

doi: 10.3969/j.issn.1002-0268.2023.10.019

新冠肺炎疫情对居民出行行为的影响

黄芳¹, 郭凤香^{*1}, 周燕宁², 王晓安³

- (1. 昆明理工大学 交通工程学院, 云南 昆明 650000;
2. 深圳市城市交通规划设计研究中心股份有限公司, 广东 深圳 518000;
3. 云南省交通科学研究院有限公司, 云南 昆明 650000)

摘要:为探究新冠肺炎疫情对居民交通出行的影响,于2020年9月在云南省昆明市开展实地问卷调查,收集了1 123名居民在疫情发生前后的出行特征数据,利用MNL模型将出行者的个人特性、家庭特性及偏好作为影响因素,包括性别、年龄、家庭年收入、家庭人口数、家庭是否拥有汽车、所在地区、职业等,揭示了疫情前后居民出行行为的变化,探究了显著影响居民出行次数和出行方式的关键因素。结果表明:疫情发生后,每周出行次数 ≤ 3 次的居民人数是疫情前的1.89倍,每周出行次数 ≥ 7 次的居民人数是疫情前的0.46倍;选择步行、自行车、电动车、私家车等私人交通方式出行的居民人数比疫情前增加了10.28%,而选择公交车、地铁、共享单车/汽车、网约车出行的居民人数比疫情前减少了7.9%;疫情发生后,年龄、所在地区、职业、家庭年收入、家庭人口数、家庭是否拥有汽车、是否乘坐公交/地铁、是否乘坐共享单车/汽车、换乘次数是否重要、接触人员数量是否重要这10个因素对居民的出行次数和出行方式有显著地影响;居民的出行行为发生了显著变化,出行次数明显减少,出行方式倾向于选择步行、自行车、电动车、私家车等私人交通方式。

关键词:交通工程;出行行为;MNL模型;居民出行;新冠肺炎疫情

中图分类号:U121

文献标识码:A

文章编号:1002-0268(2023)10-0166-09

Impact of COVID-19 on Residents' Travel Behavior

HUANG Fang¹, GUO Feng-xiang^{*1}, ZHOU Yan-ning², WANG Xiao-an³

- (1. School of Traffic Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming Yunnan 650000, China;
2. Shenzhen Urban Traffic Planning and Design Research Center Co., Ltd., Shenzhen Guangdong 518000, China;
3. Yunnan Academy of Transportation Sciences Co., Ltd., Kunming Yunnan 650000, China)

Abstract: To investigate the impact of covid-19 on travel, a field survey is conducted in Kunming of Yunnan Province in September 2020. Data on travel characteristics are collected from 1 123 residents before and after the outbreak by using MNL model, the individual characteristics, family characteristics and preferences of travelers are taken as influencing factors, including gender, age, annual household income, household population, whether the family owns a car, location, occupation, and so on, revealing the changes in travel behavior of residents before and after the epidemic, the key factors that significantly affect the number and mode of residents' travel are investigated. The result shows that (1) after the outbreak of the epidemic, the number of residents who travelled less than 3 times per week is 1.89 times of that before the outbreak, and the number of residents who travelled more than 7 times per week is 0.46 times of that before the outbreak; (2) the number of residents who chose to travel by private means of transport, such as walking, cycling, electric cars and private cars, increases by 10.28 percent compared with the number before the epidemic, the number of residents choosing buses, subways, shared bikes/cars and ride-hailing services decreases by

收稿日期:2021-06-24

作者简介:黄芳(1994-),女,重庆人,硕士研究生。(1229725389@qq.com)

*通讯作者:郭凤香(1979-),女,黑龙江海林人,博士研究生,教授。(gfbbox@qq.com)

7.9%; (3) after the outbreak, age, location, occupation, annual family income, household population, whether the family owns a car, whether the family takes a bus or subway, whether the ride is shared bike or car, whether the number of transfers is important, whether the number of contacts is important, these 10 factors have a significant impact on the number of trips and travel ways of residents; (4) the travel behavior of residents has changed significantly, the number of trips has reduced significantly, the way of travel tends to choose walking, bicycles, electric vehicles, private cars and other private transport.

Key words: traffic engineering; travel behavior; MNL model; residents' travel; COVID-19

0 引言

2020 年初, 新型冠状病毒肺炎 (Corona Virus Disease 2019, COVID-19, 简称新冠肺炎) 的爆发不仅对全国各行业造成了严重的负面影响, 也给人民生活带来了很大的影响。许多传染病学研究都证实传染型病毒很容易通过公共交通出行活动在人群中大规模传播, 很大一部分的感染者是在公共交通场所逗留期间或者乘坐公共交通工具过程中被传染^[1]。交通系统是城市生产生活、应急救援和疫情防控工作开展的基础保障, 同时交通工具、交通场所内人流集中、转换, 存在进一步扩散疫情的风险^[2]。研究疫情对居民出行行为的影响, 分析疫情前后居民出行行为的改变, 对 COVID-19 的防控具有重要的现实意义。

目前, 国内外在传染流行病对交通出行影响方面研究已经取得了不错的成果。Balcan 等^[3-4]研究了传染病在多尺度交通网络上的传播, 包括本地的通勤交通网络和远程的航空运输网络。张玉等^[5]提出一种基于马尔可夫链的交通网络中的传染病传播模型, 研究了传染病在公路、高铁、自驾及航空等人口流动常见交通网络中的传播过程, 并验证了该模型的有效性。种鹏云等^[2]基于系统动力学仿真模型, 研究了交通运输对 COVID-19 传播的影响, 结果表明交通运输对 COVID-19 的传播起正反馈作用, 减少人们出行需求, 减少公共交通出行的比例, 能有效减缓 COVID-19 的传播。张毅等^[6]构建交通出行人群的病毒易感度评估模型, 评估了各种交通出行方式中人群的易感度, 量化了各种交通运输方式的感染风险概率。姜楠等^[7]通过问卷调查, 研究发现新冠肺炎疫情极大地改变了我国人群出行频次及交通方式。王庆生等^[8]基于问卷调查数据, 发现疫情后游客会更倾向于自驾出游, 出行时会有更多地考虑完全卫生和接触人员的密集程度。刘建荣等^[9]基于 Logit 模型研究了新冠疫情对老年人的公交出行行为的影响, 研究发现新冠疫情和对新冠肺炎疫情严重程度的感

知对老年人使用公交意愿具有显著影响, 也会影响老年人外出概率和使用公交的概率。吴娇蓉等^[10]基于问卷数据构建二元 Logit 模型对合乘出行驱动因素影响分析, 研究发现在疫情持续期出行者对交通方式的主观感受会显著影响合乘选择行为。骆晨等^[11]利用问卷调查数据构建风险感知差异的居民出行方式选择多元 Logit 模型, 研究结果表明防控措施和防控措施了解程度对居民出行方式选择有显著影响。郭润航^[12]基于问卷调查数据, 以北京市居民新冠疫情前后多模式出行决策为研究对象, 构建的多模式决策行为模型有效的刻画了疫情前后居民的出行行为。Tan 等^[13]从个人属性、出行属性和 COVID-19 感知这 3 个方面构建了 logistic 回归模型, 研究结果表明职业、COVID-19 大流行前的通勤工具、居住地到最近地铁站的步行时间、私家车以及公共交通中感染的可能性等对通勤人员选择轨道交通有显著影响。

新冠肺炎疫情对我国的交通运输产生了巨大的影响, 目前国内主要的研究是关于疫情持续期交通运输系统对新冠肺炎疫情的传播和防止疫情扩散及出行感染风险, 关于疫情发生前后人群出行行为对比分析的研究较少。本研究以疫情前后居民出行次数和出行方式为研究对象, 于 2020 年 9 月在云南省昆明市开展新冠肺炎疫情对交通出行的影响问卷调查, 共获得 1 123 份有效问卷。基于问卷数据, 利用 MNL 模型, 分析家庭特性、出行者个人特性、出行者偏好对居民出行行为的影响研究, 为未来类似突发公共卫生事件提供在交通出行方面提供科学的参考。

1 问卷设计及调查

1.1 问卷设计

通过问卷调查来收集居民的人口学统计特征和新冠肺炎疫情前后居民交通出行的变化。目前疫情仍在持续, 本次采用实地问卷调查的形式, 地点为云南省昆明市。参考现有的成熟的问卷, 编制调查

问卷,内容涉及人口学统计特征和疫情前后出行次数、出行方式等共 15 题。

人口学统计特征包括被调查者的性别、年龄段、所在地区、职业、家庭年收入、家庭人口数、家庭汽车拥有量。年龄段划分为 4 个,分别为 24 岁及以下、25~34 岁、35~54 岁和 55 岁以上老年人;职业、家庭年收入和家庭人口数,根据常见来进行的划分;所在地区则是根据等级划分成农村、县城、地级市、省会城市或直辖市。

交通出行问卷的出行均指城市内部出行,不包含跨省/跨市出行。结合目前国内的实际情况,编制交通出行问卷,包括疫情前后每周出行次数、出行方式、是否乘坐公交地铁等共 9 个题项。

1.2 数据收集

新冠肺炎疫情前后居民的交通出行行为的变化是本次调查的研究目的,调查对象是中国云南省昆明市内不同性别、不同年龄段、不同地区的居民。为了保证问卷的客观性和真实性,本次问卷调查为不记名调查,完成大概需要 10 min。共发放和回收 1 151 份,剔除填写不完整的问卷,收集到 1 123 份有效问卷,有效率 97.5%。

对问卷调查的人口统计学进行描述性统计分析,结果见表 1。被调查者的 1 123 人中,女性和男性所占比例相近,分别为 50.8%和 49.2%;被调查者的年龄大部分在 34 岁以下;家庭年收入区间 5~8 万元的最多,占比 38.1%;60.7%的家庭的人口数都在 3 人以上,49.1%的家庭拥有 1 辆汽车,省会城市/直辖市的人口数占比为 37.2%;公司职员/公务员和学生所占比例最多,分别为 31.3%和 38.9%,离退休、农村和其他的人员最少,分别只有 4.5%,2.1%和 7.8%。

1.3 信度效度分析

为了检验问卷的可靠性,使用 Cronbach α 系数对问卷进行信度分析。本研究使用的新冠肺炎疫情对交通出行的影响调查问卷的 Cronbach α 系数是 0.792>0.7,表明问卷的内部一致性信度良好,问卷整体设计具有较高的可信度。因此基于该问卷获取的数据是可信的,基于问卷调查数据的统计分析结果也是可靠的。

为探究新冠肺炎疫情对交通出行的影响,对 1 123 份调查问卷进行 KMO 检验和 Bartlett 球形检验,以确保问卷数据具有结构效度。得到的 KMO 测度值为 0.725,大于标准值 0.5;同时 Bartlett 球形检验的结果是 0.000,小于显著性水平 0.05,表明问卷数据适合进行因子分析。

表 1 人口学统计特征的描述性统计

Tab.1 Descriptive statistics of demography statistical characteristics

属性	分类	数量/人	比例/%
性别	男	553	49.2
	女	570	50.8
年龄	≤24 岁	592	52.7
	25~34 岁	309	27.5
	35~54 岁	167	14.9
	≥55 岁	55	4.9
家庭年收入	<5 万元	258	23.0
	5~8 万元	428	38.1
	8~12 万元	244	21.7
	>12 万元	193	17.2
家庭人口数	<3 人	441	39.3
	3 人及以上	682	60.7
家庭是否拥有汽车	没有	312	27.8
	有	811	72.2
所在地区	农村	305	27.2
	县城/地级市	400	35.6
	省会城市/直辖市	418	37.2
职业	公司职员/公务员	351	31.3
	学生	437	38.9
	离退休	50	4.5
	私营个体	173	15.4
	农村	24	2.1
	其他	88	7.8

利用因子分析法的主成分分析法,选取特征值>1 的主成分,保留因子荷载>0.5 的变量,结果见表 2。表 2 中,新冠肺炎疫情对交通出行的影响调查问卷共有 2 个因子的特征值>1,分别是出行次数(2 个题目)和出行方式(2 个题目)。累计解释总方差 77.473%,已经能够解释大部分的方差,且每个因子的累计方差贡献率都在 50%以上^[14],因子结构符合理论构想,说明问卷的结构效度较好。

表 2 问卷因子结构和荷载值

Tab.2 Factor structure and load value of questionnaire

因子	题项	疫情前后	项目	因子荷载
出行次数	A ₁	前	每周的出行次数(步行时间超过 5 min 或使用交通工具的距离大于 500 m)	0.644
	A ₂	后		0.675
出行方式	B ₁	前	出行时选择使用最多的交通工具	0.751
	B ₂	后		0.771

2 模型构建

MNL 模型 (Multinomial Logit Model) 是最为常用的非集计模型, 其数学形式简洁、计算简单, 且具有各选择肢的概率在 (0.1) 之间, 选择概率综合为 1 的合理性^[15], 因此被广泛应用于交通等领域^[16-18]。

2.1 MNL 模型

根据非集计模型理论^[15], 随机效用理论认为效用是一个随机变量, 通常将效用函数 U 分为固定项函数和随机项函数两部分, 并假设两部分之间呈线性关系。

$$U_{in} = V_{in} + \varepsilon_{in}, \quad (1)$$

式中, U_{in} 为效用函数; V_{in} 为效用函数的固定部分; ε_{in} 为效用函数的随机部分, 服从 Gumbel 分布。固定项和解释变量间是呈线性关系, 如式 (2) 所示:

$$V_{in} = \sum_k \beta_k X_{ink}, \quad (2)$$

式中, X_{ink} 为出行者选择第 K 种方案的显著影响因素; β_k 为待估计参数。

当出行者有两个或以上的选择方案时, 可以选用 MNL 模型 (多元 Logit 模型), 该模型认为每个出行者在出行时都会遵守最大效用理论。 V_{in} 和 ε_{in} 相

互独立是 MNL 模型成立的前提条件, 且 ε_{in} 服从二重指数分布。MNL 模型如式 (3) 所示:

$$P_{in} = \frac{e^{V_{in}}}{\sum_{j=1}^J V_{jn}}, \quad i \in A_n, \quad (3)$$

式中, P_{in} 为出行者 n 选择项 i 的概率; V_{in} 为出行者 n 选择项 i 的固定效用; V_{jn} 为出行者 n 选项 j 的固定效用; A_n 为出行者 n 的选择枝集合; j 为集合 A_n 中的元素。

2.2 特征变量的选择

根据问卷调查, 影响居民出行的因素有很多, 可以概括为家庭特性、出行者个人特性、出行者偏好及对新冠肺炎疫情的感知 4 类, 其中家庭特性包括家庭年收入、家庭人口数、家庭汽车拥有量。出行者个人特性包括: 性别、年龄、所在地区、职业, 出行者偏好包括是否乘坐公交/地铁、是否乘坐共享单车/汽车、是否乘坐网约车/出租车、接触人员数量是否重要、换乘次数是否重要、途中停靠站点数是否重要。对新冠肺炎疫情的感知: 此次疫情的严重程度、是否有必要减少出行。将选择上述变量作为建模的影响变量, 将它们进行分类并赋值, 结果如表 3 所示。

表 3 特征变量设置及说明

Tab. 3 Setting and description of characteristic variables

类别	特征变量	变量说明
出行者个人特性	X_1 性别	0: 女性, 1: 男性
	X_2 年龄 (岁)	0: (0, 24], 1: (24, 34], 2: (34, 54], 3: [55, ∞)
	X_3 所在地区	0: 农村, 1: 县城、地级市, 2: 省会城市或直辖市
	X_4 职业	0: 公司职员/公务员, 1: 学生, 2: 离退休, 3: 私营个体, 4: 农村, 5: 其他
家庭特性	X_5 家庭年收入/万元	0: (0, 5], 1: (5, 8], 2: (8, 12], 3: (12, ∞]
	X_6 家庭人口数/人	0: <3, 1: ≥ 3
	X_7 家庭是否拥有汽车	0: 没有, 1: 有
出行者偏好	X_8 是否乘坐公交/地铁	0: 否, 1: 是
	X_9 是否乘坐共享单车/汽车	0: 否, 1: 是
	X_{10} 是否乘坐网约车/出租车	0: 否, 1: 是
	X_{11} 接触人员数量是否重要	0: 否, 1: 是
	X_{12} 换乘次数是否重要	0: 否, 1: 是
	X_{13} 途中停靠站点数是否重要	0: 否, 1: 是
对新冠肺炎疫情的感知	X_{14} 此次疫情的严重程度是否有必要	0: 一点都不严重, 1: 不太严重, 2: 一般, 3: 严重, 4: 非常严重
	X_{15} 减少出行	0: 非常没必要, 1: 没必要, 2: 有必要, 3: 非常有必要

3 模型参数验证与估计

3.1 参数估计

根据昆明市新冠肺炎疫情前后居民的出行行为

问卷调查数据, 将出行次数、出行方式作为模型因变量, 家庭特性、出行者个人特性、出行者偏好、对新冠肺炎疫情的感知作为自变量, 采用 P 值检验参数值的显著性, 以此来确定模型变量的选取, $P <$

0.05 说明该自变量对居民出行行为有显著影响, 将其纳入居民出行行为模型中, 反之, 剔除。以出行次数 10 次以上和以网约车/出租车为参考类别, 最终的参数估计结果表 4~5 所示。

表 4 出行次数参数估计结果

Tab. 4 Estimation result of travel frequency parameters

指标		疫情前		疫情后	
		标准差	<i>P</i> 值	标准差	<i>P</i> 值
≤3 次	X_2	-1.619	0.005	-1.825	0.014
	X_3	0.614	0.005	—	—
	X_4	—	—	-0.793	0.020
	X_5	1.230	0.000	1.476	0.000
	X_6	-0.428	0.018	-0.423	0.040
	X_7	0.595	0.001	0.710	0.000
	4~6 次	X_8	1.731	0.013	-1.702
X_9		—	—	0.759	0.001
X_{10}		-0.179	0.017	—	—
X_{11}		1.376	0.000	0.915	0.007
X_{12}		0.425	0.027	—	—
X_{13}		0.565	0.002	-0.633	0.004
X_5		-0.745	0.000	—	—
X_6		0.451	0.042	0.605	0.028
7~9 次	X_{13}	0.445	0.037	—	—
	X_4	—	—	-1.021	0.049
	X_5	0.487	0.028	1.004	0.002
	X_6	—	—	-0.554	0.026

3.2 模型验证

模型拟合结果如表 6 所示, 显著性的值<0.05, 说明模型具有统计意义, 模型的变量选择是准确的。

居民出行次数模型的似然比检验结果如表 7 所示, 由表 7 可知年龄、所在的地区、职业、家庭年收入、家庭人口数、是否乘坐公交/地铁、是否乘坐共享单车/汽车、是否乘坐网约车/出租车、接触人员数量是否重要、乘次数是否重要的卡方检验概率 P 值均小于统计值 0.05, 认为其对居民出行次数模型的线性关系贡献显著。

居民出行方式模型的似然比检验结果如表 8 所示, 由表 8 可知, 性别、年龄、所在的地区、职业、家庭年收入、家庭人口数、家庭是否拥有汽车、是否乘坐公交/地铁、是否乘坐共享单车/汽车、是否乘坐网约车/出租车、接触人员数量是否重要的卡方检验概率 P 值均小于统计值 0.05, 认为其对居民出行方式模型的线性关系贡献显著。

表 5 出行方式参数估计结果

Tab. 5 Estimation result of travel mode parameters

指标		疫情前		疫情后	
		系数值	<i>P</i> 值	系数值	<i>P</i> 值
私人交通方式（步行、自行车、电动车、私家车）	X_3	0.958	0.012	1.217	0.000
	X_4	19.169	0.000	18.503	0.000
	X_5	—	—	-0.957	0.005
	X_6	—	—	-0.556	0.028
	X_7	—	—	-0.680	0.004
	X_8	2.053	0.000	3.597	0.000
	X_9	—	—	0.889	0.002
公交地铁	X_3	1.026	0.008	1.242	0.000
	X_4	17.875	0.000	—	—
	X_5	—	—	-1.017	0.011
	X_8	-0.692	0.024	-0.899	0.000
	X_{10}	2.150	0.000	2.443	0.000
	X_{11}	—	—	0.876	0.003
共享单车/汽车	X_1	-0.922	0.005	-0.670	0.031
	X_3	—	—	-0.720	0.040
	X_4	—	—	1.654	0.009
	X_5	-1.211	0.011	-1.502	0.001
	X_9	-2.217	0.000	-1.930	0.000
	X_{10}	2.505	0.000	1.841	0.000

表 6 模型拟合信息

Tab. 6 Model fitting information

模型		-2 对数似然	卡方	自由度	显著性
出行次数	疫情前 仅截距	3 916.372	—	—	—
	最终	3 497.572	418.801	66	0.000
	疫情后 仅截距	3194.040	—	—	—
	最终	2 818.564	375.476	66	0.000
出行方式	疫情前 仅截距	2 979.246	—	—	—
	最终	2 567.344	411.902	66	0.000
	疫情后 仅截距	3 092.294	—	—	—
	最终	2 577.192	515.102	66	0.000

4 结果分析

4.1 疫情前后出行行为对比分析

疫情前后居民出行行为特征分布如图 1~2 所示。调查数据显示, 疫情发生后 64.9% 的居民每周出行次数≤3 次, 疫情前居民每周出行次数≤3 次比例为 34.23%, 增幅为 30.67%; 疫情发生后 18.81% 的居民每周出行次数≥7 次, 疫情前居民每周出行次数≥7 次比例为 41.34%, 减少了 22.53%。疫情发生后

表 7 出行次数似然比检验
Tab. 7 Travel frequency likelihood ratio test

模型	模型拟合条件		似然比检验		模型拟合条件		似然比检验	
	-2 对数似然	卡方	自由度	P 值	-2 对数似然	卡方	自由度	P 值
	疫情前				疫情后			
截距	3 497. 572	0. 000	0	—	2 818. 564	0. 000	0	—
年龄	3 569. 525	71. 953	9	0. 000	2 858. 000	39. 436	9	0. 000
所在的地区	3 518. 887	21. 315	6	0. 002	2 848. 388	29. 824	6	0. 000
职业	3 535. 597	38. 025	15	0. 001	2 847. 004	28. 441	15	0. 019
家庭年收入	3 556. 267	58. 695	9	0. 000	2 869. 798	51. 235	9	0. 000
家庭人口数	—	—	—	—	2 829. 254	10. 690	3	0. 014
是否乘坐公交/地铁	3 516. 705	19. 133	3	0. 000	2 854. 316	35. 752	3	0. 000
是否乘坐共享单车/汽车	3 517. 355	19. 784	3	0. 000	2 836. 295	17. 731	3	0. 000
是否乘坐网约车/出租车	3 507. 708	10. 136	12	0. 017	—	—	—	—
接触人员数量是否重要	3 518. 016	20. 444	3	0. 000	2 829. 366	10. 802	3	0. 013
换乘次数是否重要	306. 885	9. 314	12	0. 025	—	—	—	—

表 8 出行方式似然比检验
Tab. 8 Travel mode likelihood ratio test

模型	模型拟合条件		似然比检验		模型拟合条件		似然比检验	
	-2 对数似然	卡方	自由度	P 值	-2 对数似然	卡方	自由度	P 值
	疫情前				疫情后			
截距	2 567. 344	0. 000	0	—	2 577. 192	0. 000	0	—
性别	2 595. 433	28. 088	3	0. 000	2 593. 340	16. 148	3	0. 001
年龄	2 590. 958	23. 614	9	0. 005	2 608. 246	31. 054	9	0. 000
所在的地区	2 583. 805	16. 461	6	0. 011	2 614. 647	37. 455	6	0. 000
职业	2 617. 001	49. 657	15	0. 000	2 643. 497	66. 305	15	0. 000
家庭年收入	2 594. 523	27. 179	9	0. 001	2 602. 901	25. 709	9	0. 002
家庭人口数	2 573. 252	5. 907	3	0. 116	—	—	—	—
家庭是否拥有汽车	2 577. 909	10. 565	3	0. 014	2 587. 537	10. 345	3	0. 016
是否乘坐公交/地铁	2 638. 646	71. 302	3	0. 000	2 671. 012	93. 820	3	0. 000
是否乘坐共享单车/汽车	2 607. 448	40. 103	3	0. 000	2 614. 022	36. 830	3	0. 000
是否乘坐网约车/出租车	2 626. 580	59. 235	3	0. 000	2 700. 037	122. 845	3	0. 000
接触人员数量是否重要	—	—	—	—	2 588. 653	11. 461	3	0. 009

75.34%的居民选择私人交通方式出行，疫情前居民选择私人交通方式出行的比例为 65.06%，增幅为 10.28%；疫情发生后 19.21%的居民选择公交地铁出行，疫情前居民选择公交地铁出行的比例为 27.11%，下降了 7.9%；疫情后选择共享单车/汽车和网约车/出租车出行的人数都少于疫情前。

4.2 居民出行次数的影响因素分析

(1) 出行者个人特征对出行次数的影响

由表 4 可知，在出行者个人特征方面，疫情前每周出行次数≤3 次的显著影响因素是所在地区、年

龄，疫情后的显著影响因素是职业、年龄；疫情前出行次数 4~6 次的显著影响因素是职业、年龄，疫情后的显著影响因素是所在地区、年龄；疫情后的显著影响因素是职业。

经过分析，居民出行次数是根据年龄来分析此次的新冠疫情，结合职业、所在地区的情况做出决策；年龄对居民低频率出行次数的显著影响水平与疫情前不同，是因为疫情发生后，年龄越大的居民对疫情的了解不够多，对疫情的严重程度认知也不够；居民主观意愿是降低感染和暴露的概率，因此

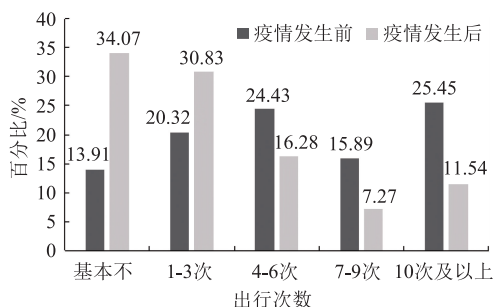


图1 疫情前后居民出行次数

Fig. 1 Comparison of travel times of residents before and after epidemic

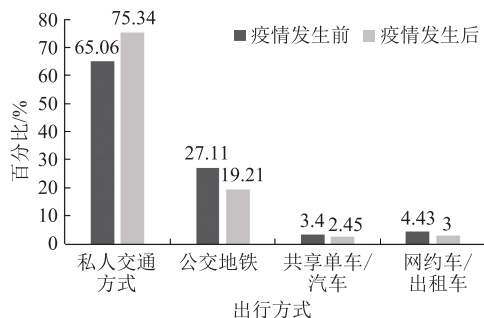


图2 疫情前后居民出行方式

Fig. 2 Travel modes of residents before and after epidemic

呆在家里减少出行次数或者出行次数尽量维持在低频率能比较好地满足所有意愿。

(2) 家庭属性对出行次数的影响

由表4可知,在家庭属性方面,疫情前后每周出行次数 ≤ 3 次的显著影响因素都是家庭年收入、家庭是否拥有汽车;疫情前后每周出行次数4~6次的显著影响因素都是家庭年收入;疫情前后每周出行次数7~9次的显著影响因素是家庭年收入;疫情前后影响居民出行次数的主要因素都是家庭年收入和家庭是否拥有汽车。

经过分析,疫情发生后,家庭是否拥有汽车的显著影响程度低于疫情前,是因为在国家实施的防控措施下,全国人民基本都在家里生活及工作,汽车使用率降低;收入对居民每周出行次数7~9次的显著影响程度高于疫情前,这是因为居民消费方式转向网上购物,娱乐和旅游消费基本停止,出行次数明显减少。

(3) 出行者偏好对出行次数的影响

由表4可知,在出行者偏好方面,疫情前后每周出行次数 ≤ 3 次的显著影响因素是否乘坐公交地铁;疫情前每周出行次数4~6次的显著影响因素按影响程度由高到低依次分别是接触人员数量是否重要、是否乘坐共享单车/汽车、是否乘坐公交地铁、

途中停靠站点数是否重要、换乘次数是否重要,疫情后的显著影响因素是是否乘坐共享单车/汽车和换乘次数是否重要。

经过分析,随着换乘次数的增加,居民会减少高频率出行的概率而增加低频率出行次数的概率;随着换乘次数的增加,居民认为出行次数越多,受到感染的概率越大;随着乘坐共享单车/汽车的减少,居民会增加低频率出行次数的概率。

其他特征变量不变的情况下,年龄每增加1个单位,每周出行次数 ≤ 3 次的概率减少-1.619,每周出行4~6次的概率增加1.731;家庭年收入增加,出行次数的概率都会增加。

4.3 居民出行方式的影响因素分析

(1) 出行者个人特征对出行方式的影响

由表5知,在出行者个人特征方面,疫情前后选择私人交通方式和网约车/出租车的主要影响因素均是所在地区和职业;疫情前选择公交地铁和网约车/出租车出行的主要影响因素是所在地区和职业,疫情后的显著影响因素是所在地区;疫情后选择共享单车/汽车和网约车/出租车出行的主要影响因素是性别、所在地区和职业,疫情前的显著影响因素是性别。

经过分析,疫情发生后,城市停运了大部分的公共交通,居民出行更倾向于私人交通方式;居民主观认知公共交通出行的感染率增加,认为私人交通方式出行能够降低自己感染概率,能根据不同的疫情状况进行自我防控。

(2) 家庭属性对出行方式的影响

由表5可知,在家庭属性方面,疫情后选择私人交通方式和网约车/出租车的主要影响因素是家庭年收入和家庭是否拥有汽车;疫情后选择公交地铁和网约车/出租车出行的主要影响因素是家庭年收入;疫情前后选择共享单车/汽车和网约车/出租车出行的主要影响因素均是家庭年收入。

经过分析,疫情发生后,公共交通停运和企业停工停产,居民收入减少,出行方式更倾向于私人交通方式中的步行、自行车和电动车出行;疫情期间居民所在家庭成员的主观意愿是降低感染的概率,家庭拥有汽车的居民会倾向于选择私人交通方式中的私家车出行。

(3) 出行者偏好对出行方式的影响

由表5可知,在出行者偏好方面,疫情前选择私人交通方式和网约车/出租车的主要影响因素是是否乘坐网约车/出租车,疫情后增加了接触人员数量

是否重要;疫情前选择公交地铁和网约车/出租车出行的显著影响因素是是否乘坐网约车/出租车,疫情后增加了接触人员数量是否重要;疫情前后选择共享单车/汽车和网约车/出租车出行的主要影响因素均是是否乘坐共享单车/汽车和是否乘坐网约车/出租车。

经过分析,在选择私人交通方式和网约车/出租车时,随着接触人员数量的增加,居民会减少乘坐网约车/出租车出行的概率而增加私人交通方式出行的概率;随着乘坐共享单车/汽车、乘坐网约车/出租车的减少,居民出行更倾向于私人交通方式;随着接触人员数量的增加,居民主观认为所有的交通方式的感染率增加,而私人交通方式是能够较好把握自己的感染率。

5 结论

本研究基于云南省昆明市新冠肺炎疫情前后居民出行调查数据,利用MNL模型从出行者个人特性、家庭特性、出行者偏好这3个方面进行居民出行行为的影响研究。研究结果表明:

(1) 新冠肺炎疫情会显著降低居民的出行次数,每周出行次数 ≤ 3 次的居民人数是疫情前的1.89倍,每周出行次数 ≥ 7 次的居民人数是疫情前的0.46倍。

(2) 新冠肺炎疫情会改变居民的出行方式,疫情发生后选择私人交通方式出行的居民人数占比高于疫情前,而选择公交地铁、共享单车/汽车、网约车/出租车出行的居民人数占比低于疫情前。

(3) 疫情发生后,年龄、在地区、职业、家庭年收入、家庭人口数、家庭是否拥有汽车、是否乘坐公交/地铁、是否乘坐共享单车/汽车、换乘次数是否重要对居民出行次数有显著影响。

(4) 疫情发生后,性别、年龄、所在地区、职业、家庭年收入、家庭人口数、家庭是否拥有汽车、是否乘坐公交/地铁、是否乘坐共享单车/汽车、是否乘坐网约车/出租车、接触人员数量是否重要对居民出行方式有显著影响。

参考文献:

References:

- [1] 谢驰,陈志斌,郑太秀,等. 防止新冠疫情扩散的城市交通系统与出行活动管控策略[J]. 交通运输工程与信息学报, 2021, 19 (1): 1-16.
XIE Chi, CHEN Zhi-bin, ZHENG Tai-xiu, et al. Mitigating the Spread of Epidemics by Managing and Controlling Urban Transportation Systems and Travel Activities [J]. Journal of Transportation Engineering and Information, 2021, 19 (1): 1-16.
- [2] 种鹏云,尹惠. 交通运输传播新型冠状病毒肺炎的系统动力学仿真[J]. 交通运输工程学报, 2020, 20 (3): 100-109.
CHONG Peng-yun, YIN Hui. System Dynamics Simulation on Spread of COVID-19 by Traffic and Transportation [J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2020, 20 (3): 100-109.
- [3] BALCAN D, COLIZZA V, GONCALVES B, et al. Multiscale Mobility Networks and the Spatial Spreading of Infectious Diseases [J]. Proceedings of the National Academy of Sciences, 2009, 106 (51): 21484-21489.
- [4] BALCAN D, GONCALVES B, HU H, et al. Modeling the Spatial Spread of Infectious Diseases: The Global Epidemic and Mobility Computational Model [J]. Journal of Computational Science, 2010, 1 (3): 132-145.
- [5] 张玉,刘新新,蔡传锋,等. 基于交通网络传递的传染病风险传播模型研究[J]. 计算机与数字工程, 2017, 45 (12): 2359-2363.
ZHANG YU, LIU Xin-xin, CAI Chuan-feng, et al. Model of Transmission of Infectious Diseases Based on Traffic Network [J]. Computer & Digital Engineering, 2017, 45 (12): 2359-2363.
- [6] 张毅,王雪成,毕清华. 基于新型冠状病毒传播机理的交通出行易感度研究[J]. 交通运输研究, 2020, 6 (1): 73-80.
ZHANG Yi, WANG Xue-cheng, BI Qing-hua. Travel-infected Susceptibility Based on Transmission Mechanism of COVID-19 [J]. Transport Research, 2020, 6 (1): 73-80.
- [7] 姜楠,李赛,曹素珍,等. 新冠肺炎疫情期间我国人群交通出行行为分析[J]. 环境科学研究, 2020, 33 (7): 1675-1682.
JIANG Nan, LI Sai, CAO Su-zhen, et al. Transportation Activity Patterns of Chinese Population During the COVID-19 Epidemic [J]. Research of Environmental Sciences, 2020, 33 (7): 1675-1682.
- [8] 王庆生,刘诗涵. 新冠肺炎疫情对国内游客旅游意愿与行为的影响[J]. 地域研究与开发, 2020, 39 (4): 1-5.
WANG Qing-sheng, LIU Shi-han. Impact of COVID-19 Epidemic Situation on the Travel Intention and Behavior of Domestic Tourists [J]. Areal Research and Development, 2020, 39 (4): 1-5.
- [9] 刘建荣,郝小妮,石文瀚. 新冠疫情对老年人公交出行行为的影响[J]. 交通运输系统工程与信息,

- 2020, 20 (6): 71-76, 98.
- LIU Jian-rong, HAO Xiao-ni, SHI Wen-han. Impact of COVID-19 on the Elderly's Bus Travel Behavior [J]. Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology, 2020, 20 (6): 71-76, 98.
- [10] 吴娇蓉, 王宇沁, 陈小鸿. 公共卫生事件持续期通勤合乘设计及组织效率影响分析 [J]. 中国公路学报, 2020, 33 (11): 20-29.
- WU Jiao-rong WANG Yu-qin CHEN Xiao-hong. Impact Analysis of Commuting Rideshare Design and Organizational Efficiency During Public Health Emergencies [J]. China Journal of Highway and Transport, 2020, 33 (11): 20-29.
- [11] 骆晨, 董青, 姚擎, 等. 突发公共卫生事件持续期居民中长距离出行方式选择行为研究 [J]. 交通运输系统工程与信息, 2020, 20 (6): 57-62.
- LUO Chen, DONG Qing, YAO Qing, et al. Behavior of Long-distance Travel Mode Choice under the Duration of Public Health Emergencies [J]. Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology, 2020, 20 (6): 57-62.
- [12] 郭润航. 新冠疫情前后城市居民多模式出行决策行为建模及应用研究 [D]. 北京: 北京交通大学, 2021.
- GUO Run-hang. Modelling and Application for Citizen's Travel Decision Behavior of Multi-mode before and after COVID-19 Epidemic [D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2021.
- [13] TAN L, MA C. Choice Behavior of Commuters' Rail Transit Mode During the COVID-19 Pandemic Based on Logistic Model [J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition), 2021, 8 (2): 186-195.
- [14] 张卫华, 胡喆, 冯忠祥, 等. 低能见度环境中驾驶人危险驾驶行为影响因素分析 [J]. 中国安全科学学报, 2017, 27 (1): 13-18.
- ZHANG Wei-hua, HU Zhe, FENG Zhong-xiang, et al. Analysis of Factors Influencing Risky Driving Behaviors under Reduced Visibility Condition [J]. China Safety Science Journal, 2017, 27 (1): 13-18.
- [15] 关宏志. 非集计模型——交通行为分析的工具 [M]. 北京: 人民交通出版社, 2004.
- GUAN Hong-zhi. Disaggregate Model a Tool of Traffic Behavior Analysis [M]. Beijing: China Communications Press, 2004.
- [16] 王文宪, 倪少权, 吕红霞, 等. 基于非集计理论的高速铁路旅客乘车选择行为研究 [J]. 交通运输系统工程与信息, 2015, 15 (3): 13-18, 43.
- WANG Wen-xian, NI Shao-quan, LÜ Hong-xia, et al. Boarding Choice for High-speed Railway Passengers Based on Disaggregate Theory [J]. Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology, 2015, 15 (3): 13-18, 43.
- [17] 陈月霞, 陈龙, 查奇芬, 等. 基于低碳心理潜变量 Logit 模型的出行方式预测模型 [J]. 公路交通科技, 2017, 34 (9): 100-108, 137.
- CHEN Yue-xia, CHEN Long, ZHA Qi-fen, et al. A Travel Mode Forecasting Model Based on Low-carbon Psychological Latent Variable Logit Model [J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2017, 34 (9): 100-108, 137.
- [18] 董小楠, 闫章存, 赵怀明, 等. 基于时空约束的出行方式选择行为分析 [J]. 公路交通科技, 2020, 37 (9): 104-112.
- DING Xiao-nan, YAN Zhang-cun, ZHAO Huai-ming, et al. Analysis on Travel Mode Choice Behavior Based on Spatial-temporal Constraint [J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2020, 37 (9): 104-112.