

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

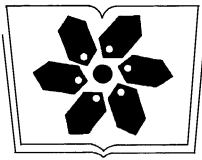
Acta Ecologica Sinica



第31卷 第10期 Vol.31 No.10 **2011**

中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 31 卷 第 10 期

2011 年 5 月 (半月刊)

目 次

大熊猫取食竹笋期间的昼夜活动节律和强度·····	张晋东, Vanessa HULL, 黄金燕, 等 (2655)
高枝假木贼的胎生萌发特性及其生态适应·····	韩建欣, 魏 岩, 严 成, 等 (2662)
准噶尔盆地典型地段植物群落及其与环境因子的关系·····	赵从举, 康慕谊, 雷加强 (2669)
喀斯特山地典型植被恢复过程中表土孢粉与植被的关系·····	郝秀东, 欧阳绪红, 谢世友, 等 (2678)
青藏高原高寒草甸土壤 CO ₂ 排放对模拟氮沉降的早期响应·····	朱天鸿, 程淑兰, 方华军, 等 (2687)
毛乌素沙地南缘沙漠化临界区域土壤水分和植被空间格局·····	邱开阳, 谢应忠, 许冬梅, 等 (2697)
雪灾后粤北山地常绿阔叶林优势树种幼苗更新动态·····	区余端, 苏志尧, 解丹丹, 等 (2708)
四川盆地四种柏木林分类型的水文效应·····	龚固堂, 陈俊华, 黎燕琼, 等 (2716)
平茬对半干旱黄土丘陵区柠条林地土壤水分的影响·····	李耀林, 郭忠升 (2727)
连栽杉木林林下植被生物量动态格局·····	杨 超, 田大伦, 胡日利, 等 (2737)
近 48a 华北区太阳辐射量时空格局的变化特征·····	杨建堂, 刘 勤, 严昌荣, 等 (2748)
中型景观尺度下杨树人工林林分特征对树干病害发生的影响——以河南省清丰县为例·····	王 静, 崔令军, 梁 军, 等 (2757)
耕作措施对冬小麦田杂草生物多样性及产量的影响·····	田欣欣, 薄存瑶, 李 丽, 等 (2768)
官山保护区白颈长尾雉栖息地适宜性评价·····	陈俊豪, 黄晓凤, 鲁长虎, 等 (2776)
花椒园节肢动物群落特征与气象因子的关系·····	高 鑫, 张晓明, 杨 洁, 等 (2788)
沙漠前沿不同植被恢复模式的生态服务功能差异·····	周志强, 黎 明, 侯建国, 等 (2797)
大豆出苗期和苗期对盐胁迫的响应及耐盐指标评价·····	张海波, 崔继哲, 曹甜甜, 等 (2805)
不同耐盐植物根际土壤盐分的动态变化·····	董利苹, 曹 靖, 李先婷, 等 (2813)
短期 NaCl 胁迫对不同小麦品种幼苗 K ⁺ 吸收和 Na ⁺ 、K ⁺ 积累的影响·····	王晓冬, 王 成, 马智宏, 等 (2822)
套袋微域环境对富士苹果果皮结构的影响·····	郝燕燕, 赵旗峰, 刘群龙, 等 (2831)
畜禽粪便施用对稻麦轮作土壤质量的影响·····	李江涛, 钟晓兰, 赵其国 (2837)
土霉素胁迫下拟南芥基因组 DNA 甲基化的 MSAP 分析·····	杜亚琼, 王子成, 李 霞 (2846)
甲藻孢囊在长山群岛海域表层沉积物中的分布·····	邵魁双, 巩 宁, 杨 青, 等 (2854)
湖南省城市群生态网络构建与优化·····	尹海伟, 孔繁花, 祈 毅, 等 (2863)
基于多智能体与元胞自动机的上海城市扩展动态模拟·····	全 泉, 田光进, 沙默泉 (2875)
城市道路绿化带“微峡谷效应”及其对非机动车道污染物浓度的影响·····	李 萍, 王 松, 王亚英, 等 (2888)
专论与综述	
北冰洋微型浮游生物分布及其多样性·····	郭超颖, 王桂忠, 张 芳, 等 (2897)
种子微生物生态学研究进展·····	邹媛媛, 刘 洋, 王建华, 等 (2906)
条件价值评估的有效性与可靠性改善——理论、方法与应用·····	蔡志坚, 杜丽永, 蒋 瞻 (2915)
问题讨论	
中国生态学期刊现状分析·····	刘天星, 孔红梅, 段 靖 (2924)
研究简报	
四季竹耐盐能力的季节性差异·····	顾大彤, 郭子武, 李迎春, 等 (2932)
新疆乌恰泉地震前后泉水细菌群落的变化·····	杨红梅, 欧提库尔·玛合木提, 曾 军, 等 (2940)
两种猎物对南方小花蝽种群增长的影响及其对二斑叶螨的控害潜能·····	黄增玉, 黄林茂, 黄寿山 (2947)
学术信息与动态	
全球变化下的国际水文学研究进展: 特点与启示——2011 年欧洲地球科学联合会会员大会述评·····	卫 伟, 陈利顶 (2953)

期刊基本参数: CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 302 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 34 * 2011-05



封面图说: 藏酋猴 (*Macaca thibetana*) 属猴科 (*Cercopithecidae*) 猕猴属 (*Macaca*) 又名四川短尾猴、大青猴, 为我国特有灵长类之一, 被列为国家二级保护野生动物; 近年来, 由于人类活动加剧, 栖息环境恶化, 导致藏酋猴种群数量和分布日趋缩小; 本照片摄于四川卧龙国家级自然保护区 (拍摄时间: 2010 年 3 月)。

彩图提供: 中国科学院生态环境研究中心张晋东博士 E-mail: zhangjd224@163.com

连栽杉木林林下植被生物量动态格局

杨超^{1,2}, 田大伦^{1,4,*}, 胡曰利¹, 闫文德^{1,4}, 方晰^{1,3}, 梁小翠^{1,3}

(1. 中南林业科技大学 长沙 410004; 2. 国家林业局, 北京 100714;

3. 国家野外科学观测研究站, 会同 418307; 4. 南方林业生态应用技术国家工程实验室, 长沙 410004)

摘要:用空间一致时间连续的定位研究方法,在湖南会同杉木林生态系统国家野外科学观测研究站试验基地的第2集水区,对连栽杉木林林下植被生物量进行了12 a的监测,研究了林下植被种类的变化、生物量动态特征、生物量的组成与分布变化格局。结果表明:连栽杉木林在14 a生长发育过程中,林下植物种类呈现波动性的减少趋势,其中木本植物物种数下降率为40.0%,草本植物物种数下降率为47.1%。林下植被生物量由杉木林3年生29.48 t/hm²下降至14年生的2.53 t/hm²,其中木本植物生物量由7.07 t/hm²下降至1.25 t/hm²,下降了82.3%;草本植物由22.41 t/hm²下降至1.28 t/hm²,下降了94.3%。在此期间,木本与草本植物生物量的高低均出现波动现象。3年生杉木林下木本植物以乔木树种生物量6068.97 kg/hm²最高,占总生物量85.88%,藤本植物生物量736.97 kg/hm²为次,占10.44%,灌木植物生物量259.87 kg/hm²最低,仅占3.68%。14年生杉木林下木本植物以灌木植物生物量881.87 kg/hm²为首,占总生物量70.73%,藤本植物生物量247.07 kg/hm²为次,占19.82%,乔木树种生物量117.87 kg/hm²最少,只占9.45%。3年生杉木林下草本植物以蕨类植物生物量8391.44 kg/hm²最高,占总生物量的37.44%,过路黄生物量36.77 kg/hm²最低,仅占0.16%。杉木14年生时,以芒生物量573.00 kg/hm²最大,占总生物量44.78%,金毛耳草生物量2.93 kg/hm²最小,仅占0.23%。研究结果,可为研究杉木林养分循环、碳平衡、维护和提高林地地力及可持续经营管理提供科学依据。

关键词:杉木林;连栽;林下植被;生物量;动态变化;湖南会同

Dynamics of understory vegetation biomass in successive rotations of Chinese fir (*Cunninghamia lanceolata*) plantations

YANG Chao^{1,2}, TIAN Dalun^{1,4,*}, HU Yueli¹, YAN Wende^{1,4}, FANG Xi^{1,3}, LIANG Xiaocui^{1,3}

1 Central South University of Forestry & Technology, Changsha 410004, China

2 State Forestry Administration, Beijing 100714, China

3 National Field Station for Scientific Observation and Experiment, Huitong 418307, China

4 National Engineering Laboratory for Applied Technology of Forestry & Ecology in South China, Changsha 410004, China

Abstract: Understory vegetation is an important component of forest ecosystems, and is known to have beneficial effects on soil fertility and nutrient cycling. Understory abundance and structure can be expected to change with forest development and understanding of dynamic properties of understory vegetation communities is of high significance in sustainable management of a forest ecosystem. However, quantitative assessment of understory dynamics in subtropical forests is lacking. The objective of this study was to examine how understory vegetation abundance, species composition and biomass production change with stand development after the second successive rotations of Chinese fir (*Cunninghamia lanceolata*) plantations were established at the same sites. This study has been carried out in Chinese fir forested small watersheds, located at the Huitong Ecosystem Research Station of the Central South University of Forestry and Technology in Hunan Province, one of the National Field Station for Scientific Observation and Experiment in China. The results showed that

基金项目:国家林业公益性行业科研专项(200704015,200804030,2011432009);国家自然科学基金项目(30771700,30571487,31070410);国家野外科学观测研究站项目(20060515,200708227);国家林业局项目(2007537,201042,200881);湖南省科技厅项目(2006sk4059,2007sk4030);教育部新世纪优秀人才支持计划(NCET-10-0151);湖南省教育厅项目(湘财教字[2010]70号);长沙市科技局创新平台项目(K1003009-61)

收稿日期:2010-12-15; 修订日期:2011-03-18

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: csuftdl@126.com

understory vegetation species was declined at 14 year after the establishment of the second rotation of Chinese fir plantations when compared with those at 3 year, of which woody plant species and herbaceous plant species decreased 40.0% and 47.1%, respectively. Understory vegetation biomass declined from 29.48 t/hm² at 3 year to 2.53 t/hm² at 14 year of the studied Chinese fir plantations, of which biomass of woody plant species and herbaceous plant species declined from 7.07 t/hm² to 1.25 t/hm² and from 22.41 t/hm² to 1.28 t/hm², respectively. In other words, understory biomass of woody and herbaceous plant species at 14-year old stands decreased by 82.3% and 94.3% compared that at 3-year old stands, respectively. Tree seedlings (6068.97 kg/hm²) dominated understory woody plant species biomass at 3 year of the studied stands, and the next was liana species biomass (736.97 kg/hm²) and shrubs species biomass (259.87 kg/hm²). Tree seedlings, liana and shrubs accounted for 85.9%, 10.4% and 3.7% of the total understory woody plant species biomass. In contrast, understory shrubs biomass was the highest (881.87 kg/hm²) at 14 year in the studied stands, and the second was liana biomass (247.07 kg/hm²), and the tree seedlings biomass was the lowest (117.87 kg/hm²). The three group accounted for 70.7%, 19.8% and 9.5% of the total understory woody plant biomass. Among understory herbaceous plant biomass at 3 year after the second rotation of Chinese fir stands were planted, biomass of fern (8391.44 kg/hm²) was the highest and accounted for 37.4% of the total herbaceous biomass, and *Lysimachia christinae* biomass was lowest (36.77 kg/hm²), only accounting for 0.16% of the total biomass. When the stands reached at 14 year old, biomass of *Miscanthus sinensis* (573.00 kg/hm²) was the highest and *Hedyotis chrysotricha* (2.93 kg/hm²) was the lowest among the understory herbaceous biomass components. The results demonstrated that understory biomass production and distribution change with stands development in the second successive rotations of Chinese fir plantations.

Key Words: Chinese fir (*Cunninghamia lanceolata*) plantation; successive rotation; understory vegetation; biomass; dynamics; Huitong County, Hunan Province

林下植被是森林生态系统的一个重要组成部分,亦是森林生态系统中有机物质的生产者,在森林生态系统的物质循环研究中具有重要作用^[1-2],对维持森林生物多样性^[3]、提高人工林的水土保持功能^[4]、保护环境^[5]以及森林的演替、发展等具有重要意义^[6-8]。因此对森林林下植被结构和生态功能等研究已有不少报道^[8-11]。

杉木是我国亚热带特有树种,在我国森林资源中占有十分重要的地位。对杉木人工林林下植物的生态功能和作用的研究自 20 世纪 80 年代就已经开始。潘维涛^[12]等、冯宗炜^[13]等研究了林下植被在杉木林生态系统中养分循环的作用。方奇^[14]对加强土壤和地被物管理对杉木生态系统生物量能量利用和养分循环的影响进行了研究。姚茂和等^[15]、张先仪等^[16]、盛伟彤等^[17]研究了林下植被对杉木林地力和对水土保持的影响以及对改良土壤的效用。盛伟彤等^[18]、杨承栋等^[19]提出了发育林下植被是恢复杉木人工林地力的重要措施和途径。林开敏等^[20]还对杉木人工林林下植物物种多样性开展了研究。对采用不同经营措施后的杉木林下植被变化、生物量及养分动态和预测模型进行了研究的有涂育和^[21]、姚茂和等^[22]、熊有强等^[23]、林开敏等^[24]。此外,范少辉等^[25]对不同栽植代数杉木林下植被生长发育进行了比较研究。但从空间上一致和时间上连续地对杉木林林下植被动态特征进行长期定位研究尚未见报道,会同作为杉木中心产区之一,还缺乏第 1 代杉木林下植被动态的系统观测数据。

中南林业科技大学湖南会同杉木林生态系统国家野外科学观测研究站自 1978 年以来,开展了杉木林结构、功能的定位研究,研究结果已有较为系统的总结报道^[26-30]。为保证杉木林研究在空间上一致和时间上连续性,从 1987 年开始对连栽杉木林进行了定位研究。本文在生态站第 1 号和第 3 号集水区连栽杉木林林下植被生物量和养分动态定位研究基础上^[31-32],对第 2 号集水区连栽杉木林林下植被生物量动态,并以第 7 号集水区自然恢复的植被生物量动态为对照,进行了为期 14 a 的连续定位研究。这对认识杉木林生态功能、养分平衡、维护提高林地地力及可持续利用具有十分重要的意义。

1 研究区概况

研究地设于湖南会同杉木林生态系统国家野外科学观测研究站,国家林业局重点森林生态系统定位研究站——中南林业科技大学会同森林生态站。该站地理坐标为 109°45'E,26°50'N,气候属典型的亚热带湿润性气候,年平均温度为 16.8℃,年降水量在 1100—1400 mm 之间,年平均相对湿度为 80% 以上。海拔高度 300—500 m,相对高度为 150 m 以下,为低山丘陵地貌。土壤为震旦纪板溪系灰绿色板岩发育的山地黄壤,土壤理化性质见表 1。研究区内设有 8 个面积为 2 hm²的小集水区。本次试验在 2 号和 7 号集水区内进行。集水区特征见表 2。该集水区于 1995 年对 1966 年营造的杉木人工林皆伐后,于 1996 年春季不经炼山而采用少垦法整地,在 2 号集水区连续种植了杉木纯林,造林密度为 2700 株/hm²,1997 年于 5 月、8 月对幼杉木周围 1 m 进行抚育,以后未作任何处理。对 7 号集水区则采用撂荒法让其自然恢复成林,期间没有采用任何措施,以作对照处理。

表 1 集水区土壤理化性质
Table 1 Soil physical and chemical properties at the watershed

集水区号 Number of Watersheds	土层 Soil layer /cm	pH	容重 Density /(g/cm ³)	有机质 Organic matter /(g/kg)	全 N Total N /(g/kg)	全 P Total P /(g/kg)	全 K Total K /(g/kg)	全 Ca Total Ca /(g/kg)	全 Mg Total Mg /(g/kg)
2 区 Second watershed	0—15	5.14 (0.16)	1.13 (0.01)	45.14 (4.57)	2.35 (0.38)	0.53 (0.09)	24.64 (2.61)	1.69 (0.06)	2.85 (0.06)
	15—30	4.75 (0.06)	1.23 (0.04)	20.08 (2.42)	1.53 (0.12)	0.41 (0.04)	25.24 (2.72)	1.34 (0.26)	2.95 (0.13)
	30—45	4.68 (0.14)	1.26 (0.02)	14.19 (1.15)	1.22 (0.03)	0.40 (0.02)	25.21 (2.54)	1.39 (0.16)	2.97 (0.19)
	> 45	4.73 (0.16)	1.32 (0.04)	13.27 (1.75)	1.35 (0.13)	0.38 (0.01)	26.11 (2.74)	1.36 (0.14)	3.10 (0.27)
	平均	4.82 (0.05)	1.24 (0.01)	23.17 (1.17)	1.61 (0.15)	0.43 (0.04)	25.38 (2.65)	1.45 (0.14)	2.97 (0.17)
		4.90 (0.28)	1.15 (0.02)	35.39 (6.80)	1.95 (0.19)	0.43 (0.03)	27.03 (2.21)	1.63 (0.66)	2.65 (0.24)
7 区 Seventh watershed	0—15	4.90 (0.28)	1.15 (0.02)	35.39 (6.80)	1.95 (0.19)	0.43 (0.03)	27.03 (2.21)	1.63 (0.66)	2.65 (0.24)
	15—30	4.78 (0.28)	1.18 (0.003)	26.86 (3.95)	1.69 (0.05)	0.43 (0.003)	23.59 (3.31)	0.85 (0.20)	2.93 (0.13)
	30—45	4.73 (0.22)	1.24 (0.01)	20.61 (2.56)	1.49 (0.03)	0.43 (0.05)	23.49 (3.01)	0.96 (0.09)	2.87 (0.07)
	> 45	4.71 (0.24)	1.32 (0.04)	19.79 (2.08)	1.35 (0.09)	0.37 (0.03)	23.32 (3.48)	0.88 (0.18)	2.78 (0.03)
	平均	4.78 (0.25)	1.23 (0.02)	25.66 (3.17)	1.62 (0.05)	0.41 (0.01)	24.36 (2.56)	1.08 (0.25)	2.81 (0.07)

括号内数据为标准误差

表 2 集水区主要自然地理特征
Table 2 Natural geographic characteristics at the watershed

集水区号 Number of Watersheds	面积 Area /hm ²	主流长度 Mainstream length/m	宽度 Width/m	海拔 Altitude/m	平均坡度 Average slope /(°)	坡向 Slope aspect	形状系数 Shape factors	细长率 Slendrate
2 区 Second watershed	1.9978	210	68	275—330	26	N	0.32	0.64
7 区 Seventh watershed	1.3080	190	69	280—365	29	N	0.36	0.68

2 研究方法

2.1 植物生物量测定

在 2 号、3 号集水区建立的固定样地附近,按山坡上部、中部和下部,各设置 5 m×5 m 的样方 3 个,共 9 个,详细记录每个样方内植物种类,木本植物(灌木)分为叶、茎、根,草本植物分为地上和地下部分,采用全挖法实测鲜重,将同类的相同器官取混合样品 1.0 kg,在鼓风干燥烘箱内于 80℃ 恒温下烘至恒重,求出样本的含水率,以此来计算生物量。自 1998 年 11 月起,至 2009 年 11 月止,对 2 号集水区连栽杉木林和 7 号集水区

对照自然恢复成林的地被物,于每年 11 月测定 1 次,共连续测定 12 a。

2.2 土壤样品采集及化学分析方法

分别在两个集水区的山坡上部、中部和下部设置 3 个采样点,共 9 个采样点,每个采样点分为 0—15 cm、15—30 cm、30—45 cm、> 45 cm 各采土壤 0.5 kg,共采集 36 个,去除杂质后,过筛、自然风干备用。

pH 值用酸度计测定;有机质用水合热法测定;全 N 用半微量凯氏法测定;全 P 用钼锑抗比色法测定;全 K、全 Ca、全 Mg 用 Hp3510 原子吸收分光光度计测定;容重用环刀法测定。

3 数据处理

数据分析采用 SPSS13.0 统计软件,对土壤理化性质和植物生物量进行平均值和标准差的分析。

4 结果与分析

4.1 连栽杉木林下植物种类的变化

由表 3 可以看出,连栽杉木林地(2 区)在杉木周围 1 m²处抚育后第 1 年,林地出现草本和木本植物种数分别为 17 和 10 种。对照 7 区的草本和木本植物均为 9 种。从 1998 年至 2009 年,2 区植物种类出现波动性的下降,其中草本植物由 17 种下降至 9 种,下降率为 47.1%,木本植物由 10 种下降至 6 种,下降率 40.0%。对照 7 区植物种类亦出现波动性下降,草本植物由 9 种下降至 8 种,下降率为 11.1%,木本植物种数保持不变,仍为 9 种。植物物种数下降率均比 2 区低。表明连栽杉木林地随着杉木的生长发育,林冠逐渐郁闭,林内的光、热、水等环境条件随之发生改变,对林下植物造成不同程度的影响^[1],加之杉木林的生长发育过程中,杉木自身占据了空间位置和改变了土壤养分的可利用性,从而影响到物种的分布、组成、数量和生长^[2-5]。

表 3 连栽杉木林下植物种类的变化(1998—2009 年)

Table 3 Variation of understory plant species in successive rotations of Chinese fir plantation (1998—2009)

年份 Year	2 区 Second watershed					
	草本植物 Herbaceous plants			木本植物 Woody plants		
	现有 Exist	增加 Increase	减少 Decrease	现有 Exist	增加 Increase	减少 Decrease
1998	17	0	0	10	0	0
1999	13	1	5	10	6	6
2000	16	4	1	9	5	6
2001	10	0	6	9	1	1
2002	11	2	1	5	1	5
2003	13	7	5	9	6	2
2004	12	4	5	10	2	1
2005	12	5	5	8	3	5
2006	14	3	1	7	0	1
2007	12	0	2	6	1	2
2008	12	1	1	6	1	1
2009	9	0	3	6	2	2

年份 Year	7 区(对照)Seventh watershed(CK)					
	草本植物 Herbaceous plants			木本植物 Woody plants		
	现有 Exist	增加 Increase	减少 Decrease	现有 Exist	增加 Increase	减少 Decrease
1998	9	0	0	9	0	0
1999	10	5	4	12	6	3
2000	7	2	5	8	1	5
2001	9	4	2	8	2	2
2002	12	5	2	8	2	2
2003	6	0	6	10	3	1
2004	9	5	2	9	0	1
2005	9	5	5	13	9	5
2006	10	4	3	7	1	7
2007	6	1	5	9	3	1
2008	7	2	1	12	3	0
2009	8	2	1	9	1	4

4.2 连栽杉木林林下植物生物量的动态变化

木本植物生物量在杉木林下,随着杉木的生长发育过程而呈现出波动性变化(图1)。1998年(3年生杉木林)生物量为 7.07 t/hm^2 ,当林分向速生阶段迈进,树冠迅速扩展,林分郁闭度增加,林下光照逐渐减弱,林下木本植物生物量大幅度下降至2003年(8年生杉木林)的 0.30 t/hm^2 ,下降了95.8%。从2003年至2005年(10年生杉木林)的3 a间,林分的自然整枝,林冠产生空隙,使林下木本植物生物量增加至 3.87 t/hm^2 ,增加了92.2%。从2005年至2009年的4 a间,由于杉木自身需要占据空间,加之林冠的遮光,林下木本植物生物量又下降至 1.25 t/hm^2 。对照7区,木本植物生物量由1998年的 11.67 t/hm^2 ,下降至2004年的 2.04 t/hm^2 ,下降了82.5%,随后急速增加,2009年时,木本植物生物量达到 42.90 t/hm^2 ,增加了95.2%。表明连栽杉木林地(2区),随着林分年龄的增加,林下木本植物生物量在12 a间下降了82.3%,而对照区由于无林木争夺空间,木本植物生物量在12 a间则上升了72.8%。

从图1b可以看出,连栽杉木林地第3年(1998年),由于杉木幼小,土壤种子库中和入侵的草本植物生长速度快,其生物量高达 22.41 t/hm^2 ,随后则迅速下降至2002年(7年生杉木林)的 0.75 t/hm^2 ,下降了96.7%,从2002年至2004年(9年生杉木林)2年间,草本植物生物量又上升至 6.21 t/hm^2 ,上升了87.9%,从2004年至2009年5 a间则下降至 1.28 t/hm^2 。对照7区草本植物生物量由1998年的 20.43 t/hm^2 ,下降至2003年的 1.71 t/hm^2 ,下降了91.6%,此后至2006年上升为 11.97 t/hm^2 ,上升了85.7%,从2006年至2009年的3 a间又下降为 3.71 t/hm^2 。表明2区和7区草本植物生物量均呈现波动性变化。连栽杉木林的2区,随着杉木年龄的增加,林下草本植物生物量下降,12 a间下降率为94.3%。对照7区则随着木本植物生物量的增加,草本植物生物量于12 a间下降率为81.8%。可见,林下植被生物量受林分郁闭度及林龄的影响极大^[6]。

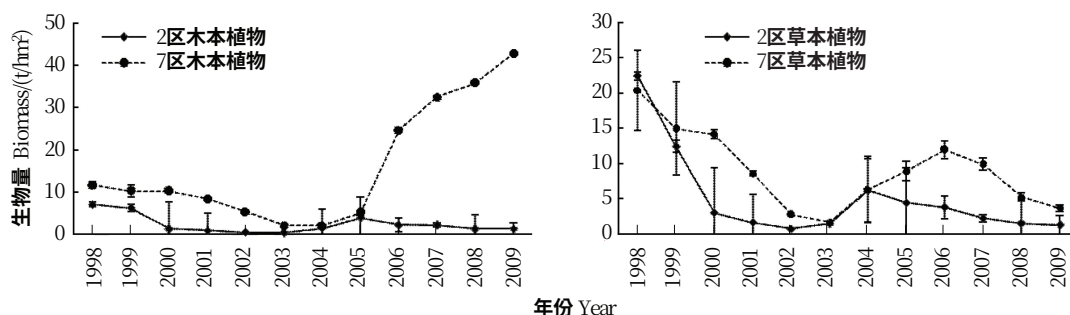


图1 连栽杉木林林下木本植物、草本植物生物量动态

Fig. 1 Dynamics of understory woody plant and herbaceous plant biomass in successive rotations of Chinese fir plantation

4.3 连栽杉木林林下木本植物生物量组成与分布格局

从表4可以看出,3年生杉木林地,木本植物生物量为 7065.80 kg/hm^2 ,且以乔木树种为主,其生物量为 6068.97 kg/hm^2 ,占总生物量85.88%,其中又以盐肤木占据了大部分,生物量达 5400.23 kg/hm^2 ,占总生物量76.42%,其他木本植物生物量为 668.74 kg/hm^2 ,占总生物量9.46%,藤本植物 736.97 kg/hm^2 ,占10.44%,而以灌木植物最低,为 259.87 kg/hm^2 ,仅占3.68%。对照7区,木本植物生物量为 11665.76 kg/hm^2 ,高于连栽杉木林地 4599.96 kg/hm^2 ,但两个区的木本植物生物量在组成与分布格局上却呈现出一致的规律,7区与2区一样,木本植物生物量仍以乔木树种为主,其生物量为 10124.49 kg/hm^2 ,占总生物量的86.79%(表5),与2区乔木树种生物量占木本植物总生物量的百分比接近。

表6表明,2区杉木林为14年生,由于树冠的遮光,林下木本植物生物量受到影响,木本植物生物量不仅由1998年的 7065.80 kg/hm^2 ,下降到2009年的 1246.81 kg/hm^2 ,而且在生物量的组成与分布上也发生了变化,原以生物量最低的灌木植物却占据了主要地位,其生物量为 881.87 kg/hm^2 ,占总生物量70.73%,藤本植物生物量 247.07 kg/hm^2 为次,占19.82%,乔木树种生物量成为最低,为 117.87 kg/hm^2 ,只占9.45%。对照7

区,与2区正好相反(表7),在高达42896.68 kg/hm²的总生物量中,乔木树种生物量为42694.54 kg/hm²,占据了林分总生物量的99.53%,而灌木和藤本植物生物量为202.14 kg/hm²,仅占0.47%。可见,林下环境条件对植被生物量及其分配上的影响起着重要作用。

表4 2区3年生杉木林地木本植物生物量

Table 4 Biomass of woody plants of 3-year old Chinese fir woodland at the second watershed

木本植物名 Name of woody plants	植物生活型 Plant life form	平均值/(kg/hm ²) Average	标准误差/(kg/hm ²) Standard errors	变异系数/% Coefficient of variability	百分数/% Percentage
梵天花 <i>U. procumbens</i>	灌木	178.10	47.09	45.80	2.52
白栎 <i>Quercus fabri</i>	乔木	395.24	32.59	14.28	5.59
苦槠 <i>Castanopsis sclerophylla</i>	乔木	273.50	62.46	39.55	3.87
杜茎山 <i>Maesa japonica</i>	灌木	81.77	8.17	17.30	1.16
盐肤木 <i>Rhus chinensis</i>	乔木	5400.23	628.09	20.15	76.42
鸡矢藤 <i>Paederia scandens</i>	藤本	208.50	46.45	38.59	2.95
棉毛猕猴桃 <i>A. fulvicoma</i>	藤本	82.33	12.82	26.97	1.17
钩藤 <i>Uncaria rhynchophylla</i>	藤本	126.37	41.39	56.73	1.79
菝葜 <i>Smilax china</i>	藤本	228.67	69.87	52.93	3.24
粗叶悬钩子 <i>Rubus alceaefolius</i>	藤本	91.10	19.86	37.75	1.29
合计 Total		7065.80	715.27	17.53	100.0

表5 对照区(7区)1998年木本植物生物量

Table 5 Biomass of woody plants in 1998 at the seventh watershed

木本植物名 Name of woody plants	植物生活型 Plant life form	平均值/(kg/hm ²) Average	标准误差/(kg/hm ²) Standard errors	变异系数/% Coefficient of variability	百分数/% Percentage
空心泡 <i>R. rosaeifolius</i>	灌木	363.34	325.36	155.10	3.11
黄常山 <i>Dichroa ferbrifuga</i>	灌木	635.84	258.12	70.31	5.45
山苍子 <i>Litsea cubeba</i>	乔木	763.20	220.02	49.93	6.54
白栎 <i>Quercus fabri</i>	乔木	954.34	361.85	65.67	8.18
糠皮树 <i>M. barbatus</i>	乔木	963.54	659.88	118.62	8.26
野桐 <i>M. japonicus</i>	乔木	1862.01	1397.53	130.00	15.96
盐肤木 <i>Rhus chinensis</i>	乔木	1881.38	1367.12	125.86	16.13
楸木 <i>Aralia chinensis</i>	乔木	3700.02	1667.88	78.08	31.72
粗叶悬钩子 <i>Rubus alceaefolius</i>	藤本	542.10	348.25	111.27	4.65
合计 Total		11665.76	2110.45	31.33	100.0

表6 2区14年生杉木林下木本植物生物量

Table 6 Biomass of understory woody plants of 14-year old Chinese fir plantation at the second watershed

木本植物名 Name of woody plants	植物生活型 Plant life form	平均值/(kg/hm ²) Average	标准误差/(kg/hm ²) Standard errors	变异系数/% Coefficient of variability	百分数/% Percentage
梵天花 <i>U. procumbens</i>	灌木	578.77	287.02	85.90	46.42
空心泡 <i>R. rosaeifolius</i>	灌木	16.90	4.50	46.10	1.36
杜茎山 <i>Maesa japonica</i>	灌木	286.20	108.16	65.45	22.95
大青 <i>Clerodendrom cyrtophyllum</i>	乔木	117.87	61.32	90.11	9.45
棉毛猕猴桃 <i>A. fulvicoma</i>	藤本	164.67	63.52	66.81	13.21
粗叶悬钩子 <i>Rubus alceaefolius</i>	藤本	82.40	56.53	118.82	6.61
合计 Total		1246.81	148.66	20.65	100.0

表 7 对照 7 区 2009 年木本植物生物量

Table 7 Biomass of woody plants in 2009 at the seventh watershed

木本植物名 Name of woody plants	植物生活型 Plant life form	平均值/(kg/hm ²) Average	标准误差/(kg/hm ²) Standard errors	变异系数/% Coefficient of variability	百分数/% Percentage
杜茎山 <i>Maesa japonica</i>	灌木	136.90	30.96	39.17	0.32
楸木 <i>Aralia chinensis</i>	乔木	1733.08	1353.54	135.27	4.04
山苍子 <i>Litsea cubeba</i>	乔木	4055.49	1924.42	82.19	9.45
枫香 <i>Liquidambar formosana</i>	乔木	6138.03	2017.00	56.92	14.31
盐肤木 <i>Rhus chinensis</i>	乔木	8271.07	1731.79	36.27	19.28
野桐 <i>M. japonicus</i>	乔木	9721.25	6231.40	111.03	22.66
糠皮树 <i>M. barbatus</i>	乔木	12775.63	6882.15	93.30	29.78
鸡血藤 <i>Millettia dielsiana</i>	藤本	48.77	13.70	48.66	0.12
棉毛猕猴桃 <i>A. fulvicoma</i>	藤本	16.47	6.37	67.02	0.04
合计 Total		42896.68	8404.11	33.93	100.0

4.4 连栽杉木林林下草本植物生物量组成与分配规律

3 年生杉木幼林地,草本植物生物量由 17 种草本植物组成(表 8)。生物量高达 22413.51 kg/hm²,比同一林地上木本植物生物量 7065.80 kg/hm²大 3 倍,其生物量主要由芒和蕨类植物组成,它们的生物量为 14121.50 kg/hm²,占据了林地草本植物总生物量的 63.01%,其次为泽兰和淡竹叶,生物量为 5855.22 kg/hm²,占 26.12%,而其余 13 种植物生物量为 2436.79 kg/hm²,仅占 10.87%。在生物量组成分配上,存在着极不均匀的状态,蕨类植物最多,生物量为 8391.44 kg/hm²,占总生物量 37.44%,过路黄最少,生物量为 36.77 kg/hm²,仅占 0.16%,两者生物量相差 228 倍。对照 7 区的草本植物生物量由 9 种草本植物组成(表 9),比 2 区少 8 种,总生物量为 20434.84 kg/hm²,以芒为主要成分,其生物量为 18846.43 kg/hm²,占据林地草本植物总生物量的 92.22%,在生物量组成分配上,存在的极不均匀状态比 2 区更明显,生物量最高为芒,最低为酢浆草(9.23 kg/hm²),两者竟相差 2042 倍。

表 8 2 区 3 年生杉木林地草本植物生物量

Table 8 Biomass of herbaceous plants of 3-year old Chinese fir woodland at the second watershed

草本植物名 Name of herbaceous plants	植物生活型 Plant life form	平均值/(kg/hm ²) Average	标准误差 Standard errors	变异系数/% Coefficient of variability	百分数/% Percentage
豨签 <i>Siegesbeckia orientalis</i>	1 年生草本	37.30	5.90	27.41	0.17
过路黄 <i>Lysimachia christinae</i>	多年生草本	36.77	7.03	33.11	0.16
龙牙草 <i>Agrimonia pilosa</i>	多年生草本	45.43	5.04	19.22	0.20
一年蓬 <i>Erigeron annuus</i>	1 年生草本	49.40	7.67	26.90	0.22
尖叶苔草 <i>Carex oxyphylla</i>	多年生草本	66.43	5.46	14.25	0.30
苦蕒菜 <i>Ixeris sonchifolia</i>	多年生草本	92.80	43.40	81.00	0.41
竹叶草 <i>O. Compositus</i>	多年生草本	98.40	14.42	25.39	0.44
鱼腥草 <i>Houttuynia cordata</i>	多年生草本	127.40	45.61	62.01	0.57
下田菊 <i>Adenostemma lavenia</i>	多年生草本	269.03	13.47	8.67	1.20
珍珠菜 <i>Lysimachia clethroides</i>	多年生草本	280.93	105.14	64.82	1.25
金毛耳草 <i>Hedyotis chrysotricha</i>	多年生草本	384.80	256.77	115.58	1.72
葎草 <i>Arthraxon hispidus</i>	1 年生草本	441.07	58.35	22.91	1.97
千里光 <i>Senecio scandens</i>	多年生草本	507.00	19.51	6.67	2.26
泽兰 <i>Eupatorium japonicum</i>	多年生草本	2903.21	152.80	9.12	12.95
淡竹叶 <i>Lophatherum gracile</i>	多年生草本	2952.01	1325.60	77.78	13.17
芒 <i>Miscanthus sinensis</i>	多年生草本	5730.06	1632.17	49.34	25.57
蕨 <i>Pteridium aquilinum</i>	多年生草本	8391.44	8335.70	172.06	37.44
合计 Total		22413.51	5686.30	43.94	100.0

表 9 对照 7 区 1998 年草本植物生物量

Table 9 Biomass of herbaceous plants in 1998 at the seventh watershed

草本植物名 Name of herbaceous plants	植物生活型 Plant life form	平均值/(kg/hm ²) Average	标准误差/(kg/hm ²) Standard errors	变异系数/% Coefficient of variability	百分数/% Percentage
酢浆草 <i>Oxalis corniculata</i>	多年生草本	9.23	4.66	87.46	0.05
金毛耳草 <i>Hedyotis chrysotricha</i>	多年生草本	14.80	3.70	43.30	0.07
鱼腥草 <i>Houttuynia cordata</i>	多年生草本	20.00	1.80	15.59	0.10
过路黄 <i>Lysimachia christinae</i>	多年生草本	22.83	11.43	86.73	0.11
苎草 <i>Arthraxon hispidus</i>	1 年生草本	55.13	14.58	45.81	0.27
亚大苔草 <i>Carex brownii</i> Tuckerm	多年生草本	162.60	75.11	80.01	0.80
博落回 <i>Macleaya cordata</i>	多年生草本	183.80	92.51	87.18	0.90
棕叶芦 <i>Thysanolaena maxima</i>	多年生草本	1120.01	840.00	129.90	5.48
芒 <i>Miscanthus sinensis</i>	多年生草本	18846.43	1081.09	9.94	92.22
合计 Total		20434.84	624.73	5.30	100.0

在连栽杉木林地,当杉木生长为 14 年生时,林下草本植物只有 8 种,生物量为 1279.67 kg/hm²(表 10),比 3 年生杉木林地减少 21133.84 kg/hm²。生物量组成和分配存在与 3 年生杉木林地一致的规律,主要种类不变,仍以芒和蕨类植物占据林地草本植物生物量的主要地位,它们的生物量为 985.14 kg/hm²,占总生物量的 76.98%,而其余 6 种草本植物生物量为 294.53 kg/hm²,只占总生物量的 23.02%。对照 7 区 2009 年草本植物生物量为 3713.42 kg/hm²,并随着木本植物生物量的增加而大幅度降低,比 1998 年减少了 16721.42 kg/hm²,生物量组成与分配以芒为主,其生物量为 2823.61 kg/hm²,占总生物量 76.04%,其余草本植物生物量为 889.81 kg/hm²,只占总生物量 23.96%(表 11)。

表 10 2 区 14 年生杉木林下草本植物生物量

Table 10 Biomass of understory herbaceous plants of 14-year old Chinese fir plantation at the second watershed

草本植物名 Name of herbaceous plants	植物生活型 Plant life form	平均值/(kg/hm ²) Average	标准误差/(kg/hm ²) Standard errors	变异系数/% Coefficient of variability	百分数/% Percentage
金毛耳草 <i>Hedyotis chrysotricha</i>	多年生草本	2.93	0.73	43.30	0.23
鱼腥草 <i>Houttuynia cordata</i>	多年生草本	7.67	2.17	48.95	0.60
下田菊 <i>Adenostemma lavenia</i>	多年生草本	8.07	2.34	50.21	0.63
淡竹叶 <i>Lophatherum gracile</i>	多年生草本	19.70	13.10	115.18	1.54
竹叶草 <i>O. Compositus</i>	多年生草本	21.87	5.79	45.86	1.71
亚大苔草 <i>Carex brownii</i> Tuckerm	多年生草本	34.67	14.21	70.99	2.71
铁芒箕 <i>Dicranopteris dichotoma</i>	多年生草本	199.63	113.41	98.39	15.60
蕨 <i>Pteridium aquilinum</i>	多年生草本	412.14	239.04	100.46	32.20
芒 <i>Miscanthus sinensis</i>	多年生草本	573.00	484.84	146.56	44.78
合计 Total		1279.67	464.48	62.87	100.0

表 11 对照 7 区 2009 年草本植物生物量

Table 11 Biomass of herbaceous plants in 2009 at the seventh watershed

草本植物名 Name of herbaceous plants	植物生活型 Plant life form	平均值/(kg/hm ²) Average	标准误差/(kg/hm ²) Standard errors	变异系数/% Coefficient of variability	百分数/% Percentage
鱼腥草 <i>Houttuynia cordata</i>	多年生草本	2.57	0.97	65.47	0.07
千里光 <i>Senecio scandens</i>	多年生草本	5.63	2.23	68.67	0.15
金毛耳草 <i>Hedyotis chrysotricha</i>	多年生草本	14.07	4.12	50.68	0.38
淡竹叶 <i>Lophatherum gracile</i>	多年生草本	87.47	10.93	21.65	2.36
蕨 <i>Pteridium aquilinum</i>	多年生草本	215.37	38.77	31.18	5.80
铁芒箕 <i>Dicranopteris dichotoma</i>	多年生草本	267.57	175.87	113.85	7.20
亚大苔草 <i>Carex brownii</i> Tuckerm	多年生草本	297.13	116.44	67.88	8.00
芒 <i>Miscanthus sinensis</i>	多年生草本	2823.61	1158.73	71.08	76.04
合计 Total		3713.42	1367.17	63.77	100.0

综上所述,连栽杉木林在生长发育过程中,林下植被(含木本和草本)生物量的物种组成及分配均发生变化,而且总生物量呈逐渐下降趋势。自然恢复成林的对照7区,在糠皮树、野桐及榿木等乔木树种生长发育过程中,林下草本植物生物量的物种组成及分配上亦发生变化,总生物量产生逐渐下降趋势,与连栽杉木林地呈现的规律是一致的。但木本植物总生物量却呈上升趋势,与连栽杉木林地正好相反。

5 结论与讨论

吴鹏飞等^[9]对川中丘陵区桫欏混交林不同林龄段的林下灌丛和草本植物物种变化动态的研究结果表明,不同林龄段间,灌丛和草本层物种数有较大差异。会同连栽杉木林在14 a生长发育过程中,林下木本和草本植物物种数变化较大,两者研究结果相似。会同连栽杉木林林下木本和草本植物物种数在14 a间均呈现波动性的减少趋势,其中木本植物物种数下降率为40.0%,草本植物下降率为47.1%。而吴鹏飞等^[9]在研究桫欏混交林演替为纯柏林过程中,林下灌丛和草本的物种数在20 a之前增加,与会同连栽杉木林林下木本与草本植物物种数14 a间的变化规律正好相反。

会同生态站第2号试验集水区连栽杉木林3 a生时,林下植被生物量为29.48 t/hm²,其中木本植物生物量为7.07 t/hm²,草本植物为22.41 t/hm²,比第1号和第3号试验集水区连栽杉木林3年生时,林下植被生物量2.89 t/hm²^[31-32]高19.52 t/hm²,这主要是由于试验处理方式不同所致,1号和3号集水区的第1代杉木林皆伐后,经过炼山、全垦整地及全垦抚育等技术措施处理营造的杉木纯林,而本次试验的2号集水区中第1代杉木林皆伐后,采用不炼山、少垦地及小范围抚育的技术措施连栽的杉木纯林,其土壤种子库中的植物种类没有受到伤害而被保存,因此林下植被种类多、生长茂盛、生物量高。

连栽杉木林在林冠郁闭前的幼林阶段(5年生杉木林),林下植被生物量较大,为4.29—29.48 t/hm²,从第5年到7年时,为杉木林幼林阶段向速生阶段迈进的进程中,此时为杉木林林冠从相接到林冠郁闭的过渡时期,林下环境产生了较大的变化,林下植被生物量则迅速下降,当杉木林7年生时出现最低值,为1.17 t/hm²,随后杉木林从速生阶段至杆材阶段(杉木林14年生),林下植被生物量呈波动性的下降趋势,达2.53 t/hm²,其中木本植物为1.25 t/hm²,草本植物为1.28 t/hm²。从1998年至2009年,连栽杉木林生长发育过程12 a间,林下木本植物生物量下降率82.4%,低于草本植物生物量下降率94.3%。这与闫文德等^[31]研究的会同3号试验集水区连栽杉木林3年生—14年生阶段,林下植被生物量动态变化过程的规律基本一致。

连栽杉木林从3年生—14年生的12 a间,林下植被生物量组成与分布格局随着环境因子的改变而发生了变化。3年生杉木林下木本植物生物量以乔木树种为主,其生物量为6068.97 kg/hm²,占木本植物总生物量的85.88%,其中又以盐肤木生物量高达5400.23 kg/hm²,占据了总生物量的76.42%,藤本植物生物量736.97 kg/hm²为次,占10.44%,灌木植物生物量259.87 kg/hm²最低,仅占3.68%。当杉木14年生则林下木本植物生物量组成与分布产生了根本变化,原以生物量最低的灌木植物占据了首位,其生物量为881.87 kg/hm²,占总生物量70.73%,藤本植物生物量247.07 kg/hm²居第2位,占19.82%,而以乔木树种生物量最低,为117.87 kg/hm²,只占9.45%。

随着连栽杉木林生长发育的12 a间,林下草本植物的生物量组成与分配格局也随之而变,且存在极不均匀状态。连栽杉木3年生时,林下草本植物生物量以蕨类植物8391.44 kg/hm²最高,占总生物量37.44%,过路黄生物量36.77 kg/hm²最低,仅占0.16%,两者生物量竟相差228倍。杉木14年生时,林下草本植物生物量以芒573.00 kg/hm²最高,占总生物量44.78%,金毛耳草生物量2.93 kg/hm²最低,仅占0.23%,两者相差196倍。

References:

- [1] Chapin F S III. Nitrogen and Phosphorus nutrition and nutrition cycling by evergreen and deciduous understory shrubs in an Alaskan black spruce forests. *Canadian Journal of Forest Research*, 1983, 13(5): 773-781.
- [2] Chastain R A Jr, Currie W S, Townsend P A. Carbon sequestration and nutrient cycling implications of the evergreen understory layer in Appalachian forests. *Forest Ecology and Management*, 2006, 231(1/3): 63-77.

- [3] Chu J M, Lu Q, Cui X H, Wang L B. Review on species diversity of undergrowth vegetation in plantation ecosystem. *World Forestry Research*, 2007, 20(3): 9-13.
- [4] Yuan Z K, Tian Y X, Li X Q, Jiang L J. Erosion and vegetation coverage of the slope and terrace soil under young forest stands. *Journal of Central South Forestry University*, 2002, (2): 21-24.
- [5] Liu Y Q, Luo L X, Yang G P, Niu D K, Sun K H. Analysis on recovery of undergrowth and effects of environment of rehabilitated forest in degraded red soil region. *Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis*, 2004, 26(5): 695-699.
- [6] Fabião A, Martins M C, Cerveira C, Santos C, Lousã M, Madeira M, Correia A. Influence of soil and organic residue management on biomass and in a *Eucalyptus globules* Labill. plantation. *Forest Ecology and Management*, 2002, 171(1/2): 87-100.
- [7] Kume A, Satomura T, Tsuboi N, Chiwa M, Hanba Y T, Nakane K, Horikoshi T, Sakugawa H. Effects of understory vegetation on the ecophysiological characteristics of and overstory pine, *Pinus densiflora*. *Forest Ecology and Management*, 2003, 176(1/3): 195-203.
- [8] Taylor A H, Jang S W, Zhao L J, Liang C P, Miao C J, Huang J Y. Regeneration patterns and tree species coexistence in old-growth *Abies-Picea* forests in southwestern China. *Forest Ecology and Management*, 2006, 223(1/3): 303-317.
- [9] Wu P F, Zhu B. Structure and biomass dynamics of understory vegetation for the mixed Alder and Cypress plantations. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2008, 28(3): 44-48.
- [10] Li C Y, Ma L Y, Wang X Q, Xu X. Short-term effects of tending on the undergrowth diversity of *Platycladus orientalis* plantations in Beijing mountainous areas. *Journal of Beijing Forestry University*, 2007, 29(3): 60-66.
- [11] Duan J, Ma L Y, Jia L M, Jia Z K, Gong N N, Che W R. Effect of thinning on *Platycladus orientalis* plantation and the diversity of undergrowth vegetation. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(6): 1431-1441.
- [12] Pan W C, Tian D L, Li L C, Gao Z H. Nutrient cycling of Chinese fir plantation (1) Nutrient dynamics and yield structure of Chinese fir plantation at different growth stages. *Journal of Central South Forestry University*, 1981, 1(1): 1-21.
- [13] Feng Z W, Chen C Y, Wang K P, Zhang J W, Zeng S Y, Zhao J L, Deng S J. Studies on the accumulation, distribution and cycling of nutrient elements in the ecosystem of the pure stand of subtropical *Cunninghamia lanceolata* forests. *Journal of Plant Ecology*, 1985, 9(4): 245-256.
- [14] Fang Q. Effects of strengthening soil and cover plants management on energy utilization and nutrient cycle of ecosystem biomass in *Cunninghamia lanceolata*. *Scientia Silvae Sinicae*, 1990, 26(3): 201-208.
- [15] Yao M H, Sheng W T, Xiong Y Q. The effects of undergrowth on productivity of Chinese fir plantation. *Forest Research*, 1991, 4(3): 246-252.
- [16] Zhang X Y, Deng Z F, Li X M. Effects of Thinning on Undergrowth Vegetation Succession and Soil and Water Conservation of Chinese Fir Plantation. Beijing: Science & Technology Press in China, 1992: 168-180.
- [17] Sheng W T, Yang C D. Research on effect of ameliorating soil properties by undergrowth vegetation of China fir. *Acta Ecologica Sinica*, 1997, 17(4): 377-385.
- [18] Sheng W T. Discussions on improving the productivity of Chinese fir plantation. *Forestry Science and Technology in Zhejiang*, 1986, 6(1): 9-15.
- [19] Yang C D, Jiao R Z, Tu X N, Chen Z L, Xiong Y Q. Developing undergrowth vegetation is an important way to recover soil fertility of Chinese fir plantation. *Scientia Silvae Sinicae*, 1995, 31(3): 275-283.
- [20] Lin K M, Huang B L. Studies on β -diversity index of undergrowth plant in Chinese fir plantation. *Chinese Biodiversity*, 2001, 9(2): 157-161.
- [21] Tu Y H. Dynamic characteristics of undergrowth vegetations in *Cunninghamia lanceolata* with different management density. *Journal of Northwest Forestry University*, 2005, 20(4): 52-55.
- [22] Yao M H, Sheng W T, Xiong Y Q. Studies on understory and its biomass in Chinese fir stands. *Scientia Silvae Sinicae*, 1991, 27(6): 644-648.
- [23] Xiong Y Q, Sheng W T, Zeng M S. A study on the development and biomass of undergrowth vegetation in Chinese fir plantation with different thinning intensities. *Forest Research*, 1995, 8(4): 408-412.
- [24] Lin K M, Hong W, Yu X T, Huang B L. The dynamic characteristics and forecasting models of biomass of undergrowth plant in Chinese fir plantation. *Scientia Silvae Sinicae*, 2001, 37(Special): 99-105.
- [25] Fan S H, Ma X Q, Fu R S, Liu A Q. Comparative study on underground vegetation develop of different generation plantations of Chinese fir. *Forest Research*, 2002, 15(2): 169-174.
- [26] Tian D L, Kang W X, Wen S Z. Chinese Fir Plantation Ecosystem Ecology. Beijing: Science Press, 2003.
- [27] Tian D L. Function and Process of Chinese Fir Plantation Ecosystem. Beijing: Science Press, 2005.
- [28] Tian D L. Research Methods of Chinese Fir Plantation Ecosystem. Beijing: Science Press, 2004.
- [29] Fang H B, Tian D L, Kang W X. Dynamics Study of the biomass of understory vegetation in the thinned Chinese fir stand. *Journal of Central South Forestry University*, 1998, 18(1): 5-9.
- [30] Fang H B, Tian D L, Kang W X. Nutrient study of understory vegetation in the thinned Chinese fir plantation. *Journal of Central South Forestry University*, 1998, 18(2): 1-5.

- [31] Yan W D, Tian D L, Jiao X M. A study on biomass dynamics and distribution of undervegetation in the secondary generation of Chinese fir plantation in Hui Tong. *Forest Research*, 2003, 16(3): 323-327.
- [32] Liu X Z, Tian D L, Wen S Z, Zhou Z H. Researches on biomass and nutrient accumulation of understory in the second generation of young Chinese fir plantation I. Biomass dynamics of understory. *Scientia Silvae Sinicae*, 1997, 33(Special 2): 19-25.

参考文献:

- [3] 褚建民, 卢琦, 崔向慧, 王利兵. 人工林林下植被多样性研究进展. *世界林业研究*, 2007, 20(3): 9-13.
- [4] 袁正科, 田育新, 李锡泉, 蒋丽娟. 缓坡梯土幼林林下植被覆盖与水土流失. *中南林学院学报*, 2002, 22(2): 21-24.
- [5] 刘苑秋, 罗良兴, 杨国平, 牛德奎, 孙科辉. 退化红壤重建森林林下植被恢复及其环境影响分析. *江西农业大学学报*, 2004, 26(5): 695-699.
- [9] 吴鹏飞, 朱波. 桉柏混交林林下植被结构及生物量动态. *水土保持通报*, 2008, 28(3): 44-48.
- [10] 李春义, 马履一, 王希群, 徐昕. 抚育间伐对北京山区侧柏人工林林下植物多样性的短期影响. *北京林业大学学报*, 2007, 29(3): 60-66.
- [11] 段劫, 马履一, 贾黎明, 贾忠奎, 公宁宁, 车文瑞. 抚育间伐对侧柏人工林及林下植被生长的影响. *生态学报*, 2010, 30(6): 1431-1441.
- [12] 潘维涛, 田大伦, 李利村, 高正衡. 杉木人工林养分循环的研究(一) 不同生育阶段杉木林的产量结构和养分动态. *中南林学院学报*, 1981, 1(1): 1-21.
- [13] 冯宗炜, 陈楚莹, 王开平, 张家武, 曾士余, 赵吉录, 邓仕坚. 亚热带杉木纯林生态系统中营养元素的积累、分配和循环的研究. *植物生态学与地植物学丛刊*, 1985, 9(4): 245-255.
- [14] 方奇. 加强土壤和地被物管理对杉木生态系统生物量能量利用与养分循环的影响. *林业科学*, 1990, 26(3): 201-208.
- [15] 姚茂和, 盛炜彤, 熊有强. 林下植被对杉木林地力影响的研究. *林业科学研究*, 1991, 4(3): 246-252.
- [16] 张先仪, 邓宗付, 李旭明. 间伐杉木林下植被演替和水土保持影响的研究. 北京: 中国科学技术出版社, 1992: 168-180.
- [17] 盛炜彤, 杨承栋. 关于杉木林下植被对改良土壤性质效用的研究. *生态学报*, 1997, 17(4): 377-385.
- [18] 盛炜彤. 关于提高杉木人工林生产力的几个问题. *浙江林业科技*, 1986, 6(1): 9-15.
- [19] 杨承栋, 焦如珍, 屠星南, 陈仲庐, 熊有强. 发育林下植被是恢复杉木人工林地力的重要途径. *林业科学*, 1995, 31(3): 275-283.
- [20] 林开敏, 黄宝龙. 杉木人工林林下植物物种 β 多样性的研究. *生物多样性*, 2001, 9(2): 157-161.
- [21] 涂育和. 杉木不同经营密度的林下植被变化. *西北林学院学报*, 2005, 20(4): 52-55.
- [22] 姚茂和, 盛炜彤, 熊有强. 杉木林林下植被及其生物量的研究. *林业科学*, 1991, 27(6): 644-648.
- [23] 熊有强, 盛炜彤, 曾满生. 不同间伐强度杉木林下植被发育及生物量研究. *林业科学研究*, 1995, 8(4): 408-412.
- [24] 林开敏, 洪伟, 俞新妥, 黄宝龙. 杉木人工林林下植物生物量的动态特征和预测模型. *林业科学*, 2001, 37(专刊): 99-105.
- [25] 范少辉, 马祥庆, 傅瑞树, 刘爱琴. 不同栽植代数杉木林林下植被发育的比较研究. *林业科学研究*, 2002, 15(2): 169-174.
- [26] 田大伦, 康文星, 文仕知. 杉木林生态系统学. 北京: 科学出版社, 2003.
- [27] 田大伦. 杉木林生态系统功能过程. 北京: 科学出版社, 2005.
- [28] 田大伦. 杉木林生态系统定位研究方法. 北京: 科学出版社, 2004.
- [29] 方海波, 田大伦, 康文星. 杉木人工林间伐后林下植被生物量的研究. *中南林学院学报*, 1998, 18(1): 5-9.
- [30] 方海波, 田大伦, 康文星. 杉木人工林间伐后林下植被养分动态的研究. *中南林学院学报*, 1998, 18(2): 1-5.
- [31] 闫文德, 田大伦, 焦秀梅. 会同第二代杉木人工林林下植被生物量分布及动态. *林业科学研究*, 2003, 16(3): 323-327.
- [32] 刘焯章, 田大伦, 文仕知, 周志华. 第二代杉木人工林林下地被物生物量和养分积累的定位研究 I. 林下地被物生物量动态. *林业科学*, 1997, 33(专刊2): 19-25.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 31, No. 10 May, 2011 (Semimonthly)

CONTENTS

Circadian activity pattern of giant pandas during the bamboo growing season	ZHANG Jindong, Vanessa HULL, HUANG Jinyan, et al (2655)
The vivipary characteristic of <i>Anabasis elatior</i> and its ecological adaptation	HAN Jianxin, WEI Yan, YAN Cheng, et al (2662)
Relationships between plant community characteristics and environmental factors in the typical profiles from Dzungaria Basin	ZHAO Congju, KANG Muyi, LEI Jiaqiang (2669)
The relationship between pollen assemblage in topsoil and vegetation in karst mountain during different restoration period of typical vegetation community	HAO Xiudong, OUYANG Xuhong, XIE Shiyong, et al (2678)
Early responses of soil CO ₂ emission to simulating atmospheric nitrogen deposition in an alpine meadow on the Qinghai Tibetan Plateau	ZHU Tianhong, CHENG Shulan, FANG Huajun, et al (2687)
Spatial pattern of soil moisture and vegetation attributes along the critical area of desertification in Southern Mu Us Sandy Land	QIU Kaiyang, XIE Yingzhong, XU Dongmei, et al (2697)
Dynamics of dominant tree seedlings in montane evergreen broadleaved forest following a snow disaster in North Guangdong	OU Yudian, SU Zhiyao, XIE Dandan, et al (2708)
A comparative analysis of the hydrological effects of the four cypress stand types in Sichuan Basin	GONG Gutang, CHEN Junhua, LI Yanqiong, et al (2716)
Effect of cutting management on soil moisture in semi-arid Loess Hilly region	LI Yaolin, GUO Zhongsheng (2727)
Dynamics of understory vegetation biomass in successive rotations of Chinese fir (<i>Cunninghamia lanceolata</i>) plantations	YANG Chao, TIAN Dalun, HU Yueli, et al (2737)
Spatial and temporal variation of solar radiation in recent 48 years in North China	YANG Jianying, LIU Qin, YAN Changrong, et al (2748)
Impact of stand features of short-rotation poplar plantations on canker disease incidence at a mesoscale landscape: a case study in Qingfeng County, Henan Province, China	WANG Jing, CUI Lingjun, LIANG Jun, et al (2757)
Effects of different soil tillage systems on weed biodiversity and wheat yield in winter wheat (<i>Triticum aestivum</i> L.) field	TIAN Xinxin, BO Cunyao, LI Li, et al (2768)
Habitat suitability evaluation of Elliot's pheasant (<i>Syrnaticus ellioti</i>) in Guanshan Nature Reserve	CHEN Junhao, HUANG Xiaofeng, LU Changhu, et al (2776)
Relationships between arthropod community characteristic and meteorological factors in <i>Zanthoxylum bungeanum</i> gardens	GAO Xin, ZHANG Xiaoming, YANG Jie, et al (2788)
The differences of ecosystem services between vegetation restoration models at desert front	ZHOU Zhiqiang, LI Ming, HOU Jianguo, et al (2797)
Response to salt stresses and assessment of salt tolerability of soybean varieties in emergence and seedling stages	ZHANG Haibo, CUI Jizhe, CAO Tiantian, et al (2805)
Dynamic change of salt contents in rhizosphere soil of salt-tolerant plants	DONG Liping, CAO Jing, LI Xianting, et al (2813)
Effect of short-term salt stress on the absorption of K ⁺ and accumulation of Na ⁺ , K ⁺ in seedlings of different wheat varieties	WANG Xiaodong, WANG Cheng, MA Zhihong, et al (2822)
Effects of the micro-environment inside fruit bags on the structure of fruit peel in 'Fuji' apple	HAO Yanyan, ZHAO Qifeng, LIU Qunlong, et al (2831)
Enhancement of soil quality in a rice-wheat rotation after long-term application of poultry litter and livestock manure	LI Jiangtao, ZHONG Xiaolan, ZHAO Qiguo (2837)
MSAP analysis of DNA methylation in <i>Arabidopsis</i> (<i>Arabidopsis thaliana</i>) under Oxytetracycline Stress	DU Yaqiong, WANG Zicheng, LI Xia (2846)
Distribution of dinoflagellate cysts in surface sediments from Changshan Archipelago in the North Yellow Sea	SHAO Kuishuang, GONG Ning, YANG Qing, et al (2854)
Developing and optimizing ecological networks in urban agglomeration of Hunan Province, China	YIN Haiwei, KONG Fanhua, QI Yi, et al (2863)
Dynamic simulation of Shanghai urban expansion based on multi-agent system and cellular automata models	QUAN Quan, TIAN Guangjin, SHA Moquan (2875)
"Micro-canyon effect" of city road green belt and its effect on the pollutant concentration above roads for non-motorized vehicles	LI Ping, WANG Song, WANG Yaying, et al (2888)
Review and Monograph	
The abundance and diversity of nanoplankton in Arctic Ocean	GUO Chaoying, WANG Guizhong, ZHANG Fang, et al (2897)
Advances in plant seed-associated microbial ecology	ZOU Yuanyuan, LIU Yang, WANG Jianhua, et al (2906)
Improving validity and reliability of contingent valuation method through reducing biases and errors: theory, method and application	CAI Zhijian, DU Liyong, JIANG Zhan (2915)
Discussion	
The analysis of Chinese ecological academic journals	LIU Tianxing, KONG Hongmei, DUAN Jing (2924)
Scientific Note	
Seasonal variations in salt tolerance of <i>Oligostachyum lubricum</i>	GU Daxing, GUO Ziwu, LI Yingchun, et al (2932)
Variation of a spring bacterial community from Wuqia Sinter in Xinjiang during the pre- and post-earthquake period	YANG Hongmei, OTKUR Mahmut, ZENG Jun, et al (2940)
Comparison of the effect of two prey species on the population growth of <i>Orius similis</i> Zheng and the implications for the control of <i>Tetranychus urticae</i> Koch	HUANG Zengyu, HUANG Linmao, HUANG Shoushan (2947)

2009 年度生物学科总被引频次和影响因子前 10 名期刊★

(源于 2010 年版 CSTPCD 数据库)

排序 Order	期刊 Journal	总被引频次 Total citation	排序 Order	期刊 Journal	影响因子 Impact factor
1	生态学报	11764	1	生态学报	1.812
2	应用生态学报	9430	2	植物生态学报	1.771
3	植物生态学报	4384	3	应用生态学报	1.733
4	西北植物学报	4177	4	生物多样性	1.553
5	生态学杂志	4048	5	生态学杂志	1.396
6	植物生理学通讯	3362	6	西北植物学报	0.986
7	JOURNAL OF INTEGRATIVE PLANT BIOLOGY	3327	7	兽类学报	0.894
8	MOLECULAR PLANT	1788	8	CELL RESEARCH	0.873
9	水生生物学报	1773	9	植物学报	0.841
10	遗传学报	1667	10	植物研究	0.809

★《生态学报》2009 年在核心版的 1964 种科技期刊排序中总被引频次 11764 次,全国排名第 1;影响因子 1.812,全国排名第 14;第 1—9 届连续 9 年入围中国百种杰出学术期刊;中国精品科技期刊

编辑部主任 孔红梅

执行编辑 刘天星 段 靖

生 态 学 报
(SHENGTAI XUEBAO)
(半月刊 1981 年 3 月创刊)
第 31 卷 第 10 期 (2011 年 5 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 31 No. 10 2011

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel:(010)62941099 www.ecologica.cn Shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	冯宗炜	Editor-in-chief	FENG Zong-Wei
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717	Published by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net	Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044	Foreign	China International Book Trading Corporation Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号		



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 70.00 元