

引用格式: 许恩银, 陶韵, 杨红强. LULUCF 关联林业碳问题研究进展[J]. 资源科学, 2019, 41(9): 1641-1654. [Xu E Y, Tao Y, Yang H Q. Research progress of forestry carbon issues related to land use, land-use change and forestry[J]. Resources Science, 2019, 41(9): 1641-1654.] DOI: 10.18402/resci.2019.09.06

# LULUCF 关联林业碳问题研究进展

许恩银<sup>1,2</sup>, 陶 韵<sup>1,2</sup>, 杨红强<sup>1,2,3</sup>

(1. 南京林业大学经济管理学院, 南京 210037; 2. 国家林业局林产品经济贸易研究中心, 南京 210037; 3. 南京大学长江三角洲经济社会发展研究中心, 南京 210093)

**摘 要:** 土地利用、土地利用变化和林业(LULUCF)关联的碳问题是影响适应和减缓气候变化的重要问题。厘清近20年来LULUCF涉及林业碳科学的国际研究进展, 对作好响应气候变化的林业政策制定及调整具有重要意义。本文应用CiteSpace分析工具, 以Web of Science数据库1999—2018年的175篇文献为研究对象, 运用知识图谱分析, 归纳了LULUCF林业碳问题的研究趋势。结果表明: ①“制度和方法的改进”“林业管理行为”和“环境目标”3大类群是当前LULUCF的研究主题。②德国、意大利、英国和美国是研究LULUCF的主要国家, 分别侧重于研究毁林、林业项目、经济成本问题和部门响应机制。③LULUCF社会科学的研究重点是土地利用管理、政策制度的响应机制和减缓气候变化的信贷等经济调节杠杆问题, 主要方法是以情景分析法和一般均衡模型为代表的工程管理学与经济学方法。本文对于中国LULUCF未来的研究提供了相关建议: 完善LULUCF碳核算基础方法和土地利用及动态变化监测的理论及手段, 重视林业管理项目的科学评估及其对林业政策调整的指导作用, 加快推进LULUCF碳预算及土地利用部门针对减排方案的制订。

**关键词:** LULUCF; CiteSpace; 林业碳; 聚类; 林业管理项目; 碳预算; 碳抵消

DOI: 10.18402/resci.2019.09.06

## 1 引言

人类活动所引起的土地利用变化是导致温室气体浓度上升和气候变化的重要原因之一, 国际上关于碳汇碳源的研究中, 土地利用变化与生态系统涉及的碳问题是应对气候变化的重点<sup>[1]</sup>。《联合国气候变化框架公约》(United Nations Framework Convention on Climate Change, UNFCCC)中《京都议定书》(Kyoto Protocol, KP)第二承诺期的焦点问题在于资金机制安排、技术转让、发达国家履约、土地利用和林业, 其中林业议题的重点是“土地利用、土地利用变化和林业”(Land Use, Land Use Change and Forestry, LULUCF)、“减少发展中国家毁林和森林

退化所致碳排放”(Reducing Emissions from Deforestation and Forest Degradation, REDD+)和“木质林产品”(Harvested Wood Products, HWP)3个方面<sup>[2]</sup>。UNFCCC三大林业核心议题LULUCF、REDD+和HWP涉及的气候变化及碳问题侧重点见图1。

LULUCF是指由于人为直接利用土地、改变土地利用和林业活动而产生的温室气体的排放和清除<sup>[3]</sup>。1995年联合国政府间气候变化专门委员会(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)第二次评估报告<sup>[4]</sup>首次将林木种类构成发生变化的生态系统的过程和向大气中释放碳结合起来, 这是LULUCF的雏形; 1998年科技咨询机构(Subsidiary

收稿日期: 2019-04-02 修订日期: 2019-07-12

基金项目: 江苏省“333 高层次人才培养工程”科研项目(BRA2018070); 国家社会科学基金重点项目(14AJY014); 江苏省研究生科研与实践创新计划项目(KYCX18\_0974)。

作者简介: 许恩银, 女, 江苏南通人, 博士生, 主要研究方向为土地利用、土地利用变化与林业。E-mail: xuennyin068@163.com

通讯作者: 杨红强, 男, 陕西渭南人, 博士, 教授, 博导, 主要研究方向为气候变化及资源利用, 林产品贸易与环境。E-mail: yhqnfu@aliyun.com

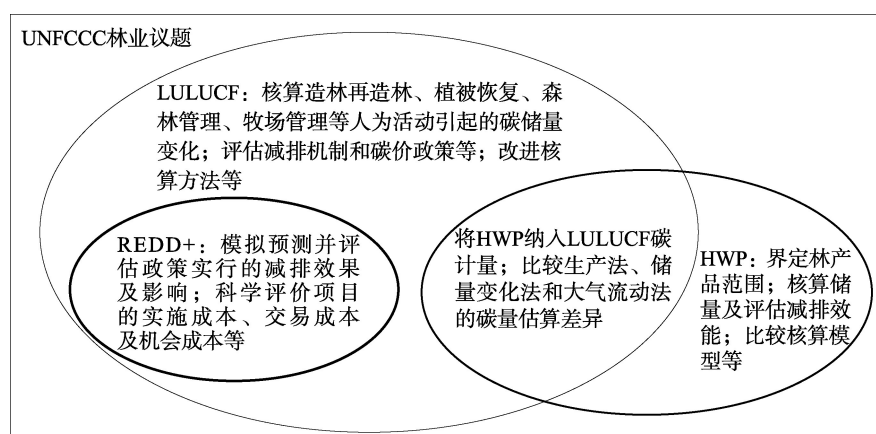


图1 UNFCCC林业核心议题及碳问题

Figure 1 The core forestry and carbon issues in the United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC)

Body for Scientific and Technological Advice, SBSTA) 提出建议审查与“土地利用、土地利用变化和林业活动”活动有关的碳固存战略以及 KP 相关条款的科学和技术理解状况的报告, 同年 IPCC 第 14 次会议批准了特别报告的范围、结构和大纲; 2000 年关于“土地利用、土地利用变化和林业的特别报告”(IPCC Special Report on Land use, Land-Use Change and Forestry, SR-LULUCF) 正式发布; 2001 年 IPCC 第三次评估报告<sup>[5]</sup>中第一次正式出现“LULUCF”, 并且第三工作组报告具体分析它的减排技术、发展障碍、发展机会和对土地利用的影响; IPCC 第四次评估报告<sup>[6]</sup>将 LULUCF 与能源供应、交通运输、工业、农业等行业并列作为鼓励采取减缓行动的关键行业; IPCC 第五次评估报告<sup>[7]</sup>将 LULUCF 作为影响适应和减缓气候变化及其共生效益联系的主要因素之一。

2000 年后, 国际范围 LULUCF 项目的碳减排潜力、社会总成本及其对环境和农村生计的影响是主要关注问题<sup>[8-10]</sup>。至 2010 年, LULUCF 又被作为温室气体清单核算的重要部门之一, 核算方法的适用性和不确定性程度颇受关注<sup>[11-13]</sup>。当前, 对 LULUCF 的研究集中于核算 LULUCF 缓解温室气体排放的潜力, 评估其为实现减排目标做出的贡献<sup>[14]</sup>, LULUCF 的巨大缓解潜力让清洁发展机制 (Clean Development Mechanism, CDM) 和其他气候政策工具都有望为其提供资金支持<sup>[15]</sup>。LULUCF 涉及碳储量的变化受许多因素的影响, 包括不同土地用途的

适用性及碳固存、碳价格政策的有效性等<sup>[16,17]</sup>, 同时一系列评估土地用途适用性和政策有效性的方法也得到了关注<sup>[18]</sup>。中国作为碳排放大国, 近十多年来, 关于 LULUCF 的研究以张小全<sup>[1,19-21]</sup>、李玉娥<sup>[22-24]</sup>、刘硕<sup>[22,23]</sup>、赵志平<sup>[25]</sup>和李智勇<sup>[26]</sup>等学者为代表, 主要涉及国际气候谈判责任、KP 承诺期减排目标、土地利用变化与生态系统碳库、LULUCF 温室气体清单编制、LULUCF 碳汇计量监测体系等方面。具体关联到林业及其气候变化, 国内研究重点在生物量、碳储量、HWP、森林管理和森林碳汇等方面。国内的研究, 一方面考虑了 LULUCF 在完成 KP 减排目标中的作用及对碳排放交易市场的影响, 另一方面侧重不同 LULUCF 活动形式及碳计量方法在中国的适应性及改进问题, 既有的研究为以森林管理碳汇和 HWP 碳储量为代表的林业碳科学的进一步发展提供了重要基础。自 20 世纪 90 年代以来, 中国一直在实施植树造林和森林保护计划, 代表性重大林业管理项目诸如退耕还林、天然林保护工程等<sup>[27]</sup>, 这些重大的林业管理项目引致的 LULUCF 问题直接关系中国林业在应对气候变化的能力, 准确把握 LULUCF 林业碳问题的国际研究趋势及方法学, 对科学评估中国重大林业管理项目的碳贡献及政策调整具有重要参考价值。

本文目的在于梳理近 20 年 LULUCF 领域涉及林业碳科学问题的文献, 分析林业管理行为及碳活动国际间的研究重点及评估方法, 比较国内与其他国家的研究差异, 归纳 LULUCF 林业碳问题的研究

2019年9月

趋势及中国应注意的问题。本文利用 CiteSpace 5.3.R8 工具对目标领域的被引文献进行描述统计和数据挖掘,通过知识图谱和高中心性、高被引文献,归纳提炼 LULUCF 林业碳问题研究重点。LULUCF 发展的不同阶段在 IPCC 报告使用的表达方式不一致,因此收集文献时检索条件主题词包含了“土地利用、土地利用变化和林业”“土地利用变化和林业”和“林业和其他行业土地利用”3种表达术语。本文中将碳排放、碳吸收和碳储存等统称为碳活动。

## 2 数据来源与研究方法

### 2.1 数据来源

本文以 Web of Science(WOS)核心合集数据库作为数据来源。检索主题为“‘LULUCF’ OR ‘Land Use, Land- Use Change and Forestry’ OR ‘LUCF’ OR ‘Land- Use Change and Forestry’ OR ‘FOLU’ OR ‘Forestry and Other Land Use’”;检索时间跨度为 1999—2018 年;文献类型包括文章、综述、会议摘要和期刊评论等,共检索到 283 篇文献。

本文研究步骤分 2 个部分。其一,通过分阶段的关键词共现图谱分析 LULUCF 林业碳问题的研究历史演进,再通过文献共被引网络和国家合作网络分析其关联的代表文献和聚类。在这 283 篇文献中,54.10%的文献与环境生态学有关,19.10%的文献与林业有关,9.50%的文献与农业有关,其他还涉及了地质学、能源燃料、生物多样性保护和水资源等专业。为了使林业碳的研究角度更精确,在 283 篇文献中加入检索词“forestry”和“carbon”,精炼出与林业和碳问题有关的 175 篇文献作为本文的样本。

其二,考虑到在聚类结果中自然科学类文献较多,社会科学类文献在图谱中不明显,而 LULUCF 林业碳问题与社会经济因素关联性强,其管理方式也关系到减排措施的实施效果。因此,在这 175 篇文献中加入检索条件“‘management’ or ‘social’ or ‘economic’”,精炼出涉及社会经济因素的 83 篇文献,对这 83 篇文献进行关键词共现分析,进一步探究 LULUCF 林业碳问题在社会科学上的研究进展。

### 2.2 研究方法

#### 2.2.1 CiteSpace 聚类原理及逻辑

为合理评价 LULUCF 国际文献的关联性及研究趋势,本文引入文献关联度评价的主流方法

CiteSpace<sup>[28,29]</sup> 进行知识图谱聚类 and 归纳分析。CiteSpace 的核心功能是分析学科研究前沿与其知识基础之间的关系,继而提供针对研究对象的历时性变化趋势。CiteSpace 使用 3 个基本概念对其工作原理进行阐释,分别是“研究领域”“研究前沿”和“知识基础”。

CiteSpace 对这 3 个基本概念的逻辑关系定义为  $\Phi(t): \Psi(t) \rightarrow \Omega(t)$ 。其中,  $\Psi(t)$  表示某研究领域的“研究前沿”,它由一组在  $t$  时刻与研究前沿新趋势密切相关的专业术语或短语组成;  $\Omega(t)$  代表该研究领域的“知识基础”,它主要由包含前沿术语的研究论文所引用的大量参考文献组成;“研究领域”  $\Phi(t)$  则被概念化为一个从“研究前沿”到“知识基础”的时间映射。对上述基本概念及其关系的一个更为形式化的描述如下:

$$\Psi(t) = \{term | term \in S_{Ti} \cup S_{AB} \cup S_{DE} \cup S_{ID} \wedge IsHotTopic(term, t)\} \quad (1)$$

$$\Omega(t) = \{article | term \in \Psi(t) \cap term \in article_0 \cap article_0 \rightarrow article\} \quad (2)$$

式中:  $S_{Ti}$ 、 $S_{AB}$ 、 $S_{DE}$  和  $S_{ID}$  分别表示来自论文题目、摘要、作者关键词和增补关键词字段的一系列专业术语;  $IsHotTopic(term, t)$  是一个布尔函数,表示  $t$  时刻  $term$  是否为一个热点术语;而  $article_0 \rightarrow article$  表示论文  $article_0$  引用了论文  $article$ <sup>[30]</sup>。具体来说, CiteSpace 利用自动聚类标签视图从时间、分类不同角度展示出研究领域的分布情况,通过谱聚类算法生成知识聚类,如文献共被引网络和作者共被引网络等,再通过施引文献提取标签词,用来对应知识基础的研究前沿<sup>[31]</sup>。

#### 2.2.2 CiteSpace 评价指标

CiteSpace 中知识图谱和节点各自有不同的评价指标,知识图谱评价指标越高,则绘制效果越显著,节点的评价指标越高,则更具代表性。

知识图谱依据网络结构和聚类的清晰度提供了模块值(Modularity, Q 值)和平均轮廓值(Silhouette, S 值)2个指标,作为评判图谱绘制效果的依据。①模块值表示聚类结构的效果,计算公式为  $Q = \sum_i (e_{ii} - a_i^2)$ ,其中  $i$  是划分好的聚类编号,  $e_{ii}$  是聚类内部连线占全图所有连线的比例,  $a_i$  是聚类  $i$



相关的连线占全图所有连线的比例。聚类效果越好,内部连线就越多,从而 $e_{ii}$ 越大, $Q$ 值越大,一般 $Q > 0.30$ 就认为聚类结构显著<sup>[31]</sup>。②平均轮廓值表示聚类的同质性,即是否具有足够的相似性。单个样本点的轮廓系数是 $S_i = 1 - a/b$ , $a$ 为点 $i$ 与所在类中其他点的平均距离, $b$ 为点 $i$ 与最接近点 $i$ 所在类的类中各点的平均距离。平均轮廓值是各样本点轮廓值的平均数,一般认为 $S > 0.50$ 即聚类合理, $S > 0.70$ 即聚类是令人信服的<sup>[31]</sup>。

节点的中心性和被引频次分别表示节点信息在结构和基础上所起的作用,高中心性和高被引频次的节点信息在结构和基础上占据重要位置,可以作为某个阶段的研究重点代表。①节点中心性(Centrality)即网络中通过某节点的任意最短路径的条数,是网络中节点在整体网络中所起连接作用大小的度量。中心性不低于0.10的节点称为关键节点,关键节点控制科研走向,其他节点以关键节点为核心构成研究结构。②被引频次(Citation Counts)是节点信息被样本中其他文献引用的次数,新兴的研究趋势和新出现的科研主题映射于对应的高被引节点信息中。

聚类视图(图谱)可表达研究前沿和知识基础、研究前沿的演变,以及在演变过程中涉及的关键文献,但图谱只能勾勒整个研究领域的概况,却无法提供更深入的文献细节信息。首先,本文依次对175篇LULUCF林业碳问题的文献进行分阶段关键词共现、文献共被引和国家合作进行分析;其次,提炼了其中83篇与社会学相关的文献,并进行了关键词共现比较;然后,将国内研究和其他国家研究进行对比,梳理国内研究尚存在的问题;最后,结合对高被引频次、高中心性文献的研读和综合判断,对该领域国际间的研究趋势及中国相关研究值得关注的问题提出建议。

### 3 分类结果及解释

#### 3.1 LULUCF林业碳问题研究的历史演进

以1999—2018年的175篇文献为样本,每5年进行一次关键词共现分析,文献时间分区设置为1年,节点类型设置为“Keyword”,阈值选择设置为50。CiteSpace工具依据公式(1)、(2)原理, $\Omega(t)$ 为从WOS数据库的各阶段文献, $\Psi(t)$ 为在不同时刻

与LULUCF研究热点问题密切相关的术语,通过时间映射得到高频次关键词 $\Phi(t)$ ,具体结果在关键词共现图谱中显示。各图模块值均高于0.40,平均轮廓值均高于0.50,图谱绘制效果均显著。

本文将相关文献按5年分为4个阶段(图2),历史演进的聚类结果表明,LULUCF林业碳问题的研究在各个阶段呈现递进深入的研究趋势。第一阶段(1999—2003年),国际上关于LULUCF林业碳问题的研究处于起步阶段,主要关注的是碳固存和成本问题,合理利用CDM达到减排目标是最初的核心目标。第二阶段(2004—2008年),随着KP的正式生效,LULUCF活动和减排目标成为重点讨论话题,重点结合KP和马拉喀什协议的规定,对实现环境保护的各项LULUCF活动进行研究,此阶段的关键词涉及各部门应对机制、活动对农业的影响、对土壤碳及大气碳的影响等。第三阶段(2009—2013年),此阶段除了碳固存、减排和气候变化等,发展中国家和管理问题也成为了热门关键词,这意味着发展中国家在减排方面的地位提升,森林管理在减缓气候变化方面的贡献开始受到重视。第四阶段(2014—2018年),2014年后,LULUCF林业碳问题的研究内容逐渐丰富,在会议报告方面包括对KP和巴黎协定等的分析和评价;在林业项目方面包括对毁林、REDD+和森林管理等模拟预测及评估;在碳的研究方面包括温室气体排放、土壤有机碳和碳储存核算等;在土地利用方面包括农业及农地林地转化导致的碳储量变化等;在生态学方面包括生物量核算、生物多样性保护和替代能源的研究利用等。

#### 3.2 聚类标签的分类结果及代表文献

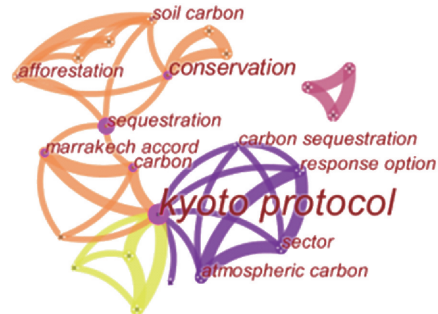
以175篇文献为样本,文献时间分区设置为1年,节点类型设置为“Reference”,阈值选择设置为50,即提取每年被引频次排名前50的被引用文献来生成最终的网络。调整优化后的文献共被引图谱共识别出6个共被引聚类,分别为多源比较(Multi-source Comparison)、林业发展项目(Forestry Development Program)、其他土地利用(Other Land Use)、十大短期部门基准(Ten Key Short-term Sectoral Benchmark)、信贷核算(Credible Accounting)和碳(Carbon)。

2019年9月

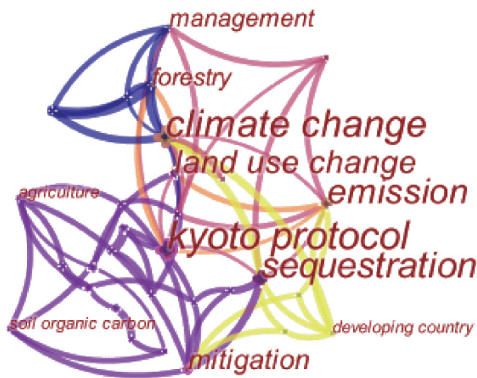
Time span: 1999-2003 (Slice Length=1)  
Selection Criteria: Top 50 per slice, LRF=2, LBY=8,  $c=2.0$   
Network:  $N=2$ ,  $E=1$  (Density=1)  
Pruning: None  
Modularity  $Q=0.5$   
Mean Silhouette=5



Time span: 2004-2008 (Slice Length=1)  
Selection Criteria: Top 50 per slice, LRF=2, LBY=8,  $c=2.0$   
Network:  $N=24$ ,  $E=46$  (Density=0.1667)  
Pruning: None  
Modularity  $Q=0.591$   
Mean Silhouette=0.878



Time span: 2009-2013 (Slice Length=1)  
Selection Criteria: Top 50 per slice, LRF=2, LBY=8,  $c=2.0$   
Network:  $N=35$ ,  $E=99$  (Density=0.1664)  
Pruning: None  
Modularity  $Q=0.4154$   
Mean Silhouette=0.5749



Time span: 2014-2018 (Slice Length=1)  
Selection Criteria: Top 50 per slice, LRF=2, LBY=8,  $c=2.0$   
Network:  $N=34$ ,  $E=92$  (Density=0.164)  
Pruning: None  
Modularity  $Q=0.5027$   
Mean Silhouette=0.7398

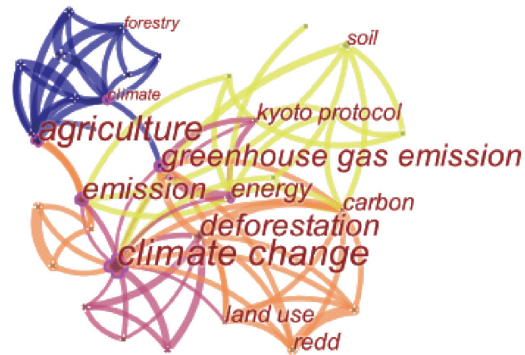


图2 1999—2018年LULUCF林业碳问题关键词共现图谱

Figure 2 Research clusters and representative literature on forestry carbon issues related to LULUCF, 1999-2018

注: a. 图谱左上角参数涵义: Time span表示分析的时间区间, 括号中为时间切片; Selection Criteria表示阈值选择, Top  $n$  per slice即提取每个时间切片排名前 $n$ 位的数据来生成最终的网络;  $N$ 表示网络的节点数量,  $E$ 表示连线数量, Density表示网络的密度; Pruning表示网络裁剪的方法; Modularity  $Q$ 表示网络的模块度,  $Q>0.30$ 即聚类结构显著; Mean Silhouette表示网络同质性,  $S>0.50$ 即聚类合理。b. 网络图中节点表示关键词; 节点的大小与出现频次成正比; 紫色标注的节点表示中心性不低于0.10的关键词; 连线的粗细表示关键词之间的联系程度; 连线的颜色表示共现关系第一次发生的年份, 由蓝到红再到黄色渐变即1999—2018年随年份递增。

根据研究内容将6个聚类标签归为“制度和方法的改进”“林业管理行为”和“环境目标”3个研究类群, 表1概述了中心性不低于0.10及被引频次高于4的27篇文献的主要结论及方法。第一, “制度和方法的改进”类群, 包括多源比较和碳聚类, 主要通过簿记模型(Bookkeeping Model)、卫星探测数据、路线图、GIS和全球生物圈管理模式(Global Biosphere Management Model, GLOBIOM)等方法,

估计研究区域的碳储量和碳排放量等, 从而对热带地区碳密度图和碳储量图等作出补充, 对碳预算和碳抵消等机制提出建议。第二, “林业管理行为”类群, 包括林业发展项目和其他土地利用聚类, 通过元分析(Meta-Analysis)、全球环境综合评估模型(Integrated Model to Assess the Global Environment, IMAGE)和农产品和贸易政策分析国际模型(International Model for Policy Analysis of Agricultural

表1 LULUCF 林业碳问题的研究聚类及代表文献

Table 1 Research clusters and representative literature on forestry carbon issues related to LULUCF

类群	聚类标签	代表文献	主要结论	主要方法	中心性/ 被引频次
制度和 方法的 改进	多源比较	Baccini 等 <sup>[32]</sup>	利用多传感器卫星数据估算的高精度碳密度图,能准确测度热带国家碳排放水平	Bookkeeping	0.20/4
		Anderson <sup>[33]</sup>	碳预算表明碳减排缓解的时间框架和速度比政府公布的情况更紧迫		0.09/2
		Brando 等 <sup>[34]</sup>	极端干旱事件、森林细碎化和人为点火源等造成了亚马逊东南部大面积树木死亡和森林退化		0.09/2
		Anderson <sup>[35]</sup>	碳抵消会背离碳中和的目标,导致全球排放绝对净增长		0.09/2
		Brienen 等 <sup>[36]</sup>	生产力水平的提高和树木死亡率的长期持续上升导致亚马逊生物量碳汇下降		0.08/2
	碳	Houghton <sup>[37]</sup>	地面和遥感数据相结合能解决生态系统内生物量密度的空间变异性问题,从而更准确地确定土地利用和土地利用变化产生的碳净流量	结合地面和遥感数据	0.01/4
		Harris 等 <sup>[38]</sup>	估计 2000—2005 年热带地区的碳排放总量,为监测全球减少毁林排放进展提供基准	Bookkeeping	0.01/4
		Saatchi 等 <sup>[39]</sup>	绘制热带地区森林碳储量基准图,为以前评估不佳或不完整的 75 个发展中国家提供了方法上可比较的碳储量估计	Biomass Prediction Model, MaxEnt, GIS	0/4
		Pan 等 <sup>[40]</sup>	北方森林(加拿大、北欧等)的碳平衡是由砍伐模式、废弃农田的再生和不断增加的干扰机制导致的;温带(美国等)森林的碳平衡主要由森林管理达成		0/4
		Houghton 等 <sup>[41]</sup>	提高 LULUCF 碳通量的精确度是减少估计净碳排放量不确定性的方法	Bookkeeping	0/4
林业管 理行为	林业发展项目	Guo 等 <sup>[42]</sup>	作物到牧场(+19%)、作物到种植园(+18%)和作物到次生林(+53%)的土地利用变化增加土壤碳储量,反之降低	Meta-Analysis	0.16/3
	其他土地 利用	Smith 等 <sup>[43]</sup>	改善耕地和牧地管理,恢复退化的土地和耕地是减少温室气体排放潜力最大的农业做法	IMPACT, IMAGE	0.91/13
		Smith 等 <sup>[44]</sup>	完善利益权衡的生态系统服务框架有利于为多方管理人员提供一致的生态系统管理战略		0.50/4
		Ellison 等 <sup>[45]</sup>	建议关注现有森林、木质产品(HWP)和生物能源利用三者竞争但兼容的利益集团,平衡使用森林资源		0.06/3
		Smith 等 <sup>[46]</sup>	需求方缓解措施(如减少牲畜产品需求),有利于粮食安全保护和温室气体缓解,但执行困难且有效性会滞后		0.02/4
环境目 标	十大短期 部门基准	Hansen 等 <sup>[47]</sup>	热带森林(阿根廷、巴拉圭等)损失率最高;北方森林(北美、俄罗斯等)损失主要原因是火灾	GIS	0.08/2
		Rogelj 等 <sup>[48]</sup>	INDCs(国家自主贡献预案)总体上降低了温室气体排放量;实质性增强或超额完成 INDCs 目标有利于实现将变暖保持在 2℃ 以下		0.06/5
		Springmann 等 <sup>[49]</sup>	改善饮食模式能降低温室气体排放,经济效益相当于 2050 年全球国内生产总值的 0.40%~13%	全球健康模型	0.06/2
		Bajzelj 等 <sup>[50]</sup>	将农业能源排放纳入温室气体排放量计算,与“减少消费到比目前平均饮食更健康的水平能减少温室气体排放”的结果一致	根据人口、产量和饮食估计未来土地使用	0.06/2
		Herrero 等 <sup>[51]</sup>	畜牧业部门的减排潜力,可通过强有力的监管和财政框架、有利于志愿行业的活动及提高认识和教育来解决		0.06/2
	信贷核算	Frank 等 <sup>[52]</sup>	AFOLU 部门设计气候政策应优先考虑土地利用变化排放高的国家,以减少对粮食安全的影响	GLOBIOM	0.06/2
		Rockstrom 等 <sup>[53]</sup>	从创新、制度、基础设施和投资 4 个维度设计了全球十年脱碳路线图和激励措施,为所有部门采取行动和转型提供可行性证据	路线图	0.05/4
		Grassi 等 <sup>[54]</sup>	LULUCF 信贷的总体贡献对于欧盟来说相对较小,但对于具体缔约方的减排承诺有重大影响		0.18/2
		Nabuurs 等 <sup>[55]</sup>	欧盟需要协调森林管理政策以防止茎体积增长率下降、土地使用加剧、自然干扰增加导致的森林碳汇过早饱和		0.12/4
		Bottcher 等 <sup>[56]</sup>	欧盟森林碳汇受生物能源政策影响,2030 年将显著下降约 25%~40%	GLOBIOM; G4M; EFISCEN	0.08/2
		Grassi 等 <sup>[57]</sup>	充分实施 INDCs(国家自主贡献预案),土地利用和林业会成为促进全球转变为净碳汇的关键组成部分,并完成各国减排计划的 1/4		0.01/3
		Griscom 等 <sup>[58]</sup>	20 项保护、恢复和改善土地管理行动可以提供 2030 年 CO <sub>2</sub> 减排的 37%,使变暖保持在 2℃ 以下的几率超过 66%		0/3



2019年9月

Commodities and Trade, IMPACT)等方法,评估恢复退化土地、再造林和减少产品需求等管理行为对缓解温室气体排放的影响,为保护森林碳库和增加碳储量提出建议。第三,“环境目标”类群,包括十大短期部门基准和信贷核算聚类,主要以保护环境为最终目标,评估部门减排路径和国家自主贡献预案(Intended Nationally Determined Contributions, INDCs)等政策的减排潜力和对环境的影响,并提出改善措施。十大短期部门是指IPCC评估报告中的能源供应,工业,交通,建筑,农业、林业和其他土地利用(Agriculture, Forestry and Other Land Use, AFOLU)等部门。

### 3.3 不同国家研究侧重点

为了厘清近20年来不同国家对LULUCF林业碳问题的研究侧重点,本节以175篇文献为样本进行分析,具体操作为文献时间分区设置为1年,节点类型设置为“Country”,阈值选择设置为50。根据国家合作网络得到文献国家分布表(表2),德国、意大利、英国和美国是LULUCF研究的重要国家,德国、意大利和美国作为中心性最高的3个国家,其研究会影响其他国家的研究方向和重视程度。澳大利亚、荷兰、瑞典、芬兰和奥地利等国家在这方面的研究也较为出色。

各国以缓解气候变化为最终目的,从碳固存、碳排放、生物多样性、毁林造林和管理等方面进行研究并提出改善措施,但是主要关注点各有侧重。德国重点关注毁林对AFOLU部门碳排放的影响和模型在评估排放模式中的应用。意大利的研究关注点较多,其中包括森林管理参考水平下碳汇核算

和碳固存和储存项目的分析比较。英国特别关注土地利用变化对土壤有机碳储量和温室气体排放的影响,以及不同政策选择的成本预算和经济效益。美国的研究问题涉及到比较林业项目在不同减排机制中的作用,比较不同部门的温室气体排放量。荷兰特别关注减排机制对社区林业的影响,主要目的是期望通过土地管理和林地管理提高储存碳潜力,并保护森林和生物圈。澳大利亚和瑞典是研究生物量和生物多样性的国家,主要目的是鼓励协调减少排放量和保护生物多样性的关系。芬兰和奥地利更关注对森林树种的研究,其中,芬兰结合松树和云杉等树种生长特点估计欧洲森林的温室气体排放量和吸收量。上述结果可帮助学界更便捷地选择、查阅和收集这一领域的主要研究问题,及时了解该领域的前沿动态。

### 3.4 社科类共现关键词

为了使社会科学类文献在图谱分析中更具体,本节以1999—2018年的83篇与社会经济和管理有关的文献为样本,文献时间分区设置为1年,节点类型设置为“Keywords”,阈值选择设置为50,得到关键词共现图谱,关键词分类和具体信息如表3所示。

通过关键词共现图谱和节点所对应的文献发现,LULUCF林业碳问题在社会科学领域的关键词大致可以分为3类。第一大类是与管理有关的内容,研究不同实施主体和实施对象的管理模式,包括分析管理模式的可行性和影响,预测未来发展和潜在不确定性的程度<sup>[59]</sup>,关键词中有“系统”和“影响”等。第二大类与政策制度相关,一方面分析评价针对LULUCF制定的政策制度并追踪实施进展

表2 1999—2018年不同国家对于LULUCF林业碳问题研究的侧重点

Table 2 Research focus of different countries on forestry carbon issues related to LULUCF, 1999-2018

序号	国家	文献数量/篇	百分比/%	共性研究问题	侧重研究关键词
1	德国	21	12.00	碳固存	毁林,亚马逊流域,模型,马拉喀什协议,等
2	意大利	19	10.86	碳排放	毁林,造林,土地退化,等
3	英国	19	10.86	气候变化缓解	预算,成本,碳汇,土壤有机碳,等
4	美国	18	10.29	管理	部门,预算,亚马逊流域,响应机制,等
5	荷兰	12	6.86		欧洲森林,生物量,社区林业,等
6	澳大利亚	12	6.86		生物多样性,保护,造林,等
7	瑞典	10	5.71		生物多样性,土壤有机碳,等
8	芬兰	9	5.14		欧洲森林,苏格兰松树,挪威云杉,等
9	奥地利	8	4.57		森林碳汇,等

情况,另一方面评估其他领域政策制度的实施对LULUCF的潜在影响,其中出现频次较高的关键词有“KP”“毁林”“巴黎协定”和“CDM”等。第三大类偏向于经济环保类,主要研究减缓措施的经济效益和碳市场的发展对土地利用变化的影响<sup>[18,46,60]</sup>,目的在于权衡政策选择和经济效益之间的关系,关键词以“保护”“成本”和“减缓”等为代表。LULUCF林业碳问题在社会科学领域使用的方法大致分为工程管理学方法和经济学方法,其中工程管理学方法包括情景分析法、马尔科夫链模型、层次分析法、比

较分析法和实地研究法等,经济学方法主要涉及一般均衡模型和空间成本效益分析法等。

3.5 国内与其他国家研究的对比

表4归纳了1999—2018年发表LULUCF林业碳问题研究具有代表性的国内外期刊,另外也对涉及到中国问题的外文期刊做出统计。其中,*Climatic Change*, *Environmental Science & Policy*和*Forest Ecology & Management*期刊发表文献数量较多。结合期刊的所属领域和JCR分区可以发现,以上期刊均为环境生态学和林业领域类期刊。国内文献发

表3 LULUCF林业碳问题社科研究关键词分类

Table 3 Classification of social sciences' keywords on forestry carbon issues related to LULUCF

研究类群	关键词	总频次	主要方法
管理类	气候变化, AFOLU, 土地利用, 农业, 林业, 管理, 系统	39	实地研究法, 评价指标体系 <sup>[59]</sup> , 情景分析法, 马尔科夫链模型
政策制度类	KP, 巴黎协定, CDM, REDD+, 部门, 响应机制	21	制定综合评估框架和决策支持系统 <sup>[60]</sup> , 比较分析法
经济环保类	减缓气候变化, 碳汇, 成本, 价格, 预算, 信贷(大气碳、生物量、土壤有机碳、生物多样性)	46	空间成本效益分析法 <sup>[60]</sup> , 层次分析法, 土地利用和资源配置建模系统 <sup>[18]</sup> , 一般均衡模型

表4 涉及LULUCF林业碳问题的国内外代表期刊及研究对比

Table 4 Comparison of representative periodicals and research on LULUCF in China and internationally

对比范围	对比内容	国内外代表期刊及研究对比结果
涉及LULUCF研究的国内外期刊对比	国内代表期刊	① 气候变化研究进展, 8篇(2006/1, 2008/1, 2009/1, 2011/3, 2014/1, 2015/1) ② 林业资源管理, 4篇(2013/2, 2015/1, 2016/1) ③ 生态学报, 3篇(2004/1, 2006/1, 2013/1) ④ 林业科学, 2篇(2003/2) ⑤ 地理研究, 1篇(2013/1)
	国外代表期刊	以175篇文献为样本: ① <i>Climatic Change</i> , 13篇(2001/1, 2004/2, 2006/2, 2007/1, 2010/2, 2012/2, 2011/2, 2016/1) ② <i>Environmental Science &amp; Policy</i> , 12篇(2005/2, 2007/4, 2011/1, 2014/3, 2016/1, 2017/1) ③ <i>Forest Ecology &amp; Management</i> , 8篇(2005/1, 2009/2, 2010/2, 2011/1, 2012/1, 2013/1) ④ <i>Global Change Biology</i> , 5篇(2001/1, 2010/1, 2013/1, 2014/1, 2015/1) ⑤ <i>Mitigation &amp; Adaptation Strategies for Global Change</i> , 5篇(2008/2, 2010/2, 2015/1) ⑥ <i>Carbon Balance &amp; Management</i> , 5篇(2016/1, 2018/4) 175篇中以中国问题为研究对象的代表期刊: ① <i>Applied Energy</i> , 1篇(2014/1) ② <i>Journal of Agricultural Science</i> , 1篇(2011/1) ③ <i>Environmental Modelling &amp; Software</i> , 1篇(2010/1) ④ <i>Forest Ecology &amp; Management</i> , 1篇(2009/1) ⑤ <i>Environmental Science &amp; Policy</i> , 1篇(2005/1)
中国研究与其他国家的对比	相同点	① 研究目标: 通过LULUCF活动减少温室气体排放, 缓解气候变化 ② 涉及领域: 均涉及环境生态学、林业、农业和能源燃料等
	差异点	① 发展趋势: 国内研究重点为“政策分析-气候变化-土地利用方式变化-碳计量”的趋势; 国外研究呈现各个阶段递进深入的趋势 ② 数据来源: 国内以森林资源清查和专项调查报告为主; 国外以高分辨率的卫星探测数据为主 ③ 研究方法: 国内方法研究处于初期, 模型适应性有待解决; 国外方法发展成熟, 多学科模型组合研究较多 ④ 研究模式: 国内形成以碳汇和气候变化为主的树形拓展模式; 国外形成“理论-实践-评价-理论”的环状循环模式

注: 括号内数字为年份/篇数, 如2006/1即该期刊2006年发表1篇相关文献。



2019年9月

表以《气候变化研究进展》和《生态学报》为主,另外还涉及了环境、林业、农业经济和生物学等期刊,虽然国内 LULUCF 研究起步较晚,但各领域对该问题的研究热点持续关注。以中国 LULUCF 林业碳问题为研究对象的研究成果主要发表在 *Journal of Agricultural Science* 和 *Forest Ecology & Management* 等期刊,以土地管理决策对碳固存的影响和生物量扩展因子的研究为主,这说明了关于中国 LULUCF 林业碳问题的研究受到了国际主流刊物的重视。

比较研究内容发现,国内外对 LULUCF 林业碳问题研究的目标和涉及领域是一致的,但在发展趋势、研究方法、数据来源和研究模式方面存在差异。①从发展趋势看,国内各个时期研究各有侧重点,具体为“政策分析-气候变化-土地利用方式变化-碳计量”的变化趋势;国外研究呈现各个阶段递进深入的趋势,从最初的碳固存和成本问题到 LULUCF 活动及影响研究,重视发展中国家减排潜力和森林管理,最后呈现各领域综合研究的趋势。②在数据获取方面也存在差距,国内以森林资源清查和专项调查报告等为主要来源,国外更多使用卫星探测数据,分辨率显著提高。③在研究方法方面,国内仍处于研究初期,需要考虑借鉴其他国家模型方法的适应性及改进问题,国外对 LULUCF 的研究方法相对成熟,以比较研究和多学科模型组合为主。如针对重大林业管理项目诸如退耕还林、天然林保护工程等,国内倾向于使用定性分析法评价其实施效果和影响,国外的研究侧重于借助模型预测土地利用可能出现的变化和对碳活动造成的影响,更具针对性和说服力。④在研究模式上,国内关注生物量、碳储量、HWP、森林管理和森林碳汇等方面,这些研究彼此相对独立,并侧重对碳汇核算和气候变化影响的研究,形成以碳汇和再造林为主的树形拓展模式;国外从聚焦于 UNFCCC 和 KP 中关于 LULUCF 的理论分析,到基于实践的具体样本研究,发展为构建各种评价模型,进行评价提炼后再对理论进行改进,形成“理论-实践-评价-理论”的环状循环模式。与其他国家研究对比,中国未来应在研究方法的改进和数据获取、林业管理项目评价方法和整合不同研究成果并付诸实践等方面加大研究,以实现减排目标为减缓气候变化作出贡献。

## 4 对部分 LULUCF 研究问题的讨论

### 4.1 碳活动核算的主流方法学

研究碳活动有利于了解不同土地利用变化对碳循环、温室气体排放及气候变化的影响,为制定合理减少碳排放政策提供借鉴。当前碳活动研究方法学主要涉及单一模型法和组合研究法,其中单一模型法以簿记模型为代表,组合研究法则以比较研究和多学科模型整合为主。

根据研究区域的土地变化类型、经济发展水平、能源消耗模式等进行仿真,可以有效准确地预测大时间尺度(10~100年)和大空间尺度(城市区域—全球区域)的未来碳储量变化。簿记模型是研究 LULUCF 林业碳问题中使用最多的方法<sup>[32,38,41]</sup>,该模型是核算陆地生态系统和大气碳素交换过程的碳收支模型,用于研究土地利用变化引起的碳排放和碳吸收。通过簿记模型跟踪单位土地采伐或重新造林的活植被、枯死植物、木制品和土壤中的碳,可以估计研究区域碳密度和碳储量,或结合碳储量变化值评估生态系统碳储量和碳净排放量。

当单一的模型工具不能解决 LULUCF 引起的碳量变化及对经济环境等的影响问题时,可以将模型工具与其他方法结合,组合研究法就成为当前最主流的研究选择,组合研究法使用中主要有以下几种处理方法。①比较不同方法的结果<sup>[32,49]</sup>。碳核算方法在数据处理、情景假设或时间跨度上都可能存在限制,对比并分析2种方法可以互相弥补缺点,减小误差。当研究的碳量结果与评估报告或政策制度预期达到的减排贡献不符时,则需要更精确的数据和案例作出证明,为改善减排政策制度提供依据。②将不同学科的模式结合<sup>[39,49,56]</sup>。如将碳排放核算和经济评估结合可以估计森林未来碳储量变化对碳价格的影响,土地利用模型和能源模型结合可以评估 LULUCF 部门和能源供应部门之间的权衡和制约关系,全球粮食预测模型和森林管理模型结合可以用粮食供求情景分析森林未来生长情况和对碳排放或清除的影响。③从数据来源和规划工具等方面提高精确度<sup>[37,47,53]</sup>。使用卫星探测数据是提高精确度的重要方法,有利于提高记录森林面积变化、测量生物量密度变化和估计森林覆盖率的空间分辨率,对分析土地利用变化引起的碳活动具

有重要作用。路线图规划方法简洁直观,能突出重点环节,用路线图展现减排措施能清晰地表示出碳减排关键部门和步骤。为了确保一致性,不同模型使用的数据应尽可能地统一,GIS覆盖图可以使模型和数据库之间的面积标准化,避免两者因分类差异导致的土地利用变化的误差。

#### 4.2 林业管理项目的碳减排潜力

通过实施林业管理项目,LULUCF活动可以利用保护现有的森林碳库和增加碳储量2种方式缓解气候变化。林业管理项目是为了合理有效地管理森林,最大限度开发并发挥出森林提供生态服务和林产品等用途的措施。充分设计和实施林业管理项目<sup>[42,43,45]</sup>,如改善耕地和牧地管理、恢复退化的土地、对减少砍伐予以补偿、权衡环境保护与其他森林产品和服务等,可以降低森林破坏程度,恢复森林覆盖率和森林密度,从而增加碳储量,为缓解气候变化作出贡献。

评估林业管理项目碳减排潜力的方法大致分为2类:评估法和情景预测法。评估法用于评估政策对减缓气候变化的贡献、比较不同管理过程的重要程度、评价管理行为变化的潜在影响等。使用评估法时,在确定碳减排影响因素和准则上存在差异,林业管理项目对环境和林农的影响等变量也难以量化,这些不确定性和主观性都会使评估结果缺乏可信度。情景预测法可以结合现有的数据和林业管理项目发展趋势,借助模型预测土地利用可能出现的变化和对碳活动造成的影响<sup>[42,52,56]</sup>,模型包括IMAGE、IMPACT和GLOBIOM等。基于已有数据和土地变化趋势估计未来土地利用变化对碳排放产生的影响,进而对气候变化趋势进行预测,可以针对性地提出改善土地利用管理的方法,提高社会对气候变化的关注度并大力实施促进碳减排的林业管理项目。

#### 4.3 碳预算的紧迫性和碳抵消面临的争议

碳预算是规定在给定时间内允许排放到大气中碳的数目。巴黎协定警示全球需要进入平衡碳预算的新世界<sup>[33]</sup>。影响制定碳预算的因素包括预算类型、基本数据和模式、情景选择、温度响应的时间尺度、CO<sub>2</sub>排放和非CO<sub>2</sub>温室气体排放的增暖贡献和适用性等方面<sup>[40,61]</sup>。明确的森林面积变化信息、

土壤变化和气候变化等影响因素不易测定,会导致制定碳预算目标和为各部门分配碳预算过程的不确定性<sup>[62]</sup>。碳预算目标的制定及影响因素的测定是平衡碳预算的关键,如何降低碳预算的不确定性,并根据碳预算制定或调整减排方案具有重要现实意义。在LULUCF活动碳预算方案的设计中,关键是LULUCF部门在减排量、减排方式和减排效益三者之间的权衡。通过将LULUCF活动的碳排放、碳减排和碳排放交易等活动以预算的形式加以系统规划,形成具体的预算任务分解到各部门,借助路线图合理规划执行过程<sup>[53]</sup>,并在执行过程中进行实时控制和调整,以实现LULUCF活动碳减排目标,并核算相应的减排成本和收益,确定减排效益最优的减排方案。

碳抵消机制旨在促进个人和企业为环保事业作出贡献。个人和企业可以通过提供费用参与植树造林或其他改善环境的项目,抵消其产生的温室气体。Brown等<sup>[63]</sup>概括了可作为潜在碳抵消项目的林业管理类型,并提出了无具体碳抵消项目实施时估计碳储量变化的计算方法。然而,碳抵消机制是否可以真正起到实质减排作用仍存在争议。Anderson<sup>[35]</sup>对碳抵消的合理性提出疑问,认为碳抵消没有科学合理性,具有危险的误导性,会导致全球排放量增长。Hyams等认为碳抵消比真正缓解气候变化的减排机制更能满足“碳信用额度”,即规定付出费用就可以排放同等额度的碳<sup>[64,65]</sup>。理论上碳抵消机制似乎能够达到“碳中和”目标,但这很容易给企业造成“只要提供足够费用就可以任意排放温室气体”的错误导向。在实施植树造林等项目时,工作人员因交通和饮食会增加碳排放,个人和企业也会因已经提供费用的心理而增加更多碳排放,这些都会导致碳排放总量增加。这些因项目实施而增加的碳排放如何影响环境,暂无确定性方法量化。同时项目的实施效果会受森林面积变化、植被生长周期和气候变化等因素的影响。因此植树造林等项目中碳排放与碳吸收共存,增加碳排放总量,不能确保个人和企业排放的碳被完全吸收并封存。总之,在不能保证减少实质排放的情况下,碳抵消机制本质上与“先污染后治理”的做法相同,为实现“碳中和”而推进的碳抵消机制仍需要长期观测和



2019年9月

科学数据的支持。

## 5 结论与展望

本文借助 CiteSpace 对 LULUCF 科研进展进行了分析,通过文献梳理和数据挖掘,归纳了 LULUCF 在林业碳领域的研究重点和研究趋势。研究表明:①1999—2018 年,LULUCF 林业碳问题的研究主题重点集中于 3 个类群 6 个聚类。其中 3 个类群问题可总结为“制度和方法的改进”“林业管理行为”和“环境目标”;6 个聚类问题涉及:“多源比较”“林业发展项目”“其他土地利用”“十大短期部门基准”“信贷核算”和“碳”。②德国、意大利、英国和美国是研究 LULUCF 的主要国家,研究分别侧重于毁林、林业项目、经济成本问题和部门响应机制。荷兰、澳大利亚和瑞典注重减排机制和生物多样性的权衡,芬兰和奥地利注重森林树种的研究。③LULUCF 林业碳科学在社会科学方面的重点关注问题是管理类、政策制度类和经济环保类,主要方法是工程管理学和经济学方法,涉及情景分析法、层次分析法、一般均衡模型和空间成本效益分析。

中国目前关于 LULUCF 的研究侧重于生态系统碳库、温室气体清单编制及碳汇计量监测体系等问题,结合国际间 LULUCF 林业碳科学研究进展和趋势,本文建议中国未来应对以下问题给予关注:

(1)对碳排放、碳吸收和碳储存等碳活动的碳量核算,有利于了解不同 LULUCF 活动对碳循环、温室气体排放及气候变化的影响,为制定合理减少碳排放政策提供借鉴。单一模型法中使用最多的是簿记模型,组合研究法则以比较研究和多学科模型整合为主。LULUCF 本质上是因土地利用及结构变动引致的林业碳问题,因此关于土地利用及变动的基础科学是评估林业碳问题的基础,提高卫星探测数据和 GIS 覆盖图的使用率有利于降低误差,提高分析土地利用变化的精度和空间分辨能力。

(2)依据林业管理项目,LULUCF 活动可以从保护现有的森林碳库和增加碳储量 2 个方面缓解气候变化。利用簿记模型、全球环境综合评估模型和全球生物圈管理模式等方法预测林业管理项目的碳减排潜力,这对制定及调整响应气候变化的林业政策有重要意义。中国下一步的研究和实践应充分重视重大林业管理项目的气候功能评价和风险

点防控,如科学评估重要林区在应对气候变化中的减排作用、改善易着火森林的管理和保护、权衡森林生态服务系统的碳价值、通过改善耕地和牧地管理提高退化土地的林业利用等。

(3)控制碳活动关联的碳抵消、碳预算等对减少碳排放问题的政策设计具有重要借鉴价值。碳预算目标的制定及影响因素的测定是平衡碳预算的关键,如何降低碳预算的不确定性,并根据碳预算制定或调整减排方案具有重要现实意义。需注意碳抵消机制与实质性减排机制的实际效果比较,有限度的试行碳抵消,科学评估其实现“碳中和”的能力及贡献。中国需要加快将 LULUCF 的碳排放以预算的形式加以系统规划,形成具体的预算任务分解到土地利用各部门,核算相应的减排成本和收益,确定减排效益最优的减排方案,以实现平衡碳预算的目标。

## 参考文献(References):

- [1] 张小全,陈先刚,武曙红.土地利用变化和林业活动碳贮量变化测定与监测中的方法学问题[J].生态学报,2004,24(9):2068-2073. [Zhang X Q, Chen X G, Wu S H. Methodological issues related to measuring and monitoring carbon stock changes induced by land use change and forestry activities[J]. Acta Ecologica Sinica, 2004, 24(9): 2068-2073.]
- [2] 白彦锋,姜春前,张守攻,等.气候变化谈判中木质林产品的相关概念及其碳储量核算[J].林业科学,2011,47(1):158-164. [Bai Y F, Jiang C Q, Zhang S G, et al. Definitions and carbon stocks accounting approaches of harvested wood products in climate change negotiation[J]. Scientia Silvae Sinicae, 2011, 47(1): 158-164.]
- [3] Watson R T, Noble I, Bolin B, et al. Land Use, Land-Use Change, and Forestry: A Special Report of the IPCC[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2000.
- [4] IPCC. Climate Change 1995: The Science of Climate Change[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 1996.
- [5] IPCC. Climate Change 2001: The Scientific Basis[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2001.
- [6] IPCC. Climate Change 2007: The Physical Science Basis[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2007.
- [7] IPCC. Climate Change 2013: The Physical Science Basis[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2013.
- [8] Bernoux M, Carvalho M C S, Volkoff B, et al. CO<sub>2</sub> emission from mineral soils following land-cover change in Brazil[J]. Global



- Change Biology, 2001, 7(7): 779–787.
- [9] Gundimeda H. How “sustainable” is the “sustainable development objective” of CDM in developing countries like India? [J]. Forest Policy and Economics, 2004, 6(3–4): 329–343.
- [10] Garcia-Quijano J F, Deckmyn G, Moons E, et al. An integrated decision support framework for the prediction and evaluation of efficiency, environmental impact and total social cost of domestic and international forestry projects for greenhouse gas mitigation: Description and case studies [J]. Forest Ecology and Management, 2005, 207(1–2): 245–262.
- [11] Cienciala E, Tomppo E, Snorrason A, et al. Preparing emission reporting from forests: Use of national forest inventories in European countries [J]. Silva Fennica, 2008, 42(1): 73–88.
- [12] Federici S, Vitullo M, Tulipano S, et al. An approach to estimate carbon stocks change in forest carbon pools under the UNFCCC: The Italian case [J]. Iforest Biogeosciences and Forestry, 2008, 21(1): 86–95.
- [13] Blujdea V, Bird D N, Robledo C. Consistency and comparability of estimation and accounting of removal by sinks in afforestation/reforestation activities [J]. Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change, 2010, 15(1): 1–18.
- [14] Latta G S, Baker J S, Ohrel S. A Land Use and Resource Allocation (LURA) modeling system for projecting localized forest CO<sub>2</sub> effects of alternative macroeconomic futures [J]. Forest Policy and Economics, 2018, 87: 35–48.
- [15] Olsson A, Gronkvist S, Lind M, et al. The elephant in the room: A comparative study of uncertainties in carbon offsets [J]. Environmental Science and Policy, 2016, 56: 32–38.
- [16] Pradhan B B, Shrestha R M, Hoa N T, et al. Carbon prices and greenhouse gases abatement from agriculture, forestry and land use in Nepal [J]. Global Environmental Change–Human and Policy Dimensions, 2017, 43: 26–36.
- [17] Lintunen J, Laturi J, Uusivuori J. How should a forest carbon rent policy be implemented? [J]. Forest Policy and Economics, 2016, 69: 31–39.
- [18] Vauhkonen J, Packalen T. Uncertainties related to climate change and forest management with implications on climate regulation in Finland [J]. Ecosystem Services, 2018, 33: 213–224.
- [19] 张小全. LULUCF 在《京都议定书》履约中的作用 [J]. 气候变化研究进展, 2011, 7(5): 369–377. [Zhang X Q. Roles of LULUCF activities in Kyoto Protocol compliance [J]. Climate Change Research, 2011, 7(5): 369–377.]
- [20] 张小全, 侯振宏. 第二承诺期 LULUCF 有关议题谈判进展与对策建议 [J]. 气候变化研究进展, 2009, 5(2): 95–102. [Zhang X Q, Hou Z H. Progress on LULUCF negotiations for the second commitment period [J]. Climate Change Research, 2009, 5(2): 95–102.]
- [21] 张小全. 土地利用变化和林业清单方法学进展 [J]. 气候变化研究进展, 2006, 2(6): 265–268. [Zhang X Q. Progress in methodology of land use change and forestry inventory [J]. Climate Change Research, 2006, 2(6): 265–268.]
- [22] 刘硕, 李玉娥, 高清竹, 等. 不同减排领域对附件 B 缔约方完成《京都议定书》第一承诺期减排目标的贡献 [J]. 气候变化研究进展, 2015, 11(2): 131–137. [Liu S, Li Y E, Gao Q Z, et al. Contribution of different emission reduction areas to Annex B Parties’ achievement of emission reduction targets in the first commitment period of Kyoto Protocol [J]. Climate Change Research, 2015, 11(2): 131–137.]
- [23] 刘硕, 李玉娥, 高清竹, 等. 后京都时期 LULUCF 潜在核算规则分析 [J]. 气候变化研究进展, 2011, 7(4): 294–300. [Liu S, Li Y E, Gao Q Z, et al. Analysis of LULUCF accounting rules for Post-Kyoto [J]. Climate Change Research, 2011, 7(4): 294–300.]
- [24] 李玉娥, 秦晓波, 万运帆, 等. 第二承诺期土地利用、土地利用变化与林业规则的各方观点及对策建议 [J]. 气候变化研究进展, 2008, 4(5): 277–281. [Li Y E, Qin X B, Wan Y F, et al. Parties views and suggestions for land use, land-use change and forestry rules for the second commitment period [J]. Climate Change Research, 2008, 4(5): 277–281.]
- [25] 赵志平, 邵全琴, 王军邦, 等. 中国 LULUCF 碳核算与决策支持系统设计与开发 [J]. 地球信息科学学报, 2010, 12(6): 743–752. [Zhan Z P, Shao Q Q, Wang J B, et al. Design and development of the carbon accounting and decision support system of LULUCF in China [J]. Journal of Geo-information Science, 2010, 12(6): 743–752.]
- [26] 林德荣, 李智勇. 减少毁林和森林退化引起的排放: 一个综述视角的分析 [J]. 世界林业研究, 2010, 23(2): 1–4. [Lin D R, Li Z Y. Reducing emissions from deforestation and forest degradation: An analysis from overview perspective [J]. World Forestry Research, 2010, 23(2): 1–4.]
- [27] 董玮, 田淑英, 刘浩. 林业生态经济发展多维度公共政策选择与测度 [J]. 中国人口·资源与环境, 2017, 27(11): 149–158. [Dong W, Tian S Y, Liu H. Choices of public policies for forestry ecological economy development and the multi-dimensional measurements [J]. China Population, Resources and Environment, 2017, 27(11): 149–158.]
- [28] 侯剑华, 胡志刚. CiteSpace 软件应用研究的回顾与展望 [J]. 现代情报, 2013, 33(4): 99–103. [Hou J H, Hu Z G. Review on the application of CiteSpace at home and abroad [J]. Journal of Modern Information, 2013, 33(4): 99–103.]
- [29] 肖明, 邱小花, 黄界, 等. 知识图谱工具比较研究 [J]. 图书馆杂志, 2013, 32(3): 61–69. [Xiao M, Qiu X H, Huang J, et al. Comparative study on knowledge mapping tools [J]. Library Journal, 2013, 32(3): 61–69.]
- [30] 赵丹群. 基于 CiteSpace 的科学知识图谱绘制若干问题探讨 [J]. 情报理论与实践, 2012, 35(10): 56–58. [Zhao D Q. Probe into several problems relating to mapping knowledge domains based on CiteSpace [J]. Information Studies: Theory and Application, 2012,

2019年9月

- 35(10): 56–58.]
- [31] 陈悦, 陈超美, 胡志刚, 等. 引文空间分析原理与应用[M]. 北京: 科学出版社, 2015. [Chen Y, Chen C M, Hu Z G, et al. Principle and Application of Citation Space Analysis[M]. Beijing: Science Press, 2015.]
- [32] Baccini A, Goetz S J, Walker W S, et al. Estimated carbon dioxide emissions from tropical deforestation improved by carbon–density maps[J]. *Nature Climate Change*, 2012, 2(3): 182–185.
- [33] Anderson K. Duality in climate science[J]. *Nature Geoscience*, 2015, 8(12): 898–900.
- [34] Brando P M, Balch J K, Nepstad D C, et al. Abrupt increases in Amazonian tree mortality due to drought–fire interactions[J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2014, 111(17): 6347–6352.
- [35] Anderson K. The inconvenient truth of carbon offsets[J]. *Nature*, 2012, 484(7392): 7–7.
- [36] Brienen R J W, Phillips O L, Feldpausch T R, et al. Long-term decline of the Amazon carbon sink[J]. *Nature*, 2015, 519(7543): 344–348.
- [37] Houghton R A. How well do we know the flux of CO<sub>2</sub> from land-use change?[J]. *Tellus Series B—Chemical and Physical Meteorology*, 2010, 62(5): 337–351.
- [38] Harris N L, Brown S, Hagen S C, et al. Baseline map of carbon emissions from deforestation in tropical regions[J]. *Science*, 2012, 336(6088): 1573–1576.
- [39] Saatchi S S, Harris N L, Brown S, et al. Benchmark map of forest carbon stocks in tropical regions across three continents[J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2011, 108(24): 9899–9904.
- [40] Pan Y D, Birdsey R A, Fang J Y, et al. A large and persistent carbon sink in the world’s forests[J]. *Science*, 2011, 333(6045): 988–993.
- [41] 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.
- [42] Guo L B, Gifford R M. Soil carbon stocks and land use change: A Meta analysis[J]. *Global Change Biology*, 2002, 8(4): 345–360.
- [43] Smith P, Martino D, Cai Z C, et al. Greenhouse gas mitigation in agriculture[J]. *Philosophical Transactions of the Royal Society B—Biological Sciences*, 2008, 363(1492): 789–813.
- [44] Smith P, Ashmore M R, Black H I J, et al. The role of ecosystems and their management in regulating climate, and soil, water and air quality[J]. *Journal of Applied Ecology*, 2013, 50(4): 812–829.
- [45] Ellison D, Lundblad M, Petersson H. Carbon accounting and the climate politics of forestry[J]. *Environmental Science and Policy*, 2011, 14(8): 1062–1078.
- [46] Smith P, Haberl H, Popp A, et al. How much land–based greenhouse gas mitigation can be achieved without compromising food security and environmental goals?[J]. *Global Change Biology*, 2013, 19(8): 2285–2302.
- [47] Hansen M C, Potapov P V, Moore R, et al. High–resolution global maps of 21st–century forest cover change[J]. *Science*, 2013, 342(6160): 850–853.
- [48] Rogelj J, Elzen M, Höhne N, et al. Paris agreement climate proposals need a boost to keep warming well below 2°C[J]. *Nature*, 2016, 534(7609): 631–639.
- [49] Springmann M, Godfray H C J, Rayner M, et al. Analysis and valuation of the health and climate change cobenefits of dietary change [J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2016, 113(15): 4146–4151.
- [50] Bajzelj B, Richards K S, Allwood J M, et al. Importance of food–demand management for climate mitigation[J]. *Nature Climate Change*, 2014, 4(10): 924–929.
- [51] Herrero M, Henderson B, Havlik P, et al. Greenhouse gas mitigation potentials in the livestock sector[J]. *Nature Climate Change*, 2016, 6(5): 452–461.
- [52] Frank S, Havlik P, Soussana J F, et al. Reducing greenhouse gas emissions in agriculture without compromising food security[J]. *Environmental Research Letters*, 2017, DOI: 10.1088/1748–9326/aa8c83.
- [53] Rockstrom J, Gaffney O, Rogelj J, et al. A roadmap for rapid decarbonization[J]. *Science*, 2017, 355(6331): 1269–1271.
- [54] Grassi G, Elzen M G J, Hof A F, et al. The role of the land use, land use change and forestry sector in achieving Annex I reduction pledges[J]. *Climatic Change*, 2012, 115(3–4): 873–881.
- [55] Nabuurs G J, Lindner M, Verkerk P J, et al. First signs of carbon sink saturation in European forest biomass[J]. *Nature Climate Change*, 2013, 3(9): 792–796.
- [56] Bottcher H, Verkerk P J, Gusti M, et al. Projection of the future EU forest CO<sub>2</sub> sink as affected by recent bioenergy policies using two advanced forest management models[J]. *Global Change Biology Bioenergy*, 2012, 4(6): 773–783.
- [57] Grassi G, House J, Dentener F, et al. The key role of forests in meeting climate targets requires science for credible mitigation[J]. *Nature Climate Change*, 2017, 7(3): 220–226.
- [58] Griscom B W, Adams J, Ellis P W, et al. Natural climate solutions [J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2017, 114(44): 11645–11650.
- [59] Minang P A, Bressers H T A, Skutsch M M, et al. National forest policy as a platform for biosphere carbon management: The case of community forestry in Cameroon[J]. *Environmental Science and Policy*, 2007, 10(3): 204–218.
- [60] Wang J, Chen J M, Ju W M, et al. IA–SDSS: A GIS–based land use decision support system with consideration of carbon sequestration[J]. *Environmental Modelling and Software*, 2010, 25(4): 539–553.

- [61] Karjalainen T, Pussinen A, Liski J, et al. Scenario analysis of the impacts of forest management and climate change on the European forest sector carbon budget[J]. *Forest Policy and Economics*, 2003, 5(2): 141–155.
- [62] DeFries R S, Houghton R A, Hansen M C, et al. Carbon emissions from tropical deforestation and regrowth based on satellite observations for the 1980s and 1990s[J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2002, 99(22): 14256–14261.
- [63] Brown S, Burnham M, Dellaney M, et al. Issues and challenges for forest-based carbon-offset projects: A case study of the Noel Kempff climate action project in Bolivia[J]. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 2000, 5(1): 99–121.
- [64] Hyams K, Fawcett T. The ethics of carbon offsetting[J]. *Wiley Interdisciplinary Reviews-Climate Change*, 2013, 4(2): 91–98.
- [65] Subak S. Forest protection and reforestation in Costa Rica: Evaluation of a clean development mechanism prototype[J]. *Environmental Management*, 2000, 26(3): 283–297.

## Research progress of forestry carbon issues related to land use, land-use change and forestry

XU Enyin<sup>1,2</sup>, TAO Yun<sup>1,2</sup>, YANG Hongqiang<sup>1,2,3</sup>

(1. College of Economics and Management, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, China;

2. Research Center for Economics and Trade in Forest Products, The State Forestry Administration, Nanjing 210037, China;

3. Center for the Yangtze River Delta's Socioeconomic Development, Nanjing University, Nanjing 210093, China)

**Abstract:** The carbon issues associated with land use, land-use change and forestry (LULUCF) is an important issue affecting adaptation and mitigation of climate change. Clarifying the international research progress related to forestry and carbon issues in the past 20 years is of great significance for the formulation and adjustment of forestry policies in response to climate change. This article analyzes 175 documents in the Web of Science database from 1999 to 2018 and summarizes the research trends of LULUCF carbon research with the CiteSpace tool. The results show that: (1) The current research topics of LULUCF are “improvement of systems and methods,” “forest management behavior,” and “environmental objectives.” (2) Germany, Italy, the United Kingdom, and the United States are the main countries studying LULUCF. They focus on deforestation, forestry projects, economic issues, and sectoral response mechanisms respectively. (3) The focuses of social science research on LULUCF are land use management, response mechanism of policies, and economic problems. The main methods are engineering management and economics approaches represented by scenario analysis and general equilibrium models. This article provides some relevant suggestions for future research on LULUCF: improving LULUCF carbon accounting methods and the theory and means of monitoring land use and dynamic changes; paying attention to the scientific evaluation of forest management projects and its influence on the adjustment of forestry policies; and accelerating LULUCF carbon budget research and the formulation of emission reduction plans by land use sectors.

**Key words:** LULUCF; CiteSpace; forestry carbon; cluster; forest management projects; carbon budget; carbon offset