

# 基于多源数据的成都市居民出行热点时空特征分析

王宇环<sup>1</sup>, 靳 诚<sup>1,2</sup>, 杜家祺<sup>1</sup>

(1. 南京师范大学地理科学学院, 江苏 南京 210023)

(2. 江苏省地理信息资源开发与利用协同创新中心, 江苏 南京 210023)

[摘要] 以成都市主城区为例, 利用出租车 GPS 轨迹生成上下车热点, 结合 POI 数据识别城市功能区, 从不同时段、周末与节假日等多角度比较居民出行的时空特征。研究发现: 研究区中商务办公区与休闲旅游区多分布在研究区外围, 其他类型功能区分布较为均匀; 周末和工作日各时段上车热点会随着时间的推移由集中变得分散, 下车热点会先集聚再扩散; 工作日在商务办公区形成的热点较周末多, 其他类别用地在周末和工作日形成的热点区域差别不大; 武侯区和金牛区出行量多, 但热点零星不集中; 青羊区热点区域较为连续, 且集中分布于城市中心区域。

[关键词] 出租车轨迹数据, POI, 出行热点, 时空特征, 成都市

[中图分类号] K901 [文献标志码] A [文章编号] 1672-1292(2020)02-0080-08

## Temporal and Spatial Characteristics of Traveling Hotspots of Chengdu Residents Based on Multi-source Data

Wang Yuhuan<sup>1</sup>, Jin Cheng<sup>1,2</sup>, Du Jiazhen<sup>1</sup>

(1. School of Geography, Nanjing Normal University, Nanjing 210023, China)

(2. Jiangsu Center for Collaborative Innovation in Geographical Information Resource Development and Application, Nanjing 210023, China)

**Abstract:** Taking the downtown of Chengdu as an example, the taxi GPS track is used to generate hotspots for getting on and off, combined with POI data to identify the urban functional area, and the time and space characteristics of residents' travel are compared from different angles, weekends and holidays. The study finds that the business office area and leisure tourism area in the study area are mostly distributed in the periphery of the study area, and other types of functional areas are more evenly distributed; and that on the weekends and working days, the hotspots of on the taxi become dispersed from time to time. Car hotspots first gather and then spread; the hotspots formed in the business office area during the working day are more than at the weekends. The other types of land use have little difference in the hotspots formed at the weekends and during the working days; Wuhou District and Jinniu District have more travels, but the hotspots are sporadic and not concentrated. The hotspots in Qingyang District are relatively continuous and concentrated in the central area of the city.

**Key words:** taxi trajectory data, POI, travel hotspots, time and space characteristics, Chengdu

出行行为是居民日常生活的重要组成部分, 不同的出行时长、出行方式等代表着不同的出行目的以及出行偏好。传统的有关居民出行行为的研究多是采用问卷调查以及居民出行日志数据<sup>[1]</sup>。随着空间信息技术的发展, GPS、LBS 等大数据技术拓宽了研究居民出行的渠道, 从传统的定性分析上升到了以数据为基础的量化分析, 研究内容主要集中在不同人群的出行特征(如老年人<sup>[2-3]</sup>、农村居民<sup>[4]</sup>、城市居民<sup>[5]</sup>等)、不同城市的居民出行对比<sup>[6]</sup>以及居民出行对环境的影响上<sup>[7-8]</sup>。还有学者以特定居民出行方式为基础, 研究城市交通可达性等现实问题<sup>[9]</sup>, 通过对居民出行的研究, 从中发现城市的发展现状或针对居民出行特征进行城市相关设施的布置。现有研究中, 传统的出行日志数据相比大数据信息更为准确, 针对性强, 无需进行数据清洗与处理, 但该类数据在获取上费时费力, 难以取得大量的数据进行科学研究, 数据量的限制会使得问题的研究不够全面。地理信息技术的发展为研究居民的出行带来了更多的可能, 大量精

收稿日期: 2019-01-03.

基金项目: 国家自然科学基金项目(41571134、41871131).

通讯作者: 靳诚, 博士, 副教授, 研究方向: 区域发展与旅游地理. E-mail: jincheng2431@163.com

细的出租车轨迹和 POI 数据无疑为研究城市内部居民出行行为提供了有力的数据支撑。

出租车是一种全天候运营的交通工具,其上搭载的 GPS 系统可对出租车行驶路线及载客状态等信息进行实时的记录.对出租车 GPS 数据的乘客上下车点进行提取和挖掘,可以从中发现居民出行的热点区域.有关出租车 GPS 数据的研究主要集中在以下 3 个方面:一是对轨迹点聚类算法的研究,空间聚类算法目前常用的有  $K$ -means、DBSCAN、STING,但其对于轨迹点数据的应用仍有一定的局限与不足,对此,有学者对 DBSCAN 算法进行了参数的优化及改进<sup>[10-11]</sup>,或提出了基于网格聚类的新算法<sup>[12]</sup>;二是借助空间分析手段,利用轨迹点数据提取城市热点或者识别城市中心,常用的空间分析手段有空间聚类<sup>[13]</sup>、热点分析<sup>[14]</sup>等;三是借助 GPS 数据研究居民出行特征,GPS 轨迹涵盖的上下车点数据可用于研究居民的出行偏好<sup>[13,15]</sup>,上下车点数据之间的区域间流动信息可以反映居民的出行流向<sup>[16-17]</sup>,单条出租车轨迹数据可以研究居民乘车时长和出行距离<sup>[18]</sup>.同 GPS 轨迹数据一样,兴趣点数据(points of interest, POI)也是目前地理学研究的一大数据手段,其表示日常生活中用到的如旅游景点、银行、学校等地理实体<sup>[19]</sup>,所含丰富的属性信息与位置信息可用于研究城市功能分区与产业分布,如利用 POI 数据进行城市功能区的识别与划分<sup>[20-21]</sup>,或研究特定 POI 类别在城市的业态分布<sup>[22]</sup>,还有学者借助 POI 数据进行城市建成区识别<sup>[23]</sup>以及城市分层地标的提取<sup>[24]</sup>.

从居民出行这一研究视角来看,利用 GPS 轨迹点数据提取城市热点之后,现有的研究多是从 GPS 数据本身出发,研究居民出行时长等信息,忽略了居民出行的目的;POI 数据作为城市地理信息的缩影,可用于识别城市功能区,不同的城市功能区在一定程度上可以代表居民出行的目的.本文基于前人研究及以上思想,将出租车 GPS 数据与 POI 数据结合,借助 python 语言对轨迹数据进行处理并提取上下车点,以成都市主城区道路街区为基础,利用 ArcGIS 的 Getis-Ord  $G_i^*$  工具生成不同时段的热点,结合 POI 数据的城市功能区划分,研究不同时段、周末或节假日在城市不同功能分区居民上下车热点的分布情况.

## 1 区域概况与数据来源

### 1.1 研究区概况

成都是四川省省会,是西南地区唯一一个副省级城市,位于四川盆地西部,成都平原腹地.由于出租车基本只在市中心运行,城市中心外围区域的出租车轨迹点几乎没有或者很少,难以形成热点,为了方便城市热点的识别,提升计算效率,本文选取成都市中心城区作为实际研究区(如图 1 所示),包括青羊区、金牛区、成华区、武侯区、锦江区,总面积 420 km<sup>2</sup>,占全市总面积的 2.9%,是成都市经济最发达、商业最繁荣的区域.2014 年,研究区常住人口数达 534.97 万人,占全市人口的 37%.

### 1.2 数据来源

研究区范围根据《成都市地图》进行矢量化,街道路网、河流数据从 openstreetmap 中提取.出租车数据选用 2014 年 8 月 3 日和 8 月 4 日两天的数据(不包含 0 点至凌晨 6 点的轨迹点),其中 8 月 3 日是星期天,代表周末的状态;8 月 4 日是周一,代表工作日的状态.数据来源于智慧中国杯全国大数据创新大赛初赛任务数据(<http://www.dcjingsai.com>),每条数据中包含了出租车编号、经纬度、载客状态、日期、时间 5 个字段,其中 8 月 3 日的数据共有 53 045 407 条轨迹点,8 月 4 日的数据有 54 950 065 条轨迹点.为了和出租车数据时间上相匹配,POI 数据是 2014 年百度地图上的数据,共有 323 893 个.

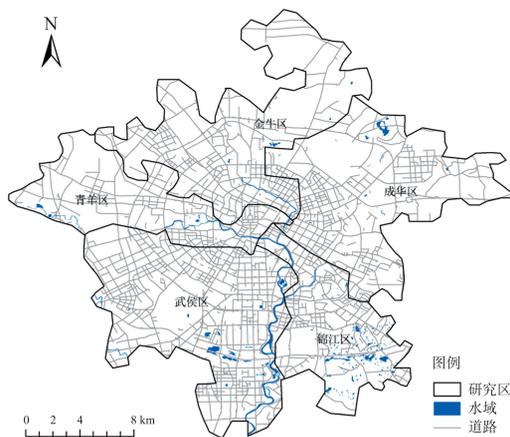


图 1 研究区基础图

Fig. 1 The basic map of research area

## 2 研究方法

### 2.1 出行热点挖掘

#### (1) 提取上下车点

根据研究区经纬度范围,对出租车数据进行筛选,剔除在研究区范围之外的点.将轨迹点日期字段中的

字符串字段类型转换为数值字段类型,并依照出租车 ID、乘车时间两个字段进行二级排序. 在排序完成的轨迹数据中,上下车点即是载客状态发生变化的点. 遍历轨迹数据,提取状态点由 0 变为 1 的上车点以及由 1 变为 0 的下车点. 根据研究需要,将上下车点进行时间段的划分,将一天中的轨迹点以 2 h 为尺度进行分割.

(2)城市热点的挖掘

采用 ArcGIS 中的热点分析工具(Getis-Ord  $G_i^*$ )进行热点的生成. Getis-Ord  $G_i^*$  的算法是对要素周边指定邻域内的要素进行识别,当要素具有高值,同时邻域内要素也具有高值时,要素将被识别为热点. 通过计算得到  $z$  得分和  $p$  值,就可知高值或低值要素在空间上发生聚类的位置.  $z$  得分越高,热点聚类越紧密; $p$  值代表概率, $p$  值越小代表着出现了具有统计显著性的热点或冷点.  $z$  得分的计算公式为:

$$z = \frac{\sum_{j=1}^n \omega_{i,j} x_j - \bar{X} \sum_{j=1}^n \omega_{i,j}}{S \sqrt{\frac{[n \sum_{j=1}^n \omega_{i,j}^2 - (\sum_{j=1}^n \omega_{i,j})^2]}{n - 1}}} \tag{1}$$

ArcGIS 热点分析工具有两个重要参数:网格大小和距离阈值. 经比较,当研究区网格大小为 100 m×100 m、距离阈值为 141.4 m 时,效果较好. 将研究区划分为 100 m×100 m 的网格,共有格网 49 108 个. 将上下车轨迹点映衬到网格上,剔除没有轨迹点的网格. 为了能更针对地发现城市热点,本文将置信度达到 99%的区域定义为热点区域,即  $p < 0.01, z < -2.58$  或  $z > 2.58$  的区域.

(3)最近邻指数

最近邻指数(nearest neighbor index, NNI)是用于衡量地物的集聚-离散程度的一种指数. 在实际数据中任选一点,其和最近点的“平均观测距离”(ND)与随机分布状态下的“预期平均距离”(PD)的比率即为最近邻指数值:

$$NNI = \frac{ND}{PD} \tag{2}$$

其中,预期平均距离是假设随机分布中的邻域间的平均距离. 若指数小于 1,表现为集聚模式;反之则为离散模式<sup>[25]</sup>. 指数值越小,集聚模式越明显;指数值越大,离散模式越明显.

2.2 城市功能区识别

(1)街道路网的划分

城市道路从某种程度上可以作为划分功能区的边界. 提取研究区 openstreetmap 路网数据中的高速公路、环路等主干路以及城市内部的次干路、支路等,将其作为研究区道路街区的边界.

(2)POI 数据的划分

参考 POI 数据原有分类,结合城市主要功能与居民出行目的,对原始 POI 数据中分类不明确的类别进行重新整合,将 POI 数据划分为公共服务、商务办公、生活服务、休闲旅游、居住五大类,如表 1 所示. 参考赵卫锋等<sup>[26]</sup>对 POI 公众认知度的调查,结合本文 POI 的实际情况,对不同 POI 赋予不同的权重,确定权重分值为 1~50. 对于公众认知度高、占地面积大的区域,赋予较高权重. 利用权重系数与 POI 数量的乘积作为赋予权重后的 POI 数量值<sup>[20]</sup>,如成都火车站的分值为 50 分,原先由 4 个代表火车站的 POI 点,经过权重乘积后,得到火车站的 POI 点为 50×4 个,具体权重分值如表 2 所示. 根据以上思想,最终生成用于城市功能区识别的 POI 数据.

表 1 POI 数据分类  
Table 1 Types of POI

POI 分类	包含内容	数量/个	占比/%
公共服务类	公共设施、科教文化服务、政府机构及社会团体、医疗保健、金融保险	44 688	13.8
商务办公类	公司企业、商务写字楼、产业园区、部分商务住宅	38 692	11.9
生活服务类	餐饮服务、购物服务、生活服务、汽车服务、汽车销售、汽车维修、摩托车服务	207 964	64.3
休闲旅游类	风景名胜、体育休闲服务	8 527	2.6
居住类	住宿服务、部分商务住宅	24 022	7.4
合计		323 893	100

表 2 各类 POI 权重分值  
Table 2 Weight of each POI type

类别	权重分值	类别	权重分值
车站、机场、港口等交通枢纽	50	二星级以上酒店及大型餐饮酒店	28
著名景观、古迹和纪念馆等名胜古迹	41	国家一级以上综合医院和专业医院	26
百货商场、主题商场、大型超市等大型商场	40	体育馆、剧院和电影院等	25
高等院校、文化馆、博物馆等	33	区委、区政府及以上各级国家机关	17
综合公园、专类公园和广场等	32	其他	1

### (3)城市功能区识别

将 POI 数据与面状街道路网关联,统计各街道单元面上不同种类 POI 数据占单元内所有 POI 点数的比例,构建密度指数来识别城市功能,计算公式为:

$$I = n_i / \sum n_i, \quad (3)$$

式中,  $n_i$  表示单元内第  $i$  种类型 POI 的总数. 对单元内每种 POI 计算密度指数,若其中一种类型 POI 密度指数超过 50%,则认为该单元为单一功能区,功能区性质由占比最多的 POI 类型确定. 若单元内没有密度指数大于 50%的 POI 类型,则判定该单元为混合功能区,取排名前三的 POI 类型作为单元功能性质,没有 POI 数据的单元为无数据区.

## 3 结果分析

### 3.1 城市功能分区分布特征

研究区共有道路街区 996 个,利用城市功能区识别方法可识别出 217 个混合区、87 个公共服务区、486 个生活服务区、80 个商务办公区、22 个居住区、47 个休闲区以及 57 个无数据区,如图 2 所示. 观察各功能区的分布形态,生活服务区涵盖范围最广,占了近一半的道路街区,其次是混合区,这两个功能区的分布均无明显规律,近乎均匀地分布在研究区内;商务办公区与休闲旅游区多集中分布在研究区外围,中心区域分布较少,这两类用地通常占地面积较大,难以在城市中心区域内形成大面积的分布;公共服务

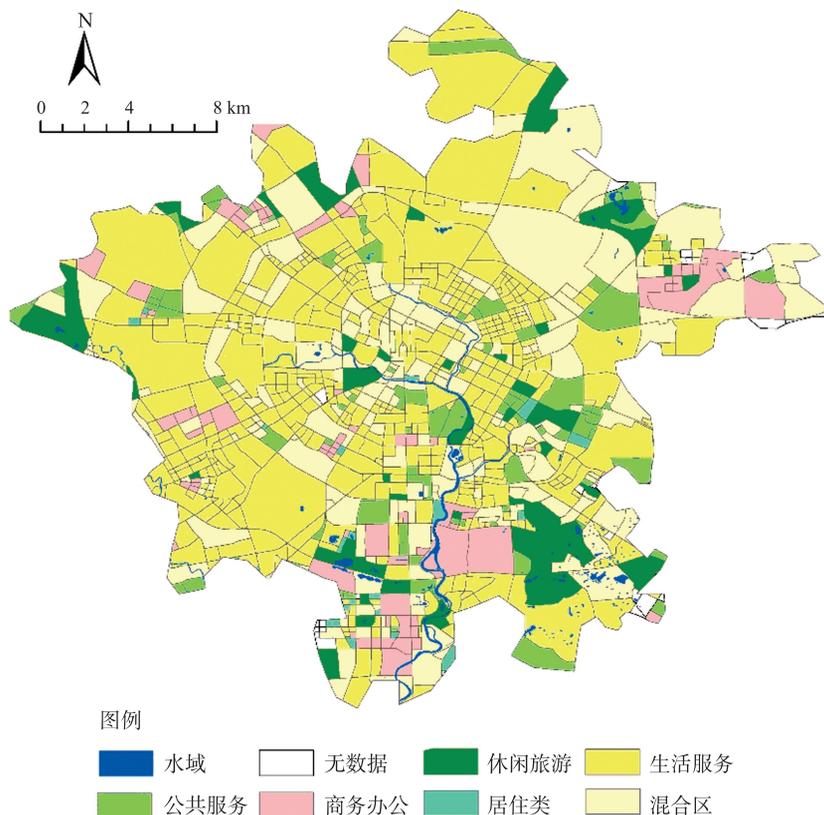


图 2 城市功能分区

Fig. 2 Urban functional zoning

区分布较为均匀,这与其性质有关,该类用地作为满足人们基本生活的区域,不能集中分布在某一片地区,而应在整个研究区均匀设置;居住类用地占整个研究区范围最少,且形成于面积较少的道路街区,究其原因,居住小区相比其他用地类型分值较低,且对于任何居住类小区来说,周边都会分布便于居民生活的大型超市、餐馆等,这就使得居住区更多的是与其他类型用地形成混合功能区分布。

### 3.2 分时段居民出行特征

对出租车上下车点以 2 h 为间隔进行时段划分,统计不同时段的上下车热点数量以及热点区域.居民出行热点区域会随着时间发生变化,整体上呈一种热点集聚或扩散的形态.对各时段上下车热点的分布计算最近邻指数,研究其具体的变化情况,如图 3 所示。

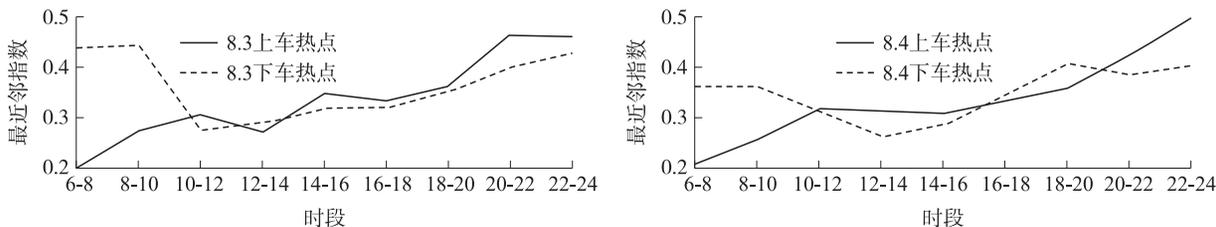


图 3 分时段上下车热点最近邻指数折线图

Fig. 3 Line chart of NNI for hotspots in different times

周末的最近邻指数中,上车热点的最近邻指数整体呈上升趋势,即该日上车热点表现为扩散效应,这是由于居民的上车地点随着时间的推移变得不再集中,早晨居民从家中出发前往目的地,稍晚之后则从各个目的地返回家中,这就导致晚些时段的居民出行热点更为分散;周末的下车热点则未表现出明显的分散或者集聚现象,在 8:00~10:00 到 10:00~12:00 时段,出行热点最近邻指数发生骤降,而后趋于平稳上升的状态,这是因为周末的晚间,外出游玩的居民多且目的地分散.在工作日,上车热点的变化趋势同周末一样,都是呈扩散趋势;而下车热点在上午时段有小幅下降;到了下午及晚间时段,上车热点扩散效应增强,这是由于工作日的下午及晚上,居民下班回家,往往从相对分散的工作地回到各自家中,或进行下班后的休闲娱乐活动,使得 18:00 之后的上车热点扩散趋势增强。

提取各时段的出行人数总量,如图 4 所示,规定出行总量最多的时段即为出行高峰时段.从整体上看,周末出行量略低于工作日出行量,这是由于结束了劳累的工作之后,很多居民会选择在家休息或就近游玩,而不是乘车出行.从各时段出行量来看,一天之中 6:00~8:00 由于时间相对较早,出行人数最少;8:00~10:00 出行人数快速增加,而后基本波动不大;10:00~12:00 点、14:00~16:00 这两个时段是 8 月 3 日和 8 月 4 日的出行高峰;不同的是,在晚间时段中,周末的出行高峰为 22:00~24:00,工作日的出行高峰为 20:00~22:00,这符合人们的日常生活习惯,相比工作日而言,周末人们会娱乐到很晚。

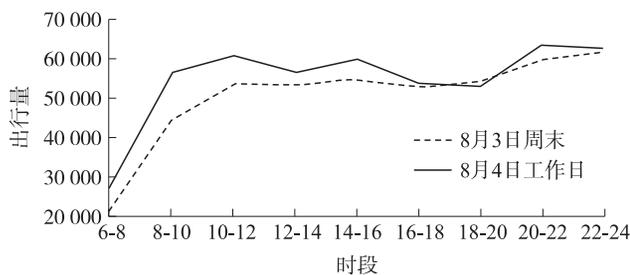


图 4 分时段出行总量

Fig. 4 Total travel amount in different times

### 3.3 高峰时段的出行热点

为了研究不同时段居民出行对于不同城市功能分区的偏好,以一天中的出行高峰时段为例,研究周末和工作日上下车热点在城市功能分区中的分布情况,如图 5 所示.从周末上车热点来看,随着时间的推移,上车热点相比上一时段更为分散,形成了一种扩散性,这说明居民出发地点不集中,通常是白天从居住地出发前往市区各处,晚上再回到居住地;3 个时段的热点都形成于公共服务区、生活服务区、休闲旅游区以及混合区,在居住区和商务办公区未形成热点,究其原因有两点:其一,完全由居住小区或商务办公场所形成的单一功能区很少,这些用地多形成了混合功能区;其二,休息日相比于平时,较难在商务办公区形成热点.从周末的下车热点来看,相比于白天两个时段,夜间时段的上下车热点较为分散,但扩散不明显,各功能区均有下车热点生成,但主要集中在生活服务区与混合区.从工作日的上车热点来看,3 个时段在除居住区以外的功能区均形成了热点,相较于周末,工作日上车点在商务办公区形成了热点,且热点范围也

表现出较强的时间扩散性,但下车热点则未体现扩散性,这是由于工作日人们的出行范围没有周末广,多是集中于居住地和在工作地。

无论是周末还是工作日,居民出行都未局限于某类功能区,只有商务办公区受周末和工作日影响产生一定的热点差异,其他类别的差异并不明显。周末的热点区域时间扩散性相比工作日更强,这是由于周末居民出行范围更宽泛。此外,一天之中上车热点区域相比下车热点区域时间扩散性更强。

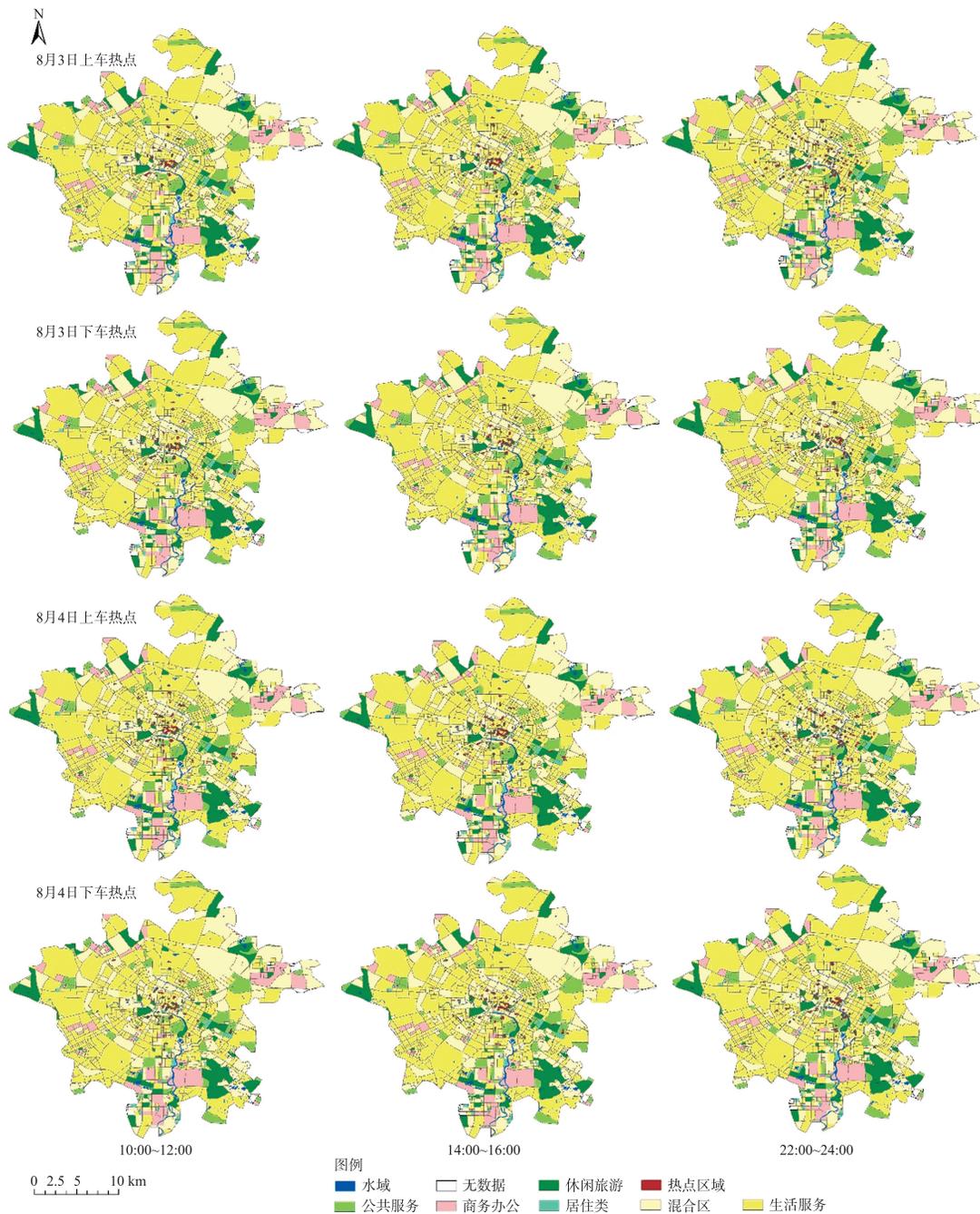


图5 高峰时段出行热点

Fig. 5 Travel hotspots in peak hours

### 3.4 全天出行热点

将全天的上下车点进行热点生成,比较周末和工作日居民整体出行的差异发现,二者的热点区域基本一致。细化研究区,提取二者热点不同的区域进行具体分析,如图6所示。A区域上有公共服务区、商务办公区及生活服务区,经与电子地图比对,该地区主要为青羊工业基地和成都市妇女儿童中心医院,周末此地并未形成热点区域,而工作日形成了少部分热点区域。B区域主要为生活服务区及混合区,周末该地的热点区域没有工作日密集,经与电子地图比对,该地区主要为居住小区与商业写字楼。C区域中,工作日在

商务办公区域形成了热点,而周末未形成热点.由于居民出行的复杂性,只有工作居民的出行会受到周末或节假日的影响,而学生、老人及其他不工作的人几乎不会受此影响,所以从热点的表现形式上来看,商务办公区是受影响较大的区域,其他 5 类功能区的热点基本不会因为周末或工作日而发生变化.

以行政区划为单位,将研究区细化为金牛区、青羊区、成华区、武侯区和锦江区,统计各区上下车点数及 2014 年常住人口数(数据来源于四川省统计局, <http://tjj.sc.gov.cn>),如表 3 所示.无论是周末还是工作日,金牛区、青羊区与成华区的出行量均多于其他两区,锦江区的整体出行量最少,这与其常住人口数匹配.不同的是青羊区的常住人口数比成华区要低,但出行量却高于成华区.各区的热点分布多集中于研究区中心位置,外围仅有零星的热点形成,未集中连片,其中青羊区内形成的热点最多且集中,而出行人数同样很多的金牛区和武侯区的热点则显得分散,这两个区域还未像青羊区一样形成一个城市中心.从各区的用地功能来看,锦江区南部有大片商务办公与休闲旅游用地,不同于生活服务用地,这些用地针对特定的人群,并非人们每天必不可少的需求,所以也难以形成热点.此外,锦江区的常住人口数是最少的,这也是导致其出行量少的原因之一.

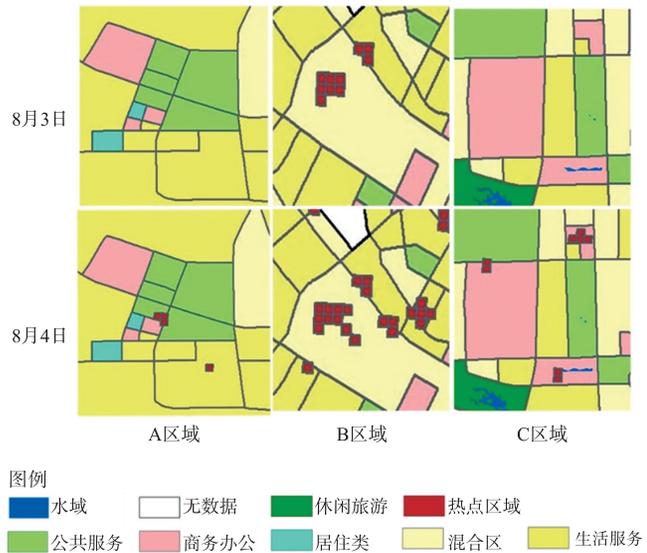


图 6 分区域出行热点

Fig. 6 Hotspots in different areas

表 3 各区出行人数及常住人口数

Table 3 Amount of travelers and permanent residents in each district

		金牛区	青羊区	成华区	武侯区	锦江区
8月3日	上车点	104 477	100 572	80 849	102 300	53 193
	下车点	106 733	102 358	79 247	102 343	55 053
8月4日	上车点	111 939	109 680	83 084	119 858	54 457
	下车点	115 436	108 238	82 248	120 418	56 583
常住人口(万人)		120.24	83.53	94.28	167.41	69.51

## 4 结论

论文通过对成都市主城区 2014 年 8 月 3 日(周末)和 2014 年 8 月 4 日(工作日)两天的出租车 GPS 数据进行上下车热点的生成,利用最近邻指数研究不同时段居民出行热点的形态变化;通过 POI 数据识别的城市功能分区,研究不同时段出行热点在各功能区的分布情况;最后通过全天的热点生成,研究周末和工作日热点变化大的区域并分析其成因,结合 2014 年成都市各区常住人口数量,从时间和空间上分析各区居民在周末和工作日的出行差异,得出以下 4 点结论:

(1)全区共有 87 个公共服务区、217 个混合区、22 个居住区、80 个商务办公区、486 个生活服务区、47 个休闲区和 57 个无数据区,生活服务区与混合区均匀分布,商务办公与休闲旅游区多分布于研究区外围区域,居住类用地形成于面积较小的道路街区.

(2)周末和工作日的上车热点随着时段的推移,热点由集中布局变为零星分散,而下车热点的形态先是集聚,在下午和晚间时段开始扩散.8月4日的上车热点在下午6点之后,扩散效应增强.

(3)只有商务办公区的出行热点周末和工作日的差异大,工作日的时候会有部分商务办公区周边形成热点,而周末商务办公区难以形成热点.其他 5 类用地在周末和节假日形成的热点区域区别不大.

(4)武侯区、金牛区与青羊区是出行量排名前三的区域,其中武侯区与金牛区内的热点较为零星分散;青羊区内的热点区域较为集中连续,形成于城市中心区域,这也是其常住人口数少但出行量依然很多的原因.

[参考文献](References)

- [1] 柴彦威,申悦,马修军,等. 北京居民活动与出行行为时空数据采集与管理[J]. 地理研究,2013,32(3):441-451.
- [2] 冯建喜,杨振山. 南京市城市老年人出行行为的影响因素[J]. 地理科学进展,2015,34(12):1598-1608.
- [3] 黄建中,吴萌. 特大城市老年人出行特征及相关因素分析——以上海市中心城为例[J]. 城市规划学刊,2015(2):93-101.
- [4] 杨琦,袁华智,冯树民. 不同经济条件下的农村居民出行特征[J]. 长安大学学报(自然科学版),2014,34(1):76-83.
- [5] 黄建中. 1980年代以来我国特大城市居民出行特征分析[J]. 城市规划学刊,2005(3):71-75.
- [6] 陈梓烽,柴彦威,周素红. 不同模式下城市郊区居民工作日出行行为的比较研究——基于北京与广州的案例分析[J]. 人文地理,2015,30(2):23-30.
- [7] 郭文伯,张艳,柴彦威. 城市居民出行的空气污染暴露测度及其影响机制——北京市郊区社区的案例分析[J]. 地理研究,2015,34(7):1310-1318.
- [8] 刘清春,张莹莹,肖燕,等. 济南市主城区私家车日常出行碳排放特征及影响因素[J]. 资源科学,2018,40(2):262-272.
- [9] 王宇环,靳诚,安鸿波,等. 基于低碳出行方式的南京市本地居民景点可达性研究[J]. 长江流域资源与环境,2018,27(11):2443-2452.
- [10] 刘盼盼. 基于空间聚类和 Weka 平台的出租车载客热点区域挖掘研究[D]. 长春:吉林大学,2014.
- [11] 赵利刚. 基于出租车轨迹数据的载客情况可视化分析[D]. 杭州:浙江工业大学,2014.
- [12] 郑林江,赵欣,蒋朝辉,等. 基于出租车轨迹数据的城市热点出行区域挖掘[J]. 计算机应用与软件,2018,35(1):1-8.
- [13] 冯琦森. 基于出租车轨迹的居民出行热点路径和区域挖掘[D]. 重庆:重庆大学,2016.
- [14] 吕江波. 基于出租车供需关系的大规模出租车轨迹数据挖掘研究[D]. 兰州:兰州交通大学,2016.
- [15] 陈红丽. 基于出租车 GPS 数据的居民出行时空规律和出行热点区域研究[D]. 昆明:云南大学,2016.
- [16] WOLF J, GUENSLER R, BACHMAN W. Elimination of the travel diary: an experiment to derive trip purpose from GPS travel data[J]. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 2001, 3(15):125-134.
- [17] 赵鹏祥. 基于轨迹聚类的城市热点区域提取与分析方法研究[D]. 武汉:武汉大学,2015.
- [18] 马云飞. 基于出租车轨迹点的居民出行热点区域与时空特征研究:以昆山市为例[D]. 南京:南京师范大学,2014.
- [19] 张铁映,李宏伟,许栋浩,等. 采用密度聚类算法的兴趣点数据可视化方法[J]. 测绘科学,2016,41(5):157-162.
- [20] 池娇,焦利民,董婷,等. 基于 POI 数据的城市功能区定量识别及其可视化[J]. 测绘地理信息,2016,41(2):68-73.
- [21] 谷岩岩,焦利民,董婷,等. 基于多源数据的城市功能区识别及相互作用分析[J]. 武汉大学学报(信息科学版),2018,43(7):1113-1121.
- [22] 浩飞龙,王士君,冯章献,等. 基于 POI 数据的长春市商业空间格局及行业分布[J]. 地理研究,2018,37(2):366-378.
- [23] 许泽宁,高晓路. 基于电子地图兴趣点的城市建成区边界识别方法[J]. 地理学报,2016,71(6):928-939.
- [24] 陆化普. 交通规划理论与方法[M]. 2版. 北京:清华大学出版社,2006.
- [25] DOUGLAS G P. Tourism in Paris studies at the micro scale[J]. Annals of Tourism Research, 1999, 1(26):91-93.
- [26] 赵卫锋,李清泉,李必军. 利用城市 POI 数据提取分层地标[J]. 遥感学报,2011,15(5):973-988.

[责任编辑:严海琳]