

贾文茜,陈正洪,陈英英,等.气候变化背景下城市园林受极端气候影响分析[J].华中农业大学学报,2024,43(2):114-122.  
DOI:10.13300/j.cnki.hnlkxb.2024.02.014

## 气候变化背景下城市园林受极端气候影响分析

贾文茜<sup>1</sup>,陈正洪<sup>1</sup>,陈英英<sup>1</sup>,陈子凡<sup>2</sup>,张雨<sup>3</sup>,鲁静<sup>1</sup>

1.湖北省气象服务中心,武汉430205;2.湖北省十堰市气象局,十堰442011;  
3.华中农业大学园艺林学学院,武汉430070

**摘要** 为探究全球气候变化背景下城市园林遭受极端气候的风险,利用1991—2020年中国国家气象站点逐日观测数据集和2020年中国城市绿地面积数据,基于百分位数方法和GIS空间分析技术,分析了中国主要城市园林受极端气候影响的程度。结果显示,受极端低温影响的高风险区域位于我国北部和高海拔地区;极端高温灾害高风险区域一般发生在城市化进程较快的东部城市;强降水高风险区域与我国降雨带分布基本一致,主要位于华中和华南地区,降水平均值均在30 mm以上;西藏日喀则和那曲市、我国北部及东部沿海地区为大风高风险区域;云贵高原、长江中下游、华北和东北部分区域的城市绿化容易受极端干旱气候影响。未来城市园林设计需要结合当地极端气候特点,改善树种种类和种植结构,提升风景园林等生态系统应对气候变化的适应能力。

**关键词** 城市绿地;极端气候;气候变化;风险等级;地理信息系统(GIS)

**中图分类号** P463.3; TU986 **文献标识码** A **文章编号** 1000-2421(2024)02-0114-09

随着气候变暖,近几年全球极端天气出现频率越来越高。而我国城市化进程高速发展,城区下垫面性质和结构发生改变,人为热排放增加,建筑物表面对太阳长波辐射的吸收量增多,城市化和工业化所导致的城市热岛效应加剧了气候变暖幅度,使得城市区域对气候变化的响应更为显著,高温热浪、短时强降雨等极端天气事件出现的频率和强度远高于乡村。气候是影响植物生长发育的重要决定因素,作为城市生态系统的关键构成部分,城市园林也在不断遭受气象灾害的影响。

研究表明中国热浪频次、热浪累积日数大体呈“南高北低”的空间格局,1990年以来,高温热浪频次、强度和持续时间均呈显著增加<sup>[1]</sup>。全球变暖导致气候更加不稳定,温度的波动幅度也明显增大,城市热岛和高温热浪的协同作用加剧了夏季高温对园林植物的灼伤,而极端寒冷事件如寒潮、暴雪强度也在增加<sup>[2]</sup>,多地气象观测站也在不断刷新最低气温记录。同时,我国大风出现频次在减少,但极端大风和龙卷风等强对流天气明显增多,2021年我国多个城市相继遭受龙卷风灾害。研究表明,中国强降水事

件呈现增多趋势<sup>[3]</sup>,在城市热岛和雨岛效应的共同作用下,城区极端降水事件出现的频率和强度高于周边地区<sup>[4]</sup>,且极端强降水持续时间有短历时性倾向,例如2012年7月21日北京极端暴雨致使部分公园受到不同程度的损坏,据统计,全市绿地受灾面积达1 150 hm<sup>2</sup><sup>[5]</sup>。极端干旱现象近几年也引起了研究者关注,高歌等<sup>[6]</sup>研究指出我国的西南南部、江南南部、华南东部等地干旱呈现增强趋势,而长江以北大部分地区及华南西部则呈减弱趋势。这些城市极端气候对园林植物的生长养护造成了不同程度的影响。

城市树种是从自然种群中引种驯化而来的,不同树种的生长和分布各有适宜的气候地带,每一树种的生长发育都有其适合的温度、湿度和降水需求。气候变化直接影响着植物的光合作用、呼吸作用、蒸腾作用等生理活动。在气候变化的大背景下,城市园林树木将面临更严峻的气象挑战。极端高温和低温都会对植物生理活动和生化反应产生不利影响,长时间的极端气温会严重影响植物器官。植物受高温危害,会出现各种热害病症,如使植物叶片全部或

收稿日期:2023-02-08

基金项目:湖北省自然科学基金创新发展联合基金项目(2022CFD132)

贾文茜,E-mail:1719515481@qq.com

通信作者:陈正洪,E-mail:447183633@qq.com

部分发生萎蔫、脱落、青干和日灼,长时间的高温热浪会直接导致城市绿化植物的组织器官损伤或者干枯死亡;低温对绿地植物的影响主要体现在酶活性、膜系统、细胞失水等,长时间低温会导致细胞代谢紊乱,甚至是细胞死亡。

极端强降水会造成短时间内排水不畅和园林积水,积水时间过长会造成植物根系死亡。风速过大则会对树木造成大枝折断、倒伏,甚至整株拔起等机械损伤。一般来说,夏季干旱发生的概率较大,持续的干旱会造成土壤干旱,进而导致叶片干枯萎蔫甚至整株枯死,或者使得地上部分器官从根系夺水,造成根系死亡。我国地域辽阔,地形复杂,地跨众多气候带,不同的气象要素空间分布不均,因此研究我国不同气候带的城市园林受极端气候事件的影响程度是十分必要的。

本研究利用1991—2020年中国国家气象站记录的日气象数据,运用95%百分位数方法计算不同站点极端气候平均值。选用全国各个城市绿地面积作为衡量区域内绿地受灾风险的指标,将极端气候空

间分布与全国地级市绿地面积进行叠加,分析在全球气候变暖背景下城市绿地受极端天气影响的风险程度,旨在探究近30 a极端气候对风景园林的区域性影响,为未来提高风景园林应对气候变化的能力、减轻气候灾害影响、增强风景园林设计的气候适应性提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 数据来源

气象数据来源于1991—2020年全国2 430个中国国家气象站日最高气温、日最低气温、日平均降水量、2 m平均风速和积雪深度数据,该数据经过了均一化质量控制。园林数据为2020年中国城市统计年鉴中的地级市绿地面积,共有280个城市,部分城市缺失数据(图1B中空白部分),其中北京、上海、广州、深圳一线城市绿地面积在9万 $\text{hm}^2$ 以上。国家气象站点和城市绿地空间分布见图1。从国家基础地理信息系统(<http://www.ngcc.cn/ngcc/>)下载1:100万中国矢量地图作为分析底图。

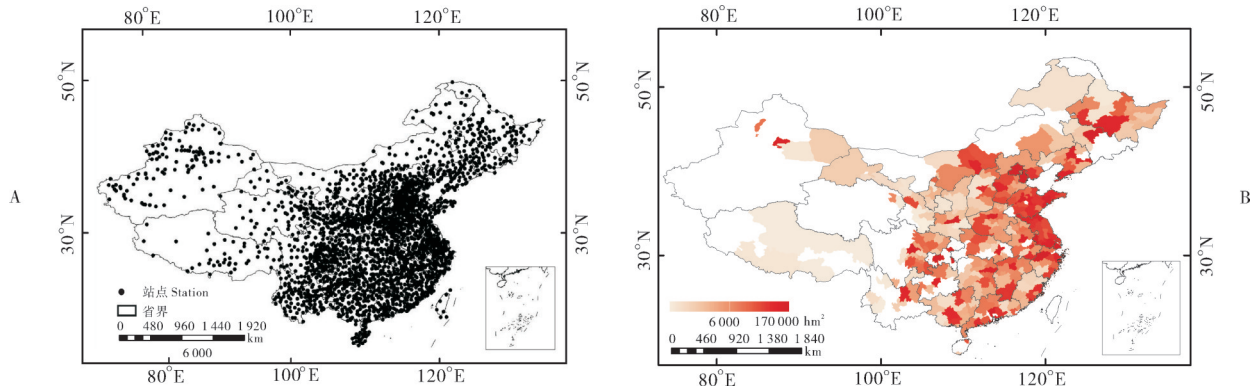


图1 国家站点(A)和城市绿地(B)空间分布

Fig. 1 Spatial distribution of national stations (A) and urban green space (B)

### 1.2 分析方法

1) 极端气候定义。利用3个月时间尺度的国际化标准化降水指数(standardized precipitation index, SPI)量化干旱。SPI指数由于资料获取相对简单、计算成果稳定、适用性较好,被广泛应用于干旱研究中<sup>[7-9]</sup>,SPI干旱等级划分见表1。由于不同地理位置的城市气候背景差异较大,无法采用气象要素某一绝对值来衡量不同城市园林应对气候的承载力。本研究采用百分位数法,即分别对不同气象站点不同气象要素近30 a的日值数据按从小到大进行排序,将逐日序列的第95个百分位数定义为极端阈值,在此基础上统计出近30 a日数据大于极端阈值的极端气候平均值。

表1 标准化降水指数(SPI)干旱等级划分表

Table 1 Classification of drought grades by SPI

等级 Degree	类型 Types	适宜性因子 Suitability factor
1	无旱 Drought free	1.00
2	轻旱 Mild drought	1.00
3	中旱 Moderate drought	0.90
4	重旱 Severe drought	0.95
5	特旱 Extreme drought	0.80

2) 极端气候对城市园林影响分析。首先对各站点极端气象要素和地级市绿地面积进行归一化处理,进一步利用地理信息系统GIS的空间分析模块分别对极端气候和绿地面积做空间插值分析,再将2种空间分布分别赋予权重进行叠加分析得到极端气

候对城市绿地影响的叠加图层。本研究以气候条件为出发点,分析气候变化对城市园林的影响,通过设计调查问卷,聘请园林和气象专家,根据专家打分法分别赋予极端气候0.7和绿地面积0.3的权重进行GIS栅格叠加。利用自然断点法对叠加图层进行等级分级,最后得到城市园林受极端气候影响的潜在危险性分布,可以直观体现出不同地理位置的城市内园林植物受极端气候的影响程度。

不同气候区的园林植物自身特性存在差异,比如北方植物相对南方耐寒耐旱、南方植物更耐涝耐高温,因此,对城市园林受极端气候影响的灾害危险性分布进行了适当调整。结合专家打分法,将近30 a不同气象要素日值高于某一临界值(绝对值)的区域赋予了适宜性因子(表2)。即针对某一极端气象要素和地级市绿地空间分布进行叠加分析得出的叠加图层,将该极端气象要素高于临界值(绝对值)的区域赋予调整因子,在此基础上再进行自然断点法分析。该方法可降低极端气候区域性差异,凸显该地区植物本身的适应能力,结果更具有参考价值。

## 2 结果与分析

本研究对不同极端气候要素的空间分布情况进

表3 不同极端气象要素对城市绿地的潜在危险性等级划分

Table 3 Classification of potential hazard levels of different extreme meteorological element on urban green space

等级 Level	归一化叠加数值 Normalized stacking value						危险性等级 Hazard degree
	极端强降水 Extreme heavy rainfall	极端低温 Extreme low temperature	极端高温 Extreme high temperature	极端大风 Extreme strong wind	极端降雪 Extreme snowfall	极端干旱 Extreme drought	
1	(0.04, 0.26]	(0.25, 0.47]	(0.16, 0.48]	(0.01, 0.25]	(0.01, 0.18]	(0.13, 0.35]	低风险 Low risk
2	(0.26, 0.37]	(0.47, 0.52]	(0.48, 0.61]	(0.25, 0.31]	(0.18, 0.23]	(0.35, 0.39]	中风险 Medium risk
3	(0.37, 0.47]	(0.52, 0.59]	(0.61, 0.67]	(0.31, 0.37]	(0.23, 0.29]	(0.39, 0.43]	较高风险 Higher risk
4	(0.47, 0.83]	(0.59, 0.75]	(0.67, 0.91]	(0.37, 0.61]	(0.29, 0.65]	(0.43, 0.69]	高风险 High risk

### 2.1 极端强降水

近30 a极端降水平均值大体呈现“北低南高”的状态(图2A),华中、华南和华西东部的城市日极端降水平均值在30 mm以上,其中湖北东部至江苏中部一带、广东大部、海南和福建南部降水量在50 mm以上,达到了“暴雨”级别。部分区域达到了70 mm以上。1996、2006、2021年上述地区均发生了严重的暴雨甚至水灾。

极端降水对园林绿化的影响程度与极端降水平均值空间分布基本一致(图2B)。东北地区内潜在较高以上风险区域主要位于绿地较多的辽宁省、吉林市至黑龙江省中部。华北区域高风险区域主要分布

表2 不同气象要素临界值和适宜性因子

Table 2 Critical values and suitability factors of different meteorological element

气象要素 Meteorological element	临界值 Critical value	适宜性因子 Suitability factor
日极端降水量/mm Daily extreme precipitation		1.00
月干旱指数 Monthly drought index (SPI)		1.00
日极端低温/°C Daily extreme low temperature	-20	0.90
日极端高温/°C Daily extreme high temperature	35	0.95
2 m平均风速/(m/s) Average wind speed at 2 m	15	0.80
积雪深度/cm Snow depth	20	0.80

行分析,并利用GIS自然断点法针对归一化处理的不同极端气候对城市绿地影响的叠加图层进行分级,得到不同极端气象要素对城市绿地的潜在危险性等级划分表(表3),将危险性等级划分为4类,分别是低风险、中风险、较高风险和高风险。根据风险等级进一步得到不同极端气象要素对城市绿地的潜在危险性分布。

在城市园林较多的北京市。华中和华南大部区域风险程度均在“较高”级别以上,丰富的东亚季风降水以及较高的城市园林覆盖是导致华中地区风险较高的原因,华南地区的高风险区则出现在广东省大部、福建南部和广西东部,沿海丰富的水汽供应使得该地区易发生强降水。

我国西部城市园林面积相对较少,极端强降水平均值在20 mm以下。极端强降水对城市园林的潜在影响程度在“中等”以下,其中乌鲁木齐市为“较高”风险。西北西部近几年出现“暖湿化”现象,并且有东扩趋势,乌鲁木齐市近几年降水量呈上升趋势,极端强降水天气也在增多<sup>[10]</sup>,加上园林面积在西北区

域相对较高,因此,该城市处于较高风险范围。西南地区东侧的横断山脉、云贵高原等地区雨量相比西

侧丰富,极端平均降水量在30 mm以上,这里的城市园林也处于潜在较高和高风险区。

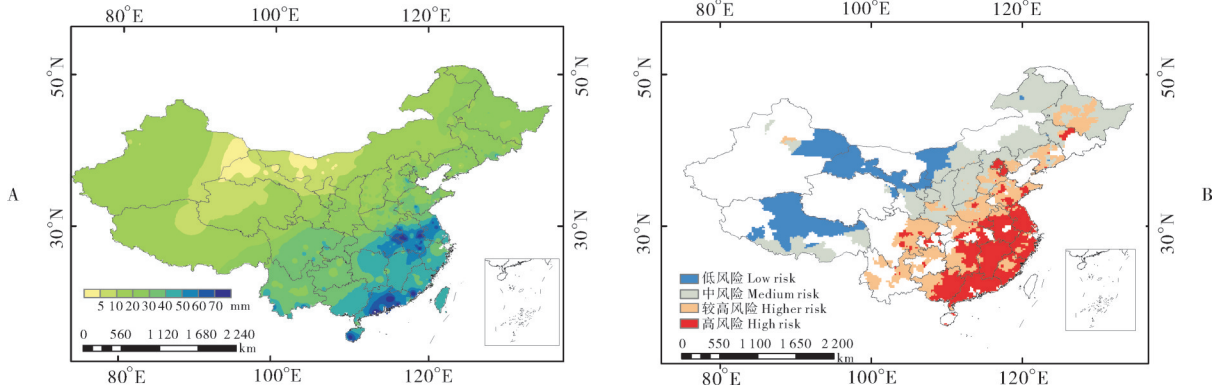


图2 极端强降水空间分布(A)及其对城市绿地的潜在危险性分布(B)

Fig. 2 Spatial distribution of extreme heavy precipitation (A) and its potential danger distribution to urban green space (B)

### 2.2 极端低温

我国极端低温平均值由南向北逐渐降低,呈东北向西南略倾斜分布(图3A)。受来自高纬度冷空气影响,东北地区冬季盛行极地大陆气团,寒冷干燥,大部地区常年极端低温在-20℃以下。东北地区的城市园林受极端低温的潜在影响为高风险区域的居多(图3B)。华北北部极端低温分布在-30~-10℃,处于较高、高风险区域,其中内蒙古和绿地面积较高的北京市为潜在高风险区域。华中大部和华北南部低温在-10~0℃,城市园林受极端低温的

潜在影响均是中风险。华南、四川东部和贵州大部极端低温平均值在0℃以上,这些区域城市园林受极端低温的影响程度较低。西北现有的绿化基础比较差,绿化的覆盖率低,绿地的类型也比较单一<sup>[11]</sup>,冬季受西伯利亚东南下的冷高压影响,寒冷干燥,西北地区近30a极端低温平均值分布在-25~-20℃,高风险区主要出现在乌鲁木齐市、克拉玛依市、哈密地区北部、张掖市西部和酒泉市。西南地区青藏高原海拔高,气温低于周围城市,高风险区主要分布在有城市绿地分布的那曲东部和日喀则西北部。

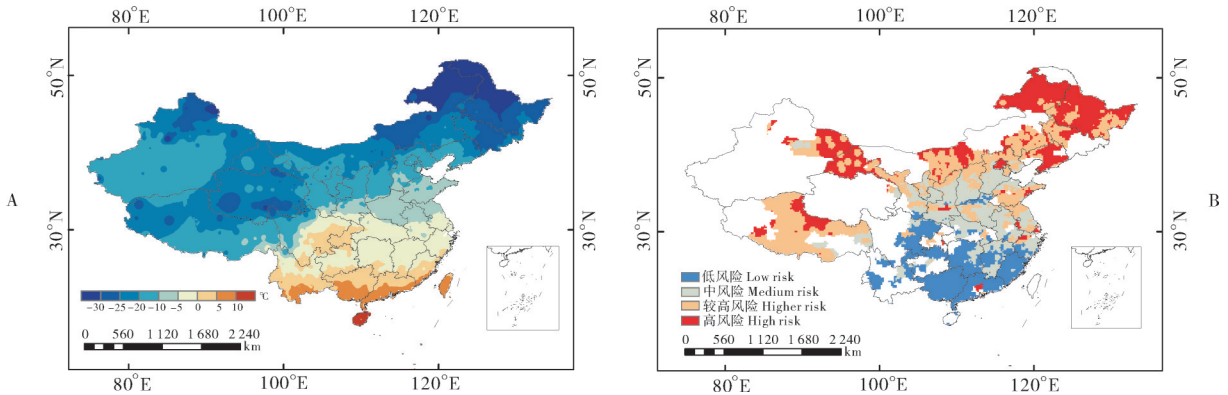


图3 极端低温空间分布(A)及其对城市绿地的潜在危险性分布(B)

Fig. 3 Spatial distribution of extreme low temperature (A) and its potential danger distribution to urban green space (B)

### 2.3 极端高温

近30a极端高温高值区域主要分布在我国西北部和东部,高温常年平均值在35℃以上(图4A)。西北较高、高风险区主要集中在克拉玛依、吐鲁番和哈密地区(图4B);东北极端高温平均值分布在30~35℃,高风险区域出现在沈阳市和长春市。西南部

区较高、高风险区出现在四川盆地、重庆和贵州北部,这里海拔偏低、湿度较大,夏季受大陆暖高压系统控制,容易发生持续性高温天气,年平均极端高温在35℃以上。

华北大部、华中和华南城市极端高温均在35℃以上,极端高温对城市园林的影响均在较高风险等

级以上。其中华北区域的北京市、河北省南部和山西省太原市为潜在高风险区域。华中地区尤其是长江流域,夏季受副热带高压影响,时常发生高温热浪天气,极端高温多年维持在37℃以上,处于高风险区域。华南地区虽然位于我国最南部,但受海陆风影响,极端高温强度弱低于华中地区,高风险区域主要分布在城市园林较多的主要城市。

### 2.4 极端大风

近30 a极端大风平均值高值主要分布在我国北部和西部高海拔地区(图5A),极端大风高风险区域主要分布在我国北部、东部沿海区域和青藏高原(图

5B)。西北北部和西部的极端大风风速日平均值在7 m/s以上,高风险区域主要出现在哈密市和酒泉市西部。青藏高原海拔高、昼夜温差大,冬季和春季的风速常年较高。

受西伯利亚和蒙古高压影响,我国北部冬季和春季极易发生干燥寒冷的偏北大风,东北区域最为明显。东北大部、华北北部为较高、高风险区域。另外,夏季和秋季热带气旋和台风频发,沿海区域受台风袭击的频率较大。因此,东部沿海区域和华南南部沿海区域的城市绿地受极端大风的影响程度级别较高。

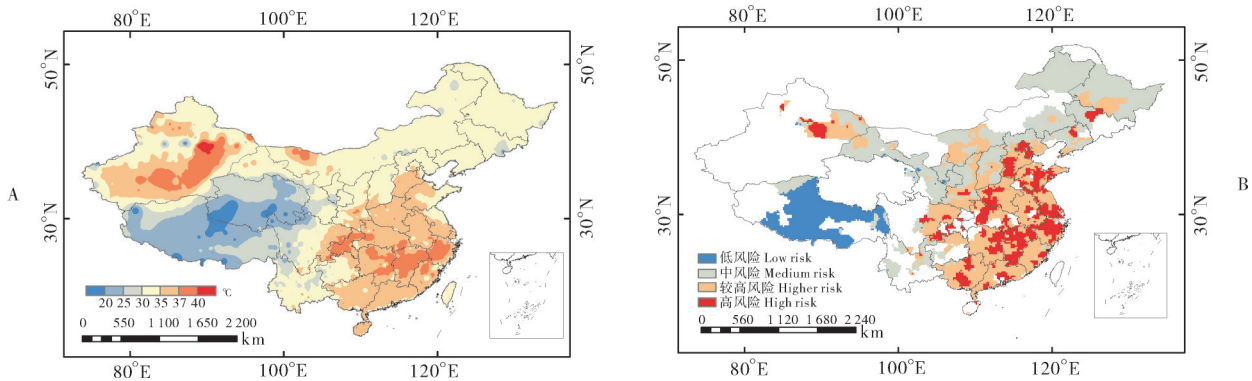


图4 极端高温空间分布(A)及其对城市绿地的潜在危险性分布(B)

Fig. 4 Spatial distribution of extreme high temperature (A) and its potential danger distribution to urban green space (B)

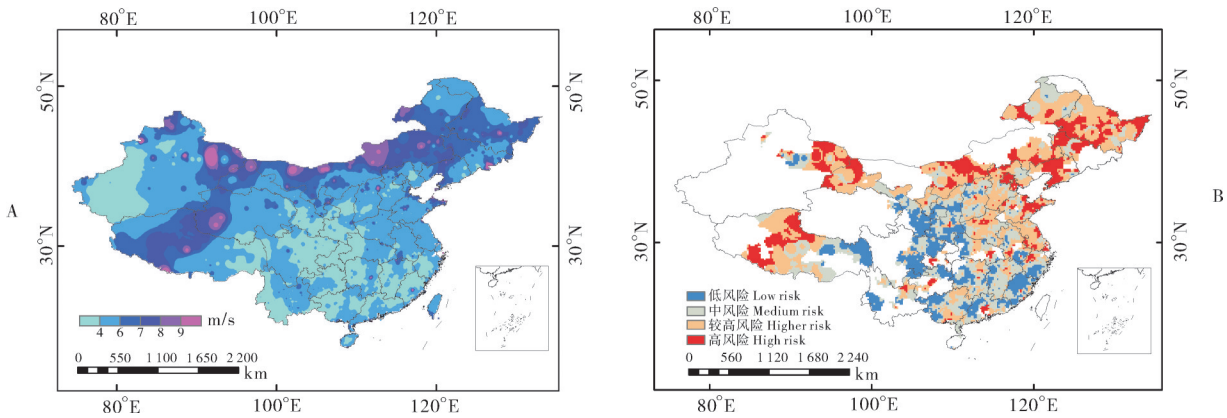


图5 极端大风空间分布(A)及其对城市绿地的潜在危险性分布(B)

Fig. 5 Spatial distribution of extreme strong wind (A) and its potential danger distribution to urban green space (B)

### 2.5 极端降雪

近30 a极端降雪平均值高值主要分布在高纬度和高海拔地区(图6A)。我国西北北部平均积雪深度在10 cm以上,高风险区域主要出现在克拉玛依市、乌鲁木齐市以及哈密北部;西南高风险区域位于积雪高值区的日喀则南部(图6B)。东北常年降雪较多,风险区域主要位于内蒙古北部、黑龙江和吉林南部,这些区域年平均极端积雪深度在12 cm以上;河

南中部、安徽中部和江苏东部为较高风险区域,历史上2008、2018、2020年河南和安徽均遭受了不同程度的雪灾。

### 2.6 极端干旱

我国极端干旱地区主要出现在西藏的阿里地区西部和那曲地区中部、云贵高原、湖北西部至山西省南部、华北和东北地区的西部部分区域(图7A),这些地方的SPI指数分布在-2以下。西南的云贵高原

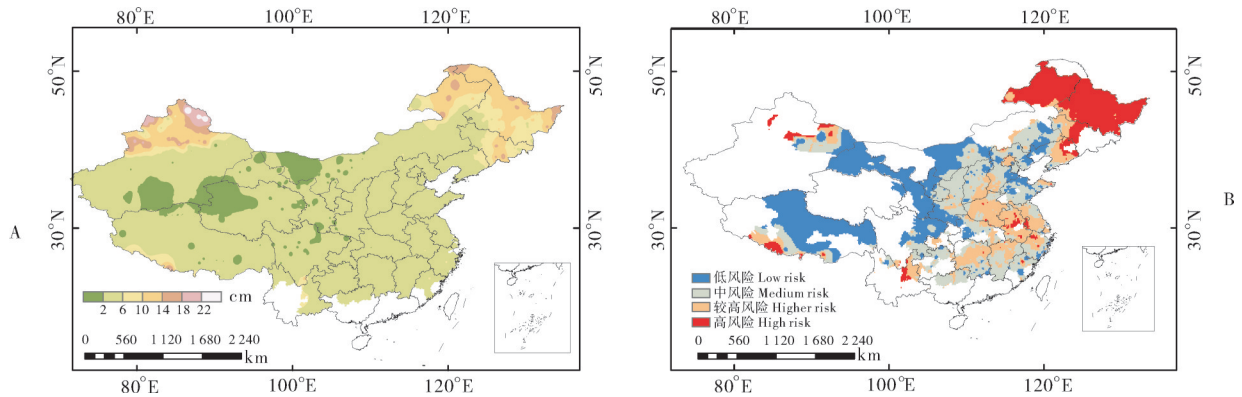


图6 极端降雪空间分布(A)及其对城市绿地的潜在危险性分布(B)

Fig. 6 Spatial distribution of extreme snowfall (A) and its potential danger distribution to urban green space (B)

降水主要是受季风影响,当季风活动出现异常,夏季季风变弱,该地区会出现长时间的干旱现象,同时受副热带高压控制,长江流域在盛夏季节容易发生持续性高温干旱天气。2022年夏季,西南地区乃至整个长江流域发生了罕见的重大高温干旱复合事件。华北地区地势平坦,地表水资源较为匮乏,春季常常受到西北风向干燥的空气影响,极易发生干旱现象。东北地区属于温带大陆性季风气候,季风气候的不

稳定性会导致春夏旱频发。

极端干旱高风险区域主要在发生极端干旱指数较高的西南云贵川地区、湖北至陕西南部一带、华北、东北区域的吉林省和黑龙江省西部等区域,以及一些城市绿地面积较高的省会城市(图7B)。次高风险区域主要发生在西藏的那曲地区、甘肃省西部、长江中下游地区、华北南部和内蒙古北部。

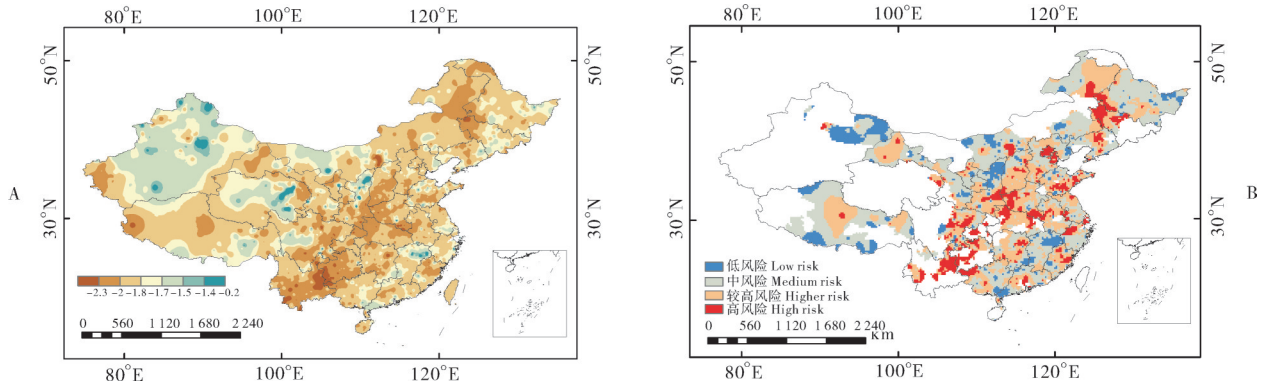


图7 极端干旱空间分布(A)及其对城市绿地的潜在危险性分布(B)

Fig. 7 Spatial distribution of extreme drought (A) and its potential danger distribution to urban green space (B)

### 3 讨论

为保证气象站点数据质量,本研究去掉了日数据缺测量大于10%的站点,因此,不同气象要素的站点数量不同。其中华南的广西壮族自治区和西南的西藏自治区的降水量站点数量较少,对该地区风险程度评估存在一定影响。另外,本研究选用了2020年中国统计年鉴里的城市绿地面积,部分城市,尤其是西部部分城市没有数据,无法全面分析我国城市绿地受气象灾害影响的风险程度。但我国绿地面积多集中在东部,本研究结果仍然能够对主要城市园林的设计、种植和保护提供参考。

本研究从不同的气象要素出发,分析了不同极端气候对绿地植物生长的影响,据此提出相应措施和建议。极端强降水高风险区域一般发生在华中和华北地区,该区域应选择耐涝以及受涝害反应较轻的适生树种,加强公园的竖向设计,加大雨水促渗沥水功能<sup>[12]</sup>。极端高温和极端干旱现象一般发生在夏季,极端高温高风险区域可通过对园林植物规划和分类管理等措施减轻极端高温对园林植物造成的危害,对特殊树种苗木要遮阴养护,增加浇水次数和水量。极端干旱高风险区域,应加大低耗水耐干旱的绿化植物种植,完善灌溉系统,提升灌溉效率和均匀性,节省水资源。同时,合理利用非常规水,对人工

湖、蓄水池等城市园林设施进行更新改造,发挥其收集、过滤和贮存雨水的功能。夏季是极端高温、干旱灾害发生时节,也是园林植物病虫害高发期,要加强对园林植物病虫害的监控防治<sup>[13]</sup>。

我国北方和高海拔地区一般是冬季极端低温高风险区域,应尽量选择耐寒植物,从树种上进行合理的规划和管理控制。外地树种的引入,一定要经过长时间的驯化和试种,在育苗时期进行抗寒锻炼<sup>[14]</sup>,在高度适应当地气候环境后方能推广栽种。南方城市虽然是中低风险区域,但冬季湿度较大,寒潮来临时园林植物更易发生寒害和冻害,如2013、2014和2016年,昆明出现极端低温天气,给城市园林景观和花木生产造成巨大的损失<sup>[15]</sup>。因此,南方绿化需要考虑当地气候特点和历史气象灾害,选择适合当地温暖环境下抗寒能力较强的树种。

不同植物的抗风特性不同,植物景观设计师应根据所属地域气候特色因地制宜,北方总体上适合干矮、根深、冠小、枝叶稀疏等低干矮冠的耐风树种<sup>[16]</sup>,南方地区的棕榈、椰子等树种抗风性更好<sup>[17]</sup>。另外,规范城市园林建设,防止出现“狭管效应”。种植设计要科学,在风口、风道等易遭风害的地方选择特殊抗风树种。研究表明,雪灾对园林的影响与树种、树高和树冠重叠度有关。落叶树种受损程度高于常绿树种,尤其是从南方引进的树种<sup>[18]</sup>;矮树在雪灾中容易出现压弯和折断,中低高度树木断枝少;另外,树冠重叠度越高,树木压弯、折断、倒伏等受损的比例呈减小趋势,但高重叠度同时也会增加枝叶的截雪量<sup>[19]</sup>。因此,中高风险区域应结合树木生长特点及气候特征,合理选择园林绿化树种、配置植物密度,积极筹备保暖材料,抵御和减轻城市绿化受雪灾的影响<sup>[20]</sup>。

本研究进一步分析了不同气候区的城市园林受主要极端气候的影响程度。东北、西北和西南地区的园林植被受极端低温、极端大风和极端干旱的影响比较大,冬季低温和大风2种极端天气经常同时发生,干冷或者湿冷大风容易造成该区域的绿化植被同时出现冻伤和倒伏等现象,加重了同一时段单一极端气候对植物的影响程度,因此,这些区域城市园林建设应尽量选择抗寒和抗风性更好的绿化植物。华北区域主要受高温、大风和干旱极端气候影响,即夏季干热、冬春季大风和春季干旱是华北区域的气候特征,城市园林建设要考虑选择耐干热和抗风抗旱性能高的植物,同时城市道路走向应尽量与夏季

主导风向一致,有利于城市通风,减少高温热浪效应,或者与冬春季节盛行风向呈直角和一定的偏斜角度,避免大风直接侵袭城市,降低对植物的破坏。

位于华中和华南区域的城市园林植物受极端强降水和极端高温的影响更为明显,极端强降水一般发生在汛期,汛期结束,受副热带高压影响华南和华中区域便先后迎来持续性高温天气。这种相继出现的不同类型的极端气候对园林植物的适生性是严峻的挑战,建议华中和华南区域城市园林优先考虑既耐涝又耐热的城市绿化树种。西南区域的云贵高原则是极端干旱高风险区域,尽管云贵高原大部为喀斯特地貌,树种本身较为抗旱,但随着干旱强度的增加和旱季的延长,当干旱带来的威胁超过其生存的安全阈值,将会造成大量植被的死亡。因此,未来城市园林建设需根据树种的抗旱程度择优选择,结合当年的气候趋势可提前在降水集中期储备雨水,减少干旱带来的影响和经济损失。

未来城市园林设计需要气候和园林设计学科交叉融合,结合当地极端气候特点,明确风景园林的功能定位,改善树种种类和种植结构,提升风景园林等生态系统应对气候变化的适应能力。另外,科学合理的绿色空间布局也可以增强城市气候韧性能力,降低异常天气对城市的影响。气候变化、城市化与气候灾害紧密关联,从区域尺度上改善城市园林设计结构以应对气候变化显得尤为迫切。

## 参考文献 References

- [1] 吴锦成,朱焯,刘懿,等.中国热浪时空变化特征分析[J].水文,2022,42(3):72-77. WU J C, ZHU Y, LIU Y, et al. Spatial-temporal characteristics of heat waves in China[J]. Journal of China hydrology, 2022, 42(3): 72-77 (in Chinese with English abstract).
- [2] ZHANG X D, FU Y F, HAN Z, et al. Extreme cold events from East Asia to North America in winter 2020/2021: comparisons, causes, and future implications[J]. Advances in atmospheric sciences, 2022, 39(4): 553-565.
- [3] 任国玉,任玉玉,战云健,等.中国大陆降水时空变异规律: II. 现代变化趋势[J]. 水科学进展, 2015, 26(4): 451-465. REN G Y, REN Y Y, ZHAN Y J, et al. Spatial and temporal patterns of precipitation variability over China's mainland: II: recent trends[J]. Advances in water science, 2015, 26(4): 451-465 (in Chinese with English abstract).
- [4] LIN C Y, CHEN W C, LIU S C, et al. Numerical study of the impact of urbanization on the precipitation over Taiwan[J]. At-

- mospheric environment, 2008, 42(13): 2934-2947.
- [5] 白伟岚, 张英杰, 王莹, 等. 北京“7.21”暴雨灾害对风景园林规划设计工作的启示[J]. 北京园林, 2013, 29(3): 8-15. BAI W L, ZHANG Y J, WANG Y, et al. Enlightenment of “7.21” rainstorm disaster in Beijing on landscape planning and design [J]. Landscape architecture of Beijing, 2013, 29(3): 8-15 (in Chinese).
- [6] 高歌, 李莹, 陈逸骁, 等. 30年来中国干旱时空规律演变特征[J]. 中国防汛抗旱, 2023, 33(7): 1-8. GAO G, LI Y, CHEN Y X, et al. The evolution characteristics of drought spatio-temporal law in China in the recent 30 years [J]. China flood & drought management, 2023, 33(7): 1-8 (in Chinese with English abstract).
- [7] 宋琳琳, 张强, 任余龙, 等. PDSI及sc\_PDSI干旱指数在中国西南地区适用性分析[J]. 中国沙漠, 2021, 41(2): 242-252. The applicable analysis of PDSI and self-calibrating PDSI drought indices in southwest China [J]. Journal of desert research, 2021, 41(2): 242-252 (in Chinese with English abstract).
- [8] 王理萍, 王树仿, 王新华, 等. 5种干旱指数在云南省的适用性分析[J]. 灌溉排水学报, 2017, 36(7): 117-124. WANG L P, WANG S F, WANG X H, et al. Feasibility study of five drought indices for use in Yunnan Province [J]. Journal of irrigation and drainage, 2017, 36(7): 117-124 (in Chinese with English abstract).
- [9] 谢五三, 张强, 李威, 等. 干旱指数在中国东北、西南和长江中下游地区适用性分析[J]. 高原气象, 2021, 40(5): 1136-1146. XIE W S, ZHANG Q, LI W, et al. Analysis of the applicability of drought indexes in the northeast, southwest and middle-lower reaches of Yangtze River of China [J]. Plateau meteorology, 2021, 40(5): 1136-1146 (in Chinese with English abstract).
- [10] 王澄海, 张晟宁, 李课臣, 等. 1961—2018年西北地区降水的变化特征[J]. 大气科学, 2021, 45(4): 713-724. WANG C H, ZHANG S N, LI K C, et al. Change characteristics of precipitation in northwest China from 1961 to 2018 [J]. Chinese journal of atmospheric sciences, 2021, 45(4): 713-724 (in Chinese with English abstract).
- [11] 余平高. 高海拔高寒地区园林景观植物种植与养护技术[J]. 工程技术研究, 2022, 7(4): 220-222. YU P G. Planting and maintenance techniques of landscape plants in high altitude and cold areas [J]. Engineering and technological research, 2022, 7(4): 220-222 (in Chinese).
- [12] 马胜海, 李万素. 洪涝对园林植物的影响及灾后管理措施[J]. 宁波农业科技, 2006(3): 14-15. Impact of flood on garden plants and post-disaster management measures [J]. Ningbo agricultural science and technology, 2006(3): 14-15 (in Chinese).
- [13] 萧建华, 吴孔明, 晏波, 等. 极端高温干旱对园林植物的影响及对策研究[J]. 河南林业科技, 2013, 33(4): 37-40. XIAO J H, WU K M, YAN B, et al. The analysis of impact and response measures of extreme heat and drought on garden plants in Xinyang city [J]. Journal of Henan forestry science and technology, 2013, 33(4): 37-40 (in Chinese with English abstract).
- [14] 邱海峰, 罗晓明, 刘宏伟, 等. 浅谈温度对园林花木生长发育的影响[J]. 园艺与种苗, 2018, 38(9): 27-28. QIU H F, LUO X M, LIU H W, et al. Effect of temperature on growth and development of landscape plants [J]. Horticulture & seed, 2018, 38(9): 27-28 (in Chinese with English abstract).
- [15] 郑进焜, 卢珍红, 杨忠兴, 等. 昆明市2013—2014年冬春季园林植物低温冻害研究[J]. 福建林业科技, 2015, 42(2): 142-149. ZHENG J X, LU Z H, YANG Z X, et al. Study on landscape plants low temperature freezing in winter-spring 2013—2014 of Kunming City [J]. Journal of Fujian forestry science and technology, 2015, 42(2): 142-149 (in Chinese with English abstract).
- [16] 夏晶, 刘闫. 北方园林树木风害发生与养护措施[J]. 新农业, 2021(15): 53. XIA J, LIU Y. Occurrence and maintenance measures of wind damage to garden trees in Northern China [J]. Modern agriculture, 2021(15): 53 (in Chinese).
- [17] 吴志华, 李天会, 张华林, 等. 广东湛江地区绿化树种抗风性评价与分级选择[J]. 亚热带植物科学, 2011, 40(1): 18-23. WU Z H, LI T H, ZHANG H L, et al. Study on graduation and comprehensive evaluation of tree species wind-resistance in Zhanjiang, Guangdong Province [J]. Subtropical plant science, 2011, 40(1): 18-23 (in Chinese with English abstract).
- [18] 闫创新, 蔡玮. 极端特大暴雪对信阳市园林植物的影响[J]. 现代农业科技, 2018(9): 171-173. YAN C X, CAI W. Effect of heavy extreme blizzard on landscape plants in Xinyang City [J]. Modern agricultural science and technology, 2018(9): 171-173 (in Chinese with English abstract).
- [19] 董冬, 颜守保, 丁晓浩, 等. 特大降雪灾害对淮南市园林绿化树木损害的特征[J]. 生态环境学报, 2018, 27(5): 834-843. DONG D, YAN S B, DING X H, et al. The damage characteristics of landscape afforestation trees due to unusually heavy snow in Huainan City [J]. Ecology and environmental sciences, 2018, 27(5): 834-843 (in Chinese with English abstract).
- [20] 李俐萍. 北方园林树种常见自然灾害及其防止措施分析[J]. 现代园艺, 2016(13): 92. LI L P. Analysis on common natural disasters of garden tree species in North China and their preventive measures [J]. Xiandai horticulture, 2016(13): 92 (in Chinese).



## Effects of extreme climate on urban gardens under background of climate changes

JIA Wenqian<sup>1</sup>, CHEN Zhenghong<sup>1</sup>, CHEN Yingying<sup>1</sup>, CHEN Zifan<sup>2</sup>, ZHANG Yu<sup>3</sup>, LU Jing<sup>1</sup>

1. *Hubei Provincial Meteorological Service Center, Wuhan 430205, China;*

2. *Meteorological Bureau of Shiyan City, Hubei Province, Shiyan 442011, China;*

3. *College of Horticulture and Forestry Sciences, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China*

**Abstract** The daily observation data set of the National Meteorological Station of China from 1991 to 2020 and the urban green space area data of China in 2020 were used to analyze the effects of extreme climate on major urban gardens in China with the percentile method and GIS spatial analysis technology to study the risks of urban gardens suffering from extreme climate under the background of global climate changes. The results showed that the high-risk areas affected by extreme low temperatures were located in the northern and high-altitude areas of China. High risk areas of extreme high temperature generally occurred in eastern cities with rapid urbanization. The high-risk areas of heavy precipitation were basically consistent with the distribution of rainfall belts in China, mainly located in central and southern China, with average precipitation of above 30 mm. Shigatse and Naqu in Tibet, and the northern and eastern coastal areas of China are high risk areas of gales. Urban green space in the Yunnan-Guizhou Plateau, the middle and lower reaches of the Yangtze River, parts of North and Northeast China are vulnerable to extreme drought. Designing urban gardens in the future needs to combine the characteristics of local extreme climate, improve tree species and planting structures, and enhance the adaptability of ecological systems such as landscape architecture to climate changes.

**Keywords** urban garden; extreme climate; climate change; level of risk; geographic information system (GIS)

(责任编辑:张志钰)