

# 植物内生拟盘多毛孢的生物多样性

韦继光<sup>1,2</sup> 徐同<sup>1\*</sup>

1(浙江大学农业与生物技术学院, 杭州 310029)

2(广西大学林学院, 南宁 530001)

摘要: 内生拟盘多毛孢是植物(尤其是木本植物)内生真菌的重要类群。分离自红豆杉的内生小孢拟盘多毛孢(*Pestalotiopsis microspora*)能产生抗癌的代谢产物紫杉醇,因而引起了人们对内生拟盘多毛孢研究的兴趣。拟盘多毛孢内生于植物的根、茎、叶及繁殖体中,已鉴定的内生拟盘多毛孢有23种。在已调查的植物中,内生拟盘多毛孢的定殖率有很大差异,在红树(*Rhizophora apiculata*)、椰子(*Cocos nucifer*)、西藏红豆杉(*Taxus wallichiana*)、茶梅(*Camellia sasanqua*)、*Fragraea bodenii*和*Cordemoya integrifolia*等木本植物中,拟盘多毛孢是内生真菌的优势类群。一种拟盘多毛孢可内生于多种植物体内,一种植物也可有多种拟盘多毛孢内生,其分布与植物所处的生态环境和地域有关。在一定的宿主植物生理条件或外界环境条件下,某些内生拟盘多毛孢可转变为寄生或腐生。对植物内生拟盘多毛孢代谢产物的研究表明,拟盘多毛孢可产生多种次生代谢产物,包括抗癌物质(紫杉醇和粗榧酸)和抗菌物质(环己烷类物质、粗榧酸和 pestalosite)。植物内生拟盘多毛孢的资源调查和开发应用具有广阔的前景。

关键词: 内生真菌,紫杉醇,代谢产物

中图分类号: Q949.32

文献标识码: A

文章编号: 1005-0094(2003)02-0162-07

## Biodiversity of endophytic fungi *Pestalotiopsis*

WEI Ji-Guang<sup>1,2</sup> and XU Tong<sup>1\*</sup>

1 Department of Plant Protection, College of Agriculture and Biotechnology, Zhejiang University, Hangzhou 310029

2 Forestry College, Guangxi University, Nanning 530001

**Abstract:** *Pestalotiopsis* species is an important group of endophytic fungi. Endophytic *Pestalotiopsis* distributed in roots, stems, leaves and reproductive parts of its host plants. Twenty-three endophytic *Pestalotiopsis* species have been identified. The colonization rates of endophytic *Pestalotiopsis* in observed plants were greatly different. Endophytic *Pestalotiopsis* was a dominant group in the tissues of *Rhizophora apiculata*, *Cocos nucifer*, *Taxus yunnanensis*, *Camellia sasanqua*, *Fragraea bodenii* and *Cordemoya integrifolia*. Most of endophytic *Pestalotiopsis* colonized more than one host plant, however, a few of them colonized only one. The distributions of endophytic *Pestalotiopsis* are related to ecological and environmental conditions and location of host plants. Some endophytic *Pestalotiopsis* act either as parasites or as saprophytes due to the different stage of host plants and (or) environmental conditions. Endophytic *Pestalotiopsis* produced a variety of secondary metabolites including antitumor components (taxol and torreyanic acid), antifungal and antibacterial components (cyclohexenone, torreyanic acid and pestalosite) showing a bright future of application.

**Key words:** endophytic fungi, taxol, metabolite

内生真菌(endophytic fungi)是一类在健康植物组织内定殖,但不引起病害症状的真菌(Petrini, 1991),是自然界生物资源和生物多样性的的重要组成部分。内生真菌作为真菌中的一个特殊类群,其

基金项目:国家自然科学基金项目(30270015)和中国科学院微生物研究所真菌地衣系统学开放实验室项目。

收稿日期:2002-10-16;接受日期:2003-01-25

作者简介:韦继光,男,1962年出生,副教授,在读博士研究生。主要从事真菌学和林木病理学研究。

\* 通讯作者 Author for correspondence E-mail: xutong@zju.edu.cn

生态特点,尤其是它与宿主之间的相互关系,引起了许多学者的兴趣。

拟盘多毛孢属(*Pestalotiopsis*)是 Steyaert(1949)建立的,因其分生孢子为5细胞而从盘多毛孢(*Pestalotia*)分出独立成为一属。该属真菌的子实体通常为分生孢子盘类型,分生孢子以芽殖方式产生,环痕型5细胞,中间3个色胞,具真隔膜,分生孢子顶端常具2~5根鞭毛,基部常具1根柄。按照新的分类系统(Kirk et al., 2001),*Pestalotiopsis*被归于无性型真菌(anamorphic fungi),其有性型为*Pestalosphaeria*。

长期以来,拟盘多毛孢一直被当作植物病原真菌来研究(Guba, 1961)。Strobel et al.(1996)从西藏红豆杉(*Taxus wallichiana*)的树皮中分离到一株内生小孢拟盘多毛孢(*Pestalotiopsis microspora*),并发现该真菌具有较强的产生紫杉醇的能力。Strobel et al.(1997)发现另一种内生拟盘多毛孢(*P. guepinii*)也可产生紫杉醇。此外,还有另外4种拟盘多毛孢先后被报道为内生真菌。大量研究报告表明拟盘多毛孢是植物内生真菌的重要类群。

健康的植物组织内普遍潜藏着数量可观的内生真菌,但至今全世界已开展过内生真菌调查的植物不足50科,种类也未超过200种(邹文欣,谭仁祥, 2001;郭良栋, 2001)。自然界中大量的内生拟盘多毛孢真菌资源亟待我们研究、开发。

## 1 内生拟盘多毛孢的种类和生态多样性

### 1.1 种类及其宿主植物

自Espinosa-Garcia & Langenheim(1990)首次报道枯斑拟盘多毛孢(*Pestalotiopsis funerea*)为红杉(*Sequoia sempervirens*)的重要内生真菌后,先后有5种拟盘多毛孢被报道为内生真菌。包括:1)佛罗里达榿树(*Torreya taxifolia*)、欧洲红豆杉(*Taxus baccata*)、西藏红豆杉、落羽杉(*Taxodium distichum*)和石斛(*Dendrobium speciosum*)上的小孢拟盘多毛孢(Li et al., 2001a; Strobel et al., 1996; Strobel et al., 2000) 2)小果野蕉(*Musa acuminata*)、椰子(*Cocos nucifer*)和蒲葵(*Livistona chinensis*)上的掌状拟盘多毛孢(*P. palmarum*)(Brown et al., 1998; Ramos-Mariano et al., 1998; Fröhlich et al., 2000) 3) *Wollomia nobilis*上的斑污拟盘多毛孢(*P. maculans*)(Strobel et al., 1997) 4) *Fragraea bodenii*上的吉斯

特拟盘多毛孢(*P. jesteri*)(Strobel et al., 2000) 5)油松(*Pinus tabulaeformis*)上的贝士拟盘多毛孢(*P. besseyi*)(Guo, 2002)。

上述对内生拟盘多毛孢物种多样性的调查显然是初步的。2001~2002年作者先后在浙江和广西采集了罗汉松(*Podocarpus macrophyllus*)、竹柏(*P. nagi*)、山茶(*Camellia japonica*)、金花茶(*C. nitidissima*)、油茶(*C. oleifera*)、樟(*Cinnamomum camphora*)、桂花(*Osmanthus fragrans*)、桐木(*Lithocarpus glabra*)、苦槠(*Castanopsis sclerophylla*)、三尖杉(*Cephalotaxus fortunei*)及红枫(*Acer palmatum* cv. *Atropurpureum*)等园林植物的150多号标本,分离了健康植物组织近20000块,分离到75个拟盘多毛孢菌株。经鉴定,它们是*Pestalotiopsis aquatica*, *P. clavispora*, *P. conigena*, *P. crassiuscula*, *P. cruenta*, *P. disseminata*, *P. elasticae*, *P. eriobotrifolia*, *P. maculans*, *P. menezesiana*, *P. oxyanthi*, *P. paeoniae*, *P. pauciseta*, *P. photiniae*, *P. rhododendri*, *P. theae*, *P. zonata*等17种内生拟盘多毛孢,其中大多数分离自植物的茎组织。在这些植物中,除竹柏未能分离到内生拟盘多毛孢外,其他植物都能分离到1种以上,从罗汉松上分离到10种不同的内生拟盘多毛孢(待发表)。

在已报道的近200种植物内生真菌中,拟盘多毛孢是木本植物内生真菌的重要类群之一,不同植物内生拟盘多毛孢的定殖率变化很大。Strobel et al.(2000)从巴布亚新几内亚龙胆科树木*Fragraea bodenii*的内层树皮分离出46株内生真菌,其中27株为内生拟盘多毛孢,占58.7%。Ramos-Mariano et al.(1997, 1998)报道了对巴西椰子树内生真菌的调查结果,掌状拟盘多毛孢定殖率为32.9%,是椰子树定殖率最高的内生真菌。Toofanee & Dulyamode(2002)在毛里求斯研究当地植物*Cordemoya integrifolia*的叶部内生真菌,发现内生拟盘多毛孢的定殖率为22.6%,是该植物叶部内生真菌定殖率最高的类群。Kumaresan & Suryanarayanan(2000)报道了印度沿海的红树科的红树(*Rhizophora apiculata*)内生真菌调查结果,一种未知拟盘多毛孢(*Pestalotiopsis* sp.)是红树繁殖体组织内生真菌的优势种。2002年作者在昆明进行内生真菌资源调查时发现,内生拟盘多毛孢在西藏红豆杉(*Taxus wallichiana*)叶和茶梅(*Camellia sasanqua*)枝条的定殖率分别为

40%和43.3%,占该植物各种内生真菌定殖率的首位。Okane *et al.* (1998)对日本京都杜鹃花科3个属8种植物叶部内生真菌的调查结果表明,7种植物叶部有内生拟盘多毛孢定殖,其中内生拟盘多毛孢在杜鹃花属的5种植物(*Rhododendron pulchrum* var. *speciosum*, *R. obtusum*, *R. macrosepalum*, *R. indicum* 以及 *R. reticulatum*)中的定殖率分别为9.5%、0.7%、8.0%、2.3%和17.1%,在*R. reticulatum*中的定殖率居各种内生真菌定殖率的第3位,且定殖率随叶龄增大而提高;在杜鹃花科的吊钟花(*Enkianthus perulatus*)和日本马醉木(*Pieris japonica*)上的定殖率分别为6.7%和1.4%。Espinosa-Garcia & Longenheim (1990)对美国红杉的内生真菌研究后指出,枯斑拟盘多毛孢是红杉的重要内生真菌类群。Suryanarayanan *et al.* (1998)在印度南部调查了2种海洋红树林(*Rhizophora apiculata*和*Rhizophora mucronata*)的叶部内生真菌,发现内生拟盘多毛孢的定殖率分别为0.7%和0.3%。Suryanarayanan *et al.* (2000)报道从云南菟丝子(*Cuscuta reflexa*)的茎分离到内生拟盘多毛孢。Techa *et al.* (2000)对泰国一个国家公园的棕榈科省藤属植物*Calamus kerrianus*进行了内生真菌的调查,发现该植物有16种内生真菌,其中1种是未知拟盘多毛孢。

内生拟盘多毛孢宿主范围较广,如小孢拟盘多毛孢在佛罗里达榉树、西藏红豆杉、欧洲红豆杉、落羽杉、石斛及*Fragraea bodenii*等不同科的植物中内生。Okane *et al.* (1997)对日本冲绳Ishigaki和Iriomote两个小岛上的21种常绿植物进行了叶部内生真菌调查,发现有7种植物有内生拟盘多毛孢定殖,其中1种未知拟盘多毛孢定殖在4种植物——琉球松(*Pinus luchuensis*, 松科),柿(*Diospyros ferrea* var. *buxifolia*, 柿树科),砂引草(*Messerschmidia argentea*, 紫草科)和草海桐(*Scaevola sericea*, 草海桐科)上,另1种未知的内生拟盘多毛孢定殖在3种植物——银叶树(*Heritiera littoralis*, 梧桐科),越桔(*Vaccinium wrightii*, 越桔科)和九节(*Psychotria rubra*, 茜草科)上,在所调查到的植物内生真菌中,内生拟盘多毛孢为除炭角菌(*Xylaria*)和叶点霉(*Phyllosticta*)外的第三大类内生真菌。

一种植物可包容多种内生拟盘多毛孢。Strobel *et al.* (2000)在研究巴布亚新几内亚树木*Fragraea bodenii*的内生真菌时发现,该树木的内层树皮潜藏

着4种拟盘多毛孢,它们是小孢拟盘多毛孢、吉斯特拟盘多毛孢和2种未知拟盘多毛孢;Alva & Hyde (2000)对海南草海桐(*Scaevola hainanensis*, 草海桐科)、海马齿(*Sesuvium portulacastrum*, 番杏科)和碱蓬(*Suaeda maritime*, 藜科)等3种海洋植物的内生真菌进行调查时发现,有14种内生拟盘多毛孢定殖,平均每种植物有4~5种内生拟盘多毛孢。

还有一些内生真菌是拟盘多毛孢属的近缘属。*Seiridium juniperi*是红杉的内生真菌(Espinosa-Garcia, 1991);*Monochaetia* sp.是喜马拉雅红豆杉的内生真菌,在尼泊尔分布普遍(Li *et al.*, 2001a);*Seimatosporium azaleae*(有性阶段:*Discostroma tricellulare*)为一种杜鹃属植物*Rhododendron obtusum*的叶部内生真菌,在日本京都某植物园采到的样本其分离率高达48.7%,是该宿主植物上分离率最高的内生真菌(Okane *et al.*, 1998)。

## 1.2 内生拟盘多毛孢的生态多样性

内生拟盘多毛孢可定殖在植物的叶、根、茎等不同部位或器官内。Strobel *et al.* (1996)从喜马拉雅红豆杉的树皮内层分离到内生小孢拟盘多毛孢,后又从*Fragraea bodenii*的树皮内层分离到内生小孢拟盘多毛孢和内生吉斯特拟盘多毛孢(Strobel, 2000);Okane *et al.* (1998)对杜鹃花科3个属8种植物叶部内生真菌的调查表明,其中7种植物叶部有内生拟盘多毛孢定殖;Frohlich *et al.* (2000)发现掌状拟盘多毛孢在文莱的两个不同地点的蒲葵叶部定殖;范黎等(1998)报道从兰科植物赤唇石豆兰(*Bulbophyllum affine*)的根组织分离到内生拟盘多毛孢,Kumaresan *et al.* (2000)在印度发现一种未知拟盘多毛孢内生于红树的繁殖体组织中。

拟盘多毛孢与植物的关系表现为寄生、共生、腐生等多种形式。至今,已确定的拟盘多毛孢属真菌有180多种,除少数种引起严重的植物病害以外,大多数为植物的弱寄生菌(陈育新, 韦刚, 1994; Guba, 1961),部分种类为内生真菌(许多未定种)。同一种拟盘多毛孢在某些植物中表现为内生,而在另一些植物中表现为寄生或腐生;或在植物的某个发育阶段为内生,而在其他阶段为寄生或腐生。如枯斑拟盘多毛孢既是松树的病原菌(Guba, 1961),又是红杉树的内生真菌(Espinosa-Garcia & Langenheim, 1990);斑污拟盘多毛孢既是树木*Wollemia nobilis*的内生真菌(Strobel *et al.*, 1997),同时在一些地方的

山茶科植物上又是寄生性病原真菌(葛起新等, 1993);小孢拟盘多毛孢在佛罗里达粗榧的大多数植株上表现为内生真菌,在少数植株上表现为病原菌(Lee *et al.*, 1995)。一些内生拟盘多毛孢与植物的关系为共生关系,从巴布亚新几内亚一种树木 *Fragraea bodenii* 的树皮内层分离到的吉斯特拟盘多毛孢能产生 2 种环己烷类物质,它们的抗菌作用提高了宿主植物的抗病能力,显示出共生作用比寄生作用更重要(Li *et al.*, 2001a)。范黎等(1998)报道从兰科植物赤唇石豆兰(*Bulbophyllum affine*)的根组织分离到内生拟盘多毛孢,在根内形成菌根结构,经试验,该菌可与长苏石斛(*Dendrobium brymerianum*)和报春石斛(*D. primulinum*)的种子形成共生关系从而促进种子的萌发。郭顺星等(2000)发现一种内生拟盘多毛孢在兰科植物金钗石斛(*D. nobile*)的根组织内形成菌根。在已报道的 6 种内生拟盘多毛孢中,除吉斯特拟盘多毛孢外,其他 5 种拟盘多毛孢都曾被报道是一些植物的病原菌。可见,拟盘多毛孢在植物上究竟是病原真菌还是内生真菌,可能与植物种类、环境条件有关(Lee *et al.*, 1995),显示了其复杂的生态多样性。

### 1.3 植物内生拟盘多毛孢的空间分布

内生拟盘多毛孢在植物不同部位的分布是不均匀的。Espinosa-Garcia & Langenheim (1990)在研究红杉树的内生真菌时,发现枯斑拟盘多毛孢在植物嫩枝和成熟枝条上的叶片上的分布有很大的差别。Strobel *et al.* (2000)对巴布亚新几内亚树木 *Fragraea bodenii* 的树冠、树干中部和树干基部的内层树皮进行分离,发现都有小孢拟盘多毛孢和吉斯特拟盘多毛孢内生,树干基部的内层树皮还有另外 2 种未知拟盘多毛孢内生。

同一植物内生拟盘多毛孢在不同地域的分布也不一样。Frohlich *et al.* (2000)对澳大利亚和文莱的蒲葵叶部内生真菌进行比较研究,发现内生掌状拟盘多毛孢在文莱的 2 个不同地点的蒲葵的定殖率分别为 0.3% 和 1.3%,而在澳大利亚的蒲葵则没有内生掌状拟盘多毛孢定殖。Strobel *et al.* (2000)对 *Fragraea bodenii* 的树皮内生真菌的研究中发现,吉斯特拟盘多毛孢只在 1 个地点的 1 棵树上被找到,而从周围及其他地点的同种树木上却无法找到这种真菌。

## 2 植物内生拟盘多毛孢代谢产物的多样性

植物内生拟盘多毛孢能产生多种代谢产物,包括抗癌物质,抗菌物质等。

### 2.1 抗癌物质

**2.1.1 紫杉醇(taxol)** 紫杉醇是一种抗癌药物,为二萜衍生物,分子式为  $C_{49}H_{51}NO_{14}$ ,分子量为 853.92,1971 年首次从短叶红豆杉(*Taxus brevifolia*)的树皮中分离出来,经实验证实紫杉醇具有独特的抗癌机理(邱德有等,1994)。

尽管紫杉醇在红豆杉属植物的 11 个种中都有发现,但含量很低,在干树皮中的含量仅为万分之一左右。红豆杉植物在自然条件下生长缓慢、数量少,只分布于偏远地区或特定的生态环境,大量砍伐将危及生态平衡,靠从植物资源中提取紫杉醇远远不能满足临床上的需要(Stierle, 1993)。为了解决紫杉醇的来源问题,Strobel *et al.* (1993)从短叶红豆杉的韧皮部分离到 1 株内生真菌——安德烈紫杉菌(*Taxomyces andreanae*)经培养检测,该内生真菌具有分泌紫杉醇的能力,但紫杉醇的产量很低,每升发酵液仅含紫杉醇 24~50 ng。Strobel *et al.* (1996)又从喜马拉雅红豆杉的韧皮部分离到另一种能产生紫杉醇的内生小孢拟盘多毛孢,且紫杉醇的产量比安德烈紫杉菌高出 1000 多倍,达每升发酵液含 60~70  $\mu\text{g}$ 。Li *et al.* (1996)从落羽松上分离到 16 个小孢拟盘多毛孢菌株,其中 9 个菌株能产生紫杉醇,有 1 个菌株产量达每升培养液含 1487 ng 紫杉醇。此后,在澳大利亚发现一种松树 *Wollemia nobilis* 上的内生斑污拟盘多毛孢也能分泌紫杉醇(Strobel *et al.*, 1997)。经光谱和色谱的方法比较,这些内生真菌所产生的紫杉醇与从红豆杉上提取到的紫杉醇完全一样。

**2.1.2 粗榧酸(torreyanic acid)** Lee *et al.* (1996)将从佛罗里达榧树上分离到的内生小孢拟盘多毛孢菌株置于马铃薯葡萄糖液体培养基中培养,用乙酸乙酯对培养物进行有机物提取,提取到一种粗榧酸,为苯醌二聚体(quinone dimer)结构,分子式为  $C_{38}H_{44}O_{12}$ ,这种物质具有选择性杀死人体癌细胞组织的作用。

### 2.2 抗菌物质

**2.2.1 环己烷类物质(cyclohexenone)** Li *et al.* (2001a)将自欧洲红豆杉、落羽杉、佛罗里达榧树、

石斛中分离到的内生小孢拟盘多毛孢、从澳大利亚一种树木 *Wollemia nobilis* 上分离到的内生斑污拟盘多毛孢及从尼泊尔西藏红豆杉分离到的内生拟盘单毛孢菌(*Monochaetia* sp.)等 6 个菌株进行液体发酵培养,从发酵液中提取到一种环己烷类物质,该物质对茄镰孢(*Fusarium solani*)、古巴镰孢(*F. cubense*)、麦根腐长孺孢(*Helminthosporium sativum*)、蒂腐色二孢(*Diplodia natalensis*)、禾谷头孢霉(*Cephalosporium gramineum*)及终极腐霉(*Pythium ultimum*)等真菌有抗菌作用。后又从 *Fragraea bodenii* 上分离到内生吉斯特拟盘多毛孢,该菌能产生环氧环己烷和羟基环氧环己烷等两种物质,这两种物质对卵菌具有较强的拮抗作用(Li & Strobel, 2001b)。

**2.2.2 Pestalocide**(一种糖苷类物质) Lee *et al.* (1995)自佛罗里达粗榧分离到内生小孢拟盘多毛孢,该菌可产生 3 种植物毒素,其中 pestalocide 只能从人工培养物中提取出来,且此化合物具有抗真菌活动的能力。

**2.2.3 粗榧酸** Lee *et al.* (1996)从来源于佛罗里达粗榧的内生小孢拟盘多毛孢菌丝体提取到的粗榧酸对枯草芽孢杆菌有抑制作用。

### 2.3 其他代谢产物

Pulici *et al.* (1996b, 1997)从短叶红豆杉分离到内生拟盘多毛孢的 2 个菌株,通过液体发酵培养,从培养液中提取到 8 种代谢产物,已知 5 种为倍半萜类物质(sesquiterpenes):其中 A、B 是拟盘多毛孢素(pestalopsin),C 是丁子香烯类(caryophyllene type)化合物,另外 2 种分别为具有蛇麻烷骨架的倍半萜和 drimane 衍生物类倍半萜,2 种为甲基化多聚乙酰化合物(c-methylated acetogenins);1 种为类似于甲基化多聚乙酰化合物的醛类物质。这些代谢产物的作用尚不清楚。

Pulici *et al.* (1996a)还从一种红豆杉组织内分离到一种未知内生拟盘多毛孢,该菌可产生另一种倍半萜类物质,其作用尚不清楚。

## 3 展望

真菌学家对自然界真菌物种的数量估计值从 10 万种提高到 150 万种,其依据主要来源于植物丰富的内生真菌资源。拟盘多毛孢由于种的鉴定难度大,许多内生真菌的研究论文对这类真菌的报道都以未知种的形式出现。广泛调查和深入研究植物内

生拟盘多毛孢的物种多样性,将可丰富我国的真菌资源宝库。作者在调查中发现,我国南方热带、亚热带地区尤其是云南、海南蕴藏有丰富的内生拟盘多毛孢资源,应该引起更多的关注。

拟盘多毛孢与植物的关系表现为寄生、共生、腐生等多种形式,然而人们对植物内生拟盘多毛孢生态习性的认识仍很肤浅,深入研究植物内生拟盘多毛孢与植物共生的机理、与植物病原真菌及其他内生真菌之间的相互关系,以及环境条件对其生活习性转换的影响,对探明该类真菌在自然生态系统中的作用是十分必要的。

植物内生拟盘多毛孢是有待开发的真菌资源,该类真菌在与植物的长期共同进化过程中,具备了植物的某些代谢特征并产生一些有益的代谢产物,同时也产生一些植物本身无法产生的化合物,而目前对内生拟盘多毛孢代谢产物的研究仍非常有限。随着对内生拟盘多毛孢物种多样性认识的积累,可用于代谢产物研究的菌株也将不断增多,从内生拟盘多毛孢中提取和筛选新的生物活性物质尚有很大的潜力,在植物病虫害防治、新药物的研制及新的化工产品开发等方面有着广阔的前景。

**致 谢** 中国科学院微生物研究所郭良栋博士对全文进行了审阅,特此表示感谢。

### 参考文献

- Alva P. P. and Hyde K. D. 2000. Preliminary studies among fungal endophytes of marine plants. In: Hyde K. D., Lai S. R., Pointing S. B. and Wong W. S. W. (eds.), *Abstracts of Asian Mycological Congress 2000*. The University of Hong Kong and the International Mycology Association Committee for Asia, Hong Kong, 77.
- Brown K. B., Hyde K. D. and Guest D. I. 1998. Preliminary studies on endophytic fungal communities of *Musa acuminata* species complex in Hong Kong and Australia. *Fungal Diversity*, 1: 27 - 51.
- Chen Y-X(陈育新) and Wei G(韦刚). 1997. Continuous notes on congeners of *Pestalotiopsis* in China. *Journal of Guangxi Agricultural University* (广西农业大学学报), 16(1): 1 ~ 9. (in Chinese)
- Espinosa-Garcia F. J. and Langenheim J. H., 1990. The endophytic fungal community in leaves of a coastal redwood population—diversity and spatial patterns. *New Phytologist*, 116(1): 89 - 97

- Espinosa-Garcia F. J. and Langenheim J. H. 1991. Effects of sabinene and gamma-terpinene from coastal redwood leaves acting singly or in mixtures on the growth of their fungus endophytes. *Biochemical Systematics and Ecology*, **19**(8): 643 – 650.
- Fan L(范黎), Guo S-X(郭顺星) and Xu J-T(徐锦堂). 1998. Fungi endophyte from orchid mycorrhizae in China. *Journal of Shanxi University (Natural Science Version)* [山西大学学报(自然科学版)], **21**(2): 169 ~ 177. (in Chinese)
- Frohlich J., Hyde K. D. and Petrini O. 2000. Endophytic fungi associated with palms. *Mycological Research*, **104**(10): 1202 – 1212.
- Ge Q-X(葛起新), Xu T(徐同), Sun X-A(孙小桢) and Zhu P-L(朱培良). 1993. Notes on *Pestalotiopsis maculans* (CDA.) Nag Raj, a causal agent of gray leaf spot of *Camellia*. *Acta Mycologica Sinica (真菌学报)*, **12**(3): 200 ~ 204. (in Chinese)
- Guba E. F., 1961. *Monograph of Monochaetia and Pestalotia*. Harvard University Press, Cambridge, 54 – 247.
- Guo L-D(郭良栋), 2001. Advances of researches on endophytic fungi. *Mycosystema (菌物系统)*, **20**(1): 148 ~ 152. (in Chinese)
- Guo L-D, 2002. *Pestalotiopsis besseyi*, a new record of endophytic fungi from pine in China. *Mycosystema(菌物系统)*, **21**(3): 455 – 456.
- Guo S-X(郭顺星), Cao W-Q(曹文岑) and Gao W-W(高微微). 2000. Isolation and biological activity of mycorrhizal fungi from *Dendrobium candidum* and *D. nobile*. *China Journal of Chinese Material Medica (中国中药杂志)*, **25**(6): 338 ~ 340. (in Chinese)
- Kirk P. M., Cannon P. F., David J. C. and Stalpers J. A. 2001. *Dictionary of The Fungi* (9th edn.). CAB International, Cambridge, 388.
- Kumaresan V. and Suryanarayanan T. S. 2000. Fungal endophytes of the mangrove *Rhizophora apiculata*. In: Hyde K. D., Lai S. R., Pointing S. B. and Wong W. S. W. (eds.), *Abstracts of Asian Mycological Congress 2000*. The University of Hong Kong and the International Mycology Association Committee for Asia, Hong Kong, 36.
- Lee J. C., Yang X-S, Schwartz M, Strobel G, Clardy J, Yang X-S. 1995. The relationship between an endangered North American tree and an endophytic fungus. *Chemistry and Biology*, **2**(11): 721 – 727.
- Lee J. C., Strobel G. A., Lobkovsky E. and Clardy J. 1996. Torreyanic acid: a selectively cytotoxic quinone dimmer from the endophytic fungus *Pestalotiopsis microspora*. *Journal of Organic Chemistry*, **61**(10): 3232 – 3233.
- Li J. Y., Strobel G., Sidhu R., Hess W. M. and Ford E. J. 1996. Endophytic taxol-producing fungi from bald cypress *Taxodium distichum*. *Microbiology*, **142**: 2223 – 2226.
- Li J. Y., Harper J. K., Grant D. M., Tombe B. O., Bashyal B., Hess W. M. and Strobel G. A. 2001a. Ambuic acid, a highly functionalized cyclohexenone with antifungal activity from *Pestalotiopsis* spp. and *Monochaetia* sp. *Phytochemistry*, **56**: 463 – 468.
- Li J. Y. and Strobel G. A. 2001b. Jesterone and hydroxy-jesterone antioomycete cyclohexenone epoxides from the endophytic fungus *Pestalotiopsis jesteri*. *Phytochemistry*, **57**: 261 – 265.
- Okane I., Nagagiri A. and Ito T. 1997. Preliminary study of endophytic fungi in evergreen plants from Ishigaki & Iriomote Islands. *The Institute for Fermentation, Osaka Research Communications*, (18): 45 – 51.
- Okane I., Nagagiri A. and Ito T. 1998. Endophytic fungi in leaves of ericaceous plants. *Canadian Journal of Botany*, **76**(4): 657 – 663.
- Petrini O. 1991. Fungal endophytes of tree leaves. In: Andrews J. H., Hirano S. S. (eds.) *Microbial Ecology of Leaves*. Springer-Verlag, New York, 179 – 197.
- Pulici M., Sugawara F., Koshino H., Uzawa J. and Yoshida S. 1996a. A new isodrimeninol from *Pestalotiopsis* sp. *Journal of Natural Products*, **59**(1): 47 – 48.
- Pulici M., Sugawara F., Koshino H., Uzawa J., Yoshida S., Lobkovsky E. and Clardy J. 1996b. Pestalotiopsins A & B: new caryophyllenes from an endophytic fungus of *Taxus brevifolia*. *Journal of Organic Chemistry*, **61**(6): 2122 – 2124.
- Pulici M., Sugawara F., Koshino H., Okada G., Esumi Y., Uzawa J. and Yoshida S. 1997. Metabolites of *Pestalotiopsis* spp., endophytic fungi of *Taxus brevifolia*. *Phytochemistry*, **46**(2): 313 – 319.
- Qiu D-Y(邱德有), Huang M-J(黄美娟), Fang X-H(方晓华), Zhu C(朱澍), Chu C-C(朱至清). 1994. Isolation of an endophytic fungus associated with *Taxus yunnanensis* et L. K. Fu. *Acta Mycologica Sinica (真菌学报)*, **13**(4): 314 – 316. (in Chinese)
- Ramos-Mariano R. L. de, Fernandes-de-Lira R. V., Silveira E. B. da, Menezes M., de-Ramos-Marino R. L., de-Lira-RV-Fernandes, da-Silveira E. B. 1997. Survey of endophytic and epiphytic fungi from coconut leaves in the northeast of Brasil. I. Frequency of fungal population and its host effect. *Agrotropica*, **9**(3): 127 – 134.
- Ramos-Mariano R-de-L, Fernandes-de-Lira R. V., Silveira E. B. da, Menezes M., de-L-Ramos-Marino R., de-Lira-RV-Fernandes and da-Silveira E. B. 1998. Survey of endophytic and epiphytic fungi from coconut leaves in the Northeast of Brazil. II. Effect of the locality on the fungal population. *Agrotropica*, **10**(1): 1 – 8.

- Steyaert, R. L. 1949. Contribution a l'etude monographique de pestalotia de not. et Monochaetia Sacc. *Bulletin du Jardin Botanique de Bruxelles*, **19**: 285.
- Stierle A., Strobel G. and Stierle D. 1993. Taxol and taxane production by *Taxomyces andreanae*, an endophytic fungus of Pacific yew. *Science*, **260**: 214 – 216.
- Strobel G., Stierle A., Stierle D. and Hess W. W., 1993. *Taxomyces andreanae*, a proposed new taxon for a bulbilliferous hyphomycete associated with Pacific yew (*Taxus brevifolia*). *Mycotaxon*, **47**: 71 – 80.
- Strobel G., Yang X-S, Sears J., Kramer R., Sidhu R. S. and Hess W. M. 1996. Taxol from *Pestalotiopsis microspora*, an endophytic fungus of *Taxus wallachiana*. *Microbiology*, **142**: 435 – 440.
- Strobel G. A., Hess W. M., Li J. Y., Ford E., Sidhu R. S. and Summerell B. 1997. *Pestalotiopsis guepinii*, a taxol – producing endophyte of the Wollemi pine, *Wollemia nobilis*. *Australian Journal of Botany*, **45**(6): 1073 – 1082.
- Strobel G., Li J. Y., Ford E., Worapong J., Gary I. B. and Hess W. M. 2000. *Pestalotiopsis jesteri* sp. nov., an endophyte from *Fragariae bodenii*, a common plant in the southern highlands of Papua New Guinea. *Mycotaxon*, **76**: 257 – 266.
- Suryanarayanan T. S., Kumaresan V. and Johnson J. A. 1998. Foliar fungal endophytes from two species of the mangrove *Rhizophora*. *Canadian Journal of Microbiology*, **44**: 1003 – 1006.
- Suryanarayanan T. S., Senthilarasu G. and Muruganandam V. 2000. Endophytic fungi from *Cuscuta reflexa* and its host plants. *Fungal Diversity*, **4**: 117 – 123.
- Techa W., Lumyong S., Lumyong P. and Hyde K. D. 2000. Recovery of endophytic fungi from *Calamus kerrianus* in Thailand during the rainy season. In: Hyde K. D., Lai S. R., Pointing S. B. and Wong W. S. W. (eds.), *Abstracts of Asian Mycological Congress 2000*. The University of Hong Kong and The International Mycology Association Committee for Asia, Hong Kong, 115.
- Toofanee B. S. and Dulymamode R., 2002. Fungal endophytes associated with *Cordemoya integrifolia*. *Fungal Diversity*, **11**: 169 – 175.
- Zou W-X( 邹文欣) and Tan R-X( 谭仁祥), 2001. Recent advances on endophyte research. *Acta Botanica Sinica (植物学报)*, **43**(9): 881 – 892. (in Chinese)

( 责任编辑 : 时意专 )