

第二批国家级一流本科课程申报书

（虚拟仿真实验教学课程）

课程名称：松材线虫病诊断及线虫致病性测定
虚拟仿真实验

专业类代码：0830

负 责 人：叶建仁

联系电话：13905151921

申报学校：南京林业大学

填表日期：2021.05.26

推荐单位：江苏省教育厅

中华人民共和国教育部制

二〇二一年四月

填报说明

- 1.专业类代码指《普通高等学校本科专业目录（2020）》中的专业类代码（四位数字）。
- 2.文中○为单选；□可多选。
- 3.团队主要成员一般为近5年内讲授该课程教师。
- 4.文本中的中外文名词第一次出现时，要写清全称和缩写，再次出现时可以使用缩写。
- 5.具有防伪标识的申报书及申报材料由推荐单位打印留存备查，国家级评审以网络提交的电子版为准。
- 6.涉密课程或不能公开个人信息的涉密人员不得参与申报。

1. 基本情况

实验名称	松材线虫病诊断及线虫致病性测定虚拟仿真实验	是否曾被推荐	☐ 是 ☒ 否
实验所属课程 (可填多个)	微生物学、森林病理学		
性质	☒ 独立实验课 ☐ 课程实验		
实验对应专业	生物科学、生物工程、森林保护学、林学		
实验类型	☐ 基础练习型 ☒ 综合设计型 ☐ 研究探索型 ☐ 其他		
虚拟仿真必要性	☒ 高危或极端环境 ☐ 高成本、高消耗 ☒ 不可逆操作 ☒ 大型综合训练		
实验语言	☒ 中文 ☐ 中文+外文字幕(语种) ☐ 外文(语种)		
实验已开设期次	已经开设 3 期次： 1. 2019-2020 学年第 1 学期，课程：微生物学、森林病理学，专业：森林保护、林学，199 人 2. 2019-2020 学年第 2 学期，课程：微生物学，专业：生物科学、生物工程、林学，121 人 3. 2020-2021 学年第 1 学期，课程：微生物学、森林病理学，专业：森林保护、林学，182 人		
有效链接网址	http://mool.njfu.edu.cn/exp/4.html		

2. 教学服务团队情况

2-1 团队主要成员(含负责人, 总人数限 5 人以内)								
序号	姓名	出生年月	单位	职务	职称	手机号码	电子邮箱	承担任务
1	叶建仁	1958.12	南京林业大学	原副校长	教授	13905151921	jrye@njfu.edu.cn	框架设计、在线教学服务
2	朱丽华	1970.10	南京林业大学	实验室主任	副教授	13851562255	lh Zhu@njfu.com.cn	系统开发、在线教学服务
3	林司曦	1986.05	南京林业大学	/	实验师	13851875410	lsx@njfu.edu.cn	实验技术指导、在线教学服务
4	陈凤毛	1967.03	南京林业大学	原副院长	教授	13770670705	cfengmao@126.com	系统开发、在线教学服务

5	黄麟	1981.10	南京林业大学	副处长	教授	13913983116	huanglin0874@163.com	教学组织管理、在线教学服务
2-2 团队其他成员								
序号	姓名	出生年月	单位		职务	职称		承担任务
1	吴小芹	1957.05	南京林业大学		/	教授		实验教学指导、在线教学服务
2	丁晓磊	1986.07	南京林业大学		/	讲师		实验教学指导、在线教学服务
3	郝德君	1971.03	南京林业大学		系主任	教授		框架设计、在线教学服务
4	谈家金	1973.07	南京林业大学		系党支部书记	教授		系统开发、在线教学服务
5	孙辉	1970.11	南京林业大学		/	教授		系统开发、在线教学服务
6	姜姜	1982.04	南京林业大学		副院长	教授		教学组织管理、在线教学服务
7	戴婷婷	1987.10	南京林业大学		/	副教授		脚本设计、在线教学服务
8	毛胜凤	1974.05	南京林业大学		/	高级实验师		实验技术指导、在线教学服务
9	樊奔	1977.09	南京林业大学		/	教授		脚本设计、在线教学服务
10	赵银娟	1979.12	南京林业大学		/	副教授		脚本设计、在线教学服务
11	李乃斌	1986.08	南京恒点信息技术有限公司		U3D 研发工程师	工程师		技术开发、技术支持
12	邢书恒	1995.05	南京恒点信息技术有限公司		工程师	工程师		运营技术保障、技术支持
13	郑馨语	1992.03	南京恒点信息技术有限公司		策划部主管	工程师		服务支持、技术支持
14	李静	1991.09	南京恒点信息技术有限公司		UI 设计师	工程师		效果设计、技术支持
15	赵大力	1997.04	南京恒点信息技术有限公司		U3D 场景美术师	工程师		unity3D 场景设计、技术支持
团队总人数：20 人 其中高校人员数量：15 人 企业人员数量：5 人								

2-3 团队主要成员教学情况（限 500 字以内）

（近 5 年来承担该实验教学任务情况，以及负责人开展教学研究、学术研究、获得教学奖励的情况）

一、承担该实验教学任务情况

2019 年 9 月上线以来，面向生物科学、生物工程、森林保护、林学等专业已开设 3 期，学生人数 502 人。

二、负责人教学研究

1. 教改项目

2020 微生物学课程思政示范课建设，校级

2019 微生物学在线开放课程，中国慕课网

2019 林木病理学在线开放课程，中国慕课网

2015 以创新实践能力为导向的森林病理学实践教学模式探索，校级

2. 教学研究论文

微生物学课程实习改革的探索与体会，教育现代化，2019，19：54-55

虚拟仿真在森林病理学实验教学中的运用初探，教育现代化，2018，40：186-187

微生物学教学中培养大学生的科学素养的探索，教育现代化，2017，7：7-8

三、负责人学术研究

长期致力于松材线虫病等重大森林病害研究。

获奖情况

中国松材线虫病流行动态与防控新技术，国家科技进步二等奖，2017

松材线虫分子检测鉴定及媒介昆虫防治关键技术，国家科技进步二等奖，2008

松材线虫病病原确立和防控新技术研究与推广，梁希林业科技进步二等奖，2015

主持 30 余项省部级以上科研课题

松材线虫病防控关键技术研究及示范，国家林草局重大应急科技项目，2021-2022

重大林业病虫害的分子生态调控技术，国家重点研发计划，2018-2020

四、教学奖励

2019 “江苏省微课教学比赛” 三等奖 1 项

2017 “江苏省优秀博士毕业论文” 指导教师

2017 “江苏省微课教学比赛” 三等奖 2 项

注：必要的技术支持人员可作为团队主要成员；“承担任务”中除填写任务分工内容外，请说明属于在线教学服务人员还是技术支持人员。

3. 实验描述

3-1 实验简介（实验的必要性及实用性，教学设计的合理性，实验系统的先进性）
实验系统的先进性主要包含两个方面，1：（主要）虚拟仿真实验内容的先进性（例如，先进的科学算法、先进的实验设计、先进的学研成果及实验原理等）2：（次要）软件开发技术的先进性。

（一）虚拟仿真实验的必要性及实用性

1. 国家生态文明建设对林业专业人才培养的需要，符合高等教育人才培养的发展方向。

森林资源是林业发展的基础，也是生态文明建设的重要载体。我国林业有害生物灾害频发，尤其是传播迅速、防治困难的头号森林病害松材线虫病，先后在我国 18 省爆发流行，并已入侵庐山、黄山、泰山等多个国家级风景名胜区和重要生态区，每年致死松树几千万株，对我国生物安全、生态安全和林业资源可持续发展构成重大威胁。中央领导多次做出重要批示，要求加强松材线虫病的防控。

针对松材线虫病，目前尚无经济有效的防治措施。及早发现染病松树、及早拔除病株，是疫情防控的核心环节。因此，及时准确的诊断成为关键。生产上需求迫切具备扎实专业基础和实践创新能力的专业人才。病原微生物识别、病害诊断相关技术原理是《微生物学》和《森林病理学》等课程的重要教学内容。同时，如何适应时代发展需要，实现将前沿科研成果反哺实验教学，将社会责任、职业道德植入教学项目，培养具有高度使命感和社会责任感、具备扎实专业技能并能够灵活运用所学知识解决复杂问题的新创新型人才，成为高等教育面临的重要任务。

2. 松材线虫病诊断及线虫致病性测定实验受耗时长、风险高、不可逆等因素的限制，相关实验教学需依托虚拟仿真技术展开。

松材线虫病诊断及线虫致病性测定实验面临的困难：①**耗时长**。松材线虫病野外发生历时 2-3 个月，感病林分通常山高坡陡，不易靠近。因此病害的野外诊断无法在线下教学实验中短时间得到实践。②**风险高**。松材线虫是国际性检疫对象和我国重大危险性林业有害生物。目前我国 75% 以上的地区尚未发生松材线虫病，缺乏真实的病害现场提供实验教学，非疫区高校若开展相关实验，实验材料处置不当可能会引发重大疫情，实验风险高。③**不可逆**。松材线虫病主要为害 10 年生以上的高大松树，若实体实验以这样的松树为接种对象，松树一旦感染，结果就是死亡，其影响是毁灭性的。

利用虚拟仿真技术，依托南京林业大学松材线虫病科研教学团队多年来积累的科研成果，完整再现松材线虫病诊断全过程，成功解决了松材线虫病诊断实验面临的一系列问题，有效拓展了实验教学内容和实验方法的深度与广度，实现了实验内容和课程体系的完整性，促进最新成果、最新知识向课堂转移，提升了实验教学质量和人才培养质量，体现了创新性和高阶性。

3. 实验内容来源于长期教学、科研及技术培训积累，是现阶段生产实践中最实用的方法和最先进的技术，具有很强的实用性。

传统的“松材线虫病诊断及线虫致病性测定实验”教学内容只能部分实现或只能通过书本及多媒体课件进行讲授，严重影响了实验教学的质量和效果。本虚拟仿真实验的内容由南京林业大学松材线虫病科研教学团队经长期教学、科研以及技术培训过程中总结而来。通过高度逼真的多场景设置、实验模拟、在线交互、实验考核等环节设置，不仅可满足本实验教学内容系统性完整的需求，且在开放、交互的虚拟环境中进行自主实验设计与操作，全面培养学生的综合能力和创新思维。不仅可供农林院校本科生、研究生和教师使用，还可在线服务于植物检疫系统、林业系统相关技术骨干培训，从而提高相关人员对松材线虫病乃至其他危险性病害的诊断能力。

（二）教学设计的合理性

1. 紧紧围绕立德树人的根本任务，面向生态文明建设对林业人才培养的要求，教学目标明确。

本虚拟仿真实验项目基于多年科研积累数据完整再现松材线虫病诊断的完整过程。学生身临其境，在接近真实的场景中开展病害诊断实验，通过反复实验、探索、思考，发现并获得知识，实现培养具备扎实理论知识和实践技能、并能够灵活运用所学知识解决复杂问题的能力和创新精神的复合型人才目标。通过情景体验式教学及知识角中大量松材线虫病严重破坏生态环境的资讯报道，激发学生当好一名树医、“保护森林资源，守护绿水青山”的家国情怀。

2. 实验模块层次分明，环环相扣，注重知识学习和能力提升有机结合，教学内容合理。

本实验项目依托团队 20 多年来的科研积累，在虚拟环境中再现最为实用和先进的病害诊断技术和线虫致病性确定方法。实验包括“病害认知”“病害诊断”和“致病性测定”3 个模块。通过认知模块病树症状、线虫形态观察，建立初步认知。通过对野外林分不同病树症状观察、比较后作出初步诊断，经室内线虫分离、鉴定进行病因验证，提升病害综合分析能力。通过致病性测定环节，再次对病因进行验证，建立缜密逻辑思维。单因素“探究性”实验后制定综合方案，对各方案进行分析评估，体现综合运用知识的能力。学生通过自主学习、自主设计和自主分析完成病害调查诊断及致病性测定任务，循序渐进充分理解柯赫法则原理，掌握侵染性病害诊断思路及方法，有效巩固学生对理论知识的认知和理解。

3. 全过程记录、实时反馈实验结果，成绩评价客观合理。

完整记录实验参与时间、参与全过程，实时反馈实验结果，全面考察学生对知识点的掌握情况、野外病害症状观察的全面性和准确性、室内实验操作的规范性、实验结果及结论的准确性。系统自动记录学生的每一步实验结果，并进行实时评判，不同实验环节根据实验条件、实验结果实行阶梯式赋分，同时考虑实验者的实验参与时间、参与度，成绩评价客观合理。

（三）实验系统的先进性

1. 坚持以学生为中心，创设有利于学生自主学习的情境，教学理念先进。

传统的“松材线虫病诊断及线虫致病性测定实验”教学往往通过教师讲解实验目的、原理、操作步骤等，教师提前准备好实验材料，学生只需按步骤操作，学生学习兴趣不大，课堂教学不佳。本实验项目秉持“以学生为中心”教学理念，采用任务驱动式教学，激发学生学习的积极性和主动性。通过容错式设计、自主性探究等设计，引导学生主动学习、积极探索、自主思考，从而促进学生全面发展，实现培养适应行业发展需求的应用型和创新型人才的的教学目标。实验基于 PC 端设计，摆脱了传统实验教学的局限性，实现了非病害发生区和非病害发生季节的实验教学，学生可课后自主学习和移动学习，大大提高学习效率。

2. 模块设计来源于顶尖科研团队多年科研成果及生产实践，教学内容先进。

本团队长期致力于松材线虫病相关研究，荣获国家科技进步二等奖 2 项，教育部科技进步一等奖 1 项，制定松材线虫病分子检测国家标准 1 项，研究水平处于国际前沿。本项目的主体内容松材线虫病诊断及线虫致病性测定内容是当前国际、国内在松材线虫病诊断和致病性测定中最实用和最前沿的方法和技术。实验设计及其建模数据均源于本团队多年研究工作的积累。

3. 软件开发技术的先进性

此虚拟仿真系统采用 C#开发语言，基于 Unity 开发引擎发布的 webgl 版本的应用，采用主要 websocket 协议实现与服务器的通信和数据传输，3DMAX 和 Maya 实现 3D 图形可视化。用户使用轻量化，无需下载安装应用，直接打开网页即可运行该虚拟仿真系统。

3-2 实验教学目标（实验后应该达到的知识、能力水平）

本实验以我国重大危险性森林病害松材线虫病为例，依托多年科学研究积累的数据构建高度仿真的实验教学场景，将松材线虫病诊断及线虫致病性测定全过程拆解为 3 大模块，学生身临其境，在接近真实的多个场景中开展病害诊断实验，通过层层递进、环环相扣的内容设计，以及任务驱动式、容错式、自主探究式等教学方法，最大限度激发学生的学习兴趣，引导学生自主学习、自主设计、自主探索，力求实现以下教学目标：

（1）知识目标：深刻理解柯赫法则、病害三角关系原理，掌握松材线虫病的典型症状特点、松材线虫病疫木采集规范、松材线虫分离的基本原理和方法、松材线虫的形态鉴别关键特征以及线虫致病性测定方法等知识点。

（2）能力目标：能够在复杂的发病林分中准确区别松材线虫病与其他原因导致病害、正确采集松材线虫病疫木样品、成功分离松材线虫并采用形态学和分子生物学方法对其进行准确鉴定，能够灵活运用柯赫法则原理自行设计方案对新发侵染性病害或不熟悉病害进行诊断。

（3）素质目标：树立重大危险性病害早发现、早报告、早除治意识，提升维护国土生态安全的责任感和使命感，养成科学严谨的科学思维方式。

3-3 实验课时

- (1) 实验所属课程课时：理论课程《微生物学》、《森林病理学》32 学时；
独立实验课程《微生物学实验》、《森林病理学实验》16 学时。
- (2) 该实验所占课时： 2 学时

3-4 实验原理

(1) 实验原理(限 1000 字以内)

松材线虫病诊断及线虫致病性测定项目以“柯赫法则”“病害三角”原理为依据，以团队数十年的科研成果数据为支撑，通过高度仿真的虚拟实验场景，再现松材线虫病诊断及线虫致病性测定的完整过程，学生直观参与到病害诊断及致病性测定的各个环节，从而掌握松材线虫病症状、疫木样本采集、线虫分离及鉴定、线虫致病性测定等关键知识点。

知识点：共 8 个

1. 柯赫法则

用以验证某种微生物是否为某种疾病病原体的基本原则。包括 4 个步骤：1) 从病组织上分离经常出现的微生物；2) 纯化培养物；3) 将纯培养物接种健康寄主，给予适宜发病条件，观察相同病害是否再度发生；4) 从接种发病组织上再分离出该病原物（图 1）。完成这 4 个步骤，方可确认该微生物即为病原物。



图 1 柯赫法则

2. 病害三角关系

侵染性病害的发生涉及“病原物”、“寄主”和“环境条件”3 个基本要素，“病害三角”关系指 3 要素间的相互关系（图 2）。环境条件分别作用于寄主、病原物以及寄主/病原物体系。侵染性病害能否发生，既与病原物致病力和侵染密度有关；也和寄主敏感性有关。此外，若环境条件有利于寄主植物生长而不利于病原物，病害就难以发生或发展很慢；反之，病害就容易发生或发展很快。

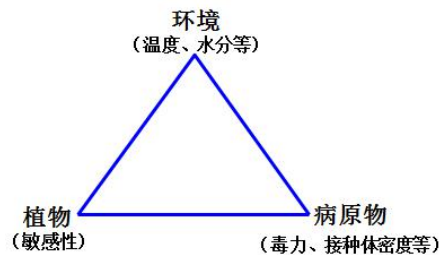


图 2 病害三角关系

3. 松材线虫病的典型症状

感染松材线虫病后，针叶渐渐失去光泽，变黄，最后变红褐色，植株完全枯死，针叶当年不脱落；树皮上常可观察到天牛的产卵刻槽；松脂停止分泌。

4. 松材线虫病疫木样本采集方法

根据松材线虫普查监测技术规程，选取尚未完全枯死或刚枯死、症状典型的松树为采集对象，于胸高处取 100~200 g 木片或木屑，或伐倒病树，于上、中、下部位截取~4 cm 圆盘。

5. 松材线虫分离方法

采用国际通行的贝尔曼漏斗法，分离结果受加水量、分离温度、分离时长等因素的影响。

6. 松材线虫的形态特征

松材线虫头部和身体界线明显；口针细，基部有小的膨大；中食道球椭圆形，占体宽 2/3 以上；雌虫阴门位于 73%处，有阴门盖；雄虫交合刺大，弓形。

7. 松材线虫的分子检测方法

依靠松材线虫形态进行鉴定存在相似种难以区分、仅有幼虫或雄成虫不能进行鉴定等因素限制，利用我国自主研发的松材线虫分子检测技术，可解决形态鉴定的难题。

8. 病原物的致病性测定

根据柯赫法则进行病原验证，就是将从病组织中分离到的培养物进行人为接种，模拟自然状态下病原物与寄主植物接触，以测定其对植物的致病性。松材线虫接种采用伤口接种法，即在当年生嫩枝上制造伤口模拟天牛取食接种线虫。通过探究树种感病性、接种浓度、温度等，可加深对病害三角关系的理解。

(2) 核心要素仿真设计（对系统或对象的仿真模型体现的客观结构、功能及其运动规律的实验场景进行如实描述，限 500 字以内）

本实验针对实验场景、线虫形态、实验结果及实验流程等核心要素进行了仿真。

① 基于真实野外发病林分和室内操作设施的场景仿真

项目通过 3D 建模在虚拟环境中再现完整的野外病害诊断现场、室内诊断及

致病性测定场景。如，虚拟野外发病林分场景中包括健康松树、感染松材线虫病松树、感染松枯梢病松树等，与真实场景一致。室内病原物分离、病原物致病性测定等场景及涉及的各类实验设备、材料等均与真实实验完全一致。

② 病原松材线虫形态鉴定的微观场景仿真

对松材线虫形态学鉴定要素进行仿真，在显微镜微观场景中再现松材线虫 5 大鉴定特征，包括线虫头部、口针、中食道球、雌虫阴门盖及尾部形态以及雄虫的交合刺等。

③ 基于真实科学研究数据的数值仿真

整个实验基于松材线虫病真实科研数据建模开发，如致病性探究实验中，学生改变线虫接种浓度、温度等参数，将观察到不同的发病效果，保证了仿真实验结果的真实准确性。

④ 基于病害诊断程序的流程仿真

根据柯赫法则病害诊断规范化流程，借助虚拟仿真技术，再现真实的病害诊断流程。即先仔细观察野发病植物症状，确定病株后采集样品。样品带回实验室，分离线虫并进行形态鉴定和分子检测，最后通过人工接种实验确定其病原性。仿真度高度一致。

3-5 实验教学过程与实验方法

以国家生态安全需求为目标，围绕林业有害生物防控的重大问题和人才培养，坚持立德树人的根本任务，践行科教融合的创新人才培养模式，结合先进的教学手段和互联网技术，建设现代化的实验教学项目。项目坚持教育本质，即以学生为中心，结合生态文明建设和现代林业发展需求，全面深化教育教学改革，努力培养具有家国情怀、敬业精神、创新能力、高素质的新时代卓越农林人才。

(1) 实验教学过程

项目由浅入深，环环相扣，通过“认知-实践-自主探索”3个层次的实验学习过程，辅以知识角大量基础和前沿相关知识信息的补充，学生可以进行原理解析、互动体验和探索训练的系统性虚拟仿真实验学习，实现“理解基础知识，掌握基本技能，培养创新能力”的教学目标。

通过病害认知模块及知识角丰富的在线资源，建立初步认知。学生了解并掌握病害诊断相关技术原理及松材线虫病相关知识，如柯赫法则的内涵及具体操作步骤、松材线虫病在我国的发生与危害情况、病害症状特点及传播媒介等。深切感受该重大危险性病害对我国松林资源及生态系统造成的巨大破坏，使学生认识到松材线虫病防控工作的重要性、迫切性和艰巨性，激发学生学好专业知识服务社会的学习的热忱，增强学生的社会责任感。

通过病害诊断和致病性测定模块的实践，掌握基本实验技能，提升病害综合诊断能力。根据病害诊断的真实过程，模拟了3个仿真场景：虚拟野外发病松林、虚拟实验室诊断场景以及虚拟温室大棚接种场景。系统首先模拟接到国家林业和

草原局的松材线虫病普查工作任务，将学生带入虚拟野外发病松林。在高度仿真的野外松林发病场景中，提供了健康松树、松材线虫病致死松树、干旱致死松树以及松枯梢病致死松树等病例供学生进行判断，引导学生主动观察发病植株，根据症状特点及病理变化等信息作出初步诊断。通过采集疑似病树样品，进入虚拟实验室诊断场景，分离线虫并采样形态学及分子生物学手段进行鉴定，验证病因。然后进入虚拟温室大棚场景，通过接种寄主植物完成病原性确定，确诊，完成病害诊断环路，建立缜密逻辑思维。

通过致病性测定环节的自由探索，既加深对知识的理解，又培养学生的创新能力。致病性测定环节中，学生可对病害三角关系中的各因素自主设计实验参数，通过反复观察比较不同参数设置产生的实验现象与结果，自由地、主动地探索这些因子与病害发生发展的内在联系，从中找出规律，加深对病害三角关系原理的理解，提升独立思考和探索的学习能力，培养学生的创新能力，实现对所学理论知识的深化。

（2）实验方法

本实验采用了观察法、比较法、控制变量法、自主设计法和归纳法等实验方法（图3）。

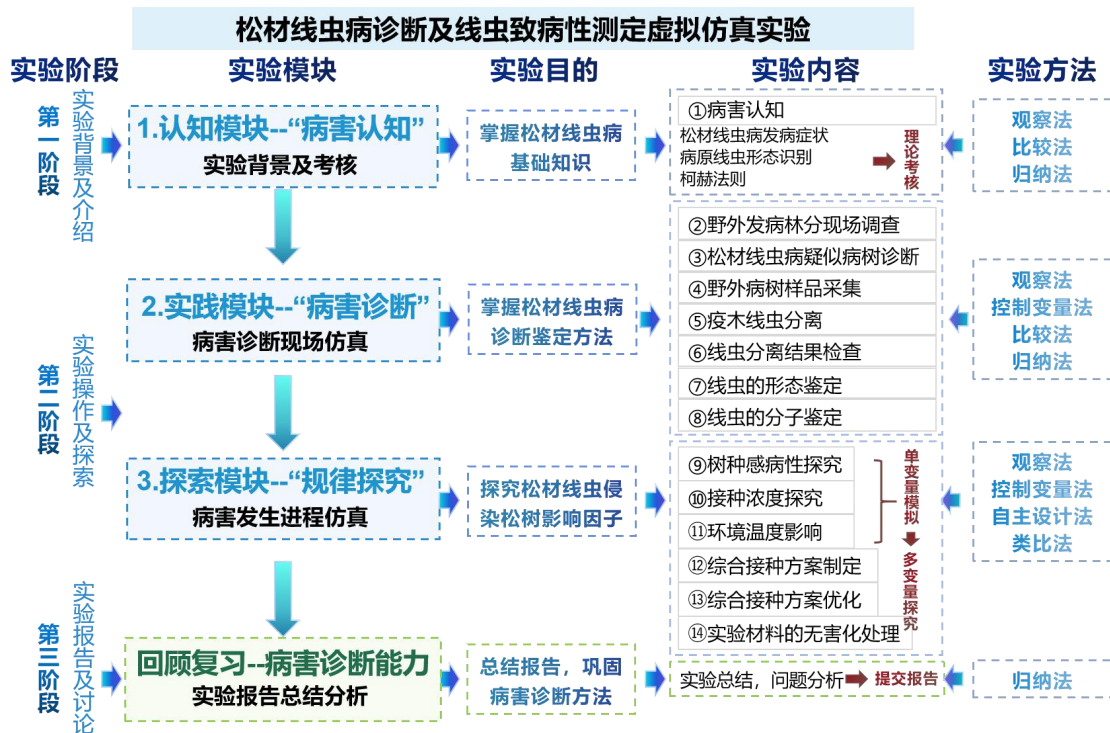


图3 实验框架及实验方法

在认知模块，学生主要通过观察、比较和归纳等方法，了解并掌握松材线虫病在我国的发生与危害情况、病害症状特点、传播媒介等知识，初步了解柯赫法则原理及其具体操作步骤。

在病害野外诊断环节，学生主要通过观察法和比较法，完成病害的初步诊断。

根据野外调查中可能遇到的不同情况，系统构建了高度仿真的虚拟野外发病林分现场。在该场景中，既有健康松树、松材线虫致死松树，也有真菌引起的病树，还有因干旱致死的小树，学生采用**观察法**，对林分中植株的外观症状及所处场所进行观察，根据观察结果，选中不同病树，分别点击针叶、树皮、树干进行特征局部特征观察，记录各项症状信息，根据各项特征对树木感病的可能原因作出推断。**分析比较**不同病树的症状特点后，最终选择最接近松材线虫侵染的松树，进行疫木样品采集。通过归纳总结，初步掌握松材线虫病的典型症状及其与其他病因所致病树的区别。

在疫木线虫分离环节，学生采用**控制变量法**，对分离用水量、分离时间、分离环境温度等参数进行设置，学生通过**分析比较**不同变量设置对应的实验结果，明确这些变量对线虫分离结果的影响。在该环节，学生可能因为参数设置不当或因上一环节中将其他原因致死松树误诊为松材线虫病致死松树导致样品采集错误，从而导致未能分离到松材线虫线虫，学生通过**分析**出现这种情况的各种可能原因并重新实验验证，掌握松材线虫病的典型症状、松材线虫分离原理及方法。

在线虫形态鉴定环节，学生主要通过观察法和比较法对疫木分离获得的线虫进行形态鉴定和分子鉴定。系统模拟真实疫木分离实验可能出现的各种结果，在显微镜视野中呈现不同种类、不同龄级的线虫，包括松材线虫及腐生线虫的雌、雄成虫及幼虫，学生通过**仔细观察**线虫的整体形态及线虫不同部位的特征，根据线虫关键鉴别特征，分析、比较后对所观察线虫的种类、性别作出判定。通过**分析、归纳总结**，掌握松材线虫的典型形态鉴别特征，并准确将其与其他线虫进行区分。

在线虫致病性测定环节，采用**控制变量法、观察法、比较法和自主设计法**，探究松材线虫病“病害三角”关系中寄主植物、病原物及其与环境条件之间关系。在该环节，学生自主设计实验方案，自由设置多组参数。通过单因素设置，分别模拟树种、接种浓度及环境温度 3 个因素对松材线虫病发生发展的影响，学生通过观察、比较不同参数设置下产生的实验现象和实验结果，筛选出最佳参数，再进行多变量的综合接种方案设计。学生通过对多组接种方案下松树的发病率、发病进程、线虫数量等实验数据，最终选择最优接种方案提交。本环节中，学生自主设计、自主分析，明确这些变量对病害发生发展的影响，从而加深对病害三角关系的理解。

实验的最后，设置了对实验材料进行无害化处理环节，由学生自主选择是否进行，以此考察学生对检疫性有害生物概念的理解及掌握情况。

3-6 步骤要求（不少于 10 步的学生交互性操作步骤。操作步骤应反映实质性实验交互，系统加载之类的步骤不计入在内）

南京林业大学教学大纲要求一个课时 45 分钟，本虚拟仿真实验共 2 学时，设计完成时长共 90 分钟。

(1) 学生交互性操作步骤，共 14 步

步骤序号	步骤目标要求	步骤合理用时(分钟)	目标达成度赋分模型	步骤满分	成绩类型
1	掌握松材线虫病的发病症状、松材线虫形态鉴别特征，理解实验核心原理——柯赫法则，并通过理论考核。	8	①完成松材线虫病的发病症状学习任务，通过病害简介视频、针叶、嫩梢树皮及松脂变化情况掌握感病松树的发病进程，得 1.5 分； ②实现松材线虫与其他线虫形态特征区别的学习目标，可以掌握松材线虫的口针、中食道球、雌虫阴门盖和尾部、以及雄虫交合刺特征，得 2 分； ③达成以柯赫法则证病原理作为病害诊断思路的效果，得 1.5 分； ④达成以柯赫法则进行松材线虫病诊断并掌握诊断鉴定原则的效果。以上为基础分，5 分。 ⑤通过 10 道选择题，每题 0.5 分，共 5 分，得分 3 分及以上，在线测试通过，当得分小于 3 分时，需要重新返回学习并进行测试，直至测试得分 3 分及以上，方可结束学习模块。	10	☐ 操作成绩 ☐ 实验报告 ☒ 预习成绩 ☐ 教师评价报告
2	对发病林分环境、立地条件、病树所处场所进行观察，掌握野外初步诊断方法。	2	①接受国家林业局委派的松材线虫病普查工作任务，进入调查省份，得 1 分； ②漫游漫步野外发病林分现场，观察林分环境、立地条件，对松林进行整体观察，完成对野外发病林分现场的整体调查，得 2 分。	3	☒ 操作成绩 ☐ 实验报告 ☐ 预习成绩 ☐ 教师评价报告
3	正确采用野外诊断思路及方法对发病林分中的松材线虫病疑似病树进行诊断	10	①仔细观察林分中的松树（共有健康松树、松枯梢感病松树、干旱致死松树和松材线虫病感病松树 4 种松树供学生观察）。判断树体大小、针叶颜色、新梢被害状、树皮被害状及树脂分泌情况等 5 个特征，每个特征判断准确给 1 分，共 5 分（调查基础分）； ②学生需要多次调查病树才能完整掌握林分发病情况，每调查 1 次，+1 分；最多+3 分； ③综合疫木诊断信息采集表中的调查结果，准确判断松材线虫病感病松树，+2 分，判断错误，不加分。	10	☒ 操作成绩 ☐ 实验报告 ☐ 预习成绩 ☐ 教师评价报告
4	成功对疑似病树	2	①准确设置取样部位，1 分；	2	☒ 操作成绩

	样品进行采集，考察学生对松材线虫普查监测技术规程中相关疫木样品采集要求的掌握		②准确设置圆盘厚度，1分。		☐ 实验报告 ☐ 预习成绩 ☐ 教师评价报告
5	完成疫木中线虫的分离，考察学生对贝尔曼漏斗法的掌握，对分离流程、分离参数的掌握。	10	①准确按照分离流程提示，顺序完成木样分离5个操作（夹止水夹-木样处理-漏斗加水-设定分离时间和温度-收集虫液），掌握贝尔曼漏斗分离法，每个操作得1分，共5分（基础分）； ②设置漏斗加水量>75%，+1分； ③设置分离温度为20-25℃，+1分； ④设置分离时间为12-24h，+1分。 ⑤学生有重复实验寻找最佳分离参数范围的操作，重复1次，+1分，最多+2分。	10	■操作成绩 ☐ 实验报告 ☐ 预习成绩 ☐ 教师评价报告
6	分析线虫分离结果，若失败则寻找原因。	2	分结果赋分： ①成功收集线虫，3分； ②若未成功收集线虫，但返回查找问题重新实验，2分。重新实验后，2-5步骤的最终得分为：原操作得分×60%+新操作得分×40%，本步骤6则不重复统计。 ③未成功收集线虫，也未返回查找问题者，此步骤不得分。	3	■操作成绩 ☐ 实验报告 ☐ 预习成绩 ☐ 教师评价报告
7	准确鉴定显微镜视野中的松材线虫，考察学生对松材线虫典型形态特征的掌握。	15	准确判断松材线虫雌雄成虫（阶梯式赋分）：至少鉴定出松材线虫雌雄成虫各1条，共5次机会，满分20分，得分由准确率百分比乘以20计算。 （即：考察学生对松材线虫鉴别特征的完整掌握，即使只挑选松材线虫雌、雄成虫各1条提交，只要都鉴定准确，也可获得满分）	20	■操作成绩 ☐ 实验报告 ☐ 预习成绩 ☐ 教师评价报告
8	通过分子手段对所鉴定的松材线虫进行验证，考察学生对鉴定方法多样性的掌握。	2	与形态鉴定结果相互验证，得2分。	2	■操作成绩 ☐ 实验报告 ☐ 预习成绩 ☐ 教师评价报告
9	明确松种对松材线虫的感病性	4	系统默认控制松材线虫接种浓度为5000条/株，接种温度为25度。 ①学生设置不同树种参数，调查接种	5	■操作成绩 ☐ 实验报告 ☐ 预习成绩

			松材线虫后不同松种的发病率、发病进程差异,每设置 1 种树种进行实验,得 1 分,最多得 3 分; ②查看发病率、及线虫数量等数据记录,评价不同松种对松材线虫的感病性(具体分析结果学生自行记录后用于步骤 12 的方案设计,此处只考察分析数据这一动作操作),2 分。		☐ 教师评价报告
10	明确接种浓度对松材线虫接种松树后发病进程的影响	4	系统默认控制接种松树为马尾松,接种温度为 25 度。 ①学生设置不同松材线虫接种浓度,调查线虫浓度对病害发生发展的影响,每设置 1 组接种浓度进行实验,得 1 分,最多得 3 分; ②查看发病率、及线虫数量等数据记录,评价不同接种浓度对松材线虫病发生发展的影响(具体分析结果学生自行记录后用于步骤 12 的方案设计,此处只考察分析数据这一动作操作),2 分。	5	■操作成绩 ☐实验报告 ☐预习成绩 ☐教师评价报告
11	明确环境温度对松材线虫接种松树后发病进程的影响	4	系统默认控制接种松树为马尾松,松材线虫接种浓度为 5000 条。 ①学生设置不同环境温度,调查温度对松材线虫病发生发展的影响,每设置 1 组环境温度进行实验,得 1 分,最多得 3 分; ②查看发病率、及线虫数量等数据记录,评价不同接种温度对松材线虫病发生发展的影响(具体分析结果学生自行记录后用于步骤 12 的方案设计,此处只考察分析数据这一动作操作),2 分。	5	■操作成绩 ☐实验报告 ☐预习成绩 ☐教师评价报告
12	综合分析单变量探究实验的结果,制定合适的多变量综合接种方案、考察学生对松种、线虫浓度、环境温度三个单因素实验结果的分析能力。	20	①分析单变量接种方案的结果,设置各变量的合适参数,设计多变量接种方案,模拟病害发生过程(阶梯式赋分):设计 1 组接种方案 5 分,最高 15 分; ②对不同发病时间点松树体内的线虫数量进行监测,+3 分。	18	■操作成绩 ☐实验报告 ☐预习成绩 ☐教师评价报告
13	对比各综合接种方案,明确松种、	4	①对比多组设计方案的松苗发病数据,选择最优方案提交,2 分(基础	4	■操作成绩 ☐实验报告

	线虫浓度、环境温度三者与线虫致病性的关系，优化综合接种方案，考察学生对病害三角原理的理解。		分)； ②学生的最佳方案可能有多种组合结果，出现最佳组合：“马尾松+接种浓度>5000 条/株+环境温度 25-35℃”或“黑松+接种浓度>3000 条/株+环境温度 25-35℃”时，+2 分；提交其他组合时，不加分。		☐ 预习成绩 ☐ 教师评价报告
14	对包含检疫性有害生物的实验材料进行无害化处理，考察学生对检疫要求的掌握。	3	①对实验材料进行灭菌操作，+1 分。 ②根据实验结果，分析总结，+2 分。	3	☒ 操作成绩 ☒ 实验报告 ☐ 预习成绩 ☐ 教师评价报告

(2) 交互性步骤详细说明

本实验项目包括 3 个模块，14 步交互性操作步骤（图 4）。

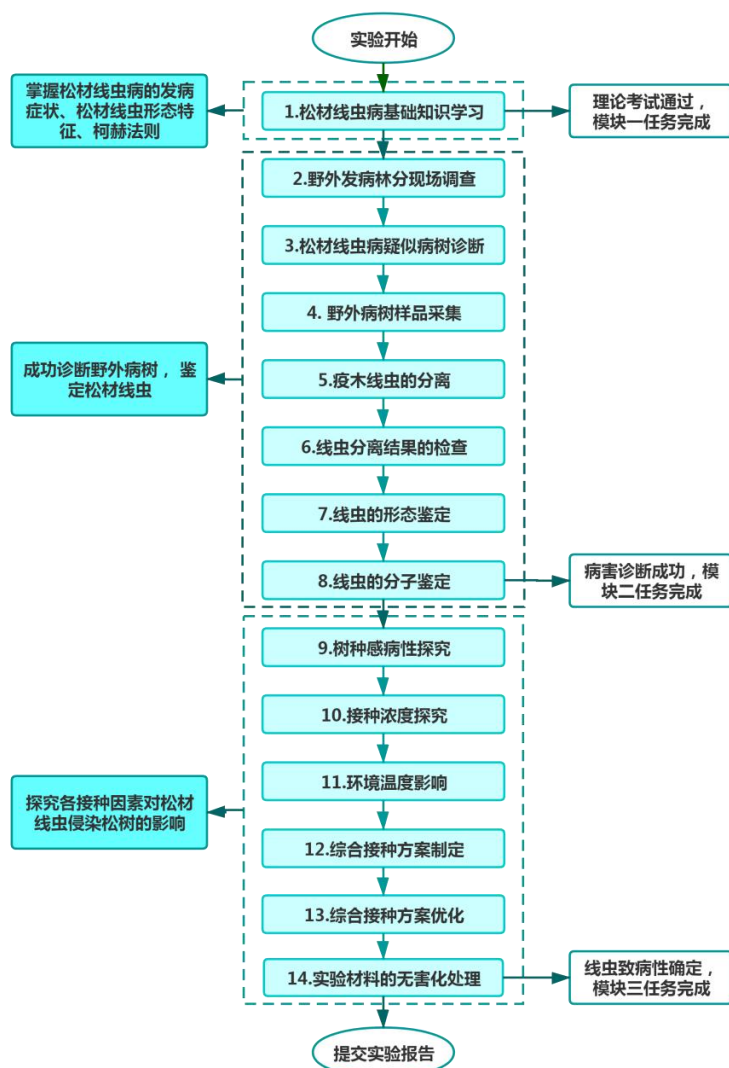


图 4 实验流程图

模块一：认知阶段（步骤 1）

步骤 1：松材线虫病相关知识学习

操作目的：学生在进行松材线虫病诊断及线虫致病性虚拟仿真实验前，了解松材线虫病的发生发展、流行规律等相关知识，掌握松材线虫的形态鉴别特征，以及病害诊断的核心原理——柯赫法则。

操作过程：进入实验界面（图 5）。点击“病害认知”，可出现“松材线虫病发病症状”、“病原线虫形态鉴定”及“柯赫法则”三部分知识点（图 6），供学生在实验开始前复习松材线虫病相关背景知识。

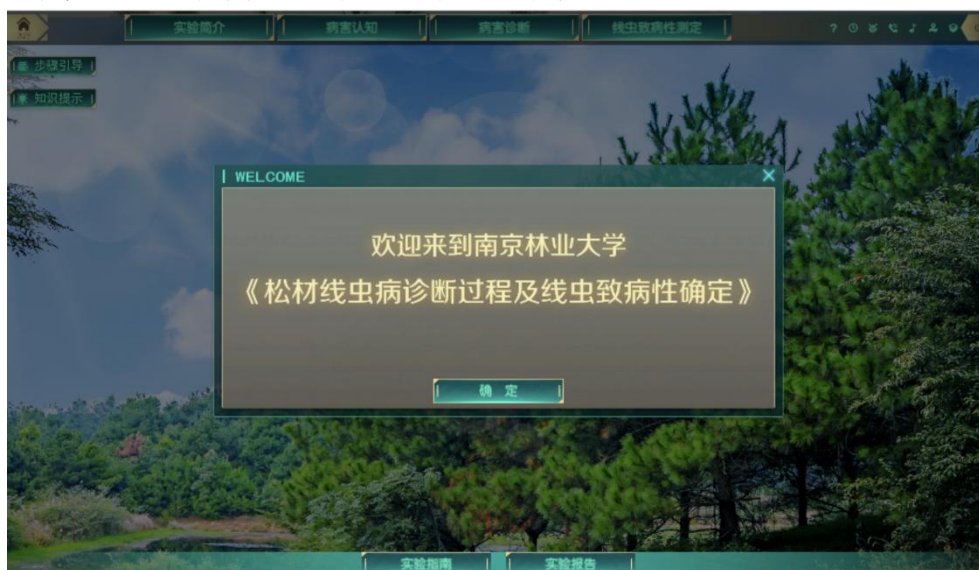


图 5 松材线虫病诊断及线虫致病性测定虚拟仿真实验欢迎界面

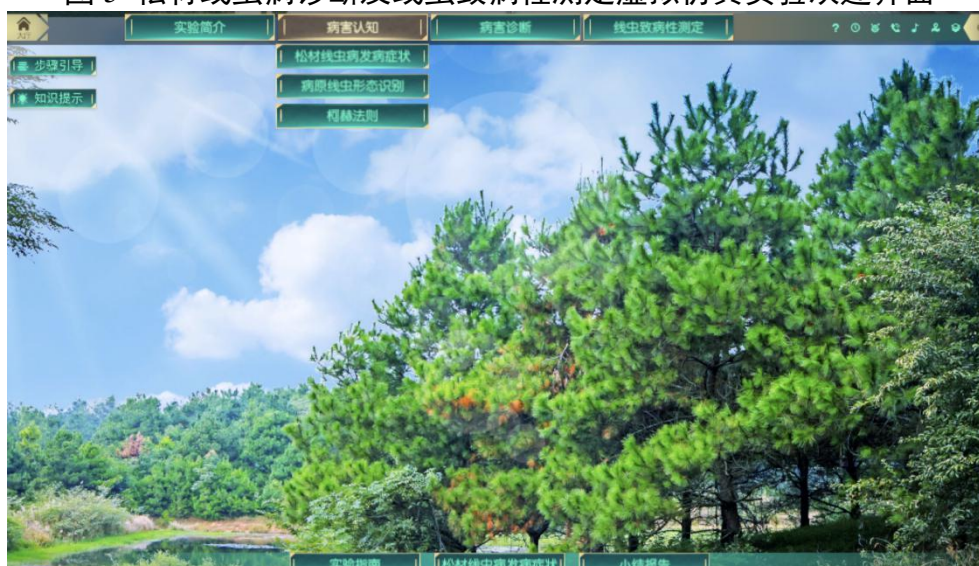


图 6 病害认知模块包括的主要内容

（1）松材线虫病发病症状

点击“松材线虫病发病症状”按钮后，系统首先以一段视频介绍松材线虫病在我国的发展历程、发生面积和严重性（图 7），学生重复学习本知识点时，也可以选择“跳过”视频。视频播放结束后将直接展示松材线虫病发病进程中松树针叶的颜色变化（图 8A）、嫩枝及树皮被害状（图 8B）和松脂分泌变化情况（图

8C)，供学生学习掌握松材线虫病的危害及流行病学特征。



图 7 松材线虫病的危害



图 8A 松材线虫病的发病进程

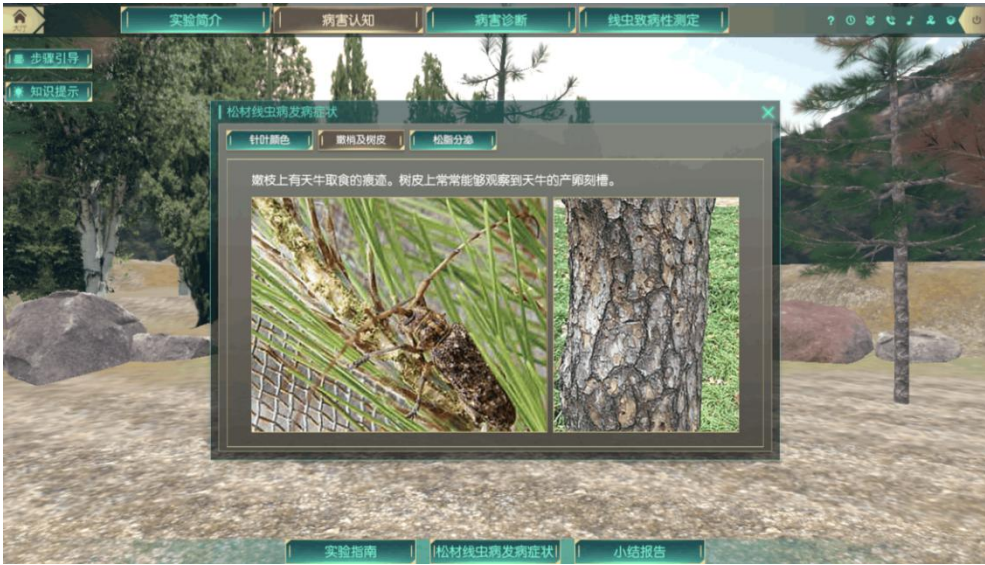


图 8B 松材线虫感病松树病嫩枝及树皮被害状



图 8C 松材线虫病感病松树树脂分泌情况

(2) 松材线虫形态特征掌握

进入模拟显微状态下的“线虫形态识别”界面。学生通过点击线虫的“头部”（图 9A）、“中食道球”（图 9B）、“阴门盖（雌）”（图 9C）、“交合刺（雄）”（图 9D）和尾部等部位（图 9E），观察松材线虫和腐生线虫及其他寄生线虫相应部位的形态区别，掌握松材线虫的关键鉴别特征，能够准确识别松材线虫。



图 9A 病原线虫头部形态特征



图 9B 病原线虫中食道球形态特征



图 9C 病原线虫雌虫阴门盖形态特征



图 9D 病原线虫雄虫交合刺形态特征



图 9E 病原线虫雌虫尾部形态特征

(3) 柯赫法则理解

点击“柯赫法则”按钮，进入柯赫法则讲解界面（图 10）。柯赫法则是植物病害诊断的科学方法，尤其是针对不熟悉的或新发侵染性病害，其病原物确定必须按照该法则来验证，要求学生能熟练掌握并运用。



图 10 柯赫法则

(4) 理论考核

学生点击“理论考核”按钮进入该步骤，系统从题库中随机抽取 10 道选择题进行理论考核。通过测试，了解对相关知识的掌握程度。考核成绩按比例列入实验总成绩中（图 11）。



图 11 理论考核

操作效果：了解松材线虫病相关知识，掌握松材线虫病的发生、寄主植物、病原及传播媒介，掌握松材线虫病在我国的发生、危害及病害症状特点。

模块二：病害诊断（步骤 2-8）

步骤 2：野外发病林分现场调查

操作目的：以病害野外诊断思路及方法进行野外发病林分现场初步调查

操作过程：点击“病害诊断”模块中的“野外诊断及样品采集”按钮，进入模拟的野外发病林分场景。

（1）接受普查任务，进入调查现场

系统将模拟学生接到国家林业和草原局委派的松材线虫病普查工作任务（图 12）。接收任务后，学生可以在中国地图中点击代表省份标签，了解松材线虫病发病情况（图 13A-E）。选中省份点击“确定”按钮后，将进入调查现场。



图 12 模拟国家林业和草原局委派松材线虫病普查工作



图 13A 各省份松材线虫病发生情况-江苏



图 13B 各省份松材线虫病发生情况-安徽



图 13C 各省份松材线虫病发生情况-湖北



图 13D 各省份松材线虫病发生情况-江西



图 13E 各省份松材线虫病发生情况-浙江

(2) 发病林分现场的整体调查

进入调查现场后，系统将提示学生根据异常松树的外观症状，初步确定是否因松材线虫病侵染引起（图 14），并告知学生此处需要掌握松材线虫病野外诊断流程与技术。学生使用“A”“W”“S”“D”按键，或鼠标实现在场景中移动，初步观察林分中各发病松树总体情况，漫游野外发病林分现场，观察林分环境、立地条件，对松林进行整体观察（图 15A-B）。



图 14 诊断现场的任务及目标提示



图 15A 诊断现场的多角度漫游

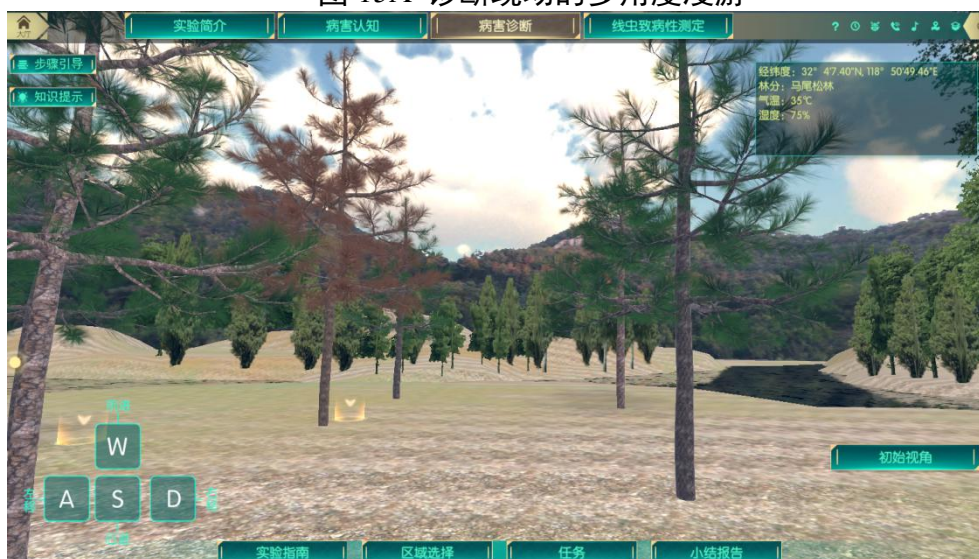


图 15B 诊断现场的多角度漫游

操作效果：对发病林分环境、立地条件、病树所处场所进行观察，掌握野外初步诊断方法。

步骤 3：松材线虫病疑似病树诊断

操作目的：掌握病害野外诊断思路及方法，通过收集发病现场病树的针叶颜色、树皮、树干、松脂分泌等信息，对松树发病原因进行初步诊断。

操作过程：学生在虚拟的病害现场中可看到表现不同症状的感病松树。

（1）发病现场的病树选择

场景中设置了健康松树（图 16A）、松材线虫病致死松树（图 16B）、松枯梢病感病松树（图 16C）和干旱致死松树（图 16D），供学生自由观察。



图 16A 健康松树



图 16B 松材线虫病致死松树



图 16C 松枯梢病感病松树



图 16D 干旱致死松树

(2) 发病情况调查

选中某棵病树后，系统高亮提示，并弹出小框选项树体上出现“树干”、“树皮”、“当年新梢”和“针叶”按钮，学生点击后弹出小窗提供放大的细节图片，以及对应的症状特征选项。点击“树体大小”按钮后，系统切换到高视角，供学生观察所选松树的树体大小（图 17A）；点击“针叶”按钮后，小窗弹出针叶的细节图片，学生仔细观察后，选择针叶的枯死顺序，以及针叶的颜色（图 17B）；点击“新梢”按钮后，小窗弹出当年新梢的细节图片，学生仔细观察后，选择是否有天牛取食痕迹，以及新梢是否发病（图 17C）；点击“树皮”按钮后，小窗弹出天牛产卵情况图片，学生仔细观察后，选择是否有天牛产卵刻槽（图 17D）；点击“树干”按钮后，小窗弹出树脂分泌细节图片，学生仔细观察后，选择树脂分泌有无（图 17E）。



图 17A 松树发病情况调查（树体大小）



图 17B 松树发病情况调查（针叶颜色）

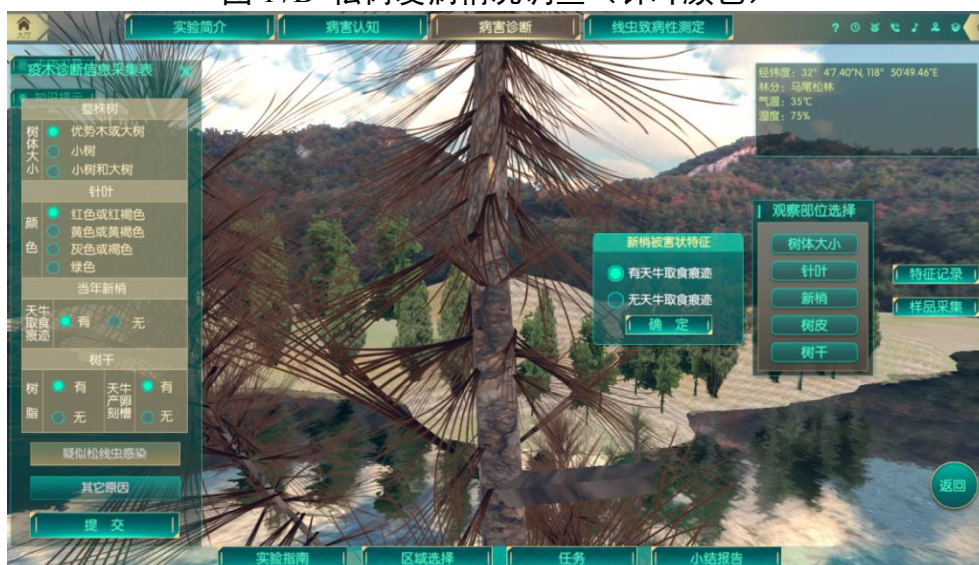


图 17C 松树发病情况调查（新梢被害状）



图 17D 松树发病情况调查（树皮被害状）



图 17E 松树发病情况调查（树脂分泌情况）

（3）初步诊断松树发病原因

疫木诊断信息采集表中将实时记录学生的具体诊选项，调查结束后，综合在虚拟病害现场对病树从整体到细部的观察，对该树发病原因进行一个初步的诊断，并在疫木诊断信息采集表中初步确认松树发病原因（图 18）。评判初步病因假设是否成立，则需采集样本，带回实验室进一步进行病原物的检测验证。



图 18 发现松材线虫病疑似疫木，进入采样环节

操作效果：了解病害野外诊断思路及方法，收集病树信息。全面收集感病松树的针叶颜色及其长短、树皮上有无传播媒介的产卵刻槽或羽化孔、松脂分泌情况等信息，结合环境条件，正确将松材线虫感病松树与其他原因致死松树区分开，选择正确的病树进行后续的实验操作。

步骤 4：病树样品采集

操作目的：掌握松材线虫病疫木样本采集方法

操作过程：选中病树作为采集对象后，点击“样品采集”按钮，树木右侧出现“样品采集”对话框，系统自动记录采集地点、取样时间及树木编号，学生自由选择取样部位、圆盘厚度等操作设置（图 19）。



图 19 松材线虫病疑似疫木样品采集信息录入

确定录入的采样信息后，系统模拟手持电锯（或手摇钻或柴刀），进行规范采样（图 20）。学生可以在知识角中查阅国标-松材线虫病检疫技术规程，掌握准确的采样要求（图 21）。



图 20 规范采样操作



图 21 知识扩展（国标-松材线虫病检疫技术规程）

操作效果：根据松材线虫病疫木样本采集方法，选择合适的采样部位，采集合格的疫木样品，以便进行实验室检测，确定病害的病原物。

步骤 5：疫木中线虫的分离

操作目的：了解并掌握植物寄生线虫分离的方法，掌握贝尔曼漏斗法分离线虫的原理和步骤。

操作过程：点击“疫木线虫的分离”进入线虫分离界面后，学生按照界面顶部的实验流程提示，在工具箱中选择止水夹、柴刀、三角瓶或离心管等具体工具进行实验（图 22A）。



图 22A 植物寄生线虫分离（贝尔曼漏斗法）的任务及目标提示

由学生模拟实际操作，将漏斗皮管夹上止水夹（图 22B）；用刀具将木样处理成合适的大小（图 22C），用双层纸巾包裹，放进漏斗中。加水量（图 22D）、分离温度及时间（图 22E）由学生自由设定。分离结束后，拖拽离心管至漏斗下部，系统将自动模拟松开止水夹，用离心管收取虫液（图 22F）。



图 22B 植物寄生线虫的分离（夹止水夹）



图 22C 植物寄生线虫的分离（处理木样）

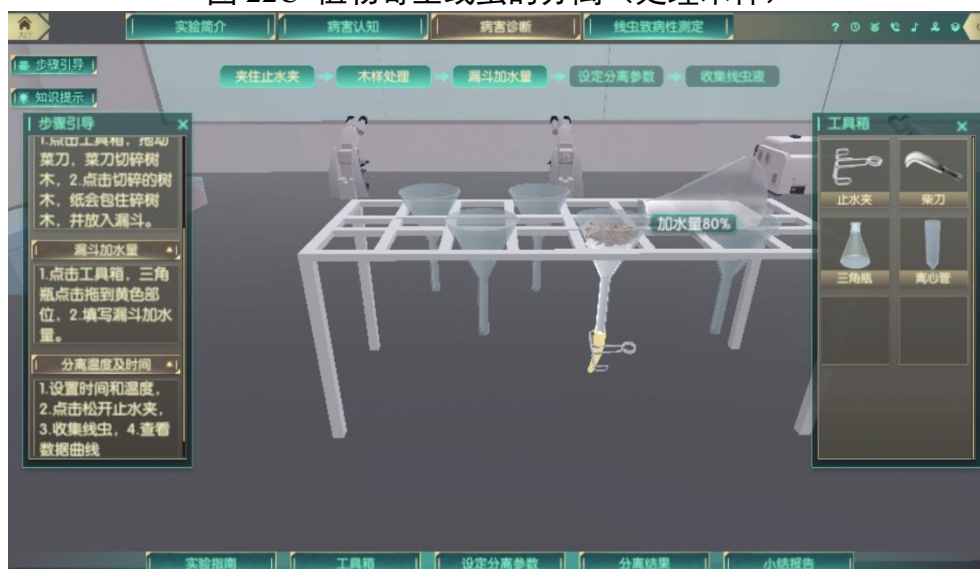


图 22D 植物寄生线虫的分离（设置加水量）

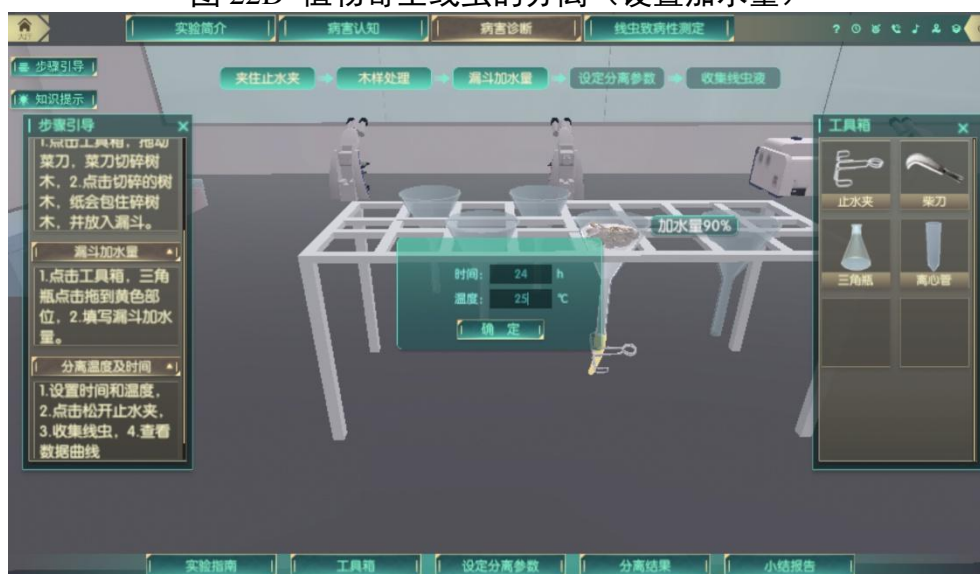


图 22E 植物寄生线虫的分离（设置分离时间和温度）

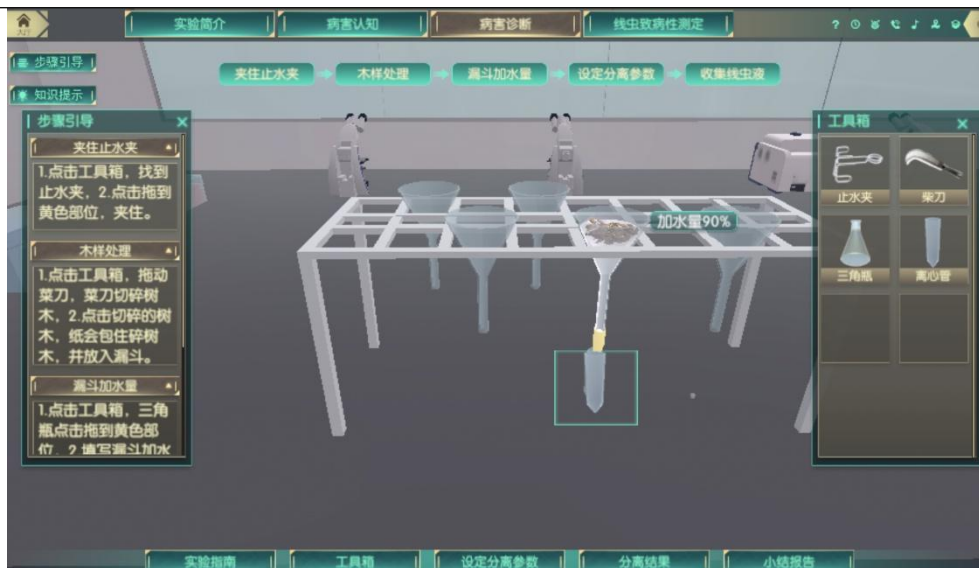


图 22F 植物寄生线虫的分离（收集线虫）

操作效果：学生掌握贝尔曼漏斗法分离线虫的原理和步骤，完整按照疫木线虫的分离流程进行实验操作，设置合适的分离参数。

步骤 6：线虫分离结果检查

操作目的：建立系统、严谨的科研思维能力。通过疫木中线虫的分离结果，分析病树诊断结果、疫木分离条件的成败及原因。

操作过程：学生可以点击“分离结果”查看线虫种群变化曲线（图 23），了解疫木中线虫的分离结果，并可以在小结报告中进行分析讨论。学生在步骤 3 中对病树的诊断、以及在步骤 5 中对加水量、分离温度和时间的设计将共同影响线虫分离以及后续实验的结果。



图 23 线虫分离结果

操作效果：成功分离疫木，获得线虫。并且可以将松材线虫病的典型症状、松材线虫分离方法与线虫分离结果挂钩，学会分析线虫分离成败的原因，回溯检查病树诊断及分离流程。

步骤 7：线虫的形态鉴定

操作目的：掌握松材线虫的形态鉴别特征，对获得的线虫进行鉴定，准确判断疫木中是否含有松材线虫。

操作过程：疫木分离获得的线虫种类可能有多种，需对其进行种类鉴定。可以采用形态学鉴定和分子生物学手段进行鉴定。界面中显示形态鉴定工具——显微镜及分子鉴定工具——松材线虫快速检测系统（图 24）。系统不强制规定学生鉴定工具的选择顺序，但根据常规鉴定流程，后台默认先形态鉴定后分子鉴定的方法最优。

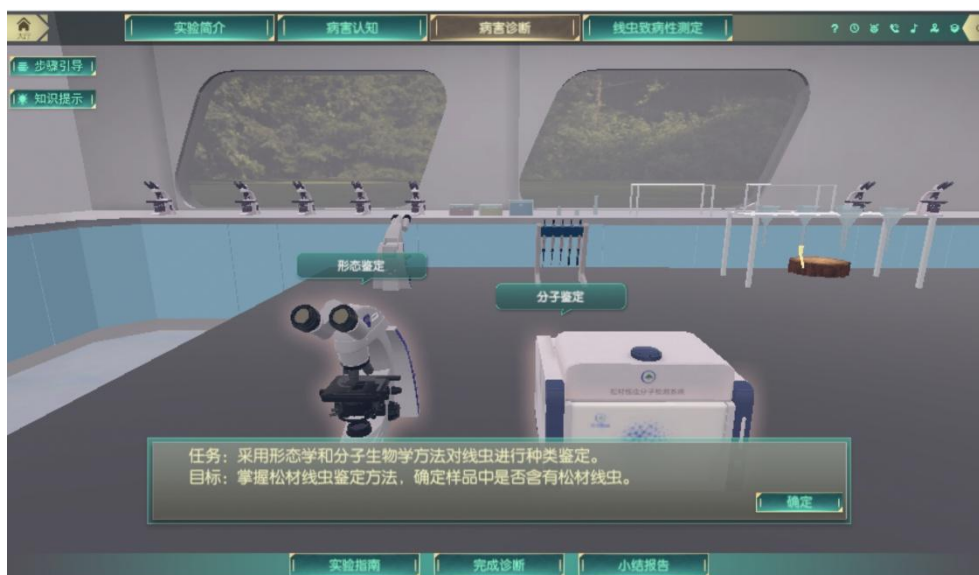


图 24 线虫的鉴定方法选择

由于在步骤 3 “松材线虫病疑似病树诊断”中有松材线虫感病松树及其他原因病树等多个采集对象供学生选择，且步骤 5 “疫木线虫分离”中分离参数的选择也会影响分离结果，因此学生进入形态鉴定步骤的显微镜视野中将会根据学生的不同选择，出现不同的镜检情况：

（1）在步骤 3 中选择正确的松材线虫致死松树进行木样采集的同学：①当步骤 5 选择最佳分离参数组合时，分离获得的线虫悬浮液中松材线虫浓度较高、腐生线虫较少（图 25A）。

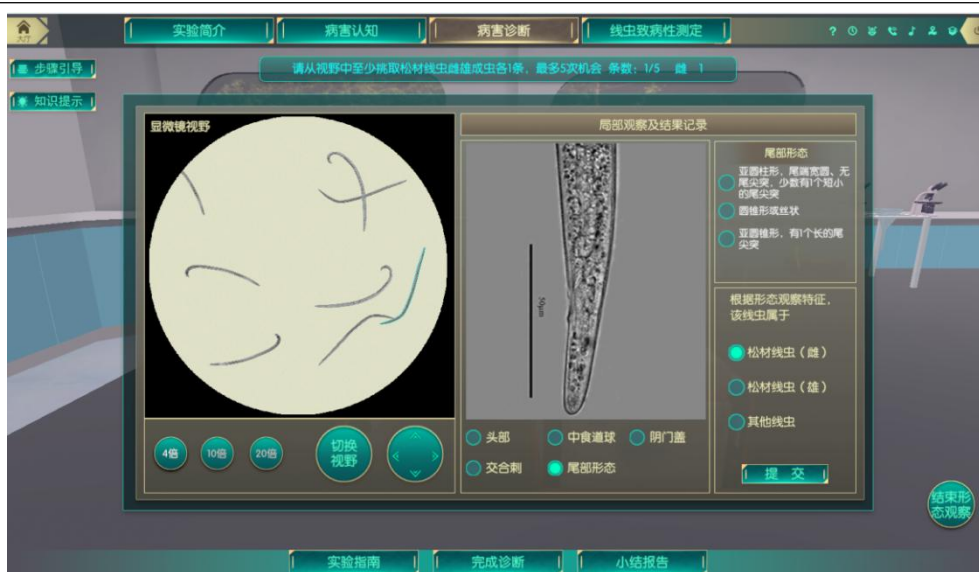


图 25A 正确诊断松材线虫感病松树的学生实验界面

②步骤 5 中未选择最佳参数组合时, 可以获得线虫但浓度很低, 镜检时视野内线虫数量很少, 且松材线虫比例小, 腐生线虫较多 (图 25B)。因此看到雌、雄成虫的概率较小, 需要多次吸取线虫虫液重复观察, 鉴别难度加大, 不影响其获得正确的结论, 但实验全部完成时系统将在实验问题反馈中提示学生检查原因。

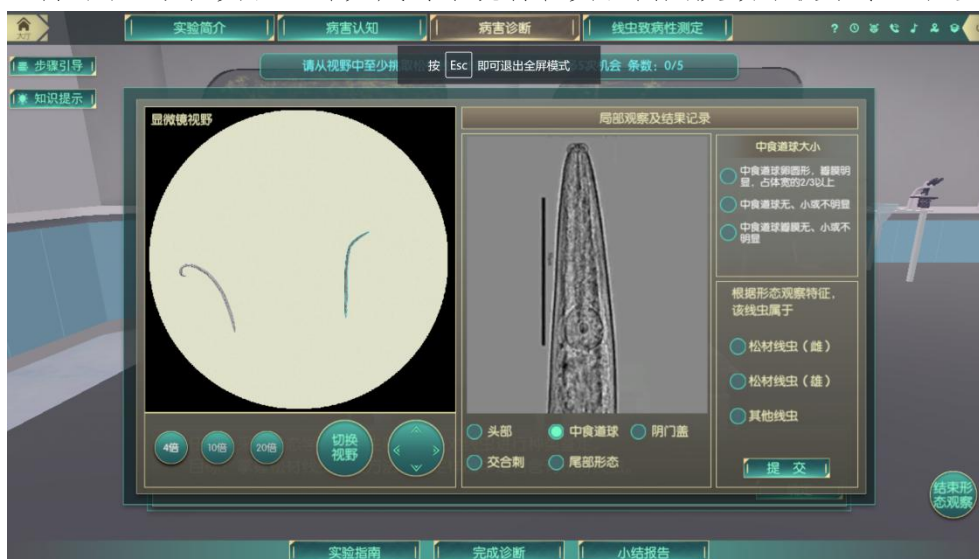


图 25B 正确诊断松材线虫感病松树的学生实验界面

(2) 步骤 3 中错误选择其他原因病树当作松材线虫致死松树采集木样的同学, 无论步骤 5 中选项是否正确, 将观察不到任何线虫, 系统提醒其实验出现错误, 需返回检查实验。首次实验结果将保存于后台, 影响其最终实验得分 (图 25C)。



图 25C 选择其他原因病树的学生实验界面

形态鉴定时，要求学生掌握松材线虫的典型鉴定特征，特别注意植物寄生线虫与腐生线虫的特征区别。学生点击显微镜进入模拟显微观察界面，提供 4、10、20 三个放大倍数（图 26A），选中线虫后，点击线虫的头部（图 26B）、中食道球（图 26C）、阴门盖（图 26D）、交合刺（图 26E）和尾部形态（图 26F），系统将模拟显微操作弹出高倍清晰图片，学生在右上角形态特征选项中选择自己认为的较贴切的部位描述，综合各部位特征判定松材线虫雌、雄成虫或其他线虫，切换视野可以观察更多的线虫。系统默认有 5 次判定机会（图 27），点击“结束形态观察”按钮提交结果。



图 26A 20 倍放大倍数下的显微镜视野

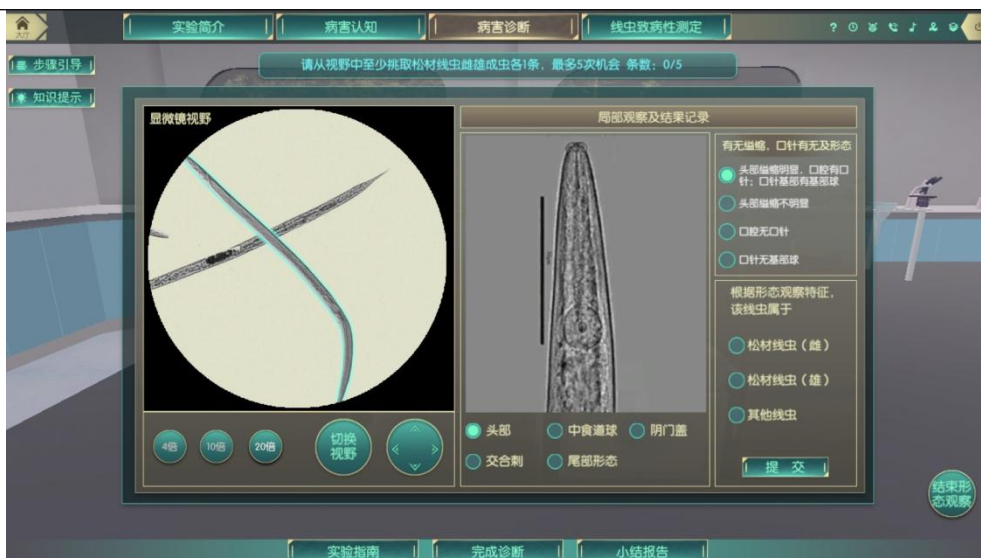


图 26B 显微镜视野下分离获得线虫的头部特征



图 26C 显微镜视野下分离获得线虫的中食道球特征



图 26D 显微镜视野下分离获得线虫的阴门盖特征

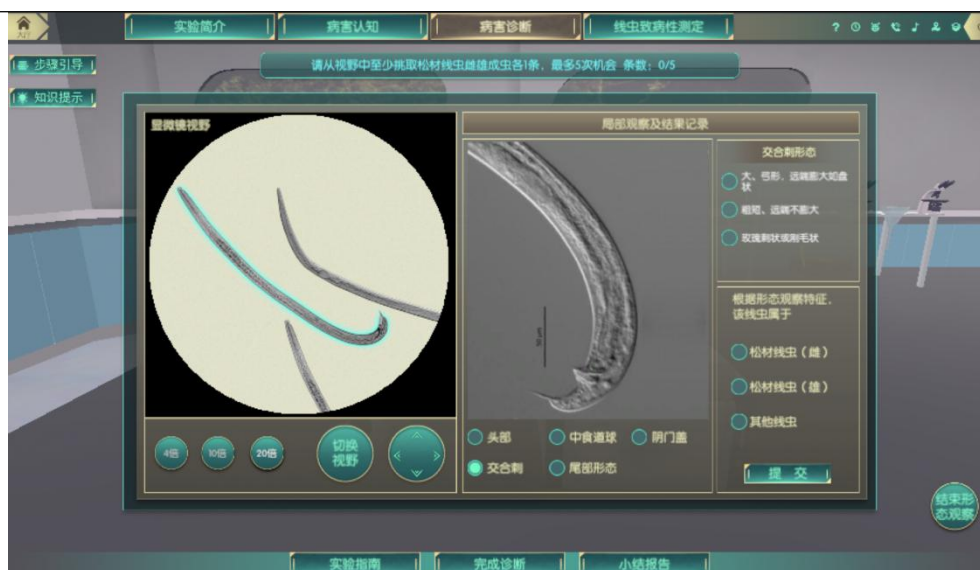


图 26E 显微镜视野下分离获得线虫的交合刺特征

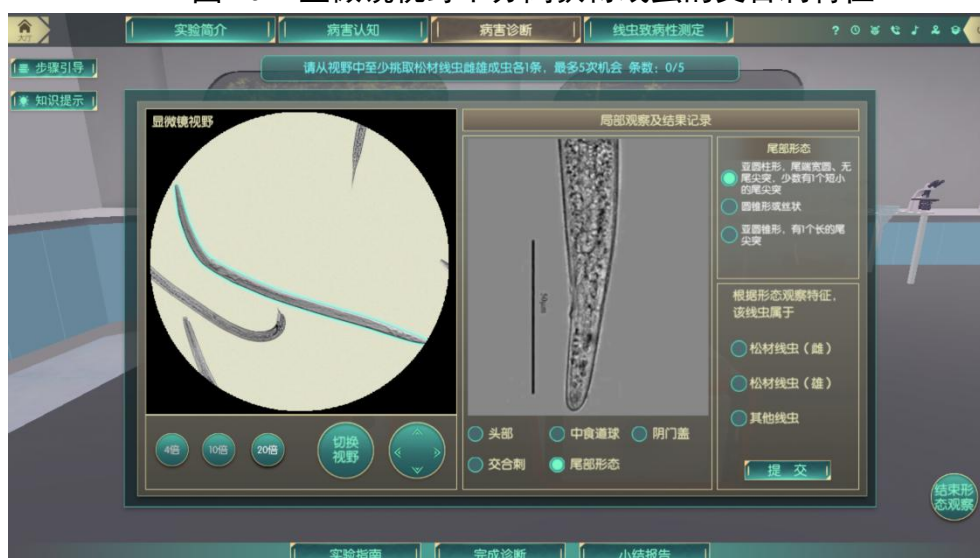


图 26F 显微镜视野下分离获得线虫的尾部形态特征



图 27 判定松材线虫

操作效果：根据松材线虫的形态鉴别特征，对获得的线虫进行鉴定。准确判断疫木中是否含有松材线虫，明确引发病害的病原体。

步骤 8：线虫的分子鉴定

操作目的：明确可以利用松材线虫特异性引物对线虫进行鉴定，并能够准确判读自动化分子检测结果。

操作过程：点击松材线虫自动化分子检测仪，进入的“分子鉴定”模块，模拟实际操作，将装有虫液的 PCR 管放入松材线虫快速检测系统中进行检测，根据属性及 CT 值判定形态鉴定是否准确（图 28）。学生结合分子及形态鉴定结果，完成病因验证。注意，若该结论错误，即将松材线虫误判为其他线虫，会导致疫情迅速传播。



图 28 线虫的分子鉴定

操作效果：根据松材线虫分子检测方法，对形态鉴定后的松材线虫进行分子鉴定，准确判读自动化分子检测结果，进一步明确引发病害的病原体。

模块三：线虫致病性测定（步骤 9-14）

步骤 9：松种感病性探究

操作目的：掌握致病性测定方法，了解寄主植物对线虫响应的差异性。引导学生正确分析实验结果，明确不同种类松树的感病性差异。

操作过程：接种环节中各参数的选择将影响到松树发病时间的长短。在固定接种温度为 30℃，线虫接种浓度为 5000 条的情况下，由学生自由选择用于接种的松树种类，包括较为感病的黑松、马尾松以及较抗病的湿地松等（图 29）。

系统将自动模拟接种，学生通过拖拉时间进度条，观察不同松树的发病进程及发病率（图 30A），学生也可以点击数据记录，查看不同松树体内线虫种群数量（图 30B），通过对比分析不同时间松种的发病情况，明确不同松种之间对松材线虫的抗感程度差异。

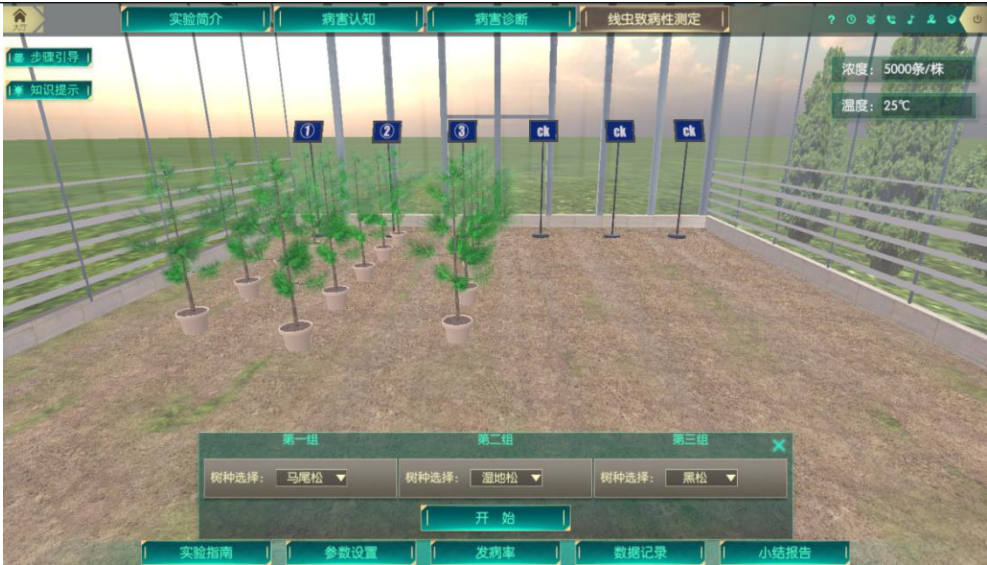


图 29 松种的选择



图 30A 不同松树接种松材线虫后的发病情况



图 30B 不同松树接种松材线虫发病数据记录

操作效果：掌握致病性测定方法，正确分析实验结果，能够准确判断测试松树对松材线虫的感病性，明确不同种类松树的感病性差异。

步骤 10：接种浓度探究

操作目的：了解接种体密度与病害发生的关系。引导学生正确分析实验结果，明确线虫接种浓度与松材线虫病发生的关系。

操作过程：本步骤主要考核学生是否掌握线虫浓度对松树发病情况的影响。在松种固定为马尾松、接种温度固定为 25℃ 的条件下，由学生自由设计松材线虫的接种浓度，范围在 1000-10000 条/株内（图 31）。

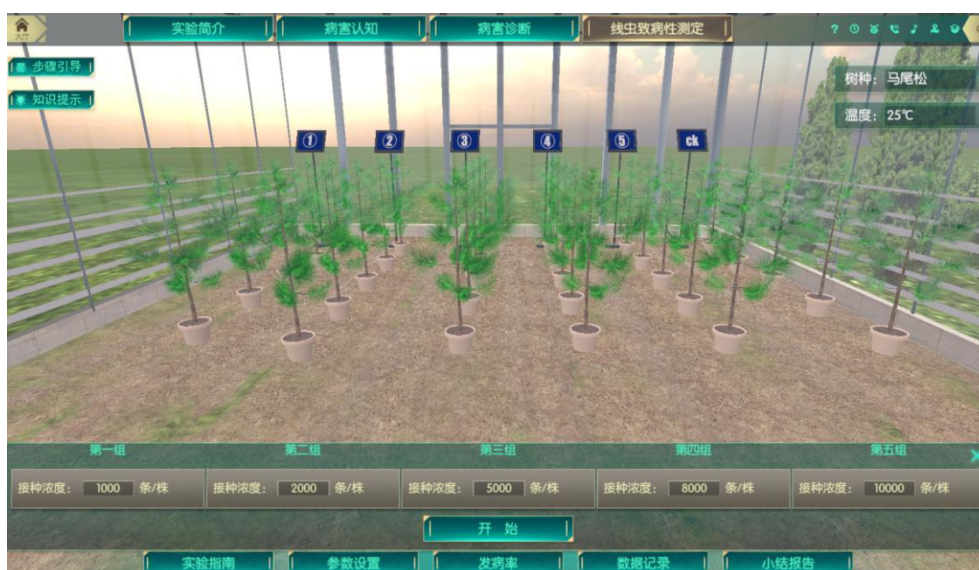


图 31 接种浓度的设定

接种完毕，模拟发病周期，学生观察松苗发病情况，接种量为“5000 株”的同学，其接种的松树将按照常规进程发病：第 10 天，嫩梢针叶开始失绿；第 20 天，部分针叶开始变黄；第 25 天，大部分针叶变黄；第 30 天，针叶由黄变为红褐色，全株枯死，针叶不落（图 32）。

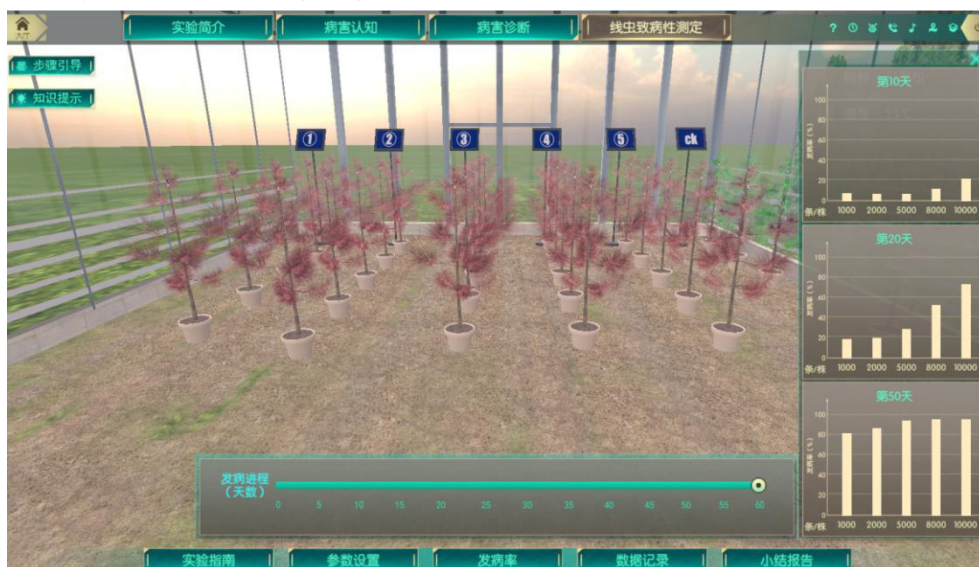


图 32 松树发病情况观察

要求学生根据发病进程的快慢、查看发病率及线虫数量等数据，通过对比分析不同接种浓度下松苗的发病进程及发病率（图 33），找出松材线虫的最佳接种浓度。



图 33 松树发病情况数据记录

操作效果：了解接种体密度与病害发生的关系，正确分析实验结果，明确判断线虫接种浓度对松材线虫病发生的影响。

步骤 11：环境温度探究

操作目的：了解环境温度与病害发生的关系。学生能够正确分析实验结果，明确环境温度对松材线虫病发生的影响。

操作过程：具体阐述：让学生探索接种温度对松材线虫侵染松树的影响。在松种固定为黑松、接种浓度固定为 5000 条的情况下，由学生自由设计接种温度（10-40℃）（图 34）。

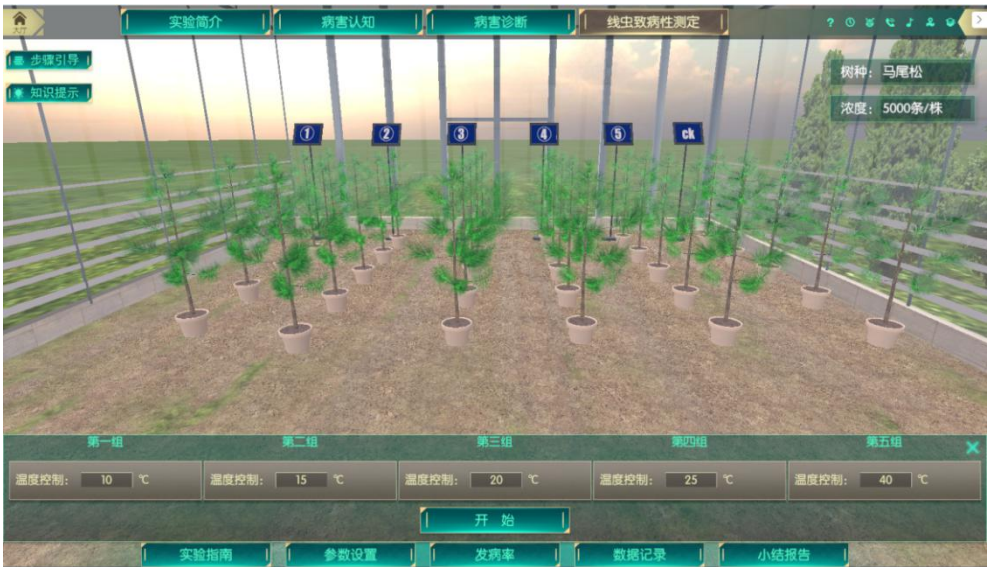


图 34 接种温度设定

学生选择好接种温度后，系统将自动模拟接种，学生通过拖拉时间进度条，观察不同接种温度对松苗发病情况的影响，环境温度设置为“25℃”或“30℃”的同学，其接种的松树将按照常规进程发病：第10天，嫩梢针叶开始失绿；第20天，部分针叶开始变黄；第25天，大部分针叶变黄；第30天，针叶由黄变为红褐色，全株枯死，针叶不落。其他选项组合的松树发病时间将较常规时间延长，50天时开始观察到发病情况（图35）。学生也可以点击数据记录，查看病害发生进程及树体内及线虫种群数量等数据（图36），通过对比分析不同温度下松苗发病情况，找出最适发病温度。

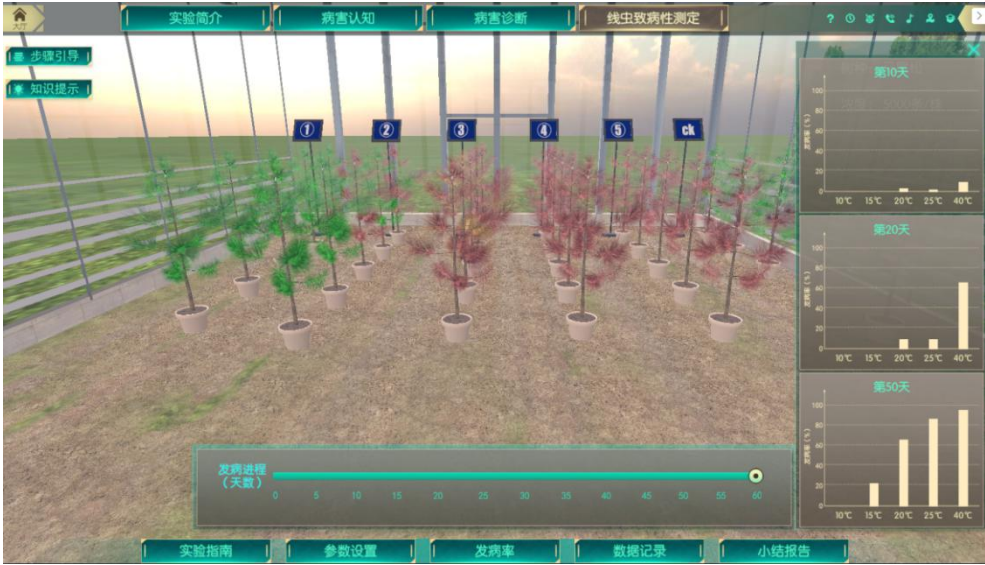


图 35 温度对松苗发病的影响



图 36 温度变化时松苗体内的线虫数量及发病率数据记录

操作效果：了解环境温度与病害发生的关系。正确分析实验结果，明确环境温度对松材线虫病发生的影响。

步骤 12：综合接种方案制定

操作目的：掌握多变量探究实验的研究方法，明确影响松材线虫致病性的松

种（寄主植物）、线虫浓度（病原物）和环境温度（环境）三者间关系，从而深刻理解病害三角原理。

操作过程：在完成3个单变量接种探究后，学生需要比较接种结果，获得最佳的接种参数范围。进入多变量的接种方案，探讨松种、接种浓度及温度三个变量对松材线虫侵染松树的影响。本步骤主要考察学生对三个变量的设计探讨，学生制定调查时间（图37），进入松树发病情况的观察，系统模拟松树随时间发展逐渐死亡的过程（图38），同步模拟木材含水量、松苗发病率和木质部空洞化过程的变化，拖拽时间进度条可以反复查看。同时，点击每棵松树的接种点能看到某个时间点对应的树体内线虫的种群变化情况（图39A-C），发病进程结束后可查看线虫种群数量（图40）。学生还可分析“数据记录”明确线虫种群数量与发病率之间的关系，建立水分变化、木质部空洞化与松苗枯死之间的联系（图41）。



图 37 制定调查时间



图 38 发病情况模拟



图 39A 观察发病初期松苗中的线虫种群变化情况

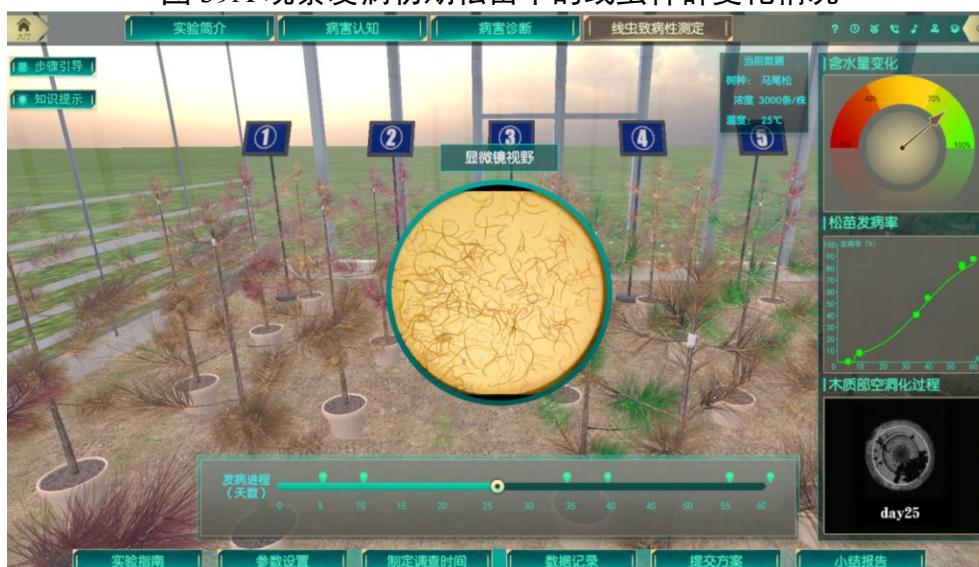


图 39B 观察发病中期松苗中的线虫种群变化情况

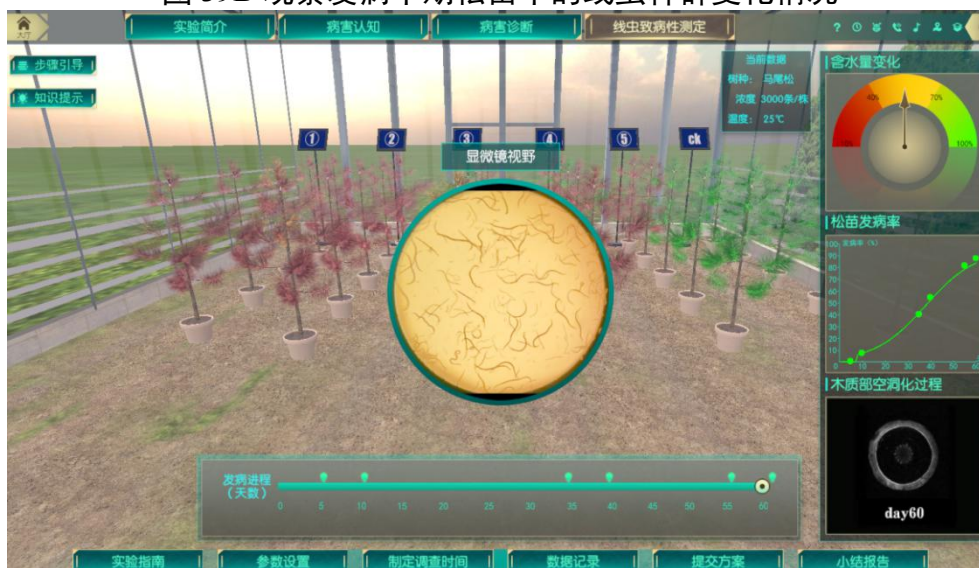


图 39C 观察发病后期松苗中的线虫种群变化情况

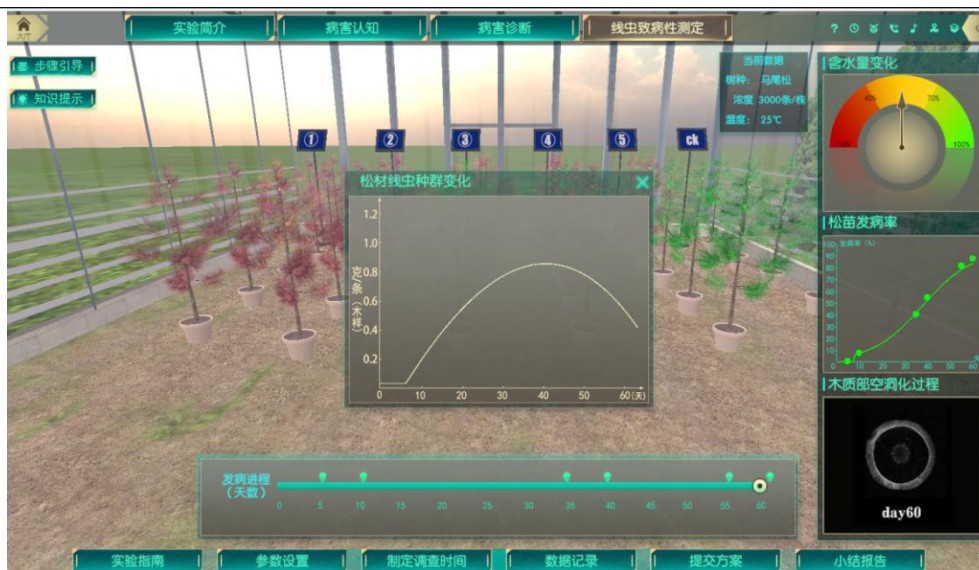


图 40 发病过程中松材线虫种群变化

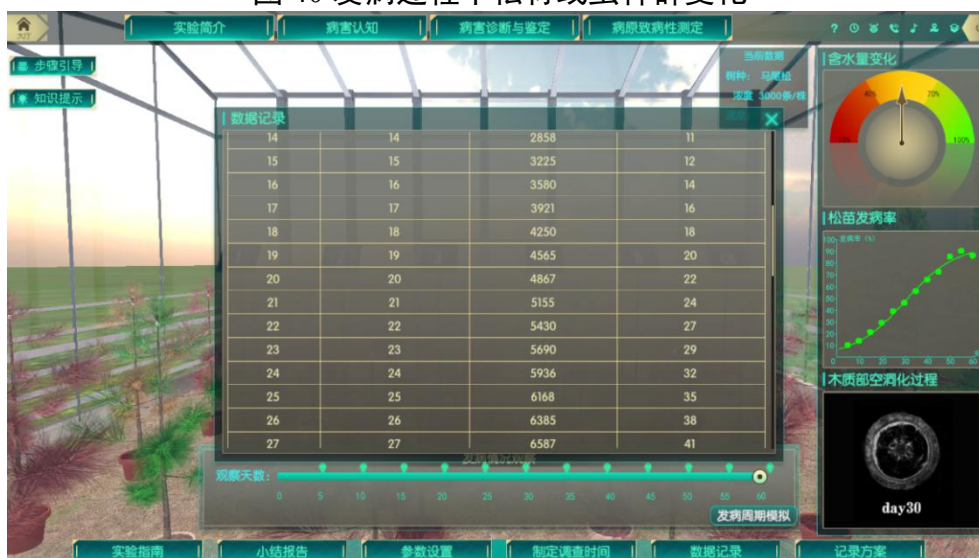


图 41 数据记录

操作效果：系统分析三个单变量接种方案的结果，获得各变量的合适参数，据此设计多变量接种方案，明确“病害三角”在病害发生中的关系。

步骤 13：综合接种方案优化

操作目的：引导并培养学生通过多次试验寻找最优方案的科学研究方法，并最终确定影响松材线虫致病性的关键参数。

操作过程：引导学生重复多次试验，结果将汇总在“记录方案”中，点击后可以直观地比较几次多因素综合设计实验的结果优劣（图 42）。选择最优的综合接种方案进行提交。



图 42 方案比较

操作效果：通过多次设计综合接种方案，分析松材线虫浓度、接种温度及树种三者对松树发病情况的影响，选择最优方案，明确“病害三角”在病害发生中的关系。

步骤 14：实验材料的无害化处理

操作目的：掌握检疫要求，对检疫性有害生物的相关实验材料进行正确管理

操作过程：考察学生对检疫性有害生物知识点的掌握。因为松材线虫是国际检疫对象，因此学生在实验结束后需根据检疫要求，模拟实际操作，对所有生物材料进行高压灭菌处理（图 43）。



图 43 实验材料的处理

点击主页中的“实验报告”按钮，根据系统自动生成的得分表，点击查看失分原因，对答错部分提供知识点回顾及原因分析，再次巩固复习。总结实验情况，在线提交存档（图 44）。

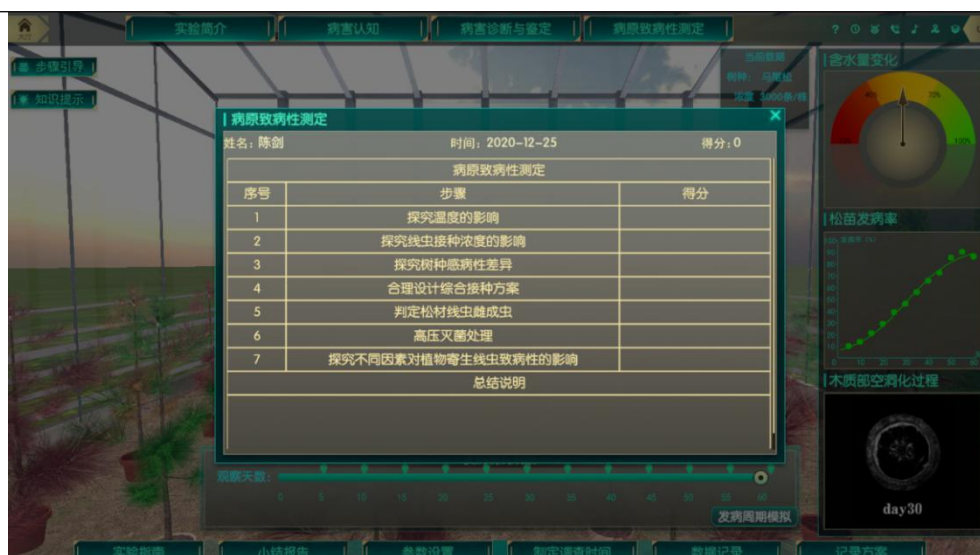


图 44 实验报告

操作效果：按照检疫要求对检疫性有害生物进行无害化处理。并对整个病害诊断及病原确定实验过程进行总结，明确病害发生的原因，撰写实验报告及心得体会。

3-7 实验结果与结论（说明在不同实验条件和操作下可能产生的实验结果与结论）

松材线虫病诊断及线虫致病性确定实验各环节可能产生的实验结果如下：

1. 病害诊断模块

病害诊断包括野外初步诊断和室内诊断。

（1）野外诊断

野外诊断主要是依据发病松树的症状表现和环境条件等来初步判断是否为松材线虫病。本实验中，虚拟野外发病林分场景中设置有不同原因导致的松树病害种类，要求学生通过观察记录各发病松树病树大小、针叶颜色、发病针叶长短、嫩梢、树皮、松脂分泌情况等特征，结合病树所处场景中的环境特征数据，初步判断是否由松材线虫引起。学生可能作出准确诊断，也可能由于对松材线虫病典型症状不熟悉而将松枯梢病、干旱致死树误诊为松材线虫感染。因此，病害初步诊断结果有 **2 种**：

- ① 正确诊断：将松材线虫引起的病树判断为疑似松材线虫感染；
- ② 错误诊断：将其他原因引起的病树误诊为疑似松材线虫感染。

（2）室内诊断

1) 线虫分离

室内诊断的第一步，学生首先要对所采集病树样品进行分离。由于第一步现场病害诊断结果不同导致采集的样品不同，加上线虫分离过程中所设置参数的不同，线虫分离实验结果至少有 **3 种**：

- ① 分离到松材线虫：病树诊断正确，线虫分离方法正确；
- ② 未分离到松材线虫：病树诊断错误，线虫分离方法正确。

③ 未分离到松材线虫：病树诊断正确，线虫分离方法不正确，比如加水量少或者设置的分离时间过短或温度过低。

2) 线虫形态鉴定

在分离获得线虫的情况下，学生于显微镜下，首先依据线虫的形态特征对其进行鉴定，由于病死松树木材中存在多种线虫，其形态差异较小，而且松材线虫雌雄成虫形态也有差异，实验结果有 **4 种**：

- ① 正确识别松材线虫雌、雄成虫；
- ② 正确识别松材线虫雌成虫，错误识别松材线虫雄成虫；
- ③ 正确识别松材线虫雄成虫，错误识别松材线虫雌成虫；
- ④ 错误识别雌、雄松材线虫。

3) 线虫分子鉴定

由于形态学鉴定存在着相似种难以区分、仅有幼虫或雄成虫不能进行鉴定等许多因素限制，所以，学生可以借助分子生物学手段对自己所作出的判断加以验证。学生需要理解如何对分子检测结果进行判读，实验结果有 **2 种**：

- ① 正确判读
- ② 错误判读

学生根据分子生物学检测结果，结合形态鉴定结果，给出一个检测报告。

2. 线虫致病性测定环节

(1) 松树感病性探究

学生自由选择树种进行线虫接种，比较不同松树发病率及发病进程，分析不同松种对松材线虫敏感性，实验结果有 **2 种**。

- ① 准确判断供试树种对松材线虫的敏感性；
- ② 错误判断供试树种对松材线虫的敏感性。

(2) 接种浓度对病害发生的影响

学生在虚拟场景中自由设计接种线虫的浓度。接种体密度影响着寄生关系的建立，由于所设置的线虫浓度不同，则松树发病率及发病进程不同，可能出现 **4 种** 不同的实验结果，在结果反馈的基础上，允许学生多次尝试，反复试验。

- ① 松树不发病；
- ② 松树发病，但发病率低，发病进程缓慢。
- ③ 松树发病，且发病率高，发病进程快。

学生通过反复比较不同浓度下的试验结果，得出结论：所接种线虫浓度要达到一定量，才能引起松树发病；接种浓度越高，发病进程越快，发病越严重。

(3) 环境温度对病害发生的影响

环境温度影响松材线虫的生长发育及繁殖，从而影响病害发生进展及严重程度，由于温度设置不同，可能出现以下 **3 种** 不同实验结果。

- ① 松树不发病；
- ② 松树发病，但发病率低，发病进程缓慢。

③ 松树发病，且发病率高，发病进程快。

在结果反馈的基础上，允许学生多次尝试，反复试验，通过分析比较不同环境温度条件下松树发病率及发病进程，探讨环境温度与松材线虫病发生的关系，明确适合于松材线虫病发生的环境温度

(4) 多变量综合接种方案设计

在反复比较不同因素对松材线虫病发生的影响后，确定不同因素的最佳参数，设计综合接种方案进行病害发生模拟。由于不同学生所选择的松种、设置的接种浓度及环境温度的不同，可能得出以下不同结果：

① 松树不发病；

② 松树发病，但发病率低，发病进程缓慢。

③ 松树发病，且发病率高，发病进程快。

学生经反复组合，优化出一个最佳方案。得出结论：在感病寄主存在、环境温度适合的情况下，接种合适的松材线虫浓度，将引起松材线虫病快速大面积发生。

3-8 面向学生要求

(1) 专业与年级要求（参考实验指导）

专业：生物科学、生物工程、森林保护学、林学等。

年级要求：包括从大二至大三的本科生及相关专业研究生。

(2) 基本知识和能力要求

要求使用本系统的本科生或研究生具备一定的微生物学、植物学、森林病理学、林学、分子生物学等专业基础知识。掌握病原确定经典法则“柯赫法则”，了解松材线虫病检疫技术规程 GBT23476-2009 国家标准，并掌握松材线虫病的野外诊断、流行病学特征、松材线虫分离及鉴定方法等重要知识点。具备查阅文献能力，了解该病害的国内外最新研究进展。

3-9 实验应用及共享情况

(1) 本校上线时间： 2019 年 9 月 1 日 （上传系统日志）

(2) 已服务过的学生人数：本校 472 人，外校 30 人

(3) 附所属课程教学计划或授课提纲并填写：

纳入教学计划的专业数：4 个。

具体专业：生物科学、生物工程、森林保护学、林学。

教学周期：3，学习人数：502

(4) 是否面向社会提供服务：○是 ○否

(5) 社会开放时间： 年 月 日

(6) 已服务过的社会学习者人数： 人

4. 实验教学特色

（该虚拟仿真实验教学课程的实验设计、教学方法、评价体系等方面的特色，限 800 字以内）

（1）科研反哺教学，符合创新型人才培养规律的实验设计

项目选题面向国家重大需求，针对松林最重大的检疫性病害“松材线虫病”防控环节中最关键的一环——病害诊断开展，实验后台数据来源于国家顶尖科研团队多年科研成果，其中包括国家科技进步二等奖 2 项，为本实验项目的开发提供了强大的数据支撑，促进最新成果、最新知识向课堂的转移，体现了创新性和高阶性，是科研反哺教学的典型案例。

各实验模块和环节均精心构思和设计，层层递进、环环相扣，将知识学习和能力提升有机融合，培养学生科学严谨的思维方式和解决复杂问题的综合能力。

（3）以学生为中心，教学方法突出自主性和探索性

采用“任务驱动式+情景浸入式+自主探究式”的多维互动式实验教学方法，构建认知、实践和探索模块，引导学生在虚拟仿真项目中探索各种实验可能性，激发学生的学习兴趣 and 主观能动性。实验首先模拟接到国家林草局的病害调查任务，学生进入高度仿真的虚拟环境中，身临其境、直观地参与松材线虫病调查、诊断全过程，在完成各环节任务和解决问题的过程中，通过自主学习、自主设计、

自主探索，发现知识、获取知识，增强了学生的创新意识和创造能力。

(3) 全过程、多层次考核，成绩评价客观合理

采用多层次考核方式全面评价学生的实验效果。整个实验共设置了 24 个考核点，注重对学生自主学习能力、实验能力及综合学习成果的考核。自主学习考察学生容错式探究实验中分析问题、解决问题的能力等；实验能力考察学生的实验参与度、实验的操作规范性、仪器操作和实验报告等；综合学习能力主要考察探究式学习过程中对实验结果与现象的分析能力。

(4) 实验过程加强思政元素

以松材线虫病导致大面积松树枯死、引发生态灾难的震撼场景开场，通过“知识角”提供丰富的松材线虫病相关资讯，激发学生投身保护森林，守护绿水青山的情怀；实验过程中融入思政元素，如若误诊则引发大面积松林染病，引导学生学好科学知识为行业发展和时代需求作出贡献，增强学生的社会责任感和使命感。

5. 实验教学在线支持与服务

(1) 教学指导资源： ☒ 教学指导书 ☒ 教学视频 ☒ 电子教材 ☒ 课程教案

(申报系统上传) ☒ 课件 (演示文稿) ☐ 其他

(2) 实验指导资源： ☒ 实验指导书 ☒ 操作视频 ☒ 知识点课件库 ☒ 习题库

(申报系统上传) ☒ 测试卷 ☒ 考试系统 ☐ 其他

(3) 在线教学支持方式： ☒ 热线电话 ☒ 实验系统即时通讯工具 ☒ 论坛

☒ 支持与服务群 ☐ 其他

(4) 15 名提供在线教学服务的团队成员；5 名提供在线技术支持的技术人员；教学团队保证工作日期间提供 4 小时/日的在线服务

6. 实验教学相关网络及安全要求描述

6-1 网络条件要求

(1) 说明客户端到服务器的带宽要求 (需提供测试带宽服务)

带宽要求：20M 下行对等带宽。

经测试客户机，带宽在 20M 以上时，能够有较快的加载速度和较好的交互体验。

本次测试基于主流配置计算机，模拟学生在校内校外不同的使用环境，最大

限度地还原用户上网学习虚拟仿真实验的需求。

测试一：物理连接链路测试。测试目的：测试客户机和虚拟仿真实验项目网站的延迟和丢包情况；测试方法：客户机对本次虚拟仿真实验项目网站进行 PING 操作。

测试二：网络质量测试。测试目的：测试不同网络环境访问本虚拟仿真实验页面的加载情况。测试方法：通过 IP 代理，测试客户机在不同地域环境下打开虚拟仿真实验项目网页的速度。

测试结果：

当客户机带宽小于 20M 时，丢包情况严重、网络延时都很高，部分环境延时可以达到 20ms 以上，丢包率超过 5%；

当客户机带宽小于 20M 的时候，在不同 IP 对本虚拟仿真实验网页打开的测试中，网页打开速度较慢，特别是课件加载卡顿现象也常有发生，访问效果不理想。

基于以上测试结果，我们推荐客户机的带宽应大于 20M。

（2）说明能够支持的同时在线人数（需提供在线排队提示服务）

本虚拟仿真项目的服务器最佳响应并发数为 300。

我们模拟用户访问虚拟仿真项目网站首页、用户登录和加载课件等操作。

经测试，当用户数量在 300 以下时，各项服务均能在 0.2s 内做出响应，服务器负载处于较低水平，课件加载也很快。当用户数达到 2000，服务响应时间维持在 0.8s 以内，但课件加载速度下降严重。当用户数达到 6000 时，服务响应时间超过 1s，服务器负载也超过了 80%。

基于以上测试结果我们认为本虚拟仿真项目服务器的最佳响应并发数为 300。

6-2 用户操作系统要求（如 Windows、Unix、IOS、Android 等）

（1） 计算机操作系统和版本要求

计算机操作系统为 Windows7、Windows8、Windows10

Deepin15.7（国产 Linux 系统）

（2） 其他计算终端操作系统和版本要求

无

（3） 支持移动端： ○是 ●否

6-3 用户非操作系统软件配置要求（兼容至少 2 种及以上主流浏览器）

(1) 非操作系统软件要求（支持 2 种及以上主流浏览器）

☒谷歌浏览器 ☐IE 浏览器 ☐360 浏览器 ☒火狐浏览器 ☐其他

(2) 需要特定插件 ☐是 ☒否

如勾选“是”，请填写：

插件名称：（插件全称）

插件容量：M

下载链接：

(4) 其他计算终端非操作系统软件配置要求（需说明是否可提供相关软件下载服务）

学生需要在 Windows7、Windows8、Windows10 系统环境下，使用以下浏览器打开：

浏览器类型	支持 WebGL	不支持 WebGL
Mozilla Firefox 52 及以上版本	支持	
Google Chrome 57 及以上版本	支持	
Apple Safari 11 及以上版本	支持	
MS Edge 16 及以上版本	支持	
360 浏览器	基于（Chrome）内核，并且开启极速模式、智能开启硬件加速情况下支持；存在右键划线问题，属于浏览器自身设置原因，关闭浏览器鼠标手势即可	基于（IE）内核，不支持

浏览器：Google Chrome

下载地址：http://dl.hdmool.com/tools/chrome_x64.exe

6-4 用户硬件配置要求（如主频、内存、显存、存储容量等）

(1) 计算机硬件配置要求

Web 端 用户硬件要求

处理器：Intel（R）Core（TM）i5

主频：2.4GHz

内存：8GB

显卡：NVIDIA GeForce GTX GT740 2G

(2) 其他计算终端硬件配置要求

无特殊要求，满足能上网功能即可。

6-5 用户特殊外置硬件要求（如可穿戴设备等）

(1) 计算机特殊外置硬件要求

无

(2) 其他计算终端特殊外置硬件要求：●无 ○有

如勾选“有”，请填写其他计算终端特殊外置硬件要求：

无

6-6 网络安全（实验系统要求完成国家信息安全等级二级认证）

(1) 证书编号：

32011243002-21001

(2) 请附信息系统安全等级保护备案证明

信息系统安全等级保护 备案证明	依据《信息安全等级保护管理办法》的有关规定， <u>南京林业大学</u> 单位
	的：
	第 <u>二</u> 级 <u>虚拟仿真实验教学共享平台</u> 系统
证书编号： 32011243002-21001	予以备案。
中华人民共和国公安部监制	 备案公安机关公章 2021年5月17日

7. 实验教学技术架构及主要研发技术

指标	内容
系统架构图及简要说明	本系统是基于 B/S 架构设计的虚拟仿真实验教学平台。系统采用轻量化的开发语言和模块化设计方案，部署简单、使用方便。系统支持分布式部署方案，可随使用情况动态扩充容量，基于容器化部署还可实现自动扩容，无需人为干预。 系统包含实验实训、实验报告、实验指南、数据统计、考试系统、帮助中心、收费系统、安全中心、资源中心、协同服务、学问系统和知识角等功能模块。系统除支持虚拟仿真实验外还可上传视频和其它文档资料，支持系统化课程体系学习。系统可对学生实验、学习数据做详细记录并分析每个学生的学习情况和整体学生知识掌握情况，实验报告系统可对学生提交的实验报告进行自动批阅也可由教师人工批阅或学生相互阅评。 系统用户可分为教师和学生两种角色。教师可发布实验资源、建设实验课程、设置课程共享信息、可查看发布课程的学习情况、可批阅学生实验报告和考试。学生可报名参与课程，可观看报名课程的视频操作课程的实验资源，可查看个人的学习情况，可评价学习课程、参与课程讨论，可参与实验报告互评等。 The diagram illustrates the system architecture, showing the flow from the Application Layer (应用层) through the Simulation Layer (仿真层), Gate Way (网关), Service (服务), and Database & File (数据库与文件) layers. Key components include Disease Recognition (病害认知), Disease Diagnosis (病害诊断), Wireworm Pathogenicity Determination (线虫致病性测定), Visualization (可视化), Virtual Equipment (虚拟设备), Modeling and Assembly (建模与装配), Scenario Components (场景构件), Simulation Analyzer (仿真分析器), Security Authentication (安全认证), Permission Verification (权限校验), Teaching (教学), Management (管理), Social Service (服务社会), Student Services (学生服务), Teacher Services (教师服务), Micro-experiment Upload (微实验上传), Video Upload (视频上传), Micro-experiment Teaching (微实验教学), Video Broadcast (视频点播), Micro-experiment Log (微实验日志), Video Live Broadcast (视频直播), Experiment Practice (实验实训), Experiment Report (实验报告), Experiment Guide (实验指南), Exam System (考试系统), Data Statistics (数据统计), Knowledge Corner (知识角), Resource Center (资源中心), Help Center (帮助中心), Security Center (安全中心), Main Database (主数据库), Redis Clusters (Redis 集群), MongoDB Cluster (Mongodb 集群), and Backup Services (备份服务).

实验 教学	开发技术	☒ VR ☐ AR ☐ MR ☒ 3D 仿真 ☐ 二维动画 ☐ HTML5 ☐ 其他
	开发工具	☒ Unity3D ☒ 3D Studio Max ☒ Maya ☐ ZBrush ☐ SketchUp ☐ Adobe Flash ☐ Unreal Development Kit ☐ Animate CC ☐ Blender ☐ Visual Studio ☐ 其他
	运行环境	服务器 CPU <u>16</u> 核、内存 <u>32</u> GB、磁盘 <u>1000</u> GB、 显存 <u>16</u> GB、GPU 型号 <u>NVIDIA GRID K1</u> 操作系统 ☐ Windows Server ☒ Linux ☐ 其他 具体版本：centos7 数据库 ☒ Mysql ☐ SQL Server ☐ Oracle ☐ 其他 备注说明 （需要其他硬件设备或服务器数量多于 1 台时 请说明） 是否支持云渲染： ☐ 是 ☐ 否
	实验品质(如： 单场景模型总 面数、贴图分 辨率、每帧渲 染次数、动作 反馈时间、显 示刷新率、分 辨率等)	单场景模型总面数：40 万三角面 贴图分辨率：512*512 每帧渲染次数：30fps 动作反馈时间：1/90s 显示刷新率：60HZ 分辨率：4K

8. 实验教学课程持续建设服务计划

(本实验教学课程今后 5 年继续向高校和社会开放服务计划及预计服务人数)

(1) 课程持续建设

日期	描述
第一年	现有软件的完善和升级。增加枝条枯死型病害案例
第二年	现有软件的完善和升级。增加北方省份病害案例
第三年	现有软件的完善和升级。增加西部省份病害案例
第四年	现有软件的完善和升级。增加中部省份病害案例
第五年	虚拟仿真实验体系定型

其他描述：根据国内外最新研究成果及学习者的反馈，及时更新实验内容，对现有软件功能进行更新和升级。持续扩充习题库，提供更多、更全面的测评。项目将继续丰富知识角内容，补充国内外松材线虫病相关研究最新成果、最新资讯。

2021-2022 年学校针对每门申报国家级虚拟仿真实验教学项目拨款 20 万-45 万元，所有经费专门用于项目的持续建设工作。

(2) 面向高校、社会的教学推广应用计划

日期	推广高校数	应用人数	推广行业数	应用人数
第一年	1-2 所	200	全国森防系统	200
第二年	1-2 所	500	全国森防系统	200
第三年	1-2 所	600	全国森防系统	300
第四年	1-2 所	600	全国森防系统	400
第五年	1-2 所	800	全国森防系统	500

其他描述：

2022 年至 2025 年，计划将本系统推广到国内的一些农林类院校。如北京林业大学、东北林业大学、山东农业大学、河北农业大学、浙江农林大学、福建农林大学、广西大学、中南林业科技大学、西北农林科技大学、黄山学院等高校。

加强与国家林业和草原局合作，在每年举办的全国松材线虫病监测鉴定技术培训班课程中使用；加强与各省林业厅合作，在每年各省松材线虫病监测鉴定技术培训班课程中使用；或利用本课程对进行远程培训，助力提升我国松材线虫病防控水平，加强教学理论联系实际。

9. 知识产权

软件著作权登记情况	
以下填写内容须与软件著作权登记一致	
软件名称	松材线虫病诊断虚拟仿真实验软件
是否与课程名称一致	☐ 是 ☒ 否
每栏只填写一个著作权人，并勾选该著作权人类型。如勾选“其他”需填写具体内容；如存在多个著作权人，可自行增加著作人填写栏进行填报。	
著作权人	著作权人类型
南京林业大学	☒ 课程所属学校 ☐ 企业 ☐ 课程负责人 ☐ 学校团队成员 ☐ 企业人员 ☐ 其他
权利范围	全部权利
软件著作登记号	2020SR1176851
如软件著作权正在申请过程中，尚未获得证书，请填写受理流水号。	
受理流水号	

10. 诚信承诺

本团队承诺：申报课程的实验教学设计具有一定的原创性，课程所属学校对本实验课程内容（包括但不限于实验软件、操作系统、教学视频、教学课件、辅助参考资料、实验操作手册、实验案例、测验试题、实验报告、答疑、网页宣传图片文字等组成本实验课程的一切资源）享有著作权，保证所申报的课程或其任何一部分均不会侵犯任何第三方的合法权益。 实验教学课程负责人（签字）： 2021 年 06 月 08 日
--

11. 附件材料清单

1. 课程团队成员和课程内容政治审查意见（必须提供）

（申报课程高校党委负责对本校课程团队成员以及申报课程的内容进行政审，出具政审意见并加盖党委印章；团队成员涉及多校时，各校党委分别对本校人员出具意见；非高校成员由其所在单位党组织出具意见。团队成员政审意见内容包括政治表现、是否存在违法违纪记录、师德师风、学术不端、五年内是否出现过重大教学事故等问题；课程内容审查包括价值取向是否正确，对于我国政治制度以及党的理论、路线、方针、政策等理解和表述是否准确无误，对于国家主权、领土表述及标注是否准确，等等。）

2. 课程内容学术性评价意见（必须提供）

〔由学校学术性组织（校教指委或学术委员会等），或相关部门组织的相应学科专业领域专家（不少于3名）组成的学术审查小组，经一定程序评价后出具。须由学术性组织盖章或学术审查小组全部专家签字。无统一格式要求。〕

3. 校外评价意见（可选提供）

（评价意见作为课程有关学术水平、课程质量、应用效果等某一方面的佐证性材料或补充材料，可由课程应用高校或社会应用机构等出具。评价意见须经相关单位盖章，以1份为宜，不得超过2份。无统一格式要求。）

关于对《松材线虫病诊断及线虫致病性测定虚拟仿真实验》 课程团队成员及课程内容的政治审查意见

本校对《松材线虫病诊断及线虫致病性测定虚拟仿真实验》课程团队成员：叶建仁、朱丽华、林司曦、陈凤毛、黄麟、吴小芹、丁晓磊、郝德君、谈家金、孙辉、姜姜、戴婷婷、毛胜凤、樊奔、赵银娟同志的情况进行了审查。经审查，以上同志始终拥护党的路线、方针、政策，政治立场坚定，政治表现良好，政治历史清楚，日常生活遵纪守法，具有良好的社会公德。

《松材线虫病诊断及线虫致病性测定虚拟仿真实验》课程内容政治方向正确，政治原则、政治立场和政治方向与党中央保持高度一致，坚持正确的价值取向，符合社会主义核心价值观的要求，对国家主权、领土表述及标注准确，不存在政治性、思想性、科学性和规范性问题以及侵犯知识产权、肖像权等问题。

中共南京林业大学委员会

2021年6月8日

关于第二批国家级一流本科课程推荐课程 课程团队成员和课程内容的政治审查意见

经审查，郑馨语、李乃斌、邢书恒、李静、赵大力 政治表现优秀，无违法违纪记录，无师德师风问题，无学术不端行为，五年内未出现过重大教学事故。由以上团队参加的南京林业大学松材线虫病诊断及线虫致病性测定 课程内容价值取向正确，对于我国政治制度以及党的理论、路线、方针、政策等理解和表述准确无误，对于国家主权、领土表述及标注准确。

同意该课程参与第二批国家级一流本科课程申报。

南京恒点信息技术有限公司（盖章）



松材线虫病诊断及线虫致病性测定虚拟仿真实验教学系统

课程内容学术性评价意见

南京林业大学开发的“松材线虫病诊断及线虫致病性测定虚拟仿真实验”，依托先进的虚拟仿真技术以及教学团队多年长期积累的科研成果，在高度仿真的虚拟场景中再现病害诊断全过程，成功解决了松材线虫病诊断实验耗时长、破坏性实验不可逆、对场所要求高、在广大非疫区学校不具备开设条件等一系列问题，有效弥补了课堂教学实训不足的缺点。

项目建设团队长期致力于松材线虫病研究，承担多项松材线虫病相关国家级项目，围绕该病害的病原、流行规律、早期诊断技术等方面取得多项突破性成果，荣获国家科技进步二等奖 2 项、教育部科技进步一等奖 1 项，制定松材线虫病分子检测国家标准 1 项。本实验教学系统的主体内容，是当前国内外在松材线虫病诊断和致病性测定中最实用和最前沿的方法和技术，建模数据均源于本团队多年研究工作的积累，既保证了实验内容的科学性和结果的准确性，又体现了创新性和高阶性。

该实验项目各实验模块和环节均经过精心构思和设计，将极为复杂的野外病害诊断及病原确定实验具体化、环节化，从理论学习、实践操作、到自主设计层层递进，从野外大型发病林分场景、室内线虫分离、温室大棚致病性测定场景到显微镜下的微观场景，实现病害诊断全流程高度仿真，学生身临其境开展实验，有效巩固学生对理论知识的理解，提高学生的实践创新能力。

同时，将专业知识和生态文明建设相结合，巧妙融入思政元素，引导学生利用科学知识为行业发展和时代需求作出贡献，增强学生的社会责任感和使命感。

专家签字：

年 月 日

松材线虫病诊断及线虫致病性测定虚拟仿真实验教学系统

使用效果评价

南京林业大学开发的“松材线虫病诊断及线虫致病性测定虚拟仿真实验”，依托先进的虚拟仿真技术以及森林保护团队多年长期积累的科研成果，在高度仿真的虚拟场景中再现病害诊断全过程，成功解决了松材线虫病诊断实验耗时长、破坏性实验不可逆、对场所要求高、在广大非疫区学校不具备开设条件等一系列问题，有效弥补了课堂教学实训不足的缺点。

该实验项目各实验模块和环节均经过精心构思和设计，将极为复杂的野外病害诊断及病原确定实验具体化、环节化，从理论学习、实践操作、到自主设计层层递进，从野外大型发病林分场景、实验室内线虫分离、温室大棚致病性测定场景到显微镜下线虫鉴定的微观场景，实现诊断全流程的高度仿真，学生身临其境开展实验，有效巩固学生对理论知识的理解，提高学生的病害诊断能力，是科研反哺教学的典型案例。

该项目采用任务驱动式、情景体验式、自主探究式等多维互动式实验教学方法，充分体现以学生为主体的教学理念，激发学生的学习兴趣和主观能动性。综合采用观察法、比较法、控制变量、自主设计等方法，体现了项目的创新性和挑战度。

该项目在我院使用取得了良好的教学效果，学生普遍给予了高度评价，认为该项目突破了摆脱了传统实验教学的时空限性，实现了非病害发生区实验教学，并且做到随时实验、随地实验，极大调动了学生学习的主动性和参与度，拓展了实验教学内容的深度和广度，提升了学生的实践能力及创新能力。

