

DOI:CNKI:61-1390/S.20120109.1219.006

网络出版时间:2012-01-09 12:19

网络出版地址:http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1390.S.20120109.1219.006.html

放线菌剂对丹参生长及有效成分的影响

段佳丽^{1a},舒志明^{1b},孙 群^{1b},魏良柱²,
傅亮亮²,薛泉宏^{1a},于妍华^{1b}

(1 西北农林科技大学 a 资源环境学院,b 生命科学学院,陕西 杨凌 712100;2 陕西天士力植物药业有限公司,陕西 商洛 726000)

[摘 要] 【目的】探讨施用生防放线菌剂对丹参生长及品质的影响。【方法】以常规移栽处理为对照,采用小区和大田试验相结合的方法,研究用放线菌剂蘸根处理后,放线菌剂对丹参生长、产量、品质及抗根结线虫侵染的影响。【结果】①放线菌剂对丹参生长及产量提高有明显的促进作用。在小区试验中,与对照相比,放线菌剂稀释 10 倍、100 倍处理丹参茎叶鲜质量分别增加了 29.7%,35.5%,丹参根鲜质量分别增加了 44.0%,39.6%,根干质量分别增加了 26.3%,33.3%。在大田试验中,与对照相比,放线菌剂蘸根处理丹参单株根鲜质量、干质量分别提高了 10.1%,8.2%,丹参产量提高了 7.2%,增产 2 022.0 kg/hm²。②放线菌剂蘸根接种可大幅度提高丹参药材中有效成分的含量。在小区试验中,放线菌剂稀释 100 倍处理丹参根内丹参酮ⅡA、丹酚酸 B 及丹参素含量和产量分别较对照增加了 175.0%,102.6%和 110.0%及 348.7%,230.6%和 242.6%。在大田试验中,放线菌剂蘸根处理丹参根内丹酚酸 B、丹参素含量和产量分别较对照增加了 19.4%,20.8%及 27.1%,28.5%。③放线菌剂接种对丹参根结线虫侵染有一定抑制作用,可使大田根结线虫侵染率降低 50%。【结论】生防放线菌剂蘸根处理后能明显促进丹参生长,提高丹参产量和品质及抗虫能力。

[关键词] 放线菌剂;丹参;中药材栽培

[中图分类号] Q939.96;S567.5⁺3

[文献标识码] A

[文章编号] 1671-9387(2012)02-0195-06

Effect of antimicrobial actinomycetes on growth and medicine quality of *Salvia miltiorrhiza* Bge.

DUAN Jia-li^{1a},SHU Zhi-ming^{1b},SUN Qun^{1b},WEI Liang-zhu²,
FU Liang-liang²,XUE Quan-hong^{1a},YU Yan-hua^{1b}

(1 a College of Resources and Environment, b College of Life Sciences, Northwest A&F University,
Yangling, Shaanxi 712100, China; 2 Shaanxi Tasly Plants Pharmaceutical Co., Ltd., Shangluo, Shaanxi 726000, China)

Abstract: 【Objective】 This study was to investigate the effect of actinomycetes on growth and medicine quality of *Salvia miltiorrhiza* Bge.. 【Method】 Taking conventional transplantation treatment as control, we combined plot and field experiment by using root dipping with actinomycetes preparation to investigate survival rate, biomass, active constituents and root-knot nematode of *S. miltiorrhiza* Bge.. 【Result】 ①In the plot experiment, inoculating with actinomycetes of 10 and 100 times dilution, the stem-leaf natural weight of *S. miltiorrhiza* Bge. increased by 29.7% and 35.5% respectively compared with the control treatment; Inoculating with actinomycetes of 10 and 100 times dilution, the root natural weight of *S. miltiorrhiza* Bge. increased by 44.0% and 39.6% respectively, and the root dry weight of *S. miltiorrhiza* Bge.

* [收稿日期] 2011-08-25

[基金项目] 陕西省科技攻关项目(2004K02-G7);长江学者和创新团队发展计划项目(PCSIRT,IRT0748)

[作者简介] 段佳丽(1985—),女,山西阳泉人,在读博士,主要从事微生物资源利用研究。E-mail:duanjiali198@yahoo.com.cn

[通信作者] 薛泉宏(1957—),男,陕西白水人,教授,博士生导师,主要从事微生物生态与资源利用研究。

E-mail:xuequanhong@nwsuaf.edu.cn

increased by 26.3% and 33.3% respectively. In the field experiment, inoculating with actinomycetes preparation, the root natural weight and dry weight per plant increased by 10.1% and 8.2% respectively compared with the control treatment, also the root natural weight per mu increased by 7.2%. ②In the plot experiment, under the treatment of actinomyces diluted 100 times by wood ash, the contents of tanshinone II A, salvianolic acid B and danshensu in *S. miltiorrhiza* Bge. all achieved maximum value which increased by 175.0%, 102.6% and 110.0% respectively compared with that of control. Similarly, the contents of these three active constituents per plant increased by 348.7%, 230.6% and 242.6% compared with that of control. In the field experiment, the contents of salvianolic acid B and danshensu in *S. miltiorrhiza* Bge. were 19.4% and 20.8% higher than that in the control treatment, also, the contents of this two active constituents per plant improved by 27.1% and 28.5% compared with the control treatment. ③Inoculating with actinomycetes may control the disease of root-knot nematode. The infection rate of root-knot nematode in *S. miltiorrhiza* Bge. decreased by 50% by using actinomycetes preparation. 【Conclusion】 This research suggested that actinomycetes can improve the growth, biomass, medicine quality and anti-insect ability of *S. miltiorrhiza* Bge. .

Key words: actinomycetes; *Salvia miltiorrhiza* Bge. ; cultivation of Chinese herbal medicines

丹参(*Salvia miltiorrhiza* Bge.)为唇形科鼠尾草属多年生草本植物,其根是治疗心血管等疾病的重要中药材^[1-3]。近年来由于丹参的用量增加,连作栽培面积不断扩大,连作障碍日趋严重,已在生产上造成重大损失。丹参以根入药,不能大量施用化学农药,故微生物制剂对丹参连作障碍修复具有重要意义。但目前仅有木霉对丹参根腐病的防效报道^[4-5],对其他微生物制剂尚未涉及。放线菌制剂具有防病、促生及降解根泌自毒物质等多种功能,已在甜瓜、草莓及辣椒等多种作物上表现出良好的效果^[6-8],但其对丹参有无促生作用尚不清楚。本试验研究了放线菌剂对丹参生长及药材品质的影响,旨在为丹参连作障碍放线菌修复提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 材 料

丹参品种:商洛丹参,由刘红云博士提供。

放线菌剂:利用放线菌 Act12 通过固态发酵制备,菌剂活菌数为 2.0×10^9 cfu/g。该菌是西北农林科技大学资源环境学院微生物资源研究室从分离自青藏高原、黄土高原土壤的万余株放线菌中筛选到的 1 株多功能放线菌,经 16S rDNA 序列分析鉴定为密旋链霉菌(*Streptomyces pactum*),对多种作物有良好的促生效果^[6-8]。

1.2 试验方法

1.2.1 小区试验 试验地点为陕西杨凌大寨乡设施农业基地,2009-03-10 移栽,2009-09-23 调查丹参成活率,2009-11-07 收获并测定丹参茎叶鲜质量、根

鲜质量及干质量。

(1)试验设计。试验设 4 个处理:CK. 对照,常规移栽;T0. 草木灰蘸根;T10. 放线菌剂 Act12 用草木灰稀释 10 倍蘸根;T100. 放线菌剂 Act12 用草木灰稀释 100 倍蘸根。各重复 2 小区。小区面积 20 m²,每区栽种 5 垄共 200 株。

(2)样品采集与分析。分别在各小区中随机选取 10 株健康植株,将其根系完整挖出带回实验室,对其地上部分称鲜质量,并去掉根系所带的土,称根鲜质量,最后将根系烘干称其干质量。

1.2.2 大田试验 试验在陕西商洛天士力丹参基地大景西村进行,2010-03-25 移栽,2010-11-20 调查采样。

(1)试验设计。结合小区试验结果,并根据实际生产中的经济性和可行性,确定大田试验中放线菌剂的稀释倍数在 10~100 倍。试验设 2 个处理:CK. 常规移栽;放线菌剂处理. 用草木灰将放线菌剂 Act12 稀释 20 倍蘸根。试验地总面积约 0.46 hm²,分为 CK、放线菌剂处理各 0.23 hm²,各移栽 15 垄,每垄 5 行,东西向排列,垄宽 1.2 m,株、行距分别为 20 和 25 cm。

(2)采样区确定。在 CK、放线菌剂处理小区中心各选 1 垄,每垄确定 3 个等距离分布、长度 2 m 的采样小区,小区面积为 1.2 m×2 m=2.4 m²,自西向东依次编号为 1,2 和 3。

(3)样品采集与分析。分别在各采样小区中随机选取 5 株健康植株,将其根系完整挖出带回实验室,洗净根系称鲜质量,并将须根剪下称质量,同时

观察统计根结线虫侵染率,烘干称质量;将小区内剩余丹参全部完整挖出,去土及地上部分,称根鲜质量,与采样区合并计算丹参产量。

1.2.3 丹参有效成分的测定 丹参有效成分测定由陕西天士力植物药业有限公司质检部完成。其中丹参酮ⅡA 和丹酚酸 B 测定用高效液相色谱法^[9]。丹参素测定采用陕西天士力植物药业有限公司企业内部标准^[10]:称取 1 g 丹参粉,加入 10 mL NaOH 溶液,于 90 ℃水浴中煮 1.5 h,定容至 8 mL,离心,取上清液 0.2 mL,加入无水乙醇 4 mL,超声提取 20 min,离心,取上清液 1 mL,加入 3 mL 无水乙醇,于紫外分光光度计 281 nm 处比色,记录吸光度值,根据标准曲线求得总丹参素含量。

1.3 数据处理与分析

成活率=(每区成活苗数/200)×100%,

表 1 放线菌剂对小区试验中丹参成活率及生物量的影响

Table 1 Effect of actinomycetes on survival rate and biomass of *S. miltiorrhiza* Bge. in the plot experiment

处理 Treatment	成活率 Survival rate		茎叶鲜质量 Stem-leaf natural weight		根鲜质量 Root natural weight		根干质量 Root dry weight		根冠比 Root cap ratio	
	测定值/% Value	ΔCK /%	测定值/ (kg·hm ⁻²) Value	ΔCK /%	测定值/ (kg·hm ⁻²) Value	ΔCK /%	测定值/ (kg·hm ⁻²) Value	ΔCK /%	测定值 Value	ΔCK /%
CK	17.8±6.5 b	—	5 962.5±3 334.5	—	5 119.5±2 218.5	—	1 755.0±772.5	—	0.89±0.43	—
T0	27.0±9.4 ab	51.7	10 020.0±3 339.0	68.0	6 504.0±5 250.0	27.0	2 422.5±42.0	38.0	0.74±0.34	-17.0
T10	34.1±16.7 a	91.6	7 735.5±1 534.5	29.7	7 372.5±1 804.5	44.0	2 217.0±801.0	26.3	1.02±0.47	14.2
T100	24.0±17.2 ab	34.8	8 079.0±4 123.5	35.5	7 144.5±2 944.5	39.6	2 340.0±754.5	33.3	0.91±0.37	1.9

注:同列数据后标不同小写字母者表示差异显著(P<0.05)。
Note:Different letters in the same column indicate significant difference (P<0.05).

由表 1 还可知,放线菌剂对丹参有明显的促生作用。稀释 10 倍、100 倍放线菌剂处理丹参茎叶鲜质量分别较 CK 增加了 29.7%,35.5%;根鲜质量分别较 CK 增加了 44.0%,39.6%,较草木灰单独蘸根处理增加了 13.4%,9.8%;根干质量分别为 2 217.0,2 340.0 kg/hm²,较 CK 增加了 26.3%,33.3%。其中,根鲜质量增加值与根干质量增加值的差异表明,稀释 10 倍放线菌剂处理对丹参根系吸水的促进作用更为明显,而稀释 100 倍放线菌剂处理下,丹参根系干物质积累程度要高于稀释 10 倍放线菌剂处理。稀释 10 倍放线菌剂处理根冠比最大,达 1.02,较 CK 增加了 14.2%,较草木灰单独蘸根处理增加了 37.8%,表明放线菌剂接种能明显促进丹参根系生长发育。此外,草木灰也有一定促生效果。草木灰单独蘸根处理的丹参茎叶鲜质量、根鲜质量及根干质量分别较 CK 增加了 68.0%,27.0%及 38.0%。

2.1.2 大田试验 在大田试验采样区调查中发现,放线菌剂处理对丹参根系产量提高有明显的促进作用。CK 处理丹参根鲜质量、干质量分别为 186.1,

接种效应(ΔCK)=(接种处理-CK)/CK×100%,

有效成分产量(mg/株)=根干质量(g/株)×有效成分含量(g/kg)×1 000。

数据分析用 SAS 软件进行。

2 结果与分析

2.1 放线菌剂对丹参的促生作用

2.1.1 小区试验 由表 1 可知,草木灰及放线菌剂能明显提高丹参的成活率。草木灰及其稀释 10 倍和 100 倍放线菌剂处理的丹参成活率较 CK 分别提高 51.7%,91.6%和 34.8%,其中草木灰稀释 10 倍放线菌剂处理与 CK 差异达到显著水平(P<0.05),二者成活率相差 16.3%。

47.0 g/株;放线菌剂处理丹参根鲜质量、干质量分别达到 204.9,50.0 g/株,较 CK 分别提高了 10.1%,8.2%。放线菌剂处理丹参产量为 30 225.0 kg/hm²,较 CK(28 203.0 kg/hm²)增加了 7.2%,增产 2 022.0 kg/hm²。

2.2 放线菌剂对丹参品质的影响

丹参中具有药理活性的有效成分主要为丹参酮类、丹酚酸 B 及丹参素等多聚酚酸类物质^[11]。产品中这 3 种成分的含量是评价丹参药材及制剂质量的主要指标^[2,12]。考虑到放线菌剂在提高丹参产量的同时可能会对丹参中有效成分产生一定稀释效应,故在评价放线菌剂的作用时,采用“单株有效成分产量”反映菌剂的综合效果,该指标综合反映了放线菌剂对丹参产量及有效成分含量 2 个指标的影响。

2.2.1 小区试验 (1)丹参酮ⅡA。从表 2 可以看出,接种放线菌剂可以大幅度提高丹参酮ⅡA 的含量和产量。放线菌剂稀释倍数为 10 时,丹参酮ⅡA 含量和产量分别较 CK 增加 37.5%和 94.5%;稀释倍数为 100 时,丹参酮ⅡA 含量和产量均最高,较 CK 和草木

灰单独蘸根处理分别增加了 175.0%和 348.7%，中,丹参酮ⅡA 含量和产量分别为 1.2 g/kg 和 73.8 mg/株,较 CK 分别增加了 50.0%和 61.8%。

表 2 放线菌剂对小区试验中丹参根内有效成分含量和产量的影响

Table 2 Effect of actinomycetes on active constituents of *S. miltiorrhiza* Bge. in the plot experiment

处理 Treatment	根干质量 Root dry weight		有效成分含量 Contents					
			丹参酮Ⅱ A Tanshinone Ⅱ A		丹酚酸 B Salvianolic acid B		丹参素 Danshensu	
	测定值/ (g·株 ⁻¹) Value	ΔCK/%	测定值/ (g·kg ⁻¹) Value	ΔCK/%	测定值/ (g·kg ⁻¹) Value	ΔCK/%	测定值/ (g·kg ⁻¹) Value	ΔCK/%
CK	57.0	—	0.8	—	38.0	—	10.0	—
T0	61.5	7.9	1.2	50.0	55.0	44.7	12.0	20.0
T10	80.6	41.4	1.1	37.5	69.0	81.6	12.0	20.0
T100	93.0	63.3	2.2	175.0	77.0	102.6	21.0	110.0

处理 Treatment	根干质量 Root dry weight		有效成分产量 Contents per plant					
			丹参酮Ⅱ A Tanshinone Ⅱ A		丹酚酸 B Salvianolic acid B		丹参素 Danshensu	
	测定值/ (g·株 ⁻¹) Value	ΔCK/%	测定值/ (mg·株 ⁻¹) Value	ΔCK/%	测定值/ (mg·株 ⁻¹) Value	ΔCK/%	测定值/ (mg·株 ⁻¹) Value	ΔCK/%
CK	57.0	—	45.6	—	2 166.0	—	570.0	—
T0	61.5	7.9	73.8	61.8	3 382.5	56.2	738.0	29.5
T10	80.6	41.4	88.7	94.5	5 561.4	156.8	967.2	69.7
T100	93.0	63.3	204.6	348.7	7 161.0	230.6	1 953.0	242.6

(2)丹酚酸 B。由表 2 可知,接种放线菌剂同样使丹酚酸 B 含量和产量大幅度提高。放线菌剂稀释 10 倍、100 倍时,丹酚酸 B 含量和产量分别较 CK 提高 81.6%,102.6%和 156.8%,230.6%,较草木灰单独蘸根处理提高 25.5%,40.0%和 64.4%,111.7%。与丹参酮Ⅱ A 类似,草木灰对丹酚酸 B 含量提高也有促进作用,草木灰单独蘸根处理的丹酚酸 B 含量及产量分别较 CK 提高了 44.7%,56.2%。

(3)丹参素。表 2 表明,放线菌剂也能明显提高丹参素含量和产量。放线菌剂稀释 10 倍、100 倍时,丹参素含量和产量分别较 CK 提高 20.0%,

110.0%和 69.7%,242.6%,其中放线菌剂稀释 100 倍处理效果最好,二者分别较草木灰单独蘸根处理提高 75.0%,164.6%。与丹参酮Ⅱ A 及丹酚酸 B 类似,草木灰对丹参素含量提高也有促进作用,草木灰单独蘸根处理的丹参素含量及产量分别较 CK 提高 20.0%,29.5%。

2.2.2 大田试验 由表 3 可知,放线菌剂蘸根可使丹酚酸 B 和丹参素含量及产量大幅度提高,其中丹酚酸 B 含量和产量分别较 CK 增加 19.4%和 27.1%,丹参素含量和产量分别较 CK 增加 20.8%和 28.5%,而丹参酮Ⅱ A 含量和产量分别较 CK 降低 20.8%,18.7%,其原因尚不清楚。

表 3 放线菌剂对大田试验中丹参根内有效成分含量和产量的影响

Table 3 Effect of actinomycetes on active constituents of *S. miltiorrhiza* Bge. in the field experiment

处理 Treatment	根干质量/ (g·株 ⁻¹) Root dry weight	有效成分含量/(g·kg ⁻¹) Contents			有效成分产量/(mg·株 ⁻¹) Contents per plant		
		丹参酮Ⅱ A Tanshinone Ⅱ A	丹酚酸 B Salvianolic acid B	丹参素 Danshensu	丹参酮Ⅱ A Tanshinone Ⅱ A	丹酚酸 B Salvianolic acid B	丹参素 Danshensu
CK	47.0	2.4	72.0	18.3	112.8	3 384.0	860.1
Act12	50.0	1.9	86.0	22.1	95.0	4 300.0	1 105.0

综上所述,接种放线菌剂可大幅度提高丹参中丹酚酸 B 和丹参素这 2 种有效成分含量及产量,改善丹参品质;稀释剂草木灰对丹参产量的提高及品质改善也有一定效果。

2.3 放线菌剂对丹参抗根结线虫侵染的影响

根结线虫病严重影响丹参品质和产量。其病原为南方根结线虫,主要寄生在丹参根部的侧根和须

根上,产生大小不等的瘤状根结,根结上还会长出细弱新根,致寄主再度感染,导致植株发育不良,严重时全株死亡。由表 4 可知,在 1,2 和 3 号小区,CK 根结线虫侵染率自西向东分别为 80.0%,40.0%,20.0%,表明丹参根结线虫发生在田间分布具有不均一性。接种放线菌剂对丹参根结线虫侵染率有一定降低作用,在侵染最重的西部 1 号小区中,接种放

线菌剂后根结线虫侵染率为 20.0%,较同区 CK 降低 75%;在侵染程度中等的 2 号小区中,接种放线菌剂后根结线虫侵染率为 0,较同区 CK 降低了 100%;而在侵染最弱的东部 3 号小区,接种放线菌剂后根结线虫侵染率较同区 CK 提高了 100%,其原因尚待进一步研究。3 个小区接种放线菌剂处理的平均侵染率较 CK 降低了 50%。

由表 4 可见,在 1 号小区中,放线菌剂处理丹参植株须根、总根鲜质量及须根占总根比例分别较 CK 减少了 41.3%,31.2%及 13.5%,与之对应,该小区放线菌剂处理根结线虫侵染率较同区 CK 也降

低了 75.0%;在 2 号小区中,放线菌剂处理须根和总根鲜质量较 CK 都有所增加,但其须根占总根比例却较 CK 降低了 28.4%,与之对应,该小区放线菌剂处理根结线虫侵染率为 0;在 3 号小区中,放线菌剂处理须根鲜质量较 CK 大幅度增加,增幅达 116.9%,须根占总根比例较 CK 增加了 90.9%,与之对应,其根结线虫侵染率较对照也增加 100%。说明放线菌剂处理对降低根结线虫侵染率有一定作用,并且推测其可能与丹参根系中须根数量及其在根系中所占比例有关。放线菌对丹参根系组成及根结线虫侵染率的确切作用还有待进一步研究证实。

表 4 放线菌剂对大田试验中丹参根结线虫侵染率及根系组成的影响

Table 4 Effect of actinomycetes on infection rate of root-knot nematode and root system of *S. miltiorrhiza* Bge. in the field experiment

小区 编号 Plot No.	根结线虫侵染率/% Infection rate		须根鲜质量/(g·株 ⁻¹) Natural weight of fibrous root		总根鲜质量/(g·株 ⁻¹) Natural weight of whole root		须根占总根比例/% Fibrous root/Whole root	
	CK	Act12	CK	Act12	CK	Act12	CK	Act12
1	80.0	20.0	7.22±3.86	4.24±1.65	240.2±68.9	165.2±73.7	3.5±3.0	3.1±1.9
2	40.0	0	3.96±1.02	5.80±2.09	132.4±49.6	251.2±86.9	3.3±1.4	2.3±0.5
3	20.0	40.0	3.31±1.12	7.17±5.87	185.8±71.5	198.5±58.5	1.9±0.6	3.7±2.3
平均 Average	40.0	20.0	4.83±2.84	5.74±3.66	186.1±53.9	204.9±43.3	2.9±0.9	3.0±0.7

3 讨 论

中药材在生产种植过程中极易发生土传病害,导致药材品质变劣,产量下降。化学农药防治效果不明显,易污染土壤环境,并且不利于中药材有效成分的积累。生物防治不但能防病增产,改善药材品质,还能保护生态环境,符合可持续发展的需求。目前,关于微生物制剂对中药材土传病害防治及促生作用已有一定研究。马贵龙等^[13]通过拮抗试验筛选得到 5 株对人参锈腐病有明显抑制作用的放线菌。张艳丽等^[14]从地黄根际土壤中分离到包括细菌、真菌和放线菌在内的 9 株生防菌,其中 5 株对地黄枯萎病有较强抑制作用,田间防效达 50%以上,且 3 株生防放线菌对地黄有明显的促生增产作用。而对丹参土传病害防治研究较少,主要是关于生防真菌的报道。曾华兰等^[4]、李琼芳等^[5]研究了木霉对丹参的防病作用,发现哈茨木霉 T23 和桔绿木霉 T56 对丹参根腐病均有显著的抑制作用,哈茨木霉 T23 制剂用量为 715 kg/hm² 时,其防效优于多菌灵。目前尚无该制剂大量用于丹参生产的报道,推测在实际应用过程中,该木霉制剂用量大,成本高,不利于大范围的推广。

放线菌因其种类繁多,代谢类型各异,可合成多种抗生素,已在多种作物及一些中药材连作障碍防

治中表现出良好效果。但目前有关生防放线菌对丹参防病促生效果研究尚未见报道,且在已有报道中也缺乏对丹参产量和品质的综合研究。本研究发现,放线菌剂蘸根接种对丹参生长及品质改善有明显的促进作用,能显著提高小区试验中丹参产量及药材中丹参酮ⅡA、丹酚酸 B 和丹参素含量及其产量,此外,放线菌剂对丹参根结线虫病害发生也有一定抑制作用。在本研究中,大田试验放线菌剂的用量是建立在小区试验结果基础上,并根据实际情况进行调整而确定的。考虑到若采用 10 倍稀释倍数,放线菌剂用量大,成本高;若采用 100 倍稀释倍数,推测在大面积施用环境下,放线菌剂可能会因稀释倍数过高而无法达到最佳效果。因此将小区试验结果和实际生产相结合,充分考虑放线菌剂施用的经济性和可行性,在 10 倍和 100 倍稀释倍数中选择了 20 倍的稀释倍数,在节约成本的同时也能充分发挥放线菌剂的防病促生功能。结果亦表明,放线菌剂用草木灰稀释 20 倍在大田条件下具有良好的生防效果。该结果将为丹参连作障碍生物修复、优质高产栽培提供新途径,有助于无毒、无公害、符合国家中药材管理 GMP 标准的中药材原料的生产。

此外,本研究还发现,丹参移栽时单独用草木灰蘸根也能提高丹参产量及其 3 种有效成分含量。草木灰中 K₂O 含量为 80.9~109.5 g/kg,并含有较多的

其他灰分元素^[15]。土壤缺钾会对丹参等根类药用植物造成严重影响^[16]。因此,草木灰蘸根效果可能是土壤有效钾供给不足的信号,施钾肥是否可以提高丹参产量及有效成分含量,还尚待后续研究证明。

[参考文献]

- [1] 丁远节,吴志明,谢晓亮,等. 丹参病毒病原鉴定研究 [J]. 中草药,2003,34(12):1136-1139.
Ding Y J, Wu Z M, Xie X L, et al. Identification of pathogen from Danshen virus diseases in China [J]. Chinese Traditional and Herbal Drugs, 2003, 34(12): 1136-1139. (in Chinese)
- [2] 张红瑞,李志敏,高致明. 丹参生长发育特性研究 [J]. 安徽农业科学, 2007, 35(19): 5783-5785.
Zhang H R, Li Z M, Gao Z M. Preliminary study on the characteristics of growth and development in *Salvia miltiorrhiza* [J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2007, 35(19): 5783-5785. (in Chinese)
- [3] 冯玲玲,周吉源. 丹参的研究现状与应用前景 [J]. 中国野生植物资源, 2004, 23(2): 4-7.
Feng L L, Zhou J Y. The research status and application prospection of *Salvia miltiorrhiza* Bunge [J]. Chinese Wild Plant Resources, 2004, 23(2): 4-7. (in Chinese)
- [4] 曾华兰,叶鹏盛,李琼芳,等. 利用木霉防治丹参根腐病的研究 [J]. 四川农业大学学报, 2003, 21(2): 142-144.
Zeng H L, Ye P S, Li Q F, et al. Study on Danshen root rot disease and its control by *Trichoderma* spp. [J]. Journal of Sichuan Agricultural University, 2003, 21(2): 142-144. (in Chinese)
- [5] 李琼芳,曾华兰,叶鹏盛,等. 哈茨木霉(*Trichoerma harzia-num*) T23 生防菌筛选及防治中药材根腐病的研究 [J]. 西南大学学报:自然科学版, 2007, 29(11): 119-122.
Li Q F, Zeng H L, Ye P S, et al. Selection of *Trichoderma harzianum* T23 as a biocontrol agent and its application in root rot control in medicinal herbs [J]. Journal of Southwest University: Natural Science Edition, 2007, 29(11): 119-122. (in Chinese)
- [6] 赵娟,杜军志,薛泉宏,等. 3 株放线菌对甜瓜幼苗的促生与抗性诱导作用 [J]. 西北农林科技大学学报:自然科学版, 2010, 38(2): 109-116.
Zhao J, Du J Z, Xue Q H, et al. The growth-promoting effect and resistance induction of 3 antagonistic actinomycetes on *Cucumis melo* L. [J]. Journal of Northwest A&F University: Natural Science Edition, 2010, 38(2): 109-116. (in Chinese)
- [7] 毛宁,薛泉宏,唐明,等. 放线菌对对羟基苯甲酸的降解作用及草莓生长的影响 [J]. 中国农业科技导报, 2010, 12(5): 103-108.
Mao N, Xue Q H, Tang M, et al. Degradation of para-hydroxybenzoic acid by actinomycetes and its effects on strawberry growth [J]. Journal of Agricultural Science and Technology, 2010, 12(5): 103-108. (in Chinese)
- [8] 郭志英,薛泉宏,张晓鹿,等. 生防菌苗床接种对辣椒根域微生物态及产量的影响 [J]. 西北农林科技大学学报:自然科学版, 2008, 36(4): 159-165.
Guo Z Y, Xue Q H, Zhang X L, et al. Effect of the inoculation with the antagonistic fungi and actinomycetes in seedbed on micro ecological systems of capsicum rooting zone and yield of capsicum [J]. Journal of Northwest A&F University: Natural Science Edition, 2008, 36(4): 159-165. (in Chinese)
- [9] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典:2010 版 [M]. 北京:中国医药科技出版社, 2010: 86.
Chinese Pharmacopoeia Commission. Pharmacopoeia of the People's Republic of China: 2010 [M]. Beijing: Chinese Medical Science Press, 2010: 86. (in Chinese)
- [10] 刘文婷,梁宗锁,付亮亮,等. 栽植密度对丹参产量和有效成分含量的影响 [J]. 现代中药研究与实践, 2003, 17(4): 14-17.
Liu W T, Liang Z S, Fu L L, et al. Effect of planting density on active constituents and output of *Salvia miltiorrhiza* Bunge [J]. Research and Practice of Chinese Medicines, 2003, 17(4): 14-17. (in Chinese)
- [11] 段增强,刘媛媛,郑小军,等. 丹参酮 II A 和丹酚酸 B 在丹参根组织中的分布特征研究 [J]. 河南农业大学学报, 2007, 41(2): 178-182.
Duan Z Q, Liu Y Y, Zheng X J, et al. A study on distribution characteristics of tanshinone II A and salvianolic acid B in root tissues of *Salvia miltiorrhiza* [J]. Journal of Henan Agricultural University, 2007, 41(2): 178-182. (in Chinese)
- [12] 曲桂武,解飞霞,岳喜典,等. 丹参酚酸 B 和丹参酮 II A 在丹参根中的分布 [J]. 中药研究与信息, 2005, 7(1): 11-14.
Qu G W, Xie F X, Yue X D, et al. The distribution of salvianolic acid B and tanshinone II A in *Salvia miltiorrhiza* Bge. [J]. Research & Information of Traditional Chinese Medicine, 2005, 7(1): 11-14. (in Chinese)
- [13] 马贵龙,赫琳琳,毛永娜,等. 人参锈腐病菌拮抗放线菌 JY36 发酵条件研究 [J]. 吉林农业大学学报, 2009, 31(2): 138-142.
Ma G L, He R L, Mao Y N, et al. Studies on fermentation condition of antagonistic actinomycete JY36 against *Cylindrocarpus destructans* [J]. Journal of Jilin Agricultural University, 2009, 31(2): 138-142. (in Chinese)
- [14] 张艳丽,刘春元,袁虹霞,等. 生防菌株对地黄枯萎病的防治效果及其促生作用 [J]. 河南农业科学, 2005(4): 46-48.
Zhang Y L, Liu C Y, Yuan H X, et al. The control efficacy of biocontrol strains on *Rehmanniae fusarium* wilt and their effect promoting on growth [J]. Journal of Henan Agricultural Sciences, 2005(4): 46-48. (in Chinese)
- [15] 彭克明,裴保义. 农业化学 [M]. 北京:农业出版社, 1980: 145.
Peng K M, Pei B Y. Agriculture chemistry [M]. Beijing: China Agriculture Press, 1980: 145. (in Chinese)
- [16] 张辰露,孙群,叶青. 连作对丹参生长的障碍效应 [J]. 西北植物学报, 2005, 25(5): 1029-1034.
Zhang C L, Sun Q, Ye Q. Obstacle effect of continuous cropping on *Salvia miltiorrhiza* growth [J]. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica, 2005, 25(5): 1029-1034. (in Chinese)