

文章编号: 1000-5692(2005)04-0454-04

杉木化感物质香草醛的产生机理探讨

何光训

(浙江林学院 林业与生物技术学院, 浙江 临安 311300)

摘要: 杉木 *Cunninghamia lanceolata* 连栽可导致生产力逐代退化。退化的重要原因是土壤中化感物质香草醛积累。这种化感物质是在林地土壤中缺氮情况下由于前体物和能量流向次生物质而合成, 故林地土壤毒性是随着杉木林地土壤肥力(如氮)的逐代降低而增强。无论从消除毒性的土壤生物化学——土壤腐殖质形成, 还是从产生毒性物质的生态生物化学——化感物质形成, 都从理论上证明, 缺氮是制约这2种生物化学过程进行的关键因素。另外, 杉阔混交林中的阔叶树的作用在于补充纯杉木林地中缺乏的氮, 这可由杉木生长正常、无毒害现象发生以及腐殖质含量增加佐证。退化点和作用点相一致。图1参23

关键词: 化感作用; 香草醛; 杉木; 生态生物化学; 氮素

中图分类号: Q494; S724 **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。长期的林业生产实践证明, 连栽杉木的生长量随着连栽代数的增加而普遍下降^[1~3]。林业土壤工作者自20世纪50年代末以来一直致力于杉木生长、土壤肥力和土壤酚类物质即化感物质等方面研究, 但至今未对退化机理上作出明确的结论。香草醛是土壤中毒物质, 可能是造成杉木连栽生长不良的又一个重要原因。至于这种化感物质是在什么条件下, 通过何种途径产生并表现为三耕土大于二耕土, 二耕土大于头耕土的原因, 仍是一个悬而未决的问题。本文旨在通过对化感物质香草醛产生机理研究, 为杉木林地土壤培肥提供理论依据。

1 杉木连栽林地肥力退化研究现状

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、土壤微生物及化感物质香草醛毒性不断研究, 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》《中国南方混交林研究》和《杉木人工林生态学》等4部著作, 但对土壤肥力逐代下降的症结至今仍未定论, 只是说是连栽的结果^[4]。何光训^[5~8]从土壤生物化学角度论述了土壤腐殖质形成中因氮的含量及其形态关系而导致土壤肥力下降并进而影响酚类物质积累呈现逐代加强趋势, 从而导致土壤酚类物质的毒害程度随之加重。此外, 有学者^[9~12]从土壤中碳氮比的逐代增大、阔叶树种在杉阔混交中的作用和“孢子”的产生等方面予以佐证。关于杉木林地中化感物质香草醛毒性机理研究, 中国科学院纳入作为知识创新工程项目, 并取得一些重要成果和进展。截止目前还没有从机理上将氮素状况和香草醛产生积累联系起来进行研究。笔者认为这种研究是至关重要的。

收稿日期: 2004-11-11; 修回日期: 2005-01-10

作者简介: 何光训, 讲师, 从事森林土壤学研究。E-mail: international@zjfc.edu.cn

2 杉木林地的生态生物化学

近代生态生物化学认为, 香草醛是一种植物化感物质, 属酚类化合物。按有机化学命名法命名, 叫 2-甲氧基对羟基苯甲醛, 是一元酚化合物。20 世纪 60 年代周崇莲等人, 在研究杉木连栽土壤氧化代谢能力时发现, 三耕土中香草醛的氧化代谢能力比头耕土高, 为头耕土的 143%。这项研究表明, 一是香草醛作为植物化感物质在连栽杉木林地中的存在; 二是丙酮酸和香草醛在林地土壤中并存, 说明初生代谢和次生代谢过程也有并存现象。2 种土壤中为什么三耕土要比头耕土多, 而丙酮酸则呈相反现象, 这又说明了什么? 1996 年马越强在杉木连栽的三耕土中提取到香草醛, 这种情况的出现, 正说明要彻底探明杉木连栽引起生产力逐代下降的真正原因, 必须从林地的生态生物化学角度进行深入研究。

生态生物化学是生态学和生物化学之间的一门边缘学科, 是 20 世纪 70 年代后发展起来的, 是研究生物之间(同种或异种)生物化学的相互关系, 其中, 植物化感作用就是研究高等植物之间的生化关系, 20 世纪 40 年代开始对农业, 60 年代又对林业进行深入研究, 杉木连栽林地退化研究始于 1959 年。杉木化感作用是指植物(如杉木和微生物)产生的化感物质香草醛并释放到环境中, 对其他植物产生直接的或间接的抑制或促进作用。该种生化物质称化感物质(或异株克化化合物)。不同种植物其化感物质种类是不同的。一般包括酚类化合物、萜类化合物、炔类化合物、生物碱和其他结构化合物。关于化感物质是如何产生抑制或促进作用, 笔者已在《土壤酚类物质引起植物中毒的植物生理原因》(1992 年)^[9]一文作了论述, 不赘述。

自然界中植物在其生长发育过程中, 往往面临着 2 个问题, 一是生长发育并繁衍后代; 二是设法保护自己, 植物化感作用即是防御方法之一。因此植物体的各个组织如叶、花、果实、茎和种子, 甚至枯枝落叶都能向土壤中释放相当数量的化感物质, 并持续影响邻近的或后继的植物。这种物质可以是单一组分如杉木林地中提取到的香草醛, 也可以是多组分的, 如杉木凋落物、鲜叶、根系水浸液中含有的香草醛、阿魏酸、对羟基苯丙烯酸和对羟基苯甲酸等。这些化感物质对高等植物作用的基本特征是抑制种子发芽, 伤害根系及其他分生组织生长, 而刺激作用仅是偶尔发现。植物的这些有毒成分自身合成的, 其基本条件: 一是从初生代谢作用来的稳定前体流, 碳水化合物由光合作用供应, 而氮的供应受到限制的; 二是能量供应, 如 ATP; 三是酶的供应。由此可知, 当杉木林地土壤发生中毒时, 仅单独施用氮、磷、钾或同时施用氮、磷、钾并不能迅速消除毒性。同理, 杉阔混交就无毒害现象发生, 且土壤腐殖质含量高, 杉木正常生长^[14~18]。由 Tuomi 等提出的生长分化平衡论可知, 杉木应为生长优先型树种, 具有生长快, 缺少化学防御能力, 但却有高的可诱导抗性系统。当土壤肥力水平高(尤其氮素水平高)时则植物按正常代谢过程运行进行快速生长; 当土壤肥力水平(尤其氮素水平)下降时, 植物则按次生代谢过程运行导致生长抑制。所以, 杉木在连栽条件下, 随着连栽林地土壤肥力(尤其氮素肥力)的逐代下降, 毒性增强, 而生产力则随之下降。

由此笔者认为, 土壤处于低氮状态是导致前体物和能量流向次生代谢物合成的关键所在。当土壤处于低氮时, 则毒性强, 反之, 则无毒性。杉木连栽林地土壤中香草醛毒性和多酚氧化酶活性的三耕土大于二耕土, 二耕土大于头耕土, 就能够从理论上得以解释。因为杉木是常绿针叶树种, 生物归还作用弱, 且其凋落物的碳氮比高, 又含有一定数量的次生物质酚类, 惟有混种碳氮比小的阔叶树种才得以缓和。

3 问题与讨论

杉木连栽导致林木生产力逐代下降, 其中一个重要原因就是林地土壤中积累化感物质香草醛, 但这种物质又是如何产生并在连栽林地土壤中积累, 即化感物质产生机理是什么? 笔者认为, 内在原因是杉木为多年生的速生树种, 符合由 Tuomi 提出的生长分化平衡论, 杉木忌连作特性, 少防御能力又具有高可诱导抗性系统, 使得杉木在连栽情况下林地毒性逐代增强。从外因来说, 土壤中低氮水平可以引起次生物质浓度的增加, 和杉木连栽林地土壤氮素肥力变化及毒性变化完全一致。因此, 土壤中

缺氮是杉木连栽林地产生化感物质的决定性因素。阔叶树种在杉阔混交林中由于其凋落物数量大且碳氮比小，故而有调节杉木林土壤碳氮比作用，即阔叶树在杉阔混交林的作用点和杉木连栽林地退化点是补氮和缺氮问题^[8,9,20]。这和笔者按照土壤生物化学观点，从消除杉木连栽林地毒性物质角度来研究林地腐殖质形成而得出的结论相同。植物化感物质的产生途径是什么？植物生理学理论认为，酚类物质是由莽草酸途经合成的，其前体物为磷酸烯醇式丙酮酸(PEP)和 D-4-磷酸赤藓糖(E4P)，酶促反应是多种酶的共同作用，其中影响酚类物质合成的关键酶在植物体内没有既存的，必须借助激发子诱导后重新转录相应的 mRNA，并翻译成相应的酶蛋白^[21]。为什么上述多年生速生植物杉木能在缺氮情况下诱导前体物和能量流向次生物质合成？笔者认为，土壤缺氮可能就是一种诱导因素，由杉木连栽林地土壤氮素肥力水平逐代降低和土壤毒性逐代增强佐证。当然，这个问题尚需从植物生理学和杉木林地生态生物化学角度予以进一步研究证实。

防止杉木连栽林地土壤肥力退化的途径有 4 条：一是做好水土保持工作，防止“水跑、土跑、肥跑”是培肥改土的前提；二是杜绝炼山；三是因地制宜地营造混交林，恢复地力；四是发挥林下植被的改土培肥作用。

植物体中植保素的合成需要激发子从中作用。多数激发子主要组分是碳水化合物、糖蛋白、多肽、蛋白质和脂肪酸。类黄酮是一种酚类化合物，香豆素和乙酰辅酶 A 是其前体物。除光照射可促进类黄酮合成外，缺氮、硫、磷也容易诱导某些植物形成花色素积累，说明这些矿质元素缺乏是诱导因子。这种现象实际上已为化学生态学所证实^[22]。

总之，植物化感物质酚类化合物和植保素都是次生代谢作用的产物，是以磷酸烯醇式丙酮酸(PEP)和 D-4-磷酸赤藓糖(E4P)为前体，经莽草酸途经和多种酶共同作用而产生，杉木连栽林地中的香草醛等酚类物质是在连栽情况下产生，论其来源有异株克生即由植物体本身分泌，也有微生物分泌和凋落物分解。植保素是当植物受到病原侵害由激发子诱导经次生代谢作用形成，是寄主植物防御病虫害的武器。二者都是防御性物质，前者的诱导因子或激发子尚未明确，后者激发子基本上是清楚的。从生物学特性来说，前者忌连作，自肥作用弱，且凋落物碳氮比高而量小，解脱的有效途径是实行杉阔混交。后者是有关生物防治和药物防治问题。

杉木林地中化感物质香草醛产生和消除与土壤肥力(如氮素)的关系可由图 1 表示。有关资料表明，由于连栽杉木林地土壤中含有化感物质香草醛等有机物质，致使土壤中自生固氮微生物褐球固氮

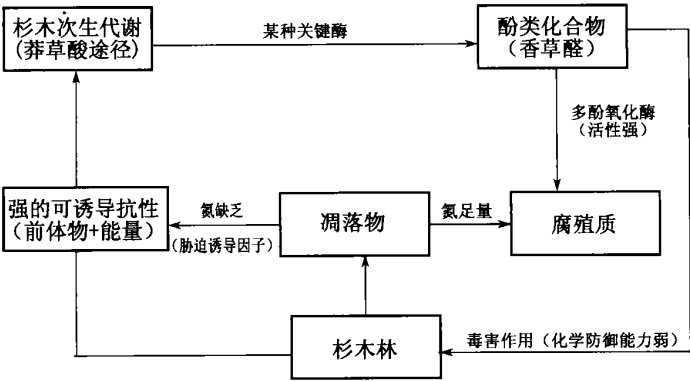


图 1 杉木林地化感物质香草醛产生机理示意图

Figure 1 Showing generation of allelopathy vanillin in *Cunninghamia lanceolata* plantation

菌和棕色固氮菌发育受抑制，且三耕土重于头耕土。一方面说明三耕土中化感物质积累量比头耕土多；另一方面说明固氮菌因化感作用使固氮能力很差，最终导致杉木生长因缺氮严重受抑制。这种现象已为现代生态学所证实。研究杉木林地化感作用必须注重植物间多重相互化学影响^[13~23]和多学科交叉融合作用。

参考文献：

[1] 方奇. 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.

[2] 俞新妥, 张其水. 杉木连栽林地土壤理化性质及土壤肥力的研究[J]. 福建林学院学报, 1989, 9(3): 263—271.

[3] 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.

[4] 方奇, 温武瑞. 杉木生态系统管理提高肥力的研究[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.

[5] 何光训. 土壤农化性状对土壤酚类物质积累的影响[J]. 福建林学院学报, 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] 何光训. 连栽杉木林地土壤肥力退化的症结[J]. 浙江林学院学报, 2002, 19(1): 100—103.

[9] 中国科学院南京土壤研究所. 中国土壤[M]. 北京: 科学出版社, 1978. 495—518.

[10] 吴尉东, 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.

[11] 卓苏能, 文启孝. 土壤未知态氮[J]. 土壤学进展, 1992, (2): 11—18.

[12] 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.

[13] 陈楚莹, 廖利平, 汪思龙. 杉木人工林生态学[M]. 北京: 科学出版社, 2000. 189—207.

[14] 李绍文. 生态生物化学[M]. 北京: 北京大学出版社, 2001. 45—267.

[15] 陈龙池, 汪思龙. 杉木根系分泌物化感作用研究[J]. 生态学报, 2003, 23(2): 393—398.

[16] 陈龙池, 廖利平, 汪思龙. 香草醛对杉木幼苗养分吸收的影响[J]. 植物生态学报, 2003, 27(1): 41—46.

[17] 范少辉, 马祥庆, 陈绍栓, 等. 杉木人工林连作生物生产力的研究[J]. 林业科学, 2003, 39(4): 9—15.

[18] 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.

[19] 何智英, 俞新妥. 杉木连栽林地地力衰退问题的研究[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. 243—250.

[20] 王宏志. 中国南方混交林研究[M]. 北京: 中国林业出版社, 1993. 1—289.

[21] 武维华. 植物生理学[M]. 北京: 科学出版社, 2003. 1—496.

[22] 阎凤鸣. 化学生态学[M]. 北京: 科学出版社, 2003. 88—98.

[23] 戈峰. 现代生态学[M]. 北京: 科学出版社, 2002. 203—205.

Generation mechanism of vanillin in *Cunninghamia lanceolata*

HE Guang-xun

(School of Forestry and Biotechnology, Zhejiang Forestry College, Lin'an 311300, Zhejiang, China)

Abstract: Chinese fir (*Cunninghamia lanceolata*) is a fast-growing tree species in the south forest area of China. Planting Chinese firs in succession can result in the degeneration of soil fertility, caused by the accumulation of vanillin in soil. When forest soil is short of nitrogen, the precursor and the energy directly flow down into the combination of sub-metabolites, and soil toxicity will strengthen with the decrease of soil fertility. The generation of the biochemical soil humus can reduce poison. The generation of eco-chemical allelopathic substances can produce poison. Both of them theoretically demonstrate that shortness of nitrogen is a critical factor affecting the two biochemistry processes. Furthermore, the broad-leaved trees in the mixed forest of Chinese firs and broad-leaved trees can supply nitrogen, which can be proved by the normal growth of Chinese fir, no incidence of toxicity and the increase in the content of humus in soil. The degeneration point of soil fertility in pure Chinese fir planted in succession is identical with the action point of broad-leaved trees in mixed forest of Chinese fir and broad-leaved tree. [Ch, 1 fig, 23 ref.]

Key words: allelopathy; vanillin; Chinese fir (*Cunninghamia lanceolata*); ecological biochemistry; nitrogen