

793079

541

--

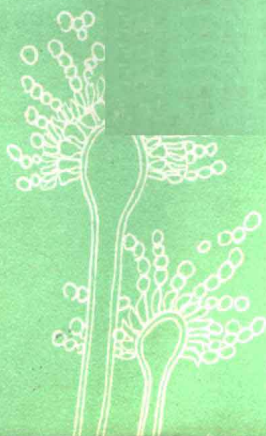
4481

MUCAI
WEISHENGWU JIQI LIYONG

木材微生物 及其利用

黄镇亚 编

中国林业出版社



41

481

木材微生物及其利用

黄镇亚 编

中国林业出版社

封面设计： 袁力

木材微生物及其利用

黄镇亚 编

中国林业出版社出版（北京朝内大街130号）

新华书店北京发行所发行 三河县中赵甫印刷厂印刷

787×1092毫米32开本 4印张 78千字

1985年12月第1版 1985年12月北京第1次印刷

印数 1-4,000册

统一书号 15046·1177 定价 0.90 元

前 言

微生物因其种类多、繁殖迅速（高等动植物无法比拟）、适应环境能力强，在自然界中分布极为广泛。土壤、水、空气、动植物体内外、木材乃至人工合成的材料均可有微生物生长。按微生物的生态分布，可以将它们分成很多类群，如土壤微生物、食品微生物、木材微生物等。这种分类当然不是绝对的，因为同一种微生物可能在多种基质上发生。木材微生物是指可以腐生在木材这种基质上的微生物，它们能以木材成分为营养进行生长和繁殖。

人们对木材微生物有害作用的认识是相当久远的，一些木结构古建筑历千百年而不朽，足见古代劳动人民在木材防腐方面已有了很高的技术，已经懂得并掌握了与木材微生物作斗争的本领。对木材微生物可资利用的一面，人们也早有所知，香菇、木耳为人类的传统食品，云芝、灵芝为我国的传统药材即是其佐证。但是，在以往很长一段时间内，人们较多注意的是如何与木材微生物的有害作用作斗争，即往往从消极防范的角度考虑它们，而对如何利用它们来为人类服务的问题，想得较少。在利用微生物的工业生产中过去有一种倾向，即往往考虑用小型的，对大型微生物（例如木材上腐生的大型微生物）的利用，重视得很不够。随着现代工业

的急速发展，能源问题、环境问题正越来越突出地摆在人们的面前，迫切需要实行少污染、无污染、省能耗的新工艺、新技术。在这种形势下，木材微生物的利用研究便应运而生了。这里所说的木材微生物的利用有两个含意：一是指以木材为原料，通过微生物的作用制取有用产品；二是包括非木材为原料（或基质），借助能腐生在木材上的微生物的作用，制取有用产品（或改变基质性质）。在这些利用研究中，最先出现的是所谓纤维素的酶解，利用一种长在木材上的霉菌——木霉所产生的纤维素酶来水解纤维素，获得葡萄糖，以代替传统的酸法水解。随后又出现了所谓微生物制浆法，利用能分解木质素的微生物，如用导致木材白腐的菌类（木材腐朽菌学称这类菌为白腐菌）来除去植物原料中的木质素，进行制浆造纸，以代替或部分代替化学加工和机械加工。近年来，更作了深层培养木材微生物的研究，以期用工业发酵的办法制取各种产品，诸如食用菌丝体、医药、酶制剂等。在环境保护方面，也已开始注意到用木材微生物进行治理。

本书拟就上述几个方面和其他方面对木材微生物及其利用问题作简要介绍，以便让更多的人了解它。我国在这个领域以往做过不少工作，取得了很好的成绩，但总的来说还是不够的，如有的研究工作尚未开展，有的虽已进行，由于投入的人力物力不足，或者未能坚持下来，没有取得应有的成就。如果这本小册子的出版能对我国这方面的工作有所裨益，那将是作者的最大快慰。

本书所取材料大多来自各种专刊、杂志和图书，书末总列参考文献，文内恕不一一注明。由于作者水平所限，书中

难免存在缺点错误，敬请读者批评指正。

本书编写中承董德麟同志提供部分材料，罗晓芳同志对第一部分（分解木材的微生物）提供了宝贵的意见，刘正添同志审阅了部分内容，在此深表谢忱。

目 录

前言

一、分解木材的微生物	1
(一) 分解木材的微生物和 对木材的败坏	1
(二) 木材上真菌类的演替	4
(三) 真菌类对木材细胞壁的侵入和分解方式	8
(四) 真菌类在木材上生长的条件	10
1. 营养	10
2. 温度	12
3. 湿度 (水分)	13
4. 氧气 (空气)	14
5. 酸碱度 (pH 值)	15
二、微生物对木材组分的分解	16
(一) 关于微生物酶的一些基本概念	16
1. 什么是酶	17
2. 单成分酶和双成分酶	17
3. 酶合成的诱导和阻遏	17
4. 影响酶反应进行的因素	19
(二) 纤维素的生物分解	22
1. 纤维素酶和纤维素的酶解	23
2. 纤维素酶的活性测定和表示方法	26
(三) 木质素的生物分解	28
1. 参与木质素分解的酶类	30
2. 木质素的分解代谢产物和分解途径	33

(四) 半纤维素的生物分解	37
(五) 木材微生物的代谢产物	38
三、木材微生物的利用	41
(一) 纤维素的酶解糖化	41
1. 纤维素酶解所用的产酶微生物	44
2. 纤维素酶解的基本过程	49
3. 实现酶解工业化需要解决的几个问题	67
(二) 用微生物制浆造纸	71
1. 生物法制浆所用微生物的选育	73
2. 生物法制浆可能采用的生化工程	75
3. 生物-机械制浆和生物-化学制浆	77
4. 酶催化法制浆	79
(三) 食用菌丝体的生产	80
1. 食用菌丝体的深层培养	82
2. 深层培养的菌丝体的营养价值	85
3. 生产食用菌丝体中存在的一些问题	88
(四) 在医药方面的用途	90
1. 用木材微生物生产抗菌素	90
2. 用木材微生物生产抗肿瘤药物	96
(五) 木材微生物的其他用途	101
1. 在环境保护方面的利用	102
2. 由木质素制取有用化学品	105
3. 酶制剂生产	109
4. 木材改性和木材防腐方面的利用	112
5. 饲料、堆肥和土壤改良剂的制造	114
参考文献	116

一、分解木材的微生物

虽然木材是地球上最大的生物质，树木是地球上寿命最长的生物，结构坚固，具有对付外界入侵的防卫手段，但是它们也受其他生物特别是微生物的分解腐朽，忠实地符合元素循环的基本规律，服从自然界的总体平衡。尽管木材并不是一般微生物生长的理想场所，但是由于微生物的营养类型很多，作用力强大，仍有许多微生物可以以木材为基质进行生长和繁殖。研究腐生在木材上的各种微生物及它们之间的相互关系，将为通过生物转换获取有用物质打下基础，同时也有助于进一步掌握木材防腐的规律，减少因腐朽而造成的损失。

（一）分解木材的微生物和对木材的败坏

以木材的各种化学成分为营养生长在木材上的微生物很多，它们的种类和对木材的败坏情况可用图 1 表示。木材的微生物败坏包括白腐、褐腐、软腐、变色、霉菌污染和细菌败坏等多种。白腐、褐腐和介于这两者之间的中间腐朽，即一般所称的木材腐朽是属于担子菌的真菌（包括少数形成子实体的大型子囊菌）所引起的木材严重败坏，干朽菌（*Me-*

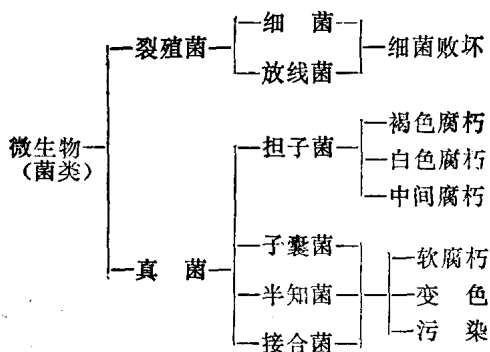


图1 腐生在木材上的微生物和败坏情况

rulius lacrymans) 腐朽破坏木结构房屋就是典型的木材腐朽例子。引起木材褐腐的菌类（木材腐朽菌学称这类菌为褐腐菌）主要分解纤维素和戊聚糖，木质素所受变化不大，腐朽材呈褐色。褐腐材中，1%氢氧化钠的抽提物增加，纤维素可由原有约60%减少到约5%。褐腐发生后，重量减少率若超过20%，木材在弦向和径向就会明显收缩。白腐菌主要分解木质素，也分解纤维素和戊聚糖，腐朽材呈白色。腐朽材中碱油提物较少。木材发生白腐时，往往会出现黑色或褐色细线，这种细线叫做带线，带线有时可以组成美丽的图案，褐腐材中一般没有这种带线。软腐朽是子囊菌和半知菌引起的木材败坏，这种败坏相当普遍，许多场合都可发生，比如在水中使用的木材上，和土壤接触的木材上，高湿度环境中使用的木材上，野外堆放的制浆木片上，在其他不适合担子菌生长的环境中使用的木材上，软腐朽都起了主要的败坏作用。引起木材软腐的菌类（木材腐朽菌学称为软腐朽

菌)分解木材中的纤维素,在木材细胞次生壁中层(S_2)形成空洞,对木材的危害较大,常引起木材表层的软化。木材因软腐引起的重量减少一般在百分之几范围,但也有达百分之几十的。由于软腐败坏主要发生在木材外表层,对深度方向的危害进展较慢,大断面材所受的损失相对小些。木材变色有化学作用引起的和微生物造成的数种情况,就微生物引起的变色而言,又有两种:一是由木材变色菌引起,其菌丝深深地侵入到木材组织内,使变色直达木材内部;二是由木材表面生长菌(或称污染菌)引起,仅在木材表面生长繁殖污染木材。前者属于子囊菌(也有一部分半知菌),如松材青变菌(*Ceratostomella ips Rumbold*)和山毛榉材褐变菌(*Endoconidiophora Bunae Kitajima*)引起的木材变色。后者是木材表面生长菌,即所谓霉菌造成的颜色污染,是木材表面的微生物败坏,也是日常生活中常见的现象。木材上生长的霉菌主要有毛霉(*Mucor*)、根霉(*Rhizopus*)等接合菌,青霉(*Penicillium*)、曲霉(*Aspergillus*)、枝孢(*Cladosporium*)、粘束孢(*Graphium*)、镰孢(*Fusarium*)等半知菌。细菌和放线菌虽然有的可以分解纤维素和木质素,但能引起健全材败坏的为数极少。

软腐菌、变色菌、表面污染菌等木材败坏微生物,虽然它们的危害情况各不相同。但从分类学上考虑它们都是子囊菌、半知菌或接合菌等非担子菌的真菌。而且,随着对软腐朽研究的深入,发现它们的败坏能力和败坏情况也不能完全区别开来,例如由最普通的污染菌——青霉、曲霉、镰孢霉等侵害木材3—6个月,也会造成百分之十几的重量减少,在

木材细胞壁上出现软腐朽特有的空洞，如果环境条件适宜，也有相当强的分解能力，和软腐朽菌的区别并不明显。因此，有的科学家就将软腐菌、变色菌和污染菌这些非担子菌的木材败坏菌，归纳统称为微型真菌，将它们对木材的危害称为微型真菌的木材败坏。微型真菌在木材败坏中有自己独特的生理活性，例如对环境的适应性强，能够生长的条件范围远比担子菌宽广，在一般担子菌不能生长的含水率高达100—200%的木材上，微型真菌却可以适应，有很高的侵入感染能力。微型真菌还和担子菌对木材的侵入腐朽密切相关，它和担子菌共同组成了自然状态下木材上真菌类的生长演替过程。

(二) 木材上真菌类的演替

植物群落中植物的组成常以一定的规律发生变化，逐渐进入所谓“极相”的稳定状态，人们将植物生长变迁的这种过程称为演替。对菌类来讲，分解利用某种有机物的菌类种类是与有机物发生的变化相对应的，也按一定的规律发生变迁，人们将从开始起直到最后分解完该种有机物为止的整个菌类变迁过程也称为演替。各种菌类对其所利用的有机物都有一定的要求，它们的酶也各具特性，在对复杂有机物的分解过程中，具有不同特性的各种菌类是按次序进行作用的，分解产物如同接力棒那样，顺次被后续的各种菌类所利用。木材的微生物分解仅靠担子菌腐朽是不够的，这里也存在着菌类演替过程，木材是通过多种菌类的作用发生腐朽分解

的。在发挥重要作用的菌类中不仅有担子菌，也包括微型真菌在内。因此，了解木材分解过程中出现什么样的微型真菌，这些菌类的演替过程如何，微型真菌和担子菌发生怎样的相互关系等问题是十分重要的。

这里先列举和木材分解比较类似的落叶上菌类的演替过程。据研究，在落叶分解过程中出现的菌类可分为三群：第一群是迅速在叶上出现的菌，它们生长在落叶分泌的溢出物上，昆虫、小动物之类的粪便或其他有机物上，大多是些来自土壤的迁移菌，如毛霉目的犁头霉 (*Absidia*)、巴克斯霉 (*Backusella*)、小克银汉霉 (*Cunninghamella*)、被孢霉 (*Mortierella*) 和毛霉 (*Mucor*) 等，在分解末期则不太出现，第二群是从分解初期到中期常见的菌，经过约 4—6 个月的分解后，它们的出现率逐渐下降，这群中属于子囊菌的有长喙壳 (*Ceratocystis*)，半知菌类的则各种都有，它们利用较复杂的糖类或纤维素为营养，第三群在分解后期出现，在分解初期几乎看不到它们，以具有木质素分解力的担子菌为多数，如小菇 (*Mycena*)、小皮伞 (*Marasmius*)、环柄菇 (*Lepiota*) 等。此外，子囊菌和半知菌也出现较多。除以上 3 群偏重于在一定阶段出现的菌类外，还有从落叶分解初期直到后期为止全期出现的一些菌，如属于半知菌的枝孢 (*Cladosporium*)、木霉 (*Trichoderma*)、青霉等。以上出现在落叶分解过程中的菌类，其演替情况可用图 2 来表示。

为了研究木材上菌类的生长和演替，可将各种木材试料置于一定的场所进行实验，观察菌类的发生过程。日本布施等人从建筑木材腐朽的角度考虑，在木结构房屋的地面上埋

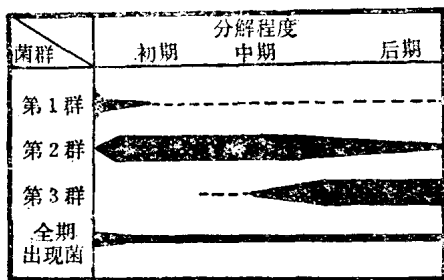


图2 落叶分解过程中菌类出现的演替经过

进杉边材和山毛榉边材做成的木桩，观察木桩各部位菌类的发生。实验发现，在桩的地上部、与地面相接的地际部以及地下部，菌类的演替是不同的，不但如此，在

桩的表面和内部，情况也不一样。这是由于桩的部位不同，含水率等菌类生长的条件不同，不同部位所接触的环境中微生物的种类也不同造成的。布施根据自己的研究和其他人的有关报告，将木材上出现率高的各种菌类作了分类，归纳出它们的发生和演替按如下顺序进行。

I. 地上部是来自空气中的菌类，地际部和地下部是来自土壤的菌类，都是些分解低分子碳水化合物的微型真菌：毛霉、曲霉、青霉、拟青霉 (*Paecilomyces*)、枝孢、镰孢霉、粘帚霉 (*Gliocladium*)、木霉等。

II'. 软腐朽菌和与之相近的有软腐朽力的微型真菌，纤维素、半纤维素分解菌：毛壳菌 (*Chaetomium*)、炭角菌 (*Xylaria*)、腐质霉 (*Humicola*)、柱孢 (*Cylindrocarpum*)、链格孢 (*Alternaria*)、盘多毛孢 (*Pestalotia*)、黄丝曲霉 (*Talaromyces*)、毛葡孢 (*Botryotrichum*)。

II. 布施实验中出现率最高、有一定程度软腐朽力的菌类：镰孢霉、木霉、粘帚霉。

Ⅲ. 将上述Ⅱ各种菌的分解产物接着加以利用的二次成分分解菌：曲霉、青霉、镰孢霉、粘帚霉、木霉等。

Ⅳ. 担子菌类。

即木材上出现的菌类大体上要经历初期霉菌→软腐朽菌→二次霉菌→担子菌等的演替过程。

以上是木材上菌类发生和演替的一般情形，具体过程可因材种和环境条件不同而有所差异。以山毛榉边材和杉边材木桩腐朽为例，各部位菌类的演替如表1所示。在山毛榉边

表1 木桩各部位出现的菌类和演替经过

经过月数 腐朽部位		1	3	6	12	18	24
山毛榉材	地上部	I > II	II > III	III > II	II、III	III、IV、II、II'	II'、III > II
	地际部	I	II、III、IV	II'、III > II	II、II'、III	II'、III	II'、III
	中心部	I	II、III	II、III、IV	III > II、II'	II'、III	II'、III
	地下部	I > II	II、III、IV	II'、III > II	II、II'、III	II'、III	II'、III
杉材	地上部	I	II、III	II、III	II、III	II、III > II'	II、II'、III
	地际部	I	II、III	II、III	II'、III	II'、III	II'、III
	中心部	I	I	II、III	II'、III > II	II'、III	II'、III
	地下部	I	II、III	II、III	II'、III > II	II'、III > II	II'、III

注：I > II，表示I出现多，II出现少。

材上，上述I → II → III → IV的演替过程在地际部和地下部经3个月就可完成，3个月以后木材分解是因II'和III的作用发生的。在中心部，这个演替过程较慢，需6个月才完成，此后也在II'和III的作用下木材发生分解，如同地际部和地下部一样。地上部由于容易受季节和外界的影响，含水率的变化较大，在含水率比地际部和地下部低的地上部，

这个演替过程进展很慢,18个月才出现担子菌类。杉边材的情况与山毛榉不同,担子菌的出现极慢,在实验所处的条件下,菌类演替仅停留在Ⅰ→Ⅱ→Ⅲ的过程,不论哪个部位都未能完成一直演替到出现担子菌的阶段。由于起主要腐朽作用的担子菌未能出现,木材重量减少率在24个月后又仅为5%左右。

过去一般认为担子菌是败坏木材最主要的微生物,这无疑是对的,因为它所引起的腐朽对木材的危害最大,但若从菌类演替的角度考虑,这种认识又是不完全的。因为自然状态下的木材腐朽,几乎不可能有这种情况产生——起主要腐朽作用的担子菌一开始就出现,对木材进行分解,必然要经过一定的菌类演替,通过各种菌类的相互作用,木材腐朽才得以进行。这说明微型真菌在木材的分解腐朽中也起着十分重要的作用。

(三) 真菌类对木材细胞壁的

侵入和分解方式

菌类对木材的分解是和菌丝在木材中的扩展密切相关的。附着在木材表面的菌丝之所以能在木材内部蔓延,在径向,射线薄壁细胞起了很大作用;在纤维方向,管胞(针叶材)或导管(阔叶材)起了很大作用。木材中菌丝的蔓延扩展,在阔叶材中由于通过穿孔很易进行,几乎不存在物理上的障碍,比仅从纹孔扩展菌丝的针叶材要容易得多。因而阔叶材也就容易发生腐朽。木材分解除以上被本身性质决定

外，和菌的种类也直接有关。多数微型真菌侵入木材细胞壁的能力比担子菌低，它一般贯通纹孔部分，很少能直接贯通细胞壁来扩展其菌丝。相反，白腐菌除能贯通纹孔膜外，还能从细胞腔分解细胞壁，在壁上形成蛀孔，进行腐朽。褐腐菌一般认为形成蛀孔的能力较差，但菌丝可直接向细胞壁中侵入，首先侵蚀富含纤维素的内壁，因此褐腐菌的侵蚀不太受木质素分布的影响。各种菌类侵入木材细胞壁扩展菌丝的能力不同，木材所受的分解腐朽也随之不同。

对木材细胞壁的分解方式，微型真菌和担子菌一般是有相当区别的。侵入到木纤维、导管、管胞内腔的各种菌丝，首先沿纤维方向伸长，然后菌丝分枝而成 T 字形，向木材细胞壁侵入。根据侵入细胞壁的菌丝对细胞壁的分解方式不同，可分为空洞型和侵蚀型两种类型。空洞型是菌丝分枝后向细胞壁侵入，当到达次生壁中层 (S_2) 时，再在纤维轴方向上沿纤维素微纤丝生长，腐蚀周围的 S_2 层而产生空洞(图 3)；侵蚀型则从内腔起如同挖取似地直接腐蚀细胞壁。空洞型是软腐朽菌造成的特有现象，侵蚀型则是担子菌腐朽的分解方式。但是随着研究的深入，发现褐腐和白腐中也有形成空洞的情况，而软腐中也有不形成空洞的。有人用不同木材试样作了比较，发现空洞型在木质素含量高、难侵入的试样中较多，而侵蚀型则在木质素少、容易侵入的试样中为多见。由此看来，

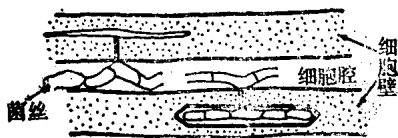


图 3 菌丝以空洞型方式分解细胞壁的示意图