

吴祝华,詹德智,施季森,等. 毒素-MS 培养法鉴定百合对尖孢镰刀菌的抗性[J]. 江苏农业科学,2023,51(24):90-94.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2023.24.012

毒素-MS 培养法鉴定百合对尖孢镰刀菌的抗性

吴祝华,詹德智,施季森,席梦利

(南京林业大学林木遗传与生物技术省部共建教育部重点实验室,江苏南京 210037)

摘要:以宜昌百合为材料,通过在百合组织培养基中加入不同体积质量浓度的尖孢镰刀菌毒素粗提液培养百合组培苗,建立了高效的百合抗尖孢镰刀菌鳞茎腐烂病的鉴定体系,即在 MS 附加 0.2 mg/L 6-BA + 0.5 mg/L NAA + 蔗糖 3% (质量分数,下同) + 琼脂 6% (质量分数,下同),pH 值为 5.8 的培养基中,加入 100 mg/L 尖孢镰刀菌毒素粗提液,接种百合组培苗,观察发病情况与计算病情指数来确定百合材料的抗病能力。以此鉴定体系对 20 份百合材料进行抗病鉴定,认为初夏、药百合、淡黄花百合、岷江百合、雨荷、毛百合等为高抗种质,适合选为抗性育种亲本;南川百合、泸定百合、卷丹、川百合为中抗种质;卷丹(宜兴百合)、青岛百合、野百合、渥丹、金角、布鲁内罗为中感种质,百合丹东种源、宜昌百合、细叶百合及百合为高感种质。本研究结果为百合抗性育种提供亲本选择的参考。

关键词:尖孢镰刀菌;毒素;百合;病情指数;抗性

中图分类号:S682.2⁺65.01 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2023)24-0090-05

百合是世界第五大鲜切花,在我国广泛生产栽培,但是尖孢镰刀菌百合专化型(*Fusarium oxysporum* f. sp. *lilii*)引起的鳞茎腐烂病一直是影响百合切花生产的产量与质量的主要因素^[1-2]。为了培育抗病新品种,育种研究者希望能找到高抗种质。而我国百合资源丰富,对我国的百合资源进行尖孢镰刀菌的抗性评价是获得高抗种质的基础。

收稿日期:2023-04-28

基金项目:引进国际先进林业科学技术项目(编号:2013-4-34)。

作者简介:吴祝华(1971—),女,重庆人,博士,副编审,从事球根花卉选育种研究与林业学术出版工作。E-mail:nlwuzhu@njfu.edu.cn。

百合的抗性评价多采用田间接种观察分级的方法,如李润根等利用盆插鳞片接种菌块,然后形态观察鳞片感病程度并进行分级,来鉴定 9 种食用百合种质资源对枯萎病的抗性能,认为兰州为高抗,铁炮卷丹、广西高片、万载柳片为中抗^[3]。但该方法受栽培环境生态因子的影响。致病过程中起重要作用的毒素(如 fusaric acid),尤其在病菌侵入寄主后,可引致维管束细胞产生褐变、坏死等病理变化^[4-5]。以一定浓度的毒素粗提液添加到 MS 培养基中,离体培养百合鳞片,观察其生长致病情况,对其抗性进行评价。该方法比田间接种方法更容易控制,环

的影响[J]. 北方农业学报,2018,46(2):47-50.

[25]王 睿,刘汝亮,赵天成,等. 缓/控释肥侧条施用对水稻产量与农学性状的影响[J]. 中国农学通报,2017,33(6):1-5.

[26]李艳杰,张 武,项 鹏,等. 不同肥料对极早熟高粱生长发育及产量的影响[J]. 黑龙江农业科学,2022(12):29-32.

[27]阎世江,褚清河,周运宁,等. 一种新型复合肥对高粱生长及产量的影响[J]. 山西农业科学,2020,48(8):1255-1257.

[28]傅丽青,薛占奎,房玉伟,等. 不同缓/控释肥对单、双季晚稻生产特性及经济效益的影响[J]. 福建农业学报,2017,32(6):577-582.

[29]杜成喜,司学样. 控失尿素对潮土区小麦的增产增效作用[J]. 安徽农业科学,2016,44(10):122-123,129.

[30]宋俏恒,孔亮亮,杨跃华,等. 不同种类缓控释肥在鲜食型糯玉米上的应用效果[J]. 农业研究与应用,2020,33(4):15-18.

[31]俞卫星,胡新春,王新溪,等. 缓控释肥对籼粳杂交稻产量、品质及经济效益的影响[J]. 中国农学通报,2016,32(21):1-5.

[32]何荣川. 缓控释肥对水稻氮素吸收利用、产量和品质形成的影响[D]. 南京:南京农业大学,2018:45-55.

[33]李 武,邓 飞,胡 慧,等. 缓控释氮肥对机插杂交籼稻米品质的影响[J]. 核农学报,2018,32(4):779-787.

[34]左恽平,张 梦,张瑞薇,等. 不同类型缓控释肥料对鲜食玉米产量与品质的影响[J]. 浙江农业科学,2022,63(12):2791-2794,2798.

[35]张国兵,汪 灿,周棱波,等. 不同株行距配置对酒用糯高粱红粱丰 1 号农艺性状、产量及品质的影响[J]. 江苏农业科学,2019,47(1):76-79.

[36]王劲松,董二伟,武爱莲,等. 不同肥力条件下施肥对粒用高粱产量、品质及养分吸收利用的影响[J]. 中国农业科学,2019,52(22):4166-4176.

[37]胡丹丹,范呈根,洪欠欠,等. 等养分条件下缓/控释肥料替代部分速效化肥对中稻生产效益的影响[J]. 中国稻米,2018,24(1):16-19.

境与生长因子一致,使结论更科学客观。彭绿春等采用百合尖孢镰刀菌培养滤液,在瓶内对百合组培苗 8 个品种进行镰刀菌枯萎病抗性鉴定^[6]。丁丁等对 2 个东方百合品种的愈伤组织附加不同浓度的枯萎病菌毒素粗提液,用于抗尖孢镰刀菌无性系的离体筛选^[7]。张艺萍等测定了百合抗病无性系和感病无性系在用尖孢镰刀菌毒素诱导后的 POD、PAL、PPO、 β -1,3-葡聚糖酶、几丁质酶的活性变化,以揭示毒素筛选无性系的生化抗性机制,但前人的研究涉及种及品种较少^[8]。我国百合资源丰富,是世界百合资源中心,笔者在此基础上进一步改进百合品种镰刀菌枯萎病抗性室内鉴定体系,对笔者所在实验室收集、保存的 16、2 个品种及笔者所在实验室选育的 2 个新品种进行抗性鉴定。

1 材料与方法

1.1 试验材料

尖孢镰刀菌百合专化型致病菌株为云南农科院花卉所惠赠。百合材料为近年来南京林业大学百合课题组实验室从我国西南、西北、华中、东北等地收集的野生百合种及栽培品种(表 1)。其中,百合野生种有南川百合(*L. rosthornii*)、淡黄花百合(*L. sulphureum*)、岷江百合(*L. regale*)、宜兴百合(*L. lancifolium*)、细叶百合(*L. pumilum*)、川百合(*L. davidii*)等 16 种;栽培品种有金角(Golden Horn)、布鲁内罗(Brunello)以及笔者所在课题组选育的新品种初夏(Mid-May)、雨荷(Water Lily Dew)。供试的 20 种(含品种)百合均选择鳞茎直径约 1 cm 且具有数张基生叶的组培苗进行抗性鉴定。

1.2 试验方法

1.2.1 百合专化型尖孢镰刀菌毒素滤液的制备 试验于 2019 年 3—6 月在南京林业大学林木遗传育种实验室进行。百合专化型尖孢镰刀菌毒素滤液的制备参照文献[5-6]中的方法并略加修改。供试菌株(FOX-2)接种于 PSA 平板培养基上 25 ℃ 恒温培养 7 d,用内径 5 mm 的打孔器沿菌落边缘取菌片,接种于含 200 mL 改良 Richard 液体培养基的三角瓶中,每瓶接种 5 个菌片,置于 25 ℃、120 r/min 条件下恒温振荡培养 28 d,每个处理重复 3 次。培养液经过 4 层纱布过滤除去菌丝体,收集滤液,再经孔径 0.45 μ m 微孔滤膜过滤,弃去沉淀,上清液即为尖孢镰刀菌毒素滤液。取少量毒素在 HE λ IOS γ 型紫外可见分光光度计上测滤液中的镰刀菌酸

表 1 镰刀菌抗性鉴定的供试材料

百合名称	来源地	所属组(系)别
南川百合(<i>L. rosthornii</i>)	重庆南川	卷瓣组
淡黄花百合(<i>L. sulphureum</i>)	四川宝兴	百合组
岷江百合(王百合)(<i>L. regale</i>)	四川茂县	百合组
卷丹(宜兴百合)(<i>L. lancifolium</i> ‘Yixing’)	江苏宜兴	卷瓣组
细叶百合(<i>L. pumilum</i>)	陕西太白山	卷瓣组
川百合(<i>L. davidii</i>)	四川康定	卷瓣组
百合(<i>L. brownii</i>)	湖北神龙架	百合组
药百合(<i>L. speciosum</i>)	江西庐山	卷瓣组
宜昌百合(<i>L. leucanthum</i>)	重庆黔江	百合组
青岛百合(<i>L. tsingtauense</i>)	山东海洋	轮叶组
泸定百合(<i>L. sargentiae</i>)	四川宝兴	百合组
野百合(<i>L. brownii</i>)	广西南丹	百合组
毛百合(<i>L. dauricum</i>)	黑龙江伊春	钟花组
雨荷(Water Lily Dew)	贵州凯里	百合组
卷丹(<i>L. lancifolium</i>)	甘肃天水	卷瓣组
百合(丹东种源)(<i>L. brownii</i> var. <i>viriadulum</i>)	辽宁丹东	百合组
渥丹(<i>L. concolor</i>)	黑龙江伊春	钟花组
初夏(Mid-May)	栽培品种	亚洲百合系
金角(Golden Horn)	栽培品种	亚洲百合系
布鲁内罗(Brunello)	栽培品种	亚洲百合系

(FA)浓度,剩余毒素滤液保存于 4 ℃ 冰箱中。

1.2.2 镰刀菌毒素滤液中 FA 含量的测定 以 Sigma 公司的镰刀菌酸(fusaric acid, FA)为标准品,用 HE λ IOS γ 型紫外分光光度计测定不同浓度(10、25、50、100 mg/L)下标准 FA 的紫外(λ = 268 nm)吸收图谱及吸光度,以光密度为纵坐标、FA 浓度为横坐标绘制 FA 标准曲线,并进行线性回归,得到回归方程。在 HE λ IOS γ 型分光光度计上测定并计算滤液中 FA 的含量。在同一条件下测定毒素试样的吸光度(*D*),根据以下公式计算出其中的毒素含量(以镰刀菌酸计,mg/L)。

试样镰刀菌酸(FA)含量 = (试样 *D* × 标样镰刀菌酸含量) / 标样 *D*。

1.2.3 MS-FA 毒素筛选平台的建立 将制备的百合专化型尖孢镰刀菌毒素滤液按不同体积比加入百合 MS 组织培养基[MS 附加 0.2 mg/L 6-BA + 0.5 mg/L NAA + 蔗糖 3% (质量分数,下同) + 琼脂 6% (质量分数,下同),pH 值 5.8]中,配制含毒素剂量分别为 60、80、100 mg/L 的毒素培养基,以宜昌百合为材料,将宜昌百合组培苗用刀片切去鳞茎基部一薄层后植入含毒素培养基中,每个处理 5 瓶,每瓶 3 株组培苗,以不含毒素的培养基为对照。毒素

处理 7 d 后统计组培苗的发病率及病情指数。以每个处理 3 次重复的平均值作为结果。找出致病的最适毒素浓度,而后用该浓度的 FA-MS 培养基对所有材料进行抗病评价。

病情调查标准和病害严重度分级标准参照文献[7]中的方法。病害严重度:0 级,无病症;1 级,<25% 叶片黄化,鳞茎基部变褐色;2 级,≥25% ~ 50% 叶片黄化,鳞茎外层鳞片腐烂;3 级,≥50% ~ 75% 叶片黄化,鳞茎中度腐烂;4 级,≥75% 叶片黄化,鳞茎严重腐烂;5 级,鳞茎完全腐烂,整株枯死。

病情指数计算公式为:病情指数 = [Σ(病级苗数 × 病级)] / (苗数总和 × 发病最重级) × 100。

百合品种(种)抗性等级按样本的平均病情指数划分:高抗(HR) < 20.0,中抗(MR) 20.0 ~ < 50.0,中感(MS) 50.0 ~ < 80.0,高感(HS) ≥ 80.0。

1.2.4 试验材料抗性鉴定 以“1.2.3”节中建立的筛选平台对 20 种(含品种)百合组培苗进行抗性测定。百合组培苗移植到含毒素培养基上,处理 7 d 后统计组培苗的发病率及病情指数。每个处理 3 次重复。

2 结果与分析

2.1 最适培养基毒素浓度筛选

根据镰刀菌酸标准品在紫外分光光度计上于 268 nm 处测定的吸光度值绘制镰刀菌酸(FA)浓度标准曲线,计算出 FA 浓度与其吸光度值的线性回归方程: $y = 0.0271x + 0.2657$,相关系数 $r = 0.9718$,其中: y 为吸光度; x 为 FA 浓度,mg/L。

根据镰刀菌酸浓度标准曲线计算镰刀菌培养滤液中 FA 的浓度,将滤液添加到百合 MS 培养基中,配制成 FA 浓度分别为 60、80、100 mg/L 的 FA-MS 培养基,接种宜昌百合组培苗并观察记录发病情况。7 d 后接种的组培苗相继发病,其中含 100 mg/L FA 培养基上组培苗发病最早,病情也最为严重,80 mg/L FA 培养基的病情次之,60 mg/L FA 培养基上百合组培苗发病最晚,15 d 后才表现出明显发病症状(表 2)。

由不同浓度毒素对宜昌百合组培苗的致病性结果(表 2)可见,培养基中毒素浓度越高,对百合的致病作用越强。随着毒素处理时间的延长,百合组培苗的病情逐渐加重。

与接菌处理试验相比,在毒素培养基上接种的百合组培苗发病所需时间较短,以宜昌百合为例,

表 2 不同浓度毒素对宜昌百合组培苗的致病性

FA 浓度 (mg/L)	病情指数		
	10 d	15 d	20 d
CK	0	0	0
60	15.3	25.6	28.8
80	27.5	30.6	36.3
100	44.8	58.7	75.2

接种 10 d 左右即表现出明显的发病症状,而直接接菌往往需要 15 d 或更长时间才能表现出明显的发病症状,说明采用尖孢镰刀菌毒素滤液代替病原菌进行抗性试验能够缩短试验周期,可实现对品种抗性的快速鉴定。

试验表明,当培养基中 FA 浓度为 60 mg/L 时,培养后 15 d 宜昌百合组培苗表现轻度萎蔫,叶片卷曲,鳞茎外层鳞片软腐;当培养基中 FA 浓度为 80 mg/L 时,组培苗表现中度萎蔫,基本鳞片褐色,呈轻度腐烂;当 FA 浓度达 100 mg/L 时,组培苗叶片大部分枯萎,鳞茎重度腐烂(图 1)。



A: 清水对照; B: 60 mg/L FA 处理苗; C: 80 mg/L FA 处理苗; D: 100 mg/L FA 处理苗

图 1 不同毒素浓度对宜昌百合组培苗的致病性

从表 2、图 1 可以看出,随着培养基中 FA 浓度的升高,宜昌百合组培苗的发病程度逐渐加重。培养基中 FA 浓度达 60 mg/L 时,组培苗病情指数较低,10 d 时病情指数仅 15.3,20 d 后病情指数仍在 30 以下,FA 低浓度时材料发病症状不够明显,这会导致品种间的病情指数区分度较低。当培养基中 FA 浓度达 100 mg/L 以上时,材料病症明显,10 d 时组培苗病情指数为 44.8,20 d 后病情指数达 75.2,材料病症明显,便于观测记录,表明培养基中 FA 浓度 100 mg/L 为较适宜的抗性鉴定浓度。

2.2 百合不同品种对镰刀菌毒素的抗性

以附加尖孢镰刀菌毒素滤液的 FA-MS 培养基

(含 FA 100 mg/L)为筛选平台,对 20 种(含品种)百合组培苗进行抗性测定。百合组培苗移植到含毒素培养基 7 d 后开始发病,主要表现为叶片枯黄,鳞片基部变褐腐烂。据百合茎腐病发病等级标准,统计病情指数,依据百合茎腐病病情分级标准对 20 个百合种(品种)进行抗性分级(表 3)。

抗性鉴定结果表明,不同百合种(品种)的抗性水平存在显著差异。淡黄花百合等 6 个百合种(品种)对尖孢镰刀菌毒素滤液表现高抗,而百合丹东种源、宜昌百合等品种对尖孢镰刀菌毒素滤液表现高感。据病情分级标准鉴定出高抗种(品种)6 个,中抗种(品种)4 个,中感种(品种)6 个,高感种(品种)4 个。方差分析结果表明,不同百合种质的病情指数存在显著差异(表 3)。

表 3 百合种质资源对尖孢镰刀菌毒素的抗性鉴定结果				
百合名称	病情指数			抗性 分级
	重复 I	重复 II	平均值	
南川百合	20.0	21.3	20.7	MR
淡黄花百合	6.7	5.3	6.0	HR
岷江百合	12.7	11.3	12.0	HR
卷丹(宜昌百合)	50.7	56.0	53.4	MS
细叶百合	82.7	81.3	82.0	HS
川百合	44.0	44.0	44.0	MR
百合	82.7	85.3	84.0	HS
药百合	5.3	4.0	4.7	HR
宜昌百合	86.7	85.3	86.0	HS
青岛百合	54.7	46.7	50.7	MS
泸定百合	21.3	20.0	20.7	MR
野百合	50.7	50.7	50.7	MS
毛百合	19.0	18.7	18.9	HR
雨荷	20.0	16.0	18.0	HR
卷丹	33.3	28.0	30.7	MR
百合(丹东种源)	86.7	88.0	87.4	HS
渥丹	53.3	49.3	56.3	MS
初夏	4.0	4.0	4.0	HR
金角	56.0	56.0	56.0	MS
布鲁内罗	60.0	57.3	58.7	MS

注:HR 为高抗;MR 为中抗;MS 为中感;HS 为高感。

由表 4 可以看出,20 种百合材料的病情指数存在显著差异,而病情指数客观反映了百合品种的抗病性,因而试验结果也说明百合不同品种的抗性存在着显著差异,在此基础上依据病情指数对 20 种百合材料抗病性的差异进行多重比较(表 5)。

由表 5 可以看出,初夏、药百合、淡黄花百合及岷江百合的抗性较强,它们与雨荷、毛百合等高抗

表 4 百合不同种(品种)病情指数的方差分析结果

变异来源	平方和	自由度	均方	F 值	P 值
区组间	29 766.88	19	1 566.68	346.38	0.000
区组内	90.46	20	4.52		
总变异	29 857.34	39			

种(品种)差异极显著。而高抗种(品种)雨荷、毛百合,中抗种南川百合、泸定百合差异不显著。而百合(丹东种源)、宜昌百合、细叶百合及百合等对镰刀菌茎腐病的抗性较差,与其他材料达极显著差异。

表 5 百合不同种(品种)病情指数差异显著性的多重比较

百合名称	病情指数	差异显著性	
		0.05	0.01
百合(丹东种源)	87.4	a	A
宜昌百合	86.0	ab	A
百合	84.0	ab	A
细叶百合	82.0	b	A
布鲁内罗	58.7	c	B
渥丹	56.3	cd	BC
金角	56.0	cd	BC
宜兴百合	53.4	de	BC
青岛百合	50.7	e	C
野百合	50.7	e	C
川百合	44.0	f	D
卷丹	30.7	g	E
泸定百合	20.7	h	F
南川百合	20.7	h	F
毛百合	18.9	h	F
雨荷	18.0	h	F
岷江百合	12.0	i	G
淡黄花百合	6.0	i	G
药百合	4.7	i	G
初夏	4.0	i	G

3 结论与讨论

尖孢镰刀菌及其产毒素的致病性对比试验表明,镰刀菌培养后的毒素滤液可以代替病原菌进行品种的抗性鉴定。将毒素滤液添加到百合组培培养基中制成的 FA-MS 培养基可以作为百合种质抗性鉴定的平台,运用此方法可以快速筛选出对百合茎腐病有较强抗性的百合种质资源。在一定浓度范围内,百合组培苗的病情指数与毒素滤液中镰刀菌酸(FA)的浓度成正比,随毒素处理时间延长而病情加重。FA-MS 培养基中适宜的 FA 浓度为 100 mg/L 左右,FA 浓度过低或过高均不利于百合

抗性的鉴定。

百合对尖孢镰刀菌的抗性与寄主植物发育阶段、病原菌生理小种及环境条件等多种因素有关。百合在苗期的抗性与其在成株期的抗性是否完全一致目前尚不明确。但由于百合苗期植株抗病力相对较弱,尖孢镰刀菌容易侵染而致病,因而植物病原菌的抗性试验多在苗期进行。百合田间抗性一般不很稳定,受环境条件影响较大。本试验主要研究百合属部分种质资源对百合专化型尖孢镰刀菌的垂直抗性,而非水平抗性,由于百合专化型镰刀菌至少发现具有 3 个生理小种,除百合专化型尖孢镰刀菌外,还有茄腐皮镰刀菌[*F. solani* (Mart) Sacc]、串珠镰刀菌(*F. moniliform* Sheldon)、三线镰刀菌(*F. tricinctum*)^[9]和富士镰刀菌(*F. fujikuroi*)^[10],它们的发生频率远低于尖孢镰刀菌,但它们有时和尖孢镰刀菌复合发生。对尖孢镰刀菌有较强抗性的百合品种是否也对后 2 种镰刀菌有较强抗性还不清楚,尚有待进一步研究。

本研究依据不同百合种(品种)百合对尖孢镰刀菌毒素滤液的病理反应将供试的 20 个百合品种分为 4 类,初夏、药百合、淡黄花百合、岷江百合、雨荷、毛百合等为高抗种(品种),适合选为抗性育种亲本。南川百合、泸定百合、卷丹、川百合为中抗种质。卷丹(宜兴百合)、青岛百合、野百合、渥丹、金角、布鲁内罗为中感种质,百合(丹东种源)、宜昌百合、细叶百合及百合为高感种质。本研究结果与李润根等的研究^[3]表明卷丹为中抗种质相一致。笔者所在课题组选育的新品种初夏、雨荷均比亲本金角、布鲁内罗抗性增强,可能是由于亲本为二倍体与四倍体,而子代为三倍体增强了抗性。近年来,随着基因与蛋白组学研究的进步,百合尖孢镰刀菌抗性基因挖掘工作相继展开,王自娥认为岷江百合 defensin 抗菌肽基因 *LrDefl* 是一个尖孢镰刀菌抗性基因,*LrWRKY3* 通过与 *LrDefl* 启动子中的 W-bo 特异性结合并激活其转录,调控 *LrDefl* 的表达参与岷江百合与尖孢镰刀菌的分子互作^[11]。李珊的研究表明,岷江百合几丁质酶基因 *LrCHI2* 响应植物信号分子处理和尖孢镰刀菌侵染。原核重组蛋白 LrCHI2 对包括尖孢镰刀菌在内的几种病原真菌具

有明显的抑制活性^[12]。

在蛋白组学方面,张艺萍等以东方百合品种卡萨布兰卡抗病无性系和感病无性系为试验材料,开展百合抗尖孢镰刀菌枯萎病的蛋白质组学研究,发现与防御反应的病程相关蛋白(推定的抗病蛋白 RPS2、推定的抗晚疫病同族蛋白 R1C-3、过氧化物酶 Q、抗坏血酸过氧化物酶和 NBS-LRR 类似蛋白)可能是百合抗病无性系介入抗病防御反应的关键蛋白^[13]。

但上述研究的材料集中在岷江百合与东方百合品种上,根据本研究结果可知,高抗种质初夏、药百合、淡黄花百合、毛百合以及品种雨荷等均可作为高抗种质进行进一步的抗性基因挖掘。

参考文献:

- [1] 吴祝华,詹德智,施季森,等. 百合尖孢镰刀菌鳞茎腐烂病研究进展[J]. 江苏农业科学,2013,41(6):1-5.
- [2] 李 诚,李俊杰,薛春胜. 百合枯萎病发生规律及防治研究[J]. 植物保护学报,1994,21(2):135-139.
- [3] 李润根,程 华. 食用百合种质资源对枯萎病抗性的鉴定[J]. 北方园艺,2017(23):1-6.
- [4] 方中达. 植病研究方法[M]. 3 版. 北京:中国农业出版社,1998:63-64.
- [5] 陈慧杰,赵 爽,张凯凯,等. 菊花枯萎病病原菌的分离和鉴定及其粗毒素对切花菊‘神马’幼苗生长的影响[J]. 南京农业大学学报,2018,41(4):662-669.
- [6] 彭绿春,杨秀梅,苏 艳,等. 应用尖孢镰刀菌培养滤液室内鉴定百合品种抗病性研究[J]. 江西农业大学学报,2011,33(2):275-277.
- [7] 丁 丁,吕长平,王继华,等. 百合抗尖孢镰刀菌无性系的离体筛选[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版),2011,37(1):34-38.
- [8] 张艺萍,杨秀梅,许 风,等. 百合抗尖孢镰刀菌细胞突变系的防御酶活性变化[J]. 江西农业学报,2020,32(1):33-37.
- [9] 李婉玥,刘正坪,何祥凤,等. 百合枯萎病病原菌的分离、鉴定及致病性研究[J]. 沈阳农业大学学报,2016,47(2):153-158.
- [10] 胡雨萌,曹彩霞,吕莉珍,等. 兰州百合鳞片气培腐烂病病原菌的分离与鉴定[J]. 湖北农业科学,2022,61(18):84-87.
- [11] 王自娥. 岷江百合 defensin 抗菌肽基因 *LrDefl* 响应尖孢镰刀菌的机制研究[D]. 昆明:昆明理工大学,2022.
- [12] 李 珊. 岷江百合几丁质酶基因 *LrCHI2* 响应尖孢镰刀菌的机制研究[D]. 昆明:昆明理工大学,2021.
- [13] 张艺萍,瞿素萍,杨秀梅,等. 百合抗病无性系抗枯萎病的蛋白质组学分析[J]. 园艺学报,2018,45(3):530-540.