

空心莲子草致病菌链格孢菌不同菌株的致病性及培养条件

周兵, 陈洁, 马胜平, 殷帅文, 王宁

(井冈山大学生命科学学院, 江西吉安 343009)

摘要:链格孢菌为空心莲子草最具开发潜力的生防菌之一。通过室内生物测定的方法比较了链格孢菌不同菌株对空心莲子草的致病性,并测定了培养基、温度及pH值条件对强致病菌株菌落生长和产孢的影响,优化了其培养条件。结果表明,菌株J-14的致病性最强,其次为菌株MS613、ZL500和PEC,而菌株ML03的致病性最弱,其所产生的病斑直径仅为J-14的22.12%。菌株J-14在空心莲子草茎叶煎汁培养基(ADA)上菌落生长和产孢量较高,培养5d后其菌落直径和产孢量分别为5.800cm和 519.374×10^6 个;温度20~30℃及pH值6.5~8.5是其菌落生长和产孢的适宜温度和酸碱度,且最适温度和pH值分别为25℃和7.5。由此可见,菌株J-14对空心莲子草具有较强的致病性,ADA培养基、25℃和pH值7.5是其最佳培养条件,为将J-14菌株开发为空心莲子草生防菌提供了重要理论依据。

关键词:空心莲子草;链格孢菌;致病性;菌落生长;产孢

中图分类号:S459 文献标识码:A

Pathogenicity and Culture Condition of Different Isolates of *Alternaria alternata* on *Alternanthera philoxeroides*

ZHOU Bing, CHEN Jie, MA Sheng-ping, YIN Shuai-wen, WANG Ning

(School of Life Sciences, Jinggangshan University, Jiangxi Ji'an 343009, China)

Abstract: *Alternaria alternata* is one of biocontrolling agents against *Alternanthera philoxeroides*. Pathogenicity of different *A. alternata* strains against *A. philoxeroides* was investigated by bioassay in laboratory, and the effects of different culture mediums, temperature and pH on colony growth and spore production of *A. alternata* were also determined to optimize the culture conditions. The results showed that: The pathogenicity of J-14 was the highest, followed by MS613, ZL500 and PEC strains, and the lowest for ML03 with 22.12% necrosis diameter as J-14. J-14 strain could well grow and produce spores on ADA medium, the colony diameter and spore production were 5.800 cm and 519.374×10^6 , respectively; 20–30 °C and pH 6.5–8.5 were the proper temperature and pH value, with the best optimal 25 °C and pH 7.5. It was concluded that J-14 strain was the most pathogenic to *A. philoxeroides*, ADA medium, 25 °C and pH 7.5 were its optimal culture conditions, which provided important theoretical basis for developing it as biocontrolling agent against *A. philoxeroides*.

Key words: *Alternanthera philoxeroides*; *Alternaria alternata*; Pathogenicity; Colony growth; Spore production

空心莲子草(*Alternanthera philoxeroides*)为苋科(Amaranthaceae)莲子草属(*Altemanthera* sp.)多年生宿根草本植物,原产巴西,现已广泛入侵到美洲、澳洲、亚洲及非洲许多国家和地区^[1-6]。20世纪30年代末,空心莲子草作为养马饲料随日军侵华引入中国,后被广泛引入到我国南方地区。目前,除甘肃

东南部、宁夏、陕西、山西、内蒙古南部以及辽宁南部之外,其它地区均有分布^[7]。近年来,研究发现空心莲子草含有皂甙等有毒物质^[8-9],并能传播家畜姜虫病,不利于牲畜取食^[10]。同时,空心莲子草生命力强,生长繁殖迅速,扩散快,能够入侵多种生境^[2, 11],危害当地的生物多样性^[12-13],造成农作物减产^[14],影响农事作业,污染水体,堵塞水道,影响了淡水养殖和农田灌溉^[10, 15],发展成为我国许多地区的恶性杂草。2003年被列入国家环保总局公布的“中国第一批外来入侵生物名单”^[16]。因此,开展空心莲子草的防治研究成为当前空心莲子草的研究热点之一。

收稿日期:2015-03-20

基金项目:国家自然科学基金(U1131006);江西省高等学校科技落地计划(KJLD12079);井冈山大学国家级大学生创新创业项目

作者简介:周兵(1977-),男,湖北黄梅人,副教授,博士,主要从事植物外来生物入侵方面的研究, E-mail: zhoubing113@126.com。

空心莲子草的防治主要包括物理防治、化学防治和生物防治。物理防治可短时间内产生较好的防除效果,但因空心莲子草具有较强的克隆繁殖特性,只要有1个茎节其就能繁殖,因此采用常规的机械除草和翻耕方法,只会将其切成更多的茎段,从而催生更多的新植株,不利于防除^[17]。化学防治在一定程度上对控制空心莲子草发挥了积极作用^[18-19],但一些除草剂只能杀死地上部分,而对地下部分却没有效果,且大量化学除草剂的使用必将对环境和人类健康产生一定的负面影响^[20]。利用天敌昆虫及病原菌进行防治是目前空心莲子草生物防治的主要方法。自20世纪60年代以来,研究者们先后发现了莲草直胸跳甲(*Agasicles hygrophila*)、虾钳菜披龟甲(*Cassida piperata*)、安氏御管蓟马(*Amynothrips andersoni*)、甜菜螟(*Hymenia recurvalis*)、从毛沃斑螟(*Vogtia malloi*)等几十种天敌昆虫,就其对空心莲子草的防治效果进行了研究,并取得了一定的成果,其中利用莲草直胸跳甲是相对比较成功的一种^[21-24]。同时,研究者们也对空心莲子草致病菌的生防潜力进行了筛选。已发现有生防潜力的病原菌有假隔链格孢(*Nimbya alternantherae*)^[25-28]、镰刀菌^[29-30]、毛盘孢菌(*Colletotrichum* spp.)^[31]及链格孢菌(*Alternaria* sp.)^[32-33]等。

链格孢菌是一种自然界广泛存在的植物致病菌,其对许多外来入侵杂草比如马樱丹(*Lantana camara*)^[34]、水葫芦(*Eichhornia crassipes*)^[35]和紫茎泽兰(*Eupatorium adenophorum*)^[36]等具有较强的致病性。万佐玺等^[37]研究表明链格孢菌产生的毒素对空心莲子草有很强的致病作用,Babu等^[35]的研究结果也证实了这一结果。我们前期研究表明,链格孢菌发酵液乙酸乙酯相代谢产物对空心莲子草具有较强的致病性,其分生孢子和菌丝体对空心莲子草也具有较强致病性,但分生孢子的致病性更强^[33]。上述研究显示了链格孢菌对空心莲子草的生防潜力。为进一步探讨链格孢菌的生防潜力及大批量生产技术,本研究比较了链格孢菌不同菌株对空心莲子草的致病力,在此基础上,从培养基、温度、pH等方面对强致病菌株的培养条件进行了优化,从而为将链格孢菌开发为空心莲子草生防菌提供了理论基础和技术指导。

1 材料与方法

1.1 供试材料

1.1.1 供试菌株 ZL500等21个链格孢菌菌株分离自野外空心莲子草病株,由实验室4℃低温保存。

1.1.2 培养基 实验中所用培养基有7种:PDA;

马铃薯200g,葡萄糖20g,琼脂20g,水1000mL;空心莲子草茎叶煎汁培养基(ADA):空心莲子草茎叶200g,葡萄糖20g,琼脂20g,水1000mL;酵母浸出粉胨葡萄糖琼脂培养基(YPD):酵母浸出粉5g,胨10g,葡萄糖20g,琼脂14g,水1000mL;1%聚山梨酯80-玉米琼脂培养基(TCA):1%聚山梨酯8010mL,黄色玉米粉7g,琼脂15g,水1000mL;沙氏琼脂培养基(SDLA):蛋白胨10g,葡萄糖40g,琼脂15g,氯霉素0.1g,水1000mL;察氏培养基(CDA):硝酸钠3g,磷酸氢二钾1g,硫酸镁0.5g,氯化钾0.5g,硫酸亚铁0.01g,蔗糖30g,琼脂15g,水1000mL;沙氏葡萄糖琼脂培养基(SDA):蛋白胨10g,葡萄糖40g,琼脂15g,水1000mL。

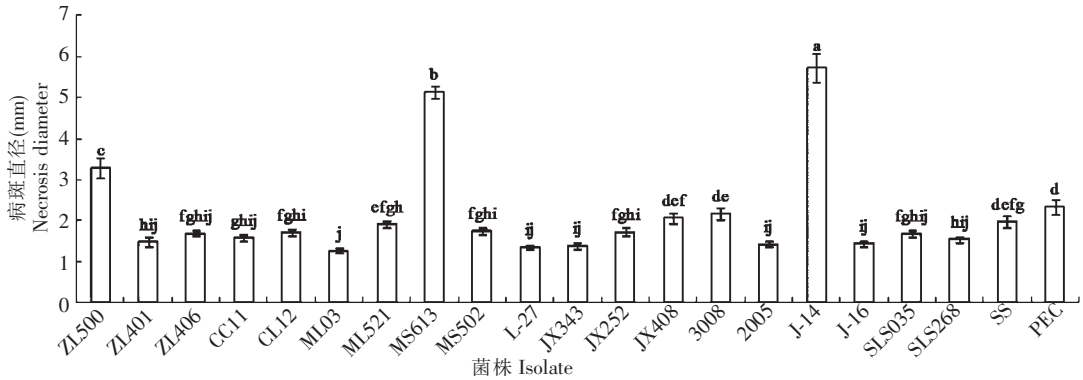
1.2 研究方法

1.2.1 不同菌株致病性测定 采用离体叶片针刺法检测不同菌株的致病性。具体操作如下:取健康无病虫害的空心莲子草枝条从顶部往下计数的第3对叶若干,用自来水冲洗干净,用0.1% HgCl₂处理3~5min,再用无菌水冲洗4次,用灭过菌的吸水纸吸干叶面水分,将叶片背面朝上放在铺有湿润滤纸的培养皿里;然后在叶背面主叶脉两侧叶片中央位置用解剖针针刺造成轻微伤害,以刺破下表皮而上表皮完好为标准。将提前培养好的菌块(不同链格孢菌菌株菌种转接于PDA培养基上,置于(25±1)℃生化培养箱中黑暗培养5d),用打孔器取直径6mm的菌块接种于针刺处理的空心莲子草叶片上,有菌丝体一面朝下,与叶片接触。将培养皿置于(25±1)℃,光照L:D=12:12的光照培养箱中培养3d,取出培养皿,去除叶片上的菌块,用游标卡尺测量叶片上所产生的病斑直径。每皿为1个重复,设4个重复。

1.2.2 培养基种类的筛选 在1.2.1试验基础上,将筛选出的强致病菌菌株直径6mm菌块转接至PDA、ADA、YPD、TCA、SDLA、CDA和SDA7种培养基平板上,置于(25±1)℃生化培养箱中黑暗培养,5d后测量菌落直径,然后用载玻片轻轻将孢子刮下,加入适量的无菌水配制成孢子悬浮液,在显微镜下,用血球计数板法统计孢子的产量。每处理设5个重复。

1.2.3 温度试验 设10、15、20、25、30、35和40℃7个温度处理,采用pH约为7.0的ADA培养基进行测定。菌落直径及产孢量测定方法同1.2.2,设5个重复。

1.2.4 酸碱度试验 设pH4.0、4.5、5.0、5.5、6.0、6.5、7.0、7.5、8.0、8.5、9.0、9.5、10.0、10.5、11.0、11.5和12.0等17个酸碱度处理。试验采用ADA培养基,菌落直径及产孢量测定方法同1.2.2,



图中不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$)

Different small letters indicate significant difference ($P < 0.05$)

图1 不同链格孢菌菌株对空心莲子草的致病性

Fig. 1 Pathogenicity of different *Alternaria alternata* isolates on *Alternanthera philoxeroides*

设 5 个重复。

1.3 数据统计分析

采用 Excel 进行数据处理,运用 SPSS 19.0 统计软件进行单因素方差分析,采用 Duncan 检验法进行差异显著性分析。所有数据采用 $\text{mean} \pm \text{SE}$ 进行表述。

2 结果与分析

2.1 不同菌株对空心莲子草的致病性

图 1 显示了不同菌株对空心莲子草的致病性,可见,不同菌株的致病性存在差异。菌株 J-14 的致病性最强,显著高于其它菌株 ($P < 0.05$),其次为菌株 MS613、ZL500 和 PEC,相应产生的病斑直径分别为 5.71、5.14、3.30 和 2.35 mm。菌株 ML03 的致病性最弱,与菌株 J-14 相比,其所产生的病斑直径仅为后者的 22.12%。

2.2 不同培养基对链格孢菌生长和产孢的影响

不同培养基对链格孢菌生长和产孢的影响存在差异(表 1)。链格孢菌在空心莲子草茎叶煎汁培养

表 1 不同培养基对链格孢菌菌落生长和产孢的影响

Table 1 Effects of different mediums on colony growth and spore production of *Alternaria alternata*

培养基 Medium	菌落直径 (cm) Colony diameter	产孢量 ($10^6/\text{colony}$) Spore production
TCA	4.812 \pm 0.144bc	291.348 \pm 17.334b
SDA	5.876 \pm 0.139a	283.804 \pm 8.281b
YPD	4.604 \pm 0.134c	63.136 \pm 3.137cd
SDLA	4.524 \pm 0.079c	6.638 \pm 1.028e
PDA	5.166 \pm 0.176b	87.920 \pm 4.648c
ADA	5.800 \pm 0.115a	519.374 \pm 24.781a
CDA	4.656 \pm 0.174c	33.894 \pm 3.282de

注:表中不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$),下同。
Note: Different small letters indicate significant difference ($P < 0.05$), the same as below.

基 (ADA) 和沙氏葡萄糖琼脂培养基 (SDA) 上菌落生长较好,显著高于其在其它培养基上的生长 ($P < 0.05$),生长 5 d 后相应的菌落直径分别为 5.800 和 5.876 cm;链格孢菌在沙氏琼脂培养基 (SDLA) 上生长的相对较缓慢,生长 5 d 后其菌落直径为 4.524 cm。链格孢菌在 ADA 培养基上的产孢量最高,为 519.374×10^6 个,显著高于其在其它培养基上的产孢量 ($P < 0.05$),其后依次为 1% 聚山梨酯 80-玉米琼脂培养基 (TCA)、SDA 和 PDA,而在 SDLA 上的产孢量最小,显著低于其它培养基 ($P < 0.05$)。可见,ADA 培养基最适合于链格孢菌的生长和产孢。

2.3 不同温度对链格孢菌生长和产孢的影响

温度对链格孢菌的生长和产孢产生较大影响(表 2)。在 20 ~ 30 $^{\circ}\text{C}$ 的温度范围内,链格孢菌菌落生长较好,25 $^{\circ}\text{C}$ 时菌落生长最好,虽然不同温度间存在显著差异 ($P < 0.05$),但其菌落直径均大于 5 cm;而在 10 和 40 $^{\circ}\text{C}$ 时菌落生长较差,菌落直径均为 1.50 cm 左右,2 种温度间没有显著差异 ($P > 0.05$)。在产孢量方面,25 $^{\circ}\text{C}$ 时的产孢量最高,显著高

表 2 不同温度对链格孢菌菌落生长和产孢的影响

Table 2 Effects of different temperature on colony growth and spore production of *Alternaria alternata*

温度 ($^{\circ}\text{C}$) Temperature	菌落直径 (cm) Colony diameter	产孢量 ($10^6/\text{colony}$) Spore production
10	1.534 \pm 0.038f	0 \pm 0d
15	3.824 \pm 0.057d	76.548 \pm 4.900c
20	5.098 \pm 0.074c	385.444 \pm 6.295b
25	5.984 \pm 0.065a	524.294 \pm 14.799a
30	5.372 \pm 0.061b	399.630 \pm 5.509b
35	2.902 \pm 0.065e	2.720 \pm 0.669d
40	1.478 \pm 0.029f	0 \pm 0d

于其它温度下的产孢量,其次为 30 和 20 °C,2 种温度间没有显著差异($P>0.05$),而在 10 和 40 °C 时,链格孢菌不产生孢子。

2.4 不同 pH 对链格孢菌生长和产孢的影响

表 3 显示了不同 pH 值对链格孢菌生长和产孢的影响,可见,不同 pH 值对其生长和产孢的影响存在差异。链格孢菌在 pH 7.5 时菌落生长最好,其菌落直径显著大于其在其它 pH 值条件下的菌落直径($P<0.05$),其次为 pH 为 7.0、8.0、8.5 和 6.5,相应的菌落直径均大于 5.69 cm,处理间没有显著差异($P>0.05$),pH 4.0 时的菌落直径最小,仅为 pH 7.5 时菌落直径的 48.02%。pH 7.5 时的产孢量也最高,显著高于其它 pH 值时的产孢量(pH 8.0 除外)($P<0.05$),pH 4.0 时的产孢量最低,仅为 pH 7.5 时的 12.65%。

3 讨论

从植物病株分离致病菌,筛选强致病菌株,检测其对寄主的致病性及防控作用,并进行安全性评价,是目前入侵植物生物防治的重要手段之一。而在分离过程中,将会在同一种植物中分离出大量的菌株,这些菌株既可能是不同的致病菌,也可能是相同致病菌的不同菌株,不同菌株对寄主将会表现出不同

的致病能力。陈志谊等^[26]从空心莲子草上分离获得菌株 295 株,其中有 191 株对其具有致病能力,且其中 12 株的致病力较强。强胜等^[38]研究表明紫茎泽兰的 5 个链格孢菌菌株在菌株的形态、遗传多样性、致病性和产毒素能力方面存在差异,菌株 501 对紫茎泽兰的致病性最强,而 503 等菌株的致病力相对较弱。庄义庆等^[39]比较了 9 个蕉斑镰刀菌菌株对水花生的致病性,菌株间的产孢量及致病性存在差异,菌株 32-6 具有较强的致病性和寄主专化性。本研究显示了相类似的结果,21 株空心莲子草致病型链格孢菌致病菌株对其叶片的致病性存在差异,菌株 J-14 的致病性最强,显著高于其它菌株($P<0.05$),其次为菌株 MS613、ZL500 和 PEC,而菌株 ML03 的致病性最弱。菌株的致病性与菌株的生长速度和产毒素能力存在一定的正相关性^[38],产生毒素成为病原菌致病的重要因子之一^[40]。AM-toxin 即为苹果致病型链格孢菌主要致病毒素^[41],AB-toxin 为芸薹型致病性链格孢菌主要致病毒素^[42], α 、 β -dehydrocurvularin 为马唐致病型画眉草弯孢霉主要致病毒素^[43]。不同菌株间的产毒能力存在差异,常缨等^[44]研究发现紫茎泽兰致病型链格孢菌不同菌株的致病性与其产毒能力相一致。空心莲子草致病型链格孢菌产生的毒素主要集中在乙酸乙酯相代谢产物中,而具体的有效成分有待进一步的分离鉴定^[33]。

致病菌的生长和产毒既受自身的遗传性状及生物特性的影响,也受营养、光照、温度等环境因素的影响。强胜等^[38]研究表明紫茎泽兰致病型链格孢菌的 5 个菌株在 PDA 培养基上菌落生长速率存在差异,501 菌株最快,而 402 菌株最慢。周冠军等^[45]测定了营养培养基、温度和酸碱度对空心莲子草致病型镰刀菌生长发育的影响,结果表明,镰刀菌适宜的菌落生长和产孢温度为 15 ~ 30 °C,分生孢子萌发的适宜温度为 20 ~ 35 °C;不同培养基上其菌落生长存在差异,马铃薯蔗糖琼脂培养基(PSA)是其最佳培养基;菌落生长和产孢的适应酸碱度范围为 4.5 ~ 11.0,最适为 7.0。冯源等^[46]研究表明增强 UV-B 导致灯盏花致病型链格孢菌菌丝生长率、产孢量、纤维素酶活性及可溶性蛋白含量显著下降,其致病力也显著下降。范文忠等^[47]研究发现不同碳氮源下链格孢菌的生长存在差异,果糖和硝酸钠是其最适宜的碳氮源。本研究表明培养基种类、培养温度和 pH 值均对空心莲子草致病型链格孢菌菌落生长和产孢量产生影响。菌株 J-14 在空心莲子草茎叶煎汁培养基(ADA)和沙氏葡萄糖琼脂培养基(SDA)上菌落生长较好,在沙氏琼脂培养基(SD-

表 3 不同 pH 值对链格孢菌菌落生长和产孢的影响

Table 3 Effects of different pH on colony growth and spore production of *Alternaria alternata*

pH	菌落直径 (cm) Colony diameter	产孢量 (10^6 /colony) Spore production
4.0	2.954 ± 0.066i	69.118 ± 4.643m
4.5	3.566 ± 0.070h	195.428 ± 5.721l
5.0	4.270 ± 0.069g	327.332 ± 8.379j
5.5	4.906 ± 0.060e	429.286 ± 7.279gh
6.0	5.274 ± 0.068d	489.246 ± 4.829ef
6.5	5.694 ± 0.084bc	504.696 ± 6.433cde
7.0	5.914 ± 0.089b	524.294 ± 14.799bc
7.5	6.152 ± 0.109a	546.364 ± 6.336a
8.0	5.838 ± 0.068bc	527.580 ± 10.257ab
8.5	5.756 ± 0.101bc	514.204 ± 6.726bcd
9.0	5.610 ± 0.082c	499.040 ± 6.937de
9.5	5.376 ± 0.076d	476.904 ± 5.010f
10.0	5.038 ± 0.068e	447.030 ± 5.794g
10.5	4.568 ± 0.105f	409.676 ± 8.528h
11.0	4.044 ± 0.079g	356.972 ± 5.134i
11.5	3.672 ± 0.058h	228.832 ± 6.741k
12.0	3.092 ± 0.093i	87.368 ± 3.216 m

LA)上生长的相对较缓慢,在 ADA 培养基上的产孢量最高,而在 SDLA 上的产孢量最小。20 ~ 30 °C 及 pH 6.5 ~ 8.5 适宜于链格孢菌的菌丝生长和产孢。显示了相类似的结果。

由此可见,链格孢菌 J-14 菌株对空心莲子草具有最强的致病性,具有开发为空心莲子草生防菌的潜力,而空心莲子草茎叶煎汁培养基(ADA)、20 ~ 30 °C 及 pH 6.5 ~ 8.5 是其适宜的生长发育条件。为该菌株的开发提供了理论支持,但生物源除草剂的开发是一个复杂的综合过程。关于致病菌致病毒素的有效成分、作用机制及剂型等方面都有待进一步研究。

参考文献:

[1] Wagh G K, Ghatge H V, Ghatge V S. First record of the alligator weed, *Alternanthera philoxeroides* (Mart.) Griseb. From Pune, Maharashtra[J]. J Bombay Nat Hist Soc, 1995, 92(1):141 - 143.

[2] Saintry G, McCorkelle G, Julien M. Control and spread of alligator weed *Alternanthera philoxeroides* (Mart.) Griseb., in Australia: lessons for other regions[J]. Wetl Ecol Manag, 1997, 5(3):195 - 201.

[3] Garbari F, Pedulla M L. *Alternanthera philoxeroides* (Mart.) Griseb. (Amaranthaceae), a new species for the exotic flora of Italy [J]. Webbia, 2001, 56(1):139 - 143.

[4] Pramod K, Sanjay M, Satya N. *Alternanthera philoxeroides* (Mart.) Griseb. - An addition to Uttar Pradesh[J]. J Indian Bot Soc, 2008, 87(3/4):285 - 286.

[5] Bassett I, Paynter Q, Hankin R, et al. Characterising alligator weed (*Alternanthera philoxeroides*; Amaranthaceae) invasion at a northern New Zealand lake[J]. New Zeal J Ecol, 2012, 36(2):216 - 222.

[6] 万方浩, 刘全儒, 谢明. 生物入侵:中国外来入侵植物图鉴[M]. 北京:科学出版社, 2012:126 - 127.

[7] 谭万忠. 空心莲子草在我国的水平和垂直分布[J]. 杂草学报, 1994, 8(2):30 - 33.

[8] 赵维民. 空心莲子草中具杀灭钉螺活性皂甙成分的研究[J]. 天然产物研究与开发, 1999, 11(1):1 - 5.

[9] Fang J B, Yao Z, Chen J C, et al. Cytotoxic triterpene saponins from *Alternanthera philoxeroides*[J]. J Asian Nat Prod Res, 2009, 11(3/4):261 - 266.

[10] 沈国军, 徐正浩, 俞谷松. 空心莲子草的分布、危害与防除对策[J]. 植物保护, 2005, 31(3):14 - 18.

[11] 陶勇, 江明喜. 空心莲子草茎的解剖结构对不同水湿生境的适应研究[J]. 武汉植物学研究, 2004, 22(1):65 - 71.

[12] 郭连金, 王涛. 空心莲子草入侵对乡土植物群落间联结性及稳定性的影响[J]. 中国生态农业学报, 2009, 17(5):851 - 856.

[13] 王志勇, 江雪飞, 郑慧, 等. 空心莲子草入侵对土壤细菌群落结构及其多样性的影响[J]. 化学与生物工程, 2011, 28(11):17 - 21.

[14] 喻大昭, 魏守辉, 朱文达, 等. 空心莲子草对水稻生长的影响及其经济阈值[J]. 植物保护学报, 2008, 35(1):69 - 73.

[15] Gunasekera L, Shepherd R C H, Richardson R G. Alligatorweed, an aquatic weed present in Australian backyards[J]. Proceedings of

Aquatic Weed Workshop held at Keith Turnbull Research Institute, Australia. Plant Prot Quart, 1999, 14(2):77 - 78.

[16] 国家环保总局, 中国科学院. 中国第一批外来入侵物种名单[R]. 国务院公报, 2003, 23:41 - 46.

[17] Wilson J, Yeates A, Schooler S, et al. Rapid response to shoot removal by the invasive wetland plant, alligator weed (*Alternanthera philoxeroides*) [J]. Environ Exp Bot, 2007, 60(1):20 - 25.

[18] 朱永群, 杜周和, 左艳春, 等. 空心莲子草的化学防治研究[J]. 西南农业学报, 2008, 21(6):1706 - 1710.

[19] 朱金文, 李洁, 吴志毅, 等. 有机硅喷雾助剂对草甘膦在空心莲子草上的沉积和生物活性的影响[J]. 农药学报, 2011, 13(2):192 - 196.

[20] 陈燕丽, 陈中义. 空心莲子草入侵控制的生态学研究进展[J]. 湖北农业科学, 2010, 49(9):2260 - 2263, 2267.

[21] Coulson J R. Biological control of alligator weed, a review and evaluation 1959 - 1972[R]. U. S. Development of Agriculture Technical Bulletin, 1977, 1547:98.

[22] Buckingham G R. Biological control of alligatorweed, *Alternanthera philoxeroides*, the world's first aquatic weed success story[J]. Castanea, 1996, 61(3):232 - 243.

[23] 马瑞燕, 丁建清, 李佰铜, 等. 莲草直胸跳甲在不同生态型空心莲子草上的化蛹适应性[J]. 中国生物防治, 2003, 19(2):54 - 58.

[24] 高诗淇, 周红春, 周方杰, 等. 空心莲子草野螟各虫态的形态学观察[J]. 环境昆虫学报, 2011, 33(1):131 - 134.

[25] Gelbert R L, Auld B A, Hennecke B R. Leaf and stem spot of *Alternanthera philoxeroides* (alligator weed) in Australia caused by *Nimbya* sp[J]. Plant Pathol, 2005, 54:585.

[26] 陈志谊, 王晓艳, 刘永峰, 等. 生防菌 SF-193 对空心莲子草的致病力和田间生物防除效果[J]. 江苏农业科学, 2007(2):61 - 63.

[27] Pomella A W V, Barreto R W, Charudattan R. *Nimbya alternantherae*, a potential biocontrol agent for alligatorweed, *Alternanthera philoxeroides* [J]. BioControl, 2007, 52:271 - 288.

[28] 聂亚锋, 陈志谊, 刘永峰, 等. 假隔链格孢 (*Nimbya alternantherae*) SF-193 防除空心莲子草田间高效使用技术研究[J]. 植物保护, 2008, 34(3):109 - 113.

[29] 庄义庆, 王源超, 潘以楼, 等. 蕉斑镰刀菌 32-6 菌株侵染空心莲子草的组织病理观察[J]. 江苏农业学报, 2009, 25(6):1287 - 1291.

[30] Tan W Z, Li Q J, Qing L. Biological control of alligatorweed (*Alternanthera philoxeroides*) with a *Fusarium* sp [J]. BioControl, 2002, 47:463 - 479.

[31] 谭万忠, 顾春燕. 空心炭疽病菌的生物学特性及病害田间消长规律研究[J]. 云南农业大学学报, 1993(3):249 - 251.

[32] 向梅梅, 曾永三, 刘任, 等. 空心莲子草叶斑病代谢产物的除草活性[J]. 中国生物防治, 2002, 18(2):87 - 89.

[33] 周兵, 彭峰, 闫小红, 等. 链格孢菌对空心莲子草致病性的研究[J]. 贵州农业科学, 2010, 38(4):113 - 116.

[34] Saxena S, Pandey A K. Evaluation of an indigenous isolate of *Alternaria alternata* (LC#508) for use as a mycoherbicide for *Lantana camara* L[J]. Crop Prot, 2002, 21:71 - 73.

[35] Babu R M, Sajeena A, Seetharaman K. Bioassay of the potentiality of *Alternaria alternata* (Fr.) keissler as a bioherbicide to control waterhyacinth and other aquatic weeds[J]. Crop Prot, 2003, 22:1005

-1013.

- [36] Qiang S, Zhu Y, Summerell B A, et al. Mycelium of *Alternaria alternata* as a potential biological control agent for *Eupatorium adenophorum*[J]. *Biocontrol Sci Technol*, 2006, 16(7):653-658.
- [37] 万佐玺, 强 胜, 徐尚成, 等. 链格孢菌的产毒培养条件及其毒素的致病范围[J]. *中国生物防治*, 2001, 17(1):10-15.
- [38] 强 胜, 常 纓, 万佐玺, 等. 采自紫茎泽兰的 5 个链格孢菌菌株致病性和若干特征的比较[J]. *南京农业大学学报*, 2002, 25(4):23-27.
- [39] 庄义庆, 何东兵, 王源超, 等. 水花生病原菌——蕉斑镰刀菌菌株的筛选及其致病性测定[J]. *中国生物防治*, 2008, 24(3):262-266.
- [40] Montemurro N, Visconti A. *Alternaria* metabolites-chemical and biological data[A]. In: Chelkowski J, Visconi A eds. *Alternaria: Biology, plant diseases and metabolites* [C]. Amsterdam: Elsevier Science Publishers B. V. Part II, 1992:449-558.
- [41] Shimomura N, Otani H, Tabira H, et al. Two primary action sites for AM-toxin produced by *Alternaria alternata* apple pathotype and their pathological significance[J]. *Ann Phytopathol Soc Jap*, 1991, 57(2):247-255.
- [42] Oka K, Akamatsu H, Kodama M, et al. Host-specific AB-toxin Production by germination by germinating spores of *Alternaria brassicicola* is induced by a host-derived oligosaccharide[J]. *Physiol Mol Plant Pathol*, 2005, 66:12-19.
- [43] Jiang S J, Qiang S, Zhu Y Z, et al. Isolation and phytotoxicity of a metabolite from *Curvularia eragrostidis* and characterization of its modes of action[J]. *Ann Appl Biol*, 2008, 152: 103-111.
- [44] 常 纓, 王义权, 强 胜. 链格孢菌菌株致病性及其遗传差异性[J]. *应用与环境生物学报*, 2005, 11(4):486-489.
- [45] 周冠军, 谭万忠, 田立荣, 等. 影响空心莲子草镰刀菌生长发育的几个重要因子分析[J]. *西南师范大学学报(自然科学版)*, 2007, 32(3):63-68.
- [46] 冯 源, 祖艳群, 陈海燕, 等. UV-B 辐射增强对链格孢菌(*Alternaria alternata*)生长、生理及致病力的影响[J]. *植物保护*, 2010, 36(4):64-69.
- [47] 范文忠, 李 进, 高郁芳. 不同碳氮源对四种链格孢菌生长的影响[J]. *湖北农业科学*, 2012, 51(9): 1795-1797.

(责任编辑 李山云)