

文章编号: 1001-1498(2013)02-0247-05

## 黔中地区一、二代马尾松人工林土壤微生物数量及生物活性研究

蔡琼, 丁贵杰\*

(贵州大学造林生态研究所, 贵州 贵阳 550025)

关键词: 马尾松; 微生物; 生化活性; 酶活性

中图分类号: S791.248

文献标识码: A

### Study on Soil Microorganism Quantity and Biochemical Activity of First- and Second-Generation of *Pinus massoniana* Plantations in Qianzhong

CAI Qiong, DING Gui-jie

(Institute of Forestation and Ecology, Guizhou University, Guiyang 550025, Guizhou, China)

**Abstract:** The quantity of different microorganisms, biochemical activity and the enzyme activity of the first- and second-generation of *Pinus massoniana* under similar condition were studied by using the methods of microorganism cultivation and laboratory analysis on soil microorganism biochemical activity and enzyme activity. The results showed that all the indexes of the soil microorganism quantity, biochemical activity and the change of soil enzyme activity (except Nitrification) in the first- and second-generation stands of *P. massoniana* showed the vertical distribution characteristics. The indexes decreased with the increase of soil depth, which reached significantly different. All the indexes of the second-generation *P. massoniana* about the soil microorganism quantity, biomass, biochemical activity and the change of soil enzyme activity were higher than those of first-generation. There was a significant positive correlation between bacterial amount and biomass carbon, and between bacterial amount and respiration. There was a very significant or significant positive correlation between the quantity of actinomyces, fungus and biomass carbon, respiration, invertase and catalase.

**Key words:** *Pinus massoniana*; microorganism; biochemical activity; enzyme activity

由于人工林面积的不断扩大和人类经营措施的不合理,致使世界范围内人工林地力衰退现象十分严重。我国主要造林树种杉木(*Cunninghamia lanceolata* (Lamb.) Hook)、落叶松(*Larix* spp.)、桉树(*Eucalyptus* spp.)等存在地力衰退现象<sup>[1-4]</sup>,其中田大伦<sup>[5]</sup>、杨玉盛<sup>[6]</sup>、叶绍明<sup>[7]</sup>等分别对杉木、桉树连栽进行了较深入研究,得出连栽林地土壤理化性质、林下植物、枯落物生物量及养分循环等有下降趋势。马尾松(*Pinus massoniana* Lamb.)是我国松属树种中分布最广的乡土树种(21°41'~33°56' N; 102°10'

~123°14' E),广泛分布于17个省(市、区),因适生能力强、速生、丰产、用途广泛、综合利用程度高等优良特性,而成为我国南方最主要用材树种之一<sup>[8]</sup>。以往关于马尾松林的研究主要集中在对林木栽培技术、合理采伐年龄、人工林生长规律等研究<sup>[9-11]</sup>;但是马尾松连栽是否存在地力衰退?不同连栽代数及不同林龄马尾松林地土壤微生物数量和生化活性是如何变化的?这些问题已成为学术研究和生产上十分关注的问题,但这方面研究的公开报道并不多<sup>[12-14]</sup>。为此,为搞清马尾松人工林连栽经营是否

收稿日期: 2012-06-28; 收回日期: 2012-09-25

基金项目: 国家863项目(2011AA10020301)、国家“十二五”科技支撑课题《马尾松速生丰产林定向培育关键技术研究及示范》、贵州省特助人才计划(TZJF-2007年20号)、贵州省重大专项(黔科合重大专项字[2012]6001号、省人才基地建设项目(黔人领发[2009]9号)及省创新团队建设项目(黔科合人才团队(2011)4003)课题联合资助

作者简介: 蔡琼(1980—),男,山西晋城人,博士研究生,主要从事森林培育研究, E-mail: dukecq@sina.com.

\* 通讯作者: 丁贵杰(1960—),男,教授,博导,主要从事森林培育和人工林稳定性方面研究。

存在地力衰退,本研究以黔中地区相似立地条件下,一、二代5年生和10年生马尾松人工林为研究对象,开展了相关研究,以期揭示连栽后土壤微生物数量及生物活性变化规律,对今后马尾松人工林连栽经营提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究地概况

研究样地位于贵州龙里林场(106°59' E 26°27'

N),该区属中亚热带气候,年均温14~18℃,1月均温4.6℃,7月均温23.6℃,≥10℃年积温4467.1℃,无霜期283d,年降水量1089.3mm,年平均相对湿度79%<sup>[8]</sup>。选择一、二代5年生和10年生马尾松人工林作为研究对象,采取配对样地法(即:严格要求所选一、二代配对样地的立地类型相同、立地质量尽量一致)选择和设置样地,各样地基本情况见表1。

表1 样地立地条件及林分状况

林龄/a	代数	母岩	土壤	地貌	海拔/m	坡度/(°)	坡向	坡位	土壤密度/(g·cm <sup>-3</sup> )	总孔隙/%	有机质/(g·kg <sup>-1</sup> )
5	一代	砂岩	黄壤	山原	1443	5	东北	中下	1.32	44.4	54.84
	二代	砂岩	黄壤	山原	1380	5	东北	中下	1.21	46.2	57.22
10	一代	砂岩	黄壤	山原	1290	3	东南	中部	1.23	53.2	14.90
	二代	砂岩	黄壤	山原	1270	4	南	中部	1.12	60.1	17.14

### 1.2 土壤采样方法及样品分析

在立地条件及林分状况基本一致的林分内,选择代表性强的地段设置标准地,共设4个标准样地。每个样地内设3个面积为100m<sup>2</sup>的样方,每个样方设5个样点,按对角线法取样。分别在0~10、10~20和20~30cm土层依次采集土壤样品,将15个土样混合后取样,装于牛皮纸袋中带回实验室。分成两份,一份放在4℃的冰箱中待做微生物的不同区系微生物数量分析和土壤微生物生化作用强度分析,一份自然风干待做土壤酶活性测定。

(1)土壤密度测定采用环刀法;土壤有机质测定采用重铬酸钾氧化法<sup>[15]</sup>; (2)细菌培养采用牛肉膏蛋白胨培养基;放线菌培养采用改良高氏一号培养基(pH为7.2~7.4),以3%重铬酸钾抑制细菌;真菌培养采用马丁氏培养基<sup>[16]</sup>; (3)土壤微生物生物量的测定采用Vance的FE法<sup>[17]</sup>;微生物呼吸活性测定采用碱吸收滴定法<sup>[16]</sup>;硝化作用强度测定采用培养基接种土壤悬液法<sup>[16]</sup>;纤维素分解强度测定采用埋布片法<sup>[16]</sup>; (4)酶活性分析中蔗糖酶活性测定采用3,5-二硝基水杨酸比色法<sup>[16]</sup>;过氧化氢酶活性测定采用容量法<sup>[16]</sup>测定。

### 1.3 数据统计分析

采用SPSS16.0软件进行数据统计分析,用ANOVA模块分析差异显著性;用Pearson方法分析变量间的相关关系;制图用SigmaPlot11.0软件。

## 2 结果与分析

### 2.1 一、二代马尾松林土壤微生物数量及分布特点

从表2看出:连栽马尾松林地,以细菌数量最多,放线菌数量其次,真菌数量最少;5年生和10年生马尾松林均以表层土壤微生物数量最高,随着土层厚度加深,呈现大幅下降趋势。多重比较可知:细菌、放线菌数量在3个土层间总体上表现为差异显著( $P < 0.05$ ),真菌数量在3个土层间表现为差异显著( $P < 0.05$ )或不显著( $P > 0.05$ )水平;二代林地细菌、放线菌数量显著高于一代林地( $P < 0.05$ ),真菌数量无显著差异( $P > 0.05$ )。

### 2.2 一、二代马尾松林土壤微生物量碳比较

土壤微生物量碳对土壤条件变化非常敏感,能在检测到土壤总碳量变化之前反映土壤有机质的变化<sup>[18]</sup>。由图1与图2可见,一、二代5年生和10年生马尾松林土壤微生物生物量碳含量垂直分布均随土层的加深而降低。对两代进行同层次比较发现,二代土壤微生物生物量碳在3个土层上均比一代高,5年生马尾松林分别提高了5%、3%和3%;10年生马尾松林分别提高了5%、3%和4%。多重比较可知:5年生和10年生马尾松林一代和二代0~10cm土壤微生物生物量碳均存在差异显著( $P < 0.05$ ),10~20cm和20~30cm土壤微生物生物量碳均差异不显著( $P > 0.05$ );5年生与10年生一代和二代间差异显著( $P < 0.05$ )。

表 2 一、二代马尾松林地土壤微生物的数量

林龄/a	代数	土层深度/cm	数量/( $\times 10^4$ 个 $\cdot g^{-1}$ )		
			细菌	放线菌	真菌
5	一代	0~10	274.79 $\pm$ 5.29cA	23.21 $\pm$ 3.79cD	4.08 $\pm$ 0.96cC
		10~20	236.01 $\pm$ 5.57bA	9.98 $\pm$ 5.20bB	2.22 $\pm$ 1.05bB
		20~30	128.88 $\pm$ 5.57aA	3.87 $\pm$ 3.21aA	1.46 $\pm$ 1.04aA
	二代	0~10	13 403.37 $\pm$ 10.15cC	30.98 $\pm$ 4.04cE	2.84 $\pm$ 0.68bB
		10~20	9 415.77 $\pm$ 9.61bB	13.85 $\pm$ 7.55bC	2.59 $\pm$ 0.49abB
		20~30	151.83 $\pm$ 2.00aA	5.80 $\pm$ 2.65aA	2.41 $\pm$ 1.10aB
10	一代	0~10	5 132.92 $\pm$ 3.61cC	7.60 $\pm$ 2.52cB	3.76 $\pm$ 0.72bB
		10~20	1 201.57 $\pm$ 1.53bB	2.76 $\pm$ 2.52bA	0.98 $\pm$ 0.47aA
		20~30	402.22 $\pm$ 2.31aA	0.70 $\pm$ 2.08aA	0.39 $\pm$ 0.17aA
	二代	0~10	5 457.77 $\pm$ 3.61cD	25.82 $\pm$ 7.77bC	3.85 $\pm$ 1.10bB
		10~20	1 629.24 $\pm$ 2.52bB	3.41 $\pm$ 2.08aA	1.14 $\pm$ 0.40aA
		20~30	447.67 $\pm$ 2.00aA	2.22 $\pm$ 2.08aA	0.37 $\pm$ 0.21aA

注: 表中数值为平均值  $\pm$  标准差, 数值后小写字母、大写字母分别表示不同土壤深度、不同代各指标间的差异显著 ( $P < 0.05$ )。

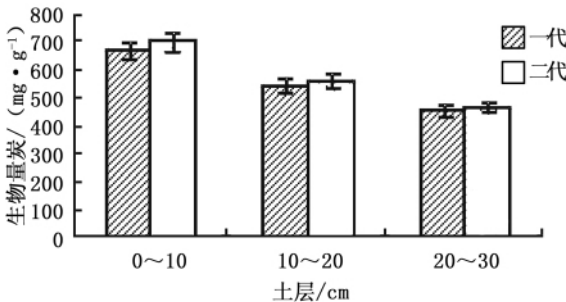


图 1 5 年生一、二代土壤不同层次生物量碳含量

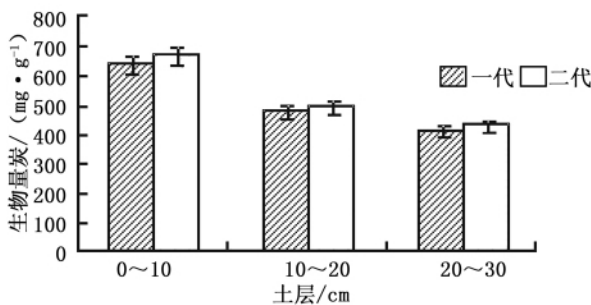


图 2 10 年生一、二代土壤不同层次生物量碳含量

相关分析表明: 土壤微生物量碳含量与细菌数量 ( $R = 0.650$ ) 呈显著 ( $P < 0.05$ ) 正相关; 与放线菌数量 ( $R = 0.915$ )、真菌数量 ( $R = 0.893$ ) 呈极显著 ( $P < 0.01$ ) 正相关。张志伟<sup>[19]</sup>对巨桉的研究中也有相似结果。

### 2.3 一、二代马尾松林土壤呼吸作用强度的变化及比较

土壤呼吸是指土壤释放  $CO_2$  的过程, 主要来自土壤微生物、植物根系和土壤动物。从一、二代 5 年生和 10 年生马尾松林下土壤呼吸作用的强度(表

3) 情况可知: 5 年生, 一代 0~10 cm 呼吸强度分别是 10~20 cm 和 20~30 cm 的 2.59 倍和 5.74 倍; 二代 0~10 cm 呼吸强度分别是 10~20 cm 和 20~30 cm 的 2.23 倍和 4.02 倍。同层次比较, 二代土壤呼吸强度均高于一代土壤呼吸强度, 1~3 层分别为一代土壤的 1.09 倍、1.27 倍和 1.56 倍。在 10 年生马尾松林下, 土壤呼吸作用随土层加深呈递减趋势, 二代与一代相比相差不大。5 年生与 10 年生马尾松林呼吸作用强度在 3 个土层间均表现为显著差异 ( $P < 0.05$ ); 5 年生一代和二代间呼吸作用强度表现为差异显著 ( $P < 0.05$ ), 但 10 年生一代和二代间差异不显著 ( $P > 0.05$ )。

进一步分析表明: 土壤呼吸作用强度与细菌数量 ( $R = 0.582^*$ )、放线菌数量 ( $R = 0.862^{**}$ ) 和真菌数量 ( $R = 0.679^{**}$ ) 的相关性达显著 ( $P < 0.05$ )、极显著 ( $P < 0.01$ ) 水平。

### 2.4 一、二代马尾松林土壤硝化作用强度的变化

一、二代 5 年生与 10 年生马尾松林土壤硝化作用强度均未呈现出明显垂直分布特征。但从总体分析可看出 5 年生与 10 年生二代土壤硝化作用强度在 3 个土层均比一代高(表 3)。随连栽, 土壤硝化作用强度并未出现下降趋势。可见, 在微生物系统、有机质及良好的土壤物理性质的变化等多种因素的作用下, 二代林地土壤硝化作用强度有增强趋势。5 年生和 10 年生马尾松林硝化作用强度在 3 个土层中达到差异显著或不显著水平; 5 年生和 10 年生马尾松林一代和二代间均表现为差异显著 ( $P < 0.05$ )。

表3 马尾松林一、二代林土壤生化作用强度

林龄/ a	林地	深度/ cm	生物量碳/ ( $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ )	呼吸强度/ ( $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ )	硝化强度/ ( $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ )	纤维素分解强度/ %	蔗糖酶/ ( $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ )	过氧化氢酶/ ( $0.1 \text{ N} \cdot \text{mL} \cdot \text{g}^{-1}$ )
5	一代	0~10	681.12 ± 13.75cC	1.79 ± 0.08cE	3.51 ± 0.02bB	1.91 ± 0.03cC	48.50 ± 2.50cE	29.7 ± 1.48cD
		10~20	554.40 ± 10.90bB	0.69 ± 0.09bC	2.26 ± 0.08aA	1.79 ± 0.02bB	15.84 ± 0.89bB	24.6 ± 0.94bB
		20~30	459.36 ± 9.94aA	0.31 ± 0.07aA	4.01 ± 0.11cC	0.20 ± 0.02aA	2.82 ± 2.34aA	16.5 ± 0.54aA
	二代	0~10	712.80 ± 14.22cD	1.95 ± 0.09cF	4.44 ± 0.09cD	2.84 ± 0.06bD	48.18 ± 1.02cE	36.1 ± 0.80cE
		10~20	570.24 ± 10.43bB	0.88 ± 0.06bD	3.56 ± 0.07aB	1.90 ± 0.08aC	27.21 ± 0.66bD	27.0 ± 1.06bC
		20~30	475.20 ± 9.74aA	0.49 ± 0.04aB	4.15 ± 0.12bC	1.88 ± 0.07aC	19.15 ± 0.79aC	23.2 ± 1.02aB
10	一代	0~10	633.60 ± 13.30cC	0.63 ± 0.20cE	2.48 ± 0.17bC	3.97 ± 0.09bC	16.01 ± 0.75cD	27.2 ± 1.55cC
		10~20	475.20 ± 10.98bB	0.25 ± 0.14bC	0.19 ± 0.02aA	3.37 ± 0.08aB	11.11 ± 0.88bC	18.9 ± 0.91bB
		20~30	411.84 ± 10.20aA	0.12 ± 0.07aA	0.13 ± 0.03aA	3.21 ± 0.15aA	4.35 ± 2.01aB	0.9 ± 0.58aA
	二代	0~10	665.28 ± 14.16cD	0.60 ± 0.29cD	3.35 ± 0.12bD	8.21 ± 0.04cE	19.83 ± 0.31cE	42.0 ± 1.44cE
		10~20	491.04 ± 12.86bB	0.26 ± 0.07bC	2.24 ± 0.13aB	5.14 ± 0.02bD	11.25 ± 0.52bC	30.9 ± 1.15bD
		20~30	427.68 ± 9.71aA	0.16 ± 0.09aB	4.59 ± 0.14cE	3.50 ± 0.07aB	1.06 ± 0.59aA	19.5 ± 1.58aB

注:生物量碳、呼吸强度、硝化强度、氨化强度测定均以干土壤为准;呼吸强度、脲酶、蔗糖酶测定时间为24 h;过氧化氢酶测定时间为1 h;表中数值为平均值±标准差,数值后小写字母、大写字母分别表示不同土壤深度、不同代各指标间的差异显著( $P < 0.05$ )。

## 2.5 一、二代马尾松林土壤纤维素分解作用强度的变化

一、二代5年生和10年生马尾松林土壤纤维素分解作用强度测定结果见表3,由表3可知:0~10 cm > 10~20 cm > 20~30 cm,垂直分布具有明显规律性。不同代相比,二代纤维素分解能力比一代高。这说明:二代林地因其土壤条件及肥力较好,且微生物数量多,其纤维素分解能力也较强。多重比较可知:5年生与10年生纤维素分解作用同层间均表现为差异显著( $P < 0.05$ );5年生与10年生一代和二代间差异均达到显著水平( $P < 0.05$ )。

## 2.6 一、二代马尾松林土壤酶活性的变化

土壤蔗糖酶是参与土壤有机碳循环的酶,对增加土壤中易溶性营养物质起着重要作用。过氧化氢酶是由土壤中的细菌、真菌和植物的根部分泌,直接参与土壤中物质和能量转化,其活性在一定程度上可以表征土壤生物氧化过程的强弱<sup>[20]</sup>。一、二代马尾松林蔗糖酶和过氧化氢酶有类似的垂直变化格局(表3),且各层间表现为差异显著( $P < 0.05$ )。对两代进行同层次比较发现,二代马尾松林蔗糖酶和过氧化氢酶活性均比一代有所提高,总体上表现为差异显著( $P < 0.05$ )。相关分析表明:蔗糖酶活性与放线菌数量( $R = 0.859^{**}$ )、真菌数量( $R = 0.715^{**}$ )、生物量碳作用强度( $R = 0.843^{**}$ )和呼吸作用强度( $R = 0.971^{**}$ )呈极显著( $P < 0.01$ )正相关;过氧化氢酶与放线菌数量( $R = 0.759^{**}$ )、真菌数量( $R = 0.719^{**}$ )和生物量碳( $R = 0.796^{**}$ )呈极显著( $P < 0.01$ )正相关,这与王会的研究结果<sup>[21]</sup>

一致。

## 3 结论与讨论

本研究除硝化作用强度在土壤剖面的层次上无规律变化外,微生物数量、微生物生化活性和土壤酶各项指标在土壤剖面上均表现为0~10 cm > 10~20 cm > 20~30 cm,这与前人的研究成果基本一致,且总体表现为差异显著。表层温度高,有机物含量高,土壤中大分子有机物分解快,根系代换量高,根系分泌物、脱落酸增多,土壤中有更多的养分释放出来,从而促进了微生物数量、生化活性和酶活性的增高。随着土层加深,根系分泌物和脱落物的不断减少以及土层温度的不断降低,土壤中有有机物质和无机物质逐渐减少,为土壤微生物提供的营养物质下降,减慢了微生物的自身合成代谢。

5年生和10年生二代马尾松林细菌、放线菌和真菌数量、微生物生物量碳、呼吸作用强度、硝化作用强度、纤维素分解作用强度、蔗糖酶活性和过氧化氢酶活性均高于一代,这与杉木<sup>[22]</sup>、杨树(*Populus* spp.)<sup>[23]</sup>连栽的研究结果不同;除5年生、10年生马尾松林的一、二代真菌数量和10年生一、二代呼吸作用强度表现为差异不显著外,一、二代细菌数量、放线菌数量、微生物量碳、硝化作用强度、纤维素分解作用强度、蔗糖酶活性和过氧化氢酶活性均达到差异显著水平。一些学者<sup>[13, 24-25]</sup>从林分生长特性、土壤物理性质及林下植被多样性等方面,研究了马尾松连栽情况,结果表明二代好于一代。其二代土壤密度低、孔隙度大、有机质含量高,可能是二代马

尾松林相比一代马尾松林尚未下降的一个重要原因。二代良好的土壤性质具有良好的通透性和保肥供肥性能,给土壤微生物的生长提供了更多的物质养料,导致土壤微生物活性大大增强,不断地分解有机物质,并固定土壤和大气中的一些游离物质,改善土壤理化性质,增加土壤养分。同时,二代细菌、放线菌和真菌数量均高于一代,可能与二代马尾松林地土壤环境条件的改善有着分不开的关系,二代土壤微环境有利于微生物的发育,能促进微生物的生命活动,对加速林木生长有着积极作用;二代微生物生物量碳、呼吸作用强度、硝化作用强度、纤维素分解作用强度、蔗糖酶和过氧化氢酶活性均高于一代,有利于土壤生物代谢物质的转化和利用,促进林地土壤生化作用强度增强,有机物转化和循环加快,土壤肥力提高。由此可见:连栽马尾松未出现地力衰退现象,良好的林分土壤状况给土壤微生物提供了充足的养分和能量,对维护和提高土壤肥力,改善土壤结构是十分重要的。

#### 参考文献:

- [1] 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
- [2] 盛炜彤.我国人工林地力衰退及防治对策[M]//人工林地力衰退研究.北京:中国科学技术出版社,1992
- [3] 黄玉梅.桉树人工林地力衰退及其成因评述[J].西部林业科学,2004,33(4):21-26
- [4] 杨承栋,张小泉,焦如珍,等.杉木连栽地土壤组成、结构、性质变化及其对杉木生长的影响[J].林业科学,1996,32(2):175-181
- [5] 田大伦,沈燕,康文星,等.连栽第1和第2代杉木人工林养分循环的比较[J].生态学报,2011,31(17):5025-5032
- [6] 杨玉盛,俞新妥,邱仁辉,等.不同栽杉代数根际土壤肥力及生物学特性变化[J].应用与环境生物学报,1999,5(3):254-258
- [7] 叶绍明,温远光,杨梅,等.连栽桉树人工林生产力和植物多样性及其相关性分析[J].西北植物学报,2010,30(7):1458-1467
- [8] 丁贵杰,周志春,王章荣,等.马尾松纸浆用材树种培育与利用[M].北京:中国林业出版社,2006
- [9] 沈凌,丁贵杰.1、2代马尾松林土壤浸提液对马尾松种子萌发及芽苗生长的影响[J].中南林业科技大学学报,2012,32(5):59-62
- [10] 赵汝东,樊剑波,何园球,等.林分密度对马尾松林下土壤养分及酶活性的影响[J].土壤,2012,44(2):297-301
- [11] 谌红辉,丁贵杰,温恒辉,等.造林密度对马尾松林分生长与效益的影响研究[J].林业科学研究,2011,24(4):470-475
- [12] 何佩云,丁贵杰,谌红辉.连栽马尾松人工林土壤肥力比较研究[J].林业科学研究,2011,24(3):357-362
- [13] 温佐吾.不同密度2代连栽马尾松人工林生产力水平比较[J].浙江林学院学报,2004,21(1):22-27
- [14] 蔡琼,丁贵杰.黔中地区连栽马尾松林对土壤微生物的影响[J].南京林业大学学报:自然科学版,2006,30(3):131-133
- [15] 中国科学院南京土壤研究所.土壤理化分析[M].上海:上海科技出版社,1978
- [16] 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
- [17] Vance E D. Soil Biol[J]. Biochem,1987,19(6):703-707
- [18] 张于光,张小全,肖焯.米亚罗林区土地利用变化对土壤有机碳和微生物量碳的影响[J].应用生态学报,2006,17(11):2029-2033
- [19] 张志伟.不同林龄巨桉人工林土壤微生物数量及其生物量研究[D].四川雅安:四川农业大学,2009
- [20] 孙建,刘苗,李立军,等.免耕与留茬对土壤微生物量C、N及酶活性的影响[J].生态学报,2009,29(5):5508-5515
- [21] 王会,孟凡乔,诸葛玉平,等.有机和常规生产施肥方式对土壤微生物生物量和酶活性的影响[J].水土保持学报,2012,26(2):180-191
- [22] 杨玉盛,邱仁辉,俞新妥.杉木连栽土壤微生物及生化特性的研究[J].生物多样性,1999,7(1):1-7
- [23] 崔鸿侠,唐万鹏,胡兴宜,等.杨树人工林连栽对土壤生物学性质的影响[J].湖北林业科技,2009(159):7-10
- [24] 何佩云,丁贵杰,谌红辉.第1、2代马尾松人工林林下植被的多样性比较[J].中南林业科技大学学报,2012,32(2):70-80
- [25] 何佩云,丁贵杰,谌红辉.1、2代马尾松人工林林分生长特性比较[J].辽宁林业科技,2012(1):4-8