

## 重楼属植物真菌病害和防治方法研究进展

柳敏<sup>1</sup>, 周茂嫦<sup>1</sup>, 李恒谦<sup>1</sup>, 王彩云<sup>1</sup>, 孟信刚<sup>2</sup>, 张翔宇<sup>1\*</sup>

(1. 毕节市中药研究所, 贵州毕节 551700; 2. 景德镇学院, 江西景德镇 333032)

**摘要** 重楼作为我国贵重中药材之一, 市场需求呈逐年上升趋势。近年来, 人工种植面积迅速增加, 真菌病害问题突出, 严重制约了重楼的生产及相关产业的发展。目前, 已报道的重楼属植物真菌病害主要有 16 种, 涉及 22 种病原菌, 以根腐病、茎腐病、灰霉病发生最为严重。通过整理当前重楼真菌病害已有的研究成果, 总结了重楼属植物真菌病害病原菌种类、发病规律、为害特征及防治方法, 并对今后重点研究方向进行了展望, 以期为重楼属植物真菌病害的综合防控提供参考。

**关键词** 重楼; 真菌病害; 病菌鉴定; 防治

**中图分类号** S435.672 **文献标识码** A

**文章编号** 0517-6611(2022)09-0015-04

**doi:** 10.3969/j.issn.0517-6611.2022.09.005



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

### Research Progress on Fungal Diseases and Control of *Paris* Genus

LIU Min, ZHOU Mao-chang, LI Heng-qian et al (Bijie Institute of Traditional Chinese Medicine, Bijie, Guizhou 551700)

**Abstract** As a valuable Chinese herbal medicine in China, the market demand for *Rhizoma Paris* is increasing year by year. In recent years, with the rapid increase of artificial planting area, the problem of fungal diseases has become increasingly prominent, which seriously restricted the production of *Rhizoma Paris* and the development of related industries. Currently, there are 16 types of fungal diseases related to 22 species of pathogens. Among the fungal diseases caused by *Paris* genus, root rot, stem rot and gray mold are the most serious. This paper reviews the existing research on fungal diseases of *Paris* plant and summarizes species and groups, occurrence regularity, symptoms, and control measures of these fungal diseases affecting this plant. It also suggests promising research directions to provide references for the comprehensive control of these fungal diseases.

**Key words** *Paris polyphylla*; Fungal diseases; Pathogen identification; Prevention and treatment

重楼为百合科重楼属植物的统称, 全球共 24 种, 我国有 19 种, 南北均有, 以西南各省区偏多<sup>[1]</sup>。2020 年《中国药典》中仅滇重楼 [*Paris polyphylla* Smith var. *yunnanensis* (Franch.) Hand. -Mazz.] 或七叶一枝花 [*Paris polyphylla* Smith var. *chinensis* (Franch.) Hara] 的干燥根茎入药, 具有清热解毒、消肿止痛、凉肝定惊的功效<sup>[2]</sup>。目前, 对重楼的研究按品种分主要集中于滇重楼和华重楼, 按研究内容分主要集中于有效成分含量分析, 包括甾体皂苷类、甾醇类、黄酮类等, 对药理作用的研究集中在镇静止痛、止血、抗肿瘤和抗菌等方面<sup>[3-5]</sup>。重楼属植物药用部位根茎生长缓慢, 从种子到药用商品需种植 8~10 年。重楼作为云南白药、宫血宁胶囊、季德胜蛇药片等 262 种中成药的主要原料, 供不应求<sup>[6]</sup>。目前, 重楼人工种植面积已超过 6 666.7 hm<sup>2</sup>, 而重楼又属于多年生草本植物, 不易轮作, 且病菌大多可越冬、易传染, 大面积集中连片种植易使病害加重, 给重楼生产造成较大损失, 影响重楼产业的健康持续发展。笔者通过查阅国内外相关文献, 综合分析重楼真菌病害种类、症状、为害特征和防治方法等研究情况, 以期为重楼病害防治和安全高效生产提供参考。

在中国知网中, 截至 2020 年以“重楼”为主题对论文、专利等文献进行检索, 共检索到 5 566 篇文献, 而以“重楼病虫害”为主题进行搜索发现, 最早研究重楼病虫害的文献报道

于 2007 年, 共检索到 209 篇文献, 占重楼主题数的 3.75%。在 Web of Science 数据库中以“*Paris polyphylla*”为主题进行搜索, 共检索到 465 篇英文文献, 关于重楼病虫害的研究论文仅 14 篇, 占主题数的 3.01%。研究内容多以栽培种植为主, 其次是病害病菌分离鉴定, 病害防治方面研究内容较少。由此可见, 国内外学者对重楼病虫害方面的研究起步较晚且较少, 不够深入, 相关研究还有待进一步开展。

#### 1 重楼主要真菌病害种类及症状

目前, 已报道的重楼真菌病原菌 21 种, 引起病害多达 16 种(表 1)。其中, 根腐病、灰霉病和茎腐病是重楼的主要病害, 相关研究也较多。真菌病害大多数不仅有初次侵染, 还能再次侵染, 病原真菌以休眠菌丝体在种子、苗木、病株残体、粪肥或产生休眠孢子或其他休眠结构在土中越冬或越夏, 待周边环境适宜时, 通过本身活动传播, 或以孢子的形式通过气流、雨水及各种生物带到植物体表, 以孢子萌发形成芽管或以菌丝从伤口、自然孔口侵入, 也可直接穿透植物表皮的角质层侵入, 造成植物染病。

**1.1 根腐病** 根腐病一般于 3—4 月发病, 5 月气温升高, 病害逐渐加重。田间湿度大、气温高、积水多、土壤板结等环境下易发病。发病症状为从染病部位开始腐烂, 呈湿状软腐, 有恶臭, 早期植株不表现病症, 后期因根茎腐烂吸收不到足够的水分和养分, 叶片在中午时分出现萎蔫, 夜间恢复, 直至植株萎蔫枯死<sup>[7]</sup>。刘涛等<sup>[8]</sup>通过研究覆膜和未覆膜大棚下滇重楼根腐病发病情况, 发现 4—5 月覆膜大棚和未覆膜大棚温度低时, 滇重楼发病率低, 6—8 月覆膜大棚温度比未覆膜大棚温度高, 发病率也较未覆膜大棚高, 表明温度会影响重楼根腐病发病时间和扩散速度。根腐病除了与真菌侵染

**基金项目** 国家“十二五”科技支撑计划项目(2015BAI05B03); 贵州省人才基地项目(RCJD2020-21); 贵州省科技支撑计划项目(黔科合支撑[2020]4Y110号); 贵州省“千”层次创新型人才项目(毕科人才合字[2021]05号)。

**作者简介** 柳敏(1991—), 女, 湖南沅江人, 研究实习员, 硕士, 从事药用植物病害防治研究。\*通信作者, 副研究员, 硕士, 从事药用植物相关研究。

**收稿日期** 2021-07-30

有关外,还伴随着线虫为害,杨永红等<sup>[9-10]</sup>在对腐烂的滇重楼根茎研究中,分离鉴定出似小杆线虫、类符虫兆、罗宾根螨等害虫,发现这些害虫不仅可能在重楼根茎上营腐生生活,同时还可能是传播根腐病的介质,并通过试验证明了滇重楼根茎腐烂严重程度与小杆线虫数量呈正相关关系。目前,关于重楼根腐病致病菌的报道较少。赵彩呈等<sup>[11]</sup>鉴定出滇重楼根腐病的病原真菌为尖孢镰刀菌(*Fusarium oxysporum*),但未对该病菌的生物学特性、致病性和致病分子机理进行研究。有研究指出,尖孢镰刀菌在30℃、pH 5的培养条件下生长最快,孢子在45℃以上及偏碱性环境中萌发率低,对无机氮的吸收优于有机氮,酸性土壤更有利于尖孢镰刀菌的生长和繁殖<sup>[12]</sup>。因此,对土壤进行高温消毒、调整土壤pH、用有机肥代替无机肥等能抑制根腐病病原菌孢子的生长。也有研究表明,镰刀菌产生的致病毒素如镰刀酸菌通过降低线粒体活性氧的含量、阻止ATP合成而导致根系吸收水分能力受阻,影响作物生长<sup>[13]</sup>。

**1.2 灰霉病** 灰霉病在4—8月降雨量增多、潮湿的条件下易发病,且危害较重,You等<sup>[14]</sup>报道,湖北恩施华重楼灰霉病发病率高达80%。灰霉病发病初期症状为在茎秆、叶片和花梗上出现椭圆形、水浸状的斑点,随后染病部位因病菌分生孢子覆盖病变部位而布满粉状物并逐渐扩大,最后整株植物腐烂倒伏<sup>[15]</sup>。重楼灰霉病菌以菌核、菌丝或分生孢子在土壤、植株病残体中越冬,翌年分生孢子借助气流、水传播,从伤口或花器等地方侵入。马维思等<sup>[16-17]</sup>分别对滇重楼、华重楼灰霉病病原菌进行了鉴定,得出引起滇重楼、华重楼灰霉病的病原菌均为葡萄孢属灰葡萄孢菌(*Botrytis cinerea*)。2019年,Zhong等<sup>[18]</sup>报道了一种引起重楼灰霉病的葡萄孢属新种*Botrytis polyphyllae*。袁月等<sup>[19]</sup>研究了人参灰葡萄孢菌的生物学特性,发现其最适的培养基为PDA和PSA,菌丝生长最适温度在20~25℃,菌丝生长最适碳源为葡萄糖和麦芽糖、最适氮源为牛肉膏、蛋白胨、酵母膏等有机氮源。由此可见,重楼灰霉病发病的严重期,应减少有机氮源的施用,用无机氮源代替。张玮等<sup>[20]</sup>发现,短波紫外线的照射可显著抑制灰葡萄孢的生长。因此,农闲季节深翻耕地时可采用紫外灯照射干扰菌丝生长,减轻翌年病害。灰葡萄孢菌分生孢子

附在寄主表皮细胞,孢子萌发形成的芽管和附着孢帮助灰葡萄孢侵入,灰葡萄孢菌在侵染过程中分泌纤维素酶、果胶酶、蛋白酶等致病因子来扰乱和破坏寄主植物防御系统,杀死寄主细胞,完成侵染定殖<sup>[21]</sup>。伏荣桃等<sup>[22]</sup>研究乙蒜素对几种植物病原真菌的毒力测定,发现乙蒜素对重楼灰霉病菌抑制率可达85.63%,田间防效达73.43%。

**1.3 茎腐病** 早春苗床温度低、湿度大、光照不足、播种过密不透风等有利于病菌繁殖,易发生病害,病害发生率可达10%~30%。茎腐病多在苗床期发生,在高湿多雨的大田期危害更为严重。发病部位多在茎基部,症状为茎基部先产生黄褐色病斑,后逐渐变黑褐色,根基部组织腐烂。病斑扩大后,叶尖失水下垂,严重时茎基腐倒苗。环境潮湿情况下,病部产生分生孢子器,表皮易剥落;干燥情况下,病部表皮凹陷,紧贴茎上<sup>[23]</sup>。2010年报道腐霉(*Pythium sylvaticum*)<sup>[24]</sup>和疫霉(*Phytophthora*)<sup>[25]</sup>是引发重楼茎腐病的病原菌之一;2018年,Zhou等<sup>[26]</sup>报道尖孢镰刀菌(*Fusarium oxysporum*)也会引发重楼茎腐病;2019年,Xiao等<sup>[27]</sup>从茎腐病中分离出致病菌轮纹镰孢菌(*Fusarium concentricum*)。新致病菌的发现可能是由于检测技术的提高,也可能是接触其他作物茎腐病病菌交叉感染到的。苏海兰等<sup>[28]</sup>研究发现,采用50%多菌灵1000倍液浸泡种苗后进行移栽,对七叶一枝花茎腐病的防治效果可达100%。

**1.4 软腐病** 软腐病常在4—8月发病,雨水过多、湿度大、气温过高、通风透光性差易使重楼抗病能力下降而导致发病。软腐病是一种既能由细菌(*Pectobacterium carotovorum* subsp. *Carotovorum*)引起<sup>[29]</sup>,又能由真菌引起的病害。由真菌引起的重楼软腐病主要病症表现为发病部位稍下陷,呈椭圆形水浸状病斑,病斑后期出现小黑点,病部因病菌的孢囊梗和孢子囊而布满霉状物,染病茎部或叶部软腐。重楼软腐病由真菌引起的较少见,张国辉等<sup>[30]</sup>从华重楼软腐病植株中分离鉴定出一种匍枝根霉菌(*Rhizopus stolonifer*),菌丝发达,有分枝、匍匐丝和假根,无隔膜,孢囊梗直立,顶端形成球形孢子囊。匍枝根霉在PDA培养基中菌丝发达,可在15~30℃内生长并进行无性繁殖,35℃以上菌落就不能扩展且不能形成无性孢子,适宜的生长和产孢温度为25℃<sup>[31]</sup>。

表1 重楼属药用植物主要真菌病害及病原菌  
Table 1 Fungal diseases and pathogens of *Paris* genus

序号 No.	病害名 Disease name	病原菌鉴定 Pathogen identification	为害部位 Harmful part	参考文献 References
1	根腐病	尖孢镰刀菌 <i>F. oxysporum</i>	地下茎	[11]
2	灰霉病	灰葡萄孢菌 <i>B. cinerea</i> Pers. ex Fr. 葡萄孢属 <i>B. polyphyllae</i>	茎、叶和果实等	[17] [18]
3	茎腐病	腐霉属 <i>Pythium sylvaticum</i> 疫霉属 <i>Phytophthora</i> 尖孢镰刀菌 <i>F. oxysporum</i> 轮纹镰孢菌 <i>Fusarium concentricum</i>	茎基部	[24] [25] [26] [27]
4	软腐病	匍枝根霉 <i>R. stolonifer</i>	茎、叶和花	[30]
5	褐斑病	细交链孢菌 <i>A. tenuis</i> Nees 细极链格孢菌 <i>A. tenuissima</i>	叶片	[32] [33]
6	黑斑病	互隔交链孢菌 <i>A. alternata</i>	叶片、叶柄、花梗等	[34]
7	叶斑病	附球真菌属 <i>Epicoccum sorghinum</i> 柱隔孢菌 <i>Ramularia</i>	叶片	[35] [25]

接下表

续表 1

序号 No.	病害名 Disease name	病原菌鉴定 Pathogen identification	为害部位 Harmful part	参考文献 References
		炭疽菌 <i>C. spaethianum</i>		[36]
		稻曲拟盘多毛孢 <i>P. oryzae</i>		[37]
		细交链孢菌 <i>A. tenuis</i> Nees		[38]
8	白霉病	柱隔孢菌 <i>Ramularia paris</i>	叶片	[32]
9	焦斑病	小米壳属真菌 <i>Leptosphaerulina australis</i>	叶片	[39]
10	圆纹病	链孢粘帚霉属真菌 <i>Clonostachys rosea</i>	叶片	[39]
11	红斑病	轮枝菌 <i>Verticillium</i>	叶片	[25]
12	灰斑病	链格孢菌 <i>Alternaria</i>	叶片	[25]
13	叶枯病	蜀黍附球菌 <i>Epicoccum sorghinu</i>	叶片	[34]
14	立枯病	丝核菌属 <i>Rhizoctonia</i> sp.	幼苗茎基部、地下根部	[23]
15	斑枯病	亚隔孢壳属 <i>D. glomerata</i>	叶片	[40]
16	炭疽病	炭疽菌属 <i>C. fructicola</i>	叶片	[41]

## 2 重楼真菌病害综合防治

对重楼真菌病害防治应遵从“预防为主,综合防治”的原则,以改善生态环境、加强栽培管理为基础,优先采用农业防治、生物防治的方法,尽可能减少化学农药的用量,最大限度地控制病害的发生,达到高产、优质、低成本、绿色和无公害的目的。

**2.1 农业防治** 农业防治是通过利用合理耕作、种子及种苗检验及检疫、田间管理等综合措施来减轻或防治重楼病虫害发生。因地制宜地选用疏松肥沃、通气性好、有机质丰富、前茬作物病害发生较少的土壤。病菌多在土壤、植株病残体上越冬及存活,深翻土壤可使土壤疏松,同时将病菌和害虫翻到地表,结合覆膜、晒垄达到土壤杀菌消毒的作用。重楼种子催芽前,应筛选出带病、干瘪等劣质种子。选用抗病品种,实行轮作、间作、翻耕等耕作措施可减轻病害发生,如通过分子标记辅助抗病品种选育技术选育出的三七“苗乡抗71号”抗病新品种,不仅减少了化肥农药使用量,还提高了三七产量和质量<sup>[42]</sup>。轮作或间作应选择不同类型、非同科同属的作物,避免引发同种病害。育苗基地事先要深翻、消毒处理,幼苗期抵抗力弱,要注意加强水分、温度、光照强度和草害的管理,移栽时要挑选健壮均一的种苗,注意种苗消毒,合理规划行间距,施足基肥。田间管理要做好光照强度、温湿度及通风管理,及时拔除杂草和预防病害,冬季植株休眠期清除杂草、落叶和植株残体,集中销毁<sup>[43]</sup>。

**2.2 生物防治** 生物防治是指利用生物资源开发利用可用于病虫害防治的农药,可分为农用抗生素、微生物农药、植物农药,如春雷霉素、枯草芽孢杆菌、乙蒜素等,其产品具有无残留、对环境友好、不易产生抗药性等优点。随着近年来对作物安全性重视程度的增高,生物农药的使用和研究越来越多,克永霞等<sup>[44]</sup>从乙蒜素、多抗霉素等6种生物药剂中筛选出对华重楼叶斑病菌(*Alternaria tenuis* Nees)抑菌效果最好的是多抗霉素,田间数据显示,喷施10%多抗霉素可湿性粉剂3次,7d后的防效达76.98%。李高宏<sup>[45]</sup>通过物理防治、微生物菌剂防治、中药防治等绿色防治方法对重楼茎腐病进行防治,发现物理和枯草芽孢杆菌微生物防治重在预防和发病初期,苦参、药草茎秆、大黄酒对后期有较好的防治。筛选出的生物药剂尤其是微生物农药对病害的田间防效效果稍差,可能是受人为因素或气候环境影响,配合化学

农药使用或能增强防治效果。近些年关于重楼内生真菌及其抑菌活性的研究较多,孙桂丽等<sup>[46]</sup>从云南重楼块状茎中分离出内生真菌166株,并进行了抗菌活性的初步研究,结果表明,4株内生真菌对植物致病真菌、细菌等多种病原微生物生长具有显著抑制作用。施蕊等<sup>[47]</sup>从滇重楼块茎中分离出8株内生真菌对立枯丝核菌、尖孢镰刀菌和烟草黑胫病菌菌丝生长有一定的抑制作用,其中PPC-78、PPC-43、PPC-25发酵液粗提物对病原菌也有一定的抑菌活性。虽然有些内生真菌对某些病菌具有很好的抑菌活性,但因为生产工艺不成熟、制剂货架期短、使用技术不完善,防治效果不稳定等原因无法实现商品化,这也成为生物药剂研发的瓶颈。

**2.3 化学防治** 化学防治是利用化学农药来防治病虫害的一种防治方法,具有见效快、使用方便、经济效益高等优点。查阅中国农药信息网的农药登记数据,登记在人参上的杀菌剂有42条,三七上有12条,暂无农药登记在重楼作物上<sup>[48]</sup>。目前,关于重楼真菌病害化学防治的报道较少,且多以药剂筛选或田间防效为主,克永霞等<sup>[17]</sup>测出用75%戊唑醇水分散剂1000倍液对华重楼灰霉病病菌抑菌率为74.15%;刘佩<sup>[49]</sup>通过田间试验得出,用50%金万菌灵粉剂在4月初重楼灰霉病发病初期叶面施药,防治效果达98%以上,50%多菌清的防治效果达90%。生产中为解决重楼真菌病害无登记农药使用,常参照相似作物或其他作物相同病症的登记农药使用。段宝忠等<sup>[50]</sup>建议用啮霉胺、腐霉利等内吸性杀菌剂与代森锰锌等保护性杀菌剂复配喷施重楼防治灰霉病,用多菌灵、三唑酮、甲霜灵等防治叶斑病、根腐病等病害。虽然有很多化学药剂防治效果好,但是缺乏在重楼上病害的防治效果或对重楼种苗安全性、重楼块茎农药残留等相关数据作支撑。

## 3 结语与展望

近年来,因重楼较好的药用价值和较高的经济价值,人工种植面积急剧增加,病害发生情况逐渐加重,一些次要病害已上升为主要病害,病害成为制约重楼产业健康发展的因素之一。目前关于重楼真菌病害的相关研究仍处于病菌鉴定、药剂筛选等室内防治探索阶段,而抗病种质资源、田间防效、绿色安全防控技术的研究相对较少,今后应重点开展以下研究。

**3.1 加强重楼抗病种质资源筛选和抗病功能基因解析** 重楼种植技术研究起步较晚,对病害主要通过药剂进行防治,

短期内能起到防治作用,长期使用会使病菌产生抗药性、杀灭有益微生物。因此,研究选育抗病能力强的重楼品种和解析抗病功能基因是防治重楼病害最根本有效且无公害的方式之一。因重楼生长年限长,仅靠提纯复壮的选择育种方法,需要几十年的时间才可能筛选出一个抗病品种,结合分子育种能大幅度提高育种效率,缩短育种年限。抗病基因是植物在抗病过程中参与识别、抵抗病菌侵袭及扩散的相关基因,对研究植物抗病性和选育抗病品种具有重要意义。可借鉴人参抗病基因研究方法从核苷酸结合域-富含亮氨酸的重复结构类(NBS-LRR)、跨膜受体-富含亮氨酸的重复结构类(TM-LRR)及包括转运蛋白类、凝集素类等家族在内的其他类着手研究重楼植株抗病基因<sup>[51]</sup>。对重楼抗病基因解析及重楼抗病品种的选育需植物遗传育种等相关专业的专业技术人员才能更好地开展相关工作。因此,企业应联合科研院所或高校承担起研究重楼基因组、解析抗病基因、筛选抗病品种等工作。

**3.2 加强重楼真菌病害生物防治药剂的研发及推广** 长期以来,真菌病害防治以使用化学杀菌剂为主,使用不当可对植物产生药害,杀伤有益微生物,使病菌产生抗药性,农药或重金属残留量高,影响产业和人类的健康可持续发展,我国正在逐渐减少化学农药的使用量。2020年版《中国药典》首次规定33种禁用农药不得检出或超过定量限,这意味着我国对药材及饮片安全性控制方面要求越来越严格,而生物防治的无残留、对环境友好、持效性长等优点,使其成为全球农药产业发展的新趋势。我国生物农药防治覆盖率近10%,远低于发达国家20%~60%的水平<sup>[52]</sup>。因此,以后应重视重楼生物防治,建立健全重楼真菌病害生物防治体系。首先,需要加大推广防治效果好的生物药剂,以生物药剂代替化学药剂使用,减少化学农药的使用量;其次,需要加强对农户的培训,以提高生物农药使用效果;最后,还要重视并支持高效生防菌株的研究和产品化研发。

**3.3 加快重楼等特殊小品种药用植物农药登记、残留限量等标准的制定** 中国农药信息网暂无农药在重楼上的登记信息,药典或食品中基本未涉及药用植物中农药最大残留限量标准(MRL),故重楼病害在防治上处于“无药可用、无标可依”的状态,目前防治主要来自农资公司或其他种植户的用药经验,导致农药乱用、滥用现象普遍。如农户常用多菌灵或甲基硫菌灵防治重楼软腐病,不论软腐病是由真菌或细菌引起,完全不考虑杀菌剂有效成分的靶标性,防治效果不理想时会重复施药或加大施药剂量,可能会导致重楼植株产生药害,重楼块茎农药残留量过高,病菌对杀菌剂产生抗药性。因此,政府部门、科研单位、企业要联合加快推动重楼农药登记、农药残留限量标准的制定,确保重楼真菌病害有药可用,有标可依。首先,要加快药剂筛选,通过室内毒力测定、田间试验等方法筛选出防治重楼真菌病害的高效、低毒、无药害的药剂品种,为农药登记提供基础;其次,要加快农药残留限量标准的制定,开展农药产品在重楼及土壤中的残留降解动态试验和最终残留试验,并进行膳食风险评估,为农

药残留限量标准的制定提供数据;最后,针对产品还需要开展化学、毒理、代谢、环境影响等登记试验并进行评估,为农药登记提供依据。

## 参考文献

- [1] 李恒. 重楼属植物[M]. 北京: 科学出版社, 1998: 1-7.
- [2] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典, 2020年版一部[S]. 北京: 中国医药科技出版社, 2020: 271-272.
- [3] 管鑫, 李若诗, 段宝忠, 等. 重楼属植物化学成分、药理作用研究进展及质量标志物预测分析[J]. 中草药, 2019, 50(19): 4838-4852.
- [4] MAN S L, CHAI H Y, CUI J X, et al. Antitumor and anti-metastatic mechanisms of *Rhizoma paridis* saponins in Lewis mice[J]. Environmental toxicology, 2018, 33(2): 149-155.
- [5] 王奇斌, 孙东杰, 何黎, 等. 重楼皂苷及不同皂苷成分对痤疮相关病原菌抑菌效果的评价[J]. 中国皮肤性病学杂志, 2016, 30(9): 899-901.
- [6] 张翔宇, 洪林, 查钦, 等. 毕节地区野生重楼资源调查[J]. 贵州农业科学, 2017, 45(2): 134-137.
- [7] 施洪. 滇重楼主要病虫害及其防治[J]. 德宏师范高等专科学校学报, 2014, 23(3): 99-102.
- [8] 刘涛, 赵银河, 李玛, 等. 寻甸地区两种不同大棚构造下滇重楼发病情况的调查分析[J]. 现代中药研究与实践, 2015, 29(1): 3-4.
- [9] 杨永红, 严君, 刘君英, 等. 滇重楼根茎腐烂的调查及其主要害虫研究[J]. 中药材, 2009, 32(9): 1342-1346.
- [10] 杨永红, 刘君英, 王明辉, 等. 滇重楼根茎腐烂与小杆线虫的关系研究[J]. 中药材, 2008, 31(10): 1467-1469.
- [11] 赵彩呈, 洪英娣, 刘丽, 等. 丽江滇重楼和白芨根腐病原菌鉴定[J]. 贵州农业科学, 2019, 47(5): 28-30, 35.
- [12] 文增叶, 李定华, 代梦瑶, 等. 三七根腐病原菌尖孢镰刀菌的生物学特性分析[J]. 中药材, 2019, 42(9): 1978-1984.
- [13] 方香玲, 张彩霞, 南志标. 紫花苜蓿镰刀菌根腐病研究进展[J]. 草业学报, 2019, 28(12): 169-183.
- [14] YOU J M, WANG Q H, LIN X M, et al. First report of gray mold of *Rhizoma paridis* caused by *Botrytis cinerea* in China[J]. Plant disease, 2014, 98(10): 1434.
- [15] FUR T, KE Y X, LU D H, et al. First report of gray mold caused by *Botrytis cinerea* on *Paris polyphylla* in China[J]. Plant disease, 2018, 102(7): 1447-1448.
- [16] 马维思, 陈君, 严世武, 等. 滇重楼灰霉病及其病原鉴定[J]. 中国中药杂志, 2018, 43(14): 2918-2927.
- [17] 克永霞, 伏荣桃, 刘圆, 等. 四川华重楼一种新病害病原菌鉴定及防治药剂筛选[J]. 中药材, 2019, 42(5): 960-964.
- [18] ZHONG S, ZHANG J, ZHANG G Z. *Botrytis polyphyllae*: A new *Botrytis* species causing gray mold on *Paris polyphylla*[J]. Plant disease, 2019, 103(7): 1721-1727.
- [19] 袁月, 周如军, 傅俊范, 等. 不同人参灰霉病的灰葡萄孢菌生物学特性及致病性比较[J]. 沈阳农业大学学报, 2016, 47(3): 271-277.
- [20] 张玮, 肖梦婷, 黄敏, 等. 短波紫外线辐照对灰葡萄孢抑菌机理的影响[J]. 北方园艺, 2020(18): 7-13.
- [21] 刘琨, 李勇, 王蓉, 等. 人参灰霉病研究进展[J]. 中国现代中药, 2019, 21(7): 983-986.
- [22] 伏荣桃, 克永霞, 陈诚, 等. 乙蒜素对几种植物病原真菌的毒力测定及田间药效试验[J]. 农药, 2018, 57(8): 611-613.
- [23] 杨琳, 李娟, 曾令祥. 贵州道地中药材重楼主要病虫害发生危害与防治技术[J]. 农技服务, 2015, 32(7): 115-117.
- [24] 裴卫华, 曹继芬, 杨明英, 等. 滇重楼一种茎腐新病害病原的分离鉴定[C]//郭泽建, 侯明生. 中国植物病理学会2011年学术年会论文集. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2011: 79.
- [25] 杨丽英, 杨斌, 李林玉, 等. 6种云南道地中药材病害发生及抗病育种研究进展[J]. 中药材, 2010, 33(7): 1186-1188.
- [26] ZHOU X Z, LI M, HUANG S F, et al. *Fusarium oxysporum* causes *Paris polyphylla* var. *chinensis* stem rot in Chongren(North Fujian, China)[J]. Journal of plant pathology, 2018, 100(1): 119.
- [27] XIAO R F, WANG J P, ZHENG M X, et al. First report of *Fusarium concentricum* causing stem rot disease on the medicinal plant *Paris polyphylla* var. *chinensis* in China[J]. Plant disease, 2019, 103(6): 1418.
- [28] 苏海兰, 郑梅霞, 王长方, 等. 七叶一枝花种苗移栽抗病性研究[J]. 福建农业科技, 2020(8): 67-70.
- [29] 马维思, 杨斌, 严世武, 等. 滇重楼茎秆软腐病原菌鉴定[J]. 西南农业学报, 2017, 30(7): 1582-1587.

- nov. and *Alkalihalobacillus* gen. nov. [J]. International journal of systematic and evolutionary microbiology, 2020, 70(1): 406–438.
- [21] FRITZE D. Taxonomy of the genus *Bacillus* and related genera: The aerobic endospore-forming bacteria [J]. Phytopathology, 2004, 94(11): 1245–1248.
- [22] ROMANO I, LAMA L, NICOLAUS B, et al. *Bacillus saliphilus* sp. nov., isolated from a mineral pool in Campania, Italy [J]. International journal of systematic and evolutionary microbiology, 2005, 55(Pt1): 159–163.
- [23] WANG S, SUN L, WEI D, et al. *Bacillus daqingensis* sp. nov., a halophilic, alkaliphilic bacterium isolated from saline-sodic soil in Daqing, China [J]. Journal of microbiology, 2014, 52(7): 548–553.
- [24] 许珂, 陈红, 刘志干, 等. 新疆盐碱地土壤耐盐芽孢杆菌的分离和鉴定 [J]. 生物资源, 2019, 41(2): 174–178.
- [25] 王伟伟, 唐鸿志, 许平. 嗜盐菌耐盐机制相关基因的研究进展 [J]. 微生物学通报, 2015, 42(3): 550–558.
- [26] VENTOSA A, NIETO J J, OREN A. Biology of moderately halophilic aerobic bacteria [J]. Microbiology and molecular biology reviews, 1998, 62(2): 504–544.
- [27] HORIKOSHI K. General physiology of alkaliphiles [M]//HORIKOSHI K, ANTRANIKIAN G, BULL A T, et al. Extremophiles handbook. Tokyo: Springer, 2011.
- [28] 孙莹, 苏进, 李潮流, 等. 可可西里碱性土壤样品细菌的分离和生物学特性 [J]. 微生物学通报, 2011, 38(10): 1473–1481.
- [29] 王建国, 关统伟, 贺江舟, 等. 嗜碱菌的研究进展及利用前景 [J]. 陕西农业科学, 2008, 54(1): 83–86.
- [30] TAKAMI H, NAKASONE K, TAKAKI Y, et al. Complete genome sequence of the alkaliphilic bacterium *Bacillus halodurans* and genomic sequence comparison with *Bacillus subtilis* [J]. Nucleic acids research, 2000, 28(21): 4317–4331.
- [31] YANG G Q, CHEN M, YU Z, et al. *Bacillus composti* sp. nov. and *Bacillus thermophilus* sp. nov., two thermophilic, Fe(III)-reducing bacteria isolated from a compost [J]. International journal of systematic and evolutionary microbiology, 2013, 63(8): 3030–3036.
- [32] HORIKOSHI K. Alkaliphiles; Some applications of their products for biotechnology [J]. Microbiology and molecular biology reviews, 1999, 63(4): 735–750.
- [33] NOGI Y, TAKAMI H, HORIKOSHI K. Characterization of alkaliphilic *Bacillus* strains used in industry: Proposal of five novel species [J]. International journal of systematic and evolutionary microbiology, 2005, 55(Pt6): 2309–2315.
- [34] TAMAKI H, SEKIGUCHI Y, HANADA S, et al. Comparative analysis of bacterial diversity in freshwater sediment of a shallow eutrophic lake by molecular and improved cultivation-based techniques [J]. Applied and environmental microbiology, 2005, 71(4): 2162–2169.
- [35] ANNAMALAI N, RAJESWARI M V, THAVASI R, et al. Optimization, purification and characterization of novel thermostable, haloalkaline, solvent stable protease from *Bacillus halodurans* CAS6 using marine shellfish wastes: A potential additive for detergent and antioxidant synthesis [J]. Bioprocess and biosystems engineering, 2013, 36(7): 873–883.
- [36] JOO H S, CHANG C S. Oxidant and SDS-stable alkaline protease from a halo-tolerant *Bacillus clausii* I-52: Enhanced production and simple purification [J]. Journal of applied microbiology, 2005, 98(2): 491–497.
- [37] 郭成栓, 崔堂兵, 郭勇. 嗜碱芽孢杆菌产碱性纤维素酶研究概况 [J]. 氨基酸和生物资源, 2007, 29(1): 35–38.
- [38] HORIKOSHI K. Introduction and history of alkaliphiles [M]//HORIKOSHI K. Extremophiles handbook. Tokyo: Japan, 2011: 22–24.
- [39] DAS P, BEHERA B K, MEENA D K, et al. Salt stress tolerant genes in halophilic and halotolerant bacteria: Salt stress adaptation and osmoprotection [J]. International journal of current microbiology and applied sciences, 2005, 4(1): 642–658.
- [40] 林玲. 内生芽孢杆菌及抗菌物质的鉴定和对作物黄萎病的防治效果 [D]. 南京: 南京农业大学, 2009.
- [41] 张文飞. 苏云金芽孢杆菌分离与新型 *cry* 基因资源的挖掘 [D]. 南宁: 广西大学, 2011.
- [42] JENKINS J N, PARROTT W L, MCCARTY J C, et al. Field test of transgenic cottons containing a *Bacillus thuringiensis* gene [J]. Technical bulletin-mississippi agricultural and forestry experiment station (USA), 1991, 174(9): 174–176.
- [43] 朱燕云, 孔祥平, 吴妮娟, 等. 耐高盐枯草芽孢杆菌 XP 合成球形纳米硒及其抑制草莓病原真菌生物活性 [J]. 生物工程学报, 2021, 37(8): 2825–2835.
- [44] 贾天梅. 产耐热型碱性蛋白酶菌株筛选、发酵条件优化及其酶学性质研究 [D]. 杭州: 浙江工商大学, 2018.
- [45] KIM W, CHOI K, KIM Y, et al. Purification and characterization of a fibrinolytic enzyme produced from *Bacillus* sp. Strain CK 11-4 screened from Chungkook-Jang [J]. Applied and environmental microbiology, 1996, 62(7): 2482–2488.
- [46] 杨丽媛. 碱性蛋白酶的分离纯化及其酶学特性的研究 [D]. 长春: 东北师范大学, 2015.
- [47] 姚刚, 程建军, 孙鹏, 等. 枯草芽孢杆菌发酵产碱性蛋白酶的研究 [J]. 食品科学, 2009, 30(23): 347–351.
- [48] ÖZGÖREN T, PINAR O, BOZDAĞ G, et al. Assessment of poly(3-hydroxybutyrate) synthesis from a novel obligate alkaliphilic *Bacillus marmarensis* and generation of its composite scaffold via electrospinning [J]. International journal of biological macromolecules, 2018, 119: 982–991.

(上接第 18 页)

- [30] 张国辉, 任永权, 李娇梅, 等. 华重楼软腐病的病原鉴定与病害分析 [J]. 中国农学通报, 2014, 30(7): 306–308.
- [31] 陈江华, 王轩轩, 崔雪婧, 等. 柑橘根霉软腐病的病原菌分离与鉴定 [J]. 植物病理学报, 2020, 50(3): 255–260.
- [32] 赵振玲, 张金渝, 陈翠, 等. 滇重楼 2 种真菌性叶斑病的初步研究 [J]. 西南农业学报, 2012, 25(1): 318–321.
- [33] FU R T, CHEN C, WANG J, et al. Identification of *Alternaria tenuissima* causing brown leaf spot on *Paris polyphylla* var. *chinensis* in China [J]. Journal of phytopathology, 2019, 167(7/8): 440–444.
- [34] 伏荣桃, 王剑, 陈诚, 等. 四川地区华重楼 (*Paris polyphylla* var. *chinensis*) 主要病害调查及病原菌鉴定 [J]. 分子植物育种, 2021, 19(1): 209–217.
- [35] FU R T, CHEN C, WANG J, et al. First report of *Epicoccum sorghinum* causing leaf spot on *Paris polyphylla* in China [J]. Plant disease, 2019, 103(6): 1426–1427.
- [36] ZHONG J, LI C X, ZHONG S Y, et al. First report of leaf spot caused by *Colletotrichum spaethianum* on *Paris polyphylla* in China [J]. Plant disease, 2020, 104(3): 972.
- [37] 何翔, 李翱, 李楚, 等. 滇重楼稻曲拟盘多毛孢叶斑病病原鉴定及其生物学特性测定 [J]. 植物保护, 2020, 46(6): 47–54, 64.
- [38] 克永霞, 伏荣桃, 刘圆, 等. 华重楼叶斑病的病原菌鉴定与室内药剂筛选 [J]. 西南大学学报 (自然科学版), 2020, 42(5): 63–68.
- [39] 伏荣桃, 王剑, 陈诚, 等. 华重楼 2 种叶斑病病原菌分离与鉴定 [J]. 中药材, 2019, 42(12): 2741–2745.
- [40] 伏荣桃, 陈诚, 王剑, 等. 华重楼斑枯病病原菌鉴定 [J]. 植物病理学报, 2020, 50(3): 261–266.
- [41] ZHOU X Z, LI M, RAO B R, et al. First report of anthracnose on *Paris polyphylla* var. *chinensis* caused by *Colletotrichum fructicola* in Northern Fujian, China [J]. Plant disease, 2020, 104(10): 2728–2729.
- [42] 陈中坚, 马小涵, 董林林, 等. 药用植物 DNA 标记辅助育种 (三) 三七新品种——“苗乡抗七 1 号”的抗病性评价 [J]. 中国中药杂志, 2017, 42(11): 2046–2051.
- [43] 沈亮, 徐江, 孟祥霄, 等. 人参属药用植物无公害种植技术探讨 [J]. 中国实验方剂学杂志, 2018, 24(23): 8–17.
- [44] 克永霞, 李学学, 蔡晓霞, 等. 防治华重楼叶斑病的药剂筛选及田间应用 [J]. 中国植保导刊, 2019, 39(10): 61–63.
- [45] 李高宏. 镇巴县重楼茎腐病绿色防治技术研究 [J]. 现代农业科技, 2021(2): 81–82.
- [46] 孙桂丽, 陈有为, 夏国兴, 等. 云南重楼植物内生真菌的分离及抗菌活性筛选 [J]. 微生物学杂志, 2005, 25(6): 59–62.
- [47] 施蕊, 王娟, 叶敏, 等. 滇重楼内生菌分离及其发酵液抑菌活性 [J]. 江苏农业科学, 2017, 45(6): 86–88.
- [48] 中国农药信息网. 农药登记数据 [EB/OL]. [2020–12–30]. <http://www.icama.org.cn/hysj/index.jhtml>.
- [49] 刘佩. 不同药剂防治重楼灰霉病的药效试验 [J]. 农业科技与信息, 2020(22): 37–38.
- [50] 段宝忠, 马维忠, 刘玉雨, 等. 滇重楼无公害栽培关键技术 [J]. 世界中医药, 2018, 13(12): 2975–2979.
- [51] 陈士林, 徐江. 人参农田栽培学研究 [M]. 北京: 中国医药科技出版社, 2020: 208–209.
- [52] 王以燕, 袁奎奎, 苏天运, 等. 我国生物源农药的登记和发展现状 [J]. 农药, 2019, 58(1): 1–5, 10.