

DOI:10.11686/cyxb2025293

<http://cyxb.magtech.com.cn>

高峰. 苦参白粉病的菌源研究. 草业学报, 2026, 35(7): 217—227.

GAO Feng. A study of sources of powdery mildew on kushen. Acta Prataculturae Sinica, 2026, 35(7): 217—227.

苦参白粉病的菌源研究

高峰*

(甘肃农业职业技术学院园林与建筑学院, 甘肃 兰州 730030)

摘要:苦参是我国重要的中药材和植物源农药材料,因野生苦参人工挖掘利用而日益减少,人工栽培苦参势在必行。白粉病是兰州地区苦参栽培中最主要的病害,因导致叶片脱落成为苦参栽培的主要限制因素。然而,该病害的病原菌来自周围其他植物还是从外地传播而来尚未查明,制约了防治策略的制定。为厘清此问题,本研究调查了苦参栽培环境中所有栽培植物白粉病的发生情况,对已发生的各白粉病,比较研究了症状、病原和白粉的重寄生菌。结果发现,苦参白粉病的病原菌不同于周围其他 8 种植物白粉病的病原菌,而确定菌源并非来自周围其他植物而是来自外地。尽管苦参白粉病的病原与白三叶、沙打旺、豇豆、蒲公英白粉病的病菌无性态均为粉孢属,但无性态孢子的大小和形状不同,苦参白粉病的病原未产生有性态,而其他 4 种植物白粉病的病菌均产生了有性态,其中,白三叶和沙打旺为豌豆白粉菌,豇豆的菌无性态为蓼白粉菌,蒲公英为棕丝单囊壳。苦参白粉病的病原与辣椒、番茄、臭椿、田旋花 4 种植物白粉病病菌的无性态截然不同,其中,辣椒和番茄白粉病的病菌无性态为拟白粉孢,产生的有性态为鞣鞣内丝白粉菌,臭椿白粉病的病菌无性态为拟小卵孢属,产生的有性态为臭椿球针壳,田旋花白粉病的病菌有性态为双叉旋花白粉菌。以上 9 种植物白粉病的霉层上均有白粉重寄生菌,但重寄生菌的种类无差异,均为白粉寄生孢,本研究首次报道苦参白粉菌为白粉寄生孢的新寄主。

关键词:苦参;苦参碱;植物源杀虫剂;白粉病;重寄生菌

A study of sources of powdery mildew on kushen

GAO Feng*

School of Landscape Architecture and Architecture, Gansu Vocational College of Agriculture, Lanzhou 730030, China

Abstract: Kushen (*Sophora flavescens*) is an important traditional Chinese medicinal herb and a source of botanical pesticides in China. Due to the increasing depletion of wild kushen caused by human harvesting, cultivation of this plant has become imperative. However, powdery mildew, the most severe disease affecting cultivated kushen in Lanzhou, causes leaf fall and has become a major limiting factor in its cultivation. The origin of the powdery mildew pathogen affecting kushen-whether it originates from surrounding plants or has been introduced from outside the region-remains unclear, hindering the development of effective control strategies. To address this issue, this study investigated the occurrence of powdery mildew on all cultivated plants in the kushen growing environment. The symptoms, pathogens, and mycoparasites of the various powdery mildews were compared. The results revealed that the pathogen causing powdery mildew on kushen differs from those affecting eight other surrounding plants, confirming that the source of the kushen powdery mildew is not local but introduced from outside the region. Although the anamorphic stage of the kushen powdery mildew pathogen, like those of white clover (*Trifolium*

收稿日期:2025-07-15;改回日期:2025-09-01

基金项目:甘肃省教育科技创新项目(20228-363)资助。

作者简介:高峰(1974—),女,甘肃永登人,硕士。E-mail: fenggao74@163.com

* 通信作者 Corresponding author. E-mail: fenggao74@163.com

repens), standing milk-vetch (*Astragalus adsurgens*), cowpea (*Vigna unguiculata*), and dandelion (*Taraxacum mongolicum*), belongs to the genus *Oidium*, differences were observed in the size and shape of the conidia. The kushen powdery mildew pathogen did not produce a teleomorph, whereas the pathogens of the other four plants did. The teleomorph of the white clover and standing milk-vetch powdery mildew pathogens was identified as *Erysiphe pisi*, that of cowpea as *Erysiphe polygoni*, and that of dandelion as *Sphaerotheca fusca*. In contrast, the anamorphic stage of the kushen powdery mildew pathogen was distinctly different from those of pepper, tomato, tree-of-heaven (*Ailanthus altissima*), and field bindweed (*Convolvulus arvensis*). The anamorph of the pepper (*Capsicum annuum*) and tomato (*Lycopersicon esculentum*) powdery mildew pathogens was *Oidiopsis taurica*, with *Leveillula taurica* as the teleomorph. The anamorph of the tree-of-heaven powdery mildew pathogen was an *Ovulariopsis* sp., with *Phyllactinia corylea* as the teleomorph. The anamorph of the field bindweed powdery mildew pathogen produced a teleomorph identified as *Erysiphe convolvuli* var. *dichotoma*. All nine powdery mildews were found to be parasitized by mycoparasites, with no differences in the species identified—all were *Ampelomyces quisqualis*. This study is the first to report kushen powdery mildew as a new host for *A. quisqualis*.

Key words: *Sophora flavescens*; radix sophora alkaloids; botanical insecticide; powdery mildew; hyperparasite fungus

苦参(*Sophora flavescens*)为豆科槐属多年生亚灌木,高1~2 m,除青海和新疆之外的全国其他各省区均有分布,在印度、日本、朝鲜、俄罗斯西伯利亚地区也有分布。苦参生长于海拔1500 m以下的山坡、沙地、草坡、灌木林或田野^[1]。从内蒙古、江苏、浙江、湖南、河南各1地和山西3地采集的苦参染色体均为二倍体,染色体18条,但核型聚类为两大类^[2]。张涛等^[3]分析了苦参的地理分布点并结合19项生态因子,发现全球气候变暖对苦参潜在分布区具有一定的负面影响,造成苦参的适宜生境缩减、实际生态位变窄,一定程度上不利于苦参的生长,况且,野生的苦参因过度采挖而逐渐减少,因此,人工种植苦参是其可持续应用的主要途径。近年来,苦参已在内蒙古^[4]、河北^[5]、甘肃^[6]、辽宁^[7]等多省区栽培。我国认定的河北安国、安徽亳州、广西玉林等17个中药材专业市场中,据《中国中药材种业发展报告(2022)》^[8]记载,仅河北安国中药材市场和内蒙古赤峰市中药材市场主营的中药材种子种苗种类里有苦参,其中,安国市场2019—2021年的年销售量从30 t上升至60 t,赤峰市场2021年销售苦参种子200 t,种植2000 hm²,年销售收入400万元,但尚未育成苦参新品种。《中国中药产业发展报告(2024):药材饮片》^[9]中列出了全国已获GAP认证的中药材名录,其中,山西振东制药股份有限公司认证经营苦参。

苦参为我国重要中药材,以根入药,具有清热解毒、抗菌消炎、治疗湿热等功效^[10–12]。已知苦参含有20多种化学物质,其中最主要的活性物质为苦参碱和氧化苦参碱^[13–17]。苦参碱注射剂用于治疗慢性肝炎,可使慢性迁延性肝炎、慢性活动性肝炎患者的谷丙转氨酶及胆红素恢复正常。从苦参根中提取的异戊烯基黄酮等11种化合物对人乳腺鳞状癌HCC1806细胞、人乳腺癌MCF-7细胞、宫颈癌HeLa细胞、肺癌A549细胞、人肝癌HepG2细胞的体外抑制活性均较强,可望开发为抗肿瘤药物^[18]。在农业上,从苦参中提取的苦参总碱已开发为生物源农药,广泛用于防治多种作物的病虫害,如,0.3%苦参碱水剂可防治蚜虫、稻飞虱、蓟马、温室白粉虱(*Trialeurodes vaporariorum*)等十几种农业害虫,也可防治番茄灰霉病(*Botrytis cinerea*)、柑橘树溃疡病(*Xanthomonas campestris* pv. *citri*)、水稻条纹叶枯病(rice stripe *Tenuivirus*, RSV)、梨树黑星病(*Venturia nashicola*)、黄瓜霜霉病(*Pseudoperonospora cubensis*)、葡萄霜霉病(*Plasmopara viticola*)等农业病害^[19–21]。此外,苦参碱还具有提高植物光合作用和叶绿素含量,补充营养、增强免疫力,促进生根、生长,美化果面等多种效果。

尽管苦参自身含有多种生物碱,具有一定的抵抗病虫害作用。然而,苦参栽培过程中并不能避免一些病虫害的发生。高峰等^[22]于2010年首次报道了栽培于甘肃省兰州市的苦参新病害——白粉病(*Oidium* sp.),此前我国尚无记载,此病于7月下旬开始发病,9月中旬达发病高峰,发病率最高达96.4%,造成苦参叶片提早干枯、脱落,是苦参最严重的一种病害,2010年我国报道的病害有苦参叶点霉(*Phyllosticcta sophoricola*)^[23]、苦参锈病

(*Uromyces sophorae-flavescentis*)^[24]、苦参尾孢叶斑病(*Cercospora sophorae*)^[24]、苦参白斑病(*Pestalotiopsis albo-maculans*)^[25],共4种。2017年张文龙等^[26]报道贵州苦参发生的病虫害有白粉病、叶斑病、根腐病、枯萎病、霜霉病、蚜虫、地老虎和苦参叶螟,但该研究中缺少以上病虫害的学名。由此可见,苦参的病虫害种类较多,在栽培苦参时应及时关注,并对主要的病虫害及时采取必要的防治措施。然而,目前尚无苦参病虫害的防治报道。

本研究前期发现苦参白粉菌只有无性态即粉孢子,而未观察到其有性态即闭囊壳,故尚未鉴定至种水平。已知绝大部分植物均发生白粉病,不同植物的白粉菌通常不同,但也存在同种白粉菌侵染多种植物的情况,如,豌豆白粉菌(*Erysiphe pisi*)可侵染黄芪属(*Astragalus*)、苜蓿属(*Medicago*)、草木樨属(*Melilotus*)、豌豆属(*Pisum*)、三叶草属(*Trifolium*)、野豌豆属(*Vicia*)、胡枝子属(*Lespedeza*)等多种豆科植物。甚至有些白粉菌可侵染不同科的植物,如,二孢白粉菌(*Podosphaera xanthii*)不仅可侵染葫芦科的黄瓜(*Cucumis sativus*)、甜瓜(*Cucumis melo*)等,还可侵染菊科的向日葵(*Helianthus annuus*),豆科的菜豆(*Phaseolus vulgaris*)^[27]。侵染苦参的白粉病菌可能来自其周围环境的其他植物,但具体来源植物尚不清楚。如果能确定其病菌来源,便可在苦参栽培过程中针对性减少与相同寄主植物临近种植,进而降低苦参白粉病的发生。同时,作者前期研究中发现疑似苦参白粉病菌的重寄生菌,此重寄生菌是自然界中控制白粉病菌的主要生物因素,了解其形态和生活习性对于有效保护和利用此菌控制白粉菌具有重要意义。本研究的目的是比较苦参栽培环境中多种植物的白粉病的形态,以确定苦参白粉菌来源,并鉴定疑似重寄生菌的分类地位及寄生苦参白粉菌的特性,以此判断利用该苦参白粉菌的重寄生菌生物防治此病菌的可能性。

1 材料与方法

1.1 供试材料

苦参种子来自甘肃省岷县,为农家品种。经室内萌发后起苗移栽至花盆(直径60 cm,高50 cm),每盆3株,共36盆,将盆栽放置于兰州市城关区段家滩甘肃农业职业技术学院内的试验地中,每周浇水一次,试验进行2年。

该试验地每年种植的植物有豆科豇豆(*Vigna unguiculata*)、沙打旺(*Astragalus adsurgens*)和白三叶(*Trifolium repens*),茄科番茄(*Lycopersicon esculentum*)和辣椒(*Capsicum annum*),试验地中常见杂草有旋花科的田旋花(*Convolvulus arvensis*),菊科的蒲公英(*Taraxacum mongolicum*),试验地四周有臭椿科的臭椿(*Ailanthus altissima*)和豆科的槐树(*Sophora japonica*)。总共9种植物,其中,豆科4种,茄科2种,旋花科1种,菊科1种,臭椿科1种。

1.2 白粉病的症状观察

在苦参盆栽期间,每年4—11月苦参生长期每隔2周调查苦参和周围环境中各种植物发生白粉病的情况,如观察到白粉病发生,则拍摄发生部位、病状和病征。

1.3 白粉病标本的采集与制作

在观察过程中,如果发现研究植物发生白粉病,需采集病叶作为标本,优先采集秋季白粉病发生后期的病叶,每种植物采集20片,压制到标本夹,更换吸水纸直至变干,制作为蜡叶标本。

1.4 白粉菌的形态观察

采用透明胶带纸粘贴每种植物上白色粉状物,制作水装片,用苯胺蓝染色,在普通光学显微镜(Olympus CX31,日本)下观察粉孢子的形状和颜色,测量50个粉孢子的大小。对于白粉病病斑上出现的颗粒物(闭囊壳),用拨针挑取后制作为水装片,用苯胺蓝染色,先观察附属丝形状,测量颗粒物的直径,轻轻挤压,释放出子囊,再观察子囊和子囊孢子形状,测量闭囊壳、子囊和子囊孢子的大小,各测20个,拍摄每种植物白粉病菌的形态照片。

1.5 白粉菌的重寄生菌显微观察

在1.4中,同时观察白粉菌的霉层中是否存在白粉菌的重寄生菌,如存在,则针对每种植物的白粉病标本统计20份标本中含有白粉菌重寄生菌的标本份数,据此统计每种植物白粉菌的重寄生率。挑选白粉菌重寄生菌较多且产孢的标本,按1.4方法用普通光学显微镜(Olympus CX31,日本)观察白粉菌的重寄生菌,鉴定重寄生菌的

菌种。采用电子显微镜JSM-5600LV SEM(分辨率3.5 nm, JEOL, 日本电子光学仪器公司)和JSM6701 FEM冷场发射扫描电镜(分辨率1.0 nm, JEOL, 日本电子光学仪器公司)观察白粉菌的重寄生菌寄生白粉菌的特征, 并拍照。

1.6 数据处理

拍摄的照片采用Adobe Photoshop CC(版本: 2017.0.0)裁剪组合, 添加标尺。用显微尺测量真菌产孢结构和孢子大小, 计算平均值, 并汇总数值范围。

2 结果与分析

2.1 研究地白粉病种类与症状

苦参生长环境中, 苦参和其他8种植物均发生了白粉病(表1), 而槐树上未发现白粉病。

苦参(图1A)、白三叶(图1B)、豇豆(图1D)、蒲公英(图1H)的白粉菌均匀分布在叶片正面, 叶片背面极少, 导致叶片均匀褪绿变黄, 最终干枯。沙打旺(图1C)、番茄(图1E)、辣椒(图1F)、田旋花(图1G)白粉病的霉层主要出现在叶片背面, 叶片正面较少或无, 症状为叶斑状, 即叶片局部出现褪绿变黄, 病斑在叶缘多于叶片中心, 导致叶片局部干枯。臭椿(图1I)白粉病的霉层和黑色颗粒状物均匀分布于叶背面, 叶正面不显示叶斑状病斑, 而是均匀褪绿变黄, 直至叶片干枯。

2.2 研究地白粉病的病原

2.2.1 白粉菌的无性态 供试9种植物上的白粉病病原菌的无性态分为粉孢属(*Oidium*)、拟粉孢属(*Oidiopsis*)和拟小卵孢属(*Ovulariopsis*)共3个属, 孢子圆柱形、桶形、椭圆形, 单胞无色的为粉孢属; 孢子初生孢子披针形、顶端尖, 次生孢子圆柱形、近圆柱形、两端圆, 单胞无色的均为拟白粉孢; 孢子棍棒形、近棍棒形, 单胞无色, 形态均一的为拟小卵孢属(表1)。

苦参白粉菌的无性孢子为长圆柱状(图2A), 田旋花白粉菌(图2G)可见明显串生和分枝状的无性孢子, 与其他寄主上白粉菌的无性态分生孢子形状明显不同。白三叶(图2B)、沙打旺(图2C)、豇豆(图2D)、蒲公英(图2H)的白粉菌无性孢子为椭圆形、近圆形。但根据文献[27], 以上白粉菌无性态均属于粉孢属(*Oidium*)。番茄(图2E)、辣椒(图2F)的无性孢子为椭圆形, 均为拟粉孢属的辣椒拟粉孢(*Oidiopsis taurica*)。

臭椿白粉菌(图2I)的无性孢子呈鞋底状, 一端大, 一端小, 鉴定为拟小卵孢属(*Ovulariopsis*)。

2.2.2 研究地白粉菌的有性态 在9种寄主植物上, 沙打旺(图3A)、豇豆(图3B)、田旋花(图3C)、蒲公英(图3D)和臭椿(图3E)的白粉菌产生有性态, 即闭囊壳, 而苦参、白三叶、辣椒和番茄上的白粉菌只有无性态而未观察到有性态(表1)。

臭椿白粉菌闭囊壳的附属丝基部膨大成球状, 端部延伸呈针状, 而其他观察到的4种有闭囊壳的白粉菌附属丝为丝状, 两类附属丝截然不同, 臭椿白粉菌鉴定为臭椿球针壳(*Phyllactinia corylea*)(图3E)。蒲公英白粉菌闭囊壳的附属丝呈褐色, 鉴定为棕丝单囊壳(*Sphaerotheca fusca*)(图3D), 其他3种植物白粉菌闭囊壳的附属丝为丝状、细长、无色, 其中, 豇豆白粉菌鉴定为蓼白粉菌(*Erysiphe polygoni*)(图3B), 田旋花白粉菌为双叉旋花白粉菌(*Erysiphe convolvuli* var. *dichotoma*)(图3C), 沙打旺白粉菌为豌豆白粉菌(*E. pisi*)(图3A)。

2.3 研究地白粉菌的重寄生菌

苦参、辣椒、田旋花和番茄的白粉菌均有重寄生菌, 而蒲公英、臭椿、豇豆、沙打旺、白三叶草的白粉菌上均未观察到重寄生菌(表1)。不同植物的白粉菌重寄生菌的形态相近, 菌丝呈黄褐色, 分隔均匀, 密集, 宽2 μm , 未见分支, 分生孢子器为圆柱形、烧瓶形, 表面有密集的纵横隔膜, 呈黄褐色, 无明显孔口, 大小(42~72) $\mu\text{m} \times (11 \sim 21) \mu\text{m}$, 分生孢子为圆球形(图4A, 苦参白粉菌的重寄生菌), 鉴定为白粉寄生孢(*Ampelomyces quisqualis*)。

在电子显微镜下(图4B~D), 苦参白粉寄生菌的分生孢子器从菌丝上长出, 表面有密集的皱褶(图4B), 分生孢子器之间相互连接或分开(图4D)。分生孢子从分生孢子器的一端释放, 直径约为1 μm (图4C)。在苦参白粉病的病叶中, 46%的白粉病霉层中有白粉寄生孢。

表 1 9 种植物白粉病的症状、病原、形态特征和重寄生菌

Table 1 Symptom, pathogen, morphological characteristics and hyperparasite fungus of powdery mildew of 9 species plants

植物种类 Plant species	病原 Pathogen	病症 Sign	有性态 Sexual stage *	无性态 Asexual stage	重寄生菌形态 Morphological characteristics of hyperparasite fungus
苦参 <i>S. flavescens</i>	粉孢属未定种 <i>Oidi-um</i> sp.	霉层放射状稀疏。 sparse, radial.	无 Absent	粉孢子圆柱形或长卵圆形, 大小为(14~18) $\mu\text{m} \times$ (5~7) μm 。Conidia cylindrical or long ovoid, measuring (14~18) $\mu\text{m} \times$ (5~7) μm .	分生孢子器长圆筒形, (42~72) $\mu\text{m} \times$ (11~21) μm , 孢子圆球形、圆柱形, 11 $\mu\text{m} \times$ (6~7) μm , 分生孢子器多, 但孢子极少。Pycnidia long cylindrical, (42~72) $\mu\text{m} \times$ (11~21) μm ; spores spherical or cylindrical, 11 $\mu\text{m} \times$ (6~7) μm . Pycnidia numerous but spores very scarce. 无重寄生菌。No hyperparasites found.
白三叶 <i>T. repens</i>	豌豆白粉菌 <i>E. pisi</i>	霉层稀疏白色。 sparse, white.	无 Absent	粉孢子圆筒状, (11~15) $\mu\text{m} \times$ (5~8) μm 。Conidia cylindrical, (11~15) $\mu\text{m} \times$ (5~8) μm .	粉孢子器圆筒状, 顶端有突起, 101 $\mu\text{m} \times$ 27 μm ; 孢子圆形或卵圆形, 11 $\mu\text{m} \times$ (6~7) μm 。Pycnidia cylindrical with apical protrusion, 101 $\mu\text{m} \times$ 27 μm ; spores spherical or ovoid, 11 $\mu\text{m} \times$ (6~7) μm .
辣椒 <i>C. annuum</i>	靶斑内丝白粉菌 <i>Leveillula taurica</i>	黑斑上稀疏白色霉层。 Sparse white mold layer on black spots.	无 Absent	粉孢子圆柱状, 22 $\mu\text{m} \times$ 6 μm ; 长卵圆形(子弹状) 27 $\mu\text{m} \times$ 5 μm , 或卵圆形, 16 $\mu\text{m} \times$ 8 μm 。Conidia cylindrical, 22 $\mu\text{m} \times$ 6 μm ; long ovoid (bullet-shaped) 27 $\mu\text{m} \times$ 5 μm , or ovoid, 16 $\mu\text{m} \times$ 8 μm .	形状同苦参白粉寄生菌, 极少。Morphology identical to that hyperparasitizing <i>S. flavescens</i> , very scarce.
番茄 <i>L. esculentum</i>	靶斑内丝白粉菌 <i>L. taurica</i>	霉层灰暗稀疏。 gray, sparse.	无 Absent	粉孢子圆筒状, 16 $\mu\text{m} \times$ 5 μm 。Conidia cylindrical, 16 $\mu\text{m} \times$ 5 μm .	分生孢子器圆筒状, 顶端有突起, 101 $\mu\text{m} \times$ 27 μm ; 孢子圆形或卵圆形, 11 $\mu\text{m} \times$ (6~7) μm 。Pycnidia cylindrical with apical protrusion, 101 $\mu\text{m} \times$ 27 μm ; spores spherical or ovoid, 11 $\mu\text{m} \times$ (6~7) μm .
豇豆 <i>V. unguiculata</i>	蓼白粉菌 <i>E. polygoni</i>	霉层灰色致密。 gray, dense.	闭囊壳的附属丝短杆状, 3~5 根, 宽 9~12 μm , 闭囊壳圆球形, 黄褐色, 直径 74 μm , 1 个子囊, 近圆球形, 5~7 μm 。Cleistotheacial appendages short, rod-like, 3~5, width 9~12 μm . Cleistotheacia spherical, yellowish-brown, diameter 74 μm . 1 ascus, nearly spherical, 5~7 μm .	粉孢子圆筒状, (9~12) $\mu\text{m} \times$ (5~6) μm , 褐色。Conidia spherical, (9~12) $\mu\text{m} \times$ (5~6) μm , brown.	无重寄生菌。No hyperparasites found.
沙打旺 <i>A. adsurgens</i>	豌豆白粉菌 <i>E. pisi</i>	霉层稀疏灰色。 sparse, gray.	闭囊壳圆球形, 黄褐色, 无附属丝, 闭囊壳直径 50 μm , 8 个子囊, 蠕虫状, 14 $\mu\text{m} \times$ 27 μm 。Cleistotheacia spherical, yellowish-brown, lacking appendages, diameter 50 μm , 8 asci, vermiform, 14 $\mu\text{m} \times$ 27 μm .	粉孢子正多面体, 壁薄, 质脆, 直径 11 μm 。Conidia regular polyhedron, thin-walled, fragile, diameter 11 μm .	无重寄生菌。No hyperparasites found.
田旋花 <i>C. arvensis</i>	双叉旋花白粉菌 <i>E. conicola</i> var. <i>dichotoma</i>	霉层灰色致密, 有颗粒。 Mold layer gray, dense, with granular matter.	闭囊壳的附属丝丝状, 有分隔; 闭囊壳圆球形, 黄褐色, 直径 80 μm ; 子囊 4~7 个, (60~82) $\mu\text{m} \times$ (34~50) μm 。子囊孢子卵圆形, 24 $\mu\text{m} \times$ 15 μm 。Cleistotheacial appendages filamentous, septate; cleistotheacia spherical, yellowish-brown, diameter 80 μm ; asci 4~7, (60~82) $\mu\text{m} \times$ (34~50) μm ; ascospores ovoid, 24 $\mu\text{m} \times$ 15 μm .	粉孢子卵圆形, 11 $\mu\text{m} \times$ 8 μm 。Conidia ovoid, 11 $\mu\text{m} \times$ 8 μm .	分生孢子器长圆筒形, 90 $\mu\text{m} \times$ 53 μm 。Pycnidia long cylindrical, 90 $\mu\text{m} \times$ 53 μm .
蒲公英 <i>T. mongolicum</i>	棕丝单囊壳 <i>S. fusca</i>	霉层白色至黄褐色, 有颗粒。 Mold layer white to yellowish-brown, with granules.	闭囊壳的附属丝丝状, 细长; 闭囊壳圆球形, 黄褐色, 174 μm ; 子囊 10 个左右, 每个子囊 8 个圆球形的子囊孢子。Cleistotheacial appendages filaments, slender; cleistotheacia spherical, yellowish-brown, 174 μm ; approximately 10 asci, each ascus containing 8 spherical ascospores.	粉孢子圆柱状, 两端平截, 9 $\mu\text{m} \times$ 5 μm , 或多面体, 直径 11 μm , 褐色。Conidia cylindrical with truncate ends, 9 $\mu\text{m} \times$ 5 μm , or polyhedral, diameter 11 μm , brown.	无重寄生菌。No hyperparasites found.
臭椿 <i>A. altissima</i>	臭椿球针壳 <i>P. coreana</i>	霉层白色致密, 有大量颗粒。 Mold layer white, dense, with abundant granules.	闭囊壳的附属丝短锥状; 闭囊壳圆球形, 黄褐色, 直径 208~253 μm , 子囊 8 个, 23 $\mu\text{m} \times$ 8 μm 。Cleistotheacial appendages short, conical; cleistotheacia spherical, yellowish-brown, diameter 208~253 μm ; 8 asci, 23 $\mu\text{m} \times$ 8 μm .	粉孢子卵圆形, 17 $\mu\text{m} \times$ 9 μm 。Conidia ovoid, 17 $\mu\text{m} \times$ 9 μm .	无重寄生菌。No hyperparasites found.

*: 有性态(闭囊壳的附属丝、闭囊壳、子囊和子囊孢子) Sexual stage (Appendage, cleistotheacia, ascus, and ascospore).



图1 苦参与其生长周围的其他8种植物的白粉病症状

Fig. 1 Symptom of powdery mildew on *S. flavescens* and other 8 plants growing around

A: 苦参 *S. flavescens*; B: 白三叶 *T. repens*; C: 沙打旺 *A. adsurgens*; D: 豇豆 *V. unguiculata*; E: 番茄 *L. esculentum*; F: 辣椒 *C. annuum*; G: 田旋花 *C. arvensis*; H: 蒲公英 *T. mongolicum*; I: 臭椿 *A. altissima*.

3 讨论和结论

本研究比较了苦参白粉病菌与苦参生长环境的其他8种植物的白粉菌引起白粉病的症状特点及病菌无性态和有性态特征,初步确定其病原与周围环境中其他植物的白粉菌不同。由此可见,在试验地发生的苦参白粉病的病原最大可能由远距离传播而来,尽管兰州市区内除了本试验地栽培苦参之外,没有栽培的苦参植株,但相近兰州市50 km的兴隆山有野生苦参,不排除由此传播而来的可能。或者,从更遥远的野生苦参上传播而来。

苦参白粉菌与其他植物白粉菌的不同在于:第一,其分生孢子为长圆柱状,与番茄、白三叶、沙打旺、豇豆、蒲公英的白粉菌无性态的椭圆形形状明显不同。粉孢属(*Oidium*)是大部分植物白粉菌的无性态,尽管不同植物白粉菌的无性态存在一定的差异,但极难根据其形态鉴定种。第二,苦参白粉菌未产生有性态,而番茄和辣椒白粉菌的有性态为鞣鞣内丝白粉菌,其分生孢子为拟粉孢属,臭椿白粉病的臭椿球针壳,其分生孢子为拟小卵孢(*Ovulariopsis*),因此苦参白粉病菌不可能为此3种白粉菌。白三叶和沙打旺的白粉病有性态均为豌豆白粉菌,田旋花白粉病菌的有性态为双叉旋花白粉菌,蒲公英白粉病菌的有性态为棕丝单囊壳,它们的无性阶段均为粉孢属(*Oidium* sp.),其中,白三叶白粉菌的粉孢子大小为 $(25.4 \sim 43.2) \mu\text{m} \times (11.4 \sim 18.3) \mu\text{m}$,显然大于苦参白粉病菌的粉孢子。在相同生境下,苦参的白粉菌未产生有性态也侧面说明其病菌与这些已产生有性态的菌种不同。

苦参与槐树同为一个属,但苦参生长环境下的槐树上未发现白粉病,据文献记载,槐树白粉病的病原为中国钩丝壳(*Uncinula sinensis*)或槐束丝壳(*Trichocladia sophorae*)^[27]。

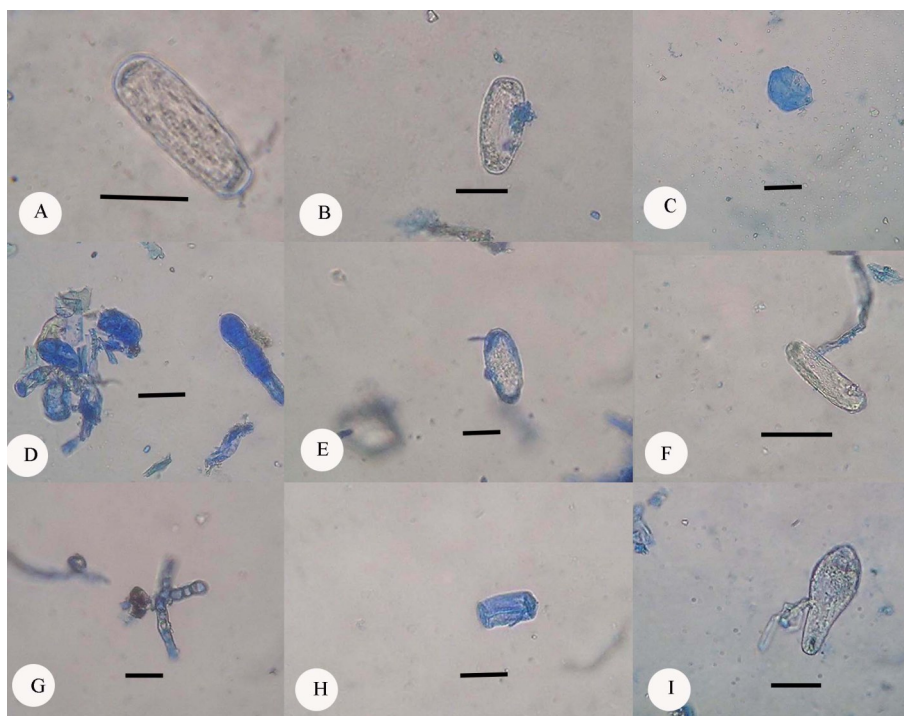


图 2 9 种植物白粉菌的无性态

Fig. 2 Asexual stage of powdery mildew fungi on 9 species plants

A: 苦参白粉菌 Powdery mildew of *S. flavescens*; B: 白三叶白粉菌 Powdery mildew of *T. repens*; C: 沙打旺白粉菌 Powdery mildew of *A. adsurgens*; D: 豇豆白粉菌 Powdery mildew of *V. unguiculata*; E: 番茄白粉菌 Powdery mildew of *L. esculentum*; F: 辣椒白粉菌 Powdery mildew of *C. annuum*; G: 田旋花白粉菌 Powdery mildew of *C. arvensis*; H: 蒲公英白粉菌 Powdery mildew of *T. mongolicum*; I: 臭椿白粉菌 Powdery mildew of *A. altissima*. 标尺均为 10 μm。Scale=10 μm.

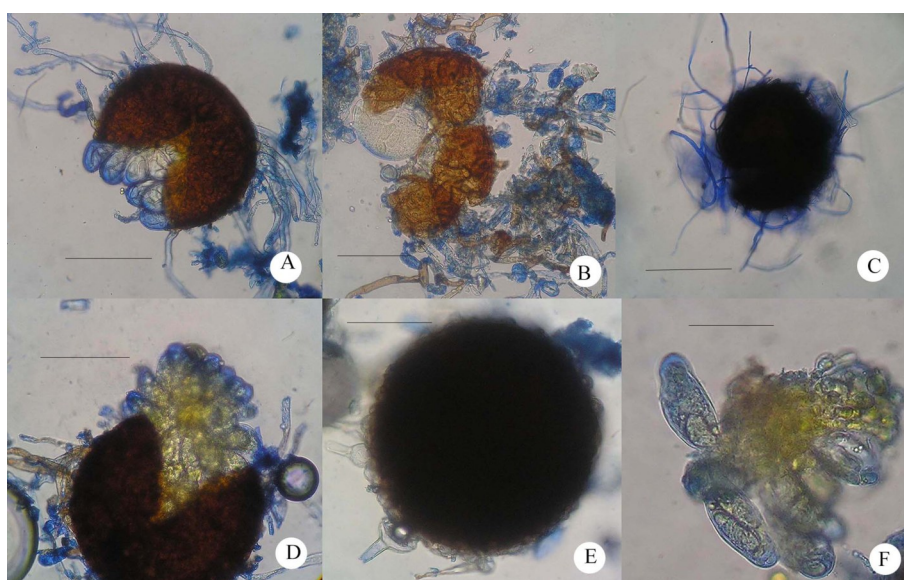


图 3 6 种植物白粉菌的有性态(闭囊壳、附属丝、子囊和子囊孢子)

Fig. 3 Teleomorph of powdery mildew fungi on 6 species plants (cleistothecium, appendages, asci and ascospores)

A: 沙打旺白粉菌 Powdery mildew fungus on *A. adsurgens*; B: 豇豆白粉菌 Powdery mildew fungus on *V. unguiculata*; C: 田旋花白粉菌 Powdery mildew fungus on *C. arvensis*; D: 蒲公英白粉菌 Powdery mildew fungus on *T. mongolicum*; E: 臭椿白粉菌 Powdery mildew fungus on *A. altissima*. 标尺均为 100 μm。Scale=100 μm.

1873 年 Cooke 和 Peck 将在美国纽约野生的加拿大山蚂蝗 (*Desmodium canadense*) 上的白粉菌根据形态特征描述为叉丝壳属的扩散叉丝壳 (*Microsphaera diffusa*)^[28], 2000 年 Braun 等^[29]根据 rDNA ITS 序列将此菌描述为白

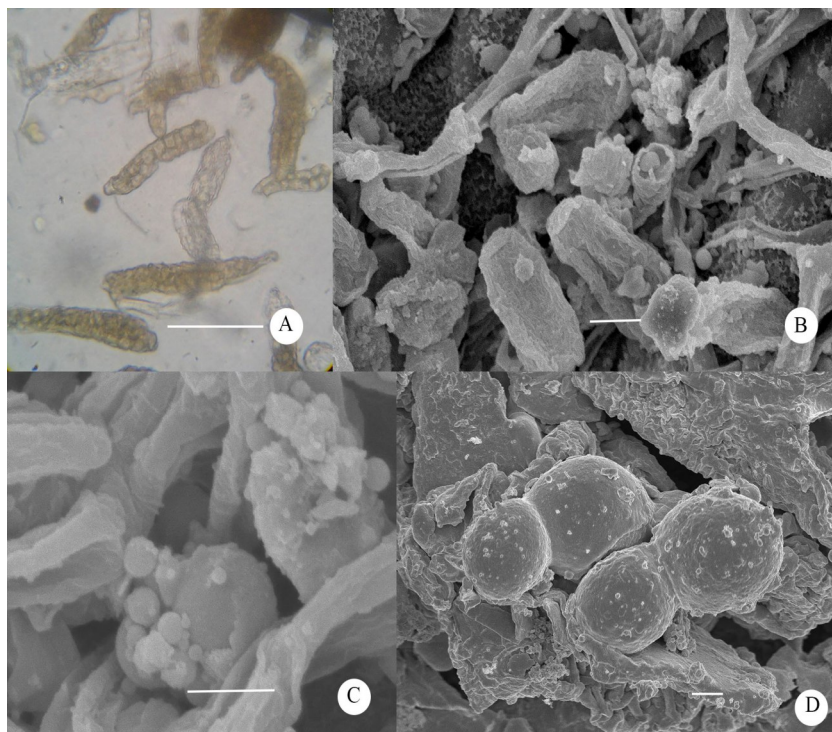


图4 苦参白粉菌重寄生菌-白粉寄生孢的形态特征

Fig. 4 Morphological characteristics of hyperparasite fungus, *A. quisqualis*, on *S. flavescentis* powdery mildew fungus

A: 普通光学显微镜下特征, 标尺为 50 μm Characteristics under common microscope, scale=50 μm ; B~D: 电子显微镜下特征 Characteristics under electron microscope; B: 分生孢子器, $\times 1500$ 倍, 标尺为 1 μm Pycnidium, $\times 1500$, scale=1 μm ; C: 分生孢子, $\times 5000$ 倍, 标尺为 5 μm Conidia, $\times 5000$, scale=5 μm ; D: 分生孢子器表面结构, $\times 5000$ 倍, 标尺为 1 μm Surface structure of pycnidium, $\times 5000$, scale=1 μm .

粉菌属的一个新组合种—弥散白粉菌(*Erysiphe diffusa*)。其寄生范围广泛,常发生于澳大利亚大豆(*Glycine tabacina*)^[30]、巴西 *Mimosa caesalpinifolia* 树^[31]、西班牙菜豆(*Phaseolus vulgaris*)上^[32],但均未发现其有性态。2007年在内蒙古呼和浩特市大青山二色棘豆(*Oxytropis bicolor*)的白粉病菌鉴定为弥散白粉菌,为我国新记录真菌^[33]。2015年将大豆白粉病的病菌鉴定为弥散白粉菌,而以前均认为大豆白粉病的病菌为大豆白粉菌(*Erysiphe glycines*)^[34]。2024年 Tan 等^[35]在贵州的苦参上发现白粉病,采用分子生物学方法确认其病原菌为大豆白粉菌(*E. diffusa*),但贵州发生的苦参白粉菌也未出现有性态,此最新研究结果支撑了本研究确定苦参白粉菌不属于其生长环境其他植物白粉菌的论断。

基于本研究确定的苦参白粉菌的菌源并非来自本地,那么,防治苦参白粉菌就无需考虑通过防治其他植物白粉病的途径。采用低毒低残留的杀菌剂为首选防治方法,目前尚无苦参白粉病药剂防治的报道,有待后续进一步研究。

苦参白粉菌的重寄生菌有较高的寄生率,能否利用此重寄生菌防治苦参白粉病呢?一方面不对苦参白粉病采取防治措施,让白粉寄生菌自然发生,一定程度上可减轻苦参白粉病的危害。另一方面,采用白粉寄生孢的生物制剂,在苦参发生白粉病时施用,也可起到防治的目的。国外已将白粉寄生孢开发为生防制剂,而我国尚无此产品。例如,1996年,美国 ECOGEN 公司成功研制的生物杀菌剂 AQ10^[36-37],韩国研制的 Q-FECT WP78^[38],均为白粉寄生孢的生物制剂。

本研究确定8种植物的白粉菌上有白粉寄生孢,尽管各种白粉菌上的寄生菌形态存在差异,但普遍认为其属于同一种,即为白粉寄生孢,属于半知菌球壳孢目安培菌属^[39]。梁晨^[40]采用 rDNA-ITS 序列分析研究发现白粉寄生孢在核糖体基因水平上具有显著差异,结合形态学特征、寄主范围及培养性状,将26个白粉寄生孢菌株划分为3大类群,其对白粉菌的致病性也存在一定差异^[41]。2024年该真菌的有性态首次在泰国的飞机草(*Chromolaena odorata*)白粉菌上被发现,命名为 *Melomastia maolanensis*^[42]。遵循生物分类一个生物只有一个合法名和真菌命

名优先使用有性态的规定,此菌的合法学名为茂兰黑座菌(*Melomastia maolanensis*),*Ampelomyces quisqualis*为异名,有性态的发现为查明其在自然界中的生存、繁殖和应用提供了新的视角,然而,在本研究过程中未观察到其有性态。

在苦参上白粉菌的重寄生率达 46%,比梁晨^[40]调查的菊科和葫芦科植物白粉病菌寄生率(15.66%)高 2 倍多。其原因可能为兰州的气候条件有利于白粉寄生菌的寄生,也可能是人工栽培的植物上白粉病菌较多,其上生存的寄生菌的基数也较多。然而,尽管白粉寄生菌能够寄生于白粉菌的菌丝上,抑制白粉菌的生长和繁殖,但由于其营养也间接由寄主植物提供,其发生影响叶片的光合作用,因此,白粉菌上重寄生菌也可能加重寄主的营养压力,造成更大的损失。

白粉菌上普遍存在重寄生菌寄生的现象,王吉霞等^[43]报道了牛蒡(*Arctium lappa*)、月季(*Rosa chinensis*)等植物白粉菌的重寄生菌。梁晨等^[44-45]和张英昊等^[46]检查了从国内外 105 个地点采集的感染白粉菌的植物 406 份,27 科 67 属 77 种植物上发现白粉菌的无性阶段和有性阶段,白粉菌有 12 属 42 种,其中 8 属 15 种有白粉寄生孢,寄生率为 15.66%,主要发生于菊科和葫芦科植物白粉病菌上,牛蒡、笋瓜(*Cucurbita maxima*)、西葫芦(*Cucurbita pepo*)等 10 个受白粉寄生孢的重寄生的中国新记录白粉菌种,包括双叉旋花白粉菌、豌豆白粉菌、蓼白粉菌、锈丝单囊壳(*Sphaerotheca ferruginea*)和鲍勒束丝壳(*Trichocladia bumleri*)。本研究发现的苦参白粉菌为我国首次报道受白粉寄生菌寄生的白粉菌种。

参考文献 References:

- [1] Editorial Committee of Flora of China, Chinese Academy of Sciences. Flora of China: Volume 40 Fabaceae (II) —Subfamily Papilionoideae. Beijing: Science Press, 1994.
中国科学院植物志编辑委员会. 中国植物志: 第四十卷 豆科(二)蝶形花亚科. 北京: 科学出版社, 1994.
- [2] Lei H Y, Hou Q W, Bai F L, *et al.* Chromosome number and karyotype analysis of *Sophora flavescens* Ait. from eight different habitats. Plant Physiology Journal, 2019, 55(7): 967—974.
雷海英, 侯沁文, 白凤麟, 等. 八种不同产地苦参的染色体数目及核型分析. 植物生理学报, 2019, 55(7): 967—974.
- [3] Zhang T, Hu W, Jia T J, *et al.* Prediction of potential distribution of *Sophora flavescens* in China under climate change. Guihaia, 2022, 42(3): 349—362.
张涛, 胡苑, 贾天娇, 等. 气候变化条件下苦参在我国潜在分布区的预测分析. 广西植物, 2022, 42(3): 349—362.
- [4] Li Z R G T, Sa R G R L, Bai C L, *et al.* Research on the cultivation techniques of authentic Mongolian medicinal material *Sophora flavescens*. Journal of Medicine and Pharmacy of Chinese Minorities, 2017, 23(6): 48—49.
李昭日格图, 萨仁格日乐, 白翠兰, 等. 道地蒙药材苦参种植技术研究. 中国民族医药杂志, 2017, 23(6): 48—49.
- [5] Liu X Q, Cai J Z, Yang T X. Study on seed quality and classification standard of *Sophora flavescens* planted in Hebei area. Seed, 2020, 39(7): 147—150.
刘晓清, 蔡景竹, 杨太新. 河北地区种植的苦参种子质量及分级标准研究. 种子, 2020, 39(7): 147—150.
- [6] Nan Q C, Xiao X Y. Cultivation techniques of *Sophora flavescens* in dryland. Agricultural Science—Technology and Information, 2023(4): 9—12.
南庆春, 肖新颖. 旱地苦参种植技术. 农业科技与信息, 2023(4): 9—12.
- [7] Li X J, Jiang Z J. Standardized cultivation and management techniques of *Sophora flavescens* in semi-arid regions of northwest Liaoning. Chinese Science and Technology Journal Database (Full-text Edition) Natural Sciences, 2021(3): 88—89.
李秀菊, 姜宗军. 辽西北半干旱地区苦参规范化栽培管理技术. 中文科技期刊数据库(全文版)自然科学, 2021(3): 88—89.
- [8] Huang L Q, Zhao R H, Miao J H. Report on the development of Chinese medicinal material seed industry (2022). Beijing: China Medical Beijing Science Press, 2023.
黄璐琦, 赵润怀, 缪剑华. 中国中药材种业发展报告(2022). 北京: 中国医药科技出版社, 2023.
- [9] Chen S L. Development report on China's traditional Chinese medicine industry (2024): Medicinal materials and decoction pieces. Beijing: Social Sciences Academic Press (China), Ecological Civilization Branch, 2024.
陈士林. 中国中药产业发展报告(2024): 药材饮片. 北京: 社会科学文献出版社, 生态文明分社, 2024.
- [10] National Pharmacopoeia Commission. Pharmacopoeia of the People's Republic of China: Volume I, Traditional Chinese medicine (2005 edition). Beijing: Chemical Industry Press, 2005.

- 国家药典委员会. 中华人民共和国药典: 第一部(中药类). 北京: 化学工业出版社, 2005.
- [11] Liu D P. Progress on pharmacology of oxymatrine. *Journal of Anhui TCM College*, 2005, 24(4): 63—64.
刘东平. 苦参素药理作用研究进展. *安徽中医学院学报*, 2005, 24(4): 63—64.
- [12] Zhang X L, Shen Q G, Huang Y Q, *et al.* Effect of *Sophora flavescens* in treating yellow and white diarrhea in piglets. *Jiangxi Journal of Animal Husbandry & Veterinary Medicine*, 2005(5): 13.
张学良, 沈秋姑, 黄印权, 等. 苦参治疗仔猪黄白痢的效果. *江西畜牧兽医杂志*, 2005(5): 13.
- [13] Hartmann T, Schoofa G, Wink M. A chloroplast localized lysine decarboxylase of *Lupinus polyphyllus*—The first enzyme in the biosynthetic pathway of quinolizidine alkaloids. *FEBS Letters*, 1980, 115(1): 35—38.
- [14] Wink M, Hartmann T, Witte L. Enzymatic synthesis of quinolizidine alkaloids in lupin chloroplasts. *Zeitschrift für Naturforschung*, 1980, 35(1/2): 93—97.
- [15] Wink M, Witte L. Turnover and transport of quinolizidine alkaloids. Diurnal fluctuations of lupanine in the phloem sap, leaves and fruits of *Lupinus albus* L. *Planta*, 1984, 161(6): 519—524.
- [16] Zu Y G, Tan G Z, Yu J H. Camptothecin and 10-hydroxycamptothecin accumulate differentially under specific developmental control in *Camptotheca acuminata*. *Acta Botanica Sinica*, 2003, 45(4): 494—499.
- [17] Zhang S R, Ji Y, Lin H M. Changes of oxymatrine and matrine in the development of *Sophora flavescens* Ait. *Pratacultural Science*, 2008, 25(7): 41—45.
张守润, 纪瑛, 蔺海明. 氧化苦参碱和苦参碱含量在苦参生长发育过程中的动态变化. *草业科学*, 2008, 25(7): 41—45.
- [18] Long G Q, Wang D D, Hu G S, *et al.* Chemical constituents of *Sophora flavescens* and its antitumor activities *in vitro*. *Chinese Traditional and Herbal Drugs*, 2022, 53(4): 978—984.
龙国清, 王东东, 胡高升, 等. 苦参根中化学成分及其体外抗肿瘤活性研究. *中草药*, 2022, 53(4): 978—984.
- [19] Fu Y, Wang C B, Ye F. The application of *Sophora flavescens* Ait. alkaloids in China. *Pesticide Science and Administration*, 2005, 26(12): 30—33.
付颖, 王常波, 叶非. 我国苦参碱农药研究应用概况. *农药科学与管理*, 2005, 26(12): 30—33.
- [20] Gao Z Q, Song Z R, He J H, *et al.* Control effect of oxymatrine AS on cabbage worm in cabbage field. *Pesticide Science and Administration*, 2007, 25(2): 18—20.
高志强, 宋仲容, 何家洪, 等. 0.1% 氧化苦参碱水剂防治菜青虫田间药效试验. *农药科学与管理*, 2007, 25(2): 18—20.
- [21] Shi J Q, Li M S, Ma C W, *et al.* Field efficacy trials of 0.3% matrine against citrus red mite. *Guangxi Horticulture*, 2006, 17(3): 36.
石健泉, 黎明盛, 马承文, 等. 0.3% 苦参碱防治柑橘红蜘蛛的田间药效试验. *广西园艺*, 2006, 17(3): 36.
- [22] Gao F, Qiang F Y, Ji Y, *et al.* Preliminary report on diseases and insects occurrence of artificially planted *Sophora flavescens* in Lanzhou. *Pratacultural Science*, 2010, 27(10): 142—148.
高峰, 强芳英, 纪瑛, 等. 兰州地区人工栽培苦参病虫害发生初报. *草业科学*, 2010, 27(10): 142—148.
- [23] Bai J K. *Flora fungorum sinicorum: Volume 17 Sphaeropsidales, Ascochyta, Septoria*. Beijing: Science Press, 1998.
白金铠. *中国真菌志: 第十七卷 球壳孢目 壳二孢属 壳针孢属*. 北京: 科学出版社, 1998.
- [24] Guo Y L. *Flora fungorum sinicorum: Volume 24 Cercospora*. Beijing: Science Press, 2005.
郭英兰. *中国真菌志: 第二十四卷 尾孢菌属*. 北京: 科学出版社, 2005.
- [25] Ge Q X, Chen Y X, Xu T. *Flora fungorum sinicorum: Volume 38 Pestalotiopsis*. Beijing: Science Press, 2009.
葛起新, 陈育新, 徐同. *中国真菌志 第三十八卷 拟盘多毛孢属*. 北京: 科学出版社, 2009.
- [26] Zhang W L, Du F Q, Huang X L, *et al.* The outbreak regularity and control methods of the main diseases and insect pests for artificially planted *Sophora flavescens* in Guizhou. *Lishizhen Medicine and Materia Medica Research*, 2018, 29(9): 2241—2243.
张文龙, 杜富强, 黄旭龙, 等. 贵州特色药材苦参人工栽培常见病虫发生规律及防治措施. *时珍国医国药*, 2018, 29(9): 2241—2243.
- [27] Zheng R Y. *Flora fungorum sinicorum: Volume 1 Erysiphales*. Beijing: Science Press, 1987.
郑儒永. *中国真菌志: 第一卷 白粉菌目*. 北京: 科学出版社, 1987.
- [28] New York State Museum, State Cabinet of Natural History (N. Y.), and University of the State of New York. Annual report of the regents of the university on the condition of the state cabinet of natural history, with catalogues of the same (volume 23): Albany. New York: New York University, 1847.
- [29] Braun U, Takamatsu S. Phylogeny of *Erysiphe*, *Microsphaera*, *Uncinula* (Erysipheae) and *Cystotheca*, *Podosphaera*,

- Sphaerotheca* (Cystothecaceae) inferred from rDNA ITS sequences-some taxonomic consequences. *Schlechtendalia*, 2000, 4: 1–33.
- [30] Kelly L A, Ahmad A, Dahanayaka B A, *et al.* *Glycine tabacina*, native to Australia, is an alternate host of *Erysiphe diffusa* causing powdery mildew on soybean. *Plant Pathology*, 2024, 73(9): 2528–2536.
- [31] Luz J, Barreto R W, Macedo D M. *Erysiphe diffusa* causing powdery mildew on *Mimosa caesalpiniiifolia* in Brazil: a soya bean pathogen found on an important native Brazilian tree. *Forest Pathology*, 2019, 49(3): DOI: 10.1111/efp.12500.
- [32] Leitao S T, Almeida N F, Moral A, *et al.* Identification of resistance to rust (*Uromyces appendiculatus*) and powdery mildew (*Erysiphe diffusa*) in Portuguese common bean germplasm. *Plant Breeding*, 2013, 132(6): 654–657.
- [33] Liu T Z. Studies on taxonomy and flora of powdery mildews (Erysiphaceae) in Inner Mongolia, China. Hohhot: Inner Mongolia University, 2007.
刘铁志. 内蒙古白粉菌分类及区系研究. 呼和浩特: 内蒙古大学, 2007.
- [34] Liu J, Jiang W T, An B N, *et al.* The identification of soybean powdery mildew fungus. *Acta Phytopathologica Sinica*, 2015, 45(5): 548–551.
柳建, 姜文涛, 安保宁, 等. 大豆白粉病病原菌鉴定. *植物病理学报*, 2015, 45(5): 548–551.
- [35] Tan L T, Chen Y, Shi Y M, *et al.* First report of powdery mildew on *Sophora flavescens* caused by *Erysiphe diffusa* in China. *Plant Disease*, 2024, 108(7): 2240.
- [36] Hofstein R, Daoust R A, Aeschlimann J P. Constraints to the development of biofungicides: The example of “AQ10”, a new product for controlling powdery mildews. *Entomophaga*, 1996, 41(3/4): 455–460.
- [37] Shishkoff N, McGrath M T. AQ10 biofungicide combined with chemical fungicides or AddQ spray adjuvant for control of cucurbit powdery mildew in detached leaf culture. *Plant Disease*, 2002, 86(8): 915–918.
- [38] McGrath M T, Shishkoff N. Evaluation of biocompatible products for managing cucurbit powdery mildew. *Crop Protection*, 1999, 18(7): 471–478.
- [39] Wei J C. Handbook of fungal identification. Shanghai: Science and Technology Press, 1979.
魏景超. 真菌鉴定手册. 上海: 科学技术出版社, 1979.
- [40] Liang C. Population diversity, biological characteristics and biocontrol potential of *Ampelomyces quisqualis*//Peng Y L. Proceedings of the 2005 annual conference of the Chinese society for plant pathology & the 50th anniversary of Acta Phytopathologica Sinica. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 2005.
梁晨. 白粉寄生孢种群多样性、生物学特性及生防潜力研究//彭友良. 中国植物病理学会 2005 年学术年会暨植物病理学报创刊 50 周年纪念会论文集. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2005.
- [41] Liang C, Zhao H H, Lv G Z, *et al.* Studies on pathogenicity of *Ampelomyces mycoparasites*. *Acta Phytopathologica Sinica*, 2008, 38(5): 514–520.
梁晨, 赵洪海, 吕国忠, 等. 重寄生菌白粉寄生孢的致病性研究. *植物病理学报*, 2008, 38(5): 514–520.
- [42] Bundhun D, Jones E B G, Jayawardena R S, *et al.* Taxonomic novelty in Pleomonodictydaceae and new reports for *Ampelomyces quisqualis* (Phaeosphaeriaceae), *Melomastia maolanensis* and *M. oleae* (Pleurotremataceae). *MycKeys*, 2024, 111: 147–180.
- [43] Wang J X, Zhang S R, Wang S R. Identification and morphological observation of hyperparasite on powdery mildews. *Journal of Gansu Agricultural University*, 2005, 40(4): 498–500.
王吉霞, 张舒容, 王生荣. 白粉菌寄生菌鉴定及形态学观察. *甘肃农业大学学报*, 2005, 40(4): 498–500.
- [44] Liang C, Lv G Z, Li B D. Advances in research on *Ampelomyces quisqualis* as a hyperparasite of powdery mildew fungi. *Journal of Laiyang Agricultural College (National Science)*, 2006, 23(4): 317–322.
梁晨, 吕国忠, 李宝笃. 重寄生菌白粉寄生孢的研究进展. *莱阳农学院学报(自然科学版)*, 2006, 23(4): 317–322.
- [45] Liang C, Zhao H H, Li B D, *et al.* Biological characteristics of *Ampelomyces quisqualis* hyperparasite on tickseed powdery mildew. *Journal of Yunnan Agricultural University*, 2004, 19(6): 648–652.
梁晨, 赵洪海, 李宝笃, 等. 大花金鸡菊白粉菌重寄生菌—宿白粉菌的生物学特性研究. *云南农业大学学报*, 2004, 19(6): 648–652.
- [46] Zhang Y H, Liang C, Li B D, *et al.* Study on biological characteristics of the Laiyang isolate of *Ampelomyces quisqualis* parasitizing cucumber powdery mildew. *Journal of Laiyang Agricultural College (National Science)*, 2004, 21(4): 278–281.
张英昊, 梁晨, 李宝笃, 等. 黄瓜白粉菌寄生孢莱阳分离株系生物学特性研究. *莱阳农学院学报(自然科学版)*, 2004, 21(4): 278–281.