

## 2 种马尾松林林下植被生物量特性研究

秦金舟, 何小定, 陈晓娟, 袁 梦, 刘桂华\*

(安徽农业大学林学与园林学院, 合肥 230036)

**摘 要:** 对枞阳大山林场马尾松纯林和马尾松阔叶混交林林下植被生物量特性进行了研究。结果表明, 马尾松纯林林下灌木占林下植被总量的比例 (91.61%) 大于马尾松阔叶混交林 (74.80%)。2 种马尾松林下植被生物量在各器官的分配比例均呈现出: 灌木层生物量中根 > 茎 > 叶; 草本层的地上部分生物量远远小于地下部分生物量。马尾松阔叶混交林相对于马尾松纯林, 土壤容重在减小, 土壤含水量、>0.25 mm 的水稳性团聚体、有机质、全 N、水解 N、有效 P 和速效 K 含量在增加。相关分析表明, 林下植被生物量地下部分比例与土壤容重和土壤含水量呈显著负相关, 而与土壤有机质、全 N 和速效 P 呈显著正相关。

**关键词:** 马尾松单纯林; 马尾松阔叶混交林; 林下植被; 生物量分配; 土壤理化性质

中图分类号: S791.248

文献标识码: A

文章编号: 1672-352X (2013)05-0740-06

### Biomass characteristics of understory vegetation in pure and mixed *pinus massoniana* forests

QIN Jin-zhou, HE Xiao-ding, CHEN Xiao-juan, YUAN Meng, LIU Gui-hua

(School of Forestry and Landscape Architecture, Anhui Agricultural University, Hefei 230036)

**Abstract:** In this paper, we studied the biomass characteristics of understory vegetation in pure *pinus massoniana* forest and mixed forest of *pinus massoniana* and broad-leaved trees in Dashan Forest Center, Zongyang county. The results were as follows. The biomass proportions of shrub layer in pure forest and mixed forest were 91.61% and 74.80%, respectively. The biomass proportions of the allocation to different parts of shrub layer in two different *pinus massoniana* stands were roots > stems > leaves. The aboveground biomass of the herbaceous layer in different stands was much less than that from the underground part. Compared with pure *pinus massoniana* forest, the soil bulk density in mixed forest was lower, but the soil water content, >0.25 mm water-stable aggregate content, organic matter, total N, hydrolysable N, available P and available k in mixed forest were higher than those in pure *pinus massoniana* forest. The correlation analysis showed that there were significantly negative relationships between the underground biomass and the soil bulk density and the soil water content, but the relationships between the underground biomass and the organic matter, total N and available P were significantly positive.

**Key words:** pure *Pinus massoniana* forest; mixed forest of *Pinus massoniana* and broad-leaved trees; understory vegetation; biomass allocation; physical and chemical properties of soil

长江中下游地区人口密集, 农业发达, 森林采伐历史悠久, 加之以中低山为主的地貌类型, 交通便利, 人们对森林的开发利用相对方便, 使得森林生态系统结构和功能遭受破坏, 并导致了目前长江中下游低丘的森林生态系统形成不同程度的退化、易受外来种侵入, 生态环境恶化, 持续生产力低,

土壤退化、肥力下降, 病虫害频繁等一系列问题的出现<sup>[1]</sup>。我国马尾松 (*Pinus massoniana*) 种植面积仅次于杉木 (*Cunninghamia lanceolata*), 由于其适应性强, 是我国荒山造林的主要树种<sup>[2]</sup>。但是大面积的单一的马尾松纯林模式生产力低下, 而且易受到松毛虫和森林火灾的危险, 严重制约着我国南方

收稿日期: 2013-04-25

基金项目: 十二五科技支撑 (2011BAD38B0405) 资助。

作者简介: 秦金舟, 男, 硕士研究生。E-mail: qjz442146995@sina.com

\* 通信作者: 刘桂华, 男, 教授。E-mail: liuguihua@ahau.edu.cn

林业的发展<sup>[3]</sup>。林下植被是森林生态系统的—个重要组成部分,其在森林生态系统营养元素的积累和循环、维持森林的生物多样性以及森林的演替、发展等方面具有十分重要的生理生态作用<sup>[4]</sup>。作者研究了 2 种马尾松林林下植被生物量分配格局特征、土壤理化特性的差异及林下植被生物量分配格局与土壤理化性质的关系,通过对林下植被生物量与土壤理化特性进行分析,试图寻求林下植被生物量特性与林地土壤理化状况的关系,为马尾松林的科学经营提供理论依据。

## 1 研究区概况

试验地位于安徽枞阳县大山林场,该地位于安徽省中西部的长江北岸,北纬 31°01'~31°38'、东经 117°05'~117°43',属北亚热带季风湿润气候区。该地区气候温和湿润,日照充足,四季分明,年均气温 16.5℃,年均光照 2 060 h,年均降水量 1 330 mm,无霜期 251 d,年均积温 5 129℃,冬季低温而无严寒,秋季少雨易发秋旱<sup>[5]</sup>。调查区地貌特征为低山丘陵,海拔一般在 160 m 左右,土壤主要为麻石黄

棕壤, pH5.5~6.5,质地较轻,土层较厚,易耕作,但保水保肥能力差。由于人类活动频繁,原植被遭到严重破坏,现林分类型主要为马尾松常绿阔叶落叶混交林及次生杂灌林。

## 2 研究方法

### 2.1 标准样地的选取

通过野外勘查研究样区的自然植被分布,选取该区具有典型代表的 2 个马尾松林群落开展研究<sup>[5]</sup>。在 2011 年 7 月,采用标准样地取样法,对 2 个群落设置 10 块(每个群落设置 5 个重复样地) 20 m×20 m 的标准样地<sup>[6]</sup>。同时对这 2 个群落的 10 块样地进行植被、土壤以及样地立地情况的调查与监测,并采集林下植被生物量和土壤分析的样品。

### 2.2 样地调查

**2.2.1 立地情况调查** 调查记录样地的海拔、林龄、坡度、坡向、坡位、土壤等样地的概况资料(如表 1)。其中马尾松阔叶混交林中马尾松所占比例在 40%~45%之间。

表 1 调查样地基本概况

Table 1 General conditions of the investigated sample plots

样地 Sample plot	马尾松林 Pinus forest	海拔/m Altitude	坡向 Slope aspect	坡度/°C Slope gradient	郁闭度 Canopy density	土壤厚度/cm Soil depth
1	马尾纯林	150~165	西南坡	23	0.7	70~80
2	马尾纯林	155~165	西南坡	25	0.7	60~80
3	马尾纯林	155~165	西南坡	20	0.7	80~90
4	马尾纯林	150~160	西南坡	22	0.6	70~80
5	马尾纯林	155~165	西南坡	22	0.6	70~80
6	马尾松阔叶混交林	155~165	西南坡	20	0.9	70~90
7	马尾松阔叶混交林	160~170	西南坡	25	0.8	80~90
8	马尾松阔叶混交林	160~170	西南坡	23	0.8	80~90
9	马尾松阔叶混交林	160~170	西南坡	21	0.8	80~100
10	马尾松阔叶混交林	155~165	西南坡	22	0.8	80~90

马尾纯林 Pure pinus forest; 马尾松阔叶混交林 *Pinus massoniana* mixed forest; 西南坡 Southernwest slope; 中 Middle position; 林龄 Stand age=24 a; 坡位 Slope position.

**2.2.2 样地状况调查** 调查标准样地内的乔木林分特征因子(包括树种的种类、胸径、枝下高、林分郁闭度等),在每块标准地中合适的位置按梅花形设置 5 个 2 m×2 m 的林下灌木调查样方,并在每个灌木样方中心设置 1 个 1 m×1 m 的草本样方<sup>[7]</sup>。对此样方中植物的种类、数量、高度、盖度等进行调查。

**2.2.3 林下植被生物量调查测定** 采用“全株收获法”对样方内灌木和草本进行生物量测定。记载每

个灌木样方内的胸径小于 2.5 cm 的灌木植物种类,按根、茎、叶分别收集,草本按照地上部分和地下部分收集,称其鲜重( $Q$ ),每类样品混合均匀后各取 500 g ( $B$ )(不足 500 g 全取)带回实验室,在 105℃ 的烘箱中烘干至恒重,将灌木的干重累积相加得到各器官的生物量( $Wd$ ),然后按照如下公式: $W = \sum(Wd \times Q \div B) \div 5 \times 100$  算出每块样地同类灌木各部位的生物量( $W$ )。进而计算出整块样地灌木和草本的总生物量以及各部位的总生物量。

**2.2.4 土壤理化性质的调查测定** 在每个标准地对角线的交点附近处挖一土壤剖面,挖至露母岩为止。记录土层厚度、土壤的质地等土壤特征,再将每个剖面按 20 cm 间隔从上到下分为 3 层,即 0~20 cm、20~40 cm、40~60 cm,分层混合均匀取样,并采集 1 kg 左右土壤样品,装入密封袋中带回实验室内进行土壤的理化性质分析。其分析方法如下:自然含水量用烘干法;土壤容重用环刀法;水稳性团聚体用 ZZY—II 土壤团粒分析仪测定;有机质用重铬酸钾法;全 N 用半微量凯式法;水解 N 用碱解扩散法;有效 P 用钼锑抗比色法;速效 K 用乙酸铵浸提-火焰光度计法<sup>[8]</sup>。

### 2.3 数据处理

通过外业调查和标本鉴定,采用 Microsoft Excel 2003 对调查数据进行整理和初步计算,采用 SPSS19.0 软件对这 2 种马尾松林林下植物生物量结构和土壤理化性质进行方差分析和相关分析。

## 3 结果与分析

### 3.1 两种马尾松林下植被生物量分配特性

**3.1.1 马尾松纯林林下植被生物量分配** 表 2 显示,在马尾松纯林下植被总生物量中,灌木层生物量为 1 495.53 g·m<sup>-2</sup>,经计算得出灌木层生物量占植被总生物量的 91.61%,远远大于草本层生物量 (137.02 g·m<sup>-2</sup>);而根系在整个灌木层生物量中所

占的比例最大 (57.11%),茎所占比例次之 (28.26%),叶最少 (14.63%)。草本层的地上部分生物量 (31.14%) 也远小于地下部分生物量 (68.86%)。通过计算,该林分林下植被的地下部分的生物量 (51.97%) 大于其地上部分生物量 (48.03%),但是较为接近。

**3.1.2 马尾松阔叶混交林林下植被生物量分配** 由表 3 看出,草本层生物量为 185.51 g·m<sup>-2</sup>,占林下植被总的生物量 (736.06 g·m<sup>-2</sup>) 比重的 25.20%,灌木层生物量为 550.69 g·m<sup>-2</sup>,所占比重为 74.80%。与马尾松纯林中的各层次生物量的器官分配规律类似,灌木生物量中根、茎、叶所占的比例大小关系为:根>茎>叶,但相对于马尾松纯林它们之间的差距在减小。同样草本层的地上部分生物量也小于地下部分生物量,它们之间的差距也在减少。

在所研究的马尾松纯林和马尾松阔叶混交林中,均是灌木层的生物量大于草本层的生物量,但从总体来看,草本层与灌木层生物量之间的差距明显减小;2 种马尾松林林下植被生物量的地下部分与地上部分的差异也明显减少,可能是马尾松阔叶混交林的涵养水源能力较马尾松纯林强,较高的土壤含水量抑制了地下部分的生长。从生物多样性和群落演替角度来看,马尾松阔叶混交林是马尾松纯林的演替发展方向,也正迎合了林下植被的多元化的演替方向<sup>[9]</sup>。

表 2 马尾松纯林林下植物生物量分配  
Table 2 The biomass allocation in understory of *Pinus massoniana* pure forest g·m<sup>-2</sup>

项目 Item	灌木层 Shrub layer				草本层 Herb layer		
	根生物量 Root biomass	茎生物量 Stem biomass	叶生物量 Leaf biomass	总生物量 Total biomass	地上部分 生物量 Aboveground biomass	地下部分 生物量 Underground biomass	总生物量 Total biomass
生物量 Biomass	854.06±35.16	422.63±19.46	218.84±17.66	1495.53±70.30	42.67±1.81	94.35±10.29	137.02±9.97
比重/% Proportion	57.11±0.63	28.26±0.32	14.63±0.54	100	31.14±2.74	68.86±2.74	100

表 3 马尾松阔叶混交林林下植物生物量分配  
Table 3 The biomass allocation in understory of *Pinus massoniana* mixed forest g·m<sup>-2</sup>

项目 Item	灌木层 Shrub layer				草本层 Herb layer		
	根生物量 Root biomass	茎生物量 Stem biomass	叶生物量 Leaf biomass	总生物量 Total biomass	地上部分 生物量 Aboveground biomass	地下部分 生物量 Underground biomass	总生物量 Total biomass
生物量 Biomass	251.80±9.39	202.10±6.59	96.65±3.69	550.55±16.73	69.05±3.01	116.46±4.13	185.51±6.78
比重/% Proportion	45.74±0.76	36.71±0.71	17.55±0.38	100	37.22±0.62	62.78±0.62	100

### 3.2 两种马尾松林林下植被生物量的比较

由图 1 可知,马尾松纯林的林下植被总的生物量 (1 432.553 g·m<sup>-2</sup>) 比马尾松阔叶混交林 (736.204

g·m<sup>-2</sup>) 大。这是由于相比马尾松纯林 (郁闭度 66%), 马尾松阔叶混交林较高的林分郁闭度 (郁闭度 80%) 限制了光照对森林下层的到达,间接影响林下植物

(尤其是阳性植物)的生长发育,并使得一些阳性植物的退化。同时由图 1 所示,在 2 种马尾松林中,林下植被生物量均呈现灌木层生物量高于草本层生物量。这可能是由草本和灌木的生物学特性决定的,植物的整个生命周期就是植物本身生物量的累积和保持的过程。草本多为一、二年生植物,所以其生物量是以一定的周期不断波动的形式进行,本身生物量不能持续的积累,而灌木层的木本植物却是多年生植物,本身生物量可以长时间的积累和保持,使得灌木层具有较高的生物量<sup>[9]</sup>;而且草本层一般植株低矮,单位面积上的所占空间和体积也较灌木层小。

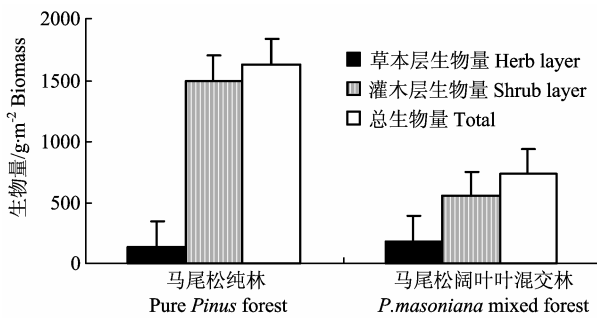


图 1 两种马尾松林林下植被总生物量比较

Figure 1 Comparison of total biomass in understory vegetation of two types of *Pinus* forest

### 3.3 两种马尾松林林地土壤理化性质及与林下植被生物量的相关性

**3.3.1 两种马尾松林林地土壤理化性质比较** 从表 4 可以看出,自然含水量、>0.25 mm 的水稳性团聚体、有机质、全 N、水解 N、有效 P 和速效 K 的含量都是马尾松阔叶混交林大于马尾松纯林,而容重是马尾松纯林大于马尾松阔叶混交林。说明马尾松

阔叶混交林相对于马尾松纯林,林地立地条件有了很大提高,不仅林地养分含量有了很大提高,而且在容重、涵养水源等物理性质方面也向着有益于林木生长的发展。通过方差分析得知,除水解 N 和速效 K 外,其余指标统计检验都差异显著,可见水解 N 和速效 K 不是影响两种林分林下植被生物量分配的主要因子,而其它指标对林下植被生物量分配影响较大。

**3.3.2 纯林林地土壤理化性质与林下生物量相关分析** 通过 SPSS 软件,对大山马尾松纯林林下植被生物量分配与土壤理化性质作相关分析,得出相关系数矩阵如表 5。

表 5 显示,灌木层根(GE)、茎(JI)和草本层的地下部分(XI)生物量分配比例与土壤容重(RO)和土壤自然含水量(TR)成负相关,并达到  $P<0.05$  的显著相关水平;而灌木层叶(YE)的生物量和草本层地上部分(SH)生物量的分配比例与土壤容重和土壤自然含水量也都达到  $P<0.05$  的显著相关水平,说明随着土壤容重和土壤含水量的减小,林下植被总生物量更多分配到林下植被的地下部分。>0.25 mm 的水稳性团聚体(TS)则与灌木层的叶、草本层的地上部分的分配比例呈负相关,而与灌木层叶根、茎的分配比例和草本层的地下部分呈正相关,但是相关性都没有达到显著水平。

土壤有机质(YO)、全 N(QD)和有效 P(YP)都与灌木层根和草本层地下部分生物量比例都达到了  $P<0.05$  的显著负相关水平。水解 N(SD)和速效 K(SK)与灌木层的根、茎和草本层的地上部分生物量比例呈负相关,与灌木层的叶和草本层地下部分的生物量比例呈正相关,但相关性都没有达到显著水平。

表 4 两种马尾松林下土壤理化性质

Table 4 Physical and chemical properties of the soil from the two types of *Pinus* forest

林分类型 Forest type	容重/ $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ Bulk density	自然含水量/% Soil water content	>0.25 mm 的水稳性团聚体/% Water-stable aggregate(>0.25 mm)	有机质/ $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ Organic matter
马尾松纯林 Pure <i>Pinus</i> forest	1.26±0.04 <sup>aA</sup>	15.82±0.92 <sup>bB</sup>	82.20±1.50 <sup>bB</sup>	15.45±0.45 <sup>bB</sup>
马尾松阔叶混交林 <i>Pinus massoniana</i> mixed forest	1.12±0.02 <sup>bB</sup>	23.67±0.21 <sup>aA</sup>	86.63±0.38 <sup>aA</sup>	19.70±1.23 <sup>aA</sup>

林分类型 Forest type	全氮/ $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ Total N	水解氮/ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ Hydrolysable N	有效 P/ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ Available P	速效 K/ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ Available K
马尾松纯林 Pure <i>Pinus</i> forest	1.04±0.08 <sup>bB</sup>	123.93±2.70 <sup>bA</sup>	8.72±0.50 <sup>bB</sup>	64.75±4.20 <sup>aA</sup>
马尾松阔叶混交林 <i>Pinus massoniana</i> mixed forest	1.65±0.22 <sup>aA</sup>	133.40±8.37 <sup>aA</sup>	9.63±0.05 <sup>aA</sup>	68.53±1.15 <sup>aA</sup>

注:表中数据为 2 种马尾松林样地 5 个重复样地的平均值±标准误差。字母不同表示差异显著,字母相同表示差异不显著,小写字母表示差异显著水平 (\*  $P<0.05$ ),大写字母表示差异极显著水平 (\*\*  $P<0.01$ )。

Note: the data in the table are the average values ±SD of five sample plots of pinus forest. Different letters represent significant difference, while the same letters no significant difference; small letters represent significant different at the 0.05 level, and capital letters represent significant different at the 0.01 level.

表5 马尾松纯林林下土壤理化性质相关分析

Table 5 Analysis of physical and chemical properties of the soil from understory of *Pinus massoniana* pure forest

项目 Item	GE	JI	YE	SH	XI
RO	-0.927*	-0.801	0.980**	0.899*	-0.899*
TR	-0.958*	-0.749	0.967**	0.826*	-0.826*
TS	0.579	0.022	-0.391	-0.297	0.297
YO	0.916*	-0.818*	0.985**	-0.859*	0.859*
QD	0.925*	-0.811*	-0.985**	-0.863*	0.863*
SD	-0.114	-0.163	0.159	-0.266	0.266
YP	0.878*	0.826*	-0.968*	-0.906*	0.906*
SK	-0.089	-0.144	0.134	-0.294	0.294

注: \*,  $P < 0.05$ ; \*\*,  $P < 0.01$ ; GE: 灌木层根的生物量占总生物量的比例; JI: 灌木层茎的生物量占总生物量的比例; YE: 灌木层叶的生物量占总生物量的比例; SH: 草本层地上部分生物量占总生物量的比例; XI: 草本层地上部分生物量占总生物量的比例; RO: 土壤容重; TR: 自然含水量; TS:  $>0.25$  mm 的水稳性团聚体; YO: 土壤有机质; QD: 全 N; SD: 水解 N; YP: 有效 P; SK: 速效 K (下同)。

**3.3.3 混交林林地土壤理化性质与其林下植被生物量相关分析** 表6显示, 马尾松阔叶混交林林下土壤的容重和土壤含水量与林下灌木层的根和草本层地下部分的分配比例呈  $P < 0.05$  的显著负相关水

平。而与灌木层的茎、叶和草本层的地上部分呈正相关, 说明和马尾松单纯林一样, 在一定的范围内, 土壤容重和土壤的自然含水量的降低, 有利于林下植被地下部分的生长。

表6 马尾松阔叶混交林林下土壤理化性质相关分析

Table 6 The analysis of physical and chemical properties of the soil from understory of *Pinus massoniana* mixed forest

项目 Item	GE	JI	YE	SH	XI
RO	-9.993**	0.782	0.358	0.790	-0.988**
TR	-0.882*	0.818*	0.153	0.974**	-0.933**
TS	0.484	-0.639	0.172	-0.626	0.261
YO	0.998**	-0.722	-0.447	-0.821*	0.969**
QD	0.967**	-0.691	-0.444	-0.898*	0.945**
SD	0.367	-0.459	0.095	0.046	0.407
YP	0.982**	-0.684	-0.474	-0.827*	0.965**
SK	0.104	0.190	-0.403	0.077	-0.235

而 $>0.25$  mm 的水稳性团聚体与灌木层的茎和草本层地上部分的分配比例呈负相关, 而与灌木层的根、叶和草本层的地下部分的分配比例呈正相关, 但相关性都没达到显著水平, 可能是该地区的土壤团粒结构在适宜植物生长的合理范围内, 不能成为影响植物生长的主导因子。

土壤有机质、全 N 和有效 P 的含量与植被地下部分都呈  $P < 0.01$  的极显著正相关水平。但水解 N 和速效 K 与林下植被各部分的相关性不显著。

#### 4 小结与讨论

马尾松纯林的林下植被总生物量 ( $1\ 632.55\ \text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ ) 比马尾松阔叶混交林 ( $736.20\ \text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ ) 大, 而且 2 种林分中都是灌木层生物量远大于草本层, 可见林下植被的生物量主要由林下灌木决定。由于马

尾松阔叶混交林相对于马尾松纯林, 林分的郁闭度增加, 限制森林下层光照的到达, 从而影响林下植被的生长发育<sup>[10]</sup>, 所以马尾松阔叶混交林林下植被的总生物量低于马尾松纯林。

马尾松单纯林和马尾松混交林林下灌木层生物量所占的比重依次是 91.61% 和 74.80%, 分别大于草本层生物量的比重 (8.39% 和 25.20%)。

对于 2 种马尾松林, 林下植被生物量在各器官的分配中均呈现出: 地下部分所占的生物量大于地上部分, 尤其是草本层地下部分生物量远远大于地上部分; 灌木各部分生物量中: 根 $>$ 茎 $>$ 叶。

两种马尾松林林下植被生物量地下部分比例与土壤容重和土壤含水量呈显著负相关, 说明在土壤缺水的情况下, 植物需将更多的生物量分配给根, 以寻找水源, 来满足植物在发育生殖的过程中对水

分的需求<sup>[9]</sup>, 而土质疏松也更有助于植物根系的生长。而植被地下部分生物量与土壤有机质、全 N 和有效 P 呈显著正相关。也说明了林下植被生物量分配是各种立地因素综合作用的结果<sup>[11]</sup>。

通过对 2 种林分林下植被生物量分配比例和土壤理化性质的研究可以看出。马尾松阔叶混交林的立地条件优于马尾松纯林, 其各项土壤指标都更加有益于植被的生长, 而且林分状况与其立地条件是一个相互作用、相互影响的结果<sup>[9-12]</sup>。马尾松阔叶混交林是马尾松纯林的高级演替阶段, 其阔叶混交林对林地的理化性质具有一定的改良作用<sup>[5,9,13-14]</sup>。

### 参考文献:

- [1] 张金池, 杜天真. 长江中下游山地丘陵区植被恢复与重建[M]. 北京: 中国林业出版社, 2007: 2-5.
- [2] 张克荣, 刘应迪, 住晓文, 等. 长沙岳麓山马尾松林的群落类型划分及物种多样性分析[J]. 林业科学, 2011, 47(4): 86-94.
- [3] 樊后保, 李燕燕, 苏兵强, 等. 马尾松-阔叶树混交异龄林生物量与生产力分配格局[J]. 生态学报, 2006, 26(8): 2463-2473.
- [4] 杨昆, 管东生. 森林林下植被生物量收获的样方选择和模型[J]. 生态学报, 2007, 27(2): 705-712.
- [5] 吴炜, 刘桂华, 万云, 等. 枞阳大山不同演替阶段群落特征研究[J]. 现代农业科技, 2010(2): 209-215.
- [6] 何佩云, 丁贵杰, 谌红辉, 等. 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): 70-74; 80-81.
- [7] 赵朝辉, 方晰, 田大伦, 等. 间伐对杉木林林下植被生物量及土壤理化性质的影响[J]. 中南林业科技大学学报, 2012, 32(5): 102-107.
- [8] 中国科学院南京土壤研究所. 土壤理化分析[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1977.
- [9] 万云. 枞阳大山不同演替阶段林下植被生物量分配格局研究[D]. 合肥: 安徽农业大学, 2010.
- [10] 陈彩虹, 田大伦, 方晰, 等. 城郊 4 种人工林林下植被物种多样性、生物量与土壤养分相关性[J]. 水土保持学报, 2010, 12(6): 213-217.
- [11] Ovreas L, Torsvik V. Microbial diversity and community structure in two different agricultural soil communities [J]. Microbial Ecology, 1998, 36(3): 303-315.
- [12] Six J, Elliott E T, Paustian K. Soil structure and soil organic matter II. A normalized stability index and the effect of mineralogy[J]. Soil Science Society of America Journal, 2000, 64(3): 1042-1049.
- [13] 叶绍明, 温远光, 杨梅, 等. 连载桉树人工林植物多样性与土壤理化性质的关联分析[J]. 水土保持学报, 2010, 24(4): 246-250.
- [14] 魏天兴, 陈致富, 赵健, 等. 低效低质人工林优化改造后林下植被多样性研究[J]. 生态环境学报, 2012, 21(5): 800-806.