

# 杉木连栽林地土壤酚类物质 降解受阻的内外因

何光训

(浙江林学院, 临安 311300)

**摘 要** 杉木林地土壤酚类物质的逐代积累达一定浓度, 可以使林木生长受抑制直至死亡。土壤酚类物质分解消除主要依赖土壤中异养微生物的大量繁殖和生长, 故土壤有机质的激发效应和氮、磷的营养作用是至关重要的。否则土壤微生物(细菌)将由初生代谢转向次生代谢, 并积累次生代谢产物, 致使土壤微生物无力分解土壤酚类物质。杉木林凋落物的激发作用小是不能促进土壤酚类物质消除的关键, 必须有其他来源的有机质的协同作用以补充有效能源。

**关键词** 苯酚; 降解; 阻遏; 土壤有机质; 土壤微生物; 杉木

**中图分类号** S714

杉木(*Cunninghamia lanceolata*)是我国南方林区主要速生用材树种。长期以来的林业生产实践证明, 杉木连栽其生长量随着连栽代数的增加而普遍下降<sup>[1-3]</sup>。为此, 尽管林业(土壤)科学工作者自50年代末至60年代初以来一直致力于杉木生长和土壤肥力两方面的研究, 论范围相当广泛, 其中包括林木生长状况及其小循环的研究, 土壤肥力方面诸如氮、磷、钾、硼, 有机质及其类型研究, 土壤理化性质研究, 土壤微生物及土壤酶活性研究以及土壤酚类物质研究等, 但至今尚未从机理上作出明确的结论。原因是多方面的, 笔者认为缺乏系统的理论研究是主要的。正如俞新妥所指出的那样, 研究工作有深入之必要, 并把基础理论与实际应用结合起来, 以使研究水平不断地提高<sup>[4,6]</sup>。

笔者已从土壤腐殖质形成角度阐明了土壤酚类物质积累机理<sup>[6]</sup>, 并阐明了酚类物质对植物的毒害机理<sup>[7,8]</sup>。但对杉木林地土壤酚类物质消除机理尚欠清楚。本文旨在通过对土壤中异养微生物(细菌)生长发育规律或代谢过程变化的特点比较, 力求探明土壤酚类物质微生物降解受阻的内外因和实质, 为恢复和提高连栽杉木林地土壤肥力提供理论依据。

## 1 研究现状的剖析

虽然林业科学工作者自50年代末至60年代初以来进行了土壤肥力、土壤理化性质、土壤生物化学、土壤微生物量及其活性以及林木生物小循环和营林措施等方面研究, 并出版了《杉

收稿日期: 1995-05-19; 修改稿收到日期: 1995-09-04

木人工林生态学研究论文集》、《人工林地力衰退研究》和《中国南方混交林研究》3部专著,但是这些研究多以土壤养分肥力为中心,且指标各异<sup>[9~11]</sup>。这当然是必要的。

由于土壤酚类物质要依赖于土壤中异养微生物(细菌)去分解,因此,研究异养微生物的生长发育状况是至关重要的。以往的研究仅着眼于无机养分来促进微生物的生长和繁殖,因此无助于土壤酚类物质的消除和分解<sup>[11,12]</sup>。如果以土壤有机质为基础,再辅之以无机养分,就能既满足土壤异养微生物对碳源和能源的要求,又能满足养分的需要。所以,土壤肥力应对土壤有机质状况进行详细研究。至于土壤微生物和土壤酶活性虽可以作为肥力指标,但属于第2位的,受控于土壤有机质状况的变化,且呈正相关,如过氧化氢酶、过氧化物酶、蛋白质水解酶、转化酶、脲酶和磷酸酶等<sup>[1~3,12~14]</sup>。多酚氧化酶活性却和土壤有机质含量呈反相关<sup>[2,12]</sup>。笔者认为,这是土壤微生物代谢变化的“质”的反映。

## 2 土壤酚类物质分解的障碍

为了弄清楚杉木林地土壤酚类物质降解受阻的关键和障碍,现将国内外有关酚类分解的各种处理列成综合表以资比较(附表)。这种比较的基础在于杉木是连续种在同一块林地上。所以,有理由认为林木和土壤微生物的环境条件诸如土壤类型、酸碱反应、水热状况和氧化还原条件应视为间接的,相对近似的<sup>[7]</sup>。

附表 不同处理对酚类物质分解的影响

Fig. Effects of different treatments on reduction of the phenols

毒物种类	处 理	毒物消除程度	指示植物	参考文献
香草醛	氮+磷+钾	三耕土毒物未除	小麦、白菜	[12]
酚 类	缺无机盐	不能分解		
	缺氮或缺磷或缺氮磷	分解度极低		[35]
酚 类	阔叶林凋落物			
物 质	水解性氮磷或氮+磷+碳	迅速分解消除	擦杉混交	[6,24]

农业土壤培肥的中心环节是保持和提高土壤有机质的含量。笔者认为,森林土壤亦毫不例外。前者是通过人为施肥实现的;后者是通过林木自肥作用完成的。但不同林分其自肥作用有大有小,阔叶树大于针叶树。土壤酚类物质是芳香类有机化合物,仅能作为一种碳源,而不是异养微生物的有效能源<sup>[13]</sup>。杉木林地凋落物正是以单宁、树脂和木质素为多。所以,以这些成分为主的土壤有机质即使积累达一定含量,亦难以促进土壤微生物的生长和繁殖,相反还可能抑制其他微生物的活动,进而导致植物中毒<sup>[16~19]</sup>。

由附表可知:①在微生物对酚类物质分解过程中,仅有铵盐,或磷酸盐,或而有兼之,都不足以促进酚类物质的消除,或分解度极低。②在氮+磷基础上,视生物成分多少而定。生物成分多的,则酚类迅速分解,少的分解度甚低。③阔叶林凋落物中氮+磷+碳的作用相当于②中的作用,两者均表明碳元素的生物学内涵——碳源和能源物质。由于阔叶林与针叶林其化学组成上存在着明显的差异,因此在土壤培肥上表现是不同的,前者优于后者;在激发效应上亦是前者大后者小<sup>[16~17,20]</sup>。但以往的研究中往往只注意阔叶树种在针阔混交林中的培肥作用,而忽视阔叶树的激发效应作用。笔者曾指出阔叶树在针阔混交林中的激发效应

作用和养分作用<sup>[8,10~22]</sup>。由此可知,土壤有机质在培肥土壤上既有数量上的问题,又有质量问题。从土壤酚类物质毒害程度上看,头耕土的有机质实际上是处在临界状态。欲消除土壤酚类物质的毒害必须加强生物小循环,而这又决定于土壤有机质含量的提高和质量的改善。这是矛盾的主要方面,是土壤酚类物质降解受阻的障碍。

### 3 林地的土壤生物化学

近代的土壤生物化学明确地指出,活的土壤微生物(细菌)欲维持其正常的生命和生长,需要足够的维持能和生长能,且维持能与其生长没有直接的关系。因此笔者认为,增加碳氮比例小的新鲜土壤有机质含量,实际上是土壤微生物提供生长能,促进其生长繁殖的过程,且有十分重要的土壤生物化学意义,并可为研究土壤酚类物质消除提供了有力的理论依据<sup>[8~8,23~27]</sup>。

森林土壤是一种天然的微生物培养基,含有土壤微生物生长发育必需的各种成分<sup>[10,14,15,27]</sup>。土壤越肥沃,微生物越多,活性越强。土壤微生物数量和活性是衡量土壤肥力水平的有效指标。尤其土壤中异养微生物状况,能在一定程度上反映作为营养和能源物质的有机质的质和量的实际内容的。因此,杉木林地中的土壤微生物状况(如头耕土大于二耕土,二耕土大于三耕土)就明显意味着土壤有机质的质和量朝着不利于土壤微生物繁衍的方向去发展,最终处于二耕土和三耕土中的微生物数量变化不大(即处于稳定阶段),并出现毒性(三耕土大于二耕土,二耕土大于头耕土)。多酚氧化酶活性三耕土大于二耕土,二耕土大于头耕土,并与土壤有机质(腐殖质)含量呈反相关以及芽孢杆菌的逐代增加。据此,笔者认为杉木林地中土壤微生物的代谢过程实际上已由正常代谢转向次生代谢<sup>[16,18,23,26]</sup>。头耕土相当于分批培养法中的首次培养的环境条件,二耕土相当于第2次培养条件,三耕土相当于第3次的培养条件。杉木林是纯林,主要营养来自林木的自肥作用,即自身的凋落物,及土壤肥力状况<sup>[28,29]</sup>。杉木是常绿树种,每年的凋落物少,且碳氮比大,多为纤维素、半纤维素、单宁、树脂和木质素,再加炼山的影响,土壤中氮和磷以及能源物质逐代消耗殆尽,最终导致土壤微生物不仅仅数量逐代减少,且芽孢杆菌增多,同样意味着土壤微生物活动所需的碳源和能源状况处在接近饥饿状态,停止生长和繁衍。即林地土壤微生物缺乏生长能。而土壤中酚类物质仅能作为一种碳源,因而土壤酚类物质是逐代增加的,并经过诱导作用使土壤中多酚氧化酶活性亦逐代增强,进而引起林木体内生长素氧化酶活性随之增强。生长素因此分解,最终林木中毒<sup>[7,12,13,15]</sup>。

至于土壤中酚类物质的毒性和多酚氧化酶活性,三耕土大于二耕土,二耕土头耕土,是林地土壤微生物在缺乏有效糖源和氮、磷情况下,除形成孢子外,说明土壤微生物体内的代谢过程发生质的飞跃,正常代谢已转向次生代谢,并产生新的生物化学变化。在新鲜有机质进入土壤的初期,土壤水解类酶(如淀粉酶)的水解作用,可以为土壤微生物提供一定数量的葡萄糖和氨基酸等。尤其是前者阻遏了次生代谢的进行,土壤微生物因此进行正常的繁衍生长过程。随着时间的推移,可水解的物质亦随之消耗殆尽,剩下的自然是难分解的化合物。如果此时无新鲜有机质的补充,则阻遏作用从此解除,次生代谢合成占优势。关于这点,芽孢的形成发生即是佐证<sup>[12,20,30,31]</sup>。故此,多酚氧化酶活性和酚类物质增强,进而使杉木林

地土壤酚类物质和多酚氧化酶活性三耕土大于二耕土, 二耕土又大于头耕土。杉木纯林正是为该生物学过程创造了极为有利的条件。如果实行针阔叶树种混交, 阔叶树的凋落物即可逆转这种不利的局面, 使林地土壤微生物的代谢始终处于正常状态, 水解类酶的活性增强, 多酚氧化酶活性降低, 无毒害现象产生。

另外, 杉木林地的林下植被亦因其在完成一个生命周期后补充和更新土壤有机质, 类似于阔叶林凋落物的作用。因此, 调节林地的郁闭度是至关重要的, 值得重视。

有资料表明, 无论是土壤酚类物质(如香草醛)或是多酚氧化酶, 都有随土壤中葡萄糖浓度高低而变化的趋势。头耕土中葡萄糖含量高, 香草醛低。反之亦然, 三耕土中葡萄糖低, 而香草醛高。从土壤氧化力看, 土壤对葡萄糖的氧化力随着有机质分解过程的进行而明显减少, 直至后期几乎接近于零, 而对土壤酚类物质的氧化力则仍维持相当高的水平。显然, 这与土壤次生代谢过程的发生是密切相关的。因此, 土壤中碳水化合物(如葡萄糖)在土壤生物学中的作用可以归纳为: ①碳架; ②有效能源物质; ③控制土壤代谢过程的去向<sup>[9,23]</sup>。

同一个土壤剖面中, 表层多酚氧化酶活性低, 而心底土则依次增高。笔者认为亦是这个道理。因为表层土壤有机质含量高, 碳水化合物多, 而向下土壤有机质逐渐减少, 碳水化合物亦随着减少, 土壤次生代谢发生。

综合上述可知, 连栽杉木林地其土壤肥力的逐代下降, 是由于凋落物碳氮比过大, 木质素、单宁和树脂多, 土壤微生物(尤其异养微生物)的碳水化合物(如葡萄糖)在分解过程中逐渐减少又得不到及时的补充所致, 进而导致异养微生物的代谢发生质的变化, 土壤微生物数量、土壤酶活性(除多酚氧化酶)和土壤酚类物质的毒性以及土壤生产力三耕土大于二耕土, 二耕土又大于头耕土。因此, 土壤有机质的质和量是主要的关键性的外在因素, 它通过异养微生物的代谢的内在变化而实现。因此, 笔者有理由认为, 森林土壤和农业土壤一样, 培肥土壤的中心环节是恢复和提高土壤有机质的质和量, 维持正常的生态平衡。这又决定两个因素: ①林木的生物学特性; ②按培肥土壤, 维持生态平衡的原则, 有目的有计划地配置树种并采取相应的营林措施。

#### 4 林地土壤的培肥管理

无论是农业土壤还是林业土壤, 其本质是肥力。前者以人为肥力为主, 通过耕作、施肥及灌溉等可以使土壤中水、肥、气和热得以协调, 而后者则以自然肥力为主, 通过相应的营林措施和树木自身的归还作用来维持和提高土壤肥力。两者培肥的中心环节是恢复和提高土壤有机质的质和量。要做到这点, 必须坚持用地养地相结合的原则。用地必须养地, 养地为了用地, 养地是手段, 用地是目的。林业生产主要在山地上进行, 培肥及管理措施理应区别于农业生产。其主要措施为: ①山地土壤培肥的首要任务是搞好水土保持, 防止水土流失。因为这是土壤培肥的根本途径。否则水跑了, 土跑了, 肥亦跑了(三跑), 进而失去培肥土壤的基础<sup>[30,31]</sup>。②炼山虽然有利于农事操作, 但从土壤形成的实质来看, 是加强了植物营养元素的地质大循环, 却严重地破坏和削弱植物营养元素的生物小循环, 促进“三跑”的产生, 使土壤不仅仅失去大量的有机质, 更严重的是损失异养微生物必需的能源物质, 破坏了山地土壤的生态平衡, 最终导致土壤肥力的退化, 甚至使土壤失去应有的生产力。因此, 要杜绝炼

山<sup>[2,3,30~32]</sup>。③要紧紧地围绕土壤的培肥中心,增加和改善土壤有机质的质和量,克服杉木纯林自肥能力弱的特点,扩大和加强不同植物间相生作用或协同作用,改善土壤微生物的培养环境,保持林地常新常壮,实现“优质、高效、高产”林业<sup>[7,10,13]</sup>。林业生产实践证明,针阔树种混交是防止杉木林地地力衰退的最佳途径。这样既能改善土壤理化性状,更重要的是提高了土壤肥力水平,使植物营养元素小循环始终保持旺盛的态势,土壤生态平衡<sup>[7,27,33]</sup>。④改善营林措施,充分发挥林下植被的“绿肥”作用<sup>[29,34]</sup>。

### 参 考 文 献

- 1 许汝佳. 安徽杉木林地地力衰退原因探讨. 安徽林业科技, 1987, (1): 6~10
- 2 俞新妥, 张其水. 杉木连栽林地土壤生物化学特性及土壤肥力研究. 福建林学院学报, 1989, 9(3): 263~271
- 3 方奇. 湖南林区杉木连栽对土壤肥力及其林木生长的影响. 林业科学, 1987, 23(4): 1~5
- 4 俞新妥. 杉木林地地力衰退问题的研究与对策. 林业科技通讯, 1990, (9): 1~2
- 5 冯宗炜, 陈楚萤, 王开平等. 亚热带杉木纯林生态系统中营养元素的积累、分配和循环的研究. 植物生态学与地植物学丛刊, 1985, (4): 245~253
- 6 何光训. 土壤农化性状对土壤酚类物质积累的影响. 福建林学院学报, 1990, 10(4): 422~425
- 7 何光训. 土壤酚类物质引起植物中毒的植物生理原因. 浙江林学院学报, 1992, 9(3): 339~344
- 8 何光训. 森林土壤氮素的岩矿来源及其重要性. 浙江林学院学报, 1987, 4(1): 91~94
- 9 冯宗炜, 陈楚萤, 李昌华等. 杉木人工林生长发育与环境相互关系的定位研究. 见: 中国科学院林业土壤研究所编. 杉木生态学研究论文集, 1980. 1~29
- 10 中国林学会森林生态分会杉木人工林集约栽培专题组编. 人工林地力衰退研究. 北京: 中国科学技术出版社, 1992. 1~334
- 11 王宏志主编. 中国南方混交林研究. 北京: 中国林业出版社, 1993. 1~289
- 12 张宪武, 许光辉, 郑洪元等. 杉木连栽与土壤中毒. 见: 中国科学院林业土壤研究所编. 杉木生态学研究论文集, 1980. 143~151
- 13 [美]M. 亚历山大著, 广西农学院微生物教研室译. 土壤微生物导论. 北京: 科学出版社, 1983. 71~138
- 14 余叙文主编. 植物生理与分子生物学. 北京: 科学出版社, 1992. 376~394
- 15 曾壤主编. 果树生理学. 北京: 北京农业大学出版社, 1992. 418~450
- 16 朱祖祥主编. 土壤学(土化, 上). 北京: 农业出版社, 1983. 30~50
- 17 于天仁编著. 土壤化学原理. 北京: 科学出版社, 1987. 1~128
- 18 [日]米林甲阳著, 钟思强译. 土壤腐殖质的化学结构与功能. 土壤学进展, 1992, 20(5): 39~42
- 19 郑洪元, 张德生. 土壤动态生物化学研究法. 北京: 科学出版社, 1982. 115~124
- 20 浙江农业大学主编. 植物营养与肥料. 北京: 农业出版社, 1991. 42~72, 143~168, 223
- 21 [美]F. J. StevenSen 等著, 闵九康, 沈育芝, 严慧峻等译. 农业土壤中的氮. 北京: 科学出版社, 1987. 19~28
- 22 陈华癸, 樊庆笙. 土壤微生物学. 上海: 上海科学技术出版社, 1981. 58~65
- 23 程曾能. 微生物生理学. 上海: 复旦大学出版社, 1987. 233~193
- 24 张其水. 福建杉木连栽林地营造不同混交林后土壤酶活性的季节动态. 土壤学报, 1992, 29(1): 104~108
- 25 [美]A. D 麦克拉伦, G. H 彼得森, J. 斯库金斯等著, 闵九康, 关松荫, 王维敏译. 土壤生物化学. 北京: 农业出版社, 1984. 481~498
- 26 [英]I. W 道斯著, 中国科学院上海植物生理研究所微生物室译. 微生物生理学. 北京: 科学出版社, 1980. 162~183
- 27 陈华癸, 樊庆笙主编. 微生物学. 北京: 农业出版社, 1979. 64~88
- 28 叶仲节, 柴锡周. 浙江林业土壤. 杭州: 浙江科学技术出版社, 1986. 189~207
- 29 [德]H. 马纳斯著, 曹一平等译. 高等植物的矿质营养. 北京: 北京农业大学出版社, 1991. 195~202

- 30 中国科学院南京土壤研究所主编. 中国土壤. 北京, 科学出版社, 1978. 202~206
- 31 熊毅, 李庆远主编. 中国土壤(第2版). 北京, 科学出版社, 1987. 718~721
- 32 [前苏]B. A柯夫达著, 陆宝树, 周礼恺, 吴棚眉等译. 土壤学原理. 北京, 科学出版社, 1981. 53~88, 161~187
- 33 吴志东, 车玉萍, 尹端龄等. 我国南亚热带几种人工林的生物物质循环特点及其影响. 土壤学报, 1990, 27(3), 250~261
- 34 林业部造林局. 杉木丰产技术. 北京, 中国林业出版社, 1982. 1~7
- 35 [前苏]H. Φ依兹罗夫著, 郑乃彤译. 环境中常见污染物. 北京, 中国环境科学出版社, 1989. 426

He Guangxun (Zhejiang Forestry College, Lin'an 311300, PRC). **Repressive Causes of Degradation on Phenols from the Soil in Pure Chinese Fir Succession.**  
*J Zhejiang For Coll*, 1995, 12(4):434~439

**Abstract:** When the concentration of phenols accumulated in the soil under Chinese fir forest from time to time, it can decrease the growth of trees, even to death. The degradation of phenols in the soil mainly relies on the growth and development of many microbes. For this, the stimulation of organic matters, nitrogen and phosphate in the soil under Chinese fir is very important; otherwise microbes (such as bacterium) may change their metabolism to submetabolism, and accumulate submetabolites. The microbes in the soil under Chinese fir aren't able to degrade the matters. The small stimulation of Chinese fir litter is a key not degrading these phenols, so in order to degrade these phenols, it should be added other organic matters.

**Key words:** forest land; phenols; degradation; repression; soil organic matters; soil microorganism; *Cunninghamia lanceolata* (Chinese fir)