

全球森林管理的趋势及对碳储量的影响*

徐英明 李昊 李鑫 虞依娜

(华南农业大学 林学与风景园林学院, 广东广州 510642)

摘要 全球森林日益受到土地利用变化、分散化、管理目标变化和退化的影响。运用管理强度描述全球森林动态变化趋势,并概述了与森林管理相关的全球碳库变化。讨论了对“管理”的不同解释,并强调了一些重要的核算和分析问题。全球森林面积自1990年以来下降了3%,但全球各地人工林面积都有所增加,截止2010年已占全球森林面积的近7%。由于人为因素造成的栖息地破碎和退化,使得占有林地34%的原始森林面积正在下降,尤其是南美洲和非洲。同时,自然再生林面积也有所下降。由于管理强度的增加,1990年以来,非施业林面积(通常被定义为缺乏人类管理计划或保护状态的土地)大幅度下降,截止2010年仅占全球森林的21%,而用于水土保持、生物多样性保护和提供生态系统服务等非木质林产品用地面积大幅增加。从全球来看,木材生产自1990年以来一直相对稳定,但非木质林产品用地面积越来越多,表明林业采伐面积占森林总面积的比例较小。根据管理森林和区域研究领域的发展趋势可知,历史上和现在的森林管理是当前碳储量的一个非常重要的决定因素。目前,已建成的森林抵消了来自使用化石燃料释放二氧化碳的约30%,而减少森林的砍伐可能会将陆地碳地面总吸收量从大约4.0 t升至每年6.2 t。然而,研究结果表明,多样化使用森林土地可能对维持或提高目前的陆地碳汇有重大影响。未来,诸如大气二氧化碳的增加和气候变化等间接的人类影响,以及土地管理的直接影响和木材生物燃料的日益增长的需求,都将成为影响土地管理战略规划和森林生态系统全球碳循环的重要因素。

关键词 森林管理; 碳循环; 土地利用变化; 气候变化; 碳储量

中图分类号: S718.5 文献标识码: A 文章编号: 2096-2053(2018)01-0123-09

Trends in Management of the Global Forests and Impacts on Carbon Stocks

XU Yingming LI Hao LI Xin YU Yina

(College of Forestry and Landscape Architecture, South China Agricultural University, Guangzhou, Guangdong 510642, China)

Abstract Global forests are increasingly affected by changes in land use, decentralization, changes in management objectives and degradation. This paper describes trends in global forest area through management intensity and outlines global carbon stock changes associated with forest management. Discussed the different interpretations of management and highlighted some important accounting and analysis issues. The global forest area has fallen by 3 per cent since 1990. As of 2010, the area of planted forests has increased worldwide and now accounts for nearly 7 per cent of the global forest area. The habitat fragmentation and degradation caused by human factors have resulted in a 34 per cent reduction in the virgin forest area of all forest land, especially in South America and Africa. At the same time, the area of natural regeneration forest has also declined. As a result of the increase in

* 基金项目: 广东省林业科技创新专项资金项目“广东森林碳汇生态工程生态功能评估关键技术与示范”(2015KJCX028)。

第一作者: 徐英明(1991—),男,在读硕士研究生,研究方向为森林经理与森林碳汇, E-mail:707220368@qq.com。

通信作者: 虞依娜(1973—),女,副教授,主要从事森林生态学研究, E-mail:369055807@qq.com。

management intensity, non-operating forest area (usually defined as a lack of human management plan or protected land) has declined significantly since 1990, only 21% of the global forest, and for soil and water conservation, biodiversity protection and provision of ecosystem services such as non-timber forest product land area increased significantly. Globally, timber production has been relatively stable since 1990, but the area of non-timber forest products is increasing, indicating that the area of forest logging is smaller than the total forest area. Based on trends in the management of forests and regional research, it is clear that historical and current forest management is a very important determinant of current carbon stocks. At present, the completed forest has offset about 30% of the global CO₂ emissions from fossil fuels, while reducing deforestation may reduce the total terrestrial carbon footprint from about 4.0 to 6.2 tonnes per year. However, our findings suggest that diversification of the use of forest land may have a significant impact on maintaining or enhancing the current terrestrial carbon sinks. In the future, indirect human impacts such as increased atmospheric carbon dioxide and climate change, as well as the direct impact of land management and the growing demand for wood biofuels, will become increasingly influential in land management strategies and the role of forests in the global carbon cycle.

Key words forest management; carbon cycle; Land-use change; Climate change; carbon storage

全球森林日益受到土地利用变化、分散化、管理目标变化和退化的影响^[1-3]。与此同时,全球森林都在响应着大气成分的变化,特别是二氧化碳浓度的增加和气候的变化^[4]。这些并发因素未来如何影响森林是一个关键问题,这不但关乎森林所提供的许多传统服务的可持续性,如木材生产和流域保护,而且关乎森林清除化石燃料排放的二氧化碳的活动机制。若全球现有森林吸收了化石燃料二氧化碳排放量的30%左右^[5],那么缓解全球气候变化的形势将会更加乐观^[6]。由于森林管理的概念在不同的环境下世界各地具有不同的意义,而且由于森林管理的变化往往被认为是缓解气候变化的重要组成部分^[7],因此,本文的目的是概述对森林管理的一些不同的解释,并且揭示森林管理可能会影响未来森林许多系统服务的主要趋势。通过管理强度描述全球森林面积,并概述与森林管理相关的全球碳库变化,强调了与森林管理和碳储量评估相关的一些重要估算和分析的问题。最后总结了关于森林管理对大气中二氧化碳浓度的影响。

1 森林管理及土地利用概述

森林管理在不同的背景下可能具有不同的含义,但一般指由人类活动直接影响的森林。根据最常使用的定义^[8],该解释的管理不包括森林砍伐,因为森林砍伐属于土地利用的变化。在某些情况下,即使没有明显的人类直接影响,也可能

将其定义为森林管理,例如已经被行政法规搁置或保护的领域。

森林管理与土地所有者或负责管理实体确定的目标相关,通常有具体的管理实践来支持确定的目标。管理人工林和天然林的木材产品是“管理森林”的最典型的例子,在这些例子中,管理木材生产目标的应用实践可能包括间伐、收获和再生处理。而其他管理目标的森林可能不视为管理,因为这些人类活动的直接影响是最小的,例如:根据其生物多样性价值管理的一些定义,一个荒野地区直接的人类影响可能仅限于远足徒步和低冲击野营地。但间接的人类影响,诸如人类活动引起的大气二氧化碳增加或气候变化,这都可能对森林产生重大影响^[9-11]。

本文依据联合国粮食及农业组织(FAO)所定义的森林面积统计数据,按照管理强度的分类等级,概述了一些常规森林分类术语(表1)。在本文中,将重点放在林地分类上,同时也考虑某些仅有林地覆盖但可能不符合传统森林定义的区域,则将其归类为“森林外有树木的土地”。

在编制有关森林面积的统计数据时,应注意土地覆盖与土地利用之间的差异^[17]。一般来说,森林清查或土地现场测绘描述了木材种植或非管理森林等土地利用类别,而这些类别与即使包含树木景观的住宅开发区域相区分。近些年土地覆盖的变化数据大多采用遥感观测,而土地覆盖的分类通常基于植被类型和土地利用类型^[18-20]。通

表 1 土地管理分类和关键术语的定义

Table 1 Land management classifications and definitions of key terms, roughly organized by intensity of management from lowest to highest

一级分类 First Classification	二级分类 Second Classification	概述 Description
荒地 Wasteland		土地几乎没有人类直接影响，缺乏人口密度，土地转型，可及性和基础设施 ^[12]
完整土地 Complete land		一个不间断的自然生态系统，没有显示出重要的人类活动的迹象，并且足够大，可以保持所有本地生物多样性 ^[14]
保护区 Protected area		特别致力于保护和维持生物多样性以及自然和相关文化资源的领域，并通过法律或其他有效手段进行管理 ^[13] 。
林地 Woodland	原始森林	自然再生的本地物种森林，没有明显的人类活动迹象，生态过程并没有受到重大的干扰 ^[13]
	保护林区	在森林区内出于保护目的正式成立的保护区域 ^[13]
	非管理天然林	森林土地没有保护状态，没有文件化的管理计划
	管理天然林	具有长期（十年以上）管理计划的森林地区，旨在定期修订管理目标。不包括森林种植园和无管理计划的森林 ^[13]
森林外有树木的土地 Woodland except forest	人工林	森林主要由通过种植或有目的种植林木组成。人工林可用于木材生产或其他用途，如保持水土 ^[13]
	农业林地	木质多年生植物（乔木，灌木，棕榈，竹子等）在与农作物和动物相同的土地管理单位上以某种形式的空间安排或土地使用制度和技术的土地 ^[15]
	其它林地	未分类为“森林”的土地面积超过 0.5 hm ² ；树木高超过 5 m，树冠覆盖率达到 5%~10%；或灌木丛和树木覆盖率在 10%以上的其它土地类型 ^[13]
	居住区	除了已经列入其他类别，所有人类发展中的土地上的树木，包括运输基础设施和任何规模的人类住区 ^[16]

注：管理强度由低到高。 Note: From low management strength to high management strength.

常“土地覆盖变化”一词可以描述土地利用的变化，但也可能只描述一个暂时的变化条件，例如，土地覆盖的变化可能与一个阶段的土地转换为另一个阶段有关（如农业毁林），或者可能与土地的管理目标有关，如收获或再生^[21-22]。由于森林受到各种人类活动的影响，因此本文基于粮农组织的定义，以土地利用为重点而不是土地覆盖。

对术语的不一致使用和解释，导致对全球碳循环分析产生了混乱的影响，特别是将直接的人类活动（土地利用和管理等）与间接的环境变化（气候变化和大气二氧化碳的增加）对碳循环的影响相分离。Houghton^[23]认为，这一区别至关重要，因为气候变化政策旨在将土地管理中的二氧化碳减排归因于管理活动的直接影响，与自然发生的减排或人为行动的间接结果分开。Pongratz 等^[24]制定了全球土地利用和土地覆盖变化碳通量组成部分的综合框架，从而可以比较评价各种研究结果。他们发现在碳排放和碳汇的处理以及植被再生长方面至少有 9 个定义之间具有显著差异。这些研究为本文提供了一定背景，深入探讨了管理

对土地利用和碳排放的直接影响，并强调了这种影响在未来将会如何普遍存在。

2 数据获取方法

本文对管理林区的估算报告来自几个不同的信息源：遥感、林业清查、模型和国家报告。这些信息大部分可以从国际组织，如 FAO 和政府间气候变化委员会（IPCC）中随时获得。Birdsey 等^[25]和 Pan 等^[26]描述了这些方法，并简要总结。尽管新的遥感和建模技术越来越多的部署在森林监测中，但目前的监测系统如 Landsat 卫星和传统森林清单的方法将继续作为世界许多森林监测系统的支柱。

2.1 遥感

在森林清查方面，航空照片已被使用了 80 多年，其用以估算给定采样区域的森林土地比例，并作为双重采样策略的第一阶段样本^[27]。近几十年来，Landsat 卫星提供了一系列遥感数字图像，广泛用于建立历史基线和森林砍伐、森林退化和自然干扰监测；当现场观察或模型相关联时，用

于估计生物量和碳储量的变化。而 MODIS 卫星也提供了有关森林生物量、生产力和大面积干扰的低空间分辨率下的有用信息^[28-29]。遥感方法通常用于获取土地覆盖及其变化,而不是土地利用及其变化,尽管这些术语经常互换使用。这两个术语都可以与土地管理相关联,但是通过使用遥感图像很难将所观察到变化的人为和自然原因分开,如果不将图像与其他信息相结合,可能难以确定观察到的土地覆盖变化是否表示土地利用的永久性变化或土地覆被的暂时变化。遥感方法一般与国家森林清查数据相结合,能更有效地识别分析出变化的原因,并提高整体监测效率^[30]。

2.2 全国森林资源清查和野外采样

基于野外采样的国家森林清单用于评估木材供应和监测森林变化已经使用了一个多世纪,该方法可以作为森林碳监测的基础,以及碳储量的初始调查^[31-32]。国家森林清查特别适用于监测森林动态(生长,收获,死亡)的变化和估计树木及森林的生物量,而结合遥感可以提供关于森林管理用途的可量化误差估计的统计数据。森林清查涉及系统性或随机选择性的取样、树参数的野外测量(如物种、直径和高度)以及建立难以直接测量(如木材体积或生物量)的异速生长方程^[33-34]。FAO 报告的大部分关于森林生物量和其他森林资源统计数据均以国家森林资源数据为基础^[13]。

2.3 模型估算

模型估算利用各种生态系统和核算模型,通过合成和整合代表不同时空尺度的森林碳动态,从详细的地块水平测量到全国范围的遥感产品^[35-37]。模型通常是用于创建和模拟未来变化以检查不同活动或事件(如管理、土地利用变化、自然干扰)影响的最佳工具。在本文中,模型是大多数关于土地管理活动产生的碳汇变化的估计数据的来源,也被用来推测观测到的碳储量变化的原因,尤其是那些难以直接观测的原因,如 CO₂ 增施和氮沉降。

2.4 国家报告

FAO 和 IPCC 依据国家报告,通常以国家森林清单为基础,但有时根据非常不完整的数据编制区域和全球统计数据^[38-39]。FAO 目前提供两个可用于估算土地利用和土地利用变化的数据集,一个是 FAO 统计数据库^[40],它报告了农田、牧

场、森林和其他土地的面积。另一个是定期粮农组织“森林资源评估”,它仅报告了森林的详细信息(如面积、生长、死亡、收获等)。IPCC 定期评估报告根据国家报告和上述其他方法,报告包括陆地生态系统在内的全球碳循环统计数据以及陆地生态系统碳估计值作为排放、气候和海洋观测值的残差^[39,41]。依据个别国家报告的全球分析对于一些国家可能更准确,但也可能包括显著的不一致和歧义^[42]。

综上,从森林清查的角度来看,森林土地可能包括由于收获或自然干扰而暂时无林的地区,同样的土地可以被归类为遥感土地覆盖的非森林类别以及林地清查的森林类别。相反情况也是如此,FAO 的森林定义不包括以农业或城市为主的土地,即使这样的土地有一些树木覆盖。如果不考虑这些差异,可能会对估算结果产生重大影响。

3 结果与分析

3.1 全球森林面积和管理发展趋势

根据 FAO^[13] 定期汇编的统计数据,全球森林面积自 1990 年以来下降了 3%,但全球人工林面积都有所增加,现在占全球森林面积的近 7% (表 2)。FAO 的统计资料还表明,原始森林面积约为所有林地的 34%,但自 2000 年以来尤其是南美洲和非洲地区一直在下降。将天然林转化为人工林和其他人类活动,减少了原始森林和未归类为原始森林的自然再生林的面积。

过去 20 年全球森林管理状况发生了重大变化(表 3)。综合各国报告的国家数据,保护区内森林面积增加了约 36%。如果按照 FAO 2010 年统计的数据,那么 2010 年保护区森林的总面积将达 4.6 亿 hm²^[13]。同样,基于持续报告的国家数据,具有管理计划的森林总面积虽然接近 1.31 亿 hm²,但仅增长了 18%。由于全球森林管理强度的增加,非管理森林面积在 20 年内大幅下降了约 35%,现在仅占全球森林的 21%。

不是所有的森林管理计划都是集中管理木材产品,FAO^[13] 得出,世界上 30% 的森林主要用于生产木材和非木材林产品,而主要用于森林产品的林地面积略有下降,因为更多的森林被指定用于其他用途。由于 1990 年至 2005 年全球工业圆木和薪柴产量几乎稳定在每年约 32 亿 m³,所以随着非木材林产品生产的增加,在小区域的林地集

表 2 全球不同林地类型的面积 (FAO,2010) ^[13]
Table 2 Area global forest land by land class(FAO, 2010) ^[13] (1000hm²)

林地类型 Forest land class	1990	2000	2010
原始林 Primary	1352217	1392870	1358865
其它自然再生林 Other naturally regenerated	2644850	2477681	2410194
人工林 Planted forest	171331	214618	264002
林地总面积 Total forest land	4168398	4085169	4033061

表 3 全球森林管理状况和趋势 (FAO,2010) ^[13]
Table 3 Status and trends in management of global forest (FAO,2010) ^[13] (1000hm²)

林地类型 Forest land class	1990	2000	2010
保护区森林面积趋势 Trend in area of forest within protected area	266482	296874	360715
有管理计划的森林面积趋势 Trend in area of forest with a management plan	1305000	1390000	1545000
非管理天然林的趋势 ¹ Trend in unmanagement natural forest	1339851	1087680	865195

注：¹ 计算为“其他自然再生林”（表 2）与森林面积与管理计划（本表）之间的差异，不包括原始森林。

Note: ¹Calculated as difference between “other naturally regenerated forest” (Table 2) and trend in area of forest with a management plan (this table). Does not include primary forest.

中生产木材成为一个发展趋势。自 2005 年以来，这一趋势可能会发生变化，因为人们越来越关注将木材用于生物燃料^[43]。

森林保护和管理强度的相关领域在区域和国家之间存在重大差异。例如，美洲的保护区森林比例相对较高（10%~17%），而欧洲保护区森林面积不到 5%。这些森林，特别是偏远地区的森林，是否直接受到人类活动的影响，但是所有的森林面积都受到管理计划的影响。与之相比其它国家和地区，特别是在非洲，处于管理计划下的森林面积的百分比要小得多。

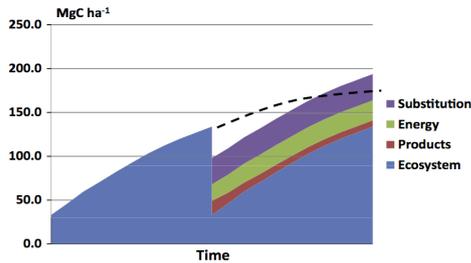
不同于服务生产管理，被定义为没有可见的直接人类活动迹象的原始森林面积也依然很大，但根据粮农组织的统计数字，这个面积正在下降。只有少数几个地区被认为是真正的“野生”，也就是说缺乏高人口密度、土地转型、可及性和基础设施^[44]。森林覆盖率最高的地区包括加拿大和俄罗斯北部森林的一部分以及亚马孙河流域和中非热带阔叶林地区。热带森林砍伐和森林退化发生在人类活动更容易进入的原始森林的边界，人类对原始森林未来的担忧日益增加。Haddad 等^[43]基于卫星的分析显示，全球森林面积的 70% 在森林/非林地边界的 1 km 范围内，因此未来将会分散，包括一些目前被认为是主要的地区。此外，除了直接的人类影响之外，由于大气成分的变化特别是二氧化碳浓度增加、氮沉降和气候变化，间接的人类影响在地球上也是显而易见的^[44]。

3.2 全球森林碳储量变化及与土地和森林管理的关系

管理强度可能对碳储量有很大的直接和间接影响。集约管理的森林可以更有效地生产木材并从大气中清除二氧化碳，然而集约管理的森林的碳储量往往低于原始森林^[45]。图 1 强调了收获的木材产品中碳的完全占有率以及木材替代化石燃料和其他需要化石能源生产的产品，随着时间的推移，收获的木制品中的碳越来越受到收获轮作的影响，具有管理计划的森林可能比未管理森林具有更大的碳效益^[46]。空间和时间尺度对于分析处于管理下的森林碳影响至关重要。一般来说，在景观或更大空间尺度上的分析，并在较长的时间段内，可以更全面地了解森林管理对森林碳带来的影响（图 2）^[45]。

估测陆地碳储存的变化以及原因是非常难的^[5,35,41]。土地管理对碳循环最明显的影响是土地利用和土地覆被的变化。研究得出由于土地利用和土地覆盖的变化导致 2000 年到 2009 年每年向大气净排放约 1.0 PgC^[35]。这一净估计值包括对森林收获、森林砍伐、森林退化和森林再生期间的直接影响以及 2000 年以前进行的这些活动的释放和森林再生的剩余效应^[24,35]。在考虑到土地利用和土地覆盖变化、化石燃料排放量以及大气二氧化碳浓度变化和海洋 CO₂ 吸收量的净影响之后，陆地碳通量的其余部分通常被估算为“剩余”，需要平衡全球碳预算，从 2000 年到 2009 年每年约

2.4 PgC。按照 Le Quéré 等^[41]的逻辑归因理论, 整个 2.4 PgC 陆地碳汇归因于 CO₂ 增施、氮沉降和气候变化。



注: 虚线为非管理森林。Note: Dotted line indicate unmanaged forest ecosystem.

图 1 非管理森林与受管理森林的保留碳假设实例

Fig.1 Hypothetical example of carbon stored in managed forest ecosystem and unmanaged forest ecosystem.

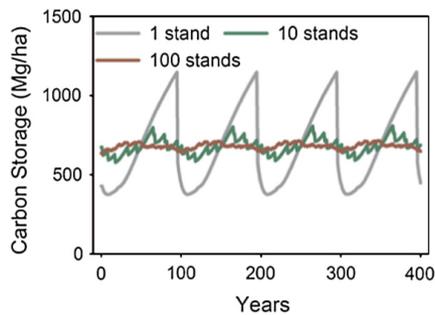


图 2 管理行为对不同空间和时间尺度碳储存的影响^[46]

Fig.2 The impact of management actions on carbon storage at different spatial and temporal scales^[46]

Pan 等^[5]根据全球森林清查信息, 估算了剩余陆地碳汇。他们将大多数剩余陆地碳汇归结于“已建立”的森林(不包括森林砍伐和热带森林的造林), 很少或没有将净变化归因于非林地如农田、热带草原和牧场的影响, 认为其对陆地总碳汇的贡献并不是主要的。Pan 等^[5]分析, 成熟森林碳含量受管理、自然干扰、大气成分和气候变化等多种因素的影响。因此, 我们建议剩余的陆地碳汇应包括土地管理和自然干扰的一些影响, 或者成为土地利用和土地覆盖变化估算的一部分^[17,41]。例如, 工业林地的生产力有了显著的提高^[47], 许多以前的森林砍伐和非森林用地开始恢复, 目前处于相对较高的生产年龄^[48]。然而, 目前很难将全球剩余陆地碳汇与森林管理和其它因素, 如 CO₂ 增施、氮沉降和自然干扰相分离。张臻^[49]的一项研究综合了来自许多不同来源的全球

估计数据(包括 Pan 等^[4]的估计), 全球陆地碳汇高达 60% 归因于大气二氧化碳的增加。

然而, 缺乏可用性的全球定量分析, 分离了影响森林碳储量因素的相对贡献, 假设 2000—2009 年土地利用变化和森林管理净效应的下限等于 Houghton 等^[35]报道的每年 1.0 PgC, 上限等于同一时期的全部估计的剩余陆地汇, 或每年 +2.4 PgC^[41], 根据对各种报告估计数和模拟研究的专家分析, 使用 FAO 广泛的管理定义对森林管理效果的真实估计可能大致在这两个极端之间的一半, 或约每年 +0.7 PgC, 也是温带和北方森林总碳汇的一半左右^[5]。如果这一管理影响的初步估算与 FAO 界定的管理计划下的全球森林直接相关, 那么每年通过管理森林, 这些土地上碳的平均增益将接近每公顷 0.4 t 碳。这一估计值只包括人为对已建成森林管理的直接影响, 不包括其他因素。

4 结论与讨论

4.1 综合分析表明, 由于土地利用与土地覆盖指标的固有差异, 导致 FAO 对森林面积的估计与基于遥感的类似估计数不同。例如, Erb 等人^[17]根据土地覆盖变化, 对森林面积进行了空间上的明确估计, 表明 FAO 根据土地利用的估算是土地覆盖估计数的 94%。FAO 还利用卫星覆盖的土地覆盖方式来补充清查方法, 这些结果显示出全球森林面积略小, 为基于清查方法估计数的 96%。基于林木覆盖率的估算可能包括不符合森林清查定义的树木的土地, 因为观测的树木覆盖率可能低于从库存角度对森林进行分类的百分比阈值, 或者可能还有另一个更为主要的土地利用, 如在城市或发达国家普遍能观察到的树木。另一方面, 土地利用指标通常包括暂时没有树木的土地(如最近收获但没有再生)作为林地, 而这些地区可以根据覆盖划分为非林地类型, 因为它们缺乏可观察到的树木覆盖。

研究表明, 虽然自 1990 年以来, 全球林地面积总量已经下降了几个百分点, 但一些森林类别却稳定增加, 如保护区面积增加、人工林和经营管理下的森林面积大幅增长, 然而非管理天然林的面积急剧下降。虽然本文没有在全球尺度进行量化, 但随着城市和发达国家的土地面积增加, 森林外部的土地面积很可能增加^[50], 以及一些以前不满足森林定义的干旱林地也将发展^[51]。

4.2 研究表明,对陆地碳汇可能产生重要影响的林地进行多样化使用,在小区域的林地集中生产木材成为一个发展趋势。然而这一管理趋势可能会由于使用木材作为生物燃料的增加发生变化。从全球来看,木材生产自1990年以来一直相对稳定,但非木材林产品用途的森林面积越来越多,表明采伐量占总森林面积的比例较小,而生物燃料的采伐量正在增加^[52]。将木材生产集中在较小的土地基础上生产,间接的减少了其它最佳森林区的砍伐,而这些集中生产的林地将带来显著的碳汇效应。然而,这些集中生产地区主要会因自然干扰(包括干旱)而遭受较高的碳损失,这在美国西部和其他地方已经很明显^[53]。

4.3 由于对“管理”一词的不同解释,导致剩余碳汇的估算结果不同。Houghton等人^[35]将管理视为树木采伐,其研究的结果取决于木材采伐的历史统计数据。而在Pan等^[54]和FAO的资料统计中,将森林管理视为一个更为广泛的概念,涉及对人类不同程度影响的森林的多种用途。然而,除了这种不一致之外,在全球范围内分离出管理、干扰和非扰动因素的影响仍然是一个问题的难点。Schimel等^[55]的研究确定了CO₂增施影响的可信上限,即由于森林管理的影响结果估计为0.7 Gt C yr⁻¹,这是陆地碳汇(1.4 Gt C yr⁻¹)的60%,而其中由于将其余的陆地碳汇(0.3 Gt C yr⁻¹)归因于气候、氮沉降、自然干扰和其他陆地生态系统如灌木丛的影响。

不同的管理目标以及管理强度对碳储量有很大的直接和间接影响。集约管理的森林可以更有效地生产木材并从大气中清除二氧化碳,然而集约管理的森林的碳储量往往低于原始森林。首先,随着全球土地管理日益加强,土地被转化为作物、牧场和人类生活的定居点,那么将会导致一个重要的历史性后果,即陆地碳储量将会持续下降^[56、61]。这就导致在减缓气候变化政策中考虑,与经受相对较少干扰的高碳储存老龄林的土地相比,增加碳储量的潜力显著低于预期土地上的碳库潜力^[62]。虽然世界上大部分的森林土地已经被永久地转化为其他用途,而不太可能恢复到森林(如粮食生产),而其他地区的森林也是纤维生产和其他社会用途所需要的,这些类别可以增加人工林和碳密度,而不会对提供其他服务产生不利影响。Pan等^[5]比较了世界生物群系的当前生物量和潜在生

物量,表明目前全球森林包含了大约一半的生物量,而这些生物量在没有人类用于食物,纤维和其他非森林用途的情况下将会出现。其次,由于增加碳储量并不是森林或其他土地的唯一管理目标,所以碳储量潜在增长的多少可以作为减缓计划的一部分来实现。也可以提高现有管理森林的生产力,集约生产,以更快的速度固存碳,并在伐木制品中储存额外的碳^[57]。在最全面的全球分析中,Nabuurs等^[58]依据IPCC报告计算出,通过植树造林、减少森林砍伐和改进森林管理等林业活动减缓全球温室气体,可以每吨CO₂减少50~100美元的固碳成本。预计3.8 PgC有约1.6 PgC来自森林砍伐减少的贡献,这样可能会增加森林总碳吸收量,森林每年约固碳4.0~6.2 PgC,这可能是预期的全球森林生态系统的碳固存最大限度^[5]。

对于有重要碳汇效应的森林进行木材生产管理,需要考虑到C核算问题。即替代效应,使用木材代替其他材料(例如建筑施工),因为在采伐作业中从森林中清除的碳,会长期的保留在木制品中或被丢弃在堆填区,而这些碳不会立即返回大气层^[59]。如果可以研究替代效应,则可以进行生命周期分析,以确定与替代材料的生命周期相比,生长、收获和加工木材的整个周期的能源消耗、排放和碳封存^[46]。另一个人们越来越关注的问题是土地管理在气候上的生物物理效应,这种影响超出了碳对直接影响气候的地表反照率和蒸散量的解释。许多研究考察了土地利用和土地覆被变化对碳储量方面的影响,但很少有人考虑到土地利用类别内管理变化对碳储量的影响。刘纪远等^[60]发现,土地类别内的生物物理变化可能与土地类别变化具有相似的影响,因此随着技术发展,生物物理学应该越来越受到重视。最后,评估土地管理对碳影响的时间和空间尺度是至关重要的,因为结果很大程度上依赖于分析的时间范围和地理范围^[45]。

综上,本文讨论了全球意义的问题,即集约化土地利用和管理的过去以及未来的影响,使人类能够从土地资源中受益^[8]。研究发现土地管理强度持续增长的明确指标,所估算的管理森林的碳汇总体增长虽然很难将效果明确归因于管理或其他环境因素,然而,全球没有哪个区域没有受到人类活动对大气和气候变化的间接影响。未来,

面对这些间接影响以及土地管理的直接影响,在制定土地管理战略时,可能会变得越来越重要。

参考文献

- [1] 李仕利,唐国滔,董先胜,等.国内外土地利用/土地覆盖变化研究综述[J].广西农学报,2008,23(3): 42-44.
- [2] 寇许.土地利用/覆盖变化对生态环境影响研究综述[J].能源与节能,2017(1): 92-93; 188.
- [3] 刘纪远,邵全琴,延晓冬,等.土地利用与土地覆盖变化对气候影响的国别对比(英文)[J].Journal of Geographical Sciences,2016(7): 889-903.
- [4] 张玮辛,周永东,黄倩琳,等.我国森林生态系统植被碳储量估算研究进展[J].广东林业科技,2012,28(4): 50-55.
- [5] PAN Y, BIRDSEY R A, FANG J et al. A large and persistent carbon sink in the world's forests[J]. Science, 2011, 333(6045), 988-993.
- [6] LEO P R K M. IPCC 2014, Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of working groups I, II and III to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change[J]. Journal of Romance Studies, 2015, 4(2): 85-88.
- [7] 胡会峰,刘国华.森林管理在全球CO₂减排中的作用[J].应用生态学报,2006,17(4): 4709-4714.
- [8] FOLEY J A, DEFRIES R, ASNER G P, et al. Global consequences of land use[J]. Science, 2005, 309(5734): 570-574.
- [9] 郭蕾.森林资源管理与可持续经营[J].黑龙江科技信息,2009(3): 145.
- [10] 张志华,彭道黎.森林管理对森林碳汇的作用和影响分析[J].安徽农业科学,2008,36(9): 3654-3656.
- [11] 胡光,徐中飞.森林资源经营管理的问题及对策探讨[J].林业勘查设计,2005(4): 7-8.
- [12] SANDERSON E W, JAITEH M, LEVY M A, et al. The human footprint and the last of the wild[J]. BioScience, 2002, 52(10): 891-904.
- [13] Food and Agriculture Organization. Global Forest Resources Assessment 2010[R]. Rome: Food and Agriculture Organization, 2010.
- [14] POTAPOV P, YAROSHENKO A, TURUBANOVA S, et al. Mapping the world's intact forest landscapes by remote sensing[J]. Ecology and Society, 2008, 13(2): 51.
- [15] Nestel, B. Agricultural Research for Development: Potentials and Challenges in Asia[M]. ISNAR, Netherlands: The Hague, 1982.
- [16] PENMAN J, GYTARSKY M, HIRAISHI T, et al. Good practice guidance for land use, land-use change and forestry[J]. Inter-governmental Panel on Climate Change, 2003, 35(5): 103-105.
- [17] ERB K H, GAUBE V, KRAUSMANN F, et al. A comprehensive global 5 min resolution land-use data set for the year 2000 consistent with national census data[J]. Land Use Science, 2007, 2 (3): 191-224.
- [18] 延昊.中国土地覆盖变化与环境影响遥感研究[D].北京:中国科学院研究生院(遥感应用研究所),2002.
- [19] 莫登奎,林辉,孙华,等.基于高分辨率遥感影像的土地覆盖信息提取[J].遥感技术与应用,2005,20(4): 411-414; 410.
- [20] 李晓兵,陈云浩,喻锋.基于遥感数据的全球及区域土地覆盖制图—现状、战略和趋势[J].地球科学进展,2004,19(1): 71-80.
- [21] 刘英,赵荣钦.土地利用/覆盖变化研究的现状与趋势[J].河北师范大学学报,2004,28(3): 310-315.
- [22] 王绍强,陈育峰.美国土地覆盖与土地利用研究动向[J].地球信息,1998(1): 60-63.
- [23] HOUGHTON R A. Keeping management effects separate from environmental effects in terrestrial carbon accounting[J]. Global change biology, 2013, 19(9), 2609-2612.
- [24] PONGRATZ J, REICK C H, HOUGHTON R A, et al. Terminology as a key uncertainty in net land use and land cover change carbon flux estimates[J]. Earth System Dynamics, 2014, 5(1): 177-195.
- [25] BIRDSEY R, ANGELES-PEREZ G, KURZ W, et al. Approaches to monitoring changes in carbon stocks for REDD+[J]. Carbon Management, 2013, 4(5): 519-537.
- [26] PAN Y, BIRDSEY R A, PHILLIPS O L, et al. The structure, distribution, and biomass of the world's forests [J]. Annual Review Ecology Evolution & Systematics, 2013(44): 593-622.
- [27] Gregoire T G. Roots of forest inventory in North America[J]. Proceedings of the Society of American Foresters National Convention, 1992, 6(3): 274-274.
- [28] 曹云.基于MODIS数据产品与Landsat遥感影像的云南省近十年森林扰动监测方法研究[D].南京:南京信息工程大学,2015.
- [29] WANG F, EURICO J. Potential of MODIS EVI in identifying hurricane disturbance to coastal vegetation in the northern Gulf of Mexico[J]. Remote Sensing, 2010, 2(1): 1-18.
- [30] 谢进金.基于遥感抽样技术的平南县森林蓄积量估测[D].长沙:中南林业科技大学,2011.
- [31] 闫飞.森林资源调查技术与方法研究[D].北京:北京林业大学,2014.
- [32] 刘恩.南亚热带典型人工林碳储量研究[D].北京:中国林业科学研究院,2012.

- [33] PEARSON T R H, BROWN S L, BIRDSEY R A. Measurement guidelines for the sequestration of forest carbon[R]. New town Square: USDA Forest Service, 2007.
- [34] 李巍, 王传宽, 张全智. 林木分化对兴安落叶松异速生长方程和生物量分配的影响[J]. 生态学报, 2015, 35(6): 1679-1687.
- [35] HOUGHTON R A, HOUSE J I, PONGRATZ J, et al. Carbon emissions from land use and land-cover change[J]. *Biogeosciences*, 2012, 9(12): 5125-5142.
- [36] 陈耀亮, 罗格平, 叶辉, 等. 1975-2005年中亚土地利用/覆被变化对森林生态系统碳储量的影响[J]. 自然资源学报, 2015, 30(3): 397-408.
- [37] KURZ W A, DYMOND C C, WHITE T M, et al. CBM-CFS3: a model of carbon-dynamics in forestry and land-use change implementing IPCC standards[J]. *Ecological Modelling*, 2009, 220 (4): 480-504.
- [38] Food and Agriculture Organization. Land use, 2009 [OL]. FAOSTAT, 2009. <http://faostat.fao.org/site/377/default.aspx#ancor>.
- [39] CIAIS P, SABINE C, BALA G, et al. Carbon and other biogeochemical cycles[M]. United Kingdom Cambridge: Cambridge University Press, 2013: 465-570.
- [40] Food and Agriculture Organization. State of the World's Forests, 2009[R]. Rome: Food and Agriculture Organization, 2009.
- [41] LE QUERE C, PETERS G P, ANDRES R J, et al. Global carbon budget 2013[J]. *Earth System Science Data*, 2013(6): 689-760.
- [42] GRAINGER A. Difficulties in tracking the long-term trend of tropical forest area[J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2008, 105(2): 818-823.
- [43] HADDAD N M, BRUDVIG L A, CLOBERT J, et al. Habitat fragmentation and its lasting impact on Earth's ecosystems[J]. *Science advances*, 2015, 1(2): e1500052.
- [44] NORBY R J, LUO Y. Evaluating ecosystem responses to rising atmospheric CO₂ and global warming in a multi-factor world[J]. *New Phytologist*, 2004, 162(2): 281-293.
- [45] MCKINLEY D C, RYAN M G, BIRDSEY R A, et al. A synthesis of current knowledge on forests and carbon storage in the United States[J]. *Ecological Applications*, 2011, 21 (6): 1902-1924.
- [46] PEREZ-GARCIA J, LIPPKE B, COMNICK J, et al. An assessment of carbon pools, storage, and wood products market substitution using life-cycle analysis results[J]. *Wood and Fiber Science*, 2005, 37: 140-148.
- [47] STANTURF J A, KELLISON R C, BROERMAN F S, et al. Productivity of the southern pine plantations: where are we and how did we get here?[J]. *Journal of Forestry-Washington*, 2003, 101(3): 26-31.
- [48] PAN Y, CHEN J M, BIRDSEY R, et al. Age structure and disturbance legacy of North American forests[J]. *Biogeosciences*, 2011, 8 (3): 715-732.
- [49] 张臻. 时空异质条件下的大气CO₂施肥效应对全球碳水循环影响的模拟研究[D]. 南京: 南京大学, 2013.
- [50] GUO Z D, HU H F, PAN Y, et al. Increasing biomass carbon stocks in trees outside forests in China over the last three decades[J]. *Biogeosciences*, 2014, 11(15): 4115-4122.
- [51] PIAO S, YIN G, TAN J, et al. Detection and attribution of vegetation greening trend in China over the last 30 years [J]. *Global Change Biology*, 2015, 21(4): 1601-1609.
- [52] RIGHELATO R, SPRACKLEN D V. Carbon mitigation by biofuels or by saving and restoring forests?[J]. *Science*, 2007, 317(5840): 902.
- [53] HICKE J A, ALLEN C D, DESAI A R, et al. Effects of biotic disturbances on forest carbon cycling in the United States and Canada[J]. *Global Change Biology*, 2012, 18(1): 7-34.
- [54] BELLASSEN V, VIOVY N, LUYSSAERT S, et al. Reconstruction and attribution of the carbon sink of European forests between 1950 and 2000[J]. *Global Change Biology*, 2011, 17 (11): 3274-3292.
- [55] SCHIME D, BRITTON B S, FISHER J B. Effect of increasing CO₂ on the terrestrial carbon cycle. *PNAS*, 2014, 112 (2): 436-441.
- [56] 盛浩, 周萍, 李洁, 等. 中亚热带山区深层土壤有机碳库对土地利用变化的响应[J]. 生态学报, 2014, 34(23): 7004-7012.
- [57] BELLASSEN V, LUYSSAERT S. 2014. Carbon sequestration: managing forests in uncertain times[J]. *Nature*, 506(7487), 153-155.
- [58] ZISUO L. Trends analysis on spatiotemporal characteristics of reference evaporation in the yangtze river basin[J]. *Journal of Water Resources Research*, 2015, 4(6): 522-529.
- [59] 邱建生, 张彦雄, 陈景艳, 等. 中国林业碳汇的发展现状及趋势综述[J]. 贵州林业科技, 2010, 38(1): 49-54;48.
- [60] 刘纪远, 邵全琴, 延晓冬, 等. 土地利用变化影响气候变化的生物地球物理机制[J]. 自然杂志, 2014, 36(5): 356-363.
- [61] 周毅, 钟锡均, 郭乐东, 等. 不同土地利用形式下表土有机碳含量和密度特征的研究[J]. 广东林业科技, 2009, 25(6): 1-7.
- [62] 林雯, 李吉跃, 周平, 等. 广州市3种典型人工林碳储量及分布特征研究[J]. 广东林业科技, 2014, 30(2): 1-7.