



新疆柳树叶锈病栅锈菌的形态学特征及系统学分析

王丽丽^{1,2}, 李克梅², 王金铭², 努尔斯曼姑丽·艾海提², 田呈明¹

(1. 北京林业大学/省部共建森林培育与保护教育部重点实验室, 北京 100083;

2. 新疆农业大学 农学院/农林有害生物监测与安全防控重点实验室, 乌鲁木齐 830052)

摘要 柳树是新疆林木主要树种之一,由栅锈菌属(*Melampsora*)引起的柳树叶锈病在新疆地区普遍发生,且病原菌种类多样。为探清新疆柳树叶锈病病原的种类组成、寄主范围及分布,在全疆各生境采集该病害,以夏孢子和冬孢子阶段形态学与系统发育学(ITS和LSU序列)相结合对其开展分类鉴定,并探讨寄主范围与分布地特征。结果表明:共鉴定出9种栅锈菌,其中米黄柳栅锈菌(*M. salicis-michelsonii*)、扁桃栅锈菌(*M. amygdalinae*)、云南柳栅锈菌(*M. salicis-cavaleriei*)、黄花柳栅锈菌(*M. salicis-sinicae*)、北极栅锈菌(*M. arctica*)、伊朗栅锈菌(*M. iranica*)、松柳栅锈菌(*M. larici-epitea*)、白柳栅锈菌(*M. salicis-albae*)、银柳栅锈菌(*M. salicis-argyraceae*)为已知种。寄主涉及柳属(*Salix*)14种,其中银柳(*S. argyracea*)、蓝叶柳(*S. capusii*)、伊犁柳(*S. iliensis*)、绿叶柳(*S. metaglauca*)、米黄柳(*S. michelsonii*)、锯齿柳(*S. serrulatifolia*)、准噶尔柳(*S. songarica*)和天山柳(*S. tianschanica*)为锈菌寄主新记录种。该研究可为新疆真菌多样性及林木病害诊断防治研究提供理论依据。

关键词 柳属;锈菌;形态特征;ITS序列;LSU序列;新疆

中图分类号 S435

文献标志码 A

文章编号 1004-1389(2021)12-1889-09

柳树是重要的用材和造林绿化树种,作为快速生长的木本主要物质来源,在生态修复、装饰材料、纤维生产等方面应用广泛。新疆柳树资源丰富,约有50种(变种)分布于高山、平原、河岸、沙丘、极地等多种生境,甚至有些种是耐旱、寒以及盐碱等抗逆性强的种类^[1]。

柳树叶锈病发生于叶部,是一类危害柳树健康生长的重要生物灾害之一。柳树整株染病后,会在正常秋叶脱落前六周或更长的时间内大量提前落叶,易导致树势衰弱而诱发其他病虫害,尤其是对苗期及幼树危害更大,降低成活率^[1],造成经济损失。

柳树叶锈病病原种类较多,均属担子菌门(Basidiomycota)、锈菌目(Pucciniales)、栅锈菌科(Melampsoraceae)、栅锈菌属(*Melampsora* Cast)。栅锈菌大都属于专性寄生,与寄主关系密切,除少数种同主寄生于大戟科(Euphorbiace-

ae)、亚麻科(Linaceae)、虎耳草科(Saxifragaceae)、夹竹桃科(Apocynaceae)和金丝桃科(Hypericaceae)外,多数栅锈菌种为转主寄生,即夏孢子和冬孢子阶段生于杨柳科(Salicaceae),而性孢子和锈孢子阶段寄生于冷杉属(*Abies*)、葱属(*Allium*)、卫矛属(*Euonymus*)、落叶松属(*Larix*)、红门兰属(*Orchis*)、茶藨子属(*Ribes*)、虎耳草属(*Saxifraga*)、堇菜属(*Viola*)等植物上^[1-2]。

迄今为止,国内外已报道栅锈菌属内有效种约100种,其中,超过50种寄生于杨柳科植物,而寄生于该科内柳属(*Salix*)的栅锈菌数量最多,约40余种,国内34种^[2-10]。在新疆,经传统形态分类学研究报道了4种柳属栅锈菌^[8]。近十年,Zhao等^[6-7]采用DNA内部转录间隔(ITS)、大亚基(LSU)等的分子系统发育研究与形态学相结合,对国内柳属栅锈菌进行深入研究,并报道来自新疆柳属的栅锈菌新种、国内新记录种和新疆新

收稿日期:2021-03-12 修回日期:2021-08-29

基金项目:南京农业大学“植物保护学院教育部/农业部重点实验室开放基金”合作项目;自治区级大学生创新项目(S202010758022)。

第一作者:王丽丽,女,在职博士,研究方向为菌物系统学。E-mail:1136862740@qq.com

通信作者:田呈明,男,教授,研究方向为森林病理学。E-mail:chengmt@bjfu.edu.cn

记录种各 1 种。笔者在 2020 年报道新种和新疆新记录种各 1 种^[9]。在传统栅锈菌分类中以冬孢子形态、夏孢子形态、寄主与转主寄主种类作为主要鉴定依据,然而,冬孢子有时在种间差异不明显,有时甚至不产生,反而是夏孢子产生并存活时间最长。目前,许多国内外学者研究栅锈菌分类发现,夏孢子形状、表面刺突、侧丝特征在种间具有明显差异,常被用于分种的主要依据,促使栅锈菌分类体系得到进一步补充完善。

笔者近几年在新疆各地广泛采集锈菌标本时发现,本地区柳树叶锈病普遍发生,其病原栅锈菌种类、寄主范围、分布地点都较以往有所不同。本文利用现代真菌分类学技术,对新疆柳属叶锈病栅锈菌物种、寄主及分布开展研究,为新疆菌物分类及多样性研究提供标本和基础数据,为林木病害诊断与防治提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 标本采集

2012—2016 年,于新疆维吾尔自治区阿勒泰、塔城、伊犁、乌鲁木齐、昌吉、阿克苏、库尔勒、和田等地州,山地、平原、牧场、河岸、荒漠、农田及城市绿化地等生境采集柳属叶锈病标本,标本保存于新疆农业大学菌物标本室(HMAAC)。

1.2 形态学观察及系统发育分析

1.2.1 形态学观察 利用实体显微镜、光学显微镜和扫描电镜对栅锈菌夏孢子及冬孢子阶段的形态特征进行拍照、测量及描述,显微镜检以乳酚油作浮载剂^[10]。夏孢子阶段特征观察:夏孢子堆叶面着生位置,夏孢子形态、大小、壁厚度、表面是否具有光滑区、刺间距、芽孔的数量及位置,侧丝形状、大小、壁厚度、着生位置。冬孢子阶段特征观察:冬孢子堆叶面着生位置,冬孢子着生位置,冬孢子形状、大小、壁厚度。

1.2.2 分子系统发育分析 DNA 提取主要参考玻片研磨法^[11];选用 ITS 和 LSU 两个基因片段进行系统发育分析,二者扩增引物为 ITS1F 和 ITS4、NL1 和 NL4^[12]。PCR 产物经 10 g/L 琼脂糖凝胶电泳检测,于 4 °C 保存。从最新文献和 GenBank 中筛选已知柳属栅锈菌和外群落叶松杨栅锈菌(*M. laricis-populina*)的基因序列,利用 RaxmlGUI1.3 软件的最大似然法(ML)和 MrBayes v.3.1.2 软件的贝叶斯分析(BI)构建系统发育树。

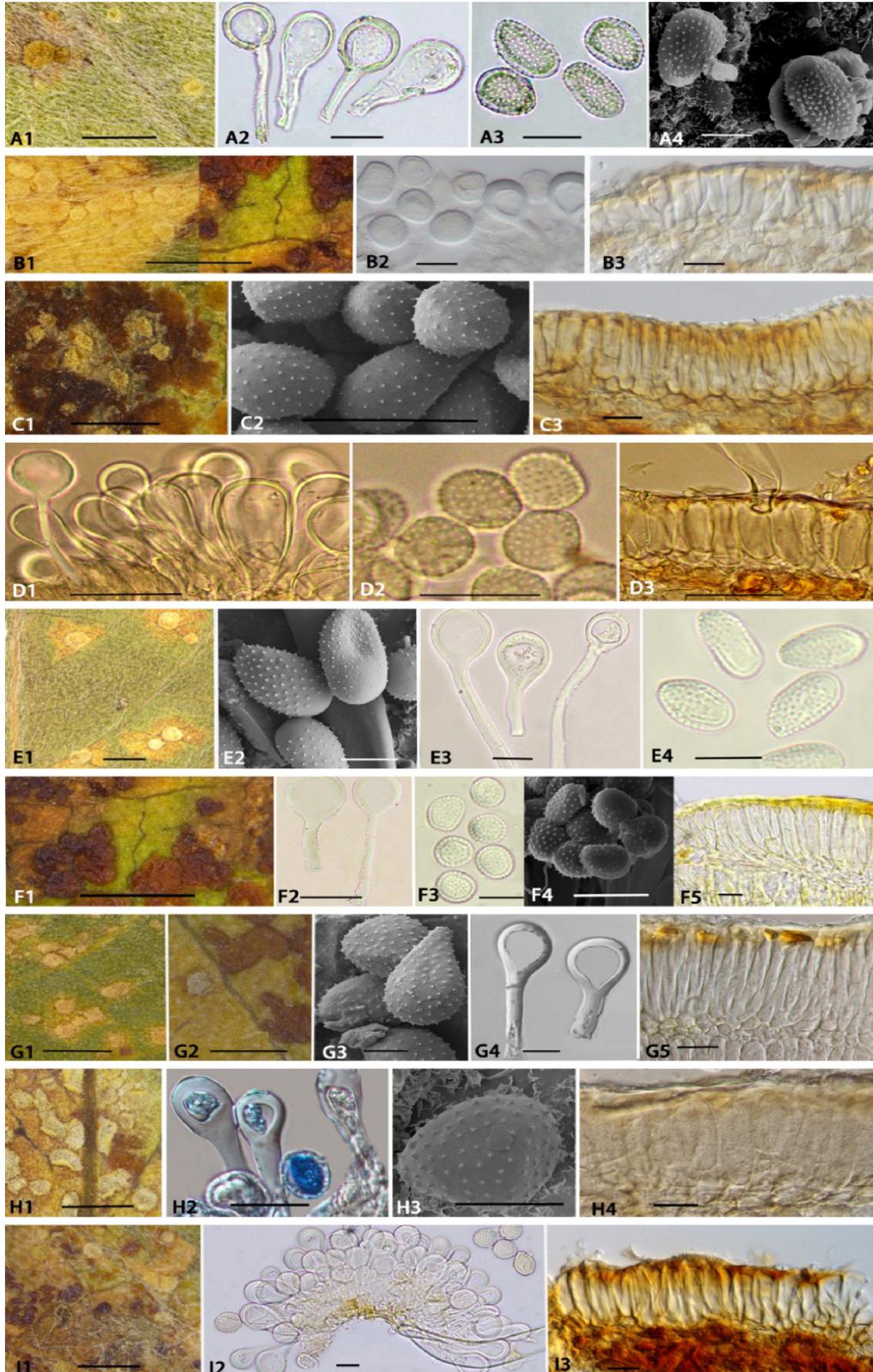
2 结果与分析

2.1 种类鉴定及检索表

经对 45 份柳属栅锈菌标本进行主要形态特征研究(图 1、表 1),共鉴定出 9 种栅锈菌,其中,米黄柳栅锈菌(*M. asalicis-michelsonii*)为国内外首次发现的种,在菌名前标识##符号,表示为新种;为新疆首次发现的有 3 种,扁桃栅锈菌(*M. amygdalinae*)、云南柳栅锈菌(*M. salicis-cavaleriei*)和中国黄花柳栅锈菌(*M. salicis-sinicae*),标识#符号,表示为新疆锈菌新记录种。其余 5 种均为新疆已知种,北极栅锈菌(*M. arctica*)、伊朗栅锈菌(*M. iranica*)、松柳栅锈菌(*M. larici-epitea*)、白柳栅锈菌(*M. salicis-albae*)、银柳栅锈菌(*M. salicis-argyraceae*)。寄主范围共涉及柳属内 14 种,其中,蓝叶柳(*S. capusii*)等 8 种在国内外报道的柳属栅锈菌寄主范围内属首次出现,其名称前标识*符号,表示为该锈菌的寄主新记录(表 2)。

本文对 9 种新疆柳树栅锈菌制定平行式形态分类检索表,以供相关病原种类鉴定研究参考。检索表如下。

- 1. 夏孢子通常为长椭圆形至卵形…………… 2
- 1. 夏孢子通常为球形、卵形至宽椭圆形 …… 4
- 2. 夏孢子堆仅叶正面生 …………… # *M. salicis-cavaleriei*
- 2. 夏孢子堆叶背面生或叶两面生…………… 3
- 3. 单主寄生,夏孢子堆叶背面生,极少叶正面生…………… # *M. amygdalinae*
- 3. 转主寄生,夏孢子堆叶两面生,叶背面生为主…………… *M. salicis-albae*
- 4. 冬孢子角质层下生或表皮层及角质层下生,夏孢子堆叶背面生 …… # *M. salicis-sinicae*
- 4. 冬孢子表皮层下生…………… 5
- 5. 夏孢子堆叶两面生…………… 6
- 5. 夏孢子堆叶背面生…………… 8
- 6. 夏孢子堆叶正面生为主 …… *M. iranica*
- 6. 夏孢子堆叶背面生为主…………… 7
- 7. 冬孢子堆叶两面生,叶正面生为主…………… ## *M. salicis-michelsonii*
- 7. 冬孢子堆叶两面生,叶背面生为主…………… *M. arctica*
- 8. 冬孢子顶端不增厚 …… *M. larici-epitea*
- 8. 冬孢子顶端增厚 …………… *M. salicis-argyraceae*



A. *Melampsora amygdalinae*; B. *M. arctica*; C. *M. iranica*; D. *M. larici-epitea*; E. *M. salicis-albae*; F. *M. salicis-argyreae*; G. *M. salicis-cavaleriei*; H. *M. salicis-michelsonii*; I. *M. salicis-sinicae* (叶部着生的孢子堆: A~C1, E~I1, 标尺: 1 mm。夏孢子及侧丝: A2~4, B2, C2, D1~2, E2~4, F2~4, G3~4, H2~3, I2, 标尺: 20 μm。冬孢子: B~D3, F~G5, H4, I3, 标尺: 20 μm)

I. *M. salicis-sinicae* (Uredinia and telia on leaves: A~C1, E~I1, Bars: 1 mm. Urediniospores and paraphyses: A2~4, B2, C2, D1~2, E2~4, F2~4, G3~4, H2~3, I2, Bars: 20 μm. Teliospores: B~D3, F~G5, H4, I3, Bar: 20 μm)

图 1 新疆柳树栅锈菌形态图

Fig. 1 *Melampsora* on *Salix* in Xinjiang

2.2 系统发育分析

本次系统发育研究获得 ITS 和 LSU 序列长度约分别为 560 bp 和 570 bp,经构建 ML 和贝叶斯系统发育树,二者相对应的拓扑结构以及分析结果一致(图 2)。 *M. amygdalinae* (支持率 98/0.96)、*M. iranica* (79/0.85)、*M. larici-epitea* (88/0.93)、*M. salicis-albae* (99/1)和 *M. salicis-argyreae* (88/0.98)分别与相应已知种具有较密切的亲缘关系而聚于同一分支,这 5 种栅锈

菌的形态学鉴定与系统发育分析结果具有一致性,充分说明 ITS 和 LSU 序列信息在其种间具有明显差异。

但在系统发育树顶端 *M. arctica*、*M. salicis-sinicae* 和 *M. abietis-caprearum* 却汇聚在一起,就形态特征而言,它们都具有形态极为相似的夏孢子,即个体均较小,为球形或宽椭圆形,这可能是三者系统发育树上处于同一类群的主要原因。但 *M. arctica* 夏孢子堆可叶两面生,以叶背



图 2 柳属栅锈菌 ITS 和 LSU 基因序列系统发育树分析
Fig. 2 Phylogran of *Melampsora* on *Salix* based on ITS-LSU sequences

面生为主,而 *M. salicis-sinicae* 和 *M. abietis-caprearum* 夏孢子堆仅在叶背面生。此外,*M. arctica* 冬孢子大小为 $55\sim 60 \times 17\sim 24 \mu\text{m}$,顶端未增厚^[2-3],*M. salicis-sinicae* 冬孢子为 $39\sim 86 \times 10\sim 26 \mu\text{m}$,较长而窄,顶端增厚^[4],而 *M. abietis-caprearum* 冬孢子偏狭小为 $19\sim 30 \times 9\sim 12 \mu\text{m}$,顶端不增厚^[2],特此区分为 3 个种。由此说明 ITS 和 LSU 基因信息在这 3 种之间的种间差异过小无法区分,需通过结合形态学差异来区别。此外,在系统发育树中,*M. salicis-cavaleriei* 和 *M. salicis-michelsonii* 均未与任何已知种汇合,而是分别形成的独立分支,说明二者均为独立的种,结合比较形态特征的差异,后者已作为新种被发表^[9]。前者的相关报道极少,唯一模式标本因难以提取 DNA 至今仅有形态描述^[10,23],但依据文献,*M. salicis-cavaleriei* 是所有已知柳属栅锈菌中唯一夏孢子堆仅叶正面生的物种。本研究中该标本的夏孢子堆恰是仅叶正面着生,此外,夏孢子、侧丝和冬孢子的形态均与该已知种形态描述一致,特此鉴定为本种。

3 讨论与结论

3.1 新疆柳属叶锈病栅锈菌物种组成

本研究从 14 种柳属植物叶部共发现 9 种栅锈菌,包括 1 个新种 *M. salicis-michelsonii* 和 3 个新疆新记录种 *M. amygdalinae*、*M. salicis-cavaleriei* 和 *M. salicis-sinicae*,*M. salicis-argyraceae* 等 5 种新疆已知种。其中,*M. salicis-cavaleriei*、*M. salicis-sinicae*、*M. salicis-michelsonii* 和 *M. salicis-argyraceae* 均只分布于中国,为中国特有种,且后二者在国内仅分布于新疆,又为新疆特有种^[4,7,9-10]。

M. amygdalinae 是柳属上唯一报道的单主寄生栅锈菌^[2],本研究采集该种标本时仅形成夏孢子阶段,因此,已结束的性孢子和锈孢子以及还未形成的冬孢子阶段均未能见到。*M. salicis-cavaleriei* 为中国云南特有种,本次研究发现该种在新疆也有分布,经系统发育研究后,首次报道了该种的 ITS 和 LSU 片段核酸信息。

据新疆柳属叶锈病栅锈菌以往的报道,还有个别种在本次研究中未发现,如 *M. capraearum*、*M. epitea* 和 *M. ribesii-viminalis*^[10],原因在于本次标本采集地还不足够广泛,在今后的研究工

作中,还有待于扩大调查继续补充。至此,新疆柳属叶锈病栅锈菌的种类共有 12 种,充分体现新疆锈菌物种具有丰富的多样性。

3.2 新疆柳属叶锈病栅锈菌寄主范围特点

在寄主植物种类及数量方面,文献报道 *M. arctica* 和 *M. larici-epitea* 广泛分布国内外,其寄主范围较广。在本研究中,二者侵染柳树种类较多,分别为 4 种、各占本次寄主种类总数的 29%,亦体现其寄主范围较广。2014 年报道的新种 *M. salicis-sinicae* 相关文献少,在本次研究中可侵染 5 种不同柳树,占比达到 36%,体现该种寄主范围较广。*M. salicis-albae* 为世界广布种,但从文献与本研究结果(标本数量 10 份)发现,该种只侵染 *S. alba* 一种寄主,寄主范围单一说明该菌专性寄生性较强。其次,寄主 *S. argyracea* (9 份)和(8 份)均可被 3 种不同栅锈菌侵染,二者和 *S. alba* 的标本数量共占标本总数的 60%,是最易被栅锈菌侵染的柳属树种。此外,研究结果发现,有 8 种柳属植物新增为锈菌寄主新记录,大大扩增了栅锈菌寄主范围。本文因缺少栅锈菌性孢子器和锈孢子器寄生的标本,未能对其转主寄生进行相关研究,还有待日后完善,仅在文中提供文献记载的相关信息以供参考(表 3)。

3.3 新疆柳属叶锈病栅锈菌地理分布特点

就地理分布及生境而言,本研究柳属栅锈菌在山地、平原、牧场、河岸、荒漠、农田及城市绿地等多个生境均有不同分布。其中,分布于沙漠的物种最少,仅 *M. salicis-michelsonii* (1 份)为典型荒漠真菌;分布于山地物种最多,*M. salicis-sinicae* (14 份)、*M. salicis-argyraceae* (4 份)、*M. iranica* (2 份)和 *M. salicis-cavaleriei* (2 份)分布于天山,*M. amygdalinae* (1 份)分布于阿尔泰山,共 5 种 23 份标本合占本次研究总栅锈菌物种数和标本数的一半,可见山地是其优势分布生境。

本文只是柳属叶锈病栅锈菌一阶段性报道,科研工作者还需要更多、更深入的野外调查以及采用更先进的分类技术去探索新疆菌物多样性,相信还有许多未知物种或类群有待被发现。

致谢:承蒙新疆农业大学草环学院周桂玲教授和林园学院王兵副教授在寄主植物鉴定方面给予的帮助,在此表示诚挚的感谢!

表 3 新疆柳属叶锈栅锈菌的性、锈孢子器阶段形态特征

Table 3 Spermogonia and aecia morphological characteristics of *Melampsora* species on leaf of *Salix*

菌名 Species	锈孢子器寄主 Aecial host	性孢子器 Spermogonia		锈孢子器 Aecia		锈孢子 Aeciospores		表面纹饰 Ornamentation of aeciospores
		着生位置 Position of spermogonia	大小/ μm Size	着生位置 Position of aecia	长度/mm Length of aecia	锈孢子 大小/ μm Size of aeciospores	锈孢子 壁厚/ μm Wall thickness	
扁桃栅锈菌 <i>Melampsora amygdali- nae</i>	垂柳、康定柳、五蕊 柳、三蕊柳 <i>Salix babylonica</i> , <i>S. paraplesia</i> , <i>S.</i> <i>pentandra</i> , <i>S. tri- andra</i>	叶两面生 Amphige- nous	宽 100, 高 50 Wide 100, High 50	背面生为主, 极少 正面或枝条上生 Mainly hypophyl- lous, rarely on branches	1	16~24×14~20	2	疣状物较小 Minutely verrucose
北极栅锈菌 <i>M. arctica</i>	虎耳草属 <i>Saxifraga</i> spp.	叶两面生 Amphige- nous	宽 150~160, 高 90~130 Wide 150-160 High 90-130	叶两面生, 背面生 为主 Amphigenous, mainly hypophyl- lous	0.3~0.5	15~26×15~21	2~3	疣状物较密 Finely verrucose
松柳栅锈菌 <i>M. larici- epitea</i>	落叶松属 <i>Larix</i> spp.	—	宽 70~100, 高 30~40 Wide 70-100, High 30-40	叶背面生 Hypophyllous	0.5~1.5	15~25×10~18	1.5~3	疣突稀疏, 厚 0.5 Sparse verrucose, 0.5 thick
白柳栅锈菌 <i>M. salicis- albae</i>	葱属 <i>Allium</i> spp.	—	宽 150~200, 高 120 Wide 150-200 High 120	叶背面生 Hypophyllous, stems	1	17~26×15~20	1.5~2	有疣状物 Verrucose

注: —表示无信息。 *M. iranica*、*M. salicis-argyraceae*、*M. salicis-michelsonii* 和 *M. salicis-sinica* 4 菌种的性孢子器和锈孢子器未知。
Note: —: No information. Spermogonia and aecia unknown; *M. iranica*, *M. salicis-argyraceae*, *M. salicis-michelsonii* and *M. salicis-sinica*.

参考文献 Reference:

[1] CUMMINS G B, HIRATSUKA Y. Illustrated genera of rust fungi. 3rd ed[M]. St. Paul Minnesota: American Phytopathological Society, 2003.

[2] PEI M H, MCCracken A R. Rust Diseases of Willow and Poplar[M]. Wallingford; CABI Publishing, 2005.

[3] ZHAO P, WANG Q H, TIAN C M, et al. Integrating a numerical taxonomic method and molecular phylogeny for species delimitation of *Melampsora* species (Melampsoraceae, Pucciniales) on willows in China [J]. *PLoS One*, 2015, 17: e0144883.

[4] ZHAO P, TIAN C M, YAO Y J, et al. *Melampsora salicis-sinicae* (Melampsoraceae, Pucciniales), a new rust fungus found on willows in China [J]. *Mycoscience*, 2014, 55(5): 390-399.

[5] ZHAO P, TIAN C M, YAO Y J, et al. New records of *Melampsora* species on willows in China [J]. *Mycotaxon*, 2013, 123: 81-89.

[6] ZHAO P, KAKISHIMA M, WANG Q, et al. Resolving the *Melampsora epitea* complex [J]. *Mycologia*, 2017, 109(3): 391-407.

[7] ZHAO P, TIAN C M, YAO Y J, et al. Two new species and one new record of *Melampsora* on willows from China [J]. *Mycological Progress*, 2015, 14: 66-78.

[8] 徐 彪, 赵震宇, 庄剑云. 新疆的已知锈菌 [J]. 菌物系统, 2013, 32(增刊): 170-189.

XU B, ZHAO ZH Y, ZHUANG J Y. Rust fungi hitherto known from Xinjiang (Sinkiang), northwestern China [J]. *Mycosystema*, 2013, 32(S1): 170-189.

[9] WANG L L, LIK M, LIU Y, et al. *Melampsora salicis-michelsonii* sp. nov. on *Salix michelsonii* and *Melampsora salicis-cavaleriei* on *Salix serrulatifolia* from China [J]. *Phytotaxa*, 2020, 435(4): 280-292.

[10] ZHAO P. Taxonomic studies of *Melampsora* species on willows in China based on morphology and molecular phylogeny [D]. Ibaraki: University of Tsukuba, 2013.

[11] TIAN C M, SHANG Y Z, ZHUANG J Y, et al. Morphological and molecular phylogenetic analysis of *Melampsora* species on poplars in China [J]. *Mycoscience*, 2004, 45: 55-66.

[12] 庄剑云, 魏淑霞. 大兴安岭地区锈菌的初步名录 [J]. 吉林农业大学学报, 2002, 24(2): 5-10.

ZHUANG J Y, WEI SH X. A preliminary checklist of rust fungi in the Greater Khingan Mountains [J]. *Journal of Jilin Agricultural University*, 2002, 24(2): 5-10.

[13] 尚衍重, 侯振世, 任玉柱, 等. 荒漠植物锈菌研究 [J]. 吉林农业大学学报, 1998, 20(增刊): 20.

SHANG Y CH, HOU ZH SH, REN Y ZH, et al. A rust study on desert plant [J]. *Journal of Jilin Agricultural University*, 1998, 20(S): 20.

[14] 曹支敏, 李振岐, 秦岭锈菌 [M]. 北京: 中国林业出版社, 1999: 29-41.

CAO ZH M, LI ZH Q. Rust Fungi of Qinling Mountains [M]. Beijing: China Forestry Publishing House, 1999.

[15] DAMADI S M, PEI M H, SMITH J A, et al. A new species of *Melampsora* rust on *Salix elbursensis* from Iran [J]. *Forest Pathology*, 2011, 41: 392-397.

[16] 庄剑云. 阿尔泰山区的锈菌 [J]. 安徽农业大学学报, 1999, 26(3): 261-265.

ZHUANG J Y. Rust fungi from the Altai [J]. *Journal of Anhui Agricultural University*, 1999, 26(3): 261-265.

[17] 陈守常. 论四川林木锈菌的科属种类与危害类型 [J]. 四川林业科学, 1999, 20(3): 66-71.

CHEN SH CH. Species and hazard of rust fungi in forest in Sichuan [J]. *Journal of Sichuan Forest Science*, 1999, 20(3): 66-71.

[18] 查仙芳, 沈瑞清, 南宁丽. 宁夏锈菌多样性研究 [J]. 安徽农业科学, 2009, 37(32): 15882-15883.

ZHA X F, SHEN R Q, NAN N L. Study on diversity of rust fungi in Ningxia [J]. *Journal of Anhui Agricultural Science*, 2009, 37(32): 15882-15883.

[19] 翟梅枝, 王云果, 高智辉. 甘肃省白龙江林区森林病害初报 [J]. 西南林学院学报, 2007, 27(5): 53-56.

ZHAI M ZH, WANG Y G, GAO ZH H. A preliminary re-

- port on forest disease in Bailongjiang forest zone of Gansu province[J]. *Journal of Southwest Forestry College*, 2007, 27(5):53-56.
- [20] 陈秀虹,刘德群. 昆明园林植物病害病原的鉴定[J]. 西南林学院学报, 1989, 9(1):53-56.
CHEN X H, LIU D Q. An identification of germs of Kunming ground plants' diseases[J]. *Journal of Southwest Forestry College*, 1989, 9(1):53-56.
- [21] 庄剑云,王生荣. 甘肃锈菌名录[J]. 菌物研究, 2006, 4(3):1-11.
ZHANG J Y, WANG SH R. Uredinales of Gansu in north-western China[J]. *Journal of Fungal Research*, 2006, 4(3):1-11.
- [22] 刘文霞. 内蒙古杨柳科植物上栅锈菌的分类研究[D]. 呼和浩特:内蒙古农业大学, 2006:1-43.
- LIU W X. A taxonomic study of *Melampsora* species on Salicaceae plants in Inner Mongolia[D]. Hohhot: Inner Mongolia Agricultural University, 2006:1-43.
- [23] 戴芳澜. 中国真菌总汇[M]. 北京:科学出版社, 1979.
TAI F L. *Sylloge Fungorum Sinicorum*[M]. Beijing: Science Press, 1979.
- [24] 刘铁志,田慧敏,侯振世. 内蒙古的锈菌Ⅲ. 柄锈菌科之外的种[J]. 内蒙古大学学报(自然科学版), 2017, 48(6):646-657.
LIU T ZH, TIAN H M, HOU ZH SH. Rust fungi in Inner Mongolia Ⅲ. Species of the families except Pucciniaceae[J]. *Journal of Inner Mongolia University(Natural Science Edition)*, 2017, 48(6):646-657.

Morphological Characteristics and Phylogenetic Analysis of *Melampsora* Species on Willow Leaf Rust in Xinjiang of China

WANG Lili^{1,2}, LI Kemei², WANG Jinming²,
Nursimangul • aihaiti² and TIAN Chengming¹

(1. The Key Laboratory for Silviculture and Conservation of Ministry of Education, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China; 2. College of Agronomy, Xinjiang Agricultural University, Key Laboratory of the Pest Monitoring and Safety Control of Crops and Forests, Urumqi 830052, China)

Abstract Willow is one of the main species of forest trees in Xinjiang, willow leaf rust caused by *Melampsora* is common in Xinjiang, and has many types of pathogens. In order to explore the species diversity, host range and distribution of the pathogen of willow rust in Xinjiang, the samples from various habitats in Xinjiang were collected and the morphology and phylogeny (ITS and LSU sequence) at uredinial and telial stages were classified and identified, and the host range and distribution characteristics were discussed. The results showed that nine *Melampsora* species, including *M. salicis-michelsonii*, *M. amygdalinae*, *M. salicis-cavaleriei*, *M. salicis-sinicae*, *M. arctica*, *M. iranica*, *M. laricipitea*, *M. salicis-albae* and *M. salicis-argyreae*, were identified. Among the 14 infected host species under *Salix*, eight species, including *S. argyreae*, *S. capusii*, *S. iliensis*, *S. metaglauca*, *S. michelsonii*, *S. serrulatifolia*, *S. songarica* and *S. tianschanica*, were the new records for rust host. This study provides a theoretical basis for the diagnosis and control of fungal diversity and forest diseases in Xinjiang, and also provides a basis for the further study of fungal diversity and diagnosis and control of forest diseases in Xinjiang.

Key words Salix; Rust; Morphology; ITS sequence; LSU sequence; Xinjiang

Received 2021-03-12

Returned 2021-08-29

Foundation item Cooperative Project of Key Open Foundation of College of Plant Protection of Nanjing Agricultural University and Key Laboratory of Ministry of Agriculture; University Students Innovation Project of Xinjiang Uygur Autonomous Region(No. S202010758022).

First author WANG Lili, female, Ph. D student. Research area: systematics of fungi. E-mail: 1136862740@qq.com

Corresponding author TIAN Chengming, male, professor. Research area: forest pathology. E-mail: chengmt@bjfu.edu.cn

(责任编辑:史亚歌 Responsible editor:SHI Yage)