

## 案例五 木霉菌 (*Trichoderma*) 的前世今生

### ——木霉菌可湿性粉剂的研制与应用

贺字典 高玉峰 刘敏  
河北科技师范学院

#### 【案例说明】

本案例适用于资源利用与植物保护专业研究生。作物土传病害如根腐病、枯萎病、疫病和气传病害如白粉病、霜霉病等严重影响着果实品质与产量，学生在学习这些病害的症状、发生规律、化学防治药剂的基础上，掌握如何筛选抑菌这些病原菌的木霉菌、如何筛选助剂将木霉菌研制成可湿性粉剂，测定菌剂的田间防治效果。

#### 【教学重点】

- 1、木霉菌的多功能性与作用机理：是认识其高效性和广谱性的关键。
- 2、可湿性粉剂的创制：从“菌”到“剂”的转化过程，是本案例的核心实践环节。

#### 【教学难点】

- 1、木霉菌作用机理与防治效果间的关联。

#### 【教学计划】

- 1、授课案例通过邮件于开课前一周发给学生，提示学生课前阅读相关材料；以组为单位，每位小组选择一种病害，制定用木霉菌产品防治该病害的方案，制作 PPT，上课时汇报。
- 2、课时分配（时间安排）：按照 2 节课 100 分钟的时间安排课程进程。课堂内容讲解 40~50 分钟；汇报 30~40 分钟，总结 10~20 分钟。

#### 【问题】

- 1、目前木霉菌已报道 200 多个种，市场上开发成产品的木霉菌种的报道有多少？
- 2、木霉菌对峙培养抑菌率很高，田间应用时受到什么条件影响其防治效果？
- 3、木霉菌剂的助剂与化学农药助剂有什么不同？为什么？

#### 【教学过程】

主要分为：背景介绍——案例引入——问题设置——分组讨论——课堂讨论总结——课后作业布置——考核——教学效果评价，共 8 个步骤。

#### 【案例背景】

化学农药在现代农业病虫草害的防治发挥着重要作用，化学农药的弊端也越来越明显。因此农业部在《到 2020 年农药使用量零增长行动方案》中明确规定“主要农作物病虫害生物、物理防治覆盖率达到 30%以上、比 2014 年提高 10 个百分点”因此如何降低化学农药的使用量是资源利用与植物保护专业研究生需要解决的重大问题，木霉菌作为三大活体微生物之一，不仅能防治 29 属真菌病害，还具备解磷、解钾等功能。让我们穿越时空，探索木霉菌的前世今生，揭开这个微小生命体如何影响并改变我们的农业实践和生态环境。

#### 一、木霉菌种类：木霉菌家族开枝散叶

自 Persoon 1794 年建立木霉属 (*Trichoderma*) 以来，木霉菌以其具有分布广泛、生存能力强、适应性广、拮抗植物病原真菌、分泌纤维素酶和几丁质酶等特点，不仅在土壤微生物群落中占有重要的地位，而且在农业和工业生产中起到了重要作用，因此备受各国学者的关注。由于木霉菌的形态特征复杂，又缺乏稳定性，使得木霉菌的种类鉴定长期处于混乱状态，1969 年前，木霉菌的种类鉴定或是依据 Gilman 的工作，或是各行其是，没有统一的标准。1969 年 Rifai 和 Webster 依据对 *Hypocrea* 属的分生孢子阶段的研究，确定了 9 个木霉菌集合种，是木霉菌分类史上一个重要里程碑。木霉菌的分类鉴定经历了从传统形态学到现代分子生物学的漫长演进过程。。随着科技发展，多基因联合分析 (ITS、TEF 1- $\alpha$  和 RPB2 基因) 成为了更可靠的鉴定方法，使木霉菌的分类更加精确。近年来，

研究人员不断地报道新种。这些发现不仅丰富了木霉菌的种质资源库，也为开发本地化生物防治菌剂提供了重要资源。

#### 1、非洲哈茨木霉 *Trichoderma afroharzianum*

在 PDA 培养基上活化后，气生菌丝生长迅速。菌落圆形，初期为白色，逐渐变成绿色。菌丝丝状，较细长，呈棉絮状，从中心向四周辐射状生长。分生孢子梗呈烧瓶形至安瓿形，中间膨大，顶端最细并可产孢，瓶梗细胞单生或 2~5 个轮生。分生孢子呈球形或椭球形，单细胞，表面光滑，淡绿色，老熟后呈深绿色（图 1）。

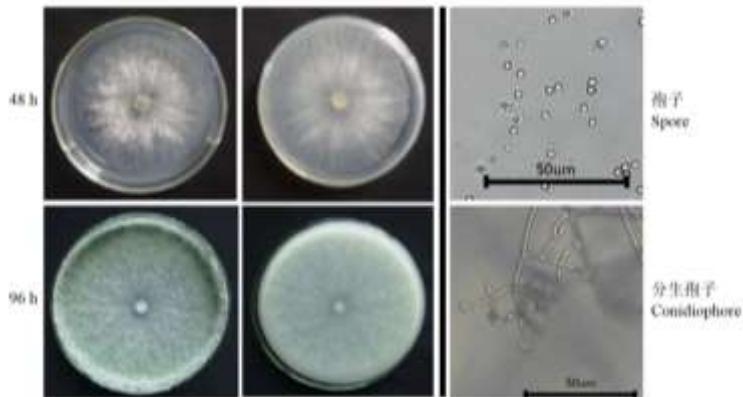


图 1 非洲哈茨木霉 *Trichoderma afroharzianum*

#### 2、哈茨木霉 (*Trichoderma harzianum*)

菌落为绒毛状，正面初期为白色，最终变成深绿色，具有同心圆状轮纹，菌饼中央可见明显的菌丝消退现象，菌落背面为黄白色，呈放射状。显微镜下可见分生孢子梗从菌丝侧枝长出，粗短，瓶茎近球形，尖端变细，分生孢子光滑，近球形（图 2）。

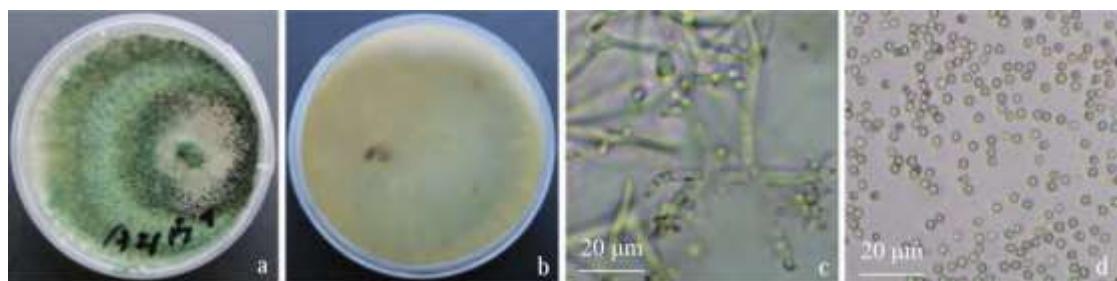


图 2 哈茨木霉

#### 3、拟康宁木霉 (*Trichoderma pseudokoningii*)

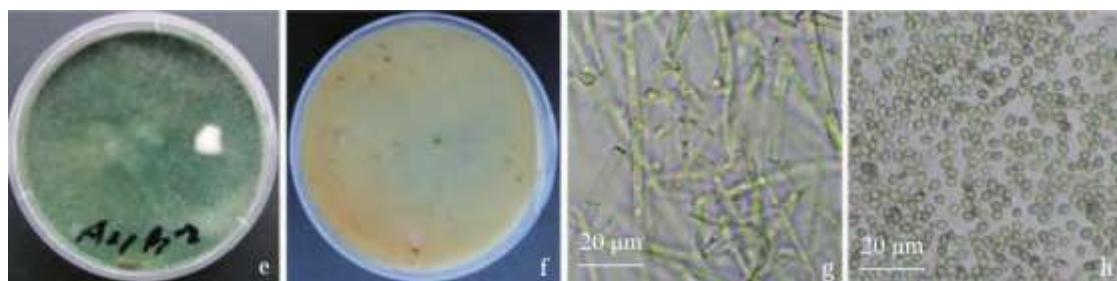


图 3 拟康宁木霉 (*Trichoderma pseudokoningii*)

菌落为羊毛毡状，菌落正面初期为白色，最终变成深绿色，有不规则出现的白色绒毛状突起，菌落背面为黄白色，均匀分布。显微镜下可见分生孢子梗从菌丝侧枝长出，对称生长，瓶茎呈长瓶梗状，分生孢子光滑，呈椭圆形（图 3）

#### 4、长梗木霉 *Trichoderma longiflalicum*

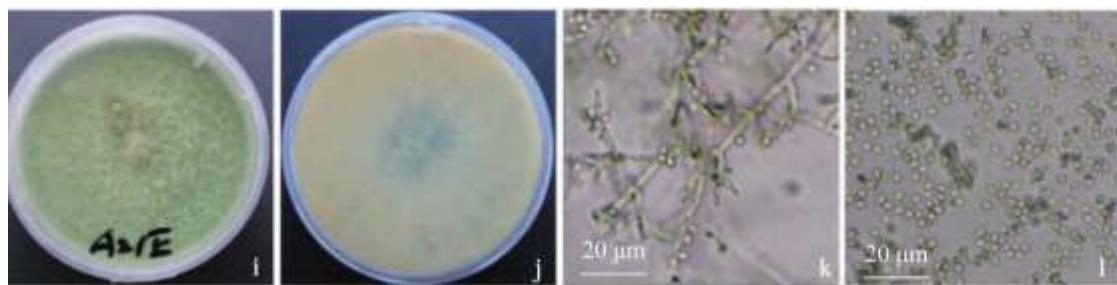


图 4 长梗木霉 *T. longifialidicum*

长梗木霉菌落为羊毛毡状，菌落正面初期为黄白色，最终变成浅绿色，菌落背面为黄白色，呈现放射状。显微镜下可见分生孢子梗从菌丝侧枝长出，较多分枝，瓶茎呈瓶梗状，分生孢子光滑，呈圆或椭圆形（图 4）。

#### 5、钩状木霉 (*Trichoderma hamatum*)

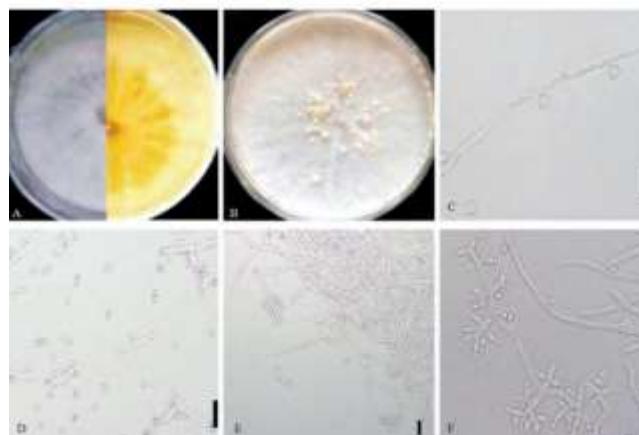


图 5 钩状木霉 (*Trichoderma hamatum*)

在 PDA 培养基上生长较快，培养 3 d 时半径为 30 mm，6 d 能长满整个平皿；菌落白色，棉絮状，菌丝具长主轴，透明，有隔，分支较多，平皿反面为淡黄色；培养 8 d 时形成少量浅黄色产孢簇，随着时间推移，产孢簇变为灰绿色；分生孢子梗 3~5 轮生，主枝粗壮，波状弯曲，梗上半部具分支，呈钩状，瓶梗近球形至椭球形，分生孢子呈椭圆形，大小  $(1.18\text{--}2.02) \mu\text{m} \times (1.73\text{--}2.85) \mu\text{m}$ ；厚垣孢子为浅绿色，呈椭球形，大小为  $(1.83\text{--}4.66) \mu\text{m} \times (1.97\text{--}4.78) \mu\text{m}$ 。

#### 6、绿色木霉 (*Trichoderma viride*)

绿色木霉在 PDA 培养基上生长迅速，3d 便可长满整个培养皿。菌株菌落正面呈羊毛毡状，初期为白色，后为绿色，背面后期逐渐由白色变为浅绿色；分生孢子梗细长弯曲，安瓿瓶状，次级分枝对生，可产生大量分生孢子；分生孢子绿色，椭圆形或卵圆形，簇生于小梗顶端（图 6）。

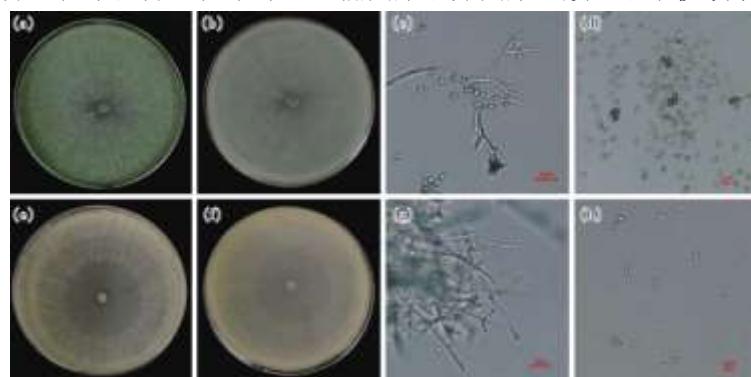


图 6 绿色木霉 (*Trichoderma viride*)

#### 7、渐绿木霉 (*Trichoderma viride*)

菌丝为绒毛状，菌落形态呈现放射状向四周生长，有规则状轮纹，初为白色，后为淡黄色，且菌饼中央伴有菌丝消退现象；分生孢子梗透明呈瓶梗状多为对称生长，分生孢子浅绿色，椭圆形或卵圆形（图 7）。



图 7 漸綠木霉 (*Trichoderma viride*)

#### 8、棘孢木霉 *Trichoderma asperellum*

在 PDA 培养基上初培养时菌落为白色，无明显轮纹和辐射状形态，培养 72 h 可长满 9 cm 培养皿，生长速度较快，其气生菌丝茂密，5 d 后由中间向四周产生绿色的分生孢子，随后覆盖整个平板分生孢子梗分隔不明显，分枝常对生，与主轴夹角近 90°。其上的瓶梗呈现对称分布，顶端具有两个或者多个瓶梗。瓶梗直，安瓿形，仅在中部稍微加粗，顶生分生孢子。分生孢子球形至卵圆形，大小为  $2.50 \mu\text{m} \times 1.90 \mu\text{m}$ ，单胞、浅绿色，表面有细刺状突起（图 8）。



图 8 棘孢木霉

#### 9、贵州木霉(*Trichoderma guizhouense*)

贵州木霉产孢区主要分布在中央和边缘，呈黑绿色，菌丝透明有隔，分生支短，垂直于菌丝，瓶梗为安瓿形，分生孢子近球形、绿色。

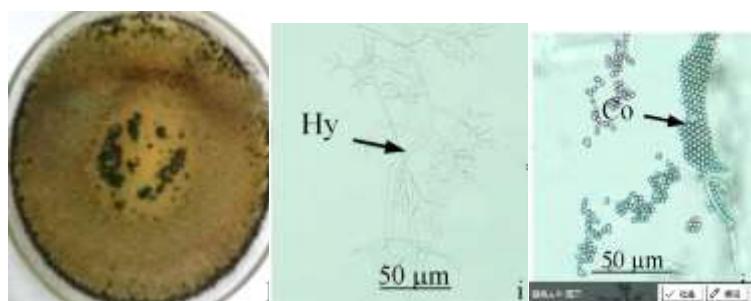


图 9 贵州木霉 (*Trichoderma guizhouense*)

#### 10、深绿木霉 *Trichoderma atroviride*

气生菌丝多，无成堆产孢簇，产孢区均匀分布，分生孢子梗为单侧分支，也见对生分支，分支夹角近似直角，孢子绿色、球形。

#### 11、短密木霉 *Trichoderma brevicompactum*

具明显同心圆菌落，中心不育，产孢区绿色，菌落边缘不规则，分支多为对生，夹角<90°，瓶梗多为安瓿形，孢子近球形、绿色。

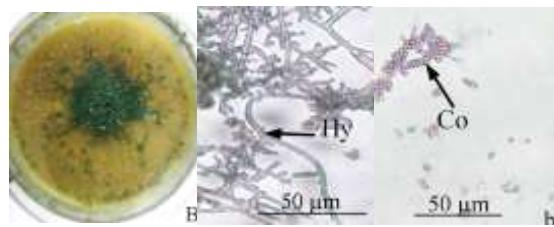


图 10 深绿木霉 *Trichoderma atroviride*

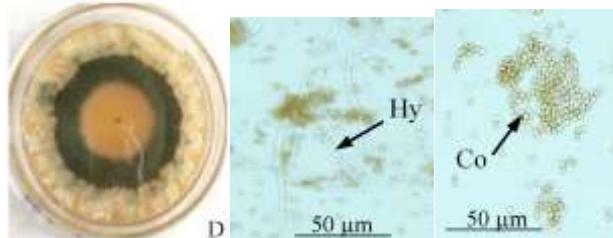


图 11 短密木霉 *Trichoderma brevicompactum*

12、长枝木霉 *Trichoderma longibrachiatum*

长枝木霉菌落产孢区呈同心轮纹排列，暗绿色，一般有白色斑点，菌丝分支常单生，瓶梗为圆柱形，孢子绿色椭圆形，有端生的厚垣孢子，亚球形。



图 12 长枝木霉 *Trichoderma longibrachiatum*

13、突里巴木霉 *Trichoderma turrialbense*

产孢区平坦，有明显的同心圆结构，菌落产孢呈深绿色，分支多为对生，夹角近似直角，瓶梗为安瓿形，孢子近球形、绿色。

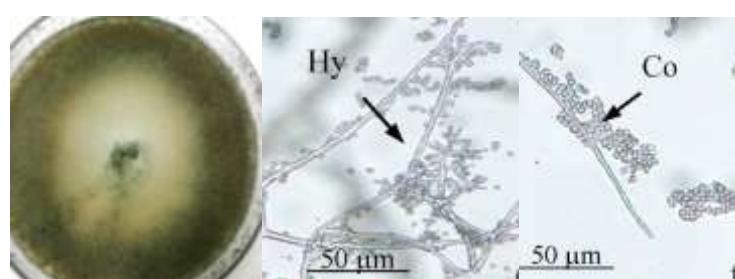


图 13 突里巴木霉 *Trichoderma turrialbense*

14、猬木霉 *Trichoderma erinaceus*

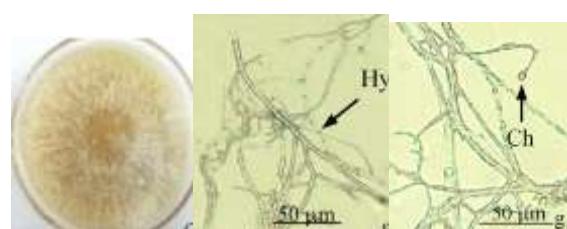


图 14 猬木霉 *Trichoderma erinaceus*

有大量气生菌丝，白色，呈放射状生长，分生孢子梗对生，有可育延伸物，孢子为椭圆形，有端生厚垣孢子。

15、黄绿木霉 *Trichoderma aureoviride* 菌落表面呈草坪状菌苔，产孢区呈墨绿色，分支少，瓶梗在分生孢子梗的着生点开始生长，沿着分生孢子梗不规则分布，少对生，孢子为黄绿色，呈棍棒状或椭圆形。

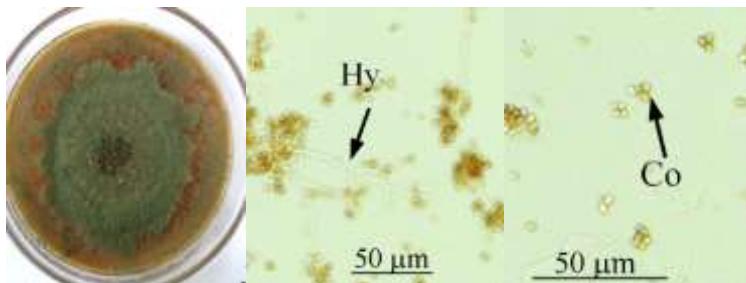


图 15 黄绿木霉 *Trichoderma aureoviride*

## 二、木霉菌的生物防治机制

木霉菌最引人注目的特性是其卓越的生物防治能力。作为一类重要的生防真菌，木霉菌能够通过多种机制抑制植物病原菌的生长和繁殖。

### 1、抗菌代谢产物的合成

木霉菌能够产生多种抗菌类次生代谢产物，即木霉菌素（trichodermin）。降解病原菌细胞壁中的几丁质（如镰刀菌、丝核菌的细胞壁主要成分）。*T. harzianum* 产生的 Chit42 (42 kDa 内切几丁质酶)；*T. atroviride* 分泌的 CHIT36 这些抗菌物质通过破坏病原菌细胞膜结构，使其丙二醛含量增加，同时降低  $\beta$ -葡萄糖苷酶、多聚半乳糖醛酸酶等致病因子活性 12.28%~64.91%，从而有效抑制病原菌侵染。

### 2、竞争作用与重寄生

木霉菌具有强大的生长繁殖能力，能够快速占领空间和营养资源，与病原菌竞争生态位和营养物质。同时，它们还能够直接寄生在病原菌上，缠绕病原菌菌丝，穿透病原菌细胞壁，从而抑制病原菌的生长。

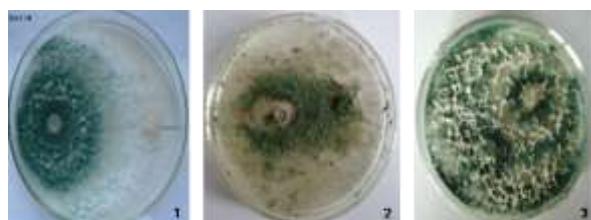


图 16 木霉菌的竞争作用

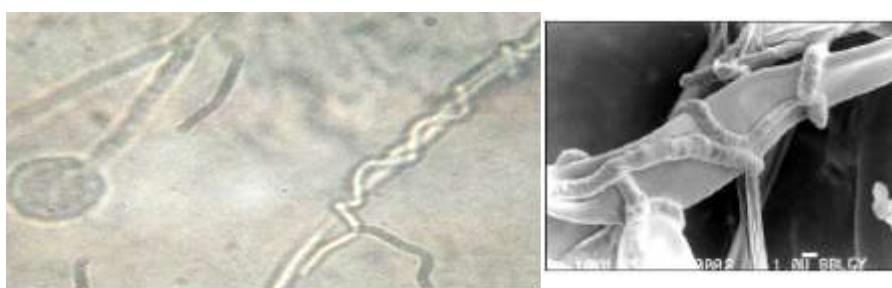


图 17 哈茨木霉对灰葡萄孢的重寄生

图 18 哈茨木霉寄生立枯丝核菌

### 3、诱导系统抗性

木霉菌能够激活植物的天然防御机制，增强植物对病原菌的抵抗力。研究表明，木霉菌与植物根系互作后，能够诱导植物产生系统性抗性，使植物整体抗病能力提升。



图 19 深绿木霉对辣椒根系的促生作用

表 1 木霉菌的生物防治机制及应用方向

作用机制	具体过程	应用方向
抗菌物质产生	产生木霉菌素等次生代谢产物，破坏病原菌细胞膜	农用抗生素开发
竞争作用	竞争生态位和营养物质，抑制病原菌生长	活体菌株施用
重寄生作用	缠绕和穿透病原菌菌丝，导致病原菌死亡	土壤接种剂
诱导系统抗性	激活植物天然防御机制，增强整体抗病能力	代代谢产物制剂

### 三、木霉菌可湿性粉剂的研制

#### 1、助剂筛选

##### (1) 载体筛选

表 2 载体对木霉菌落直径和分生孢子量的影响

载体 Carrier	菌落直径 (cm) Colony diameter			分生孢子量 ( $\times 10^8$ cfu/mL) Conidia quantities		
	30	50	100	30	50	100
凹凸棒土	8.02±0.15a	7.74±0.03abc	7.78±0.03abc	1.85±0.05e	1.51±0.36e	1.90±0.10d
高岭土	8.26±0.06a	8.12±0.10a	8.02±0.03a	4.61±0.09a	4.49±0.17a	4.53±0.12a
膨润土	7.42±0.16b	7.64±0.01bc	7.62±0.04c	3.83±0.01c	3.84±0.04c	3.92±0.08c
硅藻土	7.84±0.08ab	7.46±0.09c	7.74±0.04bc	4.18±0.09b	4.24±0.07ab	4.27±0.12b
生物炭	4.96±0.30c	5.24±0.27d	4.94±0.18d	0.25±0.03f	0.26±0.03f	0.25±0.02e
白炭黑	7.94±0.05ab	8.02±0.03ab	8.00±0.01ab	4.10±0.04b	4.12±0.05b	4.17±0.08b
CK	7.86±0.05ab	7.86±0.05abc	7.86±0.05abc	2.00±0.04d	2.00±0.04d	2.00±0.04d

##### 2、润湿剂筛选

表 3 润湿剂对木霉菌落直径和分生孢子量的影响

润湿剂 Wetting agent	菌落直径 (cm) Colony diameter			分生孢子量 ( $\times 10^8$ cfu/mL) Conidia quantities		
	30	50	100	30	50	100
PEG	6.28±0.11c	7.86±0.04b	7.68±0.23b	2.29±0.08c	2.84±0.07c	2.84±0.08c
K12 粉	0.90±0.00d	0.90±0.00c	0.90±0.00c	0.00±0.00d	0.00±0.00d	0.00±0.00d
木质素磺酸钠	8.52±0.05a	8.4±0.03a	8.50±0.07a	3.61±0.03b	2.96±0.07b	3.54±0.15b
SDBS	0.90±0.00d	0.90±0.00c	0.90±0.00c	0.00±0.00d	0.00±0.00d	0.00±0.00d
拉开粉	0.90±0.00d	0.90±0.00c	0.90±0.00c	0.00±0.00d	0.00±0.00d	0.00±0.00d
CK	7.98±0.07b	7.98±0.07b	7.98±0.07b	4.28±0.03a	4.28±0.03a	4.28±0.03a

### 3、分散剂筛选

表 4 分散剂对木霉菌落直径和分生孢子量的影响

浓度 mg/mL 分散剂	菌落直径 (cm)			分生孢子量 ( $\times 10^8$ cfu/mL)			
	Colony diameter	30	50	100	Conidia quantities	30	50
Dispersing agent		30	50	100	30	50	100
CMC-Na	5.48±1.08b	8.10±0.06a	8.02±0.02a	2.15±0.10a	2.31±0.03a	2.44±0.08a	
吐温-80	7.02±0.32ab	7.94±0.13a	7.78±0.02c	1.95±0.08b	2.10±0.1b	1.99±0.02b	
K12 粉	0.90±0.00c	0.90±0.00c	0.90±0.00d	0.00±0.00c	0.00±0.00d	0.00±0.00c	
PVA	7.58±0.19a	7.50±0.07b	7.94±0.04ab	1.90±0.1b	1.91±0.03c	1.97±0.16b	
SDBS	0.90±0.00c	0.90±0.00c	0.90±0.00d	0.00±0.00c	0.00±0.00d	0.00±0.00c	
CK	7.86±0.05a	7.86±0.05a	7.86±0.05bc	2.01±0.04b	2.01±0.04b	2.01±0.04b	

### 4、保护剂筛选

表 5 保护剂对木霉菌落直径和分生孢子量的影响

浓度 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 保护剂	菌落直径 (cm)			分生孢子量 ( $\times 10^8$ cfu/mL)			
	Colony diameter	300	500	1000	Conidia quantities	300	500
Protective agent		300	500	1000	300	500	1000
CMC-Na	7.70±0.12c	8.10±0.06ab	8.02±0.02b	4.24±0.04c	4.54±0.27b	4.39±0.11c	
炭黑	8.34±0.12a	8.42±0.16a	8.36±0.11a	5.90±0.05a	5.57±0.15a	6.06±0.06a	
糊精	7.84±0.17bc	7.96±0.04b	8.10±0.07ab	3.50±0.34d	3.35±0.08c	3.41±0.03de	
维 C	8.14±0.10ab	8.14±0.11ab	7.98±0.12b	3.66±0.09d	3.71±0.11c	3.58±0.18d	
卵磷脂	8.02±0.03abc	5.96±0.05c	5.76±0.03c	3.56±0.09d	3.45±0.27c	3.21±0.14e	
CK	7.92±0.05abc	7.92±0.05b	7.92±0.05b	4.72±0.23b	4.72±0.23b	4.72±0.23b	

### 5、木霉菌可湿性粉剂的质量与配方

表 6 木霉可湿性粉剂载体和助剂配比与质量

序号 Serial number	因素 Factor				含孢量 ( $\times 10^9$ cfu/g) Spore content	润湿性 (s) Wettability	悬浮率 (%) Suspending rate
	载 体 (%) Carrier	润 湿 剂 (%) Wetting agent	分 散 剂 (%) Dispersing agent	保 护 剂 (%) Protective agent			
1	88	6	9	0.5	1.33±0.58a	20.00±1.73bc	74.67±1.16c
2	88	7	7	1	1.67±0.58a	26.00±2.00d	66.00±2.00de
3	84	5	9	1	2.00±1.00a	26.00±2.00d	79.33±0.58b
4	84	7	8	0.5	4.00±2.00a	13.00±1.73a	82.33±1.16a
5	84	6	7	1.5	1.33±2.31a	17.33±0.58b	73.67±1.53c
6	80	7	9	1.5	3.00±1.73a	12.67±1.16a	75.67±1.53c
7	80	5	7	0.5	1.00±1.00a	23.00±1.00cd	64.00±2.00e
8	88	5	8	1.5	3.00±2.65a	23.00±2.65cd	73.33±1.53c
9	80	6	8	1	3.33±1.53a	12.33±2.08a	67.67±1.53d

70%木霉可湿性粉剂有效活菌数为  $4.66 \times 10^9$  cfu/g, 杂菌率为 5%, 悬浮率为 82%, pH 值为 6.2, 细度为 98%, 含水量为 24%, 润湿时间为 13.67 s, 各项指标均符合国家相关质量标准。

### 四、木霉菌可湿性粉剂的应用效果

该菌剂经过在黄瓜、西瓜、甜瓜、番茄、辣椒、韭菜上防治枯萎病、根腐病、疫病等病害防治效果显著。



### 【考核方式】

由小组中的一位成员通过 PPT 方式阐述，小组全体成员参加方案的答疑，每小组时间控制在 10 分钟以内，讨论修改后以组为单位提交木霉菌或菌剂对此种病害的防治方案。

### 【效果评价】

通过问卷调查，针对本案例的运用教学效果、对学生能力培养、教学目标达成度等方面进行评价。

填写说明：请根据您对课程中案例教学部分的真实感受，对下列指标的实现程度进行打分。评分采用 1-5 分制，1 分代表“非常不同意”，5 分代表“非常同意”。

#### 1、案例内容与设计

(1) 前沿性：案例选取的内容反映了本领域最新的科学研究、技术应用或行业动态；

1 分□；2 分□；3 分□；4 分□；5 分□

(2) 典型性：案例具有行业代表性，能高度概括某一类常见问题或情景。

1 分□；2 分□；3 分□；4 分□；5 分□

(3) 综合性：案例能有效融合植物保护、资源利用、信息技术、管理等跨学科知识。

1 分□；2 分□；3 分□；4 分□；5 分□

(4) 真实性：案例来源于真实的农业生产、科研或企业运营情境，非凭空虚构。

1 分□；2 分□；3 分□；4 分□；5 分□

(5) 挑战性：案例具有一定复杂度和难度，能激发深度思考，避免过于简单。

1 分□；2 分□；3 分□；4 分□；5 分□

#### 2、教学过程与实施

(1) 导引清晰度：教师对案例的背景、目标和关键问题阐述清晰。

1 分□；2 分□；3 分□；4 分□；5 分□

(2) 信息技术融合度：在案例分析中，有效运用了农业大数据、GIS、遥感、决策支持系统等信息技术工具。

1 分□；2 分□；3 分□；4 分□；5 分□

(3) 实践导向性：案例分析与实际操作、实验验证或田间解决方案紧密结合。

1分□；2分□；3分□；4分□；5分□

(4) 互动参与性：课堂提供了充分的小组讨论、辩论、提问和发言的机会。

1分□；2分□；3分□；4分□；5分□

(5) 教师指导有效性：教师在案例讨论中能进行适时、恰当的引导和点拨，而非包办代替。

1分□；2分□；3分□；4分□；5分□

(6) 课堂氛围：案例讨论课堂氛围活跃、开放，鼓励不同观点的碰撞。

1分□；2分□；3分□；4分□；5分□

### 3、能力收获与效果

(1) 学习热情激发能力：通过案例学习，增加了对农业资源与植保技术学习的热情，主动学习意愿增强的能力。

1分□；2分□；3分□；4分□；5分□

(2) 主动查询资料能力：通过案例，加深了对理论知识的理解，并主动查询资料，知道如何应用的能力。

1分□；2分□；3分□；4分□；5分□

(3) 有效准备问题能力：案例分析前、中和后能够准备找到案例中的核心问题的能力。

1分□；2分□；3分□；4分□；5分□

(4) 团队合作能力：通过案例中的核心问题，团队成员分工合作找到解决方法的能力。

1分□；2分□；3分□；4分□；5分□

(5) 专业知识提升能力：从案例事件中学到植保或资环专业知识的能力。

1分□；2分□；3分□；4分□；5分□

(6) 案例教学方式认可：从案例材料中抽丝剥茧找到解决问题的方法和技术的教学方式认可程度。

1分□；2分□；3分□；4分□；5分□

(7) 知识范围扩展能力：从案例材料中的一点向专业知识面扩展的能力

1分□；2分□；3分□；4分□；5分□

(8) 解决问题能力：从案例中的知识与技术提升了解决生产中类似问题的方案能力。

1分□；2分□；3分□；4分□；5分□

(9) 数据分析能力：提升了处理、分析和解读农业数据的能力。

1分□；2分□；3分□；4分□；5分□

(10) 安全与环保意识：增强了关于农药安全使用、环境污染防控与可持续发展的意识。

1分□；2分□；3分□；4分□；5分□

(11) 技术经济分析能力：学会了从成本、效益和风险等多角度评估技术或方案的可行性。

1分□；2分□；3分□；4分□；5分□

### 4、总体评价与反馈

(1) 总体满意度：我对本课程的案例教学整体效果感到满意。

1分□；2分□；3分□；4分□；5分□

(2) 迁移应用价值：我认为通过案例学习到的知识和技能，能够迁移应用到未来的科研或工作中。

1分□；2分□；3分□；4分□；5分□

(3) 推荐意愿：我愿意向其他同学推荐本课程的案例教学。

1分□；2分□；3分□；4分□；5分□

## 【参考文献】

- [1] 郭宁,孙华,马红霞,等.玉米腐霉茎腐病生防木霉菌株的筛选、鉴定及防治效果分析[J].中国农业科学, 2023,56 (22): 4453-4466.

- [2] 叶炜,颜沛沛,王培育,等.金线兰茎腐病拮抗木霉菌鉴定及抑菌和促生效果评价[J].福建农业学报,2024,39(11):1256-1264.
- [3] 郑传奇,令狐美林,舒忠泽,等.钩状木霉的分离鉴定及对辣椒炭疽菌和薏苡黑粉菌的抑菌活性[J].南方农业学报,2023,54 (7):2050-2059.
- [4] 李玥,罗丽芬,王烜东,等.三七根际耐皂昔木霉菌的分离鉴定及其拮抗促生活性评价[J].中国农业大学学报, 2023, 28(8):133-143.
- [5] 李佳昕,蔡晨亮,王琰,等.棘孢木霉菌鉴定及其对花生白绢病生防机制的研究[J].中国生物防治学报,2022,38 (6): 1534-1544.
- [6] 侯怡婷,杨静雅,韩丽,等.河北安国药用植物根区土壤木霉物种多样性[J].菌物研究,2020, 18(3):162-173.
- [7] 王天君.马铃薯黑痣病菌木霉菌株的筛选及其生防机制研究[D].黑龙江:黑龙江八一农垦大学.2018.
- [8] 赵思崎,王敬敬,杨宗政,等.微生物复合菌剂的制备[J].微生物学报,2020,47(5):1492-1502.
- [9] 戴启星.长枝木霉 T6 菌株可湿性粉剂研制及复配菌剂协同增效作用研究[D].兰州:甘肃农业大学,2019.