

竹材霉变生物学的研究*

II. 不同竹材基质的抗霉性**

翁月霞 吴开云

(中国林业科学研究院亚热带林业研究所)

摘要 对11个竹种和不同竹龄、部位毛竹的竹材进行了自然和人工接种致霉菌试验。测定结果的方差分析和多重比较表明,竹种间的自然抗霉性顺序依次为:黄槽毛竹>毛竹>浙江淡竹>刚竹和石竹>红竹和毛金竹>篔竹>苦竹>黄古竹>茶杆竹,前二种为抗霉竹种,后四种为易霉竹种。竹材的抗霉性与竹材的预处理方法和贮存条件有相互作用。冬伐毛竹材的抗霉性随竹株年龄增长而增强,长至5~6度的毛竹,其竹材抗霉性极显著地高于2~4度的毛竹;毛竹杆材上部的抗霉性极显著地高于中、下部。

关键词 抗霉性;竹种;毛竹材

竹材霉变是致霉微生物在适宜环境条件下对竹材基质腐生的结果。它可使竹材变色、变性,损害其使用价值。解决竹材防霉问题,可以从研究竹材致霉微生物、竹材基质的抗霉性以及致霉环境条件三者入手。以往的国内外文献,以报道竹材防霉处理试验居多,对致霉微生物与环境条件未见详细论证^[1~7,12];竹材霉变与竹材基质关系的资料,仅刘云在“竹制品防霉防虫(一)、(二)”两文中有所提及^[8]。

作者三年来的研究,已验明使毛竹材霉变的15种致霉菌及其在毛竹材上定殖的菌落外貌和相对致霉力^[9]。本文为探讨竹材基质的影响,报道了我国11个重要竹种竹材的自然抗霉性和我国主要用材竹种——毛竹材的不同伐竹年龄、取样部位和砍伐季节对竹材抗霉性影响的比较测定结果。

1 材料和方法

1.1 材料

1.1.1 竹种 1988年初在安吉竹种园伐取以下竹种宜伐年龄的冬竹杆材各5~10根:黄槽毛竹 *Phyllostachys edulis* f. *luteosulcata* (Wen) Chao et Renv., 刚竹 *Ph. viridis* (Young) McClure, 石竹 *Ph. nuda* McClure, 浙江淡竹 *Ph. meyeri* McClure, 毛金竹 *Ph. nigra* Munro var. *henonis* (Miff) Stapf ex Rendle, 篔竹 *Ph. nidularia* cv. *smoo*

本文于1990年4月20日收到。

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

**竹种采样承本所马乃训副研究员指导;朱德俊副研究员在数据处理方面提供宝贵意见;计算机房协助计算;森保室杨婉琴同志参加部分工作;本所苗圃叶相银同志协助部分毛竹采样;英联邦农业局国际真菌学研究所生物劣化分部主任D. Allsopp 博士审阅并修改英文摘要,特此致谢。

thsheath McClure、黄古竹 *Ph. angusta* McClure、红竹 *Ph. iridescens* C. Y. Yao et S. Y. Chen、苦竹 *Pleioblastus amarus* Keng f.、茶杆竹 *Pseudosasa amabilis* Keng f.。同时在本所砍伐毛竹 *Ph. edulis* (Carr.) H. de Lehaie 材作为对照。

1.1.2 毛竹不同伐竹年龄的竹材 1987年1月于浙江省安吉县灵峰寺林场同一林分随机抽伐分别于1978、1982、1984、1986年出笋的毛竹各4株，1980年出笋毛竹12株。取中段(杆中点起，向上下各取2 m)测定。

1.1.3 毛竹杆不同段位的竹材 ①冬竹：同材料1.1.2节中之1980年出笋竹12株；②秋竹：1988年9月于本所毛竹林随机抽伐1982年出笋的毛竹4株。均取其中段测定。

1.1.4 毛竹不同砍伐季节的竹材

1.1.4.1 冬竹与夏竹 冬竹用材料1.1.3节①中的毛竹中段；夏竹为1987年7月在灵峰寺林场灵峰分场同一林分随机抽伐的1980年出笋的4株毛竹的中段。

1.1.4.2 冬竹与秋竹 冬竹为1989年1月于本所毛竹林随机抽伐的1980年出笋毛竹(2株)的中段，秋竹用1988年9月于本所毛竹林随机抽伐的1980年出笋的2株毛竹的中段。

1.2 方法

1.2.1 11个竹种竹材抗霉性比较测定 1988年3月初将以上各竹种竹杆中段分锯成33 cm长小段，按每段竹杆粗细剖成2~4片，编号，均按分层抽样分成4份：①表面用75%酒精擦洗2次，实验室晾干，随即装入特制的清洁塑料薄膜袋中，扎紧口后置冰箱内保存；②平放在竹棚(油毛毡为棚顶，竹条片编壁，砖地)内木架上离地约0.3~0.5 m的曲盘内，扎成4个小捆(区组)，每小区5块竹片；③平放于露天泥地上，4个小捆(区组)，每小区6块竹片；④平放固定于溪水下。当年梅雨期过后，对竹棚和露天存放的两组，目测记载各竹种各块竹片的内腔面无节处(简称内腔面，下同)霉菌覆盖率[(霉菌覆盖面积/该表面面积)×100%]；同时将流水贮存的各竹种竹片取出，表面晾干。7月6日将冰箱保存、竹棚存放与流水贮存三种预处理的各竹种竹片随机抽取6块，分置在两间暗室内，温湿度用微机控制在33±6℃、80%±5%和26±2℃、90%±5%。各按3个随机完全区组排列，平放于离地约80 cm的无盖金属方盘内。贮存2个月后统计分析各竹种上述8种处理竹材的内腔面霉菌覆盖率。

1.2.2 毛竹不同伐竹年龄冬竹材的自然抗霉性测定 1987年3月初将毛竹各龄冬竹的中段锯成33 cm小段，每段纵剖为4片，每株毛竹随机取12片，6片一层，交叉垫放，排列于竹棚内地面。1988年梅雨期后，对底层4个内腔面向上的随机完全区组(每小区4片)记载其内腔面霉菌覆盖率。

1.2.3 毛竹不同段位竹材的自然抗霉性测定

1.2.3.1 竹棚暴露法 1987年3月初将1980年出笋的冬竹株，按上、中、下小段剖开，各随机取3片，6个区组，每小区6片共108片同1.2.2节法排列于竹棚内地面，1988年梅雨期后同上法记载统计。

1.2.3.2 自然接种后套皿保湿法 1988年9月初对1982年出笋秋竹分上、中、下小段剖片，每段随机抽取2片，在每片中央锯取2 cm×3 cm×竹厚的小竹块，内腔面向上，置于室内暴露1周，任其自然接种空气中霉菌孢子后，用75%酒精擦洗其他5个面，在无菌条件下置4套无菌套皿(直径15 cm培养皿内套放直径12 cm培养皿的底或盖)内，每皿6块，并于大小

皿间注入无菌水保湿; 置25℃、100%相对湿度下培养4周后, 检查记载各竹块内腔面的霉菌覆盖率。

1.2.4 毛竹不同砍伐季节竹材自然抗霉性测定

1.2.4.1 冬竹与夏竹 自然接种后套皿保湿法: 1987年11月初, 分别取经冰箱保鲜的冬、夏竹中段竹片, 置竹棚木架上曲盘内暴露一个月, 锯取2 cm×3 cm小竹块, 按6个区组、单块小区置套皿中, 测定统计霉菌覆盖率。

1.2.4.2 冬竹与秋竹 ①自然接种后套皿保湿法: 1989年6月底剖开冬、秋竹中段取小竹块, 竹棚暴露8天后, 按6个区组、单块小区置套皿中同上法测定统计; ②人工接种法: 1989年6月底剖开冬、秋竹中段取小竹块, 无菌操作对每一竹块用漂白粉精片液(1片加250 ml 冷开水)表面消毒2 min后, 按4个区组、单块小区分置4个灭菌套皿中, 对每一竹块的各个面用玻璃棒涂抹15种毛竹材致霉菌^[9]的孢子与菌丝碎段混合液(浓度为160倍视野下600个孢子和菌丝段), 于套皿底部注入无菌水, 置30~32℃下保湿培养4周后, 同上法检查统计。

上述三项试验的竹材均在测试前测定含水量。

2 结果

2.1 11个竹种竹材抗霉性的比较

对11个竹种的竹材在8种不同贮藏条件下霉变程度的方差分析结果表明, 各竹种竹材的抗霉性在5种条件下有极显著差异, 即竹棚存放、露天堆放和经竹棚存放或冰箱保鲜4个月后再置33±6℃和85%±10%湿度下2个月, 以及经冰箱保鲜4个月后再置26±2℃, 90%±5%湿度下2个月。但在流水贮存4个月后的两种处理和竹棚预存4个月后再置26±2℃, 90%±5%条件下2个月三条件下不表现显著差异(表1)。并且, 竹种与预处理间在33±6℃, 85%±10%条件下; 竹种与温湿度间在冰箱保存和竹棚存放预处理后有极显著的相互作用(表2)

表1 11个竹种竹材霉变程度的F检验

贮存条件	竹棚存放 4个月	露天存放 4个月	33±6℃、85%±10% 2个月			26±2℃、90%±5% 2个月		
			竹棚预存 4个月	冰箱预存 4个月	流水预存 4个月	竹棚预存 4个月	冰箱预存 4个月	流水预存 4个月
			<i>F</i> 值	20.80**	5.91**	8.25**	7.37**	2.00
<i>F</i> _{0.01}	2.98	2.98	3.37	3.37	3.37	3.37	3.37	3.37

表2 竹材霉变中竹种与预处理和竹种与温湿度间相互作用的F检验

检验项	竹种×预处理		竹种×温湿度		
	33±6℃, 85%±10%	26±2℃, 90%±5%	冰箱预存4个月	竹棚预存4个月	流水预存4个月
<i>F</i> 值	3.53**	0.91	6.06**	5.82**	1.10
<i>F</i> _{0.01}	2.20	2.20	2.80	2.80	2.80

对该11个竹种的竹材按不同贮藏条件进行抗霉性的两两对比和综合分析的结果列于表3。由表3可见, 所有11个竹种的竹材在露天堆放4个月的情况下均比在其他条件下贮存霉

变严重, 霉菌覆盖率为33%~68%, 已失去利用价值。此外, 除石竹外, 其他10个竹种的竹材在低温预存(冰箱保鲜)4个月后, 虽经中温高湿($26 \pm 2^\circ\text{C}$, $90\% \pm 5\%$)二个月, 霉变仍比其他条件下明显地轻。

11个竹种的竹片在流水贮存4个月后取出时材色变褐, 且有轻微臭味。

11个竹种中, 黄槽毛竹和毛竹的竹材霉变严重度综合顺序排列最后, 抗霉性远高于其他9个竹种的竹材。离地通风保存(竹棚内木架上存放4个月)时该两种竹材内腔面的霉菌覆盖率平均仅6%~7%。但流水预存4个月降低它们的抗霉性。茶杆竹竹材的霉变严重度综合顺序为1, 黄古竹、苦竹和篔竹分别为2、3和4, 它们在大多数测定中平均霉菌覆盖率大于25%, 个别高达50%以上, 为11种竹材中最不抗霉者。流水预存4个月也不利于该4种竹材在其后中温高湿条件下的保存, 但有利于茶杆竹、篔竹特别是黄古竹竹材在其后高温中湿($33 \pm 6^\circ\text{C}$, $85\% \pm 10\%$)条件下的保存。后者竹材内腔面霉菌覆盖率只有17%, 仅次于该条件下最抗霉的黄槽毛竹(13%)。

表3 11个竹种竹材内腔面在不同贮藏条件下的霉菌覆盖率(%)

(1988年)

竹种	竹棚存放 4个月	露天存放 4个月	$33 \pm 6^\circ\text{C}$, $85\% \pm 10\%$ 2个月			$26 \pm 2^\circ\text{C}$, $90\% \pm 5\%$ 2个月			霉变综合 特征值	霉变严重度综合顺序
			竹棚预存 4个月	冰箱预存 4个月	流水预存 4个月	竹棚预存 4个月	冰箱预存 4个月	流水预存 4个月		
茶杆竹	33 a	45 bcde	65 a	48 abc	37 a	22 a	15 abcd	33 a	37 a	1
浙江淡竹	31 ab	49 bcde	17 b	20 d	25 a	18 a	17 abc	20 a	29 abcde	7
苦竹	29 abc	39 bcde	32 b	28 bcd	38 a	20 a	20 ab	40 a	34 abc	3
黄古竹	28 abcd	50 bcd	55 a	48 ab	17 a	20 a	13 abcd	47 a	36 ab	2
篔竹	25 abcde	68 a	25 b	55 a	28 a	10 a	7 cd	38 a	33 abcd	4
刚竹	18 ef	40 bcde	23 b	20 d	35 a	18 a	15 abcd	37 a	30 abcde	6
红竹	17 efg	44 bcde	30 b	18 d	42 a	20 a	10 abcd	42 a	31 abcde	5
毛金竹	14 fgh	51 bc	22 b	28 bcd	27 a	20 a	13 abcd	37 a	31 abcde	5
石竹	13 fgh	54 ab	18 b	22 d	40 a	18 a	20 a	23 a	30 abcde	6
毛竹	07 h	33 e	18 b	15 d	20 a	13 a	5 d	37 a	25 e	8
黄槽毛竹	06 h	44 bcde	17 b	12 d	13 a	15 a	5 d	22 a	23 e	9

注: ① 表中同一栏内具有相同英文字母的霉变程度无显著差异, 字母不同则表示种间有极显著差别($P < 0.01$)。

② 霉变综合特征值为8种处理竹材的内腔面霉菌覆盖率, 经反正弦转换的平均值。

红竹、毛金竹、刚竹、石竹和浙江淡竹的霉变严重度综合顺序为第5、6、7位, 说明该4个竹种竹材的抗霉性在11个竹种中属于中等。流水预存能保持浙江淡竹竹材的抗霉性, 但降低刚竹、石竹尤其是红竹竹材的抗霉性。毛金竹竹材在流水预存4个月后置高温中湿下2个月, 抗霉性基本不变(与同样条件下冰箱预存的相仿), 但如置高湿条件下, 其抗霉性迅速降低。

根据表3中的霉变严重度综合顺序, 可反排出11个竹种竹材的自然抗霉性由高至低的顺序: 黄槽毛竹 > 毛竹 > 浙江淡竹 > 刚竹和石竹 > 红竹和毛金竹 > 篔竹 > 苦竹 > 黄古竹 > 茶杆竹。

根据表3中对各竹种竹材霉变综合特征的 q 检验, 黄槽毛竹、毛竹与茶杆竹、黄古竹、苦竹、篔竹间的差异极显著, 认为这11个竹种中黄槽毛竹和毛竹为抗霉竹种, 后四者为易霉竹种。浙江淡竹、刚竹、石竹、红竹和毛金竹居中。

将抗霉性分属高、中、低三个相对层次的 5 个竹种——黄槽毛竹、毛竹、毛金竹、篾竹和茶杆竹的竹棚和冰箱预存组的竹材分存在两种温湿度下，霉变差异的 F 检验(表 4)表明，虽然该 5 种竹材内腔面的霉菌覆盖率均以在高温中湿($33 \pm 6^\circ\text{C}$, $85\% \pm 10\%$)下贮存 2 个月的为高，但篾竹、毛竹和茶杆竹的竹材在两组温湿度下，霉变程度间有显著至极显著的差异，表现对温湿度的变化敏感；而黄槽毛竹与毛金竹在两组温湿度下的霉变差异不显著，表现对温湿度的变化不敏感。

表 4 5 个竹种竹材在两种温湿度下的内腔面霉菌覆盖率(%)及其差异的 F 检验

温 湿 度	黄槽毛竹	毛 竹	毛金竹	篾 竹	茶杆竹
$33 \pm 6^\circ\text{C}$, $85\% \pm 10\%$	0.14	0.17	0.25	0.40	0.57
$26 \pm 2^\circ\text{C}$, $90\% \pm 5\%$	0.10	0.09	0.17	0.08	0.18
F 值/ F_{α}	4.31/16.26	19.29**/16.26	1.84/16.26	11.01**/6.61	49.91**/16.26

2.2 毛竹不同伐竹年龄冬竹材的自然抗霉性

从表 5 可以看出，毛竹冬竹材的自然抗霉性随着竹龄的增长而增强，五度和六度竹材比二至四度竹材显著抗霉，而二度与三度竹材间和三度与四度竹材间差异不显著 ($P < 0.01$)。

表 5 毛竹不同伐竹年龄冬竹材抗霉性比较

竹 龄	二 度	三 度	四 度	五 度	六 度
内腔面霉菌覆盖率(%)	73	69	64	39	28
差异显著性 ($P < 0.01$)	a	ab	b		

注：表内字母意义同表 3。

2.3 毛竹不同段位竹材的抗霉性

表 6 列出了毛竹不同段位竹材的抗霉测试结果。该结果表明，在竹棚存放经两年梅雨季节的冬竹材和经自然接种后人工保湿 4 周的秋竹材，其上部竹材均比中、下部竹材显著抗霉 ($P < 0.01$)；并且这种抗霉性与竹材的含水量成负相关；但中、下部竹材间差异不明显。

表 6 毛竹不同段位竹材的抗霉性与含水量

部 位	内腔面霉菌覆盖率(%)		秋竹材 含水量 (%)
	冬竹材(测试1)	秋竹材(测试2)	
上	16	41	21.0
中	25 a	53 b	29.0
下	32 a	56 b	30.5

注：表内字母意义同表 3。

为冬竹材的近 3 倍。即不同季节砍伐的毛竹材的抗霉性与竹材含水量间不表现相关关系(表 7)。

表 7 不同季节砍伐的毛竹材抗霉性与含水量

砍伐季节	内腔面霉菌覆盖率(%)		砍伐季节	内腔面霉菌覆盖率(%)		含水量(%)
	盖 率 (%)	含水量(%)		自然接种	人工接种	
冬	38	12.7	冬	8**	11**	29.0
夏	48	36.1	秋	25**	72**	11.9

注：**示 $P < 0.01$ ，差异极显著。

2.4 毛竹不同砍伐季节竹材的抗霉性

冬竹材比秋竹材显著抗霉，虽然冬竹材含水量比秋竹材高；冬竹材与夏竹材间在抗霉性上差异不显著，虽然夏竹材的含水量约

3 结论与讨论

3.1 竹材基质对竹材霉变的影响极大。在致霉的其它条件相同的情况下,竹材基质的抗霉性决定该竹材霉变的程度。这种抗霉性在不同竹种之间有极显著的差异。供试11个竹种的抗霉性顺序由高到低为:黄槽毛竹>毛竹>浙江淡竹>刚竹和石竹>红竹和毛金竹>篔竹>苦竹>黄古竹>茶杆竹。前二者为抗霉竹材,后四者为易霉竹材,中间5个竹种竹材的抗霉性介于前后二者之间。但在不同预处理和贮存条件下,不同竹种竹材间的抗霉性顺序有变动,表明竹种与预处理、竹种与温湿度间有显著的相互作用。抗霉性在不同竹龄、不同部位毛竹材间也有极显著差异。毛竹冬竹材的自然抗霉性随着竹龄的增长而增强;五度与六度的毛竹材抗霉性极显著地高于二、三、四度毛竹材。毛竹上部竹材的抗霉性极显著地高于中、下部的竹材,这种抗霉性与各部位的竹材含水量成负相关。中下部竹材间抗霉性差异不明显。

3.2 在竹材贮存和利用上,由于竹种与温湿度以及竹种与预处理间的相互作用,适宜于各种竹材的贮存条件不完全相同。在不降低竹制品品质的前提下,为了减少半加工材及成品的霉变损失,可在竹种及贮存预处理上先行选择。由于露天存放使各竹种竹材严重霉变,迅速丧失利用价值,竹材应存放于能避免日晒雨淋的有遮蔽处。据观察,霉菌首先在竹材的剖面定殖滋生,顺序一般为横断面→纵切面→内腔面→外皮,这与前人报道一致^[8]。原竹耐贮藏,半加工材应尽量随剖随用;尤其要避免梅雨季节前把大量未经有效防霉剂处理的半加工材与成品入库并长期存放。各竹种竹材如因工艺需要在加工前采用短期流水预存时,自水中取出后应避免放置于高湿处。

3.3 毛竹不同砍伐季节的竹材间在抗霉性上的差异,因用于测定的冬、夏竹样株个体间变异大,样品数显得不足;并且不同季节砍伐的毛竹材间在竹材新鲜度方面的差别无法消除,试验误差偏大,目前难定论,有待扩大试验。

参 考 文 献

- [1] 中国林科院亚林所、木材所竹材防霉、蛀、腐联合调查组委托中国科技情报所国际联机检索资料:竹材、生物劣化、防霉、霉变,“Dialog” search; CAB 1972~1986年, Agricola 1979~1986年, Biosis Reviews 1986年。
- [2] 中国科学院微生物所, 1970, 微生物在工业上的应用(国外研究近况), 科学出版社, 157~184。
- [3] Liese, W., 1981(花锁龙译, 1981), 竹材防腐, 亚林科技, 1981年增刊, 49~54。
- [4] 梁炳英等, 1981, 竹编制品害虫、霉菌的发生与防治研究简报, 广西农学院科学研究资料, (1), 37~42。
- [5] 周慧明等, 1983, 毛竹乙酰化及其防霉的探索试验, 竹类研究, 75~83。
- [6] 刘云等, 1983, “79-7”对慈竹(*Sinocalamus affinis*)薄篾制品的防霉防虫, 竹类研究, 84~87。
- [7] 杜复元等, 1985, B.B.P-841药剂对竹材防腐试验研究, 浙江林学院学报, (2), 53~56。
- [8] 刘云, 1985, 竹制品防霉防虫(一)、(二), 竹类研究增刊, 51~54, 55~59。
- [9] 吴开云等, 1990, 竹材霉变生物学的研究Ⅰ.毛竹材致霉菌与致霉特征, 林业科学研究, 3(4): 303~309。
- [10] Allsopp, D. et al., 1980, Introduction to biodeterioration, Edward Arnold(Publishers) Ltd, London, 95~112。
- [11] Shield, J.K., 1974, Amoniacal zinc oxide treatment as an Inhibitor for fungi in pine lumber, 24(2)。

- [12] CMI, 1985, Teaching materials of UNESCO/CMI international course "biodeterioration and fungal interaction", London.
- [13] IUFRO, Suggested standard method for field tests with wooden stakes.
- [14] Liese, W., 1989, Progress in bamboo research, 竹子研究汇刊, 8(2):1~16.

Studies on Biology of Bamboo Timber Moulding

II. Resistance of Bamboo Substrates to Moulding

Weng Yuexia Wu Kaiyun

(The Research Institute of Subtropical Forestry CAF)

Abstract Various experimental methods were used to test natural resistance to moulds of the timber of eleven bamboo species, and the timber of Mao bamboo (*Phyllostachys edulis* (Carr.) H. de Lahaie) of different ages and from different positions on the stem. Bamboos were from north Zhejiang, the People's Republic of China. The results from analysis of variance and multiple contrasts were as follows:

(1) The sequence of natural resistance of the timber of eleven bamboo species to the moulds from high to low was *Phyllostachys edulis* f. *luteosulcata* (Wen) Chao et Renv., *P. edulis* (Carr.) H. de Lahaie, *P. meyeri* McClure, *P. viridis* (Young) McClure and *P. nuda* McClure, *P. iridescens* C. Y. Yao et S. Y. Chen and *P. nigra* Munro var. *henonis* (Miff) Stapf ex Rendle, *P. nidularia* cv *smoothsheath* McClure, *Pleioblastus amurus* Keng f., *Phyllostachys angusta* McClure, *Pseudosasa amabilis* Keng f.; the first two were resistant bamboo timbers and the last four were sensitive timbers, there was significant difference between them; interactions of bamboo species × pretreatments and bamboo species × temperatures and humidities existed.

(2) The resistance to the moulds of winter-felled Mao bamboo timber increased with the age of the bamboo, the timber of 9~12 years old Mao bamboo was significantly more resistant than that of 3~8 years old ones; the timber from the upper part of the Mao bamboo stem was significantly resistant than that from the middle and lower part of the same stem.

Key words resistance to moulds; bamboo species; Mao bamboo