

Anshu yu Douke Shuzhong Hunjiaolin
Turang zhong Fensuan Wuzhi de Huanjing Xingwei

杨 梅 叶绍明 黄晓露 廖承锐 程 飞 韦秋思/著



桉树与豆科树种混交林 土壤中酚酸物质的环境行为

内 容 简 介

本书以土壤中重要的酚类化感物质——酚酸为关键点,较系统地研究了桉树人工纯林和混交林(桉树与马占相思混交林、桉树与降香黄檀混交林)土壤中酚酸物质种类组成、含量及其空间分布的变化规律,以及土壤中酚酸物质与土壤关键性营养元素有效性、酶活性及微生物之间的相互关系,并对酚酸物质进行生物评价,以阐明酚酸物质在桉树人工林土壤生态系统中的作用机理,为正确评价酚酸物质在桉树人工林地中的作用提供科学依据,也为从化学生态学的角度提出合理的短轮伐期桉树人工林经营模式及适宜的混交树种提供理论参考及技术支持。

图书在版编目(CIP)数据

桉树与豆科树种混交林土壤中酚酸物质的环境行为/杨梅等著.—武汉:华中科技大学出版社,2020.9

ISBN 978-7-5680-5788-2

I. ①桉… II. ①杨… III. ①桉树属-豆科-混交林-土壤化学-土壤环境-研究 IV. ①S714

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2020)第 147287 号

桉树与豆科树种混交林土壤中酚酸物质的环境行为

Anshu yu Douke Shuzhong Hunjiaolin Turang zhong Fensuan
Wuzhi de Huanjing Xingwei

杨 梅 等 著

责任编辑:简晓思

封面设计:原色设计

责任校对:李 弋

责任监印:徐 露

出版发行:华中科技大学出版社(中国·武汉)
武汉市东湖新技术开发区华工科技园

电话:(027)81321913

邮编:430223

录 排:武汉正风天下文化发展有限公司

印 刷:广东虎彩云印刷有限公司

开 本:710mm×1000mm 1/16

印 张:9.5

字 数:164千字

版 次:2020年9月第1版第1次印刷

定 价:68.00元



华中科大

本书若有印装质量问题,请向出版社营销中心调换
全国免费服务热线:400-6679-118 竭诚为您服务
版权所有 侵权必究

前言

在植物的生命活动过程中,酚酸物质是重要的次生代谢产物,其在调节植物生长发育、基因诱导表达、信号转导、生物固氮等方面具有重要作用。它也是土壤中存在的一类重要的有机物质,可通过植物根系的分泌、地上部分的淋洗、凋落物等有机物的腐解、微生物的活动等多种途径进入土壤,影响土壤中营养物质的有效形态及微生物种群的分布等,影响植物的生长与发育,在整个土壤生态系统中具有重要的环境反馈意义和调节功能。其中,酚酸物质的化感作用成为近年来国内外学术界关注的一大热点。有研究认为,酚酸物质在土壤中的积累是使作物产生连作障碍的重要因素之一。国内外学者陆续在研究黄瓜、水稻、小麦、大豆、甘蔗、番茄、西瓜、苜蓿等农作物时证实了这一观点,在根系分泌物、作物残茬、水提液中分离出具有生物毒性的酚酸物质,如对羟基苯甲酸、2,5-二羟基苯甲酸、阿魏酸、苯丙烯酸、香草酸等,这些酚酸物质对植株的生长发育、多种生理代谢过程有抑制作用,会破坏细胞结构,并且土壤中酚酸物质的积累会对土壤微生物产生抑制作用。

近些年来,随着我国人工纯林多代连栽生产力下降问题的日益严重,森林土壤中的酚酸物质也开始引起众多学者的普遍关注。国内有关森林中酚酸物质化感作用的研究起始于对连栽杉木人工林减产问题的探讨,其被认为是导致杉木产生自毒作用而生产力下降的重要原因之一,如香草酸、对羟基苯甲酸、阿魏酸、肉桂酸等对杉木种子萌发、幼苗生长、光合作用、根系活力等方面具有抑制作用,同时也发现一些伴生树种对杉木自毒物质的活性产生了拮抗作用。在北方的杨树连作障碍研究中,有学者认为酚酸物质在连栽杨树人工纯林土壤中发生累积,影响杨树根系发育、根系活力、酶活性、养分吸收及微生物区系的变化。对2种模式植物(南方的杉木、北方的杨树)化感作用的研究认为,连栽导致酚酸物质的积累,并影响林地质量。但随着相关研究的不断开展,逐渐有不同的观点见于报道。目前关于林地酚酸物质的连作障碍研究多借鉴农作物的研究方法,并得出室内试验结果的推论。然而,酚酸物质的连作障碍问题是在设施农业的基础上发现并开展研究的,且农作物的生产周期短,

但森林为开放的生态系统,且树木生长周期长,因此并不能从室内试验或个别林地的研究中得出酚酸物质导致林地中毒的可靠结论。有研究报道,杉木林和阔叶林土壤中酚酸物质的浓度远低于可使植物中毒的浓度,而且混交林土壤中水溶酚含量高于杉木纯林,因此连栽杉木林土壤中酚酸物质积累并导致中毒、生产力下降这一结论的可靠性值得商榷。

桉树是我国热带、亚热带地区极为重要的速生造林树种,而长期多代纯林连栽引发对林地生产力和林分稳定性的影响已引起人们的重视。营造桉树混交林逐渐增多,尤其是与豆科树种的混交得到重视,期望通过豆科树种的固氮作用改良土壤,实现桉树人工林的可持续经营。有研究表明,桉树通过淋溶释放、凋落物分解和根系分泌产生的某些化学物质可以抑制林内其他动植物及微生物的生长,从而导致林内群落结构简单。但桉树酚类化感物质克生作用的有关研究多在实验室内完成,酚酸物质在桉树人工林土壤中的化学生态作用有待进一步验证和探讨。

本书以土壤中重要的酚类化感物质——酚酸为关键点,较系统地研究了桉树人工纯林和混交林(桉树与马占相思混交林、桉树与降香黄檀混交林)土壤中酚酸物质种类组成、含量及其空间分布的变化规律,以及土壤中酚酸物质与土壤关键性营养元素有效性、酶活性及微生物之间的相互关系,并对酚酸物质进行生物评价,以阐明酚酸物质在桉树人工林土壤生态系统中的作用机理,为正确评价酚酸物质在桉树人工林地中的作用提供科学依据,也为从化学生态学的角度提出合理的短轮伐期桉树人工林经营模式及适宜的混交树种提供理论参考及技术支持。

全书共分七章:第1章为桉树与豆科树种混交林土壤中酚类物质的检测,对比分析了桉树人工纯林、桉树与马占相思混交林、桉树与降香黄檀混交林三种林地土壤中酚类物质的形态、酚酸物质的种类及含量的差异;第2章为桉树与豆科树种混交林土壤中酚酸物质的时空变化,对不同林分、不同土壤层次、不同季节土壤中酚酸物质积累的特征进行了研究与分析;第3章为桉树与豆科树种混交林土壤中酚酸物质的吸附特征,探讨酚酸物质在不同林分类型土壤中的吸附能力及解吸附特征,为解释不同酚酸物质可能的作用机制奠定基础;第4章为桉树与豆科树种混交林土壤中酚酸物质与理化性质的相关性,进一步对不同林分类型的桉树人工林土壤中的酚酸物质与理化性质的相关性作出分析,尤其是对酚酸与化学成分关系的探讨更具有科学意义;第5章为外源酚酸物质对桉树与豆科树种混交林土壤的化感效应,检测酚酸是否对土壤

pH 值、养分元素、酶活性产生影响;第 6 章为酚酸对降香黄檀幼苗的化感效应,测试和分析了外源酚酸物质对桉树的混交树种降香黄檀的生长、光合作用、养分等指标的影响,为评价混交效果提供参考;第 7 章为结语。

第一章由杨梅、叶绍明、黄晓露负责撰写,第二章由杨梅、廖承锐、程飞负责撰写,第三章由廖承锐、程飞负责撰写,第四章由叶绍明、黄晓露负责撰写,第五章由杨梅、韦秋思负责撰写,第六、七章由杨梅负责撰写。

本书根据国家自然科学基金项目(基金编号:31260176)、广西自然科学基金项目(基金编号:0991035)的科研成果撰写而成。感谢黄晓露、廖承锐、徐洁、陆俭英等在完成该项目研究工作中的重要贡献。由于著者水平有限,书中难免有疏漏或不足之处,敬请广大读者和同行批评指正,以便在今后的研究中进一步修改提高。

著 者

2020 年 4 月

目 录

第 1 章 桉树与豆科树种混交林土壤中酚类物质的检测	1
1.1 材料与方法	3
1.1.1 试验材料与试验设计	3
1.1.2 样品采集	4
1.1.3 指标测定方法	4
1.2 结果与分析	5
1.2.1 连栽桉树纯林土壤中酚类物质、酚酸物质的变化特征	5
1.2.2 桉树纯林、马占相思纯林及桉树与马占相思混交林土壤中酚类物质、酚酸物质的变化特征	8
1.2.3 桉树纯林及桉树与降香黄檀混交林土壤中酚类物质、酚酸物质的变化特征	12
1.3 讨论与小结	15
第 2 章 桉树与豆科树种混交林土壤中酚酸物质的时空变化	17
2.1 材料与方法	20
2.1.1 试验材料	20
2.1.2 试验设计	20
2.1.3 指标测定	22
2.2 结果与分析	23
2.2.1 桉树纯林、马占相思纯林及桉树与马占相思混交林土壤中酚酸的季节动态变化	23
2.2.2 桉树纯林及桉树与降香黄檀混交林土壤中酚酸的季节动态变化	29
2.3 讨论与小结	34

第 3 章 桉树与豆科树种混交林土壤中酚酸物质的吸附特征	37
3.1 材料与amp;方法	37
3.1.1 试验材料	37
3.1.2 试验设计	38
3.1.3 数据处理方法	38
3.2 结果与分析	40
3.2.1 吸附动力学特征	40
3.2.2 等温吸附特征	44
3.2.3 解吸附特征	50
3.3 讨论与amp;小结	54
第 4 章 桉树与豆科树种混交林土壤中酚酸物质与理化性质的相关性 ..	57
4.1 材料与amp;方法	59
4.1.1 试验材料与amp;试验设计	59
4.1.2 样品采集	60
4.1.3 指标测定方法	60
4.2 结果与分析	61
4.2.1 连栽桉树纯林土壤酶活性和酚类物质的相互关系	61
4.2.2 桉树纯林、马占相思纯林及桉树与马占相思混交林土壤酶活性 和酚类物质的相互关系	63
4.2.3 桉树纯林及桉树与降香黄檀混交林土壤酶活性和酚类物质 的相互关系	64
4.3 讨论与amp;小结	65
第 5 章 外源酚酸物质对桉树与豆科树种混交林土壤的化感效应	67
5.1 材料与amp;方法	69
5.1.1 试验材料	69
5.1.2 试验设计	69
5.1.3 指标测定方法	70

5.2 结果与分析	72
5.2.1 混合酚酸对桉树纯林及桉树与降香黄檀混交林土壤的化感效应 ...	72
5.2.2 外源单酚酸对桉树纯林及桉树与降香黄檀混交林土壤的化感效应	77
5.2.3 外源单酚酸对桉树纯林土壤环境因子相关性的影响	87
5.3 讨论与小结	98
5.3.1 讨论	98
5.3.2 小结	102
第 6 章 酚酸对降香黄檀幼苗的化感效应	105
6.1 材料与方法	106
6.1.1 研究地概况	106
6.1.2 试验设计	106
6.1.3 指标测定	107
6.1.4 数据处理	108
6.2 结果与分析	108
6.2.1 酚酸处理对降香黄檀幼苗生长指标的化感效应	108
6.2.2 酚酸对降香黄檀幼苗叶片光合指标的化感效应	111
6.2.3 酚酸处理对降香黄檀苗木叶片矿质营养元素吸收的化感效应	114
6.2.4 酚酸处理对降香黄檀苗木抗氧化酶系统的化感效应	116
6.2.5 酚酸物质对降香黄檀幼苗各指标的综合化感效应	118
6.3 讨论与小结	120
6.3.1 讨论	120
6.3.2 小结	124
第 7 章 结语	125
7.1 主要结论	125
7.1.1 桉树与豆科树种混交林土壤中酚酸物质的种类	125
7.1.2 桉树与豆科树种混交林土壤中酚酸物质的累积机制	125

7.1.3 酚酸物质对桉树与豆科树种混交林土壤性质的化感作用	126
7.1.4 酚酸物质对桉树与降香黄檀的化感作用	127
7.2 研究展望	127
参考文献	129



酚类物质作为植物生命活动过程中重要的次生代谢产物(Swain et al., 1979),对植物的生长发育有一定的调节作用。酚类物质影响作物生长发育的典型表现为通过抑制种子萌发所需的关键酶类,从而抑制种子萌发。宋亮等研究证实,高浓度阿魏酸、香兰素、香草酸、香豆酸处理对苜蓿种子萌发产生明显的抑制作用,处理浓度下降到 $10^{-6} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 时则表现为显著的促进作用;郑仁红等也证实了香豆酸、香兰素、阿魏酸、对羟基苯甲酸等对毛竹种子发芽势的影响表现为促进作用,浓度越低,促进作用越明显;而林思祖等则认为阿魏酸和肉桂酸处理阻碍了杉木种子细胞分裂,抑制了种子的萌发和生长。陈伟等认为,内源酚类物质的种类和含量与植物根形态建成也有一定的关系。麻文俊等、王军辉等研究发现,在组培中邻苯二酚、对羟基苯甲酸、阿魏酸、儿茶酚等对插穗生根有抑制作用,没食子酸对插穗生根率和生根量影响较小;但 Jones 和 Hatifield、陈伟等则认为,当酚类物质与生长调节剂配合使用后对促进生根产生协调作用。

酚类物质被许多学者普遍认为是作物生长的抑制剂,酚酸浓度过高会对植物生长产生抑制作用。张付斗认为,阿魏酸、对羟基苯甲酸、香豆酸和水杨酸与丁草胺混用,加强了对稗草生长的抑制作用;邵庆勤等认为,阿魏酸和香草酸以及两者混合物对小麦幼苗的根长度、苗长度及干物质累积均呈抑制作用;王倩等则认为,低浓度苯甲酸、肉桂酸对西瓜幼苗生长和根活力无显著影响,浓度达到 $10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 时生长量和根活力显著降低。此外,多数研究者认为,酚类物质在土壤中的积累是作物产生连作障碍的重要因素之一。农作物方面的相关研究较早,1894 年 Wills 就发现黄瓜根系分泌的某些毒性物质在土壤中的积累是造成后茬黄瓜减产的主要原因,国内外学者陆续在水稻、小麦、大豆、甘蔗、番茄、西瓜、苜蓿等农作物上也证实了这一现象。林业上对酚类物质的连作障碍研究较少,何光训(1995)、姜培坤等(2000)认为,杉木逐代连栽造成土壤中酚类物质降解受阻并累积;谭秀梅等(2008)认为,杨树人工林

连作土壤中阿魏酸含量逐代降低,苯甲酸和肉桂酸则逐代增加,但是否对林分产生毒害作用还未有结论;孙海兵认为,苹果连作土壤中对羟基苯甲酸、儿茶素、咖啡酸、阿魏酸含量与非连作土壤无显著差异,焦性没食子酸、绿原酸和根皮苷显著高于非连作土壤,被认为可能是引起苹果连作障碍的关键酚酸物质。

酚类物质对植物生理、生化影响主要体现在植物光合特征、抗氧化性酶和养分吸收等方面。贾黎明等研究发现,浓度为 $10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的咖啡酸、香豆酸、阿魏酸和没食子酸等化感物质可导致大豆叶绿素含量下降。吴凤芝等(2007)认为浓度为 $8 \times 10^{-7} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的对羟基苯甲酸和苯丙烯酸能显著减小黄瓜幼苗的叶面积,降低叶绿素 a 含量、光合速率和蒸腾速率,减少气孔张开数,叶绿体和线粒体等超微结构也会受到破坏。陈龙池等(2002)认为,用香草醛处理后,杉木幼苗净光合速率、蒸腾速率和气孔导度都呈下降趋势;黄彩红认为,外源酚酸通过保护酶活性及清除自由基,使植株体内自由基大量剩余,膜脂过氧化水平上升,电解质大量外渗。杨梅等(2006)研究发现,经过邻羟基苯甲酸处理后,杉木叶片丙二醛、可溶性糖、游离脯氨酸等含量和电导率皆随浓度和处理时间增加而升高。吕德国认为,低浓度对羟基苯甲酸提高了山樱磷酸戊糖途径关键酶、己糖激酶、丙酮酸激酶和琥珀酸脱氢酶活性,而用高浓度对羟基苯甲酸处理后各呼吸酶活性下降。杨阳等(2010)研究发现,随着外源酚酸处理浓度的上升,杨树幼苗超氧化物歧化酶、过氧化物酶活性、过氧化氢酶、抗坏血酸表现出先上升后下降的趋势,而丙二醛皆表现出上升趋势。

桉树是我国热带、亚热带地区极为重要的速生造林树种,目前全国桉树人工林面积已经达到 170 万公顷,在华南地区,有 60%~70% 的桉树人工林属于短轮伐期人工林,其中有 50%~60% 的林地采用连栽方式(温远光等,2005),而长期多代纯林连栽引发的林地生产力下降、生物多样性减少、林分稳定性差等一系列生态问题,严重制约了桉树人工林的可持续发展。有研究表明,桉树通过淋溶释放、凋落物分解和根系分泌产生的某些化学物质抑制林内其他植物及微生物的生长,从而导致林内群落结构简单(Bolte et al.,1984;曾任森等,1997)。Moral 等(1969)认为,雨水淋洗是桉树叶中有毒物质进入土壤的重要机制,是引起林下硬雀麦不能生长的主要原因;李绍文(1989)认为,桉树叶中被水冲洗下来的化感物质主要是酚类,其对亚麻的生长有明显的抑制作用;桉树叶的淋洗液能使多枝桉幼苗生长量降低 80%~85%,淋洗作用可导致树冠下出现抑制区,有时形成以树干为中心的同心圆(翟明普等,

1993);陈秋波等(2002)、王晗光等(2006)、汪金刚等(2007)认为,刚果12号桉、巨桉人工林土壤中化感物质中均含有酚类物质,但这些物质在土壤生态系统中的作用机理未见报道。

关于酚类物质对植物生长及环境影响的研究现状主要存在以下几点问题。

① 有关森林土壤是否存在酚类物质中毒现象的大多数研究结论还只是推测,缺乏直接的证据,并且结论争议较大,虽然相关研究测定了土壤酚类物质的含量,但这些物质含量仅针对林间土,并未涉及酚类物质含量较高的植物根区土壤。

② 研究证明,土壤中酚类物质的积累是农作物连作障碍的一个主要诱发因子,并对其作用机理开展了较多研究,在林业上除对南方的杉木人工林和北方的杨树人工林开展了一些相关研究外,对其他树种人工林尤其是南方重要的速生用材树种——桉树人工林土壤中酚类物质的作用一直缺乏深入研究,也还未见相关报道。

③ 桉树纯林和混交林土壤中土壤酶活性是否与酚类物质有关,土壤酶是否促进或抑制土壤中酚类物质的积累,以及土壤酶活性与酚类物质间的相互关系尚不清楚。

本研究针对不同经营模式桉树人工林土壤中酚类物质的种类、含量及其空间分布的变化规律,土壤酚类物质与土壤物化性质、酶活性的相互关系,并对酚类物质进行生物评价,以阐明酚类物质在桉树人工林土壤生态系统中的作用,具有重要的科学意义及广泛的应用前景。

1.1 材料与amp;方法

1.1.1 试验材料与amp;试验设计

按照立地条件基本一致的原则,选择桉树(巨尾桉)人工林第一、二代纯林,桉树(巨尾桉)与马占相思、降香黄檀的混交林,设置标准地,调查林地基本情况及林木生长状况,基本信息如表1-1所示。

表 1-1 调查地基本信息(2010 年)

林种	代数	起源	林龄	胸径/cm	树高/m	海拔/m	坡向	坡位	坡度/(°)
				桉树/ 混交种	桉树/ 混交种				
桉树纯林	二	萌芽	2	6.4	8.1	220	西北	中	25
桉树与降香黄檀混交林	二	萌芽	2	6.5/3.5	8.9/4.8	230	西	中	20
桉树与马占相思混交林	一	植苗	5	15.4/10.2	19.1/10.6	260	西	中	15
桉树纯林	一	植苗	5	15.3	18.5	245	西	中	15
马占相思纯林	一	植苗	5	15.5	9.2	230	北	中	15
桉树纯林	一	植苗	2	7.0	7.3	210	西北	中	25

1.1.2 样品采集

2010 年 8 月,在不同桉树连栽林地内分别设置 3 块 2 m×2 m 的样地,在各采集样地内选择 5 株平均木,在距树干 1 m 处,按土壤深度分 0~20 cm、20~40 cm 两个层次采集土壤样品,各土层充分混合后的土壤样品作为各林分的林间土壤样品;在距树干 20 cm 处取 0~20 cm 深度的土壤样品,充分混合后作为根区土壤样品(为不损伤林木根系,此次试验未取 20~40 cm 深度的土壤样品)。采集新鲜土壤样品后立即密封于塑料样品袋,带回实验室进行风干、研磨、过筛,于 4 °C 的温度下保存,用于测定各项指标。

1.1.3 指标测定方法

1. 土壤酚类物质的测定方法

(1) 土壤总酚

称取 2 g 风干过筛土壤样品于 50 mL 容量瓶中。加入 10 mL 浓度为 4 mol·L⁻¹的硫酸溶液,于 110 °C 烘箱中水解 24 h,取出并定容至 50 mL。过滤并取 5 mL 上述水解液于 25 mL 容量瓶中,加入 11 mL 经 1:4 稀释的福林试剂和 4 mL 浓度为 0.4 mol·L⁻¹的碳酸钠溶液。混合均匀后置于 37 °C 恒温箱中保温 15 min 后,采用分光光度计在 680 nm 处以不加样品为对照,测

定其光密度值。

(2) 土壤水溶酚和复合酚

水溶酚提取:称取风干土壤样品 10 g 装入塑料瓶中,加无酚水 50 mL,在 $130\sim 140\text{ r}\cdot\text{min}^{-1}$ 的速度下摇动 20 h,过滤后倒入 50 mL 容量瓶中,定容,得水溶酚待测液。

复合酚提取:称取风干土壤样品 1 g 装入塑料瓶中,加 50 mL 浓度为 $1\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 的氢氧化钠溶液,在 $130\sim 140\text{ r}\cdot\text{min}^{-1}$ 的速度下摇动 20 h,过滤后倒入 50 mL 容量瓶中,定容,得复合酚待测液,用浓度为 $2\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 的硫酸溶液调节 pH 值至酸性,以使浸提液中胡敏酸沉淀,利于比色。

测定步骤:吸取待测液 1 mL 于带塞试管中,加入 pH 值为 10 的碳酸钠、碳酸氢钠缓冲溶液 2 mL,福林试剂 0.5 mL 和 5% 无水碳酸钠溶液 1 mL,摇匀,静置片刻后于 690 nm 处比色。以单宁酸为标准液作标准曲线,根据溶液的光密度计算酚酸的含量。

2. 土壤酚酸物质的测定方法

酚酸含量的测定采用碱液浸提-高效液相色谱法(HPLC)(谭秀梅等,2008),取鲜土于离心管中,加入浓度为 $1\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 的氢氧化钠溶液放置过夜,次日振荡 30 min,离心后将过滤离心液用浓度为 $12\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 的盐酸酸化至 pH 值为 2.5,2 h 后离心除去胡敏酸,而后直接上高效液相色谱仪测定上清液,结果按照烘干土重换算。

色谱条件为美国 Waters 高效液相色谱仪,Waters 2487 紫外检测器,检测波长为 280 nm,色谱柱 $\mu\text{Bandapark C}_{18}$ (3.9 mm \times 300 mm),柱温 30 $^{\circ}\text{C}$,流动相为乙腈和超纯水,乙腈含量 10%,冰醋酸含量 1%,进样量 20 μL ,流速为 $1.1\text{ mL}\cdot\text{min}^{-1}$ 。

1.2 结果与分析

1.2.1 连栽桉树纯林土壤中酚类物质、酚酸物质的变化特征

1. 连栽桉树纯林土壤中酚类物质的变化特征

不同连栽桉树林地各土层的总酚含量高低顺序为根区 $>$ 林间 0~20 cm

区>林间 20~40 cm 区。其中 2 年生一代纯林不同空间的土壤中总酚含量变化幅度最大,根区土壤比林间 0~20 cm 区和林间 20~40 cm 区土层分别高 45.91% 和 95.41%;5 年生一代纯林不同空间的土壤中总酚含量变化幅度最小,根区土壤比林间 0~20 cm 区和林间 20~40 cm 区土层分别高 17.48% 和 42.37%。可见土壤中总酚多在根区积累,并且随着土层的加深,土壤中总酚含量降低。大部分人工林系统土壤中总酚含量表现为 2 年生一代纯林>5 年生一代纯林>2 年生二代纯林。2 年生一代纯林的根区土壤中总酚含量最高,为 $1\ 442.559\ \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$,比 5 年生一代纯林、2 年生二代纯林根区分别高 43.49% 和 47.68%。2 年生一代纯林林间 0~20 cm 区土层中总酚含量比 5 年生一代纯林、2 年生二代纯林分别高 15.53% 和 32.50%,2 年生一代纯林林间 20~40 cm 区土层中总酚含量比 5 年生一代纯林、2 年生二代纯林分别高 4.54% 和 8.06%。

不同连栽桉树林地各土层的水溶酚含量变化各异,且变化幅度都较大。2 年生一代纯林和 2 年生二代纯林土壤中水溶酚含量高低为林间 0~20 cm 区>林间 20~40 cm 区>根区。2 年生二代纯林 0~20 cm 区土壤中水溶酚含量比 20~40 cm 区和根区土壤分别高 94.49% 和 106.20%;2 年生一代纯林林间 0~20 cm 区比林间 20~40 cm 区和根区土壤分别高 74.45% 和 155.79%。5 年生一代纯林土壤中水溶酚含量高低为林间 0~20 cm 区>根区>林间 20~40 cm 区。林间 0~20 cm 区土壤中水溶酚含量比林间 20~40 cm 区和根区土壤分别高 111.87% 和 34.18%。各人工林系统土壤中水溶酚含量表现为 2 年生二代纯林>5 年生一代纯林>2 年生一代纯林。2 年生二代纯林林间 0~20 cm 区土壤中水溶酚含量最高,为 $3.392\ \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$,比 5 年生一代纯林、2 年生一代纯林林间 0~20 cm 区土层分别高 65.22% 和 113.20%;2 年生二代纯林林间 20~40 cm 区土层中水溶酚含量比 5 年生一代纯林、2 年生一代纯林分别高 79.98% 和 91.23%;2 年生二代纯林根区土壤中水溶酚含量比 5 年生一代纯林、2 年生一代纯林分别高 7.52% 和 164.47%。

不同连栽桉树林地各土层的复合酚含量与总酚含量变化一致,为根区>林间 0~20 cm 区>林间 20~40 cm 区。其中 2 年生二代纯林不同空间土壤中复合酚含量变化幅度最大,根区土壤比林间 0~20 cm 区和林间 20~40 cm 区土层分别高 83.21% 和 183.52%。2 年生一代纯林的根区土壤中复合酚含量最高,为 $68.641\ \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$,比 5 年生一代纯林、2 年生二代纯林根区分别高 6.07% 和 21.62%;2 年生一代纯林林间 0~20 cm 区土层中复合酚含量比 5 年生一代纯林、2 年生二代纯林分别高 11.09% 和 45.44%;2 年生一代纯林林间

20~40 cm 区土层中复合酚含量比 5 年生一代纯林、2 年生二代纯林分别高 27.72% 和 69.60%。随着桉树种植年限的增加,土壤中复合酚含量下降。

连栽桉树纯林土壤中酚类物质含量的变化如表 1-2 所示。

表 1-2 连栽桉树纯林土壤中酚类物质含量的变化

林种	位置	总酚 $/(\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1})$	水溶酚 $/(\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1})$	复合酚 $/(\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1})$
2 年生一代纯林	林间 0~20 cm 区	988.651	1.591	44.802
5 年生一代纯林		855.749	2.053	40.330
2 年生二代纯林		746.158	3.392	30.805
2 年生一代纯林	林间 20~40 cm 区	738.208	0.912	33.760
5 年生一代纯林		706.149	0.969	26.432
2 年生二代纯林		683.115	1.744	19.906
2 年生一代纯林	根区	1 442.559	0.622	68.641
5 年生一代纯林		1 005.318	1.530	64.714
2 年生二代纯林		976.820	1.645	56.437

2. 连栽桉树纯林土壤中酚酸物质的变化特征

连栽桉树纯林不同土层中酚酸物质总量总体表现为根区 > 林间 0~20 cm 区 > 林间 20~40 cm 区, 表现为根区土高于林间土, 上层土高于下层土。3 个林地土壤中酚酸物质总量在林间土中表现为 5 年生一代纯林 > 2 年生二代纯林 > 2 年生一代纯林, 可见酚酸总含量并未随着连栽年限的增加而增加。林间 0~20 cm 区土、林间 20~40 cm 区土和根区土以 5 年生一代纯林酚酸总含量最高, 分别为 $6.514 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ 、 $3.715 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ 和 $9.871 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$, 比含量最低的 2 年生一代纯林分别高 38.71%、45.86% 和 64.74%。

3 个林地各土层皆测出对羟基苯甲酸、香草酸和苯甲酸, 仅在 5 年生一代纯林和 2 年生一代纯林的根区土中测出肉桂酸, 且含量较低, 在 2 年生二代纯林林间 20~40 cm 区土中未检测出阿魏酸。酚酸含量总体表现为香草酸的含量最高, 为 $0.989 \sim 4.430 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$; 苯甲酸含量次之, 为 $0.525 \sim 2.392 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$; 肉桂酸含量最低, 为 $0.492 \sim 0.493 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ 。各酚酸物质含量除林间 20~40 cm 区土中对羟基苯甲酸含量和根区土中阿魏酸含量表现为 2 年生二代纯林最高外, 其他皆表现为 5 年生一代纯林最高。

连栽桉树纯林土壤中酚酸物质含量的变化如表 1-3 所示。

表 1-3 连栽桉树纯林土壤中酚酸物质含量的变化

林种	位置	对羟基苯甲酸 $/(\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1})$	香草酸 $/(\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1})$	苯甲酸 $/(\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1})$	阿魏酸 $/(\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1})$	肉桂酸 $/(\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1})$	总量 $/(\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1})$
2 年生 一代纯林	林间 0~20 cm 区	0.759	2.604	0.835	0.499	0	4.696
5 年生 一代纯林		1.145	2.806	1.895	0.668	0	6.514
2 年生 二代纯林		1.013	2.151	1.735	0.533	0	5.433
2 年生 一代纯林	林间 20~40 cm 区	0.412	1.194	0.525	0.417	0	2.547
5 年生 一代纯林		0.791	1.381	1.122	0.420	0	3.715
2 年生 二代纯林		0.888	0.989	0.825	0	0	2.702
2 年生 一代纯林	根区	0.476	2.883	1.243	0.897	0.493	5.992
5 年生 一代纯林		1.666	4.430	2.392	0.892	0.492	9.871
2 年生 二代纯林		0.691	3.432	1.924	1.184	0	7.232

1.2.2 桉树纯林、马占相思纯林及桉树与马占相思混交林土壤中酚类物质、酚酸物质的变化特征

1. 桉树纯林、马占相思纯林及桉树与马占相思混交林土壤中酚类物质的变化特征

林分林间土壤总酚含量总体表现为上层土高于下层土,其中桉树与马占相思混交林土壤中总酚含量变化幅度较大,林间 0~20 cm 区比林间 20~40 cm 区