

土壤消毒和添加有机物料对连作条件下土壤性质与三七生长及发病率的影响

马玉丹, 杨启良, 袁 勇*, 苗为伟

昆明理工大学现代农业工程学院, 云南 昆明 650500

摘要: 目的 探究土壤消毒和添加有机物料对改善三七 *Panax notoginseng* 土壤环境、提高出苗率和降低发病率的影响机制, 提出克服三七连作障碍的土壤消毒和有机改良方案, 为三七优质高产提供依据。方法 以一年生三七为试验对象, 设置土壤蒸汽消毒机消毒 (Y)、生石灰消毒 (X) 2 个消毒条件; 粉碎的玉米秸秆 1 000 kg/hm² (J)、有机土壤基质 15 000 kg/hm² (G)、秸秆+有机土壤基质 (JG) 3 种添加有机物料的方法; 采用完全组合设计, 共 8 个处理。观测处理前后及三七苗期土壤养分、微生物数量、酶活性、三七形态、出苗率和发病率。结果 蒸汽机和生石灰消毒均显著降低土壤真菌、细菌和放线菌数量, 其中蒸汽机消毒效果强于生石灰消毒; 添加秸秆、有机土显著提升土壤养分及三七根区土壤微生物数量和酶活性。蒸汽机消毒并添加秸秆 (YJ) 或同时添加秸秆和有机土 (YJG) 以及生石灰消毒并添加秸秆 (XJ) 最有利于三七苗期株高和茎粗的生长。土壤消毒联合添加秸秆、有机土处理可显著降低三七发病率 (7.08%~23.84%), 显著低于 CK 70.30%。结论 土壤消毒和添加有机物料可改善土壤环境、促进三七生长、降低三七发病率, 缓解三七连作障碍。因蒸汽消毒添加秸秆、有机土或生石灰消毒添加秸秆改善连作条件下土壤性质及提升三七健康生长的综合效益最佳, 可作为三七种植管理中的优先推荐方案。

关键词: 土壤消毒; 添加有机物料; 三七; 出苗率; 发病率

中图分类号: R286.2 文献标志码: A 文章编号: 0253-2670(2024)20-7101-09

DOI: 10.7501/j.issn.0253-2670.2024.20.025

Effects of soil disinfection and addition of organic materials on soil properties, growth and morbidity of *Panax notoginseng* under continuous cropping conditions

MA Yudan, YANG Qiliang, YUAN Yong, MIAO Weiwei

Faculty of Modern Agricultural Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650500, China

Abstract: Objective The influence mechanism of soil disinfection and organic materials addition on improving the soil environment, increasing the emergence rate and reducing the incidence rate of *Panax notoginseng* were studied in order to propose a soil disinfection and organic improvement scheme to overcome the obstacles of continuous cropping of *P. notoginseng*, so as to provide a basis for the high quality and high yield of *P. notoginseng*. **Methods** Taking one-year-old *P. notoginseng* as the experimental object, this study sets up two disinfection conditions, Y (soil steam sterilizer disinfection) and X (quicklime disinfection), and add three organic materials methods, J (Crushed corn straw 1 000 kg/hm²), G (organic soil matrix 15 000 kg/hm²) and JG (straw+organic soil matrix). In addition, this study adopts complete combination design, with 8 treatments in total. Finally, this study observes soil nutrients, microbial quantity, enzyme activity, morphology, emergence rate and morbidity of *P. notoginseng* before and after treatment and at seedling stage of *P. notoginseng*. **Results** Steam engine and quicklime disinfection significantly reduce the number of soil fungi, bacteria and actinomycetes, and the steam engine disinfection effect is stronger than quicklime disinfection. The addition of straw and organic can soil significantly improve soil nutrients, microbial quantity and enzyme activity in the root zone of *P. notoginseng*. Steam engine disinfection and adding straw (YJ) or adding straw and organic soil (YJG) and quicklime disinfection and adding straw (XJ) are most beneficial to the growth of plant height and stem diameter of *P. notoginseng* seedlings. Soil disinfection combined with straw and organic soil treatment can significantly reduce the morbidity of *P. notoginseng*

收稿日期: 2024-03-03

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (51979134); 国家自然科学基金资助项目 (51779113); 云南省高校特色作物高效用水与绿色生产重点实验室 (KKPS201923009); 云南省基础研究重点项目 (CB22052C055A)

作者简介: 马玉丹, 硕士研究生, 研究方向为节水灌溉与新技术。E-mail: 731014252@qq.com

*通信作者: 袁 勇, 硕士生导师, 主要从事农业水土要素调控研究。E-mail: kmyuanyong@163.com

(7.08%—23.84%), which is significantly lower than CK 70.30%. **Conclusion** Soil disinfection and improvement can improve the soil environment, promote the growth of *P. notoginseng*, reduce the incidence of *P. notoginseng*, and alleviate the obstacles of continuous cropping of *P. notoginseng*. Steam disinfection adding straw, organic soil or quicklime disinfection with straw has the best comprehensive benefits in improving soil properties and promoting the healthy growth of *P. notoginseng* under continuous cropping conditions, which can be used as the preferred recommendation scheme in *P. notoginseng* planting management.

Key words: soil disinfection; organic materials addition; *Panax notoginseng* (Burk.) F. H. Chen; emergence rate; disease incidence

三七 *Panax notoginseng* (Burk.) F. H. Chen 是五加科人参属免耕荫蔽栽培的多年生植物, 喜温暖阴湿, 是中国著名的中药材^[1]。三七全株上下均可入药, 具有活血化瘀、消肿止痛等疗效^[2]。随着三七农业产值产量的增加, 三七在药品产业和国民经济中占有重要地位。云南作为三七的主要产地, 由于生产上连年大面积单一种植, 导致三七根际土壤生态环境恶化, 连作障碍现象相当严重^[3]。连作障碍是指在同一块土地上连续种植同一种植物, 即使在正常管理情况下, 也会出现生育状况变差、病虫害严重的情况^[4]。一般认为, 老地需间隔 (休闲或轮作) 8~10 年才能重新种植三七^[5]。引起连作障碍的原因主要有土壤养分亏缺、土壤反应异常、土壤理化性状恶化、植物的有害物质、土壤微生物变化^[6]。针对这些原因, 前人分别从土壤熏蒸消毒^[7]、化感物质^[8]、土壤微生物^[8]等方面进行了三七连作障碍防治的有益探讨, 如自毒物质吸附、土壤灭菌、平衡施肥和添加土壤添加有机物料剂等措施^[9]。

土壤消毒灭菌能有效缓解三七的连作障碍。为缓解三七连作障碍, 使用三七土壤蒸汽消毒机, 土壤加热升温到 90 °C 时, 有效杀死土壤有害物质, 达到适宜三七生长的土壤要求^[10]。张义杰等^[11]研究发现, 适量的生石灰可显著提高土壤 pH 值, 降低酚类物质含量、土壤的真菌和细菌, 提高细菌多样性, 促进三七的生长, 并降低根腐病的发生。添加生石灰可改善土壤 pH 值, 同时还能有效提升土壤中有效磷含量^[12]。梁军伟^[13]研究表明, 适量添加生石灰可显著提高烟草的株高、地上部和地下部的生物量, 叶绿素 a 和类胡萝卜素含量均显著升高, 烟草的净光合速率和蒸腾速率显著升高, 同时烟草的超氧化物歧化酶和过氧化物酶活性显著提高, 丙二醛含量显著降低。在土壤添加有机物料方面, 秸秆还田替代氮肥效果显著, 作物秸秆与氮肥的长期配施能够显著提高玉米生物产量、产量和氮素累积^[14]。刘磊等^[15]研究表明, 施石灰和秸秆还田对土壤总累积钾素观平衡有显著的互作效应, 在酸性双季稻田上, 施石灰和秸秆还田配施能够协同

实现土壤酸化添加有机物料和维持钾素平衡, 有利于持续提升双季稻田的生产力。添加不同配比腐熟甘蔗渣、玉米秸秆和菌糠 (有机土壤基质) 处理的茄子形态指标、植株干质量、产量因素、产量以及营养品质差异达到了显著水平^[16]。

这些技术措施及其组合均不同程度地改善了连作土壤的微生态环境, 对植株的生长或产量提高有一定促进作用。但如何对这些措施的应用效果进行科学合理评价, 综合比较不同措施之间的差异, 筛选出最为有效的消减措施的研究还相对匮乏, 虽然已有众多的消毒、添加有机物料试验证明可缓解作物连作障碍效应, 但是土壤消毒同时配合添加有机物料两者共同作用在缓解三七连作障碍效应方面研究较少。为此, 本研究拟通过田间大棚试验, 在相同遮荫条件、相同灌水量、相同施肥量条件下, 研究不同土壤消毒方式和添加不同有机物料措施对一年生三七幼苗的出苗率、生长特征、土壤微生物数量及酶活性的影响, 获得有效缓解三七连作障碍土壤的最优组合方案。

1 材料

1.1 试验点概况

试验点位于昆明理工大学呈贡校区恬园节水灌溉试验站 (地理位置北纬 24°84'46", 东经 102°86'38", 海拔 1 959 m)。试验在该站的避雨塑料温室大棚中进行, 大棚内设置温度控制系统, 自动调节大棚顶窗、侧窗及风机以控制大棚内温度达到三七适宜生长温度。试验点属于北亚热带低纬高原山地季风气候, 试验期间大棚内日照均匀, 温度适宜, 平均气温 21 °C, 平均相对湿度 58%。该试验的供试土壤为连续种植 4 年三七后的连作土壤。土壤为微酸性红壤 (pH 5.9), 母质为石灰岩风化物, 土层深厚、质地疏松, 其平均容重为 1.28 g/cm³, 有机质为 15.78 g/kg, 全氮 0.50 g/kg, 全磷为 0.66 g/kg, 全钾为 0.48 g/kg, 铵态氮为 12.04 mg/kg, 速效磷为 22.22 mg/kg, 速效钾为 177.84 mg/kg。

1.2 试验小区建设

2020 年 9~10 月期间铲除大棚内杂草, 对土

壤进行深耕晒地处理。本实验共对大棚连作土壤进行3次深耕,第1次深耕时间为2020年9月15日,深度15~20 cm,针对大棚连作土壤的熟土层;15天后进行第2次深耕,深度30~40 cm,针对大棚连作土壤的生土层;第3次深耕时间为2020年10月15日,在进行土壤消毒之前,使土壤表面土壤更加松散,便于土壤消毒机消毒处理。2020年9~12月土壤深耕消毒期间不铺设遮阳网,12月土壤消毒结束后,距离地面2.5 m处铺设两层遮阳网,透光率为24.5%。试验采用喷雾灌水、施肥(水肥一体化施肥技术),根据大棚试验田大小(52 m×5 m),在试验田大棚顶遮荫网下平行地面架设4根管道,每根管道长40 m,间距1 m。每根管道间距1 m安装喷头,每个喷头喷洒域1.5 m²。

2 方法

2.1 试验设计

3次深耕结束后,对连作土壤进行做垄处理。每垄垄面宽1.5 m,垄长4 m,垄高0.45 m,共27

垄。2020年11月20日天气晴朗无雨,进行生石灰消毒。参照生石灰使用技术要求,并优先考虑土壤本身的酸碱度,严格控制生石灰的用量。本实验田的土壤pH为5.9,三七适宜生长pH为5.5~7.0^[17],本实验生石灰用量为2 500 kg/hm²,撒施当天翻土至20 cm深,先撒一半生石灰粉,第2天翻土刨松之后撒入另一半生石灰粉。撒施生石灰后使用架设好的喷水管灌水8 h,使土壤水分饱和。2020年11月22日使用宋彦等^[10]研究设计的土壤蒸汽消毒机进行土壤消毒,当日天气温度为13℃,土壤表层无任何植物秸秆残留,土壤坚实度为60 kPa,在土壤蒸汽消毒机蒸汽出口为0.5 MPa时,加热土壤到90℃持续900 s,消毒深度为15 cm。

2020年11月30日撒施甘蔗渣和玉米秸秆(甘蔗渣取自于当地制糖厂,干玉米秆取自于邻近试验站的玉米种植地,将甘蔗渣和干玉米秆粉碎,按1:1比例混合,基本性质见表1)和有机土壤基质(取自邻近试验站的云松林下土壤腐殖层,基本性质见表1),将秸秆和有机土壤基质均匀撒施于每垄表

表1 有机物料秸秆和有机土壤基质基本性质

Table 1 Basic properties of organic straw and organic soil matrix

有机物料种类	速效氮/ (mg·kg ⁻¹)	速效磷/ (mg·kg ⁻¹)	速效钾/ (mg·kg ⁻¹)	全氮/ (g·kg ⁻¹)	有机质/ (g·kg ⁻¹)	过氧化氢酶/ (mL·g ⁻¹)	磷酸酶/ (mg·g ⁻¹ ·d ⁻¹)	脲酶/ (mg·g ⁻¹ ·d ⁻¹)
粉碎甘蔗渣和玉米 秸秆混合(J)	42.38	145.62	1 228.52	7.12	50.38	4.86	3.16	0.22
有机土壤基质(G)	6.58	12.95	251.01	10.32	47.62	4.91	6.47	1.91

面,深耕土壤20 cm将秸秆和有机土壤基质与连作土壤充分混合,起到发酵有机物料作用。参照张子龙等^[18]和黎成杨等^[19]的研究结果,本实验使用的秸秆为粉碎的甘蔗渣和玉米秸秆混合(比例为1:1),秸秆用量为1 000 kg/hm²,有机土壤基质用量为15 000 kg/hm²。本实验进行2次施肥,2020年11月30日第1次施肥在撒施秸秆有机土壤基质时将底肥I千代田微生物菌剂一同撒入,根据千代田微生物菌剂用量参考用量说明,中药用量在675~1 100 kg/hm²,本实验田用量为937 kg/hm²。第2次施肥时,待秸秆与有机土壤基质发酵1个半月后,移栽三七幼苗的前1 d,将底肥II美可辛复合肥撒施在垄面,然后深耕土壤20 cm,使复合肥与土壤充分混合。

2021年1月15日将一年生三七幼苗移栽于试验基地,根据三七的种植栽培与病虫害防治技术^[20],称定购买的三七苗的千条根质量为1.4 kg,

为三级苗,故设置本实验田三七的种植苗间距为15 cm×15 cm,每垄面积为6 m²(1.5 m×4 m),每垄约需种植300株,共27垄,总共种植三七苗约8 100株。种植结束后,在每垄垄面均匀撒铺1 cm厚松针,并用木棍轻拍打松针,使松针平整,避免积水。

根据生石灰、蒸汽机消毒2种消毒方法,以及添加秸秆、有机土壤基质2种有机物料,且参照张子龙等^[18]研究结果,设置土壤蒸汽消毒机消毒(Y)、生石灰消毒(X)2个消毒方法;粉碎的甘蔗渣和玉米秸秆混合1 000 kg/hm²(J)、有机土壤基质15 000 kg/hm²(G)、秸秆与有机土壤基质混合(JG)3种添加有机物料的方法,采用完全组合设计,共8个处理(2³):蒸汽机消毒(Y)、蒸汽机消毒+秸秆(YJ)、蒸汽机消毒+有机土壤基质(YG)、蒸汽机消毒+秸秆+有机土壤基质(YJG)、生石灰消毒(X)、生石灰消毒+秸秆(XJ)、生石灰消毒+有机

土壤基质 (XG)、生石灰消毒+秸秆+有机土壤基质 (XJG)。同时设置一个对照 (不做消毒和添加有机物料处理, 其余条件和其他处理完全一样, CK)。每个处理 (含 CK) 重复 3 次, 共 27 个小区。

2.2 土壤样品采集

按照对角线法采集三七连作土壤。采集土壤时每个处理 3 个小区, 每个小区各采集 3 个土样, 共 27 个小区, 每次采集 81 个土样。2020 年 11 月 18 日采集第一批土样为消毒和添加有机物料前的土壤; 2020 年 11 月 28 日采集第 2 批土样为消毒后施用底肥前的土壤; 2021 年 1 月 15 日采集第 3 批土样为添加有机物料和施用 2 次底肥且移栽三七后当天的土壤。测得 3 批土样的土壤铵态氮、速效磷、速效钾、全氮、有机质含量, 土壤微生物数量、酶活性和 pH。由于添加生石灰、有机物料和撒施底肥 I、II 时土壤的深耕深度为 20 cm, 且三七幼苗根系生长在土壤 0~20 cm 的浅土层, 所以测定各指标时, 取 0~20 cm 的三七根区土壤。

2.3 土壤及三七指标测定

2.3.1 土壤养分指标 铵态氮测定采用 KCl 浸提-靛酚蓝比色法; 速效磷测定采用 NaHCO₃ 浸提-钼锑抗比色法; 速效钾测定采用乙酸铵浸提-火焰光度计; 全氮测定采用全自动凯氏定氮法; 有机质测定采用重铬酸钾容量法测定, 测定时根据 3 次土壤采集时间进行测定。

2.3.2 土壤微生物数量、酶活性和 pH 值 细菌测定采用牛肉高蛋白胨琼脂培养基, 以平板表面涂抹法计数; 真菌测定采用马丁氏 (Martin)-孟加拉红培养基, 测定方法同细菌; 放线菌测定采用添加有机物料高氏一号合成培养, 以平板表面涂抹法计数。过氧化氢酶测定采用高锰酸钾滴定法, 结果以 1 g 风干土壤滴定所需要 0.1 mol/L KMnO₄ 的体积 (0.1 mol/L KMnO₄) 表示; 脲酶测定采用苯酚钠比色法, 酶活性测定结果以 24 h 后 1 g 土生成的 NH₄⁺-N 的质量表示, 本研究采用换算成 1 kg 土生成的 NH₄⁺-N 的质量表示; 磷酸酶测定采用磷酸苯二钠比色法, 酶活性测定结果以 24 h 后 1 g 土产生的酚的质量表示, 本研究采用换算成 1 kg 土生成的酚的质量表示; 土壤 pH 值测定采用电位法, 测定时根据 3 次土壤采集时间进行测定。

2.3.3 三七形态指标 (株高、茎粗) 采用直尺测量株高, 用游标卡尺测量茎粗。每个处理随机

取样 6 株无病害、长势差异较小的植株。用直尺测量从土层表面到植株顶部的垂直高度为株高, 用游标卡尺测其距离地面 1 cm 处茎粗。从 3 月出苗开始测量 1 次, 4 月底苗期结束测量 1 次, 取其平均值。

2.3.4 三七出苗率、发病率 待 3~4 月出苗以后, 记录出苗株数, 在苗期结束之际 (4 月底) 和坐果期 (10~12 月), 统计每垄发病植株株数。

出苗率 = 每垄出苗株数 / 每垄种植总株数

发病率 = 每垄发病株数 / 每垄出苗株数

2.4 数据处理

采用 Microsoft Excel 2010 进行数据统计处理, 用 SPSS 20.0 统计软件进行方差分析和相关性分析, 用 Origin 20.0 软件制图。

3 结果与分析

3.1 三七土壤养分

消毒添加有机物料前和添加有机物料后的土壤养分含量无显著差异 (表 2), 说明 2 种消毒方法对土壤养分含量的影响无显著差异。添加有机物料的各处理土壤养分含量显著提升。

在蒸汽消毒和生石灰消毒 2 种方法下, 添加秸秆 (YJ、XJ) 处理土壤速效氮显著提高了 17.55%、17.60%, 添加有机土 (YG、XG) 处理土壤速效氮增加了 16.12%、17.46%, 同时添加秸秆和有机土 (YJG、XJG) 处理增加了 32.30%、39.79%。

不同消毒与添加有机物料处理对土壤速效磷的影响与土壤速效氮基本一致, 相较于 CK, YJ、XJ、YG、XG、YJG、XJG 添加不同有机物料处理的土壤速效磷含量分别显著提高 62.33%、65.38%、10.08%、34.68%、102.16%、123.75%。

土壤速效钾在添加有机物料后提升的幅度较小, 从不同消毒与添加有机物料措施对土壤速效钾的影响结果来看, 相较于 CK, YJ、XJ、YJG、XJG 土壤速效钾增加 16.21%、16.91%、25.76%、28.84%, 而 YG、XG 处理土壤速效钾含量有所降低, 降低 0.82%、1.12%, 表明单一添加有机土壤基质不利于土壤速效钾的积累。

由于添加有机物料的时间较短, 不同添加有机物料处理对土壤有机质积累作用缓慢, 土壤有机质含量提升是一个缓慢的过程。相较于 CK, YJ、XJ、YG、XG、YJG、XJG 处理的土壤有机质含量分别显著提高 6.26%、9.44%、19.78%、19.72%、26.09%、25.58%。

表 2 不同消毒方式与添加有机物料方法对三七土壤养分的影响 ($\bar{x} \pm s, n = 3$)

Table 2 Effects of different disinfection methods and methods of adding organic materials on soil nutrients of *P. notoginseng* ($\bar{x} \pm s, n = 3$)

处理	速效氮/(mg·kg ⁻¹)	速效磷/(mg·kg ⁻¹)	速效钾/(mg·kg ⁻¹)	有机质/(g·kg ⁻¹)	全氮/(g·kg ⁻¹)
消毒和添加有机物料前	12.04±0.01i	22.22±0.12j	177.84±1.47j	15.78±0.01g	0.51±2.77g
蒸汽消毒后 (Y ₀)	12.02±0.02i	22.19±0.12j	180.39±3.90j	15.80±0.02g	0.51±1.00g
石灰消毒后 (X ₀)	11.99±0.02i	22.27±0.12j	179.54±2.55j	15.77±0.02g	0.52±0.77g
Y	33.51±0.05h	61.83±0.08i	302.05±0.02i	15.71±0.01g	1.16±1.31f
YJ	40.32±0.01c	104.43±0.17d	352.25±1.47d	19.02±0.01e	1.76±3.13d
YG	39.83±0.01e	70.82±0.12f	305.60±0.02f	21.44±0.01c	3.94±1.46b
YJG	45.38±0.02b	130.05±0.12b	381.18±0.02b	22.57±0.14a	4.72±1.76a
X	33.72±0.02g	62.81±0.08h	302.60±0.02h	15.65±0.01g	1.13±1.68f
XJ	40.34±0.01d	106.39±0.12c	354.37±1.47c	19.59±0.14d	1.89±2.77c
XG	40.29±0.02d	86.64±0.08e	306.51±1.47e	21.43±0.01c	3.92±0.61b
XJG	47.95±0.01a	143.94±0.12a	390.53±1.47a	22.48±0.14b	4.71±0.85a
CK	34.30±0.02f	64.33±0.08g	303.11±1.47g	17.90±0.14f	1.53±1.77e

X₀、Y₀分别为经石灰和蒸汽消毒后施用底肥前的土壤；同一列不同小写字母表示 P<0.05 水平上差异性显著，下同。

X₀ and Y₀ are the soils before the application of base fertilizer after lime and steam sterilization, respectively; Different small letters in each column indicate that significant differences exist between the two treatments (P<0.05), same as below.

不同消毒与添加有机物料处理对土壤全氮的影响，相较于 CK，YJ、XJ、YG、XG、YJG、XJG 处理的土壤全氮含量分别显著提高 15.03%、23.53%、157.52%、156.21%、208.50%、207.84%。

从添加不同的有机物料来看，较土壤消毒和添加有机物料前后，各处理的土壤养分含量均显著提升。随添加有机物料的不同，各处理的土壤速效氮、速效磷、速效氮含量变化不同，由高到低表现为 XJG>YJG>XJ>YJ>XG>YG>CK>X>Y。土壤全氮和有机质的含量变化由高到低表现为 YJG>XJG>YG>XG>XJ>YJ>CK>Y>X。较土壤消毒和添加有机物料前，在添加有机物料后的 5 种养分指标含量中，土壤养分增长效果不同，由高到表现为土壤全氮>速效磷>速效氮>有机质>速效钾。

3.2 三七根区土壤环境变化

蒸汽机和生石灰消毒均显著降低土壤细菌、真菌、放线菌数量，分别降低 79.24%、23.37%；154.05%、62.06%；83.96%、109.67%（表 3）。土壤微生物数量降低效果由强到弱，表现为蒸汽机消毒>生石灰消毒，对土壤微生物降低效果，由强到弱表现为放线菌>细菌>真菌。

添加不同的有机物料后，各处理土壤微生物数量显著提高。生石灰消毒下，XJG 处理土壤细菌、真菌数量最高，较 CK 提高 44.26%、23.48%，其次

为蒸汽机消毒下，YJG 处理较 CK 提高 32.78%、16.81%。相较 CK，单一添加秸秆的处理 YJ、XJ 土壤细菌数量分别提高 26.22%、29.09%，土壤真菌数量分别提高 8.69%、12.75%。单一添加有机土壤基质的处理（YG、XG）土壤细菌、真菌数量增长趋势最低，其中土壤细菌较 CK 提高 11.47%、20.90%，土壤真菌提高 2.89%、4.63%。而对于土壤放线菌，XJG 处理土壤放线菌数量最高，较 CK 增长 43.72%，其次为 YJG 处理，较 CK 提高 39.60%，再次为处理 YG、XG 处理，较 CK 分别提高 23.13%、20.78%。增加最低的为 YJ、XJ，较 CK 分别提高 12.15%、14.50%。

消毒添加有机物料前和添加有机物料后土壤的 3 种酶活性差异性不显著 (P>0.05)。添加有机物料后各处理土壤 3 种酶活性差异性显著 (P<0.05)。与消毒前后对比添加有机物料后的土壤 3 种酶活性明显增加，过氧化氢酶活性提高了 4.07%~17.15%，磷酸酶活性提高了 67.80%~239.80%，脲酶活性提高了 58.33%~216.67%。秸秆和有机土壤基质添加有机物料处理后，土壤过氧化氢酶和脲酶的活性明显增加，分别较 CK 提高了 5.49%~10.71%和 14.28%~80.95%。而对土壤脲酶活性的提高，相较于 CK，只有 YJG、XJG 和 XG 有所提高，分别提高 73.59%、62.34%、28.57%。

表 3 不同消毒方式与添加有机物料方法对三七土壤根区环境变化的影响 ($\bar{x} \pm s, n = 3$)

Table 3 Effects of different disinfection methods and methods of adding organic materials on environmental changes of root zone of *P. notoginseng* ($\bar{x} \pm s, n = 3$)

处理	微生物/($\times 10^5$ CFU·g ⁻¹)			酶活性/(mg·g ⁻¹ ·d ⁻¹)			pH
	细菌	真菌	放线菌	过氧化氢酶	磷酸酶	脲酶	
消毒和添加有机物料前	0.95±0.03j	0.94±0.02j	1.95±0.30j	3.44±0.01h	1.18±0.01f	0.12±0.03i	6.59±0.03h
Y ₀	0.53±0.02l	0.37±0.01l	0.93±0.15l	3.45±0.01h	1.16±0.01f	0.12±0.01i	6.60±0.02h
X ₀	0.77±0.02k	0.58±0.02k	1.06±0.01k	3.45±0.02h	1.17±0.02f	0.12±0.04i	7.23±0.02g
Y	2.23±0.02i	2.98±0.02i	2.35±0.01i	3.58±0.01g	2.10±0.23d	0.27±0.02e	7.92±0.03f
YJ	3.08±0.01d	3.75±0.02d	2.86±0.03f	3.84±0.02d	1.98±0.15de	0.28±0.01d	7.97±0.01cd
YG	2.72±0.01f	3.55±0.03f	3.14±0.01c	3.88±0.01c	2.31±0.29c	0.19±0.01h	7.98±0.02c
YJG	3.24±0.01b	4.03±0.02b	3.56±0.02b	3.99±0.03b	4.01±0.14a	0.33±0.01b	8.02±0.01b
X	2.37±0.02h	3.14±0.02h	2.46±0.02h	3.68±0.04e	1.98±0.09de	0.33±0.07c	7.95±0.01de
XJ	3.15±0.02c	3.89±0.01c	2.92±0.02e	3.84±0.03d	2.43±0.15c	0.29±0.05d	7.98±0.01c
XG	2.95±0.02c	3.61±0.01e	3.08±0.01d	3.89±0.04c	2.97±0.09b	0.24±0.02f	7.97±0.02cd
XJG	3.52±0.02a	4.26±0.02a	3.67±0.02a	4.03±0.03a	4.01±0.19a	0.38±0.03a	8.05±0.01a
CK	2.44±0.01g	3.45±0.03g	2.55±0.02g	3.64±0.02f	2.31±0.05c	0.21±0.01g	7.93±0.01ef

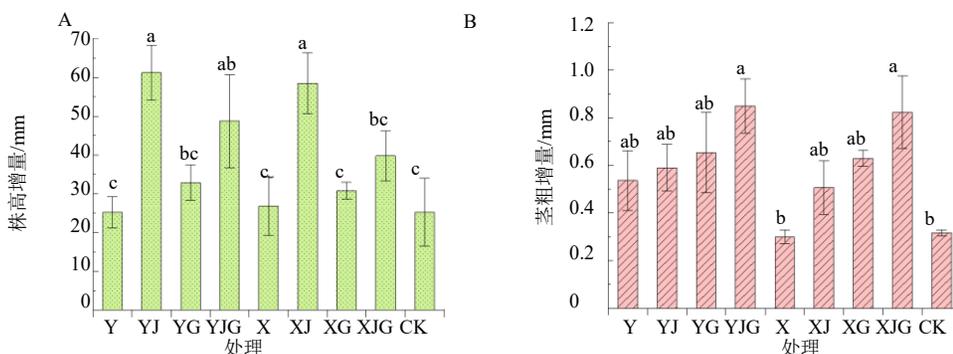
加有机物料后的土壤 3 种酶活性明显增加，过氧化氢酶活性提高了 4.07%~17.15%，磷酸酶活性提高了 67.80%~239.80%，脲酶活性提高了 58.33%~216.67%。秸秆和有机土壤基质添加有机物料处理后，土壤过氧化氢酶和脲酶活性明显增加，分别较 CK 提高了 5.49%~10.71%和 14.28%~80.95%。而对土壤脲酶活性的提高，相较于 CK，只有 YJG、XJG 和 XG 有所提高，分别提高 73.59%、62.34%、28.57%。

添加有机物料后的土壤 pH 值各处理间差异性不显著 ($P > 0.05$)。相较于消毒和添加有机物料前后的土壤 pH 值，添加秸秆和有机土壤基质有机物料后的各处理土壤 pH 值都呈增长趋势，增长 20.60%~21.96%。其中 XJG 处理土壤 pH 值达到最大，为 8.05，高于 CK 1.51%，其余各处理相较 CK 增加差异性较小。

3.3 三七形态

添加秸秆和有机土壤基质各处理的株高显著高于 CK ($P < 0.05$) (图 1-A)。XJ、YJ 处理的三七苗期株高增量最高，显著高于 CK 142.03%、131.27%。XJG、YJG 处理三七苗期株高增量次之，高于 CK 92.72%、57.13%。而 YG、XG 处理其三七苗期株高增量效果不明显，分别较高于 CK 29.97%、21.62%。

添加不同有机物料后的各处理茎粗变化量高于 CK 但差异性不显著 ($P > 0.05$) (图 1-B)，添加有机物料后各处理的三七苗期茎粗高于 CK 90.32%~174.19%。相较于 CK，YJG、XJG 处理三七苗期茎粗增量分别提高 165.62%、156.25%，YG、XG 处理分别提高 103.12%、96.87%，而 YJ、XJ 处理对三七苗期茎粗增量效果最弱，分别提高 84.37%、59.37%。



不同小写字母表示 $P < 0.05$ 水平上差异性显著，下同。

Different small letters in each column indicate that significant differences exist between the two treatments ($P < 0.05$), same as below.

图 1 不同消毒方式与添加有机物料方法对三七株高 (A) 和茎粗 (B) 的影响

Fig. 1 Effects of different disinfection methods and methods of adding organic materials on height (A) and stem diameter (B) of *P. notoginseng*

3.4 三七出苗率和发病率

不同消毒和添加有机物料措施对三七出苗率、发病率的影响显著 ($P < 0.05$) (图 2)。添加不同的有机物料后, 三七的出苗率显著提升。

消毒和添加有机物料措施后的各处理三七出苗率提升为 41.92%~72.43%, XJG 处理三七出苗率最高为 72.43%, 显著高于 CK。YJ、YG、Y、XG 处理, 较 CK 分别提高 12.43%、15.42%、5.47%、7.97%。YJG 处理三七出苗率最低为 41.92%, 低于 CK。蒸汽机消毒下, 随添加有机物料的不同, 三七出苗率由高到低表现为 YG > YJ > Y > YJG; 生石灰消毒下, 随添加有机物料的不同, 三七出苗率由高到低表现为 XJG > XG > X > XJ。综合比较 2 种消毒方式, 生石灰消毒下的各处理三七出苗率整体大于蒸汽机消毒下的各处理。

通过蒸汽机和生石灰消毒且添加秸秆和有机土壤基质后, 使三七发病率显著降低。在三七苗期的发病率, 较于 CK, 消毒添加有机物料措施后的各处理三七发病率均有所降低。蒸汽机消毒下, 秸秆 YJG 三七苗期发病率最低, 为 7.08%, 相较于 CK 显著降低

70.03%。其次为 XJG, 相较于 CK 显著降低 64.09%, 而 Y、X 处理三七苗期发病率降低幅度较小, 相较于 CK 降低 13.96%、11.15%。其余处理 YJ、YG、XJ、XG 相较于 CK 分别降低 19.79%、35.98%、60.23%、20.21%。蒸汽机消毒下, 三七苗期的发病率由低到高表现为 YJG < YG < YJ < Y, 而在生石灰消毒下, 三七发病率由低到高表现为 XJG < XJ < XG < X。

在三七坐果期的发病率, 较于 CK, 土壤消毒和添加有机物料显著降低三七发病率。其中 YJG 发病率最低, 为 28.67%, 显著低于 CK 83.15%, 其次 XJG 相较于 CK 显著低 35.37%, 在 2 种消毒方式下, YJ、XJ 处理相较于 CK 显著 18.67%、9.76%; YG、XG 处理相较于 CK 显著降低 35.37%、10.59%; 而进行土壤消毒无添加有机物料的处理 (Y、X), 降低三七发病率效果较弱, 相较于 CK 仅降低 5.52%、6.77%, 整体上, 蒸汽机消毒下, 三七坐果期的发病率由低到高表现为 YJG < YG < YJ < Y, 而在生石灰消毒下, 三七发病率由低到高表现为 XJG < XG < XJ < X, 综上 2 种消毒方式均能降低三七发病率, 而蒸汽机蒸汽消毒作用优于生石灰。

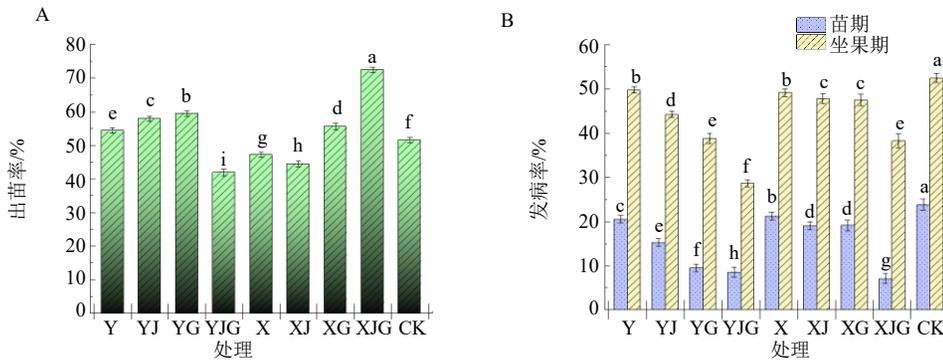


图 2 不同消毒方式与添加有机物料方法对三七出苗率 (A) 和发病率 (B) 的影响

Fig. 2 Effects of different disinfection methods and methods of adding organic materials on emergence rate (A) and disease incidence (B) of *P. notoginseng*

4 讨论

4.1 消毒方式与添加有机物料方法对三七土壤环境的影响

水稻秸秆掺入土壤, 将有机质返还给土壤, 显著提高水稻产量, 同时改善土壤的性质。番茄秸秆还田配施腐解菌剂, 显著改善土壤微生物数量比例, 能够增加土壤速效养分和有机质含量, 而且改善土壤特性, 从而促进番茄植株的生长, 使得单株坐果数增加提高产量^[21]。秸秆配合施肥有利于化肥减施、粮食稳产和培肥地力^[22]。随着秸秆的增多, 土壤肥力和酶活性得到显著提高^[23]。

本研究表明, YJG、XJG 处理最有利于三七连作土壤养分的提高, YJ、XJ 处理较利于连作土壤养分的提高, YG、XG 处理对提高三七连作土壤养分的提高效果最弱, 这是因为秸秆配施生石灰灌水后, 大量放热加速秸秆的发酵, 从而显著改善土壤物理性状, 提高土壤养分, 而有机土壤基质在施入前已发酵, 与生石灰配施后土壤积累养分速度缓慢, 效果低于秸秆添加有机物料。本研究还发现, 无添加秸秆和有机土壤基质只单一的添加微生物菌肥和复合肥的处理 (Y、X) 同样可提高连作土壤的氮、磷、钾含量, 但不能提高土壤

有机质含量,这说明只添加化肥能迅速提高土壤中的养分,不能在短期内迅速有效积累土壤中的有机碳。生石灰能有效降低酸性土壤的酸度,对微生物的多样性产生积极影响^[24]。本研究发现蒸汽机和生石灰消毒后土壤细菌、真菌、放线菌数量显著降低,而对土壤过氧化氢酶、磷酸酶、脲酶 3 种酶活性以及土壤养分无显著影响,说明仅消毒只能降低土壤微生物数量,但是不能影响土壤养分含量和酶活性。秸秆旋耕还田 20 cm 可改善 0~40 cm 土层养分水平,提高土壤酶活性,同时显著提高 0~10、10~20、30~40 cm 土层的 pH 值^[25]。施加生石灰能提高土壤 pH 改善酸化土壤,从而缓解苹果再植病^[26]。本研究发现,添加秸秆和有机土壤基质有机物料后的土壤微生物数量酶活性均显著增长,生石灰消毒下, XJG 处理最利于的土壤微生物数量、酶活性和 pH 的提高,说明在生石灰消毒+秸秆与有机土壤基质的混合作用下,土壤微生物数量、酶活性和 pH 增长效果最好。与赵雪淞等^[27]研究结果一致,花生连作土壤中添加甘蔗渣和玉米秸秆可有效改善土壤生物活性,缓解连作障碍,实现花生增产增收。

4.2 消毒方式与添加有机物料方法对三七株高和茎粗的影响

不同的添加有机物料促进草莓植株生长^[28]。芽孢杆菌与秸秆配施可通过改变苦荞幼苗形态和根系构型、提高根系活力,改善根系生理机能提高对苦荞幼苗生长发育的影响^[29]。本研究发现, XJ、YJ 处理最有利于三七株高的生长; YJG 处理最有利于三七茎粗的生长。这是因为通过添加秸秆和有机土壤基质提高了三七土壤的养分含量以及微生物数量和酶活性,从而有效促进三七苗期的株高和茎粗的增长,显著影响三七的形态。这与何浩等^[30]的研究结果一致,使用不同有机肥替代率可有效促进对玉米的生长。本研究还发现, YJG 处理的土壤速效氮、磷、钾以及有机质和全氮含量在各处理中最高, YJG 处理对三七茎粗的增量效果也最好,说明土壤养分与三七的茎粗呈正相关。

4.3 消毒方式与添加有机物料方法对三七出苗率和发病率的影响

秸秆深翻还田有利于提高出苗率和整齐度。对土壤消毒和添加有机物料剂可有效改善土壤生物活性,降低发病率,缓解连作障碍^[31]。本研究发现,在三七苗期, XJG 处理出苗率最高,该处理土壤养

分以及土壤根区环境相对其他处理也较好,通过添加秸秆和有机土壤基质后显著提升土壤养分、微生物数量以及酶活性,从而有效提高了三七的出苗率,这说明土壤养分含量越高,其土壤环境相对越好,其作物的出苗效果越好。YJG 处理发病率最低,这是因为 YJG 处理的土壤根区放线菌数量以及过氧化氢酶活性较低,从而有效抑制了三七的发病率。而对照组三七发病率最高,是因为 CK 处理根区放线菌数量以及过氧化氢酶活性最高,从而加速了三七的发病。这说明土壤放线菌数量和过氧化氢酶活性影响三七的发病率,其含量越高发病率越高。这与郑有坤^[32]研究结果一致。本研究还发现,蒸汽机消毒的各处理其三七的发病率小于生石灰消毒的各处理,而其出苗率小于生石灰的各处理,这是因为蒸汽机和生石灰消毒有效降低土壤的微生物数量,但蒸汽消毒降低土壤微生物数量的效果强于生石灰消毒,从而显著影响三七的出苗率和发病率。综上,根据不同消毒添加有机物料措施,可以通过控制添加有机物料的不同,从而影响土壤养分以及根区环境,以有效提高三七的出苗率抑制三七发病率。

总之,添加生石灰和消毒机消毒可显著降低土壤真菌、细菌、放线菌的数量;进一步添加秸秆、有机土能显著提高微生物数量,有效改善土壤有机质、氮、磷、钾等养分状况及过氧化氢酶、磷酸酶和脲酶活性。土壤消毒后添加秸秆、有机土处理能显著促进苗期三七的生长,其中 YJ、YJG、XJ 处理具有同时显著提升三七株高和茎粗增长的效果。土壤消毒和添加有机物料处理虽然对三七出苗率改善作用不佳,但均能显著降低三七发病率(7.08%~23.84%,远小于 CK 的 70.30%)。

土壤消毒和添加有机物料能通过改善土壤环境,促进三七生长,显著降低三七发病率,发挥克服三七连作障碍的效果。从综合效益看,推荐蒸汽消毒添加秸秆、有机土或生石灰消毒添加秸秆作为改善连作条件下土壤性质及提升三七健康生长的优选方案。

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

参考文献

- [1] Wang T, Guo R X, Zhou G H, *et al.* Traditional uses, botany, phytochemistry, pharmacology and toxicology of *Panax notoginseng* (Burk.) F. H. Chen: A review [J]. *J Ethnopharmacol*, 2016, 188: 234-258.

- [2] 房国伟, 吉红玉, 邸莎, 等. 三七的临床应用及其用量探究 [J]. 吉林中医药, 2019, 39(10): 1283-1286.
- [3] 游佩进, 张媛, 王文全, 等. 三七连作土壤对几种蔬菜种子及幼苗的化感作用 [J]. 中国现代中药, 2009, 11(5): 12-13.
- [4] 孙雪婷, 李磊, 龙光强, 等. 三七连作障碍研究进展 [J]. 生态学杂志, 2015, 34(3): 885-893.
- [5] 张子龙, 王文全, 缪作清, 等. 主成分分析在三七连作土壤质量综合评价中的应用 [J]. 生态学杂志, 2013, 32(6): 1636-1644.
- [6] 郑良永, 胡剑非, 林昌华, 等. 作物连作障碍的产生及防治 [J]. 热带农业科学, 2005, 25(2): 58-62.
- [7] 陈昱君, 王勇, 刘云芝, 等. 三七根腐病防治技术研究 I 复配剂拌种(苗)与土壤熏蒸配套技术应用研究 [J]. 中国中药杂志, 2008, 33(11): 1329-1331.
- [8] 刘会芝, 潘小霞, 杨明攀. 三七内生菌的研究进展 [J]. 中草药, 2024, 55(2): 630-639.
- [9] 欧小宏, 金航, 郭兰萍, 等. 平衡施肥及土壤改良剂对连作条件下三七生长与产量的影响 [J]. 中国中药杂志, 2012, 37(13): 1905-1911.
- [10] 宋彦. 间歇式三七土壤蒸汽消毒机的设计与试验 [D]. 昆明: 昆明理工大学, 2020.
- [11] 张义杰, 徐杰, 陆仁窗, 等. 生石灰对林下酸化土壤的调控作用及三七生长的影响 [J]. 应用生态学报, 2022, 33(4): 972-980.
- [12] 苏杨, 张俊涛, 李铤, 等. 4种改良材料对城市绿地酸性土壤的改良效果 [J]. 林业与环境科学, 2021, 37(4): 62-68.
- [13] 梁军伟. 生石灰施用量对酸性土壤和烟草生长前期的影响 [D]. 北京: 中国农业科学院, 2021.
- [14] 闫宇婷, 宋秋来, 闫超, 等. 连作秸秆还田下玉米氮素积累与氮肥替代效应研究 [J]. 作物学报, 2022, 48(4): 962-974.
- [15] 刘磊, 廖萍, 邵华, 等. 施石灰和秸秆还田对双季稻田土壤钾素表现平衡的互作效应 [J]. 作物学报, 2022, 48(1): 226-237.
- [16] 赵付江, 郗丽娟, 韩晓倩, 等. 不同配比有机土对茄子生长 产量和品质的影响 [J]. 河北农业科学, 2015, 19(5): 47-50.
- [17] 吴风云, 崔秀明, 杨野, 等. 不同施肥处理调节土壤 pH 值对三七发病率及其生长的影响 [J]. 云南大学学报: 自然科学版, 2017, 39(5): 908-914.
- [18] 张子龙, 孙萌, 李凯明, 等. 基于 TOPSIS-RSR 法的三七连作障碍消减效应综合评价 [J]. 中国生态农业学报, 2015, 23(6): 713-724.
- [19] 黎成杨, 罗光琼, 杨帆, 等. 2016年正安县油菜秸秆腐熟剂不同用量对水稻产量的影响 [J]. 现代农业科技, 2018(23): 20-21.
- [20] 勤农. 三七的种植栽培与病虫害防治 [J]. 农村实用技术, 2010(12): 41-42.
- [21] 孙小妹, 俞兆鹏, 吕文军, 等. 番茄秸秆原位还田配施腐解菌剂对番茄生产的影响 [J]. 干旱地区农业研究, 2022, 40(3): 136-144.
- [22] Wang X J, Jia Z K, Liang L Y, et al. Changes in soil characteristics and maize yield under straw returning system in dryland farming [J]. *Field Crops Res*, 2018, 218: 11-17.
- [23] Liang J W, Yu X Q, Cao Y F, et al. Effect of quicklime on microbial community in strong acidic soil [J]. *J Soil Sci Plant Nutr*, 2021, 21(3): 1771-1781.
- [24] 王峥宇, 廉宏利, 孙悦, 等. 秸秆还田深度对春玉米农田土壤有机碳、氮含量和土壤酶活性的影响 [J]. 农业资源与环境学报, 2021, 38(4): 636-646.
- [25] Zhao L, Jiang W T, Chen R, et al. Quicklime and superphosphate alleviating apple replant disease by improving acidified soil [J]. *ACS Omega*, 2022, 7(9): 7920-7930.
- [26] 王红. 几种土壤改良剂对桃和草莓生长的影响 [D]. 泰安: 山东农业大学, 2020.
- [27] 赵雪淞, 高欣, 宋王芳, 等. 秸秆还田对连作花生土壤综合肥力和作物产量的影响 [J]. 中国土壤与肥料, 2021(5): 207-213.
- [28] 郝亚妮, 裴红宾, 高振峰, 等. 解磷菌与秸秆配施对低磷胁迫下苦荞幼苗生长发育的影响 [J]. 西北农业学报, 2021, 30(12): 1844-1853.
- [29] 李潇雅. 不同蔬菜秸秆还田对黄瓜连作土壤特性及植株生长的影响 [D]. 泰安: 山东农业大学, 2021.
- [30] 何浩, 张宇彤, 危常州, 等. 等养分条件下不同有机肥替代率对玉米生长及土壤肥力的影响 [J]. 核农学报, 2021, 35(2): 454-461.
- [31] 李瑞平, 罗洋, 郑洪兵, 等. 吉林省中部玉米秸秆还田方式对出苗及苗期生长发育的影响 [J]. 农业与技术, 2020, 40(18): 6-8.
- [32] 郑有坤. 青藏高原土壤放线菌的多样性及其对三七根腐病的生防潜力 [D]. 云南: 云南大学, 2015.

[责任编辑 时圣明]