

# 洪雅林场3种植被恢复模式下土壤理化性质的调查分析

董田建<sup>1</sup> 程力<sup>1</sup> 张学强<sup>2</sup>

(1. 四川省林业调查规划院, 四川 成都 610081; 2. 四川省洪雅县林场, 四川 洪雅 620300)

**摘要:** 本研究选择洪雅林场具有代表性的两种针叶林(柳杉(*Cryptomeria fortunei*)、水杉(*Metasequoia glyptostroboides*))以及天然次生林植被恢复模式,通过对3种林下的土壤剖面进行调查以及土壤样品的采集分析,来评价不同植被恢复模式对土壤的改良效果。研究结果表明:(1)3种模式下,土壤容重天然次生林(EBLF) < 柳杉林(CFP) < 水杉林(MGP),说明天然次生林土壤最疏松;(2)蓄水保水能力,水杉林同柳杉林差异不显著,而天然次生林具有较强的蓄水保水能力,可以避免或减少降雨强度大形成的地表径流;(3)土壤活性酸及潜性酸 MGP > CFP > EBLF,但各模式之间差异不显著;(4)中下层土壤有机质含量总体表现为:CFP > MGP > EBLF,各恢复模式土层有机质含量随土层深度的增加,有显著差异,均呈递减趋势;(5)不同模式下土壤全N、全P含量依次为CFP > MGP > EBLF,与土壤有机质走势一致;(6)土壤主要特性的Pearson相关系数说明土壤酸碱值与土壤容重呈正相关,土壤有机质含量除与土壤容重呈负相关外,与其它理化指标成正相关。综合各项指标可以看出,天然次生林改良土壤结构的能力较好,针叶林土壤结构较天然次生林紧实,物理性质较差。

**关键词:** 洪雅林场; 柳杉; 水杉; 天然次生林; 植被恢复; 土壤理化性质

中图分类号: S714.2

文献标识码: A

文章编号: 1003-5508(2015)01-0043-05

森林是陆地生态系统的主要植被类型,眉山市洪雅地区是我国降雨量最丰富的区域之一,同时是一个大尺度、复合性的生态过渡带,在景观、生态系统、物种及遗传多样性等方面具有重要价值<sup>[1,2]</sup>。2014年,洪雅县森林覆盖率高达68.3%,在整个长江上游生态屏障建设中占据着十分重要的位置,该区也为四川省退耕还林(草)实施的重点区域。柳杉(*Cryptomeria fortunei*)、水杉(*Metasequoia glyptostroboides*)是我国南方优良速生丰产用材树种,适生于四川盆地及周边山地,随着退耕还林(草)工程的实施,越来越多的荒地、农耕地都逐渐转变成了人工林,它们在南方退耕还林(草)工程中占有举足轻重的地位。保持和提高土壤质量是林地可持续发展的基础<sup>[3,4]</sup>,其中土壤理化性质是评价土壤肥力和质量的重要指标<sup>[5~7]</sup>。目前,对柳杉、水杉林的研究报道多集中于经营、管理<sup>[8~11]</sup>,针对其植被恢复模式相较于天然更替恢复模式是否具有更好的改良作用以及3种林下土壤理化性质的调查分析较少。本研究通过对土壤理化性质的调查分析,探讨在土壤改良、维持生态系统碳氮平衡中柳杉、水杉以及天然次

生林植被恢复模式的作用,为柳杉、水杉人工林以及天然次生林可持续发展提供参考,对区域退耕还林工程和植被恢复生态平衡具有重要意义。

## 1 材料与方法

### 1.1 实验目的

柳杉和水杉人工针叶林作为生态恢复模式中的主要造林树种,在洪雅林场退耕还林植被恢复中具有重要地位。随着退耕还林工程的发展,人工林下土壤理化性质发生了巨大变化,因此有必要对人工纯林的土壤理化性质进行调查,并通过与天然次生林的比较分析,来评价不同植被恢复和经营模式对土壤的改良效果。

本试验选择洪雅林场具有代表性的两种针叶林(柳杉、水杉)以及天然次生林植被恢复模式,通过对3种林下的土壤剖面进行调查以及土壤样品的采集分析,来评价不同植被恢复模式对土壤的改良效益,为退耕还林工程的顺利实施提供依据,同时更好促进长江上游生态屏障的建设。

收稿日期: 2014-08-11

作者简介: 董田建(1961-),男,四川成都人,工程师,从事林业技术工作。

## 1.2 主要研究内容

以洪雅林场柳杉、水杉针叶人工林及天然次生林下土壤为研究对象,调查分析退耕还林 30 a 后,针叶林下土壤理化性质相比较之天然次生林土壤性质,评价其土壤质量。研究的主要内容包括以下两个方面:

(1) 针叶人工林与天然次生林下土壤发育调查分析;

(2) 针叶人工林与天然次生林下土壤理化性质调查分析。

## 1.3 实验设计与实验方法

### 1.3.1 实验地概况

试验地设在洪雅林场玉屏山工区,位于四川省眉山市洪雅县(东经  $102^{\circ}49' \sim 103^{\circ}32'$ ,北纬  $29^{\circ}24' \sim 30^{\circ}00'$ ),海拔 1 200 m。年平均气温  $16.6^{\circ}\text{C}$ ,积温  $5\,314^{\circ}\text{C}$ ,月平均最高温  $28.9^{\circ}\text{C}$ (7月),月平均最低温  $4.6^{\circ}\text{C}$ (1月),年均日照时数 1 006.1 h,无霜期 307d,多年平均降雨量 1 435.5 mm,空气平均湿度 77%,属于亚热带湿润气候。

### 1.3.2 样地设置及样品采集

样地设置在洪雅林场玉屏山工区东侧敲鼓岩处,2013年8月,分别在该处柳杉、水杉、天然次生林设置 3 个具有代表性的  $20\text{ m} \times 20\text{ m}$  样地。每块样地按对角线随机布设 3 个点,挖取  $1\text{ m} \times 1\text{ m}$  的土壤剖面,共计 9 个剖面。对各个剖面进行详尽的土壤剖面形态观察与记录,并按  $0 \sim 20\text{ cm}$ 、 $20\text{ cm} \sim 40\text{ cm}$ 、 $40\text{ cm} \sim 60\text{ cm}$ 、 $60\text{ cm} \sim 100\text{ cm}$  分层各采集 1 kg 土壤样品。野外用酒精烧灼法测定各层土壤含水量,用环刀法在各土层采集土样用于分析物理性质,并采集各层混合土样约 1 kg 带回四川农业大学温江校区实验室进行养分分析<sup>[5-7]</sup>。

### 1.3.3 样品分析

土壤容重(野外现场分层测定)、室内分析测定的指标包括:土壤容重、最大持水量、毛管持水量;土壤活性酸、潜性酸、有机质、全 N、全 P<sup>[12-14]</sup>;

1) 将环刀带回实验室,称量、记录鲜重;然后揭去上底盖浸泡,12 h 后盖上底盖称量,记录;再揭去上、下底盖搁置干砂上 2 h 后称量,记录;同上搁置干砂上 24 h 后称量,记录。测定土壤容重、最大持水量、毛管持水量、非毛管孔隙度、毛管孔隙度。

2) 将采回的土样放置在实验室指定的位置自然风干,同时准备实验所需器材和药品,并将风干土

样研磨,过 2 mm、1 mm 和 0.25 mm 的筛孔,装袋备用。采用国家标准(1999)森林土壤方法测定土壤的化学性质指标。

全氮——半微量凯氏法;

全磷——碱熔-钼锑抗比色法;

活性酸——磷酸苯二钠法;

有机质——重铬酸钾外加热法;

pH 值——pH 酸度计测定。

### 1.3.4 数据分析

利用 SPSS16.0 (SPSS Inc., USA) 对数据进行 One-way ANOVA 和 Pearson 相关系数分析,如果差异显著,再用 LSD 法进行多重比较。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同植被恢复模式下土壤物理性质变化

#### 2.1.1 土壤容重

土壤容重反映了土壤的松紧度和对地表水的蓄积能力,是衡量土质疏松度的指标之一。它影响到土壤的空隙度大小分配,以及土壤的穿透阻力,进而影响到土壤水肥气热条件与植物根系在土壤中的穿插<sup>[5]</sup>。在一定范围内,容重越小,土质越疏松;容重越大,土质越板结,其大小与土壤母质、质地类别、有机质含量、耕作性能等有关。由表 1 可以看出,不同植被恢复模式下各层次容重间差异显著,天然次生林植被对降低土壤表层容重的作用较明显,以水杉林下土壤容重最大。相对于 3 种模式,天然次生林土壤容重最小,与水杉林差异显著  $0 \sim 20\text{ cm}$ 、 $20\text{ cm} \sim 40\text{ cm}$ 、 $40\text{ cm} \sim 60\text{ cm}$  和  $60\text{ cm} \sim 100\text{ cm}$  土层容重分别为  $1.06\text{ g} \cdot \text{m}^{-3}$ 、 $1.39\text{ g} \cdot \text{m}^{-3}$ 、 $1.33\text{ g} \cdot \text{m}^{-3}$  和  $1.41\text{ g} \cdot \text{m}^{-3}$ ,说明天然次生林土壤最疏松。水杉林林地土壤容重大于柳杉林,但差异不显著。

#### 2.1.2 土壤水分状况

土壤水分是土壤肥力的重要促动因素,直接影响植被恢复的进程<sup>[8]</sup>。可以明确表 1 中 3 种水分分别表示什么水,与植物生长或土壤特性的关系。然后根据每个数据所具有的代表作用进行相应的分析对比。表 1 结果表明,随着土层加深,不同植被恢复模式的土壤持水量逐渐降低。其中  $0 \sim 20\text{ cm}$  土层天然次生林最大持水量、毛管持水量均明显高于该两种人工林,比水杉林高 25.0% 和 23.4%。这表明次生林具有较强的蓄水保水能力,可以避免或减少降雨强度大形成的地表径流。人工林中,水杉林同柳杉林差异不显著。

表 1 不同植被恢复模式下土壤物理性质

Table 1 Soil physical properties under different vegetation restoration patterns (mean  $\pm$  SE  $n=9$ )

恢复模式 Restoration pattern	土层厚度 Soil layer thickness( cm)	容重 Bulk density ( $g \cdot cm^{-3}$ )	最大持水量 Maximum moisture content( %)	毛管持水量 Capillary moisture content( %)	最小持水量 Minimum moisture content( %)
EBLF	0 ~ 20	1.06 $\pm$ 0.01	45.0 $\pm$ 0.4	40.1 $\pm$ 3.0	4.4 $\pm$ 0.8
	20 ~ 40	1.30 $\pm$ 0.17	35.8 $\pm$ 15.3	25.7 $\pm$ 1.9	5.0 $\pm$ 2.9
	40 ~ 60	1.33 $\pm$ 0.04	33.4 $\pm$ 2.8	30.5 $\pm$ 5.7	4.7 $\pm$ 2.0
	60 ~ 100	1.41 $\pm$ 0.01	28.5 $\pm$ 2.9	25.3 $\pm$ 6.2	3.3 $\pm$ 2.4
MGP	0 ~ 20	1.40 $\pm$ 0.07	36.9 $\pm$ 9.9	32.5 $\pm$ 6.6	4.4 $\pm$ 3.6
	20 ~ 40	1.43 $\pm$ 0.08	34.5 $\pm$ 3.8	32.5 $\pm$ 6.1	2.0 $\pm$ 1.0
	40 ~ 60	1.45 $\pm$ 0.03	32.5 $\pm$ 1.4	29.7 $\pm$ 2.6	2.8 $\pm$ 0.4
	60 ~ 100	1.46 $\pm$ 0.08	32.5 $\pm$ 9.1	31.6 $\pm$ 6.9	1.6 $\pm$ 1.0
CFP	0 ~ 20	1.37 $\pm$ 0.14	40.3 $\pm$ 6.9	35.9 $\pm$ 4.3	5.8 $\pm$ 3.4
	20 ~ 40	1.35 $\pm$ 0.16	37.5 $\pm$ 8.1	31.1 $\pm$ 8.3	6.3 $\pm$ 2.0
	40 ~ 60	1.31 $\pm$ 0.11	40.1 $\pm$ 12.7	36.0 $\pm$ 4.7	3.0 $\pm$ 1.8
	60 ~ 100	1.37 $\pm$ 0.14	36.6 $\pm$ 7.9	34.1 $\pm$ 7.6	2.7 $\pm$ 0.3

MGP: 水杉林 *Metasequoia glyptostroboides* plantation; CFP: 柳杉林 *Cryptomeria fortunei* plantation; EBLF: 次生林 Secondary forest.

## 2.2 不同植被恢复模式下土壤化学性质变化

### 2.2.1 土壤活性酸及潜性酸

由图 1 可以看出 随着土层加深 不同植被恢复模式的活性酸逐渐增加。其中水杉林活性酸最高, 分别为 4.86、5.25、5.41、5.62; 天然林最低, 但各个

森林群落之间差异并不显著。不同植被恢复模式的潜性酸随土层加深逐渐增加。其中水杉林潜性酸最高, 天然林最低, 但各个森林群落之间差异并不显著。

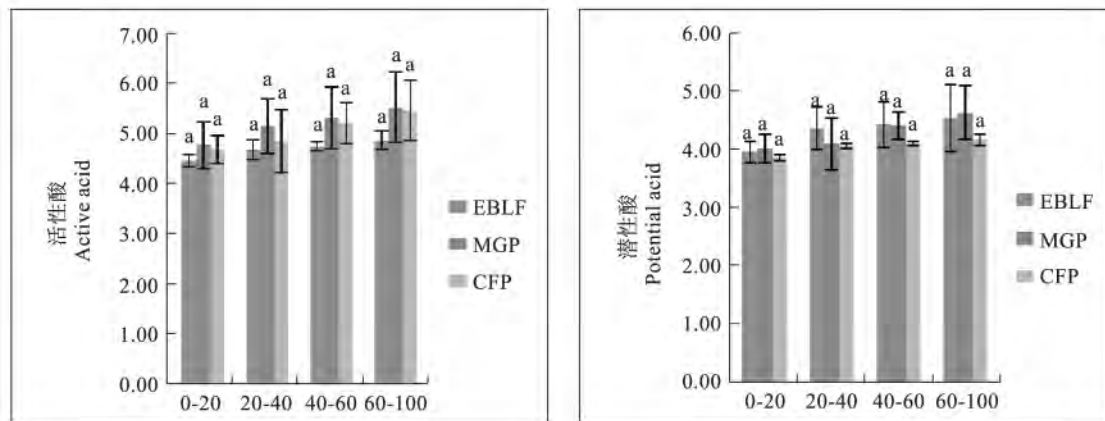


图 1 不同植被恢复模式下土壤活性酸和潜性酸

Fig. 1 Active acid and potential acid of soil under different restoration patterns (mean  $\pm$  SE  $n=9$ )

MGP: 水杉林 *Metasequoia glyptostroboides* plantation; CFP: 柳杉林 *Cryptomeria fortunei* plantation; EBLF: 次生林 Secondary forest. 不同字母表示不同植被恢复模式间差异显著 ( $P < 0.05$ ). Different letters mean significant difference among different restoration patterns at 0.05 level. 下同 The same below.

### 2.2.2 土壤有机质

土壤有机质是土壤的重要组成部分, 它是指存在于土壤中的含碳的有机化合物, 包括土壤中各种动物残体、植物残体, 以及微生物分解或合成的各种有机物质<sup>[15-16]</sup>。它不仅含有各种营养元素, 而且还是土壤微生物生命活动的能源。它在土壤物理性质上, 对土壤水、热、气等各种肥力因素起着重要的调节作用, 对土壤结构有重要的影响。从图 2 可知, 不同植被恢复模式的土壤有机质差异明显, 柳杉林土壤有机质含量总体最高, 为 10.34  $g \cdot kg^{-1}$ 、8.65  $g \cdot$

$kg^{-1}$ 、4.17  $g \cdot kg^{-1}$ 、4.30  $g \cdot kg^{-1}$ ; 但天然林 0 ~ 20 cm 土层含量最高, 人工林相对较低。中下层土壤有机质含量总体表现为: 柳杉林 > 水杉林 > 天然林。各恢复模式土层有机质含量随土层深度的增加, 有显著差异, 均呈递减趋势。

### 2.2.3 土壤全氮

土壤养分是土壤肥力因素之一, 其丰缺程度, 直接影响到植物的生长发育<sup>[8, 17]</sup>。氮素是构成一切生命体的重要元素。在植物生长中, 植物对氮的需求量大, 土壤供氮不足是引起其质量和品质降低的主

要限制因子。土壤有机质与全氮的消长常常是一致的,由于植被恢复模式的不同,土壤全氮的含量不同。

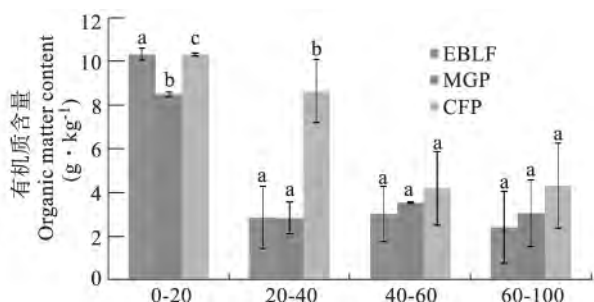


图2 不同植被恢复模式下各土层土壤有机质含量  
Fig. 2 Soil organic matter content under different restoration patterns( mean ± SE, n = 9)

由图3可以看出,人工林各土层全N含量均高于天然次生林。其中不同模式下土壤全N含量依次为:柳杉林>水杉林>天然次生林。两种人工针叶纯林全N含量分别高于天然次生林39.9%、25.0%。各土层间植被恢复模式的土壤全氮含量同土壤有机质含量走势一致,均不断降低。

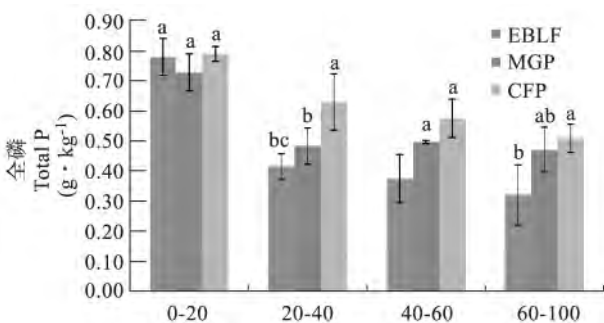


图3 不同植被恢复模式下土壤全氮  
Fig. 3 Total N in soil under different restoration patterns( mean ± SE, n = 9)

### 2.2.4 土壤全磷

土壤全磷是指土壤中各种形态磷素的总和。土壤全磷含量的高低,受土壤母质,成土作用和耕作施

肥的影响很大,与土壤质地和土壤有机质含量也有关系<sup>[18]</sup>。有机质丰富的土壤含磷也多<sup>[19]</sup>。不同土层含磷量不同,一般上层含量高于下层。磷在土壤中稳定性较大,不易流动和损失,也难被植物吸收利用<sup>[20]</sup>。土壤中全磷含量与有机磷含量成正相关,土壤中有机磷的含量受土壤有机质含量的影响很大。随着土壤有机质的提高,有机磷可由全磷量的25%增至60%。因此,土壤中全磷含量的多少影响着植物的生长发育的快慢。

从图4可知,3种植被恢复模式下土壤全P变化存在明显差异。林地表层(0~20 cm)水杉林地土壤全P高于次生林、柳杉林。总体来看,不同植被恢复模式下,土壤全P含量依次为:柳杉林>水杉林>天然次生林。3种林地间的全P含量呈递增趋势,增幅分别为26.3%、40.4%,且天然次生林与柳杉林有显著差异。

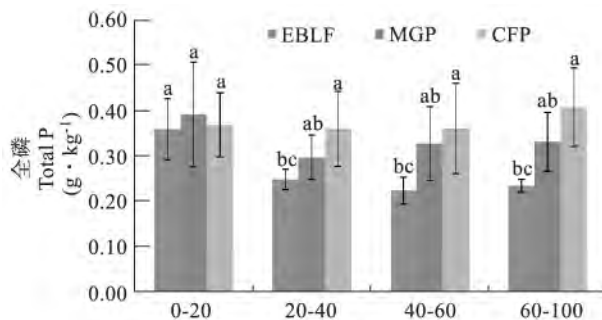


图4 不同植被恢复模式下土壤全磷  
Fig. 4 Total P in soil under different restoration patterns( mean ± SE, n = 9)

### 2.3 不同植被恢复模式下土壤主要特征的相关性

由表2可以看出,土壤酸碱值与土壤容重呈正相关,与其他主要理化指标均呈负相关,与土壤主要养分含量呈显著负相关。说明土壤酸度大小对土壤养分含量有明显的指示作用,土壤养分对土壤酸碱值有显著影响。土壤有机质含量除与土壤容重呈负

表2 土壤主要特性的 Pearson 相关系数  
Table 2 Pearson correlation coefficients among soil properties

	TN	TP	BD	MA	CA	MI	AA	PA
OM	0.943 **	0.621 *	-0.483	0.541	0.498	0.37	-0.556	-0.802 **
TN		0.757 **	-0.371	0.481	0.454	0.236	-0.373	-0.850 **
TP			-0.093	0.213	0.191	0.181	0.239	-0.641 *
BD				-0.962 **	-0.933 **	-0.250	0.547	0.302
MA					0.993 **	0.054	-0.457	-0.344
CA						-0.062	-0.417	-0.303
MI							-0.343	-0.354
AA								0.423

OM: 有机质 Organic matter; TN: 全 N Total N; TP: 全 P Total P; BD: 土壤容重 Bulk density; MA: 最大持水量 Maximum moisture content; CA: 毛管持水量 Capillary moisture content; MI: 最小持水量 Minimum moisture content; AA: 活性酸 Active of acid; PA: 潜性酸 Potential acid. \* P<0.05; \*\* P<0.01

相关外, 与其余理化指标成正相关, 且与养分之间呈显著关系, 表明土层间养分含量呈显著消长一致, 有机质对土壤养分供应作用较大, 特别是对土壤全 N 的供应, 充分体现了有机质是土壤养分的物质基础。土壤容重除与土壤酸度呈正相关外, 与其他理化性质均呈负相关, 与持水量呈极显著负相关。说明土壤容重直接影响土壤的持水量, 进而控制地表水的蓄积能力, 再影响到土壤水肥气热条件与植物根系在土壤中的穿插。

### 3 结论与讨论

不同恢复模式中, 水杉林的土壤容重最大 0 ~ 20 cm 为  $1.40 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ ; 天然次生林的土壤容重最小 0 ~ 20 cm 为  $1.06 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ 。这种现象说明天然次生林土壤最疏松, 根系在土壤各层中发达分布, 以及大量凋落物的沉积分解, 表明天然次生林改良土壤结构的能力较强。随着土层加深, 不同植被恢复模式的土壤持水量逐渐降低。在一定范围内, 容重越小, 土质越疏松, 保水蓄水能力越强。同样植被恢复年限条件下, 针叶林土壤结构较天然次生林紧实, 物理性质较差。因此对该两种针叶人工林植被恢复模式, 在实施必要的人工林抚育间伐措施的时候, 同时应该避免对土壤的过分踩踏, 尽可能让林下土壤类似天然次生林的植被恢复发育模式, 进而更好促进森林植被生长。

3 种植被恢复模式下, 土壤养分随着土层深度增加, 逐渐降低, 但总体养分含量柳杉林最高, 天然次生林却最低。这与天然次生林作为比较理想的植被恢复模式却总体养分很低有不妥之处。可能是由于天然次生林物理性质在不断改善, 其林下植被凋落物养分分解较快, 并迅速被植物吸收, 因此需要进一步深入调查研究。

#### 参考文献:

- [1] 庄平, 高贤明. 华西雨屏带及其对我国生物多样性保育的意义[J]. 生物多样性 2002, 10(3): 339 ~ 344.
- [2] 陈昌笃, 庄平, 胡锦鑫(主编). 都江堰生物多样性研究与保护

[M]. 成都: 四川科学技术出版社, 1999, 1 ~ 85.

- [3] 林同龙. 杉木人工林近自然经营技术的应用效果研究[J]. 中南林业科技大学学报 2012, 32(3): 11 ~ 16.
- [4] 姚茂和. 人工林地力衰退研究[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 1992.
- [5] 吕殿青, 邵明安, 潘云. 容重变化与土壤水分特征的依赖关系研究[J]. 水土保持学报 2009, 23(3): 209 ~ 212.
- [6] 王昭艳, 左长清, 曹文洪, 等. 红壤丘陵区不同植被恢复模式土壤理化性质相关分析[J]. 土壤学报 2011, 48(4): 715 ~ 724.
- [7] 王岩, 李玉灵, 石娟华, 等. 不同植被恢复模式对铁尾矿物种多样性及土壤理化性质的影响[J]. 水土保持学报 2012, 26(3): 112 ~ 117.
- [8] Deng Z W, Qian J L, Tu Q P et al. Effects of environmental factors on Cazimuth distribution in *Cryptomeria fortunei* tree rings in Tianmu Mountain regions. Acta Phytoecol Sinica 2003, 27(1): 93 ~ 98.
- [9] Zhang Z W. Increment process analysis and growing state division of *Cryptomeria fortunei*. J Central South For Univ 2003, 23(2): 46 ~ 51.
- [10] 覃世杰, 廖承锐, 陈孟, 等. 不同经营密度对柳杉纯林土壤理化性质的影响[J]. 广东农业科学 2013, 4: 40 ~ 46.
- [11] 许生明. 福建柏柳杉人工混交林植被多样性和土壤性质研究[J]. 安徽农学通报 2012, 18(03): 82 ~ 83.
- [12] 林挺秀. 不同经营措施马尾松林生物量和土壤性质研究[J]. 江西林业科技 2010(5): 13 ~ 15.
- [13] 黄登银. 不同密度马尾松林下植被和土壤性质[J]. 防护林科技 2009, 89(2): 21 ~ 23.
- [14] 黄永诚. 密度对杉木人工林林下植物和土壤肥力的影响[J]. 安徽农学通报 2007, 13(11): 94 ~ 95.
- [15] Xia AM, Da LJ, Zhu HX, Zhao M S. Community structure and regeneration pattern of *Cryptomeria fortunei* in Mount Tianmu of Zhejiang, China. J Zhejiang For Coll 2004, 21(1): 44 ~ 50.
- [16] 胡亚利, 孙向阳, 张建国, 等. 杉木人工林土壤养分变化规律[J]. 河北林业科技 2007(1): 9 ~ 11.
- [17] 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.
- [18] 康冰, 刘世荣, 蔡道雄, 等. 马尾松人工林林分密度对林下植被及土壤性质的影响[J]. 应用生态学报 2009, 20(10): 23 ~ 31.
- [19] Zhu H, Hong W, Wu C Z. A study on relationship between stand density and growth of *Cryptomeria fortunei* plantation in eastern Fujian[J]. Acta Agric Univ Jiangxiensis 2004, 26(1): 52 ~ 55.
- [20] 方乐金, 张运斌. 杉木幼林地土壤肥力变化研究[J]. 土壤学报 2003, 40(2): 316 ~ 319.