

DOI:10.13718/j.cnki.zwyx.2026.02.009

## 蚯蚓粪对三七根腐病发生及三七生长的影响

王宗清<sup>1</sup>, 刘连金<sup>1</sup>, 李世雄<sup>2</sup>, 沈祥科<sup>1</sup>,  
李香兰<sup>3</sup>, 罗成<sup>1</sup>, 郭力维<sup>1</sup>

1. 云南农业大学 植物保护学院, 昆明 650201;
2. 云南农业大学 资源与环境学院/云南省耕地培育与产能提升重点实验室, 昆明 650201;
3. 南京农业大学 植物保护学院, 南京 210095

**摘要:** 根腐病是制约三七产业可持续发展的重要因素。为明确蚯蚓粪对三七根腐病发生及植株生长的影响, 本研究以三七籽条为试验材料, 在盆栽条件下以蚯蚓粪作为基肥和追肥施用, 在林下栽培条件下仅作为追肥施用。通过分别统计三七的出苗率、存苗率、发病率、株高及农艺性状, 并采用主成分分析法筛选盆栽三七和林下三七的最佳施用量。结果表明, 在盆栽试验中, PN3(0.6 kg/盆)和PM4(0.8 kg/盆)处理能够显著提高三七籽条的出苗率、存苗率及农艺性状, 其中PN3(0.6 kg/盆)处理在未灭菌土壤条件下三七籽条根腐病发病率最低; 在林下栽培条件下, T6(6 kg/m<sup>2</sup>)处理显著提高了林下三七的农艺性状, 其中T3(3 kg/m<sup>2</sup>)处理的林下三七根腐病发病率最低。主成分分析结果表明, 盆栽未灭菌连作土和灭菌连作土条件下最适蚯蚓粪施用量分别为0.6 kg基肥+0.48 kg追肥和0.8 kg基肥+0.64 kg追肥; 林下三七追肥的最适蚯蚓粪施用量为6 kg/m<sup>2</sup>。研究结果表明, 施用蚯蚓粪有助于改善三七的农艺性状, 降低根腐病发病率, 从而促进三七生长并提高产量。施用蚯蚓粪可有效改善三七农艺性状, 降低根腐病发生率, 促进植株生长并提高产量, 为三七绿色防控与可持续栽培提供了可行途径。

**关键词:** 蚯蚓粪; 三七; 农艺性状;  
根腐病; 主成分分析

中图分类号: S432.4

文献标识码: A

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



文章编号: 2097-1354(2026)02-0076-12

## Effects of Vermicompost on the Occurrence of Root Rot and Growth of *Panax notoginseng*

收稿日期: 2025-08-15

基金项目: 云南省高层次人才引进计划-青年人才专项(YNQR-QNRC-2020-073); 云南省农业联合专项-重点项目(202301BD070001-138); 云南省兴滇人才支持计划; 现代农业产业技术体系建设专项资金资助(CARS-21)。

作者简介: 王宗清, 硕士研究生, 主要从事生物多样性控制作物病害。

通信作者: 郭力维, 博士, 副教授。

WANG Zongqing<sup>1</sup>, LIU Lianjin<sup>1</sup>, LI Shixiong<sup>2</sup>, SHEN Xiangke<sup>1</sup>,  
LI Xianglan<sup>3</sup>, LUO Cheng<sup>1</sup>, GUO Liwei<sup>1</sup>

1. College of Plant Protection, Yunnan Agricultural University, Kunming 650201, China;

2. College of Resources and Environment, Yunnan Agricultural University / Yunnan Key Laboratory of  
Cultivated Land Conservation and Productivity Improvement, Kunming 650201, China;

3. College of Plant Protection, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China

**Abstract:** Root rot disease is a major factor restricting the sustainable development of the *Panax notoginseng* industry. This study aimed to clarify the effects of vermicompost on the occurrence of root rot and the growth of *P. notoginseng*. The *P. notoginseng* seedlings were used as experimental materials, and vermicompost was applied as both basal fertilizer and topdressing in potted cultivation, whereas it was applied only as topdressing in forest cultivation. The emergence rate, survival rate, disease incidence, plant height, and agronomic traits were recorded. Principal component analysis (PCA) was used to determine the optimal vermicompost application rates for potted and forest-cultivated *P. notoginseng*. These results showed that, in potted *P. notoginseng* assays, the PN3 (0.6 kg/pot) and PM4 (0.8 kg/pot) treatments significantly improved seedling emergence rate, survival rate, and agronomic traits. Among them, the PN3 (0.6 kg/pot) treatment exhibited the lowest incidence of root rot in non-sterilized continuous-cropping soil. For forest-cultivated *P. notoginseng* assays, the T6 (6 kg/m<sup>2</sup>) treatment significantly enhanced the agronomic traits, whereas the T3 (3 kg/m<sup>2</sup>) treatment resulted in the lowest incidence of root rot. PCA results indicated that the optimal vermicompost application rates were 0.6 kg (basal) + 0.48 kg (topdressing) in non-sterilized continuous-cropping soil and 0.8 kg (basal) + 0.64 kg (topdressing) in sterilized continuous-cropping soil for potted *P. notoginseng* assays, while the optimal topdressing rate for forest-cultivated *P. notoginseng* assays was 6 kg/m<sup>2</sup>. Overall, the application of vermicompost improved agronomic traits and reduced the incidence of root rot in *P. notoginseng* assays, thereby promoting plant growth and increasing yield. In conclusion, vermicompost application can effectively improve agronomic traits, reduce the occurrence of root rot disease, promote plant growth, and enhance yield, providing a feasible strategy for the green management and sustainable cultivation of *P. notoginseng*.

**Key words:** vermicompost; *Panax notoginseng*; agronomic traits; root rot; principal component analysis

三七(*Panax notoginseng* (Burk.) F. H. Chen)素有“金不换”之称,是五加科人参属的多年生草本植物,也是我国极为珍贵的中药材之一<sup>[1]</sup>;其主产区为云南文山。三七具有消肿定痛、散瘀止血等功效,常用于治疗心脑血管疾病<sup>[2-3]</sup>。三七的人工栽培历史可追溯至约 400 年前<sup>[4]</sup>。目前,全国 90% 以上的三七产量来自云南<sup>[5]</sup>。近年来,随着三七药用价值的不断被证实,其市场需求持续增长<sup>[6]</sup>。然而,在三七种植过程中,由根腐病频发引发的连作障碍问题日益突出<sup>[7]</sup>。截至目前,已鉴定出 16 种三七根腐病病原菌,其中尖孢镰刀菌(*Fusarium oxysporum*)和茄腐镰刀菌(*F. solani*)是引起三七根腐病的主要病原菌<sup>[8]</sup>。目前,施用化学农药<sup>[9]</sup>、轮作<sup>[10]</sup>、开垦新地<sup>[11]</sup>等是常见的三七根腐病防治措施,但这些方法均存在一定局限性。例如,轮作周期较长,而化学农药的使用则可能造成农药残留和环境污染,从而影响三七的产量与品质<sup>[12]</sup>。随着三七种植逐渐面临“无地可种”的困境,林下种植三七的新模式逐渐兴起。然而研究表明,林下土壤养分相对匮乏,仅依靠松林腐殖质难以满足林下三七的生长需求<sup>[12]</sup>。因此,在林下三七种植过程中,寻找一种既能满足三七养分需求,又能降低根腐病发生的功能性有机肥料尤为迫切。

蚯蚓粪质地疏松,具有丰富的微孔结构,能够有效促进土壤团聚体的形成,从而显著增强土壤的保水和保肥能力<sup>[13]</sup>。同时,蚯蚓粪富含植物生长所需的多种矿质元素<sup>[14]</sup>,以及有机质、腐殖酸等成分<sup>[15]</sup>,对改善土壤微环境具有重要作用<sup>[16]</sup>。此外,蚯蚓粪还可产生一定的激素类物质<sup>[17]</sup>,不仅能够促进植物生长、改善植物健康状况,还可提高作物的产量和品质<sup>[18]</sup>,并对土壤养分供应和有机质质量分数的提升具有积极作用<sup>[19]</sup>。研究还表明,蚯蚓粪能够提高种子活力,提升出苗率,并促进植株干物质的积累<sup>[20]</sup>。在土壤微生态方面,蚯蚓粪还可调节土壤微生物群落结构<sup>[21]</sup>,改善连作土壤的微生态环境,从而降低土传病害的发生率<sup>[22]</sup>。

近年来,国内外学者已广泛开展蚯蚓粪对作物生长及病害影响的相关研究。多数研究结果表明,施用蚯蚓粪能够显著改善土壤养分状况,降低土传病害的发生率,并有效促进作物产量和品质的提升。然而,目前关于蚯蚓粪对三七根腐病发生及三七生长影响的研究报道仍相对较少。基于此,本研究通过设置不同蚯蚓粪施用量,分别作为底肥和追肥应用于盆栽三七籽条及林下三七,系统分析其对三七根腐病发生及植株生长的影响,旨在明确蚯蚓粪的最佳施用量及其对三七根腐病的防控效果,为缓解三七因根腐病导致的连作障碍提供技术支撑与理论依据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 试验地点

盆栽试验在云南省昆明市寻甸回族彝族自治县大河桥云南农业大学现代农业教育科研基地(25°27'3"N, 103°11'29"E)进行。林下追肥试验在羊街林下三七有机种植基地(25°45'5"N, 103°19'95"E)进行。三七籽条购自云南省文山市三七国际交易中心。蚯蚓粪购自博罗县原绿农业科技有 限公司,其总氮质量分数+P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>质量分数+K<sub>2</sub>O质量分数≥5.20%,有机质质量分数为52.00%,包装规格为20 kg±5%。

### 1.2 试验设计

#### 1.2.1 盆栽试验

以三七连作土未灭菌(PN)和灭菌(PM)两种类型为供试土壤,PN和PM处理分别施用蚯蚓粪作为基肥,用量依次为0.2、0.4、0.6、0.8 kg/盆,分装于直径18 cm的育苗盆中作为基肥处理。未灭菌连作土(PN)系列设置为:PCK1(对照,0 kg/盆蚯蚓粪)、PN1~PN4分别对应0.2、0.4、0.6和0.8 kg/盆;灭菌连作土(PM)系列设置为:PCK2(对照,0 kg/盆蚯蚓粪)、PM1~PM4分别对应0.2、0.4、0.6和0.8 kg/盆。共设10个处理。试验采用随机区组设计,每个处理设6个重复,每盆定植10株三七籽条。在三七开花季节,由营养生长阶段进入生殖生长阶段时开始进行追肥处理,蚯蚓粪施用量在基肥施用量的基础上减少20%,即0.16、0.32、0.48、0.64 kg/盆。

#### 1.2.2 林下追肥试验

8月进入生殖生长旺盛期后开始追肥处理。试验共设置8个处理,以未施用蚯蚓粪为对照(CK),T1~T7处理的施用量分别为1、2、3、4、5、6、9 kg/m<sup>2</sup>。每个处理设3个重复,每个小区面积为6 m<sup>2</sup>。

### 1.3 调查与统计

#### 1.3.1 出苗率和存苗率测定

盆栽试验于4月调查出苗数,在9月采收时调查存苗数;林下三七试验在11月采收时进行存苗数调查。计算公式参照李佳洲等<sup>[12]</sup>的方法:

$$\text{出苗率} = \text{调查株数} / \text{实际移栽株数} \times 100\% \quad (1)$$

$$\text{存苗率} = \text{存苗数} / \text{实际出苗数} \times 100\% \quad (2)$$

### 1.3.2 三七根腐病发病情况调查

以上述最终采收的三七植株为研究对象,分别对盆栽试验和林下各小区试验中三七根腐病的发病情况进行统计和分级。三七根腐病分级标准参照李迎宾等<sup>[23]</sup>的方法,发病率及病情指数的计算公式参照洪杰等<sup>[24]</sup>的方法。

### 1.3.3 株高的测定

以上述最终采收的三七植株为研究对象,使用直尺对各处理三七植株进行株高测量,测量范围为三七剪口至主茎分枝处。

### 1.3.4 农艺性状的测定

将完成株高测量的植株置于通风处晾干表面水分后,分别称量地上部分和地下部分的鲜质量。随后将各部分装入信封,置于 60 °C 恒温干燥箱中烘干至恒重,取出冷却至室温后分别称量地上部分和地下部分的干质量。

### 1.3.5 三七产量的计算

采用李佳洲等<sup>[12]</sup>的方法计算单位面积产量,并分析不同蚯蚓粪施用水平对林下三七增产效果的影响。

$$\text{理论种植密度(株/hm}^2\text{)} = \frac{10\,000}{\text{种植株距(m)} \times \text{种植行距(m)}} \quad (3)$$

$$\text{实际存苗株数(株/hm}^2\text{)} = \text{理论种植密度} \times \text{存苗率} \quad (4)$$

$$\text{产量(kg/hm}^2\text{)} = \text{实际存苗株数(株/hm}^2\text{)} \times \text{根部干质量(kg/株)} \quad (5)$$

## 1.4 数据处理与统计学分析

采用 Microsoft Excel 2019 对试验数据进行整理,使用 SPSS 26.0 进行方差分析,采用 Origin 2021 和 R(V: 4.5.1)进行绘图,并利用 mathmodels 包和 ggplot2 包进行主成分分析与综合评价。不同处理之间的多重比较采用 LSD 最小显著差异法( $p < 0.05$ )。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同蚯蚓粪施用量对盆栽三七籽条发病情况及生长的影响

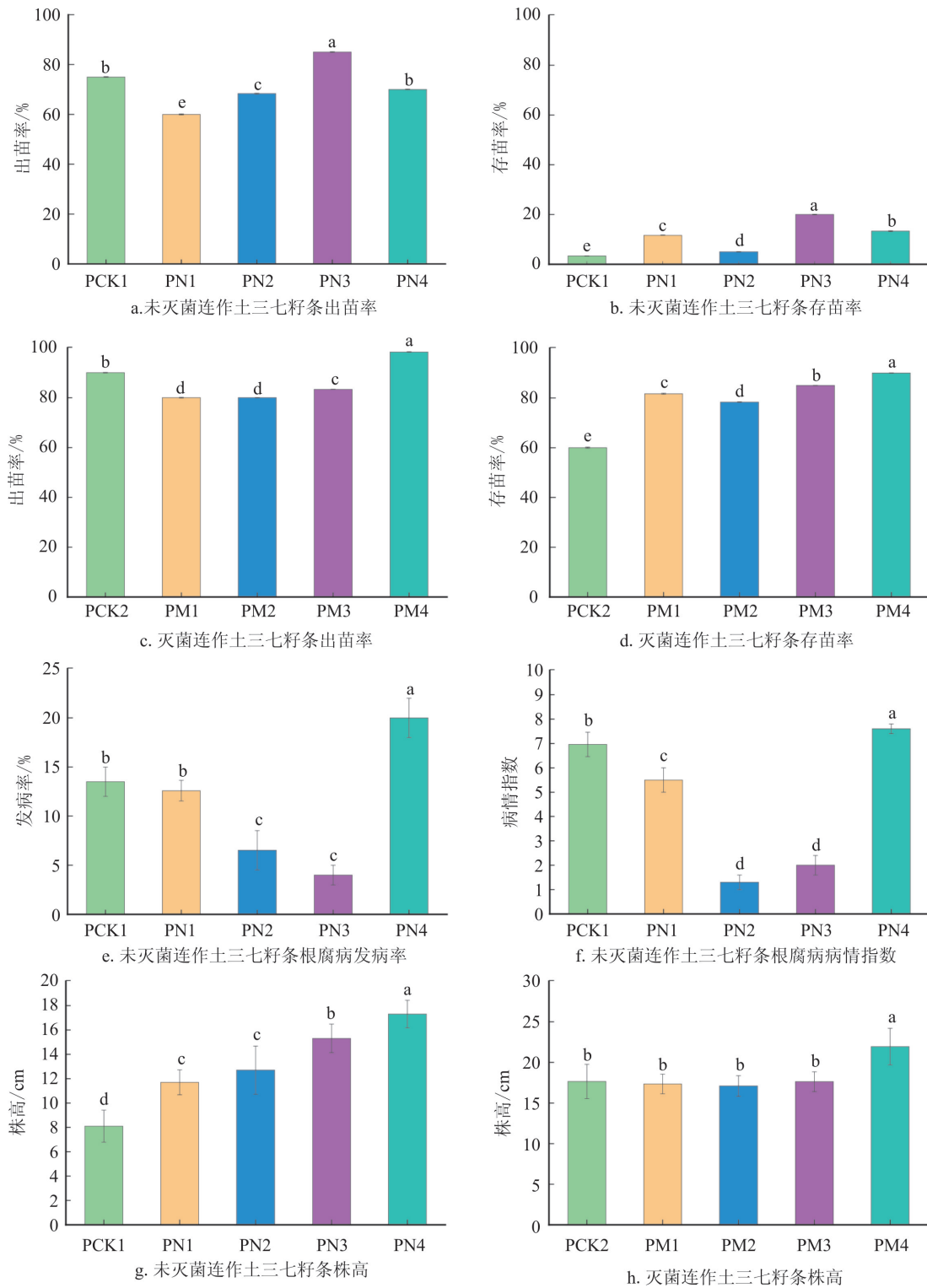
#### 2.1.1 蚯蚓粪对盆栽三七籽条出苗率、存苗率、根腐病发病情况及株高的影响

统计结果表明,施用蚯蚓粪可明显提高三七的出苗率和存苗率。在未灭菌土壤条件下,与 PCK1 相比,PN3 处理的出苗率提高了 13.33%(图 1a),而其余处理组的出苗率均下降,其中 PN1 和 PN2 处理组的出苗率下降最明显。在存苗率方面,各处理均表现出明显提升,其中 PN3 处理组的增幅最大,为 PCK1 的 500.60%(图 1b)。

在灭菌土壤条件下,与 PCK2 相比,仅 PM4 处理的出苗率提高了 9.26%,其余处理均表现为明显下降(图 1c)。同时,各蚯蚓粪处理下存苗率均明显提高,其中 PM4 处理的存苗率提升幅度最大,与 PCK2 相比提高了 50.00%(图 1d)。值得注意的是,在不同施肥量条件下,土壤灭菌处理相较未灭菌处理均更能提高三七籽条的存苗率。综上所述,蚯蚓粪的施用在一定程度上可提高籽条的存苗率,但其效果受施用量影响显著。

根腐病调查结果表明,在未灭菌连作土中,蚯蚓粪处理下三七根腐病发病率总体呈先下降后上升的趋势;其中,PN2 和 PN3 处理的发病率与 PCK1 相比分别降低了 51.70%和 70.37%(图 1e)。病情指数计算结果显示,不同蚯蚓粪施用量处理下三七根腐病病情指数的变化趋势与发病率基本一致;与 PCK1 相比,PN2 和 PN3 处理的病情指数分别降低了 81.32%和 71.26%(图 1f),而 PN4 处理下三七的发病率和病情指数均显著高于 PCK1。此外,在灭菌连作土条件下,对照组及各蚯蚓粪处理均未观察到根腐病的发生。

三七株高统计分析结果表明,在未灭菌土壤条件下,与 PCK1 相比,随着蚯蚓粪施用量的增加,三七籽条株高呈明显增加趋势,其株高大小规律为:PN4(17.3 cm) > PN3(15.3 cm) > PN2(12.7 cm) > PN1(11.7 cm) > PCK1(8.1 cm)(图 1g)。在灭菌土壤条件下,仅 PM4 处理的株高明显提高,与 PCK2 相比提高了 24.29%,其余处理均未表现出明显差异(图 1h)。



PCK1~PN4 为未灭菌连作土依次加 0、0.2、0.4、0.6、0.8 kg/盆的蚯蚓粪处理, PCK2~PM4 为灭菌连作土依次加 0、0.2、0.4、0.6、0.8 kg/盆的蚯蚓粪处理; 图中小写字母不同表示组间数据苗率比较差异具有统计学意义 ( $p < 0.05$ )

图 1 不同蚯蚓粪施用量对三七籽条出、存苗率、根腐发病情况及株高的影响

### 2.1.2 蚯蚓粪对盆栽三七农艺性状的影响

通过统计不同蚯蚓粪施用量处理下三七的农艺性状发现,施用蚯蚓粪对三七植株的干质量和鲜质量均产生一定影响(表 1)。在未灭菌土壤条件下,随着蚯蚓粪施用量的增加,地上鲜质量、地上干质量、地下鲜质量和地下干质量主要呈现先增加后下降的趋势。其中,PN3 地上鲜质量较 PCK1 增加了 162.26%,其余处理虽有所增加,但差异不显著。所有蚯蚓粪处理下的地上干质量均明显增加,其中 PN3 的增幅最大,较 PCK1 增加了 309.09%。此外,地下鲜质量在 PN2 和 PN3 处理下均明显增加,而地下干质量在 PN3 和 PN4 处理下明显增加。

在灭菌土壤条件下,随着蚯蚓粪施用量的增加,各农艺性状与 PCK2 相比主要呈增加趋势。其中,PM2、PM3 和 PM4 处理的地上鲜质量和地上干质量均明显增加;相比 PCK2,地上鲜质量分别增加了 7.34%、2.32% 和 130.50%,地上干质量分别增加了 7.14%、4.76% 和 21.43%。地下鲜质量在 PM1、PM3 和 PM4 处理下均明显增加,分别较 PCK2 增加了 6.43%、6.94% 和 14.14%;地下干质量在 PM3 和 PM4 处理下也显著增加,分别较 PCK2 增加了 3.33% 和 120.00%。

表 1 不同蚯蚓粪施用量下三七籽条的干质量和鲜质量

g/株

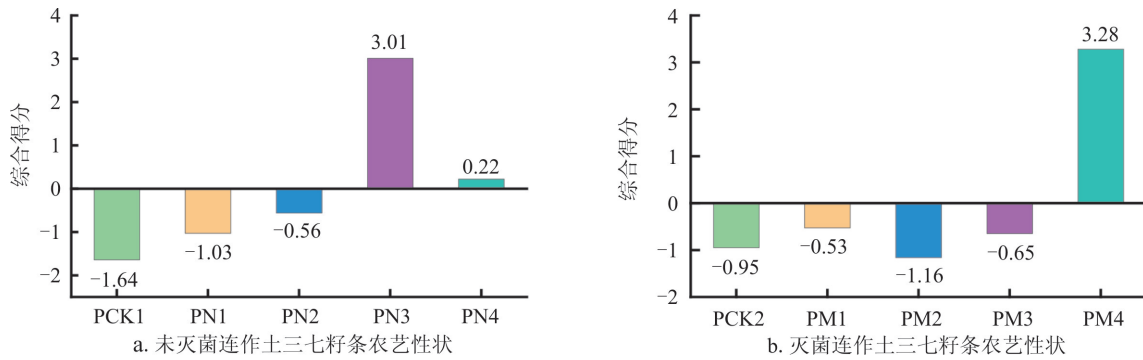
处理方法	地上鲜质量	地上干质量	地下鲜质量	地下干质量
PCK1	0.53±0.01b	0.22±0.01bc	1.13±0.21c	0.57±0.01c
PN1	0.60±0.01b	0.33±0.01b	1.51±0.42bc	0.88±0.01bc
PN2	0.80±0.01b	0.42±0.05b	1.96±0.31b	0.92±0.01bc
PN3	1.39±0.31a	0.90±0.06a	3.73±0.71a	2.11±0.19a
PN4	0.70±0.01b	0.39±0.12b	1.67±0.21bc	1.12±0.21b
PCK2	2.59±0.18b	0.42±0.01c	3.89±0.15c	0.90±0.01c
PM1	2.31±0.21b	0.42±0.01c	4.14±0.11b	0.91±0.01bc
PM2	2.78±0.23a	0.45±0.01b	3.90±0.14bc	0.89±0.01c
PM3	2.65±0.33a	0.44±0.01b	4.16±0.11b	0.93±0.01b
PM4	5.97±0.11a	0.51±0.01a	4.44±0.17a	1.98±0.01a

注: PCK1~PN4 为未灭菌连作土依次加 0、0.2、0.4、0.6、0.8 kg/盆的蚯蚓粪处理, PCK2~PM4 为灭菌连作土依次加 0、0.2、0.4、0.6、0.8 kg/盆的蚯蚓粪处理;图中小写字母不同表示组间数据比较差异具有统计学意义( $p < 0.05$ )。

### 2.1.3 蚯蚓粪对盆栽三七的农艺性状综合评价

通过对三七出苗率、存苗率、发病率、病情指数、株高、地上鲜质量、地上干质量、地下鲜质量和地下干质量等 9 个指标进行主成分分析,按照特征值大于 1 的原则提取主成分。结果表明,未灭菌处理的累计方差贡献率为 79.65%,灭菌处理的累计方差贡献率为 90.14%,说明所提取的主成分具有较好的代表性,可用于综合评价不同施肥量条件下三七农艺性状的变化。

选取特征值大于 1 的主成分,并将其特征向量与标准化后的数据相乘,得到主成分表达式。根据各主成分所对应的特征值占所提取主成分总特征值之和的比例作为权重,构建主成分综合评价模型,并据此计算各处理的综合得分。不同处理的综合评价结果如图 2 所示:PN 处理综合得分大小规律为 PN3>PN4>PN2>PN1>PCK1(图 2a),PM 处理综合得分大小规律为 PM4>PM1>PM3>PCK2>PM2(图 2b)。结果表明,在未灭菌连作土条件下,PN3 处理的综合评价得分最高;在灭菌连作土条件下,PM4 处理的综合评价得分最高。



PCK1~PN4 为未灭菌连作土依次加 0、0.2、0.4、0.6、0.8 kg/盆的蚯蚓粪处理, PCK2~PM4 为灭菌连作土依次加 0、0.2、0.4、0.6、0.8 kg/盆的蚯蚓粪处理

图2 不同蚓粪施肥量下三七籽条农艺性状的综合评价

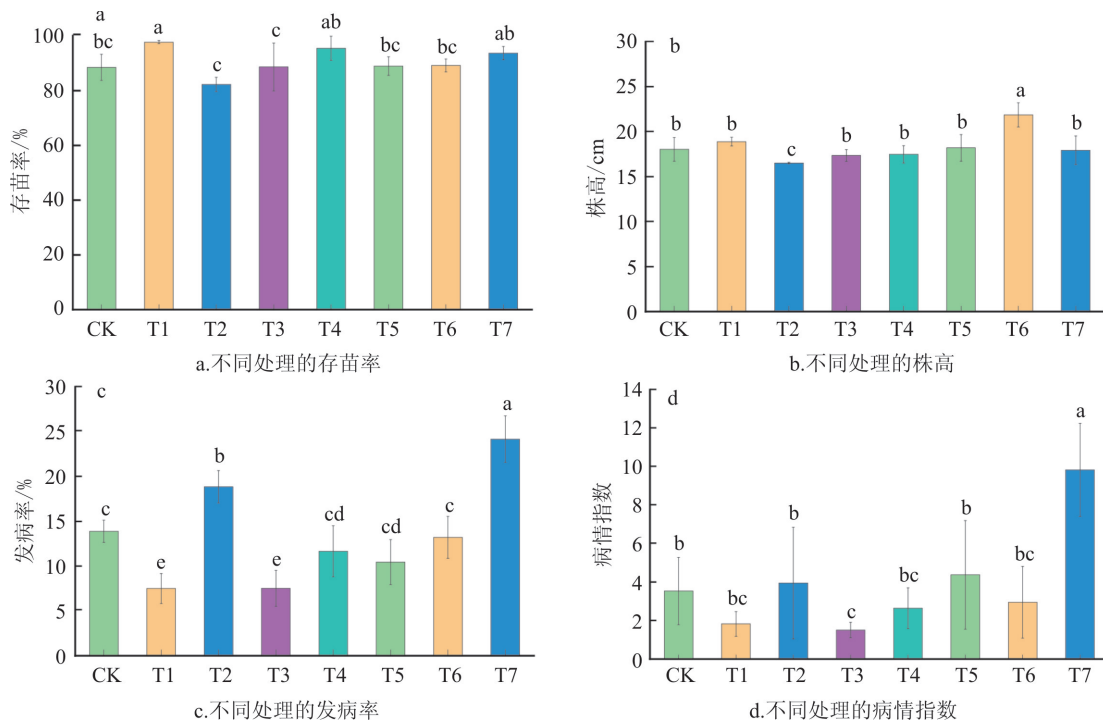
## 2.2 不同蚯蚓粪施用量对林下三七根腐病发生及生长的影响

### 2.2.1 蚯蚓粪对林下三七存苗率、根腐病发病情况及株高的影响

对不同蚯蚓粪处理下林下三七存苗率的统计结果表明(图 3a), 适宜施用量的蚯蚓粪能够明显提高林下三七的存苗率。与对照组(CK)相比, T1 处理使三七存苗率由 88.44% 提高至 97.66%。此外, T4 和 T7 处理也能够明显提高三七存苗率, 较 CK 分别提高了 7.88% 和 5.89%。而 T2、T3、T5 和 T6 处理下三七存苗率均未表现出明显差异。

株高统计分析结果表明(图 3b), T6 处理明显提高了三七株高, 较 CK 增加了 21.26%; 而 T2 处理则明显降低了株高, 其余处理对株高均未产生显著影响。不同处理株高大小规律为: T6 (21.90 cm) > T1 (18.92 cm) > T5 (18.23 cm) > T7 (17.96 cm) > T4 (17.51 cm) > T3 (17.38 cm) > T2 (16.53 cm)。

通过分析不同蚯蚓粪施用量对三七根腐病发生的影响发现(图 3c), 除 T6 处理与 CK 之间无显著差异外, 其余处理均表现出明显差异; 其中, T2 和 T7 处理明显增加了三七根腐病的发病率, 而 T1 和 T3 处理则明显降低了根腐病的发生率, 分别较 CK 降低了 45.96% 和 45.75%。病情指数分析结果表明, 各处理对病情指数的影响趋势与发病率基本一致, 其中 T1、T3、T4 和 T6 处理的病情指数分别较 CK 降低了 48.30%、57.34%、25.42% 和 16.67% (图 3d)。



CK~T7 为依次追施加入 0、1、2、3、4、5、6、9 kg/m<sup>2</sup> 的蚯蚓粪处理; 图中小写字母不同, 表示组间数据比较, 差异具有统计学意义 ( $p < 0.05$ )

图3 蚯蚓粪施用量对林下三七存苗率、株高、根腐病发病率及病情指数的影响

### 2.2.2 蚯蚓粪对林下三七农艺性状的影响

通过统计不同施用量蚯蚓粪处理下三七的农艺性状发现,施用蚯蚓粪对林下三七植株干质量和鲜质量具有双重影响(表2)。与CK相比,不同施用量蚯蚓粪均明显提高林下三七的地上鲜质量,但各处理之间差异不显著。此外,在T1处理下,地上干质量、地下鲜质量和地下干质量均明显降低,分别较CK降低10.53%、13.91%和16.28%。同时,T2、T3、T4、T5和T6处理下地上干质量、地下鲜质量和地下干质量均呈不同程度增加,但与对照组相比差异不显著。

表2 不同施用量蚯蚓粪林下三七的干质量和鲜质量

g/株

处理方法	地上鲜质量	地上干质量	地下鲜质量	地下干质量
CK	4.87±0.19b	1.33±0.14a	9.06±0.81a	3.44±0.01a
T1	5.40±0.43a	1.19±0.04b	7.80±1.42b	2.88±0.05b
T2	5.02±0.79a	1.38±0.23a	9.88±1.12a	3.74±0.02a
T3	5.26±0.40a	1.37±0.08a	9.52±0.41a	3.60±0.03a
T4	5.25±0.36a	1.35±0.14a	9.69±1.23a	3.63±0.04a
T5	5.38±0.49a	1.39±0.03a	10.18±1.42a	3.63±0.17a
T6	5.78±0.63a	1.38±0.25a	9.87±1.74a	3.55±0.21a
T7	5.02±0.58a	1.30±0.11a	8.89±1.97a	3.26±0.03a

注:CK~T7为依次追施加入0、1、2、3、4、5、6、9 kg/m<sup>2</sup>的蚯蚓粪处理。

### 2.2.3 蚯蚓粪对林下三七产量的影响及农艺性状综合分析

不同蚯蚓粪施用量处理下三七产量分析结果如图4所示,随着蚯蚓粪施用量的增加,三七产量总体呈现先上升后下降的趋势。除T1和T4处理外,其余处理与对照(CK)之间均无显著差异。其中,T1处理三七产量明显减少,较CK降低了7.56%;而T4处理产量明显增加,较CK增加了13.77%(图4a)。

通过对三七存苗率、株高、发病率、病情指数、地上鲜质量、地上干质量、地下鲜质量、地下干质量及产量等9个指标进行主成分分析,按照特征值大于1的原则提取主成分,其累计方差贡献率为87.24%,表明所提取的主成分具有较好的代表性,可用于综合评价不同施肥量对三七农艺性状的影响。综合评分结果显示,林下各处理的综合排名为T6>T5>T4>T1>T7>T3>CK>T2。研究结果表明,在林下追肥处理中,T6处理对三七生长及相关性状的综合促进效果最为显著(图4b)。

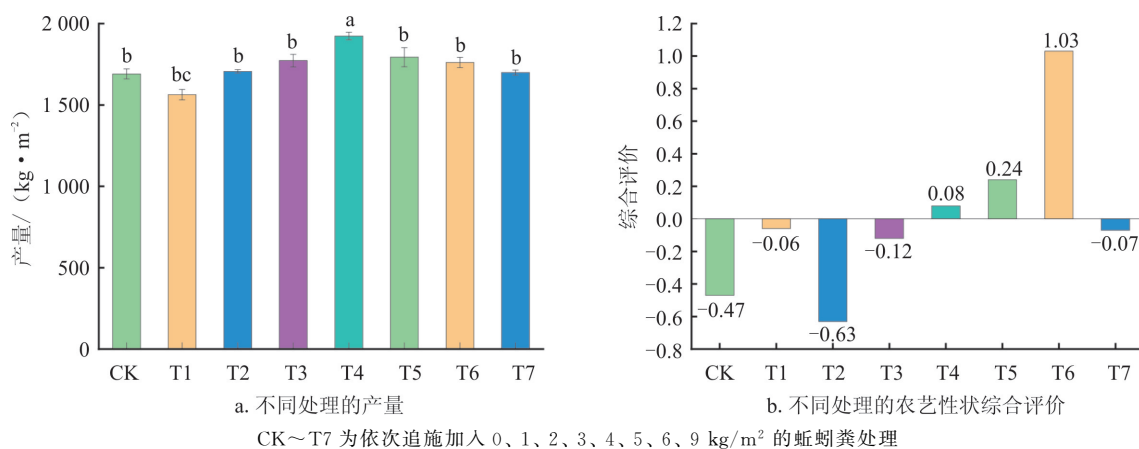


图4 蚯蚓粪施用量对林下三七产量的影响及农艺性状的综合评价

### 3 讨论与结论

根腐病是连作障碍的主要表现形式之一。Szczecz 等<sup>[25]</sup>的研究表明, 蚯蚓粪能够有效降低根腐病原菌对作物的侵染。目前, 蚯蚓粪已被广泛应用于缓解西红柿<sup>[25]</sup>、黄瓜<sup>[26]</sup>、油菜<sup>[27]</sup>等多种作物的土传病害防控。施肥是提高三七产量的重要措施之一, 对三七株高、存苗率及干质量和鲜质量等农艺性状具有显著影响<sup>[28]</sup>。本研究结果表明, 蚯蚓粪的施用对盆栽三七籽条的出苗和存苗均具有积极作用, 但其作用效果存在明显的施用量效应。此外, 本研究还发现, 对林下三七进行蚯蚓粪追肥处理同样能够提高其存苗率, 这一结果与周芳等<sup>[29]</sup>的研究结果一致。多项研究表明, 在连作土和轮作土中施用蚯蚓粪能够改善作物品质、提高出苗率并优化农艺性状<sup>[30]</sup>。值得注意的是, 本研究发现蚯蚓粪能够显著降低盆栽三七和林下三七的根腐病发病率, 但过量施用反而会提高根腐病发病率, 该现象可能与土壤养分竞争和微生物群落扰动有关。过量易分解的蚯蚓粪输入会激发土壤微生物活性, 它们在分解这些有机质过程中会从土壤中固定大量氮素, 短期内可能导致植物缺氮、生长衰弱并降低抗病能力, 从而提高根腐病发生率<sup>[31]</sup>。此外, 过量蚯蚓粪还会显著改变土壤微生物群落结构, 引发群落失衡, 产生“微生物饱和”效应, 这可能是因为非选择性地刺激包括病原菌在内的多种微生物活性间接提高了根腐病发生率<sup>[32]</sup>。同时, 过量施用蚯蚓粪还会导致土壤理化性质发生变化, 尤其可能引起土壤酸化。酸性土壤环境更易滋生有害真菌, 从而增加作物真菌病害的发生风险<sup>[33]</sup>。此外, 蚯蚓粪施用量在浇水后可能占据大量土壤孔隙, 减少土壤氧气含量并形成局部厌氧环境。一方面, 这会抑制根系发育并降低好氧有益菌活性; 另一方面却有利于厌氧型根腐病病原菌的繁殖, 从而加重病害<sup>[34]</sup>。本研究结果进一步证实, 适量施用蚯蚓粪有利于降低三七根腐病发病率和病情指数。施肥显著影响作物生长及病虫害发生, 在农业生产中适当增加施肥是实现增产的重要途径, 但若施肥过量, 不仅难以提高产量和品质, 反而可能降低作物产量和品质, 同时加剧病害的发生<sup>[35]</sup>。

本研究结果表明, 蚯蚓粪施用量对盆栽三七株高、干质量和鲜质量具有双重效应, 这一现象在林下三七试验中也得到验证, 与前人研究结果一致<sup>[36]</sup>。Tilman<sup>[37]</sup>认为, 植物株高、地下部和地上部生物量能够反映植物对养分的需求及其竞争能力, 这些指标数值越大, 说明植物对养分的需求和竞争能力越强。因此, 本研究推测蚯蚓粪可能通过改善土壤理化性质、提高土壤养分含量并优化作物根际环境, 从而促进三七生长<sup>[38]</sup>。然而, 当蚯蚓粪施用量过量时, 三七干质量和鲜质量反而下降, 这可能是因为适量蚯蚓粪能够满足三七生长发育所需的养分, 而过量蚯蚓粪则会促进部分微生物大量繁殖, 从而破坏土壤微生物平衡并诱发病害, 最终导致植株干质量和鲜质量下降。本研究还发现, 在未灭菌土壤条件下蚯蚓粪处理对三七籽条的促进效果普遍低于土壤灭菌处理。已有研究表明, 蚯蚓粪与土壤灭菌处理具有协同促进作物生长的作用<sup>[39-40]</sup>。这可能是因为未灭菌土壤中的病原微生物会与三七争夺土壤养分并抑制其生长, 而土壤灭菌改变了土壤微生态环境, 减少或消除了病原菌; 在此基础上施用蚯蚓粪不仅能够补充有益微生物, 还可释放大量缓效养分, 从而促进三七地上部和地下部的生长发育。因此, 在三七施肥管理过程中合理控制蚯蚓粪施用量尤为重要。

主成分分析是一种通过降维技术将多个变量转化为少数几个主成分的常用统计方法, 这些主成分能够保留原始变量的大部分信息。由于各基础指标的量纲和数量级不同, 首先需要对所

有原始指标进行标准化处理。随后,对标准化后的数据进行主成分分析,根据累计方差贡献率不低于80%的原则确定主成分个数,并计算各主成分得分。再根据各主成分的方差贡献率占累计方差贡献率的比例,对主成分得分进行加权求和,从而获得综合评价结果<sup>[41]</sup>。本研究利用主成分分析方法对三七农艺性状指标进行综合评价,系统分析了不同施肥量对三七生长的影响。结果表明,在未灭菌连作土条件下,0.6 kg 基肥+0.48 kg 追肥处理对三七的综合影响最为显著;在灭菌连作土条件下,0.8 kg 基肥+0.64 kg 追肥处理表现出最佳效果。此外,在林下追肥处理中,6 kg/m<sup>2</sup> 蚯蚓粪处理对三七生长的促进作用最为明显。已有研究利用主成分分析方法综合评价了不同施肥处理对氮磷养分流失风险的影响<sup>[42]</sup>,也有研究通过主成分分析评价减量施肥对三年生三七生长特性及皂苷水平的影响<sup>[24]</sup>。本研究进一步明确了蚯蚓粪处理能够降低三七根腐病发病率并促进植株生长,为改善三七健康水平和推动生态可持续发展提供了新的认识。然而,蚯蚓粪的最佳施用量及其具体作用机制仍有待进一步深入研究。

本研究通过盆栽试验和林下试验系统分析了不同蚯蚓粪施肥量对三七根腐病发生及三七生长的影响。结果表明,在一定施用水平下,将蚯蚓粪作为基肥和追肥施用于盆栽三七籽条能够提高其出苗率和存苗率,增加植株生物量,并降低根腐病发病率和病情指数;在林下三七种植中追施蚯蚓粪同样具有类似效果。综合分析结果显示,盆栽条件下,在未灭菌土壤中以0.6 kg基肥+0.48 kg 追肥为最佳施用量,在灭菌土壤中以0.8 kg 基肥+0.64 kg 追肥为最佳施用量;林下三七追肥以6 kg/m<sup>2</sup> 为最佳施用量。本研究为探索有效的三七根腐病防治措施、减少根腐病发生提供了基础数据和理论依据,并为促进三七产业的可持续健康发展提供了重要参考。

#### 参考文献:

- [1] 宋昕儒,耿继成,徐杰,等.三七中5种重金属的风险评价及累积特征[J].云南农业大学学报,2024,39(1): 153-158.
- [2] 覃静,李双双,王孝勋.三七皂苷对血液系统和心血管系统的现代研究进展[J].壮瑶药研究,2025(1): 105-108.
- [3] 刘洋,贾孟晓,赵婷,等.基于UPLC-Q-Exactive Orbitrap-MS和网络药理学的芪参益气滴丸治疗心肌缺血的配伍机制研究[J].中国中药杂志,2024,49(14): 3769-3783.
- [4] 杨崇仁.三七的历史与起源[J].现代中药研究与实践,2015,29(6): 83-86.
- [5] 徐居禹.智慧农业推动云南三七产业提质增效研究[D].昆明:云南农业大学,2024.
- [6] 杜洁.基于红外光谱技术的三七粉品质快速检测研究[D].南京:南京林业大学,2024.
- [7] 周云,何霞红,黎建强,等.林下三七种植对坡面水土及碳氮流失的影响[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2024,52(9): 135-146.
- [8] LI J B, AI M T, HOU J E, et al. Plant-Pathogen Interaction with Root Rot of *Panax notoginseng* as a Model: Insight into Pathogen Pathogenesis, Plant Defence Response and Biological Control [J]. Molecular Plant Pathology, 2024, 25(2): e13427.
- [9] 李雪峰.抑制三七根腐病原真菌复配杀菌剂增效机理初探[D].昆明:昆明理工大学,2023.
- [10] 陈子涵,何涛,施本义,等.黄精轮作改善土壤微生物群落缓解三七连作障碍潜力分析[J].植物病理学报,2024,54(4): 787-798.
- [11] 徐玉龙,戴蕾,赵丹,等.几种土壤处理方法影响三七幼苗生长及根腐病发生的研究[J].云南农业大学学报

- (自然科学版), 2016, 31(6): 1006-1011.
- [12] 李佳洲, 施本义, 杨宽, 等. 2种植物源有机肥对林下有机三七生长及品质的影响 [J]. 中国农业大学学报, 2022, 27(9): 136-148.
- [13] 杨丰源, 翟玉莹, 张新宇, 等. 蚯蚓肥的特性及应用 [J]. 上海蔬菜, 2019(5): 61-62.
- [14] WU F Y, WAN J H C, WU S C, et al. Effects of Earthworms and Plant Growth-Promoting Rhizobacteria (PG-PR) on Availability of Nitrogen, Phosphorus, and Potassium in Soil [J]. Journal of Plant Nutrition and Soil Science, 2012, 175(3): 423-433.
- [15] TRAN T X P, TRAN D K, TRAN D H. Effect of Vermicompost Application on Growth and Yield of Lettuce (*Lactuca sativa* L.) under Organic Cultivation [J]. Research on Crops, 2024, 25(1): 92-96.
- [16] BI Y M, SUN Z J. Mechanisms of Earthworms to Alleviate Continuous Cropping Obstacles through Regulating Soil Microecology [J]. Biodiversity Science, 2018, 26(10): 1103-1115.
- [17] BERTRAND M, BAROT S, BLOUIN M, et al. Earthworm Services for Cropping Systems: A Review [J]. Agronomy for Sustainable Development, 2015, 35(2): 553-567.
- [18] LI X P, LIU C L, ZHAO H, et al. Similar Positive Effects of Beneficial Bacteria, Nematodes and Earthworms on Soil Quality and Productivity [J]. Applied Soil Ecology, 2018, 130: 202-208.
- [19] D'HOSE T, COUGNON M, DE VLIEGHER A, et al. The Positive Relationship between Soil Quality and Crop Production: A Case Study on the Effect of Farm Compost Application [J]. Applied Soil Ecology, 2014, 75: 189-198.
- [20] ZHANG Z H, WU Y L, TRUONG V K, et al. Earthworm (*Eisenia Fetida*) Mucus Inspired Bionic Fertilizer to Stimulate Maize (*Zea mays* L.) Growth [J]. Sustainability, 2021, 13(8): 4299.
- [21] 朱楠. 污泥/蚯蚓粪改良滨海盐碱地土壤中多环芳烃演变特征及其影响因素 [D]. 扬州: 扬州大学, 2024.
- [22] LI N, WANG C, LI X L, et al. Effects of Earthworms and Arbuscular Mycorrhizal Fungi on Preventing *Fusarium oxysporum* Infection in the Strawberry Plant [J]. Plant and Soil, 2019, 443(1): 139-153.
- [23] 李迎宾, 刘屹湘, 朱书生, 等. 三七根腐病田间分级标准研究及评价 [J]. 植物病理学报, 2020, 50(4): 450-461.
- [24] 洪杰, 寸竹, 张金燕, 等. 减量施肥对三年生三七生长特性及皂苷含量的影响 [J]. 应用与环境生物学报, 2025, 31(2): 247-260.
- [25] SZCZECHE M, RONDONAŃSKI W, BRZESKI M W, et al. Suppressive Effect of a Commercial Earthworm Compost on Some Root Infecting Pathogens of Cabbage and Tomato [J]. Biological Agriculture & Horticulture, 1993, 10(1): 47-52.
- [26] 胡艳霞, 孙振钧, 周法永, 等. 蚯蚓粪对黄瓜苗期土传病害的抑制作用 [J]. 生态学报, 2002, 22(7): 1106-1115.
- [27] 王胜, 郑仕军, 沈丽, 等. 蚯蚓粪对油菜根肿病的控制效果评价 [J]. 西南农业学报, 2010, 23(6): 1910-1913.
- [28] 宋希梅, 朱永全, 卢迎春, 等. 基于“3414”的三七氮磷钾施肥量研究 [J]. 农业资源与环境学报, 2019, 36(1): 16-25.
- [29] 周芳, 曹国璠, 李金玲, 等. 不同有机肥种类及用量对连作白术产量与品质的影响 [J]. 中药材, 2020, 43(10): 2350-2356.
- [30] 张永平, 乔永旭, 赵绪明, 等. 蚯蚓粪作基肥对夏播花生生长与产量的影响 [J]. 江苏农业科学, 2014, 42(8): 97-99.
- [31] 王天一, 黄兴成, 王钰茹, 等. 贵州湄潭茶园茶树日灼病发病特征及影响因素分析 [J]. 南方农业学报, 2023, 54(10): 2940-2948.

- [32] 赵恩, 杨太新, 何雅倩, 等. 氮磷钾配比施肥对小白嘴山药产量和质量的影响 [J]. 中药材, 2025, 48(4): 803-808.
- [33] 张义杰. 土壤酸化对三七根腐病的影响及缓解因素研究 [D]. 昆明: 云南农业大学, 2022.
- [34] 李兴则, 韦兴兰, 曾惠平, 等. 叶面配比施肥对树番茄苗木生长及非结构性碳水化合物影响 [J]. 西南农业学报, 2024, 37(12): 2765-2774.
- [35] 张敏慧, 范慧艳, 王霏璐, 等. 植物免疫诱抗剂“保康灵1号”对白术品质及根腐病抗病性的影响 [J]. 植物医学, 2024, 3(3): 34-42.
- [36] 田给林, 张潞生. 蚯蚓粪缓解草莓连作土壤障碍的作用 [J]. 植物营养与肥料学报, 2016, 22(3): 759-767.
- [37] TILMAN D. Plant Strategies and the Dynamics and Structure of Plant Communities [M]. Princeton: Princeton University Press, 1988.
- [38] 王星林, 刘颖, 胡雨松, 等. 蚯蚓粪对日光温室袋培甜瓜生长及营养吸收的影响 [J]. 核农学报, 2024, 38(2): 345-354.
- [39] 田给林, 张潞生. 蚯蚓粪缓解草莓连作土壤障碍的作用 [J]. 植物营养与肥料学报, 2016, 22(3): 759-767.
- [40] 毕湘南, 胡雨丹, 刀敏, 等. 不同生物源诱抗剂对林下三七的促生诱抗及皂苷含量的影响 [J]. 西南农业学报, 2024, 37(12): 2692-2700.
- [41] 张朝明, 赵坤, 唐胜, 等. 6个豇豆品种农艺性状的相关性、主成分及聚类分析 [J]. 西南农业学报, 2021, 34(3): 501-507.
- [42] 李世雄, 胡飞, 彭银, 等. 施用生物炭与滴灌施肥对菜地氮磷渗漏损失的影响 [J]. 灌溉排水学报, 2025, 44(2): 47-54.

责任编辑 苏荣艳