

篮状菌属的四个中国新记录种

单夏男¹ 徐可心² 阮永明^{1*} 王龙^{3*}

①浙江师范大学化学与生命科学学院 浙江 金华 321004

②长江大学农学院 湖北 荆州 434025

③中国科学院微生物研究所真菌学国家重点实验室 北京 100101

摘要: 在系统调查我国篮状菌属 *Talaromyces* 物种资源的工作中, 分离得到了 10 株篮状菌。基于形态学和 *BenA*、*CaM* 及 rDNA ITS1-5.8S-ITS2 序列的分子种系学分析确定它们分属于 6 个种, 即艾米斯托克篮状菌 *T. amestolkiae*、暗玫瑰篮状菌 *T. atroroseus*、暗绿篮状菌 *T. fuscoviridis*、肯德里克篮状菌 *T. kendrickii*、斯托尔篮状菌 *T. stollii* 和多样篮状菌 *T. versatilis*, 其中后 4 种为篮状菌组 section *Talaromyces* 的我国新记录种。*T. fuscoviridis* 生长适中, 在 MEA 培养基背面呈特征性的暗绿色, 形成绒兼短絮状菌落, 产生稀疏的灰色分生孢子, 其帚状枝双轮生兼单轮生, 瓶梗为安瓿形; *T. kendrickii* 生长适中, 产生典型绒状菌落和大量深绿色分生孢子, 其帚状枝双轮生兼不规则生, 排列紧密, 瓶梗为安瓿形; *T. stollii* 生长迅速, 形成绒状兼絮状菌落并产生大量灰绿色分生孢子, 其帚状枝双轮生兼三轮生, 排列紧密, 瓶梗为典型披针形; *T. versatilis* 生长迅速, 形成短絮状兼绳状菌落, 产生脏粉色菌丝体和稀疏的灰色分生孢子, 其帚状枝双轮生兼单轮生, 排列不紧密, 瓶梗为安瓿形。这 4 个新记录种的发现进一步丰富了我国篮状菌属的物种资源。

关键词: 分子系统学, 青霉, 土壤真菌, 真菌分类学

[引用本文] 单夏男, 徐可心, 阮永明, 王龙, 2021. 篮状菌属的四个中国新记录种. 菌物学报, 40(5): 1216-1231
Shan XN, Xu KX, Ruan YM, Wang L, 2021. Four species of *Talaromyces* new to China. Mycosystema, 40(5): 1216-1231

基金项目: 国家自然科学基金 (31750001); 中国科学院前沿科学重点研究项目 (QYZDY-SSW-SMC029); 科技部科技基础资源调查专项 (2019FY100700)

Supported by the National Natural Science Foundation of China (31750001), the Key Research Program of Frontier Science, Chinese Academy of Sciences (QYZDY-SSW-SMC029), and the National Project on Scientific Groundwork, Ministry of Science and Technology of the People's Republic of China (2019FY100700).

* Corresponding authors. E-mail: ruanym@zjnu.cn, wl_dgk@163.com

ORCID: SHAN Xia-Nan (0000-0002-1517-8843), RUAN Yong-Ming (0000-0002-6361-4072), WANG Long (0000-0001-6774-6999)

Received: 2020-10-19, accepted: 2020-11-23

Four species of *Talaromyces* new to China

SHAN Xia-Nan¹ XU Ke-Xin² RUAN Yong-Ming^{1✉} WANG Long^{3✉}

①College of Chemistry and Life Sciences, Zhejiang Normal University, Jinhua, Zhejiang 321004, China

②College of Agriculture, Yangtze University, Jingzhou, Hubei 434025, China

③State Key Laboratory of Mycology, Institute of Microbiology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China

Abstract: In the survey of *Talaromyces* species diversity in China, ten isolates were identified as *T. amestolkiae*, *T. atroroseus*, *T. fuscoviridis*, *T. kendrickii*, *T. stollii* and *T. versatilis*, respectively, according to morphological characters and the combined phylogenetic analysis of the β -tubulin gene, calmodulin gene and rDNA ITS1-5.8S-ITS2 sequences. Among the six species, the latter four species belonging to section *Talaromyces* are new to China. *T. fuscoviridis* grows moderately, presenting the characteristic dark-green colony reverse on MEA, forming velutinous to compact floccose colonies with sparse grey-coloured sporulation and biverticillate and monoverticillate penicilli with ampuliform phialides; *T. kendrickii* also grows moderately, forming typical velutinous colonies and abundant dull-green sporulation and compact biverticillate and irregular penicilli with ampuliform phialides; *T. stollii* grows fast and forms velutinous and floccose colonies with abundant grey-green sporulation, bearing compact biverticillate and terverticillate penicilli with typical acerose phialides; *T. versatilis* grows fast and forms floccose and funiculous colonies with dirty pinkish mycelium and sparse greyish sporulation, and produces loosely positioned biverticillate and monoverticillate penicilli.

Key words: molecular phylogenetics, *Penicillium*, soil fungi, fungal taxonomy

篮状菌属 *Talaromyces* C.R. Benj. 隶属于真菌界 Fungi, 子囊菌门 Ascomycota, 散囊菌纲 Eurotiomycetes, 散囊菌目 Eurotiales, 发菌科 Trichocomaceae。篮状菌属物种无性阶段的繁殖结构为分生孢子梗 (conidiophore), 通常产生对称双轮生帚状枝 (symmetrical biverticillate penicillus), 其产孢细胞称为瓶梗 (phialide), 多为披针形 (acerose), 有些为安瓿形 (ampuliform)。篮状菌属物种若产生有性阶段则其子囊果为裸囊壳 (gymnothecium), 壳内产生不定数目的球形至椭圆形子囊, 每个子囊含 8 个子囊孢子, 无规则分散于子囊中。

篮状菌最初被当做青霉 *Penicillium* Link 来研究, 如在 Raper & Thom (1949) 出版的

《青霉手册》(《A Manual of Penicillia》) 中, 不论是否产生有性阶段而按照帚状枝分枝形态将青霉划分为 4 个组 (section) 和 41 个系 (series), 其中篮状菌被划分在青霉双轮对称组 *Penicillium* section *Biverticillata-Symmetrica* Thom 中。Benjamin (1955) 依据当时的国际植物命名法规 (International Code of Botanical Nomenclature, ICBN), 给这类菌提出了一个有性型的属名, 即篮状菌属 *Talaromyces*, 模式种为蠕形青霉 *P. vermiculatum* Dangeard, 即蠕形篮状菌 *T. vermiculatus* (Dangeard) C.R. Benjamin。Pitt (1979) 根据双重命名法 (dual nomenclature), 分别处理无性型和有性型, 将只发现无性型的种归入青霉属, 进而又将

其分为 4 个亚属 subgenus, 即曲霉状亚属 subgenus *Aspergilloides* Pitt、叉状亚属 subgenus *Furcatum* Pitt、青霉亚属 subgenus *Penicillium* 和双轮亚属 subgenus *Biverticillium* Pitt; 将发现有性和/或无性阶段的种分别归入正青霉属 *Eupenicillium* (F. Ludw.) 和篮状菌属。其中只发现无性型的且具有 *Penicillium* section *Biverticillata-Symmetrica* 分类学性状的种被放在 subgenus *Biverticillium* Pitt 中, 将产生裸囊壳的种放在篮状菌属中。后来的分子种系发生学(phylogenetics, Gr. *Phyle*=tribe, *genesis*=birth)的研究, 如根据 rDNA ITS1-5.8S-ITS2 (ITS)、 β -微管蛋白基因(β -tubulin gene, *BenA*)和钙调蛋白基因(calmodulin gene, *CaM*)序列的分析显示双轮亚属的种与其他亚属的青霉种分属不同的演化支(clade)而与篮状菌属处于同一个演化支(clade)(Wang & Zhuang 2007; Houbraken & Samson 2011; Samson et al. 2011)。2012 年的《国际藻类、真菌和植物命名法规》(墨尔本法规)[International Code of Nomenclature for algae, fungi, and plants (Melbourne Code)]取消了真菌的双重命名系统(dual naming system), 明确规定一种真菌只有一个名称(one fungus, one name)。因此, *Talaromyces* 成为上述青霉属双轮亚属和篮状菌属物种的合法属名(McNeill et al. 2012)。

Samson et al. (2011) 承认了 71 个 *Talaromyces* 物种, Yilmaz et al. (2014) 根据 *BenA*、*CaM*、ITS 和 *Rpb2* (RNA 多聚酶 II 第二大亚基, DNA-dependent RNA polymerase II the second largest subunit) 将已经发现的 88 种篮状菌分为 7 个组: 杆孢篮状菌组 section *Bacillispori* 6 种、螺旋篮状菌组 section *Helici* 7 种、岛篮状菌组 section *Islandici* 15 种、紫篮状菌组 section *Purpurei* 10 种、近膨篮状菌组 section *Subinflati* 2 种、篮状菌组 section *Talaromyces*

36 种和糙孢篮状菌组 section *Trachispermii* 12 种。最近 Sun et al. (2020) 又增加了一个组, 即细梗篮状菌组 section *Tenuis* 1 种。篮状菌组是篮状菌属的最大组, 截至本文投稿时全球该组已经报道 72 个种, 我国报道了 26 个种(Tzean et al. 1994; 孔华忠和王龙 2007; Chen et al. 2016; Wang et al. 2016a, 2016b; Wang et al. 2017; Su & Niu 2018; Jiang et al. 2018; 陈晗等 2020; 孙剑秋等 2020; Sun et al. 2020; 王龙等 2020)。在系统调查我国篮状菌物种资源并编研“中国篮状菌志”的研究工作中, 我们从 5 个省区的土壤中分离得到 10 株篮状菌, 经鉴定分属 6 个种, 即艾米斯托克篮状菌 *T. amestolkiae* N. Yilmaz, Houbraken, Frisvad & Samson、暗玫瑰篮状菌 *T. atroroseus* N. Yilmaz, Frisvad, Houbraken & Samson、暗绿篮状菌 *T. fuscoviridis* Yilmaz, Visagie & Samson、肯德里克篮状菌 *T. kendrickii* Yilmaz, Visagie, Seifert & Frisvad、斯托尔篮状菌 *T. stollii* N. Yilmaz, Houbraken, Frisvad & Samson 和多样篮状菌 *T. versatilis* Bridge & Buddie。其中 *T. atroroseus* 属于 section *Trachispermii*, 其余 5 种均属于 section *Talaromyces*, 除 *T. amestolkiae* 外, *T. fuscoviridis*、*T. kendrickii*、*T. stollii* 和 *T. versatilis* 为我国新记录种。

1 材料与方法

1.1 样品采集和分离

土壤样品采自我国贵州、湖南、黑龙江、江西、北京等地, 取表层土下面富含腐殖质的土壤约 25g 置于无菌塑料袋中封好。样品分离采用改进的 Malloch (1981) 倍比稀释涂布平皿法(王龙等 2020), 分离得到的 10 株篮状菌, 经鉴定后将每个种的代表菌株保存于中国普通微生物菌种保藏中心(CGMCC)(表 1)。

表 1 用于分子种系学分析的篮状菌组 48 种 58 株菌及其 3 个遗传标记（以暗玫瑰篮状菌为外群）

Table 1 The 58 strains of 48 species from sect. *Talaromyces* included in the phylogenetic analyses and their three genetic markers, with *T. atrovirens* as the outgroup

物种 Species	菌株 Strains ^{a, b}	来源 Sources	遗传标记 Genetic markers		
			<i>BenA</i>	<i>CaM</i>	ITS
<i>T. aculeatus</i>	NRRL 2129 ^T CBS 289.48	美国织物 Textile, USA	KF741929	KF741975	KF741995
<i>T. adpressus</i>	CGMCC 3.18211 ^T CBS 140620	中国北京室内空气 Indoor air, Beijing, China	KU866844	KU866741	KU866657
<i>T. amestolkiae</i>	CBS 132696 ^T DTO 179F5	南非开普敦室内尘土 House dust, Cape Town, South Africa	JX315623	KF741937	JX315660
	3.15821=14049	中国贵州省黄果树瀑布景区土壤 Soil, Huangguoshu Waterfall, Guizhou, China	MT892944	MT892950	MT883346
	12686	中国浙江农业大学茶园土壤 Soil, field of <i>Camellia sinensis</i> , Zhejiang Agricultural University, China	MT892943	MT892949	MT883345
	HL72	中国黑龙江五大连池土壤 Soil, Wudalianchi, Heilongjiang, China	MT892945	MT892951	MT883347
<i>T. angelicus</i>	KACC 46611 ^T	韩国平昌干燥当归根 Dried root of <i>Angelica gigas</i> , Pyeong chang, Gangwon-do, Republic of Korea	KF183640	KJ885259	KF183638
<i>T. apiculatus</i>	CBS 312.59 ^T	日本土壤 Soil, Japan	KF741916	KF741950	JN899375
<i>T. argentinensis</i>	NRRL 28750 ^T	加纳塔佛土壤 Soil, Tafo, Ghana	MH792917	MH792981	MH793045
<i>T. australis</i>	CBS 137102 ^T	澳大利亚牧场土壤 Soil under pasture, Australia	KF741922	KF741971	KF741991
<i>T. beijingensis</i>	CGMCC 3.18200 ^T CBS 140617	中国北京室内空气 Indoor air, Beijing, China	KU866837	KU866733	KU866649
<i>T. californicus</i>	NRRL 58168 ^T	美国加利福尼亚空气 Air, California, USA	MH792928	MH792992	MH793056
<i>T. cnidii</i>	KACC 46617 ^T	韩国堤川干燥川芎根 Dried roots of <i>Cnidium officinale</i> , Jecheon, Chungbuk, Republic of Korea	KF183641	KJ885266	KF183639
<i>T. derxii</i>	CBS 412.89 ^T	日本仓敷耕作土壤 Cultivated soil, Kurashiki, Japan	JX494306	KF741959	JN899327
<i>T. dimorphus</i>	AS3.15692 ^T	中国海南尖峰岭土壤 Soil, Jianfengling Forest Park, Hainan, China	KY007111	KY007103	KY007095
<i>T. duclauxii</i>	CBS 322.48 ^T	法国帆布 Canvas, France	JX091384	KF741955	JN899342
<i>T. euchlorocarpus</i>	DTO 17613 ^T	日本横滨土壤 Soil, Yokohama, Japan	KJ865733	KJ885271	AB176617

待续

续表 1

<i>T. flavovirens</i>	CBS 102801 ^T	西班牙赫罗纳栓皮栎落叶 <i>Quercus suber</i> leaf litter, Selva de Mar, Gerona, Catalonia, Spain	JX091376	KF741933	JN899392
<i>T. flavus</i>	CBS 310.38 ^T	新西兰未知来源 Unknown source, New Zealand	JX494302	KF741949	JN899360
<i>T. francoae</i>	CBS 113134 ^T	哥伦比亚亚马逊厚隔香属植物落叶 Leaf litter in <i>Pseudomonotes tropenbosii</i> forest in Peña Roja, Dept. Amazonas, Colombia	KX011489	KX011501	KX011510
<i>T. funiculosus</i>	CBS 272.86 ^T	印度葫芦 <i>Lagenaria vulgaris</i> , India	JX091383	KF741945	JN899377
<i>T. fuscoviridis</i>	CBS 193.69 ^T	尼德兰土壤 Soil, the Netherlands	KF741912	KF741942	KF741979
	AS3.15876= JX6-6	中国江西庐山土壤 Soil, Lushan, Jiangxi, China	MK837943	MK837951	MK837959
<i>T. fusiformis</i>	CGMCC 3.18210 ^T = CBS 140637	中国北京室内空气 Indoor air, Beijing, China	KU866843	KU866740	KU866656
<i>T. galapagensis</i>	CBS 751.74 ^T = NRRL 13068	厄瓜多尔龟岛美登木下土壤 Soil beneath <i>Maytenus obovata</i> , Galapagos Island, Ecuador	JX091388	KF741966	JN899358
<i>T. intermedius</i>	CBS 152.65 ^T	英国诺丁汉沼泽土壤 Alluvial pasture and swamp soil, Nottingham, UK	JX091387	KJ885290	JN899332
<i>T. kendrickii</i>	CBS 136666 ^T = IBT13593	加拿大森林土壤 Forest soil, Canada	KF741921	KF741967	KF741987
	CBS 136669= IBT14128	尼日利亚土壤 Soil, Nigeria	KF741925	KF741968	KF741988
	3.15849=HL320	中国黑龙江伊春凉水自然保护区土壤 Soil, Liangshui Nature Reserve, Yichun, Heilongjiang, China	MT892947	MT892953	MT883349
	3.15852=AC151	中国北京顺义土壤 Soil, Shunyi, Beijing, China	MT892948	MT892954	MT883350
<i>T. lentulus</i>	AS3.15689 ^T	中国山东东营土壤 Soil, Dongying, Shandong, China	KY007104	KY007096	KY007088
<i>T. liani</i>	CBS 225.66 ^T = NRRL 3380	中国土壤 Soil, China	JX091380	KJ885257	JN899395
<i>T. louisianensis</i>	NRRL 35823 ^T	美国路易斯安娜空气 Air, Louisiana, USA	MH792924	MH792988	MH793052
<i>T. macrosporus</i>	CBS 317.63 ^T	南非斯泰伦博斯苹果汁 Apple juice, Stellenbosch, South Africa	JX091382	KF741952	JN899333
<i>T. mae</i>	AS3.15690 ^T	中国上海东平国家森林公园土壤 Soil, Dongping National Forest Park, Shanghai, China	KY007106	KY007098	KY007090

待续

续表 1

<i>T. mangshanicus</i>	AS3.18013 ^T	中国湖南郴州莽山国家森林公园土壤 Soil, Mangshan National Forest Park, Chenzhou, Hunan, China	KX447530	KX447528	KX447531
<i>T. marneffeii</i>	CBS 388.87 ^T	越南竹鼠 Bamboo rat (<i>Rhizomys sinensis</i>), Vietnam	JX091389	KF741958	JN899344
<i>T. panamensis</i>	CBS 128.89 ^T	巴拿马巴罗科罗拉多岛土壤 Soil, Barro Colorado Island, Panama	HQ156948	KF741936	JN899362
<i>T. pinophilus</i>	CBS 631.66 ^T	法国聚氯乙烯 PVC, France	JX091381	KF741964	JN899382
<i>T. primulinus</i>	CBS 321.48 ^T	美国未知来源 Unknown source, USA	JX494305	KF741954	JN899317
<i>T. purpureogenus</i>	CBS 286.36 ^T	日本米曲霉寄生菌 Parasitic on a culture of <i>Aspergillus oryzae</i> , Japan	JX315639	KF741947	JN899372
<i>T. qii</i>	AS3.15414 ^T = CBS 139515	中国西藏墨脱土壤 Soil, Motuo County, Tibet, China	KP765380	KP765382	KP765384
<i>T. rapidus</i>	CBS 142382 ^T	美国俄亥俄人肺泡灌洗液 Human bronchoalveolar lavage, Ohio, USA	LT559087	LT795600	LT558970
<i>T. ruber</i>	CBS 132704 ^T	英国航空器油箱 Aircraft fuel tank, UK	JX315629	KF741938	JX315662
<i>T. rubicundus</i>	CBS 342.59 ^T	美国乔治亚土壤 Soil, Georgia, USA	JX494309	KF741956	JN899384
<i>T. sayulitensis</i>	NRRL 62185 ^T	美国南卡罗莱纳玉米 Corn, South Carolina, USA	MH792950	MH793014	MH793077
<i>T. siamensis</i>	CBS 475.88 ^T	泰国南邦府森林土壤 Forest soil, Lampang, Thailand	JX091379	KF741960	JN899385
<i>T. stollii</i>	CBS 408.93 ^T	尼德兰艾滋病 AIDS patient, the Netherlands	JX315633	JX315646	JX315674
	AS3.16017= JN1-1	中国山西阳泉孟县腐殖酸 Humic acid, Mengxian, Yangquan, Shanxi, China	MW025969	MW053682	MW053684
	HH1-1	中国黑龙江黑河锦河峡谷土壤 Soil, Jinhe Grand Canyon, Heihe, Heilongjiang, China	MW025968	MW053681	MW053683
<i>T. thailandensis</i>	CBS 133147 ^T	泰国土壤 Soil, Thailand	JX494294	KF741940	JX898041
<i>T. veerkampii</i>	CBS 500.78 ^T	哥伦比亚维拉维森西奥土壤 Soil, Dep. de Meta, Municipio de Villavicencio, Colombia	KF741918	KF741961	KF741984
<i>T. verruculosus</i>	NRRL 1050 ^T = CBS 388.48	美国德克萨斯土壤 Soil, Texas, USA	KF741928	KF741974	KF741994

待续

续表 1

<i>T. versatilis</i>	IMI 134755 ^T =	英国锡莱研究所来源未知	KC992270	MN969319	KC962111
	CBS 140377	Unknown source, Shirley Institute, UK		(DTO 326-B7)	
	AS3.15853=	中国未知来源	MK837944	MK837952	MK837960
	3708	Unknown source, China			
<i>T. viridis</i>	CBS 114.72 ^T =	澳大利亚土壤	JX494310	KF741935	AF285782
	NRRL 5575	Soil, Australia			
<i>T. viridulus</i>	CBS 252.87 ^T	澳大利亚新南威尔士土壤	JX091385	KF741943	JN899314
		Soil, New South Wales, Australia			
<i>T. xishaensis</i>	AS3.17995 ^T	中国海南三沙永兴岛土壤	KU644581	KU644582	KU644580
		Soil, Yongxing Island, Sansha			
		Hainan, China			
<i>T. atroroseus</i>	HR11-1	中国北京怀柔皇后镇土壤	MT892946	MT892952	MT883348
		Soil, Queen's Town, Huairou District, Beijing, China			

注: ^a 模式菌株用 “^T” 标出, ^b 新记录种菌株和序列用粗体表示
Note: ^a Ex-type strains are indicated with “^T”, ^b strains and sequences of the new records are indicated in boldface.

1.2 形态学研究方法

培养性状研究采用查氏酵母精琼脂 (Czapek yeast autolysate agar, CYA) 分别于 25℃、37℃、5℃ 和麦芽精琼脂 (5% malt extract agar, MEA) 于 25℃ 培养 7d 后观察、描述和照相。菌落颜色的描述参照 Ridgway (1912) 的色谱。显微结构研究采用在 MEA 25℃ 培养 7d 的产孢结构做显微镜载片观察、照相和描述 (Pitt 1979; Samson *et al.* 2010)。

1.3 PCR 扩增和测序

核基因组 DNA 的提取参考 Wang & Zhuang (2004) 的方法, 扩增 *BenA*、*CaM* 和 ITS 的引物分别参考 Glass & Donaldson(1995)、Wang (2012)、White *et al.* (1990) 的方法。PCR 扩增反应在无菌的 0.2mL 薄壁平盖 Eppendorf 管中进行, 20μL 反应体系含有基因组 DNA 1.0μL, 正向和反向引物 (10μmol/L) 各 0.5μL, 双蒸水 8μL, 2×PCR 扩增缓冲液 (0.05U/μL *Taq* polymerase, 4mmol/L MgCl₂, 0.4mmol/L dNTPs) 10μL。PCR 程序为 94℃ 3min, 然后共进行 30 个温度循环: 94℃ 变

性 30s, 50℃ 退火 30s, 72℃ 延伸 30s, 最后在 72℃ 延伸 5min。PCR 产物各取 5μL 与 5μL 的 100bp DNA ladder 用 2.0% 的琼脂糖凝胶 (agarose gel) 在 80V 电压下电泳 15min, 再用 0.5g/mL 的溴乙锭 (ehidium bromide, EB) 染色 10min 后在波长 365 和 254nm 的紫外灯下观察。显示单一、明亮扩增区段长度条带的 PCR 扩增产物 (*BenA* 约 400bp, *CaM* 约 700bp, ITS 约 600bp) 用 ABI3730 (Applied Biosystems, Drive Foster City, CA, USA) 进行双向直通测序。

1.4 分子种系学分析

原始序列用生物学软件 Bioedit 7.0.9 (1999) 进行人工校对、编辑, 得到准确无误的全区段序列后提交到 GenBank 并用于种系学分析。选择篮状菌组 48 个物种的模式菌株和代表菌株 49 株以及本研究的 10 株共 59 株篮状菌的 *BenA*、*CaM* 和 ITS 序列链接成组合序列, 其中以糙孢篮状菌组的 *T. atroroseus* HR11-1 作为外群 (表 1), 用 MEGA 6 (2013) 进行对位排列 (alignment) 并编辑修剪后做

成序列矩阵, 然后用最大似然法 (maximum likelihood, ML) 分析并采用自展法 (bootstrap) 进行 1 000 次重复评估各分支的可靠性, 其中空格 (gap) 选择 “partial deletion” (Hall 2013); 另外, 该序列矩阵还采用贝叶斯法 (bayes inference, BI) 对各分支进行后验概率分析 (posterior probability, PP) (Ronquist *et al.* 2012)。

2 结果与分析

BenA-CaM-ITS 的组合序列矩阵共 1 261 个位点 (site), 分子种系学分析显示菌株 AS3.15876=JX6-6 与 *T. fuscoviridis* 的模式菌株 CBS 193.69 同在一个分支, 支持率为 92%, BI 后验概率为 0.95; 菌株 AS3.15849=HL320 和 AS3.15852=AC151 与 *T. kendrickii* 的模式菌株 CBS 136666 同在一个分支, 支持率为 100%, BI 后验概率为 1; 菌株 AS3.16017=JN1-1 和 HH1-1 与 *T. stollii* 的模式菌株 CBS 408.93 同在一个分支, 支持率为 100%, BI 后验概率为 1; 菌株 AS3.15853=3708 与 *T. versatilis* 的菌株 IMI 134755 同在一个分支, 支持率为 100%, BI 后验概率为 1。结合形态学和分子种系学分析确认这些菌株的鉴定准确无误, 参考我国已报道的篮状菌物种, 确定这 4 个种均为我国新记录种 (图 1—图 5)。

2.1 暗绿篮状菌 图 2

Talaromyces fuscoviridis Visagie, N. Yilmaz & Samson, Mycoscience 56: 492, 2015.

在查氏酵母精琼脂 (CYA) 上 25℃、7d, 菌落直径 43–45mm, 较薄, 具较多辐射状沟纹, 边缘完整; 质地绒状兼短绳状; 分生孢子结构无; 菌丝体白色夹杂淡黄色; 渗出液少量, 呈珊瑚红色 coral pink (R. Pl. XIII) 或无色; 可溶性色素无; 菌落背面浅黄色, 近于 pinkish buff (R. Pl. XXIX)。

在麦芽精琼脂 (MEA) 上 25℃、7d, 菌落直径 40–41mm, 稍厚, 中央凹陷, 边缘于培养基内, 完整; 质地短絮状兼绳状; 分生孢子结构稀少, 近于淡烟灰色 pale smoke gray (R. Pl. XLVI); 菌丝体白色夹杂浅黄色, 近于 cream color (R. Pl. XVI); 渗出液无; 可溶性色素无; 菌落背面呈暗绿色, 近于 darkyellowish green to ackermann's green (R. Pl. XVIII)。

在 CYA 上 37℃、7d, 菌落直径约 12mm, 稍厚, 无规则沟纹少, 边缘完整; 质地绒状; 分生孢子结构无; 菌丝呈脏粉色, 近于 pale congo pink (R. Pl. XXVIII); 渗出液无; 可溶性色素多, 深粉红色, 近于 old rose (R. Pl. XIII); 菌落背面呈深红色, 近于 Nopal red (R. Pl. I)。

在 CYA 上 5℃、7d, 未生长。

分生孢子梗产生于表面菌丝和气生菌丝, 孢梗茎 50–150×2.5–3μm, 壁光滑; 帚状枝双轮生兼单轮生; 梗基每轮 2–4 个, 排列紧密, 10–11×2.5–3μm; 瓶梗安瓿形, 排列不紧密, 每轮 2–4 个, 10–11×2.5–3μm; 分生孢子椭圆形至近球形, 3–3.5(–4)μm, 壁厚, 光滑至稍粗糙。

分布和基物: 江西庐山土壤 (JX6-6=AS3.15876)。

注: 本种生长较快, MEA 菌落背面呈特征性暗绿色, 产生短絮状兼绳状菌落, 分生孢子稀疏, 灰绿色, 在 37℃ 生长局限; 帚状枝双轮生兼单轮生, 排列紧密, 分生孢子球形至近球形, 壁厚, 光滑。

2.2 肯德里克篮状菌 图 3

Talaromyces kendrickii Visagie, N. Yilmaz, Seifert & Frisvad, Mycoscience 56: 493, 2015.

在查氏酵母精琼脂 (CYA) 上 25℃、7d, 菌落直径 22–25mm, 较薄, 平坦, 边缘于培养基内, 整齐; 质地绒状; 分生孢子大量, 灰橄榄色 grayish olive (Ridgway Pl. XLVI); 菌

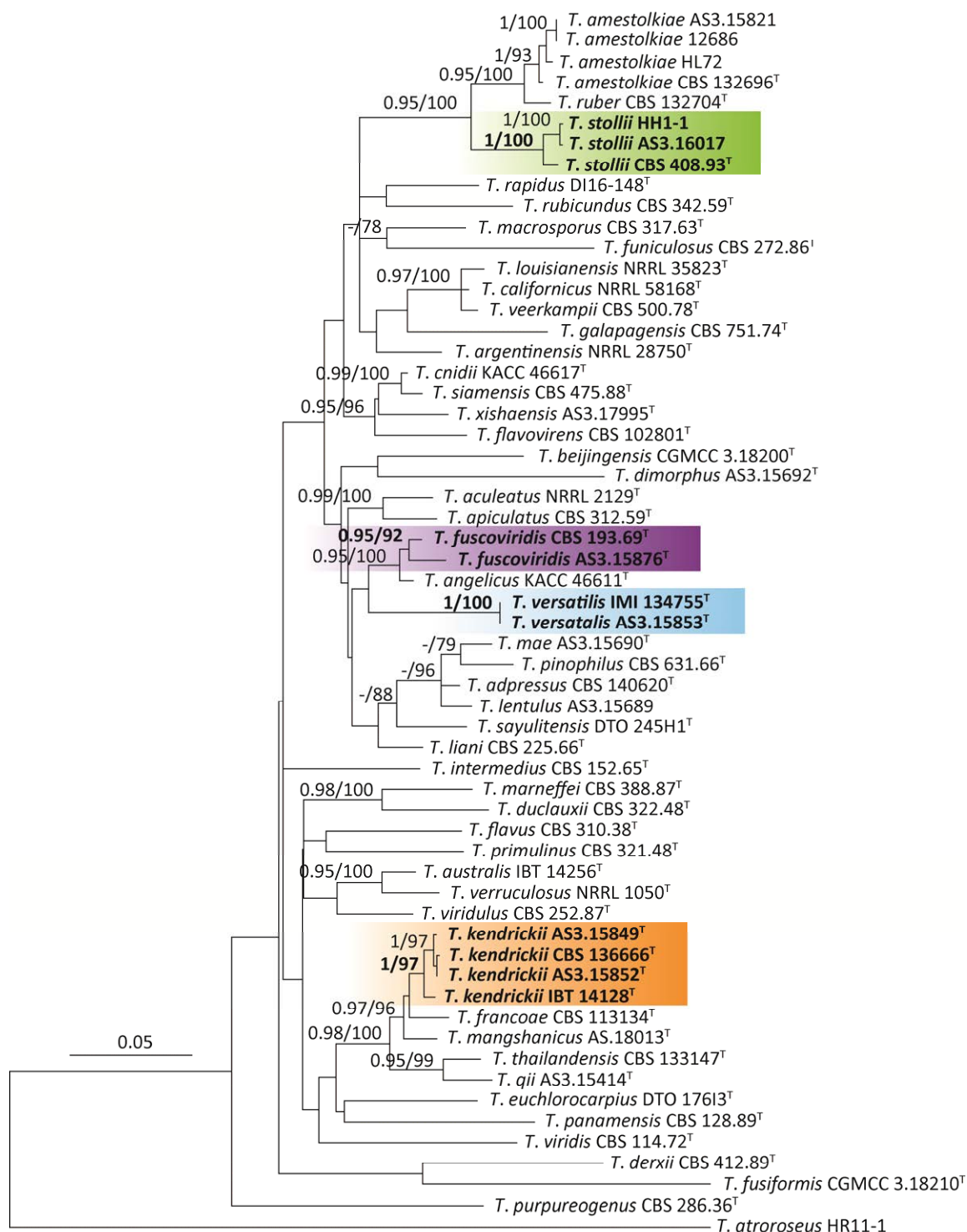


图 1 基于 *BenA-CaM-ITS* 的 ML 系统发育树 BI 后验概率 ≥ 0.95 和支持率 $\geq 70\%$ 标注在分支节点处, ^T表示模式菌株, 粗体表示新记录种. 标尺=0.05 每核苷酸替代率

Fig. 1 ML phylogram inferred from concatenated *BenA-CaM-ITS* partial sequences. Posterior probabilities of BI over 0.95 and percentages over 70% derived from 1 000 replicates are indicated at the nodes, ^T indicates ex-type strains, the species new to China are indicated in boldface. Bar=0.05 substitutions per nucleotide position.

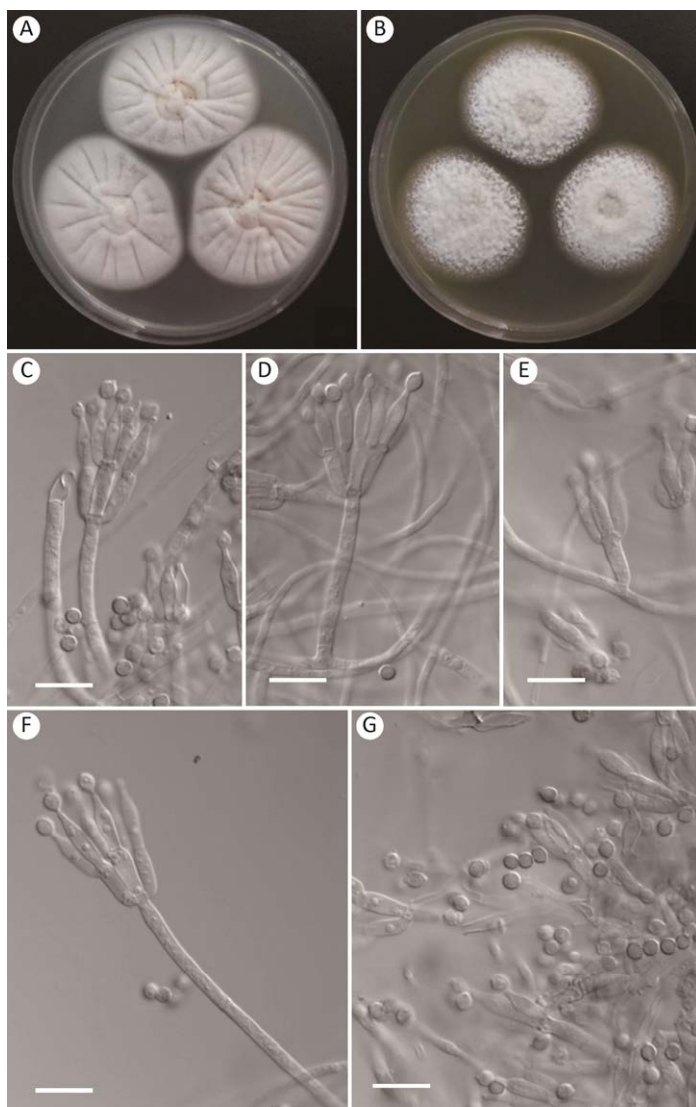


图 2 暗绿篮状菌 *Talaromyces fuscoviridis* AS3.15876 的形态学性状 A, B: 在 CYA 和 MEA 上 25℃、7d 的菌落; C–F: 分生孢子梗; G: 分生孢子. 标尺=10μm

Fig. 2 Morphology of *Talaromyces fuscoviridis* AS3.15876. A, B: Colonies on CYA and MEA at 25°C after 7d; C–F: Conidiophores; G: Conidia. Scale bars=10μm.

丝体在边缘呈白色,在近边呈硫磺色 sulphur yellow (Ridgway Pl. V); 渗出液无;可溶性色素无;菌落背面呈烧土褐色 burnt sienna (Ridgway Pl. III)。

在麦芽精琼脂 (MEA) 上 25℃、7d, 菌落直径 35–38mm, 较薄, 平坦, 边缘于培养基内, 整齐; 质地绒状; 分生孢子大量, 草绿色 grass green (Ridgway Pl. VI); 菌丝体呈浅绿黄色 light viridine yellow (Ridgway Pl. V);

渗出液无;可溶性色素无;菌落背面呈赭色, 但中央呈淡橙红色。

在 CYA 上 37℃、7d, 未生长。

在 CYA 上 5℃、7d, 未生长。

分生孢子梗产生于表面菌丝, 孢梗茎 200–400×3–4μm, 壁光滑; 帚状枝双轮生、单轮生兼不规则生; 梗基每轮 4–8 个, 排列不紧密, 10–15×2.5–4μm; 瓶梗安瓿形, 排列不紧密, 每轮 4–6 个, 10–12×2–3μm; 分生孢

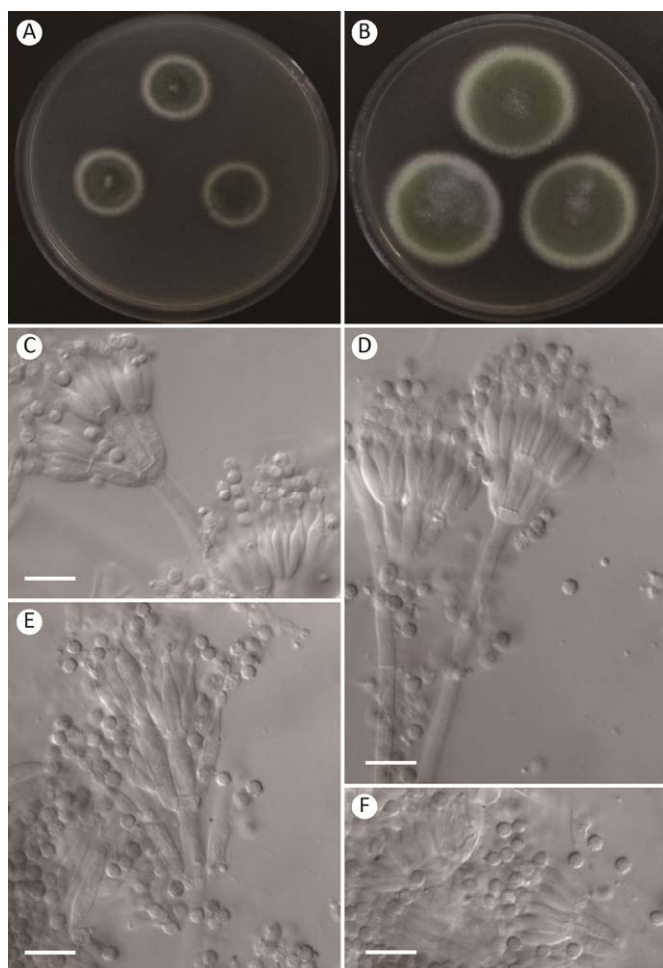


图 3 肯德里克篮状菌 *Talaromyces kendrickii* AS3.15849 的形态学性状 A, B: 在 CYA 和 MEA 上 25℃、7d 的菌落; C–E: 分生孢子梗; F: 分生孢子. 标尺=10μm

Fig. 3 Morphology of *Talaromyces kendrickii* AS3.15849. A, B: Colonies on CYA and MEA at 25°C after 7d; C–E: Conidiophores; F: Conidia. Scale bars=10μm.

子近球形至椭球形，2.5–3.5×2–3μm，壁粗糙。

分布和基物：黑龙江伊春凉水自然保护区土壤（HL320=AS3.15849）；北京顺义土壤（AC151=AS3.15852）。

注：该种生长适中，产生绒状菌落和大量草绿色分生孢子，帚状枝双轮生和不规则生，排列不紧密，瓶梗安瓿形，分生孢子近球形至椭球形，壁粗糙。

2.3 斯托尔篮状菌 图 4

Talaromyces stollii N. Yilmaz, Houbroken, Frisvad & Samson, Persoonia 29: 52, 2012.

在查氏酵母精琼脂（CYA）上 25℃、7d，菌落直径 39–42mm，较薄，平坦，边缘于培养基内，流苏状；质地绒状，表面覆盖大量絮状菌丝；分生孢子大量，豆绿色 pea green（R. Pl. XLVII）；菌丝体在边缘呈白色，其余夹杂淡橄榄红色 olive lake（R. Pl. XVI）；渗液无；可溶性色素无；菌落背面中央呈红色，边缘颜色变浅至淡赭鲑色 pale ochraceous-salmon（R. Pl. XV）。

在麦芽精琼脂（MEA）上 25℃、7d，菌落直径 47–49mm，稍厚，平坦，边缘于培养基内，流苏状；质地绒状且表面覆盖大量白

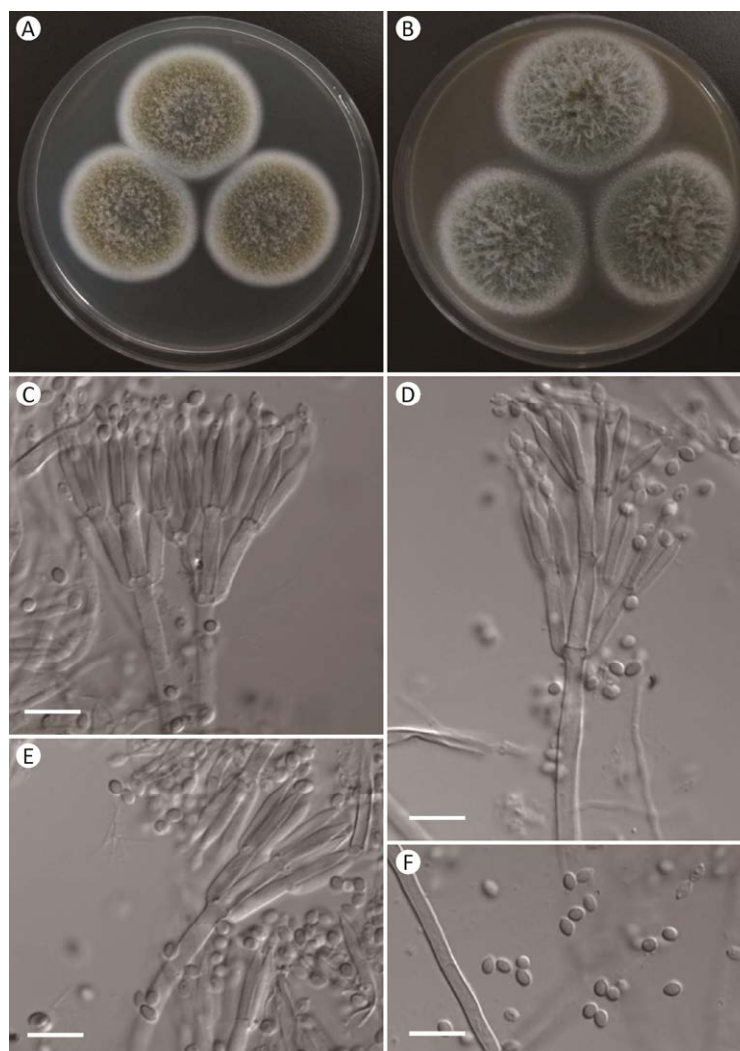


图 4 斯托尔篮状菌 *Talaromyces stollii* AS3.16017 的形态学性状 A, B: 在 CYA 和 MEA 上 25°C、7d 的菌落; C-E: 分生孢子梗; F: 分生孢子. 标尺=10μm

Fig. 4 Morphology of *Talaromyces stollii* AS3.16017. A, B: Colonies on CYA and MEA at 25°C after 7d; C-E: Conidiophores; F: Conidia. Scale bars=10μm.

色絮状菌丝; 分生孢子大量, 豆绿色至鼠尾草绿色 pea green to sage green (R. Pl. XLVII); 菌丝体呈白色; 渗出液无; 可溶性色素无; 菌落背面呈赭色。

在 CYA 上 37°C、7d, 菌落直径 28–30mm, 类似于 CYA 上 25°C、7d。

在 CYA 上 4°C、7d, 不生长。

分生孢子梗产生于基质, 孢梗茎 100–150 (–200)×3–5μm, 壁光滑; 帚状枝双轮生兼三轮生; 梗基每轮 3–6 个, 排列紧密, 10–14×

2.5–3.5μm; 瓶梗披针形, 排列紧密, 每轮 4–6 个, 11–15×2–3μm; 分生孢子椭球形, 2.5–4×2–3μm, 壁光滑。

分布和基物: 黑龙江黑河锦河大峡谷 (HH1-1), 山西阳泉孟县腐殖酸 (JN1-1=AS3.16017)。

注: 该种生长很快, 在 37°C 生长正常, 形成绒状兼絮状菌落, 分生孢子大量, 豆绿色, 帚状枝双轮生和三轮生, 排列紧密, 瓶梗典型披针形, 分生孢子椭球形, 壁光滑。

2.4 多样篮状菌 图 5

Talaromyces versatilis P.F. Cannon, Bridge & Buddie, Index Fungorum 26: 1, 2013.

在查氏酵母精琼脂 (CYA) 上 25℃、7d, 菌落直径约 50mm, 较薄, 辐射状及同心环状沟纹少量, 边缘于培养基内, 完整; 质地绒状, 中部浸润状, 呈砖红色; 分生孢子结构无; 菌丝体在边缘呈白色, 在中部夹杂砖红色; 砖红色渗出液大量, 浸润于菌落中部, 使得中部菌丝体呈砖红色; 可溶性色素无; 反面棕红色。

在麦芽精琼脂 (MEA) 上 25℃、7d, 菌落直径 50–52mm, 较薄, 平坦, 边缘于培养基内, 完整; 质地短絮状, 表面覆盖菌丝绳长约 3mm; 分生孢子结构稀少, 浅灰橄榄色 light grayish olive (R. Pl. XLVI); 菌丝体脏粉色, 近于 pinkish vinaceous (R. Pl. XXVII); 渗出液无色; 可溶性色素无; 反面粉红色, 近于 orange vinaceous (R. Pl. XXVII)。

在 CYA 上 37℃、7d, 菌落直径约 20–21mm, 其他性状类似于 CYA 25℃、7d。

在 CYA 上 5℃、7d, 未生长。

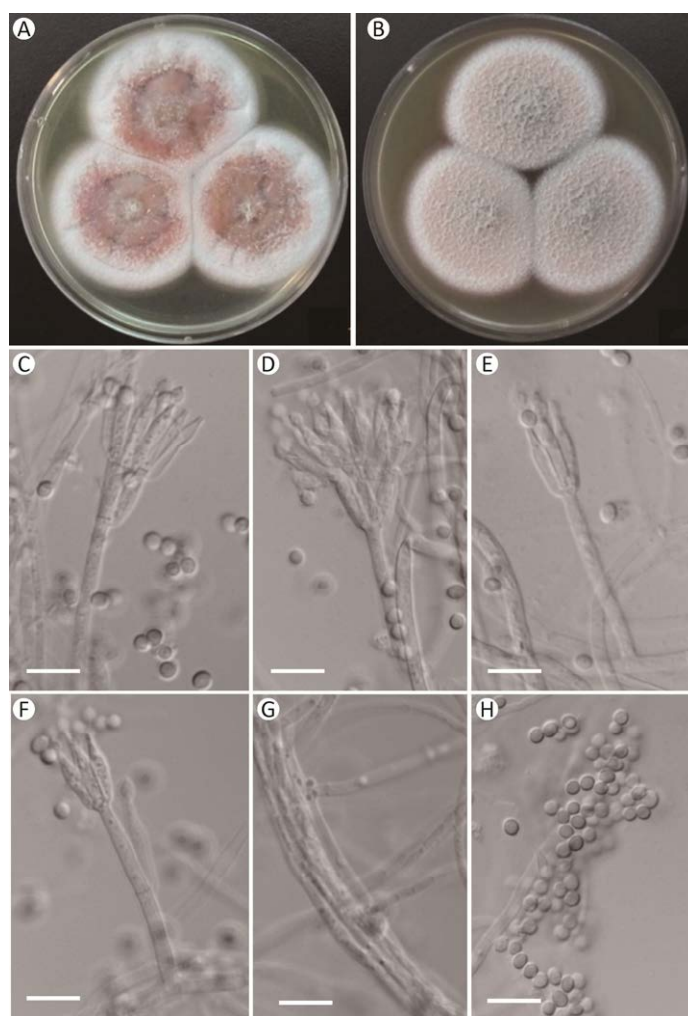


图 5 多样篮状菌 *Talaromyces versatilis* AS3.15853 的形态学性状 A, B: 在 CYA 和 MEA 上 25℃、7d 的菌落; C–F: 分生孢子梗; G: 菌丝绳; H: 分生孢子. 标尺=10μm

Fig. 5 Morphology of *Talaromyces versatilis* AS3.15853. A, B: Colonies on CYA and MEA at 25°C after 7d; C–F: Conidiophores; G: The hyphal funiculus; H: Conidia. Scale bars=10μm.

分生孢子梗产生气生菌丝和绳状菌丝，孢梗茎 $30-60(-120) \times 2-3 \mu\text{m}$ ，壁光滑；帚状枝双轮生兼单轮生；梗基每轮 2-6 个，排列不紧密， $9-15 \times 2-3 \mu\text{m}$ ；瓶梗安瓿形至圆柱形，排列紧密，每轮 2-4 个， $8-12 \times 2-3 \mu\text{m}$ ；分生孢子近球形， $2.5-3 \times 2-3 \mu\text{m}$ ，壁光滑。

分布和基物：安徽黄山土壤 (AS3.15853=3708)。

注：生长较快，形成短絮状兼绳状菌落，在 37°C 生长良好，分生孢子浅灰绿色，菌丝体呈砖红色至脏粉色，分生孢子梗较细，帚状枝双轮生兼单轮生，排列不紧密，瓶梗安瓿形，分生孢子近球形至椭圆形，壁光滑。

3 讨论

Talaromyces fuscoviridis 属于稀有种 (rare species)，但我们推测其分布应该比较广泛，因为该种在 2015 年建立后到目前 GenBank 只记录了 6 个菌株的序列，其在欧洲、亚洲、北美洲和南美洲均有报道 (Peterson & Jurjevic 2019)。可能因为该物种在土壤真菌群落中较少而不容易分离到，本研究采用改进的土壤样品稀释涂布平皿法 (王龙等 2020) 成功分离到该物种。我国的 *T. fuscoviridis* 菌株 AS3.15876 与模式菌株 CBS 193.69 在菌落形态上有一定差别，比如，该菌株生长快速，分生孢子稀疏，而模式菌株生长较慢，分生孢子适量。但菌株 AS3.15876 在 MEA 背面呈现与模式菌株完全相同的特征性暗绿色，而且它们的显微结构几乎完全相同，比如其分生孢子梗均发生于表面菌丝和气生菌丝，帚状枝为双轮生、单轮生，分生孢子均为椭圆形至近球形，壁光滑至稍粗糙 (Visagie et al. 2015)。分子种系学分析显示该菌株与 *T. fuscoviridis* 的模式菌株 CBS 193.69 同在一个分支且具有显著的高支持率 (图 1)。

Talaromyces kendrickii 同样也应该属于稀有种但分布比较广泛。该种在 2015 年建立后到目前 GenBank 只记录 7 株菌的序列，但其在北美洲、非洲、欧洲和澳洲均有报道 (Houbraken et al. 2020)。发现于我国的 *T. kendrickii* 这两株菌与模式菌株在菌落形态上存在一些差别。比如我国菌株均产生大量草绿色分生孢子，菌丝体颜色为黄绿色，但模式菌株 CBS 136666 的分生孢子稀疏，菌丝体颜色为浅粉色。但它们在显微结构上几乎完全相同，例如均产生双轮生和单轮生及不规则生帚状枝，排列不紧密，瓶梗安瓿形，分生孢子近球形至椭圆形，壁粗糙 (Visagie et al. 2015)。分子种系学分析也显示该菌株与 *T. kendrickii* 的模式菌株 IBT 14128 同在一个分支且具有显著的高支持率 (图 1)。

Talaromyces stollii 是常见种 (abundant species) 且分布广泛，在世界范围内均有报道 (Houbraken et al. 2020)。发现于我国的 3 个菌株的培养性状和显微性状几乎与模式菌株 CBS 132696 完全相同 (Yilmaz et al. 2012)。该种与 *T. amestolkiae* 在菌落形态上很相似，依据形态学鉴定时容易混淆，尤其是其生长速度和分生孢子颜色非常相近。通过以下几方面的特征可以区分：*T. stollii* 的菌落虽为绒状，但表面覆盖大量絮状菌丝而形成绒兼絮状菌落，而 *T. amestolkiae* 的菌落为典型绒状，只在 CYA 上有稀疏的絮状菌丝；在显微结构上，*T. stollii* 产生的帚状枝排列紧密，常见三轮生的帚状枝，其瓶梗为典型披针形，而 *T. amestolkiae* 的帚状枝排列不紧密，偶见不规则的帚状枝，其瓶梗为安瓿形。

Talaromyces versatilis 可能属于稀有种、狭域种，该种在 2013 年建立后到目前 GenBank 中只有 6 株菌的序列且只在欧洲和亚洲报道 (Heo et al. 2019)。我国的 *T. versatilis* 菌株 AS3.15853 与模式菌株 IMI

134755 在菌落形态上基本一致, 只是分生孢子产生较少, 另外该菌株能形成菌丝绳, 而模式菌株不形成菌丝绳。在显微结构上, 除了该菌株产生双轮生和单轮生帚状枝, 而模式菌株不形成单轮生帚状枝外, 其他特征均与模式菌株相同。

[REFERENCES]

- Benjamin CR, 1955. Ascocarps of *Aspergillus* and *Penicillium*. *Mycologia*, 47: 669-687
- Bridge PD, Buddie AG, 2013. *Talaromyces versatilis* Bridge & Buddie, sp. nov. *Index Fungorum*, 26: 1
- Chen AJ, Sun BD, Houbraken J, Frisvad JC, Yilmaz N, Zhou YG, Samson RA, 2016. New *Talaromyces* species from indoor environments in China. *Studies in Mycology*, 84: 119-144
- Chen H, Ding G, Sun BD, Zhang Z, Wang L, Chen J, 2020. Current taxonomy of *Talaromyces* and three new Chinese records. *Mycosystema*, 40(5): 1200-1215
- Glass NL, Donaldson GC, 1995. Development of primer sets designed for use with the PCR to amplify conserved genes from filamentous ascomycetes. *Applied and Environmental Microbiology*, 61(4): 1323-1330
- Hall BG, 2013. Building phylogenetic trees from molecular data with MEGA. *Molecular Biology and Evolution*, 30: 1229-1235
- Heo I, Hong K, Yang H, Lee HB, Choi YJ, Hong SB, 2019. Diversity of *Aspergillus*, *Penicillium* and *Talaromyces* species isolated from freshwater environments in Korea. *Mycobiology*, 47: 12-19
- Houbraken J, Samson RA, 2011. Phylogeny of *Penicillium* and the segregation of Trichocomaceae into three families. *Studies in Mycology*, 70: 1-55
- Houbraken J, Kocsube S, Visagie CM, Yilmaz N, Wang XC, Meijer M, Kraak B, Hubka V, Samson RA, Frisvad JC, 2020. Classification of *Aspergillus*, *Penicillium*, *Talaromyces* and related genera (Eurotiales): an overview of families, genera, subgenera, sections, series and species. *Studies in Mycology*, 95: 5-169
- Jiang XZ, Yu ZD, Ruan YM, Wang L, 2018. Three new species of *Talaromyces* sect. *Talaromyces* discovered from soil in China. *Scientific Reports*, 8: 4932
- Kong HZ, Wang L, 2007. *Flora fungorum sinicorum*. Vol. 35. *Penicillium* et teleomorphi cognati. Science Press, Beijing. 1-284 (in Chinese)
- Malloch D, 1981. *Moulds their isolation, cultivation and identification*. University of Toronto Press, Toronto, Canada. 1-97
- McNeill J, Barrie FR, Buck WR, Demoulin V, Greuter W, Hawksworth DL, Herendeen PS, Knapp S, Marhold K, Prado J, Prud'homme van Reine WF, Smitt GF, Wiersema JH, Turland NJ, 2012. International code of nomenclature for algae, fungi, and plants. Melbourne Code, Regnum Vegetabile 154. Koeltz Scientific Books, Koenigstein. 1-257
- Peterson SW, Jurjevič, 2019. The *Talaromyces pinophilus* species complex. *Fungal Biology*, 123: 745-762
- Pitt JI, 1979. The genus *Penicillium* and its teleomorphic states *Eupenicillium* and *Talaromyces*. Academic Press, London, UK. 1-634
- Raper KB, Thom C, 1949. *A manual of the penicillia*. Williams and Wilkins, Baltimore, USA. 1-875
- Ridgway R, 1912. *Color standards and color nomenclature*. Published by the author, Washington DC, USA. 1-53
- Ronquist F, Teslenko M, van der Mark P, Ayres DL, Darling A, Höhna S, Larget B, Liu L, Suchard MA, Huelsenbeck JP, 2012. MRBAYES 3.2: Efficient Bayesian phylogenetic inference and model selection across a large model space. *Systematic Biology*, 61: 539-542
- Samson RA, Houbraken J, Thrane U, Frisvad JC, Andersen B, 2010. *Food and indoor fungi*. 2nd ed. CBS-KNAW Fungal Biodiversity Centre, Utrecht, the Netherlands. 1-390
- Samson RA, Yilmaz N, Houbraken J, Spierenburg H,

- Seifert KA, 2011. Phylogeny and nomenclature of the genus *Talaromyces* and taxa accommodated in *Penicillium* subgenus *Biverticillium*. *Studies in Mycology*, 70: 159-183
- Su L, Niu YC, 2018. Multilocus phylogenetic analysis of *Talaromyces* species isolated from cucurbit plants in China and description of two new species, *T. cucurbitiradicus* and *T. endophyticus*. *Mycologia*, 110(2): 375-386
- Sun BD, Chen AJ, Houbraken J, Frisvad JC, Wu WP, Wei HL, Zhou YG, Jiang XZ, Samson RA, 2020. New section and species in *Talaromyces*. *MycKeys*, 68: 75-113
- Sun JQ, Ruan YM, Jin SY, Wang L, 2020. The importance of *Talaromyces* and its taxonomy. *Journal of Fungal Research*, Doi:10.13341/jjfr.2020.1374
- Tzean SS, Chiu SC, Chen JL, Hseu SH, Lin GH, Liou GY, Che CC, Hsu WH, 1994. *Penicillium* and related teleomorphs from Taiwan. Food Industry Research and Development Institute, Hsinchu, Taiwan. 1-158
- Visagie CM, Yilmaz N, Frisvad JC, Houbraken J, Seifert KA, Samson RA, Jacobs K, 2015. Five new *Talaromyces* species with ampulliform-like phialides and globose rough walled conidia resembling *T. verruculosus*. *Mycoscience*, 56: 486-502
- Wang L, 2012. Four new records of *Aspergillus* section *Usti* from Shandong Province, China. *Mycotaxon*, 120: 373-384
- Wang L, Sun JQ, Jin SY, 2020. Two new records of *Talaromyces* section *Islandici* species from China. *Journal of Liaocheng University (Natural Science Edition)*, 33(4): 78-84 (in Chinese)
- Wang L, Zhuang WY, 2004. Designing primer sets for amplification of partial calmodulin genes from penicillia. *Mycosystema*, 23: 466-473
- Wang L, Zhuang WY, 2007. Phylogenetic analyses of penicillia based on partial calmodulin gene sequences. *BioSystems*, 88: 113-126
- Wang QM, Zhang YH, Wang B, Wang L, 2016a. *Talaromyces neofusisporus* and *T. qii*, two new species of section *Talaromyces* isolated from plant leaves in Tibet, China. *Scientific Reports*, 6: 18622
- Wang XC, Chen K, Qin WT, Zhuang WY, 2017. *Talaromyces heiheensis* and *T. mangshanicus*, two new species from China. *Mycological Progress*, 16: 73-81
- Wang XC, Chen K, Xia YW, Wang L, Li TH, Zhuang WY, 2016b. A new species of *Talaromyces*, Trichocomaceae, from the Xisha Islands, Hainan, China. *Phytotaxa*, 267(3): 187-200
- White TJ, Bruns T, Lee S, Taylor JW, 1990. Amplification and direct sequencing of fungal ribosomal RNA genes for phylogenetics. In: Innis MS, Gelfand DH (eds.) PCR protocols: a guide to methods and applications. Academic Press, New York, USA. 315-322
- Yilmaz N, Houbraken J, Hoekstra ES, Frisvad JC, Visagie CM, Samson RA, 2012. Delimitation and characterisation of *Talaromyces purpurogenus* and related species. *Persoonia*, 29: 39-54
- Yilmaz N, Visagie CM, Houbraken J, Frisvad JC, Samson RA, 2014. Polyphasic taxonomy of the genus *Talaromyces*. *Studies in Mycology*, 78: 175-341

[附中文参考文献]

- 陈晗, 丁刚, 孙炳达, 张争, 王龙, 陈娟, 2020. 篮状菌属分类概述及三个中国新记录种. 菌物学报 40(5): 1200-1215
- 孔华忠, 王龙, 2007. 中国真菌志第 35 卷·青霉属及其相关有性型属. 北京: 科学出版社. 1-284
- 孙剑秋, 阮永明, 金世宇, 王龙, 2020. 篮状菌属的重要性及其分类学研究概况. 菌物研究, Doi:10.13341/jjfr.2020.1374
- 王龙, 孙剑秋, 金世宇, 2020. 篮状菌属岛篮状菌组的两个中国新记录种. 聊城大学学报 (自然科学版), 33(4): 78-84

(本文责编: 王敏)