

城乡融合背景下半城市化地区识别与演变研究 ——以苏州市为例

廖霞^{1,2}, 舒天衡^{3*}, 申立银⁴, 任一田⁵, 杨楠⁶

(1. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101; 2. 中国科学院大学资源与环境学院, 北京 100049;
3. 清华大学建筑学院, 北京 100084; 4. 重庆大学管理科学与房地产学院, 重庆 400045;
5. 曼彻斯特大学规划与环境管理系, 英国 曼彻斯特 M13 9PL; 6. 复旦大学国际关系与公共事务学院, 上海 200433)

摘要:半城市化地区作为城乡景观混杂交错、城乡功能相互渗透的过渡性地域,推进这类地区的良性发展是促进城乡融合发展的关键。对半城市化地区空间范围的精确识别是对其实实施精准管控的基础前提,对半城市化地区演变规律的科学把握可为其未来的发展规划提供重要参考。然而,由于半城市化地区的复杂性、动态性和模糊性,目前对该类地区的精细尺度定量识别研究不多。基于此,论文综合考虑半城市化地区的复杂多维特征,在多源遥感数据支持下,建立了一种高精度的半城市化地区识别方法体系:①构建了一套覆盖社会经济和空间格局2大维度的半城市化地区识别综合指标体系;②运用空间网格化技术和线性加权建立了半城市化特征值的计算方法;③结合滑动 t 检验与概率密度分析实现了半城市化特征临界值的确定。最后以苏州市为实例,运用建立好的方法体系,在1 km×1 km尺度下识别出了该市2010、2015和2018年的半城市化地区空间范围,并在此基础上进一步探讨了其时空演变规律,以期为苏州市以及其他地区未来的城市化进程提供参考。实证结果显示,苏州市的半城市化地区在空间上围绕中心城区不连续分布,在时间上总体呈现减少趋势,尤其是2015—2018年间下降幅度明显,表明苏州市城镇化发展趋于有序,乡村工业化与城市的无序蔓延有所放缓。

关键词:半城市化地区;城乡融合;时空演变;滑动 t 检验;苏州市

半城市化地区(peri-urban areas)是指在大城市边缘地带和非农产业显著的乡村区域涌现出的一类城乡景观混杂交错、城乡功能相互渗透的“非城非乡、半城半乡”过渡性地域,这类地区不仅是城市扩展与建设的“前缘带”,也是乡村城镇化的“先导区”^[1-2],是实现城乡融合发展的重点关注区域。半城市化地区非农产业发展迅速,新增城镇人口主要聚集于此,在空间格局和经济社会结构等方面都具有高度的复杂性和动态性^[3]。根据联合国的预测,到2025年中国将有3.5亿人口居住在半城市化地区^[4]。在城乡融合发展的大背景下,对中国半城市化地区的科学管控与引导不容忽视,推进这类地

区的良性发展已然成为城市实现高质量、可持续发展的重要抓手。然而,半城市化地区景观格局复杂交错,土地利用转变迅速,社会经济结构高度动态化,使得城市规划者和管理者对半城市化地区的空间范围认知模糊,难以科学把控其演变规律,出现想管而不知道从哪里管、如何管的窘况,因而对半城市化地区的准确识别尤为重要。

已有研究针对半城市化地区的识别主要提出了3种方法:经验判别法、单因素指标判别法和多因素指标综合判别法。经验判别法即基于专家经验将城市向外围延伸的一定圈层距离范围定义为半城市化地区,是一种早期划分半城市化地区的定性

收稿日期:2020-11-30;修订日期:2021-07-05。

基金项目:国家自然科学基金创新研究群体项目(42121001)。[Foudation: Innovative Research Group Project of the National Natural Science Foundation of China, No. 42121001.]

第一作者简介:廖霞(1996—),女,博士生,主要研究方向为城乡发展与土地利用。E-mail: liaoxia8289@igsrr.ac.cn

*通信作者简介:舒天衡(1995—),男,博士生,主要研究方向为城市与区域规划。E-mail: shuth21@mails.tsinghua.edu.cn

引用格式:廖霞,舒天衡,申立银,等. 城乡融合背景下半城市化地区识别与演变研究:以苏州市为例[J]. 地理科学进展, 2021, 40(11): 1847-1860. [Liao Xia, Shu Tianheng, Shen Liyin, et al. Identification and evolution of peri-urban areas in the context of urban-rural integrated development: A case study of Suzhou City. Progress in Geography, 2021, 40(11): 1847-1860.] DOI: 10.18306/dlkxjz.2021.11.005

方法。如Bryant^[5]根据经验值将距离主城区6~10英里(1英里=1.609 km)的环城地带划分为半城市化地区。这种界定方法操作简单,但主观性强,不具有普适性,且难以反映城市发展空间形态的多样性。单因素指标判别法即通过选择能够刻画半城市化地区特征的单因素指标来识别半城市化地区,常用的指标有人口密度^[6]、非农人口比重^[7]和居民通勤距离^[8]等。相较于经验判别法,采用单因素指标对半城市化地区范围划分更为客观,但仍然难以反映半城市化地区多维复杂特征。随着研究的深入,部分学者开始综合考虑半城市化地区的经济、社会以及景观布局等多方面的特征,构建多因素指标体系,并在此基础上采用以下常用技术方法识别半城市化地区的空间范围:门槛值法^[9]、断裂点分析法^[10]和空间聚类法^[11]等。多指标综合判别法能更加全面地反映半城市化地区的复杂特征,使半城市化地区的界定更为科学合理。但由于这种方法涉及多个指标,特别是经济社会维度指标高度依赖统计数据^[12],使得对半城市化地区的识别精度受行政区划限制。近年来RS和GIS等技术的发展为遥感数据在半城市化地区精确识别中的应用提供了支持^[13],但该方面的研究仍处于初始探索阶段,运用的数据源比较单一,多源遥感数据的集成性研究较为缺乏。

总结而言,目前关于半城市化地区的识别研究对该类地区的多维属性刻画尚显不足,尽管部分研究在半城市化地区综合指标的运用上做了一定探索,但受限于数据,研究尺度以中宏观的行政区域为主,或者少量研究在更细的网格尺度进行了半城市化地区的识别,但是基本只采用单维度的指标。鉴于此,在多源、高精度的遥感数据支持下,本文建

立了一套综合考虑半城市化地区多维复杂特征的半城市化地区识别方法,并以苏州市为例,在1 km×1 km尺度下对其半城市化地区的空间范围进行识别,最后基于识别结果分析了2010—2018年间苏州半城市化地区的时空演变特征,以期为苏州市以及其他地区未来的城市化进程提供参考。

1 研究区域与研究设计

1.1 研究区域概况

苏州市位于江苏省东南部、长三角中部(119°55'E~121°20'E、30°47'N~32°02'N之间),东邻上海、南接嘉兴、西连无锡、北枕长江,总面积8657.32 km²。截至2019年末,常住人口达1074.99万人,其中户籍人口为722.6万人,实现地区年生产总值19235.8亿元。全市辖姑苏区和吴中区等6个区、常熟市和张家港市等4个县级市,如图1所示。

一方面,苏州市紧邻上海,对外开放程度高,外商投资机会多,2019年苏州外商及港澳台工业企业实现产值20408.2亿元,占规模以上工业总产值的比重达60.8%。另一方面,苏州市早期属于典型的“苏南模式”地区,在乡镇企业带动下乡村非农化、就地城镇化发展迅速^[14]。大都市的辐射与扩张、乡村工业化和城镇化等因素使苏州具备了半城市化地区形成的多重动力,因而选择苏州市作为案例区域开展半城市化地区研究,具有一定典型性和现实意义。

1.2 研究设计

1.2.1 半城市化地区识别的综合指标体系构建

识别半城市化地区的基础是构建一组可以综

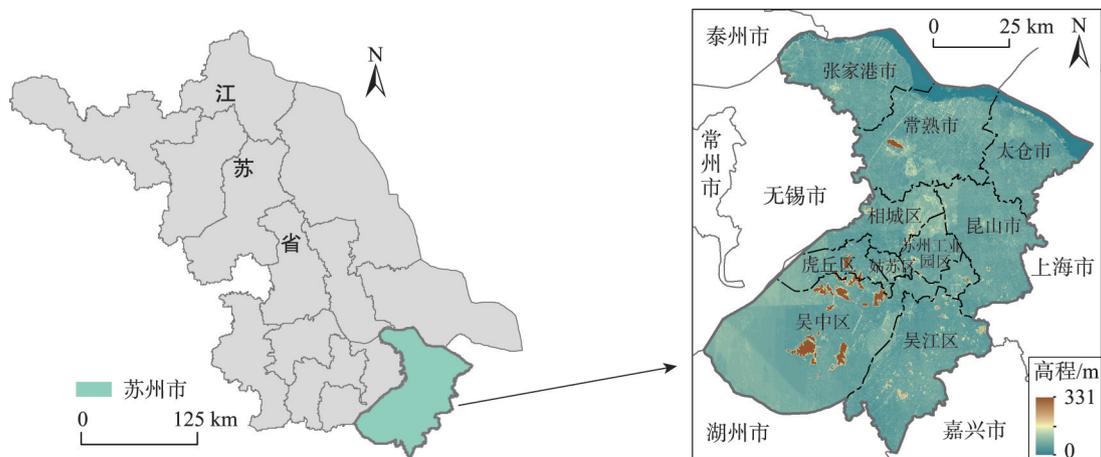


图1 苏州区位及行政区划示意图

Fig.1 Location and administrative divisions of Suzhou City

合刻画半城市化地区特征的指标。考虑到半城市化地区的形成和演进具有空间、社会和经济等复杂多维特征,具有显著的复杂性、过渡性和多样性,在参考已有研究的基础上^[10-13,15-16],本文建立了包含社会经济和空间格局两大维度的半城市化地区识别综合指标体系,涵盖人口、经济、景观和土地利用等多个方面,具体如表 1 所示。表中指标方向的含义为:适度指标代表相应指标取某个适度值时,半城市化特征最为显著,与适度值的差距越大,半城市化特征越弱;正向指标意味着指标值越大,半城市化特征越明显。

1.2.2 方法框架设计

要利用表 1 中的综合指标体系去识别半城市化地区的空间范围,需要收集多源遥感数据,并将指标数据进行空间网格化处理后集成为半城市化特征值,从而进行判别。具体方法框架设计见图 2。

2 数据处理

2.1 数据收集与预处理

本文以苏州市为研究区,研究年份涉及 2010、2015 和 2018 年。采用的遥感数据包括:土地利用/

表 1 半城市化地区识别指标体系

Tab.1 Indicator system for identifying peri-urban areas

维度	指标	指标含义	指标方向
社会经济	I_1 : 非农产值占比	反映非农化水平	适度
	I_2 : 人口密度	反映人口集聚水平	适度
	I_3 : 夜间灯光指数	反映人类活动强度和经济发展水平	适度
空间格局	I_4 : 耕地占比	反映乡村用地特征	适度
	I_5 : 建设用地占比	反映城市用地特征	适度
	I_6 : 景观多样性	反映景观复杂程度	正向
	I_7 : 景观斑块质心密度	反映景观破碎程度	正向

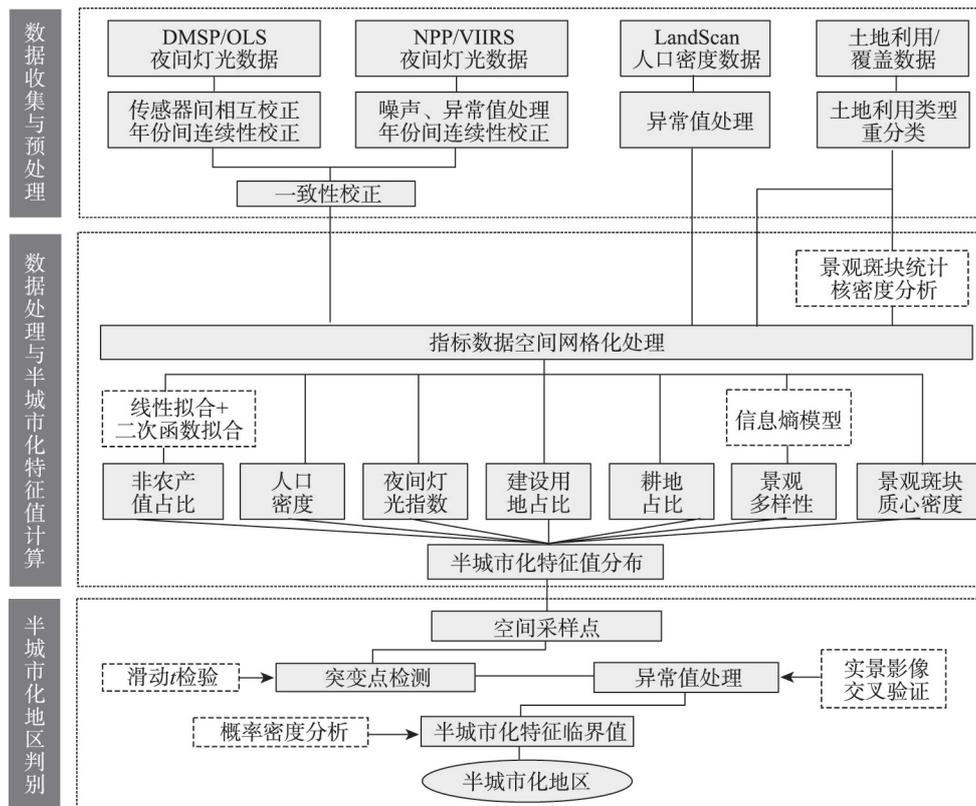


图 2 半城市化地区识别方法体系

Fig.2 Methodological framework for indentifying peri-urban areas

覆盖变化数据(30 m×30 m),由中国科学院资源环境科学数据中心提供(<http://www.resdc.cn>); DMSP/OLS和NPP/VIIRS夜间灯光数据,均来自美国国家海洋和大气管理局(<https://www.noaa.gov/>); Landscan全球人口动态数据(<https://www.satpalda.com/product/landscan/>)。社会经济统计数据来自《苏州统计年鉴》。苏州市行政区划数据由国家地理基础信息中心提供。

上述数据中,夜间灯光数据需要校正后使用,步骤如下:①对DMSP/OLS数据,参照张梦琪等^[17]的方法进行传感器间的相互校正和年份间的连续性校正;②对NPP/VIIRS月度数据,参考Shi等^[18]的方法进行降噪和异常值处理,并将处理后的月度数据合成为年度数据;③参考Tu等^[19]和董鹤松等^[20]的研究对DMSP/OLS和NPP/VIIRS两类数据进行一致性校正。此外,对于Landscan人口动态数据存在的异常值,如水域的极端高值点、负值等,本文用像元附近值进行替换。

2.2 指标数据空间化

考虑到收集的数据精度及苏州市实际情况,本文将研究尺度设为1 km×1 km。以苏州行政区划为界在ArcMap中绘制1 km×1 km的网格(共8940个网格),后续指标数据的空间化以及半城市化地区特征值的计算都依据该网格进行。

2.2.1 社会经济维度指标空间化

对于非农产值占比指标(I_1):该指标原始数据以行政单元为统计范围,参考李惠琴等^[21]、黄莹等^[22]和张怡哲^[23]等的研究,结合土地利用数据与夜间灯光数据,实现非农产值占比的空间化。具体步骤如下:

(1) 利用农业产值与相应地类面积建立空间关联,实现农业产值的空间化。首先,将苏州市内10个区县2010—2018年的农业产值统计数据作为因变量,耕地、林地、草地和水域4种地类的面积作为自变量,并进行最小二乘法线性回归,结果显示,耕地、草地与水域3类土地与农业产值的拟合效果较优($R^2=0.82$)。关系式为 $y_1=0.060x_{agri}+0.062x_{grass}+0.005x_{water}+0.183$,其中: y_1 为农业产值(亿元), x_{agri} 、 x_{grass} 和 x_{water} 分别代表耕地、草地和水域的面积(km^2)。进一步,基于3期土地利用数据,运用上述关系式,实现农业产值空间化。

(2) 利用非农产值与夜间灯光指数的相关关系,实现非农产值的空间化。首先,将苏州市内10个区县2010—2018年的非农产值(y_2)统计数据作为

因变量,县域夜间灯光指数(x)为自变量,用线性函数、指数函数和多项式等分别拟合,结果显示,二次函数拟合效果最优($R^2=0.84$)。关系式为 $y_2=9\times 10^{-8}x^2+0.0433x$ 。其次,基于3期夜间灯光数据,运用上述关系式,实现非农产值的空间化。

(3) 基于农业产值和非农产值空间数据,在1 km×1 km网格中计算非农产值占比,记第 t 年网格 i 内的非农产值占比为 $X_{t,i}^{\text{GDP}}$ 。

对于人口密度(I_2)和夜间灯光指数指标(I_3):基于预处理后的Landscan人口密度数据和夜间灯光遥感数据,用ArcGIS分区统计得到每个单元网格内的人口密度值和夜间灯光指数值,分别将第 t 年网格 i 内的人口密度值和夜间灯光指数值记为 $X_{t,i}^{\text{PD}}$ 和 $X_{t,i}^{\text{LI}}$ 。

通过上述处理便可实现苏州市2010、2015和2018年社会经济维度指标的空间化,结果如图3所示。

2.2.2 空间格局维度指标空间化

对于耕地占比(I_4)和建设用地占比指标(I_5):基于土地利用/覆盖数据,进一步统计得到每个网格的耕地占比值和建设用地占比值,同时记第 t 年网格 i 内的耕地占比为 $X_{t,i}^{\text{AR}}$,建设用地占比为 $X_{t,i}^{\text{BU}}$ 。

对景观多样性指标(I_6):同样基于土地利用/覆盖数据,统计每个网格内不同用地的面积,之后采用信息熵模型计算每个网格土地利用/覆盖的信息熵值,以反映景观的多样性^[24],公式如下:

$$X_{t,i}^{\text{DI}} = - \sum_{k=1}^n (P_{t,i,k} \times \ln P_{t,i,k}) \quad (1)$$

式中: $X_{t,i}^{\text{DI}}$ 表示第 t 年网格 i 的景观多样性, $P_{t,i,k}$ 表示第 t 年网格 i 中第 k 类土地的面积占比, n 为地类数量。

对景观斑块质心密度指标(I_7):首先将土地利用/覆盖数据导入Fragstats 4.2软件进行景观斑块的识别与统计。然后将斑块数据导入ArcGIS中求取质心,进一步运用核密度分析来度量各斑块质心在各个分析单元的密度值,以此反映景观的破碎程度,密度越大,景观越破碎。位置 x 处的核密度估计值 $f(x)$ 通过如下公式计算:

$$f(x) = \frac{1}{n_p h} \sum_{i=1}^{n_p} K \left(\frac{x-x_i}{h} \right) \quad (2)$$

式中: h 为搜索半径; n_p 为搜索范围内斑块质心样本点的总数; $x-x_i$ 为样本点 x_i 与估计点 x 间的距

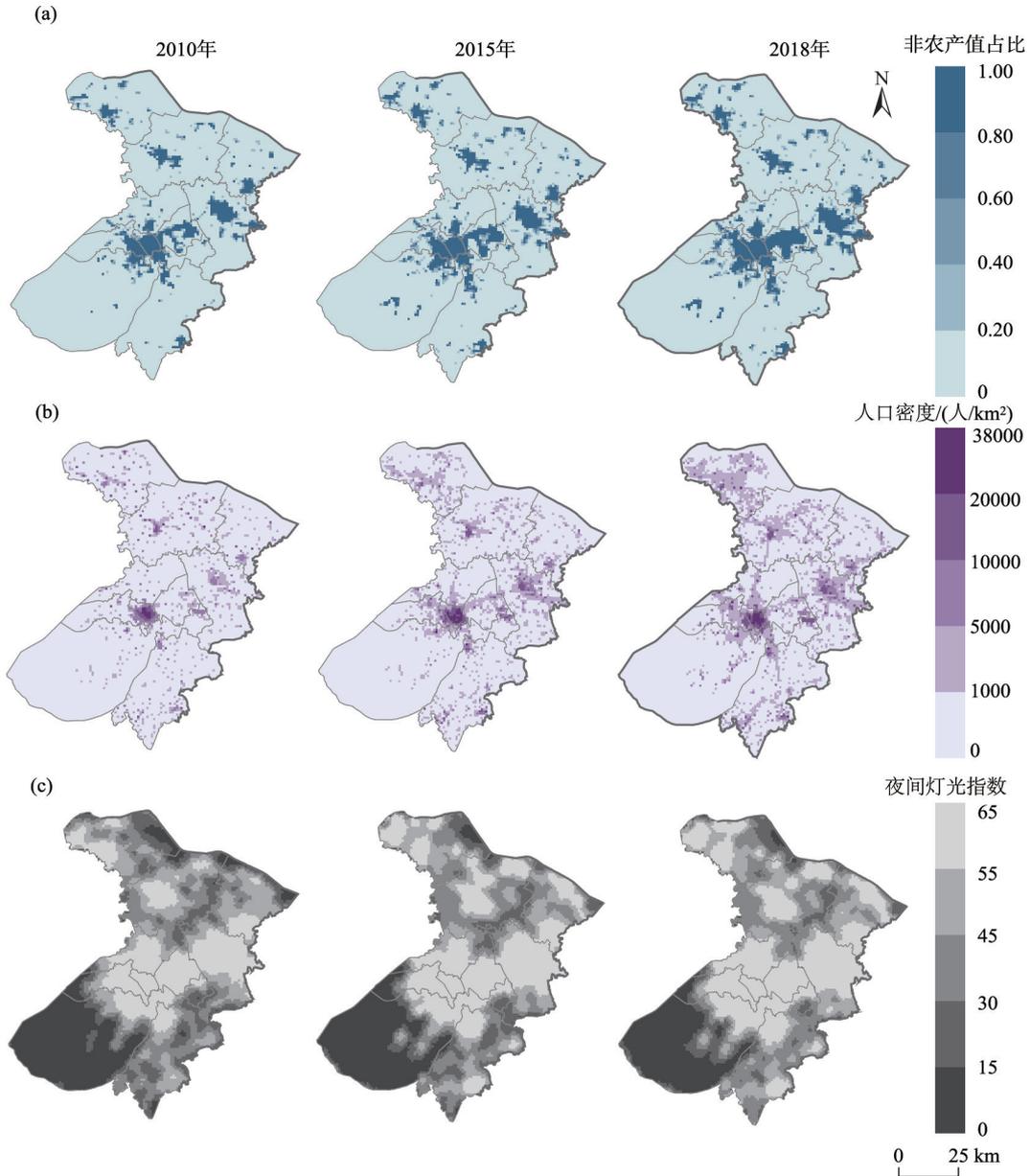


图3 2010、2015和2018年苏州市社会经济维度指标空间化结果

Fig.3 Spatialization results of the social and economic indicators in Suzhou City in 2010, 2015 and 2018

离; K 为空间距离权重函数。最后,对核密度分析结果进行分区统计,即得到各网格单元内景观斑块质心密度值,记第 t 年网格 i 的景观斑块质心密度为 $X_{t,i}^{CD}$ 。

通过上述处理便可实现苏州市 2010、2015 和 2018 年空间格局维度指标的空间化,如图 4 所示。

2.3 半城市化特征值计算

本文选取的指标从不同维度反映了特定地区的半城市化特征,为实现多维度的集成,进一步采用多指标线性加权的方法来计算每个网格单元的

半城市化特征值,步骤包括:指标正向化与标准化、权重计算和线性加权。

(1) 指标正向化与标准化:根据表 1,本文涉及的指标包括非农产值占比(I_1)和人口密度(I_2)等 5 个适度指标,以及景观多样性(I_6)和斑块质心密度(I_7)2 个正向指标。对适度指标按照如下公式进行正向化处理^[25]:

$$x_{t,i}^* = - \left| x_{t,i} - \frac{1}{n_g} \sum_{i=1}^{n_g} x_{t,i} \right| \quad (i=1, 2, \dots, n_g) \quad (3)$$

式中: n_g 表示研究区域的网格总数,本文中 $n_g =$

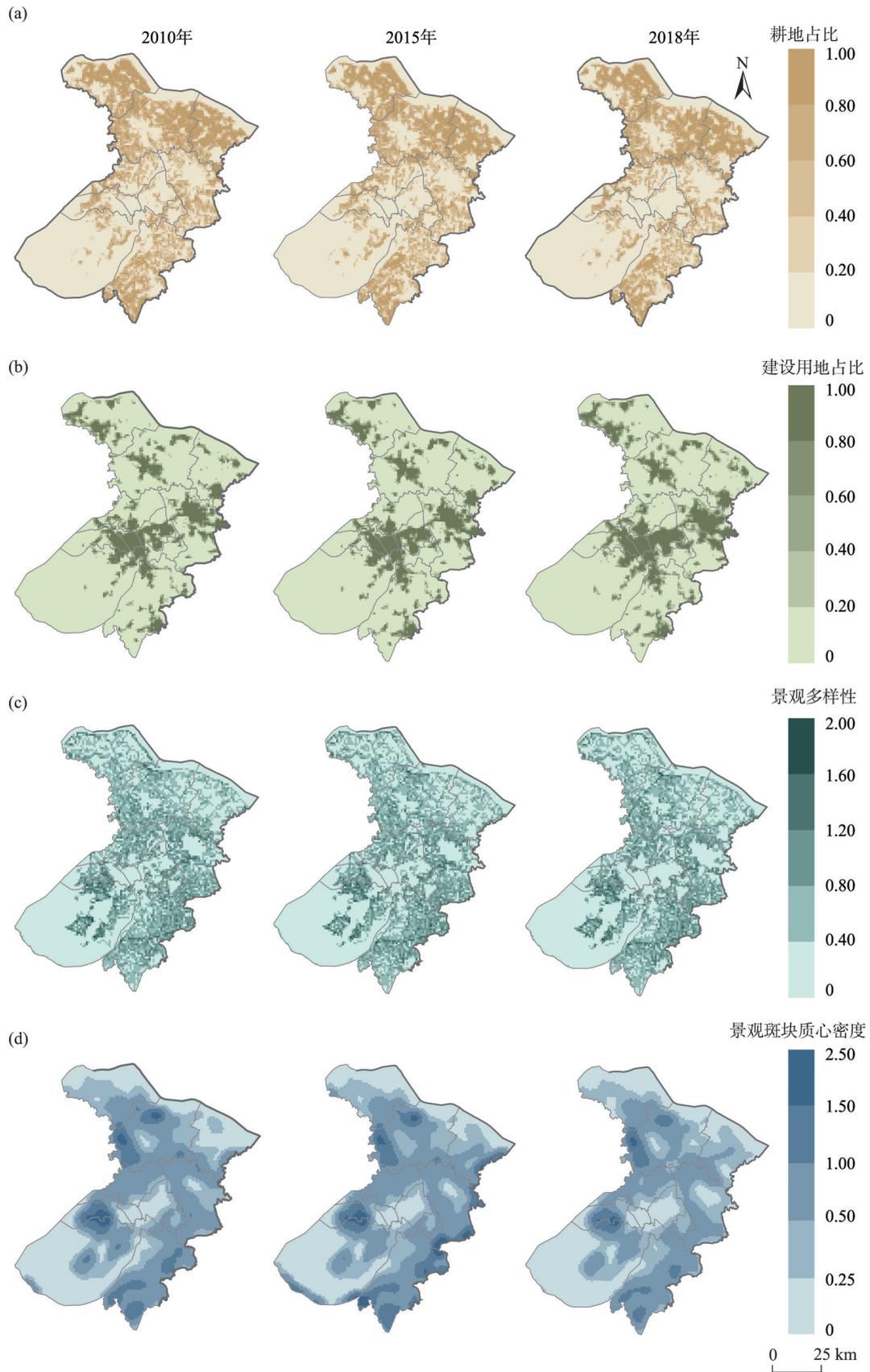


图4 2010、2015和2018年苏州市空间格局维度指标空间分布

Fig.4 Spatial distribution of spatial pattern dimensional indicators in Suzhou City in 2010, 2015 and 2018

8940。正向化后的指标数值越大,表明半城市化特征越明显。

为消除量纲影响,按下式对所有指标数据进行标准化处理:

$$x'_{t,i} = \frac{x_{t,i} - \min(x_{t,1}, \dots, x_{t,n_g})}{\max(x_{t,1}, \dots, x_{t,n_g}) - \min(x_{t,1}, \dots, x_{t,n_g})} \quad (4)$$

$(i = 1, 2, \dots, n_g)$

(2) 指标权重计算:本文采用客观赋权法——熵权法求取指标权重^[25],具体而言,需依次计算出网格*i*的*j*指标在*t*年的标准化值在所有样本中所占比重 $P_{t,i,j}$ 、熵值 $e_{j,t}$ 和指标权重 $\omega_{j,t}$:

$$P_{t,i,j} = \frac{x'_{t,i,j}}{\sum_{i=1}^{n_g} x'_{t,i,j}} \quad (j = 1, 2, \dots, 7) \quad (5)$$

$$e_{j,t} = -\frac{1}{\ln n_g} \times \sum_{i=1}^{n_g} P_{t,i,j} \times \ln P_{t,i,j} \quad (6)$$

$$\omega_{j,t} = \frac{1 - e_{j,t}}{\sum_{j=1}^7 (1 - e_{j,t})} \quad (7)$$

为使得各指标在不同年份的权重统一,用研究期平均权重作为指标的最终权重,记指标*j*的平均权重为 $\bar{\omega}_j$ 。

(3) 半城市化特征值计算:记第*t*年网格*i*的半城市化地区特征值为 $X_{t,i}^{PU}$, 计算式如下:

$$X_{t,i}^{PU} = \bar{\omega}_1 \times X_{t,i}^{GDP} + \bar{\omega}_2 \times X_{t,i}^{PD} + \bar{\omega}_3 \times X_{t,i}^{LI} + \bar{\omega}_4 \times X_{t,i}^{BU} + \bar{\omega}_5 \times X_{t,i}^{AR} + \bar{\omega}_6 \times X_{t,i}^{DI} + \bar{\omega}_7 \times X_{t,i}^{CD} \quad (8)$$

将图 3 和图 4 中的指标数据代入式(3)~(8),可计算得到非农产值占比、人口密度、夜间灯光指数、建设用地占比、耕地占比、景观多样性与景观斑块质心密度的权重分别为 0.135、0.003、0.127、0.177、0.135、0.267、0.140,从而得到苏州市 2010、2015 和 2018 年 1 km×1 km 网格尺度的半城市化特征值,如图 5 所示。

3 半城市化地区的判别

本文对半城市化地区的判别基于一个假设,即从任一完整的城乡空间截面来看,越靠近乡村的地区,其乡村特征越强,城市特征越弱,反之亦然^[26]。则在一定区域范围内,从乡村地区到城市地区,半城市化特征理论上会呈现由弱到强再到弱的变化趋势,如图 6 所示。

要基于半城市化特征值判别半城市化地区的空间范围,关键在于识别 2 个突变点(即从乡村到乡村边缘地区的乡村突变点和从城市到城市边缘地区的城市突变点)所对应的半城市化特征临界值 (X_0^{PU}),特征值大于临界值的区域则为半城市化地区。

滑动 *t* 检验方法是识别数据序列突变点的有效方法^[15],本文采用该方法来检测半城市化地区与非半城市化地区间的突变点,包括空间采样点设计、突变点检测、异常突变点处理及交叉检验 3 个步骤。

(1) 设计空间采样点以提取特征值。首先以苏州市中心城区姑苏区的观前街中心(31.3°N,120.6°E)为中心点,向四周以 1°的夹角划出 360 条断面线;同时向四周以 1 km 的直径差构造同心圆(需保证定义的辐射网络覆盖整个研究区域),共划出 85 个同心圆。将断面线与同心圆相交,得到 17594 个空间采样点,分为 360 组,上述流程如图 7 所示。

(2) 突变点检测。用 360 组采样点提取图 5 中的半城市化特征值,得到 360 组数据列。再运用 Python 编程对每组数据列进行滑动 *t* 检验(经测试,检验步长为 5 最佳),得到突变点。图 8 展示了部分数据序列的检验结果,图中超过黄色虚线范围对应的数据点即为突变点。

(3) 异常值处理及交叉检验。将突变点的网格位置导入 LocalSpaceViewer 软件,结合实景地图影像进行交叉检验,对位置异常的突变网格进行排查,如位于水面的异常点等。检验过程如图 9 所示。

经上述过程后,可得到 2010、2015 和 2018 年共计 2373 个正常突变点网格,进一步画出所有正常突变点对应的半城市化特征值的概率密度分布图像。理论上,在突变点对应的半城市化特征值的概率密度分布中,最高概率对应的特征值表明该值是临界值的可能性最大。因此本文取概率密度最高时对应的半城市化特征值作为 X_0^{PU} ,此时, $X_0^{PU} = 0.565$ 。由此,以 X_0^{PU} 为临界值,半城市化特征值高于该值的网格单元则被判别为半城市化地区。

4 结果与分析

4.1 苏州市半城市化地区识别结果与分析

根据上文步骤识别出的苏州市 2010、2015 和 2018 年半城市化地区的空间分布如图 10a~10c 所示,并进一步统计苏州市内各地区的半城市化面积

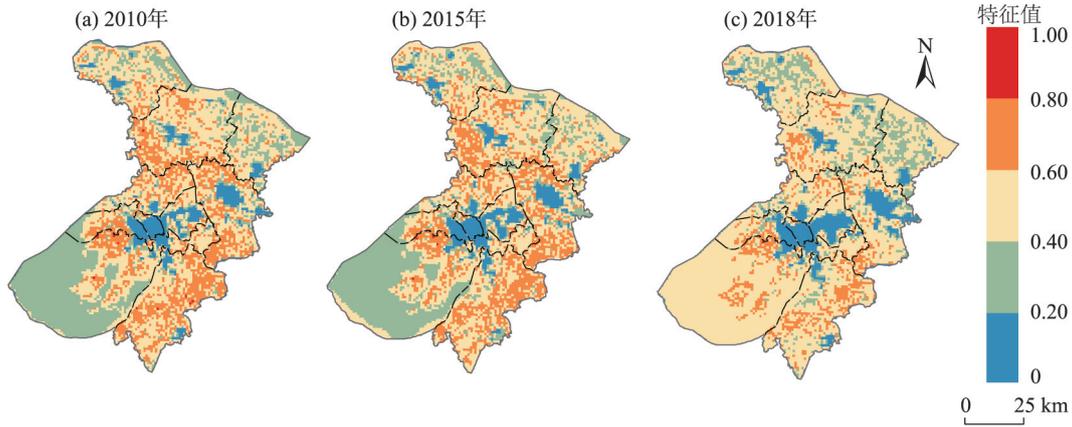


图5 2010、2015和2018年苏州市半城市化特征值分布

Fig.5 Spatial distribution of the peri-urban index value of Suzhou City in 2010, 2015 and 2018

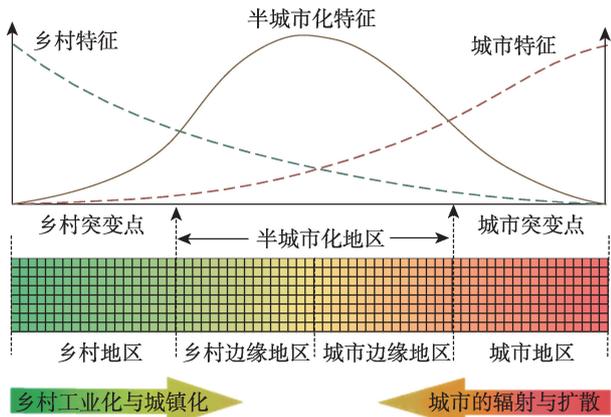


图6 城乡系统截面特征规律概念图

Fig.6 Conceptual diagram of cross-section characteristics of urban-rural system

及特征值均值,见图10d。

从空间整体分布来看(图10a~10c),苏州市内的半城市化地区在各年具有相似分布特征。苏州市

内部有3个半城市化地区集聚区,形态上围绕中心城区分布:东南部的吴江区到昆山区所形成的狭长地带、常熟市外围及其与相城区和昆山市的交界处、虎丘区和吴中区交界处。该分布特征和苏州市“组团式”的城市发展形态^[27]有关。结合图10d中的各地区半城市化地区面积总量可见,吴江区、吴中区、常熟市和昆山市内存在大量半城市化地区,其总面积遥遥领先于其他地区。以吴江市为例进一步分析,结合前文的指标数据发现,吴江区的景观多样性和斑块破碎度明显较高(图4),表明该区的景观格局呈现出复杂度和破碎度较高的零散分布特征。可见,吴江区未来要实现高质量发展,应重点关注对空间布局的有序规划,加强土地利用管控,优化景观格局。相反地,姑苏区和苏州工业园区内几乎没有半城市化地区,实际上这2个区的社会经济水平高度发达,基本已实现完全城市化。根据苏州统计局发布的数据,截至2018年,姑苏区和苏州

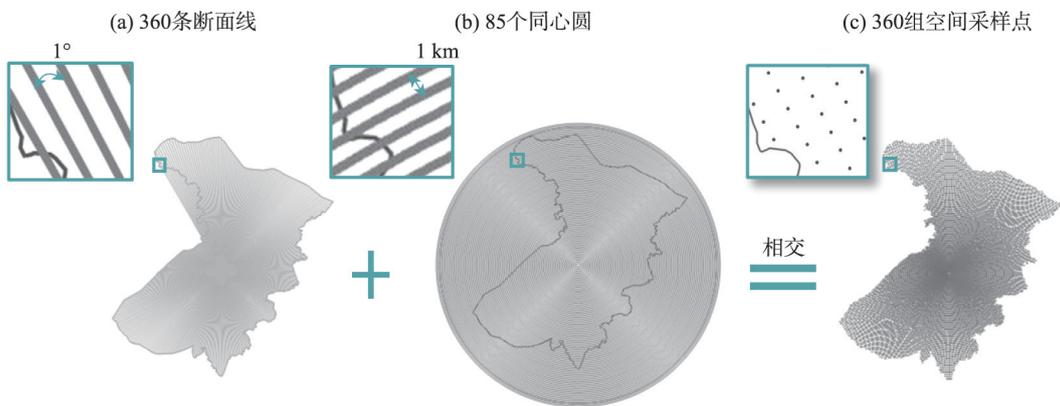


图7 建立空间采样点的流程图

Fig.7 The process of establishing spatial sampling points

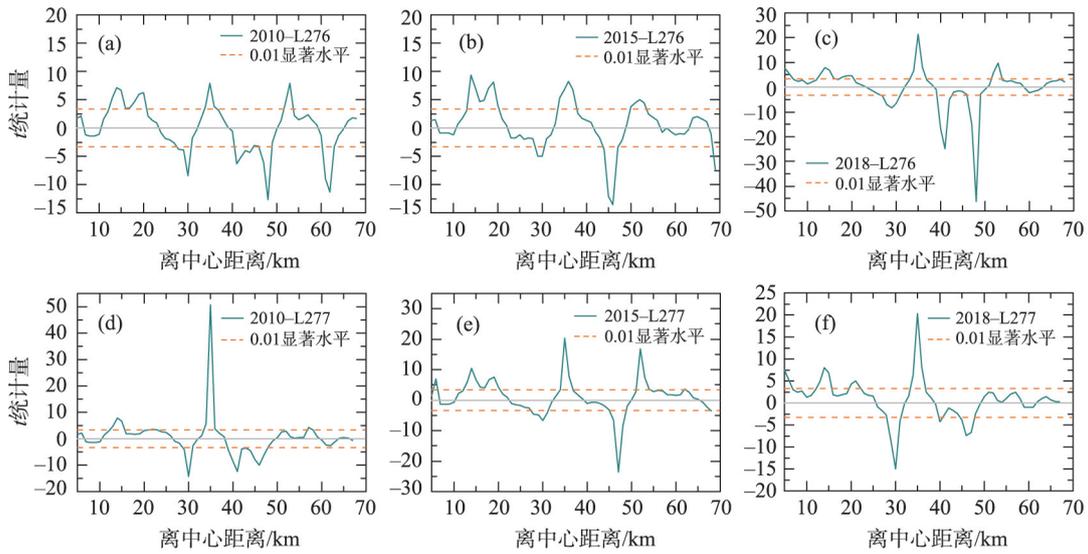
工业园区的城镇化率已分别达到 100.00% 和 99.76%。

从时间序列来看,苏州市的半城市化地区整体在 2010—2018 年呈现逐渐减少的趋势,其中昆山市和太仓市在 2015 年略微增加后,在 2018 年大幅下降,吴中区的半城市化地区面积在研究期基本持平,其余 7 个地区均呈现逐年递减的变化,且 2015—2018 年间的下降幅度更大。该现象反映出 2015—2018 年苏州市的城市化进程明显加快,引导其半城市化地区走向完全城市化取得了显著成效。

4.2 苏州市半城市化地区的演变分析

为进一步分析苏州市半城市化地区的演变特征,基于图 10 中的识别结果,图 11a 和图 11b 分别在 2010 年和 2015 年的半城市化地区范围的基础上,标示出了 2010—2015 年及 2015—2018 年新增和消失的半城市化地区,图 11c 统计了苏州市各地区的半城市化地区面积净变化量。

从新增半城市化地区的分布来看,2010—2015 年新增地区基本都分布在苏州市北部,其中张家港、常熟和太仓新增面积较多;2015—2018 年新增



注:图中L276、L277分别表示第276和277条断面线提取的数据序列。

图 8 2010、2015 及 2018 年部分数据序列滑动 t 检验结果

Fig.8 Moving t-test results of sample data series in 2010, 2015 and 2018

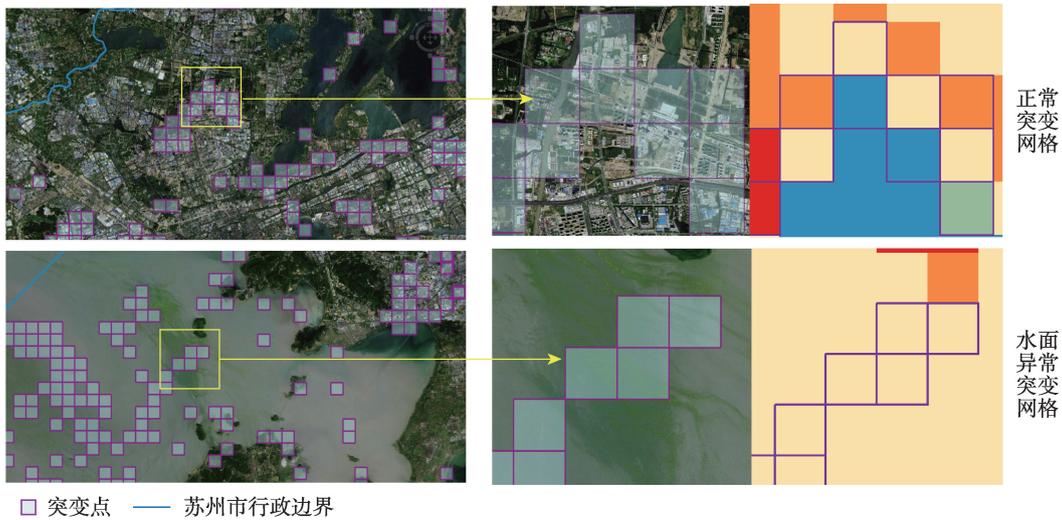


图 9 半城市化地区突变点交叉检验示意图(以 2018 年为例)

Fig.9 Diagram for checking jump points of peri-urban areas (take the year of 2018 as an example)

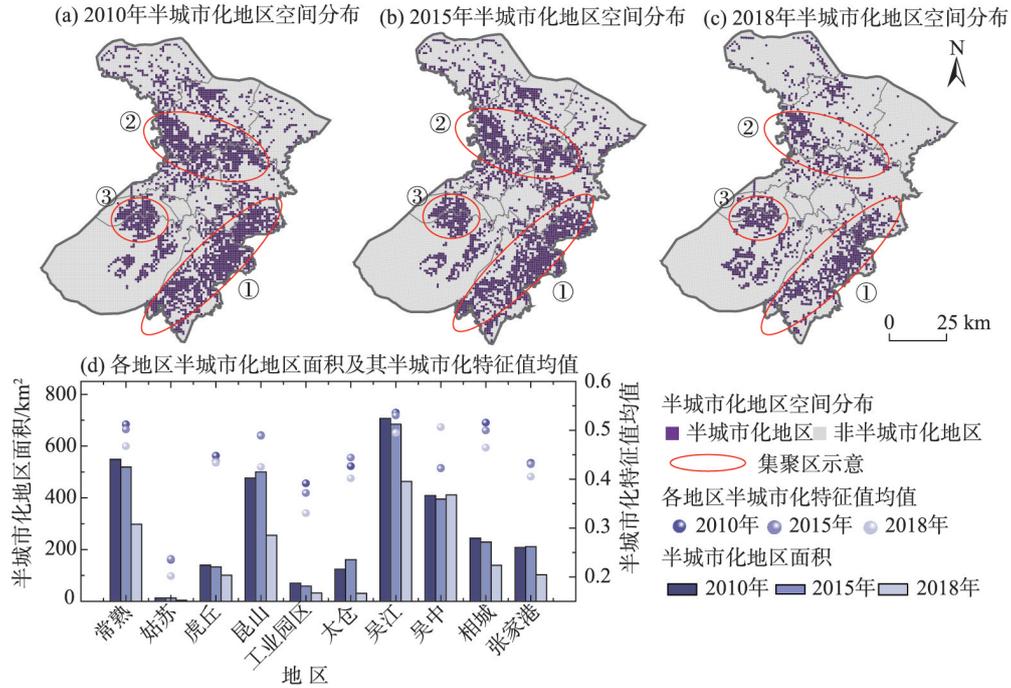


图10 2010、2015和2018年苏州市半城市化地区空间分布及其分地区面积和半城市化特征值统计
 Fig.10 The peri-urban areas of Suzhou City in 2010, 2015 and 2018 and its areas and peri-urban index value of Suzhou's sub-region

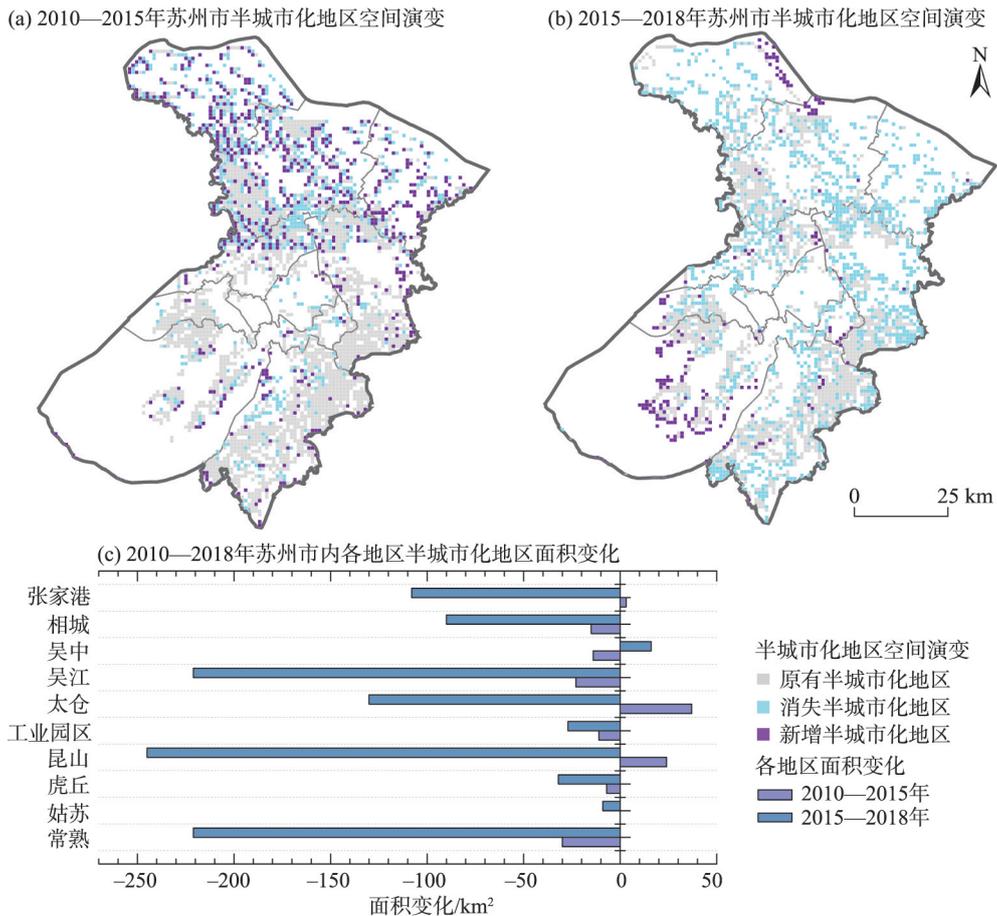


图11 2010—2018年苏州市半城市化地区演变
 Fig.11 Change of the peri-urban areas in Suzhou City from 2010 to 2018

地区很少,且大多位于吴中区。从消失的半城市化地区的分布来看,2010—2015年位于苏州市北部的常熟和相城,以及常熟和张家港的交界地区消失面积较多,消失地区主要集中于原有半城市化地区的外边缘(与乡村接壤的区域);2015—2018年期间苏州市消失的半城市化地区明显多于2010—2015年,且消失地区主要分布在原有半城市化地区的内边缘(与城区过渡的区域),整体形态呈现围绕几大城区中心不规则、不连续分布。陈贝贝^[10]对无锡市的半城市化地区范围识别结果也得出了相似的结论,并指出受交通道路、土地开发强度等的影响,城区周围的半城市化地区是不连续的,不会呈现“圈层式”包围形态。

实际上,苏州市在20世纪末经历了典型的“苏南模式”快速乡村工业化,乡镇企业在各级政府的主导下蓬勃发展,带动大量乡村地区实现了非农化发展^[28]。进入21世纪后,得益于苏州乡村的区位优势和“苏南模式”时期形成的产业基础,大量企业落户于此,在外资的带动下,这些地区得到进一步发展^[29]。该时期的发展模式在地域空间上表现出:不仅在原本的乡村腹地形成了大量的半城市化地区,同时也引导原本已形成的乡村驱动型的半城市化地区实现了完全城市化。苏州市在2015—2018年新增和消失的半城市化地区的分布和数量从侧面反映出苏州市的城市空间和功能持续扩张,许多城郊的半城市化地区发展成了完全城市化地区,同时地区发展趋于有序,乡村工业化和城市的无序蔓延明显放缓,因而该期间消失的半城市化地区面积远多于新增面积。此外,苏州市针对乡村用地无序、工业用地分布零散等问题,自2015年开始积极探索村级工业用地的整治,旨在推动乡村土地的集约利用和优化配置^[30]。本文对苏州市内半城市化地区演变的研究结果表明上述乡村土地利用的优化措施取得了良好成效。

根据上述演变分析可以预测,未来苏州市中心主城区周边的半城市化地区将持续减少,而远离主城区的张家港、常熟和太仓仍有扩张的潜力,政府及市场力量可以并举,加强引导这些地区的城市化进程。

5 结论与讨论

本文在遥感数据支持下,综合考虑半城市化地

区的多维特征,建立了一种更高精度识别半城市化地区的方法体系,并以苏州市为例,在1 km×1 km网格尺度下对其半城市化地区的空间范围进行了识别,而后探讨了该市半城市化地区的演变特征。

本文建立的半城市化地区识别方法体系的优点在于:①对半城市化地区的识别更加精确。社会经济和空间格局多维指标的综合运用能够更为真实全面地反映半城市化地区的复杂特征;多源遥感数据实现指标数据的空间网格化,使得半城市化地区的细尺度识别成为可能。②半城市化地区与非半城市化地区突变临界值的选取考虑全局特征,更为客观。360条断面线和85个同心圆结合得到的360个“城乡断面”数据组能够全面覆盖研究地区范围,并结合滑动 t 检验和概率密度函数分布确定半城市化特征临界值,避免了凭借经验界定临界值的主观性。

本文对苏州市的实例研究发现:①苏州市内部存在3个半城市化地区集聚区,形态上围绕中心城区不连续分布;②吴江区、吴中区、常熟市和昆山市内大量地区都处于半城市化状态,姑苏区和苏州工业园区基本已实现完全城市化;③2010—2015年新增半城市化地区主要分布在苏州北部,消失地区主要集中于原有半城市化地区的外边缘(与乡村接壤的区域);④2015—2018年新增地区很少,大都位于吴中区内,消失地区主要分布在原有半城市化地区的内边缘(与城区过渡的区域),且消失面积明显增多。由此可见,苏州市城镇化发展趋于有序,乡村工业化与城市的无序蔓延明显放缓。

本文的主要局限体现在以下2个方面:①苏州市内部存在大面积水域,通过人工筛选去除水网地区的突变点异常值,未来可考虑通过机器学习、人机交互等方式自动识别去除,提高结果的客观性;②基于有限的的数据,本文在1 km×1 km的尺度下对苏州市2010、2015和2018年的半城市化地区进行了识别与分析,未来可考虑在时间序列更长、空间精度更高的尺度对半城市化地区进行识别,以帮助更加全面、精准地探析半城市化地区的演变模式。

参考文献(References)

- [1] 马恩朴,李同昇,卫倩茹. 中国半城市化地区乡村聚落空间格局演化机制探索:以西安市南郊大学城康杜村为例[J]. 地理科学进展, 2016, 35(7): 816-828. [Ma Enpu, Li Tongsheng, Wei Qianru. Mechanism of change in spatial pattern of rural settlements in peri-urban areas of Chi-

- na: A case study of Kangdu Village in the college town of south Xi'an. *Progress in Geography*, 2016, 35(7): 816-828.]
- [2] 孟伟庆, 曹慧博. 城乡交错带规划管理问题的国际经验及对我国的启示 [J]. *城市观察*, 2019(3): 138-146. [Meng Weiqing, Cao Huibo. International experience on planning and management of urban-rural ecotone and its lessons on China. *Urban Insight*, 2019(3): 138-146.]
- [3] Shaw B J, van Vliet J, Verburg P H. The peri-urbanization of Europe: A systematic review of a multifaceted process [J]. *Landscape and Urban Planning*, 2020, 196: 103733. doi: 10.1016/j.landurbplan.2019.103733.
- [4] Ma L. Economic reforms, urban spatial restructuring, and planning in China [J]. *Progress in Planning*, 2004, 61(3): 237-260.
- [5] Bryant C. The peri-urban zone: The structure and dynamics of a strategic component of metropolitan regions. *Canadian Journal of Regional Science*, 2003, 26(2/3): 231-250.
- [6] 顾朝林, 陈田, 丁金宏, 等. 中国大城市边缘区特性研究 [J]. *地理学报*, 1993, 48(4): 317-328. [Gu Chaolin, Chen Tian, Ding Jinhong, et al. The study of the urban fringes in Chinese megalopolises. *Acta Geographica Sinica*, 1993, 48(4): 317-328.]
- [7] Webster D, Muller L. Challenges of peri-urbanization in the lower Yangtze region: The case of the Hangzhou-Ningbo Corridor [M]. Stanford, USA: Asia/Pacific Research Center, 2002.
- [8] Sharp J S, Clark J K. Between the country and the concrete: Rediscovering the rural-urban fringe [J]. *City & Community*, 2008, 7(1): 61-79.
- [9] 林坚, 汤晓旭, 黄斐玫, 等. 城乡结合部的地域识别与土地利用研究: 以北京中心城地区为例 [J]. *城市规划*, 2007(8): 36-44. [Lin Jian, Tang Xiaoxu, Huang Feimei, et al. Spatial identification and land use of urban-rural linkage area: A case study on Beijing's center city. *City Planning Review*, 2007(8): 36-44.]
- [10] 陈贝贝. 无锡半城市化地区的空间范围识别 [J]. *地理研究*, 2013, 32(7): 1209-1219. [Chen Beibei. Spatial definition of peri-urban areas in Wuxi. *Geographical Research*, 2013, 32(7): 1209-1219.]
- [11] Li G Y, Ca Y, He Z C, et al. Understanding the diversity of urban-rural fringe development in a fast urbanizing region of China [J]. *Remote Sensing*, 2021, 13(12): 2373. doi: 10.3390/rs13122373.
- [12] 陈贝贝. 半城市化地区的识别方法及其驱动机制研究进展 [J]. *地理科学进展*, 2012, 31(2): 210-220. [Chen Beibei. Review on identification method and driving mechanism of peri-urban area. *Progress in Geography*, 2012, 31(2): 210-220.]
- [13] 高倩, 权晓燕, 玉素甫江·如素力, 等. 乌鲁木齐半城市化地区空间变化研究: 以高新区为例 [J]. *中国农学通报*, 2016, 32(5): 49-56. [Gao Qian, Quan Xiaoyan, Yusufjiang Rusuli, et al. Spatial change of peri-urban area in Urumqi: A case study of Gaoxin District. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2016, 32(5): 49-56.]
- [14] Wei Y D, Lin J, Zhang L. E-commerce, Taobao villages and regional development in China [J]. *Geographical Review*, 2020, 110(3): 380-405.
- [15] 周小驰, 刘咏梅, 杨海娟. 西安市城市边缘区空间识别与边界划分 [J]. *地球信息科学学报*, 2017, 19(10): 1327-1335. [Zhou Xiaochi, Liu Yongmei, Yang Haijuan. Spatial recognition and boundary region division of urban fringe area in Xi'an City. *Journal of Geo-information Science*, 2017, 19(10): 1327-1335.]
- [16] 陈晨, 刘爽, 颜文涛. “时空过程”视角下上海郊区半城市化地区的格局演变及其对地区发展的作用 [J]. *上海城市规划*, 2020(3): 84-92. [Chen Chen, Liu Shuang, Yan Wentao. The changing patterns of peri-urban areas in Shanghai from the perspective of spatial-temporal process and their impacts on area development. *Shanghai Urban Planning Review*, 2020(3): 84-92.]
- [17] 张梦琪, 何宗宜, 樊勇. DMSP/OLS 稳定夜间灯光影像的校正方法 [J]. *测绘通报*, 2017(12): 58-62, 76. [Zhang Mengqi, He Zongyi, Fan Yong. Calibration for DMSP/OLS stable nighttime light images. *Bulletin of Surveying and Mapping*, 2017(12): 58-62, 76.]
- [18] Shi K F, Yu B L, Huang Y X, et al. Evaluating the ability of NPP-VIIRS nighttime light data to estimate the gross domestic product and the electric power consumption of China at multiple scales: A comparison with DMSP-OLS data [J]. *Remote Sensing*, 2014, 6(2): 1705-1724.
- [19] Tu Y, Zhou H L, Lang W, et al. A novel cross-sensor calibration method to generate a consistent night-time lights time series dataset [J]. *International Journal of Remote Sensing*, 2020, 41(14): 5482-5502.
- [20] 董鹤松, 李仁杰, 李建明, 等. 基于 DMSP-OLS 与 NPP-VIIRS 整合数据的中国三大城市群城市空间扩展时空格局 [J]. *地球信息科学学报*, 2020, 22(5): 1161-1174. [Dong Hesong, Li Renjie, Li Jianming, et al. Study on urban spatiotemporal expansion pattern of three first-class urban agglomerations in China derived from integrated DMSP-OLS and NPP-VIIRS nighttime light data. *Journal of Geo-information Science*, 2020, 22(5): 1161-1174.]
- [21] 李惠琴, 金平斌. 基于 DMSP/OLS 夜间灯光指数的浙江 GDP 空间化 [J]. *城市地理*, 2017(22): 230-233. [Li

- Huiqin, Jin Pingbin. Spatialization of GDP in Zhejiang Province using DMSP/OLS night light data. *City Geography*, 2017(22): 230-233.]
- [22] 黄莹, 包安明, 陈曦, 等. 新疆天山北坡干旱区GDP时空模拟 [J]. 地理科学进展, 2009, 28(4): 494-502. [Huang Ying, Bao Anming, Chen Xi, et al. GIS based space-time simulation of GDP in arid regions: Taking the northern slope of Tianshan Mountains as an example. *Progress in Geography*, 2009, 28(4): 494-502.]
- [23] 张怡哲, 杨续超, 胡可嘉, 等. 基于多源遥感信息和土地利用数据的中国海岸带GDP空间化模拟 [J]. 长江流域资源与环境, 2018, 27(2): 235-242. [Zhang Yizhe, Yang Xuchao, Hu Kejia, et al. GDP spatialization in the coastal area of China based on multi-sensor remote sensing data and land use data. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2018, 27(2): 235-242.]
- [24] 钱建平, 周勇, 杨信廷. 基于遥感和信息熵的城乡结合部范围界定: 以荆州市为例 [J]. 长江流域资源与环境, 2007, 16(4): 451-455. [Qian Jianping, Zhou Yong, Yang Xinting. Confirmation of urban fringe area based on remote sensing and message entropy: A case study of Jingzhou, Hubei Province. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2007, 16(4): 451-455.]
- [25] 李帅, 魏虹, 倪细炉, 等. 基于层次分析法和熵权法的宁夏城市人居环境质量评价 [J]. 应用生态学报, 2014, 25(9): 2700-2708. [Li Shuai, Wei Hong, Ni Xilu, et al. Evaluation of urban human settlement quality in Ningxia based on AHP and the entropy method. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2014, 25(9): 2700-2708.]
- [26] 马恩朴. 半城市化地区范围识别及其分类引导策略研究: 以西安市长安区为例 [D]. 西安: 西北大学, 2017. [Ma Enpu. Research on identification of spatial range and classified guidance of per-urbanization area: A case study on Chang'an District of Xi'an City. Xi'an, China: Northwest University, 2017.]
- [27] 徐银凤, 汪德根, 沙梦雨. 双维视角下苏州城市空间形态演变及影响机理 [J]. 经济地理, 2019, 39(4): 75-84. [Xu Yinfeng, Wang Degen, Sha Mengyu. Morphological evolution and influence mechanism of Suzhou urban space from the perspective of double dimension. *Economic Geography*, 2019, 39(4): 75-84.]
- [28] 范凌云. 社会空间视角下苏南乡村城镇化历程与特征分析: 以苏州市为例 [J]. 城市规划学刊, 2015(4): 27-35. [Fan Lingyun. Analysis of process and characteristics of Sunan rural urbanization from the perspective of social space: A case study of Suzhou. *Urban Planning Forum*, 2015(4): 27-35.]
- [29] 王勇, 李广斌. 苏南乡村聚落功能三次转型及其空间形态重构: 以苏州为例 [J]. 城市规划, 2011, 35(7): 54-60. [Wang Yong, Li Guangbin. Functional transformation and spatial restructuring of rural settlements in southern Jiangsu: A case study of Suzhou. *City Planning Review*, 2011, 35(7): 54-60.]
- [30] 雷诚, 葛思蒙, 范凌云. 苏南“工业村”乡村振兴路径研究 [J]. 现代城市研究, 2019, 34(7): 16-25. [Lei Cheng, Ge Simeng, Fan Lingyun. The rural revitalization path of the industrial village in southern Jiangsu Province. *Modern Urban Research*, 2019, 34(7): 16-25.]

Identification and evolution of peri-urban areas in the context of urban-rural integrated development: A case study of Suzhou City

LIAO Xia^{1,2}, SHU Tianheng^{3*}, SHEN Liyin⁴, REN Yitian⁵, YANG Nan⁶

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

2. College of Resources and Environment, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;

3. School of Architecture, Tsinghua University, Beijing 100084, China; 4. School of Management Science and Real Estate, Chongqing University, Chongqing 400045, China; 5. Department of Planning and

Environmental Management, The University of Manchester, Manchester M13 9PL, UK;

6. School of International Relations & Public Affairs, Shanghai 200433, China)

Abstract: Peri-urban areas are transitional urban areas with urban-rural mixed landscape and functions, and the positive change of peri-urban areas is essential to achieve the mission of urban-rural integrated development. The accurate identification of the spatial scope of peri-urban areas is a prerequisite for managing such areas, and a scientific understanding of the change of peri-urban areas can provide important references for its future development. However, due to the high complexity, dynamics, and fuzzy boundary of peri-urban areas, there is still little progress in fine-scale and quantitative identification of such areas. Under such background, this study established a methodology for identifying peri-urban areas supported by remote sensing data, comprehensively considering the complexity and multi-dimensional characteristics of peri-urban areas. First, a comprehensive indicator system across socioeconomic and spatial pattern dimensions was established. Second, a measurement for peri-urban index was developed by using spatial gridding and linear weighting methods. Third, combined with the moving *t*-test and probability density analysis, the threshold for distinguishing peri-urban areas and non-peri-urban areas was determined. Finally, taking Suzhou City as a case, the peri-urban areas of the city in 2010, 2015, and 2018 were identified at the 1 km × 1 km scale. On this basis, the pattern of change of Suzhou's peri-urban areas was further discussed. It is expected that the research results can provide some references for future urbanization process of Suzhou City and other regions. The case results show that the peri-urban areas of Suzhou are spatially discontinuously distributed around the central urban district, and temporally experience a decreasing trend, especially during the period of 2015 to 2018, which indicates that the urbanization process of Suzhou City tends to be under control, and the city's rural industrialization and urban sprawl have slowed down.

Keywords: peri-urban areas; urban-rural integrated development; spatiotemporal evolution; moving *t*-test; Suzhou City