

# 桉树与格木混交初期土壤理化性质的变化

冯娇银<sup>1</sup>, 黄昌谋<sup>1</sup>, 施喜元<sup>1</sup>, 黄晓露<sup>2</sup>, 徐圆圆<sup>3</sup>, 杨梅<sup>3</sup>

(1. 广西国有高峰林场, 南宁 530001; 2. 广西林业科学研究院, 南宁 530001; 3. 广西大学 林学院, 南宁 530004)

**摘要:**以2年生桉树人工林及桉树、格木混交林为对象,对其造林初期林地土壤理化性质的变化进行研究,探讨其土壤理化性质、土壤酶活性与土壤酚类物质间的关系。结果表明:(1)两种林分根区土壤pH值较小,0—20 cm土壤pH值大于20—40 cm,混交林林间0—20 cm土壤自然含水率、容重、最大持水量、总孔隙度、通气度均较桉树纯林大;对林间20—40 cm土层而言,桉树×格木混交林容重、总孔隙度、通气度、排水能力均比桉树纯林大,自然含水率、最大持水量相反。(2)混交林林间0—20 cm土壤脲酶活性最大,为1.46 mg/(g·h),脲酶、磷酸酶及多酚氧化酶活性均表现为桉树根区大于格木根区,且较桉树纯林桉树根区大。(3)桉树纯林根区总酚、复合酚含量最大,混交林林间0—20 cm水溶酚含量最大,土壤水溶酚含量范围为0.62~2.04 μg/g。桉树纯林造林初期土壤中酚类物质含量较低,未造成土壤酚类物质的积累;桉树与格木混交初期能改善土壤理化性质,提高土壤酶活性;土壤理化性质、土壤酶活性与酚类物质含量间存在着一定的相关性。

**关键词:**巨尾桉; 格木; 混交林; 土壤理化性质; 酚类物质

中图分类号:S792.39

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2017)03-0295-06

## Changes of Soil Physical and Chemical Properties of Forest Land in the Early Stage of *Eucalyptus* and *Erythrophleum fordii* Mixed Forest

FENG Jiaoyin<sup>1</sup>, HUANG Changmou<sup>1</sup>, SHI Xiyuan<sup>1</sup>, HUANG Xiaolu<sup>2</sup>, XU Yuanyuan<sup>3</sup>, YANG Mei<sup>3</sup>

(1. Guangxi Gaofeng State-Owned Forest Farm, Nanning 530001, China; 2. Guangxi Forestry Science Research Institute, Nanning 530001, China; 3. College of Forestry, Guangxi University, Nanning 530004, China)

**Abstract:** Study on the changes of soil physical and chemical properties of forest land in the early stage of afforestation was carried out with 2-year-old *Eucalyptus grandis* × *Eucalyptus urophylla* plantations and the mixed forest of *Eucalyptus grandis* × *Eucalyptus urophylla* and *Erythrophleum fordii* as the samples. The relationship between soil physical, chemical properties, soil enzyme activities and soil phenolic substances was investigated. The results show that: (1) the pH values of soil in the root zone of the two kinds of forest stands were small. The pH value in the 0—20 cm soil layer is greater than that in the 20—40 cm layer. The soil natural moisture content, bulk density, maximum moisture content, total porosity and aeration degree in the mixed forest in 0—20 cm soil layer were higher than those in the pure forest. For 20—40 cm depth in the forest, the bulk density, total porosity, ventilation and drainage capacity were higher than those in the pure forest, but the natural water content and maximum water holding capacity were instead. The urease activity in mixed forest in the 0—20 cm soil layer was 1.46 mg/(g·h), which reached the maximum. The activity of urease, phosphatase and polyphenol oxidase in the mixed forest showed that in the *Eucalyptus grandis* × *Eucalyptus urophylla* root zone was bigger than *Erythrophleum fordii* root zone, and there were minimum in the *Eucalyptus grandis* × *E. urophylla* root zone in the pure forest. The content of total phenols and compound phenols were the largest in the root zone in the pure forest. The content of water soluble phenol in the 0—20 cm soil layer of mixed forest was maximum. The content range of soil water soluble phenol was 0.62~2.04 μg/g. The contents of phenolic compounds in soil were low in the early stage of pure forest, it did not accumulated in the soil. *Eucalyptus grandis* × *Eucalyptus urophylla* and *Erythrophleum fordii*

收稿日期:2016-05-23

修回日期:2016-06-07

资助项目:国家自然科学基金(31260176);广西自然科学基金(2015GXNSFAA139081)

第一作者:冯娇银(1970—),女(壮族)广西南宁人,本科,主要从事人工林培育与经营方面的林业生产与管理工作。E-mail:121954148@qq.com

通信作者:杨梅(1970—),女,吉林长春人,教授,博士,主要从事森林培育方面的研究及教学工作。E-mail:fjyangmei@126.com

mixed planting could improve soil physical and chemical properties and soil enzyme activity in the early stage. There was a certain correlation between soil physical and chemical properties, soil enzyme activities and the contents of phenolic acids.

**Keywords:** *Eucalyptus grandis* × *Eucalyptus urophylla*; *Erythrophleum fordii*; mixed forests; soil physical and chemical properties; phenolic compounds

土壤是地球陆地表面能够生长植物的疏松表层,其中富含生物、能源和矿物等资源,作为陆地生态系统的主要组分之一,在其物质循环和能量流动方面起着重要的作用<sup>[1]</sup>。土壤酶由土壤微生物和动植物活体分泌,参与土壤生态系统的物质循环和能量流动,可作为衡量土壤肥力的有效指示因子<sup>[2-3]</sup>,其与土地利用方式、物理化学性质等联系紧密,其活性可以反映土壤中生化反应过程的动向和强度,对环境改变灵敏,也可用于指示生态系统稳定<sup>[4-6]</sup>。酚类物质是植物生命活动中的次生代谢产物,能改变土壤中的营养物质形态及微生物种群分布,对植物本身或其他植物的生长发育造成影响<sup>[7-8]</sup>。酚类物质与土壤养分含量及土壤酶活性间存在着互作关系<sup>[9-10]</sup>,酚类物质在土壤中较难降解,在土壤中积累会引起植物的化感效应;同时,土壤中的酚类物质又是有机碳的重要组成部分,对土壤碳氮循环及其养分的供应有重要意义<sup>[11]</sup>。

桉树是我国南方重要的速生造林树种,现阶段关于桉树种植的争议较大<sup>[12-13]</sup>,且对桉树化感作用方面的研究不断增多,研究指出桉树通过淋溶释放、凋落物分解和根系分泌能产生酚酸等化感物质,这些物质能抑制林内其他植物和土壤微生物的生长<sup>[14-15]</sup>。经营混交林可解决桉树人工纯林带来的多种问题,近年来逐渐受到人们重视,混交林凋落物分解速率快,养分富集时间短,有利于生态系统物质及能量的循环<sup>[16]</sup>。现今关于桉树人工纯林及混交林土壤养分方面的研究较多<sup>[17-19]</sup>,但对桉树不同类型人工林土壤酚类物质及其土壤理化性质、土壤酶活性及酚类物质等方面的研究较少。本文以巨尾桉(*Eucalyptus grandis* × *Eucalyptus urophylla*)人工林及桉树、格木(*Erythrophleum fordii*)混交林为对象,对其造林初期林地土壤理化性质的变化进行研究,探讨其土壤理化性质、土壤酶活性与土壤酚类物质间的关系,旨在为选择桉树混交树种及进行林地质量评价提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验地位于中国林科院热带林业试验中心(21°57′47″—22°19′27″N,106°39′50″—106°59′30″E),地处广西西南部,属南亚热带季风型半湿润—湿润气

候,年均气温 20.5~21.7℃,年均降雨量 1 200~1 500 mm,年均相对湿度 80%~84%,干湿季节较为明显。该中心地处低山丘陵区,最高海拔 1 045.9 m。地域内土壤主要有紫色土、红壤、砖红壤性红壤、黄壤和石灰土 5 种类型。巨尾桉人工林第 1 代纯林及巨尾桉×格木混交林林龄均为 2 a,均采用植苗造林,巨尾桉×格木混交林中桉树、格木以 1:1 的比例进行混交。其林分基本特征见表 1。

表 1 林分特征

因子	林分类型	
	巨尾桉	巨尾桉×格木
起源	植苗	植苗
林龄/a	2	2
平均胸径/cm	7	7.2/0.8
平均树高/m	7.3	8.0/1.5
林分密度/(株·hm <sup>-2</sup> )	1665	1665
海拔/m	240	240
坡向	西北	西北
坡位	中	中
坡度/(°)	25	15

1.2 研究方法

1.2.1 样品采集 参照《(LY/T1210—1999)森林土壤样品的采集与制备》进行土壤采样和样品处理,试验于 2010 年 8 月进行,在巨尾桉纯林、巨尾桉×格木混交林内分别设置 3 块 20 m×20 m 的样地,分别在各样地中选择 5 株平均木,在距树干 1 m 处设置土壤剖面,按土层深度 0—20,20—40 cm 两个层次分别采取土壤样品,各土层土壤充分混合后为林间土壤样品;不同林分内分不同树种进行根区取样,在不伤害树木根系的情况下,距树干 20 cm 处取 0—20 cm 层次土壤,将其充分混合后作为根区土壤样品。样品采集后密封于样品袋中,带回实验室进行风干、研磨、过筛等处理,并于 4℃下保存。

1.2.2 指标的测定及方法 土壤理化性质的测定<sup>[20]</sup>:采用环刀法测定土壤容重、自然含水率、最大持水量、总孔隙度、通气度和排水能力。

土壤酶活性的测定<sup>[21]</sup>:脲酶活性采用靛酚蓝比色法测定;酸性磷酸酶活性采用磷酸苯二钠比色法测定;多酚氧化酶采用邻苯三酚比色法测定。

土壤酚类物质含量的测定:总酚含量采用分光光

度计发测定<sup>[22]</sup>;水溶酚和复合酚含量参考谭秀梅等<sup>[23]</sup>的方法进行测定。

1.3 数据分析

采用 Microsoft Excel 软件对数据进行统计,并使用 DPS 对试验结果进行 LSD 多重比较、相关性分析。

2 结果与分析

2.1 两种林分土壤理化性质

由表 2 可知,桉树纯林、桉树×格木混交林林间土壤各层次的 pH 值均较根区大,且桉树纯林林间

0—20 cm 土层土壤的 pH 值比 20—40 cm 大,桉树×格木混交林中桉树根区 0—20 cm 土层土壤的 pH 值最小,为 4.40。不同林分类型不同土层的土壤理化性质存在着一定的差异,除容重外,桉树纯林及桉树×格木混交林林间 0—20 cm 土层土壤各指标均较 20—40 cm 大,桉树×格木混交林林间 0—20 cm 土层土壤自然含水率、容重、最大持水量、总孔隙度、通气度均较桉树纯林大,对林间 20—40 cm 土层而言,桉树×格木混交林容重、总孔隙度、通气度、排水能力均显著大于桉树纯林,自然含水率、最大持水量相反。

表 2 两种林分土壤理化性质

林分类型	位置	pH 值	自然含水率/%	容重/(g·cm <sup>-3</sup> )	最大持水量/%	总孔隙度/%	通气度/%	排水能力/mm
桉树	林间 0—20 cm	5.37	30.18±0.04Ab	1.29±0.02ABb	47.44±1.30Aa	61.16±1.88Aa	22.25±2.24Aab	57.20±1.85Aab
	林间 20—40 cm	5.30	21.01±1.44Bc	1.27±0.03Bb	36.31±3.10Bb	40.21±2.04Bb	13.50±1.00Bc	47.80±2.92Bc
	根区 0—20 cm	4.60	—	—	—	—	—	—
桉树×格木	林间 0—20 cm	5.10	31.41±1.21Aa	1.36±0.01Aa	48.01±1.86Aa	65.34±8.86Aa	22.60±0.75Aa	56.60±1.82Ab
	林间 20—40 cm	5.60	18.28±18.47Bd	1.37±0.05Aa	32.58±1.11Bb	44.68±2.00Bb	19.60±1.70Ab	60.40±2.51Aa
	桉树根区 0—20 cm	4.40	—	—	—	—	—	—
	格木根区 0—20 cm	4.50	—	—	—	—	—	—

注:不同大写字母表示在 0.01 水平上差异显著;不同小写字母表示在 0.05 水平上差异显著;下表同。

2.2 两种林分土壤酶活性

如表 3 所示,桉树×格木混交林林间 0—20 cm 土壤脲酶活性最大,为 1.46 mg/(g·h),两种林分土壤脲酶活性均有林间 0—20 cm>林间 20—40 cm>根区 0—20 cm 规律。两种林分不同位置土壤间磷酸酶活性相差较大,桉树纯林林间 0—20 cm 土壤中磷酸酶活性最大,为 56.31 μg/(g·h),较桉树×格木混交林大 45.39%,桉树纯林的土壤酸性磷酸酶活性表现为林间 0—20 cm>林间 20—40 cm>根区 0—20 cm,混交林

中表现为林间 0—20 cm>根区 0—20 cm>林间 20—40 cm;混交林中桉树根区土壤磷酸酶活性较格木根区大 37.04%,较桉树纯林桉树根区大 78.08%。桉树纯林林间 0—20 cm 土壤中多酚氧化酶活性极显著大于其他林地位置土壤,1.06 mg/(g·h),桉树纯林土壤酸性多酚氧化酶活性大小为林间 0—20 cm>林间 20—40 cm>根区 0—20 cm,混交林中桉树根区土壤多酚氧化酶活性较格木根区、桉树纯林桉树根区大。

表 3 两种林分土壤酶活性

林分类型	位置	脲酶活性/ (mg·g <sup>-1</sup> ·h <sup>-1</sup> )	磷酸酶活性/ (μg·g <sup>-1</sup> ·h <sup>-1</sup> )	多酚氧化酶活性/ (mg·g <sup>-1</sup> ·h <sup>-1</sup> )
桉树	林间 0—20 cm	1.34±0.02ABab	56.31±0.72Aa	1.06±0.01Aa
	林间 20—40 cm	1.25±0.11ABabc	40.34±1.20Cc	0.83±0.02Cc
	根区 0—20 cm	1.01±0.02Bc	26.38±0.89Ee	0.54±0.01Ef
桉树×格木	林间 0—20 cm	1.46±0.03Aa	38.73±1.77Cc	0.97±0.01Bb
	林间 20—40 cm	1.22±0.34ABabc	31.53±3.44Dd	0.63±0.04De
	桉树根区 0—20 cm	1.10±0.09ABbc	46.34±1.28Bb	0.77±0.04Cd
	格木根区 0—20 cm	1.01±0.16Bc	33.81±1.10Dd	0.56±0.09DEf

2.3 两种林分酚类物质含量

两种林分土壤总酚含量差异较大,其大小为根区 0—20 cm>林间 0—20 cm>林间 20—40 cm,桉树纯林根区土壤总酚含量最大,为 1 442.56 μg/g,较林间 0—20 cm,20—40 cm 土壤分别高 45.91%和 95.41%,较混交林中桉树根区高 31.93%,混交林中桉树根区土壤总酚含量较格木根区高 34.72%。两种林分土壤水溶酚含量大小表现为林间 0—20 cm>林间 20—40 cm>根区

0—20 cm,混交林林间 0—20 cm 土壤水溶酚含量显著大于其他位置土壤,为 2.04 μg/g,林地中同一位置土壤水溶酚含量均有混交林大于纯林,混交林中格木根区土壤水溶酚含量较桉树根区大;两种林分水溶酚含量范围为 0.62~2.04 μg/g,。两种林分中根区土壤复合酚含量极显著大于林间土壤;混交林中桉树根区土壤复合酚含量最大,为 69.55 μg/g,桉树根区土壤复合酚含量较格木大(表 4)。

表 4 两种林分土壤酚类物质含量 μg/g

林分类型	位置	总酚	水溶酚	复合酚
桉树	林间 0—20 cm	988.65±6.68Cc	1.59±0.05Bb	44.80±0.76Dd
	林间 20—40 cm	738.21±1.98Ee	0.91±0.01Cc	33.76±0.65Ee
	根区 0—20 cm	1442.56±24.95Aa	0.62±0.01Ee	68.64±0.04Aa
桉树×格木	林间 0—20 cm	844.81±12.14Dd	2.04±0.06Aa	55.50±2.04Cc
	林间 20—40 cm	669.49±20.65Ff	1.61±0.04Bb	30.90±0.91Ee
	桉树根区 0—20 cm	1093.46±10.55Bb	0.72±0.03Dd	69.55±3.20Aa
	格木根区 0—20 cm	1070.75±8.56Bb	0.96±0.03Cc	62.30±4.81Bb

2.4 两种林分土壤理化性质及酚类物质含量的相互性分析

如表 5 所示,脲酶与 pH 值、自然含水率、容重、最大持水量、总孔隙度、通气度、排水能力等土壤理化性质指标之间存在极显著正相关关系;酸性磷酸酶与自然含水率、最大持水量、脲酶间存在正向相关关系,相关系数均达到显著水平;多酚氧化酶与自然含水率、容重、最大持水量、总孔隙度、通气度、排水能力、脲酶、酸性磷酸酶之间存在极显著正相关关系;总酚

与 pH 值、自然含水率、容重、最大持水量、总孔隙度、通气度之间存在极显著负相关关系,与排水能力、脲酶间呈显著负相关;水溶酚与 pH 值、自然含水率、容重、最大持水量、总孔隙度、通气度、排水能力、脲酶、多酚氧化酶间呈极显著正相关关系,与总酚呈极显著负相关关系;复合酚与 pH 值、自然含水率、容重、最大持水量、总孔隙度、通气度、排水能力、总酚间存在极显著负相关关系,与脲酶、水溶酚间呈显著负相关关系。

表 5 两种林分土壤理化性质及酚类物质含量间的相关系数

	脲酶	酸性磷酸酶	多酚氧化酶	总酚	水溶酚	复合酚
pH	0.555**	0.177	0.412	−0.762**	0.676**	−0.923**
自然含水率	0.772**	0.444*	0.814**	−0.648**	0.850**	−0.646**
容重	0.728**	0.303	0.640**	−0.808**	0.797**	−0.852**
最大持水量	0.776**	0.433*	0.784**	−0.678**	0.851**	−0.696**
总孔隙度	0.758**	0.415	0.766**	−0.683**	0.871**	−0.699**
通气度	0.719**	0.363	0.710**	−0.708**	0.896**	−0.728**
排水能力	0.721**	0.311	0.632**	−0.792*	0.828**	−0.842**
脲酶	1.000	0.449*	0.706**	−0.535*	0.689**	−0.445*
酸性磷酸酶		1.000	0.806**	−0.207	0.255	−0.133
多酚氧化酶			1.000	−0.385	0.593**	−0.304
总酚				1.000	−0.617**	−0.844**
水溶酚					1.000	−0.481*
复合酚						1.000

注:\*表示存在显著相关( $p<0.05$ ),\*\*表示存在极显著相关( $p<0.01$ )。

3 讨论

土壤结构的稳定性控制着生态系统内部许多功能,其中土壤物理性质可直接影响林木根系生长及其对水分、养分的吸收<sup>[24]</sup>。土壤物理性质与土壤酶活性、土壤酚类物质含量间关系密切,自然含水率、容重、最大持水量、总孔隙度、通气度、排水能力与脲酶、多酚氧化酶、水溶酚间存在极显著正相关关系,与总酚、复合酚呈显著负相关或极显著负相关。桉树、格木混交初期可改善土壤物理性质,从而对土壤中脲酶、磷酸酶、多酚氧化酶的活性造成影响,同时使酚类物质含量发生改变。土壤物理性质的改善主要与地上植被生物量的积累和枯落物的数量有关<sup>[25]</sup>,桉树树冠为尖塔形,格木树冠较大,两者混交能有效利用

光能,可提高林分生物量及枯落物的积累;桉树生长较快,主根深,而格木生长相对缓慢,在造林初期根系仍分布在浅层土壤,使混交林土壤疏松,林地土壤物理性质表现较优,并且混交林林间 0—20 cm 土壤脲酶活性及水溶酚含量均达到最大。由于混交林中树种间关系存在对光、土壤水分和部分养分竞争的负相互作用,和通过改良土壤和改善小气候而彼此互补的正相互作用<sup>[26]</sup>,桉树与格木混交有利于改变林地生物环境和化学环境,土壤中脲酶、酸性磷酸酶及多酚氧化酶活性均表现为桉树根区大于格木根区,且较桉树纯林桉树根区大,表明桉树与格木间产生了互相促进的作用。

土壤中酚类物质主要来源于植物残体、枯枝落叶的分解及根系的分泌物,酚类物质与土壤酶活性具有

一定的关系,低浓度的酚类物质可使土壤多酚氧化酶、脲酶活性上升,而当酚类物质浓度达到一定程度这些酶活性会下降<sup>[27]</sup>。pH 值与土壤脲酶、水溶酚间呈极显著正相关关系,与总酚复合酚之间存在极显著负相关关系,研究表明 pH 值对土壤酶活性有重要影响<sup>[28]</sup>;而土壤酚类物质受 pH 值影响<sup>[11]</sup>,林间土壤 pH 值较高,酚氧化酶活性较强,可以使酚类物质分解加快,使酚类在土壤中的积累量减少,根区 pH 值较低,微生物活动受到影响;水溶酚属于游离酚,其含量可能与林间枯枝落叶的分解和淋溶有关,土壤中的水溶酚和复合酚处于动态平衡<sup>[29]</sup>,所以总酚、复合酚主要分布在植物根区,而林间水溶酚含量较大,且在混交林上层土壤中含量较多,且纯林中桉树根区积累的总酚、复合酚会比较多,且其土壤酶活性相对较低,不利于酚类物质的分解。在土壤中,水溶性酚含量一般较低,几种常见酚酸含量一般为  $0.1 \sim 30 \mu\text{g/g}$ <sup>[30]</sup>,而试验中土壤水溶酚含量范围为  $0.62 \sim 2.04 \mu\text{g/g}$ ,酚类物质含量较低。同时,桉树与格木混交还可能会使林地土壤微生物繁殖加快,使土壤酶类活力增强,从而加快酚类物质的分解,使林地酚类物质含量保持在较低水平<sup>[31-36]</sup>。

可见,桉树与格木混交在造林初期可改善土壤理化性质,提高土壤酶活性,降低林地总酚的含量,土壤理化性质、土壤酶活性与酚类物质含量间存在着一定的相关性。格木为豆科植物,与桉树混交初期效果相对较好,但试验林分栽植年限较短,混交对土壤整体水平的影响尚不明确,酶活性、酚类物质的变化与土壤微生物关系、对养分分解和释放的影响需要对试验林进行长期跟踪观测,对混交林分土壤理化性质、养分归还、土壤呼吸、水土流失和经营措施等方面开展研究。桉树与格木混交林林间土壤中水溶酚含量上升,可能与微生物有较强的分解酚酸的能力有关<sup>[33]</sup>。

## 4 结论

(1) 两种林分根区土壤 pH 值较小,0—20 cm 土壤 pH 值大于 20—40 cm,混交林林间 0—20 cm 土壤自然含水率、容重、最大持水量、总孔隙度、通气度均较桉树纯林大;对林间 20—40 cm 土层而言,桉树×格木混交林容重、总孔隙度、通气度、排水能力均比桉树纯林大,自然含水率、最大持水量相反。混交林可在一定程度上改善土壤理化性质。

(2) 混交林林间 0—20 cm 土壤脲酶活性最大,为  $1.46 \text{ mg}/(\text{g} \cdot \text{h})$ ,脲酶、酸性磷酸酶及多酚氧化酶活性均表现为桉树根区大于格木根区,且较桉树纯林桉树根区大。桉树纯林根区总酚、复合酚含量最大,混交林林间 0—20 cm 水溶酚含量最大,土壤水溶酚含量范围为  $0.62 \sim 2.04 \mu\text{g/g}$ 。混交林中土壤酶活

性较高,且酚类物质含量较低。

(3) pH 值、自然含水率、容重、最大持水量、总孔隙度、通气度、排水能力与脲酶、多酚氧化酶、水溶酚间存在极显著正相关关系,与总酚、复合酚呈显著负相关或极显著负相关;脲酶与总酚、水溶酚、复合酚呈显著负相关或极显著负相关,多酚氧化酶与水溶酚间存在极显著正相关关系。土壤理化性质与土壤酶活性、土壤酚类物质含量间关系密切。

### 参考文献:

- [1] 朱美玲,贡璐,张龙龙. 塔里木河上游典型绿洲土壤酶活性与环境因子相关分析[J]. 环境科学, 2015, 36(7): 2678-2685.
- [2] 戴凌,黄志宏,文丽. 长沙市不同森林类型土壤养分含量与土壤酶活性[J]. 中南林业科技大学学报, 2014, 34(6): 100-105.
- [3] 郭雄飞,陈璇,黎华寿,等. 不同林分改造模式对土壤酶活性及微生物数量的影响[J]. 中南林业科技大学学报, 2015, 35(9): 30-34.
- [4] 崔东,罗青青,闫俊杰. 伊犁地区不同土地覆被对土壤酶活性的影响[J]. 北方园艺, 2015(20): 164-168.
- [5] 边雪廉,赵文磊,岳中辉,等. 土壤酶在农业生态系统碳、氮循环中的作用研究进展[J]. 中国农学通报 2016, 32(4): 171-178.
- [6] 孙凯宁,杨宁,王克安,等. 山药连作对土壤微生物群落及土壤酶活性的影响[J]. 水土保持研究, 2015, 22(6): 95-98.
- [7] Blum U, Austin M. F., Lehman M E. Evidence for inhibitory allelopathic interaction involving acids in field soils: Concept vs. an experimental model[J]. Critical Review in Plant Science, 1999, 18(5): 673-693.
- [8] 高艳,马红亮,高人,等. 模拟氮沉降对森林土壤酚类物质和可溶性糖含量的影响[J]. 土壤, 2014, 46(1): 41-46.
- [9] 尹淇淋,谢越. 酚酸类物质导致植物连作障碍的研究进展[J]. 安徽农业科学, 2011, 39(34): 20977-20978.
- [10] 王延平. 连作杨树人工林地力衰退研究: 酚酸的累积及其化感效应[D]. 山东泰安: 山东农业大学, 2010.
- [11] 王米兰,胡荣桂. 湖北省几种农业土壤中酚含量及其与碳氮的关系[J]. 农业环境科学学报, 2014, 33(4): 702-707.
- [12] 谢贤健,韩光中. 不同巨桉人工林土壤分形特征及抗蚀性分析[J]. 土壤, 2014, 46(4): 725-731.
- [13] 向元彬,黄从德,胡庭兴,等. 不同密度巨桉人工林土壤有机碳及微生物量碳氮特征[J]. 西北植物学报, 2014, 34(7): 1476-1481.
- [14] Bolte M L, Bowers J, Crow W D, et al. Germination inhibitor from Eucalyptus pulverulenta[J]. Agricultural and Biological Chemistry, 1984, 48(2): 373-376.
- [15] Martens D A. Identification of phenolic acid composition of alkali-extracted plants and soils[J]. Soil Science Society of America Journal, 2002, 66(4): 1240-1248.
- [16] 张慧,孙栋元. 不同林龄日本落叶松人工林对凋落物与

- 土壤理化性质的影响[J]. 中国农学通报 2016, 32(1): 12-16.
- [17] 张凯, 郑华, 陈法霖, 等. 桉树取代马尾松对土壤养分和酶活性的影响[J]. 土壤学报, 2015, 52(3): 646-653.
- [18] 范晓晖, 王德彩, 孙孝林, 等. 南宁市桉树人工林土壤有机碳密度与地形因子的关系[J]. 生态学报, 2016, 36(13): 4074-4080.
- [19] 王纪杰, 王炳南, 李宝福, 等. 不同林龄巨尾桉人工林土壤养分变化[J]. 森林与环境学报, 2016, 36(1): 8-14.
- [20] 中华人民共和国林业部. 森林土壤养分分析 GB/7848-7858-87[S]. 北京: 标准出版社, 1987.
- [21] 关松荫. 土壤酶及其研究法[M]. 北京: 农业出版社, 1986.
- [22] 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.
- [23] 谭秀梅, 王华田, 孔令刚, 等. 杨树人工林连作土壤中酚酸积累规律及对土壤微生物的影响[J]. 山东大学学报: 理学版, 2008, 43(1): 14-19.
- [24] 吕祥涛. 尾巨桉人工林土壤物理性质变化的研究[J]. 内蒙古林业调查设计, 2011(4): 121-122.
- [25] 孙德权. 不同强度间伐对辽东蒙古栎林及杂木林土壤理化性质的影响[J]. 防护林科技, 2016(1): 46-49.
- [26] 赵昕, 张万军, 沈会涛, 等. 针阔树种人工林地表凋落物对土壤呼吸的贡献[J]. 中国生态农业学报, 2014, 22(11): 1318-1325.
- [27] 胡凯, 王微. 不同种植年限桉树人工林根际土壤微生物的活性[J]. 贵州农业科学, 2015, 43(12): 105-109.
- [28] 谢勇波, 周清明, 龚道新. 不同化学农药对土壤脲酶活性的影响[J]. 湖南农业科学, 2010(2): 63-65.
- [29] 叶发茂. 土壤酚类物质对森林生态系统转换的响应及其机制研究[D]. 福州: 福建农林大学, 2009.
- [30] 陈永亮, 李修岭, 周晓燕. 低磷胁迫对落叶松幼苗生长及根系酸性磷酸酶活性的影响[J]. 北京林业大学学报, 2006, 28(6): 46-50.
- [31] 郝建朝, 吴沿友, 连宾, 等. 土壤多酚氧化酶性质研究及意义[J]. 土壤通报, 2006, 37(3): 470-474.
- [32] Haleem Z U R A A, Amjad M, Arunadevi R, et al. Microbial degradation of phenol by locally isolated soil bacteria[J]. International Journal of Modern Cellular and Molecular Biology, 2013, 2(1): 1-13.
- [33] 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.
- [34] 沈国舫, 翟明普. 森林培育学[M]. 北京: 中国林业出版社, 2011.
- [35] 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.
- [36] 杨梅, 谭玲, 叶绍明, 等. 桉树连作对土壤多酚氧化酶活性及酚类物质含量的影响[J]. 水土保持学报, 2012, 26(2): 165-169.

~~~~~

(上接第 294 页)

- [5] 吴九兴, 杨钢桥. 农地整理项目农民参与现状及其原因分析: 基于湖北省部分县区的问卷调查[J]. 华中农业大学学报: 社会科学版, 2013(1): 65-71.
- [6] 吴九兴, 杨钢桥. 农地整理项目农民参与行为的机理研究[J]. 中国人口·资源与环境, 2014, 24(2): 102-110.
- [7] 田甜, 杨钢桥, 赵微, 等. 农民参与农地整理项目行为决策研究: 基于武汉城市圈农地整理项目的实证分析[J]. 中国土地科学, 2014, 28(8): 49-56.
- [8] 田甜, 杨钢桥, 赵微, 等. 农地整治项目农民参与行为机理研究: 基于嵌入性社会结构理论[J]. 农业技术经济, 2015(7): 16-26.
- [9] 邹宜斌. 社会资本: 理论与实证研究文献综述[J]. 经济评论, 2005(6): 120-125.
- [10] 张文宏. 社会资本: 理论争辩与经验研究[J]. 社会学研究, 2003(4): 23-35.
- [11] 周云. 社会资本与民主[M]. 北京: 社会科学文献出版社, 2011: 3-11.
- [12] 吴玉锋. 新型农村社会养老保险参与行为实证分析: 以村域社会资本为视角[J]. 中国农村经济, 2011(10): 64-76.
- [13] 赵雪雁. 社会资本测量研究综述[J]. 中国人口·资源与环境, 2012, 22(7): 127-133.
- [14] 孙昕, 徐志刚, 陶然, 等. 政治信任、社会资本和村民选举参与: 基于全国代表性样本调查的实证分析[J]. 社会科学研究, 2007(4): 165-187.
- [15] 石峡, 朱道林, 张军连. 土地整治公众参与机制中的社会资本及其作用[J]. 中国土地科学, 2014, 28(4): 84-90.
- [16] Charles F M. Economic Analysis of Social Interactions [R]. Working Paper No. 7580: NBER, 2000.
- [17] Harrison H, Kubik J D. Social Interaction and Stock-Market Participation [R]. Working Paper No. 8358: NBER, 2001.
- [18] 帕特南. 使民主运作起来[M]. 南昌: 江西人民出版社, 2001: 203-204.
- [19] 胡康. 文化价值观、社会网络与普惠型公民参与[J]. 社会科学研究, 2013(6): 120-143.
- [20] 蔡新燕. 论我国社会资本积累与公民政策参与的良性互动[J]. 理论导刊, 2008(2): 50-53.
- [21] 李冰冰, 王曙光. 社会资本、乡村公共品供给与乡村治理: 基于 10 省 17 村农户调查[J]. 经济科学, 2013(3): 61-71.