

福建省自然分布的野鸦椿根围土壤中 丛枝菌根真菌多样性分析

董怡然¹, 张秀英¹, 陈熙^{1,2}, 张艳^{1,2}, 郭惠珠¹, 蔡邦平^{1,①}

(1. 厦门市园林植物园, 福建 厦门 361003; 2. 福建农林大学园林学院, 福建 福州 350002)

摘要: 采用湿筛倾注-蔗糖离心法和显微观察法对自然分布于福建省 6 个样地的野鸦椿 [*Euscaphis japonica* (Thunb.) Kanitz] 根围土壤中丛枝菌根真菌 (AMF) 进行分离和鉴定, 并基于重要值、孢子密度、种丰度、Shannon-Wiener 多样性指数、Sørensen 相似性系数以及 Q 型聚类分析对各样地 AMF 的多样性进行了分析和比较。结果显示: 福建省的邵武市邵武将石自然保护区 (SW)、建瓯市东游镇 (JOD)、建瓯市建瓯万木林自然保护区 (JOW)、尤溪县西城镇 (YX)、清流县温郊乡 (QL) 和武平县万安乡 (WP) 6 个样地的 AMF 分别有 6 属 10 种、6 属 15 种、7 属 16 种、9 属 14 种、8 属 17 种和 7 属 15 种, 6 个样地共鉴定出 AMF 9 属 28 种; JOD、YX、QL 和 WP 样地的 AMF 优势属均为球囊霉属 (*Glomus* Tul. et C. Tul.), 其中, JOD、YX 和 QL 样地的 AMF 优势种为大果球囊霉 (*Glomus macrocarpum* Tul. et C. Tul.), WP 样地的 AMF 优势种为地管孢囊霉 (*Funneliformis geosporum* C. Walker et Schuessler); SW 样地的 AMF 优势属为内养囊霉属 (*Entrophospora* R. N. Ames et R. W. Schneid.), AMF 优势种为稀有内养囊霉 (*Entrophospora infrequens* R. N. Ames et R. W. Schneid.); JOW 样地的 AMF 主要属 (常见属) 为管孢囊霉属 (*Funneliformis* C. Walker et Schuessler), AMF 主要种 (常见种) 为地表多孢囊霉 [*Diversispora versiforme* (Karsten) S. M. Berch et J. A. Fortin]。YX 样地的 AMF 平均孢子密度最大, 在 50 g 风干土中平均有 118.9 个孢子; JOD 样地的 AMF 平均种丰度最大 (7.2)。6 个样地 AMF 的 Shannon-Wiener 多样性指数为 1.27~1.87, 以 JOW 样地最大、QL 样地最小。各样地间 AMF 的 Sørensen 相似性系数为 0.48~0.76, 其中, WP 样地与 YX 样地间 AMF 的 Sørensen 相似性系数最大 (0.76), 表明这 2 个样地的共有 AMF 种类占 76%; 且 WP 样地与其他样地间 AMF 的 Sørensen 相似性系数均较大 (大于或等于 0.6), 其 AMF 的属数、种数、种丰度、孢子密度和 Shannon-Wiener 多样性指数也较高。通过聚类分析, 供试的 6 个样地被划分为 3 组, 其中, JOD、WP 和 JOW 样地归为 1 组; YX 样地单独成组; SW 和 QL 样地归为 1 组。综合分析结果表明: 福建省自然分布的野鸦椿根围土壤中 AMF 的种类组成和多样性差异较大, 而福建南部样地 (武平县万安乡) 的 AMF 种类具有较高的代表性。

关键词: 野鸦椿; 丛枝菌根真菌 (AMF); 重要值; 多样性分析; 聚类分析; 相似性系数

中图分类号: Q948.12⁺2.3; Q949.755.1 文献标志码: A 文章编号: 1674-7895(2018)03-0079-08
DOI: 10.3969/j.issn.1674-7895.2018.03.11

Analysis on diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in rhizosphere soil of *Euscaphis japonica* naturally distributed in Fujian Province DONG Yiran¹, ZHANG Xiuying¹, CHEN Xi^{1,2}, ZHANG Yan^{1,2}, GUO Huizhu¹, CAI Bangping^{1,①} (1. Xiamen Botanical Garden, Xiamen 361003, China; 2. College of Landscape Architecture, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, China), *J. Plant Resour. & Environ.*, 2018, 27(3): 79-86

Abstract: The arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) in rhizosphere soil of *Euscaphis japonica* (Thunb.) Kanitz naturally distributed in six plots of Fujian Province were isolated and identified by wet sieving-sucrose centrifugation method and microscopic observation method, and the diversity of AMF in each plot

收稿日期: 2017-11-28

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (30670047); 厦门市科技计划项目 (3502Z20144073; 3502Z20112004)

作者简介: 董怡然 (1984—), 女, 福建将乐人, 学士, 农艺师, 主要从事园林植物与共生菌根方面的研究。

①通信作者 E-mail: cbangping@163.com

was analyzed and compared based on important value, spore density, species abundance, Shannon-Wiener diversity index, Sørensen similarity coefficient and Q cluster analysis. The results show that there are AMF of 10 species in 6 genera, 15 species in 6 genera, 16 species in 7 genera, 14 species in 9 genera, 17 species in 8 genera and 15 species in 7 genera in six plots of Shaowu Jiangshi Nature Reserve in Shaowu City (SW), Dongyou Town in Jian'ou City (JOD), Jian'ou Wanmulin Nature Reserve in Jian'ou City (JOW), Xicheng Town in Youxi County (YX), Wenjiao Town in Qingliu County (QL) and Wan'an Town in Wuping County (WP) of Fujian Province, respectively, and total AMF of 28 species in 9 genera are identified in six plots. The dominant genus of AMF in JOD, YX, QL and WP plots is *Glomus* Tul. et C. Tul., in which, the dominant species of AMF in JOD, YX and QL plots is *Glomus macrocarpum* Tul. et C. Tul., and the dominant species of AMF in WP plot is *Funneliformis geosporum* C. Walker et Schuessler. The dominant genus of AMF in SW plot is *Entrophospora* R. N. Ames et R. W. Schneid., and the dominant species of AMF is *Entrophospora infrequens* R. N. Ames et R. W. Schneid. The major genus (common genus) of AMF in JOW plot is *Funneliformis* C. Walker et Schuessler, and the major species (common species) of AMF is *Diversispora versiforme* (Karsten) S. M. Berch et J. A. Fortin. The average spore density of AMF in YX plot is the largest, there are 118.9 spores in 50 g air-dried soil; and the average species abundance of AMF in JOD plot is the largest (7.2). The Shannon-Wiener diversity index of AMF in six plots is 1.27–1.87, and the largest and the smallest is in JOW plot and QL plot, respectively. The Sørensen similarity coefficient of AMF among plots is 0.48–0.76, in which, Sørensen similarity coefficient of AMF between WP plot and YX plot is the largest (0.76), indicating that common AMF species in two plots account for 76%. And Sørensen similarity coefficients of AMF between WP plot and other plots are all larger (above or equal to 0.6), and its genus number, species number, species abundance, spore density and Shannon-Wiener diversity index are also higher. Based on the cluster analysis, the six plots tested are divided into three groups, in which, JOD, WP and JOW plots are classified in one group; YX plot is grouped independently; SW and QL plots are classified in one group. The result of comprehensive analysis shows that differences in species composition and diversity of AMF in rhizosphere soil of *E. japonica* naturally distributed in Fujian Province are larger, and AMF species in plot of South Fujian (Wan'an Town in Wuping County) is highly representative.

Key words: *Euscaphis japonica* (Thunb.) Kanitz; arbuscular mycorrhizal fungi (AMF); important value; diversity analysis; cluster analysis; similarity coefficient

丛枝菌根(arbuscular mycorrhiza, AM)是自然界中广泛存在的一种共生菌根类型,由球囊霉门(Glomeromycota)真菌与植物共生形成,因此,球囊霉门真菌也称为丛枝菌根真菌(arbuscular mycorrhizal fungi, AMF)。自然界中70%~80%的陆生植物与AMF形成丛枝菌根^[1],有利于植物的生长及其对N、P和K等矿质营养元素的吸收^[2-3],在提高植物对非生物胁迫因子的耐性^[4-6]、改善林木生长状态^[7]和指示环境^[8]等方面均具有重要作用。

野鸦椿[*Euscaphis japonica* (Thunb.) Kanitz]隶属于省沽油科(Staphyleaceae)野鸦椿属(*Euscaphis* Sieb. et Zucc.),自然生长于山谷或稀林地中,在中国、日本、韩国和越南均有分布。野鸦椿在中国的大部分区域(除西北地区外)有分布,主要分布于长江以南至海南省之间的区域^[9-10],其中,福建省是野鸦椿的自然地理分布中心。因野鸦椿具有蓇葖果外形奇特、成熟果皮鲜艳(红色)、挂果时间长(9月至翌年

3月)的特点,观赏价值较高,近年来野鸦椿在许多地区作为园林观赏植物进行栽培。目前,关于野鸦椿的离体繁殖、种子萌发生理特性、根系形态以及药用活性成分等^[11-16]方面已有较多的研究报道。黄铭星等^[17]通过施用混合人工菌剂,使圆齿野鸦椿(*Euscaphis konishii* Hayata)植株移栽后的成活率提高,并能增加其植株体内矿质元素和生理物质含量。作者前期对福建红树林AMF侵染状况的研究结果表明:红树林植物的AMF侵染率受植物种类、植物生长状况和潮水线等因子影响,并具有季节变化规律,对红树林植物的群落组成、种群竞争和生态演替都有显著影响^[18]。那么,福建自然分布的野鸦椿是否存在与AMF共生的现象,共生真菌AMF对野鸦椿繁殖、生长和代谢以及自然分布、群落组成和居群结构等方面是否也具有影响效应,关于这些问题均缺乏必要的研究。

鉴于此,作者在福建省选择多个样点,对自然分

布的野鸦椿根围土壤中 AMF 的多样性进行了分析,对于了解野鸦椿的自然分布和生长发育规律,提高其繁殖水平,加强栽培管理措施以及利用 AMF 改善土壤肥力等都具有重要的参考价值。

1 材料和方法

1.1 材料

福建省地处中国东南部,具体地理坐标为北纬 23°31'~28°22'、东经 115°51'~120°40'。该区属亚热带海洋性季风气候;年均气温 17℃~21℃,年均降水量 1 400~2 000 mm。在福建省内的野鸦椿自然分布区选取 6 个具代表性的样地,分别为北部的邵武市邵武将石自然保护区、建瓯市东游镇和建瓯市建瓯万木

林自然保护区,中部的尤溪县西城镇和清流县温郊乡以及南部的武平县万安乡,北部、中部和南部样地间的纬度均相隔约 1°,跨越中亚热带和南亚热带 2 个气候带,野鸦椿呈散生、集生和纯林 3 种分布状态。各样地的基本概况见表 1。

于 2015 年 9 月至 10 月进行土壤样品采集。在各样地根据野鸦椿的分布数量分别确定 3~10 株样株,在每一样株的根围,分别采集东、南、西、北 4 个方位 5~30 cm 土层中的土壤样品,混合为 1 份样品,每份样品约 500 g;附贴标签并作详细采集记录,装入无菌塑料袋中带回实验室,自然风干后备用。由于每个样地分布的野鸦椿数量不等,因而,在邵武市邵武将石自然保护区和武平县万安乡分别采集了 3 和 6 份土样,其余 4 个样地各采集 10 份土样,共 49 份土样。

表 1 供试野鸦椿样地的基本概况

Table 1 Basic status of plots of *Euscaphis japonica* (Thunb.) Kanitz tested

样地 ¹⁾ Plot ¹⁾	纬度 Latitude	经度 Longitude	海拔/m Altitude	土壤类型 Soil type	样株分布状况 Distribution status of sample plant	土壤样本数 Number of soil sample
SW	N27°02'	E117°14'	200-400	砂壤 Sandy loam	散生 Scattered	3
JOD	N27°07'	E118°34'	150-200	砂壤 Sandy loam	集生 Aggregated	10
JOW	N27°02'	E118°08'	250-300	砂壤 Sandy loam	纯林 Pure forest	10
YX	N26°10'	E118°14'	150-250	砂壤 Sandy loam	散生 Scattered	10
QL	N26°14'	E117°01'	240-520	红壤 Red soil	散生 Scattered	10
WP	N25°11'	E116°02'	500-600	砂壤 Sandy loam	散生 Scattered	6

¹⁾ SW: 邵武市邵武将石自然保护区 Jiangshi Nature Reserve of Shaowu in Shaowu City; JOD: 建瓯市东游镇 Dongyou Town in Jian'ou City; JOW: 建瓯市建瓯万木林自然保护区 Wanmulin Nature Reserve of Jian'ou in Jian'ou City; YX: 尤溪县西城镇 Xicheng Town in Youxi County; QL: 清流县温郊乡 Wenjiao Town in Qingliu County; WP: 武平县万安乡 Wan'an Town in Wuping County.

1.2 方法

1.2.1 孢子的分离 采用改进的湿筛倾注-蔗糖离心法筛选孢子^[19]。分别称取各土样 50 g,蒸馏水静置后过双层分样筛(上筛 20 目、下筛 400 目),收集 400 目筛上的残留物,3 000 r·min⁻¹离心 3 min 后去掉上清液;加入质量体积分数 45%~50%蔗糖溶液,搅匀,1 500 r·min⁻¹迅速离心 2 min 后立即取上清液,过 400 目筛,用质量体积分数 0.9% NaCl 溶液收集残留物于培养皿中,备用。

1.2.2 孢子的鉴定 首先用 Nikon 80i 显微镜(日本尼康株式会社)观察记录孢子的数量、颜色、大小、连孢菌丝的特征和孢子果形态等;然后挑取新鲜的丛枝菌根真菌(AMF),加水后在 Nikon 80i 显微镜下观察并测量孢子的颜色和大小以及孢壁的颜色、类型和厚度;用 Melzer's 试剂(水合氯醛 100 g、水 100 mL、碘 1.5 g 和碘化钾 5 g)和棉蓝试剂(苯酚 10 g、乳酸 10

mL、甘油 20 mL、棉蓝 0.02 g 和水 10 mL)观察孢子的特异反应。根据孢子的形态特征,采用 Walker 等^[20]的分类系统,并参阅 Schenck 等^[21]的“VA 菌根真菌鉴定手册”对 AMF 进行分类鉴定。

1.3 数据处理和分析

参照文献[22-24]中的方法计算 AMF 的重要值(IV)、孢子密度、种丰度、Shannon-Wiener 多样性指数和 Sørensen 相似性系数等指标。并且根据 IV 值划分 AMF 种(属)的优势度:IV>30%,为优势种(属);10%<IV≤30%,为常见种(属);IV≤10%,为稀有种(属)。

分别将各样地的 AMF 属数、种数、平均孢子密度、平均种丰度和 Shannon-Wiener 多样性指数进行标准化处理,并据此进行 Q 型聚类分析。

采用 SPSS 22.0 统计分析软件进行数据处理和 Q 型聚类分析。

2 结果和分析

2.1 丛枝菌根真菌的种类组成和优势度分析

福建省自然分布的野鸦椿根围土壤中丛枝菌根真菌 (AMF) 的种类构成和重要值见表 2。

由表 2 可见,从 6 个样地的野鸦椿根围土壤中共分离获得 28 种 AMF, 分别隶属于无梗囊霉属 (*Acaulospora* Trappe et Gerd.)、近明囊霉属 (*Claroideoglossum* C. Walker et Schuessler)、多孢囊霉属 (*Diversispora* C. Walker et Schuessler)、内养囊霉属 (*Entrophospora* R. N. Ames et R. W. Schneid.)、管孢囊霉属 (*Funneliformis* C. Walker et Schuessler)、球囊霉属 (*Glomus* Tul. et C. Tul.)、巨孢囊霉属 (*Gigaspora* Gerd. et Trappe)、根生囊霉属 (*Rhizophagus* P. A. Dang.) 和盾巨孢囊霉属 (*Scutellospora* C. Walker et F. E. Sanders) 9 属, 其中, 球囊霉属有 1 个未知种 (*Glomus* sp.)。

从属的水平上看,邵武市邵武将石自然保护区 (SW) 样地的野鸦椿根围土壤中的 AMF 有无梗囊霉属、近明囊霉属、多孢囊霉属、内养囊霉属、管孢囊霉

属和球囊霉属 6 属, 其中, 内养囊霉属的重要值最大 (51.76%), 为优势属。建瓯市东游镇 (JOD) 样地的野鸦椿根围土壤中的 AMF 有无梗囊霉属、近明囊霉属、内养囊霉属、管孢囊霉属、球囊霉属和盾巨孢囊霉属 6 属, 其中, 球囊霉属的重要值最大 (49.52%), 为优势属。建瓯市建瓯万木林自然保护区 (JOW) 样地的野鸦椿根围土壤中的 AMF 有无梗囊霉属、近明囊霉属、内养囊霉属、管孢囊霉属、球囊霉属和根生囊霉属 7 属, 其中, 管孢囊霉属的重要值最大 (27.76%), 为主要属 (常见属); 尤溪县西城镇 (YX) 样地的野鸦椿根围土壤中的 AMF 包含全部 9 属, 其中, 球囊霉属的重要值最大 (50.71%), 为优势属; 清流县温郊乡 (QL) 样地的野鸦椿根围土壤中的 AMF 有无梗囊霉属、近明囊霉属、多孢囊霉属、内养囊霉属、管孢囊霉属、球囊霉属、巨孢囊霉属和盾巨孢囊霉属 8 属, 其中, 球囊霉属的重要值最大 (49.55%), 为优势属; 武平县万安乡 (WP) 样地的野鸦椿根围土壤中的 AMF 有无梗囊霉属、近明囊霉属、多孢囊霉属、内养囊霉属、管孢囊霉属、球囊霉属和巨孢囊霉属 7 属, 其中, 球囊霉属的重要值最大 (34.63%), 为优势属。6 个样地中, 除 SW 和 JOW 样地外, 球囊霉属在其余样地

表 2 福建省自然分布的野鸦椿根围土壤中丛枝菌根真菌 (AMF) 的种类和重要值

Table 2 Species and important value of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) in rhizosphere soil of *Euscaphis japonica* (Thunb.) Kanitz naturally distributed in Fujian Province

种类 Species	不同样地土壤中 AMF 种类的重要值/% ¹⁾ Important value of AMF species in different plots ¹⁾					
	SW	JOD	JOW	YX	QL	WP
无梗囊霉属 <i>Acaulospora</i>	10.20	13.13	9.99	1.36	7.09	5.17
孔窝无梗囊霉 <i>A. foveata</i>	—	2.73	—	—	—	—
光壁无梗囊霉 <i>A. laevis</i>	—	1.35	1.23	—	1.20	—
蜜色无梗囊霉 <i>A. mellea</i>	4.67	6.57	5.95	1.36	3.78	4.00
细凹无梗囊霉 <i>A. scrobiculata</i>	3.08	—	2.81	—	0.85	1.17
刺无梗囊霉 <i>A. spinose</i>	2.44	2.47	—	—	—	—
疣状无梗囊霉 <i>A. tuberculata</i>	—	—	—	—	1.27	—
近明囊霉属 <i>Claroideoglossum</i>	10.93	9.10	19.18	7.49	5.73	16.36
近明囊霉 <i>C. claroideum</i>	10.93	8.04	19.18	6.88	4.91	16.36
纯黄近明囊霉 <i>C. luteum</i>	—	1.06	—	0.60	0.82	—
多孢囊霉属 <i>Diversispora</i>	2.26	—	23.57	0.65	7.16	3.84
沾屑多孢囊霉 <i>D. spurca</i>	2.26	—	2.77	0.65	7.16	3.84
地表多孢囊霉 <i>D. versiforme</i>	—	—	20.80	—	—	—
内养囊霉属 <i>Entrophospora</i>	51.76	8.44	1.42	0.73	1.83	3.00
稀有内养囊霉 <i>E. infrequens</i>	51.76	8.44	1.42	0.73	1.83	3.00
管孢囊霉属 <i>Funneliformis</i>	8.51	16.36	27.76	27.12	20.71	33.35
苏格兰管孢囊霉 <i>F. caledonium</i>	—	—	7.14	—	—	—
缩管孢囊霉 <i>F. constrictum</i>	—	—	—	—	—	0.99
地管孢囊霉 <i>F. geosporum</i>	8.51	16.36	18.76	27.12	19.43	32.36
摩西管孢囊霉 <i>F. mosseae</i>	—	—	1.85	—	1.28	—

续表2 Table 2 (Continued)

种类 Species	不同样地土壤中 AMF 种类的重要值/% ¹⁾ Important value of AMF species in different plots ¹⁾					
	SW	JOD	JOW	YX	QL	WP
球囊霉属 <i>Glomus</i>	16.34	49.52	17.45	50.71	49.55	34.63
聚丛球囊霉 <i>G. aggregatum</i>	—	2.93	1.47	2.69	—	4.00
沙荒球囊霉 <i>G. deserticola</i>	2.85	—	1.38	—	—	—
大果球囊霉 <i>G. macrocarpum</i>	2.77	33.27	11.38	30.52	42.50	21.47
小果球囊霉 <i>G. microcarpum</i>	10.72	0.59	—	—	1.47	1.29
微丛球囊霉 <i>G. microaggregatum</i>	—	—	0.80	1.98	0.00	2.51
多梗球囊霉 <i>G. multicaule</i>	—	4.45	2.42	8.67	2.28	2.19
网状球囊霉 <i>G. reticulatum</i>	—	—	—	—	0.85	—
悬钩子球囊霉 <i>G. rubiforme</i>	—	7.32	—	6.86	2.45	2.16
阴性球囊霉 <i>G. tenebrosus</i>	—	0.95	—	—	—	—
未知种 <i>Glomus</i> sp.	—	—	—	—	—	1.01
巨孢囊霉属 <i>Gigaspora</i>	—	—	—	0.82	6.65	3.65
微白巨孢囊霉 <i>G. albida</i>	—	—	—	0.82	6.65	3.65
根生囊霉属 <i>Rhizophagus</i>	—	—	0.64	1.19	—	—
聚生根生囊霉 <i>R. fasciculatus</i>	—	—	0.64	1.19	—	—
盾巨孢囊霉属 <i>Scutellospora</i>	—	3.45	—	9.94	1.28	—
美丽盾巨孢囊霉 <i>S. calospora</i>	—	3.45	—	9.94	1.28	—
属数 Genus number	6	6	7	9	8	7
种数 Species number	10	15	16	14	17	15

¹⁾ SW: 邵武市邵武将石自然保护区 Jiangshi Nature Reserve of Shaowu in Shaowu City; JOD: 建瓯市东游镇 Dongyou Town in Jian'ou City; JOW: 建瓯市建瓯万木林自然保护区 Wanmulin Nature Reserve of Jian'ou in Jian'ou City; YX: 尤溪县西城镇 Xicheng Town in Youxi County; QL: 清流县温郊乡 Wenjiao Town in Qingliu County; WP: 武平县万安乡 Wan'an Town in Wuping County. —: 未检出 Undetected.

中的重要值均最大。由此可见,福建省自然分布的野鸦椿根围土壤中 AMF 的优势属或主要属因分布区域不同而存在一定的差异,其中,邵武市邵武将石自然保护区的 AMF 优势属为内养囊霉属,建瓯市建瓯万木林自然保护区的 AMF 主要属为管孢囊霉属,其余样地的 AMF 优势属均为球囊霉属。

从种的水平来看,从 SW、JOD、JOW、YX、QL 和 WP 样地的野鸦椿根围土壤中分别鉴定出 10、15、16、14、17 和 15 种 AMF(表 2)。其中,蜜色无梗囊霉 (*Acaulospora mellea* Spain et N. C. Schenck)、近明球囊霉 (*Claroideoglomus claroideum* C. Walker et Schuessler)、稀有内养囊霉 (*Entrophospora infrequens* R. N. Ames et R. W. Schneid.)、地管孢囊霉 (*Funneliformis geosporum* C. Walker et Schuessler) 和大果球囊霉 (*Glomus macrocarpum* Tul. et C. Tul.) 5 种在 6 个样地中均有分布,且分布频率较高。在 SW 样地的野鸦椿根围土壤中稀有内养囊霉的重要值最大 (51.76%),为优势种;在 JOD、YX 和 QL 样地的野鸦椿根围土壤中大果球囊霉的重要值均最大(分别为 33.27%、30.52% 和 42.50%),为这 3 个样地的优势种;在 WP 样地的野鸦椿根围土壤中地管孢囊霉的重

要值最大 (32.36%),为优势种;在 JOW 样地的野鸦椿根围土壤中地表多孢囊霉 [*Diversispora versiforme* (Karsten) S. M. Berch et J. A. Fortin] 的重要值最大 (20.80%),为主要种(常见种)。孔窝无梗囊霉 (*Acaulospora foveata* Trappe et Janos)、疣状无梗囊霉 (*Acaulospora tuberculata* Janos et Trappe)、地表多孢囊霉、苏格兰管孢囊霉 [*Funneliformis caledonium* (T. H. Nicolson et Gerd.) C. Walker et Schuessler]、缩管孢囊霉 [*Funneliformis constrictum* (Trappe) C. Walker et A. Schübler]、网状球囊霉 (*Glomus reticulatum* Bhattacharjee et Mukerji)、萌性球囊霉 (*Glomus tenebrosus* P. A. Tandy) 和球囊霉属未知种 (*Glomus* sp.) 均仅出现在 1 个样地土壤中,分布频率较低,占 AMF 总种数的 28.6%;并且,除地表多孢囊霉外,其余 7 种 AMF 的重要值均小于 10%,为偶见种。

2.2 丛枝菌根真菌的多样性分析

福建省自然分布的野鸦椿根围土壤中 AMF 的多样性比较结果见表 3。结果显示:尤溪县西城镇 (YX) 样地的野鸦椿根围土壤中有 9 属 14 种 AMF,清流县温郊乡 (QL) 样地的野鸦椿根围土壤中有 6 属 17 种 AMF,分别为属数、种数最多的样地。YX 样地的

表3 福建省自然分布的野鸦椿根围土壤中丛枝菌根真菌(AMF)的多样性比较($\bar{X}\pm SD$)Table 3 Comparison on diversity of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) in rhizosphere soil of *Euscaphis japonica* (Thunb.) Kanitz naturally distributed in Fujian Province ($\bar{X}\pm SD$)

样地 ¹⁾ Plot ¹⁾	属数 Genus number	种数 Species number	孢子密度 ²⁾ Spore density ²⁾	平均孢子密度 ²⁾ Average spore density ²⁾	种丰度 Species abundance	平均种丰度 Average species abundance	Shannon-Wiener 多样性指数 Shannon-Wiener diversity index
SW	6	10	22-83	58.3±26.2	4-7	5.7±1.3	1.35
JOD	6	15	64-195	113.7±42.7	5-9	7.2±1.1	1.59
JOW	7	16	12-103	49.6±31.7	5-9	6.3±1.2	1.87
YX	9	14	55-265	118.9±71.6	5-8	6.1±0.8	1.52
QL	8	17	5-105	44.5±28.2	3-7	5.1±1.0	1.27
WP	7	15	50-116	85.5±22.1	3-8	6.2±1.6	1.73

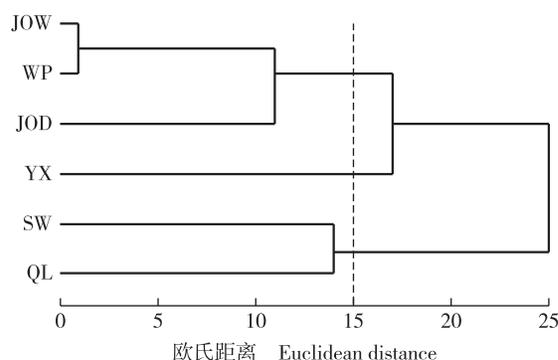
¹⁾ SW: 邵武市邵武将石自然保护区 Jiangshi Nature Reserve of Shaowu in Shaowu City; JOD: 建瓯市东游镇 Dongyou Town in Jian'ou City; JOW: 建瓯市建瓯万木林自然保护区 Wanmulin Nature Reserve of Jian'ou in Jian'ou City; YX: 尤溪县西城镇 Xicheng Town in Youxi County; QL: 清流县温郊乡 Wenjiao Town in Qingliu County; WP: 武平县万安乡 Wan'an Town in Wuping County.

²⁾ 50 g 风干土中的孢子数量 Spores number in 50 g air-dried soil.

野鸦椿根围土壤中 AMF 的平均孢子密度最大,在 50 g 风干土中平均有 118.9 个孢子;建瓯市东游镇(JOD)样地的野鸦椿根围土壤中 AMF 的平均种丰度最大,为 7.2;6 个样地的野鸦椿根围土壤中 AMF 的 Shannon-Wiener 多样性指数为 1.87~1.27,以建瓯市建瓯万木林自然保护区(JOW)样地最大。

2.3 丛枝菌根真菌的相似性分析

为了更直观地分析福建省野鸦椿自然分布区根围土壤中 AMF 的相似性,分别从多样性指标和物种相似度角度对 6 个样地的 AMF 进行 Q 型聚类分析和 Sørensen 相似性系数比较,结果分别见图 1 和表 4。



SW: 邵武市邵武将石自然保护区 Jiangshi Nature Reserve of Shaowu in Shaowu City; JOD: 建瓯市东游镇 Dongyou Town in Jian'ou City; JOW: 建瓯市建瓯万木林自然保护区 Wanmulin Nature Reserve of Jian'ou in Jian'ou City; YX: 尤溪县西城镇 Xicheng Town in Youxi County; QL: 清流县温郊乡 Wenjiao Town in Qingliu County; WP: 武平县万安乡 Wan'an Town in Wuping County.

图1 基于土壤中丛枝菌根真菌(AMF)多样性指标的福建省野鸦椿样地聚类图

Fig. 1 Cluster diagram of plots of *Euscaphis japonica* (Thunb.) Kanitz in Fujian Province based on diversity indexes of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) in soil

表4 福建省自然分布的野鸦椿样地间丛枝菌根真菌(AMF)的 Sørensen 相似性系数¹⁾

Table 4 Sørensen similarity coefficient of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) among plots of *Euscaphis japonica* (Thunb.) Kanitz naturally distributed in Fujian Province¹⁾

样地 Plot	不同样地间 AMF 的 Sørensen 相似性系数 Sørensen similarity coefficient of AMF among different plots				
	SW	JOD	JOW	YX	QL
JOD	0.48				
JOW	0.62	0.52			
YX	0.50	0.63	0.67		
QL	0.59	0.69	0.61	0.71	
WP	0.64	0.60	0.65	0.76	0.69

¹⁾ SW: 邵武市邵武将石自然保护区 Jiangshi Nature Reserve of Shaowu in Shaowu City; JOD: 建瓯市东游镇 Dongyou Town in Jian'ou City; JOW: 建瓯市建瓯万木林自然保护区 Wanmulin Nature Reserve of Jian'ou in Jian'ou City; YX: 尤溪县西城镇 Xicheng Town in Youxi County; QL: 清流县温郊乡 Wenjiao Town in Qingliu County; WP: 武平县万安乡 Wan'an Town in Wuping County.

由图 1 可见,供试 6 个样地在欧氏距离 15 处可划分为 3 组。其中,建瓯市东游镇(JOD)、武平县万安乡(WP)和建瓯市建瓯万木林自然保护区(JOW)样地归为 1 组,这 3 个样地 AMF 的 Shannon-Wiener 多样性指数和平均种丰度均较大;尤溪县西城镇(YX)样地单独成组,其 AMF 的 Shannon-Wiener 多样性指数和平均种丰度居中;邵武市邵武将石自然保护区(SW)和清流县温郊乡(QL)样地归为 1 组,这 2 个样地 AMF 的 Shannon-Wiener 多样性指数和平均种丰度均较小。总体上,JOW 样地与 WP 样地的 AMF 多样性最接近,与 SW 样地和 QL 样地的 AMF 多样性差异最大。

由表 4 可见:JOD 样地与 SW 样地间 AMF 的 Sørensen 相似性系数最小,仅为 0.48,即这 2 个样地土壤中共有的 AMF 种类占 48%;WP 样地与 YX 样地

间 AMF 的 Sørensen 相似性系数最大,为 0.76,即这 2 个样地土壤中共有的 AMF 种类占 76%;WP 样地与其余 5 个样地间 AMF 的 Sørensen 相似性系数均较大,大于或等于 0.6,说明武平县万安乡野鸭椿根围土壤中的 AMF 种类在福建省野鸭椿自然分布区中具有代表性。

3 讨论和结论

上述研究结果表明:从福建省 6 个样地的野鸭椿根围土壤中共鉴定出丛枝菌根真菌(AMF)9 属 28 种。建瓯市东游镇(JOD)、尤溪县西城镇(YX)、清流县温郊乡(QL)和武平县万安乡(WP)样地的野鸭椿根围土壤中的 AMF 优势属均为球囊霉属,其中, JOD、YX 和 QL 样地的野鸭椿根围土壤中的 AMF 优势种为大果球囊霉,而 WP 样地的野鸭椿根围土壤中的 AMF 优势种为地管孢囊霉;邵武市邵武将石自然保护区(SW)样地的野鸭椿根围土壤中的 AMF 优势属为内养囊霉属,AMF 优势种为稀有内养囊霉;建瓯市建瓯万木林自然保护区(JOW)样地的野鸭椿根围土壤中的 AMF 主要属(常见属)为管孢囊霉属,AMF 主要种(常见种)为地表多孢囊霉。从 AMF 优势属(种)来看,福建省内各个野鸭椿自然分布区土壤中的 AMF 差异明显。

供试的 JOW 样地、JOD 样地和 SW 样地间 AMF 的 Sørensen 相似性系数差异较大,其中,SW 样地与 JOD 样地间 AMF 的 Sørensen 相似性系数最小(0.48),说明这 2 个样地共有的 AMF 种类较少;而 WP 样地与 YX 样地间 AMF 的 Sørensen 相似性系数最大(0.76),说明这 2 个样地共有的 AMF 种类较多。在生态系统中,AMF 的数量和组成与共生植物的种类组成、分布和演替关系密切,而植被类型和植物种类也影响土壤中 AMF 的群落组成^[25-26]。供试的 SW、JOD 和 JOW 样地基本处于同一纬度,其土壤和气候等自然条件相近,但 JOW 和 SW 样地均为近自然林分,而 JOD 样地为疏林地,人为破坏严重,因此,这 3 个样地的野鸭椿根围土壤中 AMF 的种类组成主要受植被类型的影响。位于福建省中部的 YX 样地与 QL 样地间 AMF 的 Sørensen 相似系数为 0.71,说明这 2 个样地土壤中 AMF 有 71% 的共有种类,也表明这 2 个样地的土壤、气候、植被类型和植物种类都具有较高的相似性。而位于福建省南部的 WP 样地,

其气候相对于供试的其余样地更温暖湿润,植被组成为南亚热带植物类群,森林生态系统的植物种类更丰富,其土壤中 AMF 的属数、种数、种丰度、孢子密度和 Shannon-Wiener 多样性指数均较高,并且与其余 5 个样地间 AMF 的 Sørensen 相似性系数也较高,其 AMF 种类具有较高的代表性。

本研究中,由于样地和土壤样本数较少、采样次数少、采样时间单一,且缺乏对不同季节野鸭椿及其伴生种土壤 AMF 的研究,研究结果存在一定的局限性;另外,导致野鸭椿不同自然分布区土壤中 AMF 的种类组成、多样性指标差异的原因尚不明确,因此,福建省野鸭椿自然分布区土壤中 AMF 多样性及其变化规律有待深入研究和探讨。

参考文献:

- [1] 刘润进,陈应龙. 菌根学[M]. 北京:科学出版社,2007:22-33.
- [2] SMITH S E, READ D J. Mycorrhizal Symbiosis[M]. 3rd ed. London: Academic Press, 2008: 11-42.
- [3] 孙金华,毕银丽,袁浪,等. 土壤中丛枝菌根真菌对宿主植物磷吸收作用机制综述[J]. 土壤通报,2016,47(2):499-504.
- [4] 金樑,陈国良,赵银,等. 丛枝菌根对盐胁迫的响应及其与宿主植物的互作[J]. 生态环境,2007,16(1):228-233.
- [5] 王同智,包玉英. AM 真菌对濒危物种四合木及近缘种霸王抗旱性的影响[J]. 华北农学报,2014,29(3):170-175.
- [6] 马坤,王彦淇,杨建军,等. 不同干旱胁迫条件下丛枝菌根真菌对木棉叶绿素荧光参数的影响[J]. 植物资源与环境学报,2017,26(3):35-43.
- [7] 何跃军,杜照奎,吴长榜,等. 喀斯特土壤接种 AM 菌剂对光皮树幼苗形态特征和生物量分配的影响[J]. 西南大学学报(自然科学版),2012,34(10):35-39.
- [8] 张海涵,唐明,陈辉. 黄土高原典型林木根际土壤微生物群落结构与功能特征及其环境指示意义[J]. 环境科学,2009,30(8):2432-2437.
- [9] WU Z Y, RAVEN P H, HONG D Y. Flora of China: Vol. 11[M]. Beijing: Science Press, 2008: 498.
- [10] 中国科学院中国植物志编辑委员会. 中国植物志:第四十六卷[M]. 北京:科学出版社,1981:16-37.
- [11] 陈熙,马丽娟,蔡邦平. 光质对空间诱变野鸭椿组培苗生长及生理特性的影响[J]. 西北林学院学报,2018,33(1):151-155.
- [12] 赖慧灵,季艳林,楼杨,等. 野鸭椿属植物繁育方法和药用成分研究进展[J]. 生物技术进展,2016,6(1):6-9.
- [13] 张莉梅,张子晗,喻方圆. 低温层积过程中野鸭椿种子生理生化变化的研究[J]. 中南林业科技大学学报,2016,36(11):36-40.
- [14] 黄锦学,熊德成,杨智杰,等. 女贞和野鸭椿幼苗根形态和

- 细根呼吸的序级特征[J]. 亚热带资源与环境学报, 2010, 5(4): 71-77.
- [15] TAKEDA Y, OKADA Y, MASUDA T, et al. Euscapholide and its glucoside from leaves of *Euscaphis japonica*[J]. Phytochemistry, 1998, 49(8): 2565-2568.
- [16] LEE M K, JEON H Y, LEE K Y, et al. Inhibitory constituents of *Euscaphis japonica* on lipopolysaccharide-induced nitric oxide production in BV2 microglia[J]. Planta Medica, 2007, 73(8): 782-786.
- [17] 黄铭星, 邹双全, 陈琳, 等. 施用人工菌剂对圆齿野鸦椿幼苗移栽生长的影响[J]. 福建林学院学报, 2013, 33(1): 25-27.
- [18] 蔡邦平, 董怡然, 侯全, 等. 福建红树林植物丛枝菌根感染研究[J]. 亚热带植物科学, 2012, 41(1): 1-6.
- [19] GERDEMANN J W, NICOLSON T H. Spores of mycorrhizal *Endogone* species extracted from soil by wet sieving and decanting[J]. Transactions of the British Mycological Society, 1963, 46(2): 235-244.
- [20] WALKER C, SCHÜBLER A. Nomenclatural clarifications and new taxa in the *Glomeromycota*[J]. Mycological Research, 2004, 108(9): 981-982.
- [21] SCHENCK N C, PEREZ Y. Manual for the Identification of Vesicular Arbuscular Mycorrhizal Fungi[M]. 2nd ed. Gainesville: University of Florida, 1988: 63-233.
- [22] KOSKE R E. Distribution of VA mycorrhizal fungi along a latitudinal temperature gradient[J]. Mycologia, 1987, 79(1): 55-68.
- [23] 马克平, 刘玉明. 生物群落多样性的测度方法: I α 多样性的测度方法(下)[J]. 生物多样性, 1994, 2(4): 231-239.
- [24] 蔡邦平, 陈俊愉, 张启翔, 等. 北京梅花根围丛枝菌根真菌的群落组成与季节变化[J]. 北京林业大学学报, 2015, 37(S1): 66-73.
- [25] VAN DER HEIJDEN M G A, BOLLER T, WIEMKEN A, et al. Different arbuscular mycorrhizal fungal species are potential determinants of plant community structure[J]. Ecology, 1998, 79(6): 2082-2091.
- [26] VAN DER HEIJDEN M G A, KLIRONOMOS J N, URSIC M, et al. Mycorrhizal fungal diversity determines plant biodiversity, ecosystem variability and productivity[J]. Nature, 1998, 396(5): 69-72.

(责任编辑: 郭严冬)

《生物质化学工程》2019年征订启事

《生物质化学工程》是由国家林业局主管、中国林业科学研究院林产化学工业研究所主办,面向国内外公开发行的全国生物质化工行业的技术类刊物。本刊被美国《化学文摘》(CA)和《乌利希国际期刊指南》收录,为北大中文核心期刊、RCCSE中国核心学术期刊(A)、中国农业核心期刊、中国期刊全文数据库、中文科技期刊数据库、万方数据——数字化期刊群、CEPS中文电子期刊服务的全文收录期刊,并为中国学术期刊综合评价数据库统计源期刊和《CAJ-CD规范》执行优秀期刊。

报道范围:可再生的木质和非木质生物质资源的化学加工与利用,包括生物质能源、生物质化学品、生物质新材料、生物质天然活性成分和制浆造纸等。主要报道内容为松脂化学、生物质能源化学、生物质炭材料、生物基功能高分子材料、胶黏剂化学、森林植物资源提取物化学利用、环境保护工程、

木材制浆造纸为主的林纸一体化和林产化学工程设备研究设计等方面的最新研究成果。主要栏目:研究报告、综述评论、行业热点、国内外信息等。读者对象:适于从事生物质化学工业、林产化学工业、林业、农业、森工、能源、轻工、化工、环保、医药、食品、土产、商检、外贸等行业从事科研、教学、生产、经营、设计工作等相关人士阅读。

本刊为双月刊,单月月底出版,A4开本,每期56页;国内统一连续出版物号CN 32-1768/S,国际标准连续出版物号ISSN 1673-5854。全国各地邮局发行,邮发代号28-205,每册定价10.00元,全年定价60.00元;国外发行代号BM 2743,全年定价60.00美元。地址:江苏省南京市锁金五村16号林化所内(邮编:210042);电话:025-85482492,85482492(传真);网址:<http://www.bce.ac.cn>;E-mail:bce@vip.163.com。

欢迎投稿、订阅或来电来函联系广告业务!