

文章编号: 1001-1498(2009)05-0667-05

不同发育阶段杉木林土壤有机碳变化特征及影响因素

王丹¹, 王兵², 戴伟^{1*}, 李萍¹, 胡文², 郭浩²

(1. 北京林业大学水土保持学院, 北京 100083; 2. 中国林业科学研究院森林生态环境与保护研究所, 北京 100091)

摘要:对江西大岗山地区不同发育阶段杉木林地土壤有机碳变化特征进行了研究, 并利用相关分析和逐步回归分析方法探讨了土壤因子对其的影响。结果表明, 不同发育阶段土壤有机碳含量随土壤深度的增加而降低, 各层次有机碳含量表现出明显的变异特征, 变异程度为: 40 ~ 60 cm 土层 > 20 ~ 40 cm 土层 > 0 ~ 20 cm 土层, 其中中龄林土壤变异最为显著; 随杉木的生长发育, 土壤有机碳含量从幼龄林到中龄林呈下降趋势, 中龄林到过熟林则呈上升趋势; 土壤有机碳含量与全 N 量、碱解 N 量、有效 P 含量等土壤因子密切相关; 建立的从幼龄林到过熟林各阶段的土壤有机碳回归方程具有较高的回归精度, 比较标准化回归系数法处理显示, 土壤 N 状况是影响土壤有机碳变异的主导因子。

关键词:杉木林; 发育阶段; 有机碳; 土壤因子

中图分类号: Q714.5 文献标识码: A

The Variation Characteristics of Soil Organic Carbon and Its Influence Factor in Different Developing Stages of Chinese fir Plantations

WANG Dan¹, WANG Bing², DAI Wei¹, LI Ping¹, HU Wen², GUO Hao²

(1. School of Soil and Water Conservation, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China;

2. Research Institute of Forest Ecology, Environment and Protection, CAF, Beijing 100091, China)

Abstract: The variation characteristics of soil organic carbon (SOC) in different developing stages of Chinese fir plantations were studied in Dagang mountain of Jiangxi Province. Correlation analysis and stepwise regression analysis were used to investigate the influence of soil factors on SOC content. Results showed that SOC content decreased with increasing soil depth. Significant variation characteristics of SOC content were found in different soil layers, with coefficient variation in the order of 40 - 60 cm > 20 - 40 cm > 0 - 20 cm, especially in the medium forest soil. With the growth and development of Chinese fir plantations, SOC content decreased from juvenile to medium, and then increased from medium to over-mature. The SOC content had close correlations with total nitrogen content and alkali-hydrolyzable nitrogen content. The SOC regression equations in different developing stages of Chinese fir plantations were established with high regression estimation precision. Compared Beta suggested that soil nitrogen was the leading factor of SOC content variation.

Key Words: Chinese fir plantation; developing stages; soil organic carbon; soil factors

收稿日期: 2009-04-10

基金项目: 国家自然科学基金项目 (30590381)、林业公益性行业科研专项 (200804022)、科技部“十一五”科技支撑计划 (2006BAD03A0702)、和江西大岗山国家级森林生态站资助项目

作者简介: 王丹 (1983—), 女, 山西朔州人, 硕士生, 主要从事森林土壤研究。

*通讯作者。

森林是陆地生态系统中最重要碳库,森林土壤中的碳占全球土壤有机碳的 73%,在全球碳循环中起着重要作用^[1]。森林土壤有机碳库贮量的微小变化,都可显著地引起大气 CO₂ 浓度的改变^[2-3]。因此,对森林土壤有机碳库的动态变化及调控机理的研究成为预测和控制全球气候变化的一项重要性的基础性工作^[4-6]。

杉木 (*Cunninghamia lanceolata* (Lamb) Hook) 作为我国重要的速生丰产用材树种之一,约占我国南方森林面积的三分之一^[7],是重要的森林生态系统类型之一。自 20 世纪 60 年代初,许多学者对杉木林土壤进行了多方面的研究,研究内容主要集中在凋落物及其分解^[8-11]、土壤有机质含量^[12-14]、腐殖质组成和性质^[15-16]以及土壤生物学特征^[17-20]等方面,迄今为止,针对杉木不同发育阶段对森林土壤有机碳库影响的相关研究报道很少。为此,本研究以不同发育阶段杉木人工林为研究对象,探讨其土壤有机碳的变化规律及土壤因子对其变异的影响,为今后全球碳循环研究提供依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

试验地设置在江西省分宜中国林科院亚热带林业实验中心的年珠林场。地处 27°30' N, 114°30' E, 属中亚热带季风气候,年平均气温 17.5℃,年降水

量 1 593.7 mm,且降水多集中在 4—6 月份,无霜期为 268 天。该地区以低山丘陵地貌为主,整个地形是西北偏高,母岩以页岩为主,土壤类型为红壤,土壤厚度在 100 cm 以上。研究区杉木人工林下主要植被有狗脊 (*Woodwardia japonica* (L. f) Sm.)、毛茛红淡 (*Adiantum illettii* (Hook et Am) Benth.)、槲木 (*Loropetalum chinense* (R. Br) Oliv.)、悬钩子 (*Rubus trianthus* Focke.)、飞蓬 (*Erigeron acris* L.)、大青 (*Clerodendrum cyrtophyllum* Turcz.)、杜茎山 (*Maesa japonica* (Thunb) Moritzi.)、连蕊茶 (*Camellia fraterna* Hance.)、油茶 (*Camellia oleifera* Abel.)、土茯苓 (*Smilax glabra* Roxb.)、木荷 (*Schinus superba* Garde et Champ.) 等。

1.2 研究样地

试验地选择本底条件和经营管理措施较为一致,林龄分别为 7、16、24、28、50 年的杉木幼龄、中龄、近熟、成熟和过熟纯林为研究样地。基本状况如表 1 所示。

1.3 样品采集与分析方法

1.3.1 样品采集 2008 年 8 月在每种林龄下选取 3 个面积为 20 m × 20 m 标准地,利用 S 型取样法,多点采取 0~20 cm、20~40 cm 和 40~60 cm 的土样。根据《森林土壤分析方法》^[21]进行风干过筛处理,供土壤理化性质测定。同时采集表层新鲜土壤样品置于 4℃ 下存放,用于测定土壤微生物数量。

表 1 林地基本概况

林分类型	林龄 /a	土壤类型	坡向	坡度 / (°)	平均树高 /m	平均胸径 /cm	林下植被盖度 /%	林下主要植被类型
幼龄林	7	红壤	东	30	7	9.5	59.0	杜茎山、槲木、飞蓬
中龄林	16	红壤	东	25	9	11.2	12.0	大青、毛茛红淡、狗脊
近熟林	24	红壤	东北	22	13	14.5	67.0	毛茛红淡、木荷、狗脊
成熟林	28	红壤	东北	30	14.8	18.5	77.0	狗脊、连蕊茶、悬钩子
过熟林	50	红壤	东	26	32.6	30.8	94.0	木荷、槲木、狗脊

1.3.2 分析方法^[22-24] 有机碳: K₂C₂O₇ 外加热法; 全 N: K₂Cr₂O₇ 凯氏定氮仪法; 碱解 N: 扩散法; 速效 K: 中性 NH₄AC 浸提 火焰光度法; 有效 P: 0.03 mol · L⁻¹ NH₄F—0.025 mol · L⁻¹ HCL 浸提后钼锑抗比色法; 微生物数量: 采用稀释平板分析法; 细菌数量: 牛肉蛋白胨培养基, 以稀释度为 10⁻² 的土壤稀释液接种; 真菌数量: 孟加拉红马丁氏琼脂培养基, 以稀释度为 10⁻¹ 的土壤稀释液接种; 放线菌数量: 淀粉铵盐琼脂培养基, 以稀释度为 10⁻² 的土壤稀释液接种。

1.4 数据处理

数据采用 Excel 图表和 SPSS13.0 软件处理。

2 结果与分析

2.1 杉木不同发育阶段土壤有机碳变化

结果 (表 2) 表明, 不同发育阶段林地土壤有机碳含量呈现出随土壤深度增加而逐渐降低的趋势。0~20 cm 土层的有机碳含量最高, 为 15.39~26.18 g · kg⁻¹, 分别是 20~40 cm 土层的 1~2 倍和 40~60 cm 土层的 2~3 倍。Jobbagy^[4] 研究指出, 植物根系的分布直接影响土壤有机碳的垂直分布, 大量死根的腐解归还为土壤提供了丰富的碳源。另一方面, 大量的地表枯落物也是表层土壤有机碳重要的

碳源物质。

杉木林不同发育阶段同一土层间土壤有机碳含量表现出明显的变异特征,其中,40~60 cm 土层变幅最大,为 3.90~12.65 g·kg⁻¹,变异系数为 37.9%;表层变幅最小,为 15.39~26.18 g·kg⁻¹,变异系数为 20.1%,这与方晰、田大伦等^[25]的研究一致。因此,不同发育阶段各层次间有机碳含量的变异程度表现为:40~60 cm > 20~40 cm > 0~20 cm。各发育阶段层次间的变异系数均在 33%以上,特别以中龄林表现最为显著,变异系数高达 56.7%。方差分析表明,成熟林和过熟林阶段 0~20 cm 土层土壤有机碳含量无显著差异,其它各

阶段均达到显著差异水平 ($P < 0.05$)。

在杉木从幼龄林到过熟林的发育过程中,土壤有机碳含量出现了明显的规律性变化。0~20 cm、20~40 cm、40~60 cm 各层土壤有机碳含量都表现出幼龄林较高、中龄林最低、近熟林-成熟林-过熟林又逐渐增高的变化特征。焦如珍等^[20]认为,这种变化是由于不同发育阶段,林下植被盖度、林分密度及郁闭度不同所致。另外,某种耕作制度如炼山、上一代成熟林枯落物和采伐剩余物归还土壤以及幼龄林生长消耗较少等原因,也应该是导致幼龄林土壤有机碳含量较高的重要因素。

表 2 不同发育阶段杉木人工林土壤有机碳含量

土层深度 /cm	土壤有机碳 / (g·kg ⁻¹)					变异系数 /%
	幼龄林	中龄林	近熟林	成熟林	过熟林	
0~20	18.80 ± 0.15c	15.39 ± 0.15d	23.34 ± 0.27b	26.17 ± 0.43a	26.18 ± 0.05a	20.1
20~40	11.21 ± 0.17c	7.60 ± 0.35d	14.95 ± 0.25b	15.60 ± 0.29ab	16.06 ± 0.21a	25.8
40~60	6.99 ± 0.35c	3.90 ± 0.37d	7.24 ± 0.45c	10.26 ± 0.10b	12.65 ± 0.15a	37.9
变异系数 /%	42.4	56.7	46.0	40.5	33.4	

注:表中所示为平均值 ± 标准差,其后字母表示同一土层不同发育阶段间有机碳含量的差异水平,下同。

2.2 杉木不同发育阶段林地土壤因子状况

表 3 表明:研究土壤的全 N、碱解 N、有效 P 和速效 K 含量的平均值变化范围分别为 0.54~1.57 g·kg⁻¹、51.1~266.83 mg·kg⁻¹、0.17~2.08 mg·kg⁻¹ 和 7.45~71.23 mg·kg⁻¹。根据《森林土壤分析法》^[21],研究地区土壤各指标都处于较低的水平,其中,速效 K 和有效 P 含量尤为明显。

除土壤有效 P 含量外,其它各养分含量都具有随土壤深度增加而降低的变化特点,符合土壤养分变化一般规律;此外,土壤全 N 量和碱解 N 量都表现出幼龄林较高、中龄林最低、近熟林到过熟林又逐渐升高的变化规律,反映出它们与有机碳一样都受到杉木不同发育阶段的明显影响。

表 3 杉木人工林不同发育阶段土壤养分含量

林分类型	土层 /cm	全 N / (g·kg ⁻¹)	碱解 N / (mg·kg ⁻¹)	有效 P / (mg·kg ⁻¹)	速效 K / (mg·kg ⁻¹)
幼龄林	0~20	1.07 ± 0.45b	144.2 ± 7.9c	1.19 ± 0.81b	22.57 ± 3.8d
	20~40	0.93 ± 0.05bc	81.5 ± 5.6c	0.57 ± 0.08a	12.95 ± 2.3c
	40~60	0.65 ± 0.08a	64.8 ± 4.5c	0.47 ± 0.05a	7.45 ± 1.3d
中龄林	0~20	0.81 ± 0.17c	132.2 ± 20.8c	0.56 ± 0.23c	24.51 ± 4.5d
	20~40	0.71 ± 0.22c	60.4 ± 3.9d	0.18 ± 0.01b	13.56 ± 2.2c
	40~60	0.54 ± 0.08a	51.1 ± 2.5c	0.17 ± 0.05b	12.02 ± 1.8c
近熟林	0~20	1.02 ± 0.39bc	204.5 ± 12.5b	2.08 ± 0.45a	48.77 ± 6.5b
	20~40	1.51 ± 0.35a	154.5 ± 6.8a	0.32 ± 0.18b	31.81 ± 1.2a
	40~60	0.91 ± 0.28a	89.2 ± 6.5b	0.22 ± 0.07b	21.57 ± 0.85a
成熟林	0~20	1.07 ± 0.65b	196.5 ± 16.8b	1.44 ± 0.24b	71.23 ± 6.8a
	20~40	1.57 ± 0.20a	160.4 ± 3.2a	0.33 ± 0.02b	32.71 ± 2.8a
	40~60	0.91 ± 0.23a	125.2 ± 14.0a	0.54 ± 0.06a	23.17 ± 1.6a
过熟林	0~20	1.53 ± 1.0a	266.8 ± 20.5a	1.46 ± 0.34b	33.81 ± 3.4c
	20~40	1.27 ± 0.09ab	120.3 ± 8.5b	0.68 ± 0.07a	25.13 ± 1.9b
	40~60	1.12 ± 0.70a	93.2 ± 5.8b	0.46 ± 0.03a	13.99 ± 0.35b

各生长阶段土壤微生物以细菌为主(表 4),占其总量的 83%~95%。从幼龄林到中龄林再到其它林龄,微生物总量和细菌数量都呈现先下降后上

升的变化趋势,这与不同发育阶段土壤有机碳含量以及全 N 量和碱解 N 量的变化规律一致,焦如珍,盛炜彤等^[14,26-27]也有类似的结论。而此次研究中,

放线菌和真菌数量无明显变化规律。方差分析表明,土壤微生物总量和细菌数量在各发育阶段均达

到差异显著水平,而放线菌和真菌数量只在成熟林阶段达到。

表 4 杉木人工林不同发育阶段土壤微生物数量变化 (0~20 cm)

林分类型	微生物总数 / ($10^5 \cdot g^{-1}$)	细菌数量 / ($10^5 \cdot g^{-1}$)	真菌数量 / ($10^4 \cdot g^{-1}$)	放线菌数量 / ($10^4 \cdot g^{-1}$)
幼龄林	2.43 ± 0.37c	2.31 ± 0.16c	0.55 ± 0.05b	0.65 ± 0.15c
中龄林	1.91 ± 0.13e	1.75 ± 0.18e	1.05 ± 0.45b	0.53 ± 0.24c
近熟林	2.03 ± 0.60d	1.85 ± 0.60d	1.10 ± 0.26b	0.68 ± 0.25c
成熟林	3.52 ± 0.21b	2.93 ± 0.14b	2.55 ± 0.26a	3.38 ± 0.96a
过熟林	5.59 ± 0.31a	5.25 ± 0.31a	0.95 ± 0.30b	2.40 ± 0.43b

2.3 不同发育阶段杉木林土壤有机碳与土壤因子之间的关系

如表 5 所示,各发育阶段土壤有机碳含量与全 N 量、碱解 N 量以及有效 P 含量均呈极显著相关,多数发育阶段 (除中龄林外) 有机碳含量与速效 K 含量也表现出良好的相关性,达到极显著或显著相关

水平。但细菌、真菌和放线菌数量与土壤有机碳含量的相关性在不同发育阶段表现不一。因此,从外观上来看,不同发育阶段林地土壤有机碳含量与土壤全 N 量、碱解 N 量和有效 P 含量均有不同程度的显著相关,其变化受到它们的强烈影响。

表 5 土壤有机碳与土壤因子之间的相关系数 (0~20 cm)

相关系数	有机碳 - 全 N	有机碳 - 碱解 N	有机碳 - 有效 P	有机碳 - 速效 K	有机碳 - 细菌	有机碳 - 真菌	有机碳 - 放线菌
幼龄林	0.743**	0.839**	0.608*	0.597*	0.116	0.004	-0.105
中龄林	0.735**	0.792**	0.709**	0.457	-0.248	-0.001	-0.213
近熟林	0.905**	0.919**	0.895**	0.818**	-0.257	0.438	0.646**
成熟林	0.686**	0.876**	0.668**	0.780**	0.616*	0.185	0.210
过熟林	0.970**	0.872**	0.614*	0.933**	0.788**	0.569*	-0.457

注:表中 * 表示 $P < 0.05$, ** 表示 $P < 0.01$ 。

在多个变量的反应系统中,任意两个变量的线性相关系数,都会受到其它变量的影响,两个变量之间的简单相关系数,往往不能正确地说明这两个变量之间的真正关系^[28]。因此,为了更加明确杉木不同发育阶段各土壤因子对土壤有机碳库的影响作用,进一步应用逐步回归分析法建立土壤有机碳和土壤影响因子间的回归方程,找出对杉木林土壤有机碳有显著影响的因子;同时利用比较标准化回归系数法,对各影响因子进行筛选,比较各因子影响程

度,确定其中的主导因子^[29-30]。

以幼龄林土壤有机碳含量 (Y_1)、中龄林土壤有机碳含量 (Y_2)、近熟林土壤有机碳含量 (Y_3)、成熟林土壤有机碳含量 (Y_4) 和过熟林土壤有机碳含量 (Y_5) 为因变量,全 N 量 (X_1)、碱解 N 量 (X_2)、有效 P 含量 (X_3)、速效 K 含量 (X_4)、细菌数量 (X_5)、真菌数量 (X_6) 和放线菌数量 (X_7) 为自变量,并规定自变量取舍标准为显著性水平 $\alpha = 0.05$,进行逐步回归。分别得如下回归方程 (表 6)。

表 6 土壤有机碳与土壤因子的回归分析

林型	回归方程	R^2	各因子影响重要程度顺序
幼龄林	$Y_1 = 5.726 + 6.909X_1 + 0.250X_4$ $B_{(X1)} = 0.747$ $B_{(X4)} = 0.630$	0.915	全 N > 速效 K
中龄林	$Y_2 = 5.476 + 0.115X_2 + 1.563X_3 - 3.9 \times 10^{-5}X_5$ $B_{(X2)} = 0.810$ $B_{(X3)} = 0.344$ $B_{(X5)} = 0.275$	0.930	碱解 N > 细菌 > 有效 P
近熟林	$Y_3 = 2.432 + 0.159X_2 - 2.4 \times 10^{-5}X_5$ $B_{(X2)} = 0.912$ $B_{(X5)} = -0.231$	0.898	碱解 N > 细菌
成熟林	$Y_4 = -18.408 + 0.079X_2 + 0.125X_4 + 6.73 \times 10^{-5}X_5$ $B_{(X2)} = 0.776$ $B_{(X5)} = 0.298$	0.847	碱解 N > 细菌 > 速效 K
过熟林	$Y_5 = 0.382 + 7.291X_1 + 0.048X_2$ $B_{(X1)} = 0.751$ $B_{(X2)} = 0.262$	0.962	全 N > 碱解 N

注:表中 R^2 为判定系数; B 为标准化回归系数

分析结果表明,每个自变量的显著水平值都小于 0.001,回归关系极显著,可以认为所选入的土壤因子已控制了不同发育阶段杉木林土壤有机碳的大部分变异,且对杉木林土壤有机碳含量都有显著或

极显著的影响。显著性水平 $\alpha = 0.05$ 时,回归估计精度达到 84% ~ 96%。因此,所建方程可以正确反映出不同发育阶段土壤有机碳和土壤因子的关系。

通过比较标准化回归系数发现,杉木不同发育

阶段,影响土壤有机碳含量的主导因子不同(表 6)。在杉木幼龄林和成熟林阶段,影响土壤有机碳含量的主导因子为全 N;而在杉木中龄林、近熟林和成熟林阶段,碱解 N 含量成为影响土壤有机碳含量的主导因子,其次为细菌,表明土壤 N 状况和细菌对杉木土壤有机碳含量的重要影响。有研究指出,微生物同化 1 份的 N 需 24 份 C,土壤中 N 的有效性直接控制土壤有机质的分解速率^[31]。

3 结论

(1)杉木人工林各发育阶段土壤有机碳含量随土壤深度的增加而降低,变异程度表现为:40~60 cm 土层 > 20~40 cm 土层 > 0~20 cm 土层,其中中龄林土壤表现尤为显著。不同发育阶段同土层间土壤有机碳含量表现出明显的变异特点。

(2)土壤有机碳含量随杉木人工林的生长发育,表现出明显的变化规律。从幼龄林到中龄林,有机碳含量明显下降,从近熟林一直到过熟林,有机碳含量又逐渐增高。同样,土壤全 N 量、碱解 N 量和表层土壤细菌数量等各项土壤指标也表现出同土壤有机碳含量一致的变化特点。

(3)各发育阶段土壤有机碳含量和土壤因子的回归方程具有较高的回归精度,可以正确反映两者间的关系。在各影响因子中,土壤 N 状况对土壤有机碳含量有着重要的影响。

参考文献:

- [1] David M B. Carbon control on spodosol nitrogen, sulfur and phosphorus cycling [M] // McFee W W, Kelly J M. Carbon Forms and Fractions in Forest Soils. Soil Science Society of America, 1988: 329 - 353
- [2] Dixon R K, Brown S, Houghton P A. Carbon pools and flux of global forest ecosystem [J]. Science, 1994, 263: 185 - 190
- [3] Sundquist E T. The global carbon dioxide budget [J]. Science, 1993, 259: 935 - 941
- [4] Jobbagy E G, Jackson R B. The vertical distribution of soil organic carbon and its relation to climate and vegetation [J]. Ecol Appl, 2002, 10(2): 423 - 436
- [5] Mann L K. Change in soil carbon storage after cultivation [J]. Soil Sci, 1986, 142: 279 - 288
- [6] Davison E A, Achenman I L. Change in soil carbon inventories following cultivation of previously untilled soils [J]. Biogeochemistry, 1993, 20: 161 - 193
- [7] 俞新妥. 杉木栽培学 [M]. 福州: 福建科技出版社, 1997
- [8] 邓仕坚, 廖利平, 汪思龙. 间伐效应对杉木火力楠混交林凋落物动态变化的影响 [J]. 应用生态学报, 2000, 11 (增刊): 146 - 150
- [9] 邓仕坚, 张家武, 陈楚莹, 等. 不同树种混交林及其纯林对土壤理化性质影响的研究 [J]. 应用生态学报, 1994, 5 (2): 126 - 132
- [10] 廖利平, 汪思龙, 陈楚莹, 等. 不同发育阶段杉木林凋落物量及其生态功能 [J]. 应用生态学报, 2000, 11 (增刊): 127 - 130
- [11] 邵月红, 潘剑君, 孙波. 不同森林植被下土壤有机碳的分解特征及碳库研究 [J]. 水土保持学报, 2001, 19 (3): 24 - 28
- [12] 廖利平, 汪思龙, 陈楚莹. 杉木火力楠混交林凋落物量的动态变化: 10 年的观测 [J]. 应用生态学报, 2000, 11 (增刊): 131 - 136
- [13] 汪思龙, 廖利平, 于小军, 等. 退化杉木林土壤生态恢复过程中氮磷养分的变化 [J]. 应用生态学报, 2000, 11 (增刊): 185 - 190
- [14] 盛炜彤, 范少辉. 杉木人工林长期生产力保持机制研究 [M]. 北京: 科学出版社, 2005: 76 - 110
- [15] 张家武, 邓仕坚, 廖利平, 等. 杉木连栽土壤对其幼树生长的影响 [J]. 应用生态学报, 1994, 5 (3): 241 - 244
- [16] 郑郁善, 陈礼光, 洪伟. 毛竹杉木混交林生产力和土壤性状研究 [J]. 林业科学, 1998, 34 (增刊): 16 - 25
- [17] 杨玉盛, 何宗明, 陈光水, 等. 杉木多代连栽后土壤肥力变化 [J]. 土壤与环境, 2001, 10 (1): 33 - 38
- [18] 焦如珍, 杨承栋. 杉木人工林不同发育阶段根际与非根际土壤微生物变化趋势 [J]. 林业科学, 1999, 35 (1): 53 - 59
- [19] 焦如珍, 杨承栋, 孙启武, 等. 杉木人工林不同发育阶段土壤微生物数量及其生物量的变化 [J]. 林业科学, 2005, 41 (6): 163 - 165
- [20] 焦如珍, 杨承栋, 屠星南, 等. 杉木人工林不同发育阶段林下植被、土壤微生物、酶活性及养分的变化 [J]. 林业科学研究, 1997, 10 (4): 373 - 379
- [21] 国家林业局. 森林土壤分析方法 [M]. 北京: 中国标准出版社, 1999
- [22] 鲍士旦. 土壤农化分析 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2005: 30 - 106
- [23] 中国土壤学会农业化学专业委员会. 土壤农业化学常规分析方法 [M]. 北京: 科学出版社, 1983: 95 - 101
- [24] 中国科学院南京土壤研究所微生物室. 土壤微生物研究法 [M]. 北京: 科学出版社, 1985: 40 - 64
- [25] 方晰, 田大伦, 项文化, 等. 杉木人工林土壤有机碳的垂直分布特征 [J]. 浙江林学院学报, 2004, 21 (4): 418 - 423
- [26] 盛炜彤, 杨承栋, 范少辉. 杉木人工林的土壤性质变化 [J]. 林业科学研究, 2003, 16 (4): 377 - 385
- [27] 陈楚莹, 廖利平, 汪思龙, 等. 杉木人工林生态学 [M]. 北京: 科学出版社, 2000
- [28] 周海庭, 郑晓明, 蒲德钦. 影响中学生数学成绩因素的通径分析 [J]. 数理统计与管理, 2002 (11): 15 - 20
- [29] 陈贤, 王其刚, 关文灵, 等. 番茄品系产量的逐步回归分析 [J]. 北方园艺, 2007 (3): 8 - 9
- [30] 卢纹岱. SPSS for Windows 统计分析 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2006: 267 - 312
- [31] 周莉, 李保国, 周光胜. 土壤有机碳主导影响因子及其研究进展 [J]. 地球科学进展, 2005, 20 (1): 99 - 105