

麦根腐平脐蠕孢和薏苡平脐蠕孢防治稻田稗草的生物活性和安全性

耿锐梅¹ 傅 扬² 张文明³ 张建萍¹ 余柳青^{1,*}

(¹中国水稻研究所 水稻生物学国家重点实验室,浙江 杭州 310006 ;²云南省昆明市植物保护植检站,云南 昆明 650034 ;³宁夏大学 农学院,宁夏 银川 751200)

Efficacy and Safety of *Bipolaris sorokiniana* and *Bipolaris coicis* for the Control of *Echinochloa crus galli* in Paddy Field

GENG Rui mei¹ , FU Yang² , ZHANG Wen ming³ , ZHANG Jian ping¹ , YU Liu qing^{1,*}

(¹ State Key Laboratory of Rice Biology , China National Rice Research Institute , Hangzhou 310006 , China ; ² Kunming City Station of Plant Protection and Quarantine , Kunming 650034 , China ; ³ Department of Agronomy , Ningxia University , Yinchuan 751200 , China)

Abstract : Isolates of *Bipolaris sorokiniana* and *B. coicis* from diseased barnyardgrass (*Echinochloa crus galli*) plants in Kunming , Yunnan Province were evaluated for their potentials against barnyardgrass as biocontrol agent . The results of bio assay showed that the 5 day culture filtrates of the two strains had high inhibitory activity to the growth of barnyardgrass , with the inhibitory rates of 99 .59% and 95 .78% on roots , 91 .14% and 82 .13% on buds , respectively . And the barnyard grass treated with mycelium suspension of the two strains showed 100% disease incidence in the laboratory experiment . In greenhouse , the barnyardgrass plants showed the defoliating of leaves , the wilting of shoots and the death of plants after 7 days treatment by the mycelium suspension from the two strains , and the mortality rate added up to 82 .67% for *B. sorokiniana* and 80 .00% for *B. coicis* respectively at 21 days after treatment . In addition , the crop safety test showed that *B. sorokiniana* was safer to major crops than *B. coicis* and had a better application prospect as bio agent .
Key words : *Bipolaris sorokiniana* ; *Bipolaris coicis* ; *Echinochloa crus galli* ; rice (*Oryza sativa*) ; biological control

摘 要 :对分离自云南昆明感病稗草[*Echinochloa crus galli* (L .) Beauv .]上的病原真菌麦根腐平脐蠕孢(*Bipolaris sorokiniana*)和薏苡平脐蠕孢(*Bipolaris coicis*)开展了防治稗草潜力的评价。结果显示 , *B. sorokiniana* 和 *B. coicis* 两菌株培养 5 d 的发酵原液对稗草根长和芽长均有很高的抑制作用 , 根长最高抑制率分别为 99 .59% 和 95 .78% , 芽长最高抑制率分别为 91 .14% 和 82 .13% 。两菌株对稗草离体叶片致病性的室内试验表明 , 菌丝体悬浮液处理 5 d 后稗草叶片病情指数最高可达 100% 。两菌株对稗草植株防效的温室试验表明 , 菌丝体悬浮液处理稗草 7 d 后植株下部叶片出现萎蔫症状、脱落及死亡 , 处理 21 d 后稗草最高死亡率达到 82 .67% 和 80 .00% 。菌株对作物的安全性试验表明 , 麦根腐平脐蠕孢对作物的安全性显著高于薏苡平脐蠕孢。作为生防潜力菌株 , 麦根腐平脐蠕孢具有更大的应用潜力。
关键词 : 麦根腐平脐蠕孢 ; 薏苡平脐蠕孢 ; 稗草 ; 生物防治
中图分类号 : S451 ; S476 + .1 **文献标识码 :** A **文章编号 :** 1001-7216(2008)03-0307-06

稗草[*Echinochloa crus galli* (L .) Beauv .]是世界上危害最严重的农田杂草之一。人工除稗费时费力 , 而化学除稗对环境及人畜存在潜在的安全性问题 , 而且稗草对常用除草剂的抗性水平在不断提高。因此 , 寻求高效、低毒、低残留及对环境友好的除稗剂十分重要^[1]。

利用微生物防治杂草是一个相对较新、正在形成的杂草治理策略。生物除草剂的研究和开发是目前最活跃的领域之一。我国的微生物除稗剂研究还处于起步阶段。中国农业大学陈勇等^[2]从 1996 年开始从稗草茎叶上分离得到 8 种病原真菌 , 并筛选出对稗草致病性强 , 对水稻安全的尖角突脐孢(*Exserohilum monocersa*) , 且对该菌的流行学进行了研究^[3]。中国水稻研究所余柳青等从稗草上分离到 4

种稗草病原菌 : 链格孢(*Alternaria alternata*)、弯孢(*Curvularia lunata*)、内脐蠕孢(*Drechslera monoceras*) 和尖角突脐蠕孢(*Exserohilum monoceras*)^[4-8]。最近由余柳青研究员主持完成的“稻田主要恶性杂草的微生物除草剂研究”项目 , 成功地筛选和选育出具有良好应用前景的稗草病原菌——禾长蠕孢菌稗草专化型(*Helminthosporium gramineum* Rabenh f sp . *echinochloae* , 简称 HGE) , 建立了

收稿日期 : 2007-12-26 ; 修改稿收到日期 : 2008-03-06。
基金项目 : 国家 863 计划资助项目 (2006AA10A214) ; 浙江省自然科学基金资助项目 (Y306180) ; 中央级公益性科研院所专项基金资助项目 (100012)。
第一作者简介 : 耿锐梅 (1980 -) , 女 , 博士研究生。

以稗草为主要原料的廉价高效的孢子批量生产技术。HGE 菌对稗草的防效达到 65% 以上,与低剂量的二氯喹啉酸及苄嘧磺隆混用对稗草、水莎草、鸭舌草等的防效达 90% 以上,可减少化学除草剂的用量 75% 以上,显示出良好的应用前景^[9]。目前有关微生物防治稗草的研究主要集中在尖角突脐孢 (*E. monocersa*) 和禾长蠕孢菌稗草专化型 (*H. gramineum* Rabenh f sp. *echinochloae*) 潜力菌种 2 个病原菌,菌种单一,筛选余地很小。采集、分离、鉴定和评价新的潜力菌种仍然是一项十分重要的基础研究。

为了获得更多菌种资源,我们从云南昆明采集和分离到新的病原真菌 B1 和 B2,分别被鉴定为麦根腐平脐蠕孢 (*Bipolaris sorokiniana*) 和薏苡平脐蠕孢 (*Bipolaris coicis*)。为了评价这两种稗草病原真菌作为防治稗草的生防菌的潜力,开展了本项研究。

1 材料与方法

1.1 潜力菌菌株分离与纯化

感病稗草样品采自云南昆明。用灭菌剪刀剪取感病组织约 0.5 cm² 小块,以 75% 酒精溶液表面消毒 10 s,灭菌蒸馏水冲洗 3 次,接种于 PDA 培养基平板上,每平板接种 3 块组织,每样品重复 3 次。整体置于 28℃ 恒温培养箱培养 3 d 后进行纯化,纯化菌株保存于 4℃ 冰箱中备用。

1.2 菌株鉴定

采用形态学及 ITS1-5.8S ITS2 区序列分析鉴定法鉴定菌株,委托中国科学院微生物研究所完成。

1.3 发酵液对稗草根长及芽长的抑制率测定

1.3.1 潜力菌发酵液制备

取出保存于 4℃ 冰箱中的潜力菌接种于 PDA 平板上,28℃ 恒温培养箱中培养 7 d 后,用 5 mm 打孔器打取菌块,无菌条件下接种于 PDB 培养液中。每瓶培养液 (100 mL/瓶) 接种 5 块菌块,每菌株重复 3 次,整体置于 28℃ 恒温培养箱培养 5 d,备用。

1.3.2 对稗草根长及芽长的抑制效果测定

取出以上于 PDB 培养液中培养 5 d 的潜力菌发酵液,经 0.2 μm 孔径的尼龙膜过滤,取发酵原液及 10 倍稀释潜力菌发酵液各 8 mL 于铺有灭菌滤纸的灭菌培养皿中 (直径 9 cm),接种刚萌发的稗草种子,每皿 10 粒,各潜力菌发酵原液及 10 倍稀释液各重复 3 次,以灭菌水处理为对照。整体置于 28℃ 恒温培养箱中培养 3 d 后测量根长及芽长,并进行统计分析。

1.4 潜力菌对离体稗草植株叶片的致病性测定

取经 PDB 培养液培养 5 d 的潜力菌,用微型粉碎机粉碎 1 min 备用。设置发酵原液、以发酵液配制的菌丝体悬浮液 (简称菌丝体悬浮液)、以灭菌水配制的菌丝体悬浮液 3 种处理。所需的处理液各配制 50 mL 置于广口大烧杯中,加 0.2% 吐温 20 并搅拌均匀。用剪刀剪取数片 2~3 叶期稗草叶片用 75% 酒精溶液消毒 10 s,灭菌水冲洗 3 次。置于以上各处理液中浸泡 1 h 取出,后置于铺有灭菌滤纸的灭菌培养皿中,加灭菌水 5 mL 保湿。各菌株各处理重复 3 次,每重复处理 6 叶,保鲜膜封口并打孔通气。以清水为对照。整体置于 28℃ 恒温培养箱培养 5 d 后调查病情指数,分级标准见参考文献 [10]。

1.5 温室条件下潜力菌对稗草的活性测定

试验在温室中进行,自然光照,平均温度为 29℃。将刚萌发的稗草种子分小区播种于水槽中,在稗草 2~3 叶期,以 300 g/L、150 g/L、75 g/L、10 g/L 的菌丝体悬浮液和发酵原液喷施稗草幼苗,喷施量为 60 mL/m²,以喷清水为对照,各处理重复 3 次。施药时保持水层 2~3 cm,喷施处理后保湿 24 h。在处理 7 d 调查稗草感病情况,处理后 14 d 和 21 d 调查稗草植株死亡率。

1.6 对作物的安全性测定

将番茄、黄瓜、水稻、小麦、玉米、高粱和大豆种子播种于温室塑料盆 (25 cm × 25 cm × 15 cm) 中 (每盆 7 粒)。在温室中生长 14 d 后 (平均温度为 29℃),移至室内 (平均温度 25℃),以 300 g/L、150 g/L、50 g/L 的菌丝体悬浮液及发酵原液喷施幼苗,喷施量为 60 mL/m²,以喷清水为对照,各处理重复 3 次。喷施处理后保湿 24 h。7 d 后检测作物幼苗是否受害,并记录受害情况。

1.7 数据处理与方差分析

所有数据用 DPS 软件^[11] 进行方差分析,差异显著性检验采用 Turkey 方法。

2 结果与分析

2.1 潜力菌菌株鉴定结果

形态学观察结果表明,病原真菌 B1 在常规 PDA 培养基上较难产孢,在 WA 培养基上,于 28℃ 恒温培养箱培养 10 d 后,菌落直径为 6.5~7.0 cm,菌落正面为灰色,反面为黑褐色,菌落质地绒毛状,菌丛平坦,无渗出液 (图 1 A)。分生孢子暗褐色,宽椭圆形或拟纺锤形,直或稍弯,中部宽,两端略细,顶

端钝圆,表面光滑,有6~8个假隔膜,大小(35~56) $\mu\text{m} \times (14 \sim 16) \mu\text{m}$;分生孢子梗茎黄褐色,多直,偶尔微弯,单生,未见分枝,直径5~7 μm (图1 B)。被鉴定为麦根腐平脐蠕孢(*Bipolaris sorokiniana*)。

病原真菌 B2 在常规 PDA 培养基上产孢较少。在 PDA 培养基上,于 28℃ 恒温培养箱中培养 10 d 后,菌落直径为 6.8~7.2 cm,菌落正面为灰色,反面为黑褐色,菌落质地丛毛状,菌丛平坦,无渗出液(图2 A);分生孢子黄褐色,纺锤形或卵形,多弯曲,有些略带“S”形,顶端钝圆,表面光滑,大约具有4个假隔膜,大小(30~36) $\mu\text{m} \times (12 \sim 15) \mu\text{m}$;分生孢子梗茎黄褐色,顶端颜色较浅,屈膝状弯曲,单生,未见分枝,直径6~8 μm (图2 B)。被鉴定为薏苡平脐蠕孢(*Bipolaris coicis*)。

ITS1-5.8S-ITS2 区序列分析表明,新菌株 *B.*

*sorokiniana*和 *B. coicis* 与所在分枝的6个种 *B. sorokiniana*, *B. stenospila*, *B. eleusines*, *Cochiobolus victoriae*, *C. carbonum*, *C. sativus* 的同源性均在98.8%以上。两菌株与相关种的ITSrDNA系统发育树如图3所示。

2.2 潜力菌发酵液对稗草根长和芽长的抑制作用

麦根腐平脐蠕孢发酵原液处理后第3天,对稗草根长和芽长的抑制率分别达到95.78%和82.13%,其10倍稀释液对稗草根长和芽长的抑制率分别为70.48%和10.70%(表1)。

处理后第3天,薏苡平脐蠕孢发酵原液对稗草根长和芽长的抑制率分别达到99.59%和91.14%,其10倍稀释液对稗草根长和芽长的抑制率分别为68.57%和21.81%(表1)。

以上结果表明,两菌株发酵原液及其10倍稀释

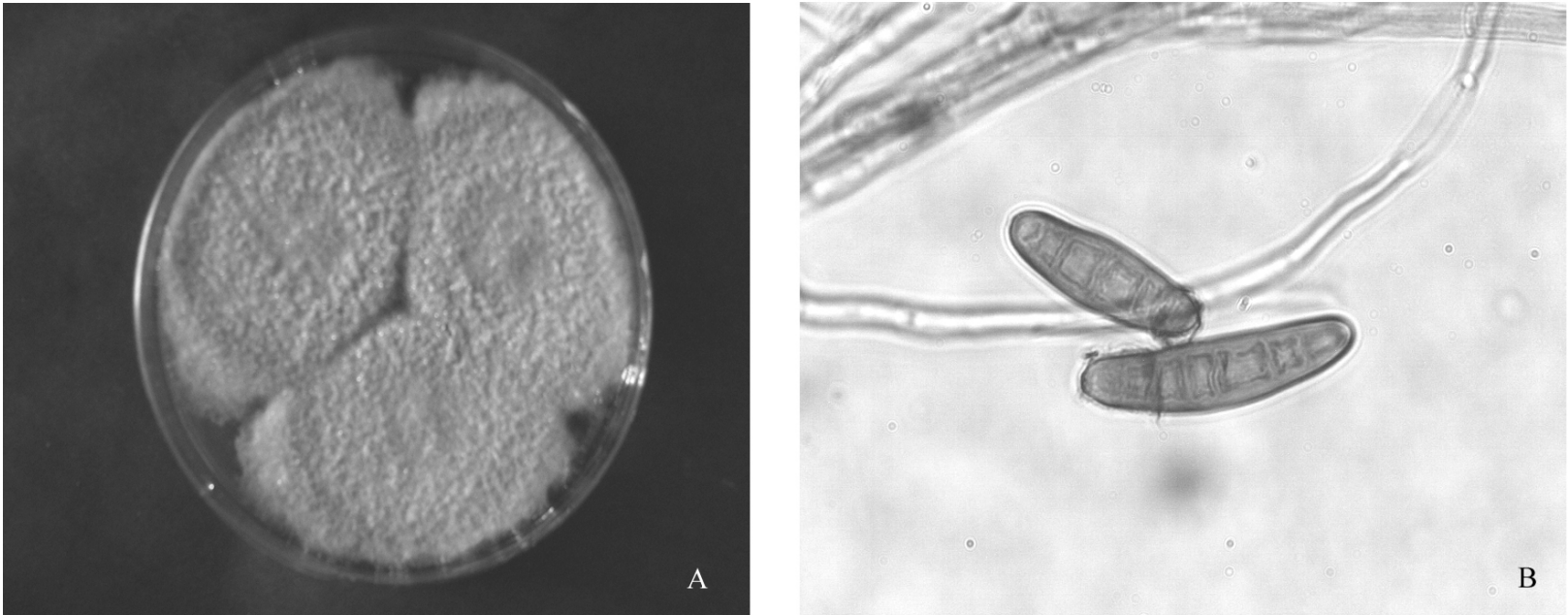


图1 麦根腐平脐蠕孢菌 *B. sorokiniana* 菌落(A)和孢子(B)
Fig. 1 . Morphology of *B. sorokiniana* colony (A) and its spores(B) .

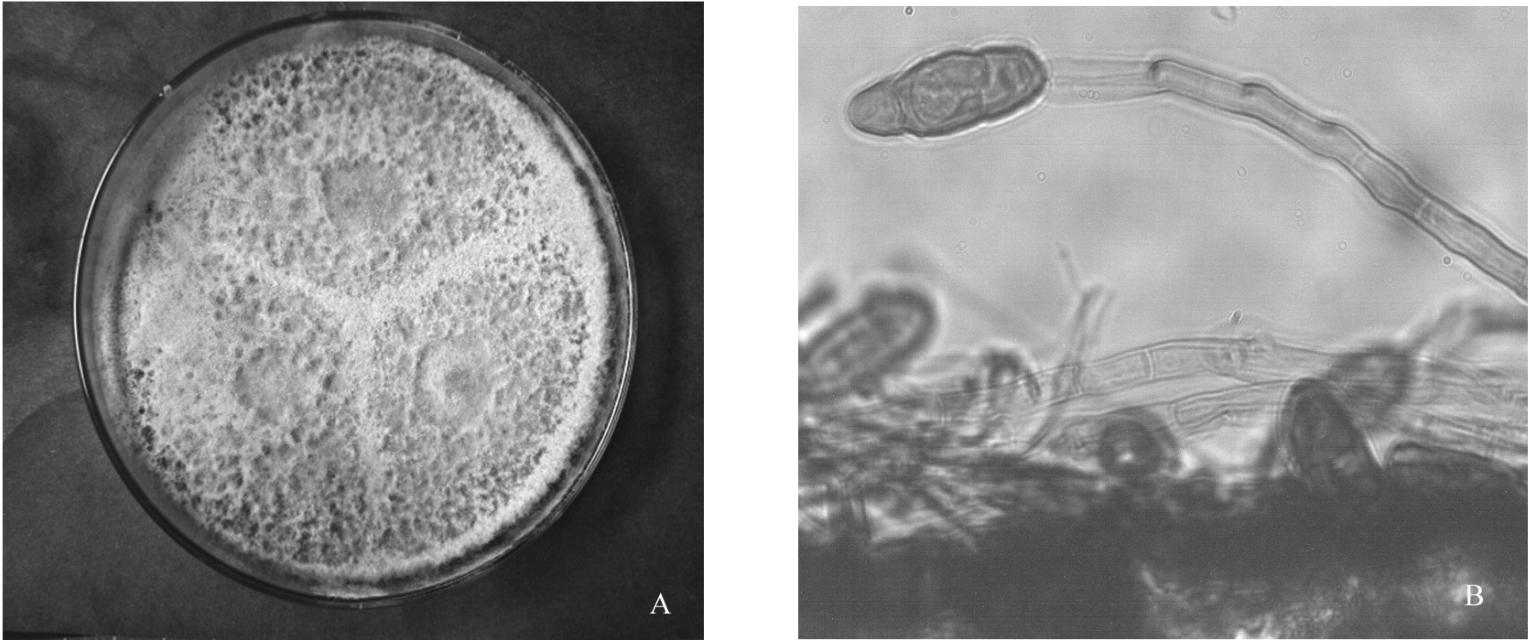


图2 薏苡平脐蠕孢菌 *B. coicis* 菌落形态(A)和孢子形态(B)
Fig. 2 . Morphology of *B. coicis* colony(A) and its spores(B) .

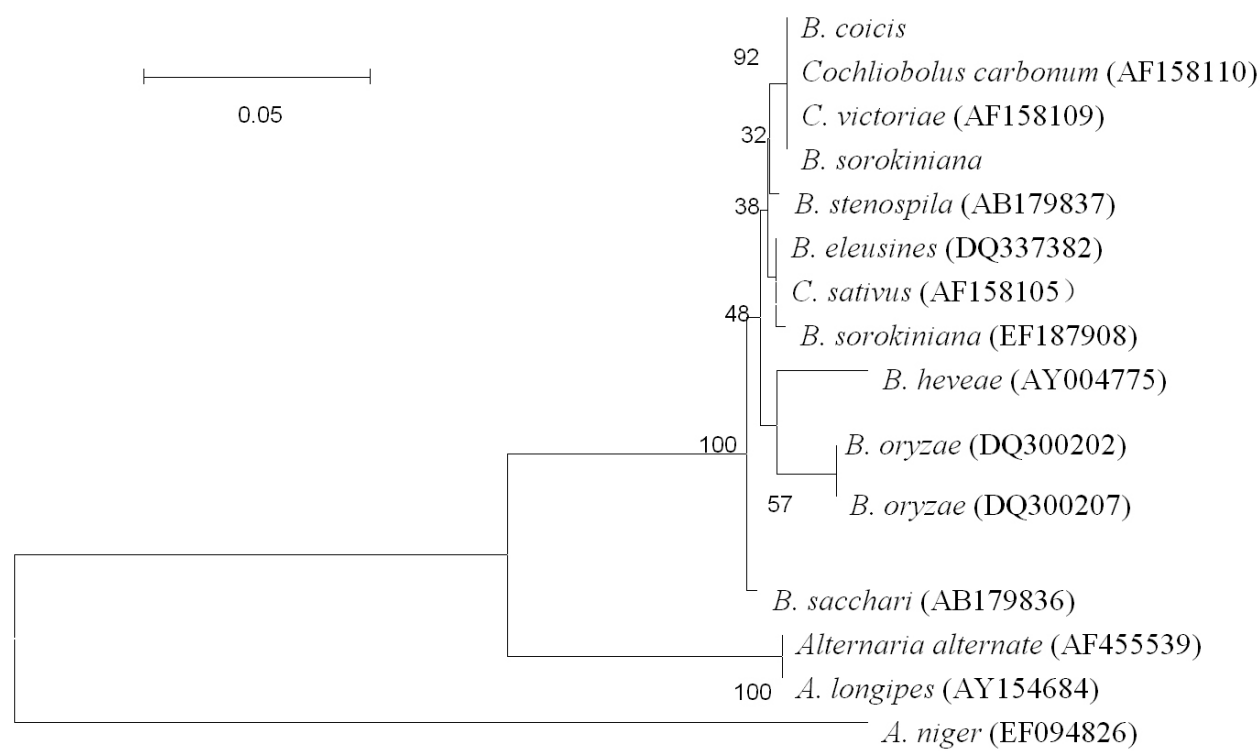


图 3 *B . sorokiniana*和 *B . coicis*与相关种的 ITSrDNA 系统发育树

Fig . 3 . ITSrDNA phylogenetic tree of *B . sorokiniana* and *B . coicis* and related species .

液对稗草根长和芽长均有不同程度的抑制作用。发酵原液对稗草根长和芽长的抑制作用显著高于 10 倍稀释液。发酵原液和 10 倍稀释液对稗草根长的抑制作用显著高于对芽长的抑制作用 ,稗草根较芽对两菌株更敏感。

2 3 潜力菌对稗草的致病性

麦根腐平脐蠕孢和薏苡平脐蠕孢两菌株菌丝体悬浮液对稗草叶片的致病性极高 ,处理第 5 天的稗

草病情指数均达到 100 %。两菌株灭菌水配制的菌丝体悬浮液处理下的稗草病情指数分别达到 92. 59%和 97. 96 %。两菌株发酵原液处理下的稗草病情指数分别为 73 .15%和 89 .81% (表 2)。

麦根腐平脐蠕孢和薏苡平脐蠕孢菌丝体悬浮液与灭菌水配制的菌丝体悬浮液处理相比 ,对稗草的致病性差异不显著 ,而麦根腐平脐蠕孢菌丝体悬浮液处理和灭菌水配制的菌丝体悬浮液处理与发酵原

表 1 麦根腐平脐蠕孢和薏苡平脐蠕孢发酵原液及 10 倍稀释液对稗草根长和芽长的抑制率

Table 1 . Root and bud growth inhibition rate for barnyardgrass by culture filtrates and their 10 × dilution of *B .sorokiniana* and *B . coicis* .

病原 菌 Strain	空白对照芽长 Bud length in CK/cm	根长抑制率		空白对照根长 Root length in CK/cm	芽长抑制率	
		Root length inhibitory rate/%			Bud length inhibitory rate/%	
		原液	10 倍稀释液		原液	10 倍稀释液
		Culture filtrate	10 × dilution		Culture filtrate	10 × dilution
麦根腐平脐蠕孢 <i>B . sorokiniana</i>	2 .49	95 .78 a	70 .48 a	7 .70	82 .13 ab	10 .70 b
薏苡平脐蠕孢菌 <i>B . coicis</i>		99 .59 a	68 .57 a		91 .14 a	21 .81 a

同一列中数据后跟有相同小写字母者表示在 0 .05 水平上差异不显著。下表同。

Means followed by the same lowercase letters within the same column indicate no significant difference at *P* < 0 .05 level . The same as in the tables below .

表 2 麦根腐平脐蠕孢 (*B .sorokiniana*)和薏苡平脐蠕孢 (*B . coicis*)菌丝体、发酵原液及两者混合处理下稗草的病情指数

Table 2 . Disease indexes of barnyardgrass under the treatments with mycelium fragment , culture filtrate and their mixture .

接种体 Inoculum	病情指数 Disease index/ %	
	麦根腐平脐蠕孢	薏苡平脐蠕孢
	<i>B . sorokiniana</i>	<i>B . coicis</i>
300 g/L 菌丝体悬浮液 300 g/L mycelium suspension	100 .00 a	100 .00 a
300 g/L 灭菌水配制的菌丝体悬浮液 300 g/L mycelium suspension diluted with sterilized water	92 .59 a	97 .96 a
发酵原液 Culture filtrate without mycelium fragment	73 .15 b	89 .81 a
空白对照 Water (CK)	4 .63 c	4 .63 b

液处理相比对稗草的致病性差异显著(表 2)。

2.4 温室条件下潜力菌对稗草的防治效果

两菌株菌丝体悬浮液及其发酵原液处理 3 d 后,稗草植株出现明显的发病症状,菌丝体悬浮液处理后的主要症状为稗草叶片枯死,发酵原液处理后稗草叶片发黄至整株枯死。

麦根腐平脐蠕孢菌丝体悬浮液和发酵原液处理后 7 d、14 d 和 21 d,300 g/L 菌丝体悬浮液处理下稗草的感病率和植株密度防效(植株死亡率)最高,分别达到 75.00%、83.33%和 82.67%。但麦根腐平脐蠕孢发酵原液处理的稗草发病率和植株密度防效较低(表 3)。

薏苡平脐蠕孢菌丝体悬浮液和发酵原液处理后

7 d、14 d 和 21 d,300 g/L 菌丝体悬浮液处理下稗草的发病率和植株密度防效(植株死亡率)最高,分别达到 81.67%、80.00%和 80.00%。薏苡平脐蠕孢发酵原液处理稗草后 7 d、14 d 和 21 d 稗草的感病率和植株密度防效(植株死亡率)也达到令人满意的效果,分别为 70.00%、80.00%和 85.67%(表 3)。

2.5 潜力菌对主要作物的安全性

试验结果表明,麦根腐平脐蠕孢对水稻、玉米、小麦、黄瓜及番茄安全,在高浓度下对大豆轻度致病,低浓度下安全;对高粱高度致病,可致植株死亡(表 4)。

薏苡平脐蠕孢对小麦、黄瓜和番茄安全;对水稻

表 3 麦根腐平脐蠕孢(B. sorokiniana)和薏苡平脐蠕孢(B. coicis)对温室稗草植株的活性

Table 3. Bioassay of <i>B. sorokiniana</i> and <i>B. coicis</i> against barnyardgrass in greenhouse. %						
处理 Treatment	处理 7 d 后的感病百分率 Disease incidence at 7 DT		处理 14 d 后的死亡率 Mortality rate at 14 DT		处理 21 d 后的死亡率 Mortality rate at 21 DT	
	麦根腐	薏苡	麦根腐	薏苡	麦根腐	薏苡
	平脐蠕孢	平脐蠕孢	平脐蠕孢	平脐蠕孢	平脐蠕孢	平脐蠕孢
	<i>B. sorokiniana</i>	<i>B. coicis</i>	<i>B. sorokiniana</i>	<i>B. coicis</i>	<i>B. sorokiniana</i>	<i>B. coicis</i>
300 g/L 菌丝体悬浮液 300 g/L mycelium suspension	75.00 a	81.67 a	83.33 a	80.00 a	82.67 a	80.00 a
150 g/L 菌丝体悬浮液 150 g/L mycelium suspension	31.67 bc	60.00 b	26.67 bc	23.33 b	50.00 b	23.33 bc
75 g/L 菌丝体悬浮液 75 g/L mycelium suspension	56.67 ab	78.33 ab	56.67 ab	60.00 a	50.00 b	62.33 a
10 g/L 菌丝体悬浮液 10 g/L mycelium suspension	43.33 ab	7.67 c	16.67 ab	23.33 b	63.33 b	36.67 b
发酵原液 Culture filtrate	35.00 abc	70.00 ab	46.67 ab	80.00 a	50.00 b	85.67 a
对照 Water(CK)	0.00 c	0.00 c	0.00 c	0.00 c	0.00 c	0.00 c

DT, Days after treatment.

表 4 麦根腐平脐蠕孢和薏苡平脐蠕孢对主要作物的安全性

Table 4. Safety test of *B. sorokiniana* and *B. coicis* to major crops.

病原菌与接种体 Fungus and inoculum	感病程度 Infection degree						
	水稻	玉米	小麦	高粱	大豆	黄瓜	番茄
	Rice	Corn	Wheat	Sorghum	Soybean	Cucumber	Tomato
麦根腐平脐蠕孢 <i>B. sorokiniana</i>							
300 g/L 菌丝体悬浮液 300 g/L mycelium suspension	NS	NS	NS	PD	LS	NS	NS
150 g/L 菌丝体悬浮液 150 g/L mycelium suspension	NS	NS	NS	PD	LS	NS	NS
50 g/L 菌丝体悬浮液 50 g/L mycelium suspension	NS	NS	NS	PD	NS	NS	NS
发酵原液 Culture filtrate	NS	NS	NS	PD	NS	NS	NS
空白对照 Water(CK)	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
薏苡平脐蠕孢 <i>B. coicis</i>							
300 g/L 菌丝体悬浮液 300 g/L mycelium suspension	LS	LS	NS	PD	LS	NS	NS
150 g/L 菌丝体悬浮液 150 g/L mycelium suspension	NS	NS	NS	PD	LS	NS	NS
50 g/L 菌丝体悬浮液 50 g/L mycelium suspension	NS	NS	NS	PD	NS	NS	NS
发酵原液 Culture filtrate	NS	NS	NS	HS	NS	NS	NS
空白对照 Water(CK)	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS

NS - 不感病;LS - 轻度感病,叶片上有少量细小病斑;MS - 中度感病;S - 感病;HS - 高度感病,叶片上病斑较多且扩展;PD - 植株死亡。

NS, Not susceptible;LS, Mild susceptible, a small amount of leaves with small lesions;MS, Moderate susceptible;S, Susceptible;HS, Highly susceptible to leaf spots, and more expansion;PD, The plants died.

和玉米在高浓度下轻度致病 ,在中、低浓度下安全 ;对大豆在高、中浓度下轻度感染 ,在低浓度下安全 ;对高粱高度致病 ,可致植株死亡 (表 4)。

从以上结果看 ,麦根腐平脐蠕孢对作物的安全性显著高于薏苡平脐蠕孢。作为生防潜力菌株 ,麦根腐平脐蠕孢具有更大的应用潜力。

3 讨论

采用菌落、孢子形态学 ,结合现代分子生物学 ITS1-5.8S-ITS2 区序列分析鉴定法 ,将采自云南昆明蔬菜地感病稗草植株上的两株病原真菌 B1 和 B2 鉴定为麦根腐平脐蠕孢 (*B. sorokiniana*) 和薏苡平脐蠕孢 (*B. coiciis*)。有报道从稗草上分离到尖角突脐孢 (*Exserohilum monoceras*)^[13]、内脐蠕孢 (*Drechslera monoceras*)^[18]、禾长蠕孢 (*Helminthosporium gramineum* Rabenh)^[14-15]、弯孢 (*Curvularia lunata*)^[16] 和链格孢 (*Alternaria alternata*) 等^[17] ,而从稗草上分离到麦根腐平脐蠕孢和薏苡平脐蠕孢尚未见其他报道。

麦根腐平脐蠕孢和薏苡平脐蠕孢在 PDA 和稗草培养基基质上的孢子产量很低 ,但两菌株在 PDB 中可产生大量菌丝体。根据这一特性 ,我们对两菌株的发酵原液及其菌丝体的杀草活性及对主要作物的安全性进行了评价。两菌株的发酵原液对稗草根长和芽长的抑制率达到优良水平 (80%) ;用 300 g/L 菌丝体悬浮液 60 mL/m² 处理 ,两菌株对稗草的植株密度防效均达到优良水平 (80%)。麦根腐平脐蠕孢对主要作物水稻和玉米等的安全性显著高于薏苡平脐蠕孢 ,因此 ,麦根腐平脐蠕孢具有更广阔的应用前景。

国际上对稗草生防潜力菌的研究主要集中在菌株的孢子生产技术、孢子杀草活性和安全性评价等方面^[9]。中国水稻研究所等开展了对禾长蠕孢稗草专化型菌株发酵液及其菌丝体杀草活性的评价^[17] ,并从该菌株的发酵液和菌丝体中分离和鉴定出 4 种倍半萜类活性物质 ,其中蛇孢菌素 A (Ophiobolin A) 具有杀草^[18] 和防治稻纹枯病的双重功能 ,其 IC₅₀ 为 7.5 mmol/L^[19]。本研究发现的麦根腐平脐蠕孢和薏苡平脐蠕孢 ,其发酵过滤原液及菌丝体对稗草的抑制活性和防治效果显著高于禾长蠕孢稗草专化型 ,显示出良好的应用前景 ,本研究为进一步开展新菌株麦根腐平脐蠕孢和薏苡平脐蠕孢的活性物质分离、鉴定和评价打下了良好基础。

参考文献 :

[1] 陈 勇,倪汉文.稗草致病菌——尖角突脐孢菌菌株 RAPD 指纹图谱的分析.微生物学报,2003,43(4):409-416.

[2] 勇 强,但汉斌,郭富常.国外微生物除草剂的研究及应用现状.天津农业科学,1998,4(2):5-9.

[3] 陈 勇,倪汉文.中国稗草病原真菌对稗草及水稻的致病性.中国生物防治,1999,15(2):73-76.

[4] 段桂芳.稗草病原菌的生物学评价和利用研究[学位论文].北京:中国农业科学院,2002.

[5] 段桂芳,黄世文,余柳青.影响稗草病原菌内脐孢 (*Drechslera monoceras*) 生长和产孢的因子//面向 21 世纪的植物保护发展战略.北京:中国科学技术出版社,2001:950-952.

[6] 黄世文,余柳青.稗草病原菌 *Alternaria alternata* 和 *Curvularia lunata* 的产孢特性研究//面向 21 世纪中国农田杂草可持续治理——第六次全国杂草科学学术研讨会论文集.南宁:广西民族出版社,1999:165-170.

[7] 黄世文,余柳青, Watson A K.利用稗草病原菌开发微生物除草剂的研究//微生物农药及其产业化.北京:科学出版社,2000:260-266.

[8] 黄世文,段桂芳,余柳青,等.三株病原真菌对稗草生防潜力的研究.植物保护学报,2001,28(4):313-317.

[9] 黄世文,余柳青,段桂芳,等.几种病原真菌对稗草的致病性及化学除草剂对病原真菌的增效作用.中国生物防治,2002,18(增刊):41-45.

[10] 洪剑鸣,童贤明,徐福寿.中国水稻病害及其防治.上海:上海科学技术出版社,2006.

[11] 唐启义,冯光明.实用统计分析及其 DPS 数据处理系统.北京:科学出版社,2002.

[12] 赵 航,张建萍,余柳青.突脐蠕孢与弯孢原生质的双亲灭活融合.中国生物防治,2006,22(3):221-225.

[13] 余柳青,陆永良,周勇军,等.微生物除草剂潜力菌禾长蠕孢稗草专化型.中国生物防治,2005,21(增刊):22-27.

[14] 杨 敏,李建强,倪汉文,等.尖角突脐孢菌在温室环境下侵染稗草的致病体系研究.植物病理学报,2007,37(2):221-224.

[15] 黄世文,余柳青,段桂芳,等.禾长蠕孢菌和尖角突脐蠕孢菌防治稗草的研究.植物病理学报,2007,35(1):66-72.

[16] 张建萍,李春光,张正波,等.禾长蠕孢菌的紫外诱变改良和除草活性评价.农业生物技术学报,2007,15(3):489-495.

[17] Zhang W M, Watson A K. Efficacy of *Exserohilum monoceras* for the control of *Echinochloa* species in rice (*Oryza sativa*). *Weed Sci*, 1997, 45:144-150.

[18] Zhang Z B, Burgos N R, Zhang J P, et al. Biological control agent for rice weeds from protoplast fusion between *Curvularia lunata* and *Helminthosporium gramineum*. *Weed Sci*, 2007, 55(6):603-609.

[19] 段桂芳,张建萍,周勇军,等.禾长蠕孢菌及其代谢产物 Ophiobolin A 防治水稻纹枯病.中国水稻科学,2006,20(3):337-339.