

南京市城乡交错带多维识别与特征分析

曹辉¹, 蒋伟萱^{1,2}, 陈江龙¹, 陈诚¹, 何江^{1,3}, 刘春卉⁴

(1. 中国科学院南京地理与湖泊研究所, 中国科学院流域地理学重点实验室, 南京 210008;
2. 南京通越智慧信息科技有限公司, 南京 210000; 3. 安徽农业大学经济管理学院, 合肥 230036;
4. 南京农业大学人文与社会发展学院, 南京 210095)

摘要: 开展城乡交错带研究对城乡融合发展与乡村振兴都具有重要的理论与现实意义。以南京市为例, 通过构建城乡交错带多维识别指标体系, 采用随机森林模型算法, 识别城乡交错带空间分布范围并分析其特征。研究表明: 南京市城乡交错带呈组团式或带状集中分布在城市外围, 其分布格局与城镇等级体系以及南京自身形状特征相吻合, 未来建议加快城乡交错带内新城、新市镇的城市化进程, 并将其他城乡交错带作为编制村庄规划的优选区域; 城乡交错带具有过渡性、模糊性和多样性特征, 过渡性是区分城乡交错带与城市和农村的关键, 而模糊性和多样性增加了城乡交错带识别的难度, 因此新数据、新方法、多指标综合或是新阶段城乡交错带精确识别与深化研究的重要方向。

关键词: 城乡交错带; 随机森林模型; 多维识别; POI; 手机信令数据

改革开放以来, 中国城乡经济进入高速增长时期, 城市化速度加快, 随着城市范围的不断外延和乡村产业的兴起, 逐渐形成了特殊的地域实体——城乡交错带^[1]。城乡交错带的形成、结构与功能的演替受到来自城市和农村两方面的作用力, 兼具城市与乡村的形态和功能特征^[2-4]。考虑到城乡交错带的动态、模糊、复杂等特性, 学者们从不同的视角出发也衍生出许多相似的术语和概念, 比如城市边缘区、城乡过渡带、半城市化地区等^[5]。作为城乡融合的前沿区域, 城乡交错带用地格局变化剧烈, 城乡矛盾尤其突出, 因此开展城乡交错带研究对城市空间发展、乡村转型升级以及城乡统筹都具有重要的理论意义。

范围识别是城乡交错带研究的基础工作, 早期研究囿于数据资料与技术方法限制, 多以经验划分为主。比如, Russwurm^[6]于20世纪70年代通过对加拿大城市的研究, 认为城乡交错带一般分布在城市建设用地外围10~30英里范围, 其中多伦多、蒙特利尔、温哥华这样的大城市城乡交错带的范围是30英里, 而人口在2.5万~5万之间的城市, 其城乡交错带范围则是10英里左右。随着城市规模的扩大, Douglas^[7]认为东亚部分大城市的城乡交错带位于城市连片建设用地外150 km范围内, 而中国的某些城市甚至能延伸到300 km范围。目前学者们大多通过遥感、人口、社会经济、土地利用等数据提取特征指标, 采用诸如密度梯度、自然断裂点、信息熵、突变监测、小波变换等方法定量识别城乡交错带^[8-10]。陈贝贝^[11]通过建立包含建设用地占比、景观紊乱度、人口密度和二三次产业增加值四个指标的识别体系, 将这些指标分散到500 m格网上, 利用断裂点法识别无

收稿日期: 2022-07-19; 修订日期: 2022-12-02

基金项目: 国家自然科学基金项目 (41901215, 41901196, 42171211, 41571169)

作者简介: 曹辉 (1988-), 男, 山东济南人, 博士, 助理研究员, 研究方向为城乡空间结构与可持续发展。

E-mail: hcao@niglas.ac.cn

通讯作者: 陈江龙 (1974-), 男, 福建厦门人, 博士, 研究员, 研究方向为区域发展与国土空间规划。

E-mail: jlchen@niglas.ac.cn

锡市城乡交错带范围。周小驰等^[12]从物理、景观和人口三个维度选择指标,并引入不透水面盖度指标表征城乡交错带,结合信息熵和突变监测法,开展西安市城乡交错带的识别。彭建等^[13]通过遥感影像获取北京市不透水面范围,在此基础上利用小波分析的方法寻找不透水面的突变点,然后通过连接内外层突变点获得城乡交错带范围。以上方法多基于“中心城区—城乡交错带—乡村腹地”的同心圆发展结构,通过确定内外边界实现城乡交错带识别。然而考虑到中国快速城市化背景下城乡交互作用的复杂情景,城乡交错带并不一定呈闭环形态,也不止存在于中心城区周边^[14,15]。为了解决以上问题,一些基于特征聚类的方法,比如K-means聚类、冷热点分析、空间自相关等^[16-19],逐渐得到应用。

定量分析相比经验划分法可以获得更准确的城乡交错带范围,目前城乡交错带定量研究中常用的分析尺度主要是行政尺度和格网尺度。行政尺度的数据大多来自统计资料,可以保证社会经济属性特征的整体性,但是统计数据往往粒度较粗,无法满足城乡交错带精细化识别与管理的要求。格网尺度的空间粒度较细,但是社会经济属性特征难以落实到格网单元,而且格网划分也会人为割裂城乡交错带的属性特征,影响识别结果。信息时代的到来为地理学研究带来巨大变革,以互联网、物联网等为代表的位置大数据具有互动性高、现势性强、数据量大等特点,能够更好地反映和表征人口流动、公共服务、产业分布、生态环境等方面的问题^[20-22],弥补统计资料分析粒度较粗的缺陷,从而为城乡交错带的精细研究提供新的机遇,但同时也对研究方法提出了更高要求。比如,刘星南等^[23]就在传统遥感、人口数据基础上,引入地图兴趣点(Points of Interest, POI)数据,尝试采用人工智能深度学习算法识别广州市城乡交错带范围。

南京是江苏省省会,是中国东部地区重要的中心城市、全国重要的科研教育基地和综合交通枢纽。改革开放以后,尤其是近二十年来,南京市城乡发展迅速,一方面南京的城市功能向城乡交错带加速扩散,另一方面新的乡村功能也在城乡交错带不断成长,具体表现为国家级江北新区、仙林大学城、江宁大学城等加速建设,都市农业、乡村旅游积极发展^[24-26]。整体上看,南京市城乡交错带社会经济发展转型加速、空间形态变化剧烈、人地关系矛盾愈发突出。因此,开展南京市城乡交错带识别研究,对实现新时代大都市区城乡融合发展具有重要现实意义,也能够为南京市城乡交错带的优化管控提供科学依据。鉴于此,本文利用遥感解译数据、POI数据以及手机信令数据,以行政村/社区为基本分析单元,采用随机森林机器学习算法,从土地利用、社会经济以及人口特征三个维度识别南京市城乡交错带范围,揭示南京市城乡交错带空间分布的规律与特征,为南京市城乡交错带优化调控提供参考。

1 研究方法与数据来源

1.1 研究区概况

南京地处江苏省西南部、长江下游,全境位于 $31^{\circ}14'\sim 32^{\circ}37'N$ 、 $118^{\circ}22'\sim 119^{\circ}14'E$ 之间,整体呈南北长东西窄形状,市域面积大约 6587 km^2 。本文研究区域包括南京市域全境,即玄武、秦淮、建邺、鼓楼、栖霞、雨花台、江宁、浦口、六合、溧水、高淳11个区(图1)。

1.2 数据来源

本文的时间节点为2020年左右。其中,土地利用资料来自遥感解译,数据来自USGS网站(<https://glovis.usgs.gov/>)下载的2020年Landsat OLI影像,采用面向对象的分类方

法, 参照《土地利用现状分类》(GB/T 21010—2017), 根据研究需要, 结合规划资料、地图注记等辅助信息, 共划分耕地、园地、林地、草地、水体、农村建设用地、城镇建设用地、其他建设用地八大类。手机信令数据主要用于提取较小尺度的实时人口空间分布特征, 研究选用2019年11月份的南京市联通手机信令数据(扩样校正后数据), 根据手机用户在研究区内的停留时段与停留时长, 获得居住人口、工作人口等不同人群的空间分布特征。POI数据通过百度地图开放平台获取, 剔除与本文不相关的兴趣点类型后, 保留餐饮服务、风景名胜、公共设施、公司企业、购物服务、交通设施服务、金融保险服务、科教文化服务、汽车服务、商务住宅、生活服务、体育休闲服务、医疗保健服务、政府机构及社会团体、住宿服务15种类型。

1.3 研究方法

1.3.1 城乡交错带多维识别指标体系

从城乡交错带研究的应用价值及城市管理角度, 行政村/社区一般被认为是城乡交错带识别的最佳分析单元^[5], 遥感影像、POI、手机信令数据等地理空间数据的应用为行政村/社区尺度的特征提取创造了条件。为识别南京市城乡交错带分布范围, 本文以行政村/社区为基本分析单元, 构建基于土地利用、社会经济及人口特征多维识别指标体系(表1)。

城乡交错带是城市向农村的过渡地带, 在土地利用和景观形态上通常表现为城乡用地复杂、景观破碎等特征^[27,28]。鉴于此, 土地利用特征方面选择土地开发高强度、景观紊乱度、用地城市化水平以及农用地占比等作为备选指标。其中, 土地开发强度以分析单元内建设用地所占比例表示, 景观紊乱度采用信息熵^[9]计算方式如下。

$$W = - \sum_{i=1}^n X_i \ln X_i \quad (1)$$

式中: W 为景观紊乱度, 代表土地利用景观的分散和破碎程度; n 代表土地利用类型的数量(个); X_i 代表第 i 类土地利用类型面积占总面积的比例(%)。

POI数据作为一种重要的空间位置大数据, 具有数据量大、涵盖信息详细等优点, 包含丰富的社会经济属性特征^[29], 本文筛选出产业发育程度、公共设施完善度、生活便利程度以及综合功能完善度四类社会经济特征指标。人口特征指标来自手机信令数据, 以各种类型的人口密度表示, 包括居住人口密度、工作人口密度、流动人口密度、到访人口密度和总人口密度。

1.3.2 基于随机森林模型的城乡交错带识别方法

随机森林模型具有能够处理高维特征、运行高效、准确率高等优点, 该方法首先从

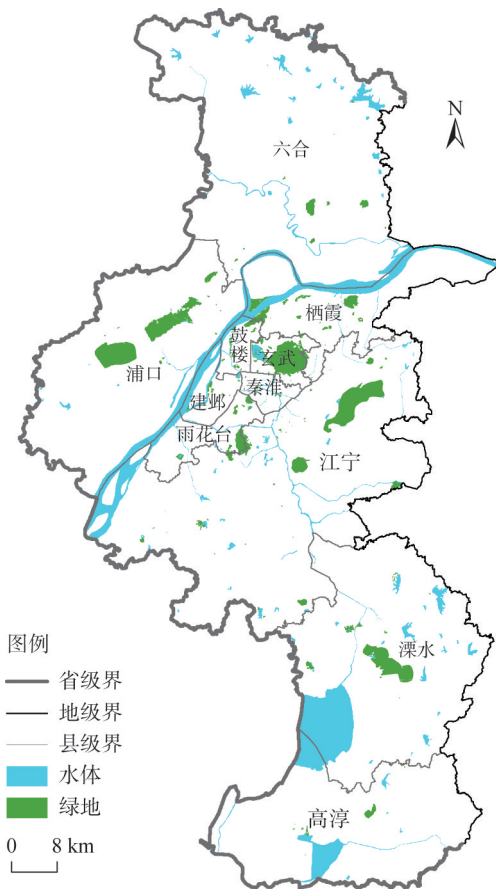


图1 研究区域

Fig. 1 Study area

表1 城乡交错带多维识别指标体系

Table 1 Multi-dimensional identification index system of urban-rural fringe

特征	指标	说明
土地利用特征	土地开发强度	建设用地面积占总面积比例
	景观紊乱度	土地利用类型信息熵
	用地城市化水平	城镇建设用地面积占总建设用地面积比例
	农用地占比	农用地面积占总面积比例
社会经济特征	产业发育程度	公司企业类POI密度
	公共设施完善度	风景名胜、公共设施、交通设施服务、政府机构及社会团体多种类型POI密度
	生活便利程度	生活服务类POI密度
	综合功能完善度	全部类型POI密度
人口特征	居住人口密度	当月夜间驻留超过10天的人群密度
	工作人口密度	工作日白天驻留超过10天的16~64岁的人群密度
	流动人口密度	常住地不在南京,单日驻留时长超过3小时,且月度驻留少于10天的人群密度
	到访人口密度	职住地不在分析单元内的人群密度
	总人口密度	当月日均驻留时长超过3小时的人群密度

原始训练样本中有放回地重复随机抽取样本,对每一个抽取的训练样本集构建其对应的决策树,通过选取最优特征变量产生一个包含多个决策树的分类器,然后通过投票方式得出最终分类结果^[30,31]。本文通过构建城乡交错带多维识别指标体系,采用ArcGIS Pro中自带的随机森林分类算法对南京市城乡交错带进行识别(图2),具体操作步骤如下:

- (1) 根据专家咨询、文献收集等方式提取分类样本,样本类型包括城市、城乡交错带以及农村,本文用于南京市城乡交错带识别的行政村/社区分析单元共797个,从中选取100个样本,其中60个作为训练样本,40个为验证样本;
- (2) 结合城乡交错带多维识别指标体系进行特征训练,按照特征指标的重要性选择适当的指标子集进行分类,通过验证样本对分类结果进行精度评价;
- (3) 重复步骤2直到无法实现更高的分类精度为止,此时的特征指标集合即为最优特征指标;
- (4) 对分类结果进行目视优化,进一步提高城乡交错带的识别精度,目视优化重点关注两方面,即验证样本中的错误预测对象以及与周围分类结果不一致的对象。

1.3.3 城乡交错带空间格局分析方法

缓冲分析和扇形分析是描述城市空间格局的常用方法^[32],缓冲分析可以很好地描述城乡交错带随距离变化的空间分布特征,而扇形分析则能够解释城乡交错带的空间方位特征。本文结合缓冲分析与扇形分析刻画城乡交错带的空间分布特征(图3)。

2 结果分析

2.1 城乡交错带识别结果与空间分布

2.1.1 城乡交错带识别结果

基于随机森林模型的城市、城乡交错带与农村分类结果的总体精度为0.88,其中城乡

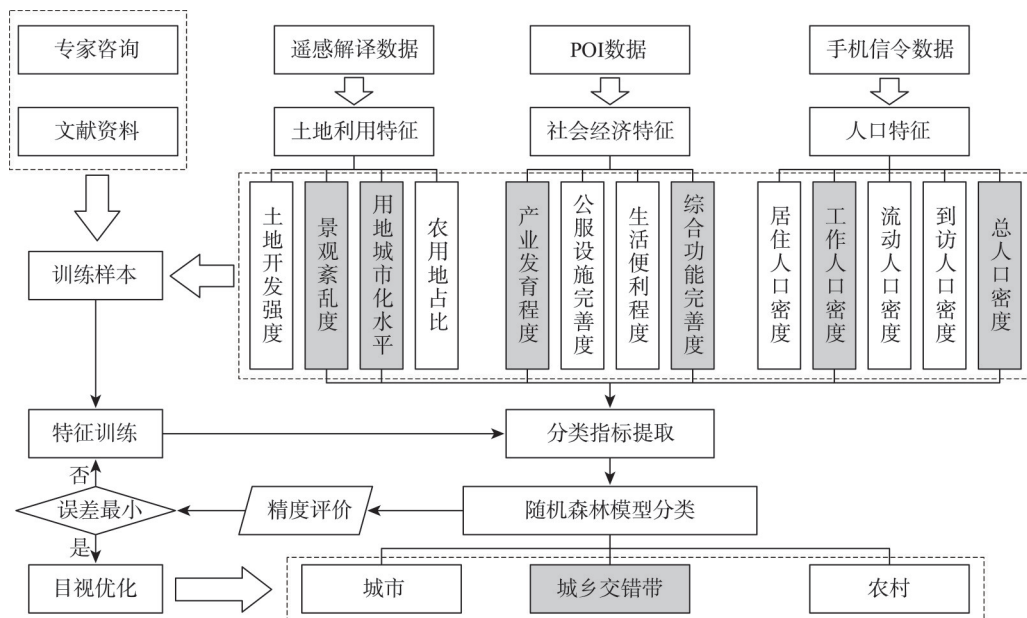


图2 城乡交错带识别流程图

Fig. 2 Flow chart of urban-rural fringe identification

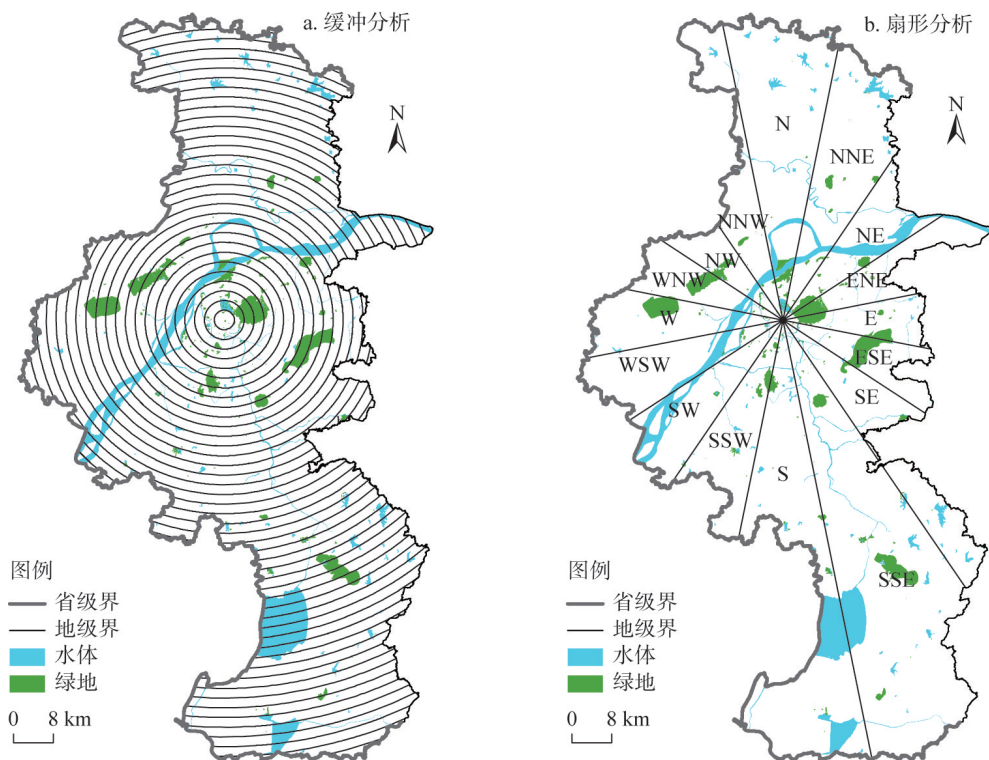


图3 缓冲分析与扇形分析方法示意图

Fig. 3 Illustration of buffer analysis and fan analysis

交错带的生产精度为0.84, 用户精度为0.89, F1-Score达到0.86, 整体识别精度较好(表2)。该分类结果的最优特征指标为景观紊乱度、用地城市化水平、产业发育程度、综合功能完善度、工作人口密度以及总人口密度。

在随机森林模型分类基础上, 通过目视优化完善分类结果, 最终有341个行政村/社区单元识别为城乡交错带(图4), 面积为2793.97 km², 占南京市总面积的42.4%。此外有219个行政村/社区单元识别为城市, 面积为1348.89 km², 占南京市总面积的20.5%; 其余237个行政村/社区单元识别为农村, 面积为2444.18 km², 占南京市总面积的37.1%。城乡交错带中, 国有直属用地或农场5个, 社区177个, 村庄159个。从行政区划来看, 城乡交错带主要分布在浦口区、六合区、江宁区、溧水区和高淳区, 其中浦口区40个, 六合区59个, 江宁区109个, 溧水区42个, 高淳区60个; 主城六区(鼓楼区、玄武区、秦淮区、建邺区、雨花台区、栖霞区)是高度城市化地区, 其中仅雨花台区和栖霞区分布有城乡交错带, 共计31个。

2.1.2 城乡交错带分布格局

南京市城乡交错带的空间格局体现了《南京市城市总体规划(2018—2035年)》确定的城镇等级体系, 即“1个中心城区^①、3个副城、9个新城、29个新市镇和若干个新社区”(图4)。首先, 多数城乡交错带呈组团式或带状集中分布在中心城区周边, 其次是六合、溧水、高淳三个副城外围; 一些城市化水平较高的新城周围, 如汤山、淳化、禄口、板桥等, 也形成了城市与城乡交错带的核心—边缘结构, 其他城市化水平相对较低的新城以及未来重点发展的新市镇和城镇型新社区也全部位于城乡交错带内。

具体来看, 南京市城乡交错带从城市中心8 km处开始向外呈现先上升后波动下降的

表2 精度评价

Table 2 Accuracy assessment

	生产精度	用户精度	F1-Score
城市	0.92	1	0.8
城乡交错带	0.84	0.89	0.86
农村	0.89	0.73	0.96
总体精度		0.88	
Kappa系数		0.81	

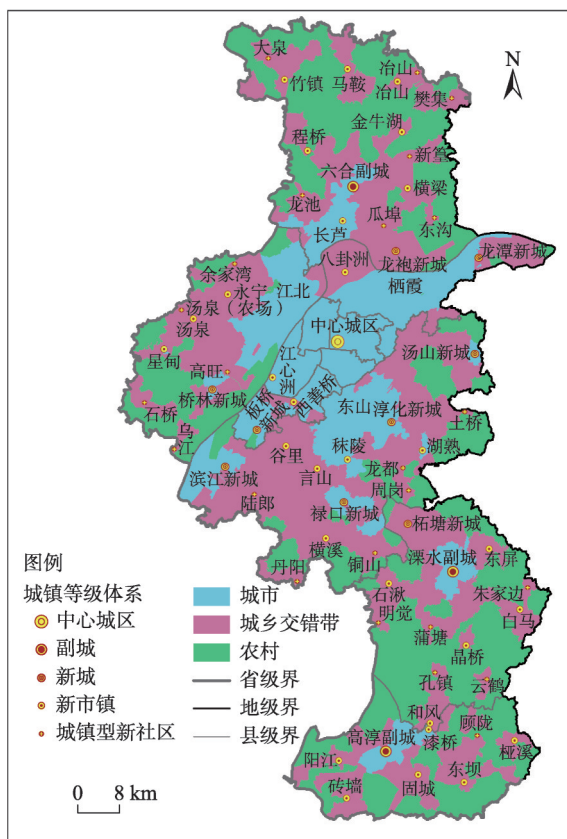


图4 城乡交错带识别结果

Fig. 4 Identification results of urban-rural fringe

① 根据《南京市城市总体规划(2011—2020年)》确定的市域城镇体系, 南京市中心城区包括一主三副, 即一个中心主城和江北、东山、仙林三个副城; 《南京市城市总体规划(2018—2035年)》中将原中心主城与仙林、东山副城合并为江南主城, 江北提升为新主城, 从而形成“一主一新”的中心城区格局。

圈层分布格局(图5a)。首先,距离城市中心24~26 km、50~52 km以及82~84 km处存在三处等级不同的城乡交错带分布峰值圈层。其中,24~26 km圈层在空间上位于中心城区外围,包含汤山、秣陵、横溪、谷里、桥林、汤泉、长芦、龙袍等街道,这些地区受中心城区人口、产业等要素辐射的影响,城乡发展迅速,该圈层内城乡交错带面积达到188.21 km²;50~52 km圈层北部穿过六合区的竹镇镇、冶山镇以及马鞍街道、金牛湖街道,南部横穿溧水城区外围以及石湫街道、永阳街道、洪蓝街道、东屏街道,这些地区虽然离中心城区较远,但是位于副城周边或属于新市镇、新社区,是城乡融合与乡村产业发展的先锋区域,城乡交错带面积接近80 km²;82~84 km位于高淳区城区外围,主要穿过阳江、砖墙、固城、东坝、顾陇、桡溪等城镇型新社区,城乡交错带面积也达到64.80 km²。总体来看,南京市50%以上的城乡交错带分布在城市中心外20~40 km范围内,该区域除覆盖六合副城周边范围外,还包含桥林、滨江、板桥、禄口、柘塘、淳化、汤山、龙潭、龙袍九大新城,以及大约半数的新市镇和新社区。

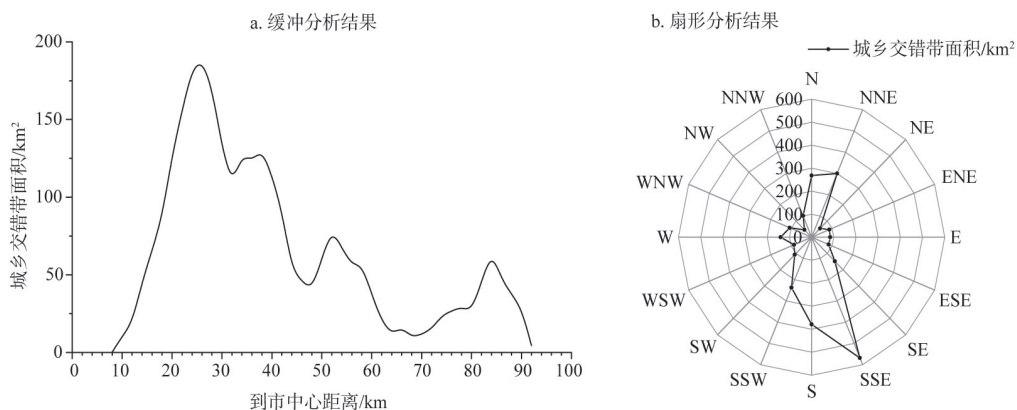


图5 城乡交错带的缓冲分析与扇形分析结果

Fig. 5 Results of buffer analysis and fan analysis of urban-rural fringe

为进一步刻画城乡交错带的空间格局,通过雷达图(图5b)刻画城乡交错带在不同方位上的分布特征。南京市城乡交错带的方位分布与城市总体南北长东西窄的形状特征吻合,主要分布在东南偏南、正南、西南偏南及东北偏北、正北方向,以上方位的城乡交错带面积分别达到567.43 km²、378.90 km²、237.40 km²以及299.53 km²、267.65 km²。其中,东南偏南方向的城乡交错带主要包括在溧水城区周围以及中心城区外围和高淳区东部;正南方向的城乡交错带除分布在高淳城区周围外,还集中分布在东山片区外围、禄口新城周边;西南偏南的城乡交错带则主要是牛首山文化旅游区周边及其南部旅游型乡村或社区;东北偏北方向主要包括六合副城东侧、龙袍新城和金牛湖景区周边的城乡交错带;正北方向则主要包括六合城区西侧以及竹镇镇、马鞍街道的城乡交错带。由此看来,除中心城区的辐射作用外,近年来溧水和高淳城区的快速城市化进程以及江宁区全域旅游发展是南京市南向方位上城乡交错带集中分布的主要原因,而六合城区的城市化辐射作用以及八卦洲、龙袍、金牛湖等新城、新市镇、新社区的发展则塑造了北向方位上的城乡交错带分布格局。

2.2 南京市城乡交错带特征分析

根据城乡交错带多维识别指标体系,采用小提琴图展示城乡交错带与城市和乡村在

土地利用、社会经济以及人口方面的特征差异,小提琴图不仅具有箱形图的功能,同时还能够展示数据的分布特征,适合用来进行多组数据的对比分析。在此基础上,结合对南京市城乡交错带部分案例的实地调研与访谈,总结归纳城乡交错带的典型特征,即过渡性、模糊性和多样性。

2.2.1 过渡性

城乡交错带是城市与农村的过渡地带,是集中连片的城市用地(以城镇建设用地为主)向分散多变的农村用地(农村居民点、耕地、自然生态用地等)转变区,是高强度、高密度的城市社会经济活动向低强度、松散化的农村生产生活方式的渐变区,也是城市人口外迁扩张与农村人口向城市集聚的交汇区域^[5,33],因此城乡交错带要素指标的强度、密度、集约程度等特征也通常介于城市和农村之间。比如在土地利用方面,城市地区的用地城市化水平高度集中在0.95以上,农村地区除个别分析单元外用地城市化水平均低于0.1,而城乡交错带的用地城市化水平呈现出明显的过渡性,介于城市与农村之间,且整体处于偏低水平(图6a)。此外,城乡交错带的人口密度和社会经济属性同样表现出明显的过渡性^[34]。作为城市扩张的前沿区域,城乡交错带虽然在产业发展以及生活服务配套方面尚未达到城市水平,但明显优于乡村腹地,同时低廉的房价、相对完善的生活配套以及逐渐通达的交通体系^[35,36],增强了城乡交错带对人口的“推拉”效应,促使城市人口(比如低收入群体)、外来人口和农村人口向该区域集聚。无论是产业发育程度、公服设施完善度、生活便利程度,还是居住人口密度、工作人口密度、流动人口密度、到访人口密度等指标,城市、城乡交错带、农村整体上都呈现梯度差异(图6b、图6c)。

2.2.2 模糊性

城乡交错带的过渡性使其与城市和农村之间的特征边界具有模糊性。一方面,受城

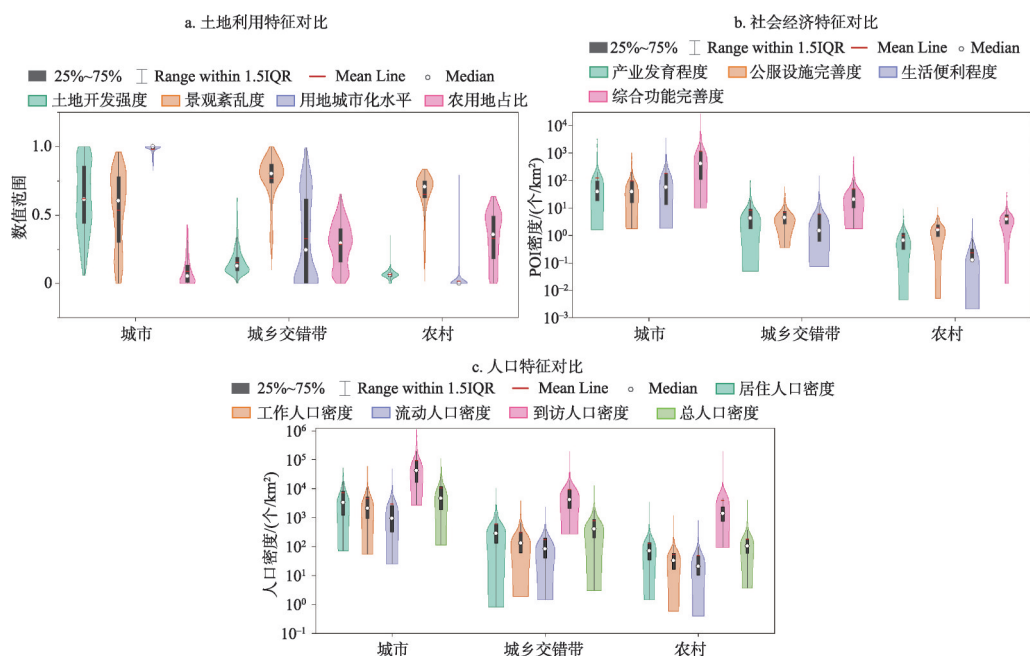


图6 城市、城乡交错带及农村的土地利用、社会经济以及人口特征对比

Fig. 6 Comparison of land use, socio-economic, and demographic characteristics among cities, urban-rural fringe and rural areas

市与农村的共同辐射作用,城乡交错带的要素指标会呈现双向衔接特征^[37],因此在人口与社会经济指标方面,城市与城乡交错带、城乡交错带与农村之间都存在较明显的特征重叠现象,而且不同指标的特征重叠区间通常也不一致,从而加大城乡交错带识别的难度。比如,土地开发强度方面,城市与城乡交错带的重叠区间相比城乡交错带与农村更高,相反地,城乡交错带与农村的农用地占比存在高度重合现象,分布范围几乎都介于0~0.65之间(图6a)。考虑到特征边界的模糊性,传统的密度梯度、自然断裂点等方法可能已不再适用于城乡交错带识别。另一方面,城乡交错带发展过程中,城市与农村之间的渗透与反渗透作用存在方向异性和强度差异^[38],导致城乡交错带与城市和农村之间实体边界的模糊。有学者也提出城市与农村之间不是简单的二元结构,而是一条渐变的连续谱系,即城乡连续谱(urban-rural continuum)^[39,40]。近年来随着城乡人口的大量迁徙以及南京市行政区划调整,增加了城乡交错带与城市和农村之间的模糊性,给传统的城乡二元管理体制带来冲击,也由此显化出城乡交错带社会管理的模糊性。首先城市居民和外来人口的涌入造成了城乡居民的混居现象,打破了原有农村邻里的“熟人网络”关系,不但使城乡交错带的社会关系逐渐模糊,而且在实际管理过程中很难明确城乡管理的边界;其次部分城乡交错带内拆迁安置的村庄居民已经转为城市户口,村民集聚生活形态已经打破,但是仍以村委会方式进行集体组织管理和交流;而六合、溧水、高淳等一些城市化水平较高的农村社区,虽然保持村委会建制,其治理模式更像城市社区^[41,42]。此外,通过社会经济POI密度可以看出(图6b),城乡交错带内居民的生活、交通、教育以及医疗保险水平都在向城市靠拢,原先由于城乡居民户籍制度带来的福利待遇差异正在缩小,城乡二元体制的界限也逐渐模糊。

2.2.3 多样性

与城市和农村相对简单的土地利用结构相比,城乡交错带的土地利用类型也更加多样,通常包含城镇建设用地、农村居民点、农用地、自然生态用地等多种土地利用形式,因此城乡交错带的景观紊乱度^②更高;而且某些城乡交错带的特征指标会出现看似异常的高值或低值,这些“异常值”有的接近农村水平,有的接近甚至高于部分城市水平(图6),这些现象反映出城乡交错带的多样性特征。城乡交错带的多样性是宏观政策、城乡经济水平、规划、区位、交通、自然资源等多种驱动因素在时间和空间上相互作用的结果,这种复杂的作用机制导致城乡交错带内部差异化、多元化^[43,44]。比如,由于城乡接触“变质”的作用强度不同,城乡交错带的发展演化过程通常会经历浅变质、中变质和深变质三个阶段,表现出空间形态、产业结构以及生活方式等方面不同特征^[38]。浅变质阶段城乡交错带仍以农村形态为主,农业种植规模、技术手段、生产效益等有显著提高,非农产业开始出现;中变质阶段则表现为工农混合形态,农业生产方式更加多元化、现代化,农民从业方式也从纯农向农工兼业转变;深变质阶段农用地多已转变为非农用地,城乡交错带的空间形态和居民生活方式更接近城市,产业结构也以二三产业为主。此外,在国家新型城镇化和乡村振兴战略背景下,城乡要素的相互作用使城乡交错带承载了更加多元的城市外溢功能与乡村功能,目前南京市城乡交错带内包含新城、新市镇、新型社区、开发区、大学城、交通枢纽、农业产业园、乡村旅游、特色养殖等多种功能类型。功能的多样性进一步带来人群结构、空间形态、产业结构等方面的多样

② 为方便土地利用特征指标间比较,图表中的景观紊乱度已进行归一化处理。

性,比如工业园区周边的城乡交错带可能表现出非常高的工作人口密度和公司企业类POI密度,甚至超过许多城市社区水平,但流动人口和到访人口可能很低;一些交通枢纽型的城乡交错带居住人口密度通常很低,但流动人口、到访人口的密度甚至高于城市;而江宁区部分乡村旅游型的城乡交错带自然生态环境优美,土地开发强度、农用地占比、工作人口密度、居住人口密度都不高,但到访旅游人口密度能达到较高水平。

3 结论与讨论

本文通过土地利用数据、POI以及手机信令移动大数据构建城乡交错带多维识别指标体系,采用随机森林模型在行政村/社区尺度上划分城市、城乡交错带与农村,进而分析总结城乡交错带的空间分布与典型特征。主要结论与观点如下:

南京市城乡交错带分布格局基本符合其规划的城镇等级体系。城乡交错带呈组团式或带状分布于中心城区、副城以及汤山、淳化、禄口、板桥等城市化水平较高的新城外围,形成核心—边缘结构;城镇等级越高,城乡交错带分布越密集,其他规划发展的新城、新市镇以及城镇型新社区均处于城乡交错带内。从圈层分布来看,城乡交错带自城市中心8 km外开始,存在24~26 km、50~52 km以及82~84 km三处峰值分布区间;从方位分布来看,受城市形状范围影响,城乡交错带呈现南北多、东西少的空间格局。城乡交错带是城市未来的发展方向,建议加快城乡交错带内新城、新市镇的城市化进程,形成新的辐射中心,推动周边城乡融合发展;可将城镇等级体系外的城乡交错带作为编制村庄规划的优选区域,统筹考虑土地利用、产业发展、生态保护和历史文化遗产等关键要素,通过规划引导城乡融合发展长效机制的形成,促进乡村振兴。

南京市城乡交错带的典型特征包括过渡性、模糊性和多样性。作为城市与农村的过渡地带,城乡交错带在土地利用、社会经济以及人口方面都存在过渡性;模糊性主要表现为特征边界的模糊、实体边界的模糊以及社会管理的模糊;多样性则体现在城乡功能、土地利用结构、空间形态、人群结构、产业结构、生活方式等多方面。过渡性是城乡交错带的基本属性,也是区分城乡交错带与城市和农村的关键特性;模糊性与多样性则揭示出城乡交错带内部差异化、复杂化的特征,随着全球化、分权化、市场化深入推进,特别是国家新型城镇化和乡村振兴战略的实施,城乡交错带的模糊性与多样性特征更加凸显,同时也增加了城乡交错带识别的难度。相比以往研究,本文结合手机信令数据、POI数据等新型地理空间大数据构建多维指标,可以更全面地捕捉城乡交错带自身的多样性特征;而采用随机森林分类模型,可以发挥专家的先验知识准确定位城乡交错带的特征区间,同时多决策树算法能够有效克服城乡交错带与城市和农村之间的特征重叠现象,从而提高识别精度。因此结合新数据、新方法建立多维特征指标体系是新阶段城乡交错带精确识别的重要方向,在此基础上深入探析城乡交错带内部空间结构、分异类型以及作用机理,进一步丰富完善城乡连续谱、城乡一体化等相关理论,指导城乡交错带健康、有序、多元化发展,或将成为未来研究的新热点。

参考文献(References):

- [1] 陈佑启. 城乡交错带名辩. 地理学与国土研究, 1995, 11(1): 47-52. [CHEN Y Q. An analysis of the concept of urban-rural interlaced zone. Geography and Territorial Research, 1995, 11(1): 47-52.]
- [2] LIU Y S, LI Y H. Revitalize the world's countryside. Nature News, 2017, 548(7667): 275.

- [3] LONG H, ZOU J, PYKETT J, et al. Analysis of rural transformation development in China since the turn of the new millennium. *Applied Geography*, 2011, 31(3): 1094-1105.
- [4] 顾朝林, 熊江波. 简论城市边缘区研究. *地理研究*, 1989, 8(3): 95-101. [GU C L, XIONG J B. On urban fringe studies. *Geographical Research*, 1989, 8(3): 95-101.]
- [5] 彭建, 马晶, 袁媛. 城市边缘带识别研究进展与展望. *地理科学进展*, 2014, 33(8): 1068-1077. [PENG J, MA J, YUAN Y. Research progress and prospect on the identification of urban fringe. *Progress in Geography*, 2014, 33(8): 1068-1077.]
- [6] RUSSWURM L H. Urban fringe and urban shadow. In: KRUEGER R R, BRYFOGLE R C. *Urban Problems: A Canadian Reader*. Toronto: Holt, Rinehart and Winston of Canada, 1971: 104-122.
- [7] DOUGLAS W. On the edge: Shaping the future of peri-urban East Asia. Stanford: Stanford University, 2002: 5-7.
- [8] 陈贝贝. 半城市化地区的识别方法及其驱动机制研究进展. *地理科学进展*, 2012, 31(2): 210-220. [CHEN B B. Review on identification method and driving mechanism of peri-urban area. *Progress in Geography*, 2012, 31(2): 210-220.]
- [9] 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. *长江流域资源与环境*, 2007, 16(4): 451-455. [QIAN J P, ZHOU Y, YANG X T. 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.]
- [10] 荣玥芳, 郭思维, 张云峰. 城市边缘区研究综述. *城市规划学刊*, 2011, (4): 93-100. [RONG Y F, GUO S W, ZHANG Y F. A review of researches on the urban fringe. *Urban Planning Forum*, 2011, (4): 93-100.]
- [11] 陈贝贝. 无锡半城市化地区的空间范围识别. *地理研究*, 2013, 32(7): 1209-1219. [CHEN B B. Spatial definition of peri-urban areas in Wuxi. *Geographical Research*, 2013, 32(7): 1209-1219.]
- [12] 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. *地球信息科学学报*, 2017, 19(10): 1327-1335. [ZHOU X C, LIU Y M, YANG H J. Spatial recognition and boundary region division of urban fringe area in Xi'an city. *Journal of Geo-Information Science*, 2017, 19(10): 1327-1335.]
- [13] PENG J, ZHAO S Q, LIU Y X, et al. Identifying the urban-rural fringe using wavelet transform and kernel density estimation: A case study in Beijing city, China. *Environmental Modelling & Software*, 2016, 83: 286-302.
- [14] 梁晨, 曾坚. 城乡交错带的三维动态识别及空间演变机制: 以厦门市为例. *地理研究*, 2021, 40(5): 1404-1420. [LIANG C, ZENG J. Three-dimensional dynamic identification and spatial evolution mechanism of urban-rural fringe: A case study of Xiamen. *Geographical Research*, 2021, 40(5): 1404-1420.]
- [15] 戴俊杰, 董婧雯, 杨晟, 等. 基于空间突变特征的城市边缘区提取方法. *地球信息科学学报*, 2021, 23(8): 1401-1421. [DAI J J, DONG J W, YANG S, et al. Identification method of urban fringe area based on spatial mutation characteristics. *Journal of Geo-Information Science*, 2021, 23(8): 1401-1421.]
- [16] 王海鹰, 张新长, 康停军, 等. 基于多准则判断的城市边缘区界定及其特征. *自然资源学报*, 2011, 26(4): 703-714. [WANG H Y, ZHANG X C, KANG T J, et al. Urban fringe division and feature analysis based on the multi-criterion judgment. *Journal of Natural Resources*, 2011, 26(4): 703-714.]
- [17] 周浩, 雷国平, 张红梅, 等. 土地利用空间关联下城乡结合部边界界定方法研究. *中国土地科学*, 2016, 30(6): 81-88. [ZHOU H, LEI G P, ZHANG H M, et al. Study on the method for the demarcation of urban-rural fringe based on spatial correlation analysis of land use dynamic indicator. *China Land Science*, 2016, 30(6): 81-88.]
- [18] YANG J, DONG J W, SUN Y Z, et al. A constraint-based approach for identifying the urban-rural fringe of polycentric cities using multi-sourced data. *International Journal of Geographical Information Science*, 2022, 36(1): 114-136.
- [19] 黄琦, 王宏志, 顾江, 等. 城乡景观复杂度视角下的城乡交错带界限确定: 以武汉市为例. *经济地理*, 2019, 39(10): 71-77. [HUANG Q, WANG H Z, GU J, et al. The determination of urban-rural ecotones from the perspective of urban and rural landscape complexity. *Economic Geography*, 2019, 39(10): 71-77.]
- [20] 甄峰, 翟青, 陈刚, 等. 信息时代移动社会理论构建与城市地理研究. *地理研究*, 2012, 31(2): 197-206. [ZHEN F, ZHAI Q, CHEN G, et al. Mobile social theory construction and urban geographic research in the information era. *Geographical Research*, 2012, 31(2): 197-206.]
- [21] 袁源, 张小林, 李红波, 等. 基于位置大数据的村域尺度多功能性评价: 以苏州市为例. *自然资源学报*, 2021, 36(3): 674-687. [YUAN Y, ZHANG X L, LI H B, et al. Evaluation of multifunctionality on village scale using location-based big data: A case study of Suzhou. *Journal of Natural Resources*, 2021, 36(3): 674-687.]
- [22] WOLFE P J. Making sense of big data. *PNAS*, 2013, 110(45): 18031-18032.
- [23] 刘星南, 吴志峰, 骆仁波, 等. 基于多源数据和深度学习的城市边缘区判定. *地理研究*, 2020, 39(2): 243-256. [LIU X N, WU Z F, LUO R B, et al. The definition of urban fringe based on multi-source data and deep learning. *Geographical Research*, 2020, 39(2): 243-256.]

- [24] 朱振国, 许刚, 姚士谋. 大城市边缘区城市化进程的实证分析: 以南京江宁区为例. 地理与地理信息科学, 2003, 19(3): 76-79, 87. [ZHU Z G, XU G, YAO S M. Analysis on the urbanization process in the fringe of the metropolis: A case study on Jiangning district of Nanjing. Geography and Geo-Information Science, 2003, 19(3): 76-79, 87.]
- [25] 谢天, 濮励杰, 张晶, 等. 基于PSR模型的城乡交错带土地集约利用评价研究: 以南京市栖霞区为例. 长江流域资源与环境, 2013, 22(3): 279-284. [XIE T, PU L J, ZHANG J, et al. Intensive land use assessment in rural-urban ecotone based on PSR model. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2013, 22(3): 279-284.]
- [26] 陈轶, 刘涛, 李子豪, 等. 大城市边缘区居村农民就地城镇化意愿影响因素: 以南京江北新区为例. 地域研究与开发, 2018, 37(6): 70-75. [CHEN Y, LIU T, LI Z H, et al. Influencing factors of local farmers' willingness of in situ urbanization in metropolitan fringe: Taking Nanjing Jiangbei New District as an example. Areal Research and Development, 2018, 37(6): 70-75.]
- [27] 钱紫华, 陈晓健. 城市边缘区的界定方法研究: 以西安为例. 中山大学研究生学刊: 自然科学·医学版, 2006, 26(1): 54-61. [QIAN Z H, CHEN X J. The research on division method of urban fringe: A case study of Xi'an. Journal of the Graduates Sun YAT-SEN University: Natural Sciences, Medicine, 2006, 26(1): 54-61.]
- [28] 陈佑启. 北京城乡交错带土地利用问题与对策研究. 经济地理, 1996, 16(4): 46-50, 40. [CHEN Y Q. Research on land use problem and strategy in Beijing rural-urban fringe. Economic Geography, 1996, 16(4): 46-50, 40.]
- [29] 王奇, 代侦勇. 基于POI数据和主成分分析法的城市空间结构分析. 国土与自然资源研究, 2018, 40(6): 12-16. [WANG Q, DAI Z Y. The analysis of urban spatial structure based on POI data and principal component analysis. Territory & Natural Resources Study, 2018, 40(6): 12-16.]
- [30] 宋世雄, 张金茜, 刘志锋, 等. 旱区城市扩展过程区位因素研究: 以中国呼包鄂榆城市群为例. 自然资源学报, 2021, 36(4): 1021-1035. [SONG S X, ZHANG J X, LIU Z F, et al. Study on the location factors of urban expansion in the drylands: A case study in the Hohhot-Baotou-Ordos-Yulin Urban Agglomeration, China. Journal of Natural Resources, 2021, 36(4): 1021-1035.]
- [31] 贾小凤, 朱红春, 凌峰, 等. 基于Landsat多光谱与PALSAR/PALSAR-2数据的汉江流域森林覆盖变化研究. 长江流域资源与环境, 2021, 30(2): 321-329. [JIA X F, ZHU H C, LING F, et al. Forest cover monitoring and its changes in Hanjiang River Basin based on landsat multispectral and PALSAR/PALSAR-2 data. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2021, 30(2): 321-329.]
- [32] 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. 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. Geographical Research, 2014, 33(3): 427-438.]
- [33] 邓伟, 张少尧, 张昊, 等. 人文自然耦合视角下过渡性地理空间概念、内涵与属性和研究框架. 地理研究, 2020, 39(4): 761-771. [DENG W, ZHANG S Y, ZHANG H, et al. Transitional geospace from the perspective of human-nature coupling: Concept, connotations, attributes, and the research framework. Geographical Research, 2020, 39(4): 761-771.]
- [34] 陈佑启, 武伟. 城乡交错带人地系统的特征及其演变机制分析. 地理科学, 1998, 18(5): 27-33. [CHEN Y Q, WU W. An analysis on the man-land system and its dynamics in urban-rural interlocking belt. Scientia Geographica Sinica, 1998, 18(5): 27-33.]
- [35] 王兴平, 赵虎. 南京都市区内外城郊就业者的职住平衡差异. 城市问题, 2014, 33(3): 37-43. [WANG X P, ZHAO H. Differences of jobs-housing balance between employees of inner city and outside city in Nanjing Metropolitan Area. Urban Problems, 2014, 33(3): 37-43.]
- [36] 邹佳雯, 何仲禹, 翟国方, 等. 基于结构方程模型的南京城市居民通勤距离影响因素及其交互作用研究. 现代城市研究, 2018, 32(10): 80-86, 108. [ZOU J W, HE Z Y, ZHAI G F, et al. Determinants of commuting distance based on structural equation model in case of Nanjing. Modern Urban Research, 2018, 32(10): 80-86, 108.]
- [37] 顾朝林, 陈田, 丁金宏, 等. 中国大城市边缘区特性研究. 地理学报, 1993, 48(4): 317-328. [GU C L, CHEN T, DING J H, et al. The study of the urban fringes in Chinese megalopolises. Acta Geographica Sinica, 1993, 48(4): 317-328.]
- [38] 陈佑启, 周建明. 城市边缘区土地利用的演变过程与空间布局模式. 国外城市规划, 1998, (1): 10-16. [CHEN Y Q, ZHOU J M. The evolution of land use and spatial layout pattern in urban fringe. Urban Planning International, 1998, (1): 10-16.]
- [39] 姚梓阳, 朱查松, 罗震东, 等. 城乡连续谱的过渡特征及其城镇化策略研究: 基于湖北省宜昌市龙泉镇的典型断面. 上海城市规划, 2014, (5): 79-83. [YAO Z Y, ZHU C S, LUO Z D, et al. Research on transitional characteristics and strategy of urbanization of rural-urban continuum: A case study of Longquan town, Yichang city, Hubei province. Shanghai Urban Planning Review, 2014, (5): 79-83.]

- [40] RUTHERFORD J, LOGAN M, MISSEN G. New Viewpoints in Economic Geography. Sydney: Martindale Press, 1967.
- [41] 霍晓英. 城市边缘区社会环境问题与优化途径研究: 基于社会治理创新视角. 经济问题, 2017, 39(11): 125-128. [HUO X Y. Research on social environment problems and optimization approaches in urban fringe: Based on the perspective of social governance. On Economic Problems, 2017, 39(11): 125-128.]
- [42] 张芬芬, 金燕, 李桂华, 等. 南京农村村级治理制度建设调查. 中共南京市委党校学报, 2011, (6): 97-102. [ZHANG F F, JIN Y, LI G H, et al. Investigation on the construction of rural village level governance system in Nanjing. Journal of Party School of Nanjing Municipal Committee of CPC, 2011, (6): 97-102.]
- [43] 崔功豪, 武进. 中国城市边缘区空间结构特征及其发展: 以南京等城市为例. 地理学报, 1990, 45(4): 399-411. [CUI G H, WU J. The spatial structure and development of Chinese urban fringe. Acta Geographica Sinica, 1990, 45(4): 399-411.]
- [44] 石云峰, 刘茂松, 徐驰, 等. 南京城市边缘增长速率空间分异的驱动机制. 生态学杂志, 2013, 32(3): 741-747. [SHI Y F, LIU M S, XU C, et al. Driving mechanisms of spatial differentiation in the growth rate of urban fringe area of Nanjing, East China. Chinese Journal of Ecology, 2013, 32(3): 741-747.]

Multi-dimensional identification and feature analysis of Nanjing's urban-rural fringe

CAO Hui¹, JIANG Wei-xuan^{1,2}, CHEN Jiang-long¹, CHEN Cheng¹, HE Jiang^{1,3}, LIU Chun-hui⁴

(1. Nanjing Institute of Geography and Limnology, Key Laboratory of Watershed Geographic Sciences, CAS, Nanjing 210008, China; 2. Nanjing Tongyue Intelligent Information Technology Co., Ltd, Nanjing 210000, China; 3. School of Economics and Management, Anhui Agricultural University, Hefei 230036, China; 4. College of Humanities & Social Development, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China)

Abstract: The study on urban-rural fringe is theoretically and practically significant for urban-rural integration development and rural revitalization. Taking Nanjing as an example, this study firstly constructed a multi-dimensional identification index system, and then identified the urban-rural fringe at administrative village/community scale using the random forest model. The characteristics of land use, social economy and population of urban areas, urban-rural fringe, and rural areas, were compared and analyzed consequently. The result shows that the urban-rural fringe in Nanjing is mostly concentrated in urban periphery in a cluster or belt shape, and its distribution pattern is consistent with the planned urban hierarchy system and administrative extent of Nanjing. It is suggested that the urbanization process of new cities and towns in the urban-rural fringe should be sped up in the near future, and other villages/communities within urban-rural fringe could be considered as the preferred area for compiling village planning. The urban-rural fringe shows typical features of transition, fuzziness, and multiplicity. Transition is the essential characteristic to distinguish urban-rural fringe from urban and rural areas, while fuzziness and multiplicity make the identification of urban-rural fringe more difficult. Therefore, combining new data and new methods to establish a multi-dimensional characteristic index system will be an important direction for accurate identification and deepening research of urban-rural fringe in the new stage.

Keywords: urban-rural fringe; random forest model; multi-dimensional identification; POI; mobile signaling data