

森林碳汇测量方法对比分析

高琛,黄龙生,刘甲午,郑素珊,周盈光

(河北农业大学林学院,河北,保定 071000)

摘要:系统总结了样地实测法、材积源生物量法、净生态系统碳交换法和遥感判读法 4 种森林碳汇测算方法,并从理论基础、数据来源、测算方法、评估结果等方面对比分析了 4 种研究方法的优缺点,为精确测量森林碳汇功能的研究提供理论和方法借鉴。

关键词:森林碳汇;测量方法;分析

中图分类号:S718.56

文献标识码:A

文章编号:1002-3356(2014)01-0035-03

陆地碳循环是一个动态的变化系统,它包括土壤、植被、残体、黑碳和木产品等。森林决定了陆地碳循环的动态变化,且在全球碳平衡中扮演重要的角色。森林碳汇评估研究现在被用作全球碳减缓重要部分^[1]。近年来,国内外对森林碳储量已开展大量研究,这些研究不仅强调森林在碳循环的重要性,而且还说明了量化、实施、调节和管理森林碳库的必要性。但由于研究时间不一致,测量方法不统一,研究尺度各异,使得研究结果不具有可比性。因此,有必要系统概述森林碳汇测量方法,为碳汇的精确测量提供理论基础。

1 森林生态系统碳汇测算方法类别

目前,森林碳储量测算方法主要有样地实测法、材积源生物量法、净生态系统碳交换法与遥感判读法四种方法。各测算方法如下所述。

1.1 样地实测法

样地实测法通过样地实测直接获得生物量和土壤碳储量数据,累加后得到森林生态系统的碳储量。该方法中碳储量不需要其他任何转化,多用于小尺度上的研究,但利用遥感、模型等将其进行尺度转化后也可以获得大尺度的生物量。生物量的样地实测法在国际生物学计划(IBM)期间应用较多。利用样地实测法获得的大量研究成果为其它材积源生物量法和净生态系统碳交换法等研究提供了理论和数据基础。

1.2 材积源生物量法

目前各国开展的森林资源清查提供了大量森林蓄积量和面积数据,使得利用林分蓄积量与生物

量之间存在显著相关关系推算总生物量成为可能,该方法被称作材积源生物量法。1984 年 Brown and Lugo 首先提出了利用木材密度(一定鲜材积的烘干重)乘以总蓄积量和总生物量与地上生物量的转换系数的材积源生物量法^[2]。克服了生物量转换因子法将生物量与蓄积量比值(BEF)作为常数的不足,生物量转换因子连续函数法被提出,实现了由样地调查向区域推算的尺度转换^[3]。

1.3 净生态系统碳交换法

微气象观测技术的进步为植被—大气界面、土壤—大气界面的水、碳和能量通量的直接测定提供了可能。净生态系统碳交换法是对大气与森林之间的 CO₂、H₂O 和热量通量进行非破坏性测定的一种碳汇测量方法。目前国际上以涡度相关法为主流,它与风向、风速和温度等因子测定相结合,通过测定从地表到林冠上层 CO₂ 浓度的垂直梯度变化来估算生态系统碳通量。涡度相关技术的进步使得长期定位观测成为可能。目前净生态系统碳交换法已成为直接测定大气与群落 CO₂ 交换通量的主要方法,也是世界上 CO₂ 和水热通量测定的标准方法。

1.4 遥感判读法

在需要获取高精度、大面积的森林生物量时,传统生物量估测方法不能及时反映大面积宏观生态系统的动态变化及生态环境状况,无法满足现实中的需要。这种情况下,人们开始利用遥感技术来替代传统的研究方法进行生物量估测。遥感法多利用红波段和近红外波段的组合即植被指数和叶面积指数及植被覆盖度等的关系,推断出植被指数与生物量之间的关系进而求得生物量,可快速、准确、无破坏地对生物量进行估算,进而对生态系统

进行宏观监测。

2 森林碳汇四种测量方法对比

本文从理论基础、数据来源及测算方法、评估结果对比分析等方面,系统总结样地实测法、材积源生物量法、净生态系统碳交换法和遥感判读法四种碳汇测算方法,为精确测量森林碳汇功能的研究提供理论和方法借鉴。

2.1 理论对比分析

样地实测法是通过设立典型样地,用收获法准确测定森林生态系统中的植被、枯落物或土壤等碳库的碳贮量,并可通过连续观测来获知一定时期内的通量变化情况。该方法是最直接的森林碳汇测量方法,不仅技术简单,而且免去了不必要的系统误差和人为误差,实现了森林碳汇的精确测算。在所有碳汇测量方法中,该方法的测定精度最高,是其它碳汇测量方法验证的理论基础。但样地实测法需要的样本数大,测量过程较费时耗力,在测量过程中往往存在样地不足、易出现重复性和代表性不高的数据等缺点^[2]。同时样地实测法是最原始、国际上公认误差最小的碳汇测算方法,其优点远远胜过缺点,至今一直被人们广泛使用。

材积源生物量法依据森林生物量和蓄积量之间存在的密切关系估算森林植被碳储量,是采用森林的蓄积量、树高、胸径等来推理森林的生物量和生产力的,测定方法简单可行。由于森林生态系统树种多样、结构复杂、林龄不同等因素的影响,增加了生物量和蓄积量之间关系建立的复杂性^[3]。一般人工林生物量和蓄积量的关系与天然林生物量和蓄积量的关系是截然不同的。因此,该方法还需要大量的实测数据来验证。

净生态系统碳交换法是一种直接测定植被与大气间二氧化碳通量的碳汇测量方法,目前以涡度相关法为主。涡度相关观测系统分为冠层上观测和冠层下观测,这样可以量化碳源的分布和相应贡献因子如树干结构、亚冠层植被和土壤特征参数(温度、湿度、碳氮比)的碳通量贡献率。冠层上涡度相关系统夜间所测的碳通量为总生态系统碳通量;而冠层下涡度相关系统所测的碳通量是整合土壤、森林地表层、树干、灌木层等碳源在上风向碳通量的连续变化,该系统的碳通量观测时间尺度较长,有利于解释森林生态系统陆地表面每天和每季的碳通量变化。由于冠层下净通量是大气和下垫面

的表层元素通量交换的结果,这些元素包括土壤、植被等的呼吸,所以涡度相关技术观测土壤碳通量过程中仍然受到很多限制。例如采样点容易产生系统误差、观测过程易受到树干或某个表面元素的影响等。且该方法测定的碳通量存在能量不闭合及碳通量低估现象,而且涡度相关数据系列的校正与插补比较复杂^[4]。因此,目前涡度相关法在森林生态系统碳汇测算中还未被普遍使用。

植被的遥感图像信息是由其反射光谱特征决定的,成为遥感判读法测定森林碳汇的理论基础。遥感图像光谱信息具有良好的综合性和实时性,与森林生物量之间存在相关性,基于遥感信息的森林生物量估测比传统方法更加优越^[5]。用于区域植物生物量估测的遥感模型基础,是从光合作用即植被生产力形成的原理过程出发,根据植物对太阳辐射的吸收、反射、透射,和辐射在植被冠层内及大气中的传输,结合植被生产力的生态影响因子,在卫星接收到的信息之间建立完整的数学模型及其解析式进行遥感信息与环境因子的反演。由于植被遥感在理论和技术上的一些不完备性,目前,碳汇估算精度还不是很高,有待于进一步研究。

2.2 数据来源及测算方法对比分析

样地实测法的森林碳汇数据包括植被和土壤碳储量两部分。植被碳储量数据收获法直接获得,土壤碳储量数据由土壤类型法获得,森林面积来源于全国森林资源清查。该方法的最大优点是不受其它环境影响,直接得到森林碳储量的数据,由于避免数据转换带来一系列误差,其误差最小。此外,该方法也存在着不足之处,例如要通过采伐来获得实测数据,具有一定的破坏性。因此,此方法在小尺度上精度高,在大尺度转换上存在样地、标准树不足等问题。

材积源生物量法需要的参数数据有森林蓄积量、木材密度、生物量转换因子、森林面积。森林蓄积量和面积来源于全国森林资源清查,木材密度来自于文献资料或样地实测,生物量转换因子通过文献资料中蓄积量和生物量关系获得。该方法利用树高、胸径等来推导森林的生物量和生产力,参数获得的方法简单,但理论上蓄积量和生物量的森林碳汇数据只包括植被碳储量,忽略了地下土壤碳储量。

净生态系统碳交换法中森林碳汇数据包括净生态系统碳交换量 NEE、异养呼吸 Rh 等,且数据

由涡度相关法获得。由于涡度相关法对地形环境要求较高,目前在森林生态系统中测得的碳汇数据不严谨,再加上该方法使用的仪器昂贵,观测点的数量受到限制(基本被选择在植被较好、地势较平坦的地方)导致测定结果偏大。因此,该方法目前在我国不可能大面积推广。

遥感判读法森林碳汇数据只包括植被碳储量数据,数据参数包括植被指数(如 NDVI、RVI)、生物量、森林面积等。首先建立植被指数与生物量的关系模型,之后推导森林生物量,进而计算出森林植被碳储量。遥感技术的使用大大提高了对森林生物量的研究范围、研究精度和实时性。由于光学遥感、微波遥感、激光雷达遥感等的生物量估测各有其优缺点,应根据研究地的实际情况来购买合适的遥感数据。此外,使用的生物量模型还需根据实际问题做适当改进,如经验模型的合理程度主要取决于获得样本数量的大小和处理数据的水平。

2.3 评估结果对比分析

目前国内有关森林生态系统的碳汇数据存在巨大差异。根据于贵瑞对亚洲区域部分生态系统净生态系统碳交换量的研究,采用涡度相关法,得到我国森林生态系统碳汇量为 5.28 亿 t C/年;而利用样地实测法测得同时期我国森林生态系统碳汇量为 3.19 亿 tC/年^[6]。两者测定结果差异较大,这可能是由于净生态系统碳交换法要求观测点足够多而导致的。目前我国森林生态系统采用此方法的森林生态站已近 30 个,但已有一年以上观测数据的不足 10 个。因此,用此方法获得的观测数据测算的我国森林生态系统碳汇还存在较大误差。

方精云等基于收集到的全国各地生物量和蓄积量的 758 组研究数据,把中国森林类型分成 21 类,并利用倒数方程分别计算了每种森林类型的 BEF(生物量转换因子)与林分材积的关系^[3]。但这种线性关系存在样本不足的缺陷。例如,在建立桦木、栎类、桉树等树种的生物量和蓄积量的线性关系时,所用的样本数分别是 4、3 和 4;而对于热带森林所有树种所采用的样本数也仅为 8 个。这种用简单的线性关系对生物量和蓄积量的估算存在争议。该方法的研究结果森林植被年固碳为 1.68 亿 tC/年,远小于同时期样地实测法的研究结果(3.01 亿 tC/年)。由于树木既有低碳组织,又有高碳组织,所以目前在对生物量转化为碳含量时的转换系数

大多在 0.45~0.55 之间,但究竟在什么状态下运用什么系数都只是凭经验来选择,并没有相应准确的规定。树木生长是一个动态的过程,生物量的积累不仅和树种本身密切相关,还与立地质量、气候条件等多方面因素有关。因此,材积源生物量法有待进一步提高。

3 小结

4 种森林碳汇测量方法均有其各自的优缺点。实际测算中可按照研究目的和要求采用不同的方法对森林的碳汇进行计量。在当前《京都议定书》和清洁发展机制的促动下,样地实测法无疑是一种更为直接、精确的碳汇测算方法;此外还可通过测量材积源或测量蓄积量来推算碳汇储量,由于针对不同树种,不同年龄森林蓄积量和碳储量之间的直线或曲线关系不同,该碳汇测量方法只适用于小区域或大范围粗略估算;涡度相关法理论上测定结果精确,但目前在我国也不可能大面积推广;而在众多研究中的对象都是大范围森林生态系统,或是省级、国家级森林覆盖区,采用的碳汇方法需要遥感技术来辅助完成,以获得精确的数据。

参 考 文 献

- [1] Sedjo R A, Toman M A, Birdsey R A, et al. Can Carbon Sinks be Operational? An RFF Workshop Summary. Resources for the Future[R]. Discussion Paper 01-26, July 2001. Washington, DC, 2001.
- [2] Brown S, Lugo AE. Biomass of tropical forests: A new estimate based on forest volumes[J]. Science, 1984, 223: 1290-1293.
- [3] 方精云, 刘国华, 徐嵩龄. 中国陆地生态系统碳循环[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1996: 109-128.
- [4] 于贵瑞, 伏玉玲, 孙晓敏, 等. 中国陆地生态系统通量观测研究网络(ChinaFLUX)的研究进展及其发展思路[J]. 中国科学: D 辑, 2006, 36(A01): 1-21.
- [5] Friedl M A, Davis F W, Michaelsen J, et al. Scaling and uncertainty in the relationship between the NDVI and land surface biophysical variables: An analysis using a scene simulation model and data from FIFE[J]. Remote Sensing of Environment, 1995, 54(3): 233-246.
- [6] 于贵瑞, 张雷明, 孙晓敏, 等. 亚洲区域陆地生态系统碳通量观测研究进展[J]. 中国科学: D 辑, 2005, 34(A02): 15-29.