

西双版纳自然保护区玫烟色棒束孢分布的时空动态及寄主多样性

郑亚强^{1,3}, 王文倩¹, 陈斌^{1*}, PHANGTHAVONG Souksamone¹,
赵永鑫¹, 徐天梅¹, 肖关丽^{2*}

(1. 云南农业大学植物保护学院/云南生物资源保护与利用国家重点实验室, 昆明 650201; 2. 云南农业大学农学与生物技术学院, 昆明 650201;
3. 贵州中医药大学药学院, 贵阳 550025)

摘要: 为明确西双版纳自然保护区虫生玫烟色棒束孢的时空动态及寄主多样性, 以期为玫烟色棒束孢的开发利用提供理论依据和材料。本研究于2017年7月—2018年9月, 对西双版纳自然保护区石灰岩山季雨林、热带季雨林、季风常绿阔叶林、热带丛生竹林、暖热性针叶林5种生境中玫烟色棒束孢的发生季节、生境分布和寄主进行了调查研究, 采用形态学和ITS序列对菌株进行种类鉴定。结果表明, 在西双版纳自然保护区共采集玫烟色棒束孢674株。从时间动态来看, 玫烟色棒束孢于当年10月至次年4月为发生流行期, 12月或次年1月为发生高峰期。从空间分布来看, 玫烟色棒束孢主要分布于热带丛生竹林和石灰岩山地雨林的低、高和中海拔地带, 分别采集到150和133、118、104株, 相对丰度分别为22.3%、19.7%、17.5%和15.4%; 热带季雨林和季风性常绿阔叶林中相对较少, 分别采集到77和73株, 相对丰度分别为11.4%和10.8%; 暖热性针叶林生境仅采集到19株, 相对丰度为2.8%。从海拔分布来看, 石灰岩山季雨林生境中, 玫烟色棒束孢在高、中、低海拔生境中分布的差异不明显, 低海拔生境中菌株数量略高于中海拔和高海拔生境。玫烟色棒束孢的寄主节肢动物有2纲12目, 包括昆虫纲11目, 蛛形纲1目, 其中优势寄主为鳞翅目和膜翅目, 其相对丰度分别为40.4%和36.4%。该研究为玫烟色棒束孢生物多样性研究提供了重要内容, 也为害虫生防高毒力玫烟色棒束孢菌株筛选提供材料。

关键词: 西双版纳自然保护区; 玫烟色棒束孢; 生境分布; 季节动态;

中图分类号: S476.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1005-9261(2020)03-0371-10

Spatiotemporal Dynamics and Host Diversity of *Isaria fumosorosea* in Xishuangbanna Tropical Rain Forests

ZHENG Yaqiang^{1,3}, WANG Wenqian¹, CHEN Bin^{1*}, PHANGTHAVONG Souksamone¹,
ZHAO Yongxin¹, XU Tianmei¹, XIAO Guanli^{2*}

(1. College of Plant Protection, Yunnan Agricultural University/State Key Laboratory for Conservation and Utilization of Bio-Resources in Yunnan, Kunming 650201, China; 2. College of Agriculture & Biology Technology, Yunnan Agricultural University, Kunming 650201, China; 3. College of Pharmacy, Guiyang University of Chinese Medicine, Guiyang 550025, China)

Abstract: The spatiotemporal dynamics and host diversity of *Isaria fumosorosea* was investigated in five vegetation types of karst monsoon forest, tropical monsoon forest, monsoon evergreen broad-leaved forest, tropical clustered bamboo forest, and warm temperate coniferous forest in tropical rainforest of Xishuangbanna Nature Reserve for the purpose of further development and utilization of *I. fumosorosea*. A total of 674 strains of *I.*

收稿日期: 2019-10-23

基金项目: 国家自然科学基金(31660537, 31760519);

作者简介: 郑亚强, 博士研究生, E-mail: 15288338237@163.com; *通信作者, 陈斌, 教授, E-mail: chbins@163.com; 肖关丽, 教授, E-mail: glxiao9@163.com.

DOI: 10.16409/j.cnki.2095-039x.2020.03.006

fumosorosea was collected from the five vegetations. The strains were mainly distributed in the tropical clustered bamboo forest and low, high and middle altitude of the karst monsoon forest, where 150, 133, 118 and 104 strains were collected, sharing relative abundances of 22.3%, 19.7%, 17.5% and 15.4%, respectively. Relatively fewer strains were found in the monsoon evergreen broad-leaved forest and the tropical monsoon forest, 77 and 73 strains and with, the relative abundance of 11.4% and 10.8%, respectively. The least number (19) of *I. fumosorosea* strains were found in the warm temperate coniferous forest, with a relative abundance of 2.8%. The number of *I. fumosorosea* strains did not differ significantly between different altitude areas of the karst monsoon forest. *I. fumosorosea* occurrence peaked from October to April. There were 12 orders of arthropods infected by *I. fumosorosea*, among which the dominant hosts were lepidoptera and hymenoptera, with a relative abundance of 40.4% and 36.4%, respectively. These results highlight the biodiversity of *I. fumosorosea* and provide strains of *I. fumosorosea* for screening for high virulent biocontrol strains.

Key words: Xishuangbanna tropical rain forests; *Isaria fumosorosea*; habitat distribution; seasonal variation

玫烟色棒束孢 *Isaria fumosorosea* Wize, 属于囊菌门 Ascomycota, 核菌纲 Pyrenomycetes, 肉座菌目 Hypocreales, 虫草菌科 Cordycipitaceae。曾因其分类依据束丝体和孢梗束易受环境和基质的影响不稳定, 而移入拟青霉属拟棒束孢组, 并命名为玫烟色拟青霉 *Paecilomyces fumosorosea*^[1-3]。至 2005 年, Hodge 等^[4]和 Luangsa-ard 等^[5]系统研究了棒束孢属历史文献和棒束孢属的多基因系统发育树, 认为棒束孢属 *Isaria* Pers 是一个有效的属名, 建议将其有性型归为虫草属, 并将曾归为拟棒束孢组的拟青霉重新归于棒束孢属, 且认为其单系应起源于麦角菌科 Clavicipitaceae。至此, 玫烟色拟青霉被更名为玫烟色棒束孢 *Isaria fumosorosea*。之后, Sung 等^[6]将广义的麦角菌科重新修订并划分为线虫草科、虫草菌科和麦角菌科, 并将棒束孢属归入虫草菌科虫草菌属。Kepler 等^[7]根据虫草菌科的系统发育和最新的国际植物命名法规 (One fungus=One name), 提出将有性型和无性型两套分类系统统一起来的分类法则^[8], 并将棒束孢属纳入虫草属, 且将其更名为 *Cordyceps fumosorosea* (Wize) Kepler, B. Shrestha & Spatafora。玫烟色棒束孢侵染的昆虫寄主较为广泛, 据报道该菌能侵染鳞翅目、同翅目、鞘翅目、双翅目和膜翅目等 10 目 46 科 81 种寄主昆虫^[9], 尤其对粉虱和蚜虫等刺吸式口器昆虫具有很强的致病性, 是一种具有开发潜力的虫生真菌^[10]。然而, 由于玫烟色棒束孢对环境条件的影响较为敏感, 严重影响了该菌的开发和利用, 我国目前尚无登记生产的玫烟色棒束孢生防菌剂^[11,12]。因此, 研究该菌的发生流行规律及其寄主的多样性, 对于该菌生物多样性研究及开发利用具有重要意义。

西双版纳自然保护区位于云南省西双版纳自治州 (21°9′~22°33′ N, 99°58′~101°34′ E), 总面积 19690 km², 与老挝和缅甸西南部山水相连, 属于印度-缅甸生物多样性保护的关键和热点地区^[13,14], 也是我国面积最大、生态系统保存较完整的热带雨林地区, 与其他的热带地区相比, 该地区地形地貌特殊、气候环境独特^[15,16], 因此孕育了神奇的生物多样性, 因而被誉为“野生动植物王国”、“地球之肺”。李亦菲等^[17]和郑亚强等^[18]研究发现, 该自然保护区白僵菌属虫生真菌与细脚棒束孢发生流行普遍。然而, 玫烟色棒束孢作为一种重要的广谱性虫生真菌, 其在该自然保护区的生境分布和流行规律还不清楚。

因此, 本研究以西双版纳自然保护区为调查研究区域, 于 2017 年 7 月至 2018 年 9 月, 逐月对西双版纳自然保护区不同生境中玫烟色棒束孢进行了为期 14 个月的系统调查, 以期了解该地区玫烟色棒束孢的生境分布规律、季节变化和寄主多样性, 为玫烟色棒束孢的开发利用提供理论依据和农林业害虫防治提供菌种资源。

1 材料与方法

1.1 调查地点及采集方法

以云南西双版纳自然保护区为调查研究区域, 分别对石灰岩山季雨林 (西双版纳勐仑镇五十五巴卡小寨, 21°57′55″ N, 101°12′22″ E, 海拔 700 m、800 m、900 m)、热带季雨林 (勐腊县补蛙村望天树景区, 21°36′48″ N, 101°34′46″ E, 海拔 736 m)、季风常绿阔叶林 (西双版纳勐远镇南贡山, 21°37′53.31″

N, 101°25'35.38" E, 海拔 926 m)、热带丛生竹林(西双版纳勐养镇野象谷景区, 22°11'2" N, 100°51'50" E, 海拔 821 m)、暖热性针叶林(暖热性针叶林样地位于普文镇丫口寨, 22°32'12" N, 100°0'58" E, 海拔 1202 m)共5种植被类型生境中玫烟色棒束孢进行调查和采集。

2017年7月至2018年9月, 分别在每种植被类型设置10个样方, 每样方面积为10 m×10 m。于各生境样方内仔细观察和采集土壤表面、枯枝落叶层、石头表面、石头缝以及植物的树干、叶片的正反面的罹病虫体, 详细记录采集标本的地理位置、生境类型、寄主动物等相关信息, 并用佳能(Canon)EOS 6D单反套机(佳能有限公司, 日本)拍照后, 单独放入无菌标本储存管中, 带回实验室分离培养。分别于每个月中旬调查采集一次。

1.2 菌株的分离培养

利用SDAY培养基^[19](酵母浸出粉10 g, 葡萄糖40 g, 蛋白胨10 g, 琼脂20 g, pH 6.0±0.1, 蒸馏水1000 mL), 采用虫尸体表分生孢子划线法进行菌株的分离, 接种后采用Parafilm[®]M封口膜封口, 然后置于25℃、光周期16L:8D光照培养箱(恒立(中国)实验室设备科技有限公司, 型号RG-300)中进行培养, 待其培养7 d后, 将分生孢子转接到新的培养基上进行纯化。纯化的菌株采用SDAY斜面培养基保存于4℃冰箱。

1.3 菌种的鉴定

1.3.1 形态鉴定方法 将获得纯培养的真菌点接于PDA^[20](马铃薯200 g, 葡萄糖20 g, 琼脂18 g, 自然pH, 蒸馏水1000 mL)和SDAY(同上)培养基上, 然后置于25℃、光周期16L:8D光照培养箱中培养, 每天定时测量菌落的直径, 记录菌落形态特征。

产孢结构和孢子形态观察: 采用插片法^[3]观察玫烟色棒束孢的产孢结构和孢子形态观察, 将无菌盖玻片以45度角斜插于培养基表面, 采用接种针挑起少许孢子划线法接于插片基部, 待其产孢时, 取出用95%的酒精固定5 s, 然后棉蓝(甲基蓝0.025 g, 乳酸10 g, 甘油20 g, 蒸馏水10 mL)染色, 清水冲洗干净后, 置于徕卡DM750生物显微镜(徕卡微系统贸易有限公司)下观察, 并用配套软件LAS4.8拍照。

1.3.2 分子鉴定方法 菌株基因组DNA的提取: 采用Chelex-100法, 参照陈吉良等^[20]方法进行, 使用无菌解剖刀于固体培养基上挑起绿豆大小菌苔于1.5 mL Eppendorf管中, 加入液氮稍加研磨。然后加入0.5 mL 10%(m/V)的Chelex-100溶液, 涡旋器上振荡5 s, 沸水浴10 min, 冷却至室温后, 12000 r/min离心15 min。取上清液备用。

rDNA-ITS 序列的PCR扩增采用真菌通用引物ITS1(5'-TCCGTAGGTGAACCTGCGG-3'和ITS4(5'-TCCTCCGCTTATTGATATGC-3'), 由英潍捷基(上海)贸易有限公司合成。PCR反应体系25 μL: 引物ITS1和ITS4各1 μL, PCR Mastermix(北京全式金生物技术有限公司)12.5 μL, Template DNA 2 μL, dd H₂O 8.5 μL。反应条件: 94℃预变性5 min; 94℃变性1 min, 57℃退火2 min, 72℃延伸1 min, 32个循环; 72℃, 总延伸10 min。1.8%凝胶琼脂糖电泳检测PCR产物合格后, 送上海生工生物科技有限公司测序。

根据测序结果, 采用Contigexpress软件, 去除两端质量不好的碱基, 将优化好的ITS序列提交到网站NCBI(<http://blast.ncbi.nlm.nih.gov/Blast.cgi>), 运用BLAST程序进行比对。序列经BLAST后下载相似性大于84%的序列及其相关近缘属菌株的ITS序列。采用MEGA 6.06进行序列处理, 应用最大似然法(ML), 运行1000次bootstrap验证, 构建系统发育树^[21]。

1.4 玫烟色棒束孢的寄主鉴定

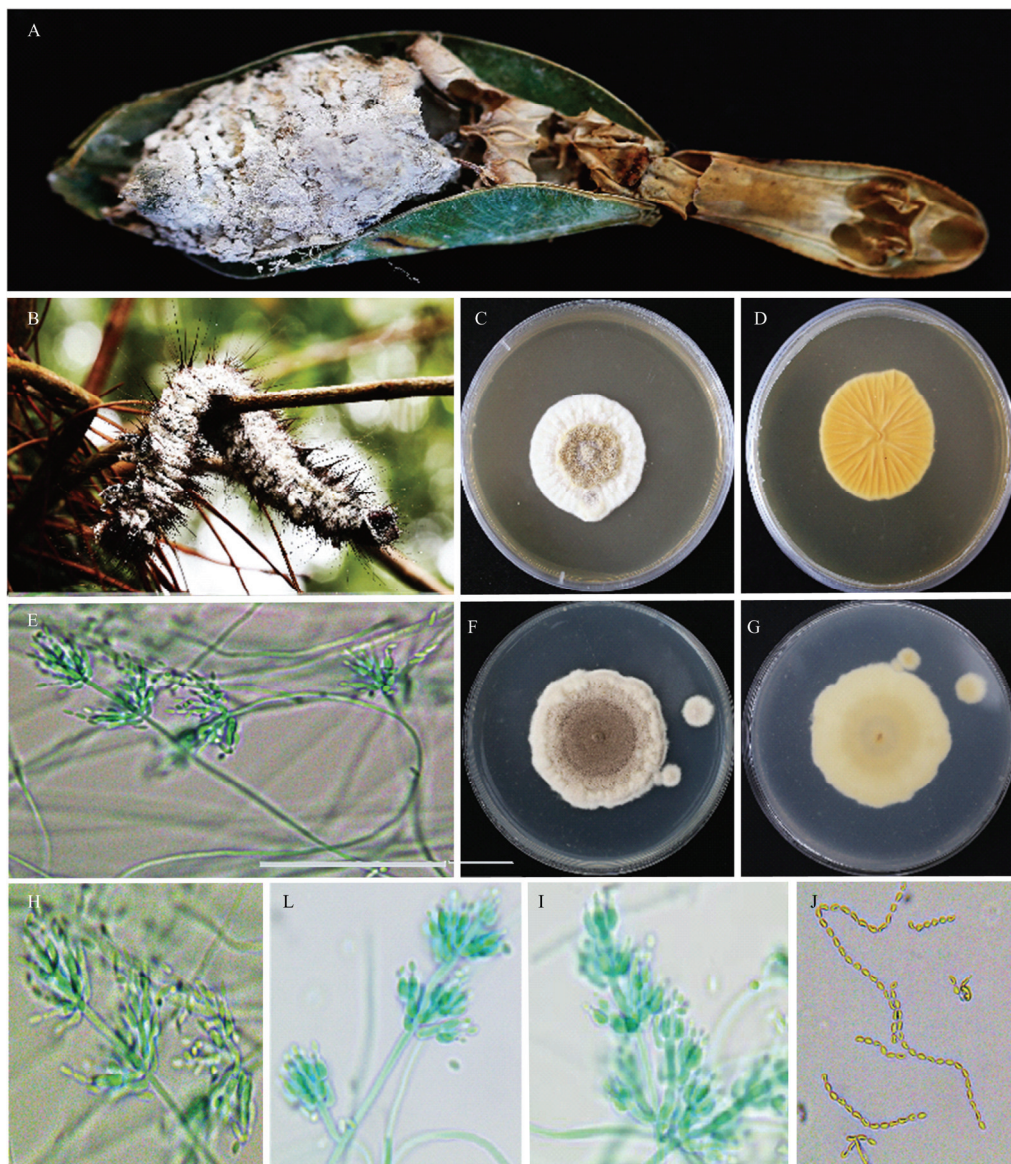
根据《中国经济昆虫志》^[22]、《中国昆虫生态大图鉴》^[23]和《王家园昆虫》^[24]等专著及相关文献资料进行寄主种类的鉴定。根据被玫烟色棒束孢侵染的各目寄主动物的数量计算相对丰度, 计算公式: 相对丰度=某一目寄主的数量/总寄主的数量×100。

2 结果与分析

2.1 玫烟色棒束孢的鉴定

2.1.1 形态鉴定 被玫烟色棒束孢侵染的罹病虫体一般分布于枯枝落叶层, 少数附着于树干上或悬挂于树

枝上,多数罹病虫体体附大量灰色孢子或形成褐色珊瑚状或球簇状孢梗束。在SDAY培养基上于25℃下培养14d,该菌落直径达3~4cm,菌落正面紫灰色至白色,背面橘黄色至白色,菌落凸起,质地粉状至绒毛状,表面纹饰致密,背褶皱,边缘浅波浪状。在PDA培养基上于25℃下培养14d,其菌落直径达3.3~4.6cm,菌落正面灰色,背面淡黄色,菌落扁平,质地绒毛状,表面纹饰疏松,可见同心圆,边缘浅波浪状。菌丝光滑,有隔。分生孢子梗单生或聚集轮生,其上着生3~6个轮生体,瓶梗基部椭圆型膨大,向上形成纤细顶端,(9.2~12.8)×(2.0~2.6)μm。分生孢子柱形至梭形,大小为(3.0~4.8)×(2.2~3.1)μm,分生孢子斜向离生成链(图1)。



A~B: 感染虫体症状 Specimens of infected host; C~D: SDAY 培养基上培养 14 d 时菌落正面和反面形态 The colonies of *I. fumosorosea* on SDAY; E: 光学显微镜 (40 倍), 玫烟棒束孢产孢结构 The conidiogenous structures of *I. fumosorosea*; F~G: PDA 培养基上培养 14 d 时菌落正面和反面形态 The colonies of *I. fumosorosea* on PDA; H~J: 光学显微镜 (100 倍), 玫烟棒束孢产孢结构 The conidiogenous structures of *I. fumosorosea*

图1 玫烟色棒束孢感染症状、培养特征及孢子形态

Fig. 1 The infected host, colony and conidia of *I. fumosorosea*

2.1.2 分子鉴定结果 测定了部分玫烟色棒束孢菌株的 rDNA-ITS 序列, BLAST 比对结果显示, 这些菌株的序列与 NCBI 数据库中的其他玫烟色棒束孢典型菌株的相似率在 99.9%~100%。系统发育分析结果显示, 测定的菌株与数据库中的其他玫烟色棒束孢的菌株聚为一大支, 而与玫烟色棒束孢同属的其他种 (有性型

和无性型) 又分别聚为一支, 说明测定的部分菌株与数据库中玫烟色棒束孢菌株具有较高的相似性和同源性。综其形态特征和分子序列, 将这些菌株鉴定为玫烟色棒束孢 (图 2)。

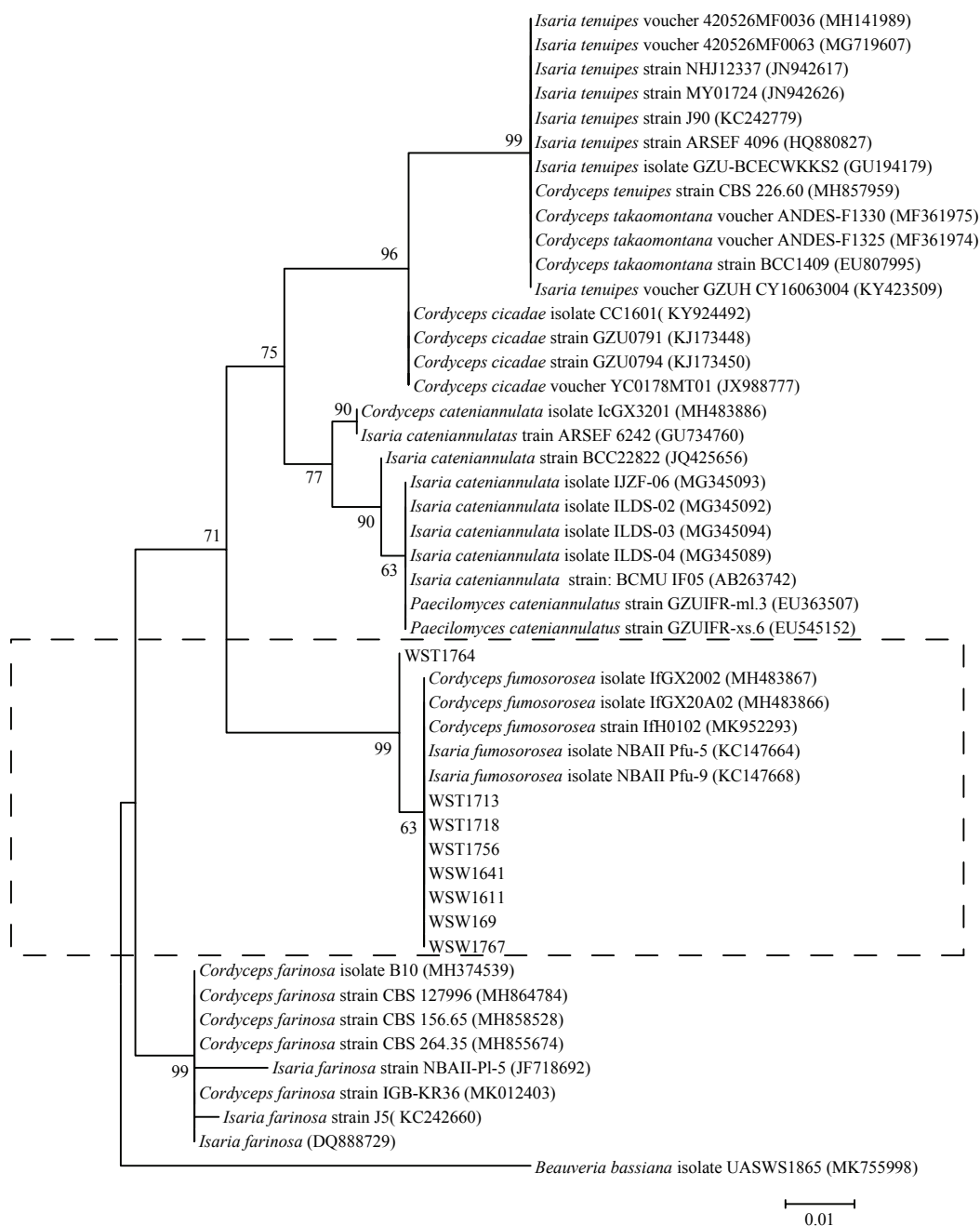
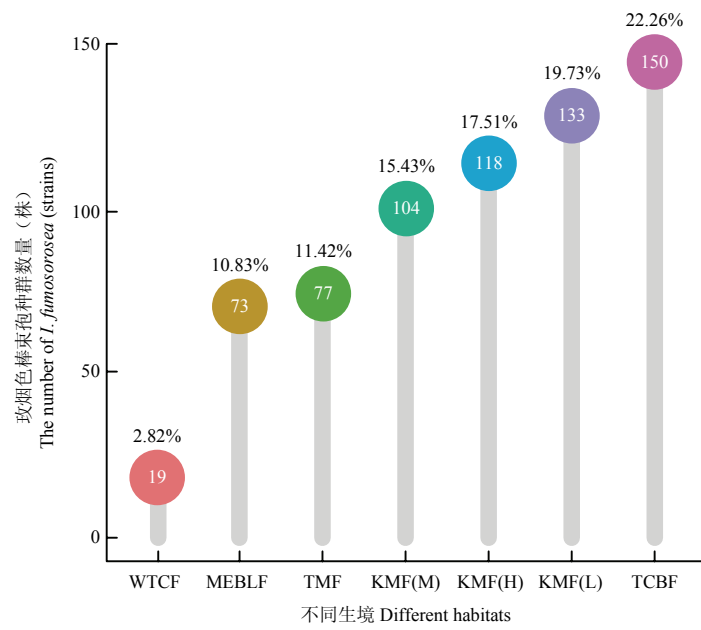


图 2 基于 ITS 序列的部分玫烟色棒束孢菌株的系统发育分析

Fig. 2 Phylogenetic analysis of *I. fumosorosea* strains based on ITS sequence

2.2 玫烟色棒束孢的生境分布

在西双版纳自然保护区不同生境中, 共采集玫烟色棒束孢侵染罹病虫体 674 头, 主要分布于热带丛生竹林和石灰岩山地雨林的中海拔、高海拔和中海拔生境, 分别有 150、133、118 和 104 个菌株, 相对丰度分别为 22.3%、19.7%、17.5%和 15.4%; 相对较少的为热带季雨林和季风性常绿阔叶林, 分别采集 77 和 73 个菌株, 相对丰度为 11.4%和 10.8%; 暖热性针叶林中玫烟色棒束孢分布最少, 仅采集到 19 株, 相对丰度为 2.8%。从同一生境石灰岩山季雨林不同海拔生境来看, 玫烟色棒束孢在高、中、低海拔差异不明显, 低海拔菌株数量略高于中海拔生境和高海拔生境 (图 3)。



KMF(H): 石灰岩山季雨林高海拔样地 High altitude of karst monsoon forest; KMF(M): 石灰岩山季雨林中海拔样地 Middle altitude of karst monsoon forest; KMF(L): 石灰岩山季雨林低海拔样地 Low altitude of karst monsoon forest; TMF: 热带季雨林 Tropical monsoon forest; MEBLF: 季风常绿阔叶林样地 Monsoon evergreen broad-leaved fores; TCBF: 热带丛生竹林样地 Tropical clustered bamboo forest; WTCF: 暖热性针叶林样地 Warm temperate coniferous forest

图 3 玫烟色棒束孢在不同生境中的分布规律
Fig. 3 Distribution of *I. fumosorosea* in different habitats

2.3 玫烟色棒束孢的季节动态规律

玫烟色棒束孢在西双版纳自然保护区不同生境中的分布具有较强的季节性，其中 7 月至 10 月种群数量很少；10 月后种群数量急剧上升，12 月或次年 1 月达到发生高峰期，而后种群数量逐渐开始减少；次年 5 月后，种群数量维持到较低水平；其中暖热性针叶林的种群数量一直维持在较低水平，仅在其他生境高发期的时段，零星出现（图 4）。

2.4 玫烟色棒束孢的寄主多样性

从各生境中玫烟色棒孢侵染的寄主种类和数量分布结果（表 1）可以看出，玫烟色棒束孢可侵染 12 目节肢动物，分别为半翅目、蜚蠊目、革翅目、鳞翅目、膜翅目、鞘翅目、蜻蜓目、双翅目、螳螂目、同翅目、直翅目和蛛形纲蜘蛛目。其中相对丰度大于 1%的目有鳞翅目（40.4%）、膜翅目（36.4%）、鞘翅目（7.1%）、半翅目（3.0%）、双翅目（2.7%）、同翅目（2.4%）和蜘蛛目（1.3%）。

3 讨论

从西双版纳自然保护区玫烟色棒束孢的季节变化规律来看，玫烟色棒束孢的发生高峰期在各生境中均发生于雾凉季 10 月至次年 2 月和与雾凉季交际的干热季的 3—4 月。西双版纳自然保护区一年可分为干热（3—5 月）、湿热（6—10 月）、雾凉（11 月—次年 2 月）三季，而其中雾凉季 10 月至次年 2 月和与雾凉季交际的干热季的 3—4 月，该段季节降雨量相对较少，气温相对较低^[13-15]，这是否与玫烟色棒束孢的季节流行规律有关，还有待进一步的研究。该结果与郑亚强等^[18]研究发现的细脚棒束孢的主要流行季节存在明显的重叠，其原因可能由于两种菌具有相似的生物学特性，从而使其发生流行季节相同。该现象也有可能是造成西双版纳自然保护区细脚棒束孢和玫烟色棒束孢引起的害虫病害流行，从而有效控制林间害虫的发生危害的重要原因，然而具体原因还值得进一步探讨。

本研究发现，玫烟色棒束孢主要分布于热带丛生竹林和石灰岩山地雨林，热带季雨林和季风性常绿阔叶林分布相对较少，而暖热性针叶林分布最少。在 5 种生境中，其主要的优势树种和昆虫群落结构不同^[15,25,26]。

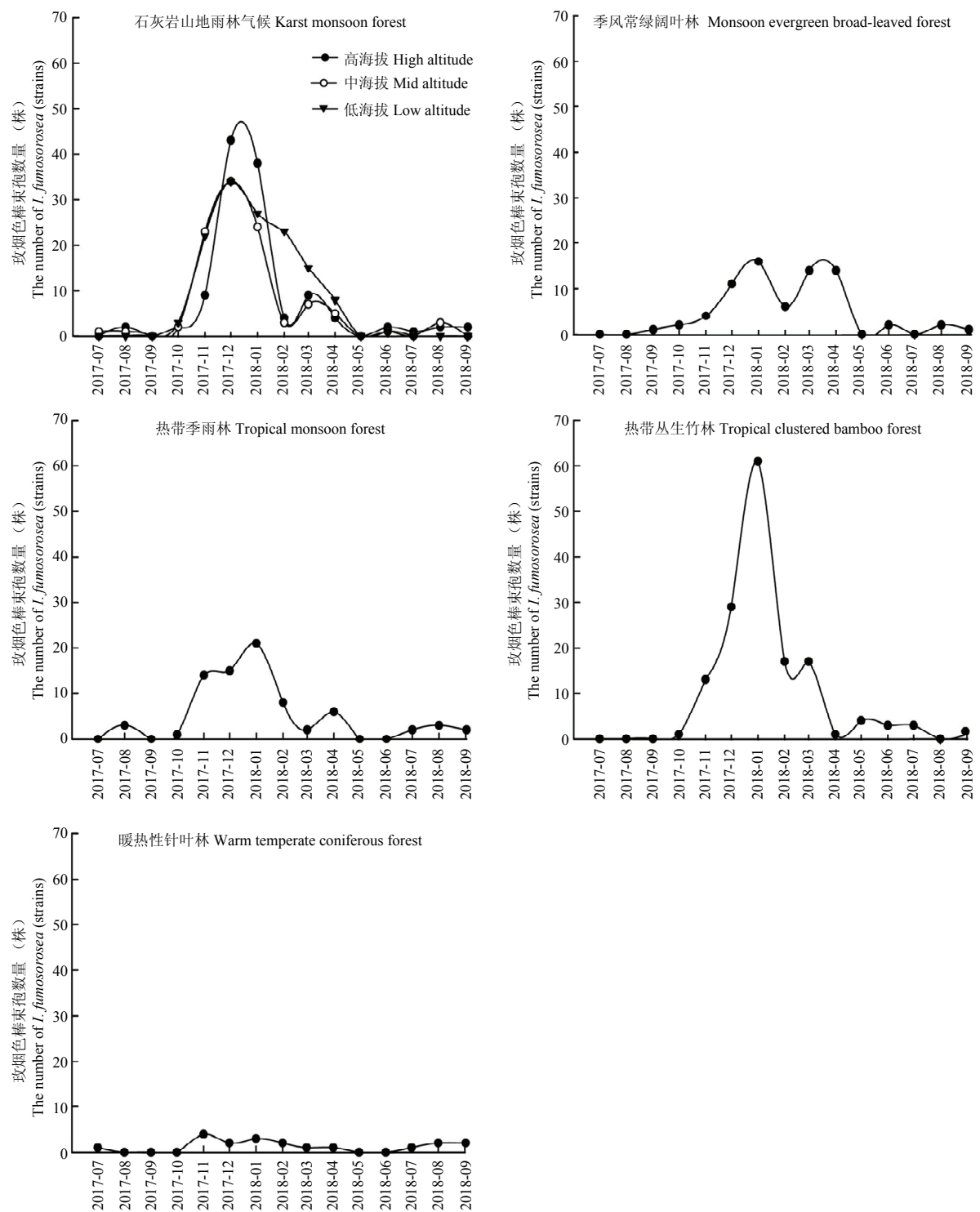


图 4 不同生境玫烟色棒束孢的季节动态

Fig. 4 Seasonal dynamics of *I. fumosorosea* in different habitats

因此，玫烟色棒束孢在各生境中的分布不同，是否由植被差异直接影响该菌的分布，还是植被影响其昆虫群落结构以及土壤特性等，从而影响该菌的分布规律，还有待进一步的研究。此外，一些研究报道^[27]，松针分泌物能抑制真菌的生长发育。因此，暖热性针叶林中玫烟色棒束孢分布较少，是否与松针分泌物有关，还有待进一步的研究。

从罹病虫体数量来看，玫烟色棒束孢主要侵染鳞翅目和膜翅目昆虫，相对丰度分别为 40.4%和 36.4%。

表 1 不同生境玫烟色棒束孢的寄主种类
Table 1 Species of *I. fumosorosea* host from different habitats

寄主（目水平） Host (order level)	寄主（科水平及其他） Hosts (family level and other)	KMF(H)	KMF(M)	KMF(L)	NMEBLF	TMF	WTCF	TCBF	相对丰度 Abundance
半翅目 Hemiptera		2	3	5	6	1	0	3	3.0%
	蝽科 Pentatomida	2	3	5	6	1	0	3	
蜚蠊目 Blattaria	蜚蠊科 Feilian	0	0	0	1	1	0	2	0.6%
	白蚁科 Termitidae	0	0	1	0	0	0	4	
革翅目 Dermaptera	蠹蛾科 Labiduridae	0	0	1	0	0	0	2	0.5%
鳞翅目 Lepidoptera		50	65	64	31	26	7	29	40.4%
	蝶 Butterfly	0	0	0	0	0	0	1	
	蛾 Moth	4	9	8	4	0	1	9	
	粉蝶科 Pieridae	0	0	1	0	0	0	0	
	舟蛾科(Notodontidae)	17	13	23	8	8	2	8	
	蛹 Pupae	13	14	15	14	9	1	6	
	幼虫 Larvae	16	29	17	5	9	3	5	
		84	31	32	13	22	4	86	
	未知成虫 Unkown adults	7	0	0	0	0	0	0	
膜翅目 Hymenoptera	蜂 Sphecidae	1	0	0	0	1	0	2	36.4%
	胡蜂 Vespidae	0	2	0	1	1	0	1	
	寄生蜂 Parasitoid Wasp	0	0	0	1	0	0	0	
	蚁科 Formicidae	71	29	31	11	20	4	79	
		6	2	14	8	2	1	15	
	步甲 Carabidae	0	0	0	0	0	0	2	
	未知成虫 Unkown adults	3	2	6	3	0	0	8	
	甲虫 Beetle	0	0	1	0	0	1	1	
	拟步甲科 Tenebrionidae	0	0	0	0	0	0	1	
	瓢虫 Coccinellidae	0	0	0	0	0	0	1	
	瓢甲科 Coccinellidae	0	0	1	0	0	0	0	
	锹甲科 Lucanidae	0	0	0	1	0	0	0	
鞘翅目 Coleoptera	四星瓢虫 Hyperaspis repensis	0	0	0	1	0	0	0	7.1%
	天牛科 Cerambycidae	0	0	1	0	0	0	0	
	象甲科 Curculionidae	1	0	1	3	1	0	2	
	幼虫 Larvae	2	0	4	0	1	0	0	
		0	0	0	0	0	0	1	
	蜻蜓科 Aeshnidae	0	0	0	0	0	0	1	
		5	2	4	1	1	0	5	
	未知 Unknow	3	0	0	0	1	0	3	
	水蝇科 Ephydriidae	0	0	0	1	0	0	0	
	蚊科 Culicidae	5	0	4	0	0	0	1	
双翅目 Diptera	蝇科 Muscidae	2	2	0	0	0	0	1	2.7%
		0	0	0	1	0	0	0	
	螳螂 Mantidae	0	0	0	1	0	0	0	
螳螂目 Mantodea	螳螂 Mantidae	0	0	0	1	0	0	0	0.2%

序表 1

寄主（目水平） Host (order level)	寄主（科水平及其他） Hosts (family level and other)	KMF(H)	KMF(M)	KMF(L)	NMEBLF	TMF	WTCF	TCBF	相对丰度 Abundance
同翅目 Homoptera		2	0	6	4	2	2	4	3.0%
	未知 Unknow	1	0	3	0	1	1	2	
	蝉科 Cicadidae	1	0	1	2	1	0	1	
	角蝉 Membracidae	0	0	1	0	0	0	1	
	蜡蝉科 Fulgoridae	0	0	1	0	0	0	0	
	沫蝉科 Cercopidae	0	0	0	2	0	1	0	
直翅目 Orthoptera		0	0	1	1	1	0	1	0.6%
	蝗科 Acridoidea	0	0	0	1	1	0	1	
	蟋蟀科 Gryllidae	0	0	1	0	0	0	0	
蜘蛛目 Araneida	蜘蛛 Spider	0	0	2	2	1	0	4	1.3%
未知 Unknow		5	3	4	4	4	3	8	4.6%

注 Note: KMF(H): 石灰岩山季雨林高海拔样地 high altitude of karst monsoon forest; KMF(M): 石灰岩山季雨林中海拔样地 middle altitude of karst monsoon forest; KMF(L): 石灰岩山季雨林低海拔样地 Low altitude of karst monsoon forest; TMF 代表热带季雨林 Tropical monsoon forest; MEBLF 代表季风常绿阔叶林样地 Monsoon evergreen broad-leaved forest; TCBF:热带丛生竹林样地 tropical clustered bamboo forest; WTCF: 暖热性针叶林样地 warm temperate coniferous forest

然而，有研究认为^[11,12]，玫烟色棒束孢在粉虱、蚜虫等刺吸式口器害虫中具有很强的致病性。究其原因，可能与该自然保护区特殊的气候环境和植被类型引起的昆虫群落结构的差异有关。也有可能由于粉虱、蚜虫等昆虫体积较小，在调查中不易发现其罹病虫体，再加之采集样地植被一般为高大乔木，采集范围一般仅限于人所能触及到的地方，而未对较高树体上罹病虫体进行采集。此外，李亦菲等^[17]研究发现，西双版纳自然保护区球孢白僵菌主要侵染鞘翅目和膜翅目昆虫，郑亚强等^[18]研究发现，西双版纳细脚棒束孢种群仅侵染鳞翅目昆虫。由此看出，西双版纳自然保护区不同种昆虫病原真菌侵染的寄主存在差异，这可能是维持该生态系统昆虫种群平衡的重要原因。

本研究调查了西双版纳自然保护区不同生境中玫烟色棒束孢生境分布差异，然而该差异是否与其生境中的植被类型、昆虫群落结构或土壤特性等因素有关，还值得进一步的深入研究。本研究发现不同季节之间玫烟色棒束孢流行规律存在差异，然而这种差异是否与气候因子有关，还值得进一步的研究。本研究发现玫烟色棒束孢侵染寄主较多，然而由于虫体大多长满菌丝，直接观察较难，大多只鉴定到科级水平，因此下一步可结合分子生物学技术更深入地明确寄主分类水平，为玫烟色棒束孢的开发提供详实的理论依据。

参 考 文 献

[1] Petch T. Isaria[J]. Transactions of the British Mycological Society, 1934, 19: 34-38.

[2] Samson R A. *Paecilomyces* and some allied *Hyphomycetes*[J]. Studies in Mycology, 1974, 6: 1-67.

[3] 梁宗琦, 韩燕峰, 初华丽. 中国真菌志.第四十三卷拟青霉属, 棒束孢属, 戴氏霉属[M]. 北京: 科学出版社, 2007, 1-154.

[4] Hodge K T, Gams W, Samson R A, *et al.* Lectotypification and status of *Isaria* Pers.: Fr [J]. Taxon, 2005, 54(2): 485-489.

[5] Luangsa-ard J J, Hyweljones N L, Manoch L, *et al.* On the relationships of *Paecilomyces* sect. *Isarioidea* species[J]. Mycological Research, 2005, 109(5): 581-589.

[6] Sung G H, Hyweljones N L, Sung J M, *et al.* Phylogenetic classification of *Cordyceps* and the clavicipitaceous fungi[J]. Studies in Mycology, 2007, 57(1): 5-59.

[7] Kepler R M, Luangsa-Ard J J, Hywel-Jones N L, *et al.* A phylogenetically-based nomenclature for Cordycipitaceae (Hypocreales)[J]. IMA Fungus, 2017, 8(2): 335-353.

[8] Taylor J W. One fungus = one name: DNA and fungal nomenclature twenty years after PCR[J]. IMA Fungus, 2011, 2(2): 113-120.

- [9] Zimmermann G. The entomopathogenic fungi *Isaria farinosa* (formerly *Paecilomyces farinosus*) and the *Isaria fumosorosea* species complex (formerly *Paecilomyces fumosoroseus*): biology, ecology and use in biological control[J]. Biocontrol Science & Technology, 2008, 18(9): 865-901.
- [10] 赵建华, 王宏民, 张天浩, 等. 玫烟色棒束孢耐热菌株的筛选及对麦长管蚜的致病力测定[J]. 植物保护, 2019, 45(1): 234-237.
- [11] 王滨, 曹娜, GHULAM Ali Bugti. 玫烟色棒束孢对多种刺吸式口器害虫防治潜力的室内评测[J]. 中国生物防治学报, 2018, 34(1): 86-91.
- [12] 孟豪, 田晶, 付淑慧, 等. 玫烟色棒束孢与球孢白僵菌对桃蚜致病力对比[J]. 植物保护学报, 2014, 24(6): 717-722.
- [13] Cao M, Zou X, Zhu W H. Tropical forests of Xishuangbanna, China[J]. Biotropica, 2006, 38(3): 306-309.
- [14] Myers N, Mittermeier R A, Mittermeier C G, *et al.* Biodiversity hotspots for conservation priorities[J]. Nature, 2000, 403(24): 853-858.
- [15] 朱华, 王洪, 李保贵, 等. 西双版纳森林植被研究[J]. 植物科学学报, 2015, 33(5): 641-726.
- [16] Zhang K Y. The influence of deforestation of tropical rainforest on local climate and disaster in Xishuangbanna region of China[J]. Climatological Notes, 1986, 35: 223-236.
- [17] 李亦菲, 郑亚强, 徐天梅, 等. 西双版纳自然保护区白僵菌属虫生真菌多样性[J]. 中国生物防治学报, 2018, 34(4): 559-567.
- [18] 郑亚强, 陈斌, 赵永鑫, 等. 西双版纳自然保护区不同生境虫生细脚棒束孢生态分布及发生规律[J]. 中国生物防治学报, 2019, 35(3): 390-398.
- [19] 蒲哲龙, 李增智. 昆虫真菌学[M]. 合肥: 安徽科学技术出版社, 1996, 553-554.
- [20] 陈吉良, 黄小龙, 吴安迪, 等. 一种快速高效提取病原真菌 DNA 作为 PCR 模板的方法[J]. 菌物学报, 2011, 30(1): 147-149.
- [21] Kumar S, Tamura K, Nei M. MEGA3: Integrated software for molecular evolutionary genetics analysis and sequence alignment[J]. Briefings in Bioinformatics, 2004, 5(2): 150-163.
- [22] 唐觉. 中国经济昆虫志膜翅目蚁科(第 47 册)[M]. 北京: 科学出版社, 1995.
- [23] 张巍巍, 李元胜. 中国昆虫生态大图鉴[M]. 重庆: 重庆大学出版社, 2011.
- [24] 虞国跃, 王合, 冯术快. 王家园昆虫[M]. 北京: 科学出版社, 2016.
- [25] 徐正会, 曾光. 西双版纳地区不同植被亚型蚁科昆虫群落研究[J]. 动物学研究, 1999, 20(2): 118-125.
- [26] 徐正会. 西双版纳自然保护区蚁科昆虫生物多样性研究[M]. 昆明: 云南科技出版社, 2002.
- [27] Duchesne L C, Peterson R L, Ellis B E. Pine root exudate stimulates the synthesis of antifungal compounds by the ectomycorrhizal fungus *Paxillus involutus*[J]. New Phytologist, 1988, 108(4): 471-476.