

室内模拟旱直播稻田环境下齐整小核菌 *Sclerotium rolfii* 菌株 SC64 致病力的影响因子及除草效果的研究

唐伟, 朱云枝, 强胜*

(南京农业大学杂草研究室, 南京 210095)

摘要: 本文通过温室盆栽试验, 以鳢肠 *Eclipta prostrata* 为例, 研究杂草叶龄、不同含菌丝体基质接种量以及温度、土壤湿度、保湿期时间等环境因子对菌株 SC64 侵染鳢肠的影响。在此基础上, 温室条件下模拟旱直播水稻田环境下菌株 SC64 防治节节菜 *Rotala indica*、异型莎草 *Cyperus difformis*、鸭舌草 *Monochoria vaginalis* 和耳叶水苋 *Ammannia arenaria* 的试验。结果表明, 鳢肠幼苗在 5 叶期以下, 接种含菌丝体固体基质剂量在 $100 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ 以上, 温度范围 $27\sim 33 \text{ }^\circ\text{C}$, 土壤相对饱水 90% 左右, 并且接菌后湿度保持至少 24 h, 是菌株 SC64 达到理想除草效果的必需条件。温室模拟试验结果显示, 接种含菌丝体固体基质剂量在 $120 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ 时, 28 d 可引起节节菜和鸭舌草 81% 和 74% 的植株死亡率及 83.8% 和 82.5% 的鲜重抑制率; 对异型莎草和耳叶水苋的防效稍差, 仅能引起约 50% 的植株死亡率及 60%~65% 的鲜重抑制率。这表明菌株 SC64 可有效控制阔叶杂草, 具有开发作为生物除草剂的潜力。

关键词: 齐整小核菌; 含菌丝体固体基质; 鳢肠; 旱直播水稻; 阔叶杂草; 生物除草剂

中图分类号: S476.15; S433.83 **文献标识码:** A **文章编号:** 1005-9261(2012)01-0109-07

Factors Affecting Pathogenicity of *Sclerotium rolfii* Isolate SC64 to Broadleaf Weeds under Simulated Dry-seeded Rice Condition

TANG Wei, ZHU Yunzhi, QIANG Sheng*

(Weed Research Laboratory, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China)

Abstract: The fungus *Sclerotium rolfii* is presently under development as a bioherbicide for broadleaf weed species by using fungus-infested solid substrates as application material in this laboratory. We examined the effect of host-plant growth stage, dosage of inoculum, soil moisture condition, temperature, and damp soil duration on plant mortality and fresh weight inhibition of eclipta (*Eclipta prostrata*) caused by isolate SC64 in pot experiments under greenhouse conditions. Perfect control efficacy was recorded following application before 5 leaf stage, with over $100 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ fungus-infested substrates (rice husk/bran substrate, 2:1, v/v), and exposure of weeds to $27\sim 33 \text{ }^\circ\text{C}$, soil of 90% water holding capacity and at least 24 h damp soil duration. A simulation experiment of dry-seeded rice was carried out to examine the performance of *S. rolfii* SC64 to broadleaf weeds under greenhouse conditions. Results showed that isolate SC64 ($120 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$) caused 81% and 74% plant mortality, 83.8% and 82.5% fresh weight reduction for *Rotala indica* and *Monochoria vaginalis*, respectively. Plant mortality and fresh weight reduction for *Cyperus difformis* and *Ammannia arenaria* were relatively lower, which were approximately 50% and 60%–65%, respectively. It was indicated that this fungus could be a good candidate for further study and a promising biocontrol agent against broadleaf weeds under specific environmental conditions.

Key words: *Sclerotium rolfii*; fungus-infested substrates; *Eclipta prostrata*; dry direct-seeded rice; broadleaf weeds; bioherbicide

收稿日期: 2011-03-15

基金项目: 国家 863 项目 (2011AA10A206); 江苏省自然科学基金 (BE2008313); 高等学校博士点基金 (20090097110018)

作者简介: 唐伟 (1984-), 男, 博士研究生; *通讯作者, 教授, E-mail: wr1@njau.edu.cn.

杂草是与农业生产紧密伴随且必须面对的问题。随着人们对食品安全和环境保护重要性认识的日益加深,利用生物防治因子防除杂草或者将其作为一种有效的辅助手段用于杂草防治是目前杂草综合治理的发展方向之一^[1-3]。核盘菌 *Sclerotinia* spp. 作为生物除草剂最初报道于 20 世纪八九十年代^[4,5], 该菌对多种常见阔叶杂草防治非常高效, 并且可同时杀除多种目标杂草, 而对草坪和禾本科作物安全。而与之生物学特性类似的齐整小核菌 *Sclerotium rolfsii* 作为生物除草剂虽有报道, 但均未开展系统的研究^[6-8]。

作者从外来恶性入侵杂草——加拿大一枝黄花 *Solidago canadensis* L. 罹病植株上分离得到 1 株齐整小核菌 SC64^[9], 该菌株对包括加拿大一枝黄花在内的多种阔叶杂草具有较强侵染力, 对禾本科作物及草坪草安全, 且大批量生产方法简单, 具备真菌除草剂候选菌株的条件。先期直播水稻田防效试验表明, 该菌可有效控制阔叶杂草和部分莎草。但要开发作为稻田除草剂, 还需要就其在稻田中的影响因子开展深入细致的研究。本文以齐整小核菌的寄主鳢肠 *Eclipta prostrata* 为例, 采用温室盆栽的方法研究菌株 SC64 与鳢肠之间的关系和致病所需的最适条件, 并在此基础上, 温室条件下模拟利用该菌株防除旱直播水稻田阔叶杂草——节节菜、鸭舌草、异型莎草和耳叶水苋的试验, 为该菌株开发成为生物除草剂提供依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料

供试含菌丝体固体基质的培养: 将实验室保存的齐整小核菌菌株 SC64 接种于 PDA 平板上, 28℃ 恒温培养箱 (PYX-DHS-X-TBS, 上海跃进医疗器械厂) 活化 3 d 后, 打孔器 (直径 5 mm) 打取生长旺盛的菌落边缘菌丝体菌饼接入 PDB 液体培养基中, 每 500 mL 接种 10 块, 于 30℃、110 r·min⁻¹ 摇床 (HYG-C, 太仓市实验设备厂) 连续振荡培养 7 d 制得液体菌种。采用稻壳和麸皮 (2:1, v/v) 为固体培养基, 按料水比 3:1 (w/w) 充分混匀后, 每 300 g 基质装入固体发酵专用塑料袋 121℃ 高压蒸汽灭菌 30 min, 待冷却至室温后于超净台接种 45 mL 上述液体菌种, 混匀后 28℃ 黑暗培养 7 d。试验期间每 2 d 对袋子进行翻转换位以使菌丝生长均匀。发酵培养好后, 将含有菌丝体的固体基质阴干约 12 h 并立即作为试验材料使用。将灭菌但未进行接种的固体培养基作为对照处理的材料。

供试植物: 试验所用杂草种子分别于 2008–2009 年采自江苏省南京市周边郊区。致病力影响因子试验: 在内径 14 cm 的塑料花盆装土 (去杂质的菜园土与营养土混匀, 重量比为 4:1), 直接播种杂草种子, 处理时去除土壤中自然萌发的其他杂草并对每钵间苗, 最终得到每钵含 30 株长势均匀的苗进行试验。试验期间将盆钵置于大型盛水的浅盆内以保持土壤湿润。模拟旱直播水稻田杂草防治试验时, 先将杂草进行育苗, 然后移植到周转箱中。

1.2 齐整小核菌菌株 SC64 侵染鳢肠的影响因素

1.2.1 鳢肠不同叶龄期齐整小核菌菌株 SC64 侵染力的测试 在 1、3、5、7 d 对真叶龄期的鳢肠盆钵按照 100 g·m⁻² 的剂量均匀撒施上述带菌固体培养基, 保湿 48 h, 7 d 后调查结果。调查时记录各处理的杂草病情状况, 计算其植株死亡率, 并测地上部分鲜重 (FW), 试验期间日平均温度为 27.3℃。

1.2.2 不同剂量齐整小核菌菌株 SC64 带菌固体基质侵染力的测试 将 60、80、100、120 和 140 g·m⁻² 带菌固体培养基分别撒施于鳢肠幼苗盆钵土表, 保湿 48 h, 7 d 后调查结果, 试验期间日平均温度为 28.5℃。

1.2.3 土壤湿度、保湿时间、温度对齐整小核菌菌株 SC64 带菌固体基质侵染力影响的测试 (1) 土壤湿度: 将接种 100 g·m⁻² 菌株 SC64 带菌固体培养基的鳢肠幼苗盆钵, 分别置于薄层水淹没土表、土壤水分饱和、高湿、中湿和低湿条件下, 7 d 检测其防效, 试验期间日平均温度为 27.5℃。(2) 保湿时间: 鳢肠幼苗盆钵土表按 100 g·m⁻² 剂量均匀撒施菌株 SC64 带菌固体培养基, 分别保湿 0、6、12、24、36 和 48 h, 试验期间日平均温度为 28.2℃。(3) 温度: 鳢肠幼苗盆钵土表按 100 g·m⁻² 剂量均匀撒施菌株 SC64 带菌固体培养基后, 分别于 15、20、25、30、35 和 40℃ 光照培养箱保湿培养 48 h。各处理均设 4 次重复。

1.3 温室模拟旱直播水稻田环境下齐整小核菌菌株 SC64 对部分杂草的防治

试验于 2009 年 6 月在南京农业大学牌楼教学科研基地的温室进行。采用杂草移栽的方法模拟旱直播

稻田杂草的发生情况。试验在 $0.6\text{ m} \times 0.4\text{ m} \times 0.15\text{ m}$ 的周转箱内种植, 土壤基质同上述试验, 土层厚度约 10 cm , 保持土壤湿润且不积水时预先播下水稻种子(镇稻 10 号), 播种密度 $5\text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ 。试验涉及 4 种稻田主要杂草: 鸭舌草 *Monochoria vaginalis* (Burm. f.) Presl ex Kunth、异型莎草 *Cyperus difformis* L.、节节菜 *Rotala indica* (Willd.) Koehne 和耳叶水苋 *Ammannia arenaria* H. B. K., 每箱移栽种植节节菜 25 株, 异型莎草 10 株, 鸭舌草 30 株, 耳叶水苋 10 株, 待杂草恢复生长至 3~5 叶时进行试验, 此时水稻处于 4 叶一心期至 5 叶期。试验设 60、80、100、 $120\text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ 4 个处理和空白对照, 每处理 4 次重复。连续观察记录菌丝体的活化和对杂草的侵染状况以及对水稻的安全性, 分别在接种后第 7、14、21 和 28 d 统计杂草的死亡率, 最后 1 次检测时增加测定每种杂草的地上部分鲜重并计算鲜重抑制率。在试验的前 14 d, 每天沿周转箱边缘缓慢浇水保持土壤湿润且不积水, 14 d 后则灌水保持约 3 cm 水层。

1.4 数据采集及分析作图

杂草致死率统计时以杂草整株枯萎死亡为准, 部分受到伤害且能够正常存活则不计入致死率; 鲜重抑制率统计时剪取植株地上部分称重。试验结果采用 SPSS13.0 软件对数据进行差异显著性分析(SSR 法), 用 EXCEL 和 ORIGIN8.0 软件作图并进行回归分析。

2 结果与分析

2.1 齐整小核菌菌株 SC64 对不同叶龄鳢肠的致病力

图 1 结果显示, 接种后不同叶龄的鳢肠对菌株 SC64 的敏感程度不一样。3 叶期以下的鳢肠最为敏感, 接种 7 d 后植株死亡率和鲜重抑制率在 80% 以上; 5 叶龄的鳢肠 7 d 后植株死亡率和鲜重抑制率为 65% 和 55%; 到 7 叶龄和 7 叶龄后鳢肠的死亡率和鲜重抑制率急剧下降至 57% 和 45% 以下。因此在 5 叶龄以下施用该菌, 可显著控制杂草。

2.2 齐整小核菌菌株 SC64 不同剂量对鳢肠致病力的影响

菌株 SC64 对鳢肠的致病力与所施用的含菌丝体固体基质剂量在 $60 \sim 140\text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ 范围内呈显著正相关(图 2)。施用固体含菌丝体基质剂量为 $100\text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ 时, 菌株可导致鳢肠植株 70% 死亡率和 75% 的鲜重抑制率, 剂量为 $140\text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ 时, 菌株可分别导致鳢肠植株 84% 死亡率和 89% 的鲜重抑制率。

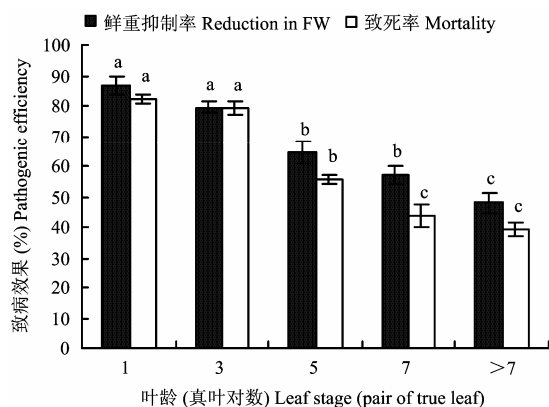


图 1 不同叶龄的鳢肠对小核菌菌株 SC64 侵染力的影响

Fig. 1 Susceptibility of *E. prostrata* of various ages to *S. rofsii* isolate SC64

注: 误差线为标准误, 不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$), 下图同。

Error bars are standard error, values with different small letters on each column differ significantly at 0.05 level, similarly for the following figures.

2.3 环境因素对菌株 SC64 引发鳢肠致病的影响

2.3.1 湿度条件 接种后, 鳢肠苗所处的环境湿度条件对菌株 SC64 致病力有很大影响。在水淹没条件下, 菌丝体难以从固体基质萌发长出, 几乎不能引起鳢肠致病(图 3A); 土壤饱和湿度且有少量自由水以及土壤含水 30% 饱和湿度以下时, 接种 7 d 后植株死亡率和鲜重抑制率均低于 50%; 土壤含水 90% 饱和

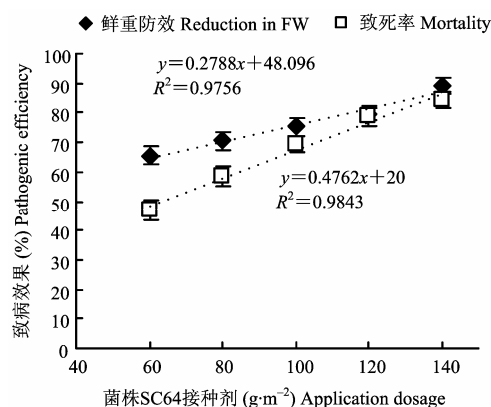


图 2 含菌丝体固体基质施用剂量对小核菌菌株 SC64 侵染力的影响

Fig. 2 Effect of fungus-infested substrates of *S. rofsii* isolate SC64 application dosage on mortality percentage and fresh weight reduction of *E. prostrata*

湿度时防效最好, 可导致鳢肠植株 80% 以上死亡率和鲜重抑制率。

2.3.2 温度 含菌丝体固体基质在不同温度下活化及侵染的效果受温度影响较大。其最适温度范围在 27~33 °C 之间, 以 30 °C 下达到最佳效果, 可引起 83% 的植株死亡率和 85% 的鲜重抑制率 (图 3B)。这一特性与该菌株的营养生长特性相似。

2.3.3 保湿时间 由图 3C 可见, 保湿时间与鳢肠的植株死亡率和鲜重防效呈显著正相关。短时间保湿处理时, 菌丝体活化受阻且扩展慢, 植株发病相对较轻, 保湿 6 h 以下仅能引起 35% 的植株死亡率和 45% 的鲜重抑制率。当保湿时间延长到 24 h 后, 菌丝体能均匀活化并迅速侵染临近植株茎基部, 病情明显加重, 对鳢肠的死亡率和鲜重抑制率均保持在 80% 左右。因此, 齐整小核菌菌株 SC64 对鳢肠达到理想的致病效果至少需要 24 h 的保湿时间。

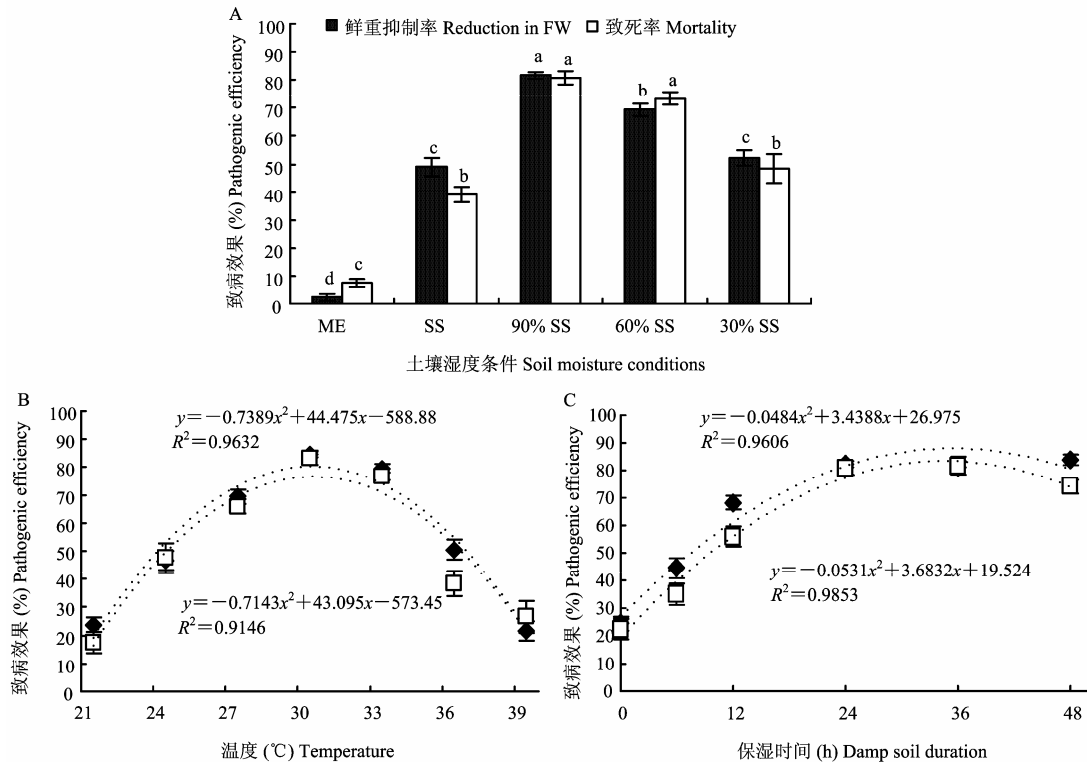


图 3 土壤湿度 (A)、温度 (B) 和保湿时间 (C) 对小菌核菌菌株 SC64 侵染力的影响

Fig. 3 Effect of soil moisture (A), temperature (B) and damp soil duration (C) on mortality and fresh weight reduction of *E. prostrata* by *S. rolfsii* isolate SC64

注: 图 A 中 ME 和 SS 分别表示土壤表层有薄层水和土壤含水饱和; 90% SS、60% SS 及 30% SS 分别为饱和含水量的 90%、60% 和 30% 的土壤湿度环境。ME and SS in figure A represent submerged soil and saturated moisture soil; 90% SS, 60% SS and 30% SS were 90%, 60% and 30% soil water content of saturated moisture soil, respectively.

2.4 温室模拟旱直播水稻田条件下菌株 SC64 对杂草的防除

齐整小核菌菌株 SC64 温室条件下对水稻田杂草的模拟防除效果如图 4 所示。含菌丝体固体基质在施用后 24 h 内即可观察到白色菌丝体从基质四周萌发长出, 随即在目标杂草茎基部引起明显的表皮坏死, 进而出现水渍状坏死, 植株猝倒死亡。在测试的 4 种杂草中, 植株死亡率随着含菌丝体固体基质剂量的增加而增长, 其中以鸭舌草和节节菜更为敏感, 在含菌丝体固体基质 60 g·m⁻², 7 d 和 28 d 时可分别引起 45%、53% 和 47%、56% 的植株死亡率 (图 4A); 当使用剂量为 120 g·m⁻², 7 d 和 28 d 时植株死亡率分别为 73%、81% 和 63%、74% (图 4D)。异型莎草和耳叶水苳的防效较差, 在最高剂量 120 g·m⁻², 28 d 植株死亡率仅为 48% 和 49% (图 4D)。在施用含菌丝体固体基质 48~72 h 时便在基质表面开始有白色的菌核出现, 并很快转变为黄褐色至黑褐色, 故植株的侵染和死亡主要在 7 d 内完成, 14 d 后基本维持

在稳定水平。

对植株的地上部分鲜重 (28 d) 统计结果 (表) 显示, 齐整小核菌菌株 SC64 剂量越高, 对 4 种稻田杂草的鲜重防效越好, 在使用剂量 $100 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ 时, 对鸭舌草和节节菜的鲜重抑制率可达 70% 以上, 最高剂量 $120 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ 时可达 80% 以上。菌株 SC64 对异型莎草和耳叶水苋鲜重抑制率在 $120 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ 时仅为 60.2% 和 64.9%。其可能的原因是异型莎草及耳叶水苋对菌株 SC64 的敏感性稍差以及试验时二者叶龄偏大所致。

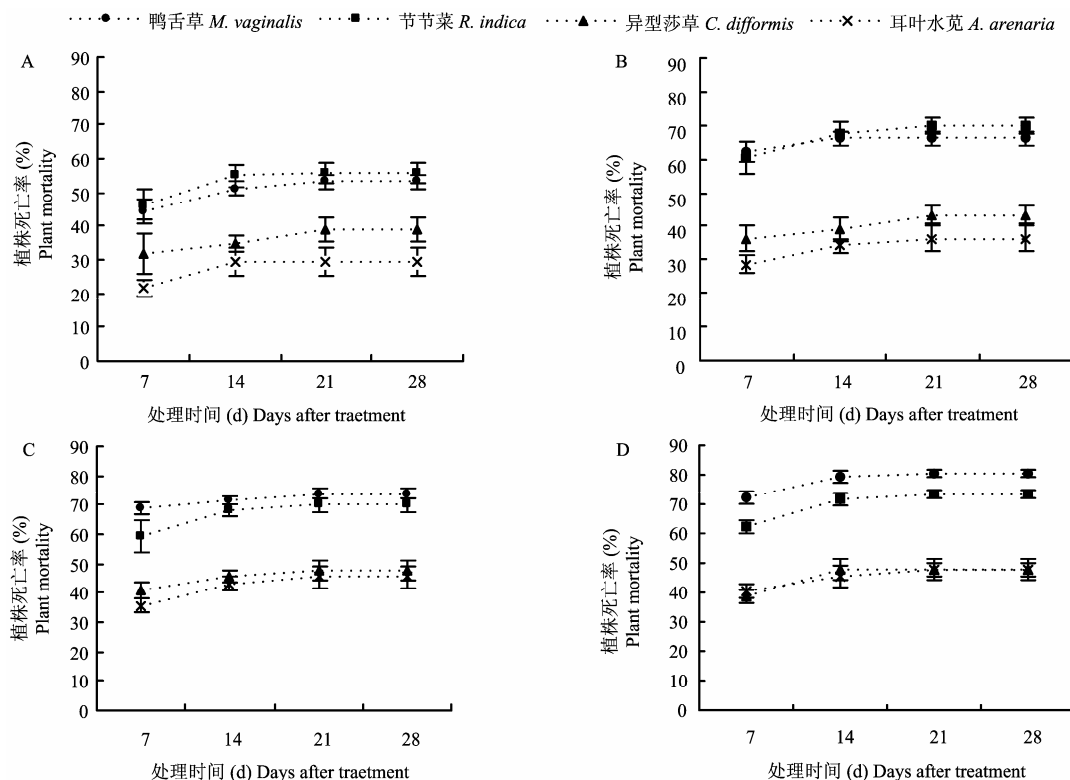


图 A、B、C 和 D 处理剂量分别为 60 、 80 、 100 和 $120 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ Figures A, B, C and D were treatments of 60 , 80 , 100 and $120 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$, respectively.

图 4 温室条件下不同剂量齐整小核菌菌株 SC64 含菌丝体固体基质对 4 种水稻田杂草的防治效果

Fig. 4 Plant mortality of *M. vaginalis*, *R. indica*, *C. difformis* and *A. arenaria* at 7, 14, 21 and 28 days after treated with different application dosage of *S. rolfisii* SC64 under greenhouse conditions

表 温室条件下齐整小核菌菌株 SC64 对 4 种水稻田杂草的鲜重抑制率¹⁾

Table Rate of fresh weight inhibition of *M. vaginalis*, *R. indica*, *C. difformis* and *A. arenaria* at 28 days after treated with different application dosage of *S. rolfisii* SC64 under greenhouse conditions

菌株 SC64 的剂量 ($\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$) Dosage of the isolate SC64	鸭舌草 <i>M. vaginalis</i>	节节菜 <i>R. indica</i>	异型莎草 <i>C. difformis</i>	耳叶水苋 <i>A. arenaria</i>
60	$48.0 \pm 2.2 \text{ c}^{2)}$	$60.3 \pm 3.3 \text{ c}$	$38.4 \pm 2.1 \text{ b}$	$34.1 \pm 4.5 \text{ c}$
80	$68.8 \pm 3.2 \text{ b}$	$74.8 \pm 0.8 \text{ b}$	$47.6 \pm 2.2 \text{ ab}$	$50.6 \pm 2.9 \text{ b}$
100	$78.8 \pm 2.0 \text{ a}$	$73.9 \pm 2.6 \text{ b}$	$57.8 \pm 3.7 \text{ a}$	$63.4 \pm 1.7 \text{ a}$
120	$82.5 \pm 1.5 \text{ a}$	$83.8 \pm 1.8 \text{ a}$	$60.2 \pm 4.9 \text{ a}$	$64.9 \pm 3.6 \text{ a}$
Untreated control	0 d	0 d	0 c	0 d

注: 1)平均值±标准误 Mean±Standard error; 2)同列相同小写字母表示 0.05 水平差异不显著 Data followed by the same small letters in the same column indicate no significant difference at 0.05 level.

3 讨论

在生物除草剂的研制过程中存在着诸多限制性因素, 而空气、土壤和水等环境因子是其中重要的制约

因素之一^[10]。真菌除草剂以活的孢子或菌丝体发挥作用,其施用过程中对环境条件的要求要比化学除草剂更为苛刻。本研究所使用的齐整小核菌菌株 SC64 通常不产生孢子,田间防除阔叶杂草的较好接种体是包含有菌丝体的固体培养基,适宜的环境条件是保证菌丝体良好活化,达到良好防效的必需因素。本研究显示:齐整小核菌菌株 SC64 有效侵染鳢肠至少需要土壤含水量在饱和量的 60%~90% 左右、24 h 的保湿期以及 27~33 °C 的环境条件。研究结果与谷祖敏等^[11]直接利用草茎点霉 SYAU-06 菌株菌丝体片段悬浮液控制鸭跖草达到理想的致病效果需要 48 h 的露水期和 80% 以上的环境湿度,以及王晓艳等^[12]利用链格孢属菌株 SF-193 含菌丝片段和培养滤液的混合液需要 36 h 的保湿期的规律相类似。

齐整小核菌主要发生于热带、亚热带及其他温暖的地区,尤其适宜于高温高湿的环境,寄主范围包括多数蔬菜、花卉、豆类及阔叶作物和杂草^[13]。为避免对非目标植物及环境产生影响并取得良好防效,选择其应用时间与对象十分关键。与齐整小核菌类似的核盘菌(包括 *S. sclerotiorum* 和 *S. minor*) 已成功开发为生物除草剂,用于防除草坪上西洋蒲公英 *Taraxacum officinale* 和蓟 *Cirsium arvense* 等阔叶杂草^[14,15]。而齐整小核菌生物防除银胶菊 *Parthenium hysterophorus* 也显示出较好的应用潜力^[8,16]。早直播稻在生产过程早期干湿交替环境易滋生杂草^[17],但该环境以及早直播稻的耕作季节气温均有利于齐整小核菌的生长,加之齐整小核菌对禾本科植物安全,故本试验模拟了用齐整小核菌菌株 SC64 防除水稻田 4 种阔叶杂草的试验,结果显示齐整小核菌具有开发作为生物除草剂用于早直播稻环境的潜力。后期的田间试验也验证了这一点^[18]。

将生物除草剂用于生产和实践,还需对菌剂配方进行研究。对于以含有菌丝体的固体基质为应用材料的生物除草剂,一般使用大麦、粟等粮食类为载体^[14,19],亦有通过将培养好的基质进行面粉或海藻酸钠包埋而成的颗粒产品^[20,21],这些配方中的物质不仅可为菌丝体提供充分的营养,而且能减轻对环境湿度的依赖,但大批量生产成本较昂贵。本研究使用稻壳和麸皮为原料制得含菌丝体固体基质,原料廉价易得,在环境适宜的条件下能取得较好的除草效果;但产品也有失水较快等缺点。今后将进一步研究营养物质和辅助物质对菌株 SC64 的增效作用并开展田间试验,为该菌株开发为生物除草剂提供依据。

参 考 文 献

- [1] TeBeest D O, Yang X B, Cisar C R. The status of biological control of weeds with fungal pathogens[J]. Annual Review of Phytopathology, 1992, 30: 637-658.
- [2] 强胜. 生物除草剂的研究概况[J]. 杂草科学, 1996, (2): 11-14, 10.
- [3] 刘占山, 廖晓兰, 任新国, 等. 生物除草剂防治研究进展[J]. 农药研究与应用, 2007, 11(3): 6-10.
- [4] Brosten B S, Sands D C. Field trials of *Sclerotinia sclerotiorum* to control Canada thistle (*Cirsium arvense*)[J]. Weed Science, 1986, 34: 377-380.
- [5] Riddle G E, Burpee L L, Boland G J. Virulence of *Sclerotinia sclerotiorum* and *S. minor* on dandelion[J]. Weed Science, 1991, 39: 109-118.
- [6] Mishra J, Pandey A K, Hasija S K. Mycoherbicidal potential of *Sclerotium rolfsii* Sacc. against *Parthenium*: Factors affecting in vitro growth and sclerotial formation[J]. Journal of Pathology Research, 1996a, 9(1): 19-24.
- [7] Mishra J, Pandey A K, Hasija S K. Mycoherbicidal potential of *Sclerotium rolfsii* Sacc. against *Parthenium hysterophorus* L.: histopathological studies[J]. Indian Journal of Applied Pure Biology, 1996b, 1: 73-77.
- [8] Shukla R, Pandey A K. Pathogenic diversity of *Sclerotium rolfsii* isolates, a potential biocontrol agent against *Parthenium hysterophorus* L.[J]. African Journal of Environmental Science and Technology, 2008, 2(5): 124-126.
- [9] Tang W, Zhu Y Z, He H Q, Qiang S. First report of Southern blight on Canadian goldenrod (*Solidago canadensis*) caused by *Sclerotium rolfsii* in China[J]. Plant Disease, 2010, 94(9): 1172.
- [10] Auld B A, Morin L. Constrains in the development of bioherbicides[J]. Weed Technology 1995, 9: 638-652.
- [11] 谷祖敏, 纪明山, 李兴海, 等. 环境因子对草茎点霉 SYAU-06 菌株侵染鸭跖草的影响[J]. 中国生物防治, 2009, 25(4): 355-358.
- [12] 王晓艳, 陈志谊, 刘永锋, 等. 生防菌 SF-193 对空心莲子草防除效果及其影响因子的研究[J]. 中国生物防治, 2007, 23(3): 243-250.
- [13] Agrios G N. Plant Pathology (5th edn.)[M]. San Diego, CA: Academic Press, 2004.

- [14] Abu-Dieyeh M H, Watson A K. Suppressing of *Taraxacum officinale* populations by *Sclerotinia minor* and grass over-seedling[J]. Journal of Applied Ecology, 2007, 44: 115-124.
- [15] Bourdôt G W, Hurrell G A, Saville D J, *et al.* Impacts of applied *Sclerotinia sclerotiorum* on the dynamics of a *Cirsium arvense* population[J]. Weed Research, 2006, 46: 61-72.
- [16] Pandey A K, Mishra J, Hasija S K. Effect of inoculum on mycoherbicide potential of *Sclerotium rolfsii* against Parthenium[J]. Journal of Mycology and Plant Pathology, 1998, 28: 284-287.
- [17] Fujisaka S, Moody K, Ingram K. A descriptive study of farming practices for dry seeded rainfed lowland rice in India, Indonesia and Myanmar[J]. Agriculture, Ecosystem and Environment, 1993, 45: 115-128.
- [18] Tang W, Zhu Y Z, He H Q, *et al.* Field evaluation of *Sclerotium rolfsii*, a biological control agent for broadleaf weeds in dry, direct-seeded rice[J]. Crop Protection, 2011, (in press, DOI: 10.1016/j.cropro.2011.04.002).
- [19] Grey W E, Quimby P C Jr., Mathre D E, *et al.* Potential for biological control of downy brome (*Bromus tectorum*) and medusahead (*Taeniatherum caputmedusae*) with crown and root rot fungi[J]. Weed Technology, 1995, 9: 362-365.
- [20] Connick Jr, William J, Boyette, Clyde D. Granular products containing fungi encapsulated in a wheat gluten matrix for biological control of weeds[P]. United States Patent, 5074902, 1990.
- [21] Walker H L, Tilley A M. Control of crabgrass with a fungal pathogen[P]. United States Patent, 5952264, 1999.