

曹巍, 邵全琴, 刘纪远, 等. 2013. 北京地区土地利用/覆被及其变化对气温升温的影响分析 [J]. 气候与环境研究, 18 (4): 451–460, doi:10.3878/j.issn.1006-9585.2012.12055. Cao Wei, Shao Quanqin, Liu Jiyuan, et al. 2013. Impact of land use/land cover and its change on climate warming in Beijing area [J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 18 (4): 451–460.

北京地区土地利用/覆被及其变化对气温 升温的影响分析

曹巍¹ 邵全琴¹ 刘纪远¹ 胡卓玮²

¹ 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101

² 首都师范大学资源环境与旅游学院, 北京 100048

摘 要 利用北京地区 13 个气象台站 1979~2005 年的气温资料、NCEP 再分析资料以及 1990~2005 年的三期 1:10 万土地利用/覆被数据, 在分析气象站点 3 km 半径缓冲区内土地利用/覆被及变化特征的基础上, 通过比较气温变化在不同下垫面状况下的差异, 分析了北京地区 3 种主要土地利用/覆被类型对气温变化趋势的影响, 得出以下结论: 1) 建设用地对气温升高的影响最显著 (0.822 °C /10 a), 林地、草地、耕地混合类型次之 (0.296 °C /10 a), 林地最小 (0.197 °C /10 a); 2) 利用“观测减去再分析 (OMR)”方法后, 建设用地的 OMR 年均温升温趋势依然最大 (0.527 °C /10 a), 林地、草地、耕地混合类型次之 (−0.012 °C /10 a), 林地最小 (−0.118 °C /10 a), 表明建设用地对气温升高具有增强作用, 而林地对气温升高具有抑制作用; 3) 当土地利用/覆被类型向城市建设用地类型转化时, 转化的面积越大, 气温变化量越大。

关键词 土地利用/覆被 “观测减去再分析 (OMR)”方法 气温趋势 北京地区

文章编号 1006-9585 (2013) 04-0451-10

中图分类号 P423.3

文献标识码 A

doi:10.3878/j.issn.1006-9585.2012.12055

Impact of Land Use/Land Cover and Its Change on Climate Warming in Beijing Area

CAO Wei¹, SHAO Quanqin¹, LIU Jiyuan¹, and HU Zhuowei²

¹ Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101

² College of Resource Environment and Tourism, Capital Normal University, Beijing 100048

Abstract The effects of three types of land cover on the temperature trends in Beijing area were analyzed on the basis of meteorological data recorded by 13 climatological surface stations from 1979 to 2005. In addition, reanalysis data obtained by NCEP/DOE AMIP-II and 1:100000 national land cover data reported from 1990 to 2005 were used in this study. The authors identified statistics on the area proportion of land cover type in 3-km radius buffer zones around the meteorological stations to clarify the observational environment. The data was then used to compare annual and seasonal temperature variations in addition to observational and observation minus reanalysis (OMR) temperature trends in a variety of historical periods and observational environments. Result shows that among the three main land cover types including forest, grassland, and cropland, the annual mean observational temperature trend over urban areas is the largest (0.822 °C /10 a); that over mixed areas of forest, grassland, and cropland is smaller (0.296 °C /10 a); and that over forest areas is the least (0.197 °C /10 a). Moreover, the annual mean OMR temperature trend over urban areas is also the largest

收稿日期 2012-03-30 收到, 2013-05-30 收到修定稿

资助项目 国家重点基础研究发展计划项目 2010CB950902

作者简介 曹巍, 男, 1982 年出生, 博士, 助研, 主要从事土地利用/覆被变化、生态系统评估等方面研究工作。E-mail: caowei@igsrr.ac.cn

通讯作者 邵全琴, E-mail: shaoqq@lreis.ac.cn

(0.527 °C /10 a); that over mixed areas of forest, grassland, and cropland is smaller (-0.012 °C /10 a); that over forest areas is the least (-0.118 °C /10 a). Therefore, climate warming is inhibited in forests and enhanced in urban areas. Furthermore, growth of intensity in land use or cover from other types to urban can result in a slightly higher temperature variation.

Keywords Land use/land cover, Observation minus reanalysis, Trend of air temperature, Beijing area

1 引言

人类活动作为主导因素所导致的土地利用/覆被变化 (LUCC) 在全球气候变化过程中占据着十分重要的地位, 每种土地利用/覆被类型表征一种特定的地表下垫面, 其对应的地表粗糙度、地表反射率、植被覆盖比例、蒸散发等均有所不同, 导致地表能量收支产生差异, 从而影响到温度 (Pielke et al., 2002; Fu, 2003; Gao et al., 2003; Christensen et al., 2007)。

为了研究不同地表下垫面对气温变化的影响, 张景哲和刘启明 (1988) 利用 1982 年在北京地区 30 个观测点上的气温记录和 1983 年 5 月航测的北京市区下垫面资料, 用多元回归和逐步回归的方法, 对北京市气温和绿地、建筑用地等不同下垫面的关系作了分析。然而该方法仅通过不同季节中某一天的观测气温表征整个季节的气温状况, 没有长时间序列的气温及气象观测环境的变化分析, 并且研究过程中没有考虑大气环流等方面的影响。

Kalnay and Cai (2003) 提出了“观测减去再分析” (Observation minus Reanalysis, OMR) 方法, 利用观测气温与再分析资料的差值研究地表气温的变化趋势, 将土地利用/覆被对局地气候的影响信息从全球变暖的大背景中剥离出来。基于 OMR 方法, Zhou et al. (2004) 估算了近 20 年中国东南部城市化对地表气温的影响; Zhang et al. (2005) 考察了中国东部地区 20 世纪 80 年代以来土地利用变化对气温的影响。但其中大部分研究仅仅将地表观测气温与再分析气温之间的差异归因为城市化和土地利用变化, 而忽视了土地利用/覆被类型本身的理化性质对气温的影响。

杨续超等 (2009) 利用观测气温插值数据与再分析气温数据的差值, 叠加土地利用数据, 研究了气温变化对不同土地利用类型的敏感性, 该研究考虑了土地利用/覆被类型本身的理化性质对气温的影响。但其采用的 ERA40 再分析资料同化了一些地表观测数据来初始化土壤温度和湿度, 因此 ERA40 再分析资料可能包含一部分下垫面引起的

气候变化趋势, OMR 结果会偏小 (Frauenfeld et al., 2005; 赵天保和符淙斌, 2009; 赵天保等, 2010; 荀学义等, 2011)。

在对北京地区气温变化的分析中, 大量研究将气象站分类为城区和郊区站, 对气温变化进行统计分析, 分析城市化对北京地区气候变化的影响规律, 但并没有对气象观测环境 (下垫面) 及变化与气温升温的变化关系进行定量的分析 (陈沈斌和潘莉卿, 1997; 初子莹和任国玉, 2005; 郑祚芳等, 2007; 郑思轶和刘树华, 2008)。

本文利用北京地区 13 个地面气象站气温数据, NCEP 再分析资料以及 1990~2005 年的 3 期 1:10 万土地利用/覆被数据, 根据气象站点 3 km 半径缓冲区 (以下简称气象站缓冲区) 内各土地利用/覆被类型的面积比例以及在不同时期的变化比例, 将气象站点划分为典型土地利用/覆被类型站点 (以下简称典型站点) 和变化站点。其中, 典型站点即为气象站观测环境基本不变的站点, 又分为森林站、城市站和混合站; 变化站点即为气象观测环境发生显著变化的站, 主要是林、草、农转化为城市用地。针对典型站点, 统计并比较了其代表的不同土地利用/覆被类型的气温变化趋势; 针对变化站点, 统计了在不同年代、不同土地利用/覆被变化强度下的气温变化量和气温变化趋势。通过分析, 揭示了不同土地利用/覆被类型及其变化对气温变化的影响规律。

2 数据准备

2.1 地面气候资料

本研究采用的地面气候资料是北京地区 20 个气象观测站 1979~2005 年共 27 年逐月平均气温数据, 为了保证数据的质量和可靠性, 对数据进行了如下处理:

(1) 搬迁站点的排除。在北京地区的 20 个地面气候观测台站中, 部分台站由于各种原因曾经发生一次或多次的迁移。由于本文主要研究气象台站 3 km 半径缓冲区内的土地利用/覆被类型对气温变

化的影响，当观测台站迁移后，其缓冲区内的土地利用/覆被类型将会发生巨大变化，因此在研究时将这些站点剔除。表 1 是北京气象站点的地址和地名变更信息表。海淀、丰台和门头沟 3 个站点由于只发生地名变更，并没有发生位置的变化，因此没有被剔除；同时本文主要研究 1979~2005 年的气温变化状况，而平谷站位置变更时间不在研究时段内，因此该站点也保留。最后保留的站点依次为霞云岭、斋堂、佛爷顶、上甸子、汤河口、门头沟、大兴、通县、昌平、平谷、密云、丰台、海淀等共 13 个（分布详见图 1）。

表 1 北京地区气象站点地址变更信息

Table 1 The address alteration of meteorological stations in Beijing area

站点	变更类型	变更时间	站点	变更类型	变更时间
顺义	位置变更	1999 年	观象台	位置变更	1981 年, 1998 年
延庆	位置变更	1988 年, 2000 年	石景山	位置变更	1998 年
怀柔	位置变更	1997 年	房山	位置变更	2002 年, 2006 年
平谷	位置变更	1977 年, 2007 年	朝阳	位置变更	1989 年
海淀	地名变更	2004 年	丰台	地名变更	1978 年
门头沟	地名变更	1978 年			

（2）站点重定位。本文在数据准备阶段搜集到的站点坐标精度为 1'，为了保证站点缓冲区内土地利用/覆被类型面积统计的准确性，对气象站点的点位进行了 GPS 重定位，将坐标精度提高到了 1"。

（3）异常值及空值数据处理。对于数据中存在的异常值，通过设置气温极值的方式对其进行筛选及订正；同时对于某些时段的少量空值数据，通过

前后 3 年同一时期的气温均值数据进行了填补，以保证数据的完整性。

2.2 再分析资料

本研究将选取 NCEP 与美国能源部（DOE）的 NCEP/DOE AMIP-II Reanalysis 资料进行分析研究，选取的要素为地面 2 m 处逐月气温，时间段为 1979~2005 年，该时段资料的可信度要高于前期（徐影等，2001）。NCEP 资料没有在同化系统中使用地表观测数据，其地表气候场由上层大气信息结合陆面过程模式产生，因此该资料中的地表气温对城市化和土地利用变化等下垫面状况是不敏感的，将地表观测气温减去 NCEP 气温就能将局地近地表气温变化信息从全球变暖中剥离出来（Kalnay et al., 1996）。

2.3 土地利用数据

本研究所用的土地利用数据是由中国科学院资源环境科学数据中心提供的 1990 年、2000 年、2005 年的北京地区 1:10 万矢量数据（相当于 30 m 分辨率），该数据采用的土地利用分类系统包括 6 个一级类型和 25 个二级类型，其中一级类型主要根据土地的资源 and 利用属性划分为耕地、林地、草地、城乡工矿和居民用地、水域、未利用土地等 6 大类，本研究主要针对前 4 种类型进行讨论。

3 气象观测环境及气温变化特征

3.1 气象站点的土地利用/覆被变化

参考龚天宇等（2012）的做法，本文选择以气

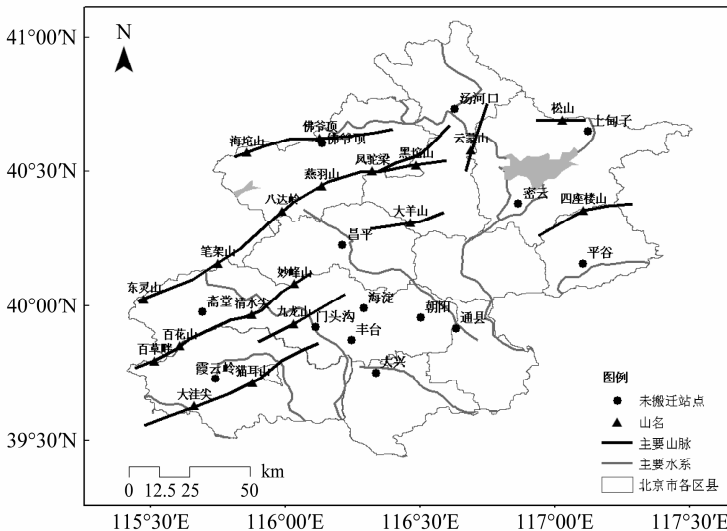


图 1 北京地区气象台站分布

Fig. 1 The distribution of meteorological stations in Beijing

象站点 3 km 半径缓冲区内的土地利用/覆被类型（一级类型）作为主要研究对象，通过站点缓冲区内的土地利用/覆被类型面积占缓冲区面积的比例及其在不同时期的面积变化比例，将站点划分为变化站点和典型站点两类，具体方法如下所示：

（1）变化站点筛选。首先，以站点为中心构建 3 km 半径的缓冲区；然后，利用缓冲区切割不同时期的土地利用/覆被矢量数据，统计缓冲区内各一级土地利用类型面积占缓冲区面积的比例；最后，比较不同时期缓冲区内土地利用/覆被的面积占比，当任意一种土地利用类型的变化量超过 20% 时，认为站点观测环境发生了巨大变化，该站点为变化站点；否则认为站点的观测环境未发生变化或变化较小，该站点为未变化站点。

（2）典型站点筛选。由于每个站点缓冲区内可能包含多种土地利用/覆被类型，为了排除不同土地利用/覆被类型相互之间对气温观测的干扰，本研究在未变化的站点中做进一步筛选，将缓冲区内土地利用/覆被面积占比超过 70% 的站点作为典型站点，认为该土地利用类型对观测气温影响最大。

按照上述判别方法，本文首先提取出气象站点 3 km 缓冲区内的土地利用/覆被信息（如图 2 所示），然后对缓冲区内的土地利用类型面积占比进行统计（见图 3）。

结果如下：1）1990~2005 年期间，门头沟、通县、丰台、大兴、昌平、密云、平谷等站点周边的土地利用变化强度较大，以向城市建设用地类型转化为主，且超过了 20%，以上站点被定义为变化站点；2）1990~2005 年期间，斋堂、霞云岭、佛爷顶、上甸子、汤河口以及海淀等气象站点的土地利用变化非常小，且其主要土地利用类型占比超过了 70%，以上站点被定义为典型站点。典型站点的主要土地利用类型以及面积占比详见表 2。

3.2 气温变化特征

为了综合反映北京地区近 30 年的气温变化特征，本研究将北京地区 13 个未迁移气象站点的月气温要素平均值作为参考对象，以所有站点的平均气温作为北京地区的平均气温，对北京地区 1979~2005 年年平均气温、季节平均气温进行了统计（结果如图 4 所示）。

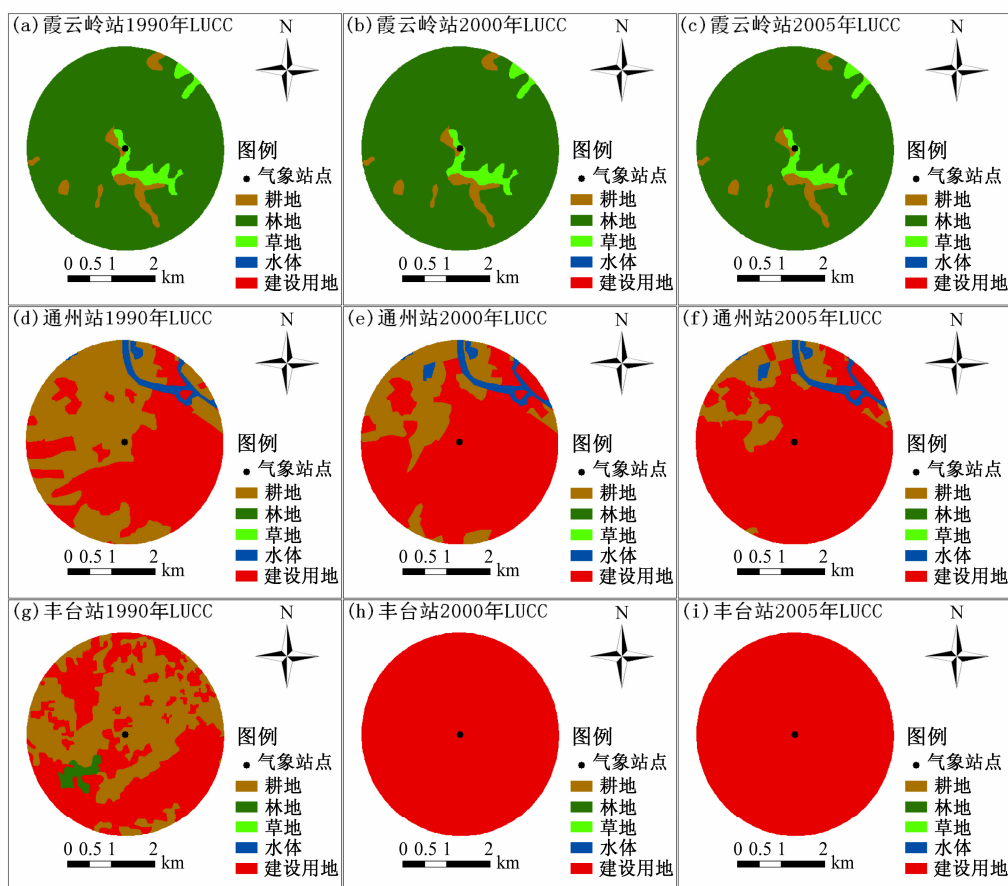


图 2 霞云岭站、通州站、丰台站 3 km 缓冲区内 1990 年、2000 年和 2005 年的土地利用/覆被空间分布

Fig. 2 The distributions of land cover type in 3-km radius buffer zones around Xiaoyunling, Tongzhou, and Fengtai in 1990, 2000, and 2005

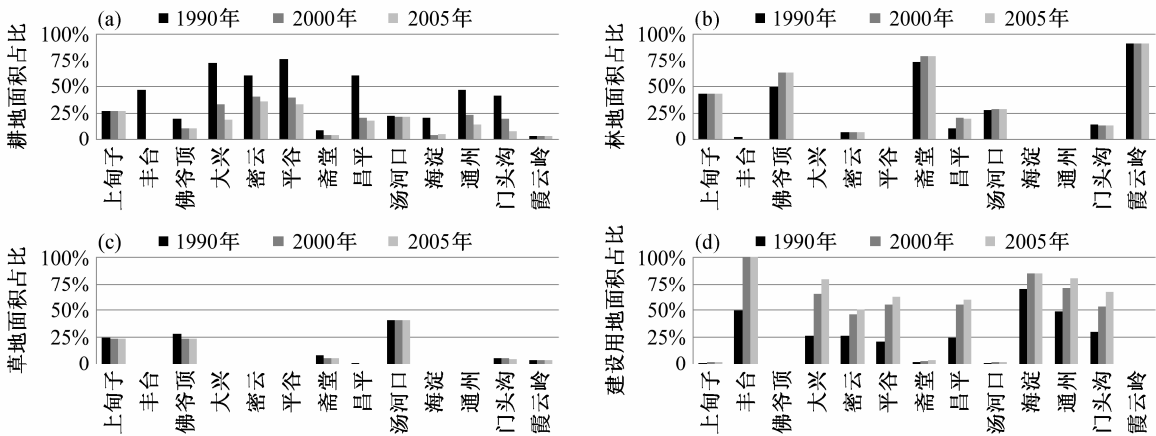


图3 1990年、2000年、2005年气象站点3 km半径缓冲区内土地利用/覆被类型面积占比
Fig. 3 The proportions of land use/land cover change (LUCC) area in 3-km radius buffer zones around the meteorological stations in 1990,2000, and 2005

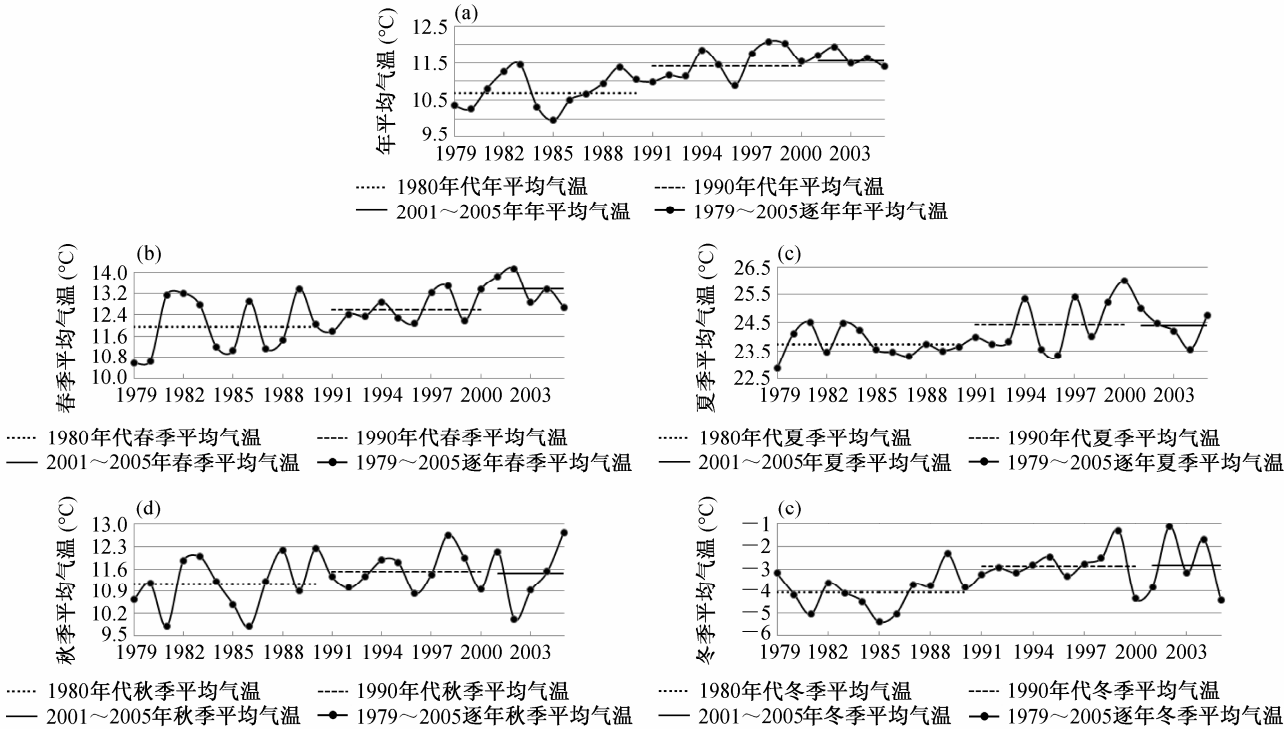


图4 北京地区1979~2005年 (a) 年平均气温和 (b) 春季、(c) 夏季、(d) 秋季、(e) 冬季平均气温
Fig. 4 The mean (a) annual temperature and temperatures in (b) spring, (c) summer, (d) autumn, and (e) winter of Beijing area from 1979 to 2005

表 2 北京地区典型站点的主要土地利用类型及其面积占缓冲区比例

Table 2 The main land cover types and the proportions of their areas in 3-km radius buffer zone of the typical meteorological stations in Beijing area

代表站点	主要土地利用类型	主要土地利用类型占缓冲区面积百分比
斋堂	林地	80%
霞云岭	林地	91%
海淀	建设用地	85%
佛爷顶	林、草、耕地混合	99% (林地63%、草地24%、耕地12%)
上甸子	林、草、耕地混合	95% (林地44%、草地24%、耕地27%)
汤河口	林、草、耕地混合	93% (林地30%、草地41%、耕地22%)

结果表明：1) 1979~2005 年北京地区年平均气温呈上升趋势；2) 1991~2000 年的年、季节平均气温均明显高于 1979~1990 年；3) 2001~2005 年春季平均气温明显高于 1991~2000 年，而年度和冬季平均气温前者略高于后者，夏季和秋季平均气温则是前者略低于后者。

4 气温变化对主要土地利用/覆被类型的敏感性

土地利用/覆被类型本身理化特性的差异会对

地表气温变化产生影响,即林地、草地或耕地等不同土地利用/覆被类型对地表气温变化的影响作用是不同的。为了研究各土地利用/覆被类型对气温变化的影响差异,本文对林地、城市建设用地以及林地、草地、耕地混合类型 3 种典型站点的年、季节平均气温变化趋势分别进行了统计。

4.1 气温变化趋势分析方法

本文以气温的变化或变化趋势作为研究对象,以 1979~2005 年共 27 a 的气温资料,逐年计算各站的年、季平均气温距平值,并以此来计算研究区气象站点 1979~2005 年的年、季气温的线性变化趋势。时间序列的气温长期变化趋势采用线性倾向估计方法分析:用气温变量 x 与其对应的时间 t 建立一元线性回归方程(魏凤英, 1999):

$$x=a+bt_i, (i=1, 2, \dots, n)$$

其中, x 为样本量为 n 的某一气候变量, a 和 b 分别为回归常数和回归系数,用最小二乘法估计。 b 表示气候变量的线性变化趋势。 b 值的正负分别表示 x 随着 t 呈上升或下降趋势,其大小表示趋势的大小。将 $b \times 10$ 定义为气候要素每 10 年的变化量(单位: $^{\circ}\text{C}/10\text{a}$)。

4.2 气象站点观测气温变化趋势

依据上节的方法,本研究统计出 13 个气象站点 1979~2005 年的年平均气温变化趋势(如图 5 所示)。

为了反映不同土地利用/覆被类型对气温变化趋势的影响,本研究在年平均气温变化趋势的基础上,依据表 2 中典型类别站点的划分结果,将同类别站点气温变化趋势值的平均值作为对应土地利用/覆被类型的气温变化趋势值。同时为了剔除城市化的影响,将海淀等受城市化影响较大的站点进行剔除,然后将剩余站点的气温变化趋势平均值作为研究背景值,通过比较各类别趋势值与背景值研究不同土地利用/覆被类型对气温变化影响的差异(结果见表 3)。

结果表明,在研究区的主要土地利用/覆被类型中,对于年度和季节平均气温的变化趋势,建设用地最大,林地最小。林地的年、季节升温幅度均小于背景值,表明林地对气温升高具有一定的抑制作用;建设用地的年、季节升温幅度均高于背景值,表明建设用地对气温升温具有增强作用;林、草、耕地混合类型的年、季节升温趋势均低于背景值,

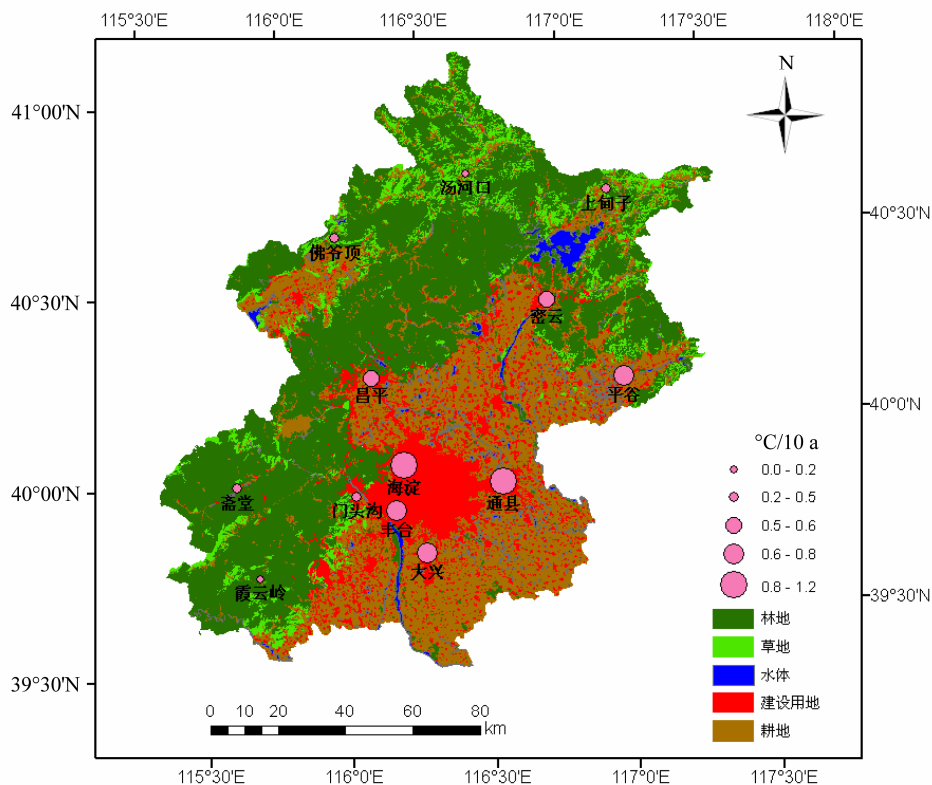


图 5 北京地区 2000 年土地覆被(填色)及气象站点(圆点)1979~2005 年气温变化趋势

Fig. 5 The land cover of Beijing area in 2000 (colored) and the distributions of observed temperature trend at the meteorological stations (circle) in Beijing from 1979 to 2005

而混合类型中林地和草地所占比例较大均超过 71.6%，同样表明林地和草地对气温升高具有一定的抑制作用。

表 3 1979~2005 年北京主要土地利用类型的气温变化趋势

Table 3 The linear trends of annual and seasonal mean temperature of main land cover types in Beijing from 1979 to 2005					
土地利用类型	年平均	春季平	夏季平	秋季平	冬季平
	气温	均气温	均气温	均气温	均气温
林地	0.197	0.355	0.115	0.05	0.315
建设用地	0.822	0.973	0.723	0.627	1.022
林、草、耕地混合	0.296	0.412	0.249	0.104	0.456
背景值	0.534	0.705	0.443	0.328	0.712

4.3 气象站点 OMR 气温变化趋势

本文采用双线性插值方法将研究区 NCEP 格点值内插到主要 LUCC 类型代表站上，得到代表站 1979~2005 年的 NCEP 值，再将同时期的观测气温减去 NCEP 值后得到 OMR 值，对 OMR 的年、季节变化趋势进行统计（见表 4），OMR 趋势值表现出了剔除区域大尺度气候背景影响后不同土地利用/覆被类型对气温变化的影响。

表 4 3 种土地利用类型的气温 OMR 趋势值

Table 4 Annual average air temperature trend of three main land cover types from observations minus reanalysis (NCEP) method					
土地利用类型	年平均	春季平	夏季平	秋季平	冬季平
	气温	均气温	均气温	均气温	均气温
林地	-0.118	-0.074	-0.168	-0.222	-0.048
建设用地	0.527	0.564	0.454	0.399	0.668
林、草、耕地混合	-0.012	-0.011	-0.029	-0.154	0.096

结果表明，林地的 OMR 趋势值依然最小（-0.118 °C/10 a），且林地的观测气温变化幅度小于 NCEP 值变化幅度；混合类型次之（-0.012 °C/10 a），建设用地依然最大（0.527 °C/10 a），建设用地的气温观测值变化幅度大于 NCEP 值变化幅度。这进一步说明林地对区域气温升温具有抑制作用，而建设用地对区域气温升温具有增强作用。

造成这一结果的原因可能是建设用地植被覆盖小、蒸发小，使得地表能量更多地以感热形式向大气输送，加上城市中人为增加的热量导致了局地近地表气温升高。与此相反的是林地的植被覆盖状况较好，土壤湿度大，更多的蒸散使得地表能量更多的以潜热形式向大气输送，部分抵消了地表气温

的升高。

5 气温变化对土地利用/覆被类型变化的敏感性

本节将从气温的变化量和变化趋势两个方面研究气温变化对土地利用/覆被变化的敏感性，研究过程中选择了门头沟、通县、丰台、大兴、昌平、密云、平谷以及海淀等 8 个站点，这些站点的土地利用/覆被变化均以耕地向城市建设用地转化为主。

5.1 土地利用/覆被变化对站点气温变化量的影响

根据站点 3 期土地利用/覆被数据的时间，分为 1979~1990 年、1991~2000 年、2001~2005 年 3 个时段（以下分别表示为时段 1、时段 2、时段 3），统计了站点的年平均气温以及不同时段的气温变化量（如图 6 所示）。

结果表明：8 个站点年平均气温在 3 个时段内呈上升趋势，且时段 1~2 的升温幅度较大，时段 2~3 的升温幅度较小。

在 3 个时段中，分别取时段最后一年的 LUCC 数据进行分析，提取相邻时段的 LUCC 变化量，同时将相邻时段的气温变化量与对应 LUCC 变化量进行比较（结果详见表 5）。可以发现，对于所有站点，其时段 1~2 的土地利用/覆被变化比例均明显大于时段 2~3 的变化比例；而其对应的气温变化量在土地利用/覆被变化比例较大的时段明显高于变化比例较小的时段。

表 5 1979~1990 年、1991~2000 年、2001~2005 年 3 个时段气温变化量与建设用地变化量的对照

Table 5 The variation comparisons of mean annual temperatures of the meteorological stations and proportions of urban area during 1979-1990, 1991-2000, and 2001-2005 periods

站点	气温变化 (°C)		建设用地变化比例	
	时段 2—时段 1	时段 3—时段 2	时段 1~2	时段 2~3
密云	0.621	0.321	20.15%	4.09%
平谷	0.925	0.328	36.50%	6.24%
通州	1.503	0.493	23.38%	8.50%
大兴	1.032	0.054	38.15%	14.41%
昌平	0.678	0.327	39.01%	3.01%
海淀	1.145	0.218	15.55%	0
门头沟	0.606	0.293	21.80%	12.06%
丰台	0.982	0.267	47.09%	0

进一步将表 5 的结果绘制成散点图 (图 7), 通过点的分布可以发现, 随着耕地向建设用地转化比例的增加, 气温的变化量呈一定的上升趋势, 这进一步印证了城市建设用地对气温升高具有增强作用。

5.2 土地利用/覆被变化对站点气温变化趋势的影响

同样按照站点土地利用/覆被变化数据的时间, 选择 2 个时间段对站点的气温变化趋势进行分析,

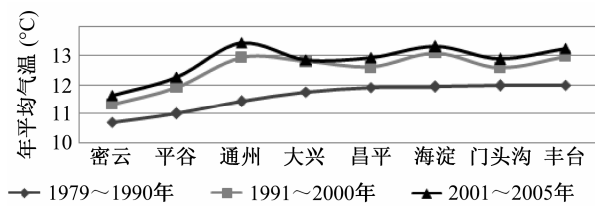


图 6 站点在 1979~1990 年、1991~2000 年、2001~2005 年 3 个时间段的年平均气温

Fig. 6 The mean annual temperatures at the meteorological stations during 1979-1990, 1991-2000, and 2001-2005

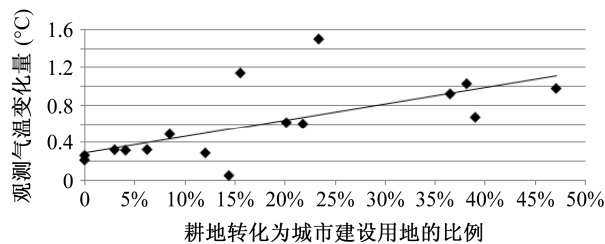


图 7 气温变化量与土地利用/覆被变化比例的关系

Fig. 7 The relationship between the variation of mean annual temperature and the proportion of LUCC area

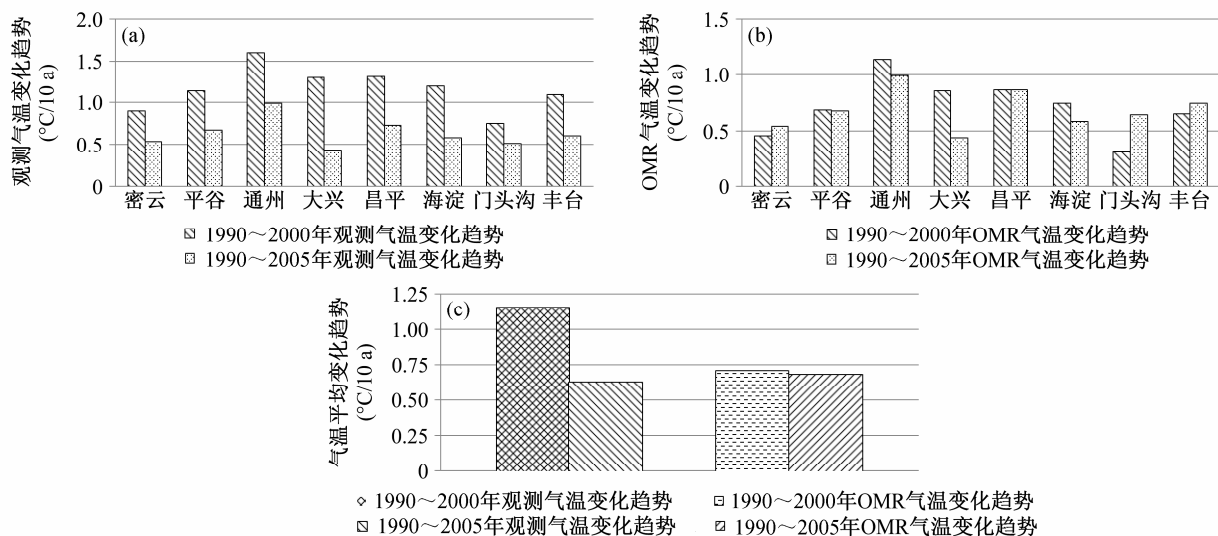


图 8 站点 1990~2000 年、1990~2005 年 (a) 观测气温变化趋势、(b) OMR 气温变化趋势、(c) 两个时段的气温平均变化趋势对照

Fig. 8 (a) The observed annual temperature trend and (b) the OMR annual temperature trend of the meteorological stations in 1990-2000 and 1990-2005, (c) the comparison of average temperature trend during the two periods

析, 分别为 1990~2000 年、1990~2005 年。气温变化趋势的分析方法与 4.1 节和 4.2 节一致, 同样是从观测气温和 OMR 气温两方面进行讨论 (如图 8 所示)。

结果表明: 无论是观测气温还是 OMR 气温, 在 1990~2000 年期间和 1990~2005 年期间均呈现上升趋势, 且 1990~2000 年期间的升温趋势要大于 1990~2005 年期间的升温趋势。图 8c 则是对两个时段所有站点气温趋势取平均后的结果, 对比后发现, 对于观测气温, 1990~2000 年的平均变化趋势明显高于 1990~2005 年; 而对于 OMR 气温, 1990~2000 年的平均变化趋势与 1990~2005 年相当, 略有降低。

同样, 对 2 个时段的气温变化趋势与对应的土地利用/覆被变化比例进行了对照 (见表 6)。

结果表明: 1) 在 2 个不同的时段, 当耕地向城市建设用地转化时, 观测气温和 OMR 气温均呈上升趋势; 2) 2 个时段气温变化趋势的差异与土地利用/覆被变化的面积比例有一定的关系。尽管 1990~2005 年的土地利用/覆被变化比例要高于 1990~2000 年, 但是前者的气温变化趋势反而低于后者。其主要原因在于 1990~2000 年与 2000~2005 年 2 个时间段的土地利用/覆被变化强度相差较大, 其中在 1990~2000 年期间的土地利用/覆被变化强度大, 升温趋势也较大, 而 2000 年以后土地利用/覆被变化明显变小, 其升温趋势有所减缓, 后期气温趋势的减缓造成 1990~2005 年整个时段气温变

表 6 1990~2000 年（时段 1）和 1990~2005 年（时段 2）
两个时期气温变化趋势与土地利用变化量的对照

Table 6 The comparisons of temperature trends and
proportion of LUCC areas during 1990–2000 (period 1) and
1990–2005 (period 2)

站点	时段	观测气温趋势 (°C/10 a)	OMR 气温趋势 (°C/10 a)	建设用地变化比例
密云	1990~2000 年	0.899	0.447	20.15%
	1990~2005 年	0.534	0.538	4.09%
平谷	1990~2000 年	1.131	0.68	36.5%
	1990~2005 年	0.671	0.675	6.24%
通州	1990~2000 年	1.588	1.137	23.38%
	1990~2005 年	0.987	0.99	8.5%
大兴	1990~2000 年	1.301	0.85	38.15%
	1990~2005 年	0.431	0.435	14.41%
昌平	1990~2000 年	1.304	0.862	39.01%
	1990~2005 年	0.72	0.86	3.01%
海淀	1990~2000 年	1.193	0.742	15.55%
	1990~2005 年	0.577	0.581	0
门头沟	1990~2000 年	0.746	0.303	21.8%
	1990~2005 年	0.501	0.641	12.06%
丰台	1990~2000 年	1.086	0.643	47.09%
	1990~2005 年	0.599	0.739	0

化趋势小于前期。这表明，土地利用/覆被类型变化的面积比例的确对气温变化趋势具有一定的影响作用，但并不是简单的线性相关，需要追溯土地利用/覆被变化的过程。

6 结论

本文根据气象站点 3 km 半径缓冲区内土地利用/覆被类型的面积占比以及在不同时期的面积占比变化情况，将北京地区的气象站点划分为典型站点和变化站点，并针对典型站点进行了观测气温和 OMR 气温的变化趋势分析；同时对 8 个土地利用/覆被类型变化较大站点的不同时期年平均气温变化量、变化趋势与土地利用/覆被变化比例进行了比较。以此探讨土地利用/覆被自身及其变化对气温变化的影响，得到以下结论：

（1）研究区气象站点 1990~2005 年期间，北京地区南北山区站点观测环境变化不大，变化最大的是佛爷顶，主要是耕地转化为林地，其它站点基本不变；郊区及城区站点观测环境变化较大，主要的土地利用变化是由耕地向城市建设用地转化，转化面积均超过 20%；

（2）对于年平均气温要素，研究区 3 种主要土地利用类型气温变化趋势的大小规律为：建设用地

升温趋势最高（0.822 °C/10 a）且明显高于区域站点平均升温趋势（0.534 °C/10 a），其次是林、草、耕地混合型（0.296 °C/10 a），林地的升温趋势最低（0.197 °C/10 a）且明显小于区域站点平均升温趋势；

（3）对于 OMR 气温，林地的气温趋势值最小（-0.118 °C/10 a），且为负，说明林地的观测气温变化幅度小于 NCEP 值变化幅度；林地、草地、耕地混合型次之（-0.012 °C/10 a）；建设用地最大（0.527 °C/10 a）。建设用地的气温观测值变化幅度大于 NCEP 值变化幅度。这进一步说明林地对区域气温升高具有抑制作用，建设用地对区域气温升高具有增强作用；

（4）在研究耕地类型向城市建设用地类型转化时发现，随着转化比例的增加，气温变化量呈一定的上升趋势。同时，转化的比例也对气温变化趋势具有一定的影响，但并不是简单的线性相关，需要追溯土地利用/覆被变化的过程。

致谢 中国科学院地理科学与资源研究所陈海燕、扈传星、龚天宇帮助完成了气象站点重定位工作，陈海燕、王丽敬在气象数据预处理时提供了帮助，在此一并表示感谢。

参考文献（References）

陈沈斌, 潘莉卿. 1997. 城市化对北京平均气温的影响 [J]. 地理学报, 52 (1): 27–36. Chen Shenbin, Pan Liqing. 1997. Effects of urbanization on the annual mean temperature of Beijing [J]. Acta Geographica Sinica, 52 (1): 27–36.

Christensen J H, Hewitson B, Busuioac A, et al. 2007. Regional climate projections [M]// Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the IPCC AR4. Cambridge: Cambridge University Press.

初子莹, 任国玉. 2005. 北京地区城市热岛强度变化对区域温度序列的影响 [J]. 气象学报, 63 (4): 152–158. Chu Ziying, Ren Guoyu. 2005. Change in urban heat island magnitude and its effect on mean air temperature record in Beijing region [J]. Acta Meteorologica Sinica (in Chinese), 63 (4): 152–158.

Fu C B. 2003. Potential impacts of human-induced land cover change on East Asia monsoon [J]. Global and Planetary Change, 37: 219–229.

Frauenfeld O W, Zhang T, Serreze M C. 2005. Climate change and variability using European Centre for Medium-Range Weather Forecasts reanalysis (ERA-40) temperatures on the Tibetan Plateau [J]. Journal of Geophysical Research: Atmospheres (1984–2012), 110 (D2), doi: 10.1029/2004JD005230.

Gao X J, Luo Y, Lin W T, et al. 2003. Simulation of effects of land use change on climate in China by a regional climate model [J]. Advances in Atmospheric Sciences, 20 (4): 583–592.

- 龚天宇, 邵全琴, 刘纪远, 等. 2012. 中国南方不同土地利用/覆被类型对气温升温的影响 [J]. 地理研究, 31 (8): 1465–1478. Gong Tianyu, Shao Quanqin, Liu Jiyuan, et al. 2012. The impact of land use/cover type on climate warming in southern China [J]. Journal of Geophysical Research (in Chinese), 31 (8): 1465–1478.
- Kalnay E, Cai M. 2003. Impact of urbanization and land-use change on climate [J]. Nature, 423: 528–531.
- Kalnay E, Kanamitsu M, Kistler R, et al. 1996. The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project [J]. Bull. Amer. Meteor. Soc., 77 (3): 437–471.
- Pielke Sr R A, Marland G, Betts R A, et al. 2002. The influence of land-use change and landscape dynamics on the climate system: Relevance to climate-change policy beyond the radiative effect of greenhouse gases [J]. Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, 360: 1705–1719.
- 魏凤英. 1999. 现代气候统计诊断与预测技术 [M]. 北京: 气象出版社, 42–48. Wei Fengying. 1999. Modern Climatic Statistical Diagnosis and Prediction Technology [M] (in Chinese). Beijing: China Meteorological Press, 42–48.
- 徐影, 丁一汇, 赵宗慈. 2001. 美国 NCEP/NCAR 近 50 年全球再分析资料在我国气候变化研究中可信度的初步分析 [J]. 应用气象学报, 12 (3): 337–347. Xu Ying, Ding Yihui, Zhao Zongci. 2001. Confidence analysis of NCEP/NCAR 50-year global reanalyzed data in climate change research in China [J]. Journal of Applied Meteorological Science (in Chinese), 12 (3): 337–347.
- 荀学义, 胡泽勇, 孙俊, 等. 2011. 高原地区 ERA40 与 NCEP I 再分析资料对比分析 [J]. 气象科技, 39 (4): 392–400. Xun Xueyi, Hu Zeyong, Sun Jun, et al. 2011. A comparative analysis of two geo-potential height field reanalysis datasets in plateau [J]. Meteorological Science and Technology (in Chinese), 39 (4): 392–400.
- 杨续超, 张懿锂, 刘林山, 等. 2009. 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), 39 (5): 638–646. Yang Xuchao, Zhang Yili, Liu Linshan, et al. 2009. Sensitivity of surface air temperature change to land use/cover types in China [J]. Science in China (Series D: Earth Sciences), 39 (5): 638–646.
- Zhang J Y, Dong W J, Wu L Y, et al. 2005. Impact of land use changes on surface warming in China [J]. Advances in Atmospheric Sciences, 22 (3): 343–348.
- 张景哲, 刘启明. 1988. 北京城市气温与下垫面结构关系的时相变化 [J]. 地理学报, 43 (2): 159–168. Zhang Jingzhe, Liu Qiming. 1988. Temporal variations in the relationship between urban temperature and the structure of urban surface in Beijing [J]. Acta Geographica Sinica (in Chinese), 43 (2): 159–168.
- 赵天保, 符淙斌. 2009. 几种再分析地表气温资料在中国区域的适用性评估 [J]. 高原气象, 28 (3): 594–606. Zhao Tianbao, Fu Congbin. 2009. Applicability evaluation of surface air temperature from several reanalysis datasets in China [J]. Plateau Meteorology (in Chinese), 28 (3): 594–606.
- 赵天保, 符淙斌, 柯宗建, 等. 2010. 全球大气再分析资料的研究现状与进展 [J]. 地球科学进展, 25 (3): 242–254. Zhao Tianbao, Fu Congbin, Ke Zongjian, et al. 2010. Global atmosphere reanalysis datasets: Current status and recent advances [J]. Advances in Earth Science (in Chinese), 25 (3): 242–254.
- 郑思轶, 刘树华. 2008. 北京城市化发展对温度、相对湿度和降水的影响 [J]. 气候与环境研究, 13 (2): 123–133. Zheng Siyi, Liu Shuhua. 2008. Urbanization effect on climate in Beijing [J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 13 (2): 123–133.
- 郑祚芳, 郑艳, 李青春. 2007. 近 30 年来城市化进程对北京区域气温的影响 [J]. 中国生态农业学报, 15 (4): 26–29. Zheng Zuofang, Zheng Yan, Li Qingchun. 2007. Effect of urbanization on the temperature of Beijing metropolis in recent 30 years [J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture (in Chinese), 15 (4): 26–29.
- Zhou L M, Dickinson R E, Tian Y H, et al. 2004. Evidence for a significant urbanization effect on climate in China [J]. Proceedings of the National Academy of Sciences, 101: 9540–9544.