

网络出版日期:2018-05-09

网络出版地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/61.1220.S.20180509.1603.014.html>

两株链霉菌对小麦幼苗生长及诱导抗性的影响

刘玉涛, 张 凯, 马军妮, 来航线, 薛泉宏

(西北农林科技大学 资源环境学院 陕西杨凌 712100)

摘 要 研究 2 株链霉菌 D74 和 Act12 对小麦生长的促进作用及诱导抗性的影响, 为链霉菌剂在小麦生产中的应用提供科学依据。通过皿内发芽试验、砂培和土培盆栽试验, 测定 2 种链霉菌的混合制剂(1:1 质量比)在不同用量及处理方式下的小麦发芽率、发芽指数、种子活力、幼苗生物学性状、叶片诱导抗性及生化特性。结果表明:①供试链霉菌具有显著的促生功能。菌粉包衣量为每粒 10 mg 时, 小麦发芽率较对照提高 41.9% ($P<0.05$), 发芽指数提高 40.0% ($P<0.05$); 叶面积增加 149.2% ($P<0.05$), 植株总鲜质量增加 100.0% ($P<0.05$), 根系鲜质量增加 220.0% ($P<0.05$)。10 倍菌粉浸提稀释液浸种, 种子活力较对照提高 31.8% ($P<0.05$); 包衣量每粒 5 mg 处理根系活力提高 62.7% ($P<0.05$); 10 倍发酵稀释液浸种, 小麦株高、叶面积较对照分别增加 29.2%、27.6% ($P<0.05$), 稀释 $10^2 \sim 10^4$ 倍发酵液浸种, 小麦出苗率较对照提高 44.0%~103.8% ($P<0.05$)。②供试链霉菌可提高小麦诱导抗性。适量菌粉种子包衣及发酵滤液浸种可使小麦叶片 POD 酶活性较对照提高 46.7%~70.0% ($P<0.05$); 菌粉包衣量每粒 5 mg 处理小麦叶片 PPO 酶活性较对照提高 52.5% ($P<0.05$), $10^2 \sim 10^4$ 倍发酵滤液浸种, 小麦叶片 MDA 质量摩尔浓度降低 34.0%~40.2% ($P<0.05$)。可见, 供试链霉菌对小麦具有显著的促生作用, 并能提高小麦的诱导抗性。

关键词 链霉菌; 促生作用; 诱导抗性; 小麦

中图分类号 S182, Q939.9, Q938.1

文献标志码 A

文章编号 1004-1389(2018)05-0658-09

小麦是重要的粮食作物之一, 约 34%~40% 的世界人口以小麦为主粮。中国是小麦生产大国, 种植面积和总产量分别占全国粮食作物的 25% 和 22%^[1]。利用育种及优化栽培措施提高小麦单产已取得重要进展, 2015 年中国小麦单产达到 $5.4 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ ^[2], 但与世界最高单产 $8.2 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ ^[3] 仍有较大差距。采用新的生物技术提高小麦产量是值得探索的新途径。研究表明, 有益微生物能促进作物生长, 提高植物诱导抗性^[4-6]。如木霉可促进植物种子萌发、幼苗及根系生长发育, 并能诱导植物产生系统抗性^[7]; 多黏芽孢杆菌 LM-3 产生的菌体蛋白能促进水稻生长, 提高诱导抗性^[8], 枯草芽孢杆菌 B29 能够诱导黄瓜多种抗性指标提高^[9]; 放线菌中的链霉菌对甜瓜^[10]、番茄^[11]、棉花^[12]、丹参^[13] 和辣椒^[14] 均有促生作用, 另外有链霉菌促进了甜瓜和番茄诱导抗性的产生^[10-11]。但尚无研究报道链霉菌是否促进小麦生长及产生诱导抗性。本研究采用皿内和盆

栽试验探讨 2 株链霉菌的混合制剂对小麦的促生作用及对 5 种抗性指标的影响, 旨在为链霉菌剂用于小麦促生增产研究提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 材料

供试品种: ‘小偃 22 号’。

高氏 1 号液体培养基: 高氏 1 号培养基去琼脂^[15]。

砂培营养液: 霍格兰氏营养液^[16]。

供试链霉菌: 娄彻氏链霉菌 (*Streptomyces roche*, D74) 和密旋链霉菌 (*Streptomyces parvum*, Act12), 由西北农林科技大学资源环境学院微生物资源研究室分离筛选。供试菌剂: 粉状, 为娄彻氏链霉菌 D74 和密旋链霉菌 Act12 菌粉按质量比 1:1 混合而成的复合制剂, 其中, D74 和 Act12 菌粉的有效活菌数分别为 $3.5 \times 10^{10} \text{ cfu} \cdot \text{g}^{-1}$ 和 $2.3 \times 10^8 \text{ cfu} \cdot \text{g}^{-1}$ 。

收稿日期: 2017-11-16 修回日期: 2018-01-14

基金项目: “十二五”国家科技支撑计划(2012BAD14B11); 陕西省科技统筹创新工程计划(2016KTZDNY03-03-02)。

第一作者: 刘玉涛, 男, 硕士研究生, 研究方向为微生物资源利用。E-mail: 1601047212@qq.com

通信作者: 薛泉宏, 男, 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@163.com

链霉菌发酵液:将 D74、Act12 接入高氏 1 号液体培养基,28 ℃ 摇床 100 r·min⁻¹ 培养 7 d,快速滤纸过滤后将 2 株菌的无细胞发酵滤液按 1:1 体积比混匀。

盆栽土壤:土娄土,大田耕层土壤去除石子 and 草根后过 1 cm 筛,按 1.5 g·kg⁻¹ 添加复合肥 [$m(\text{N}):m(\text{P}_2\text{O}_5):m(\text{K}_2\text{O})=15:15:15$],充分混匀。

砂培用砂:普通建筑用黄砂过 3 mm 筛。

1.2 方法

1.2.1 小麦发芽率及种子活力测定 菌粉浸提液浸种:将粉状链霉菌剂与自来水按 1:4 体积比混合,摇匀,浸泡 2 h,4 000 r·min⁻¹ 离心 10 min,取上清液(5 倍稀释液),再分别稀释至 10、10²、10³ 倍;将选好的 60 粒小麦种子分别置上述稀释液中浸泡 12 h,用清水浸泡对照组,浸泡结束后置培养皿内滤纸上,加少量无菌水润湿滤纸,26 ℃ 培养,每个稀释度重复 6 皿,每皿 10 粒,其中 3 皿用于发芽率测定,每 12 h 计数 1 次,共培养 7 d;3 皿用于种子活力测定,同步培养,待胚芽露出,用 TTC 法测种子活力^[17],重复 3 皿。

包衣处理:以 6 g·L⁻¹ 羧甲基纤维素钠溶液为胶结剂,按 200 mL·kg⁻¹ 种子用量加至小麦种子中充分搅拌,使种子表面均匀布满胶结剂;将菌粉加至小麦种子中,搅拌均匀,使菌粉均匀包裹在小麦种子表面,阴凉处风干后置培养皿内滤纸上,按菌粉浸提液发芽率测定方法测定包衣种子发芽率。

1.2.2 盆栽试验方案及实施 链霉菌发酵液浸种处理(S),设 5 个稀释梯度(倍):0(原液,CK)、5、10、10²、10³、10⁴。小麦种子包衣处理(C),设 6 个包衣量(mg/粒):0(CK)、5、10、20、30、35;浸种+包衣复合处理(S+C),设 5 个梯度(发酵液稀释倍数+菌粉包衣量 mg/粒):5+5、10+10、10²+20、10³+30、10⁴+35。以上方案采用砂培与土培 2 种盆栽方式实施。砂培用于检测无土壤微生物、土壤有机质及土壤胶体吸附等生物与理化性质影响时链霉菌的作用。

发酵液浸种:将选好的小麦种子分别置于不同稀释度的链霉菌发酵液中浸泡 12 h,对照组用清水浸泡,阴干后播种。浸种+包衣复合处理:先浸种,再用“1.2.1”方法包衣。盆栽试验用盆尺寸为口径×高度=15 cm×12 cm,装土量及装砂量均为每盆 1 kg,每盆播 8 粒小麦种子,每个处理重

复 3 盆。每天统计 1 次出苗数,共统计 7 d。

1.2.3 生物学性状测定 盆栽试验于 2015 年 9 月至 2016 年 1 月在西北农林科技大学科研温室中进行。小麦播种后,按正常的水肥条件进行管理,待小麦长到拔节期,于 2015-12-29 采样,将盆内土壤倒出,轻轻抖落附着于根上的土壤,用自来水冲洗干净,吸水纸吸干后称植株总鲜质量、茎叶鲜质量、根系鲜质量,测定叶片(自上而下第 2 片叶)长度、宽度,估算叶面积。每盆采集 5 株。

1.2.4 生理生化指标测定 以“1.2.3”生物学性状测定采集的植株为材料,将每盆所采 5 株小麦叶片剪碎混匀,称取 1.000 g 3 份,研磨、10 000 r·min⁻¹ 离心获取上清液,按照高俊凤^[18]的方法测定叶片过氧化物酶(POD)、苯丙氨酸解酶(PAL)、多酚氧化酶(PPO)活性及 MDA 质量摩尔浓度;所余根系采用 TTC 法测定根系活力^[17]。测值均用供试样品单位鲜质量表示。采用该方法可使生化与生物学性状测定材料均为相同植株,从而结果有更好的可比性。

1.2.5 数据处理 发芽指数 $GI=\sum(Gt/Dt)$

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

式中:Gt 和 Dt 分别表示第 t 天的发芽数及对应的发芽时间,ΔCK 为菌剂处理效应。

数据处理分析采用 Excel 2010、DPS 9.50 和 SPSS 20.0,数据差异显著性检验采用 Duncan 和 LSD。

2 结果与分析

2.1 链霉菌对小麦的促生作用

2.1.1 发芽率与种子活力 发芽率:从表 1 可知,用适量菌粉进行种子包衣可显著提高小麦发芽率。包衣量过大,发芽率及种子活力降低。如包衣量为每粒 10、20 mg 时,小麦发芽率较对照分别提高 41.9%、31.3%($P<0.05$),发芽指数均提高 40.0%($P<0.05$);包衣量每粒 30 mg 时,发芽率降低 31.3%($P<0.05$),发芽指数降低 40.0%($P<0.05$)。菌粉浸提液浸种处理降低发芽率,其中,提取液稀释 5 倍时,发芽率降低 30.6%($P<0.05$);浸提液稀释倍数增大,对发芽的抑制作用减小;对发芽指数无显著性影响。

种子活力:从表 1 可知,用供试菌粉浸提液液浸种可显著提高小麦种子活力。其中 10 倍和 10² 倍稀释液浸种分别使种子活力较对照增加 31.8%和 21.7%($P<0.05$)。

表 1 链霉菌粉种子包衣及菌粉浸提液浸种处理小麦发芽率、发芽指数及种子活力(N=3)

Table 1 Wheat germination rate,germination index and seed activity in Petri dishes by seed coating and soaking with the *Streptomyces* agent

处理 Treatment		发芽率 Germination percentage		发芽指数 Germination index		种子活力 Seed activity		
		测值/% Value	ΔCK/%	测值 Value	ΔCK/%	测值/(mg·g ⁻¹ ·h ⁻¹) Value	ΔCK/%	
菌粉包衣 Powder coating	CK(0)	67.3±0.4 b	—	45.8±19.1 b	—	—	—	—
	10	95.5±0.1 a	41.9	66.7±7.2 a	40.0	—	—	—
	20	88.4±0.1 a	31.3	66.7±7.2 a	40.0	—	—	—
	30	46.2±0.2 b	—31.3	29.1±19.1 b	—40.0	—	—	—
菌粉浸提液浸种 Extract soaking	CK(水)	97.1±0.1 a	—	93.3±5.8 a	—	127.2±0.6 b	—	—
	5	67.4±0.1 b	—30.6	60.0±10.0 a	—33.3	139.1±0.2 ab	9.3	9.3
	10	77.2±0.2 ab	—20.5	76.7±15.3 a	—11.1	167.6±0.1 a	31.8	31.8
	10 ²	83.3±0.1 ab	—14.2	73.3±5.8 a	—22.2	154.8±1.0 a	21.7	21.7
	10 ³	90.2±0.0 a	—7.2	73.3±20.8 a	—22.2	130.2±0.1 ab	2.4	2.4

注:测值数据为“平均值±标准差”;同一处理方式下同列数据后不同小写字母表示数据差异达显著水平($P<0.05$);下同。
Note:Data are “mean±standard deviation”. For each treatment,different lowercase letters in the same column indicate significant difference($P<0.05$);the same below.

2.1.2 对小麦生物学性状的影响 从表 2 可知,适量种子包衣能显著促进小麦茎叶及根系生长,增加砂培小麦苗期叶片面积。包衣量为每粒 10、30 及 35 mg 时,叶面积较对照分别增加 146.2%、174.2%及 129.5% ($P<0.05$);包衣量为每粒 5~30 mg 时,植株总鲜质量较对照增加 85.2%~144.1%($P<0.05$),根系鲜质量增加 200%~300%($P<0.05$);包衣处理对株高及出苗率无显著影响。砂培可反映无土壤胶体对菌剂中生物活

性物质吸附及土壤微生物等多种复杂因素影响时供试链霉菌的作用,可以更准确的反映菌剂及其菌剂浸提液对小麦生长的影响。砂培试验表明,供试链霉菌对小麦确有促生作用。

从表 2 可知,在适宜稀释倍数时,发酵液浸种能显著增加小麦株高、叶面积、植株总鲜质量及根系鲜质量,提高小麦出苗率。其中,稀释 10 倍时,小麦株高、叶面积较对照分别增加 29.2%、27.6%($P<0.05$),稀释 100 倍时,植株总鲜质量

表 2 链霉菌粉种子包衣及发酵液浸种处理砂培小麦生物学性性状(N=5)

Table 2 The growth parameters of wheat in sand pots by seed coating and soaking with the *Streptomyces* agent

处理 Treatment		出苗率 Seedling emergence rate		株高 Plant height		叶面积 Leave area		总鲜质量 Total fresh mass		根系鲜质量 Root fresh mass	
		测值/% Value	ΔCK/%	测值/cm Value	ΔCK/%	测值/mm ² Value	ΔCK/%	测值/g Value	ΔCK/%	测值/g Value	ΔCK/%
菌粉包衣(C) Coating	CK(0)	25.3±0.0 a	—	40.1±0.0 a	—	169.6±0.1 b	—	2.7±0.1 b	—	0.5±0.03 b	—
	5	25.1±0.1 a	0.1	41.8±1.1 a	4.2	267.7±29.2 b	57.8	5.0±5.0 a	85.2	1.5±0.5 a	200.0
	10	13.2±0.1 a	—47.8	46.7±0.1 a	16.5	422.6±0.0 a	149.2	5.4±0.0 a	100.0	1.6±0.03 a	220.0
	20	38.2±0.2 a	51.0	44.8±5.7 a	11.7	306.5±68.7 ab	80.7	5.9±3.9 a	118.5	1.7±0.6 a	240.0
	30	13.1±0.0 a	—48.2	45.7±0.1 a	14.0	465.0±0.1 a	174.2	6.7±0.0 a	144.1	2.0±0.9 a	300.0
	35	32.5±0.3 a	28.5	43.7±9.7 a	9.0	389.2±20.6 a	129.5	3.4±0.3 b	25.9	0.8±0.0 b	60.0
浸种(S) Soaking	CK(0)	29.3±0.1 b	—	35.3±7.6 b	—	306.8±15.8 b	—	4.1±0.8 b	—	1.2±0.4 b	—
	5	19.6±0.1 c	—35.2	36.1±0.0 ab	2.3	229.4±0.1 b	—25.2	4.6±0.0 ab	12.2	1.3±0.0 ab	8.3
	10	26.3±0.2 be	—10.2	45.6±5.0 a	29.2	391.4±16.1 a	27.6	4.4±3.5 ab	7.3	1.4±1.1 ab	16.7
	10 ²	54.3±0.3 a	85.3	42.2±1.4 ab	19.5	300.9±52.9 b	—1.9	5.2±2.0 a	26.8	1.5±0.7 a	25.0
	10 ³	42.2±0.1 a	44.0	43.1±4.4 ab	22.1	313.1±85.9 ab	2.0	4.8±0.2 ab	17.1	1.4±0.1 ab	16.7
	10 ⁴	59.7±0.2 a	103.8	39.3±4.5 ab	11.3	280.4±41.3 b	—8.6	4.1±0.2 ab	0.0	1.3±0.2 ab	8.3
C+ S	CK(0)	29.4±0.1 b	—	44.8±7.6 a	—	306.8±15.8 a	—	3.7±0.8 b	—	1.1±0.3 b	—
	5+5	13.2±0.1 b	—55.1	44.7±0.1 a	—0.2	302.0±0.1 a	—1.6	4.1±1.5 ab	10.8	1.2±0.2 ab	9.0
	10+10	55.6±0.1 a	89.1	39.2±3.9 a	—12.5	252.3±67.0 a	—17.8	6.1±4.0 a	64.9	1.6±0.8 a	45.5
	10 ² +20	38.7±0.1 ab	31.6	40.5±5.4 a	—9.6	300.5±85.8 a	—2.1	5.1±1.5 a	37.8	1.3±0.6 ab	18.2
	10 ³ +30	25.2±0.1 ab	—14.3	44.8±1.0 a	0.0	313.8±29.3 a	2.3	4.8±1.2 ab	29.7	1.5±0.6 a	36.4
	10 ⁴ +35	42.4±0.2 ab	44.2	43.9±6.2 a	—2.0	331.9±116.9 a	8.2	4.1±0.6 ab	10.8	1.2±0.1 ab	9.0

及根系鲜质量较对照分别提高 26.8%及 25.0% ($P<0.05$)。当稀释倍数为 $10^2\sim10^4$ 时,小麦出苗率较对照提高 44.0%~103.8% ($P<0.05$)。

从表 2 可知,菌粉包衣和发酵液浸种复合处理小麦种子时,在适宜包衣量及浸种剂量下,对小麦出苗率、植株总鲜质量及根系鲜质量均有显著的促进作用。如 10+10 处理较对照出苗率增加 89.1% ($P<0.05$),10+10 和 10^2+20 处理的总鲜质量分别增加了 64.9%和 37.8% ($P<0.05$),10+10 和 10^3+30 处理的根系鲜质量较对照分别增加 45.5%和 36.4% ($P<0.05$)。

比较表 2 中 3 种种子处理方式可知,菌粉种子包衣处理对小麦根系、株高、叶面积和生物量的促进作用明显,浸种处理更有利于提高出苗率,在适宜的包衣量及浸种剂量下,浸种+加包衣复合处理对出苗率及茎叶与根系生长均有较好效果。

从表 3 土培试验可知,菌粉包衣和发酵滤液浸种对小麦出苗率、株高、叶面积、植株总鲜质量和根系鲜质量均无显著影响。仅在包衣量为每粒 20 mg 时,小麦叶片面积较对照增加 25.3% ($P<0.05$)。适宜包衣量与发酵滤液稀释度时,种子包衣+发酵滤液浸种可显著提高根系鲜质量,如处理 10^2+20 的株高较对照增加 21.3% ($P<$

0.05),5+5 及 10+10 处理,根系鲜质量分别较对照增加 100.0%及 66.7% ($P<0.05$), 10^4+35 处理的株高和叶面积较对照分别增加 14.8%和 48.1% ($P<0.05$)。

比较表 2 与表 3 结果可知,在土培条件下,菌粉种子包衣效果较砂培差,可能与土壤胶体对种子表面附着菌粉中放线菌代谢活性物质的吸附固定无效化有关,与土壤微生物对种子表面接种链霉菌的作用有关。土培试验可以反映在土壤胶体对菌粉中生物活性物质发生吸附及土壤中各种复杂因子存在条件下菌粉及其发酵液对小麦生长的影响,试验条件更接近田间,其结果可以更准确的反映菌粉及其浸提液在近似田间条件下对小麦种子处理的结果。试验结果表明,土壤条件会降低链霉菌的促生作用。

2.1.3 对小麦根系活力的影响 从表 4 可知,适宜用量菌粉包衣和适宜浓度无细胞发酵滤液浸种均可提高小麦根系活力。其中,砂培试验中,包衣量每粒 5 mg 处理根系活力提高 62.7% ($P<0.05$), 10^2 稀释液使根系活力提高 44.8% ($P<0.05$)。土培试验中,菌粉包衣对根系活力有一定抑制作用,但均未达到显著水平; 10^4 倍稀释液使根系活力提高 19.6% ($P<0.05$)。浸种加包衣复合处理对小麦根系活力影响不显著。

表 3 链霉菌粉种子包衣及发酵液浸种处理土培小麦生物学性状(N=5)

Table 3 The growth parameters of wheat in soil pots by seed coating and soaking with the <i>Streptomyces</i> agent											
处理 Treatment		出苗率 Seedling emergence rate		株高 Plant height		叶面积 Leave area		总鲜质量 Total fresh mass		根系鲜质量 Root fresh mass	
		测值/% Value	ΔCK/%	测值/cm Value	ΔCK/%	测值/mm ² Value	ΔCK/%	测值/g Value	ΔCK/%	测值/g Value	ΔCK/%
包衣 C Coating	CK(0)	79.1±0.1 a	—	41.4±2.6 a	—	213.4±13.4 b	—	1.9±0.3 a	—	0.1±0.1 a	—
	5	81.2±0.1 a	2.7	43.4±2.8 a	4.8	238.6±22.0 ab	11.8	2.3±0.5 a	21.1	0.1±0.1 a	0.0
	10	75.4±0.1 a	−4.7	45.5±2.0 a	9.9	224.7±82.0 ab	5.3	2.0±0.5 a	5.3	0.2±0.1 a	50.0
	20	88.0±0.0 a	11.3	43.1±2.3 a	4.1	267.5±6.7 a	25.3	2.3±0.3 a	21.1	0.1±0.0 a	0.0
	30	84.3±0.1 a	6.6	41.7±5.7 a	0.7	215.1±74.9 ab	0.8	1.8±0.2 a	−5.3	0.1±0.0 a	0.0
	35	88.2±0.1 a	11.5	43.3±2.0 a	4.6	252.8±30.7 ab	18.5	2.1±0.4 a	10.5	0.1±0.1 a	0.0
浸种 S Soaking	CK(0)	77.1±0.1 ab	—	37.8±2.8 a	—	221.6±30.4 a	—	2.6±0.4 a	—	0.3±0.1 ab	—
	5	50.2 ±0.2 b	−34.9	43.3±3.7 a	14.6	263.6±42.5 a	19.0	2.6±0.3 a	0.0	0.2±0.0 b	−33.3
	10	84.2 ±0.2 a	9.2	41.5±4.0 a	9.8	266.9±46.6 a	20.5	2.4±0.4 a	−7.7	0.2±0.0 b	−33.3
	10^2	84.3±0.2 a	9.3	43.7±4.2 a	15.6	212.5±73.6 a	−4.1	2.8±0.2 a	7.7	0.4±0.1 a	33.3
	10^3	96.5 ±0.1 a	25.2	43.2±2.4 a	14.3	253.9±20.8 a	14.6	2.9±0.2 a	11.5	0.3±0.0 a	0.0
	10^4	88.1±0.0 a	14.3	40.8±2.3 a	7.9	211.5±45.5 a	−4.6	2.9±0.2 a	11.5	0.4±0.0 a	33.3
C+S	CK(0)	80.2±0.1 a	—	37.8±2.8 c	—	221.6±30.4 b	—	2.2±0.4 a	—	0.3±0.1 b	—
	5+5	67.3±0.2 a	−16.1	41.7±0.8 bc	10.3	263.4±31.3 ab	18.9	2.4±0.2 a	9.1	0.6±0.5 a	100.0
	10+10	63.2±0.1 a	−21.2	39.9±3.4 bc	5.6	210.4±61.0 b	−5.0	2.6±0.7 a	18.2	0.5±0.0 a	66.7
	10^2+20	75.5±0.1 a	−5.9	45.9±2.9 a	21.4	259.2±28.9 ab	17.0	2.6±0.2 a	18.2	0.4±0.1 ab	33.3
	10^3+30	80.2±0.1 a	0.0	42.1±1.8 abc	11.3	257.5±3.6 ab	16.2	2.2±0.5 a	0.0	0.4±0.0 ab	33.3
	10^4+35	84.2±0.2 a	5.0	43.4±1.9 ab	14.8	328.1±63.6 a	48.1	2.2±0.4 a	0.0	0.2±0.0 b	−33.3

表 4 链霉菌粉种子包衣及发酵液浸种处理砂培和土培小麦根系活力

Table 4 Root activity of wheat in sand and soil pots by seed coating and soaking with the *Streptomyces* agent

砂培 Sand culture				土培 Soil culture			
处理 Treatment		根系活力/(mg·g ⁻¹ ·h ⁻¹) Root activity	ΔCK/%	处理 Treatment		根系活力/(mg·g ⁻¹ ·h ⁻¹) Root activity	ΔCK/%
包衣(C) Coating	CK(0)	150.3±2.2 b	—	包衣(C)	CK(0)	205.5±9.9 a	—
	5	244.5±1.3 a	62.7	Coating	5	211.8±18.5 a	3.7
	10	151.5±31.0 b	0.8		10	203.5±13.6 a	−1.0
	20	238.1±39.5 ab	58.5		20	150.8±27.9 a	−26.6
	30	208.2±27.7 ab	38.5		30	196.9±12.9 a	−4.2
	35	145.5±8.9 b	−3.2		35	197.0±10.9 a	−4.1
浸种(S) Soaking	CK	166.8±20.0 b	—	浸种(S)	CK(0)	179.6±17.2 b	—
	10	202.4±28.9 ab	21.3	Soaking	5	169.4±19.6 b	−5.7
	10 ²	241.5±43.8 a	44.8		10	177.3±7.3 b	−1.3
	10 ³	195.2±41.9 ab	17.0		10 ²	180.6±14.0 b	0.6
	10 ⁴	211.1±22.3 ab	26.6		10 ³	185.6±13.7 b	3.3
	—	—	—		10 ⁴	214.8±15.4 a	19.6
				C+S	CK(0)	179.6±17.2 ab	—
					5+5	197.6±6.2 ab	10.0
					10+10	151.5±32.1 ab	−15.7
					20+10 ²	123.3±10.6 b	−31.3
					30+10 ³	205.4±20.9 ab	14.3
					35+10 ⁴	223.5±11.4 a	24.4

2.2 链霉菌对小麦诱导抗性及抗逆性的影响

诱导抗性通常用诱导酶 POD、PPO 及 PAL 活性表示。

POD 酶活性:由表 5 可知,菌粉种子包衣及发酵滤液浸种对小麦叶片 POD 酶活性有显著影响。土培试验中,除包衣量每粒 20 mg 处理外,其余菌粉种子包衣处理 POD 酶活性较对照提高 46.7%~70.0% ($P<0.05$);发酵滤液浸种及浸种+包衣复合处理对 POD 酶活性的影响均不显著。砂培试验中,菌粉种子包衣对小麦叶片 POD 酶活性均有抑制作用(包衣量每粒 10 mg 除外),其中,包衣量每粒 30 mg 处理 POD 酶活性较对照降低 38.9% ($P<0.05$),稀释 10³、10⁴ 倍无细胞发酵滤液浸种处理 POD 酶活性较对照分别降低 28.1%、52.2% ($P<0.05$)。

PPO 酶活性:由表 5 可知,菌粉包衣处理对小麦叶片 PPO 酶活性的影响因包衣量而异。土培试验中,低量包衣对小麦叶片 PPO 酶活性有提高作用,高量包衣则有抑制作用。如包衣量每粒 5 mg 处理使小麦叶片 PPO 酶活性较对照提高 52.5% ($P<0.05$),包衣量每粒 35 mg 时,小麦叶片 PPO 酶活性较对照降低 24.6% ($P<0.05$)。

砂培试验中,种子包衣对 PPO 酶活性有抑制作用,包衣量每粒 5 mg 处理使小麦叶片 PPO 酶活性较对照降低 25.3% ($P<0.05$)。无细胞发酵滤液浸种及浸种加包衣复合处理对 PPO 酶活性均无显著影响。

PAL 酶活性:由表 5 砂培及土培试验结果可知,菌粉种子包衣对小麦叶片 PAL 酶活性无显著影响。但在土培试验中,浸种+包衣复合处理可显著提高小麦叶片 PAL 酶活性,其中,5+5、10+10 和 20+10² 分别使 PAL 酶活性提高 24.2%、20.2%和 24.2% ($P<0.05$)。高剂量发酵滤液浸种抑制小麦叶片 PAL 酶活性,低剂量发酵滤液对 PAL 酶活性无显著性影响。如 5 倍稀释液使小麦叶片 PAL 酶活性降低 34.3% ($P<0.05$)。

小麦叶片 MDA 质量摩尔浓度:由表 5 可知,适宜浓度的无细胞发酵滤液浸种可显著降低小麦叶片 MDA 质量摩尔浓度,10²~10⁴ 倍无细胞发酵滤液浸种,可使砂培小麦叶片 MDA 质量摩尔浓度降低 34.0%~40.2% ($P<0.05$)。菌粉种子包衣及浸种+浸种加包衣复合处理对小麦叶片 MDA 质量摩尔浓度均无显著影响。

表 5 链霉菌粉种子包衣及发酵液浸种处理砂培和土培小麦诱导抗性

Table 5 The induced resistance of wheat in sand and soil pots by seed coating and soaking with the <i>Streptomyces</i> agent									
处理 Treatment		POD		PPO		PAL		MDA	
		测值/ (mg · g ⁻¹ · min ⁻¹) Value	ΔCK/%	测值/ (U · g ⁻¹ · min ⁻¹) Value	ΔCK/%	测值/ (U · g ⁻¹ · min ⁻¹) Value	ΔCK/%	测值/ (mmol · g ⁻¹) Value	ΔCK/%
砂培 Sand culture									
包衣(C) Coating	CK(0)	1.8±0.3 a	—	17.0±1.4 a	—	12.0±1.2 ab	—	25.6±2.2 ab	—
	5	1.6±0.3 ab	—11.1	12.7±3.0 b	—25.3	12.0±0.7 ab	0.0	23.8±7.5 ab	—7.0
	10	1.9±0.2 a	5.6	16.5±2.6 ab	—2.9	13.1±1.3 a	9.2	30.6±5.7 a	19.5
	20	1.3±0.3 ab	—27.8	15.6±2.0 ab	—8.2	13.4±2.0 a	11.7	33.1±6.4 a	29.3
	30	1.1±0.3 b	—38.9	14.4±1.1 ab	—15.3	13.2±1.6 a	10.0	26.9±3.2 ab	5.1
	35	1.7±0.4 a	—5.6	16.6±2.3 a	—2.4	10.0±0.6 b	—16.7	19.4±0.9 b	—24.2
浸种(S) Soaking	CK(0)	3.2±0.6 a	—	15.1±0.6 a	—	15.7±2.2 a	—	35.6±11.2 a	—
	10	4.1±0.6 a	28.1	15.1±1.5 a	0.0	15.7±2.0 a	0.0	27.6±5.2 ab	—22.5
	10 ²	3.3±0.2 a	3.1	18.4±1.7 a	21.9	15.2±4.8 a	—3.2	22.6±1.9 b	—36.5
	10 ³	2.3±0.6 b	—28.1	16.5±4.4 a	9.3	13.1±1.7 a	—16.6	21.9±4.0 b	—40.2
	10 ⁴	2.0±0.4 b	—52.2	15.6±1.7 a	2.6	12.5±0.1 a	—20.4	23.5±3.1 b	—34.0
土培 Soil pots									
包衣(C) Coating	CK(0)	3.0±1.0 c	—	24.4±4.2 b	—	11.2±1.22 a	—	21.8±1.2 a	—
	5	4.4±0.4 ab	46.7	37.2±2.1 a	52.5	12.2±0.93 a	8.9	22.9±0.8 a	5.0
	10	4.8±0.2 ab	60.0	27.6±1.7 b	13.1	13.1±0.72 a	17.0	26.6±1.3 a	22.0
	20	3.7±0.8 bc	23.3	26.8±4.8 b	9.8	10.7±1.02 a	—4.5	22.8±2.1 a	4.6
	30	5.1±0.9 a	70.0	25.2±1.2 b	3.3	13.0±1.28 a	16.1	22.9±3.1 a	5.0
	35	5.0±0.2 ab	66.7	18.4±0.7 a	—24.6	12.2±1.51 a	8.9	26.0±6.2 a	19.3
浸种(S) Soaking	CK(0)	6.1±0.4 ab	—	30.4±4.2 a	—	9.9±0.2 a	—	18.5±1.3 a	—
	5	5.9±0.3 b	—3.3	33.6±1.7 a	10.5	6.5±2.3 b	—34.3	23.4±3.3 a	26.5
	10	6.0±0.6 ab	—1.6	34.4±1.8 a	13.2	12.1±1.2 a	22.2	20.5±1.8 a	10.8
	10 ²	6.1±0.2 ab	0.0	32.4±3.4 a	6.6	12.5±0.3 a	26.3	21.9±3.4 a	18.4
	10 ³	6.2±0.3 ab	3.3	37.2±1.2 a	22.4	12.0±2.0 a	21.2	19.9±3.4 a	7.6
C+S	10 ⁴	7.6±1.7 a	24.6	31.6±14.0 a	3.9	11.1±2.6 a	12.1	22.5±2.5 a	21.6
	CK(0)	6.1±0.4 ab	—	30.4±4.2 ab	—	9.9±0.2 c	—	18.5±1.3 a	0.0
	5+5	6.5±2.7 ab	6.6	35.6±18.4 a	17.1	12.3±0.8 a	24.2	23.5±5.9 a	27.0
	10+10	4.0±0.4 b	—34.4	25.6±3.0 ab	—15.8	11.9±1.9 ab	20.2	21.3±7.1 a	15.1
	20+10 ²	6.6±1.0 ab	8.2	20.1±2.6 b	—33.9	12.3±0.6 a	24.2	22.8±2.2 a	23.2
	30+10 ³	7.8±0.9 a	27.9	22.9±2.2 ab	—24.7	11.1±1.0 abc	12.1	19.4±4.6 a	4.9
	35+10 ⁴	5.9±2.1 ab	—3.3	22.0±1.4 ab	—27.6	10.1±0.3 bc	2.0	20.4±0.6 a	10.3

3 讨 论

根际细菌具有促生作用^[19]。峥嵘^[20]发现采用 5406 链霉菌处理后小麦幼苗株高、根长、根体积及根系活力均有不同程度提高,茎叶干质量及叶绿素含量也有增加。陈秦等^[11]研究发现密旋链霉菌可促进番茄根系生长,增加生物量。赵娟等^[10]研究表明,链霉菌接种能促进甜瓜根胚轴生长,但是链霉菌对小麦有无促生作用尚不清楚。

本研究发现,用密旋链霉菌与娄彻氏链霉菌组成的复合菌剂进行小麦种子包衣及浸种处理在适宜浓度下均能提高小麦发芽率、发芽指数;在菌剂包衣量过大或浸提液、发酵液剂量过高时抑制种子萌发,在适宜剂量才能达到显著促进作用,说明菌剂中存在供试链霉菌次级代谢形成的促生活性成分。比较砂培试验中 3 种处理方式可知,包衣对小麦根系、株高、叶面积和生物量的促进作用更大,浸种更有利于出苗率增加。土培试验中,菌

剂种子包衣及浸种处理的促生作用差于砂培,可能与土壤胶体对种子表面附着菌粉中活性物质的吸附固定无效化及土壤微生物对菌剂中接种链霉菌的影响有关。种子包衣和浸种处理的作用存在差异,可能是因为种子包衣时,菌粉中既含有链霉菌活性代谢产物也含有活菌,而无细胞发酵液中只含有活性代谢产物,其详细原因需尚待深入研究。

根系活力可反映根系代谢活动的强弱和根系吸收功能。根系发育直接影响地上部茎叶生长和作物产量^[21-22]。本研究发现,适量供试链霉菌剂种子包衣和浸种处理均能提高小麦的根系活力,进而影响根系对土壤养分及水分的吸收能力。

诱导植物产生抗病性是植物病害生物防治的主要机制之一。植物诱导抗性是通过诱导防御酶活性提高实现的,防御酶活性与抗病性呈正相关^[23-28]。防御酶系主要包括苯丙氨酸解氨酶(PAL)、过氧化物酶(POD)、多酚氧化酶(PPO)。

PAL 催化苯丙氨酸脱氨基后产生肉桂酸,最终转化为木质素并沉积在细胞壁周围,将病原菌限制在一定的细胞范围内,阻止其进一步扩散危害^[29];POD 和 PPO 同属氧化酶类,能催化植物体内酚类物质形成醌进而抑制病原菌生长,并抑制病原菌果胶分解酶和纤维素分解酶活性^[30];MDA 作为膜脂过氧化作用的最终产物,是膜脂过氧化程度的重要标志,与细胞膜的损害程度直接相关^[31]。

本研究发现,土培条件下,适宜用量菌粉包衣及包衣+发酵液浸种处理可显著提高小麦叶片 POD、PPO 及 PAL 活性,对 MDA 无显著影响,表明供试链霉菌能提高小麦的诱导抗性。至于对小麦的抗病性有无显著增强效果,尚待进一步研究。另外,砂培条件下,菌粉包衣及发酵液浸种处理可显著降低小麦叶片 POD、PPO 活性,可能与砂培条件下无土壤胶体吸附固定,菌剂中有效生物活性物质浓度过高,导致小麦叶片诱导酶活性降低,其详细原因尚不清楚。在砂培条件下,对小麦叶片诱导酶活性的抑制作用增强及土培条件下促生作用减弱,可能与土壤胶体对菌剂中促生活性物质的吸附固定失活、有效活性物质浓度降低及砂培中无胶体吸附固定失活,导致活性物质浓度过高,达到抑制浓度有关。

4 结 论

供试链霉菌对小麦具有较强的促生作用,并能提高小麦的诱导抗性。用密旋链霉菌和娄彻氏链霉菌复合菌粉进行小麦种子包衣及菌粉浸提液浸种,在适宜包衣量或浸种剂量时,能够促进小麦发芽,提高出苗率,促进叶片和根系生长及生物量增加,并提高小麦叶片 POD、PPO 及 PAL 诱导酶活性,降低小麦叶片细胞质膜膜脂过氧化程度。但包衣量过大或浸种剂量过高时,对小麦生长及诱导酶活性均有显著抑制作用。应对适宜的包衣量、浸种剂量及作用机理进行系统研究。

参考文献 Reference:

[1] 贾筱智. 中国小麦主产区小麦生产技术效率与技术进步率的测算与分析[D]. 陕西杨凌:西北农林科技大学,2013:1-10.
JIA X ZH. Calculation and analysis of technical efficiency and technical progress rate of wheat production in main wheat production areas in China [D]. Yangling Shaanxi: Northwest A & F University,2013:1-10.

[2] 中华人民共和国国家统计局. 中国统计年鉴[EB/OL]:中国统计出版社,2015[2017-4-10]. <http://www.stats.gov.cn/>

tjsj/ndsj/2015/indexch.htm.
National Bureau of Statistics of the People's Republic of China. China Statistical Yearbook [EB/OL]: China Statistics Press, 2015 [2017-4-10]. <http://www.stats.gov.cn/tjsj/ndsj/2015/indexch.htm>.

[3] 张 晶. 基于 GIS 栅格尺度的我国冬小麦生产潜力研究[J]. 生态经济,2008(10):37-40.
ZHANG J. Study on potential productivity of winter wheat in China based on GIS grid scale[J]. *Ecological Economy*, 2008(10):37-40.

[4] 贺字典,高玉峰. 生防菌在植物病害防治中的研究进展(综述)[J]. 河北职业技术师范学院学报,2002,17(2):57-59.
HE Z D,GAO Y F. Research progress of biocontrol in plant disease control(review) [J]. *Journal of Hebei Polytechnic Normal University*, 2002,17(2):57-59.

[5] 郑 莉,梁建根,施跃峰. 生防菌 ZJH-10 对黄瓜灰霉病诱导抗性的研究[J]. 中国农学通报,2009,25(3):197-201.
ZHENG L,LIANG J G,SHI Y F. Study on the induced resistance of ZJH-10 to cucumber gray mold[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2009,25(3):197-201.

[6] 许英俊,薛泉宏,邢胜利,等. 放线菌制剂对对草莓的促生作用及对 PPO 活性的影响[J]. 西北农业学报,2007,16(6):146-153.
XU Y J,XUE Q H,XING SH L,*et al.* Effects of actinomycete on the growth of strawberry and its effect on PPO activity[J]. *Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica*, 2007,16(6):146-153.

[7] 赵 蕾,滕安娜. 木霉对植物的促生及诱导抗性研究进展[J]. 植物保护,2010,36(3):43-46.
ZHAO L,TENG A N. Advances in research on the promotion and resistance of *Trichoderma* to plants[J]. *Plant Protection*, 2010,36(3):43-46.

[8] 宋永燕,李 平,李姝晋,等. 生防细菌 LM-3 对水稻的促生性和诱导抗性研究[J]. 西南农业学报,2006,19(3):439-441.
SONG Y Y,LI P,LI SH J,*et al.* Study on the promoting and inducing resistance of biocontrol bacterium LM-3 to rice[J]. *Journal of Southwest Agricultural University*, 2006,19(3):439-441.

[9] 张先成,张云湖,赵晓宇,等. 枯草芽孢杆菌 B29 菌株对黄瓜植株的诱导抗性[J]. 武夷科学,2009(25):25-28.
ZHANG X CH,ZHANG Y H,ZHAO X Y,*et al.* Induced resistance of bacillus subtilis B29 to cucumber plants[J]. *Wuyi Science*, 2009(25):25-28.

[10] 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):110-115.
ZHAO J,DU J ZH,XUE Q H,*et al.* Effects of actinomycetes on the growth and resistance of muskmelon seedlings [J]. *Journal of Northwest A & F University (Natural Science Edition)*, 2010,38(2):110-115.

[11] 陈 秦,薛泉宏,申光辉,等. 放线菌制剂对番茄 PPO 活性及生物量的影响[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版),2010,38(3):185-187.
CHEN Q,XUE Q H,SHEN G H,*et al.* Effects of actinomycetes on PPO activity and biomass [J]. *Journal of*

- Northwest A & F University (Natural Science Edition), 2010, 38(3): 185-187.
- [12] 陈 秦,薛泉宏,申光辉,等.放线菌对棉花幼苗生长及抗旱能力的影响[J].西北农业学报,2010,19(8):84-89.
CHEN Q,XUE Q H,SHEN G H,*et al.* Effect of actinomycetes on the growth and drought resistance of cotton seedling [J]. *Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica*, 2010, 19(8): 84-89.
- [13] 段佳丽,薛泉宏,舒志明,等.放线菌 Act12 与腐植酸钾配施对丹参生长及其根域微生态的影响[J],生态学报,2015,35(6):1807-1819.
DUAN J L,XUE Q H,SHU ZH M,*et al.* Effect of actinomycetes Act12 combined with potassium humate on the growth and root zone microecology of salvia miltiorrhiza [J]. *Journal of Ecology*, 2015, 35(6): 1807-1819.
- [14] 郭志英,薛泉宏,张晓鹿,等.生防菌苗床接种对辣椒根域微生态及产量的影响[J],西北农林科技大学学报(自然科学版),2008,36(4):160-165.
GUO ZH Y,XUE Q H,ZHANG X L,*et al.* Effect of bio-control vaccine seedbed on microecology and yield of hot pepper root zone[J]. *Journal of Northwest A & F University (Natural Science Edition)*, 2008, 36(4): 160-165.
- [15] 程丽娟,薛泉宏,来航线.微生物学实验技术[M].北京:科学出版社,2012.
CHENG L J,XUE Q H,LAI H X. Microbiology Laboratory Technology[M]. Beijing: Science Press, 2012.
- [16] 刘 丹,毕晓露,郭 腾,等.广东万年青在北方地区温室环境下水培营养液配方筛选[J].新疆农业科学,2015,52(4):667-674.
LIU D,BI X L,GUO T,*et al.* Screening of Guangdong Wannianqing hydroponic nutrient solution in greenhouse in North China[J]. *Xinjiang Agricultural Sciences*, 2015, 52(4): 667-674.
- [17] 郑 坚,陈秋夏,金 川,等.不同 TTC 法测定枫香等阔叶树容器苗根系活力探讨[J].浙江农业科学,2008(1): 40-41.
ZHENG J,CHEN Q X,JIN CH,*et al.* Study on the root system activity of container seedlings of broadleaf trees by different TTC methods [J]. *Journal of Zhejiang Agricultural Sciences*, 2008(1): 40-41.
- [18] 高俊凤.植物生理学实验指导[M].北京:高等教育出版社,2000:203-204.
GAO J F. Experimental Instruction of Plant Physiology [M]. Beijing: Higher Education Press, 2000: 203-204.
- [19] 胡春江,薛德林,马成新,等.植物根际促生菌(PGPR)的研究与应用前景[J].应用生态学报,2004,15(10):1963-1966.
HU CH J,XUE D L,MA CH X,*et al.* Research and application prospect of plant rhizosphere bacteria(PGPR) [J]. *Journal of Applied Ecology*, 2004, 15(10): 1963-1966.
- [20] 峥 嵘.5406 放线菌对小麦幼苗的影响[J].内蒙古农业大学学报(自然科学版),2006,6(2):150-152.
ZHENG R. Effect of 5406 actinomycetes on the growth of wheat seedlings[J]. *Journal of Inner Mongolia Agricultural University (Natural Science Edition)*, 2006, 6(2): 150-152.
- [21] 熊明彪,罗生茂,田应兵,等.小麦生长期土壤养分与根系活力变化及其相关性研究[J].土壤肥料,2005(3):8-11.
XIONG M B,LUO SH M,TIAN Y B,*et al.* Study on the change of soil nutrient and root activity in wheat growing period and its correlation [J]. *Soil and Fertilizer*, 2005(3): 8-11.
- [22] 胡 敏,贺德先,蒋 向,等.不同研究方式和方法对小麦根系活力及根质量测量准确度的影响[J].华北农学报,2012,27(b12):127-130.
HU M,HE D X,JIANG X,*et al.* Effects of different research methods and methods on wheat root activity and root quality measurement accuracy[J]. *Acta Agriculturae Boreali-sinica*, 2012, 27(b12): 127-130.
- [23] 王万能,全学军,崇 刚.植物诱导抗性的机理和应用研究进展[J].湖北农业科学,2010,49(1):205-206.
WANG W N,QUAN X J,CHONG G. Advances in mechanism and application of plant induced resistance[J]. *Hubei Agricultural Sciences*, 2010, 49(1): 205-206.
- [24] LIU L,KLOEPPER J W,TUZUN S. Induction systemic in cucumber against fusarium wilt by growth-planting rhizobacteria[J]. *Biological Control*, 1995, 85(6): 695-697.
- [25] GEERT D M,JEOSP H, YIGAL E,*et al.* Induced resistance in *Trichoderma harzianum* T39 biocontrol of botrytis cinerea [J]. *Uropean of Plant Pathology*, 1998, 106(3): 179-286.
- [26] MEERA M S,SHIVANNA M B,KAGEYAMA K,*et al.* Plant growth promoting fungi from zoysiagrass rhizosphere as potential inducers of systemic in cucumber[J]. *Resistance*, 1994, 84(12): 1399-1405.
- [27] ZHU Q,DABI T,BEECHE A,*et al.* Cloning and properties of a rice gene encoding phenylane ammonia-lyase[J]. *Plant Molecular Biology*, 1995, 29: 535-550.
- [28] TIAN S P, HARMAN G. Defense response induced by seed treatment with *Trichoderma harzianum* in maize MO17[J]. *Journal of Plant Pathology*, 2008, 38(6): 626-634.
- [29] 杜立新,冯书亮,王容燕.拮抗 BS-208 菌株对番茄灰霉病诱导抗性的初步研究[J].华北农学报,2005,20(6):84-87.
DU L X,FENG SH L,WANG R Y. Preliminary study on antagonistic resistance of BS-208 strain to tomato gray mold resistance [J]. *Acta Agriculturae Boreali-Sinica*, 2005, 20(6): 84-87.
- [30] GUTTERIGE J M C,*et al.* Superoxide dependent formation of hydroxyl radicals and lipid peroxidation in the presence of iron salts[J]. *Biochemical Journal*, 1982(206): 605-609.
- [31] 林 艳,郭伟珍,徐振华,等.大叶女贞抗寒性及冬季叶片丙二醛和可溶性糖含量的变化[J].中国农学通报,2012,28(25):68-72.
LIN Y,GUO W ZH,XU ZH H,*et al.* Changes of cold tolerance and Malondialdehyde and soluble sugar content in winter leaves[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2012, 28(25): 68-72.

Effects of Two *Streptomyces* Strains on Growth and Induced Resistance of Wheat Seedlings

LIU Yutao, ZHANG Kai, MA Junni, LAI Hangxian and XUE Quanhong

(College of Resources and Environment, Northwest A&F University, Yangling Shaanxi 712100, China)

Abstract In this study, the effects of two *Streptomyces* strains, *S. roche* D74 and *S. partum* Act12, on growth promotion and induced resistance in wheat were examined, in order to provide evidence for the application of streptomycete agents in wheat production. A mixed agent of the two test strains (1 : 1 mass ratio) was applied at different rates and using different methods in petri dish germination, sand pot, and soil pot experiments. The germination rate, germination index, seed vigor, seedling growth parameters and induced resistance indices of wheat were analyzed. The results showed that (i) the mixed *Streptomyces* agent significantly promoted the growth of wheat. Compared with the control, the treatment of seed coating at 10 mg/per grain increased the germination rate by 41.9%, the germination index by 40.0%, the leaf area by 149.2%, the total fresh mass of the plant by 100%, and the fresh mass of roots by 220.0% ($P < 0.05$ for all). The seed vigor increased by 31.8% in the treatment of seed soaking in 10-fold-diluted extract, while larger increase (62.7%) occurred in the root activity in the treatment of coating at 5 mg/per grain compared with the control ($P < 0.05$ for both). The plant height and leaf area of wheat seedlings showed similar increases (29.2% and 27.6%, respectively) in the treatment of seed soaking in 10-fold-diluted fermentation filtrate, and the emergence rate of seedlings increased by 44.0%–103.8% in the treatment of seed soaking in the 10^{-2} – 10^{-4} dilutions of fermentation filtrate ($P < 0.05$ for all). (ii) The mixed *Streptomyces* agent markedly improved induced resistance in wheat. Leaf POD activity increased by 46.7%–70.0% in the treatments of seed coating and soaking at appropriate rates, while 52.5% increase occurred in leaf PPO activity in the treatment of seed coating at 5 mg per grain compared with the control ($P < 0.05$ for both). However, a decrease of 34.0%–40.2% was found in leaf MDA content in the treatment of seed soaking in the 10^{-2} – 10^{-4} dilutions of fermentation filtrate compared with the control ($P < 0.05$). Therefore, a mixture/combination of *S. roche* D74 and *S. partum* Act12 has significant effects in promoting seedling growth and increasing induced resistance in wheat.

Key words *Streptomyces*; Growth promotion; Induced resistance; Wheat

Received 2017-11-16

Returned 2018-01-14

Foundation item the State Science and Technology Supporting in the “12th Five-Year Plan” (No. 2012BAD14B11); the Science and Technology Innovation Plan of Science and Technology in Shaanxi Province (No. 2016KTZDNY03-03-02).

First author LIU Yutao, male, master student. Research area: utilization of microbial resources. E-mail: 1601047212@qq.com

Corresponding author XUE Quanhong, male, professor, doctoral supervisor. Research area: microbial ecology and resource utilization research. E-mail: xuequanhong@163.com