2024, 33(1): 77-82
http://www.jbscn.net

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1787.2024.01.012

独蒜兰提取物对植物病原真菌的抑菌活性

傅佳蕊[1], 刘世林[1], 牛泽岳[1], 郑丽鋆[2*], 徐会有[1], 倪　林[1*]

[1]福建农林大学植物保护学院,福建 福州 350002; [2]福建医科大学附属协和医院药学部,福建 福州 350001

摘要:【目的】研究独蒜兰假鳞茎乙醇提取物对植物病原真菌的抑菌作用,为植物源杀菌剂的开发提供依据。【方法】采用菌丝生长速率法,研究独蒜兰假鳞茎乙醇提取物对15种植物病原菌的抑制活性;以西瓜尖孢镰刀菌作为供试菌,进一步研究该提取物对病原真菌的菌丝干重、细胞膜、过氧化氢酶(CAT)、过氧化物酶(POD)和超氧化物歧化酶(SOD)等的影响。【结果】独蒜兰假鳞茎提取物对辣椒疫霉病菌、西瓜尖孢镰刀菌、番茄灰霉病菌和非洲隐地疫霉菌的抑菌效果明显,其EC_{50}值分别为0.849、0.782、0.813和1.161 mg·mL^{-1};经独蒜兰提取物处理后的西瓜尖孢镰刀菌菌丝干重随着药剂浓度的增加而减少;细胞膜丙二醛含量和相对电导率增加;菌丝体细胞内CAT、POD和SOD 3种保护酶活性增加。【结论】独蒜兰假鳞茎提取物对植物病原真菌具有较好的抑菌活性,其抑菌作用可能与其干扰菌丝生长、使菌丝细胞膜正常功能受损等有关。

关键词: 独蒜兰; 提取物; 植物病原菌; 抑菌活性

开放科学标识码(OSID码)

Antifungal activity of *Pleione bulbocodioides* (Franch.) Rolfe extract against plant pathogenic fungi

FU Jiarui[1], LIU Shilin[1], NIU Zeyue[1], ZHENG Lijun[2*], XU Huiyou[1], NI Lin[1*]

[1]*College of Plant Protection, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou, Fujian* 350002, *China*;

[2]*Department of Pharmacy, Fujian Medical University Union Hospital, Fuzhou, Fujian* 350001, *China*

Abstract:【Aim】This study aimed to investigate the inhibitory effects of *Pleione bulbocodioides* (Franch.) Rolfe ethanol extracts on plant pathogenic fungi and to provide a basis for the development of plant-derived fungicides.【Method】The mycelial growth rate method was used to investigate the inhibitory activity of the extract against 15 plant pathogenic fungi. The effects of the extract on the mycelial dry weight, cell membrane, catalase (CAT), peroxidase (POD), and superoxide dismutase (SOD) activities of pathogenic fungi were further studied using the fungus *Fusarium oxysporumf* as the test strain.【Result】The *P. bulbocodioides* extract showed significant inhibitory effects on *Phytophthora capsici*, *Fusarium oxysporum*, *Botrytis cinerea*, and *Phytophthora cryptogea*, with EC_{50} values of 0.849, 0.782, 0.813, and 1.161 mg·mL^{-1}, respectively. The mycelial dry weight of *F. oxysporumf* decreased with increasing extract concentrations. The malondialdehyde content of the cell membrane and relative conductivity increased. The activities of CAT, POD, and SOD, three protective enzymes in mycelia, increased.【Conclusion】Extracts from the pseudobulb of *P. bulbocodioides* had good inhibitory activity against plant pathogenic fungi. This inhibitory effect may be related to its interference with mycelial growth and damage to the normal functions of the mycelial cell membrane.

Key words: *Pleione bulbocodioides*; plant extracts; plant pathogenic fungi; antifungal activity

独蒜兰 *Pleione bulbocodioides* (Franch.)Rolfe 为兰科 Orchidaceae 独蒜兰属 *Pleione* 植物,在我国云南、四川、台湾等地有分布。独蒜兰生长于海拔900~3600 m的区域,常常附生在腐败的高大树干上或生长在富含腐殖质的林下土壤及苔藓覆盖的岩石上(吴沙沙等,2019; Komínek *et al.*,2019)。独蒜兰作为传统中药有着悠久的历史,与云南独蒜兰 *P. yunnanensis* Rolfe 一起收录为中国药典(2010版)中的药用植物,是《本草拾遗》中生药"山慈菇"的2种基原植物(国家药典委员会,2015; 王国凯等,

收稿日期(Received): 2023-03-07　　**接受日期(Accepted)**: 2023-04-21
基金项目: 福建省自然科学基金面上项目(2022J01244); 福建省本科高校研究生教研重大项目(FJBKJY20220170)
作者简介: 傅佳蕊, 女, 硕士研究生。研究方向: 活性天然产物的研究与开发。E-mail: jiarui_fu@163.com
*通信作者(Author for correspondence), 郑丽鋆, E-mail: 459291879@qq.com; 倪林, E-mail: nilin_fjau@126.com

2020),称为"冰球子",其干燥假鳞茎入药,具有治疗痈肿疔毒、瘰疬痰核、蛇虫咬伤、癥瘕痞块等功效(李琦等,2014; 荣飞等,2020)。吴沙沙等(2020)发现,独蒜兰假鳞茎乙醇提取物对植物病原真菌有较好的抑菌作用。因此,本文采用菌丝生长速率法,评价独蒜兰假鳞茎乙醇提取物对 15 种植物病原菌的抑制活性,并以西瓜尖孢镰刀菌作为供试菌,进一步探讨该提取物对病原真菌生理生化方面的影响,为独蒜兰的开发利用以及植物源杀菌剂的开发提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料

独蒜兰假鳞茎购买于福建医科大学附属协和医院药剂科,经福建农林大学林学院邹小兴副教授鉴定为兰科 Orchidaceae 独蒜兰属 *Pleione* 独蒜兰 *Pleione bulbocodioides* (Franch.) Rolfe,样品保存于福建农林大学植物保护学院农药与制药工程系。

供试菌株由福建农林大学生物农药与化学生物学重点实验室提供:番茄灰霉病菌 *Botrytis cinerea* Persoon、水稻稻瘟病菌 *Pyricularia grisea* (Cooke) Sacc、芭乐炭疽病菌 *Colletotrichum gloeosporioides* (Penz.)Sacc.、苹果黑腐皮壳病菌 *Valsa mali* Miyabe et Yamada、辣椒疫霉病菌 *Phytophthora capsici* Leonian、油菜菌核菌 *Sclerotinia sclerotiorum* (Lib.) de Bary、禾谷镰孢菌 *Fusarium graminearum* Schwabe、非洲隐地疫霉菌 *Phytophthora cryptogea* Pethybridge & Lafferty、香蕉枯萎病 4 号小种 *Fusarium oxysporum* f.sp. *cubense* tropical race 4、瓜果腐霉菌 *Pythium aphanidermatum* (Eds.) Fitzp.、燕麦镰孢菌 *FusaHum graminearum* Sehw、齐整小核菌 *Sclerotium rolfsii* Sacc、西瓜尖孢镰刀菌 *Fusarium oxysporum* f.sp. *niveum*、链孢粘帚霉病菌 *Gliocladium catenulatum* Gilm. et Abbott.。

1.2 方法

1.2.1 供试样品抑菌活性测定 采用菌丝生长速率法(中国标准化研究院,2020; Fan,2020)评价独蒜兰粗提物对 15 种植物病原真菌的抑制活性。将独蒜兰假鳞茎粉碎成粗粉,称取 10 kg,用 80 L 75%甲醇溶解,于 80 ℃水浴中加热回流提取 2 次,每次 2 h,提取液用纱布过滤,合并 2 次提取液,减压浓缩得浸膏 2.45 kg。将浸膏溶于 30 L 纯水中,选用 D101 大孔吸附树脂进行纯化,采用水(45 L)、10%(27 L)、30%(27 L)、60%(27 L)及 90%(27 L)乙醇溶液依次洗脱,减压浓缩得各组分浸膏。称取 60%乙醇部位提取物 1 g,用 50%甲醇溶液溶解并定容至 10 mL,从中取 1 mL 溶液加入 99 mL PDA 培养基中,混匀后倒入培养皿中,制成 1 mg · mL^{-1} 的含药平板。对照组则加入等量的 50%甲醇溶液。用孔径为 0.5 cm 的打孔器在菌丝外圈生长一致处打孔,接种到平板中央,每组设 3 个重复,于培养箱中培养 5 d (倪林等,2022)。抑菌率/% = (对照组菌落直径-处理组菌落直径)/(对照组菌落直径-0.5)×100。

1.2.2 供试样品对 4 种病原菌的毒力测定 采用菌丝生长速率法,测定独蒜兰提取物对辣椒疫霉病菌、西瓜尖孢镰刀菌、番茄灰霉病菌和非洲隐地疫霉菌的毒力。将供试样品用甲醇溶解,采用二倍稀释法,配制成浓度为 0.25、0.50、1.00、2.00、4.00 mg · mL^{-1} 的含药 PDA 培养基,按照 1.2.1 方法测定抑菌活性,采用 SPSS 22.0 软件分析处理试验数据,计算 EC_{50}、回归方程及决定系数。

1.2.3 供试样品对菌丝干重的影响 将独蒜兰粗提物配制成终浓度为 0.25、0.50、1.00、2.00、4.00 mg · mL^{-1} 的含药 PDB 培养基。用孔径 5 mm 的打孔器打取菌饼,取生长合适的西瓜尖孢镰刀菌,将 5 个菌饼接入培养基,设置不加药的蒸馏水作为空白对照。将培养基置于振荡培养箱中(110 r · min^{-1}, 28 ℃),6 d 后收集培养基中的菌丝,每处理 3 个重复(倪林等,2022)。

1.2.4 供试样品对菌丝生理生化指标的影响 用孔径 0.5 cm 的打孔器取 5 个生长合适的西瓜尖孢镰刀菌菌饼于 PDB 培养液中,振荡培养 6 d,收集清洗菌丝,加入 50%甲醇溶液溶解后的独蒜兰提取物,处理浓度为 1.00 mg · mL^{-1},以不加药液的无菌水作为空白对照。收集处理 1、6、12、18、24 h 后的菌丝,-20 ℃保存备用。取 0.4 g 各时间段处理的菌丝体于研钵中,加入 2 mL Tris-HCl 缓冲液,配置成菌丝提取液,于 4 ℃研磨,1000 r · min^{-1} 离心 10 min,取上清液保存备用(倪林等,2022)。上清液用于测量菌丝体丙二醛(malondialdehyde, MDA)含量和保护酶活性等。

按照试剂盒(索莱宝生化试剂盒)测定过氧化氢酶(catalase, CAT)活性的方法,取 1 mL 不同时间处理后的菌丝提取液,分别加入 5% Ti $(SO_4)_2$ 和 $NH_3 \cdot H_2O$ 反应,3000 r · min^{-1} 离心 10 min,再加入

5 mL 5% H_2SO_4至完全溶解，在 240 nm 下测定光密度，计算 CAT 含量（张耀等，2021）。

按照试剂盒（索莱宝生化试剂盒）测定菌丝体内超氧化物歧化酶（superoxide dismutase，SOD）活性的方法，取 1 mL 不同时间处理后的菌丝提取液，反应液总体积 3 mL，分别加入 0.05 mol · L^{-1}磷酸缓冲液、0.013 mol · L^{-1}Met 溶液、0.1 μmol · L^{-1} EDTA-Na_2溶液、0.075 mmol · L^{-1} NBT 溶液、0.002 mmol · L^{-1}核黄素溶液混匀，加入不同处理组的酶提取液，设置对照组，测定 560 nm 下的光密度，计算 SOD 含量（段秋笛等，2022）。

按照试剂盒（索莱宝生化试剂盒）测定菌丝体内过氧化物酶（peroxidase，POD）活性的方法，取 100 μL 菌丝提取液于离心管中，分别加入 3 mL 0.05 mol · L^{-1}的磷酸缓冲液（pH5.5）、1 mL 1% H_2O_2、1 mL 0.05 mol · L^{-1}的愈创木酚溶液，震荡混匀后于 37 ℃下水浴加热反应 10 min，在 470 nm 处测定光密度，计算 POD 含量（程艳，2018）。

丙二醛含量的测定：使用硫代巴比妥酸法测定经供试品处理后的西瓜尖孢镰刀菌中丙二醛含量的变化。收集各处理组菌丝提取液 2 mL 于离心管中，加入 0.5% TBA 溶液，摇匀后煮沸 10 min，待溶液冷却后放入离心机中离心（8000 r · min^{-1}，10 min）（辛泽团等，2013）。设置 0.5% TBA 溶液为空白对照，分别在 450、532、600 nm 处测定光密度。丙二醛含量/（nmol · g^{-1}）= $5\times[12.9\times\Delta A_{532}-\Delta A_{600}-2.58\times\Delta A_{450}]/W$，$W$：样本质量。

菌丝相对电导率的测定：用 5 mm 打孔器取 5 个菌龄 6 d 的西瓜尖孢镰刀菌菌饼接入含药的 PD 培养基中，振荡培养 6 d，收集、清洗、干燥菌丝，药液最终浓度为 1.00 mg · mL^{-1}，分别取 1 g 菌丝于 25 mL 药液中，处理 0.5、1.0、1.5、2.0、2.5 h 后，测量电导率，处理 2.5 h 后将菌丝体煮沸冷却，测定最终电导率（王志芳等，2019）。以蒸馏水为空白对照，设置 3 组重复。菌丝体的相对电导率/% =（某一时间的电导率/煮沸致死后的电导率）×100。

2　结果与分析

2.1　独蒜兰提取物的抑菌活性

对抑菌率进行差异显著性分析，结果表明，1 mg · mL^{-1}独蒜兰提取物对 15 种植物病原真菌具有良好的抑菌活性（图 1），其中，对辣椒疫霉病菌、西瓜尖孢镰刀菌、番茄灰霉病菌和非洲隐地疫霉菌的抑菌效果最为显著，抑制率分别为 65.1%、76.2%、67.4%、64.8%。故对以上 4 种抑制效果较好的病原菌进行毒力测定，结果如表 1 所示，EC_{50}分别为 0.849、0.782、0.813 和 1.161 mg · mL^{-1}。

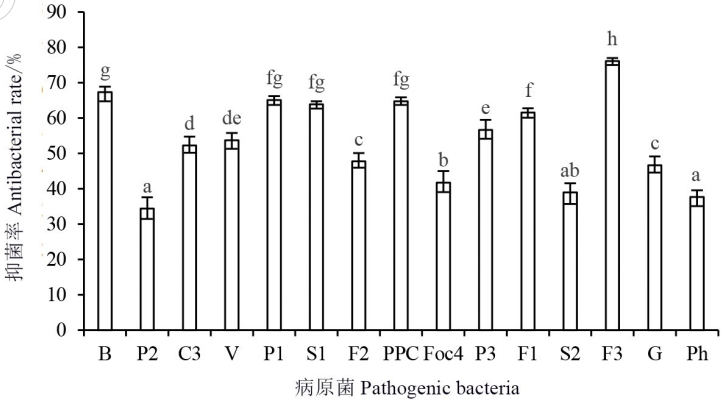

图 1　独蒜兰提取物对 15 种病原菌的抑制活性

Fig.1　Inhibitory activity of *P. bulbocodioides* extracts against 15 plant fungi

B：番茄灰霉病菌；P2：水稻稻瘟病菌；C3：芭乐炭疽病菌；C3：苹果黑腐皮壳病菌；P1：辣椒疫霉病菌；S1：油菜菌核菌；F2：禾谷镰孢菌；PPC：非洲隐地疫霉菌；Foc4：香蕉枯萎病 4 号小种；P3：瓜果腐霉菌；F1：燕麦镰孢菌；S2：齐整小核菌；F3：西瓜尖孢镰刀菌；G：链孢粘帚霉病菌。不同小写字母表示差异显著（$P<0.05$）。

B：*Botrytis cinerea*；P2：*Pyricularia grisea* ；C3：*Colletotrichum gloeos-porioides*；C3：*Valsa mali* ；P1：*Phytophthora capsici*；S1：*Sclerotinia sclerotiorum*；F2：*Fusarium graminearum*；PPC：*Phytophthora cryptogea*；Foc4：*Fusarium oxysporum* f.sp.cubense tropical race 4；P3：*Pythium aphanidermatum*；F1：*FusaHum graminearum*；S2：*Sclerotium rolfsii*；F3：*Fusarium oxysporumf*；G：*Gliocladium catenulatum*. Different lowercase letters indicate significant differences at 0.05 level.

表 1 供试样品对追踪菌的毒力测定

Table 1 Toxicity measurement of sample on fungi

病原菌 Fungi	毒力回归方程 Toxic regression equation	相关系数 (R^2) Correlation coefficient	有效中浓度 EC_{50} /(mg · mL^{-1})	95%置信度 Confidence level /(mg · mL^{-1})
西瓜尖孢镰刀菌 *Fusarium oxysporumf*	$y=1.784x+0.190$	0.992	0.783	0.663~0.916
非洲隐地疫霉菌 *Phytophthora cryptogea*	$y=2.239x-0.146$	0.989	1.161	1.018~1.330
番茄灰霉病菌 *Botrytis cinerea*	$y=1.956x+0.176$	0.990	0.813	0.699~0.941
辣椒疫霉病菌 *Phytophthora capsici*	$y=1.686x+0.120$	0.976	0.849	0.715~1.001

2.2 供试样品对西瓜尖孢镰刀菌菌丝干重的影响

如图 2 所示,经独蒜兰提取物处理 6 d 后,西瓜尖孢镰刀菌菌丝生长抑制明显,随着提取物浓度不断升高,处理组菌丝干重与对照组相比明显降低;当处理组浓度为 4.00 mg · mL^{-1}时,菌丝干重为 0.6138 g,与对照组(1.7006 g)相比差异显著。

2.3 供试样品对西瓜尖孢镰刀菌细胞膜的影响

2.3.1 相对电导率 如图 3A 所示,随着处理时间的增加,菌体细胞相对电导率值随之增大,在 2.5 h 达到 75.3%,菌体细胞膜通透性改变,菌体内的细胞质渗漏出来,随着处理时间的延长,其对真菌细胞膜的破坏越严重。说明独蒜兰提取物会破坏细胞膜通透性,使菌丝内容物外泄,电导率增加,从而抑制菌丝生长。

2.3.2 丙二醛含量 西瓜尖孢镰刀菌细胞膜受损后引起脂质过氧化反应,产生 MDA,故可用 MDA 含量来反映细胞膜的受损程度。由图 3B 可知,在独蒜兰提取物浓度为 1.00 mg · mL^{-1}条件下,处理 1 h 时,MDA 含量与对照组接近,而后处理组 MDA 含量随着时间的延长而急剧增加,在 12 h 时达到峰值(3.226 nmol · g^{-1}),随后含量逐渐降低。而对照组 MDA 含量几乎不变,且整个试验过程均低于处理组 MDA 含量,表明独蒜兰提取物可以破坏菌丝细胞膜,引起膜脂过氧化反应。

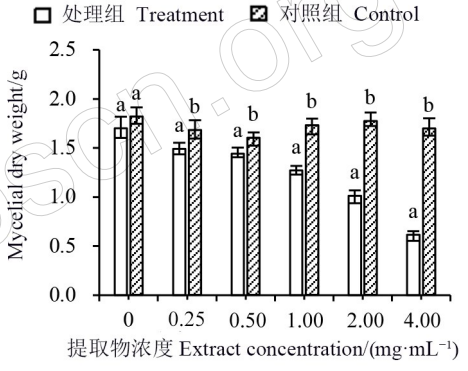

图 2 独蒜兰提取物对西瓜尖孢镰刀菌菌丝干重的影响

Fig.2 Effect of *P. bulbocodioides* extracts on mycelial dry weightof *F. oxysporumf*

不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。

Different lowercase letters indicate significant differences at 0.05 level.

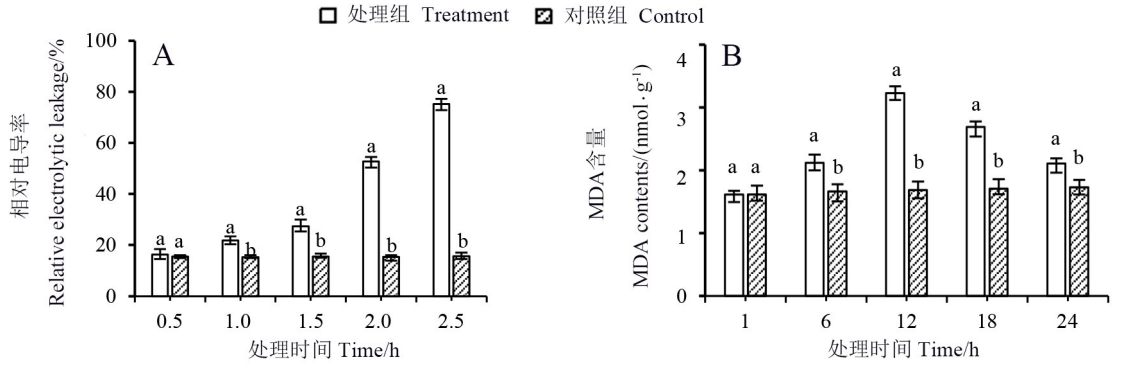

图 3 独蒜兰提取物对西瓜尖孢镰刀菌相对电导率(A)和 MDA(B)的影响

Fig.3 Effect of *P. bulbocodioides* extracts on relative conductivity (A) and MDA (B) of *F. oxysporumf*

不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。

Different lowercase letters indicate significant differences at 0.05 level.

2.4 供试样品对西瓜尖孢镰刀菌 CAT、POD、SOD 活性的影响

图 4A 显示,随着处理时间的延长,CAT 的酶活性与对照组的差异明显,处理组的 CAT 酶活性在处理后的 1 h 内无明显变化;在 6~12 h 内,其 CAT 酶含量迅速升高并在 12 h 达到峰值,为 386.46 U ·

http://www.jbsc.org

g^{-1}，是对照组的 2.31 倍；在 12～24 h 内，处理组的酶活性显著下降，且在 24 h 时略低于对照组。而对照组 CAT 酶活性在各时间段内基本保持一致。

图 4B 显示，POD 含量的变化趋势与 CAT 含量相似，随着处理时间逐渐延长，其 POD 酶活性迅速增强，并在 12 h 时达到峰值，为 114.13 U · g^{-1}，是对照组的 1.68 倍；12 h 后，处理组的菌体酶活性显著下降但仍高于对照组，而对照组的 POD 活性在各时间段内基本保持一致水平。说明提取物能影响 POD 酶活性，受毒害的菌体通过提高其酶活而减弱受毒害的程度。

图 4C 显示，在处理 1 h 时，菌体内 SOD 含量略高于对照组；在处理 6 h 时，该酶活性迅速上升并达到峰值，为 603.21 U · g^{-1}，是对照组的 3.02 倍；随着处理时间的延长，处理组 SOD 酶活性显著下降直至保持平稳趋势，但 SOD 酶含量仍高于对照组。而对照组的酶活性在各时间段内基本保持一致。

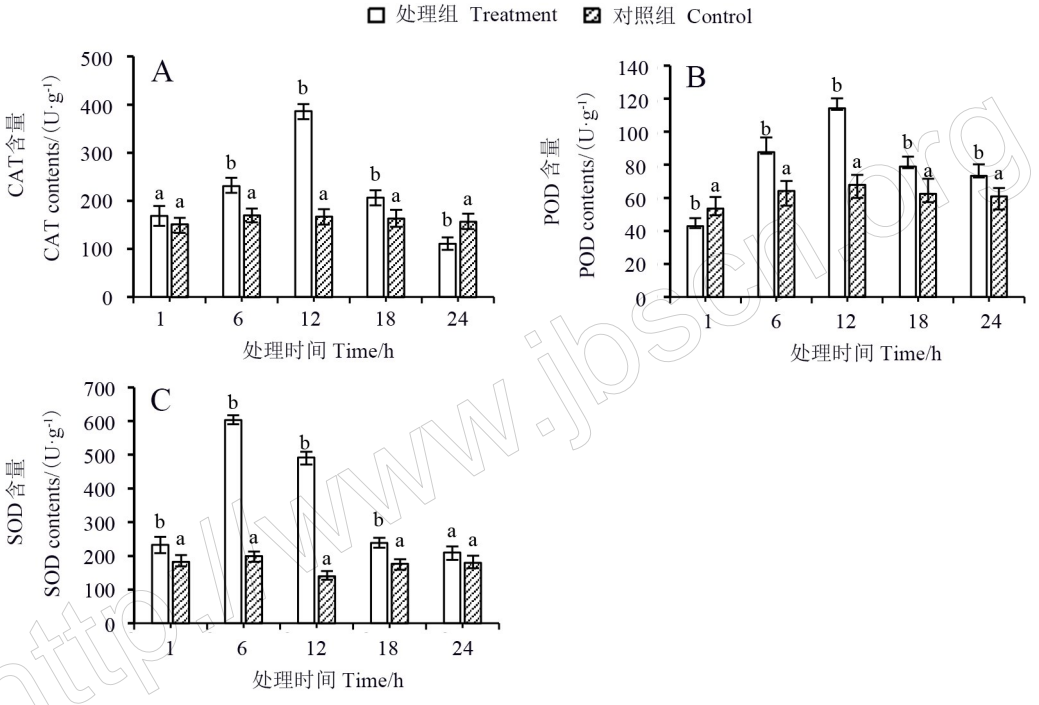

图 4　独蒜兰提取物对西瓜尖孢镰刀菌 CAT、POD、SOD 活性的影响

Fig.4　Effect of *P. bulbocodioides* extracts on CAT (A), POD (B) and SOD (C) activities of *F. oxysporumf*

不同小写字母表示差异显著（$P<0.05$）。

Different lowercase letters indicate significant differences at 0.05 level.

3　讨论

本研究对独蒜兰假鳞茎乙醇提取物进行了抑菌活性筛选，采用菌丝生长速率法对 15 种植物病原菌进行初筛，结果表明，在 1.00 mg · mL^{-1} 质量浓度下，独蒜兰假鳞茎提取物具有较好的抑菌活性，其中对辣椒疫霉病菌、西瓜尖孢镰刀菌、番茄灰霉病菌和非洲隐地疫霉菌的抑菌效果最显著。进一步探究独蒜兰提取物对植物病原菌生理生化的影响，选取对提取物最敏感的西瓜尖孢镰刀菌为供试菌，测定处理后的菌丝干重、MDA 含量、细胞渗透性及酶活性的变化。结果发现，菌丝干重随药剂浓度的增加而降低；而该提取物破坏了菌丝细胞膜，引起膜脂过氧化反应，致使内容物外泄，渗透性增加，MDA 含量增加；对保护酶（CAT、POD、SOD）活性测定发现，随着处理时间的延长，其酶体系活性呈先增大后减小的趋势，说明菌体通过调节多种酶活性而降低受毒害的程度。本试验的研究结果与梁琪等（2021）发现黄连 *Coptis chinensis* Franch.、甘草 *Glycyrrhiza uralensis* Fisch. 和肉桂 *Cinnamomum cassia* Presl 提取物会对稻瘟病菌 *Magnaporthe oryzae* 细胞膜通透性及物质合成产生影响的研究结果一致；与周洁尘等（2017）发现垂序商陆 *Phytolacca americana* L. 和胜红蓟 *Ageratum conyzoides* L. 提取物会破坏降香黄檀炭疽病病原菌膜系统、影响菌体保护酶活性的研究结果一致。说明独蒜兰假鳞茎提取物发挥抑菌作用的方式可能与其干扰菌丝生

http://www.jbsc.org

长、使菌丝细胞膜正常功能受损以及降低菌丝体内保护酶活性等有关。本研究仅初步探讨了独蒜兰提取物对植物病原菌的作用机理,但其具体发挥抑菌作用的单体化学成分仍待深入研究。

参考文献

程艳, 陈璐, 米艳华, 段红平, 茶应盛, 邵金良, 杜丽娟, 2018. 水稻抗氧化酶活性测定方法的比较研究. 江西农业学报, 30(2): 108-111.

段秋笛, 杨旭, 赵焱, 卢丽晶, 崔秀伟, 梁宏伟, 2022. 连香树花芽发育过程中的生理生化特性研究. 湖北农业科学, 61(22): 89-93.

国家药典委员会, 2015. 中国药典. 2015 版. 北京: 中国医药科技出版社.

梁琪, 付歆崴, 李云鹏, 杨胜甫, 2021. 3 种植物提取物对稻瘟病菌的抑菌活性及其抑菌机理研究. 中国农学通报, 37(15): 120-127.

李琦, 陈宇纵, 辛海量, 2014. 山慈菇的化学成分及药理作用研究进展. 药学实践杂志, 32(4): 250-253, 260.

倪林, 郑威, 吴美婷, 颜武华, 2022. 一种香樟芝麻素类成分抑菌活性测定方法及应用. 福建省: CN115060667A. (2022-04-20).

荣飞,于华静, 刘传玲, 2020. 2019 年山东省市场所售山慈菇饮片的质量分析报告. 当代医药论丛, 18(24): 128-129.

王国凯, 丁婉悦, 刘松照, 朱月健, 曹勇, 谢冬梅, 2020. 马鞭草本草考证. 现代中药研究与实践, 34(1): 13-15, 34.

吴沙沙, 李威, 沈立明, 李成儒, 林向阳, 2019. 独蒜兰: 雾境"仙葩". 森林与人类 (11): 68-77.

吴沙沙, 陈蕾, 赵亚梅,郑泽新, 张衡, 翟俊文, 2020. 独蒜兰属种质资源及杂交育种研究进展. 植物遗传资源学报, 21(4): 1-12.

王志芳, 李贞景, 杨明冠,路来风, 王昌禄, 李政, 张健飞, 巩继贤, 2019. *Streptomyces alboflavus* 抗真菌物质对串珠镰刀菌的抑制机理研究. 食品科学技术学报, 37(5): 64-71.

辛泽团, 刘湘泽, 张明进, 李伟, 陈伯华, 马学晓, 2013. 外源性心脏营养素 1: 保护 PC12 细胞和许旺细胞的可能性. 中国组织工程研究, 17(41): 7265-7271.

中国标准化研究院, 2020. 微生物源抗生素类次生代谢产物抗真菌活性测定——菌丝生长速率法: GB/T 38480-2020. 北京: 中国标准化研究院.

周洁尘, 周国英, 刘君昂, 何苑皞, 董文统, 2017. 垂序商陆及胜红蓟提取物对降香黄檀炭疽病菌的抑菌机理研究. 植物保护, 43(4): 46-50, 60.

张耀, 林智熠, 周文娟, 潘镇泽, 傅佳蕊, 陈景新, 倪林, 邹双全, 2021. 圆齿野鸦椿枝条抗辣椒疫霉病菌活性成分. 福建农林大学学报(自然科学版), 50(4): 472-479.

FAN L L, LUO Z F, LI Y, LIU X Y, FAN J D, XUE W, TANG L, LI Y, 2020. Synthesis and antifungal activity of imidazo [1,2-b] pyridazine derivatives against phytopathogenic fungi. *Bioorganic & Medicinal Chemistry Letters*, 30 (14): 127-139.

KOMÍNEK P, MASSART S, PHAM K, LEEUWEN P V, KOMÍNKOVÁ M, 2019. Characterisation of a novel virus infecting orchids of the genus *Pleione*. *Virus Research*, 261: 56-59.

(责任编辑:郭莹)