

# 广东某市疫情期间污水中精神药物的分布特征和滥用评价

冯立洲<sup>1,2</sup>,陈自恩<sup>1</sup>,刘波<sup>1</sup>,张巍<sup>3</sup>,李喜青<sup>1\*</sup> (1.北京大学城市与环境学院,地表过程分析与模拟教育部重点实验室,北京 100871; 2.广东省公安厅禁毒局,广东 广州 510050; 3.中国人民大学环境学院,北京 100872)

**摘要:** 采用污水流行病学的方法,研究了2020年新冠疫情期间及前后广东省某市生活污水中两种典型精神药物甲基苯丙胺和氯胺酮的赋存特征及其变化情况,并运用手机信令数据分析人口总数、结构特征及其变动规律,进而将两者结合分析了疫情期间及前后两种药物的消费量变化特征.结果表明,疫情期间该市实际人口相对于疫情前下降了约45%,两种药物总消费量相对于疫情前下降了约75%.总消费量的显著下降很大程度上是由疫情期间实际人口下降造成的.实际上,疫情期间该市甲基苯丙胺和氯胺酮的人均消费水平相对于疫情前下降不到50%.考虑到疫情期间严格的管控措施,这一下降幅度说明这两种精神类药物滥用极其顽固;而疫情后两种药物的消费量及在环境中的浓度又基本恢复到疫情前的水平,进一步证明了精神类药物滥用的顽固性.

**关键词:** 药品和个人护理品; 新冠疫情; 药物滥用; 污水流行病学

**中图分类号:** X703 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-6923(2021)10-4703-09

**Evaluation of the occurrence of psychotropic drugs in urban sewage and the abuse during the COVID-19 epidemic period in a city of Guangdong.** FENG Li-zhou<sup>1,2</sup>, CHEN Zi-en<sup>1</sup>, LIU Bo<sup>1</sup>, ZHANG Wei<sup>3</sup>, LI Xi-qing<sup>1\*</sup> (1.Laboratory of Earth Surface Processes, College of Urban and Environmental Sciences, Peking University, Beijing 100871, China; 2.Narcotics Control Bureau, Department of Public Security of Guangdong, Guangzhou 5100510, China; 3.School of Environment and Natural Resources, Renmin University of China, Beijing 100872, China). *China Environmental Science*, 2021,41(10): 4703~4711

**Abstract:** Wastewater-based epidemiology was applied to study the impact of the COVID-19 in 2020 on occurrence and consumption of methamphetamine and ketamine before, during, and after the outbreak in a city of Guangdong province. To estimate the total consumption during the outbreak, mobile data of the city was used to study the dynamics of the population in the towns and districts of the city. The concept of composite population was brought about for the first time and calculated to estimate total drug consumptions of each towns or districts. The population during the outbreak decreased by about 45% relative to before the outbreak. The total consumptions of the two drugs declined by about 75% during the outbreak relative to before the outbreak. However, the decrease to this extent rather implies the persistence of abuse of the two drugs, given the extremely strict control measures. The consumptions of the two drugs were found to decrease by approximately 50% relative to before the outbreak. The consumptions of the drugs rebounded to the level before the outbreak, further demonstrating the persistence of the abuse.

**Key words:** pharmaceuticals and personal care products; COVID-19; drug abuse; wastewater-based epidemiology

药品和个人护理用品(PPCPs)在环境中的行为和影响引起人们越来越多的关注<sup>[1-2]</sup>.精神类药物是PPCPs的一类,是直接作用于中枢神经系统,使之兴奋或抑制,连续使用能产生依赖性的药物,以甲基苯丙胺和氯胺酮为代表<sup>[3]</sup>.当前,精神类药物被广泛滥用,已成为全球日益关注的问题<sup>[3]</sup>.2020年新型冠状病毒肺炎(COVID-19)疫情期间,全国各地都采取了严格的防控措施,如限制交通、小区封闭管理、关闭公共场所等,精神类药物的滥用有所下降.但另一方面,疫情期间这类药物的管制执法活动也受到很大影响,从这个角度,精神类药物的滥用又有可能增加.

近年来,一种新的方法——污水流行病学被广泛应用于评估和监测精神类药物滥用<sup>[3-4]</sup>.这类方法

在欧洲、北美、亚洲等区域的很多国家得到了广泛应用<sup>[5-8]</sup>,也在中国的精神药物滥用评估方面发挥了重要作用.污水流行病学主要用于计算人均消费水平,而在总消费量评估方面往往因缺乏同步的人口数而失之准确.手机信令数据为打破这一困局提供了可能.近年来手机信令数据已经被逐渐应用到人口数据统计的研究中.例如,在城市规划中,基于手机信令数据,可以通过基站小区定位、出行链识别、分区统计及结果扩样等方法,获取居住人口分布、通勤岗位分布、跨区人流等特征信息,为城市规划提供了

收稿日期: 2021-02-23

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(41877508)

\* 责任作者, 副教授, xli@pku.edu.urban.cn

一种全新的数据获取手段<sup>[9]</sup>.在疫情防控中,通过手机信令获取人员信息,进而构建指标和选择算法模型,最终形成精度更高、更客观、更契合本地疫情防控实际需要的人口数据<sup>[10]</sup>.在对上海市人口分布和动态特征研究中,手机信令数据在构建“人口-时间-行为”关系的人口空间动态分析模型中也发挥了重要作用<sup>[11]</sup>.通过移动电话数据估算人口在污水流行病学的研究中也有报道<sup>[12]</sup>.

Z市地处广东省珠三角地区,经济发达.该市从1月23日晚启动重大突发公共卫生事件一级响应,公共场所全部暂时关闭,所有节庆活动全部暂停举办,全面加强交通检疫.2月7日,该市对各居民小区进行封闭管理.2月24日该市将突发公共卫生事件一级响应调整为二级响应.3月27日起居住小区(社区)恢复原有进出通道,不再限制人员、车辆进出,各餐饮场所有序开放堂食服务.2020年5月9日零时起,将疫情防控应急响应级别由市重大突发公共卫生事件二级响应调整为三级相应,社会生活也基本恢复正常.从上述时间节点看,Z市疫情和防控措施的调整在全国除湖北以外地区具有典型性,是研究疫情期间及前后精神药物消费情况变化的理想代表.

精神类药物滥用会带来显著的社会问题和环境问题,研究其赋存特征、消费水平及其变化规律,对相关环境风险分析和药物滥用评价均具有重要意义.本研究首次建立了基于手机信令数据的人口分析技术与污水流行病学相结合的方法,用以评价药物消费情况及其变化规律,在药物滥用评价方法上具有创新性.将该方法应用于Z市,研究疫情期间及前后两种代表性精神类药物(甲基苯丙胺和氯胺酮)的消费量和环境赋存特征,分析疫情防控对精神类药物滥用的影响.

## 1 材料与方法

### 1.1 实验试剂

使用的甲基苯丙胺和氯胺酮标准品(1mg/mL溶于甲醇,纯度>99%),以及甲基苯丙胺-d8和氯胺酮-d4氘代内标(100μg/mL溶于甲醇,纯度>99%),均购自Cerilliant公司(美国).甲酸(HPLC级)和甲酸铵(HPLC级)均购自上海麦克林生化科技有限公司(中国).甲醇(HPLC级)购自默克公司(德国).盐酸(AR级,36~38%)、硫酸(AR级,95~98%)和氨水(GR

级,25~28%)均购自广州化学试剂厂(中国).超纯水由ULPHW-IV型超纯水机(四川优普超纯科技有限公司,中国)制备.

### 1.2 样品采集

Z市共24个街镇,每个街镇均有污水处理厂,共有24个污水采样点.本研究在每个污水处理厂的进水口开展样品采集分析.采样方法为,每2h采集一次瞬时样,体积100mL,每天24h采集的12个瞬时样等体积混匀,得到每日混合样.随即用37%浓盐酸调节pH值至2,并立即转移至-20℃冰箱冷冻保存.待全部采集完成后,统一冷链运输至实验室进行检测分析.

从2018年开始,课题组在Z市开展污水流行病学研究,积累了24个采样点的多年精神药物浓度数据.疫情期间每个采样点采集了14d样品,采样最早开始于2020年1月29日,最晚结束于2020年2月17日.这段时间对Z市而言疫情最严重,管控也最严.为了评估疫情对药物消费的影响,本研究比较了疫情前2个季度,即2019年8月(采样周期为8月14~26日)和12月(采样周期为12月12~23日),及疫情后一个季度,即2020年5月(采样周期为5月12~27日)的药物消费水平.

### 1.3 实验方法

污水样品使用固相萃取法(SPE)进行样品前处理:依次用3mL甲醇,4mL超纯水,4mL盐酸溶液(pH=2)活化Oasis-MCX固相萃取柱(Waters公司,美国);将50mL水样用玻璃纤维滤膜(上海红光实业有限公司,中国)过滤,除去样品中较大的固体颗粒物.然后以1mL/min的流速通过固相萃取柱;样品加载完成后,用5mL超纯水通过固相萃取柱,以冲洗杂质;以缓和的空气流将固相萃取柱填料干燥后,用1.2mL5%氨水甲醇溶液洗脱;洗脱液在室温下用均匀、缓和的氮气流将洗脱液吹干;用0.5mL20%甲醇水溶液重新溶解干燥后的残留物;用有机相离心过滤管(VWR公司,美国)离心过滤.将上述滤液转移入1.5mL HPLC-MS/MS专用的螺纹口透明进样瓶中,待上机测定.

目标化合物使用岛津高效快速液相色谱(Prominence UFLCXR,日本)和菲罗门(Phenomenex,美国)Gemini C18液相色谱柱(50mm×2.00mm,3μm)进行分离,进样量为5μL.流动相由含0.1%甲酸的30mmol/L甲酸铵水溶液(A相)和甲醇(B相)组成.

洗脱梯度为:0~1.5min:20% B;1.5~2.25min:80% B;2.25~3.1min:95% B;3.1~5.0min:20% B.流动相流速为 0.3mL/min.目标化合物的浓度使用 API-5500 三级四重杆串联质谱仪(包括 1 台 DGU-20A3 脱气装置,2 台 LC-20AD 泵,1 台 SIL-20AC 自动进样器,1 台 CTO-20AC 型柱温箱)(AB Sciex,美国)在多反应监测模式(MRM)下进行测定.

按照上述前处理和分析方法,甲基苯丙胺和氯胺酮的方法检出限(LOD)均为 0.3ng/L,方法定量限(LOQ)均为 0.8ng/L,方法回收率在 (81.8±1.6)%~(105.5±2.8)%之间.

#### 1.4 消费量计算

根据文献中相关研究的计算方法<sup>[13]</sup>,甲基苯丙胺和氯胺酮的消费水平用千人均消费量表示,用下面公式计算:

$$\text{千人均消费量} = \frac{\text{目标物浓度} \times \text{进水流量}}{\text{服务区人口} \times \text{排泄率}} \times \frac{1}{10^6} \quad (1)$$

式中:千人均消费量是每千人每日的药物消费量,mg/(千人·d);目标物浓度是每个污水厂每个采样周期内甲基苯丙胺或氯胺酮的平均浓度,ng/L;进水流量是污水厂采样周期内的进水流量平均值,L/d;甲基苯丙胺和氯胺酮的排泄率分别为 43%<sup>[14]</sup>和 30%<sup>[15]</sup>.

每次采样期间各污水厂均提供了每天的进水量.服务区人口通过进水量乘以其中的生活污水占比(主要依据污水厂提供数据),再除以人均污水产生量(234L/(人·d),依据当地水务局提供数据计算得到).比较疫情前后千人均消费量只能反映 Z 市精神类药物滥用的一个方面,因为疫情爆发恰逢春节,Z 市外来人口返乡后因疫情无法再回到 Z 市,导致疫情期间 Z 市的实际居住人口远低于疫情前后,因此可以判断,疫情不仅会影响甲基苯丙胺和氯胺酮的人均消费量,还会因为影响人口流动而进一步显著影响这两种药物的总消费量.

为比较疫情期间和疫情前后 Z 市甲基苯丙胺和氯胺酮的总消费量,需要知道 Z 市各街镇的实际人口.城市人口估算通常基于全国及各级政府部门的统计年鉴数据、人口普查统计数据或 1%人口抽样调查数据.但这类数据源受时间跨度长、数据更新较慢等限制,得到的结果较为滞后且不够精确,无法实时明确地反映人口的真实情况.因此本文根据通信

运营商的移动信令大数据来统计采样期间 Z 市各镇的人口.

根据移动信令数据统计人口的基础是<sup>[16-18]</sup>.手机用户发生通信行为(含打电话、接电话、收发短信、上网),必然与基站建立连接,运营商通话单会记录用户的位置;手机待机状态时也会周期性向基站发送位置更新,网络同样可以定位手机用户的位置.通过解析上述网络通信信令,可抓取一个城市区域内的全部移动手机用户.再结合该城市移动通信市场占有率、一人多卡用户占比进行折算,得出总的拥有手机的人数.最后加上未使用手机的人群比例(含老人、婴幼儿和小学生),测算出该城市全量人口.利用信令数据统计的是实时的动态人口,并不区分常住人口和流动人口.

需要指出的是,一天 24h 内 Z 市移动信令系统采集到的手机对应的人口可能并不是 24h 都在 Z 市区域内,比如常住邻市的人员来 Z 市办事,在 Z 市停留的时间可能只有几个小时.有的人只是乘坐火车或汽车路过 Z 市,这部分人的手机也会被 Z 市的信令系统捕捉到.另外,Z 市不同街镇之间还有大量的人员流动.针对这些情况,Z 市移动公司统计了在 Z 市各街镇停留 0~1,1~2,2~3,……,23~24h 的人数  $P_1, P_2, P_3, \dots, P_{24}$ ,然后计算街镇  $i$  的折合人数:

$$P_i = P_1 \times \frac{0.5}{24} + P_2 \times \frac{1.5}{24} + P_3 \times \frac{2.5}{24} + \dots + P_{24} \times \frac{23.5}{24} \quad (2)$$

式中: $P_i$ 是街镇  $i$  根据停留时间所计算的折合人数; $P_1$ 到  $P_{24}$ 是在街镇  $i$  停留不同时间段的人数.折合人数是根据停留时间计算的时间加权平均人数,在药物消费量的计算中,根据停留时间加权的折合人数比统计人口数能更准确反映出药物的人均消费量.原因是特定区域产生的生活污水量与该区域的人口数成正比,即人口数越多,产生的生活污水也越多,其中所含有的精神类药物的代谢产物总量也越多.需指出,上述结论仅在人口的生活规律大体相同的前提下才成立.而“生活规律”最具差异性的就是“停留时间”,即人在目标地所停留时间不同,代谢产物的贡献就有差别.考虑停留时间的差异,对人口进行加权折算,比不考虑停留时间差异的绝对人口数更加合理.

在各街镇的每天综合人数的基础上,可以计算出各街镇在历次采样期间的综合人数.由这一采样

期间的综合人数和相应污水厂的甲基苯丙胺或氯胺酮的浓度水平,根据公式(1),就可以计算该次采样期间的平均消费总量.各街镇的平均消费总量相加得到 Z 市疫情前、疫情期间和疫情后的总消费量,由此阐明疫情对 Z 市甲基苯丙胺和氯胺酮总消费的影响.

2 结果与讨论

2.1 疫情期间精神类药物的赋存特征

本研究 4 次采样期间,各污水处理厂处理的污水量及相应的甲基苯丙胺和氯胺酮的人均消费量列于表 1.

表 1 4 次采样期间各污水厂的日均进水流量及相应服务区内甲基苯丙胺和氯胺酮的人均消费量  
Table 1 Wastewater flow rates and methamphetamine and ketamine consumptions in the service areas of the treatment plants

| 污水处理厂  | 日均进水流量(万 m <sup>3</sup> /d) |         |         |         | 甲基苯丙胺消费量[mg/(千人·d)] |         |         |         | 氯胺酮消费量[mg/(千人·d)] |         |         |         |
|--------|-----------------------------|---------|---------|---------|---------------------|---------|---------|---------|-------------------|---------|---------|---------|
|        | 2019-08                     | 2019-12 | 2020-02 | 2020-05 | 2019-08             | 2019-12 | 2020-02 | 2020-05 | 2019-08           | 2019-12 | 2020-02 | 2020-05 |
| 街镇 1   | 7.35                        | 6.68    | 5.31    | —       | 1.7                 | 1.9     | 1.3     | —       | 4.1               | 3.6     | 2.0     | —       |
| 街镇 2   | 3.74                        | 3.38    | 3.08    | 3.59    | 3.7                 | 3.5     | 2.1     | 2.6     | 5.7               | 6.3     | 2.5     | 3.9     |
| 街镇 3   | 7.16                        | 6.84    | 5.54    | 10.51   | 2.6                 | 2.2     | 1.4     | 2.0     | 6.1               | 3.6     | 2.2     | 3.7     |
| 街镇 4   | 0.83                        | —       | 0.87    | 0.76    | 1.5                 | —       | 0.4     | 1.6     | 10.4              | —       | 1.6     | 6.0     |
| 街镇 5   | 8.59                        | 8.05    | 10.48   | 10.81   | 1.9                 | 1.9     | 1.1     | 2.0     | 2.5               | 2.0     | 3.0     | 3.0     |
| 街镇 6   | 9.23                        | 5.56    | 5.39    | 8.14    | 2.6                 | 4.5     | 4.5     | 3.0     | 1.5               | 1.8     | 1.6     | 1.9     |
| 街镇 7   | 0.24                        | 0.25    | 0.27    | 0.25    | 12.5                | 10.5    | 1.1     | 2.7     | 45.1              | 23.8    | 2.1     | 2.0     |
| 街镇 8   | 0.74                        | 1.41    | —       | 0.26    | 5.8                 | 8.0     | —       | 6.1     | 6.3               | 7.5     | —       | 10      |
| 街镇 9   | 3.76                        | 1.33    | 1.84    | 3.07    | 5.1                 | 5.0     | 1.3     | 2.1     | 0.8               | 1.5     | 1.2     | 1.3     |
| 街镇 10  | 2.89                        | 2.43    | 2.54    | 2.69    | 1.8                 | 3.1     | 1.9     | 3.9     | 0.6               | 1.0     | 1.1     | 1.6     |
| 街镇 11  | 1.69                        | 1.67    | 1.67    | 1.70    | 0.5                 | 1.5     | 3.5     | 0.8     | 0.6               | 0.7     | 1.3     | 0.0     |
| 街镇 12  | 2.49                        | 3.43    | 2.31    | 2.93    | 3.4                 | 2.3     | 1.8     | 1.3     | 3.2               | 2.1     | 2.9     | 4.5     |
| 街镇 13  | 8.04                        | 4.51    | —       | 4.84    | 6.4                 | 4.8     | —       | 2.9     | 2.8               | 2.7     | —       | 6.2     |
| 街镇 14  | 1.03                        | 0.90    | 0.85    | 0.96    | 8.2                 | 4.9     | 4.0     | 4.4     | 4.8               | 1.7     | 1.9     | 3.8     |
| 街镇 15  | 1.88                        | 4.21    | 3.03    | 3.86    | 3.9                 | 1.8     | 1.0     | 1.2     | 4.8               | 3.4     | 3.1     | 7.2     |
| 街镇 16  | 1.13                        | 1.05    | 0.87    | 1.05    | 0.9                 | 2.6     | 6.4     | 4.3     | 3.8               | 4.3     | 3.8     | 5.5     |
| 街镇 17  | 1.88                        | 1.19    | 1.19    | 2.01    | 2.1                 | 2.4     | 2.2     | 2.0     | 2.3               | 1.8     | 2.8     | 3.1     |
| 街镇 18  | 2.18                        | 1.81    | 1.72    | 1.38    | 4.5                 | 2.0     | 0.9     | 2.1     | 4.1               | 1.1     | 1.2     | 3.0     |
| 街镇 19  | 3.00                        | 2.94    | 2.18    | 3.13    | 1.4                 | 1.2     | 0.8     | 2.8     | 0.9               | 1.0     | 1.5     | 3.1     |
| 街镇 20  | 6.97                        | 6.64    | 6.31    | 6.24    | 2.9                 | 2.0     | 1.5     | 2.3     | 4.5               | 48.9    | 8.4     | 4.1     |
| 街镇 21  | 1.50                        | 2.00    | —       | 1.84    | 1.5                 | 7.1     | —       | 2.8     | 2.6               | 3.9     | —       | 2.4     |
| 街镇 22  | 0.92                        | 0.78    | 0.58    | —       | 14.9                | 6.5     | 7.5     | —       | 42.8              | 3.5     | 2.6     | —       |
| 街镇 23  | 8.21                        | 8.21    | 5.80    | 8.07    | 6.4                 | 8.7     | 3.9     | 6.2     | 11.5              | 9.9     | 9.5     | 11.7    |
| 街镇 24  | 12.37                       | 11.98   | 10.86   | 10.72   | 2.3                 | 3.5     | 1.1     | 2.7     | 5.1               | 4.0     | 2       | 4.8     |
| 合计/平均* | 96.32                       | 85.25   | 72.69   | 86.97   | 3.6                 | 3.5     | 1.9     | 2.8     | 4.7               | 6.9     | 3.1     | 4.2     |

注:“—”表示由于污水处理厂维修停产等原因而当次未监测;\*此处“日进水流量”为各街镇的合计值,“甲基苯丙胺消费量”和“氯胺酮消费量”为各街镇的流量加权平均值.

2019 年 8 月各污水处理厂服务区甲基苯丙胺千人消费量最低 0.5mg/(千人·d),最高 14.9mg/(千人·d),大部分污水厂对应的甲基苯丙胺消费量低于 10mg/(千人·d).氯胺酮消费量最低 0.6mg/(千人·d),最高 45.1mg/(千人·d),大部分水厂服务区氯胺酮消费量低于 10mg/(千人·d).2019 年 Z 市的甲基苯丙胺和氯胺酮的消费水平低于国内大部分城市<sup>[13]</sup>.甲基苯丙胺的消费水平也远低于美国(平均 427mg/(千人·d))<sup>[19]</sup>、加拿大(代表城市 54mg/(千人·d))<sup>[15]</sup>、澳大利亚(代表城市 85.1mg/(千人·d))<sup>[20]</sup>和欧洲城市(3~376mg/(千人·d))<sup>[6,21]</sup>的消费水平.

Z 市甲基苯丙胺和氯胺酮的消费水平低于国外水平,这与文献中发现的我国主要药物自 2015 年以来显著下降的趋势相一致<sup>[22]</sup>.这种下降趋势主要归因于过去几年相关管理部门对精神类药物使用的严格管控,例如 2015 年实施的“青少年药物预防教育工程”和“社区戒毒和社区康复工程”.专项行动减少了药物的供给,而预防教育和社戒社康工程减少了药物的需求.正是因为这些行动和工程从减少药物供需两方面同时发挥作用,使得近年来主要精神类药物的消费水平持续下降.

2019 年 12 月,Z 市各污水处理厂服务区甲基苯

丙胺千人均消费量最低  $1.2\text{mg}/(\text{千人}\cdot\text{d})$ , 最高  $10.5\text{mg}/(\text{千人}\cdot\text{d})$ , 平均为  $3.5\text{mg}/(\text{千人}\cdot\text{d})$ (表 1)。氯胺酮消费量最低  $0.7\text{mg}/(\text{千人}\cdot\text{d})$ , 最高  $48.9\text{mg}/(\text{千人}\cdot\text{d})$ , 平均为  $6.9\text{mg}/(\text{千人}\cdot\text{d})$ (表 1)。2020 年 2 月, 各污水处理厂服务区甲基苯丙胺千人均消费量最高为  $7.5\text{mg}/(\text{千人}\cdot\text{d})$ , 平均值  $1.9\text{mg}/(\text{千人}\cdot\text{d})$ , 均低于疫情前(2019 年 12 月)的数值(表 1)。氯胺酮消费量最高  $9.5\text{mg}/(\text{千人}\cdot\text{d})$ , 平均值  $3.1\text{mg}/(\text{千人}\cdot\text{d})$ , 也低于疫情前(2019 年 12 月)的数值(表 1)。2020 年 5 月, 各污水处理厂服务区甲基苯丙胺千人均消费量平均值为  $2.8\text{mg}/(\text{千人}\cdot\text{d})$ , 高于疫情期间(2020 年 2 月), 低于疫情前的水平。氯胺酮千人均消费量也呈现类似的变化规律(表 1)。

## 2.2 疫情期间和疫情前后的人口变化

Z 市根据手机信令统计的动态人口显示, 一天中在各街镇停留时间小于 1h 和超过 23h 的人数最多, 而且在 Z 市主城区和非主城区的动态人口分布特征呈现显著差异: 主城区停留时间小于 1h 的人数远大于停留时间超过 23h 的人数; 相反, 非主城区停留时间超过 23h 的人数大于或接近于停留时间小于 1h 的人数(图 1)。这种差异可以理解, 因为主城区面积小, 人员跨区流动更频繁, 仅仅是路过的人数就很大, 而非城区的街镇面积大, 人员跨区流动相对少, 仅仅路过的人数也少。

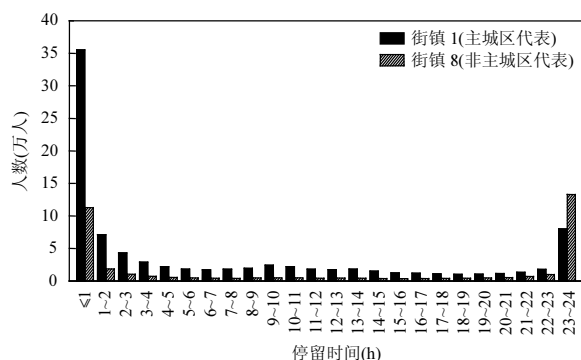


图 1 Z 市代表性主城区和非主城区街镇的动态人口特征

Fig.1 Population dynamics in representative urban and non-urban districts

根据式(2)计算各街镇由停留时间所计算的时间加权平均人数, 即折合人数。图 2 是 Z 市各街镇一天中停留时间  $<8\text{h}$ 、 $8\sim 16\text{h}$ 、 $>16\text{h}$  的折合人数在总折合人数中的占比。可以看出, 尽管停留时间  $<8\text{h}$  的绝对动态人口数超过其他 2 个时段, 但这个停留时段

的折合人数占比最小, 停留时间在  $8\sim 16\text{h}$  之间的折合人数占比其次, 停留时间  $>16\text{h}$  的折合人数占比最高。大部分非主城区街镇停留时间  $>16\text{h}$  的折合人数占比在 70% 以上(有的达到 85% 以上), 而在这些街镇停留时间  $<8\text{h}$  的折合人数占比都在 10% 以下。而在 Z 市的 5 个主城区街镇(街镇 1~街镇 5), 停留时间  $<8\text{h}$  的折合人数占比都在 10% 以上, 停留时间  $8\sim 16\text{h}$  的折合人数占比都在 25% 以上, 而停留时间  $>16\text{h}$  的折合人数占比都在 60% 以下或略高于 60%。这种情况跟主城区人员流动更频繁的情况相符。

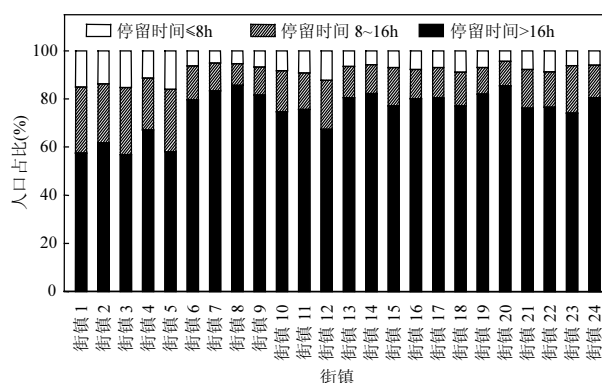


图 2 Z 市不同停留时间人数在折合人数中的占比

Fig.2 Percentages of populations of different stay durations of the total composite populations

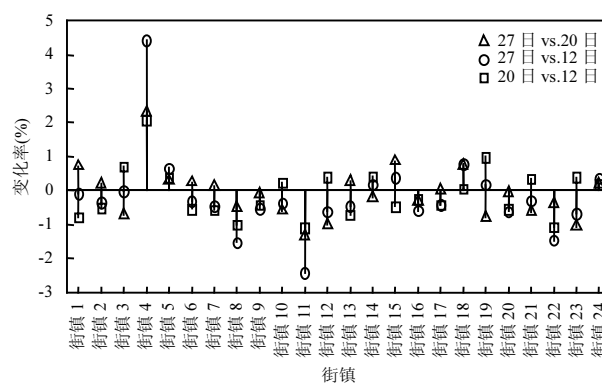


图 3 2020 年 5 月 12、20、27 日 Z 市各街镇折合人数的相对波动

Fig.3 Variation of composite population of each district on May 12, 20, 27, 2020

从图 1 和图 2 可以看出, 无论在 Z 市主城区还是非城区, 短时间停留的人口在动态人口总数中均占较高比例, 这种情况在其他城市也具有普遍性<sup>[23-24]</sup>。这种情况说明无论采用动态总人口还是采用常住人口来估算药物人均消费量均不合理, 因为前者过

高估计了流动人口(特别是短时间停留人数)的贡献,而后者未充分考虑流动人口的贡献.相比这两种做法,用停留时间对动态人口进行校正,得到的折合人口更加合理.

此外,疫情后 Z 市社会生活恢复常态,各街镇的折合人数和 Z 市总折合人数也呈现很高的稳定性.图 3 是 2020 年 5 月 12 日、20 日和 27 日(5 月份采样期间为 12~27 日)各街镇折合人数的相对波动.除个别街镇波动超过 2%以外,绝大部分街镇的折合人

数波动小于 1%.

从表 2 可以看出,疫情前和疫情后各街镇折合人数及 Z 市总折合人数变化不大(在 550~580 万人之间),而疫情期间(2020 年 2 月)的折合人数(308.6 万人)显著低于疫情前和疫情后,这是因为疫情期间正值春节,大量外地在 Z 市务工的人员返乡后尚未回到 Z 市,导致 Z 市人口显著低于疫情前后.如果不把疫情期间的总人口变化考虑进去,显然无法准确评估疫情对 Z 市精神类药物消费的影响.

表 2 4 次采样期间 Z 市各街镇的平均折合人口数  
Table 2 Average composite populations of the districts of Z city during four rounds of sampling

| 街镇    | 以手机信令数据估算折合人口(万人) |         |         |         | 以人均污水排放量估算服务区人口(万人) |         |         |         |
|-------|-------------------|---------|---------|---------|---------------------|---------|---------|---------|
|       | 2019-08           | 2019-12 | 2020-02 | 2020-05 | 2019-08             | 2019-12 | 2020-02 | 2020-05 |
| 街镇 1  | 26.0              | 27.4    | 17.7    | 26.7    | 28.6                | 26.0    | 20.6    | —       |
| 街镇 2  | 11.7              | 11.1    | 7.5     | 11.4    | 16.0                | 14.4    | 13.2    | 15.3    |
| 街镇 3  | 24.3              | 24.5    | 18.2    | 24.6    | 27.8                | 26.6    | 21.5    | 40.8    |
| 街镇 4  | 4.4               | 5.7     | 2.4     | 4.2     | 1.8                 | —       | 1.9     | 1.7     |
| 街镇 5  | 18.2              | 17.5    | 12.6    | 18.7    | 27.8                | 26.6    | 21.5    | 40.8    |
| 街镇 6  | 37.9              | 37.7    | 21.6    | 41.2    | 23.7                | 14.3    | 13.9    | 20.9    |
| 街镇 7  | 12.1              | 11.2    | 7.4     | 11.4    | 0.7                 | 0.7     | 0.8     | 0.7     |
| 街镇 8  | 20.6              | 19.4    | 6.1     | 19.8    | 2.0                 | 3.8     | —       | 0.7     |
| 街镇 9  | 29.3              | 28.6    | 13.8    | 31.1    | 12.8                | 4.5     | 6.3     | 10.5    |
| 街镇 10 | 31.8              | 30.8    | 16.8    | 33.4    | 9.2                 | 7.8     | 8.1     | 8.6     |
| 街镇 11 | 8.7               | 8.4     | 5.3     | 9.0     | 4.3                 | 4.3     | 4.3     | 4.3     |
| 街镇 12 | 17.6              | 17.1    | 12.4    | 18.0    | 8.3                 | 11.4    | 7.7     | 9.7     |
| 街镇 13 | 40.0              | 38.2    | 12.4    | 39.1    | 23.9                | 13.4    | —       | 14.4    |
| 街镇 14 | 35.5              | 33.6    | 11.9    | 34.6    | 2.8                 | 2.4     | 2.3     | 2.6     |
| 街镇 15 | 21.0              | 19.9    | 11.6    | 22.2    | 4.8                 | 10.7    | 7.7     | 9.8     |
| 街镇 16 | 11.9              | 11.2    | 8.6     | 12.0    | 3.7                 | 3.4     | 2.8     | 3.4     |
| 街镇 17 | 13.5              | 13.1    | 8.1     | 14.1    | 5.0                 | 3.1     | 3.1     | 5.3     |
| 街镇 18 | 16.8              | 16.6    | 8.5     | 19.0    | 6.1                 | 5.1     | 4.8     | 3.9     |
| 街镇 19 | 14.8              | 14.0    | 8.6     | 14.8    | 8.2                 | 8.1     | 6.0     | 8.6     |
| 街镇 20 | 33.7              | 31.3    | 19.1    | 31.6    | 23.5                | 22.4    | 21.3    | 21.0    |
| 街镇 21 | 32.8              | 31.5    | 16.2    | 32.0    | 6.4                 | 8.5     | —       | 7.9     |
| 街镇 22 | 6.0               | 5.4     | 3.8     | 5.8     | 2.2                 | 1.9     | 1.4     | —       |
| 街镇 23 | 42.4              | 37.7    | 30.6    | 42.9    | 29.2                | 29.2    | 20.6    | 28.7    |
| 街镇 24 | 64.0              | 59.6    | 27.6    | 62.9    | 40.1                | 38.9    | 35.3    | 34.8    |
| 合计    | 574.7             | 551.5   | 308.6   | 580.5   | 319.0               | 287.4   | 225.0   | 294.5   |

注:“—”表示由于污水处理厂维修停产等原因而当次未监测.

与折合人口的变化类似,本研究的 4 次采样期间,各污水处理厂处理的污水量也有一定的波动,主要是疫情期间的污水处理量普遍低于疫情前后(表 1),2019 年 8 月、2019 年 12 月和 2020 年 5 月全市生活污水处理厂合计处理量为 85~97 万 m<sup>3</sup>/d,平均 89.51 万 m<sup>3</sup>/d,而疫情期间(2020 年 2 月)为 72.69 万 m<sup>3</sup>/d.

传统估算污水厂服务区人口的方法为用污水

厂的进水流量乘以其中的生活污水占比(由污水厂提供),再除以人均生活污水产生量.结果可知,按照此方法估算得到的疫情前、后绝大多数污水厂的服务区人口及全市合计变化不大(在 287~319 万人之间),而疫情期间服务区人口合计 225 万人,显著低于疫情前后(表 2),这一结果与根据手机信令数据计算得到的折合人口的变化规律基本一致.然而,根据人均污水产生量估算的各街镇污水处理厂服务区人

口与根据手机信令数据估算得到的折合人口之间的相关性并不显著(图 4),可能与相应街镇的污水收集率、污水处理厂进水中的生活污水占比和人均污

水产生量等参数的不确定性有关,同时也说明了采用不同的人口数会对 Z 市精神药物消费量的评估结果产生显著影响。

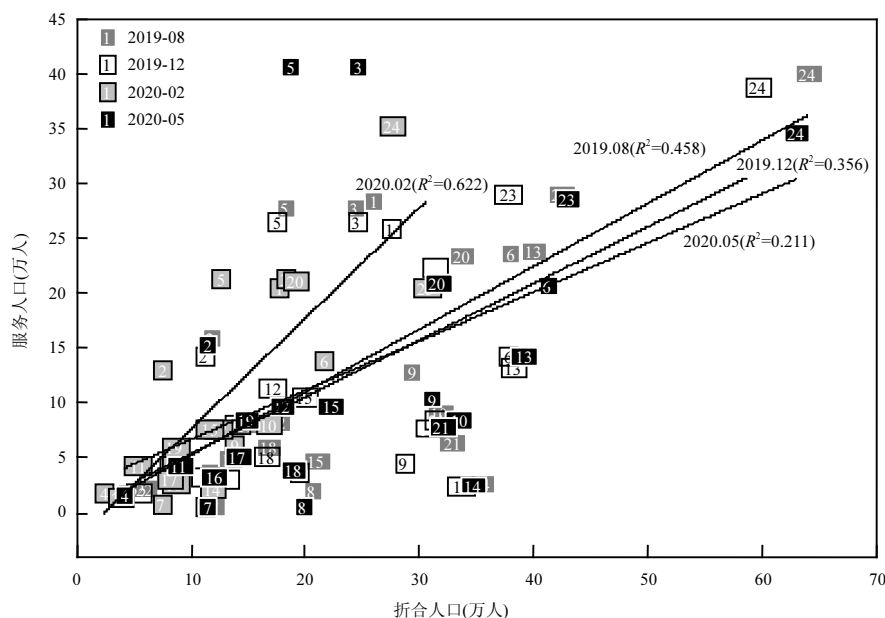


图 4 采样期间 2 种估算方法得到的折合人口对比(数据点编号对应街镇编号)

Fig.4 Scatter diagram of the estimated population during the sampling period (the data ID corresponds to the district)

### 2.3 疫情对精神类药物滥用的影响

根据表 1 和表 2, Z 市各街镇历次采样期间的千人消费量折合人数,可以计算疫情前后和疫情期间甲基苯丙胺和氯胺酮的全市平均消费量和总消费量(图 5)。2019 年 8 月、12 月、2020 年 2 月、5 月甲基苯丙胺全市平均消费量分别为 3.6、3.5、1.9、2.8 mg/(千人·d),氯胺酮全市平均消费量分别为 4.7、6.5、3.1、4.2 mg/(千人·d)。

把各街镇历次采样期间两种精神药物的消费量(该次采样期间的平均消费量乘以折合人数)加和得到 Z 市各次采样期间全市的总消费量。2019 年 8 月、12 月、2020 年 2 月、5 月甲基苯丙胺的全市总消费量分别为 20.7、19.3、5.9、16.2 g/d,氯胺酮的全市总消费量分别为 27.0、35.8、9.6、24.4 g/d。

从上述结果可以看出,疫情期间甲基苯丙胺和氯胺酮的总消费量出现了显著下降(相对于疫情前下降了约 75%)。但是,总消费量的显著下降很大程度是由疫情期间 Z 市折合总人数下降造成的。实际上,疫情期间 Z 市甲基苯丙胺和氯胺酮的人均消费水平相对于疫情前下降不到 50%。

精神类药物供需两方面的抑制都可以导致精

神类药物消费水平的下降。疫情期间精神类药物流通(供给方面)受阻会导致精神类药物消费下降。另外氯胺酮的消费有聚众的特点,很多出现在娱乐场所或私人会所。这种群体性吸食行为受环境安全的影响很大。在疫情期间 Z 市所有的娱乐场所都停止了营业,在私人场所人员聚集也很困难,客观上消除了聚众吸食(需求方面)的可能性,导致 Z 市消费水平的下降。但是考虑到疫情期间 Z 市极其严格的管控措施(交通管制、小区封闭管理等),上述平均消费水平的下降幅度并不算大,说明即使在严格的管控条件下,精神类药物的滥用仍然不能被完全消除。而疫情后两种精神类药物的人均消费量和总消费量在较短时间基本恢复到疫情前水平,进一步说明人群中精神类药物滥用的顽固性。

精神类药物滥用的前提是能够获得这些药物。疫情期间,政府出台各种措施控制人口流动,人们甚至很难离开居住的小区,因此精神药物滥用成瘾的人员通过直接交易获得这些药物的可能性微乎其微,即相关人员直接携带精神类药物交易流通的方式基本断绝。尽管如此,疫情期间氯胺酮的市场价格相对于疫情前后基本持平(均为 300 元/g),甲基苯丙

胺在疫情期间的价格为 800 元/g,相对于 2019 年 12 月份的 900 元/g略有下降,说明即使在疫情期间这两种精神类药物的供需尚能基本保持平衡,也说明即使在严格的管控形势下,精神类药物仍具有相对通畅的供应、分销渠道.近年来,很多精神类药物交易是以互联网和物流快递的方式进行.在疫情期间,快递与生活物资的日常供给结合得更加紧密,快递量激增,物流寄递行业为满足疫情防控 and 群众生活的需求,全员上岗,满负荷运作.可以推测,疫情期间 Z 市精神类物流流通的主要渠道是互联网+物流快递.事实上互联网+物流寄递的方式在精神类药物滥用管控方面具有高度隐蔽、跨区域、分散性等特点,给药物管理部门的管控查处带来巨大的困难.这一特点需要引起相关部门的重视,适应精神类药物滥用的新趋势,进行有针对性和有效的管控.

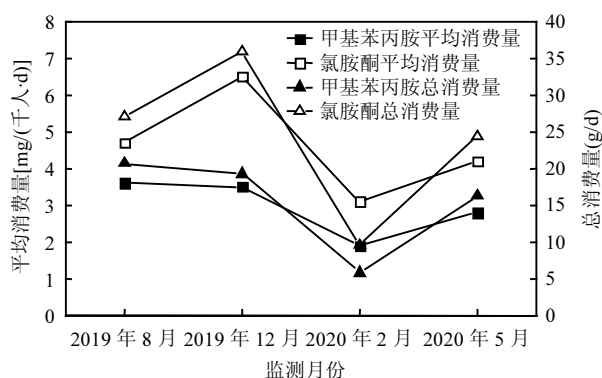


图 5 4 次采样期间 Z 市甲基苯丙胺和氯胺酮的平均消费量和总消费量

Fig.5 Total methamphetamine and ketamine consumptions during four rounds of sampling

### 3 结语

疫情期间 Z 市实际居住人口相较于疫情前后下降了约 45%,基于各镇街折合人数计算的 Z 市两种精神类药物总消费量相较于疫情前下降了约 75%.总消费量的显著下降很大程度是由疫情期间 Z 市折合总人数下降造成的.实际上,疫情期间 Z 市甲基苯丙胺和氯胺酮的人均消费量相对于疫情前下降不到 50%.考虑到疫情期间严格的管控措施,这一下降幅度说明精神类药物消费极其顽固.由于疫情期间人员流动基本阻断,主要通过互联网和物流获得精神类药物,说明完善物流寄递监管对于遏制精神类药物滥用非常重要.

### 参考文献:

- [1] 余锦梓,袁 啸,李适宇,等.典型 PPCPs 在河流沉积物中的吸附特性[J]. 中国环境科学, 2019,39(4):1724-1733.  
Yu M Z, Yuan X, Li S Y, et al. Experimental and modeling study of sorption characteristics of selected PPCPs onto river sediments [J]. China Environmental Science, 2019,39(4):1724-1733.
- [2] 王 丹,隋 倩,吕树光,等.黄浦江流域典型药物和个人护理品的含量及分布特征 [J]. 中国环境科学, 2014,34(7):1897-1904.  
Wang D, Sui Q, Lv S Q, et al. Concentrations and distribution of selected pharmaceuticals and personal care products in Huangpu River [J]. China Environmental Science, 2014,34(7):1897-1904.
- [3] 丁 旭,毛 康,白 雅,等.水环境中苯丙胺类物质的快速前处理方法 [J]. 中国环境科学, 2020,40(2):219-225.  
Ding X, Mao K, Bai Y, et al. Accelerated pre-treatment method for amphetamine-type substances in water environment [J]. China Environmental Science, 2020,40(2):219-225.
- [4] 刘 娜,金小伟,薛荔荔,等.太湖流域药物和个人护理品污染调查与生态风险评估 [J]. 中国环境科学, 2017,37(9):3515-3522.  
Liu Na, Jin XW, Xue LD, et al. Concentrations distribution and ecological risk assessment of pharmaceuticals and personal care products in Taihu Lake [J]. China Environmental Science, 2017,37(9):3515-3522.
- [5] Terzic S, Senta I, Ahel M. Illicit drugs in wastewater of the city of Zagreb (Croatia) —estimation of drug abuse in a transition country [J]. Environmental Pollution, 2010,158(8):2686-2693.
- [6] Thomas K V, Bijlsma L, Castiglioni S, et al. Comparing illicit drug use in 19 European cities through sewage analysis [J]. Science of the Total Environment, 2012,432:432-439.
- [7] Vuori E, Happonen M, Gergov M, et al. Wastewater analysis reveals regional variability in exposure to abused drugs and opioids in Finland [J]. Science of the Total Environment, 2014,487:688-695.
- [8] Zhang Y, Zhang T, Guo C, et al. Drugs of abuse and their metabolites in the urban rivers of Beijing, China: Occurrence, distribution, and potential environmental risk [J]. Science of the Total Environment, 2017,579:305-313.
- [9] 唐小勇,周 涛,陆百川.基于手机信令的大范围人流移动分析 [J]. 重庆交通大学学报(自然科学版), 2017,36(1):82-87.  
Tang X Y, Zhou T, Lu B C. Analysis of wide range population flow analysis based on mobile phone signaling [J]. Journal of Chongqing Jiaotong University (Natural Science), 2017,36(1):82-87.
- [10] 戴顺勇,蔡 欣,郭 涛.基于手机信令大数据的疫情监控指挥中心人口流动监控方案研究 [J]. 无线互联科技, 2020,17(12):130-131.  
Dai S Y, Cai X, Guo T. Research on population flow monitoring program of outbreak surveillance command center based on mobile signaling big data [J]. Wireless Internet Technology, 2020,17(12):130-131.
- [11] 钟炜菁,王 德,谢栋灿,等.上海市人口分布与空间活动的动态特征研究——基于手机信令数据的探索 [J]. 地理研究, 2017,36(5):972-984.  
Zhong W J, Wang D, Xie D C, et al. Dynamic characteristics of Shanghai's population distribution using cell phone signaling data [J]. Geographical Research, 2017,36(5):972-984.
- [12] Baz-Lomba J, Ruscio F D, Amador A, et al. Assessing alternative

- population size proxies in a wastewater catchment area using mobile device data [J]. *Environmental Science and Technology*, 2019,53(4): 1994–2001.
- [13] Du P, Li K, Li J, et al. Methamphetamine and ketamine use in major Chinese cities, a nationwide reconnaissance through sewage-based epidemiology [J]. *Water Research*, 2015,84:76–84.
- [14] Zuccato E, Chiabrando C, Castiglioni S, et al. Estimating community drug abuse by wastewater analysis [J]. *Environ Health Perspective*, 2008,116:1027–32.
- [15] Yargeau V, Taylor B, Li H, et al. Analysis of drugs of abuse in wastewater from two Canadian cities [J]. *Science of the Total Environment*, 2014,487:722–730.
- [16] 黄伟,孙世超,孙娜.基于手机信令数据的居住地人口分布辨识改进方法[J]. *城市交通*, 2021,19(1):95–101.  
Huang W, Sun S C, Sun N. Improved identification method of residential population distribution based on mobile phone signaling data [J]. *Urban Transport of Chian*, 2021,19(1):95–101.
- [17] 钮心毅,林诗佳,秦思娴,等.移动定位大数据支持城市人口规模监测的技术途径[J]. *当代建筑*, 2020,12(12):39–43.  
Niu X Y, Lin S J, Qin S X, et al. The technical approach of urban population size monitoring supported by mobile positioning big data [J]. *Contemporary Architecture*, 2020,12(12):39–43.
- [18] 陈小鸿,陈先龙,李彩霞,等.基于手机信令数据的居民出行调查扩样模型[J]. *同济大学学报(自然科学版)*, 2021,49(1):86–96.  
Chen X H, Chen X L, Li C X, et al. Sample expansion model of household travel survey using cellphone data [J]. *Journal of Tongji University(Natural Science)*, 2021,49(1):86–96.
- [19] Subedi B, Kannan K. Mass loading and removal of select illicit drugs in two wastewater treatment plants in New York State and estimation of illicit drug usage in communities through wastewater analysis [J]. *Environmental Science and Technology*, 2014,48:6661–6670.
- [20] Irvine R J, Kostakis C, Felgate P D, et al. Population drug use in Australia: a wastewater analysis [J]. *Forensic Science International*, 2011,210:69–73.
- [21] Mackulak T, Skubak J, Grabic R, et al. National study of illicit drug use in Slovakia based on wastewater analysis [J]. *The Science of the Total Environment*, 2014,494–495:158–165.
- [22] Li X, Du P, Zhang W, et al. Wastewater: a new resource for the war against illicit drugs [J]. *Current Opinion in Environmental Science & Health*, 2019,9:73–76.
- [23] 王蓓,王良,刘艳华,等.基于手机信令数据的北京市职住空间分布格局及匹配特征[J]. *地理科学进展*, 2020,39(12):2028–2042.  
Wang B, Wang L, Liu Y H, et al. Characteristics of jobs-housing spatial distribution in Beijing based on mobile phone signaling data [J]. *Progress in Geography*, 2020,39(12):2028–2042.
- [24] 施澄,田琳,程遥.短期人口流动视角下的长三角城市群空间组织研究——基于手机信令数据对出行数据识别的实证[J]. *城乡规划*, 2020,6:105–115.  
Shi C, Tian L, Cheng Y. Regional spatial organization from the perspective of short-term travel: an empirical study on the Yangtze River Delta based on mobile phone data [J]. *Urban and Rural Planning*, 2020,6:105–115.

**作者简介:** 冯立洲(1971–),男,广东中山人,北京大学博士研究生,主要从事环境社会学方向的研究.发表论文 5 篇.