

球毛壳22-10对小麦根腐病的防治效果研究

岳海梅¹ 陈慧² 文家乐¹

(1. 西藏农牧大学植物科学学院, 西藏林芝 860000; 2. 西藏自治区气候中心, 西藏拉萨 850000)

摘要 由麦根腐平脐蠕孢 (*Bipolaris sorokiniana*) 引起的小麦根腐病在小麦全生育期均可发生, 可导致植株部分或整体死亡, 是麦类作物生产中防治难度较大的病害之一。鉴于毛壳属真菌在植物病害生防中具有重要应用价值, 本试验旨在探究利用球毛壳菌22-10对该病进行生物防治的潜力。本试验选取球毛壳22-10对麦根腐平脐蠕孢进行平板对峙、孢子萌发抑制试验; 设计预防组和治疗组试验, 研究不同稀释倍数的球毛壳22-10发酵液对叶斑型和根腐型小麦根腐病的田间预防和治疗效果。结果显示, 球毛壳22-10的1倍和3倍稀释发酵液对病原菌的菌落生长抑制率均达到45%左右, 与化学杀菌剂多菌灵的效果相当; 1~15倍稀释发酵液对麦根腐平脐蠕孢的孢子萌发抑制率均达到85%以上, 且可导致病原菌芽管畸形, 抑制芽管的伸长。球毛壳22-10的1~5倍稀释发酵液对根腐型根腐病的预防效果为87.50%~100.00%, 治疗效果为64.60%~96.46%; 对叶斑型根腐病的预防效果为76.23%~93.21%, 治疗效果为23.10%~90.83%, 对两种症状的根腐病的预防效果均好于治疗效果。本试验证实, 球毛壳22-10对麦根腐平脐蠕孢具有显著的拮抗活性, 能有效抑制其菌丝生长与孢子萌发, 田间试验中也对小麦叶斑和根腐症状展现出优异的防控效果。该研究为小麦根腐病的生物防治提供了一种有效的候选菌株, 对推动绿色农药的研发和农业可持续发展具有重要意义。

关键词 球毛壳菌; 小麦根腐病; 抑菌效果; 田间防效

中图分类号: S476

文献标志码: A

文章编号: 2096-4781 (2025) 06-0677-11

DOI: 10.19707/j.cnki.jpa.2025.06.001

A Study of the Control Effect of *Chaetomium globosum* 22-10 on the Wheat Root Rot Disease

YUE Haimei¹, CHEN Hui², WEN Jiale¹

(1. College of Plant Science, Xizang Agricultural and Animal Husbandry University, Linzhi, Xizang 860000, China; 2. Xizang Autonomous Region Climate Centre, Lasa, Xizang 850000, China)

Abstract: The wheat scab and root rot disease, caused by *Bipolaris sorokiniana*, can occur throughout the entire growth period of wheat. It can lead to partial or total plant death and is one of the difficult diseases to control in wheat crop production. Given the significant application value of fungi from the genus *Chaetomium* in the biological control of plant diseases, this experiment aimed to explore the potential of using *C. globosum* 22-10 for the biological control of this disease. In this experiment, *C. globosum* 22-10 was selected to conduct flat confrontation and spore germination inhibition tests on *Bipolaris sorokiniana*, and the prevention and treatment group experiments were designed to study the field prevention and treatment effects of *C. globosum* 22-10 fermentation broth with different dilution ratios on leaf spot-type and root rot-type symptoms of wheat root rot. The results show that both the 1-fold and 3-fold diluted

收稿日期: 2025-10-20

作者简介: 岳海梅 (1979-), 女, 汉族, 新疆和静人, 博士, 教授。研究方向: 主要从事植物保护和微生物资源及利用等方面的研究。

基金项目: 国家自然科学基金 (31760006); 2025年中央财政支持地方高校发展改革专项资金 (YJSXK2025-05)。

fermentation broth of *C. globosum* 22-10 had about 45% of the colony growth inhibition rate of *Bipolaris sorokiniana*, which was comparable to the effect of the chemical fungicide pyriferrin; The 1-15-fold diluted fermentation broth of 22-10 inhibited the spore germination rate of *Bipolaris sorokiniana* by more than 85%, and could lead to malformation of the bud tube of pathogens and inhibit the elongation of the bud tube. The 1-5-fold diluted fermentation broth of *C. globosum* 22-10 had a preventive effect on root rot-type symptoms of wheat root rot by 87.50% ~ 100.00%, and the treatment effect was 64.60% ~ 96.46%; the prevention effect on leaf spot-type symptoms of wheat root rot was 76.23% ~ 93.21%, and the treatment effect was 23.10% ~ 90.83%. The prevention effect on wheat root rot of both symptoms was better than the treatment effect. This experiment confirmed that *C. globosum* 22-10 exhibited significant antagonistic activity against *Bipolaris sorokiniana*, effectively inhibiting the growth of its mycelium and the germination of its spores. Field trials also showed excellent control effects on wheat leaf spot and root rot symptoms. This research provides an effective candidate strain for the biological control of wheat scab and root rot disease, which is of great significance for promoting the development of green pesticides and the sustainable development of agriculture.

Key words: *Chaetomium globosum*; Wheat root rot; Antibacterial effect; Field control effect

麦根腐平脐蠕孢 (*Bipolaris sorokiniana*) 可引起小麦蠕孢叶斑根腐病 (以下简称小麦根腐病), 该病是普遍发生在禾本科作物上的世界性病害之一^[1], 在我国各麦区均有发生, 何潭等记载 1987 年该病在西藏有发生^[2], 李晓忠等进一步明确了该病在藏东南麦区普遍发生^[3]。此病主要危害大麦、小麦、燕麦和黑麦等, 也可侵染高粱、看麦娘、冰草和狗尾草等 60 多种禾本科植物。此病从小麦幼苗期即可发生, 持续发生至抽穗期, 是贯穿小麦全生育期的同源多症病害^[4]。此病可使麦粒不能正常发芽, 降低种子的发芽率和出苗率, 造成小麦幼苗期的苗枯, 成株期的叶枯、叶斑、根腐、茎基腐和穗腐等, 以成株期的叶斑病发生最为普遍, 成株期如发生根腐可导致小麦部分或全株死亡。此病的初侵染源主要为病土、病株残体和带病种子等。小麦拔节后, 病斑可自小麦下部向上部不断扩展, 分生孢子借助气流传播, 实现其再次侵染, 成为麦类作物生产中较难防治的病害之一。

毛壳属 (*Chaetomium*) 真菌是一类世界性广泛分布的真菌, 存在于自然界的土壤、木材、植物残体、动物粪便、皮革等各类富含纤维素的基质上。研究发现, 毛壳属真菌在植物病害的生物防治中具有较大的应用价值, 可直接或间接抑制多种病原菌的生长, 球毛壳 (*C. globosum*)、近缘毛壳 (*C. subaffine*)、绳生毛壳 (*C. funicola*) 和卷毛壳 (*C. cochliades*) 等可有效抑制枯萎病、稻瘟病、立枯丝核病、番茄灰霉病和玉米大斑病等病菌的生长^[5-7]。

球毛壳菌 (*C. globosum*) 是该属真菌的模式种, 其防治作物病害的研究最早可以追溯到 1954 年, 球毛壳菌具有很高的抗真菌潜力^[8,9], 是一种有效的生防真菌, Andrews 发现球毛壳菌孢子悬浮液及其发酵粗提物能够显著降低苹果黑星病的发生, 并明确其发酵液具有抗生作用, 近年来陆续发现球毛壳菌对柑橘根腐病、番茄叶斑病、马铃薯晚疫病、油菜菌核病等多种真菌病害具有防治效果^[10,11]。Zhao 等研究了球毛菌 CDW-7 对 9 种植物病原真菌的抑菌活性, 发现其发酵液对油菜菌核病菌的抑制效果达到 57.8%^[12]。Xue 等用球毛壳菌 QY-1 发酵液处理储藏期的柑橘, 发现其可抑制柑橘采后的指状青霉, 进一步从发酵液中纯化出 8 种聚酮化合物, 其中 2 种化合物具有较强的抗氧化活性, 2 种化合物具有较强的抑菌作用, 对

柑橘具有综合的保鲜效应^[13]。罗秋菊等研制的球毛壳菌FSR-74可湿性粉剂,即使稀释100倍,对人参锈腐病防效仍可达到62.24%^[14]。

本研究基于前期在实验室进行毛壳属真菌的分离、鉴定、皿内抑菌试验的基础上,筛选出一株优良的球毛壳22-10,进一步研究该菌株发酵液对小麦蠕孢根腐病菌的皿内抑菌效果,探讨其发酵液在田间对根腐型和叶斑型小麦根腐病的预防和治疗效果,以期小麦根腐病的生物防治提供一种有效的候选菌株,推动绿色农药的研发和农业可持续发展。

1 材料与方法

1.1 菌株和种子的来源

球毛壳菌22-10、麦根腐平脐蠕孢(*B. sorokiniana*)均来自西藏农牧大学植物病理学与微生物学实验室。小麦品种为西藏本地大面积种植的推广品种--肥麦。

1.2 试验田

选择西藏农牧大学实习农场的试验田进行田间试验。

1.3 主要仪器及试剂

超净工作台(SW-CJ-1BU)、全温振荡器(HZQ-QX)、低温冰箱(海尔BCD)、德国徕卡系统显微镜(DM5000)、高原型全自动高压灭菌锅(日本TOMY, SX-500H)、程控人工气候箱(RQH-350)、鼓风式恒温干燥箱(101-2)、高速台式离心机(TGL-16G)、电子天平(JA10003N)、生化培养箱(LRH-250)等,60%的多菌灵可湿性粉剂(山东恒生农药)、二甲基亚砜(DMSO, AR)、葡萄糖和琼脂等均购自北京化学试剂有限公司,无菌水、超纯水等。

1.4 皿内抑菌试验

1.4.1 球毛壳22-10发酵液对麦根腐平脐蠕孢的平板对峙试验

球毛壳22-10的液体发酵培养基选用PDB,28℃恒温振荡培养5d,设转速为180 r/min,用微孔滤膜(0.22 μm)过滤发酵液得到无菌滤液,用无菌水将发酵液配制成1×、3×、5×、10×、15×、20×和25×等7个不同倍数的稀释液,阳性对照为30 mg/mL的多菌灵溶液,阴性对照为PDB培养液,计算公式如下:

抑制率=(对照试验中麦根腐平脐蠕孢的生长半径-对峙试验中麦根腐平脐蠕孢的生长半径)/对照试验中麦根腐平脐蠕孢的生长半径×100% (1)

1.4.2 球毛壳22-10发酵液对麦根腐平脐蠕孢孢子萌发的影响

将球毛壳22-10发酵液与病菌孢子充分混匀至1.4.1的稀释倍数,阳性对照为30 mg/mL的多菌灵溶液,阴性对照为等倍稀释的DMSO稀释液,取各处理的孢子混合液200 μL滴加在无菌的凹玻片上,25℃保湿恒温培养数小时,每个处理3次重复,当对照孢子萌发率达到50%以上时,在光学显微镜下检查其它处理的孢子萌发率,并计算孢子萌发抑制率:

孢子萌发抑制率=(对照的孢子萌发率-处理的孢子萌发率)/对照孢子萌发率×100% (2)

1.5 田间试验

1.5.1 球毛壳22-10发酵液对根腐型小麦根腐病的田间防效

本试验在西藏农牧大学实习农场试验田进行,试验分为预防组和治疗组。接种病菌于煮熟的麦粒上,

待麦粒上长满菌丝后备用,将试验地块分成面积为 2 m^2 ($2.0 \times 1.0\text{ m}$)的小区,每个小区间隔 0.8 m 。

预防试验中,阳性对照为 30 mg/mL 的多菌灵溶液浸种,阴性对照为PDB培养液浸种,预先将肥麦种子用不同稀释倍数(1×、3×、5×、10×)的球毛壳22-10发酵液浸泡 12 h ,然后播种,每个小区种植5行。待小麦苗出土后,将各处理的肥麦种子施在麦沟里,每个小区 20 g ,试验期间不施任何肥料。接菌后 13 d 后,待小麦长到5~6叶期时统计根部的发病率和病情指数,计算其防效,计算公式如下:

$$\text{发病率} = \frac{\text{发病的小麦株数}}{\text{调查的小麦株数}} \times 100\% \quad (3)$$

$$\text{病情指数} = \frac{\sum(\text{各级病根数} \times \text{该病级值})}{\text{调查总根数} \times \text{最高级值}} \times 100 \quad (4)$$

$$\text{防效} = \frac{(\text{对照的病情指数} - \text{处理的病情指数})}{\text{对照的病情指数}} \times 100\% \quad (5)$$

治疗试验中先将扩繁的带病菌的麦粒均匀撒在麦沟里,然后播种肥麦,每个小区 20 g 带菌麦粒,每个小区种植5行。待小麦苗出土后,分别采用灌根法接种(4个浓度:1×、3×、5×、10×)球毛壳22-10发酵液 20 mL 、阳性对照为 30 mg/mL 的多菌灵溶液,阴性对照为PDB培养液,试验期间不施任何肥料。待小麦长到5~6叶期时统计根部的发病率和病情指数,计算其防效,计算公式同1.5.1预防试验。

根腐型小麦根腐病发病的分级标准参考刘欢欢等方法^[5]:

0级:根部无病不发黑;1级:根部发黑面积占1%~5%;3级:根部发黑面积占6%~20%;5级:根部发黑面积占21%~40%;7级:根部发黑面积占41%~60%;9级:根部发黑面积占60%以上。

1.5.2 球毛壳22-10发酵液对叶斑型小麦根腐病的田间防效

本试验在西藏农牧大学实习农场试验田进行,土质为沙土。田间试验分为预防组和治疗组,小区设计和管理同1.5.1。

预防试验中,阳性对照为 30 mg/mL 的多菌灵溶液,阴性对照为PDB培养液,待小麦长至5~6叶期时,叶面喷雾球毛壳22-10不同稀释倍数(1×、3×、5×、10×)的发酵液, 48 h 后喷雾接种麦根腐平脐蠕孢的孢子悬浮液(浓度为 1×10^6 个/ mL),以叶片两面布满液体为度,灌水保湿, 10 d 后调查小麦叶部的发病率和病情指数,计算其防效,计算公式同1.5.1。

治疗试验中,阴性对照和阳性对照同预防试验。待小麦长到5~6叶期时,在傍晚进行喷雾接种麦根腐平脐蠕孢的孢子悬浮液(浓度为 1×10^6 个/ mL),以叶片两面布满液体为度,灌水保湿, 48 h 后,再喷雾不同稀释倍数(1×、3×、5×、10×)的球毛壳22-10发酵液于叶面,计算公式及数据统计同预防试验。

叶斑型小麦根腐病的分级标准参考郭玉莲等的方法^[6]:

0级:旗叶无病斑或上部第二片叶偶有小病斑;1级:旗叶偶有小病斑,仅占叶面积5%~15%;2级:旗叶病斑较多,占叶面积16%~45%;3级:旗叶病斑很多,占叶面积46%~75%,部分叶片枯死;4级:全株病斑密集,病斑大且连片,占叶面积76%~100%,叶片大部分枯死。

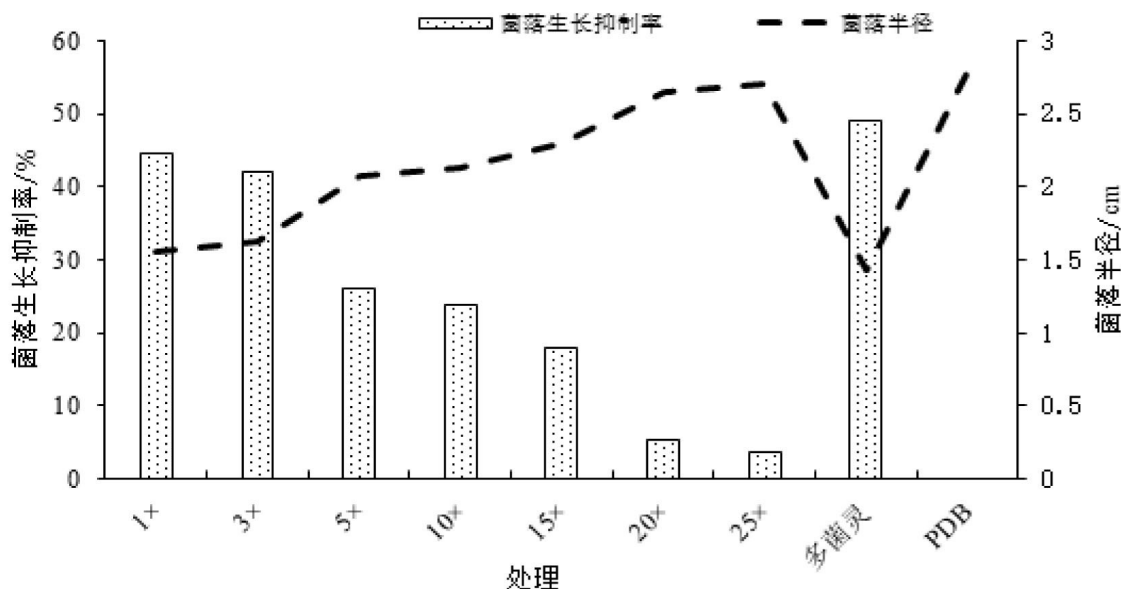
2 结果与分析

2.1 皿内抑菌试验结果

2.1.1 球毛壳22-10发酵液对麦根腐平脐蠕孢菌落生长的影响

用7个稀释倍数的球毛壳22-10发酵液对麦根腐平脐蠕孢进行皿内抑菌试验,由图1可以看出,对峙培养 5 d 后,球毛壳22-10发酵原液和3×稀释发酵液可明显抑制病菌的菌落生长,抑菌率达到45%左右,

与阳性对照多菌灵的抑菌效果相当(49%)。球毛壳22-10的5×和10×稀释发酵液的抑制率在25%左右,15×稀释发酵液抑制率明显下降,仅为20%左右,20×和25×稀释发酵液抑制率不到10%。在球毛壳22-10的1×和3×稀释发酵液的作用下,病菌生长5 d菌落半径仅为1.6 cm,与阳性对照多菌灵作用下的菌落半径基本一致,而球毛壳22-10的5×~25×稀释发酵液对病菌的菌落生长无明显抑制作用。



注: 以上不同小写字母表示不同处理 $P \leq 0.05$ 水平上差异显著。

图1 球毛壳22-10发酵液对麦根腐平脐蠕孢菌落生长的影响(5 d)

Fig.1 Effect of different dilutions of 22-10 fermentation broth on the growth of *Bipolaris sorokiniana*

2.1.2 球毛壳22-10发酵液对麦根腐平脐蠕孢孢子萌发的影响

用7个不同稀释倍数的球毛壳22-10发酵液对麦根腐平脐蠕孢开展孢子萌发试验,表1可见,4 h后,球毛壳22-10的原液可完全抑制病菌孢子的萌发,抑制率达100%。其次为3×稀释发酵液,抑制率可达到74.62%,5×和10×稀释发酵液抑制率也较理想,达到66.50%左右。但15×、20×和25×稀释发酵液对病菌孢子萌发的抑制效果明显下降。球毛壳22-10的发酵原液也完全抑制病菌芽管的伸长,3×稀释发酵液也可明显抑制病菌芽管的伸长,抑制率达94.70%,5×、10×和15×稀释发酵液抑制效果均在85.00%左右,20×和25×稀释发酵液对病菌芽管伸长的抑制效果明显下降,但仍然可达60%以上。

从图2可以看出,在球毛壳22-10的发酵原液、3×、5×、10×和15×稀释液的处理下,麦根腐平脐蠕孢的孢子在萌发时形成球形、膨大的畸形芽管,即使延长培养时间,芽管也不能继续伸长,在20×和25×稀释发酵液的处理下,芽管萌发后虽未见畸形,但继续伸长受抑制,芽管无法生长至阴性对照的长度。

2.2 田间试验结果

2.2.1 球毛壳22-10发酵液对根腐型小麦根腐病的田间防效

由表2可以看出,在预防试验中,用 $\leq 10 \times$ 的球毛壳22-10稀释发酵液预先浸泡处理肥麦种子,出苗后13 d,小麦根部根腐的发病率和病情指数都有所下降,球毛壳22-10发酵原液处理过的肥麦种子不发病,

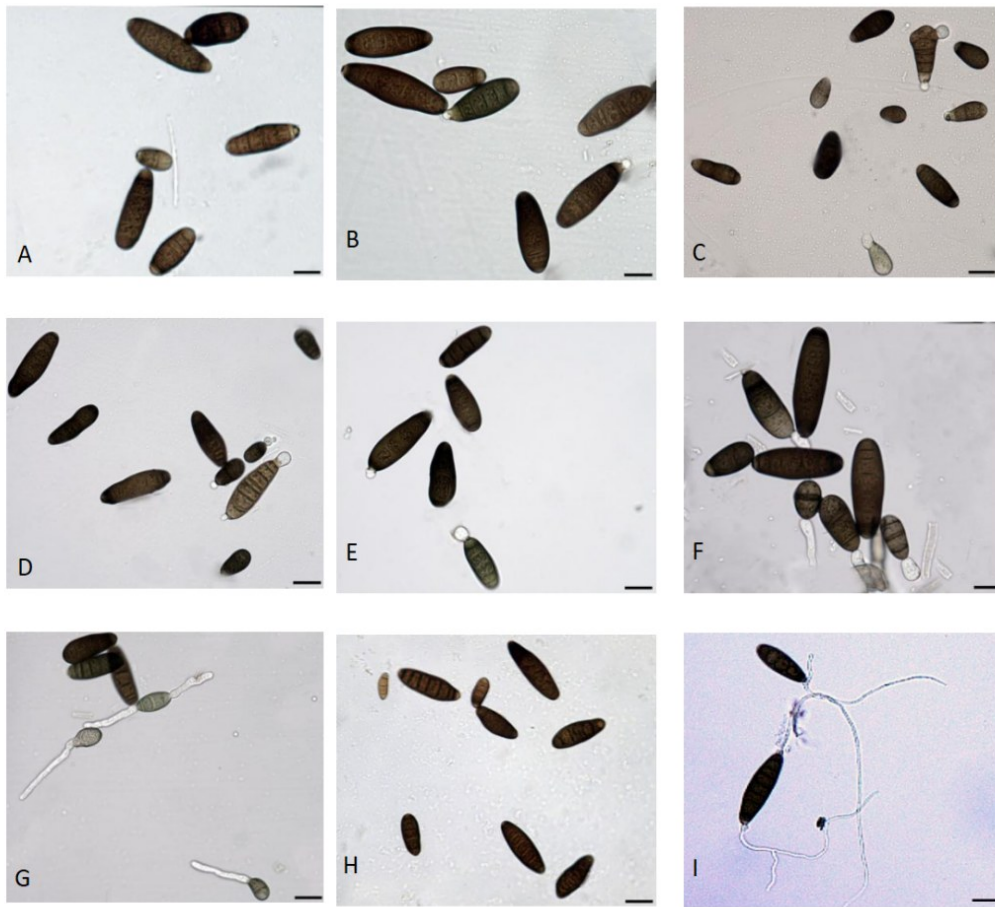
防效为100%，效果最佳。3×和5×稀释发酵液预先浸泡过的肥麦种子，根部的发病率可控制在14.29%~20.00%，病情指数均在10.00以下，防效均在85.00%以上。而10×稀释发酵液没有明显的预防效果，不能显著降低其根部的发病率和病情指数。

表1 球毛壳22-10发酵液对麦根腐平脐蠕孢孢子萌发的影响(4 h)

Tab.1 Effect of 22-10 fermentation broth on the spore germination of *Bipolaris sorokiniana*

处理	孢子萌发		芽管	
	萌发率/%	抑制率/%	长度/ μm	抑制率/%
1×(发酵原液)	0.00 \pm 0.01g	100.00 \pm 0.24 a	0.00 \pm 0.02 h	100.00 \pm 0.01 a
3×发酵稀释液	20.00 \pm 0.35 f	74.62 \pm 0.31 b	7.77 \pm 0.22 g	94.70 \pm 0.12 b
5×发酵稀释液	26.37 \pm 0.37 e	66.53 \pm 0.67 c	16.32 \pm 0.31 f	88.87 \pm 0.79 c
10×发酵稀释液	26.43 \pm 0.42 e	66.46 \pm 0.57 c	18.29 \pm 0.24 e	87.52 \pm 0.83 c
15×发酵稀释液	43.00 \pm 0.73 d	45.42 \pm 0.48 d	21.17 \pm 0.26 d	85.56 \pm 0.71 d
20×发酵稀释液	50.00 \pm 0.57 c	36.54 \pm 0.58 e	41.65 \pm 0.45 c	71.59 \pm 0.82 e
25×发酵稀释液	61.11 \pm 0.68 b	22.44 \pm 0.37 f	55.72 \pm 0.67 b	61.99 \pm 0.54 f
多菌灵(阳性对照)	0.00 \pm 0.02 g	100.00 \pm 0.76 a	0.00 \pm 0.05 h	100.00 \pm 0.03 a
PDB(阴性对照)	78.79 \pm 1.21 a	/	146.61 \pm 1.32 a	/

注：同列数据后不同小写字母表示 $P \leq 0.05$ 水平上差异显著，采用最小极差法(LSD)进行显著性分析(\pm 标准差)，下同。



注：A：1×；B：3×；C：5×；D：10×；E：15×；F：20×；G：25×；H：多菌灵(carbendazim)；I：PDB；标尺：30 μm 。

图2 22-10发酵液处理下的小麦根腐病菌的孢子及芽管(4 h)

Fig.2 *Bipolaris sorokiniana* spores and germ tubes treated with 22-10 fermentation broth

表2 球毛壳22-10发酵液对根腐型小麦根腐病的田间防效

Tab.2 Control effect of 22-10 fermentation broth on root rot type of wheat common root rot

处理	计量指标(13 d)		
	发病率/%	病情指数	防效/%
预防			
1×发酵液	0.00±0.03 d	0.00±0.01 e	100.00±0.02 a
3×发酵稀释液	14.29±0.21 c	4.76±0.18 d	94.65±0.33 b
5×发酵稀释液	20.00±0.26 b	11.11±0.35 c	87.50±0.53 c
10×发酵稀释液	100.00±0.03 a	66.67±0.92 b	25.00±0.18 d
多菌灵	0.00±0.02 d	0.00±0.03 e	100.00±0.02 a
PDB	100.00±0.02 a	88.89±0.64 a	/
治疗			
1×发酵液	20.00±0.16 d	2.22±0.32 e	96.46±0.76 b
3×发酵稀释液	42.86±0.63 c	7.94±0.24 d	87.35±0.47 c
5×发酵稀释液	60.00±0.38 b	22.22±0.35 c	64.60±0.72 d
10×发酵稀释液	100.00±0.02 a	44.44±0.64 b	29.19±0.29 e
多菌灵	0.00±0.01 e	0.00±0.01 f	100.00±0.01 a
PDB	100.00±0.01 a	62.76±0.78 a	/

在治疗试验中,接病菌后再用 $\leq 10\times$ 的球毛壳22-10发酵液进行灌根处理,出苗后13 d,肥麦根部的发病率和病情指数均有所下降,发酵原液灌根过的肥麦,其根部发病最轻,发病率仅为20.00%,病情指数仅为2.22,防效可达96.46%。3×稀释发酵液灌根的处理,小麦根部发病也较轻,其发病率为42.86%,病情指数为7.94,防效为87.35%。5×稀释发酵液灌根的处理,小麦根部发病率较前两种处理略高,为60.00%,病情指数为22.22,比对照的严重度有明显降低,防效为64.60%。而10×稀释发酵液灌根的处理,小麦根部全部发病,防效甚微,只是病情指数稍有降低。

对比预防试验和治疗试验,球毛壳22-10的发酵原液、3×、5×稀释发酵液对根腐型症状的小麦根腐病均具有较好防效,且同种浓度的22-10发酵液,其预防效果比治疗效果好。

2.2.2 球毛壳22-10发酵液对叶斑型小麦根腐病的田间防效

由表3可见,在预防试验中,用 $\leq 10\times$ 的球毛壳22-10发酵液预先喷施麦苗,再接种麦根腐平脐蠕孢的孢子悬浮液,发病率和病情指数与阴性对照相比,均有所降低,以发酵原液喷施过的防效最为显著,小麦叶部发病最轻,发病率仅为20.00%,病情指数为5.00,防效高达93.21%。3×稀释发酵液预先处理的麦苗,其叶部发病较轻,发病率为25.00%,病情指数为6.25,防效90.77%。5×稀释发酵液预先处理的麦苗,其叶部发病率较前2种处理略高,为44.44%,病情指数为19.44,比照的严重度有明显降低,防效为76.23%,而10×稀释发酵液预先处理的麦苗,防病效果不理想,叶部发病重,只是病情指数稍有降低。

在治疗试验中,接种麦根腐平脐蠕孢的孢子悬浮液于小麦叶片后,再喷施 $\leq 10\times$ 的球毛壳22-10发酵液,10 d后发病率和病情指数与阴性对照相比,均有所下降,以发酵原液喷施过的小麦治疗效果最为显著,叶部发病较轻,发病率仅为22.22%,病情指数为5.55,防效可达90.83%。3×稀释发酵液处理过的麦苗,发病也较轻,其叶部发病率为30.00%,病情指数为7.50,防效为88.46%。5×和10×稀释发酵液处理过的麦苗,防效甚微或无,发病率都为100.00%,病情指数达到50.00左右。

对比预防试验和治疗试验,球毛壳22-10的发酵原液及3×稀释发酵液对叶斑型症状小麦根腐病均

具有较好防效，且同种浓度的22-10发酵液，其预防效果比治疗效果好。

表3 球毛壳22-10发酵液对叶斑型小麦根腐病的田间防效

Tab.3 Control effect of 22-10 fermentation broth on leaf spot type of wheat common root rot

处理	计量指标(13 d)		
	发病率/%	病情指数	防效/%
预防			
1×发酵液	20.00±0.44 d	5.00±0.23 e	93.21 ±0.96 b
3×发酵稀释液	25.00±0.47 c	6.25±0.83 d	90.77±0.36 b
5×发酵稀释液	44.44 ±0.73 b	19.44±0.36 c	76.23 ±0.74 c
10×发酵稀释液	100.00 ±0.01 a	75.00±0.39 b	8.30 ±0.71 d
多菌灵	0.00±0.01 e	0.00±0.01 f	100.00 ±0.01 a
PDB	100.00±0.02 a	81.79 ±0.02 a	/
治疗			
1×发酵液	22.22 ±0.22 c	5.55±0.14 e	90.83 ±0.87 b
3×发酵稀释液	30.00 ±0.32 b	7.50±0.33 d	88.46±0.29 c
5×发酵稀释液	100.00±0.01 a	41.66±0.36 c	23.10±0.45 d
10×发酵稀释液	100.00±0.03 a	50.00±0.39 b	7.70±0.57 e
多菌灵	0.00±0.01 d	0.00±0.01 f	100.00±0.01 a
PDB	100.00±0.01 a	54.17±0.72 a	/

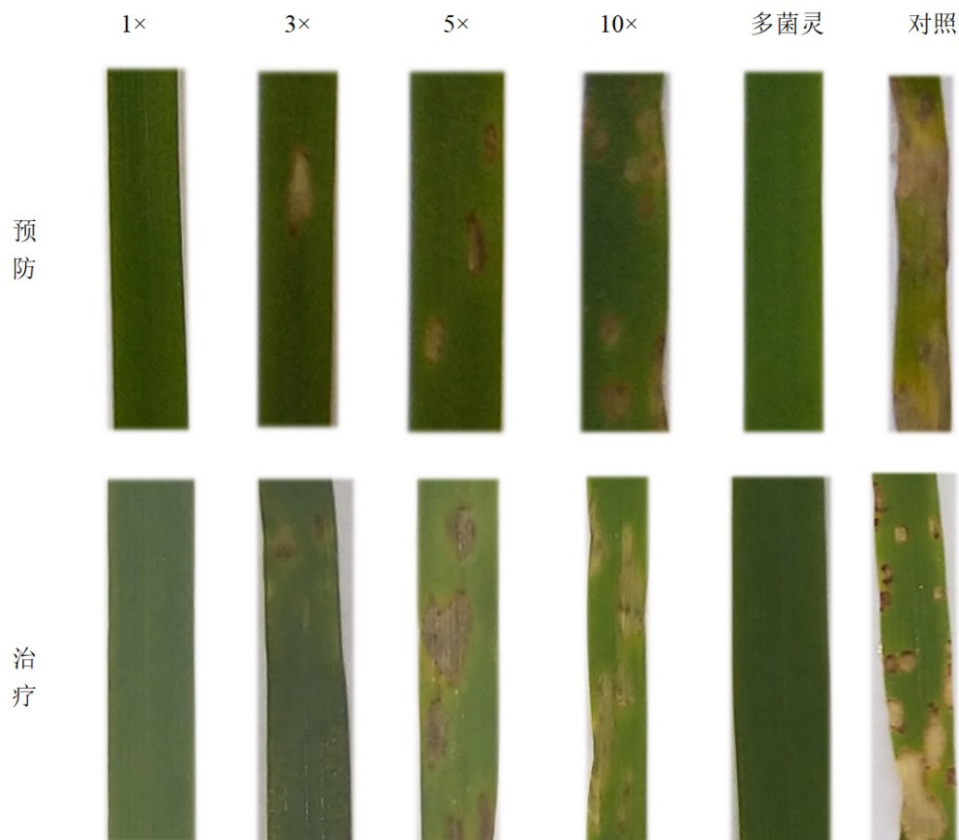


图3 球毛壳22-10发酵液对叶斑型小麦根腐病症状的影响

Fig.3 Leaf symptoms of wheat leaf spot under treatment with different dilutions of 22-10 fermentation broth

分别对预防组和治疗组的发病小麦的叶片进行拍照,由图3可见,预防组和治疗组的发病叶片,其病斑的大小有明显差异。预防试验组中,麦苗叶部的病斑数量明显较少,病斑面积也较小,病部产孢不明显;治疗试验组中,叶部病斑数量较多,病斑面积也较大,病部产孢较明显,可产生明显的黑色霉层。

3 讨论

在中国,小麦平均播种面积占全国耕地总面积的22%~30%,达到2333.33万公顷,占粮食作物总面积的20%~27%,其产量占世界粮食总产量的30%以上。小麦是仅次于青稞的西藏第二大农作物,种植面积占西藏农作物播种面积的27%左右^[17],在山南、拉萨、那曲等地区,小麦的消费量高于青稞^[18]。小麦根腐病可感染不同生育期的麦类作物,从而造成严重减产,一般减产20%~30%,严重时造成50%以上的减产,此外该菌还可产生真菌毒素,降低小麦品质。目前,国内外推广种植的小麦和青稞品种大多为感病和高感品种,只有少数为抗病品种,高抗品种则更少^[19],没有理想的抗病品种在很大程度上增加了该病的防治难度。该病目前仍以化学防治为主,虽然用化学杀菌剂进行种子处理,对该病的防效可达75%以上^[20,21],而且药效能持续至拔节期,但容易造成药害和环境污染,有些药剂使用过量甚至会抑制种子的萌发和生长。近年来人们不断从各种环境中挖掘针对小麦根腐病的生物防治资源:如Bahadar等发现用桉树的树皮,叶和花提取的精油对该菌的抑制效果较好^[22];Kekuda等发现大蒜素可明显抑制该菌的菌丝生长^[23];刘苹等用木醋液水溶肥防治小麦根腐病,防效为51.62%^[24];卞寅博等通过盆栽试验证明,使用杀菌剂酷拉斯和枯草芽孢杆菌JY214协同防治小麦根腐病,防治效果高达70.47%^[25];挖掘耐受化学杀菌剂的生防菌,将其与化学杀菌剂联合使用,可实现环境友好,不影响植物病害的防效,还可有效缓解病原菌耐药性增强的问题^[26,27]。本研究通过皿内抑菌试验、田间预防和治疗试验,发现球毛壳菌22-10的1-5倍发酵液对病原菌的菌落生长、孢子萌发均有明显的抑制作用,对根腐型和叶斑型小麦根腐病均具有很好的预防和治疗效果。本研究中的球毛壳22-10发酵液还可使病原菌的芽管致畸,是否与该发酵液中的特殊活性物质有关还需要进一步研究。

近年来,有关球毛壳(*C. globosum*)等毛壳属真菌抑制植物病害的研究报道日趋增多。谭悠久等研究证实,球毛壳菌CH08和CH23的发酵滤液对芒果炭疽菌(*C. gloeosporioides*)和小麦根腐菌(*B. sorokiniana*)具有较强抑制作用^[28];印容等研究表明,球毛壳菌Y-11对油菜根肿病具有防治效果^[29];冯镛童等筛选的球毛壳菌对引起马铃薯干腐病的尖孢镰刀菌(*Fusarium oxysporum*)具有较好抑菌效果^[30]。产生抗菌活性物质是毛壳属真菌拮抗植物病原菌的重要机制之一。迄今为止,人们已从毛壳属真菌的代谢产物中分离和鉴定出300多种化合物,如细胞松弛素类、Azaphilone类、吡喃酮类、醌类、二酮哌嗪类、苔色酸类和甾体类等,大多具有细胞毒、抗炎和抗病原微生物等活性^[5,31,32]。据统计,45%的毛壳属真菌的次生代谢产物是从球毛壳菌中分离得到的,其产生的次级代谢产物种类繁多且结构新颖,在这些化合物中具有生物活性的次生代谢产物主要为球毛壳菌素类、二酮哌嗪和异喹啉等。其中的球毛壳菌素类和嗜氮酮类等物质对多种常见植物病原菌有良好的抑制效果^[33-35]。

球毛壳菌的发酵液及代谢产物也可直接用于植物病害的生物防治中,如球毛壳菌株61239发酵滤液对黑腐皮壳属(*Valsa mali*)的分生孢子萌发和生长均有显著的抑制作用^[36]。Aggarwal等发现球毛壳菌Cg2通过抗生素作用抑制禾旋孢腔菌(*Cochliobolus sativus*)菌丝的生长,其代谢物产量高且抑菌作用强^[37]。

Xiao等发现球毛壳菌CDW7产生的黄柄曲霉素对辣椒疫霉有显著的抑制效果^[38]；Mondol等从球毛壳菌M65的发酵粗提物中纯化出两种能明显抑制辣椒疫霉游动孢子运动的化合物^[39]。廖宏娟总结了球毛壳菌对31种病原的抑制效果，概括了23种由球毛壳菌产生的化合物对病原真菌和病原线虫的抑制率^[40]。本研究发现球毛壳22-10对麦根腐平脐蠕孢的菌丝生长、孢子萌发和伸长均有显著的抑制作用，对根腐型和叶斑型症状的小麦根腐病均具有预防和治疗效果，该球毛壳22-10在病害防治过程中发挥关键作用的代谢产物及结构可开展进一步的研究，为开发新型生防制剂奠定了理论基础。

4 结论

本研究对球毛壳22-10开展了系统的室内和田间试验，在室内试验中，球毛壳22-10的1~3倍稀释发酵液对麦根腐平脐蠕孢的菌落生长抑制效果明显，与化学杀菌剂多菌灵的效果相当；该菌株的1~15倍稀释发酵液对病原菌孢子萌发的抑制率均达到85%以上。球毛壳22-10的1-5倍稀释发酵液对根腐型和叶斑型根腐病的预防效果达到76%以上，治疗效果也较理想，其发酵液的预防效果优于治疗效果，在田间使用该菌株进行防治时，可以采用预防为主策略。综合球毛壳22-10的室内抑菌和田间防治效果，该菌株可进一步开发为有效的防治小麦根腐病的生防资源。

参考文献：

- [1] Kumar M, Chand R, Dubey R S, et al. Effect of Tricyclazole on morphology, virulence and enzymatic alterations in pathogenic fungi *Bipolaris sorokiniana* for management of spot blotch disease in barley[J]. World Journal of Microbiology and Biotechnology, 2015, 31(01): 23-35.
- [2] 何潭. 西藏麦类种传病害的发生与防治探讨[J]. 西藏农业科技, 1987, (Z1): 50-53.
- [3] 李晓忠, 顿珠次仁, 王惠文. 西藏麦作种传病害的组成及其发生特点[J]. 云南农业大学学报, 1995, (02): 116-119.
- [4] Manamgoda D S, Rossman A Y, Castlebury L A, et al. The genus *Bipolaris*[J]. *Studies in Mycology*, 2014, 79(01): 221-288.
- [5] Hung P M, Wattanachai P, Kasem S, et al. Efficacy of *Chaetomium* species as biological control agents against *Phytophthora nicotianae* root rot in citrus[J]. *Mycobiology*, 2015, 43(03): 288-296.
- [6] 刘冰, 陈枫, 刘金亮, 等. 水稻稻瘟病生防菌筛选、鉴定及作用机制初探[J]. 东北农业科学, 2023, 48 (03): 52-57.
- [7] 苏晓州. 球毛壳菌MG2对 *Valsa mali* 的抑菌成分鉴定与机理研究[D]. 陕西杨凌: 西北农林科技大学, 2024.
- [8] Park J H, Choi G J, Jang K S, et al. Antifungal activity against plant pathogenic fungi of chaetoviridins isolated from *Chaetomium globosum*[J]. *FEMS Microbiology Letters*, 2005, 252(02): 309-313.
- [9] Kamat S, Kumari M, Sajna KV, et al. Endophytic fungus, *Chaetomium globosum*, associated with marine green alga, a new source of Chrysin[J]. *Scientific Reports*, 2020, 10(01): 18726.
- [10] Andrews J H, Berbee F M, Nordheim E V. Microbial antagonism to the imperfect stage of the apple scab pathogen, *Venturia inaequalis*[J]. *Phytopathology*, 1983, 73(02): 228-234.
- [11] Shanthiyaa V, Saravanakumar D, Rajendran L, et al. Use of *Chaetomium globosum* for biocontrol of potato late blight disease [J]. *Crop Protection*, 2013, 52: 33-38.
- [12] Zhao S S, Zhang Y Y, Yan W, et al. *Chaetomium globosum* CDW7, a potential biological control strain and its antifungal metabolites[J]. *FEMS Microbiology Letters*, 2017, 364(03): fnw287.
- [13] Xue Y H, Li A, Li H, et al. Metabolite profiling reveals comprehensive effects of *Chaetomium globosum* on citrus preservation [J]. *Food Chemistry*, 2022, 369: 130959.
- [14] 罗秋菊, 雷梦苑, 杨怡昕, 等. 球毛壳菌可湿性粉剂研制及其对人参锈腐病的防效研究[J]. 中国野生植物资源, 2025, 44(06): 56-63.

- [15] 刘欢欢,董宁禹,柴升,等.生态炭肥防控小麦根腐病效果及对土壤健康修复机理分析[J].植物保护学报,2015,42(04): 504-509.
- [16] 郭玉莲,魏相峰,赵伯福,等.几丁质酶产生菌的筛选及其对小麦根腐病菌的抑制作用[J].东北农业大学学报,2006,(04): 437-440.
- [17] Jiang C, Song J, Zhang J, et al. Identification and characterization of the major antifungal substance against *Fusarium sporotrichioides* from *Chaetomium globosum*[J]. World Journal of Microbiology and Biotechnology, 2017, 33(06): 108.
- [18] 普琼,德庆卓嘎.西藏青稞主要病虫害防治配套技术应用实践[J].中国植保导刊,2018,38(12):65-68.
- [19] 孙华,王茹茹,史聪聪,等.小麦根腐病药剂筛选和品种抗性鉴定[J].东北农业科学,2023,48(03):58-61+82.
- [20] Singh D P, Kumar A, Solanki I S, et al. Management of spot blotch of wheat caused by *Bipolaris sorokiniana* in wheat using fungicides[J]. Indian Phytopathology, 2014, 67(03): 308-310.
- [21] 张金虎,谢彭超,王晨阳.3%噻虫嗪·咪鲜胺种子处理悬浮剂防治小麦根腐病田间药效试验[J].河南农业,2025,(03):66-67.
- [22] Bahadar K, Munir A, Asad S. Management of *Bipolaris sorokiniana* the causal pathogen of spot blotch of wheat by eucalyptus extracts[J]. Journal of Plant Pathology & Microbiology. 2016, 07(01): 1000326
- [23] Kekuda T R, Akarsh S, Nawaz A, et al. In vitro antifungal activity of some plants against *Bipolaris sorokiniana* (Sacc.) Shoem [J]. International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences, 2016, 05(06): 331-337.
- [24] 刘苹,李庆凯,李燕,等.含木醋液水溶肥对小麦根腐病的防治效果研究[J].山东农业科学,2022,54(05): 146-150.
- [25] 卞寅博,赵净怡,韩胜芳,等.枯草芽孢杆菌JY214和化学杀菌剂对小麦根腐病的协同防治作用[J].河北农业大学学报,2025, 48(01): 73-80.
- [26] 曾艳玲,刘韩,黎肇家,等.生防芽孢杆菌与杀菌剂的筛选复配及对栎树枝枯病防控效果[J].四川农业大学学报,2021,39 (01): 55-62.
- [27] 张敬敬,汪敏,赵港伊,等.枯草芽孢杆菌Z-14菌株芽孢制剂和醋拉斯复配对小麦纹枯病的防治[J].农业生物技术学报,2023, 31(01):146-155.
- [28] 谭悠久,钟娟,周金燕,等.毛壳菌产抗真菌活性物质菌株的筛选与鉴定[J].西南农业学报,2010,23(01):1128-1131.
- [29] 印容,高慧娟,赵秀云.球毛壳菌及其产生的鞘氨醇对油菜根肿病的室内生防作用[J].华中农业大学学报,2016,35(05):58-62.
- [30] 冯镛童,谢伟,罗依帆,等.两株毛壳菌对马铃薯干腐病原菌的抑制作用[J].中国植保导刊,2021,41(12): 5-8,50.
- [31] 徐国波,张青艳,周孟.毛壳属真菌的次生代谢产物及其生物活性研究进展[J].天然产物研究与开发,2018,30(03):515-525.
- [32] 张霞,钱雪情,刘玲艳,等.绳生毛壳霉CIB-604次级代谢产物及生物活性研究[J].天然产物研究与开发,2021,33(11): 1887-1893.
- [33] Gao B L, Xiao Y W, Zhang Q, et al. Concurrent production of glycyrrhetic acid 3-O-mono- β -D- glucuronide and lignocellulolytic enzymes by solid-state fermentation of a plant endophytic *Chaetomium globosum*[J]. Bioresources and Bioprocessing, 2021, 08(01): 88.
- [34] 王萱,崔树鹏,王改进,等.球毛壳菌发酵滤液对松树蜂共生真菌的抑菌活性[J].西北农业学报,2024,33(12):2388-2398.
- [35] 李亚,高燕珠,冯李晨,等.金色毛壳菌发酵产色素的条件优化[J].食品研究与开发,2024,45(15):138-145.
- [36] Heye C C, Andrews J H. Antagonism of *Athelia bombacina* and *Chaetomium globosum* to the apple scab pathogen, *Venturia inaequalis*[J]. Phytopathology, 1983, 73(05): 650-654.
- [37] Aggarwal R, Tewari A K, Srivastava K D, et al. Role of antibiosis in the biological control of spot blotch (*Cochliobolus sativus*) of wheat by *Chaetomium globosum*[J]. Mycopathologia, 2004, 157(04): 369-377.
- [38] Xiao Y, Li H X, Li C, et al. Antifungal screening of endophytic fungi from *Ginkgo biloba* for discovery of potent anti-phytopathogenic fungicides[J]. FEMS Microbiology Letters, 2013, 339(02): 130-136.
- [39] Mondol M A M, Farhouse J, Islam M T, et al. A new lactone from *Chaetomium globosum* strain M65 that inhibits the motility of zoospores[J]. Natural Product Communications, 2016, 11(12): 1865-1868.
- [40] 廖宏娟,张志斌,江玉梅,等.球毛壳菌对植物病原真菌和根结线虫的生物防治潜力[J].天然产物研究与开发,2022,34(06): 1076-1089.