

小麦苗期浸种和根灌浅黄隐球酵母菌的定殖特征及 对茎基腐病的防治效果

刘忠伟 孙振才* 杨佑明 王志敏

(中国农业大学农学院,北京 100193)

摘要 基于平板混合培养试验和浸种、根灌浅黄隐球酵母菌(*Papiliotrema flavescens*)温室盆栽试验,研究其在小麦苗期的定殖特征及对茎基腐病的防治效果。结果表明:1)在平板混合试验中,浅黄隐球酵母菌对禾谷镰刀菌的抑菌效果显著,抑菌率达84.1%;2)盆栽试验中,浅黄隐球酵母菌的定殖数量随时间推移呈减少趋势,浸种和灌根处理定殖数量均表现为叶鞘>叶。与浅黄隐球酵母菌浸种处理相比,根灌浅黄隐球酵母菌处理的叶鞘浅黄隐球酵母菌定殖数量显著增加,并在接种后14 d达到最大;3)盆栽试验中,根灌浅黄隐球酵母菌对禾谷镰刀菌的相对防效为22.7%,对假禾谷镰刀菌的相对防效为25.3%,均显著高于根灌生理盐水处理($P<0.05$),对小麦株高无影响。本研究表明通过根灌浅黄隐球酵母菌可以在小麦苗期实现定殖,并且对小麦苗期茎基腐病有一定防效。

关键词 浅黄隐球酵母菌;定殖特征;茎基腐病;禾谷镰刀菌;假禾谷镰刀菌

中图分类号 S512.1;S435.121

文章编号 1007-4333(2021)02-0024-08

文献标志码 A

Colonization characteristics of seed-soaking and root-irrigation with *Papiliotrema flavescens* in wheat seedling and the control of wheat crown rot

LIU Zhongwei, SUN Zhencai*, YANG Youming, WANG Zhimin

(College of Agronomy and Biotechnology, China Agricultural University, Beijing 100193, China)

Abstract Based on the mixed plate cultivation and seed-soaking and root-irrigation *Papiliotrema flavescens* greenhouse pot experiments, the colonization characters of *P. flavescens* in wheat seedling and its inhibitory effects on crown rot were investigated. The main results are as follows: 1) *P. flavescens* showed a significant inhibition effect on the growth of *Fusarium graminearum* in the mixed plate cultivation test with an inhibition rate of 84.1%; 2) In the pot experiment, the number of colonization of *P. flavescens* showed a decreasing trend over time, and the number of colonization in leaf sheath was more than that in leaf of both the seed-soaking and root-irrigation treatments. Furthermore, compared with the seed-soaking *P. flavescens* treatments, the number of colonization of *P. flavescens* in leaf sheath in the root-irrigation treatments was significantly higher in root-irrigation treatment, which reached the maximum colonization number at 14 d after inoculation; 3) In the pot experiment, the relative control effects of root-irrigation *P. flavescens* treatments on *F. graminearum* and *F. pseudograminearum* were 22.7% and 25.3%, respectively, both of which were significantly higher than that of the root-irrigation normal saline treatment ($P<0.05$). Root-irrigation *P. flavescens* had no effect on the wheat height. In conclusion, this study displayed that the root irrigation of *P. flavescens* could achieve its colonization at wheat seedling period and exhibited control effect on wheat crown rot.

Keywords *Papiliotrema flavescens*; colonization characteristics; crown rot; *Fusarium graminearum*; *Fusarium pseudograminearum*

收稿日期:2020-07-01

基金项目:“十三五”国家重点研发计划项目(2017YFD0201705,2018YFD0300505)

第一作者:刘忠伟,硕士研究生,E-mail:1930139143@qq.com

通讯作者:孙振才,讲师,主要从事作物与微生物互作等研究,E-mail:Zhencai_Sun@cau.edu.cn

小麦是最重要的粮食作物之一,栽培历史悠久,种植面积最大。我国是最大的小麦生产国与消费国,小麦年产量约占世界总产量的17%^[1]。小麦茎基腐病自20世纪50年代被发现以来,在澳大利亚、美国、加拿大等地愈发严重,统计表明由于茎基腐病的发生,美国小麦产量平均每年损失9.5%~35.0%^[2]。2012年我国小麦茎基腐病在年首次被报道^[3]。小麦如果在播种时感染茎基腐病原菌,分蘖期茎基部叶鞘会出现褐色或深褐色的症状,严重时会对茎基部和根部扩展,根部腐烂且呈现深褐色或黑色,导致植株死亡;在返青期至起身期感染病原菌,此时地上部受侵染症状不明显,拔节期至孕穗期病原菌侵染加快,植株出现黄叶,分蘖死亡,至开花期茎基部叶鞘和茎秆呈褐色或深褐色,灌浆中期植株干枯,成株大量死亡,出现大量白穗,至成熟期,穗部籽粒空秕或无籽粒^[4-6]。在我国,茎基腐病作为一种新发生的土传病害,对其防治研究目前还不深入^[7]。已有研究发现茎基腐病是由多种病原菌共同作用,主要是镰刀菌属病原菌侵染,其中禾谷镰刀菌和假禾谷镰刀菌是黄淮海麦区茎基腐病的优势病原菌,目前还未获得高抗的小麦品种^[8-11]。由于近年来秸秆还田比例增加,导致大田中秸秆残体数量增加,给病原菌提供了良好的生存环境,因此黄淮海麦区茎基腐病的发生频率呈现上升趋势^[12-13]。研究表明病原菌变异加速,对化学药剂的抗性增加等^[14]。且大部分小麦种植区抗病品种较少,因此探索其他的有效防治途径及方法很有必要。

已有研究表明生物防治可以避免化学药剂造成的环境污染,并在短期内就能达到良好的抑菌效果^[15-16]。浅黄隐球酵母菌(*Papiliotrema flavescens*)是镰刀菌属病害防治效果较好的酵母菌之一,其生物防治上的应用主要针对对小麦赤霉病防控的大田喷施上^[17-18]。浅黄隐球酵母菌(*P. flavescens* OH 182.9)对赤霉病防效可达到80%以上^[19-20]。目前,有关浅黄隐球酵母菌对茎基腐病优势病原菌的防治研究较少;其对小麦茎基腐病防治效果也还未得到进一步的验证;此外,其定殖、对病害防治机制也有待进一步研究。因此,为了解浅黄隐球酵母菌的定殖特征和对茎基腐病的防治效果,本研究拟通过平板混合培养试验和浸种、根灌浅黄隐球酵母菌温室盆栽试验,开展定殖和茎基腐病防治研究,以期对小麦茎基腐病生物防治提供依据。

1 材料和方法

1.1 试验材料

禾谷镰刀菌(*Fusarium graminearum*)、假禾谷镰刀菌(*F. pseudograminearum*)和浅黄隐球酵母菌(*P. flavescens*)均由中国农业大学生物学院提供。试验用小麦种子为济麦22,由中国农业大学农学院提供。培养基为PDA培养基。

化学试剂主要有:琼脂粉,化学纯;次氯酸钠,化学纯;葡萄糖,化学纯;甘油,化学纯。

盆栽试验花盆:上径、下径、高分别为23、19、27 cm。

盆栽用土为草炭土,肥料施用量为:每1 kg土壤施入含46%氮的尿素0.3 g,含20% P₂O₅的过磷酸钙0.75 g,含50% K₂O的硫酸钾0.3 g。

1.2 试验方法

1.2.1 浅黄隐球酵母菌的抑菌率测定

禾谷镰刀菌孢子悬浮液制备:将禾谷镰刀菌活化,挑取菌丝至PDA培养基,25℃培养4~5 d,再挑取菌丝接入绿豆液体培养基,28℃、180 r/min震荡培养4~5 d,吸取10 μL菌液于显微镜下镜检,计算孢子数目,调整孢子浓度为1×10⁶个/mL,4℃保存备用。

浅黄隐球酵母菌菌悬液制备:先将浅黄隐球酵母菌在PDA培养基上活化,25℃培养5 d,挑取菌落用无菌水稀释至1×10⁶个/mL,4℃保存备用。

研究表明浅黄隐球酵母菌的抑菌作用主要以营养竞争作用为主,先接种浅黄隐球酵母菌再接种病原菌的抑菌效果较好^[20],故本试验先将浅黄隐球酵母菌与培养基混合,再接种禾谷镰刀菌,按“稀释平板测数法”中的“平板混合培养法”进行^[21];吸取100 μL 1×10⁶个/mL浅黄隐球酵母菌菌悬液至培养皿(直径90 mm)中,待PDA冷却至45℃左右,向已加入浅黄隐球酵母菌菌悬液的培养皿加入10 mL PDA,震荡混匀,然后向含有PDA的培养皿中央接种100 μL 1×10⁶个/mL禾谷镰刀菌孢子悬浮液,同时设置等量无菌水替代浅黄隐球酵母菌菌悬液的对照组,以上每个处理设4个重复,25℃培养5 d,用十字交叉法测量抑菌直径。抑菌率计算公式如下:

$$\text{抑菌率} = \frac{\text{对照菌落直径} - \text{处理菌落直径}}{\text{对照菌落直径}} \times 100\% \quad (1)$$

1.2.2 浅黄隐球酵母菌的定殖

通过小麦苗期盆栽试验对浅黄隐球酵母菌定殖特征进行研究。盆栽于温室 25 °C 培养,光照 12 h/d,每盆浇灌 150 mL/d 蒸馏水保湿,光照强度为 3 000 lx,每个处理 3 个重复。

种子处理:选取大小一致籽粒饱满的济麦 22 种子,2% 次氯酸钠浸泡 15 min 进行表面消毒,再用无菌水冲洗 3 次并进行浸种,24 h 后选取露白状况一致的种子备用。

采用浸种法和根灌法接种浅黄隐球酵母菌。浸种法:露白的种子于浅黄隐球酵母菌菌悬液中浸泡 12 h,对照组使用 0.9% 生理盐水浸种,每个花盆播种 30 粒,麦粒上面覆盖约 2 cm 厚的土,出苗后每盆留苗 20 株。根灌法:除用生理盐水代替菌悬液进行浸种外,采取与上述方法完全相同的处理方式将小麦种入土中,待小麦苗长至二叶期时,向每盆中的小麦根部灌 200 mL 浓度为 1×10^6 个/mL 的浅黄隐球酵母菌菌悬液,对照组使用等量 0.9% 生理盐水灌根,出苗后每盆留苗 20 株。

各处理均在浅黄隐球酵母菌菌悬液灌根后的 7、14、21 d 取样,每盆随机取 3 株,去根,将叶鞘、叶片分别称鲜重,表面清洗消毒后加入 10 mL 0.9% 生理盐水研磨。待溶化后的 PDA 降至 45 °C 左右,倒入已加入 100 μ L 研磨液的培养皿中,旋转摇匀,冷却凝固。培养皿于 25 °C 恒温培养,待目标菌落长出后,统计菌落个数,并按照下式计算出菌株的内生定殖数目 $n(\text{cfu/g})$ ^[22]:

$$n = \frac{\text{菌落数} \times 100 \times \text{稀释倍数}}{\text{鲜重}} \quad (2)$$

1.2.3 浅黄隐球酵母菌对小麦苗期茎基腐病的防治

通过小麦苗期盆栽试验研究浅黄隐球酵母菌对小麦苗期茎基腐病的防治作用。试验病原菌为禾谷镰刀菌和假禾谷镰刀菌,采用病麦粒接种方式,每个处理 3 个重复。种子预处理方式和光温条件同 1.2.2,浅黄隐球酵母菌菌悬液制备方法同 1.2.1。

禾谷镰刀菌接种物的制备:将小麦种子浸泡过夜,然后放至 150 mL 锥形瓶中 121 °C 湿热灭菌 20 min。将 6 mm 禾谷镰刀菌菌块接种到灭菌的麦粒中,每瓶接 6 个菌块。25 °C 培养 7~10 d,并在培养过程中每天震荡,保证麦粒上病原菌的量一致,将制备的病麦粒在室内晾干后放于 4 °C 保存备用。假禾谷镰刀菌接种物制备方法同上。

浅黄隐球酵母菌接种方法同 1.2.2。

病原菌接种:在根灌浅黄隐球酵母菌 3 d 后接种病原菌,采用病麦粒接种方法,每棵小麦苗的基部放置两个病麦粒,并在上面覆盖约 2 cm 土壤,以防止过快失水干掉,接种后喷水保湿 3~5 d。

在接种病原菌后 21 d 统计小麦植株的发病情况:将小麦苗轻轻拔起,用无菌水将土壤冲洗干净,按照茎基腐病病情程度共分为 0~5 级^[23],统计茎基部的发病情况:

0 级:无明显症状

1 级:叶鞘褐枯小于叶鞘长度 10%

2 级:第一叶鞘褐枯占叶鞘长度 11%~25%

3 级:第一叶鞘褐枯占叶鞘长度 26%~50%

4 级:第二叶鞘有明显褐枯

5 级:第三叶鞘有明显褐枯或植株死亡

病害严重度 =

$$\left[\sum \left(\frac{\text{各病级株数} \times \text{各病情指数}}{\text{调查总株数} \times \text{最高病情指数}} \right) \right] \times 100\% \quad (3)$$

相对防效 =

$$\frac{\text{对照病害严重度} - \text{处理病害严重度}}{\text{对照病害严重度}} \times 100\% \quad (4)$$

1.3 统计分析

原始数据用 Excel 2019 进行标准化处理,运用 SPSS 22.0 (SPSS Inc, Chicago, IL, USA) 对数据进行单因素方差分析,利用 t -test 比较对根灌及浸种浅黄隐球酵母菌的定殖数量及其抑制镰刀菌的效果进行显著性分析, $P < 0.05$ 表示有显著性差异。

2 结果与分析

2.1 浅黄隐球酵母菌对禾谷镰刀菌的的抑菌效果

平板混合培养试验中,浅黄隐球酵母菌对禾谷镰刀菌的抑菌效果明显,抑菌率达 84.1%,浅黄隐球酵母菌均匀分布在平板表面和内部,呈现粘稠透明且凸起的菌落形态,禾谷镰刀菌菌丝呈现浅黄色和白色,菌丝长度明显缩短,并且在禾谷镰刀菌菌丝边缘呈现浅黄色(表 1,图 1)。

2.2 浅黄隐球酵母菌的定殖特征

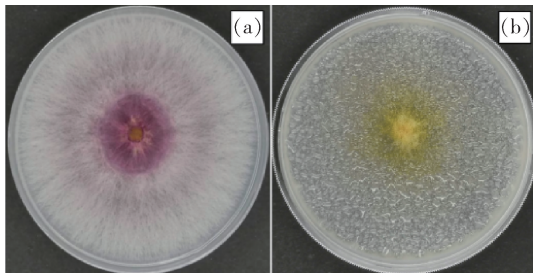
叶片的浅黄隐球酵母菌定殖结果显示,浅黄隐球酵母菌定殖数量从 7~21 d 呈下降趋势,7~14 d 均可检测到浅黄隐球酵母菌,21 d 未检测到,其中,浅黄隐球酵母菌浸种处理在 7 d 时浅黄隐球酵母菌定殖数量为 365.0 cfu/g,14、21 d 浅黄隐球酵母菌

表1 基于平板混合试验浅黄隐球酵母菌对禾谷镰刀菌的抑制效应($n=4$)Table 1 Inhibitory effects of *Papiliotrema flavescens* on *Fusarium graminearum* in the mix plate test ($n=4$)

处理 Treatment	抑菌率/% Antimicrobial rate
禾谷镰刀菌 <i>Fusarium graminearum</i>	0 b
禾谷镰刀菌+浅黄隐球酵母菌 <i>Fusarium graminearum</i> plus <i>P. flavescens</i>	84.1±0.6 a

注：不同字母表示在0.05水平上处理间有显著性差异；数值以“平均值±标准误($n=4$)”表示。

Note: Different letters indicate significant differences between treatments at 0.05 level. Data are shown as mean±SE ($n=4$).



(a) 禾谷镰刀菌；(b) 禾谷镰刀菌+浅黄隐球酵母菌。

(a) *Fusarium graminearum*；(b) *F. graminearum* and *P. flavescens*.

图1 浅黄隐球酵母菌对禾谷镰刀菌的抑制效果

Fig. 1 Inhibitory effects of *Papiliotrema flavescens* on *Fusarium graminearum*

定殖数量为0；与浅黄隐球酵母菌浸种处理相比，根灌浅黄隐球酵母菌处理在7、14 d的定殖数量显著增加，7 d的定殖数量增加了350.6%，14 d的定殖数量增加了380.6%，21 d浅黄隐球酵母菌定殖数量为0(表2)。

叶鞘的浅黄隐球酵母菌定殖结果显示，在不同时间段均可以检测到浅黄隐球酵母菌，其中，浅黄隐球酵母菌浸种处理的浅黄隐球酵母菌定殖数量从7~21 d呈下降趋势，7 d时浅黄隐球酵母菌定殖数量为2 050.6 cfu/g，14、21 d浅黄隐球酵母菌定殖数量急剧减少，分别为427.9、351.5 cfu/g，显著低于根灌浅黄隐球酵母菌处理；根灌浅黄隐球酵母菌处理的浅黄隐球酵母菌处理的定殖数量先增加后减少，14 d浅黄隐球酵母菌定殖数量达到最高峰，为7 265.7 cfu/g，之后逐渐下降，21 d存在3 064.5 cfu/g的浅黄隐球酵母菌。与浅黄隐球酵母菌浸种处理相

比，根灌浅黄隐球酵母菌处理的定殖数量显著增加，7 d的定殖数量增加了223.5%，14 d的定殖数量增加了1 597.8%，21 d的定殖数量增加了771.9%(表2)。

在2个生理盐水对照组中均未检测到浅黄隐球酵母菌的存在，通过浸种和根灌浅黄隐球酵母菌，均可以在小麦植株内定殖浅黄隐球酵母菌，并且根灌浅黄隐球酵母菌处理比浅黄隐球酵母菌浸种处理的浅黄隐球酵母菌定殖数量高一个数量级(表2)。与生理盐水对照相比，2种方式接种浅黄隐球酵母菌后，小麦株高未发生显著变化，说明浅黄隐球酵母菌定殖未对小麦株高产生明显影响(表3)。随着接种后时间的推移，浅黄隐球酵母菌的定殖数量逐渐减少，可能是由于菌株生活力下降、定殖特性等原因，有待进一步研究。

2.3 浅黄隐球酵母菌对小麦苗期茎基腐病的防治效果

在禾谷镰刀菌茎基腐病防治试验中，根灌生理盐水或生理盐水浸种处理的病害严重度皆为100%，相对防效为0%，浅黄隐球酵母菌浸种处理对病害防治无效果；根灌浅黄隐球酵母菌处理的防治效果与浅黄隐球酵母菌浸种处理相比呈显著差异，病害严重度显著降低，为77.3%，相对防效显著增加，为22.7%(图2(a))。

与根灌生理盐水或生理盐水浸种处理相比，接种浅黄隐球酵母菌后，小麦株高未发生显著变化，说明在禾谷镰刀菌茎基腐病防治试验中，浅黄隐球酵母菌浸种和根灌浅黄隐球酵母菌不会对小麦株高产生明显影响(表4)。

表2 小麦浸种和根灌浅黄隐球酵母菌后的定殖动态

Table 2 The colonization dynamics of *Papiliotrema flavescens* by seed-soaking and root-irrigation in wheat

处理 Treatment	叶片定殖数量/(cfu/g) Colonization number on leaf			叶鞘定殖数量/(cfu/g) Colonization number on leaf sheath		
	7 d	14 d	21 d	7 d	14 d	21 d
	A	0	0	0	0	0
B	365.0±18.3 b	30.7±3.8 b	0	2 050.6±104.1 b	427.9±5.7 b	351.5±33.8 b
C	0	0	0	0	0	0
D	1 644.6±112.8 a	147.4±22.8 a	0	6 633.8±515.2 a	7 265.7±173.0 a	3 064.5±335.8 a

注:A,生理盐水浸种;B,浅黄隐球酵母菌浸种;C,根灌生理盐水;D,根灌浅黄隐球酵母菌。下同。

不同字母表示在0.05水平上浅黄隐球酵母菌处理间有显著性差异;数值以“平均值±标准误($n=3$)”表示。

Note: A: Seed-soaking normal saline; B: Seed-soaking *P. flavescens*; C: Root-irrigation normal saline; D: Root-irrigation *P. flavescens*. The same below.

Different letters indicate significant differences between *P. flavescens* treatments at 0.05 level. Data are shown as mean±SE ($n=3$).

表3 浸种和根灌浅黄隐球酵母菌对小麦株高的影响($n=3$)Table 3 Effects of seed-soaking and root-irrigation *Papiliotrema flavescens* on wheat height ($n=3$)

处理 Treatment	株高/cm Height
A	43.7±1.2 a
B	45.0±1.5 a
C	45.3±1.5 a
D	45.0±1.2 a

注:数值后相同字母表示在0.05水平上处理间无显著性差异;数值以“平均值±标准误”表示。

Note: Same letters behind values indicate no significant differences at 0.05 level. Data are shown as mean±SE.

在假禾谷镰刀菌茎基腐病防治试验中,浅黄隐球酵母菌浸种处理无防治效果,根灌浅黄隐球酵母菌处理的防治效果与浅黄隐球酵母菌浸种处理相比呈显著差异,病害严重度显著降低,为74.7%,相对防效显著增加,为25.3%(图2(b))。

与根灌生理盐水或生理盐水浸种处理相比,接种浅黄隐球酵母菌后,小麦株高未发生显著变化,说明在假禾谷镰刀菌茎基腐病防治试验中,浅黄隐球酵母菌浸种和根灌浅黄隐球酵母菌均未对小麦株高产生明显影响(表4)。

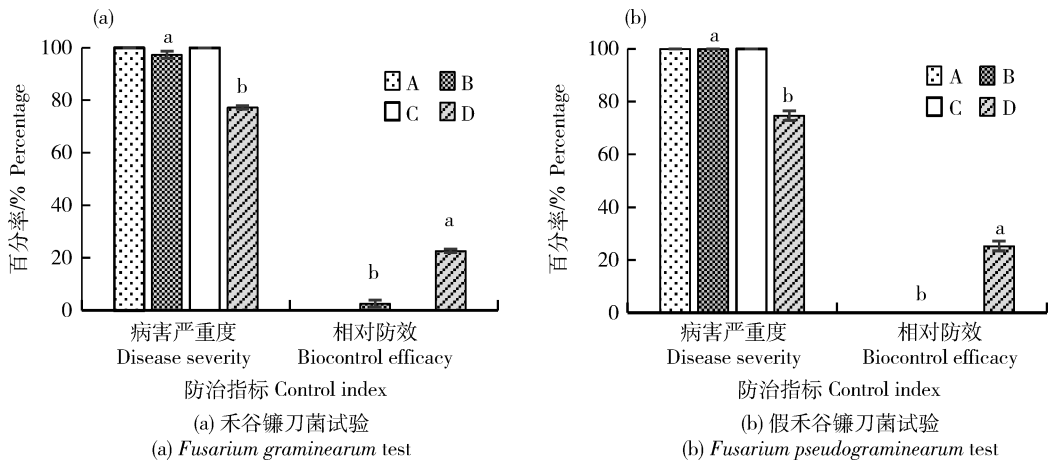
本试验结果说明茎基腐病防治效果受接种方

式的影响,浅黄隐球酵母菌浸种对茎基腐病基本无抑制效果,根灌浅黄隐球酵母菌表现出较好的防治作用。结合浅黄隐球酵母菌的定殖特征分析,根灌方式使浅黄隐球酵母菌在小麦植株叶鞘大量存活和定殖,而且茎基腐病发病部位处在茎基部,所以,根灌浅黄隐球酵母菌可以对茎基腐病起到一定的抑制作用。

3 讨论与结论

3.1 浅黄隐球酵母菌的小麦苗期定殖特征

已有研究表明,生防菌定殖受接种方式、植株生长时期、根际微生物种类等多方面的影响^[24]。植物内生菌主要来源于土壤,越往植株上部,定殖数量越低^[25];并且,随着接种后时间的推移,内生菌定殖数量逐渐减少^[26]。本研究中,在小麦苗期浅黄隐球酵母菌定殖试验中,根灌浅黄隐球酵母菌处理的叶鞘定殖数量与浅黄隐球酵母菌浸种处理相比显著增加,接种浅黄隐球酵母菌21 d后,各处理叶片部位浅黄隐球酵母菌定殖数量减少为0,定殖特征与已有研究结果一致。另外,在本研究中浸种方式定殖的生防菌数量较少,而根灌方式定殖的生防菌数量较多,可能是因为相对于浸种方式,根灌方式下根系与生防菌的接触面较大,更有利于生防菌的吸附和侵入^[22],也有研究表明不同植株生防菌的定殖数量不同,同一植株的不同生长时期、根际分泌物的差异也会影响生防菌的定殖,而且定殖数量与生防菌自身生物特性也有关系^[27]。上述因素在浅黄隐球酵母菌定殖中的作用还需要进一步研究证实。



柱子上不同字母表示在 0.05 水平上处理间有显著性差异;数值以“平均值±标准误 (n=3)”表示。下同。

Different letters on top of bars indicate significant differences at 0.05 level between treatments. Data are shown as mean±SE (n=3). The same below.

图 2 浸种和根灌浅黄隐球酵母菌对不同镰刀菌引起小麦茎基腐病的抑制效应

Fig. 2 Inhibitory effect of seed-soaking and root-irrigation *Papiliotrema flavescens* on wheat crown rot caused by different *Fusarium strains* strains

表 4 浸种和根灌浅黄隐球酵母菌对不同镰刀菌引起茎基腐病小麦株高的影响

Table 4 Effects of seed-soaking and root-irrigation *Papiliotrema flavescens* on height of wheat infected by different *Fusarium strains*

处理 Treatment	禾谷镰刀菌	假禾谷镰刀菌
	<i>Fusarium graminearum</i>	<i>F. pseudograminearum</i>
	株高/cm Plant height	株高/cm Plant height
A	44.0±1.2 a	44.7±0.9 a
B	46.3±0.9 a	46.0±0.6 a
C	46.0±0.6 a	46.7±0.3 a
D	45.7±0.7 a	45.3±0.9 a

注:数值后相同字母表示在 0.05 水平上处理间无显著性差异;数值以“平均值±标准误 (n=3)”表示。

Note: Same letters after values indicate no significant differences at 0.05 level. Data are shown as mean±SE (n=3).

3.2 浅黄隐球酵母菌对小麦苗期茎基腐病的防治作用

在禾谷镰刀菌引起的赤霉病害防治试验中,浅黄隐球酵母菌可以达到 80% 的相对防效^[19-20]。本研究中,在小麦苗期茎基腐病的防治试验中,接种浅黄隐球酵母菌 21 d 后,与浅黄隐球酵母菌浸种处理相比,根灌浅黄隐球酵母菌处理的茎基腐病病害严重度显著降低,对禾谷镰刀菌表现出良好的抑制作用。另有研究发现通过在茎基部定殖大量生防

菌,可以占据病原菌侵入位点,从而降低病害严重度^[28]。在本试验中,与浅黄隐球酵母菌浸种处理相比,根灌方式显著降低了茎基腐病的病害严重度,可能与茎基部存在大量浅黄隐球酵母菌有关,在浅黄隐球酵母菌的定殖试验中得到了验证。由于不同病害的发病原因和规律不同,浅黄隐球酵母菌对赤霉病和茎基腐病的防效也有差异。

本研究表明,浅黄隐球酵母菌对禾谷镰刀菌的抑菌效果显著,通过根灌浅黄隐球酵母菌可以在小

麦苗期实现定殖,并且对小麦苗期茎基腐病表现出一定的防治效果。本研究为茎基腐病防治提供一定的理论依据,但小麦成株期浅黄隐球酵母菌的定殖特征和病害防治效果有待进一步研究。

参考文献 References

- [1] 何中虎,庄巧生,程顺和,于振文,赵振东,刘旭. 中国小麦产业发展与科技进步[J]. 农学学报, 2018, 8(1): 99-106
He Z H, Zhuang Q S, Cheng S H, Yu Z W, Zhao Z D, Liu X. Wheat production and technology improvement in China [J]. *Journal of Agriculture*, 2018, 8(1): 99-106 (in Chinese)
- [2] Smiley R W, Gourlie J A, Easley S A, Patterson L M, Whittaker R G. Crop damage estimates for crown rot of wheat and barley in the Pacific Northwest[J]. *Plant Disease*, 2005, 89(6): 595-604
- [3] Li H L, Yuan H X, Fu B, Xing X P, Sun B J, Tang W H. First report of *Fusarium pseudograminearum* causing crown rot of wheat in Henan, China[J]. *Plant Disease*, 2012, 96(7): 1065
- [4] 周海峰,杨云,牛亚娟,袁虹霞,李洪连. 小麦茎基腐病的发生动态与防治技术[J]. 河南农业科学, 2014, 43(5): 114-117
Zhou H F, Yang Y, Niu Y J, Yuan H X, Li H L. Occurrence and control methods of crown rot of wheat[J]. *Journal of Henan Agricultural Sciences*, 2014, 43(5): 114-117 (in Chinese)
- [5] 徐飞,宋玉立,周益林,张昊,王俊美,李亚红,韩自行. 2013—2016年河南省小麦茎基腐病的发生危害情况及特点[J]. 植物保护, 2016, 42(6): 126-132
Xu F, Song Y L, Zhou Y L, Zhang H, Wang J M, Li Y H, Han Z X. Occurrence dynamics and characteristics of *Fusarium* root and crown rot of wheat in Henan Province during 2013—2016[J]. *Plant Protection*, 2016, 42(6): 126-132 (in Chinese)
- [6] Chakraborty S, Liu C J, Mitter V, Scott J B, Akinsanmi O A, Ali S, Simpfendorfer S. Pathogen population structure and epidemiology are keys to wheat crown rot and *Fusarium* head blight management[J]. *Australasian Plant Pathology*, 2006, 35(6): 643-655
- [7] 金京京,齐永志,王丽,王芳芳,闫翠梅,李保云,解超杰,甄文超,马骏. 小麦种质对茎基腐病抗性评价及优异种质筛选[J]. 植物遗传资源学报, 2020, 21(2): 308-313
Jin J J, Qi Y Z, Wang L, Wang F F, Yan C M, Li B Y, Xie C J, Zhen W C, Ma J. Evaluation of Chinese wheat germplasm resources for crown rot resistance[J]. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2020, 21(2): 308-313 (in Chinese)
- [8] 杨云,贺小伦,胡艳峰,侯莹,牛亚娟,代君丽,袁虹霞,李洪连. 黄淮麦区主推小麦品种对假禾镰刀菌所致茎基腐病的抗性[J]. 麦类作物学报, 2015, 35(3): 339-345
Yang Y, He X L, Hu Y F, Hou Y, Niu Y J, Dai J L, Yuan H X, Li H L. Resistance of wheat cultivars in Huang-Huai region of China to crown rot caused by *Fusarium pseudograminearum* [J]. *Journal of Triticeae Crops*, 2015, 35(3): 339-345 (in Chinese)
- [9] 纪莉景,栗秋生,王连生,孙梦伟,王亚娇,孔令晓. 河北省小麦冠腐病发生现状及病原菌初探[J]. 植物保护, 2016, 42(5): 154-157
Ji L J, Li Q S, Wang L S, Sun M W, Wang Y J, Kong L X. Occurrence and pathogen composition of wheat crown rot in Hebei Province[J]. *Plant Protection*, 2016, 42(5): 154-157 (in Chinese)
- [10] Smiley R W. Mechanized method to inoculate field soil to evaluate *Fusarium* crown rot of wheat [J]. *Plant Disease*, 2019, 103(11): 2857-2864
- [11] 蒲乐凡,任慧,欧杨晨,任慧莉,曾庆东,胡小平,李春莲,韩德俊. 小麦茎基腐病和赤霉病抗源筛选及关联 SNP 位点分析[J]. 麦类作物学报, 2020, 40(7): 521-529
Pu L F, Ren H, Ou Y C, Ren H L, Zeng Q D, Hu X P, Li C L, Han D J. Screening of germplasms resistant to crown rot and *Fusarium* head blight and the associated SNPs in wheat [J]. *Journal of Triticeae Crops*, 2020, 40(7): 521-529 (in Chinese)
- [12] 张政文,孙秀娟,胡乃娟,黄卉,朱利群,卞新民. 麦秸掩埋还田对赤霉菌(*Fusarium graminearum* Schw.)存活率和水稻带菌的影响[J]. 植物病理学报, 2014, 44(4): 443-448
Zhang Z W, Sun X W, Hu N J, Huang H, Zhu L Q, Bian X M. Effect of straw ditch-buried return depth on *Fusarium graminearum* survival rate and carrier rate of rice[J]. *Acta Phytopathologica Sinica*, 2014, 44(4): 443-448 (in Chinese)
- [13] Liu C, Ogonnaya F C. Resistance to *Fusarium* crown rot in wheat and barley: a review [J]. *Plant Breeding*, 2015, 134(4): 365-372
- [14] Chen Y, Zhou M G. Characterization of *Fusarium graminearum* isolates resistant to both carbendazim and a new fungicide JS399-19[J]. *Phytopathology*, 2009, 99(4): 441-446
- [15] 王路遥,王超,申成美,陈怀谷,郭坚华. 引发小麦赤霉病和茎基腐病禾谷镰孢菌的生物防治初探[J]. 麦类作物学报, 2014, 34(5): 703-708
Wang L Y, Wang C, Shen C M, Chen H G, Guo J H. Biocontrol of wheat *Fusarium* head blight and *Fusarium* crown rot caused by *Fusarium graminearum* [J]. *Journal of Triticeae Crops*, 2014, 34(5): 703-708 (in Chinese)
- [16] 张洁,汤蒙蒙,夏明聪,林琪童,孙润红,杨艳艳,杨丽荣,李洪连. 枯草芽孢杆菌 YB-05 与申嗪霉素复配防治小麦茎基腐病[J]. 中国生物防治学报, 2018, 34(6): 866-872
Zhang J, Tang M M, Xia M C, Lin Q T, Sun R H, Yang Y Y, Yang L R, Li H L. Combination of *Bacillus subtilis* YB-05 and Shenqinmycin for integrated control of wheat crown rot [J]. *Chinese Journal of Biological Control*, 2018, 34(6): 866-872 (in Chinese)

- [17] Khan N I, Schisler D A, Boehm M J, Slininger P J, Bothast R J. Selection and evaluation of microorganisms for biocontrol of *Fusarium* head blight of wheat incited by *Gibberella zeae* [J]. *Plant Disease*, 2001, 85(12): 1253-1258
- [18] Dunlap C A, Evans K O, Theelen B, Boekhout T, Schisler D A. Osmotic shock tolerance and membrane fluidity of cold-adapted *Cryptococcus flavescens* OH 182. 9, previously reported as *C. nodaensis*, a biocontrol agent of *Fusarium* head blight [J]. *FEMS Yeast Research*, 2007, 7(3): 449-458
- [19] Schisler D A, Yoshioka M, Vaughan M M, Dunlap C A, Rooney A P. Nonviable biomass of biocontrol agent *Papiliotrema flavescens* OH 182.9 3C enhances growth of *Fusarium graminearum* and counteracts viable biomass reduction of *Fusarium* head blight [J]. *Biological Control*, 2019, 128: 48-55
- [20] Schisler D A, Core A B, Boehm M J, Horst L, Krause C, Dunlap C A, Rooney A P. Population dynamics of the *Fusarium* head blight biocontrol agent *Cryptococcus flavescens* OH 182.9 on wheat anthers and heads [J]. *Biological Control*, 2014, 70: 17-27
- [21] 程丽娟, 薛泉宏. 微生物学实验技术 [M]. 北京: 科学出版社, 2012
Cheng L J, Xue Q H. *Laboratory Manual of Microbiology* [M]. Beijing: Science Press, 2012 (in Chinese)
- [22] 辛海峰. 植物内生菌抑制小麦赤霉病的研究 [D]. 南京: 南京师范大学, 2013
Xin H F. The research of plant endophytic bacteria against *Fusarium* head blight of wheat [D]. Nanjing: Nanjing Normal University, 2013 (in Chinese)
- [23] 申成美. 我国冬小麦主产区禾谷镰孢菌的组成、分布、致病力及生物防治研究 [D]. 南京: 南京农业大学, 2012
Shen C M. Geographic distribution of trichothecene chemotypes and pathogenicity, biocontrol of *Fusarium graminearum* species complex in major winter wheat production areas of China [D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2012 (in Chinese)
- [24] Wei H L, Zhang L Q. Quorum-sensing system influences root colonization and biological control ability in *Pseudomonas* fluorescent 2P24 [J]. *Antonie van Leeuwenhoek*, 2006, 89: 267-280
- [25] Gagne S, Richard C, Rousseau H, Antoun H. Xylem-residing bacteria in alfalfa roots [J]. *Canadian Journal of Microbiology*, 1987, 33(11): 996-1000
- [26] 王刚, 刘凤英, 王淼, 彭玲. 内生细菌 B3-7 的运动性参与其在小麦根系的内生定殖和对小麦全蚀病的生物防治 [J]. 植物病理学报, 2011, 41(5): 526-533
Wang G, Liu F Y, Wang M, Peng L. Motility of endophytic bacteria strain B3-7 involved in endophytic colonization of wheat roots and biological control of wheat take-all [J]. *Acta Phytopathologica Sinica*, 2011, 41(5): 526-533 (in Chinese)
- [27] 张俊英, 王敬国, 许永利. 大豆根系分泌物中氨基酸对根腐病菌生长的影响 [J]. 植物营养与肥料学报, 2008, 14(2): 308-315
Zhang J Y, Wang J G, Xu Y L. Effect of amino acids from soybean root exudates on hyphal growth of pathogenic fungi of soybean root rot [J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2008, 14(2): 308-315 (in Chinese)
- [28] 孙微微. 杜仲内生真菌的分离鉴定及活性菌株在小麦中的定殖研究 [D]. 合肥: 安徽农业大学, 2014
Sun W W. Isolation and identification of endophytic fungi from *Eucommia ulmoides* and investigate tie colonization of the active strain in wheat [D]. Hefei: Anhui Agricultural University, 2014 (in Chinese)

责任编辑: 杨爱东