

栎枯萎病菌检测防控研究进展

吕燕^{1,2}, 张慧丽^{1,3}, 段维军^{1,3*}

¹宁波检验检疫科学技术研究院, 浙江 宁波 315012; ²宁波中盛产品检测有限公司, 浙江 宁波 315012;

³宁波海关, 浙江 宁波 315012

摘要: 栎枯萎病菌是造成栎枯萎病的致病菌,也是我国进境植物检疫性病原菌。该病菌目前主要分布于美国,主要侵染栎属和栗属植物,可造成毁灭性危害。国内对此病菌研究较少,不利于对该病菌的认识和控制。本文对国内外关于栎枯萎病菌的研究进行了总结,重点归纳了栎枯萎病菌的分类学、分布、寄主、症状、形态学和生物学特征、检疫鉴定技术、侵染循环及防治措施等方面的信息。截至目前,该病害的防治工作方面仍面临挑战,扎实开展检疫工作仍然是防控该病菌的最重要手段。为应对栎枯萎病可能对我国家林业生产造成的威胁,应加强口岸检疫鉴定、监测、处理工作及开展国内外合作。

关键词: 栎枯萎病菌; 形态学特征; 生物学特征; 检疫鉴定; 侵染; 防治措施



开放科学标识码
(OSID 码)

Research progress on detection and control of oak wilt caused by *Bretziella fagacearum*

LÜ Yan^{1,2}, ZHANG Huili^{1,3}, DUAN Weijun^{1,3*}

¹Ningbo Academy of Inspection and Quarantine, Ningbo, Zhejiang 315012, China; ²Ningbo Joysun Product Testing Service Company, Ningbo, Zhejiang 315012, China; ³Ningbo Customs District P. R. China, Ningbo, Zhejiang 315012, China

Abstract: *Bretziella fagacearum*, which causes oak wilt, is listed as a quarantined pathogen in China. The pathogen is currently mainly distributed in the United States and mainly infects *Quercus* spp. and *Castanea* spp. plants, resulting in devastating diseases. There is scant research on this pathogen in China, which is not conducive to the understanding and control of this pathogen. Here, we review *B. fagacearum* as the causal agent of oak wilt, particularly focusing on taxonomy, distribution, host, symptoms, and morphological and biological characteristics. Related detection and quarantine information were also included in this study. However, the use of chemicals and other control measures is still in its early stages, and there are challenges regarding the control of oak wilt. This review includes a comprehensive comparison and summary of the applications, possible challenges, and potential improvements for the control of oak wilt. To date, the prevention and control of this disease remain a challenge, and solid quarantine work is considered the most important means of preventing and controlling it. To deal with the threat that oak wilt may pose to biosecurity in China, this paper puts forward relevant suggestions for strengthening quarantine identification, surveillance, treatment, and cooperation.

Key words: *Bretziella fagacearum*; morphological characteristics; biological characteristics; detection and identification; infection process; control measures

栎枯萎病是栎枯萎病菌 *Bretziella fagacearum* (Bretz) Hunt 引起的一种林木维管束病害。1942年,栎枯萎病首次在美国威斯康星州密西西比河上游河谷报道发生,造成当地红栎 *Quercus rubra* L. 迅速死亡(Juzwik *et al.*, 2008)。据记载,在德克萨斯州关于类似栎枯萎病造成栎树大面积死亡的报道

最早可以追溯到 20 世纪 30 年代(Appel, 1995)。然而,该病害可能早在 19 世纪 90 年代就已经在美国中西部上游地区发生(Gibbs & French, 1980)。目前,栎枯萎病在美国中东部地区的 26 个州均有发生,并与栎树猝死病(sudden oak death)等栎树类重大病害一起成为美国国内栎树类树种的主要毁

收稿日期(Received): 2022-06-30 接受日期(Accepted): 2022-08-19

基金项目: 国家重点研发计划项目(2022YFF0608804); 海关总署科研项目(2022HK011); 宁波市社会公益科研项目(2022S010)

作者简介: 吕燕,女,硕士研究生。研究方向: 有害生物识别与检测技术。E-mail: 517440775@qq.com

* 通信作者(Author for correspondence), 段维军, E-mail: weijunduan@tom.com

灭性病害。在危害严重的威斯康星州和明尼苏达州,每年有成千上万的栎树枯死(O'Brien *et al.*, 2000)。鉴于其危害严重性及根治难度,欧洲和地中海植物保护组织(European and Mediterranean Plant Protection Organization, EPPO)已将栎枯萎病菌列为A1类有害生物,加拿大、日本等国家和地区均将其列为检疫性有害生物,我国也将其列入《中华人民共和国进境植物检疫性有害生物名录》中(中华人民共和国农业部,2007)。

目前,尚无有效方法防治栎枯萎病,栎枯萎病一旦发生,则很难彻底铲除。为保护我国森林资源和林业生产安全,要谨防该病菌传入。当前,国内关于栎枯萎病菌的研究报道较少,不利于对该病菌的认识和控制,因此,本文对国内外关于该病菌的相关研究进展做了总结。

1 分类学

通过 Index Fungorum 网站 (<http://www.indexfungorum.org/names/names.asp>) 检索,栎枯萎病菌现学名为 *Ceratocystis fagacearum* (Bretz) J. Hunt, 其同物异名包括 *Chalara quercina* B.W. Henry、*Endoconidiophora fagacearum* Bretz 和 *Thielaviopsis quercina* (B.W. Henry) A.E. Paulin, T.C. Harr. & McNew。但最新的系统发育学分析证据表明,该菌不属于长喙壳科 Ceratocystidaceae 已知属中的任何一个属(如 *Ceratocystis*、*Endoconidiophora*、*Chalara* 和 *Thielaviopsis* 等),而是属于一个新属 *Bretziella* (de Beer *et al.*, 2017),其学名为 *Bretziella fagacearum* (Bretz) Z. W. deBeer, Marinc., T.A. Duong & M.J. Wingf.。因此,栎枯萎病菌属真菌界 Fungi 子囊菌门 Ascomycota 盘菌亚门 Pezizomycotina 粪壳菌纲 Sordariomycetes 肉座菌亚纲 Hypocreomycetidae 小囊菌目 Microascales 长喙壳科 Ceratocystidaceae *Bretziella* 属。本文选用 *Bretziella fagacearum* 作为栎枯萎病菌的拉丁学名。

2 分布

栎枯萎病菌主要分布在美国德克萨斯州及东部和中西部各州(EFSA *et al.*, 2019)以及欧洲的西班牙(Crop Protection Compendium, CPC, <https://www.cabi.org/cpc/>)。尽管在土耳其、波兰、保加利亚和罗马尼亚有零星报道,但并未见后续报道,上述原始报道很可能是由于错误鉴定所致(Boyras & Bastas, 2001; EPPO, 2017)。

3 寄主

栎枯萎病菌主要侵染栎属 *Quercus* spp. 和栗属 *Castanea* spp. 植物,其寄主见表1。该病菌寄主资源在我国十分丰富。如,栎属植物在我国共有120余种,广布国内各地(孙启时等,1998)。但自然界中栎枯萎病菌究竟有多少种寄主仍存在争议,有报道表明,栗属植物的欧洲栗 *C. sativa* Miller、中国板栗 *C. mollissima* Blume、美洲板栗 *C. dentata* (Marsh.) Borkh 等是易受该病菌侵染的树种(Bretza & Long, 1950; Rexrode & Brown, 1983),但也有研究认为,栗属植物不是该病菌的寄主植物(EFSA *et al.*, 2019)。

4 症状

寄主植物不同,栎枯萎病菌引起的症状不同,多造成寄主植物树干溃疡或叶片枯死等症状。栎枯萎病首先从树冠顶部或侧枝顶端开始发病,然后逐渐向树冠下部和内部蔓延(严进和吴品珊, 2013)。该病害在红栎、白栎 *Quercus fabri* Hance 和德州活栎 *Quercus texana* Buckley 上发病症状如下(Juzwik *et al.*, 2011):红栎感病最显著,通常在感染几周内出现症状,最初树冠上部叶片呈灰绿色,不久叶片从冠顶向下枯萎。老叶最初轻微卷曲,然后从叶尖向叶柄发展,渐变为青铜色至褐色,随后完全脱落。幼叶则直接变黑并卷曲下垂,但不脱落。一般在症状出现后几周内,病树几乎完全落叶并死亡;白栎发病较慢,通常在一年到多年里枯死,一个季节仅有一根或几根树枝枯死,叶片的发病症状与红栎类似;德州活栎感染后出现症状的速度比红栎慢,枯死的快慢取决于感染时间和天气条件,通常会在感染后的3~8个月内死亡。在春季和秋季时,叶片的发病症状表现为叶脉变黄,最终变棕色,这种症状也称为静脉坏死。小部分德州活栎在感染后虽然树冠会遭受不同程度的损失,但能够存活(Juzwik *et al.*, 2011; O'Brien *et al.*, 2000)。

栎枯萎病菌是通过树木边材侵染而进入植株,因此在枯萎树木的枝干和茎干交叉部位可见木质部褐色病变(EFSA, 2020)。树皮和木质部之间形成一团团垫状的菌丝层,这也是栎枯萎病害的显著特点。在口岸,进口栎枯萎病寄主多为原木,其在原木上主要症状为剥去树皮后具黑褐色条纹、开裂树皮和木质部之间具菌垫,原木携带枝条上有呈水渍状暗绿色至青铜色或褐色不等的叶片。

表 1 栎枯萎病菌的寄主信息

Table 1 Host information of *B. fagacearum*

寄主 Host	易感程度 Sensitivity	参考文献 References
美洲栗 <i>Castanea dentata</i>	Susceptible	Bretz & Long, 1950; Rexrode & Brown, 1983
板栗 <i>Castanea mollissima</i>	Highly susceptible	Bretz & Long, 1950; Fowler, 1951; Rexrode & Brown, 1983
美国北美矮栗树 <i>Castanea pumila</i>	Susceptible	Bretz & Long, 1950; Rexrode & Brown, 1983
欧洲板栗 <i>Castanea sativa</i>	Susceptible	Bretz & Long, 1950; Rexrode & Brown, 1983
石柯属 <i>Lithocarpus</i>	Susceptible	Bretz & Long, 1950; Rexrode & Brown, 1983
苹果属 <i>Malus</i>	Susceptible	Bretz & Long, 1950; Rexrode & Brown, 1983
栎属 <i>Quercus</i> sp.	/	de Beer <i>et al.</i> , 2017
美国白栎 <i>Quercus alba</i>	Highly susceptible	Anonymous, 1960; Craighead & Nelson, 1960; EFSA <i>et al.</i> , 2019; EPPO, 1997; Fergus & Yount, 1953; Gilman, 1949; Weaver & Jeffers, 1952
双色栎 <i>Quercus bicolor</i>	/	Carter & Wyszong, 1951
红栎 <i>Quercus borealis</i>	/	Anonymous, 1960; Brandt, 1962; French & Christensen, 1950; Gilman, 1949; Upadhyay, 1981
红栎变种 <i>Quercus borealis</i> var. <i>maxima</i>	/	Carter, 1950
<i>Quercus catesbaei</i>	/	Witcher, 1969
猩红栎 <i>Quercus coccinea</i>	/	Brandt, 1962; Englerth <i>et al.</i> , 1956; EPPO, 1997; EFSA <i>et al.</i> , 2019; Felix, 1955; Fergus & Yount, 1953; Grand, 1985
椭圆果栎 <i>Quercus ellipsoidalis</i>	/	EPPO, 1997; EFSA <i>et al.</i> , 2019; French & Christensen, 1950; Gibbs, 1980; Gilman, 1949
南方红橡 <i>Quercus falcata</i>	/	Anonymous, 1960; EPPO, 1997; EFSA <i>et al.</i> , 2019; Felix, 1955
冬青叶栎 <i>Quercus ilicifolia</i>	/	Fergus & Yount, 1953
覆互状栎 <i>Quercus imbricaria</i>	/	Anderson, 1968, 1974; Anonymous, 1960; Fergus & Yount, 1953; Gilman, 1949
大果栎 <i>Quercus macrocarpa</i>	/	Anonymous, 1960; EFSA <i>et al.</i> , 2019; EPPO, 1997; French & Christensen, 1950; Gilman, 1949
马里兰德栎 <i>Quercus marilandica</i>	/	Felix, 1955; Gilman, 1949
<i>Quercus montana</i>	/	Craighead & Nelson, 1960
黄栗栎 <i>Quercus muehlenbergii</i>	/	Gilman, 1949
黑栎 <i>Quercus nigra</i>	/	Grand, 1985; Grand & Doggett, 1973; Witcher, 1969
沼生栎 <i>Quercus palustris</i>	/	Anonymous, 1960; EFSA <i>et al.</i> , 2019; EPPO, 1997; Fergus & Yount, 1953; Gilman, 1949
无梗栎 <i>Quercus petraea</i>	Ausceptible	EFSA <i>et al.</i> , 2019; EPPO, 1997; MacDonald <i>et al.</i> , 2001
柳栎 <i>Quercus phellos</i>	/	Fowler, 1951; Grand, 1985
栗栎 <i>Quercus prinus</i>	/	Fergus & Yount, 1953; Weaver & Jeffers, 1952
柔毛栎 <i>Quercus pubescens</i>	Ausceptible	EFSA <i>et al.</i> , 2019; EPPO, 1997; MacDonald <i>et al.</i> , 2001
夏栎 <i>Quercus robur</i>	Susceptible	EFSA <i>et al.</i> , 2019; EPPO, 1997; MacDonald <i>et al.</i> , 2001
北美红橡树 <i>Quercus rubra</i>	/	Anderson, 1968; de Beer <i>et al.</i> , 2014, 2017; EFSA <i>et al.</i> , 2019; EPPO, 1997; Fowler, 1951; Jensen-Tracy, 2009
<i>Quercus rubra</i> var. <i>borealis</i>	/	Fergus & Yount, 1953
舒玛栎 <i>Quercus shumardii</i>	/	EFSA <i>et al.</i> , 2019; EPPO, 1997
舒玛栎变种 <i>Quercus shumardii</i> var. <i>texana</i>	/	Lewis, 1985
星毛栎 <i>Quercus stellata</i>	/	Anonymous, 1960; EFSA <i>et al.</i> , 2019; EPPO, 1997; Shields, 1951
美洲黑栎 <i>Quercus velutina</i>	/	Anonymous, 1960; Brandt, 1962; EFSA <i>et al.</i> , 2019; EPPO, 1997; Fergus & Yount, 1953; Gilman, 1949; Shields, 1952
弗吉尼亚栎 <i>Quercus virginiana</i>	/	EFSA <i>et al.</i> , 2019; EPPO, 1997; Lewis, 1985; Tainter, 1986

5 病原菌生物学及形态特征

栎枯萎病菌最适培养温度为 24 ℃, 子囊孢子萌发温度 25 ℃。发病最适温度 28 ℃, 低于 16 ℃或高于 32 ℃均不显症。温度超过 32 ℃, 病菌生长受到抑制 (Sinclair & Lyon, 2005)。病树死后, 病菌会生长到树皮内部, 在树皮和木质部之间形成菌垫

(EFSA, 2018)。菌垫仅在树皮/木材界面潮湿时产生 (Gibbs & French, 1980)。在干旱条件下, 菌垫的形成受到抑制, 这可能是该病害在德州西南部受到抑制的原因 (Sinclair & Lyon, 2005)。栎枯萎病菌可形成菌垫的边材含水量范围相当窄 (春季为 37%~45%, 秋季为 44%~52%), 菌垫形成的温度范围

为 8~25 ℃, 在较温暖的条件下菌垫生长更快 (EFSA, 2020)。由于与其他拮抗真菌竞争, 以及受炎热和干燥影响, 该病菌通常在 1 a 内从病树的地上部分消失, 但在地下部存活的时间可达 4 a (Gibbs & French, 1980; Sinclair & Lyon, 2005)。根据现有资料, 该病菌对温带地区寄主植物影响较大, 然而一旦被引入, 则可能不受温度限制, 这可能是由于引入后病菌可在树干和根系间存活 (Appel, 1995)。

菌落在马铃薯葡萄糖琼脂上呈灰绿色至橄榄绿色, 常伴有棕褐色菌丝体。分生孢子单孢, 圆柱形, 两端平截; 分生孢子梗分枝或不分枝, 有分隔, 顶端逐渐变尖 (Henry, 1944; Juzwik *et al.*, 2011)。子囊壳黑色, 球状, 具有未分化的装饰性菌丝, 常嵌入菌垫中。子囊壳颈细长, 基部黑色, 顶端颜色较浅。子囊可裂开, 子囊孢子单细胞, 透明, 椭圆形, 偶尔弯曲。分生孢子梗产于营养菌丝, 偶尔分枝。产孢细胞瓶梗状, 圆柱状, 浅至深褐色。分生孢子单细胞, 圆柱形, 末端扁平, 透明, 以不同长度的链状方式着生。无粉状孢子 (de Beer *et al.*, 2017)。

6 侵染循环

栎枯萎病菌是典型的维管束病害。病原菌通过树木伤口侵入导管, 在导管内生长并产生分生孢子, 孢子随树枝液在输导组织内传播蔓延至整株。寄主植物受病菌侵染后, 在导管内形成侵填物堵塞导管, 阻碍水分和矿物质运输, 最终导致树木萎蔫死亡。树木死亡后, 病菌在枯树上可通过菌垫越冬。在春季, 菌垫可产生分生孢子梗及分子孢子。由于菌垫不断生长加厚, 导致树皮开裂, 菌垫外露, 散发出特有水果香味引诱一些以汁液为食的昆虫 (Cease & Juzwik, 2001; Lin & Phelan, 1992)。这些昆虫可携带孢子, 当其在健康寄主上取食时, 即传播病害 (廖太林, 2005a; Harrington, 2013; EFSA, 2018, 2020; Sinclair & Lyon, 2005)。

7 传播

栎枯萎病菌近距离传播有地面传播和地下传播 2 种方式。地面传播主要通过病媒昆虫, 如露尾甲、小蠹虫、果蝇、蕈蚊等 (廖太林, 2005a)。生长在栎树上的露尾甲种类繁多, 在美国尼苏达州、伊利诺斯州及威斯康辛州, 栎枯萎病垫状菌丝团上主要的露尾甲种类有 *Carpophilus sayi*、*Colopterus truncates*、*Epuraea corticina*、*Glischrochilus sanguinolentus*、

G. fasciatus、*G. quadrisignatus* (廖太林, 2005a)。小蠹虫主要包括 *Pseudopityophthorus minutissimus*、*P. pruinosus* (廖太林, 2005b; Buchanan, 1957; Sinclair & Lyon, 2005)。其他昆虫还有 *Arrhenodes minutus*、*Carpophilus hemipterus* 和 *Scolytus intricatus* (EFSA, 2018, 2020)。地下传播通过根系接触、嫁接 (EFSA, 2018), 速度较慢。在春季和初夏, 人类活动造成的树木伤口 (切枝末端、新鲜的树桩表面、茎伤) 或强风 (断裂的树枝和茎) 可为病菌提供合适的侵染点 (Juzwik *et al.*, 2011)。相比于伤口感染, 根嫁接的方式更容易使栎树感染栎枯萎病菌 (Appel, 1995; Bruhn *et al.*, 1991; Harrington, 2013)。

远距离传播主要通过运输带菌苗木、原木、木制包装等, 同时原木中的病媒昆虫体内或体表也可能携带真菌孢子进行传播 (严进和吴品珊, 2013)。栎枯萎病菌子囊孢子比分生孢子黏附在昆虫外部传播扩散效率更高, 该菌是异宗配合型真菌, 只有在 2 种不同交配型的菌株相遇时才能进行有性生殖, 当病媒昆虫接触不同的菌垫和交配型菌株时, 会促进该病菌的繁殖 (Harrington, 2013)。

8 检疫鉴定技术

栎枯萎病菌是一种危险性极强的植物病原真菌, 美国、加拿大和欧盟等国家均对此病菌进行了深入研究与分析, 如加拿大专门制定了栎枯萎病应对框架 (<https://inspection.canada.ca/plant-health/invasive-species/plant-diseases/oak-wilt/response-framework/eng/1563898431188/1563898479048# a103>), 欧盟对该病菌的入侵风险进行了专项分析 (<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7009401/pdf/EFS2-16-e05185.pdf>)。迄今, 我国口岸尚未检出过栎枯萎病菌, 对栎枯萎病菌的检疫鉴定主要是按照我国国家标准 GB/T 28083-2011《栎枯萎病菌检疫鉴定方法》进行, 以病菌的培养性状及微观形态特征作为鉴定依据。现场检疫中, 首先应检查木材的横断面和纵断面, 观察是否有变色条纹 (EPPO, 1997; Robinet *et al.*, 2016); 若木材带皮, 则要检查树皮和木质部之间是否有垫状菌丝层; 若发现可传播栎枯萎病菌昆虫, 需要对其进行种类鉴定。有研究表明, 可从锯切 24 周后的木材锯材中分离出来栎枯萎病菌 (Gibbs & French, 1980), 木质包装中也可以分离出该病菌 (Webber, 2015)。上述情况表明, 该病菌适生性较强, 进境原木中栎枯萎病菌的

检测应该是口岸植物检疫工作的重点,各原木进口口岸应该加强检疫力量,密切防范其跨境传播。

我国有大量来自美国的进口原木,同时,由于进境原木搬运掏箱等较为困难,以往的检疫工作多关注昆虫类有害生物(林玲玲等,2015;王新乐等,2015),对于菌物类关注较少。原木中截获的菌物仅有苹果壳色单隔孢溃疡病菌 *Botryosphaeria stevensii* Shoemaker (张露茜等,2015)、栎树猝死病菌 *Phytophthora ramorum* Werres, de Cock et Man in't Veld (李雪莲等,2021)、美澳型核果褐腐病菌 *Monilinia fructicola* (Winter) Honey (张慧丽等,2022)等。因而进境原木中相关检疫性菌物的检疫鉴定工作亟待加强。

目前,利用分子生物学方法来检测栎枯萎病菌的研究仍较少。Wu *et al.* (2011)根据栎枯萎病菌及其近似种间 ITS 序列差异,分别研发了该病菌的巢式 PCR 和实时荧光 PCR 检测方法,检测灵敏度分别可达到 1 pg DNA (25 μ L 反应体系)、0.1 pg DNA (20 μ L 反应体系)。Lamarche *et al.* (2015)根据栎枯萎病菌及其近似种间 EF 序列差异,研发了该病菌的实时荧光 PCR 检测方法。上述方法均可直接用于检测样品是否携带栎枯萎病菌,实用性较强,能够有效缩短检测时间。随着测序技术的发展,栎枯萎病菌的基因组研究也取得了进展,为揭示病菌的生长发育、系统进化和致病机理等研究提供了方便。如南非比勒陀利亚大学的科研团队已完成栎枯萎病菌分离物 CMW 2656 的全基因组测序,序列信息保存在 GenBank 中(登录号 MKGJ00000000) (Wingfield *et al.*, 2016)。

本文通过在 GenBank 中下载栎枯萎病菌及其近似种的 ITS 序列,以 *Kernia pachypleura* 的 ITS 序列(DQ318208)为外群,使用 MEGA6.0 软件进行比对,采用邻接法(neighbor-joining method, NJ)构建了系统进化发育树,该结果显示供测栎枯萎病菌 ITS 序列全部聚在同一个分支(Bootstrap 值为 99) (图 1)。这表明,ITS 序列分析能够有效区分栎枯萎病菌及其近似种。

9 防治措施

从栎枯萎病菌发病区域的实际情况来看,栎枯萎病主要的防治措施有:(1)及时清除所有有症状、病死的树木,并用剥皮、削片或劈裂、窑干、熏蒸的

方法处理木材,防止菌垫的形成(EPPO, 1997);(2)在春季和初夏减少树木采收及修剪,防止伤口感染(Gleason *et al.*, 2005);(3)通过挖沟、使用土壤杀菌剂的方法防止根系传播(Harrington, 2013)。控制根部的方法,功效可能明显不同,如采用根部屏障的方法其效率可能为 54%~100% (Koch *et al.*, 2010)。

对于大面积人工林和原始森林而言,上述防治措施效果有限。该病一旦传入我国,对其进行彻底铲除的难度非常大。由于目前还没有能够有效根治栎枯萎病的方法,做好植物检疫工作、预防其传入国内具有重要意义。在日常检测工作中,需要特别关注栎枯萎病发生国家的寄主植物进口情况,尤其是来自美国各州的苗木和木材,同时对该病害潜在发生区也需要关注。

10 总结

尽管目前国内外已对栎枯萎病菌开展了一些研究,但仍然存在一些不确定的问题。一,栎枯萎病菌的起源仍然未知。有研究者认为该病菌很有可能是从墨西哥,中美洲或南美洲传入美国(Juzwik *et al.*, 2008)。二,长途运输过程中,栎枯萎病菌及其传播介体存活能力存在不确定性,此方面研究较少。三,尚不确定我国分布的栎枯萎病菌寄主如栎树等树木品种对该病菌的感病性。

为应对栎枯萎病可能对我国林业生产造成的威胁,建议从以下几个方面加强对该菌的研究:(1)口岸检疫部门加大检疫力度,严防该病菌进入我国,一旦检出该病菌,应实施严格的销毁或退运等检疫处理措施;(2)密切关注和掌握该病菌全球范围内发生发展情况,研发并更新该病菌的检疫鉴定方法,建立栎枯萎病菌的快速分子检测技术体系,如开发栎枯萎病菌特异、高效的分子标记检测技术等;(3)加强监测预警技术研究,强化口岸一线的栎枯萎病菌监测力度,建立健全疫情监测网络;(4)开展检疫处理攻关技术研究,探索建立高效、低毒、简便的栎枯萎病菌检疫处理技术;(5)加强合作。一方面向社会大力宣传栎枯萎病的危害性,使社会各界能够主动报告疫情,从而达到及时发现及时防控甚至防除的目的。另一方面,加强与美国及相关的国家、机构及科研人员合作研究,共同应对栎枯萎病所造成的威胁。

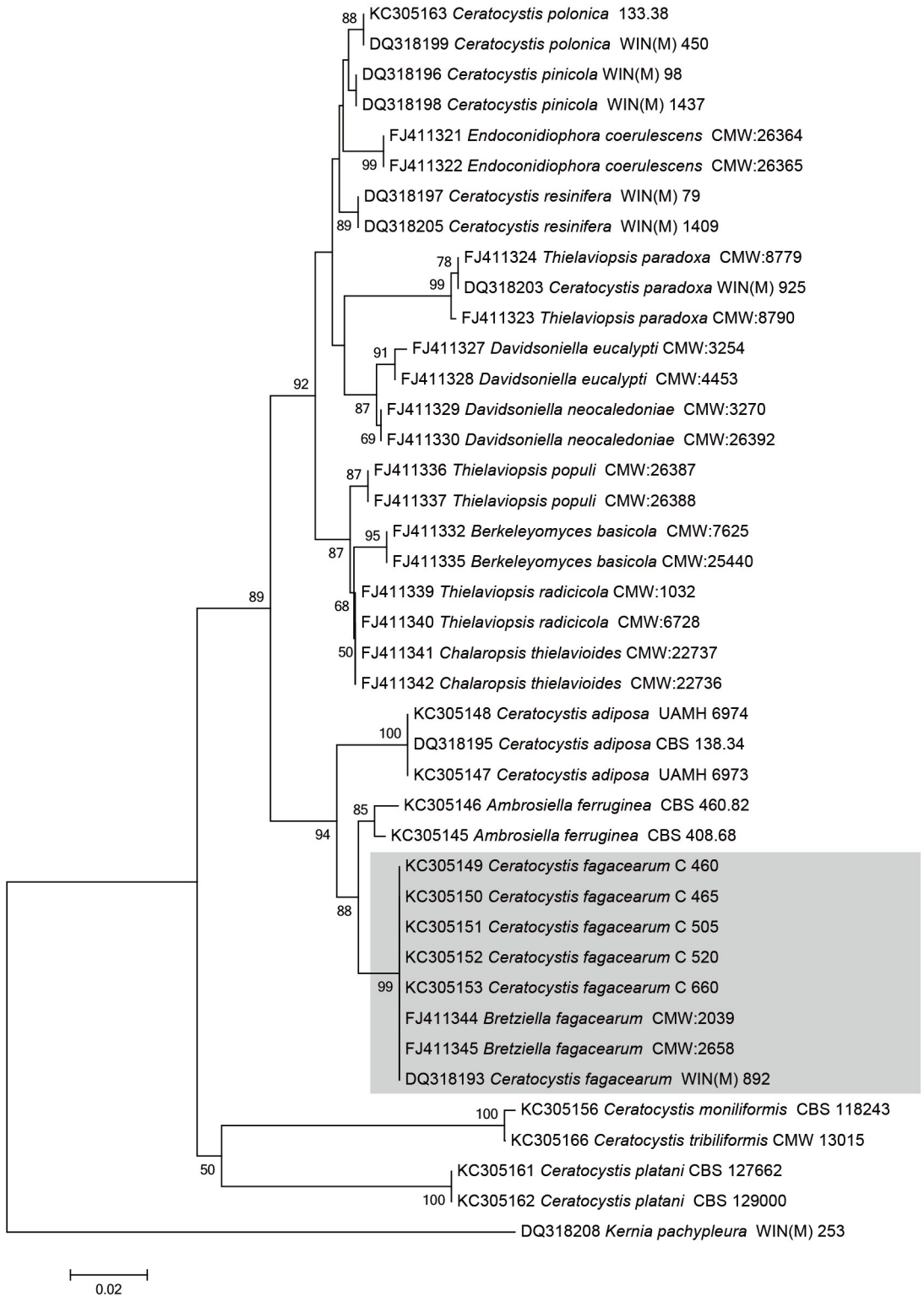


图 1 根据栎枯萎病菌及相关菌株的 ITS 序列构建的系统发育树

Fig.1 Phylogenetic tree generated from ribosomal internal transcribed spacer (ITS) sequences of *B. fagacearum* strains and related species

参考文献

李雪莲, 吕燕, 刘芳, 张慧丽, 段维军, 2021. 进境德国云杉原木中夹带栎树猝死病菌的检疫鉴定. 生物安全学报, 30(4): 244-249.

廖太林, 杨晓军, 安榆林, 李百胜, 周锐, 2005a. 美国栎树上传播枯萎病的几种重要露尾甲. 植物检疫, 19(1): 37-38.
林玲玲, 黄蓬英, 林振基, 方志鹏, 卢添财, 2015. 厦门口岸进境原木截获的小蠹科害虫调查. 生物安全学报, 24(3): 215-218.

- 廖太林, 杨晓军, 2005b. 传播栎枯萎病的两种鬃额小蠹. *植物检疫*, 19(4): 232-234.
- 孙启时, 袁久志, 周应军, 1998. 栎属植物的资源研究//天然药物资源专业委员会. 全国第三届天然药物资源学术研讨会论文集. 北京: 中国自然资源学会: 150-151.
- 王新乐, 虞天华, 朱雅君, 2015. 上海口岸进境非洲原木截获有害生物疫情分析及检疫对策. *植物检疫*, 29(2): 96-99.
- 严进, 吴品珊, 2013. 中国进境植物检疫性有害生物: 菌物卷. 北京: 中国农业出版社.
- 中华人民共和国农业部, 2007. 中华人民共和国农业部公告第 862 号. (2007-05-28) [2022-06-10]. http://moa.gov.cn/nygb/2007/dliuq/201806/t20180613_6151927.htm.
- 张慧丽, 张京宣, 朱小琼, 段维军, 2022. 进境澳大利亚原木夹带物中美澳型核果褐腐病菌的检疫鉴定. *植物检疫*, 36(4): 75-81.
- 张露茜, 宋绍祎, 焦彬彬, 于子翔, 杨翠云, 2015. 进境水曲柳原木中苹果壳色单隔孢溃疡病菌的检疫鉴定. *植物检疫*, 29(1): 25-29.
- ANDERSON R L, 1968. Oak wilt, *Ceratocystis fagacearum*, identified in Platte County in Missouri. *Plant Disease*, 52: 811.
- ANDERSON R L, 1974. Oak wilt fungus, *Ceratocystis fagacearum*, identified in Clay and Knox counties in Missouri. *Plant Disease*, 58: 92.
- ANONYMOUS, 1960. *Index of plant diseases in the United States*. Washington: United States Department of Agriculture.
- APPEL D N, 1995. The oak wilt enigma: perspectives from the Texas epidemic. *Annual Review of Phytopathology*, 33: 118.
- BOYRAZ N, BASTAS K K, 2001. A new fungal disease on oaks of Turkey: oak wilt (*Ceratocystis fagacearum* (Bretz) Hunt=*Chalara quercina*) first report. *Journal of the Faculty of Agriculture*, 15: 147-152.
- BRANDT W H, 1962. Decay resistance of wood from some wilt-infected species of oak. *Forest Science*, 8: 334-335.
- BRETZ T W, LONG W G, 1950. Oak wilt fungus isolated from Chinese chestnut. *Plant Disease*, 34: 291.
- BRUHN J N, PICKENS J B, STANFIELD D B, 1991. Probit analysis of oak wilt transmission through root grafts in red oak stands. *Forest Science*, 37: 28-44.
- BUCHANAN W D, 1957. Brentids may be vectors of the oak wilt disease. *Plant Disease*, 41: 707-708.
- CARTER J C, 1950. Oak wilt in Illinois. *Plant Disease*, 34: 81-82.
- CARTER J C, WYSONG N B, 1951. Isolation of the oak wilt fungus from swamp white oak. *Plant Disease*, 35: 173-174.
- CEASE K R, JUZWIK J, 2001. *Predominant nitidulid species* (Coleoptera: Nitidulidae) associated with spring oak wilt mats in Minnesota. *Canadian Journal of Forest Research*, 31: 635-643.
- CRAIGHEAD F C, NELSON J C, 1960. Oak wilt in Pennsylvania. *Journal of Forestry*, 58: 872-881.
- DE BEER Z W, MARINCOWITZ S, DUONG T A, WINGFIELD M J, 2017. *Bretziella*, a new genus to accommodate the oak wilt fungus, *Ceratocystis fagacearum* (Microascales, Ascomycota). *MycKeys*, 27: 1-19.
- DE BEER Z W, DUONG T A, BARNES I, WINGFIELD B D, WINGFIELD M J, 2014. Redefining *Ceratocystis* and allied genera. *Studies in Mycology*, 79: 187-219.
- Efsa Panel on Plant Health (PLH), 2018. Scientific opinion on the pest categorisation of *Bretziella fagacearum*. *EFSA Journal*, 16(2): 5185.
- Efsa Panel on Plant Health (PLH), 2020. Scientific opinion on the commodity risk assessment of oak logs with bark from the US for the oak wilt pathogen *Bretziella fagacearum* under an integrated systems approach. *EFSA Journal*, 18(12): 6352.
- Efsa, BAKER R, GILIOLI G, BEHRING C, CANDIANI D, GOGIN A, KALUSKI T, KINKAR M, MOSBACH-SCHULZ O, NERI F M, PRETI S, ROSACE M C, EFSA R, STANCANELLI G, TRAMONTINI S, 2019. *Ceratocystis fagacearum pest report to support ranking of EU candidate priority pests*. Parma: EFSA European Food Safety Authority. DOI: 10.5281/zenodo.2789116.
- ENGLERTH G H, BOYCE J S, ROTH E R, 1956. Longevity of the oak wilt fungus in red oak lumber. *Forest Science*, 2(1): 2-6.
- EPPO, 2017. EPPO Global Database. [2022-06-30]. <https://gd.eppo.int>.
- EPPO, 1997. Data sheets on quarantine pests: *Ceratocystis fagacearum*//SMITH I M, MCNAMARA D G, SCOTT P R, HOLDERNESS M. *Quarantine pests for Europe 2nd ed*. Wallingford: CAB/EPPO: 1425.
- FELIX E L, 1955. Some tree diseases in Tennessee. *Plant Disease*, 39: 882.
- FERGUS C L, YOUNT W L, 1953. Scrub oak susceptible to oak wilt. *Plant Disease*, 37: 567.
- FOWLER M E, 1951. Surveys for oak wilt. *Plant Disease*, 35: 112-118.
- FRENCH D W, CHRISTENSEN C M, 1950. Oak wilt in Minnesota. *Plant Disease*, 34: 82.
- GIBBS J N, FRENCH D W, 1980. *The transmission of oak wilt*. St. Paul, MN: North Central Forest Experiment Station.
- GIBBS J N, 1980. Survival of *Ceratocystis fagacearum* in branches of trees killed by oak wilt in Minnesota. *European Journal of Forest Pathology*, 10: 218-224.

- GILMAN J C, 1949. Second supplementary list of parasitic fungi from Iowa. *Iowa State College Journal of Science*, 23: 261–272.
- GLEASON M, MUELLER D, SALAMANCA L R, 2005. *Oak wilt-identification and management*. Ames, USA: Iowa State University.
- GRAND L F, DOGGETT C A, 1973. Oak wilt in eastern North Carolina. *Plant Disease*, 57: 325.
- GRAND L F, 1985. North Carolina plant disease index. *Technical Bulletin, North Carolina Agricultural Experiment Station*, 240: 1–157.
- HARRINGTON T C, 2013. *Ceratocystis diseases*. Wallingford: CAB International.
- HENRY B W, 1944. *Chalara quercina* n. sp., the cause of oak wilt. *Phytopathology*, 34: 631–635.
- JENSEN-TRACY S, KENALEY S, HUDLER G, HARRINGTON T, LOGUE C, 2009. First report of the oak wilt fungus, *Ceratocystis fagacearum*, in New York State. *Plant Disease*, 93: 428.
- JUZWIK J, APPEL D N, MACDONALD W L, BURKS S, 2011. Challenges and successes in managing oak wilt in the United States. *Plant Disease*, 95(8): 888–900.
- JUZWIK J, HARRINGTON T C, MACDONALD W L, APPEL D N, 2008. The origin of *Ceratocystis fagacearum*, the oak wilt fungus. *Annual Review of Phytopathology*, 46: 13–26.
- KOCH K A, QUIRAM G L, VENETTE R C, 2010. A review of oak wilt management: a summary of treatment options and their efficacy. *Urban Forestry & Urban Greening*, 9: 1–8.
- LAMARCHE J, POTVIN A, PELLETIER G, STEWART D, FEAU N, ALAYON D, DALE A L, COELHO A, UZUNOVIC A, BILODEAU G J, BRIÈRE S C, HAMELIN R C, TANGUAY P, 2015. Molecular detection of 10 of the most unwanted alien forest pathogens in Canada using real-time PCR. *PLoS ONE*, 10(8): e0134265.
- LEWIS J R, 1985. Temperature tolerance and survival of *Ceratocystis fagacearum* in Texas. *Plant Disease*, 69: 443–444.
- LIN H, PHELAN P L, 1992. Comparison of volatiles from beetle-transmitted *Ceratocystis fagacearum* and four non-insect-dependent fungi. *Journal of Chemical Ecology*, 18: 1623–1632.
- MACDONALD W L, PINON J, TAINTER F H, DOUBLE M L, 2001. European oaks-susceptible to oak wilt? // ASH C L. *Shade tree wilt diseases*. Minnesota: APS Press: 131–137.
- O'BRIEN J G, MIELKE M E, STARKEY D, JUZWIK J, 2000. *How to identify, prevent, and control oak wilt*. St. Paul, MN: USDA Forest Service.
- REXRODE C O, BROWN D, 1983. Oak wilt//US Forest Service. *Forest and insect disease leaflet*. Washington: US Forest Service: 29.
- ROBINET C, DOUMA J C, PIOUS D, VAN DER WERF W, 2016. Application of a wood pathway model to assess the effectiveness of options for reducing risk of entry of oak wilt into Europe. *Forestry*, 89: 456–472.
- SHIELDS I J, 1951. Oak wilt in Kansas. *Plant Disease*, 35: 119.
- SHIELDS I J, 1952. Oak wilt survey in Kansas. *Plant Disease*, 36: 68.
- SINCLAIR W A, LYON H H, 2005. *Diseases of trees and shrubs. 2nd ed.* Ithaca: Comstock Publishing Associates.
- TAINTER F H, 1986. Growth, sporulation, and mucilage production by *Ceratocystis fagacearum* at high temperatures. *Plant Disease*, 70: 339–342.
- UPADHYAY H P, 1981. *A monograph of Ceratocystis and Ceratocystiopsis*. Athens: University of Georgia Press.
- WEAVER L O, JEFFERS W F, 1952. Oak wilt in western Maryland. *Plant Disease*, 36: 28.
- WEBBER J, 2015. Rapid pest risk analysis (PRA) for *Ceratocystis fagacearum*. *Forest Research*: 23 .
- WINGFIELD B D, DUONG T A, HAMMERBACHER A, VAN DER NEST M A, WILSON A, CHANG R, WILHELM DE BEER Z, STEENKAMP E T, MARKUS W P, NAIDOO K, WINGFIELD M J, 2016. Draft genome sequences for *Ceratocystis fagacearum*, *C. harringtonii*, *Grosmannia penicillata*, and *Huntia bhutanensis*. *IMA Fungus*, 7(2): 317–323.
- WITCHER W, 1969. Oak wilt in South Carolina. *Plant Disease*, 53: 916.
- WU C P, CHEN G Y, LI B, SU H, AN Y L, ZHEN S Z, YE J R, 2011. Rapid and accurate detection of *Ceratocystis fagacearum* from stained wood and soil by nested and real-time PCR. *Forest Pathology*, 41(1): 15–21.

(责任编辑:郭莹)