

近 30 年江苏省建设用地扩张的时空特征、 模式与驱动因素研究

王雅竹^{1,2,3}, 段学军^{1,3*}, 杨清可⁴, 王磊^{1,3}, 邹辉^{1,3}

(1. 中国科学院南京地理与湖泊研究所, 江苏 南京 210008; 2. 中国科学院大学, 北京 100049; 3. 中国科学院流域地理学重点实验室, 江苏 南京 210008; 4. 南京财经大学公共管理学院, 江苏 南京 210046)

摘要: 采用 Landsat TM/ETM 遥感解译数据, 综合运用定性与定量方法, 分析江苏省 1985~2015 年建设用地扩张的时空演变特征、类型与模式, 通过多元回归和地理探测器方法探索江苏省和各地级市建设用地扩张的时空驱动因子及驱动机制。结果表明: (1) 江苏省建设用地扩张幅度空间上呈现苏南>苏中>苏北的特征, 建设用地扩张速率时间上呈现先上升后下降的趋势, 2005~2010 年是快速扩张期。(2) 江苏省建设用地扩张呈空间自相关和明显的集聚分布。扩张密度分布呈现以江苏沿江地区为高值中心, 沿海及苏北地区为低值连片区的空间分异现象。高-高值区主要分布在城市中心区。(3) 江苏省已形成沿长江的城市发展轴带和空间集约的都市连绵区, 呈现外延型的空间扩张模式。江苏省建设用地扩张的协调性和稳定性, 均出现苏南>苏北的地理空间格局, 可分为 4 种类型: 协调稳定型、不协调稳定型、协调波动型、不协调波动型。(4) 建设用地扩张主导时间驱动因子是产业结构转型、人口增长、居民生活水平提高和投资增长, 第二、三产业比重是扩张的核心时间驱动因素, 工业化是驱动建设用地扩张的重要动力。GDP 和人口密度是建设用地扩张的主导空间驱动因子。

关键词: 建设用地; 扩张模式; 驱动因素; 地理探测器; 江苏省

中图分类号: K902 文献标识码: A 文章编号: 1004-8227(2019)07-1531-10

DOI: 10.11870/cjlyzyyhj201907003

城市化过程中的建设用地扩张日益剧烈并成为影响地区甚至全球的社会经济发展和生态稳定的重要方面^[1,2]。目前中国是全球范围内城市扩张速度最快的 3 个区域之一, 城市用地扩张面临着世上少有的严峻环境。城市无序蔓延所引起的区域性的社会经济问题、生态问题频发^[3,4], 其中, 耕地减少、粮食短缺、地价暴涨、交通拥堵和环境污染等一系列问题和矛盾凸显。因此, 如何有效的控制城市扩张, 以及处理扩张过程中引起的社会经济和生态环境问题, 寻找城市可持续发展的道路已成为当前城市发展重要的研究内容。

建设用地的扩张和驱动机制已成为国内外学者关注的焦点问题。国外关于城市用地扩张的理论基础是 Alonso^[5]提出的城市单中心模型。围绕

LUCC、GLP 研究计划, Kaya 等^[6]和 Boyle 等^[7]学者对欧洲和美国等地区研究城市扩张, 及其与人口、经济、政策等要素的关系。Wei 等^[8]分析中国城市土地扩张的核心外围格局以及加剧经济发展的不平衡。国内建设用地扩张驱动力的研究文献很多。目前, 大量的城市扩张主要侧重研究建设用地扩张态势^[9,10]、效应^[11,12]和机理^[13], 以及扩张模拟^[14,15]等方面。与此同时, 城乡建设用地的增减挂钩^[16,17]、景观生态指数^[18,19]、城市形态^[20]等研究也是受到学者关注。从数据源看, 传统的建设用地扩张多以统计年鉴^[21]为主, 随着“3S”等现代信息技术的革新, 转向以遥感影像数据为主的多源多时多相的数据^[22]; 研究尺度上, 以宏观(全国)^[23]和微观(个案城市)^[24]的尺度居多, 中观尺度(省域)^[25]研究多集中在快速城市

收稿日期: 2018-10-11; 修回日期: 2019-01-14

基金项目: 国家自然科学基金项目(41071085, 41601169); 中国科学院科技服务网络计划(STS)重点项目(KFJ-STZ-ZDTP-011); 江苏省自然科学基金项目(BK20161088)

作者简介: 王雅竹(1988~), 女, 博士研究生, 主要研究方向为经济地理与城市发展。E-mail: wangyazhu0428@163.com

* 通讯作者 E-mail: xjduan@niglas.ac.cn

化^[26]或生态脆弱区^[27]。研究方法主要采用回归分析、相关分析、空间计量分析等方法。驱动因素可以归为 4 类: 自然因素(坡度、河流)、社会因素(人口、城市化)、经济因素(GDP、产业结构)、政策因素(土地政策、城市规划)。但是, 现有的研究对建设用地的长时间序列的功能演化关注较少, 对于不同扩张模式的集聚分析也有所欠缺。在城市发展驱动力机制上大多采用定性分析, 缺少定量检验实证, 且较少从时间和空间两个角度讨论驱动机制, 也缺乏中观尺度的空间机制分析^[13]。基于经济、社会、生态等多指标综合的城市扩张的度量、驱动机制和城市形态等已成为重要的发展方向。

因此, 本文以江苏省各市作为研究区, 利用核密度估计、空间自相关、多元线性回归、地理探测器等方法, 探讨江苏省各地市 1985~2015 年建设用地扩张时空演变格局和模式; 根据城市发展特征, 划定建设用地扩张方向和类型; 诊断城市建设用地时空演化的驱动因素和机制。研究结果可为该区制定科学的土地利用政策和城市发展规划提供参考依据, 并对经济发达地区建设用地的扩张格局与演化规律的提炼具有重要理论意义。

1 研究方法与数据来源

1.1 研究区域概况

本文以江苏省为研究区, 总面积为 10.67 万 km², 以 2015 年行政区划为基准, 下辖 13 个省辖市、106 个县(市、区)。江苏省主要国民经济指标增速均高于全国平均水平, 是较为典型的高密度经济区与高密度人口区。2015 年全省 GDP 达 7.01 万亿元, 增长率达 8.5%, 人均 GDP 达 8.81 万元, 常住人口 7 976.3 万人, 城镇化率为 66.51%。作为中国建设用地扩张较快的省份, 承担着经济快速发展、产业转型升级、人口空间集聚的重任。但是, 江苏省地市发展水平存在着苏南、苏中、苏北梯度递减的空间分异特征。因此, 探究江苏省各城市近 30 年建设用地扩张模式及驱动机制, 具有一定的全国代表性和先进性, 对江苏乃至全国其他区域新型城镇化建设具有重要参考意义。

1.2 数据来源

本文主要研究数据为 1985~2015 年间, 1985、1995、2000、2005、2010、2015 年共 6 个

年度的江苏省建设用地, 数据来自中国科学院资源环境科学数据中心, 解译自各期 Landsat TM/ETM 遥感影像, 具体数据精度评价见网址: <http://www.resdc.cn/Default.aspx>。根据国家地理信息中心提供的 DEM 数据, 获取高程和坡度的区域要素, 运用 GIS 空间分析方法, 提取栅格到主要河流(三级以上河流)、主要公路(二级公路以上)、主要铁路(一级铁路以上)、GDP 和人口密度。

此外, 综合国内相关研究, 本文也收集了江苏省相应年份的社会经济数据, 用以分析建设用地扩张的影响因素, 包括经济水平、产业结构、城镇化水平等社会经济数据, 数据来源于《江苏省统计年鉴》(1986-2016 年)、《中国城市统计年鉴》和各地市统计年鉴。

1.3 研究方法

1.3.1 核密度估计

在概率论中核密度估计用于估计未知密度函数, 属于非参数检验法, 其兼顾了不同位置集聚强度的空间连续性和空间差异性, 能够有效测度建设用地扩张的空间分布位置与强度。根据输入要素计算区域数据聚集情况, 重点反映核点对周边的影响程度, 其计算公式为:

$$f(x) = \frac{1}{Th} \sum_{i=1}^T k\left(\frac{x - X_i}{h}\right) \quad (1)$$

式中: $f(x)$ 是核密度估计值; $k\{(x - X_i)/h\}$ 是核函数; T 是建设用地扩张斑块个数; $(x - X_i)$ 是估值点 x 到 X_i 的距离; $h > 0$ 是带宽。核密度估计值越大, 表示建设用地扩张越密集。

1.3.2 多元线性回归

多元线性回归用于讨论因变量与自变量的统计学关系, 本文分析了 1985~2015 年建设用地的扩张量与经济、产业、人口、交通、居民生活等因子的相关性(表 1), 探测影响建设用地扩张的核心驱动因素。利用逐步回归分析方法, 构建江苏省建设用地扩张的最优线性回归模型。

1.3.3 地理探测器

地理探测器(GeoDetector, GD)是揭示空间分异现象驱动力的统计学方法, 是一种重要的探测地理要素的空间格局及成因的方法, 逐渐被用于城市发展、社会经济等领域的研究中^[28]。经过离散分类处理, 在同一尺度下归一化不同类型的变量, 根据空间分异原理, 获得因变量与结果变量的相关性。本文引入地理探测器分析影响建设

表 1 建设用地扩张时间驱动因素

Tab. 1 Time driving factors of construction land

因素	一级因子	二级因子	编号
经济发展	经济增长	GDP	X1
		地方财政预算内收入	X2
		地方财政预算内支出	X3
	经济效益	单位建设用地的二、三产业产值	X4
	建设投资	固定资产投资	X5
		实际利用外资	X6
	产业发展	工业总产值	X7
		第二、三产业占 GDP 比重	X8
交通水平	交通便捷度	公路通车里程	X9
		公路客运量	X10
人口	人口结构	总人口	X11
		城镇人口比重	X12
劳动力	劳动力数量	从业人员数	X13
	劳动力结构	第二、三产业劳动力比重	X14
居民生活	收入水平	城镇居民人均可支配收入	X15
		农村居民人均纯收入	X16
	支出水平	城镇居民人均消费性支出	X17
		农村居民人均生活消费支出	X18
	消费水平	人均社会零售额总额	X19
	技术进步	农业科技	农业机械总动力
企业科技		专利授权数	X21

用地空间分异因子的作用强度。模型如下:

$$q = 1 - \frac{1}{n\sigma^2} \sum_{i=1}^m n_i \times \sigma^2 \quad (2)$$

式中: q 为建设用地扩张的驱动因子解释力; n 与 σ^2 分别是研究区的样本量和方差。 q 取值区间为 $[0, 1]$, 其数值越大, 表示该因子对建设用地扩张的解释力越强。本文选取了 GDP、人口密度、高程、坡度、到主要道路距离和到主要河流距离 6 个因子(表 2), 从经济、人口、地形、交通等角度分析建设用地扩张的空间驱动机制。

表 2 建设用地空间驱动因素

Tab. 2 Spatial driving factors of construction land

因素	一级因子	编号
经济区位	GDP	Y1
	人口密度	Y2
自然条件	高程	Y3
	坡度	Y4
地理区位	到主要道路距离	Y5
	到主要河流距离	Y6

2 江苏省建设用地扩张特征与模式时空演化

2.1 江苏省建设用地扩张时序演化特征

江苏省建设用地从 1985 年的 12 419.49 km² 增加到 2015 年的 22 935.65 km², 增加了 10 516.16 km², 扩张了 84.67%, 年均扩张面积为 350.54 km², 年均扩张速率为 2.82%。从三大区域来看, 建设用地扩张面积和速率从苏南、苏中和苏北呈现梯度下降, 呈现“南高北低”的特点。在地级尺度上, 苏州市建设用地扩张幅度最高, 年均扩张面积高达 60.91 km², 年均扩张速率为 10.98%。苏北的淮安市、连云港、宿迁市、盐城市建设用地扩张相对较缓。13 个地级市中, 连云港市建设用地扩张面积最低, 仅有 10.81 km², 年均扩张速率为 0.68%。

随着时间的变化, 江苏省建设用地扩张速率呈现先上升后下降的趋势(图 1), 增长速率由 1995~2000 年的 0.49%, 2000~2005 年的增至 2.10%, 到 2010 年扩张速率达到顶峰为 6.28%, 而后在 2015 年又下降至 2.28%。表明受土地集约节约用地等政策的影响, 近年来建设用地的扩张得到了一定程度的遏制, 城市无序蔓延得到治理^[29]。随着“后苏南模式”的兴起, 外资大量进入, 上海产业门槛提高, 苏州迎来良好发展机遇, 政府加快开发区建设, 苏州迅速成长为经济发展中心, 建设用地在 2000~2005 年扩张较为迅速。而江苏省其他城市扩张和产业发展滞后于苏州市, 因此建设用地扩张在 2005~2010 年才迎来快速发展期。

2.2 江苏省建设用地扩张空间演化格局

2.2.1 扩张空间格局

从建设用地扩张密度来看(图 2), 江苏省建设用地扩张密度空间分布呈现沿江地区为高值中心, 沿海及苏北低值连片的空间分异特征。江苏省建设用地扩张的密度均值为 1.02 个/km², 南京、常州、镇江的扩张密度较高, 为一级密度分布中心, 密度最高值为 1.61 个/km²。淮安和连云港交接处出现江苏省第二级密度中心。沿海地区建设用地扩张集聚度较低, 形成连片格局。

江苏省建设用地扩张的 Moran' I 指数为正, z 检验值为 1.993, p 检验值为 0.046, 说明建设用地扩张呈现正向相关, 即集聚性分布, 非随机性,

即高值与高值集聚，低值与低值集聚。建设用地扩张聚落空间整体呈现较为集聚的态势，呈现集聚型的扩张分布模式。建设用地扩张的高-高和高-低值的空间分异较为明显(图 3)。高-高值区主要分布在城市中心区，尤其在经济较为发达的苏南片区。低-低值区空间分布不明显。建设用地扩张集聚程度城市明显要高于村庄。农村地区建设用地扩张不显著集聚。建设用地扩张集聚度在城市核心区、城乡过渡区、农村地区依次降低。

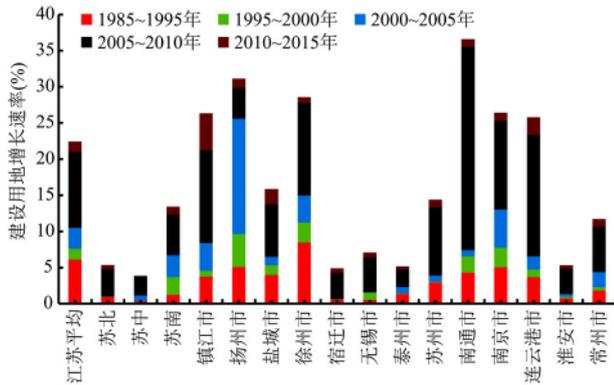


图 1 江苏省建设用地不同时间段增长速率
Fig. 1 Growth rate of different time periods of construction land of Jiangsu Province

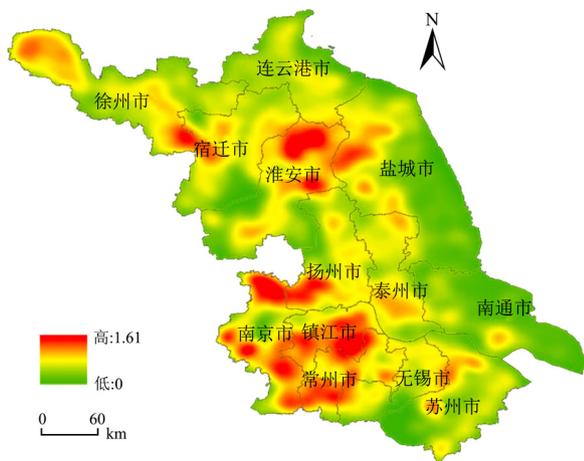


图 2 江苏省建设用地扩张核密度分布
Fig. 2 Nuclear density distribution map of construction land in Jiangsu Province

江苏省城镇建设用地扩张空间呈现南北分异的集聚格局，最邻近指数介于 0.714~0.922，均值为 0.826，建设用地扩张呈现明显的集聚分布模式。苏南地区最邻近指数较低，介于 0.714~0.758，建设用地扩张的空间分布集聚度较高，属于建设用地扩张密集区。苏北和沿海地区最邻近指数介于 0.814~0.922，建设用地扩张空间分

布集聚度偏低，建设用地扩张呈稀疏化分布。不同的经济发展阶段，建设用地扩张聚落空间格局呈现明显的区域差异，呈现着“大集聚，小分散”的扩张特征。

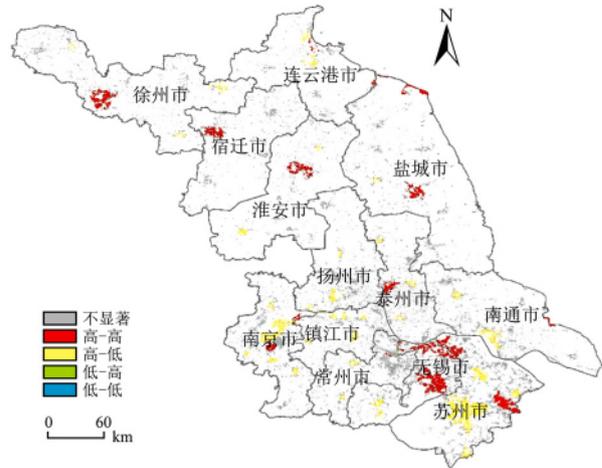


图 3 江苏省 1985~2015 年建设用地扩张 LISA 聚类图
Fig. 3 Construction land extended LISA cluster map in Jiangsu Province

2.3.2 扩张空间模式

本文借鉴刘纪远等^[30]提出的“凸壳原理”来判别建设用地的空间扩张模式，包括外延型和填充型。运用 ArcGIS 中最小边界几何算法提取江苏省城市用地的边界线，计算建设用地在凸壳边界线的内外的比例，如果在凸壳边界线外建设用地比例大于 50%，即为外延型，反之则为填充型。从图 4 可以看出，宿迁市的凸壳内建设用地占比最大，达到 30.94%。泰州市、镇江市、南通市凸壳内建设用地占比较低，在 10%~15% 之间。

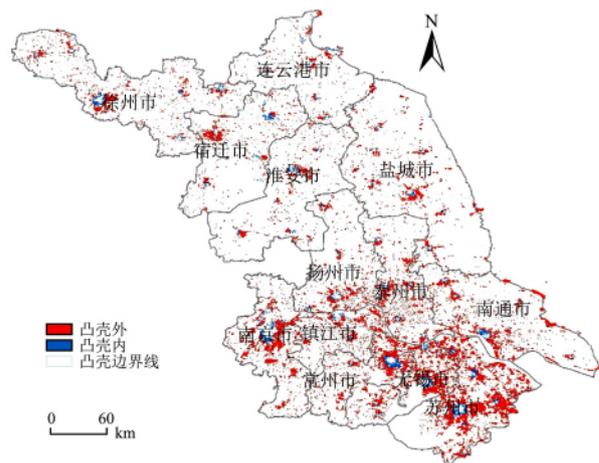


图 4 江苏省 1985~2015 年凸壳内外建设用地分布图
Fig. 4 Distribution of construction land inside and outside the convex hull of Jiangsu Province

南京市、苏州市等城市均中等占比在 15%~30% 之间。以苏州市和常州市为例(图 5), 1985~2015 年建设用地扩张过程中, 1985 年苏州市和常州市建设用地生成的最小的凸壳, 到 2005 年凸壳基本被填满, 城市形态相对紧凑, 建设用地属于填充型扩张, 呈现中心城市集聚扩张, 逐步向相对扩散的形态演变。2010 年及以后建设用地

属于外延式扩张, 不均衡扩张加剧, 凸壳面积增加, 城市形态紧凑度下降。新增建设用地空间扩张趋于复杂化和集约化, 表现为“内部填充, 外部扩张”相互交替演变。江苏省建设用地呈现由单中心填充型扩张到外延型扩张, 再向开发区、新区等的飞地式扩张, 再向新城建设的多中心外延式扩张的空间演变过程的规律。

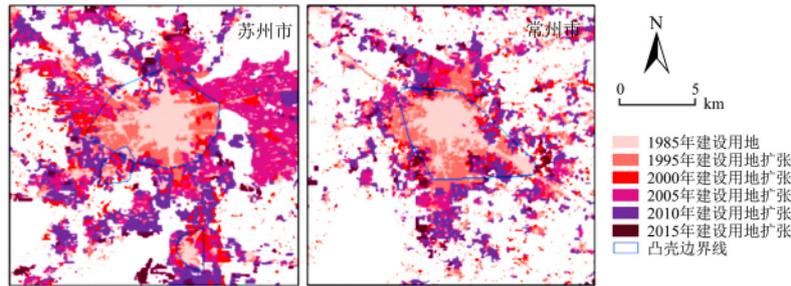


图 5 典型城市外延式建设用地扩张图

Fig. 5 Typical urban epitaxial construction land expansion map

2.3.3 扩张方向及类型

通过对 1985~2015 年的建设用地进行运算, 分析江苏省建设用地扩张的空间特征(图 6)。建设用地主要集中在苏南片区, 即南京市、苏州市、无锡市、常州市等, 这也是江苏省省会及经济快速发展城市。而连云港市、宿迁市、淮安市、宿迁市等城市, 建设用地变化较小, 属于缓慢发展的城市。由于上海经济拉动与产业转移, 苏州-无锡-昆山-常州市辖区形成热点走廊。此外, 江苏省整体呈现沿长江的城市发展带和空间集约的都市连绵地区。长江素有“黄金水道”之

称, 近年来长江经济带国家战略的实施以及长江航道航运辐射, 导致江苏省建设用地在沿江地区扩张迅速。

运用离散分割, 对江苏省各城市的建设用地的扩张模式、变化规模、极大值出现时间、变化稳定性等归纳总结, 用聚类分析将城市扩张过程划分为 4 种类型: 协调稳定型、不协调稳定型、协调波动型、不协调波动型, 与刘彦随^[31]对京津冀的建设用地扩张类型判别结果吻合。其中, 苏州市、常州市属于协调稳定型, 建设用地扩张速度稳定上升, 从城区中心呈同心圆向四周扩张, 发展方向较为协调均衡, 建设用地扩张平稳; 南京市、无锡市属于协调波动型, 建设用地扩张变化起伏大, 但是发展方向为四周扩散; 南通市、泰州市、扬州市、镇江市属于不协调稳定型, 建设用地变化规模一般偏大, 城市发展方向为东西偏向和南北偏向呈现不均衡性; 徐州市、连云港市、淮安市、宿迁市、盐城市不协调波动型, 城市建设用地扩张较小, 发展过程较不稳定, 受自然和经济影响, 该类型城市发展相对滞后。江苏省城市建设用地扩张方向、数量、发展阶段、稳定型均出现明显的地域差异, 受自然资源条件和社会经济发展影响, 呈现不同的建设用地扩张模式。江苏省建设用地扩张的协调性和稳定性, 均表现为苏南>苏北的地理空间格局。

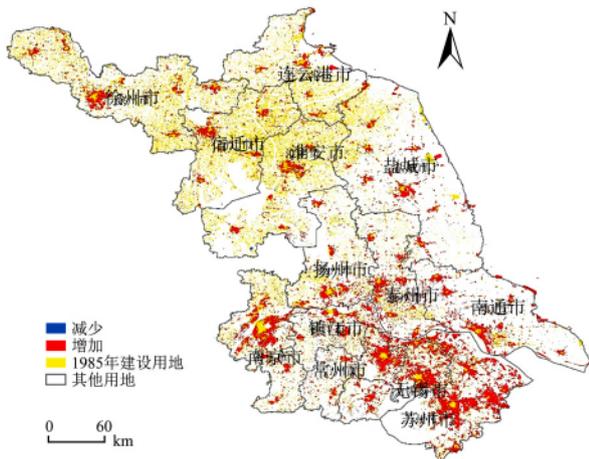


图 6 1985~2015 年江苏省建设用地变化图

Fig. 6 Transformation diagram of construction land in Jiangsu Province from 1985 to 2015

3 江苏省建设用地扩张驱动因素

3.1 时间演化驱动因素

本文利用多元线性回归方法,确定江苏省建设用地扩张的主导驱动因子,诊断江苏省建设用地扩张的时间驱动机制^[31]。回归结果中的 KMO 检验系数为 0.779,显著性概率为 0,满足 KMO 检验系数大于 0.5, P 值小于 0.05,通过检验,表明选取的时间演化驱动因子均与建设用地变化有明显的相关性。江苏省建设用地的逐步回归方程为: $Y = 14.958 + 0.066 * X_{12} - 0.081 * X_8 + 0.054 * X_{17} + 0.058 * X_5$ 。结果表明影响其建设用地扩张的指标主要为:人口结构因素(城镇化率 X_{12})、建设投资因素(固定资产投资 X_5)、居民支出水平因素(城镇居民人均消费性支出 X_{17}),这 3 个指标对建设用地扩张有正向作用。而产业发展因素(第二、三产业占 GDP 比重 X_8)与建设用地扩张呈负相关关系,这与江苏省整体上多处于工业化中后期有关。工业比重下降,第三产业逐渐占据主导地位,土地集约利用程度提

高,一定程度上限制了工业用地需求增长,对建设用地扩张起到一定抑制作用。江苏省的已形成“苏南—区域先进制造业中心、现代服务中心、苏中苏北—普通制造业、农业外围”特征的“中心—外围”产业格局^[32]。近 30 年江苏省建设用地规模扩张很大程度上受到产业结构转型、人口增长、居民生活水平和投资增长的影响。其中第二、三产业比重是江苏省建设用地扩张的核心驱动因素,工业化是驱动建设用地扩张的重要动力。

江苏省各城市建设用地扩张的正向驱动因素主要分为经济产业、社会人口、交通水平三种驱动类型(表 3)。南京市、无锡市、常州市等 7 个城市建设用地扩张属于经济产业发展驱动型,南京市、无锡市、常州市、镇江市主要驱动因子为第二、三产业占 GDP 比重(X_8),徐州市的主要驱动因子为固定资产投资(X_5),淮安市的主要驱动因子为 GDP(X_1)和工业总产值(X_7),连云港市主要驱动因子为地方财政预算内收入(X_2)。苏州市、南通市、扬州市、泰州市、宿迁市 5 个城市建设用地扩张属于社会人口水平驱动型,其中

表 3 建设用地扩张影响因素逐步回归结果

Tab. 3 Regression result of the influence factors of construction land expansion

城市	回归方程	正向核心影响因素	负向核心影响因素	R^2	Dubin-Watson
江苏	$Y = 14.958 + 0.066 * X_{12} - 0.081 * X_8 + 0.054 * X_{17} + 0.058 * X_5$	城镇人口比重、城镇居民人均消费性支出、固定资产投资	第二、三产业占 GDP 比重	0.982	2.18
南京	$Y = -5.692 + 0.019X_{11} + 0.062X_6 + 0.103X_{14}$	第二、三产业劳动力比重、实际利用外资、总人口	/	0.991	1.455
无锡	$Y = -16.173 - 0.034X_{20} + 0.321X_8 + 0.001X_5 - 0.038X_6 + 9.714E - 0.05X_9$	第二、三产业劳动力比重、公路通车里程	实际利用外资、农业机械总动力	0.998	2.347
徐州	$Y = 19.4 + 0.004X_5 - 0.001X_{21} - 7.391E - 0.005X_{10}$	固定资产投资	专利授权数、公路客运量	0.973	2.011
常州	$Y = -59.162 + 0.139X_{11} + 0.211X_8 - 5.076E - 0.005X_{10}$	第二、三产业占 GDP 比重、总人口	公路客运量	0.994	2.468
苏州	$Y = 9.853 + 0.00022X_{19} - 0.00011X_{10} + 0.00032X_{15}$	城镇居民人均可支配收入、人均社会零售额总额	公路客运量	0.995	2.466
南通	$Y = 12.305 + 0.000528X_{17}$	城镇居民人均消费性支出	/	0.933	1.696
连云港	$Y = 15.583 + 0.011X_2$	地方财政预算内收入	/	0.878	1.870
淮安	$Y = 11.848 - 0.242X_4 + 0.000048X_9 + 0.014X_1 - 0.022X_2 + 0.009X_7$	GDP、工业总产值、公路通车里程	单位建设用地的二、三产业产值、地方财政预算内收入	0.998	2.180
扬州	$Y = 9282 + 0.016X_{12} + 0.001X_5 + 0.000032X_{10} + 0.013X_{14}$	城镇人口比重、第二、三产业劳动力比重、城镇居民人均可支配收入、公路客运量	/	0.997	3.203
盐城	$Y = 14.927 + 0.002X_{10} - 0.410X_6 - 0.007X_{20}$	公路客运量	实际利用外资、农业机械总动力	0.990	2.472
镇江	$Y = -0.613 + 0.00013X_{15} - 0.00035X_{18} + 0.002X_5 + 0.08X_8$	第二、三产业占 GDP 比重、固定资产投资、城镇居民人均可支配收入	农村居民人均生活消费支出	0.995	2.602
泰州	$Y = 7.240 + 0.00028X_{17}$	城镇居民人均消费性支出	/	0.974	2.065
宿迁	$Y = -46.348 + 0.137X_{11} - 18.831X_8$	总人口	农村居民人均生活消费支出	0.825	1.584

南通市和泰州市主要驱动因子为城镇居民人均消费性支出(X17), 苏州市的主要驱动因子为城镇居民人均可支配收入(X15), 扬州市和宿迁市主要受人口因子驱动, 分别为城镇人口比重(X12)和总人口(X11)。盐城市的建设用地扩张属于交通水平驱动型, 其主要影响因子为公路客运量(X10)。由此可见, 江苏省大部分城市的建设用地扩张主要受经济产业发展的影响, 由于国内生产总值、工业生产总值、固定资产投资增加, 产业转型升级与发展水平逐步提高, 促进了城市化的加快进行, 为城市发展提供源源不断的动力, 成为建设用地扩张的最主要原因。城市发展与经济水平提高, 更具有吸引外来人口就业与居住的吸引力, 促使城市集聚人口的能力不断增加, 对建设用地的需求也逐步增强, 引起建设用地的不断扩张。

江苏省建设用地扩张的负向影响因素主要有农村居民人均生活消费支出(X17)、公路客运量(X10)、单位建设用地的二三产业产值(X4)、专利授权数(X21)等为主要因素, 因城市不同而异。说明随着交通条件改善、居民生活水平的不断提高以及科技水平进步, 对建设用地的快速扩张具有一定的抑制作用。

3.2 空间演变驱动因素

利用地理探测器中的因子探测器, 对 GDP、人口密度、高程、坡度、到主要道路距离、到河流距离指标, 探测影响建设用地扩张主要的空间驱动力^[31]。各因子的决定力有明显的差别(图 7), GDP 与建设用地扩张的相关性最大为 0.91, 成为江苏省各城市建设用地扩张的主导空间驱动

因子, 属于经济区位约束型。经济发展是引起建设用地扩张的主要原因, 经济增长直接导致建设用地需求增加, 引起土地的规模开发。GDP 发展越快的地区, 建设用地扩张的速度和规模越大。苏州市(0.94)、无锡市(0.94)和常州市(0.92)等苏南经济发达地区尤为明显。

在影响建设用地扩张的空间因素中, 人口密度(0.79)成为最活跃的因子之一。人口规模的增加导致城市空间需求的增加, 成为城市扩张的直接动力。城镇和流动人口增加了居民对就业需求和物质文化需求, 表现为住房用地、公共设施用地、交通用地增加, 促进城镇建设用地扩张。苏州市(0.81)、无锡市(0.89)、常州市(0.74)、南京市(0.81)人口密度相关性较高, 该地区人口密度较大, 建设用地的扩张速率和规模也较大。

南京市、镇江市、扬州市坡度和高程驱动力较大, 属于自然环境约束性, 与这 3 个城市属于丘陵地形因素有关。地形地貌直接影响到建设用地扩张的方向、速率和空间结构, 影响城市的内部结构和功能, 决定了城市发展及建设用地扩张的基本空间格局。

到河流的距离因素的决定力较低, 与建设用地扩张相关性为 0.06。常州市(0.14)、无锡市(0.17)和苏州市(0.10)距主要河流的驱动力较大, 属于地理区位约束型。城市的发展离开水源, 距离河流近, 生活饮用水和工业用水可以得到保障, 建设用地越容易扩张。江苏省是水域面积比例最大的省份, 包括长江、太湖等。太湖流域是中国经济最发达地区之一, 常州市、无锡市、苏州市沿太湖空间分布, 受距离河流的远近

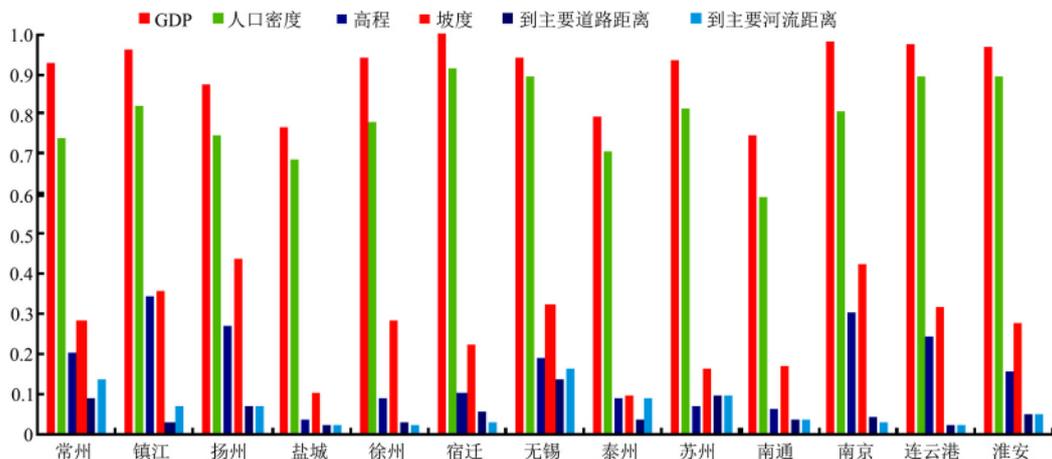


图 7 江苏省建设用地扩张地理探测结果

Fig. 7 Geographic survey results of construction land expansion in Jiangsu Province

影响较大。同时,面积较大的水域也会对城镇建设用地的扩张方向有一定限制。

此外,常州市(0.09)和无锡市(0.14)受交通驱动明显,建设用地扩张呈现沿交通干线轴向增长的态势。交通条件改善,社会经济发展迅速,城镇规模随之增加。交通设施便利加快人口集中、产业集中、物资流动,引起城镇建设用地的扩张。江苏省高速公路总里程位居全国首位,京沪、沪宁、宁杭、沿江等高速公路形成了“四横四纵四联”的高速公路格局网络,城市建设用地扩张方向受到主要道路距离影响。此外,京沪高铁、宁杭高铁等高铁建设通过跨江联动,实现苏南向苏中苏北辐射,对城市发展带动明显^[33]。

4 结论

本文以江苏省为例,利用核密度估计、空间自相关、多元线性回归、地理探测器等方法,分析建设用地近 30 年时空格局过程演变特征和模式,探测建设用地扩张的驱动因素和机制。主要结论如下:

(1) 江苏省建设用地扩张面积和速率呈现苏南>苏中>苏北特征。苏州市建设用地扩张幅度最高,连云港市最低。1985~2015 年,江苏省建设用地扩张呈现先上升后下降的趋势,大部分城市在 2005 年至 2010 年迎来快速发展期。

(2) 江苏省建设用地扩张呈明显的空间自相关和集聚分布模式。江苏省建设用地扩张密度空间分布呈现沿江地区为高值中心,沿海及苏北低值连片的空间分异格局。高-高值区主要分布在城市中心扩张区域,经济较为发达的苏南片区尤为明显。低-低值区空间分布不明显。农村地区建设用地扩张不显著集聚。

(3) 江苏省已形成沿长江的城市发展带和空间集约的都市连绵区的分布格局,建设用地扩张均呈现外延型空间扩张模式。城市扩张过程划分为 4 种类型:协调稳定型、不协调稳定型、协调波动型、不协调波动型。其中,苏州、常州属性协调稳定型;南京、无锡属于协调波动型;南通、泰州、扬州、镇江属于不协调稳定型;徐州、连云港、淮安、宿迁、盐城属于不协调波动型。江苏省建设用地扩张的协调性和稳定性,均出现苏南>苏北的地理空间格局。

(4) 运用多元回归方法,诊断江苏省建设用

地扩张的时间驱动因子和机制。建设用地规模扩张受到产业结构转型、人口增长、居民生活水平和投资增长的影响较大,其中第二、三产业比重是扩张的核心驱动因素,工业化是驱动建设用地扩张的重要动力。利用地理探测器方法,对栅格尺度数据的空间驱动探测表明,GDP 和人口密度成为江苏省各城市建设用地扩张的主导空间驱动因子。到主要河流和道路的距离两个因素的决定力较低。

随着“生态文明”建设要求的提高,建设用地扩张空间受限,建设用地的扩张在学术科研和政府管理中仍将具有较高关注度。本文由于数据获取的限制,研究中驱动机制的时间和空间影响因素未能全部纳入模型探测,在一定程度上影响到模型的精度,驱动机制有待进一步完善。寻找更合适的量化研究方法,更高精度或更小尺度数据,更全面的分析建设用地时空演变的驱动机制是未来值得进一步研究的方向。同时,本文基于江苏省 13 个市分析建设用地时空格局过程演变,对于城市内部局部发展板块扩张还有待进一步研究,因此,城市内部建设用地不同功能的扩张的社会、经济、生态效应,以及自然、文化、历史、经济的驱动机制是下一步的研究重点。

参考文献:

- [1] WANG H, HE Q, LIU X, et al. Global urbanization research from 1991 to 2009: A systematic research review [J]. *Land-use and Urban Planning*, 2012, 104(3): 299-309.
- [2] ZHAO P. Too complex to be managed? New trends in peri-urbanization and its planning in Beijing [J]. *Cities*, 2013, 30(3): 68-76.
- [3] BUHAUG H, URDAL H. An urbanization bomb Population growth and social disorder in cities [J]. *Global Environmental Change*, 2013, 23(1): 1-10.
- [4] SRINIVASAN V, SETO K, EMERSON R, et al. The impact of urbanization on water vulnerability: A coupled human-environment system approach for Chennai, India [J]. *Global Environmental Change*, 2013, 23(1): 229-239.
- [5] ALONSO W. Location and Land Use: Toward a General Theory of Land Rent [M]. Cambridge, M. A.: Harvard University Press, 1964.
- [6] KAYA S, CURRAN P J. Monitoring urban growth on the European side of the Istanbul metropolitan area: A case study [J]. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 2006, 8(1): 18-25.
- [7] BOYLE R, MOHANMED R. State growth management, smart growth and urban containment: A review of the US and a study of the heartland [J]. *Journal of Environmental Planning and*

- Management, 2007, 50(5): 677-697.
- [8] WEI Y H D, LI H, YUE W. Urban land expansion and regional inequality in transitional China [J]. Landscape and Urban Planning, 2017, 163: 17-31.
- [9] 车前进,段学军,郭 垚,等. 长江三角洲地区城镇空间扩展特征及机制[J]. 地理学报, 2011, 66(4): 446-456.
CHE Q J, DUAN X J, GUO K, et al. Urban spatial expansion process, pattern and mechanism in Yangtze River Delta [J]. Acta Geographica Sinica, 2011, 66(4): 446-456.
- [10] MA Y L, XU R S. Remote sensing monitoring and driving force analysis of urban expansion in Guangzhou city, China [J]. Habitat International, 2010, 34(2): 228-235.
- [11] 王海军,王惠霞,邓 羽,等. 武汉城市圈城镇用地扩展的时空格局与规模等级模式分异研究[J]. 长江流域资源与环境, 2018, 27(2): 272-285.
WANG H J, WANG H X, DENG Y, et al. Study on the spatio-temporal pattern and differentiation of rank-size distribution of urban land expansion in Wuhan urban agglomeration [J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2018, 27(2): 272-285.
- [12] ZHAO S Q, DA L J, TANG Z Y, et al. Ecological consequences of rapid urban expansion: Shanghai, China [J]. Frontiers in Ecology and the Environment, 2006, 4(7): 341-346.
- [13] 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.
- [14] 黎 夏,叶嘉安. 基于神经网络的单元自动机 CA 及真实和优化的城市模拟[J]. 地理学报, 2002, 57(2): 159-166.
LI X, YEH A G. Neural-network-based cellular automata for realistic and idealized urban simulation [J]. Acta Geographica Sinica, 2002, 57(2): 159-166.
- [15] 秦贤宏,段学军,李 慧,等. 基于 SD 和 CA 的城镇土地扩张模拟模型: 以江苏省南通地区为例[J]. 地理科学, 2009, 29(3): 439-444.
QIN X H, DUAN X J, LI H, et al. Urban land expansion simulation model based on SD and CA [J]. Scientia Geographica Sinica, 2009, 29(3): 439-444.
- [16] 顾汉龙,冯淑怡,张志林,等. 我国城乡建设用地增减挂钩政策与美国土地发展权转移政策的比较研究[J]. 经济地理, 2015, 35(6): 143-148.
GU H L, FENG S Y, ZHANG Z L, et al. A comparative study between the hook of urban construction land increase and rural residential land decrease policy in China and transferable development rights policy in US [J]. Economic Geography, 2015, 35(6): 143-148, 183.
- [17] 杨 俊,王占岐,柴 季,等. 中国山区城乡建设用地增减挂钩项目合理性辨析[J]. 经济地理, 2015, 35(2): 149-154.
YANG J, WANG Z Q, CHAI J, et al. Analysis on the rationality of the project of linking the increase in land used for urban construction with the decrease in land used for rural construction in China mountain area [J]. Economic Geography, 2015, 35(2): 149-154.
- [18] TAUBENBOCK H, WIESNER M, FELBIER A, et al. New dimensions of urban landscapes: The spatio-temporal evolution from a poly-nuclei area to a mega-region based on remote sensing data [J]. Applied Geography, 2014, 47(1): 137-153.
- [19] JIAO L, MAO L, LIU Y. Multi-order landscape expansion index: Characterizing urban expansion dynamics [J]. Landscape and Urban Planning, 2015, 137: 30-39.
- [20] 黄焕春,苗展堂,运迎霞. 天津市滨海新区城市形态演化模拟及驱动力分析[J]. 长江流域资源与环境, 2012, 21(12): 1453-1461.
HUANG H C, MIAO Z T, YUN Y X. Analysis simulation of urban form evolution and driving forces in Tianjin Binhai new area [J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2012, 21(12): 1453-1461.
- [21] 童陆亿,胡守庚. 中国主要城市建设用地扩张特征[J]. 资源科学, 2016, 38(1): 50-61.
TONG L Y, HU S G. Characterizations of urban sprawl in major Chinese cities [J]. Resources Science, 2016, 38(1): 50-61.
- [22] 张亦汉,黎 夏,刘小平,等. 耦合遥感观测和元胞自动机的城市扩张模拟[J]. 遥感学报, 2013, 17(4): 872-886.
ZHANG Y H, LI X, LIU X P, et al. Urban expansion simulation by coupling remote sensing observations and cellular automata [J]. Journal of Remote Sensing, 2013, 17(4): 872-886.
- [23] 方创琳,李广东,张 蕾. 中国城市建设用地的动态变化态势与调控[J]. 自然资源学报, 2017, 32(3): 363-376.
FANG C L, LI G D, ZHANG Q. The variation characteristics and control measures of the urban construction land in China. Journal of Natural Resources, 2017, 32(3): 363-376.
- [24] 罗 焜,刘耀林,孔雪松. 武汉市城乡建设用地时空演变及驱动机制研究——基于城乡统筹视角[J]. 长江流域资源与环境, 2014, 23(4): 461-467.
LUO T, LIU Y L, KONG X S. Spatial-temporal characteristics and the driving mechanism of urban-rural construction land changes in Wuhan: Based on the perspective of urban-rural integration. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2014, 23(4): 461-467.
- [25] 张雪茹,尹志强,姚亦锋,等. 安徽省城市建设用地变化及驱动力分析[J]. 长江流域资源与环境, 2016, 25(4): 544-551.
ZHANG X R, YIN Z Q, YAO Y F, et al. Analysis an urban construction land change and driving forces in Anhui province [J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2016, 25(4): 544-551.
- [26] 周 艳,黄贤金,徐国良,等. 长三角城市土地扩张与人口增长耦合态势及其驱动机制[J]. 地理研究, 2016, 35(2): 313-324.
ZHOU Y, HUANG X J, XU G L, et al. The coupling and driving forces between urban land expansion and population growth in Yangtze River Delta [J]. Geographical Research, 2016, 35(2): 313-324.
- [27] 曹贵银,周 伟,乔陆印,等. 青海省 2000~2008 年间城镇建设用地变化及驱动力分析[J]. 干旱区资源与环境, 2013, 27(1): 40-46.
CAO Y G, ZHOU W, QIAO L Y, et al. Analysis on urban construction land changes and driving forces in Qinghai province,

- 2000–2008 [J]. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2013, 27(1): 40–46.
- [28] 王劲峰, 徐成东. 地理探测器: 原理与展望[J]. *地理学报*, 2017, 72(1): 116–134.
WANG J F, XU C D. Geographic detector: Principles and prospects [J]. *Acta Geographica Sinica*, 2017, 72(1): 116–134.
- [29] 吴江月. 江苏省城镇用地扩张过程及其驱动力研究[D]. 南京: 南京大学硕士学位论文, 2015.
WU J Y. Study on urban land expansion and driving forces in Jiangsu Province [D]. Nanjing: master's degree thesis of Nanjing University, 2015.
- [30] 刘纪远, 王新生, 庄大方, 等. 凸壳原理用于城市用地空间扩展类型识别[J]. *地理学报*, 2003, 58(6): 885–892.
LIU J Y, WANG X S, ZHUANG D F, et al. Application of convex hull in identifying the types of urban land expansion [J]. *Acta Geographica Sinica*, 2003, 58(6): 885–892.
- [31] 李进涛, 刘彦随, 杨园园, 等. 1985–2015 年京津冀地区城市建设用地时空演变特征及驱动因素研究[J]. *地理研究*, 2018, 37(1): 35–72.
LI J T, LIU Y S, YANG Y Y, et al. Spatial-temporal characteristics and driving factors of urban construction land in Beijing–Tianjin–Hebei region during 1985–2015 [J]. *Geographical Research*, 2018, 37(1): 35–72.
- [32] 陈英武, 郑江淮. 转型背景下“中心—外围”特征的演变机制与发展趋势——基于江苏区域产业结构变迁的实证分析[J]. *经济地理*, 2010, 30(3): 451–453.
CHEN Y W, ZHENG J H. Evolution mechanism and development trend of core-periphery under transition background: a case study on Jiangsu changing industrial structure [J]. *Economic Geography*, 2010, 30(3): 451–453.
- [33] 王缉宪, 林辰辉. 高速铁路对城市空间演变的影响: 基于中国特征的分析思路[J]. *国际城市规划*, 2011, 26(1): 16–23.
WANG J X, LIN C H. High-speed rail and its impacts on the urban spatial dynamics in China: The background and analytical framework [J]. *Urban Planning International*, 2011, 26(1): 16–23.

Spatial–Temporal Characteristics and Driving Factors of Urban Construction Land in Jiangsu Province in the Last 30 Years

WANG Ya-zhu^{1,2,3}, DUAN Xue-jun^{1,3}, YANG Qing-ke⁴, WANG Lei^{1,3}, ZOU Hui^{1,3}

(1. Nanjing Institute of Geography and Limnology, CAS, Nanjing 210008, China; 2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 3. Key Laboratory of Watershed Geographic Sciences, CAS, Nanjing 210008, China; 4. School of Public Administration, Nanjing University of Finance & Economics, Nanjing 210046, China; 5. School of Public Administration, Nanjing University of Finance & Economics, Nanjing 210046, China)

Abstract: Based on qualitative and quantitative analysis, this paper focused on the time taken for expansion and the spatial evolution characteristics of construction land in Jiangsu Province from 1985 to 2015. By referring to the nearest neighbor index and spatial correlation method, the expansion direction and type of urban construction land were delimited, as were the spatial agglomeration characteristics. This paper diagnosed the dominant driving factors of urban construction land and analyzed the dominant driving factors in depth using multivariate linear regression and geographical detector. The major results were: first, the Jiangsu Province construction land extension showed Sunan > Suzhong > Subei. The period from 2000 to 2010 was the fastest for development of construction land. Second, self-correlation showed that the expansion of construction land in Jiangsu Province had an obvious agglomeration distribution pattern. Jiangsu Province had formed an urban sprawl distribution pattern along the Yangtze River, and it also exhibited urban agglomeration. The coordination and stability of the expansion of construction land in Jiangsu Province all showed that the geographical spatial pattern of Sunan was greater than Subei. The main time driving factors for the expansion of construction land were the industrial structure, population growth and the living standard of residents. The proportion of second and third industry is the core time driving factor of the expansion. GDP and population density were the leading spatial driving factors for the expansion of urban construction land in Jiangsu Province.

Key words: construction land; urban sprawl; driving factor; geographical detector; Jiangsu Province