

中国区域土地利用/覆被变化对陆地碳收支的影响

付 超,于贵瑞,方华军,王秋凤

(中国科学院地理科学与资源研究所 生态系统网络观测与模拟重点实验室, CERN 综合研究中心, 北京 100101)

摘 要:准确估计土地利用/覆被变化(LUCC)对陆地生态系统碳收支的影响已成为当前全球变化和全球碳循环研究的重点内容。本文通过文献调研和数据的整合分析方法总结讨论了近年来中国区域LUCC时空特征及其对陆地碳收支影响,为合理评价中国区域陆地碳平衡以及确定未来研究发展方向提供参考。已有大量研究对近年来中国区域LUCC主要特征进行了探讨,并分别利用卫星遥感方法和IPCC清单法对中国区域陆地碳源汇影响进行了评估。结果表明,目前全国土地利用活动,特别是农林活动正对陆地生态系统碳收支产生了比较显著的积极作用,但基于以上两种方法的研究结论之间差异很大,反映出中国LUCC导致陆地碳收支变化的评估结果仍存在着较大的不确定性。通过分析认为,中国未来的研究工作应着重于发展和利用基于土地利用相互转化面积的计量方法,以提高对中国区域LUCC导致陆地碳收支变化评估的准确性。

关 键 词:土地利用/覆被变化(LUCC);陆地生态系统;碳收支;中国

1 引言

土地利用/覆被变化(LUCC, Land Use and Cover Change)是影响陆地生态系统碳循环过程,引起区域碳收支变化的重要原因。自工业革命以来,全球LUCC在陆地与大气碳交换中起着碳源作用,是造成大气CO₂浓度增加的主要人类活动之一。1850-1990年,全球LUCC导致了124 PgC排放到大气中,约相当于同期化石燃料燃烧排放量的一半,其中108 PgC来自森林生态系统(热带森林占2/3,温带和北方林约占1/3),其余16 PgC的排放主要是中纬度的草地开垦造成的^[1]。20世纪80年代,全球LUCC造成的陆地生态系统碳排放约为(1.4±0.9) PgC·yr⁻¹,到90年代碳排放上升为(1.6±1.1) PgC·yr⁻¹^[2]。2000年以后,全球LUCC的年均C排放比20世纪90年代有所下降,同时中纬度地区转变为弱的碳汇(< 0.1 PgC·yr⁻¹)^[3]。然而,由于区域LUCC数据的不一致等原因,在当前关于全球碳平衡的计算中,LUCC对陆地生态系统碳收支的影响仍是最大的不确定因素^[4]。因此,准确估计LUCC对陆地生态系统碳收支的影响已成为当前全球变

化和全球碳循环研究的重点内容。

中国是一个具有悠久历史的传统农业大国和人口大国,历史上的土地垦殖扩展和近年来的人工造林活动是全球关注的焦点。在过去十多年间,LUCC对陆地生态系统碳收支的影响及其评估工作是陆地生态系统收支与碳循环过程研究关注的主要科学问题之一^[5]。

国外学者已经采用“簿记”模型估算了历史时期中国LUCC及所引起的碳排放^[6-7]。国内学者就中国LUCC也做了大量研究工作,并采用不同方法开展了中国区域LUCC对陆地生态系统碳收支的影响的评估,取得了一些具有重要影响的研究成果。但由于资料来源、研究时段及研究方法的差异,这些研究结果之间还存在较大差异。

本文在评述区域LUCC对陆地碳收支影响的研究方法的基础上,基于已有的各种研究结果和资料对近年来中国区域LUCC主要时空特征及其对陆地碳收支的影响进行系统总结,分析比较了基于统计资料和遥感资料的不同研究结果的差异,为今后开展中国区域陆地碳收支的综合研究提供参考。

收稿日期:2011-09; 修订日期:2011-11.

基金项目:国家重点基础研究发展计划项目(2010CB833504);中国科学院战略性先导科技专项(XDA05050602);中国科学院地理科学与资源研究所自主部署项目(200903007)。

作者简介:付超(1982-),男,博士,主要研究方向为生态碳循环与温室气体排放。Email: 84085234@163.com

通讯作者:于贵瑞(1959-),男,博士生导师,研究员,主要研究方向为生态碳循环与全球变化。Email: yugr@igsrr.ac.cn

2 区域LUCC对陆地碳收支影响的研究方法

关于LUCC对陆地生态系统碳收支影响的研究方法主要包括田间调查、经验模型、遥感模型、过程模型、IPCC清单法等。通过田间调查获得关于植被和土壤碳密度或者生态系统与大气净C交换量的野外实测数据,可以简单易行地评价研究区域内LUCC引起的陆地生态系统碳收支的变化情况。在较大的空间尺度上,通常根据经验关系建立统计相关模型来量化LUCC对陆地生态系统碳收支的影响,国际上此类研究以Houghton的“簿记(bookkeeping)”模型为代表^[1,8-9]。

近20多年以来,随着遥感与GIS技术的发展以及模型开发和应用技术的逐渐成熟,基于遥感数据和各种模型方法来研究大尺度LUCC对生态系统过程的影响成为最为有效的技术手段^[10]。利用遥感数据获得的植被分布信息,并结合有关遥感模型(如CASA模型),可估算植被生物量和净初级生产力(NPP, Net Primary Production),从而评估LUCC造成的生态系统碳收支的变化^[11]。

生态系统过程模型(如TEM模型、LPJ模型、HYBRID模型)可以较为准确地模拟生态系统碳循环过程的动态变化,将其与“簿记”法相结合,就可以把LUCC信息与相关过程结合在一起,在很大程度上提高了对LUCC引起的碳循环动态变化的估算精度^[4,12]。

LUCC引起的陆地生态系统碳收支变化也是IPCC国家温室气体(GHG)清单的重要组成部分,为此,IPCC清单指南^[13-15]提供了完整的方法学框架用以指导对LUCC引起的陆地生态系统碳收支变化

的计量和评估,并且不断地对该框架进行了相应的改进和完善。

已有大量研究就中国局部地区LUCC对陆地生态系统碳收支的影响进行了评估,采用的方法主要包括:①卫星遥感法,其中大部分研究是利用遥感解译的LUCC信息,结合文献调研或采样实测的植被和土壤碳密度数据进行估算^[16-21],少数研究是利用遥感解译的LUCC信息,结合遥感模型进行估算^[22-23];②生态系统过程模型,如高志强等^[24]运用CEVSA模型模拟了LUCC和气候变化对中国农牧过渡区碳收支的影响。还有多个研究对全国尺度LUCC及其对碳收支的影响开展了综合评估,它们主要是采用IPCC清单法、卫星遥感法、“簿记”法等,表1总结了多种不同方法对不同时期中国LUCC导致的陆地碳收支变化的评估结果。

以上的研究工作基本上都是采用了2大类数据:①有关土地利用面积及其变化的数据,其来源可分为统计资料和遥感资料;②有关生态系统生物量碳密度和土壤碳密度及其变化的数据,其来源包括文献资料、土壤剖面以及经验假设等。在以往的许多研究中,葛全胜等^[25]关注于中国历史时期LUCC的主要特征及其对全国陆地生态系统碳收支的影响,因此其研究结论不包括在下面的分析比较中。

3 近年来中国区域LUCC的时空特征

3.1 基于多种来源统计资料的分析结果

中国有关土地利用面积的统计资料主要来自两个统计口径,一个是国土资源部(含原国家土地局)近年来公布的土地调查统计数据,包括1996年

表1 基于不同方法估算的中国区域LUCC造成的陆地碳收支变化

Tab.1 Estimates on the effects of LUCC on terrestrial carbon balance of China by using different approaches					
资料来源	基年	估算方法	LUCC类别	碳收支变化	
李克让,等 ^[26]	1988-1996	《IPCC 1996指南》清单法	林地与其他地类之间的转化	-(0.081~0.13) PgC·yr ⁻¹ (以1994年为例)	
INC ^[27]	1994	《IPCC 1996指南》清单法	森林和其他木本生物量储量变化	-0.431 PgC·yr ⁻¹	
			森林和草地的转化	0.023 PgC·yr ⁻¹	
刘纪远,等 ^[28]	1990-2000	遥感法	耕地、林地、草地面积净变化	(42.4~112.8) TgC(0~30 cm土壤)	
			耕地、林地、草地之间的相互转化	53.7 TgC(0~30 cm土壤)	
				99.5 TgC(0~100 cm土壤)	
葛全胜,等 ^[25]	1700-1949	“簿记”法	森林、农田面积变化	4.50~9.54 PgC	
付超,等 ^[29]	1991-2006	《IPCC 2006指南》清单方法1	6大类土地利用类别的面积变化	-(0.24~0.61) PgC·yr ⁻¹	

注:正值表示碳源,负值表示碳汇。INC, The People's Republic of China Initial National Communication on Climate Change,《中华人民共和国气候变化初始国家信息通报》。

完成的第一次全国土地资源调查^[30],以及之后的逐年变更调查^[31];另一个口径是林业和农业部门有关林地、耕地、草地、湿地的资源调查统计数据,包括第1~6次全国森林资源统计资料、国家统计局(或农业部)发布的历年耕地面积数据、20世纪90年代初期完成的全国草地资源调查数据^[32]以及2003年完成的全国首次湿地资源调查结果^[33]等。相比较而言,土地调查统计数据包括的土地利用类别最为全面,与《IPCC 2006 指南》提出的土地利用分类具有较好的可比性,但资源调查数据则能够提供更为详细的分亚类面积与生物量信息,特别是体现在森林资源清查统计资料的应用方面。因此,将多种来源的统计资料结合起来,可以比较完整而准确地估算中国LUCC对陆地碳收支的影响。

付超等^[29]对上述来源的统计资料进行了比较分析,按照《IPCC 2006 指南》土地利用分类,构建了一套新的土地利用面积数据集,包括1991、1996、2001、2006年中国各类土地利用的面积(图1)。在IPCC的6大土地利用类别中,将林地分为林分、经济林、竹林、疏林地、灌木林5个亚类,将农田分为耕地、园地2个亚类,将湿地分为水域、沼泽2个亚类,而对草地、聚居地和其他土地不细分亚类,合计

12个土地利用类别/亚类。从分析结果可以看出,近20年来,中国LUCC的主要变化趋势为林分、灌木林面积持续增长,年均增长分别为313.0万hm²、159.6万hm²,疏林地、耕地面积持续下降,年均下降分别为88.0万hm²、87.7万hm²。目前,中国主要的土地利用类别为草地、森林(林分)、耕地,其面积分别为2.63×10⁸ hm²、1.56×10⁸ hm²、1.22×10⁸ hm²。

3.2 基于卫星遥感资料的分析结果

在过去10多年间,刘纪远等^[34-37]利用遥感和GIS技术,构建了反映中国20世纪90年代与21世纪初5年LUCC的时空信息平台,并开展了相应的研究。目前,该平台的土地利用/覆盖数据主要为20世纪80年代末期、90年代中期、2000年以及2005年共4期的土地利用1 km栅格成分数据集。按照遥感调查和土地利用特点,将中国土地利用划分为耕地、林地、草地、水域、城乡及工矿和居民用地、未利用土地6个一级类别,其下又分为25个二级类别。利用上述LUCC时空信息平台进行的分析表明,20世纪90年代,全国耕地总面积呈北增南减、总量增加的趋势,增量主要来自对北方草地和林地的开垦;林业用地面积呈现总体减少的趋势,减少的林地主要分布于传统林区,南方水热充沛区

表2 中国20世纪90年代土地利用变化面积(万hm²)

Tab.2 Changes of land use areas in China during the 1990s (10⁴ hm²)

土地利用类别	水田	旱地	林地	草地	未利用地	水域	城乡建设用地
全国	14.13	285.06	-108.95	-343.68	-38.02	16.00	175.95

注:引自刘纪远等^[39]。

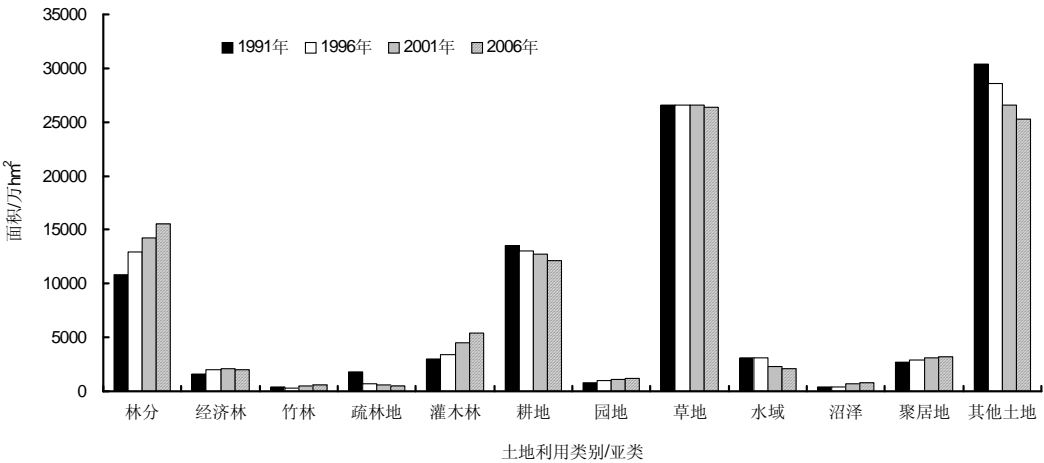


图1 中国各类土地利用面积^[29]

Fig.1 Areas of various land uses categorized by IPCC in China^[29]

注:林地面积数据来源于第4~6次全国森林资源统计资料^[38-40];湿地1991、2006年面积假设分别与1996、2003年面积一样,2001年面积为1996年与2003年面积线性内插值,而1996年湿地面积来自第一次全国土地资源调查结果^[30],2003年湿地面积来自首次全国湿地资源调查结果^[33];其他地类1991、1996年面积数据来自第一次全国土地资源调查结果^[30],其中1991年数据为原始调查(1984-1995年)结果,而2001、2006年数据分别来自2001、2006年全国土地利用变更调查报告^[31]。

造林效果明显;全国草地总面积显著减少,特别是在西北地区农牧交错带地区;中国城乡建设用地整体上表现为持续扩张的态势(表2)。

在21世纪初的5年中,中国LUCC总体态势是耕地面积减少,以南方水田的减少为主;城乡建设用地显著增加,以中国东南沿海地区及内陆地势平坦地区为主,城乡建设占用优质耕地是该期间土地利用变化的突出特征;林地面积呈现一定增加,以中西部“生态退耕还林”为主;草地总面积显著减少,转换类型以开垦为农田为主(表3)。20世纪90年代与21世纪初5年,中国LUCC都表现出明显的时空差异,政策调控和经济驱动是导致LUCC及其时空差异的主要原因。

3.3 中国LUCC时空特征的基本结论

根据上述分析,由于采用的数据来源与分析方法的较大区别,基于多种来源统计资料比较分析得到的中国近期LUCC特征与基于遥感资料得到的结论存在着明显差异,特别是在20世纪90年代中国林地和耕地面积的动态变化上,两者结论相反。在这里,结合其他一些学者从不同角度对中国区域LUCC的格局与过程的探讨,总结出近二三十年来中国LUCC呈现的以下特征:

(1) 由于6大造林工程(天然林资源保护工程、退耕还林工程、“三北”及长江中下游等重点防护林体系建设工程、京津风沙源治理工程、野生动植物保护及自然保护区建设工程、重点地区速生丰产用材林基地建设工程)的先后实施,中国森林覆盖率不断增加^[41-42]。但基于遥感资料的分析表明,林地面积在20世纪90年代有所减少,随着人工林面积的扩大及退耕还林政策的推广,21世纪初才开始增加^[36-37]。这说明对于近年来中国人工造林的实施效果还有待进一步检验。

(2) 中国最近的农田面积变化趋势存在争议。官方统计数据^[43]及基于统计数据的研究结果^[7,44]显示中国的农田面积自1990年以来不断减少;而基于遥感资料的研究表明20世纪90年代开始,中国耕地面积呈现北增南减、总量增加的趋势,但到了21世纪初,随着国家退耕还林还草政策的实施,耕

地面积开始减少^[36-37]。

(3) 北方和西部牧区草原退化问题严重。在中国北方和西部的主要放牧区,农田开垦、过度放牧和只放牧不管理使得草地退化问题非常严重,目前中国草原退化面积每年以200万hm²速度递增^[45]。

(4) 中国湿地面积持续减少。从20世纪50年代-90年代中期,中国湿地面积锐减了50%,其中1990-2000年减少了14.83%^[46]。目前,中国自然湿地面积为3620万hm²^[33],而且尽管湿地面积减少速率下降,但是,这种减少趋势还在继续。

(5) 中国的土壤侵蚀与荒漠化问题严重。截止1999年,全国土壤侵蚀面积达492万km²,占国土面积的51.2%,其中水蚀(水土流失)面积179万km²,风蚀(沙漠化)面积188万km²,中度以上荒漠化(沙漠化、水土流失)面积达181万km²^[47]。

(6) 由于人口迅速增长,城镇建设和生活用地快速扩大,且大部分城市用地是由农田转化而来。

4 近年来中国区域LUCC对陆地碳收支的影响

4.1 基于IPCC清单方法的研究结果

付超等^[29]对中国多种来源的统计资料进行了比较分析,构建了一套符合《IPCC 2006指南》土地利用分类的土地利用面积数据集。基于该数据集,采用《IPCC 2006指南》清单方法1,可估算1990年以来LUCC对中国陆地碳收支的影响。首先,利用各类土地利用面积,采用参考碳密度法,估算出1991、1996、2001、2006年的中国陆地碳储量,其中生物量碳库从1991年的8.83 PgC增长到2006年的12.28 PgC,0~30 cm土壤有机碳(SOC)库从1991年的42.97 PgC增长到2006年的49.28 PgC(图2)。然后估算每年的陆地碳储量变化量:对于生物量碳库,将相邻两个清查年份的碳库总量变化按5年进行平均,得到该时段内的年均生物量碳储量变化量;对于土壤碳库,以1991年为参考年份,估算出1996、2001、2006年中国陆地碳储量的年度变化。分析结果表明,1996年中国陆地生物量碳库、SOC

表3 中国2000–2005年土地利用转换矩阵(万hm²)

Tab.3 The matrix of land use conversion areas in China during 2000–2005 (10⁴ hm²)

土地利用变化	旱地-水田	耕地-林草	其他-水域	其他-城镇	林地-耕地	林地-草地	草地-耕地	草地-林地	水域-其他
全国	69.13	98.16	63.53	168.65	23.86	19.85	113.93	43.33	39.65

注:引自刘纪远等^[40]。

库的年度变化分别为 $132.56 \text{ TgC} \cdot \text{yr}^{-1}$ 、 $103.59 \text{ TgC} \cdot \text{yr}^{-1}$;2006年中国陆地生物量碳库、SOC库的年度变化分别为 $296.86 \text{ TgC} \cdot \text{yr}^{-1}$ 、 $316.21 \text{ TgC} \cdot \text{yr}^{-1}$ (图3)。因此,近年来中国 LUCC 导致陆地碳库每年增加约 $0.24 \sim 0.61 \text{ PgC}$ 。

将全国划分为6大区域,即东北(辽宁、吉林、黑龙江)、华北(北京、天津、河北、山西、内蒙古)、华东(上海、江苏、浙江、安徽、福建、江西、山东)、中南(河南、湖北、湖南、广东、广西、海南)、西南(重庆+四川、贵州、云南、西藏)、西北(陕西、甘肃、青海、宁夏、新疆),可得到各区域LUCC导致的陆地碳库变化(图4)。结果表明,从各区域来看,土地利用面积变化都导致了生物量碳库、SOC库的持续增长,西南地区陆地碳库增长最为显著。与20世纪90年代相比,在21世纪初,东北、华东、中南地区的生物量碳库增长明显加快,突出显示了中国东部地区植树造林引起的LUCC碳汇作用正在加强(图4)。

4.2 基于卫星遥感法的研究结果

LUCC时空信息平台的构建为基于遥感法对中国区域LUCC导致的陆地碳收支变化进行评估打下基础。利用2473个土壤剖面资料和20世纪80年代末-90年代末陆地卫星Landsat TM影像,刘纪远等^[28]分析了中国1990-2000年林地、草地、耕地间的土地利用变化对土壤碳蓄积量的影响。根据两期Landsat TM影像,分别得到全国及6大地区内(林地、草地、耕地的净变化面积与相互转化面积,并且采用两种不同的计量方法来估算各研究区域土壤有机碳储量的变化。

一种类似于上述《IPCC 2006指南》清单方法1,根据各类土地利用面积净变化、参考土壤碳密度、碳库影响因子估算总的土壤碳储量变化(下面简称为“清单法”);一种类似于《IPCC 2006指南》清单方法2,根据各类土地利用之间的转化面积、土地利用变化后土壤碳储量变化率进行估算(下面简称为“土地利用转化法”)。清单法的估算结果表明,1990-2000年,中国林地、草地、耕地0~30 cm SOC库合计损失 $(77.6 \pm 35.2) \text{ TgC}$,其中耕地SOC库增加 $(79.0 \pm 7.7) \text{ TgC}$,草地土壤碳库损失 $(100.7 \pm 25.9) \text{ TgC}$,林地SOC库损失 $(55.9 \pm 17.0) \text{ TgC}$ 。土地利用

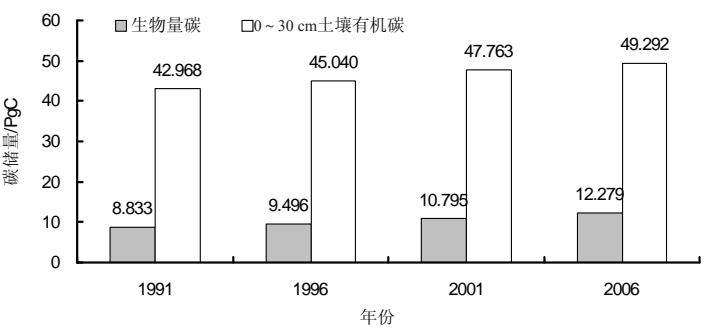


图2 中国陆地碳储量^[29]
Fig.2 Terrestrial carbon stock in China^[29]

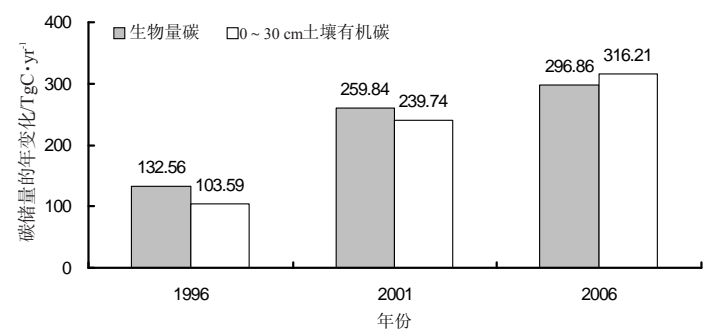


图3 中国陆地碳储量的年度变化^[29]
Fig.3 Annual changes of the terrestrial carbon stock in China^[29]

表4 中国1990-2000年0~30 cm土壤有机碳库变化
Tab.4 Changes of soil organic carbon stocks (0-30 cm) in China during 1990-2000

区域	土地利用类型	面积净变化 /10 ⁴ hm ²	清单法 /TgC	土地利用转化法/TgC
全国	耕地	404.7	79 ± 7.7	27.4
	草地	-304.8	-(100.7 ± 25.9)	-38.7
	林地	-99.9	-(55.9 ± 17.0)	-42.4
	合计		-(77.6 ± 35.2)	-53.7

注:引自刘纪远等^[28]。

转化法的估算结果表明,0~30 cm SOC库损失53.7 TgC(表4)。对于各大地区来说,两种方法计算的耕地、草地和林地结果差异较大,但总的变化量比较接近。总体来看,由于中国不同地区LUCC空间格局差异显著,东北地区土壤碳排放量大,而华东地区排放较小。

4.3 中国LUCC导致陆地碳收支变化评估结果的不确定性

关于近年来的中国LUCC对陆地碳收支影响评估的研究方面,采用《IPCC 2006指南》清单方法1的评估结果与采用综合评估方法的研究结果具有

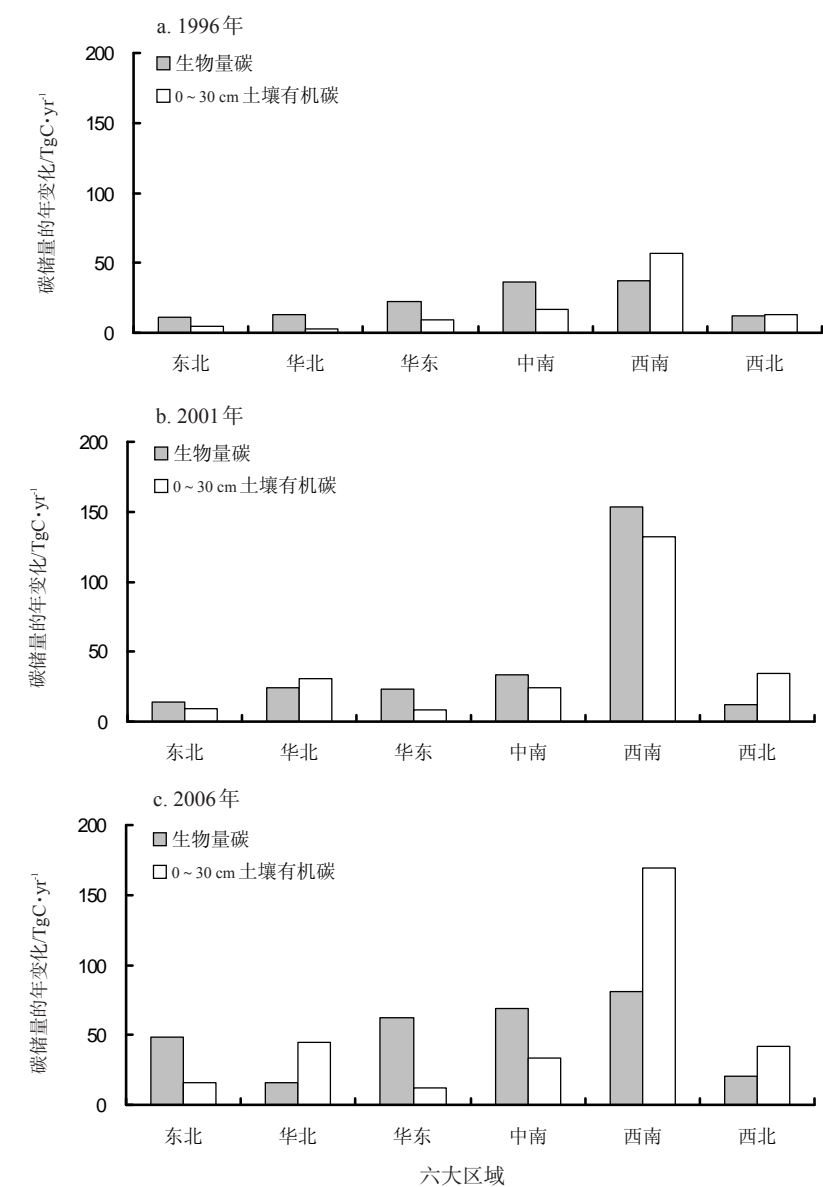


图4 中国不同区域陆地碳库的年度变化^[29]

Fig.4 Annual changes of the terrestrial carbon stock in different regions of China^[29]

较好的可比性(表5)。这些研究共同表明,目前全国自然植被活动增强,土地利用活动,特别是农林活动正对陆地生态系统碳收支产生比较明显的积极作用;在区域格局上,南方地区是中国主要的碳汇区。可是需要指出的是,这里对中国陆地碳收支的综合评估结果^[48]不仅仅限于LUCC的影响,还包括由于气候变化、CO₂浓度升高导致的NPP变化等因素的影响。

综合上述分析可知,基于IPCC清单法和基于遥感法对于近年来中国LUCC碳源汇效应评估结果的差异很大,反映出在此方面的研究还存在着较大的不确定性问题,这种不确定性主要来自LUCC数据的准确性、生态系统生物量和SOC碳密度数据的可靠性两个方面。

(1) 土地利用分类与定义的不一致性

中国不同来源的数据采用的土地利用分类以及各类别的定义标准都存在着较大差别。一个明显的例子是,自1994年以后,中国森林资源清查将森林定义中的郁闭度标准由30%下降为20%。如果不按照新标准进行重新计算,统计资料中较早基础年份的有林地

表5 基于不同方法对中国陆地碳收支的估算结果

Tab.5 Estimates on terrestrial carbon balance of China by using different approaches

	估算方法	类别	估算时期	碳收支/TgC·yr ⁻¹
Piao 等 ^[48]	地面清查与卫星 遥感数据结合	植被	1982-1999 年	56.9 ~ 153.5
		土壤		50.3 ~ 100.5
		合计		103.6 ~ 250.4
	过程模型	植被	1980-2002 年	18 ~ 166
		土壤		9 ~ 141
		合计		134 ~ 212
	大气反演		1996-2005 年	20 ~ 680
付超, 等 ^[29]	《IPCC 2006 指南》清单方法 1	植被	1991-2006 年	132.56 ~ 296.86
		土壤		103.59 ~ 316.21
		合计		236.15 ~ 613.07

面积很可能被低估;而中国现有遥感资料采用30%的有林地郁闭度标准,再加上新增幼林地和林带在遥感影像上难以识别,很可能低估了近年森林面积,从而得到与统计资料相反的森林面积变化趋势。对不同来源统计数据进行整合时,也很难避免土地利用面积的重复计算或遗漏等问题。

(2) 生物量和SOC碳密度数据的可靠性

精确的碳密度测度是估算陆地生态系统碳储量变化的重要环节。在生物量碳库估算中,不同生物量换算模型对森林生物量的估算结果差别明显,直接影响到对整个陆地生物量碳库变化的评估结果。对于SOC库,SOC碳密度实测结果受到样本量、测定方法、土壤类型的影响而存在一定的误差;由于缺乏长期实测数据,对于各种LUCC影响下SOC的变化过程也缺乏深入了解,采用的简化假设条件很可能不符合实际情况。《IPCC 2006 指南》清单方法1假定SOC库线性变化,并且不考虑参考年份之前LUCC产生的滞后影响,造成越接近参考年份,SOC库变化越小,是该方法学的主要缺陷之一。

为了减少有关LUCC对中国区域陆地碳收支影响研究的不确定性,未来研究应着重发展和利用基于土地利用相互转化面积的计量方法(例如,《IPCC 2006 指南》方法2和3、遥感法、“簿记”模型),以更好地考虑SOC库非线性变化的影响,把造林/再造林、毁林、开垦等主要的土地利用变化活动,以及森林管理、农田管理、放牧地管理、湿地退化与恢复、城市化等具有明显碳效应的土地利用活动都纳入计量范围内,以提高评估工作的完整性。

5 结语

在分析中国近年来LUCC变化特征的研究方面,采用基于多种来源统计资料的分析结果与基于遥感资料得到的结论之间存在着明显的差异。前者认为,自1990年以来中国森林覆盖率不断增加,农田面积在不断减少;而后者认为林地面积在20世纪90年代有所减少,耕地面积呈现北增南减、总量增加的趋势,直到21世纪初,随着国家退耕还林还草政策的实施,林地面积开始增加,耕地面积开始减少。其他的多种资料显示,目前中国草原退化、土壤侵蚀与荒漠化、湿地退化问题严重,城市用地扩张迅速并占用大量农田。

在分析近年来中国LUCC变化的碳源汇效应

研究方面,采用基于IPCC清单法与基于遥感法的研究结论之间也存在很大差异。基于统计资料,采用《IPCC 2006 指南》清单方法1的评估表明,近20年来中国LUCC导致陆地碳库每年约增加0.24~0.61 PgC;而基于遥感资料估算结果都表明,20世纪90年代中国林地、草地、耕地0~30 cm SOC库有较大的损失。但是对近年来中国区域陆地碳收支的综合评估结果表明,目前全国土地利用活动,特别是农林活动正对陆地生态系统碳收支产生比较明显的积极作用。

由于受到LUCC变化特征数据和生物量与碳密度数据的限制,现在对中国LUCC变化导致的陆地碳收支变化的评估结果仍存在着较大的不确定性。未来研究工作重点应重视发展和利用基于土地利用相互转化面积的计量方法(例如,《IPCC 2006 指南》清单方法2和3、“簿记”模型),开展中国LUCC引起的陆地碳库变化的精细估算,同时还要重视将多种具有明显碳效应的土地利用变化与土地管理活动纳入碳汇的计量范围之内,提高评估工作的完整性。

参考文献

- [1] Houghton RA. The annual net flux of carbon to the atmosphere from changes in land use 1850-1990. *Tellus B*, 1999, 51(2): 298-313.
- [2] IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*; Cambridge, U.K. and New York, U.S.:Cambridge University Press: 2007.
- [3] Friedlingstein P, Houghton RA, Marland G, et al. Update on CO₂ emissions. *Nature Geoscience*, 2010, 3: 811-812. DOI 10.1038/ngeo1022.
- [4] Levy P E, Friend A D, White A, et al. The influence of land use change on global-scale fluxes of carbon from terrestrial ecosystems. *Climatic Change*, 2004, 67(2-3): 185-209.
- [5] 于贵瑞, 李胜功, 伏玉玲, 等. 中国陆地生态系统碳循环//孙鸿烈. 生态系统综合研究. 北京: 科学出版社, 2009: 227-236.
- [6] Houghton R A. Temporal patterns of land-use change and carbon storage in China and tropical Asia. *Science in China: Series C*, 2002, 45(Supp.): 10-17.
- [7] Houghton R A, Hackler J L. Sources and sinks of carbon

- from land-use change in China. *Global Biogeochemical Cycles*, 2003, 17(2):1034. doi. 10.1029/2002GB001970.
- [8] Houghton R A, Hobbie J E, Mellilo J M, et al. Changes in the carbon content of terrestrial biota and soils between 1860 and 1980: A net release of CO₂ to atmosphere. *Ecological Monographs*, 1983, 53(3): 235-262.
- [9] Houghton R A. Revised estimates of the annual net flux of carbon to the atmosphere from changes in land use and land management 1850-2000. *Tellus B*, 2003, 55(2): 378-390.
- [10] 陈广生, 田汉勤. 土地利用/覆盖变化对陆地生态系统碳循环的影响. *植物生态学报*, 2007, 31(2): 189-204.
- [11] Defries R S, Field C B, Fung I, et al. Combining satellite data and biogeochemical models to estimate global effects of human-induced land cover change on carbon emissions and primary productivity. *Global Biogeochemical Cycles*, 1999, 13(3): 803-815.
- [12] McGuire A D, Sitch S, Dargaville D, et al. Carbon balance of the terrestrial biosphere in the twentieth century: analyses of CO₂, climate and land use effects with four process-based ecosystem models. *Global Biogeochemical Cycles*, 2001, 15(1): 183-206.
- [13] IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. UK Meteorological Office, Bracknell, UK, 1996.
- [14] IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry. Institute for Global Environmental Strategies (IGES), Hayama, Japan, 2003.
- [15] IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Institute for Global Environmental Strategies, Hayama, Japan, 2006.
- [16] 王绍强, 许珺, 周成虎. 土地覆被变化对陆地碳循环的影响: 以黄河三角洲河口地区为例, 2001, 5(2): 142-148.
- [17] Wang S Q, Tian H Q, Liu J Y, et al. Characterization of changes in land cover and carbon storage in Northeastern China: An analysis based on Landsat TM data. *Science in China: Series C*, 2002, 45(Supp): 40-47.
- [18] 周绪, 刘志, 菊春燕, 等. 基于RS和GIS分析干旱区土地利用/覆盖变化对陆地植被碳储量的影响: 以新疆鄯善县绿洲为例. *干旱地区农业研究*, 2007, 25(6): 231-236.
- [19] 汤洁, 毛子龙, 韩维峥, 等. 土地利用/覆被变化对土地生态系统有机碳库的影响: 以吉林省通榆县为例. *生态环境*, 2008, 17(5): 2008-2013.
- [20] 汤洁, 毛子龙, 王晨野, 等. 基于碳平衡的区域土地利用结构优化: 以吉林省通榆县为例. *资源科学*, 2009, 30(1): 130-135.
- [21] 武俊喜, 程序, 焦家国, 等. 1940-2002年长江中下游平原乡村景观区域中土地利用覆被及其土壤有机碳储量变化. *生态学报*, 2010, 30(6): 1397-1411.
- [22] 姜群鸥, 邓祥征, 战金艳, 等. 黄淮海平原耕地转移对植被碳储量的影响. *地理研究*, 2008, 27(4): 839-846.
- [23] 柳梅英, 包安明, 陈曦, 等. 近30年玛纳斯河流域土地利用/覆被变化对植被碳储量的影响. *自然资源学报*, 2010, 25(6): 926-938.
- [24] 高志强, 刘纪远, 曹明奎, 等. 土地利用和气候变化对农牧过渡区生态系统生产力和碳循环的影响. *中国地球科学*, 2004, 34(10): 946-957.
- [25] 葛全胜, 戴君虎, 何凡能, 等. 过去300年中国土地利用、土地覆被变化与碳循环研究. *中国科学: D辑*, 2008, 38(2): 197-210.
- [26] 李克让, 朱志辉. 中国林业活动及相关土地利用变化导致的碳收支//李克让. 土地利用变化和温室气体净排放与陆地生态系统碳循环. 北京: 气象出版社, 2002: 209-233.
- [27] 中国国家气候变化对策协调小组. 中华人民共和国气候变化初始国家信息通报. 北京: 中国计划出版社, 2004: 13-21.
- [28] 刘纪远, 王绍强, 陈镜明, 等. 1990-2000年中国土壤碳氮蓄积量与土地利用变化. *地理学报*, 2004, 59(4): 483-496.
- [29] 付超. 中国农林与其他土地利用温室气体排放量的估算与时空格局分析[D]. 北京: 中国科学院地理科学与资源研究所, 2011.
- [30] 刘育成. 中国土地资源调查数据集. 北京: 全国土地资源调查办公室, 2000.
- [31] 樊志泉. 1999-2007年全国土地利用变更调查报告. 北京: 中国大地出版社, 2000-2008.
- [32] 中华人民共和国农业部畜牧兽医司, 农科院草原研究所, 中科院自然资源综考会. 中国草地资源数据. 北京: 中国农业科技出版社, 1994: 10-75.
- [33] 中华人民共和国国家林业局. 中国林业统计年鉴2003. 北京: 中国林业出版社, 2004.
- [34] 刘纪远, 布和敖斯尔. 中国土地利用变化现代过程时空特征的研究: 基于卫星遥感数据. *第四纪研究*, 2000, 20(3): 229-239.
- [35] 刘纪远, 刘明亮, 庄大方, 等. 中国近期土地利用变化的空间格局分析. *中国科学: D辑*, 2002, 32(12): 1031-1040.
- [36] 刘纪远, 张增祥, 庄大方, 等. 20世纪90年代中国土地利用变化时空特征及其成因分析. *地理研究*, 2003, 22(1): 1-12.

- [37] 刘纪远, 张增祥, 徐新良, 等. 21 世纪初中国土地利用变化的空间格局与驱动力分析. 地理学报, 2009, 64(12): 1411-1420.
- [38] 中华人民共和国林业部. 全国森林资源统计 (1989-1993). 北京: 中华人民共和国林业部, 1994.
- [39] 中华人民共和国国家林业局. 全国森林资源统计 (1994-1998). 北京: 中国林业出版社, 2000.
- [40] 中华人民共和国国家林业局. 全国森林资源统计 (1999-2003). 北京: 中国林业出版社, 2005.
- [41] Fang J Y, Chen A P, Peng C H, et al. Changes in forest biomass carbon storage in China between 1949 and 1998. Science, 2001, 292(5525): 2320-2322.
- [42] FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). Global Forest Resources Assessment 2010. <http://www.fao.org/forestry/fra/fra2010/en/>, 2010.
- [43] 中华人民共和国国土资源部. 2009 中国国土资源统计年鉴. 北京: 地质出版社, 2009.
- [44] 李秀彬. 中国近 20 年来耕地面积的变化及其政策启示. 自然资源学报, 1999, 4(4): 329-333.
- [45] 章力建, 李兵, 张志如. 草原生态系统的服务功能及我国草原的可持续发展对策. 中国农业科技导报, 2009, 11(3): 35-39.
- [46] Zhang S, Zhang Y, Chen J, et al. Temporal-spatial patterns of wetlands changes in China and driving force analysis. Proceedings of SPIE, 2004, 5544: 410-419.
- [47] 王占礼, 彭珂珊. 我国土壤侵蚀状况与主要影响因素. 生态经济, 1999(5): 48-51.
- [48] Piao S, Fang J, Ciais P, et al. The carbon balance of terrestrial ecosystems in China. Nature, 2009, 458(7241): 1009-1013.

Effects of Land Use and Cover Change on Terrestrial Carbon Balance of China

FU Chao, YU Guirui, FANG Huajun, WANG Qiufeng

(Synthesis Research Center of CERN, Key Laboratory of Ecosystem Network Observation and Modeling, Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China)

Abstract: Accurate estimation on the effects of land use and cover change (LUCC) on terrestrial carbon balance has become one of the focuses in the research on the global carbon cycle. This paper attempts to review the studies on LUCC in recent years and its effects on terrestrial carbon balance in China, to provide references for the assessment of China's terrestrial carbon balance and the choice of future research topics. The extensive information has been obtained from researches on China's LUCC in recent years, and the corresponding carbon source and sink effects have been assessed by using the inventory method presented by IPCC and the satellite-based method respectively. Results indicate that land use activities, especially those related to agriculture and forest management, are affecting terrestrial carbon balance positively. However, the satellite- and inventory-based estimates indicated significant uncertainty in the estimates. Future researches should focus on the development and application of estimation methods based on the information of land-use conversion areas, to improve the assessment on effects of LUCC on China's terrestrial carbon balance.

Key words: land use and cover change (LUCC); terrestrial ecosystem; carbon balance; China

本文引用格式:

付超, 于贵瑞, 方华军, 等. 中国区域土地利用/覆被变化对陆地碳收支的影响. 地理科学进展, 2012, 31(1): 88-96.