

高明明, 王竹, 裘知, 等. 山地农村火灾分布特征及村落因素的相关性分析——以黔东南为例[J]. 灾害学, 2023, 38(3): 100–104, 147. [GAO Mingming, WANG Zhu, QIU Zhi, et al. Distribution Characteristics of Mountainous Rural Fire and Its Correlation with Village Factors—Take Southeastern Guizhou as an Example[J]. Journal of Catastrophology, 2023, 38(3): 100–104, 147. doi: 10.3969/j.issn.1000–811X.2023.03.016.]

# 山地农村火灾分布特征及村落因素的相关性分析<sup>\*</sup>

## ——以黔东南为例

高明明<sup>1,2</sup>, 王竹<sup>2</sup>, 裘知<sup>2</sup>, 霍佳雯<sup>1</sup>

(1. 贵州大学 建筑与城市规划学院, 贵州 贵阳 550025; 2. 浙江大学 建筑工程学院, 浙江 杭州 310058)

**摘要:** 探究山地村落因素关联下的火灾时空分异, 是揭示其火灾灾变机理、营建防火体系的必要条件。通过对黔东南州 2011—2020 年间的火灾和村落特性数据进行描述性统计和核密度分析, 得出火灾的分布特征; 采用非参数检验方法分析火灾与村落要素的相关性。研究表明, ①黔东南农村火灾在起火时间和村落高程方面呈现区段突出的中度集聚性; 在起火空间、起火原因、火灾损失和村落属性的其他方面呈现单点突出的高度集聚性。②村落高程、木质连片程度、民族、起火时段、起火原因、起火场所对火灾强度呈现显著性差异, 高程在 500 ~ 600 m 之间、木质建筑连片程度高、畲族和侗族村落, 发生在人们休息时段、住宅内、由吸烟和玩火引发的火灾更易造成蔓延。③村落民族对火灾频率呈现显著性差异, 苗族、仡佬族、畲族村落的火灾频率更高。

**关键词:** 农村火灾; 分布特征; 火灾频率; 火灾强度; 非参数检验; 黔东南

**中图分类号:** X45; X915.5; X913.4 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000–811X(2023)03–0100–06

doi: 10.3969/j.issn.1000–811X.2023.03.016

火灾是山地村落频繁遭遇的灾种, 严重威胁着山地村民的人身和财产安全, 以及传统村落和文物保护建筑的存续。山地村落相对于城市来说, 对自然地理空间的依存度高, 建成环境密集且耐火性差, 消防基础设施和消防人力落后, 人民生活方式迥异, 此种村落环境必然对火灾的发生发展产生影响<sup>[1–2]</sup>。作为山地村落的典型地区—黔东南苗族侗族自治州(下称黔东南)农村, 近些年来火灾频发, 火灾规模较大, 是国内农村火灾最严重的地区之一。以黔东南农村火灾为研究样本, 挖掘其分布特征及其与村落要素的相关性, 是山地村落火灾防控研究的必要环节。

对于火灾特征及其影响因素的研究主要集中在城市火灾和森林火灾, 多采用多元统计分析<sup>[1–3]</sup>、机器学习算法等方法去研究城市火灾与经济因素、人口因素<sup>[4–5]</sup>的相关性, 如李国辉<sup>[6]</sup>利用回归分析研究火灾频率与经济因素的时空关系, 发现我国火灾发生率在时间上与经济因素呈“N”型曲线关系, 在空间上与城市和省域经济的关系呈倒“U”型曲线关系; 还有运用地理空间加权法(GWR)、核密度估算法<sup>[7]</sup>等研究森林火灾与气象因素<sup>[8]</sup>、地理因素<sup>[3]</sup>的相关性, 如张海军<sup>[9]</sup>利用GWR法对河南省火灾因素进行探索性分析, 发现坡度、居民地可达性、温度、植被长势和植被湿

度对火灾的影响呈现显著空间变化; 以上成果为研究农村火灾提供了多维视角和方法的借鉴。而对于农村火灾特征及其影响因素的研究较少, 主要涉及到火灾损失的空间分异<sup>[10–12]</sup>, 多数以定性方法分析火灾的社会经济文化因素<sup>[13–14]</sup>, 尚未见到火灾与村落因素相关性的量化研究。为此, 本文基于黔东南州 2011—2020 年间的火灾数据、LocaSpace Viewer 软件和网络上采集的村落特性数据, 采用非参数检验、描述性统计和核密度分析方法, 对比分析黔东南农村火灾的分布特征, 及其与村落要素的相关性, 筛选出影响黔东南农村火灾频率和火灾强度的关键要素, 为揭示山地村落火灾灾变机理提供理论支撑, 为黔东南乃至西南地区农村的防火区划和防火治理提供有力指导。

## 1 数据来源与研究方法

### 1.1 数据来源

本文使用的数据分为两部分: 火灾数据和村落数据。火灾数据来自于职能部门的官方统计数据, 村落数据来源于 LocaSpace Viewer 软件、官方公布的类型村落名单和网络信息。从乡村火灾数据中剔除乡镇的火灾数据、重复统计的和信息不

<sup>\*</sup> 收稿日期: 2022–11–23 修回日期: 2023–01–19

基金项目: 贵州省科技支撑计划项目(黔科合支撑[2022]一般234); 贵州省科技支撑计划项目(黔科合支撑[2023]一般114); 贵州大学自然科学基金培育项目(贵大培育[2020]15号)

第一作者简介: 高明明(1988–), 女, 汉族, 黑龙江大庆人, 讲师, 主要从事乡村防火营建研究。E-mail: gmmgsls2008@126.com

通信作者: 裘知(1982–), 女, 汉族, 辽宁抚顺人, 副教授, 主要从事乡村人居环境研究。E-mail: qiuzhi0710@zju.edu.cn

完整的统计数据, 共得到 1 210 条样本数据。

### 1.2 研究方法

对黔东南农村火灾的分布特征采用描述性统计和频数统计方法; 对于火灾特征与村落要素的相关性分析, 由于观测变量和控制变量的数据类型分别为定量数据和定类数据, 且观测变量均不服从正态分布, 不符合方差分析的前提条件, 故采用非参数检验的方法<sup>[15]</sup>。根据要素的选项数据量选择多独立样本的非参数检验, 它是通过分析多组独立样本, 推断样本来自的总体的中位数或分布是否存在显著差异。常用的 Kruskal - Wallis 检验方法的表达式为:

$$H = \frac{12}{n(n+1)} \sum_{i=1}^k n_i (\bar{R}_i - \bar{R})^2. \quad (1)$$

式中:  $H$  为  $K - W$  检验统计量;  $k$  为样本组数;  $n$  为样本总量;  $n_i$  为第  $i$  组的样本量;  $\bar{R}_i$  为第  $i$  组的平均值,  $\bar{R}$  为总平均值。根据  $H$  值可计算概率  $P$  值, 当  $P \leq 0.05$  时, 则认为多个独立样本来自的多个总体的分布存在显著差异, 表明二者相关。

## 2 黔东南农村火灾分布特征

村落属性是衡量山地村落火灾的空间分布的重要组成, 也是影响火灾损失的变量。黔东南农村火灾的分布特征主要涉及到火灾属性和村落属性两方面。火灾属性指标来自于筛选修正后的官方数据的指标, 包括起火月份、起火时段、起火场所、起火原因、受灾户数和火灾起数; 村落属性指标根据文献综述<sup>[1-2]</sup>和实地调研, 结合山地

村落的环境特征, 主要从村落的自然环境、建成环境和人文属性三方面来衡量, 其中自然环境方面为考察村落与山体的相对位置、村落的天然消防水源量和可达性选取了选址、水系和高程三个要素; 建成环境方面为考察村落的集中程度和可燃建筑占比而选取村落形态和木质建筑连片程度两个要素; 人文属性方面为考察旅游业的影响和村民的生活方式而选取主导产业和民族两个要素, 形成涵盖 7 个二级指标的村落属性指标体系(表 1)。

### 2.1 火灾属性特征分析

据不完全统计, 黔东南农村在 2011—2020 年的 10 年间发生了 1 210 起火灾。对火灾数据和村落要素进行描述性统计和频数统计(图 1), 发现在起火月份上, 以 1 月、2 月、12 月为最多, 占样本总数的 41.46%, 5—9 月火灾较少, 可见冬季是火灾发生的高峰季节, 这与村民冬季的取暖行为和欢度新年的节庆行为密切相关。在起火时段上, 09:00—17:00 时发生火灾较多, 以 17:00 为最, 凌晨 02:00—07:00 时发生火灾较少, 这与村民白天进行生产劳动、炊事活动, 凌晨休息的作息规律相符。在起火场所上, 83.02% 的火灾发生在住宅里, 占据了绝对优势, 这不仅因为住宅是山地村落的主要建筑类型, 更因为村落中的火源和可燃物主要集中在住宅内; 起火原因方面, 60% 的火灾源于用电导致的火灾, 包括过载、短路、接触不良、线路老化等情况; 15.53% 的火灾由生活用火不慎所导致, 二者为山地村落起火的两大主因。反映了村民的用能方式从用火为主逐渐转向用电为主, 但在用电过程中产生了诸多不适应的问题。

表 1 村落属性指标体系

一级指标	二级指标	说明
村落自然环境	选址	根据村落与山体的相对位置分为“山脚”“山腰”“山顶”“水边”
	水系	根据村落周边是否有水系分为“村内有”“村边有”和“无”
	高程	根据村落的平均高程按等距(100 m)分组分为 10 组
村落建成环境	木质建筑连片程度	根据村落内木质建筑集中连片程度分为“全”“局部”和“无”
	村落形态	根据村落建筑构成的整体形态分为“团状”“现状”“支状”“散点状”和“其他”
村落人文属性	主导产业	根据主导产业是否为旅游业分为“旅游”和“非旅游”
	民族	根据村中大部分村民所属民族分为“苗”“侗”“汉”“仡佬”“土家”“布依”和“畲”

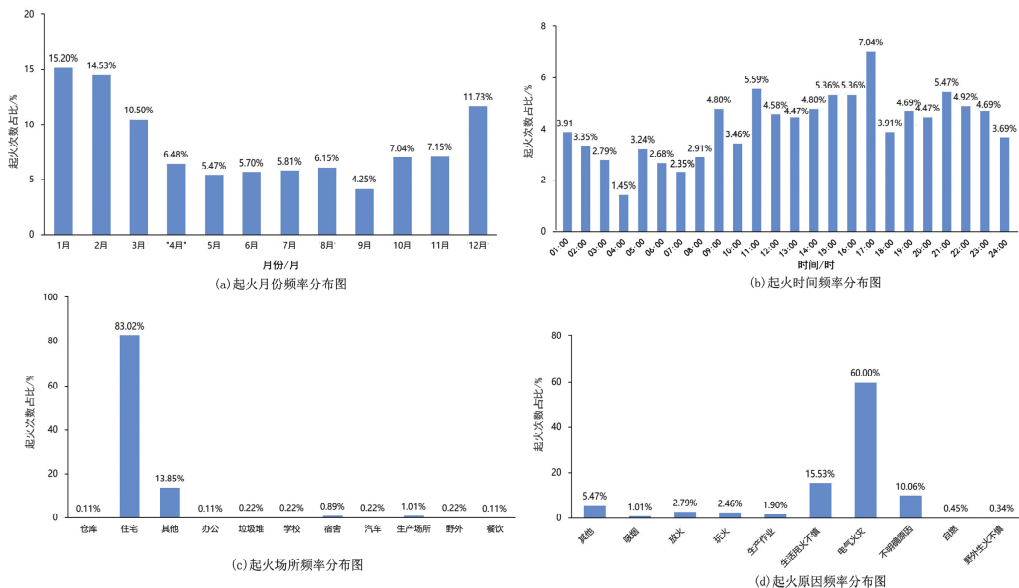


图 1 2011—2020 黔东南农村火灾起火月份、起火时段、起火场所和起火原因分布示意图

通过 GIS 的核密度分析方法得出村落在空间上的分布密度(图 2),发现村落有明显的聚集性,火灾密度以黔东南的行政和经济中心凯里市为中心,向周围逐渐递减。“麻江—天柱”一线以北的一市八县地区为火灾高发区,这与各市县的经济活动频率密切相关。

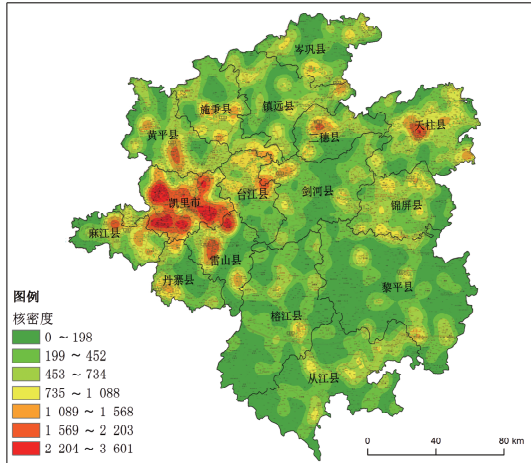


图 2 2011—2020 黔东南村落的核密度图(基于审图号为黔 S(2011)015 号的地图绘制)

对于受灾户数和火灾起数进行描述性统计和正态性检验(表 2),发现二者的  $p$  值均小于 0.05,

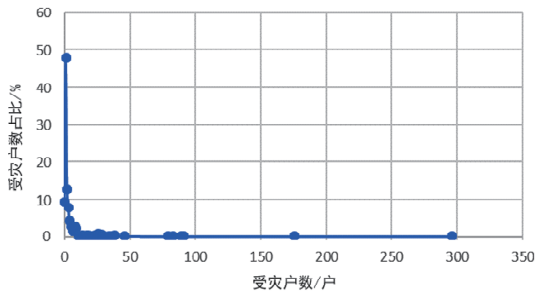
说明二者不服从正态分布,故不能以平均值和标准差来描述数据的均值和分布,而应该用中位数和  $IQR$ (interquartile range,即四分位距,是上四分位数与下四分位数的差值,描述数据的集中趋势)。结合二者的频率分布图来看(图 3),两组数据都呈现出随着数值增加而频率减小的趋势。受灾户数的中位数为 1,  $IQR$  为 2,说明数据较为集中,受灾户数不大于 1 户的占比 57.22%。火灾起数的中位数为 1,  $IQR$  为 0,说明数据的集中度更高,火灾起数为 1 次的占比 78.42%。

2.2 村落属性特征分析

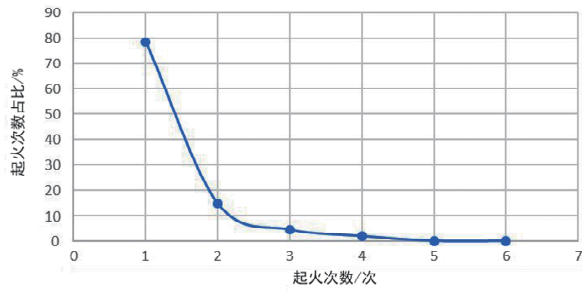
对起火村落属性要素进行频数分析,发现起火村落的总体特点表现为:村落选址以山脚居多,占比 60.56%,山腰次之,占比 25.14%。村落中约三分之二周边无水系,只有 8.83% 的村落有水系,表明村落普遍缺乏直接用于消防扑救的天然水源。村落的高程在 600~900 m 之间占比最多,共计 50.61%。村落的形态有近 50% 为团状,线状和支状都约为五分之一,表明村落的形态较为聚集,有较大的火灾蔓延风险。有 16.76% 的村落为全部木质集中连片,38.77% 的村落为局部木质集中连片,反映了村落的木质集中连片程度较高。村落中仅 3.13% 主营旅游产业,与旅游村因外来因素多易发生火灾的常识相悖。村落在民族分布上,主要集中于苗族村和侗族村,分别占比 51.62% 和 34.30%,反映了起火可能与民族的生活方式相关(图 4)。

表 2 受灾户数和火灾起数的描述性统计和正态性检验

名称	平均值 ± 标准差	方差	下四分位数	中位数	上四分位数	IQR	峰度	偏度	Kolmogorov - Smirnov 检验	
									统计量 $D$ 值	$p$
受灾户数	4.316 ± 13.945	194.474	1.000	1.000	3.000	2.000	244.226	13.503	0.459	0.000 **
火灾起数	1.311 ± 0.684	0.467	1.000	1.000	1.000	0.000	7.748	2.616	0.378	0.000 **



(a) 受灾户数频率分布图



(b) 起火次数频率分布图

图 3 2011—2020 黔东南农村火灾受灾户数和起火次数的频率分布图

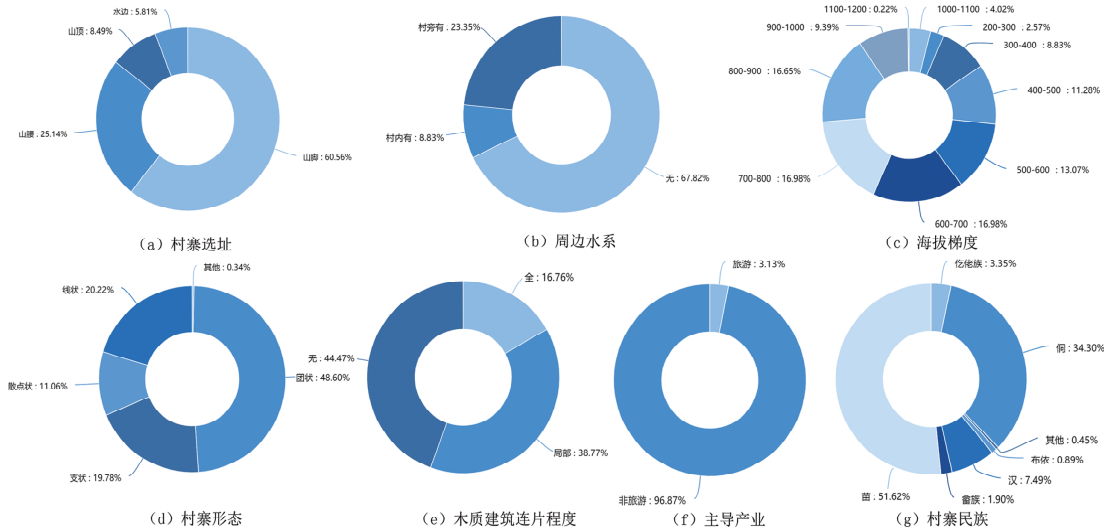


图 4 2011—2020 黔东南农村火灾村落的选址、水系、高程、形态、木质建筑连片程度、主导产业、民族分布

综合对比可见,黔东南农村火灾在起火时间和村落高程方面呈现中度的集聚性,各选项占比相对均衡,只是在区段间显现出了差异性;在起火空间、起火原因、火灾损失和村落属性的其他方面都呈现出高度的集聚性。

### 3 黔东南农村火灾与村落要素的相关性

为考察山地村落火灾特征与村落因素的相关性,选取衡量农村火灾损失的两个重要维度—火灾频率和火灾强度为观测变量,分别对应火灾的发生和发展阶段,描述村落起火的难易程度和火灾的蔓延程度。鉴于数据量的限制,本文以“(10年)火灾起数”来衡量火灾频率,以“受灾户数”来衡量火灾强度,以表1的村落要素指标为控制变量。值得一提的是,本文摒弃了经典的“火灾四项指标”中的其他三项—受伤人数、死亡人数和直接财产损失作为观测变量,因为山地村落的建筑多为低层且建材相对不牢固,灾时的逃生较为容易,而且统计数据也表明,受伤人数和死亡人数极少,十年总数分别为7人和27人,故受伤人数和死亡人数并不能准确地反映农村火灾损失。而直接财产损失受到各户户内物品价值的影响,并不能直接反映火灾的蔓延程度,故本文对此三项指标不做讨论。

#### 3.1 火灾强度与村落要素的相关性

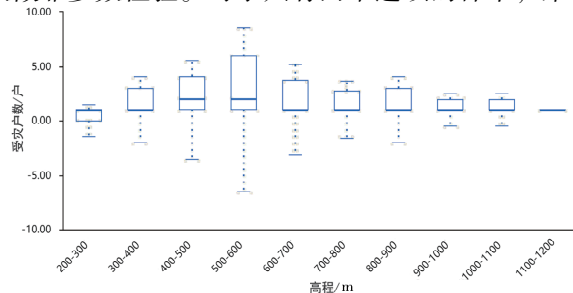
由于受灾户数和火灾起数均不服从正态分布,故采用非参数检验法。以受灾户数为观测变量,以村落要素为控制变量,使村落要素分别与受灾户数做非参数检验。对于只有两个选项的样本,采

用两独立样本非参数检验法中的 Mann-Whitney U 检验法;对于有多个选项的样本,采用多独立样本非参数检验法中的 Kruskal-Wallis 检验法。检验结果如表3所示,村落高程、木质建筑连片程度、民族的  $p$  值均小于 0.05,说明这些指标对火灾强度具有 0.05 水平的显著差异性。具体而言,村落高程方面,“500~600”组的中位数和上四分位数最大,说明高程为“500~600 m”之间的村落比其他高程的村落更易发生火灾蔓延。在村落的木质连片程度方面,三组中位数相同,全部为木质连片的村落组的上四分位数远高于其他组,说明木质连片程度高的村寨更易引起火灾蔓延。在村落民族方面,侗族村落的中位数最大,侗族村落次之,但后者的上四分位数最大,表明侗族和侗族村落比其他民族村落更易发生火灾蔓延(图5)。

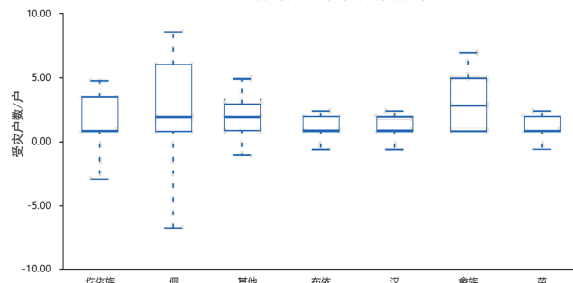
表3 火灾强度对火灾属性、村落要素的非参数检验

观测变量	控制变量	K-W 检验统计量 H 值	$P$
火灾强度	村落高程	22.605	0.007 **
	村落选址	6.783	0.079
	周边水系	0.124	0.940
	村落形态	5.345	0.254
	木质建筑连片程度	8.530	0.014 *
	主导产业	-1.282	0.020
	民族	44.172	0.000 **
	起火月份	4.459	0.955
	起火时段	36.683	0.035 *
	起火场所	49.209	0.000 **
	起火原因	18.820	0.027 *

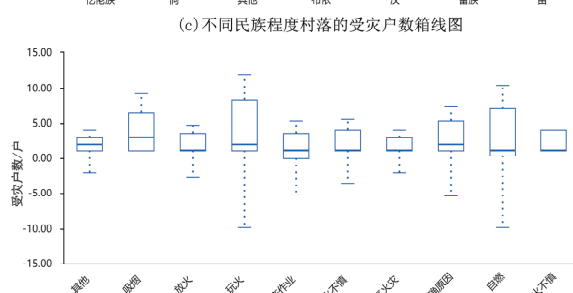
注: \*  $p < 0.05$  \*\* ;  $p < 0.01$ 。



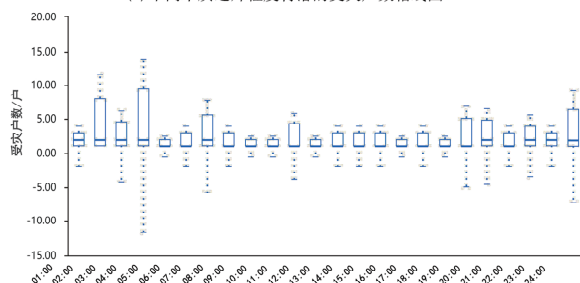
(a) 不同高程村落的受灾户数箱线图



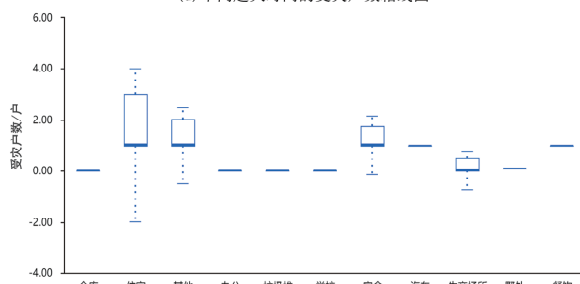
(b) 不同木质连片程度村落的受灾户数箱线图



(c) 不同民族程度村落的受灾户数箱线图



(d) 不同起火时间的受灾户数箱线图



(e) 不同起火原因的受灾户数箱线图



(f) 不同起火场所的受灾户数箱线图

图5 不同村落高程、木质连片程度、民族、起火时段、起火原因和起火场所的受灾户数的箱线图



依同样方法考察火灾属性与火灾强度的相关性。结果表明火灾属性中的起火时段、起火场所、起火原因对火灾强度具有 0.05 水平的显著差异性。具体来说, 22:00 时到次日 04:00 时的受灾户数中位数为 2 户, 高于其他时段的中位数 1 户, 说明人们的休息时段—深夜和凌晨比活动时段更容易造成火灾蔓延; 发生在住宅、宿舍、餐饮场所的受灾户数中位数高于其他组, 其中住宅组的上四分位数最大, 而仓库、办公、垃圾堆、学校组的受灾户数均为 0, 说明发生在住宅这种人员密集、室内可燃物多的场所更易造成火灾蔓延。起火原因方面, 吸烟导致的火灾的受灾户数中位数最高, 玩火组的中位数位居第二, 但其上四分位数最高, 说明吸烟和玩火引发的火灾更易造成蔓延(图 5)。

### 3.2 火灾频率与村落要素的相关性

由于火灾频率是以村落的十年火灾起数来表征, 所以控制变量只涉及到村落要素, 而且火灾频率与单次火灾属性无关, 故须剔除十年内发生多次(次数 $\geq 2$ )火灾的村落的重复数据, 保证发生过火灾的村落数据只出现一次, 共得到 1 027 条样本数据。以火灾起数为观测变量, 以村落要素为控制变量, 使火灾起数分别与村落要素做非参数检验。结果显示(表 4), 只有民族这个指标的  $p$  值小于 0.05, 说明不同民族村落对火灾频率具有 0.05 水平的显著差异性。具体而言, 各组的中位数和下四分位数均相同, 但其上四分位数有较大差别。其中仡佬族、畲族、苗族村落的火灾起数的上四分位数并列最大, 而侗族、布依族、汉族村落的火灾起数数据非常集中, 上四分位数并列最小, 可见仡佬族、畲族、苗族村落相对其他村落的火灾频率更大(图 6)。

表 4 火灾频率对村落要素的非参数检验

观测变量	控制变量	K - W 检验统计量 $H$ 值	$P$
火灾频率	村落高程	8.484	0.486
	村落选址	7.110	0.068
	周边水系	0.855	0.652
	村落形态	7.202	0.126
	木质建筑连片程度	3.681	0.159
	主导产业	-0.077	0.939
	民族	13.648	0.034*

注: \*  $p < 0.05$ ; \*\*  $p < 0.01$ 。

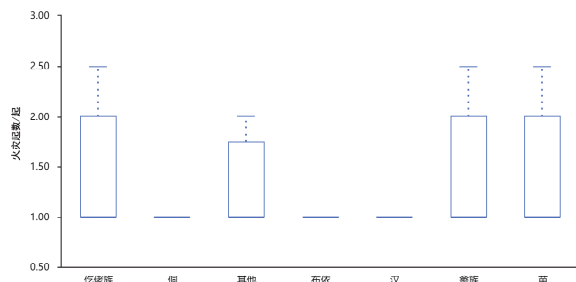


图 6 不同民族村落的火灾起数的箱线图

由上述分析得知, 村落高程、木质建筑连片程度和民族对火灾强度有显著差异性, 而只有民族对火灾频率表现出显著差异性, 说明村落要素对火灾强度的影响较大, 对火灾频率的影响较小。以上影响要素中, 民族对黔东南农村火灾影响最大, 既影响火灾频率又影响火灾强度, 但影响的方式和结果不同。

在火灾强度并未表现出显著性差异的村落要素中, 村落选址影响村落的灾时救援条件和救援效率, 周边水系情况影响村落的消防用水储备, 村落形态影响村落建筑的集中程度, 主导产业影响村落的外来不确定因素, 但这些因素对火灾蔓延的影响较为间接, 因此未表现出显著性。

对于火灾频率的相关性要素, 根据火灾三要素理论<sup>[16]</sup>, 火环境、助燃物和点火源的叠加就会导致火灾, 所以在助燃物客观存在的情况下, 火灾频率的相关性要素不仅要火环境(村落的自然环境和建成环境要素)着手, 还应该从点火源着手。本文检验的村落火环境要素并未显示出对火灾频率的显著性差异, 表明火灾频率在村落层面的共性有限, 需要向更微观的层面探索; 点火源主要来自于人们的用火用电行为, 而村落的民族恰恰能解释其中一部分的差异性, 但仍存在其他影响因素。另外, 由于多数火灾是未发生蔓延的小型火灾, 一般发生在户内而未波及到村落, 则农户的用火用电行为和室内火环境就对火灾频率至关重要, 所以选取火灾频率影响要素的单位应考虑从村细化到户。

## 4 结论

本文通过对 2011—2020 黔东南农村火灾数据进行描述性分析、频数分析和核密度分析, 对火灾数据与村落要素进行非参数检验的相关性分析, 得出以下结论:

(1)黔东南农村火灾的分布特征表现为: 在起火时间和村落高程方面呈现区段突出的中度集聚性; 在起火空间、起火原因、火灾损失和村落属性的其他方面呈现出单点突出的高度集聚性。火灾易发生在冬季、09:00—17:00、住宅、集中于以凯里为中心的“麻江—天柱”一线以北区域、主要由电气故障引起; 村落高程多为 600~900 m 之间、位于山脚、周边无水系、呈团状、局部木质建筑连片、非旅游业主导、多为苗族和侗族村。

(2)村落要素中的高程、木质连片程度、民族与火灾强度有相关性, 高程在 500~600 m 之间的村落、木质建筑连片程度高的村落、畲族和侗族村落更易造成火灾蔓延。火灾属性中的起火时段、起火原因、起火场所要素与火灾强度有相关性, 发生在人们休息时段的火灾、发生在住宅的火灾, 由吸烟和玩火引发的火灾更易造成蔓延。

(3)村落民族与火灾频率有相关性, 苗族、仡佬族、畲族村落的火灾频率更高。

本文由于数据收集的限制, 并未考虑村落的经济因素、交通条件、消防水平等要素对火灾发生发展过程中的影响。另一方面, 可进一步针对民族对村落的影响方面、木质建筑集中连片程度的细化, 以及以农户为单位的行为习惯要素和建成环境要素对火灾的影响进行深入探究。

## 参考文献:

- [1] 徐波, 何宁, 宫鹏, 等. 中国火灾的时空演变特征: 基于 GIS 的统计分析[J]. 自然灾害学报, 2012, 21(1): 198-203.
- [2] 刘海生, 张鑫磊, 宋丽霞. 基于统计数据的全国火灾形势综合评价与预测[J]. 中国安全科学学报, 2011, 21(6): 54-59.
- [3] AGBOLA S B, FALOLA O J. Seasonal and locational variations in fire disasters in Ibadan, Nigeria[J]. International Journal of Disaster Risk Reduction, 2021, 54: 1-12.

(下转第 147 页)