

杨浩,张辉,王少彬. 土地利用/覆盖和植被盖度时空格局变化对城市群热环境的影响[J]. 江苏农业科学,2018,46(16):208-213.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2018.16.052

土地利用/覆盖和植被盖度时空格局变化 对城市群热环境的影响

杨浩^{1,2}, 张辉¹, 王少彬³

(1. 北京大学经济学院,北京 100781; 2. 北京市社会科学院,北京 100101; 3. 中国科学院地理科学与资源研究所,北京 100101)

摘要:运用 WRF 模型进行数值模拟,定量分析 2000—2015 年土地利用/覆盖和植被盖度(LUCC)变化对京津冀城市群气温变化的贡献率。研究表明:(1)LUCC 变化过程导致城市群年均气温降低 0.07℃。其中春季和冬季呈现增温效应,夏季和秋季则呈现降温效应;植被盖度对气温影响排序为:草地>林地>湿地>耕地。(2)土地利用/覆盖变化导致北京市、天津市、廊坊市和唐山市的城市气温增高。该变化过程对季节气温的影响排序为:秋季>春季>夏季和冬季,其中天津市季均增温效应最为明显。而由生态用地转为城镇建设用地的土地利用/覆盖变化对气温的影响强度较大。(3)土地利用/覆盖变化和植被盖度变化对城市群年均的气温贡献值分别为 0.04℃与 -0.11℃。植被盖度变化对区域年均气温的影响力大于土地利用/覆盖变化对区域年均气温的影响力。尽管如此,城市扩展活动对区域气温的影响效果最为显著。

关键词:土地利用/覆盖;植被盖度;城市热环境;WRF 模型

中图分类号: F301.24 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2018)16-0208-06

城市化进程引致的土地利用/覆盖和植被盖度变化改变了地表与大气间的水分和能量交换过程,导致了城市热环境的改变^[1-4]。而以林地、湿地、草地等土地覆盖类型所形成“城市冷岛”是有效缓解城市热环境恶化的重要影响因素^[5-7]。随着城市环境问题及城市小气候问题越来越受重视,土地利用/覆盖变化和植被盖度变化与城市热环境之间的形成机制与作用效果等问题愈发受到学术界的重视,现已成为生态学、地理学、气象学、环境科学的重要研究热点之一^[7-8]。

近年来,大量文献论证了土地利用/覆盖与植被盖度变化对城市热环境的影响。莫新宇等选取苏州作为研究区,分别利用 1986 年和 2004 年 2 个时相的 Landsat5 TM 影像数据对研究区土地利用/覆盖类型进行分类,并采用热红外波段进行地表温度反演,得出了城市热岛范围由老城区向四周成倍扩大,热岛强度由 3.12°增至 4.76°的结论,同时证明了表明热岛效应变化与土地利用时空变化之间具有明显的对应关系^[9]。李增加等利用 Landsat TM/ETM+ 数据的热红外波段,通过单通道算法,反演西双版纳地区的地表温度,并对西双版纳地表温度演变的规律进行了分析,证明了内旱地、灌木林、有林地、荒草地等植被覆盖对区域热效应贡献较大,水体、水浇地、建设用地、滩涂和水体的热效应贡献较小的结论^[10]。曹峰等将 WRF 模式应用于枣庄城市的热岛模拟研究中,结果证明,枣庄地区各土地利用类型对城市热岛的贡献率大小排序为:城镇建设用地>农田>林地>未利用地>草地>水体^[11]。任敏分析了聊城市 2013、2015 年的 TM 和 ETM+ 遥感图像,基于此对聊城市土地利用变化与热岛效用之间的关联进行了定量分析,结果显示研究区内土地利用的变化使得

收稿日期:2018-03-09

基金项目:北京市哲学社会科学基地项目(编号:10AbJG365);北京市社会科学院青年项目(编号:2017B4758);北京市博士后科研项目(编号:2017-zz-092)。

作者简介:杨浩(1983—),男,吉林长春人,博士,讲师,助理研究员,研究方向为土地行政、政府绩效评估、政府经济管理。
E-mail: yanghaobjdx@aliyun.com。

通信作者:张辉,博士,教授、博士生导师,研究方向为区域经济学、产业经济学、土地经济学。E-mail: nk94zhang@126.com。

[11] 刘小莽,郑红星,刘昌明,等. 海河流域潜在蒸散发的气候敏感性分析[J]. 资源科学,2009,31(9):1470-1476.

[12] 王素萍. 近 40 年江河源区潜在蒸散量变化特征及影响因素分析[J]. 中国沙漠,2009,29(5):960-965.

[13] 曹雯,申双和,段春锋. 西北地区近 49 年生长季参考作物蒸散量的敏感性分析[J]. 中国农业气象,2011,32(3):375-381.

[14] 梁丽乔,李丽娟,张丽,等. 松嫩平原西部生长季参考作物蒸散发的敏感性分析[J]. 农业工程学报,2008,24(5):1-5.

[15] 任芝花,黎明琴,张纬敏. 小型蒸发器对 E-601B 蒸发器的折算系数[J]. 应用气象学报,2002,13(4):508-512.

[16] 周振民. 蒸发皿系数 KP 计算方法研究[J]. 水文,2003,23(1):21-23.

[17] 樊军,王全九,郝明德. 利用小蒸发皿观测资料确定参考作物蒸散量方法研究[J]. 农业工程学报,2006,22(7):14-17.

[18] 段春锋,缪启龙,曹雯,等. 西北地区小型蒸发皿资料估算参考作物蒸散[J]. 农业工程学报,2012,28(4):94-99.

[19] 宇婧婧,沈艳,潘旻,等. 概率密度匹配法对中国区域卫星降水资料的改进[J]. 应用气象学报,2013,24(5):544-553.

[20] Allen R G, Pereira L S, Raes D, et al. Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements[M]. Rome:FAO,1998.

城市热岛效用发生的区域分布更为广泛^[12]。刘航等选取2000、2015年5个时相Landsat系列影像数据,利用单窗算法反演地表温度,获取了近10年武汉市城市热岛效应变化结果,得出了建筑用地面积的增加是城市热岛强度面积扩张的重要影响因素^[13]。

从已有的文献来看,目前对于城市热环境研究的空间尺度较小,多选择单一城市或县域作为研究对象,而将城市群作为研究区域的研究并不多。由于土地利用/覆盖与植被盖度变化对环境的影响具有典型的空间扩散性^[14-15],因此,将城市群视为一个有机的整体作为研究对象,探寻区域土地利用/覆盖变化对城市群气候变化的贡献率,不仅对地区生态环境保护具有重要的参考价值,也对城市群的健康发展具有重大的战略意义。

1 研究区域

城市群是城市发展到成熟阶段的一种高级空间组织形式^[16],是由若干大都市区、都市区和外围县组成的大中小城市和小城镇,依托发达的交通、能源、通信等轴线发展形成的呈不规则集合状布局的多中心城镇群体。京津冀城市群作为全国文化、政治中心,地处于环渤海地区和东北亚核心重要区域的特殊地理位置,国土面积约22万km²,是中国城市分布最密集、综合实力最强的区域之一,地域范围涵盖北京市、天津市与河北省11个设区市的80多个县(市),2016年地区生产总值约为68857亿元,是中国北方经济的重要核心区。近年来在京津冀一体化国家发展战略的驱动下,区域内优势互补、良性互动、协调发展的局面正在逐渐形成。

2 数据来源与研究方法

2.1 数据来源

土地利用/覆盖类型数据来自中国科学院地理科学与资源研究所生产的国家尺度土地利用/覆盖变化数据库(<http://www.resdc.cn>)。土地利用/覆盖数据基于Landsat TM遥感影像解译而成,每5年生产1期,空间分辨率为1km,数据经过野外实地验证,土地利用/覆盖一级分类精度可以达到94.3%以上。数据集共分为林地、草地、水体、耕地、城镇建设用、裸地共6个一级类,基本涵盖了京津冀城市群的主要土地利用/覆盖类型,本研究选取2000年和2015年2期土地利用/覆盖数据。植被盖度数据基于MODIS NDVI(Normalized Difference Vegetation Index;<https://modis.gsfc.nasa.gov/>)数据计算获取,采用混合像元二分模型,具体计算方法如下:

$$FVC = (N - N_s) / (N_v - N_s)$$

式中: N 为每个栅格的NDVI值, N_s 为裸露地表的NDVI值, N_v 为全植被覆盖时的NDVI值。本研究选用2000年和2015年2期的NDVI数据,计算相应年份的植被盖度。

2.2 WRF模式

在区域气候研究领域,中尺度气象数值模拟可以较好地刻画土地利用/覆盖与植被盖度变化对城市热环境的贡献值^[17-18]。目前普遍应用的中尺度数值模式包括:MM5(非静力移动套网格格点模式)、MC2(半拉格朗日半隐式宽带格点模式)、REM(静力格点模式)、WRF(非静力格点模式)等。

在近年来的研究中,WRF(weather research and forecasting model)模式因具有高度模块化、并行化和分层设计技术、更为合理的模式动力框架、先进的三维变分资料同化系统、更丰富的内部参数化方案等优势逐渐成为中尺度数值模拟的主流工具^[19]。因此,选用WRF模式对京津冀城市群土地利用/覆盖和植被盖度变化对热环境的影响进行模拟研究。

WRF模式的驱动数据有2种:下垫面数据和大气背景场数据。下垫面数据主要包括土地利用/覆盖类型和植被盖度,能够影响地表与大气之间的能量、动量和水分交换;大气背景场数据包括大气状态变量(气温、位温、风场、湿度和气压等)。WRF模式通过读取用户提供的下垫面数据和大气背景场数据,模拟地-气相互作用,计算并输出区域气候要素。本研究通过更改下垫面土地利用/覆盖类型和植被盖度,同时保持大气背景场一致,通过对比2次模拟结果的差异,得到土地利用/覆盖变化或植被盖度变化对区域气温的影响。

2.3 模拟方案设计

采用WRF模式V3.61版本对京津冀城市群土地利用/覆盖和植被盖度变化进行气候数值模拟研究。模拟时间范围为2000—2015年。设计了3层嵌套方案,模拟区分为3层,范围从大到小分别为d01、d02和d03,其中d01的中心点位于117.07°E、40.19°N,而d03为整个京津冀城市群范围。数据投影类型为Lambert,双纬线分别为25°N和47°N,中央经线为105°E。水平格网数分别为111×75、166×112和249×169,3个尺度的空间分辨率分别为27km、9km和3km。WRF中的模拟范围如图1所示。主要物理过程参数化方案包括:LSM陆面过程方案、CAM3辐射方案、WSM3-class simple ice微物理方案、Kain-Fritsch(new Eta)scheme积云对流方案和YSU边界层方案,其中仅d01采用积云对流方案。该模式所需要的大气边界场数据及土壤数据来自NCEP/FNL和NCEP/NCAR再分析资料集。

在WRF模式中将采取3组方案来进行对比分析,对2000年和2015年的京津冀城市群气温分别进行模拟,分析由于土地利用/覆盖和植被盖度变化所导致的气候效应。以2000年1月1日至2015年12月31日为气候背景场,为每组方案输入数据及参数(表1)。方案A和方案B结果对比,可分析出土地利用/覆盖变化和植被盖度变化即(LUCC)同时导致的2000—2015年气温变化,可认为是15年来京津冀城市群由于地表变化引起真实气温的变化。方案C和方案A结果对比分析,可获得单纯由土地利用/覆盖变化引起的气温变化,此情景未考虑在土地利用/覆盖类型未发生变化区域植被盖度变化对气温产生的影响。方案D和方案A结果对比分析,可获得由土地利用/覆盖未发生变化区域的植被盖度变化引起的气温变化,此情景视为方案C的对照情景。这种模拟方案设计的目的是检验土地利用/覆盖变化和植被盖度的变化,并分析哪种变化对京津冀城市群的气温影响更大。

在季均区域温度模拟中,按照“气象划分法”将一年划分为春季(3—5月)、夏季(6—8月)、秋季(9—11月)、冬季(12月—次年2月),分别对2000年和2015年的每一季进行模拟计算,可以分析出土地利用/覆盖变化和植被盖度变化对京津冀区域气候效应的影响。

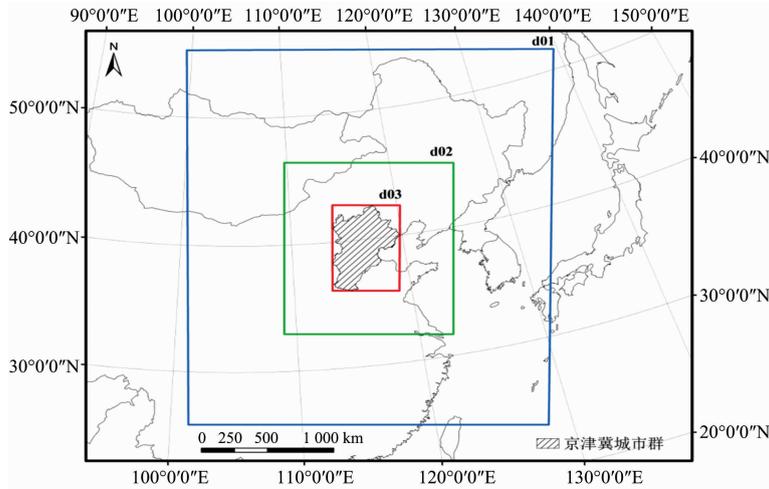


图1 WRF 模式嵌套区域设置

表1 试验设计方案及相关说明

输入参数	参数选取年份(年)			
	方案 A	方案 B	方案 C	方案 D
土地利用/覆盖数据(d03)	2000	2015	2015	2000
植被覆盖度(d03)	2000	2015	2000	2015

注:(1)2000—2015 土地利用/覆盖变化区域采用 2015 年地表参数,无变化区域采用 2000 年地表参数;(2)2000—2015 土地利用/覆盖变化区域采用 2000 年地表参数,无变化区域采用 2015 年地表参数。

3 结果与分析

3.1 城市群土地利用/覆盖变化和植被盖度变化对区域气温的影响

运用 WRF 模型模拟京津冀城市群的区域气候效应,可获得 2000—2015 年京津冀城市群土地利用/覆盖和植被盖度变化(统称为 LUCC)过程对年均气温变化的影响呈现明显的空间分异特征(图 2)。

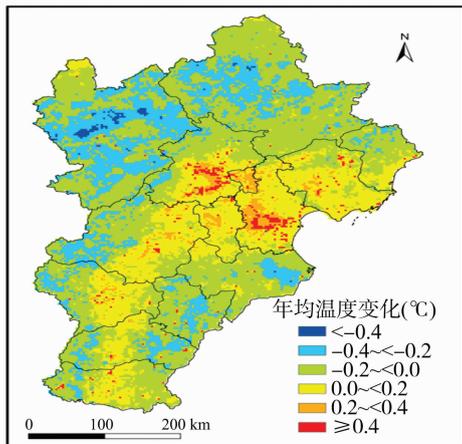


图2 2000—2015年LUCC过程对年均气温影响的空间分布

LUCC 过程对不同城市表现出不同的温度效应(图 3),其中北京市、天津市、唐山市和廊坊市温度升高,其他城市则呈降温趋势。同时 LUCC 变化过程使京津冀城市群年均气温降低 0.07 °C。

2000—2015 年京津冀城市群 LUCC 过程对季均气温的

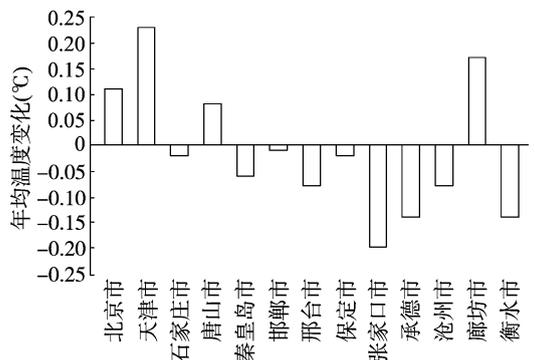


图3 2002—2015年LUCC对各市年均气温的影响

影响亦呈现出明显的时空分异特征(图 4 和表 2)。LUCC 对京津冀城市群在春季和冬季呈现增温效应,而夏季和秋季呈现出降温效应。分季节看,夏季除天津市增温 0.17 °C 外,LUCC 过程使京津冀城市群降温 0.33 °C;秋季 LUCC 过程使京津冀城市群降温 0.03 °C,其中降温地最明显的是位于城市群西北部的张家口市和承德市,而天津、廊坊、唐山和北京有不同程度的升温效应。春季除张家口市和承德市呈现降温趋势以外,其他城市均呈明显升温趋势;冬季平均温度变化较其他季节趋于平稳,出现增温的区域主要集中在北京市、天津市和廊坊市。

通过计算主要土地利用/覆盖类型转换对季均与年均气温的影响(表 3)可以看出:城镇建设用地侵占耕地、林地、草地和湿地等生态用地使年均温度呈显著上升趋势。其中草地开垦为耕地促使年均气温下降 0.21 °C;湿地与耕地相互转化过程中表现出耕地比湿地具有更高的年均气温;而其他土地利用/覆盖类型转变过程对年均气温的影响则不明显。分季节看,不同土地利用/覆盖变化对季均气温的影响表现出明显的差异。城镇建设用地侵占其他生态用地类型过程中,秋季平均气温变化最为显著,而其他生态用地之间进行土地利用/覆盖类型转换时,夏季是温度变化最为明显的季节。

2000—2015 年京津冀城市群植被盖度与其他土地利用类型变化对气温的影响呈现出一定的差异性(表 4)。植被盖度对气温影响排序为:草地(0.19 °C) > 林地(0.13 °C) > 湿

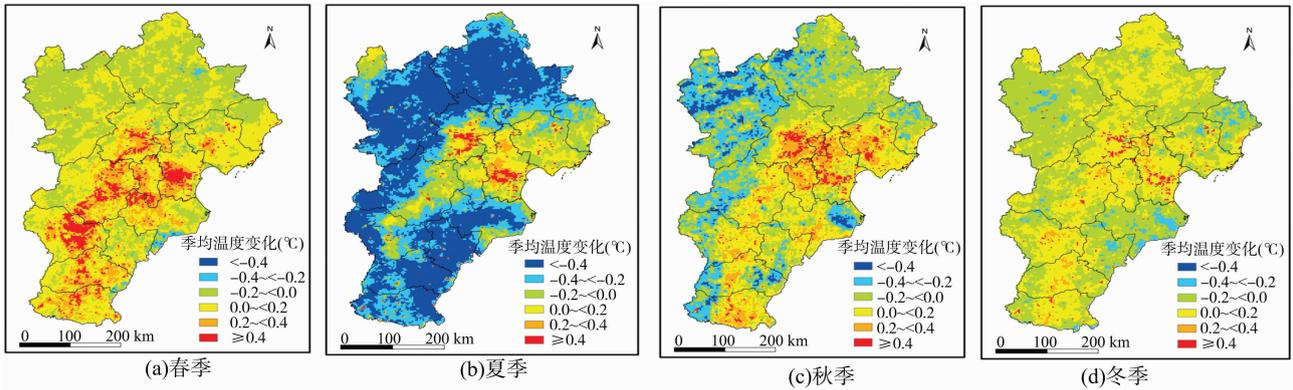


图4 2000—2015年 LUCC 过程对季均气温影响的空间分布

表2 2000—2015年 LUCC 过程对各市季均气温的影响

城市	季均气温变化(℃)			
	春	夏	秋	冬
北京市	0.19	-0.13	0.18	0.14
天津市	0.24	0.17	0.29	0.19
石家庄市	0.25	-0.37	0.00	0.04
唐山市	0.08	-0.02	0.18	0.02
秦皇岛市	0.02	-0.13	-0.07	-0.09
邯郸市	0.20	-0.40	0.07	0.04
邢台市	0.18	-0.49	-0.06	0.04
保定市	0.18	-0.29	-0.04	0.02
张家口市	-0.01	-0.48	-0.25	-0.06
承德市	-0.03	-0.47	-0.12	0.00
沧州市	0.11	-0.35	-0.01	-0.10
廊坊市	0.26	-0.03	0.27	0.12
衡水市	0.04	-0.51	-0.01	-0.07
京津冀城市群	0.09	-0.33	-0.03	0.01

表3 2000—2015 主要土地利用/覆盖类型转换对季均与年均气温的影响

土地利用/覆盖变化	平均气温变化(℃)				
	春	夏	秋	冬	年均
耕地—城镇建设用地	1.70	1.18	2.27	1.94	1.77
林地—城镇建设用地	1.83	1.36	2.15	1.85	1.80
草地—城镇建设用地	1.50	1.08	1.87	1.66	1.53
湿地—城镇建设用地	0.74	0.67	1.65	1.66	1.18
耕地—林地	0.04	-0.27	-0.27	0.13	-0.04
草地—林地	0.14	-0.35	-0.08	-0.04	-0.04
耕地—草地	0.05	-0.34	0.06	0.05	0.04
草地—耕地	-0.01	-0.39	-0.31	-0.12	-0.21
湿地—耕地	0.17	-0.10	0.00	0.21	0.07
耕地—湿地	0.06	-0.35	-0.04	-0.06	-0.10

地(0.06℃) > 耕地(0.05℃)。植被盖度变化导致的季节平均温度变化在夏季最为显著,其中草地由于植被盖度变化导致温度下降0.48℃,林地下降0.43℃,耕地和湿地分别下降0.29℃和0.20℃;秋季温度变化次之,其中草地由该变化导致温度下降0.19℃,林地下降0.11℃。而在其他土地利用类型中,城镇建设用地使区域年均气温升高0.11℃,分析季节温度变化的趋势可以看出城镇建设用地在春季和秋季升温作用明显,分别升高0.18℃和0.17℃,而夏季和冬季升温作用均不明显,均为0.05℃。

通过对比分析2000—2015年京津冀城市群不同土地利用/覆盖类型的植被盖度变化对气温的影响,来进一步揭示LUCC对气候的影响强度年均差异(表3、表4)。总体来看,由草地、耕地、林地、湿地等生态用地转为城镇建设用地的土地利用/覆盖变化对气候的影响强度远高于其他类型土地利用/覆盖变化以及植被盖度变化各类植被盖度变化对气候的影响强度。

表4 2000—2015年各植被盖度及其他土地利用类型变化对季均与年均气温的影响

土地利用类型	平均气温变化(℃)				
	春	夏	秋	冬	年均
林地	0.03	-0.43	-0.11	-0.01	-0.13
草地	-0.02	-0.48	-0.19	-0.05	-0.19
湿地	0.04	-0.20	-0.06	0.00	-0.06
耕地	0.12	-0.29	0.00	0.00	-0.05
城镇建设用地	0.18	0.05	0.17	0.05	0.11
裸地	0.03	-0.11	0.01	-0.01	-0.02

3.2 京津冀城市群土地利用/覆盖变化对区域气温的影响

采用WRF模型模拟2000—2015年土地利用/覆盖对京津冀城市群气候的影响效应,结果显示,2000—2015年土地利用/覆盖变化使京津冀城市群年均气温增加0.04℃。从空间分布来看,京津冀城市群土地利用/覆盖变化对年均气温变化的影响呈现出明显的空间分异特征(图5),由土地利用/覆盖变化引起的升温效应主要集中在天津市(0.24℃)、北京市(0.18℃)和廊坊市(0.15℃)(图6)。

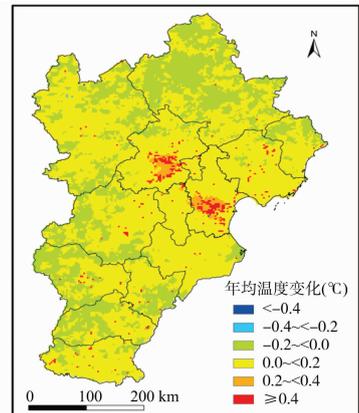


图5 2000—2015年土地利用/覆盖变化对年均气温影响空间分布

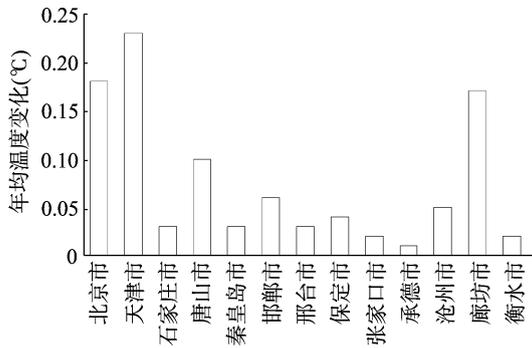


图6 2002—2015年土地利用/覆盖变化对各市年均气温的影响

从时间尺度来看,2000—2015年京津冀城市群土地利用/覆盖变化过程对气温的影响呈现出明显的时空分异特征(图7、表5)。土地利用/覆盖变化对不同季节的气温影响大

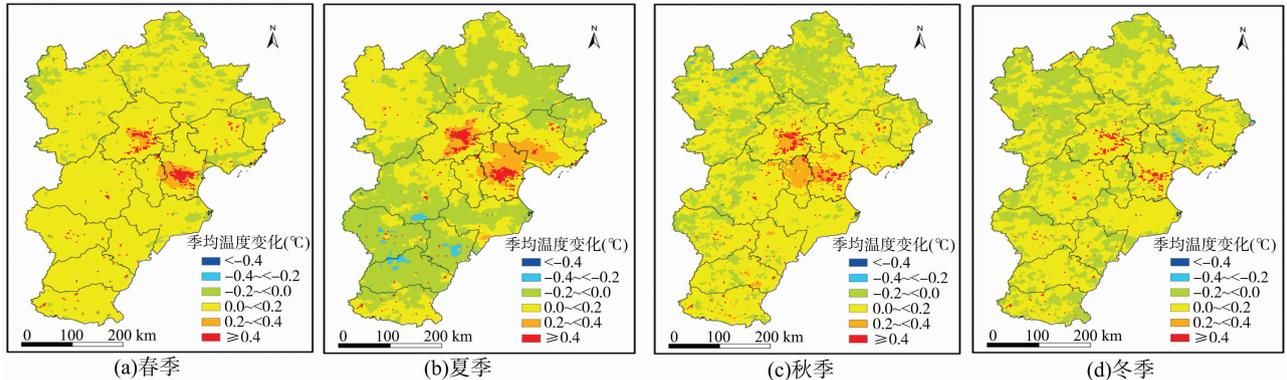


图7 2000—2015年土地利用变化对季均气温影响的空间分布

表5 2000—2015年土地利用/覆盖变化对各市季均气温的影响

城市	季均气温变化(°C)			
	春	夏	秋	冬
北京市	0.17	0.19	0.21	0.13
天津市	0.21	0.27	0.30	0.18
石家庄市	0.06	-0.06	0.05	0.03
唐山市	0.05	0.12	0.12	0.05
秦皇岛市	0.03	-0.01	0.02	0.03
邯郸市	0.06	0.03	0.10	0.03
邢台市	0.05	-0.09	0.07	0.04
保定市	0.06	-0.01	0.05	0.04
张家口市	0.01	0.05	0.00	-0.01
承德市	0.01	-0.02	0.00	0.01
沧州市	0.04	-0.01	0.07	0.07
廊坊市	0.15	0.14	0.24	0.07
衡水市	0.06	-0.08	0.09	0.02
京津冀城市群	0.05	0.03	0.07	0.03

3.3 土地利用/覆盖与植被盖度变化对城市群气候影响的对比分析

通过对比分析2000—2015年土地利用/覆盖变化和LUCC过程对京津冀城市群平均气温的影响(表6),可以看出,城市群土地利用/覆盖变化对年均气温变化的影响明显比LUCC过程的气温效应缓和。在LUCC的作用下,城市群全年平均气温下降了0.07°C,其中土地利用/覆盖变化致使城市群全年平均气温增加了0.04°C。通过计算二者之差,可以计算出植被盖度变化导致城市群降温0.11°C,这表明植被盖

度变化对区域年均气温的影响力大于土地利用/覆盖变化的影响力。

小排序为:秋季(0.07°C) > 春季(0.05°C) > 夏季和冬季(0.03°C)。其中天津市由于土地利用/覆盖变化产生的季节增温效应最为明显,在温度变化最为显著的秋季,天津市温度升高达到0.30°C,廊坊市和北京市和唐山市分别增温0.24、0.21、0.15°C,其他地区均低于0.1°C。不同于城市群温度变化整体特征,在北京市、天津市、廊坊市和唐山市夏季温度变化幅度仅次于秋季,分别达到了0.19、0.27、0.14、0.12°C。春季增温的重点区域为天津市、北京市和廊坊市,分别增加0.21、0.17、0.15°C,其他地区也呈增温趋势,但均在0.06°C以下。冬季各城市由于土地利用/覆盖变化导致温度变化较其他季节相对平稳。只有天津市和北京市冬季平均温度升高明显高于其他城市,分别增加0.18、0.15°C,而其他城市温度增加均在0.07°C以下,其中张家口市冬季平均温度降低0.01°C。

从时间尺度来看,土地利用/覆盖变化与LUCC对城市群各季节平均气温影响存在一定的差异性。夏季土地利用/覆盖变化导致城市群温度增加0.03°C,而LUCC综合气候效应则为土地利用/覆盖气候效应的11倍。春季土地利用/覆盖变化导致京津冀城市群温度增加0.05°C,而LUCC综合气候效应只有土地利用/覆盖气候效应的1.8倍。其余季节气候效应较为平稳,其中秋季土地利用/覆盖变化导致气温增加0.07°C,而LUCC综合气候效应使平均温度降低0.03°C。冬季土地利用/覆盖变化温度升高0.03°C,而LUCC过程使城市群温度升高0.01°C。

从空间尺度来看,土地利用/覆盖变化与LUCC对不同城市的气温影响差异较大。其中天津市和北京市由于土地利用/覆盖变化导致升温较高,分别为0.09、0.22°C;而LUCC综合气候效应导致北京市、天津市、唐山市、廊坊市升温,其余城市气温降低。分季节来看,对于北京市、天津市、唐山市和廊坊市以土地利用/覆盖变化为主的区域,LUCC综合气候效应要明显高于土地利用/覆盖变化气候效应,具体排序为夏季 > 春季 > 秋季 > 冬季。其中张家口与承德市夏季的负增温效应最为明显。

4 结论

2000—2015年LUCC变化过程使京津冀城市群年均气

表6 京津冀城市群各市LUCC对平均气温影响

城市	平均气温变化(℃)									
	春		夏		秋		冬		年均	
	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
北京市	0.17	0.19	0.19	-0.13	0.21	0.18	0.13	0.14	0.18	0.09
天津市	0.21	0.24	0.27	0.17	0.30	0.29	0.18	0.19	0.24	0.22
石家庄市	0.06	0.25	-0.06	-0.37	0.05	0.00	0.03	0.04	0.02	-0.02
唐山市	0.05	0.08	0.12	-0.02	0.12	0.18	0.05	0.02	0.09	0.07
秦皇岛市	0.03	0.02	-0.01	-0.13	0.02	-0.07	0.03	-0.09	0.02	-0.07
邯郸市	0.06	0.20	0.03	-0.40	0.10	0.07	0.03	0.04	0.05	-0.02
邢台市	0.05	0.18	-0.09	-0.49	0.07	-0.06	0.04	0.04	0.02	-0.08
保定市	0.06	0.18	-0.01	-0.29	0.05	-0.04	0.04	0.02	0.04	-0.03
张家口市	0.01	-0.01	0.05	-0.48	0.00	-0.25	-0.01	-0.06	0.01	-0.20
承德市	0.01	-0.03	-0.02	-0.47	0.00	-0.12	0.01	0.00	0.00	-0.16
沧州市	0.04	0.11	-0.01	-0.35	0.07	-0.01	0.07	-0.10	0.04	-0.09
廊坊市	0.15	0.26	0.14	-0.03	0.24	0.27	0.07	0.12	0.15	0.16
衡水市	0.06	0.04	-0.08	-0.51	0.09	-0.01	0.02	-0.07	0.02	-0.14
京津冀城市群	0.05	0.09	0.03	-0.33	0.07	-0.03	0.03	0.01	0.04	-0.07

注:A为土地利用/覆盖变化对平均气温的影响,B为LUCC对平均气温的影响。

温降低0.07℃,同时LUCC对季均气温的变化亦呈现出明显的时空分异特征,其中,春季和冬季呈现增温效应,夏季和秋季呈现降温效应;城镇建设用地侵占耕地、林地、草地和湿地等生态用地使年均和季均平均温度呈显著上升趋势;植被盖度对气温影响排序为:草地(0.19℃)>林地(0.13℃)>湿地(0.06℃)>耕地(0.05℃)。

京津冀城市群土地利用/覆盖变化对年均气温变化的影响呈现出明显的空间分异特征,升温变化地区主要集中在天津市(0.24℃)、北京市(0.18℃)和廊坊市(0.15℃)。土地利用/覆盖变化对不同季节的气温影响大小排序为:秋季(0.07℃)>春季(0.05℃)>夏季和冬季(0.03℃),其中天津市季节增温效应最为明显,在秋季温度升高达到0.30℃。不同于京津冀城市群温度变化的整体特征,北京市、天津市、廊坊市和唐山市夏季温度变化幅度仅次于秋季;而生态用地转为城镇建设用地等城市扩展活动对区域气温的影响强度最大,远高于其他类型土地利用/覆盖变化以及植被盖度变化对区域气温的影响。

参考文献:

- [1] Hong J W, Hong J K. Changes in the Seoul metropolitan area urban heat environment with residential redevelopment [J]. Journal of Applied Meteorology and Climatology, 2016, 55(5): 184-193.
- [2] Peng C, Ming T, Gui J, et al. Numerical analysis on the thermal environment of an old city district during urban renewal [J]. Energy & Buildings, 2015, 89(3): 8-31.
- [3] Polydoros A, Cartalis C. Assessing the impact of urban expansion to the state of thermal environment of peri-urban areas using indices [J]. Urban Climate, 2015, 14: 166-175.
- [4] 徐永明, 刘勇洪. 基于TM影像的北京市热环境及其与不透水面的关系研究 [J]. 生态环境学报, 2013, 22(4): 639-643.
- [5] 余兆武, 郭青海, 孙然好. 基于景观尺度的城市冷岛效应研究综述 [J]. 应用生态学报, 2015, 26(2): 636-642.
- [6] Yang J B, Liu H N, Sun J N, et al. Further development of the regional boundary layer model to study the impacts of greenery on the urban thermal environment [J]. Journal of Applied Meteorology and Climatology, 2015, 54(1): 137-152.
- [7] Utarasakul T. Efficiency of ground cover types under *Samanea saman* on reducing outdoor thermal environment in urban parks of Bangkok, Thailand [J]. Procedia Environmental Sciences, 2017, 37: 78-82.
- [8] Peng J, Xie P, Liu Y, et al. Urban thermal environment dynamics and associated landscape pattern factors: a case study in the Beijing metropolitan region [J]. Remote Sensing of Environment, 2016, 173: 145-155.
- [9] 莫新宇, 祝善友, 张磊. 苏州土地利用及热岛效应的时空变化 [J]. 地理空间信息, 2013, 11(1): 61-63, 81, 13.
- [10] 李增加, 马友鑫, 杨永宏. 西双版纳土地利用/覆盖格局的热环境效应研究 [J]. 云南地理环境研究, 2014, 26(6): 42-47.
- [11] 曹峥, 廉丽姝, 顾宗伟, 等. WRF土地利用/覆盖数据优选及其在城市热岛模拟中的应用 [J]. 资源科学, 2015, 37(9): 1785-1796.
- [12] 任敏. 聊城土地利用变化的热岛效用图像特征识别方法研究 [J]. 科技通报, 2016, 32(11): 125-129.
- [13] 刘航, 申格, 黄青. 近10年武汉市城市热岛效应演变及其与土地利用变化的关系 [J]. 长江流域资源与环境, 2017, 26(9): 1466-1475.
- [14] 全斌, 朱鹤健, 陈松林, 等. 遥感技术在区域土地利用/覆被变化中的应用——以福建省为例 [J]. 中国土地科学, 2006(2): 39-43.
- [15] 彭文君, 舒英格. 典型石漠化地区土地覆被变化对生态环境的影响——以贵州省晴隆县为例 [J]. 江苏农业科学, 2017, 45(14): 200-206.
- [16] 柳青. 长江中游城市群协同发展研究 [J]. 长江论坛, 2014(2): 28-32.
- [17] 乔洽, 田光进. 基于MODIS的2001—2012年北京热岛足迹及容量动态监测 [J]. 遥感学报, 2015, 19(3): 476-484.
- [18] 陶涣甘, 甘磊, 马蕊, 等. 桂林地区不同土地利用方式下土壤热导率空间变化 [J]. 江苏农业科学, 2017, 45(11): 226-230.
- [19] 贯丛, 张树文, 于灵雪, 等. 中尺度WRF模式在资源环境评估领域的应用进展研究 [J]. 长春工程学院学报(自然科学版), 2015, 16(4): 125-128.