

# 长江经济带城市扩张的时空特征与生态响应<sup>1</sup>

李嘉译，匡鸿海，谭超，王佩佩

(西南大学地理科学学院，重庆 400715)

**【摘要】**量化识别城市扩张在不同发展阶段的时空特征，有助于从宏观上认知城市扩张态势，理解城市化的生态响应。以 Landsat TM/OLI 影像为数据源，分析了近 30a (1986~2016 年) 长江经济带 3 个省级城市和 4 个地级市的城市扩张，包括建设用地的时空变化和扩张模式，以及扩张的生态效应。结果表明：(1) 建设用地扩张量在过去 30a 呈线性递增过程，平均扩张速率在 2006~2016 年降低，表明建设用地由增量扩张向存量开发转型，但地级市的转型滞后于省级城市；(2) 蔓延式扩张比例下降而填充式扩张和飞地式扩张不断增加，说明城市扩张模式由粗放蔓延型向紧凑集约型转换；(3) 建设用地从快速扩张到稳定扩张的过程与植被覆盖从退化到管控的过程一致，印证了建设用地扩张与植被覆盖度的时空关联性。同时，建设用地扩张导致的生态系服务价值负值不断增加，较大幅度的降低了生态系统服务总价值。面临城市扩张进程中出现的植被覆盖退化和建设用地生态系统服务负值过大的问题，合理而有力的规划政策实施在未来城市发展中尤为重要。

**【关键词】** 长江经济带 城市扩张 扩张模式 生态效应

**【中图分类号】** F125 **【文献标识码】** A **【文章编号】** 1004-8227 (2018) 10-2153-09

DOI: 10.11870/cjlyzyyhj201810001

城市是一个国家或地区的经济、政治、文化和教育中心。自 1978 年改革开放以来，伴随着中国经济的高速增长，城市人口规模不断增加，城市空间扩张迅速<sup>[1]</sup>。目前中国是全球城市化扩张最快速的 3 个地区之一，2011 年中国城市人口首次超过了农村人口，城镇化率达到了 51.3%<sup>[2]</sup>。城市扩张的速度、模式和景观变化在一个复杂的系统中互相联系，使得一定区域内的城市扩张往往具有一定的共性，这种共性的出现是城市本身自然条件与社会发展共同作用的结果<sup>[3]</sup>。从城市的发展来看，有效地识别城市扩张的共性，有助于更深刻的了解城市发展规律，并对其进行必要的人为干预和优化调整。

中国作为世界上最大的发展中国家，城市扩张的时空特征一直是学术界关注的热点问题。城市扩张往往具有典型的阶段性特征，通常经历“萌生—快速发展—约束发展—衰退或再生”的周期性变化<sup>[4]</sup>。一些城市群和大城市对建设用地扩张的时空特征进行了探究，表明城市扩张的进程与国家宏观政策密切相关<sup>[5]</sup>。在城市化管理政策（“建设用地边界”、“耕地保护红线”、“规划用地选址管理”等）的约束下，建设用地的扩张受到一定的影响。近年来，珠三角、长三角的许多城市开始重视对存量建设用地的进一步挖掘，来缓解城市外延态势<sup>[6]</sup>，减轻城市周边生态环境压力。中国城市蔓延式扩张在 2010 年前激增，之后逐渐降速，填充式扩张逐渐增长<sup>[7]</sup>。因此，在部分城市建设用地开始从粗放扩张向集约紧凑型扩张转换的过程中，有效识别建设用地的扩张模式和阶段性特征，将有助于综合分析城市目前所处的发展阶段和面临的挑战，并通过城市规划积极做出应对。

城市化过程中经常出现城市无序蔓延的现象，对周边自然和半自然生态系统产生巨大的破坏和压力<sup>[8]</sup>。在所有城市化的生

<sup>1</sup>收稿日期:2017-12-27；修回日期: 2018-02-01

基金项目: 国家自然科学基金青年基金资助项目 (41101036)

作者简介: 李嘉译 (1990~)，女，硕士研究生，主要从事土地利用变化和 3s 技术研究.E-mail:1257543066@qq.com

通讯作者 E-mail:hhkuang@yahoo.Com

态效应中,植被得到较广泛的关注。植被是城市生态系统的重要组成部分,通过选择性吸收和反射太阳辐射能以及调节潜热和显热的交换,调节城市空气,降低污染等影响着城市的各种自然环境过程<sup>[9]</sup>,是城市生态评价的一个高度综合指标。城市中植被的空间分布和丰富度两项指标,一直被认为对城市生态环境演变具有重要影响作用<sup>[10]</sup>。生态系统服务功能的价值是评价生态的另外一个重要指标。许多学者<sup>[11, 12]</sup>针对城市、农田等不同生态系统进行了服务功能价值的评估。城市是人类土地利用最为强烈的区域,自然生态系统受到人类活动的改造最为强烈,因而对生态系统服务功能的影响也最为显著<sup>[13]</sup>。随着近年来学者对于城市扩张及生态效应的关注和相关成果的不断出现,现有的研究对于城市扩张的定量刻画和认识打下了很好的基础。然而,目前中国现有的研究主要集中在东部沿海地区或中西部省级城市<sup>[14~16]</sup>,对地级城市及更低级别的城市扩张关注不多。对长江流域而言,主要是以重庆、武汉、南京和上海4个省级城市为研究对象<sup>[17]</sup>,对一定区域内不同级别城市发展的规律性及差异性的识别缺乏关注。

在由西部丝路轴线、中部沿江轴线和东部沿海轴线三条主轴线组成的中国城乡发展“H”型空间格局中,长江经济带作为唯一的东西向横轴,是推动中国区域发展格局由“T”字型长期主导的战略格局转变为适应新常态的“H”型战略格局的重要支撑带<sup>[18]</sup>。本文运用遥感、地理信息技术,分析了1986~2016年长江经济带7个样点城市建设用地扩张的时空特征,以及由此引起的植被覆盖和生态系统服务价值的变化。对典型城市不同时期城市建设用地的时空特征及生态效应的研究,可为长江经济带城市规划、管理及可持续发展提供参考。

## 1 研究区概况与数据来源

### 1.1 研究区概况

长江经济带以长江干流黄金水道为依托,覆盖上海、江苏、浙江、安徽、江西、湖北、湖南、重庆、四川、云南、贵州等11个省市,面积约 $205.7 \times 10^4 \text{ km}^2$ ,占国土总面积的21.27%。气候温暖湿润、资源丰富、经济发达,一直是中华民族兴盛的依托之地<sup>[19]</sup>,是中国横跨东中西部区域的巨型经济带,在国家经济格局规划和新型城镇化发展中发挥重要的战略作用。2014年,长江经济带的人口和总产值均超过了全国的40%。地理位置优越,自然资源条件得天独厚,具有独特优势和巨大发展潜力。

长江经济带包含以上海、南京为核心的长江三角洲城市群、以武汉为核心的长江中游城市群和以重庆为核心的成渝城市群<sup>[20]</sup>,因此本文选取南京、武汉、重庆3个省级城市以及分别属于长江三角洲城市群的南通、长江中游城市群的宜昌和成渝城市群的泸州、宜宾4个沿江分布的地级城市作为样本开展研究(图1)。3个省级城市在长江经济带发展中发挥引领作用,4个地级城市发挥地方支撑作用,能较好的反映各区域城市发展的特性,凸显整个长江经济城市发展的差异性。

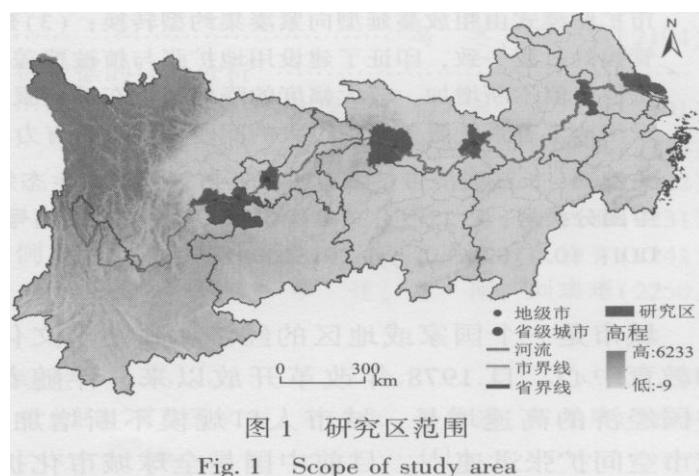


图1 研究区范围

Fig. 1 Scope of study area

## 1.2 数据来源

本文所用的 Landsat 遥感影像数据主要下载自 USGS 美国地质勘探局 (<https://earthexplorer.usgs.gov/>)。共用遥感影像 44 景，包括 11 景 Landsat8OLI 影像和 33 景 Landsat5TM 影像。为了保证遥感影像的质量和遥感参数提取的稳定性，影像云覆盖率均小于 10%，获取时间集中于夏季 6~9 月。所涉及的两种数据集中，除了热红外波段与全色波段外均为 30m 的分辨率。此外，本文还涉及基础地理空间辅助数据，包括行政区划数据和河流数据，均来自国家地理空间数据库。

## 2 研究方法

### 2.1 遥感信息提取

基于 ENVI5.3 中批处理模块对所有遥感影像执行定标处理和大气校正。通过辐射定标将原始影像的 DN 值转换为辐射率，从而消除传感器造成的内部误差，用 FLAASH 大气校正模块消除大气影响，得到地物目标的光谱反射率信息<sup>[21]</sup>。选取控制点对 TM 和 OLI 影像进行匹配，使同一物体的相对位置误差不超过两个像元。采用目视解译和监督分类相结合的方法将研究区分为建设用地、农田、林地和水体 4 种土地利用类型。结合土地利用图件和 GoogleEarth 平台对遥感解译数据进行纠正。

植被指数是对绿色植物生长状况和分布特征的简单、有效和经验型的度量，是两个或多个光谱波段的线性或非线性的组合<sup>[22]</sup>。归一化植被指数 NDVI (Normalized Differential Vegetation Index) 是常用的识别植被覆盖的指标，NDVI 取值在-1~1 之间，负值表示云、水、雪，0 值表示岩石或裸土，正值表示植被，且随覆盖度增大而增大<sup>[23]</sup>。具体计算公式为：

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}$$

式中：RED、NIR 分别为 Landsat OLS/TM 的红、近红外波段。

差值运算可以将图像上差异大的地物突出出来，从而识别出变化地物。本文将 1986 年的 NDVI 与 2016 年的 NDVI 做差值运算，得到过去 30aNDVI 变化显著的区域。具体的计算公式为：

$$NDVI_{change} = B_1 - B_2$$

式中：B<sub>1</sub>、B<sub>2</sub> 分别为 1986、2016 年的 NDVI 波段。

### 2.2 统计分析

本文用 3 个指标来量化建设用地扩张的大小、速度和模式<sup>[24]</sup>。A<sub>new</sub> 为新增建设用地面积，用来表示一个时间段内建设用地的扩张量。P<sub>new</sub> 用来表示一个时间段内建设用地扩张的速度。P<sub>model</sub> 为某一种扩张模型占新增面积的百分比，用来表示一个时间段内该模型的扩张比例。

$$A_{new} = A_{t1} - A_{t2} \quad (1)$$

$$P_{new} = (A_{new} / A_{starting}) * 100 \quad (2)$$

$$P_{model} = (A_{model} / A_{new}) * 100 \quad (3)$$

式中:  $A_{t1}$  和  $A_{t2}$  分别表示建设用地在  $t1$  和  $t2$  年的面积;  $A_{\text{starting}}$  表初始年的建设用地面积;  $A_{\text{model}}$  代表某一种扩张模型的扩张面积。

### 2.3 量化城市扩张模型

基于遥感解译数据和 ArcGIS10.3 软件, 提取 1986~1996、1996~2006 和 2006~2016 年新增建设用地斑块。新增建设用地分为 3 种扩张模式—飞地式扩张、蔓延式扩张和填充式扩张<sup>[29]</sup>。通过计算新增建设用地斑块和现状建设用地斑块的公共边长与新增建设用地的总边长确定新增板块的扩张模式<sup>[25]</sup>。具体计算公式为:

$$S = L_c / P$$

式中:  $L_c$  为新增建设用地斑块和现有建设用地的公共边长;  $P$  为新增建设用地的总边长。当  $S=0$  时, 新增斑块为飞地式扩张; 当  $0 < S \leq 0.5$  时, 为蔓延式扩张; 当  $0.5 < S \leq 1$  时, 为填充式扩张。

### 2.4 生态系统服务价值评估

基于 Costanza 和谢高地等人确定的生态服务价值系数, 结合谢高地中国陆地系统提出的价值当量换算方法, 确定研究区生态系统单位面积生态服务价值<sup>[26]</sup>。生态系统服务价值的计算公式为:

$$V = \sum A_i \cdot R_{V, i}$$

式中:  $V$  为研究区生态系统总服务价值(万元);  $A_i$  为研究区第  $i$  种土地利用类型面积( $\text{km}^2$ );  $R_{V, i}$  为研究区第  $i$  种土地利用类型的生态服务价值系数。

## 3 结果与分析

### 3.1 城市扩张的时空分布

根据遥感影像解译的 4 个时期建设用地分布数据(图 2), 量化统计了研究区建设用地的具体情况(表 1)。由表 1, 过去 30a 研究区建设用地扩张量显著, 增加了 5.2 倍。就发展阶段特征而言, 7 个城市建设用地扩张量在过去 30a 呈线性递增过程, 增量在 1986~1996 年最小, 1996~2006 年次之, 2006~2016 年最大。平均扩张速率在 1986~1996、1996~2006 和 2006~2016 年分别为 42%、104% 和 77%, 表明建设用地整体经历了“缓慢—快速—减速”的扩张过程。80 年代初, 由于经济体制改革和改革开放政策的深入实施, 以南京、上海为代表的东部沿海城市城市化步伐加快<sup>[27]</sup>; 90 年代西部大开发和东部崛起战略实施, 中西部大城市武汉、南京加速发展, 进入了快速城市化阶段; 随着城市发展和可持续发展理念贯彻, 经济保持快速稳步增长的同时建设用地减速平稳增长。

同时, 不同等级的城市扩张在经济发展和政府行为方面存在差异性, 导致城市扩张表现为不同阶段性特征。省级城市扩张经历了“缓慢—快速—减速”的过程, 而大部分地级市表现为持续的线性增加过程。相比省级城市和东部沿海地级市, 中西部地级市由于第二产业集聚力弱、政府财政支出和土地政策方面推动不足等方面限制<sup>[28]</sup>, 使其城市扩张步伐滞后于省级城市, 减速扩张趋势不明显。

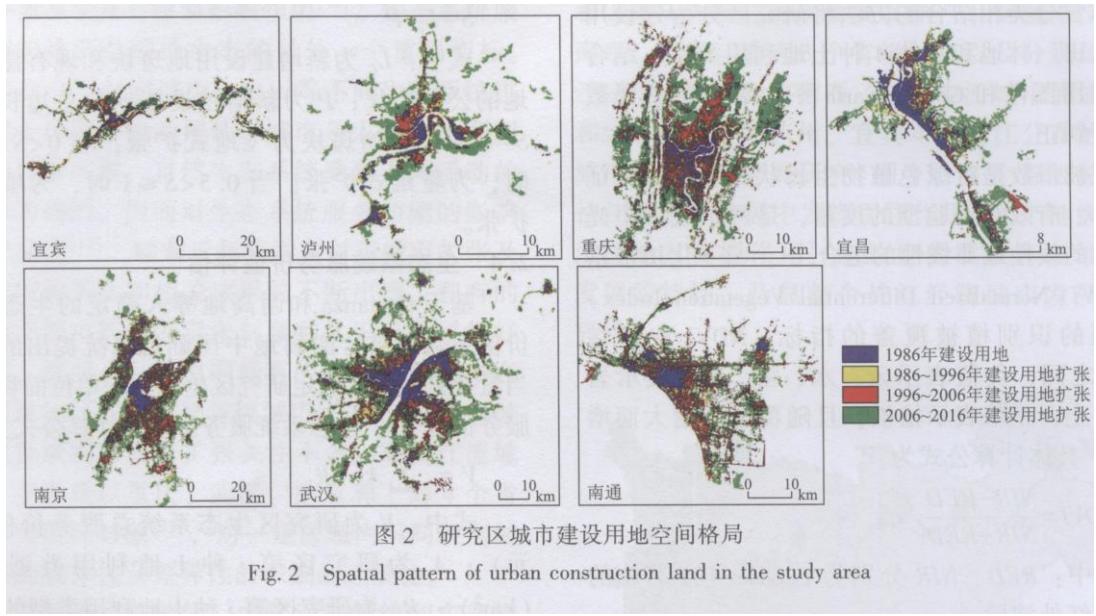


图 2 研究区城市建设用地空间格局

Fig. 2 Spatial pattern of urban construction land in the study area

表 1 研究区建设用地变化

Tab. 1 Change of construction land in the study area

	1986-1996			1996-2006			2006-2016		
	A <sub>new</sub> (km <sup>2</sup> )	P <sub>new</sub> (%)	R <sub>expand</sub> (km <sup>2</sup> /a)	A <sub>new</sub> (km <sup>2</sup> )	P <sub>new</sub> (%)	R <sub>expand</sub> (km <sup>2</sup> /a)	A <sub>new</sub> (km <sup>2</sup> )	P <sub>new</sub> (%)	R <sub>expand</sub> (km <sup>2</sup> /a)
宜宾	9.80	0.39	0.98	41.86	1.20	4.19	52.04	0.68	5.20
泸州	11.55	0.41	1.16	12.99	0.62	1.30	73.61	1.24	7.36
重庆	64.53	0.48	6.45	290.65	1.26	29.07	395.15	0.81	39.52
宜昌	21.55	0.44	2.15	20.76	0.65	2.08	66.25	0.92	6.63
武汉	49.07	0.22	4.91	294.66	0.96	29.47	506.97	0.80	50.70
南京	152.41	0.88	15.24	329.89	« 0.99	32.99	448.97	0.69	44.90
南通	8.99	0.15	0.90	140.67	1.57	14.07	59.32	0.28	5.93

注: A<sub>new</sub>(km<sup>2</sup>)表示新增建设用地面积; P<sub>new</sub>表示建设用地新增的速率; R<sub>expand</sub>(km<sup>2</sup>/a)表示每年新增建设用地的面积.

为了进一步比较研究区建设用地扩张在空间上的变化情况, 在 ArcGIS10.3 软件中分别以 1986 年建设用地的几何中心为原点, 以正北方向为起点, 将主城区均匀划分为 8 个扇形面, 分别计算 4 个时期各个扇形面内建设用地的面积, 做出极坐标图(图 3)。由图可知, 1986~1996 年间, 主城区建设用地以向四周蔓延扩张为主。1996~2016 年间, 4 个地级城市扩张的方向差异显著。其中宜宾和泸州沿着老城区向外围延展的同时, 主要以东西方向延伸扩张为主, 南通和宜昌由老城区向周边扩张的同时, 分别向东南方向和东南偏南方向扩张。3 个省级城市重庆、武汉和南京城市扩张的方向差异性虽有但不显著。其中重庆在东南方向的扩张较微弱, 南京的城市扩张在偏北方向和东南方向较突出。说明长江水道对发展水平较低的城市建设用地空间分布影响显著。随着城市发展程度的增加, 长江水道对其建设用地的空间分布影响减小。

### 3.2 城市扩张的模式

1986 年以来, 长江沿岸城市扩张在自然因素(如地形、河流、地势)和社会经济因素(如人口、政策、交通、经济)的综合影响下呈现不同扩张模式。本文基于遥感解译数据统计分析了过去 30a 3 种扩张模式的扩张量(表 2)和结构(图 4)。过去 30a

建设用地的扩张主要以蔓延式扩张为主, 占扩张总量的 57.13%, 以填充式和飞地式扩张为辅, 分别占扩张总量的 17.61%、25.25% (图 4 (a))。由图 4 (b) 可知, 1986~1996 年间, 建设用地以蔓延式扩张为主, 填充式扩张为辅, 飞地式占比小。随着城市发展, 建设用地需求与城市内部用地趋于饱和的矛盾的出现, 蔓延式扩张比例逐渐减少, 填充式和飞地式扩张增加。此期间在城市外围出现了大片的高新技术开发区、工业园区等建设用地。

不同级别的城市扩张模式结构具有一定的共性和差异性。省级城市建设用地扩张模式的共性主要表现为: 蔓延式扩张占比减小, 填充式和飞地式占比增加。说明城市扩张开始从粗放型向集约型转换; 地级市的蔓延式扩张经历了“增加—减少”的过程, 飞地式扩张的表现为明显的增加趋势。说明城市扩张开始注重土地利用的效率。

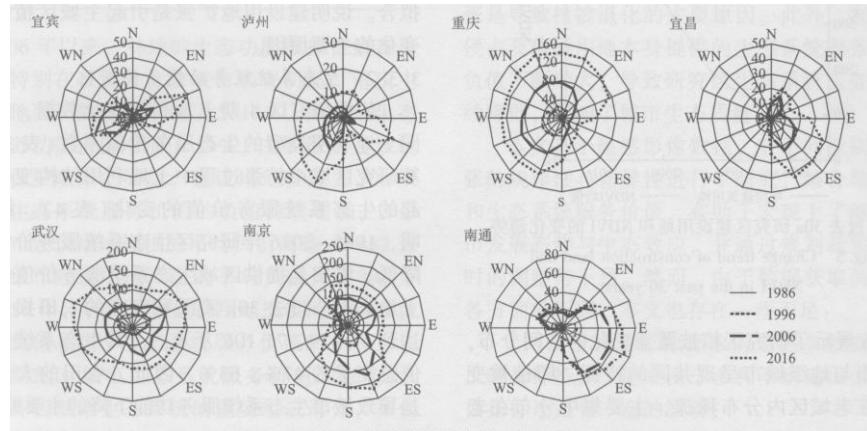


图 3 城市建设用地的空间分异  
Fig. 3 Spatial differentiation of urban construction land expansion

表 2 3 种扩张模式的扩张量和扩张比例

Tab. 2 Area and proportion of the three expansion models

	1986~1996				1996~2006				2006~2016									
	填充式		边缘式		飞跃式		填充式		边缘式		飞跃式		填充式		边缘式		飞跃式	
	Amodel	Pmodel	Amodel	Pmodel	Amodel	Pmodel	Amodel	Pmodel	Amodel	Pmodel	Amodel	Pmodel	Amodel	Pmodel	Amodel	Pmodel	Amodel	Pmodel
宜宾	1.53	15.61	6.05	61.71	2.22	22.68	2.78	6.64	23.90	57.13	15.15	36.22	7.39	14.21	25.61	49.21	19.04	36.59
泸州	2.08	18.03	7.03	60.99	2.42	20.97	2.50	19.24	8.57	66.02	1.91	14.74	7.19	9.77	37.82	51.37	28.60	38.86
重庆	21.26	33.03	33.56	52.15	9.54	14.83	81.64	27.77	131.43	45.53	78.51	26.70	85.86	21.88	174.51	44.29	133.29	33.83
宜昌	3.43	15.94	12.53	58.16	5.58	25.90	3.83	18.43	14.09	67.84	2.85	13.73	7.80	11.78	37.59	56.77	20.83	31.46
武汉	9.84	20.05	24.78	50.47	14.50	29.48	37.12	13.04	185.59	65.17	64.05	22.49	102.20	20.16	284.63	56.14	120.14	23.70
南京	18.38	12.14	102.00	67.11	31.55	20.76	52.72	16.05	216.66	65.65	60.39	18.30	110.00	25.05	204.15	45.07	134.41	29.88
南通	1.44	16.02	4.50	50.00	3.09	33.98	15.78	11.22	95.68	68.02	29.21	20.76	14.29	24.10	36.29	61.18	8.73	14.72

### 3.3 城市扩张的生态效应分析

#### 3.3.1 植被绿度的时空效应

基于遥感影像数据, 提取了研究区 1986 年和 2016 年的 NDVI 均值, 提取过程中对主城区内水体进行了掩膜处理, 分析了建设用地和 NDVI 的时间变化关系 (图 5)。NDVI 从 1986 年的 0.48 下降到 2016 年的 0.30, 下降了 0.18。1986~1996 年 NDVI 降幅最小, 2006~2016 年次之, 1996~2006 年降幅最大, 90 年代以来, 长江中游城市化进程加快, 主城区内大量土地被开发, 植被覆盖度较之前大幅度下降。相关研究也表明, 这一时期长江中游地区生态破坏严重<sup>[29]</sup>。21 世纪初, 为了统筹经济与生态可持续发展, 国家和地方制定了一系列的法规制约植被破坏, NDVI 值的下降幅度得到了缓解。平均建设用地面积从 1986 年的 108.96km<sup>2</sup>

增加到 2016 年的  $594.43\text{km}^2$ , 增幅在 1986~1996 年最小, 1996~2006 年次之, 2006~2016 年最大。说明 NDVI 均值的时间变化趋势与建设用地呈反相关。

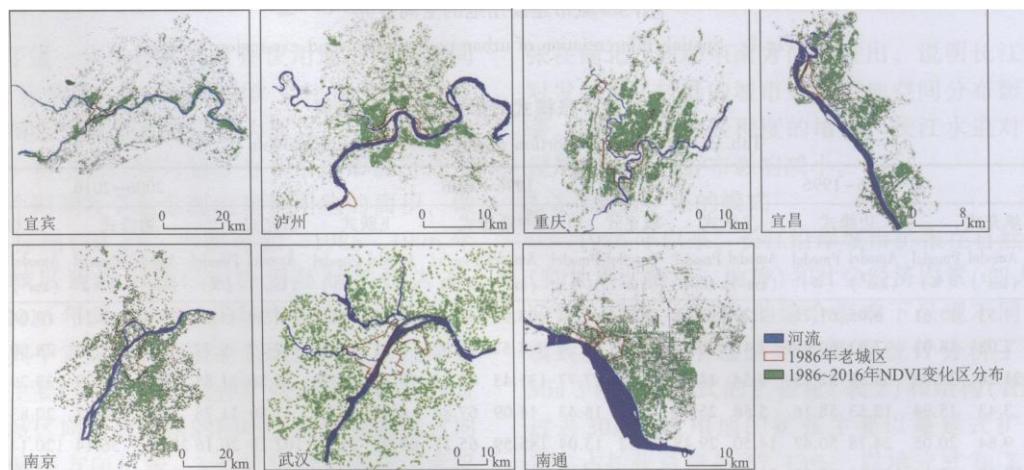
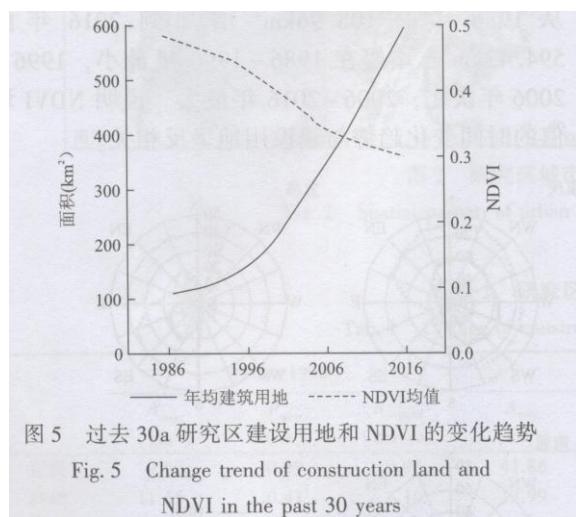
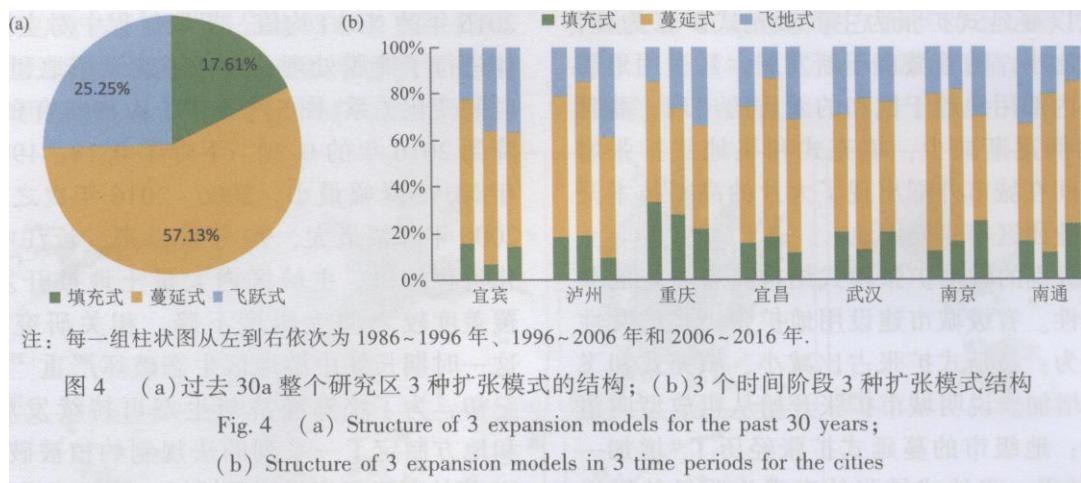


图 6 展示了研究区植被覆盖变化的空间分布, 省级城市与地级城市呈现共同的特征, 即植被变化区域在老城区内分布稀疏, 主要集中分布在老城区的外围。老城区城市起步早, 建设用地较早达到饱和状态, 土地利用类型相对稳定, 植被覆盖度的变化小。对比建设用地分布(图 2), 发现植被覆盖变化区域与建设用地变化区域在空间上拟合。说明建设用地扩张是引起主城区植被覆盖变化的主要原因。

### 3.3.2 生态系统服务功能价值变化

依据研究区 4 期土地利用变化数据, 结合不同土地利用类型的生态服务价值系数(表 3), 估算研究区城市扩张过程中土地利用结构变化所引起的生态系统服务价值的变化(表 4)。结果表明, 1986~2016 年研究区生态系统服务价值持续降低。农田是提供区域生态系统服务价值的主要土地类型, 过去 30a 武汉和南京的农田损失分别达到 51479、71106 万元, 占其生态系统服务价值总变量的 47%、63%。因此, 农田的大量侵占是导致城市生态系统服务功能下降的主要原因。

表 3 不同土地类型生态系统服务价值系数

Tab. 3 Value coefficients of ecosystem service for different ecosystems

土地利用类型	林地	田	水体	建设用地
生态服务价值系数 (元/ $\text{hm}^2$ )	134 106.80	6 114.10	48 082.70	-5 372.10

表 4 研究区 1986~1996 年生态系统服务功能价值

Tab. 4 Value of ecosystem services of study area from 1986 to 2016

	生态系统服务的经济价值(万元)			
	1986 年	1996 年	2006 年	2016 年
宜宾	1 490 047	1 770 164	1 679 196	1 623 352
泸州	300 617	403 640	370 461	356 034
重庆	7 482 281	8 352 747	8 247 659	8 011 443
宜昌	1 038 745	1 450 716	1 403 335	1 365 529
武汉	833 670	829 852	790 874	726 094
南京	889 295	860 989	806 500	777 724
南通	449 571	417 019	373 536	311 241

2006 年以来, 林地的生态功能服务价值有所提高, 特别在长江中上游城市表现明显。重庆主城区林地面积的比例增加了 5.17%, 而林地生态系统服务功能价值增加了 29%。主要原因是该区域林地保护政策的实施。建设用地在过去 30a 所提供的生态系统服务价值的负值持续增加, 3 个省级城市建设用地提供的平均负值高达 42432 万元, 地级市建设用地产生的平均负值为 6897 万元。2016 年, 省级城市建设用地提供的生态系统服务的负值相当于生态系统服务价值的 61%。说明建设用地对城市生态系统服务价值的影响大。因此, 作为城市生态系统的重要组成部分, 如何合理规划城市的布局, 降低建设用地生态系统服务负值, 对城市的长远发展尤为重要。

## 4 结论与讨论

本文基于遥感影像提取的城市主城区土地利用类型数据, 从时间和空间两个角度定量刻画了过去 30a 长江经济带两种级别城市建设用地扩张的时空特征。同时加入了 NDVI 变化参数和生态系统服务价值, 以期深入了解建成区内城市扩张的生态效应。

---

研究结果表明：

(1) 时间上，1986～2016年研究区建设用地扩张量持续增加，扩张速度经历了“快速增长”到“减速平稳增长”的变化，建设用地开始由增量扩张向存量开发转换。同时，不同级别城市扩张进程体现出一定的差异性与规律性，省级城市扩张速度表现为明显的快速扩张到加速稳定扩张的非线性过程；而地级市扩张速度依然表现为持续递增的线性过程，反映了地级市的发展阶段性特征滞后于省级城市。空间上，地级市建设用地的空间分布受河流影响显著，其空间走向与长江流向拟合；省级城市建设用地的空间分布受长江水道影响小，基本趋于同心圆分布。对过去30a城市3种扩张模式的结构变化进行了研究。结果表明，省级城市建设用地从粗放型向集约紧凑型转换，地级城市也开始注重土地利用效率，但扩张模式的集约紧凑度不及省级城市。

(2) 随着建设用地面积的扩大，城区植被覆盖显著减少，建设用地从快速增长到平稳增长与NDVI从快速下降到减速下降的过程同步。同时，过去30aNDVI变化值的空间刻画反映了城市扩张是导致植被退化的主要原因。此外，农田大量侵占及建设用地本身提供的生态系统服务价值的负值不断增大，导致研究区生态系统服务价值持续降低，影响了城市生态质量。

本文基于遥感影像数据，对不同级别城市扩张的规律性与差异性进行了研究，结合植被覆盖和生态系统服务价值，有助于宏观上了解区域城市发展态势与生态效应，并通过规划政策作出及时的调整与干预。然而，由于数据获取的限制等各方面的原因，本文也存在一些不足：

- (1) 基于遥感影像提取的遥感参数虽能基本反映指标特征，但是由于多种不确定因素的作用使指标还是有一定的波动；
- (2) 对长江经济带的城市扩张研究是样点选取，对于反映整个长江经济带的发展还有一定的局限性；
- (3) 本文对城市用地结构改变导致的生态系统服务价值变化的评估，仅提供一个相对的数据，生态系统服务在一定程度上是不能用经济价值来衡量的。

#### 参考文献：

[1] 刘沁萍, 杨永春, 付冬暇, 等. 基于DMSP-OLS灯光数据的1992～2010年中国城市空间扩张研究[J]. 地理科学, 2014, 32(2): 130-136.

LIU Q P, YANG Y C, FU D X, et al. Urban spatial expansion based on DMSP-OLS nighttime light data in 1992-2010[J]. Scientia Geographica Sinica, 2014, 34(2) : 130—136.

[2] 陈江龙, 高金龙, 徐梦月, 等. 南京大都市区建设用地扩张特征与机理[J]. 地理研究, 2014, 33(3): 427-438.

CHEN J L, GAO J L, XU M Y, et al. Characteristics and mechanism of construction land expansion in Nanjing metropolitan area[J]. Geographical Research, 2014, 33(3) : 427—438.

[3] 赵丹阳, 佟连军, 仇方道, 等. 松花江流域城市用地扩张的生态环境效应[J]. 地理研究, 2017, 36(1): 74-84.

ZHAO D Y, TONG L J, QIU F D, et al. Eco-environment effect of urban expansion in Songhua River Basin [J] • Geographical Research, 2017. 36( 1) : 74-84.

[4] 郑国. 城市发展阶段理论研究进展与展望[J]. 城市经济, 2010(2) : 83-87.

---

ZHENG G. Literature review on urban stage theory [J]. *Urban Economy*, 2010(2): 83-87.

[5] FAN S G, RAVI KANBUR, ZHANG X B. China's regional disparities: experience and policy [J] • *Review of Development Finance*, 2011, 1(1): 47-56.

[6] 张京祥, 赵丹, 陈浩. 增长主义的终结与中国城市规划的转型 [J]. *城市规划*, 2013, 37(1): 45-55.

ZHANG J X, ZHAO D, CHEN H. Termination of growth supremacism and transformation of China's urban planning in China [J]. *City Planning Review*, 2013, 37(1): 45-55.

[7] LIUFANG FANG, ZHANG Z X, WANG X. Forms of urban expansion of Chinese municipalities and provincial capitals, 1970s-2013 [J]. *Remote Sensing*, 2016, 11(8) : 930.

[8] 岑涛, 李新虎, 张国钦, 等. 厦门岛城市空间扩张特征及其影响因素分析 [J]. *地理学报*, 2010, 65(6): 715-726.

LIN T, LI X H, ZHANG G Q, et al. Dynamic analysis of island urban spatial expansion and its determinants: a case study of xiamen island [J]. *Acta Geographica Sinica*, 2010, 65(6): 715-726.

[9] 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——以城市热环境和植被指数为例 [J]. *生态学报*, 2006, 26(5) : 1451-1460.

YUE W Z, XU J H, XU L H. An analysis on eco-environmental effect of urban land use based on remote sensing images: a case study of urban thermal environment and NDVI [J] • *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(5) : 1451 — 1460.

[10] 陈仲新, 张新时. 中国生态系统效益的价值 [J]. *科学通报*, 2000, 45(1) : 17-23.

[11] 彭建, 王仰麟, 陈燕飞, 等. 城市生态系统服务功能价值评估初探——以深圳市为例 [J]. *北京大学学报(自然科学版)*, 2005, 41(4) : 594-604.

PENG J, WANG Y L, CHEN Y F, et al. Economic value of urban ecosystem services : a case study in Shenzhen [J]. *Journal of Peking University (Natural Science Edition)* , 2005 , 41(4) : 594-604.

[12] 孙新章, 周海林, 谢高地. 中国农田生态系统的服务功能 及其经济价值 [J]. *中国人口·资源与环境*, 2007, 17(4): 55-60.

SUN X Z, ZHOU H L, XIE G D. Ecological services and their values of Chinese agroecosystem [J]. *China Population. Resources and Environment*, 2007, 17(4) : 55 — 60.

[13] 张凤太, 苏维词, 赵卫权. 基于土地利用/覆被变化的重庆 城市生态系统服务价值研究 [J]. *生态与农村环境学报*, 2008, 24(3) : 21-25.

ZHANG F T, SU W C, ZHAO W Q. Urban ecosystem service values based on land use change/cover ( LUCC ) in Chongqing [J] • *Journal of Ecology and Rural Environment*, 2008, 24(3) : 21-25.

---

[14] SHI L F, LIU F, ZHANG Z X, et al. Spatial differences of coastal urban expansion in China from 1970s to 2013 [ J ]. Chinese Geographical Science, 2015, 25(4) : 389–403.

[15] 吴宏安, 蒋建军, 周杰, 等. 西安城市扩张及其驱动力分析 [J]. 地理学报, 2005, 60(1) : 143–150.

WU H A, JIANG J J, ZHOU J, et al. Dynamic of urban expansion in Xian City using Landsat TM/ETM+ data [ J ] • Acta Geographica Sinica, 2005, 60(1) : 143–150.

[16] 贺振, 赵文亮, 贺俊平. 郑州市城市扩张遥感动态监测 及驱动力分析 [J]. 地理研究, 2011, 30(12) : 2272–2280.

HE Z, ZHAO W L, HE J P. Remote sensing monitoring of urban sprawl based on object-oriented and driving forces analysis: a case study of zhengzhou city [ J ]. Geographical Research, 2011, 30(12) : 2272–2280.

[17] 蒋金亮, 周亮, 吴文佳. 长江沿岸中心城市土地扩张时 空演化特征——以宁汉渝 3 市为例 [J]. 长江流域资源与环境, 2015, 24(9) : 1528–1536.

JIANG J L, ZHOU L, WU W J. A comparative study on spatiotemporal characteristics of urban expansion for the central cities along the Yangtze River—a case study of nanjing, wuhan and chongqing [ J ]. Resources and Environment in The Yangtze Basin, 2015, 24(9) : 1528–1536.

[18] 方创琳, 周成虎, 王振波. 长江经济带城市群可持续发展 战略问题与分级梯度发展重点 [J]. 地理科学进展, 2015, 34(11) : 1398–1408.

FANG C L, ZHOU C H, WANG Z B. Sustainable development strategy and priorities of spatially differentiated development of urban agglomerations along the yangtze river economic belt [ J ]. Progress in Geography, 2015 , 34(11) : 1398–1408.

[19] 王磊, 段学军, 杨清可. 长江经济带区域合作的格局与演变 [J]. 地理科学, 2017, 37(12) : 1842–1849.

WANG L, DUAN X J, YANG Q K. The development pattern and its evolution of regional cooperation in the yangtze river economic belt [ J ]. Scientia Geographica Sinica, 2017, 37(12) : 1842–1849.

[20] 柯小玲, 向梦, 冯敏. 基于灰色聚类法的长江经济带 中心城市生态安全评价研究 [J]. 长江流域资源与环境, 2017, 26(11) : 1734–1742.

KE X L, XIANG M, FENG M. Research on ecological security evaluation of the core cities in yangtze river economic belt based on grey clustering method [ J ]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2017, 26(11) : 1734–1742.

[21] 翟珂, 吴晓青, 秦元伟, 等. 基于 OLI 影像的环渤海湾不 透水面提取及空间格局分析 [J]. 资源科学, 2015, 37( 10 ) : 1920–1928.

DI K, WU X Q, QIN Y W, et al. Extraction and spatial analysis of impervious surfaces in the bohai bay region based on OLI imagery [ J ]. Resources Science, 2015, 37(10): 1920–1928.

---

[22] 汤国安, 韦玉春. 遥感数字图像处理教程[M]. 北京: 科学出版社, 2014.

[23] 张甜, 王仰麟, 刘焱序, 等. 1987~2015年深圳市主城区景观演变过程多时相识别[J]. 地理学报, 2016, 71(12): 2170-2184.

ZHANG T, WANG YL, LIU YX, et al. Multi-temporal detection of landscape evolution in western Shenzhen City during 1987-2015 [J] • Acta Geographica Sinica, 2016, 71(12): 2170-2184. [24] YU W J, ZHOU W Q. The spatiotemporal pattern of urban expansion in China: a comparison study of three urban megaregions[J]. Remote Sensing, 2017, 9(1): 45.

[25] 高金龙, 陈江龙, 袁丰, 等. 南京市区建设用地扩张模式、功能演化与机理[J]. 地理研究, 2014, 33 (10): 1892-1907.

GAO J L, CHEN J L, YUAN F, et al. Patterns, functions and underlying mechanisms of urban land expansion in Nanjing [J] • Geographical Research, 2014, 33(10) : 1892—1907.

[26] 李锋, 叶亚平, 宋博文, 等. 城市生态用地的空间结构 及其生态系统服务动态演变——以常州市为例[J]. 生态学报, 2011, 39(19) : 5623-5631.

LI F, YE Y W, SONG B W, et al. Spatial structure of urban ecological land and its dynamic development of ecosystem services: a case study in Changzhou City, China [J] • Acta Ecologica Sinica, 2011, 39(19) : 5623-5631.

[27] 高金龙, 陈江龙, 苏曦. 中国城市扩张态势与驱动机理 研究学派综述[J]. 地理科学进展, 2013, 32(5): 743- 754.

GAO J L, CHEN J L, SU X. Urban expansion and its driving mechanism in China: from three main schools' perspectives [J]. Progress in Geography, 2013, 32(5) : 743—754.

[28] 张耀宇, 陈利根, 宋璐怡. 中国城市用地扩张驱动机制的差异性研究[J]. 资源科学, 2016, 38(1): 30-40.

ZHANG Y Y, CHEN L G, SONG L Y. Differences in driving-, force mechanisms in urban land expansion in China [J]. Resources Science, 2016, 38(1) : 30-40.

[29] 陈南岳. 长江流域可持续发展研究[J]. 中国软科学, 2001(2) : 112-115.

CHEN N Y. A study on the sustainable development of changjiang river basin [J]. China Soft Science, 2001 (2) : 112-115.