

杉木林生态系统中土壤酚类物质含量的变化规律

林开敏^{1,2}, 叶发茂¹, 李卿叁¹, 郭玉硕¹, 徐 昇¹, 赵均嵘¹

(1. 福建农林大学, 福建 福州 350002; 2. 福建杉木研究中心, 福建 福州 350002)

摘要:以天然更新常绿阔叶林、老龄杉木[*Cunninghamia lanceolata* (Lamb.) Hook.]林(代表一代杉木林)、二代杉木萌芽天然更新林和二代杉木人工林作为杉木林生态系统转换模式的系列样地,研究了不同季节(3月、6月、9月和12月)4个样地0~20和20~40 cm土层土壤中酚类物质(包括总酚、复合态酚和水溶性酚)含量的变化规律。结果表明:各样地土壤总酚含量最高(278.40~3 012.98 $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$),复合态酚含量次之(20.67~430.54 $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$),水溶性酚含量最低(0.36~6.01 $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$)。各样地间不同土层中总酚、复合态酚和水溶性酚含量均值的高低变化不一致,但总体上顺着森林生态系统转换的方向(天然常绿阔叶林→一代杉木人工林→二代杉木人工林),0~20和20~40 cm土层中总酚和复合态酚含量以及0~20 cm土层中水溶性酚含量均值均呈现逐渐增加的趋势,而20~40 cm土层中水溶性酚含量均值则无明显变化规律。各样地0~20 cm土层中各种酚类物质含量总体上高于20~40 cm土层,表明随土层加深,总酚、复合态酚和水溶性酚含量呈现逐渐降低的趋势。各种酚类物质含量具有明显的季节变化规律,总酚和复合态酚含量总体上呈现出3月和9月较高,6月和12月较低的变化趋势,水溶性酚含量总体上呈现出随着季节变化(3月至12月)逐渐降低的趋势,不同季节间土壤中各类酚类物质含量的差异均达到了极显著水平。研究结果显示,随杉木人工林栽植代数的增加,土壤中会积累一定量酚类物质,但其中水溶性酚含量远低于使植物中毒的水平(50 $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$),造成杉木中毒的可能性较小。

关键词:杉木林; 森林生态系统转换; 酚类物质; 季节变化; 土壤

中图分类号: S791.27; S718.55; S714.5 文献标志码: A 文章编号: 1674-7895(2012)02-0030-06

Change regularity of phenols content in soil of forest ecosystem of *Cunninghamia lanceolata* LIN Kai-min^{1,2}, YE Fa-mao¹, LI Qing-san¹, GUO Yu-shuo¹, XU Bian¹, ZHAO Jun-rong¹ (1. Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, China; 2. Fujian Chinese Fir Research Center, Fuzhou 350002, China), *J. Plant Resour. & Environ.* 2012, **21**(2): 30-35

Abstract: Taking naturally renewal evergreen broad-leaved forest, old-growth forest (representing first-rotation forest) of *Cunninghamia lanceolata* (Lamb.) Hook., second-rotation natural renewal sprout forest of *C. lanceolata* and second-rotation plantation of *C. lanceolata* as a series of sample plots of forest ecosystem conversion model of *C. lanceolata*, the change regularity of phenols content (including total phenols, complex phenols and water-soluble phenols) in 0-20 and 20-40 cm soil layers of four sample plots was studied at different seasons (March, June, September and December). The results show that total phenols content is the highest in soil of four sample plots (278.40-3 012.98 $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$), complex phenols content is the second (20.67-430.54 $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$), and water-soluble phenols content is the lowest (0.36-6.01 $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$). The change of average contents of total phenols, complex phenols and water-soluble phenols from high to low is inconsistency among different soil layers of four sample plots. But along the forest ecosystem conversion direction (that is naturally evergreen broad-leaved forest→first-rotation plantation of *C. lanceolata*→second-rotation plantation of *C. lanceolata*), average contents of total phenols and complex phenols in 0-20 and 20-40 cm soil layers and that of water-soluble phenols in 0-20 cm soil layer appear a certain extent increasing trend, while that of water-soluble phenols in 20-40 cm soil layer has no obvious change rule. The contents of various phenols in 0-20 cm soil layer of four sample plots are generally higher than those in 20-40 cm soil layer, showing that contents of total

收稿日期: 2011-07-20

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(30872020); 福建省自然科学基金资助项目(D0710002)

作者简介: 林开敏(1965—),男,福建仙游人,博士,研究员,主要从事森林培育和森林生态等方面的研究。

hphenols, complex phenols and water-soluble phenols appear a gradually decreasing trend with deepening of soil layer. Each phenols content in soil shows an obviously seasonal change rule, contents of total phenols and complex phenols show a change trend of higher in March and September and lower in June and December, but content of water-soluble phenols in soil generally appears a gradually decreasing trend with seasonal variation from March to December. And content of every phenols in soil has the extremely significant difference among different seasons. It is suggested that as increasing of planting rotation of *C. lanceolata* plantation, phenols may be accumulated in soil with a certain amount, but the possibility of causing *C. lanceolata* poisoned is very low because content of water-soluble phenols in soil is obviously lower than the level ($50 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$) making plant poisoned.

Key words: *Cunninghamia lanceolata* (Lamb.) Hook. forest; forest ecosystem conversion; phenols; seasonal variation; soil

近些年来,林木连栽和作物连作引起的地力衰退问题已成为农林工作者研究的热点。一些学者认为地力衰退与酚类物质在土壤中的积累有很大关系^[1-9];而另一些学者认为酚类物质并不是引起地力衰退的主要原因,相反,某些酚类物质对植物的生长具有保护作用^[10-11]。随着研究的不断深入,酚类物质在森林生态系统中的作用日益受到人们的重视,有关酚类物质促进植物生长还是抑制植物生长的争论也越来越激烈。

从已有的研究结果看,关于植物体内酚类物质变化和酚类物质对植物生长影响机制的研究相对较多,而有关土壤中酚类物质的研究相对较薄弱,尤其是对于酚类物质在多代连栽林地土壤中是否存在积累的现象,目前的事实证据仍不充分,还处于争论之中。

鉴于此,作者以福建农林大学南平西芹教学林场内的天然更新常绿阔叶林、老龄杉木[*Cunninghamia lanceolata* (Lamb.) Hook.]林、二代杉木萌芽天然更新林(或撂荒天然更新林)和二代杉木人工林4种林地作为森林生态系统转换模式的系列样地,着重对土壤中酚类物质含量的变化规律进行研究,以期探讨土壤中酚类物质对森林生态系统转换的响应机制,为揭示土壤中酚类物质在森林生态系统中的形成机制和人工林地力衰退机制以及人工林可持续经营管理提供理论依据。

1 研究区自然概况和研究方法

1.1 研究区自然概况

供试林地位于福建省南平市福建农林大学西芹教学林场花竹沟。该林场位于福建北部,地理坐标为东经 $118^{\circ}10'$ 、北纬 $26^{\circ}40'$ 。属中亚热带季风气候带,年平均气温 19.4°C 、年平均降雨量 $1\ 817\ \text{mm}$ 、年均

日照时数 $1\ 709.8\ \text{h}$ 、年均风速 $1.1\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$,该气候条件对林木生产十分适宜。林地土壤为黄红壤,土层较厚,主要成土母岩为沉积岩和变质岩。海拔 $200 \sim 500\ \text{m}$,森林茂密,植物种类繁多。

选择相邻且立地条件基本一致的天然更新常绿阔叶林、老龄杉木林、二代杉木萌芽天然更新林和二代杉木人工林4种林地作为天然更新常绿阔叶林生态系统向杉木人工林生态系统转换模式的系列实验样地。其中,天然更新常绿阔叶林是自然更新形成的次生常绿阔叶林;老龄杉木林是在一代杉木人工林(在天然更新常绿阔叶林采伐后营造)基础上以延长杉木轮伐期,并通过实施保护和促进天然更新为主要技术而形成的杉木林;二代杉木萌芽天然更新林是在一代杉木人工林(即老龄杉木林)采伐后,通过实施天然更新和杉木萌芽更新为主要造林技术而形成的撂荒天然更新林;二代杉木人工林是在一代杉木人工林(即老龄杉木林)采伐后,按照杉木传统栽植模式继续栽植的杉木人工林。4个样地乔木层物种生长状况见表1。

1.2 研究方法

1.2.1 样地设置及土壤样品采集 在4种林地内分别设置面积 $20\ \text{m} \times 20\ \text{m}$ 的固定样地1个,对各样地的立地条件、林木生长和群落物种组成等进行全面调查和记录。在4个固定样地的对角线上均匀分布挖取3个土壤剖面(或取样点),并按 $0 \sim 20$ 和 $20 \sim 40\ \text{cm}$ 深度把土壤剖面分为2层;在3月、6月、9月和12月定期采集各剖面各土层土样,带回实验室供测定分析。

1.2.2 土壤酚类物质测定方法 采用氨基安替比林比色法^[12]进行土壤中总酚含量的测定;采用Folin试剂比色法^[13]进行土壤中水溶性酚和复合态酚含量的测定。

表 1 供试样地乔木层树种生长状况

Table 1 Growth status of tree species in arbor layer of sample plots tested

样地 ¹⁾ Sample plot ¹⁾	林龄/a ²⁾ Forest age ²⁾	树种 Tree species	密度/hm ⁻² Density	平均胸径/cm Average DBH	平均树高/m Average tree height	蓄积量/m ³ ·hm ⁻² Volume
P1	-	阔叶树 Broad-leaved tree	2 400	7.97	8.09	246.32
P2	69	杉木 <i>Cunninghamia lanceolata</i>	662	26.83	22.58	387.58
		阔叶树 Broad-leaved tree	815	8.78	7.73	48.37
P3	16	杉木 <i>Cunninghamia lanceolata</i>	1 000	7.05	7.28	24.29
		阔叶树 Broad-leaved tree	3 025	6.78	7.68	76.38
P4	16	杉木 <i>Cunninghamia lanceolata</i>	3 525	11.12	10.49	218.49

¹⁾ P1: 天然更新常绿阔叶林 Naturally renewal evergreen broad-leaved forest; P2: 老龄杉木林 Old-growth forest of *Cunninghamia lanceolata* (Lamb.) Hook.; P3: 二代杉木萌芽天然更新林 Second-rotation natural renewal sprout forest of *C. lanceolata*; P4: 二代杉木人工林 Second-rotation plantation of *C. lanceolata*.

²⁾ 不确定 Undetermined.

1.3 数据处理

实验数据采用 Excel 2003 和 SPSS 13.0 软件进行处理和分析。

2 结果和分析

2.1 土壤中总酚含量的比较

供试 4 个样地不同土层土壤中总酚含量见表 2。从表 2 可以看出:不同样地土壤中总酚含量存在一定差异,4 个样地按 0~20 和 20~40 cm 土层土壤中总酚含量的均值由高至低依次排序为二代杉木萌芽天然更新林、二代杉木人工林、老龄杉木林、天然更新常绿阔叶林。方差分析结果表明:不同的样地间 0~20 和 20~40 cm 土壤中总酚含量的差异分别达到了极显著($P=0.009$)和显著($P=0.044$)水平。说明顺着森林生态系统转换的方向(即:天然常绿阔叶林→

一代杉木人工林→二代杉木人工林),土壤中总酚含量呈现出逐渐增加的趋势。

从表 2 还可见:在不同季节,各样地土壤中总酚含量的高低排序略有差异。3 月份,0~20 和 20~40 cm 土壤中总酚含量由高至低依次为二代杉木萌芽天然更新林、二代杉木人工林、天然更新常绿阔叶林、老龄杉木林;6 月份,0~20 和 20~40 cm 土壤中总酚含量由高至低依次为老龄杉木林、二代杉木萌芽天然更新林、二代杉木人工林、天然更新常绿阔叶林;9 月份,0~20 和 20~40 cm 土壤中总酚含量由高至低依次为老龄杉木林、二代杉木人工林、二代杉木萌芽天然更新林、天然更新常绿阔叶林;12 月份,0~20 cm 土壤中总酚含量由高至低依次为二代杉木人工林、老龄杉木林、二代杉木萌芽天然更新林、天然更新常绿阔叶林,而 20~40 cm 土壤中总酚含量由高至低则依次为二代杉木人工林、老龄杉木林、天然更新常绿阔

表 2 4 个样地土壤中总酚含量的比较

Table 2 Comparison of total phenols content in soil of four sample plots

样地 ¹⁾ Sample plot ¹⁾	土层深度/cm Soil depth	不同月份总酚含量/ $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ Content of total phenols at different months				
		3 月 March	6 月 June	9 月 September	12 月 December	均值 Average
P1	0-20	1 671.86	351.70	895.75	601.78	880.27
	20-40	1 233.92	278.40	723.56	566.51	700.60
P2	0-20	1 380.96	606.10	1 214.97	769.83	992.97
	20-40	816.32	496.26	1 060.91	724.51	774.50
P3	0-20	3 012.98	597.19	940.22	745.56	1 323.99
	20-40	2 451.06	486.19	724.22	511.74	1 043.30
P4	0-20	2 184.65	573.82	1 130.80	793.26	1 170.63
	20-40	1 789.88	381.00	1 003.73	744.36	979.74

¹⁾ P1: 天然更新常绿阔叶林 Naturally renewal evergreen broad-leaved forest; P2: 老龄杉木林 Old-growth forest of *Cunninghamia lanceolata* (Lamb.) Hook.; P3: 二代杉木萌芽天然更新林 Second-rotation natural renewal sprout forest of *C. lanceolata*; P4: 二代杉木人工林 Second-rotation plantation of *C. lanceolata*.

叶林、二代杉木萌芽天然更新林。

不同样地土壤中总酚含量呈现明显的季节性变化趋势,0~20和20~40 cm 土壤中总酚含量总体上由高至低依次为3月、9月、12月、6月,可能与6月份的高温天气有利于土壤中酚类物质的自身氧化和土壤微生物对酚类物质的分解等因素有关。方差分析结果表明:各样地0~20和20~40 cm 土壤中总酚含量在不同季节间均有极显著差异($P=0.000$)。

各样地0~20 cm 土层土壤中的总酚含量均大于20~40 cm 土层,说明随着土层的加深,总酚含量呈现逐渐降低的趋势,其原因可能与自然环境中酚类物质的来源有关。自然条件下酚类物质有4个来源,其中植物分泌、雨雾从植物表面淋溶和植物残体或凋落物分解这3个来源的酚类物质都是经过土壤表层进入土壤中,因此表现出上层土壤中总酚含量大于下层土

壤的现象。

2.2 土壤中复合态酚含量的比较

供试4个样地不同土层土壤中复合态酚含量见表3。由表3可见:各样地土壤中复合态酚含量存在一定的差异,4个样地按0~20和20~40 cm 土层中复合态酚含量均值由高至低依次排序为二代杉木人工林、老龄杉木林、二代杉木萌芽天然更新林、天然更新常绿阔叶林。方差分析结果表明:供试4个样地间0~20和20~40 cm 土层中复合态酚含量的差异分别达到了极显著($P=0.000$)和显著($P=0.045$)水平。说明顺着森林生态系统转换的方向(即:天然常绿阔叶林→一代杉木人工林→二代杉木人工林),4个样地土壤中复合态酚含量总体上呈现出逐渐增加的趋势,即杉木多代连栽后土壤中复合态酚会有一定程度的积累。

表3 4个样地土壤中复合态酚含量的比较

Table 3 Comparison of complex phenols content in soil of four sample plots

样地 ¹⁾ Sample plot ¹⁾	土层深度/cm Soil depth	不同月份复合态酚含量/ $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ Content of complex phenols at different months				
		3月 March	6月 June	9月 September	12月 December	均值 Average
P1	0-20	222.45	104.18	179.67	111.11	154.35
	20-40	72.24	48.98	91.67	20.67	58.39
P2	0-20	371.23	134.07	218.78	116.82	210.22
	20-40	148.88	43.61	114.07	51.29	89.46
P3	0-20	294.45	67.44	115.70	142.89	155.12
	20-40	116.71	27.91	50.52	68.74	65.97
P4	0-20	430.54	219.36	249.33	101.33	250.14
	20-40	115.40	78.19	165.41	39.41	99.60

¹⁾P1:天然更新常绿阔叶林 Naturally renewal evergreen broad-leaved forest; P2:老龄杉木林 Old-growth forest of *Cunninghamia lanceolata* (Lamb.) Hook.; P3:二代杉木萌芽天然更新林 Second-rotation natural renewal sprout forest of *C. lanceolata*; P4:二代杉木人工林 Second-rotation plantation of *C. lanceolata*.

在不同的季节里,各样地0~20和20~40 cm 土层中复合态酚含量的高低排序则略有差异。由表3还可见:3月至12月,随季节的变化,二代杉木萌芽天然更新林0~20和20~40 cm 土层中复合态酚含量呈现先降低而后逐渐升高的变化趋势,其他3个样地0~20和20~40 cm 土层土壤中复合态酚含量均呈现出3月和9月较高、6月和12月较低的变化趋势。方差分析结果表明:不同季节间土壤中复合态酚含量的差异达到了极显著水平($P=0.000$),说明各森林生态系统土壤中复合态酚含量的变化具有明显的季节性。但不同系统的季节变化规律则略有不同,天然更新常绿阔叶林0~20和20~40 cm 土层中复合态酚含量

由高至低分别依次为3月、9月、12月、6月以及9月、3月、6月、12月;老龄杉木林0~20和20~40 cm 土层中复合态酚含量由高至低分别依次为3月、9月、6月、12月以及3月、9月、12月、6月;二代杉木萌芽天然更新林0~20和20~40 cm 土层中复合态酚含量由高至低依次均为3月、12月、9月、6月;二代杉木人工林0~20和20~40 cm 土层中复合态酚含量由高至低分别依次为3月、9月、6月、12月以及9月、3月、6月、12月。

各样地0~20 cm 土层的复合态酚含量大于20~40 cm 土层,说明随土层加深,复合态酚含量逐渐降低,表现出与总酚含量相同的变化趋势。

2.3 土壤中水溶性酚含量的比较

供试 4 个样地不同土层土壤中水溶性酚含量见表 4。由表 4 可见:不同样地土壤中水溶性酚含量存在一定差异,4 个样地按 0~20 cm 土层中水溶性酚含量的均值由高至低依次排序为二代杉木人工林、老龄杉木林、二代杉木萌芽天然更新林、天然更新常绿阔叶林,说明顺着天然常绿阔叶林→一代杉木人工林→二代杉木人工林的转换方向,表层土壤中水溶性酚含量总体上呈现出增加趋势;而 4 个样地按 20~40 cm 土层中水溶性酚含量的均值由高至低依次排序为二代杉木萌芽天然更新林、天然更新常绿阔叶林、二代杉木人工林、老龄杉木林,规律性不明显。方差分析结果表明:各样地间 0~20 cm 土层中水溶性酚含量差异不显著($P=0.387$);而各样地间 20~40 cm 土层中水溶性酚含量则有极显著差异($P=0.008$)。在不同的季节里,各样地 0~20 和 20~40 cm 土层中水溶性酚含量的高低排序略有差异,但总体来看,4 个样地

土壤中水溶性酚含量较低,为 $0.36 \sim 6.01 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$,均未达到使植物中毒的水平($50 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$)^[14]。说明如果出现与本实验条件相似的杉木多代连栽过程,因土壤中酚类物质积累而导致植物中毒的可能性较小。

由表 4 还可见:随着季节的变化,3 月至 12 月各样地土壤中水溶性酚含量不断变化,0~20 和 20~40 cm 土层中水溶性酚含量总体上呈逐渐降低的趋势,但不同样地的季节变化规律则略有不同。方差分析结果表明:不同季节间 0~20 和 20~40 cm 土层中水溶性酚含量均有极显著差异($P=0.000$),说明各系统土壤中水溶性酚含量的季节性变化显著。

由表 4 还可见:不同样地 0~20 cm 土层中水溶性酚含量总体上高于 20~40 cm 土层,但 6 月份的天然更新常绿阔叶林和 12 月份的二代杉木萌芽天然更新林下层土壤中的水溶性酚含量大于上层。这可能与上层土壤中的水溶性酚随雨水渗透而向下层土壤迁移以及根系分泌等因素有关。

表 4 4 个样地土壤中水溶性酚含量的比较

Table 4 Comparison of water-soluble phenols content in soil of four sample plots

样地 ¹⁾ Sample plot ¹⁾	土层深度/cm Soil depth	不同月份水溶性酚含量/ $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ Content of water-soluble phenols at different months				
		3 月 March	6 月 June	9 月 September	12 月 December	均值 Average
P1	0-20	4.09	4.01	1.43	0.73	2.57
	20-40	1.60	5.31	0.42	0.36	1.92
P2	0-20	4.28	4.07	5.32	1.36	3.76
	20-40	1.42	2.56	0.66	0.55	1.30
P3	0-20	6.01	5.47	2.91	0.46	3.71
	20-40	4.60	4.15	0.92	0.96	2.66
P4	0-20	4.92	4.17	6.00	1.10	4.05
	20-40	1.89	3.76	1.15	0.55	1.84

¹⁾ P1: 天然更新常绿阔叶林 Naturally renewal evergreen broad-leaved forest; P2: 老龄杉木林 Old-growth forest of *Cunninghamia lanceolata* (Lamb.) Hook.; P3: 二代杉木萌芽天然更新林 Second-rotation natural renewal sprout forest of *C. lanceolata*; P4: 二代杉木人工林 Second-rotation plantation of *C. lanceolata*.

3 讨论和结论

从土壤中总酚、复合态酚和水溶性酚含量均值来看,供试的 4 种样地土壤中各种酚类物质的含量有一定差异,顺着生态系统转换的方向(即:天然常绿阔叶林→一代杉木人工林→二代杉木人工林),土壤中总酚、复合态酚和水溶性酚含量呈现出一定程度的增加趋势,尤其是总酚和复合态酚含量,且各样地间土壤总酚和复合态酚含量均有显著或极显著差异,说明随

着杉木林人工栽植代数的增加,土壤中酚类物质会有一些的积累,这与张宪武^[1]、何光训^[3]和黄志群等^[5]的观点相一致。但某个季节土壤中各类酚类物质含量并不一定会呈现这种规律性,可能与土壤中各类酚类物质含量的季节变化较明显有关。上述结果说明:某个季节土壤中各类酚类物质的含量并不能全面反映土壤中酚类物质的实际状况,因此,必须进行多季节采样分析和综合评价,才能全面和科学地反映出土壤中酚类物质含量的季节变化状况。

在供试的 4 种森林生态系统中,土壤中总酚含量

最高,为 $278.40 \sim 3\,012.98 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$;复合态酚含量次之,为 $20.67 \sim 430.54 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$;水溶性酚含量最低,为 $0.36 \sim 6.01 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ 。土壤中各类酚类物质的含量总体上表现出 $0 \sim 20 \text{ cm}$ 土层大于 $20 \sim 40 \text{ cm}$ 土层的趋势。3月至12月,土壤中酚类物质具有明显的季节性变化:4个季节土壤中总酚含量由高至低依次为3月、9月、12月、6月;二代杉木萌芽天然更新林土壤中复合态酚含量呈现先降低而后逐渐升高的变化趋势,而其他3个系统中土壤复合态酚含量则总体上均呈现出3月和9月较高、6月和12月较低的变化趋势;4个系统中土壤水溶性酚含量总体上呈现出随季节变化逐渐降低的趋势。土壤中酚类物质含量的高低可能主要取决于其来源、消解和转化等因素的综合作用。6月土壤中总酚和复合态酚含量较低可能与6月的高温天气有利于土壤中酚类物质自身氧化和土壤微生物对酚类物质的分解等有关;12月土壤中总酚和复合态酚含量较低则更可能与酚类物质的来源减少有关,由于冬季雨水少、气温较低,通过淋溶、凋落物分解和根系分泌等途径产生的酚类物质减少;而土壤中水溶性酚含量的季节变化规律则更可能与9月和12月降水量较少、由淋溶所产生的水溶性酚来源减少有关。

随着近些年来对人工林地力衰退问题的关注和研究,较多学者认为:在林木栽植过程中,随栽植代数的增加,土壤中可能会积累酚类物质,这也可能是造成地力衰退的重要原因之一。有些学者^[1,3-4]认为:多代杉木林地土壤可能存在酚类物质的积累,从而影响杉木造林成活率和生长;黄志群等^[5]报道:杉木根桩在分解过程中向外释放酚类物质并积累在土壤中。本研究结果表明:天然更新常绿阔叶林和各代杉木林不同土层土壤中水溶性酚的含量总体均比较低,均值为 $0.36 \sim 6.01 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$,并未达到使植物中毒的水平($50 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$)^[14];而复合态酚含量相对较高($20.67 \sim 430.54 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$),但是复合态酚能被土壤胶体吸附,既不溶于水也不能被植物体吸收,对植物不会产生毒害作用。土壤中水溶性酚含量低可能与土壤的吸附作用(即土壤中水溶性酚含量高时可被土壤腐殖质和矿物胶体吸附,成为复合态酚)^[14-15]和土壤中微生物的分解作用有关。因此,在本实验条件下,虽然杉木多代连栽会在一定程度上造成土壤中酚类物质(尤其是总酚和复合态酚)的积累,但并不会使杉木产生中毒的现象,或者说杉木多代连栽后出现土壤中酚类物

质积累而导致中毒的可能性较小。这与李传涵等^[14]的研究结果相一致。

此外,因条件和时间的限制,作者仅仅对一代和二代杉木人工林生态系统土壤中酚类物质的变化规律进行探讨,而对于三代及三代以上杉木人工林生态系统或其他区域多代连栽杉木林地土壤中酚类物质的变化规律则尚未加以研究,而多代连栽杉木林地土壤中酚类物质积累的现象是否具有区域敏感性等问题,均有待今后进一步的长期定位研究。

参考文献:

- [1] 张宪武. 土壤微生物研究[M]. 沈阳:沈阳出版社,1993:340-345.
- [2] 李天杰. 土壤环境学[M]. 北京:高等教育出版社,1996:327-328.
- [3] 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.
- [4] 杜国坚,钱玉红,洪利兴,等. 杉木连栽回心土造林技术研究[J]. 福建林学院学报,1997,17(2):120-125.
- [5] 黄志群,廖利平,汪思龙,等. 杉木根桩和周围土壤酚类含量的变化及其化感效应[J]. 应用生态学报,2000,11(2):190-192.
- [6] 俞新妥,张其水. 杉木连栽林地土壤生化特性及土壤肥力的研究[J]. 福建林学院学报,1989,9(3):263-271.
- [7] 林开敏,俞新妥. 杉木人工林地力衰退与可持续经营[J]. 中国生态农业学报,2001,9(4):39-42.
- [8] 战秀梅,韩晓日,杨劲峰,等. 大豆连作及其根茬腐解物对大豆根系分泌物中酚酸类物质的影响[J]. 土壤通报,2004,35(5):631-635.
- [9] 马云华,王秀峰,魏珉,等. 黄瓜连作土壤酚酸类物质积累对土壤微生物和酶活性的影响[J]. 应用生态学报,2005,16(11):2149-2153.
- [10] 林开敏,叶发茂,林艳,等. 酚类物质对土壤和植物的作用机制研究进展[J]. 中国生态农业学报,2010,18(5):1130-1137.
- [11] 付美云,周立祥. 植物多酚在环境保护与农业生产中的应用[J]. 应用生态学报,2004,15(9):1673-1677.
- [12] 许光辉,郑洪元. 土壤微生物分析方法手册[M]. 北京:农业出版社,1986:205-206.
- [13] 陈秀华,李传涵,何绍江. 酚酸在土壤-杉木苗间运移的初步探讨[J]. 华中农业大学学报,2002,21(3):235-237.
- [14] 李传涵,李明鹤,何绍江,等. 杉木林和阔叶林土壤酚含量及其变化的研究[J]. 林业科学,2002,38(2):9-14.
- [15] SIQUEIRA J O, NAIR M G, HAMMERSCHMIDT R, et al. Significance of phenolic compounds in plant-soil-microbial systems [J]. Critical Reviews in Plant Sciences, 1991, 10(1): 63-121.

(责任编辑:张明霞)