

马默衡,薛飞,党安荣,等. 基于动态遥感数据的北京主城区环带间植被覆盖变化[J]. 环境工程技术学报,2019,9(4):404-413.

MA M H, XUE F, DANG A R, et al. Study on the spatial-temporal change of vegetation coverage between the belts of Beijing's main urban area based on dynamic remote sensing data[J]. Journal of Environmental Engineering Technology, 2019, 9(4):404-413.

基于动态遥感数据的北京主城区环带间植被覆盖变化

马默衡¹, 薛飞^{1*}, 党安荣², 李雪草³, 胡腾云⁴

1. 北京工业大学建筑与城市规划学院, 北京 100124

2. 清华大学建筑学院, 北京 100084

3. Iowa State University, Iowa 50011

4. 北京市城市规划设计研究院, 北京 100045

摘要 20世纪80年代以来,北京市进入高速城市化进程,主城区(六环内)植被覆盖发生了巨大变化。分别利用1984年、1995年、2004年和2014年的8—9月北京六环内的Landsat遥感数据,对其进行辐射定标、大气校正和拼接裁剪,以计算归一化植被指数(NDVI),获取3个10年间和各环带植被覆盖面积及覆盖度的变化。结果显示:六环内植被覆盖度由1984年的76.80%(1 742.44 km²)降至2014年的48.73%(1 105.61 km²)。虽然2014年与1984年相比二环内和二环至三环植被覆盖度分别增加8.43和4.33个百分点,但三环至四环、四环至五环、五环至六环植被覆盖度降幅逐渐增大,降幅分别为12.23、27.62、32.97个百分点。建议通过空间规划手段为不同环带间以植被覆盖为代表的城市生态系统建设提供差异化思路:如三环内应结合城市精细化治理为核心区留白增绿,见缝插绿;三环至五环间随着城市建设趋于稳定,为中型城市生态空间的增建带来机遇;五环至六环间可结合百万亩造林,增加都市农田等方式,建设多种类大型城市绿色空间,进而综合提升北京主城区城市生态系统服务功能。

关键词 城市植被遥感;城市绿色空间;城市生态系统服务;风景园林;城市绿地系统

中图分类号:X321 文章编号:1674-991X(2019)04-0404-10 doi:10.12153/j.issn.1674-991X.2019.05.141

Study on the spatial-temporal change of vegetation coverage between the belts of Beijing's main urban area based on dynamic remote sensing data

MA Moheng¹, XUE Fei^{1*}, DANG Anrong², LI Xuecao³, HU Tengyun⁴

1. College of Architecture and Urban planning, Beijing University of Technology, Beijing 100124, China

2. School of Architecture, Tsinghua University, Beijing 100084, China

3. Iowa State University, Iowa 50011, USA

4. Beijing Municipal Institute of City Planning and Design, Beijing 100045, China

Abstract Beijing has been undergoing rapid urbanization since 1980s. A tremendous change in vegetation coverage can be observed in main city area (the 6th-Ring Road). Based on the Landsat remote sensing database collected during the periods of August or September in 1984, 1995, 2004 and 2014 respectively, a comprehensive study on radiometric calibration, atmospheric correction, and splicing combined with cutting in the 6th-Ring Road of Beijing was carried out. By using NDVI and other methods, the change of vegetation coverage over the three

收稿日期:2019-04-10

基金项目:2019年度北京市教育委员会科技计划一般项目(KM201910005006);2018年度北京工业大学基础研究基金项目(012000546319507);北京工业大学国际科研合作种子基金项目(012000514119003);内涵发展定额课程和教材建设优质教学资源立项项目(012000514118509);博士科研启动基金项目(110000514119014)

作者简介:马默衡(1997—),男,主要从事城乡规划技术研究,mamoheng@sina.com

* 责任作者:薛飞(1980—),男,讲师,博士,研究方向为城市生态系统服务与规划设计,xuefei@bjut.edu.cn

decades of each ring was obtained. The results indicated that the percentage of internal vegetation coverage decreased from 76.80% (1 742.44 km²) to 48.73% (1 105.61 km²) in three decades from 1984. The vegetation coverage in the 2nd-Ring road and to the 3rd-Ring road increased by 8.43 and 4.33 percentage point respectively in 2014 and 1984, however the vegetation coverage outside of the 3rd-Ring decreased growing, which was 12.23, 27.62, 32.97 percentage point respectively. Research conclusion include that it is necessary to propose differentiation ideas on urban ecosystem construction, e. g., vegetation coverage between different zones through spatial planning means. The inner 3rd-Ring Road demands urban fine governance aiming to encourage the development of green space rather than building areas. As the urban construction between the third to the 5th-Ring Road tends to stabilize, more opportunities appear for the expansion of the medium-sized urban ecological space. Moreover, the afforestation of million acres and the increase of urban farmland could be accomplished for 5th-Ring and 6th-Ring Road. Through these planning approaches, it is expected to build a variety of urban green spaces system, and furthermore, comprehensively enhance the urban ecosystem services of Beijing's main urban area.

Key words urban vegetation remote sensing; urban green space; urban ecosystem services; landscape; urban green space system

植被覆盖变化是衡量城市生态状况和推进城市生态景观规划的重要基础。土地利用变化,尤其是人类活动驱动下的土地利用变化直接改变植被覆盖,从而影响区域生态质量^[1]。基于动态遥感影像数据的历时性植被覆盖变迁可以反映一个城市发展变化和城市中生态空间变迁的情况^[2]。当前基于卫星遥感数据处理的归一化植被指数(NDVI)已成为地表植被覆盖研究的主流手段^[3]。NDVI通过反映光合作用有效辐射,指示植被的初级生产力,是反映地表植被状况的良好指标^[4]。

目前国内外研究者在基于NDVI的植被覆盖动态研究方面已经开展了大量的工作。如孙晓鹏等^[4]结合高程与坡度对北京奥运前后Landsat影像植被覆盖展开了对比研究;王静等^[1,5]利用MODIS数据对京津冀植被覆盖度和利用高分遥感影像对北京植被覆盖展开了量化研究;李卓等^[6]对京津冀城市群展开了植被覆盖度动态时空分析研究;Li等^[7-8]利用Landsat及多元数据对北京进行30年城市年变化和聚居地范围的研究;晏利斌等^[9]利用NDVI与气温和降水交叉研究了京津冀地区植被变化关系;胡勇等^[10]对北京山区1979—2009年的植被覆盖进行了遥感监测和生态恢复相关的研究。此外,国内研究者对城市生态环境建设也展开了一定数量的研究,如韩璐等^[11]对生态文明规划方案制定的研究;张型芳等^[12]对北京城市的土地资源环境承载力的指标体系构建的研究。还有对城市乃至城市中心地区植被覆盖的动态研究,如陈云浩等^[13]针

对北京海淀区的植被覆盖进行了详细的动态研究。由于我国各地区社会经济发展存在差异,精准分析特定区域生态环境的特点是建设该地区生态环境的必然选择^[11]。就北京而言,6个城市快速环路已经成为人们认知北京主城区的重要空间参照,而对这一范围内分环带的历时性的植被覆盖研究较为缺乏。笔者利用Landsat遥感影像针对北京市六环内NDVI植被覆盖情况开展历时性研究,从植被覆盖面积、覆盖度、位置及时空变化来探讨北京30年间主城区(六环内)植被覆盖与城市发展之间的关系,以期在北京城市生态规划及景观规划提供基础资料,并为提高城市宜居性、可持续发展及绿色发展提供科学依据。

1 数据与方法

1.1 研究区域概况

北京位于我国华北地区北京小平原,39°38'N~41°51'N,115°25'E~117°30'E,市域面积约为16 400 km²。北京气候属温带半湿润季风大陆性气候,常住人口约为2 152万人(2014年北京统计年鉴)。主城区(六环内)面积约为2 268 km²。北京市作为我国首都具有重要的政治、文化、国际交流和科技创新功能。随着北京城市发展和人类活动增加的影响,六环内逐渐成为北京城市主要的建设和发展区域,可以作为典型的生态研究区。北京二环(全长32.7 km,1992年连通)、三环(全长48.3 km,1999年连通)、四环(全长65.3 km,2001年连通)、

五环(全长 98.58 km, 2003 年建成)、六环(全长 187.6 km, 2009 年贯通)在 17 年间陆续建成通车。

1.2 研究数据

遥感数据来源于美国 USGS 网站提供的 Landsat 系列 30 m 空间分辨率的遥感影像数据。为了反映出研究区最佳的植被覆盖,在了解北京自然物候及气候特征的基础上,选择了一年种植物生长季较为稳定且晴空条件较多的 8 月和 9 月的数据。考虑植被生长周期和城市扩张速度,按照接近 10 年的间隔选择 1984 年、1995 年(1994 年相近时间数据有条带损坏)、2004 年和 2014 年 4 个时间截面。分别选择云量占比非常低且无条带损坏的 Landsat5(1984 年 8 月 16 日、1995 年 9 月 16 日)、Landsat7(2004 年 9 月 8 日)、Landsat8(2014 年 9 月 4 日)影像数据进行研究(表 1)。

表 1 地表覆盖类型分类精度评价

Table 1 Classification accuracy evaluation of land cover types

年份	地物	混淆矩阵		分类精度/%
		植被	非植被	
1984 年	植被	103	14	88.03
	非植被	8	25	75.76
1995 年	植被	92	7	92.93
	非植被	4	47	92.16
2004 年	植被	82	6	93.18
	非植被	7	55	88.71
2014 年	植被	71	4	94.67
	非植被	3	72	96.00

1.3 研究方法

对遥感影像进行预处理,包括辐射定标、大气校正和拼接裁剪。首先对图像进行辐射定标,将图像的 DN 值转化为辐亮度;其次利用 6S 模型进行大气校正,消除大气和光照等因素对地物反射的影响,获得地物真实的反射及辐射参数^[15];最后按照研究区六环内进行拼接和裁剪。

在此基础上使用 ENVI 5.0 遥感软件计算 NDVI。NDVI 可以反映植被在可见光、近红外 2 个波段和其他地物在反射、辐射等方面的光学差异,被广泛应用于地表植被识别与动态监测等领域^[16-17]。其计算公式如下:

$$NDVI = (R_{nir} - R_r) / (R_{nir} + R_r) \quad (1)$$

式中: R_{nir} 为近红外波段反射率; R_r 为红外波段反射

率。NDVI 会随季节、湿度、温度的变化而变化,NDVI 介于 $-1 \sim 1$,将 $NDVI > 0.2$ ^[14]的区域作为植被覆盖区像元面积,其余区域作为非植被覆盖的其他土地。分别在 1984 年、1995 年、2004 年和 2014 年的植被/非植被覆盖分类图像中随机选取 150 个像元,目视判读 Google Earth 高分历史影像(12 级,空间分辨率为 1.19 m),判断高分影像中上述像元对应的地表覆盖类型,以此评估基于 NDVI 的地表覆盖类型分类精度(表 1)。评估结果显示,本研究在 4 个时间截面上的地表覆盖类型分类精度均较高,选取 0.2 作为 NDVI 的植被提取阈值可行且合理。

在此基础上,利用 ArcMap10.2 中的 Raster Analysis 工具,将 2 个年份间的 NDVI 进行乘 10 倍求和的差值计算。如用 1984 年影像像元中的 NDVI 乘以 10 再加 1995 年 NDVI,以此类推,分别计算出代表植被覆盖未变、植被转为其他土地覆盖、其他土地覆盖转为植被、其他土地覆盖未变 4 类像元的面积分布。再利用二环内、二环至三环、三环至四环、四环至五环、五环至六环间的 5 个面域进行切割,得到 1984—1995 年的 11 年、1995—2004 年的 9 年、2004—2014 年的 10 年以及 1984—2014 年的 30 年间植被覆盖变化情况。

2 结果与分析

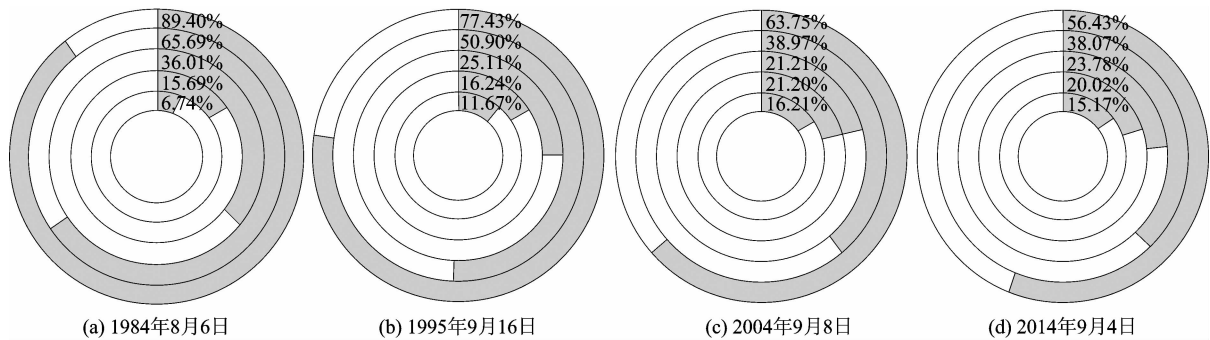
2.1 4 个时间节点北京各环带内植被覆盖状况

1984 年 8 月 16 日、1995 年 9 月 16 日、2004 年 9 月 8 日、2014 年 9 月 4 日的植被覆盖分布显示(表 2、图 1 和图 2),各环线内植被越靠近城市中心覆盖度越低。其中,2014 年 9 月 8 日植被覆盖总面积最小,为 $1\,105.61 \text{ km}^2$,1984 年 8 月 16 日植被覆盖总面积最大,为 $1\,742.44 \text{ km}^2$ 。不同环线的植被覆盖情况具有不同特点:三环至四环、四环至五环、五环至六环,1984 年 8 月 16 日的植被覆盖面积最大,分别为 51.70 km^2 (覆盖度为 36.01%)、 239.66 km^2 (覆盖度为 65.69%)和 $1\,431.77 \text{ km}^2$ (覆盖度为 89.40%);二环内、二环至三环,2014 年 9 月 8 日的植被覆盖面积最大,分别为 9.49 km^2 (覆盖度为 15.17%)和 19.25 km^2 (覆盖度为 20.02%)。

表2 1984年、1995年、2004年、2014年北京六环内植被覆盖面积与比例

Table 2 Vegetation coverage and proportion distribution within Beijing 6th-Ring Road, 1984/1995/2004/2014

位置	1984年8月16日		1995年9月16日		2004年9月8日		2014年9月4日	
	面积/km ²	覆盖度/%	面积/km ²	覆盖度/%	面积/km ²	覆盖度/%	面积/km ²	覆盖度/%
二环内	4.22	6.74	7.30	11.67	10.14	16.21	9.49	15.17
二环至三环	15.09	15.69	15.62	16.24	20.39	21.20	19.25	20.02
三环至四环	51.70	36.01	36.05	25.11	30.46	21.21	34.15	23.78
四环至五环	239.66	65.69	185.68	50.90	142.16	38.97	138.90	38.07
五环至六环	1 431.77	89.40	1 240.09	77.43	1 021.02	63.75	903.82	56.43
合计	1 742.44	76.80	1 484.74	65.45	1 224.17	53.96	1 105.61	48.73



注:环线由内向外依次代表二环内、二环至三环、三环至四环、四环至五环、五环至六环。

图1 北京六环内植被覆盖度分环统计

Fig. 1 Statistics of the distribution of vegetation area indicators within the 6th-Ring Road of Beijing

2.2 30年间北京六环内植被覆盖变化

2.2.1 随时间的变化

由表2可见,1984—2014年间,北京六环内的植被覆盖面积从1 742.44 km²降到1 105.61 km²,覆盖度从76.80%降至48.73%,面积总计减少636.83 km²,30年平均下降速度为21.23 km²/a。其中1995—2004年下降速度最快,为28.95 km²/a,2004—2014年下降速度趋缓,为11.86 km²/a。

2.2.2 各环带变化

从各环带1984—2014年植被覆盖度来看,二环内和二环至三环2014年9月4日相比1984年8月16日植被覆盖度分别增加了8.43和4.33个百分点,30年间平均每年分别增加17.56和13.87 hm²。而随着远离城市中心,三环至四环、四环至五环、五环至六环植被覆盖度降幅逐渐增大,分别为12.23、27.62和32.97个百分点;同样这些环带30年间植被覆盖面积的平均下降速度也是随着远离城市中心而逐渐增大,分别为58.50、335.87、1 759.83 hm²/a。

2.2.3 土地覆盖类型变化

1984—2014年每个时相植被覆盖未变、植被转为其他土地覆盖、其他土地覆盖转为植被、其他土地

覆盖未变4种土地覆盖类型的面积变化,结果如表3和图3所示。对比1984年8月16日和2014年9月4日的植被覆盖变化,六环内整体植被覆盖度只有42.99%,其中33.82%的面积由植被转为其他土地覆盖(“由绿转灰”),17.42%的面积由其他土地覆盖未变。分项来看,植被覆盖未变的面积二环内和二环至三环只有5.07%和5.91%,五环至六环该数值为52.85%。在植被覆盖被改变的面积中,二环内和二环至三环仅损失1.68%和9.78%,但三环外出现明显的植被覆盖缩减;由于越向外围环带面积越大,实际损失的植被面积逐步扩大,如三环至四环为36.74 km²(占25.59%),四环至五环为134.60 km²(占36.89%),五环至六环为585.42 km²(占36.55%)。其他土地覆盖转为植被(“复绿”)的情况在四环以内明显好于外部,如二环内面积为6.32 km²(占10.10%);二环至三环面积为13.58 km²(占14.12%);三环至四环为19.17 km²(占13.35%),但是由于四环外围面积增大,“复绿”的比例较少。其他土地覆盖未变由外环到中心占比逐步增大,但面积随着各环带的基数减小而变小。其中五环至六环30年间只有6.98%的面积一直维持

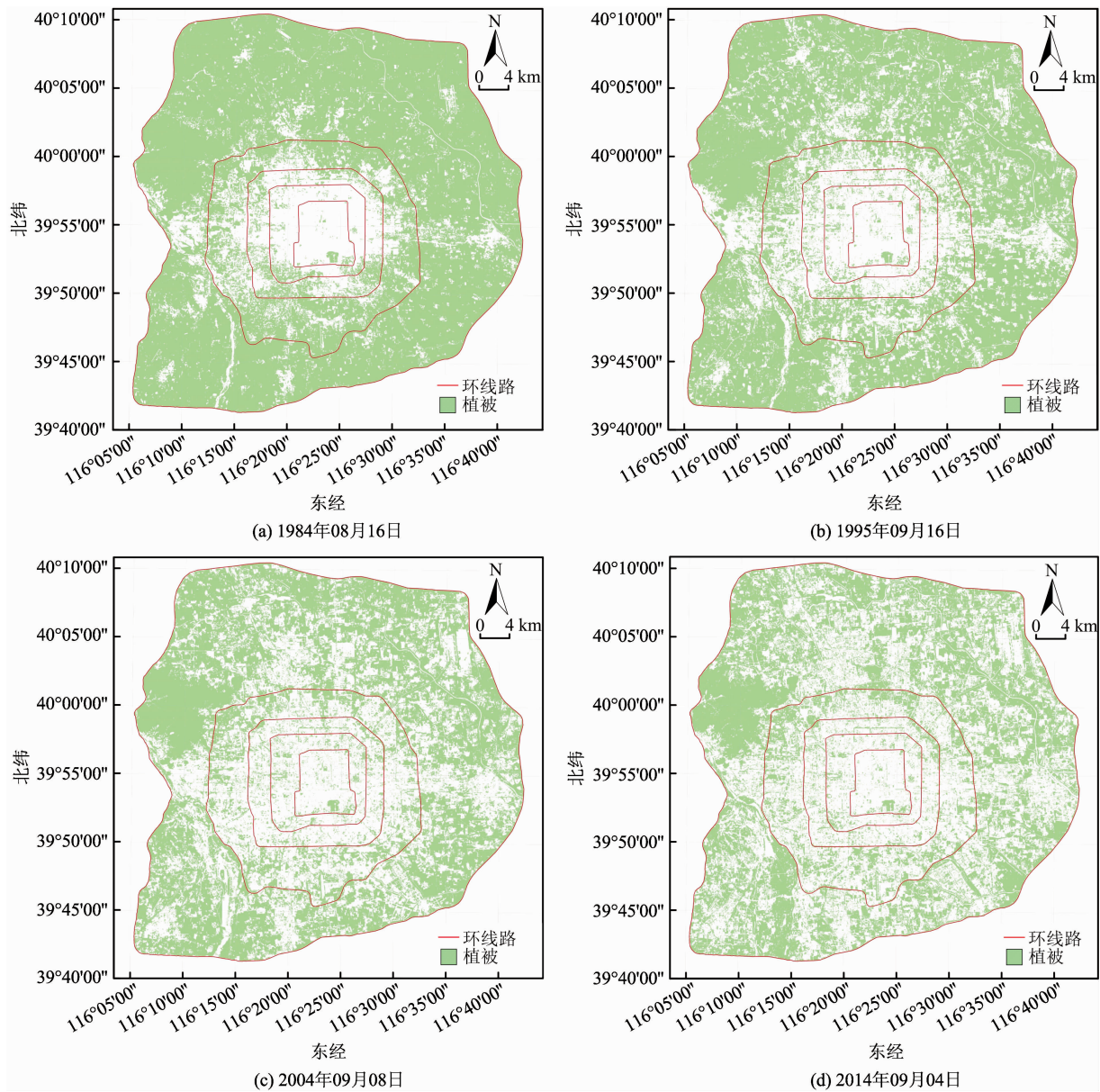


图 2 北京六环内植被覆盖情况

Fig. 2 Vegetation coverage in 6th-Ring Road of Beijing

表 3 1984—2014 年北京六环内各环带植被覆盖面积与比例

Table 3 Statistics of vegetation coverage change area and proportion distribution of each loop within Beijing 6th-Ring Road from 1984 to 2014

位置	植被覆盖未变		植被转为其他土地覆盖		其他土地覆盖转为植被		其他土地覆盖未变	
	面积/km ²	占比/%	面积/km ²	占比/%	面积/km ²	占比/%	面积/km ²	占比/%
二环内	3.17	5.07	1.05	1.68	6.32	10.10	52.05	83.19
二环至三环	5.68	5.91	9.41	9.78	13.58	14.12	67.53	70.22
三环至四环	14.97	10.43	36.74	25.59	19.17	13.35	72.64	50.59
四环至五环	105.07	28.80	134.60	36.89	33.72	9.24	91.21	25.00
五环至六环	846.35	52.85	585.42	36.55	57.05	3.56	111.80	6.98
合计	975.24	42.99	767.22	33.82	129.84	5.72	395.23	17.42

其他土地覆盖未变。

由表3可见,各环带的植被覆盖情况为:二环内绝对大部分面积为其他土地覆盖未变;二环至三环“复绿”的面积多于“由绿转灰”(4.34个百分点),但非植被覆盖的面积为70.22%;三环至四环其他土地覆盖未变面积占50.59%,而有25.59%的面积为“由绿转灰”;四环外的情况显示植被转为其他土地覆盖的趋势非常强,四环至五环为36.89%,五环至六环为36.55%,而其各自保留的植被面积较为有限,分别为28.80%和52.85%。

2.3 每10年间北京六环内植被覆盖变化情况

2.3.1 1984—1995年

1984—1995年北京市六环内植被覆盖变化见

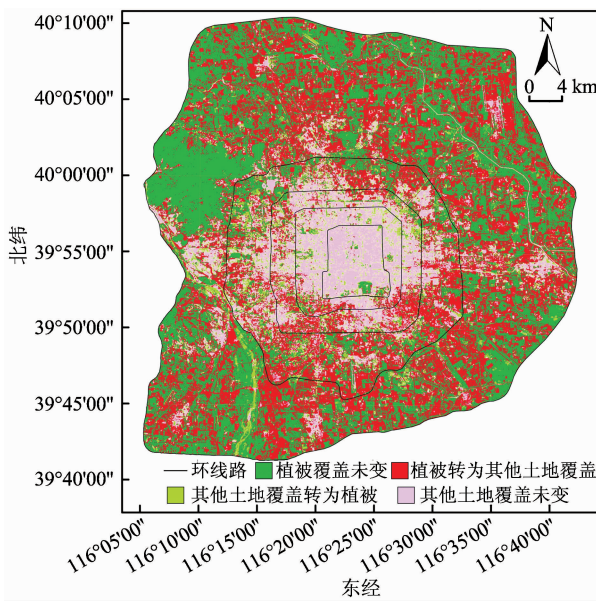


图3 1984—2014年北京六环内植被覆盖变化

Fig. 3 Distribution of changes in vegetation within the 6th-Ring Road of Beijing from 1984 to 2014

图4和表4。由表4可见,六环内整体植被覆盖未变的面积占60.51%,且由外环至中心逐渐减少,而五环至六环有74.19%的植被覆盖没有改变;植被转为其他土地覆盖的情形显示,六环内只有16.30%的面积发生了改变,其中三环至四环和四环至五环改变最多,分别为21.01%和23.58%,说明这些区域在1984—1995年的城市建设量较大;六环内整体只有4.90%的面积发生了“复绿”的转变。三环至四环土地覆盖的变化较为剧烈,约21.01%的面积“由绿变灰”,同时约10.09%的面积“复绿”。这期间其他土地覆盖未变的面积占比由中心至外环逐渐减少,二环内、二环至三环、三环至四环分别为87.01%、74.35%、53.85%,而四环至五环

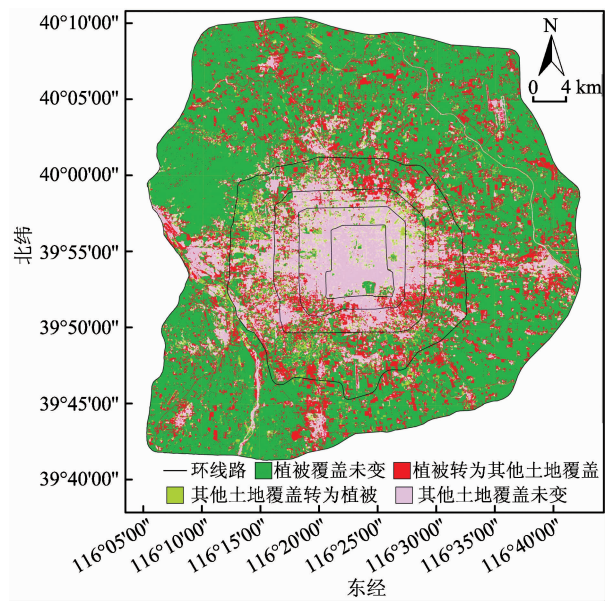


图4 1984—1995年北京六环内植被覆盖变化

Fig. 4 Distribution of changes in vegetation within the 6th-Ring Road of Beijing from 1984 to 1995

表4 1984—1995年北京六环内各环带植被覆盖面积与比例

Table 4 Statistics vegetation coverage change area and proportion distribution of each loop in Beijing 6th-Ring Road from 1984 to 1995

位置	植被覆盖未变		植被转为其他土地覆盖		其他土地覆盖转为植被		其他土地覆盖未变	
	面积/km ²	占比/%	面积/km ²	占比/%	面积/km ²	占比/%	面积/km ²	占比/%
二环内	3.37	5.39	0.85	1.36	3.93	6.28	54.44	87.01
二环至三环	6.02	6.26	9.07	9.43	9.60	9.98	71.50	74.35
三环至四环	21.54	15.00	30.17	21.01	14.49	10.09	77.32	53.85
四环至五环	153.62	42.11	86.04	23.58	31.91	8.75	93.02	25.50
五环至六环	1 188.21	74.19	243.56	15.21	51.30	3.20	117.55	7.34
合计	1 372.76	60.51	369.69	16.30	111.23	4.90	413.83	18.24

和五环至六环明显减少,尤其是后者,仅为 7.34%,六环内整体只有 18.24% 是其他土地覆盖未变。

由表 4 可见,二环内和二环至三环其他土地覆盖未变比较明显,而植被转为其他土地覆盖的比例很少,分别为 1.36% 和 9.43%。可见,城市自然植被覆盖率较低,其他土地利用较多。但三环至四环和四环至五环植被转为其他土地覆盖的比例较高,而五环至六环显示城市植被状况较好,开发强度较低。

2.3.2 1995—2004 年

1995—2004 年北京六环内植被覆盖变化见图 5 和表 5。由表 5 可以看出,六环内整体有 46.69% 的植被覆盖未变,且由外环至内环逐渐减少,与之前时段(1984—1995 年)类似,但四环至五环植被覆盖减少较多(12.24 个百分点)。“由绿转灰”的情况相比于 1984—1995 年,五环至六环明显增多,增加了 4.87 个百分点;而四环至五环和三环至四环明显减少,分别降低 2.55 和 7.04 个百分点,说明人类活动外移。“复绿”的情况,除三环至四环几乎没有变化外,其他环带都有所增加,说明城市绿化在提升,但是“复绿”的面积占比非常有限。六环内整体其他土地覆盖未变的占比为 27.29%,较之前时段明显增多,且由外环至内环占比逐渐增大;但相比于

1984—1995 年三环以内有所减少,三环以外有所增加,尤其以三环至四环和四环至五环增加较多,分别增加 10.96 和 14.52 个百分点,说明这些城市空间受到人为开发建设等持续干扰的状况较为严重。

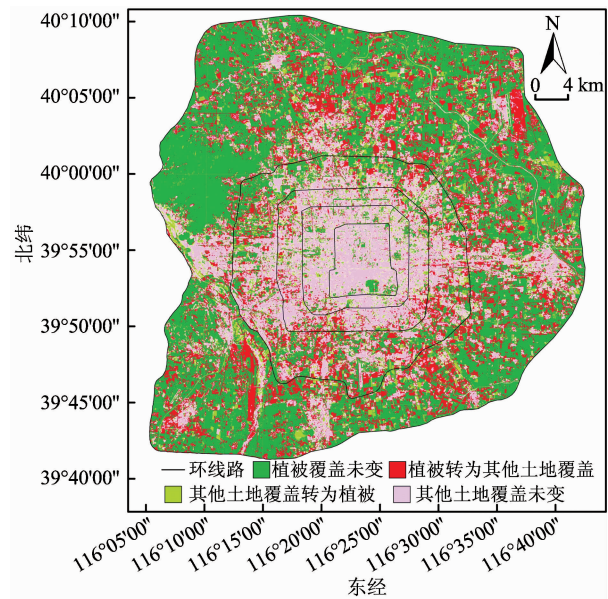


图 5 1995—2004 年北京六环内植被覆盖变化分布
Fig. 5 Distribution of changes in vegetation within the 6th-Ring Road of Beijing from 1995 to 2004

表 5 1995—2004 年北京六环内各环带植被覆盖面积与比例

Table 5 Statistics table of vegetation coverage change area and proportion distribution of each loop within Beijing 6th-Ring from 1995 to 2004

位置	植被覆盖未变		植被转为其他土地覆盖		其他土地覆盖转为植被		其他土地覆盖未变	
	面积/km ²	占比/%	面积/km ²	占比/%	面积/km ²	占比/%	面积/km ²	占比/%
二环内	5.61	8.97	1.69	2.70	4.53	7.24	50.76	81.13
二环至三环	10.07	10.47	5.55	5.77	10.32	10.73	70.26	73.06
三环至四环	15.99	11.14	20.06	13.97	14.47	10.08	93.05	64.81
四环至五环	108.97	29.87	76.71	21.03	33.19	9.10	146.00	40.02
五环至六环	918.53	57.35	321.56	20.08	102.48	6.40	258.95	16.17
合计	1 059.17	46.69	425.57	18.76	164.99	7.27	619.02	27.29

由表 5 可见,相比于 1984—1995 年,1995—2004 年五环至六环植被覆盖面积有较大增加,说明人类活动加剧,干扰外移。相反的是二环内和二环至三环植被覆盖未变的面积增多(分别增加 3.58 和 4.21 个百分点),“复绿”的土地也增多(分别增加 0.96 和 0.75 个百分点),而其他土地覆盖未变的面积有所减少(分别减少了 5.88 和 1.29 个百分点)。虽然在三环内植被覆盖比例和面积都非常有限,但

也说明了这一空间内的人为干扰向绿化方向转移。

2.3.3 2004—2014 年

2004—2014 年北京六环内植被覆盖变化见图 6 和表 6。由表 6 可以看出,六环内整体植被覆盖未变的面积占比急剧下降,仅为 37.63%,相比上一时段(1995—2004 年)减少了 9.06 个百分点,虽然“复绿”的比例增多 3.84 个百分点,但其他土地覆盖未变的面积增加了 7.65 个百分点,说明整体植被依然

在减少。植被覆盖未变的面积在四环内都有少量增加,而四环至五环和五环至六环都有较大的植被覆盖损失,相比上一时段损失最多的为五环至六环,达 193.80 km²(12.10 个百分点)。植被转变为其他土地覆盖的数据显示,相比上一时段,三环内植被损失比例变多,三环至六环损失比例变少,同时其他土地覆盖转为植被的面积在三环内减少,三环外增多。说明三环内绿化情况变差,三环外开发速度相比上一时段略有放缓,但植被继续减少的面积基本没有得到回补。其他土地覆盖未变的情况显示,三环内有所减少,而三环外增幅较大,但三环至五环间各环带的增幅略有放缓。

由表 6 可见,这 10 年间二环内植被覆盖未变的面积增加,其他土地覆盖未变的面积减少,但增加面积不及减少面积。二环至三环在这一时段植被覆盖未变的面积略有增多,但植被转变为其他土地覆盖的速度相比前一时段加快。三环至六环各环带的趋势比较相似,植被覆盖未变和“复绿”的面积增幅都减少,“由绿转灰”的面积增幅也变少,但是维持其他土地覆盖未变的面积有较大增幅,尤其四环至五

环其他土地覆盖未变面积维持在 48.41%,五环至六环维持在 25.06%,城市生态系统被侵蚀的状况加剧。

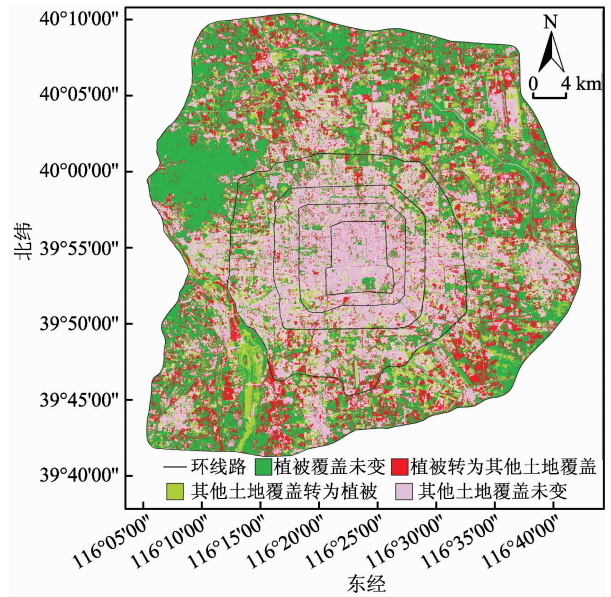


图 6 2004—2014 年北京六环内植被变化
Fig. 6 Distribution of changes in vegetation within the 6th-Ring Road of Beijing from 2004 to 2014

表 6 2004—2014 年北京六环内各环带植被覆盖变化面积与比例

Table 6 Statistic of vegetation coverage change area and proportion distribution of each loop within Beijing 6th-Ring Road from 2004 to 2014

位置	植被覆盖未变		植被转为其他土地覆盖		其他土地覆盖转为植被		其他土地覆盖未变	
	面积/km ²	占比/%	面积/km ²	占比/%	面积/km ²	占比/%	面积/km ²	占比/%
二环内	6.41	10.24	3.73	5.96	3.08	4.92	49.37	78.90
二环至三环	11.56	12.02	8.84	9.19	7.70	8.01	68.11	70.82
三环至四环	18.11	12.61	12.36	8.61	16.05	11.18	97.07	67.61
四环至五环	92.80	25.44	49.36	13.53	46.11	12.64	176.60	48.41
五环至六环	724.73	45.25	296.29	18.50	179.09	11.18	401.42	25.06
合计	853.61	37.63	370.58	16.33	252.03	11.11	792.57	34.94

3 讨论

3.1 植被覆盖变化情况与相关研究比较

基于 Landsat 遥感影像数据 NDVI 分布,对北京主城区(六环内)植被 30 年变化进行分析研究,发现四环范围内(2004—2014 年)植被增加的结果与相关研究结果较为一致。如孙晓鹏等^[4]对北京 2008 年奥运前后植被覆盖对比研究显示,五环范围内 NDVI 显著增加像元的比例较高,而陡坡和山地的植被覆盖没有太大变化。由于本研究利用的是

30 m 分辨率影像,较 250 m MODIS 影像更为精细,进一步得出二环内和二环至三环范围内植被覆盖面积增加。说明城市中心地区的植被覆盖受到人类活动很大程度的往复影响,可以通过细致科学的规划,合理增加植被覆盖的稳定性来有效改善城市生态空间的可持续性。

3.2 植被覆盖变化驱动力分析

3.2.1 政策引导导致的植被覆盖度变化

由于城市的扩张和人口的增长,生态环境面临很大压力。为了改善区域生态环境,北京市委、市政

府从 2012 年初开始,进行了平原区百万亩造林工程,并已取得了一定成效,如贾宝全等^[18]对北京市平原百万亩造林工程对城市热岛效应影响的研究显示,截至 2014 年末,北京市已成功平原造林 680.51 km²,植树 5 000 余万株,建成新的林地景观斑块 10 648 个,平原地区的森林覆盖度增加 9.65%。

3.2.2 城市化进程对植被覆盖情况的影响

城市化对植被覆盖影响较大,1984 年以后北京进入高速城市化的过程,北京市城市利用土地持续扩张。根据匡文慧^[19]对北京市主城区土地利用的变化研究,1984—1992 年,北京已建成区的面积增长速度为 38.88 km²/a,1990 年为迎接北京亚运会,开始四环、五环的建设;1992—2000 年,由于北京市颁布了多种耕地保护政策从而导致增速减缓,为 34.40 km²/a;2000—2007 年,受 2008 年奥运会筹备工作与全球经济一体化等因素的影响,扩张速度达 68.09 km²/a。

根据吴晓蕾等^[20]对北京地区不同地形条件下的土地覆盖变化的研究显示,北京市在 2000 年以前城市化主要集中在海淀、朝阳、丰台、通州、顺义和昌平等区县,随着城市化的推进,城市的建设向外扩展至发展新区,导致五环至六环之间植被覆盖明显减少,与相关研究^[4]结果一致。

北京三环内城市化较早,城市建设用地存量较大,新建用地增量有限,因此,提出如下建议:1) 由于三环内开发较早,土地权属和生态空间资源差异明显,应结合具体的用地条件,建立差异化、精细化的管理模式^[21],逐渐实现城市建成区生态修复、生态补偿等目标;2) 应结合 2017 年北京市出台的“留白增绿”计划^[22],在原有的腾退土地上,结合地块的尺度、用地类型与上位规划,建设具有复合功能的城市森林系统^[23];3) 针对城市区域内的农田保护区,在协调其集体产权所有者利益的同时,应对其进行物理边界的刚性划定^[24],从而达到优化城市空间布局,保护基本农田的目的,增加城市建成区生态服务潜在与实际供给能力^[25],并与生态涵养区结合,为北京建立更加完善的生态服务供给系统^[12,26]。

4 结论

利用 RS 和 GIS 技术,基于 Landsat 遥感数据对北京市主城区(六环内)30 年植被覆盖变化进行了定量研究。从 1984—2014 年六环内的植被覆盖变化可以看出,由外环到内环植被覆盖度逐渐减少。外部的开发强度在 1995 年后逐渐增强,虽然

2004—2014 年略有减弱,但总体主城区植被覆盖被侵蚀的程度非常严重。尽管三环内的植被面积略有增加,但是相对于建设开发强度非常稳定的城市内核,以植被覆盖为代表的生态系统成为城市非常珍贵的物质空间,亟待系统化、精细化地规划与治理。如果城市核心区的植被覆盖空间总量有限,且不具备连接性和系统性,那么城市中心地区的生态系统会非常脆弱,也很容易退化。北京三环内的自然生态空间需要连接成系统的生态廊道,这些廊道将是城市生态系统服务最有潜力的供给者。三环至五环间城市建成区较为稳定,为城市生态空间的进一步建设带来机遇,五环至六环间可结合百万亩造林,增加都市农田、农田保护区,建设多种类型的绿色空间,提升城市生态系统的供给服务。

参考文献

- [1] 王静,周伟奇,许开鹏,等.京津冀地区城市化对植被覆盖度及景观格局的影响[J].生态学报,2017,37(21):7019-7029. WANG J,ZHOU W Q,XU K P, et al. Spatiotemporal pattern of vegetation cover and its relationship with urbanization in Beijing-Tianjin-Hebei megaregion from 2000 to 2010[J]. Acta Ecologica Sinica,2017,37(21):7019-7029.
- [2] 朴世龙,方精云.最近 18 年来中国植被覆盖的动态变化[J].第四纪研究,2001(4):294-302. PIAO S L,FANG J Y. Dynamic vegetation cover change over the last 18 years in China[J]. Quaternary Sciences, 2001(4): 294-302.
- [3] 陈效逯,王恒.1982—2003 年内蒙古植被带和植被覆盖度的时空变化[J].地理学报,2009,64(1):83-94. CHEN X Q, WANG H. Spatial and temporal variations of vegetation belts and vegetation cover degrees in inner Mongolia from 1982 to 2003[J]. Acta Geographica Sinica,2009,64(1): 83-94.
- [4] 孙晓鹏,王天明,邬建国,等.北京市 2008 年奥运前后植被覆盖变化趋势[J].应用生态学报,2012,23(11):3133-3140. SUN X P, WANG T M, WU J G, et al. Change trend of vegetation cover in Beijing metropolitan region before and after the 2008 Olympics[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2012, 23(11):3133-3140.
- [5] 王静,周伟奇,许开鹏,等.京津冀地区的生态质量定量评价[J].应用生态学报,2017,28(8):2667-2676. WANG J,ZHOU W Q,XU K P, et al. Quantitative assessment of ecological quality in Beijing-Tianjin-Hebei urban megaregion, China[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2017, 28(8): 2667-2676.
- [6] 李卓,孙然好,张继超,等.京津冀城市群地区植被覆盖动态变化时空分析[J].生态学报,2017,37(22):7418-7426. LI Z,SUN R H,ZHANG J C, et al. Temporalspatial analysis of vegetation coverage dynamics in Beijing-Tianjin-Hebei metropolitan regions[J]. Acta Ecologica Sinica,2017,37(22): 7418-7426.

- [7] LI X C, GONG P, LIANG L. A 30-year (1984-2013) record of annual urban dynamics of Beijing City derived from Landsat data [J]. *Remote Sensing of Environment*, 2015, 166(1):78-90
- [8] LI X C, GONG P. An "exclusion-inclusion" framework for extracting human settlements in rapidly developing regions of China from Landsat images[J]. *Remote Sensing of Environment*, 2016, 186(1):286-296.
- [9] 晏利斌, 刘晓东. 1982—2006年京津冀地区植被时空变化及其与降水和地面气温的联系[J]. *生态环境学报*, 2011, 20(2):226-232.
YAN L B, LIU X D. Spatial-temporal changes in vegetation cover and their relationships with precipitation and surface air temperature over the Beijing-Tianjin-Hebei region from 1982 to 2006[J]. *Ecology and Environmental Sciences*, 2011, 20(2):226-232.
- [10] 胡勇, 刘良云, 贾建华. 北京山区植被动态及生态恢复的遥感监测[J]. *应用生态学报*, 2010, 21(11):2876-2882.
HU Y, LIU L Y, JIA J H. Remote sensing based monitoring of vegetation dynamics and ecological restoration in Beijing mountainous area[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2010, 21(11):2876-2882.
- [11] 韩璐, 李明月, 闫晓寒, 等. 生态文明建设规划方案编制探索:以浙江省文成县为例[J]. *环境工程技术学报*, 2019, 9(1):53-60.
HAN L, LI M Y, YAN X H, et al. Exploration on planning of ecological civilization construction: a case study of Wencheng County in Zhejiang Province [J]. *Journal of Environmental Engineering Technology*, 2019, 9(1):53-60
- [12] 张型芳, 王文静, 罗宏, 等. 城市土地资源中生态环境承载力指标体系的构建及应用:以北京市为例[J]. *环境工程技术学报*, 2017, 7(2):209-215.
ZHANG X F, WANG W J, LUO H, et al. Construction and application of index system of ecological environment carrying capacity of urban land resources: a case study of Beijing [J]. *Journal of Environmental Engineering Technology*, 2017, 7(2):209-215.
- [13] 陈云浩, 李晓兵, 史培军, 等. 北京海淀区植被覆盖的遥感动态研究[J]. *植物生态学报*, 2001(5):588-593.
CHEN Y H, LI X B, SHI P J, et al. Estimating vegetation coverage change using remote sensing data in HaiDian district, Beijing[J]. *Acta Phytocologica Sinica*, 2001(5):588-593.
- [14] TUCKER C J. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation [J]. *Remote Sensing of Environment*, 1979, 8:127-150.
- [15] VERMOTE E F, TANRE D, DEUZE J L, et al. Second Simulation of the Satellite Signal in the Solar Spectrum, 6S: an overview [J]. *IEEE Transactions on Geoscience & Remote Sensing*, 2002, 35(3):675-686.
- [16] 王正兴, 刘闯, HUETE A. 植被指数研究进展:从 AVHRR-NDVI 到 MODIS-EVI [J]. *生态学报*, 2003(5):979-987.
WANG Z X, LIU C, HUETE A. From AVHRR-NDVI to MODIS-EVI: advances in vegetation index research [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2003(5):979-987.
- [17] DETSCH F, OTTE I, APPELHANS T, et al. Seasonal and long-term vegetation dynamics from 1-km GIMMS-based NDVI time series at Mt. Kilimanjaro, Tanzania [J]. *Remote Sensing of Environment*, 2016, 178:70-83.
- [18] 贾宝全, 仇宽彪. 北京市平原百万亩大造林工程降温效应及其价值的遥感分析[J]. *生态学报*, 2017, 37(3):726-735.
JIA B Q, QIU K B. The cooling effect of plain afforestation in the Beijing Project and its remote sensing-based valuation [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2017, 37(3):726-735.
- [19] 匡文慧, 邵全琴, 刘纪远, 等. 1932年以来北京主城区土地利用空间扩张特征与机制分析[J]. *地球信息科学学报*, 2009, 11(4):428-435.
KUANG W H, SHAO Q Q, LIU J Y, et al. Spatio-temporal patterns and driving forces of urban expansion in Beijing central city since 1932 [J]. *Journal of Geo-information Science*, 2009, 11(4):428-435.
- [20] 吴晓蕾, 唐志尧, 崔海亭, 等. 北京地区不同地形条件下的土地覆盖动态[J]. *植物生态学报*, 2006, 30(2):239-251.
WU X F, TANG Z Y, CUI H T, et al. Land cover dynamics of different topographic conditions in Beijing [J]. *Journal of Plant Ecology*, 2006, 30(2):239-251.
- [21] 陈柳新, 洪武扬, 敖卓鹄. 深圳生态空间综合精细化治理探讨 [J]. *规划师*, 2018, 34(10):46-51.
CHEN L X, HONG W Y, AO Z H. Detailed governance of ecological space in Shenzhen [J]. *Planners*, 2018, 34(10):46-51.
- [22] 赵人镜, 戈晓宇, 李雄. "留白增绿"背景下北京市栖息生境型城市森林营建策略研究 [J]. *北京林业大学学报*, 2018, 40(10):102-114.
ZHAO R J, GE X Y, LI X. Research on habitat-type urban forest construction strategy in Beijing in the background of "leave blank space and increase green space" [J]. *Journal of Beijing Forestry University*, 2018, 40(10):102-114.
- [23] 刘常富, 李海梅, 何兴元, 等. 城市森林概念探析 [J]. *生态学杂志*, 2003, 22(5):146-149.
LIU C F, LI H M, HE X Y, et al. Concept discussion and analysis of urban forest [J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2003, 22(5):146-149.
- [24] 陈世栋, 袁奇峰. 都市边缘区空间管制效果的产权差异及其影响因素:基于基本农田保护区政策视角 [J]. *地理科学*, 2015, 35(7):852-859.
CHEN S D, YUAN Q F. Effects of space control policy to different types of property rights effects of space control policy to different types of property rights and their influences in urban fringe of Guangzhou, China: a perspective of Chinese basic farmland conservation area policy [J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2015, 35(7):852-859.
- [25] 马琳, 刘浩, 彭建, 等. 生态系统服务供给和需求研究进展 [J]. *地理学报*, 2017, 72(7):1277-1289.
MA L, LIU H, PENG J, et al. A review of ecosystem services supply and demand [J]. *Acta Geographica Sinica*, 2017, 72(7):1277-1289.
- [26] 马程, 王晓玥, 张雅昕, 等. 北京市生态涵养区生态系统服务供给与流动的能值分析 [J]. *地理学报*, 2017, 72(6):974-985.
MA C, WANG X Y, ZHANG Y X, et al. Emergy analysis of ecosystem services supply and flow in Beijing ecological conservation area [J]. *Acta Geographica Sinica*, 2017, 72(6):974-985. ▷