

中国与美国大都市区城市内部 土地覆盖结构时空差异

匡文慧¹, 迟文峰^{1,2}, 史文娇¹

(1. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101;

2. 中国科学院大学, 北京 100049)

摘要: 城市内部土地覆盖结构对城市生态服务功能和人居环境质量产生重要影响。中国与美国不同发展阶段城市不透水地表和绿地时空分布格局存在显著差异。本文基于 Landsat TM/MSS 影像获取 1978、1990、2000、2010 年城市内部土地覆盖和不透水地表分类信息, 监测并比较中国和美国六个特大城市扩展时空动态、土地覆盖结构差异及城市不同功能区特征。研究表明, 在过去 30 多年以来, 中国城市以相对紧凑形态发展, 美国城市较为离散; 美国三大城市植被所占的比例是中国的 2.21 倍; 中国城市内部结构土地利用功能类型更加复杂, 不透水地表密度更高, 而美国城市 CBD 和居住区功能相对独立, 特别居住区以镶嵌式低不透水地表和高绿地比例结构为主。

关键词: 城市结构; 不透水地表; 绿地; 中国; 美国; 遥感

DOI: 10.11821/dlxb201407001

1 引言

全球正经历农村人口向城市快速集聚的进程, 2010 年全球城市人口比例达到 51.6%。改革开放以来, 中国经历了快速的城市化和工业化过程。1980-2010 年的 30 年间, 中国城市人口比率从 19.4% 增长到 49.2%, 增长率达 29.8%。到 2012 年, 中国已有超过一半的人口居住在城市。美国同期城市人口比率从 73.7% 增长到 82.1%, 增长率为 8.4%。中国和美国分别作为发展中国家与发达国家, 国家城市化水平和城市发展轨迹存在显著差异。在当前农村人口不断向城市集聚、城市快速向外扩张, 加之全球环境变化加速 (温度升高、洪水及热浪加剧) 的影响下, 城市生态系统健康状况和城市人居环境质量正面临着前所未有的挑战^[1-5]。城市内部土地覆盖结构和组份, 特别是不透水地表与绿地空间布局^[6], 会对地表辐射与能量的分配方式产生甚至截然相反的作用, 进而对城市热岛、大气环境及局地气候产生重要影响, 对城市生态服务热调节功能产生决定性作用^[1-2, 7-9]。城市生态服务功能直接影响城市人居环境和社会安康^[10]。承载高密度的人口、产业的用地如何有效布局, 以实现城市生活空间、生产空间、服务空间与生态空间内不透水地表、绿地组份与结构的合理布局, 对于提高城市生态服务功能、改善人居环境质量、建设低碳型生态城市乃至提高全球气候变化的适应能力具有重要的现实意义。

收稿日期: 2013-12-27; 修订日期: 2014-03-06

基金项目: 国家高技术研究发展计划 (2013AA122802); 国家自然科学基金项目 (41371408); 国家重点基础研究发展计划项目 (2010CB95090400, 2014CB954302); 国家科技支撑计划项目 (2012BAJ15B02) 资助 [Foundation: National High-Tech R&D Program of China, No.2013AA122802; National Natural Science Foundation of China, No.41371408; National Basic Research Program of China, No.2010CB95090400, No.2014CB954302; National Key Technology R&D Program, No.2012BAJ15B02]

作者简介: 匡文慧 (1978-), 男, 副研究员, 主要从事土地利用/覆盖变化, 城市生态环境研究。

E-mail: kuangwh1978@sina.com

城市内部土地覆盖状况直接影响着城市生态系统服务功能^[11]，对于评价城市生态系统健康状况与人居环境质量具有重要的理论与现实意义。不透水地表和绿地组份是城市内部土地覆盖最重要的组成部分，此外包括少量水域和裸土等其他用地。城市不透水地表是由城市发展建设产生的一种地表水不能直接渗透到土壤的人工地貌，包括城市中的道路、广场、停车场、建筑屋顶等。城市不透水地表是反映人类活动强度和评价城市建设用地增长态势的重要指标^[12-13]。城市绿地作为城市生态系统的重要组成部分，在改善城市环境，特别是净化空气、建筑节能、增强地表湿度等方面具有重要作用^[14-17]，城市中适宜比例的绿地面积可以调节城市局地气候环境，影响城市内部辐射能量平衡，降低城市地表温度和大气温度等^[18-20]。

遥感监测结果显示，美国城市内部不透水地表面积比例平均约 40%~50% (森林与不透水地表比率为 1.4:1)，而中国城市不透水地表面积比例估算约 66%^[21-22]。有关研究表明，森林覆盖率和绿地面积对生态服务热调节功能具有决定性作用^[23]，绿地每增加 10%，城市热辐射将减少 2 °C，绿地斑块面积大于 5 km²时，地表辐射温度急剧下降^[24]。基于夜灯光指数 (DMSP/OLS) 与中国土地利用/覆盖变化信息融合产生的不透水地表增长监测结果显示，21 世纪初中国范围特别是京津唐城市群城市不透水地表面积呈现高速增长特征^[22, 25-26]。依据航空影像调查得知，2005 年美国城市不透水地表覆盖平均比例为 43%^[21]。1984-2010 年的 27 年间，美国大都市巴尔的摩不透水地表面积从 881 km²增长到 1176 km²^[27]。运用仪器测量方法分析公园绿地对周边区域温度的影响，结果表明，绿地温度明显低于周边区域温度。在有风的情况下，0.6 km² 的公园可以使下风向 1 km 范围内商业区气温降低 1.5 °C。面积越大绿地的冷岛效应越明显，且高植被覆盖的绿地公园和城市区域交错地带温差可达 3.5 °C。绿地和周边城市区域温度差异夏季大，冬季小。冷岛效应表现在夜晚的城市区域延伸 200~300 m，而夏季 8-10 月间，范围可以超过 500 m，有效地降低了城市气温^[24, 28-29]。中国与美国作为不同发展阶段的两个国家，城市形态与内部结构差异显著，由此对其城市热岛强度和环境质量产生不同程度影响。

本研究主要集中如下 2 个研究目标：

- (1) 分别选择 3 个最大的代表性城市，揭示中国与美国过去 30 多年城市土地覆盖结构特征与差异；
- (2) 比较分析不同国别城市内部功能区不透水地表和绿地格局、结构布局状态差异特征，并探讨其差异原因。

2 理论与方法

城市内部空间结构与功能区和土地覆盖类型密切相关。城市内部空间结构取决于功能区及土地覆盖类型的组合，将城市土地覆盖类型划分为不透水地表、植被、水体与其他用地 (裸土等)；结合国内外城市功能区类型及特点，将功能区划分为商业用地、住宅用地工业用地及其他用地 (如商居混合用地等)^[30]。假设在满足划定城市功能区约束条件 (城市各功能区无明确的界线，体现主导功能类型)、准确利用遥感手段提取土地覆盖类型面积的基础上建立函数：

$$1 = \sum_{i=1}^n F_n L_n \tag{1}$$

式中：1 代表城市内部结构， F_n 代表城市功能区系数， L_n 代表城市土地覆盖类型结构比例。城市区位与内部土地覆盖组份理论模式如图 1 所示。城市区位与内部土地覆盖组份模式说明：靠近城市中心的不透水地表比例比远离城市中心的大，且土地覆盖类型相对简单，即 CBD 的城市不透水地表比例大，其他土地覆盖类型所占比重大；住宅用地城市不

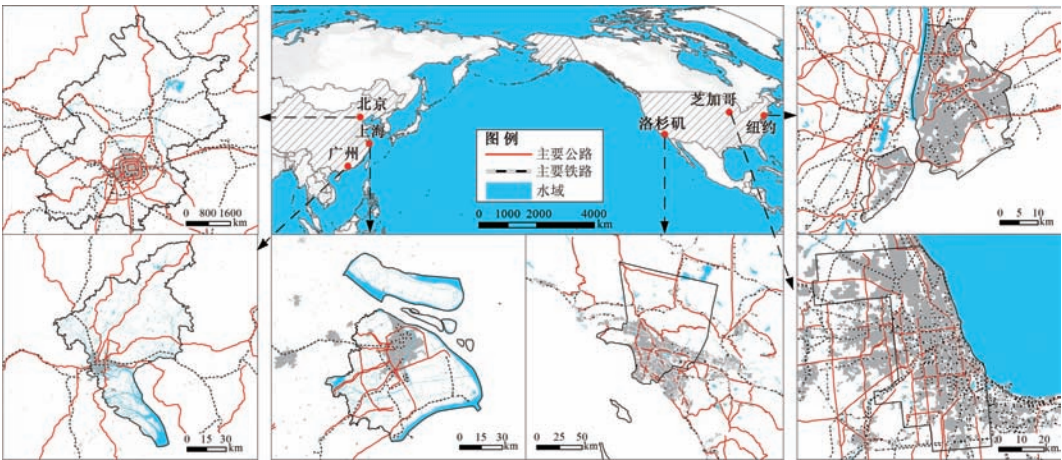


图2 研究区分布图

Fig. 2 Locations of the study areas

水系的分界线，是全球最重要的一个金融中心，是美国第二大商业中心区，为美国最重要的铁路、航空枢纽。芝加哥同时也是美国主要的金融、文化、制造业、期货和商品交易中心之一，地形平坦，平均海拔高度为176 m，气候属温带大陆性湿润气候，雨水充足，年平均降水量为974 mm (图2)。

为了准确刻画中国与美国6个城市近30年来城市内部土地覆盖结构演化轨迹及功能区特点，采用美国地质调查局网站下载 (<http://glovis.usgs.gov/>) 的六城市1978年Landsat MSS, 1990、2000和2010年Landsat TM/ETM 4个基准年遥感影像作为研究数据。影像选择满足每一基准年影像年份前后不超过2年，季节相近避免像元光谱差异，晴朗无云或低盖度云层覆盖，总计筛选质量好的影像31景。影像经过投影转换到UTM投影，以2010年影像为地理参考进行相对位置几何校正，空间误差控制在1个像元(1978年为60 m，其他时段为30 m)内；将影像辐射DN值转换为星上反射率值。

城市建设用地指已按城市建设规划完成的非农业生产建设用地，包括市区建筑物集中连片的部分以及近郊内与城市有着密切联系的其他城市建设用地。城乡边界以基础设施的完备程度以及与城市的联系程度作为判断标准^[30]。城市内部土地覆盖分类系统包括不透水地表、植被、水域和其他用地4个类型。为定量获取每个像元内不透水地表和绿地组份比例，用线性光谱混合像元分解方法提取，具体步骤包括图像数据降维、端元提取与后处理。为减少影像波段维数的影响，使用最小噪声分离变换进行影像波段降维，选取降维后特征值贡献率在81.3%以上的前三个主成分进行纯净像元端元信息提取，最终生成高反照率、低反照率、植被和裸土4个端元信息。不透水地表信息为高反照率和低反照率信息之和；水体和植被类型信息分别采用改进归一化水体指数和归一化植被指数获取。对于纯净水体和植被区域使用掩码形式进行剔除，最终获取4期城市内部土地覆盖类型图。

本研究以2010年六大城市建设用地范围为基准，将2010年与前3期提取的城市内部土地覆盖分类信息空间运算，获取城市内部土地覆盖不变空间信息。分别对不变区域和变化区域开展分层随机采样方法，应用Google Earth 2010年影像和收集的其他时段航空相片开展精度验证，同时采用分类正确率(PCM)和平均相对误差(MRE)两个指标来开展精度评价^[22]。城市土地覆盖分类平均正确率指4种土地覆盖类型被正确识别的土地覆盖类型样本数与总样本数之比平均值。公式如下：

$$PCM = \frac{C_L + C_G + C_W + C_O}{n_L + n_G + n_W + n_O} \times 100\% \tag{2}$$

式中，PCM为城市土地覆盖分类综合正确率， C_L 、 C_G 、 C_W 、 C_O 和 n_L 、 n_G 、 n_W 、 n_O 分别

为不透水地表、绿地、水域和其他用地的正确分类样本数和分别选择的样本总数。

针对城市内部不透水地表和绿地大量的混合像元问题，应用MRE评价每个像元不透水地表和绿地定量成份信息提取的精度，公式如下：

$$MRE = \frac{\sum_{i=1}^n (|x_i - y_i|/y_i)}{n} \tag{3}$$

式中，MRE为平均相对误差； x_i 、 y_i 分别为3×3像元提取不透水地表与地面采样高分辨率遥感解译获取不透水地表信息面积比例(%)；n为样本个数。

为减少影像配准误差产生的影响，对每个采样点采取3×3(90 m×90 m)像元窗口应用精纠正的高分辨率图像专家人工判读和数字化解译获取验证样本，每个城市选取130个样本。将不透水层数据重分类为10个等级(1~10, 10~20, ……，90~100)，按照3×3像元大小在不透水层中随机分层选择检验样本。用目视解译画出不透水层并确定不透水面积比例，作为不透水层的地面真实验证值。验证结果表明，城市土地覆盖分类正确率综合精度为94%，不透水地表信息提取的平均相对误差为0.64%，满足城市土地覆盖时空格局比较分析的精度要求^[22]。

4 结果与分析

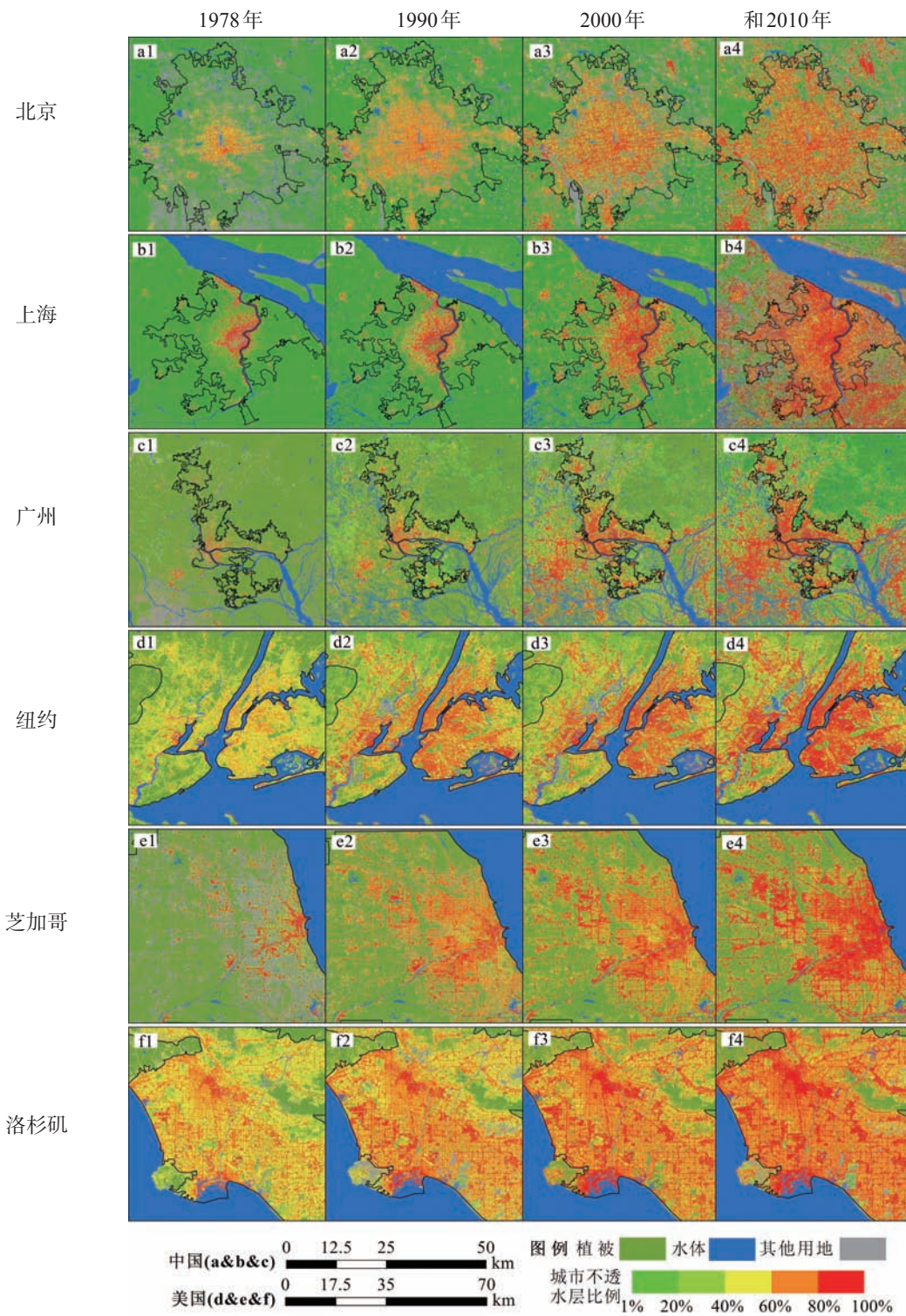
4.1 中国与美国城市土地覆盖结构特征分析

从整体来看，中国城市土地覆盖以城市不透水和其他用地(耕地、裸土地等)为主，植被所占比重较小，城市不透水呈现快速增加趋势，其他用地呈现逐渐减少趋势，植被减少趋势缓慢(图3)。中国各期土地覆盖结构图统计结果显示(图4)：1978-2010年间，城市不透水比例增长了三倍多(1978年为16.74%，2010年为69.48%)；其他用地比例由1978年的近60%减少到2010年的14.05%，且表现出随时间渐减的态势；植被比例则由1990年的18.10%减少到2010年的14.70%。美国城市土地覆盖以城市不透水地表与植被为主，城市不透水呈现增加趋势，但趋势缓慢，植被未发生明显变化(图3)。统计结果显示(图4)，1990年较1978年，不透水地表略微增加，但1990年之后基本保持在55%~57%之间，变化不大；植被则在研究期内基本维持在33%左右的水平。

从城市个体看，中国三大城市的土地覆盖结构变化趋势相似，并与整体趋势一致，但变化幅度存在一定的差异。其中，北京的城市不透水所占比例在研究期历年都为最高，而广州的不透水比例在研究期内是变化幅度最大的；广州的其他用地转化为不透水的幅度最大，1978-2010年被转化用地比例达到65%；相比较而言，北京和上海的这一比例在40%~45%；广州的植被比例在研究期历年都是最低，到2010年不到10%，其植被减少幅度也是最小的；三个城市的水体变化均不明显。美国三大城市土地覆盖结构主要以内部变化为主，结构变化不明显。其中，芝加哥的城市不透水比例增幅最大，为13.4%，而纽约和洛杉矶的变化幅度均不到5%；三个城市的植被比例变化均不明显，且覆盖比例达四分之一以上；其他用地呈现减少趋势，芝加哥变化最为明显，从1978年的24.33%减少至7.55%；水体变化三个城市均不明显。

4.2 中国与美国城市土地覆盖结构变化过程分析

基于中国与美国六大城市土地覆盖结构变化数据统计(表1)，中国城市土地覆盖结构总体上变化较快，2000年以来变化最为剧烈，尤其表现为城市不透水地表的扩张和其他用地的缩减；美国城市土地覆盖结构整体变化缓慢，相比较而言，1978-1990年城市不透水扩张最快，2000年以来变化均较小。从变化速度看，1978-2010年，中国三大城市不透水面积增长速度是美国的3.14倍，其中中国三大城市不透水以61.98 km²/年速度增长，美



a、b、c、d、e、f分别为北京、上海、广州、纽约、芝加哥、洛杉矶
a1、a2、a3、a4分别为1978、1990、2000和2010年城市土地覆盖现状
图3 中国与美国1978-2010年城市土地覆盖空间格局

Fig. 3 Spatial pattern of intra-urban land cover in the cities of China and USA from 1978 to 2010

国城市不透水变化相对缓慢，以 19.72 km²/年速度增长。

从整体和内部结构看，中国三大城市发展都以“摊大饼”式由市中心向外围快速圈层蔓延，且总体呈现紧凑格局，不透水地表扩张以占用其他用地（耕地）为主，其他用地（耕地）研究时间内以 53.34 km²/年速率锐减。相比较而言，美国城市的整体格局基本稳定，不透水扩张在空间范围与结构上也基本保持稳定，不透水地表增长主要以内部填充为主，整体呈现松散格局。

从城市个体看，中国三大城市的不透水增长速度都表现出随时间大幅增加的态势，尤以 2000-2010 年变化最为剧烈，其中的北京 (21.85 km²/年) 和上海 (25.17 km²/年) 不透水的平均增长速度比广州 (14.96 km²/年) 快；相反的，中国三大城市的其他用地和植被整体呈现出递减趋势；其中，上海的其他用地以 20.76 km²/年速度减少，北京以 18.58 km²/年速度减少，广州以 14.01 km²/年速度减少，而上海的植被以 4.39 km²/年速度减少，北京以 3.05 km²/年速度减少，广州以 0.91 km²/年速度减少；其水体在研究期内变化均较小。与中国三大城市不透水地表外部蔓延增长不同，美国三大城市近 30 年不透水地表在空间范围上表现为缓慢增长，其中，芝加哥平均增长速度最快，为 14.05 km²/年，纽约和洛杉矶分别以 3.90 km²/年和 1.78 km²/年的速度增长；同样，美国三大城市的其他用地也表现为递减趋势，但速度较慢；不同于中国城市的

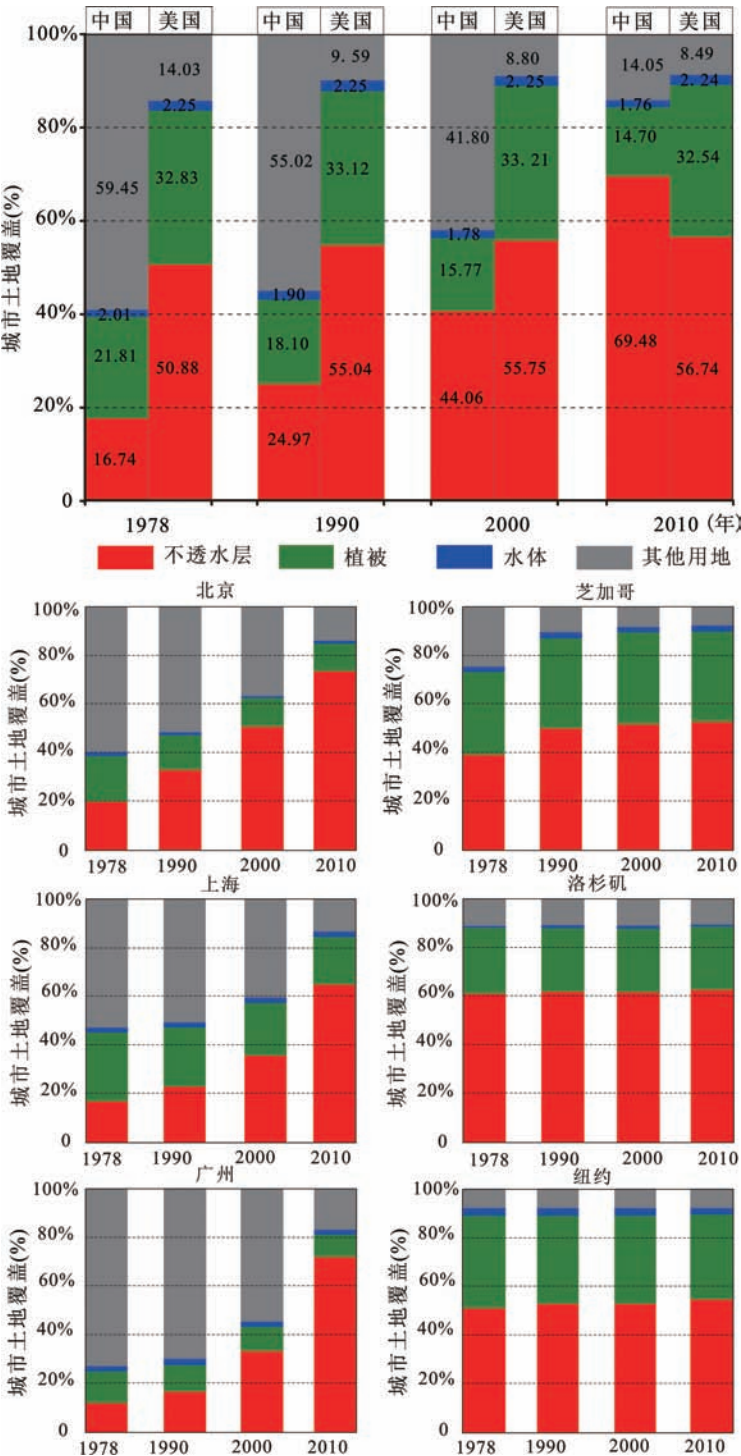


图4 1978-2010年中国与美国城市土地覆盖面积比例
Fig. 4 Percentage of intra-urban land cover in the cities of China and USA from 1978 to 2010

表 1 1978-2010 年中美六大城市土地覆盖类型面积变化 (km²)
Tab. 1 The change of intra-urban land cover in the cities of China and USA from 1978 to 2010 (km²)

城市土地覆盖类型	1978-1990 年		1990-2000 年		2000-2010 年		1978-2010 年	
	ΔS	ΔS'	ΔS	ΔS'	ΔS	ΔS'	ΔS	ΔS'
中国								
城市不透水	309.68	25.81	589.85	58.98	1083.98	108.40	1983.51	61.98
植被	-139.53	-11.63	-87.80	-8.78	-40.10	-4.01	-267.43	-8.36
水体	-3.90	-0.33	-4.63	-0.46	-0.55	-0.05	-9.08	-0.28
其他用地	-166.24	-13.85	-497.42	-49.74	-1043.34	-104.33	-1707.00	-53.34
美国								
城市不透水	447.87	37.32	76.48	7.65	106.76	10.68	631.12	19.72
植被	31.45	2.62	8.91	0.89	-72.34	-7.23	-31.98	-1.00
水体	-0.73	-0.06	-0.14	-0.01	-0.43	-0.04	-1.30	-0.04
其他用地	-478.60	-39.88	-85.26	-8.53	-33.99	-3.40	-597.84	-18.68
北京								
城市不透水	169.17	14.10	236.97	23.70	293.11	29.31	699.24	21.85
植被	-60.00	-5.00	-32.36	-3.24	-5.26	-0.53	-97.62	-3.05
水体	-3.47	-0.29	-3.19	-0.32	-0.46	-0.05	-7.11	-0.22
其他用地	-105.70	-8.81	-201.41	-20.14	-287.39	-28.74	-594.51	-18.58
广州								
城市不透水	37.88	3.16	132.92	13.29	307.92	30.79	478.72	14.96
植被	-15.19	-1.27	-8.90	-0.89	-5.13	-0.51	-29.22	-0.91
水体	-0.42	-0.03	-0.80	-0.08	-0.05	0.00	-1.27	-0.04
其他用地	-22.27	-1.86	-123.22	-12.32	-302.74	-30.27	-448.23	-14.01
上海								
城市不透水	102.63	8.55	219.96	22.00	482.96	48.30	805.55	25.17
植被	-64.34	-5.36	-46.54	-4.65	-29.71	-2.97	-140.58	-4.39
水体	-0.02	0.00	-0.64	-0.06	-0.04	0.00	-0.70	-0.02
其他用地	-38.27	-3.19	-172.78	-17.28	-453.21	-45.32	-664.26	-20.76
芝加哥								
城市不透水	359.53	29.96	61.25	6.13	28.68	2.87	449.47	14.05
植被	120.08	10.01	15.81	1.58	-20.11	-2.01	115.78	3.62
水体	-1.92	-0.16	-0.01	0.00	-0.13	-0.01	-2.06	-0.06
其他用地	-477.69	-39.81	-77.05	-7.71	-8.44	-0.84	-563.19	-17.60
洛杉矶								
城市不透水	31.21	2.60	6.39	0.64	19.36	1.94	56.97	1.78
植被	-21.35	-1.78	-9.36	-0.94	4.80	0.48	-25.91	-0.81
水体	1.28	0.11	-0.21	-0.02	-0.22	-0.02	0.85	0.03
其他用地	-11.14	-0.93	3.17	0.32	-23.94	-2.39	-31.90	-1.00
纽约								
城市不透水	57.13	4.76	8.84	0.88	58.72	5.87	124.69	3.90
植被	-67.28	-5.61	2.45	0.25	-57.03	-5.70	-121.85	-3.81
水体	-0.08	-0.01	0.08	0.01	-0.08	-0.01	-0.08	0.00
其他用地	10.24	0.85	-11.38	-1.14	-1.61	-0.16	-2.75	-0.09

注：城市土地覆盖类型面积的变化量ΔS与年均变化量ΔS'表示数量变化(数字为正表示面积增加，“-”表示面积减少)。

植被变化趋势，芝加哥植被面积变化呈现迅速增加到缓慢增加再到缓慢减少的趋势，近30年来整体以3.62 km²/年速度增加，洛杉矶植被变化则呈现出从减少到增加的态势，整体以0.81 km²/年速度缓慢减少，纽约植被变化呈现减少到增加再到减少的趋势，1978-2010年整体以3.81 km²/年速度减少；在研究期内美国三个城市的水体变化也不大。

4.3 中国与美国城市功能区土地覆盖差异特征

城市化过程提高了土地的使用价值，城市功能区结构的形成在很大程度上决定了城市土地覆盖结构组成，同时不同类型的城市具有不同的土地覆盖结构形式。本研究在分析中

国与美国六大城市土地覆盖结构的前提下,进一步分析与刻画在不同发展阶段各城市功能区的土地覆盖结构表现形式。地租地价理论即地价是随着离市中心距离的增加而降低,同时表现出中心区建筑物向高密度和高楼层发展,城市外围建筑物密度和高度随之降低。城市不透水地表作为反映建筑密度的重要表现形式,也是土地覆盖结构中最主要的组成部分,与城市发展关系密切。城市不透水密度由中心向四周渐次递减,由于不透水地表分布的不确定性,这种递减现象在特定空间上表现的并不规律。城市土地覆盖结构在满足城市发展与经济建设条件下表现为不同的城市功能区,在构建中国与美国六大城市土地覆盖结构的基础上,选取中国与美国城市功能区为分析对象,剖析不同发展阶段各功能区的土地覆盖结构。为了定量描述与区分中国与美国城市由于功能分区导致的内部结构差异,按照中心商业区、居住区与工业区3个功能区选择样本点(1 km×1 km),统计城市内部结构组份中的不透水地表与绿地比率(表2)。

美国中心商业区、居住区与郊区格局表现明显,表现在不透水地表具有较为明显的高、中、低密度格局;中国三大城市由于城市紧凑布局,功能区交叉混合布局,在城市内部没有明显的高低密度区分,高低密度区分只出现在城乡结合部或城郊。

CBD是城市主要的商业活动地区,一般位于城市的中心或核心地带,区内各种设施完善,例如甲级商业大厦、大型购物中心、政府及公共机构、康乐文娱设施等。此外,区内的可达度极高,公路干线、铁路、港口均设于区内的便利位置等,这使得该区建筑密度非常高。从表4可看出中国与美国六大城市不透水地表在CBD功能区均具有高密度特征,都接近或超过80%。其中,中国三大城市不透水地表密度略高于美国,但中国与美国城市内部的不透水层密度差异不明显。此外,中国与美国六大城市在该区的绿地占有比率都较低,除纽约与芝加哥外都不足10%。

居住区一般具有一定的人口和用地规模,并集中布置居住建筑、公共建筑、绿地、道路以及其他各种工程设施。公共绿地与房屋周围配置植被的存在使得居住区相较于CBD地区具有较高的绿地比率。中国与美国城市居住区的内部结构中不透水地表比率与绿地比率具有较大的差异。美国三大城市具备独立的城市居住功能区,住宅用地周围配置大量植被,同时公园植被与道路植被等公共绿地设施植被覆盖率较高;中国伴随着城市化进程加快与人口的集聚增长,在原有城市土地覆盖结构与功能类型的基础上,发展模式以居住区与商业区或工业区相嵌,致使建筑密度高,公共绿地配套面积有限,导致中国城市居住区植被覆盖比例较低。中国三大城市居住区不透水比率较高,均达65%以上,而植被面积比例相对较低,其中,上海城市居住区植被比例较低,仅占11%。相对比而言,美国三大城市居住区的不透水与绿地比率平均水平达5:3,土地覆盖结构植被面积占有较大比例。

工业区作为各种工业设施聚集的地区,具有配套的厂房、仓库、道路、码头等建筑设施与降污排废等绿化设施。通常该区域内呈现出高密度不透水地表与低绿地覆盖率

表2 中国与美国六大城市典型功能区采样信息
Tab. 2 Sampling sites in the typical urban function zones
in the six cities of China and USA

功能区	城市名称	中心坐标	区域名称
商业区	北京	116.462,39.909	国贸区域
	上海	121.438,31.195	徐家汇区域
	广州	113.321,23.120	珠江新城
	纽约	-73.984,40.746	曼哈顿
	芝加哥	-87.636,41.879	西尔斯大厦
	洛杉矶	-118.149,34.147	帕莎迪纳老城区
居住区	北京	116.328,40.061	回龙观
	上海	121.379,31.112	闵行区
	广州	113.322,22.968	祈福新邨
	洛杉矶	-118.106,34.094	圣盖博
	纽约	-73.951,40.626	集中居住区
	芝加哥	-87.754,41.930	格林威治村
工业区	北京	116.461,39.810	亦庄红星光源工业园区
	上海	121.620,31.262	金陵金桥工业园区
	广州	113.522,23.137	萝岗区云埔工业区
	芝加哥	-87.630,41.884	芝加哥卢普区
	纽约	-73.970,40.697	布鲁克林
	洛杉矶	-118.165,34.045	西雅图南部工业区

状态。根据表3与图5分析可知, 中国与美国六大城市的城市工业区的不透水地表与绿地比率差异较大, 美国三大城市工业区植被与裸土所占面积较少, 不透水比例高; 而中国城市受区位和地价的影响, 工业区一般位于郊区, 不透水地表面积比例相对较低。

本研究对中国与美国六大城市典型功能区的分析表明, 商业用地 (CBD) 不透水比例最高, 居住区与工业区不透水比例相对较低; 对中国与美国六大城市典型功能区分析样本不透水与植被数据的分析表明, 相同功能区的不透水与植被比例在统计上存在显著性差异, CBD不透水比例中国 (0.81~0.83) 高于美国 (0.76~0.78), 植被比例中国 (0.06~0.08) 低于美国 (0.09~0.18); 住宅用地不透水比例中国 (0.62~0.68) 高于美国 (0.45~0.52), 绿地美国所占比例高 (0.28~0.36); 工业用地不透水比例美国 (0.72~0.76) 高于中国 (0.60~0.63), 中国绿地所占比例较高 (0.05~0.07)。

表3 2010年中美六大城市主要功能区城市不透水与植被结构比例
Tab. 3 The percentage of impervious surface and vegetation cover from dominant urban function zones in the cities of China and USA in 2010

城市功能区	覆盖类型	上海	北京	广州	纽约	洛杉矶	芝加哥
商业区	不透水地表	0.83	0.83	0.81	0.78	0.78	0.76
	植被	0.08	0.08	0.06	0.18	0.09	0.15
居住区	不透水地表	0.68	0.65	0.62	0.45	0.52	0.56
	植被	0.16	0.11	0.15	0.36	0.28	0.32
工业区	不透水地表	0.60	0.63	0.61	0.76	0.74	0.72
	植被	0.07	0.06	0.05	0.03	0.02	0.02

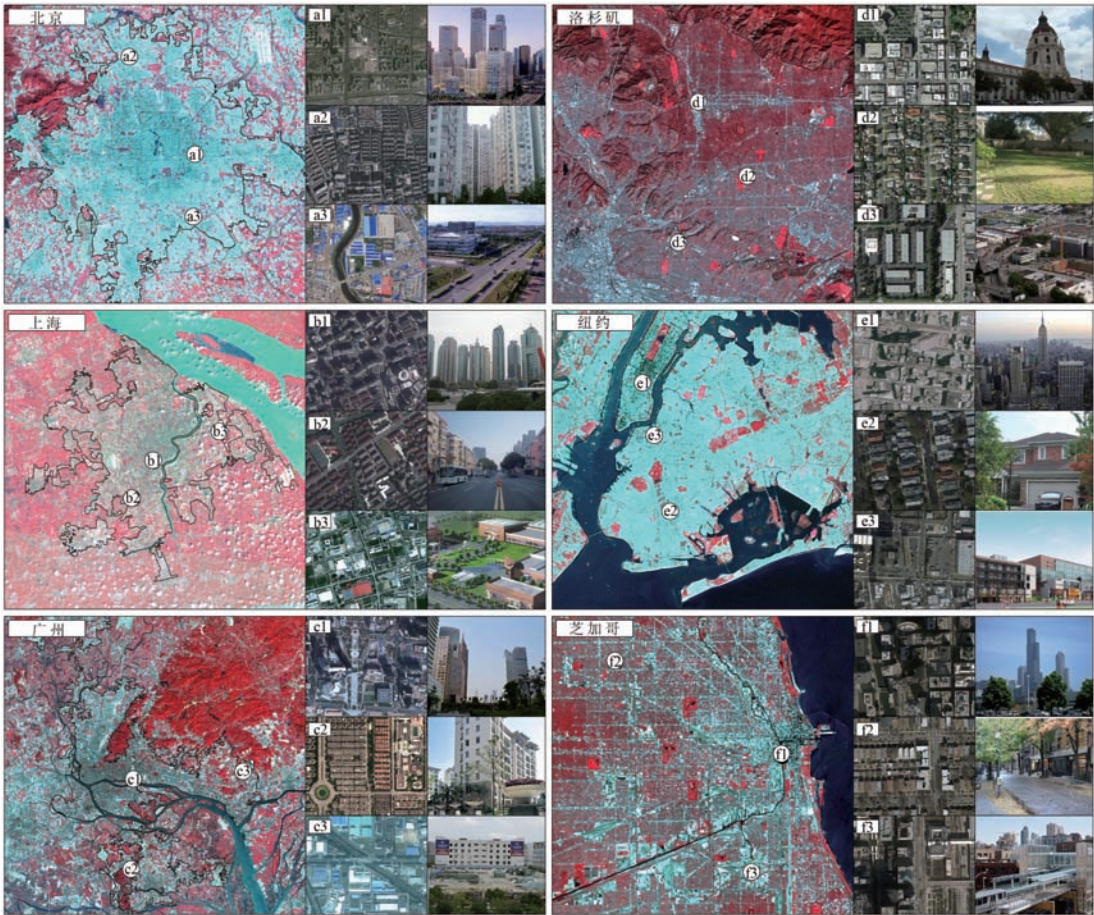


图5 中国与美国城市3大主要功能区土地覆盖影像特征

Fig. 5 Image characteristics of urban function zones in the cities of China and USA

5 结论与讨论

5.1 讨论

中国与美国国情的差异使得两国在城市规划制定过程中执行的具体方针政策不同。美国城市规划的实施具体操作大多是由地方政府来完成,但地方政府在制定规划时也会受到联邦政府和州政府的影响。美国城市发展形成以汽车为主导、低密度的城市开发模式,城市化迅速向郊区“摊大饼”式和“跳跃”式的扩张。中国政府引导和调控城市建设的最直接手段是通过城市规划总体规划纲要,确定城市的定位、目标,为城市“定量”——主要通过实施性规划(控制性详细规划和土地利用规划),确定城市的框架和结构。中国城市在20世纪90年代主要以集聚式增长模式为主,进入21世纪近10年以来城市蔓延蛙跳式增长态势更加明显。中国城市不透水地表受政策因素,特别是城市规划的影响。北京、上海与广州的城市不透水地表受中国传统的城市规划思想影响,都由市中心的旧城区圈层式向外发展,往往呈现出“摊大饼”态势,总体呈现紧凑分布。国外受田园城市规划思想影响,城市规划注重分散布局,不透水层也随之呈现松散分布。另外中国城市不透水地表扩张也受到改革开放政策影响。从不透水层增长情况来看,中国三大城市都经历了1978年后快速增长的态势。

随着城市化进程的加快,人口增长成为城市土地利用需求增加的主要驱动因素。城市不透水地表作为城市土地利用中的主要类型,也必然会受到城市人口数量的直接影响。经济因素主要影响不透水层的空间扩张方向。根据地租地价理论,经济的发展使得市场化的土地供给出现分化,城市地价从中心向外逐渐递减,城市土地价格在整体上呈现出随着离中心城区距离的增加而逐渐下降的趋势。因此,地租差异产生的杠杆作用使得相对低廉的城市外围区成为不透水层空间发展的主要方向。经济发展阶段与水平在很大程度上影响不透水层的生长水平。中国是发展中国家,城市经济仍处于较低水平,这一阶段经济发展速度快、潜力大。受经济发展的拉动,城市化进程加快推进,使得不透水层也随之快速扩张蔓延。美国是发达国家,城市经济水平高,城市化进程放缓或已经结束,受经济驱动影响不大。

5.2 结论

基于中国与美国城市土地覆盖结构变化与差异对比分析,揭示不同社会发展阶段(中国与美国分别代表发展中国家和发达国家)的土地覆盖结构存在的差异。通过国际比较,分析了中国与美国六大城市近30多年不透水层扩张动态格局,阐述了中国三大城市不透水整体呈现高速增长态势,反映出快速城市化过程中城市空间连续扩张(“摊大饼”)格局;相对比而言,美国三大城市不透水在近30多年变化缓慢,扩张格局呈内部“填充”模式。过去30多年来中国三大城市与美国相比,具有更快的城市扩展速度,中国以相对紧凑形态发展,美国城市不透水格局呈离散状态,美国三大城市植被所占的比例是中国的2.21倍。

通过六大城市土地覆盖结构不同时间段分析,表明中国三大城市土地覆盖结构变化以2000以来最为突出,主要表现为城市的扩张与其他用地的锐减;美国三大城市土地覆盖结构尤其是城市不透水地表扩张集中表现在1978-1990年。近30多年,中国三大城市不透水面积增长速度是美国的3.14倍,中国三大城市不透水地表面积扩张速度上海表现突出,北京次之;美国三大城市不透水地表面积呈缓慢态势,芝加哥平均增长速度最快。中国三大城市的其他用地面积表现出随时间大幅减少的态势;美国三大城市的其他用地也表现为递减趋势,但速度较慢。

基于中国与美国六大城市土地覆盖结构数据的构建,选取城市典型功能区,通过国际

对比, 分析出相同功能区不同发展阶段城市不透水与植被比例结构存在较大差异。中国三大城市不透水地表密度总体上具有中心高密度、四周低密度的圈层化分布格局, 高低密度明显分异只出现在城乡结合部; 美国三大城市不透水地表密度具有按功能区分化的现象, 即高密度中心商业区、中密度居住区、低密度城郊区。

参考文献 (References)

- [1] McGranahan G, Balk D, Anderson B. The rising tide: Assessing the risks of climate change and human settlements in low elevation coastal zones. *Environment and Urbanization*, 2007, 19(1): 17-37.
- [2] Grimm N B, Faeth S H, Golubiewski N B et al. Global change and the ecology of cities. *Science*, 2008, 319(5864): 756-760.
- [3] Alberti M. Maintaining ecological integrity and sustaining ecosystem function in urban areas. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 2010, 2(3): 178-184.
- [4] Grimmond C, Blackett M, Best M et al. The international urban energy balance models comparison project: First results from phase 1. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 2010, 49(6): 1268-1292.
- [5] Seto K C, Guneralp B, Hutya L R. Global forecasts of urban expansion to 2030 and direct impacts on biodiversity and carbon pools. *PNAS*, 2012, 109(40): 16083-16088.
- [6] Van De Voorde T, Jacquet W, Canters F. Mapping form and function in urban areas: An approach based on urban metrics and continuous impervious surface data. *Landscape and Urban Planning*, 2011, 102(3): 143-155.
- [7] Oke T R. The energetic basis of the urban heat island. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 1982, 108 (455): 1-24.
- [8] Goldbach A, Kuttler W. Quantification of turbulent heat fluxes for adaptation strategies within urban planning. *International Journal of Climatology*, 2012, 33(1): 143-159.
- [9] Laaidi K, Zeghnoun A, Dousset B et al. The impact of heat islands on mortality in Paris during the August 2003 Heat Wave. *Environment Health Perspectives*, 2012, 120(2): 254-259.
- [10] Millennium Ecosystem Assessment. *Ecosystems and Human Wellbeing: A Framework for Assessment*. Washington, DC: Island Press, 2003.
- [11] Kuang Wenhui. Simulating dynamic urban expansion at regional scale in Beijing-Tianjin-Tangshan Metropolitan Area. *Journal of Geographical Sciences*, 2011, 21(1): 317-330. [匡文慧. 区域尺度城市增长时空动态模型及其在京津唐都市圈应用. *地理学报*, 2011, 21(1): 317-330.]
- [12] Arnold C L, Gibbons C J. Impervious surface coverage: The emergence of a key environmental indicator. *Journal of the American Planning Association*, 1996, 62(2): 243-258.
- [13] Lu D, Moran E, Hetrick S. Detection of impervious surface change with multitemporal Landsat images in an urban-rural frontier. *ISPRS Journal of Photogrammetry Remote Sensing*, 2011, 66(3): 298-306.
- [14] Wolf K M. Public response to the urban forest in inner-city business districts. *Journal of Arboriculture*, 2003, 29(3): 117-126.
- [15] Nowak D J, Dwyer J F. *Understanding the benefits and costs of urban forest ecosystems*/Kuser J. *Urban and Community Forestry in the Northeast*. New York: Springer Science and Business Media, 2007: 25-46.
- [16] Byomkesh T, Nakagoshi N, Dewan A M. Urbanization and green space dynamics in Greater Dhaka, Bangladesh. *Landscape and Ecological Engineering*, 2012, 8(1): 45-58.
- [17] Zhang Renhua. *Quantity Infrared Remote Sensing Model and the Ground Experiment Base*. Beijing: Science Press, 2009. [张仁华. 定量热红外遥感模型及地面实验基础. 北京: 科学出版社, 2009.]
- [18] Yuan F, Bauer M E. Comparison of impervious surface area and normalized difference vegetation index as indicators of surface urban heat island effects in Landsat imagery. *Remote Sensing of Environment*, 2007, 106(3): 375-386.
- [19] Tong X, Lin C, Lu W et al. Environmental impacts of surface mining on mined lands, affected streams and agricultural lands in the Dabaoshan Mine region, southern china. *Journal of Land Degradation & Development*, 2005, 16(5): 463-474.
- [20] Ashie Y, Ca VT, Asaeda T. Development of a numerical model for the evaluation of the urban thermal environment. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 1999, 81: 181-196.
- [21] Nowak D J, Greenfield E J. Tree and impervious cover in the United States. *Landscape and Urban Planning*, 2012, 107 (1): 21-30.
- [22] Kuang W H, Liu J Y, Zhang Z X et al. Spatiotemporal dynamics of impervious surface areas across China during the early 21st century. *Chinese Science Bulletin*, 2013, 58: 1-11.

- [23] Yue Wenze, Xu Jianhua, Xu Lihua. An analysis on eco-environment effect of urban land use based on remote sensing images. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(5): 1450-1460. [岳文泽, 徐建华, 徐丽华. 基于遥感影像的城市土地利用生态环境效应研究. *生态学报*, 2006, 26(5): 1450-1460.]
- [24] Ying Tianyu, Li Mingze, Fan Wenyi et al. Analysis of urban forests and heat island effect based on GIS. *Journal of Northeast Forestry University*, 2010, 38(8): 63-67. [应天玉, 李明泽, 范文义 等. 基于GIS技术的城市森林与热岛效应的分析. *东北林业大学学报*, 2010, 38(8): 63-67.]
- [25] Kuang W H. Evaluating impervious surface growth and its impacts on water environment in Beijing-Tianjin-Tangshan Metropolitan Area. *Journal of Geographical Sciences*, 2012, 22(3): 535-547.
- [26] Kuang W H. Spatio-temporal patterns of intra-urban land use change in Beijing, China between 1984 and 2008. *Chinese Geographical Science*, 2012, 22(2): 210-220.
- [27] Sexton J O, Song X-P, Huang C et al. Urban growth of the Washington, D.C.-Baltimore, MD metropolitan region from 1984 to 2010 by annual, Landsat-based estimates of impervious cover. *Remote Sensing of Environment*, 2013, 129: 42-53.
- [28] Wang Xiuxin, Zhu Qijiang, Chen Shenghai et al. Analysis of water, heat and CO₂ fluxes on urban green space. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(8): 3232-3239. [王修信, 朱启疆, 陈声海 等. 城市公园绿地水、热与CO₂通量观测与分析. *生态学报*, 2007, 27(8): 3232-3239.]
- [29] Potchter O, Cohen P, Bitan et al. Climatic behavior of various urban parks during hot and humid summer in the Mediterranean city of Tel Aviv, Israel. *International Journal of Climatology*, 2006, 26(12): 1695-1711.
- [30] Kuang Wenhui, Zhang Shuwen, Liu Jiuyan et al. Methodology for classifying and detecting intra-urban land use change: A case study of Changchun city during the last 100 years. *Journal of Remote Sensing*, 2010, 14(2): 345-355. [匡文慧, 张树文, 刘纪远 等. 城市用地空间信息分类与数字重建: 以长春百年城市内部用地变化为例. *遥感学报*, 2010, 14(2): 345-355.]

Spatio-temporal characteristics of intra-urban land cover in the cities of China and USA from 1978 to 2010

KUANG Wenhui¹, CHI Wenfeng^{1,2}, SHI Wenjiao¹

(1. *Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China;*

2. *University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)*

Abstract: Urban land cover has major impacts on urban ecosystem service and inhabitant living environment. Chinese cities' spatio-temporal distribution of impervious surface area and green land shows more remarkable differences than that of USA. This study focused on monitoring and comparing the spatio-temporal dynamics, land cover patterns and characteristics of urban functional regions in six cities located in China and USA, based on Landsat TM/MSS images obtained in 1978, 1990, 2000 and 2010. The study indicated that the three major cities in China were developing with compact forms, but the three major cities of USA have presented dispersed forms during the past 30 years. The proportion of vegetation land of the three cities in the USA was as much as 2.21 times of that in the three China's cities. Land use types of Chinese cities are more complicated with a higher density of impervious surface area. In contrast, the CBD and living areas of American cities were covered by low impervious surface area and high rate of green land, which were relatively independent. This study can make contribution to urban planning and administration for both China and USA.

Key words: urban structure; impervious surface; green land; China; USA; remote sensing