

陆美静,尹立,孙羽,等.不同气候带城市气温对老年呼吸系统疾病死亡影响及趋利降风险效应研究[J].沙漠与绿洲气象,2023,17(6):50-59.
doi:10.12057/j.issn.1002-0799.2023.06.007

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



不同气候带城市气温对老年呼吸系统疾病死亡影响及趋利降风险效应研究

陆美静¹,尹立²,孙羽³,王式功^{1*},胥春云⁴,樊晋¹,瞿冲¹,邓徐慧¹

(1.成都信息工程大学大气科学学院/环境气象与健康研究院,四川 成都 610225;

2.攀枝花市中心医院气象医学研究中心,四川 攀枝花 617000;3.海南省第二人民医院气候医学临床研究中心,海南 五指山 572299;4.元江县卫健局,云南 元江 653300)

摘要:基于元江、成都与西安3个不同气候带城市的逐日疾病死亡数据与同期气象数据,采用广义相加模型和分布滞后非线性模型探究了这3座不同气候带城市气温对老年呼吸系统疾病死亡风险的影响,使用归因分值(AF_e)量化不同气温段对呼吸系统疾病所造成的健康损失,并定量评估三地之间季节性气候趋利可获得的死亡风险降低效应。结果表明:(1)元江、成都与西安地区气温与老年呼吸系统疾病死亡关系大致呈“W”、反“J”、反“J”型分布。(2)气温对元江老年人群呼吸系统疾病死亡的影响以高温即时性更为突出,成都、西安老年人群则以低温滞后性更为显著。(3)元江、成都与西安由气温造成的 AF_e 分别为9.64%、11.25%和18.26%,其中冷效应对呼吸系统疾病产生的死亡风险更大。将气温进一步细分为4个气温段(极端低温、中等低温、中等高温和极端高温),中等低温造成的超额死亡累计人数最多,这与其发生频次多密切相关。(4)若元江、成都、西安有意愿有条件的老年人群采取候鸟式季节性气候趋利避暑或避寒康养,可在一定程度上降低由当地季节性不适气候所产生的健康风险。

关键词:气温;呼吸系统疾病;死亡风险;归因风险;超额死亡风险

中图分类号:P49

文献标识码:A

文章编号:1002-0799(2023)06-0050-10

呼吸系统疾病是一种常见多发病,婴幼儿和老年人群都属于此类疾病的高发群体^[1-2]。据2019年相关数据统计,中国有87%的死亡是由慢性疾病所引发的,其中慢性呼吸系统疾病位列居民慢性病死因的第三位^[3]。近些年,随着全球气候变化的加剧,

极端天气气候事件明显增多,这不仅对自然环境产生影响,在一定程度上对人类健康也产生了影响。国内外都有研究表明,多种气象要素及其变化均会对呼吸系统疾病产生一定程度的影响^[4-8],其中,气温是影响相关疾病发病乃至死亡的最主要气象要素之一^[9-13]。一方面当气温过高、过低或剧烈变化超出人体自身调节适应范围时,可使人体适应能力减弱,会直接刺激或损伤人体呼吸系统;另一方面在某一气温段有利于细菌病毒存活与传播^[14],二者都会导致呼吸系统疾病发病率或死亡率的增加。

国外相关研究表明,在全球气候变暖的大背景下,气温的异常变化对人类健康的影响越来越凸显,若将气温升高幅度限制在2℃以下可以防止世界上大多数地区与气温相关死亡率的大幅增加^[15]。国内

收稿日期:2023-02-06;修回日期:2023-06-11

基金项目:2021年省级科技计划转移支付专项资金项目(21ZYZF-S-01);攀枝花市科学技术局创新中心建设项目(2021ZX-5-1);四川省区域创新合作项目(2022YFQ0001);中国气象局西南区域气象中心创新团队基金(XNQYCXTD-202203);2021年度第二批攀枝花市市级科技计划项目(2021CY-S-4)

作者简介:陆美静(1998—),女,硕士研究生,主要从事环境气象与健康研究。E-mail:438179475@qq.com

通信作者:王式功(1955—),男,教授,主要从事气象医学研究。E-mail:wangsg@cuit.edu.cn

许多研究也表明,气温对呼吸系统疾病发病有明显的影响,但因我国疆域辽阔,气候类型多样,东西南北跨越多个气候带^[16],在不同城市气温对呼吸系统疾病的影响有所不同^[17-19]。Shao 等^[20]研究发现,日平均气温与呼吸系统疾病死亡率之间存在“U”型相关性,当日平均气温为 35.8 ℃(参考温度为 20 ℃)时,呼吸系统疾病死亡率上升了 11.6%。李佳蔚等^[21]研究发现在热带气旋影响期,全人群、男性和女性的呼吸系统疾病发病风险均上升,其中<15 岁的人群为易感人群。

目前国内有关气温对呼吸系统疾病的影响已有较多研究,但对于多个城市气温对其发病乃至死亡影响的比较研究仍较少,且近些年研究多为气温对疾病死亡不利影响,未曾提出是否可以通过气候趋利旅居等方式在一定程度上降低发病乃至死亡风险的可能性。元江、成都与西安分别处于热带、亚热带与暖温带,且位于秦岭南、北两侧,气候有所不同,目前关于 3 座城市之间是否存在气候趋利康养效应的研究鲜有报道。基于此,本研究采用广义相加模型和分布滞后非线性模型,对收集到的元江、成都与西安 3 座不同气候带城市逐日疾病死亡数据以及同期气象数据进行综合分析,首先研究气温对呼吸系统疾病死亡风险的整体效应,在此基础上对气温进行定量分析,选用相对危险(Relative Risk,RR)、超额死亡风险(Exceeding Risk,ER)和归因分值(Attributable Fractions,AF_s),分别来探究不同气温段对呼吸系统疾病死亡风险的影响,并从候鸟式气候趋利角度定量探究不同气温与季节对其影响程度,以期为 3 座城市的老年居民通过候鸟式季节性气候趋利康养在一定程度上降低呼吸系统疾病发病或死亡风险,并为当地公共卫生等相关部门合理制定应对人口老龄化健康服务决策与措施提供科学依据。

1 资料与方法

1.1 研究区简介

秦岭在我国地理位置以及气候调节上都有着重要意义,本文研究区域涉及的元江、成都和西安分别位于秦岭南、北两侧。元江位于秦岭以南的云南省中南部,地处低纬北回归线(23.5°N)高原河谷地区,跨 5 个亚气候类型,主要属于热带季风气候。一年中受两种不同的大气环流影响,第一种为北非与印度北部大陆干暖气流和北方南下的干冷气流的交替影响,第二种为印度洋西南暖湿气流和太平洋东南暖

湿气流的影响,由此形成了冬暖夏热的气候特征,适宜冬季避寒康养。成都位于秦岭以南的四川盆地西部,属于亚热带季风性湿润气候,受西南季风与东南季风影响,气候温和,雨水充沛,日照较少。西安位于秦岭以北,属于暖温带大陆性季风气候,四季分明,冬季寒冷少雨(属于符合国家规定城市建筑物冬季采暖条件的地区),夏季干热,属于亚湿润气候区。

1.2 资料来源

气象资料为元江 2014 年 1 月 1 日—2020 年 12 月 31 日、成都和西安 2011 年 1 月 1 日—2016 年 12 月 31 日的逐日气象资料,分别来源于元江县气象局、中国气象科学数据共享服务网(成都、西安)。分别包括最高(低)气温(℃)、平均气温(℃)、平均相对湿度(%)和平均风速(m/s)等气象要素。

疾病资料:为元江 2014 年 1 月 1 日—2020 年 12 月 31 日、成都和西安 2011 年 1 月 1 日—2016 年 12 月 31 日的逐日死亡病例资料(意外死亡病例已剔除),分别来源于元江疾控中心、中国疾病预防控制中心全国疾病监测系统死因监测数据集(成都、西安),死亡病例资料应反映的是老年人群。根据国际疾病分类标准第 10 版(ICD-10)^[22],对数据资料进行整理分类,并选取呼吸系统疾病(ICD-10 编码:J00-J99)为研究对象。收集到的病例信息主要包括年龄、家庭住址、死亡日期和根本死因等基本信息,且剔除录入错误和重复等病例,以确保本文所研究对象的准确性。

1.3 研究方法

1.3.1 模型构建

采用广义相加模型(GAM)与分布滞后非线性模型(DLNM)进行建模。近些年,GAM 在流行病学的健康效应评估中应用越来越多,它可以很好地解释因变量(暴露因素)与自变量(影响因素)之间的非线性关系。二者除了存在暴露—反应关系还存在一定的滞后性与累积效应,因此也引入 DLNM,它是由 Gasparrini^[23-24]提出,可以同时反映出暴露—反应关系及其滞后效应对健康的影响。

本文基于 GAM 模型框架,利用 DLNM 构造气温交叉基,分别对三座城市的气温与呼吸系统疾病死亡人数进行关联分析与建模。为保证人为主观因素不对暴露死亡风险造成误差,故加入时间趋势项(t_{ime})与哑变量(h_{oliday}, d_{ow})。模型框架如下:

$$\log[E(\frac{Y_t}{X})] = \beta b_{asis,t} + ns(t_{ime}, d_f) + h_{oliday} + d_{ow} + ns(r_h, d_f) + ns(V, d_f) + a \quad (1)$$

式中: $E(\frac{Y_t}{X})$ 表示每日死亡人数估计值, Y_t 为每日死亡人数; β 为气温系数; ns 为自然立方样条函数; $b_{\text{asis},t}$ 表示气温通过 $DLNM$ 构建的交叉基函数, t_{ine} 为时间序列变量, d_f 为自由度, 可通过赤池信息准则(AIC)检验不同自由度下模型的优劣^[25]; 哑变量 h_{oliday} (国家法定节假日为1, 否则为0) 为节假日效应、 d_{ow} (星期数: 1~7) 为星期几效应; r_h 和 V 分别表示相对湿度与风速; a 为残差。

相对危险度(Relative Risk, RR)是指暴露在某种环境下人群对某种疾病死亡发生的可能。超额死亡风险(Exceeding Risk, ER)是指疾病死亡人数超额增加的百分比。

1.3.2 归因分值与归因分数

采用归因分值(Attribute Fractions, AF_s)与归因分数(Attribute Numbers, AN_s)进一步量化气温对疾病死亡的影响。最适气温(MMT)为根据模型计算出最小累积死亡风险所对应的气温值。根据前人的研究经验^[26]将气温划分为4个气温段, 分别是极端低温(低于 $P2.5^{\text{th}}$ 气温)、中等低温($P2.5^{\text{th}}$ 气温至 MMT)、中等高温(MMT 至 $P97.5^{\text{th}}$ 气温)和极端高温(高于 $P97.5^{\text{th}}$ 气温)。计算各气温段 AF_s 与 AN_s , 研究各气温段对呼吸系统疾病死亡风险的影响^[27-28], 并通过 Monte Carlo 模拟^[29]计算 95% 经验置信区间。在此基础上对气温进一步细化, 以平均气温每 1°C 为单位, 分别研究不同城市、不同气温对死亡风险的影响程度并分析气候趋利型候鸟式旅居对死亡风险的影响。

归因分值可表示为暴露于某一风险因子下某一人群的死亡人数占总死亡人数的比例, 其与归因分数计算表达式如下:

$$AF_s = 1 - \exp\left(-\sum_{i=i_0}^L \beta_{xi}\right), \quad (2)$$

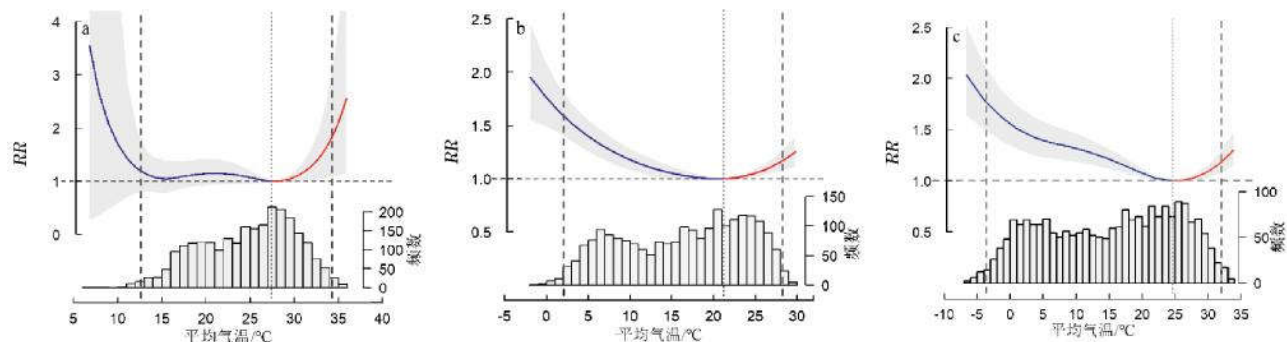


图1 元江(a)、成都(b)和西安(c)气温与呼吸系统疾病死亡风险的累积效应

(图中灰色点虚线为 MMT ; 蓝色、红色曲线分别为以 MMT 为分界线的冷、热效应暴露曲线。灰色区域为 95% 置信区间, 左、右侧的灰长虚线分别为气温的第 2.5 和 97.5 百分位, 柱状图为气温频数分布图。RR 为相对危险度, 下同。)

$$AN_s = n \cdot AF_s. \quad (3)$$

式中: β_{xi} 为暴露于 i 时刻下的暴露—反应关系系数, i_0 为最小滞后天数, L 为最大滞后天数, n 为某一风险因子下的总死亡人数。

2 结果分析

2.1 气象要素与呼吸系统疾病死亡人数描述性统计

由表1可知, 元江年平均气温为 24.78°C , 相对湿度为 65.08%; 成都与西安平均气温均相对较低, 分别为 16.41°C 、 15.08°C , 且成都相对湿度较高, 可达 79.01%, 西安相对湿度较低, 仅为 23.62%。研究时段内 3 座城市收集到的呼吸系统疾病死亡人数分别占总死亡人数的 38.9%、31.6% 和 56.3%, 其死亡人数均超过总死亡人数的 30%, 说明呼吸系统疾病是导致这些地区居民死亡的主要疾病之一。

2.2 气温对呼吸系统疾病死亡人数的暴露—反应关系

由图1可知, 气温与呼吸系统疾病死亡的关系大致呈“W”型(元江)与反“J”型(成都、西安)分布。模型通过控制时间趋势与哑变量等其他变量, 估算出元江、成都与西安的 MMT 分别为 27.4°C 、 21.2°C 、 24.6°C , 此时气温对呼吸系统疾病死亡风险的影响最小。以 MMT 为分界点, 当低于(高于)此阈值时, 死亡风险将会随着气温的降低(升高)而升高(升高), 且气温越低, RR 越大, 表明其相对死亡风险更高, 呈现冷效应为主。

气温对人体呼吸系统疾病死亡风险存在持续性与滞后性, 且在不同气温与不同滞后天数下, 其所对应的死亡风险也有所不同^[30-32]。由图2可知, 元江、成都与西安呼吸系统疾病的死亡风险均在高温当天(lag0 d)达到了峰值, 呈现为即时效应, RR 分别为 2.1(95% 置信区间: 1.09, 4.05)、1.13(95% 置信区间:

表 1 西部 3 座城市各变量的描述性统计

城市	变量	$\bar{x}$	s	Min	$P_{2.5}$	P_{50}	$P_{97.5}$	Max
元江	平均气温/℃	24.78	5.3	6.8	14.3	25.5	33.5	35.9
	最高气温/℃	31.7	5.75	8.3	18.8	32.5	40.6	43.1
	最低气温/℃	20.23	5.4	3.5	10	21	28.7	32.6
	相对湿度/%	65.08	12.23	25.8	41	65	87	95.25
	平均风速/(m/s)	2.08	1.29	0	0.4	1.8	5.3	7.9
	日呼吸系统疾病死亡/例	0.92	1.06	0	0	1	4	7
	日总死亡/例	3.55	2.1	0	0	3	8	19
成都	平均气温/℃	16.41	7.41	-1.9	3.1	17.4	27.6	29.8
	最高气温/℃	21.1	8.12	1.5	6.3	21.9	34.2	36.7
	最低气温/℃	13.14	7.35	-6.5	-0.9	14.2	23.7	25.9
	相对湿度/%	79.01	8.68	32	60	80	94	98
	平均风速/(m/s)	1.2	0.49	0	0.5	1.1	2.4	4.1
	日呼吸系统疾病死亡/例	50.27	13.26	19	28	48	82	109
	日总死亡/例	159.15	32.54	86	107	155	235	293
西安	平均气温/℃	15.08	9.96	-6.7	-2.1	16.3	30.7	33.8
	最高气温/℃	20.21	10.61	-3.2	1.4	21.2	36.9	40.6
	最低气温/℃	11.18	9.65	-11.5	-5.8	12.3	26.4	28.8
	相对湿度/%	23.62	9.74	3	10	22	48	82
	平均风速/(m/s)	2.36	0.97	0.3	1	2.2	4.8	8.2
	日呼吸系统疾病死亡/例	50.44	20.16	10	20	47	93	163
	日总死亡/例	89.53	30.34	26	42	86	153	209

注:表中 $\bar{x}$ 为平均值; s 为标准差;Min 为最小值; $P_{2.5}$ 、 P_{50} 、 $P_{97.5}$ 分别为第 2.5、50 和 97.5 百分位;Max 为最大值。

1.04,1.24)、1.12(95%置信区间:1.04,1.13)。元江低温当天死亡风险较高,成都、西安两市的低温则存在较明显的滞后效应,分别在 lag1 d 与 lag4 d 达到峰值,RR 分别为 1.19(95%置信区间:1.07%,1.33%)、1.15(95%置信区间:1.09%,1.20%)。总体而言,3 座城市在高温和低温条件下呼吸系统疾病死亡风险分别表现出了“即时效应”与“滞后效应”。值得注意的是,高温对元江呼吸系统疾病死亡风险的影响更突出,可能与地处热带、属于气候季节划分的无冬区有关;成都、西安则是低温对其影响更突出。同时,元江在低温当天出现短暂“即时效应”,可能是由于其位于干热的云南河谷地区,元江气温最低值相当于成都、西安气温的 27.5^h 和 33.6^h,故低温段也出现了短暂的“即时效应”。

2.3 气温对呼吸系统疾病死亡人数的归因风险

为更加准确具体的分析气温及其变化对 3 座城市呼吸系统疾病死亡风险的影响,计算各气温段对

死亡风险的影响。由表 2 可知,从整体气温来看,元江、成都与西安因冷热不适宜所导致的超额死亡人数(AN_s)分别占各自城市总人口数^[33-35]的 1.037‰、0.85‰、2.337‰,对应 AF_s 分别为 9.64%(95%置信区间:0.51%,17.62%)、11.25%(95%置信区间:7.68%,14.67%) 和 18.26%(95%置信区间:12.62%,22.92%)。当以 MMT 为分界点时,元江、成都与西安冷效应的 AF_s 分别为 5.73%(95%置信区间:-4.07%,13.69%)、9.85%(95%置信区间:5.75%,13.53%)、17.44%(95%置信区间:11.37%,22.63%);而热效应相比冷效应的影响要小得多。此外,3 座城市 AN_s 有较大差距可能是城市人口基数不同,所以其因呼吸系统疾病死亡的人数与超额死亡人数也会有所差别。

在冷、热效应分层的情况下,将气温对呼吸系统疾病死亡风险的影响进一步细分,划分为极端低温、中等低温、中等高温与极端高温。中等低温对 3 座城

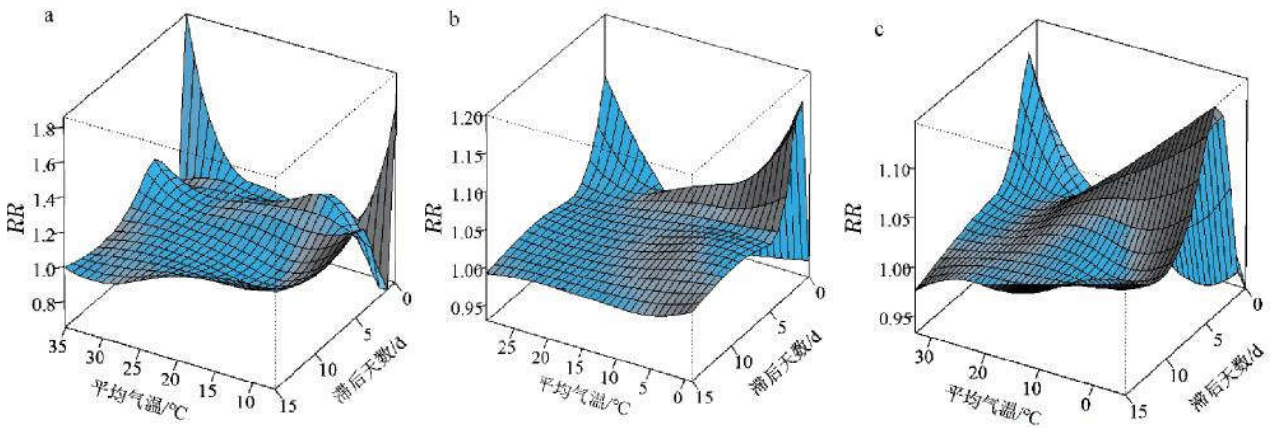


图2 元江(a)、成都(b)和西安(c)气温与呼吸系统疾病死亡影响的暴露反应关系3D图

表2 不同气温段对元江、成都和西安呼吸系统疾病死亡风险的归因分值与归因分数

不同气温段		元江	成都	西安
整体气温	$AN_s\%$ (95%置信区间)	228(5,416)	12 399(7 452,16 382)	20 186(14 576,25 458)
	$AF_s\%$ (95%置信区间)	9.64(0.51,17.62)	11.25(7.68,14.67)	18.26(12.62,22.92)
冷效应	$AN_s\%$ (95%置信区间)	136(-96,313)	10 853(5 774,15 000)	19 286(13 381,24 777)
	$AF_s\%$ (95%置信区间)	5.73(-4.07,13.69)	9.85(5.75,13.53)	17.44(11.37,22.63)
热效应	$AN_s\%$ (95%置信区间)	92(8,162)	1 546(606,2 474)	900(258,1 507)
	$AF_s\%$ (95%置信区间)	3.9(-0.05,6.94)	1.40(0.56,2.15)	0.81(0.23,1.35)
极端低温	$AN_s\%$ (95%置信区间)	13(-19,29)	1 424(1 087,1 700)	1 338(1 029,1 602)
	$AF_s\%$ (95%置信区间)	0.53(-0.71,1.31)	1.29(1.01,1.55)	1.21(0.92,1.46)
中等低温	$AN_s\%$ (95%置信区间)	123(-105,294)	9 566(5 451,13 689)	18 106(12 292,24 086)
	$AF_s\%$ (95%置信区间)	5.21(-3.04,12.46)	8.68(4.99,12.03)	16.38(10.82,21.19)
中等高温	$AN_s\%$ (95%置信区间)	72(-8,132)	1 199(408,1 939)	527(-95,984)
	$AF_s\%$ (95%置信区间)	3.06(-0.14,5.65)	1.09(0.4,1.76)	0.48(0.08,0.85)
极端高温	$AN_s\%$ (95%置信区间)	21(5,32)	376(195,543)	372(182,543)
	$AF_s\%$ (95%置信区间)	0.91(0.08,1.3)	0.34(0.17,0.51)	0.34(0.16,0.5)

市影响最大,对应超额死亡人数分别占总超额死亡人数的53.95%、77.15%和89.7%, AF_s 分别为5.21%(95%置信区间:-3.04%,12.46%)、8.68%(95%置信区间:4.99%,12.03%)和16.38%(95%置信区间:10.82%,21.19%)。相对热效应而言,冷效应对3座城市呼吸系统疾病死亡风险的影响更突出,且冷效应中,中等低温对死亡的累计影响最大,这可能是与中等低温的频数占总频数的大部分有关(结合图1下方的气温频数分布),即人们在中等低温环境下暴露时间更长,对呼吸系统疾病死亡的影响相对就更大。

将3座城市日均气温1℃为单位进行定量划分,使其可以更加细致地分析出气温对呼吸系统疾

病死亡风险的影响。由图3可知,元江气温高频次出现在27℃, AF_s 高值区主要出现在中等高温范围,其峰值为32℃。经计算发现元江在31~33℃出现的频次占总气温的8.8%,但其 AF_s 占整体气温造成死亡风险的27.74%,此气温段对人们的健康影响较大。成都与西安气温高频次分别出现在20、25℃,两市 AF_s 峰值分别是6、2℃;成都在4~9℃出现的频次占总气温的21.72%,西安在-1~8℃出现的频次占总气温的27.65%,其 AF_s 分别占整体气温造成死亡风险的53.17%、54.06%。由此可见,这两段气温分别为成都、西安2市老年人群呼吸系统疾病死亡的高发气温段。

2.4 候鸟式气候趋利对呼吸系统疾病死亡风险降

低效应探究

我国地域广阔,气候类型繁多,山地立体气候特征明显。不同气候带不同地理经纬度城市之间的气候具有一定差异,由此所诱发的呼吸系统疾病发病乃至死亡风险也有所不同,这为相关老年人群进行候鸟式气候趋利避害的旅居康养创造了良好条件。为进一步细化气温分层后与呼吸系统疾病死亡风险之关系,对3座不同气候区城市居民死亡风险影响最大的中等气温(即中等低温与中等高温)进行细致分析。分别以3座城市各自 $P_{2.5}^{\text{th}}$ 气温为起点、 $P_{97.5}^{\text{th}}$ 为终点,将此区间重新进行百分位划分,然后按照平均气温每1℃为单位进行分析,并分别选取其 P_1^{th} 、 P_5^{th} 、 P_{10}^{th} 、 P_{90}^{th} 、 P_{95}^{th} 、 P_{99}^{th} 的气温及其对应

的死亡风险进行对比分析,结果如表3所示,当气温处于 P_1 时,对老年人群产生相对的强冷胁迫效应,成都与西安 ER 均出现最大值,3座城市 ER 分别为6.1%(95%置信区间:-20.1%,42.5%)、50.2%(95%置信区间:34%,78.4%)和66.6%(95%置信区间:42.5%,94.9%)。低温范围内随着气温升高,3座城市所对应的 ER 分别下降了1.2%、13.1%、13.0%,表明低温胁迫对成都与西安的影响更显著。当气温在第99百分位时,元江 ER 达到最大值,3座城市 ER 分别为58%(95%置信区间:6.1%,135.4%)、13.6%(95%置信区间:6%,21.8%)和10.9%(95%置信区间:3.9%,18.4%)。高温范围内随气温升高,3座城市 ER 分别上升了28.3%、6.9%和8.2%,由此可见,高温对元江影响最显著。虽然低温(P_1 、 P_5 、 P_{10})与高温(P_{90} 、 P_{95} 、 P_{99})都会对老年人群呼吸系统疾病死亡风险有一定影响,但气温处于极端低温或极端高温时,其超额死亡风险将达到最大。

由表3可知,元江在 P_1 、 P_5 、 P_{10} 气温下若成都或西安老年人群前往元江,其 ER 均有明显变化,此时气温相对2市分别上升了42%及以上,这对于2市的老年人群来说在低温时前往元江避寒旅居可以在一定程度上降低其死亡风险,从而达到候鸟式气候趋利的康养效应。从 ER 下降幅度来看,低温对于地处秦岭以北的西安老年人群影响更大,理论上在此气温段西安老年人群前往元江旅居康养效果会更显著。元江气温处于 P_{90}^{th} 、 P_{95}^{th} 、 P_{99}^{th} 时,元江老年人群若前往成都、西安,此时相对元江的气温有所下降, ER 可分别下降23%、37.6%、44.4%、27%、41.6%和47.1%,表明在此气温段元江老年人群去往成都

表3 不同城市相同百分比下的气温对呼吸系统疾病的超额死亡风险(ER)及其95%置信区间

气温 分层	气温 /℃	$ER(\%)$ 及其95%置信区间		
		元江	成都	西安
低温	P_1	6.1(-20.1,42.5)	50.2(34,78.4)	66.6(42.5,94.9)
	P_5	4.6(-21.8,40.0)	43.9(29.1,60.4)	62(39.2,88.5)
	P_{10}	4.9(-20.4,38.2)	37.1(23.5,52.1)	53.6(33.1,77.2)
高温	P_{90}	29.7(2.1,64.8)	6.7(2.4,11.1)	2.7(-0.2,5.6)
	P_{95}	48.5(4.9,110.4)	10.9(4.6,17.5)	6.9(1.8,12.3)
	P_{99}	58(6.1,135.4)	13.6(6,21.8)	10.9(3.9,18.4)

注:元江分别对应14.4、15、16、32、33、33.4℃;成都分别为3.3、4.3、5.5、25.5、26.8、27.5℃;西安分别对应-2.1、-1.3、0.4、27.6、29.3、30.4℃。表中 P_1^{th} 、 P_5^{th} 、 P_{10}^{th} 、 P_{90}^{th} 、 P_{95}^{th} 、 P_{99}^{th} 分别为气温第 P_1 、5、10、90、95、99百分位。

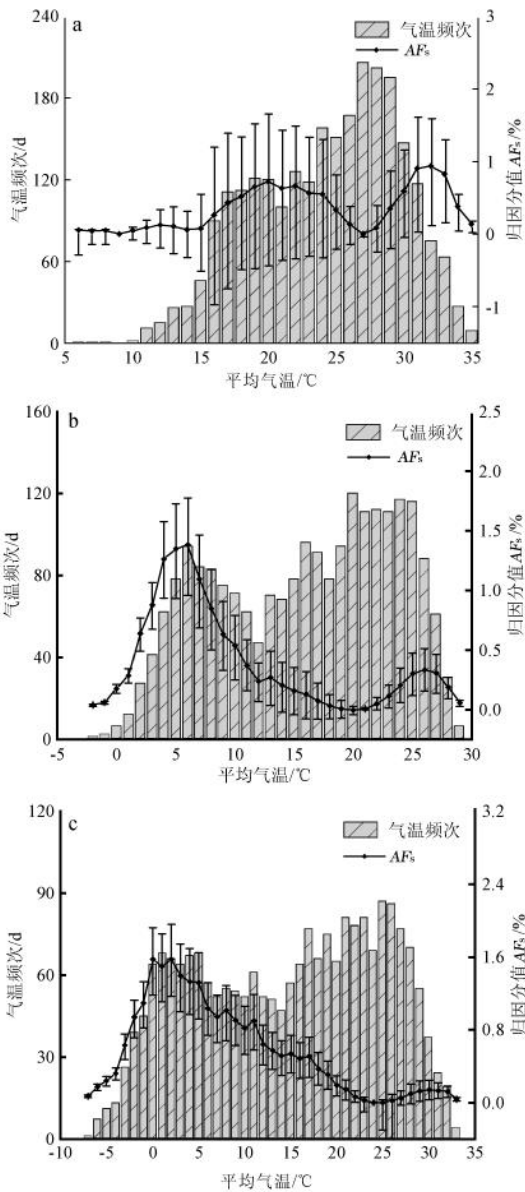


图3 元江(a)、成都(b)和西安(c)的气温频次与每1℃对死亡风险的归因分值

或西安也可在一定程度上降低由热效应所带来的健康风险。

元江死亡风险高发气温段主要出现在夏季与秋季,成都与西安高发气温段则主要出现在冬季或冬季转春季的过渡时期(图4)。元江冬季(12月—次年2月)气温($17.1\sim 21.5\text{ }^{\circ}\text{C}$)相当于成都与西安春季(4—5月)气温,在条件允许的情况下,成都与西安2地有意愿的老年候鸟人群若前往元江进行避寒康养,相当于在原居住地过春季,可明显降低其呼吸系统疾病的死亡风险。此外,元江老年人群呼吸系统疾病死亡高发期出现在夏季,可能与其地处热带气候有关,长时间的高温对当地老年人群的呼吸系统产生一定的不利影响,而此时成都与西安月均气温分别为 $23.8\sim 25.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $26.2\sim 27.9\text{ }^{\circ}\text{C}$,相当于元江春季(3—4月)气温。从理论上来讲,此时元江老年人群

若前往成都或西安可减轻热胁迫的影响,进而获得降低呼吸系统疾病发病乃至死亡风险的效果。元江老年候鸟人群会有其他更好更方便的避暑康养地选择,但其避暑康养机理都是相同的。

3 结论

(1)元江、成都与西安3地气候对呼吸系统疾病死亡的影响都表现出了高温“即时效应”、低温“滞后效应”,且高温即时性对元江的影响较突出,低温滞后性在成都与西安的影响更显著。3座城市最低死亡风险对应的 *MMT* 分别为 27.6 、 21.2 、 $24.6\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

(2)不同城市死亡归因分值不同,以 *MMT* 为分界点,元江、成都与西安均为冷效应对呼吸系统疾病死亡风险的健康损失更为突出,其归因分值分别为 5.73% (95%置信区间: -4.07% , 13.69%)、 9.85% (95%置信区间: 5.75% , 13.53%) 和 17.44% (95%置信区间: 11.37% , 22.63%)。

(3)在4个气温段中(极端低温、中等低温、中等高温与极端高温),元江、成都与西安均为中等低温段时对呼吸系统疾病死亡风险影响最大,其归因分值分别为 5.21% (95%置信区间: -3.04% , 12.46%)、 8.68% (95%置信区间: 4.99% , 12.03%) 和 16.38% (95%置信区间: 10.82% , 21.19%)。将气温细化到每 $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 为单位时,3座城市老年人群分别在 $31\sim 33$ 、 $4\sim 9$ 和 $-1\sim 8\text{ }^{\circ}\text{C}$ 呼吸系统疾病死亡风险达到高峰。

(4)低温范围内,3座城市老年居民的超额死亡风险随气温升高而递减;高温范围内,3座城市老年居民的超额死亡风险随着气温升高而递增。从其超额死亡风险和逐月死亡人数占比综合来看,冬季低温时段内,元江气温明显高于成都、西安,有意愿有条件的2地老年人群可前往元江进行避寒康养,可一定程度上降低由于冷效应所带来的呼吸系统疾病发病乃至死亡风险;成都与西安相对元江而言,夏季气温总体上没有元江高,其热效应所带来的老年人群呼吸系统疾病死亡风险相对较小。

与以往同类研究相比,本文就不同气候带城市气温对呼吸系统疾病死亡影响及气候趋利风险降低效应方面获得了创新性的研究成果,定量评估了气候趋利的避寒或避暑康养效应。如采用平均气温每 $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 为单位进行衡量,从气温对老年人群呼吸系统疾病死亡的累积风险和单位风险来看,3座城市均为冷效应(中等低温)占主导,更加客观地反映了不同气温段对老年人群呼吸系统疾病死亡风险的影响。同时,本文对老年人群候鸟式气候趋利康养降低

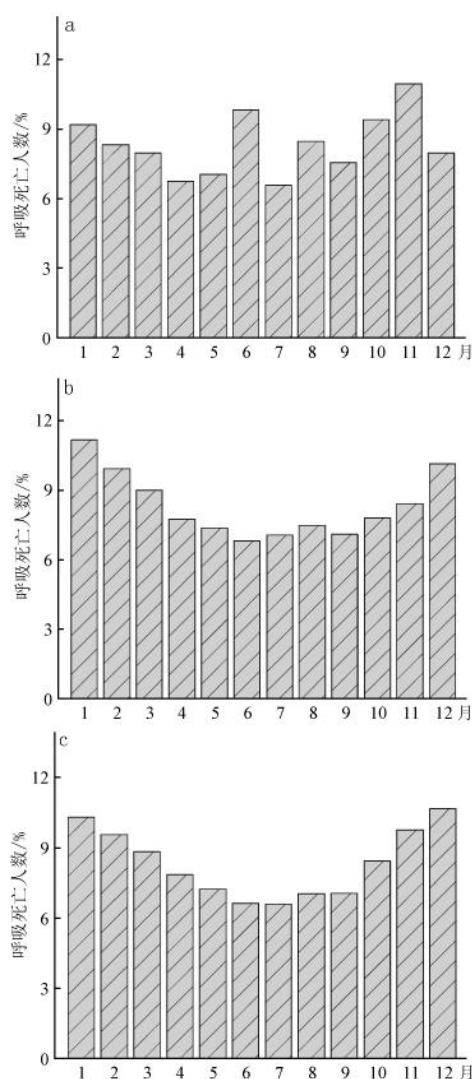


图4 元江(a)、成都(b)和西安(c)各月呼吸系统疾病死亡人数百分比

呼吸系统疾病死亡风险进行了探究,发现这符合生态学中对生态位的理解^[36]。这也证明了上述研究中发现的元江、成都与西安老年人群可以通过季节性气候趋利好旅居,在一定程度上降低由于气温过高(过低)所带来的呼吸系统疾病死亡风险。但本文存在一定局限性,一是由于医疗数据获取难度较大,3座城市的医疗数据有一定起始时间差,但其交叉时间段占主导;二是本文仅考虑了气象医学界公认的最主要气象要素气温,并就不同气候区的3座城市气温对老年呼吸系统疾病死亡风险的影响进行初步探究,其他相关气象要素对老年人群呼吸系统疾病死亡风险的影响还有待进一步研究,以便更全面地展现各种气象要素的影响及其差异;三是由于本篇研究重在凸显不同气温对健康的影响,因此在本篇文章的模型中未考虑污染物对呼吸系统疾病的影响,后续研究中将考虑气象要素和空气污染物(如PM_{2.5}、O₃等)的共同或交互影响。

参考文献:

- [1] 百度百科. 呼吸系统疾病 [EB/OL].(2019-11-22)[2022-12-20].<https://baike.baidu.com/item/呼吸系统疾病/3912347?fr=aladdin>.
- [2] 庄增美,陈萍.预防性护理对老年呼吸疾病患者医院感染的控制效果评价[J].实用临床医药杂志,2016,20(8):145-146.
- [3] 个人图书馆. 漫步之心情 [EB/OL].(2019-11-22)[2022-12-20].www.360doc.com/content/19/1122/13/37113458_874759160.shtml.
- [4] MUERS S, MATZARAKIS A, KOCH E. Climate change and mortality in vienna -A human biometeorological analysis based on regional climate modeling [J]. International Journal of Environmental Research and Public Health, 2010, 7(7): 2965-2977.
- [5] 杜尧东,段海来,刘畅,等.气候变化对大湾区人群健康影响研究进展[J].气象科技进展,2019,9(3):185-189,194.
- [6] 马盼,王式功,尚可政,等.气象舒适条件对呼吸系统疾病的影响[J].中国环境科学,2018,38(1):374-382.
- [7] 王敏珍,郑山,王式功,等.气温与湿度的交互作用对呼吸系统疾病的影响[J].中国环境科学,2016,36(2):581-588.
- [8] 张志薇,王宏斌,李艳,等.诱发南京地区呼吸系统疾病的气象条件与天气类型分析[J].兰州大学学报:社会科学版,2016,52(6):813-820.
- [9] SHAO Ming, YU Lingxiang, XIAO Changchun, et al. Short-term effects of ambient temperature and pollutants on the mortality of respiratory diseases: A time-series analysis in Hefei, China [J]. Ecotoxicology and Environmental Safety, 2021, 215(7): 112160.
- [10] 李杏.气候变化背景下呼吸系统疾病气温相关死亡的疾病负担研究[D].南方医科大学,2020.
- [11] FU S H, GASPARRINI A, Rodriguez P S, et al. Mortality attributable to hot and cold ambient temperatures in India: a nationally representative case-crossover study [J]. PLoS Medicine, 2018, 15(7): 1-17.
- [12] INGOLE V, SHERIDAN S C, JUVEKAR S, et al. Mortality risk attributable to high and low ambient temperature in Pune city, India: A time series analysis from 2004 to 2012 [J]. Environmental Research, 2022, 204 (Pt C): 112304-112304.
- [13] 徐静,刘华悦,靳甜甜,等.气温对秦皇岛市儿童呼吸系统疾病的影响[J].干旱气象,2021,39(2):326-332.
- [14] LOWEN A C, MUBAREKA S, STEEL J, et al. Influenza Virus Transmission Is Dependent on Relative Humidity and Temperature [J]. PLoS Pathogens, 2007, 3(10): 1470-1476.
- [15] VICEDO C, ANA M, GUO Y, et al. Temperature-related mortality impacts under and beyond Paris Agreement climate change scenarios [J]. Climatic Change, 2018, 150(3-4): 391-402.
- [16] 林锦屏,郭来喜.中国南方十一座旅游名城避寒疗养气候旅游资源评估[J].人文地理,2003(6):26-30.
- [17] 张莹,尚可政,孙宏,等.南京市呼吸系统和循环系统疾病死亡人数与气象因子的关系分析[J].兰州大学学报(自然科学版),2014,50(1):59-65.
- [18] CHAI G, HE H, SU Y, et al. Lag effect of air temperature on the incidence of respiratory diseases in Lanzhou, China [J]. International Journal of Biometeorology, 2020, 64(1): 83-93.
- [19] 黄开龙,林锦春,马盼,等.气象条件对深圳市罗湖区上呼吸道感染就诊人数的影响[J].干旱气象,2021,39(6):995-1005.
- [20] SHAO M, YU L, XIAO C, et al. Short-term effects of ambient temperature and pollutants on the mortality of respiratory diseases: A time-series analysis in Hefei, China [J]. Ecotoxicology and Environmental Safety, 2021, 215(7): 112160.
- [21] 李佳蔚,魏然,张安然,等.热带气旋与医院门诊呼吸系统疾病日就诊量的病例交叉研究[J].山东大学学报(医学版),2018,56(8):43-49,75.
- [22] TZITZIVACOS D. International Classification of Diseases 10th edition (ICD-10) [J]. CME, 2007(1): 8.
- [23] GASPARRINI A, ARMSTRONG B, KENWARD M G. Distributed lag non-linear models [J]. Statistics in Medicine, 2010, 29(21): 2224-2234.
- [24] GASPARRINI A. Modeling exposure-lag-response associations with distributed lag non-linear models [J].

- Statistis in medicine, 2014, 33(5): 881–899.
- [25] PENG RD, DOMINCI F, LOUIS TA. Model choice in time series studies of air pollution and mortality [J]. Journal of the Royal Statistical Society Series a Statistics in Society, 2006, 169(Pt.2): 179–198
- [26] GASPARRINI A, LEONE M. Attributable risk from distributed lag models [J]. BMC Medical Research Methodology, 2014, 14(1): 1–16.
- [27] GASPARRINI A, GUO Y, HASHIZUME, et al. Mortality risk attributable to high and low ambient temperature: a multi-country observational study [J]. The Lancet, 2015, 386(9991): 369–375.
- [28] YANG J, YIN P, ZHOU M, et al. Cardiovascular mortality risk attributable to ambient temperature in China [J]. HEART, 2015, 101(24): 1966–1972.
- [29] GREENLAND S, SANDER. Greenland S: Interval estimation by simulation as an alternative to and extension of confidence intervals [J]. International Journal of Epidemiology, 2005, 33(6): 1389–1397.
- [30] 乐满, 王式功, 谢佳君, 等. 环境条件对遵义市呼吸系统疾病的影响及预测研究 [J]. 中国环境科学, 2018, 38(11): 4334–4347.
- [31] 李娟, 张志薇, 于庚康, 等. 气象要素对南京市呼吸系统疾病的影响研究 [J]. 气象科学, 2017, 37(3): 409–415.
- [32] LV L, ZHOU C, JIN D, et al. Impact of ambient temperature on life loss per death from cardiovascular diseases: a multicenter study in central China [J]. Environmental Science and Pollution Research, 2021, 29(11): 15791–15799.
- [33] 元江县人民政府. 政府信息公开 [EB/OL]. (2021–09–13) [2022–12–20] <http://www.yjx.gov.cn/yjxzfxxgk/tjgb/20210913/1284922.html>.
- [34] 成都统计局. 统计数据 [EB/OL]. (2016–03–03) [2022–12–20]. http://cdstats.chengdu.gov.cn/cdstj/c154785/2016-03/03/content_d047b866e15743b3ba839c4ad2f27877.shtml.
- [35] 西安市人民政府. 政策法规 [EB/OL]. (2017–03–11) [2022–12–20]. <http://www.xa.gov.cn/gk/zcfg/zcjd/zctj/5d4914d565cbd87465a80ae1.html>.
- [36] 周凤霞. 生态学 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2013.

Effect of Urban Temperature in Different Climate Zones on Mortality from Respiratory Diseases and the Risk Reduction in the Elderly

LU Meijing¹, YIN Li², SUN Yu³, WANG Shigong¹, XU Chunyun⁴, FAN Jin¹,
QU Chong¹, DENG Xuhui¹

(1.School of Atmospheric Sciences, Chengdu University of Information Technology/Institute of
Environmental Meteorology and Health, Chengdu 610225, China;

2.Panzhihua Central Hospital for Meteorological Medicine Research Center, Panzhihua 617000, China;

3.Hainan Second People's Hospital for Climate Medicine Clinical Research Center,
Wuzhishan 572299, China;

4.Yuanjiang County Health Bureau of Yunnan Province, Yuanjiang 653300, China)

Abstract Based on the day-by-day mortality data and concurrent meteorological data from Yuanjiang, Chengdu, and Xi'an city, the effects of temperature on the risk of death from respiratory diseases in the elderly in three cities with different climatic zones were investigated by using generalized additive and distributional lagged nonlinear models, and then the health losses caused by respiratory diseases were quantified using attributable fractions (A_{Fs}) in the different temperature bands, and the effect of seasonal climate convergence among the three places was quantified. The mortality risk reduction effect was obtained from the seasonal climate convergence among the three cities. The results suggested that: (1) The relationship between temperature and deaths from respiratory diseases in the Yuanjiang, Chengdu and Xi'an cities showed a "W", inverse "J" and inverse "J" distribution, respectively. (2) The effect of temperature on deaths from respiratory diseases in the elderly in Yuanjiang was more prominent with high temperature immediacy, and for the elderly in Chengdu and Xi'an city, it was more pronounced with the lagged low temperature. (3) The A_{Fs} caused by temperature in Yuanjiang, Chengdu and Xi'an were 9.64%, 11.25% and 18.26%, respectively, with the cold effect generating a greater risk of death from respiratory diseases. Further subdividing the temperatures into four temperature bands (extreme low temperature, moderate low temperature, moderate high temperature, and extreme high temperature), moderate low temperature caused the highest cumulative number of excess deaths, which was closely related to its high frequency of occurrence. (4) If the elderly in Yuanjiang, Chengdu and Xi'an city have the willingness and conditions to take migratory birds seasonal climate tendency to avoid the summer heat or cold recreation, it might reduce the health risks arising from the local seasonal discomfort climate to a certain extent.

Key words temperature; respiratory diseases; risk of death; attributable risk; excess risk of death