

# 一、二代马尾松林土壤微生物数量及酶活性垂直分布特征\*

韦 玮<sup>1,2</sup>, 丁贵杰<sup>1,2</sup>, 陈 伟<sup>1,2</sup>, 周 兰<sup>1,2</sup>, 汪环宇<sup>1,2</sup>

(1. 贵州大学 林学院, 贵阳 550025; 2. 贵州省森林资源与环境研究中心, 贵阳 550025)

**摘要:**【目的】揭示连栽马尾松林根际土壤环境在垂直方向上的变化。【方法】以不同栽植代数的马尾松人工林作为研究对象,采用配对样地法,于2015年10月,对比研究不同代马尾松人工林的根际与非根际土壤可培养微生物数量及土壤酶活性土层垂直变化特征。【结果】两代马尾松人工林根际土壤可培养微生物数量与酶活性的土层垂直分布特征明显,均表现为在0~10 cm土层最高,在>10~20 cm土层较低,在>20~30 cm土层最低;同层次不同代之间比较,二代林根际土壤可培养微生物数量及酶活性均高于一代林,除土壤脲酶活性在代际间没有统计学意义上的差异外,其余酶的活性和3大类微生物数量在代际间的差异具有统计学意义( $p < 0.05$ );两代马尾松人工林各土层根际可培养微生物数量与酶活性皆高于非根际,随着土层加深,根际与非根际间没有呈现出明显相关规律;两代马尾松林微生物与土壤酶呈统计学意义上的正相关关系( $p < 0.01$ )。【结论】连栽提高了马尾松林根际土壤微生物数量和酶活性,二代林根际土壤性质在土层垂直方向上的表现均优于一代林。

**关键词:** 马尾松;连栽;微生物;酶活性;垂直分布

**中图分类号:** Q948.12<sup>+</sup>2

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1672-6693(2017)03-0114-07

近年来国内外相继报道了多种人工林树种生产力下降、地力衰退等问题<sup>[1-4]</sup>。马尾松(*Pinus massoniana*)具有速生、丰产、适生性强、用途广等特点,故而成为中国南方主要用材树种之一<sup>[5]</sup>。是否存在连栽退化、马尾松根际土壤微生态环境在连栽过程中如何变化、何为影响连栽土壤肥力变化的原因等几大问题已经成为马尾松培育中亟待解决的问题。土壤酶和微生物在土壤的生物呼吸、有机物质分解和能量转化过程中有着至关重要的作用,因此研究土壤可培养微生物数量和土壤酶活性有助于了解土壤质量<sup>[6-8]</sup>。连栽对马尾松林土壤微环境的影响也引起了一些学者的关注,蔡琼等人<sup>[9]</sup>对栽植一、二代马尾松人工林土壤生物活性及微生物数量进行了差异研究;何佩云等人<sup>[10-12]</sup>也对马尾松一、二代人工林土壤微量元素、酶活性、物理性质、以及土壤肥力方面展开了研究,同时也对不同代马尾松林根际与非根际土壤养分、微量元素、微生物等指标进行了比较<sup>[13-14]</sup>。然而,有关连栽马尾松林地根际土壤环境在土层垂直方向动态变化的研究鲜有报道,且相关学者研究不同代际根际间差异时,往往忽视了土层因素,从而影响不同代马尾松林根际环境的科学对比。为揭示马尾松林根际环境在连栽过程中的内在变化机制,本研究借鉴前人的配对样地法<sup>[9-12]</sup>,选择栽植一、二代的马尾松人工林作为研究对象,研究对比不同栽植代数根际内外的土壤可培养微生物数量和酶活性垂直方向上的差异,以揭示连栽后根际微环境在土层垂直方向上的变化规律,从而更好地认识连栽对土壤环境和土壤肥力的影响,为今后马尾松人工林经营和造林措施管理提供科学技术依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

研究样地位于贵州龙里林场(东经 106°59', 北纬 26°27'),该区属中亚热带温和湿润气候类型,年平均气温 14.8 °C,年积温 4 467.1 °C,无霜期 283 d,年降水量 1 089.3 mm,年均相对湿度 79%<sup>[5]</sup>。

### 1.2 样地设置

试验采用配对样地法,用 GPS 定位样地海拔高度,在海拔高度差异不超过 100 m 的情况下选择相同母岩以及相同林龄的一代和二代马尾松林,同时,对地貌、坡位、坡向、坡度等立地因子以及样地的经营措施进行严格配

\* 收稿日期:2016-11-23 修回日期:2017-03-25 网络出版时间:2017-05-02 17:24

资助项目:国家科技支撑课题(No.2015BAD09B01);贵州大学研究生创新基金(No.研农 2016015)

第一作者简介:韦玮,女,研究方向为森林生态,E-mail:847038876@qq.com;通信作者:丁贵杰,教授,E-mail:gjdingzhu@126.com

网络出版地址:http://kns.cnki.net/kcms/detail/50.1165.N.20170502.1724.018.html

对,尽量做到基本一致,设置一、二代马尾松人工林样地<sup>[9-12]</sup>。本研究中配对的一、二代马尾松林样地地貌为低中山,林下植被主要有茅栗(*Castanea sequinii*)、小果南烛(*Lyonia ovalifolia var. elliptica*)、铁芒箕(*Dicranopteris linearis*)、白栎(*Quercus fabri*)等,林下植被盖度低。土壤是石英砂岩发育形成的黄壤,土壤理化性质的测定结果为:一代林土壤容重为 $1.28 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ ,总孔隙度为53.5%,pH为4.33,有机质、全氮、全磷、全钾的含量分别为19.90,1.06,0.42,2.07  $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,碱解氮、有效磷、速效钾的含量分别为71.63,46.52,67.80  $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ;二代林土壤容重为 $1.19 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ ,总孔隙度为60.1%,pH为4.23,有机质、全氮、全磷、全钾的含量分别为49.98,2.37,0.49,1.74  $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,碱解氮、有效磷、速效钾的含量分别为131.13,37.26,185.10  $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。实验林基本情况见表1。

表1 样地基本概况

Tab. 1 The basic situation of the plots

马尾松代数	母岩类型	土壤类型	地貌	海拔高度/m	林龄/a	坡向	坡位	平均胸径/cm	平均高度/m	现存密度/(株·hm <sup>-2</sup> )
1	砂岩	黄壤	低中山	1 250	18	东南	下坡	12	13.2	1 933
2	砂岩	黄壤	低中山	1 330	18	东南	下坡	15.9	16.3	1 550

### 1.3 土样采集与分析

2015年10月在配对的马尾松一代和二代林分内分别设置3个600 m<sup>2</sup>的标准样地。在每个标准样地内每木检尺,在尽量避免其他植物的干扰下,各样地分别选取5株马尾松标准株并采集它们的根际(R)与非根际(NR)土壤,具体方法为:去除标准株下的凋落物层,从马尾松树干基部沿根系的生长方向挖去上层覆土,以10 cm为单位将土层分为0~10 cm, >10~20 cm, >20~30 cm等3层,自上而下分别在各层沿马尾松侧根找到细根部分,小心剪下分枝,细根带土取出<sup>[15]</sup>,采用抖落法获取非根际土壤,将黏附在细根上2 mm以内的土壤作为根际土壤<sup>[16]</sup>。同一代数、同一土层的土样进行混合,装入无菌袋置于冰盒内带回,供试验分析。

### 1.4 样品分析

土壤可培养微生物测定采用稀释平板法培养分析,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1号培养基(pH范围为7.2~7.4),以3%重铬酸钾抑制细菌;真菌培养采用马丁-孟加拉红琼脂培养基,具体操作方法参照文献<sup>[17]</sup>。

土壤酶活测定所用试剂盒购于Solarbio公司,其中脲酶(S-UE)采用靛酚蓝比色法,每日每克土样中产生1  $\mu\text{g}$  NH<sub>3</sub>-N定义为1个酶活力单位;多酚氧化酶(S-PPO)采用邻苯三酚比色法,每日每克土样中产生1 mg紫色没食子素定义为1个酶活力单位;酸性磷酸酶(S-ACP)采用磷酸苯二钠比色法,以37 °C中每克土样每日释放1  $\mu\text{mol}$  酚表示;过氧化氢酶(S-CAT)采用H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>比色法,每日每克土样催化1  $\mu\text{mol}$  H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>降解定义为1个酶活力单位<sup>[18]</sup>。

### 1.5 数据处理

实验数据用“平均值±标准差”表示。采用SPSS 21.0对各指标进行统计分析,不同土层之间微生物数量和酶活性差异用ANOVA-LSDD多重比较,同一土层不同代际之间与同一土层同代根际与非根际间微生物数量和酶活性差异用t-test检验,各项指标之间的相关性采用Person分析。当 $p < 0.05$ 时,统计结果具有统计学意义。

## 2 结果与分析

### 2.1 一、二代马尾松林根际与非根际土壤可培养微生物数量及垂直分布

如表2所示,一、二代马尾松林土壤3类可培养微生物数量表现为细菌最多,放线菌次之,真菌最少;根际与非根际土壤中3类可培养微生物数量在土层垂直方向变化一致,即随土层厚度加深而递减,且3个土层间的相关数据差异均具有统计学意义( $p < 0.05$ );同一土层下,二代林土壤中微生物数量均比一代林高。自上而下3个土层中,二代林根际土壤可培养细菌比一代林分别上升85.43%,55.77%,33.12%;可培养放线菌比一代林分别上升109.75%,53.60%,34.93%;可培养真菌比一代林分别上升94.22%,49.33%,142.36%;一、二代林间同一土层根际可培养微生物数量差异具有统计学意义( $p < 0.05$ )。同样,自上而下3个土层中,二代林非根际土壤可培养细菌比一代林分别上升62.45%,53.46%,57.51%;可培养放线菌比一代林分别上升64.33%,39.49%,54.97%,可培养真菌比一代林分别上升60.85%;67.18%,84.13%;除一、二代林间

>20~30 cm 土层的可培养真菌数量无统计学意义的差异外,其余两代林间各土层非根际可培养微生物数量差异具有统计学意义( $p < 0.05$ );同一代数、同一土层的根际土壤可培养微生物数量均高于非根际土壤,且具有统计学意义( $p < 0.05$ )。

表 2 一、二代马尾松林土壤微生物数量

Tab. 2 Quantities of microorganism in soil of the 1st and the 2nd generation of *P. massoniana*

马尾松代数	根际/非根际	土层深度/cm	细菌数量/( $10^4$ 个· $g^{-1}$ )	放线菌数量/( $10^3$ 个· $g^{-1}$ )	真菌( $10^3$ 个· $g^{-1}$ )
1	根际	0~10	268.28±6.67fD	76.02±5.98eC	48.18±5.02eD
		>10~20	172.77±5.50dC	50.87±3.18cB	20.18±4.55cB
		>20~30	90.81±3.06bA	36.89±5.06bA	5.67±2.53aA
	非根际	0~10	235.11±4.18eD	63.76±5.67dC	38.17±3.27dD
		>10~20	150.70±5.92cC	42.58±4.52bB	12.52±2.51bB
		>20~30	69.85±5.72aA	27.86±2.42aA	2.02±1.40aA
2	根际	0~10	497.48±8.91fE	159.46±7.48eD	93.57±6.04eE
		>10~20	269.12±4.68dD	78.13±4.60cC	30.13±4.68cC
		>20~30	120.89±2.85bB	49.78±5.69aB	13.75±2.96bB
	非根际	0~10	381.94±6.09eE	104.78±6.76dD	61.40±5.16dE
		>10~20	231.26±5.90cD	59.40±5.13bC	20.94±2.23bC
		>20~30	110.02±3.68aB	43.17±2.79aB	3.71±2.13aA

注:不同小写字母表示同代各指标间差异具有统计学意义( $p < 0.05$ );不同大写字母表示不同代根际(非根际)各指标间具有统计学意义( $p < 0.05$ )。

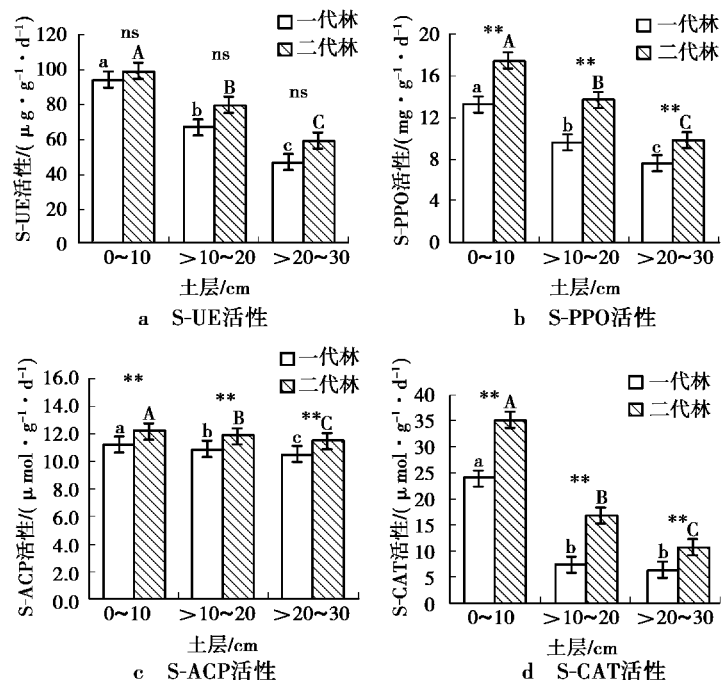
## 2.2 一、二代马尾松林根际与非根际土壤酶活性垂直分布特征

### 2.2.1 一、二代马尾松林根际土壤酶活性垂直分布特征

从图 1 可以看出,一、二代马尾松林根际 S-UE, S-PPO, S-ACP 以及 S-CAT 的活性随土层加深呈递减趋势;两代林的同一土层根际土壤酶活性相比,二代林均高于一代林。在自上而下 3 个土层中,二代林根际 S-UE 活性比一代林分别上升 5.59%, 17.38%, 21.94%, 两者间无统计学意义上的差异;二代林根际 S-PPO 活性比一代林分别上升 31.68%, 44.24%, 28.74%;二代林根际 S-ACP 活性比一代林分别上升 8.54%, 9.10%, 9.11%;二代林根际 S-CAT 活性较一代林上升幅度最大,分别上升 46.19%, 127.71% 和 66.63%;上述 3 种酶的活性的代际间差异在  $p < 0.01$  水平具有统计学意义。

### 2.2.2 一、二代马尾松林非根际土壤酶活性垂直分布特征

图 2 显示一、二代马尾松林非根际 S-UE, S-PPO, S-ACP 以及 S-CAT 活性也随土层的加深而降低,其中一、二代林 3 个土层中 S-UE, S-CAT 和二代 S-PPO 活性的差异具有统计学意义( $p < 0.05$ )。在自上而下 3 个土层中,二代林的非根际土壤 S-UE 活性比一代林分别上升



注:不同小写、大写字母分别表示一代林、二代林土层间数据差异具有统计学意义( $p < 0.05$ ); \*\*, \* 分别表示代际间差异在  $p < 0.01$ ,  $p < 0.05$  水平具有统计学意义, ns 表示代际间差异无统计学意义;下同。

图 1 一、二代马尾松林根际土壤酶活性垂直分布特征

Fig. 1 Vertical distribution characteristics of enzyme activity in rhizosphere soil of the 1st and the 2nd generation of *P. massoniana* forests

8.94%,6.25%,6.00%,但相关数据差异不具有统计学意义。同样,在自上而下 3 个土层中,二代林非根际土壤 S-PPO 活性比一代林分别上升 40.97%,49.67%,37.96%;S-ACP 活性比一代林分别上升 8.90%,7.15%和 10.70%,S-CAT 活性上升效果最为明显,比一代林分别上升 76.06%,103.75%和 68.09%;3 种酶活性在代际间差异具有统计学意义( $p < 0.05$ )。

2.2.3 根际与非根际土壤酶活性差异性分析 同一土层下,两代马尾松林的根际 S-UE, S-PPO, S-ACP, S-CAT 活性均高于非根际。由表 3 可知,根际与非根际间 0~10 cm 土层中一、二代林 S-CAT,一代 S-PPO 和 S-ACP 以及 >10~20 cm 土层中一、二代的 S-PPO 活性具有统计学意义上的差异( $p < 0.01$ )。

### 2.3 土壤酶活性与土壤微生物数量的相关分析

对 4 种土壤酶活性与 3 种土壤微生物数量进行相关分析,结果表明,一、二代马尾松林的土壤细菌、真菌、放线菌数量与土壤 S-UE, S-PPO, S-ACP 以及 S-CAT 活性两两之间呈统计学意义上的正相关关系( $p < 0.01$ ),即土壤可培养微生物数量越高,酶活性越强(表 4)。

表 3 一、二代根际与非根际土壤酶活性差异性分析  
Tab. 3 Variance analysis of enzyme activity between rhizosphere and nonrhizosphere soil of the 1st and the 2nd generation

土层深度/cm	马尾松代数	S-UE	S-PPO	S-ACP	S-CAT
0~10	1	0.023*	0.004**	0.000**	0.001**
	2	0.500	0.012*	0.076	0.005**
>10~20	1	0.222	0.002**	0.685	0.659
	2	0.077	0.003**	0.095	0.160
>20~30	1	0.183	0.058	0.341	0.031*
	2	0.102	0.294	0.354	0.040*

注:\*\*,\* 分别表示在  $p < 0.01, p < 0.05$  水平(双侧)上差异具有统计学意义。

## 3 结论与讨论

无论一代还是二代马尾松林,根际还是非根际,土壤可培养微生物数量和土壤酶活性土层垂直分布特征明显,均表现为在 0~10 cm 土层中最高,然后随着土层深度增加而递减,这与蔡琼等人的研究成果基本一致<sup>[9]</sup>。受枯枝落叶层凋落物分解和表层植物根系分泌的影响,表层土壤中具有相对较多的有机质,可促进微生物的生长并提升酶活性,而土层深度越大,有机质含量越少,提供给微生物生长和酶活动的养分也越少,微生物数量和酶活性也相对下降。本研究中,马尾松连栽后无论根际还是非根际,同一土层土壤酶活性和可培养微生物数量均表现为二代林高于一代林,特别是 0~10 cm 土层土壤显示出了这种随栽植代数的增加土壤酶活性和可培养微生物数量大幅度增加的趋势,而较深土层土壤也不同程度的显示出类似趋势,说明连栽改善了马尾松林土壤

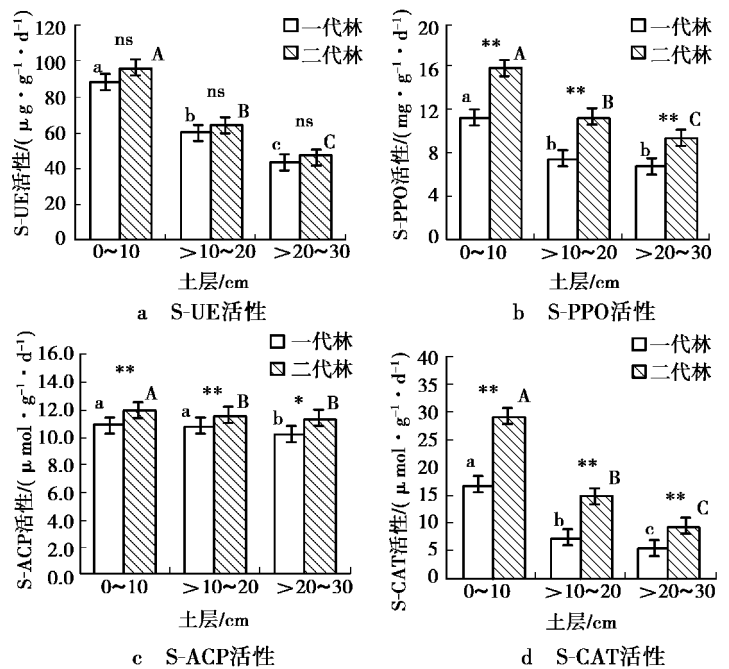


图 2 一、二代马尾松林非根际土壤酶活性垂直分布特征  
Fig. 2 Vertical distribution characteristics of enzyme activity in non-rhizosphere soil of the 1st and the 2nd generation of *P. massoniana* forests

表 4 不同代马尾松林土壤酶活性与土壤微生物的相关分析  
Tab. 4 Correlation coefficients between quantities of soil microorganism and soil enzyme activity of *P. massoniana* with different generations

	细菌数量	放线菌数量	真菌数量	S-UE	S-PPO	S-ACP	S-CAT
细菌数量	1.000						
放线菌数量	0.966**	1.000					
真菌数量	0.966**	0.967**	1.000				
S-UE	0.882**	0.818**	0.897**	1.000			
S-PPO	0.953**	0.928**	0.917**	0.865**	1.000		
S-ACP	0.779**	0.778**	0.686**	0.622**	0.859**	1.000	
S-CAT	0.957**	0.939**	0.956**	0.871**	0.961**	0.770**	1.000

注:\*\* 表示在  $p < 0.01$  水平(双侧)上相关性具有统计学意义。



微环境。这可能是因为连栽对林地土壤容重、总孔隙度以及有机质含量都有较大影响。与一代林相比,二代林的土壤容重表现出下降趋势,土壤总孔隙度和有机质含量均呈上升趋势,说明马尾松连栽较好地改善林地土壤的物理性质,在容重降低的同时,土壤的通气、透水性能也相应得到改善;而且受采伐干扰影响,地面的植物残枝落叶增多,有机物质含量明显上升,这些变化对二代马尾松的微生物的生长是非常有利的<sup>[19]</sup>,森林土壤酶活性高低在通常情况下也与土壤中有机质含量呈正相关。本研究中二代林 S-CAT 活性上升尤为明显,而 S-CAT 活性表征土壤腐殖化强度大小和有机质积累程度,此结论与二代马尾松土壤中有机质含量明显上升一致。一、二代间根际土壤 S-UE 活性无明显差异,这与何佩云对两代马尾松土壤 S-UE 比较时呈现统计学意义上的差异结论不一致<sup>[11]</sup>。通过对本研究中两代林胸径、树高生长比较,二代林树高、胸径生长均比一代林高,表明二代林分生长较快,因此可能随着二代马尾松的生长,它们对养分需求不断增加,从而加快吸收土壤中的氮,而土壤的供氮能力与 S-UE 活性呈正相关。此外,本研究中同一代的马尾松林在同一土壤层次的土壤可培养微生物数量和土壤酶活性均为根际明显高于非根际,该结论与何佩云、梅杰等人<sup>[13-14,20]</sup>的研究结论一致,这可能由根际环境中植物根分泌物的影响造成:由于根分泌物提供给微生物生长的营养物质较多,引起根际微生物数量增加。而微生物分泌酶也使植物根际内外的酶活性存在一定差异<sup>[21-22]</sup>,反映出根际环境处于较好的状态。

一、二代马尾松林土壤 S-UE, S-PPO, S-ACP, S-CAT 活性与可培养细菌、放线菌、真菌等 3 大类微生物数量两两之间呈现为正相关关系,这与诸多研究结果<sup>[23-28]</sup>一致,说明马尾松连栽过程中,土壤微生物与土壤酶相互作用,在土壤垂直方向上呈现出相似的变化规律,共同反映了连栽后土壤生化过程的方向、强度和土壤的肥力状况。

连栽后,根际环境垂直特征显示出二代马尾松林土壤微环境更有利于促进微生物的生长发育和土壤酶活性,微生物数量上升,势必影响森林枯枝落叶的分解,有助于土壤中有机物质的分解和转化;S-UE, S-ACP 活性上升则促进土壤中氮、磷的转化;S-PPO 和 S-CAT 活性增强会加速分解土壤中的有毒物质;二代林 S-CAT 活性大幅度上升,增强了马尾松对逆境的抵抗力<sup>[29]</sup>——由此不至于导致土壤环境恶化,出现地力衰退,同时使根际环境处于较好的状态,利于连栽后马尾松根系对土壤中营养物质的吸收利用。总之,连栽提高了马尾松林根际土壤微生物数量和土壤酶活性,且二代林根际土壤性质在土层垂直方向上的表现均优于一代林,林地土壤环境相对较好,有利于马尾松生长。通过对一、二代马尾松林根际土壤性质的比较,对揭示马尾松人工林土壤性质动态变化趋势、人工林的经营管理、林地的地力维护等可提供更为明确的方向。

## 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.  
LIN K M, YU X T. Soil degradation and sustainable management of Chinese fir plantation[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2001, 9(4): 39-42.
- [2] 盛炜彤.我国人工林地力衰退及防治对策,人工林地力衰退研究[M].北京:中国科学技术出版社,1992:15-19.  
SHENG W T. The land degradation in forest plantations and preventive strategies, researches on land degradation in forest plantations[M]. Beijing: Science and Technology of China Press, 1992: 15-19.
- [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.  
HUANG Y M. Soil degradation of eucalyptus plantation and cause analysis[J]. Journal of West China Forestry Science, 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.  
YANG C D, ZHANG X Q, JIAO R Z, et al. Variation of chemical properties, biochemical, microorganism activities and function in soil of successive rotation of Chinese fir and their influences on growing [J]. Scientia Silvae Sinicae, 1996, 32(2): 175-181.
- [5] 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.  
DING G J, ZHOU Z C, WANG Z R, et al. The cultivation and utilization in *Pinus massoniana* as pulpwood plantation [M]. Beijing: China Forestry Publishing House, 2006.
- [6] 盛炜彤.人工林地力衰退研究[M].北京:中国科学技术出版社,1992:318-320.  
SHENG W T. Researches on land degradation in forest plantations[M]. Beijing: Science and Technology of China Press, 1992: 318-320.
- [7] MATEVZ L, MARJANA R, INES M, et al. Diversity and seasonal variations of mycorrhiza and rhizosphere bacteria in three common plant species at the Slovenian Ljubljana marsh[J]. Biol Fertil Soils, 2009, 45(6): 573-583.
- [8] 薛立,邝立刚,陈红跃,等.不同林分土壤养分、微生物与酶活性的研究[J].土壤学报,2003,40(4):280-285.

- XUE L, KUANG L G, CHEN H Y, et al. Soil nutrients, microorganisms and enzyme activities of different stands[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2003, 40(4): 280-285.
- [9] 蔡琼, 丁贵杰. 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[J]. *林业科学研究*, 2013, 26(2): 247-251.
- CAI Q, DING G J. Study on soil microorganism quantity and biochemical activity of first- and second-generation of *Pinus massoniana* plantations in Qianzhong[J]. *Forest Research*, 2013, 26(2): 247-251.
- [10] 李启洪, 何佩云. 一、二代马尾松人工林土壤物理性质的比较—以贵州龙里为例[J]. *贵州师范大学学报(自然科学版)*, 2010, 28(2): 13-16.
- LI Q H, HE P Y. Comparative study on physical properties of soil in manmade forest between first- and second-generation of *Pinus massoniana* with a case of Longli county in Guizhou[J]. *Journal of Guizhou Normal University (Natural Sciences)*, 2010, 28(2): 13-16.
- [11] 何佩云, 丁贵杰, 谌红辉. 1、2代不同林龄马尾松人工林土壤微量元素及酶活性[J]. *东北林业大学学报*, 2013, 41(1): 32-36.
- HE P Y, DING G J, ZHAN H H. Soil microelements and enzyme activities of first and second generation of *Pinus massoniana* plantations[J]. *Journal of Northeast Forestry University*, 2013, 41(1): 32-36.
- [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.
- HE P Y, DING G J, ZHAN H H. Comparison on soil fertilities of *Pinus massoniana* plantations of different generations[J]. *Forest Research*, 2011, 24(3): 357-362.
- [13] 何佩云, 丁贵杰, 谌红辉. 马尾松连栽对根际与非根际土壤微量元素及微生物的影响[J]. *辽宁师范大学学报(自然科学版)*, 2012, 35(3): 390-395.
- HE P Y, DING G J, ZHAN H H. Effects on microelements and microorganisms in rhizosphere and non-rhizosphere soil of *Pinus massoniana* successive rotation[J]. *Journal of Liaoning Normal University (Natural Science Edition)*, 2012, 35(3): 390-395.
- [14] 何佩云, 谌红辉. 连栽马尾松林根际与非根际土壤养分及酶活性研究[J]. *浙江林业科技*, 2011, 31(1): 39-43.
- HE P Y, ZHAN H H. Research on nutrients and enzyme activities of rhizosphere and non-rhizosphere soil under successive rotation plantation of *Pinus massoniana* [J]. *Journal of Zhejiang Forestry Science and Technology*, 2011, 31(1): 39-43.
- [15] 刘芷宇, 李良谟, 施卫明. 根际研究法[M]. 南京: 江苏科学技术出版社, 1997.
- LIU Z Y, LI L M, SHI W M. *Research Methods in Rhizosphere* [M]. Nanjing: Jiangsu Science and Technology Press, 1997.
- [16] 苏宝玲, 韩士杰, 王建国. 根际微域研究中土样采集方法的研究进展[J]. *应用生态学报*, 2000, 11(3): 477-480.
- SU B L, HAN S J, WANG J G. Advance in soil sampling methods in rhizosphere microzone study[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2000, 11(3): 477-480.
- [17] 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.
- XU G H, ZHENG H Y. *Microbial manual of analytical methods* [M]. Beijing: Agriculture Press, 1986.
- [18] 关松荫. 土壤酶及其研究法[M]. 北京: 中国农业出版社, 1986: 206-339.
- GUAN S Y. *Soil enzyme and its research method* [M]. Beijing: Agriculture Press, 1986: 206-339.
- [19] 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.
- CAI Q, DING G J. Effects of replanting *Pinus massoniana* on soil microorganism in Qianzhong region[J]. *Journal of Nanjing Forestry University (Natural Sciences Edition)* [J]. 2006, 30(3): 131-133.
- [20] 梅杰, 周国英. 不同林龄马尾松林根际与非根际土壤微生物、酶活性及养分特征[J]. *中南林业科技大学学报*, 2011, 31(4): 46-49.
- MEI J, ZHOU G Y. Study of rhizosphere and non-rhizosphere microbial, enzyme activity and nutrients element content of soil in different stand ages *Pinus massoniana* forest [J]. *Journal of Central South University of Forestry & Technology*, 2011, 31(4): 46-49.
- [21] 李俊华, 沈其荣, 褚贵新, 等. 氨基酸有机肥对棉花根际和非根际土壤酶活性和养分有效性的影响[J]. *土壤*, 2011, 43(2): 277-284.
- LI J H, SHEN Q R, ZHU G X, et al. Effects of application amino acid fertilizer on soil enzyme activity and available nutrients in cotton rhizosphere and bulk soils [J]. *Soils*, 2011, 43(2): 277-284.
- [22] 杨万勤, 王开运. 森林土壤酶的研究进展[J]. *林业科学*, 2004, 40(2): 152-159.
- YANG W Q, WANG K Y. Advance in forest soil enzyme research [J]. *Scientia Silvae Sinicae*, 2004, 40(2): 152-159.
- [23] 李敏, 吴凤芝. 不同填闲模式对黄瓜根际土壤酶活性及细菌群落的影响[J]. *应用生态学报*, 2014, 25(12): 3556-3562.
- LI M, WU F Z. Effects of different catch modes on soil enzyme activities and bacterial community in the rhizosphere of cucumber [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2014, 25(12): 3556-3562.
- [24] 陈莉莉, 王得祥, 于飞, 等. 松栎混交林土壤微生物数量与土壤酶活性及土壤养分关系的研究[J]. *土壤通报*, 2014(1): 77-84.
- CHEN L L, WANG D X, YU F, et al. The relationship a-

- mong microbial quantities, enzyme activities and nutrients in soil of pine-oak mixed forest[J]. Chinese Journal of Soil Science, 2014(1): 77-84.
- [25] 李伟, 韦晶晶, 刘爱民, 等. 吊兰生长对锌污染土壤微生物数量及土壤酶活性的影响[J]. 水土保持学报, 2013(2): 276-281.
- LI W, WEI G G, LIU A M, et al. Effects of chlorophytum comosum growth on microbial biomass and soil enzymatic activities in zinc-polluted soil[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2013(2): 276-281.
- [26] 宋海燕, 李传荣, 许景伟, 等. 滨海盐碱地枣园土壤酶活性与土壤养分、微生物的关系[J]. 林业科学, 2007, 43(1): 28-32.
- SONG H Y, LI C R, XU J W, et al. Correlations of soil enzyme activity and microbes, nutrients in soil of jujube orchard in coastal saline land[J]. Scientia Silvae Sinicae, 2007, 43(1): 28-32.
- [27] 张崇邦, 金则新, 柯世省, 等. 天台山不同林型土壤酶活性与土壤微生物、呼吸速率以及土壤理化特性关系研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2004, 10(1): 51-56.
- ZHANG C B, JING Z X, KE S S, et al. Study on the relationship among enzymes activities, microorganism, respiration rate and physico-chemical properties of soil under different forests of Tiantai mountain[J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2004, 10(1): 51-56.
- [28] 王会, 孟凡乔, 诸葛玉平, 等. 有机和常规生产施肥方式对棕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.
- WANG H, MENG F Q, ZHUGE Y P, et al. Effects of organic and conventional fertilizing methods on microbial biomass and enzyme activity in brunisolic soil[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2012, 26(2): 180-191.
- [29] 王理德, 王方琳, 郭春秀, 等. 土壤酶学研究进展[J]. 土壤, 2016, 48(1): 12-21.
- WANG L D, WANG F L, GUO C X, et al. Review: progress of soil enzymology[J]. Soils, 2016, 48(1): 12-21.

## Vertical Distribution Characteristics of Microorganism Quantity and Enzyme Activity in Soil of First- and Second-generation of *Pinus massoniana* Forest

WEI Wei<sup>1,2</sup>, DING Guijie<sup>1,2</sup>, CHEN Wei<sup>1,2</sup>, ZHOU Lan<sup>1,2</sup>, WANG Huangyu<sup>1,2</sup>

(1. College of Forestry, Guizhou University, Guiyang 550025;

2. Institute for Forest Resources and Environment of Guizhou, Guiyang 550025, China)

**Abstract:** [Purposes] It aims to reveal the change of rhizosphere soil environmental in vertical direction of successive planting *Pinus massoniana*. [Methods] In October 2015, microorganism quantity and enzyme activities in vertical direction of rhizosphere and non-rhizosphere soil from first- and second-generation of *P. massoniana* forests were studied by the pairing plot method. [Findings] The microorganism quantity and enzyme activities in rhizosphere soil had significant difference among different layers both in first- and second-generation stands, all show the highest in 0~10 cm soil layer, in >10~20 cm soil layer is low, lowest in >20~30 cm soil layer. Comparing two generations of same soil layer, the microorganism quantity and enzyme activity of the second generation were higher than that of the first generation, with significant differences besides soil urease. The microorganism quantity and enzyme activities in rhizosphere with same soil layer of first and second generation were higher than that of the non rhizosphere, along with the soil layer deepen, between rhizosphere and non rhizosphere did not present a clear correlation. Four kinds of soil enzymes had a significant correlation with three types of microorganisms. [Conclusions] The results indicated that after successive planting, the microorganism quantity and enzyme activities in rhizosphere soil of *P. massoniana* had been increased, and the performance of soil properties on soil vertical direction of the second generation was better than the first generation.

**Keywords:** *Pinus massoniana*; successive rotation; microorganism; enzyme activity; vertical distribution

(责任编辑 方 兴)