

公主岭霉素在人参中的应用技术研究及效果评价

孔凡丽¹, 杨浩¹, 王岭¹, 曹庆军¹, 李爽², 李刚^{1*}, 姜晓莉¹, 路杨¹, 杨粉团¹

(1. 吉林省农业科学院(中国农业科技东北创新中心), 长春 130033; 2. 前郭县中医院, 吉林 前郭 131100)

摘要:为明确公主岭霉素在促进人参生长、调控酶活性及预防锈腐病方面的作用,本研究评估了灌根、浸种与喷施3种方式下,不同浓度该制剂在人参中的应用技术效果。结果表明,公主岭霉素50×处理组浸种后使出苗率提高至86.11%,存苗率达87.74%,分别较清水对照提升5.43%和55.40%,二年生人参植株经灌根处理后,50×与100×处理对株高均无显著影响,在根部生长方面,100×处理对根长和根粗均有显著促进作用,且100×效果优于50×,其中根长在药后9 d和15 d增幅超过100%。根粗生长上,100×处理的促进作用可持续至9 d,而50×处理的促进效果在后期减弱。此外,两种浓度均能显著增加叶重与根重,其中100×处理对根重的促进效应更为持久,在4个观测时间点增幅67.88%~138.89%。100×处理组对人参锈腐病防效达79.70%,病株率仅为9.20%,较对照提高5.03倍,UR土壤酶活性较对照提高2.10倍。对三年生人参植株叶面喷施公主岭霉素1 d后,50×处理组的叶片内SOD活性呈现较高的表达量,是对照的1.6倍。综上,公主岭霉素可通过浸种、灌根和喷施等多种施用方式,有效提升人参的出苗存苗率、促进根系与生物量生长、增强叶片与土壤酶活性,并对锈腐病表现出显著的防治效果,是一种兼具促生与防病潜力的高效生物制剂。

关键词:公主岭霉素;人参;生长指标;锈腐病;酶活性

中图分类号:S432.4⁴

文献标识码:A

文章编号:2096-5877(2025)06-0096-08

Research on the Application Technology and Effect Evaluation of Gongzhulingmycin in Ginseng

KONG Fanli¹, YANG Hao¹, WANG Ling¹, CAO Qingjun¹, LI Shuang², LI Gang^{1*}, JIANG Xiaoli¹, LU Yang¹, YANG Fentuan¹

(1. Jilin Academy of Agricultural Sciences(Northeast Agricultural Research Center of China), Changchun 130033; 2. Qianguo County Traditional Chinese Medicine Hospital, Qianguo 131100, China)

Abstract: To clarify the effects of Gongzhulingmycin on promoting Panax ginseng growth, regulating enzymatic activity, and preventing rust rot, this study evaluated the technical efficacy of different concentrations of the agent applied through three methods: root irrigation, seed soaking, and foliar spraying. The results showed that seed soaking with Gongzhulingmycin at 50× increased the emergence rate to 86.11% and the seedling survival rate to 87.74%, representing improvements of 5.43% and 55.40%, respectively, compared to the water control. In two-year-old ginseng plants treated via root irrigation, both 50x and 100× concentrations had no significant effect on plant height. Regarding root growth, the 100× treatment significantly promoted root length and root thickness, with root length increasing by over 100% at 9 and 15 days after treatment. The promoting effect on root thickness persisted until day 9 with the 100× treatment, whereas the effect of the 50× treatment weakened in the later stage. Additionally, both concentrations significantly increased leaf and root weight, with the 100× treatment showing a more sustained promoting effect on root weight, achieving increases of 67.88% to 138.89% across four observation time points. The 100× treatment also provided 79.70% control efficacy against ginseng rust rot, with a disease incidence of only 9.20%, representing a 5.03-fold improvement over the control, UR soil enzyme activity was 2.10 times higher than that in the control group. In three-year-old ginseng plants, foliar spraying with Gongzhul-

收稿日期:2025-03-28

基金项目:吉林省重大科技专项(20230304002YY);吉林省农业科技创新工程项目(KYJF2024SJ007)

作者简介:孔凡丽(1989-),女,助理研究员,硕士,从事作物质量安全生产技术研究。

通信作者:李刚, E-mail: ligang6@yeah.net

ingmycin at 50× resulted in a 1.6-fold higher SOD activity in the leaves one day after treatment compared to the control. In summary, Gongzhulingmycin, applied through various methods such as seed soaking, root irrigation, and foliar spraying, effectively enhances ginseng emergence and seedling survival rates, promotes root growth and biomass accumulation, improves leaf and soil enzyme activities, and demonstrates significant control efficacy against rust rot. It is an efficient biological agent with the potential to both promote growth and prevent disease.

Key words: Gongzhulingmycin; *Panax ginseng*; Growth parameters; Rust rot; Enzymatic activity

人参(*Panax ginseng* C. A. Mey.)作为传统名贵中药材,因其独特的药用价值和经济价值,在吉林省长白山等地区广泛栽培,是推动区域经济发展和乡村振兴的特色产业^[1]。然而,随着种植年限的延长和集约化生产模式的普及,人参栽培面临两大核心瓶颈问题:土壤连作障碍与土传病害高发。一方面,人参忌连作的特性导致其种植后土壤微生物群落失衡、养分循环受阻及化感物质累积,严重抑制后续参苗的生长^[2];另一方面,由真菌(如锈腐病菌 *Cylindrocarpon destructans*)和细菌引起的土传病害频发,造成育苗期植株大规模死亡,传统依赖化学农药的防控策略虽短期有效,但长期施用易引发病原菌抗药性、土壤生态功能退化及参品农残超标等问题,直接威胁人参产业的绿色可持续发展^[3]。

在此背景下,开发环境友好型生物防控技术成为突破人参种植困境的重要方向。不吸水链霉菌公主岭变种(*Streptomyces ahygroscopicus* Var. *gongzhulingensis*)是我国学者于1974年分离自吉林省公主岭地区土壤的一株生防放线菌,其代谢产物公主岭霉素是由碱性肽类、核苷类物质等多种活性成分组成的天然抗生素复合体,兼具广谱抑菌与植物促生功能^[4]。起初该抗生素主要用于防治种子传播的禾谷类黑穗病,防治效果可达95%^[5],近年来,公主岭霉素在农业领域的应用范围逐渐扩大,特别是在水稻上的应用前景较好,公主岭霉素对水稻苗期恶苗病最高防效可达65.50%^[6]。对水稻稻瘟病也有良好的防治作用,可提高水稻植株叶片中PAL、SOD、GLU等防御酶的活性,田间防治效果最高可达74.49%^[7]。不同品种的大豆在公主岭霉素的诱导下,疫霉根腐病的发病率分别比对照提高74.74%、68.82%、14.32%和8.30%,这表明公主岭霉素能够显著增强大豆幼苗的诱导抗性,并在病原菌侵入时具有更强的系统抗性^[8]。现有的研究表明,公主岭霉素对多种蔬菜和大田作物的植物病原菌具有显著抑制作用,但在人参上的应用效果还未得到充分验证。本研究探讨其对人参生长、病害防治效果

及酶活性的影响,以期公主岭霉素的拓展应用及人参的高效栽培提供科学依据和技术支持。

1 材料与方 法

1.1 材料与仪器

人参种子由吉林参王植保有限公司提供;公主岭霉素粉剂由吉林省农业科学院植保所生防微生物团队保存并提供。

高速台式离心机(德国Hettich科学仪器有限公司),Spec-traMax® i3x多功能酶标仪、分析天平(北京赛多利斯仪器系统有限公司),GENIUS-3涡旋混匀器(德国IKA公司),数显游标卡尺、蒸馏水、甲苯、试验所用化学试剂均为国产分析纯。

1.2 方 法

1.2.1 公主岭霉素水浸提液的制备

公主岭霉素水浸提液的制备过程参照杜茜等^[9]文献方法,公主岭霉素粉剂与超纯水以质量体积比1:1.5于4℃冰箱浸提24h,以4500 r/min离心5 min,取上清液即得公主岭霉素原药,按试验所需浓度进行配比稀释。

1.2.2 公主岭霉素对人参生长指标的影响

将公主岭霉素原药用超纯水稀释成25×、50×、100×、200×、400×浓度后将人参种子浸泡在公主岭霉素溶液中,清水浸种为对照,浸种过程中搅动,使浸提液分散均匀,12h后将种子晾干,于2023年4月27日进行播种,小区参床行距为15 cm,株距为4 cm,播种深度为5 cm,每行45颗种子,4行为一个处理,每个处理3次重复,5月18日调查出苗情况,8月10日调查存苗情况。

$$\text{出苗率} = \frac{\text{播种总种子数}}{\text{出苗种子数}} \times 100\%$$

$$\text{存苗率} = \frac{\text{初始出苗数}}{\text{存活的幼苗数}} \times 100\%$$

公主岭霉素对人参植株生长的影响在二年生地地块进行,清水作为对照,小区设计为3行一个处理,3次重复,试验于2024年6月下旬在吉林省农业科学院人参大棚中进行,将原药稀释为10倍(10×)、50倍(50×)及100倍(100×)进行灌根,每7 d

灌根1次,每株用量为100 mL,3次药后3、6、9、12、15 d取人参植株,每个处理取3次重复,每个重复取3株,连根挖取植株,保持根系完整,装入密封袋,标记后立即送回实验室。清洗干净后分别测定根长(将主根平置于测量台,保持自然伸展状态,使用直尺测量芦头基部至根尖的直线距离)、根粗(用数显游标卡尺测主根最大直径处的横向宽度)、根鲜重及叶鲜重(将人参植株地上与地下部分分离,分析天平分别测定鲜重)、株高(用直尺测量地表到人参叶片最高点的垂直高度)。

1.2.3 公主岭霉素对人参根际土壤酶活性的影响

试验方法同1.2.2,采集灌根后3、6、9、12、15 d的根际土壤,铲去0~5 cm表层土壤,带土挖出人参植株,采用抖落法采集根际土壤,每个处理取3株,3次重复,将土壤混合均匀,装入无菌自封袋,-20℃保存。土壤脲酶(UR)活性测定采用靛酚蓝比色法;土壤酸性磷酸酶采用酸性环境中,S-ACP催化磷酸苯二钠水解生成苯酚和磷酸氢二钠的方法测定,通过测定酚的生成量即可计算出S-ACP活性;土壤蔗糖酶(SUC)采用3,5-二硝基水杨酸反应法测定;过氧化氢酶(CAT)采用紫外比色法测定^[10],3次重复。

1.2.4 公主岭霉素对人参叶片防御酶活性的影响

通过叶面喷施法评估公主岭霉素对三年生人参叶片防御酶活性的影响。小区人参株距为12 cm,每行15颗,8行为一个处理,每个处理3次重复,试验设置10×、50×、100×共3个浓度梯度处理组,以清水处理为对照。各处理组每间隔7 d进行喷雾处理,连续施药3次后,自末次施药日起连续6 d进行动态随机取样。叶片多酚氧化酶(PPO)测定采用邻苯二酚紫外吸收法;超氧化物歧化酶(SOD)测定采用氮蓝四唑法;叶片过氧化氢酶(CAT)测定采用紫外比色法;苯丙氨酸解氨酶(PAL)测定采用紫外吸收法^[11],3次重复。

1.2.5 公主岭霉素对人参锈腐病的预防效果测定

为探究公主岭霉素稀释液对人参锈腐病的预防效果,试验设4个处理组,即公主岭霉素10倍稀释液(10×)、50倍稀释液(50×)、100倍稀释液(100×)及清水对照组(CK),供试人参于2023年春季播种后经越冬培养,以翌年存活的健康幼苗为试验材料,小区参床宽1.8 m,种植方法同1.2.2,采用随机区组设计,每个处理3次重复,每3行为1个重复,锈腐病田间自然发生,未发病前进行灌根,用量为100 mL/株,间隔7 d用药1次,连续施药3次,至7月9日大棚中出现锈腐病时开始铲除带病植株,记

录病株数及无病植株总数,计算公式如下:

$$\text{病株率} = \frac{\text{病株数}}{\text{调查总株数}} \times 100\%$$

$$\text{防治效果} = \frac{(\text{CK} - \text{PT})}{\text{CK}} \times 100\%$$

式中,CK为空白对照区病株率,PT为药剂处理区病株率。

1.2.6 数据处理与统计

使用Excel 2010进行数据整理汇总、SPSS 27.0进行单因素方差分析,采用LSD方法进行差异显著性比较、GraphPad Prism 9进行绘图。

2 结果与分析

2.1 公主岭霉素对人参生长指标的影响

由表1可知,50×、100×处理对人参株高均无显著影响,表明其作用不涉及植株纵向生长调控。100×处理组在施药后9 d和15 d根长较对照显著增加,增幅为107.96%和109.64%,表明公主岭霉素低浓度效果更佳,对人参根长具有促进效应。在根粗生长方面,不同浓度处理的效果存在差异,100×处理组3 d、6 d、9 d较对照增加56.25%、50.00%、32.56%,50×处理组在药后3 d、6 d提升幅度与100×组前期相当,分别为56.25%、50.00%,但此促进作用未能持续至第9 d,相比之下,10×处理组在观测期内均未对根粗生长产生显著效果。叶重生长情况在3~9 d时50×处理组显著高于对照,增幅达52.39%~79.31%,100×处理组3~6 d增幅达51.62%~93.10%;在根重方面,公主岭霉素50×、100×均表现出显著的促进作用,但效果持续时间和强度存在差异,100×在药后3、6、12、15共4个观测时间点均测得根重显著增加,增幅分别为67.88%、76.47%、138.89%和100.00%,50×处理组在药后3、6、12 d增幅分别为60.72%、88.24%和111.12%。

总体来看,公主岭霉素中低浓度明显促进根长、根粗、叶重、根重积累,高浓度处理组就田间植株表现而言,第1次施药后植株生长无明显变化,3次施药后田间表现为叶片边缘内卷,发黄干枯,50×与100×则未出现该现象,推测其可能为药害特征,结果也证实10×处理对叶重、根重等指标较对照组无显著差异,甚至略低于对照组,说明高浓度会抑制生长发育,50×与100×稀释液更有利于植株的生长。

2.2 公主岭霉素对人参出苗率、存苗率的影响

公主岭霉素对一年生人参出苗率的影响结果

显示(表2),50×处理组表现出最优促生效果,其出苗率较对照组提高5.43%,存苗率提升达55.40%。次优为100×处理组,出苗率与存苗率分别较对照组提高2.85%和34.02%。其他处理组对出苗率和

存苗率的促进作用均低于50×与100×处理组。

2.3 公主岭霉素对人参土壤酶活性的影响

公主岭霉素不同浓度稀释液灌根,人参根际土壤酶活性有一定的变化,SUC活性变化呈现浓

表1 公主岭霉素对人参植株生长情况的影响
Table 1 Effects of Gongzhulingmycin on the growth of ginseng plants

天数/d Days	处理(公主岭霉素浸提液 稀释倍数)Treatment (Gongzhulingmycin extract dilution factor)	株高/cm Plant height	根长/cm Root length	根粗/cm Root diameter	叶重/g Leaf weight	根重/g Root weight
3	10×	7.60±1.16ab	6.17±0.17c	0.40±0.06bc	0.31±0.04c	0.21±0.02bc
	50×	6.83±0.71ab	6.67±0.58bc	0.50±0.00ab	0.52±0.09ab	0.45±0.02a
	100×	8.60±1.55ab	8.57±1.07bc	0.50±0.00ab	0.56±0.02ab	0.47±0.04a
	CK(清水对照)	8.33±0.49ab	4.30±0.12c	0.32±0.02c	0.29±0.04c	0.28±0.05bc
6	10×	4.83±0.60b	7.43±0.54bc	0.38±0.04bc	0.34±0.04bc	0.15±0.01c
	50×	5.47±0.09b	7.43±0.57bc	0.48±0.06ab	0.51±0.04ab	0.32±0.03b
	100×	7.03±1.33ab	8.60±1.76bc	0.50±0.03ab	0.47±0.07b	0.30±0.06b
	CK(清水对照)	4.17±1.07b	6.00±1.25c	0.32±0.02c	0.31±0.06c	0.17±0.04c
9	10×	6.57±0.72ab	7.07±0.85bc	0.42±0.02bc	0.39±0.03bc	0.25±0.0bc
	50×	6.43±0.23ab	9.73±0.23ab	0.47±0.03ab	0.64±0.04a	0.36±0.03ab
	100×	7.67±0.92ab	11.50±0.76a	0.57±0.07a	0.50±0.06ab	0.41±0.03ab
	CK(清水对照)	6.10±0.06b	5.53±0.97c	0.43±0.03b	0.42±0.06bc	0.22±0.04bc
12	10×	9.03±0.92a	9.60±1.45ab	0.31±0.01c	0.35±0.03bc	0.23±0.05bc
	50×	8.07±1.11ab	9.00±0.69b	0.37±0.03bc	0.58±0.1ab	0.38±0.07ab
	100×	8.60±1.43ab	8.17±0.83bc	0.46±0.07ab	0.60±0.05ab	0.43±0.02ab
	CK(清水对照)	6.80±0.87ab	6.97±1.22bc	0.38±0.02bc	0.38±0.03bc	0.18±0.04c
15	10×	7.80±1.3ab	5.80±0.90c	0.40±0.06bc	0.36±0.04bc	0.22±0.05bc
	50×	8.00±1.0ab	9.67±0.35ab	0.45±0.03b	0.60±0.01ab	0.38±0.05ab
	100×	7.47±0.98ab	11.53±0.61a	0.40±0.00bc	0.49±0.06ab	0.44±0.03a
	CK(清水对照)	4.27±0.62b	5.50±1.04c	0.40±0.00bc	0.35±0.03bc	0.22±0.01bc

注:表中数据为“均值±标准误”,同列不同字母表示经Duncan氏新复极差法检验在($P<0.05$)水平差异显著,下同。

Note: Data in the table are expressed as mean ± SE. Different lowercase letters within the same column indicate significant differences at $P<0.05$ level based on Duncan's new multiple range test, hereinafter the same, the same below.

表2 公主岭霉素对人参出苗率、存苗率的影响
Table 2 Effects of Gongzhulingmycin on the emergence rate and survival rate of ginseng

浸种处理(公主岭霉素浸提液 稀释倍数)Seed soaking treatment	出苗数/颗 Number of emerged seedlings	出苗率/% Emergence rate	存苗数/颗 Number of surviving seedlings	存苗率/% Survival rate
25×	132.00±2.31c	73.00±0.02c	81.00±2.33c	61.36±0.02c
50×	155.00±4.91a	86.11±0.05a	136.00±1.86a	87.74±0.04a
100×	150.00±4.48a	84.00±0.04a	112.00±2.31b	75.67±0.05b
200×	149.00±2.08ab	83.00±0.02ab	97.00±2.60b	71.81±0.05b
400×	138.00±2.85bc	77.00±0.03bc	103.00±2.08b	74.64±0.03b
CK(清水对照)	147.00±3.84ab	81.67±0.04ab	83.00±2.33c	56.46±0.01c

度依赖性差异,100×处理组在施药后3~15 d内表现为SUC活性先受抑制后逐步激活,而高浓度10×处理组则表现为初期激活效应显著,3 d达峰值后活性逐渐下降(图1)。3种浓度处理对CAT活性均无显著影响,其原因可能是CAT活性与逆境响应相关,比如在病原菌感染或环境压力下才会

升高,而公主岭霉素的应用可能没有引起这样的应激反应,因此,CAT活性变化不显著。UR活性中,50×、100×处理组9 d时分别为对照2.02、2.10倍,后呈下降趋势,50×下降速度小于100×处理组。ACP活性50×处理组6 d峰值较对照提高3.17倍,其活性显著优于其他处理组。

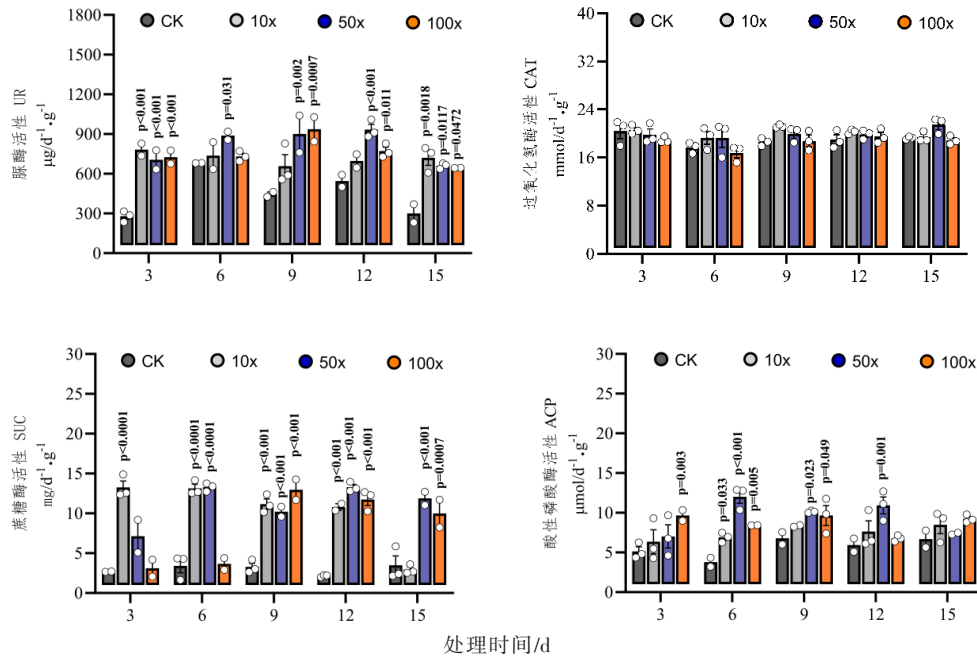


图1 公主岭霉素对人参土壤酶活性的影响

Fig. 1 Effect of Gongzhulingmycin on soil enzyme activities in *Panax ginseng*

2.4 公主岭霉素对人参叶片防御酶活性的影响

PPO活性10×处理组表现为先高后低,2 d达到峰值($P<0.05$),随后酶活性逐渐下降,说明高浓度可能迅速引发植物的强烈防御反应,同时对植物细胞造成伤害,导致酶活性不持续,50×、100×浓度活性较10×浓度延迟响应1 d,3 d达到峰值后逐渐降低,以上说明不同浓度可能触发不同的防御策略,低浓度诱导持续但反应波动,而高浓度快速反应但后续抑制。从图2可知,喷施公主岭霉素1 d后50×处理组的叶片内SOD被迅速激活,呈现较高的表达量,是对照的1.6倍,100×与10×在同一时间却无显著性。PAL是植物中参与苯丙烷类代谢的关键酶,10×处理组在1 d达到峰值,50×处理组在2 d达到峰值,100×在3 d时达到峰值,表明峰值响应时间受浓度调控。CAT活性在施药后5 d 100×处理组与对照有显著差异($P<0.05$),但整个检测周期来看各浓度处理没有单一的浓度在所有时间点都最优,且无明显变化规律。

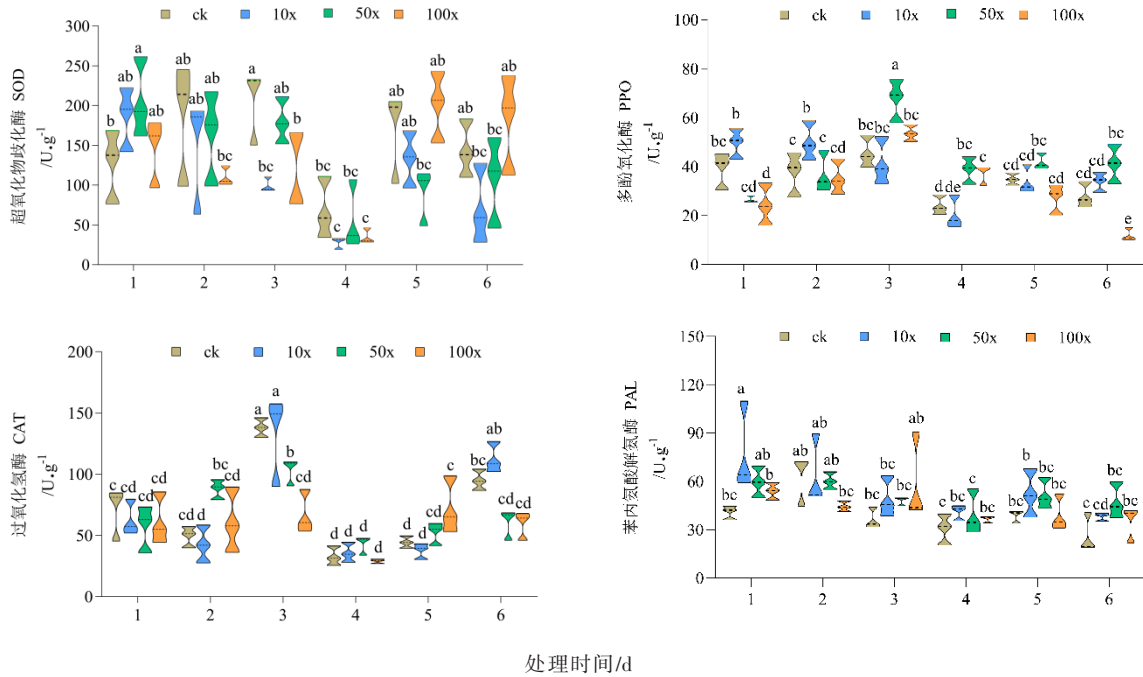
2.5 公主岭霉素不同浓度对人参锈腐病的预防效果

由图3可知,不同浓度的公主岭霉素处理对

病害防控呈显著差异。当使用10×浓度时,植株病株率高达50.46%,推测因浓度过高引发前期药害,导致植株抗病能力下降。100×稀释液灌根处理表现出最优预防效果,病株率仅9.20%,较对照组提高5.03倍;50×稀释液灌根处理病株率为17.95%,较对照组提高2.58倍。从预防效能分析,100×稀释液对锈腐病的防治效果达到80.14%,50×稀释液的防治效果为61.26%。

3 讨论

公主岭霉素是生防菌农抗“769”的代谢产物,田间施用效果好,已在草莓、甜瓜、大豆、水稻等作物中得到验证^[9,12],从固体发酵产物中分离、纯化得到14种化学成分发现其化学成分2,4-二叔丁基苯酚(2)对禾谷镰刀菌和稻瘟病菌菌丝生长具有极强的抑制作用,IC₅₀值分别为22.23、66.28 μg/mL^[13],本研究通过浓度梯度试验探究公主岭霉素对人参锈腐病防治效果,结果表明,100×稀释液灌根处理表现最优,病株率为9.20%,防治效果80.14%,50×病株率为17.95%,防治效果61.26%,而10×稀释液处理组病株率高达50.46%,甚至超过对照



注:图中不同字母表示经 Duncan 氏新复极差法检验在($P<0.05$)水平差异显著,下同。
 Note: Different letters indicate significant differences at $P<0.05$ level according to Duncan's new multiple range test, the same below.

图2 公主岭霉素对人参叶片防御酶活性的影响

Fig. 2 Effect of Gongzhulingmycin on defensive enzyme activities in Panax ginseng leaves

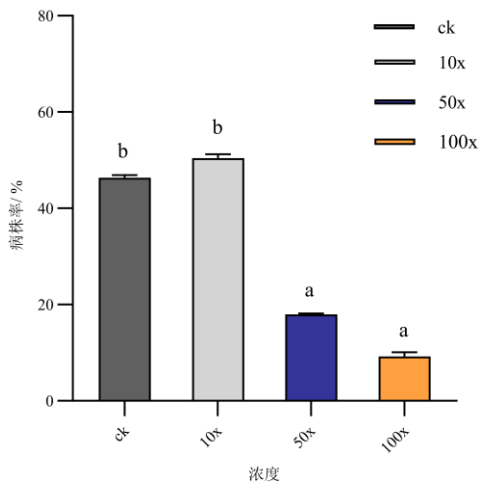


图3 公主岭霉素不同浓度对人参锈腐病的预防效果
 Fig. 3 Preventive effect of Gongzhulingmycin at different concentrations against ginseng rust rot

组。表明公主岭霉素的抑菌活性与施用浓度并非简单的线性关系,而是受限于“浓度阈值效应”,在50x和100x浓度下,其均能通过直接抑制病原菌或激活植物免疫系统实现病害防控,但过高浓度胁迫下会引发植株生理损伤,削弱其抗病能力,甚至导致病原菌侵染窗口期延长,形成“药害加重病害”的负反馈循环。这一结果与杜茜研究中的“低促高抑”效应具有相似性,即低剂量刺激植物防御反应,而高剂量抑制正常代谢功能^[9]。

众多学者研究表明植物病害的发生与根际土壤环境有一定关系^[14-15]。张桐毓等^[16]研究不同年份人参锈腐病与土壤酶活性的关系,UR等酶随着病害的发生,活性开始逐步下降,CAT活性在病害为3级时,活性显著上升42.3%,本研究结果显示公主岭霉素不同浓度处理下对人参根际土壤酶活性具有显著调控作用,UR、ACP、SUC活性均有不同程度的提升,其作用模式呈现浓度依赖性和时间动态性,CAT却无显著变化,也进一步表明公主岭霉素灌根处理后,有效抑制了病原菌繁殖,植株根际土壤中有益微生物数量增加,对人参锈腐病的发生起到一定的预防作用。

植物体内防御酶活性在遇到各种不利的生长因素时,防御酶的活性都会有所上升,采用放线菌HD-087处理黄瓜幼苗发现,幼苗中PAL、POD的活性极大增强^[17]。颜尘栋等^[18]研究YBUF5、YBUF7放线菌菌株对人参锈腐病的防病作用及几种防御酶活性的影响,发现POD、CAT、PAL、SOD酶活性均有所提高,且两种菌株均能抑制锈腐病菌的增殖。本试验中PPO的活性动态显示,10x处理组其活性在24 h达到峰值后快速回落,而50x和100x处理组则表现为响应延迟的渐进模式,表明低浓度处理需要更长时间完成信号转导。SOD的剂量效应曲线显示典型的“倒U形”特

征, 50×处理组在 24 h 即达到活性峰值, 是对照组的 1.6 倍, PAL 的活性峰值随稀释倍数增加依次滞后, 但高浓度处理组活性衰减较快, 低浓度则维持稳态, 反映了植物在高浓度胁迫下优先启动快速防御, 而低浓度更倾向于持续性代谢调节^[19]。以上表明喷施公主岭霉素对植物防御酶系统具有显著的调控作用, 从而有效抑制病原菌的生长。

生防菌不仅可以诱导植物获得系统抗性, 对植物病害也有很好的防控效果, 施用生防菌还可以对植物生长产生一定的促进作用。Y-S-Y12 菌株的发酵浓缩液对锈腐病的防效达到 75.79%, 人参苗成活率比对照增加 51.82%, 小区人参产量比对照增加 154.73%^[20]; 菌剂 JI6 对人参生长有促生效果, 根重、主根长度、主根直径和增产率均显著高于对照组, 增产率为 38.72%^[21]。本研究结果显示, 50×浓度处理组表现出最优促生效果, 其出苗率较对照组显著提高 5.43%, 存苗率提升达 55.40%, 50×、100×在增粗根系、提升根重与叶重方面效果更为显著。

4 结论

50×浸种显著提升出苗率与存苗率, 100×灌根处理在促进根系发育、提升土壤酶活性及防控锈腐病方面表现最优。研究证实, 中低浓度 50×~100×为最佳应用窗口, 高浓度易引发药害, 需严格避免。下一步将结合代谢组学与田间验证, 解析公主岭霉素的多靶点作用机制, 推动其在中药材生态种植中的规模化应用。

参考文献:

- [1] 李耿, 王华, 董政起, 等. 中国人参产业发展现状及趋势分析[J]. 中国中药杂志, 2024, 49(17): 4818-4828.
LI G, WANG H, DONG Z Q, et al. Development situation and trends of ginseng radix rhizoma industry in China[J]. China Journal of Chinese Materia Medica, 2024, 49(17): 4818-4828. (in Chinese)
- [2] 章亚博, 王丽伟, 赵敏, 等. 人参土传病害生防微生物及其抑菌促生机制研究进展[J]. 中国植保导刊, 2022, 42(5): 20-26, 33.
ZHANG Y B, WANG L W, ZHAO M, et al. Advances in diversity and mechanisms of microorganisms for biocontrol of soil-borne diseases of *Panax ginseng*[J]. China Plant Protection, 2022, 42(5): 20-26, 33. (in Chinese)
- [3] 李雨晴. 人参根残留组织对土壤微生物群落结构和功能的影响[D]. 长春: 吉林农业大学, 2023.
- [4] 吴鑫斌. 不吸水链霉菌公主岭变种次级代谢产物的分离与鉴定[D]. 福州: 福建农林大学, 2020.
- [5] 李启云, 路杨, 隋丽, 等. 植物保护与农业绿色发展[J]. 吉林农业大学学报, 2021, 43(1): 9-15.
LI Q Y, LU Y, SUI L, et al. Plant protection and green development of agriculture[J]. Journal of Jilin Agricultural University, 2021, 43 (1): 9-15. (in Chinese)
- [6] 安俊霞, 李晓光, 汪洋洲, 等. 公主岭霉素在水稻育秧期应用技术研究[J]. 东北农业科学, 2019, 44(2): 28-33.
AN J X, LI X G, WANG Y Z, et al. High efficiency application technology of Gongzhulingmycin during rice seedling stage[J]. Journal of Northeast Agricultural Sciences, 2019, 44(2): 28-33. (in Chinese)
- [7] 安俊霞, 张正坤, 李晓光, 等. 公主岭霉素对水稻稻瘟田间防治效果[J]. 安徽农业科学, 2018, 46(34): 130-134.
AN J X, ZHANG Z K, LI X G, et al. The control effect of Gongzhulingmycin on rice blast[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2018, 46(34): 130-134. (in Chinese)
- [8] 初佳芮. 链霉菌 769 对大豆生长过程中疫霉根腐病抗性及其土壤微环境的影响[D]. 长春: 吉林农业大学, 2015.
- [9] 杜茜, 郑亚杰, 纪东铭, 等. 公主岭霉素对草莓的防病诱抗和促生效应[J]. 植物保护学报, 2021, 48(3): 679-688.
DU Q, ZHENG Y J, JI D M, et al. Efficacy of Gongzhulingmycin against powdery mildew caused by fungus *sphaerotheca aphanis* and its effects on the growth of strawberry[J]. Journal of Plant Protection, 2021, 48(3): 679-688. (in Chinese)
- [10] 于会泳, 宋晓丽, 王树声, 等. 低分子量有机酸对植烟土壤酶活性和细菌群落结构的影响[J]. 中国农业科学, 2015, 48(24): 4936-4947.
YU H Y, SONG X L, WANG S S, et al. Effects of low molecular weight organic acids on soil enzymes activities and bacterial community structure[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2015, 48 (24): 4936-4947. (in Chinese)
- [11] 王艳玲, 刘广娜, 周生学, 等. 人参皂苷 *RgI* 对小菜蛾趋避率及酶活性的影响研究[J]. 东北农业科学, 2023, 48(4): 51-55.
WANG Y L, LIU G N, ZHOU S X, et al. Effect of ginsenoside *RgI* on the avoidance rate and enzyme activity of *plutella xylostella*[J]. Journal of Northeast Agricultural Sciences, 2023, 48 (4): 51-55. (in Chinese)
- [12] 杜茜, 初佳芮, 汪洋洲, 等. 不吸水链霉菌公主岭新变种对大豆生长和产量的影响[J]. 安徽农业科学, 2018, 46(6): 130-132, 161.
DU Q, CHU J R, WANG Y Z, et al. Effect of *Streptomyces ahngrossopicus gongzhulingensis* n. var. on growth and yield of soybean[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2018, 46 (6): 130-132, 161. (in Chinese)
- [13] 马江亚. 不吸水链霉菌公主岭变种次生代谢抑菌活性成分研究[D]. 福州: 福建农林大学, 2024.
- [14] WANG M, LI D, LIU X, et al. Global hierarchical meta-analysis to identify the factors for controlling effects of antibiotics on soil microbiota[J]. Environment International, 2024, 192: 109038.
- [15] LOSEVA N, GORDON L, ALYABYEV A, et al. Effect of induced changes in membrane permeability on the defence re-

- sponse of *Chlorella vulgaris* to infection by *Acholeplasma laidlawii*[J]. *Thermochimica Acta*, 2004, 422(1): 95-100.
- [16] 张桐毓, 勾颖, 李琪, 等. 人参锈腐病对人参品质和土壤相关因子的影响研究[J]. *中国农业科技导报*, 2024, 26(3): 124-133.
- ZHANG T Y, GOU Y, LI Q, et al. Effects of ginseng rust rot on ginseng quality and soil related factors[J]. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 2024, 26(3): 124-133. (in Chinese)
- [17] ZHAO S, DU C M, TIAN C Y. Suppression of *Fusarium oxysporum* and induced resistance of plants involved in the biocontrol of cucumber fusarium wilt by streptomycetes *bikiniensis* HD-087 [J]. *World Journal of Microbiology & Biotechnology*, 2012, 28(9): 2919-2927.
- [18] 颜尘栋, 金春吉, 金辉, 等. YBUF5 和 YBUF7 菌株对人参锈腐病的防病作用及几种防御酶活性的影响[J]. *延边大学学报*, 2021, 43(3): 14-20, 54.
- YAN C D, JIN C J, JIN H, et al. Effect of YBUF5 and YBUF7 strains on preventing ginseng rust rot and the activity of several defensive enzymes[J]. *Agricultural Science Journal of Yanbian University*, 2021, 43(3): 14-20, 54. (in Chinese)
- [19] AINI Q L, SETIAWAN A, TRIANTI I, et al. Plant hormone jasmonate prioritizes defense over growth by interfering with gibberellin signaling cascade[J]. *Cogent Food & Agriculture*, 2024, 10(1): 1192-1200.
- [20] 金海强, 朴光一, 屈俊廷, 等. 解淀粉芽孢杆菌 Y-S-Y12 菌株对人参锈腐病的生防作用[J]. *中国森林病虫*, 2015, 34(2): 1-5, 22.
- JIN H Q, PIAO G Y, QU J T, et al. Biocontrol efficacy of *Bacillus amyloliquefaciens* Y-S-Y12 on *Cylindrocarpum destructans* [J]. *Forest Pest and Disease*, 2015, 34(2): 1-5, 22. (in Chinese)
- [21] 刘婷婷. 菌株 J16 发酵工艺优化及对人参促生作用的研究[D]. 长春: 吉林农业大学, 2023.

(责任编辑:王 昱)

《东北农业科学》征稿启事

《东北农业科学》(原《吉林农业科学》)创刊于1960年,是一本立足东北、面向全国的综合性农业学术期刊,先后入编《中文核心期刊要目总览》1992年、2011年、2017年版。本刊系中国科技核心期刊、中国农林核心期刊、中国科技论文统计源刊,同时入选中文科技期刊数据库源刊,为中国期刊网全文收录期刊、中国学术期刊(光盘版)全文收录期刊,被中国学术期刊综合评价数据库、中国核心期刊(遴选)数据库等12家权威数据库收录。

本刊秉持学术为本的办刊理念,重点刊载作物育种、耕作栽培、植物保护、土壤肥料、畜牧兽医、果树园艺、农业经济、农产食品加工等领域的最新研究成果、学术论文与科研动态,融学术性、技术性、信息性、知识性于一体,兼顾理论深度与实践应用,致力于传播农业科学知识,推广农业新品种、新技术与生产新经验。

期刊为双月刊,双月25日出版,国内统一刊号CN 22-1376/S,国际标准刊号ISSN 2096-5877,邮发代号12-71,每期定价16元,全年定价96元,全国各地邮局均可订阅。本刊面向全国发行,服务于图书情报机构中文期刊采购、广大农民朋友、农业科研工作者、农业技术推广人员、农业生产管理者及农业院校师生。

联系方式

通讯地址:吉林省长春市生态大街1363号吉林省农业科学院《东北农业科学》编辑部

邮政编码:130033

联系电话:0431-87063151

投稿网址: <http://dbnykx.jaas.com.cn>

诚邀农业领域相关专家学者、科研人员及从业者踊跃投稿,共筑农业科技交流平台!