.19a	0.61±0.25a	7.43±2.06a
	结果期	6.48±1.02a	0.80±0.11ab	1.02±0.81a	8.52±1.46a
	平均值	6.66	0.79	0.79	7.63
3	幼苗期	12.68±3.38a	0.54±0.04b	0.88±0.25b	4.93±0.66a
	开花期	10.91±3.82a	1.99±0.78a	1.53±0.44a	8.74±5.43a
	结果期	6.68±1.07a	1.30±0.28ab	1.83±0.16a	5.95±0.19a
	平均值	10.09	1.28	1.41	6.54
5	幼苗期	3.01±2.03a	0.29±0.04a	0.81±0.55a	3.14±0.45a
	开花期	2.47±1.30a	0.22±0.10a	0.44±0.16a	4.65±2.30a
	结果期	3.24±2.13a	0.34±0.19a	0.35±0.26a	5.95±1.87a
	平均值	2.91	0.28	0.53	4.58

注:表中小写字母表示幼苗期、开花期和结果期土壤酶活性在 $\alpha=0.05$ 水平上的差异显著性.

随着生育期的推移,辣椒种植1 a后,其土壤的过氧化氢酶和蔗糖酶活性均呈先降低后增加趋势,均无显著性差异,但过氧化氢酶活性在结果期低于幼苗期,而蔗糖酶活性反之;脲酶活性呈先显著增

加后显著降低趋势,结果期高于幼苗期;酸性磷酸酶活性呈平稳上升趋势.随着生育期的推移,连作3 a的辣椒土壤过氧化氢酶活性呈持续平稳降低趋势,而蔗糖酶活性反之,即呈持续增加趋势;脲酶和酸

性磷酸酶活性均呈先增加后降低趋势,且结果期是高于幼苗期的。随着生育期的推移,连作 5 a 的辣椒土壤过氧化氢酶和脲酶活性均呈先降低后增加的趋势,差异均不显著,且在开花期增加后,均为结果期高于幼苗期;蔗糖酶则呈持续降低趋势,酸性磷酸酶反之,二者差异性均不显著。

整体而言,随着连作年限延长,土壤过氧化氢酶、脲酶和蔗糖酶活性平均值都呈先增加后降低趋势,而酸性磷酸酶则呈逐年下降趋势。连作 3 a 和连作 1 a 相比,过氧化氢酶、脲酶和蔗糖酶活性分别增加 51.50%、62.03% 和 78.48%,而酸性磷酸酶活性降低 14.29%;连作 5 a 与连作 1 a 相比,过氧化氢酶、脲酶、蔗糖酶和酸性磷酸酶活性分别降低 56.31%、64.56%、32.91% 和 39.97%。这表明长期种植辣椒一种作物,会造成过氧化氢酶、脲酶、蔗糖酶和酸性磷酸酶活性降低,使土壤中碳、氮、磷的循环受影响,养分供应能力下降,还增大了土壤积累的过氧化氢

对辣椒根系产生危害。

2.3 不同连作年限对不同生育期辣椒土壤微生物数量的影响

细菌土壤是土壤肥力提高的生物学指标,细菌与真菌数量的比值(B/F)表示土壤中微生物的平衡状态。不同连作年限对不同生育期辣椒土壤微生物数量的影响结果见表 4。由表 4 可知:随着连作年限的增加,幼苗期和结果期土壤细菌数量表现为 5 a > 3 a > 1 a;开花期土壤细菌数量和土壤放线菌数量表现为 3 a > 1 a > 5 a;幼苗期土壤放线菌数量、结果期土壤真菌数量表现为 5 a > 1 a > 3 a;结果期土壤放线菌数量以及开花期和结果期的土壤 B/F 值表现为 3 a > 5 a > 1 a;幼苗期和开花期土壤真菌数量表现为 1 a > 5 a > 3 a;幼苗期土壤 B/F 值表现为 1 a > 3 a > 5 a。由此可知:不同连作年限中 3 个土壤微生物数量指标在辣椒 3 个生育时期中呈现出连作 5 a 最大,而连作 3 a 为最小,占比均为 44.44%。

表 4 不同连作年限下辣椒不同生育期土壤微生物数量变化

Tab. 4 Changes in the number of soil microorganisms at different growth stages of pepper under different continuous cropping years

年限/a	时期	细菌数量 (10^4 cfu·g ⁻¹)	放线菌数量 (10^4 cfu·g ⁻¹)	真菌数量 (10^3 cfu·g ⁻¹)	细菌/真菌 (B/F)
1	幼苗期	16.30±0.39b	29.40±1.17b	15.20±0.89ab	1.07
	开花期	59.60±10.77a	79.90±16.93a	32.90±9.14a	1.81
	结果期	29.10±8.49b	28.80±10.29b	8.60±0.21b	3.38
	平均值	35.00	40.03	18.90	1.85
3	幼苗期	16.56±1.70c	24.00±1.12b	2.40±0.26a	6.90
	开花期	62.78±13.2a	83.60±16.31a	5.60±0.63a	11.21
	结果期	37.56±15.4b	69.10±10.60a	5.60±0.36a	6.71
	平均值	38.65	58.90	4.53	8.53
5	幼苗期	56.70±2.11a	35.60±3.40b	4.80±0.20b	11.81
	开花期	26.90±10.24a	46.80±5.77ab	13.30±0.90a	2.02
	结果期	65.30±9.83a	68.00±7.91a	14.10±0.87a	4.63
	平均值	49.63	50.13	10.73	4.63

注:表中小写字母表示幼苗期、开花期和结果期土壤微生物数量在 $\alpha=0.05$ 水平上的差异显著性。

随着生育期的推移,连作 1 a 的土壤细菌、放线菌和真菌数量均呈先增加后降低趋势,且均为开花期与幼苗期、结果期均有显著性,其中放线菌和真菌数量均表现为结果期低于幼苗期,而细菌反之;土壤 B/F 值呈持续增加趋势,其结果期为幼苗期的 3.16 倍。随着生育期的推移,连作 3 a 的辣椒土壤细菌和放线菌数量均为先快速增加后降低趋势,且结果期高于幼苗期,真菌则表现为先增加后达到平稳状态,开花期到结果期无变化;土壤 B/F 值呈先增加后降低趋势,其结果期低于于幼苗期。随着生育期的推移,连作 5 a 的辣椒土壤细菌呈降低后增加趋

势,且开花期高于幼苗期;放线菌和真菌数量则均表现为持续增加趋势,其中放线菌呈平稳增加,而真菌则是幼苗期到开花期再到结果期表现为先快速再缓慢增加的过程;土壤 B/F 值呈先降低后增加趋势,其结果期低于幼苗期。

整体来看,随着连作年限延长,细菌数量平均值呈逐年增加趋势,真菌数量平均值呈先降低后增加趋势,放线菌数量平均值与土壤 B/F 平均值都呈先增加后降低趋势。连作 3 a 和连作 1 a 相比,细菌和放线菌平均数量分别增加 10.43%、47.14%,而真菌平均数量则降低 76.03%,土壤 B/F 值增大 4.61 倍;连

作 5 a 和连作 1 a 相比,细菌和放线菌数量分别增加了 41.8%、25.23%,而真菌数量则下降了 43.23%,土壤 B/F 值增大 2.50 倍.但连作 5 a 的土壤 B/F 值较连作 3 a 相比,呈显著下降趋势,表明长期连作可能会导致辣椒土传病害加重.

3 讨论

3.1 连作对土壤养分的影响

本研究结果显示,不同连作年限下各个土壤养分指标含量在辣椒不同生育期各不相同,其中不同连作年限中 6 个土壤养分指标含量在辣椒 3 个生育时期中有 66.67% 呈现出连作 3 a 最大,有 55.56% 呈现出连作 1 a 最小.且除了速效钾外,其余 5 个指标含量均在 3 a 的开花期达到最大值,这可能与辣椒开花期自身养分供给能力增强从而减少对土壤养分消耗有关.随连作年限的增加,土壤 pH 整体平均值呈先增加后降低趋势,且均呈中性,变化幅度较小,这与郭红伟等^[17]研究中显示辣椒连作会导致土壤 pH 显著下降的结果不太一致,可能由于土壤母质不同,所用肥料种类、数量及种植年限等诸多因素的影响产生.本文显示:随着连作年限的延长,土壤 pH、电导率、全氮、全磷的平均值含量均呈先增加后降低的趋势,有机质平均含量呈逐年下降趋势,而速效钾平均含量呈逐年增加趋势,这与韩海蓉^[18]等发现随着连作年限的增加,土壤有机质、有效磷和速效钾呈先上升后下降的趋势不同,而与全氮结果相符;与吴昊等^[19]对星油藤连作土壤中全磷研究结果相同,与土壤 pH、电导率显著下降以及有机质和全氮含量随着连作年限的增加而增加结果不同;与高文翠等^[20]在棉花长期连作研究中发现土壤全氮、全磷、全钾及碱解氮均随连作年限延长逐渐增加的结果不一致;与李玉娣^[21]研究的土壤随着种植年限增加,土壤电导率、全氮、全磷含量呈现升高—降低的变化规律相同,而与 pH、有机质和速效钾含量变化趋势不同.此外,本文发现,土壤速效钾含量随种植年限呈现增加趋势,这可能是由于随着辣椒的生长,根系分泌酸类物质有效促进了难溶性养分转化成速效养分^[22],这与一些学者^[23-24]研究结果相一致;徐艳霞等^[25]研究发现土壤 pH 值和全磷随种植年限的增加呈先升后降的趋势,与本文结果一致,而与全氮和速效钾含量变化趋势不同.本文研究结果与学者们研究结果的异同,可能与产地气候、土壤类

型、作物种类、种植年限、栽培方式以及施肥措施等复合因素有关.

3.2 连作对酶活性的影响

本文结果表明:不同连作年限下各个土壤酶活性指标含量在辣椒不同生育期各不相同,其中不同连作年限中 4 个土壤酶活性指标含量在辣椒 3 个生育时期中有 75% 呈现出连作 3 a 最大,而连作 5 a 为最小,占比高达 91.67%,表明长期连作会降低土壤酶活性,影响辣椒田间长势及农艺性状,降低产量和品质,从而导致辣椒连作障碍.随着连作年限延长,土壤过氧化氢酶、脲酶和蔗糖酶活性平均值都呈先增加后降低趋势,而酸性磷酸酶则呈逐年下降趋势,这与刘来等^[26]等研究结果相符,但与李序进等^[27]研究发现土壤过氧化氢酶、蔗糖酶和脲酶活性随着兰州百合种植年限的增加呈 U 型变化趋势结果完全相反.这可能与地形地貌、土壤类型、作物种类以及田间管理措施等有关系.连作 1 a 到 3 a,过氧化氢酶、脲酶和蔗糖酶活性呈增加趋势,表明在 3 a 内土壤的解毒能力较强,土壤养分转化效率较高,在一定程度上缓解了辣椒连作障碍;而连作 3 a 到 5 a,过氧化氢酶、脲酶和蔗糖酶活性呈降低趋势,表明连作年限过长,过氧化氢酶活性降低,会增加土传病害的风险,且土壤蔗糖酶活性降低,不利于土壤中植物残体的分解,应适量减少植物残体摄入或增施有益微生物菌剂增强其分解.另外,本文发现随着连作年限的延长,辣椒土壤脲酶活性与全氮含量变化趋势一致,这与马书琴等^[28]研究的土壤脲酶与土壤全氮含量呈正相关研究结果相符.本文表明随着连作年限的延长,辣椒土壤酸性磷酸酶活性呈下降趋势,这与王礼科等^[8]研究结果一致.另外,连作 5 a 与连作 1 a 相比,过氧化氢酶、脲酶、蔗糖酶和酸性磷酸酶活性均降低,可能是辣椒枯枝落叶分解和根系产生分泌物过多所致,说明连作会加深过氧化氢在土壤中的积累,对土壤及生物产生毒害作用,也说明连作使土壤中碳、氮、磷循环受阻,养分供应能力下降,这也正是本文辣椒土壤有机质含量随连作年限增加反而下降的原因.

3.3 连作对微生物数量的影响

土壤细菌、放线菌和真菌的组成和数量变化能反映出土壤生物活性水平,连作种植导致的土壤环境因子变化会直接导致土壤微生物的变化.本文中不同连作年限下各个土壤微生物数量在辣椒不同生育期各不相同,其中不同连作年限中 3 个土壤微生物数量指标在辣椒 3 个生育时期中有 44.44% 呈

现出连作5 a最大,而连作3 a为最小,占比为44.44%。且随着连作年限延长,细菌数量平均值呈逐年增加趋势,真菌数量平均值呈先降低后增加趋势,放线菌数量平均值与土壤B/F平均值都呈先增加后降低趋势,与马铃薯^[29]、花生^[30]连作土壤的细菌总数和放射菌总数减少,真菌总数增加研究结果相同,而与番茄^[31]、草莓^[32]连作的土壤细菌数量呈增加趋势结果相反。与连作1 a相比,连作3 a和5 a的土壤细菌平均数量增加,真菌平均数量显著降低,土壤B/F值分别增大4.61倍和2.50倍,表明随着连作年限的延长,辣椒土壤质量不降反升,这可能由于连作1 a的地块是首次开荒耕用,通过连续多年的耕作方式和施肥制度等土壤管理措施,使得地力逐渐恢复所导致。但连作5 a与3 a相比,细菌平均数量虽有所增加,但真菌数量增加幅度更大,土壤B/F值显著下降,说明连作超过一定年限后,辣椒土壤会由高肥力的“细菌型”向低肥力的“真菌型”转变,导致土壤微生态环境恶劣,土壤质量下降,可能会造成土传病害加重,这与一些学者^[8,18,33-34]研究结果相似,但导致此结果的原因不同,这可能与作物种类、肥料种类、土壤类型、栽培方式以及施肥方式等多重因素有关。

4 结语

辣椒不同连作年限对不同生育期土壤养分、酶活性以及微生物数量均存在一定影响,会改变土壤的理化性质和生物学特性。辣椒长期连作中,在前3年,土壤pH、电导率、全氮、全磷、速效钾、过氧化氢酶、脲酶、蔗糖酶和放线菌均呈增加趋势,较种植1年分别增加11.09%、535.45%、15.10%、42.16%、32.02%、51.50%、62.03%、78.48%和47.14%,表明通过外在人工施肥和内在土壤微环境的自我调节能力,可以满足辣椒生长所需营养和微环境。而种植3年以后到5年,土壤真菌和细菌数量呈增加趋势,5 a较3 a分别增加136.87%和28.41%,而土壤pH、电导率、有机质、全氮、全磷、过氧化氢酶、脲酶、蔗糖酶、酸性磷酸酶和放线菌呈下降趋势,5 a较3 a分别降低5.73%、32.96%、30.84%、38.30%、14.48%、71.16%、78.13%、62.41%、29.97%和14.89%,表明辣椒土壤微环境调节能力下降,人工施入肥量不变,导致辣椒土壤养分下降及自身的环境改变,从而影响辣椒正常的生长发育最终导致其产量和品质下

降。因此,在连作3年以后,施肥量应当要高于前3年,并补入相对应的微生物菌剂,特别是有机质施入量应当逐年增加,从而提升辣椒土壤微生物群落丰度,改善土壤肥力水平,提高土壤质量,进而保障辣椒产业可持续发展。

参 考 文 献

- [1] 邓明华. 辣椒色素与辣椒素的遗传与分子调控机制研究进展[J]. 湖南生态科学学报, 2019, 6(2):43-51.
- [2] 高晶霞, 高昱, 吴雪梅, 等. 辣椒连作土壤微生物群落及土壤离子对微生物菌剂的响应[J]. 西南农业学报, 2020, 33(8):1659-1664.
- [3] 高晶霞, 谢华. 不同连作年限下辣椒的光合特性与果实品质[J]. 北方园艺, 2021(19):48-53.
- [4] 刘垠霖. 连作年限对党参生长、土壤理化性状及酶活性的影响研究[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2021.
- [5] 卢孟召, 刘梅, 陈光, 等. 灵芝连作对土壤理化性质及线虫群落的影响[J]. 吉林农业大学学报, 2022, 44(5): 586-594.
- [6] 原静云, 王晓玲, 王文英, 等. 不同连作年限对甜瓜土壤理化性状的影响[J]. 种业导刊, 2021(3):40-43.
- [7] ANANBEH H, STOJANOVIĆ M, POMPEIANO A, et al. Use of soil enzyme activities to assess the recovery of soil functions in abandoned coppice forest systems [J]. Science of the Total Environment, 2019, 694:133692.
- [8] 王礼科, 罗夫来, 王华磊, 等. 半夏不同连作年限土壤酶活性、微生物及化感物质的分析[J]. 中药材, 2021, 44(4):798-801.
- [9] 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.
- [10] LI W H, LIU Q Z, CHEN P. Effect of long-term continuous cropping of strawberry on soil bacterial community structure and diversity [J]. Journal of Integrative Agriculture, 2018, 17(11): 2570-2582.
- [11] WEI Z, YU D. Analysis of the succession of structure of the bacteria community in soil from long-term continuous cotton cropping in Xinjiang using high-throughput sequencing [J]. Archives of Microbiology, 2018, 200(4): 653-662.
- [12] 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.
- [13] LIU X, LI Y J, REN X J, et al. Long-term greenhouse cucumber production alters soil bacterial community structure [J]. Journal of Soil Science and Plant Nutrition, 2020, 20(2):306-321.

- [14] LIU Z, LIU J, YU Z, et al. Long-term continuous cropping of soybean is comparable to crop rotation in mediating microbial abundance, diversity and community composition[J]. Soil and Tillage Research, 2020, 197: 104503.
- [15] WU L, WANG J, HUANG W, et al. Plant-microbe rhizosphere interactions mediated by *Rehmannia glutinosa* root exudates under consecutive monoculture [J].Scientific Reports, 2015, 5: 15871.
- [16] 罗夫来,唐成林,王觉,等.半夏块茎及其根系分泌物化感作用初步研究[J].中药材, 2017, 40(3): 536-539.
- [17] 郭红伟,郭世荣,黄保健.大棚辣椒不同连作年限土壤理化性质研究[J].江苏农业科学, 2011, 39(5): 452-455.
- [18] 韩海蓉,李屹,陈来生,等.设施辣椒连作对土壤理化性状、酶活性及微生物区系的影响[J].中国土壤与肥料, 2021(3): 237-242.
- [19] 吴昊,芮蕊,王澍.星油藤不同种植年限对土壤理化性质及酶活性的影响[J].黑龙江农业科学, 2021(9): 40-43.
- [20] 高文翠,杨卫君,史春玲,等.呼图壁县不同连作年限棉田土壤理化性质变化分析[J].新疆农业大学学报, 2020, 43(2): 144-149.
- [21] 李玉娣.施肥和种植年限对蔬菜品质与土壤微生物的影响[D].咸阳:西北农林科技大学, 2014.
- [22] 杨睿,李娟,龙健,等.贵州喀斯特山区不同种植年限花椒根际土壤细菌群落结构特征研究[J].生态环境学报, 2021, 30(1): 81-91.
- [23] 廖礼彬,石福孙,张楠楠,等.不同种植年限对花椒根际土壤理化性质和微生物群落的影响[J].植物研究, 2022, 42(3): 466-474.
- [24] 王天佑,丁万隆,尹春梅,等.不同栽培年限人参根区土壤养分酶活性及微生物量的变化[J].中国现代中药, 2021, 23(11): 1927-1933.
- [25] 徐艳霞,黄新育,蓝岚,等.不同种植年限紫花苜蓿田土壤理化性质和酶活性研究[J].黑龙江畜牧兽医, 2018(13): 157-160.
- [26] 刘来,黄保健,孙锦,等.大棚辣椒连作土壤微生物数量、酶活性与土壤肥力的关系[J].中国土壤与肥料, 2013(2): 5-10.
- [27] 李序进,蔡立群,李海亮.兰州百合连作土壤碳氮磷化学计量特征及酶活性研究[J].中国农学通报 2021, 37(6): 82-88.
- [28] 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.
- [29] 周华兰,彭亚丽,李婷,等.马铃薯连作对土壤理化性质和生物学特性的影响[J].湖南农业大学学报(自然科学版), 2019, 45(6): 611-616.
- [30] 薛超,黄启为,凌宁,等.连作土壤微生物区系分析、调控及高通量研究方法[J].土壤学报, 2011, 48(3): 612-618.
- [31] 杨凤军,安子靖,杨薇薇.番茄连作对日光温室土壤微生物及土壤理化性状的影响[J].中国土壤与肥料, 2016(1): 42-46.
- [32] 赵帆,赵密珍,王钰,等.草莓不同连作年限土壤养分及微生物区系分析[J].江苏农业科学, 2017, 45(16): 110-113.
- [33] 聂园军,李瑞珍,赵佳,等.西瓜连作对根际微生物群落的影响[J].中国瓜菜, 2019, 32(1): 6-11, 3.
- [34] 张晓梅,程亮.种植年限对设施蔬菜土壤养分和环境的影响[J].中国瓜菜, 2020, 33(1): 48-54.

(责编&校对 刘钊)