

张铭芳, 李 卉, 韩东洋, 等. 不同百合种质资源对灰霉病的抗性[J]. 江苏农业学报, 2022, 38(4): 1078-1084.
doi:10.3969/j.issn.1000-4440.2022.04.026

不同百合种质资源对灰霉病的抗性

张铭芳¹, 李 卉², 韩东洋¹, 杜运鹏¹, 薛 静¹, 高俊莲¹, 张秀海¹

(1.北京市农林科学院草业花卉与景观生态研究所, 农业农村部华北都市农业重点实验室, 北京 100097; 2.北京林业大学园林学院, 北京 100083)

摘要: 灰霉病是百合的主要病害之一, 严重影响百合生产, 筛选高抗种质资源是百合抗病育种的重要途径之一。本研究对不同百合种质资源叶片进行离体接种, 结合扫描电镜观察, 并进行活性氧、相关酶活性的测定。结果表明, 卷丹百合属于高感(HS)种质, 岷江百合-1、岷江百合-2、杂交种 2065-1 属于中抗(R)种质, 宜昌百合、湖北百合、Champion Diamonds、雷林石、Craming Diamonds、红唇、杂交种 2065-22 属于高抗(HR)种质。接种灰霉菌后, 高抗种质湖北百合叶片中过氧化氢含量变化更为剧烈, 同时超氧阴离子含量会出现 2 次峰值, 而高感种质卷丹百合则只有 1 次峰值。接种灰霉菌后, 百合叶片中超氧化物歧化酶(SOD)活性与百合抗病性具有相关性。

关键词: 百合; 灰霉菌; 抗病性; 活性氧; 防御酶

中图分类号: S682.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4440(2022)04-1078-07

Resistance of different lily germplasm resources to *Botrytis cinerea*

ZHANG Ming-fang¹, LI Hui², HAN Dong-yang¹, DU Yun-peng¹, XUE Jing¹, GAO Jun-lian¹, ZHANG Xiu-hai¹

(1. Institute of Grassland, Flowers and Ecology, Beijing Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Key Laboratory of Urban Agriculture (North China), Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Beijing 100097, China; 2. School of Landscape Architecture, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China)

Abstract: Grey mold is one of the main diseases of lily, which seriously affects lily production. Thus, screening of high resistant lily germplasm is an important aspect of lily disease-resistant breeding. In this study, the leaves of different lily germplasm resources were inoculated *in vitro*, leaf structure and conidia growth condition were observed through scanning electron microscopy, and reactive oxygen species (ROS) and the related enzyme activities were determined. The results indicated that *Lilium lancifolium* belonged to the high-sensitivity (HS) germplasm. *Lilium regale*-1, *Lilium regale*-2 and the hybrid 2065-1 belonged to the middle resistance (R) germplasms. *Lilium leucanthum*, *Lilium henryi*, Champion Diamonds, Lellin Stone, Craming Diamonds, Red Lips, hybrid 2065-22 belonged to high resistance (HR) germplasms. After inoculation with *Botrytis cinerea*, the content of H₂O₂ in leaves of high resistant germplasm *Lilium henryi* changed dramatically, and the content of superoxide anion showed two peaks, while only one peak was found in *Lilium lancifolium*. After inoculation with *Botrytis cinerea*, the activity of superoxide dismutase (SOD) in lily leaves was correlated with the disease resistance.

Key words: *Lilium* spp.; *Botrytis cinerea*; disease resistance; reactive oxygen species (ROS); defense enzyme

收稿日期: 2021-12-07

基金项目: 北京市农林科学院科技创新能力建设专项(KJCX202-00103); 国家重点研发计划项目(2020YFD1000400); 北京市农林科学院青年基金项目(QNJJ201910)

作者简介: 张铭芳(1987-), 女, 湖南溆浦人, 博士, 助理研究员, 主要从事百合分子育种研究。(E-mail) qiki1987@163.com

通讯作者: 张秀海, (E-mail) zhangxiuhai@baafs.net.cn

百合(*Lilium* spp.)属于百合科(Liliaceae)百合属(*Lilium*), 为多年生球根花卉, 具有重要的观赏、

食用、药用价值^[1]。然而,在百合的栽培过程中均容易发生病害^[2]。其中,灰霉病是百合的主要病害之一,百合感染灰霉病后主要危害叶片,也会危害花蕾、芽。初期在叶片形成椭圆形斑块,后期布满浅褐色灰霉状物,使叶片腐烂,花朵腐烂凋萎。灰霉病会造成百合年产量损失20%~30%,严重流行时可造成失收^[3]。然而,目前针对百合不同种质资源的灰霉病抗性评价系统在灰霉病抗性育种方面的利用还较少。

灰霉病主要是由半知菌葡萄孢属菌侵染所引起的一类植物病害的总称,其中灰葡萄孢(*Botrytis cinerea*)危害最大,寄主范围最广。对于不同百合品种灰霉病抗性的鉴定,一般采用离体叶片菌丝块接种法和田间孢子喷雾法2种方法,统计相对病情指数,采用相对抗病性方法将百合对于灰霉病的抗性分为免疫、高抗、中抗、中感、高感5个等级^[4-5]。灰霉菌能够引起寄主程序性细胞死亡^[6],具有复杂的代谢系统,可产生毒素^[7]、细胞壁降解酶、脱落酸^[8]、多糖^[9]、漆酶^[10]等多种代谢产物。活性氧(ROS)是植物体内正常代谢的信号小分子,具有很强的氧化能力,参与植物和细胞内的分子、生化、生理反应,在植物的防卫反应和细胞程序性死亡过程中具有重要作用。植物叶片中的超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化氢酶(CAT)与植物抗病性有紧密的联系,被认为是植物抗病反应中的关键性酶。

因此,本研究拟对不同百合种质资源的灰霉病抗性进行系统评价,并结合形态学观察、ROS及酶活性测定,探讨其生理生化方面的抗病机制,以期为培育高抗病百合新优种质奠定基础。

1 材料与方法

1.1 试验材料

本研究的试验材料为11份百合种质资源(表1)。品种的种球从荷兰进口,野生种采集于中国百合不同分布区,种植于北京市农林科学院温室,给予适宜的日常养护管理。

1.2 百合叶片表面结构及病原菌生长进程电镜观察

选取健康的百合叶片,在扫描电镜下观察叶片正面、背面的细胞形态、气孔密度以及气孔大小。购买灰葡萄孢(*Botrytis cinerea*)菌株(ACCC37263),PDA(Potato dextrose agar)培养基28℃活化培养,并

在扫描电镜下观察病原菌不同生长时期的生长情况、菌丝结构、孢子形态以及孢子数量。

表1 11份百合种质资源

Table 1 Eleven different lily germplasm resources

序号	种质	拉丁名	类型	种源地
1	岷江百合-1	<i>Lilium regale-1</i>	野生种	四川
2	岷江百合-2	<i>Lilium regale-2</i>	野生种	云南
3	湖北百合	<i>Lilium henryi</i>	野生种	四川
4	宜昌百合	<i>Lilium leucanthum</i>	野生种	四川
5	卷丹百合	<i>Lilium lancifolium</i>	野生种	湖南
6	红唇	<i>Lilium</i> 'Red lip'	品种	荷兰
7	Craming Diamonds	<i>Lilium</i> 'Craming Diamonds'	品种	荷兰
8	Champion Diamonds	<i>Lilium</i> 'Champion Diamonds'	品种	荷兰
9	雷林石	<i>Lilium</i> 'Lellin Stone'	品种	荷兰
10	2065-1	<i>Lilium</i> '2065-1'	杂种单株	自育杂种
11	2065-22	<i>Lilium</i> '2065-22'	杂种单株	自育杂种

1.3 不同百合种质资源的灰霉病抗病性鉴定

本研究采用叶片离体接种的方法来鉴定不同百合种质资源对于灰霉病的抗病性。选取百合植株中部、上部健康叶片,将活化后菌板用5mm的打孔器打成菌块,分别接种在叶片背面,放置在相对湿度为90%以上的恒温培养箱中培养,对照组为不接种。统计不同百合种质资源的发病情况,并对百合灰霉病进行分级^[11],具体标准见表2及表3。

病斑率=病斑面积/叶片面积×100%

病情指数 = (Σ(各级病叶数×各级代表值) / 调查总叶数×最高级代表值) × 100%

表2 百合灰霉病叶部病斑分级标准

Table 2 Grade standard for leaf patches of lily infected with *Botrytis cinerea*

病级数	分级标准
0	无病斑
1	病斑较少,病斑率<5%
3	病斑较少,病斑率为6%~15%
5	病斑较多,病斑率为16%~25%
7	病斑较多,病斑率为26%~50%
9	病斑很多或融合成大斑,病斑率>50%

表 3 百合抗灰霉病抗性水平分级标准

Table 3 Grading standard for resistance level of lily to grey mold (*Botrytis cinerea*)

抗性水平	病情指数
高抗 (HR)	病情指数 $\leq 30\%$
中抗 (R)	病情指数 $31\% \sim 60\%$
中感 (S)	病情指数 $61\% \sim 80\%$
高感 (HS)	病情指数 $81\% \sim 100\%$

1.4 过氧化氢 (H_2O_2)、超氧阴离子 ($O_2^{\cdot-}$) 含量的测定

选择高抗 (HR)、高感 (HS) 材料,在百合叶片表面喷洒浓度为 $1\text{ ml } 5 \times 10^4$ 个孢子的灰霉菌孢子液,对照组喷洒蒸馏水。扫描电镜下观察分生孢子叶片上 2 h、4 h、6 h、8 h、12 h、24 h、36 h、48 h、72 h 时的生长、侵染情况,并按照时间节点取材,液氮速冻后置于 $-80\text{ }^\circ\text{C}$ 冰箱贮藏,用于后续试验。

采用碘化钾分光光度法测定过氧化氢含量。先制作过氧化氢的标准曲线。然后在 $4\text{ }^\circ\text{C}$ 条件下,称取 0.2 g 百合叶片,放入 $3.0\text{ ml } 0.1\%$ 三氯乙醇溶液 (TCA) 中, $12\text{ }000\text{ r/min}$ 离心 15 min ,取 0.5 ml 上清液,与 $0.5\text{ ml } 10\text{ mmol/L}$ 磷酸缓冲液 (PBS, $\text{pH}=7.0$) 和 1.0 ml 的 1 mol/L 碘化钾 (KI) 溶液混合,暗反应 1 h 后,在分光光度计 390 nm 波长下检测,根据回归方程计算过氧化氢的含量^[12]。

采用羟氨氧化法测定超氧阴离子含量。先制作超氧阴离子标准曲线。然后在 $4\text{ }^\circ\text{C}$ 条件下,称取 0.2 g 百合叶片,与 $3.0\text{ ml } 50\text{ mmol/L}$ PBS ($\text{pH}=7.8$) 混合, $12\text{ }000\text{ r/min}$ 离心 15 min ,取 1.0 ml 的上清液,与 0.9 ml PBS 和 $0.1\text{ ml } 10\text{ mmol/L}$ 盐酸羟胺混合, $25\text{ }^\circ\text{C}$ 条件下反应 1 h ,之后试管内按顺序分别加入 $1.0\text{ ml } 17\text{ mmol/L}$ 对氨基苯磺酸以及 $1.0\text{ ml } 1\text{ mmol/L } \alpha$ -萘胺,在 $25\text{ }^\circ\text{C}$ 条件下继续反应 20 min ,最后在波长为 530 nm 分光光度计下检测,根据回归方程计算其含量^[13]。

1.5 超氧化物歧化酶 (SOD)、过氧化氢酶 (CAT) 活性的测定

在 $4\text{ }^\circ\text{C}$ 条件下称取 0.5 g 百合叶片,加入 10 ml pH 为 7.8 的缓冲液 (1 mmol/L 乙二醇四乙酸, 2 mmol/L 盐酸羟胺和 1% 可溶聚乙烯吡咯烷酮的 50 mmol/L PBS) 混合, $12\text{ }000\text{ r/min}$ 离心 15 min ,上清液就是抗氧化酶的提取物。采用氯化硝基四氮唑蓝

(NBT) 光还原法测定超氧化物歧化酶活性^[14],通过 240 nm 处由于过氧化氢分解而导致的吸光度降低来测定过氧化氢酶的活性^[15]。

1.6 数据统计

所有试验设 3 个重复,数据通过 Microsoft Excel 2010 和 SPSS 软件进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 叶片结构

不同百合种质资源的叶片气孔 ($\times 250$ 显微镜下观察) 及表面附属物观察结果 (表 4) 显示,气孔密度最大的为卷丹百合,气孔密度最小的则是 2065-1。气孔最大的为 2065-1,气孔最小的是岷江百合-1。

表 4 不同百合种质叶片气孔密度、大小及表面附属物对比

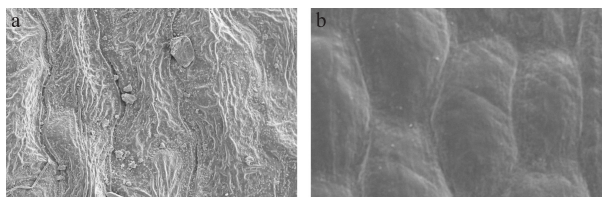
Table 4 Comparison of leaf stomatal density, size and surface appendages among different lily germplasms

种质	气孔密度 (个)	气孔大小 (μm)	蜡质颗粒
岷江百合-1	$10.5 \pm 0.2\text{e}$	$576 \pm 15\text{ab}$	分布在叶正面
岷江百合-2	$7.2 \pm 0.1\text{cd}$	$885 \pm 6\text{d}$	无
卷丹百合	$12.6 \pm 0.3\text{f}$	$750 \pm 8\text{bc}$	两面均有
湖北百合	$6.4 \pm 0.5\text{ab}$	$650 \pm 8\text{ab}$	两面均有
宜昌百合	$7.6 \pm 0.2\text{cd}$	$770 \pm 9\text{bc}$	两面均有
雷林石	$6.4 \pm 0.4\text{ab}$	$920 \pm 2\text{e}$	无
红唇	$7.1 \pm 0.2\text{c}$	$885 \pm 11\text{d}$	无
Champion Diamonds	$5.9 \pm 0.1\text{bc}$	$860 \pm 8\text{d}$	分布在叶正面
Craming Diamonds	$6.9 \pm 0.3\text{bc}$	$960 \pm 7\text{e}$	分布在叶正面
2065-1	$5.6 \pm 0.3\text{b}$	$1\text{ }000 \pm 13\text{f}$	无
2065-22	$9.1 \pm 0.6\text{e}$	$600 \pm 12\text{ab}$	无

部分百合叶片有蜡质层 (图 1),但是蜡质颗粒的大小、数量、分布均不同。叶片存在蜡质层的有:湖北百合、宜昌百合、卷丹百合、岷江百合-1、Craming Diamonds、Champion Diamonds。其中湖北百合叶片的蜡质颗粒最多,叶正面以及叶背面均有分布。宜昌百合叶背面的蜡质颗粒分布少,主要集中在气孔周围,而岷江百合-1、Craming Diamonds、Champion Diamonds 的蜡质颗粒只分布在叶正面,叶背面并未发现蜡质颗粒 (图 2)。

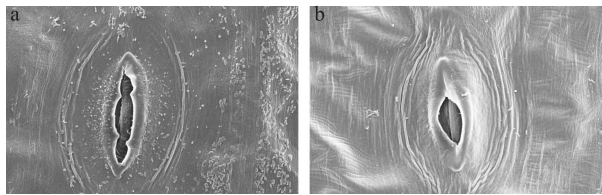
2.2 百合种质资源的抗病性

离体接种后,划分不同百合种质资源的抗病性等级 (图 3),统计结果如表 5 显示。野生种卷丹百



a:湖北百合叶面;b:卷丹百合叶面。
图1 不同百合种质叶片表面结构对比

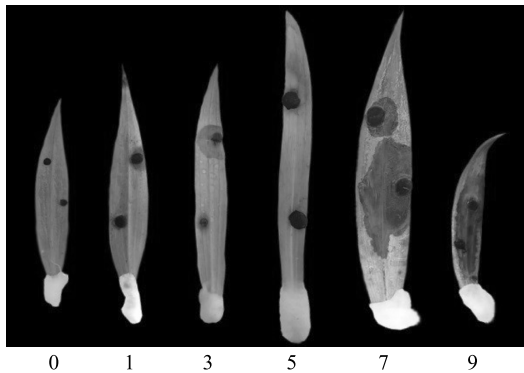
Fig.1 Comparison of leaf surface structure of different lily germplasms



a:宜昌百合叶背面;b:岷江百合-1叶背面。
图2 不同百合种质叶背气孔周围蜡质颗粒分布对比

Fig.2 Comparison of wax particles distribution around stoma between different lily germplasms

合属于高感(HS)种质;野生种岷江百合-1、岷江百合-2、杂交种2065-1属于中抗(R)种质;野生种宜昌百合、湖北百合、杂交种2065-22以及品种Champion Diamonds、雷林石、Craming Diamonds、红唇属于高抗(HR)种质(图4)。其中,湖北百合抗性最强,卷丹百合抗性最弱,接种后第9 d时,叶片病情指数达到100%。



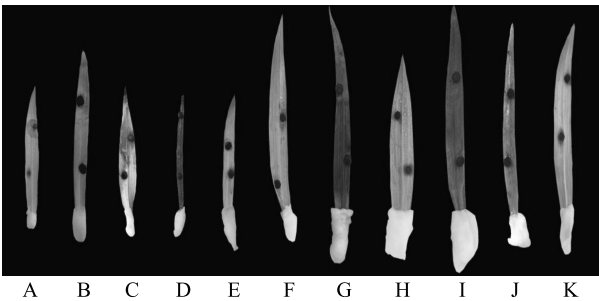
0~9为病级数,具体见表2。
图3 百合灰霉病叶部病斑分级标准

Fig.3 Grade standard for leaf patches of lily infected with *Botrytis cinerea*

2.3 灰霉菌孢子侵染百合叶片进程观察

在扫描电镜下观察可见,孢子溶液喷洒后2 h,分生孢子已经开始萌发,最大能长至500 μm,整体

呈棒状。12 h时,部分分生孢子已经从侧面分生出第二条菌丝,但也有部分孢子停止生长。24 h后,高抗百合叶片上留存的分生孢子数量较少,而高感百合叶片上留存的分生孢子数量较多。72 h时,高抗、高感百合叶片上均产生新的分生孢子。随着接种时间的延长,湖北百合叶片上的孢子数量逐渐变少,且菌丝的生长速度明显慢于卷丹百合叶片上的菌丝(图5)。



A: Craming Diamonds; B: 红唇; C: 湖北百合; D: 岷江百合-2; E: Champion Diamonds; F: 宜昌百合; G: 岷江百合-1; H: 2065-22; I: 2065-1; J: 卷丹百合; K: 雷林石。

图4 百合不同种质接种灰霉菌后的叶斑情况

Fig.4 Leaf patches of lily after inoculation with *Botrytis cinerea*

表5 不同百合种质的抗病性

Table 5 Disease resistance of different lily germplasms

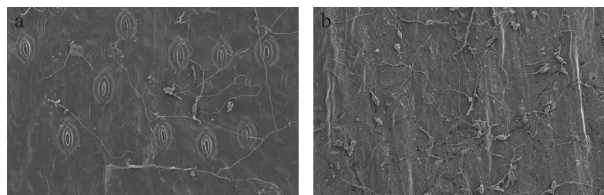
种质	15 d 平均病斑率 (%)	病情指数 (%)	抗性等级
岷江百合-1	92.5±0.7d	35.8±0.4c	R
岷江百合-2	100.0±0.2d	33.3±0.2c	R
宜昌百合	100.0±0.5d	20.5±0.1a	HR
卷丹百合	100.0±0.8d	100.0±0.8e	HS
湖北百合	76.5±0.8c	18.5±0.3a	HR
雷林石	13.8±0.3a	27.2±0.5bc	HR
2065-1	32.0±0.2ab	55.6±0.6d	R
Champion Diamonds	62.3±0.8c	23.5±0.4ab	HR
红唇	32.6±0.6ab	21.0±0.3a	HR
Craming Diamonds	30.0±0.1ab	29.6±0.9bc	HR
2065-22	22.8±0.4a	29.6±0.2bc	HR

HS:高感;R:中抗;HR:高抗。

2.4 高抗、高感百合叶片中过氧化氢(H₂O₂)、超氧阴离子(O₂⁻)含量的变化

测定湖北百合、卷丹百合接种灰霉菌后叶片中过氧化氢含量,结果(图6)显示,与不接种灰霉菌对照组相比,接种灰霉菌试验组的反应更为迅速,接种

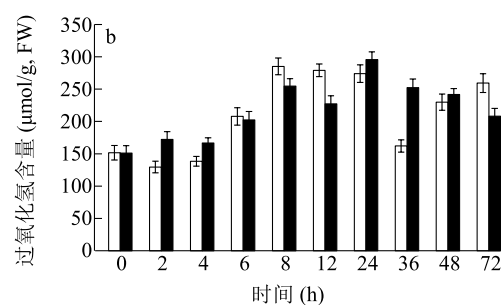
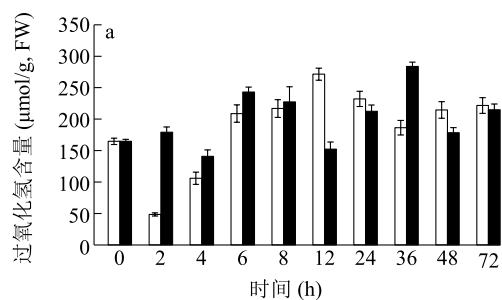
2 h 时,试验组的过氧化氢含量就已经下降,而对照组则是在 4 h 时才开始下降。对比卷丹百合和湖北百合叶片内过氧化氢含量的变化趋势,发现湖北百合的波动较卷丹百合更为剧烈,而卷丹百合中会积累更多的过氧化氢。



a: 高抗种质湖北百合叶面; b: 高感种质卷丹百合叶面。

图 5 高抗、高感百合叶片上分生孢子萌发及菌丝生长情况对比

Fig.5 Comparison of conidia germination and mycelial growth in the leaves of lily with high resistance and high susceptibility to *Botrytis cinerea*

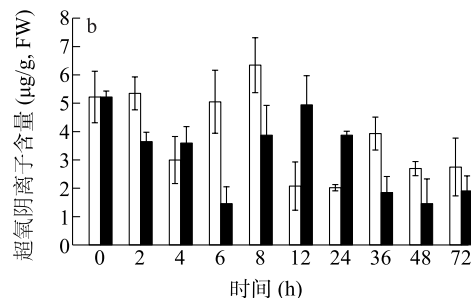
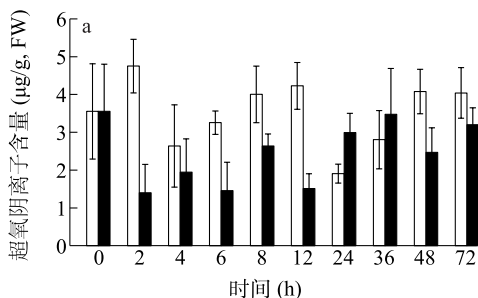


□ 试验组; ■ 对照组

a: 高抗种质湖北百合; b: 高感种质卷丹百合。试验组: 接种灰霉菌; 对照组: 不接种灰霉菌。

图 6 接种灰霉菌后高抗、高感百合叶片中过氧化氢含量对比

Fig.6 Comparison of hydrogen peroxide content between high resistant and high sensitive lily germplasms after inoculation with *Botrytis cinerea*



□ 试验组; ■ 对照组

a: 高抗种质湖北百合; b: 高感种质卷丹百合。试验组: 接种灰霉菌; 对照组: 不接种灰霉菌。

图 7 接种灰霉菌后高抗、高感百合叶片中超氧阴离子含量对比

Fig.7 Comparison of O_2^- content between high resistant and high sensitive lily germplasms after inoculation with *Botrytis cinerea*

2.5 高感、高抗百合叶片中抗氧化酶活性的变化

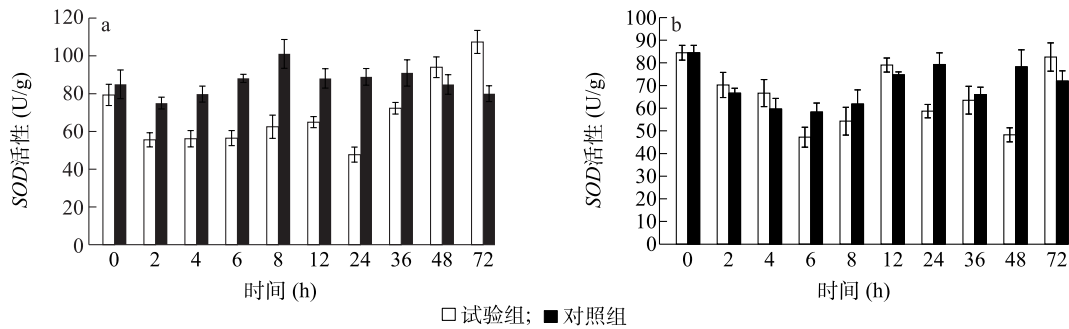
测定湖北百合、卷丹百合接种灰霉菌后叶片中超氧化物歧化酶(SOD)活性,结果(图 8)表明,从叶

测定湖北百合、卷丹百合接种灰霉菌后叶片中超氧阴离子含量,结果(图 7)显示,接种灰霉菌后,卷丹百合叶片中超氧阴离子的含量总体趋向减少,且波动剧烈,而湖北百合叶片中超氧阴离子的含量则总体趋向增多。从整体上看,与不接种灰霉菌对照组相比,接种灰霉菌试验组百合体内超氧阴离子含量变化与百合灰霉病的抗病性可能存在一定的相关性。与对照组相比,试验组的高抗种质湖北百合叶片中超氧阴离子含量在接种灰霉菌 24 h 内,出现了 2 次峰值(接种后 2 h、12 h),而高感种质卷丹百合叶片中超氧阴离子含量只出现 1 次峰值(接种后 8 h)。接种 24 h 后,随着时间的推移,超氧阴离子含量变化逐渐平缓。本研究结果与前人报道的研究结果^[20]类似,即抗病性强的植物体内活性氧含量会出现 2 次突增期。

片中超氧化物歧化酶活性的变化趋势上看,卷丹百合接种灰霉菌试验组与不接种灰霉菌对照组大致相同,湖北百合的对照组与试验组则有明显的差别,对

照组整体变化趋势平缓,而试验组则出现了明显变化,在接种后 2 h 时超氧化物歧化酶活性明显降低,在 24 h 后超氧化物歧化酶活性持续变强,而卷丹百合中并未出现这种现象。测定湖北百合及卷丹百合接种灰霉菌后叶片中过氧化氢酶(CAT)活性,结果

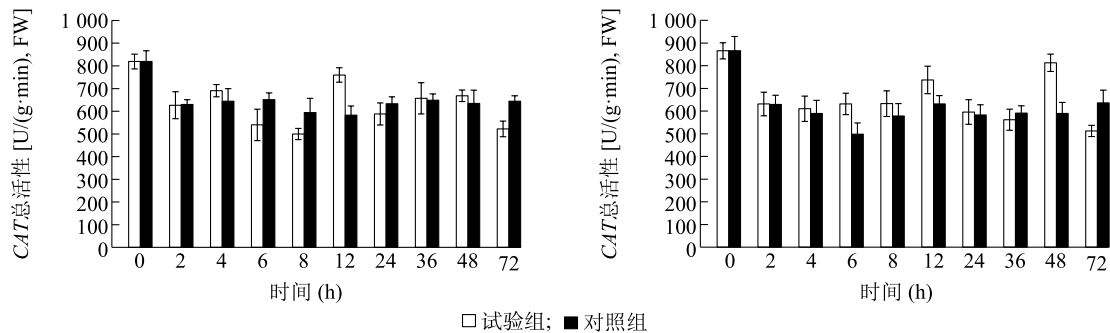
(图 9)表明,湖北百合不接种灰霉菌对照组无明显变化,接种灰霉菌试验组略有波动,但与对照组未产生显著差异;卷丹百合叶片中 CAT 活性变化趋势与湖北百合类似。



a: 高抗种质湖北百合; b: 高感种质卷丹百合。试验组: 接种灰霉菌; 对照组: 不接种灰霉菌。

图 8 接种灰霉菌后高抗、高感百合种质叶片中超氧化物歧化酶(SOD)活性对比

Fig.8 Comparison of superoxide dismutase (SOD) activity in leaves of high resistant and high sensitive lily germplasms after inoculation with *Botrytis cinerea*



a: 高抗种质湖北百合; b: 高感种质卷丹百合。试验组: 接种灰霉菌; 对照组: 不接种灰霉菌。

图 9 接种灰霉菌后高抗、高感百合种质叶片中过氧化氢酶(CAT)活性对比

Fig.9 Comparison of catalase (CAT) activity in leaves of high resistant and high sensitive lily germplasms after inoculation with *Botrytis cinerea*

3 讨论

抗灰霉病一直是百合抗病育种的主要目标之一,但灰霉菌传播媒介多,寄主范围广,因此鉴定、应用新的抗病种质资源,培育高抗灰霉病品种是最有效的方法。中国是百合野生资源的重要分布中心,但目前依然缺乏对其抗灰霉病特性的系统评价。

11 份不同百合种质资源的叶片形态观察及抗病性评价结果表明,百合的抗病性可能与叶片表面蜡质结构具有一定的相关性。康立功等^[16]在研究番茄时也发现蜡质的抗性作用主要是从物理性上阻止病原菌的穿透。此外,气孔是病原菌侵入植物体内的重要途径之一,气孔密度、气孔大小与植物的抗

病性有一定的相关性。本研究结果表明,百合灰霉病的抗病性与气孔大小、密度没有显著的相关性。

植物受到伤害,最先引发体内活性氧的增加,在植物体内的保护酶系统中,超氧化物歧化酶能够消除超氧阴离子,而过氧化氢酶则能分解过氧化氢,通过协同作用清除活性氧^[17-21]。高抗种质湖北百合在接种病原菌后,其叶片中超氧阴离子含量出现 2 次峰值(接种后 2 h、12 h),而高感种质卷丹百合只出现 1 次峰值(接种后 8 h),此结果与稻瘟菌侵染水稻幼苗前后活性氧变化情况的试验结果^[22]相似。本研究发现,高抗种质的 SOD 活性在接种 24 h 后持续增高,与抗病性具有相关性。前人在观察葡萄品种资源叶片与灰霉病的关系中发现,葡萄品种的抗

病性与过氧化氢酶、抗坏血酸过氧化酶的活性呈正相关^[23]。

参考文献:

- [1] 蒋 瑶, 陈文波, 蒋炷宇. 亚洲百合不定芽的诱导及再生植株的建立[J]. 江苏农业科学, 2017, 45 (12): 35-38.
- [2] 刘高峰, 巨秀婷, 唐 楠, 等. 不同培养基质和肥力水平对兰州百合小鳞茎生长的影响[J]. 江苏农业学报, 2021, 37 (3): 718-723.
- [3] 徐 琼, 徐秉良, 王 芳. 观赏百合叶枯病症状类型与病原菌鉴定[J]. 植物保护, 2006, 32 (5): 61-64.
- [4] 朱丽梅, 罗凤霞, 李明凤, 等. 底特律等 8 个百合品种对百合灰霉病的抗病性鉴定[J]. 江苏农业科学, 2012, 40 (5): 81-83.
- [5] 朱丽梅, 胡凤荣, 罗凤霞. 不同百合品种对百合灰霉病的抗病性鉴定[J]. 植物保护, 2010, 36 (3): 148-151.
- [6] WILLIAMSON B, TUDZYNSKI B, TUDZYNSKI P, et al. *Botrytis cinerea*; the cause of grey mold disease[J]. Molecular Plant Pathology, 2007, 8 (5): 561-580.
- [7] COLLADO I G, GALÁN R H, PATRON R D, et al. Metabolites from a shake culture of *Botrytis cinerea*[J]. Phytochemistry, 1995, 38 (3): 647-650.
- [8] MARUMO S, KATAYAMA M, KOMORI E, et al. Microbial production of abscisic acid by *Botrytis cinerea*[J]. Agricultural and Biological Chemistry, 1982, 46 (7): 1967-1968.
- [9] CUTLER H G, JACYNO J M, HARWOOD J S, et al. Botcinolide: a biologically active natural product from *Botrytis cinerea*[J]. Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry, 1993, 57 (11): 1980-1982.
- [10] MOYAHEDI S, HEALE J B. The roles of aspartic proteinase and endo-pectin lyase enzymes in the primary stages of infection and pathogenesis of various host tissues by different isolates of *Botrytis cinerea* Pers ex. Pers. [J]. Physiological and Molecular Plant Pathology, 1990, 36 (4): 303-324.
- [11] ZHU L, HU F, LUO F. Identification of disease resistance of *Lilium* species to lily gray mould[J]. Plant Protection, 2011, 36 (3): 148-151.
- [12] JIA M, DI W, LIU Y, et al. ROS-induced oxidative stress in noble-type dendrobium protocorm-like bodies (plbs) during verification[J]. Cryo-Letters, 2016, 37 (4): 253-263.
- [13] YIN H, CHEN Q, YI M. Effects of short-term heat stress on oxidative damage and responses of antioxidant system in *Lilium longiflorum* [J]. Plant Growth Regulation, 2008, 54: 45-54.
- [14] LI H S. Principles and techniques of plant physiological biochemical experiment[M]. Beijing: Higher Education Press, 2000: 120-122.
- [15] CAO J, JIANG W, ZHAO Y. Experiment guidance of postharvest physiology and biochemistry of fruits and vegetables[M]. Beijing: Chinese Light Industry Press, 2007: 118-120.
- [16] 康立功, 齐凤坤, 许向阳, 等. 番茄叶片蜡质和角质层与芝麻斑病菌感染的关系[J]. 中国蔬菜, 2010 (18): 47-50.
- [17] KEPPLER D, BAKER C J. O₂⁻-initiated lipid peroxidation in a bacteria-induced hypersensitive reaction in tobacco cell suspensions[J]. Phytopathology, 1989, 79 (5): 555-562.
- [18] 陶宗娅, 田小凤, 向述莲, 等. 赤霉菌粗毒素对小麦幼苗活性氧代谢的影响[J]. 西南农业大学学报(自然科学版), 2005, 27 (6): 851-856.
- [19] 赵 嫚, 陈仕勇, 李亚萍, 等. 外源 GABA 对盐胁迫下金花菜种子萌发及幼苗抗氧化能力的影响[J]. 江苏农业学报, 2021, 37 (2): 310-316.
- [20] 里程辉, 于 辉, 刘 志, 等. 淹水胁迫下不同中间砧对苹果岳冠叶片和根系抗氧化酶和非酶类抗氧化物活性的影响[J]. 江苏农业科学, 2021, 49 (3): 121-125.
- [21] 高 芬, 褚建梅, 李静虹, 等. 植物病原真菌致病机理研究进展[J]. 江苏农业学报, 2014, 30 (5): 1174-1179.
- [22] 葛秀春, 宋凤鸣, 郑 重. 稻瘟菌侵染后水稻幼苗活性氧的产生与抗病性的关系[J]. 植物生理学报, 2000, 26 (3): 227-231.
- [23] 刘丽婷. 葡萄品种资源叶片白腐病和灰霉病的抗病鉴定及评价[D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2018.

(责任编辑: 王 妮)