

西安世园会开、闭幕式期间灾害性天气风险分析^{*}

雷向杰, 方建刚, 毛明策, 姜创业, 王 越

(陕西省气候中心, 陕西 西安 710015)

摘 要: 为了给有关部门应对可能出现的灾害性天气提供科学依据, 利用西安气象站 1951–2010 年各种气象要素逐日观测资料, 应用极值统计、单日概率计算和易损性分析等方法, 分析了西安世界园艺博览会开、闭幕式期间出现各种灾害性天气的可能性, 以及可能带来的风险及影响。结果表明: 开幕式期间, 尤其是 2011 年 4 月 28 日开幕式当日, 西安出现暴雨的可能性小, 出现干旱、沙尘天气可能性大, 出现连续降水天气可能性较大, 出现其它灾害性天气可能性小。闭幕式期间, 尤其是 2011 年 10 月 22 日闭幕式当日, 西安出现暴雨的可能性小, 出现连续降水可能性大, 出现沙尘、强降温、霜冻可能性较小, 出现其它灾害性天气可能性小, 但闭幕式前出现初霜可能性大。连续降水天气可能对参加开、闭幕式游客数量和经济收入产生明显影响。

关键词: 西安世界园艺博览会; 开、闭幕式; 灾害性天气; 出现概率; 风险分析

中图分类号: P429 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000–811X(2011)04–0040–07

0 引言

2011 年西安世界园艺博览会(简称西安世园会)属 A2 + B1 级别的国际性园艺博览会, 2011 年 4 月 28 日至 10 月 22 日在西安浐灞生态区举行。园区占地 418 hm², 其中水域面积 188 hm², 会期 178 d, 将有 100 多个国内外城市和机构参展, 预计参观人数 1 200 万人次^[1]。为了给有关部门应对可能出现的灾害性天气提供科学依据, 拟定相应的活动方案和应急预案, 采取有效措施, 确保开、闭幕式庆典活动顺利举行, 本文分析西安世园会开、闭幕式期间出现各种灾害性天气的可能性和可能产生的风险及影响, 为西安世园会保障工作提供参考。

已有研究成果表明, 虽然西安雷暴日数较少, 但由于西安人口密度大, 生产总值高, 雷电灾害频度、经济损失模数、生命易损数均为极高等级。西安雷电灾害综合易损度为极高易损区^[2]。西安冬小麦种植面积相对较小, 灌溉条件好, 冬小麦干旱风险为轻度风险区^[3]。对于大风、连阴雨、霜冻等气象灾害而言, 包括水文干旱、经济社会干旱等, 西安的易损性分析类似于雷电, 即由于人口密度大, 生产总值高, 经济损失模数、生命易损数均为极高等级。世园会开、闭幕式期间,

园区人口密度更大。所以, 本文气象灾害风险分析是在认为西安经济损失模数、生命易损数均为极高等级的前提下, 重点对灾害性天气出现次数和出现概率(有些文献称频度)进行分析。

1 资料与说明

西安市气象站逐日观测资料(气温、降水、日照、雷暴、大风等)为 1951–2010 年的资料, 仅沙尘暴、扬沙、浮尘资料为 1954–2010 年观测资料。西安灾害性天气出现可能性等级划分标准见表 1。

表 1 西安灾害性天气出现可能性等级划分标准

| 等级 | 大 | 较大 | 较小 | 小 |
|--------|-------|------------------|-----------------|------|
| 出现概率/% | ≥15.0 | ≥10.0 且 <15.0 | ≥5.0 且 <10.0 | <5.0 |

2 灾害性天气定义

2.1 暴雨

按照 24 h 降水总量进行分级, 微量降水: <0.1 mm; 小雨: 0.1 ~ 9.9 mm; 中雨: 10.0 ~ 24.9 mm; 大雨: 25.0 ~ 49.9 mm; 暴雨: 50.0 ~ 99.9 mm; 大暴雨: 100.0 ~ 199.9 mm; 特大暴雨: ≥200 mm。

^{*} 收稿日期: 2011–02–20

基金项目: 国家公益性行业(气象)科研专项“西安世园会高影响天气预报预警技术研究(GYHY201006032)”; 陕西省气象局 2010 年气象科技创新基金项目(2010M–19)

作者简介: 雷向杰(1965–), 男, 陕西西安人, 硕士, 高级工程师, 主要从事气候分析与预测研究。E-mail: lei_xiang_jie@sina.com

2.2 连续降水

连阴雨是指连续阴雨达 4~5 d 或以上的天气。有降水的天气会对开、闭幕式效果和游客数量产生明显影响。本文连续降水只统计开、闭幕式期间连续 3 d 有降水的连续降水天气过程。

2.3 沙尘

沙尘天气分为浮尘、扬沙、沙尘暴、强沙尘暴四类。浮尘: 尘土、细沙均匀地浮游在空中, 使水平能见度 < 10.0 km 的天气现象。扬沙: 风将地面尘沙吹起, 使空气相当混浊, 水平能见度在 1~10 km 的天气现象。沙尘暴: 强风将地面大量尘沙吹起, 使空气很混浊, 水平能见度 < 1 km 的天气现象。强沙尘暴: 大风将地面尘沙吹起, 使空气非常混浊, 水平能见度 < 0.5 km 的天气现象^[4]。

2.4 雷暴

为积雨云云中、云间或云地之间产生的放电现象。表现为闪电并有雷声, 有时亦可只闻雷声不见闪电。

2.5 大风

瞬时风速达到或超过 17.0 m/s (或目测估计风力达到或超过 8 级) 的风^[5]。

2.6 高温

最高气温超过 35℃ 的天气; 如果连续几天最高气温都超过 35℃ 时, 即可称作高温热浪天气。

2.7 干旱

干旱可分为气象干旱、农业干旱、水文干旱以及经济社会干旱等。气象干旱是其它专业性干旱研究和业务的基础。气象干旱是指某时段由于蒸发量和降水量的收支不平衡, 水分支出大于水分收入而造成的水分短缺现象^[6]。考虑冬春气象干旱对西安世园会开幕式和前期准备工作可能带来的影响, 世园会开幕式干旱判别标准要同时满足以下两个条件。一是 4 月 28 日之前没有出现过

透雨, 即降水量 ≥ 20 mm 的降水过程。二是下面三种情况至少出现一种: ① 4 月降水距平百分率 (使用 1951~2010 年平均值, 下同) $\leq -80\%$; ② 3~4 月降水距平百分率 $\leq -50\%$; ③ 前一年 12 月~4 月降水距平百分率 $\leq -20\%$ 。

2.8 强降温

24 h 日平均气温下降 6℃ 以上, 或 48 h 日平均气温下降 8℃ 以上。

2.9 霜

水汽在地面及近地面物体上凝华而成的白色松脆的冰晶; 或由露冻结成的冰珠。易在晴朗风小的夜间形成。每年秋季第一次出现的霜叫初霜, 翌年春季最后一次出现的霜叫终霜。

3 开幕式期间灾害性天气风险分析

2011 年西安世园会开幕式期间 (4 月 27~29 日, 下同), 历史同期极端最高气温 35.6℃, 极端最低气温 2.7℃。其中 4 月 28 日, 即开幕式当日西安多年平均气温 17.2℃, 平均降水量 1.2 mm, 平均相对湿度 68% (表 2)。

3.1 开幕式期间出现暴雨可能性小

陕西突发性暴雨 7、8 月居多^[7]。根据西安气象站 1951~2010 年 60 年资料分析, 西安世园会开幕式期间, 暴雨出现概率为 0, 连续 2 d 或者 3 d 出现大雨的概率为 0。4 月 28 日开幕式当日, 大雨出现概率 1.7%, 中雨出现概率 3.3%, 最大单日降水量 25.8 mm, 出现在 1976 年 (表 2)。1951~2010 年, 西安 4 月 28 日之前出现暴雨的年份只有一个, 1958 年 4 月 23 日, 日降水量 54.8 mm。所以, 开幕式当日西安暴雨出现可能性小, 因强降水引发洪涝导致世园会开幕式不能如期举行的风险小。

表 2 世园会开幕式期间西安部分气象要素 1951~2010 年平均值和灾害性天气出现概率

| 日期 | 平均气温/℃ | 极端最高气温/℃ | 极端最低气温/℃ | 降水量/mm | 相对湿度/% | 日照时数/h |
|----|-----------|----------|----------|--------|--------|--------|
| 27 | 16.6 | 33.2 | 2.7 | 1.4 | 68 | 6.6 |
| 28 | 17.2 | 34.3 | 5.5 | 1.2 | 68 | 6.1 |
| 29 | 17.7 | 35.6 | 3.4 | 1.1 | 68 | 6.3 |
| 日期 | 最大日降水量/mm | 出现年份 | 暴雨次数/次 | 暴雨概率/% | 大雨次数/次 | 大雨概率/% |
| 27 | 17.9 | 1982 年 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 28 | 25.8 | 1976 年 | 0 | 0 | 1 | 1.7 |
| 29 | 16.2 | 1973 年 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 日期 | 中雨次数/次 | 中雨概率/% | 小雨次数/次 | 小雨概率/% | 微量次数/次 | 微量概率/% |
| 27 | 3 | 5.0 | 14 | 23.3 | 4 | 6.7 |
| 28 | 2 | 3.3 | 13 | 21.7 | 6 | 10.0 |
| 29 | 2 | 3.3 | 12 | 20.0 | 8 | 13.3 |

续表 2

| 日期 | 降水次数/次 | 降水概率/% | 沙尘暴次数/次 | 沙尘暴概率/% | 扬沙次数/次 | 扬沙概率/% |
|-------|----------|----------|----------|----------|--------|--------|
| 27 | 21 | 35.0 | 1 | 1.8 | 2 | 3.5 |
| 28 | 22 | 36.7 | 0 | 0 | 5 | 8.8 |
| 29 | 22 | 36.7 | 0 | 0 | 3 | 5.3 |
| 日期 | 浮尘次数/次 | 浮尘概率/% | 沙尘次数/次 | 沙尘概率/% | 大风次数/次 | 大风概率/% |
| 27 | 4 | 7.0 | 7 | 12.3 | 1 | 1.7 |
| 28 | 4 | 7.0 | 9 | 15.8 | 0 | 0 |
| 29 | 7 | 12.3 | 10 | 17.6 | 0 | 0 |
| 日期 | 雷暴次数/次 | 雷暴概率/% | 高温次数/次 | 高温概率/% | | |
| 27 | 2 | 3.3 | 0 | 0 | | |
| 28 | 2 | 3.3 | 0 | 0 | | |
| 29 | 3 | 5.0 | 1 | 1.7 | | |
| 日期 | 连续降水次数/次 | 连续降水概率/% | 连续大风次数/次 | 连续大风概率/% | 干旱次数/次 | 干旱概率/% |
| 27-29 | 7 | 11.7 | 0 | 0 | 12 | 20.0 |

3.2 开幕式期间出现连续降水天气可能性较大

1951-2010 年, 4 月 27-29 日连续 3 d 降水的天气共出现 7 次, 出现概率 11.7% (表 3)。1951

-2010 年没有出现过 4 月 27-29 日有 2 d 为中雨或者大雨的情况。

表 3 西安 1951-2010 年 4 月 27-29 日均有降水的连续降水过程

| 起始日期 | 持续天数/d | 过程降水量/mm | 4 月 27-29 日降水量/mm |
|--------------------------|--------|----------|-------------------|
| 1953 年 4 月 27 日-5 月 3 日 | 7 | 37.5 | 12.4 |
| 1964 年 4 月 27 日-4 月 30 日 | 4 | 7.2 | 6.1 |
| 1976 年 4 月 27 日-4 月 29 日 | 3 | 36.9 | 36.9 |
| 1977 年 4 月 22 日-5 月 1 日 | 10 | 22.1 | 0.7 |
| 1986 年 4 月 24 日-4 月 30 日 | 7 | 22.4 | 0.5 |
| 1989 年 4 月 27 日-4 月 30 日 | 4 | 28.7 | 28.7 |
| 1990 年 4 月 27 日-5 月 3 日 | 7 | 32.5 | 8.2 |

干旱年份, 西安 4 月下旬出现的连续降水天气往往能缓解或解除旱象。2011 年西安世园会参展植物种类多, 连续降水天气会使土壤和空气潮湿, 日照不足, 可能使部分喜光植物生长发育受到影响。

连续降水天气对世园会开幕式庆典活动和城市交通带来不利影响, 会导致开幕式当日游客数量低于预期人数, 影响旅游收入和开幕式效果。这一点可以从时间上与西安世园会开幕式非常接

近的 2000-2010 年“五一”黄金周西安接待国内游客数量和旅游收入一览表中看出来。2000-2010 年“五一”黄金周西安出现 3 d 或者 3 d 以上连续降水的有 2002 和 2004 年, 2002 年国内游客人数和旅游收入与上一年相比是减少的, 2004 年因为 2003 年“非典”无法比较, 其它年份(2008 年假期改为 3 d 除外)国内游客人数和旅游收入较上年都是增加的(表 4)。

表 4 2000-2010 年“五一”黄金周西安逐日降水量和接待游客人数及旅游收入

| 年份 | 游客人数/万人 | 过夜游客/万人 | 一日游游客/万人 | 旅游收入/亿元 | 逐日降水量/mm | | | | | | | 降水日数/d | 降水量/mm |
|------|---------|---------|----------|---------|----------|------|-----|-----|------|------|-----|--------|--------|
| | | | | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | | |
| 2000 | 94 | 46 | 48 | 5.3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 微量 | 0 | 0.2 | 2 | 0.2 |
| 2001 | 107 | 48 | 59 | 6.16 | 0 | 微量 | 微量 | 0 | 0 | 0 | 0.6 | 3 | 0.6 |
| 2002 | 99 | 48 | 51 | 5.58 | 10.8 | 微量 | 0 | 0.4 | 19.8 | 5.8 | 0 | 5 | 36.8 |
| 2003 | 非典 | 非典 | 非典 | 非典 | 0 | 0 | 0 | 0 | 微量 | 22.8 | 0 | 2 | 22.8 |
| 2004 | 132 | 53 | 79 | 6.9 | 微量 | 16.5 | 5.7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 22.2 |
| 2005 | 177.5 | 59.5 | 118 | 8.39 | 微量 | 0 | 0 | 0 | 1.8 | 0 | 0 | 2 | 1.8 |
| 2006 | 201.7 | 66 | 135.7 | 9.55 | 0 | 0 | 0 | 9.0 | 0.5 | 0 | 0 | 2 | 9.5 |
| 2007 | 257 | 74 | 183 | 11.55 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 2008 | 96 | 22 | 74 | 3.19 | 0 | 0 | 4.6 | | | | | 1 | 4.6 |
| 2009 | 133.26 | 25.96 | 107.3 | 4.05 | 0 | 0 | 0 | | | | | 0 | 0 |
| 2010 | 169.6 | 30.1 | 139.5 | 4.98 | 0 | 0 | 0 | | | | | 0 | 0 |

说明: 2008 年起假期改为 3 d。

3.3 开幕式期间出现干旱可能性大

西安 1951—2010 年月平均降水量, 12 月 6.3 mm, 1 月 7.3 mm, 2 月 10.6 mm, 3 月 25.6 mm, 4 月 44.6 mm。冬季气候干燥, 春季气温回升快, 蒸发量大, 植物需水量迅速增加, 容易形成冬春连旱。春季第一场 ≥ 20 mm 的降水过程被称为春季第一场透雨, 它的出现早晚很大程度上决定了冬春干旱得到缓解或者解除的时间。春季第一场透雨出现晚的年份, 常常会出现较为严重的春旱或者春夏连旱。过去 60 年, 到 4 月 28 日西安仍没有出现透雨, 且 4 月降水距平百分率 $\leq -80\%$, 3—4 月降水距平百分率 $\leq -50\%$, 前一年 12 月—4 月降水距平百分率 $\leq -20\%$ 至少出现一种情况的干旱年份共 12 个, 出现概率 20%。所以, 西安世园会开幕式期间出现干旱可能性大。世园会参展植物种类繁多, 这就对园区灌溉设施的布设提出了较高要求。

干旱除危害园区植物正常生长外, 还会促使生态环境恶化, 易导致沙尘天气增多, 人体免疫力下降; 干旱使灌溉投入加大, 世园会运营成本增加。

3.4 开幕式期间出现沙尘天气可能性大

1951—2010 年, 开幕式期间西安出现沙尘暴 1 次, 扬沙 9 次, 浮尘 17 次。4 月 27—29 日沙尘天气单日出现概率 12.3%~16.7%。4 月 28 日出现沙尘天气 9 次, 单日出现概率 15.8%, 其中扬沙 5 次, 出现概率 8.8%, 浮尘 4 次, 出现概率 7.0% (表 2)。

1983 年 4 月 27—28 日强沙尘暴曾造成陕西榆林定边县 6 人死亡、10 人失踪的重大损失^[8]。西安不会出现这样的特强沙尘暴, 但出现沙尘天气的可能性大。1971—2003 年西安春季 5 次重度污染事件都是由于西安上游出现较强的沙尘暴, 使西安出现扬沙、浮尘天气, PM10 急剧增加达到重

度污染^[9-10]。

3.5 开幕式期间出现雷暴天气可能性小

开幕式期间出现雷暴天气可能性小。4 月 28 日西安仅 1959 年和 1966 年出现过雷暴天气, 出现概率 3.3%。1951—2010 年, 4 月 27 日出现雷暴 3 次, 29 日出现雷暴 4 次。

3.6 开幕式期间出现大风天气可能性小

4 月 27—29 日, 西安仅 1965 年 4 月 27 日出现过大风天气。

3.7 开幕式期间出现高温天气可能性小

4 月 27—29 日西安仅 2006 年 4 月 29 日出现过日最高气温大于 35℃ 的高温天气。

总之, 开幕式期间(或 4 月 28 日), 西安出现可能性大的灾害性天气有干旱、沙尘, 出现可能性较大的灾害性天气有连续降水, 出现可能性小的灾害性天气有雷暴、高温、大风等(图 1)。1951—2010 年, 西安终霜最晚出现日期为 1976 年的 4 月 24 日, 终霜都出现在开幕式之前。

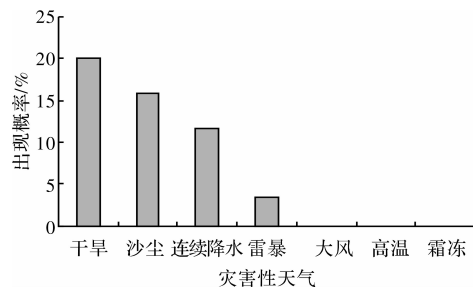


图 1 开幕式期间(或 4 月 28 日)西安灾害性天气出现概率

4 闭幕式期间灾害性天气风险分析

2011 年西安世园会闭幕式期间(10 月 21—23 日, 下同), 历史同期极端最高气温为 29.0℃, 极端最低气温为 -0.1℃。其中 10 月 22 日西安多年平均气温 12.9℃, 平均降水量 1.5 mm, 平均相对湿度 76% (表 5)。

表 5 世园会闭幕式期间西安部分气象要素 1951—2010 年平均值和灾害性天气出现概率

| 日期 | 平均气温/℃ | 极端最高气温/℃ | 极端最低气温/℃ | 降水量/mm | 相对湿度/% | 日照时数/h |
|----|-----------|----------|----------|--------|--------|--------|
| 21 | 13.2 | 29.0 | 2.1 | 1.8 | 77 | 3.8 |
| 22 | 12.9 | 26.9 | -0.1 | 1.5 | 76 | 4.1 |
| 23 | 12.6 | 26.4 | 0.0 | 1.2 | 76 | 4.3 |
| 日期 | 最大日降水量/mm | 出现年份 | 暴雨次数/次 | 暴雨概率/% | 大雨次数/次 | 大雨概率/% |
| 21 | 16.8 | 1958 年 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 22 | 18.4 | 2008 年 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 23 | 18.5 | 1996 年 | 0 | 0 | 0 | 0 |

续表 5

| 日期 | 中雨次数/次 | 中雨概率/% | 小雨次数/次 | 小雨概率/% | 微量次数/次 | 微量概率/% |
|-------|----------|----------|----------|----------|--------|--------|
| 21 | 4 | 6.7 | 18 | 30.0 | 2 | 3.3 |
| 22 | 2 | 3.3 | 17 | 28.3 | 6 | 10.0 |
| 23 | 2 | 3.3 | 11 | 18.3 | 12 | 20.0 |
| 日期 | 降水次数/次 | 降水概率/% | 沙尘暴次数/次 | 沙尘暴概率/% | 扬沙次数/次 | 扬沙概率/% |
| 21 | 24 | 40.0 | 0 | 0 | 1 | 1.8 |
| 22 | 25 | 41.7 | 0 | 0 | 1 | 1.8 |
| 23 | 25 | 41.7 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 日期 | 浮尘次数/次 | 浮尘概率/% | 沙尘次数/次 | 沙尘概率/% | 大风次数/次 | 大风概率/% |
| 21 | 2 | 3.5 | 3 | 5.3 | 0 | 0 |
| 22 | 2 | 3.5 | 3 | 5.3 | 1 | 1.7 |
| 23 | 2 | 3.5 | 2 | 3.5 | 0 | 0 |
| 日期 | 雷暴次数/次 | 雷暴概率/% | 高温次数/次 | 高温概率/% | | |
| 21 | 1 | 1.7 | 0 | 0 | | |
| 22 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| 23 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| 日期 | 连续降水次数/次 | 连续降水概率/% | 连续大风次数/次 | 连续大风概率/% | | |
| 27-29 | 9 | 15.0 | 0 | 0 | | |

表 6 西安 1951-2010 年 10 月 21-23 日均有降水的连续降水天气过程

| 起始日期 | 持续天数/d | 过程降水量/mm | 10 月 21-23 日降水量/mm |
|----------------------------|--------|----------|--------------------|
| 1952 年 10 月 18 日-10 月 23 日 | 6 | 13.9 | 5.6 |
| 1971 年 10 月 18 日-10 月 25 日 | 8 | 43.5 | 2.0 |
| 1975 年 10 月 20 日-10 月 28 日 | 9 | 23.8 | 9.1 |
| 1978 年 10 月 18 日-10 月 23 日 | 6 | 16.9 | 13.0 |
| 1983 年 10 月 21 日-10 月 25 日 | 5 | 20.2 | 2.3 |
| 1988 年 10 月 19 日-10 月 23 日 | 5 | 12.6 | 1.7 |
| 1990 年 10 月 21 日-10 月 24 日 | 4 | 10.5 | 7.1 |
| 1995 年 10 月 18 日-10 月 23 日 | 6 | 32.6 | 28.4 |
| 2000 年 10 月 19 日-10 月 25 日 | 7 | 25.9 | 7.1 |

4.1 闭幕式期间出现暴雨可能性小

根据西安气象站 1951-2010 年资料分析,西安世园会闭幕式期间,暴雨和大雨出现的概率都

为 0; 10 月 22 日闭幕式当日,中雨出现概率为 3.3%,小雨出现概率 28.3%,最大单日降水量 18.4 mm,出现在 2008 年(表 5)。1951-2010 年,西安最晚暴雨出现日期为 2003 年 9 月 19 日,日降水量 66.3 mm。10 月 22 日西安暴雨出现可能性小,引发洪涝致使世园会闭幕式不能如期举行的风险小。

4.2 闭幕式期间出现连续降水天气可能性大

10 月 21-23 日西安世园会闭幕式期间,1951~2010 年出现连续降水天气共 9 次,出现概率 15.0%(表 6)。

连续降水天气对闭幕式当日游客数量和旅游收入的影响之大可以从与西安世园会闭幕式时间比较接近的 2000-2010 年“十一”黄金周西安逐日降水量和国内游客人数、旅游总收的对比中看出来(表 7)。2000-2010 年“十一”黄金周西安国内游客人数与上一年相比只有 3 个年份是减少的,这 3 年正是出现 3 d 或者 3 d 以上连续降水的 2001、2003、2005 年;2001、2005 年旅游总收入较上年减少,2003 年连续 5 d 降水,西安国内游客人数较上年减少、旅游总收入却较上年增加,主要原因是连续 5 d 降水使过夜人数比例高于其它年份。

表 7 2000-2010 年“十一”黄金周西安逐日降水量和国内游客人数及旅游总收入

| 年份 | 游客人数/万人 | 过夜游客/万人 | 一日游游客/万人 | 旅游收入/亿元 | 逐日降水量/mm | | | | | | | 降水日数/d | 降水量/mm |
|------|---------|---------|----------|---------|----------|-----|-----|----|-----|-----|----|--------|--------|
| | | | | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | | |
| 2000 | 83 | 38.5 | 44.5 | 4.84 | 1.2 | 0 | 0 | 微量 | 0 | 0 | 0 | 2 | 1.2 |
| 2001 | 81 | 36.9 | 44.1 | 4.76 | 0.9 | 2.4 | 0.2 | 0 | 0.1 | 0.1 | 微量 | 6 | 3.7 |

续表 7

| 年份 | 游客人数/万人 | 过夜游客/万人 | 一日游游客/万人 | 旅游收入/亿元 | 逐日降水量/mm | | | | | | | 降水日数/d | 降水量/mm |
|------|---------|---------|----------|---------|----------|------|-----|------|-----|------|------|--------|--------|
| | | | | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | | |
| 2002 | 97 | 43 | 54 | 5.74 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 2003 | 81 | 41 | 40 | 8.45 | 21.2 | 13.0 | 9.6 | 10.3 | 0.5 | 0 | 0 | 5 | 54.6 |
| 2004 | 112 | 45 | 67 | 5.28 | 0 | 0 | 0 | 0 | 微量 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| 2005 | 96.95 | 45.95 | 51 | 6.16 | 42.9 | 32.1 | 0.1 | 0 | 0 | 10.4 | 0 | 4 | 85.5 |
| 2006 | 144.21 | 49.21 | 95 | 7.39 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 2007 | 168.23 | 57.08 | 111.15 | 8.71 | 0.8 | 0 | 微量 | 0 | 0 | 7.6 | 0.4 | 4 | 8.8 |
| 2008 | 202 | 73 | 129 | 10.7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 33.4 | 1 | 33.4 |
| 2009 | 227.68 | 66.43 | 161.25 | 10.39 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4.7 | 1.7 | 2 | 6.4 |
| 2010 | 320.39 | 91.42 | 228.97 | 15.06 | 1.3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1.3 |

4.3 闭幕式期间出现沙尘天气可能性较小

1950 – 2010 年，10 月 21 – 23 日西安没有出现沙尘暴，出现扬沙 2 次，浮尘 6 次。10 月 21 – 23 日沙尘天气单日出现概率 5% 左右，明显低于开幕式。闭幕式当日出现沙尘天气 3 次，单日出现概率 5.3%，其中扬沙 1 次，出现概率 1.8%，浮尘 2 次，出现概率 3.5%（见表 5）。

4.4 闭幕式期间出现雷暴天气可能性小

闭幕式期间西安仅 1980 年 10 月 21 日出现过雷暴天气。

4.5 闭幕式期间出现大风天气可能性小

1951 – 2010 年，西安仅 1959 年 10 月 22 日出现过大风天气，出现概率 1.7%。10 月 21 日和 23 日没有出现过大风天气。

4.6 闭幕式期间出现强降温天气可能性较小

1951 – 2010 年，西安 10 月 21 – 23 日出现强降温 3 次，出现概率 5.0%。强降温可能使抗冻能力弱的植物遭受冻害，严重时死亡，给参展商和运营商造成经济损失。气温剧降对很多老年慢性病人非常不利，影响游园人数。

4.7 闭幕式期间出现初霜可能性较小

1951 – 2010 年，10 月 21 – 23 日西安出现初霜 7 次，其中 10 月 22 日 3 次，出现概率 5.0%。西安初霜最早出现日期为 1981 年的 10 月 9 日，10 月 22 日及其以前出现初霜的年份有 10 个，出现概率 16.7%，其它年份出现在 10 月 23 日之后。初霜对植物影响较大，可能使世园会部分参展植物遭受冻害。

闭幕式期间（或 10 月 22 日），西安出现可能性大的灾害性天气是连续降水，出现可能性较小的灾害性天气有沙尘、强降温和霜，出现大风、

雷暴和高温等的可能性小，西安 10 月 22 日及其以前出现霜冻的可能性大（图 2）。

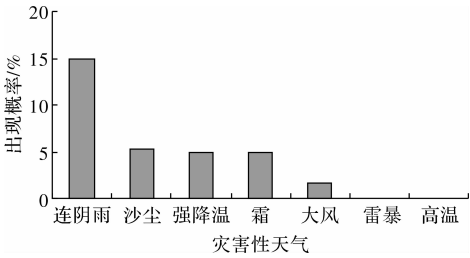


图2 闭幕式期间（或 10 月 22 日）西安灾害性天气出现概率

5 小结与讨论

（1）世园会开、闭幕式期间，正值西安由春到夏和由秋到冬的过渡时期，气温、降水变率大，有可能出现连续降水、沙尘、雷暴、大风、强降温、霜冻、干旱等灾害性天气，影响参展植物和庆典活动的游园人数和经济收入。但开、闭幕式当日，出现暴雨、大风等严重影响庆典活动，导致庆典活动不能如期进行的严重灾害性天气的可能性小。建议相关部门针对不同灾害性天气出现可能性的大小及影响，提前拟定相应的活动方案和应急预案，根据天气预报，采取有效措施，确保开、闭幕式庆典活动取得预期效果。

（2）本文分析使用了位于西安市肖家村的西安气象站近 60 年观测资料，这和位于西安浐灞生态区的世园会园区各种气象要素、灾害性天气出现日数等会有一定的差别。目前，园区已建成气象观测站，请有关部门在开、闭幕式期间注意收听收看气象部门发布的园区气象监测信息和园区天气预报。

（3）连续降水既是灾害性天气，又是高影响天

气,尤其是对旅游人数和旅游总收入的影响很大。对与西安世园会开、闭幕式举办时间比较接近的2000-2010年“五一”和“十一”黄金周西安接待国内游客数量和旅游收入与黄金周期间西安逐日降水情况的对比分析发现:凡是黄金周期间西安连续降水日数小于3 d的年份,西安接待国内游客数量和旅游收入与上一年比较都是增加的;凡是黄金周期间西安连续降水日数为3~4 d的年份,西安接待国内游客数量和旅游收入与上一年比较都是减少的;2003年“十一”黄金周期间,西安1-5日连续5 d降水,西安接待国内游客数量较上一年减少,旅游收入却较上一年增加,过夜游客比例较大是主要原因。

(4)西安暴雨最早出现日期为1958年4月23日,日降水量54.8 mm。所以,西安开幕式期间出现暴雨可能性小,但不是绝对不可能。

致谢:感谢西安市旅游局规划处提供黄金周西安国内游客人数和旅游总收入等资料。

参考文献:

- [1] 2011 西安世园会简介[EB/OL]. (2010-09-14)[2011-02-20]. <http://www.expo2011.cn/2010/0914/1002.html>.
- [2] 李彩莲,赵西社,赵东,等.陕西省雷电灾害易损性分析、评估及易损度区划[J].灾害学,2008,23(4):49-53.
- [3] 朱琳,叶殿秀,陈建文,等.陕西冬小麦干旱风险分析及区划[J].应用气象学报,2002,13(2):201-206.
- [4] 中国气象局.沙尘天气年鉴2005年[M].北京:气象出版社,2007.
- [5] 中国气象局.地面气象观测规范[M].北京:气象出版社,2003:21-24.
- [6] 中国气象局.GB/T20481-2006气象干旱等级[S].北京:中国标准出版社,2006:2.
- [7] 侯建忠,刘瑞芳,王文强,等.青藏高原东北侧突发性暴雨特征综合分析[J].灾害学,2010,25(2):81-86.
- [8] 雷向杰,李亚丽,王小宁,等.陕西强沙尘暴、特强沙尘暴天气气候特征分析[J].中国沙漠,2005,25(1):119.
- [9] 雷向杰,胡春娟,田武文,等.陕西沙尘天气的气候特征及影响分析[J].气象,2003,29(12):38-44.
- [10] 宁海文,王式功,杜继稳,等.西安沙尘天气特征及其对空气质量的影响[J].中国沙漠,2005,25(6):888-890.

Risk Analysis on Weather Disasters during the Opening and Closing Ceremonies of the International Horticultural Exposition in Xi'an

Lei Xiangjie, Fang Jiangang, Jiang Chuangye, Mao Mingce and Wang Yue

(Shaanxi Climate Center, Xi'an 710015)

Abstract: In order to provide scientific basis for related departments to deal with the severe weather that may occur, the possibility of weather disasters, risks and impact on the opening and closing ceremonies of the International Horticultural Exposition in Xi'an are analyzed, by use of daily observations of different meteorological factors of Xi'an weather station in the period of 1951~2010, extreme value statistics, single-day probability calculation and vulnerability analysis. The results show that: during the opening ceremony, especially the opening day on April 28, 2011, the possibility of rainstorm is low in Xi'an, but the possibility of drought and dust weather is high. The possibility of continuous rains is high and possibility of other disaster weathers is low. During the closing ceremony, especially the closing day on October 22, 2011, the possibility of heavy rains in Xi'an is low, but the possibility of continuous rains is high and the possibility of dust, strong cooling and frost is low. Before the closing ceremony, the possibility of the first frost is high, but the possibility of other severe weathers is low. The continuous rains may affect the tourist amount and economic income of the opening and closing ceremonies.

Key words: the International Horticultural Exposition in Xi'an; the opening and closing ceremonies; weather disasters; possibility; risk analysis