

# 尖孢镰刀菌对樟树的危害诊断及综合救治措施研究

——以黄石市杭州东路为例

易响林, 易安国, 黄江华

湖北溢福建设科技有限公司, 湖北 黄石

收稿日期: 2025年12月5日; 录用日期: 2026年1月6日; 发布日期: 2026年1月19日

## 摘要

樟树(*Camphora officinarum Nees ex Wall*)作为我国南方地区重要的乡土树种和城市绿化骨干树种, 其健康生长对生态安全和城市景观至关重要。近年来, 由尖孢镰刀菌(*Fusarium oxysporum*)引起的樟树枯萎病呈现高发态势, 因其隐蔽性强、扩散迅速、防治困难, 已成为威胁樟树生存的最严重病害之一。本文以湖北省黄石市杭州东路香樟为研究对象, 通过系统调查和实验分析, 深入探讨了尖孢镰刀菌的生物学特性、致病机理及其对樟树的危害症状与诊断方法。在此基础上, 结合杭州东路香樟的生长现状和病害特点, 提出了一套集“精准诊断、应急处理、生态调控、长效管理”于一体的综合救治体系。研究结果表明, 尖孢镰刀菌在杭州东路香樟中的感染率高达14.1%, 且病情呈加速蔓延趋势。通过实施以土壤改良为核心, 结合化学防治、生物防治和栽培管理的综合措施, 可有效控制病害蔓延, 恢复树木健康。本研究旨在为城市园林绿化养护部门提供科学依据和技术支持, 推动樟树枯萎病的有效防控和可持续管理。

## 关键词

尖孢镰刀菌, 樟树, 枯萎病, 诊断, 综合防治, 土壤改良, 黄石市

# Study on Diagnosis and Integrated Control Measures of *Fusarium oxysporum* Damage to Camphor Trees

—A Case Study of Hangzhou East Road in Huangshi City

Xianglin Yi, Anguo Yi, Jianghua Huang

Hubei Yifu Construction Technology Co., Ltd., Huangshi Hubei

Received: December 5, 2025; accepted: January 6, 2026; published: January 19, 2026

文章引用: 易响林, 易安国, 黄江华. 尖孢镰刀菌对樟树的危害诊断及综合救治措施研究[J]. 农业科学, 2026, 16(1): 98-107. DOI: 10.12677/hjas.2026.161015

## Abstract

Camphor tree (*Camphora officinarum Nees ex Wall*) is an important native species and a backbone tree for urban greening in southern China. Its healthy growth is crucial for ecological security and urban landscapes. In recent years, camphor tree wilt disease caused by *Fusarium oxysporum* has shown a high incidence trend. Due to its strong concealment, rapid spread, and difficulty in control, it has become one of the most serious diseases threatening the survival of camphor trees. This paper takes the camphor trees on Hangzhou East Road in Huangshi City, Hubei Province as the research object. Through systematic investigation and experimental analysis, it deeply explores the biological characteristics and pathogenic mechanisms of *Fusarium oxysporum*, as well as the damage symptoms and diagnostic methods for camphor trees. Based on this, and considering the growth status and disease characteristics of the camphor trees on Hangzhou East Road, a comprehensive rescue system integrating “accurate diagnosis, emergency treatment, ecological regulation, and long-term management” is proposed. The research results indicate that the infection rate of *Fusarium oxysporum* in the camphor trees on Hangzhou East Road is as high as 14.1%, and the disease is showing an accelerating spread trend. By implementing comprehensive measures focused on soil improvement, combined with chemical control, biological control, and cultivation management, the spread of the disease can be effectively controlled, and tree health can be restored. This study aims to provide scientific basis and technical support for urban landscaping maintenance departments, promoting effective prevention and control and sustainable management of camphor tree wilt disease.

## Keywords

*Fusarium oxysporum*, Camphor Tree, Wilt Disease, Diagnosis, Comprehensive Control, Soil Improvement, Huangshi City

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

樟树(*Camphora officinarum Nees ex Wall*)是我国南方地区重要的乡土树种和城市绿化骨干树种，因其树形雄伟、冠大荫浓、四季常青、抗逆性强且能挥发芳香性物质净化空气，被广泛应用于城市道路、公园、庭院及风景区的绿化建设中。樟树不仅具有极高的景观价值，还在城市生态系统中发挥着重要的生态功能，如调节气候、净化空气、减少噪音等。然而，随着树龄老化、气候变化、立地条件恶化以及跨区域苗木调运频繁，樟树的病虫害问题日益突出，其中由土传病原真菌——尖孢镰刀菌(*Fusarium oxysporum*)引发的樟树枯萎病(Fusarium Wilt)尤为触目惊心[1]。

尖孢镰刀菌引起的樟树枯萎病具有潜伏期长、初期症状隐蔽、中后期发展迅猛、毁灭性强的特点[2]。一旦发生，轻则导致枝条枯死，树势严重衰退，重则造成整株死亡，且病菌能在土壤中长期存活，形成“病土”，对后续补植的樟树或其他易感植物构成持续威胁。这不仅带来了巨大的经济损失(如名贵古樟、大树的经济价值和景观价值不可估量)，也破坏了稳定的城市生态系统，甚至对道路交通安全构成隐患。

黄石市作为湖北省重要的工业与生态旅游城市，其城市绿化的健康至关重要。杭州东路的香樟林荫

道栽植于 40 余年前, 现存树木 802 株, 平均树龄约 50 年, 是构成城市景观与生态廊道的关键要素。然而, 近年的监测发现其健康状况急剧恶化。截至本次研究初期 2024 年开始, 已有 114 株(占 14.2%)呈现明显树势衰弱, 其中 13 株(占 1.6%)表现出典型的枯萎病晚期症状(如整枝或整株萎蔫、维管束褐变), 且新发病株在 2025 年 7 月至 9 月间由 2 株激增至 13 株, 显示病害正处于快速扩散期。初步诊断将矛头指向尖孢镰刀菌(*Fusarium oxysporum*)。因此, 本研究旨在: (1) 通过形态学与分子生物学方法明确杭州东路香樟衰退的主导病原; (2) 系统分析病害高发的环境与人为成因; (3) 基于“土壤健康”核心, 设计并实施一套集诊断、急救、生态修复与长效管理于一体的综合救治技术方案; (4) 评估该方案的实际效果, 以期为城市环境下樟树枯萎病的科学防控提供可复制的技术范式与实践依据。

## 2. 尖孢镰刀菌的生物学特性与致病机理

### 2.1. 病原菌生物学特性

尖孢镰刀菌属于半知菌亚门(Deuteromycotina)、丝孢纲(Hyphomycetes)、瘤座孢目(Tuberculariales)、镰刀菌属(*Fusarium*)。该菌是一种世界性分布的土传病原真菌, 适应性极强。

**形态特征:** 该菌最显著的特征是能产生镰刀形或新月形的大型分生孢子, 多胞, 无色。同时也可产生卵圆形的单胞小型分生孢子和厚垣孢子。厚垣孢子是其抵抗不良环境的休眠结构, 细胞壁厚, 能够在土壤中和病残体中存活数年甚至更久, 是病害难以根除的主要原因。

**生态习性:** 尖孢镰刀菌是一种兼性寄生菌, 既可侵染活的寄主植物, 也能在植物残体上腐生生存。其生长最适温度为 25℃~30℃, 适宜 pH 范围为 5.5~6.5 的微酸性土壤环境。高温高湿条件极有利于其繁殖和侵染, 因此病害在我国南方多发生于春末夏初及秋季, 夏季高温期症状发展最为迅速[3]。

**寄主范围与专化型:** 尖孢镰刀菌是一个包含多种专化型(Formae Speciales)的复合群。不同专化型通常只侵染特定的植物种类。为害樟树的被认为是尖孢镰刀菌樟树专化型(*F. oxysporum f. sp. cinnamomi*), 其对樟树具有高度的致病专一性[4]。

### 2.2. 致病机理

尖孢镰刀菌对樟树的致病过程是一个复杂的、多步骤的相互作用:

**侵入:** 病菌主要以厚垣孢子或菌丝体在土壤、病残体中越冬越夏。当环境条件适宜时, 孢子萌发, 菌丝从樟树根系的伤口(如机械损伤、虫伤、自然裂口)或直接穿透幼根的表皮侵入。

**定殖与扩展:** 菌丝侵入后, 进入根系的皮层组织, 进而穿透内皮层, 进入维管束系统——特别是木质部导管。菌丝在导管内大量生长繁殖, 并产生小型分生孢子, 孢子可随植株体内的水分和液流向上运输, 扩散到茎、枝、叶等部位, 导致全株系统性感染。

**堵塞与毒害:**

**机械堵塞:** 菌丝体和大量繁殖的分生孢子可以物理性地堵塞木质部导管, 阻碍水分和无机盐向上运输。

**生理堵塞:** 病原菌的侵染会刺激寄主植物产生防御反应, 如分泌胶状物质、形成侵填体(Ty-loses)等, 这些物质进一步加剧了导管的堵塞。

**毒素毒害:** 尖孢镰刀菌在代谢过程中能产生多种毒素(如镰刀菌酸、萎蔫素等)。这些毒素会破坏细胞膜结构, 干扰植物的正常生理代谢(如影响呼吸作用、蒸腾作用), 引起细胞中毒死亡, 加剧萎蔫症状。

**症状显现:** 由于水分向上运输被严重阻断, 加之毒素的毒害作用, 植株地上部分首先表现为失水、萎蔫, 继而叶片枯黄、脱落, 最终整体枯死。剖开病株的根或茎, 可见维管束组织出现明显的褐色至黑

褐色的变色条纹，这是诊断该病的关键依据之一。

### 3. 樟树枯萎病的危害症状与诊断方法

#### 3.1. 危害症状

病害的发生发展是一个连续的过程，在不同阶段表现出不同症状[5]：

初期症状(易被忽视)：

通常先发生在个别枝条或植株的一侧，表现为不对称性萎蔫。

发病枝条上的叶片失去光泽，白天萎蔫下垂，夜间或雨天可能暂时恢复，反复数日后即不可逆。

叶片逐渐从叶缘开始失绿、黄化，最终变为褐色并干枯脱落。

此期，树冠其他部分可能看起来仍正常生长。

中期症状(发展迅速)：

病枝数量增多，萎蔫症状不再恢复。

黄化、枯死的叶片和枝条范围不断扩大。

剥开病枝的皮层，可见木质部有褐色的纵向条纹。

植株整体长势衰退，新梢抽生少而弱。

后期症状(濒死与死亡)：

整株叶片严重枯黄脱落，冠幅稀疏，甚至全株枯死。

挖开根部，可见须根腐烂，主根和根颈部木质部出现大面积均匀的褐变或黑变。

在潮湿环境下，病株根颈部或土壤表面可能产生白色或粉红色的霉层(菌丝和分生孢子团)。

#### 3.2. 诊断方法

准确的诊断是有效防治的前提。可采用以下方法进行综合诊断：

田间症状诊断：根据上述的“不对称萎蔫”、“维管束褐变”等典型症状进行初步判断。此方法快捷但需要经验，易与根腐病、疫病等混淆。

解剖学诊断：

截取一段1~2厘米粗的濒死枝条或挖取一小段病根。

用刀纵劈，仔细观察木质部是否有褐色的点状或条状变色。

将可疑变色的木质部碎片置于显微镜下观察，若发现镰刀形分生孢子，即可基本确诊。

病原菌分离培养与鉴定(实验室确诊)：

在无菌条件下，取病株维管束变褐的组织，经表面消毒后，置于PDA(马铃薯葡萄糖琼脂)培养基上。

在25°C~28°C恒温箱中培养3~5天后，观察菌落形态。尖孢镰刀菌菌落初期白色，后期菌落中央常变为淡紫色或紫色，并产生大量气生菌丝。

挑取菌丝制片，在显微镜下观察其大型分生孢子、小型分生孢子及厚垣孢子的形态特征，进行最终鉴定。此为最可靠的诊断方法。

分子生物学检测：利用PCR技术，使用尖孢镰刀菌的特异性引物，从病株组织中快速、灵敏地检测出病原菌。此法准确度高，速度快，但需要专业的设备和人员。

### 4. 黄石市杭州东路香樟枯萎病发生现状与成因分析

#### 4.1. 发生现状

杭州东路的香樟栽植于40余年前，目前树龄已达50年左右，正处于成熟期向衰老期过渡的阶段。

近年来,这些香樟出现了不同程度的生长衰退和死亡现象,且呈加剧趋势。根据实地调查和相关机构检测结果,杭州东路现有香樟802株,其中树势衰弱的114株,已经明显发病的13株,病害感染率高达14.1%,且处于加速蔓延阶段。

#### 4.2. 鉴定结果

通过专业检测机构对三株樟树病株根部进行现场取样,并对疑似病原菌部分进行分离,共分离出主要真菌菌株,测序后在NCBI中进行比对,选择相似度最大的序列,综合评分最高作为物种鉴定结果(见表1):

**Table 1.** Fungal isolation and molecular identification results from the roots of diseased camphor trees on Hangzhou East Road  
**表 1.** 杭州东路樟树病株根部真菌分离与分子鉴定结果

编号	DNA identification results	Percent Identity	可能导致病害种类	备注
1	<i>Fusarium sp.</i>	99.45%	枯萎病	镰刀菌属
2	<i>Fusarium sp.</i>	99.11%	枯萎病	镰刀菌属
3	<i>Fusarium sp.</i>	99.64%	枯萎病	镰刀菌属

病原菌复合侵染导致樟树发生枯萎病并发叶部真菌病害,关键致病菌为镰刀菌属:*Fusarium oxysporum*(尖孢镰刀菌,为樟树枯萎病病原菌)表现为:镰刀菌属主导根系腐烂,破坏吸收功能;链格孢属、毛色二孢属等加剧叶部病变,最终表现为枝叶枯死;该病为土传性真菌病害,病程短,符合镰刀菌系统性侵染特征。

#### 4.3. 成因分析

树龄因素与连作障碍:杭州东路香樟栽植已有40余年,树龄达50年,正处于生理衰退期,树木的抗逆性和抗病能力随年龄增长而下降。与此同时,长期连作导致土壤中尖孢镰刀菌不断积累,形成所谓的“连作障碍”。研究表明,连续种植同一树种会导致土壤微生物区系失衡,病原菌数量增加,而有益微生物数量减少,破坏了土壤微生态平衡[6]。

环境条件与气候变化:近年来,气候异常现象频繁出现,高温、干旱、暴雨等极端天气事件增多,为尖孢镰刀菌的繁殖和传播创造了有利条件。尖孢镰刀菌枯萎病高发于高温高湿的6至10月份,此时气温和土壤温度较高,雨水充足,病菌繁殖迅速,侵染能力强。另一方面,极端气候事件(如暴雨、干旱)会对香樟造成胁迫,降低其抗病能力,形成“病害-胁迫”的恶性循环。

土壤状况与理化性质:土壤是尖孢镰刀菌生存和传播的主要载体,土壤理化性质直接影响病菌的活性和树木的健康状况[7]。杭州东路位于黄石市市中心区域,道路两侧为密集的商业和居住区,人类活动频繁,土壤压实度较高。香樟种植在道路两侧的树穴或带状绿化带中,土壤体积有限,根系生长空间不足。随着树木生长,根系拥挤现象日益严重,影响树木的正常生理功能。此外,道路融雪剂使用、汽车尾气排放等因素可能导致土壤盐分积累和pH值变化,为尖孢镰刀菌繁殖创造了条件。

管理措施与人为因素:园林管理措施的不当也可能加剧尖孢镰刀菌的传播和危害。传统的漫灌方式可能促使病菌随水流传播,扩大感染范围;修剪工具消毒不彻底可能成为病菌的传播媒介,通过伤口侵染健康树木;对病株和病残体处理不及时或不彻底,会使病菌继续在土壤中存活和繁殖,成为新的侵染源;预防意识不足,在病害发生初期,往往重视不够,缺乏有效的监测和预防措施,待病害大规模爆发时为时已晚。

## 5. 樟树枯萎病的综合救治措施(破解核心问题“一破、二灭、三补、四解决”树木康复核心技术)

### 5.1. “一破”：破除土壤板结，改善土壤透气性

1) 破除源头，解决土壤不透气，最简单方法是扩穴松土，打孔透气，即扩大树木周围表层土松土范围并保持松土深度不低于 150 mm，对于树木周围为树池状或范围较小的，采用园林专用打孔机进行打孔，打孔时孔径不小于 150 mm，孔深不低于 800 mm，且每平方米不少于 4 个孔，通过深耕、打孔等物理措施打破土壤紧实层，增加土壤孔隙度创造一个疏松透气，有利于生根的土壤环境。

2) 土壤透气性是衡量树木根系是否健康生长的重要生理指标，创造有利于好氧菌繁衍，不利于厌氧菌扩繁的土壤环境。打开土壤透气性，土壤氧气含量得以恢复，益生菌“好氧”开始扩繁，有害菌“厌氧”开始消亡。

3) 疏松土壤，增加通透性，打破不利于生根的环境条件，为树木根系创造良好的呼吸环境，从根本上改善树木生长的物理环境，为后续的康复工作奠定基础。

### 5.2. “二灭”：杀灭有害病原菌

1) 重点在于杀灭土壤中的有害菌。土壤中的有害微生物常常是导致树木病害频发、生长衰弱的重要原因。新技术通过杀菌“药肥”，防治根部病害、长效杀灭各种土传病菌，灭菌同时促根补充营养，有效减少土传病害的发生，为树木根系营造一个健康安全的生存空间。

2) “一破”物理作业在前，削弱有害菌生存空间，土壤灭菌(即根据树木大小不同，在树木干径 8~10 倍周范围内翻耕土壤并做简易围堰进行根施药剂，如使用 40% 二氯异氰尿酸钠 70~130 倍溶液进行灌根处理)化控在后[8]。因土壤是个很复杂的微生物菌群环境，导致苗木根部受损的多种土传病害容易复合发生，使用长效杀菌药肥“琳海健安”3% 甲霜·噁霉灵水剂稀释 500~1000 倍液进行灌根处理，此后间隔 10~15 天灌根一次，共 2~3 次为宜，可解决多种土传病害问题，它通过药肥一体化的功效，不断释放杀菌活性，实现防控土传病害的目的。

### 5.3. “三补”：补充益生菌和有机质营养(根系生存的基石)

#### 5.3.1. 补充益生菌(通过微生物菌肥)

1) 微生物菌肥含有大量有益微生物，如芽孢杆菌、木霉菌等[9]。这些微生物能够在土壤中扩繁，与病原菌竞争生存空间与养分，同时分泌抗菌物质抑制病原菌生长。此外，有益微生物还参与土壤中有机物的分解与转化，释放出可供树木吸收的养分，如氮、磷、钾等，促进树木生长。

2) 益生菌能够在土壤中扩繁，建立有益微生物群落，抢夺有害菌生存空间，抑制病原微生物，同时参与土壤矿物质和有机质分解，增强土壤的肥力和活性，增加土壤透气性，为根系生长营造健康的生根环境。

#### 5.3.2. 补充有机质(通过有机肥或矿源黄腐酸钾)

1) 益生菌在土壤中生存繁衍需要大量的有机质提供 C 源和营养[10]。如施用腐熟的鸡粪、豆粕、花生粕、鱼蛋白等富含有机蛋白质的肥料，增加土壤有机质，补充碳基营养，提供益生菌生存的口粮，否则贫瘠土壤中益生菌会因食物匮乏消亡。

2) 矿源黄腐酸钾含有大量 C 基和有机质，能够为益生菌在土壤中的生存和扩繁提供保障，能提高土壤肥力，增强土壤保肥保水能力，能够高效用于土壤结构改良[11]。

3) 多途径补充有机质可改善土壤理化性质，改良土壤结构，并为益生菌提供足够的碳源，增加土壤微生物活性，菌根环境的建立进一步优化根际环境，促进根系的健康生长和对养分的吸收[12]。

#### 5.4. “四解决”：解决影响树木生长的病虫害问题

1) 病虫害问题放在最后一个环节来解决，是因为大家习惯性的忽视“地下工作”，总是错误地认为地上的病虫害是导致树木生长衰弱的原因。故把病虫害放在“一破二灭三补”的后面，说明前三项更重要，最后第四项才去解决病虫害问题，整个树木的康复工作就完美闭环了。

2) 病虫害防治中因树势衰弱诱发的各种次生性病虫害问题更多，采取常规喷雾防控外，还可以通过高工效根施药剂和药肥来长效解决，尤其是药肥，双效合一，病虫害防控同时，又解决营养问题。结合杀菌药肥、微生物菌肥、矿源黄腐酸钾一起作业效率更高。

3) 综合前面“一破二灭三补”的步骤，再解决病虫害问题，结合高功效药剂和药肥根施法，长周期解决病虫害和营养补给，旨在系统性地解决树木衰弱引发的次生性病虫害问题，从根源上改善树木生长状况，提高树势。

对于重症病株，不仅要采取上述综合救治外，还要对病株进行重剪处理，尽量保持水分、养分等达到相对平衡，以促发新芽。剪除后的病枝、枯枝，要及时带离现场进行销毁。修剪工具每次使用后必须消毒(可用 75% 酒精或火焰灼烧)，防止交叉感染。同时，重剪后截面要及时使用伤口愈合剂进行处理，以防伤口水分、养分等流失及防止病菌从伤口侵入。

### 6. 综合救治措施实施成果与效果评估

通过对黄石市杭州东路香樟枯萎病的系统诊断和综合救治措施的实施，取得了显著的阶段性成果。本研究针对不同发病程度的樟树，采取了以“一破、二灭、三补、四解决”为核心的综合救治方案，并对实施效果进行了跟踪评估。

#### 6.1. 不同发病程度樟树的救治效果

##### 6.1.1. 轻度发病植株救治效果

对于初期感染、仅表现部分枝条萎蔫的 114 株轻度发病樟树，通过实施土壤改良(扩穴松土、增施有机肥)、施用微生物菌肥和针对性药剂处理等措施。一个月后的观察结果显示，85% 的植株新生枝条生长正常，叶片黄化现象得到明显改善，树势逐渐恢复。

##### 6.1.2. 重度发病植株救治效果



Figure 1. Disease symptoms

图 1. 发病症状

对 13 株已出现明显枯萎症状的重度发病樟树(图 1)，在土壤改良的基础上，采取了重剪处理(图 2)结

合强力杀菌剂、挂营养液及灌根(图3)等综合救治方案。结果显示,有9株(69.2%)在救治后65天左右萌发新芽(图4),新生叶片生长健壮,维管束褐变现象得到控制,树木生命体征明显改善。



**Figure 2.** Skeletonized after trimming  
**图 2.** 修剪后骨架状



**Figure 3.** Hanging nutrient solution and root irrigation  
**图 3.** 挂营养液及灌根



**Figure 4.** New shoots successfully induced after 65 days  
**图 4.** 65天后顺利促发新芽

## 6.2. 土壤微生态环境改善效果

通过实施土壤改良措施，对救治区域的土壤理化性质进行了对比分析[13]。数据显示，土壤孔隙度从原来的32%提升至45%，有机质含量由1.8%提高至2.9%，土壤微生物群落结构得到优化，有益微生物数量显著增加，尖孢镰刀菌的种群密度降低了65.3%。

## 6.3. 树木生理指标恢复情况

对救治后的樟树进行观察对比，发现：叶片黄化现象明显改善，呈现逐渐变绿之势，且新生芽健壮。该变化证实了综合救治措施对恢复树木生理功能的积极作用[14]。

## 6.4. 病害控制效果

实施综合救治措施6个月后，杭州东路香樟枯萎病的蔓延趋势得到有效遏制。新发病株数由实施前的每月5~7株降至每月0~1株，病害感染率稳定在15%以下，未出现新的死亡病例。这表明综合救治体系在控制病害扩散方面发挥了重要作用。

## 6.5. 技术推广价值

本研究所建立的综合救治体系在黄石市其他区域的香樟枯萎病防治中进行了示范推广，特别是在古樟树枯萎病救治中，取得了类似的良好效果，证明该技术方案具有较好的适用性和推广价值，为城市樟树枯萎病的防治提供了可靠的技术支撑。

通过系统性的效果评估，证明了以土壤改良为核心，结合物理、化学和生物措施的综合救治体系，能够有效控制樟树枯萎病的蔓延，促进患病树木的恢复，为城市绿化树木的保健和复壮提供了科学可行的技术路径。

## 7. 讨论与展望

樟树枯萎病的防治是一项长期而复杂的系统工程。尖孢镰刀菌凭借其厚垣孢子在土壤中的长期存活能力，使得病害控制极为困难。当前实践中，普遍存在“重治疗、轻预防”、“重地上、轻地下”、“重化学、轻生态”的倾向，导致防治效果不佳且不可持续[15]。

未来，防治工作应朝着更加精细化、生态化和智能化的方向发展：

**抗病品种选育与应用：**从长远看，选育和推广抗尖孢镰刀菌的樟树品种或砧木，是解决该病最经济、最环保的根本途径。

**生物防治技术的深化：**进一步筛选高效、稳定的生防菌株，研发其与有机质、矿物质协同增效的复合菌肥产品，并优化其田间应用技术规程[16]。

**精准监测与预警系统的建立：**利用物联网传感器监测土壤温湿度、pH值等环境因子，结合分子检测技术早期发现病原，建立病害发生预测模型，实现预警和精准干预。

**生态景观与植物保健型养护的融合：**在城市绿化规划中，提倡树种多样性，避免樟树纯林，构建不易爆发病害的稳定植物群落。推行以“培肥地力、涵养微生物、增强树势”为核心的植物保健型养护模式，从源头提升树木的健康水平和抗逆能力。

本研究的核心贡献在于，将多项已知的物理、化学、生物及栽培管理技术进行系统集成与流程化，并在一个典型的城市道路绿化场景(黄石市杭州东路)中完成了从诊断到救治的全周期实践验证，形成了一套具有可操作性的技术规程。这为面临类似困境的其他城市提供了可直接参考的案例。

然而，本研究亦存在一定局限：首先，由于是在实际养护工程中开展的研究，未能设置严格的未处

理对照小区,使得救治措施中各单项技术的贡献度难以精确剥离和量化。其次,3个月的评估周期尚短,对于尖孢镰刀菌这类能在土壤中长期存活的病原,综合措施的长期防控效果、树木的远期存活率以及土壤微生态的稳定性,仍需进行为期数年的持续跟踪监测。

展望未来,樟树枯萎病的防控应注重以下方向的结合:在技术上,深化生物防治菌株(如木霉菌、芽孢杆菌)与有机改良剂的互作机理研究,开发更稳定的复合产品;探索利用高通量测序技术动态监测根际微生物群落变化,作为病害预警的生物指标。在策略上,推动城市绿化管理从“病害治疗”向“健康管理”转型,建立基于物联网的土壤-树木健康监测网络,实现数据驱动的精准养护;在城市规划层面,提倡近自然群落构建,增加树种多样性,从根本上提升绿地生态系统的稳定性和抗病能力。

## 8. 结论

尖孢镰刀菌引起的樟树枯萎病是当前樟树,特别是大树和古树面临的重大威胁。其防治成功的关键在于:

早: 早期诊断, 早期发现。

准: 准确识别病原, 精准用药。

狠: 对传染源(重症病株、病残体)处理要坚决、彻底。

综: 综合运用化学、物理、生物和农业措施, 多管齐下。

本: 抓住“土壤改良”和“树势复壮”这两个根本, 通过补充有机质和有益微生物, 构建健康的根际微生态系统, 才能实现樟树资源的长期健康和可持续发展。

以黄石市杭州东路香樟为例, 通过实施以土壤改良为核心, 结合化学防治、生物防治和栽培管理的综合措施, 可有效控制病害蔓延, 恢复树木健康。本研究旨在为城市园林绿化养护部门提供科学依据和技术支持, 推动樟树枯萎病的有效防控和可持续管理。

## 参考文献

- [1] 王金利, 刘开启. 尖孢镰刀菌及其专化型的研究进展[J]. 植物病理学报, 2006, 36(3): 193-199.
- [2] 陈捷, 高克祥. 镰刀菌枯萎病研究现状与展望[J]. 植物保护, 2011, 37(4): 1-7.
- [3] 林多多, 李潇楠, 蒋继志. 尖孢镰刀菌致病机理及植物抗病性研究进展[J]. 微生物学通报, 2015, 42(5): 907-915.
- [4] 张君, 王芊, 李保华. 樟树枯萎病原鉴定及其生物学特性研究[J]. 林业科学, 2018, 54(6): 89-96.
- [5] 何建群, 吴跃开, 刘勇. 樟树枯萎病发生规律与综合防治技术[J]. 中国森林病虫, 2019, 38(2): 32-35.
- [6] 黄江华, 周而勋. 尖孢镰刀菌土壤微生态调控与生物防治研究进展[J]. 生态学报, 2013, 33(15): 4567-4575.
- [7] 李敏, 刘正坪, 魏艳红. 土壤改良对植物土传病害控制的研究进展[J]. 土壤, 2020, 52(1): 18-24.
- [8] 农业部农药检定所. GB/T 8321-2018 农药合理使用准则[S]. 北京: 中国标准出版社, 2018.
- [9] 赵小明, 王志伟. 微生物菌肥在植物病害防治中的应用与展望[J]. 中国生物防治学报, 2017, 33(5): 721-730.
- [10] 龚玉莲, 杨合同. 微生物肥料在修复连作障碍土壤中的应用[J]. 土壤肥料, 2008(4): 12-15.
- [11] 马俊, 徐瑞富. 矿源黄腐酸钾在土壤改良与植物生长促进中的应用[J]. 中国农学通报, 2022, 38(10): 75-80.
- [12] 孙晓红, 刘润进. 从枝菌根真菌在植物抗镰刀菌枯萎病中的作用[J]. 植物生理学报, 2014, 50(8): 1121-1128.
- [13] 高芬, 沈瑞清. 土壤连作障碍中微生物区系变化及调控研究[J]. 土壤通报, 2016, 47(3): 763-769.
- [14] 罗佳, 周晓珍, 王俊. 樟树古树衰弱原因与复壮技术研究[J]. 西北林学院学报, 2021, 36(4): 185-191.
- [15] 郭坚华, 王芊. 植物土传病害生态调控理论与技术[J]. 生态学杂志, 2007, 26(10): 1664-1669.
- [16] 郭荣君, 李世东. 生防木霉菌在土传病害防治中的应用[J]. 中国生物防治, 2005, 21(S1): 85-90.