

DOI: 10.11686/cyxb2025038

http://cyxb.magtech.com.cn

吕卉, 伍晓丽, 杨赞, 等. 黄连属植物真菌病害研究进展. 草业学报, 2025, 34(12): 206-216.

LYU Hui, WU Xiao-li, YANG Zan, et al. Advances in research on fungal diseases of *Coptis*. Acta Prataculturae Sinica, 2025, 34(12): 206-216.

黄连属植物真菌病害研究进展

吕卉^{1,2}, 伍晓丽¹, 杨赞¹, 赵晓¹, 郑天润¹, 罗钰佳¹, 付新宇¹, 陈大霞^{1*}

(1. 重庆中医药学院中药学院, 重庆 402760; 2. 重庆市中药研究院, 重庆 400065)

摘要: 黄连为毛茛科多年生草本, 是常用药用植物。真菌病害是植物病害主要类型之一, 也是影响植物生产的主要因素。目前, 我国黄连种植面积约1万hm², 但对其真菌病害的研究尚不深入。为后续开展相关研究, 本研究在综合国内外研究结果的基础上, 系统综述了黄连属植物真菌病害及病原种类、分布、危害、发生规律、防治方法及存在问题。截至2025年, 黄连属10个种上共发现32种真菌引起的40种病害, 分布于6个国家10个地区, 茎叶病害27种, 根部病害13种。15种病害仅在国外报道, 25种仅中国报道, 其中重庆病害发生最多(16种)。国外对黄连属真菌病害的深入研究较少, 我国主要集中在炭疽病、叶斑病、白粉病、白绢病、根腐病等几种病害, 研究明确了其发病规律、危害、影响因素、防治措施等, 但相关致病机制研究较少。建议重点关注影响黄连生产的主要病害, 明确病原菌分类地位, 加强对发生规律和机制的研究, 开展病害对有效药用成分影响的研究, 以及抗病品种的选育, 制定安全有效的防治策略, 以促进黄连生产的可持续发展。

关键词: 黄连; 真菌病害; 发生规律; 危害; 防治措施

Advances in research on fungal diseases of *Coptis*

LYU Hui^{1,2}, WU Xiao-li¹, YANG Zan¹, ZHAO Xiao¹, ZHENG Tian-run¹, LUO Yu-jia¹, FU Xin-yu¹, CHEN Da-xia^{1*}

1. College of Traditional Chinese Pharmacy, Chongqing University of Chinese Medicine, Chongqing 402760, China; 2. Institute of Material Medical Planting, Chongqing Academy of Chinese Material Medical, Chongqing 400065, China

Abstract: Members of the genus *Coptis*, in the Ranunculaceae family, are perennial herbaceous plants commonly known for their medicinal properties. Fungal diseases are among the main types of plant diseases and they limit the production of *Coptis* species. The planting area of *Coptis* in China is approximately 10000 ha. To date, there has been limited research on its fungal diseases. To provide a background for research on the fungal diseases of *Coptis* in the future, we have summarized the results of domestic and international research, describing the types of diseases and pathogens, their distribution, damage, and occurrence patterns, current control methods, and other relevant problems. As of 2025, 40 diseases caused by 32 fungal species have been identified on 10 *Coptis* species, distributed across six countries and 10 regions. These include 27 foliar and stem diseases and 13 root diseases. Among them, 15 diseases were reported only abroad, while 25 were reported exclusively in China, with the highest number (16) in Chongqing. Research on the fungal diseases of *Coptis* abroad is limited. In China, studies have focused mainly on anthracnose, leaf spot, powdery mildew, southern blight, and root rot, and have described occurrence patterns, impacts, and control measures. Research on the pathogenic mechanisms remains insufficient. It is recommended to

收稿日期: 2025-02-13; 改回日期: 2025-04-15

基金项目: 重庆市自然科学基金(博士后)(cstc2021jcyj-bshX0001)和重庆市教委青年项目(KJQN202215107, KJQN202315103)资助。

作者简介: 吕卉(1989-), 女, 山东青岛人, 副研究员, 博士。E-mail: lvh13@lzu.edu.cn

* 通信作者 Corresponding author. E-mail: 17837@163.com

focus on major diseases affecting *Coptis* production, clarify pathogen taxonomy, conduct detailed studies on occurrence patterns and pathogenic mechanisms, and evaluate the effects of plant diseases on active medicinal compounds. In addition, it is important to generate new disease-resistant varieties and develop effective disease control strategies to promote sustainable *Coptis* production.

Key words: *Coptis*; fungal diseases; occurrence; damage; control measures

黄连(*Coptis* spp.)为毛茛科多年生草本植物,生长在北半球温带地区^[1-5],我国主要分布于川、渝、滇、鄂、湘、黔等山区以及藏南山地。该属全球共有19个种,我国有9种2变种,包括黄连(味连)(*Coptis chinensis*)、三角叶黄连(*Coptis deltoidea*)、峨眉黄连(*Coptis omeiensis*)、五叶黄连(*Coptis quinquefolia*)、五裂黄连(*Coptis quinquesecta*)、云南黄连(*Coptis teeta*)、古蔺黄连(*Coptis gulinensis*)、线萼黄连(*Coptis lineavisepala*)、环江黄连(*Coptis huanjiangensis*)及黄连的变种短萼黄连(*Coptis chinensis* var. *brevissepala*)、爪萼黄连(*Coptis chinensis* var. *unguiculata*)^[6-7]。其中,黄连(味连)、三角叶黄连(雅连)和云南黄连(云连)收录于《中华人民共和国药典(2020版)》^[8]。

黄连是我国传统药用植物,历代本草中都有记载^[1],始载于《神农本草经》,具有清热燥湿、泻火解毒的功效^[9]。现代研究表明,黄连根茎中富含小檗碱、黄连碱、巴马汀、表小檗碱等多种有效成分,其中小檗碱含量最高,具有抗菌、抗病毒、降血糖、抗肿瘤、控制血压、降低血脂、增强免疫功能等作用^[10-11]。目前,黄连被广泛用于临床、保健食品、化妆品和食品添加剂的开发,应用前景广阔。

我国黄连栽培历史悠久,唐代时就开始了人工栽培,清代时已具有较为完整的栽培技术^[12]。我国黄连栽培主要分布在重庆、四川、湖北、云南等地区。目前,全国黄连种植面积约1万hm²,重庆4600hm²左右,湖北3500~4000hm²,四川650~1350hm²,云南等地666hm²左右。其中,重庆石柱占全国产量的60%、世界产量的40%,年产量达3000t,常年保持黄连在地面积约3900hm²,年产值近4亿元,有“黄连之乡”的美誉^[13]。然而,随着黄连栽培面积的逐年扩大,病害问题日益突出,已成为黄连生产的主要限制性因素之一,特别是真菌病害可使黄连大面积减产,甚至绝收,严重影响黄连的产量和品质。为进一步明确黄连真菌病害的种类和数量,从而为黄连的生产提供指导,本研究综述了黄连属病害在国内外的研究进展,涉及病原种类、分布、危害、发生规律、防治方法、存在问题等,并对未来研究方向提出了展望,以期今后开展黄连病害研究和防治工作提供理论指导。

1 黄连属真菌病害研究历史

基于中国知网(CNKI)及Web of Science数据库,分别以“黄连属/种名+病/病害/具体病害名”及“*Coptis/Coptis chinensis/C. deltoidea/Coptis trifolia*(三叶黄连), et al. +Disease/Pathogen/Rust/Rot/Spot/Blight/Mildew/Canker/Sclerotinia/Sclerotium/Anthracnose”为关键词检索1940—2024年有关黄连属病害发生的报道和研究。检索结果表明,国外对黄连属真菌病害研究报道较少,有关黄连属真菌病害的专著及学术论文仅有18篇,且多以病害名录形式记录了美国、日本、加拿大等地黄连属真菌病害。这些报道主要集中在20世纪60至80年代,文献内容较老,且报道后再无后续研究。国内对黄连属真菌病害相对研究较多,研究也较为深入,共50篇有关黄连真菌病害的报道,其中28篇集中在根部病害的报道,10篇为白粉病的报道,8篇为炭疽病报道,其他相关病害的报道仅3篇。但这些报道大多缺少病株病症和病原体等相关内容的深入研究。

国外关于黄连属真菌病害研究较早,病害主要集中在三叶黄连、格陵兰三叶黄连(*Coptis trifolia* var. *groenlandica*)、*Coptis aspleniifolia* 3种黄连上。学者Unamuno^[14]最早于1941年在葡萄牙报道了*C. aspleniifolia*的黑胥病,病原菌为小球腔菌(*Leptosphaeria modesta*)。1944年,Greene^[15]在美国威斯康星州三叶黄连上发现由黄连壳针孢(*Septoria coptis*)引起的斑枯病。随后,20世纪50至80年代,美国、加拿大、丹麦等地区在三叶黄连及其变种上相继发现了叶点霉(*Phyllosticta helleboricola* var. *coptidis*)^[16-18]、球腔菌(*Mycosphaerella coptis*)^[19]、草茎点霉(*Phoma herbarum*)^[16]、束状炭疽菌(*Colletotrichum dematium*)引起的病害^[20]。同一时期,还在美国的*C. aspleniifolia*和西方黄连(*Coptis occidentalis*)上发现了由针壳孢引起的斑枯病^[14-17,21]。80年代至90年代初期,日

本在日本黄连(*Coptis japonica*)及其变种上发现由稷斗菜白粉菌(*Erysiphe aquilegiae*)引起的白粉病^[22]和疫霉(*Phytophthora citrophthora*)引起的疫霉病^[23]。此后,国外再无黄连病害的相关报道。

我国关于黄连真菌病害的相关报道始于20世纪80年代,比国外晚了近40年。研究主要集中在味连,1982年,我国学者李代永^[24]在重庆石柱发现黄连白粉病,并系统地对外黄连白粉病的病原、发生规律、危害程度、防治方法等进行了深入研究,这是世界范围内首次报道黄连白粉病,为后续的研究奠定了基础。随后,1987年卫扬斗等^[25]在湖北鄂西自治州发现桑卷担菌(*Helicobasidium mompa*)引致的紫纹羽病。同年,罗俊国等^[26]在湖北利川发现齐整小核菌(*Sclerotium rolfsii*)引致的白绢病。21世纪初,陈仕江等^[27]首次在我国重庆石柱发现由炭疽菌(*Colletotrichum* sp.)引起的黄连炭疽病,但该致病病原未鉴定到种。2014年,Yu等^[28]通过症状描述、病原形态结合分子生物学鉴定及致病性测定,于石柱首次发现了由稷斗菜茎点霉(*Phoma aquilegiicola*)引起的黄连叶斑病。此后,大量学者对黄连根部病害展开了深入研究,分别发现了腐皮镰刀菌(*Fusarium solani*)^[29]、腐霉(*Pythium macrosporum*)^[30]、土赤壳(*Ilyonectria robusta*)^[31]、间座壳(*Diaporthe eres*)^[32]引起的根腐病。此外,2014和2018年,在云南的云连上依次发现了由壳皮炭疽菌(*Colletotrichum crassipes*)和炭疽菌(*Colletotrichum* sp.)引起的炭疽病^[33-34]。我国除上述两种黄连外,其他种黄连的病害均无相关研究和报道。

2 黄连属真菌病害及其病原种类

截至2025年初,国内外有关黄连属植物病害的报道中,共发现32种真菌引起的14类病害,发生于6个国家约10个地区。其中,黄连属中共10个种发生病害,病害发生最多的为味连,共23种;其次为三叶黄连,共3种;其他黄连属病害的研究报道数量较少。味连和云连病害仅在中国发生,其他种黄连病害均在国外发生。详见表1和表2。

就病害发生数量而言,共发现病害40种。其中,中国病害发生数量最多,有25种;其次是美国,有10种;日本有3种;加拿大2种;丹麦和葡萄牙各1种。我国各省病害数,从大到小依次为:重庆16种、湖北9种、四川5种、云南2种、陕西1种,还有1种病害发生地未详细标注。就真菌病害侵染部位而言,根部病害13种、茎叶病害27种,至今未发现系统性病害。就病原种类而言,白粉病病原*Erysiphe*属种类最多,共6种;其次为炭疽病病原*Colletotrichum*属和镰刀菌根腐病病原*Fusarium*属,各5种;其他依次为土赤壳根腐病病原*Ilyonectria*属3种,茎点霉叶斑病病原*Phoma*属2种,叶点霉叶斑病(*Phyllosticta*属)、球腔菌叶斑病(*Mycosphaerella*属)、黑胫病(*Leptosphaeria*属)、针壳孢枯斑病(*Septoria*属)、腐霉根腐病(*Pythium*属)、间座壳根腐病(*Diaporthe*属)、齐整小核白绢病(*Sclerotium*属)、紫纹羽病(*Helicobasidium*属)、疫霉病(*Phytophthora*属)、烟煤病(*Capnodium*属)各1种。

根据真菌病害种类对应的发生地域,球腔菌叶斑病、叶点霉叶斑病、黑胫病(*Leptosphaeria modesta*)等15种黄连病害仅国外报道,镰刀菌根腐病(*Fusarium* spp.)、土赤壳根腐病(*Ilyonectria* spp.)、白绢病等25种病害仅在我国报道。我国报道的黄连病害中有8种根腐病害仅发生在重庆,主要包括3种镰刀菌根腐病、3种土赤壳根腐病,另外2种为腐霉根腐病和间座壳根腐病。有3种叶部病害仅四川报道,分别为白粉病、胶孢炭疽病、烟煤病(*Capnodium* sp.)。有1种根茎病害紫纹羽病仅湖北报道。另外,在云南黄连上发现的两种炭疽病仅云南报道(表1和表2),分别为壳皮炭疽菌(*C. crassipes*)和炭疽菌(*Colletotrichum* sp.)。

目前,病原菌的鉴定主要采用形态学结合多基因分子生物学的方法。但已报道的黄连属植物病害病原菌中,国外大多数为名录记载,缺少病原菌形态学描述和分子生物学鉴定。我国报道的部分病原菌仅通过形态学进行鉴定,还有部分为形态学结合单基因分子生物学进行鉴定。仅少部分研究使用了形态学联合多基因分子生物学的方法进行鉴定(表1和表2)。

3 黄连属常见病害的发生与危害

3.1 病害症状

黄连叶部病害主要有茎点霉叶斑病、白粉病、炭疽病,其发病症状各有特点。

表 1 我国味连真菌病害发生情况

Table 1 Fungal diseases of *C. chinensis* in China

病害名 Disease name	危害部位 Affected part	病原 Pathogen	鉴定方法 Identification method	首次报道时间 First occurrence record	分布及参考文献 Distribution and reference
茎点霉叶斑病 Phoma leaf spot	L	楼梯菜茎点霉 <i>P. aquilegicola</i>	M+SG(ITS)	2014	重庆石柱 Shizhu, Chongqing ^[26] ; 湖北恩施 Enshi, Hubei ^[30]
白粉病 Powdery mildew	L, P, Rh	毛茛楼梯菜白粉菌 <i>Erysiphe aquilegiae</i> var. <i>ranunculi</i>	M	1991	湖北恩施 Enshi, Hubei ^[27] ; 重庆石柱 Shizhu, Chongqing ^[35] ; 重庆南川 Nanchuan, Chongqing ^[35]
		毛茛科白粉菌 <i>Erysiphe nitida</i>	M	2001	四川 Sichuan ^[33]
		蓼白粉菌 <i>Erysiphe polygnoi</i>	M	1982	重庆石柱 Shizhu, Chongqing ^[26] ; 陕西坪县 Pingxian, Shaanxi ^[36-37] ; 湖北黄冈 Huanggang, Hubei ^[38]
		<i>Erysiphe ranunculi</i>	CU	1986	中国 China ^[39]
		白粉菌 <i>Erysiphe</i> sp.	CU	2019	重庆石柱 Shizhu, Chongqing ^[40] ; 重庆南川 Nanchuan, Chongqing ^[40]
炭疽病 Anthracnose	L, P	博宁炭疽菌 <i>Colletotrichum boninense</i>	M+MG(ITS, GAPDH, ACT, CHS-1)	2020	重庆石柱 Shizhu, Chongqing ^[41] ; 湖北恩施 Enshi, Hubei ^[42]
		炭疽菌 <i>Colletotrichum</i> sp.	M	2008	重庆石柱 Shizhu, Chongqing ^[27] ; 湖北利川 Lichuan, Hubei ^[35]
		胶孢炭疽菌 <i>Colletotrichum gloeosporioides</i>	M	2011	四川 Sichuan ^[22]
壳针孢斑枯病 <i>Septoria</i> blotch	L	黄连壳针孢 <i>S. copitis</i> (syn. <i>Septoria copitis</i>)	CU	2003	中国 China ^[43]
烟煤病 Sooty mold disease	L, P	煤炱菌 <i>Capnodium</i> sp.	M	2011	四川 Sichuan ^[22]
镰刀菌根腐病 <i>Fusarium</i> root rot	R	腐皮镰刀菌 <i>F. solani</i>	M+MG	2014	重庆 Chongqing ^[26,44] ; 湖北利川 Lichuan, Hubei ^[45] ; 四川洪雅 Hongya, Sichuan ^[46]
		尖孢镰刀菌 <i>F. oxysporum</i>	M+SG(ITS)	2020	重庆石柱 Shizhu, Chongqing ^[13]
		三线镰刀菌 <i>F. tricinatum</i>	M+SG(ITS)	2020	重庆石柱 Shizhu, Chongqing ^[13]
		<i>F. carminascens</i>	M+MG(ITS, TEF1)	2020	重庆石柱 Shizhu, Chongqing ^[47]
		燕麦镰刀菌 <i>Fusarium avenaceum</i>	M+MG(ITS, EF-1 α , RPB2)	2021	重庆石柱 Shizhu, Chongqing ^[44] ; 四川洪雅 Hongya, Sichuan ^[46]
腐霉根腐病 <i>Pythium</i> root rot	R	大孢腐霉 <i>P. macrosporum</i>	M+SG(ITS)	2021	重庆 Chongqing ^[30]
土赤壳根腐病 <i>Ilyonectria</i> root rot	L, Rh	土赤壳菌 <i>I. robusta</i>	M+MG(ITS, EF-1 α , RPB2)	2023	重庆石柱 Shizhu, Chongqing ^[48]
		<i>Ilyonectria liligena</i>	M+SG(ITS)	2021	重庆 Chongqing ^[31]
		<i>Ilyonectria destructans</i>	M+SG(ITS)	2021	重庆 Chongqing ^[31]
间座壳根腐病 <i>Diaporthe</i> root rot	R	毁灭间座壳菌 <i>D. eres</i>	M+MG(ITS, Tef1- α , His3, Cal, Tub2)	2021	重庆石柱 Shizhu, Chongqing ^[32]
白绢病 Southern blight	Rh	齐整小核菌 <i>S. rolfsii</i> (syn. <i>Athelia rolfsii</i>)	M+MG(ITS, LSU)	1987	湖北利川 Lichuan, Hubei ^[26,49] ; 重庆石柱 Shizhu, Chongqing ^[50] ; 湖北鄂西 E'xi, Hubei ^[51]
紫纹羽病 Violet root rot	R	桑卷担菌 <i>H. mompa</i>	M	1987	湖北鄂西 E'xi, Hubei ^[25,52]

L: 叶 Leaf; P: 叶柄 Petiole; Rh: 根茎 Rhizome; R: 根 Root; M: 形态学 Morphology; SG: 单基因 Single-gene; MG: 多基因 Multi-gene; CU: 名录, 未说明, 代表该病害仅以名录形式报道, 未对病原鉴定方法详细说明 Catalog, unspecified, indicates that the disease has only been reported in a catalog or list, without detailed information on the pathogen identification methods; 下同 The same below.

茎点霉叶斑病:发病初期在叶片表面产生黑色小斑点,具黄色的晕圈,病斑逐渐扩大为椭圆形、圆形或者不规则的黑褐色病斑,严重时导致穿孔,最终叶片枯死^[28,53]。

黄连白粉病:初期叶背出现褪绿的黄色斑点,叶片表面出现白色粉层,随病斑不断扩大,病斑变为褐色,后期叶片表面出现黑色子囊壳^[54-55]。

黄连炭疽病:发病初期叶片表面呈水渍状不规则形病斑,后变成褐色至黑褐色,表面着生黑色颗粒物,病健部位分界明显。干燥环境病斑中心穿孔,潮湿环境条件下病部腐烂,发病严重时叶片枯死脱落^[41]。

黄连属根部病害发生后地下部分均表现出腐烂、变色等症状,地上部分叶片都出现萎蔫症状。

黄连镰刀菌根腐病:发病初期须根变为黑褐色,干枯。叶尖、叶缘出现紫红色不规则病斑,后颜色逐渐变为暗紫红色,叶片萎蔫。后期植株枯死,根部变黑褐色腐烂^[44,46]。

黄连白绢病:先感染植株根茎部,根茎变褐色,在土壤表面形成白色绢丝状菌丝。后期逐渐感染叶柄和叶片,叶柄、叶片也出现白色菌丝,植物湿腐部产生大量红褐色颗粒物,即为菌核。发病严重时,植株根茎和叶柄都呈水浸状病斑,叶片萎蔫,最后整株枯死^[50]。

黄连紫纹羽病:发病初期,主根和须根表面有白色至紫色的羽状菌丝,后期紫褐色菌丝形成膜状菌丝块或菌索,下部须根变黑,根茎腐烂仅剩黄色维管束。发病严重时须根全部脱落,导致整株死亡^[25]。

黄连腐霉根腐病:发病初期根部出现水渍状病斑,逐渐出现黑褐

表 2 其他种黄连真菌病害发生情况

Table 2 Occurrence of fungal diseases in other *Coptis* plant

病害名 Disease name	危害部位 Affected part	黄连寄主种类 Host species of <i>Coptis</i>	病原 Pathogen	鉴定方法 Identification method	首次报道时间 First occurrence record (year)	分布及参考文献 Distribution and reference
茎点霉叶斑病 Phoma leaf spot	L	格陵兰三叶黄连 <i>C. trifolia</i> var. <i>groenlandica</i>	草茎点霉 <i>P. herbarum</i>	CU	1967	丹麦格陵兰岛 Greenland, Denmark ^[16]
黑胫病 Phoma stem canker	P	<i>C. asplenifolia</i>	<i>L. modesta</i> (Phoma有性态 sexual stage of <i>Phoma</i>)	CU	1941	葡萄牙 Portugal ^[14]
白粉病 Powdery mildew	L, P, Rh	深裂日本黄连 <i>C. japonica</i> var. <i>dissecta</i>	稷斗菜白粉菌 <i>E. aquilegiae</i>	M	1986	日本 Japan ^[40]
炭疽病 Anthracnose	L, P	日本黄连原变种 <i>C. japonica</i> var. <i>japonica</i>	稷斗菜白粉菌 <i>E. aquilegiae</i>	M	1986	日本 Japan ^[39]
		云南黄连 <i>C. teeta</i>	壳皮炭疽菌 <i>C. crassipes</i>	M	2014	云南 Yunnan ^[33]
		三叶黄连 <i>C. trifolia</i>	炭疽菌 <i>Colletotrichum</i> sp.	M	2014	云南 Yunnan ^[34]
壳针孢叶斑病 <i>Septoria</i> blotch	L	三叶黄连 <i>C. trifolia</i>	束状炭疽菌 <i>C. dematium</i>	CU	1977	美国 America ^[20]
		<i>C. asplenifolia</i>	黄连壳针孢 <i>S. coptis</i>	CU	1953	美国 America
		西方黄连 <i>C. occidentalis</i>	黄连壳针孢 <i>S. coptis</i>	CU	1973	美国 America ^[21]
		三叶黄连 <i>C. trifolia</i>	黄连壳针孢 <i>S. coptis</i>	CU	1944	美国 America ^[15]
		格陵兰三叶黄连 <i>C. trifolia</i> var. <i>groenlandica</i>	黄连壳针孢 <i>S. coptis</i>	CU	1960	美国 America ^[18] 、加拿大 Canada ^[18]
叶点霉叶斑病 <i>Phyllosticta</i> leaf spot	L	黄连 <i>Coptis</i> sp.	黄连壳针孢 <i>S. coptis</i>	CU	1960	美国 America ^[18]
球腔菌叶斑病 <i>Mycosphaerella</i> leaf spot	L	三叶黄连 <i>C. trifolia</i>	叶点霉 <i>P. helleboricola</i> var. <i>coptidis</i>	CU	1953	美国 America ^[17]
		三叶黄连原变种 <i>C. trifolia</i> var. <i>trifolia</i>	叶点霉 <i>P. helleboricola</i> var. <i>coptidis</i>	CU	1967	美国 America ^[16]
		黄连 <i>Coptis</i> sp.	叶点霉 <i>P. helleboricola</i> var. <i>coptidis</i>	CU	1960	美国 America ^[18]
疫霉病 <i>Phytophthora</i> diseases	R	格陵兰三叶黄连 <i>C. trifolia</i> var. <i>groenlandica</i>	黄连球腔菌 <i>M. coptis</i>	CU	1960	美国 America ^[18] 、加拿大 Canada ^[19]
		日本黄连 <i>C. japonica</i>	柑橘褐腐疫霉 <i>P. citrophthora</i>	CU	1991	日本 Japan ^[23]

色水渍状软腐,最终根部完全腐烂,植株枯死^[30]。

黄连土赤壳根腐病:发病植株生长迟缓,活力减弱,叶片出现萎蔫。根部、根茎维管和表面出现棕色或黑色的病斑。发病后期叶片枯死,植株死亡^[48]。

黄连间座壳根腐病:发病植株生长发育不良,根部出现褐色或黑色腐烂坏死病斑^[44]。

3.2 黄连属病害发生规律

越冬是病害侵染循环中的重要环节,研究表明黄连白粉病病原菌在病株、病残体上以菌丝或黑色子囊壳越冬,为次年病害发生的主要初侵染源^[24]。环境条件适宜时,越冬菌丝萌发产生分生孢子,子囊壳射出子囊孢子,通过气流、雨水等传播途径侵染黄连植株。染病植株上的菌丝不断生长并产生分生孢子,成为再侵染的来源^[54-55]。白粉病一般在5月底至6月初开始发生,7至8月为盛发期,9月下旬为发病末期^[52]。此外,研究表明,黄连白粉病的发生还与荫蔽度、海拔、周围环境等有关,荫蔽度较大的棚内或壳斗科植物较多的林间,白粉病发生较重^[55];而海拔升高可降低白粉病发生率,海拔升高500 m,发病率下降了65.3%^[24,55]。

陈仕江等^[27]发现黄连炭疽病病原菌(*Colletotrichum* sp.)以菌丝体和分生孢子在叶片和病残体上越冬,其分生孢子主要通过雨水传播,气流起辅助作用。研究表明,分生孢子在黄连叶片上萌发长出芽管、附着孢及侵入丝,经过伤口、气孔或直接侵入叶片表皮形成发病中心,可反复侵染致病^[27,34]。黄连炭疽病发生较为普遍,每年4月开始发病,5-6月达到高峰^[27,56]。陈仕江等^[27]发现,在同一地区,炭疽病在荫蔽度大的棚内,发病较重;偏施氮肥时黄连炭疽病发病明显加重。

黄连根部病害主要为土传病害,多以休眠孢子、厚垣孢子、菌丝等休眠结构在土壤中越冬。黄连白绢病和紫纹羽病病原菌都是以菌核或菌索等变态菌丝结构在病残体和土壤中越冬。次年,白绢病菌核在高温高湿条件下萌发,经水流在田间传播,引起植株侵染;紫纹羽病以菌丝束在土壤中扩展,从根表面侵入致病^[25,57-58]。白绢病主要发生于夏秋两季,3~5年生的黄连发病较重,每年4月下旬至5月上旬开始发病,7-8月达到发病盛期,9月后开始下降^[52,58]。刘昌云等^[59]调查发现黄连根腐病病原菌镰刀菌(*Fusarium* spp.)长期存在于土壤中,条件适宜时侵染植株,可通过引种传播。镰刀菌根腐病,每年3-4月开始发病,5-7月为发病高峰期,9月后逐渐降低^[45]。

气候、海拔、植株年龄、栽培措施、坡度、土壤类型及周围生态环境等因素均对黄连根部病害的发生有重要影响。一般3~4年生黄连根部病害发生最为严重^[25,57,59]。高温高湿可加剧根腐病的发生^[19],而高海拔(>1500 m)可显著降低根腐病和白绢病发病率^[45,58]。施肥和轮作等农业措施也可有效降低根部病害的发生,轮作5年以上地块根部发病率不足4%^[25,58,60-61]。与其他环境相比生长在壤土、林缘灌木或山岭坡地等,白绢病的发病率较低^[58]。此外,土壤微生物区系及生理代谢的变化也会影响土传病害的发生。发病黄连根际土壤细菌种群丰富度和种群多样性都显著低于健康黄连^[62-63],在属水平上,病株土壤中镰刀菌属的相对丰度显著高于健株土样^[64]。土壤有机碳和过氧化氢酶活性的显著降低,也可能是黄连根腐病发生的一个诱因^[63]。

3.3 危害

黄连在受到病原菌侵染后,对其产量和品质都有影响。其中,根部病害相较叶部病害对黄连的危害更大。特别是镰刀菌根腐病,近年来在黄连各大产区流行,平均发病率为40%,严重地块发病率可达到90%,产量损失可达67%,甚至绝收^[60],经济损失为45万~60万元·hm⁻²^[31]。湖北地区紫纹羽病发生普遍,一般减产20%,严重时产量损失达50%~70%^[25]。而白绢病在田间一般发病率为5%~30%,严重时也可造成黄连大量减产^[50]。

黄连叶部病害中,茎点霉叶斑病危害较大,Yu等^[28]在石柱调查发现,该地区茎点霉叶斑病发病率为30%~100%,可使产量减少15%~75%。席中刚^[53]发现黄连茎点霉叶斑病在湖北省的发病面积和危害程度呈增加趋势,田间发病率在30%左右,可影响黄连根部质量。白粉病和炭疽病发生较为普遍,发生严重时发病率可分别达到70%和100%,两种病害都可造成黄连减产,白粉病可使产量损失10%~15%^[54-55],炭疽病可使产量损失10%~30%^[41]。

4 黄连病害的防治方法

4.1 化学防治

目前,化学防治是黄连真菌病害防治的最主要手段,特别是在病害大范围发生的形势下,化学防治具有速效性、高效性、成本低等优点。生产上主要以一些常见广谱性的杀菌剂进行防治,包括代森锌、多抗霉素、苯醚甲环唑、甲基硫菌灵、吡唑醚菌酯、多菌灵、粉锈宁、多硫化钡、代森锰锌、福美双、噁霉灵、三唑酮甲基托布津、苯醚甲环唑、戊唑醇等多种化学药剂。其中噁霉灵和代森锰锌单独或与其他药剂配比使用都对根部病害具有较好的防治效果^[61,65]。根部病害的防治可采用先灌根后施药的方法,其防治效果优于先施药后灌根^[66]。苯醚甲环唑、甲基硫菌灵、多菌灵等对黄连叶部病害具有较好的防治效果,防效均在80%以上^[27,30,55]。但化学药剂的大量使用不仅容易诱发病原产生抗药性,还易导致中药材农药残留,威胁用药安全。

4.2 农业防治

正确的农业措施是防控黄连病害的基础,植株年龄、海拔、气候、栽培措施、坡度、土壤类型及周围生态环境等都对黄连病害具有重要影响。根据黄连生长特性可选择海拔在1300 m以上、坡度在30°左右的林地或山岭坡地,土层深厚,灌排水良好,且疏松肥沃,富含腐殖质的壤土或紫红泥土作为栽培地^[24,45,55,58,61]。栽种前可对土地进行深翻,结合晒垄和撒施生石灰,对土壤进行消毒,能有效防止病害的发生。选择抗病品种、合理搭建遮阴篷、施肥、除草、轮作既有利于黄连的生长发育,又能抑制有害生物的发生和为害。化肥、除草剂的长期过度使用可导致土壤酸化板结、有机质含量下降,有利于根腐病的发生^[45],可以采用有机肥替代化肥、转变施肥方式等措施,促进化肥减施。也可以根据病害的发病进展和黄连长势调整施肥比例,来控制病害的发展和增强黄连植株抗病性^[25,27,45,47,66]。黄连收获后,及时清园、翻耕,以减少病原菌的初侵染来源。

4.3 生物防治

生物防治是病害绿色防控的重要技术措施,具有安全、环保等优点。黄连病害的生物防治目前尚处于起步阶段,主要集中在生防微生物的筛选,如:黄连根际土壤中拮抗菌的筛选,马琳^[50]和Tang等^[67]分别筛选出菌株TV-2(*Trichoderma viride*)和菌株LT1(*Bacillus velezensis*)对白绢病都具有较好的防效。席中刚^[53]筛选出菌株ES-89伯克霍尔德氏菌(*Burkholderia* sp.)对黄连叶斑病病原菌表现出很好的防病效果和应用前景。而在黄连内生菌的研究中,廖海浪等^[46]从健康黄连根系中分离筛选出拮抗细菌58株,拮抗真菌19株,其中4株芽孢杆菌对腐皮镰刀菌和燕麦镰刀菌具有明显的拮抗作用。Mei等^[68]筛选得到的菌株Y9(*Bacillus cereus*)单独或与绿色木霉(*Trichoderma harzianum*)、深绿木霉(*Trichoderma atroviride*)和解淀粉芽孢杆菌(*Bacillus amyloliquefaciens*)组合使用,在田间和体外试验中均表现出对尖孢镰刀菌根腐病有良好的防效。但目前关于它们如何通过产生抗菌物质发挥作用,如何诱导植物产生防御反应,竞争营养方式等还未展开系统研究,尚未开发出有效的生防制剂。

5 问题与展望

黄连真菌病害的研究存在如下问题:1)目前关于黄连属病害的研究我国主要集中在种植面积最广、中药用量最大的味连,国外主要集中在当地药用较多的三叶黄连和*C. asplenifolia*。其他种黄连因栽培和使用较少,病害发生情况鲜有报道。2)病害研究深度不够,缺少系统性研究。国内外文献书籍记载了黄连真菌病害,但大多以植物一病原物的形式记录,缺少田间病害发生率、病情指数、造成黄连产量损失等数据,缺少病害症状、病原物菌落和形态学描述,有关病害对品质和药用有效成分的影响也鲜有研究。3)已报道的真菌病害文献较老,病原真菌鉴定不够准确,病原真菌主要依靠形态学鉴定,缺少分子生物学和其他鉴定方法的支持。4)缺乏抗病品种,目前还未开展抗病品种的选育。

今后研究中,1)应积极开展黄连属其他种黄连的病害调查研究,建立黄连属病害图谱。2)对已报道的病害,结合田间发病症状、流行规律、病原菌生物学特性、致病机制等进行系统研究,以提高黄连病害的诊断识别能力,为制定安全、高效的防治策略奠定基础。同时,开展病害对药用有效成分影响的相关研究,可采用HPLC-MS结合转录组学方法,定量分析病一健株差异代谢物,建立病原菌侵染强度与有效成分含量的剂量一效应模型,为病

害防治阈值制定和优质药材生产提供科学依据。3)在鉴定真菌病原物时,需结合形态学与分子生物学进行鉴定,还可以利用基因组学、血清技术、免疫测定试剂盒等新的鉴定技术,明确病原菌的分类地位和潜在致病基因,利用特异性抗体实现田间快速检测,为早期诊断和精准防控提供技术支持。4)黄连病害的防治中不是仅限于单一的防治策略,而是应将研究抗病新品种、化学防治、物理防治、农业管理措施等相结合,形成综合防治策略,实现对黄连病害的长期有效管理。总之,未来黄连属病害的研究应更加注重技术创新、机制研究、综合防治策略的构建,以实现黄连生产的绿色可持续发展。

参考文献 References:

- [1] Wang A Q, Yuan Q J, Guo N, *et al.* Research progress on medicinal resources of *Coptis* and its isoquinoline alkaloids. *China Journal of Chinese Materia Medica*, 2021, 46(14): 3504–3513.
王安琪, 袁庆军, 郭宁, 等. 黄连属药用资源及其异喹啉生物碱的研究进展. *中国中药杂志*, 2021, 46(14): 3504–3513.
- [2] Zheng C. The phylogeny and taxonomy of the genus *Coptis* Salisb. Nanchang: Jiangxi Agricultural University, 2022.
郑琛. 黄连属植物系统发育及分类修订. 南昌: 江西农业大学, 2022.
- [3] Willson M F, Ellen M A. Natural history of fern-leaf goldthread (*Coptis asplenifolia*) in Juneau, Alaska. *Northwest Science*, 2007, 81(2): 163–165.
- [4] Liu J, He Z W. Rationale and problems for use of *Coptis* and berberine in cancer chemoprevention. *North American Journal of Medicine and Science*, 2008, 1(1): 38–43.
- [5] Li X K, Wu S D, Yu S X, *et al.* The first comprehensive phylogeny of *Coptis* (Ranunculaceae) and its implications for character evolution and classification. *PLoS One*, 2016, 11(4): e0153127.
- [6] Xiong F Y, Ma Y T, Yan Z Y, *et al.* The present research situation of conservation biology on plants of *Coptis* in China. *Pharmacy and Clinics of Chinese Materia Medica*, 2011, 2(1): 11–14.
熊飞宇, 马云桐, 严铸云, 等. 国产黄连属植物的保护生物学研究现状. *中药与临床*, 2011, 2(1): 11–14.
- [7] Wang Y H. A new species of *Coptis* was discovered by academician Huang Luqi's team in the national survey traditional Chinese medicine resources. *Journal of Traditional Chinese Medicine Management*, 2022, 30(23): 137.
汪奕衡. 黄璐琦院士团队在全国中药资源普查中发现黄连属新物种. *中医药管理杂志*, 2022, 30(23): 137.
- [8] Chinese Pharmacopoeia Commission. *Pharmacopoeia of the People's Republic of China*. Beijing: China Medical Science Press, 2020: 216–217.
国家药典委员会. *中华人民共和国药典*. 北京: 中国医药科技出版社, 2020: 216–217.
- [9] Zhang Y, Yang Y F, Wu H Z. Botanical identification of *Coptis*. *China Pharmacy*, 2021, 32(13): 1634–1638.
张莹, 杨艳芳, 吴和珍. 黄连的本草考证. *中国药房*, 2021, 32(13): 1634–1638.
- [10] Lei Y, Linghu K N, Wang H D, *et al.* Research progress on content and influencing factors of main active ingredients of *Coptis chinensis*. *Guizhou Agricultural Sciences*, 2024, 52(10): 107–115.
雷雨, 令狐克念, 王浩东, 等. 黄连主要活性成分含量及影响因素研究进展. *贵州农业科学*, 2024, 52(10): 107–115.
- [11] Wu X H, Xun S J, Wu W X, *et al.* Research progress on chemical constituents and pharmacological effects of *Coptidis rhizoma*. *Acta Chinese Medicine and Pharmacology*, 2024, 52(7): 110–116.
武鑫华, 荀思佳, 吴文轩, 等. 黄连的化学成分及药理作用研究进展. *中医药学报*, 2024, 52(7): 110–116.
- [12] Hu J. *Molecular systematics and conservation genetics of medicinal Coptis*. Beijing: China Academy of Chinese Medical Sciences, 2010.
胡娟. 药用黄连的分子系统学和保护遗传学研究. 北京: 中国中医科学院, 2010.
- [13] Wu X L, Wang Y, Liu F, *et al.* Identification of *Coptis chinensis* root rot disease pathogenic *Fusarium* spp. fungi. *China Journal of Chinese Materia Medica*, 2020, 45(6): 1323–1328.
伍晓丽, 王钰, 刘飞, 等. 黄连根腐病镰刀菌属病原真菌鉴定. *中国中药杂志*, 2020, 45(6): 1323–1328.
- [14] Unamuno P L. Enumeration and geographical distribution of the Ascomycetos of the Iberian Peninsula and the Balearic Islands. Madrid: Royal Academy of Exact Sciences, 1941.
- [15] Greene H C. Notes on Wisconsin parasitic fungi. V. Wisconsin: Transactions of the Wisconsin Academy of Science, 1944, 36: 225–268.
- [16] Connors I L. An annotated index of plant diseases in Canada and fungi recorded on plants in Alaska, Canada and Greenland. Canada: Research Branch, Canada Department of Agriculture, 1967, 1251: 1–381.

- [17] Cash E K. A check list of Alaskan fungi. Alaska: Plant Disease Reporter Supplement. 1953, 219: 1—70.
- [18] Anonymous. Index of plant diseases in the United States. United States: United States Department of Agriculture Agricultural Handbook, 1960: 1—531.
- [19] Ginns J H. Compendium of plant disease and decay fungi in Canada 1960—1980. Ottawa: Research Branch Canadian Department of Agriculture, 1986: 416.
- [20] Cooke W B. The 1973 Massachusetts foray. Mycologia, 1977, 69(6): 1226—1231.
- [21] Shaw C G. Host fungus index for the Pacific Northwest. I. Hosts. Washington State University: Washington Agricultural Experimental Station Bulletin, 1973: 121.
- [22] Yu X, Wang S L, Sun C P, *et al.* Research of the etiology of Emei *Coptis chinensis* and the control. Guide of Chinese Medicine, 2011, 9(7): 6—8.
余弦, 王书林, 孙翠萍, 等. 峨眉地区黄连的地方病因及其防治技术研究. 中国医药指南, 2011, 9(7): 6—8.
- [23] Oudemans P, Coffey M D. A revised systematics of twelve papillate *Phytophthora* species based on isozyme analysis. Mycological Research, 1991, 95: 1025—1046.
- [24] Li D Y. Survey of the damage of powdery mildew of *Coptis chinensis* in Shizhu. Journal of Chinese Medicinal Materials, 1982(5): 8—9.
李代永. 石柱黄连白粉病为害情况调查. 中药材科技, 1982(5): 8—9.
- [25] Wei Y D, Zhao C S, Huang J B, *et al.* Preliminary investigation of *Helicobasidium mompa* of *Coptis chinensis*. Hubei Agricultural Sciences, 1987(11): 17—18.
卫扬斗, 赵纯森, 黄俊斌, 等. 黄连紫纹羽病的初步调查. 湖北农业科学, 1987(11): 17—18.
- [26] Luo J G, Zhou M F. Biological characteristics of the pathogen of *Coptis chinensis* and the inhibitory effect of pesticides on the pathogen. Hubei Agricultural Sciences, 1987(12): 19—21.
罗俊国, 周茂繁. 黄连白绢病病菌生物学特性及药物对病菌的抑制作用. 湖北农业科学, 1987(12): 19—21.
- [27] Chen S J, Zhang D L, Xu J H, *et al.* Studies on the occurrence and control of *Coptis colletotrichum*. Hubei Agricultural Sciences, 2008, 47(11): 1291—1293.
陈仕江, 张德利, 徐敬辉, 等. 黄连炭疽病的发生规律及药剂防治试验. 湖北农业科学, 2008, 47(11): 1291—1293.
- [28] Yu Y, Su Z C, Tan W Z, *et al.* First report of a leaf spot on goldthread (*Coptis chinensis*) caused by *Phoma aquilegicola* in China. Plant Disease, 2014, 98(10): 1428.
- [29] Luo X M, Li J L, Dong J Y, *et al.* First report of *Fusarium solani* causing root rot on *Coptis chinensis* in Southwestern China. Plant Disease, 2014, 98(9): 1273.
- [30] Wu X L, Chen D X, Liu F, *et al.* Identification of the *Pythium* pathogen responsible for root rot of *Coptis chinensis*. Journal of Southwest University (Natural Science Edition), 2021, 43(6): 37—43.
伍晓丽, 陈大霞, 刘飞, 等. 黄连根腐病病原菌鉴定. 西南大学学报(自然科学版), 2021, 43(6): 37—43.
- [31] Wu X L, Chen D X, Liu F, *et al.* Identification of *Coptis chinensis* root rot disease pathogenic fungi belonging to *Ilyonectria* spp. Southwest China. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2021, 34(2): 299—305.
伍晓丽, 陈大霞, 刘飞, 等. 黄连根腐病土赤壳属病原真菌的鉴定. 西南农业学报, 2021, 34(2): 299—305.
- [32] Mei P Y, Song X H, Zhu Y Z, *et al.* First report of *Diaporthe eres* causing root rot of *Coptis chinensis*. Plant Disease, 2021, 105(6): 1854.
- [33] Zhao Z L, Zhang Z H, Yang W Z, *et al.* Identification of anthracnose pathogen of *Coptis teeta*, *Thalictrum*, *Tupistra chinensis* in Yunnan. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2014, 27(4): 1543—1546.
赵振玲, 张智慧, 杨维泽, 等. 云南黄连、唐松草、开口箭炭疽病病原的初步鉴定. 西南农业学报, 2014, 27(4): 1543—1546.
- [34] Bi Y Q, Zhao Z L. Identification and control of *Colletotrichum* of *Coptis teeta*. Yunnan Agricultural Science and Technology, 2018(S1): 87—88.
毕云青, 赵振玲. 云南黄连炭疽病病原菌鉴定及其防控措施. 云南农业科技, 2018(S1): 87—88.
- [35] Deng X S, Wang W X. Cultivation techniques of *Coptis chinensis* in Lichuan. Rural Practical Technology, 2020(3): 52.
邓宣胜, 王文希. 利川黄连栽培技术要点. 农村实用技术, 2020(3): 52.
- [36] Yang G, Zhang H. Control of *Coptis chinensis* by five kinds of pesticides. Journal of Chinese Medicinal Materials, 1990, 18(3): 10.
杨高, 张海. 五种农药对黄连白粉病的防治. 中药材, 1990, 18(3): 10.

- [37] Zhang H, Yi Y H, Yang G. Effect of five pesticides and non-toxic high-lipid membrane on powdery mildew of *Coptis chinensis*. *Agrochemicals*, 1990, 29(5): 56.
张海, 易永华, 杨高. 五种农药及无毒高脂膜对黄连白粉病的防效. *农药*, 1990, 29(5): 56.
- [38] Zhang G H, Guo H J, Huang Y, *et al.* The occurrence and control of powdery mildew of *Coptis chinensis*. *Modern Agricultural Science and Technology*, 2007(20): 85.
张国华, 郭汉玖, 黄燕, 等. 黄连白粉病的发生与防治. *现代农业科技*, 2007(20): 85.
- [39] Amano K. Host range and geographical distribution of the powdery mildew fungi, Tokyo: Japan Scientific Societies Press, 1986: 741.
- [40] Zhang Y Z, Shen J, Ding Z H, *et al.* Investigation and analysis of related factors of powdery mildew of *Coptis chinensis* in Chongqing. *Plant Doctor*, 2019, 32(2): 12–16.
张永至, 申杰, 丁振华, 等. 重庆黄连白粉病发病相关因素调查分析. *植物医生*, 2019, 32(2): 12–16.
- [41] Ding H X, Cheng H H, Li J Y, *et al.* First report of *Colletotrichum boninense* causing anthracnose on goldthread (*Coptis chinensis*) in China. *Plant Disease*, 2020, 104(5): 1538.
- [42] Wang Z Q, Pan Z Q, Zhang S, *et al.* Identification and biological characteristics of the pathogen causing anthracnose on goldthread in Hubei Province. *Hubei Agricultural Sciences*, 2020, 59(24): 117–121.
王佐乾, 潘竹青, 张舒, 等. 湖北省黄连炭疽病的病原鉴定及其生物学特性. *湖北农业科学*, 2020, 59(24): 117–121.
- [43] Bai J, Lu G Z, Sun J D, *et al.* *Flora fungorum sinicorum*. Vol. 17. Sphaeropsidales: Ascochyta: Septoria. Beijing: Science Press, 2003.
- [44] Mei P Y, Song X H, Zhu Y Z, *et al.* First report of root rot caused by *Fusarium avenaceum* on *Coptis chinensis* in Chongqing, China. *Plant Disease*, 2021, 105(2): 496.
- [45] Sun Z W, Sun A, Zhu W H, *et al.* Occurrence regularity and comprehensive control suggestions of *Coptis chinensis* root rot in Lichuan City. *Hubei Plant Protection*, 2023(1): 59–60, 69.
孙泽万, 孙媛, 朱万辉, 等. 利川市黄连根腐病发病规律及综合防治建议. *湖北植保*, 2023(1): 59–60, 69.
- [46] Liao H L, Zhong F R, Ke W J, *et al.* Isolation and identification of the pathogen of *Coptis chinensis* and screening of antagonistic microorganism. *Chinese Journal of Antibiotics*, 2022, 47(9): 900–912.
廖海浪, 钟芙蓉, 柯汶佳, 等. 黄连根腐病病原菌的分离鉴定及其拮抗菌筛选. *中国抗生素杂志*, 2022, 47(9): 900–912.
- [47] Cheng H H, Yang F, Gao J, *et al.* Identification and fungicides sensitivity of pathogen causing root rot of goldthread. *Acta Phytopathologica Sinica*, 2020, 50(3): 377–380.
程欢欢, 杨芳, 高晋, 等. 黄连根腐病病原鉴定及其对杀菌剂敏感性测定. *植物病理学报*, 2020, 50(3): 377–380.
- [48] Lyu H, Wu X L, Wang Y, *et al.* First report of *Ilyonectria robusta* causing root rot on *Coptis chinensis* in Chongqing, China. *Plant Disease*, 2023, 107(7): 2258.
- [49] Wang F F, Tang T, He Y, *et al.* Identification, biological characterisation, and fungicides screening of pathogen causing southern blight of *Coptis chinensis* in Lichuan city. *Acta Phytopathologica Sinica*, 2023, 53(5): 789–795.
王帆帆, 唐涛, 何瑜, 等. 引起利川市黄连白绢病的病原菌鉴定、生物学特性研究及药剂筛选. *植物病理学报*, 2023, 53(5): 789–795.
- [50] Ma L. Study on biological characters of *Sclerotium rolfsii* and integrated control of *Coptis chinensis* southern blight. Chengdu: Sichuan Agricultural University, 2010.
马琳. 黄连白绢病病原菌 *Sclerotium rolfsii* 生物学特性及综合防治的研究. 成都: 四川农业大学, 2010.
- [51] Wei Y D, Zhu Z D, Zhou M F. The interaction between antimicrobial activity of alkaloids and the pathogenesis of *Sclerotium rolfsii* Sacc. *Acta Phytopathologica Sinica*, 1990, 20(4): 59–64.
卫扬斗, 朱振东, 周茂繁. 生物碱的抑菌特性与黄连白绢病致病性关系的研究. *植物病理学报*, 1990, 20(4): 59–64.
- [52] Huang J B, Zhao C S, Wei Y D, *et al.* Study on three important diseases *Coptis chinensis*. *Hubei Plant Protection*, 1998(4): 10–11.
黄俊斌, 赵纯森, 卫扬斗, 等. 三种重要黄连病害的初步研究. *湖北植保*, 1998(4): 10–11.
- [53] Xi Z G. Studies on etiology and control of leaf spot of *Coptis chinensis*. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2017.
席中刚. 黄连叶斑病病原学及防治技术研究. 武汉: 华中农业大学, 2017.
- [54] Huang J B, Zhao C S, Wei Y D, *et al.* Regularity and control of powdery mildew of *Coptis chinensis*. *Hubei Agricultural Science*, 1991(5): 30–31.
黄俊斌, 赵纯森, 卫扬斗, 等. 黄连白粉病的发生规律与防治方法. *湖北农业科学*, 1991(5): 30–31.

- [55] Zhu D J, Zhang D L, Chen S J, *et al.* Study on regularity and control of powdery mildew of *Coptis chinensis*. Journal of Chinese Medicinal Materials, 2008, 31(12): 1780–1781.
朱道静, 张德利, 陈仕江, 等. 黄连白粉病发生规律及防治方法研究. 中药材, 2008, 31(12): 1780–1781.
- [56] Mo W D, Fang Q, Cheng H H, *et al.* Pathogen identification of anthracnose on *Coptis chinensis* and its sensitivity to fungicides. Journal of Mountain Agricultural and Biology, 2022, 41(1): 28–33.
莫维弟, 方茜, 程欢欢, 等. 黄连炭疽病病原鉴定及其对杀菌剂敏感性测定. 山地农业生物学报, 2022, 41(1): 28–33.
- [57] Du Y X, Jiang J Y, Xu Y, *et al.* Progress in studies and control strategies for diseases of *Coptis chinensis*. China Journal of Chinese Materia Medica, 2021, 46(5): 1067–1072.
杜用玺, 蒋靖怡, 徐扬, 等. 黄连常见病害研究进展与防治策略. 中国中药杂志, 2021, 46(5): 1067–1072.
- [58] Yin F J, Zeng W, Qu X Y, *et al.* Investigation of *Sclerotium rolfsii* in *Coptis chinensis* Franch in Shizhu County and analysis of its affecting factors. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2009, 37(22): 10551–10553.
银福军, 曾伟, 瞿显友, 等. 石柱黄连白绢病调查及影响因子分析. 安徽农业科学, 2009, 37(22): 10551–10553.
- [59] Liu C Y, Zhang Y Z, Shen J, *et al.* Analysis of pathogenic factors of *Coptis chinensis* root rot and screening of pesticides for its control. Plant Doctor, 2019, 32(4): 24–27.
刘昌云, 张永至, 申杰, 等. 黄连根腐病发病因素分析及防治药剂筛选. 植物医生, 2019, 32(4): 24–27.
- [60] Zhang D L, Yin F J, Zeng W. Effects of N, P and K fertilizer on sclerotial formation and germination of southern blight of *Coptis chinensis*. Chinese Traditional and Herbal Drugs, 2011, 42(6): 1210–1212.
张德利, 银福军, 曾伟. 氮、磷、钾肥对黄连白绢病菌核形成和萌发的影响. 中草药, 2011, 42(6): 1210–1212.
- [61] Yang C Q, Yu Z L, Yang J, *et al.* Ecological factors and control strategies of root rot of *Coptis chinensis* in Shizhu County, Chongqing City. Plant Protection, 2020, 46(5): 160–166.
杨成前, 余中莲, 杨娟, 等. 石柱黄连根腐病发生的相关生态因子及防治对策. 植物保护, 2020, 46(5): 160–166.
- [62] Tang T, Yuan B, Wang F F, *et al.* Relationships between the occurrence of root rot and changes in the community structure of rhizosphere soil bacterial, rhizome and leaf endophytic bacterial of *Coptis chinensis*. Plant Protection, 2022, 48(1): 73–81, 103.
唐涛, 袁斌, 王帆帆, 等. 黄连根腐病发生与根际土壤、根茎内生、叶内生细菌群落结构变化关系. 植物保护, 2022, 48(1): 73–81, 103.
- [63] Song X H, Wang Y, Li L Y, *et al.* Research on bacteria microecology in root rot rhizosphere soil of *Coptis chinensis* produced in Shizhu City. China Journal of Chinese Materia Medica, 2017, 42(7): 1304–1311.
宋旭红, 王钰, 李隆云, 等. 石柱黄连根腐病根际土壤细菌微生物生态研究. 中国中药杂志, 2017, 42(7): 1304–1311.
- [64] Song X H, Tan J, Li L Y, *et al.* Illumina high-throughput sequencing reveals fungal community composition and diversity in root rot of *Coptis chinensis* in rhizosphere soil. Chinese Traditional and Herbal Drugs, 2018, 49(22): 5396–5403.
宋旭红, 谭均, 李隆云, 等. Illumina高通量测序揭示黄连根腐根际土壤真菌群落组成及多样性. 中草药, 2018, 49(22): 5396–5403.
- [65] Ma L, Yin F J, Zeng W, *et al.* Biological characteristics of *Sclerotium rolfsii* in *Coptis chinensis* Franch and screening on its controlling fungicides. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2009, 37(34): 16905–16908, 16932.
马琳, 银福军, 曾伟, 等. 黄连白绢病生物学特性及防治药剂的筛选. 安徽农业科学, 2009, 37(34): 16905–16908, 16932.
- [66] Zhang D L, Yin F J, Zeng W. The effect of chemical fertilizers on mycelial growth of southern blight of *Coptis chinensis*. Anhui Agricultural Science Bulletin, 2009, 15(5): 178, 201.
张德利, 银福军, 曾伟. 化学肥料对黄连白绢病菌丝生长的影响. 安徽农学通报, 2009, 15(5): 178, 201.
- [67] Tang T, Wang F F, Huang H Y, *et al.* *Bacillus velezensis* LT1: a potential biocontrol agent for southern blight on *Coptis chinensis*. Frontiers in Microbiology, 2024, 15: 1337655.
- [68] Mei P Y, Dou T, Song X H, *et al.* Control of *Coptis* root rot by combination of *Bacillus cereus* isolate Y9 and other antagonistic microorganisms. Journal of Plant Pathology, 2024, 106(3): 1–15.

