

重庆地区青少年溺亡风险气象预警研究

刘玉杰 赵生昊 覃彬全 林涛
(重庆市气象安全技术中心, 重庆 401147)

摘要: 为防范青少年溺亡事件的发生, 研究了青少年溺亡风险气象预警方法。通过分析重庆地区135起青少年溺亡事件, 根据影响人体舒适度的气象因子以及主观判断, 确定以温度、相对湿度、日照时数和降水量作为溺亡预警气象指标, 用线性回归的方法比较了溺亡事件发生前5日、10日、15日及20日各气象指标与溺亡事件发生当日平均温度的相关关系, 确定了溺亡事件发生前10日的气象指标与溺亡事件发生当日的日平均气温相关系数最大, 即溺亡事件发生前10日的气象因子与溺亡事件发生的关系最密切; 通过主成分分析, 确定了溺亡事件发生前10日的日平均温度是溺亡事件发生的重要因子, 平均最高温度、平均最低温度和平均相对湿度是影响溺亡事件发生的主要气象因子; 最后根据主成分分析的结果, 建立溺亡事件气象预警模型, 并对溺亡风险进行了等级划分。最后, 结合实例对预警方法进行了验证, 结果表明该方法具有一定可行性。

关键词: 溺亡事件, 气象因子, 主成分分析, 溺亡风险预警

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1973.2021.02.015

Meteorological Early Warning Study on Youth Drowning Risk in Chongqing

Liu Yujie, Zhao Shenghao, Qin Binqun, Lin Tao
(Chongqing Meteorological Safety Technology Center, Chongqing 401147)

Abstract: In order to prevent the occurrence of youth drowning, we studied a meteorological warning method for youth drowning risk. By analyzing 135 cases of adolescent drowning in Chongqing, and considering the meteorological factors affecting human comfort and subjective judgment, temperature, relative humidity, hours of sunshine and precipitation are identified as the meteorological indicators of drowning warning. Compared the correlations between the meteorological indicators and the average daily temperature on 5, 10, 15 and 20 days before the drowning incident by linear regression, it is determined that the meteorological factors of the 10 days prior to the drowning event had the largest correlation coefficient with the average daily temperature on the day of the drowning event. By principal component analysis, it was determined that the average daily temperature of the 10 days prior to the drowning event was an important factor in the occurrence of the drowning event, and that the average maximum temperature, average minimum temperature and average relative humidity are the main meteorological factors that influence the occurrence of drowning. Finally, according to the results of principal component analysis, an early warning model of drowning events is established and the risk of drowning is classified. The warning method is validated with examples and the results show that it is feasible.

Keywords: drowning incident, meteorological factor, Principal component analysis, drowning risk warning

0 引言

溺水是全球青少年十大死因之一, 据2014年11月17日世界卫生组织发布的《全球溺水报告》, 每年全球约有372000人溺水死亡, 其中半数不足25岁^[1]; 据中国卫生健康委员会统计, 中国每年有57000人溺水死亡, 其中0~14岁青少年占比56.58%。且由于公

共安全管理及风险教育方面相对落后, 发展中国家的溺水死亡率是发达国家的3倍之多。在发达国家, 溺亡事件多发生于泳池, 而在中国及其他一些发展中国家, 溺亡事件则多发生在自然开放水域^[2]。

对于青少年溺水问题, 国内外已有很多学者进行研究。陈亦晨^[3]等通过分析2002—2013年浦东新区居民溺水死亡的流行病学特点及其趋势, 为制定相应的干预措施提供依据。刘文青^[4]利用文献资料法与数理统计法, 对2011—2014年湖南农村中小学生溺水事故进行了调查与统计, 提出具有一定现实针对性的干预措施与应对之策。殷洁森^[5]等通过江苏中小生意外溺亡的调查分析, 提出了一些预防对策。陆蓓蓓^[6]等

收稿日期: 2020年7月27日; 修回日期: 2020年12月4日
第一作者: 刘玉杰(1977—), E-mail: 64467334@qq.com
通信作者: 赵生昊(1984—), E-mail: zhaokang@live.cn
资助项目: 重庆市气象部门智慧气象技术创新团队项目
(ZHCXTD-201923)

通过日均气温对居民溺水死亡的影响分析,认为高温可能增加居民溺水死亡风险,应采取有效预警措施,减少溺水死亡事件发生。Marine Chauvin^[7]采用病例交叉研究设计,对1989—2015年期间加拿大魁北克省0~19岁儿童中807例与溺水相关的死亡和非死亡住院治疗进行了评估,结果表明高温天气与0~19岁儿童溺水风险密切相关。综上所述,目前国内外对于青少年溺亡的研究多着眼于成因分析及干预措施。然而,目前暂未开展溺亡风险预警方面的研究。

重庆位于青藏高原与长江中下游平原之间过渡地带的四川盆地东部边缘,夏季因受丘陵地形、副热带季风及热带西南季风共同影响而具有“炎热、潮湿、少风”的特点^[8],极端高温可达43℃^[9]。另外,重庆辖区内水系发达,河流众多,青少年在高温天气里到自然水域游泳嬉戏现象较为广泛,容易造成溺水死亡事件。

1 资料与方法

溺亡事件的收集主要通过爬虫技术,从互联网可靠的信息源(包含华龙网、网易、腾讯、新浪等)的新闻报道中获取。同时,从报刊、政府通报中获得一些案例作为补充。通过数据清洗,筛除时间和地点不详的事件,最终收集到研究区范围内2015—2018年青少年(6~18岁)溺亡事件,共计135起。

从国家气象信息中心CIMISS气象数据统一服务接口获取,对应资料集为“地面数据日值资料”,该资料集包含国内全部气象站地面资料,时间分辨率为1 d。

将135起青少年溺亡事件随机分为2组,其中105起作为研究样本,另外30起作为验证样本。参考对炎热天气人体舒适度影响较大的气象要素,并对研究样本事发当日平均温度与事发前气象要素进行相关分析,确定溺亡风险预警指标;采用主成分分析法对研究样本关联的预警指标进行分析,构建溺亡事件预警模型及预警分级机制;通过插值法实现任意地点溺亡风险预警评价获取;最后结合验证样本验证预警方法的可行性。

2 结果与分析

2.1 溺亡风险预警指标选择

虽然研究表明高温会显著增加溺亡风险,但人体对外界冷热的感受,并不能仅根据气温或其他任何单一的气象因素来评价^[10],除温度因素外,人体的热平衡机能、体温调节、内分泌系统及消化器官等生理功能还会受到多种气象因素的影响。郑有飞等^[11]通过慕尼黑人体热量平衡模型(MEMI)分析气象参数和生理等效温度的相互关系,结果表示生理等效温度,除气温外,还受风速及相对湿度影响;谈建国^[12]提出的

衡量夏季暑热程度的相对舒适度指数,包括了高温天气的连续天数、云量及有效累积温度等。因此,我们将温度作为溺亡事件预警的首要指标,综合考虑人们对环境的主观反应及生活常识,将日照时数、相对湿度和降水量作为溺亡事件预警判别的辅助指标。

由于人体相对环境的不适感是一个逐渐积累的过程,在此过程中气象因素也在不断变化,预警指标也应体现各因素的动态变化。因此分别将溺亡事件发生前20日、前15日、10日和5日的平均气温(X_1)、平均最高温度(X_2)、平均日最低温度(X_3)、平均相对湿度(X_4)、平均日照时数(X_5)、平均降水量(X_6)、平均温度变化值(X_7)、平均最高温度变化值(X_8)、平均最低温度变化值(X_9)、平均相对湿度变化值(X_{10})、平均日照时数变化值(X_{11})、平均降水量变化值(X_{12})作为研究诱发溺亡事件的12个预警指标。其中涉及变化值的指标采用标准差体现:

$$A = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (D_i - \bar{D})^2}, \quad (1)$$

式中: A 代表变化值, D_i 代表前 n 日中第 i 日该指标对应气象因素值, \bar{D} 代表前 n 日对应气象因素平均值。用 T_a 代表溺亡事件发生当日的日平均气温,建立多元线性回归模型:

$$T_a = a + a_1 X_1 + a_2 X_2 + a_3 X_3 + \dots + a_{12} X_{12}, \quad (2)$$

通过线性回归分析,得到溺亡事件发生前20日、前15日、前10日以及前5日的相关关系及系数矩阵,前20日、前15日、前10日以及前5日的决定系数(R^2)分别为0.890、0.905、0.907、0.444。从相关系数大小可以看出,溺亡事件前10日的预警指标与溺亡事件当日温度的相关性最大。因此,选定溺亡事件发生前10日的预警指标作为研究对象。

2.2 预警指标主成分分析

利用主成分分析方法对溺亡事件发生前10日的预警指标进行分析。由于各预警指标的单位不同,首先对105例研究样本对应的预警指标原始数据进行标准化处理,并对标准化之后的数据进行KMO统计量和球形检验,结果显示 $KMO=0.584$,大于0.5;球形检验显著性等于0.000,因而可以进行因子分析。使用SPSS对标准化之后的数据进行主成分分析,计算各主成分的特征值及贡献率,分析结果如表1所示。

通过表1可以看出,前4个主成分对应的特征值大于1,第1、2、3、4主成分对总方差的贡献率分别是32.05%、25.22%、14.88%、9.96%,四者之和达到82.11%,这表明4个主成分基本包含了12个气象因子的所有变异信息,其主成分载荷的计算结果见表2。

表1 主成分分析结果

Table 1 Principal component analysis results

因子	特征值	总方差	累积总方差
1	3.85	32.05	32.05
2	3.03	25.22	57.27
3	1.79	14.88	72.15
4	1.19	9.96	82.11
5	0.73	6.06	88.16
6	0.58	4.84	93.00
7	0.40	3.31	96.31
8	0.19	1.56	97.87
9	0.12	1.02	98.89
10	0.11	0.88	99.77
11	0.03	0.22	100.00
12	0.00	0.00	100.00

表2 气象因子的前4个主成分因子载荷矩阵

Table 2 Load matrix of the first 4 principal components of the meteorological factors

因子	I	II	III	IV
X_1	0.813	0.501	0.236	0.155
X_2	0.825	0.516	0.142	0.119
X_3	0.772	0.475	0.335	0.189
X_4	-0.266	-0.240	0.678	0.284
X_5	0.703	0.442	-0.368	-0.202
X_6	-0.230	-0.048	0.710	0.306
X_7	0.420	-0.607	-0.245	0.486
X_8	0.529	-0.775	-0.089	0.089
X_9	0.341	-0.434	-0.470	0.521
X_{10}	-0.527	0.413	-0.097	0.467
X_{11}	0.511	-0.615	0.299	-0.240
X_{12}	-0.424	0.568	-0.332	0.338

从表2可以看出，主成分1中 X_1 、 X_2 、 X_3 、 X_5 的因子载荷量较大，表明平均温度、平均最高温度、平均最低温度较高时，日照时数和湿度越大，人体的不适感越强烈，溺亡风险增大，称其为温度因子；主成分2中 X_7 、 X_8 、 X_{11} 、 X_{12} 的载荷量较为集中，表明当有降水量变化值大时，平均气温和平均最高气温日变化值大反而会降低溺亡的风险，称为降水变化因子；主成分3中 X_4 、 X_6 、 X_9 的载荷量大于其他指标，表明当降水量大时，相对湿度和最低温度变化值对溺亡事件风险的影响较大，称为降水因子；主成分4中 X_7 、 X_9 、 X_{10} 、 X_{12} 的因子载荷量较大，表明当平均温度和最低平均温度变化值较大时，相对湿度和降水变化值对溺亡风险影响较大，称为温度变化因子。可以明显看出，对溺亡事件风险影响较大的是温度和降水因子。

根据主成分因子得分系数，构造出4个主成分因

子(F_1 、 F_2 、 F_3 、 F_4)关于溺亡风险预警指标的线性组合，如下所示：

$$\begin{aligned}
 F_1 &= 0.415X_1 + 0.420X_2 + 0.394X_3 - 0.136X_4 \\
 &\quad + 0.385X_5 - 0.117X_6 + 0.214X_7 + 0.27X_8 \\
 &\quad + 0.174X_9 - 0.268X_{10} + 0.261X_{11} - 0.216X_{12} \\
 F_2 &= 0.288X_1 + 0.297X_2 + 0.273X_3 - 0.138X_4 \\
 &\quad + 0.254X_5 - 0.028X_6 - 0.349X_7 - 0.446X_8 \\
 &\quad - 0.249X_9 + 0.237X_{10} - 0.353X_{11} + 0.326X_{12} \\
 F_3 &= 0.177X_1 + 0.107X_2 + 0.251X_3 + 0.508X_4 \\
 &\quad - 0.275X_5 + 0.531X_6 - 0.184X_7 - 0.066X_8 \\
 &\quad - 0.352X_9 - 0.073X_{10} + 0.224X_{11} - 0.248X_{12} \\
 F_4 &= 0.142X_1 + 0.109X_2 + 0.173X_3 + 0.260X_4 \\
 &\quad - 0.184X_5 + 0.28X_6 + 0.445X_7 + 0.081X_8 \\
 &\quad + 0.477X_9 + 0.427X_{10} - 0.220X_{11} + 0.310X_{12}
 \end{aligned}$$

2.3 溺亡事件预警模型

利用每个主成分乘以主成分对应的方差贡献率，建立溺亡事件气象因子综合评价模型，该综合模型方程如式3所示：

$$Y = 0.32F_1 + 0.25F_2 + 0.15F_3 + 0.10F_4, \quad (3)$$

可以求出溺亡事件气象因子的综合评价值 Y ，根据综合得分判断气象因子对溺亡事件发生的影响的危险程度， Y 值越小代表发生溺亡事件的风险越低，越大则代表发生溺亡事件的风险越高。对105例研究样本进行了评价值计算，样本数相对于综合评价值的分布如图1所示，从图上可以看出，案例数集中分布于 Y 值在18~26区间范围（占总样本比74.28%），当 $Y \leq 22$ 时溺亡样本数随着综合评价值的上升呈明显上升趋势。

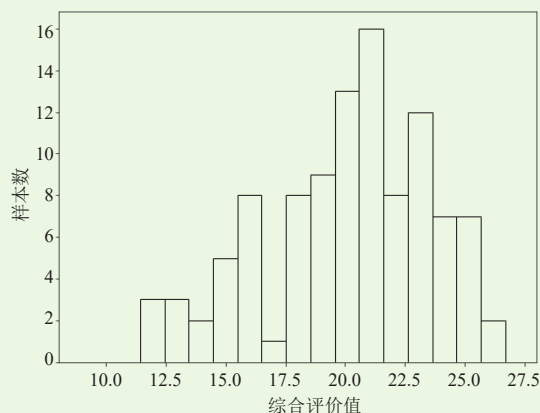


图1 研究样本数在综合评价上的分布

Fig.1 Distribution of sample size on the composite valuation

以覆盖率100%、75%、25%为断点，结合事件当日实际气象条件，将风险预警等级划分为4个等级，如表3所示。

表3 溺亡事件气象风险预警等级划分

Table 3 Classification and description of early warning levels

预警等级	危险程度	评价范围	描述
I	高风险	$Y \geq 22.80$	持续闷热，青少年普遍极度不适，下水欲望强烈，发生溺亡事件概率极大
II	中等风险	$18.37 \leq Y < 22.80$	气温偏高，多日环境条件令大部分青少年感到闷热不适，发生溺亡事件概率较大
III	低风险	$11.42 \leq Y < 18.37$	气温适宜，少部分青少年感到闷热不适，发生溺亡事件概率较小
无预警	无风险	$Y < 11.42$	气温较低，难以产生下水欲望，基本不会发生溺亡事件

2.4 特定地点溺亡风险综合评价获取

通过气象数据统一服务接口，得到覆盖重庆市范围的气象区域（自动）站共计132个，基于上述评价模型容易得到全部气象站点的溺亡风险综合评价。但是，针对某地点进行溺亡风险预警需通过插值方法得到该地的 Y 值。反距离权重插值法具有计算方便而且符合地理学第一定律的优点，在地理及气象分析中广泛得到应用，其假设彼此距离较近的事物要比彼此距离较远的事物更相似^[13]。两点（待插值点与采样点）之间距离越小，则表示两点之间越相似，插值权重越大，反之亦然。

如邻域内 n 个站点坐标为 $(x_i, y_i), i=1, 2, 3, \dots, n$ ，各站点到插值点 $P(x_p, y_p)$ 的距离 D_i 为：

$$D_i = \sqrt{(x_p - x_i)^2 + (y_p - y_i)^2}, \quad (4)$$

则 P 点的综合评价插值 Y_p 为：

$$Y_p = \sum_{i=1}^n \left(\frac{Y_i}{D_i^r} \right) / \sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{D_i^r} \right), \quad (5)$$

式中： Y_i 为站点 (x_i, y_i) 的综合评价； r 为权函数系数，实际插值中 r 为2，一般能得到较好结果^[14]，本文在应用中将 r 值取2。

2.5 实例验证

综合上述预警方法，通过编程实现了“溺亡风险指数计算工具”，该工具能够自动获取所需气象要素，输出选择日期的溺亡风险评价插值栅格。使用该工具对作为验证样本的30例青少年溺亡事件进行了实例验证，由于研究区内同日气候条件较为近似，单凭预警等级难以体现预警效果差异，因此本文所用验证方式是对事件当日研究区插值栅格结果进行统计，将统计结果中位数与事发地点的评价值进行比较，如果事发地点的评价值大于中位数，表示该地点当日综合评价大于重庆市50%以上的区域，认为该地点位于重点关注区域内，记为一次有效预警。

从验证的结果来看，预警等级 I 级10次，II 级12

次（无效1次），III级8次（无效3次），总体有效预警占比86.7%，其中 I、II 级预警有效性为95.5%，无效预警大多属于III级预警，这可能是在低风险预警情况下，其他一些因素对溺亡事件的影响更大。

3 结论及讨论

1) 溺亡事件发生前10日的平均气温、日最高温度、日最低温度、日照时数等12个气象因子与溺亡事件发生当日温度的相关关系最显著，因此选定溺亡事件发生前10日的气象要素作为预警指标。

2) 根据主成分分析的结果，建立溺亡事件风险预警模型及预警分级机制，通过插值法实现任意地点溺亡风险预警评价获取。从模型验证的结果来看，总体有效预警占比86.7%，其中 I、II 级预警有效性为95.5%，证明使用该方法进行重庆地区青少年溺亡风险预警具有可行性。

3) 溺亡气象风险预警模型也存在一定的不足。首先，溺亡事件地点的气象资料只采用了区域站气象资料，使得样本数量相对较少，没有分季节、地域建立模型其次，某个地点溺亡风险与该地点附近是否存在自然开放水域及两者间的关联程度，即不同地区的溺亡风险需在以后的应用中根据水域分布情况进一步细化。

参考文献

- [1] World Health Organization. Global Report on Drowning: Preventing a Leading Killer. Geneva: WHO, 2014.
- [2] Leavy JE, Crawford G, Leaversuch F, et al. A review of drowning prevention interventions for children and young people in high, low and middle income countries. *Journal of Community Health*, 2016, 41(2): 424-441.
- [3] 陈亦晨, 李小攀, 陈涵一, 等. 2002—2015年上海市浦东新区居民溺水死亡流行特征及趋势分析. *中国卫生统计*, 2017, 34(4): 595-597.
- [4] 刘文青. 湖南农村中小学生溺水事故探因与干预. *当代教育理论与实践*, 2016, 8(1): 27-30.
- [5] 殷洁森. 江苏中小生意外溺亡的调查分析与预防对策. *教育教学论坛*, 2014, 51: 68-69.
- [6] 陆蓓蓓, 朱银潮, 谷少华, 等. 日均气温对居民溺水死亡的影响分析. *预防医学*, 2018, 30(10): 1028-1030, 1036.
- [7] Chauvin M, Kosatsky T, Bilodeau-Bertrand M, et al. Hot weather and risk of drowning in children: opportunity for prevention. *Preventive Medicine*, 20: 130.
- [8] 唐云辉, 高阳华. 重庆高温分类与指标及其发生规律研究. *西南农业大学学报*, 2003, 5(1): 88-91.
- [9] 周雅琴, 韩志刚. 近64年重庆地区夏季高温分析. *安徽农业科学*, 2017, 45(33): 189-191.
- [10] 柏秦凤, 霍治国, 贺楠, 等. 中国20座旅游城市人体舒适度指数分析. *生态学杂志*, 2009, (8): 1607-1612.
- [11] 郑有飞, 余永江, 谈建国, 等. 气象参数对人体舒适度的影响研究. *气象科技*, 2007, 35(6): 827-831.
- [12] 谈建国. 衡量上海夏季暑热程度的相对舒适度指数研究. *南京气象学院学报*, 2005, (2): 213-218.
- [13] 段平, 盛业华, 李佳, 等. 自适应的IDW插值方法及其在气温场中的应用. *地理研究*, 2014, 33(8): 1417-1426.
- [14] 余小东, 武莹, 何腊梅. 反距离加权网格化插值算法的改进及比较. *工程地球物理学报*, 2013, 10(6): 900-904.