

文章编号: 1000-5692(2002)01-0100-04

# 连栽杉木林地土壤肥力退化的症结

何光训

(浙江林学院 资源与环境系, 浙江 临安 311300)

**摘要:** 杉木连栽引起林地土壤肥力退化的机理, 尚未定论。腐殖质含量是衡量土壤肥力的重要指标。根据腐殖质生物化学形成理论、酶学以及林地的研究现状, 认为林地土壤中氨基酸的缺乏是导致连栽杉木林地土壤肥力退化的症结。阔叶树种在杉阔混交林中具有增氮和调节碳氮比作用, 退化点和作用点彼此互为佐证。参25

**关键词:** 杉木连栽; 土壤肥力退化; 氨基酸; 阔叶树; 杉阔混交林

中图分类号: S714.8 文献标识码: A

杉木 *Cunninghamia lanceolata* 是我国南方林区主要的速生用材树种。长期以来林业生产实践证明, 连栽杉木的生长量随着连栽代数的增加而普遍下降<sup>[1~3]</sup>。林业土壤工作者自 50 年代末以来一直致力于杉木生长和土壤肥力两方面的研究, 论述范围是相当广泛的, 其中包括林木生长及其小循环的研究, 土壤肥力方面诸如氮、磷、钾和土壤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, 土壤酚类物质研究, 但至今未从机理上作出明确的结论<sup>[4]</sup>。究其原因是多方面的, 笔者认为缺乏综合而系统的理论研究是主要的。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及其对植物的毒害机理, 以及杉木连栽林地土壤酚类物质降解受阻的内外因<sup>[5~7]</sup>。本文旨在通过对土壤中多酚氧化酶活性和土壤腐殖质含量间呈反相关这个反映“质”的问题入手, 力求探明杉木连栽林地土壤肥力退化的实质, 从而为杉木林地土壤培肥提供理论依据。

## 1 杉木连栽林地土壤肥力退化的研究现状

林业土壤工作者虽然对土壤肥力、土壤理化性质、土壤生物化学和土壤微生物等方面进行了研究, 出版了《杉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》等 3 部著作, 且土壤肥力多以养分为中心进行了研究, 但对土壤肥力逐代下降的症结至今仍无定论, 只说是连栽的结果<sup>[8]</sup>。

土壤有机质含量高低是衡量土壤肥力的一个重要指标, 反映土壤肥沃度, 通常被视作土壤培肥的中心环节。对杉木林地而言, 当然亦是如此。头耕土土壤有机质含量相对较高, 酚类物质引起的毒性和多酚氧化酶活性偏低, 从而杉木得以正常生长发育, 生产力高。反之, 二耕土和三耕土因有机质含量逐代下降, 毒性和多酚氧化酶活性则随着增强, 林木生长受到不同程度的抑制。如果从土壤腐殖质形成理论来看, 土壤腐殖质含量则与土壤酚类物质存在呈正相关, 同样亦与土壤中的氨基酸态氮含量存在相似的关系<sup>[5~9]</sup>。由此看来土壤腐殖质含量和有机质含量在概念上存在一定的差别。这种“质”的问题的反应予以重视, 值得深入研究。特别值得一提的是采用杉阔混交, 已被多数研究者视为解决

---

收稿日期: 2001-06-04; 修回日期: 2001-12-17

作者简介: 何光训(1937-), 男, 安徽庐江人, 从事森林土壤学研究。

杉木林地土壤因连栽导致土壤肥力下降的最有效途径<sup>[10, 11]</sup>。但对阔叶树种在杉阔混交过程中其实质性作用仍很少见报道<sup>[6, 12]</sup>。如果在这个关键性问题上有所突破, 那么导致杉木林地土壤肥力下降问题的症结将明朗化。因为阔叶树种在杉阔混交中的真正作用点, 就是杉木林地土壤肥力的退化点。为此, 应改变以往以植物养分为中心, 而转向以土壤生物化学为重点, 以解决林地肥力退化之“谜”。

## 2 杉木连栽林地土壤肥力退化的生物化学分析

杉木在同一块林地上连续栽培数代的过程, 在林业上称为杉木连栽, 其结果是土壤肥力逐代下降, 生产力亦因此而随着下降, 从而阻碍了杉木生产的持续发展。为解决此难题, 林业土壤工作者先是通过施用无机氮、磷和钾, 但是效果欠明显, 其原因是土壤里含有像香草醛等芳香物质, 后来林业科学工作者通过试验证明, 杉阔混交是解决问题的最佳办法。国外资料表明, 在氮+磷+钾的基础上, 再加上某种生物成分可以迅速消除酚物质。酚类必需依赖于异养微生物去分解, 而异养微生物的生长发育又依赖于土壤环境为之提供的碳源和能源的多少(由C/N大小指示变化)。对杉木而言, 其凋落物化学组成多以木质素、单宁和树脂为主, C/N为20.7:1, 相对偏大, 且木质素和单宁又都是酚的聚合体。该酚类化合物属于芳香物质, 仅能作为碳架, 故杉木林地凋落物尚缺乏能源和氮源。而阔叶树凋落物的C/N为15.7:1, 可以提供足够的能源和氮素, 且凋落物数量大。所以, 研究林地的土壤腐殖化状况是至关重要的, 既可以了解林地肥力状况, 又可以了解杉木连栽后土壤中毒状况。

土壤腐殖质形成分2个阶段: ①酚+O<sub>2</sub>  $\xrightarrow{\text{多酚氧化酶}}$  醛+水; ②醛+氨基酸  $\xrightarrow{\text{缩合聚合}}$  腐殖质。杉木林地研究现状表明, 头耕土中由于氨基酸的含量相对地较多, 腐殖质含量高, 且无酚的积累, 无毒害现象发生, 林木正常生长。同时因头耕土C/N偏小, 氮素丰富, 肥力高, 微生物活性强, 有利于对多余酚的降解。其次, 由于二耕土、三耕土的C/N增大至20:1左右, 碳多而氮素显得不足, 腐殖质形成的生化环境不复存在, 并出现酚的毒害现象有逐代加强之趋势。笔者认为, 这是酚氧化为醛后, 因缺乏氨基酸无法形成腐殖质。醛在酸性条件下经某种还原剂作用(e)还原为酚, 且由于C/N的增大, 氮素肥力严重不足, 异养微生物生长发育受抑制, 最终导致酚类积累, 达一定浓度后, 引起林木中毒现象逐代加重。但是, 实行杉阔混交后, 则无此现象发生。其直接原因在于阔叶林凋落物C/N偏小, 可以提供大量含氮有机物(如氨基酸), 既补充土壤腐殖质形成必需的氨基酸来源, 又为异养微生物生长发育提供足够的碳源和氮源。由此可知, 杉木纯林实行多代连栽所出现的肥力下降的症结, 可能在于土壤C/N增大, 含氮有机物氨基酸极度缺乏而致。而杉阔混交后, 由于阔叶树C/N小, 其凋落物可以调节杉木林的C/N, 使之降低至合适程度, 既有利于腐殖质形成, 又能促进微生物生长发育而不致于引起土壤中毒现象的产生, 即退化点和作用点相当。

综上可知, 腐殖质形成需要的氨基酸和酚应当保持一定比例, 二者比例偏大, 则有利于腐殖质化; 反之, 则不然。基于此, 笔者认为, 要把影响腐殖质形成的多因子过程变成简单过程, 必须将pH值和其他诸如气候条件、土壤类型及地形等立地条件视为相对稳定因素, 使作为生化反应的基质——氨基酸和酚直接影响多酚氧化酶和蛋白水解酶的活性。其中关于土壤pH值对多酚氧化酶和蛋白水解酶活性影响尤其重要。影响这2种酶活性的适宜pH值为6.3~7.2, 高于或低于这个值, 酶的活性均受到一定程度抑制。杉木林地土壤pH值实际上为5.0~5.5, 故而对多酚氧化酶和蛋白水解酶影响甚小。酚氧化为醛的过程中多酚氧化酶活性主要决定于土壤酚的浓度<sup>[13, 14]</sup>。从土壤毒性和多酚氧化酶活性来看, 三耕土大于二耕土, 二耕土大于头耕土, 而水解氮和蛋白水解酶活性, 则与之相反, 便是例证。并由此进一步出现多酚氧化酶活性与林地腐殖质含量呈反相关, 这点与土壤生物化学关于酚氧化酶活性与腐殖质化呈负相关相一致。腐殖质化既可在好气状态下进行, 亦可在厌气或好气状态下交替进行, 氧气的供应不是限制腐殖质化的主要条件。

当然, 以上所述尚需作进一步系统研究, 本文仅是笔者在理论上的看法, 以求抛砖引玉。总之, 杉木连栽导致肥力退化的真正原因, 内因是其落叶量小, 化学组成又以木质素、单宁和树脂为主, 在连栽后的生物学小循环中C/N逐代加大, 氮素随之出现实质性损失, 分解大于合成; 外因是炼山导

致氮素大量损失。外因通过内因最终出现肥力逐代下降，并诱发出毒性逐代加强，腐殖质含量随之降低。阔叶林树种在杉阔混交中所以发挥作用，其根本原因，也是在于C/N小。阔叶林凋落物量大，起调节林地C/N的作用，使C/N由大变小，肥力得以提高并由此使土壤生物活性加强<sup>[13~20]</sup>。

### 3 杉木连栽林地土壤肥力退化症结的佐证

有机形态的氮是土壤中氮的主要部分，约占全氮量的92%~98%。它包括水解氮和非水解氮。前者对土壤肥力的影响是极其重要的，当水解氮不足时，必然制约林地肥力的提高，这种氮约占全氮量的50%~70%。主要有蛋白质、多肽、核蛋白及氨基酸。非水解氮包括具醌型或酚型结构化合物和蛋白质与木质素作用生成的更复杂的杂环化合物，杉木林凋落物正是以木质素和单宁为主。如何提高其矿化率是至关重要的，否则难以利用。关于肥力退化的症结由以下诸方面予以佐证之。

#### 3.1 肥力演变的趋向（由C/N比大小指示）

土壤中微生物多数营腐生生活，依赖分解土壤有机物来摄取能量和营养物质，故土壤C/N变化具有十分重要的生态学意义。对杉木林地而言，其C/N小于15~20:1，说明土壤微生物所需氮源充足，而能源不足，有利于肥力的提高，只要适当补充C/N大的有机物即能满足其对能量需求。反之，如C/N大于15~20:1，说明碳源充足，而氮源缺乏，需及时补充氮素，否则肥力下降退化。头耕土C/N为11:1，肥力高；丰产土C/N为14:1，肥力良好；二耕土和三耕土C/N分别为22:1和19:1。据此可以肯定，二耕土三耕土的肥力是朝下降方向发展的。采用杉阔混交后，由于阔叶树C/N为15:1，可调节C/N至17.6:1，从而恢复并提高肥力<sup>[13~20]</sup>。

#### 3.2 理论上的支持

近代的土壤化学研究表明，酚及其衍生物能通过亲核加成反应与氨基酸、肽等含氮有机物结合，一方面形成腐殖质，另一方面形成非酸解性氮，使有效氮向无效氮方向转化，加重了症结的出现。这种亲核加成反应很复杂，影响因素很多，如酚和氨基酸的种类、二者的比率及pH值等。其中值得重视的是该种非酸性氮随着二者比率而增长，而连栽杉木林地土壤中酚类物质（即毒性物质）及氨基酸变化正是如此，这就从理论上直接支持杉木林地腐殖质化过程中关于酚类和氨基酸比率是影响其量的关键的论点<sup>[21]</sup>。

#### 3.3 阔叶树种在杉阔混交中的作用

C/N小的阔叶树种在混交林中的作用，一是激发效应，二是增加土壤养分<sup>[6]</sup>。混交林中阔叶树在改良连栽杉木中具有增氮作用（如水解氮）。因此，阔叶树的凋落物可以及时补充林地中所需的氨基酸，从而缓解肥力向恶化方向发展，使肥力得以正常提高<sup>[12]</sup>。这就是说，杉木林地肥力的退化点和阔叶树的作用点是吻合的。

#### 3.4 “孢子”的产生

三耕土中枯草芽孢杆菌的出现，说明新鲜有机质的分解者枯草杆菌已经由于土壤中简单的含氮有机物消耗殆尽，而为枯草芽孢杆菌取而代之。其中“孢子”的形成往往表明营养细胞中的碳源或氮源处于饥饿状态。所以三耕土实际上已处于严重缺氮状态，同时又意味着土壤代谢由正常向次生转化，并分泌毒性物质，其上试种的小麦发芽生长受到抑制<sup>[7,14,21~22]</sup>，并为近代微生物生理学所证实。

### 4 防止土壤肥力退化的途径

①做好水土保持，防止“三跑”是培肥改土的前提。②炼山既助长水土流失，更重要的是使表层有机物化为灰烬，导致土壤养分及其中能量严重损失，应当杜绝。③因地制宜地采用杉阔混交，恢复肥力。④发挥林下植被的改土培肥作用<sup>[23~25]</sup>。

致谢：对于伍士林同志给笔者的帮助，谨此致谢。

## 参考文献:

- [1] 许汝佳. 安徽省杉木林地地力退化原因探讨[J]. 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[J]. 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[J]. 林业科学, 1987, 23(4): 1—5.
- [4] 马祥庆, 刘爱琴, 黄宝龙. 杉木人工林自毒作用研究[J]. 南京林业大学学报, 2000, 24(1): 12—16.
- [5] 何光训. 土壤农化性状对土壤酚类物质积累的影响[J]. 福建林学院院报, 1990, 10(4): 422—425.
- [6] 何光训. 土壤酚类物质引起植物中毒的植物生理原因[J]. 浙江林学院学报, 1992, 9(3): 339—344.
- [7] 何光训. 杉木连栽林地土壤酚类物质降解受阻的内外因[J]. 浙江林学院学报, 1995, 12(4): 434—439.
- [8] 方奇, 温武瑞. 杉木生态系统管理提高肥力研究[A]. 中国林学会森林生态学会杉木人工林集约栽培研究专题组. 人工林地力衰退研究[C]. 北京: 中国科学技术出版社, 1992. 186—196.
- [9] 高子勤, 张淑香. 连栽障碍与根际效应生态研究: 根系分泌物及其生态效应[J]. 应用生态学报, 1998, 9(5): 549—554.
- [10] 俞新妥. 杉木林地力衰退问题的研究与对策[J]. 林业科技通讯, 1990, (19): 1—2.
- [11] 张其水, 俞新妥. 杉木连栽地营造不同混交林后的土壤生化特性及土壤肥力的研究[A]. 王宏志. 中国南方混交林研究[C]. 北京: 中国林业出版社, 1993. 163—169.
- [12] 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[J]. 土壤学报, 1992, 29(1): 104—108.
- [13] 郑洪元, 张德生. 土壤动态生物学研究法[M]. 北京: 科学出版社, 1982. 1—282.
- [14] 中科院南京土壤研究所. 中国土壤[M]. 北京: 科学出版社, 1978. 495—518.
- [15] 西南农学院. 土壤学(南方本)[M]. 北京: 农业出版社, 1980. 46.
- [16] [英] I. W. 道斯, I. W. 萨瑟兰. 微生物生理学[M]. 中科院上海植物生理研究所微生物室, 译. 北京: 科学出版社, 1980. 1—208.
- [17] [美] M. 亚历山大. 土壤微生物学导论[M]. 广西农学院微生物教研室, 译. 北京: 科学出版社, 1983. 1—138.
- [18] 朱祖祥. 土壤学(上册), 土壤农化专业用[M]. 北京: 农业出版社, 1983. 1—126.
- [19] 陈华癸, 樊庆笙. 微生物学[M]. 北京: 农业出版社, 1979. 64—88.
- [20] 吴蔚来, 姚桃林, 孙波, 等. 杉木人工林地有机物和养分库的退化与调控[J]. 土壤学报, 2000, 38(1): 40—48.
- [21] 卓苏能, 文启孝. 土壤未知态氮[J]. 土壤学进展, 1992, (2): 11—18.
- [22] 何绍江, 毛新国, 李传涵. 杉木解酚菌的研究[J]. 应用生态学报, 2001, 12(3): 344—346.
- [23] 朱斌, 王维申. 杉木连栽障碍的原因及其对策[J]. 中南林学院学报, 1999, 19(1): 76—78.
- [24] 盛伟彤. 我国人工林的地力衰退及防治对策[A]. 中国林学会森林生态分会杉木人工林集约栽培研究专题组. 人工林地力衰退研究[C]. 北京: 中国科学技术出版社, 1992. 15—19.
- [25] 杨承栋, 屠星南, 姚茂和, 等. 杉木林下植被对改良土壤理化和生物特性的效应[A]. 中国林学会森林生态分会杉木人工林集约栽培专题组. 人工林地力衰退研究[C]. 北京: 中国科学技术出版社, 1992. 276—283.

## Degeneration of soil fertility in pure Chinese fir succession

HE Guang-xun

(Department of Resources and Environment, Zhejiang Forestry College, Lin'an 311300, Zhejiang, China)

**Abstract:** Pure Chinese fir succession can result in the degeneration of soil fertility. Because the mechanism of degeneration of soil fertility in pure fir Chinese succession is unknown, there is not a conclusion about it yet. According to the theory that humus content is the important index to measure the soil fertility, the formation theory of humus biochemistry, and the present research on the situation of the forest land. The lack of amino acid is crucial point of degeneration of soil fertility in pure Chinese fir succession. The broad-leaved tree in mixed forest can add nitrogen and adjust the ration of carbon to nitrogen. The broad-leaved tree in mixed forest of Chinese fir and broad-leaved tree can help to increase amino acid and make up for the degeneration of soil fertility.

**Key words:** Chinese fir succession; degeneration of soil fertility; amino acid; broad-leaved trees; mixed forest of Chinese fir and broad-leaved trees