

生防菌对向日葵列当的防除作用的初步研究

郭振国¹ 陈杰³ Muhammad Rashid Nizamani¹ 陈连芳⁴ 马永清^{2*}

(1. 西北农林科技大学 林学院,陕西 杨凌 712100;

2. 西北农林科技大学 水土保持研究所,陕西 杨凌 712100;

3. 山西农业大学 农学院,山西 太谷 030801;

4. 新疆生产建设兵团第二师农业科学研究所,新疆 铁门关 841005)

摘要 通过室内穴盘和连续两年遮雨棚盆栽试验,研究放线菌淡紫褐链霉菌(*Streptomyces enissocaesilis*,509),真菌灰黄青霉(*Penicillium griseofulvum*,CF3)和放线菌密旋链霉菌(*Streptomyces pactum*,Act12)3种生防菌对寄主植物向日葵的促生作用和对向日葵列当种子萌发的抑制作用。结果表明:1)CF3和Act12处理条件下,列当的出土数和寄生总数量显著降低,在新葵6号中CF3抑制列当寄生率高达74.4%,Act12抑制列当寄生率为68.7%,509抑制列当寄生率为53.0%;2)在列当寄生胁迫下,生防菌处理向日葵相比对照生物量有显著的增高,根冠比显著增大,含水量显著升高,生防菌处理的向日葵地上部和根的含水量 $\geq 70\%$ 。本研究表明CF3和Act12具有作为防除向日葵列当优良生防菌种的可能性。

关键词 生防菌;向日葵列当;发芽率;含水量;根冠比;生物防除

中图分类号 S512.1;Q948.9

文章编号 1007-4333(2018)06-0059-11

文献标志码 A

Preliminary study on the bio-control effect of microorganism on sunflower broomrape (*Orobanche cumana* Wallr.)

GUO Zhenguo¹, CHEN Jie³, MUHAMMAD Rashid Nizamani¹, CHEN Lianfang⁴, MA Yongqing^{2*}

(1. College of Forestry, Northwest A&F University, Yangling 712100, China;

2. Institute of Soil and Water Conservation, Northwest A&F University, Yangling 712100, China;

3. College of Agriculture, Shanxi Agricultural University, Taigu 030801, China;

4. The Agricultural Science Institute of the Second Division of Xinjiang Production Corps, Tiemenguan 841005, China)

Abstract The experiments of three types of bio-control microorganism (*Streptomyces enissocaesilis*(509),*Penicillium griseofulvum* (CF3) and *Streptomyces pactum* (Act12)) on the growth of host plant sunflower and the inhibition of sunflower broomrape seed germination were conducted under the laboratory potted tray and two years rain shed pot experiment condition. The results indicated that: 1) Under CF3 and Act12 treatments, the number of broomrape shoot coming up out of the ground and the total number of broomrape shoot were all decreased significantly. For Xinkui No. 6, the inhibition effect of CF3 on broomrape parasitism reached 74.4%, Act12 was 68.7% and 509 was 53.0%; 2) Under the stress of broomrape parasitism, the biomass of bio-control microorganism sunflower increased, and its root-shoot ratio also increased. Compared with the control, the increase in water content was significant, and the water content of bio-control microorganism treated sunflower aboveground and root were all over 70%. This study demonstrated that CF3 and Act12 displayed potential for the biocontrol of sunflower broomrape.

Keywords brobiotics; sunflower; germination; water content; root-shoot ratio; biocontrol

收稿日期: 2017-10-20

基金项目: 新疆生产建设兵团现代科技攻关与成果转化项目(2016AC007)

第一作者: 郭振国, 硕士研究生, E-mail: guozhenguo@163.com

通讯作者: 马永清, 教授, 主要从事植物化感作用研究, E-mail: mayongqing@ms.iswc.ac.cn

列当(*Orobancha* spp.)是根部全寄生杂草,主要分布于地中海地区(如埃及、叙利亚)、亚洲西部、欧洲东部和非洲东部等地区^[1]。在已发现的170多种列当中有6种对作物的危害比较大,变成寄生杂草,它们是:瓜列当*O. aegyptiaca* Pers.、大麻列当*O. ramosa* L.、小列当*O. minor* Sm.、弯管列当*O. cernua* Loefling、向日葵列当*O. cumana* Wallr.和朱砂根列当*O. crenata* Forssk.^[2-3]。列当种子体积小,且易传播,大量的列当种子在土壤中逐年沉积,形成了庞大的土壤种子库^[4]。列当在其整个生育周期内,都不会发育形成绿色植物组织,自己本身没有任何合成叶绿素的途径,其生长发育所需的营养物质和水分绝大多数来自寄主,从而造成寄主植物营养和水分缺失,导致寄主植物的减产、绝产甚至死亡。

向日葵是我国西北干旱、贫瘠地区种植的一种油料作物,也是很重要的经济作物之一,对提高农民收入具有重要作用^[5]。寄生在向日葵上的列当称向日葵列当又名独根草、毒根草、兔子拐棍等,是危害向日葵农业生产中最严重的寄生杂草之一,被列当寄生的向日葵的产量减少、产品品质下降^[6]。在我国新疆、河北和山西等地区,向日葵列当发生面积大,在一些列当寄生程度高的地方,向日葵大面积减产,甚至绝收^[7-10]。在我国新疆伊犁、阿勒泰、焉耆、昌吉等地的向日葵地块,被列当寄生的向日葵植株矮小、瘪粒多、花盘直径小,危害严重时,不能长出花盘,最后全株枯死,株寄生率达72%~91%^[8]。

现有的列当防除措施有:化学防除(造成环境污染)、人工拔除(只对首次侵染地块有效)、培育抗列当品种(列当的进化速度快,育种周期长)、诱捕作物和捕获作物^[5]等。已有研究利用小麦、玉米和棉花作为诱捕作物,大麻则可作为的捕获作物用来防除向日葵列当^[11-14],这些措施可在一定程度上消除列当土壤种子库,但是需要轮作倒茬。

我国目前向日葵生产连作现象比较普遍,由此引发的向日葵列当危害严重,在农业生产上面临的问题主要有两个:1)如何能够在种植向日葵作物的时候采取措施,让寄主向日葵生长良好的同时又能够抑制列当的寄生;2)如何能在当季增加寄主作物产量的同时又能够减少当季列当种子落入土壤的数量,从而减少土壤库中列当种子数量。

最近有研究指出生防菌具有防除列当的潜力^[15]。列当种子的萌发需要来自寄主的信号物质的刺激,同时也与周围的微生物的活动密切相关,微

生物区系对土壤的结构和营养物质的结构有一定的影响作用,而且有益微生物区系能够促进植物的生长。Chen等^[15]从88株放线菌和3株真菌中最终筛选出来3株可以抑制列当萌发的拮抗微生物,包括放线菌509和Act12,真菌CF3。为进一步验证这3种微生物在盆栽条件下对向日葵的促生作用和对向日葵列当的抑制作用,本研究拟通过室内穴盘试验和连续两年定位盆栽试验,探究3种向日葵对向日葵列当抗性及其3种拮抗微生物对不同新疆向日葵品种的促生作用及对向日葵列当的抑制作用,以期为大田生产提供切实可行的生产建议。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试3个向日葵品种分别为新葵6号(X1)、食葵8号(X2)和新葵9号(X3),易被向日葵列当侵染,且为新疆地区农业生产推广品种,由新疆生产建设兵团第二师农业科学研究所提供。

供试3种生防菌为放线菌淡紫褐链霉菌(*Streptomyces enissocaesilis*, 509)及密旋链霉菌(*Streptomyces pactum*, Act12)和真菌灰黄青霉(*Penicillium griseofulvum*, CF3),由西北农林科技大学资源与环境学院提供。

向日葵列当种子于2015年采自中国新疆生产建设兵团第十二师五一农场受向日葵列当侵染的向日葵农田中。列当种子的发芽标准诱导物质独脚金内酯类似物(GR24)1 ppm,从澳大利亚悉尼大学化学学院获得。

盆栽试验中所用火箭盆(高25 cm、直径为20 cm)购自中科环境工程有限公司;所用有机肥购自陕西杨凌霖科生态工程有限公司;尿素CO(NH₂)₂购自陕西渭河重化工有限责任公司,其总氮≥46.4%;磷酸二铵(NH₄)₂HPO₄购自贵州开磷集团股份有限公司,总养分(N+P₂O₅)≥57%。

1.2 试验方法

1.2.1 向日葵穴盘试验

试验于2016年4月16日至6月5号在西北农林科技大学水土保持研究所内恒温培养室进行。试验选用72穴穴盘:穴数(6×12),盘体长54 cm宽28 cm,穴深45 mm,口径40 mm×40 mm,底部20 mm×20 mm,容量40 cm³。将蛭石填充穴盘至四分之三高度处,均匀播种向日葵种子,每穴4粒,在种子上覆盖蛭石直至填满穴盘。移动穴盘至长方

形塑料盆中,沿着塑料盆壁倒入适量的地下水(漫过穴盘底部1 cm),使蛭石表面保持湿润。45天后收获地上部和根并采集适量的根际蛭石。将向日葵地上部和根鲜样研磨,并用甲醇浸提,根际蛭石同样用甲醇浸提后得到根际土浸提液原液,做向日葵列当种子室内发芽实验,试验设 GR24 为正对照(CK)。

1.2.2 向日葵遮雨棚盆栽试验

试验分别于2016年4月16日至10月30日和2017年4月17日至7月20日在西北农林科技大学水土保持研究所院内遮雨试验棚中进行。试验设对照(CK无)(不添加列当种子也不施加菌剂)、CK(添加列当种子但不施加菌剂)、509(添加列当种子同时施加509菌剂)、CF3(添加列当种子同时施加CF3菌剂)和 Act12(添加列当种子同时施加 Act12菌剂)共4个处理。试验所用土壤为娄土,添加列当种子(3.4 mg/kg)有机肥(5%)、尿素(0.43 g/kg)和过磷酸钙(0.15 g/kg)充分拌匀,装入火箭盆中(8 kg/盆),各处理6盆重复。菌剂施加方式为种子包衣,具体方法为:将向日葵种子用蒸馏水湿润后放入事先用灭菌土与各菌剂(活孢子含量均为 10^{11} CFU/g)按质量比为9:1拌匀后的稀释菌剂中,待种子表面沾满菌剂后用镊子将向日葵种子取出,同时在包衣前后称取菌剂干重,最后计算得出菌剂孢子数 1.0×10^9 个,平均每粒种子包衣孢子数为 2.5×10^8 个。种子包衣完成并于2016年4月16日播种,每盆4粒种子,待出苗后,定苗至每盆两株。分别于2016年7月19日和2017年7月20日打开火箭盆,测量向日葵株高和花盘直径,称量向日葵地上部分、根鲜重和干重;统计向日葵列当出土、未出土数量并称量鲜重和干重。2016年收获结束后复播新玉6号玉米,直至入冬剪掉地上部,根留在盆中,2017年4月份将火箭盆打开拌入肥料,重复2016年试验。计算向日葵地上部分及根的含水量和向日葵根冠比的公式如下:

$$\text{含水量} = ((\text{鲜重} - \text{干重}) / \text{鲜重}) \times 100\% \quad (1)$$

$$\text{根冠比} = (\text{根鲜重} / \text{地上部鲜重}) \times 100\% \quad (2)$$

$$\Delta\text{CK} = (\text{处理} - \text{对照}) / \text{对照} \times 100\% \quad (3)$$

$$\text{列当抑制率} = (\text{对照} - \text{处理}) / \text{对照} \times 100\% \quad (4)$$

1.2.3 室内种子萌发试验

将收获期采集的向日葵地上和根样经处理后进行列当种子萌发试验。

列当种子的表面消毒:取适量的向日葵列当种子放置在上端开口,底部封有尼龙网(150目,孔径

0.1 mm)的PVC管(直径为6.0 cm,高度为5.0 cm)中并将PVC管放置在200 ml的玻璃烧杯中。将有效氯含量为1%的次氯酸钠溶液加入PVC管中直至完全浸没种子,将烧杯放置在超声波清洗器中超声处理2 min后取出,用无菌水充分冲洗列当种子后,加入75%的无水乙醇超声2 min后取出,用无菌水冲洗列当种子至流出水无色。将列当种子放置于超净工作台中晾干备用。

列当种子的预培养:在培养皿(直径为9 cm)中放入两张直径为9 cm的定性滤纸,加入4.5 ml无菌蒸馏水后在滤纸上摆放直径为8 mm的已灭菌的玻璃纤维滤纸片。将上述超净台中晾干后的列当种子均匀撒于玻璃纤维滤纸片上(每个片上大约30~50粒列当种子)。将培养皿用封口膜封口后置于25℃的恒温培养箱中暗培养4 d备用。

向日葵植株样品浸提液制备:将1.1.2中收集的向日葵地上部和根样品烘干、粉碎后称取0.1 g置于1.5 mL离心管中。各离心管中加入1.0 mL的分析甲醇超声处理30 min后于5 000 r/min离心4 min,所得上清液即视为原液。将原液用甲醇稀释10倍(质量浓度为10 mg/L)和100倍(质量浓度为1.0 mg/L)后,放置冷藏冰箱备用。

向日葵土壤浸提液制备:将1.1.2中收集的向日葵根际土或蛭石,取样5 g于200 mL锥形瓶中,分两次加入10 mL分析甲醇超声处理30 min后,过滤至干净的200 mL锥形瓶中,将过滤后的浸提液转移至10 mL离心管中,所得液体即为原液。将原液再次用甲醇稀释10倍(质量浓度为10 mg/L)和100倍(质量浓度为1.0 mg/L)后,放置冷藏冰箱备用。

列当种子萌发试验方法:采用Parker等的方法并做修改^[16],将灭菌后的玻璃纤维滤片(直径为8 mm)摆放在直径为90 mm的培养皿中并将20 μ L上述不同浓度的甲醇浸提液添加到各片上。超净工作台中放置30 min自然晾干后,再将事先吸干水分的预培养后的列当种子片覆盖在上述玻璃纤维滤纸片上。各玻璃纤维滤纸片上添加35 μ L的无菌水并在培养皿的中心放置一片湿润的三角形滤纸用以保持培养皿内部的湿润。试验设置在预培养后的列当种子片上添加20 μ L 1.0 ppm的GR24(证明种子有发芽能力)、无菌水(确保种子没有受到其他化学物质污染而出现发芽)的处理分别为正、负对照。培养皿用Parafilm封口膜封口后放置在25℃的恒温培养箱中培养10 d后,在显微镜下统计各种种子片上列

当种子的发芽数和总数并计算列当种子的发芽率。

1.3 数据处理

试验数据用 Excel 2016 和 DPS 数据处理系统进行统计分析。将处理和品种的结果进行二因素完全随机(随机区组)试验方差分析。

2 结果与分析

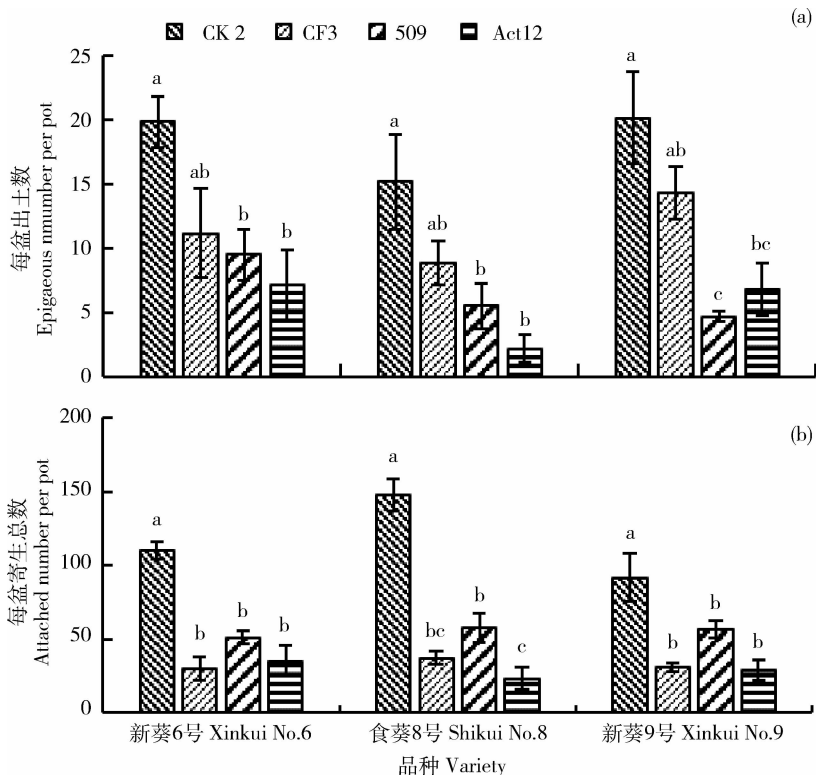
2.1 穴盘试验结果对向日葵列当种子萌发的刺激作用

穴盘试验中不同品种向日葵的根及根际土的甲醇浸提液原液、10 倍稀释液和 100 倍稀释液刺激向日葵列当种子发芽结果表明供试 3 个向日葵品种的根和根际土甲醇浸提液刺激向日葵列当种子萌发能力均较强(表 1)。新葵 6 号、食葵 8 号和新葵 9 号 3 个向日葵品种的根甲醇浸提液的原液、10 倍及 100 倍稀释液刺激向日葵列当发芽率均达到 78% 以上, 与对照 GR24 相比均无显著差异。其中 100 倍稀释

液刺激向日葵列当种子发芽率分别为 91.4%、86.9% 和 87.1%。对于根际土壤甲醇浸提液, 上述 3 个向日葵品种的原液刺激向日葵列当发芽率最高, 分别为 87.1%、92.4% 和 86.5%。

2.2 生防菌对向日葵列当寄生的影响

火箭盆试验统计列当寄生数据后结果显示, 施加生防菌显著降低了向日葵列当的出土数和寄生总数, 在 3 个向日葵品种的对照中, 向日葵列当的出土量均达每盆 15 株以上。对于新葵 6 号、食葵 8 号和新葵 9 号 3 个向日葵品种而言, 施加 Act12 生防菌使其中向日葵列当的出土数量分别降低至 7、2 和 6 个, 与对照相比分别减少了 176.7%、599.9% 和 195.1%; 施加 509 生防菌也使上述 3 个向日葵品种中向日葵列当的出土数与对照相比分别降低了 108.8%、175.8% 和 332.1%。尽管 CF3 也降低了向日葵列当的出土数, 但与对照相比差异不显著。(图 1(a))。施加 3 种生防菌剂均显著降低了向日葵



不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。CK1 为无列当寄生对照, CK2 为有列当寄生对照, CCF3 指真菌灰黄青霉, 509 指淡紫褐链霉菌, Act12 指密旋链霉菌放线菌。下同。

Different letter represent significant difference ($P < 0.05$) level. CK1 mean the control without sunflower broomrape parasitism; CK2 mean the control with sunflower broomrape parasitism, CF3 means *Penicillium griseofulvum*, 509 means *Streptomyces enissocaesilis*, Act12 means *Streptomyces pactum*. The same below.

图 1 生防菌处理对向日葵列当寄生的影响

Fig. 1 Effect of different bio-control microorganism treatments on parasitism of sunflower broomrape

列当的出土总数。其中,施加 CF3、509 和 Act12 生防菌后食葵 8 号中向日葵列当的寄生总数分别为 37、57 和 23 个,与对照相比分别降低了 296.5%、156.8%和 528.3%,与食葵 8 号的趋势一致,3 种菌剂中 CF3 对新葵 6 号和新葵 9 号中向日葵列当的寄生总数的抑制作用最强,抑制率分别为 74.4 和 78.2%;其后依次为 Act12、509,对新葵 6 号和新葵 9 号中向日葵列当寄生总数的抑制率分别为 68.7%、69.3%和 53.0%、25.7% (图 1(b))。

2.3 生防菌对向日葵的促生作用

2.3.1 不同生防菌对向日葵生物量指标的影响

对向日葵的农艺指标进行统计分析得出,在食葵 8 号中向日葵的株高差异显著,与对照相比,CF3、509 和 Act12 处理下的株高增长率分别为 82.3%、108.0% 和 80.6%,向日葵的地上部鲜重、根鲜重和花盘直径差异不显著。在新葵 9 号中,与对照相比,CF3 和 509 处理的向日葵株高增加率分别为 54.8% 和 53.3%,CF3 和 Act12 处理下新葵 9 号的花盘直径相比对照分别增长加了 94.2%和 82.8%(表 2)。

表 1 不同品种向日葵穴盘根和根际土的甲醇浸提液刺激向日葵列当种子发芽率

Table 1 Sunflower broomrape seeds germination induced by methanolic extracts of sunflower root and rhizosphere soils in laboratory pot experiment of the different sunflower varieties %

浸提液 Extraction	品种 Variety	发芽率 Germination rate		
		原液	10 倍稀释	100 倍稀释
		Undiluted solution	10-fold dilution	100-fold dilution
根 Root	新葵 6 号	78.5 a	89.9 ab	91.4 a
	食葵 8 号	87.1 a	84.1 ab	86.9 a
	新葵 9 号	90.4 a	89.1 ab	87.1 a
根际土 Rhizosphere soil	新葵 6 号	87.1 ab	65.2 b	62.2 bc
	食葵 8 号	92.4 ab	78.6 b	72.6 b
	新葵 9 号	86.5 ab	66.5 b	48.3 c

注:同列不同字母表示浸提液相比发芽标准刺激物质 GR24 在 5%水平上显著差异(Tukey HSD, $P < 0.05$)。
Note: Different letter within same column represent compared with germination inducing stimulant GA24 the extraction significant differences at 5% level (Tukey HSD, $P < 0.05$).

表 2 不同生防菌对向日葵生物指标影响

Table 2 Effects of different bio-control microorganism on sunflower biological index

品种 Variety	处理 Treatment	株高/cm Height		地上鲜重/g Above ground fresh weight		根鲜重/g Root fresh weight		花盘直径/cm Diameter of flower dish	
		测值 Measured value	△CK	测值 Measured value	△CK	测值 Measured value	△CK	测值 Measured value	△CK
		食葵 8 号 Shikui No. 8	CK2	66.2 b		44.0 a		8.5 a	
CF3	120.7 a		82.3	339.7 a	672.5	30.9 a	265.1	6.2 a	222.6
509	137.7 a		108.0	448.6 a	920.1	12.0 a	41.6	8.6 a	347.8
Act12	119.5 a		80.6	372.8 a	747.7	61.0 a	619.2	8.7 a	352.1
新葵 9 号 Xinkui No. 9	CK2	63.2 bc		57.5 a		4.4 b		2.9 bc	
	CF3	97.8 a	54.8	190.5 a	231.0	15.8 ab	257.3	5.7 a	94.2
	509	96.8 a	53.3	152.2 a	164.6	50.2 a	136.0	4.8 ab	62.8
	Act12	78.8 ab	24.8	141.3 a	145.5	19.6 ab	343.5	5.3 a	82.8

注:同列不同字母表示在 5%水平上显著差异(Tukey HSD, $P < 0.05$)。△CK 表示处理相对对照的增率。下同。

Note: Different letters within same column represent significant differences at 5% level (Tukey HSD, $P < 0.05$). △CK means the uprate compared with control, The same below.

2.3.2 生防菌对向日葵根冠比和含水量的影响

对向日葵的根冠比和含水量进行统计分析,可以得出与有列当寄生的对照相比,施加 CF3、509 和 Act12 3 种生防菌显著增加了新葵 6 号的根冠比,增率分别为 13.2%、13.7%和 12.5%。在食葵 8 号中,Act12 处理的根冠比相比有列当寄生对照有显著差异,其根冠比为 14.7%。在新葵 9 号中,509 和

Act12 处理的根冠比相比有列当寄生对照显著增强,根冠比分别为 19.7%和 13.3%(图 2(a))。列当寄生的向日葵地上部和根部含水量相比无列当寄生对照的显著降低,对照的向日葵地上部含水量在 45%~55%之间,而处理保持在 70%以上,根部含水量在 45%~65%之间,而处理保持在 70%以上,且不同品种之间没有显著差异(图 2(b)、(c))。

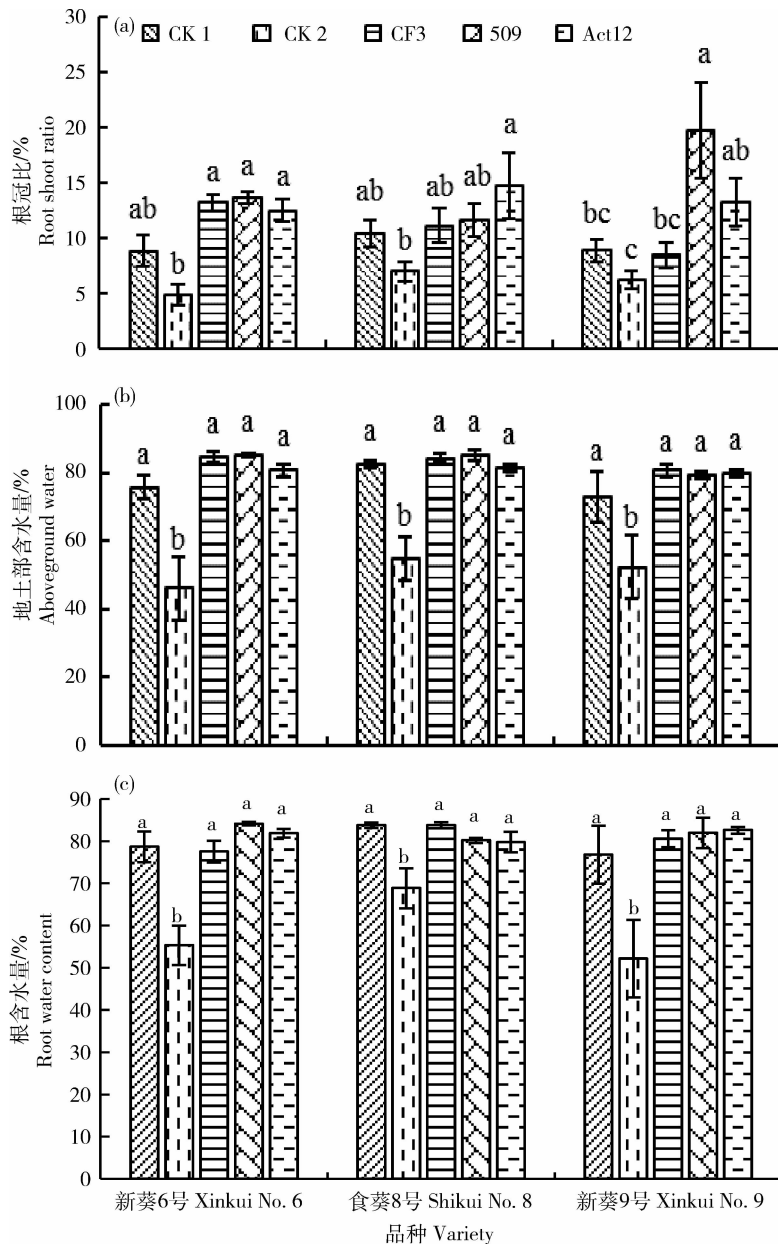


图 2 不同生防菌对向日葵根冠比和含水量的影响

Fig. 2 Effects of bio-control microorganism on root shoot ratio and water content

2.4 遮雨棚试验结果对向日葵列当种子萌发的影响
根据向日葵根和根际土刺激列当发芽情况,得

出结果(表 3 和表 4),原液条件下,向日葵根的甲醇浸提液诱导向日葵列当发芽率偏低,新葵 6 号对照

表 3 不同生防菌处理下盆栽向日葵根甲醇浸提液刺激向日葵列当种子发芽率

Table 3 Sunflower broomrape seeds germination induced by methanolic extracts of sunflower root in pot experiment under the different bio-control microorganism treatment

%

品种 Variety	处理 Treatment	原液 Undiluted solution		10 倍稀释 10-fold dilution		100 倍稀释 100-fold dilution	
		发芽率 Germination rate	△CK	发芽率 Germination rate	△CK	发芽率 Germination rate	△CK
新葵 6 号 Xinkui No. 6	CK	14.5 ab		83.9 a		87.9 a	
	CF3	10.3 b	-19.8	91.8 a	9.3	86.8 a	-1.1
	509	0.0 b	-100.0	84.3 a	0.4	85.5 a	-2.7
	Act12	0.0 b	-100.0	89.3 a	6.3	85.9 a	-1.8
食葵 8 号 Shikui No. 8	CK	0.2 b		79.2 b		88.0 b	
	CF3	11.0 b	5 577.9	82.4 a	4.1	91.2 a	3.4
	509	1.2 ab	500.5	88.1 a	11.2	85.9 a	-2.6
	Act12	0.0 b	-100.00	79.3 a	0.18	84.1 a	-4.59
新葵 9 号 Xinkui No. 9	CK	0.0 a		76.7 a		79.0 a	
	CF3	0.0 a	0.00	84.1 a	9.7	86.4 a	9.4
	509	0.0 a	0.00	81.5 a	6.3	91.1 a	15.3
	Act12	0.0 a	0.00	75.3 a	-1.7	82.3 a	4.2

表 4 不同生防菌处理盆栽向日葵根际土甲醇浸提液刺激向日葵列当种子发芽率

Table 4 Sunflower broomrape seeds germination induced by methanolic extracts of sunflower rhizosphere soils in pot experiment under the different bio-control microorganism

%

品种 Variety	处理 Treatment	原液 Undiluted solution		10 倍稀释 10-fold dilution		100 倍稀释 100-fold dilution	
		发芽率 Germination rate	△CK	发芽率 Germination rate	△CK	发芽率 Germination rate	△CK
新葵 6 号 Xinkui No. 6		87.2 a		5.9 c		0.3 a	
	CF3	86.1 a	-1.2	21.0 bc	254.1	1.8 a	590.8
	509	84.5 a	-3.1	41.7 ab	602.1	1.1 a	327.8
	Act12	80.9 a	-7.2	44.6 a	650.4	5.5 a	2 001.5
食葵 8 号 Shikui No. 8	CK	79.7 ab		1.1 c		0.1 b	
	CF3	87.2 a	9.4	19.6 bc	1 664.9	0.8 b	729.2
	509	76.8 b	-3.6	54.4 a	4 786.2	7.2 a	7 070.0
	Act12	78.0 ab	-2.2	43.6 a	3 823.2	2.4 b	2 282.5
新葵 9 号 Xinkui No. 9	CK	90.6 a		31.7 a		0.3 a	
	CF3	84.4 a	-6.8	26.3 a	-17.0	0.3 a	-24.4
	509	84.9 a	-6.3	24.8 ab	-21.7	1.1 a	232.4
	Act12	83.6 a	-7.8	33.2 a	4.8	1.0 a	201.7

的发芽率最高为 14.5%，509 和 Act12 处理相比对照抑制率为 100%，10 倍稀释液和 100 倍稀释液的发芽率没有显著差异，保持在 75% 以上。向日葵的根际土甲醇浸提液刺激列当发芽率随着稀释倍数的增加，发芽率逐渐降低，原液刺激发芽最好，发芽率保持在 75% 以上，新葵 9 号中各处理对列当发芽抑制作用不显著。新葵 6 号中，509 和 Act12 处理的 10 倍稀释液列当发芽率显著增强。

2.5 不同年份向日葵列当寄生情况及其生物量指标差异

2.5.1 不同年份向日葵列当寄生差异

向日葵列当出土数和寄生总数 2017 年与 2016 年相比存在显著差异，统计分析结果见图 3。与 2016 年新葵 6 号的出土数相比，2017 年 CF3 和 Act12 处理下向日葵列当的出土数为 0，509 处理下的出土数均值为 2 个，显著低于 2016 年 CF3、509 和 Act12 处理下的 6 个、7 个和 6 个。2017 年新葵 6 号各个处理的向日葵列当寄生总数较 2016 显著降低，2017 年施加 CF3、509 和 Act12 生防菌后新葵 6 号中列当的寄生总数分别为 3、15 和 9 个，与对照相比分别降低了 83.9%、30.8% 和 57%，与 2016 年相比，各处理向日葵列当寄生总数显著降低。

2.5.2 不同年份向日葵农艺生物指标差异

综合分析连续两年的向日葵生物指标得出结果(表 5)，对于向日葵品种新葵 6 号，2016 年 CF3、509 和 Act12 处理下新葵 6 号的株高与对照相比的增加率分别为 167.7%、107.5% 和 155.5%，509 和 Act12 处理下新葵 6 号的地上鲜重、地下鲜重和花盘直径差异不显著，CF3 处理下新葵 6 号的地上鲜重、地下鲜重和花盘直径差异显著，增长率分别为 249.0%、592.3% 和 463.6%。与 2016 年相比 2017 年 509 和 Act12 处理下的株高存在显著差异。2017 年中施加 CF3、509 和 Act12 生防菌处理株高相比 2017 年对照增率分别为 31.2%、31.3% 和 32.0%。2017 年中施加 CF3 和 Act12 生防菌处理地上部鲜重相比 2016 年相同处理存在显著差异，相比 2017 年对照增加率分别为 35.3% 和 69.7%。2017 年中施加 CF3 和 Act12 生防菌处理根鲜重相比 2016 年相同处理存在显著差异，对照增加率分别为 41.2% 和 62.2%，与 2016 相同处理相比差异显著。2017 年施加 CF3 和 Act12 生防菌的向日葵花盘直径相比 2016 年有显著差异，相比 2017 对照增率分别为 46.4% 和 44.7%。

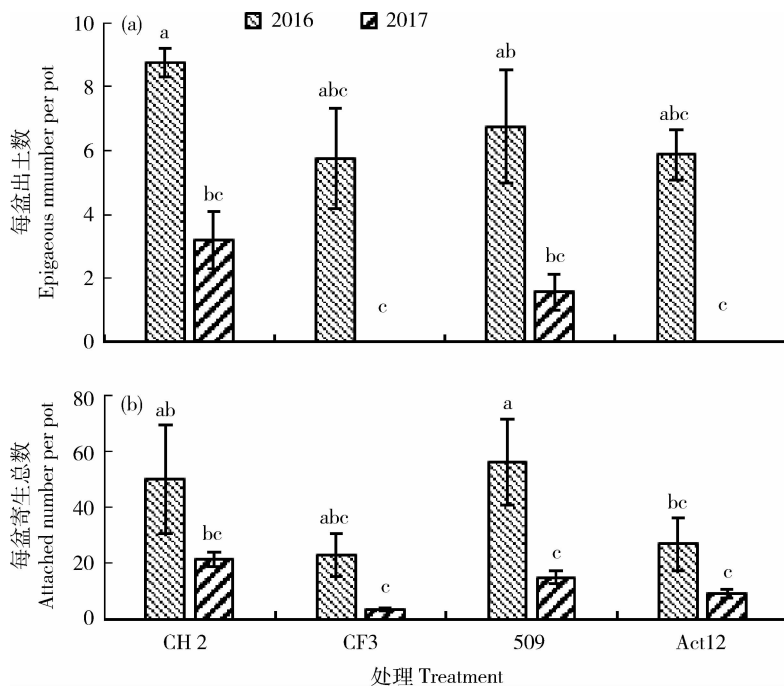


图 3 不同年份列当寄生差异

Fig. 3 Different of parasitism of sunflower broomrape in different years

表 5 不同年份不同生防菌处理向日葵生物指标差异

Table 5 Different between the treatment of bio-control microorganism and different years on sunflower biological index

品种 Variety	年份 Year	处理 Treatment	株高/cm Height		地上部鲜重/g Aboveground fresh weight		根鲜重/g Root fresh weight		花盘直径/cm Diameter of flower dish	
			测值 Measured value	Δ CK/ %	测值 Measured value	Δ CK/ %	测值 Measured value	Δ CK/ %	测值 Measured value	Δ CK/ %
新葵 6 号 Xinkui No. 6	2016	CK	46.5 c		79.0 c		3.6 e		0.9 c	
		CF3	124.5 ab	167.7	275.8 bc	249.0	25.1 cde	592.3	5.2 bc	463.6
		509	96.5 bc	107.5	282.9 bc	257.9	37.8 cd	942.8	4.7 bc	409.1
		Act12	118.8 b	155.6	249.3 bc	215.4	19.6 de	440.2	5.3 bc	481.8
Xinkui No. 6	2017	CK	122.0 b		498.4 abc		47.4 bc		8.1 ab	
		CF3	160.1 a	31.2	674.4 a	35.3	66.9 ab	41.2	11.8 a	46.4
		509	160.2 a	31.3	467.8 ab	6.1	51.0 ab	7.7	9.8 ab	21.2
		Act12	161.0 a	32.0	846.0 a	69.7	76.8 a	62.2	11.7 a	44.7

3 讨论与结论

本研究结果表明新葵 6 号、食葵 8 号和新葵 9 号 3 个向日葵品种的根甲醇浸提液的原液、10 倍及 100 倍稀释液和根际土壤甲醇浸提液原液，刺激向日葵列当发芽率均较高，说明我国新疆地区大面积种植的 3 种向日葵均为易被向日葵列当浸染的品种。从根际土和根的甲醇浸提液刺激列当种子发芽试验结果可以看出，试验用向日葵品种间抗列当寄生能力没有差异，并且由于向日葵列当的变异速度快，育种周期长，选育出的抗列当向日葵品种未必可以适应新疆的气候环境。施用生防菌后，可以显著的提高向日葵的生物量（地上部鲜重、根鲜重、株高和花盘直径）和产量，且增产效果显著^[15]。在向日葵正常收获后复播玉米，第二年重复种植向日葵，显著降低了列当的出土数和寄生总数。玉米是我国的主要农作物之一，在向日葵列当发生的地块中种植玉米作为诱捕作物，可以起到减轻列当危害的作用，同时也验证了玉米可以作为向日葵列当诱捕作物的可行性^[4]。采用菌剂包衣的方式进行播种，现在大多数农作物在播种之前都要进行种子包衣，这是一种比较普遍的方法，中国的种子包衣技术日趋成熟，

已经在农业生产上广泛应用^[17]。

根部全寄生植物向日葵列当在向日葵种植区的发生，不仅仅严重的降低向日葵的产量，同时也降低了向日葵的品质，防除向日葵列当的关键点在于单株向日葵列当可以产生数量巨大的列当种子，且在土壤中能够存活长达 20 年之久^[18]。由于向日葵列当的主要伤害通常在列当出土之前就已经发生，在其生活史早期（种子发芽、寄生和吸器形成）抑制列当可以有很好抑制效果^[19]。生防菌 509 和 CF3 的代谢产物中抑制列当寄生的主要化学物质是展青霉素^[20]。一些微生物通过影响寄主植物的物质代谢并产生生理活性物质来改变植株的生理特性，从而提高植物的抗逆性，刺激植物生长^[21]。在本研究的盆栽试验中，施用生防菌的向日葵植株列当寄生数明显下降，且向日葵植株的含水量和根冠比都较对照有显著的增强，植株的含水量和根冠比可以直观的反应植株在逆境胁迫条件下，植株的耐受生长情况。生防菌在 T33 向日葵品种上对向日葵列当的抑制作用显著，对向日葵有增产作用^[15]，目前尚没有研究表明农业生产中使用的向日葵品种是否也具有同样的作用，因此本试验选取了已经在新疆推广的 3 种向日葵品种研究，根据研究结果，可以更有利

于为农业生产提出建议。

土壤微生物通过改变植株周围的微生物区系来影响植株的根生长条件,从而影响植株的生长发育和物质代谢,微生物防除列当,与化学防除、人工防除、诱捕作物和捕获作物相比,既不会造成环境污染,也不会使列当产生耐药性,具有生态农业可持续性。土壤生防菌的具有防除向日葵列当的潜力。本研究初步探究了生防菌对向日葵列当的抑制作用和对植株的促生作用,阐明生防菌防除向日葵列当的可行性。

参考文献 References

- [1] Parker C. Observations on the status of *Orobanche* and *Striga* problems worldwide[J]. *Pest Management Science*, 2009, 65(5): 453-459
- [2] Parker C. The present state of *Orobanche* problem[C]. In: *Proceedings of the Third International Workshop on Orobanche and Related Striga Research* 1994, Amsterdam: The Netherlands Tropical Institute, 1994, 17-26
- [3] Parker C, Hitchcock A M, Ramaiah K V. The germination of *striga* species by crop root exudates; techniques for selecting resistant crop cultivars[C]. In: *Proceedings of the Asian-Pacific Weed Science Society 6th conference* 1977, Jakarta: Asian-Pacific Weed Science Society, 1977, 67-74
- [4] 马永清. 采用植物化感作用与诱捕作物消除列当土壤种子库[J]. 中国生态农业学报, 2017, 25(1): 27-35
Ma Y Q. Using allelopathy and trap crops to eliminate soil bank of broomrape seed [J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2017, 25(1): 27-35 (in Chinese)
- [5] 马永清, 董淑琦, 任祥祥, 安雨, 朗明. 列当杂草及其防除措施展望[J]. 中国生物防治学报, 2012, 28(1): 133-138
Ma Y Q, Dong S Q, Ren X X, An Y, Lang M. Parasitic weed *Orobanche* spp and perspective of its control methods [J]. *Chinese Journal of Biological Control*, 2012, 28(1): 133-138 (in Chinese)
- [6] 贾雪婷, 马永清, 田丰, 安雨. 青藏地区中草药浸提液诱导瓜列当和向日葵列当种子萌发的研究[J] 中国农业大学学报, 2016, 21(2): 82-92
Jia X T, Ma Y Q, Tian F, An Y. Study on Chinese medicinal herbs in Qinghai-Tibet inducing germination of *Orobanche cumana* Wallr and *Phelipanche aegyptiaca* Pers seeds [J]. *Journal of China Agricultural University*, 2016, 21(2): 82-92 (in Chinese)
- [7] 张录霞, 甘中祥, 李倍金, 魏强, 闫德林, 张勇, 彭刚. 新疆寄生性杂草列当的危害及防治[J]. 生物灾害科学, 2016, 39(3): 211-214
Zhang L X, Gan Z X, Li B J, Wei Q, Yan D L, Zhang Y, Peng G. Harm of parasitic weed *Orobanche* and its prevention in Xinjiang[J]. *Biological Disaster Science*, 2016, 39(3): 211-214 (in Chinese)
- [8] 任文义, 李毅, 马洪锡, 郭禄彬, 郭宇, 吴宪涛. 向日葵列当对向日葵主要经济性状的影响及防治方法研究[J]. 河北农业大学学报, 1992, 15(3): 63-66
Ren W Y, Li Y, Ma H X, Guo L B, Guo Y, Wu X T. Study on the effect of *Orobanche cumana* Wallr on main economic properties of sunflower and its control [J]. *Journal of Hebei Agricultural University*, 1992, 15(3): 63-66 (in Chinese)
- [9] 吴海荣, 强胜. 检疫杂草列当 (*Orobanche* L) [J]. 杂草科学, 2006, (2): 58-60
Wu H R, Qiang S. Quarantine weeds broomrape (*Orobanche* L) [J]. *Weed Science*, 2006 (2): 58-60 (in Chinese)
- [10] 王鹏冬, 杨新元, 张学武, 张捷, 贾爱红, 李作豪. 山西省向日葵列当初报[J]. 山西农业科学, 2003, 31(2): 75-77
Wang P D, Yang X Y, Zhang X W, Zhang J, Jia A H, Li Z H. Preliminary report on sunflower broomrape in Shanxi Province [J]. *Journal of Shanxi Agricultural Sciences*, 2003, 31(2): 75-77 (in Chinese)
- [11] 董淑琦, 马永清, 税军峰, 孙亚军. 不同年代冬小麦品种诱导小列当种子发芽的化感作用研究[J]. 中国农业大学学报, 2009, 14(2): 59-63
Dong S Q, Ma Y Q, Shui J Q, Sun Y J. Germination of *Orobanche minor* seeds as induced by rhizosphere soil extracts from winter wheat of different historical periods [J]. *Journal of China Agricultural University*, 2009, 14(2): 59-63 (in Chinese)
- [12] Lang M, Yu R, Ma Y Q, Zhang W, McErlean C S P. Extracts from the whole cotton growth period induce sunflower broomrape germination with significant varietal difference [J]. *Frontiers of Agricultural Science & Engineering*. 2017, 4(2): 228-236
- [13] Ye X X, Jia J N, Ma Y Q, An Y, Dong S Q. Effectiveness of ten commercial maize cultivars in inducing Egyptian broomrape germination [J]. *Frontiers of Agricultural Science & Engineering*. 2016, 3(2): 137-146
- [14] 余蕊, 马永清. 大麻对瓜列当和向日葵列当种子萌发诱导作用研究[J]. 中国农业大学学报, 2014, 19(4): 38-46
Ru R, Ma Y Q. Melon broomrape and sunflower broomrape seeds germination induced by hemp (*Camnabis sativa* L) plants [J]. *Journal of China Agricultural University*, 2014, 19(4): 38-46 (in Chinese)
- [15] Chen J, Xue Q H, McErlean C S P, Zhi J H, Ma Y Q, Zhang M, Ye X X. Biocontrol potential of the antagonistic

- microorganism *Streptomyces enissocaeilis* against *Orobanche cumana*[J]. *BioControl*,2016,61(6):781-791
- [16] Ma Y Q, Shui J F, Inanaga S, Cheng J M. Stimulatory effects of *Houttuynia cordata* Thunb on seed germination of *Striga hermonthica* (Del) Benth[J]. *Allelopathy Journal*, 2005, 15(1):49-56
- [17] 赵磊磊, 聂立水, 朱清科, 苟丽晖. 种子包衣及其在中国的应用研究[J]. 中国农学通报, 2009, 25(23):126-131
Zhao L L, Nie L B, Zhu Q K, Xun L H. Seed coating and its application in China [J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2009, 25(23):126-131 (in Chinese)
- [18] Linke K H, Saxena M C. Study on viability and longevity of *Orobanche* seed under laboratory conditions[J]. *Progress in Orobanche Research*, 1991:110-114
- [19] Lopez-Raez J A, Charnikhova T, Mulder P, Kohlen W, Bino R, Levin I, Bouwmeester, H. Susceptibility of the tomato mutant high pigment-2dg (hp-2dg) to *Orobanche* spp infection[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2008, 56(15):6326-6332
- [20] Chen J, Wei, Gao J M, Ye X X, McErlean C S P, Ma Y Q. Allelopathic inhibitory effects of *Penicillium griseofulvum* produced patulin on the seed germination of *Orobanche cumana* Wallr and *Phelipanche aegyptiaca* Pers [J]. *Allelopathy Journal*, 2017, 41(1):65-80
- [21] 文才艺, 吴元华, 田秀玲. 植物内生菌研究进展及其存在的问题[J]. 生态学杂志, 2004, 23(2):86-91
Wen C Y, Wu Y H, Tian X L. Recent advances and issues on the endophyte[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2004, 23(2):86-91 (in Chinese)

责任编辑: 杨爱东