

竹材霉变生物学的研究*

I. 毛竹材致霉菌与致霉特征**

吴开云 翁月霞

(中国林业科学研究院亚热带林业研究所)

摘要 确证15种霉菌可引起毛竹材霉变。对这15种霉菌的分类学形态特征及其在毛竹材上诱致的霉变外貌特征进行了详细描述;指出其中10种霉菌为毛竹材重要致霉菌;提出在竹材霉变试验中可选用菌体相对覆盖量目测法估计竹材霉变程度。

关键词 毛竹材;致霉菌;致霉特征;霉变程度

我国竹类资源十分丰富,共30余属300多种。种类和面积约占世界的1/4,竹材年产量占1/3左右。农业、水产业、建筑业、轻工业和手工业对竹材的需求量很大,其中各种日用竹制品和竹制工艺品更是我国著名的传统出口产品。据统计,1953~1980年间竹材平均年产量398万t中,约75%消耗于以上部门^[2]。但由于仓库保管不善,每年竹材、半成品和家具均不同程度地发生霉坏,影响使用价值和外观;竹制工艺品也有因霉变造成成批退货,损失惨重。由于过去沿用的五氯酚钠系列的竹材防霉剂对人畜有一定毒害作用,近几年来各地发表了一批用各种新型防霉剂处理竹材的试验报告^[3~6],但实际生产中大量而普遍的竹材防霉问题仍有待解决。以往的国内外资料大多着重报道各种防霉剂的处理试验,偶尔也提及致霉微生物的大类^[7,8],或仅用少数几种致霉菌测定防霉剂的处理效果^[9,10]。它们都缺乏对致霉菌、竹材基质本身以及霉变环境条件三方面及其相互作用的系统研究。本文从对毛竹半加工材的致霉菌分类入手,进一步研究各种菌在毛竹块材上的致霉外貌特征和致霉能力,以期为今后的抗霉测定和防霉处理提供相应的理论依据。

一、材料和方法

(一) 毛竹材致霉菌的分离鉴定

在对浙、赣、闽、湘四省的安吉县、奉新县、建阳县、建瓯县、桃源县等重要竹产区进行竹材霉变的实地调查之同时,采集竹霉样品。用常规组织块分离法,按照柯赫法则对定殖于毛竹材霉变样品上的霉菌进行分离。并对获得菌进行纯化,经分别回接鉴定,找出能使毛

本文于1989年10月10日收到。

* 本文为加拿大国际发展研究中心(IDRC)的资助项目“竹子·中国”第二期第三项内容的部分研究结果。

** 本研究在菌种培养技术方面曾得到中国科学院微生物所乐静珠副研究员的指导;英文摘要及部分菌种学名经英联邦农业局国际真菌学研究所生物劣化分部主任 D. Allsopp 博士审阅修改,特此致谢。

竹材霉变并能产生子实体的致霉菌,送请中国科学院微生物所各有关专家鉴定。明确分类地位后,由作者进行标准培养和描述。

(二) 15种霉菌在毛竹材上的致霉特征及致霉力分析

从同一株毛竹材的同一段,锯取纵向3 cm,宽2 cm,厚为竹厚的小竹块,常规湿热灭菌。无菌操作下,用移殖珥沾接菌体悬浮液法将经分离鉴定的15种霉菌分别接种在小竹块的内腔面和纵、横切面上。每种菌接种三块小竹块,放于一套无菌套皿中,在24~28℃下保湿培养。1~4个星期中,记录致霉特征。保湿两月之后,用菌体相对覆盖量[(霉变面积/基质面积)×(霉菌层平均厚度/标准厚度)×100%]目测法估计小竹块霉变程度。即霉变面积覆盖率为100%,密度适中、菌层厚度大约5 mm时菌体(包括菌丝体、子实体和孢子)相对覆盖量定为100%。以此为标准,综合考虑霉菌覆盖面积、密度和厚度,由一人进行目测粗估,得到霉变程度(严重度)数据。

二、结果与分析

(一) 致霉菌鉴定结果及形态描述

15种毛竹材致霉菌的形态(图1)描述如下。

(1) 链格孢霉 *Alternaria alternata* (Fr.) Keissler(鉴定人:陈庆涛、白逢彦) 在PDA培养基上25℃下培养10天,菌落绒状,灰黑色至黑色。分生孢子梗短,4~5 μm×42.5~55 μm,色深,不分枝。分生孢子深褐色,串生,洋梨形至棒槌形。成熟的分生孢子具有3~4个横隔,有纵隔。分生孢子大小多为6~7.5 μm×15~25 μm。分生孢子的喙状细胞长度约5~12.5 μm。

(2) 黄曲霉 *Aspergillus flavus* Link(鉴定人:齐祖同) 在Czapek培养基上25℃下培养5天,菌落扩张,中部黄绿色,向边缘逐渐呈黄色至白色,形成不明显的白色环。分生孢子梗多直接从基质长出,粗糙有麻点,可长达1 mm。梗基部有厚壁的足细胞。梗顶端形成膨大的顶囊,多为球形,直径约22.5~37.5 μm。顶囊以下梗的直径较大,约7.5~15 μm,向基部直径渐小至5 μm左右。小梗从顶囊上长出,多为单层,大小约4 μm×7.5~10 μm。分生孢子球形,直径约4 μm左右。

(3) 桔青霉 *Penicillium citrinum* Thom(鉴定人:齐祖同) 在Czapek培养基上25℃下培养5天,形成蓝绿色菌落,生长局限。帚状枝不对称,分生孢子梗为一次分枝,间枝^[1]约2.5 μm×10~15 μm。小梗瓶形,约2.5 μm×7.5~10 μm。分生孢子球形,约2.5 μm。

(4) 产黄青霉 *Penicillium chrysogenum* Thom(鉴定人:齐祖同) 在Czapek培养基上25℃下培养5天,菌落灰绿至灰蓝色,生长不局限,有明显的白边,可分泌出淡黄色液珠,成熟后有放射状沟纹。帚状枝不对称。分生孢子梗分枝1~2次,间枝约2.5 μm×10 μm左右。小梗瓶状,2~2.5 μm×7.5 μm。分生孢子球形,约2.5 μm。

(5) 绳状青霉 *Penicillium funiculosum* Thom(鉴定人:齐祖同) 在Czapek培养基上25℃下培养5天,菌落绿色至黄绿色,生长不局限,间生短絮状气生菌丝;基质局部呈肉红色、黄橙色或咖啡色。分生孢子梗多从绳索状气生菌丝素上长出。帚状枝紧凑,且为典型的对称二轮生。间枝约2.5 μm×7.5~12.5 μm。小梗典型地成披针状,大小约2 μm×10~12.5 μm。

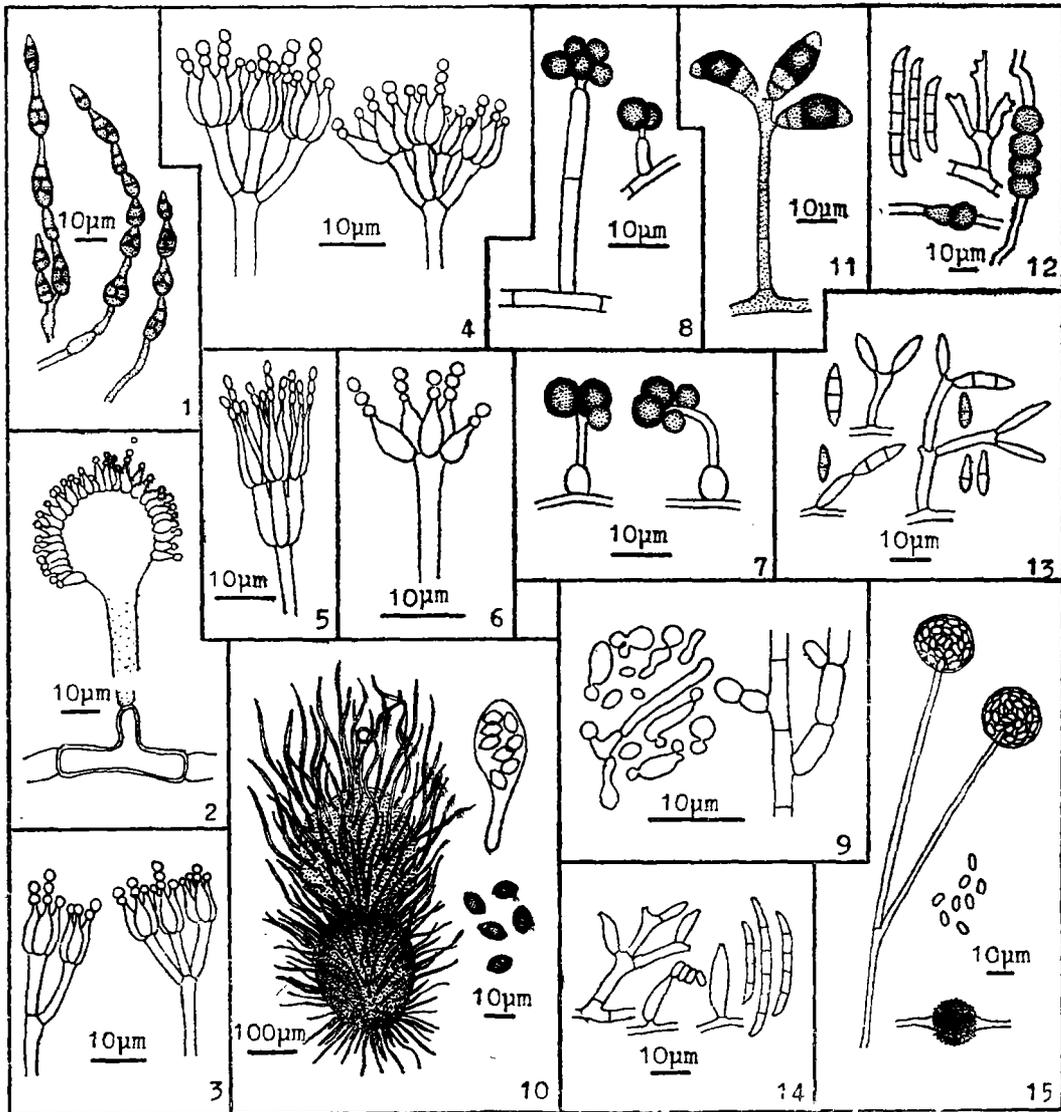


图1 15种毛竹材致霉菌形态

1. 链格孢霉; 2. 黄曲霉; 3. 桔青霉; 4. 产黄青霉; 5. 绳状青霉; 6. 亚砖红青霉; 7. *Arthrinium phaeospermum*; 8. 蒙塔涅梨孢假壳菌节菱孢阶段; 9. *Candida* sp.; 10. 球毛壳; 11. 新月弯孢霉; 12. *Fusarium pallidoroseum*; 13. 弯角镰孢; 14. 串珠镰孢胶孢变种; 15. 冻土毛霉

分生孢子长圆形, 约 $2\mu\text{m} \times 3\mu\text{m}$ 。

(6) 亚砖红青霉 *Penicillium sublateritium* Biourge (鉴定人: 齐祖同) 在 Czapek 培养基上 $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 下培养 5 天, 菌落灰绿色, 边缘浅灰色, 基质橙黄色。分生孢子梗多从气生菌丝上长出, 不分枝, 宽约 $2.5\mu\text{m}$ 。帚状枝由松散的单轮小梗在分生孢子梗顶端形成。小梗瓶形, 约 $2.5\mu\text{m} \times 7.5\sim 12.5\mu\text{m}$ 。分生孢子球形, 直径约 $2\mu\text{m}$ 。

(7) *Arthrinium phaeospermum* (Corda) M. B. Ellis (鉴定人: 陈庆涛、白逢彦) 在 PDA 培养基上 $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 下培养 10 天, 菌落浅白色, 基质内菌丝棕褐色。分生孢子单胞、球形, 灰

色至黑色,不串生,在分生孢子梗顶端轮生并侧生。孢子间距离近,孢子数量多时如一挂葡萄。成熟的分生孢子直径约 $6.5\sim 7.5\mu\text{m}$ 。新生的孢子较小且色较浅。分生孢子梗无色且短,不分枝,弯曲或直立,基部膨大为近球形细胞。分生孢子梗宽约 $4\mu\text{m}$,长约 $9\sim 11\mu\text{m}$ 。

(8) 蒙塔涅梨孢假壳菌节菱孢阶段 *Arthrinium* state of *Apiospora montagnei* Sacc. (鉴定人:陈庆涛、白逢彦) 在PDA培养基上 $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 下培养10天,菌落白色絮状。分生孢子不串生、单胞、深褐色、球形(直径约 $6.5\mu\text{m}$)或卵形(大小约 $5\mu\text{m}\times 8\sim 9\mu\text{m}$)。分生孢子在分生孢子梗顶端轮生。分生孢子梗无色,直立且长,长度约 $30\sim 50\mu\text{m}$;不分枝,有很厚的隔膜;基部不膨大。孢子簇与孢子梗之间有明显的颈状收缩。气生菌丝有间段的薄壁区段,以分隔为界。

(9) 一种假丝酵母 *Candida* sp. (鉴定人:陈庆涛、白逢彦) 在麦芽汁液体培养基中 $25\sim 28\text{ }^{\circ}\text{C}$ 培养3天,营养细胞圆形、卵形至圆柱形或腊肠形, $2\sim 6.3\mu\text{m}\times 2.5\sim 12.5\mu\text{m}$ 。多边形芽殖,液面无醭,有菌体沉淀。生长在麦芽汁琼脂斜面上的菌落毡状、白色、无光泽、边缘整齐,未见掷孢子和节孢子。用马铃薯琼脂培养基载片培养,产生类菌丝圆酵母型的假菌丝,并有真菌丝。营养细胞 $0.8\sim 2.5\mu\text{m}\times 1\sim 5\mu\text{m}$ 。发酵特征:葡萄糖+,麦芽糖+,蔗糖+,半乳糖±,乳糖±。

(10) 球毛壳 *Chaetomium globosum* Kunze (鉴定人:陈庆涛、白逢彦) 在PDA培养基上 $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 下培养10天,气生菌丝稀少,子囊壳被顶毛^[11]遮没——呈绒球状,单独或成群地出现。子囊壳卵形, $205\sim 250\mu\text{m}\times 205\sim 280\mu\text{m}$ 。顶丝舒展,有波浪状弯曲,或有少量螺旋形卷曲,无隔膜,有麻刺,粗约 $2.5\mu\text{m}$ 。子囊棍棒形,约 $15\sim 20\mu\text{m}\times 50\sim 60\mu\text{m}$ 。子囊孢子8个,阔柠檬形,褐色, $7.5\sim 9.5\mu\text{m}\times 9.5\sim 11\mu\text{m}$ 。

(11) 新月弯孢霉 *Curvularia lunata* (Wakker) Boedijn state of *Cochliobolus lunatus* Nelson & Haasis (鉴定人:陈庆涛、白逢彦、D. Allsopp) 在PDA培养基上 $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 下培养10天,最初生长蔓延但稀薄,时间稍长后即形成灰黑色菌落。气生菌丝不发达。分生孢子梗褐色,比菌丝色稍深,长度不一,多在 $17.5\sim 180\mu\text{m}$ 之间,粗约 $3\sim 5\mu\text{m}$ 。分生孢子深褐色,梭形弯曲,多有隔膜3个。从基部向上数,分生孢子的第三个细胞特大,色很深。两端细胞很小,色较浅。分生孢子不串生,近似轮状着生于分生孢子梗的顶部。分生孢子大小约 $7.5\sim 10\mu\text{m}\times 17.5\sim 25\mu\text{m}$ 。

(12) *Fusarium pallidoroseum* (Cooke) Sacc. (鉴定人:陈庆涛、白逢彦、D. Allsopp) 在PDA培养基上 $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 下培养10天,菌落气生菌丝发达,初为白色,产孢时出现乳黄色区域。分生孢子散生在絮状菌丝之间。有多芽产孢细胞,使得大分生孢子常成簇出现。大分生孢子长直,竹杆形,两端细胞渐细弯曲。分隔处竹节状,有分隔 $3\sim 5$ 个。大小约 $3.5\sim 4\mu\text{m}\times 27.5\sim 37.5\mu\text{m}$ 。有厚垣孢子 $1\sim 4$ 个地串连在菌丝中,球形,直径约 $10\sim 12.5\mu\text{m}$ 。

(13) 弯角镰孢 *Fusarium camptoceras* Wollenw. & Reinking (鉴定人:陈庆涛、白逢彦) 在PDA培养基上 $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 下培养5天,产生米色、乳黄色至黄棕色苔状菌落,基质变玫瑰红色。分生孢子簇散生于絮状菌丝之间。大小分生孢子区分不明显,有长圆形(单胞)、倒卵形(有1个分隔)至梭形(有 $1\sim 3$ 个分隔);无色至亮棕色;大小多在 $2.5\sim 5\mu\text{m}\times 10\sim 17\mu\text{m}$ 之间。分生孢子梗松散分枝,产孢细胞形状不规则,有 $1\sim 3$ 个芽孔。

(14) 串珠镰孢胶孢变种 *Fusarium moniliforme* Sheldon var. *subglutinans* Wollenw.

& Reinking(鉴定人: 陈庆涛、白逢彦) 在 PDA 培养基上 25℃ 下培养 15 天, 形成白色絮状菌落, 气生菌丝发达。大型分生孢子生长于单出长瓶形小梗或分生孢子座上。瓶形小梗约 $2.5 \mu\text{m} \times 12.5 \sim 17.5 \mu\text{m}$ 。分生孢子镰刀形, 分隔 3 ~ 5 个, 大小约 $2.5 \sim 3.5 \mu\text{m} \times 15 \sim 40 \mu\text{m}$ 。小型分生孢子生长于单出的瓶形小梗上, 无分隔, 卵形, 不串生但可排列呈队列状, 大小约 $2.5 \mu\text{m} \times 7.5 \mu\text{m}$ 左右。

(15) 冻土毛霉 *Mucor hiemalis* Wehmer(鉴定人: 郑儒永) 在 PDA 培养基上 25℃ 下培养 10 天, 长出直立的毛状无色菌丛, 即孢囊梗, 高度在 1 cm 左右。孢囊梗有较少的分枝, 粗约 $10 \mu\text{m}$ 。孢子囊球形, 直径 $20 \sim 100 \mu\text{m}$, 以 $50 \sim 60 \mu\text{m}$ 为多。孢囊孢子长圆形, 约 $2.5 \mu\text{m} \times 5 \mu\text{m}$ 。有接合孢子, 异宗配合, 大小约 $17.5 \mu\text{m} \times 17.5 \sim 25 \mu\text{m}$ 。

(二) 致霉菌致霉特征

经过 4 星期保温和观测, 15 种致霉菌在竹块上的致霉特征见表 1。

表 1 15 种霉菌在竹块上的致霉特征

序号	菌名	致霉特征
1	链格孢	初产生白色粉絮状短菌丝, 后逐渐变为灰褐色, 菌丝层薄
2	黄曲霉	在纵切面和横切面形成黄绿色密集的苔状菌落, 后期呈黄棕色。菌落高(厚)约 2 mm, 边缘不明显, 无气生菌丝, 内腔严重度明显轻
3	桔青霉	在纵切面、横切面和内腔面形成灰绿色苔状菌落, 菌落高(厚)约 1 mm, 边缘不明显, 无气生菌丝
4	产黄青霉	切面和内腔面形成深蓝绿色苔状菌落, 有不规则的环纹状密度分布, 菌落高(厚)约 1 mm, 无气生菌丝
5	绳状青霉	切面和内腔面形成灰绿色苔状菌落, 间有灰色菌丝, 菌落高(厚) < 1 mm, 边缘不明显
6	亚砖红青霉	切面和内腔面形成灰绿色苔状菌落, 菌落高(厚)约 1 mm, 边缘不明显, 无气生菌丝
7	<i>Arthrimum phaeospermum</i>	灰白色蓬松的网状菌丝, 其上有黑色小点。后期菌丝变为灰褐色, 仍呈蓬松状态
8	<i>Arthrimum state of Apiospora montagnei</i>	白色紧贴的絮状菌丝, 后期产生黑色小点, 使菌落呈灰色
9	<i>Candida</i> sp. 一种假丝酵母	浅淡的白色粉层, 很薄, 可辨竹纹
10	球毛壳	散布的、直径在 0.5 mm 左右的绒球状颗粒, 颗粒中心深绿色, 边缘色浅, 伴生稀疏的灰白色菌丝。在竹内腔为疏散分布, 而在切面可呈毡状的密集分布
11	新月弯孢霉	白色紧贴的、浅薄的絮状菌丝。后期菌落变灰褐色
12	<i>Fusarium pallidoroseum</i>	白色絮状菌丝, 有乳黄色密集区, 后期密集区扩大, 菌落最终变为土黄色
13	弯角镰孢	在切面先产生乳白色苔状菌落, 呈向内腔扩展的趋势, 内腔面较稀疏, 菌落深层为洋红色, 并使竹块表面变红。菌落高(厚)约 2 mm。菌落后期呈乳黄色
14	串珠镰孢胶孢变种	在切面和内腔面产生发达的棉絮状菌丝, 菌丝保持白色
15	冻土毛霉	蓬松的、毛状直立的灰白色菌丝, 高度在 1 cm 左右

(三) 致霉菌致霉能力分析

经过两个月保湿,测得15种致霉菌在竹块上致霉程度(严重度)。方差分析表明各种霉菌致霉力之间差异极显著。表2列出了对各致霉菌致霉能力多重比较的结果(q 检验 $D_{0.01} = 30.9$)。其中 *Arthrinium phaeospermum*、弯角镰刀霉、冻土毛霉、*Arthrinium state of Apiospora montagnei*、链格孢霉、黄曲霉、桔青霉、绳状青霉、球毛壳、*Fusarium pallidroseum* 为毛竹材重要致霉菌。表2还表明,在镰刀菌属及青霉属不同种之间致霉能力存在差异,所以我们认为在防霉处理试验中选择试验用霉菌时,应当明确菌种种名。

表2 15种竹材致霉菌致霉力分析

菌名	严重度 (%)			平均值(%) 及多重比较
<i>Arthrinium phaeospermum</i>	80	80	80	80
弯角镰孢	80	80	80	80
冻土毛霉	80	80	80	80
<i>Arthrinium state of Apiospora montagnei</i>	80	80	50	70
链格孢霉	50	50	50	50
黄曲霉	50	50	50	50
桔青霉	50	50	50	50
绳状青霉	60	50	40	50
球毛壳	50	50	50	50
<i>Fusarium pallidroseum</i>	50	50	50	50
串珠镰孢胶孢变种	50	50	30	43
亚砖红青霉	40	40	40	40
产黄青霉	50	50	10	37
新月弯孢霉	40	25	25	30
<i>Candida sp.</i>	25	25	25	25

注:最后栏符号意义:— $\alpha = 0.01$; · $\alpha = 0.05$

产量较前者高,竹材劣化程度相应也较高。因此单纯用霉变覆盖率[(霉变面积/基质面积)×100%]表示某种菌引起的竹材霉变程度难以全面反映其实际致霉力。所以我们在用不同菌种分别接种竹材进行菌种致霉力比较时,采用菌体相对覆盖量[(霉变面积/基质面积)×(菌层平均厚度/标准厚度)×100%]目测法。对各菌致霉能力更准确的测定和比较,尚需在霉菌生理及其对竹材材质破坏机理、劣化程度综合指标等方面进一步研究后才能得出。

参 考 文 献

- [1] 委托中国科技情报所国际联机检索竹材、生物劣化、霉变资料,“Dialog”search: CAB 1972~1986年; Agricola, 1979~1986年; Biosis Review, 1986。
- [2] 唐江华, 1985, 关于我国竹类资源发展问题, 亚林科技, (1): 14~20。
- [3] 周慧明, 1984, 硼化物与新洁尔灭溶液防治竹制品霉菌, 竹类研究, 3(1): 31~39。
- [4] 杜复元等, 1985, B.B.P-841菌剂对竹材防霉试验研究, 浙江林学院学报, 2(2): 53~56。
- [5] 周慧明等, 1983, 毛竹材乙酰化及其防霉的探索试验, 竹类研究, (1): 75~82。
- [6] 刘云, 1983, “79-7”对慈竹薄篾制品的防霉防虫, 竹类研究, (1): 84~87。
- [7] 梁锦英等, 1987, 竹编制品害虫、霉菌的发生与防治研究初报, 广西农学院科学研究资料, (1): 37~42。

三、讨 论

15种毛竹材致霉菌的确定、描述及致霉力分析,为进一步进行防霉方法的研究作了必要的准备。

实际上毛竹材致霉菌种类要远远超过15种。如我们在本所内即发现引起竹材霉变的灰绿曲霉组(*Aspergillus glaucus*)中一些产生子囊世代的种群,以及较少在竹霉中出现的枝孢霉(*Cladosporium sp.*),和在霉变发展后期出现的粉红单端孢霉(*Trichothecium roseum* Link)、绿木霉(*Trichoderma viride* Pers. ex Fr.)等。

在进行15种毛竹材致霉菌致霉能力分析时,发现各种致霉菌的致霉特征差异很大。有些菌在竹材表面生长铺展,但菌层很薄,菌体产量很低,相应地竹材劣化程度也轻;有些菌在竹材表面菌落生长局限,虽然不象前者那样生长扩展,但菌层厚且密集,菌体

- [8] 王书翰, 1985, 竹材的霉变及其防治方法, 竹类研究(增刊): 47~50。
 [9] 刘云等, 1985, 竹制品防霉防虫, 竹类研究(增刊): 55~59。
 [10] 周芳纯, 1985, 竹材的防蛀和防腐, 竹类研究(增刊): 60~67。
 [11] 魏景超, 1979, 真菌鉴定手册, 上海科学技术出版社。
 [12] Carmichael, J. W. et al., 1980, Genera of Hyphomycetes, The University of Alberta Press (Canada).
 [13] Booth, C., 1971, The Genus *Fusarium*, Commonwealth Mycological Institute.

STUDIES ON BIOLOGY OF BAMBOO TIMBER MOULDING

I. MOULDING CHARACTERISTICS AND CAUSAL FUNGI OF MAO BAMBOO TIMBER

Wu Kaiyun Weng Yuexia

(The Research Institute of Subtropical Forestry CAF)

Abstract Fifteen fungal species from Mao bamboo (*Phyllostachys pubescens*) were collected from the main bamboo area of four provinces in the People's Republic of China. Listed below, these were confirmed through experiments as timber moulding agents following Koch's postulates. The ten marked "*" were important ones based on a moulding ability test. Descriptions of the morphology of each fungus with its moulding characteristic on Mao bamboo timber are given.

**Alternaria alternata* (Fr.) Keissler; **Aspergillus flavus* Link; **Penicillium citrinum* Thom; *P. chrysogenum* Thom; **P. funiculosum* Thom; *P. sublateritium* Biourge; **Arthrinium phaeospermum* (Corda) M. B. Ellis; **Arthrinium* state of *Apiospora montagnei* Sacc.; **Chaetomium globosum* Kunze; *Curvularia lunata* (Wakker) Boedijn state of *Cochliobolus lunatus* Nelson & Haasis; **Fusarium pallidoroseum* (Cooke) Sacc.; **F. camptoceras* Wollenw. & Reinking; *F. moniliforme* J. Sheldon var. *subglutinans* Wollenw. & Reinking; **Mucor hiemalis* Wehmer; *Candida* sp..

A measure of Relative Mould Covering Amount (RMCA) was developed to compare the moulding ability of different moulds on Mao bamboo timber. The formula suggested is: $RMCA(\%) = \frac{MA}{SA} \times \frac{MT}{ST} \times 100\%$ [(SA = Inner surface area of a Mao bamboo timber block; MA = Area covered by the mould on the same surface 2 months under 24~28°C and 100% RH after inoculation; ST = Standard thickness = 5 mm; MT = Average thickness of the mould on the block(mm)].

Key words Mao bamboo timber; moulding causal fungi; moulding characteristic; moulding ability