

宣城市闪电特征分析及雷电易发区域划分研究

何桂霞, 胡文运, 孙秀邦 (安徽省宣城市气象局, 安徽宣城 242000)

摘要 [目的]防御和减少雷电给人民生命财产造成的损失,科学有效防范自然灾害风险。[方法]采用 python 3.7、contourf 函数作为统计分析方法,对宣城市 2010—2018 年 ADTD 型闪电定位资料进行统计分析,得出宣城市闪电特征,划分雷电易发区域。[结果]宣城市闪电以负闪为主;闪电日变化呈单峰单谷型,午后多夜间少,闪电高峰值时段出现在 14:00—18:00,0:00—12:00 闪电次数较少且平稳;闪电月变化呈单峰单谷型,暖季多冷季少,以 6—9 月居多,1—2 月、10—12 月闪电很少;闪电年际变化呈多峰多谷型;年平均闪电密度主要集中在 1.0~8.0 次/(km²·a);闪电强度主要集中在 10~70 kA,平均闪电强度高值区域主要分布在宣城市中部地区。雷电高易发区主要分布在宣城市中部地区,较高易发区主要分布在宣城市中东部、西部地区,中等易发区主要分布在宣城市北部、西南部地区,一般易发区主要分布在宣城市南部地区。[结论]该研究结果对指导宣城市科学有效防雷减灾、合理安排工农业生产、农村雷电灾害风险管理、重大工程气候可行性论证、建设工程规划选址等具有非常重要的现实意义。

关键词 闪电特征;雷电易发区;宣城市

中图分类号 P 429 **文献标识码** A

文章编号 0517-6611(2021)02-0216-05

doi:10.3969/j.issn.0517-6611.2021.02.058



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

Study on Lightning Characteristics and Lightning Prone Areas in Xuancheng City

HE Gui-xia, HU Wen-yun, SUN Xiu-bang (Xuancheng City Meteorological Bureau, Xuancheng, Anhui 242000)

Abstract [Objective] To prevent and reduce the loss of people's life and property caused by lightning and prevent the risk of natural disasters scientifically and effectively. [Method] Using python3.7 and contour functions as the statistical analysis method, the data of ADTD lightning location in Xuancheng from 2010 to 2018 were statistically analyzed, the lightning characteristics of Xuancheng City were obtained and the lightning prone areas were divided. [Result] The results showed that negative lightning is dominant in Xuancheng City; the daily variation of lightning is single peak and single valley, more in the afternoon and less in the night, the lightning peak period appears in 14:00–18:00, 0:00–12:00 lightning times are less and more stable; the monthly variation of lightning is single peak and single valley, warmer seasons and cooler ones, from June to September is the most, January–February, October–December lightning rarely; the interannual variation of lightning is multi-peak and multi-valley; the annual average lightning density is mainly concentrated in 1.0–8.0 times/(km²·a); lightning intensity is mainly concentrated in the range of 10 to 70 kA, the high value of average lightning intensity is mainly distributed in the central area of Xuancheng City; the lightning high prone areas are mainly distributed in the central region of Xuancheng City, the higher prone areas are mainly distributed in the central, eastern and western regions of Xuancheng City, the middle prone areas are mainly distributed in the northern and southwestern regions of Xuancheng City. [Conclusion] The research results are of great practical significance in guiding Xuancheng City in scientific and effective lightning protection and disaster reduction, climate feasibility demonstration of major projects, site selection of construction projects, rational arrangement of industrial and agricultural production, and risk management of lightning disasters in rural areas.

Key words Lightning characteristics; Lightning prone area; Xuancheng City

雷电是雷暴天气的重要组成部分,是自然大气中超强、超长放电现象^[1],破坏力巨大。近年来,随着国民经济和科技水平的发展,尤其是电子技术的快速发展,雷电造成的危害日益凸显。雷电灾害被联合国有关组织列为“最严重的十种自然灾害之一”,被国际电工委员会(IEC)确定为“电子时代的一大公害”。雷电灾害已引起社会各界的高度关注,科技工作者对雷电灾害及防御进行了大量分析研究^[2-8]。

近年来,国内外学者对闪电的活动特征进行了大量研究,如国外学者 Villarini 等^[9]根据 16 年的闪电定位资料,研究发现一些极端的闪电活动主要分布在美国的中部及阿巴拉契亚山脉的西部,闪电主要发生在夏季。早期,国内学者对雷电特征的分析主要基于人工观测雷暴日资料,如景元书等^[10]采用 1951—1980 年江苏省 8 个地区的雷暴日资料,对江苏省雷暴的时空特征进行了分析研究;程向阳等^[11]采用安徽省 78 个气象台站 1961—2009 年雷暴资料,对安徽省近 50 年雷暴的时空变化及影响因素进行分析。中期,随着闪电监测系统的建设,对雷电特征的分析基于闪电定位资料和人

工观测雷暴日资料相结合,闪电监测系统作为实时探测手段,有效弥补了传统人工观测方法的不足,为雷电研究提供了可靠的数据资料,如冯民学等^[12]采用江苏省 13 个国家观测站 1961—2006 年的雷暴日资料和 4 年闪电监测系统定位资料,分析研究了江苏省雷电活动的时空分布特征。近期,随着闪电探测技术的不断进步,2014 年取消了人工雷暴日观测,对闪电资料的分析主要基于闪电定位资料,如吴安坤等^[13]采用全国雷电监测系统监测的闪电资料,分析研究云贵高原闪电时空分布特征,指出不同季节和时段闪电密度存在地域性差异;王凯等^[14]采用 2011—2013 年安徽省 ADTD 闪电定位系统监测资料,对皖南山区闪电特征进行了分析,指出皖南山区主要为负闪电,地闪活动主要集中出现在午后至傍晚。

2016 年,国务院下发《国务院关于优化建设工程防雷许可的决定》(国发[2016]39 号),明确要求气象部门要加强对雷电灾害防御工作的组织管理,划分雷电易发区域及其防范等级并及时向社会公布。2016 年底开始,一些省份陆续开展雷电易发区域划分研究,如胡颖等^[15]采用 2007—2016 年云南省闪电定位资料,选取年平均闪电密度指标,将云南省雷电易发性等级划分为极高、较高、高、中、一般 5 个等级;程向

基金项目 安徽省宣城市科技计划项目(1926)。

作者简介 何桂霞(1972—),女,安徽黄山人,工程师,从事气象灾害业务研究与防御工作。

收稿日期 2020-05-19

阳等^[16]采用2010—2016年安徽省闪电定位数据,选取闪电强度指标,将安徽省雷电易发区域划分为高、中等、一般3个等级;曾勇等^[17]提出构建雷电易发性指标体系不能忽略地闪密度指标。目前,市级雷电易发区域划分研究较少,有必要结合实际,研究划分更精细化的市级雷电易发区域。

安徽省宣城市属南北气候过渡带,是冷暖空气频繁交汇的地区,地形呈南高北低型,且多为山区和丘陵地带,特殊的气候、复杂的地形特点,导致境内雷电活动频繁,雷电灾害经常发生^[18]。2010—2018年,宣城市因雷击造成8人死亡、4人受伤,多栋建筑物遭雷击损坏。因此,对宣城市闪电特征进行统计分析,研究划分该市雷电易发区域,可为防灾减灾、有效规避风险提供理论支撑。

1 资料与方法

1.1 资料来源 安徽省于2005年在全省布设了10套LD-II型闪电定位仪,2010年升级为ADTD型(7套),其监测参数包括闪电时间、经纬度、极性、强度、陡度、误差、定位方式,ADTD型闪电监测站分布见图1。刘岩等^[19]对LD-II型和ADTD型闪电定位资料进行了对比分析,指出ADTD型闪电定位系统在地闪空间分布、雷电流极性、强度、定位误差的探测方面准确度更高。资料来源于安徽省ADTD闪电监测系统,采用2010—2018年共9年的闪电资料作为宣城市雷电易发区域划分基础数据。

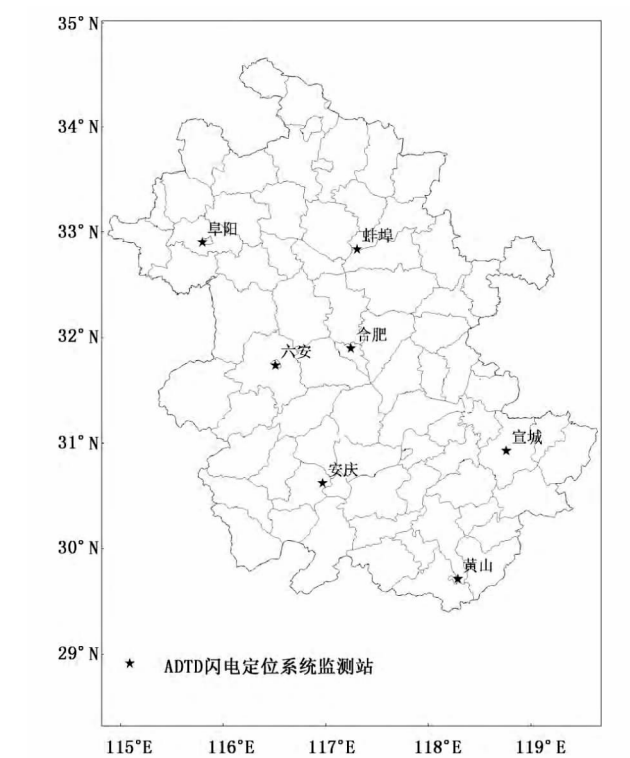


图1 安徽省ADTD闪电监测站分布
Fig.1 Distribution of ADTD lightning monitoring stations in Anhui Province

1.2 研究方法 在闪电资料分析中,剔除异常及不合理数据进行质量控制。利用python 3.7设计程序,对闪电资料进行统计分析,选取闪电密度和闪电强度2个指标,进行归一化处理,

按照重要程度,将闪电密度和闪电强度的权重系数确定为2:1进行加权组合,按照 $0.01^{\circ}\times0.01^{\circ}$ 经纬度网格,利用contourf函数绘制平均闪电强度、平均闪电密度和雷电易发区分布图。

目前,国内外没有统一的质量控制方法,电气电子工程师协会(IEEE)工业组文件将回击电流幅值应用范围定义为2~200 kA,国外学者Cummins等^[20-21]将小于10 kA的闪电予以剔除,国内学者李家启等^[22]剔除了5 kA以下的地闪。该研究采用IEEE工业组文件规定的质量控制方法,剔除了12个雷电流幅值<2 kA的闪电样本和1 168个>200 kA的闪电样本。

2 结果与分析

2.1 宣城市闪电特征分析

2.1.1 基本特征。2010—2018年宣城市共发生闪电331 328次。其中正闪13 713次,占比4.1%;负闪317 615次,占比95.9%;年平均闪电次数为36 814次。闪电强度主要集中在10~70 kA,占比92.8%;宣城市以负闪为主,主要原因是大多数积雨云上部带正电荷,云体下部主要带负电荷^[23],云层与地面之间的放电大多数是负闪电。

2.1.2 闪电次数的日变化。由图2可知,闪电次数日变化呈单峰单谷型,一日中13:00—21:00闪电居多,为218 198次,占比65.9%,高峰值时段出现在14:00—18:00,峰值出现在14:00—15:00,为44 657次;0:00—12:00闪电次数较少且平稳,谷值出现在1:00—2:00,为3 044次。说明宣城市一日中14:00—18:00对流天气最为旺盛,也是雷电防御的关键时间段。

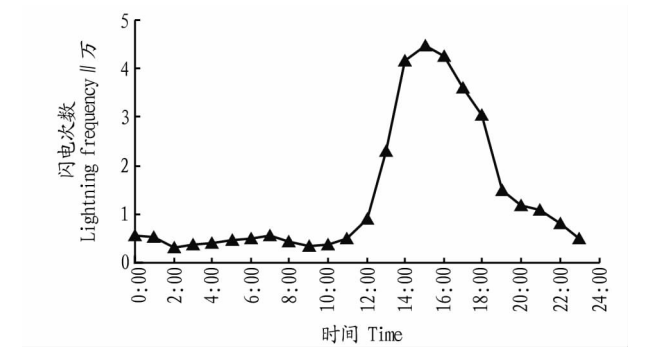


图2 2010—2018年宣城市闪电次数日变化
Fig.2 Diurnal variation of lightning frequency in Xuancheng City during 2010–2018

2.1.3 闪电次数月变化。由图3可知,宣城市2010—2018年

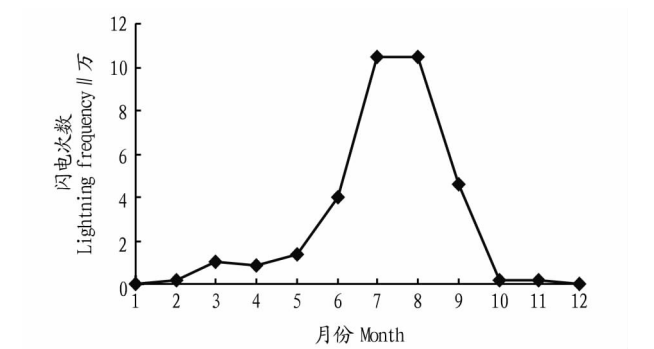


图3 2010—2018年宣城市闪电次数月变化
Fig.3 Monthly change in lightning frequency in Xuancheng City during 2010–2018

闪电次数月变化呈单峰单谷型,3—9 月闪电次数 326 537 次,占比 98.6%。其中 7—8 月闪电次数为 208 814 次,占全年闪电次数的 63.0%;1—2 月、10—12 月 5 个月闪电次数仅为 4 791 次,占比 1.4%。宣城市闪电旺季多冷季少,主要是在气温高的月份,大气层结构不稳定,对流云发展旺盛,闪电主要发生在对流云中。

2.1.4 闪电次数年际变化。从图 4 可以看出,2010—2018 年宣城市闪电年际变化呈多峰多谷型。其中,2010 年闪电次数最多,为 52 371 次;2017 年闪电次数最少,为 18 605 次。2015 年和 2017 年闪电次数急剧下降,说明这 2 年冷暖空气交汇少,发生对流的次数少,具体原因有待进一步分析。

2.1.5 闪电密度分布。闪电密度是指单位面积内所发生的雷击大地的年平均次数。按照 $0.01^{\circ}\times 0.01^{\circ}$ 经纬度网格,利用 python 3.7 设计程序统计每个网格的年平均闪电密度。结果表明,宣城市年平均闪电密度在 $0.11\sim 20.89$ 次/ $(\text{km}^2\cdot\text{a})$,主要集中在 $1.00\sim 8.00$ 次/ $(\text{km}^2\cdot\text{a})$,平均值为 3.08 次/ $(\text{km}^2\cdot\text{a})$ 。利

用 `contourf` 函数绘制宣城市年平均闪电密度分布图,结果见图 5。由图 5 可以看出,闪电密度高值区域主要分布在宣城市中东部地区和西部地区。

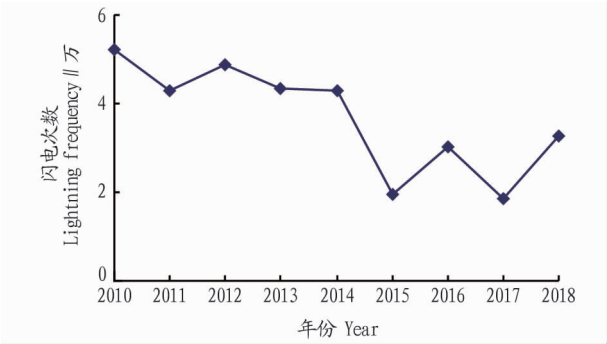


图 4 2010—2018 年宣城市闪电次数年际变化
Fig.4 The frequency of lightning varies from year to year in Xuancheng City during 2010–2018

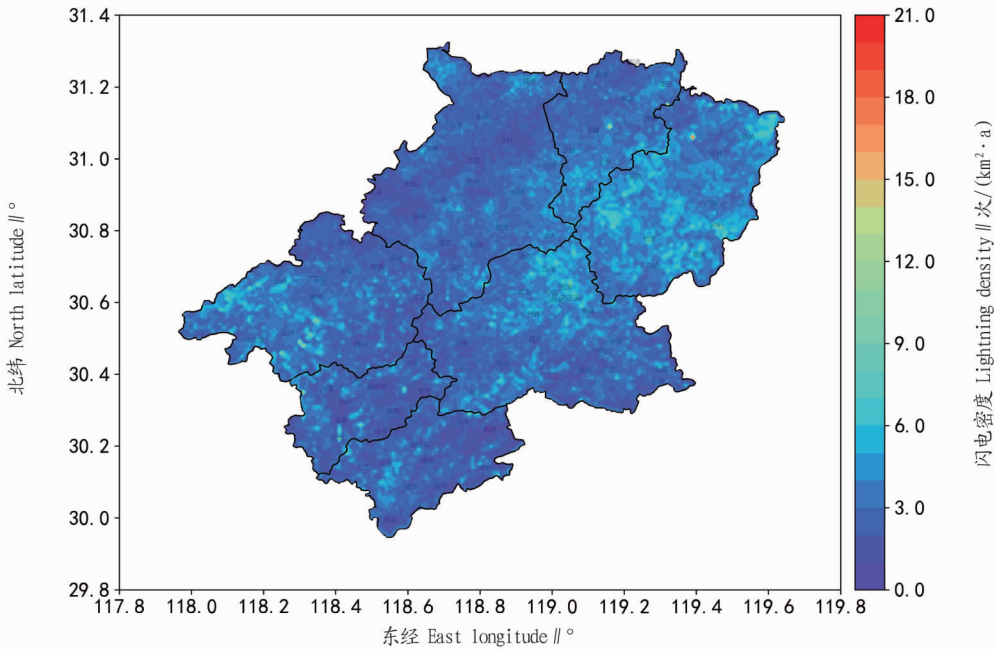


图 5 2010—2018 年宣城市年平均闪电密度空间分布
Fig.5 Spatial distribution of annual average lightning density in Xuancheng City during 2010–2018

2.1.6 闪电强度分布。雷电流幅值是闪电监测数据中体现雷电气灾强弱的重要参数^[24],其值越大,能量越大,破坏力就越大。宣城市最大正闪强度 199.67 kA,最大负闪强度 199.94 kA,最小正闪强度 2.89 kA,最小负闪强度 2.03 kA,正闪与负闪强度最大值、最小值接近。闪电强度主要集中在 $10\sim 70$ kA,占比 92.8%;其中最大分布区间为 $20\sim 30$ kA,占比 34.3%。利用 python 3.7 设计程序统计每个网格的平均闪电强度,按照 $0.01^{\circ}\times 0.01^{\circ}$ 经纬度网格,利用 `contourf` 函数绘制平均闪电强度空间分布图,结果见图 6。由图 6 可知,平均闪电强度高值区域主要在宣城市中部地区。

2.2 宣城市雷电易发区域划分及结果验证 闪电强度越大,密度越高,风险就越大^[25]。选取闪电密度和闪电强度 2 个指标,进行归一化处理,根据重要程度按 2:1 权重进行加权组

合,基于正态分布设定阈值,将雷电易发区分为高、较高、中等、一般 4 个等级,易发区等级划分阈值见表 1。利用 `contourf` 函数绘制雷电易发区分布图,结果见图 7。从图 7 可以看出,高易发区主要分布在宣城市中部地区,即宣州区南部和宁国市北部;较高易发区主要分布在宣城市中东部、西部地区,即宣州区南部、宁国市北部、郎溪县南部、广德市西南部、泾县大部分地区;中等易发区主要分布在宣城市北部、西南部地区,即宣州区北部、郎溪县北部、广德市北部、宁国市东南部、泾县、旌德县、绩溪县大部分地区;一般易发区主要分布在绩溪县境内。

为检验划分结果的合理性,将雷电易发区分布图与 2010—2018 年宣城市历史雷电灾情作对比分析,结果表明,80%的雷电灾情发生在高易发区和较高易发区,其中人员伤亡、房屋受损全部发生在高易发区和较高易发区。

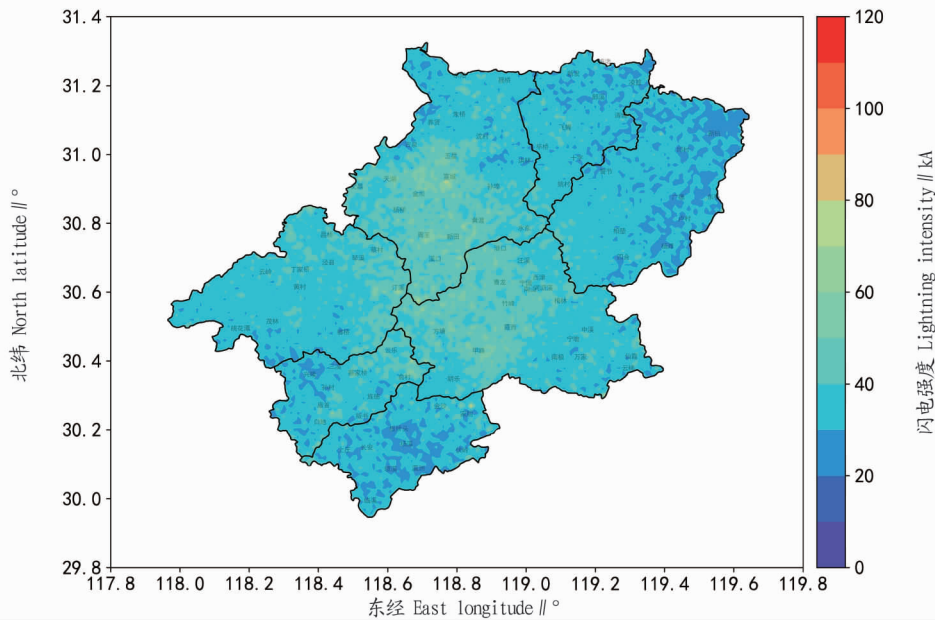


图 6 2010—2018 年宣城市平均闪电强度空间分布

Fig.6 Spatial distribution of average lightning intensity in Xuancheng City during 2010–2018

表 1 宣城市雷电易发区等级划分阈值

Table 1 Classification threshold of lightning vulnerable areas in Xuancheng City

易发区等级 Level of vulnerable areas	分级阈值 Classification threshold	占全市面积百分比 Percentage of city area// %
高易发区 High vulnerability zone	0.18~0.47	4.75
较高易发区 Relatively high prone areas	0.14~0.18	53.68
中等易发区 Moderate prone areas	0.10~0.14	38.77
一般易发区 General prone areas	<0.10	2.80

3 结论与讨论

(1)宣城市闪电以负闪为主,2010—2018 年共发生闪电 331 328 次,其中负闪 317 615 次,占比 95.9%;年平均闪电次数 36 814 次;闪电日变化呈单峰单谷型,高峰值时段出现在 14:00—18:00, 0:00—12:00 闪电次数较少且平稳;闪电月变化呈单峰单谷型,暖季多冷季少,以 6—9 月居多,1—2 月、10—12 月闪电极少;闪电年际变化呈多峰多谷型,2010 年闪电次数最多,2017 年次数最少,最多年份闪电次数是最少年份的 2.8 倍;年平均闪电密度主要集中在 1.0 ~ 8.0 次/(km²·a);闪电强度主要集中在 10~70 kA。

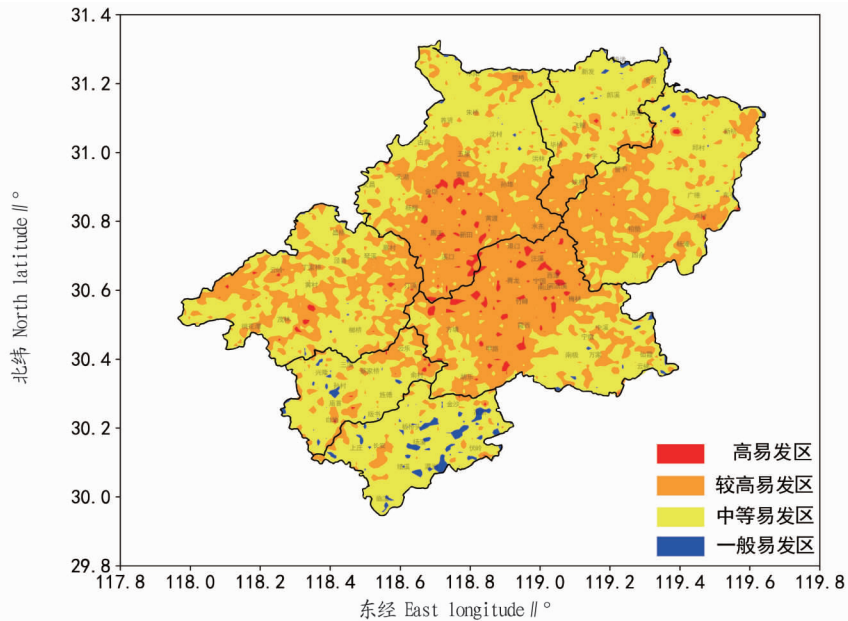


图 7 宣城市雷电易发区分布

Fig.7 Lightning prone area distribution in Xuancheng City

(2) 利用 python3.7 设计程序,对闪电资料进行统计分析,选取闪电密度和闪电强度 2 个指标,进行归一化处理、相应权重组合,利用 contourf 函数绘制雷电易发区分布图,按照高、较高、中等、一般易发区 4 个等级划分。结果表明,高易发区主要分布在宣城市中部地区,较高易发区主要分布在宣城市中东、西部地区,中等易发区主要分布在宣城市北部、西南部地区;一般易发区主要分布在宣城市南部地区。

(3) 利用宣城市历史雷电灾害数据对区划结果进行验证,结果表明,雷电易发区划与历史雷电灾情对应较好,表明该研究方法比较可靠。

(4) 雷电的形成是一个复杂的过程,影响因素很多,要完全准确地划分易发区域还存在一定的难度。因此,在指标选取、权重确定、评估模型等方面还需要进一步研究。

参考文献

[1] 肖稳安,李霞,陈红兵.防雷专业技术知识问答[M].北京:气象出版社,2010:1.
[2] 许小峰.雷电灾害与监测预报[J].气象,2004,30(12):17-21.
[3] 杨仲江,赵景昭.雷电厂雷电灾害案例分析与防护对策[J].灾害学,2008,23(2):80-82.
[4] 陈洁,曹继军,苏炳彦,等.2008—2016 年陕西省雷电灾害特征分析[J].陕西气象,2019(4):33-36.
[5] 朱浩,王凯,程向阳,等.安徽省雷电灾害特征分析及区域灾情评估[J].长江流域资源与环境,2015,24(1):162-168.
[6] 吴有训,陈晓红,张从贵,等.黄山莲花峰重大雷电灾害的气象分析[C]//中国气象学会.第 33 届中国气象学会年会 S1 灾害天气监测、分析与预报.北京:中国气象学会,2016:205.
[7] 李光兵,徐前进,李强,等.重庆北碚 6·5 雷击事故分析及其防护措施研究[J].西南师范大学学报(自然科学版),2018,43(11):141-145.
[8] 张伟,李浩,边学文.2007—2013 年浙江省雷电灾害特征统计分析[J].气象与环境科学,2018,41(2):139-143.
[9] VILLARINI G,SMITH J A.Spatial and temporal variability of cloud-to-

ground lightning over the continental US during the period 1995—2010[J].Atmospheric research,2013,124(124):137-148.
[10] 景元书,申双和,李明.江苏省雷暴气候特征分析[J].灾害学,2000,15(1):27-30.
[11] 程向阳,谢五三,刘岩,等.安徽省近 50 年雷暴的时空变化特征及影响因素[J].长江流域资源与环境,2012,21(1):117-121.
[12] 冯民学,焦雪,韦海容,等.江苏省雷电分布特征分析[J].气象科学,2009,29(2):246-251.
[13] 吴安坤,吴仕军,曾勇,等.云贵高原闪电活动特征分析[J].电瓷避雷器,2017(2):74-79,84.
[14] 王凯,朱浩,鞠晓雨,等.安徽省皖南山区地区闪电特征对比分析[J].气象与环境学报,2016,32(3):83-88.
[15] 胡颖,殷娟,周清倩,等.基于 ArcGIS 的云南省雷电易发性等级划分及防范措施[C]//中国气象学会.第 35 届中国气象学会年会 S19 雷电物理和防雷新技术——第十六届防雷减灾论坛.北京:中国气象学会,2018:116-121.
[16] 程向阳,陶寅,邱阳阳.安徽省雷电易发区域划分[J].气象科技,2018,46(4):785-791.
[17] 曾勇,张淑霞,吴安坤,等.雷电易发性区划及防范措施[J].现代建筑电气,2017,8(3):38-40,47.
[18] 何桂霞,胡文运.宣城市雷电灾害风险区划研究及其应用[J].安徽农业科学,2019,47(13):215-219,240.
[19] 刘岩,李征,程向阳,等.LD-II 和 ADTD 型闪电定位资料的对比分析[J].南京信息工程大学学报(自然科学版),2015,7(4):380-384.
[20] CUMMINS K L,MURPHY M J,BARDO E A,et al.A combined TOA/MDF technology upgrade of the US national lightning detection network[J].Journal of geophysical research,1998,103(D8):9035-9044.
[21] PINEDA N,RIGO T,BECH J,et al.Lightning and precipitation relationship in summer thunderstorms:Case studies in the North Western Mediterranean region[J].Atmospheric research,2007,85(2):159-170.
[22] 李家启,刘健,王鹏,等.闪电定位资料质量控制中小幅值地闪范围的研究[J].高电压技术,2014,40(3):727-731.
[23] 陈渭民.雷电学原理[M].北京:气象出版社,2003:95-96.
[24] 曾金全,冯真祯,张辉方,等.区域雷电灾害风险评估模型与应用[J].气象科技,2017,45(1):178-182.
[25] 程丽丹,张永刚,杨美荣,等.河南省雷电灾害易损性分析及风险区划[J].气象与环境科学,2011,34(3):50-55.

(上接第 205 页)

含量的检测进行研究,结果表明,牛肉干在不同光谱波段下的反射强度不同,在 400~525 nm 波段下,光的反射强度基本不变,而在 525~850 nm 波段,光谱反射强度差异较大。通过

对比不同建模方法的预测结果表明,光谱特征是牛肉干水分含量检测的重要特征,基于 BPNN 算法所建立的预测模型精度较高,鲁棒性较好,在牛肉干水分的实时在线检测中具有良好的应用前景。

表 1 不同建模方法对牛肉干水分含量预测结果分析对比

Table 1 Analysis and comparison of different modeling methods on the prediction results of beef jerky water content

建模方法 Modeling method	R_c^2	RMSEC %	R_p^2	Bias	RMSEP %	RPD	RMSEP/RMSEC
PLS	0.846	5.701	0.826	-0.588	6.189	2.410	1.086
LS-SVM	0.951	3.224	0.909	0.176	4.203	3.545	1.304
BPNN	0.950	3.251	0.941	0.498	3.602	4.142	1.108

参考文献

[1] 李新生,党娅,王艳龙.中国牛肉干加工技术及产业发展现状[J].肉类研究,2012,26(4):32-35.
[2] 王桂霞.中国牛肉产业链研究[D].北京:中国农业大学,2005.
[3] 谢小雷,李侠,张春晖,等.牛肉干中红外-热风组合干燥工艺中水分迁移规律[J].农业工程学报,2014,30(14):322-330.
[4] 张曼玲,郭鸿源,陈东红.不同食品中水分测定方法探讨[J].现代农业科技,2009(21):291-293.
[5] 谢小雷,张春晖,李侠,等.中红外-热风组合干燥牛肉干水分预测模型研究[J].食品科学,2014,35(23):61-66.
[6] 李江波,饶秀勤,应义斌.农产品外部品质无损检测中高光谱成像技术

的应用研究进展[J].光谱学与光谱分析,2011,31(8):2021-2026.
[7] KAMRUZZAMAN M,MAKINO Y,OSHITA S.Parsimonious model development for real-time monitoring of moisture in red meat using hyperspectral imaging[J].Food chemistry,2016,196(4):1084-1091.
[8] 刘锦霞.基于多光谱成像技术快速检测注水肉及冷冻肉的品质安全[D].合肥:合肥工业大学,2016.
[9] MA F,QIN H,ZHOU C L,et al.Rapid and non-destructive detection of iron porphyrin content in pork using multispectral imaging approach[J].Food analytical methods,2016,9(5):1180-1187.
[10] 刘伟,刘长虹,郑磊.基于支持向量机的多光谱成像稻谷品种鉴别[J].农业工程学报,2014,30(10):145-151.