

# 中国特有植物青檀可培养内生真菌组成的季节性变化

柴新义,赵 鹏,于士军,孙 星,向玉勇

(滁州学院 生物与食品工程学院,安徽 滁州 239000)

**摘 要:**为了解不同季节青檀枝条中可培养内生真菌菌群的组成特征及其随季节更替的演变关系,采用组织分离与形态学鉴定的方法对采自不同季节的1年生青檀健康枝条进行内生真菌的分离和鉴定。从春、夏、秋、冬4个季节的1200个组织块中共分离内生真菌1120株,除未产孢类菌群占7.77%外,其余为子囊菌门和毛霉菌门种类,隶属2门8纲9目10科12属。结果表明,优势菌群会伴随着季节更替而发生演变。春季以毛霉菌纲、毛霉目、毛霉科、共头霉属为第一优势菌群(占35.31%);夏、秋2个季节以粪壳菌纲、肉座菌目、间座菌科、拟茎点霉属的菌群占比为最高(35.90%和29.78%);而冬季则以散囊菌纲、散囊菌目、发菌科、青霉属为最高(40.48%)。内生真菌的菌群组成随季节更替的演化关系既表现出季节延续性,又表现出季节特异性。在春、夏、秋、冬4个季节的植物样本中均出现的内生真菌菌群占33.33%,而丝孢纲、丛梗孢目、暗色孢科、枝孢属仅在春季出现;黑痣菌目、小丛壳科、刺盘孢属仅在秋季出现;曲霉属和孔球孢属则出现在春季和冬季。内生真菌菌群多样性伴随着季节的更替表现出先高(春)、后低(夏)、再高(秋)、再低(冬)的变化规律。

**关键词:**青檀;当年生枝条;可培养内生真菌;菌群组成;季节性变化

**中图分类号:**S767.5

**文献标志码:**A

**文章编号:**1001-7461(2023)05-0170-06

## Seasonal Variation of Culturable Endophytic Fungi in *Pteroceltis tatarinowii*, An Endemic Plant to China

CHAI Xin-yi, ZHAO Peng, YU Shi-jun, SUN Xing, XIANG Yu-yong

(School of Biology and Food Engineering, Chuzhou University, Chuzhou 239000, Anhui, China)

**Abstract:** The culturable endophytic fungi from the branches of *Pteroceltis tatarinowii* were studied to understand composition and evolutionary relationship of endophytic fungal communities in different seasons on this ancient and peculiar plant. The annual healthy branch samples were collected from areas of the natural distribution of *P. tatarinowii* in the Langyashan Natural Reserve, Anhui Province, China. Endophytic fungi were isolated from branch tissue, and fungal strains were classified on the basis of morphology. From 1200 tissue blocks taken from branches, a total of 1120 isolates of endophytic fungi were identified and classified into 12 genera, 10 families, 9 orders, 8 classes, and 2 phylums. Eighty-seven strains showed no reproductive structures, and were classified as Mycelia sterilia (7.77%). The composition of endophytic fungi changed with the seasons. In spring, Mucoromycetes, Mucorales, Mucoraceae and *Syncephalastrum* were the first dominant flora (35.31%). In summer and autumn, Sordariomycetes, Hypocreales, Diaporthaceae and *Phomopsis* had the highest proportions (35.9% and 29.78%, respectively in two seasons). In winter, the frequency of isolation was the highest in the Eurotiomycetes, Eurotiales, Trichocomaceae and *Penicillium* (40.48%). The composition of endophytic fungi showed seasonal specificity, among which *Cladosporium* only appeared in spring, *Colletotrichum* appeared only in autumn. The genera of *Aspergillus* and *Gil-*

收稿日期:2022-06-28 修回日期:2022-09-01

基金项目:安徽省自然科学基金面上项目(2108085MC87);安徽省中央引导地方科技发展专项资金项目(202107d06020018)。

第一作者:柴新义,博士,副教授。研究方向:菌物资源与生物技术。E-mail: xinyianhui@163.com

*maniella* appeared in spring and winter. The diversity index of endophytic fungi showed a high (spring), low (summer), high (autumn), and low (winter) with the change of seasons.

**Key words:** *Pteroceltis tatarinowii*; current year branch; culturable endophytic fungi; composition of endophytic fungus; seasonal variation

植物内生真菌是指在其菌体生活史中的某一阶段,甚至其整个生活史内都寄居于植物健康组织内的一类真菌。任何一类植物内都生活着丰富的内生真菌种类<sup>[1-2]</sup>。植物内生真菌可产生多种代谢产物,包括萜类、多糖类、黄酮类、甾体类及生物碱类等生理活性物质<sup>[3]</sup>,其在农业、林业、工业、医药、食品和环保等行业方面均蕴含着巨大的应用潜力,特别在促长、增产、抗逆(干旱、盐碱、病虫害等)等方面的能力引人注目<sup>[4-6]</sup>。另外,植物内生真菌在生物地球化学循环中的生态学功能亦不容小视<sup>[7-8]</sup>。目前,关于内生真菌多样性的研究涉及种类、遗传、代谢、生态等不同方面,其中物种多样性是开展其他理论研究和应用研究的基础,所以,迄今以来,物种多样性一直是植物内生真菌研究的核心。近年来,植物内生真菌物种多样性研究覆盖的木本植物包括马尾松、杉木、红豆杉、云杉、桫欏等<sup>[9-13]</sup>,有些植物种类具有较高的造林、经济和生态价值,亦有些种类具有较高的科研、药用和观赏价值。有研究表明,古老的或特色的植物与其内生真菌通常已经形成了比较稳定的关系,且内生真菌的种类比较丰富<sup>[12-13]</sup>。

青檀(*Pteroceltis tatarinowii*)是中国特有的第三纪孑遗濒危植物,为国家Ⅲ级保护植物。青檀具有饲用、药用、材用及生态防护等用途<sup>[14]</sup>。目前,青檀的研究主要集中在分子遗传、种群格局、抗逆性等方面<sup>[15-17]</sup>,而对内生真菌的研究则主要在青檀叶片、果实、枝条等组织中的种类组成特征方面<sup>[18-19]</sup>,对菌群特征伴随季节更替的演化关系的研究尚未见报道,而该方面的研究对于深入探究“菌-植”之间的协同进化及菌群多样性的维持机制具有重要意义。鉴于此,本研究对采自不同季节的野生青檀当年生健康枝条中的可培养内生真菌进行分离和鉴定,旨在了解不同季节青檀枝条中可培养内生真菌组成的相似性及差异性变化,探讨当年生健康枝条中的可培养内生真菌伴随季节更替而可能存在的演化关系。研究结果可为深入了解和开发我国特有古老榆科植物青檀的内生真菌资源奠定基础,亦可为进一步开展青檀内生真菌生理生态学功能、菌植协同进化、菌群多样性维持机制等方面的研究提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

1.1.1 培养基 将青檀健康枝条100 g(煮汁)加入

马铃薯葡萄糖琼脂培养基(PDA)1 000 mL中制得内生真菌分离培养基。

菌种纯化和保藏培养基:PDA培养基。

1.1.2 植物材料 春、夏、秋、冬4个季节的野生青檀植株的当年生健康新鲜枝条样本。

### 1.2 方法

1.2.1 青檀植物样本的采集 采样地位于安徽琅琊山境内,属于亚热带季风气候,四季分明,光照充足,雨量充沛;年平均气温15.2℃,≥10℃有效积温700~4 900℃,年均降水量1 050 mm以上(天气数据来自 <https://tianqi.911cha.com/chuzhou/2019.html>);地带性植被为亚热带常绿阔叶林与落叶阔叶林混交林。选择该地区内的野生青檀居群作为本次植物样本的采样地点,采集地的青檀树干直径40~50 cm,高20余m,与青檀伴生的乔木层主要有榉树(*Zelkova schneideriana*)、朴树(*Celtis tetrandra*)和麻栎(*Quercus acutissima*)等,伴生的灌木层有山胡椒(*Lindera glauca*)、胡颓子(*Elaeagnus pungens*)和小叶女贞(*Ligustrum quihoui*)等,伴生的草本层植被有麦冬(*Ophiopogon japonicus*)、荇草(*Arthraxon hispidus*)和透骨草(*Phryma letostachya*)等<sup>[19]</sup>。

分别在春季(4月)、夏季(7月)、秋季(9月)、冬季(12月)于样地随机选取树龄、长势以及生长状况等基本一致的青檀植株10棵,进行样本采集。分别从每棵植株的向阳与背阳部位用无菌剪刀采集5枝当年生健康枝条,4个季节所采集枝条均来源于相同植株,随后放入洁净的保鲜袋内,依次编号,并迅速带回实验室低温保存。

1.2.2 内生真菌的分离 采用组织分离法进行内生真菌的分离,具体操作如下。

1)首先,用自来水对枝条冲洗2次,确保表面清洗干净;其次,用无菌水对枝条样本冲洗,然后,转移至超净工作台,用70%酒精( $C_2H_5OH$ )浸泡1~2 min,无菌水冲洗2次,沥干;接着,用2%次氯酸钠( $NaClO$ )溶液浸泡1~2 min;最后,用无菌水冲洗干净。

2)无菌条件下,将青檀枝分别剪成3 mm大小,并接至分离培养基上,依次编号。在每个季节的分离试验时,均采用300个组织块进行。

3)同时,将最后一次洗青檀枝条的“无菌水”均

匀涂布于分离培养基上。在进行内生真菌分离试验的过程中,打开一个空白平板用来检测操作环境的无菌状况。

4) 分别在接种后的分离平板、“无菌水”涂布对照平板和操作环境无菌检测对照平板上写明类别和日期等有关信息后,于 28 ℃ 培养。

1.2.3 纯化与鉴定 待枝条切口处长出真菌菌落后,及时挑取菌丝纯化,获得纯菌种。丝孢类无性型真菌直接挑取制片,腔孢类无性型真菌和子囊菌切片后制片,置于光学显微镜下观察,根据子实体和产孢结构的形态特征鉴定到属。无性型真菌属的鉴定依据 BARNETT 等<sup>[20]</sup>的分类系统,有性型子囊菌属的鉴定参考文献<sup>[21]</sup>,根据 KIRK 等<sup>[22]</sup>追寻真菌属的变动和采用目前的属名和定义。

1.2.4 数据处理 分离频率(isolation frequency):分离某个属的可培养内生真菌的菌株数占分离的可培养内生真菌菌株数的百分率,用于评价春、夏、秋、冬不同季节当年生枝条中可培养内生真菌优势菌群的组成情况。

$$\text{Shannon 多样性指数 } H' = - \sum_{i=1}^S P_i \ln P_i \quad (1)$$

式中: $P_i$  为第  $i$  种的比例多度, 给定为:  $P_i = \frac{N_i}{N}$ ;  $N_i$  为第  $i$  种物种个体数,  $i=1, 2, 3, 4, \dots, S$ 。

$$\text{Margalef 丰富度指数 } R = \frac{(S-1)}{\text{Log}_2(N)} \quad (2)$$

式中: $S$  为物种数; $N$  为个体总数。

$$\text{均匀度指数 } E = \frac{H'}{\ln(S)} \quad (3)$$

式中: $H'$  为 Shannon 指数; $S$  为物种数。

Shannon 指数( $H'$ )和 Margalef 指数( $R$ )被用于分析春、夏、秋、冬不同季节青檀当年生健康枝条中可培养内生真菌菌群的多样性。均匀度指数( $E$ )用于分析可培养内生真菌菌群在春、夏、秋、冬不同季节青檀当年生健康枝条中分布的均匀程度。

$$\text{Sorenson 相似性指数 } C_s = \frac{2j}{(a+b)} \quad (4)$$

式中: $j$  为不同季节共有的可培养内生真菌属数; $a$  是某一季节青檀植物样本中可培养内生真菌的属数; $b$  是另一季节青檀植物样本中可培养内生真菌的属数。Sorenson 相似性指数主要用来分析春、夏、秋、冬不同季节青檀植物样本枝条中可培养内生真菌菌群组成的相似程度。

利用软件 SPSS 16.0 对试验数据进行费舍尔检验(Fisher's exact test),用于分析春、夏、秋、冬不同季节青檀样本之间可培养内生真菌菌群的组成差异。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同季节青檀当年生健康枝条中可培养内生真菌的菌群组成

由表 1 可见,从春、夏、秋、冬 4 个季节的 1 200 个青檀枝条组织块中共分离内生真菌 1 120 株,各季节分别分离可培养内生真菌 286、273、272 株和 289 株。经鉴定,其中除未产孢类菌群占 7.77% 之外,其余为子囊菌门和毛霉菌门,隶属 2 门 8 纲 9 目 10 科 12 属。

在目级水平上,肉座菌目的分离频率最高,春、夏、秋、冬 4 个季节分别分离该内生真菌 63、98、81 和 117 株,分别占 22.03%、35.90%、29.78% 和 16.61%;科级水平上,间座菌科的分离频率最高;属级水平上,不同季节中的不同菌群的分离频率也存在一定差异,为更好描述优势属,暂且将分离频率 > 10% 的菌群定义为优势菌群,其中共头霉属和拟茎点霉属为春季的优势菌群(占 35.31% 和 22.03%);拟茎点霉属、叶点霉属和交链孢属为夏季的优势属(占 35.90%、26.37% 和 19.05%);拟茎点霉属、刺盘孢属和交链孢属为秋季的优势属(占 29.78%、17.28% 和 15.07%);青霉属和拟茎点霉属为冬季的优势属(占 40.48% 和 16.31%)。有些菌属在 4 个不同季节的青檀枝条样本中均为优势菌群,例如,拟茎点霉属在 4 个季节中均为优势菌属;有的属在春季和秋季的青檀植物样本中为优势菌群,如交链孢属。

内生真菌除表现出季节延续性之外,亦表现出其组成的季节特异性。例如,叶点霉属和大茎点霉属在夏、秋、冬 3 个季节中均出现分布,然而在春季却未出现;刺盘孢属仅在秋季出现,而春、夏、冬 3 个季节均未出现;枝孢属仅在春季出现,在夏、秋、冬 3 个季节均未出现;共头霉属在春、夏和秋 3 个季节均出现,而在冬季未出现;曲霉属和孔球孢属仅在夏季和秋季出现,而在春季和冬季均未出现。

### 2.2 不同季节青檀当年生健康枝条中可培养内生真菌菌群的多样性

由图 1 可知,4 个季节中,从青檀当年生健康枝条中分离的可培养内生真菌菌株数依次为:冬季 > 春季 > 夏季 > 秋季,其中冬季分离出的菌株数量最多(289 株),而秋季分离出的菌株数量最少(272 株)。在 4 个不同季节中,青檀枝条样本中的可培养内生真菌菌群组成在属数量上无明显差异(8~9 属)。

由图 2 可见,在春、夏、秋 3 个季节中,青檀当年生健康枝条中的可培养内生真菌菌群的多样性指

表 1 不同季节青檀当年生健康枝条中可培养内生真菌的菌群组成  
Table 1 Composition of endophytic fungi from healthy branches of *P. tatarinowii* in different seasons

门	纲	目	科	属	分离频率(%)			
					春季	夏季	秋季	冬季
子囊菌门 (Ascomycota)	腔菌纲 (Loculoascomycetes)	格孢腔菌目 (Pleosporales)	格孢腔菌科 (Pleosporaceae)	交链孢属 ( <i>Alternaria</i> )	9.09	19.05	15.07	5.19
	散囊菌纲 (Eurotiomycetes)	散囊菌目 (Eurotiales)	发菌科 (Trichomaceae)	青霉属 ( <i>Penicillium</i> )	6.64	3.66	1.84	40.48
	子囊菌纲 (Ascomycetes)	曲霉目 (Eurotiales)	曲霉科 (Aspergillaceae)	曲霉属 ( <i>Aspergillus</i> )	7.34	0.00	0.00	5.88
	粪壳菌纲 (Sordariomycetes)	肉座菌目 (Hypocreales)	间座菌科 (Diaporthaceae)	拟茎点霉属 ( <i>Phomopsis</i> )	22.03	35.90	29.78	16.61
	半知菌纲 (Deuteromycetes)	壳霉目 (Sphaerosidales)	杯霉科 (Discellaceae)	色串孢属 ( <i>Torula</i> )	8.04	1.83	1.84	7.96
		(Incertae sedis)	(Incertae sedis)	孔球孢属 ( <i>Gilmaniella</i> )	5.24	0.00	0.00	5.54
		葡萄座腔菌目 (Botryosphaerales)	叶点霉科 (Phyllostictaceae)	叶点霉属 ( <i>Phyllosticta</i> )	0.00	26.37	4.78	9.34
	座囊菌纲 (Dothideomycetes)	黑痣菌目 (Phyllachorales)	葡萄座腔菌科 (Botryosphaeriaceae)	大茎点霉属 ( <i>Macrophoma</i> )	0.00	1.47	5.88	4.50
			小丛壳科 (Glomerellaceae)	刺盘孢属 ( <i>Colletotrichum</i> )	0.00	0.00	17.28	0.00
		丛梗孢目 (Miniliales)	暗色孢科 (Dematiaceae)	枝孢属 ( <i>Cladosporium</i> )	0.70	0.00	0.00	0.00
毛霉菌门 (Mucoromycota)	毛霉菌纲 (Mucoromycetes)	毛霉目 (Mucorales)	毛霉科 (Mucoraceae)	共头霉属 ( <i>Syncephalastrum</i> )	35.31	6.59	7.35	0.00
无孢菌群 (Mycelia sterilia)					5.59	5.13	16.18	4.50

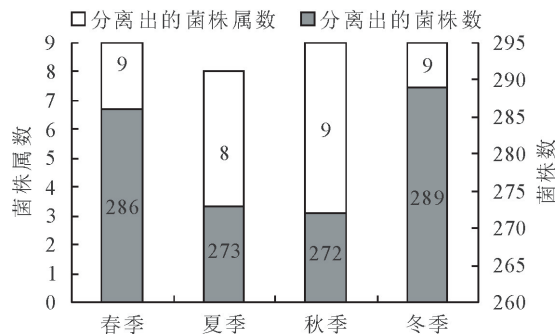


图 1 不同季节青檀当年生健康枝条中可培养内生真菌分离的属数和菌株数

Fig. 1 Genera and strains of culturable endophytic fungi isolated from healthy branches of *P. tatarinowii* in different seasons  
数、丰富度指数和均匀度指数均依次为:秋季>春季>夏季。然而,到了冬季,较之于秋季而言,其多样性指数、丰富度指数和均匀度指数均出现了不同程度的下降。

总之,青檀当年生健康枝条中可培养内生真菌菌群的多样性指数伴随着季节的更替表现出了先高(春季)、后低(夏季)、再高(秋季)、再低(冬季)的变化规律,推测可能与春、夏、秋、冬不同季节宿主植物的组织结构、营养构成和生理状况等存在差异有关。

2.3 不同季节青檀可培养内生真菌组成的相似性  
由表 2 可见,不同季节青檀当年生健康枝条中

可培养内生真菌菌群组成的相似性系数( $C_s$ )为 0.67~1.00,其中,秋季和冬季的菌群组成的相似程度最高( $C_s=1.00$ ),春季和秋季之间的菌群组成相似程度最低( $C_s=0.67$ )。

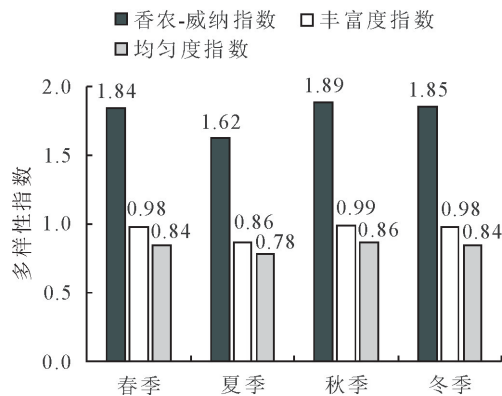


图 2 不同季节青檀当年生健康枝条中可培养内生真菌的多样性指数

Fig. 2 Diversity index of culturable endophytic fungi from healthy branches of *P. tatarinowii* in different seasons

经费舍尔检验表明(表 3),在属的水平上,从不同季节青檀所分离的可培养内生真菌组成差异不显著( $P=0.50\sim0.76>0.05$ ),由此可见,不同季节其内生真菌菌群组成的相似程度较高,这也在一定程度上暗示了青檀可培养内生真菌伴随季节更替具有较好的定殖性、适应性和延续性。



表 2 不同季节青檀可培养内生真菌组成的相似性分析

Table 2 Similarity analysis of the composition of endophytic fungi in branches of *P. tatarinowii* in different seasons

季节	相似性系数( $C_s$ )			
	春季	夏季	秋季	冬季
春季	—	0.71	0.67	0.67
夏季	—	—	0.94	0.94
秋季	—	—	—	1.00
冬季	—	—	—	—

表 3 不同季节青檀可培养内生真菌组成的费舍尔精确检验

Table 3 Fisher exact test of the composition of endophytic fungi in branches of *P. tatarinowii* in different seasons

季节	春季	夏季	秋季	冬季
春季	—	0.50	0.66	0.66
夏季	—	—	0.50	0.50
秋季	—	—	—	0.76
冬季	—	—	—	—

### 3 结论与讨论

#### 3.1 结论

优势菌群会伴随着季节更替而发生演变,春季以共头霉属为第一优势菌群(占 35.31%);夏、秋 2 个季节则以拟茎点霉属的菌群占比为最高(35.90%和 29.78%);而冬季则以青霉属为最高(40.48%)。不同季节青檀当年生枝条中可培养内生真菌的菌群组成具有一定的共性和季节特异性,在 4 个季节的植物样本中均出现的内生真菌菌群占 33.33%,而枝孢属仅在春季出现,刺盘孢属仅在秋季出现,曲霉属和孔球孢属则在春季和冬季出现。菌群多样性指数表现为先高(春季)、后低(夏季)、再高(秋季)、再低(冬季)的变化规律。属的水平上,不同季节青檀当年生健康枝条中的可培养内生真菌菌群组成的相似度较高(0.67~1.00),且无显著性差异( $P>0.05$ )。

#### 3.2 讨论

研究表明,不同季节青檀枝条中可培养内生真菌的分离率依次为:冬季>春季>夏季>秋季,而罗鑫等<sup>[9]</sup>的研究结果得出,不同季节其马尾松内生真菌分离率为:秋季>春季>夏季>冬季,这与本试验结果存在一定差异,分析原因可能与宿主种类、地理特征、生态条件等方面存在差异有关。不同季节的青檀当年生枝条中可培养内生真菌的菌群构成具有一定的共性和季节特异性。例如,拟茎点霉属在 4 个季节的青檀枝条中均有分布,且均为优势属。然而,叶点霉属和大茎点霉属仅在夏、秋和冬 3 个季节出现;刺盘孢属仅在秋季出现,枝孢属只在春季出

现。青檀枝条中可培养内生真菌的优势菌群随着季节的更替亦发生着变化。一些植物内生真菌往往可以产生具有抗其他真菌的次级代谢活性物质<sup>[26]</sup>,从而在一定程度上抑制了其他菌群的数量<sup>[27]</sup>,也就使得自身成为优势菌群。有学者认为植物的内生真菌部分来源于空气中真菌的侵入并定殖,而昆虫对植物的取食伤害作用又会促使植物产生一些防御机制或诱导植物产生某些挥发性产物<sup>[28]</sup>,因而能够阻止或减少其他空气中真菌的入侵。因此,昆虫的多样性及对植物的生物学作用亦是影响植物内生真菌菌群组成多样性变化的原因之一。另外,随着季节的更替,植物体内各种营养成分也在发生着不同程度的变化,如矿物质含量、糖类、蛋白质和粗脂肪等<sup>[29]</sup>。植物内生真菌寄生在植物体内,以宿主的营养物质为代谢基础,因此植物营养物质成分的季节性变化势必会对其内生真菌产生影响,这也能从一定程度上解释青檀枝条中可培养内生真菌菌群多样性的季节性变化规律。

通过对采样地 4 个季节的温度、湿度和降水量等指标的监测与本试验结果分析表明,高温、高湿和充沛的降雨量等气候因子均在一定程度上为环境中的真菌入侵宿主植物提供了有利的条件。本研究表明秋季的青檀内生真菌菌群多样性和丰富度都高于春季、夏季和冬季,与推测假设吻合。

综上所述,青檀枝条中可培养内生真菌菌群的组成随着季节的更替而发生着变化,这种变化及其多样性的维持受到宿主植物外环境和内环境的双重影响。环境、气候和生物等因子可为真菌的入侵及其在宿主植物内的定殖提供条件,而宿主植物的内环境因素更加复杂,不仅与宿主植物和入侵真菌的自身生物学特性有关,而且也与内生真菌与宿主植物中其他生物(细菌、病毒、放线菌等)之间的相互作用有关。因此,植物内生真菌菌群的组成特征是宿主植物与内外生物、非生物环境系统间相互作用的结果。今后,对青檀植物内生真菌多样性及其维持机制的研究有待于进一步加强。

#### 参考文献:

- [1] SUSHEEL K, NUTAN K, BAKER S E. Endophytic fungi isolated from oil-seed crop *Jatropha curcas* produces oil and exhibit antifungal activity[J]. PLoS One, 2013, 8(2): 56-92.
- [2] 王红霞, 余亚茹, 黄宝康. 构树可培养内生真菌的多样性初探[J]. 菌物学报, 2020, 39(12): 2399-2408.  
WANG H X, YU Y R, HUANG B K. Diversity of culturable endophytic fungi from *Broussonetia papyrifera* [J]. Mycosystema, 2020, 39(12): 2399-2408. (in Chinese)
- [3] 郑红梅, 叶耀辉, 王婷, 等. 药用植物内生真菌及其代谢产物活

- 性的研究概况[J]. 江西中医药, 2016, 47(4): 71-73.
- [4] 侯姣姣, 余仲东, 康永祥, 等. 内生真菌侵染对古侧柏种子萌发及幼苗生长的影响[J]. 西北林学院学报, 2016, 31(6): 110-115.  
HOU J J, YU Z D, KANG Y X, *et al.* Effects of endophytic fungi on seed germination and seedling growth of ancient *Platycladus orientalis*[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2016, 31(6): 110-115. (in Chinese)
- [5] YOU Y H, YOON H, KANG S M, *et al.* Fungal diversity and plant growth promotion of endophytic fungi from six halophytes in suncheon bay[J]. Journal of Microbiology and Biotechnology, 2012, 22(11): 1549-1556.
- [6] 郝苑汝, 庞俊倩, 赵鑫丹, 等. 核桃内生真菌 SYS-5-2 的鉴定及其抑菌活性[J]. 西北林学院学报, 2020, 35(1): 158-164.  
HAO Y R, PANG J Q, ZHAO X D, *et al.* Identification and antimicrobial activity of endophytic fungus SYS-5-2 from Walnut[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2020, 35(1): 158-164. (in Chinese)
- [7] FUKASAWA Y, OSONO T, TAKEDA H. Effects of attack of saprobic fungi on twig litter decomposition by endophytic fungi[J]. Ecological Research, 2009, 24: 1067-1073.
- [8] CHEN Y H, XING X K, GUO S X. The endophytic fungal community composition of *Gymnadenia conopsea* in Beijing[J]. Mycosystema, 2018, 37(1): 35-42.
- [9] 罗鑫, 于存. 贵州马尾松内生真菌多样性[J]. 菌物学报, 2021, 40(3): 531-546.  
LUO X, YU C. Diversity of endophytic fungi from *Pinus massoniana* in Guizhou Province, southwestern China[J]. Mycosystema, 2021, 40(3): 531-546. (in Chinese)
- [10] 任燕, 姜海燕, 爱华. 红果型沙地云杉内生真菌多样性[J]. 西北林学院学报, 2018, 33(5): 180-187.  
REN Y, JAING H Y, AI H. Endophytic fungus diversity of red fruit type *Picea mongolica*[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2018, 33(5): 180-187. (in Chinese)
- [11] 韩洁, 桂艳玲, 付强, 等. 篦子三尖杉内生真菌的分离鉴定和抑菌活性分析[J]. 山地农业生物学报, 2021, 40(1): 66-69.  
HAN J, GUI Y L, FU Q, *et al.* Isolation, identification and antimicrobial activity analysis of endophytic fungi from *Cephalotaxus oliveri*[J]. Journal of Mountain Agriculture and Biology, 2021, 40(1): 66-69. (in Chinese)
- [12] 臧威, Luke Saye Nenwon KRUA, 沈赤, 等. 孑遗植物桫欏内生真菌的多样性与群落组成(英文)[J]. 菌物学报, 2020, 39(4): 731-742.  
ZANG W, KRUA L S N, SHEN C, *et al.* Species diversity and community composition of endophytic fungi from *Alsophila spinulosa*[J]. Mycosystema, 2020, 39(4): 731-742. (in Chinese)
- [13] FAN X K, SARSAIYA S, YU J, *et al.* Endophytic fungal diversity on different aged bark of medicinal taxus plant species[J]. Journal of Biobased Materials and Bioenergy, 2019, 13(4): 544-549.
- [14] FANG S Z, LI G Y, FU X X. Biomass production and bark yield in the plantations of *Pteroceltis tatarinowii*[J]. Biomass & Bioenergy, 2004, 26(4): 319-328.
- [15] 李晓红, 张慧, 王德元, 等. 我国特有植物青檀遗传结构的 IS-SR 分析[J]. 生态学报, 2013, 33(16): 4892-4901.  
LI X H, ZHANG H, WANG D Y, *et al.* The genetic structure of endemic plant *Pteroceltis tatarinowii* by ISSR markers[J]. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(16): 4892-4901. (in Chinese)
- [16] 张莉, 张小平, 陆畅, 等. 安徽琅琊山青檀种群空间格局[J]. 林业科学, 2012, 48(2): 9-15.  
ZHANG L, ZHANG X P, LU C, *et al.* Spatial pattern of *Pteroceltis tatarinowii* populations in Langya Mountain of Anhui Province[J]. Scientia Silvae Sinicae, 2012, 48(2): 9-15. (in Chinese)
- [17] 宋立奕. 盐胁迫对青檀幼苗生长及生理特性的影响[D]. 南京: 南京林业大学, 2004.
- [18] 柴新义, 柴钢青, 向玉勇, 等. 青檀叶片内生和附生真菌组成及生态分布[J]. 生态学报, 2016, 36(16): 5163-5172.  
CHAI X Y, CHAI G Q, XIANG Y Y, *et al.* Composition and ecological distribution of endophytic and epiphytic fungi from the foliage of *Pteroceltis tatarinowii*[J]. Acta Ecologica Sinica, 2016, 36(16): 5163-5172. (in Chinese)
- [19] 柴新义, 钟媛媛. 青檀果内生真菌菌群的组成及多样性[J]. 应用生态学报, 2017, 28(2): 636-642.  
CHAI X Y, ZHONG Y Y. Community composition and diversity of endophytic fungi from the fruits of *Pteroceltis tatarinowii*[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2017, 28(2): 636-642. (in Chinese)
- [20] BARNETT H L, HUNTER B B. Illustrated genera of imperfect fungi[M]. 4th. St. Paul Minnesota: The American Phytopathological Society, 2006: 1-234.
- [21] 魏景超. 真菌鉴定手册[M]. 上海: 上海科学出版社, 1979: 1-802.
- [22] KIRK P, CANNON P, MINTER D, *et al.* Ainsworth & Bisby's Dictionary of the Fungi[M]. 10th. Wallingford: CABI Publishing, 2008: 1-328.
- [23] 李芙蓉, 丁涛, 白林含. 拟茎点霉属 *Phomopsis* sp. S4 菌株发酵产物对稻瘟病菌细胞膜的抑制作用[J]. 应用与环境生物学报, 2018, 24(2): 342-346.  
LI F R, DING T, BAI L H. Inhibition mechanism of fermentation broth extract of *Phomopsis* sp. strain S4 on cell membranes of *Magnaporthe oryzae*[J]. Chinese Journal of Applied and Environmental Biology, 2018, 24(2): 342-346. (in Chinese)
- [24] 胡瀚博. 红树内生真菌拟茎点霉(*Phomopsis* sp. xy21)次生代谢产物初探[D]. 广州: 暨南大学, 2018.
- [25] 邢欢欢, 李萍, 孔维松, 等. 拟茎点霉属真菌福士拟茎点霉发酵产物中的 1 个具有抗菌活性的新二苯醚类化合物[J]. 中草药, 2018, 49(4): 767-771.
- [26] 武艳霜, 陆悦, 朱作斌, 等. 药用植物中具有抗真菌活性的内生真菌及其次级代谢产物的研究[J]. 国外医药抗生素分册, 2019, 40(4): 309-315.
- [27] 牛源. 植物内生真菌来源的抗真菌活性物质研究[D]. 长春: 吉林大学, 2017.
- [28] 热孜宛古丽·阿卜杜克热木. 三种寄主植物挥发物对 2 种金龟甲生物活性的研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2018.
- [29] 周炎, 单洪涛, 文艺. 火棘叶不同季节的营养成分含量变化研究[J]. 饲料博览, 2017(10): 11-14.