

土地利用/覆被变化的大气环境效应研究进展

张润森^{1a}, 濮励杰^{1a,2}, 刘 振^{1b}

(1. 南京大学 a. 地理与海洋科学学院, b. 大气科学学院, 南京 210093; 2. 国土资源部 土地利用重点实验室, 北京 100029)

摘要: 土地利用/覆被变化是全球环境变化的重要原因, 随着气候变化问题的日益突出, 土地利用/覆被变化的大气环境效应已成为国内外全球变化的前沿和热点课题。通过对土地利用/覆被变化对大气环境系统的作用机制分析, 认为目前土地利用/覆被变化对大气质量、大气污染以及气候变化产生了重要的影响, 尤其随着快速城市化进程的推进, 带来了显著的城市空气污染和热岛效应, 而土地利用/覆被变化在全球尺度上的气候效应则存在较多的争论。今后应加强土地变化科学和大气科学的融合, 从多尺度探讨土地利用/覆被变化的大气环境效应, 并注重大气环境改善视角下的土地利用策略和空间规划研究。

关键词: 土地利用/覆被变化; 大气环境; 气候; 效应; 进展

中图分类号: F301.2

文献标志码: A

文章编号: 1003-2363(2013)04-0123-06

自 1995 年国际地圈-生物圈计划 (IGBP) 和全球环境变化中的人文领域计划 (IHDP) 联合提出土地利用/覆被变化 (LUCC) 科学研究计划以来^[1], 土地利用/覆被变化作为全球变化的重要组成部分和主要原因, 日益受到国际组织和世界各国的普遍关注, 目前已成为国际上全球变化研究的前沿和热点课题^[2]。基于不同尺度研究土地利用/覆被变化对全球环境变化、地表自然-生态过程的影响, 以及对人类活动的反馈, 揭示土地利用/覆被变化与人类活动的互馈关系已经成为土地利用/覆被变化研究的重要组成部分^[3]。关于土地利用/覆被变化对水文过程、土壤侵蚀和土壤污染以及生物多样性等方面的影响已有较多的研究, 并初步形成了各自的理论体系, 而对于土地利用/覆被变化大气环境效应的研究还比较零散。20 世纪以来, 人类活动造成的土地覆被变化作为全球大气环境系统的重要强迫因子, 其影响是不可忽略的^[4], 且土地利用/覆被变化致使大气成分和气候系统正发生着有史以来从未有过的急剧变化。因此, 本研究将结合国内外关于土地利用/覆被变化引起大气环境效应的主要成果, 综述这一领域的研究进展。

1 LUCC 对大气质量和污染的影响

1.1 LUCC 对大气成分的影响

土地利用/覆被变化可以改变大气中气体的含量和组成, 改变大气化学性质和过程^[5], 导致大气中 CO₂, CH₄ 和 N₂O 等气体的浓度产生显著变化。在前工业时期, 大气中 CO₂ 浓度增长主要是由于大规模的森林砍伐

和农业开发造成的, 自然生态系统向人工生态系统的转变会减少植物生物量, 加速土壤有机质分解, 释放大量的 CO₂ 到大气中去。在过去的 150 年中, 土地利用/覆被变化导致了大约相当于同期化石燃料向大气中净释放的 CO₂ 量^[6]。森林砍伐不仅释放出大量的 CO₂, 森林的燃烧还会引起更多其他气体的释放, 如 CO, NO₂, CH₄ 和其他碳氢化合物。自 1750 年以来, 由于人类工农业活动共同作用的结果, 大气中 CH₄ 的浓度增加了一倍多, 水稻种植、生物燃烧、森林砍伐、城市化、牲畜养殖等都可以释放出 CH₄^[7]。从土地利用类型来看, 湿地和草地则是 CH₄ 释放的主要来源, 湿地释放 CH₄ 量占大气中 CH₄ 总释放量的 20%, 同时, CH₄ 又可以氧化成 CO, 据估计 60% 的 CO 来源于土地利用/土地覆被变化^[8]。

亦不可忽视土地利用/覆被变化对大气中 N₂O 含量的影响。N₂O 在大气中具有较长的滞留时间并参与大气中的许多光化学反应, 会破坏臭氧层而引起地表辐射的增强。原来普遍认为燃烧是大气中 N₂O 增加的主要来源^[9], 而由于取样技术的局限往往错误地夸大了燃烧在 N₂O 增加中的影响^[10], 实际上土地利用/覆被变化在所有的 N₂O 来源中占到了 80%。20 世纪 50 年代以来, 由于农业生产活动中使用化肥量的快速增长, 加快了土壤氮循环速率, 进而导致 N₂O 释放量的大大提高, 农业生产活动导致的 N₂O 释放量从每年 2.8 Tg 氮增加到现在的 6.3 Tg 氮^[11]; 且大气中的 N₂O 浓度处于持续增长的状态, 年增长率为 0.25%, 其中热带地区的农业生产活动和土地利用变化则是全球最重要的 N₂O 释放源, 贡献率达 70% ~ 90%^[12-13]。工业化进程中的土地利用/覆被变化也影响了对流层光化学烟雾的组成成分, 研究发现, 工业化区域的光化学烟雾浓度确有增加^[14]。同时, 土地利用/覆被变化还引起了 S 的释放, 使得大气中 SO₂ 的浓度增高, 在 SO₂ 浓度高的区域可能会出现酸雨。

收稿日期: 2012-04-29; 修回日期: 2013-06-10
基金项目: 国家自然科学基金项目 (40871255); 南京大学研究生科研创新基金项目 (2010CL12)
作者简介: 张润森 (1984-), 男, 江苏兴化市人, 博士研究生, 主要从事土地利用与生态环境效应研究, (E-mail) runsenzhang@126.com。

1.2 城市化进程中的大气污染

随着城市化和工业化进程的加快,城市扩展和城市土地利用变化所导致的大气质量和大气污染问题逐渐成为学术界关注的热点。城市化对区域空气质量和污染存在着潜在的影响,用地类型转变导致的土地利用/覆被变化将降低区域空气环境的潜在安全水平,且废气污染物排放的空间差异与对应区域城镇用地比例的大小存在明显的正相关关系^[15]。研究发现,不合理的工业布局、长距离交通的污染排放以及城市周边半干旱地区伐木等因素是导致城市区域大气污染的主要原因^[16];并且城市热岛效应对污染物扩展浓度产生重要影响,一个利用二维非定常扩散方程模拟城市边界层污染物浓度分布特征的研究则证明了这一点^[17]。

土地利用规划和城市规划对土地利用和城市开发进行了空间上的总体安排和布局,引致了土地利用和土地覆被空间格局的形成,因此,有不少文献探讨大气环境系统对土地利用规划和城市规划的响应,即关注规划方案下土地利用空间格局所造成的大气质量和大气污染问题。土地利用规划环境影响评价的理论、指标体系、评价方法和实证研究都涉及到土地利用规划方案对大气污染的影响,并尝试将大气环境因子纳入到土地利用规划环境影响评价体系中,王广洪等^[18]对江苏省工业废气的排放量进行了预测和比较,发现单位国土面积工业废气排放量在土地利用规划实施后有较大幅度增长。相对而言,城市规划领域则有较多的相关研究,即在小区尺度上对城市用地空间配置和建筑物空间布局的大气环境效应进行评估。城市中人类活动及下垫面变化,建筑群及单体布局差异等均对城市环境气象要素产生了不同程度的影响,从而改变城市局地小气候,影响城市污染物的扩散速度和方向^[19]。从研究方法和模型方面来看,城市规划领域的研究主要基于多尺度数值模拟系统和大气污染扩展模式建立城市规划大气环境效应定量分析体系,以评价空间规划方案对大气质量和大气污染造成的影响^[19-20]。

1.3 物质循环对 LUCC 的响应

不同土地覆被类型具有不同的生态系统结构、群落组成和生物量,它们以不同的速率吸收和固定碳、氮等养分,这对营养元素在大气中的分布有重要影响。由于土地利用变化的原因,每年大约向大气中排放 1.6 Pg 碳,约占人类活动总排放量的 20%^[21]。1988—1998 年间,亚马逊河流域的森林砍伐和耕地抛荒每年向大气中排放 0.2 Pg 碳^[22]。美国自 20 世纪 80 年代以来,土地利用变化对碳排放的贡献程度相当于美国年化石燃料燃烧排放量的 10%~30%^[23],美国东部森林碳聚集速率改变的一个最主要因素就是土地利用变化^[24]。由于自然生态系统是全球碳循环中重要的碳汇,土地利用/覆被变化通过对局地生态系统的强烈影响,使得原来固定

在植物及土壤中的碳以 CO_2 和 CH_4 的形式大量散发至大气中,成为大气中温室气体含量持续上升的主要来源之一,改变了全球碳氮平衡格局。因此,土地利用/覆被变化对碳、氮等元素循环的影响,特别是定量评价土地利用变化对陆地生态系统碳库及通量的影响及其反馈是当前全球变化研究的热点和难点问题^[25]。譬如,土地利用变化对植被碳储量的影响,土地利用变化对土壤有机质碳的影响,土地整治与碳排放等。

2 LUCC 对气候的影响

2.1 气候系统对 LUCC 的响应机制

陆面生态系统和气候存在时间尺度从秒到数百万年的多尺度相互作用,在这一时间尺度内,陆面生态系统可以通过能量、水汽和动量交换改变大气环流状况,进而影响天气和气候。其具体又可以分为短期相互作用和长期相互作用^[26],短期相互作用主要包括陆面与大气之间感热与潜热交换、地面热传导、蒸发反馈、降水反馈等;长时间尺度的相互作用包括季节尺度的 LAI(叶面积指数)和地表反照率的调整和年际尺度的土壤特性变化等。因此,土地利用/覆被变化改变对局地及区域气候系统产生了极其重要的影响,并且主要通过生物物理和生物地球化学两种反馈机制来实现^[27]。生物物理反馈主要表现在土地利用/覆被变化改变了粗糙度、地表反射率、土壤含水量、植被叶面积、植被覆盖比例、根区深度、冠层高度和植被结构等地球表面物理特征^[28],影响了与气候直接有关的地表与大气之间的辐射、热量动量和水分交换过程^[29],引起温度、湿度、风速以及降水发生变化^[30],相应地改变了海洋驱动的大气环流基本格局,使得区域和局地的气候和天气复杂化。首先,地表及其覆盖的植被决定了太阳辐射在地表的分配,这种分配形成了不同尺度上气候系统的边界环境,且土地覆被变化对水分及能量平衡具有重要影响,决定了地表的粗糙度及潜在的、敏感的热量流动。一旦土地覆被发生改变,能量则会重新分配,而且土地利用/覆被变化不仅能够通过改变地球上太阳能的分配方式影响局地和区域气候,甚至可以影响全球的能量平衡^[31]。其次,土地利用/覆被变化亦改变了地表反射率,从而影响温度和湿度的变化。Henderson-Sellers 等总结了影响地表反射率的过程^[32],基于人类利用方向的土地利用变化倾向于增加反射率,使得更多的能量返回到大气中,使对流层温度增加、大气的稳定性增强并减少对流雨^[33]。

生物地球化学反馈则指生态系统碳和养分循环变化对地面与大气之间温室气体和气溶胶交换产生一定的影响而由此导致气候变化^[34]。土地利用活动改变了地球表面的生物地球化学循环过程,地球表面的土地覆被具有不同的生态系统结构、群落组成和生物量,可以以不同的速率吸收和固定养分,影响地表与大气之间的

微量气体交换和土壤与植被之间的营养物质输送,土地覆被变化导致了这些元素在大气中的分布发生变化。生物地球化学反馈以大气为中介,经过累积作用达到全球规模,继而加速气候变化。

2.2 城市化对局地气候的影响

城市化是短时间内大规模、大范围的人为活动引起的对局地自然特征的一种改变,城市热岛效应是建设用地扩展对局地气候影响的最好例证,大量研究证明城市规模及其扩展与热岛效应有着极为密切的关系^[35],关于热岛效应的研究亦已成为土地利用/覆被变化局地气候影响领域最为典型的热点。较有代表性的为城市化的气象学研究,Changnon 等^[36]在大城市气象实验(METROMEX),区域大气污染研究(RAPS)以及其他相关的城市气象学研究基础上,发现城市土地利用/覆被变化对城市气候产生了不可忽视的影响,城市热岛效应与土地利用类型及下垫面性质密切相关。许多统计分析亦显示城市化显著改变了大气边界层特性,热岛效应呈现强度增大、面积扩张的趋势,并可以通过比较发现郊区的气温增温率低于城区的增温率^[37]。

雷达、遥感等观测资料在该领域逐渐得到了广泛的应用^[38],基于多时相的遥感影像,以热红外遥感影像定量反演的地表温度为基础,可以分析城市热岛的空间分布和演变特征以及城市热岛与土地利用/覆被变化之间的关系,以揭示城市热环境演变与城市扩展、植被覆盖变化的相互作用机理。研究发现不同土地利用和土地覆被类型的地表温度存在较大差异,且随着城市范围的不断扩张,城市热岛也在不断增大。史培军等^[39]则通过遥感影像和建立 Yamata-Mellor 紊乱闭合模型对深圳市土地利用/覆被变化对气候的影响进行了分析,探讨了深圳城市化与生态环境安全水平之间的相关关系。此外,数值模拟是研究城市化局地气候效应较为有效且必要的方法,Atwater^[40]利用一个基于欧拉守恒方程的三维静力可压缩的边界层数值模式,模拟了环城区域边界层内的风、温、特征湿度和污染物浓度,借此来研究城市化和污染物引起的热力变化,其后期又进一步利用该模式研究了城市化和污染物在4个气候区对大气热力结构的影响^[41]。Miao 等^[42]则用 WRF 模式耦合单层城市冠层模式,模拟了城市热岛的特点以及边界层结构。中尺度数值模式和卫星遥感的结合也在城市热岛效应的研究中得到了应用^[43],并发现城市化在湿润地区和半干旱地区的热岛效应显著程度有所不同^[44]。

2.3 LUCC 的区域及全球气候效应

土地利用/覆被变化引起的微气候和局地气候变化是相对比较清楚的。譬如,对城市热岛效应的研究就相对较为深入且有较多共识;但是从全球尺度上看,土地利用/覆被变化的影响相比而言并不十分显著,其是否也对区域气候乃至全球变化产生影响引起了较多的争

论^[45]。就目前而言,土地利用/覆被变化对区域气候的影响还停留在相对粗略估算的阶段,且主要集中在植被尤其是大面积热带森林减少对温度、降水和径流等造成的影响^[46],森林的砍伐可能会改变地表反射率,从而使得温度增高、湿度下降^[47],进而影响区域及全球温度。Henderson-Sellers 等^[48]最早利用 GCM 大气环流模式,对巴西亚马逊热带雨林转变成草原产生的区域气候影响进行数值模拟分析,发现热带雨林的砍伐导致了粗糙度、土壤含水量、地面反射率等地球物理特征的改变,使得区域降水和蒸发减少,造成地面热量通量和动量通量的异常。NCAR GENESIS 大气环流模式模拟结果显示,亚马逊地区的平均日降水由于森林退化下降了0.73 mm,且退化森林和 CO₂ 浓度增加的综合作用使得该地区平均气温增高约 3.5 °C^[49]。热带地区植被退化还可能导致异常 Rossby 波发展、Hadley 环流和 Walker 环流的位置和强度发生变化,造成异常扰动向热带外地区传播,进而影响全球的气温和降水^[50]。尽管植被对径流和蒸发中水分的分布有着重要影响,但是关于森林是否能够导致区域及全球的气候变化,气候学家并无定论,关于亚马逊森林的大部分研究认为森林面积的减少将严重减少当地的降水量^[33,51],而 Henderson-Sellers 等^[48]则认为现阶段热带森林退化确实引起了地球物理特征的改变,但是对区域气候的影响几乎是微乎其微的,对中国陆地生态系统的相关研究亦认为植被对降水的作用并不显著^[39]。

除了森林退化的气候效应以外,相关研究表明,在干旱半干旱地区的荒漠化亦有着显著的区域气候效应^[52]。土地荒漠化导致了较高的地表反照率,较小的土壤水分含量及较低的地表粗糙度,使得降水减少,植被和土壤状况进一步恶化,进一步加速了荒漠化进程,并且有可能影响到外围地区^[53]。在森林退化和沙漠化引起了学术界极大关注的同时,亦有不少文献探讨某些特定区域土地利用/覆被变化的气候效应。研究表明,欧洲东部和印度北部是土地利用/覆被变化引起陆面气候变量改变最为显著的区域^[29];而针对中国而言,相对于温室气体增加的影响,土地利用/覆被变化的影响亦不可忽视,在人类活动强烈的东部地区^[54],土地利用/覆被变化对区域能量、水分时空分异以及气候产生了重要的影响。

关于土地利用/覆被变化气候效应在全球尺度上的尝试性研究,Findell 等^[29]利用 GFDL 的气候模式研究了人类活动造成的土地覆被变化生物物理过程的气候效应,结果显示,土地覆被变化对全球平均气候态影响很小,不如大尺度海表面温度异常的影响重要,但是在区域尺度上,土地覆被变化的影响比海表面温度异常更为重要。Bounoua 等^[55]也认为土地覆被变化对全球平均态影响不大,但是在区域尺度上影响较为显著。

3 结论与展望

由于土地利用/覆被变化在全球变化和可持续发展研究中占有重要的地位,因此,国内外关于土地利用/覆被变化的研究已经取得了一定的进展,但是总体上而言较为偏重土地利用与土地覆被的变化机制的研究,而关于土地利用/覆被变化的生态环境效应并没有得到全面且充分的研究,尤其是土地利用/覆被变化的大气环境效应,深入研究还比较少。国内外研究土地利用/覆被变化大气环境效应的内容从土地利用/覆被变化对大气成分、质量和污染的影响,城市化的大气环境效应,土地利用/覆被变化对区域及全球气候的影响到物质循环对土地利用/覆被变化的响应,研究方法从定性描述、统计分析到综合运用雷达卫星资料和数值模拟方法,都在尝试量化土地利用/覆被变化对大气环境系统的影响,但是主要还停留在统计分析和“黑箱研究”的层面,相对缺少必要的内在机理和物理过程解释,并没有形成统一的研究体系和定量模型。实际上这是由于学科之间的差异所造成的,土地利用/覆被变化的大气环境效应研究散见于地理科学、大气科学、土地科学、资源科学和环境科学各个领域,尚未形成统一的理论,从而导致不同研究者出于各自目的和学科特点进行相关研究,采用的研究方法亦不能推广。土地利用与城市规划学科往往较为关注用地空间布局所引起的大气环境效应,且基本上局限于建筑物布局等小区尺度的研究,相对缺乏大中尺度的研究,研究方法也以空间统计、地理信息系统和计量地理分析为主;而大气科学领域则侧重陆面过程的数值模拟分析,虽然强调生物物理过程和生物化学过程,但是并不特别关注土地利用/覆被变化因素,土地利用只是其中的一个分析因子而已。此外,虽然大气数值模式在最近 20 多年迅猛发展,但模式的误差仍然较大,在某些具体问题上很难具有说服力;而且,当今的模式模拟大多局限在某一尺度上,并未实现从多尺度去探索土地利用/覆被变化的大气环境效应。综观土地利用/覆被变化的大气环境效应研究,绝大多数文献都是探讨城市化对大气环境系统产生的影响,而将城市独立于整个土地利用系统之外,较少关注农用地和未利用地变化对大气环境系统造成的影响。

随着人类活动的加剧,土地利用/覆被变化日益成为影响全球环境变化的主导因素,尤其是对大气环境系统有着很大的影响,有必要加强土地利用/覆被变化大气环境效应的研究。

(1) 深入研究土地利用/覆被变化大气环境效应的过程和机理。基于土地变化科学、自然地理、大气科学和环境科学等多学科的交叉和融合,结合试验观测、遥感技术和地理信息系统方法,探讨土地利用/覆被变化大气环境效应的基本过程和机理,建立土地利用和覆被类型与大气环境因子的高精度模型,尤其要在模型中考

虑陆面生态系统对大气环境系统的反馈作用,达到“陆-气”系统之间真正的动态耦合。

(2) 多尺度探讨土地利用/覆被变化的大气环境效应。尺度问题是地理科学的焦点,土地利用变化的发生、时空分布及演变以及与大气环境因子的耦合等都是与尺度相互依存的,不仅要进行小区、城市等小尺度的研究,还要加强对气候变化敏感区、生态脆弱带、农耕和经济开发剧烈区等区域尺度乃至全球尺度的研究,发展融土地利用/覆被变化动力机制和大气环境因子于一体的多尺度模型是未来的发展方向。

(3) 土地利用/覆被变化大气环境效应的综合分析视角。土地利用/覆被变化的大气环境效应不仅需要跨学科的综合研究,也需要构建一个土地利用/覆被变化大气环境效应研究的综合体系:不仅对包括建设用地、农用地和未利用地之间及其内部各地类相互转化和演变所造成大气环境效应进行探讨,亦强调自然因素和人文因素的集成,关注人文驱动力视角下的大气环境影响;并尝试在构建土地利用/覆被变化大气环境效应预警系统的基础上,提出大气环境效应优化约束下的土地利用结构及空间布局的优化策略。

参考文献:

- [1] Tuner Ii B L, Skole D, Sanderson S, *et al.* Land-use and land-cover Change Science/Research Plan [R]. Stockholm: Royal Swedish Academy of Sciences, 1995.
- [2] 李秀彬. 全球环境变化研究的核心领域——土地利用/土地覆被变化的国际研究动向[J]. 地理学报, 1996, 51(6): 553 – 558.
- [3] 王兵, 臧玲. 我国土地利用/土地覆被变化研究近期进展[J]. 地域研究与开发, 2006, 25(2): 86 – 91.
- [4] Pielke R A. Overlooked Issues in the U. S. National Climate and IPCC Assessments[J]. Climatic Change, 2002, 52(1): 1 – 11.
- [5] Crutzen P J, Andreae M O. Biomass Burning in the Tropics: Impact on Atmospheric Chemistry and Biogeochemical Cycles[J]. Science, 1990, 250: 1669 – 1678.
- [6] Houghton R A, Hobbie J E, Melillo J M, *et al.* Changes in the Carbon Content of Terrestrial Biota and Soils between 1860 and 1980: A Net Release of CO₂ to the Atmosphere [J]. Ecological Monographs, 1983, 53(3): 235 – 262.
- [7] Cicerone R J. Biogeochemical Aspects of Atmospheric Methane[J]. Global Biogeochemical Cycles, 1988, 2(2): 299 – 327.
- [8] Lerner J. Methane Emission from Animals: A Global High-resolution Database [J]. Global Biogeochemical Cycles, 1988, 2(2): 139 – 156.
- [9] Hao W M, Wofsy S C, McElroy M B, *et al.* Sources of Atmospheric Nitrous-oxide from Combustion [J]. Journal of Geophysical Research-Atmospheres, 1987, 92(D3): 3098

- 3104.
- [10] Muzio L J, Kramlich J C. An Artifact in the Measurement of N_2O from Combustion Sources [J]. *Geophysical Research Letters*, 1988, 15(12): 1369 - 1372.
- [11] Li C, Frolking S, Frolking T A. A Model of Nitrous Oxide Evolution from Soil Driven by Rainfall Events: 1. Model Structure and Sensitivity [J]. *Journal of Geophysical Research*, 1992, 97(D9): 9759 - 9776.
- [12] Maston P A, Vitousek P M. Ecosystem Approach to a Global Nitrous-oxide Budget [J]. *Bioscience*, 1990, 40(9): 667 - 671.
- [13] 欧维新, 杨桂山. 土地利用/覆被变化对海岸环境演变影响的研究进展 [J]. *地理科学进展*, 2003, 22(4): 360 - 368.
- [14] Winkler P, Kaminski U. Increasing Sub-micron Particle Mass Concentration at Humburg—I. Observations [J]. *Atmospheric Environment*, 1988, 22(12): 2871 - 2878.
- [15] 史培军, 潘耀忠, 陈晋, 等. 深圳市土地利用/覆盖变化与生态环境安全分析 [J]. *自然资源学报*, 1999, 14(4): 293 - 299.
- [16] Romero H, Ihl M, Rivera A, *et al.* Rapid Urban Growth, Land-use Changes and Air Pollution in Santiago, Chile [J]. *Atmospheric Environment*, 1999, 33(24): 4039 - 4047.
- [17] 苗曼倩. 城市热岛效应对污染物扩散规律影响的数值模拟 [J]. *大气科学*, 1990, 14(2): 207 - 214.
- [18] 王广洪, 黄贤金. 江苏省 1997—2010 年土地利用总体规划实施环境影响评价研究 [J]. *中国人口·资源与环境*, 2008, 18(2): 176 - 180.
- [19] 王晓云. 城市规划大气环境效应定量分析技术 [M]. 北京: 气象出版社, 2007.
- [20] 汪光焘, 王晓云, 苗世光, 等. 城市规划大气环境影响多尺度评估技术体系的研究与应用 [J]. *中国科学(D 辑: 地球科学)*, 2005, 35(S1): 145 - 155.
- [21] Paustian K, Cole C V, Sauerbeck D, *et al.* CO_2 Mitigation by Agriculture: An Overview [J]. *Climatic Change*, 1998, 40(1): 135 - 162.
- [22] Houghton R A, Skole D L, Nobre C A, *et al.* Annual Fluxes of Carbon from Deforestation and Regrowth in the Brazilian Amazon [J]. *Nature*, 2000, 403: 301 - 304.
- [23] Houghton R A, Hacker J L, Lawrence K T. The U. S. Carbon Budget: Contributions from Land-use Change [J]. *Science*, 1999, 285: 574 - 578.
- [24] Caspersen J P, Pacala S W, Jenkins J C, *et al.* Contributions of Land-use History to Carbon Accumulation in U. S. Forests [J]. *Science*, 2000, 290: 1148 - 1151.
- [25] 王绍强, 陈育峰. 陆地表层碳循环模型研究及其趋势 [J]. *地理科学进展*, 1998, 17(4): 64 - 72.
- [26] Pielke R A, Avissar R, Raupach M, *et al.* Interactions between the Atmosphere and Terrestrial Ecosystems: Influence on Weather and Climate [J]. *Global Change Biology*, 1998, 4(5): 461 - 475.
- [27] 曹明奎, 李克让. 陆地生态系统与气候相互作用研究进展 [J]. *地球科学进展*, 2000, 15(4): 45 - 52.
- [28] Bonan G B. Effects of Land Use on the Climate of the United States [J]. *Climatic Change*, 1997, 37(3): 449 - 486.
- [29] Findell K L, E. Shevliakova E, Milly P, *et al.* Modeled Impact of Anthropogenic Land Cover Change on Climate [J]. *Journal of Climate*, 2007, 20(14): 3621 - 3634.
- [30] Pielke R A, Dalu G A, Snook J S, *et al.* Nonlinear Influence of Mesoscale Land-use on Weather and Climate [J]. *Journal of Climate*, 1991, 4(11): 1053 - 1069.
- [31] Dickinson R E. Global Change and Terrestrial Hydrology—A Review [J]. *Tellus*, 1991, 43(4): 176 - 181.
- [32] Hederson-Sellers A, Wilson M F. Surface Albedo Data for Climatic Modeling [J]. *Review of Geophysics*, 1983, 21(8): 1743 - 1778.
- [33] Shukla J, Nobre C, Sellers P. Amazon Deforestation and Climate Change [J]. *Science*, 1990, 247: 1322 - 1325.
- [34] 李克让, 陈育峰, 黄玫, 等. 气候变化对土地覆被变化的影响及其反馈模型 [J]. *地理学报*, 2000, 55(S): 57 - 63.
- [35] Nasrallah H A, Brazel A J, Balling R C. Analysis of the Kuwait-City Urban Heat Island [J]. *International Journal of Climatology*, 1990, 10(4): 401 - 405.
- [36] Changnon S A, Semonin R G. Impact of Man upon Local and Regional Weather [J]. *Reviews of Geophysics*, 1979, 17(7): 1891 - 1900.
- [37] 林学椿, 于淑秋, 唐国利. 北京城市化进程与热岛强度关系的研究 [J]. *自然科学进展*, 2005, 15(7): 882 - 886.
- [38] Gallo K P, McNab A L, Karl T R, *et al.* The Use of NO-AA AVHRR Data for Assessment of the Urban Heat Island Effect [J]. *Journal of Applied Meteorology*, 1993, 32(5): 899 - 908.
- [39] 史培军, 宫鹏, 李晓兵, 等. 土地利用/覆盖变化研究的方法和实践 [M]. 北京: 科学出版社, 2000.
- [40] Atwater M A. Thermal Changes Induced by Urbanization and Pollutants [J]. *Journal of Applied Meteorology*, 1975, 14(6): 1061 - 1071.
- [41] Atwater M A. Urbanization and Pollutant Effects on Thermal Structure in Four Climatic Regimes [J]. *Journal of Applied Meteorology*, 1977, 16(9): 888 - 895.
- [42] Miao S G, Chen F, Lemone M A, *et al.* An Observational and Modeling Study of Characteristics of Urban Heat Island and Boundary Layer Structures in Beijing [J]. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 2009, 48(3): 484 - 501.
- [43] Hafner J, Kidder S Q. Urban Heat Island Modeling in

Conjunction with Satellite-derived Surface/Soil Parameters[J]. *Journal of Applied Meteorology*, 1999, 38(4): 448 – 465.

[44] Bounoua L, Safia A, Masek J, *et al.* Impact of Urban Growth on Surface Climate: A Case Study in Oran, Algeria[J]. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 2009, 48(2): 217 – 231.

[45] Meyer W B, Turner B L. Human Population Growth and Global Land-use/Cover Change [J]. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 1992, 23(1): 39 – 61.

[46] 周广胜, 王玉辉. 土地利用/覆盖变化对气候的反馈作用[J]. *自然资源学报*, 1999, 14(4): 318 – 322.

[47] Uhl C, Kauffman J B. Deforestation, Fire Susceptibility, and Potential Tree Responses to Fire in the Eastern Amazon[J]. *Ecology*, 1990, 71(2): 437 – 449.

[48] Henderson-Sellers A, Gornitz V. Possible Climatic Impacts of Land Cover Transformations, with Particular Emphasis on Tropical Deforestation [J]. *Climatic Change*, 1984, 6(3): 231 – 257.

[49] Costa M H, Foley J A. Combined Effects of Deforestation and Doubled Atmospheric CO₂ Concentrations on the Climate of Amazonia[J]. *Journal of Climate*, 2000, 13(1): 18 – 34.

[50] 李巧萍, 丁一汇. 植被覆盖变化对区域气候影响的研究进展[J]. *南京气象学院学报*, 2004, 27(1): 132 – 140.

[51] Lean J, Warrilow D A. Simulation of the Regional Climatic Impact of Amazon Degradation [J]. *Nature*, 1989, 342: 411 – 413.

[52] Schlesinger W H, Reynolds J F, Cunningham G L, *et al.* Biological Feedbacks in Global Desertification [J]. *Science*, 1990, 247: 1043 – 1048.

[53] 陈怀亮, 徐祥德, 刘玉洁. 土地利用与土地覆盖变化的遥感监测及环境影响研究综述[J]. *气象科技*, 2005, 33(4): 289 – 294.

[54] 杨续超, 张懿锂, 刘林山, 等. 中国地表气温变化对土地利用/覆被类型的敏感性[J]. *中国科学(D 辑: 地球科学)*, 2009, 39(5): 638 – 646.

[55] Bounoua L, DeFries R, Collatz G J, *et al.* Effects of Cover Conversion on Surface Climate [J]. *Climatic Change*, 2002, 52(1 – 2): 29 – 64.

Advances in Research on Atmospheric Environment Effects of Land Use and Land Cover Change

Zhang Runsen^{1a}, Pu Lijie^{1a,2}, Liu Zhen^{1b}

(1a. School of Geographic and Oceanographic Sciences, 1b. School of Atmospheric Science, Nanjing University, Nanjing 210093, China; 2. Key Laboratory of Land Use, Ministry of Land and Resources, Beijing 100029, China)

Abstract: The important cause of global environmental changes is land use and land cover change (LUCC). As climatic changes are more and more urgent, atmospheric environment effects of LUCC has been becoming the domestic and international cutting-edge and hot topic of global changes. Through analyzing the action mechanism between LUCC and atmospheric environmental system, it was found that LUCC affects atmospheric quality, atmospheric contamination and climate change significantly, especially rapid urbanization induced obvious urban air contamination and heat island effect, while there still remain arguments on climatic effects of LUCC in global scale. Accordingly, some suggestions were put forward that integrated research on land use change science and atmospheric science should be strengthened in order to examine atmospheric environment effects of LUCC in multi-scale, and we should emphasize land use strategy and spatial planning from the perspective of atmospheric environment improvement.

Key words: LUCC; atmospheric environment; climate; effect; advances