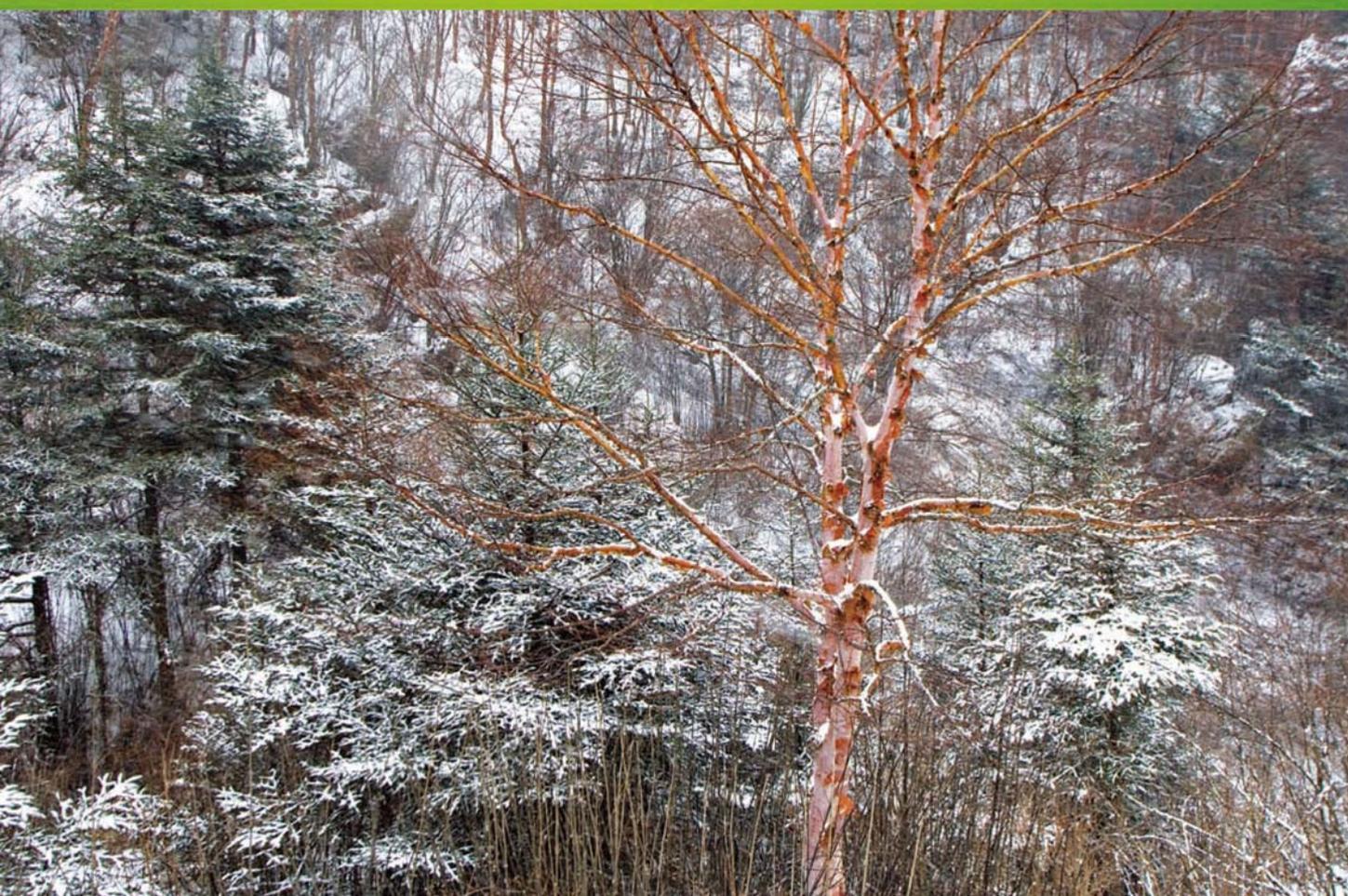


ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

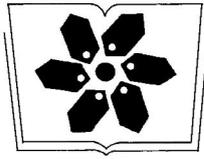
Acta Ecologica Sinica



第34卷 第8期 Vol.34 No.8 2014

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 34 卷 第 8 期 2014 年 4 月 (半月刊)

目 次

前沿理论与学科综述

- 海洋浮游纤毛虫生长率研究进展..... 张武昌,李海波,丰美萍,等 (1897)
- 城市森林调控空气颗粒物功能研究进展..... 王晓磊,王 成 (1910)
- 雪地生活跳虫研究进展..... 张 兵,倪 珍,常 亮,等 (1922)

个体与基础生态

- 黄河三角洲贝壳堤岛叶底珠叶片光合作用对 CO₂ 浓度及土壤水分的响应.....
..... 张淑勇,夏江宝,张光灿,等 (1937)
- 米楮人促更新林与杉木人工林叶片及凋落物溶解性有机物的数量和光谱学特征.....
..... 康根丽,杨玉盛,司友涛,等 (1946)
- 利用不同方法测定红松人工林叶面积指数的季节动态..... 王宝琦,刘志理,戚玉娇,等 (1956)
- 环境变化对兴安落叶松氮磷化学计量特征的影响 平 川,王传宽,全先奎 (1965)
- 黄土塬区不同土地利用方式下深层土壤水分变化特征 程立平,刘文兆,李 志 (1975)
- 土壤水分胁迫对拉瑞尔小枝水分参数的影响..... 张香凝,孙向阳,王保平,等 (1984)
- 遮荫处理对臭柏幼苗光合特性的影响..... 赵 顺,黄秋娴,李玉灵,等 (1994)
- 漓江水陆交错带典型立地根系分布与土壤性质的关系..... 李青山,王冬梅,信忠保,等 (2003)
- 梭梭幼苗的存活与地上地下生长的关系..... 田 媛,塔西甫拉提·特依拜,李 彦,等 (2012)
- 模拟酸雨对西洋杜鹃生理生态特性的影响..... 陶巧静,付 涛,项锡娜,等 (2020)
- 岩溶洞穴微生物沉积碳酸钙——以贵州石将军洞为例..... 蒋建建,刘子琦,贺秋芳,等 (2028)
- 桂东北稻区第七代褐飞虱迁飞规律及虫源分析..... 齐会会,张云慧,蒋春先,等 (2039)

种群、群落和生态系统

- 鄱阳湖区灰鹤越冬种群数量与分布动态及其影响因素..... 单继红,马建章,李言阔,等 (2050)
- 雪被斑块对川西亚高山两个森林群落冬季土壤氮转化的影响..... 殷 睿,徐振锋,吴福忠,等 (2061)
- 小秦岭森林群落数量分类、排序及多样性垂直格局 陈 云,王海亮,韩军旺,等 (2068)
- 2012 年夏季挪威海和格陵兰海浮游植物群落结构的色素表征 王肖颖,张 芳,李娟英,等 (2076)
- 云南花椒园中昆虫群落特征的海拔间差异分析..... 高 鑫,张立敏,张晓明,等 (2085)
- 人工湿地处理造纸废水后细菌群落结构变化..... 郭建国,赵龙浩,徐 丹,等 (2095)
- 极端干旱区尾间湖生态需水估算——以东居延海为例 张 华,张 兰,赵传燕 (2102)

景观、区域和全球生态

- 秦岭重点保护植物丰富度空间格局与热点地区…………… 张殷波,郭柳琳,王伟,等 (2109)
- 太阳辐射对黄河小浪底人工混交林净生态系统碳交换的影响…………… 刘佳,同小娟,张劲松,等 (2118)
- 黄土丘陵区油松人工林生态系统碳密度及其分配…………… 杨玉姣,陈云明,曹扬 (2128)
- 湘潭锰矿废弃地不同林龄栎树人工林碳储量变化趋势…………… 田大伦,李雄华,罗赵慧,等 (2137)

资源与产业生态

- 湘南某矿区蔬菜中 Pb、Cd 污染状况及健康风险评估…………… 吴燕明,吕高明,周航,等 (2146)

城乡与社会生态

- 北京市主要建筑保温材料生命周期与环境经济效益评价…………… 朱连滨,孔祥荣,吴宪 (2155)
- 城市地表硬化对银杏生境及生理生态特征的影响…………… 宋英石,李锋,王效科,等 (2164)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 276 * zh * P * ¥90.00 * 1510 * 29 * 2014-04



封面图说: 冷杉红桦混交林雪——冷杉是松科的一属,中国是冷杉属植物最多的国家,约 22 种 3 个变种。冷杉常常在高纬度地区至低纬度的亚高山至高山地带的阴坡、半阴坡及谷地形成纯林,或与性喜冷湿的云杉、落叶松、铁杉和某些松树及阔叶树组成针叶混交林或针阔混交林。冷杉具有较强的耐阴性,适应温凉和寒冷的气候,土壤以山地棕壤、暗棕壤为主。川西、滇北山区的冷杉林往往呈混交状态,冷杉红桦混交林为其中重要的类型。雪被对冷杉林型冬季土壤氮转化影响的研究对揭示高山森林对气候变化的响应及其适应机制提供重要的理论支持。

彩图及图说提供: 陈建伟教授 北京林业大学 E-mail: cites.chenjw@163.com

DOI: 10.5846/stxb201308022009

田大伦, 李雄华, 罗赵慧, 闫文德. 湘潭锰矿废弃地不同林龄栎树人工林碳储量变化趋势. 生态学报, 2014, 34(8): 2137-2145.

Tian D L, Li X H, Luo Z H, Yan W D. Dynamics of carbon storage at different aged *Koelreuteria paniclata* tree in Xiangtan Mn mining wasteland. Acta Ecologica Sinica, 2014, 34(8): 2137-2145.

湘潭锰矿废弃地不同林龄栎树人工林碳储量变化趋势

田大伦^{1,2,3,*}, 李雄华^{1,2}, 罗赵慧^{1,2}, 闫文德^{1,2,3}

(1. 中南林业科技大学, 长沙 410004; 2. 南方林业生态应用技术国家工程实验室, 长沙 410004;

3. 湖南会同杉木林生态系统国家野外科学观测研究站, 会同 418307)

摘要:对湘潭锰矿区废弃地植被恢复区的 3 年生、5 年生和 9 年生栎树林,进行了不同时间序列栎树林生物量和碳储量的时空变化研究。结果表明:随着林龄的增长,林木和各器官生物量增加,树干生物量所占比例逐渐增大,林下植被层生物量随林龄增长而增加,且以草本植被为主;不同林龄栎树人工林乔木层碳含量在 0.51—0.53gC/g 之间,并高于林下植被层碳含量;不同林龄林地土壤层碳含量变化范围为 0.01—0.03gC/g,同一林龄不同深度土层碳含量没有显著差异,相同深度不同林龄土层碳含量存在差异;3 年生、5 年生和 9 年生栎树碳储量分别为:1.66、18.32 和 49.87 t/hm²,随林龄增长而增加,其中树干碳储量贡献率最大,所占比例由 3 年生的 27.71%增长到 9 年生的 43.43%;不同林龄栎树林生态系统总碳储量分别为 77.76、101.63 和 149.86 t/hm²,其中土壤层碳储量变化范围为 76.09—99.93 t/hm²,占总储量的 66.68%—97.85%,死地被物层碳储量为 0.01—0.04 t/hm²,占总储量 0.001%—0.02%,植被层碳储量为 1.67—49.89 t/hm²,占总碳储量的 2.15%—33.29%,植被层中乔木层为 1.66—49.87 t/hm²,占植被层碳储量的 99%以上。各林龄栎树林生态系统碳储量空间分布序列为土壤层>植被层>死地被物层。研究结果可为我国矿区植被恢复地的森林资源和碳汇管理提供科学依据。

关键词:栎树;人工林;林龄;生物量;碳储量;湘潭

Dynamics of carbon storage at different aged *Koelreuteria paniclata* tree in Xiangtan Mn mining wasteland

TIAN Dalun^{1,2,3,*}, Li Xionghua^{1,2}, LUO Zhaohui^{1,2}, YAN Wende^{1,2,3}

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

2 National Engineering Lab for Applied Technology of Forestry & Ecology in South China, Changsha 410004, China

3 National Key Station for Field Scientific observation & Experiment, Huitong 418307, China

Abstract: Over the past decade, *Koelreuteria paniclata* was introduced in manganese mine wastelands in central southern China as a suitable plant species in order to remove metals from the contaminated soils. In this study, we examined changes in biomass and carbon storage in 3 *K. paniclata* plantations at 3-, 5- and 9-year old stands in a Mn mining wasteland. We measured biomass and carbon concentrations in various plant organs and soil depths and estimated total carbon storage in the forests to gain an understanding of the dynamics of biomass and carbon in the plantation ecosystems since phytoremediation.

The result showed that: (1) The different tree organs biomass, total tree biomass increased with aged stands, and the proportion of stem biomass in the total tree biomass increased with increasing of stand ages. The biomass in undertorey layer increased with aging stands with dominant component of herbaceous vegetation; (2) The carbon content ranged from 0.51 gC/g to 0.53 gC/g, in overstorey layer and was higher than that in understorey layer. The carbon content in soil layer ranged

基金项目:国家林业公益性行业科研专项(201104009);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:2013-08-02; 修订日期:2013-12-06

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

from 0.01 gC/g to 0.03gC/g, and significant differences of carbon content were found at the same soil depth in different aged stands; (3) The biomass carbon storage was 1.66、18.32 and 49.87 t/hm² in 3-, 5- and 9-year old plantations, respectively. The stem was a dominant component of the tree biomass carbon storage, which accounted for the larger part of the total biomass carbon storage, from 27.71% at 3-year old stands to 43.43% at 9-year old stands; (4) The total carbon storage was 77.76、101.63 and 149.86 t/hm² in 3-, 5- and 9-year old *K. paniclata* plantation ecosystems respectively. The carbon storage in soils ranged from 76.09 t/hm² to 99.93 t/hm², which accounted for 66.68%—97.85% of the total carbon in the ecosystems. The carbon storage in litter layer ranged from 0.01 to 0.04 t/hm², which accounted for 0.001%—0.02% of the total carbon storage in the plantation ecosystems. (5) The carbon storage in vegetation layer ranged from 1.67 to 49.89 t/hm² in the aging stands, accounting for 2.15% to 33.29% of the total carbon storage in these forested ecosystems. The carbon storage in different components of the aged *K. paniclata* plantation ecosystems was in order as soil layer > vegetation layer > litter layer. Our results may provide scientific references for sustainable forest resources management and carbon sink forest development in vegetation restoration of mining wastelands.

Key Words: *Koelreuteria paniclata*; plantation; stand age; biomass; carbon storage; Xiangtan

工业革命后,大气中 CO₂ 浓度急剧上升,其浓度以 1.9 mL m⁻³ a⁻¹ 的线性速率增加^[1],温室效应日益明显,这些变化直接影响人类生存环境、人类身体健康以及全球的可持续发展。森林中的绿色植物可通过光合作用固定大气中的 CO₂,因此,森林作为陆地生态系统的主体,在调节全球碳平衡、维持全球气候和维护区域生态环境方面具有不可替代的作用^[2-3]。森林生态系统碳储量是研究森林生态系统与大气之间碳交换的基本参数^[4-5],也是估算森林生态系统向大气吸收和排放含碳气体的关键因子^[6]。

近年来,国内外有关不同森林类型的生物量和碳储量研究取得了重大进展^[7-9],但大多限于某一林龄下的生物量和碳储量的研究,对基于不同时间序列上生物量和碳储量变化研究的不多^[10-12],而对矿区废弃地不同林龄人工林生物量和碳储量的研究就更为少见。由于矿区废弃地土壤结构性差,养分含量低,重金属含量高,植被稀少,不仅导致大量土地资源的浪费和闲置,也造成了严重的水土流失和土壤碳储量的减少。目前,我国矿区废弃地面积已达 40000 km²,而且正在以每年 330km² 的速度增长^[13],这部分土地拥有较大的碳储存潜力和空间。因此,对矿区废弃地进行植被恢复,不仅可以改善矿区生态环境,防止水土流失,而且对储存和固定大量的碳,减缓碳排放,缓解温室效应具有重要意义。

栎树 (*Koelreuteria paniclata*) 为无患子科栎树属落叶乔木,根系深长,萌蘖性强,具有较强的抗污染和适应性等特点^[14]。因此,通过栎树对湖南湘潭锰

矿区废弃地进行植被恢复,并以该区 3、5、9 年生的栎树林为研究对象,研究其生物量和碳储量功能,不仅可以较大限度的缓解矿区土壤碳流失,增加矿区人工林碳汇功能,而且可以揭示栎树在生长过程中生物量和碳储量的积累特点和变化趋势,为我国森林资源尤其是矿区植被恢复地森林资源的经营管理和可持续发展提供科学依据,还可为应对未来气候变化响应和我国碳汇管理及气候变化外交谈判提供参考数据。

1 研究地概况

湘潭锰矿矿渣废弃地矿区位于湖南省湘潭市北部约 14km 处,年均气温 17.4℃;年均降水量 1431.4mm。区域内由矿石废弃物、矿渣和选矿后的尾矿泥、城市生活生产垃圾等形成的一种特殊的退化生态系统,主要是草本植物种类,如艾蒿 (*Artemisia argyi*)、灯心草 (*Juncus effusus*)、五节芒 (*Miscanthus floridulus*)、一年蓬 (*Erigeron annuus*) 等。

分别于 2004 年、2008 年和 2010 年在矿区的矿渣废弃地采用 2 年生栎树 (*K. paniclata*) (苗高约 1.3 m,地径约 1.5 cm) 实生苗,挖穴 (0.5m × 0.5m × 0.5m),客土 1.0kg,苗木根系蘸黄土浆进行人工造林恢复,株行距为 1.0 m × 1.3 m,各林龄造林面积均为 500 亩,且造林后均请专业人员进行专门看护和日常管理。2011 年 10 月在造林地设置标准地测定林木胸径和树高,并计算林分的平均胸径、平均树高、单株生物量、林分生物量和林分生产力 (表 1)。

表 1 不同林龄栎树人工林林分特征

Table 1 Characteristics of different aged *K. paniclata* tree

林龄 Age /a	林分密度 Density /(株/hm ²)	平均胸径 Average DBH/cm	平均树高 Average height/m	单株生物量 Biomass of individual plant/kg	林分生物量 Stand biomass /(t/hm ²)	林分生产力 Stand productivity /(t hm ⁻² a ⁻¹)
3	2250	1.51(0.94)	1.73(1.02)	1.40(0.27)	3.16	1.05
5	2566	6.12(1.13)	5.81(0.51)	13.30(4.93)	34.12	6.22
9	3100	25.05(2.97)	8.38(0.65)	32.92(8.00)	102.06	13.34

括号内数据为标准误

2 生物量测定及样品采集

2.1 林分生物量测定及乔木样品采集

在各林龄研究区林分内,设置固定标准地 2 块,样地面积均为 600 m²。样地内林木按克拉夫特分级法进行每木调查,求算林分平均测树因子。然后依据林木各生长级的 I 至 V 级和平均木的测树因子各选择其标准木 1 株,共 6 株,在现场将标准木从树干基部伐倒,用分层切割法,按 1m 区分段,测定标准木枝、叶、干(包括树皮)和根的鲜重,根系采取全挖法,分层分级(根头、大根($d > 0.5\text{cm}$)、粗根($0.2 < d < 0.5\text{cm}$)、细根($d < 0.2\text{cm}$))测定鲜重。然后按各器官分别采取小样本 1.0kg,置于 80 °C 烘箱中烘至恒重,求出各器官的干重^[15]。

2.2 林分枯枝落叶层现存量测定

在各样地内随机设置 4 个 1m×1m 的小样方,样方内凋落物按未分解、半分解和已分解 3 个层次采用全收获法测定其鲜重,再抽取亚样本 1.0 kg 带回实验室,置于 80 °C 烘箱中烘至恒重,最后用中药粉碎机将其粉碎,供后续化学分析使用。

2.3 土壤样品采集

在植被恢复地和距样地 400m 外空旷对照地各设置 4 个样地,每个样地按“品”字形设置 3 个采样点,每个采样点按 0—15、15—30、30—45cm 层次,分别取土样 1kg,共采土样 144 个。去除石砾与杂物,风干后过 20 目和 100 目筛,备用。在取样地采取环刀法,取各点各层土样,用于测定土壤容重。

3 样品测定

所有样品均采用重铬酸钾-水合加热法测定有机碳含量^[16],每个样品重复 3 次。其中,因没有预先通过 HCl 去除土壤中的无机碳,因此本文中土壤有机碳含量可能还包括了土壤无机碳含量。

4 数据处理

数据用 Excel2003 和 SPSS13.0 软件处理;显著性分析采用 SPSS13.0 软件包进行。

林木单株生物量由 12 株标准木的平均值求得;林分生物量由林木单株生物量乘以林分株数求得;林分生产力采用年平均生长量估算。

植物体碳储量(t/hm²)=植物体生物量(t/hm²)×植物体含碳率(%),土壤有机碳储量(t/hm²)=土壤有机碳含量(g/kg)×土壤容重(g/cm³)×土层深度(cm)/10。

5 结果与分析

5.1 生物量及其分配

5.1.1 乔木层生物量及其分配

林木生物量是通过光合作用固定太阳能的结果,是不断积累有机质的过程。由表 2 可知,3、5、9 年生栎树林生物量分别为 3.16、34.11 和 102.06 t/hm²,且林分生物量随林龄的增加而增加($P < 0.05$),9 年生栎树林生物量是 5 年生的 2.99 倍,是 3 年生的 32.30 倍。3 年生栎树林各器官生物量中,干与枝间生物量差异不显著($P > 0.05$),但显著大于其他器官($P < 0.05$);5 年生和 9 年生栎树林干生物量均最大,且显著大于其他器官($P < 0.05$)。各林龄生物量均以地上部分占优势,且随着林龄增加,地上部分生物量占总生物量的比重呈增加趋势,分别由 3 年生的 65.82%增加到 5 年生的 76.72%再到 9 年生的 82.93%。

不同林龄林分中,各器官生物量大小依次排序为:3 年生为干>枝>根头>大根>叶>粗根>皮>细根;5 年生和 9 年生为干>枝>根头>叶>皮>大根>粗根>细根。

表 2 不同林龄栎树林各器官生物量及分配比例

Table 2 Stand biomass and its distribution ratio indifferent aged *K. paniclata* tree organs

	林龄 Age /a	干 Stem	枝 Branch	叶 Leaf	皮 Bark	细根 Fine root	粗根 Coarse root	大根 Large root	根头 Stark	合计 Total
林分生物量 Stand biomass(t/hm ²)	3	0.86a (0.30)	0.68ab (0.13)	0.38b (0.09)	0.16bc (0.04)	0.12bc (0.02)	0.19bc (0.21)	0.38b (0.07)	0.39b (0.09)	3.16A (0.60)
	5	14.15a (2.12)	6.05b (2.04)	3.02bc (0.84)	2.95bc (0.52)	0.16c (0.06)	0.24c (0.09)	1.90c (0.29)	5.66b (1.58)	34.11B (5.66)
	9	40.75a (10.85)	22.36b (8.92)	7.94bc (11.87)	7.18bc (1.41)	0.44c (0.22)	0.66c (0.28)	5.29c (1.52)	11.04bc (2.68)	102.06C (24.80)
分配比例 Ratio/%	3	27.23	21.64	11.87	4.98	3.95	5.92	12.06	12.35	100.00
	5	41.48	17.72	8.85	8.64	0.46	0.70	5.56	16.58	100.00
	9	33.93	21.91	14.06	7.04	0.43	0.65	5.18	10.81	100.00

括号内数据为标准误;同行不同小写字母表示差异显著($P<0.05$);同列相同大写字母表示差异不显著($P>0.05$)

5.1.2 植被层和死地被物层生物量

由表 3 可以看出,不同林龄栎树林生态系统中植被层均以乔木层生物量占绝对优势,其生物量为 3.16—102.06 t/hm²,占植被层总生物量 99.10% 以上,而草本层和灌木层生物量仅占 0.01%—0.06%。从表 3 还可以看出,林下植被以草本植物为主,林分 5 年生时,林地才开始出现灌木,虽然灌木层生物量

随林龄增加而增加,但其生物量以及在林分内所占比重仍低于草本层;而且 5 年生林地才具有死地被物层,死地被物层生物量随林龄增长而增加,生物量由 5 年生林地的 0.02 t/hm² 增长到 9 年生林地的 0.16 t/hm²,说明植被恢复 5a 后,林地开始出现了养分归还,且随着林龄的增长,归还量也在逐渐增加。

表 3 栎树人工林植被层和死地被物层生物量及分配

Table 3 Biomass and its distribution ratio in vegetation layer (t/hm²)

层次 Layer		3 年生 three years	5 年生 five years	9 年生 nine years
乔木层 Arbores layer		3.16(99.37)	34.11(99.93)	102.06(99.96)
灌木层 Shrub layer		—	0.004(0.01)	0.01(0.01)
草本层 Herb layer		0.02(0.63)	0.02(0.06)	0.03(0.03)
死地被物层 Litter layer	未分解 Un-decomposed	—	0.003	0.02
	半分解 Semi-decomposed	—	0.008	0.06
	已分解 Decomposed	—	0.005	0.08
	小计 Sum	—	0.02	0.16
合计 Total		3.18	34.15	102.26

括号内数据为百分数

5.2 植被层和死地被物层碳素含量

3.2.1 乔木层碳含量

对 3 年生、5 年生和 9 年生栎树不同器官碳含量的测定结果(表 4)表明,3 年生栎树各器官碳含量变化范围为 0.50—0.54 gC/g,5 年生为 0.52—0.55 gC/g,9 年生的为 0.48—0.56 gC/g。3 年生和 5 年生栎树碳含量以树干最高,9 年生以树枝最高,各林龄碳含量高低排列顺序分别为:3 年生为干>大根>枝>粗根>叶>细根>根头>皮,5 年生为干>大根>叶>枝>细根>根头>粗根>皮,9 年生为枝>根头>大根>干>叶>粗根>细根>皮,各林龄器官碳素含量虽存在差异,但

差异不显著($P>0.05$)。从各林龄碳素平均含量来看,随着林龄的增长,林木碳含量有小幅增长,但差异不显著($P>0.05$)。

5.2.2 林下植被层和死地被物层碳含量

林下植被层碳素含量测定结果见表 5。可以看出,5 年生灌木层碳素含量为 0.47 gC/g,略高于 9 年生灌木层碳素含量;各林龄草本层碳素含量在 0.41—0.49 gC/g 之间,5 年生草本层碳素含量低于灌木层,而 9 年生则相反;死地被物层碳素含量中,5 年生林地上未分解层碳素含量高于半分解和已分解层,而 9 年生林中,则是已分解层碳素含量略高于未

分解层和半分解层。

表 4 不同林龄栎树各器官碳素含量

Table 4 Carbon contents of different organs in different aged *K. paniclata* trees (gC/g)

林龄 Age/a	干 Stem	枝 Branch	叶 Leaf	皮 Bark	细根 Fine root	粗根 Coarse root	大根 Large root	根头 Stark	平均 Average
3	0.54 (0.01)	0.53 (0.02)	0.51 (0.02)	0.50 (0.01)	0.50 (0.02)	0.51 (0.01)	0.53 (0.01)	0.50 (0.02)	0.51 (0.02)
5	0.55 (0.02)	0.53 (0.01)	0.53 (0.01)	0.52 (0.02)	0.53 (0.01)	0.52 (0.01)	0.54 (0.01)	0.53 (0.01)	0.53 (0.04)
9	0.54 (0.02)	0.56 (0.01)	0.53 (0.01)	0.48 (0.02)	0.51 (0.02)	0.53 (0.01)	0.54 (0.01)	0.55 (0.01)	0.53 (0.05)

括号内数据为标准误

表 5 不同林龄栎树林下植被层和死地被物层碳含量

Table 5 Carbon content of underscore and litter layer in different aged *K. paniclata* trees (gC/g)

林龄 Age/a	灌木层 Shrub layer	草本层 Herb layer	死地被物层 Litter layer			均值 Average
			未分解 Unrecompensed	半分解 Semi-decomposed	已分解 Decomposed	
3	—	0.49(0.03)	—	—	—	0.49(0.03)
5	0.47(0.01)	0.41(0.02)	0.49(0.02)	0.43(0.07)	0.23(0.07)	0.40(0.05)
9	0.46(0.05)	0.49(0.04)	0.53(0.03)	0.52(0.02)	0.57(0.03)	0.51(0.02)

括号内数据位标准误

5.3 土壤层碳含量

由表 6 可以看出,未经植被恢复的对照地土壤层有机碳含量在 9.83—10.62gC/kg 之间,在植被恢复地中,不同林龄土壤层有机碳含量为 13.36—26.96gC/kg 之间,高于对照地土壤层有机碳含量。

各林龄不同深度土壤碳含量差异不显著 ($P>0.05$),不同林龄相同深度土壤碳含量存在差异 ($P<0.05$),且不同林龄土壤碳平均含量随着林龄的增加而增加,9 年生林地土壤碳含量显著高于对照地、3 年生和 5 年生林地 ($P<0.05$)。

表 6 不同林龄土壤碳含量

Table 6 Soil carbon content in different aged stand forest (gC/kg)

林龄 Age/a	0—15cm	15—30cm	30—45cm	均值 Average
对照	10.62aA±1.10(1.31)	9.83aA±0.49(1.31)	10.37aA±0.89(1.31)	10.27A±0.24(1.31)
3	13.35bA±1.07(1.29)	11.74bA±4.56(1.30)	14.99bA±5.96(1.28)	13.36A±0.94(1.29)
5	14.08cA±1.63(1.26)	15.84cAB±3.72(1.24)	14.41cA±2.96(1.25)	14.78A±0.01(1.25)
9	24.56dB±4.66(0.81)	27.18dC±3.60(0.82)	29.14dB±3.40(0.83)	26.96B±1.33(0.82)

数值为平均值±标准误;括号内数据为土壤容重;同行相同小写字母表示差异不显著 ($P>0.05$);同列不同大写字母表示差异显著 ($P<0.05$)

5.4 栎树人工林生态系统碳储量及空间分布

5.4.1 栎树林各器官碳储量

林木各器官碳储量是各器官碳素含量和生物量共同作用的结果,因此,各器官碳储量和生物量紧密相关。从表 7 可以看出,3 年生、5 年生和 9 年生栎树碳储量分别为 1.66、18.32 和 49.87 t/hm²,并随着林龄的增长而增加 ($P<0.05$)。各林龄树干碳储量最高且显著高于其他器官碳储量 ($P<0.05$),树干碳储量占整个乔木层碳储量的比例随着林龄的增长而增加,由 3 年生的 27.71% 增加到 9 年生的 43.43%,这

是与树干生物量增加而紧密相关的。

方差分析结果表明,3 年生栎树树干和树枝的碳储量没有显著差异,但树干碳储量却高于其他器官,各器官碳储量按高低依次排序为干>枝>根头>大根>叶>粗根>皮>细根;5 年生栎树枝、叶、皮、根头碳储量差异不显著,但与细根、粗根、大根差异显著,各器官碳储量依次排序为干>根头>枝>叶>皮>大根>粗根>细根;9 年生栎树枝和根头碳储量差异不显著,但与其他器官均存在差异显著,各器官碳储量依次排序为干>枝>根头>皮>大根>叶>粗根>细根,可见,

栎树碳储量主要集中在干中,其次为枝中。

表 7 不同林龄栎树各器官碳贮量

Table 7 Carbon storage in different organs of different aged *K. paniclata* trees (t/hm²)

林龄 Age/a	干 Stem	枝 Branch	叶 Leaf	皮 Bark	细根 Fine root	粗根 Coarse root	大根 Large root	根头 Stark	合计 Total
3	0.46a (0.16)	0.36ab (0.10)	0.19b (0.05)	0.08bc (0.02)	0.06bc (0.01)	0.10bc (0.02)	0.20b (0.04)	0.20b (0.05)	1.66A (0.35)
5	7.70a (1.29)	3.30b (1.08)	1.58bc (0.42)	1.40bc (0.23)	0.08c (0.03)	0.13c (0.05)	1.03c (0.16)	3.08b (0.84)	18.32B (3.11)
9	21.66a (5.51)	12.83b (5.23)	2.45c (0.93)	3.43c (0.66)	0.24c (0.12)	0.36c (0.16)	2.84c (0.80)	6.06bc (1.47)	49.87C (14.20)

括号内数据位标准误;同行不同小写字母表示差异显著(P<0.05);同列相同大写字母表示差异不显著(P>0.05)

5.4.2 栎树林生态系统碳储量及空间分布

栎树人工林生态系统中碳库主要为 3 个部分: 植被层、死地被物层和土壤层。3 个林龄的栎树人工林总碳储量分别为 77.76、101.63 t/hm² 和 149.86 t/hm² (表 8), 其中林地土壤层碳储量分别为 76.09 t/hm²、83.29 t/hm² 和 99.93 t/hm², 占总储量的 66.68%—97.85%, 因而林地土壤层对总碳储量的贡献最大, 作为碳的重要存储库, 在平衡大气中 CO₂ 方面起着重要的作用; 植被层碳储量为 1.67—49.89 t/hm², 占总碳储量的 2.15%—33.29%, 在植被层中

乔木层为 1.66—49.87 t/hm², 占植被层碳储量的 99% 以上, 可见乔木层是植被层主要碳库; 死地被物层碳储量为 0.01—0.04 t/hm², 占总储量的 0.001%—0.02%, 死地被物层总碳储量虽少, 在整个生态系统碳储量中所占比重较低, 但它是土壤有机碳的重要来源, 在土壤有机碳的积累过程和系统碳循环中起着重要作用。不同林龄栎树林生态系统碳储量的分布格局为: 土壤层>植被层>死地被物层 (图 1)。

表 8 不同林龄栎树林不同层次碳储量及空间分布

Table 8 Carbon storage and distribution in different layer of different aged *K. paniclata* trees (t/hm²)

林龄 Age /a	乔木层 Arborous layer	灌木层 Shrub layer	草本层 Herb layer	死地被物层 Litter layer				土壤层 Soil layer/cm				合计 Total
				未分解 Under- composed	半分解 Semi- decomposed	已分解 De- composed	小计 Sum	0—15	15—30	30—45	小计 Sum	
3	1.66a (0.35)	—	0.01b (0.00)	—	—	—	—	25.84 (0.19)	22.36 (0.82)	27.89 (1.02)	76.09c (1.61)	77.76A (27.99)
5	18.32a (3.11)	0.002b (0.00)	0.01b (0.00)	0.002 (0.00)	0.003 (0.001)	0.001 (0.00)	0.01b (0.00)	26.60 (0.29)	29.48 (0.66)	27.22 (0.53)	83.29c (0.88)	101.63B (7.86)
9	49.87a (13.44)	0.01b (0.00)	0.01b (0.00)	0.01 (0.00)	0.003 (0.00)	0.03 (0.00)	0.04b (0.01)	30.57 (0.74)	33.34 (0.56)	36.02 (0.52)	99.93c (2.18)	149.86C (5.97)

括号内数据为标准误;同行不同小写字母表示相同林龄不同层次碳贮量差异显著(P<0.05);同列相同大写字母表示不同林龄碳贮量差异不显著(P>0.05)

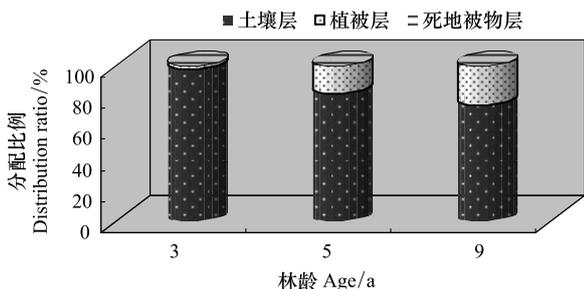


图 1 栎树林生态系统碳储量分配比例

Fig.1 Distribution ratio of carbon storage in different aged *K. paniclata* tree

6 结论与讨论

3 年生、5 年生和 9 年生栎树人工林生态系统乔木层生物量分别为 3.16、34.11 和 102.06 t/hm², 且随林龄的增加而不断积累, 9 年生栎树林分生物量是 5

年生的 2.99 倍,是 3 年生的 32.30 倍,占植被层总生物量的 99% 以上;林木树干生物量最高,占林木总生物量的 27%—41%。栎树人工林生物量的空间分布为:乔木层>草本层>死地被物层>灌木层。

不同林龄栎树人工林乔木层平均碳含量在 0.51—0.53 gC/g 之间,在世界范围森林乔木层含碳率范围内^[17],与长沙市区马尾松碳含量 0.51 gC/g^[18]相近;不同林龄栎树各器官碳含量变化范围为 0.48—0.56 gC/g,与广西 8 年生黑木相思人工林不同器官波动范围 0.47—0.51 gC/g^[19]较接近,但高于广西 10 年生巨尾桉人工林不同器官碳含量(0.44—0.48 gC/g)^[20],说明地域和林木类型的变化可能对林木各器官碳含量产生一定影响;不同林龄器官碳素含量平均值在 0.48—0.56 gC/g 之间,与 8 年生楠木人工林 0.48—0.49 gC/g^[11]近似;不同林龄乔木层各器官碳素含量均值均随着林龄的增长呈现出稍有增加的趋势,却与不同林龄华北落叶松各器官碳素变化部分相反^[21]。不同林龄灌木层碳素含量为 0.46—0.47 gC/g,草本层为 0.41—0.49 gC/g,死地被物层为 0.23—0.57 gC/g,栎树人工林林碳含量空间上表现出乔木层>林下植被层,这可能是由于栎树树冠较为开张,且随着林龄的增加,林分郁闭度也不断增加,从而影响到林分内的光热和水分等生态条件的空间分配,进而影响到林下灌木和草本植物的生长以及枯枝落叶的分解,最终形成上述栎树林碳的空间分配特征。

不同林龄土壤层有机碳平均含量为 13.36—26.96 gC/kg 之间,明显低于植被层和死地被物层。同一林龄不同深度土壤碳含量差异不显著($P > 0.05$);不同林龄相同深度土壤碳含量间存在差异($P < 0.05$)。田大伦等^[22]对 11 年生杉木林土壤碳的研究表明 0—45 cm 土壤碳含量随深度增加而表现出先增加后减少的趋势,齐光等^[23]对 10 年生兴安落叶松人工林 0—40 cm 土壤有机碳研究也有相同结果,本研究仅 5 年生土壤有机碳含量随深度变化与上述研究结果相一致。各林龄不同深度土壤碳含量变化的主要原因在于研究地为矿区废弃地,土壤中矿渣和生活垃圾堆积较多,土壤碳含量随深度变化趋势受人为因素干扰较大,所以不同深度土壤碳含量并没有表现出一致的规律性。各林龄土壤碳平均含量表现为 9 年生土壤碳平均含量与 3 年生和 5 年

生林土壤碳平均含量间存在差异,呈现出土壤碳平均含量随林龄变化而逐渐增加。Stevenson^[24-25]认为,土壤有机碳的积累在造林后前几年会逐渐增加,然后增加的速度逐渐减慢,并最终达到平衡,本研究结果的趋势与其基本相符。因此,对矿区废弃地的植被恢复,不仅可以改善矿区环境,有效地防止水土流失,而且可以保存矿区土壤碳量。

因林龄和器官不同,栎树各器官碳储量也存在差异,不同器官碳储量在 0.06—21.66 t/hm² 之间。不同林龄乔木层总碳储量变化范围为 1.66—49.87 t/hm²,低于热带、亚热带针叶林乔木层碳储量 63.70 t/hm²^[26]。随着林龄的增长栎树林乔木层碳储量显著增加($P < 0.05$),其中树干贡献率最大,占整个乔木层碳储量比例由 3 年生的 27.71% 增长到 9 年生的 43.43%。

土壤层碳储量变化范围为 76.09—99.93 t/hm² 之间,高于 10 年生巨尾桉人工林土壤平均碳储量(69.38 t/hm²)^[20],低于我国森林土壤平均碳储量 193.55 t/hm²^[27]。土壤碳库是陆地生态系统碳库的主体,在固定 CO₂, 减缓温室效应中发挥着重要作用。

在湘潭锰矿区矿业废弃地植被恢复的栎树人工林内,不同林龄的栎树林生态系统总碳储量分别为 77.76、101.63 和 149.86 t/hm²,均远低于我国森林生态系统的平均碳储量 258.83 t/hm²^[27],但 9 年生的栎树林总碳储量(149.86 t/hm²)却高于 10 年生巨尾桉人工林生态系统总碳储量(123.11 t/hm²)^[20]。

栎树具有耐贫瘠,适应性强等特点,在矿区合理经营和发展栎树人工林,对丰富矿区造林树种,改良矿区土壤,维护生态环境,增强人工林碳汇功能等具有重要的科学和实践意义。因此,建议栎树作为锰矿区植被恢复的优选树种并加以推广。由于人工林土壤有机碳含量受诸多因素影响^[28],除气候和土壤性质外,还受树种本身的影响。造林后土壤碳变化与树龄有关^[29],不同林龄(如幼龄林和成熟林)、林地植被凋落物、断根含量和根际微生物分解能力以及土壤微生物含量^[30-31]等因素差异等都会影响土壤有机碳含量。鉴于本研究对象尚处于幼龄林阶段,有关其生物量及碳汇功能变化趋势还需进行长期定位研究。

References:

- [1] Artuso F, Chamard P, Piacentino S, et al. Influence of transport and trends in a changing climate. *Atmospheric Environment*, 2009, 43(19):3044-3055
- [2] Li Y D, Wu Z M, Zeng Q B, Zhou G Y, Chen B F. Carbon pool and carbon dioxide dynamics of tropical mountain rain forest ecosystem at JianFengLing, Hainan island. *Acta Ecologica Sinica*, 1998, 18(4):371-378.
- [3] Liu G H, Fu B J, Fang J Y. Carbon dynamics of Chinese forests and its contribution to global carbon balance. *Acta Ecologica Sinica*, 2000, 20(5):733-740.
- [4] Dixon R K, Brown S, Houghton R A, et al. Carbon pools and flux of global forest ecosystem. *Science*, 1994, 264(14):185-190
- [5] Cao M, Woodward F I. Net primary and ecosystem production and carbon stocks of terrestrial ecosystem and their response to climate change. *Global Change Biology*, 1998, 4(2):185-198.
- [6] Wang X K, Feng Z W. Historical study of biomass and carbon storage in forest ecosystem//Wang R S. Hot spot in modern ecology. Beijing: China Science and Technology Press, 335-347.
- [7] Fang J Y, Chen A P. Estimation of China forest biomass: a number of state to the theory of Fang (science, 2001, 291:2320-2322) *Acta Phytocologica Sinica*, 2002, 26(2):243-249.
- [8] Ma Z Q, Liu Q J, Xu W J, Li X R, Liu Y C. Carbon Storage of Artificial Forest in Qianyanzhou, Jiangxi Province. *Scientia Silvae Sinicae*, 2007, 43(11):01-07.
- [9] Tian D L, Wang X K, Fang X, Yan W D, Ning X B, Wang G J. Carbon storage and special distribution in different vegetation restoration patterns in Karsts Area's Guizhou province. *Scientia Silvae Sinicae*, 2011, 47(9):7-14.
- [10] Ma W, Sun Y J, Guo X Y, Ju W Z, Mu J S. Carbon storage of *Larix olfensis* plantation at different stand ages. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(17):4659-4667.
- [11] Wei H D, Ma X Q. Study on the carbon storage and distribution of Phoebe bourmei plantation ecosystem of different growing stages, *Yantai Normal University Journal (Natural Science)* 2006, 22(2):130-133.
- [12] Wei H D, Ma X Q. A Study on the carbon storage and distribution in Chinese Fir plantation ecosystem of different growing stages in mid-subtropical zone. *Acta Agriculturae University Jiangxi*, 2006, 28(2):239-243.
- [13] Li Y G, Jiang G M. Ecological Restoration of Mining Wasteland in both China and Abroad an over review. *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(1):95-100.
- [14] Dou Q Q, Yuan H H, Wang B S, Xiao K S. Researches and development on *Koelreuteria paniculata*. *Journal of Jiangsu Forestry Science & Technology*, 1999, 26(2):52-54.
- [15] Tian D L, Shen Y, Kang W X, Xinag W H, Yan W D, Deng X W. Characteristics of nutrient cycling in first and second rotations of Chinese fir plantations. *Acta Ecologica Sinica*, 2011, 31(17):5025-5032.
- [16] Tian D L, Kang W X, Weng S Z. Ecosystem of Chinese fir. Beijing: Chinese Science and Technology Press, 2003:263-265.
- [17] Carvalho J A, Higuchi J, Araujo T M, et al. Combustion completes in a rainforest clearing experiment in Manus, Brazil. *Journal of Geophysical Research-Atmospheres*, 1998, 103:13195-13199.
- [18] Wu T, Peng C H, Tian D L, Yan W D. Spatial distribution of carbon storage in a 13-year-old *Pinus massoniana* forest ecosystem in Changsha City, China. *Acta Ecologica Sinica*, 2012, 32(13):4034-4042.
- [19] He B, Liu H Y, Yu, C H, Qin Z Y, Luo L J, Liu L. Vertical distribution of biomass and carbon storage in *Acacia melanoxylon* plantation ecosystem. *Journal of northeast forestry university*, 2012, 40(3):48-50, 71.
- [20] Zheng X, Liang H W, Wen Y G, Yang Y Q, Yang J J, Ma D. The carbon storage and distribution of ten years old in *Eucalyptus grandis* × *E. urophylla* plantation ecosystem in south China. The second China forestry's academic conference, 2009-11-07.
- [21] Zhang T T, Ma L Y, Jia Z K, Liu J, You W B. Biomass and carbon sequestration function of *Larix principis-rupprechtii* young and middle-aged plantations. *Journal of northeast forestry university*, 2012, 40(12):33-36.
- [22] Tian D L, Fang X, Xiang W H. Carbon density of the Chinese fir plantation ecosystem at Huitong, Hunan Province. *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(11):2382-2386.
- [23] Qi G, Wang Q L, Wang X C, Yu D P, Zhou L, Peng S L, Dai L M. Soil organic carbon storage in different aged *Larix gmelinii* plantations in Great Xing'an Mountains of Northeast China. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2013, 24(1):10-16.
- [24] Stevenson F J. soil humus chemistry. Xia R J, IN. Beijing: Press of Beijing Agriculture University, 1982.1-5.
- [25] Stevenson F J. Humus Chemistry: Genesis, Composition, Reaction. New York: John Wiley & Sons Ltd, 1994, 1-24.
- [26] Wang S Q, Zhou C H, Luo C W. Studying Carbon Storage Spatial Distribution of Terrestrial Natural Vegetation in China. *Progress in Geography*, 1999, 18(3):238-244.
- [27] Zhou Y R, Yu Z L, Zhao S D. Carbon storage and budget of major Chinese forest types, *Acta Phytocologica Sinica*, 2000, 24(5):518-522.
- [28] Paul K I, Polglase P J, Nyakuengama J G, Khanna P K. Change in soil carbon following afforestation. *Forest Ecology and Management*, 2002, 168:241-257.
- [29] Song C H, Woodcock C E. A regional forest ecosystem carbon budget model; impacts of forest age structure and landuse history. *Ecological Modelling*, 2003, 164:33-47.
- [30] Chen J N, Wang S L. Dynamic of soil carbon pool in *Cunninghamia lanceolata* plantation; recent advances and future

prospects. *Guangxi Forestry Science*, 2007, 36(3): 147-151.

- [31] Wu Z X, Xie G S, Tao Z L, Zhou Z D. characteristics of soil carbon in Rubber plantations at different ages. *Chinese Journal of Tropical Crops*, 2009, 30(2): 135-141.
- 参考文献:**
- [2] 李意德, 吴仲民, 曾庆波, 周光益, 陈步峰. 尖峰岭热带山地雨林生态系统碳平衡的初步研究. *生态学报*, 1998, 18(4): 371-378
- [3] 刘国华, 傅伯杰, 方精云. 中国森林碳动态及其对全球碳平衡的贡献. *生态学报*, 2000, 20(5): 733-740.
- [6] 王效科, 冯宗伟. 森林生态系统中生物量和碳贮量的研究历史//王如松. 现代生态学热点. 北京: 中国科学技术出版社, 335-347.
- [7] 方精云, 陈安平. 中国森林生物量的估算: 对 Fang 等 Science 一文(science, 2001, 291: 2320-2322)的若干说明. *植物生态学报*, 2002, 26(2): 243-249.
- [8] 马泽清, 刘琪璟, 徐雯佳, 李轩然, 刘迎春. 江西千烟洲人工林生态系统的碳蓄积特征. *林业科学*, 2007, 43(11): 01-07.
- [9] 田大伦, 王新凯, 方晰, 闫文德, 宁晓波, 王光军. 喀斯特地区不同植被恢复模式幼林生态系统碳储量及其空间分布. *林业科学*, 2011, 47(9): 7-14.
- [10] 马炜, 孙玉军, 郭孝玉, 巨文珍, 穆景森. 不同林龄长白落叶松人工林碳储量. *生态学报*, 2010, 30(17): 4659-4667.
- [11] 尉海东, 马祥庆. 不同发育阶段楠木人工林生态系统碳贮量研究. *烟台师范学院学报(自然科学版)*, 2006, 22(2): 130-133.
- [12] 尉海东, 马祥庆. 中亚热带不同发育阶段杉木人工林生态系统碳贮量研究. *江西农业大学学报*, 2006, 28(2): 239-243.
- [13] 李永庚, 蒋高明. 矿山废弃地生态重建研究进展. *生态学报*, 2004, 24(1): 95-100.
- [14] 窦全琴, 袁惠红, 王宝松, 肖开生. 栎树研究的现状及展望. *江苏林业科技*, 1999, 26(2): 52-54.
- [15] 田大伦, 沈燕, 康文星, 项文化, 闫文德, 邓湘雯. 连载第 1 和第 2 代杉木人工林养分循环的比较. *生态学报*, 2011, 31(17): 5025-5032.
- [16] 田大伦, 康文星, 文仕知等. 杉木林生态系统学. 北京: 科学出版社, 2003, 305-306.
- [18] 巫涛, 彭重华, 田大伦, 闫文德. 长沙市区马尾松人工林生态系统碳储量及其空间分布. *生态学报* 2012, 32(13): 4034-4042.
- [19] 何斌, 刘红英, 余春和, 覃祚玉, 罗柳娟, 刘莉. 黑木相思人工林生态系统生物量、碳贮量及其分配特征. *东北林业大学学报*, 2012, 40(3): 48-50, 71.
- [20] 郑羨, 梁宏温, 温远光, 杨瑶青, 杨健基, 马多. 10 年生巨尾桉人工林生态系统碳贮量及其空间分布. 第二届中国林业学术大会-S4 人工林培育理论与技术论文集, 2009-11-07.
- [21] 张田田, 马履一, 贾忠奎, 刘杰, 游伟斌. 华北落叶松幼中林的生物量与碳汇功能. *东北林业大学学报*, 2012, 40(12): 33-36
- [22] 田大伦, 方晰, 项文化. 湖南会同杉木人工林生态系统碳素密度. *生态学报*, 2004, 24(11): 2382-2386.
- [23] 齐光, 王庆礼, 王新闯, 于大炮, 周莉, 彭舜磊, 代力民. 大兴安岭林区兴安落叶松人工林土壤有机碳贮量. *应用生态学报*, 2013, 24(1): 10-16.
- [24] Stevenson F J. 腐殖质化学. 夏荣基, 译. 北京: 北京农业大学出版社, 1982. 1-5.
- [26] 王绍强, 周成虎, 罗承文. 中国陆地自然植被碳量空间分布探讨. *地理科学进展*, 1999, 18(3): 238-244.
- [27] 周玉容, 于振良, 赵士洞. 我国主要森林生态系统碳贮量和碳平衡. *植物生态学报*, 2000, 24(5): 518-522.
- [30] 陈进宁, 汪思龙. 杉木人工林土壤碳库动态研究现状及展望. *广西林业科学*, 2007, 36(3): 147-151.
- [31] 吴志祥, 谢贵水, 陶忠良, 周兆德. 不同树龄橡胶树林地土壤有机碳含量与储量特征. *热带作物学报*, 2009, 30(2): 135-141.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol.34, No.8 Apr., 2014 (Semimonthly)
CONTENTS

Frontiers and Comprehensive Review

- Growth rates of marine planktonic ciliates; a review ZHANG Wuchang, LI Haibo, FENG Meiping, et al (1897)
- Research status and prospects on functions of urban forests in regulating the air particulate matter
..... WANG Xiaolei, WANG Cheng (1910)
- A review of snow-living Collembola ZHANG Bing, NI Zhen, CHANG Liang, et al (1922)

Autecology & Fundamentals

- Photosynthetic responses to changes in CO₂ concentration and soil moisture in leaves of *Securinega suffruticosa* from shell ridge
islands in the Yellow River Delta, China ZHANG Shuyong, XIA Jiangbao, ZHANG Guangcan, et al (1937)
- Quantities and spectral characteristics of DOM released from leaf and litterfall in *Castanopsis carlesii* forest and *Cunninghamia
lanceolata* plantation KANG Genli, YANG Yusheng, SI Youtao, et al (1946)
- Seasonal dynamics of leaf area index using different methods in the Korean pine plantation
..... WANG Baoqi, LIU Zhili, QI Yujiao, et al (1956)
- Influence of environmental changes on stoichiometric traits of nitrogen and phosphorus for *Larix gmelinii* trees
..... PING Chuan, WANG Chuankuan, et al (1965)
- Soil water in deep layers under different land use patterns on the Loess Tableland ... CHENG Liping, LIU Wenzhao, LI Zhi (1975)
- Water parameters of the branch of *Larrea tridentata* under different soil drought stress
..... ZHANG Xiangning, SUN Xiangyang, WANG Baoping, et al (1984)
- Effects of shading treatments on photosynthetic characteristics of *Juniperus sabina* Ant. seedlings
..... ZHAO Shun, HUANG Qiuxian, LI Yuling, et al (1994)
- Root distribution in typical sites of Lijiang ecotone and their relationship to soil properties
..... LI Qingshan, WANG Dongmei, XIN Zhongbao, et al (2003)
- The survival and above/below ground growth of *Haloxylon ammodendron* seedling
..... TIAN Yuan, TASHPOLAT · Tiyip, LI Yan, et al (2012)
- Effects of simulated acid rain on the physiological and ecological characteristics of *Rhododendron hybridum*
..... TAO Qiaojing, FU Tao, XIANG Xina, et al (2020)
- Karst cave bacterial calcium carbonate precipitation; the Shijiangjun Cave in Guizhou, China
..... JIANG Jianjian, LIU Ziqi, HE Qiufang, et al (2028)
- Migration of the 7th generation of brown planthopper in northeastern Guangxi Zhuang Autonomous Region, and analysis of source
areas QI Huihui, ZHANG Yunhui, JIANG Chunxian, et al (2039)

Population, Community and Ecosystem

- The dynamics and determinants of population size and spatial distribution of Common Cranes wintering in Poyang Lake
..... SHAN Jihong, MA Jianzhang, LI Yankuo, et al (2050)
- Effects of snow pack on wintertime soil nitrogen transformation in two subalpine forests of western Sichuan
..... YIN Rui, XU Zhengfeng, WU Fuzhong, et al (2061)
- Numerical classification, ordination and species diversity along elevation gradients of the forest community in Xiaqingling
..... CHEN Yun, WANG Hailiang, HAN Junwang, et al (2068)
- Phytoplankton community structures revealed by pigment signatures in Norwegian and Greenland Seas in summer 2012
..... WANG Xiaoying, ZHANG Fang, LI Juanying, et al (2076)
- Analysis of differences in insect communities at different altitudes in *Zanthoxylum bungeanum* gardens, Yunnan, China
..... GAO Xin, ZHANG Limin, ZHANG Xiaoming, et al (2085)
- The bacterial community changes after papermaking wastewater treatment with artificial wetland
..... GUO Jianguo, ZHAO Longhao, XU Dan, et al (2095)

Ecological water requirement estimation of the rump lake in an extreme arid region of East Juyanhai
..... ZHANG Hua, ZHANG Lan, ZHAO Chuanyan (2102)

Landscape, Regional and Global Ecology

Spatial distribution patterns of species richness and hotspots of protected plants in Qinling Mountain
..... ZHANG Yinbo, GUO Liulin, WANG Wei, et al (2109)

Impacts of solar radiation on net ecosystem carbon exchange in a mixed plantation in the Xiaolangdi Area
..... LIU Jia, TONG Xiaojuan, ZHANG Jinsong, et al (2118)

Carbon density and distribution of *Pinus tabulaeformis* plantation ecosystem in Hilly Loess Plateau
..... YANG Yujiao, CHEN Yunming, CAO Yang (2128)

Dynamics of carbon storage at different aged *Koelreuteria paniclata* tree in Xiangtan Mn mining wasteland
..... TIAN Dalun, Li Xionghua, LUO Zhaohui, et al (2137)

Resource and Industrial Ecology

Contamination status of Pb and Cd and health risk assessment on vegetables in a mining area in southern Hunan
..... WU Yanming, LV Gaoming, ZHOU Hang, on storage at different age (2146)

Urban, Rural and Social Ecology

Life cycle assessment and environmental & economic benefits research of important building external insulation materials in Beijing ...
..... ZHU Lianbin, KONG Xiangrong, WU Xian (2155)

Effects of urban imperious surface on the habitat and ecophysiology characteristics of *Ginkgo biloba*
..... SONG Yingshi, LI Feng, WANG Xiaoke, et al (2164)

《生态学报》2014 年征订启事

《生态学报》是由中国科学技术协会主管,中国生态学会、中国科学院生态环境研究中心主办的生态学高级专业学术期刊,创刊于 1981 年,报道生态学领域前沿理论和原始创新性研究成果。坚持“百花齐放,百家争鸣”的方针,依靠和团结广大生态学科工作者,探索生态学奥秘,为生态学基础理论研究搭建交流平台,促进生态学研究深入发展,为我国培养和造就生态学科人才和知识创新服务、为国民经济建设和发展服务。

《生态学报》主要报道生态学及各分支学科的重要基础理论和应用研究的原始创新性科研成果。特别欢迎能反映现代生态学发展方向的优秀综述性文章;研究简报;生态学新理论、新方法、新技术介绍;新书评价和学术、科研动态及开放实验室介绍等。

《生态学报》为半月刊,大 16 开本,280 页,国内定价 90 元/册,全年定价 2160 元。

国内邮发代号:82-7,国外邮发代号:M670

标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

全国各地邮局均可订阅,也可直接与编辑部联系购买。欢迎广大科技工作者、科研单位、高等院校、图书馆等订阅。

通讯地址:100085 北京海淀区双清路 18 号 电 话:(010)62941099; 62843362

E-mail: shengtaixuebao@rcees.ac.cn 网 址: www.ecologica.cn

本期责任副主编 杨永兴 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 34 卷 第 8 期 (2014 年 4 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 34 No. 8 (April, 2014)

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

主 编 王如松

主 管 中国科学技术协会

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

出 版 科 学 出 版 社
地址:北京东黄城根北街 16 号
邮政编码:100717

印 刷 北京北林印刷厂

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

订 购 全国各地邮局

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

广告经营 京海工商广字第 8013 号
许 可 证

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

Editor-in-chief WANG Rusong

Supervised by China Association for Science and Technology

Sponsored by Ecological Society of China
Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS
Add: 18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China

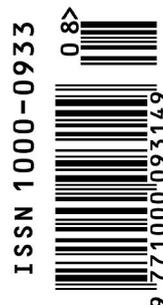
Published by Science Press
Add: 16 Donghuangchenggen North Street,
Beijing 100717, China

Printed by Beijing Bei Lin Printing House,
Beijing 100083, China

Distributed by Science Press
Add: 16 Donghuangchenggen North
Street, Beijing 100717, China
Tel: (010)64034563
E-mail: journal@cspg.net

Domestic All Local Post Offices in China

Foreign China International Book Trading
Corporation
Add: P.O.Box 399 Beijing 100044, China



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 90.00 元