

文章编号: 1008-2786-(2010)1-069-07

东莞主要森林群落凋落物碳储量及其空间分布

刘刚¹, 朱剑云², 叶永昌², 刘颂颂², 苏志尧^{*}

(1. 华南农业大学林学院, 广东 广州 510642; 2. 东莞市林业科学研究所, 广东 东莞 523106)

摘要: 基于 2 km × 2 km 的 UTM 网格对东莞市不同的森林群落类型进行了详细调查, 以研究森林凋落物的碳储量及其空间分布。研究表明, 天然林凋落物碳储量显著高于人工林; 不同森林类型的凋落物碳储量之间差异极显著, 其碳密度大小依次为: 湿地松-阔叶混交林 > 相思林 > 马尾松-杉木林 > 荷木林 > 桉树林 > 杉木-阔叶混交林 > 马尾松-阔叶混交林 > 荔枝-龙眼林 > 青皮竹林。针叶林的单位凋落物碳含量最大, 占 59%, 大于阔叶林; 相思林和荷木林单位凋落物碳含量仅次于马尾松-杉木针叶林。不同的经营措施对森林凋落物碳储量有显著的影响, 经封山育林的林分凋落物碳储量最大。坡位对凋落物碳储量也有显著的影响, 随着坡位的降低, 森林凋落物现存量和碳密度随之降低。东莞市森林凋落物碳密度为 4.25 ± 0.15 t/hm², 凋落物碳储量总量为 0.23 ± 0.008 M t。凋落物的碳储量动态直接关系到土壤碳储库, 采取合适的经营措施, 减少人为干扰造成的凋落物的流失, 最终对于提高本地区森林生态系统碳库会有积极作用。

关键词: 东莞; 凋落物; 碳储量; 碳密度; 空间分布

中图分类号: X173

文献标识码: A

随着人们对全球气候变化关注的提高, 碳源和碳汇的研究越来越受到重视。降低温室气体的排放和寻找有助于缓解大气 CO₂ 浓度持续升高的碳储库, 是解决全球变化的有效途径。森林生态系统是陆地生态系统碳储存库的主体, 每年固定的碳约占整个陆地生态系统的 2/3 对于调节全球碳平衡和减缓大气 CO₂ 等含碳温室气体浓度上升及调节全球气候具有不可替代的作用^[1-4]。森林生态系统碳储库包括土壤碳储库、植被碳储库和凋落物碳储库^[5-7]。全球森林的碳储量约有 2/3 存在于土壤有机质中(包括相应的泥炭沉积层), 约 1/3 存在于森林植被中^[8]。我国森林生态系统总碳库为 28.116 Gt 其中土壤碳库为 21.023 Gt 占总量的 74.8%; 植被碳库为 6.200 Gt 占总量的 22.0%; 凋落物层的碳储量为 0.892 Gt 占总量的 3.2%^[3]。

森林凋落物是指森林生态系统内生物组分产

生, 并归还到林地表面, 作为分解者物质和能量的来源, 借以维持森林生态系统功能的植物残体的总称^[9]。相对于植被和土壤碳库, 森林凋落物碳储量相对较小, 在一些研究中常常被忽略。但是, 森林凋落物对于森林生态系统的能量流动和物质循环过程具有其特殊的作用。其碳循环的快慢直接影响到森林生态系统碳循环的速率, 进而影响到整个森林生态系统二氧化碳的净吸收量^[10]。此外, 地表积累的凋落物会深刻影响土壤理化性质, 进而影响到森林生态系统生产力和生物量。凋落物的存在, 不仅能促进森林生态系统的物质循环和养分平衡, 而且在水土保持、水源涵养等方面具有较大作用^[11, 12]。同时, 凋落物还是森林土壤动物和微生物的能量和物质来源, 对促进和维持整个森林生态系统平衡起着重要作用^[9]。

收稿日期 (Received date): 2009-10-03; 改回日期 (Accepted): 2009-12-25.

基金项目 (Foundation item): 广东林业科技计划项目 (2004-35) 及东莞市科技计划项目。[Supported by Science and Technology Programs of Guangdong Forestry Administration (2004-35) and Dongguan Science and Technology Programs.]

作者简介 (Biography): 刘刚 (1984-), 男, 湖北襄阳人, 硕士研究生, 主要从事森林生态学研究。[Liu Gang, male, born in Xiangyang, Hubei Province, in 1984, major field of interest is forest ecology.] E-mail: 2003_lugang@163.com

* 通讯作者 (Author for correspondence): 苏志尧 [Su Zhiyao], E-mail: zysu@scau.edu.cn

1 研究地区概况

本研究样地设在广东省东莞市, $113^{\circ}31' \sim 114^{\circ}15'E$, $22^{\circ}39' \sim 23^{\circ}09'N$ 。地处南亚热带, 年平均气温 $22.1^{\circ}C$, 年平均降水量 1800 mm , 但分布不均, 每年 4~9 月为雨季, 降雨量约占全年的 80%; 常有台风灾害。地貌以丘陵台地、冲积平原为主。山地土壤以赤红壤为主, 少量红、黄壤, 平原有水稻土、堆积土, 土壤质地为沙土类和壤土类, 自然土壤土层比较深厚。东莞在历史上是森林茂密的地区, 地带性森林植被类型为季风常绿阔叶林, 由于近代人口剧增, 干扰频繁, 大量毁林种果, 使东莞原生性森林被破坏殆尽, 现状植被以人工种植的马尾松林、杉木林、桉树林、相思林和竹林等为主, 以及较大面积的荔枝、龙眼、芒果等果林^[13]。

2 研究方法

2.1 取样设计

用网格法对东莞市森林分布图进行 $2\text{ km} \times 2\text{ km}$ 网格铺设。选取每个网格内有林面积大于(或等于)网格面积 30% 的网格作为一个研究单元(反之则舍弃), 从而共有 192 个研究单元作为本项研究的对象。然后, 采用系统取样方法对上述 192 个研究单元的几何中心点进行样地设置, 样地面积为 1200 m^2 (长 $60\text{ m} \times$ 宽 20 m); 如遇上中心点不是有林地, 则在离中心点直线距离最短的有林地设置样地。再采用相邻格子法将每个样地划分为 12 个 $10\text{ m} \times 10\text{ m}$ 正方形样方, 并按顺序依次编号。在样方的每个角及中心位置分别设置 1 个 $2\text{ m} \times 2\text{ m}$ 的小样方, 编号依次为 iv、㉔、㉕、㉖、㉗。记录各样地样方的经纬度、海拔、坡度、坡向和坡位, 以及植被群落信息等。

2.2 凋落物采样和实验分析

凋落物的采集在样地的第 2、4、9、11 号样方的中心和对角(即 iv、㉔和 ㉗号小样方)分别设立 3 个 $31.6\text{ cm} \times 31.6\text{ cm} = 0.1\text{ m}^2$ 的小样方, 分别记录和测量凋落物厚度及重量, 然后均匀混合三个小样方凋落物, 并收集 2 kg 于密封袋内, 贴上标签带回实验室。凋落物有机碳含量采用重铬酸钾氧化-外加热法测定^[14]。

2.3 数据处理与统计分析

根据实验分析取得的碳含量和野外调查的凋落

物量, 比较不同林分组成、不同立地因子和不同经营模式下的凋落物碳密度和碳储量。统计分析和作图在 STATISTICA 8.0 统计软件中完成。而地形因子则依据前人研究成果^[15-17], 结合本研究地区的实际情况, 划分如下:

根据本地区的地形地貌, 将调查样地坡位分成山脊、上坡、中坡、下坡、山谷和平地 6 个坡位。山脊, 山脉的分水线及其两侧各下降垂直高度 15 m 的范围; 山坡, 从山脊以下至山谷范围内的山坡三等分后的最上等分部位; 中坡, 三等分的中坡位; 下坡, 三等分的下坡位; 山谷, 汇水线两侧的谷地。

将坡度分为 7 个等级, 平地: 0° 、平坡: $0^{\circ} \sim 5^{\circ}$ 、缓坡: $5^{\circ} \sim 15^{\circ}$ 、斜坡: $15^{\circ} \sim 25^{\circ}$ 、陡坡: $25^{\circ} \sim 35^{\circ}$ 、急坡: $35^{\circ} \sim 45^{\circ}$ 、险坡: $> 45^{\circ}$ 。

按照光照不同, 将坡向分为 4 种坡向: 阴坡、半阴坡、半阳坡、阳坡。阴坡: $0 \sim 45^{\circ}$, $315^{\circ} \sim 360^{\circ}$; 半阴坡: $45^{\circ} \sim 90^{\circ}$, $270^{\circ} \sim 315^{\circ}$; 半阳坡: $90^{\circ} \sim 135^{\circ}$, $225^{\circ} \sim 270^{\circ}$; 阳坡: $135^{\circ} \sim 225^{\circ}$ 。

3 结果与分析

3.1 天然林和人工林的森林凋落物碳储量

本研究地区的天然林在凋落物平均现存量和凋落物平均碳密度上都比人工林高, 天然林分别为: $8.82 \pm 0.58\text{ t/hm}^2$ 和 $4.81 \pm 0.32\text{ t/hm}^2$, 而人工林分别为 $7.56 \pm 0.30\text{ t/hm}^2$ 和 $4.09 \pm 0.16\text{ t/hm}^2$ (表 1)。方差分析结果显示, 凋落物现存量在人工林和天然林中差异未达到显著水平 ($p = 0.0559 > 0.05$), 两者之间差异不显著。而凋落物碳储量在人工林和天然林中差异显著 ($p = 0.0440 < 0.05$)。过去关于人工林与天然林碳储量之间的差异研究多是研究土壤和植被碳储量, 关于两者之间的凋落物碳储量的报道较少。对本研究地区的森林凋落物的碳储量研究显示, 天然林凋落物碳储量大于人工林。

表 1 人工林和天然林凋落物量和碳密度

Table 1 Reserves of litterfall and carbon density in artificial forests and natural forests

林类	凋落物量 (t/hm^2)		凋落物碳密度 (t/hm^2)	
	均值 Means	变异系数 CV%	均值 Means	变异系数 CV%
人工林	7.56 ± 0.30	42.94	4.09 ± 0.16	42.82
天然林	8.82 ± 0.58	37.15	4.81 ± 0.32	37.94
平均值	7.84 ± 0.27	41.9	4.25 ± 0.15	42.06

3.2 不同植被类型下凋落物的碳储量

9种较典型的林型比较分析结果显示(表 2), 湿地松阔叶混交林凋落物量和碳密度最高, 分别为 $10.57 \pm 2.86 \text{ t/hm}^2$ 和 $5.76 \pm 1.63 \text{ t/hm}^2$ 。其次为相思林, 凋落物量和碳密度分别为 $9.69 \pm 0.61 \text{ t/hm}^2$ 和 $5.45 \pm 0.35 \text{ t/hm}^2$ 。针叶林马尾松-杉木林中单位凋落物的碳含量最大, 占 59%。针叶林单位凋落物碳含量大于阔叶林和针阔混交林。

表 2 不同植被类型下凋落物量和碳储量

Table 2 Reserves of litterfall and carbon density in different types of forests

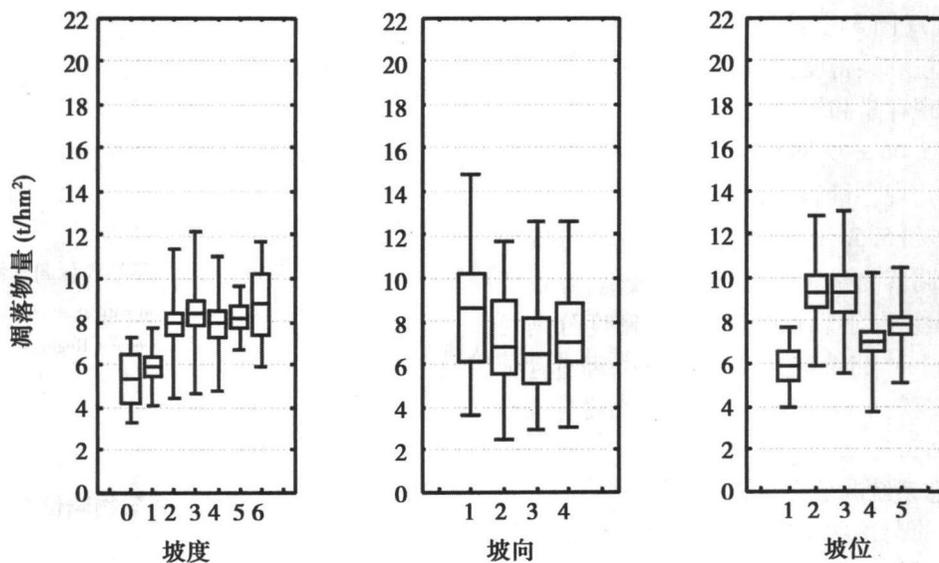
林型 Plant Type	凋落物量 (t/hm ²)		碳密度 (t/hm ²)	
	均值	变异系数	均值	变异系数
	Means	CV%	Means	CV%
马尾松-杉木林	9.01 ± 2.64	71.76	5.36 ± 1.48	67.80
荔枝-龙眼林	5.98 ± 0.31	35.92	3.26 ± 0.17	35.22
桉树林	8.58 ± 0.67	40.56	4.47 ± 0.30	35.31
湿地松-阔叶混交林	10.57 ± 2.86	38.27	5.76 ± 1.63	39.95
马尾松-阔叶混交林	6.82 ± 0.78	34.31	3.75 ± 0.47	37.58
杉木-阔叶混交林	7.21 ± 0.94	22.64	3.76 ± 0.64	29.42
青皮竹林	6.12	0.00	2.02	0.00
相思林	9.69 ± 0.61	33.30	5.45 ± 0.35	34.01
荷木林	8.21 ± 1.08	26.39	4.60 ± 0.75	32.81

荔枝龙眼林凋落物量最低, 青皮竹林碳密度最低。凋落物量从大到小依次为: 湿地松-阔叶混交林 > 相思林 > 马尾松-杉木林 > 桉树林 > 杂木林 > 荷木林 > 杉木-阔叶混交林 > 马尾松-阔叶混交林 > 青皮竹林 > 荔枝-龙眼林。凋落物碳密度从大到小依次为: 湿地松-阔叶混交林 > 相思林 > 马尾松-杉木林 > 荷木林 > 桉树林 > 杉木-阔叶混交林 > 马尾松-阔叶混交林 > 荔枝-龙眼林 > 青皮竹林。不同林型的凋落物量和碳储量相互之间差异极显著 ($p = 0.0002 < 0.001$ 和 $p = 0.00002 < 0.001$)。

3.3 地形因子与林分凋落物量及碳储量

比较不同坡位对凋落物的影响, 山脊处的森林凋落物现存量 and 碳密度最大, 分别为 $9.37 \pm 0.72 \text{ t/hm}^2$ 和 $5.20 \pm 0.37 \text{ t/hm}^2$ 。平地最低, 凋落物现存量和碳密度分别为 $5.85 \pm 0.67 \text{ t/hm}^2$ 和 $3.45 \pm 0.37 \text{ t/hm}^2$ 。不同坡位的森林凋落物现存量和碳密度大小顺序依次为: 山脊 > 上坡 > 中坡 > 下坡 > 平地, 即本研究地区的森林凋落物现存量和碳密度随着坡位的下降而降低。不同坡位凋落物的现存量和碳密度两两相互之间差异极显著 (分别为 $p = 0.0035 < 0.01$ 和 $p = 0.0020 < 0.01$) (图 1, 图 2)。

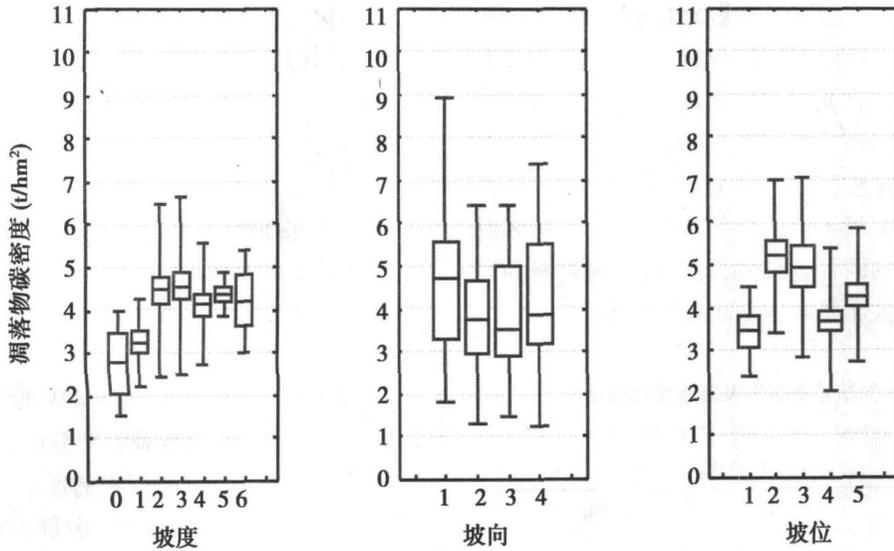
不同坡度上的森林凋落物现存量和碳储量两两之间差异不大, 未达到显著水平 ($p = 0.1754 > 0.05$ $p = 0.1774 > 0.05$) (见图 1, 图 2)。坡度对森林凋落物现存量和碳密度没有显著影响。



a 坡度: 0-平地、1-平坡、2-缓坡、3-斜坡、4-陡坡、5-急坡、6-险坡; b 坡向: 1-阴坡、2-半阴坡、3-半阳坡、4-阳坡; c 坡位: 1-平地、2-山脊、3-上坡、4-下坡、5-中坡、6-山谷

图 1 不同地形因子对凋落物量的影响

Fig. 1 Effect of topographic factors on litter reserves



a 坡度: 0-平地、1-平坡、2-缓坡、3-斜坡、4-陡坡、5-急坡、6-险坡; b 坡向: 1-阴坡、2-半阴坡、3-半阳坡、4-阳坡; c 坡位: 1-平地、2-山脊、3-上坡、4-下坡、5-中坡、6-山谷

图 2 不同地形因子对凋落物碳密度的影响

Fig. 2 Effect of topographic factors on litter carbon density

比较 4 个坡向上的凋落物现存量 and 碳密度, 不同的坡向上凋落物现存量和碳密度两两之间差异未达到显著水平, 差异不显著 ($p = 0.2106 > 0.05$, $p = 0.0984 > 0.05$) (见图 1, 图 2)。坡向对森林凋落物现存量和碳密度没有显著影响。

3.4 不同森林经营模式下凋落物的碳储量

不同的森林经营模式之间, 在凋落物量和碳密度上都存在极显著差异 ($p = 0.0009 < 0.001$, $p = 0.0044 < 0.01$) (图 3)。经过低残改造和封山育林的林分凋落物量和碳密度较高。经过低残改造的林分凋落物平均现存量和平均碳密度分别为 $10.30 \pm 1.55 \text{ t/hm}^2$ 和 $5.66 \pm 0.89 \text{ t/hm}^2$; 经过封山育林的林分凋落物平均现存量和平均碳密度分别为 $10.01 \pm 1.70 \text{ t/hm}^2$ 和 $5.52 \pm 0.85 \text{ t/hm}^2$ 。而经过抚育和管护的林分凋落物量和碳密度相对较低, 经过抚育的林分凋落物平均现存量和平均碳密度分别为 $8.37 \pm 0.44 \text{ t/hm}^2$ 和 $4.62 \pm 0.25 \text{ t/hm}^2$; 经过管护经营的林分凋落物平均现存量和平均碳密度分别为 7.08 ± 0.33 和 $3.77 \pm 0.17 \text{ t/hm}^2$ 。

3.5 森林生态系统凋落物碳储量估算

全区森林的凋落物平均现存量为 $7.84 \pm 0.27 \text{ t/hm}^2$, 森林凋落物的平均碳密度为 $4.25 \pm 0.15 \text{ t/hm}^2$ 。东莞市森林凋落物现存量总量为 $0.42 \pm 0.014 \text{ Mt}$, 森林凋落物碳储量总量为 $0.23 \pm 0.008 \text{ Mt}$, 森林凋落物碳含量占凋落物现存量的 54.7%。

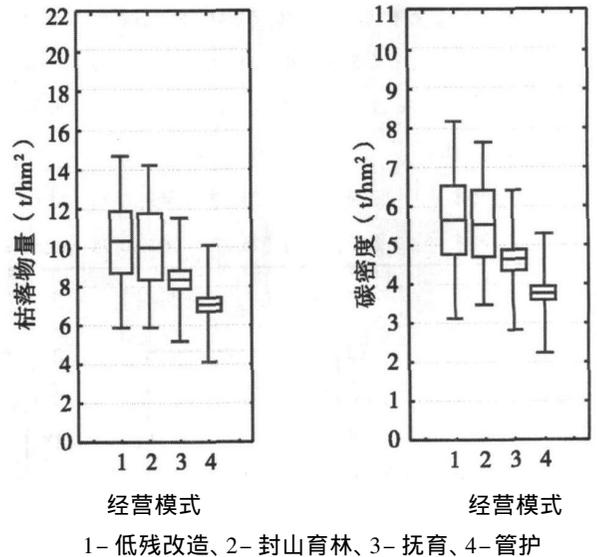


图 3 不同森林经营模式下的森林凋落物量和碳储量

Fig. 3 Litterfall Reserves and carbon storage under Different Forest Management Regimes

4 讨论

4.1 不同林型对森林凋落物碳储量的影响

由于过去人为破坏较为严重, 本地区的森林主要为人工林, 少部分为天然林。过去大面积的天然林被改造成人工林经营, 人工林多为荔枝林、龙眼林、速生相思林、桉树林、马尾松林等的纯林, 树种单一, 林下植被稀少, 人为活动干扰比较重, 用材林的

采伐和果树林的收获,都使本区的人工林相对于天然林获得更少的枯枝落叶的输入。因此,本地区人工林凋落物碳储量低于天然林。这也与其他一些研究的结果相似,如杨玉盛等^[18]研究了格氏栲天然林与人工林枯枝落叶层碳储量,格氏栲天然林枯枝落叶层的碳储量是人工林的 1.22 倍,是杉木人工林的 1.77 倍。常宗强等^[19]对祁连山不同植被类型残体碳库贮量的研究结果显示,天然林地上凋落物碳在 531.09~639.70 gC/m²,人工林为 503.75 gC/m²,天然林凋落物碳储量高于人工林。何宗明等估算了福建柏人工林枯落物碳储量为 3.859 t/hm²,土壤碳储量为 102.818 t/hm²^[20]。本地区的人工林凋落物平均碳密度为 4.08 t/hm²,高于福建柏人工林,本区的天然林和人工林凋落物碳密度均低于祁连山地区。

另外,关于人工林与天然林生态系统的植被和土壤碳储量的研究^[21,22]也多显示,天然林的植被和土壤碳储量高于人工林。

4.2 地形因子对森林凋落物碳储量的影响

坡度和坡向对森林凋落物现存量 and 碳储量没有显著影响,不同坡位的森林凋落物现存量和碳密度大小随着坡位的下降而降低。山脊分布的有天然林分也有人工林分,天然林比例较其他坡位处高,主要为荷木林、相思林、马尾松杉木林,而这些林分类型凋落物碳储量都较高。山脊处光照充足,生长旺盛,并且受到人为经营活动的干扰相对下部坡位的少,凋落物量较多,凋落物碳密度和储量都较大。而中下部多为果园林和用材林,受到的干扰多,凋落物损失较多,凋落物现存量和碳储量相对较低。另外坡的中下部由于降水的汇集,地表径流量大,土壤湿度高等,这些因素导致了地表的凋落物淋溶分解加快,有机碳归还土壤速度较快,这些也会导致凋落物的碳储量低于坡上部的林分。

4.3 不同经营方式对森林凋落物碳储量的影响

经营方式对林分凋落物碳储量产生的影响主要是影响森林凋落物量,经过低残改造和封山育林的林分凋落物量和碳密度较高。枯枝落叶经常被用来当作当地居民的生活燃料,造成凋落物量减少。对本地区森林土壤的研究结果也显示采取抚育和重新造林的林分土壤碳储量远低于采取封山育林的天然林分土壤碳密度^[23]。人为的经营和干扰致使本研究地区的森林生物量大量输出,尤其是本地区存在大量的荔枝、龙眼林以及一些用材林,收获林产品、

木材和对林下凋落物的清理,这些活动降低了森林对凋落物层的输入。尽管凋落物的碳储量只占森林生态系统碳储量总量的很少一部分,但是凋落物对土壤碳库和养分库的输入有重要影响,森林凋落物现存量的变化对土壤碳储量影响很大^[7,9]。苏志尧等的研究^[23]也表明,在该地区对森林采取高强度的经营措施和改变林地的利用方式,会造成了土壤碳密度降低。Noordwijk, et al. 以及 Lal 的研究均说明^[24,25],在湿润的热带地区,土地利用的变化,产品收获、凋落物移走等原因造成地上生物量快速流出系统之外,同时土壤碳储量下降,导致森林生态系统的碳储量降低。

可见,人为经营活动可以在一定程度上影响到森林凋落物分解速率和土壤碳储量,因此采取合适的经营措施,减少人为的破坏性干扰活动,促进凋落物的分解,加快碳回归土壤和参与营养循环,以加快土壤碳的积累速度,对于提高森林尤其是人工林固碳量会有积极作用。

枯枝落叶层的现存量是森林凋落物归还与地表枯枝落叶分解动态平衡的结果^[26]。森林枯落物层的碳储量和碳密度与森林类型、森林年龄、枯落物的分解速度、人为干扰以及温度、降水等环境因子有关^[27]。森林凋落物层作为森林碳库中的一个动态中转库,其碳含量的多少与土壤碳储量多少关系密切。不同的林型下凋落物碳储量的多少对土壤碳储量会造成多大的影响,同样的林型不同的环境条件下凋落物碳含量的多少能否反映森林碳储量的多少,人工林凋落物分解能在多大程度上减缓其土壤的碳流失,以及凋落物养分含量多少和分解速率对养分循环和土壤肥力的影响大小,等等,这些还需进一步研究。

参考文献 (References)

- [1] Wang Xiaoke, Feng Zongwei, Ouyang Zhiyun. Vegetation carbon storage and density of forest ecosystems in China [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2001, 12(1): 13~16 [王效科, 冯宗炜, 欧阳志云. 中国森林生态系统的植物碳储量和碳密度研究 [J]. *应用生态学报*, 2001, 12(1): 13~16]
- [2] Liu Guohua, Fu Bojie, Fang Jingyun. Carbon dynamics of Chinese forests and its contribution to global carbon balance [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2000, 20(5): 733~740 [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 [J]. *生态学报*, 2000, 20(5): 733~740]
- [3] Zhou Yurong, Yu Zhenliang, Zhao Shilong. Carbon storage and budget of major Chinese forest types [J]. *Acta Phytocologica Sinica*

- ca, 2000, 24(5): 518~ 522 [周玉荣, 于振良, 赵士洞. 我国主要森林生态系统碳贮量和碳平衡 [J]. 植物生态学报, 2000, 24(5): 518~ 522]
- [4] Fang Yunting, Mo Jiaqing, Brown S, *et al*. Storage and distribution of soil organic carbon in Dinghushan Biosphere Reserve [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(1): 135~ 142 [方运霆, 莫江明, Shadna Brown, 等. 鼎湖山自然保护区土壤有机碳储量和分配特征 [J]. 生态学报, 2004, 24(1): 135~ 142]
- [5] Wei Hailong, Ma Xiangqing, Liu Aiqin, *et al*. Review on carbon cycle of forest ecosystem [J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2007, 15(2): 188~ 192 [尉海东, 马祥庆, 刘爱琴, 等. 森林生态系统碳循环研究进展 [J]. 中国生态农业学报, 2007, 15(2): 188~ 192]
- [6] Dixon R K, Solomon A M, Brown S, *et al*. Carbon pools and flux of global forest ecosystems [J]. *Science*, 1994, 263: 185~ 190
- [7] Huang Congde, Zhang Jian, Yang Wanqin, *et al*. Characteristics of carbon stock in artificial forest ecosystem in Sichuan Province of China [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2008(8): 1644~ 1650 [黄从德, 张健, 杨万勤, 等. 四川人工林生态系统碳储量特征 [J]. 应用生态学报, 2008(8): 1644~ 1650]
- [8] Chen Panqin. Global Ecosystem Carbon Cycle [M]. Beijing: Science Press, 2004, 204~ 230 [陈泮勤. 地球系统碳循环 [M]. 北京: 科学出版社, 2004, 204~ 230]
- [9] Han Shijie, Dong Yunshu, Cai Zucang, *et al*. The Biogeochemical Process of Terrestrial Ecosystems Carbon Cycle in China [M]. Beijing: Science Press, 2008, 47~ 77 [韩士杰, 董云社, 蔡祖聪, 等. 中国陆地生态系统碳循环的生物地球化学过程 [M]. 北京: 科学出版社, 2008, 47~ 77]
- [10] Caldenty J, Ibanez M, Hernandez J. Litter fluxes and decomposition in *Nothofagus pumilio* stands in the region of Magallanes, Chile [J]. *Forest Ecology and Management*, 2001, 148: 145~ 157
- [11] Zhang Hongjiang, Cheng Jinhua, Yu Xinxia, *et al*. The litter reserves and their water retaining capacity under *Abies fabri* forest on the Gongga mountain, Siduan Province [J]. *Scientia Silvae Sinicae*, 2003, 39(5): 147~ 151 [张洪江, 程金花, 余新晓, 等. 贡嘎山冷杉纯林枯落物储量及其持水特性 [J]. 林业科学, 2003, 39(5): 147~ 151]
- [12] Liu Shiong, Sun Pengsen, Wang Jinxi, *et al*. Hydrological functions of forest vegetation in upper reaches of the Yangtze River [J]. *Journal of Natural Resources*, 2001, 16(5): 451~ 456 [刘世荣, 孙鹏森, 王金锡, 等. 长江上游森林植被水文功能研究 [J]. 自然资源学报, 2001, 16(5): 451~ 456]
- [13] Wang Dengfeng, Cao Honglin. The major vegetation types and the development of ecological forest in Dongguan City [J]. *Forestry Science and Technology*, 1999, 15(2): 22~ 27 [王登峰, 曹洪麟. 东莞市主要植被类型与生态公益林建设 [J]. 广东林业科技, 1999, 15(2): 22~ 27]
- [14] Lu Rukun. The Analytical Methods for Soil Agricultural Chemistry [M]. Beijing: Chinese Agricultural Science Technology Press, 1999 [鲁如坤. 土壤与农业化学分析方法 [M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 1999]
- [15] Qi Jian, Ma Kening, Zhang Yuxin. Comparisons on leaf traits of *Quercus liaoningensis* Koilz on different slope positions in Dongling Mountain of Beijing [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(1): 122~ 128 [祁建, 马克明, 张育新. 北京东灵山不同坡位辽东栎 (*Quercus liaoningensis*) 叶属性的比较 [J]. 生态学报, 2008, 28(1): 122~ 128]
- [16] Zhang Cuiping, Ni Jianming, Dong Jianjun, *et al*. Vegetation mapping and spatial pattern analysis using KONOS data: a case study in the Wufengyou area [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(2): 449~ 456 [张翠萍, 牛建明, 董建军, 等. 基于 KONOS 数据的植被制图与植被空间格局——以五分地沟试验区为例 [J]. 生态学报, 2006, 26(2): 449~ 456]
- [17] Tang Guoan, Song Jia. Comparison of slope classification methods in slope mapping from DEMs [J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2006, 20(2): 157~ 160, 192 [汤国安, 宋佳. 基于 DEM 坡度制图图中坡度分级方法的比较研究 [J]. 水土保持学报, 2006, 20(2): 157~ 160, 192]
- [18] Yang Yusheng, Guo Jianfen, Lin Peng, *et al*. Carbon and nutrient pools of forest floor in native forest and monoculture plantations in subtropical China [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(2): 357~ 361 [杨玉盛, 郭剑芬, 林鹏, 等. 格氏栲天然林与人工林枯枝落叶层碳库及养分库 [J]. 生态学报, 2004, 24(2): 357~ 361]
- [19] Chang Zongqiang, Feng Qi, Si Jianhua, *et al*. Carbon storage of plant debris under different types of vegetation in Qilian Mountains [J]. *Journal of Mountain Science*, 2007, 25(6): 714~ 720 [常宗强, 冯起, 司建华, 等. 祁连山不同植被类型残体碳库贮量研究 [J]. 山地学报, 2007, 25(6): 714~ 720]
- [20] He Zongning, Li Lihong, Wang Yixiang, *et al*. Carbon stock and carbon sequestration of a 33-year-old *lokienia hodginsii* plantation [J]. *Journal of Mountain Research*, 2003, 21(3): 298~ 303 [何宗明, 李丽红, 王义祥, 等. 33年生福建柏人工林碳库与碳吸存 [J]. 山地学报, 2003, 21(3): 298~ 303]
- [21] Huang Congde, Zhang Jian, Yang Wanqin, *et al*. Dynamics on forest carbon stock in Sichuan Province and Chongqing City [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(3): 966~ 975 [黄从德, 张健, 杨万勤, 等. 四川省及重庆地区森林植被碳储量动态 [J]. 生态学报, 2008, 28(3): 966~ 975]
- [22] Gong Wei, Hu Tingxing, Wang Jingyan, *et al*. Soil carbon pool and fertility under natural evergreen broadleaved forest and its artificial regeneration forests in southern Sichuan Province, China [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(6): 2536~ 2545
- [23] Su ZY, Xiong YM, Zhu JY, *et al*. Soil Organic Carbon Content and Distribution in a Small Landscape of Dongguan, South China [J]. *Pedosphere*, 2006, 16(1): 10~ 17
- [24] Noordwijk M, Cerri C, Woomer PL, *et al*. Soil carbon dynamics in the humid tropical forest zone [J]. *Geoderma*, 1997, 79: 187~ 225
- [25] Lal R. Forest soils and carbon sequestration [J]. *Forest Ecology and Management*, 2005, 220: 242~ 258
- [26] Xu XN, Hirata E. Forest floor mass and litterfall in *Pinus luchuensis* plantations with and without broad-leaved trees [J]. *Forest Ecology and Management*, 2002, 157: 165~ 173

[27] Jin Feng, Yang Hao, Zhao Qiguo. Advances in researches on soil organic carbon storages and affecting factors [J]. *Soils* 2000, 32

(1): 11 ~ 17 [金峰, 杨浩, 赵其国. 土壤有机碳储量及影响因素研究进展 [J]. *土壤*, 2000, 32 (1): 11 ~ 17]

Organic Carbon Storage and Its Distribution in Forest Litters among Forest Communities in Dongguan, South China

LIU Gang¹, ZHU Jianyun², YE Yongchang², LU Songsong², SU Zhiyao¹

(1 College of Forestry, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China;

2 Dongguan Research Institute of Forestry, Dongguan 523106 China)

Abstract In this study, forest litter organic carbon storage and density among forest communities were estimated based on a forest survey in Dongguan, south China. Field sampling was carried out based on a 2 km × 2 km grid system overlaid on the topographic map of the forest land in Dongguan. The results showed that the litter of natural forests contained significantly more organic carbon than that of artificial forests, which was assessed by One-way ANOVA using STATISTICA 8.0 and the litter organic carbon density among the 10 types of forests classified by their dominant trees were significantly different with each other. The order of the litter carbon density from large to small is *Pinus elliottii* & broad leaf forest > *Acacia mangium* > *Pinus massoniana* and *Cunninghamia lanceolata* > *Schinus superba* > *Eucalyptus exserta* > *Cunninghamia lanceolata* & broad leaf forest > *Pinus massoniana* and broad leaf forest > *Litchi chinensis* and *Dioscorea longan* > *Bambusa textilis*. In addition, coniferous forest litter contained 59% of carbon per unit mass, more than that of broadleaved forests. The second largest litter carbon content per unit mass existed in the forests dominated by *Acacia mangium* and *Schinus superba*. Litter organic carbon storage was also influenced by forest management regimes. Closing the mountain for forest rehabilitation led to higher level of litter organic carbon density. There was no significant influence among different slopes and different aspects. However, different positions on slopes were found to have significant influence on the litter organic carbon density. The highest level of litter organic carbon density was found on the ridge of the hill. The total litter organic carbon pool was estimated as $0.23 \pm 0.008 \text{ Mt}$ and the average litter organic carbon density was $4.25 \pm 0.15 \text{ t/lm}^2$. The dynamics of litter organic carbon are closely related to the soil organic carbon pool. Therefore, appropriate measures should be taken to prevent the ecosystem from the decrease of litters by human activities, which will be useful for increasing the carbon pools of the study area.

Key words forest litter; organic carbon storage; organic carbon density; spatial distribution