



有机堆肥对辣椒连作土壤化学性状及酶活性的影响

宋世霞¹, 刘 瑞¹, 徐福才², 刘 巍¹, 刘 丹¹, 刘 鹏³, 艾 辛^{1*}

(1. 湖南农业大学园艺学院 / 园艺作物种质创新与品种选育教育部工程研究中心 / 蔬菜生物学湖南省重点实验室, 湖南 长沙 410128; 2. 汝城县农村农业局, 湖南 卢阳 424199; 3. 湖南奥生农业发展有限责任公司, 湖南 长沙 410600)

摘 要: 以连作3年辣椒的土壤为研究对象, 通过增施有机堆肥, 测定辣椒连作土壤 pH、电导率、有机质、有机碳、全氮、养分含量和酶活性的变化特点, 探讨有机堆肥用量对连作辣椒土壤化学性状的改良效果。结果表明: 有机堆肥 $1.5 \times 10^4 \text{ kg/hm}^2$ 与复合肥 $7.5 \times 10^2 \text{ kg/hm}^2$ 混合施入辣椒连作土壤后, 土壤 pH 较对照提高了 0.89 ($P < 0.05$), 土壤有机质较对照土壤提高了 5.25 g/kg ($P < 0.05$), 矿质营养元素氮、磷、钾、钙、镁、硅含量均显著增加 ($P < 0.05$), 脲酶、蛋白酶、酸性磷酸酶、氧化氢酶的活性均显著增加 ($P < 0.05$)。综上, 增施有机堆肥改善了土壤化学性状, 提高了土壤肥力和土壤酶活性, 能够有效改良辣椒连作土壤。

关键词: 有机堆肥; 连作土壤; 酶活性

辣椒 (*Capsicum annuum* L.) 作为蔬菜和调味品深受消费者的喜爱, 是我国重要的经济作物之一, 种植面积逐年扩增, 但是由于人们过度追求产量和设施的利用率, 导致辣椒连作现象十分普遍^[1]。辣椒不耐连作, 对土壤要求严格^[2]。辣椒种植中长期大量施用化学肥料造成土壤有机质减少、土壤质量恶化、病害频发, 造成辣椒生长受抑、产量下降和品质变劣, 严重影响了生产效益^[3]。近年来随着土壤质量的劣化, 增加土壤有机质培育健康土壤越来越受到重视, 通过增施有机肥增加土壤有机质的含量, 改善土壤化学性状和提高土壤酶活性^[4-6], 达到改善土壤环境、实现“双减”目的已成为近年来作物耕作研究的热点^[7]。仝少伟等^[8]、王琛等^[9]研究表明, 施用有机堆肥后土壤有机质、全氮、碱解氮、有效磷、速效钾含量显著增加。增施有机堆肥可以减少土壤侵蚀, 保持土壤团聚体和土壤总有机碳稳定, 提高土壤孔隙度, 增强土壤保水保肥能力, 改善连作土壤的微生态环境, 促进农作物生长, 提高产量^[10-12]。Liu 等^[13]研究结果表明, 用有机或缓释肥料代替传统的化学肥料, 并在预计不

会下雨的几天内施肥, 径流中氮和磷的损失会显著减少。有机堆肥施入土壤后, 大量有机质分解产生有机酸, 促进了矿物风化和养分释放, 并通过络合作用增加矿质养分的有效性, 增加土壤活性炭、氮组分, 增强与养分转化有关的微生物和酶的活性, 从而提高土壤有效养分^[14]。长期单施或过量施用有机肥也会对土壤环境产生不良影响, 有机肥的养分含量低、肥效慢, 需要和化肥以适当比例配施才能更好地发挥效果^[15]。尽管已有与有机堆肥缓解作物连作障碍的相关报道, 但目前有机堆肥在辣椒连作土壤改良中应用的研究较少。

本试验以连续种植3年辣椒的土壤为研究对象, 通过有机肥与化学肥料配合施用, 测定辣椒连作土壤 pH 值、电导率、有机质、有机碳、全氮, 以及土壤中大量元素 (氮、磷、钾) 含量、中量元素 (钙、镁、硅) 含量、微量元素 (铜、铁、锰、锌) 含量和酶活性, 研究连作辣椒土壤对不同有机肥用量的响应特征, 探索有机肥对辣椒连作土壤营养障碍改良的作用, 为合理施用有机肥、保持土壤肥力的良性循环、克服连作土壤营养障碍提供理论依据和技术支持, 促进辣椒产业的可持续发展。

1 材料与方法

1.1 试验材料和试验地

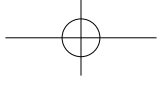
试验用有机堆肥由湖南奥生农业发展有限公司汝城生产基地生产, 长沙奥生农业有限公司监制的有

收稿日期: 2023-11-29; 录用日期: 2024-02-06

基金项目: 郴州国家可持续发展议程创新示范区建设专项 (2019sfq30)。

作者简介: 宋世霞 (2000-), 在读硕士研究生, 研究方向为蔬菜分子遗传育种。E-mail: 1799585308@qq.com。

通讯作者: 艾辛, E-mail: hnaixin@126.com。



机堆肥,原料为牛粪、秸秆和分解菌,按照有机肥生产技术规程堆制发酵,经湖南品标华测检测技术有限公司检测合格(报告编号:A2210043930114c),有机堆肥的总养分为5.02%,有机质(以干基计)28.1%,水分30.89%。商品有机肥为株洲龙华循环农业科技有限公司生产,总养分 $\geq 5\%$,有机质(以干基计) $\geq 35.00\%$,水分 $\leq 30.00\%$ 。化学肥料为洋丰牌复合肥,N:P:K=15:15:15。

试验地位于湖南省郴州市汝城县泉水镇西黄村,海拔625 m,113°38′28″E,25°28′53″N,地势平坦、排水良好,肥力水平中等,该地块已由农户按照当地种植辣椒的常规方法从2018年至2020年连续3年种植辣椒,土壤已经明显出现土壤板结、微量元素缺乏和土传病害发病率高的连作障碍现象。试验地排水良好,土壤耕作层35 cm左右,土壤属褐黑色壤土,较疏松,施肥前取土样测量土壤pH值为5.04,有机质含量24.16 g/kg,属偏酸性中等肥力水平土壤。2021年2月26日进行土壤翻耕、施基肥、整地做畦。

1.2 试验设计

试验地块每小区长22 m,宽1.5 m,面积33.0 m²。3月25日翻耕土地,同时施入底肥,按4种试验设计施入底肥:(1)复合肥7.5×10² kg/hm²+有机堆肥1.5×10⁴ kg/hm²(记为T1);(2)复合肥7.5×10² kg/hm²+有机堆肥7.5×10³ kg/hm²(记为T2);(3)复合肥7.5×10² kg/hm²+普通商品有机肥1.5×10⁴ kg/hm²(记为T3);(4)复合肥7.5×10² kg/hm²作为对照(记为CK)。试验采用区组控制,随机排列,3次重复。在辣椒苗移栽后除正常浇灌定根水外,还追施2次追肥,6月20日第一次追肥,追肥为尿素1.125×10² kg/hm²+枯草芽孢杆菌7.5×10³ kg/hm²+硫酸镁0.3×10² kg/hm²+硫酸锌0.3×10² kg/hm²;7月26日进行了第二次追肥,追肥种类和用量与第一次追肥相同。辣椒采收于11月10日结束,11月15日采集土壤样品。

1.3 土壤样品采集方法与处理

每个试验小区取12个样点,铲子消毒后去除土壤表层杂质和大块土块,抖动采集辣椒根系土壤,用密封袋保存,混合均匀,自然风干后过1 mm筛备用。

1.4 土壤基本理化性质测定

除土壤pH值和土壤电导率在湖南农业大学蔬

菜生物学重点实验室测定外,其他土壤理化指标委托成都生物科技有限公司进行测定。

1.4.1 土壤pH值和土壤电导率的测定方法

土壤pH值用电位法测定:称量过1 mm筛的10 g风干土壤样品,放置在50 mL烧杯中,在烧杯中加入25 mL纯净水,搅拌1 min,静置30 min后,用pH计测定(水土比2.5:1)。

土壤电导率用电极法测定:取10 g风干样品,放置在100 mL烧杯中,烧杯中加入50 mL水,搅拌,静置5 min,用电导率计测定(水土比5:1)。

1.4.2 土壤有机质测定方法

土壤有机质采用比色法^[7]、土壤有机碳采用比色法^[16]、土壤全碳采用半微量凯氏法^[17]。

1.4.3 土壤化学元素的测定

土壤全氮用半微量凯氏法测定、土壤全磷用钼锑抗比色法测定、土壤全钾用火焰光度法测定^[18]、土壤有效硅用比色法测定^[19]、土壤有效钙、有效镁用原子分光光度法测定;土壤有效铁、锰、锌、铜用原子吸收分光光度计测定^[20]。

1.4.4 土壤酶活性测定方法

蔗糖酶、脲酶、蛋白酶、酸性磷酸酶、硝酸还原酶、脱氢酶活性采用比色测定^[21],过氧化氢酶活性采用滴定法测定^[22]。

1.5 土壤养分等级分级标准

参照全国第二次土壤普查养分分级标准^[23]对辣椒连作土壤肥力进行评价。

1.6 数据分析

使用SPSS 26.0对数据进行单因素方差分析,以 $P<0.05$ 有显著差异来判断成分有无显著变化。使用Excel 2010进行记录和处理数据。

2 结果与分析

2.1 有机堆肥对辣椒连作土壤pH值和电导率的影响

从表1中可以发现,施用有机肥能显著影响土壤pH值,有机堆肥的效果比普通商品有机肥好,与施肥量有显著相关性,使用有机堆肥1.5×10⁴ kg/hm²的土壤pH值为5.95,比只施用复合肥的对照提高了0.89,将土壤从酸性提升至弱酸性土壤。从电导率的结果来看,连作的辣椒土壤并未呈现出盐渍化状态,土壤中盐离子含量属于正常值内,但仍然可以看出有机堆肥处理过的连作土壤电导率更低,也与对照达到了显著水平,说明南方露地栽培土壤因施肥不当造成土壤盐渍化的可能性较低。



表 1 有机堆肥对辣椒连作土壤 pH 值和电导率的影响

处 理	有机肥种类和用量	pH 值	电导率 (mS/cm)
T1	有机堆肥 1.5×10^4 kg/hm ²	$5.95 \pm 0.10a$	$0.15 \pm 0.03b$
T2	有机堆肥 7.5×10^3 kg/hm ²	$5.59 \pm 0.03b$	$0.16 \pm 0.03b$
T3	普通商品有机肥 1.5×10^4 kg/hm ²	$5.29 \pm 0.09c$	$0.20 \pm 0.03ab$
CK	—	$5.08 \pm 0.14d$	$0.25 \pm 0.04a$

注：同一列不同小写字母表示不同处理间差异在 $P < 0.05$ 水平上具有统计学意义。下同。

2.2 有机堆肥对辣椒连作土壤有机质、有机碳、全碳的影响

土壤有机质含量是评价土壤质量水平的重要标志。表 2 中对照有机质含量为 23.63 g/kg，说明汝城辣椒连作土壤质量尚可，土壤有机质水平达到了三级水平（2% ~ 3%），其原因可能是在辣椒栽培过程中农户都有适量施用有机肥的习惯。增施有机堆肥 1.5×10^4 kg/hm² 处理土壤有机质含量为 28.88 g/kg，较减半施堆肥、等量商品有机肥和不施有机肥的对照有明显增加，差异达到了显著水平，但有机质含量的等级仍然没有提升到更高等级，仍然属于三级水平，说明短时间内增施有机肥提高土壤有机质含量的效果不大，需要更大量、长期增施优质有机肥才有可能将土壤有机质含量提升到二级（3% ~ 4%）及以上水平。有机堆肥对有机碳水平的提高作用不大，但有机堆肥施肥量达到了 1.5×10^4 kg/hm² 时，土壤中全碳的含量由对照全碳含量 1.42% 明显增加到了 1.70%，达到了显著差异。

表 2 有机肥对辣椒连作土壤有机质、有机碳、全碳的影响

处理	有机质 (g/kg)	有机碳 (g/kg)	全碳 (%)
T1	$28.88 \pm 0.59a$	$15.89 \pm 1.32a$	$1.70 \pm 0.17a$
T2	$26.20 \pm 0.68b$	$15.20 \pm 0.39a$	$1.59 \pm 0.07ab$
T3	$25.96 \pm 0.55b$	$15.49 \pm 0.88a$	$1.66 \pm 0.08ab$
CK	$23.63 \pm 2.36b$	$13.71 \pm 1.37a$	$1.42 \pm 0.11c$

2.3 有机堆肥对辣椒连作土壤化学元素的影响

2.3.1 有机堆肥对辣椒连作土壤大量元素氮、磷、钾含量的影响

从表 3 可知，汝城县辣椒种植土壤全氮水平都不低于二级水平（1.5 ~ 2.0 g/kg），施有机堆肥 1.5×10^4 kg/hm² 处理全氮含量最高，为 0.23%，土壤全氮水平

提高到了二级水平（>2 g/kg），说明增施有机堆肥后可以有效提高土壤全氮含量。施用有机堆肥和商品有机肥后全磷含量都有提升，施用有机堆肥 7.5×10^3 kg/hm² 和 1.5×10^4 kg/hm² 的两个处理间差异不明显，与商品有机肥和对照全磷含量相比差异达到了显著水平。有机堆肥和商品有机肥处理土壤全钾含量相比于对照均有所提高，但差异不是特别明显。

表 3 有机堆肥对辣椒连作土壤氮、磷、钾元素含量的影响

处理	全氮 (%)	全磷 (g/kg)	全钾 (g/kg)
T1	$0.23 \pm 0.01a$	$1.14 \pm 0.10a$	$13.16 \pm 0.56ab$
T2	$0.20 \pm 0.01ab$	$1.07 \pm 0.17a$	$13.19 \pm 0.23a$
T3	$0.21 \pm 0.03a$	$0.75 \pm 0.03b$	$12.87 \pm 0.27ab$
CK	$0.18 \pm 0.02b$	$0.51 \pm 0.05c$	$12.39 \pm 0.32b$

2.3.2 有机堆肥对辣椒连作土壤中微量元素钙、镁、硅含量的影响

从表 4 可知，有机堆肥 1.5×10^4 kg/hm² 和有机堆肥 7.5×10^3 kg/hm² 处理后有效钙含量分别显著提高到 1.37 和 1.07 g/kg，对照有效钙含量为 0.83 g/kg，有效钙的含量都大于土壤有效钙的临界值（400 mg/kg）。有机堆肥 1.5×10^4 kg/hm² 施用后有效镁明显增加到 0.14 g/kg，对照处理有效镁含量为 0.06 g/kg，刚好处于临界值水平，说明汝城土壤缺乏镁元素。有机堆肥 1.5×10^4 kg/hm² 处理后土壤有效硅由对照 7.04 g/kg 增加到 13.72 g/kg。试验结果表明汝城辣椒连作土壤有效镁和有效硅的含量均属于低水平状态，即使追肥中补充了 0.3×10^2 kg/hm² 的硫酸镁，对土壤有效镁的改善作用仍然没有达到优良土壤的标准。

2.3.3 有机堆肥对辣椒连作土壤微量元素铜、铁、锰、锌的影响

表 4 数据表明，汝城辣椒连作土壤有效铜和有效铁含量均属于极丰富水平，有效锌含量属于丰富水平，有效锰含量处于适中水平，土壤整体不存在微量元素缺乏。由表 4 可知，对照有效铜含量为 2.33 mg/kg，与施有机堆肥的土壤有效铜含量没有差异，而施用商品有机肥的有效铜含量明显增加到 3.42 mg/kg。有机堆肥 7.5×10^3 kg/hm² 处理和商品有机肥处理对连作土壤有效铁含量没有明显的改善，但有机堆肥 1.5×10^4 kg/hm² 处理的有效铁含量有明显降低。各施肥处理对有效锰的含量与有效铁的效果相似。增施有机堆肥和商品有机肥的土壤有效锌含量均与对照达到了显著性差异，对照有效锌的含

量最低，为 1.75 mg/kg，接近缺锌临界值，而商品有机肥处理有效锌含量为 6.55 mg/kg，达到土壤有效锌含量的最高等级，说明该商品有机肥原料中锌元素有可能超标，长期大量使用该类型有机肥会导

致土壤锌元素超标。本试验结果表明施用有机堆肥和商品有机肥均能有效改善土壤有效铜、铁、锰、锌的含量，但也应该注意商品有机肥部分微量元素超标问题。

表 4 有机堆肥对辣椒连作土壤有效钙、镁、硅、铜、铁、锰、锌的影响

处理	有效钙 (g/kg)	有效镁 (g/kg)	有效硅 (以 Si 计) (mg/kg)	有效铜 (mg/kg)	有效铁 (mg/kg)	有效锰 (mg/kg)	有效锌 (mg/kg)
T1	1.37 ± 0.04a	0.14 ± 0.02a	13.72 ± 1.98a	2.33 ± 0.17b	103.07 ± 5.40b	2.98 ± 0.53c	3.74 ± 0.49b
T2	1.07 ± 0.15b	0.11 ± 0.01b	8.02 ± 1.24b	2.48 ± 0.06b	120.03 ± 1.68a	4.27 ± 0.69bc	3.34 ± 0.54b
T3	0.96 ± 0.04bc	0.12 ± 0.01ab	7.24 ± 1.95b	3.42 ± 0.36a	120.46 ± 8.88a	6.76 ± 1.28a	6.55 ± 1.53a
CK	0.83 ± 0.02c	0.06 ± 0.00c	7.04 ± 2.48b	2.33 ± 0.22b	126.86 ± 10.08a	5.45 ± 0.46ab	1.75 ± 0.28c

2.4 有机堆肥对辣椒连作土壤酶活性的影响

有机堆肥对连作土壤酶活性的影响见表 5。根据表 5 可知，有机堆肥对土壤蔗糖酶活性没有显著影响。有机堆肥和商品有机肥的施用均能有效提高土壤脲酶活性，对照土壤脲酶活性为 0.04 mg/g，施用有机堆肥 1.5 × 10⁴ kg/hm² 处理后脲酶活性明显提高到 0.07 mg/g；商品有机肥 1.5 × 10⁴ kg/hm² 处理后脲酶活性提高到 0.06 mg/g。对照蛋白酶活性为 71.87 μg/g，有机堆肥 1.5 × 10⁴、7.5 × 10³ kg/hm² 处理后蛋白酶活性分别提高到 130.28、101.13 μg/g，商品有机肥 1.5 × 10⁴ kg/hm² 处理后蛋白酶活性提高到 118.68 μg/g。说明增施有机堆肥和商品有机肥对连作土壤蛋白酶有明显改善，单独施用复

合肥不利于土壤蛋白酶的活性。有机堆肥 1.5 × 10⁴ kg/hm² 较对照的酸性磷酸酶活性从 73.32 μg/g 提高到 117.22 μg/g；商品有机肥 1.5 × 10⁴ kg/hm² 处理后提高到 102.43 μg/g；有机堆肥 7.5 × 10³ kg/hm² 处理后酸性磷酸酶活性提高到 90.72 μg/g。酸性磷酸酶活性和土壤中有机质含量呈现出相同的变化趋势。对照过氧化氢酶活性为 1.22 mL/（g · 20 min），施用有机堆肥 1.5 × 10⁴ kg/hm² 处理后过氧化氢酶活性显著提高到 2.11 mL/（g · 20 min），商品有机肥 1.5 × 10⁴ kg/hm² 和有机堆肥 7.5 × 10³ kg/hm² 处理后过氧化氢酶活性分别提高到 1.70 和 1.60 mL/（g · 20 min），达到了显著性差异。有机堆肥处理对硝酸还原酶和脱氢酶活性的影响不显著。

表 5 有机堆肥对辣椒连作土壤酶活性的影响

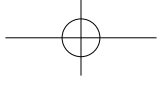
处理	蔗糖酶 [mg/（ g · 24 h ）]	脲酶 (mg/g)	蛋白酶 (μg/g)	酸性磷酸酶 (μg/g)	硝酸还原酶 (mg/g)	过氧化氢酶 [mL/（ g · 20 min ）]	脱氢酶 (μg/g)
T1	6.37 ± 0.52a	0.07 ± 0.02a	130.28 ± 14.11a	117.22 ± 5.52a	0.30 ± 0.09a	2.11 ± 0.21a	39.12 ± 16.51a
T2	5.45 ± 1.99a	0.05 ± 0.00ab	101.13 ± 11.45b	90.72 ± 4.88b	0.23 ± 0.03a	1.60 ± 0.07b	39.45 ± 1.29a
T3	6.00 ± 0.76a	0.06 ± 0.01ab	118.68 ± 9.89ab	102.43 ± 6.59b	0.24 ± 0.04a	1.70 ± 0.16b	63.86 ± 15.39a
CK	5.08 ± 0.92a	0.04 ± 0.01c	71.87 ± 6.00c	73.32 ± 8.23c	0.17 ± 0.08a	1.22 ± 0.16c	43.51 ± 7.94a

3 结论与讨论

3.1 增施有机肥能显著提高土壤营养水平

农业生产过程中长期过量施肥导致土壤的次生盐渍化^[24]和酸化^[25]，土壤养分严重失调，影响农作物的根系生长和产量^[26]。王莹等^[27]的研究结果表明，有机无机肥配施可使土壤 pH 值显著提高（P<0.05）以有效减缓土壤酸化，使土壤达到更适宜辣椒生长发育的 pH 值。张立超等^[28]和 Abiven

等^[29]研究表明，向土壤施入有机肥可提高土壤的有机质含量，土壤有机质含量的增加可以促进微团聚体向大团聚体转变，增加土壤大颗粒团聚体数量，从而提高土壤团聚体稳定性，改善土壤结构和固碳能力^[30-31]。土壤养分含量是评价土壤肥力的重要指标，土壤中营养元素的有效态是能被植物吸收利用的部分，不仅影响植物的正常生长发育，还影响到农作物的品质和产量^[32]。辣椒连作会造成土壤中多种元素的偏耗，导致土壤中氮^[33]、



磷^[34]、钾^[35]主要营养元素和中微量元素^[36]失衡,严重影响植物的生长发育,是辣椒连作障碍的主要原因。吴志丹等^[37]研究表明,施加有机肥的土壤氮、磷、钾含量大幅提升,微量元素含量增多^[38],并会对土壤中过氧化物酶、过氧化氢酶、脲酶、固氮酶等酶活性产生影响^[39]。本试验结果表明,施加 $1.5 \times 10^4 \text{ kg/hm}^2$ 的有机堆肥时,可以显著提高土壤pH值、增加辣椒连作土壤的有机质和全碳含量、大量元素和中微量元素含量,明显地改善了土壤的化学性状,且普通商品有机肥微量元素含量增加更为显著($P < 0.05$),说明大量增施有机肥对改善连作辣椒土壤的化学性状、克服辣椒连作营养障碍具有显著的作用,但也要注意长期大量施用商品有机肥有导致微量元素超标的可能性。

3.2 增施有机肥能有效提高土壤的生物活性

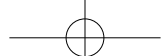
土壤相关酶活性是土壤健康和土壤活力的重要指标,也是土壤营养水平的指标^[40]。土壤脲酶和碱性磷酸酶活性可以作为土壤肥力和土壤质量的重要指标,且酶活性受到土壤化学性质和其他酶活性影响^[41]。脲酶是土壤中最活跃的水解酶类之一,可以水解施入土壤中的尿素,释放铵离子供作物生长,脲酶的活性与土壤中有机物质含量、氮的供给与利用、土壤微生物量和其他养分含量相关^[42]。本试验结果表明,相较于其他处理,增施有机堆肥能够使连作土壤中脲酶、过氧化氢酶、蛋白酶、酸性磷酸酶活性均显著增加($P < 0.05$);蔗糖酶、硝酸还原酶和脱氢酶活性在各处理之间无显著性差异。已有研究表明,酸性磷酸酶与细菌群落显著相关^[43],磷酸酶活性与微生物呼吸作用呈正相关^[44],其活性增强意味着土壤中微生物活性提高和土壤磷供应能力增强。土壤微生物菌群及土壤酶活性的变化对于土壤健康有至关重要的作用,是影响连作障碍的主要因子^[45]。土壤细菌能稳定土壤微环境生态系统功能,完成物质循环和能量转化过程,维持土壤的肥力,而有机肥的施用能降低土壤中真菌/细菌的比例,有利于缓解土壤连作障碍^[46]。土壤酶参与许多重要的生物化学过程,通过催化土壤基质的转化进程释放出大量可溶性养分,提供植物积累干物质所需的营养元素与能量^[47],二者共同完成土壤中的生理代谢过程^[48]。郭巨先等^[49]研究表明,施用有机肥能显著提高菜薹连作的根际土壤酶活性,促进植株的生长,菜薹单株质量及主薹质量有较大提高。对植株的生长大

有益处,高晶霞等^[3]研究表明,秸秆腐解后产生氮、磷、钾等多种物质可增强辣椒连作植株生理代谢及养分吸收能力,提高土壤中的放线菌、细菌及总菌数,改善土壤的酶活性,是土壤有益的催化剂。土壤酶活性反映了土壤中各种生化反应进行的动向和强度,连作土壤酶活性和微生物群落结构的变化与作物生长存在着相互影响、相互制约的关系^[50]。

综上所述,有机堆肥 $1.5 \times 10^4 \text{ kg/hm}^2$ 处理能够提高辣椒连作土壤pH值,增加土壤的有机质和营养元素的含量,并且显著提高了连作土壤酶活性,改善了土壤理化性质,能够有效缓解辣椒连作土壤障碍,为改良辣椒连作土壤提供一定的理论依据。

参考文献:

- [1] 吴凤芝, 孟立君, 王学征. 设施蔬菜轮作和连作土壤酶活性的研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2006, 12(4): 554-558, 564.
- [2] 计怀峰, 林辰壹, 伊丽姆努尔·吐热尼, 等. 实蕈葱种植土壤对辣椒生长及其根际微生态的影响[J]. 北方园艺, 2023(10): 1-9.
- [3] 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.
- [4] Celik I, Ortas I, Kilic S. Effects of compost, mycorrhiza, manure and fertilizer on some physical properties of a Chromoxerert soil[J]. Soil and Tillage Research, 2004, 78: 59-67.
- [5] 萨日娜, 陈立新, 王娟, 等. 不同有机堆肥对番茄产量、品质和土壤性状的影响[J]. 北方园艺, 2020(22): 42-47.
- [6] Stamatiadis S, Werner M, Buchanan M. Field assessment of soil quality as affected by compost and fertilizer application in a broccolield (San Benito county, California)[J]. Applied Soil Ecology, 1999, 12(3): 217-225.
- [7] 赵玲, 欧阳立明, 陆小辰. 不同基质配方的有机肥对连作辣椒的生长及根际土壤微生物多样性的影响[J]. 华中农业大学学报, 2013, 32(2): 72-77.
- [8] 全少伟, 时连辉, 刘登民, 等. 不同有机堆肥对土壤性状及微生物生物量的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2014, 20(1): 110-117.
- [9] 王琛, 孙庆业, 韦绪好, 等. 堆肥施用和牧草种植对煤矿复垦地土壤肥力的影响[J]. 土壤通报, 2015, 46(5): 1174-1180.
- [10] Fan W, Wu J, Ahmed S, et al. Short-term effects of different straw returning methods on the soil physicochemical properties and quality index in dryland farming in NE China[J]. Sustainability, 2020, 12(7): 1-12.
- [11] 潘越, 李思宇, 高捷, 等. 秸秆及其还田方式对不同轮作模式下稻田土壤性质的影响[J]. 作物杂志, 2024(2): 1-9.



- [12] 王薇薇, 梅赓, 吴永成, 等. 玉米芯生物炭对辣椒连作土壤性质和辣椒生长的影响[J]. 浙江农业学报, 2023, 35 (1): 156-163.
- [13] Liu Z A, Yang J, Yang Z, et al. Effects of rainfall and fertilizer types on nitrogen and phosphorus concentrations in surface runoff from subtropical tea fields in Zhejiang, China[J]. Nutrient Cycling in Agroecosystems, 2012, 93 (3): 297-307.
- [14] 铁建中, 刘亚显, 高雪琴, 等. 种养废弃物堆肥对日光温室西葫芦养分利用和土壤性质的影响[J]. 浙江农业学报, 2023, 35 (6): 1427-1439.
- [15] 张宁, 陶荣浩, 刘佩诗, 等. 不同种类有机肥配施化肥对茶叶生长、品质和土壤肥力的影响[J]. 浙江农业学报, 2023, 35 (8): 1-10.
- [16] 黎彩凤. 有机中微量元素肥料对辣椒效应及病害防控的影响[J]. 农业科技通讯, 2020 (12): 193-195, 266.
- [17] 逢蕾, 黄高宝. 不同耕作措施对旱地土壤有机碳转化的影响[J]. 水土保持学报, 2006, 20 (3): 110-113.
- [18] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3版. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [19] 卢志红, 周慧梅, 颜晓, 等. 江西省旱地土壤有效硅含量的分布特征及其影响因素[J]. 中国土壤与肥料, 2020 (4): 101-106.
- [20] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [21] 关松荫. 土壤酶及其研究法[M]. 北京: 农业出版社, 1986.
- [22] 邓欧平, 李翰, 熊雷, 等. 秸秆、猪粪混施对麦田根际土壤过氧化氢酶与蔗糖酶活性的影响[J]. 土壤, 2018, 50 (1): 86-92.
- [23] 全国土壤普查办公室. 中国土壤普查技术[M]. 北京: 中国农业出版社, 1992.
- [24] 吴荣, 刘善江, 孙昊, 等. 有机氮与无机氮不同配比对设施菜地次生盐渍化土壤改良效果[J]. 中国土壤与肥料, 2018 (6): 61-66.
- [25] 石温慧, 温晓兰, 李生辉, 等. 绿肥还田对土壤团聚性、可蚀性及有机质的影响[J]. 江苏农业科学, 2023, 51 (12): 195-201.
- [26] 张立成, 李娟, 章明清, 等. 长期轮作施肥对菜田土壤 pH 值的影响及灰色预测模型研究[J]. 核农学报, 2023, 37 (7): 1462-1469.
- [27] 王莹, 周珺, 孙德龙, 等. 不同量化肥与有机肥配施对设施番茄栽培土壤硝化潜势和 pH 的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2023, 29 (4): 602-613.
- [28] 张立超, 何昌福, 张文明, 等. 不同施肥处理对马铃薯土壤有机质含量及微生物区系的影响[J]. 甘肃农业大学学报, 2017, 52 (2): 27-33.
- [29] Abiven S, Menasseri S, Chenu C. The effects of organic inputs over time on soil aggregate stability - A literature analysis[J]. Soil Biology & Biochemistry, 2009, 41 (1): 1-12.
- [30] 高强, 宓文海, 夏斯琦, 等. 长期不同施肥措施下黄泥田水稻土团聚体组成、稳定性及养分分布特征[J]. 河南农业科学, 2021, 50 (6): 70-81.
- [31] Zhang J, Liu Y X, Yuan J Z, et al. Effects of maize straw and its biochar application on organic and humic carbon in water-stable aggregates of a Mollisol in Northeast China: a five-year field experiment[J]. Soil & Tillage Research, 2019, 190: 1-9.
- [32] 李旭晖, 梁志宏. 板栗产地长哨营乡土壤微量元素有效态含量及其与 pH 的相关性[J]. 北方园艺, 2019 (21): 72-78.
- [33] 付帅, 王艳群, 刘晓明, 等. 不同形态氮肥对玉米干物质、氮素积累及土壤氮素的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2023 (4): 122-129.
- [34] Zicker T, von Tucher S, Kavka M, et al. Soil test phosphorus as affected by phosphorus budgets in two long-term field experiments in Germany[J]. Field Crops Research, 2018, 218: 158-170.
- [35] Rmheld V, Kirkby E A. Research on potassium in agriculture: needs and prospects[J]. Water, Air and Soil Pollution, 2010, 212 (1): 155-180.
- [36] 苏文桢, 涂志伟, 张瑜, 等. 余干辣椒连作对土壤理化性质及微生物多样性的影响[J]. 江西农业大学学报, 2023, 45 (1): 113-124.
- [37] 吴志丹, 尤志明, 江福英, 等. 配施有机肥对茶园土壤性状及茶叶产质量的影响[J]. 土壤, 2015, 47 (5): 874-879.
- [38] 茹淑华, 张国印, 李虎群, 等. 禽粪有机肥对土壤主要养分和微量元素锌累积的影响[J]. 华北农学报, 2011, 26 (S2): 157-162.
- [39] 宗良纲, 丁园. 土壤重金属 (Cu、Zn、Cd) 复合污染的研究现状[J]. 农业环境保护, 2001, 20 (2): 126-129.
- [40] 余高, 陈芬, 田霞, 等. 冬季覆盖对幼龄柑橘园土壤化学性质及酶活性的影响[J]. 河南农业科学, 2023, 52 (9): 91-101.
- [41] 邱莉萍, 刘军, 王益权, 等. 土壤酶活性与土壤肥力的关系研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2004, 10 (3): 277-280.
- [42] 张国栋, 展星, 李园园, 等. 有机物料发酵流体和堆肥对苹果连作土壤环境及平邑甜茶幼苗生物量的影响[J]. 生态学报, 2015, 35 (11): 3663-3673.
- [43] 王树强, 许红丽, 孙彩霞, 等. 菌糠牛粪蚯蚓堆肥对草莓土壤理化性质和细菌多样性的影响[J]. 江苏农业科学, 2023, 51 (17): 218-230.
- [44] Pramanik P, Ghosh G K, Banik P. Effect of microbial inoculation during vermicomposting of different organic substrates on microbial status and quantification and documentation of acid phosphatase[J]. Waste Management, 2009, 29 (2): 574-578.
- [45] 乔蓬蕾, 吴凤芝, 周新刚. 连作对作物根际土壤微生物菌群及酶活性影响[J]. 沈阳农业大学学报, 2013, 44 (5): 524-530.
- [46] 许红丽, 王树强, 张玉兰, 等. 菌糠源生物堆肥对黄瓜种植土壤微生物活性、数量和多样性的影响[J]. 生态学杂志, 2024, 43 (5): 1279-1290.

- [47] 刘芳, 汪航飞, 蒲春燕, 等. 不同施肥对葡萄苗根际微生物量、土壤酶活性和生理的影响[J]. 四川农业大学学报, 2023, 41 (2): 318-324.
- [48] 吕丽霞, 王秀荣, 王维, 等. 自然生草对冀西北杏园土壤微生物量碳、氮及酶活性的影响[J]. 北方园艺, 2023 (7): 79-86.
- [49] 郭巨先, 欧阳碧珊, 李桂花, 等. 微生物有机肥对连作菜薹生长及土壤性质的影响[J]. 中国农业科技导报, 2023, 25 (2): 182-191.
- [50] 童芳, 李屹, 陈来生, 等. 连作对设施辣椒土壤酶活性和微生物群落结构的影响[J]. 西北农业学报, 2023, 32 (8): 1231-1239.

Effects of organic composting on the chemical properties and enzyme activities of chili pepper continuous cropping soil

SONG Shi-xia¹, LIU Rui¹, XU Fu-cai², LIU Wei¹, LIU Dan¹, LIU Peng³, AI Xin^{1*} (1. College of Horticulture, Hunan Agricultural University/Engineering Research Center for Horticultural Crop Germplasm Creation and New Variety Breeding, Ministry of Education/Key Laboratory for Vegetable Biology of Hunan Province, Changsha Hunan 410128; 2. Rucheng County Rural Agriculture Bureau, Luyang Hunan 424199; 3. Hunan Aosheng Agricultural Development Limited Liability Company, Changsha Hunan 410600)

Abstract: Taking the soil of continuous cultivation of chili peppers for 3 years as the research object, the changes in pH, electrical conductivity, organic matter, organic carbon, total carbon, nutrient content, and enzyme activity of the soil were measured by increasing a mixture of organic fertilizer and composite fertilizer to study the chemical properties of continuous cultivation chili peppers. The results showed that after applying $1.5 \times 10^4 \text{ kg/hm}^2$ of organic compost and $7.5 \times 10^2 \text{ kg/hm}^2$ of composite fertilizer to chili pepper continuous cropping soil, the soil pH increased by 0.89, and the soil organic matter increased by 5.25 g/kg, compared to the control soil ($P < 0.05$). The content of nutrient elements nitrogen, phosphorus, potassium, calcium, magnesium, and silicon significantly increased ($P < 0.05$), and the activities of urease, protease, acid phosphatase, and catalase were significantly increased ($P < 0.05$). In conclusion, there was a positive correlation between the improvement effect of soil chemical traits and the amount of organic compost, increasing the application of organic compost improved soil chemical properties, enhanced soil fertility, and increased soil enzyme activity, which could effectively improve the continuous cropping soil of chili peppers.

Key words: organic fertilizer; continuous cropping soil; enzyme activity